

國立交通大學土木工程研究所

碩士論文

花蓮海域波浪之波高分佈及其統計特性研究

Wave-height distribution and statistics
at the Hua-lien waters



指導教授：張憲國博士

研究生：江俊銘

中華民國九十五年七月

花蓮海域波浪之波高分佈及其統計特性研究

研究生：江俊銘

指導教授：張憲國 博士

國立交通大學土木工程研究所

中文摘要

本研究利用交通部港灣技術研究中心運輸研究所提供之花蓮港2004年波浪資料，分別以Gamma、Rayleigh、Normal及Weibull分佈等四種機率分佈函數與其波高直方圖套配(fitted)，再根據均方根誤差(MSE)及相關性(R^2)以判斷何種分佈模式較近似花蓮港實際波高分佈情形，而為進一步探討波高直方圖分組組數與分佈函數密合程度之關係，分別以多峰直方圖與離島型直方圖來評估其波高直方圖之較佳分組組數。

根據分析結果，驗證出花蓮港之波高分佈較近似於Weibull分佈，其波高直方圖適合分組組數大概介於5至8組，依其分佈特性，並以最大概似法估其參數，可由參數計算出相關理論波高統計值，如 H_s 、 $\bar{H}$ 、 H_{max} 與 H_{rms} ，經與實際波高統計值比較分析後，以Weibull分佈所計算而得之理論 H_s ，與實際波高 H_s 甚為接近。因此本文進一步建立其它相關波高統計值與 H_s 之關係，其關係一旦建立，即可藉 H_s 以推得其它波高統計值，而本研究同時比較其理論與實際值之差異，以了解花蓮海域之波高統計特性及以Weibull分佈理論計算的可行性，此結果對於往後分析花蓮港之波浪現象，與工程設計上可作為參考之依據。

Wave-height distribution and statistics at the Hua-lien waters

Author : Chun-Ming Chiang

Advisor : Dr.Hsien-Kuo Chang

Institute of Civil Engineering National Chiao Tung University

ABSTRACT

Four distributions, that are Gamma, Normal, Rayleigh and Weibull distribution, are used to approximate the histogram of the significant wave heights of each measured data during 20 min at the Hua-lien waters for 2004. The best fitting distribution is the Weibull distribution among these four distributions. The expressions for H_s 、 $\overline{H}$ 、 H_{max} and H_{rms} are derived in terms of the parameters in the Weibull distribution. According to these expressions, the estimated H_s has close agreement with the observed H_s . It is found that the histogram of the values of the significant waves from 20-min records of every month, quarter-year, and one year also shows that the Weibull distribution is also the best one among all examined distributions.

誌謝

歷經漫長的暑假，在今年九月總算可如期畢業，這篇論文之所以能順利完成，首先得感謝在我背後支持的家人與女朋友，以及老師對我的諄諄教誨，沒有女朋友每天電話上的精神鼓勵，與老師瀕臨發飆邊緣的督導，這篇論文的完成可能遙遙無期了。在寫論文的期間，造成老師不少的困擾，也辜負了老師對我的期望，因此我要再次感謝老師細心有耐性的教導，讓我這兩年從水工實驗室裡學到很多知識及作研究的正確態度，是我這最後的學生生涯所得到的最大收穫。

其次要感謝的是對我們很照顧的勁成、立青及蔚瑋學長，勁成學長的好酒量打響了我們水工的名號，立青學長雖然打電動常被我們電，但我相信是立青學長故意放水的，且打電動少了學長似乎就少了分樂趣，總覺得少個肉靶，蔚瑋學長很愛爆頭，且有個超健康的肝，這是最羨慕的地方。還有無時無刻在打電動的學弟們，景鉅、彥廷及明璋，感謝你們常常陪我們打打籃球，還熱心提供一堆養眼的日劇，從你們身上看到了以前自己的影子，希望你們好自為之阿。阿光、明揚及弘偉，這些我的好同學們，一路上彼此互相扶持幫助，恭喜大家今年都能順利畢業，期許彼此爾後踏入社會都功成名就，以不負老師的期望，另外希望歡樂的水工實驗室，這精神能繼續傳承下去，讓未來的學弟在研究及求學過程中，能夠快樂的順利完成學業。

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	vi
表目錄.....	x
符號說明.....	xvii
第一章 前言.....	1
1-1 研究動機與目的.....	1
1-2 文獻回顧.....	2
1-3 文章架構.....	3
第二章 波高直方圖最佳組數與分佈函數.....	4
2-1 測站地理位置及儀器安置.....	4
2-2 資料處理.....	5
2-3 相關波高機率密度函數.....	6
2-4 直方圖之分組原則.....	7
2-4 評估指標.....	8
2-5 最佳組數與分佈函數判斷流程.....	12
2-6 最佳組數之決定.....	14
第三章 季節性波高分佈特性.....	16
3-1 全年波浪資料分析結果.....	16

3-1-1 不同分佈函數之密合度判斷.....	19
3-1-2 直方圖分組組數之適合度判斷.....	20
3-2 每季波浪資料分析結果	21
3-3 每月波浪資料分析結果	22
第四章 波高之理論統計特性	24
4-1 波高統計之理論值與實際值比較	24
4-1-1 Weibull 分佈之波高統計代表值推導	24
4-1-2 Weibull 分佈之參數分析	27
4-1-3 分析及比較方法.....	35
4-2 理論與實際 H_s 之比較.....	36
4-3 理論與實際之 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 之比較.....	45
4-4 理論與實際 $H_s/\sqrt{m_0}$ 之比較.....	49
4-5 理論與實際 $H_s/\bar{H}$ 之比較.....	53
4-6 理論與實際 H_{max}/H_s 之比較.....	56
4-7 理論與實際 H_s/H_{rms} 之比較	62
第五章 結果與討論	66
參考文獻.....	68
附錄一 2004 年第 1 至第 4 季組數與分佈函數分析結果	71
附錄二 2004 年 1 至 12 月組數與分佈函數分析結果	82

圖目錄

圖 2-1 花蓮港波浪站位置圖	4
圖 2-2 某一小時波高資料分成 5 組之直方圖	11
圖 2-3 某一小時波高資料分成 12 組之直方圖	11
圖 2-4 波高分析流程圖	13
圖 4-1 2004 年波高資料各區間 Weibull 分佈之 α 分佈範圍	28
圖 4-2 2004 年波高資料各區間 Weibull 分佈之 β 分佈範圍	29
圖 4-3 2004 年波高資料水位時序列之 m_0 與 α 關係($H_s < 0.5m$)	29
圖 4-4 2004 年波高資料水位時序列之 m_0 與 α 關係 ($0.5m < H_s < 1.0m$).....	30
圖 4-5 2004 年波高資料水位時序列之 m_0 與 α 關係 ($1.0m < H_s < 1.5m$).....	30
圖 4-6 2004 年波高資料水位時序列之 m_0 與 α 關係 ($1.5m < H_s < 2.0m$).....	31
圖 4-7 2004 年波高資料水位時序列之 m_0 與 α 關係 ($2.0m < H_s < 3.0m$).....	31
圖 4-8 2004 年波高資料水位時序列之 m_0 與 α 關係($H_s > 3.0m$)	32
圖 4-9 2004 年波高資料水位時序列之 m_0 與 β 關係($H < 0.5m$)	32
圖 4-10 2004 年全年波高資料水位時序列之 m_0 與 α^2/β 關係	34
圖 4-11 示性波高實際值與 Rayleigh 及 Weibull 理論值比較圖	

(Hs<0.5m).....	37
圖 4-12 示性波高實際值與 Rayleigh 及 Weibull 理論值比較圖 (0.5m<Hs<1.0m).....	37
圖 4-13 示性波高實際值與 Rayleigh 及 Weibull 理論值比較圖 (1.0m<Hs<1.5m).....	38
圖 4-14 示性波高實際值與 Rayleigh 及 Weibull 理論值比較圖 (1.5m<Hs<2.0m).....	38
圖 4-15 示性波高實際值與 Rayleigh 及 Weibull 理論值比較圖 (2.0m<Hs<3.0m).....	39
圖 4-16 示性波高實際值與 Rayleigh 及 Weibull 理論值比較圖 (Hs>3.0m).....	39
圖 4-17 2004 年全年實際 H_s 分佈與 Gamma 及 Normal 分佈比 較圖	44
圖 4-18 2004 年各筆波高資料實際 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖 (Hs<0.5m).....	45
圖 4-19 2004 年各筆波高資料實際 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖 (0.5m<Hs<1.0m).....	46
圖 4-20 2004 年各筆波高資料實際 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖 (1.0m<Hs<1.5m).....	46
圖 4-21 2004 年各筆波高資料實際 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖 (1.5m<Hs<2.0m).....	47
圖 4-22 2004 年各筆波高資料實際 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖 (2.0m<Hs<3.0m).....	47
圖 4-23 2004 年各筆波高資料實際 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖 (Hs>3.0m).....	48
圖 4-24 2004 年各筆波高資料實際 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖(Hs<0.5m)	

.....	49
圖 4-25 2004 年各筆波高資料實際 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖 (0.5m<Hs<1.0m).....	50
圖 4-26 2004 年各筆波高資料實際 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖 (1.0m<Hs<1.5m).....	50
圖 4-27 2004 年各筆波高資料實際 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖 (1.5m<Hs<2.0m).....	51
圖 4-28 2004 年各筆波高資料實際 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖 (2.0m<Hs<3.0m).....	51
圖 4-29 2004 年各筆波高資料實際 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖(Hs>3.0m)	52
圖 4-30 各筆波高資料理論與實際 $H_s/\bar{H}$ 關係圖(Hs<0.5m)	53
圖 4-31 各筆波高資料理論與實際 $H_s/\bar{H}$ 關係圖 (0.5m<Hs<1.0m).....	54
圖 4-32 各筆波高資料理論與實際 $H_s/\bar{H}$ 關係圖 (1.0m<Hs<1.5m).....	54
圖 4-33 各筆波高資料理論與實際 $H_s/\bar{H}$ 關係圖 (1.5m<Hs<2.0m).....	55
圖 4-34 各筆波高資料理論與實際 $H_s/\bar{H}$ 關係圖 (2.0m<Hs<3.0m).....	55
圖 4-35 各筆波高資料理論與實際 $H_s/\bar{H}$ 關係圖(Hs>3.0m)	56
圖 4-36 各筆波高資料理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖(Hs<0.5m)	58
圖 4-37 各筆波高資料理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖 (0.5m<Hs<1.0m).....	58

圖 4-38 各筆波高資料理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖 (1.0m<Hs<1.5m).....	59
圖 4-39 各筆波高資料理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖 (1.5m<Hs<2.0m).....	59
圖 4-40 各筆波高資料理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖 (2.0m<Hs<3.0m).....	60
圖 4-41 各筆波高資料理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖(Hs>3.0m)	60
圖 4-42 2004 年全年波高資料實際與理論 H_{max} 比較圖	61
圖 4-43 各筆波高資料理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖(Hs<0.5m)	62
圖 4-44 各筆波高資料理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖 (0.5m<Hs<1.0m).....	63
圖 4-45 各筆波高資料理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖 (1.0m<Hs<1.5m).....	63
圖 4-46 各筆波高資料理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖 (1.5m<Hs<2.0 m)	64
圖 4-47 各筆波高資料理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖 (2.0m<Hs<3.0m).....	64
圖 4-48 各筆波高資料理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖(Hs>3.0m)	65

表目錄

表 3-1 組數與分佈函數之各種指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)	16
表 3-2 組數與分佈函數之各種指標評估結果($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)	17
表 3-3 組數與分佈函數之各種指標評估結果($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)	17
表 3-4 組數與分佈函數之各種指標評估結果($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)	18
表 3-5 組數與分佈函數之各種指標評估結果($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)	18
表 3-6 組數與分佈函數之各種指標評估結果($H_s > 3.0\text{m}$)	19
表 4-1 2004 年各區間波高資料水位時序列之 m_0 與 β 關係..	33
表 4-2 2004 年資料推估 2005 年參數值與 2005 年實際參數值 之關係	35
表 4-3 2004 年全年 H_s 直方圖組數與分佈函數各指標評估結 果	41
表 4-4 2004 年 1 至 3 月 H_s 直方圖組數與分佈函數各指標評 估結果	41
表 4-5 2004 年 4 至 9 月 H_s 直方圖組數與分佈函數各指標評 估結果	42
表 4-6 2004 年 10 至 12 月 H_s 直方圖組數與分佈函數各指標 評估結果	42
附錄 A-1 第 1 季波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)	71
附錄 A-2 第 1 季波浪資料之各種指標評估結果 ($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$).....	71

附錄 A-3 第 1 季波浪資料之各種指標評估結果 (1.0m<Hs<1.5m).....	72
附錄 A-4 第 1 季波浪資料之各種指標評估結果 (1.5m<Hs<2.0m).....	72
附錄 A-5 第 1 季波浪資料之各種指標評估結果 (2.0m<Hs<3.0m).....	73
附錄 B-1 第 2 季波浪資料之各種指標評估結果(Hs<0.5m).	73
附錄 B-2 第 2 季波浪資料之各種指標評估結果 (0.5m<Hs<1.0m).....	74
附錄 B-3 第 2 季波浪資料之各種指標評估結果 (1.0m<Hs<1.5m).....	74
附錄 B-4 第 2 季波浪資料之各種指標評估結果 (1.5m<Hs<2.0m).....	75
附錄 B-5 第 2 季波浪資料之各種指標評估結果 (2.0m<Hs<3.0m).....	75
附錄 C-1 第 3 季波浪資料之各種指標評估結果(Hs<0.5m).	76
附錄 C-2 第 3 季波浪資料之各種指標評估結果 (0.5m<Hs<1.0m).....	76
附錄 C-3 第 3 季波浪資料之各種指標評估結果 (1.0m<Hs<1.5m).....	77
附錄 C-4 第 3 季波浪資料之各種指標評估結果 (1.5m<Hs<2.0m).....	77
附錄 C-5 第 3 季波浪資料之各種指標評估結果 (2.0m<Hs<3.0m).....	78
附錄 C-6 第 3 季波浪資料之各種指標評估結果(Hs>3.0m).	78

附錄 D-1 第 4 季波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5m$)	79
附錄 D-2 第 4 季波浪資料之各種指標評估結果 ($0.5m < H_s < 1.0m$).....	79
附錄 D-3 第 4 季波浪資料之各種指標評估結果 ($1.0m < H_s < 1.5m$).....	80
附錄 D-4 第 4 季波浪資料之各種指標評估結果 ($1.5m < H_s < 2.0m$).....	80
附錄 D-5 第 4 季波浪資料之各種指標評估結果 ($2.0m < H_s < 3.0m$).....	81
附錄 D-6 第 4 季波浪資料之各種指標評估結果($H_s > 3.0m$)	81
附錄 1-1 1 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5m$)	82
附錄 1-2 1 月波浪資料之各種指標評估結果($0.5m < H_s < 1.0m$)	82
附錄 1-3 1 月波浪資料之各種指標評估結果($1.0m < H_s < 1.5m$)	83
附錄 1-4 1 月波浪資料之各種指標評估結果($1.5m < H_s < 2.0m$)	83
附錄 1-5 1 月波浪資料之各種指標評估結果($2.0m < H_s < 3.0m$)	84
附錄 2-1 2 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5m$)	84
附錄 2-2 2 月波浪資料之各種指標評估結果($0.5m < H_s < 1.0m$)	85
附錄 2-3 2 月波浪資料之各種指標評估結果($1.0m < H_s < 1.5m$)	85
附錄 2-4 2 月波浪資料之各種指標評估結果($1.5m < H_s < 2.0m$)	

.....	86
附錄 2-5 2 月波浪資料之各種指標評估結果($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)	86
.....	86
附錄 3-1 3 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)	87
附錄 3-2 3 月波浪資料之各種指標評估結果($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)	87
.....	87
附錄 3-3 3 月波浪資料之各種指標評估結果($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)	88
.....	88
附錄 4-1 4 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)	88
附錄 4-2 4 月波浪資料之各種指標評估結果($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)	89
.....	89
附錄 4-3 4 月波浪資料之各種指標評估結果($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)	89
.....	89
附錄 4-4 4 月波浪資料之各種指標評估結果($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)	90
.....	90
附錄 5-1 5 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)	90
附錄 5-2 5 月波浪資料之各種指標評估結果($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)	91
.....	91
附錄 5-3 5 月波浪資料之各種指標評估結果($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)	91
.....	91
附錄 5-4 5 月波浪資料之各種指標評估結果($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)	92
.....	92
附錄 6-1 6 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)	92
附錄 6-2 6 月波浪資料之各種指標評估結果($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)	93
.....	93

附錄 6-3 6 月波浪資料之各種指標評估結果($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)	93
附錄 6-4 6 月波浪資料之各種指標評估結果($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)	94
附錄 6-5 6 月波浪資料之各種指標評估結果($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)	94
附錄 7-1 7 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)	95
附錄 7-2 7 月波浪資料之各種指標評估結果($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)	95
附錄 7-3 7 月波浪資料之各種指標評估結果($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)	96
附錄 7-4 7 月波浪資料之各種指標評估結果($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)	96
附錄 7-5 7 月波浪資料之各種指標評估結果($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)	97
附錄 7-6 7 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s > 3.0\text{m}$)	97
附錄 8-1 8 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)	98
附錄 8-2 8 月波浪資料之各種指標評估結果($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)	98
附錄 8-3 8 月波浪資料之各種指標評估結果($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)	99
附錄 8-4 8 月波浪資料之各種指標評估結果($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)	99
附錄 8-5 8 月波浪資料之各種指標評估結果($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)	100

附錄 8-6 8 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s > 3.0\text{m}$)	100
附錄 9-1 9 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)	101
附錄 9-2 9 月波浪資料之各種指標評估結果($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)	101
附錄 9-3 9 月波浪資料之各種指標評估結果($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)	102
附錄 9-4 9 月波浪資料之各種指標評估結果($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)	102
附錄 9-5 9 月波浪資料之各種指標評估結果($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)	103
附錄 9-6 9 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s > 3.0\text{m}$)	103
附錄 10-1 10 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)	104
附錄 10-2 10 月波浪資料之各種指標評估結果 ($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$).....	104
附錄 10-3 10 月波浪資料之各種指標評估結果 ($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$).....	105
附錄 10-4 10 月波浪資料之各種指標評估結果 ($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$).....	105
附錄 10-5 10 月波浪資料之各種指標評估結果 ($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$).....	106
附錄 10-6 10 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s > 3.0\text{m}$)	106
附錄 11-1 11 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$).	107
附錄 11-2 11 月波浪資料之各種指標評估結果 ($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$).....	107
附錄 11-3 11 月波浪資料之各種指標評估結果	

(1.0m<Hs<1.5m).....	108
附錄 11-4 11 月波浪資料之各種指標評估結果	
(1.5m<Hs<2.0m).....	108
附錄 12-2 12 月波浪資料之各種指標評估結果	
(0.5m<Hs<1.0m).....	109
附錄 12-3 12 月波浪資料之各種指標評估結果	
(1.0m<Hs<1.5m).....	109
附錄 12-4 12 月波浪資料之各種指標評估結果	
(1.5m<Hs<2.0m).....	110
附錄 12-5 12 月波浪資料之各種指標評估結果	
(2.0m<Hs<3.0m).....	110
附錄 12-6 12 月波浪資料之各種指標評估結果(Hs>3.0m)	111



符號說明

MSE	:誤差均方根
R^2	:判定係數
H_s	:示性波高
$\overline{H}$	:平均波高
H_{max}	:最大波高
H_{rms}	:波高之均方根值
p	:波壓
γ	:海水比重
K_p	:壓力轉換函數
η	:水位
z	:儀器距水面之高度
h	:水深
α	:Weiubll 分佈之參數值
β	: Weiubll 分佈之參數值
$P_i=0$	:表示離島型直方圖
$ P_i-P_j >1/N$	:表示雙峰型直方圖
m_0	:水位頻譜之零階面矩能率
$(H_s/\overline{H})_O$	:實際波高之 $H_s/\overline{H}$ 比值
$(H_s/\overline{H})_T$	:理論波高之 $H_s/\overline{H}$ 比值
$(H_{max}/H_s)_O$	:實際波高之 H_{max}/H_s 之比值
$(H_{max}/H_s)_T$	:理論波高之 H_{max}/H_s 之比值

$(H_{max})_O$	:實際波高 H_{max} 值
$(H_{max})_T$	:理論波高 H_{max} 值
$(H_s/H_{rms})_O$	:實際波高之 H_s/H_{rms} 之比值
$(H_s/H_{rms})_T$	:理論波高之 H_s/H_{rms} 之比值



第一章 前言

1-1 研究動機與目的

海面上的風浪表面上雖然為不規則的起伏，但實際上卻蘊含著大自然的規律與重要定理，要了解其中波浪的特性，就需運用學理上的分析及經驗，並有效率精確地將之轉為有意義的資訊。目前在諸多文獻及研究著作中，已有許多前人學者試著透過波高的統計分佈，來探討波浪中隱含的重要波浪訊息，然而於確立波高直方圖的分組組數與機率分佈的相關性方面，尚無研究報告及文獻提及此研究結果，因此本研究亦將此部份加以探討，在波高直方圖與機率分佈函數關係中，提出較適合的直方圖分組組數範圍，以利於描述波高機率分佈特性。

自從 Longuet-Higgins 以理論證明了波高的機率分佈應該是 Rayleigh 分佈之後，已有許多專家學者以不同的波浪資料分析統計之後，都驗證出海上波高的機率分佈是 Rayleigh 分佈。目前大部分書籍或研究報告中，還是認為海面波浪波高的機率分佈近似於 Rayleigh 分佈，但就統計學理論而言，此結果並無法驗證於海面上複雜的各種波浪現象，只能描述部分的波高機率分佈是趨近於 Rayleigh 分佈的。因此，探討是否有其它更適合的機率分佈函數來描述波浪的研究或著作也孕育而生，目前廣泛應用於波高分佈的函數除了 Rayleigh，尚有 Gamma、Normal、Weibull、Log-Normal 分佈等，隨著不同地域與時間的資料特性，適用的機率分佈也會不同。

本研究主要探討台灣花蓮港海域之波高分佈為何種分佈，並透過不同大小的示性波高分組方式，根據適當的直方圖分組方法，以更近似波高分佈的機率密度函數來描述波高資料，以利於描述花蓮港的波浪現象。待確定花蓮港較佳之波高分佈之後，再探討波高其他相關統計特性，以了解理論與實際波高之相關性，對於爾後花蓮港波浪分析、工程設計及探討波浪相關參數上，可提供重要之相關資訊。

為進一步探討不同的分佈函數與波高之關係，本文選取其它常應

用於工程或科學的 Weibull、Gamma 及 Normal 三種機率分佈函數，並與 Rayleigh 分佈進行波高統計分析比較，並且為進一步探討波高機率密度直方圖與各種不同機率分佈的相關性，提出如何根據各種不同特性的波高，依分佈理論之間的均方根誤差(MSE)與相關性(R^2)，以及判斷是否為雙峰直方圖或離島型直方圖，來決定何種機率分佈與直方圖分組組數最為密合，並以圖表比較各分佈的適用性，以達到直接的判斷。

在分析中，試圖用各種分佈關係，去套配已知的數值，但波高為一種自然不確定的因子，目前並無任何一種分析方法可以完全描述波高分佈特性，且就算其分析結果已滿足目前的觀測值，但亦無法完全描述往後波高分佈的種種現象，故只能找出最適合分佈與誤差最小的分佈情形，來作為判斷的依據。在探討出最適合波高之分佈函數後，將示性波高分成若干區間，並分析各區間中分佈函數的參數值，以探討波高特性與參數的關係，而由該分佈函數參數可進一步求得理論波高統計參數，如 H_s 、 $\bar{H}$ 、 H_{max} 與 H_{rms} 等，並根據統計學上的分析方法，與實際計算而得的理論值進行分析比較。經由此分析的結果，便可清楚了解波高的特性及機率分佈函數的相關性，對於以後分析花蓮港波浪資料與設計港灣結構物上，可作為重要的分析參考依據。

1-2 文獻回顧

Longuet-Higgins (1952) 藉著通訊學裡面有關雜訊的理論(Rice, 1944, 1945)，以(1)海面上的變動是一個高斯分佈的隨機過程。(2)這個變動是由無限多個具有相似的頻率，但是不同相位之正弦波所重疊累加而成的。(3)這些波浪的相位分佈是所謂的隨機相位(random phase)等三項基本假設為前提，證明了海面上的波高應該近似於 Rayleigh 分佈(Longuet-Higgins, 1952)。雖然 Longuet-Higgins 以理論證明了波高的機率分佈應該是 Rayleigh 分佈之後，但幾十年來仍有諸多學者認為，在不同的實際狀況下，Rayleigh 分佈適合度也不同。Forritall(1978)同意大部分的海上波高機率皆為 Rayleigh 分佈，但是卻容易高估了較大的波高，因此以墨西哥灣暴風雨來臨時的實測波浪資料作為分析依

據，提出了另一種有兩參數的 Weibull 分佈模式。Longuet-Higgin(1980)亦認為理論上若將譜寬不為零與波浪非線性的效果考慮進去的進去的話，波高分佈將從 Rayleigh 分佈轉變成如 Forritall (1978)提出的 Weibull 分佈。根據部分往昔學者的研究認為，Weibull 分佈比 Rayleigh 分佈更能合適的描述現場及實驗室的結果。(Pan, 1992)利用中國沿海各地至少三年以上的波浪資料，驗證出海上波高的機率分佈為對數-常態分佈。錢(1991)也提到海面波高的機率分佈為常態分佈；此外，Guedes (2001)也根據葡萄牙的港外波高資料，証實出波高合適的機率分佈為 Weibull 分佈。Satheesh 等人(2005)則以印度 Alleppey 的波高資料分析其合適之機率分佈為 Weibull 分佈最佳。

由眾多前人學者的研究整理可知，不同的數據來源，使用不同的分析方法，所研究出來的結果亦有所不同。探討波高分佈方法相關文獻很多，(曾和劉，2000)便以風速的機率分佈來推估波高機率分佈，本研究則參考一些相關文獻裡所出現的分佈模式，與理論的 Rayleigh 分佈作比較，以港灣技術研究中心所提供之資料，探討直方圖在不同的示性波高分組下，去套配各種不同的分佈模式，其理論與實際的情形會比較相符，最後於結論部份提出以最佳分佈函數的參數值計算而得之相關波浪特性，與實際計算而得之波浪特性之比較結果。

1-3 文章架構

本文第一章為前言，主要說明研究動機、目的即研究方法與文獻回顧。第二章說明資料取得及其格式，並敘述本研究所使用之相關公式及理論，及將各種常用機率分佈函數 Gamma、Rayleigh、Normal 及 Weibull 分佈，作簡單扼要的介紹，並根據機率分佈函數與波高直方圖套配，應用幾種不同統計上常用之檢定與判斷方式，決定最適合之分佈及分組組數。第三章內容為資料分析的過程與結果，本文將全年資料分成全年、每季及每月三部分個別探討，由分析結果即可決定不同資料範圍較適合之機率分佈與分組組數。第四章則根據第三章分析的結果，由其理論機率分佈計算各種不同波高統計理論值，並與實際值進行比較與討論。第五章內容為本研究對花蓮港分析後的結論。

第二章 波高直方圖最佳組數與分佈函數

2-1 測站地理位置及儀器安置

本研究分析用之資料是由交通部港灣技術研究中心運輸研究所所提供之花蓮港波浪資料。花蓮港位於台灣東部，面臨太平洋，背倚中央山脈，地處花蓮市東北方，是一個以東西防波堤環抱而成之人工港，其內港水深平均為 6.5 公尺。港灣技術研究中心所設置之測站位置位於花蓮港東防波堤往南延長 380 公尺、水深 34 公尺處，於 2000 年 9 月 8 日安裝挪威 NORTEK 公司之剖面海流與表面波浪即時傳送監測系統(簡稱 AWCP)，主要收集資料為波高、週期以及波向。設置於花蓮港觀測儀位置圖，如圖 2-1 所示。



圖 2-1 花蓮港波浪站位置圖

2-2 資料處理

本研究所使用之花蓮港波浪資料，其紀錄範圍為花蓮港 90 年至 94 年實測的壓力原始資料，每小時取樣約為 17 分鐘，頻率為 2Hz，即每小時共取樣 2048 筆資料。原始紀錄資料單位為壓力，以公分表示之。因此取資料行波高計算時，需先將原始壓力格式的資料經快速傅立葉(FFT)轉換成壓力頻譜後，再透過式(2-1)中之壓力轉換函數(pressure transfer function)，將壓力頻譜轉換成水位頻譜，此水位頻譜經過反快速傅立葉轉換後，即可得到水位之時序值。

$$\frac{p}{\gamma} = K_p \eta - z \quad (2-1)$$

$$K_p = \cosh k(h+z) / \cosh kh \quad (2-2)$$

其中式(2-2)稱為壓力轉換函數(pressure transfer function)， p 為波壓， γ 為海水比重， η 表示水位， z 與 h 則分別代表儀器距水面之高程及水深。由於數據較多，且計算繁雜，因此本研究將量測資料以 Neumeier 撰寫名稱為 pr_corr 之程式，於 MATLAB 軟體執行轉換，即可將壓力資料迅速地轉換為水位訊號。

值得注意的是，壓力式波高計為量測海底或水中特定水深處的水壓力變化，扣除儀器所在深度的靜水壓後，再利用動壓與自由表面水位變化的關係，換算為水位的時間變化，也就是透過波浪引發的動壓反推波浪的波形特性。在測量其間，也包含了壓力式波高計在固定水深處所無法感應到的高頻波，該高頻部分的能量雖然不大，但應可被視為雜訊處理。由於訊號轉換過程中並未加上任何限制，若對於頻譜中此一高頻部分進行轉換的話，則可能使得雜訊的成分被過度放大，而影響到波形的品質。

求得水位的時序資料後，根據零上切(zero up cross)法，可將所得之水位定義出波高值。一般常用的波高統計代表值(代表波)有很多種，本研究選取 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 部分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)，且較能反映波浪所含能量的大小，故是最常用的代表波。

2-3 相關波高機率密度函數

本文將往昔常使用分析波浪資料特性的四種不同分佈函數，分別介紹如下：

(1) Normal(常態)分佈：

$f(x; \mu, \sigma)$ 為常態分佈的機率密度函數，示如式(2-3)：

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, -\infty < x < \infty, -\infty < \mu < \infty, \sigma > 0 \quad (2-3)$$

常態分佈主要有兩個參數， σ 為標準偏差(standard deviation)， μ 為平均值(mean value)。且由式(2-4)及式(2-5)推算標準偏差及平均值：

$$\mu = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (2-4)$$

$$\sigma^2 = s^2 = \frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^N x_i - \bar{x} \right)^2 \quad (2-5)$$

(2) Gamma 分佈：

$f(x; \eta, \lambda)$ 為 Gamma 分佈的機率密度函數，示如式(2-6)

$$f(x; \eta, \lambda) = \begin{cases} \frac{\lambda^\eta}{\Gamma(\eta)} x^{\eta-1} e^{-\lambda x} & , x \geq 0, \eta > 0, \lambda > 0 \\ 0, elsewhere \end{cases} \quad (2-6)$$

其中 $\Gamma(\eta) = \int_0^\infty x^{\eta-1} e^{-x} dx$ 為 Gamma 函數，Gamma 函數中的兩個參數計算方式如下式，

$$\hat{\lambda} = \frac{\bar{x}}{s^2}, \quad \hat{\eta} = \hat{\lambda} \bar{x} \quad (2-7)$$

當 $\lambda = 1/2$ 和 $\eta = n/2, n=1,2,\dots$ 時，其分佈函數為卡方分佈(Chi-square distribution)，亦為 Gamma 分佈的特例。當 $\eta=1$ 時，其分佈函數為指數分佈(Exponential distribution)，亦是 Gamma 分佈的特例。

(3) Rayleigh 分佈：

$f(x, \sigma)$ 為 Rayleigh 分佈的機率密度函數，示如式(2-8)：

$$f(x, \sigma) = \begin{cases} \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, & x \geq 0, \sigma > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (2-8)$$

其中 σ 為其參數

(4) Weibull 分佈：

$f(x, \eta, \sigma)$ 為 Weibull 分佈的機率密度函數，示如式(2-9)

$$f(x, \eta, \sigma) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}, & x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (2-9)$$

其中 α 為形狀參數 β 為尺度參數。

上述四種機率分佈函數之參數決定方法，本研究以最大概似法(method of maximum likelihood)來估算各種理論機率分佈函數中之參數。

2-4 直方圖之分組原則

在波高直方圖分組方面，本研究先將每一小時內經由零上切法所得到之波高值由小至大排列成 $H_1, H_2, \dots, H_N$ ，其中 N 為波高數，之後再根據分組組數 X ，將其繪成一以間距 $(H_N \times i)/X, i=1,2,\dots,N$ 為橫座標；間距內之頻率數為 $f_i, i=1,2,\dots,N$ 之直方圖，並根據計算而得之頻率數，將縱座標皆除以 N 以取其機率值，即成一機率直方圖。當直方圖完成後，根據最大概似法(method of maximum likelihood)以估算各種理

論機率分佈的參數，再依照這些參數即可求出理論的機率分佈模式。

直方圖分組組數的選定將影響到資料分析的結果，因此在對波高作統計分析之前，必須對波高分組組數進行定義，否則若分組組數過小，則無法將該筆的分佈特性明顯的表示出來，而造成部分資料特性被隱藏的結果；相反地，若組數分的過多，則各組間距內中資料點的個數又會過少甚至為零，使得直方圖出現不規則的形狀，不僅難以與各分佈函數密合，也難以描述該筆波浪資料的特性。因此根據統計學上的理論，合理的直方圖分組組數大小應至少要大於 5 組，小於 20 組，而一般統計學上常用的分組方法有如下幾種：

(1) Sturges 法：

$$X = 1 + 3.322 \log(N) \quad (2-10)$$

其中 X 為計算後之分組組數， N 為資料次數或個數。

(2) Doane 法：

$$X = \sqrt{N} \quad (2-11)$$

其中 X 為 $\sqrt{N}$ 最接近之整數值， N 為資料之次數或個數。

花蓮港波浪數範圍介於 70 至 150 個之間，因此根據上述兩種分組組數計算方法，可得到分組組數範圍大概為 7 至 12 組，而本研究除了參考上述兩種分組分法外，尚加入了兩分組組數 5 組與 6 組一起併入計算，即分組總範圍為 5 至 12 組，根據大範圍的波高資料直方圖分組，藉以得到較客觀的分析結果。

2-4 評估指標

為了能夠更清楚的了解各區間中分組組數與各種分佈的密合程度，進一步引用統計學上的分析技巧，根據理論機率分佈模式和直方圖套配(fitted)的結果，利用如下幾種判斷的方法，選擇出最佳的理論機率分佈模式。

(1) 誤差均方根(MSE)：

誤差均方根 MSE 為常用之統計學上的技巧，其計算方法及定義如下：

在波高理論分佈的直方圖(histogram)中，假設有 k 個分組區間， $n_1、n_2、...n_k$ 是實測資料確定的機率分佈模式中各個分組區間的機率值， $e_1、e_2、...e_k$ 是理論分佈模式中各個分組區間的機率值，則根據 MSE 計算公式：

$$MSE = \sqrt{\sum_{i=1}^k (e_k - n_k)^2 / (k - r)} \quad (2-12)$$

其中 r 為機率函數之自由度，Gamma 分佈自由度為 2、Normal 分佈自由度為 2、Rayleigh 分佈自由度為 1，Weibull 自由度為 2。

(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，亦稱作複相關係數平方，因其值為相關係數之平方。 R^2 值由 0 至 1， 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。

(3)離島型直方圖(Pi)

離島型直方圖是指直方圖出現兩個大小相差甚多之高峰，較低高峰之間距內的機率值為 0，而在直方圖組數越多時，此情形越容易發生，本研究則是以直方圖中的機率密度出現 0 時、將其判定為離島型直方圖。此型態的直方圖會影響資料特性，故在決定最佳組數時，需選擇 Pi 值較小的分組組數，本文以參數 $Pi=0$ 表示其計算結果。

(4)雙峰直方圖(Peak)

是指在數據分布範圍之中央有一低谷，而兩旁各有一高峰。本研究則以當各組距中的機率密度值與其下一組距的機率密度值，相減之後的絕對值大於分組組數倒數的情況出現兩次以上時，來判斷是否為雙峰直方圖。此型態的直方圖會影響資料特性，故在決定最佳組數時，需選擇鋸齒狀之峰值較小的分組組數，本文中以參數 $|Pi-Pj|>1/N$ 表示其計算結果。

$P_i=0$ 與 $|P_i-P_j|>1/N$ 為本研究建議用來評估的兩參數，根據施、尹(1994)探討近海波高的機率分佈時，以卡方檢定(Chi-Square test)與統計學中回歸分析的最小平方法，來檢定與判斷機率分佈與直方圖的適用性，本研究亦參考其分析方法，引用卡方檢定與最小平方法，及 Kolmogorov-Smirnov test 檢定方法來判斷適用性，然而在分析過程中，以最小平方法來檢定並無法明顯地判斷出各分佈的優劣，另兩種檢定方法則在 99%有效水準下，各機率分佈函數均可被接受，因此亦難以判斷各區間的分佈函數中，何種組數為最佳的分組組數。有鑑於此，本研究提出以 $P_i=0$ 與 $|P_i-P_j|>1/N$ 兩參數來判斷適用性。

圖 2-2 及圖 2-3 分別表示同筆波高資料，在分成 5 組與 12 組情況下的直方圖，其中 $P_i=0$ 即表示當波高根據組數分組時，各組距中有產生機率值為零的情況。由圖可看出，當分組組數越多時，間距內的機率值為零的情況更為明顯，這是因為當分組組數越多，間距分的過細，以致於在該間距內的機率或者次數為零。如圖 2-3 所示，分成 12 組時，於波高 0.38m 至 0.425m 中，次數為零(機率值亦為零)，因此 $P_i=0$ 的參數記錄為 1，即代表該筆資料中，至少有一組間距機率值是為零的情況，因此不論是否有幾組間距機率值為零，一律紀錄為 1；相反地，若無任何間距的機率值為零， $P_i=0$ 之參數紀錄為零；即 1 與 0 代表有跟無的情況。

另一參數 $|P_i-P_j|>1/N$ (N 為分組組數)的說明如圖 2-3 所示，當各組距中的機率值與其下一組距的機率值，相減之後的絕對值大於分組組數倒數的情況至少發生一次以上，該參數值紀錄為 1；相反地，若各組距中的機率值與其下一組距的機率值，相減之後的絕對值大於分組組數倒數的情況皆無發生，該參數值紀錄為 0。兩參數的紀錄方法相同，即 1 與 0 代表資料發生要判斷的條件有跟無的情況。

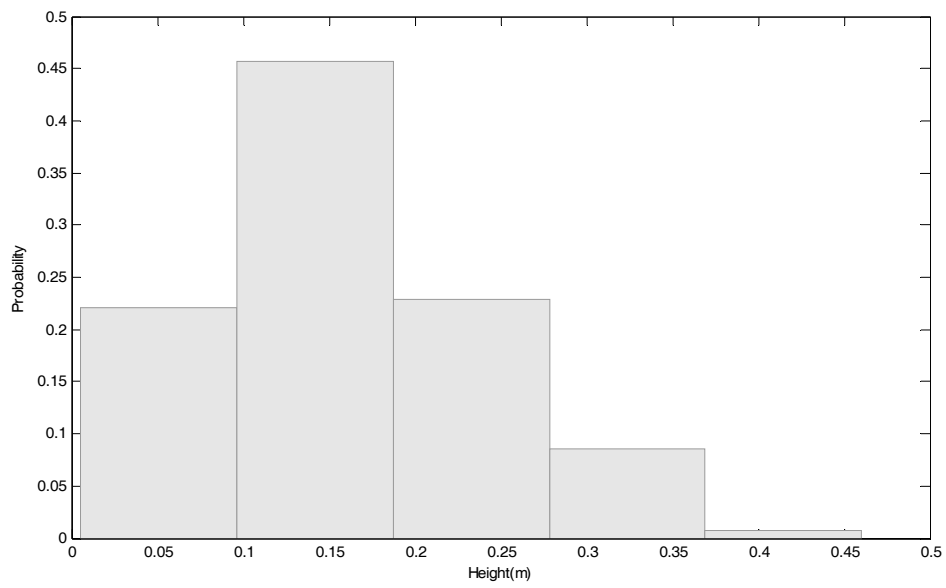


圖 2-2 某一小時波高資料分成 5 組之直方圖

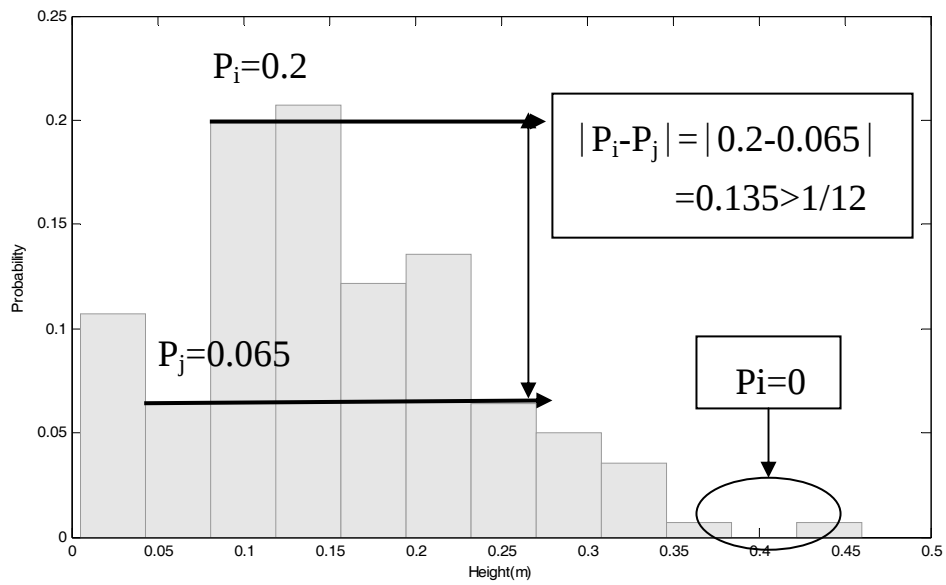


圖 2-3 某一小時波高資料分成 12 組之直方圖

2-5 最佳組數與分佈函數判斷流程

根據上述分析方法，可建立一套波高直方圖的機率分佈模式分析步驟，即由港灣技術研究中心運輸研究所所提供之花蓮港的資料，將其資料經過處理後，可得到花蓮港之水位訊號，再行零上切法得到波高時序值，即以此進行計算並繪出實際波高機率直方圖。由波高時序資料，以最大概似法(Maximum Likelihood Estimator)*MLE*，可求解各理論機率分佈之參數，其各參數值均落在 95%信賴區間，根據參數計算結果即可推得理論分佈函數，最後再根據分組組數與資料分佈函數的特性，以 MSE 、 R^2 、 $P_i=0$ 與 $|P_i-P_j|>1/N$ 等四種參數來探討最適之機率分佈特性和最佳分組組數。



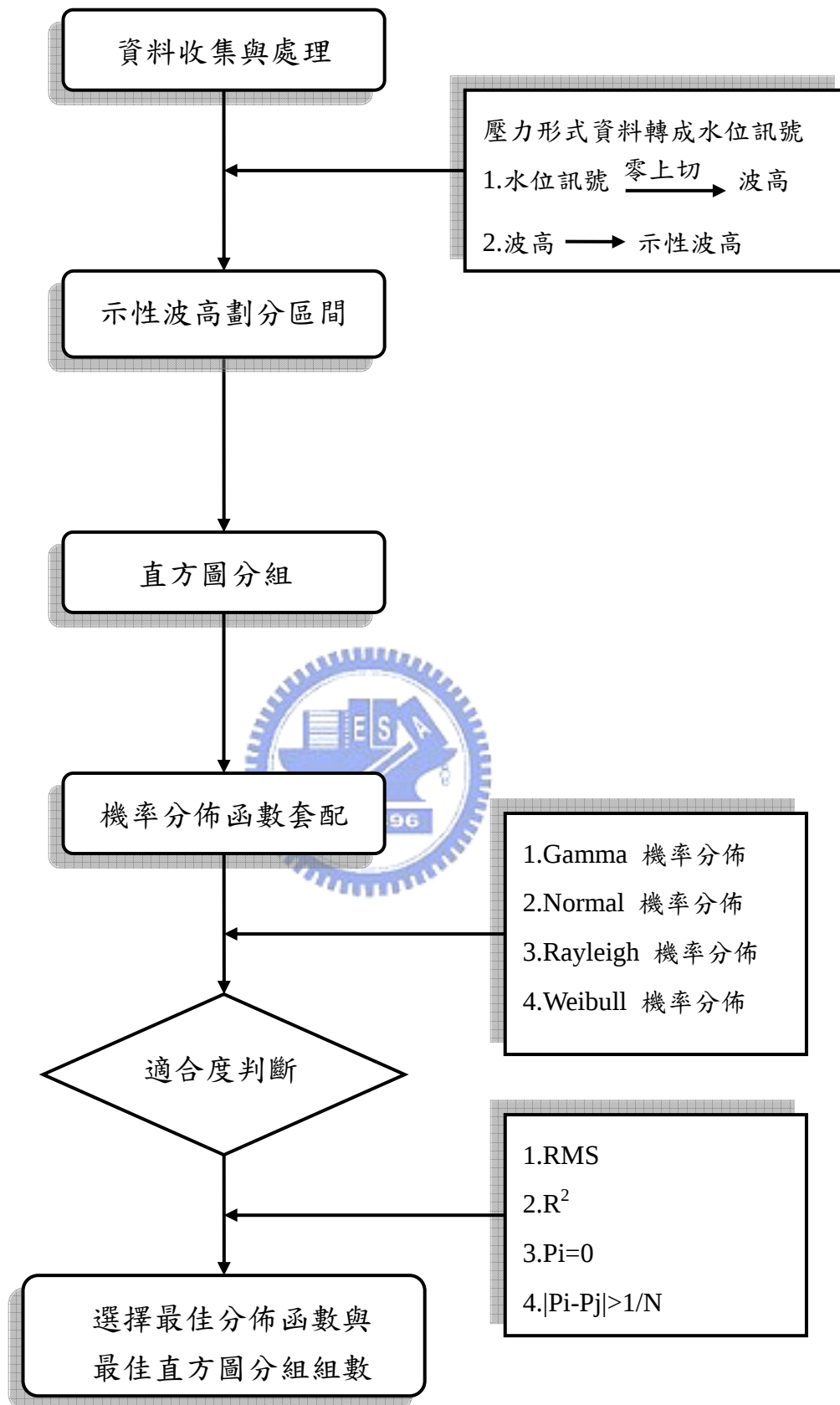


圖 2-4 波高分析流程圖

2-6 最佳組數之決定

根據上述判斷最佳組數與分佈函數之流程方法，本文將利用所收集之波浪時序資料進行統計分析，分析資料分別以每月、每季、一年的資料時間間隔來探討最適之機率分佈與波高分組組數的關係。

理論上不同的示性波高值，代表著不同的統計特性，因此要探討不同示性波高下的波浪特性，應將示性波高值按其大小分成幾個區間，再分別加以討論。分組的區間大小決定，會影響到分析的結果，但若分組分的太過於細，不僅造成分析上的困難，時間上的經濟效益也不顯著；反之，分組分的範圍過大，則對於整個統計動作上，分析的結果並無法代表特殊的意義，僅能代表大範圍的示性波高下之特性。因此本研究選取適當的示性波高劃分範圍，將不同大小之示性波高加以區別，以分析各區間波高資料不同之機率函數的差異。

本研究示性波高分組方法，乃根據其大小將之分成六個區間，即 $H_s < 0.5\text{m}$ 、 $0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$ 、 $1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$ 、 $1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$ 、 $2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$ 、 $H_s > 3.0\text{m}$ 共六區間，根據每筆波浪資料的示性波高值(H_s)，按大小將其歸類於六個區間中，逐一歸類，待示性波高分類完畢後，將各區間所含之若干波高資料，按不同之分組組數，作直方圖機率分佈的統計分析。

由於示性波高分組的每個區間中，其資料筆數大小不一，因此根據中央極限定理，本研究在每區間中各取每筆的波高資料至少 30 筆來進行分析。根據不同的資料範圍，其選取分析資料筆數亦不同，如當分析一年之波高資料時，每區間之波高筆數大於 30 筆之可能性較高，假設其各區間波高資料最小的筆數值為 100 筆，則進行統計分析時，每區間採各取 100 筆來進行統計分析；反之分析資料範圍過小，例如資料時序範圍為一個月，則可能因為資料筆數過少，導致歸類於某些區間的波高資料筆數會小於 30 筆，則在作資料分析時，其計算出之數據及結果，無法具體的描述於該區間的統計特性。因此，本研究將區間波高筆數小於 30 筆之計算忽略不計，即假設於該區間筆數過小時，可視其為偶發的狀況，或者儀器測量錯誤，以避免少數的異

常資料影響到判斷結果，並有利於分析該區間大部分的波高特性。

選定要分析的資料範圍之後，再根據四個參數 MSE 、 R^2 、 $P_i=0$ 與 $|P_i-P_j|>1/N$ ，分別計算各區間各組中每筆波高資料結果，即每筆資料分析後將會有四個參數值，再取其平均值當代表，將每區間每組計算結果以列表表示之，以利於觀察並比較各區間不同的波浪統計分佈特性。



第三章 季節性波高分佈特性

3-1 全年波浪資料分析結果

根據港灣技術研究中心所提供之花蓮港波浪資料，其記錄時間為 2000 年至 2005 年，其中 2000 年的波浪資料只有 8、9 兩月之資料；2001 波浪資料則缺 1 至 7 月之資料；2002 年波浪資料雖有全年之資料，然而在 10 月至 12 月之量測資料，因格式雜亂，難以判讀；另外 2003 年，除了 9 月與 10 月無波浪資料紀錄外，1 月及 2 月資料皆無法判讀；而 2005 年波高資料則僅有 11 月份之波高資料形式無法判讀，因此本研究選取花蓮港 2004 年較完整之波浪資料，分別作每月、每季與全年之波高分佈統計分析。

2004 年全年資料扣除記錄錯誤及缺失資料，有效波浪資料 7617 筆，依據波浪分析之步驟，將示性波高大小歸類於六個區間。其中， $H_s < 0.5\text{m}$ 有 1871 筆； $0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$ 有 3383 筆；在 $1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$ 有 1587 筆， $1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$ 有 428 筆， $2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$ 有 252 筆，於 $H_s > 3.0\text{m}$ 此區間筆數則較少，僅有 96 筆。本文將每月與每季之分析結果列於附錄，全年分析結果則如表 3-1 至表 3-6 如下：

表 3-1 組數與分佈函數之各種指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.041	0.037	0.035	0.034	0.032	0.032	0.030	0.029
	R ²	0.926	0.904	0.883	0.861	0.838	0.813	0.801	0.778
Normal	MSE	0.042	0.041	0.037	0.035	0.032	0.031	0.029	0.028
	R ²	0.928	0.900	0.888	0.865	0.855	0.835	0.819	0.801
Rayleigh	MSE	0.035	0.032	0.030	0.029	0.028	0.028	0.026	0.025
	R ²	0.940	0.924	0.909	0.889	0.871	0.848	0.835	0.816
Weibull	MSE	0.030	0.030	0.028	0.028	0.026	0.026	0.025	0.025
	R ²	0.960	0.943	0.929	0.908	0.895	0.872	0.858	0.839
Pi=0		0	0	1	4	10	16	28	34
Pi-Pj >1/N		38	29	30	37	37	49	52	56

表 3-2 組數與分佈函數之各種指標評估結果(0.5m<Hs<1.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.037	0.035	0.032	0.030	0.030	0.029	0.028	0.027
	R ²	0.937	0.915	0.901	0.887	0.858	0.839	0.815	0.800
Normal	MSE	0.049	0.043	0.041	0.037	0.034	0.033	0.031	0.030
	R ²	0.903	0.886	0.858	0.847	0.830	0.809	0.790	0.773
Rayleigh	MSE	0.035	0.033	0.031	0.028	0.027	0.027	0.026	0.025
	R ²	0.938	0.923	0.906	0.895	0.873	0.853	0.831	0.815
Weibull	MSE	0.031	0.030	0.029	0.026	0.026	0.026	0.026	0.025
	R ²	0.957	0.940	0.924	0.914	0.891	0.873	0.851	0.836
Pi=0		0	0	1	3	6	14	22	29
Pi-Pj >1/N		31	24	24	24	38	44	52	51



表 3-3 組數與分佈函數之各種指標評估結果(1.0m<Hs<1.5m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.035	0.033	0.032	0.033	0.030	0.030	0.028	0.027
	R ²	0.942	0.922	0.899	0.870	0.858	0.830	0.820	0.801
Normal	MSE	0.051	0.045	0.041	0.038	0.035	0.034	0.031	0.030
	R ²	0.897	0.879	0.860	0.839	0.823	0.797	0.795	0.770
Rayleigh	MSE	0.035	0.032	0.031	0.031	0.028	0.028	0.026	0.026
	R ²	0.940	0.925	0.906	0.882	0.869	0.843	0.836	0.815
Weibull	MSE	0.032	0.031	0.030	0.030	0.027	0.028	0.025	0.025
	R ²	0.954	0.940	0.922	0.898	0.885	0.859	0.854	0.832
Pi=0		0	1	2	4	8	11	16	26
Pi-Pj >1/N		37	28	32	30	38	50	51	58

表 3-4 組數與分佈函數之各種指標評估結果(1.5m<Hs<2.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.042	0.038	0.037	0.034	0.034	0.032	0.031	0.029
	R ²	0.913	0.897	0.874	0.849	0.821	0.799	0.780	0.775
Normal	MSE	0.048	0.043	0.038	0.037	0.035	0.032	0.031	0.029
	R ²	0.907	0.884	0.872	0.845	0.824	0.809	0.789	0.784
Rayleigh	MSE	0.040	0.038	0.035	0.032	0.032	0.030	0.029	0.027
	R ²	0.915	0.897	0.882	0.858	0.832	0.814	0.794	0.788
Weibull	MSE	0.036	0.033	0.031	0.030	0.029	0.028	0.028	0.025
	R ²	0.943	0.929	0.914	0.890	0.868	0.849	0.830	0.825
Pi=0		0	0	3	8	14	24	32	40
Pi-Pj >1/N		40	35	34	32	44	51	52	62



表 3-5 組數與分佈函數之各種指標評估結果(2.0m<Hs<3.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.046	0.045	0.043	0.043	0.040	0.039	0.037	0.035
	R ²	0.924	0.899	0.877	0.843	0.830	0.803	0.791	0.766
Normal	MSE	0.075	0.068	0.063	0.058	0.054	0.051	0.048	0.045
	R ²	0.842	0.815	0.785	0.762	0.740	0.718	0.704	0.685
Rayleigh	MSE	0.062	0.059	0.055	0.054	0.050	0.048	0.045	0.043
	R ²	0.855	0.828	0.803	0.773	0.759	0.732	0.719	0.697
Weibull	MSE	0.041	0.040	0.039	0.038	0.037	0.036	0.034	0.032
	R ²	0.942	0.926	0.903	0.878	0.861	0.836	0.824	0.804
Pi=0		10	13	13	18	26	28	32	43
Pi-Pj >1/N		29	33	33	40	48	52	55	64

表 3-6 組數與分佈函數之各種指標評估結果($H_s > 3.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.049	0.048	0.044	0.043	0.041	0.039	0.037	0.035
	R^2	0.926	0.898	0.882	0.852	0.829	0.810	0.796	0.781
Normal	MSE	0.083	0.076	0.067	0.062	0.058	0.054	0.050	0.047
	R^2	0.829	0.797	0.785	0.759	0.730	0.713	0.698	0.685
Rayleigh	MSE	0.067	0.065	0.060	0.056	0.054	0.051	0.047	0.045
	R^2	0.846	0.812	0.797	0.769	0.743	0.724	0.710	0.694
Weibull	MSE	0.044	0.044	0.040	0.039	0.038	0.036	0.034	0.033
	R^2	0.942	0.921	0.912	0.886	0.860	0.843	0.829	0.814
$P_i=0$		12	15	20	22	33	36	43	50
$ P_i-P_j > 1/N$		28	28	32	44	47	58	52	67

3-1-1 不同分佈函數之密合度判斷

2004 年全年之波高分析結果如上表 3-1 至表 3-6，根據 R^2 與 MSE 兩參數，可判斷出 Gamma、Normal、Rayleigh 及 Weibull 四個分佈函數與波高資料直方圖的吻合程度；在 MSE 方面，其不同區間中的任一分組組數下，可看出 Weibull 分佈函數與波高直方圖吻合程度，明顯優於其餘三種機率分佈函數，其優劣趨勢大致為 Weibull 分佈最佳，Gamma 分佈次之，Normal 分佈最差。 R^2 方面，在不同區間中的任一分組組數下，Weibull 分佈有最高之 R^2 值，而 Normal 分佈之 R^2 值最低。因此由本研究分析結果，判斷出四個機率分佈函數與波高的吻合程度以 Weibull 分佈最佳，Normal 分佈最差。而經由 R^2 與 MSE 兩參數分析結果可發現，無論波高大小為何，以花蓮港為例，其波高機率分佈是近似於 Weibull 分佈的，根據此結果，對於分析往後之花蓮港波高資料，可利用 Weibull 分佈特性及計算方式，更貼切地來描述花蓮港波浪特性。

3-1-2 直方圖分組組數之適合度判斷

經由表 3-1 至表 3-6 觀察，在任一區間的任一分佈函數中， R^2 與 MSE 值大致上均隨著分組組數的增加而遞減，這是因為將波高作直方圖組數分組中，當分組組數越多，直方圖則呈現越不規則的形狀，造成其與各機率分佈函數曲線之相關性不高，因此導致 R^2 值降低；而根據 MSE 計算公式定義，其值為計算出直方圖各分組區間中之機率值，與相對應之分佈函數機率值的誤差平方和(Sum of Square due to Error)，再除以分組組數扣除其自由度後之值，因此當分組組數越多，分佈函數曲線與直方圖各分組區間之機率值均會變小，其計算出之誤差平方和值亦比較小，而分母因組數增加而變大，取兩值相除後開根號之結果，理論上其值會隨組數增加而減少，從分析資料後之數據可知，此推論結果與實際情況不謀而合。

由上述之說明，可知要決定適當的分組組數，並無法以 R^2 與 MSE 兩參數來判斷評估，因此本文建議改以兩參數 $P_i=0$ 與 $|P_i-P_j|>1/N$ 來選定適合的分組組數範圍。根據表 3-1 至表 3-6 分析結果，可看出 $P_i=0$ 與 $|P_i-P_j|>1/N$ 兩參數均隨著分組組數的增加而增加，這是因為當分組組數增加，所繪出之不規則之直方圖，容易產生機率為零之分組間距值及鋸齒狀之多峰值出現的現象。此外，從表 3-1 至表 3-6 分析之結果，可觀察出當示性波高小於 2m 以下，其分組組數為 5 至 7 組時， $P_i=0$ 參數均較小，且其差異性亦不大。如表 3-1 至表 3-4 中所示，當各區間中的 96 筆波高資料，將其分成 5 至 7 組時，每個組數中僅有三筆以下的波高資料會產生機率值為零的情況，因此可判斷出，當示性波高小於 2m 時，其分組組數以 5 至 7 組最為適合；而在 $|P_i-P_j|>1/N$ 參數方面，當示性波高介於 $H_s < 0.5m$ 、 $0.5m < H_s < 1.0m$ 、 $1.0m < H_s < 1.5m$ 與 $1.5m < H_s < 2.0m$ 此四個區間時，可觀察出分組組數以 6 至 8 組時，其參數值明顯低於 5 組及 9 至 12 組。理論上當分組組數越多，其 $|P_i-P_j|>1/N$ 參數值會隨著增加，然而當分成 5 組時，則由於分組組數過小，組間距過大，造成某些波高範圍內的機率值過低，以致於某些組間距內的機率值太高，而形成鋸齒狀之峰值現象。因此，綜合上述觀察結果，可知當示性波高小於 2m 以下時，分組組數以 6 組及 7 組

較佳。

根據上述分析結論，以示性波高 2m 為界，當波高大於 2m 時，由 R^2 判斷之結果，其直方圖分組組數範圍以 5 至 8 組較佳。而 $|P_i - P_j| > 1/N$ 參數判斷方面，在分組組數為 5 至 7 組時，三組參數值差異性不大，且較 8 至 12 組為小，因此可確定，當以 $|P_i - P_j| > 1/N$ 參數為判斷準則時，其分組組數以 5 至 7 組較佳。根據兩參數綜合比較結果，可決定示性波高大於 2m 時，5 至 7 組為其較佳直方圖分組組數。

3-2 每季波浪資料分析結果

為比較 2004 全年分析與每季分析之結果，茲將 2004 年全年之波高資料分為四季，即 1 至 3 月為第一季、4 至 6 月為第二季、第三季為 7 月至 9 月、第四季則為 10 至 12 月，其分析結果列表如附錄所示。第一季共有 1884 筆波高資料，按示性波高大小分成六區間後，其中第一區間有 101 筆，第二區間則集中大多數之波高資料 1330 筆，第三區間有 405 筆，第四區間則有 45 筆，而第五區間僅有 3 筆，第六區間 0 筆。根據附表 A-5 之分析數據，因為第五區間所含之資料筆數較少，故不將其分析結果考慮在內，而依照分析全年波高資料之方法，其最適之機率分佈由 R^2 與 RMS 觀察可知，Weibull 分佈為第一季最適合之機率分佈。再由 $P_i = 0$ 與 $|P_i - P_j| > 1/N$ 兩參數之分析結果，可判斷出組數為 6 或 7 組時，為其直方圖之較佳分組組數。

第二季之波高資料共 1975 筆，其中第一區間包含最多波高資料有 931 筆，其次為第二區間有 743 筆，第三區間有 207 筆，第四區間含 62 筆資料，第五區間僅有 32 筆，第六區間則為 0 筆。根據附表 B-1 至附表 B-5 之分析結果，可判斷出 Weibull 分佈為第二季最適合之波高機率分佈函數，而其直方圖較佳分組組數為 6 組及 7 組。

第三季波高資料有 1731 筆，大多數資料集中於第一區間，有 804 筆，而第二區間為次之有 384 筆，第三區間有 276 筆，第四區間 132 筆，第五區間含 95 筆，第六區間則僅有 40 筆波高資料。根據附表 C-1 至附表 C-6 分析結果所示，其最適合之機率分佈為當 Weibull 分

佈，而當示性波高小於 2m 時，其最佳之直方圖分組組數為 7 組；示性波高大於 2m 時，5 至 7 組為較佳分組組數。

第四季之波高資料共 2027 筆，其中第一區間波高資料較少，僅有 35 筆，第二區間則含最多資料有 926 筆，第三區間次之有 699 筆，第四區間含 189 筆，第五區間為 122 筆，第六區間則有 56 筆。從附表 D-1 至附表 D-6 數據可觀察得，Weibull 分佈為其最適合之機率密度函數，而當示性波高小於 2m 時，其最佳之直方圖分組組數為 6 組；示性波高大於 2m 時，5 組與 6 組皆為其較佳分組組數。

3-3 每月波浪資料分析結果

2004 年 1 至 12 月每月之波高分析結果，如附表 1-1 至附表 12-6 所示，根據統計結果，其每月之波高筆數，大部分集中在示性波高介於 0.5m 至 1.5m 時，而其它部份示性波高區間，所含之波高資料僅有少數小於 30 筆或為 0 筆，因此在分析結果時，資料數甚小之區間，不將其波高資料併入分析。由於每月各區間波高數不同，本研究將示性波高特性相似之月份歸類於同一部份加以探討，以利於分析其結果。

由 1 月及 11 月之分析數據結果，觀察其在示性波高大於 2m 時，1 月僅含有 2 筆波高資料，而 11 月為 0 筆，因此在判斷最適合機率分佈函數與最佳分組組數時，可將 $H_s > 2m$ 時之數據結果不考慮在內。根據附表 1-4 至附表 1-5 及附表 11-1 至附表 11-4 中所示，當 $H_s < 2m$ 時，可判斷出其最佳直方圖分組為 6 組及 7 組，而 Weibull 分佈為其最適合之機率分佈函數。

根據 2 月、4 月與 5 月之數據統計結果，其在第四、第五及第六區間中，波高資料筆數甚小或為零，而 3 月之分析結果，除了與 2 月、4 月與 5 月區間筆數甚小部份相同外，其在第一區間之波高資料僅有 4 筆，因此將 3 月分析結果併入討論分析之。根據觀察結果，可判斷出其最佳直方圖分組組數為 6 組，其最適合之機率分佈函數為 Weibull 分佈。

台灣夏季為颱風盛行之季節，根據氣象局資料顯示，2004 年 6 月至 10 月及 12 月共有九個颱風侵台，其中七月與九月各有一輕度颱風，其餘皆為中度颱風，因此根據其 6 月至 10 月與 12 月之波高統計資料，於大波高之部分所佔之資料筆數亦較多。按 6 月、8 月與 9 月之波高分析結果，除第六區間之波高筆數甚小之外，其餘五個區間中之波高資料筆數皆大於 30 筆，因此根據其分析結果判斷，當 $H_s < 2\text{m}$ 時之最佳分組組數為 6 或 7 組， $H_s > 2\text{m}$ 時最佳分組組數為 6 組，其最適合之波高機率分佈為 Weibull 分佈。

另外，7 月、10 月與 12 月之資料，因其統計結果較上述三個月份不同，因此在個別討論之。由 7 月、10 月與 12 月之統計結果，7 月資料僅在第一區間之筆數較多，其餘區間皆小於 30 筆；而 10 月之資料除第一區間筆數甚小為 1 筆外，其餘五個區間所含之波高資料皆大於 30 筆；12 月資料則第一與其第六區間資料筆數分別為 0 及 1 筆，而第二至第五區間有較多之資料數。因此根據分析結果判斷，Weibull 分佈為 7 月、10 月與 12 月最適合之分佈函數，7 月之最佳分組組數為 6 組；10 月在 $H_s < 2.0\text{m}$ 與 $H_s > 2.0\text{m}$ 時之最佳分組組數則皆為 6 組；12 月之資料在 $0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$ 以分成 7 組最佳，其餘第三至第五區間，則以分組組數 6 組最佳。

經由 2004 年全年、每月與每季之波高分析結果顯示，花蓮港之波高機率分佈以 Weibull 分佈最為合適，而其較佳之直方圖分組組數，在每季每月或者發生颱風之波高資料中，其較佳組數範圍大致上為 5 至 7 組。因此，根據此分析結果，可利用 Weibull 分佈之特性，由波高資料估算其參數，再由參數計算出相關之波浪統計參數，此分析結果對於往後花蓮港波浪分析或者工程設計上，可作為參考依據之一。

第四章 波高之理論統計特性

4-1 波高統計之理論值與實際值比較

花蓮港之波高資料，經由統計結果可得其實際之波高統計值，而花蓮港之波高分佈，因較符合 Weibull 分佈模式，為求其理論統計值，本研究參考 Rayleigh 分佈之公式推導過程，由 Weibull 分佈之公式定義，推導出之相關之理論波高統計值公式，並參考常用之波高比，以探討理論與實際之關係。

4-1-1 Weibull 分佈之波高統計代表值推導

根據分析結果，驗證出花蓮港海面波高之機率分佈是近似於 Weibull 分佈後，為進一步瞭解 Weibull 分佈與實際波高之相關性，以最大概似法(method of maximum likelihood)估算其 α 與 β 參數值，並探討其參數與波高之相關性。而由參數之計算結果，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，Weibull 分佈之相關波高統計值 H_s 、 $\bar{H}$ 、 H_{max} 與 H_{rms} 推導如下：

(1) Weibull 分佈理論之 H_s ：

Weibull 機率密度分佈函數之公式為

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} \quad (4-1)$$

今設大於某特定波高值 x_N 的機率為 $1/3$ ，即

$$f(x \geq x_N) = \int_{x_N}^{\infty} f(x) dx = 1/3 \quad (4-2)$$

令 $y = (x/\beta)^\alpha$ 代入式(4-1)，可得

$$f(y) = \int_{y_N}^{\infty} e^{-y} dy \quad (4-3)$$

令式(4-3)值為 $1/3$ ，可推得 $y_N = -\ln(1/3) = \ln(3)$ ，再依照 H_s 之定義，

即 $f(x)$ 在 x_N 至 ∞ 範圍內所涵蓋面積之形心位置就是 H_s ，以數學式表示則為

$$\begin{aligned}
 H_s &= \frac{\int_{x_N}^{\infty} xf(x)dx}{\int_{x_N}^{\infty} f(x)dx} = \frac{1}{e^{-y_N}} \int_{x_N}^{\infty} xf(x)dx \\
 &= \frac{1}{e^{-y_N}} \beta \int_{y_N}^{\infty} y^{\frac{1}{\alpha}} e^{-y} dy \\
 &= 3\beta \Gamma\left(\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right), \ln(3)\right)
 \end{aligned} \tag{4-4}$$

式(4-4)中 α 為其形狀參數，描述分佈的陡峭程度； β 則為尺度參數，用以描述分佈的散佈程度。由於 Weibull 函數的 α 、 β 兩參數難以控制，故將其轉換成型 I 極值分佈(Type I Extreme Value Distribution)或稱甘保(Gumbel)分佈，將波高取對數，成一尺度一位置極值分佈函數，再以最大概似法(Maximum Likelihood Estimates)估計參數，方能簡化其參數運算過程。

(2) Weibull 分佈之理論 $\bar{H}$ ：

平均波高 $\bar{H}$ 為機率密度函數的期望值，故

$$\bar{H} = \int_0^{\infty} xf(x)dx \tag{4-5}$$

根據式(4-1)與式(4-5)，令 $y = (x/\beta)^\alpha$ 代入，得 $f(y) = \int_0^{\infty} e^{-y} dy$ ，即

$$\begin{aligned}
 \bar{H} &= \beta \int_0^{\infty} y^{\frac{1}{\alpha}} e^{-y} dy \\
 &= \beta \Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right)
 \end{aligned} \tag{4-6}$$

式(4-6)即為 Weibull 分佈參數所推得之理論平均波高 $\bar{H}$ 。

(3) Weibull 分佈之理論 H_{max} ：

假設 N_0 是以零上切法求得之個別波的數目， x_{max} 為其中最大波高

值，則大於 x_{max} 值之機率以數學式表示則為

$$f(x > x_{max}) = \int_{x_{max}}^{\infty} f(x) dx \quad (4-7)$$

令 $y = (x/\beta)^\alpha$ 代入式(4-7)，則

$$\int_{\left(\frac{x_{max}}{\beta}\right)^\alpha}^{\infty} e^{-y} dy = e^{-\left(\frac{x_{max}}{\beta}\right)^\alpha} \quad (4-8)$$

式(4-8)中，令 $\xi = N_0 f(x_{max}) = N_0 e^{-\left(\frac{x_{max}}{\beta}\right)^\alpha}$ ，則

$$x_{max} = \beta \left[-\ln\left(\frac{\xi}{N_0}\right) \right]^{\frac{1}{\alpha}} = \beta \left[\ln(N_0) - \ln(\xi) \right]^{\frac{1}{\alpha}} \quad (4-9)$$

其最大波高 H_{max} 為

$$\begin{aligned} H_{max} &= \int_0^{\infty} x_{max} e^{-\xi} d\xi \\ &= \beta \int_0^{\infty} \left[\ln(N_0) - \ln(\xi) \right]^{\frac{1}{\alpha}} e^{-\xi} d\xi \\ &= \beta \int_0^{\infty} \left[(\ln N_0)^{\frac{1}{\alpha}} - \frac{1}{\alpha} (\ln N_0)^{\frac{1}{\alpha}-1} \cdot \ln \xi + \frac{1-\alpha}{2\alpha^2} (\ln N_0)^{\frac{1}{\alpha}-2} \cdot (\ln \xi)^2 \right] e^{-\xi} d\xi \\ &= \beta \left[(\ln N_0)^{\frac{1}{\alpha}} - \frac{1}{\alpha} (\ln N_0)^{\frac{1}{\alpha}-1} \cdot \gamma + \frac{1-\alpha}{2\alpha^2} (\ln N_0)^{\frac{1}{\alpha}-2} \cdot \left(\frac{\pi^2}{6} + \gamma^2 \right) \right] \end{aligned} \quad (4-10)$$

其中 $\gamma = -\int_0^{\infty} (\ln \xi) e^{-\xi} d\xi = 0.5772...$ (尤拉數)。

(4) Weibull 分佈之理論 H_{rms} ：

根據式(4-1)，可推導出 Weibull 分佈之理論均方根值 H_{rms} 為

$$\begin{aligned} H_{rms}^2 &= \int_0^{\infty} \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} x^2 dx \\ &= \frac{\alpha}{\beta^\alpha} \int_0^{\infty} x^{\alpha+1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} dx \end{aligned} \quad (4-11)$$

令 $y = \left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha$ 代入式(4-11)，將上式化為

$$H_{rms}^2 = \beta^2 \int_0^\infty y^{\left(\frac{2}{\alpha}\right)} e^{-y} dy = \beta^2 \cdot \Gamma\left(\frac{2}{\alpha} + 1\right) \quad (4-12)$$

故得

$$H_{rms} = \beta \left[\Gamma\left(\frac{2}{\alpha} + 1\right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4-13)$$

根據上述之推導結果，由 Weibull 分佈之 α 與 β 兩參數，即可計算出 H_s 、 $\bar{H}$ 、 H_{max} 與 H_{rms} 等四個波高統計值。

4-1-2 Weibull 分佈之參數分析

根據 Weibull 分佈模式和波高直方圖套配(fitted)結果，可計算出 α 與 β 兩參數值，按 2004 年全年波高資料分析結果，將每區間之 α 與 β 值將其繪如圖 4-1 及圖 4-2 所示，圖中橫坐標之示性波高範圍區分如第 2-6 節所示，將其分成 1 至 6 個區間。由圖可觀察出，因 α 為形狀參數，所以隨著示性波高變大， α 值亦隨著變大；而 β 為尺度參數，其值於前四個區間中，平均值及最大、最小值趨勢均較為相似，在第五與第六區間中，由於其示性波高範圍尺度較大，因此於第五與第六區間時，其 β 數值範圍亦較大。根據參數分析的結果，可知 Weibull 分佈之 α 值與示性波高有較高之相關性，而 β 值因其僅與區間尺度大小有關，故可判斷出其與示性波高相關性甚小。

為求得 α 值及 β 值與示性波高大小之相關性，由 Rayleigh 分佈之理論示性波高計算公式

$$H_s = 4\sqrt{m_0} \quad (4-14)$$

可知示性波高大小與 $\sqrt{m_0}$ 成正比，其中 m_0 計算方法為將水位訊號經過快速傅立葉(FFT)轉換後得到之頻譜，再根據頻譜的定義，假設頻率為 f ，可得零階面矩的能率(m_0)，以數學式表示如下

$$m_n = \int_0^{\infty} f^n S(f) df \quad (4-15)$$

其中

$$S(f) = E[X(f)\overline{X}(f)] \quad (4-16)$$

式(4-15)中， $E[]$ 代表期望值(樣本平均)， $X(f)$ 是水位訊號 Fourier 係數， $\overline{X}(f)$ 為其共軛複數，根據式(4-15)即可求得各筆波高資料中之 m_0 。

本研究以 2004 年全年之波高資料，分析各區間之 m_0 與 α 之關係，分別如圖 4-3 至圖 4-8 所示，而 β 值由於與示性波高關係甚小，因此僅以圖 4-9，即 $H_s < 0.5\text{m}$ 區間之 m_0 與 β 之關係為代表示意，其餘各區間 m_0 與 β 之關係則以表 4-1 表示，其中 case 值 1 至 6，分別表示示性波高分組後的第一至第六區間。

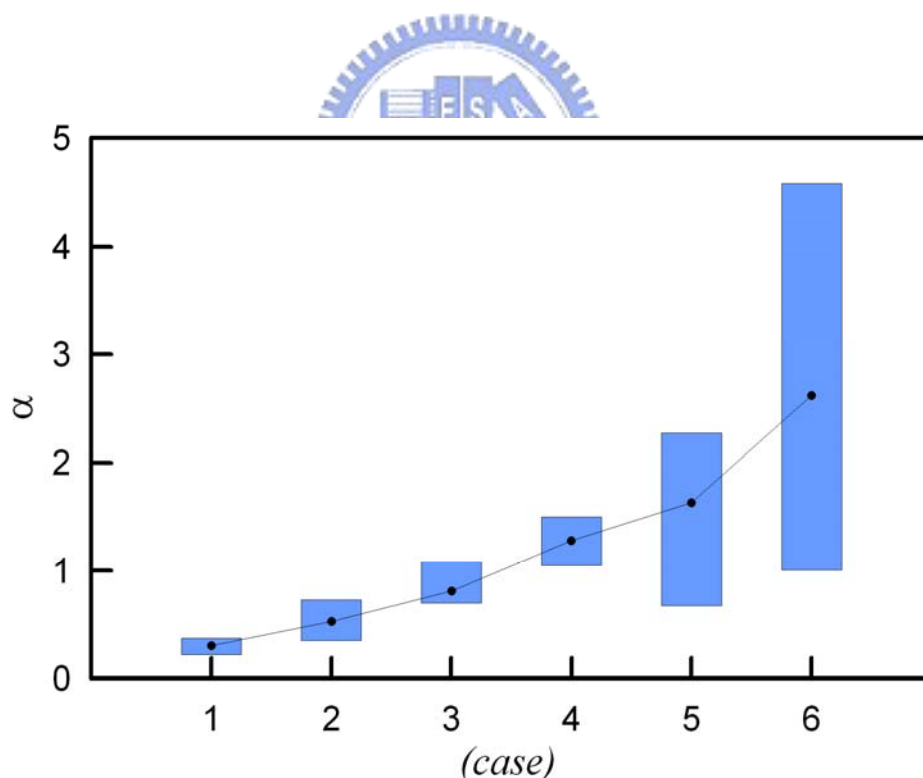


圖 4-1 2004 年波高資料各區間 Weibull 分佈之 α 分佈範圍

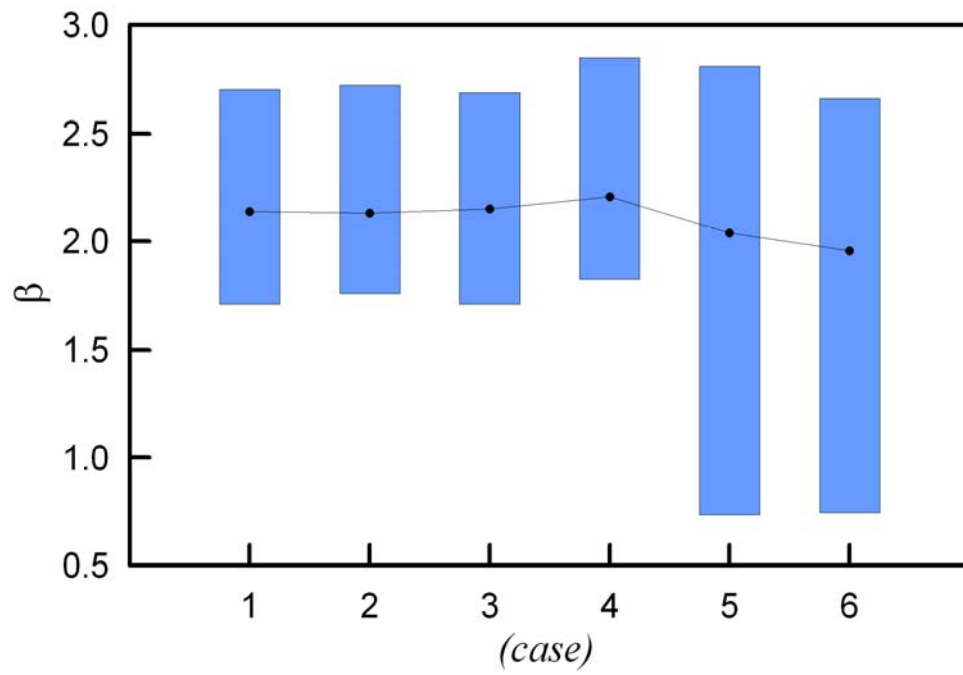


圖 4-2 2004 年波高資料各區間 Weibull 分佈之 β 分佈範圍

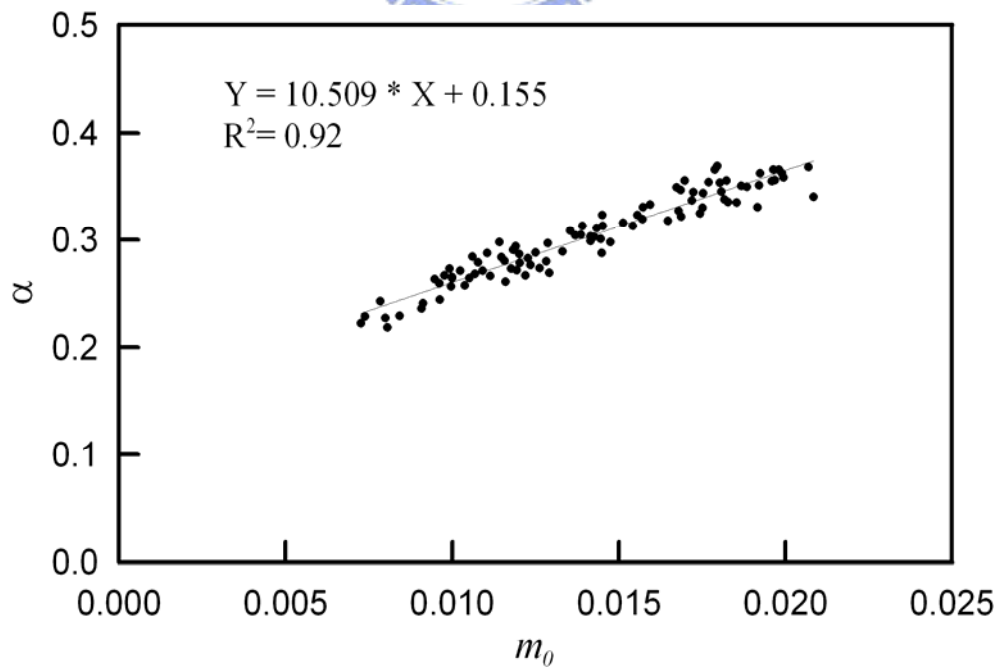


圖 4-3 2004 年波高資料水位時序列之 m_0 與 α 關係($H_s < 0.5m$)

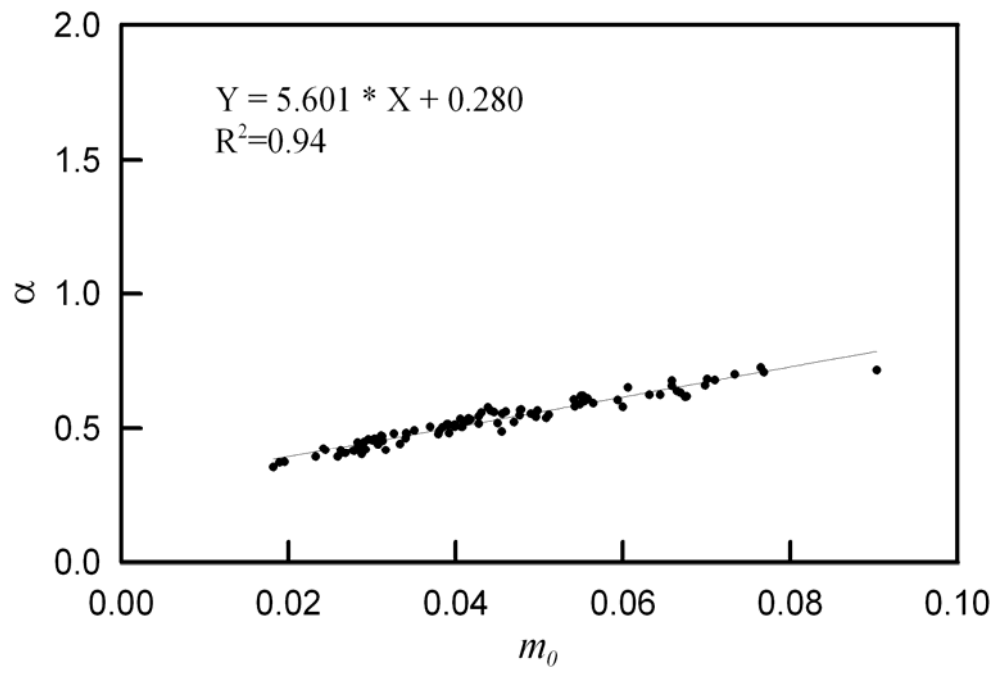


圖 4-4 2004 年波高資料水位時序列之 m_0 與 α 關係($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)

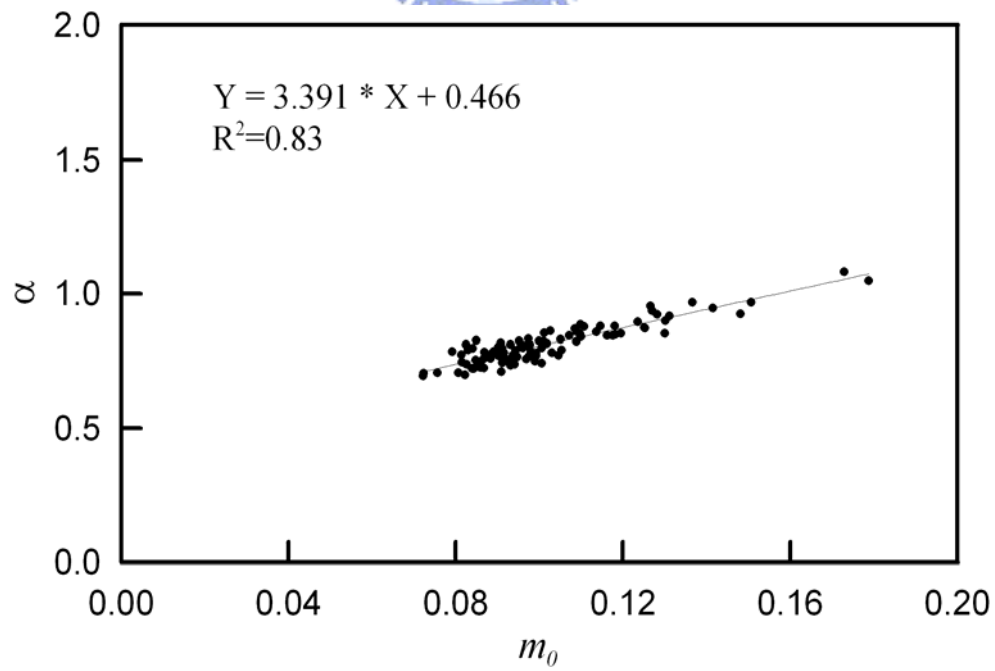


圖 4-5 2004 年波高資料水位時序列之 m_0 與 α 關係($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)

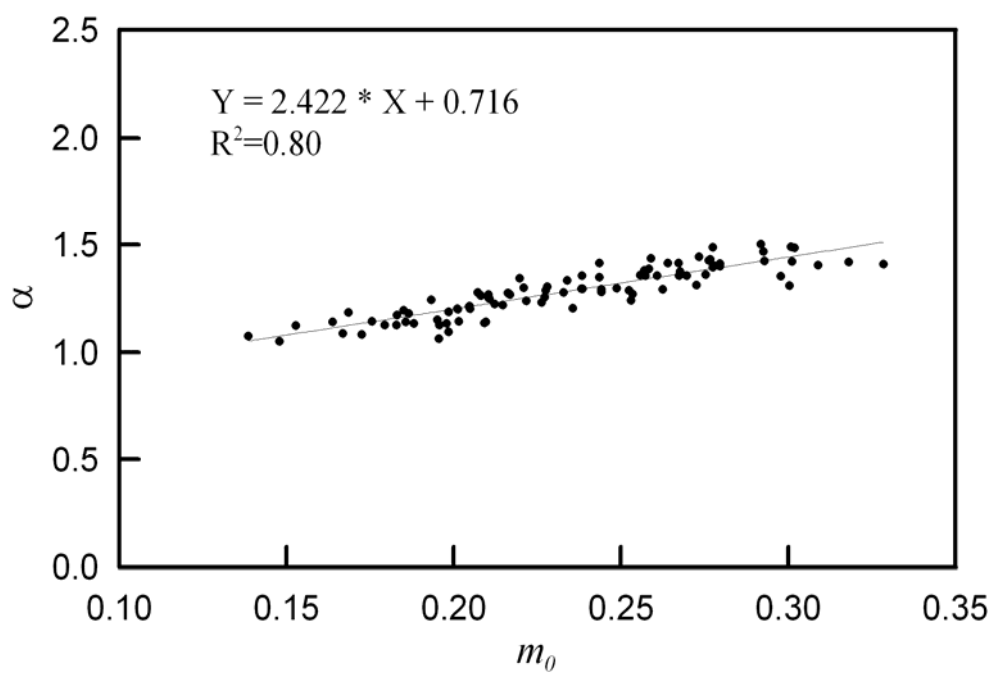


圖 4-6 2004 年波高資料水位時序列之 m_0 與 α 關係($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)

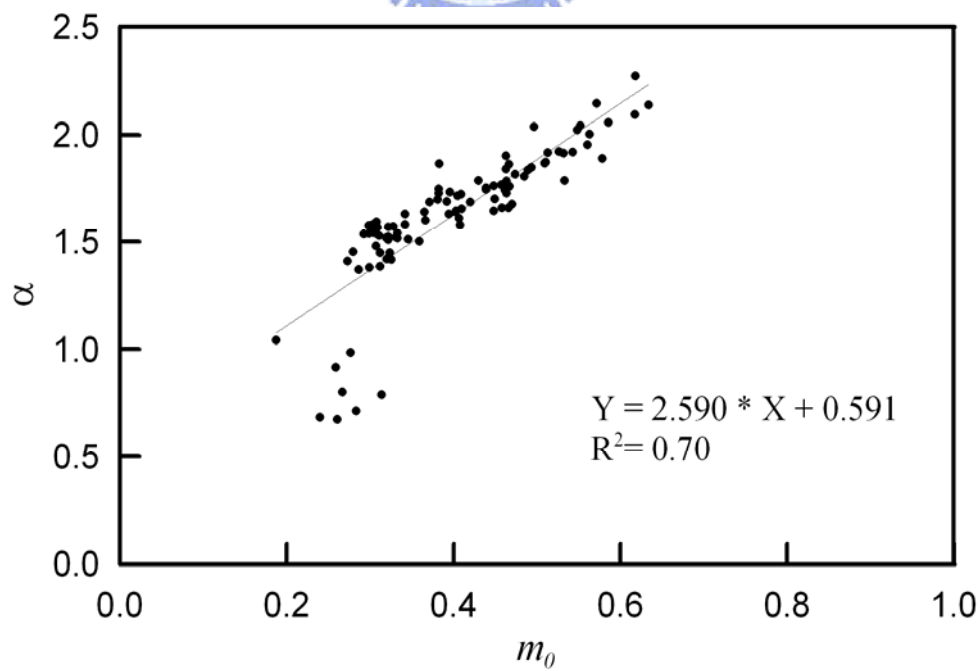


圖 4-7 2004 年波高資料水位時序列之 m_0 與 α 關係($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)

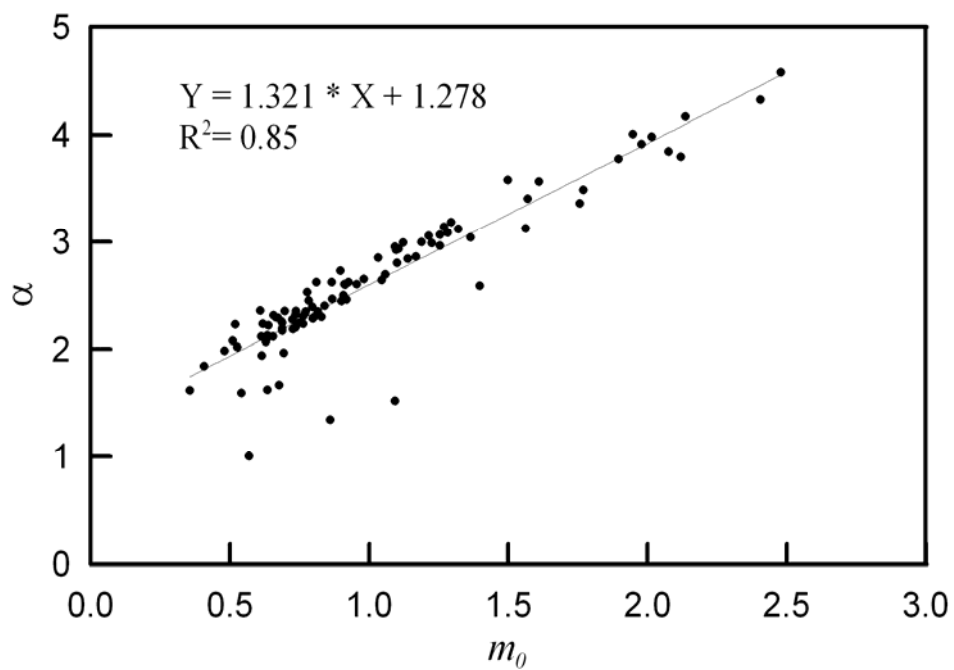


圖 4-8 2004 年波高資料水位時序列之 m_0 與 α 關係($H_s > 3.0\text{m}$)

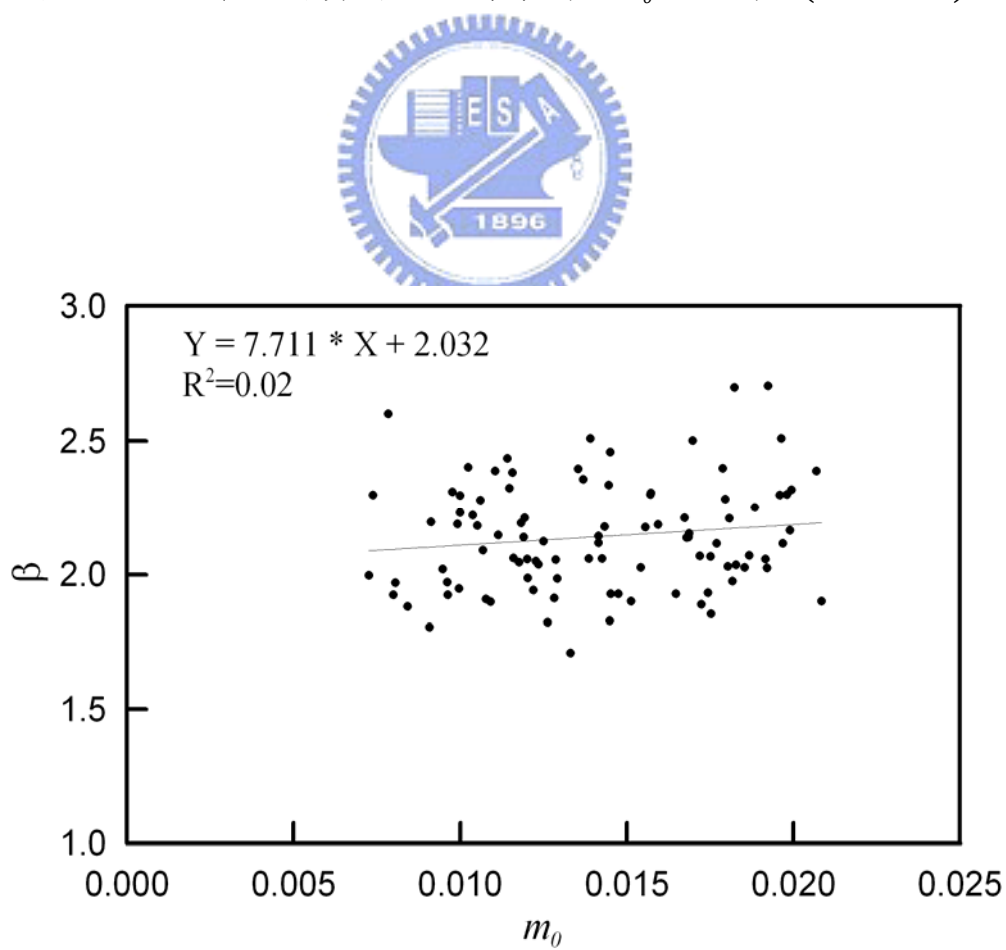


圖 4-9 2004 年波高資料水位時序列之 m_0 與 β 關係($H < 0.5\text{m}$)

表 4-1 2004 年各區間波高資料水位時序列之 m_0 與 β 關係

Class	R^2	Equation
$H_s < 0.5\text{m}$	0.020	$y = 7.711x + 2.033$
$0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$	0.004	$y = 0.795x + 2.099$
$1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$	0.005	$y = 0.720x + 2.077$
$1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$	0.017	$y = 0.713x + 2.043$
$2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$	0.141	$y = 1.725x + 1.345$
$H_s > 3.0\text{m}$	0.140	$y = 0.367x + 1.585$

由 4-1-1 節可知，若 α 與 β 為已確定之數值，則可快速計算出相關之波高統計值，然本文之 α 與 β 值乃根據 MATLAB 程式直接計算而得，若改以手動計算或以其他程式執行計算，此與直接計算實際波高統計值相較之下，反而較不符合經濟效益。根據圖 4-3 至圖 4-8 顯示，在 $H_s < 1.0\text{m}$ 時，其 m_0 與 α 有較高之 R^2 值，達 0.92 以上，因此可說明於小波高時， m_0 與 α 有很大的相關性。而在 $1.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$ 時， R^2 呈現隨示性波高變大而越小的情形，尤其於圖 4-7 中，其相關性減低顯然是與圖左下方之少數資料點有關，因左下方七筆資料點，較偏離迴歸線，導致相關性降低，但由於異常資料點數不多，根據統計學上之理論，可能其為偶發之狀況或者儀器測量錯誤所致，參考圖 4-8 及圖 4-6 結果，可知其理論上 R^2 值應介於 0.8 至 0.9 之間。由圖 4-3 至 4-8 圖所示，雖然可說明波高 m_0 與 α 相關性高，但 m_0 與 β 之相關性則已由圖 4-9 及表 4-1 結果顯示兩者相關性甚低。因此，為進一步確定 m_0 與 β 之相關性，本研究改以 SPSS 軟體將全年資料之 m_0 與 α 、 β 一起作迴歸分析，得其 m_0 與 α^2/β 之相關性較好，關係如圖 4-10 所示。

由圖 4-10 結果，可看出 m_0 與 α^2/β 相關性很高，其中 m_0 乃由水位訊號經由快速傅立葉轉換(FFT)而得，而 α 與 β 值需先將波高資料與 Weibull 分佈以 MATLAB 程式執行套配(fitted)方可計算出， α 與 β 值顯然較 m_0 不易計算。因此根據各波高資料所計算而得之 m_0 ，可簡易的利用 m_0 與 α 之迴歸關係式結果，粗估其 α 值，而 α^2/β 雖迴歸出相關係數甚高，但此結果是以花蓮港 2004 年波浪資料以 SPSS 軟體迴歸而得，僅能代表花蓮港該時間該地域之波浪資料特性，尚無法以公式證明此關係式可行性，或推導出更適合之 α 與 β 關係式以描述花蓮港

波浪現象。

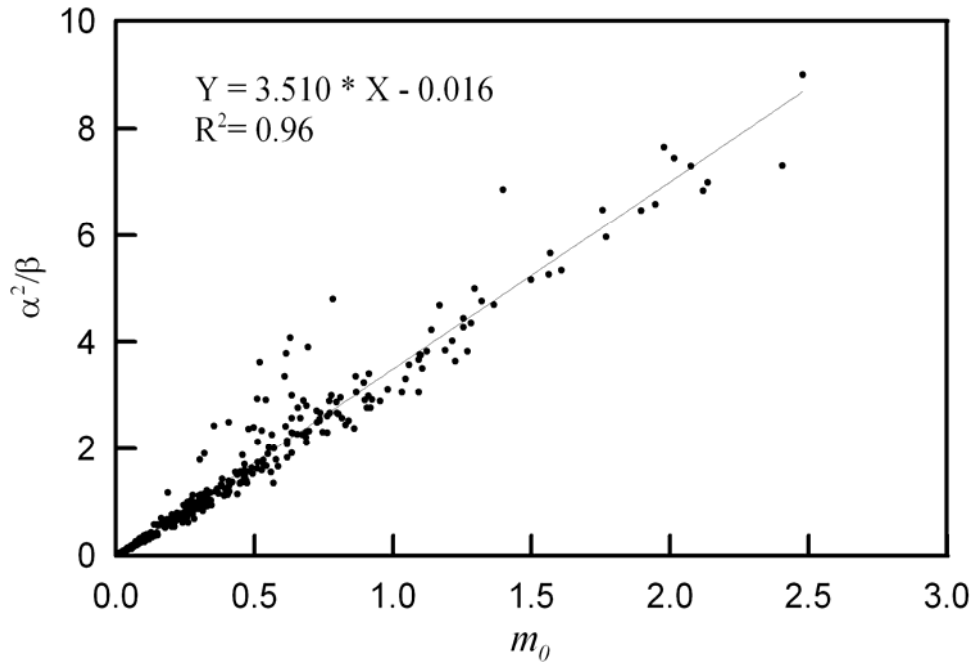


圖 4-10 2004 年全年波高資料水位時序列之 m_0 與 α^2/β 關係

由花蓮港 2004 年各區間波高資料之 m_0 與 α 及 α^2/β 之迴歸關係式，可求得各區間中 m_0 與 α 及 α^2/β 之關係，而為進一步求得其在不同波高大小下之關係，本研究將波高不分區間，以全年波高資料之 m_0 與 α 及 α^2/β 迴歸，其 m_0 與 α 迴歸之 R^2 高達 0.98，而 m_0 與 α^2/β 迴歸之 R^2 為 0.96，根據此結果可推得 m_0 與 α 及 β 關係式如下

$$\alpha = 2.622m_0^{0.506} \quad (4-17)$$

$$\beta = \alpha^2 / (3.510m_0 - 0.016) \quad (4-18)$$

依花蓮港 2005 年實際波高資料，其有效資料共 3792 筆，將每筆資料之 m_0 值，代入式(4-17)與式(4-18)之 2004 年資料迴歸結果，可得概估之 α 及 β 值，而此 α 及 β 值代入式(4-4)亦可得一 H_s 值，本研究依此計算而得之 α 、 β 與 H_s 值，與 2005 實際波高之 α 、 β 與 H_s 值進行比較，其比較結果如下表所示

表 4-2 2004 年資料推估 2005 年參數值與 2005 年實際參數值之關係

參數值	R^2	Equation
α	0.99	$y = 1.011x - 0.001$
β	0.00004	$y = -1.691x + 7.433$
H_s	0.99	$y = 1.060x + 0.054$

根據表 4-2 所示，其實際與所推估 α 與 H_s 之 R^2 值達 0.99，顯示將 2005 年波高資料之 m_0 值代入 2004 年資料迴歸結果，所推估之 α 及 H_s 值與實際值很相近，而 β 參數其推估值與實際值差異較大，其 R^2 值僅 0.00004，實際與推估之 α 值，在全部 3792 筆資料中，僅有不到 2% 的資料，其誤差超過 10%，而 H_s 方面則有 29% 的資料，其誤差超過 10%。依此分析結果可知，以 2004 年之資料迴歸結果來推估 2005 年之參數，實際與推估之 α 與 H_s 方面，雖然其 R^2 值皆趨近於 1，且 α 值與實際值誤差達 10% 的僅不到 2%，但實際上 H_s 才為本研究所要求得之重要參數值，依數據觀察結果， H_s 方面有接近三成之推估值與實際誤差超過 10%，因此若依式(4-17)與式(4-18)所概估之 H_s 值，僅能描述花蓮港實際示性波高在長時間測量範圍中，其大致分佈趨勢及特性，並無法代表較短測量時間如一天或一小時的示性波高值，短測量時間之 H_s 值計算本較為迅速，因此建議實際之 H_s 應根據實際波高值統計計算而得。

4-1-3 分析及比較方法

花蓮港之波高分佈近似於 Weibull 分佈，由 Weibull 分佈可推導出 H_s 、 $\bar{H}$ 、 H_{max} 與 H_{rms} 等四個理論波高統計值，為探討花蓮港實際值與理論值之差異，本研究分析方法主要參考一般常用之 Rayleigh 分佈理論波高比，及不同波高統計值與 m_0 之關係以進行比較，而 H_s 為重要之代表波，常應用於工程上之設計，因此本研究根據不同示性波高之計算方法，分析式(4-4)、式(4-14)與直接統計等三種不同示性波高值算法之差異。

根據 Rayleigh 分佈之公式，可推得如下之理論關係式

$$\frac{H_s}{H} = 1.597, \quad \frac{\bar{H}}{\sqrt{m_0}} = 2.51, \quad \frac{H_s}{\sqrt{m_0}} = 4.0 \quad (4-19)$$

及郭(2001)之 Weibull 分佈理論比值

$$\frac{\bar{H}}{\sqrt{m_0}} = 2.413, \quad \frac{H_s}{\sqrt{m_0}} = 3.774 \quad (4-20)$$

因此由花蓮港實際波浪資料統計而得之波浪統計參數，包含 m_0 、 H_s 、 $\bar{H}$ 、 H_{max} 與 H_{rms} 等，除與 H_s 比較外，再分別計算其 $H_s/\bar{H}$ 、 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 與 $H_s/\sqrt{m_0}$ 之比值，並與式(4-19)及式(4-20)之理論值進行比較，而 H_{max} 與 H_{rms} 兩統計參數，則計算其 H_{max}/H_s 與 H_s/H_{rms} 之比值，比較其理論及實際值之差異，其中 H_{max} 為波高最大值， H_{rms} 為波高的均方根值 (Root Mean Square)。

4-2 理論與實際 H_s 之比較

一般示性波高計算方法為將波高資料依大小排序後，取波高資料中較大的前 1/3 之波高平均值，此平均值即稱之為示性波高，而目前認為波高之分佈較符合 Rayleigh 分佈，以其理論亦可推導出(4-14)式之示性波計算公式，然花蓮港之波高分佈較符合 Weibull 分佈，因此由式(4-4)之推導結果，亦可得一示性波高計算公式。

根據統計、Rayleigh 與 Weibull 三種不同示性波高計算方式，茲將花蓮港 2004 年之波浪資料，根據此三種不同計算方式，將全年分析結果列圖如下，圖中 Date、Rayleigh 與 Weibull 等三條線分別表示實際統計、Rayleigh 與 Weibull 所計算出之 H_s 。

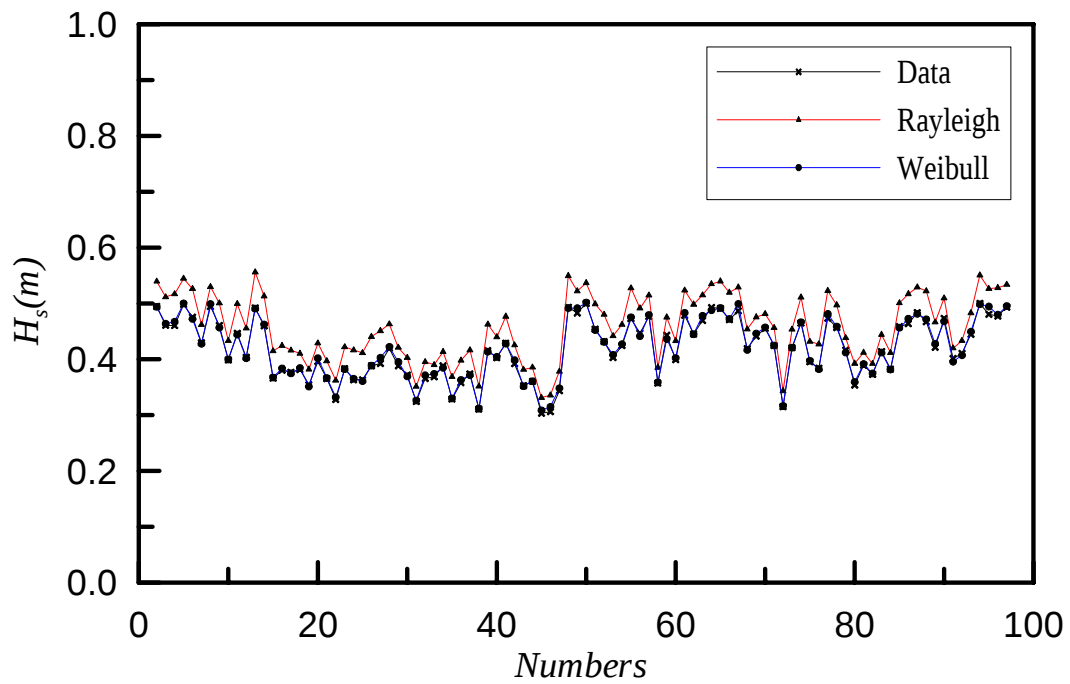


圖 4-11 示性波高實際值與 Rayleigh 及 Weibull 理論值比較圖
($H_s < 0.5\text{m}$)

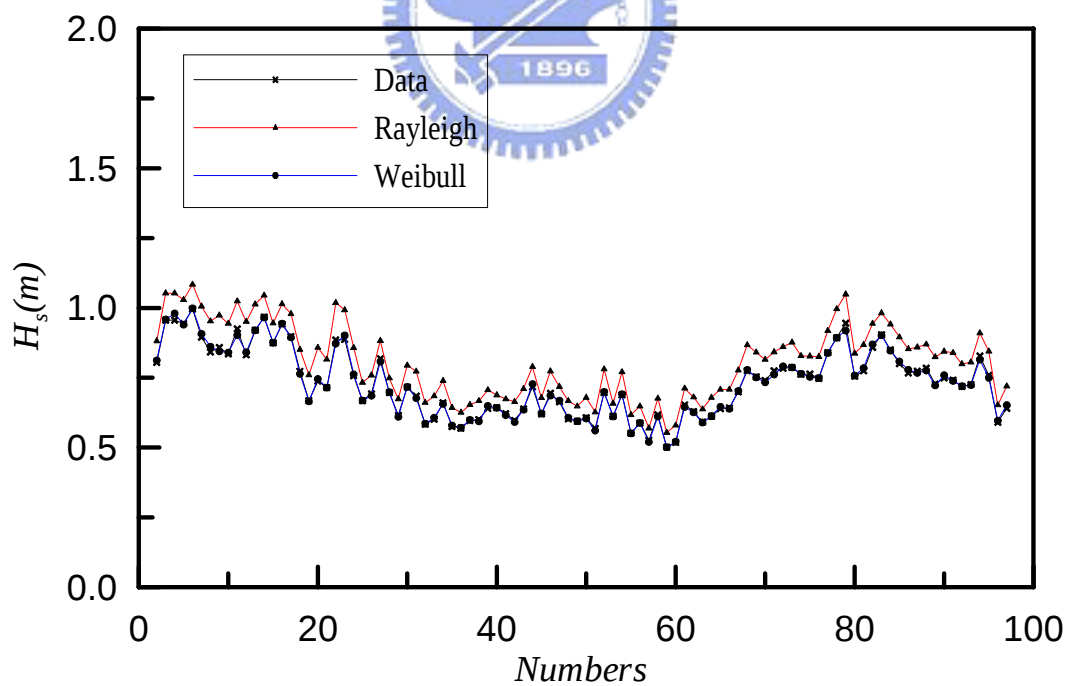


圖 4-12 示性波高實際值與 Rayleigh 及 Weibull 理論值比較圖
($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)

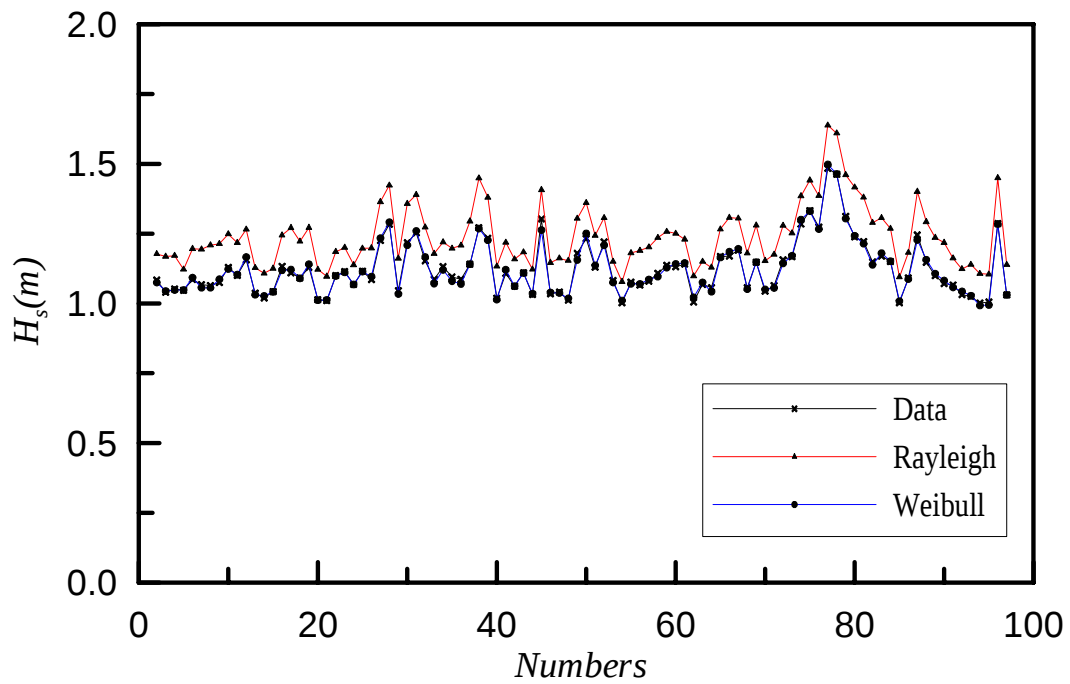


圖 4-13 示性波高實際值與 Rayleigh 及 Weibull 理論值比較圖
($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)

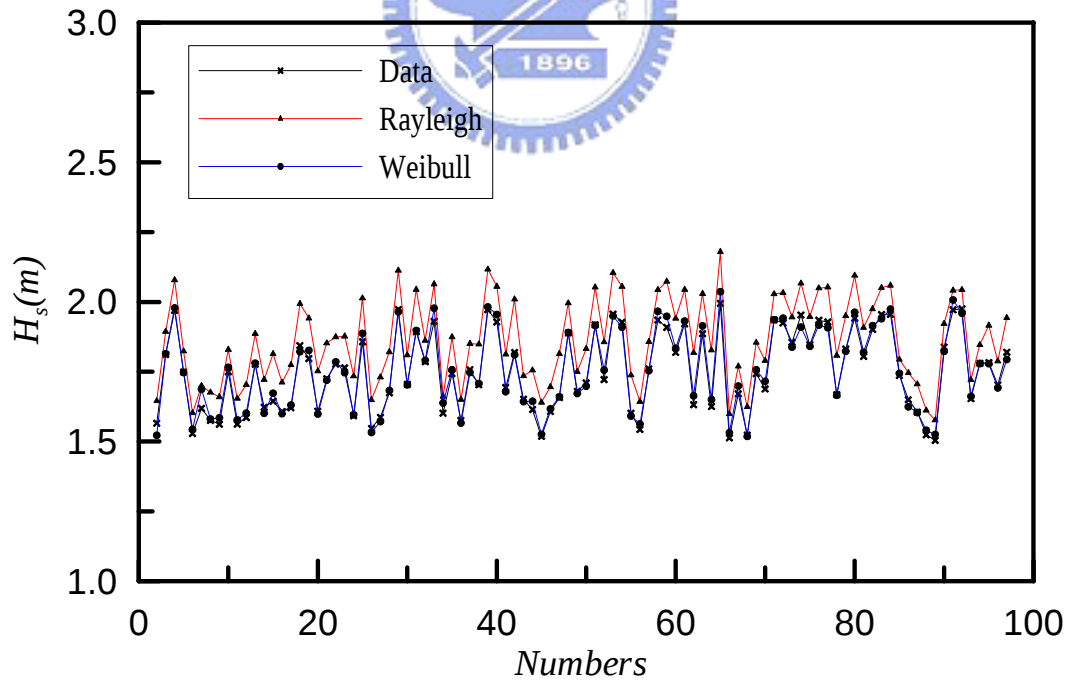


圖 4-14 示性波高實際值與 Rayleigh 及 Weibull 理論值比較圖
($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)

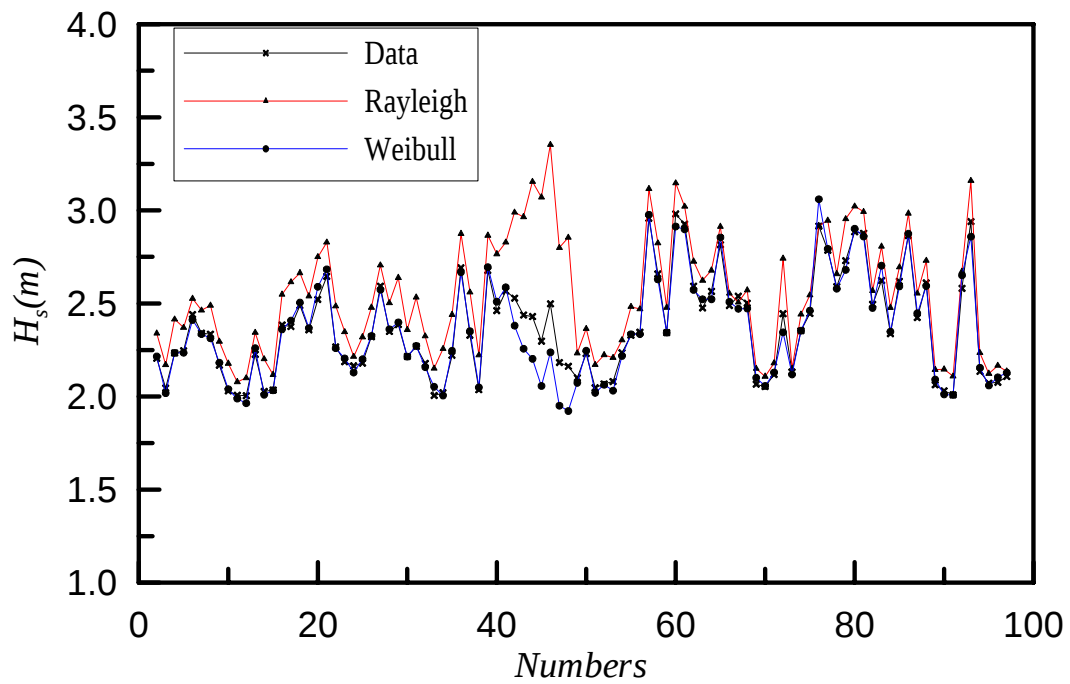


圖 4-15 示性波高實際值與 Rayleigh 及 Weibull 理論值比較圖
($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)

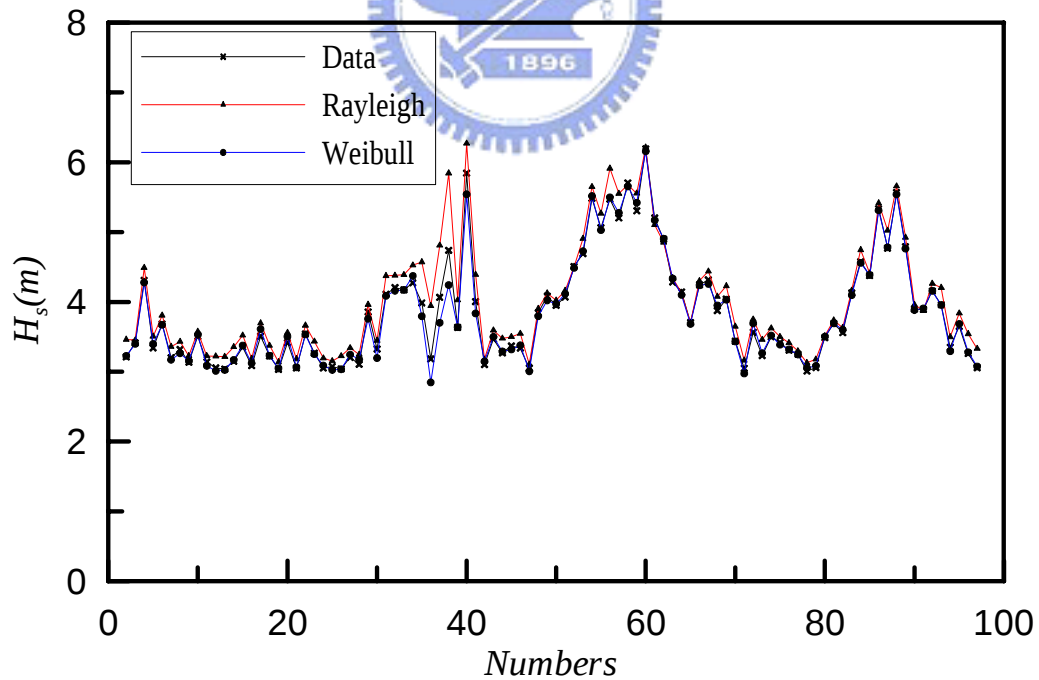


圖 4-16 示性波高實際值與 Rayleigh 及 Weibull 理論值比較圖
($H_s > 3.0\text{m}$)

由圖 4-11 至圖 4-16 之 H_s 比較結果可發現，Rayleigh 理論之示性波高值較實際示性波高明顯有高估的現象，而 Weibull 理論之示性波高值較符合實際的波高情形，且於小波高時，其與實際波高之誤差更小，如圖 4-11 所示，Weibull 理論值與實際波高曲線吻合度高，而 Rayleigh 之理論值無論在波高大或小，對於推估花蓮港實際波浪而言，都有高估現象，其中如圖 4-15 之 Rayleigh 理論值推估結果，於第 40 至第 50 筆資料點中，波高高低趨勢與實際波高差異甚大，而在探討 m_0 與 α 值時，亦發現 $2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$ 時，有少數資料點異常，又由 (4-14) 式可知 m_0 與 Rayleigh 理論波高之關係，因此可判斷在 $2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$ 此區間時，其中有少數資料之 m_0 值，對於計算分析的結果會產生影響，而由圖 4-16 中，其 Rayleigh 示性波高理論值仍偏高，Weibull 示性波高值仍較符合實際情形，因此可知不論波高之大小，以花蓮港而言，以式(4-4)Weibull 分佈 H_s 理論值計算結果較近似於實際值。

為進一步探討 H_s 之分佈特性，本研究根據花蓮港 2004 年實測資料統計而得之 H_s ，將其全年之 H_s 分成全年、1 至 3 月、4 至 9 月及 10 至 12 月等四個部份，並與 Gamma、Normal、Rayleigh 及 Weibull 四個分佈函數進行套配(fitted)，以探討不同季節性下之 H_s 分佈特性。

花蓮港全年有效波高資料之 H_s 共 7617 筆，根據統計學上的理論及中央及限定理，其較適合之直方圖分組組數應該接近於 $\sqrt{7617} \cong 87$ 組，且其機率分佈應近似於 Normal 分佈，但對於直方圖分組而言，建議之分組組數應為 20 組以下較為適當，且由實際不同之分組結果觀察，當分組組數越多，其直方圖分佈趨勢雖更趨於一致，但與 Normal 分佈顯然有所不同，因此本研究將實際之 H_s 以 5 至 12 組為直方圖分組分組，並與 Gamma、Normal、Rayleigh 及 Weibull 分佈函數進行套配(fitted)，以分別探討各不同季節性之 H_s 分佈特性，並驗證其分佈模式是否為統計學理論上之 Normal 分佈，茲將其全年、1 至 3 月、4 至 9 月及 10 至 12 月等四個部份之分析結果如下表所示

表 4-3 2004 年全年 H_s 直方圖組數與分佈函數各指標評估結果

分組		75	80	85	90	95	100	105	110
Gamma	MSE	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
	R^2	0.971	0.969	0.965	0.966	0.965	0.969	0.965	0.965
Normal	MSE	0.011	0.010	0.010	0.009	0.009	0.008	0.008	0.007
	R^2	0.826	0.824	0.820	0.822	0.821	0.823	0.820	0.820
Rayleigh	MSE	0.007	0.007	0.007	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005
	R^2	0.912	0.910	0.906	0.908	0.907	0.910	0.906	0.906
Weibull	MSE	0.007	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005
	R^2	0.923	0.922	0.917	0.919	0.918	0.921	0.917	0.917



表 4-4 2004 年 1 至 3 月 H_s 直方圖組數與分佈函數各指標評估結果

分組		30	35	40	45	50	55	60	65
Gamma	MSE	0.007	0.007	0.006	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004
	R^2	0.946	0.934	0.932	0.934	0.936	0.931	0.925	0.915
Normal	MSE	0.012	0.011	0.009	0.008	0.007	0.007	0.006	0.006
	R^2	0.848	0.837	0.837	0.839	0.835	0.834	0.829	0.820
Rayleigh	MSE	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004
	R^2	0.953	0.940	0.939	0.941	0.939	0.936	0.931	0.920
Weibull	MSE	0.008	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005	0.004	0.004
	R^2	0.934	0.922	0.922	0.923	0.922	0.919	0.914	0.904

表 4-5 2004 年 4 至 9 月 H_s 直方圖組數與分佈函數各指標評估結果

分組		50	55	60	65	70	75	80	85
Gamma	MSE	0.009	0.008	0.008	0.007	0.007	0.006	0.006	0.006
	R^2	0.940	0.939	0.937	0.941	0.931	0.934	0.937	0.932
Normal	MSE	0.019	0.018	0.016	0.015	0.014	0.013	0.012	0.012
	R^2	0.717	0.715	0.712	0.715	0.707	0.709	0.712	0.707
Rayleigh	MSE	0.016	0.014	0.013	0.012	0.011	0.011	0.010	0.009
	R^2	0.804	0.801	0.799	0.803	0.793	0.796	0.799	0.794
Weibull	MSE	0.013	0.012	0.011	0.010	0.010	0.009	0.008	0.008
	R^2	0.876	0.875	0.872	0.876	0.866	0.870	0.872	0.867



表 4-6 2004 年 10 至 12 月 H_s 直方圖組數與分佈函數各指標評估結果

分組		30	35	40	45	50	55	60	65
Gamma	MSE	0.019	0.016	0.014	0.012	0.011	0.010	0.010	0.009
	R^2	0.863	0.864	0.862	0.867	0.866	0.856	0.853	0.850
Normal	MSE	0.026	0.022	0.020	0.017	0.016	0.014	0.013	0.012
	R^2	0.719	0.720	0.720	0.723	0.721	0.712	0.709	0.707
Rayleigh	MSE	0.033	0.028	0.025	0.022	0.020	0.018	0.017	0.016
	R^2	0.584	0.585	0.583	0.585	0.582	0.577	0.572	0.570
Weibull	MSE	0.028	0.024	0.021	0.019	0.017	0.015	0.014	0.013
	R^2	0.692	0.693	0.692	0.695	0.693	0.685	0.681	0.679

根據表 4-3 至表 4-6 結果，由表中之 MSE 及 R^2 之數據，可判斷出各季節性 H_s 分佈中以何者分佈函數較為合適，以了解其分佈特性。從表 4-3 全年 H_s 分佈分析結果可觀察出，在 Gamma、Normal、Rayleigh 及 Weibull 四個分佈函數中，各直方圖分組組數之 MSE 值以 Gamma 分佈最佳，而 R^2 值則亦以 Gamma 分佈最佳，因此可判斷出 2004 年全年 H_s 分佈較近似於 Gamma 分佈，並非為理論之 Normal 分佈。

1 至 3 月之最佳 H_s 分佈模式，由表 4-4 可觀察出，Gamma 分佈與 Rayleigh 分佈 MSE 值極為相似，而 R^2 值則是以 Rayleigh 分佈最佳，根據結果可說明，花蓮港 2004 年 1 至 3 月之 H_s 分佈較近似於 Rayleigh 分佈模式。

颱風侵襲時間大部分都發生於台灣夏秋兩季，且此兩季之氣候特性較為相似，因此本研究將花蓮港夏秋兩季之 H_s 併於一起討論，即將 4 至 9 月之實際 H_s ，作直方圖分組後並與各分佈函數套配，根據分析結果，以求其最佳之 H_s 分佈模式。由表 4-5 觀察結果，在 MSE 值方面，以 Gamma 分佈最佳，而 R^2 值方面，各分組組數中亦以 Gamma 分佈有最大之 R^2 值，因此依此分析結果，可驗證出花蓮港在 4 至 9 月之 H_s 分佈模式較接近於 Gamma 分佈。

而 10 至 12 月最佳分佈模式，根據表 4-6 所示，依 MSE 與 R^2 值可判斷出其最佳之 H_s 分佈模式亦為 Gamma 分佈，由此結果與上述之各季節性最佳 H_s 分佈結果可知，於全年及 4 至 12 月分析結果中，已驗證出其 H_s 分佈較近似於 Gamma 分佈，然 1 至 3 月之分析結果，以 Rayleigh 分佈最佳，依表 4-4 結果所示，其 Gamma 及 Rayleigh 分佈之 MSE 與 R^2 值甚為接近，但就整個分析結果而言，Gamma、Rayleigh 與 Weibull 分佈之結果都很相似，若取其最佳之分佈模式，固然以 Rayleigh 分佈較適當，然而為便於了解花蓮港之 H_s 分佈模式及特性，可嘗試以 Gamma 分佈來替代 Rayleigh 分佈，以描述其分佈模式，由此結果便可統一且簡單地以 Gamma 分佈來描述花蓮港之全年及各季節之 H_s 分佈特性。

由分析結果已證實花蓮港全年及各季節性之 H_s 分佈較近似於 Gamma 分佈，而非統計理論的 Normal 分佈，圖 4-17 為花蓮港 2004 年全年 H_s 分佈圖，由圖可觀察出其 H_s 分佈會產生左偏現象，且此分佈趨勢與 Normal 分佈差異較大，依此結果可知花蓮港 H_s 分佈並非為 Normal 分佈。根據一些前人研究結果及資料，均證實 H_s 分佈會呈現左偏之現象，莊(1994)以北海北方波浪資料，驗證出其 H_s 分佈為 Gumbel 分佈，而加拿大海洋漁業部(Fisheries and Oceans Canada)以三年近海之 H_s 資料，作直方圖分析後，其分佈趨勢亦產生左偏情形。且依觀察花蓮港 H_s 之數據結果，其實際小波高較多，其中 H_s 小於 1m 以下佔近 70%，全年 H_s 平均值為 0.89m，標準差為 0.59，因此由數據分析結果及前人研究成果，可說明花蓮港 H_s 分佈非為 Normal 分佈為一合理之現象，而本研究僅使用常用以描述波高分佈之函數，來探討 H_s 分佈較適合於何種分佈模式，因此是否有更優於 Gamma 分佈之分佈函數用以描述花蓮港 H_s 分佈特性，此議題值得後續再探討研究之。

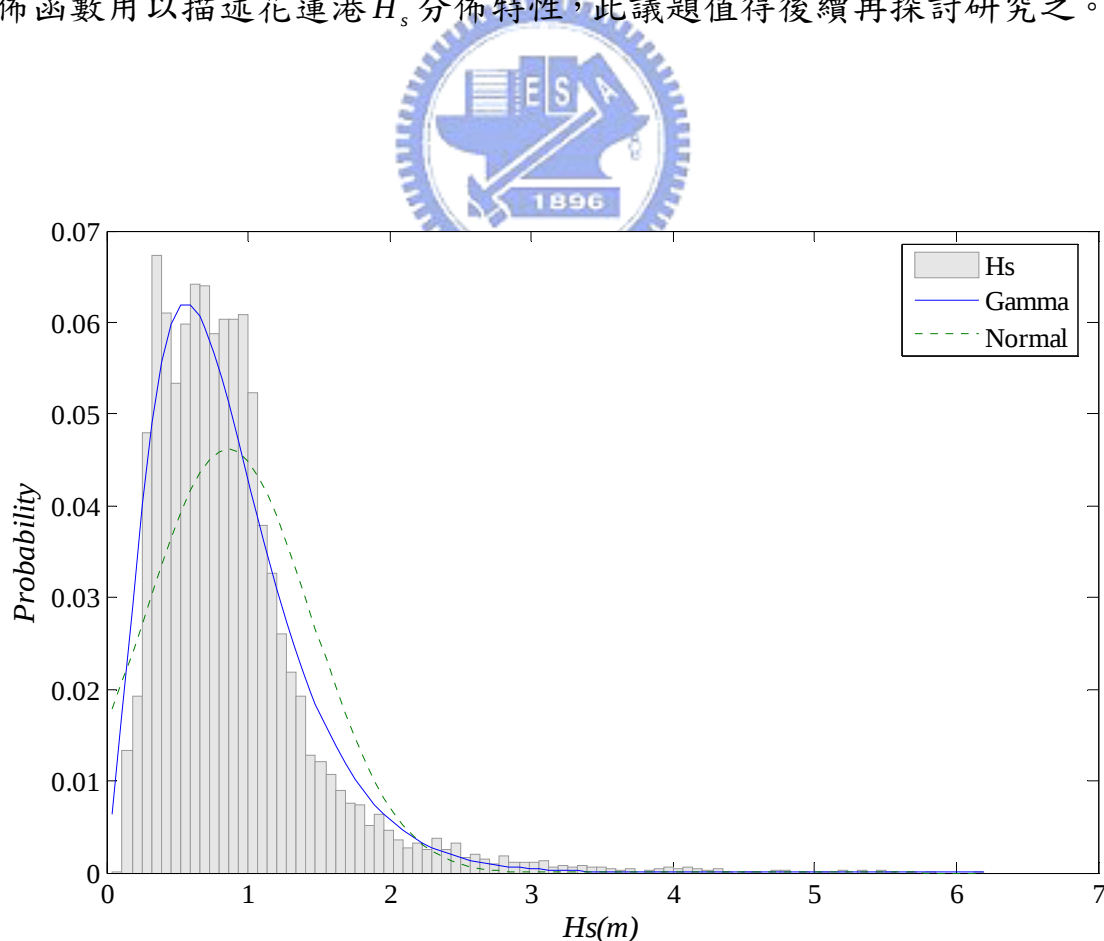


圖 4-17 2004 年全年實際 H_s 分佈與 Gamma 及 Normal 分佈比較圖

4-3 理論與實際之 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 之比較

經由花蓮港實測資料由式(4-15)計算可得其零階能率 m_0 ，而 $\bar{H}$ 為實測波高之平均值，以 $\bar{H}$ 與 m_0 之比值分別與式(4-19)Rayleigh 之理論值及式(4-20)中 Weibull 理論值比較，茲將 2004 年全年之波高資料分析結果如下列圖所示

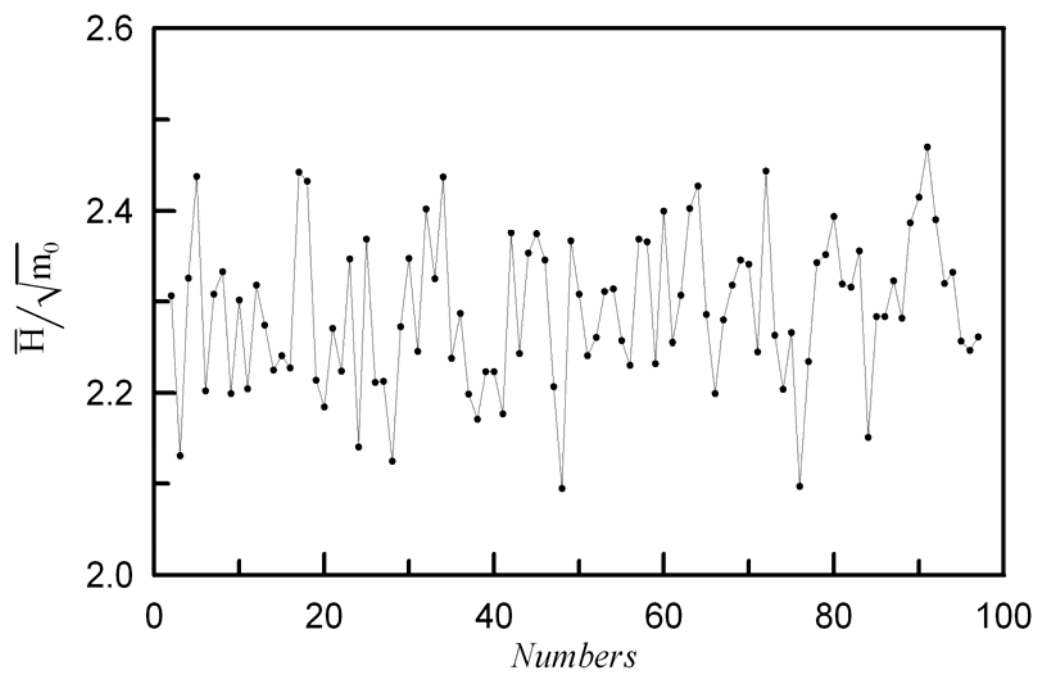


圖 4-18 2004 年各筆波高資料實際 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖($H_s < 0.5\text{m}$)

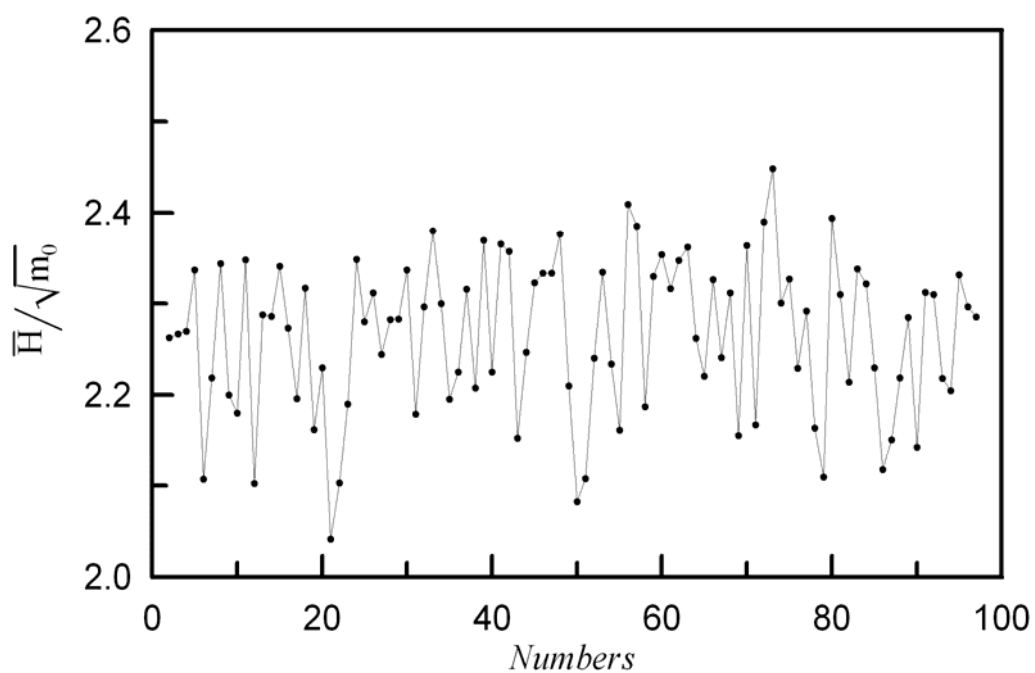


圖 4-19 2004 年各筆波高資料實際 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖($0.5m < H_s < 1.0m$)

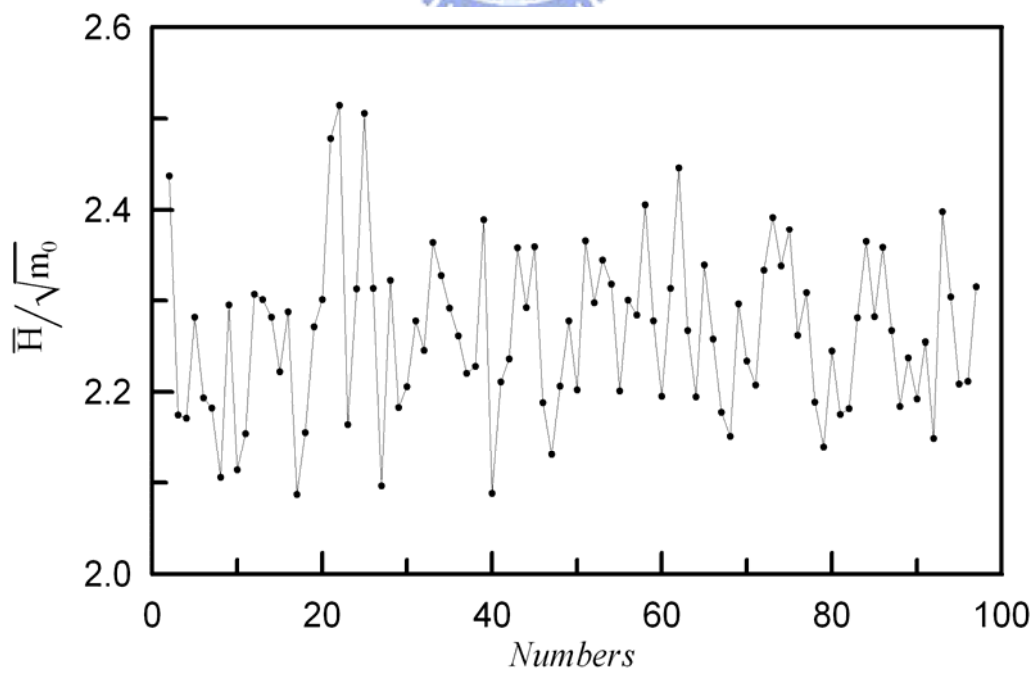


圖 4-20 2004 年各筆波高資料實際 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖($1.0m < H_s < 1.5m$)

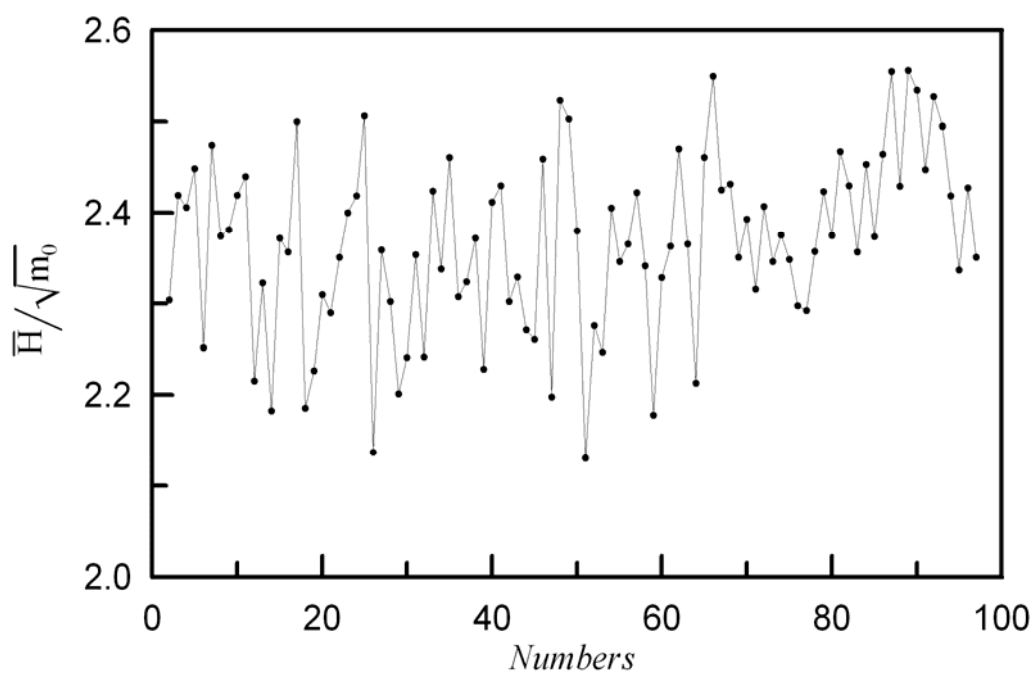


圖 4-21 2004 年各筆波高資料實際 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖(1.5m<Hs<2.0m)

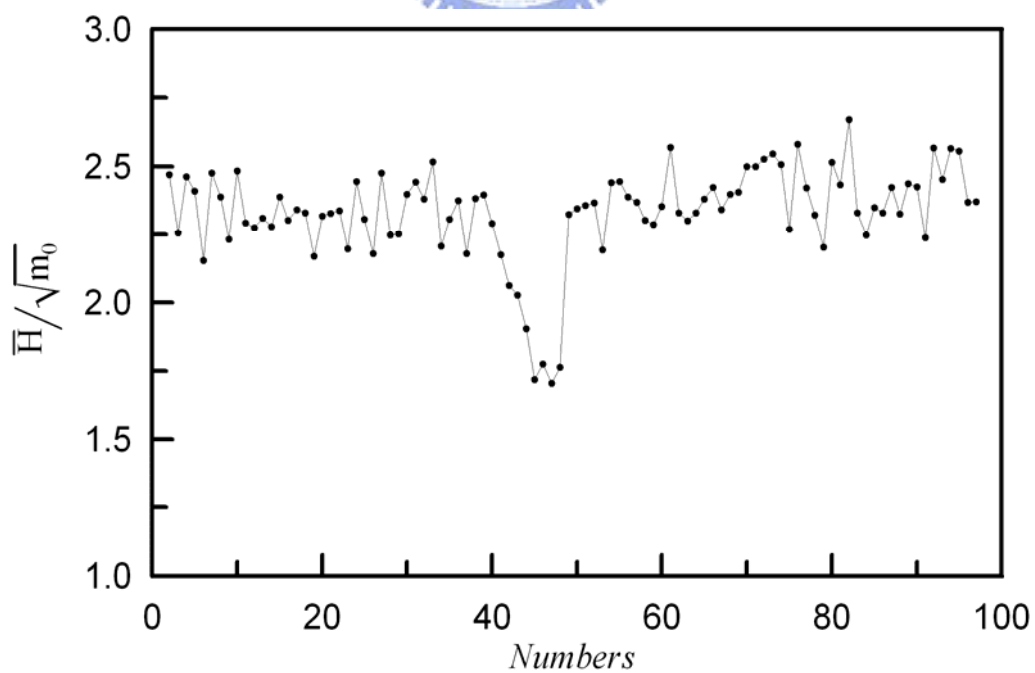


圖 4-22 2004 年各筆波高資料實際 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖(2.0m<Hs<3.0m)

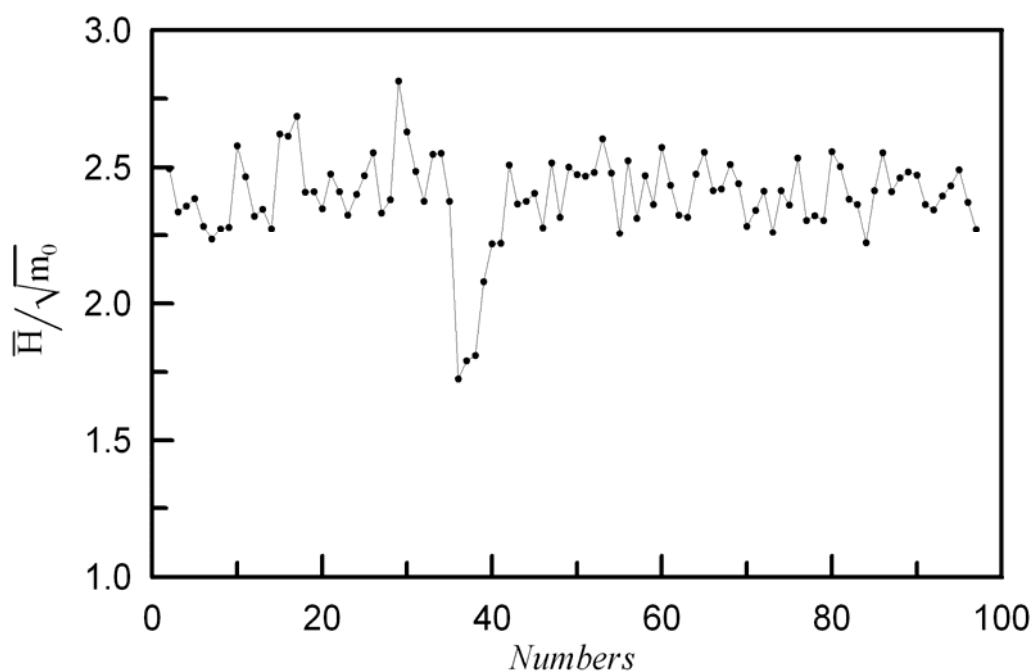


圖 4-23 2004 年各筆波高資料實際 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖($H_s > 3.0\text{m}$)

根據圖 4-18 至圖 4-20 之結果，雖然其資料點之曲線抖動較大，但可發現當示性波高小於 1.5 米以下(即第一至第三區間)，由圖可看出其 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值大部分皆小於 Weibull 分佈之理論值 2.413，而隨著波高變大，如圖 4-21 所示，當 $1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$ 時， $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 之大於 2.413 之資料點數也相對增加，於圖 4-23 之大波高中，其比值更逼近 2.8。因此根據其比值在各區間之分佈趨勢，可發現 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 會隨著波高變大而比值跟著變大，因根據理論，大或小波高中，其 m_0 差異較 $\bar{H}$ 更為小，且其比值乃取 m_0 開根號，因此可知比值會與 $\bar{H}$ 有較大之關係，所以理論上波高大而比值增大，是為一合理的現象。

於圖 4-22 中(第五區間)，其第 41 至第 48 筆及第六區間第 36 至第 39 筆波高當中，其比值遠較理論值為小，經計算過程查證， $\bar{H}$ 值在合理範圍，然 m_0 與其它資料相較之下值均較為大，此結論與上節所討論出可能 m_0 值異常之結果相同。因此可能在水位轉換頻譜過程中，由於儀器問題，導致原始水位資料測量已發生錯誤，其所計算出之 m_0 也產生異常，故 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值與理論值差異較大。

4-4 理論與實際 $H_s/\sqrt{m_0}$ 之比較

根據式(4-14)式與(4-20)之理論示性波高計算公式，配合不同地區之波高分佈，可簡單地以 m_0 求出其理論示性波高值，而花蓮港之波高分佈為 Weibull 分佈，雖可根據(4-20)式求其示性波高，但此結果也僅為粗估其示性波高大小，並無法表示全部數據分佈狀況，因此本研究為探討其實際與理論上之差異，茲將花蓮港 2004 全年之波高資料，分別計算出 H_s 及 m_0 值，按全年之 $H_s/\sqrt{m_0}$ 比值，將全年結果繪如下列圖所示

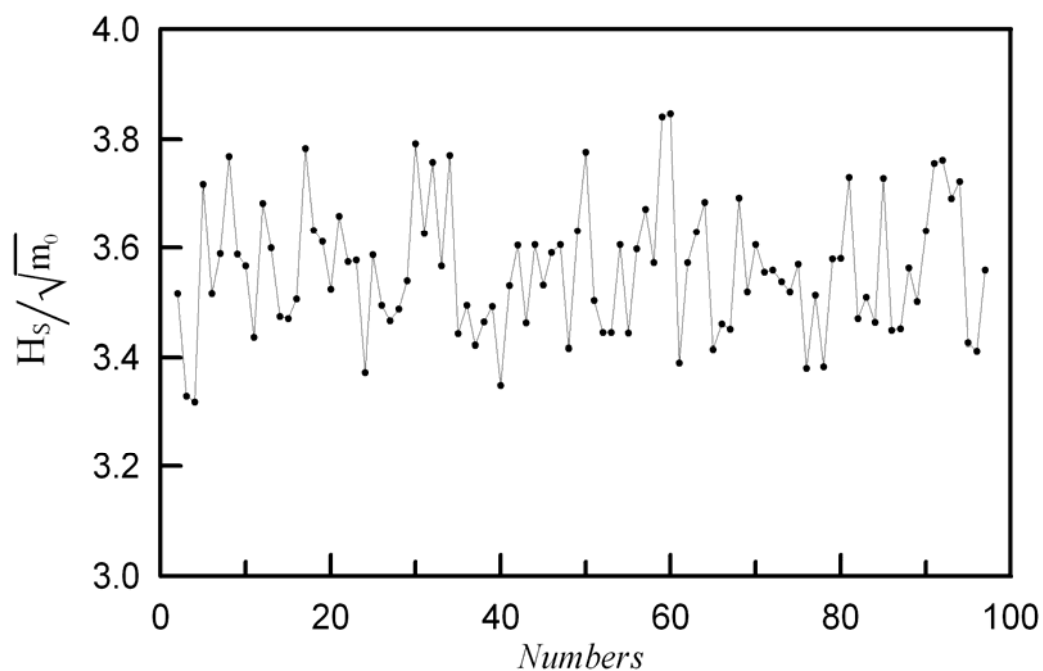


圖 4-24 2004 年各筆波高資料實際 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖($H_s < 0.5\text{m}$)

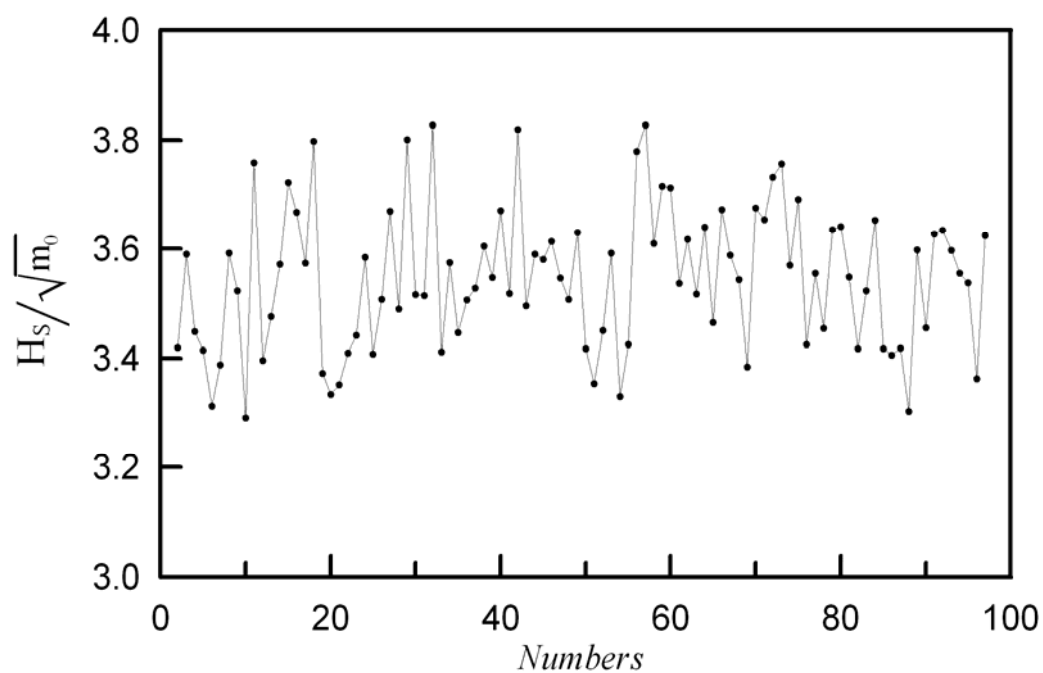


圖 4-25 2004 年各筆波高資料實際 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖($0.5\text{m}<H_s<1.0\text{m}$)

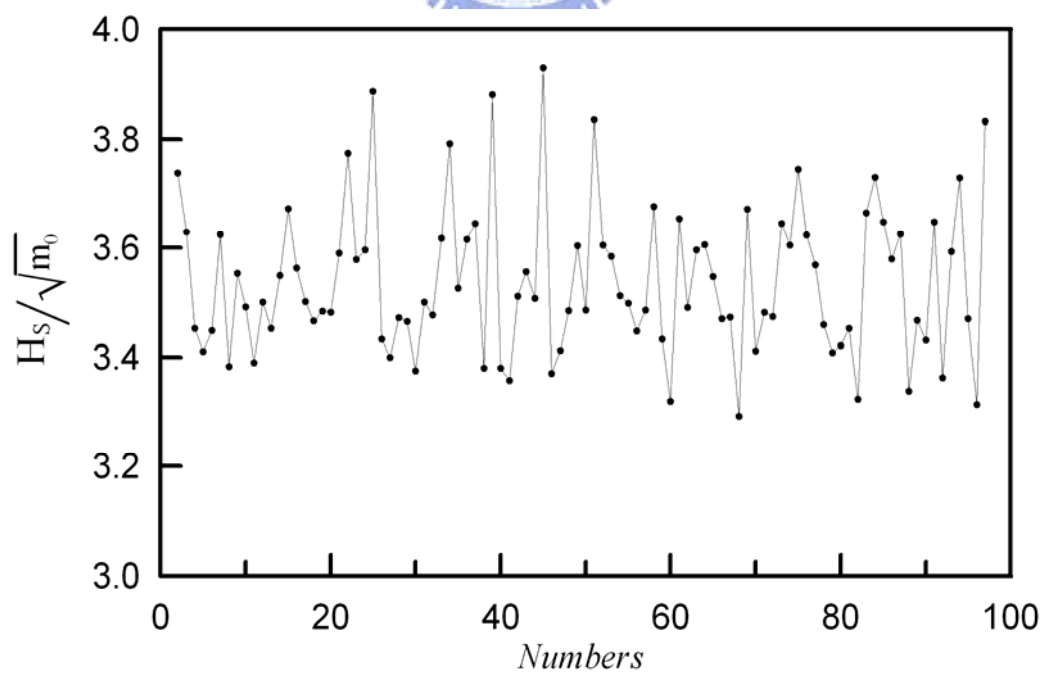


圖 4-26 2004 年各筆波高資料實際 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖($1.0\text{m}<H_s<1.5\text{m}$)

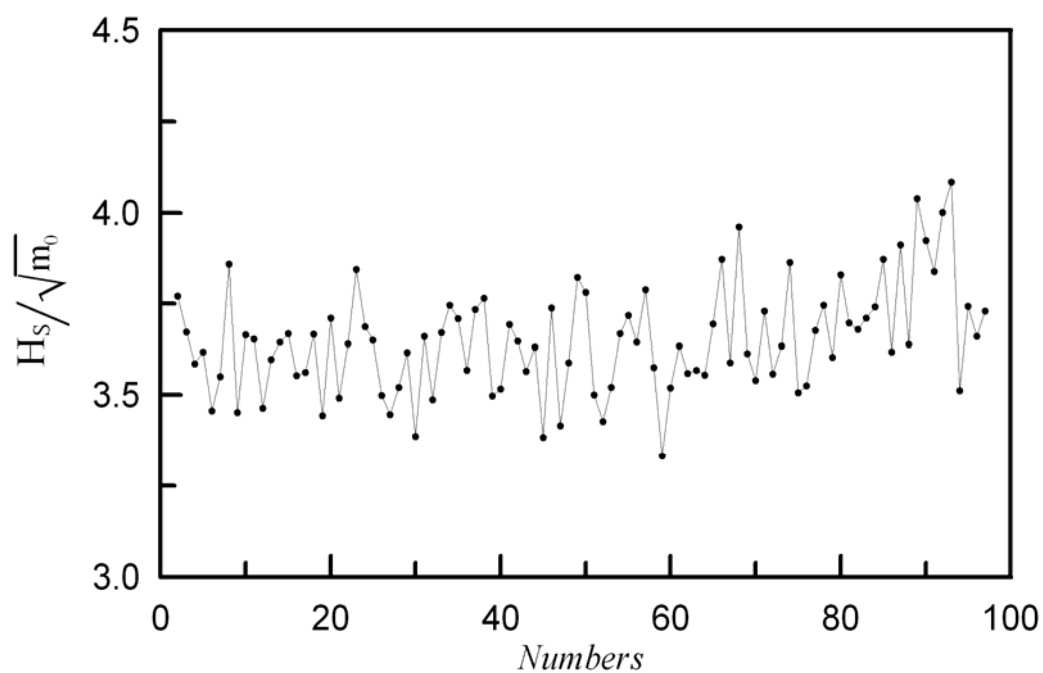


圖 4-27 2004 年各筆波高資料實際 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖(1.5m<Hs<2.0m)

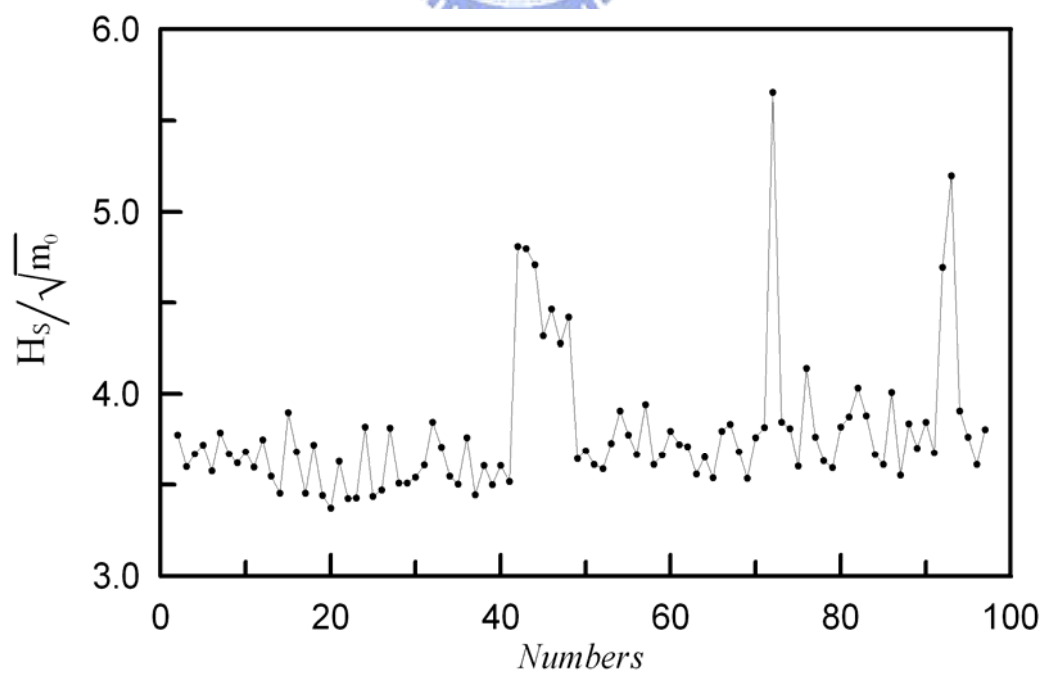


圖 4-28 2004 年各筆波高資料實際 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖(2.0m<Hs<3.0m)

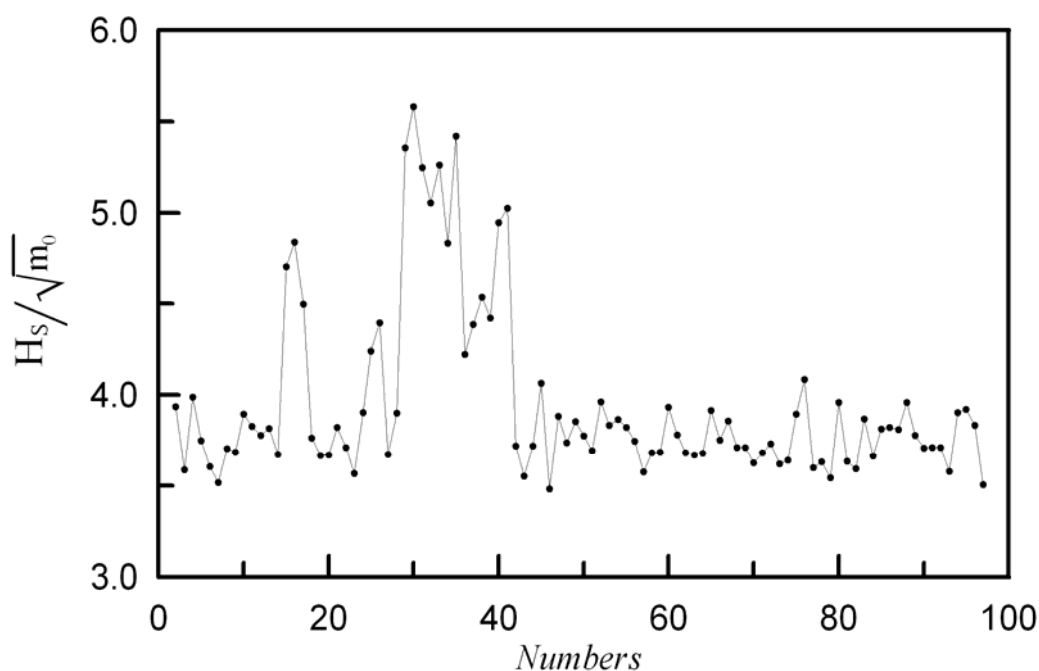


圖 4-29 2004 年各筆波高資料實際 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖($H_s>3.0\text{m}$)

由式(4-19)及式(4-20)可知， $H_s/\sqrt{m_0}$ Rayleigh 理論比值為 4.0，而 Weibull 理論比值為 3.774，因此其實際波高比值之合理保守範圍應介於 3 至 4 之間，根據圖 4-24 至圖 4-27 所示，當其示性波高小於 2m 時，其 $H_s/\sqrt{m_0}$ 值大致上於 3.4~3.8 之間跳動，而由圖 4-28 與圖 4-29 分析結果，當示性波高大於 2m 時，其 $H_s/\sqrt{m_0}$ 比值大概為 3.5~4.0。另外 $2.0\text{m}<H_s<3.0\text{m}$ 區間中，已發現其資料有少數幾筆為異常現象，從圖 4-27 可看出，其第一個尖峰值，即不合理之資料點，恰為第 40 筆至第 50 筆資料點，與先前分析結果不謀而合，其餘第二至第三尖峰值，雖已超過 Rayleigh 之理論比值，但隨著波高變大，其比值亦隨著增加，由圖 4-28 即可看出有多筆資料點之比值皆大於 4.0，因其示性波高較大，其資料點可能包含發生於颱風季節之波高資料，因此在計算實際比值，無法以平時波高理論值來作為判斷資料正常與否的依據。由上述之結果，對於應用於計算花蓮港示性波高時，若為非颱風期間，可以 3.4~3.8 倍 $\sqrt{m_0}$ 估算其示性波高範圍，反之若於颱風季節，因波高大小變化較大，基於安全考量，不建議以此關係式來估算示性波高大小，而應以實際觀測所得資料，計算其實際之示性波高大小。

4-5 理論與實際 $H_s/\overline{H}$ 之比較

根據式(4-19)可知，當波高分佈為 Rayleigh 分佈時，理論上 $H_s/\overline{H}$ 之比值為一定值，根據此結果，由式(4-4)與式(4-6)可驗證出當波高分佈為 Weibull 分佈時，其 $H_s/\overline{H}$ 亦可得一理論比值，此理論 $H_s/\overline{H}$ 之比值為

$$\frac{H_s}{\overline{H}} = \frac{N\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}+1, \ln N\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}+1\right)} \quad (4-21)$$

依照式(4-21)計算所得之理論值，為比較其與實際統計出之比值差異，茲將 2004 年全年之波高資料比較結果列如下圖所示，其中 $(H_s/\overline{H})_T$ 表示理論值， $(H_s/\overline{H})_O$ 表示實際統計值

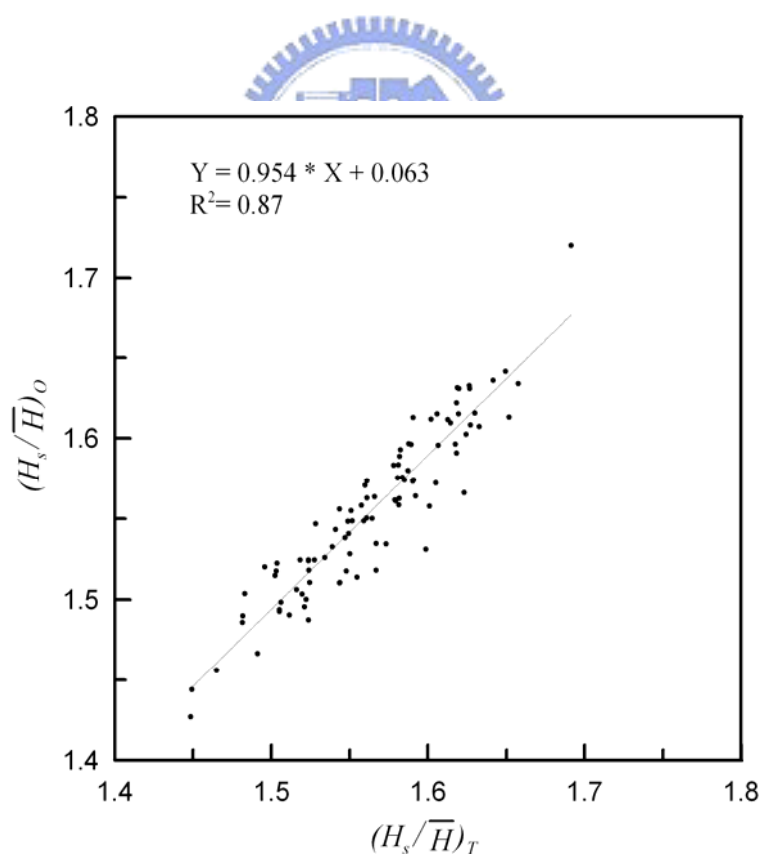


圖 4-30 各筆波高資料理論與實際 $H_s/\overline{H}$ 關係圖($H_s < 0.5\text{m}$)

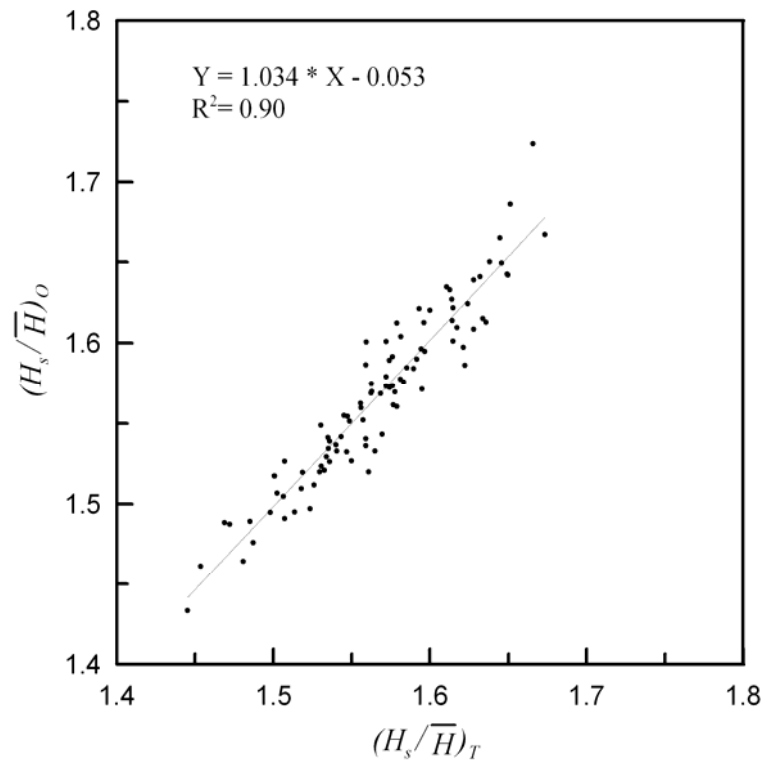


圖 4-31 各筆波高資料理論與實際 $H_s/\bar{H}$ 關係圖($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)

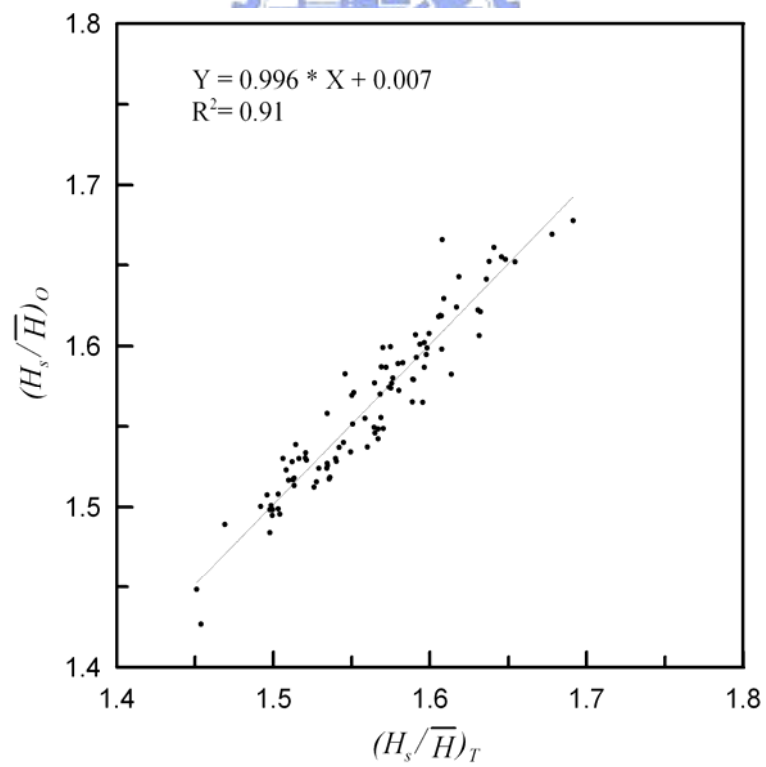


圖 4-32 各筆波高資料理論與實際 $H_s/\bar{H}$ 關係圖($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)

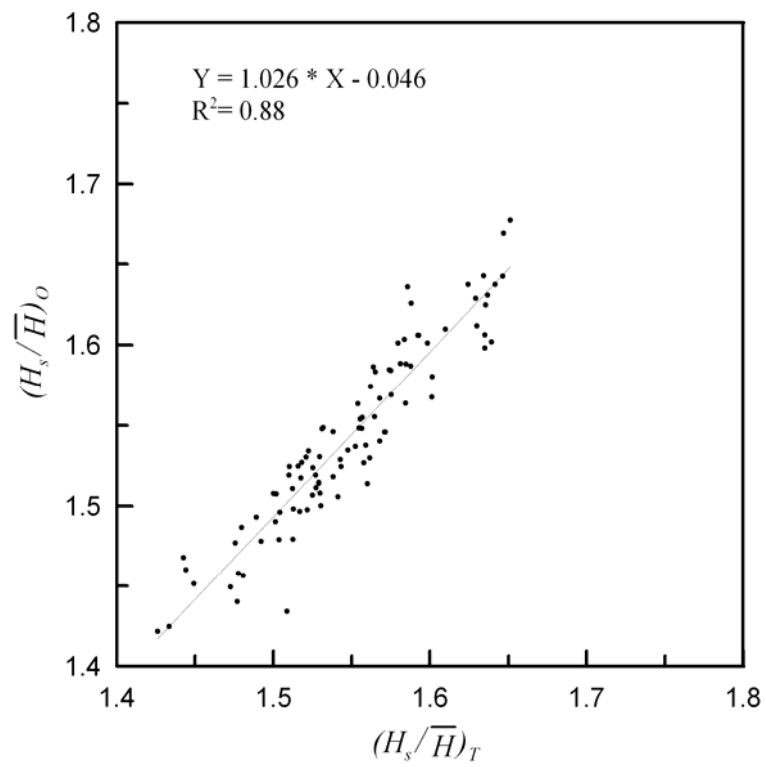


圖 4-33 各筆波高資料理論與實際 $H_s/\bar{H}$ 關係圖($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)

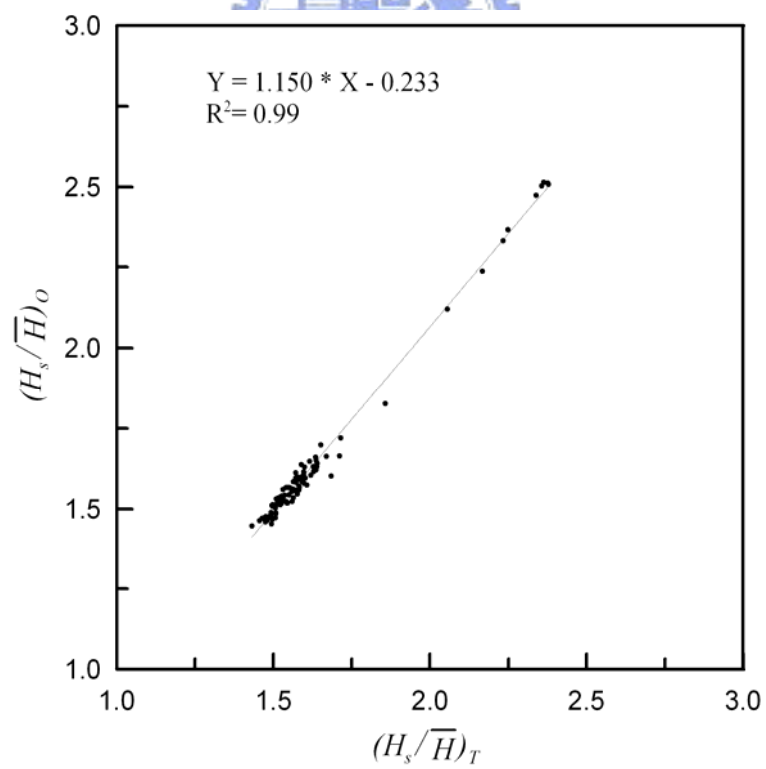


圖 4-34 各筆波高資料理論與實際 $H_s/\bar{H}$ 關係圖($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)

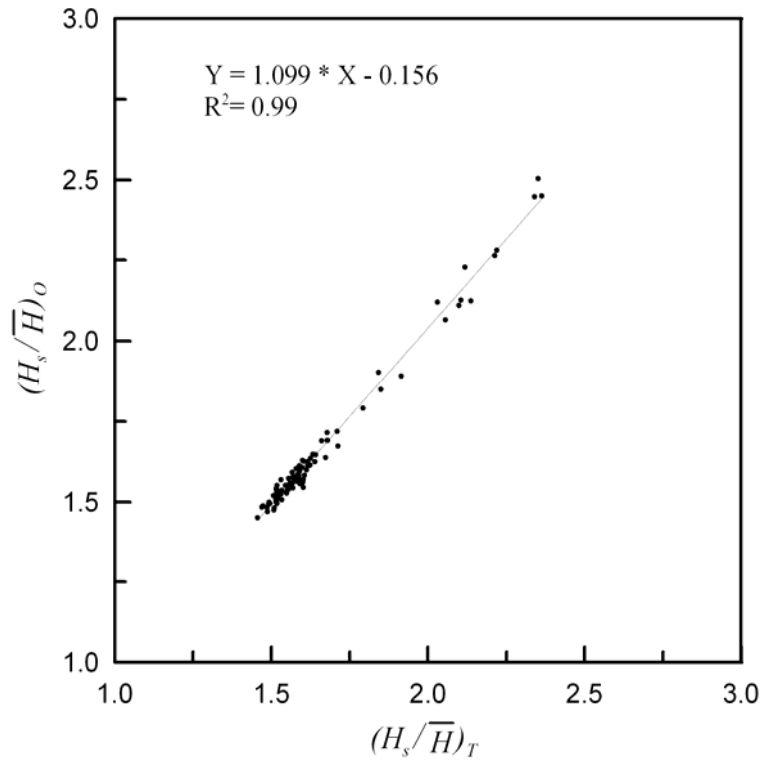


圖 4-35 各筆波高資料理論與實際 $H_s/\bar{H}$ 關係圖($H_s > 3.0\text{m}$)

根據圖 4-30 至圖 4-35 分析結果，可觀察出各區間之 $H_s/\bar{H}$ 實際值與理論值之相關性皆很高，由圖 4-30 至圖 4-33 觀察可發現，在示性波高小於 2 米時， $H_s/\bar{H}$ 其比值大致介於 1.45 至 1.65 之間，且此四區間內之 $H_s/\bar{H}$ 相關性皆很接近，而另外依圖 4-34 及圖 4-35 所示，在示性波大大於 2 米時，其實際與理論值之相關性趨近於 1，且大部分資料點集中於 1.45 至 1.65，此特性則與小波高時之比值分佈相似，僅有少數的資料點比值較高，而當波高越大，比值較高之資料點數也較小波高為多，經統計該資料點之實際值與理論值之結果，證實乃因於該少數資料點其 $\bar{H}$ 均較其他資料為小，因此在計算 $H_s/\bar{H}$ 時，其比值相對較高，形成圖形上零星分布之較高比值資料點。

4-6 理論與實際 H_{max}/H_s 之比較

對具有相同統計特性的波場而言，不同次取樣的樣本之 $\bar{H}$ 或 H_s 可能極為接近，但其最大波高 H_{max} 卻會大不相同，Longuet-Higgins(1952)利用統計理論求出最大波高 H_{max} 之機率分佈，

計算出各種統計代表值，包括眾數(mode)、平均值(mean)及超過出現機率為 $1/n$ 的 H_{max} 等。但其在近似上有如下之關係式

$$\left(\frac{H_{max}}{H}\right)_{mode} \approx \left(\frac{H_{max}}{H}\right)_{mean} \approx \frac{2}{\sqrt{\pi}} (\ln N_0)^{1/2} \quad (4-22)$$

N_0 是以零上切法求得的個別波之數目，隨著 N_0 的不同會得到不同的 $H_{max}/\bar{H}$ ，又由式(4-19)之 $\bar{H}$ 與 H_s 之關係式可推得 Rayleigh 分佈理論之 H_{max}/H_s ，由此關係式即可根據 H_s 求得最大波高 H_s ，而 H_{max} 一般常應用於工程上之設計參考，依合田(1990)的建議，在工程設計上，可採用如下之關係式來設計

$$H_{max} = (1.6 \sim 2.0)H_s \quad (4-23)$$

由式(4-22)與式(4-23)可知，理論上最大波高可由示性波高求得一概似值，而花蓮港因其波高分佈為 Weibull 分佈，因此本研究為探討花蓮港之 H_{max} 與 H_s 關係，根據式(4-4)及式(4-10)，可得其比值為

$$\frac{H_{max}}{H_s} = \frac{\left[(\ln N_0)^{\frac{1}{\alpha}} - \frac{1}{\alpha} (\ln N_0)^{\frac{1}{\alpha}-1} \cdot \gamma + \frac{1-\alpha}{2\alpha^2} (\ln N_0)^{\frac{1}{\alpha}-2} \cdot \left(\frac{\pi^2}{6} + \gamma^2 \right) \right]}{3\Gamma\left(\left(\frac{1}{\alpha}+1\right), \ln(3)\right)} \quad (4-24)$$

由式(4-24)即可計算其理論之比值，並依此結果與實際統計出之比值進行比較，茲將 2004 年全年之波高資料比較結果列如下圖所示，其中 $(H_{max}/H_s)_O$ 代表實際統計值， $(H_{max}/H_s)_T$ 則表示為以式(4-24)所計算出之理論值

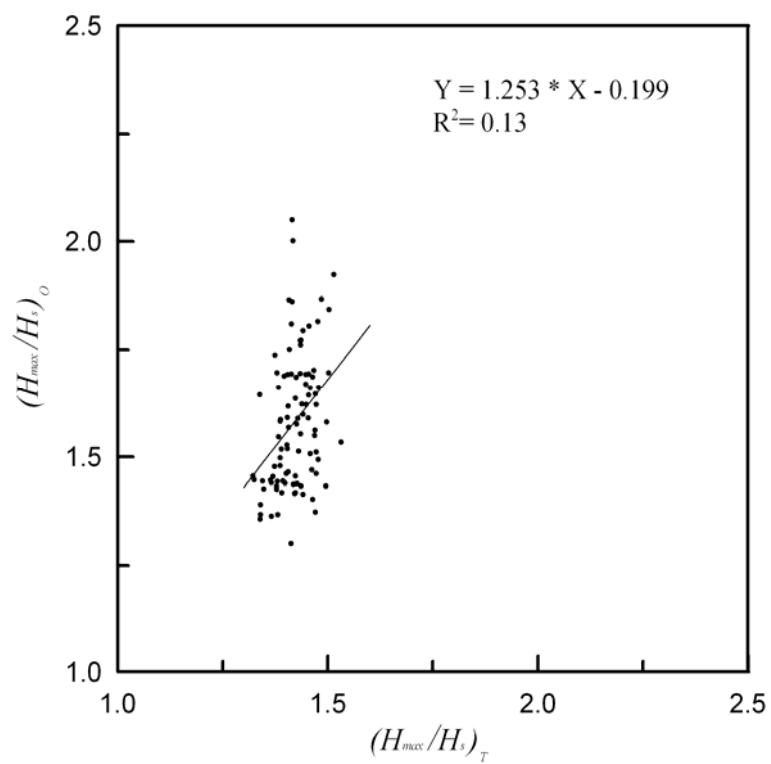


圖 4-36 各筆波高資料理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($H_s < 0.5\text{m}$)

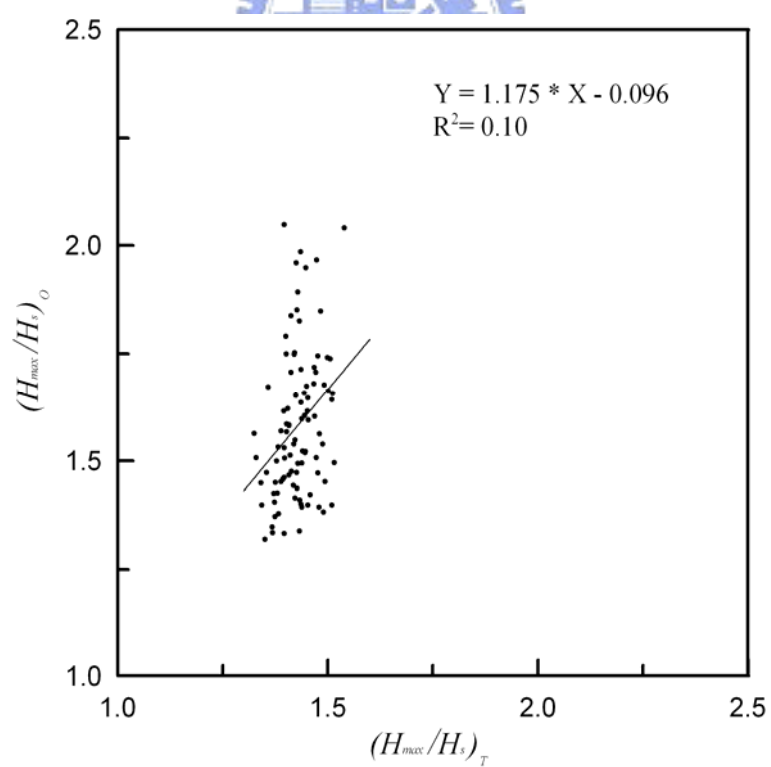


圖 4-37 各筆波高資料理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)

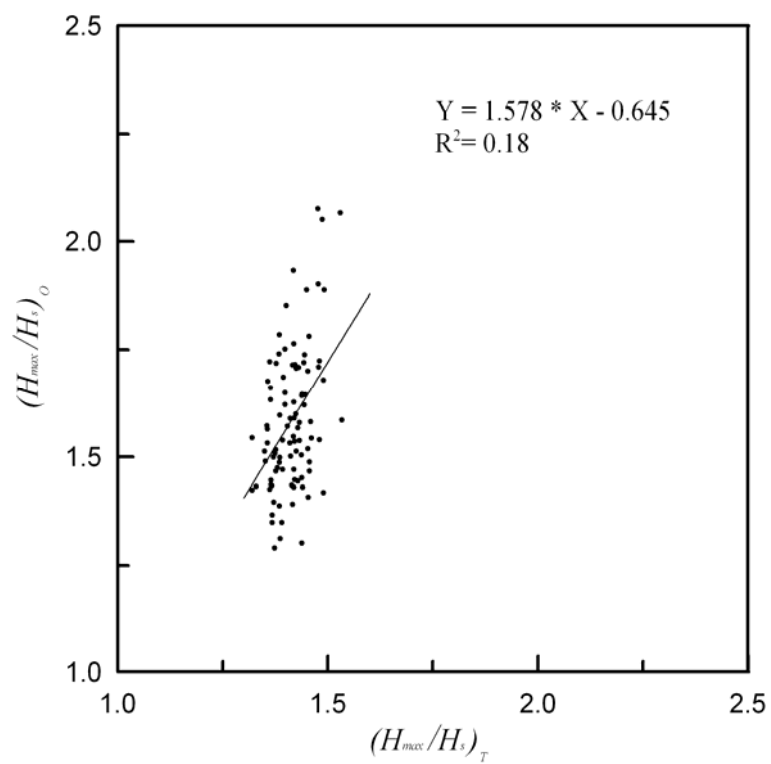


圖 4-38 各筆波高資料理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)

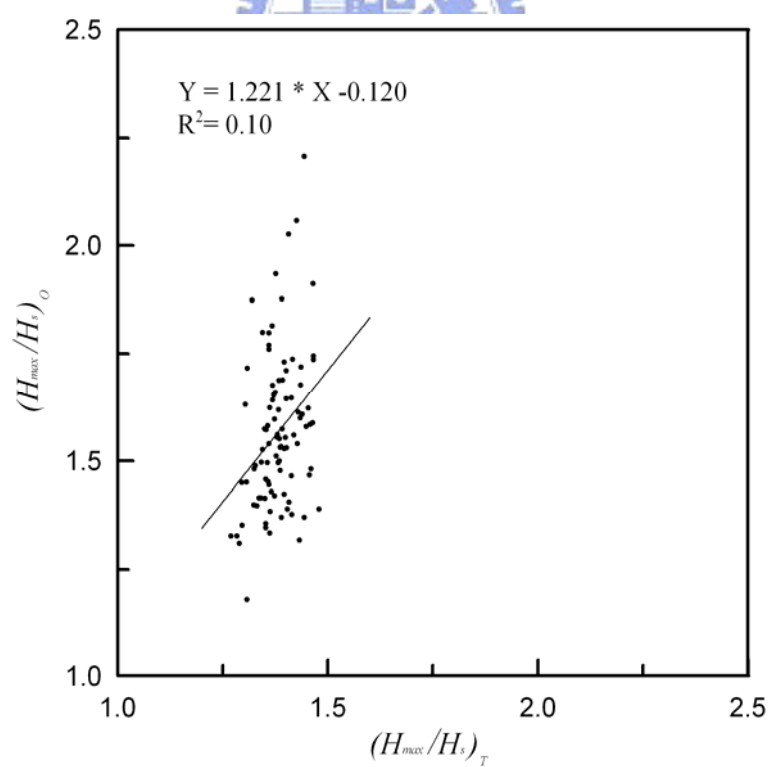


圖 4-39 各筆波高資料理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)

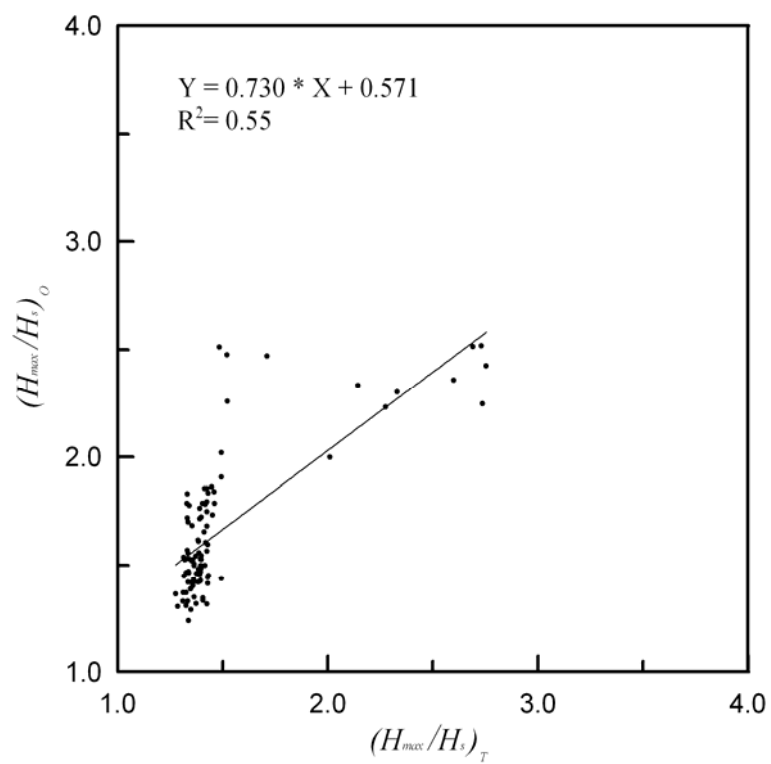


圖 4-40 各筆波高資料理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)

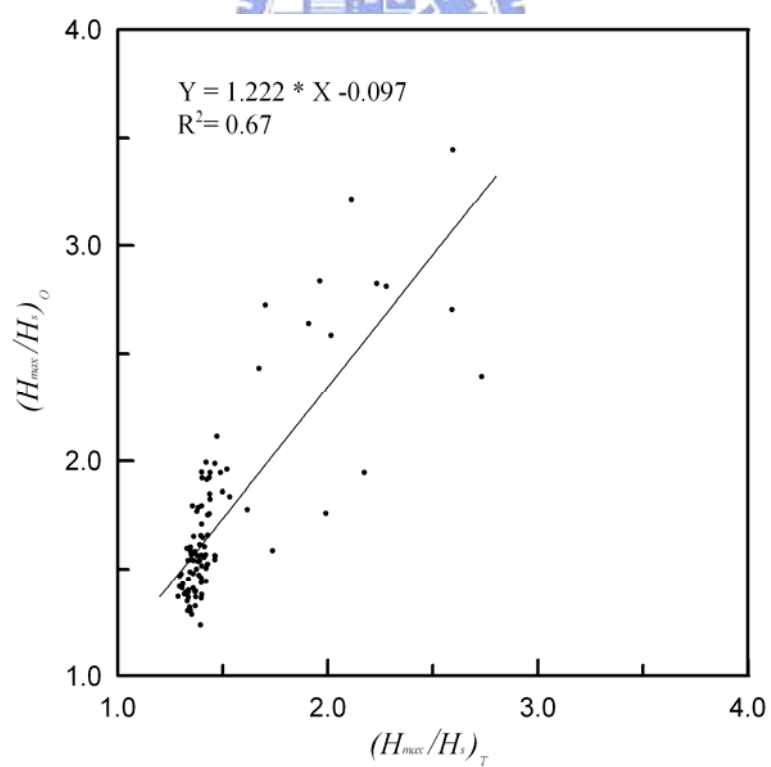


圖 4-41 各筆波高資料理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($H_s > 3.0\text{m}$)

由圖 4-36 至圖 4-41 結果顯示，資料點大部份集中於圖之左半部份，且其大部份實際所計算之比值均較理論值為高一點，而當示性波高小於 2m 時，其實際與理論比值之相關性甚低，大於 2m 時則相關性較高，但由圖可看出，其 R^2 值提高乃因其資料最大波高範圍較大，相對在計算 H_{max}/H_s 時其值也較高，資料點較不容易集中於左半部，因此相關性較小波高時為高。由於理論之 H_s 經分析之後，驗證出其與實際之 H_s 值即為近似，因此由圖 4-35 至圖 4-41 分析結果可知，以式(4-10)所計算出 H_{max} 之理論值會產生低估的現象，茲以 H_{max} 在示性波高不分區間下，將 2004 年全年實際與理論 H_{max} 之關係示如圖 4-42

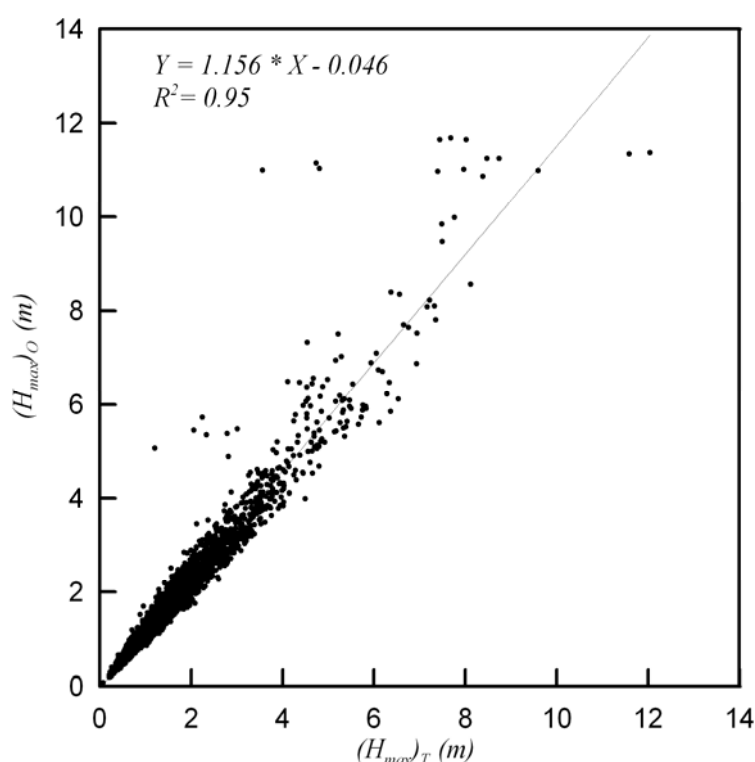


圖 4-42 2004 年全年波高資料實際與理論 H_{max} 比較圖

由圖 4-42 觀察結果，理論與實際之 H_{max} 相關性很高，但從數據上發現，在 2004 年全年有效資料筆數 7617 筆中，有 42% 的資料其理論與實際之 H_{max} 誤差超過 10%，甚至誤差達 7m 以上，僅有 932 筆資料，其實際 H_{max} 小於理論 H_{max} 。因此根據分析結果，欲要應用 H_{max} 於工程設計上，應以實際計算之 H_{max} 為準，或依照設計波推算方法的精確度，構造物的重要性或破壞限界等為考慮條件，再加以設計決定之。

4-7 理論與實際 H_s/H_{rms} 之比較

H_{rms} 表示為波高之均方根值，由式(4-4)及式(4-13)可求得 H_s/H_{rms} 之理論關係式為

$$\frac{H_s}{H_{rms}} = \frac{3\Gamma\left(\left(\frac{1}{\alpha}+1\right), \ln(3)\right)}{\left[\Gamma\left(\frac{2}{\alpha}+1\right)\right]^{\frac{1}{2}}} \quad (4-25)$$

根據式(4-25)即可計算出 H_s/H_{rms} 之理論比值，並依此結果與實際統計出之比值進行比較，茲將 2004 年全年之波高資料比較結果列如下圖所示

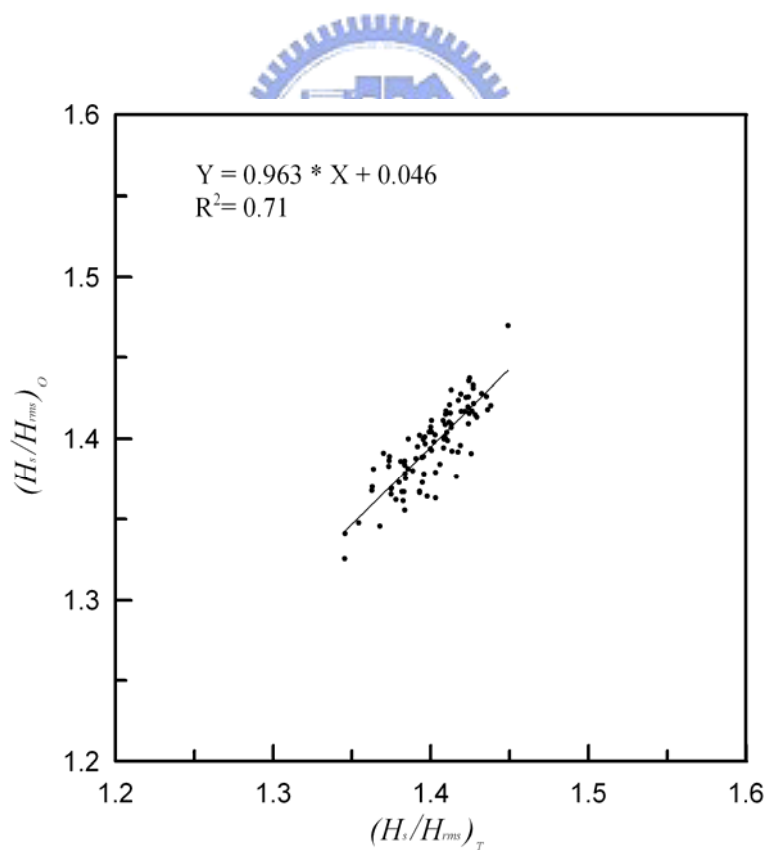


圖 4-43 各筆波高資料理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($H_s < 0.5\text{m}$)

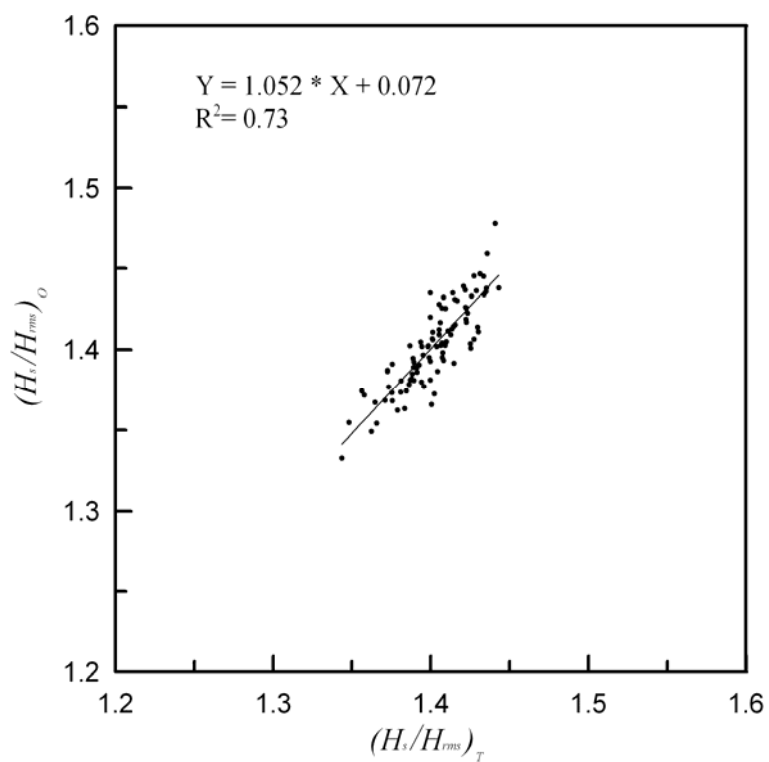


圖 4-44 各筆波高資料理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)

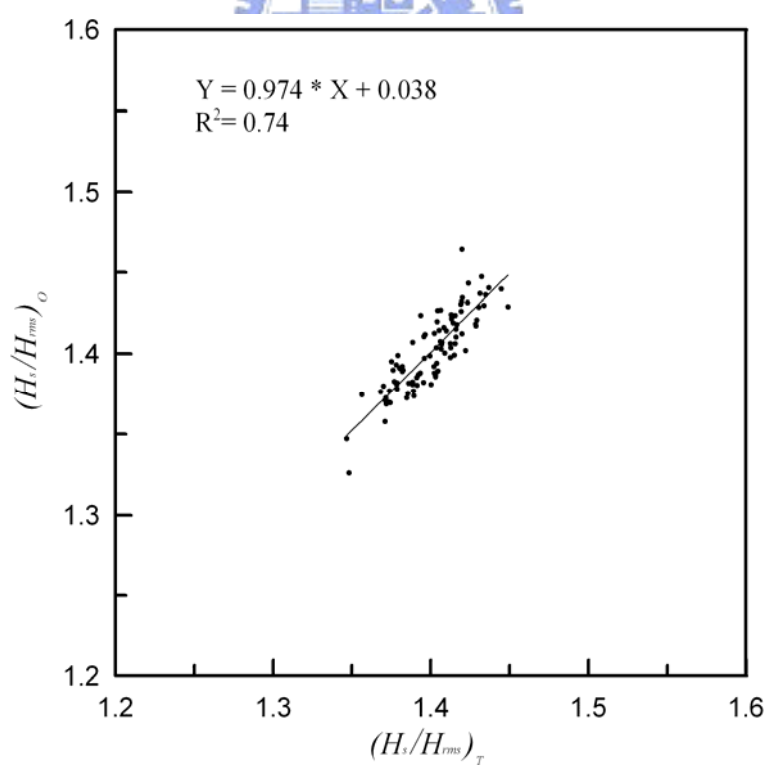


圖 4-45 各筆波高資料理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)

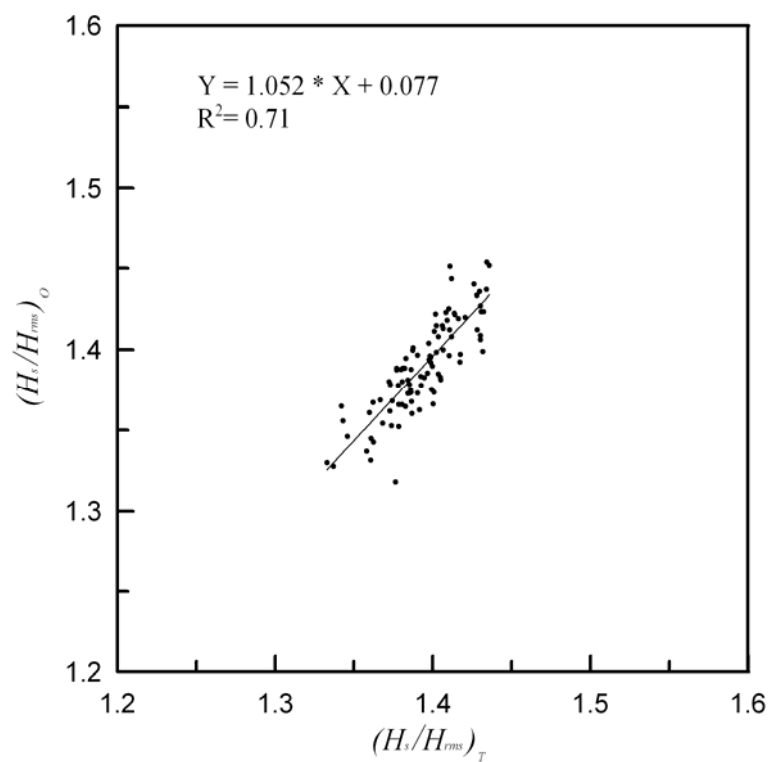


圖 4-46 各筆波高資料理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)

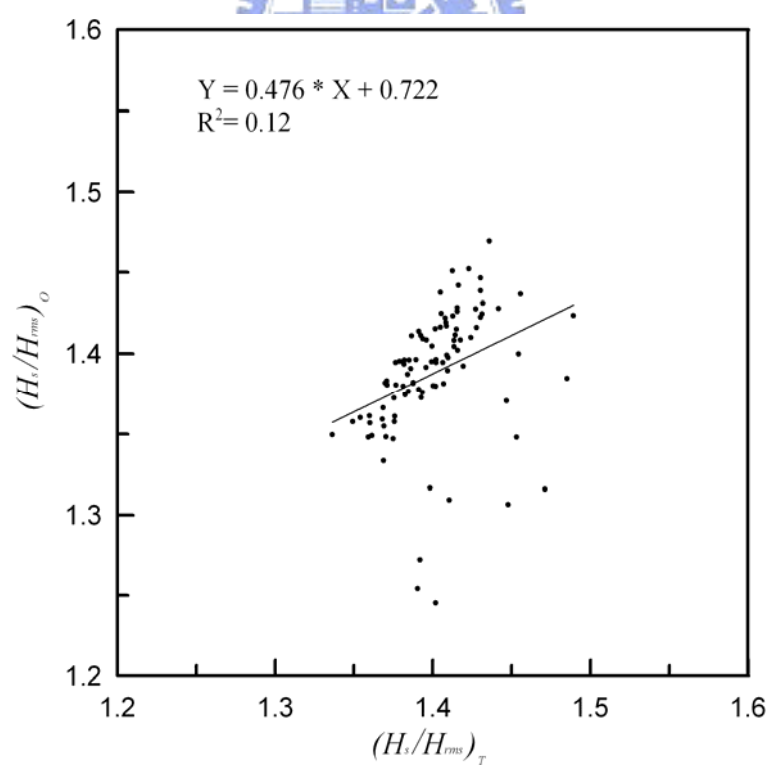


圖 4-47 各筆波高資料理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)

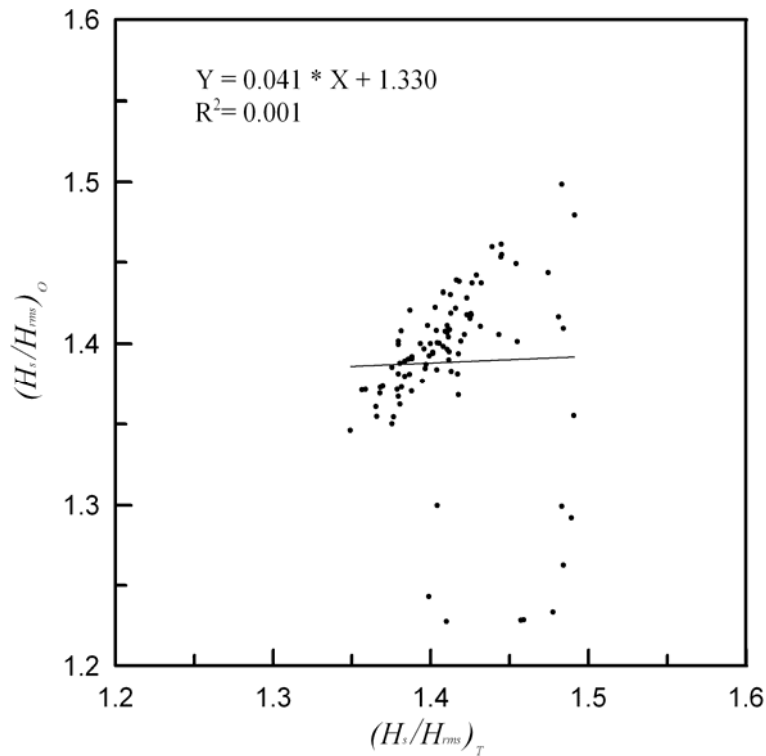


圖 4-48 各筆波高資料理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($H_s > 3.0\text{m}$)

根據圖 4-47 與圖 4-48 分析結果，發現當示性波高大於 2m 時，其理論與實際之相關性甚低，其中圖 4-48 之 R^2 值甚至趨近於 0.001，而從圖 4-43 至圖 4-46 中，發現當示性波高小於 2m 時，理論與實際之相關性較高，且各區間之 R^2 值皆很接近，大致上為 0.7 至 0.75，顯示其 H_{rms} 與 H_s 比值在小波高時，理論於實際之相關性較高。由此分析結果可判斷出，隨著波高越大，理論與實際誤差值較大，因此單以式 (4-13) 之理論 H_{rms} 來推測實際波高之 H_{rms} ，並無法概估其理論與實際之誤差大小，因根據分析結果，僅能從圖 4-47 至圖 4-48 辨別出在大波高時， H_{rms} 與 H_s 並無關係，小波高時，其實際與理論相關性也皆不高，無法有效的以示性波高大小來判斷 H_{rms} 之趨勢，故應改建立其它波高統計值與 H_{rms} 關係式，再由實測數據，驗證並探討其中之相關性。

第五章 結果與討論

本研究以 2004 年花蓮港波高資料，分別作全年、每季與每月之分析，以了解其波浪特性並作為往後花蓮港資料分析及工程設計上之參考依據，茲將重要研究結果作一整理如下：

1. 本文引用四種常見之波高分佈模式，即 Gamma、Rayleigh、Normal 與 Weibull 等機率分佈，並與花蓮港之實際波高分佈套配(fitted)。根據分析結果顯示，在全年、每季及每月中，花蓮港實際波高分佈皆接近於 Weibull 分佈，並非為理論之 Rayleigh 分佈，然而本研究選取之四個機率分佈函數，為一般常見之波高分佈模式，因此僅能說明，在此四個分佈模式當中，以 Weibull 分佈較近似於實際波高分佈情形，但是否有更適合來描述花蓮港波高分佈的其它函數，值得後續再繼續研究探討。
2. 直方圖之組數若分得太細，則會產生鋸齒狀之柱狀分佈，若太少則會產生平滑化之現象，因此本研究進一步探討 Gamma、Rayleigh、Normal 與 Weibull 四種理論分佈與花蓮港波高直方圖套配結果，以決定花蓮港之波高分佈模式及適當的直方圖分組組數。根據花蓮港 2004 年波浪資料分析結果，其示性波高小於 2m 以下時，分組組數以 6 組及 7 組較適合，而示性波高大於 2m 時，5 至 7 組則為其較佳之直方圖分組組數。
3. Rayleigh 分佈所計算出之理論 H_s 較實際 H_s 有高估的現象，而 Weibull 分佈所計算出之 H_s 與實際 H_s 情形較相符，又 H_s 可由波高之 m_0 值計算而得，因此結果本研究進一步探討 Weibull 分佈參數與 m_0 值之相關性，驗證出 α 與 m_0 具有高度的相關性，而 β 與 m_0 相關性甚低，為求得 β 與 m_0 之相關性，經以 SPSS 軟體將 m_0 與 α 、 β 一起作迴歸分析後，得其 m_0 與 α^2/β 有較佳之相關性，但此結果僅能代表花蓮港該時間該地域之波浪資料特性，尚無法證明此關係式可行性，因此是否可推導出更適合之 α 與 β 關係式與 m_0 之相關性，或證明出 Weibull 參數與 m_0 之關係，此議題可再後續探討之。

4. 花蓮港全年實際之 H_s 值，依全年、1 至 3 月、4 至 9 月與 10 至 12 月等四部份之 H_s 值作直方圖分組，並與 Gamma、Rayleigh、Normal 與 Weibull 機率分佈進行套配(fitted)，根據分析結果，其全年及各季節性之 H_s 分佈皆近似於 Gamma 分佈。依此結果可用以描述及了解花蓮港往後 H_s 分佈模式及特性。
5. 依 Weibull 分佈波高統計值公式推導結果，可求得 H_s 、 $\bar{H}$ 、 H_{max} 與 H_{rms} 等理論波高統計值，經與實際值比較結果， H_s 與 $\bar{H}$ 之理論值與實際值有較高之相關性，且其分佈趨勢與實際值之趨勢相似。而 H_{max} 雖全年理論值與實際值相關性也很高，但有 42% 的資料其理論與實際之 H_{max} 誤差超過 10%，甚至誤差達 7m 以上，且理論值有低估之現象， H_{rms} 則在大或小波高時，其實際與理論值並無一定之規律關係，因此較難判斷其誤差關係。
6. 一般波高或水位已有理論之機率及各統計值之比值，但實際上波高是否具有此理論比值之特性應再探討之，因此根據花蓮港波高分佈為 Weibull 分佈之特性，依照其公式可推導出 $H_s/\bar{H}$ 、 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 、 $H_s/\sqrt{m_0}$ 、 H_{max}/H_s 與 H_s/H_{rms} 之理論比值，經與實際統計值比較
- (1) $H_s/\bar{H}$ 實際與理論有較高之相關性，於大波高時其相關性更高。
 - (2) $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值大部分皆小於 Weibull 分佈理論值 2.413，但其比值會隨著波高變大而變大。
 - (3) $H_s/\sqrt{m_0}$ 比值大致上介於 3.4 至 3.8，且隨著波高變大，其比值亦隨之變大。
 - (4) H_{max}/H_s 實際與理論相關性較低，於小波高時 R^2 值低於 0.2，但隨著波高變大，其相關性也隨之增高。
 - (5) H_s/H_{rms} 於小波高時，其實際與理論相關性較高，但於大波高時相關性亦減低，經分析結果其 R^2 值僅有 0.001。

參考文獻

1. 錢志春(1991)「海浪及其預報」，氣象出版社，第 189 頁。
2. 莊士賢(1994)「貝氏定理應用於隨機變數的機率分佈函數選定」，第十六屆海洋工程研討會論文集，第 D-122-D-139 頁。
3. 賴明遠、施力士、尹彰(1994)「近海波高機率分佈的探討」，第十六屆海洋工程研討會論文集，第 D-140-D-152 頁。
4. 李弘斌等(1995)「統計學」，文京圖書有限公司，初版。
5. 尹彰(1995)「風波場中波高分佈特性的探討」，中國土木工程學刊，第七卷，第三期，第 349-362 頁。
6. 湯麟武、徐忠獻、黃正欣(1996)「港灣及海域工程」，中國土木工程學會，第二版。
7. 陳順宇(1998)「統計學」，華泰書局，三版。
8. 郭一羽(2001)「海岸工程學」，文山書局。
9. 蘇青和(2003)「2002 年港灣海氣地象觀測資料年報（波浪部份）」，交通部運輸研究所。
10. 黃智豪(2004)「淺化過程中的波高統計分佈之研究」，國立成功大學水利及海洋工程研究所。
11. Teng, C.C., and Liu, C.P. (2000) “Estimating wave height distributions from wind speed distribution,” *Coastal Engineering* 2000, pp. 310-319.
12. Forristall, G.Z. (1978) “On the statistical distribution of wave heights in a storm,” *J. Geophys. Res.*, Vol. C83, pp. 2353-2358.
13. Fernando, J.M., Losada, I.J. and Medina, R. (2006) “Discussion reply on the new wave height distribution,” *Costal Engineering*, Vol. 53, pp. 709.

14. Longuet-Higgins, M.S. (1952) "On the statistical distribution of the heights of sea waves," *J. Marine Res.*, Vol. 9, pp. 245-265.
15. Mendez, F.J., Losada I.J., and Medina R. (2004) "Transformation model of wave height distribution on planar beaches," *Costal Engineering*, Vol. 50, pp. 97-115.
16. Nerzic, R., Prevosto, M. (1997) "A Weibull-Stokes model for the distribution of maximum wave and crest heights," *The international society of offshore and polar engineers*, Vol. 3, pp. 367-377.
17. Nadarajah, S., and Kotz, S. (2006) "Discussion on the new wave height distribution," *Costal Engineering*, Vol. 53, pp. 707.
18. Pan, J. (1992) "Long-term joint distribution of one-tenth large (or significant) wave height with average period," *China Ocean Engineering*, Vol. 6, pp. 383-394.
19. Rice, S.O. (1944) "Mathematical analysis of random noise. Part I & Part II," *Bell system technical journal*, Vol. 23, pp. 282-332.
20. Rice, S.O. (1945) "Mathematical analysis of random noise. Part III & Part IV," *Bell system technical journal*, Vol. 24, pp. 282-332.
21. Soares, G.C., and Carvalho, N. (2001) "Probability distribution of wave heights and periods in measured two-peaked spectra from the portuguese coast," *20th International conference on offshore mechanics and artic engineering*, Vol. 37, pp. 1-8.
22. Satheesh, S.P., Praveen, V.K., Kumar, J.V., Muraleedharan, G. and Kurup, P.G. (2005) "Weibull and Gamma distribution for wave parameter predictions," *Geophys, J.Ind, Union*, Vol. 9, No. 1, pp. 55-64.
23. Tayfun, M.A. (2006) "Distribution of wave steepness and surf parameter." *Journal of waterway, port, coastal, and ocean*

engineering, Vol. 132, NO. 1, pp. 1-9.



附錄一 2004 年第 1 至第 4 季組數與分佈函數分析結果

附錄 A-1 第 1 季波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5m$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.037	0.036	0.030	0.031	0.030	0.028	0.028	0.025
	R^2	0.940	0.920	0.917	0.888	0.869	0.862	0.842	0.838
Normal	MSE	0.048	0.044	0.039	0.036	0.034	0.031	0.030	0.028
	R^2	0.918	0.895	0.890	0.869	0.858	0.846	0.826	0.820
Rayleigh	MSE	0.035	0.032	0.030	0.029	0.028	0.026	0.026	0.024
	R^2	0.946	0.931	0.922	0.902	0.888	0.882	0.859	0.857
Weibull	MSE	0.033	0.032	0.027	0.028	0.027	0.025	0.025	0.023
	R^2	0.959	0.942	0.941	0.918	0.904	0.896	0.876	0.873
Pi=0		0	0	1	5	6	9	11	12
$ P_i - P_j > 1/N$		20	19	12	16	22	21	27	22



附錄 A-2 第 1 季波浪資料之各種指標評估結果($0.5m < H_s < 1.0m$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.036	0.033	0.028	0.028	0.028	0.028	0.027	0.026
	R^2	0.942	0.926	0.925	0.898	0.882	0.855	0.833	0.819
Normal	MSE	0.047	0.044	0.040	0.037	0.034	0.033	0.031	0.030
	R^2	0.912	0.886	0.870	0.851	0.836	0.819	0.806	0.781
Rayleigh	MSE	0.036	0.033	0.030	0.029	0.027	0.027	0.026	0.025
	R^2	0.939	0.926	0.920	0.897	0.886	0.863	0.845	0.826
Weibull	MSE	0.031	0.030	0.027	0.027	0.026	0.026	0.025	0.024
	R^2	0.962	0.943	0.938	0.919	0.904	0.884	0.866	0.848
Pi=0		0	0	2	1	3	7	10	14
$ P_i - P_j > 1/N$		19	13	9	10	18	22	22	25

附錄 A-3 第 1 季波浪資料之各種指標評估結果($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.033	0.033	0.029	0.031	0.028	0.028	0.027	0.026
	R^2	0.946	0.923	0.914	0.884	0.872	0.845	0.829	0.812
Normal	MSE	0.054	0.045	0.043	0.039	0.036	0.035	0.032	0.031
	R^2	0.887	0.878	0.851	0.839	0.819	0.788	0.789	0.767
Rayleigh	MSE	0.036	0.033	0.031	0.030	0.028	0.028	0.026	0.026
	R^2	0.937	0.921	0.908	0.885	0.869	0.845	0.836	0.814
Weibull	MSE	0.033	0.030	0.029	0.028	0.026	0.027	0.025	0.025
	R^2	0.952	0.941	0.926	0.906	0.891	0.863	0.855	0.837
Pi=0		0	1	2	4	5	5	8	13
$ P_i - P_j > 1/N$		17	15	17	16	17	22	24	27



附錄 A-4 第 1 季波浪資料之各種指標評估結果($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.040	0.037	0.036	0.034	0.032	0.031	0.030	0.028
	R^2	0.918	0.900	0.877	0.853	0.829	0.809	0.793	0.784
Normal	MSE	0.055	0.049	0.046	0.042	0.039	0.036	0.033	0.031
	R^2	0.881	0.853	0.825	0.805	0.784	0.770	0.755	0.743
Rayleigh	MSE	0.036	0.034	0.034	0.032	0.030	0.029	0.027	0.026
	R^2	0.926	0.905	0.880	0.861	0.840	0.823	0.807	0.798
Weibull	MSE	0.037	0.034	0.034	0.032	0.030	0.029	0.027	0.026
	R^2	0.938	0.920	0.897	0.877	0.855	0.840	0.826	0.815
Pi=0		0	0	3	4	5	8	10	13
$ P_i - P_j > 1/N$		17	12	14	12	21	24	17	28

附錄 A-5 第 1 季波浪資料之各種指標評估結果($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.004	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002
	R^2	0.057	0.058	0.052	0.056	0.056	0.046	0.050	0.045
Normal	MSE	0.004	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003
	R^2	0.058	0.055	0.052	0.055	0.049	0.044	0.044	0.041
Rayleigh	MSE	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	R^2	0.061	0.061	0.055	0.059	0.057	0.049	0.052	0.047
Weibull	MSE	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002
	R^2	0.061	0.061	0.056	0.059	0.056	0.049	0.052	0.047
Pi=0		0	0	0	0	0	0	0	0
Pi-Pj >1/N		0	1	2	0	1	3	1	3



附錄 B-1 第 2 季波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.040	0.035	0.034	0.032	0.030	0.031	0.028	0.029
	R^2	0.923	0.914	0.890	0.869	0.856	0.819	0.818	0.777
Normal	MSE	0.045	0.043	0.038	0.036	0.032	0.032	0.029	0.029
	R^2	0.916	0.894	0.878	0.858	0.853	0.823	0.818	0.785
Rayleigh	MSE	0.031	0.030	0.028	0.027	0.025	0.026	0.024	0.025
	R^2	0.946	0.938	0.923	0.904	0.896	0.862	0.859	0.823
Weibull	MSE	0.031	0.030	0.029	0.028	0.025	0.026	0.024	0.026
	R^2	0.954	0.944	0.928	0.909	0.903	0.869	0.868	0.829
Pi=0		0	0	0	1	2	5	10	11
Pi-Pj >1/N		16	9	10	11	11	16	17	20

附錄 B-2 第 2 季波浪資料之各種指標評估結果(0.5m<Hs<1.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.038	0.038	0.036	0.033	0.032	0.031	0.029	0.028
	R ²	0.931	0.897	0.879	0.864	0.834	0.805	0.794	0.775
Normal	MSE	0.046	0.044	0.038	0.035	0.034	0.031	0.029	0.029
	R ²	0.903	0.873	0.862	0.846	0.820	0.803	0.792	0.771
Rayleigh	MSE	0.033	0.033	0.030	0.028	0.028	0.027	0.026	0.025
	R ²	0.943	0.915	0.904	0.888	0.860	0.839	0.826	0.806
Weibull	MSE	0.030	0.032	0.029	0.027	0.027	0.026	0.025	0.025
	R ²	0.955	0.929	0.918	0.905	0.879	0.855	0.845	0.826
Pi=0		0	0	0	1	2	4	4	4
Pi-Pj >1/N		10	7	5	7	11	15	16	17



附錄 B-3 第 2 季波浪資料之各種指標評估結果(1.0m<Hs<1.5m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.036	0.033	0.029	0.032	0.031	0.028	0.029	0.026
	R ²	0.946	0.933	0.925	0.879	0.863	0.853	0.818	0.826
Normal	MSE	0.051	0.049	0.041	0.040	0.038	0.034	0.034	0.031
	R ²	0.899	0.869	0.867	0.834	0.806	0.803	0.774	0.777
Rayleigh	MSE	0.035	0.034	0.030	0.031	0.030	0.027	0.028	0.026
	R ²	0.940	0.927	0.921	0.880	0.862	0.857	0.823	0.829
Weibull	MSE	0.033	0.033	0.027	0.030	0.030	0.026	0.027	0.025
	R ²	0.958	0.940	0.939	0.900	0.880	0.876	0.841	0.849
Pi=0		0	1	1	0	2	5	7	9
Pi-Pj >1/N		9	8	11	14	14	17	22	24

附錄 B-4 第 2 季波浪資料之各種指標評估結果(1.5m<Hs<2.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.041	0.041	0.039	0.035	0.036	0.032	0.032	0.030
	R ²	0.911	0.884	0.859	0.839	0.797	0.796	0.766	0.764
Normal	MSE	0.047	0.046	0.040	0.038	0.037	0.032	0.033	0.030
	R ²	0.902	0.862	0.858	0.826	0.798	0.803	0.764	0.764
Rayleigh	MSE	0.042	0.042	0.037	0.035	0.035	0.031	0.031	0.029
	R ²	0.903	0.873	0.861	0.836	0.794	0.797	0.764	0.763
Weibull	MSE	0.035	0.036	0.033	0.031	0.032	0.028	0.029	0.027
	R ²	0.941	0.913	0.902	0.877	0.842	0.845	0.810	0.810
Pi=0		0	0	1	2	5	7	9	12
Pi-Pj >1/N		14	13	10	12	16	14	23	22



附錄 B-5 第 2 季波浪資料之各種指標評估結果(2.0m<Hs<3.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.040	0.039	0.037	0.034	0.033	0.032	0.031	0.030
	R ²	0.916	0.891	0.863	0.846	0.822	0.797	0.775	0.751
Normal	MSE	0.049	0.045	0.043	0.037	0.037	0.035	0.033	0.031
	R ²	0.898	0.871	0.838	0.830	0.793	0.777	0.752	0.744
Rayleigh	MSE	0.037	0.035	0.034	0.032	0.032	0.030	0.029	0.028
	R ²	0.925	0.901	0.873	0.859	0.829	0.806	0.782	0.764
Weibull	MSE	0.034	0.033	0.033	0.030	0.030	0.029	0.028	0.027
	R ²	0.943	0.922	0.894	0.882	0.851	0.831	0.806	0.792
Pi=0		0	0	0	2	5	5	7	11
Pi-Pj >1/N		8	9	11	13	16	17	17	17

附錄 C-1 第 3 季波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5m$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.051	0.046	0.042	0.042	0.038	0.035	0.032	0.032
	R^2	0.870	0.840	0.813	0.776	0.764	0.739	0.732	0.694
Normal	MSE	0.049	0.042	0.038	0.035	0.033	0.031	0.029	0.029
	R^2	0.895	0.882	0.868	0.844	0.830	0.809	0.805	0.769
Rayleigh	MSE	0.039	0.036	0.034	0.034	0.031	0.030	0.028	0.028
	R^2	0.905	0.888	0.865	0.834	0.826	0.803	0.799	0.761
Weibull	MSE	0.038	0.035	0.031	0.032	0.030	0.028	0.026	0.027
	R^2	0.928	0.909	0.893	0.863	0.853	0.829	0.825	0.786
Pi=0		0	0	0	1	2	5	6	8
$ Pi-Pj > 1/N$		10	8	7	14	11	17	10	17



附錄 C-2 第 3 季波浪資料之各種指標評估結果($0.5m < H_s < 1.0m$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.036	0.034	0.032	0.030	0.029	0.030	0.027	0.026
	R^2	0.938	0.922	0.906	0.888	0.877	0.846	0.845	0.822
Normal	MSE	0.053	0.048	0.045	0.040	0.038	0.038	0.033	0.032
	R^2	0.906	0.886	0.863	0.857	0.844	0.805	0.813	0.791
Rayleigh	MSE	0.030	0.031	0.031	0.028	0.028	0.030	0.027	0.027
	R^2	0.952	0.934	0.918	0.908	0.898	0.860	0.862	0.839
Weibull	MSE	0.031	0.029	0.028	0.026	0.026	0.027	0.024	0.024
	R^2	0.960	0.948	0.933	0.923	0.915	0.882	0.887	0.865
Pi=0		1	2	2	2	4	7	11	14
$ Pi-Pj > 1/N$		11	11	8	5	13	18	14	22

附錄 C-3 第 3 季波浪資料之各種指標評估結果(1.0m<Hs<1.5m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.039	0.040	0.039	0.036	0.035	0.035	0.033	0.032
	R ²	0.932	0.908	0.879	0.871	0.849	0.823	0.806	0.793
Normal	MSE	0.060	0.057	0.052	0.047	0.045	0.044	0.040	0.038
	R ²	0.887	0.859	0.836	0.826	0.804	0.769	0.771	0.756
Rayleigh	MSE	0.043	0.045	0.044	0.042	0.041	0.040	0.038	0.036
	R ²	0.920	0.887	0.857	0.846	0.823	0.795	0.786	0.771
Weibull	MSE	0.032	0.034	0.034	0.031	0.031	0.031	0.029	0.028
	R ²	0.955	0.935	0.914	0.911	0.891	0.863	0.857	0.843
Pi=0		2	3	3	2	3	5	10	13
Pi-Pj >1/N		8	10	10	8	13	14	15	20



附錄 C-4 第 3 季波浪資料之各種指標評估結果(1.5m<Hs<2.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.041	0.037	0.033	0.035	0.033	0.031	0.030	0.029
	R ²	0.919	0.901	0.896	0.848	0.831	0.816	0.798	0.779
Normal	MSE	0.046	0.041	0.038	0.037	0.034	0.032	0.030	0.028
	R ²	0.919	0.899	0.877	0.847	0.838	0.818	0.805	0.794
Rayleigh	MSE	0.036	0.034	0.030	0.031	0.029	0.028	0.027	0.026
	R ²	0.931	0.913	0.908	0.866	0.855	0.839	0.822	0.804
Weibull	MSE	0.033	0.031	0.028	0.030	0.028	0.027	0.026	0.025
	R ²	0.952	0.938	0.928	0.891	0.881	0.863	0.847	0.832
Pi=0		0	0	1	3	5	8	11	14
Pi-Pj >1/N		14	15	10	17	18	19	19	24

附錄 C-5 第 3 季波浪資料之各種指標評估結果($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.051	0.053	0.051	0.054	0.049	0.047	0.045	0.043
	R^2	0.931	0.905	0.884	0.834	0.839	0.806	0.800	0.770
Normal	MSE	0.097	0.091	0.085	0.080	0.074	0.069	0.064	0.061
	R^2	0.795	0.754	0.723	0.689	0.682	0.650	0.645	0.616
Rayleigh	MSE	0.086	0.084	0.080	0.079	0.072	0.069	0.064	0.062
	R^2	0.784	0.746	0.720	0.674	0.683	0.649	0.643	0.612
Weibull	MSE	0.046	0.046	0.046	0.047	0.044	0.043	0.040	0.039
	R^2	0.945	0.926	0.906	0.870	0.870	0.837	0.835	0.805
Pi=0		8	8	8	11	13	14	16	22
Pi-Pj >1/N		11	13	12	14	17	22	22	29



附錄 C-6 第 3 季波浪資料之各種指標評估結果($H_s > 3.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.059	0.058	0.055	0.052	0.050	0.048	0.045	0.041
	R^2	0.936	0.918	0.902	0.879	0.856	0.839	0.829	0.833
Normal	MSE	0.130	0.118	0.106	0.096	0.088	0.082	0.076	0.069
	R^2	0.739	0.701	0.677	0.659	0.638	0.612	0.601	0.601
Rayleigh	MSE	0.107	0.105	0.097	0.090	0.084	0.079	0.073	0.068
	R^2	0.739	0.691	0.667	0.648	0.624	0.602	0.593	0.594
Weibull	MSE	0.058	0.057	0.053	0.050	0.048	0.047	0.044	0.040
	R^2	0.940	0.927	0.915	0.897	0.876	0.854	0.843	0.846
Pi=0		12	15	18	18	22	22	24	30
Pi-Pj >1/N		14	15	16	20	21	26	23	26

附錄 D-1 第 4 季波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5m$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.039	0.039	0.038	0.034	0.031	0.031	0.030	0.028
	R^2	0.939	0.912	0.883	0.876	0.862	0.841	0.820	0.815
Normal	MSE	0.042	0.041	0.037	0.034	0.032	0.030	0.029	0.027
	R^2	0.934	0.913	0.893	0.883	0.866	0.856	0.838	0.827
Rayleigh	MSE	0.034	0.034	0.032	0.030	0.028	0.028	0.027	0.025
	R^2	0.948	0.929	0.906	0.899	0.887	0.868	0.849	0.843
Weibull	MSE	0.031	0.032	0.031	0.029	0.027	0.027	0.026	0.024
	R^2	0.965	0.945	0.924	0.918	0.905	0.888	0.870	0.863
Pi=0		0	0	0	1	4	6	9	13
$ Pi-Pj > 1/N$		15	16	12	16	16	16	21	23



附錄 D-2 第 4 季波浪資料之各種指標評估結果($0.5m < H_s < 1.0m$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.040	0.038	0.037	0.034	0.032	0.032	0.029	0.030
	R^2	0.939	0.908	0.881	0.861	0.840	0.826	0.825	0.779
Normal	MSE	0.052	0.042	0.042	0.037	0.033	0.033	0.030	0.030
	R^2	0.903	0.901	0.856	0.847	0.848	0.819	0.817	0.777
Rayleigh	MSE	0.035	0.033	0.033	0.029	0.029	0.028	0.025	0.027
	R^2	0.946	0.926	0.899	0.889	0.874	0.854	0.855	0.810
Weibull	MSE	0.035	0.032	0.033	0.030	0.028	0.028	0.025	0.027
	R^2	0.956	0.941	0.910	0.898	0.889	0.869	0.867	0.823
Pi=0		0	0	0	2	2	4	7	10
$ Pi-Pj > 1/N$		10	13	17	13	14	20	16	22

附錄 D-3 第 4 季波浪資料之各種指標評估結果($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.033	0.034	0.030	0.031	0.028	0.028	0.026	0.025
	R^2	0.947	0.914	0.909	0.878	0.869	0.843	0.828	0.817
Normal	MSE	0.047	0.041	0.038	0.037	0.031	0.031	0.029	0.027
	R^2	0.911	0.892	0.873	0.839	0.847	0.817	0.808	0.797
Rayleigh	MSE	0.032	0.030	0.027	0.028	0.025	0.026	0.023	0.023
	R^2	0.949	0.928	0.922	0.889	0.887	0.860	0.851	0.837
Weibull	MSE	0.029	0.028	0.026	0.028	0.024	0.025	0.023	0.022
	R^2	0.962	0.942	0.934	0.901	0.904	0.877	0.866	0.854
Pi=0		0	0	0	0	1	3	3	3
Pi-Pj >1/N		9	5	6	8	8	16	12	15



附錄 D-4 第 4 季波浪資料之各種指標評估結果($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.036	0.040	0.034	0.033	0.031	0.030	0.028	0.029
	R^2	0.945	0.901	0.898	0.875	0.851	0.840	0.827	0.792
Normal	MSE	0.052	0.051	0.042	0.039	0.037	0.034	0.032	0.032
	R^2	0.898	0.851	0.850	0.836	0.808	0.803	0.784	0.754
Rayleigh	MSE	0.033	0.036	0.031	0.029	0.029	0.027	0.026	0.027
	R^2	0.948	0.911	0.906	0.891	0.863	0.856	0.844	0.812
Weibull	MSE	0.033	0.037	0.031	0.030	0.029	0.027	0.026	0.027
	R^2	0.954	0.915	0.914	0.897	0.872	0.865	0.852	0.818
Pi=0		0	0	1	1	4	7	10	12
Pi-Pj >1/N		10	17	14	13	18	15	15	18

附錄 D-5 第 4 季波浪資料之各種指標評估結果($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.037	0.031	0.033	0.035	0.030	0.029	0.029	0.029
	R^2	0.937	0.931	0.900	0.856	0.860	0.841	0.815	0.782
Normal	MSE	0.056	0.047	0.044	0.042	0.038	0.035	0.034	0.033
	R^2	0.870	0.870	0.842	0.804	0.794	0.780	0.759	0.733
Rayleigh	MSE	0.038	0.033	0.033	0.033	0.030	0.028	0.028	0.028
	R^2	0.930	0.926	0.897	0.859	0.859	0.843	0.816	0.788
Weibull	MSE	0.037	0.031	0.032	0.033	0.029	0.027	0.027	0.028
	R^2	0.940	0.941	0.912	0.874	0.874	0.859	0.834	0.805
Pi=0		0	0	0	2	3	5	7	12
Pi-Pj >1/N		8	9	11	16	10	14	18	23



附錄 D-6 第 4 季波浪資料之各種指標評估結果($H_s > 3.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.042	0.041	0.037	0.036	0.035	0.033	0.032	0.031
	R^2	0.913	0.877	0.863	0.824	0.801	0.778	0.758	0.729
Normal	MSE	0.052	0.047	0.041	0.039	0.038	0.035	0.032	0.032
	R^2	0.880	0.854	0.851	0.812	0.781	0.765	0.754	0.721
Rayleigh	MSE	0.039	0.038	0.034	0.034	0.032	0.031	0.029	0.029
	R^2	0.917	0.890	0.877	0.838	0.816	0.796	0.779	0.745
Weibull	MSE	0.037	0.036	0.032	0.032	0.032	0.030	0.028	0.028
	R^2	0.936	0.907	0.902	0.864	0.837	0.821	0.805	0.772
Pi=0		0	0	1	1	5	6	11	10
Pi-Pj >1/N		10	9	13	15	15	21	17	27

附錄二 2004 年 1 至 12 月組數與分佈函數分析結果

附錄 1-1 1 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.039	0.038	0.031	0.032	0.031	0.029	0.028	0.026
	R^2	0.931	0.910	0.908	0.875	0.859	0.845	0.827	0.823
Normal	MSE	0.049	0.045	0.038	0.036	0.034	0.032	0.031	0.028
	R^2	0.912	0.886	0.889	0.867	0.852	0.835	0.815	0.807
Rayleigh	MSE	0.036	0.033	0.030	0.029	0.028	0.027	0.026	0.024
	R^2	0.941	0.925	0.920	0.897	0.883	0.871	0.850	0.846
Weibull	MSE	0.035	0.034	0.028	0.028	0.028	0.026	0.026	0.024
	R^2	0.953	0.934	0.938	0.911	0.896	0.883	0.865	0.860
Pi=0		0	0	0	4	5	7	9	8
$ P_i - P_j > 1/N$		11	13	8	9	16	15	20	15



附錄 1-2 1 月波浪資料之各種指標評估結果($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.037	0.037	0.032	0.032	0.030	0.027	0.027	0.026
	R^2	0.930	0.903	0.901	0.878	0.856	0.851	0.834	0.817
Normal	MSE	0.049	0.044	0.039	0.038	0.034	0.031	0.031	0.028
	R^2	0.910	0.888	0.880	0.842	0.841	0.835	0.808	0.799
Rayleigh	MSE	0.031	0.031	0.028	0.028	0.026	0.024	0.024	0.023
	R^2	0.948	0.929	0.925	0.898	0.887	0.882	0.861	0.848
Weibull	MSE	0.030	0.031	0.027	0.028	0.026	0.024	0.024	0.023
	R^2	0.957	0.937	0.937	0.909	0.897	0.894	0.873	0.861
Pi=0		0	0	0	1	0	3	4	7
$ P_i - P_j > 1/N$		10	8	7	9	9	11	16	12

附錄 1-3 1 月波浪資料之各種指標評估結果(1.0m<Hs<1.5m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.035	0.036	0.033	0.032	0.031	0.028	0.029	0.027
	R ²	0.939	0.906	0.894	0.869	0.842	0.837	0.810	0.805
Normal	MSE	0.049	0.043	0.042	0.038	0.035	0.032	0.032	0.029
	R ²	0.893	0.879	0.844	0.828	0.816	0.797	0.771	0.776
Rayleigh	MSE	0.032	0.034	0.032	0.030	0.029	0.027	0.027	0.025
	R ²	0.942	0.914	0.893	0.875	0.856	0.849	0.818	0.818
Weibull	MSE	0.030	0.031	0.030	0.029	0.027	0.025	0.026	0.024
	R ²	0.955	0.934	0.914	0.896	0.877	0.868	0.840	0.841
Pi=0		0	0	0	2	2	3	8	9
Pi-Pj >1/N		8	6	9	12	11	14	17	14



附錄 1-4 1 月波浪資料之各種指標評估結果(1.5m<Hs<2.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.038	0.036	0.035	0.033	0.031	0.030	0.029	0.027
	R ²	0.924	0.905	0.887	0.862	0.846	0.821	0.802	0.794
Normal	MSE	0.054	0.049	0.046	0.043	0.038	0.035	0.033	0.031
	R ²	0.883	0.857	0.826	0.801	0.791	0.775	0.757	0.746
Rayleigh	MSE	0.034	0.033	0.033	0.031	0.029	0.028	0.027	0.025
	R ²	0.934	0.909	0.886	0.864	0.854	0.834	0.816	0.805
Weibull	MSE	0.035	0.033	0.033	0.032	0.029	0.028	0.027	0.025
	R ²	0.943	0.924	0.902	0.879	0.867	0.849	0.832	0.822
Pi=0		0	0	3	4	4	6	8	11
Pi-Pj >1/N		10	10	9	8	14	16	13	18

附錄 1-5 1 月波浪資料之各種指標評估結果($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.004	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	R^2	0.053	0.059	0.053	0.054	0.056	0.045	0.051	0.044
Normal	MSE	0.004	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002
	R^2	0.051	0.050	0.047	0.049	0.046	0.039	0.041	0.037
Rayleigh	MSE	0.003	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002
	R^2	0.056	0.060	0.055	0.056	0.055	0.045	0.050	0.045
Weibull	MSE	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	R^2	0.056	0.059	0.054	0.055	0.055	0.045	0.050	0.045
Pi=0		0	0	0	0	0	0	0	0
Pi-Pj >1/N		0	0	1	0	0	2	0	2



附錄 2-1 2 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.038	0.035	0.031	0.032	0.030	0.029	0.028	0.026
	R^2	0.943	0.925	0.914	0.888	0.871	0.852	0.831	0.825
Normal	MSE	0.045	0.043	0.039	0.035	0.034	0.031	0.029	0.028
	R^2	0.922	0.899	0.879	0.872	0.844	0.842	0.823	0.814
Rayleigh	MSE	0.031	0.030	0.028	0.027	0.027	0.025	0.025	0.024
	R^2	0.956	0.939	0.927	0.912	0.891	0.881	0.860	0.855
Weibull	MSE	0.030	0.029	0.027	0.027	0.026	0.025	0.024	0.023
	R^2	0.966	0.951	0.939	0.924	0.904	0.894	0.874	0.868
Pi=0		0	0	0	1	5	5	12	16
Pi-Pj >1/N		17	16	18	16	21	22	27	29

附錄 2-2 2 月波浪資料之各種指標評估結果(0.5m<Hs<1.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.039	0.035	0.037	0.032	0.032	0.030	0.028	0.028
	R ²	0.936	0.919	0.881	0.882	0.857	0.844	0.831	0.804
Normal	MSE	0.054	0.045	0.043	0.037	0.036	0.033	0.031	0.030
	R ²	0.887	0.880	0.849	0.848	0.822	0.809	0.799	0.777
Rayleigh	MSE	0.039	0.034	0.035	0.030	0.030	0.028	0.027	0.027
	R ²	0.927	0.922	0.888	0.889	0.863	0.851	0.839	0.815
Weibull	MSE	0.037	0.032	0.034	0.029	0.029	0.028	0.026	0.026
	R ²	0.942	0.934	0.900	0.902	0.878	0.867	0.856	0.831
Pi=0		0	0	2	2	5	7	15	17
Pi-Pj >1/N		23	17	24	15	21	22	26	27



附錄 2-3 2 月波浪資料之各種指標評估結果(1.0m<Hs<1.5m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.038	0.034	0.035	0.032	0.030	0.029	0.027	0.026
	R ²	0.931	0.924	0.883	0.866	0.854	0.838	0.828	0.806
Normal	MSE	0.053	0.045	0.042	0.038	0.037	0.034	0.031	0.030
	R ²	0.885	0.882	0.845	0.834	0.809	0.795	0.783	0.761
Rayleigh	MSE	0.037	0.032	0.033	0.031	0.029	0.028	0.026	0.026
	R ²	0.925	0.925	0.885	0.869	0.855	0.840	0.830	0.808
Weibull	MSE	0.033	0.029	0.030	0.029	0.028	0.026	0.024	0.024
	R ²	0.948	0.947	0.910	0.897	0.880	0.867	0.857	0.834
Pi=0		0	1	1	3	4	6	7	9
Pi-Pj >1/N		13	12	15	15	19	17	20	18

附錄 2-4 2 月波浪資料之各種指標評估結果(1.5m<Hs<2.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.012	0.011	0.010	0.010	0.010	0.009	0.008	0.008
	R ²	0.240	0.236	0.226	0.221	0.209	0.206	0.205	0.201
Normal	MSE	0.015	0.014	0.012	0.011	0.011	0.010	0.009	0.009
	R ²	0.232	0.223	0.218	0.216	0.204	0.201	0.199	0.195
Rayleigh	MSE	0.011	0.010	0.010	0.009	0.009	0.008	0.008	0.007
	R ²	0.241	0.238	0.229	0.226	0.214	0.211	0.209	0.207
Weibull	MSE	0.011	0.010	0.009	0.009	0.009	0.008	0.008	0.007
	R ²	0.246	0.241	0.235	0.231	0.219	0.217	0.215	0.212
Pi=0		0	0	0	0	1	2	2	2
Pi-Pj >1/N		7	2	5	4	7	8	4	10



附錄 2-5 2 月波浪資料之各種指標評估結果(2.0m<Hs<3.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	R ²	0.018	0.015	0.013	0.016	0.015	0.013	0.013	0.012
Normal	MSE	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	R ²	0.020	0.018	0.017	0.018	0.015	0.015	0.014	0.013
Rayleigh	MSE	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	R ²	0.020	0.017	0.015	0.018	0.016	0.015	0.014	0.014
Weibull	MSE	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	R ²	0.020	0.017	0.016	0.018	0.016	0.015	0.015	0.014
Pi=0		0	0	0	0	0	0	0	0
Pi-Pj >1/N		0	1	1	0	1	1	1	1

附錄 3-1 3 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5m$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	R^2	0.039	0.037	0.037	0.037	0.036	0.036	0.034	0.035
Normal	MSE	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	R^2	0.039	0.039	0.038	0.037	0.037	0.037	0.035	0.036
Rayleigh	MSE	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	R^2	0.039	0.038	0.037	0.036	0.036	0.036	0.034	0.035
Weibull	MSE	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	R^2	0.040	0.039	0.039	0.038	0.038	0.038	0.036	0.037
Pi=0		0	0	0	0	0	0	1	2
Pi-Pj >1/N		3	1	1	2	1	1	2	2



附錄 3-2 3 月波浪資料之各種指標評估結果($0.5m < H_s < 1.0m$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.037	0.035	0.032	0.030	0.030	0.029	0.028	0.027
	R^2	0.936	0.915	0.900	0.885	0.857	0.837	0.814	0.799
Normal	MSE	0.049	0.043	0.041	0.037	0.034	0.033	0.031	0.030
	R^2	0.903	0.886	0.858	0.847	0.830	0.810	0.790	0.774
Rayleigh	MSE	0.035	0.032	0.031	0.028	0.027	0.027	0.026	0.025
	R^2	0.937	0.923	0.905	0.894	0.872	0.852	0.830	0.815
Weibull	MSE	0.031	0.030	0.029	0.026	0.026	0.026	0.026	0.025
	R^2	0.957	0.940	0.923	0.914	0.891	0.873	0.851	0.836
Pi=0		0	0	2	3	6	14	22	29
Pi-Pj >1/N		31	24	24	24	38	44	53	51

附錄 3-3 3 月波浪資料之各種指標評估結果(1.0m<Hs<1.5m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.035	0.033	0.032	0.033	0.030	0.030	0.028	0.027
	R ²	0.941	0.922	0.898	0.870	0.858	0.830	0.819	0.800
Normal	MSE	0.051	0.045	0.041	0.038	0.035	0.034	0.031	0.030
	R ²	0.897	0.878	0.861	0.839	0.823	0.797	0.795	0.769
Rayleigh	MSE	0.035	0.032	0.031	0.030	0.028	0.028	0.026	0.026
	R ²	0.940	0.925	0.906	0.882	0.869	0.843	0.836	0.814
Weibull	MSE	0.033	0.031	0.030	0.029	0.027	0.028	0.025	0.025
	R ²	0.953	0.939	0.921	0.898	0.885	0.859	0.853	0.832
Pi=0		0	1	2	4	8	11	16	26
Pi-Pj >1/N		30	28	32	30	38	50	51	59



附錄 4-1 4 月波浪資料之各種指標評估結果(Hs<0.5m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.043	0.040	0.037	0.035	0.034	0.033	0.031	0.030
	R ²	0.921	0.895	0.873	0.849	0.827	0.803	0.782	0.763
Normal	MSE	0.043	0.042	0.037	0.035	0.033	0.031	0.030	0.028
	R ²	0.926	0.898	0.884	0.862	0.851	0.833	0.813	0.795
Rayleigh	MSE	0.035	0.033	0.031	0.030	0.029	0.028	0.027	0.026
	R ²	0.939	0.920	0.905	0.884	0.866	0.845	0.824	0.807
Weibull	MSE	0.032	0.032	0.030	0.029	0.027	0.027	0.026	0.026
	R ²	0.957	0.937	0.922	0.902	0.888	0.866	0.846	0.828
Pi=0		0	2	2	5	13	23	37	44
Pi-Pj >1/N		48	44	46	51	55	68	78	80

附錄 4-2 4 月波浪資料之各種指標評估結果($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.038	0.037	0.035	0.033	0.031	0.030	0.028	0.028
	R^2	0.933	0.905	0.880	0.863	0.846	0.821	0.807	0.786
Normal	MSE	0.047	0.044	0.040	0.037	0.034	0.032	0.030	0.029
	R^2	0.907	0.881	0.862	0.846	0.830	0.811	0.792	0.776
Rayleigh	MSE	0.033	0.033	0.031	0.030	0.028	0.027	0.026	0.025
	R^2	0.942	0.920	0.902	0.884	0.868	0.848	0.831	0.813
Weibull	MSE	0.031	0.032	0.030	0.028	0.027	0.026	0.025	0.025
	R^2	0.955	0.934	0.915	0.902	0.886	0.864	0.848	0.830
Pi=0		0	0	3	6	8	12	16	25
Pi-Pj >1/N		39	32	36	40	44	59	67	72



附錄 4-3 4 月波浪資料之各種指標評估結果($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.040	0.038	0.036	0.036	0.033	0.032	0.032	0.030
	R^2	0.925	0.904	0.877	0.846	0.826	0.803	0.774	0.767
Normal	MSE	0.052	0.047	0.043	0.040	0.037	0.035	0.034	0.031
	R^2	0.890	0.869	0.848	0.828	0.805	0.784	0.761	0.752
Rayleigh	MSE	0.038	0.036	0.034	0.033	0.032	0.030	0.030	0.028
	R^2	0.926	0.908	0.884	0.859	0.840	0.818	0.791	0.784
Weibull	MSE	0.036	0.034	0.033	0.032	0.031	0.029	0.029	0.027
	R^2	0.942	0.926	0.905	0.881	0.861	0.839	0.814	0.806
Pi=0		0	1	6	9	11	17	27	36
Pi-Pj >1/N		41	40	49	56	69	71	84	92

附錄 4-4 4 月波浪資料之各種指標評估結果(1.5m<Hs<2.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002
	R ²	0.052	0.049	0.047	0.046	0.043	0.045	0.042	0.040
Normal	MSE	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002
	R ²	0.053	0.048	0.048	0.047	0.043	0.046	0.044	0.040
Rayleigh	MSE	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002
	R ²	0.051	0.047	0.047	0.046	0.042	0.045	0.041	0.039
Weibull	MSE	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	R ²	0.054	0.051	0.050	0.049	0.045	0.049	0.045	0.042
Pi=0		0	0	1	2	2	2	2	2
Pi-Pj >1/N		4	4	3	2	4	4	7	7



附錄 5-1 5 月波浪資料之各種指標評估結果(Hs<0.5m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.038	0.032	0.033	0.031	0.029	0.029	0.028	0.026
	R ²	0.938	0.925	0.901	0.884	0.864	0.840	0.823	0.821
Normal	MSE	0.047	0.043	0.037	0.035	0.033	0.031	0.029	0.027
	R ²	0.912	0.890	0.883	0.868	0.845	0.826	0.820	0.805
Rayleigh	MSE	0.036	0.032	0.030	0.029	0.027	0.027	0.026	0.024
	R ²	0.941	0.928	0.917	0.901	0.882	0.859	0.845	0.839
Weibull	MSE	0.032	0.029	0.027	0.026	0.025	0.025	0.024	0.023
	R ²	0.962	0.949	0.936	0.923	0.905	0.883	0.871	0.864
Pi=0		0	1	2	3	5	4	4	11
Pi-Pj >1/N		15	9	15	14	18	22	21	21

附錄 5-2 5 月波浪資料之各種指標評估結果(0.5m<Hs<1.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.038	0.035	0.031	0.030	0.031	0.028	0.027	0.026
	R ²	0.937	0.918	0.906	0.888	0.856	0.846	0.835	0.815
Normal	MSE	0.050	0.042	0.038	0.035	0.034	0.031	0.029	0.028
	R ²	0.897	0.885	0.871	0.847	0.830	0.817	0.802	0.789
Rayleigh	MSE	0.034	0.032	0.029	0.027	0.028	0.026	0.024	0.024
	R ²	0.940	0.927	0.916	0.899	0.873	0.863	0.851	0.834
Weibull	MSE	0.033	0.029	0.027	0.025	0.027	0.025	0.024	0.023
	R ²	0.955	0.944	0.934	0.915	0.891	0.881	0.871	0.853
Pi=0		0	0	0	0	3	4	5	7
Pi-Pj >1/N		11	13	4	8	16	12	17	20



附錄 5-3 5 月波浪資料之各種指標評估結果(1.0m<Hs<1.5m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.042	0.042	0.042	0.036	0.034	0.032	0.032	0.029
	R ²	0.913	0.871	0.832	0.826	0.808	0.792	0.750	0.748
Normal	MSE	0.047	0.042	0.040	0.036	0.032	0.031	0.031	0.028
	R ²	0.904	0.885	0.850	0.839	0.834	0.809	0.771	0.778
Rayleigh	MSE	0.038	0.036	0.036	0.032	0.030	0.029	0.029	0.026
	R ²	0.924	0.895	0.864	0.855	0.843	0.823	0.779	0.782
Weibull	MSE	0.034	0.034	0.034	0.030	0.028	0.027	0.028	0.025
	R ²	0.945	0.918	0.886	0.880	0.869	0.850	0.807	0.812
Pi=0		0	0	3	4	7	7	11	15
Pi-Pj >1/N		13	14	15	14	18	17	23	20

附錄 5-4 5 月波浪資料之各種指標評估結果($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.009	0.008	0.008	0.007	0.007	0.006	0.007	0.005
	R^2	0.198	0.197	0.189	0.188	0.182	0.180	0.169	0.176
Normal	MSE	0.010	0.008	0.007	0.007	0.007	0.006	0.007	0.005
	R^2	0.196	0.194	0.190	0.184	0.182	0.184	0.169	0.177
Rayleigh	MSE	0.009	0.008	0.007	0.007	0.006	0.006	0.006	0.005
	R^2	0.196	0.195	0.187	0.186	0.182	0.180	0.168	0.175
Weibull	MSE	0.007	0.005	0.006	0.005	0.005	0.005	0.006	0.004
	R^2	0.206	0.206	0.201	0.198	0.194	0.194	0.181	0.190
Pi=0		0	0	0	0	1	2	3	4
Pi-Pj >1/N		3	3	1	2	3	3	5	5



附錄 6-1 6 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.040	0.038	0.034	0.033	0.032	0.030	0.027	0.027
	R^2	0.936	0.916	0.898	0.878	0.856	0.839	0.835	0.818
Normal	MSE	0.040	0.037	0.033	0.031	0.029	0.027	0.026	0.024
	R^2	0.937	0.919	0.909	0.895	0.882	0.870	0.861	0.847
Rayleigh	MSE	0.031	0.030	0.027	0.027	0.026	0.025	0.023	0.023
	R^2	0.955	0.937	0.924	0.910	0.895	0.882	0.875	0.858
Weibull	MSE	0.028	0.027	0.024	0.025	0.024	0.023	0.022	0.021
	R^2	0.969	0.955	0.945	0.930	0.915	0.901	0.896	0.880
Pi=0		0	0	0	1	3	6	6	8
Pi-Pj >1/N		12	11	7	9	10	14	11	15

附錄 6-2 6 月波浪資料之各種指標評估結果(0.5m<Hs<1.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.041	0.041	0.037	0.033	0.033	0.030	0.029	0.028
	R ²	0.916	0.888	0.868	0.860	0.826	0.813	0.801	0.782
Normal	MSE	0.048	0.043	0.038	0.035	0.033	0.031	0.029	0.028
	R ²	0.904	0.887	0.873	0.856	0.839	0.817	0.814	0.792
Rayleigh	MSE	0.033	0.034	0.030	0.028	0.027	0.026	0.025	0.025
	R ²	0.935	0.910	0.897	0.890	0.864	0.846	0.837	0.818
Weibull	MSE	0.033	0.032	0.030	0.027	0.027	0.026	0.025	0.024
	R ²	0.947	0.926	0.912	0.904	0.880	0.862	0.857	0.835
Pi=0		0	1	2	3	3	6	8	14
Pi-Pj >1/N		13	11	10	8	13	13	17	20



附錄 6-3 6 月波浪資料之各種指標評估結果(1.0m<Hs<1.5m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.038	0.034	0.037	0.035	0.032	0.030	0.029	0.028
	R ²	0.931	0.914	0.869	0.849	0.838	0.817	0.795	0.777
Normal	MSE	0.053	0.047	0.044	0.039	0.038	0.035	0.032	0.031
	R ²	0.879	0.859	0.825	0.815	0.789	0.766	0.760	0.739
Rayleigh	MSE	0.034	0.032	0.033	0.031	0.029	0.028	0.027	0.026
	R ²	0.933	0.917	0.881	0.866	0.852	0.828	0.813	0.793
Weibull	MSE	0.035	0.032	0.034	0.031	0.030	0.028	0.027	0.026
	R ²	0.943	0.929	0.893	0.877	0.862	0.840	0.826	0.806
Pi=0		0	0	1	2	4	4	5	10
Pi-Pj >1/N		11	7	16	13	12	14	15	16

附錄 6-4 6 月波浪資料之各種指標評估結果(1.5m<Hs<2.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.039	0.038	0.037	0.032	0.034	0.034	0.030	0.028
	R ²	0.928	0.911	0.881	0.869	0.826	0.791	0.801	0.785
Normal	MSE	0.050	0.046	0.040	0.037	0.035	0.035	0.031	0.029
	R ²	0.900	0.875	0.868	0.845	0.825	0.789	0.791	0.779
Rayleigh	MSE	0.040	0.038	0.036	0.031	0.033	0.032	0.029	0.027
	R ²	0.918	0.902	0.885	0.874	0.832	0.800	0.806	0.793
Weibull	MSE	0.037	0.035	0.033	0.029	0.030	0.031	0.027	0.026
	R ²	0.944	0.929	0.912	0.897	0.867	0.830	0.838	0.826
Pi=0		0	0	2	2	5	9	12	14
Pi-Pj >1/N		16	11	15	11	14	18	17	21



附錄 6-5 6 月波浪資料之各種指標評估結果(2.0m<Hs<3.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.040	0.039	0.037	0.034	0.033	0.032	0.031	0.030
	R ²	0.916	0.891	0.863	0.846	0.822	0.797	0.775	0.751
Normal	MSE	0.049	0.045	0.043	0.037	0.037	0.035	0.033	0.031
	R ²	0.898	0.871	0.838	0.830	0.793	0.777	0.752	0.744
Rayleigh	MSE	0.037	0.035	0.034	0.032	0.032	0.030	0.029	0.028
	R ²	0.925	0.901	0.873	0.859	0.829	0.806	0.782	0.764
Weibull	MSE	0.034	0.033	0.033	0.030	0.030	0.029	0.028	0.027
	R ²	0.943	0.922	0.894	0.882	0.851	0.831	0.806	0.792
Pi=0		0	0	0	2	5	5	7	11
Pi-Pj >1/N		8	9	11	13	16	17	17	17

附錄 7-1 7 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.043	0.040	0.038	0.036	0.034	0.031	0.030	0.029
	R^2	0.916	0.889	0.864	0.842	0.823	0.808	0.791	0.768
Normal	MSE	0.043	0.039	0.036	0.033	0.031	0.029	0.028	0.027
	R^2	0.923	0.907	0.888	0.873	0.859	0.844	0.831	0.811
Rayleigh	MSE	0.033	0.032	0.031	0.029	0.028	0.026	0.025	0.025
	R^2	0.939	0.922	0.902	0.885	0.869	0.855	0.841	0.819
Weibull	MSE	0.031	0.030	0.029	0.028	0.027	0.025	0.024	0.024
	R^2	0.956	0.939	0.921	0.904	0.890	0.875	0.861	0.839
Pi=0		0	2	6	12	30	42	65	93
Pi-Pj >1/N		130	117	120	130	160	164	181	204



附錄 7-2 7 月波浪資料之各種指標評估結果($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	R^2	0.063	0.062	0.060	0.060	0.059	0.057	0.057	0.056
Normal	MSE	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002
	R^2	0.061	0.059	0.057	0.057	0.056	0.054	0.054	0.053
Rayleigh	MSE	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	R^2	0.064	0.063	0.061	0.061	0.060	0.057	0.057	0.056
Weibull	MSE	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	R^2	0.065	0.064	0.062	0.062	0.061	0.059	0.060	0.058
Pi=0		1	1	1	1	1	2	4	6
Pi-Pj >1/N		5	6	5	2	8	12	9	10

附錄 7-3 7 月波浪資料之各種指標評估結果(1.0m<Hs<1.5m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
	R ²	0.012	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.010	0.010
Normal	MSE	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
	R ²	0.012	0.011	0.012	0.011	0.011	0.011	0.011	0.010
Rayleigh	MSE	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
	R ²	0.012	0.011	0.012	0.011	0.011	0.011	0.011	0.010
Weibull	MSE	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	R ²	0.013	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.011	0.011
Pi=0		0	0	0	0	0	2	3	2
Pi-Pj >1/N		2	4	2	3	2	3	3	5



附錄 7-4 7 月波浪資料之各種指標評估結果(1.5m<Hs<2.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	R ²	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004
Normal	MSE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	R ²	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Rayleigh	MSE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	R ²	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Weibull	MSE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	R ²	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Pi=0		0	0	0	0	0	0	1	2
Pi-Pj >1/N		2	2	1	2	1	1	1	1

附錄 7-5 7 月波浪資料之各種指標評估結果(2.0m<Hs<3.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	R ²	0.029	0.028	0.028	0.026	0.026	0.026	0.025	0.025
Normal	MSE	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
	R ²	0.023	0.022	0.021	0.020	0.020	0.019	0.019	0.018
Rayleigh	MSE	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
	R ²	0.022	0.020	0.020	0.018	0.018	0.017	0.017	0.017
Weibull	MSE	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
	R ²	0.030	0.029	0.029	0.028	0.027	0.027	0.026	0.026
Pi=0		4	4	4	5	5	5	8	9
Pi-Pj >1/N		2	6	4	6	5	7	8	8



附錄 7-6 7 月波浪資料之各種指標評估結果(Hs>3.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	R ²	0.012	0.012	0.012	0.012	0.011	0.011	0.010	0.011
Normal	MSE	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000
	R ²	0.012	0.012	0.011	0.011	0.011	0.010	0.010	0.011
Rayleigh	MSE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	R ²	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.011	0.010	0.012
Weibull	MSE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	R ²	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.011	0.011	0.012
Pi=0		0	0	0	0	0	0	2	2
Pi-Pj >1/N		2	1	2	1	1	4	3	2

附錄 8-1 8 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.047	0.046	0.040	0.039	0.036	0.035	0.032	0.031
	R^2	0.891	0.848	0.836	0.798	0.778	0.754	0.742	0.721
Normal	MSE	0.045	0.040	0.036	0.035	0.032	0.031	0.028	0.028
	R^2	0.915	0.890	0.879	0.850	0.835	0.819	0.810	0.785
Rayleigh	MSE	0.035	0.034	0.031	0.031	0.029	0.029	0.026	0.026
	R^2	0.931	0.903	0.893	0.862	0.845	0.824	0.815	0.794
Weibull	MSE	0.034	0.034	0.030	0.031	0.029	0.028	0.026	0.026
	R^2	0.943	0.914	0.908	0.876	0.859	0.839	0.830	0.808
Pi=0		0	0	0	1	4	6	8	11
$ Pi-Pj > 1/N$		19	17	15	17	16	19	19	29



附錄 8-2 8 月波浪資料之各種指標評估結果($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.039	0.035	0.034	0.032	0.031	0.029	0.028	0.028
	R^2	0.935	0.920	0.901	0.876	0.861	0.850	0.829	0.804
Normal	MSE	0.052	0.046	0.041	0.038	0.035	0.033	0.031	0.030
	R^2	0.902	0.884	0.868	0.849	0.835	0.820	0.805	0.785
Rayleigh	MSE	0.034	0.031	0.030	0.029	0.028	0.026	0.025	0.025
	R^2	0.945	0.931	0.913	0.896	0.882	0.871	0.854	0.830
Weibull	MSE	0.034	0.031	0.029	0.029	0.028	0.026	0.025	0.025
	R^2	0.954	0.944	0.929	0.907	0.895	0.884	0.867	0.842
Pi=0		0	2	3	5	7	10	17	20
$ Pi-Pj > 1/N$		17	15	17	13	21	22	20	36

附錄 8-3 8 月波浪資料之各種指標評估結果(1.0m<Hs<1.5m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.038	0.039	0.039	0.036	0.034	0.034	0.032	0.030
	R ²	0.937	0.915	0.882	0.870	0.852	0.827	0.813	0.807
Normal	MSE	0.058	0.052	0.050	0.045	0.043	0.042	0.038	0.036
	R ²	0.894	0.874	0.845	0.833	0.816	0.783	0.787	0.773
Rayleigh	MSE	0.040	0.040	0.041	0.038	0.037	0.037	0.035	0.033
	R ²	0.930	0.903	0.871	0.860	0.842	0.812	0.806	0.796
Weibull	MSE	0.031	0.031	0.033	0.030	0.029	0.030	0.028	0.026
	R ²	0.958	0.944	0.917	0.911	0.896	0.867	0.863	0.854
Pi=0		2	3	5	5	6	6	11	17
Pi-Pj >1/N		10	12	13	11	16	18	20	22



附錄 8-4 8 月波浪資料之各種指標評估結果(1.5m<Hs<2.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.040	0.037	0.034	0.034	0.033	0.031	0.030	0.029
	R ²	0.927	0.907	0.895	0.852	0.835	0.820	0.799	0.779
Normal	MSE	0.052	0.045	0.043	0.040	0.037	0.035	0.033	0.031
	R ²	0.903	0.890	0.857	0.833	0.825	0.800	0.786	0.775
Rayleigh	MSE	0.037	0.035	0.033	0.033	0.030	0.029	0.028	0.027
	R ²	0.931	0.912	0.899	0.862	0.850	0.834	0.815	0.796
Weibull	MSE	0.034	0.031	0.031	0.031	0.029	0.028	0.027	0.026
	R ²	0.952	0.940	0.921	0.889	0.878	0.860	0.842	0.825
Pi=0		2	2	3	5	7	11	13	15
Pi-Pj >1/N		16	17	14	19	24	23	25	31

附錄 8-5 8 月波浪資料之各種指標評估結果(2.0m<Hs<3.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.046	0.046	0.043	0.043	0.039	0.038	0.037	0.036
	R ²	0.930	0.902	0.886	0.844	0.841	0.811	0.802	0.773
Normal	MSE	0.081	0.072	0.067	0.062	0.057	0.054	0.050	0.048
	R ²	0.821	0.797	0.769	0.739	0.730	0.699	0.691	0.664
Rayleigh	MSE	0.065	0.062	0.058	0.056	0.051	0.049	0.046	0.045
	R ²	0.847	0.818	0.796	0.758	0.758	0.726	0.717	0.689
Weibull	MSE	0.044	0.041	0.040	0.040	0.037	0.036	0.034	0.034
	R ²	0.938	0.922	0.902	0.870	0.865	0.834	0.828	0.800
Pi=0		6	9	9	11	16	17	16	22
Pi-Pj >1/N		14	18	17	20	24	26	28	37



附錄 8-6 8 月波浪資料之各種指標評估結果(Hs>3.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.022	0.021	0.018	0.018	0.018	0.017	0.016	0.014
	R ²	0.456	0.445	0.441	0.425	0.410	0.401	0.400	0.397
Normal	MSE	0.040	0.035	0.030	0.027	0.026	0.024	0.022	0.021
	R ²	0.394	0.384	0.380	0.369	0.356	0.341	0.339	0.333
Rayleigh	MSE	0.028	0.027	0.022	0.022	0.021	0.020	0.018	0.017
	R ²	0.420	0.408	0.409	0.395	0.379	0.368	0.366	0.360
Weibull	MSE	0.023	0.022	0.019	0.018	0.018	0.018	0.016	0.015
	R ²	0.455	0.447	0.444	0.430	0.416	0.404	0.402	0.398
Pi=0		1	4	7	7	11	11	11	17
Pi-Pj >1/N		11	12	11	14	14	15	14	15

附錄 9-1 9 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.043	0.038	0.035	0.032	0.033	0.031	0.030	0.027
	R^2	0.918	0.907	0.889	0.879	0.836	0.821	0.802	0.805
Normal	MSE	0.049	0.041	0.039	0.035	0.034	0.032	0.031	0.027
	R^2	0.913	0.899	0.879	0.870	0.842	0.832	0.808	0.818
Rayleigh	MSE	0.037	0.033	0.031	0.028	0.029	0.028	0.027	0.024
	R^2	0.937	0.927	0.912	0.907	0.870	0.858	0.835	0.843
Weibull	MSE	0.036	0.031	0.029	0.027	0.028	0.027	0.026	0.023
	R^2	0.948	0.941	0.925	0.919	0.883	0.872	0.850	0.858
Pi=0		0	3	2	3	6	11	13	16
$ P_i - P_j > 1/N$		16	11	13	14	17	21	19	19



附錄 9-2 9 月波浪資料之各種指標評估結果($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.048	0.045	0.043	0.037	0.037	0.035	0.033	0.032
	R^2	0.848	0.808	0.762	0.760	0.725	0.692	0.677	0.652
Normal	MSE	0.050	0.047	0.043	0.037	0.036	0.034	0.033	0.031
	R^2	0.862	0.817	0.787	0.788	0.751	0.719	0.692	0.679
Rayleigh	MSE	0.036	0.036	0.036	0.030	0.031	0.029	0.029	0.028
	R^2	0.891	0.850	0.810	0.812	0.776	0.746	0.722	0.704
Weibull	MSE	0.039	0.037	0.036	0.031	0.031	0.030	0.029	0.028
	R^2	0.903	0.867	0.830	0.832	0.796	0.763	0.743	0.724
Pi=0		0	0	0	1	3	5	8	9
$ P_i - P_j > 1/N$		8	6	10	5	14	12	17	17

附錄 9-3 9 月波浪資料之各種指標評估結果(1.0m<Hs<1.5m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.049	0.046	0.041	0.039	0.038	0.038	0.034	0.033
	R ²	0.859	0.825	0.798	0.770	0.732	0.688	0.687	0.659
Normal	MSE	0.046	0.044	0.040	0.039	0.036	0.035	0.033	0.031
	R ²	0.890	0.856	0.829	0.795	0.766	0.736	0.713	0.704
Rayleigh	MSE	0.041	0.040	0.037	0.035	0.034	0.034	0.031	0.030
	R ²	0.884	0.856	0.825	0.794	0.760	0.721	0.711	0.689
Weibull	MSE	0.037	0.037	0.034	0.033	0.032	0.033	0.030	0.029
	R ²	0.918	0.889	0.863	0.834	0.798	0.762	0.748	0.731
Pi=0		0	0	1	4	4	5	3	7
Pi-Pj >1/N		10	9	8	10	16	20	18	21



附錄 9-4 9 月波浪資料之各種指標評估結果(1.5m<Hs<2.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.040	0.037	0.038	0.034	0.033	0.033	0.031	0.030
	R ²	0.915	0.900	0.863	0.850	0.832	0.790	0.773	0.750
Normal	MSE	0.052	0.048	0.046	0.040	0.040	0.036	0.034	0.034
	R ²	0.902	0.873	0.845	0.836	0.807	0.785	0.770	0.740
Rayleigh	MSE	0.040	0.039	0.039	0.035	0.033	0.033	0.032	0.031
	R ²	0.914	0.892	0.857	0.850	0.832	0.794	0.775	0.748
Weibull	MSE	0.034	0.033	0.034	0.030	0.030	0.029	0.028	0.028
	R ²	0.948	0.930	0.901	0.892	0.873	0.841	0.823	0.796
Pi=0		1	1	2	2	4	5	7	9
Pi-Pj >1/N		11	10	10	11	13	20	23	24

附錄 9-5 9 月波浪資料之各種指標評估結果(2.0m<Hs<3.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.053	0.044	0.043	0.041	0.039	0.036	0.034	0.033
	R ²	0.877	0.863	0.830	0.797	0.764	0.762	0.747	0.716
Normal	MSE	0.068	0.059	0.054	0.049	0.047	0.042	0.040	0.038
	R ²	0.839	0.819	0.790	0.774	0.738	0.731	0.712	0.683
Rayleigh	MSE	0.052	0.046	0.044	0.042	0.041	0.037	0.035	0.034
	R ²	0.873	0.856	0.830	0.800	0.760	0.756	0.741	0.712
Weibull	MSE	0.047	0.040	0.038	0.036	0.037	0.033	0.032	0.031
	R ²	0.903	0.895	0.868	0.845	0.807	0.804	0.788	0.756
Pi=0		3	3	4	6	6	7	7	11
Pi-Pj >1/N		14	9	14	13	19	16	19	21



附錄 9-6 9 月波浪資料之各種指標評估結果(Hs>3.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.033	0.033	0.033	0.031	0.029	0.027	0.025	0.024
	R ²	0.305	0.299	0.294	0.291	0.288	0.287	0.286	0.284
Normal	MSE	0.089	0.082	0.076	0.068	0.062	0.056	0.052	0.048
	R ²	0.165	0.139	0.122	0.116	0.112	0.109	0.107	0.105
Rayleigh	MSE	0.082	0.081	0.078	0.071	0.065	0.060	0.055	0.052
	R ²	0.121	0.082	0.062	0.057	0.053	0.052	0.052	0.050
Weibull	MSE	0.032	0.032	0.031	0.029	0.027	0.025	0.024	0.022
	R ²	0.308	0.304	0.301	0.298	0.296	0.295	0.292	0.290
Pi=0		11	11	11	11	11	11	11	11
Pi-Pj >1/N		1	2	3	5	6	7	6	9

附錄 10-1 10 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	R^2	0.016	0.015	0.013	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012
Normal	MSE	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
	R^2	0.018	0.018	0.018	0.017	0.017	0.017	0.017	0.018
Rayleigh	MSE	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000
	R^2	0.018	0.018	0.016	0.017	0.016	0.016	0.015	0.016
Weibull	MSE	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	R^2	0.018	0.017	0.016	0.016	0.016	0.015	0.015	0.016
Pi=0		0	0	0	0	0	1	1	1
Pi-Pj >1/N		1	0	0	1	1	1	1	0



附錄 10-2 10 月波浪資料之各種指標評估結果($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.040	0.037	0.037	0.034	0.032	0.031	0.028	0.029
	R^2	0.931	0.909	0.880	0.861	0.839	0.825	0.819	0.785
Normal	MSE	0.050	0.042	0.041	0.036	0.034	0.032	0.029	0.029
	R^2	0.907	0.898	0.865	0.856	0.839	0.821	0.819	0.786
Rayleigh	MSE	0.036	0.033	0.033	0.030	0.029	0.028	0.026	0.026
	R^2	0.940	0.925	0.897	0.886	0.865	0.849	0.847	0.812
Weibull	MSE	0.034	0.031	0.032	0.029	0.028	0.027	0.025	0.026
	R^2	0.953	0.941	0.912	0.902	0.882	0.869	0.864	0.830
Pi=0		0	0	0	2	5	9	12	19
Pi-Pj >1/N		19	19	27	21	23	28	24	31

附錄 10-3 10 月波浪資料之各種指標評估結果(1.0m<Hs<1.5m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.035	0.036	0.031	0.031	0.029	0.029	0.027	0.026
	R ²	0.946	0.909	0.906	0.880	0.864	0.843	0.828	0.811
Normal	MSE	0.045	0.040	0.037	0.035	0.032	0.031	0.029	0.027
	R ²	0.916	0.898	0.880	0.855	0.851	0.827	0.813	0.803
Rayleigh	MSE	0.034	0.031	0.028	0.028	0.026	0.027	0.025	0.024
	R ²	0.946	0.925	0.920	0.893	0.883	0.860	0.847	0.833
Weibull	MSE	0.029	0.029	0.026	0.027	0.025	0.025	0.024	0.023
	R ²	0.965	0.942	0.936	0.912	0.903	0.882	0.868	0.855
Pi=0		0	0	0	2	5	6	9	9
Pi-Pj >1/N		19	14	13	18	21	27	24	27



附錄 10-4 10 月波浪資料之各種指標評估結果(1.5m<Hs<2.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.036	0.038	0.033	0.032	0.031	0.029	0.028	0.029
	R ²	0.943	0.907	0.905	0.878	0.855	0.844	0.825	0.792
Normal	MSE	0.052	0.050	0.043	0.040	0.038	0.035	0.033	0.032
	R ²	0.893	0.857	0.849	0.824	0.802	0.796	0.775	0.745
Rayleigh	MSE	0.034	0.035	0.031	0.030	0.030	0.027	0.026	0.027
	R ²	0.941	0.913	0.906	0.884	0.859	0.854	0.836	0.805
Weibull	MSE	0.034	0.036	0.030	0.030	0.029	0.027	0.026	0.027
	R ²	0.952	0.922	0.919	0.894	0.872	0.865	0.848	0.815
Pi=0		0	0	1	2	5	8	13	16
Pi-Pj >1/N		16	20	21	20	26	23	22	29

附錄 10-5 10 月波浪資料之各種指標評估結果($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.040	0.035	0.035	0.035	0.032	0.031	0.030	0.030
	R^2	0.925	0.913	0.882	0.853	0.844	0.820	0.800	0.770
Normal	MSE	0.052	0.044	0.041	0.038	0.036	0.034	0.032	0.031
	R^2	0.887	0.884	0.859	0.834	0.817	0.795	0.776	0.756
Rayleigh	MSE	0.038	0.034	0.033	0.032	0.030	0.029	0.028	0.028
	R^2	0.926	0.918	0.893	0.868	0.856	0.834	0.811	0.786
Weibull	MSE	0.036	0.030	0.031	0.030	0.028	0.028	0.027	0.027
	R^2	0.943	0.940	0.914	0.889	0.878	0.856	0.836	0.811
Pi=0		0	0	1	5	6	10	15	21
Pi-Pj >1/N		16	16	17	21	18	24	31	31



附錄 10-6 10 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s > 3.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.042	0.040	0.037	0.037	0.035	0.033	0.031	0.030
	R^2	0.919	0.887	0.868	0.835	0.813	0.793	0.774	0.746
Normal	MSE	0.049	0.046	0.040	0.038	0.037	0.034	0.032	0.031
	R^2	0.893	0.864	0.861	0.832	0.796	0.784	0.766	0.742
Rayleigh	MSE	0.038	0.036	0.033	0.032	0.032	0.030	0.029	0.028
	R^2	0.923	0.900	0.889	0.857	0.829	0.811	0.793	0.765
Weibull	MSE	0.035	0.035	0.031	0.031	0.031	0.029	0.028	0.028
	R^2	0.944	0.917	0.909	0.880	0.850	0.836	0.819	0.791
Pi=0		0	0	2	4	11	14	19	20
Pi-Pj >1/N		15	13	16	24	25	32	29	41

附錄 11-1 11 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s < 0.5m$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.038	0.038	0.037	0.033	0.030	0.030	0.029	0.027
	R^2	0.941	0.914	0.888	0.881	0.867	0.846	0.825	0.819
Normal	MSE	0.043	0.041	0.038	0.034	0.032	0.030	0.029	0.027
	R^2	0.932	0.911	0.890	0.880	0.863	0.854	0.836	0.823
Rayleigh	MSE	0.035	0.034	0.032	0.030	0.028	0.028	0.027	0.025
	R^2	0.946	0.927	0.907	0.899	0.887	0.868	0.849	0.842
Weibull	MSE	0.031	0.032	0.030	0.028	0.026	0.026	0.026	0.024
	R^2	0.964	0.945	0.926	0.919	0.906	0.890	0.871	0.863
Pi=0		0	0	0	1	4	5	8	12
Pi-Pj >1/N		14	16	12	15	15	15	20	23



附錄 11-2 11 月波浪資料之各種指標評估結果($0.5m < H_s < 1.0m$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.040	0.041	0.035	0.032	0.032	0.031	0.029	0.028
	R^2	0.940	0.911	0.908	0.890	0.869	0.850	0.835	0.823
Normal	MSE	0.065	0.062	0.051	0.048	0.044	0.041	0.038	0.037
	R^2	0.860	0.824	0.828	0.797	0.788	0.771	0.755	0.730
Rayleigh	MSE	0.045	0.047	0.038	0.036	0.034	0.033	0.031	0.030
	R^2	0.907	0.873	0.877	0.855	0.845	0.826	0.811	0.790
Weibull	MSE	0.037	0.040	0.033	0.032	0.031	0.030	0.028	0.027
	R^2	0.953	0.924	0.927	0.903	0.887	0.871	0.855	0.838
Pi=0		1	1	2	2	1	5	9	12
Pi-Pj >1/N		14	19	11	19	16	17	19	24

附錄 11-3 11 月波浪資料之各種指標評估結果(1.0m<Hs<1.5m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.036	0.038	0.034	0.034	0.032	0.029	0.030	0.027
	R ²	0.927	0.890	0.881	0.841	0.827	0.816	0.776	0.779
Normal	MSE	0.050	0.042	0.040	0.036	0.034	0.033	0.031	0.028
	R ²	0.892	0.883	0.855	0.843	0.823	0.790	0.776	0.774
Rayleigh	MSE	0.034	0.033	0.032	0.030	0.029	0.027	0.027	0.025
	R ²	0.929	0.904	0.888	0.863	0.846	0.828	0.797	0.801
Weibull	MSE	0.030	0.030	0.029	0.028	0.027	0.026	0.026	0.024
	R ²	0.950	0.928	0.915	0.891	0.875	0.856	0.826	0.828
Pi=0		0	0	0	0	1	1	2	6
Pi-Pj >1/N		6	11	8	9	10	13	17	19



附錄 11-4 11 月波浪資料之各種指標評估結果(1.5m<Hs<2.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.033	0.031	0.032	0.029	0.028	0.027	0.026	0.025
	R ²	0.947	0.924	0.899	0.890	0.865	0.852	0.827	0.822
Normal	MSE	0.053	0.047	0.042	0.037	0.036	0.033	0.031	0.029
	R ²	0.888	0.865	0.848	0.844	0.811	0.803	0.784	0.776
Rayleigh	MSE	0.031	0.030	0.030	0.026	0.026	0.025	0.025	0.023
	R ²	0.949	0.929	0.907	0.903	0.878	0.867	0.842	0.836
Weibull	MSE	0.031	0.030	0.029	0.026	0.027	0.025	0.024	0.023
	R ²	0.956	0.938	0.918	0.914	0.888	0.878	0.855	0.850
Pi=0		0	0	1	2	2	3	7	8
Pi-Pj >1/N		10	9	7	9	12	10	15	13

附錄 12-2 12 月波浪資料之各種指標評估結果(0.5m<Hs<1.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.035	0.033	0.030	0.033	0.029	0.028	0.027	0.026
	R ²	0.944	0.927	0.911	0.872	0.863	0.852	0.832	0.818
Normal	MSE	0.045	0.042	0.036	0.036	0.034	0.031	0.029	0.028
	R ²	0.916	0.888	0.889	0.853	0.834	0.827	0.813	0.794
Rayleigh	MSE	0.030	0.030	0.028	0.029	0.027	0.025	0.024	0.023
	R ²	0.955	0.938	0.925	0.895	0.883	0.873	0.855	0.841
Weibull	MSE	0.029	0.028	0.026	0.029	0.026	0.025	0.024	0.023
	R ²	0.964	0.948	0.941	0.905	0.893	0.886	0.868	0.853
Pi=0		0	0	0	1	1	4	7	7
Pi-Pj >1/N		8	13	6	10	15	13	14	14



附錄 12-3 12 月波浪資料之各種指標評估結果(1.0m<Hs<1.5m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.037	0.032	0.035	0.030	0.030	0.029	0.027	0.027
	R ²	0.937	0.922	0.889	0.890	0.859	0.841	0.834	0.807
Normal	MSE	0.053	0.048	0.043	0.038	0.038	0.034	0.031	0.031
	R ²	0.889	0.868	0.851	0.842	0.808	0.797	0.793	0.760
Rayleigh	MSE	0.036	0.031	0.033	0.028	0.029	0.028	0.026	0.026
	R ²	0.936	0.926	0.898	0.897	0.866	0.851	0.846	0.818
Weibull	MSE	0.034	0.031	0.032	0.027	0.029	0.027	0.025	0.025
	R ²	0.948	0.935	0.912	0.911	0.878	0.864	0.860	0.829
Pi=0		0	0	1	1	4	5	9	11
Pi-Pj >1/N		14	14	13	9	16	13	14	20

附錄 12-4 12 月波浪資料之各種指標評估結果(1.5m<Hs<2.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.039	0.033	0.033	0.031	0.031	0.028	0.027	0.026
	R ²	0.925	0.918	0.894	0.871	0.847	0.841	0.821	0.810
Normal	MSE	0.053	0.047	0.042	0.039	0.038	0.035	0.032	0.031
	R ²	0.882	0.862	0.847	0.823	0.797	0.784	0.773	0.756
Rayleigh	MSE	0.037	0.032	0.032	0.030	0.030	0.028	0.026	0.025
	R ²	0.925	0.918	0.899	0.874	0.848	0.840	0.826	0.813
Weibull	MSE	0.036	0.031	0.031	0.030	0.030	0.027	0.026	0.025
	R ²	0.939	0.930	0.913	0.891	0.866	0.858	0.843	0.830
Pi=0		0	0	0	2	3	6	8	12
Pi-Pj >1/N		13	5	13	9	16	11	14	17



附錄 12-5 12 月波浪資料之各種指標評估結果(2.0m<Hs<3.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.042	0.039	0.038	0.034	0.035	0.033	0.030	0.030
	R ²	0.923	0.898	0.872	0.858	0.822	0.801	0.802	0.767
Normal	MSE	0.054	0.049	0.045	0.040	0.039	0.037	0.034	0.032
	R ²	0.880	0.854	0.832	0.824	0.797	0.766	0.762	0.740
Rayleigh	MSE	0.041	0.036	0.035	0.032	0.033	0.032	0.029	0.028
	R ²	0.918	0.900	0.880	0.865	0.834	0.809	0.809	0.777
Weibull	MSE	0.038	0.035	0.034	0.031	0.032	0.031	0.028	0.028
	R ²	0.938	0.917	0.896	0.886	0.855	0.830	0.830	0.801
Pi=0		0	0	1	1	5	6	7	15
Pi-Pj >1/N		20	15	14	20	26	21	22	28

附錄 12-6 12 月波浪資料之各種指標評估結果($H_s > 3.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	R^2	0.024	0.019	0.021	0.018	0.016	0.017	0.017	0.016
Normal	MSE	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	R^2	0.025	0.025	0.025	0.020	0.021	0.022	0.022	0.023
Rayleigh	MSE	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	R^2	0.025	0.022	0.024	0.021	0.019	0.020	0.021	0.020
Weibull	MSE	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	R^2	0.026	0.023	0.025	0.021	0.020	0.021	0.021	0.021
$P_i=0$		0	0	0	0	0	0	0	0
$ P_i - P_j > 1/N$		0	0	0	0	1	0	0	0

