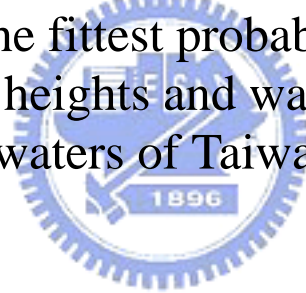


國立交通大學土木工程研究所
Institute of Civil Engineering National Chiao Tung University

碩士論文

台灣海域短期波高與週期的最適機率
分佈之研究

Investigation on the fittest probability distribution of
short-term wave heights and wave periods around
waters of Taiwan



指導教授：張憲國博士

研究生：賴佳裕

中華民國九十七年七月

台灣海域短期波高與週期的最適機率分佈之研究

研究生：賴佳裕

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

本研究使用港灣技術研究中心所提供之 2006 年台北、安平港及 2004 年花蓮港之波浪資料，分別利用統計公式方法與參數推估平滑方法來探討短期波高與週期之統計特性。在波高方面分別以 Gamma、Weibull、Modified Weibull、Rayleigh 與 Log-Normal 分布等五種機率分布函數；週期方面則以 Gamma、Erlang、Rayleigh 與 Normal 等四種機率分布函數，利用上述兩種方式，根據均方根誤差(RMSE)及判定係數(R^2)，判斷何種分布模式與實際波高、週期分布較為吻合。

根據分析結果，對於台北、安平港與花蓮港的短期波高最適分布在探討的五種分布函數中尤以 Weibull 分布為最佳。而同樣地 Weibull 分布也被調查出為示性波高之最佳分布函數。在週期分析方面，Normal 分布對於描述短期週期分布與台北、安平港之示性週期分布是最佳的，而花蓮港則是以 Erlang 分布最合適。本文進一步探討波高與週期最適分布之參數估計並以公式表示，此獲得之公式可快速且正確地計算任何月份之波浪統計值，可用來做為波浪統計以海岸工程上的應用參考。

Investigation on the fittest probability distribution of short-term wave heights and wave periods around waters of Taiwan

Author : Chia-Wu Lai

Advisor : Dr. Hsien-Kuo Chang

Institute of Civil Engineering National Chiao Tung University

ABSTRACT

Wave data, observed by institute of harbor and marine technology, for 2004 to 2006 at offshore of An-ping, Taipei and Hua-lien harbors are collected to be fitted possible probability density functions for wave heights and wave periods. Both kernel smoothing density function and Gamma, Weibull, Modified Weibull, Rayleigh and Log-Normal distributions are chosen to fit the distribution of wave heights. For wave periods, Gamma, Erlang, Rayleigh, and Normal distributions are chosen to examine. The criteria for fitness are set by root mean square error and determination of correlation.

For short-term wave heights the fittest density function is Weibull distribution among five functions at three locations. Weibull distribution is also examined to be the fittest density function for significant wave heights. Normal distribution is best one for describing the distribution of short-term wave periods and significant wave periods at An-ping and Taipei waters. However, Erlang distribution is suitable for wave periods at Hua-lien. Estimated parameters in the fittest distribution for wave heights and periods are investigated and expressed for a formula. The obtained formula for these parameters can be used to fast and accurately compute wave statistics in any month for interested waters. The obtained result is applicable for engineering use.

誌謝

研究所兩年的時光就這麼匆匆的結束了，回想起當初通知錄取交大時，我真的是連睡覺都是笑著的。從充滿豐富夜生活的台中來到新竹這一個晚上十點過後就無人煙的環境時，一開始很難去適應，不過在熟悉了學長跟同學之後，我的生活才又彩色了起來。

這篇論文得以順利完成，必須感謝恩師 張憲國老師的悉心指導，幫助學生解決學習中所遭遇到的困惑，並讓學生瞭解做研究所應抱有的態度與方法，「發現問題，解決問題」這句話學生絕對會謹記在心。對於在論文初審時不吝給予批評指導的郭一羽教授、吳永照教授與何良勝科長，在此也同樣致上最誠摯的謝意。

另外還要感謝研究室中的勁成學長和蔚瑋學長，海工台南之夜真的讓我永難忘懷，已經畢業的立青學長，感謝學長在畢業後還時時刻刻關心著我們的進度，謝謝學長們指導我許多做研究的技巧，並且在我論文有疑惑時，給予適時的幫助，學弟我真的由衷地感激。

感謝時時刻刻幫我注意日本愛情文藝動作片最新動態的弘偉及曾經演出「飛機上有蛇」一片重要主角的阿光，還有號稱「抓神」的明璋、引導我進入 AOE 世界和指導我抓謎片技巧的景鉅，可惜我找不到傳人了辜負了你的期望，還有疑似「nike」的彥廷大大，指導我許多有關電腦的知識，還有我的同學振傑、永欣跟隔壁郭老師的學生彥德和伯賢，謝謝你們的幫忙，祝我們一起當兵順利，還有學弟小嘉、力豪、賣我便宜 ram 的幸譽和盟主關東祖，祝你們論文順利。謝謝你們大家，這些點點滴滴我一定不會忘記。

感謝我的家人做為我強力的後盾，使我能無後顧之憂地完成自己的理想，感謝女友在我寫論文的這段時間，忍受我莫名其妙的脾氣。真的，感謝老天能讓我遇到這個充滿歡樂的工作團隊，感謝各個幫助過我的人，感謝大家！

目 錄

中文摘要.....	i
ABSTRACT.....	ii
誌謝.....	iii
目 錄.....	iv
圖目錄.....	vi
表目錄.....	xi
第一章 緒論.....	1
1-1 研究動機與目的.....	1
1-2 文獻回顧.....	2
1-3 文章架構.....	4
第二章 波浪資料分析與分布函數.....	5
2-1 資料來源與處理.....	5
2-2 相關波高機率密度函數.....	7
2-3 平滑方法(Kernel Smoothing Method).....	12
第三章 波高特性分析結果.....	15
3-1 Modified Weibull 分布之波高統計代表值推導.....	15
3-2 Gamma 與 Normal 分布系列之統計代表值推導.....	18
3-3 波高最適分布.....	20
3-3-1 以統計公式之評估結果.....	20
3-3-2 以 Ksdensity 方法之評估結果.....	31
3-4 示性波高之最適機率分布.....	32

3-4-1	以統計公式之評估結果.....	32
3-4-2	以 Ksdensity 方法之評估結果.....	43
3-5	波高超量機率密度.....	48
3-6	示性波浪參數特性探討.....	52
3-6-1	每月示性波浪波高之最小值.....	52
3-6-2	Weibull 分布之參數特性.....	53
第四章	週期特性分析結果.....	59
4-1	波浪週期之最適機率分布.....	59
4-1-1	以統計分式之評估結果.....	59
4-1-2	以 Ksdensity 方法之評估結果.....	69
4-2	示性週期之最適機率分布.....	70
4-2-1	以統計公式之評估結果.....	70
4-2-2	以 Ksdensity 方法之評估結果.....	80
4-3	示性波浪參數特性探討.....	86
4-3-1	每月示性波浪週期之最小值.....	86
4-3-2	Normal 分布之參數分析.....	88
第五章	結果與討論.....	90
	參考文獻.....	92
附圖一	台北港示性波高特性分析.....	95
附圖二	安平港示性波高特性分析.....	101
附圖三	花蓮港示性波高特性分析.....	109

圖目錄

圖 2-1 花蓮港波浪站位置圖	5
圖 2-2 安平港波浪觀測位置示意圖	6
圖 2-3 臺北港波浪觀測位置示意圖	6
圖 2-4 Ksdensity 推估之機率密度函數圖	12
圖 2-5 不同 h 之機率函數圖	13
圖 2-6 波高與週期最適機率分布之分析流程圖	14
圖 3-1 機率高於 $F(x \leq x_p) = 1 - p$ 之平均值 \bar{x}_p 及最大機率密度之示意圖	16
圖 3-2 2006 年台北港 H_S 各分布比較圖(統計公式法)	33
圖 3-3 2006 年台北港 $H_{1/10}$ 各分布比較圖(統計公式法)	34
圖 3-4 2006 年安平港 H_S 各分布比較圖(統計公式法)	35
圖 3-5 2006 年安平港 $H_{1/10}$ 各分布比較圖(統計公式法)	36
圖 3-6 2004 年花蓮港 H_S 各分布比較圖(統計公式法)	37
圖 3-7 2004 年花蓮港 $H_{1/10}$ 各分布比較圖(統計公式法)	38
圖 3-8 2005 年台北港 H_S 各分布比較圖(統計公式法)	39
圖 3-9 2005 年台北港 $H_{1/10}$ 各分布比較圖(統計公式法)	40
圖 3-10 2001 年安平港 H_S 各分布比較圖(統計公式法)	41
圖 3-11 2001 年安平港 $H_{1/10}$ 各分布比較圖(統計公式法)	42
圖 3-12 2006 年台北港 H_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)	44
圖 3-13 2006 年安平港 H_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)	45
圖 3-14 2004 年花蓮港 H_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)	46
圖 3-15 2005 年台北港 H_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)	47

圖 3-16 2001 年安平港 H_s 各分布比較圖(Ksdensity 法).....	48
圖 3-17 2006 台北港波高超量機率密度圖.....	49
圖 3-18 2006 安平港波高超量機率密度圖.....	50
圖 3-19 2004 花蓮港波高超量機率密度圖.....	50
圖 3-20 2005 台北港波高超量機率密度圖.....	51
圖 3-21 2001 安平港波高超量機率密度圖.....	51
圖 3-22 台北港示性波高每月最小值.....	52
圖 3-23 安平港示性波高每月最小值.....	53
圖 3-24 花蓮港示性波高每月最小值.....	53
圖 3-25 台北港 Weibull 分布 α 參數迴歸圖.....	54
圖 3-26 安平港 Weibull 分布 α 參數迴歸圖.....	55
圖 3-27 花蓮港 Weibull 分布 α 參數迴歸圖.....	55
圖 3-28 台北港 Weibull 分布 β 參數迴歸圖.....	56
圖 3-29 安平港 Weibull 分布 β 參數迴歸圖.....	56
圖 3-30 花蓮港 Weibull 分布 β 參數迴歸圖.....	57
圖 3-31 台北港示性波高實測值與 Weibull 理論值比較圖.....	57
圖 3-32 安平港示性波高實測值與 Weibull 理論值比較圖.....	58
圖 3-33 花蓮港示性波高實測值與 Weibull 理論值比較圖.....	58
圖 4-1 2006 年台北港 T_s 各分布比較圖(統計公式法).....	71
圖 4-2 2006 年台北港 $T_{1/10}$ 各分布比較圖(統計公式法).....	72
圖 4-3 2006 年安平港 T_s 各分布比較圖(統計公式法).....	73
圖 4-4 2006 年安平港 $T_{1/10}$ 各分布比較圖(統計公式法).....	74

圖 4-5 2004 年花蓮港 T_S 各分布比較圖(統計公式法).....	75
圖 4-6 2004 年花蓮港 $T_{1/10}$ 各分布比較圖(統計公式法)	76
圖 4-7 2005 年台北港 T_S 各分布比較圖(統計公式法).....	77
圖 4-8 2005 年台北港 $T_{1/10}$ 各分布比較圖(統計公式法)	78
圖 4-9 2001 年安平港 T_S 各分布比較圖(統計公式法).....	79
圖 4-10 2001 年安平港 $T_{1/10}$ 各分布比較圖(統計公式法)	80
圖 4-11 2006 年台北港 T_S 各分布比較圖(Ksdensity 法).....	81
圖 4-12 2006 年安平港 T_S 各分布比較圖(Ksdensity 法).....	82
圖 4-13 2004 年花蓮港 T_S 各分布比較圖(Ksdensity 法).....	83
圖 4-14 2005 年台北港 T_S 各分布比較圖(Ksdensity 法).....	84
圖 4-15 2001 年安平港 T_S 各分布比較圖(Ksdensity 法).....	85
圖 4-16 台北港示性週期每月最小值	87
圖 4-17 安平港示性週期每月最小值	87
圖 4-18 花蓮港示性週期每月最小值	88
圖 4-19 台北港 T_S 每月 Normal 分布之 μ 參數值.....	88
圖 4-20 台北港 T_S 每月 Normal 分布之 σ 參數值.....	89
附圖 1-1 台北港 3 月示性波高機率密度圖	95
附圖 1-2 台北港 4 月示性波高機率密度圖	95
附圖 1-3 台北港 6 月示性波高機率密度圖	96
附圖 1-4 台北港 7 月示性波高機率密度圖	96
附圖 1-5 台北港 8 月示性波高機率密度圖	97
附圖 1-6 台北港 9 月示性波高機率密度圖	97

附圖 1-7 台北港 11 月示性波高機率密度圖	98
附圖 1-8 台北港 12 月示性波高機率密度圖	98
附圖 1-9 台北港第 2 季示性波高機率密度圖	99
附圖 1-10 台北港第 3 季示性波高機率密度圖	99
附圖 1-11 台北港第 4 季示性波高機率密度圖	100
附圖 1-12 台北港全年示性波高機率密度圖	100
附圖 2-1 安平港 1 月示性波高機率密度圖	101
附圖 2-2 安平港 2 月示性波高機率密度圖	101
附圖 2-3 安平港 3 月示性波高機率密度圖	102
附圖 2-4 安平港 4 月示性波高機率密度圖	102
附圖 2-5 安平港 6 月示性波高機率密度圖	103
附圖 2-6 安平港 7 月示性波高機率密度圖	103
附圖 2-7 安平港 8 月示性波高機率密度圖	104
附圖 2-8 安平港 9 月示性波高機率密度圖	104
附圖 2-9 安平港 10 月示性波高機率密度圖	105
附圖 2-10 安平港 11 月示性波高機率密度圖	105
附圖 2-11 安平港 12 月示性波高機率密度圖	106
附圖 2-12 安平港第 1 季示性波高機率密度圖	106
附圖 2-13 安平港第 2 季示性波高機率密度圖	107
附圖 2-14 安平港第 3 季示性波高機率密度圖	107
附圖 2-15 安平港第 4 季示性波高機率密度圖	108
附圖 2-16 安平港全年示性波高機率密度圖	108

附圖 3-1 花蓮港 1 月示性波高機率密度圖	109
附圖 3-2 花蓮港 2 月示性波高機率密度圖	109
附圖 3-3 花蓮港 3 月示性波高機率密度圖	110
附圖 3-4 花蓮港 4 月示性波高機率密度圖	110
附圖 3-5 花蓮港 5 月示性波高機率密度圖	111
附圖 3-6 花蓮港 6 月示性波高機率密度圖	111
附圖 3-7 花蓮港 7 月示性波高機率密度圖	112
附圖 3-8 花蓮港 8 月示性波高機率密度圖	112
附圖 3-9 花蓮港 9 月示性波高機率密度圖	113
附圖 3-10 花蓮港 10 月示性波高機率密度圖	113
附圖 3-11 花蓮港 11 月示性波高機率密度圖	114
附圖 3-12 花蓮港 12 月示性波高機率密度圖	114
附圖 3-13 花蓮港第 1 季示性波高機率密度圖	115
附圖 3-14 花蓮港第 2 季示性波高機率密度圖	115
附圖 3-15 花蓮港第 3 季示性波高機率密度圖	116
附圖 3-16 花蓮港第 4 季示性波高機率密度圖	116
附圖 3-17 花蓮港全年示性波高機率密度圖	117

表目錄

表 3-1 Weibull 分布系列之統計特性公式	18
表 3-2 Gamma 分布系列之統計特性公式	19
表 3-3 Normal 分布系列之統計特性公式.....	20
表 3-4 2006 年台北港波高統計特性與實測值之比較($H_S < 0.5m$)	22
表 3-5 2006 年台北港波高統計特性與實測值之比較($0.5m < H_S < 1.0m$)	22
表 3-6 2006 年台北港波高統計特性與實測值之比較($1.0m < H_S < 1.5m$)	23
表 3-7 2006 年台北港波高統計特性與實測值之比較($1.5m < H_S < 2.0m$)	23
表 3-8 2006 年台北港波高統計特性與實測值之比較($2.5m < H_S < 3.0m$)	24
表 3-9 2006 年台北港波高統計特性與實測值之比較($H_S > 3.0m$)	24
表 3-10 2006 年安平港波高統計特性與實測值之比較($H_S < 0.5m$)	25
表 3-11 2006 年安平港波高統計特性與實測值之比較($0.5m < H_S < 1.0m$)	25
表 3-12 2006 年安平港波高統計特性與實測值之比較($1.0m < H_S < 1.5m$)	26
表 3-13 2006 年安平港波高統計特性與實測值之比較($1.5m < H_S < 2.0m$)	26
表 3-14 2006 年安平港波高統計特性與實測值之比較($2.5m < H_S < 3.0m$)	27
表 3-15 2006 年安平港波高統計特性與實測值之比較($H_S > 3.0m$)	27
表 3-16 2004 年花蓮港波高統計特性與實測值之比較($H_S < 0.5m$)	28

表 3-17 2004 年花蓮港波高統計特性與實測值之比較($0.5\text{m}<H_S<1.0\text{m}$)	28
表 3-18 2004 年花蓮港波高統計特性與實測值之比較($1.0\text{m}<H_S<1.5\text{m}$)	29
表 3-19 2004 年花蓮港波高統計特性與實測值之比較($1.5\text{m}<H_S<2.0\text{m}$)	29
表 3-20 2004 年花蓮港波高統計特性與實測值之比較($2.5\text{m}<H_S<3.0\text{m}$)	30
表 3-21 2004 年花蓮港波高統計特性與實測值之比較($H_S>3.0\text{m}$)	30
表 3-22 2006 年台北港波高統計特性評估結果	31
表 3-23 2006 年安平港波高統計特性評估結果	31
表 3-24 2004 年花蓮港波高統計特性評估結果	32
表 3-25 2006 年台北港 H_S 統計特性與實測值之比較	33
表 3-26 2006 年台北港 $H_{1/10}$ 統計特性與實測值之比較	34
表 3-27 2006 年安平港 H_S 統計特性與實測值之比較	35
表 3-28 2006 年安平港 $H_{1/10}$ 統計特性與實測值之比較	36
表 3-29 2004 年花蓮港 H_S 統計特性與實測值之比較	37
表 3-30 2004 年花蓮港 $H_{1/10}$ 統計特性與實測值之比較	38
表 3-31 2005 年台北港 H_S 統計特性與實測值之比較	39
表 3-32 2005 年台北港 $H_{1/10}$ 統計特性與實測值之比較	40
表 3-33 2001 年安平港 H_S 統計特性與實測值之比較	41
表 3-34 2001 年安平港 $H_{1/10}$ 統計特性與實測值之比較	42
表 3-35 2006 年台北港 H_S 統計特性評估結果	43

表 3-36 2006 年安平港 H_S 統計特性評估結果	44
表 3-37 2004 年花蓮港 H_S 統計特性評估結果	45
表 3-38 2005 年台北港 H_S 統計特性評估結果	46
表 3-39 2001 年安平港 H_S 統計特性評估結果	47
表 3-40 不同年份之三港波高超量機率密度統計特性	49
表 3-41 Weibull 分布 α 參數推估式	54
表 3-42 Weibull 分布 β 參數推估式	54
表 4-1 2006 年台北港週期統計特性與實測值之比較($H_S < 0.5m$)	60
表 4-2 2006 年台北港週期統計特性與實測值之比較($0.5m < H_S < 1.0m$)	60
表 4-3 2006 年台北港週期統計特性與實測值之比較($1.0m < H_S < 1.5m$)	61
表 4-4 2006 年台北港週期統計特性與實測值之比較($1.5m < H_S < 2.0m$)	61
表 4-5 2006 年台北港週期統計特性與實測值之比較($2.5m < H_S < 3.0m$)	62
表 4-6 2006 年台北港週期統計特性與實測值之比較($H_S > 3.0m$)	62
表 4-7 2006 年安平港週期統計特性與實測值之比較($H_S < 0.5m$)	63
表 4-8 2006 年安平港週期統計特性與實測值之比較($0.5m < H_S < 1.0m$)	63
表 4-9 2006 年安平港週期統計特性與實測值之比較($1.0m < H_S < 1.5m$)	64
表 4-10 2006 年安平港週期統計特性與實測值之比較($1.5m < H_S < 2.0m$)	64

表 4-11 2006 年安平港週期統計特性與實測值之比較($2.5\text{m}<H_S<3.0\text{m}$)	65
表 4-12 2006 年安平港週期統計特性與實測值之比較($H_S>3.0\text{m}$)	65
表 4-13 2004 年花蓮港週期統計特性與實測值之比較($H_S<0.5\text{m}$)	66
表 4-14 2004 年花蓮港週期統計特性與實測值之比較($0.5\text{m}<H_S<1.0\text{m}$)	66
表 4-15 2004 年花蓮港週期統計特性與實測值之比較($1.0\text{m}<H_S<1.5\text{m}$)	67
表 4-16 2004 年花蓮港週期統計特性與實測值之比較($1.5\text{m}<H_S<2.0\text{m}$)	67
表 4-17 2004 年花蓮港週期統計特性與實測值之比較($2.5\text{m}<H_S<3.0\text{m}$)	68
表 4-18 2004 年花蓮港週期統計特性與實測值之比較($H_S>3.0\text{m}$)	68
表 4-19 2006 年台北港週期統計特性評估結果	69
表 4-20 2006 年安平港週期統計特性評估結果	69
表 4-21 2004 年花蓮港週期統計特性評估結果	69
表 4-22 2006 年台北港 T_S 統計特性與實測值之比較	70
表 4-23 2006 年台北港 $T_{1/10}$ 統計特性與實測值之比較	71
表 4-24 2006 年安平港 T_S 統計特性與實測值之比較	72
表 4-25 2006 年安平港 $T_{1/10}$ 統計特性與實測值之比較	73
表 4-26 2004 年花蓮港 T_S 統計特性與實測值之比較	74
表 4-27 2004 年花蓮港 $T_{1/10}$ 統計特性與實測值之比較	75
表 4-28 2005 年台北港 T_S 統計特性與實測值之比較	76
表 4-29 2005 年台北港 $T_{1/10}$ 統計特性與實測值之比較	77

表 4-30 2001 年安平港 T_S 統計特性與實測值之比較	78
表 4-31 2001 年安平港 $T_{1/10}$ 統計特性與實測值之比較	79
表 4-32 2006 年台北港 T_S 統計特性評估結果	81
表 4-33 2006 年安平港 T_S 統計特性評估結果	82
表 4-34 2004 年花蓮港 T_S 統計特性評估結果	83
表 4-35 2005 年台北港 T_S 統計特性評估結果	84
表 4-36 2001 年安平港 T_S 統計特性評估結果	85



第一章 緒論

1-1 研究動機與目的

了解海洋波浪特性，一直是許多海洋學者研究的目標之一，之所以如此重要，係因其與海岸結構物設計方面，是相當重要的參考因素，尤其台灣又易受颱風和異常波浪侵襲，對於這樣的海島台灣，這類的研究更顯得格外重要。海面上的波浪是極為不規則的起伏，各方向的波重重疊疊，會隨著時間與空間的不同而有所改變，在這複雜的波動現象中，卻也蘊含著某種重要特性，這類特性就必須靠著學理分析及經驗有效地去探索。

郭等人(2001)提到風浪是屬於時間及空間上的一種隨機性變動量，既是隨機現象，則須以統計的方法來描述其特性。目前在許多的文獻和研究中，已有許多前人學者透過波高的統計分布，來探討波浪中隱含的重要訊息，像 Longuet-Higgins 以理論證明了波高的機率分布為 Rayleigh 分布，但就統計學理論而言，這樣的結果並無法滿足海面上各種的波浪現象，只能描述部份波高機率分布是趨近於 Rayleigh 分布。因此，也越來越多的研究去探討是否有其它更適合的機率分布函數來描述波浪特性，像江(2006)、李(2007)以波高直方圖分組方法提出波高分布是近似於 Weibull 分布，隨著不同地域與時間的資料特性，使用不同分析方法，所研究出來的結果亦有所不同。另外，週期大小也為設計結構物相當重要的因子，波高與週期並非完全獨立的，一般而言長週期波浪存在的可能波高較高，其所含的能量也比較大，對結構物破壞亦較大。若能對於波高及週期有更完整的分析，詳細地探討波浪特性，在海洋工程的開發與規劃設計方面，具有一定的價值。

本研究之目的主要在探討台北港、安平港與花蓮港波高及週期短期(short-term)之最適機率密度分布函數，所謂短期意指一小時之內之機率分布。最適機率密度分布函數是指選擇函數與實際資料之密度相符之程度在可能函數中最佳者。另外在工程應用上常以統計機率概念推導出代表統計值，如示性波高(significant wave height)，所以本文即以另一種方法推導出幾種機率密度分布之統計值公式與實際值之結

果當做評估指標。俟確定最適分布後，再探討其參數特性，以供未來工程使用參考。

本文於波高統計所採用之分布模式為往昔學者有提出之 Gamma、Weibull、Modified Weibull、Rayleigh 與 Log-Normal 分布等。在週期統計方面採用的為 Gamma、Erlang、Rayleigh 與 Normal 分布。試圖利用不同的機率密度函數來描述台北、安平港與花蓮港的波高與週期關係。在所推導的統計公式方面，比較的項目為 $H_{1/100}$ ， $H_{1/10}$ ， H_S ， H_{mean} 及 H_{rms} ，將實測資料以最大概似法求得各分布之參數後，再將其代回公式中，來與實測資料統計而得之各實測值進行比較。另外也使用統計學理論中之一種參數推估平滑方式 Kernel Smoothing Method，利用波高資料所推估出的函數特性設為實測值，而利用最大概似法求出參數，再將參數代回各分布機率密度函數所計算出來的統計特性設為理論值，兩者來進行吻合度的套配。在判斷最適分布部份，所採用的評估指標為均方根誤差(RMSE)與相關性(R^2)，均方根誤差是越小越好， R^2 則相反。最適分布決定後，進一步地探討參數特性，希望能分別利用不同年份之台北港、安平港資料與 2004 年花蓮港資料，作出一相關式，以期在未來能利用此相關式推估其理論波高參數，求得適合分布之理論示性波高值，對於往後工程規劃能有所參考。

1-2 文獻回顧

海岸工程構造物的設計，必須考慮當地的海洋波浪特性，Draper(1973)提到詳細了解海洋波浪資訊對於所有海岸活動，包括海岸結構物、離岸構造物和港口等是不可或缺的。Ploeg(1968)也曾提出海岸構造物的成效需要透過良好的波浪條件分析。Goda(1970)提到必須透過一些假設去描述短期波浪水面記錄，而部份研究顯示已經可以計算出與實際資料相近之近似值。在波浪波高統計部份，Longuet-Higgins(1952)藉著通訊學裡面有關雜訊的理論，證明了海面上的波高應該近似於 Rayleigh 分布。Jasper(1956)首先提出利用參數模式表示示性波高資料，他推斷 Log-Normal 分布在與資料套配時，吻合度最佳。Forritall(1978)同意大部份的海上波高機率皆為 Rayleigh 分布，但是對於較大的波高，卻容易高估，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 分布模式。根據部份往昔學者的研究認為，Weibull 分布比 Rayleigh 分布更能合適地描述現場及實驗室的結果，Longuet-Higgins(1980)認為理論上若將譜寬參數 $\varepsilon \neq 0$ 與波浪非線性的效果考慮進去，波高分布將從 Rayleigh 分布轉變成 Forritall(1978)提出的 Weibull 分布。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布為對數-常態分布。錢(1991)也提到海面波高的機率分布為常態分布。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布為 Weibull 分布。Satheesh 等人(2005)則以印度 Alleppey 的波高資料分析其合適之機率分布為 Weibull 分布最佳。Muraleedharan 等人(2007)提出加入一個修正係數的修正 Weibull 分布，對於描述較大波高的模擬效果更好。

另外在週期統計方面，Putz(1952)是第一個建議利用 Gamma 分布型式去描述波浪週期分布的學者。Bretschneider(1959)曾提出週期的平方成 Rayleigh 分布的建議。Goda(2000)認為海面的變化如果是常態分布，且波譜也符合窄頻條件的話，那麼風波場裡的週期分布，就可以用 Rayleigh 模式來描述。Erlang(1917)提出 Erlang 分布理論，其為 Gamma 分布中的特殊分布理論，其有著以下特性：當 Erlang 分布中的變數 λ 為 1 時，Erlang 分布會趨近於指數分布；變數 λ 越來越大時，Erlang 分布就會接近一個常態分布。Muraleedharan 等人(1993)分別對於阿拉伯海 10 年和孟加拉灣 5 年波浪週期資料進行分析，提出 Gamma 分布相對於其它分布其吻合度最佳。Nair 等(2002)提出將 Erlang 分布應用在波浪週期分布上，提出平均週期、示性週期、平均最大週期、出現頻率最多的最大週期及週期極值等 5 個理論值，與實際波浪資料比較後，證明 Erlang 分布應用在波浪週期上之正確性。然而，雖然有時週期在工程設計上非常重要，但週期自身的統計分布在實際上卻用途有限，不過，透過波高與週期的聯合機率分布，可以計算波高週期的聯合分布以及相關性來應用於工程設計，Longuet-Higgins(1975)曾在基於狹帶譜(narrow-band spectrum)的假設下，應用線性高斯分布模式提出一理論聯合機率函數，對其函數的週期積分可以得到 Rayleigh 分布的波高機率密度函數，對波高積分可

以得到週期的機率密度函數。Cavanie 等(1976)同樣基於狹帶高斯模式，採用 4 階波譜密度動差定義譜寬參數，推導出波高週期的聯合分布，可描述週期的不對稱性，Longuet-Higgins(1983)修正其理論分布的缺失，提出可描述週期不對稱性的簡單理論分布，供實際使用。Tayfun 等(1993)以大波高的邊際密度(marginal density)與對應週期之條件密度(conditional density)兩者的乘積，來表示大波高區的波高週期聯合分布，並與實測波浪資料相互驗證，可得到相當吻合的結果。

1-3 文章架構

本文第一章為緒論，主要在說明研究動機與目的以及文獻回顧。第二章將針對資料的調查方法與格式，以及簡明扼要的敘述各分布理論。第三章則說明台北、安平港與花蓮港波浪資料在不同的分區，經由統計公式計算而得之理論值與實測值之比較，與利用 Ksdensity 方法探討理論與實際之吻合度情況。第四章亦是利用統計公式方法與 Ksdensity 方式去探討週期之最適分布。第五章則為結論與建議。



第二章 波浪資料分析與分布函數

2-1 資料來源與處理

本研究所分析的資料均是由交通部運輸研究所港灣技術研究中心所提供的波浪資料。港灣技術研究中心於花蓮港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，主要做收集波高、週期以及波向等資料，設置花蓮港觀測儀位置圖，如圖 2-1 所示。安平及台北港測站位於安平港與台北港之觀測樁下、水深 5 公尺處，設置儀器為 Inter Ocean 公司之 S4-ADW 壓力式波高及波向、海流及流向量測儀，圖 2-2、2-3 分別為安平與台北港之儀器位置圖。



圖 2-1 花蓮港波浪站位置圖

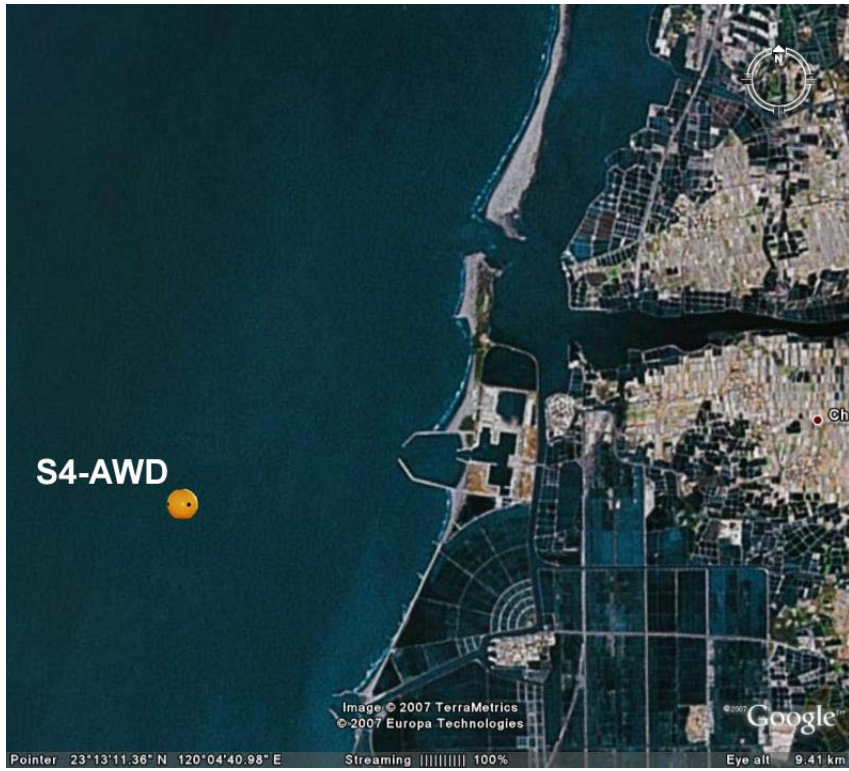


圖 2-2 安平港波浪觀測位置示意圖



圖 2-3 臺北港波浪觀測位置示意圖

花蓮港波浪資料，其紀錄範圍為 2000~2005 年實測的壓力原始資料，每小時取樣約為 17 分鐘，頻率為 2Hz，每小時共收集 2048 筆壓力訊號資料，因為有些年份資料格式雜亂，難以判讀，或者是資料缺漏，所以本研究選取花蓮港 2004 年較完整之波浪資料。安平與台北港所收集之壓力波高資料，其每小時取樣為 9 分鐘，頻率為 2Hz，因此每小時共取樣 1080 筆資料。將三港所得原始壓力資料經快速傅立葉(FFT)轉換成壓力頻譜後，再透過壓力轉換函數(pressure transfer function)將壓力頻譜轉換成水位頻譜，此水位頻譜經過逆快速傅立葉轉換後，即可得到水位訊號。求得水位的時序資料後，根據零上切法可將所得之水位定義出波高與週期。

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 (示性波高)其計算方法即以波群中波高較大的 1/3 部份的個別波波高平均值來代表，雖其不具有特別的意義，但接近人類以目視觀測對不規則波直覺上得到的波高。另外在統計特性上，其具有最大的安定性(不隨取樣不同而變化)，較能反映波浪所含能量的大小，故是最常用的代表波。(郭，2001)

另外一般常用的週期統計代表值(代表波)為：在波高記錄中經由零上切法決定波高後，假設有 n 個波高及其相對應的週期，將波高按大小次序排列， $H_1 > H_2 > H_3 \dots$ ，而其相對應之週期排列為 $T_1 > T_2 > T_3 \dots$ ，計算前三分之一最大波高之平均，稱為示性波高，而對應之三分之一最大週期，稱為示性週期；然而 Nair 等(2002)提出示性週期計算方式是以週期大小排序後($T_1 > T_2 > T_3 \dots$)，以前三分之一最大週期之平均值為示性週期，Nair 等(2002)發現以此方式所計算出的示性週期可較穩定的計算出統計示性週期及其理論示性週期。因此，本研究係採用 Nair 等人所提出之示性週期計算方式。

2-2 相關波高機率密度函數

本研究選擇 Gamma、Weibull、Modified Weibull、Rayleigh 與 Log-Normal 五種分布來探討波高最適機率分布，而在週期則選用 Gamma、Erlang、Rayleigh 與 Normal 分布四種分布函數。上述所提

之機率密度分布介紹如下：

(1) Normal 分布

為常態分布的機率密度函數，示如式(2-1)：

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

常態分布主要有兩個參數， σ 為標準偏差(standard deviation)， μ 為平均值(mean value)。且由式(2-2)及式(2-3)推算標準偏差及平均值：

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

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

(2) Log-Normal 分布

對數常態分布的機率密度函數

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

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

(3) Modified Weibull 分布

機率密度函數

$$f(x; \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta} + c \right)^{\alpha-1} e^{-c^\alpha - \left(\frac{x}{\beta} + c \right)^\alpha}, & x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (2-5)$$

機率函數

$$F(x; c, \alpha, \beta) = \begin{cases} 1 - e^{-c^b \left(\frac{x}{\beta} + c\right)^\alpha} & , x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, \text{elsewhere} & \end{cases} \quad (2-6)$$

其中 α 為形狀參數(scale parameter)， β 為尺度參數(shape parameter)， c 為修正係數(calibration parameter)。


(4) Weibull 分布—當式(2-5)之 Weibull 分布中 $c=0$

機率密度函數，示如式(2-7)

$$f(x, \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} & , x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, \text{elsewhere} & \end{cases} \quad (2-7)$$

其中 α 為形狀參數 β 為尺度參數。

機率函數


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

(5) Rayleigh 分布—當式(2-7)之 Weibull 分布中 $\alpha = 2$

機率密度函數

$$f(x; \beta) = \begin{cases} \frac{2x}{\beta^2} e^{-\frac{x^2}{\beta^2}} & , x \geq 0, \beta > 0 \\ 0, \text{elsewhere} & \end{cases} \quad (2-9)$$

機率函數

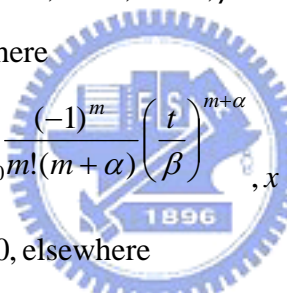
$$F(x; \beta) = \begin{cases} 1 - e^{-\frac{x^2}{\beta^2}} & , x \geq 0, \beta > 0 \\ 0, \text{elsewhere} & \end{cases} \quad (2-10)$$

(6) Gamma 分布

機率密度函數

$$f(x; \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{x^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} e^{-\frac{x}{\beta}}, & x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (2-11)$$

機率函數

$$F(x; \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^{\frac{x}{\beta}} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\frac{t}{\beta}} d\left(\frac{t}{\beta}\right), & x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \\ = \begin{cases} P\left(\frac{x}{\beta}, \alpha\right), & x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (2-12a) \\ = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m!(m+\alpha)} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{m+\alpha}, & x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases}$$


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

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (2-12b)$$

及

$$P(x/\beta, \alpha) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^{\frac{x}{\beta}} t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (2-12c)$$

(7) Erlang 分布

Erlang 分布為 Gamma 分布中的特殊分布理論，其機率密度函數為式(2-11)之 Gamma 分布中參數 α 取整數 n ，即為

$$f(x, n, \beta) = \begin{cases} \frac{x^{n-1}}{n^\beta (n-1)!} e^{-\frac{x}{\beta}}, & x \geq 0, n > 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (2-13)$$

機率函數

$$F(x; n, \beta) = \begin{cases} \frac{1}{(n-1)!} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m!(m+n)} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{m+n}, & x \geq 0, n > 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (2-14)$$

上述七種機率分布函數之參數決定方法，除了 Erlang 分布係利用示性波週期及平均週期之統計特性之兩個條件解出參數 α 及 β 後，再取 α 為整數以外，均利用最大概似法來估算各種理論機率分布函數中之參數。

為了能夠了解各理論值與實測值之吻合程度，本文利用兩種評估指標來判斷，選擇出最佳的理論機率分布模式：

(1)均方根誤差(RMSE)：

誤差均方根 RMSE 為常用之統計學上的技巧，其計算方法及定義如下：

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

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (Hsm_k - Hsc_k)^2}{k}} \quad (2-15)$$

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

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

2-3 平滑方法(Kernel Smoothing Method)

本研究在探討波高與週期之最適分布時，利用兩種方式來討論理論與實測之吻合度情況，一為利用機率概念將分布函數推導出各統計代表值公式，另一為統計理論中之參數推估平滑方法，Kernel Smoothing Method，其理論詳見 Bowman(1997)。在此將對 Kernel Smoothing Method 作一簡單介紹：

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

$$\hat{f}(x, h) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - X_i}{h}\right) \quad (2-16)$$

其中 K 為 Kernel function，h 為資料區間寬度，如圖 2-4。

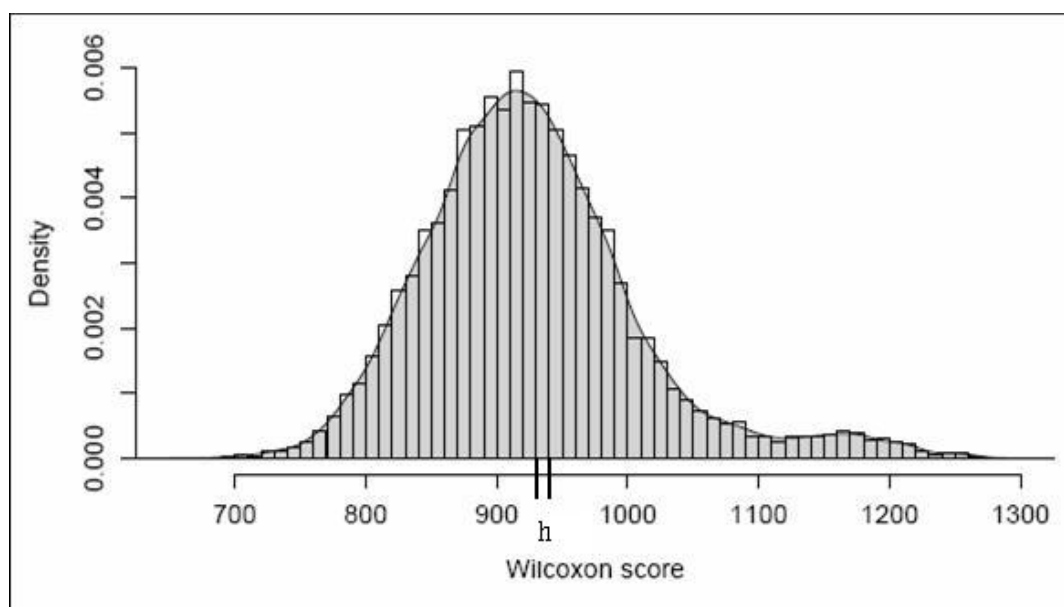


圖 2-4 Kdensity 推估之機率密度函數圖

本研究將資料以 Kdensity 演算法推估出實測值之機率密度，而在 Matlab 軟體中 Kernel function 是採用 Normal 型式，公式如下：

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2} \quad (2-17)$$

資料區間寬度 h 為影響推估出的實測值機率密度圖型平滑化的主要因素，圖 2-5 顯示出不同的區間寬度所推估出的結果，當 h 取得越小函數圖型會趨近於不規則化導致與各分布函數套配時，增加分析

的困難；而當 h 取得越寬鬆，則會越趨向於 Normal 分布。

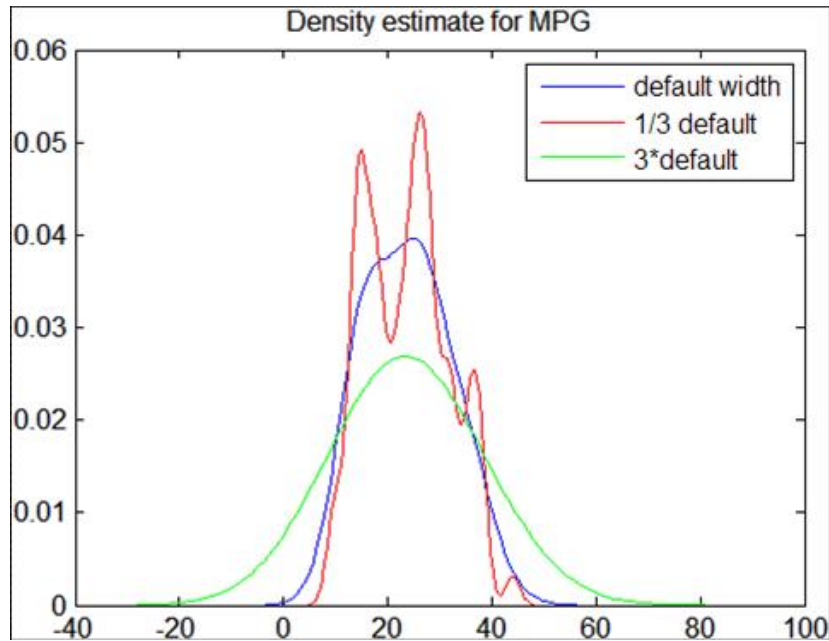


圖 2-5 不同 h 之機率函數圖

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

波高及週期之機率最適判斷，則依上述流程操作，流程圖示如 2-6，選定其最佳值以利波高與週期之特性分析。

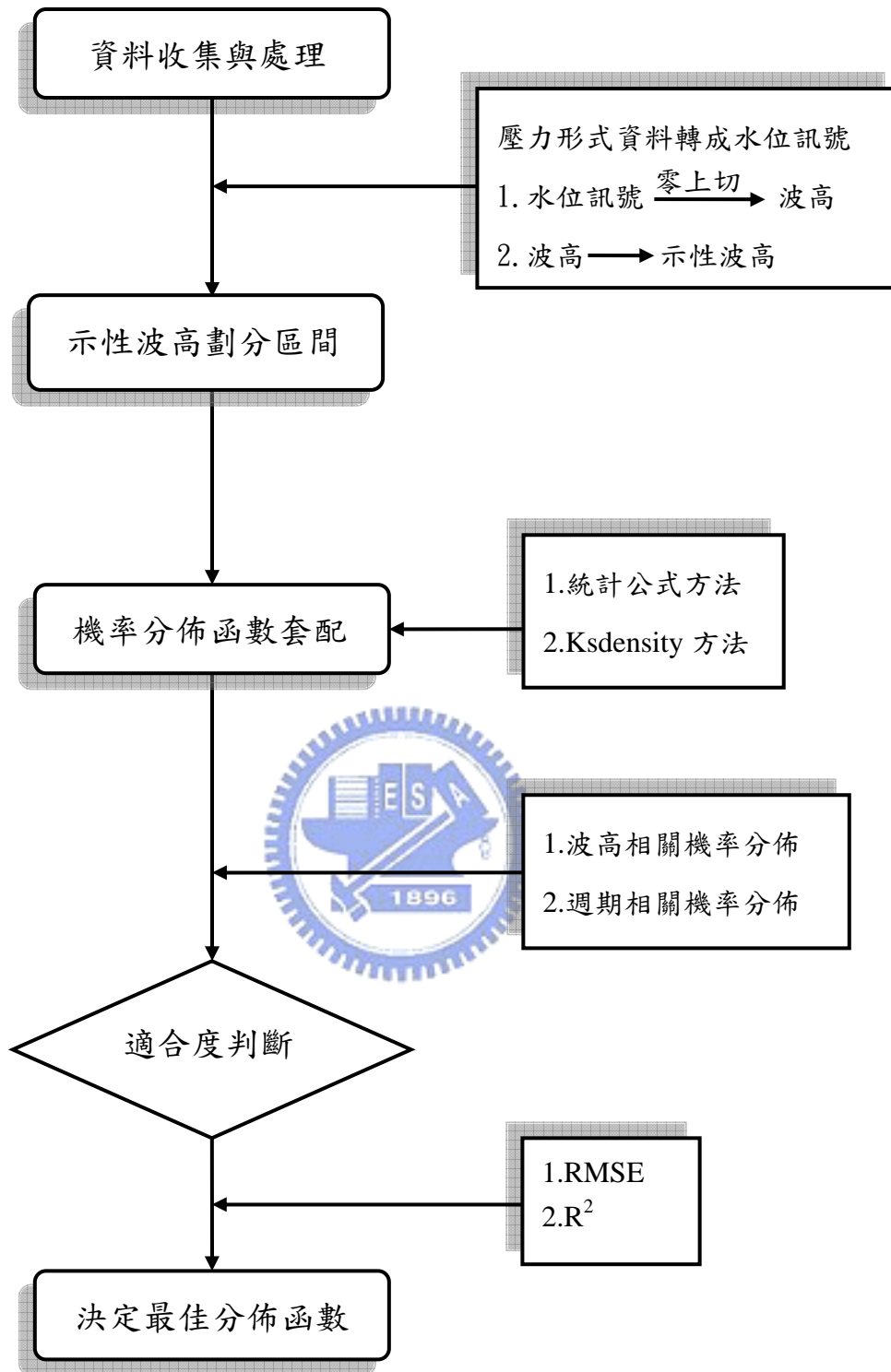


圖 2-6 波高與週期最適機率分布之分析流程圖

第三章 波高特性分析結果

根據港灣技術研究中心所提供之花蓮港、台北港與安平港波浪資料，其記錄時間分別為 2004 年及 2006 年。在台北港波浪資料部份，少了 1 月、2 月、5 月與 10 月資料；安平港部份則少了 5 月波浪資料。根據江(2006)與李(2007)之研究，花蓮港、台北港與安平港其波高機率分布皆是近似 Weibull 分布，為進一步瞭解各分布與實際波高之相關性，本研究採用兩種方法：1.以最大概似法(method of maximum likelihood)估算各分布之參數值，由參數之計算結果，可求得相關之理論波高統計值，並與實際波高計算而得之統計值進行比較，並在最後探討其參數特性；2.利用統計學理論中之一種參數推估平滑方法 Ksdensity 方法來將實測資料與各分布進行吻合度試驗。另外，波高極大值部份也常被做為海岸工程結構物設計標準，本文也針對資料極大值部份討論其最適分布情況。

3-1 Modified Weibull 分布之波高統計代表值推導

由三個港口的波高資料，經由統計結果可得其實際之波高統計值，為求其理論統計值，本研究參考 Rayleigh 分布之公式推導過程，由 Modified Weibull 分布之公式定義，推導出相關之理論波高統計值公式，以探討理論與實際之關係，Modified Weibull 分布之相關波高統計值 H_s 、 \bar{H} 、 $H_{1/10}$ 、 $H_{1/100}$ 與 H_{rms} 推導如下：

變數依大小排列下，機率高於 $F(x \leq x_p) = 1 - p$ 之平均值為 \bar{x}_p ，示意如圖 3-1。

因此

$$1 - F(x \leq x_p) = p = e^{-\left(\frac{x_p + c}{\beta}\right)^\alpha} \quad (3-1)$$

所以

$$x_p = \beta[(c^\alpha - \ln p)^{\frac{1}{\alpha}} - c] \quad (3-2)$$

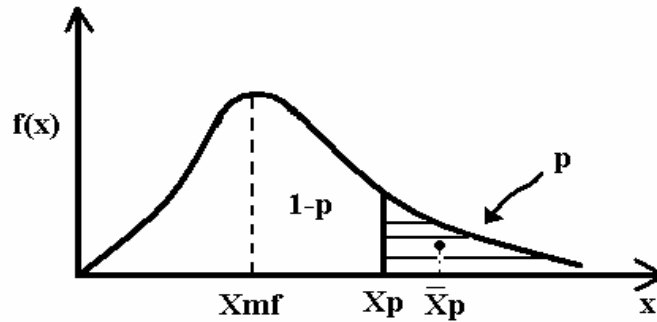


圖 3-1 機率高於 $F(x \leq x_p) = 1 - p$ 之平均值 \bar{x}_p 及最大機率密度之示意圖

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

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

上式用變數轉換 $y = (x/a + c)^b$ 及一次部分積分法可得

$$\bar{x}_p = x_p + \frac{1}{p} \frac{\beta}{\alpha} e^{c^\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha - \ln p\right) \quad (3-4)$$

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

$$\Gamma(s, t) = \int_t^{\infty} x^{s-1} e^{-x} dx \quad (3-5)$$

如果式(3-5)中 $t=0$ 時，即為一般之 Gamma 函數 $\Gamma(s) = \Gamma(s, 0)$ 。當變數 x 為波高(H)且選擇 $p=1/3$ 時， $\bar{x}_p = H_s$ 稱為示性波高(significant wave height)，所以代入 $p=1/3$ 及式(3-2)至式(3-4)得

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

若式(3-4)選擇 $p=1$ 時， $\bar{x}_p = \bar{H}$ 稱為平均波高(mean wave height)

$$\bar{H} = \frac{\beta}{\alpha} e^{c^\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha\right) \quad (3-7)$$

均方值(root-mean-square) 定義如下

$$\begin{aligned} x_{rms}^2 &= \int_0^\infty x^2 f(x) dx \\ &= \int_0^\infty x^2 \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta} + c\right)^{\alpha-1} e^{c^\alpha - \left(\frac{x}{\beta} + c\right)^\alpha} dx \\ &= 2e^{c^\alpha} \frac{\beta^2}{\alpha} \left[\Gamma\left(\frac{2}{\alpha}, c^\alpha\right) - c\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha\right)\right] \end{aligned} \quad (3-8)$$

當欲求最大發生機率密度下之 x 值，可由機率密度函數直接對 x 微分且令為零，即為 $df(x)/dx = 0$ 條件下，由式(3-1)之機率密度函數可得

$$x_{mf} = \beta \left[\left(1 - \frac{1}{\alpha}\right)^{\frac{1}{\alpha}} - c \right] \quad (3-9)$$

今將上述所推導有關 Weibull 分布系列之統計特性公式列如表 3-1。



表 3-1 Weibull 分布系列之統計特性公式

	Modified Weibull 分布	Weibull 分布	Rayleigh 分布
$H_{1/100}$	$\beta[(c^\alpha + \ln 100)^{\frac{1}{\alpha}} - c]$ $+ \frac{100\beta}{\alpha} e^{c^\alpha} \Gamma(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha + \ln 100)$	$\beta[(\ln 100)^{\frac{1}{\alpha}}]$ $+ \frac{100\beta}{\alpha} \Gamma(\frac{1}{\alpha}, \ln 100)$	$\beta[(\ln 100)^{\frac{1}{2}}]$ $+ 50\beta\Gamma(\frac{1}{2}, \ln 100)$
$H_{1/10}$	$\beta[(c^\alpha + \ln 10)^{\frac{1}{\alpha}} - c]$ $+ \frac{10\beta}{\alpha} e^{c^\alpha} \Gamma(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha + \ln 10)$	$\beta[(\ln 10)^{\frac{1}{\alpha}}]$ $+ \frac{10\beta}{\alpha} \Gamma(\frac{1}{\alpha}, \ln 10)$	$\beta[(\ln 10)^{\frac{1}{2}}]$ $+ 5\beta\Gamma(\frac{1}{2}, \ln 10)$
H_s	$\beta[(c^\alpha + \ln 3)^{\frac{1}{\alpha}} - c]$ $+ \frac{3\beta}{\alpha} e^{c^\alpha} \Gamma(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha + \ln 3)$	$\beta[(\ln 3)^{\frac{1}{\alpha}}]$ $+ \frac{3\beta}{\alpha} \Gamma(\frac{1}{\alpha}, \ln 3)$	$\beta[(\ln 3)^{\frac{1}{2}}]$ $+ \frac{3}{2}\beta\Gamma(\frac{1}{2}, \ln 3)$
\bar{H}	$\frac{\beta}{\alpha} e^{c^\alpha} \Gamma(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha)$	$\frac{\beta}{\alpha} \Gamma(\frac{1}{\alpha})$	$\frac{\beta\sqrt{\pi}}{2}$
H_{rms}	$\left(2e^{c^\alpha} \frac{\beta^2}{\alpha} [\Gamma(\frac{2}{\alpha}, c^\alpha) - c\Gamma(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha)]\right)^{\frac{1}{2}}$	$\left(2\frac{\beta^2}{\alpha} \Gamma(\frac{2}{\alpha})\right)^{\frac{1}{2}}$	β
H_{mf}	$\beta[(1 - \frac{1}{\alpha})^{\frac{1}{\alpha}} - c]$	$\beta[(1 - \frac{1}{\alpha})^{\frac{1}{\alpha}}]$	$\frac{\beta}{\sqrt{2}}$

3-2 Gamma 與 Normal 分布系列之統計代表值推導

根據蔡(2006)、李(2007)研究，三個港口的波浪週期分析較合宜機率密度為 Erlang 分布，由統計理論可知 Erlang 分布為 Gamma 分布中尺度參數為整數的特例，而本研究除了以往所探討的 Gamma、Erlang、Rayleigh 分布外，尚將 Normal 分布加入討論。現將分布依上述方法推導分布之統計代表值。變數依大小排列下，機率高於 $F(x \leq x_p) = 1 - p$ 之平均值為 \bar{x}_p ，因此

$$1 - F(x \leq x_p) = p = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_{x_p}^{\infty} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\frac{t}{\beta}} d\left(\frac{t}{\beta}\right) = \frac{\Gamma(\alpha, \frac{x_p}{\beta})}{\Gamma(\alpha)} \quad (3-10)$$

若給定 p 值，則以數值解析疊代式(3-10)，可得 x_p 而使 x 大於 x_p 之機率為 p 。 x 在 x_p 至 ∞ 間之平均值 \bar{x}_p ，則依機率密度函數可得

$$\begin{aligned}
\bar{x}_p &= \frac{1}{p} \int_{x_p}^{\infty} x f(x) dx \\
&= \frac{1}{p} \frac{\beta}{\Gamma(\beta)} \int_{x_p}^{\infty} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha} e^{-\frac{t}{\beta}} d\left(\frac{t}{\beta}\right) \\
&= \frac{1}{p} \frac{\beta \Gamma(\alpha + 1, x_p / \beta)}{\Gamma(\alpha)} \\
&= \alpha\beta + \frac{\beta}{p\Gamma(\alpha)} \left(\frac{x_p}{\beta}\right)^{\alpha} e^{-\frac{x_p}{\beta}}
\end{aligned} \tag{3-11}$$

依均方值(root-mean-square) 定義得 Gamma 分布之均方值為

$$\begin{aligned}
x_{rms}^2 &= \int_0^{\infty} x^2 f(x) dx \\
&= \frac{\beta^2}{\Gamma(\alpha)} \int_0^{\infty} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha+1} e^{-\frac{t}{\beta}} d\left(\frac{t}{\beta}\right) \\
&= \alpha(\alpha+1)\beta^2
\end{aligned} \tag{3-12}$$

今將上述所推導有關 Gamma 分布系列之統計特性公式列如表 3-2；同上述推導方法將 Normal 分布系列之統計特性公式列如表 3-3。

表 3-2 Gamma 分布系列之統計特性公式

	Gamma 分布	Erlang 分布
$T_{1/100}$	$\alpha\beta + \frac{100\beta}{\Gamma(\alpha)} \left(\frac{x_{1/100}}{\beta}\right)^{\alpha} e^{-\frac{x_{1/100}}{\beta}}$	$n\beta + \frac{100\beta}{(n-1)!} \left(\frac{x_{1/100}}{\beta}\right)^n e^{-\frac{x_{1/100}}{\beta}}$
$T_{1/10}$	$\alpha\beta + \frac{10\beta}{\Gamma(\alpha)} \left(\frac{x_{1/10}}{\beta}\right)^{\alpha} e^{-\frac{x_{1/10}}{\beta}}$	$n\beta + \frac{10\beta}{(n-1)!} \left(\frac{x_{1/10}}{\beta}\right)^n e^{-\frac{x_{1/10}}{\beta}}$
T_s	$\alpha\beta + \frac{3\beta}{\Gamma(\alpha)} \left(\frac{x_{1/30}}{\beta}\right)^{\alpha} e^{-\frac{x_{1/30}}{\beta}}$	$n\beta + \frac{3\beta}{(n-1)!} \left(\frac{x_{1/3}}{\beta}\right)^n e^{-\frac{x_{1/3}}{\beta}}$
\bar{T}	$\alpha\beta$	$n\beta$
T_{rms}	$\beta\sqrt{\alpha(\alpha+1)}$	$\beta\sqrt{n(n+1)}$

表 3-3 Normal 分布系列之統計特性公式

	Normal 分布	Log-Normal 分布
$H_{1/100}$	$\frac{100\sqrt{2}\sigma}{2\sqrt{\pi}} e^{-\left(\frac{x_p-\mu}{\sqrt{2}\sigma}\right)^2} + \frac{100\mu}{2} \text{Erfc}\left(\frac{x_p-\mu}{\sqrt{2}\sigma}\right)$	$\frac{100}{2} e^{\mu+\frac{\sigma^2}{2}} \text{erfc}\left(\frac{\ln(x_p)-\mu}{\sqrt{2}\sigma} - \frac{\sqrt{2}\sigma}{2}\right)$
$H_{1/10}$	$\frac{10\sqrt{2}\sigma}{2\sqrt{\pi}} e^{-\left(\frac{x_p-\mu}{\sqrt{2}\sigma}\right)^2} + \frac{10\mu}{2} \text{Erfc}\left(\frac{x_p-\mu}{\sqrt{2}\sigma}\right)$	$\frac{10}{2} e^{\mu+\frac{\sigma^2}{2}} \text{erfc}\left(\frac{\ln(x_p)-\mu}{\sqrt{2}\sigma} - \frac{\sqrt{2}\sigma}{2}\right)$
H_s	$\frac{3\sqrt{2}\sigma}{2\sqrt{\pi}} e^{-\left(\frac{x_p-\mu}{\sqrt{2}\sigma}\right)^2} + \frac{3\mu}{2} \text{Erfc}\left(\frac{x_p-\mu}{\sqrt{2}\sigma}\right)$	$\frac{3}{2} e^{\mu+\frac{\sigma^2}{2}} \text{erfc}\left(\frac{\ln(x_p)-\mu}{\sqrt{2}\sigma} - \frac{\sqrt{2}\sigma}{2}\right)$
\bar{H}	μ	e^μ
H_{rms}	$\sqrt{\sigma^2 + \mu^2}$	$\sqrt{e^{2\mu+2\sigma^2}}$

3-3 波高最適分布

3-3-1 以統計公式之評估結果

將港灣技術研究中心所提供之花蓮、台北與安平港波浪資料，依據波浪分析之步驟，將示性波高大小歸類成 $H_S < 0.5\text{m}$ 、 $0.5\text{m} < H_S < 1.0\text{m}$ 、 $1.0\text{m} < H_S < 1.5\text{m}$ 、 $1.5\text{m} < H_S < 2.0\text{m}$ 、 $2.5\text{m} < H_S < 3.0\text{m}$ 及 $H_S > 3.0\text{m}$ 六個區間，六組中各取 30 小時之每小時波浪，利用最大概似法求得各分布之參數後，由表 3-1 計算三個港口之示性波浪波高統計特性與實測值之比較示如表 3-4 至表 3-9、表 3-10 至表 3-15 與表 3-16 至表 3-21，比較的項目為 $H_{1/100}$ 、 $H_{1/10}$ 、 H_S 、 H_{mean} 及 H_{rms} 之 RMSE 與 R^2 。依據 RMSE 與 R^2 兩參數可判斷出 Modified Weibull、Weibull 及 Rayleigh 三個分布函數所計算出的理論波高統計值與實際波高統計值之吻合程度。

在 RMSE 與 R^2 兩種評比指標之下，除了在 H_S 部份，由表可知是

以 Modified Weibull 分布為最優；而 H_{rms} 部份則以 Rayleigh 分布為最佳分布外，可以看出整體部份係以 Weibull 分布所得之波高統計特性與實測值接近程度比以其它兩種分布所推得之結果較為吻合。



表 3-4 2006 年台北港波高統計特性與實測值之比較($H_s < 0.5m$)

第一組	Modified Weibull			Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R^2	$\frac{RMSE}{H_s}$	RMSE (m)	R^2	$\frac{RMSE}{H_s}$	RMSE (m)	R^2	$\frac{RMSE}{H_s}$
$H_{1/100}$	0.056	0.721	0.128	0.056	0.729	0.128	0.097	0.649	0.223
$H_{1/10}$	0.014	0.946	0.032	0.013	0.951	0.030	0.032	0.850	0.074
H_s	0.003	0.996	0.008	0.004	0.991	0.010	0.012	0.972	0.028
H_{mean}	0.002	0.997	0.005	0.001	1.000	0.001	0.007	0.985	0.017
H_{rms}	0.002	0.998	0.004	0.000	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 3-5 2006 年台北港波高統計特性與實測值之比較($0.5m < H_s < 1.0m$)

第二組	Modified Weibull			Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R^2	$\frac{RMSE}{H_s}$	RMSE (m)	R^2	$\frac{RMSE}{H_s}$	RMSE (m)	R^2	$\frac{RMSE}{H_s}$
$H_{1/100}$	0.111	0.740	0.168	0.110	0.742	0.168	0.136	0.666	0.206
$H_{1/10}$	0.028	0.968	0.042	0.027	0.968	0.041	0.035	0.951	0.053
H_s	0.006	0.998	0.008	0.007	0.996	0.011	0.015	0.987	0.022
H_{mean}	0.004	0.998	0.005	0.001	1.000	0.002	0.009	0.988	0.013
H_{rms}	0.003	0.999	0.004	0.001	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 3-6 2006 年台北港波高統計特性與實測值之比較(1.0m<H_s<1.5m)

第三組	Modified Weibull			Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
H _{1/100}	0.178	0.820	0.149	0.176	0.831	0.147	0.266	0.772	0.223
H _{1/10}	0.037	0.964	0.031	0.037	0.965	0.031	0.098	0.859	0.082
H _s	0.010	0.997	0.008	0.017	0.993	0.014	0.039	0.970	0.033
H _{mean}	0.010	0.996	0.008	0.003	0.999	0.002	0.019	0.980	0.016
H _{rms}	0.008	0.998	0.006	0.001	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 3-7 2006 年台北港波高統計特性與實測值之比較(1.5m<H_s<2.0m)

第四組	Modified Weibull			Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
H _{1/100}	0.306	0.557	0.182	0.309	0.557	0.184	0.437	0.314	0.260
H _{1/10}	0.055	0.907	0.033	0.059	0.896	0.035	0.126	0.756	0.075
H _s	0.015	0.993	0.009	0.019	0.987	0.011	0.039	0.961	0.023
H _{mean}	0.010	0.995	0.006	0.004	0.999	0.002	0.026	0.980	0.015
H _{rms}	0.006	0.988	0.004	0.001	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 3-8 2006 年台北港波高統計特性與實測值之比較($2.5\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)

第五組	Modified Weibull			Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	RMSE (m)	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	RMSE (m)	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$
$H_{1/100}$	0.349	0.733	0.147	0.349	0.738	0.147	0.558	0.513	0.235
$H_{1/10}$	0.083	0.961	0.035	0.084	0.959	0.035	0.207	0.814	0.088
H_s	0.024	0.993	0.010	0.033	0.987	0.014	0.073	0.963	0.031
H_{mean}	0.018	0.994	0.008	0.005	0.999	0.002	0.040	0.979	0.017
H_{rms}	0.013	0.998	0.005	0.002	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 3-9 2006 年台北港波高統計特性與實測值之比較($H_s > 3.0\text{m}$)

第六組	Modified Weibull			Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	RMSE (m)	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	RMSE (m)	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$
$H_{1/100}$	0.646	0.659	0.187	0.660	0.650	0.191	0.951	0.393	0.276
$H_{1/10}$	0.143	0.926	0.041	0.158	0.914	0.046	0.287	0.800	0.083
H_s	0.039	0.990	0.011	0.055	0.980	0.016	0.089	0.969	0.026
H_{mean}	0.033	0.988	0.010	0.011	0.998	0.003	0.050	0.977	0.014
H_{rms}	0.023	0.996	0.007	0.004	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 3-10 2006 年安平港波高統計特性與實測值之比較($H_s < 0.5\text{m}$)

第一組	Modified Weibull			Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	RMSE (m)	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	RMSE (m)	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$
$H_{1/100}$	0.067	0.737	0.161	0.065	0.749	0.158	0.096	0.547	0.232
$H_{1/10}$	0.016	0.951	0.040	0.016	0.955	0.037	0.032	0.872	0.076
H_s	0.003	0.995	0.008	0.005	0.990	0.012	0.011	0.980	0.027
H_{mean}	0.003	0.995	0.006	0.001	1.000	0.001	0.006	0.985	0.015
H_{rms}	0.002	0.998	0.005	0.000	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 3-11 2006 年安平港波高統計特性與實測值之比較($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)

第二組	Modified Weibull			Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	RMSE (m)	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	RMSE (m)	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$
$H_{1/100}$	0.099	0.796	0.176	0.099	0.798	0.176	0.143	0.603	0.254
$H_{1/10}$	0.022	0.942	0.039	0.022	0.944	0.039	0.043	0.862	0.076
H_s	0.004	0.996	0.006	0.005	0.994	0.009	0.014	0.977	0.024
H_{mean}	0.003	0.998	0.004	0.001	1.000	0.001	0.008	0.983	0.013
H_{rms}	0.002	0.999	0.004	0.000	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 3-12 2006 年安平港波高統計特性與實測值之比較(1.0m<H_s<1.5m)

第三組	Modified Weibull			Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
H _{1/100}	0.204	0.244	0.185	0.205	0.247	0.186	0.259	0.149	0.235
H _{1/10}	0.037	0.826	0.034	0.038	0.824	0.034	0.074	0.585	0.067
H _s	0.011	0.983	0.010	0.011	0.976	0.010	0.026	0.864	0.024
H _{mean}	0.004	0.995	0.003	0.002	0.998	0.002	0.015	0.933	0.014
H _{rms}	0.003	0.998	0.002	0.001	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 3-13 2006 年安平港波高統計特性與實測值之比較(1.5m<H_s<2.0m)

第四組	Modified Weibull			Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
H _{1/100}	0.264	0.474	0.148	0.263	0.493	0.147	0.413	0.301	0.231
H _{1/10}	0.076	0.803	0.043	0.075	0.813	0.042	0.150	0.676	0.084
H _s	0.014	0.990	0.008	0.019	0.981	0.010	0.053	0.939	0.029
H _{mean}	0.009	0.995	0.005	0.003	0.999	0.002	0.028	0.980	0.016
H _{rms}	0.007	0.998	0.004	0.001	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 3-14 2006 年安平港波高統計特性與實測值之比較($2.5\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)

第五組	Modified Weibull			Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	RMSE (m)	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	RMSE (m)	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$
$H_{1/100}$	0.377	0.586	0.168	0.381	0.590	0.170	0.633	0.403	0.282
$H_{1/10}$	0.116	0.890	0.051	0.117	0.891	0.052	0.236	0.780	0.105
H_s	0.020	0.995	0.009	0.028	0.991	0.012	0.074	0.972	0.033
H_{mean}	0.014	0.997	0.006	0.005	1.000	0.002	0.039	0.986	0.017
H_{rms}	0.012	0.999	0.005	0.002	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 3-15 2006 年安平港波高統計特性與實測值之比較($H_s > 3.0\text{m}$)

第六組	Modified Weibull			Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	RMSE (m)	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	RMSE (m)	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$
$H_{1/100}$	0.823	0.457	0.227	0.829	0.465	0.228	1.200	0.401	0.331
$H_{1/10}$	0.210	0.865	0.058	0.219	0.861	0.060	0.416	0.738	0.115
H_s	0.035	0.992	0.010	0.048	0.986	0.013	0.121	0.954	0.033
H_{mean}	0.027	0.994	0.007	0.011	0.999	0.003	0.068	0.974	0.019
H_{rms}	0.020	0.997	0.006	0.005	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 3-16 2004 年花蓮港波高統計特性與實測值之比較($H_s < 0.5m$)

第一組	Modified Weibull			Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R^2	$\frac{RMSE}{H_s}$	RMSE (m)	R^2	$\frac{RMSE}{H_s}$	RMSE (m)	R^2	$\frac{RMSE}{H_s}$
$H_{1/100}$	0.084	0.304	0.184	0.083	0.317	0.182	0.093	0.208	0.205
$H_{1/10}$	0.021	0.780	0.046	0.021	0.791	0.045	0.029	0.642	0.063
H_s	0.003	0.989	0.007	0.005	0.978	0.010	0.010	0.933	0.021
H_{mean}	0.003	0.991	0.006	0.001	0.998	0.002	0.006	0.944	0.013
H_{rms}	0.002	0.995	0.005	0.000	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 3-17 2004 年花蓮港波高統計特性與實測值之比較($0.5m < H_s < 1.0m$)

第二組	Modified Weibull			Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R^2	$\frac{RMSE}{H_s}$	RMSE (m)	R^2	$\frac{RMSE}{H_s}$	RMSE (m)	R^2	$\frac{RMSE}{H_s}$
$H_{1/100}$	0.090	0.770	0.129	0.091	0.765	0.131	0.123	0.613	0.177
$H_{1/10}$	0.026	0.953	0.037	0.026	0.953	0.038	0.039	0.905	0.056
H_s	0.005	0.997	0.007	0.006	0.995	0.009	0.012	0.983	0.018
H_{mean}	0.003	0.998	0.005	0.001	0.999	0.002	0.008	0.984	0.011
H_{rms}	0.002	0.999	0.003	0.000	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 3-18 2004 年花蓮港波高統計特性與實測值之比較(1.0m<H_s<1.5m)

第三組	Modified Weibull			Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
H _{1/100}	0.161	0.500	0.143	0.160	0.508	0.143	0.217	0.359	0.193
H _{1/10}	0.034	0.922	0.030	0.034	0.923	0.031	0.073	0.756	0.065
H _s	0.012	0.988	0.010	0.013	0.982	0.012	0.025	0.937	0.023
H _{mean}	0.005	0.996	0.004	0.002	0.999	0.001	0.014	0.966	0.013
H _{rms}	0.004	0.998	0.003	0.001	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 3-19 2004 年花蓮港波高統計特性與實測值之比較(1.5m<H_s<2.0m)

第四組	Modified Weibull			Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
H _{1/100}	0.225	0.574	0.135	0.223	0.587	0.134	0.358	0.117	0.216
H _{1/10}	0.064	0.880	0.038	0.062	0.887	0.037	0.129	0.544	0.078
H _s	0.016	0.989	0.010	0.019	0.979	0.012	0.036	0.928	0.021
H _{mean}	0.008	0.993	0.005	0.003	0.999	0.002	0.022	0.942	0.014
H _{rms}	0.007	0.995	0.004	0.001	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 3-20 2004 年花蓮港波高統計特性與實測值之比較($2.5\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)

第五組	Modified Weibull			Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
H _{1/100}	0.355	0.660	0.158	0.352	0.672	0.156	0.474	0.600	0.210
H _{1/10}	0.072	0.957	0.032	0.069	0.957	0.030	0.140	0.821	0.062
H _s	0.019	0.991	0.008	0.024	0.985	0.011	0.056	0.945	0.025
H _{mean}	0.011	0.996	0.005	0.003	0.999	0.002	0.032	0.968	0.014
H _{rms}	0.009	0.998	0.004	0.002	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 3-21 2004 年花蓮港波高統計特性與實測值之比較($H_s > 3.0\text{m}$)

第六組	Modified Weibull			Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
H _{1/100}	0.734	0.740	0.221	0.741	0.736	0.223	1.123	0.509	0.338
H _{1/10}	0.545	0.883	0.164	0.536	0.885	0.161	0.763	0.616	0.230
H _s	0.053	0.974	0.016	0.049	0.975	0.015	0.115	0.901	0.035
H _{mean}	0.021	0.992	0.006	0.008	0.999	0.002	0.207	0.339	0.062
H _{rms}	0.100	0.875	0.030	0.095	0.881	0.029	0.000	1.000	0.000

3-3-2 以 Ksdensity 方法之評估結果

本研究所使用 Ksdensity 方法係參考 Ferreira 等(1999)所提出的 paper 中之研究方法。Ksdensity 為統計學中之一種參數推估平滑方式，在一列不知其機率分布的樣本中，應用 Ksdensity 方法可以針對這一系列樣本推估出一連續性函數。將應用 Ksdensity 依據波高資料所推估出的函數特性設為實測值，而把利用最大概似法求出參數，再將參數代回各分布機率密度函數所計算出來的統計特性設為理論值，藉著 RMSE 來判斷其吻合度情況。

2006 年台北港、安平港與 2004 花蓮港藉由 Ksdensity 方法所分析出的波高特性結果如表 3-22 至表 3-24 所示。依據 RMSE 指標可判斷出三個港口之波高特性皆以 Weibull 分布為其最適分布。由 3-3-1 節統計公式法所得之結果也表示係以 Weibull 分布為最優分布，根據此結果，對於分析往後波高資料，利用 Weibull 分布特性及計算方式，可以更適切地來描述台北港、安平港與花蓮港波浪特性。

表 3-22 2006 年台北港波高統計特性評估結果

RMSE	Weibull	Modified Weibull	Gamma	Rayleigh	Log-Normal
No.1	0.173	0.175	0.280	0.235	0.451
No.2	0.126	0.127	0.185	0.148	0.291
No.3	0.068	0.069	0.118	0.090	0.184
No.4	0.053	0.054	0.082	0.059	0.127
No.5	0.039	0.040	0.061	0.047	0.092
No.6	0.027	0.027	0.043	0.030	0.065

表 3-23 2006 年安平港波高統計特性評估結果

RMSE	Weibull	Modified Weibull	Gamma	Rayleigh	Log-Normal
No.1	0.193	0.196	0.307	0.233	0.483
No.2	0.158	0.160	0.250	0.184	0.380
No.3	0.074	0.075	0.115	0.088	0.181
No.4	0.053	0.053	0.079	0.063	0.120
No.5	0.042	0.042	0.066	0.052	0.099
No.6	0.029	0.030	0.044	0.035	0.065

表 3-24 2004 年花蓮港波高統計特性評估結果

RMSE	Weibull	Modified Weibull	Gamma	Rayleigh	Log-Normal
No.1	0.169	0.174	0.262	0.197	0.431
No.2	0.108	0.109	0.178	0.123	0.293
No.3	0.066	0.066	0.107	0.079	0.174
No.4	0.050	0.051	0.074	0.054	0.116
No.5	0.036	0.036	0.057	0.040	0.088
No.6	0.031	0.032	0.038	0.041	0.056

3-4 示性波高之最適機率分布

因為示性波浪接近人類以目視觀測不規則波直覺上獲得的波高，在統計特性上，發現其具有最大的安定性，不會隨著取樣不同而變化，較能反映波浪所含能量的大小，因而常被分析不規則波時當為代表該統計特性之指標，本研究尚舉出 $H_{1/10}$ 較大波浪一起討論分析。在此，除了原本 2006 年台北港與安平港資料之外，還整理了 2005 年之台北港與 2001 年安平港資料來參與討論，增加分析的客觀性。本研究根據不同年份之台北港與安平港及 2004 年花蓮港的實測資料統計而得的之示性波高，將其分成全年、季及月等部份，因為示性波浪為波高前 1/3 大之平均，而此部份所使用之分布函數其函數曲線均是從零點開始，為了讓分析結果更準確，所以本研究先將此年、季及月等資料，先扣除其資料最小值後，再利用前面章節所述之統計公式方法與 Ksdensity 方法來和 Gamma、Weibull、Rayleigh、Log-Normal 及 Modified Weibull 五個分布函數進行分析，以瞭解不同季節下之示性波高分布特性。

3-4-1 以統計公式之評估結果

將前述所分成年、季及月之資料利用 3-3-1 節之方法，以最大概似法求出各分布之參數，代回表 3-1 計算三個港口之示性波浪波高統計值與實測示性波高統計代表值之比較，示如表 3-25 至表 3-34。為了方便比較各分布之 RMSE 值，將表轉繪成圖 3-2 至圖 3-11，由圖可知 Weibull 類函數之 RMSE 值大部份均比其它分布來的低，因此可判

斷在描述三個港口之示性波浪最適分布時，Weibull 類函數其效果最好，而其中本研究所探討的加入修正係數之 Modified Weibull 分布更可用來代表示性波浪特性。

表 3-25 2006 年台北港 H_s 統計特性與實測值之比較

RMSE	Gamma	Weibull	Modified Weibull	Rayleigh	Log-Normal
全年	0.005	0.008	0.008	0.072	0.314
第 2 季	0.045	0.036	0.023	0.038	0.030
第 3 季	0.054	0.034	0.042	0.040	0.131
第 4 季	0.103	0.016	0.007	0.015	0.533
3 月	0.030	0.005	0.005	0.006	0.155
4 月	0.032	0.031	0.082	0.074	0.088
6 月	0.003	0.001	0.002	0.005	0.008
7 月	0.005	0.002	0.002	0.035	0.269
8 月	0.019	0.021	0.021	0.041	0.048
9 月	0.015	0.026	0.085	0.151	0.538
11 月	0.067	0.012	0.003	0.043	0.468
12 月	0.070	0.003	0.001	0.001	0.322

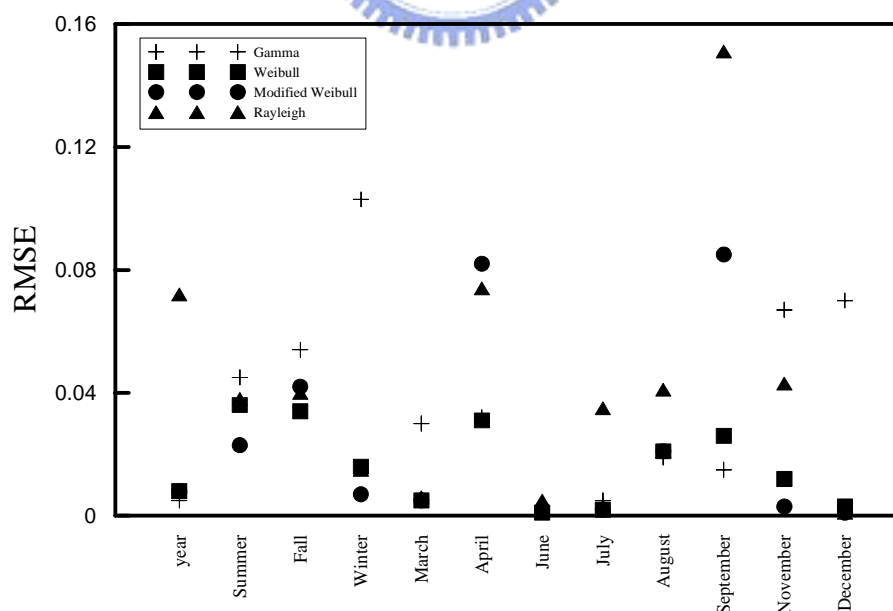


圖 3-2 2006 年台北港 H_s 各分布比較圖(統計公式法)

表 3-26 2006 年台北港 $H_{1/10}$ 統計特性與實測值之比較

RMSE	Gamma	Weibull	Modified Weibull	Rayleigh	Log-Normal
全年	0.044	0.010	0.010	0.367	1.105
第 2 季	0.076	0.042	0.027	0.248	0.279
第 3 季	0.275	0.228	0.238	0.591	0.476
第 4 季	0.353	0.102	0.094	0.010	1.505
3 月	0.286	0.246	0.246	0.561	0.427
4 月	0.101	0.087	0.030	0.134	0.548
6 月	0.007	0.011	0.011	0.026	0.031
7 月	0.025	0.052	0.053	0.287	0.800
8 月	0.035	0.013	0.013	0.074	0.259
9 月	0.190	0.137	0.071	0.491	2.011
11 月	0.301	0.137	0.128	0.043	1.426
12 月	0.280	0.074	0.073	0.070	0.959

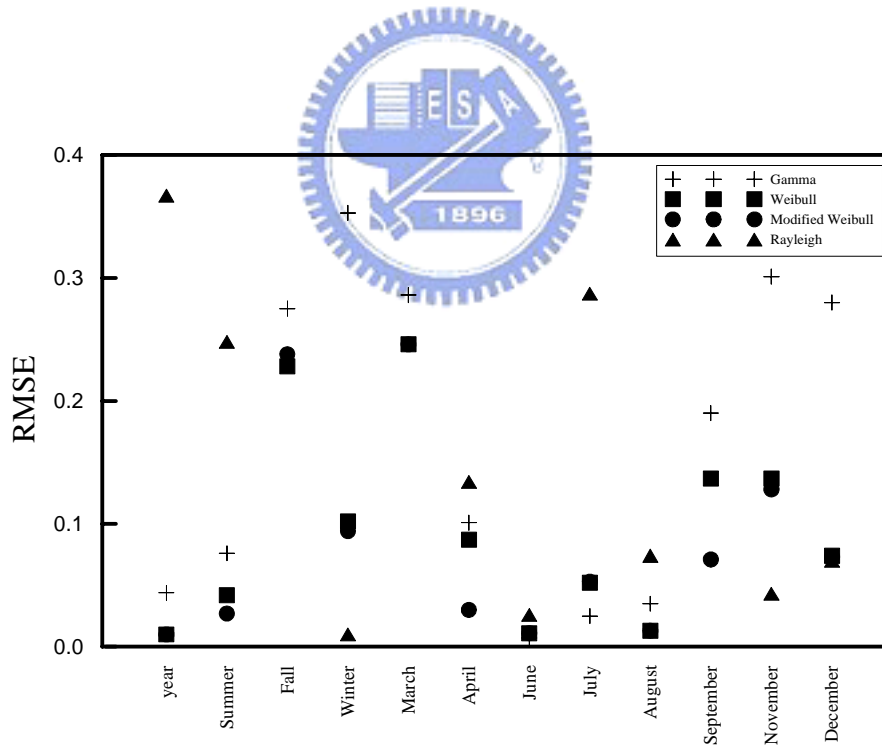


圖 3-3 2006 年台北港 $H_{1/10}$ 各分布比較圖(統計公式法)

表 3-27 2006 年安平港 H_s 統計特性與實測值之比較

RMSE	Gamma	Weibull	Modified Weibull	Rayleigh	Log-Normal
全年	0.038	0.007	0.007	0.043	0.055
第 1 季	0.014	0.008	0.004	0.016	0.048
第 2 季	0.059	0.035	0.061	0.027	0.027
第 3 季	0.039	0.013	0.014	0.032	0.103
第 4 季	0.011	0.004	0.002	0.003	0.058
1 月	0.005	0.001	0.001	0.012	0.021
2 月	0.014	0.011	0.005	0.009	0.050
3 月	0.007	0.005	0.005	0.011	0.061
4 月	0.003	0.008	0.004	0.003	0.020
6 月	0.058	0.047	0.092	0.083	0.109
7 月	0.032	0.018	0.008	0.060	0.482
8 月	0.011	0.003	0.003	0.036	0.203
9 月	0.007	0.007	0.007	0.024	0.046
10 月	0.002	0.001	0.000	0.006	0.024
11 月	0.006	0.001	0.000	0.005	0.063
12 月	0.007	0.001	0.000	0.002	0.036

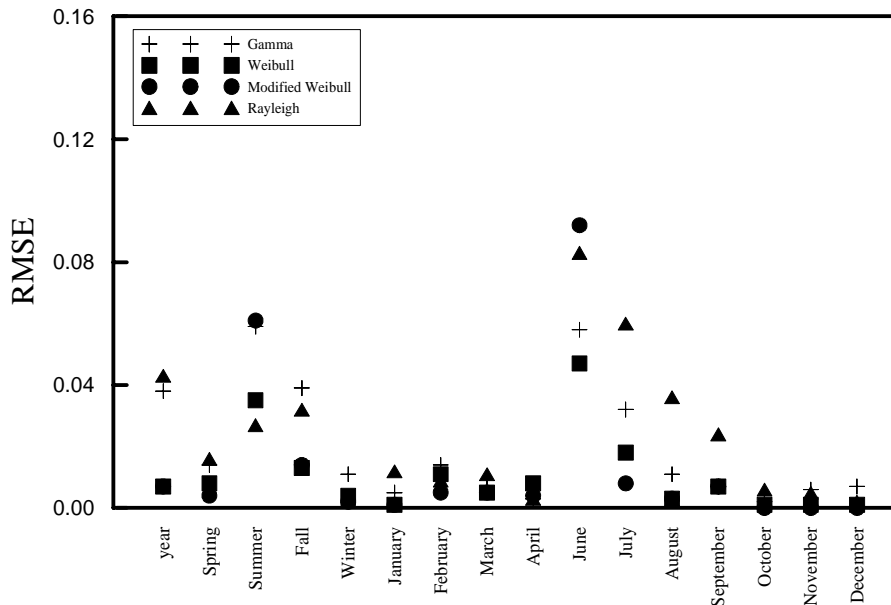


圖 3-4 2006 年安平港 H_s 各分布比較圖(統計公式法)

表 3-28 2006 年安平港 $H_{1/10}$ 統計特性與實測值之比較

RMSE	Gamma	Weibull	Modified Weibull	Rayleigh	Log-Normal
全年	0.359	0.276	0.276	0.398	0.272
第 1 季	0.033	0.002	0.002	0.027	0.122
第 2 季	0.244	0.196	0.226	0.389	0.005
第 3 季	0.251	0.222	0.222	0.519	0.326
第 4 季	0.030	0.002	0.004	0.006	0.159
1 月	0.022	0.001	0.001	0.031	0.067
2 月	0.008	0.014	0.020	0.020	0.114
3 月	0.059	0.020	0.020	0.002	0.215
4 月	0.050	0.041	0.045	0.083	0.038
6 月	0.103	0.092	0.143	0.388	0.524
7 月	0.087	0.185	0.195	0.570	1.286
8 月	0.151	0.170	0.170	0.376	0.516
9 月	0.002	0.016	0.016	0.093	0.189
10 月	0.007	0.016	0.017	0.044	0.082
11 月	0.015	0.013	0.013	0.031	0.171
12 月	0.024	0.000	0.000	0.003	0.104

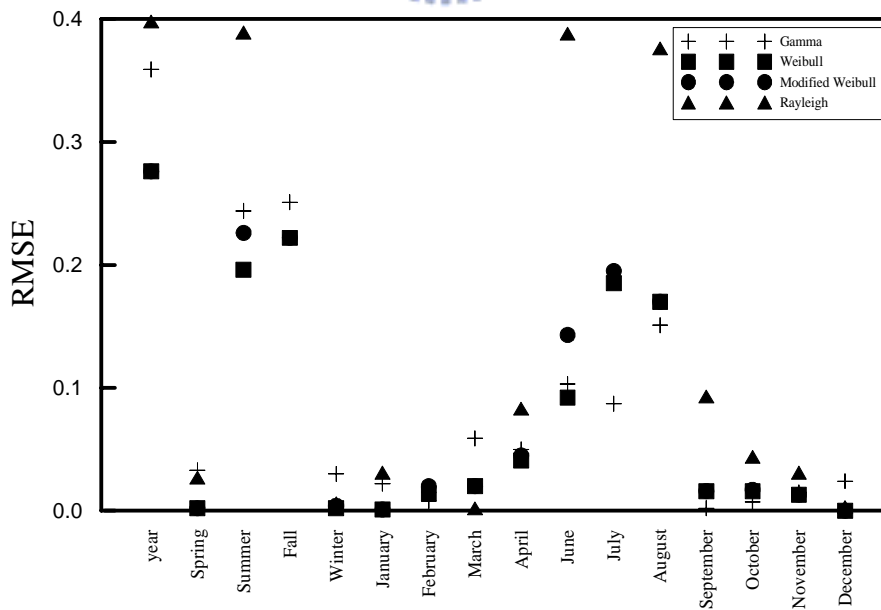


圖 3-5 2006 年安平港 $H_{1/10}$ 各分布比較圖(統計公式法)

表 3-29 2004 年花蓮港 H_s 統計特性與實測值之比較

RMSE	Gamma	Weibull	Modified Weibull	Rayleigh	Log-Normal
全年	0.005	0.045	0.021	0.022	0.053
第 1 季	0.016	0.008	0.003	0.017	0.099
第 2 季	0.006	0.004	0.005	0.037	0.184
第 3 季	0.108	0.057	0.058	0.080	0.085
第 4 季	0.026	0.039	0.024	0.031	0.039
1 月	0.017	0.010	0.010	0.029	0.063
2 月	0.077	0.025	0.013	0.038	0.281
3 月	0.017	0.004	0.004	0.001	0.113
4 月	0.006	0.012	0.012	0.036	0.126
5 月	0.049	0.037	0.009	0.008	0.364
6 月	0.058	0.043	0.003	0.047	0.106
7 月	0.001	0.085	0.065	0.185	0.095
8 月	0.023	0.015	0.000	0.093	0.660
9 月	0.025	0.015	0.015	0.054	0.408
10 月	0.051	0.013	0.014	0.052	0.185
11 月	0.031	0.003	0.004	0.020	0.179
12 月	0.031	0.015	0.010	0.004	0.024

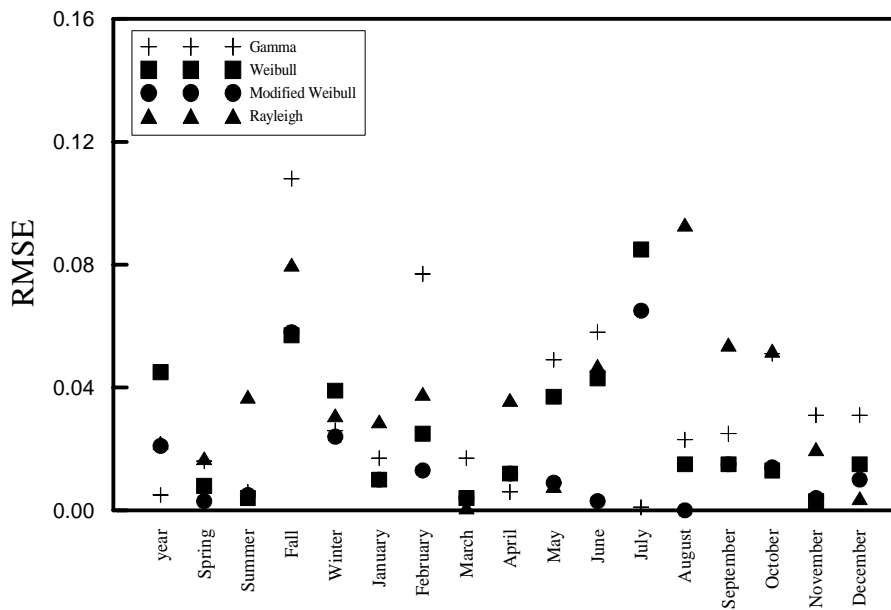


圖 3-6 2004 年花蓮港 H_s 各分布比較圖(統計公式法)

表 3-30 2004 年花蓮港 $H_{1/10}$ 統計特性與實測值之比較

RMSE	Gamma	Weibull	Modified Weibull	Rayleigh	Log-Normal
全年	0.206	0.167	0.191	0.308	0.060
第 1 季	0.023	0.035	0.040	0.006	0.254
第 2 季	0.068	0.094	0.095	0.287	0.534
第 3 季	0.327	0.260	0.261	0.558	0.036
第 4 季	0.394	0.311	0.326	0.512	0.073
1 月	0.060	0.077	0.078	0.166	0.205
2 月	0.160	0.012	0.000	0.049	0.672
3 月	0.090	0.019	0.018	0.027	0.345
4 月	0.109	0.030	0.029	0.052	0.477
5 月	0.006	0.047	0.079	0.275	0.954
6 月	0.237	0.187	0.137	0.521	0.445
7 月	0.485	0.317	0.338	0.354	0.598
8 月	0.067	0.032	0.016	0.549	2.096
9 月	0.052	0.025	0.025	0.519	1.429
10 月	0.412	0.381	0.383	0.818	0.492
11 月	0.170	0.052	0.052	0.002	0.598
12 月	0.335	0.276	0.280	0.401	0.212

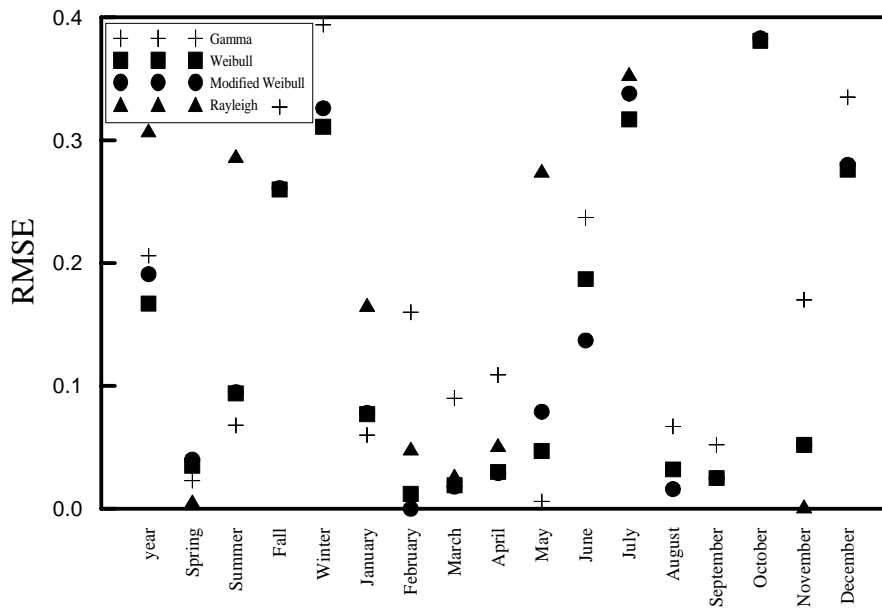


圖 3-7 2004 年花蓮港 $H_{1/10}$ 各分布比較圖(統計公式法)

表 3-31 2005 年台北港 H_s 統計特性與實測值之比較

RMSE	Gamma	Weibull	Modified Weibull	Rayleigh	Log-Normal
全年	0.013	0.027	0.028	0.111	0.299
第 1 季	0.271	0.055	0.017	0.052	0.900
第 2 季	0.023	0.004	0.005	0.048	0.258
第 3 季	0.060	0.032	0.032	0.016	0.034
第 4 季	0.143	0.039	0.014	0.014	0.638
1 月	0.166	0.032	0.017	0.060	0.565
2 月	0.132	0.051	0.009	0.101	0.848
3 月	0.050	0.020	0.006	0.121	0.709
4 月	0.062	0.019	0.003	0.050	0.469
5 月	0.017	0.009	0.009	0.051	0.200
6 月	0.005	0.003	0.002	0.027	0.147
7 月	0.050	0.028	0.038	0.006	0.056
8 月	0.063	0.042	0.019	0.063	0.041
9 月	0.018	0.018	0.018	0.082	0.255
10 月	0.040	0.002	0.002	0.043	0.289
11 月	0.069	0.026	0.006	0.136	0.768
12 月	0.171	0.064	0.032	0.090	0.592

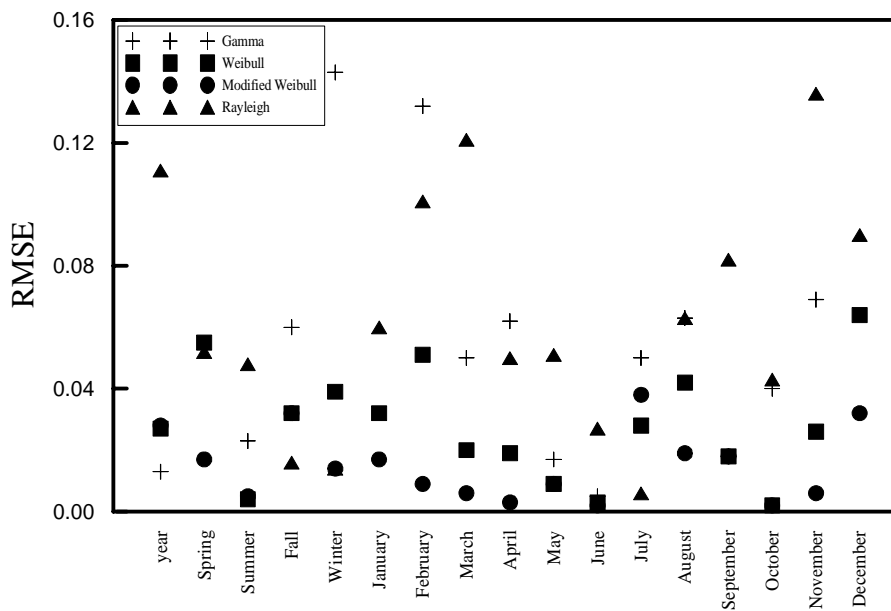


圖 3-8 2005 年台北港 H_s 各分布比較圖(統計公式法)

表 3-32 2005 年台北港 $H_{1/10}$ 統計特性與實測值之比較

RMSE	Gamma	Weibull	Modified Weibull	Rayleigh	Log-Normal
全年	0.152	0.069	0.067	0.317	1.188
第 1 季	0.784	0.315	0.277	0.019	2.717
第 2 季	0.125	0.023	0.022	0.139	0.821
第 3 季	0.308	0.250	0.250	0.537	0.167
第 4 季	0.457	0.148	0.123	0.016	1.827
1 月	0.483	0.117	0.102	0.194	1.518
2 月	0.667	0.418	0.374	0.109	2.819
3 月	0.320	0.218	0.191	0.388	2.400
4 月	0.270	0.140	0.124	0.100	1.457
5 月	0.139	0.034	0.034	0.119	0.708
6 月	0.058	0.097	0.098	0.238	0.389
7 月	0.242	0.192	0.203	0.442	0.242
8 月	0.520	0.432	0.358	0.725	0.075
9 月	0.019	0.002	0.002	0.377	0.961
10 月	0.215	0.053	0.053	0.089	0.953
11 月	0.544	0.405	0.371	0.212	2.723
12 月	0.248	0.058	0.090	0.016	1.313

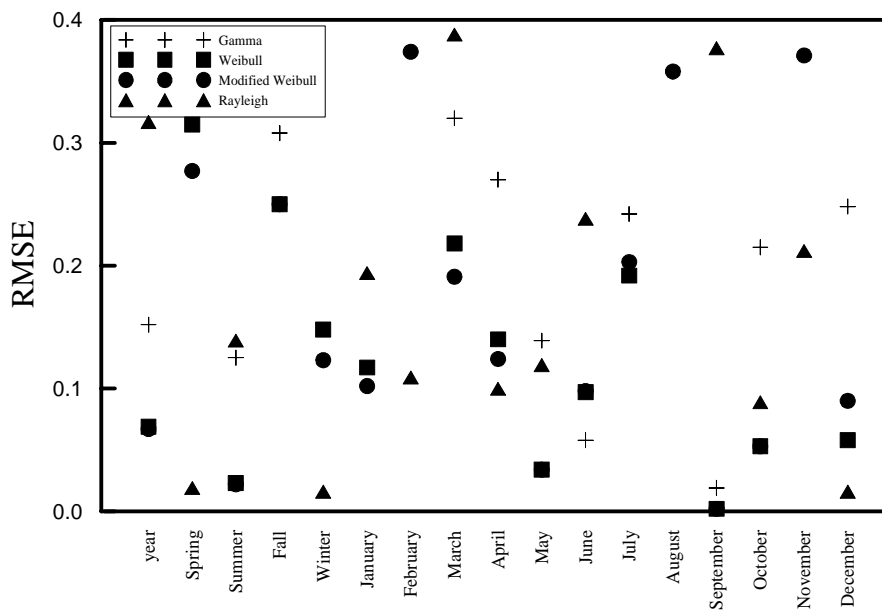


圖 3-9 2005 年台北港 $H_{1/10}$ 各分布比較圖(統計公式法)

表 3-33 2001 年安平港 H_s 統計特性與實測值之比較

RMSE	Gamma	Weibull	Modified Weibull	Rayleigh	Log-Normal
全年	0.026	0.031	0.023	0.050	0.015
第 1 季	0.030	0.004	0.002	0.007	0.115
第 2 季	0.055	0.005	0.006	0.081	0.096
第 3 季	0.023	0.043	0.027	0.047	0.033
第 4 季	0.009	0.005	0.002	0.009	0.057
1 月	0.004	0.006	0.003	0.006	0.025
2 月	0.035	0.006	0.003	0.018	0.108
3 月	0.016	0.004	0.001	0.010	0.096
4 月	0.002	0.001	0.001	0.008	0.042
5 月	0.020	0.007	0.007	0.020	0.047
6 月	0.105	0.035	0.035	0.006	0.111
7 月	0.092	0.016	0.016	0.042	0.078
8 月	0.012	0.019	0.008	0.002	0.107
9 月	0.025	0.017	0.017	0.051	0.089
10 月	0.019	0.020	0.009	0.015	0.076
11 月	0.006	0.005	0.006	0.000	0.008
12 月	0.041	0.018	0.009	0.026	0.124

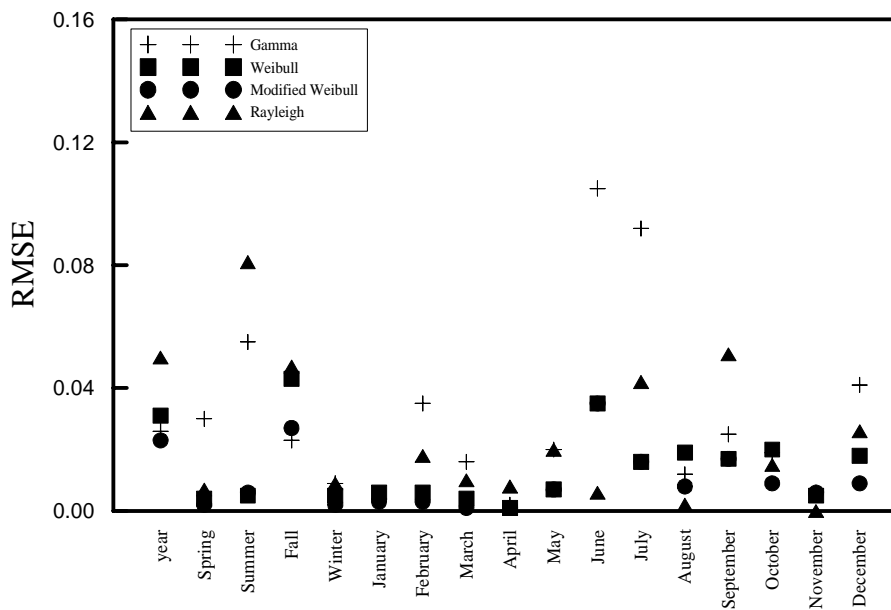


圖 3-10 2001 年安平港 H_s 各分布比較圖(統計公式法)

表 3-34 2001 年安平港 $H_{1/10}$ 統計特性與實測值之比較

RMSE	Gamma	Weibull	Modified Weibull	Rayleigh	Log-Normal
全年	0.000	0.011	0.015	0.010	0.064
第 1 季	0.106	0.025	0.022	0.057	0.296
第 2 季	0.052	0.010	0.007	0.039	0.286
第 3 季	0.019	0.005	0.005	0.032	0.144
第 4 季	0.162	0.148	0.148	0.305	0.122
1 月	0.425	0.303	0.304	0.547	0.207
2 月	0.741	0.597	0.597	0.886	0.432
3 月	0.126	0.159	0.169	0.243	0.182
4 月	0.049	0.079	0.080	0.241	0.349
5 月	0.031	0.049	0.061	0.072	0.132
6 月	0.001	0.015	0.015	0.001	0.051
7 月	0.073	0.000	0.009	0.023	0.288
8 月	0.091	0.016	0.015	0.026	0.316
9 月	0.440	0.335	0.335	0.447	0.375
10 月	0.354	0.260	0.276	0.441	0.066
11 月	0.022	0.012	0.015	0.001	0.157
12 月	0.292	0.203	0.210	0.332	0.142

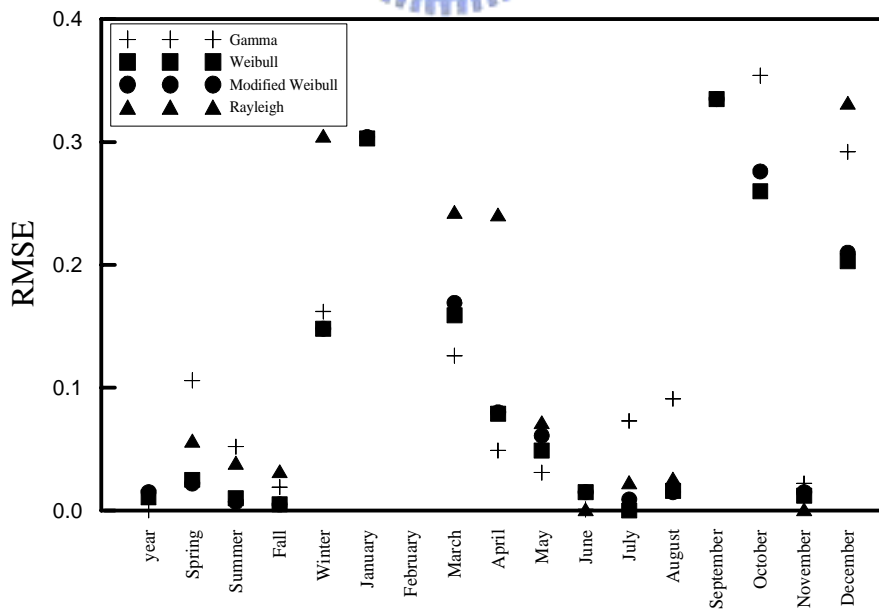


圖 3-11 2001 年安平港 $H_{1/10}$ 各分布比較圖(統計公式法)

3-4-2 以 Ksdensity 方法之評估結果

利用前述已扣除最小值之年、季及月資料，將其代入 Ksdensity 方法求出實測值分布特性，再與其它各個分布理論值進行比較。分析結果如表 3-35 至表 3-39，同樣為了方便比較各分布之 RMSE 值，進一步將表轉繪成圖 3-12 至圖 3-16。在台北港部份，藉由 RMSE 參數可知除了第二季是屬於 Log-Normal 分布外，其餘是屬於 Gamma 分布與 Weibull 分布；而安平港部份，由圖 3-13 來看，Weibull 分布之 RMSE 值與其它分布比較結果大部份為呈現最低的情況，所以是屬於 Weibull 分布為最佳；在花蓮港部份，根據分析結果顯示，則是以 Log-Normal 分布為最佳。由 Ksdensity 方法所分析出的結果，代表的意義以花蓮港為例，是為整體實測示性波高資料與 Log-Normal 分布所計算出的理論值吻合度較高；而統計公式法所分析出的結果，代表示性波高資料前 1/3 段中，與修正 Weibull 分布所計算出的結果較為吻合，當然，如果整體資料與前 1/3 段都屬同種分布模式，是為最佳的結果，這是兩種分析方法的差異性。

表 3-35 2006 年台北港 H_s 統計特性評估結果

RMSE	Gamma	Weibull	Modified Weibull	Rayleigh	Log-Normal
全年	0.039	0.041	0.042	0.197	0.120
第 2 季	0.342	0.357	0.333	0.902	0.245
第 3 季	0.074	0.115	0.133	0.314	0.110
第 4 季	0.102	0.058	0.060	0.060	0.177
3 月	0.055	0.081	0.083	0.212	0.112
4 月	0.188	0.184	0.264	0.498	0.270
6 月	0.396	0.555	0.555	1.429	0.949
7 月	0.098	0.104	0.108	0.265	0.218
8 月	0.252	0.261	0.261	0.683	0.344
9 月	0.067	0.064	0.083	0.166	0.128
11 月	0.129	0.092	0.097	0.147	0.230
12 月	0.092	0.049	0.050	0.050	0.157

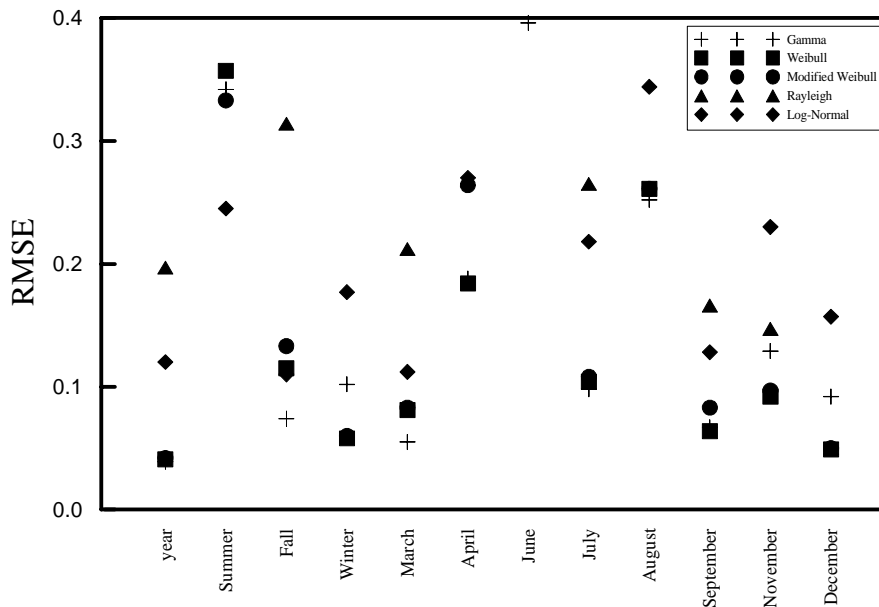


圖 3-12 2006 年台北港 H_s 各分布比較圖(Ksdensity 法)

表 3-36 2006 年安平港 H_s 統計特性評估結果

RMSE	Gamma	Weibull	Modified Weibull	Rayleigh	Log-Normal
全年	0.207	0.267	0.267	0.388	0.115
第 1 季	0.323	0.183	0.203	0.371	0.524
第 2 季	0.287	0.325	0.349	0.605	0.170
第 3 季	0.048	0.071	0.072	0.211	0.081
第 4 季	0.239	0.115	0.125	0.104	0.443
1 月	0.302	0.118	0.117	0.483	0.518
2 月	0.432	0.375	0.398	0.345	0.644
3 月	0.349	0.283	0.283	0.430	0.575
4 月	0.170	0.323	0.346	0.428	0.281
6 月	0.157	0.173	0.201	0.435	0.132
7 月	0.058	0.055	0.056	0.104	0.108
8 月	0.158	0.184	0.184	0.275	0.192
9 月	0.111	0.092	0.092	0.421	0.281
10 月	0.123	0.163	0.164	0.301	0.306
11 月	0.185	0.173	0.173	0.237	0.465
12 月	0.335	0.120	0.120	0.136	0.686

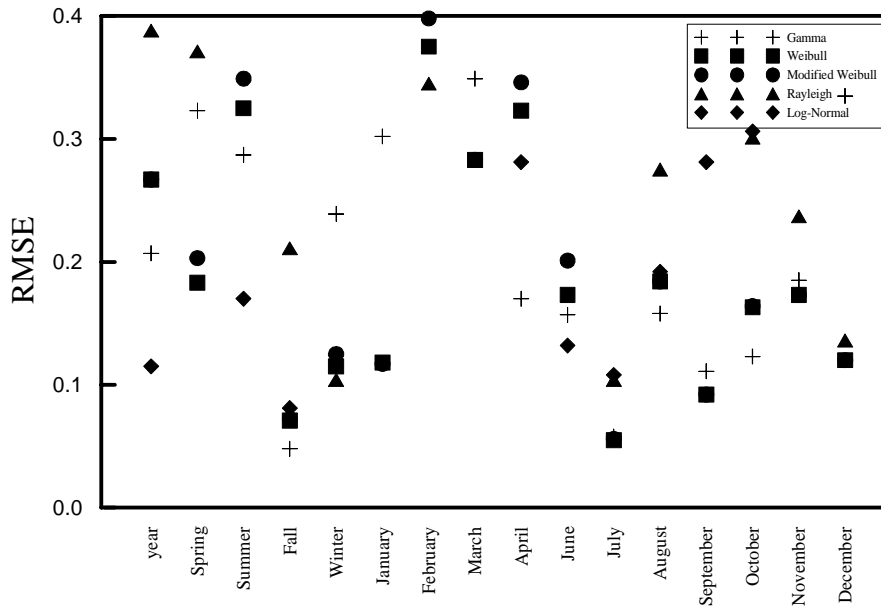


圖 3-13 2006 年安平港 H_s 各分布比較圖(Ksdensity 法)

表 3-37 2004 年花蓮港 H_s 統計特性評估結果

RMSE	Gamma	Weibull	Modified Weibull	Rayleigh	Log-Normal
全年	0.036	0.067	0.072	0.080	0.059
第 1 季	0.076	0.111	0.112	0.132	0.145
第 2 季	0.087	0.112	0.113	0.252	0.152
第 3 季	0.132	0.147	0.147	0.232	0.094
第 4 季	0.087	0.121	0.125	0.150	0.080
1 月	0.147	0.198	0.198	0.273	0.146
2 月	0.209	0.130	0.141	0.171	0.327
3 月	0.184	0.118	0.118	0.107	0.296
4 月	0.099	0.067	0.067	0.165	0.187
5 月	0.331	0.314	0.369	0.344	0.499
6 月	0.164	0.188	0.162	0.489	0.152
7 月	0.402	0.493	0.518	0.556	0.287
8 月	0.086	0.082	0.087	0.180	0.162
9 月	0.079	0.090	0.090	0.200	0.129
10 月	0.037	0.054	0.054	0.135	0.061
11 月	0.140	0.092	0.091	0.127	0.233
12 月	0.191	0.260	0.263	0.318	0.129

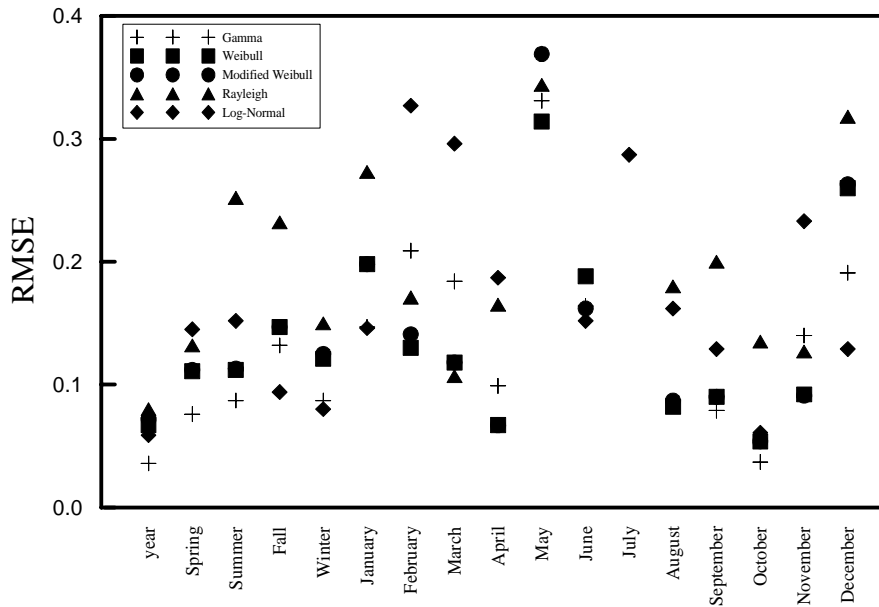


圖 3-14 2004 年花蓮港 H_s 各分布比較圖(Ksdensity 法)

表 3-38 2005 年台北港 H_s 統計特性評估結果

RMSE	Gamma	Weibull	Modified Weibull	Rayleigh	Log-Normal
全年	0.034	0.032	0.032	0.153	0.079
第 1 季	0.093	0.073	0.077	0.086	0.144
第 2 季	0.075	0.045	0.044	0.161	0.178
第 3 季	0.074	0.085	0.085	0.282	0.050
第 4 季	0.091	0.064	0.066	0.066	0.141
1 月	0.114	0.068	0.071	0.080	0.166
2 月	0.101	0.088	0.095	0.117	0.154
3 月	0.093	0.084	0.100	0.143	0.169
4 月	0.155	0.119	0.133	0.196	0.280
5 月	0.081	0.050	0.050	0.154	0.168
6 月	0.101	0.107	0.108	0.207	0.198
7 月	0.099	0.147	0.172	0.351	0.122
8 月	0.091	0.103	0.089	0.340	0.100
9 月	0.075	0.065	0.066	0.254	0.159
10 月	0.063	0.036	0.036	0.073	0.117
11 月	0.105	0.096	0.105	0.155	0.166
12 月	0.129	0.099	0.103	0.116	0.186

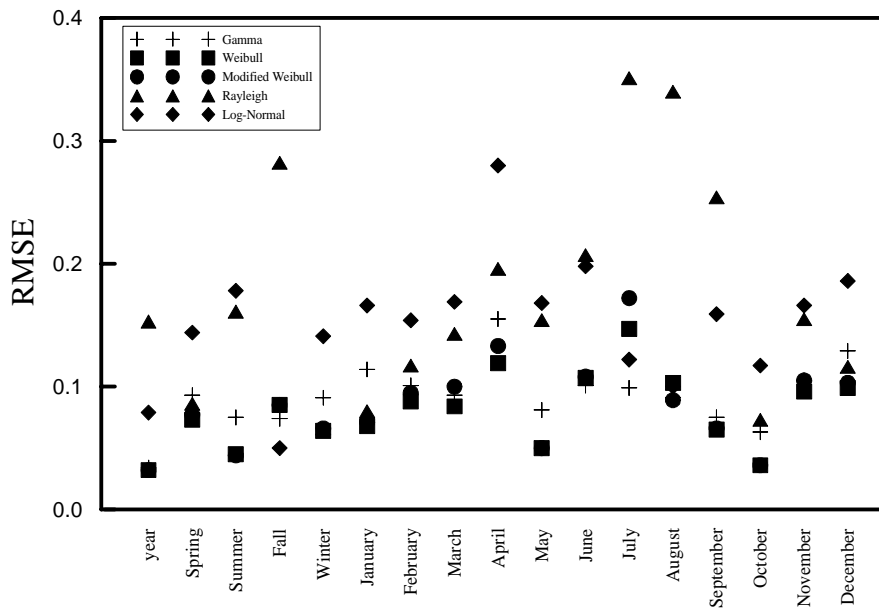


圖 3-15 2005 年台北港 H_s 各分布比較圖(Ksdensity 法)

表 3-39 2001 年安平港 H_s 統計特性評估結果

RMSE	Gamma	Weibull	Modified Weibull	Rayleigh	Log-Normal
全年	0.089	0.136	0.139	0.192	0.059
第 1 季	0.340	0.168	0.173	0.198	0.558
第 2 季	0.166	0.205	0.205	0.339	0.078
第 3 季	0.091	0.131	0.136	0.172	0.079
第 4 季	0.160	0.190	0.192	0.219	0.286
1 月	0.195	0.308	0.318	0.317	0.389
2 月	0.525	0.331	0.340	0.412	0.719
3 月	0.387	0.264	0.259	0.416	0.695
4 月	0.254	0.211	0.210	0.470	0.491
5 月	0.120	0.153	0.154	0.393	0.204
6 月	0.115	0.138	0.139	0.226	0.068
7 月	0.169	0.198	0.199	0.281	0.120
8 月	0.155	0.180	0.184	0.178	0.209
9 月	0.052	0.064	0.064	0.196	0.101
10 月	0.462	0.499	0.525	0.448	0.603
11 月	0.341	0.517	0.516	0.518	0.298
12 月	0.448	0.320	0.341	0.384	0.618

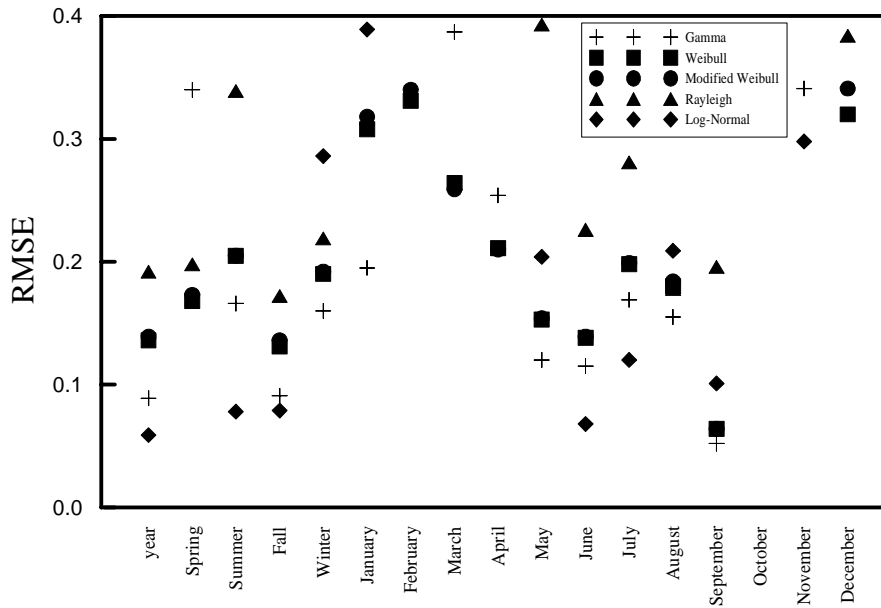


圖 3-16 2001 年安平港 H_s 各分布比較圖(Ksdensity 法)

3-5 波高超量機率密度

海岸結構物關係著人民的生命財產安全，尤其在常遭受颱風侵襲的台灣，颱風所產生長週期且大波高的波浪，往往都造成嚴重的災害。目前一般工程設計條件，是利用較長較大波浪實測資料去進行分析，因此本研究亦希望透過現已有資料取出較大波浪部份，來分析波高超量機率密度。目前用極值統計法來決定對於長時間使用年限的海岸結構物設計條件，在許多關於波浪極值統計的相關文獻中，如郭等人(2001)指出波浪波高的極值統計是符合 Weibull 分布函數。本文利用全年示性波浪資料，採用超量選用法來選取資料，也就是以某一基本量為基準來選取資料，探討超量示性波高的最適機率分布與傳統極值統計比較合宜之分布函數。

本研究利用不同年份之台北港、安平港與 2004 年花蓮港全年示性波浪資料，利用超量選用法取出較大波浪部份進一步去探討其最適機率密度分布函數，使用 Gamma、Weibull、Rayleigh 與 Log-Normal 四種分布模式，探討其吻合度情況。如表 3-40 所示，除了 2006 與 2005 年台北港外，Log-Normal 分布在描述安平港及花蓮港較大波浪部份，吻合度情況比其它三種分布來得好，表示安平港與花蓮港波高超量機率密度為 Log-Normal 分布，與利用好幾年資料進行分析的極值統計

結果有所差異，可能因為本論文的研究資料安平港為 2 年和花蓮港為 1 年資料，所以才會造成此結果的不同。

表 3-40 不同年份之三港波高超量機率密度統計特性

RMSE	Gamma	Weibull	Rayleigh	Log-Normal
2006 年台北港	0.0014	0.0019	0.0057	0.0081
2006 年安平港	0.0038	0.0037	0.0038	0.0032
2004 年花蓮港	0.0035	0.0038	0.0049	0.0012
2005 年台北港	0.0032	0.0018	0.0058	0.0112
2001 年安平港	0.0023	0.0023	0.0023	0.0019

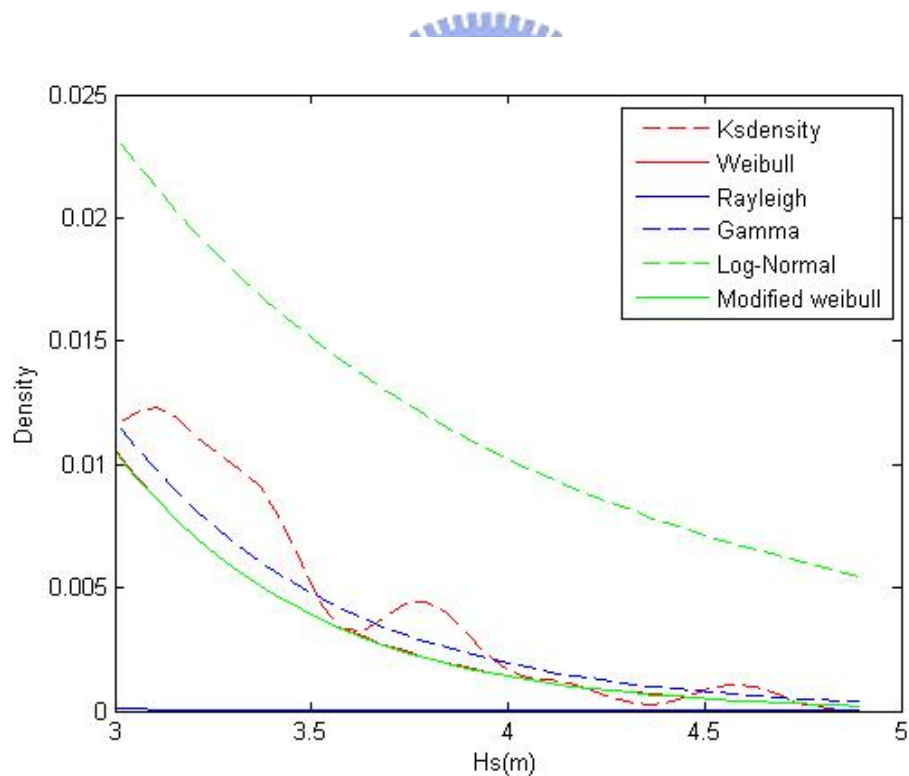


圖 3-17 2006 台北港波高超量機率密度圖

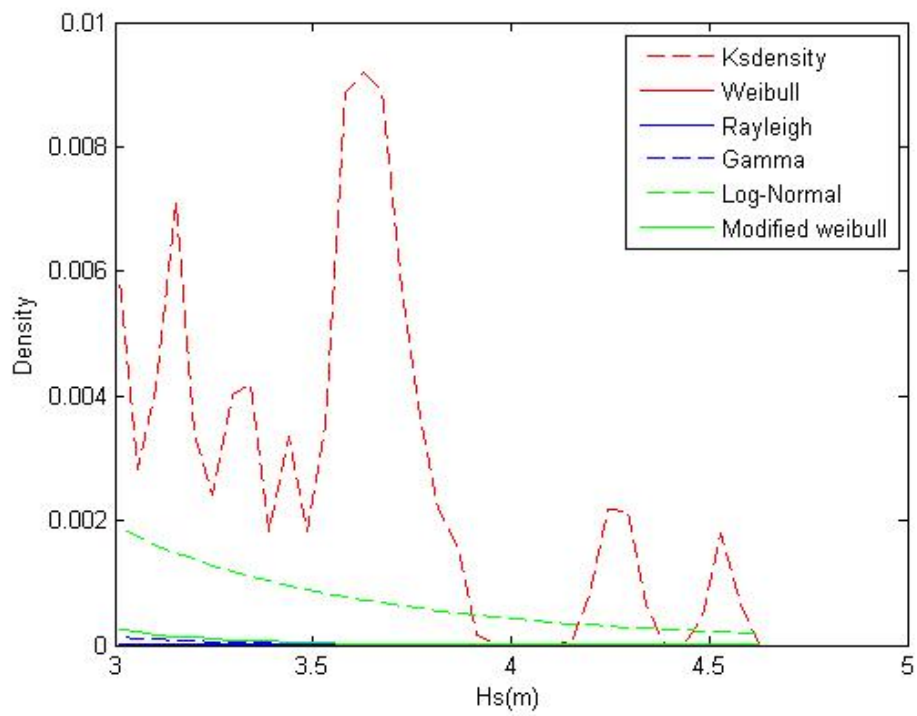


圖 3-18 2006 安平港波高超量機率密度圖

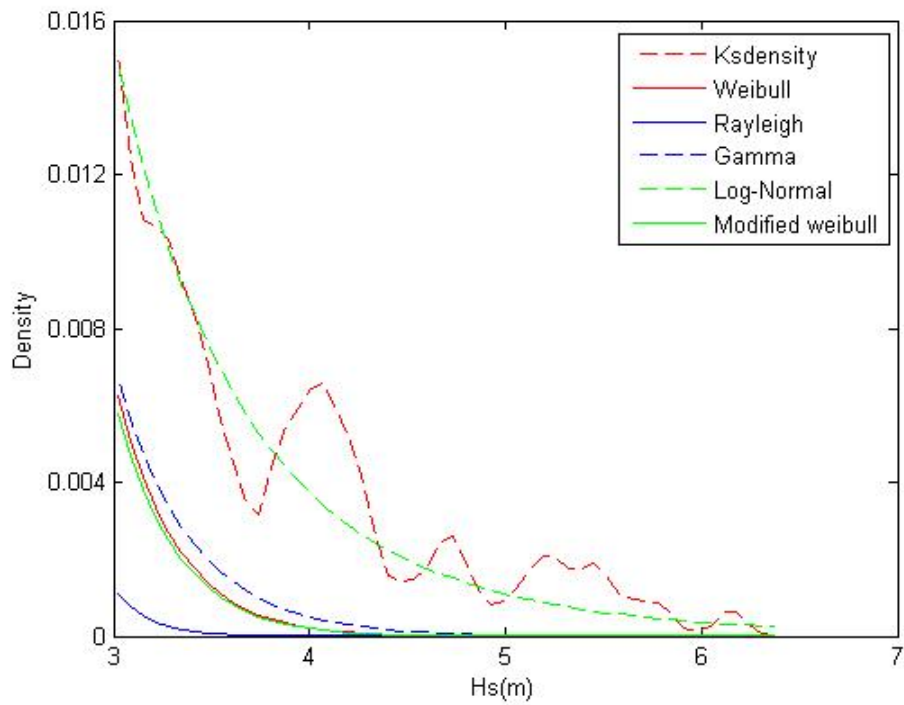


圖 3-19 2004 花蓮港波高超量機率密度圖

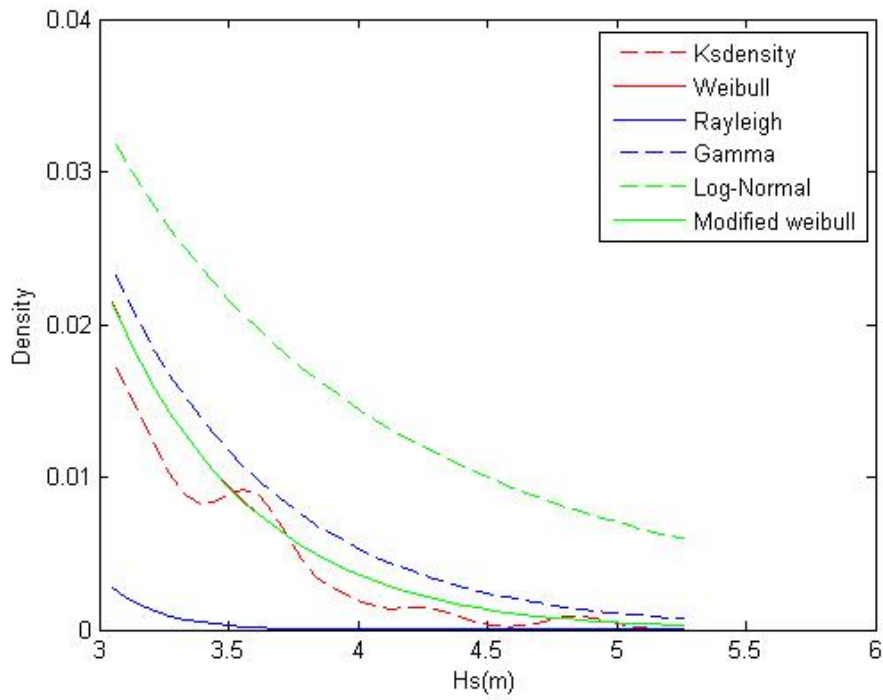


圖 3-20 2005 台北港波高超量機率密度圖

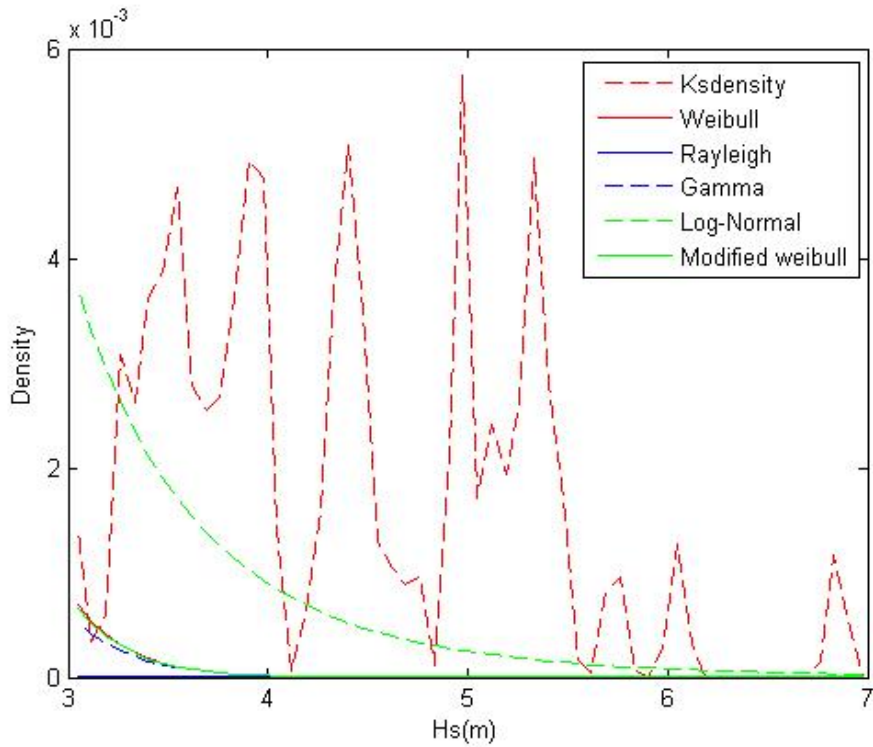


圖 3-21 2001 安平港波高超量機率密度圖

3-6 示性波浪參數特性探討

從 3-4 節分析結果可知，Weibull 分布在描述示性波浪之波高部份均有良好的效果，所以本研究利用最大概似法所計算出的 Weibull 分布之 α 與 β 值，進一步地探討其參數特性；另外同樣在 3-4 節所述，在數據分析前，先將資料扣除最小值可增加分析準確性等，在此，本研究分析各個港口其最小值變化，以供未來使用參考。

3-6-1 每月示性波浪波高之最小值

本研究在探討示性波高最適分布時，均利用扣除最小值之資料去做分析，由圖 3-22 至圖 3-24 來看，2006 年台北港示性波高最小值大約 0.1~0.2 公尺左右，2005 年則大約 0.1~0.25 公尺左右；2006 年安平港示性波高最小值約為 0.1~0.2 公尺之間；2001 年示性波高最小值大約 0.1~0.25 公尺之間。2004 年花蓮港示性波高最小值約 0.15~0.3 公尺左右。如圖 3-22 與圖 3-23 所示，台北港與安平港兩年中各月份的示性波高變化十分接近。

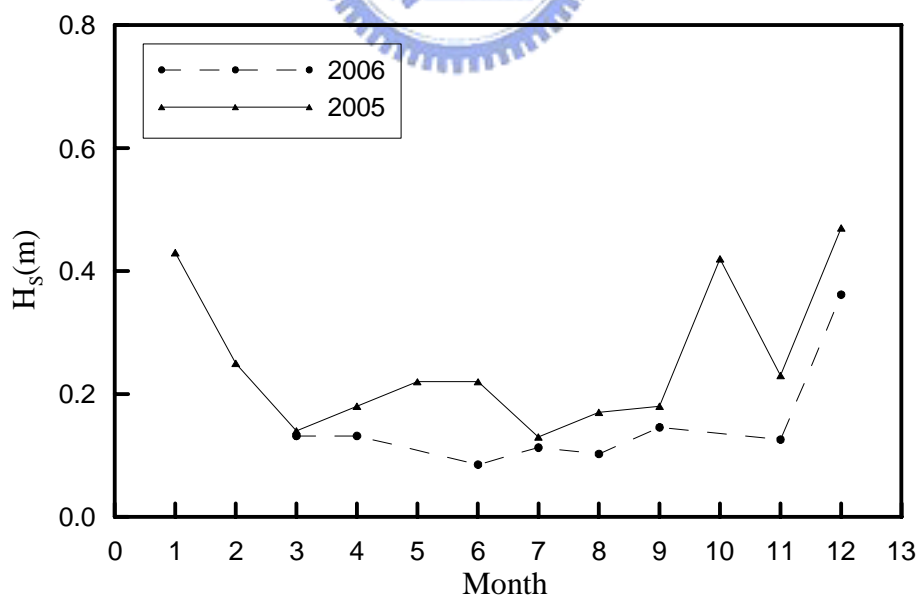


圖 3-22 台北港示性波高每月最小值

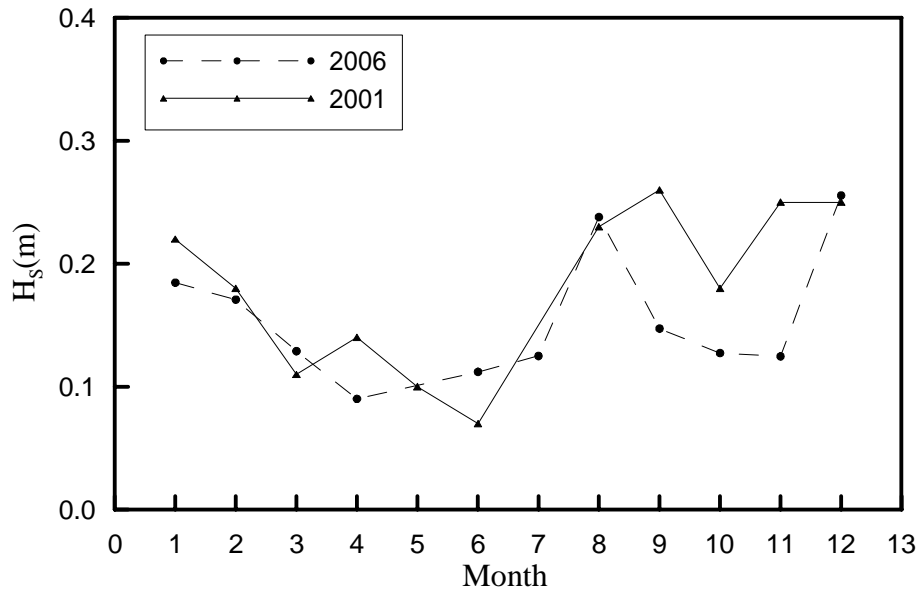


圖 3-23 安平港示性波高每月最小值

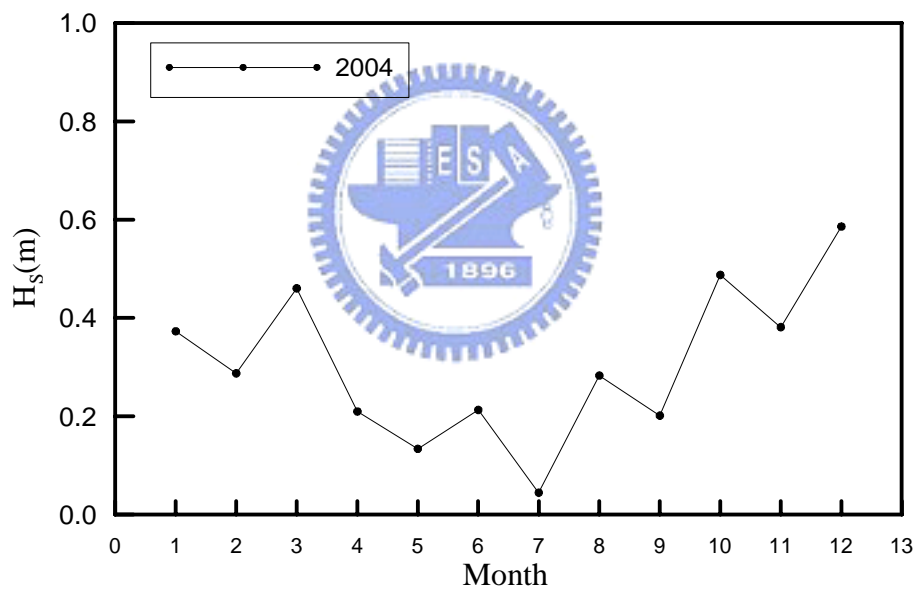


圖 3-24 花蓮港示性波高每月最小值

3-6-2 Weibull 分布之參數特性

從前述章節可以知道描述示性波高之最適分布為 Weibull 分布，而 Weibull 分布其中的參數是將原始示性波高資料在扣除其最小值後，再將其以最大概似法求出。本研究在這個章節探討其參數特性，目的在於期望能分別利用不同年份之台北港、安平港資料與 2004 年花蓮港資料，對於 Weibull 分布之 α 與 β 參數作出一相關式，以期在

未來能利用此相關式推估其理論波高參數，再將參數代入表 3-1 即可求得波高適合 Weibull 分布之理論示性波高值。推估式結果如表 3-41 與表 3-42 所示，其圖繪如圖 3-25 至圖 3-30。

表 3-41 Weibull 分布 α 參數推估式

	R^2	迴歸式
台北港	0.4562	$Y = 0.0228X^2 - 0.2921X + 2.0754$
安平港	0.8183	$Y = 0.0332X^2 - 0.4377X + 2.7164$
花蓮港	0.4887	$Y = 0.0208X^2 - 0.3186X + 2.3837$

表 3-42 Weibull 分布 β 參數推估式

	R^2	迴歸式
台北港	0.6792	$Y = 0.0278X^2 - 0.3722X + 1.6888$
安平港	0.8497	$Y = 0.7075 e^{\frac{(x-7)^2}{1.6^2}} + 0.2408$
花蓮港	0.4374	$Y = (-0.0030 X^3) + 0.0591 X^2 - 0.3029 X + 0.8815$

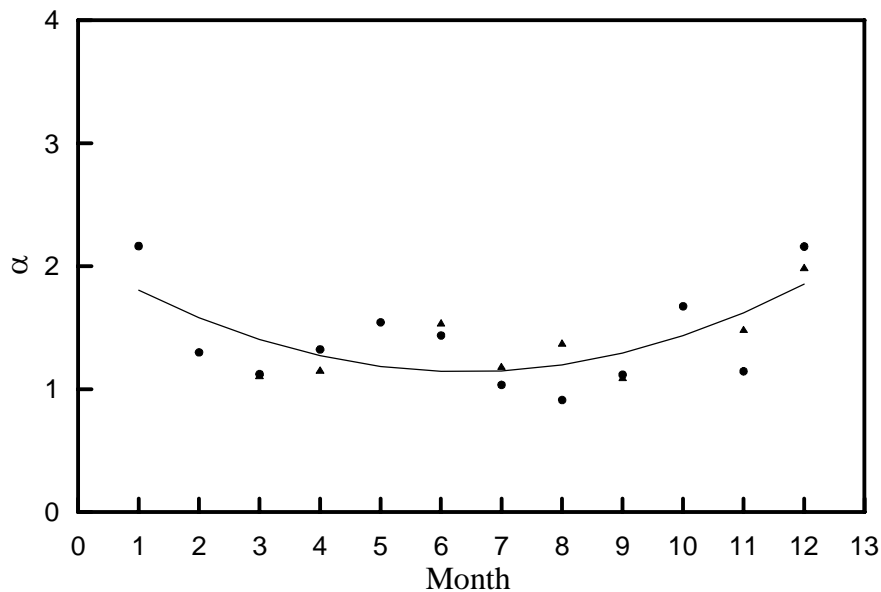


圖 3-25 台北港 Weibull 分布 α 參數迴歸圖

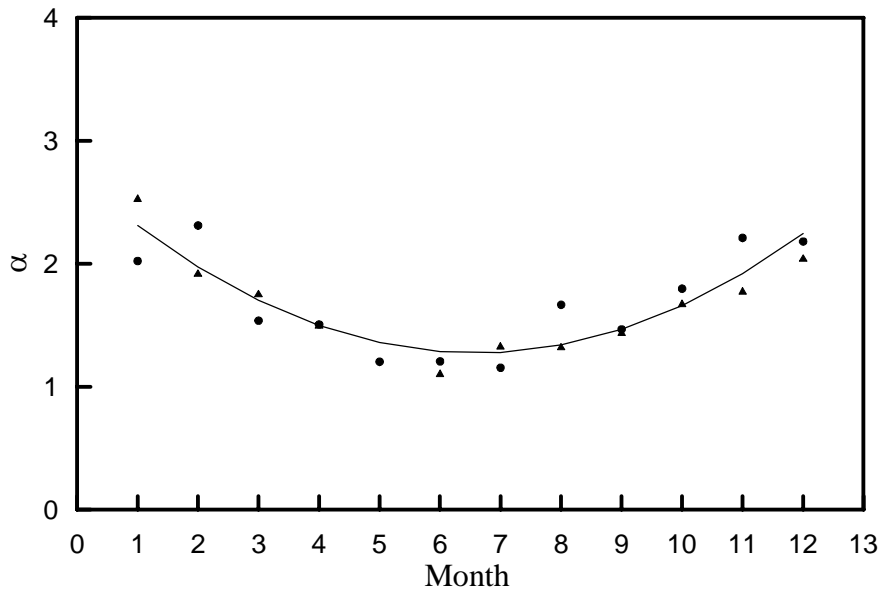


圖 3-26 安平港 Weibull 分布 α 參數迴歸圖

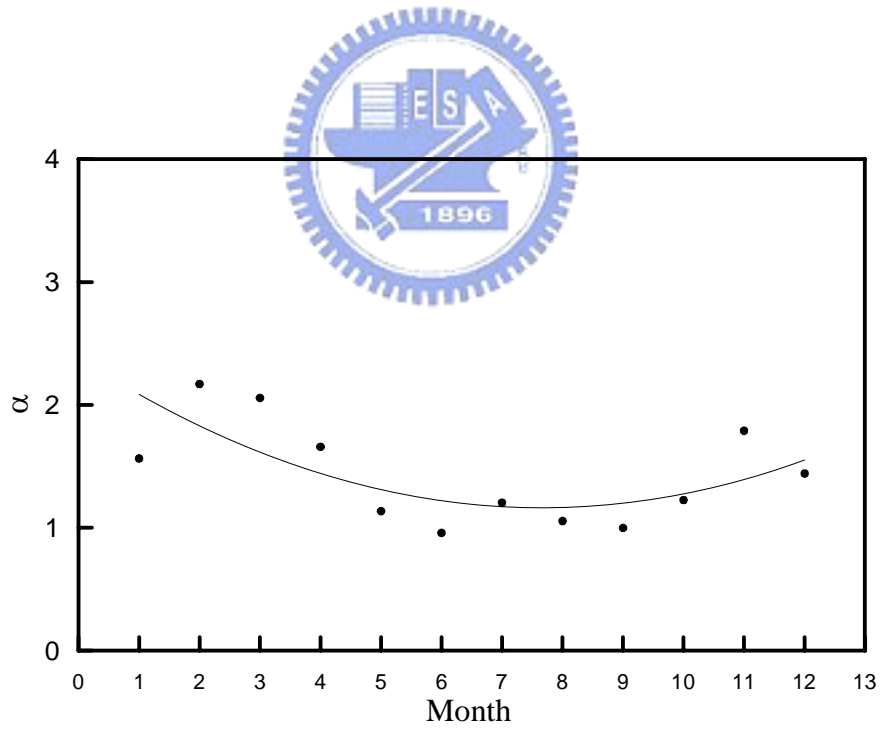


圖 3-27 花蓮港 Weibull 分布 α 參數迴歸圖

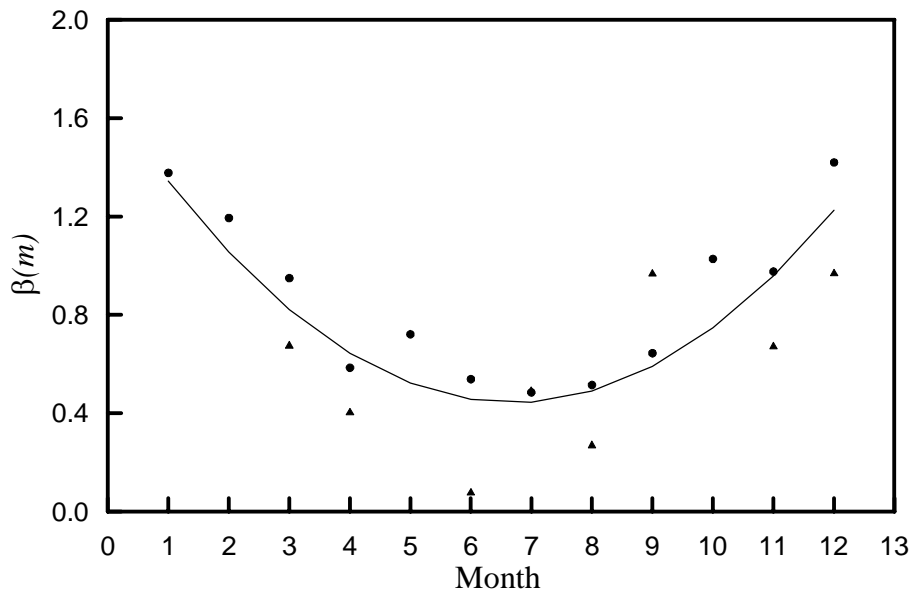


圖 3-28 台北港 Weibull 分布 β 參數迴歸圖

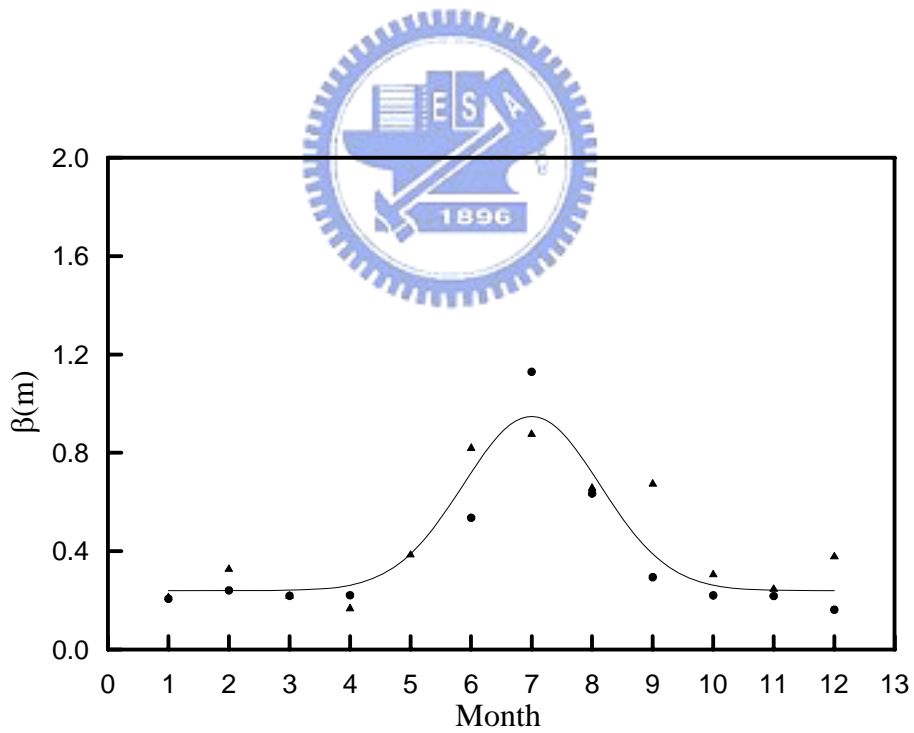


圖 3-29 安平港 Weibull 分布 β 參數迴歸圖

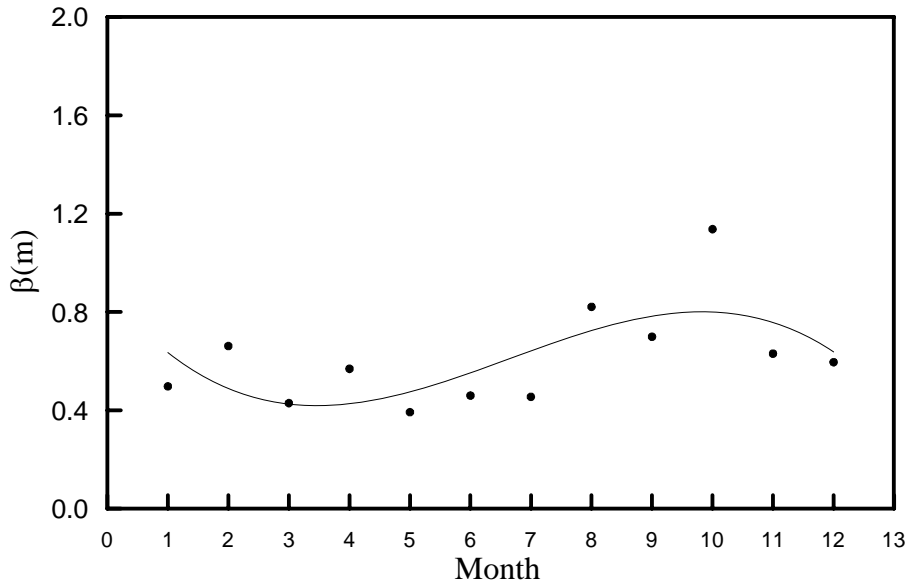


圖 3-30 花蓮港 Weibull 分布 β 參數迴歸圖

利用表 3-41 與表 3-42 分別計算每月 Weibull 分布之 α 與 β 值，再將其參數值代入表 3-1 計算示性波高代表值，再與實測值比較繪如圖 3-31 至圖 3-33 所示，台北港與安平港實測值與理論值其相關性大約為 0.8 至 0.9，花蓮港因為只利用 2004 年資料做出相關式，所以其計算出來的理論值與實測值相關性大約 0.6。因此，未來可以利用此相關式計算所需之相關理論波高值。

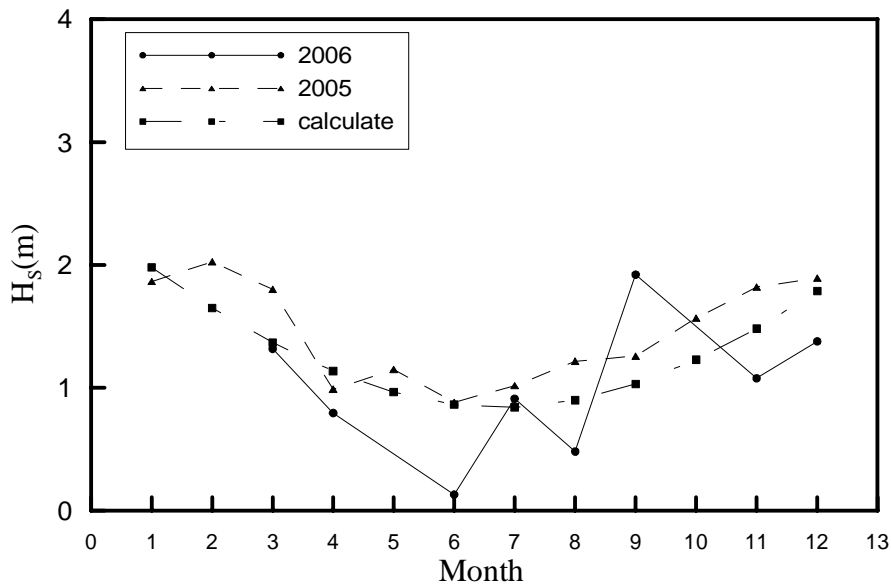


圖 3-31 台北港示性波高實測值與 Weibull 理論值比較圖

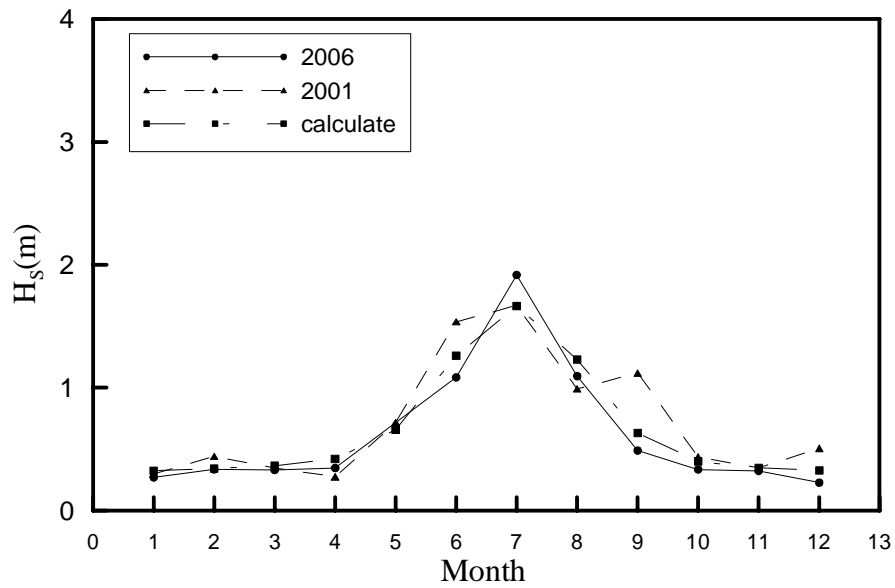


圖 3-32 安平港示性波高實測值與 Weibull 理論值比較圖

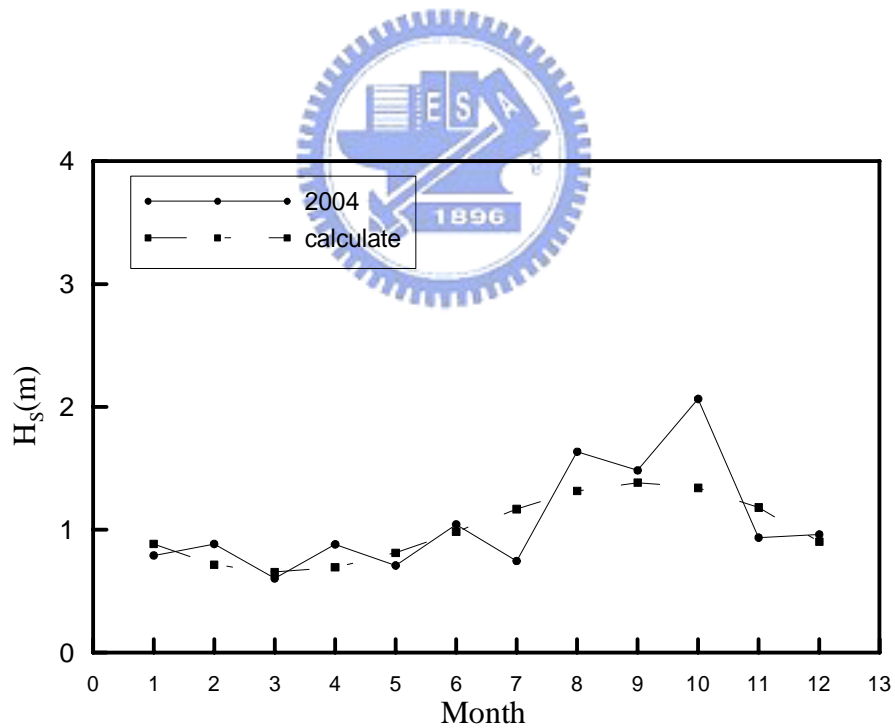


圖 3-33 花蓮港示性波高實測值與 Weibull 理論值比較圖

第四章 週期特性分析結果

4-1 波浪週期之最適機率分布

4-1-1 以統計分式之評估結果

將台北港、安平港與花蓮港波浪資料依照 3-3-1 節所述依示性波高大小分成六個區間，將六組任意取 30 小時之每小時波浪為個樣本。因為在週期部份加入 Normal 分布參與分析討論，在統計學理論中央極限定理提到，當樣本數 ≥ 30 時，會趨近於常態分布，增加分析的不客觀性。為了克服這個問題，本研究先將週期資料扣除其最小值後，再以最大概似法(maximum likelihood method)求得各分布之參數，而 Erlang 分布之參數則由示性波週期及平均週期之統計特性之兩個條件解出參數 α 及 β 後，再取 α 為整數。求得分布之參數後依表 3-2 與表 3-3 來計算三個港口示性波浪之週期統計特性與實測值之比較，示如表 4-1 至表 4-6、表 4-7 至表 4-12 與表 4-13 至表 4-18，比較的項目為 $T_{1/100}$ ， $T_{1/10}$ ， T_s ， T_{mean} 及 T_{rms} 之 RMSE、 R^2 。

依據 RMSE 與 R^2 兩參數可判斷出台北港與安平港在週期統計部份係以 Normal 分布為最佳分布；而在花蓮港部份，Erlang 分布與 Normal 分布在描述週期特性部份皆有不錯的結果，兩個分布的 R^2 相當接近。由表可知有些項目雖然其 R^2 為最大，可是相對應之 RMSE 卻不是最小的情況，從定義上知道 R^2 代表實測值與理論值的相關性，RMSE 是代表實測值與理論值之差，所以雖然實測值與理論值相關性好，卻不代表由分布計算出的理論值與實測值接近，而本研究之目的是為找尋波高、週期最適分布，以提供往後相關研究能參考此最適分布特性得到相關參數，所以在這部份本研究採用 RMSE 為主要參考指標。

表 4-1 2006 年台北港週期統計特性與實測值之比較($H_s < 0.5m$)

第一組	Gamma			Erlang			Normal			Rayleigh		
	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
T _{1/100}	1.870	0.570	0.371	1.211	0.722	0.240	0.805	0.726	0.160	2.147	0.563	0.426
T _{1/10}	0.676	0.886	0.134	0.323	0.960	0.064	0.218	0.975	0.043	0.992	0.905	0.197
T _s	0.233	0.985	0.046	0.072	0.997	0.014	0.068	0.997	0.014	0.461	0.956	0.092
T _{mean}	0.000	1.000	0.000	0.006	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000	0.224	0.987	0.044
T _{rms}	0.069	0.997	0.014	0.007	1.000	0.001	0.003	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 4-2 2006 年台北港週期統計特性與實測值之比較($0.5m < H_s < 1.0m$)

第二組	Gamma			Erlang			Normal			Rayleigh		
	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
T _{1/100}	1.234	0.133	0.311	0.830	0.423	0.209	1.050	0.403	0.265	1.793	0.326	0.452
T _{1/10}	0.397	0.833	0.100	0.162	0.960	0.041	0.266	0.961	0.067	0.931	0.884	0.235
T _s	0.210	0.980	0.053	0.098	0.996	0.025	0.065	0.997	0.016	0.525	0.974	0.132
T _{mean}	0.000	1.000	0.000	0.005	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000	0.221	0.996	0.056
T _{rms}	0.051	0.997	0.013	0.005	1.000	0.001	0.002	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000

表 4-3 2006 年台北港週期統計特性與實測值之比較(1.0m<H_s<1.5m)

第三組	Gamma			Erlang			Normal			Rayleigh		
	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
T _{1/100}	2.853	0.262	0.517	1.753	0.477	0.318	0.927	0.510	0.168	2.580	0.390	0.468
T _{1/10}	1.101	0.777	0.200	0.521	0.921	0.095	0.292	0.920	0.053	1.220	0.784	0.221
T _s	0.388	0.952	0.070	0.109	0.990	0.020	0.088	0.990	0.016	0.489	0.938	0.089
T _{mean}	0.000	1.000	0.000	0.007	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000	0.220	0.989	0.040
T _{rms}	0.108	0.994	0.020	0.008	1.000	0.001	0.004	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 4-4 2006 年台北港週期統計特性與實測值之比較(1.5m<H_s<2.0m)

第四組	Gamma			Erlang			Normal			Rayleigh		
	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
T _{1/100}	3.711	0.756	0.593	2.184	0.829	0.349	0.775	0.842	0.124	2.545	0.696	0.407
T _{1/10}	1.462	0.894	0.234	0.669	0.961	0.107	0.238	0.968	0.038	1.135	0.871	0.182
T _s	0.477	0.966	0.076	0.103	0.994	0.017	0.078	0.995	0.013	0.407	0.955	0.065
T _{mean}	0.000	1.000	0.000	0.008	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000	0.196	0.981	0.031
T _{rms}	0.161	0.991	0.026	0.009	1.000	0.002	0.005	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 4-5 2006 年台北港週期統計特性與實測值之比較(2.5m<H_s<3.0m)

第五組	Gamma			Erlang			Normal			Rayleigh		
	RMSE	R ²	RMSE/ H _s	RMSE	R ²	RMSE/ H _s	RMSE	R ²	RMSE/ H _s	RMSE	R ²	RMSE/ H _s
T _{1/100}	4.897	0.296	0.693	2.873	0.592	0.406	1.217	0.583	0.172	2.776	0.437	0.393
T _{1/10}	1.864	0.716	0.264	0.817	0.940	0.116	0.316	0.943	0.045	1.075	0.869	0.152
T _s	0.578	0.924	0.082	0.108	0.991	0.015	0.101	0.992	0.014	0.318	0.967	0.045
T _{mean}	0.000	1.000	0.000	0.014	1.000	0.002	0.000	1.000	0.000	0.164	0.985	0.023
T _{rms}	0.221	0.979	0.031	0.015	1.000	0.002	0.007	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 4-6 2006 年台北港週期統計特性與實測值之比較(H_s>3.0m)

第六組	Gamma			Erlang			Normal			Rayleigh		
	RMSE	R ²	RMSE/ H _s	RMSE	R ²	RMSE/ H _s	RMSE	R ²	RMSE/ H _s	RMSE	R ²	RMSE/ H _s
T _{1/100}	6.216	0.217	0.765	3.324	0.623	0.409	1.420	0.714	0.175	3.876	0.610	0.477
T _{1/10}	2.575	0.474	0.317	1.082	0.881	0.133	0.519	0.905	0.064	1.717	0.833	0.211
T _s	0.914	0.832	0.112	0.204	0.982	0.025	0.148	0.986	0.018	0.607	0.945	0.075
T _{mean}	0.000	1.000	0.000	0.014	1.000	0.002	0.000	1.000	0.000	0.261	0.985	0.032
T _{rms}	0.300	0.962	0.037	0.016	1.000	0.002	0.008	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 4-7 2006 年安平港週期統計特性與實測值之比較($H_s < 0.5m$)

第一組	Gamma			Erlang			Normal			Rayleigh		
	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
T _{1/100}	2.405	0.335	0.435	1.546	0.625	0.280	0.563	0.714	0.102	1.966	0.645	0.355
T _{1/10}	0.794	0.761	0.144	0.362	0.915	0.065	0.282	0.926	0.051	0.841	0.860	0.152
T _s	0.256	0.958	0.046	0.061	0.994	0.011	0.067	0.996	0.012	0.319	0.979	0.058
T _{mean}	0.000	1.000	0.000	0.008	1.000	0.002	0.000	1.000	0.000	0.181	0.993	0.033
T _{rms}	0.094	0.992	0.017	0.009	1.000	0.002	0.004	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 4-8 2006 年安平港週期統計特性與實測值之比較($0.5m < H_s < 1.0m$)

第二組	Gamma			Erlang			Normal			Rayleigh		
	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
T _{1/100}	2.519	0.156	0.466	1.525	0.445	0.282	1.031	0.404	0.191	1.972	0.344	0.365
T _{1/10}	0.953	0.705	0.176	0.405	0.933	0.075	0.247	0.930	0.046	0.848	0.893	0.157
T _s	0.330	0.952	0.061	0.084	0.993	0.016	0.058	0.994	0.011	0.349	0.970	0.065
T _{mean}	0.000	1.000	0.000	0.007	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000	0.175	0.991	0.032
T _{rms}	0.106	0.990	0.020	0.008	1.000	0.001	0.004	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 4-9 2006 年安平港週期統計特性與實測值之比較(1.0m<H_s<1.5m)

第三組	Gamma			Erlang			Normal			Rayleigh		
	RMSE	R ²	RMSE/ H _s	RMSE	R ²	RMSE/ H _s	RMSE	R ²	RMSE/ H _s	RMSE	R ²	RMSE/ H _s
T _{1/100}	1.919	0.734	0.397	1.284	0.792	0.265	0.571	0.830	0.118	2.453	0.806	0.507
T _{1/10}	0.705	0.954	0.146	0.352	0.982	0.073	0.139	0.985	0.029	1.180	0.932	0.244
T _s	0.259	0.987	0.054	0.083	0.996	0.017	0.063	0.996	0.013	0.506	0.969	0.105
T _{mean}	0.000	1.000	0.000	0.003	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000	0.236	0.995	0.049
T _{rms}	0.064	0.999	0.013	0.003	1.000	0.001	0.003	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 4-10 2006 年安平港週期統計特性與實測值之比較(1.5m<H_s<2.0m)

第四組	Gamma			Erlang			Normal			Rayleigh		
	RMSE	R ²	RMSE/ H _s	RMSE	R ²	RMSE/ H _s	RMSE	R ²	RMSE/ H _s	RMSE	R ²	RMSE/ H _s
T _{1/100}	2.995	0.271	0.495	1.840	0.588	0.304	0.810	0.610	0.134	2.993	0.546	0.494
T _{1/10}	1.138	0.821	0.188	0.530	0.955	0.088	0.226	0.944	0.037	1.375	0.848	0.227
T _s	0.396	0.954	0.065	0.096	0.992	0.016	0.066	0.994	0.011	0.517	0.968	0.085
T _{mean}	0.000	1.000	0.000	0.006	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000	0.253	0.993	0.042
T _{rms}	0.106	0.995	0.018	0.006	1.000	0.001	0.004	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 4-11 2006 年安平港週期統計特性與實測值之比較(2.5m<H_s<3.0m)

第五組	Gamma			Erlang			Normal			Rayleigh		
	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
T _{1/100}	4.236	0.318	0.628	2.386	0.560	0.354	1.030	0.608	0.153	3.053	0.452	0.453
T _{1/10}	1.868	0.612	0.277	0.857	0.933	0.127	0.403	0.920	0.060	1.520	0.777	0.225
T _s	0.657	0.881	0.097	0.161	0.991	0.024	0.121	0.986	0.018	0.557	0.930	0.083
T _{mean}	0.000	1.000	0.000	0.010	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000	0.239	0.982	0.036
T _{rms}	0.197	0.976	0.029	0.011	1.000	0.002	0.005	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 4-12 2006 年安平港週期統計特性與實測值之比較(H_s>3.0m)

第六組	Gamma			Erlang			Normal			Rayleigh		
	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
T _{1/100}	6.279	0.239	0.788	3.307	0.616	0.415	1.574	0.702	0.198	4.246	0.694	0.533
T _{1/10}	2.633	0.592	0.330	1.101	0.921	0.138	0.566	0.939	0.071	1.924	0.901	0.241
T _s	0.981	0.880	0.123	0.241	0.988	0.030	0.183	0.990	0.023	0.713	0.964	0.089
T _{mean}	0.000	1.000	0.000	0.009	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000	0.291	0.992	0.037
T _{rms}	0.306	0.973	0.038	0.010	1.000	0.001	0.007	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 4-13 2004 年花蓮港週期統計特性與實測值之比較($H_s < 0.5m$)

第一組	Gamma			Erlang			Normal			Rayleigh		
	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
T _{1/100}	1.938	0.433	0.276	1.347	0.626	0.192	1.766	0.610	0.251	3.196	0.527	0.455
T _{1/10}	0.746	0.884	0.106	0.242	0.979	0.035	0.448	0.974	0.064	1.750	0.923	0.249
T _s	0.476	0.975	0.068	0.180	0.996	0.026	0.145	0.997	0.021	1.003	0.983	0.143
T _{mean}	0.000	1.000	0.000	0.005	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000	0.420	0.997	0.060
T _{rms}	0.091	0.998	0.013	0.005	1.000	0.001	0.002	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000

表 4-14 2004 年花蓮港週期統計特性與實測值之比較($0.5m < H_s < 1.0m$)

第二組	Gamma			Erlang			Normal			Rayleigh		
	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
T _{1/100}	1.369	0.468	0.210	0.879	0.724	0.135	1.319	0.705	0.202	3.136	0.568	0.481
T _{1/10}	0.549	0.886	0.084	0.190	0.978	0.029	0.365	0.977	0.056	1.827	0.926	0.280
T _s	0.390	0.976	0.060	0.168	0.998	0.026	0.130	0.999	0.020	1.038	0.991	0.159
T _{mean}	0.000	1.000	0.000	0.003	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000	0.425	0.998	0.065
T _{rms}	0.076	0.998	0.012	0.003	1.000	0.001	0.002	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000

表 4-15 2004 年花蓮港週期統計特性與實測值之比較(1.0m<H_s<1.5m)

第三組	Gamma			Erlang			Normal			Rayleigh		
	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
T _{1/100}	1.560	0.449	0.238	1.073	0.634	0.163	1.553	0.636	0.237	2.792	0.533	0.425
T _{1/10}	0.621	0.893	0.095	0.204	0.980	0.031	0.409	0.979	0.062	1.543	0.935	0.235
T _s	0.413	0.968	0.063	0.150	0.997	0.023	0.110	0.997	0.017	0.869	0.987	0.132
T _{mean}	0.000	1.000	0.000	0.006	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000	0.376	0.998	0.057
T _{rms}	0.089	0.997	0.014	0.006	1.000	0.001	0.002	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000

表 4-16 2004 年花蓮港週期統計特性與實測值之比較(1.5m<H_s<2.0m)

第四組	Gamma			Erlang			Normal			Rayleigh		
	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
T _{1/100}	1.773	0.442	0.276	1.015	0.643	0.158	1.118	0.668	0.174	2.572	0.675	0.400
T _{1/10}	0.741	0.871	0.115	0.225	0.976	0.035	0.284	0.975	0.044	1.438	0.945	0.224
T _s	0.406	0.977	0.063	0.137	0.998	0.021	0.098	0.998	0.015	0.762	0.988	0.119
T _{mean}	0.000	1.000	0.000	0.003	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000	0.339	0.998	0.053
T _{rms}	0.090	0.997	0.014	0.004	1.000	0.001	0.002	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000

表 4-17 2004 年花蓮港週期統計特性與實測值之比較(2.5m<H_s<3.0m)

第五組	Gamma			Erlang			Normal			Rayleigh		
	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
T _{1/100}	4.777	0.465	0.504	2.514	0.666	0.265	1.436	0.657	0.152	4.018	0.472	0.424
T _{1/10}	2.112	0.802	0.223	0.890	0.957	0.094	0.395	0.964	0.042	2.082	0.851	0.220
T _s	0.764	0.945	0.081	0.178	0.995	0.019	0.117	0.996	0.012	0.854	0.948	0.090
T _{mean}	0.000	1.000	0.000	0.012	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000	0.382	0.987	0.040
T _{rms}	0.235	0.988	0.025	0.013	1.000	0.001	0.006	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

表 4-18 2004 年花蓮港週期統計特性與實測值之比較(H_s>3.0m)

第六組	Gamma			Erlang			Normal			Rayleigh		
	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
T _{1/100}	5.402	0.598	0.609	2.927	0.643	0.330	1.415	0.685	0.159	4.347	0.605	0.490
T _{1/10}	2.175	0.859	0.245	0.837	0.966	0.094	0.422	0.968	0.048	1.976	0.896	0.223
T _s	0.830	0.958	0.094	0.194	0.993	0.022	0.151	0.994	0.017	0.820	0.960	0.092
T _{mean}	0.000	1.000	0.000	0.012	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000	0.361	0.988	0.041
T _{rms}	0.242	0.991	0.027	0.013	1.000	0.002	0.005	1.000	0.001	0.000	1.000	0.000

4-1-2 以 Ksdensity 方法之評估結果

利用 Ksdensity 方法分析 2006 年台北港、安平港與 2004 花蓮港週期資料特性結果如表 4-19 至表 4-21 所示。由表可知三個港口之週期特性皆以 Normal 分布為最佳。而由 4-1-1 節統計公式法所得之結果也表示係以 Normal 分布為最佳分布，根據此結果，代表週期資料整段與前 1/3 部份都與 Normal 分布吻合度較高，對於分析往後週期資料，可利用表 3-3 所推出之 Normal 分布特性及計算方式，可以更適切地來描述台北港、安平港與花蓮港之波浪週期特性。

表 4-19 2006 年台北港週期統計特性評估結果

RMSE	Gamma	Erlang	Normal	Rayleigh
No.1	0.037	0.035	0.026	0.062
No.2	0.056	0.051	0.044	0.101
No.3	0.037	0.035	0.021	0.045
No.4	0.033	0.034	0.018	0.033
No.5	0.033	0.034	0.018	0.033
No.6	0.033	0.033	0.017	0.030

表 4-20 2006 年安平港週期統計特性評估結果

RMSE	Gamma	Erlang	Normal	Rayleigh
No.1	0.026	0.026	0.021	0.031
No.2	0.031	0.031	0.018	0.035
No.3	0.042	0.040	0.023	0.067
No.4	0.035	0.035	0.017	0.042
No.5	0.037	0.037	0.020	0.036
No.6	0.037	0.036	0.020	0.035

表 4-21 2004 年花蓮港週期統計特性評估結果

RMSE	Gamma	Erlang	Normal	Rayleigh
No.1	0.040	0.033	0.032	0.068
No.2	0.044	0.037	0.034	0.082
No.3	0.037	0.031	0.028	0.065
No.4	0.038	0.030	0.024	0.063
No.5	0.022	0.021	0.012	0.028
No.6	0.028	0.025	0.015	0.034

4-2 示性週期之最適機率分布

本研究根據不同年份之臺北港與安平港及 2004 年花蓮港的實測資料統計而得的之示性週期，將其分成全年、季及月等部份，同 3-4 節所述，示性波浪為波浪資料前 1/3 部份，再加上 4-1 節提到，為減少中央極限定理影響，使分析結果更為準確，所以在此也將資料扣除其資料最小值後，再利用統計公式方法與 Ksdensity 方法來和 Gamma、Erlang、Rayleigh 及 Normal 四個分布函數進行套配(fitted)，以瞭解不同季節下之示性波高分布特性。

4-2-1 以統計公式之評估結果

將三個港口之示性週期年、季及月資料，扣除其最小值後，並以最大概似法求出各分布之參數，代回表 3-2 及表 3-3 計算三個港口之示性波浪週期統計特性與實測值之比較，示如表 4-22 至表 4-31。進一步將表繪成圖 4-1 至圖 4-10，依據圖中所示可判斷出在台北港與安平港部份，大部份的 Normal 分布之 RMSE 值與其它分布比較下，呈現最低的情況，因此在描述台北港與安平港之示性波浪時 Normal 分布最合適，同理由圖 4-5 可知花蓮港部份則是以 Erlang 分布結果較好。

表 4-22 2006 年台北港 T_s 統計特性與實測值之比較

RMSE	Gamma	Erlang	Normal	Rayleigh
全年	0.180	0.083	0.011	0.213
第 2 季	0.225	0.039	0.015	0.198
第 3 季	0.230	0.007	0.072	0.051
第 4 季	0.095	0.036	0.004	0.430
3 月	0.142	0.024	0.027	0.116
4 月	0.323	0.025	0.007	0.065
6 月	0.343	0.094	0.060	0.226
7 月	0.164	0.096	0.082	0.107
8 月	0.145	0.048	0.082	0.082
9 月	0.304	0.093	0.036	0.126
11 月	0.110	0.012	0.022	0.309
12 月	0.186	0.044	0.014	0.120

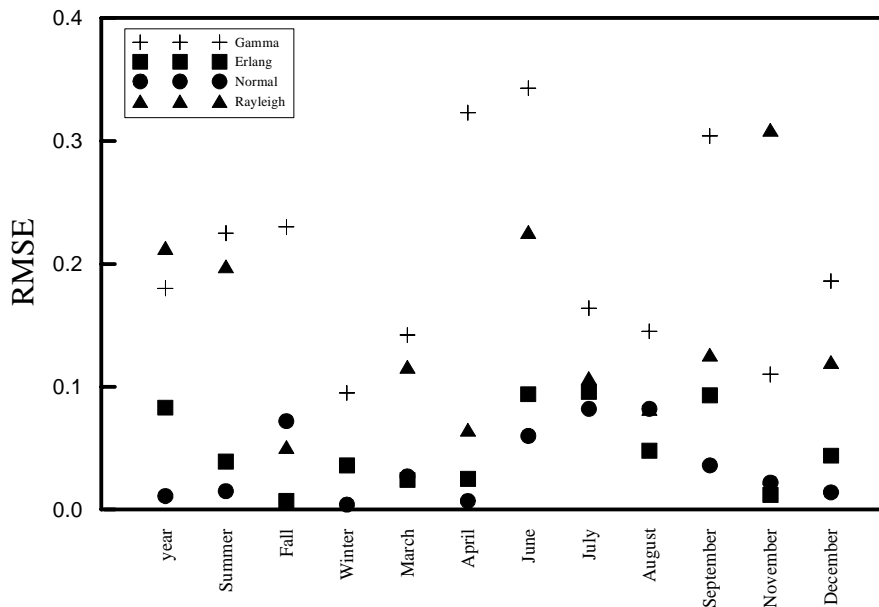


圖 4-1 2006 年台北港 T_S 各分布比較圖(統計公式法)

表 4-23 2006 年台北港 $T_{1/10}$ 統計特性與實測值之比較

RMSE	Gamma	Erlang	Normal	Rayleigh
全年	0.461	0.273	0.214	0.426
第 2 季	0.606	0.229	0.007	0.497
第 3 季	0.853	0.369	0.274	0.070
第 4 季	0.232	0.121	0.104	0.927
3 月	0.279	0.075	0.359	0.092
4 月	0.888	0.241	0.034	0.196
6 月	0.886	0.380	0.153	0.604
7 月	0.798	0.188	0.211	0.134
8 月	0.634	0.200	0.257	0.132
9 月	0.890	0.465	0.194	0.336
11 月	0.259	0.015	0.195	0.642
12 月	0.569	0.283	0.011	0.372

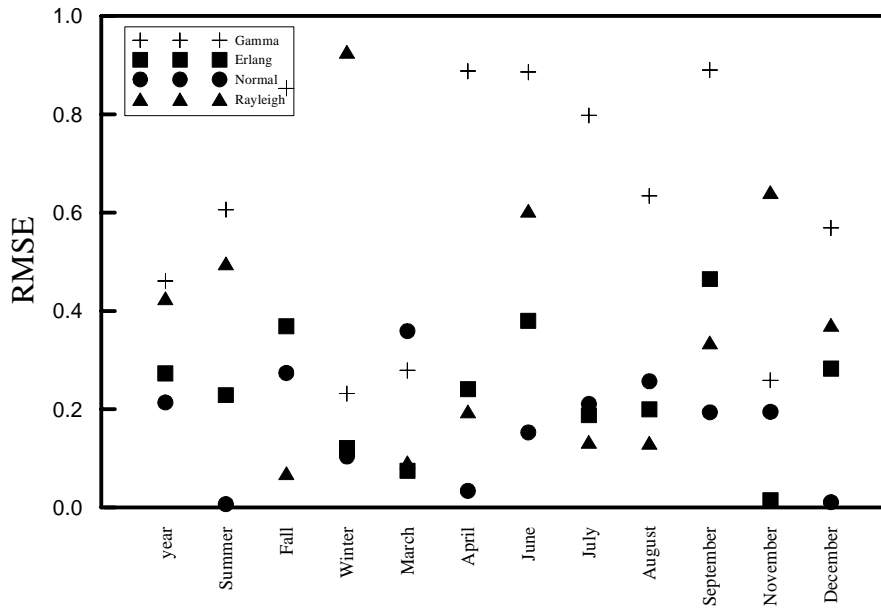


圖 4-2 2006 年台北港 $T_{1/10}$ 各分布比較圖(統計公式法)

表 4-24 2006 年安平港 T_S 統計特性與實測值之比較

RMSE	Gamma	Erlang	Normal	Rayleigh
全年	0.007	0.042	0.029	0.153
1 季	0.116	0.028	0.016	0.269
2 季	0.053	0.008	0.031	0.084
3 季	0.126	0.077	0.046	0.101
4 季	0.033	0.084	0.003	0.107
1 月	0.061	0.009	0.015	0.168
2 月	0.097	0.059	0.023	0.268
3 月	0.125	0.012	0.000	0.154
4 月	0.076	0.001	0.036	0.066
6 月	0.060	0.020	0.048	0.079
7 月	0.429	0.168	0.108	0.483
8 月	0.221	0.028	0.040	0.072
9 月	0.062	0.035	0.065	0.001
10 月	0.086	0.058	0.043	0.121
11 月	0.011	0.063	0.006	0.091
12 月	0.158	0.253	0.229	0.404

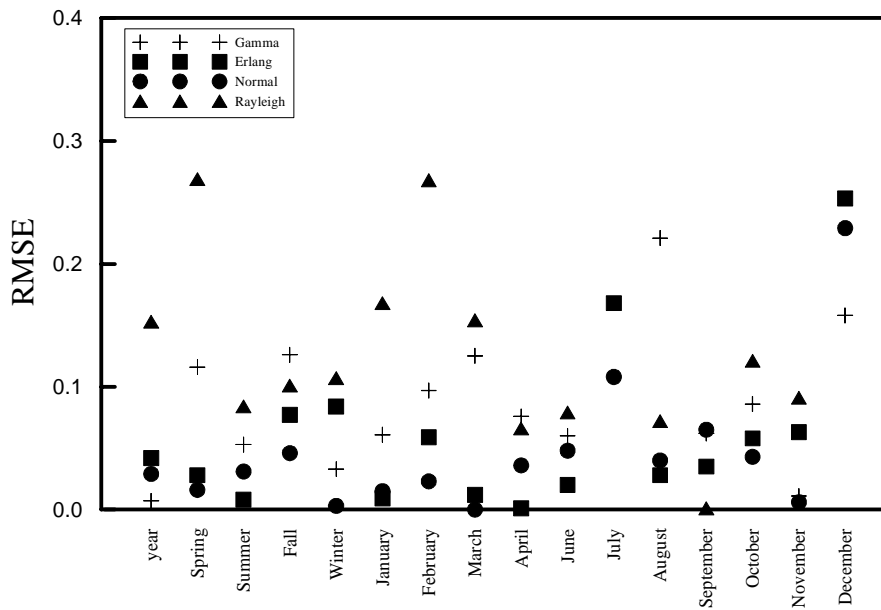


圖 4-3 2006 年安平港 T_s 各分布比較圖(統計公式法)

表 4-25 2006 年安平港 $T_{1/10}$ 統計特性與實測值之比較

RMSE	Gamma	Erlang	Normal	Rayleigh
全年	0.081	0.004	0.398	0.128
1 季	0.249	0.078	0.058	0.562
2 季	0.131	0.004	0.235	0.114
3 季	0.505	0.422	0.164	0.306
4 季	0.292	0.040	0.465	0.122
1 月	0.178	0.075	0.098	0.373
2 月	0.125	0.054	0.110	0.478
3 月	0.441	0.214	0.078	0.480
4 月	0.359	0.204	0.014	0.284
6 月	0.177	0.012	0.254	0.130
7 月	0.738	0.228	0.073	0.853
8 月	0.750	0.346	0.138	0.258
9 月	0.157	0.103	0.401	0.155
10 月	0.359	0.324	0.695	0.806
11 月	0.399	0.241	0.600	0.308
12 月	0.262	0.447	0.221	0.702

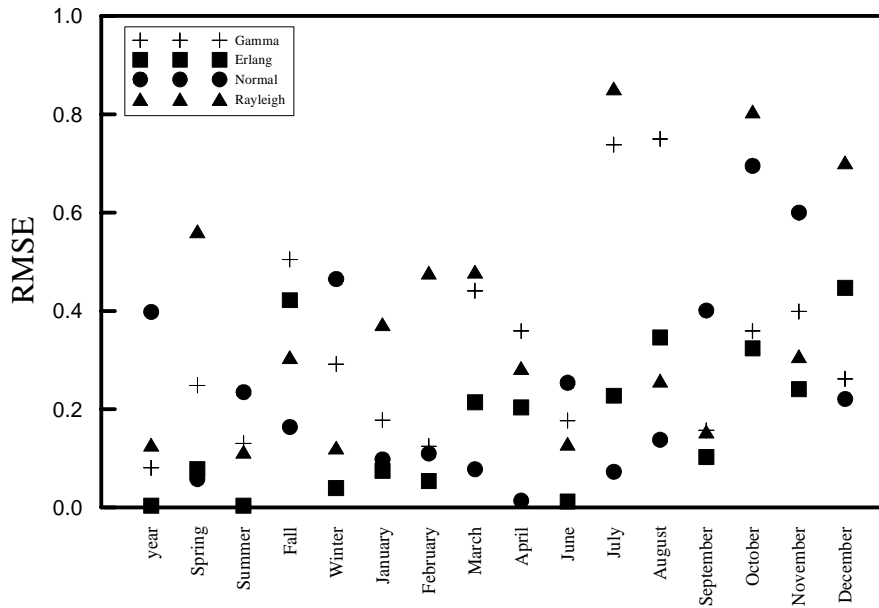


圖 4-4 2006 年安平港 T_{1/10} 各分布比較圖(統計公式法)

表 4-26 2004 年花蓮港 T_S 統計特性與實測值之比較

RMSE	Gamma	Erlang	Normal	Rayleigh
全年	0.022	0.092	0.054	1.171
1 季	0.118	0.019	0.004	0.281
2 季	0.051	0.129	0.025	0.068
3 季	0.175	0.068	0.113	0.818
4 季	0.032	0.195	0.109	0.221
1 月	0.080	0.016	0.041	0.114
2 月	0.087	0.025	0.005	0.302
3 月	0.025	0.002	0.041	0.096
4 月	0.124	0.006	0.028	0.029
5 月	0.022	0.169	0.075	0.039
6 月	0.092	0.020	0.048	0.129
7 月	0.099	0.064	0.108	0.919
8 月	0.169	0.236	0.204	0.236
9 月	0.156	0.066	0.166	0.219
10 月	0.086	0.067	0.096	0.102
11 月	0.034	0.013	0.020	0.140
12 月	0.065	0.053	0.000	0.074

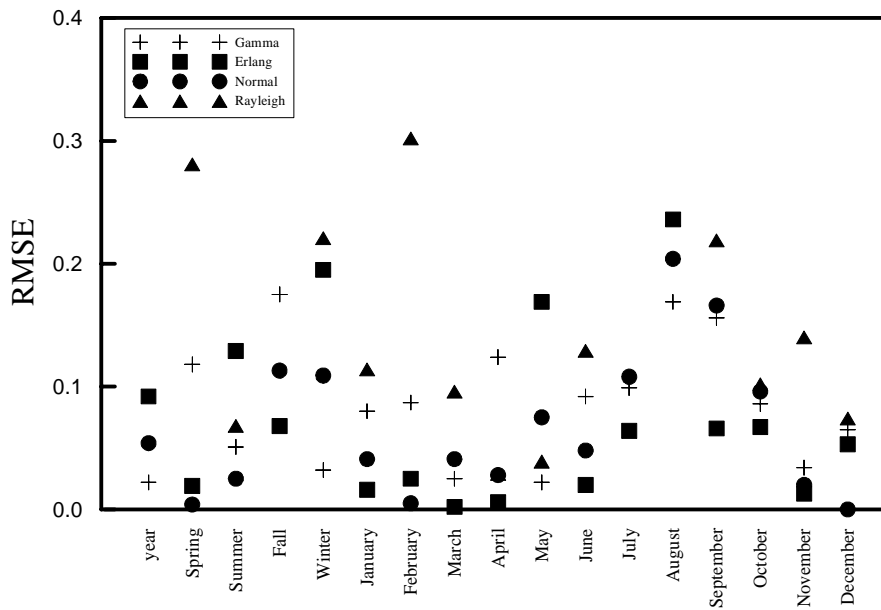


圖 4-5 2004 年花蓮港 T_s 各分布比較圖(統計公式法)

表 4-27 2004 年花蓮港 T_{1/10} 統計特性與實測值之比較

RMSE	Gamma	Erlang	Normal	Rayleigh
全年	0.764	0.558	0.780	1.686
1 季	0.385	0.191	0.040	0.717
2 季	0.509	0.055	0.915	0.891
3 季	0.670	0.470	0.797	1.359
4 季	0.591	0.247	0.706	0.335
1 月	0.407	0.213	0.009	0.433
2 月	0.327	0.208	0.066	0.775
3 月	0.220	0.177	0.023	0.340
4 月	0.026	0.295	0.785	0.652
5 月	0.421	0.062	0.635	0.634
6 月	0.488	0.226	0.935	1.007
7 月	0.008	0.055	0.163	2.099
8 月	0.055	0.129	0.482	0.429
9 月	0.262	0.317	0.919	0.870
10 月	0.365	0.338	0.877	0.736
11 月	0.147	0.054	0.050	0.354
12 月	0.067	0.049	0.258	0.010

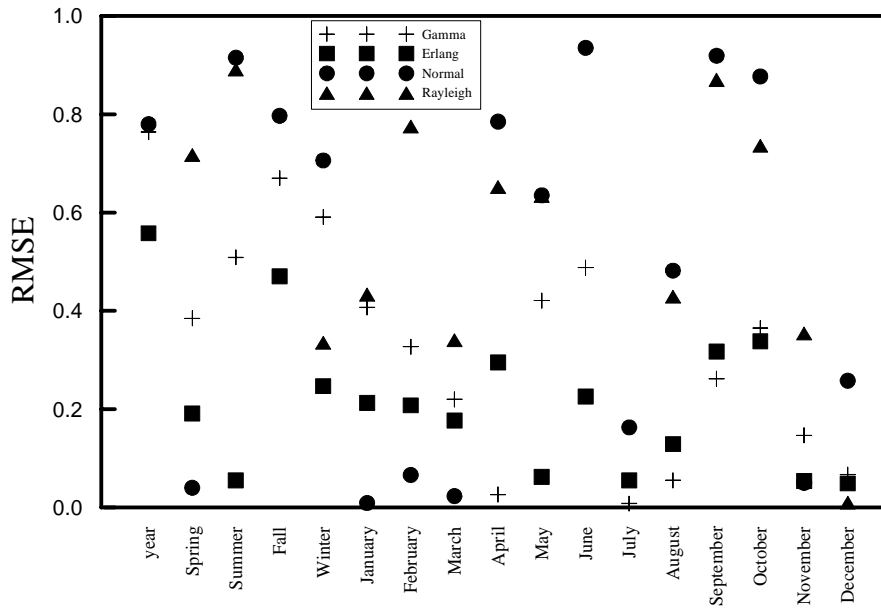


圖 4-6 2004 年花蓮港 $T_{1/10}$ 各分布比較圖(統計公式法)

表 4-28 2005 年台北港 T_S 統計特性與實測值之比較

RMSE	Gamma	Erlang	Normal	Rayleigh
全年	0.091	0.055	0.022	0.146
1 季	0.144	0.026	0.010	0.303
2 季	0.038	0.014	0.022	0.074
3 季	0.098	0.164	0.064	0.102
4 季	0.105	0.016	0.006	0.219
1 月	0.113	0.022	0.012	0.202
2 月	0.241	0.038	0.023	0.241
3 月	0.077	0.003	0.029	0.127
4 月	0.099	0.044	0.010	0.055
5 月	0.062	0.009	0.003	0.108
6 月	0.014	0.052	0.004	0.017
7 月	0.029	0.055	0.063	0.090
8 月	0.045	0.082	0.062	0.063
9 月	0.074	0.007	0.025	0.098
10 月	0.084	0.015	0.007	0.150
11 月	0.017	0.060	0.112	0.038
12 月	0.119	0.022	0.014	0.229

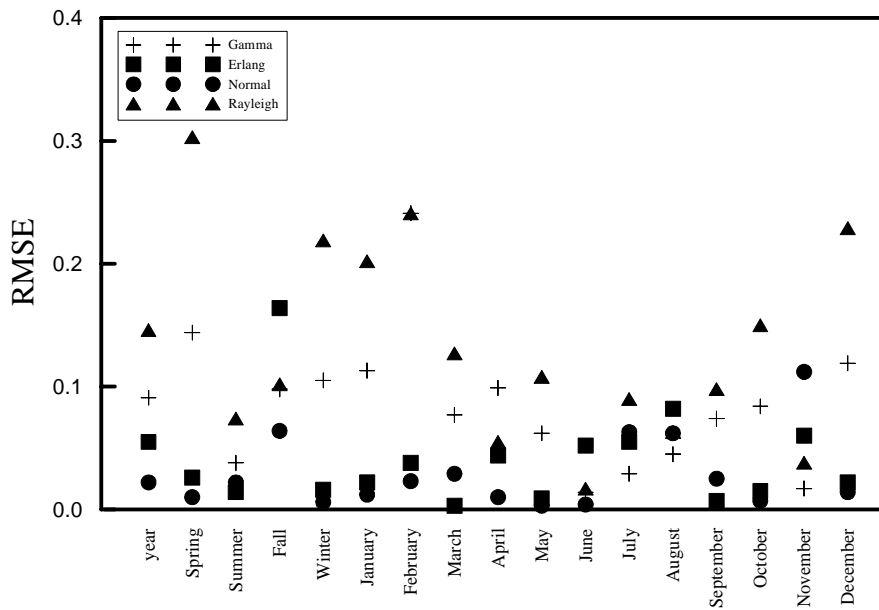


圖 4-7 2005 年台北港 T_S 各分布比較圖(統計公式法)

表 4-29 2005 年台北港 $T_{1/10}$ 統計特性與實測值之比較

RMSE	Gamma	Erlang	Normal	Rayleigh
全年	0.141	0.067	0.195	0.175
1 季	0.352	0.123	0.012	0.687
2 季	0.130	0.083	0.123	0.155
3 季	0.205	0.043	0.574	0.377
4 季	0.355	0.179	0.018	0.579
1 月	0.317	0.139	0.036	0.501
2 月	0.582	0.178	0.028	0.575
3 月	0.195	0.047	0.166	0.259
4 月	0.310	0.204	0.053	0.152
5 月	0.110	0.001	0.127	0.167
6 月	0.063	0.030	0.271	0.160
7 月	0.203	0.302	0.323	0.298
8 月	0.114	0.039	0.297	0.225
9 月	0.444	0.266	0.791	0.871
10 月	0.253	0.118	0.033	0.371
11 月	0.340	0.257	0.053	0.198
12 月	0.298	0.108	0.005	0.521

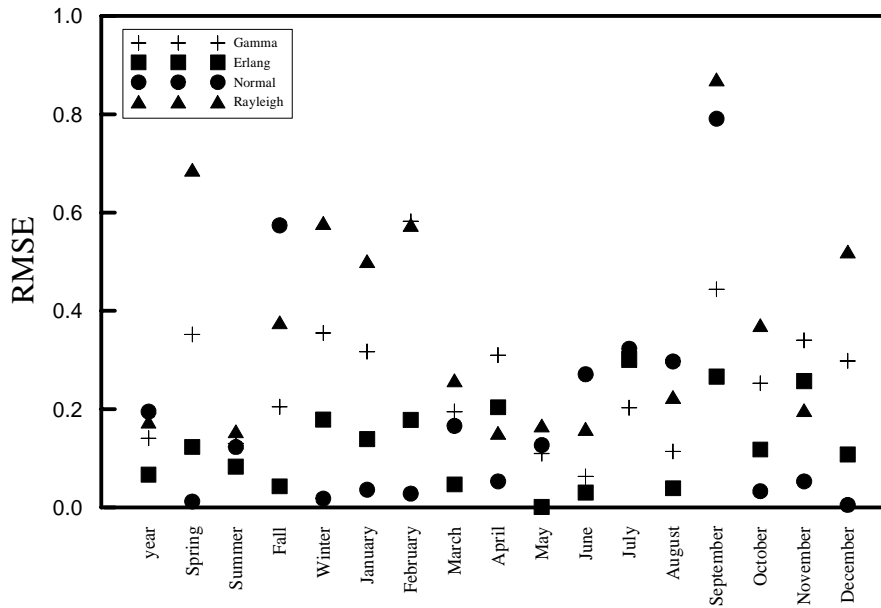


圖 4-8 2005 年台北港 $T_{1/10}$ 各分布比較圖(統計公式法)

表 4-30 2001 年安平港 T_S 統計特性與實測值之比較

RMSE	Gamma	Erlang	Normal	Rayleigh
全年	0.058	0.011	0.028	1.106
第 1 季	0.063	0.001	0.024	0.113
第 2 季	0.064	0.049	0.049	1.106
第 3 季	0.055	0.026	0.038	0.090
第 4 季	0.074	0.018	0.011	0.221
1 月	0.062	0.015	0.012	0.144
2 月	0.105	0.021	0.002	0.214
3 月	0.096	0.017	0.002	0.126
4 月	0.077	0.030	0.002	0.132
5 月	0.011	0.111	0.108	0.069
6 月	0.003	0.024	0.009	1.206
7 月	0.039	0.062	0.115	0.104
8 月	0.079	0.041	0.049	0.105
9 月	0.137	0.035	0.013	0.106
10 月	0.055	0.020	0.011	0.267
11 月	0.064	0.024	0.006	0.113
12 月	0.076	0.018	0.003	0.154

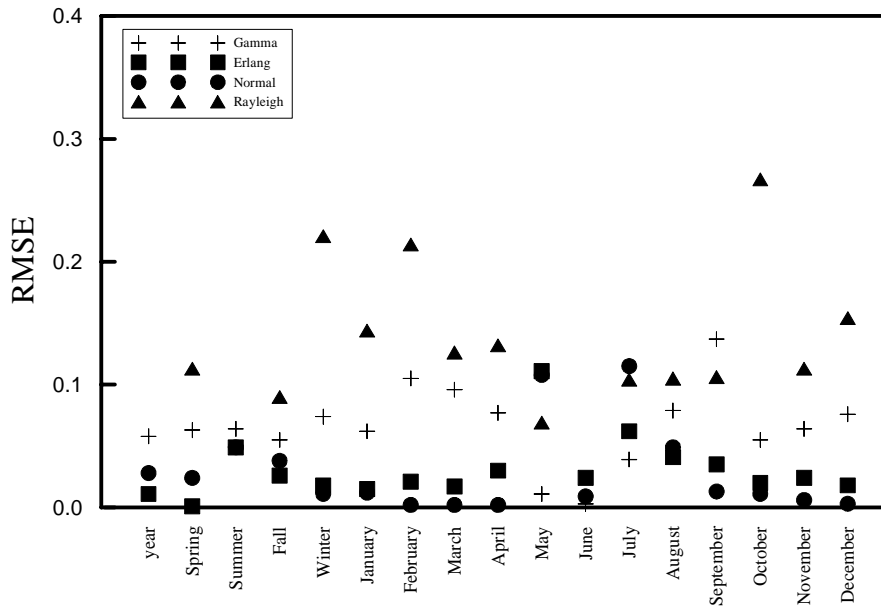


圖 4-9 2001 年安平港 T_S 各分布比較圖(統計公式法)

表 4-31 2001 年安平港 T_{1/10} 統計特性與實測值之比較

RMSE	Gamma	Erlang	Normal	Rayleigh
全年	0.335	0.251	0.368	2.052
第 1 季	0.223	0.098	0.084	0.288
第 2 季	0.141	0.117	0.184	2.251
第 3 季	0.106	0.067	0.327	0.072
第 4 季	0.211	0.104	0.044	0.526
1 月	0.232	0.141	0.015	0.386
2 月	0.323	0.159	0.009	0.539
3 月	0.315	0.158	0.041	0.363
4 月	0.198	0.108	0.028	0.302
5 月	0.590	0.320	0.115	0.290
6 月	0.076	0.042	0.151	2.393
7 月	0.111	0.061	0.411	0.266
8 月	0.443	0.197	0.011	0.439
9 月	0.395	0.190	0.068	0.274
10 月	0.164	0.100	0.046	0.613
11 月	0.145	0.068	0.018	0.246
12 月	0.222	0.110	0.018	0.384

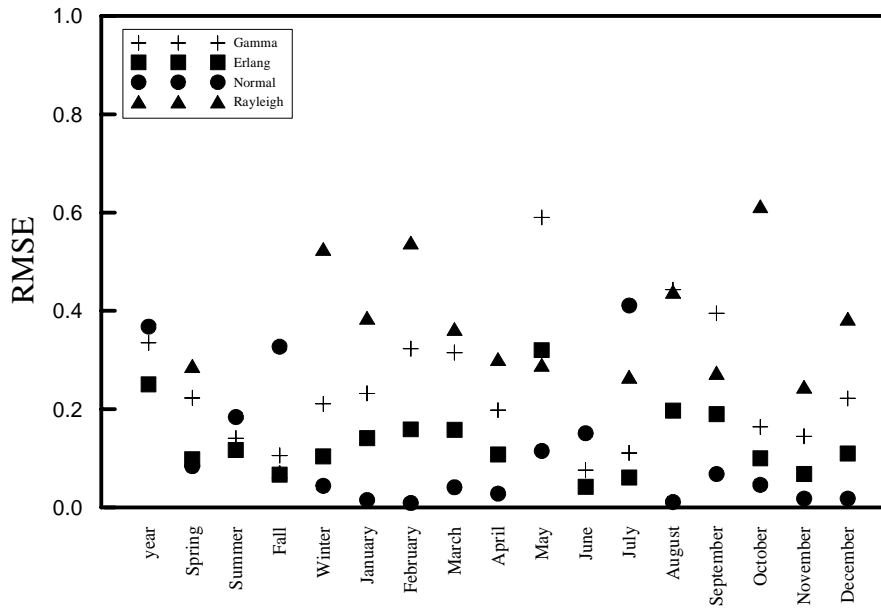


圖 4-10 2001 年安平港 $T_{1/10}$ 各分布比較圖(統計公式法)

4-2-2 以 Ksdensity 方法之評估結果

本研究將扣除其資料最小值後的示性週期資料，將其代入 Ksdensity 方法求出實測值分布特性，再與其它各個分布理論值進行比較。分析結果如表 4-32 至表 4-36，將表繪成圖 4-11 至圖 4-15。在台北港部份，藉由圖 4-11 可知整體皆是屬於 Normal 分布；而安平港部份，由圖 4-12 可知，大致上也是屬 Normal 分布為最佳；在花蓮港部份，根據分析結果顯示，是以 Gamma 分布為最佳，不過表 4-30 中 Gamma 分布與 Erlang 分布的 RMSE 值是相當接近的。由 Ksdensity 方法所分析出的結果，代表的意義係以整體週期資料去與各分布函數套配結果；而統計公式法所分析出的結果，代表係以資料前 1/3 段部份來與各分布理論值分析。因此，花蓮港整體示性週期資料與 Gamma 分布吻合度較高；而資料前 1/3 部份統計特性係與 Erlang 分布為最適分布。

表 4-32 2006 年台北港 T_S 統計特性評估結果

RMSE	Gamma	Erlang	Normal	Rayleigh
全年	0.028	0.028	0.010	0.032
第 2 季	0.061	0.060	0.020	0.061
第 3 季	0.029	0.033	0.022	0.023
第 4 季	0.025	0.024	0.012	0.090
3 月	0.026	0.026	0.022	0.025
4 月	0.076	0.079	0.032	0.052
6 月	0.122	0.119	0.066	0.111
7 月	0.033	0.042	0.028	0.034
8 月	0.040	0.044	0.030	0.032
9 月	0.037	0.037	0.015	0.026
11 月	0.025	0.024	0.021	0.063
12 月	0.057	0.057	0.022	0.051

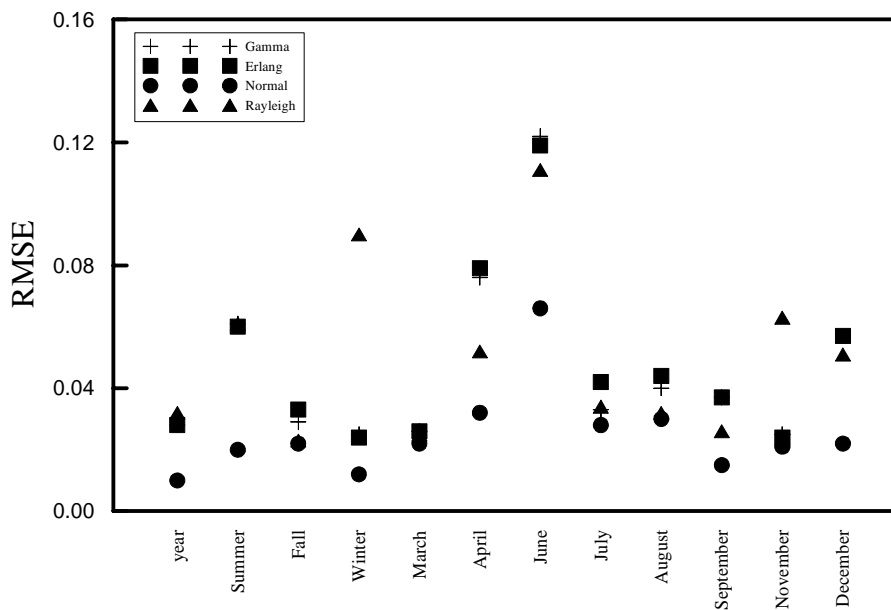


圖 4-11 2006 年台北港 T_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)

表 4-33 2006 年安平港 T_S 統計特性評估結果

RMSE	Gamma	Erlang	Normal	Rayleigh
全年	0.010	0.012	0.031	0.035
第 1 季	0.057	0.049	0.018	0.115
第 2 季	0.025	0.027	0.034	0.038
第 3 季	0.031	0.032	0.024	0.020
第 4 季	0.014	0.022	0.043	0.038
1 月	0.032	0.031	0.026	0.084
2 月	0.066	0.060	0.038	0.152
3 月	0.086	0.097	0.046	0.094
4 月	0.057	0.065	0.044	0.047
6 月	0.024	0.026	0.036	0.035
7 月	0.091	0.075	0.055	0.109
8 月	0.037	0.042	0.031	0.027
9 月	0.030	0.029	0.079	0.052
10 月	0.040	0.041	0.107	0.100
11 月	0.049	0.058	0.090	0.081
12 月	0.042	0.049	0.039	0.074

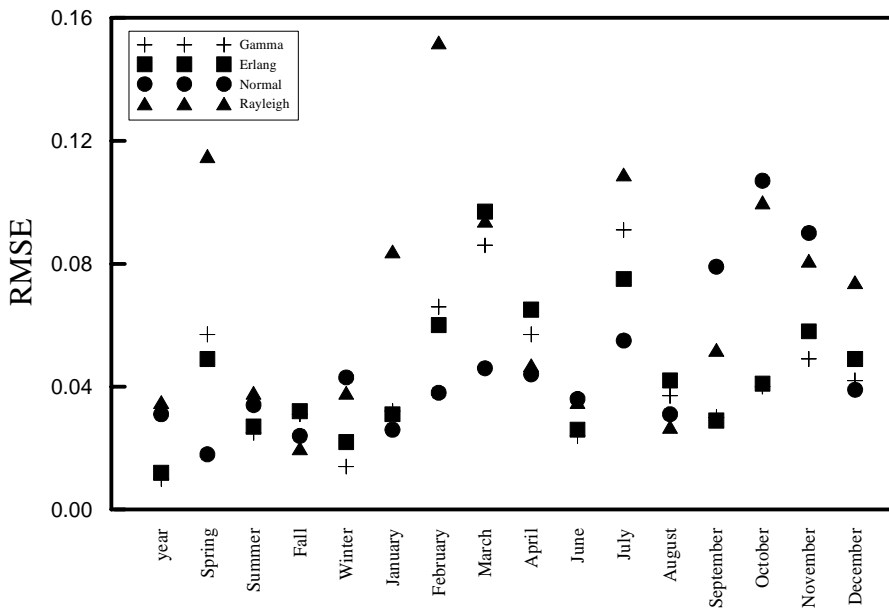


圖 4-12 2006 年安平港 T_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)

表 4-34 2004 年花蓮港 T_s 統計特性評估結果

RMSE	Gamma	Erlang	Normal	Rayleigh
全年	0.042	0.048	0.058	0.107
第 1 季	0.062	0.067	0.031	0.101
第 2 季	0.028	0.044	0.067	0.049
第 3 季	0.033	0.034	0.048	0.070
第 4 季	0.055	0.071	0.085	0.087
1 月	0.051	0.061	0.041	0.054
2 月	0.074	0.082	0.050	0.117
3 月	0.049	0.052	0.059	0.083
4 月	0.044	0.037	0.059	0.043
5 月	0.040	0.067	0.084	0.057
6 月	0.035	0.040	0.078	0.064
7 月	0.031	0.028	0.039	0.087
8 月	0.039	0.045	0.076	0.063
9 月	0.019	0.021	0.047	0.037
10 月	0.044	0.045	0.073	0.057
11 月	0.043	0.054	0.040	0.114
12 月	0.043	0.043	0.047	0.052

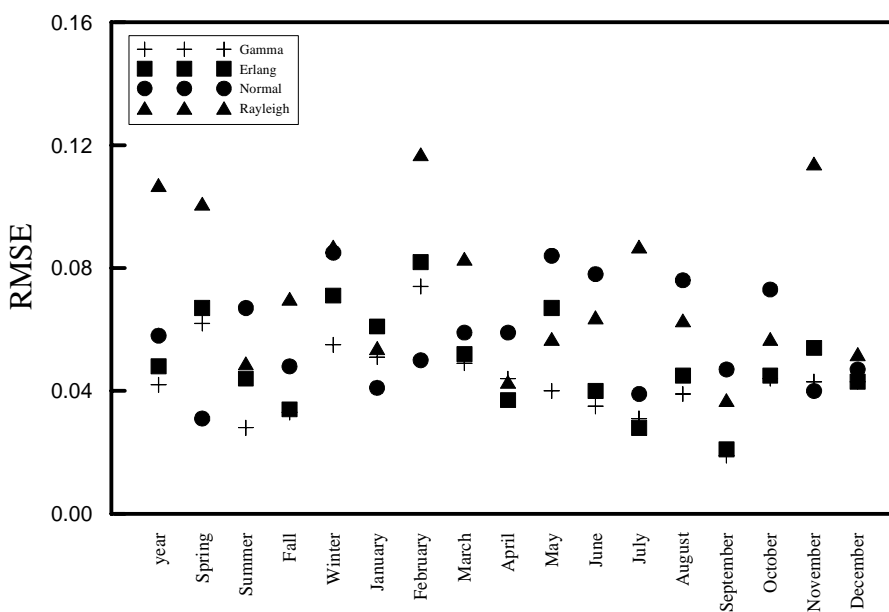


圖 4-13 2004 年花蓮港 T_s 各分布比較圖(Ksdensity 法)

表 4-35 2005 年台北港 T_S 統計特性評估結果

RMSE	Gamma	Erlang	Normal	Rayleigh
全年	0.034	0.032	0.026	0.051
第 1 季	0.058	0.041	0.019	0.132
第 2 季	0.034	0.035	0.039	0.056
第 3 季	0.053	0.061	0.064	0.056
第 4 季	0.054	0.058	0.023	0.093
1 月	0.093	0.094	0.034	0.148
2 月	0.097	0.065	0.028	0.127
3 月	0.057	0.046	0.065	0.096
4 月	0.091	0.097	0.060	0.066
5 月	0.064	0.059	0.038	0.091
6 月	0.045	0.057	0.093	0.059
7 月	0.033	0.034	0.053	0.052
8 月	0.043	0.051	0.076	0.052
9 月	0.059	0.064	0.106	0.091
10 月	0.058	0.058	0.017	0.101
11 月	0.051	0.056	0.086	0.054
12 月	0.063	0.051	0.017	0.130

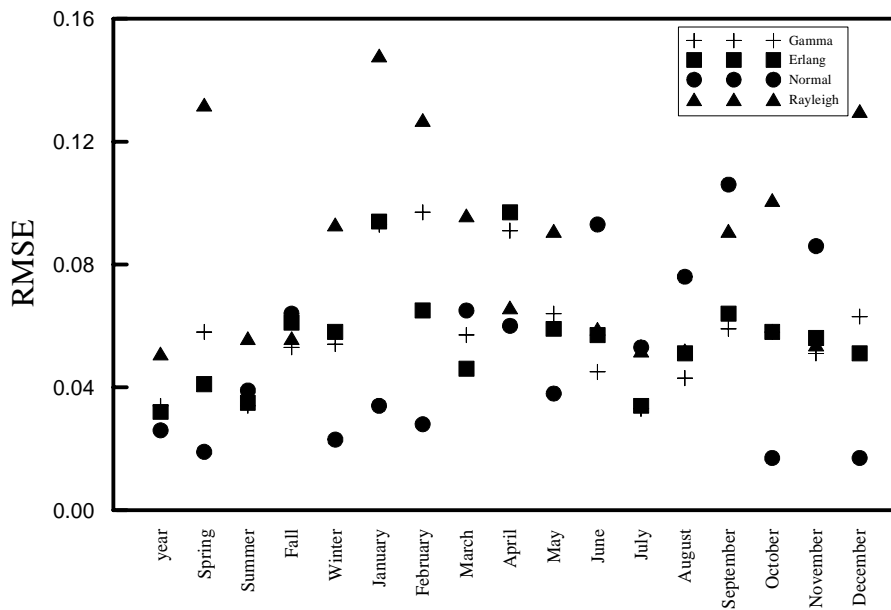


圖 4-14 2005 年台北港 T_S 各分布比較圖(Ksdensity 法)

表 4-36 2001 年安平港 T_s 統計特性評估結果

RMSE	Gamma	Erlang	Normal	Rayleigh
全年	0.048	0.050	0.065	0.146
第 1 季	0.042	0.044	0.029	0.070
第 2 季	0.048	0.047	0.062	0.151
第 3 季	0.023	0.018	0.041	0.041
第 4 季	0.131	0.118	0.048	0.291
1 月	0.062	0.067	0.029	0.102
2 月	0.062	0.066	0.025	0.099
3 月	0.114	0.122	0.061	0.135
4 月	0.096	0.093	0.028	0.152
5 月	0.083	0.107	0.098	0.080
6 月	0.022	0.021	0.024	0.129
7 月	0.032	0.032	0.067	0.046
8 月	0.043	0.054	0.036	0.046
9 月	0.069	0.067	0.028	0.065
10 月	0.122	0.123	0.059	0.338
11 月	0.129	0.101	0.045	0.266
12 月	0.105	0.102	0.031	0.202

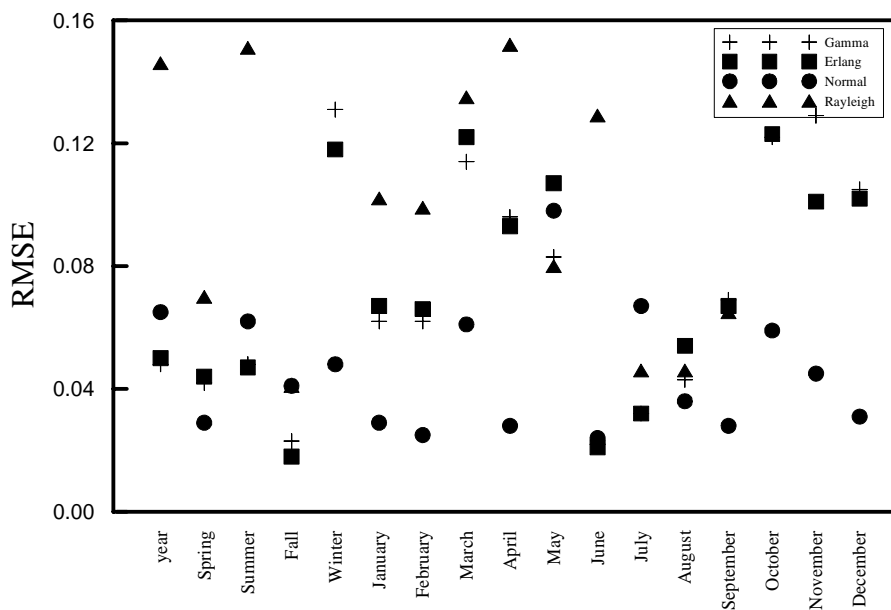


圖 4-15 2001 年安平港 T_s 各分布比較圖(Ksdensity 法)

4-3 示性波浪參數特性探討

在 4-1 節提到為了扣除統計學理論之中央極限定理影響，本研究將週期資料扣除其最小值後，再以最大概似法(maximum likelihood method)求得各分布之參數，而由 4-2 節結果指出週期統計特性以 Normal 分布為最適分布，所以在這部份，本研究希望透過研究 Normal 分布參數，迴歸出一相關公式，以供往後只要代入所需月份即能求得參數資料，得到需要的統計特性。

4-3-1 每月示性波浪週期之最小值

因為前面章節提到為了減少中央極限定理影響，讓參與分析討論的各個分布函數能更客觀地套配數據，所以扣除了每月之最小值，因此在這個章節提出台北港、安平港與花蓮港每月示性週期最小值來討論，觀察三港每月最小值變化，示如圖 4-16 至圖 4-18。2006 年台北港缺少了 1 月、2 月、5 月及 10 月資料，示性週期最小值大約為 5.5 秒；2005 年則約為 4 秒。2006 年安平港少了 5 月資料，示性週期最小值約 5 至 6 秒；2001 年因為 6 月資料數據異常所以不參與討論，示性週期最小值約在 3.7 至 3.9 秒間。2004 年花蓮港剔除了七月異常數據，示性週期最小值約為 9 秒。由圖中可看出，每年的示性週期最小值趨勢基本上變化不大，而 2006 年週期相對於 2005 年來得高。

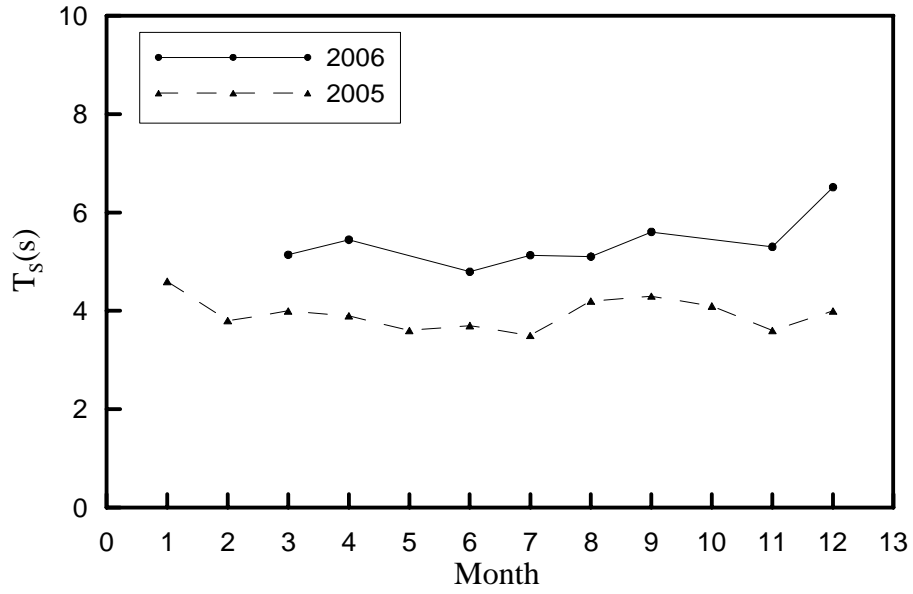


圖 4-16 台北港示性週期每月最小值

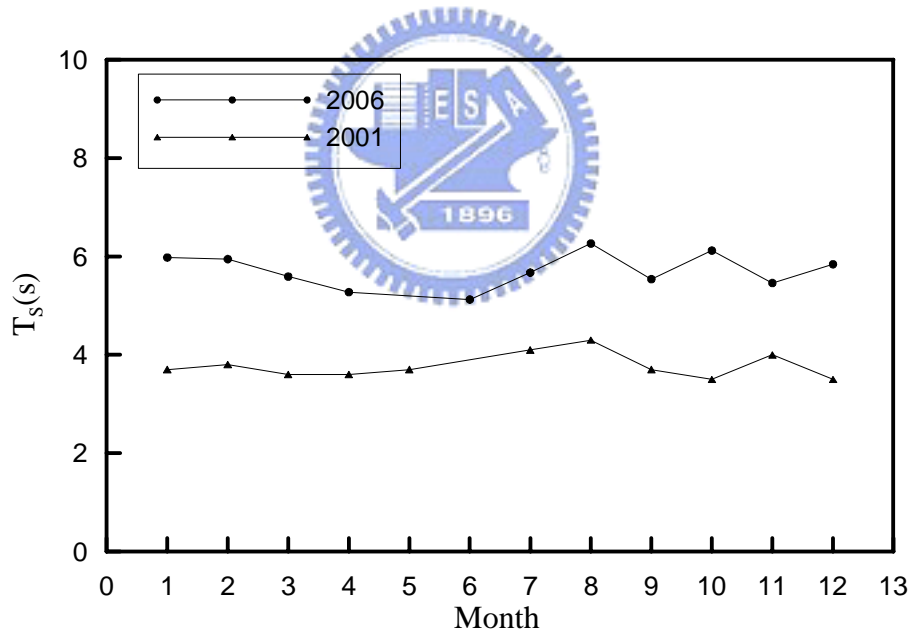


圖 4-17 安平港示性週期每月最小值

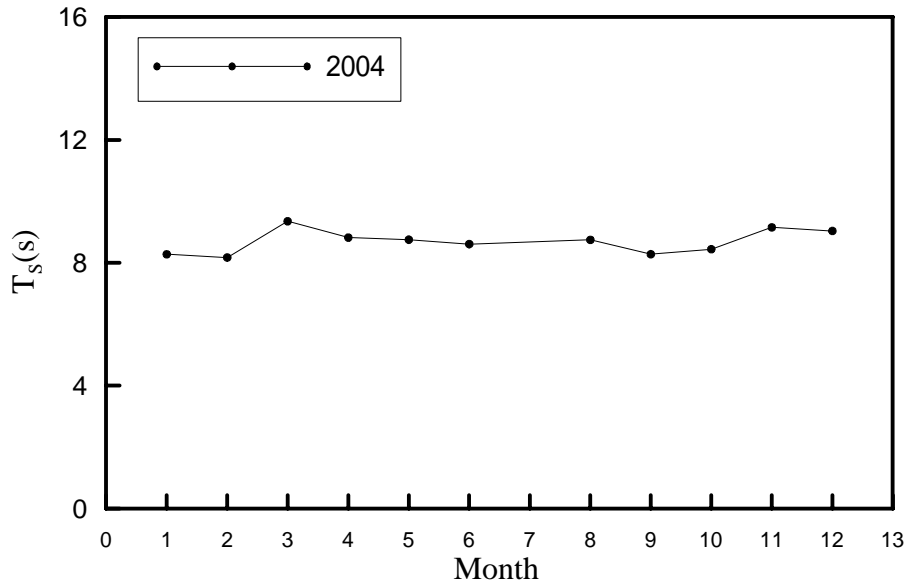


圖 4-18 花蓮港示性週期每月最小值

4-3-2 Normal 分布之參數分析

根據由最大概似法(maximum likelihood method)可求得 Normal 分布之 μ 與 σ 兩參數值，如圖 4-19 與圖 4-20。從圖中可看出不管是 μ 值或 σ 值均呈現不規則趨勢，本研究試圖從 2006 年與 2005 年兩年資料做迴歸分析，不過沒辦法有效地迴歸出一特性公式，安平港結果亦同。

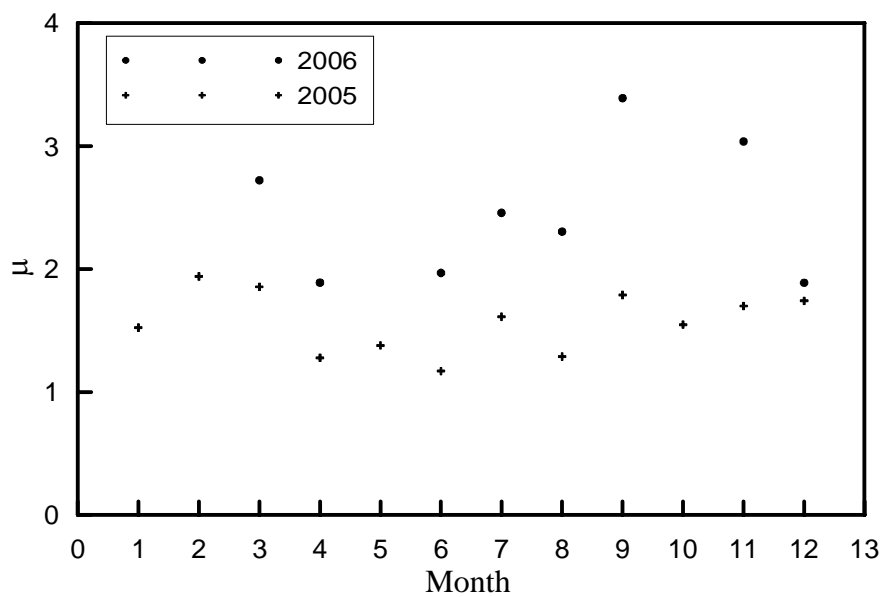


圖 4-19 台北港 T_s 每月 Normal 分布之 μ 參數值

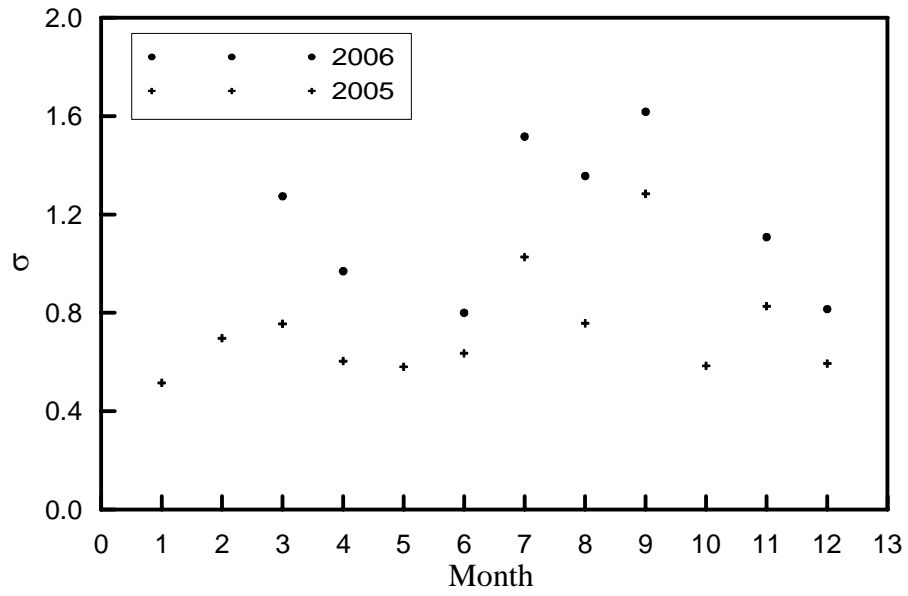


圖 4-20 台北港 T_s 每月 Normal 分布之 σ 參數值



第五章 結果與討論

本研究利用 2006 年之台北港、安平港與 2004 年花蓮港波浪資料，利用兩種方式分析其短期波高及週期之最適分布：一則將其代入最大概似法計算出所需參數之後，再將參數代回所推得之各分布統計公式中求得理論值，來與實際值進行比較分析；一則利用統計學理論中之 Ksdensity 方法，求出實測資料之機率密度來與各分布套配。透過 RMSE 與 R^2 兩種指標參數來決定其最適分布，最後並探討此最適分布參數，求出一相關式以供能推估其理論參數，進而求得與實際資料密度相符程度最佳者之理論示性統計值，可作為往後波浪資料分析及工程設計上之參考依據。

在波高分析方面，本研究是利用 Modified Weibull、Weibull 與 Rayleigh 分布模式來與實測資料進行探討，驗證出台北港、安平港與花蓮港波高分布不管係利用統計公式方法或 Ksdensity 方式均近似於 Weibull 分布；而在示性波高分析結果方面，將台北港、安平港及花蓮港的實測資料統計而得的之示性波高，分成全年、季及月等部份，除了前述三個分布模式之外，尚加入了 Gamma 與 Log-Normal 分布參與討論，結果顯示 Weibull 分布在描述台北港與安平港之整體示性波高資料或前 1/3 段統計特性時，其得到的效果最佳；而花蓮港雖然示性波高前 1/3 也屬 Weibull 分布，但整體示性波高資料特性係屬於 Log-Normal 分布。

在週期分析方面，本文用來與實測資料進行套配之分布模式為 Gamma、Erlang、Normal 與 Rayleigh 分布，分析結果表示台北港與安平港部份，在六組的結果均呈現 Normal 分布的吻合度最佳；而在花蓮港部份，由統計公式方法結果指出，Erlang 與 Normal 分布在描述週期統計特性都有不錯的結果，兩個分布的 R^2 值也相當接近，利用 Ksdensity 結果得知，Normal 分布為最佳。在示性週期統計方面，台北港與安平港的最適分布為 Normal 分布；而花蓮港利用統計公式法是以 Erlang 分布為最佳，經由 Ksdensity 方法，呈現出來的結果雖是以 Gamma 分布為最好，但 Erlang 分布與 Gamma 分布之 RMSE 值非常相近。

在參數特性方面，本研究也將利用不同年份之 Weibull 分布之 α 與 β 參數，提出相關迴歸方程式，經由迴歸式推算而得之參數所計算出的相關理論波高統計值，經與實際波高統計值比較分析後，與實際值甚為接近。因此，本研究所建立之參數經驗公式，可快速的推算出相似的理論波高值，更可以確定了解 Weibull 分布理論計算的可行性。而在週期參數特性方面，本研究試圖模擬 Weibull 分布參數分析方法，將 Normal 分布之 μ 與 σ 參數迴歸出一相關式，但由於參數呈現不規則趨勢，所以無法分析出一參數經驗公式以推估理論週期統計參數，不過根據結果 Normal 分布仍為示性週期之最適分布，以上結果可做為波浪統計上以及海岸工程上的應用參考。



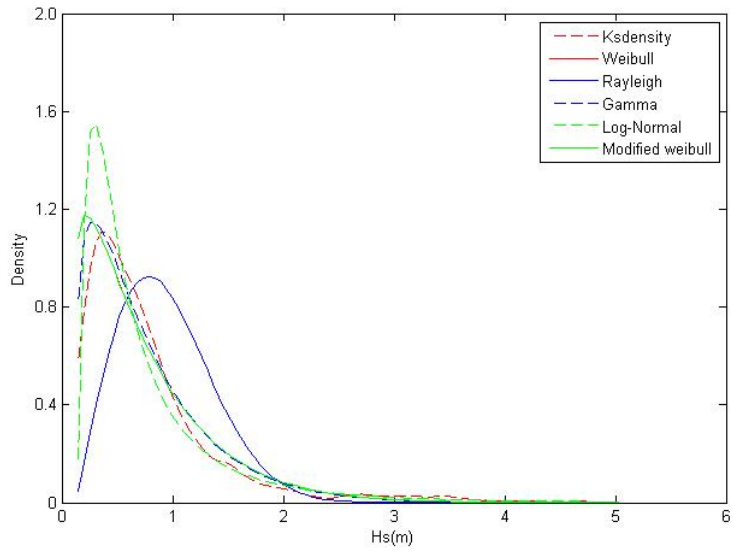
參考文獻

1. 郭一羽 (2001) 「海岸工程學」, 文山書局。
2. 江俊銘 (2006) 「花蓮港海域波浪之波高分佈及其統計特性研究」, 國立交通大學土木工程研究所碩士論文。
3. 蔡弘偉 (2006) 「花蓮港海域波浪之週期分佈及其統計特性研究」, 國立交通大學土木工程研究所碩士論文。
4. 李明璋 (2007) 「台灣海域之波高分佈及其週期分佈之較」, 國立交通大學土木工程研究所碩士論文。
5. Bretschneider, C. L. (1959) "Wave variability and wave spectra for wind generated gravity waves," Tech. Rep., *US Army Beach Erosion Board.*, No. 118.
6. Bowman, A. W. and A. Azzalini (1997) *Applied Smoothing Techniques for Data Analysis*, Oxford University Press.
7. Cavanie, A., M. Arhan and R. Ezraty (1976) "A statistical relationship between individual heights and periods of storm waves," *Proc. Conf. on Behavior of offshore Struct.*, Vol. 2, pp. 354-360.
8. Draper, L. (1973) "Extreme wave conditions in British and adjacent water," *Proc. Thirteenth Coastal Engng. Conf.*, pp. 157-165.
9. Devore, J. L. and N. R. Farnum (2005) *Applied Statistics to Engineers and Scientists*, Thomson Brooks/Cole, USA.
10. Erlang, A. K. (1917) "Solution of some Problems in the Theory of Probabilities of Significance in Automatic Telephone Exchanges," *Elektroteknikerer*, Vol. 13, pp. 138-150.
11. Forristall, G. Z. (1978) "On the statistical distribution of wave heights in a storm," *J. Geophys. Res.*, Vol. C83, pp. 2353-2358.

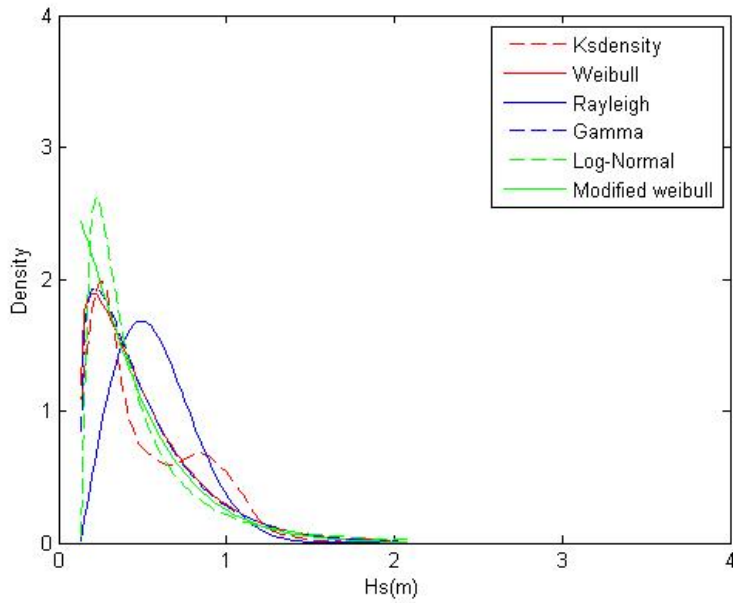
12. Ferreira, J. A. and C. G. Soares (1999) "Modelling the long-term distribution of significant wave height with the Beta and Gamma models," *Coastal Engineering* , Vol. 26, pp. 713-725.
13. Goda, Y. (2000) *Random seas and design of maritime structures*, World Scientific.
14. Jaspers, N. H. (1956) "Statistical distribution patterns of ocean waves and of wave induced stresses and motions with engineering applications," *Transactions Society Naval Architects and Marine Engineers*, Vol. 64, pp. 375-432.
15. Kamphuis, J. W. (2000) *Introduction to Coastal Engineering And Management*, World Scientific, Singapore.
16. Longuet-Higgins, M. S. (1952) "On the statistical distribution of the heights of sea waves," *J. Marine, Res.*, Vol. 9, pp. 245-265.
17. Longuet-Higgins, M. S. (1975) "On the joint distribution of periods and amplitudes of sea waves," *J. Geophys. Res.*, Vol. 80, pp. 2688-2694.
18. Longuet-Higgins, M. S. (1980) "On the distribution of the height of sea waves: Some effects of nonlinearity and finite bandwidth," *J. Geophys. Res.*, Vol. 85, No. C3, pp. 1519-1523.
19. Longuet-Higgins, M. S. (1983) "On the joint distribution of wave periods and amplitudes in a random wave field," *Proc. R. Soc. London*, Vol. 389(A), pp. 241-258.
20. Muraleedharan, G. M., N. U. Nair and P. G. Kurup (1993) "Characteristics of long-term distribution of wave heights and periods in the eastern Arabian Sea," *India J MAR Sci.*, Vol. 22, pp. 21-27.

21. Muraleedharan, G. M., A. D. Rao, P. G. Kurup, N. U. Nair and M. Sinha (2007) "Modified Weibull distribution for maximum and significant wave height simulation and prediction," *Coastal Engineering*, Vol. 54, pp. 630-638.
22. Nair, N. U., G. Muraleedharan and P. G. Kurup (2003) "Erlang distribution model for ocean wave periods," *J. Ind. Geophys. Union*, Vol.7, No. 2, pp. 59-70.
23. Putz, R. R. (1952) "Statistical distribution for ocean waves," *Trans. AGU.*, Vol.33, pp. 685-692.
24. Pan, J. (1992) "Long-term joint distribution of one-tenth large (or significant) wave height with average period," *China Ocean Eng.*, Vol. 6, pp. 383-394.
25. Soares, C. G. and M. Scotto (2001) "Modelling uncertainty in long-term predictions of significant wave height," *Coastal Engineering*, Vol. 28, pp. 329-342.
26. Satheesh, S. P., V. K. Praveen, V. Jagadish Kumar, G. Muraleedharan and P. G. Kurup (2005) "Weibull and Gamma distribution for Wave Parameter Predictions," *J. Ind. Geophys. Union*, Vol. 9, No. 1, pp. 55-64.
27. Tayfun, M. A. (1993) "Joint distribution of large wave heights and associated periods," *J. Waterw., Port, Coastall, Ocean Eng.*, Vol. 119, pp. 261-273 .

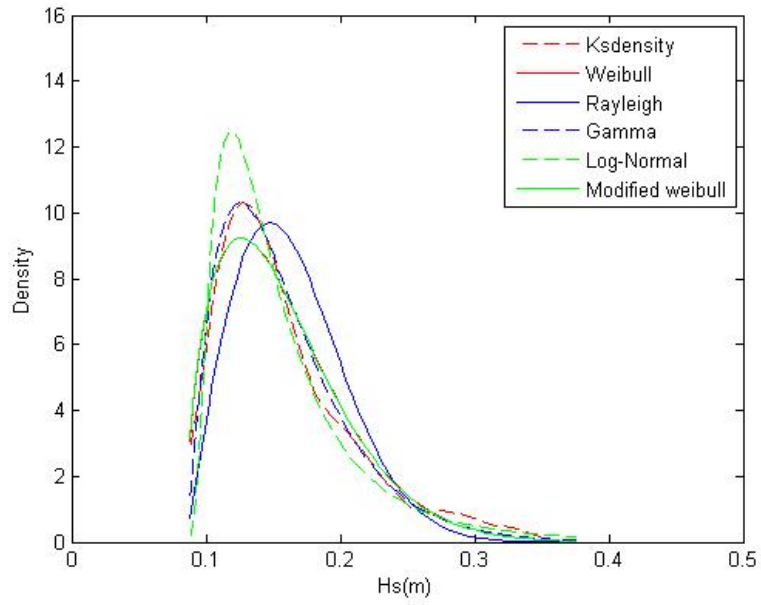
附圖一 台北港示性波高特性分析



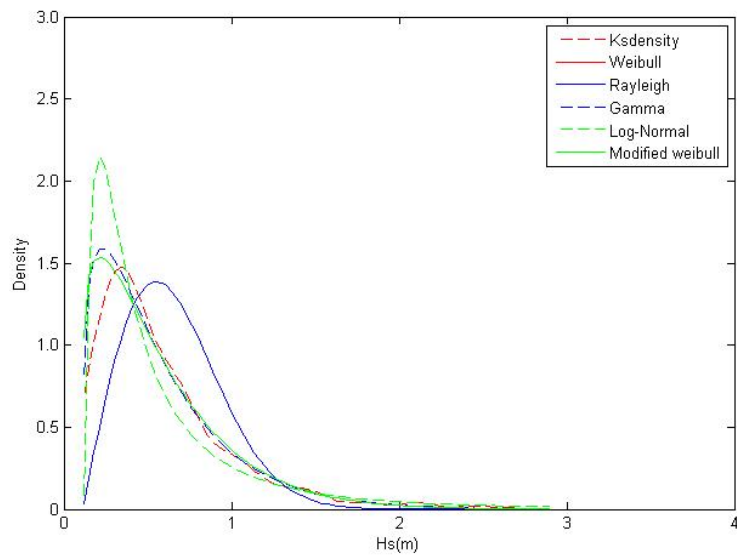
附圖 1-1 台北港 3 月示性波高機率密度圖



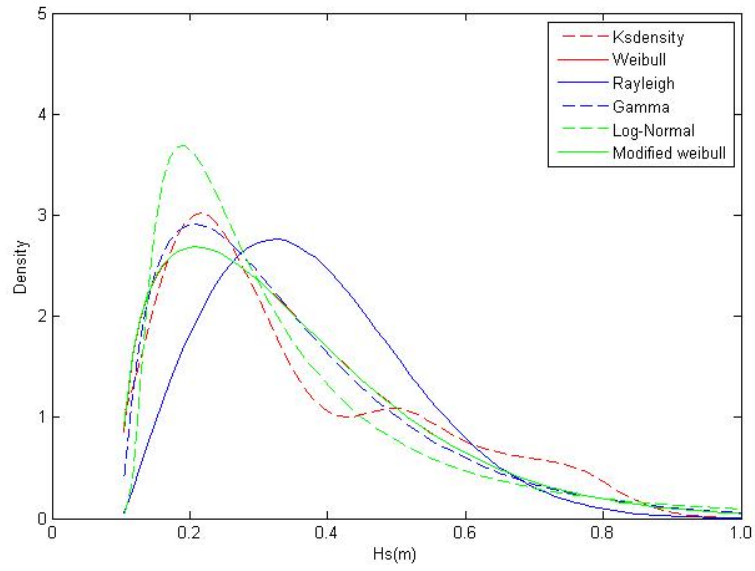
附圖 1-2 台北港 4 月示性波高機率密度圖



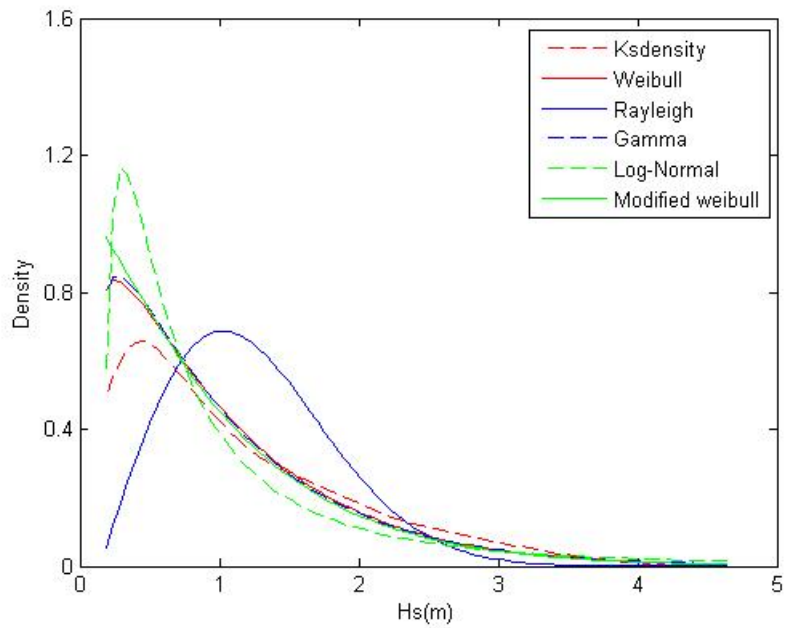
附圖 1-3 台北港 6 月示性波高機率密度圖



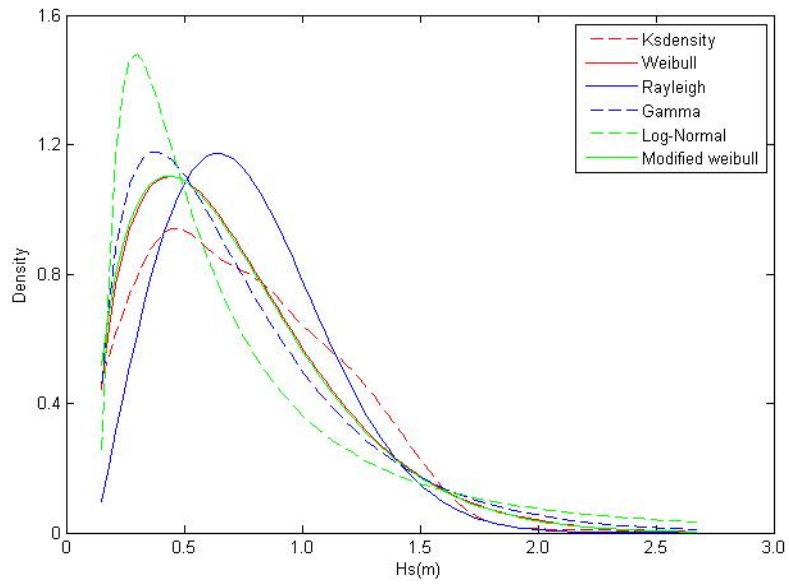
附圖 1-4 台北港 7 月示性波高機率密度圖



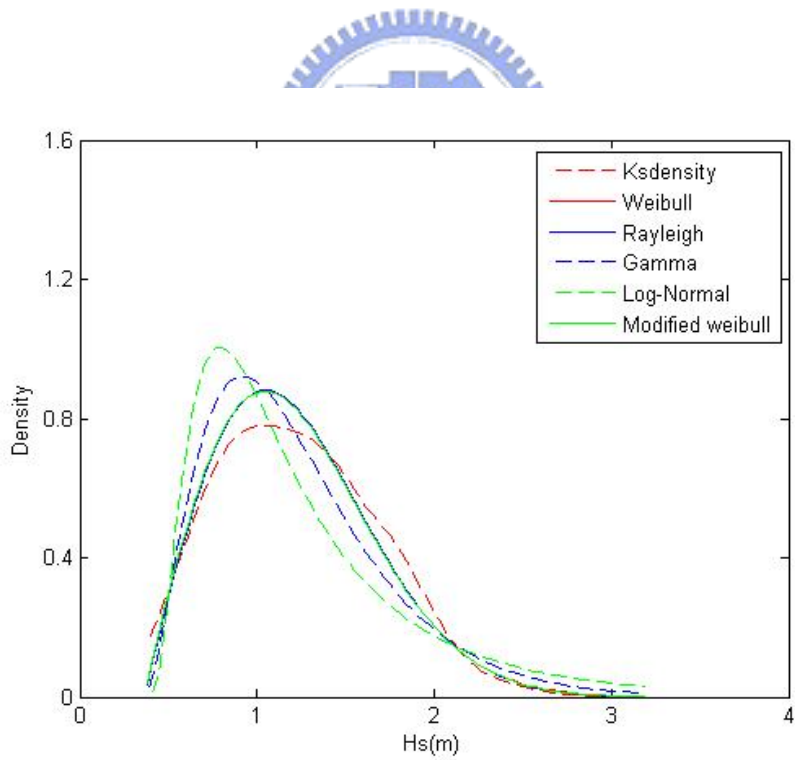
附圖 1-5 台北港 8 月示性波高機率密度圖



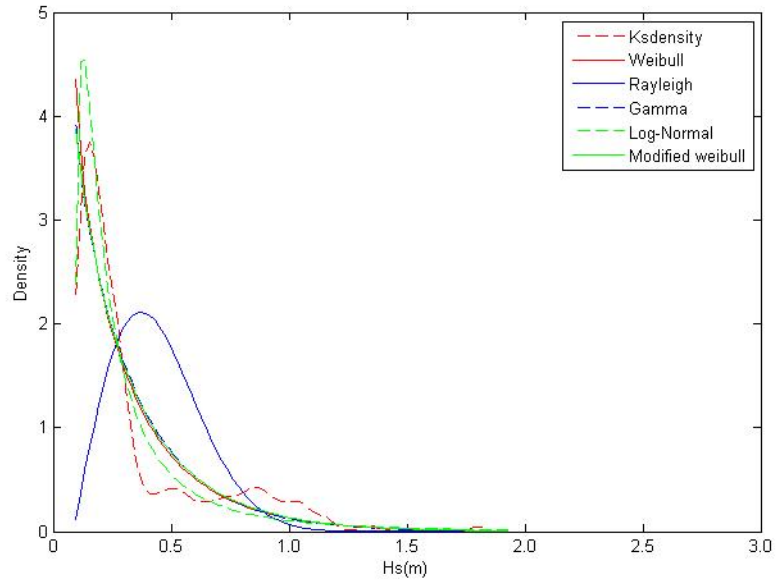
附圖 1-6 台北港 9 月示性波高機率密度圖



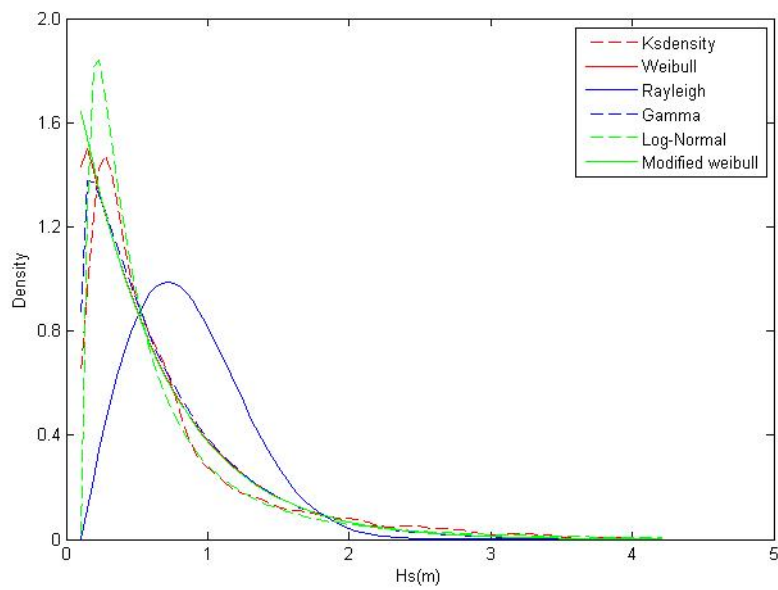
附圖 1-7 台北港 11 月示性波高機率密度圖



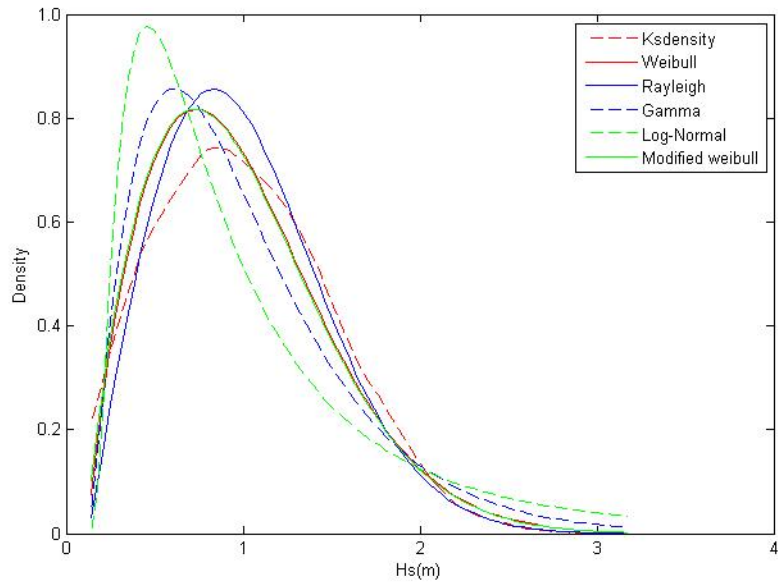
附圖 1-8 台北港 12 月示性波高機率密度圖



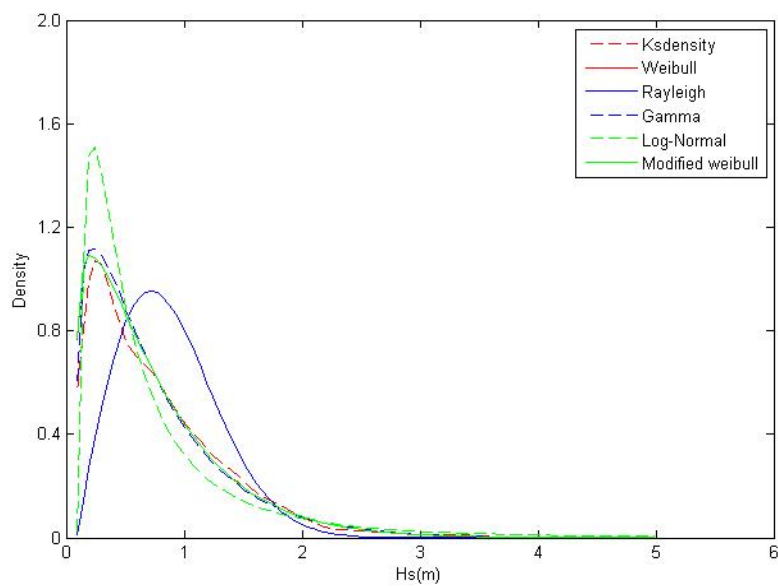
附圖 1-9 台北港第 2 季示性波高機率密度圖



附圖 1-10 台北港第 3 季示性波高機率密度圖

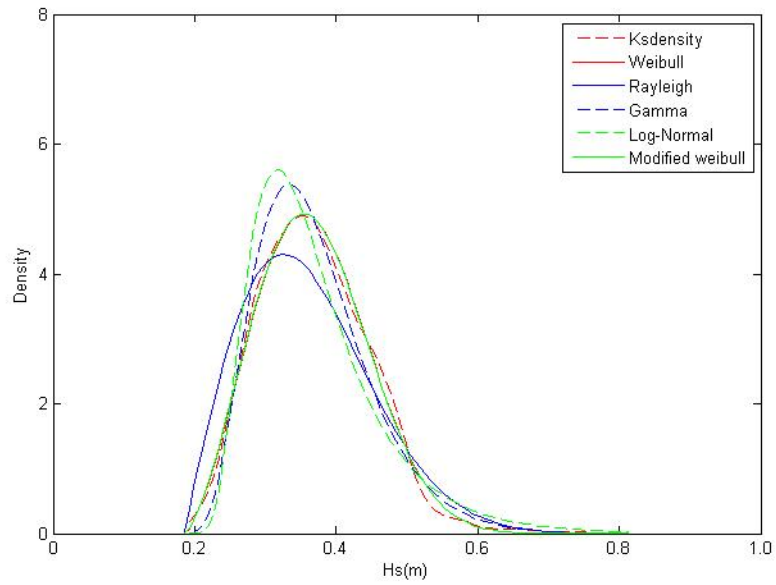


附圖 1-11 台北港第 4 季示性波高機率密度圖

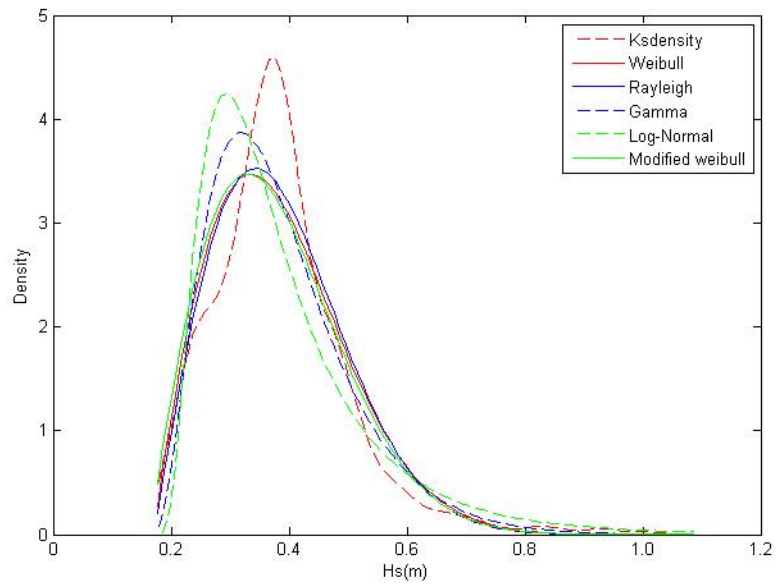


附圖 1-12 台北港全年示性波高機率密度圖

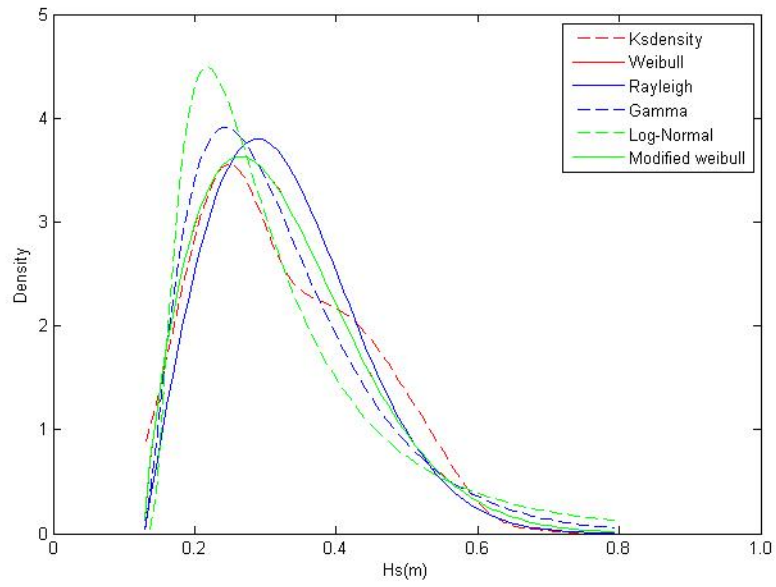
附圖二 安平港示性波高特性分析



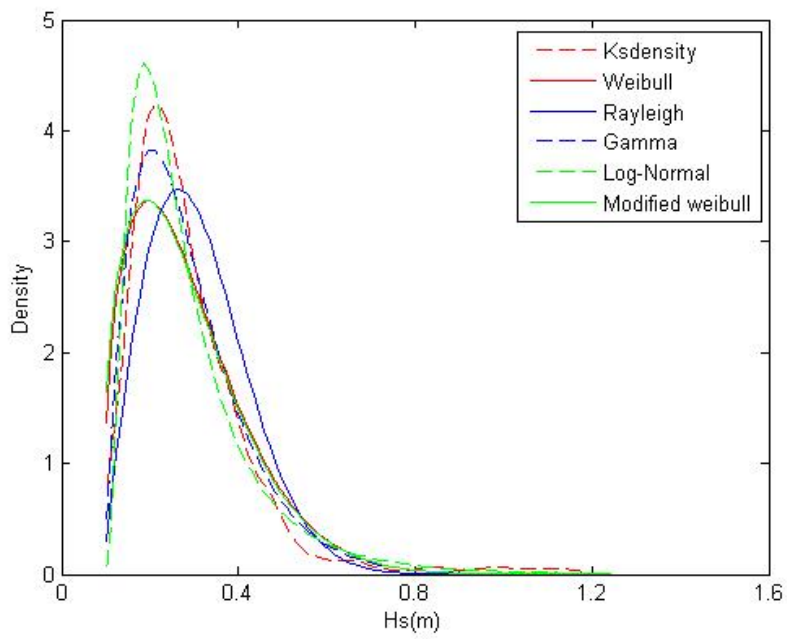
附圖 2-1 安平港 1 月示性波高機率密度圖



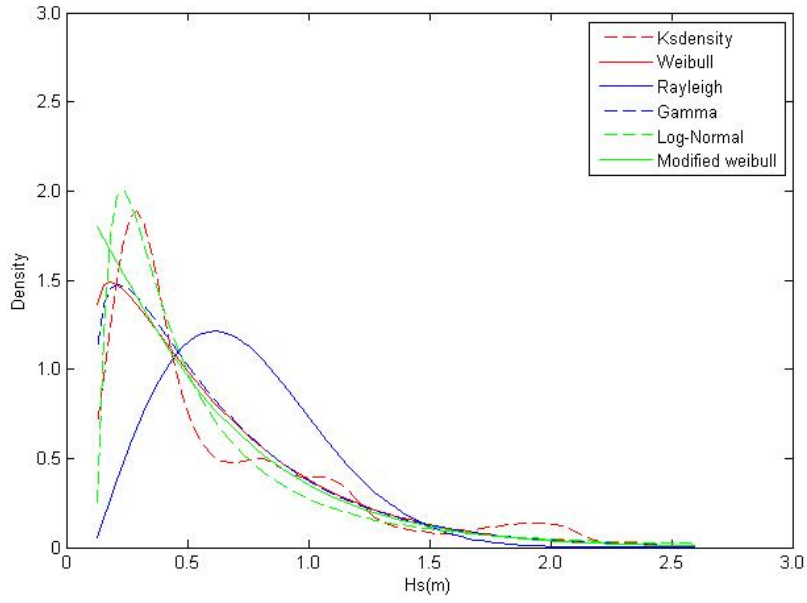
附圖 2-2 安平港 2 月示性波高機率密度圖



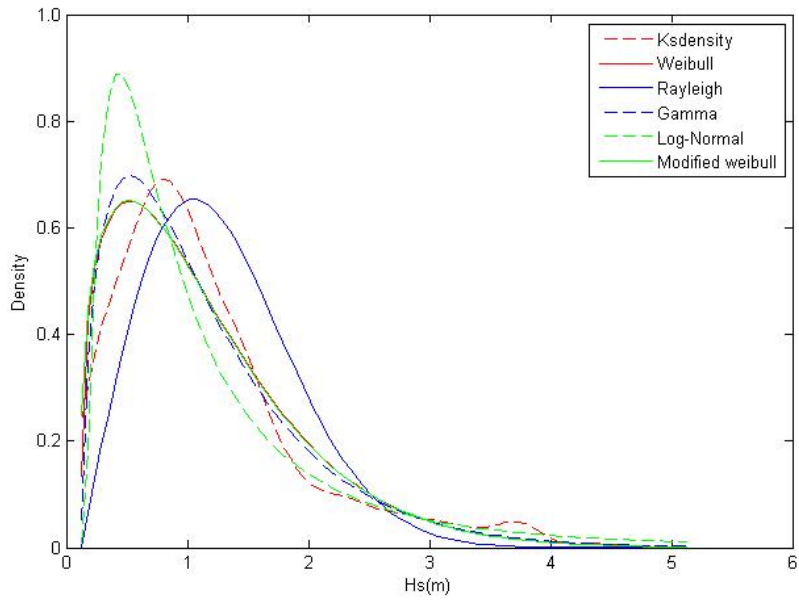
附圖 2-3 安平港 3 月示性波高機率密度圖



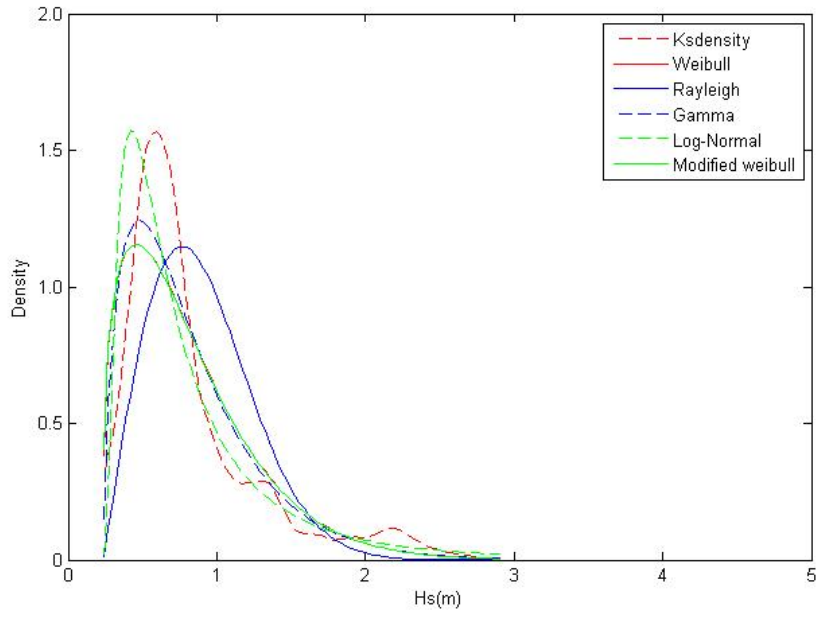
附圖 2-4 安平港 4 月示性波高機率密度圖



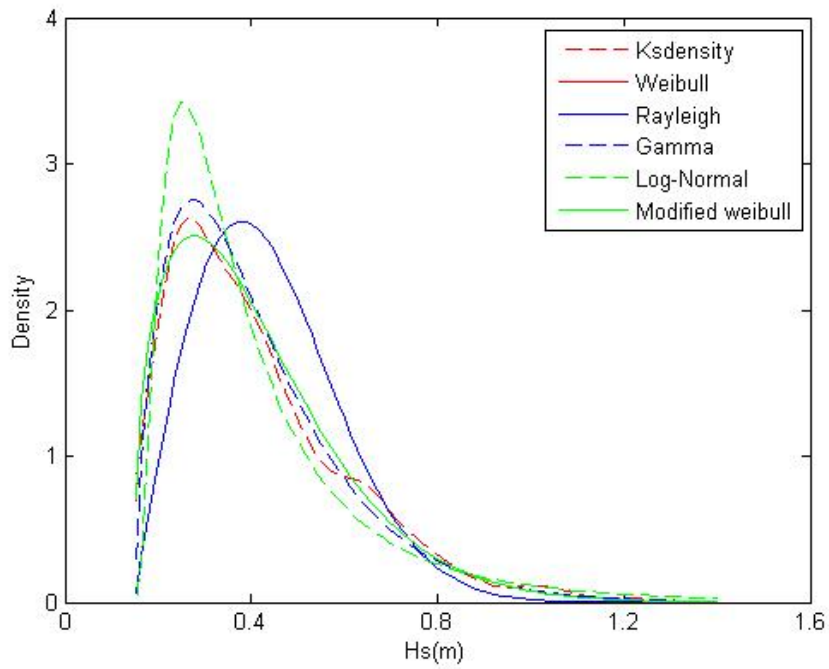
附圖 2-5 安平港 6 月示性波高機率密度圖



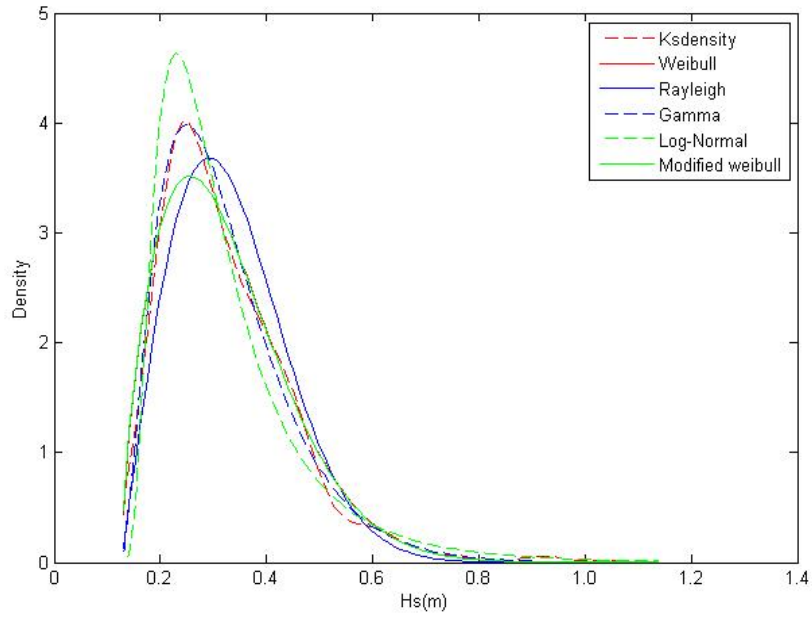
附圖 2-6 安平港 7 月示性波高機率密度圖



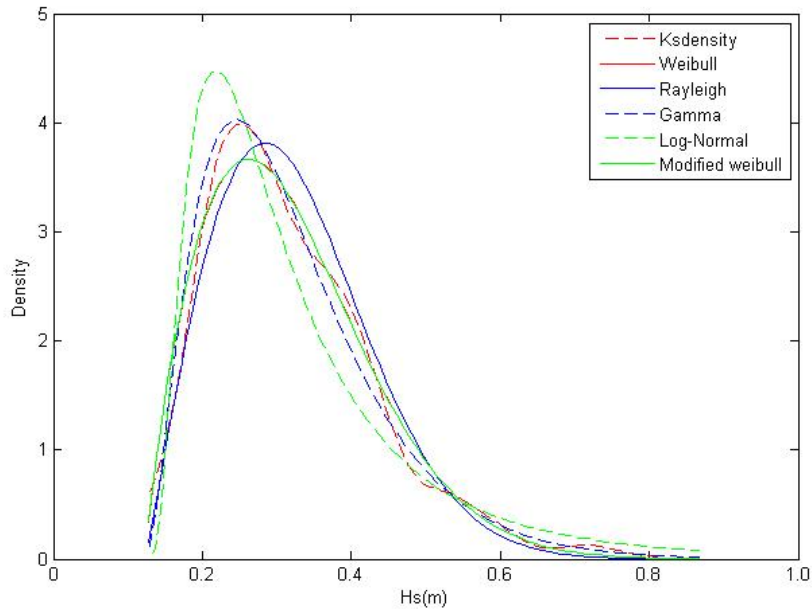
附圖 2-7 安平港 8 月示性波高機率密度圖



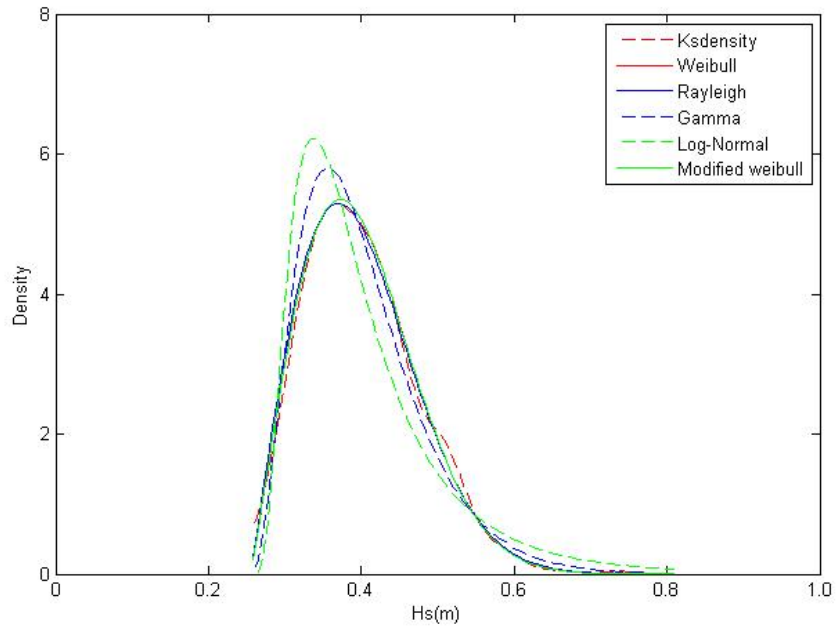
附圖 2-8 安平港 9 月示性波高機率密度圖



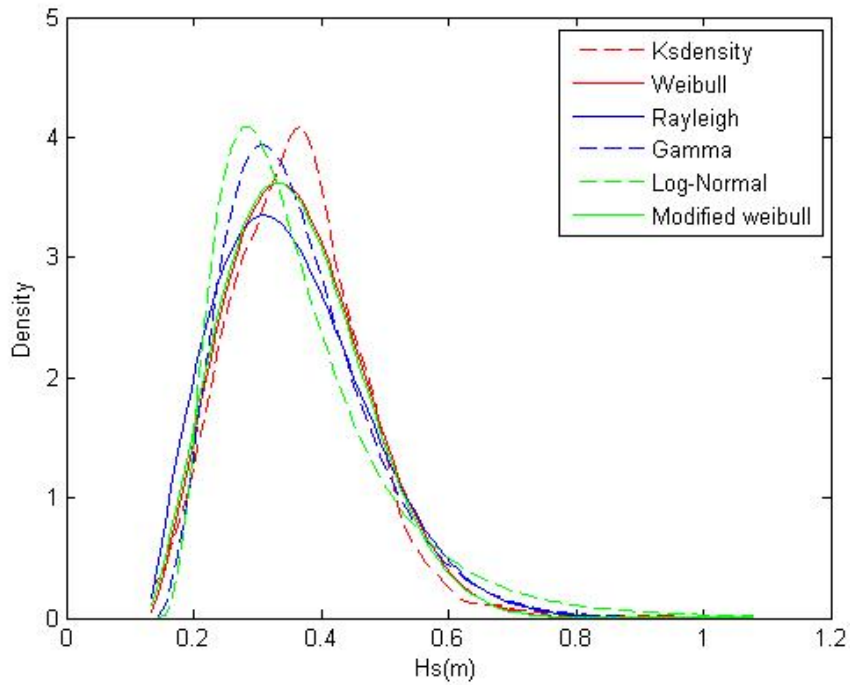
附圖 2-9 安平港 10 月示性波高機率密度圖



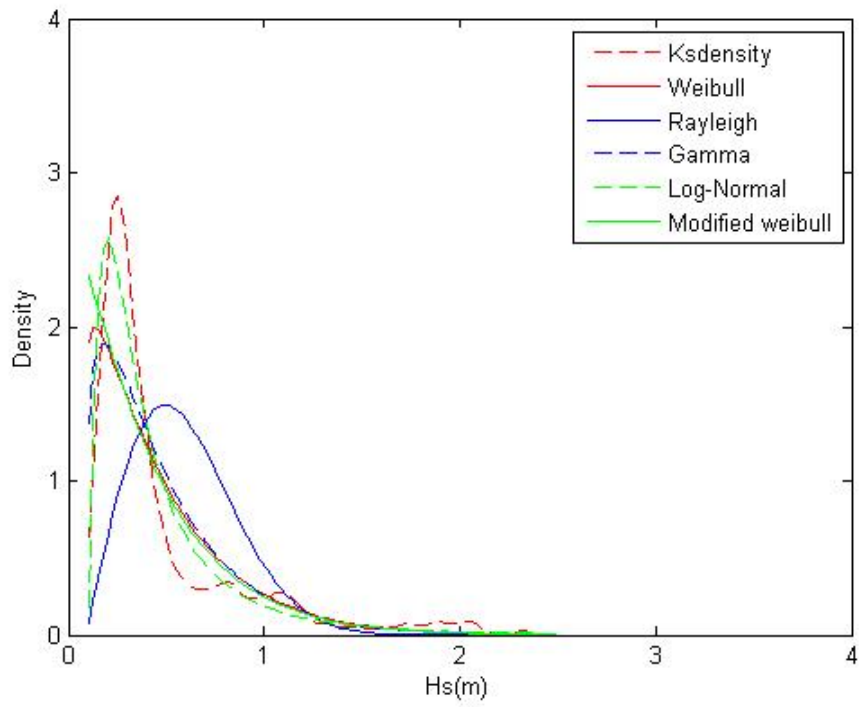
附圖 2-10 安平港 11 月示性波高機率密度圖



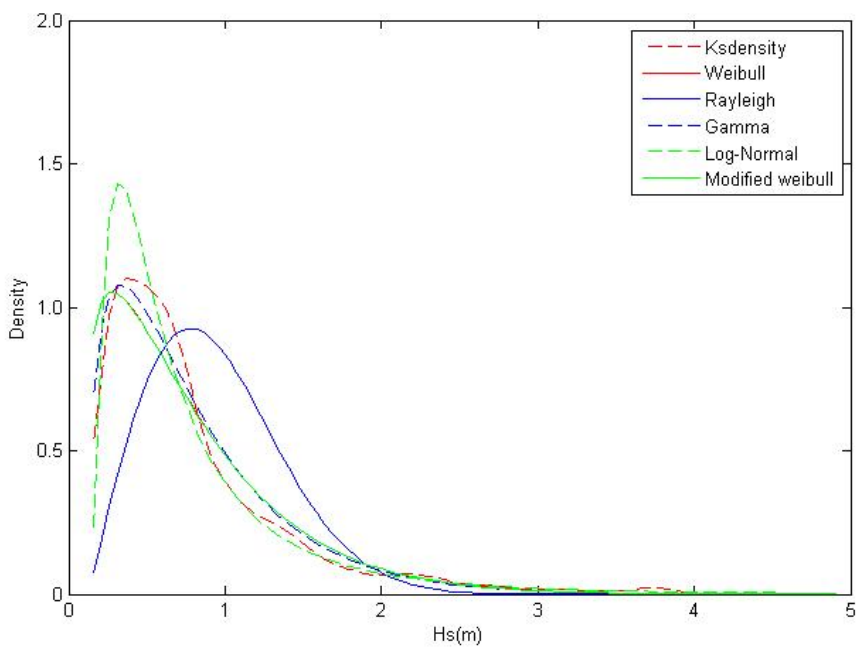
附圖 2-11 安平港 12 月示性波高機率密度圖



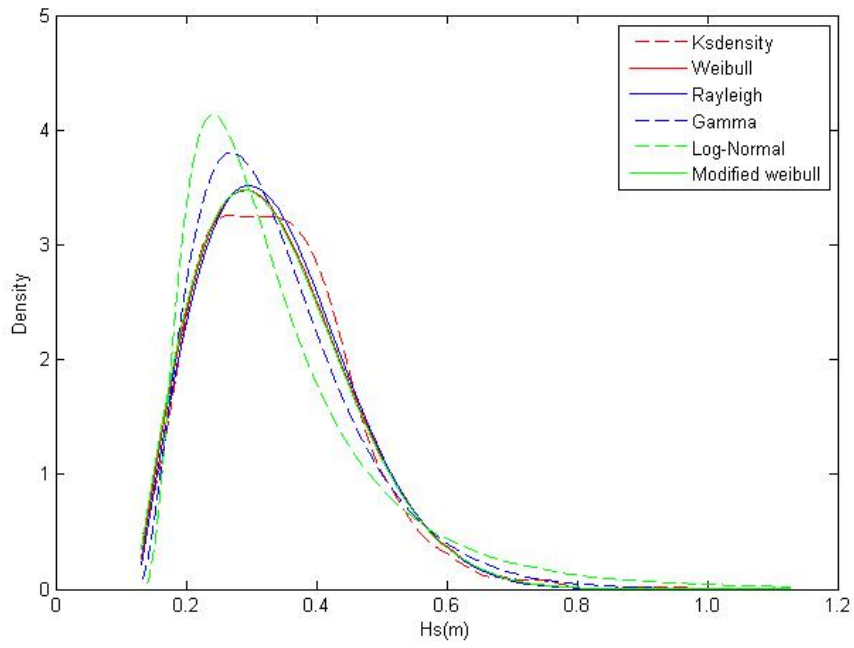
附圖 2-12 安平港第 1 季示性波高機率密度圖



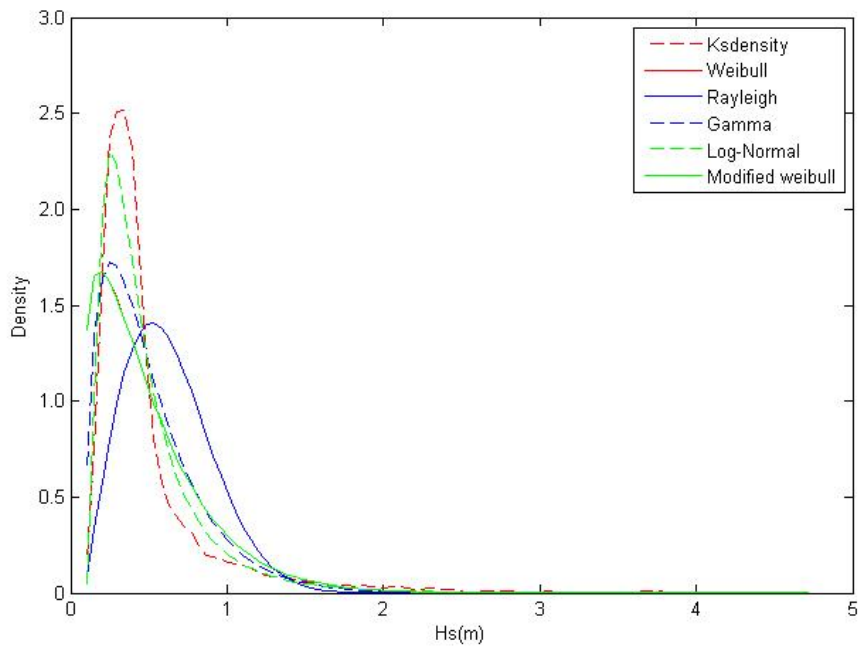
附圖 2-13 安平港第 2 季示性波高機率密度圖



附圖 2-14 安平港第 3 季示性波高機率密度圖

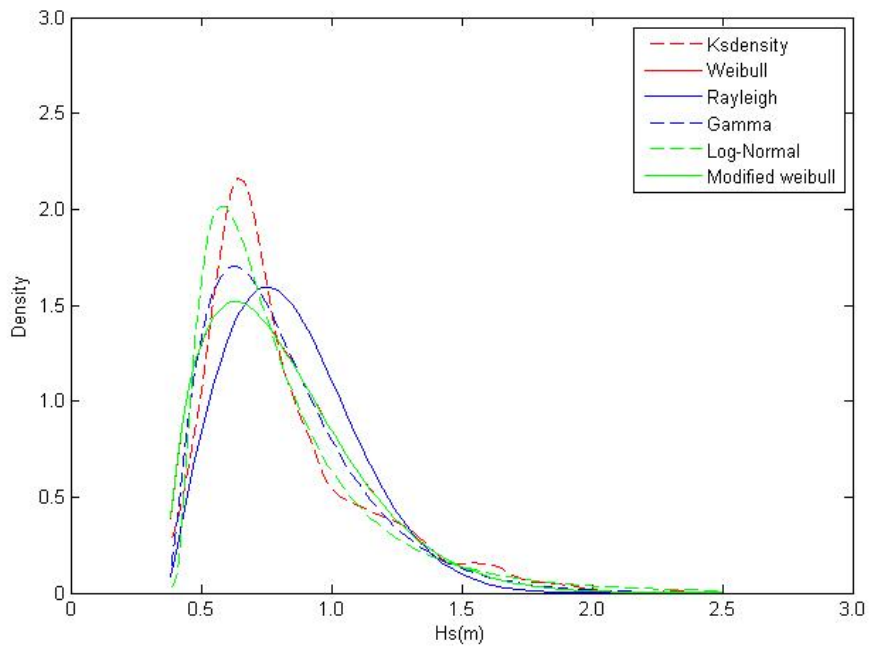


附圖 2-15 安平港第 4 季示性波高機率密度圖

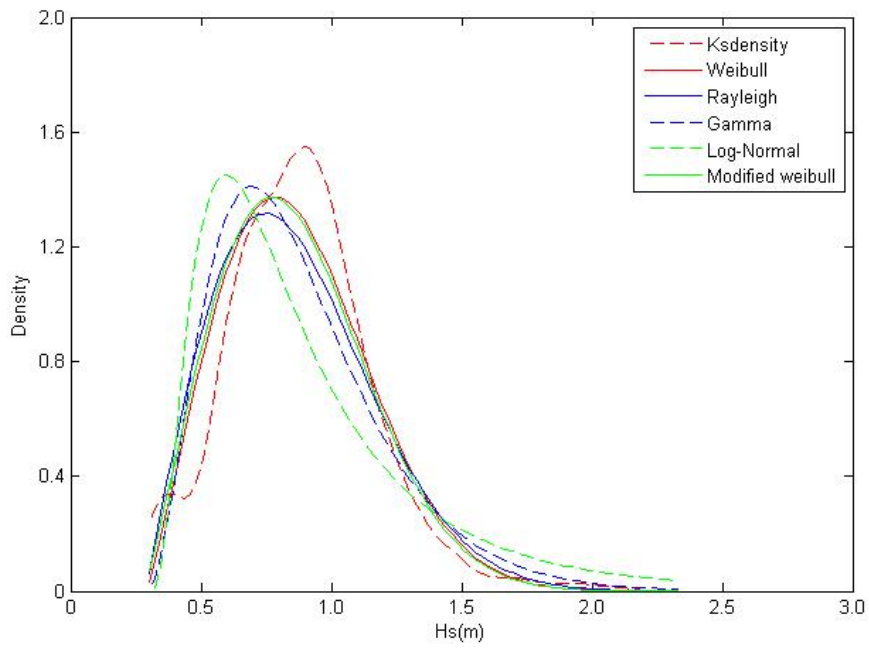


附圖 2-16 安平港全年示性波高機率密度圖

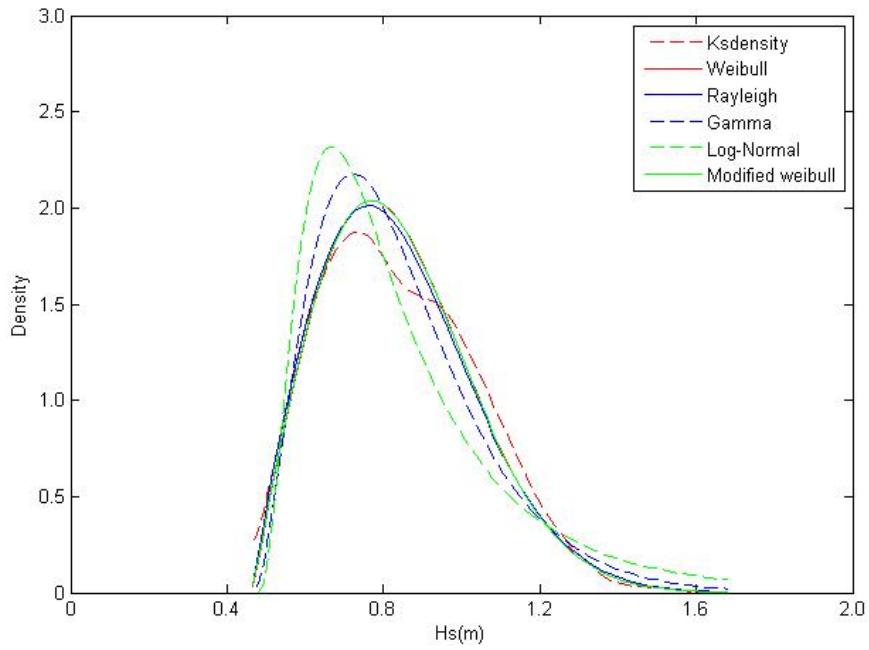
附圖三 花蓮港示性波高特性分析



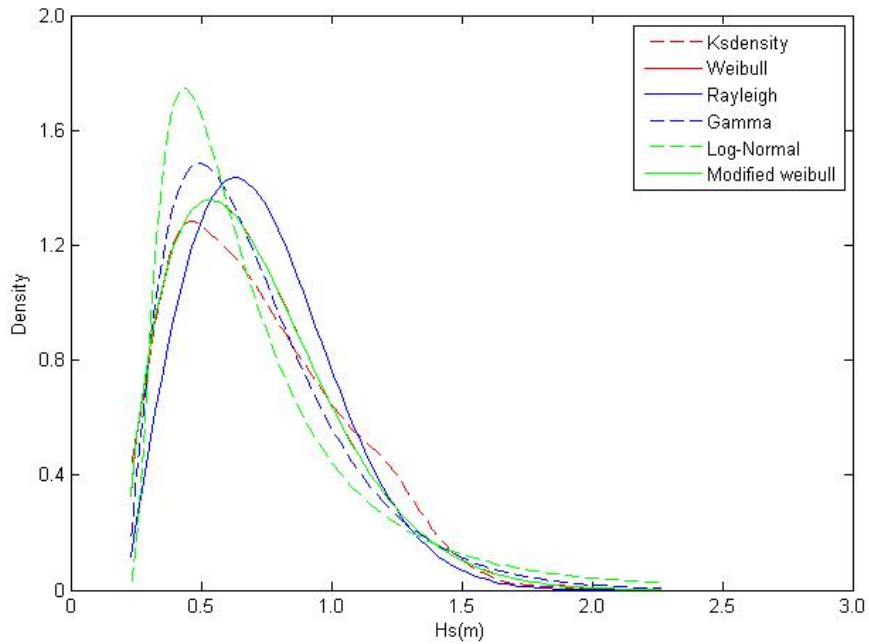
附圖 3-1 花蓮港 1 月示性波高機率密度圖



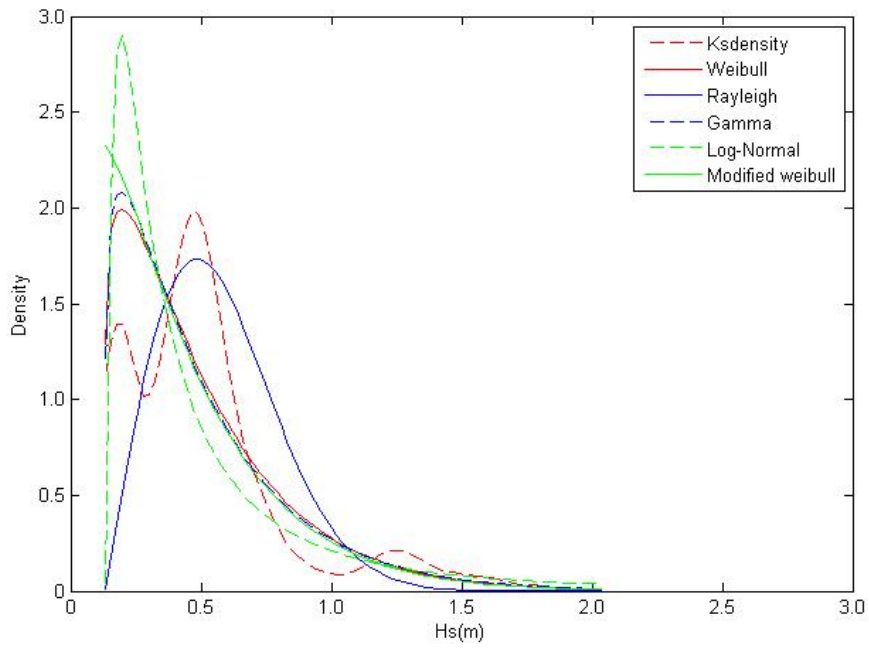
附圖 3-2 花蓮港 2 月示性波高機率密度圖



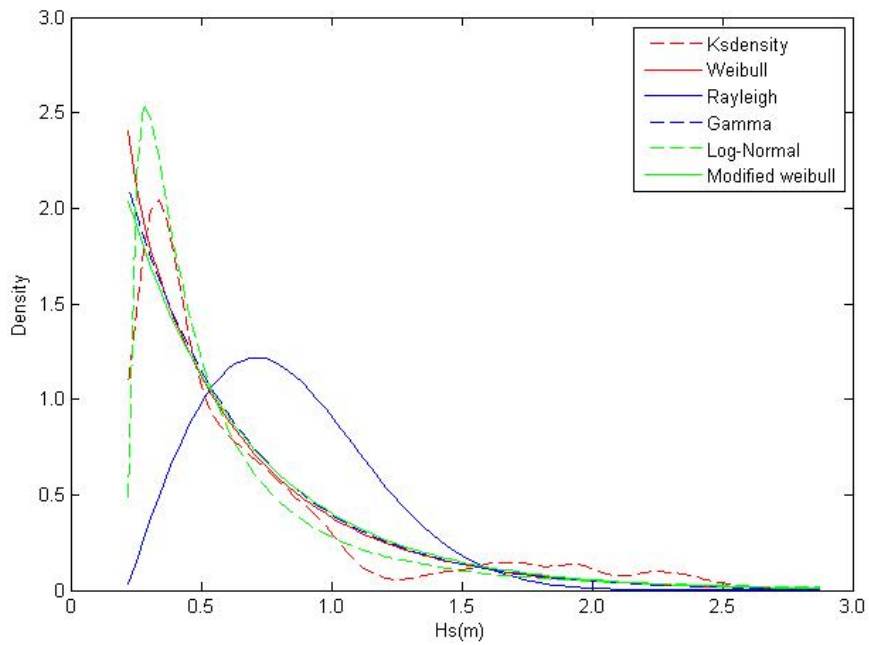
附圖 3-3 花蓮港 3 月示性波高機率密度圖



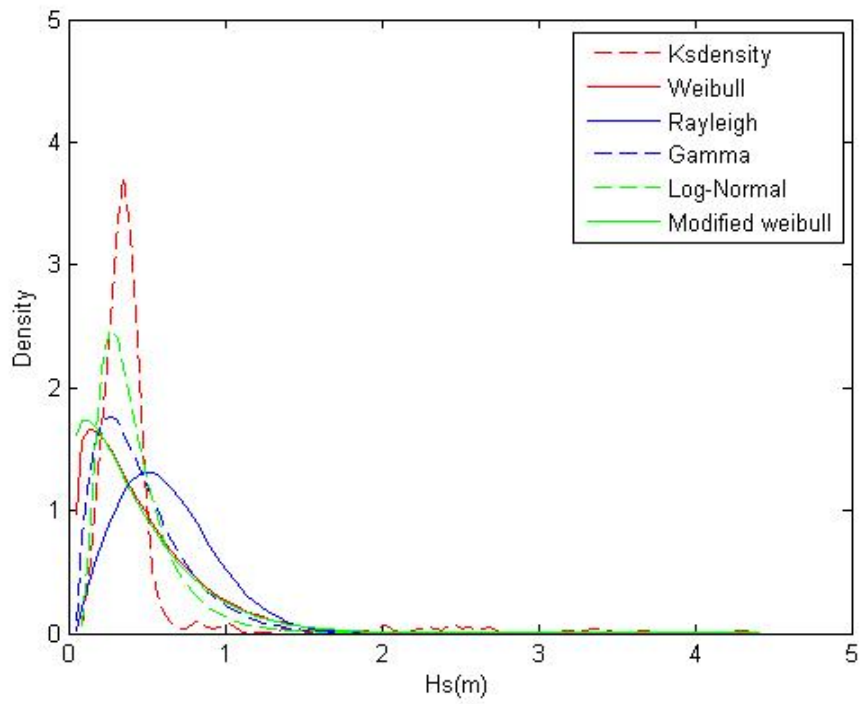
附圖 3-4 花蓮港 4 月示性波高機率密度圖



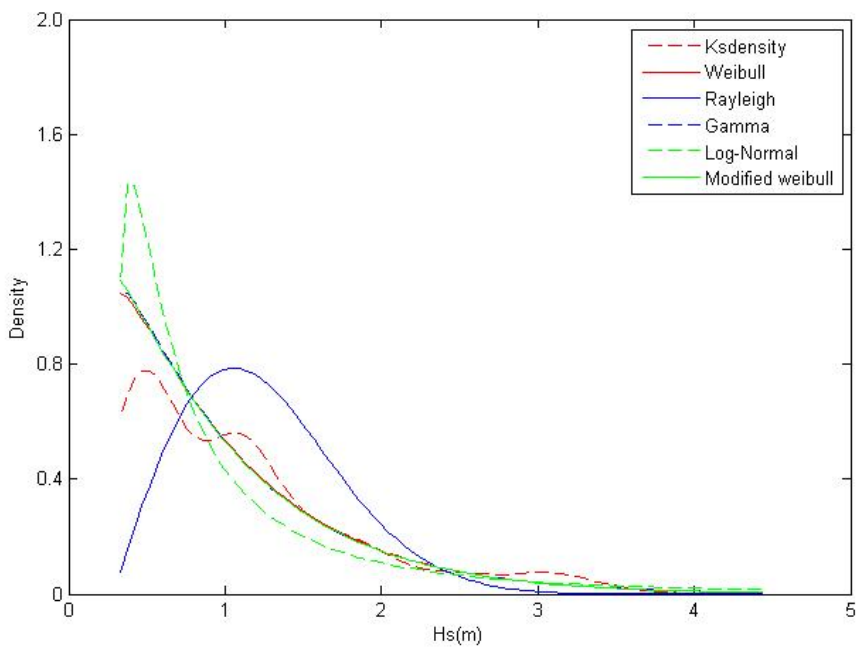
附圖 3-5 花蓮港 5 月示性波高機率密度圖



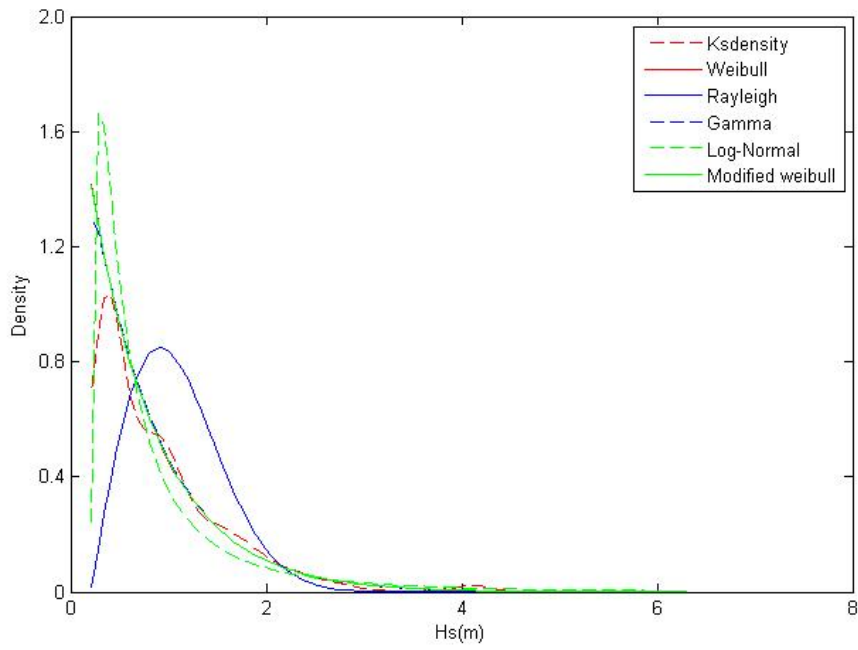
附圖 3-6 花蓮港 6 月示性波高機率密度圖



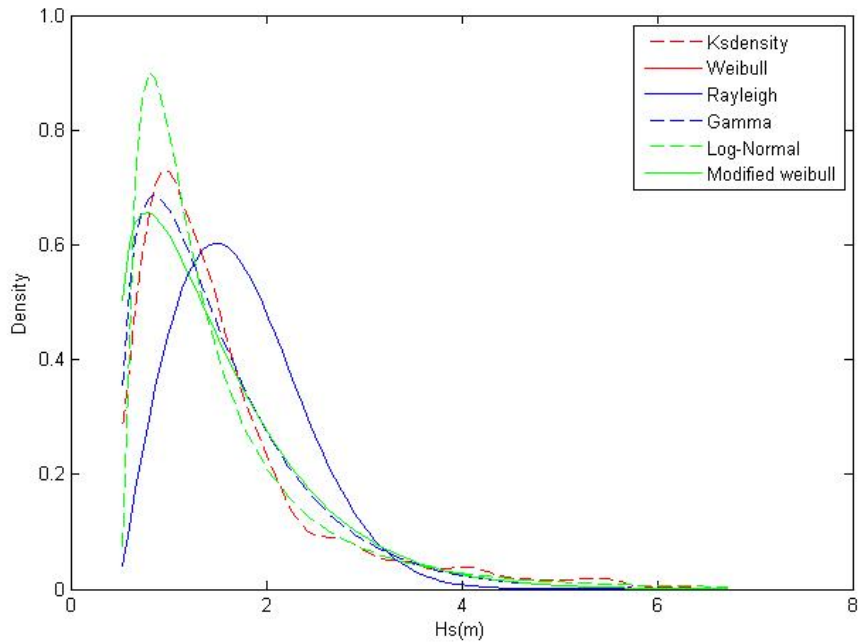
附圖 3-7 花蓮港 7 月示性波高機率密度圖



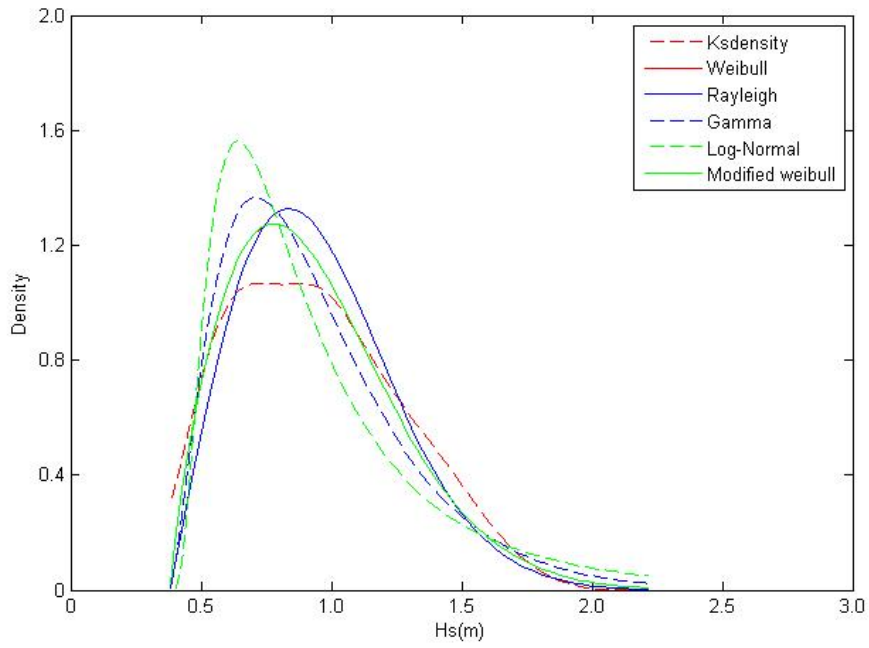
附圖 3-8 花蓮港 8 月示性波高機率密度圖



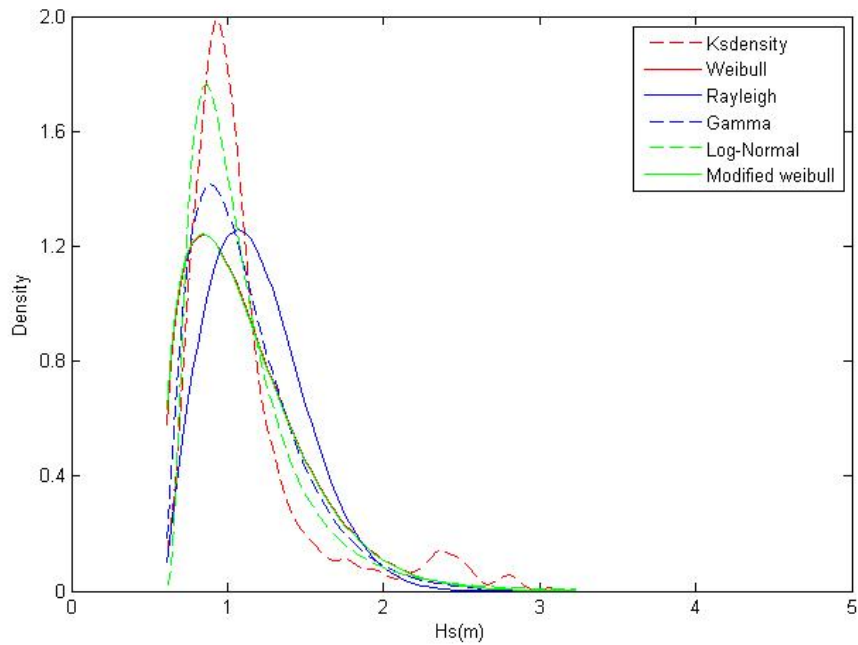
附圖 3-9 花蓮港 9 月示性波高機率密度圖



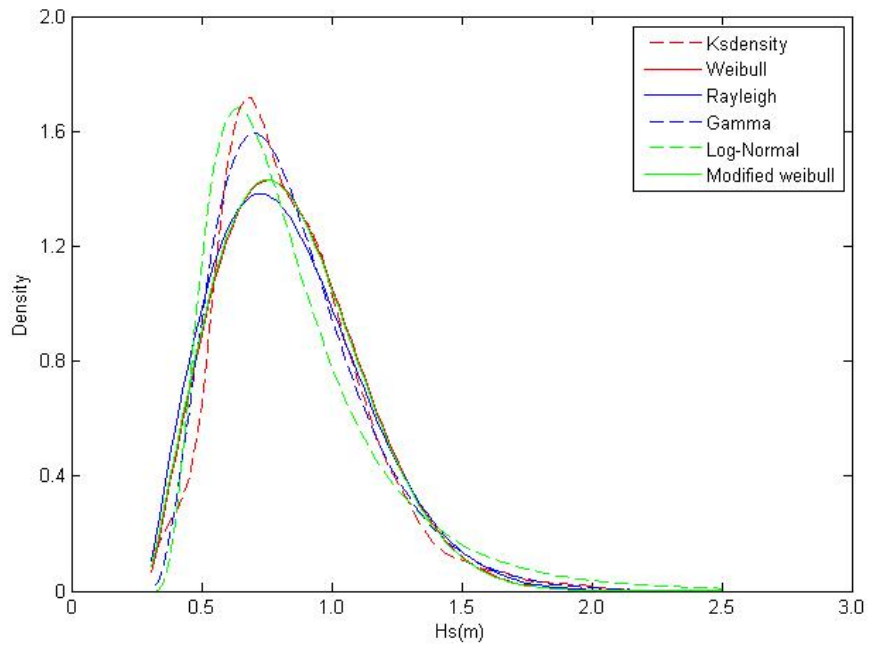
附圖 3-10 花蓮港 10 月示性波高機率密度圖



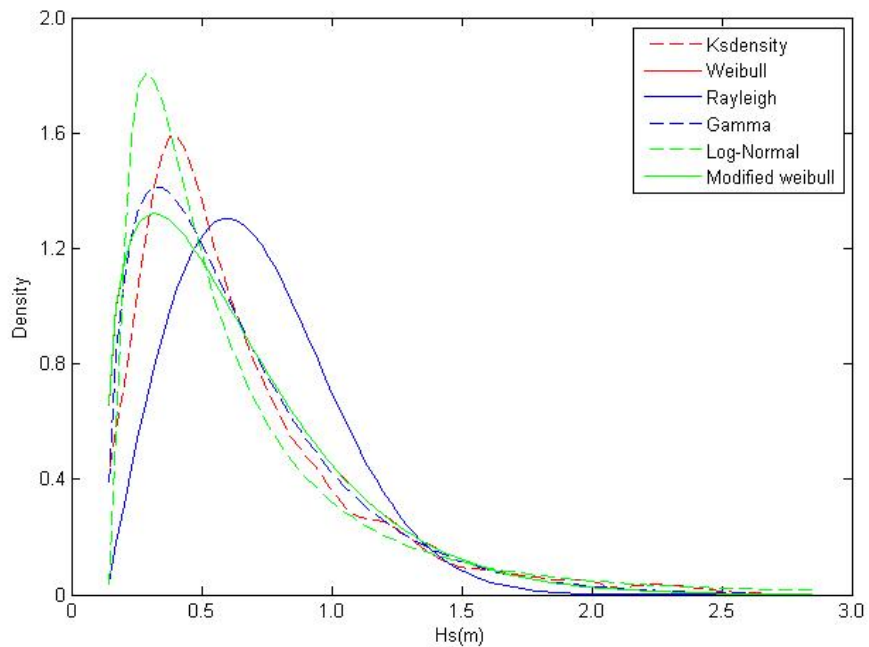
附圖 3-11 花蓮港 11 月示性波高機率密度圖



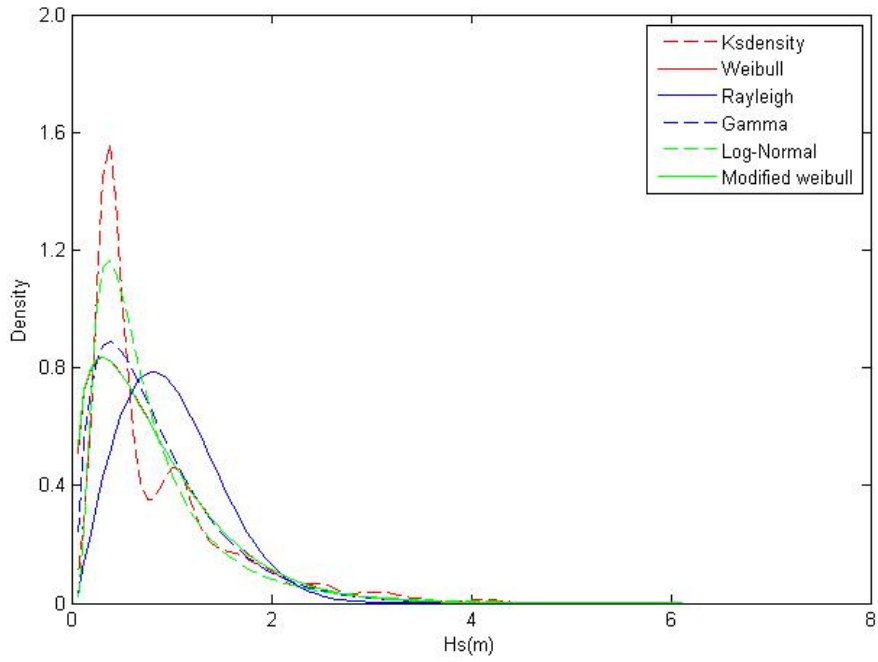
附圖 3-12 花蓮港 12 月示性波高機率密度圖



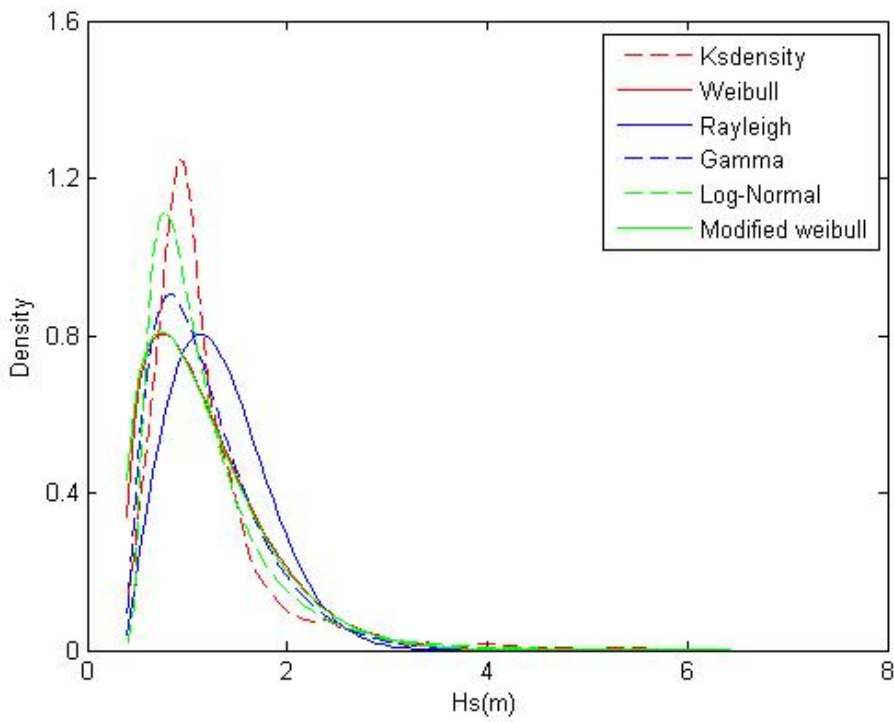
附圖 3-13 花蓮港第 1 季示性波高機率密度圖



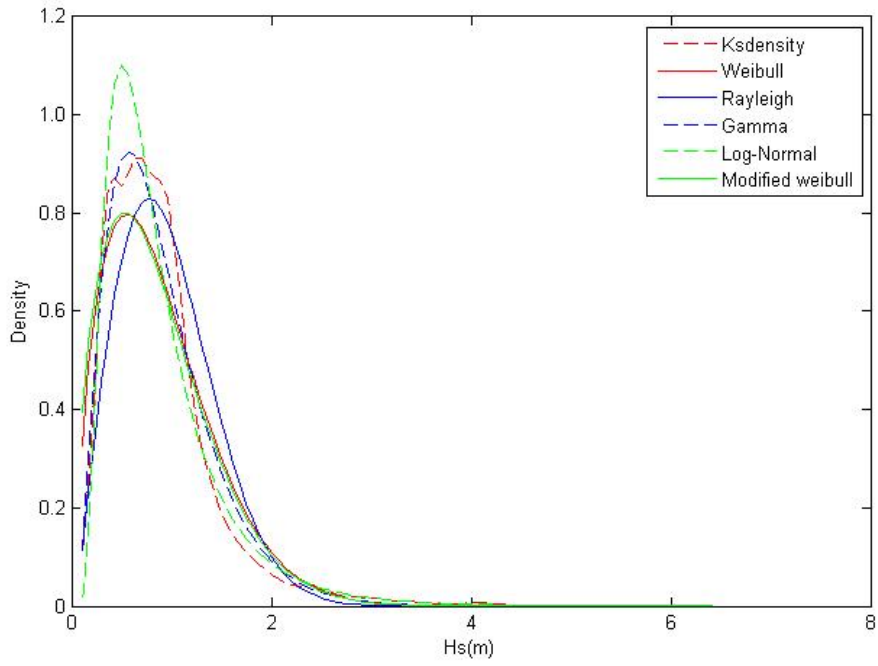
附圖 3-14 花蓮港第 2 季示性波高機率密度圖



附圖 3-15 花蓮港第 3 季示性波高機率密度圖



附圖 3-16 花蓮港第 4 季示性波高機率密度圖



附圖 3-17 花蓮港全年示性波高機率密度圖

