

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

臺灣海域之波高分佈及其週期分佈之比較
Comparisons of Wave Height and Period Distribution
of Taiwan Waters



指導教授：張憲國博士
研究生：李明璋

中華民國九十六年七月

摘要

本研究利用交通部運輸研究所臺灣技術研究中心提供之 2006 年安平港與臺北港的波浪資料，探討其波高分佈、週期分佈與波高週期聯合分佈。在波高方面分別以 Gamma、Rayleigh、Normal 及 Weibull 分佈等四種機率分佈函數(probability density function)，週期方面則以 Gamma、Erlang、Rayleigh 及 Longuet-Hingins 等四種機率分佈函數，利用直方圖套配(fitted)，根據均方根誤差(MSE)、相關性(R^2)、多峰型直方圖與離島型直方圖等四種指標，判斷何種分佈模式較近似實際波高與週期分佈情形。在波高方面最適分佈為 Weibull 分佈，週期是 Erlang 分佈為最適分佈。波高與週期聯合分佈則是 Cavanié (1976)所提出的聯合機率分佈會比 Longuet-Higgins (1983)的聯合機率分佈更為適當。

另外，本文以頻譜矩之分析，比較安平港、臺北港與花蓮港之理論值與統計值示性波高間的差異性，並根據 Erlang 的理論參數，推估其理論示性週期與平均週期，並提出經驗公式，可迅速推估其理論週期的參數。在各港的月、季與年之示性波高(H_s)與示性週期(T_s)的最適分佈，本研究發現均為 Gamma 分佈，由此之統計特性，於工程設計上可作為參考之依據。

ABSTRACT

The wave data at Taipei harbor and An-ping harbor collected by research center of marine and harbor technology for year 2006 are used to investigate the characteristics of wave height distribution, period distribution and their joint distribution. The best distribution of wave height is examined to be Weibull distribution for both harbors comparing among four possible distributions based on four criteria, that are correlation coefficient, mean square error, percentage of zero and two peak histogram. The best fitting for the distribution of wave period is Erlang for both harbors following the procedure of fitting significant wave height. The joint distribution of wave height and period proposed by Cavanié (1976) describes for the distribution of observed data much better than that of Longuet-Higgins (1983).

When the best fitting distributions are observed, the corresponding statistical properties, such as mean wave height, significant wave height and maximum wave heights, are also investigated. The results show that the average of $H_s/\sqrt{m_0}$ is higher than the observed one by about 15-20 % for both harbor. The maximum wave height is hardly expressed by the Weibull distribution.

The distributions of monthly, seasonally and yearly significant wave heights and period for both harbors are studied and the best fitting distribution is Gamma function. The proposed results of monthly and yearly distributions of significant wave height and period are useful for engineering practice.

誌謝

終於畢業了！這一切似乎還是昨天的事情，感謝健豪與健銘收留當時無家可歸的我，還在烈日下陪著我到處找房子，新竹房租真是有夠貴！第一次跟張憲國教授的面談緊張感，永遠都不會忘記，老師是如此的關心學生，我也很開心能當老師的學生，謝謝您讓我順利畢業。感謝我的父母親，提供我金錢上的援助，能讓我無後顧之憂的完成學業。也感謝我弟在數年前提供無數的歡樂，相信你也得到自己想要的東西了。

除此之外，感謝「歡樂 401」帶給我不少的快樂，已畢業的勁成學長，雖然跟你相處的時間不多，不過東京都的事件讓我永生難忘。正在當兵的立青學長，很感謝你在論文部份的幫助，那天的懇親會，你真的瘦了很多，相信在各方面的能力一定會大大提升，還有一個孩子的爹-蔚緯，希望您能早日畢業。謝謝友維同學，讓我能從水威伯的手中得到高分，希望你能實現自己的夢想。

已經畢業的阿光跟明揚，你們倆真是幫研究室出了很多力，大概是愛吃蝦子的關係，才有那麼多的精神，也害了你們變得疑神疑鬼。女友好幾個的俊銘，跟你相處的時間都只看到你忙著講電話，不過跟你聊天蠻開心的；很會打扮的弘偉，謝謝你帶我們去日本自助旅行。愛玩 AOE 的景鉅，你的日本步兵跟騎兵操控能力讓我甘拜下風。愛睡覺的彥廷，謝謝你在程式部份的幫忙，我一直深信您是民族的救星-NIKE 大大。最怕小強的林岡岡，希望你早日從郭老師手中解脫。外表粗獷但內心溫和的佳裕，你真是本研究室的最大笑點，最大的興趣是「TVB 與和物」，不過你還有待磨練；會裝可愛的又愛穿蕾絲跟薄紗的振傑，我永遠會記得 BBQ 跟阿魯巴這兩句經典台詞；愛團購的永欣，感謝妳讓我獲得不少便宜的商品訊息，不過希望你能多想一點。肌肉棒子-彥德，我相信忠厚老實一定是你未來的最佳武器；愛打電動的柏賢，有空多運動吧，全身硬梆梆的。這 2 年與大家相處的點點滴滴，我永遠不會忘記，謝謝你們！

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	vii
表目錄.....	xvii
符號說明.....	xx
第一章 緒論	1
1-1 研究動機與目的	1
1-2 文獻回顧.....	1
1-3 文章架構.....	2
第二章 波浪特性分析	4
2-1 資料來源與處理	4
2-1-1 示性波高之計算.....	5
2-1-2 示性週期之計算.....	6
2-2 波浪特性分析	7
2-3 波高週期聯合分佈	13
2-3-1 聯合機率密度函數.....	13
2-3-2 聯合機率密度分析.....	14
第三章 波浪特性分析結果	15
3-1 波高最佳分組數及最適分佈	15

3-2 示性波高最佳分佈	23
3-3 Weibull分佈之波高統計代表值推導.....	25
3-4 Weibull分佈之參數分析.....	28
3-5 統計與理論波高之分析	31
3-5-1 理論與實際 H_s 之比較	31
3-5-2 理論與實際之 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 之比較.....	32
3-5-3 理論與實際 $H_s/\sqrt{m_0}$ 之比較	32
3-5-4 理論與實際 H_s/\bar{H} 之比較	33
3-5-5 理論與實際 H_{\max}/H_s 之比較	33
3-5-6 理論與實際 H_s/H_{rms} 之比較.....	34
第四章 週期分佈特性	36
4-1 最佳分組數及最適分佈	36
4-2 示性週期的最適分佈	42
4-3 週期統計之分析與比較	44
4-4 推估週期與實際週期之比較	47
第五章 波高週期聯合分佈	49
5-1 頻譜說明	49
5-2 波高週期聯合分佈	55
第六章 結果與討論	61
參考文獻.....	62
附圖 1 安平港波高特性分析	64
附圖 1 臺北港波高特性分析	88

附圖 2 安平港週期特性分析	112
附圖 2 臺北港週期特性分析	121
附圖 3 安平港波高週期聯合機率分佈平面圖	130
附圖 3 臺北港波高週期聯合機率分佈平面圖	135
附圖 3 花蓮港波高週期聯合機率分佈平面圖	139



圖目錄

圖 2-1 安平港波浪觀測位置示意圖	4
圖 2-2 臺北港波浪觀測位置示意圖	5
圖 2-3 統計參數與波高資料直方圖	8
圖 2-4 波高與週期最適組數與機率分佈之分析流程圖	12
圖 2-5 零上切後的波峰高與週期示意圖	14
圖 5-1 窄頻時的水位訊號	49
圖 5-2 寬頻時的水位訊號	50
圖 5-3 安平港的頻寬參數與 H_{m_0}/H_s 之關係圖	51
圖 5-4 臺北港的頻寬參數與 H_{m_0}/H_s 之關係圖	51
圖 5-5 花蓮港的頻寬參數與 H_{m_0}/H_s 之關係圖	52
圖 5-6 安平港的頻寬參數與 $H_s/\sqrt{m_0}$ 之關係圖	52
圖 5-7 安平港的頻寬參數與 $H_s/\sqrt{m_0}$ 之關係圖	53
圖 5-8 花蓮港的頻寬參數與 $H_s/\sqrt{m_0}$ 之關係圖	53
圖 5-9 安平港全年各筆波高資料 H_{\max}/H_s 分佈圖	54
圖 5-10 臺北港全年各筆波高資料 H_{\max}/H_s 分佈圖	54
圖 5-11 花蓮港全年各筆波高資料 H_{\max}/H_s 分佈圖	55
圖 5-12 2006 年安平港一月份實測值之波高週期聯合機率分佈立體圖	57
圖 5-13 2006 年安平港一月份 L-H 波高週期聯合機率分佈立體圖	58
圖 5-14 2006 年安平港一月份 Cavanié 波高週期聯合機率分佈立體圖	58

圖 5-15 2006 年安平港一月份實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	59
圖 5-16 2006 年安平港一月份L-H波高週期聯合機率分佈平面圖	59
圖 5-17 2006 年安平港一月份Cavanié波高週期聯合機率分佈平面圖	60
附圖 1-1 安平港波高各區間Weibull分佈之 α 分佈範圍	64
附圖 1-2 安平港波高各區間Weibull分佈之 β 分佈範圍	64
附圖 1-3 安平港波高之 m_0 與 α 關係($H_s < 0.5m$)	65
附圖 1-4 安平港波高之 m_0 與 α 關係($0.5m < H_s < 1.0m$)	65
附圖 1-5 安平港波高之 m_0 與 α 關係($1.0m < H_s < 1.5m$)	66
附圖 1-6 安平港波高之 m_0 與 α 關係($1.5m < H_s < 2.0m$)	66
附圖 1-7 安平港波高之 m_0 與 α 關係($2.0m < H_s < 3.0m$)	67
附圖 1-8 安平港波高之 m_0 與 α 關係($H_s > 3.0m$)	67
附圖 1-9 安平港波高資料水位時序列之 m_0 與 β 關係($H < 0.5m$)	68
附圖 1-10 安平港全年波高資料水位時序列之 m_0 與 α^2/β 關係	68
附圖 1-11 安平港示性波高實際值與Weibull理論值比較圖($H_s < 0.5m$)	69
附圖 1-12 安平港示性波高實際值與Weibull理論值比較圖 ($0.5m < H_s < 1.0m$)	69
附圖 1-13 安平港示性波高實際值與Weibull理論值比較圖 ($1.0m < H_s < 1.5m$)	70
附圖 1-14 安平港示性波高實際值與Weibull理論值比較圖 ($1.5m < H_s < 2.0m$)	70
附圖 1-15 安平港示性波高實際值與Weibull理論值比較圖	

(2.0m<Hs<3.0m).....	71
附圖 1-16 安平港示性波高實際值與Weibull理論值比較圖(Hs>3.0m)	71
附圖 1-17 安平港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖(Hs<0.5m)	72
附圖 1-18 安平港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖(0.5m<Hs<1.0m).....	72
附圖 1-19 安平港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖(1.0m<Hs<1.5m).....	73
附圖 1-20 安平港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖(1.5m<Hs<2.0m).....	73
附圖 1-21 安平港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖(2.0m<Hs<3.0m).....	74
附圖 1-22 安平港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖(Hs>3.0m)	74
附圖 1-23 安平港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖(Hs<0.5m)	75
附圖 1-24 安平港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖(0.5m<Hs<1.0m)	75
附圖 1-25 安平港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖(1.0m<Hs<1.5m)	76
附圖 1-26 安平港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖(1.5m<Hs<2.0m)	76
附圖 1-27 安平港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖(2.0m<Hs<3.0m)	77
附圖 1-28 安平港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖(Hs>3.0m)	77
附圖 1-29 安平港波高之理論與實際 H_s/\bar{H} 關係圖(Hs<0.5m)	78
附圖 1-30 安平港波高之理論與實際 H_s/\bar{H} 關係圖(0.5m<Hs<1.0m)...	78
附圖 1-31 安平港波高之理論與實際 H_s/\bar{H} 關係圖(1.0m<Hs<1.5m)...	79
附圖 1-32 安平港波高之理論與實際 H_s/\bar{H} 關係圖(1.5m<Hs<2.0m)...	79
附圖 1-33 安平港波高之理論與實際 H_s/\bar{H} 關係圖(2.0m<Hs<3.0m)...	80
附圖 1-34 安平港波高之理論與實際 H_s/\bar{H} 關係圖(Hs>3.0m)	80
附圖 1-35 安平港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖(Hs<0.5m)	81

附圖 1-36 安平港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($0.5\text{m}<H_s<1.0\text{m}$)	81
附圖 1-37 安平港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($1.0\text{m}<H_s<1.5\text{m}$)	82
附圖 1-38 安平港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($1.5\text{m}<H_s<2.0\text{m}$)	82
附圖 1-39 安平港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($2.0\text{m}<H_s<3.0\text{m}$)	83
附圖 1-40 安平港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($H_s>3.0\text{m}$)	83
附圖 1-41 安平港全年波高之實際與理論 H_{max} 比較圖	84
附圖 1-42 安平港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($H_s<0.5\text{m}$)	84
附圖 1-43 安平港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($0.5\text{m}<H_s<1.0\text{m}$)	85
附圖 1-44 安平港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($1.0\text{m}<H_s<1.5\text{m}$)	85
附圖 1-45 安平港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($1.5\text{m}<H_s<2.0\text{ m}$)	86
附圖 1-46 安平港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($2.0\text{m}<H_s<3.0\text{m}$)	86
附圖 1-47 安平港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($H_s>3.0\text{m}$)	87
附圖 1-48 臺北港波高各區間Weibull分佈之 α 分佈範圍	88
附圖 1-49 臺北港波高各區間Weibull分佈之 β 分佈範圍	88
附圖 1-50 臺北港波高之 m_0 與 α 關係($H_s<0.5\text{m}$)	89
附圖 1-51 臺北港波高之 m_0 與 α 關係($0.5\text{m}<H_s<1.0\text{m}$)	89

附圖 1-52 臺北港波高之 m_0 與 α 關係($1.0\text{m}<H_s<1.5\text{m}$)	90
附圖 1-53 臺北港波高之 m_0 與 α 關係($1.5\text{m}<H_s<2.0\text{m}$)	90
附圖 1-54 臺北港波高之 m_0 與 α 關係($2.0\text{m}<H_s<3.0\text{m}$)	91
附圖 1-55 臺北港波高之 m_0 與 α 關係($H_s>3.0\text{m}$)	91
附圖 1-56 臺北港波高資料水位時序列之 m_0 與 β 關係($H<0.5\text{m}$)	92
附圖 1-57 臺北港全年波高資料水位時序列之 m_0 與 α^2/β 關係	92
附圖 1-58 臺北港示性波高實際值與Weibull理論值比較圖($H_s<0.5\text{m}$)	93
附圖 1-59 臺北港示性波高實際值與Weibull理論值比較圖 ($0.5\text{m}<H_s<1.0\text{m}$).....	93
附圖 1-60 臺北港示性波高實際值與Weibull理論值比較圖 ($1.0\text{m}<H_s<1.5\text{m}$).....	94
附圖 1-61 臺北港示性波高實際值與Weibull理論值比較圖 ($1.5\text{m}<H_s<2.0\text{m}$).....	94
附圖 1-62 臺北港示性波高實際值與Weibull理論值比較圖 ($2.0\text{m}<H_s<3.0\text{m}$).....	95
附圖 1-63 臺北港示性波高實際值與Weibull理論值比較圖($H_s>3.0\text{m}$)	95
附圖 1-64 臺北港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖($H_s<0.5\text{m}$)	96
附圖 1-65 臺北港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖($0.5\text{m}<H_s<1.0\text{m}$).....	96
附圖 1-66 臺北港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖($1.0\text{m}<H_s<1.5\text{m}$).....	97
附圖 1-67 臺北港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖($1.5\text{m}<H_s<2.0\text{m}$).....	97
附圖 1-68 臺北港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖($2.0\text{m}<H_s<3.0\text{m}$).....	98
附圖 1-69 臺北港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖($H_s>3.0\text{m}$)	98

附圖 1-70 臺北港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖($H_s<0.5\text{m}$)	99
附圖 1-71 臺北港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖($0.5\text{m}<H_s<1.0\text{m}$)	99
附圖 1-72 臺北港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖($1.0\text{m}<H_s<1.5\text{m}$)	100
附圖 1-73 臺北港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖($1.5\text{m}<H_s<2.0\text{m}$)	100
附圖 1-74 臺北港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖($2.0\text{m}<H_s<3.0\text{m}$)	101
附圖 1-75 臺北港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖($H_s>3.0\text{m}$)	101
附圖 1-76 臺北港波高之理論與實際 H_s/\bar{H} 關係圖($H_s<0.5\text{m}$)	102
附圖 1-77 臺北港波高之理論與實際 H_s/\bar{H} 關係圖($0.5\text{m}<H_s<1.0\text{m}$)	102
附圖 1-78 臺北港波高之理論與實際 H_s/\bar{H} 關係圖($1.0\text{m}<H_s<1.5\text{m}$)	103
附圖 1-79 臺北港波高之理論與實際 H_s/\bar{H} 關係圖($1.5\text{m}<H_s<2.0\text{m}$)	103
附圖 1-80 臺北港波高之理論與實際 H_s/\bar{H} 關係圖($2.0\text{m}<H_s<3.0\text{m}$)	104
附圖 1-81 臺北港波高之理論與實際 H_s/\bar{H} 關係圖($H_s>3.0\text{m}$)	104
附圖 1-82 臺北港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($H_s<0.5\text{m}$)	105
附圖 1-83 臺北港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($0.5\text{m}<H_s<1.0\text{m}$)	105
附圖 1-84 臺北港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($1.0\text{m}<H_s<1.5\text{m}$)	106
附圖 1-85 臺北港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($1.5\text{m}<H_s<2.0\text{m}$)	106
附圖 1-86 臺北港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($2.0\text{m}<H_s<3.0\text{m}$)	107
附圖 1-87 臺北港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($H_s>3.0\text{m}$)	107
附圖 1-88 臺北港全年波高之實際與理論 H_{max} 比較圖	108

附圖 1-89 臺北港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($H_s<0.5m$).....	108
附圖 1-90 臺北港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($0.5m<H_s<1.0m$)	109
附圖 1-91 臺北港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($1.0m<H_s<1.5m$)	109
附圖 1-92 臺北港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($1.5m<H_s<2.0 m$)	110
附圖 1-93 臺北港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($2.0m<H_s<3.0m$)	110
附圖 1-94 臺北港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($H_s>3.0m$).....	111
附圖 2-1 安平港 α/λ 與 \bar{T} 之關係圖	112
附圖 2-2 安平港 α/λ 與 T_{01} 之關係圖(2006 年 8 月).....	113
附圖 2-3 安平港 α/λ 與 T_{01} 之關係圖(2006 年第 3 季).....	113
附圖 2-4 安平港 α/λ 與 T_{01} 之關係圖(2006 年全年).....	114
附圖 2-5 安平港 T_s 與理論平均週期 \bar{T}^E 之關係圖(2006 年 8 月)	114
附圖 2-6 安平港 T_s 與理論平均週期 \bar{T}^E 之關係圖(2006 年第 3 季) ...	115
附圖 2-7 安平港 T_s 與理論平均週期 \bar{T}^E 之關係圖(2006 年全年)	115
附圖 2-8 安平港理論與推估示性週期之關係圖(2006 年 8 月).....	116
附圖 2-9 安平港理論與推估示性週期之關係圖(2006 年 9 月).....	116
附圖 2-10 安平港理論與推估平均週期之關係圖(2006 年 8 月).....	117
附圖 2-11 安平港理論與推估平均週期之關係圖(2006 年 9 月).....	117
附圖 2-12 安平港理論與推估示性週期之關係圖(2006 年第 3 季)...	118
附圖 2-13 安平港理論與推估示性週期之關係圖(2006 年第 4 季)...	118

附圖 2-14 安平港理論與推估平均週期之關係圖(2006 年第 3 季)...	119
附圖 2-15 安平港理論與推估平均週期之關係圖(2006 年第 4 季)...	119
附圖 2-16 安平港理論與推估示性週期之關係圖(2006 年).....	120
附圖 2-17 安平港理論與推估平均週期之關係圖(2006 年).....	120
附圖 2-18 臺北港 α/λ 與 \bar{T} 之關係圖	121
附圖 2-19 臺北港 α/λ 與 T_{01} 之關係圖(2006 年 12 月).....	122
附圖 2-20 臺北港 α/λ 與 T_{01} 之關係圖(2006 年第 3 季).....	122
附圖 2-21 臺北港 α/λ 與 T_{01} 之關係圖(2006 年全年).....	123
附圖 2-22 臺北港 T_s 與理論平均週期 \bar{T}^E 之關係圖(2006 年 12 月) ...	123
附圖 2-23 臺北港 T_s 與理論平均週期 \bar{T}^E 之關係圖(2006 年第 3 季) .	124
附圖 2-24 臺北港 T_s 與理論平均週期 \bar{T}^E 之關係圖(2006 年全年)	124
附圖 2-25 臺北港理論與推估示性週期之關係圖(2006 年 12 月).....	125
附圖 2-26 臺北港理論與推估示性週期之關係圖(2006 年 11 月).....	125
附圖 2-27 臺北港理論與推估平均週期之關係圖(2006 年 12 月).....	126
附圖 2-28 臺北港理論與推估平均週期之關係圖(2006 年 11 月).....	126
附圖 2-29 臺北港理論與推估示性週期之關係圖(2006 年第 3 季)...	127
附圖 2-30 臺北港理論與推估示性週期之關係圖(2006 年第 4 季)...	127
附圖 2-31 臺北港理論與推估平均週期之關係圖(2006 年第 3 季)...	128
附圖 2-32 臺北港理論與推估平均週期之關係圖(2006 年第 4 季)...	128
附圖 2-33 臺北港理論與推估示性週期之關係圖(2006 年).....	129
附圖 2-34 臺北港理論與推估平均週期之關係圖(2006 年).....	129
附圖 3-1 2006 年安平港二月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	

.....	130
附圖 3-2 2006 年安平港三月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	130
附圖 3-3 2006 年安平港四月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	131
附圖 3-4 2006 年安平港六月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	131
附圖 3-5 2006 年安平港七月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	132
附圖 3-6 2006 年安平港八月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	132
附圖 3-7 2006 年安平港九月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	133
附圖 3-8 2006 年安平港十月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	133
附圖 3-9 2006 年安平港十一月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	134
附圖 3-10 2006 年安平港十二月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	134
附圖 3-11 2006 年臺北港三月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	135
附圖 3-12 2006 年臺北港四月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	135
附圖 3-13 2006 年臺北港六月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	136
附圖 3-14 2006 年臺北港七月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	

.....	136
附圖 3-15 2006 年臺北港八月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	137
附圖 3-16 2006 年臺北港九月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	137
附圖 3-17 2006 年臺北港十一月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	138
附圖 3-18 2006 年臺北港十二月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	138
附圖 3-19 2004 年花蓮港一月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	139
附圖 3-20 2004 年花蓮港二月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	139
附圖 3-21 2004 年花蓮港三月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	140
附圖 3-22 2004 年花蓮港四月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	140
附圖 3-23 2004 年花蓮港五月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	141
附圖 3-24 2004 年花蓮港六月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	141
附圖 3-25 2004 年花蓮港七月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	142
附圖 3-26 2004 年花蓮港八月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	142
附圖 3-27 2004 年花蓮港九月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	

.....	143
附圖 3-28 2004 年花蓮港十月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	143
.....	143
附圖 3-29 2004 年花蓮港十一月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	144
.....	144
附圖 3-30 2004 年花蓮港十二月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖	144
.....	144



表目錄

表 3-1 安平港波浪在每月各分組距的數據之個數.....	15
表 3-2 臺北港波浪在每月各分組距的數據之個數.....	16
表 3-3 2006 年安平港波高之各種分佈及指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)	17
表 3-4 2006 年安平港波高之各種分佈及指標評估結果 ($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$).....	18
表 3-5 2006 年安平港波高之各種分佈及指標評估結果 ($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$).....	18
表 3-6 2006 年安平港波高之各種分佈及指標評估結果 ($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$).....	19
表 3-7 2006 年安平港波高之各種分佈及指標評估結果 ($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$).....	19
表 3-8 2006 年安平港波高之各種分佈及指標評估結果($H_s > 3.0\text{m}$)	20
表 3-9 2006 年臺北港波高之各種分佈及指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)	20
表 3-10 2006 年臺北港波高之各種分佈及指標評估結果 ($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$).....	21
表 3-11 2006 年臺北港波高之各種分佈及指標評估結果 ($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$).....	21
表 3-12 2006 年臺北港波高之各種分佈及指標評估結果 ($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$).....	22
表 3-13 2006 年臺北港波高之各種分佈及指標評估結果 ($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$).....	22
表 3-14 2006 年臺北港波高之各種分佈及指標評估結果($H_s > 3.0\text{m}$) ..	23
表 3-15 2006 年安平港示性波高 H_s 與各分佈函數評估結果.....	24

表 3-16 2006 年臺北港示性波高 H_s 與各分佈函數評估結果.....	24
表 3-17 2004 年花蓮港示性波高 H_s 與各分佈函數評估結果.....	25
表 3-18 2006 年安平港各區間波高資料水位時序列之 m_0 與 β 關係....	29
表 3-19 2006 年臺北港各區間波高資料水位時序列之 m_0 與 β 關係....	29
表 4-1 2006 年安平港週期之各種分佈及指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)	36
表 4-2 2006 年安平港週期之各種分佈及指標評估結果 ($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$).....	37
表 4-3 2006 年安平港週期之各種分佈及指標評估結果 ($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$).....	37
表 4-4 2006 年安平港週期之各種分佈及指標評估結果 ($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$).....	38
表 4-5 2006 年安平港週期之各種分佈及指標評估結果 ($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$).....	38
表 4-6 2006 年安平港週期之各種分佈及指標評估結果($H_s > 3.0\text{m}$)	39
表 4-7 2006 年臺北港週期之各種分佈及指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)	39
表 4-8 2006 年臺北港週期之各種分佈及指標評估結果 ($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$).....	40
表 4-9 2006 年臺北港週期之各種分佈及指標評估結果 ($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$).....	40
表 4-10 2006 年臺北港週期之各種分佈及指標評估結果 ($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$).....	41
表 4-11 2006 年臺北港週期之各種分佈及指標評估結果 ($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$).....	41
表 4-12 2006 年臺北港週期之各種分佈及指標評估結果($H_s > 3.0\text{m}$) ..	42

表 4-13 2006 年安平港示性週期 T_s 與各分佈函數評估結果	43
表 4-14 2006 年臺北港示性週期 T_s 與各分佈函數評估結果	43
表 4-15 2004 年花蓮港示性週期 T_s 與各分佈函數評估結果	44
表 5-1 2006 年安平港各月份實際值與理論值之聯合機率評估結果..	56
表 5-2 2006 年臺北港各月份實際值與理論值之聯合機率評估結果..	56
表 5-3 2004 年花蓮港各月份實際值與理論值之聯合機率評估結果..	57



符號說明

MSE	: 誤差均方根
R^2	: 判定係數
H_s	: 示性波高
\overline{H}	: 平均波高
H_{max}	: 最大波高
H_{rms}	: 波高之均方根值
α	: Weibull 分佈之參數值
β	: Weibull 分佈之參數值
$P_i=0$	: 表示離島型直方圖
$|P_i-P_j|>1/N$	: 表示雙峰型直方圖
m_0	: 水位頻譜之零階面矩能率
$(H_s/\overline{H})_O$	: 實際波高之 H_s/\overline{H} 比值
$(H_s/\overline{H})_T$	: 理論波高之 H_s/\overline{H} 比值
$(H_{max}/H_s)_O$	: 實際波高之 H_{max}/H_s 之比值
$(H_{max}/H_s)_T$	: 理論波高之 H_{max}/H_s 之比值
$(H_{max})_O$	: 實際波高 H_{max} 值
$(H_{max})_T$	: 理論波高 H_{max} 值
$(H_s/H_{rms})_O$	: 實際波高之 H_s/H_{rms} 之比值
$(H_s/H_{rms})_T$	: 理論波高之 H_s/H_{rms} 之比值
T_s	: 示性週期
\overline{T}	: 實際波浪資料之平均週期

\bar{T}^E	: Erlang 理論之平均週期
\bar{T}^P	: 以頻譜矩推算之 Erlang 理論平均週期
\bar{T}_{sp}	: 以頻譜矩推算之 Erlang 理論示性週期
\bar{T}_{ST}	: Erlang 理論示性週期
\bar{T}_{SE}	: Erlang 理論統計示性週期
T_{01}	: 以頻譜矩計算之平均週期
ν	: 頻譜寬度



第一章 緒論

1-1 研究動機與目的

臺灣位處易受颱風或異常波浪侵襲之地區，屬於海島型的國家，所以在海洋這方面的研究，就顯得重要。波浪雖是一種複雜的波動現象，會隨著空間與時間有不同的變化，然而在這些不規則的起伏表面卻隱藏著某種特性，此特性通常就需要統計的方法來分析瞭解。

海洋中的水面是複雜的擾動現象，若波浪資訊加以分析，而獲得其不同的特性參數，在海岸結構物設計方面，是相當重要的參考。早期的研究偏重於波高的討論，對於週期這部份的領域較少描述，但是波高與週期並非完全獨立的，而是有一定程度的相關，一般而言長週期波浪對應較大的波高，其蘊藏破壞的能量亦比較大。若能針對波高與週期有更完整的分析，並有詳細的特性分析，相信在整個海洋工程的規劃會有實質上的幫助。

本文針對安平港與臺北港 2006 年港外的實測波壓原始資料，經由波壓轉換以及零上切之後所得之波高與週期，利用不同的機率密度分佈函數來描述此二港的波高與週期資料，了解理論值與實際值之間差異與相關性，並以探討不同海域間的季節性差異。本研究也利用波高與週期聯合機率分佈函數，與實測的資料做進一步的討論，並以圖表比較其適用性，來決定何種分佈最為密合，冀望對於後來的工程規劃，能提供有效且直接的重要訊息。

1-2 文獻回顧

在波浪波高統計部份，Longuet-Higgins(1952)證明了海面上的波高應該會近似於 Rayleigh 分佈。Forritall(1978)也認為大部分的海上波高機率應該為 Rayleigh 分佈，不過當海面有較大的波高時，卻很容易高估。因此以墨西哥灣暴風雨的實測波浪資料作為分析依據，提出了另一種有兩參數的 Weibull 分佈模式。Pan(1992)利用中國沿海各地至少三年以上的波浪資料，驗證出海上波高的機率分佈為對數-常態

分佈。錢(1991)也提到海面波高的機率分佈為常態分佈；此外，Guedes(2001)也根據葡萄牙的港外波高資料，証實出波高合適的機率分佈為 Weibull 分佈；Satheesh 等人(2005)則以印度 Alleppey 的波高資料作機率分佈，也說明了其波高分佈以 Weibull 分佈最佳。吳(1994)以實測分析結果，認為 Rayleigh 理論分佈不適用於高雄海域。

另外，在週期方面則有，Goda(2000) 認為海面的變化如果是常態分佈，且波譜也符合窄頻條件的話，那麼風波場裡的週期分佈，就可以用 Rayleigh 模式來描述。Bretschneider(1959)亦曾提出週期的平方成 Rayleigh 分佈的建議。Erlang(1917)提出 Erlang 分佈理論，其為 Gamma 分佈中的特殊分佈理論，當 Erlang 分佈中的變數 λ 為 1 時，Erlang distribution 會趨近於 exponential distribution；變數 λ 越來越大時，Erlang 分佈就會接近一個常態分佈。Nair 等(2003)提出將 Erlang 分佈應用在波浪週期分佈上，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 分佈應用在波浪週期上之正確性。曹與張(2000)發現波高與週期會隨著尖度(Kurtosis)與歪度(Skewness)的絕對值變大而減小。

而 Cavanié(1976)基於狹帶高斯模式，採用 4 階波譜密度動差(moment of spectral density)定義譜寬參數(spectral width parameter)，推導出波高週期的聯合分佈函數，可用來描述週期的不對稱性，但因其採用的譜寬參數高達 4 階動差，在實用性上較不易使用。Longuet-Higgins (1983) 修正其原先理論分佈的缺失，採用低階的譜寬參數，同樣在狹帶假設下，提出可描述週期不對稱性的簡單理論分佈，供實際應用使用。溫(1996)認為地域性波譜之形狀參數與波浪的條件關連性不大，所以無法找出其經驗公式。

1-3 文章架構

本文第一章為緒論，旨在說明研究動機、目的與文獻回顧。第二章將說明資料取得方法及其格式，並針對各分佈理論作簡明扼要的敘述。第三章內容為波浪資料針對不同的分區，以最適當的分組定義出

最佳的分佈，並由理論機率分佈推算各種波高統計值。第四章評估週期的最適分佈，並由頻譜矩建立其經驗公式，再與實際值進行比較討論。第五章將以不同的波高週期聯合分佈函數，依季節與海域特性，比較其適用性並進行討論。第六章則為結論與建議。



第二章 波浪特性分析

2-1 資料來源與處理

本研究之測站位於安平港與臺北港之觀測樁下、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，本研究則收集其壓力式波高資料，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。進行波高與週期之計算時，需先將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。，本研究分析 2006 年之安平與臺北波浪資料。

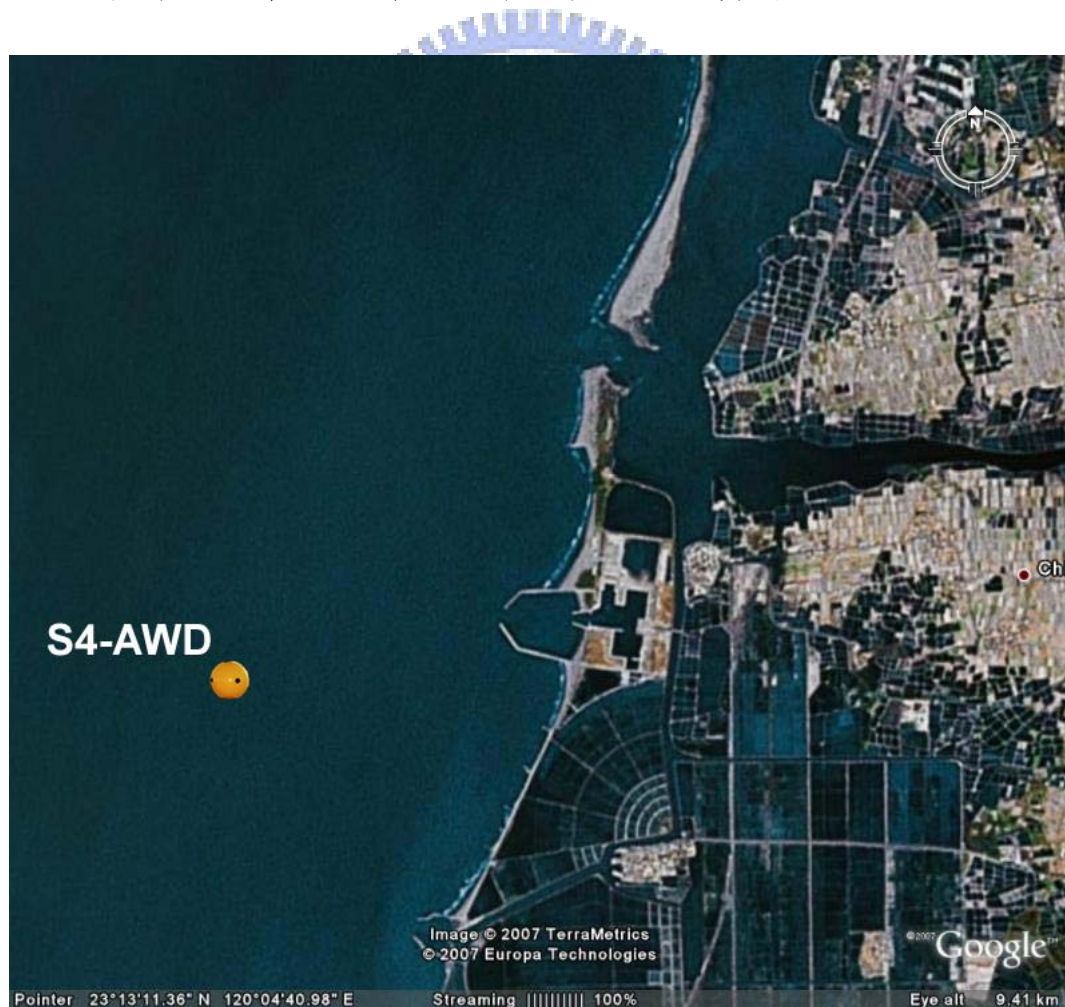


圖 2-1 安平港波浪觀測位置示意圖



圖 2-2 臺北港波浪觀測位置示意圖

2-1-1 示性波高之計算

根據零上切（zero up cross）法，可將原始資料處理完後所得水位定義出波高。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 部分的個別波波高平均值來代表，雖其不具有特別的意義，但接近人類以目視觀測對不規則波直覺上得到的波高。另外在統計特性上，發現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，可將水位訊號經過快速傅立葉（FFT）轉換後得到頻譜，根據頻譜的定義，頻率為 f ，可得零階面矩的能率 m_0 ，示如式(2-1)

$$m_n = \int_0^{\infty} f^n S(f) df \quad (2-1)$$

其中， $S(f) = E[X(f)\bar{X}(f)]$ ， $E[]$ 代表期望值(樣本平均)， $X(f)$ 是水位訊號的 Fourier 係數， $\bar{X}(f)$ 為其共軛複數。由於常見的波高分佈比較符合 Rayleigh 與 Weibull 分佈，則根據 Rayleigh 理論示性波高與頻譜函數之零階動差關係為式(2-1)

$$H_s = 4\sqrt{m_0} \quad (2-2)$$

但基於 Weibull 分佈的假設，常數約為 3.8。並可由現地觀測數據其關係常數略小於 4.0(Wilson 和 Baird, 1972; 副島, 1975)。合田(1990)則建議實際風浪應採用 3.8 較為妥當。

2-1-2 示性週期之計算

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 $T_1 > T_2 > T_3 \dots$ ，定義示性波高 H_s 為其前 1/3 部份波高之平均值，而 T_s 為其相對應之週期平均值；而 Nair, et al.(2003) 等所提出的示性週期計算方式是以週期大小排序後($T_1 > T_2 > T_3 \dots > T_N$)，以前 1/3 部份週期之平均值為示性週期。

由於以頻譜求得示性週期之過程相當困難，在理論上其與主頻 f_p 的關係已無法得到，只能從現地觀測的經驗來決定。Mitsuyasu(1968)提出示性週期為下式

$$T_s = \frac{1}{1.05 f_p} \quad (2-3)$$

合田(1987)亦以觀測數據建議示性週期為下式

$$T_s = \frac{1}{1.1 f_p} \quad (2-4)$$

2-2 波浪特性分析

本研究將原始水位的資料經過統計後，進行零上切法，得到波高時序值，以此進行計算並繪出實際波高機率直方圖。藉由波高時序資料求得不同機率密度分佈之參數，以獲得對應的理論密度分佈函數，並以最大概似法(Maximum Likelihood Estimator, MLE)求解各理論機率分佈之參數，其各參數值均落在 95%信賴區間最後再根據分組組數與資料分佈的特性，分析波高與週期機率與直方圖分佈，以誤差均方根(MSE)、相關性(R^2)、離島型直方圖($P_i=0$)與判斷是否為雙峰直方圖($|P_i-P_j|>1/N$)等四種參數來探討最適之機率分佈特性和最佳分組組數，其中 $P_i=0$ 與 $|P_i-P_j|>1/N$ 為發生該參數特性時佔有全部數據的百分比。決定最佳組數與最適之機率分佈，並以此探討波高與週期之統計特性。

直方圖是用來判斷波高資料機率分佈情況，直方圖的分組組數將影響到資料分析出來後的結果，當組數分得太少時，將無法有效地表現出該筆資料的分佈特性，而造成部分資料特性被隱藏的結果。相反地，若將組數分得太多時，將造成各個區間內資料點出現的個數過少，使直方圖呈現出極不規則情況，同樣也不能有效地表現出該筆資料的特性。因此，在做統計分佈之前，必須先對分佈區間的組數進行定義。因此根據統計學上的理論，合理的直方圖分組組數大小應至少要大於五組，而一般統計學上常用的分組方法有如下幾種：

(1) Sturges (史特吉斯) 法：

$$G = 1 + 3.322 \log(N) \quad (2-5)$$

其中 G 為確定好之分組組數， N 為資料次數或個數。

(2) Doane (唐恩) 法：

$$G = \sqrt{N} \quad (2-6)$$

其中 G 為 \sqrt{N} 最接近之整數值， N 為資料之次數或個數。

根據江(2006)與蔡(2006)花蓮港波浪之波高及週期分組組數範圍

為 5 至 12 組，因此，本研究之安平港與臺北港波浪分組，則以 5-12 組進行最佳組數與最適之機率分佈之分析。並依施與尹（1994）探討近海波高的機率分佈時，以卡方檢定（Chi-Square test）與統計學中回歸分析的最小平方法，來檢定與判斷機率分佈與柱狀圖的適用性。本研究亦參考其分析方法，引用卡方檢定與最小平方法，及 Kolmogorov-Smirnov test 檢定方法來判斷適用性，然而在分析過程中，以最小平方法來檢定並無法明顯地判斷出各分佈的優劣，另兩種檢定方法則在 99% 有效水準之範圍，各種機率分佈函數均可被接受，因此，亦難以判斷各區間的分佈函數中，何種組數為最佳的分組組數。有鑑於此，本研究參考江(2006)及蔡(2006)提出 $P_i=0$ 與 $|P_i-P_j|>1/N$ 兩參數來判斷適用性，茲將兩種參數說明與判斷方法示如下。

圖 2-3 為某一波高資料分成 12 組直方圖，其中 $P_i=0$ 即表示當波高根據組數分組時，各組距中可能產生機率值為零的情況。因為當分組組數越多，間距分的過細，以致於在該間距內的機率或者次數可能為零。如圖 2-3 所示，分成 12 組時，於波高 0.38m 至 0.425m 中，次數為零（機率值亦為零），因此 $P_i=0$ 的參數記錄為 1，即代表該筆資料中，至少有一組間距機率值是為零的情況，若無任何間距的機率值為零， $P_i=0$ 之參數紀錄為零。另一參數 $|P_i-P_j|>1/N$ （ N 為分組組數）的說明如圖 2-3 所示，當各組距中的機率值與其下一組距的機率值，相減之後的絕對值大於分組組數倒數的情況至少發生一次以上，該參數值紀錄為 1；若 $|P_i-P_j|>1/N$ 無發生，該參數值紀錄為 0，紀錄之兩參數再計算其佔有百分比。

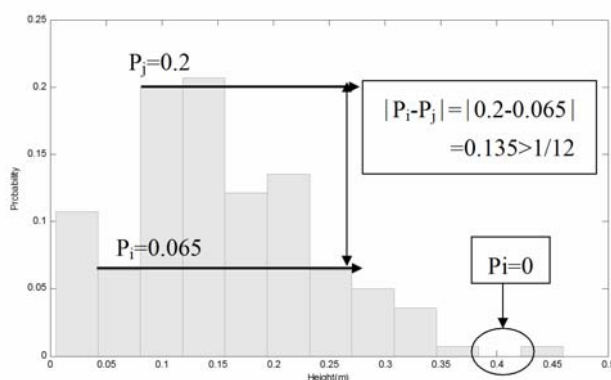


圖 2-3 統計參數與波高資料直方圖

除了最佳組數之判斷外，本研究選擇 Normal (常態)、Gamma、Rayleigh 及 Weibull 四種分佈探討波高最適之機率分佈；對於週期則選擇 Erlang、Gamma、Rayleigh 及 Longuet-Higgins 四種分佈。上述所提之機率密度分佈簡述如下：

(1) Normal(常態)分佈

為常態分佈的機率密度函數，示如式(2-7)：

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, -\infty < x < \infty, -\infty < \mu < \infty, \sigma > 0 \quad (2-7)$$

常態分佈主要有兩個參數， σ 為標準偏差(standard deviation)， μ 為平均值(mean value)。且由式(2-8)及式(2-9)推算標準偏差及平均值：

$$\mu = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (2-8)$$

$$\sigma^2 = s^2 = \frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^N x_i - \bar{x} \right)^2 \quad (2-9)$$

(2) Gamma 分佈

為 Gamma 分佈的機率密度函數，示如式(2-10)

$$f(x; \alpha, \lambda) = \begin{cases} \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\lambda x} & , x \geq 0, \alpha > 0, \lambda > 0 \\ 0, elsewhere & \end{cases} \quad (2-10)$$

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

$$\hat{\lambda} = \frac{\bar{x}}{s^2}, \quad \hat{\alpha} = \hat{\lambda} \bar{x} \quad (2-11)$$

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

(3) Rayleigh 分佈

為 Rayleigh 分佈的機率密度函數，示如式(2-12)：

$$f(x, \sigma) = \begin{cases} \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} & , x \geq 0, \sigma > 0 \\ 0, elsewhere \end{cases} \quad (2-12)$$

其中 σ 為其參數

(4) Weibull 分佈

為 Weibull 分佈的機率密度函數，示如式(2-13)

$$f(x, \eta, \sigma) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} & , x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, elsewhere \end{cases} \quad (2-13)$$

其中 α 為形狀參數 β 為尺度參數。

(5) Longuet-Higgins 分佈

Longuet-Higgins(1975)在基於波高與週期間無相關性存在以及頻譜為窄頻的假設下提出如下的理論波高 H 與週期 T 的聯合機率密度函數，示如式(4-14)：

$$p(\chi, \tau) = \frac{dR}{d\chi} \left| \frac{d\phi}{d\tau} \right| p(R, \phi) = \frac{2a^3 \chi^2}{\sqrt{\pi} v} \exp \left\{ -a^2 \chi^2 \left[1 + \frac{(\tau-1)^2}{v^2} \right] \right\} \quad (2-14)$$

其中 $x = H/\sqrt{m_0}$ ，為波高的正規化， $\tau = T/\bar{T}$ ，為週期的正規化， R 為振幅， ϕ 為相位角， v 為譜寬參數， a 為參數。式(2-14)對波高的積分後可以得到無因次化的週期邊際機率密度函數與週期的機率密度函數，示如式(2-15)及(2-16)：

$$p(\tau) = \frac{v^2}{2[v^2 + (\tau-1)^2]^{3/2}} \quad (2-15)$$

$$p(T) = \left| \frac{d\phi}{dT} \right| p\langle \phi | \chi \rangle = \frac{\varpi T_{02}}{2\pi T_{01}} \frac{v^2}{2[v^2 + (1 - \frac{T}{T_{01}})^2]^{3/2}} \quad (2-16)$$

(6) Erlang 分佈

Erlang 分佈為 Gamma 分佈中的特殊分佈理論，其機率密度函數與式(2-10)相同，但需對其函數中的參數 n 取整數，即為

$$f(x; n, \lambda) = \begin{cases} \frac{\lambda^n}{(n-1)!} x^{n-1} e^{-\lambda x} & , x \geq 0, \lambda > 0, n \in N \\ 0, elsewhere \end{cases} \quad (2-17)$$

Nair 等(2003)提出將 Erlang distribution 應用在波浪週期，並推導出其理論週期統計參數。其理論示性週期的計算方法如式(2-18):

$$m(t) = t + \left[\frac{\lambda^{-1} \sum_{i=0}^{\alpha-1} \sum_{j=0}^i (\lambda t)^j / j!}{\sum_{i=0}^{\alpha-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!}} \right] \quad (2-18)$$

其中 $t = T_s$ ， T_s 為週期統計值，其計算方式為將週期依大小排序後($T_1 < T_2 < T_3 \dots \dots \dots < T_n$)， n 為週期資料個數， T_s 為在 $2n/3$ 處所對應的週期值，若 $2n/3$ 為非整數，則取其整數部份；Erlang 分佈理論中的兩個參數 λ 、 α 計算方式示如式(2-19)

$$\lambda = \frac{\bar{T}}{s^2}, \quad \alpha = \frac{\bar{T}^2}{s^2} \quad (2-19)$$

上述六種機率分佈函數之參數決定方法，以最大概似法來估算各種理論機率分佈函數中之參數。其組數與波高及週期之機率最適判斷，則依上述流程之操作，流程圖示如 2-4，選定其最佳值以利波高與週期之特性分析。

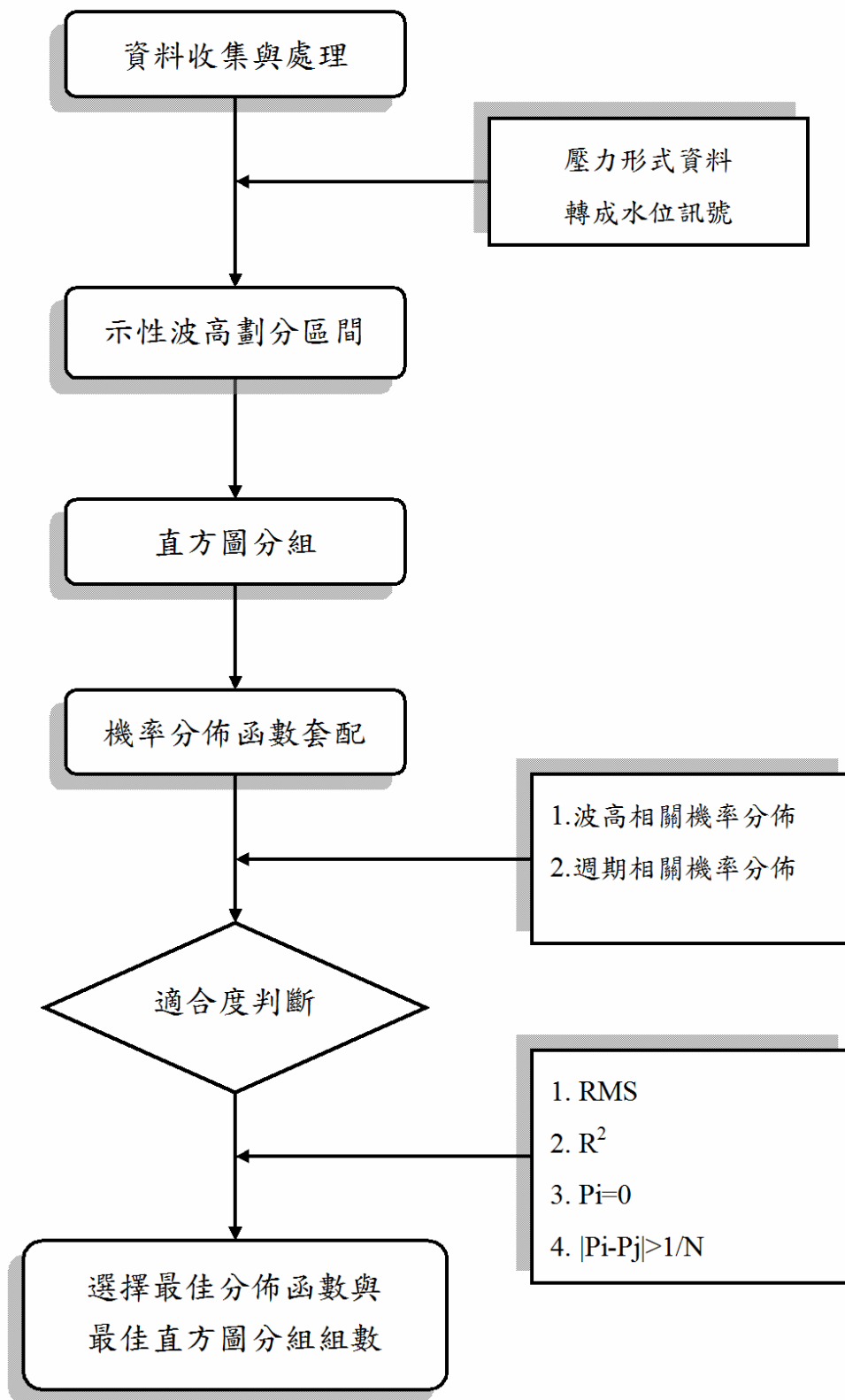


圖 2-4 波高與週期最適組數與機率分佈之分析流程圖

2-3 波高週期聯合分佈

2-3-1 聯合機率密度函數

Cavanié(1976)基於狹帶高斯模式，採用 4 階波譜密度動差 (moment of spectral density) 定義譜寬參數(spectral width parameter)，推導出波高週期的聯合分佈函數，定義如下：

$$p(t, x) = C_{CA} \frac{x^2}{t^5} \exp \left\{ -\frac{x^2}{8\varepsilon^2 t^4} \left[\left(t^2 - \left(\frac{1-\varepsilon^2}{1+\nu^4} \right) \right)^2 + \beta_2 \left(\frac{1-\varepsilon^2}{1+\nu^4} \right) \right] \right\} \quad (2-20)$$

其中

$$\varepsilon = \sqrt{1 - \frac{m_2^2}{m_0 m_4}} \quad (2-21)$$

$$C_{CA} = \frac{1}{4} (1 - \varepsilon^2) (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \varepsilon^{-1} \alpha_2^{-1} (1 + \nu^4)^{-2} \quad (2-22)$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{2} [1 + (1 - \varepsilon^2)^{\frac{1}{2}}] \quad (2-23)$$

$$\beta_2 = \varepsilon^2 / (1 - \varepsilon^2) \quad (2-24)$$

$$\nu = \sqrt{\frac{m_0 m_2}{m_1^2} - 1} \quad (2-25)$$

Longuet-Higgins (1983) 修正先前的 Longuet-Higgins(1975)模式的缺失，提出如下的理論機率密度函數：

$$p(t, x) = C_{LH} \left(\frac{x}{t} \right)^2 \exp \left\{ -\frac{x^2}{8} [1 + \nu^{-4} (1 - t^{-1})^2] \right\} \quad (2-26)$$

其中

$$C_{LH} = \frac{1}{8} (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \nu^{-2} [1 + (1 + \nu^4)^{-\frac{1}{2}}]^{-1} \quad (2-27)$$

2-3-2 聯合機率密度分析

經由零上切法將實測資料的水位訊號的單一個別波，分析其即個別波的波峰(A_c)與對應週期(T_c)，如圖 2-5 所示。若以波高 A_c 為縱軸，週期 T_c 為橫軸，劃分成間隔為 $\Delta A_c=0.01\text{m}$ 與 $\Delta T_c=0.15\text{s}$ 的小方格，並參考 Goda(2000)的作法即可獲得於各區間的機率密度值，再與理論值進行比較後，根據 R^2 與 MSE 兩參數，可以判斷出何種理論聯合機率密度的最適用性。

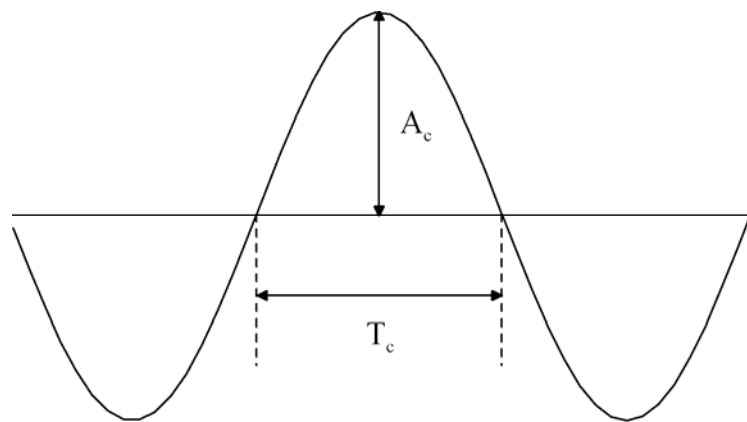


圖 2-5 零上切後的波峰高與週期示意圖

第三章 波浪特性分析結果

根據港灣技術研究中心所提供之安平港與臺北港波浪資料，其記錄時間為 2006 年，分別作每月、每季與全年之波高以及週期分佈及相關統計分析。

3-1 波高最佳分組數及最適分佈

安平港與臺北港之 2006 年 1 至 12 月每月之波高分組結果式如表 3-1 與表 3-2，由表 3-1 可知安平港 1 至 3 月與 10 至 12 月之波高分組可分成兩組，最大波高則小於 1 公尺。4 與 9 月則可分成三組，第三組區間僅有 5 與 12 個。五月則無資料，6 與 8 月可分成五組，7 月則可分成六組。在臺北港部份，由表 3-2 可知 6 月只有一組，8 月可以分成二組，4 月亦可分成四組，第四組區間只有 3 個。7 月、11 月與 12 月可分成五組，第五組區間僅 12 月有 31 個，3 月與 9 月則可分成六組，而 1 月、2 月、5 月與 10 月則無資料。

根據氣象局資料顯示，2006 年 7-8 月共有 3 個侵臺颱風，但是因為中央山脈的地形阻檔效應，使颱風對西部的影響較東部小，因此波高超過 2 公尺之部分所佔之資料筆數約在 50 筆以上。

表 3-1 安平港波浪在每月各分組距的數據之個數

月份 波高分組	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$H_s < 0.5m$	710	582	463	483	0	405	129	144	525	648	663	386
$0.5m < H_s < 1.0m$	34	89	50	26	0	174	258	395	183	52	57	55
$1.0m < H_s < 1.5m$	0	0	0	5	0	85	177	98	12	0	0	0
$1.5m < H_s < 2.0m$	0	0	0	0	0	38	85	28	0	0	0	0
$2.0m < H_s < 3.0m$	0	0	0	0	0	18	58	34	0	0	0	0
$H_s > 3.0m$	0	0	0	0	0	0	37	0	0	0	0	0

表 3-2 臺北港波浪在每月各分組距的數據之個數

月份 波高分組	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Hs<0.5m	0	0	233	156	0	229	262	249	135	0	177	22
0.5m<Hs<1.0m	0	0	225	85	0	0	163	77	116	0	202	181
1.0m<Hs<1.5m	0	0	70	26	0	0	46	0	69	0	122	231
1.5m<Hs<2.0m	0	0	30	3	0	0	11	0	50	0	17	142
2.0m<Hs<3.0m	0	0	18	0	0	0	8	0	52	0	2	31
Hs>3.0m	0	0	14	0	0	0	0	0	16	0	0	0

2006 年安平港與臺北港全年資料依據波浪分析之步驟，將示性波高大小歸類於六個區間。其中全年之波高分析結果則如表 3-3 至表 3-8 與表 3-9 至表 3-14 所示。依據 R^2 與 MSE 兩參數，可判斷出 Gamma、Normal、Rayleigh 及 Weibull 四個分佈函數與波高資料直方圖的吻合程度；在 MSE 與 R^2 之判別，其不同區間中的任一分組組數下，可看出 Weibull 分佈函數與波高直方圖吻合程度，明顯優於其餘三種機率分佈函數，其優劣趨勢大致為 Weibull 分佈最佳，Rayleigh 及 Gamma 分佈次之，Normal 分佈最差。因此，本研究之分析結果，判斷出四個機率分佈函數與波高的吻合程度以 Weibull 分佈最適合，Normal 分佈最差。根據江(2006)之研究，花蓮港其波高機率分佈亦是近似於 Weibull 分佈的，根據此結果，對於分析往後波高資料，可利用 Weibull 分佈特性及計算方式，更適切地來描述安平港與臺北港波浪特性。

由往昔研究花蓮港分析結果得知， R^2 與 MSE 值大致上均隨著分組組數的增加而遞減，這是因為將波高作直方圖組數分組中，當分組組數越多，直方圖則呈現越不規則的形狀，造成其與各機率分佈函數曲線之相關性不高，要決定適當的分組組數，並無法以 R^2 與 MSE 兩參數來判斷評估，因此以兩參數 $P_i=0$ 與 $|P_i-P_j|>1/N$ 來選定適合的分組組數範圍。根據表 3-8 至表 3-14 分析結果，可看出 $P_i=0$ 與 $|P_i-P_j|>1/N$

兩參數會隨著分組組數的增加而增加，這是因為當分組組數增加，所繪出之不規則之直方圖，容易產生機率為零之分組間距值及鋸齒狀之多峰值出現的現象。此外，安平港與臺北港示性波高分組組數為 5 至 8 組時， $P_i=0$ 參數均較小，且其差異性亦不大，9 組以後明顯增加。

表 3-3 2006 年安平港波高之各種分佈及指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.041	0.040	0.038	0.036	0.034	0.033	0.031	0.030
	R^2	0.918	0.888	0.863	0.838	0.815	0.792	0.772	0.751
Normal	MSE	0.049	0.045	0.041	0.038	0.036	0.034	0.032	0.031
	R^2	0.901	0.877	0.855	0.834	0.814	0.793	0.774	0.756
Rayleigh	MSE	0.038	0.036	0.035	0.033	0.032	0.030	0.029	0.028
	R^2	0.924	0.900	0.878	0.856	0.834	0.812	0.793	0.772
Weibull	MSE	0.035	0.034	0.033	0.032	0.030	0.029	0.028	0.027
	R^2	0.944	0.921	0.900	0.879	0.858	0.837	0.818	0.798
$P_i=0(\%)$		0.175	1.324	3.932	7.728	12.809	19.097	24.956	33.152
$|P_i-P_j|>1/N(\%)$		35.935	34.553	36.461	40.101	46.661	52.151	58.536	64.045

表 3-4 2006 年安平港波高之各種分佈及指標評估結果
(0.5m<Hs<1.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.044	0.042	0.040	0.038	0.036	0.035	0.034	0.032
	R ²	0.901	0.870	0.837	0.812	0.786	0.759	0.731	0.715
Normal	MSE	0.052	0.047	0.044	0.041	0.038	0.036	0.035	0.033
	R ²	0.880	0.852	0.826	0.802	0.780	0.755	0.730	0.715
Rayleigh	MSE	0.041	0.038	0.037	0.035	0.033	0.032	0.031	0.030
	R ²	0.907	0.881	0.852	0.828	0.804	0.778	0.750	0.734
Weibull	MSE	0.038	0.036	0.036	0.034	0.032	0.031	0.031	0.029
	R ²	0.929	0.904	0.877	0.855	0.831	0.806	0.779	0.764
Pi=0(%)		0.510	1.675	4.807	8.521	14.130	20.757	27.604	33.649
|Pi-Pj|>1/N(%)		32.047	32.119	38.092	41.733	47.851	54.698	61.544	65.841

表 3-5 2006 年安平港波高之各種分佈及指標評估結果
(1.0m<Hs<1.5m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.047	0.044	0.041	0.040	0.038	0.036	0.035	0.034
	R ²	0.887	0.853	0.828	0.793	0.763	0.737	0.709	0.684
Normal	MSE	0.055	0.049	0.045	0.043	0.040	0.037	0.036	0.034
	R ²	0.866	0.841	0.817	0.784	0.762	0.737	0.711	0.692
Rayleigh	MSE	0.043	0.040	0.038	0.037	0.035	0.033	0.033	0.031
	R ²	0.894	0.866	0.844	0.811	0.782	0.759	0.730	0.707
Weibull	MSE	0.042	0.039	0.036	0.036	0.034	0.033	0.032	0.031
	R ²	0.916	0.891	0.870	0.838	0.812	0.787	0.760	0.737
Pi=0(%)		0.528	1.583	5.013	8.971	18.997	24.011	29.288	39.314
|Pi-Pj|>1/N(%)		34.037	36.148	35.092	46.438	53.826	57.520	64.116	69.657

表 3-6 2006 年安平港波高之各種分佈及指標評估結果
(1.5m<Hs<2.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.048	0.046	0.043	0.041	0.039	0.037	0.036	0.035
	R ²	0.881	0.844	0.815	0.781	0.756	0.732	0.700	0.673
Normal	MSE	0.052	0.048	0.044	0.041	0.039	0.037	0.035	0.034
	R ²	0.877	0.848	0.820	0.797	0.772	0.743	0.720	0.696
Rayleigh	MSE	0.044	0.041	0.038	0.037	0.035	0.034	0.033	0.032
	R ²	0.893	0.863	0.838	0.807	0.782	0.756	0.726	0.700
Weibull	MSE	0.041	0.040	0.037	0.036	0.034	0.033	0.032	0.032
	R ²	0.919	0.888	0.865	0.837	0.813	0.787	0.759	0.732
Pi=0(%)		0.000	0.662	4.636	7.947	17.219	24.503	33.775	43.046
|Pi-Pj|>1/N(%)		39.735	42.384	44.371	47.020	52.980	60.927	66.225	76.159

表 3-7 2006 年安平港波高之各種分佈及指標評估結果
(2.0m<Hs<3.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.051	0.050	0.047	0.045	0.041	0.040	0.038	0.038
	R ²	0.853	0.802	0.770	0.721	0.708	0.666	0.642	0.603
Normal	MSE	0.052	0.049	0.045	0.044	0.038	0.038	0.037	0.036
	R ²	0.868	0.830	0.806	0.754	0.754	0.710	0.678	0.651
Rayleigh	MSE	0.045	0.045	0.042	0.041	0.037	0.037	0.036	0.035
	R ²	0.871	0.822	0.794	0.746	0.736	0.693	0.664	0.629
Weibull	MSE	0.042	0.042	0.040	0.040	0.035	0.035	0.034	0.034
	R ²	0.906	0.864	0.839	0.789	0.785	0.740	0.712	0.677
Pi=0(%)		0.000	0.000	5.455	9.091	18.182	27.273	35.455	34.545
|Pi-Pj|>1/N(%)		30.909	40.000	47.273	50.909	53.636	65.455	68.182	74.545

表 3-8 2006 年安平港波高之各種分佈及指標評估結果($H_s > 3.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.055	0.052	0.046	0.048	0.046	0.041	0.038	0.039
	R^2	0.809	0.774	0.748	0.674	0.628	0.618	0.598	0.546
Normal	MSE	0.054	0.046	0.044	0.044	0.041	0.038	0.035	0.035
	R^2	0.846	0.835	0.794	0.735	0.704	0.683	0.666	0.630
Rayleigh	MSE	0.048	0.046	0.040	0.042	0.041	0.037	0.034	0.035
	R^2	0.840	0.812	0.785	0.718	0.672	0.662	0.643	0.594
Weibull	MSE	0.046	0.042	0.038	0.041	0.039	0.036	0.033	0.034
	R^2	0.873	0.858	0.828	0.761	0.721	0.707	0.690	0.645
Pi=0(%)		0.000	0.000	2.703	5.405	10.811	13.514	21.622	29.730
|Pi-Pj|>1/N(%)		13.514	32.432	29.730	48.649	56.757	56.757	64.865	72.973

表 3-9 2006 年臺北港波高之各種分佈及指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.044	0.042	0.040	0.037	0.036	0.034	0.032	0.031
	R^2	0.903	0.871	0.846	0.821	0.794	0.773	0.751	0.730
Normal	MSE	0.048	0.044	0.040	0.037	0.035	0.033	0.032	0.030
	R^2	0.904	0.880	0.861	0.838	0.815	0.798	0.778	0.759
Rayleigh	MSE	0.039	0.037	0.035	0.033	0.032	0.030	0.029	0.028
	R^2	0.919	0.894	0.872	0.850	0.826	0.806	0.785	0.765
Weibull	MSE	0.036	0.035	0.033	0.032	0.031	0.029	0.028	0.028
	R^2	0.940	0.916	0.897	0.875	0.851	0.833	0.812	0.792
Pi=0(%)		0.137	1.643	3.696	7.255	12.320	18.617	27.447	32.991
|Pi-Pj|>1/N(%)		35.113	34.497	35.797	40.315	46.543	50.376	58.111	61.807

表 3-10 2006 年臺北港波高之各種分佈及指標評估結果
($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.044	0.041	0.040	0.038	0.036	0.035	0.033	0.031
	R ²	0.905	0.876	0.845	0.815	0.790	0.764	0.747	0.727
Normal	MSE	0.051	0.046	0.043	0.040	0.037	0.036	0.034	0.032
	R ²	0.890	0.865	0.839	0.814	0.792	0.765	0.749	0.732
Rayleigh	MSE	0.040	0.037	0.036	0.035	0.033	0.032	0.031	0.029
	R ²	0.912	0.889	0.862	0.835	0.811	0.784	0.767	0.749
Weibull	MSE	0.038	0.036	0.035	0.033	0.032	0.032	0.030	0.029
	R ²	0.934	0.911	0.886	0.860	0.837	0.811	0.795	0.777
Pi=0(%)		0.095	0.760	4.087	7.890	13.593	21.008	28.042	34.316
|Pi-Pj|>1/N(%)		36.977	35.551	37.928	42.871	50.000	56.274	61.977	65.494

表 3-11 2006 年臺北港波高之各種分佈及指標評估結果
($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.044	0.042	0.040	0.038	0.037	0.035	0.033	0.032
	R ²	0.907	0.876	0.846	0.818	0.789	0.771	0.748	0.729
Normal	MSE	0.051	0.047	0.043	0.040	0.038	0.035	0.034	0.032
	R ²	0.890	0.864	0.840	0.817	0.790	0.773	0.752	0.734
Rayleigh	MSE	0.040	0.038	0.036	0.034	0.034	0.032	0.031	0.029
	R ²	0.914	0.888	0.865	0.840	0.810	0.793	0.769	0.751
Weibull	MSE	0.038	0.036	0.035	0.033	0.033	0.031	0.030	0.029
	R ²	0.934	0.910	0.887	0.863	0.835	0.818	0.796	0.778
Pi=0(%)		0.000	2.293	6.702	10.406	16.402	22.751	30.864	38.801
|Pi-Pj|>1/N(%)		37.566	37.037	38.272	44.092	52.557	52.381	62.257	68.783

表 3-12 2006 年臺北港波高之各種分佈及指標評估結果
(1.5m<Hs<2.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.046	0.044	0.042	0.039	0.038	0.036	0.035	0.033
	R ²	0.893	0.858	0.826	0.804	0.760	0.741	0.709	0.690
Normal	MSE	0.054	0.048	0.046	0.042	0.040	0.038	0.036	0.034
	R ²	0.872	0.849	0.811	0.792	0.761	0.736	0.708	0.697
Rayleigh	MSE	0.042	0.040	0.039	0.036	0.036	0.034	0.033	0.031
	R ²	0.900	0.873	0.838	0.817	0.779	0.759	0.727	0.710
Weibull	MSE	0.040	0.039	0.038	0.035	0.035	0.033	0.032	0.031
	R ²	0.921	0.895	0.863	0.844	0.807	0.786	0.756	0.740
Pi=0(%)		0.803	2.410	4.819	8.032	15.663	21.285	28.514	35.341
|Pi-Pj|>1/N(%)		37.349	40.964	44.177	44.980	51.807	56.225	66.667	67.470

表 3-13 2006 年臺北港波高之各種分佈及指標評估結果
(2.0m<Hs<3.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.048	0.045	0.045	0.042	0.040	0.038	0.036	0.035
	R ²	0.887	0.852	0.805	0.769	0.749	0.718	0.699	0.669
Normal	MSE	0.053	0.047	0.046	0.043	0.040	0.038	0.035	0.034
	R ²	0.869	0.851	0.812	0.775	0.759	0.726	0.718	0.685
Rayleigh	MSE	0.043	0.040	0.040	0.038	0.036	0.035	0.033	0.032
	R ²	0.895	0.872	0.828	0.793	0.773	0.740	0.726	0.694
Weibull	MSE	0.041	0.038	0.040	0.038	0.035	0.034	0.032	0.032
	R ²	0.917	0.895	0.853	0.818	0.802	0.768	0.756	0.723
Pi=0(%)		0.000	2.703	9.910	14.414	24.324	27.928	39.640	53.153
|Pi-Pj|>1/N(%)		33.333	40.541	47.748	51.351	61.261	67.568	63.964	72.973

表 3-14 2006 年臺北港波高之各種分佈及指標評估結果($H_s > 3.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.050	0.045	0.046	0.044	0.042	0.040	0.040	0.037
	R^2	0.858	0.831	0.770	0.749	0.715	0.684	0.647	0.627
Normal	MSE	0.055	0.046	0.046	0.044	0.042	0.040	0.040	0.037
	R^2	0.855	0.846	0.795	0.763	0.732	0.706	0.658	0.647
Rayleigh	MSE	0.044	0.038	0.039	0.039	0.038	0.036	0.037	0.034
	R^2	0.879	0.861	0.810	0.779	0.746	0.713	0.675	0.656
Weibull	MSE	0.042	0.038	0.040	0.039	0.038	0.036	0.037	0.034
	R^2	0.897	0.883	0.829	0.802	0.772	0.740	0.696	0.682
Pi=0(%)		0.000	3.333	6.667	13.333	20.000	26.667	33.333	40.000
|Pi-Pj|>1/N(%)		23.333	36.667	43.333	70.000	63.333	73.333	76.667	83.333

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

3-2 示性波高最佳分佈

本研究根據 2006 年安平港與臺北港及 2004 年花蓮港的實測資料統計而得的之示性波高 H_s ，將其分成全年、季及月等部份，並利用其最適分組數 20 組，與 Gamma、Normal、Rayleigh 及 Weibull 四個分佈函數進行套配(fitted)，以瞭解不同季節下之示性波高 H_s 分佈特性，其結果如表 3-15 至表 3-17。

由表 3-15 可得知安平港的示性週期 H_s 除 2 月份為 Normal 分佈之外，9 月份為 Rayleigh 分佈之外，其餘都是 Gamma 分佈。而由表 3-16 可得知臺北港除了 6 月為 Rayleigh 分佈與 12 月為 Weibull 分佈外，其餘也是為 Gamma 分佈。由表 3-17 可得知花蓮港 2 月為 Normal 分佈，4 月為 Rayleigh 分佈，5 月、8 月與 9 月為 Weibull 分佈，其餘為 Gamma 分佈。Gamma 與 Weibull 分佈的 MSE 與 R^2 相當接近，但就整個分析結果而言，示性波高 H_s 的最適分佈為 Gamma 分佈，

Rayleigh 分佈為最差

表 3-15 2006 年安平港示性波高 H_s 與各分佈函數評估結果

	Gamma		Normal		Rayleigh		Weibull	
	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²
全年	0.012	0.999	0.112	0.984	0.027	0.996	0.049	0.996
第 1 季	0.020	0.996	0.019	0.996	0.123	0.764	0.038	0.987
第 2 季	0.097	0.927	0.208	0.628	0.163	0.681	0.116	0.909
第 3 季	0.048	0.985	0.157	0.829	0.101	0.895	0.072	0.972
第 4 季	0.006	0.999	0.038	0.978	0.073	0.936	0.028	0.991
1 月	0.014	0.997	0.012	0.997	0.148	0.634	0.040	0.977
2 月	0.039	0.980	0.040	0.982	0.124	0.783	0.067	0.953
3 月	0.042	0.938	0.052	0.902	0.048	0.971	0.041	0.935
4 月	0.052	0.975	0.123	0.849	0.076	0.946	0.087	0.939
6 月	0.077	0.916	0.167	0.580	0.139	0.623	0.089	0.898
7 月	0.024	0.992	0.113	0.797	0.081	0.860	0.039	0.980
8 月	0.090	0.870	0.151	0.634	0.102	0.796	0.107	0.831
9 月	0.047	0.957	0.096	0.825	0.052	0.965	0.068	0.921
10 月	0.033	0.986	0.079	0.913	0.064	0.983	0.064	0.954
11 月	0.031	0.978	0.055	0.923	0.057	0.961	0.044	0.953
12 月	0.021	0.991	0.033	0.978	0.149	0.808	0.052	0.952

表 3-16 2006 年臺北港示性波高 H_s 與各分佈函數評估結果

	Gamma		Normal		Rayleigh		Weibull	
	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²
全年	0.011	0.999	0.111	0.921	0.057	0.964	0.026	0.999
第 2 季	0.093	0.938	0.195	0.685	0.145	0.750	0.113	0.923
第 3 季	0.066	0.973	0.186	0.740	0.136	0.791	0.083	0.963
第 4 季	0.028	0.976	0.035	0.965	0.014	0.923	0.011	0.997
3 月	0.059	0.983	0.174	0.816	0.112	0.883	0.084	0.970
4 月	0.080	0.891	0.142	0.652	0.106	0.750	0.092	0.863
6 月	0.052	0.931	0.081	0.833	0.090	0.959	0.079	0.856
7 月	0.035	0.990	0.132	0.814	0.086	0.891	0.060	0.974
8 月	0.075	0.818	0.117	0.571	0.073	0.788	0.084	0.773
9 月	0.047	0.961	0.139	0.632	0.120	0.653	0.057	0.947
11 月	0.040	0.958	0.082	0.829	0.044	0.935	0.047	0.943
12 月	0.029	0.975	0.034	0.967	0.051	0.918	0.022	0.985

表 3-17 2004 年花蓮港示性波高 H_s 與各分佈函數評估結果

	Gamma		Normal		Rayleigh		Weibull	
	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²
全年	0.010	0.989	0.035	0.865	0.023	0.938	0.022	0.946
第 1 季	0.012	0.964	0.020	0.896	0.035	0.709	0.022	0.886
第 2 季	0.018	0.933	0.037	0.689	0.028	0.809	0.024	0.883
第 3 季	0.036	0.844	0.059	0.584	0.059	0.554	0.038	0.824
第 4 季	0.032	0.896	0.053	0.704	0.044	0.796	0.045	0.799
1 月	0.030	0.797	0.039	0.643	0.039	0.709	0.038	0.682
2 月	0.017	0.903	0.015	0.927	0.034	0.640	0.018	0.904
3 月	0.016	0.840	0.018	0.800	0.033	0.398	0.018	0.784
4 月	0.017	0.872	0.023	0.754	0.016	0.888	0.018	0.839
5 月	0.040	0.656	0.046	0.539	0.041	0.611	0.040	0.660
6 月	0.041	0.730	0.060	0.369	0.055	0.423	0.044	0.718
7 月	0.090	0.682	0.124	0.390	0.113	0.420	0.104	0.551
8 月	0.036	0.666	0.047	0.432	0.043	0.490	0.037	0.667
9 月	0.044	0.799	0.065	0.547	0.064	0.527	0.044	0.812
10 月	0.025	0.889	0.043	0.646	0.033	0.782	0.032	0.839
11 月	0.013	0.854	0.016	0.786	0.018	0.807	0.014	0.819
12 月	0.041	0.737	0.052	0.553	0.054	0.588	0.052	0.573

3-3 Weibull 分佈之波高統計代表值推導

根據分析結果，驗證出安平港與臺北港海面波高之機率分佈是近似於 Weibull 分佈後，為進一步瞭解 Weibull 分佈與實際波高之相關性，以最大概似法(method of maximum likelihood)估算其 α 與 β 參數值，並探討其參數與波高之相關性。而由參數之計算結果，可求得相關之理論波高統計值，並與實際波高計算而得之統計值進行比較，Weibull 分佈之相關波高統計值 H_s 、 \bar{H} 、 H_{\max} 與 H_{rms} 推導如下：

(1) Weibull 分佈理論之 H_s ：

Weibull 機率密度分佈函數之公式為

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} \quad (3-1)$$

今設大於某特定波高值 x_N 的機率為 $1/3$ ，即

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

令 $y = (x/\beta)^\alpha$ 代入式(3-1)，可得

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

令式(3-3)值為 $1/3$ ，可推得 $y_N = -\ln(1/3) = \ln(3)$ ，再依照 H_s 之定義，即 $f(x)$ 在 x_N 至 ∞ 範圍內所涵蓋面積之形心位置就是 H_s ，以數學式表示則為

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

式(3-4)中 α 為其形狀參數，描述分佈的陡峭程度； β 則為尺度參數，用以描述分佈的散佈程度。由於 Weibull 函數的 α 、 β 兩參數難以控制，故將其轉換成型 I 極值分佈(Type I Extreme Value Distribution)或稱甘保(Gumbel)分佈，將波高取對數，成一尺度一位置極值分佈函數，再以最大概似法(Maximum Likelihood Estimates)估計參數，方能簡化其參數運算過程。

(2) Weibull 分佈之理論 \bar{H} ：

平均波高 \bar{H} 為機率密度函數的期望值，故

$$\bar{H} = \int_0^{\infty} xf(x) dx \quad (3-5)$$

根據式(3-1)與式(3-5)，令 $y = (x/\beta)^\alpha$ 代入，得 $f(y) = \int_0^\infty e^{-y} dy$ ，即

$$\overline{H} = \beta \int_0^\infty y^{\frac{1}{\alpha}} e^{-y} dy \quad (3-6)$$

$$= \beta \Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right)$$

式(3-6)即為 Weibull 分佈參數所推得之理論平均波高 \overline{H} 。

(3) Weibull 分佈之理論 H_{max} ：

假設 N_0 是以零上切法求得之個別波的數目， x_{max} 為其中最大波高值，則大於 x_{max} 值之機率以數學式表示則為

$$f(x > x_{max}) = \int_{x_{max}}^\infty f(x) dx \quad (3-7)$$

令 $y = (x/\beta)^\alpha$ 代入式(3-7)，則

$$\int_{\left(\frac{x_{max}}{\beta}\right)^\alpha}^\infty e^{-y} dy = e^{-\left(\frac{x_{max}}{\beta}\right)^\alpha} \quad (3-8)$$

式(3-8)中，令 $\xi = N_0 f(x_{max}) = N_0 e^{-\left(\frac{x_{max}}{\beta}\right)^\alpha}$ ，則

$$x_{max} = \beta \left[-\ln\left(\frac{\xi}{N_0}\right) \right]^{\frac{1}{\alpha}} = \beta [\ln(N_0) - \ln(\xi)]^{\frac{1}{\alpha}} \quad (3-9)$$

其最大波高 H_{max} 為

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

$$= \beta \left[(\ln N_0)^{\frac{1}{\alpha}} - \frac{1}{\alpha} (\ln N_0)^{\frac{1}{\alpha}-1} \cdot \gamma + \frac{1-\alpha}{2\alpha^2} (\ln N_0)^{\frac{1}{\alpha}-2} \cdot \left(\frac{\pi^2}{6} + \gamma^2 \right) \right] \quad (3-10)$$

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

(4) Weibull 分佈之理論 H_{rms} ：

根據式(5-1)，可推導出 Weibull 分佈之理論均方根值 H_{rms} 為

$$\begin{aligned} H_{rms}^2 &= \int_0^\infty \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} x^2 dx \\ &= \frac{\alpha}{\beta^\alpha} \int_0^\infty x^{\alpha+1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} dx \end{aligned} \quad (3-11)$$

令 $y = \left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha$ 代入式(3-11)，將上式化為

$$H_{rms}^2 = \beta^2 \int_0^\infty y^{\left(\frac{2}{\alpha}\right)} e^{-y} dy = \beta^2 \cdot \Gamma\left(\frac{2}{\alpha} + 1\right) \quad (3-12)$$

故得

$$H_{rms} = \beta \left[\Gamma\left(\frac{2}{\alpha} + 1\right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3-13)$$

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

3-4 Weibull分佈之參數分析

根據 Weibull 分佈模式和波高直方圖套配(fitted)結果，可計算出 α 與 β 兩參數值，按 2006 年安平港與臺北港全年波高資料分析結果，將每區間之 α 與 β 值將其繪如附圖 1-1 至附圖 1-2 與附圖 1-48 至附圖 1-49 所示，圖中橫坐標之示性波高範圍區分成 1 至 6 個區間。由圖可觀察出，因 α 為形狀參數，所以隨著示性波高變大， α 值亦隨著變大；而 β 為尺度參數，其值於六個區間中之平均值均較為相似，安平港的

第一、二、三及五區間之最大，臺北港則只有第二區間之最大，但兩港的最小值趨勢則相似。據參數分析的結果，可知 Weibull 分佈之 α 值與示性波高有較高之相關性，而 β 值因其僅與區間尺度大小有關，故可判斷出其與示性波高相關性甚小。

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

$$H_s = 3.774\sqrt{m_0} \quad (3-14)$$

可知示性波高大小與 $\sqrt{m_0}$ 成正比，其中 m_0 計算方法，於前式(2-1)已說明。本研究以 2006 年全年安平港與臺北港之波高資料，分析各區間之 m_0 與 α 之關係，分別附圖 1-3 至附圖 1-8 與附圖 1-50 至附圖 1-55 所示，因不同之波高大小探討 m_0 與 α 之關係，而 β 值由於與示性波高關係甚小，因此僅以附圖 1-9 與附圖 1-56，即 $H_s < 0.5\text{m}$ 區間之 m_0 與 β 之關係為代表示意，其餘安平港與臺北港各區間 m_0 與 β 之關係則以表 3-18 與表 3-19 表示，顯示各波高區間之 m_0 與 β 關係很小。

表 3-18 2006 年安平港各區間波高資料水位時序列之 m_0 與 β 關係

Class	R^2	Equation
$H_s < 0.5\text{m}$	0.006	$y = 5.777x + 2.165$
$0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$	0.008	$y = 1.853x + 2.145$
$1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$	0.010	$y = 1.170x + 2.019$
$1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$	0.050	$y = 1.413x + 1.976$
$2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$	0.011	$y = 0.331x + 2.138$
$H_s > 3.0\text{m}$	0.004	$y = -0.091x + 2.315$

表 3-19 2006 年臺北港各區間波高資料水位時序列之 m_0 與 β 關係

Class	R^2	Equation
$H_s < 0.5\text{m}$	0.009	$y = 6.224x + 2.132$
$0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$	0.002	$y = 0.860x + 2.164$
$1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$	0.005	$y = 0.674x + 2.128$
$1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$	0.036	$y = 1.466x + 1.975$
$2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$	0.003	$y = 0.174x + 2.120$
$H_s > 3.0\text{m}$	0.0003	$y = 0.021x + 2.137$

由 3-3 節可知，若 α 與 β 為已確定之數值，則可快速計算出相關之波高統計值，根據附圖 1-3 至附圖 1-8 與附圖 1-50 至附圖 1-55 顯示，在波高小於 1.0m 時，其 m_0 與 α 有較高之 R^2 值，達 0.8 以上，因此可說明於小波高時， m_0 與 α 有很大的相關性。而波高大於 1.0m 時， R^2 大致都介於 0.7 至 0.8 之間。因此，為進一步確定 m_0 與 β 之相關性，本計畫以全年資料之 m_0 與 α 、 β 進行迴歸分析，得其 m_0 與 α^2/β 之相關性較好。

由附圖 1-10 與附圖 1-57 結果，可看出 m_0 與 α^2/β 相關性很高，其中 m_0 乃由水位訊號經由快速傅立葉轉換(FFT)而得，而 α 與 β 值則需先將波高資料與 Weibull 分佈以最大概似法方可計算出， α 與 β 值顯然較 m_0 不易計算。因此根據各波高資料所計算而得之 m_0 ，可簡易的利用 m_0 與 α 之迴歸關係式結果，粗估其 α 值，進一步可求得各區間中 m_0 與 α 及 α^2/β 之關係，而為進一步求得其在不同波高大小下之關係，本研究將波高不分區間，以全年波高資料之 m_0 與 α 及 α^2/β 迴歸，其 m_0 與 α 迴歸之 R^2 高達 0.827 與 0.812，而 m_0 與 α^2/β 迴歸之 R^2 分別為 0.987 與 0.979，根據此結果可推得此二港 m_0 與 α 及 β 關係式，安平港的經驗式如下：

$$\alpha = 3.087m_0^{0.483} \quad (3-15)$$

$$\beta = \frac{\alpha^2}{4.423m_0 + 0.007} \quad (3-16)$$

臺北港的經驗式如下：

$$\alpha = 3.101m_0^{0.483} \quad (3-17)$$

$$\beta = \frac{\alpha^2}{4.541m_0 + 0.012} \quad (3-18)$$

因此，本研究以式(3-15)至(3-18)之 m_0 值概估 α 及 β 值，再將 α 及 β 值代入式(3-4)即可求得波高適合 Weibull 分佈之理論示性波高值。

3-5 統計與理論波高之分析

安平港之波高分佈近似於 Weibull 分佈，由 Weibull 分佈可推導出 H_s 、 \bar{H} 、 H_{max} 與 H_{rms} 等四個理論波高統計值，為探討安平港統計值與理論值之差異，本研究分析方法主要參考一般常用之 Rayleigh 分佈理論波高比值，及不同波高統計值與 m_0 之關係以進行比較，根據 Rayleigh 分佈之公式，可推得如下之理論關係式

$$\frac{H_s}{\bar{H}} = 1.597, \quad \frac{\bar{H}}{\sqrt{m_0}} = 2.51, \quad \frac{H_s}{\sqrt{m_0}} = 4.0 \quad (3-19)$$

及郭(2001)之 Weibull 分佈理論比值

$$\frac{\bar{H}}{\sqrt{m_0}} = 2.413, \quad \frac{H_s}{\sqrt{m_0}} = 3.774 \quad (3-20)$$

因此，由安平港實際波浪資料統計而得之波浪統計參數，包含 m_0 、 H_s 、 \bar{H} 、 H_{max} 與 H_{rms} 等，除與 H_s 比較外，再分別計算其 H_s/\bar{H} 、 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 與 $H_s/\sqrt{m_0}$ 之比值，並與式(3-20)之理論值進行比較，而 H_{max} 與 H_{rms} 兩統計參數，則計算其 H_{max}/H_s 與 H_s/H_{rms} 之比值，比較其理論及實際值之差異，其中 H_{max} 為波高最大值， H_{rms} 為波高的均方根值(Root Mean Square)。

3-5-1 理論與實際 H_s 之比較

一般示性波高計算方法為將波高資料依大小排序後，取波高資料中較大的前 1/3 之波高平均值，此平均值即稱之為示性波高，而一般認為波高之分佈較符合 Rayleigh 分佈，以其理論亦可推導出(3-19)式之示性波計算公式，然安平港與臺北港之波高分佈較符合 Weibull 分佈，因此由式(3-4)之推導結果，亦可得符合 Weibull 分佈之示性波高計算公式。根據統計值與 Weibull 二種不同示性波高計算方式，茲將安平港與臺北港 2006 年之波浪資料，根據此二種不同計算方式，將全年分析結果列圖如附圖 1-11 至附圖 1-16 與附圖 1-58 至附圖 1-63，圖中 Data 與 Weibull 等二條線分別表示實際統計與 Weibull 所計算出之 H_s 值。

由附圖 1-11 至附圖 1-16 與附圖 1-58 至附圖 1-63，之 H_s 比較結果可發現，Weibull 理論之示性波高值的確符合實際的波高情形，Weibull 理論值與實際波高曲線吻合度高，因此可知不論波高之大小，以式(3-4)Weibull 分佈 H_s 理論值計算結果較近似於式(3-14)統計值。

3-5-2 理論與實際之 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 之比較

經由安平港實測資料由式(2-1)計算可得其零階能率 m_0 ，而 \bar{H} 為實測波高之平均值，以 \bar{H} 與 m_0 之比值分別與式(3-19)Rayleigh 之理論值及式(3-20)中 Weibull 理論值比較，茲將安平港與臺北港 2006 年全年之波高資料分析結果如附圖 1-17 至附圖 1-22 與附圖 1-64 至附圖 1-69 所示。

根據附圖 1-17 至附圖 1-22 與附圖 1-64 至附圖 1-69 之結果，由圖可看出其 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值大部分皆大於 Weibull 分佈之理論值 2.413，亦大於 Rayleigh 之值，而隨著波高變大，如附圖 1-22 所示，當波高大於 3.0m 時， $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 之值平均值約為 3.0，皆大於理論值。

3-5-3 理論與實際 $H_s/\sqrt{m_0}$ 之比較

根據式(3-19)式與(3-20)之理論示性波高計算公式，配合不同地區之波高分佈，可簡單地以 m_0 求出其理論示性波高值，而安平港與臺北港之波高分佈為 Weibull 分佈，雖可根據(3-20)式求其示性波高，但此結果也僅為粗估其示性波高大小，並無法表示全部數據分佈狀況，因此本計畫為探討其實際與理論上之差異，茲將安平港與臺北港 2006 全年之波高資料，分別計算出統計 H_s 及 m_0 值，按全年之 $H_s/\sqrt{m_0}$ 比值，將全年結果繪如下列附圖 1-23 至附圖 1-28 與附圖 1-70 至附圖 1-75 所示

由式(3-19)及式(3-20)可知， $H_s/\sqrt{m_0}$ Rayleigh 理論比值為 4.0，而 Weibull 理論比值為 3.774，因此其實際波高比值之合理保守範圍應介於 3 至 4 之間，根據附圖 1-23 至附圖 1-28 與附圖 1-70 至附圖 1-75 所示，其 $H_s/\sqrt{m_0}$ 值大致皆大於 3.774，皆大於理論值。

3-5-4 理論與實際 H_s/\bar{H} 之比較

根據式(3-19)可知，當波高分佈為 Rayleigh 分佈時，理論上 H_s/\bar{H} 之比值為一定值，根據此結果，由式(3-4)與式(3-6)可驗證出當波高分佈為 Weibull 分佈時，其 H_s/\bar{H} 亦可得一理論比值，此理論 H_s/\bar{H} 之比值為

$$\frac{H_s}{\bar{H}} = \frac{N\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}+1, \ln N\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}+1\right)} \quad (3-21)$$

依照式(3-21)計算所得之理論值，為比較其與實際統計出之比值差異，茲將安平港與臺北港 2006 年全年之波高資料比較結果列如附圖 1-29 至附圖 1-34 與附圖 1-76 至附圖 1-81 所示，其中 $(H_s/\bar{H})_T$ 表示理論值， $(H_s/\bar{H})_O$ 表示實際統計值

由圖分析結果，可觀察出各區間之 H_s/\bar{H} 實際值與理論值之相關性皆較高，由附圖 1-29 至附圖 1-34 與附圖 1-76 至附圖 1-81 觀察可發現， H_s/\bar{H} 其比值大致介於 0.931 至 1.055 之間，且此六區間內之 H_s/\bar{H} 相關性皆很接近。

3-5-5 理論與實際 H_{max}/H_s 之比較

對具有相同統計特性的波場而言，不同次取樣的樣本之 \bar{H} 或 H_s 可能極為接近，但其最大波高 H_{max} 卻會大不相同，Longuet-Higgins(1952)利用統計理論求出最大波高 H_{max} 之機率分佈，計算出各種統計代表值，包括眾數(mode)、平均值(mean)及超過出現機率為 $1/n$ 的 H_{max} 等。但其在近似上有如下之關係式

$$\left(\frac{H_{max}}{\bar{H}}\right)_{mode} \approx \left(\frac{H_{max}}{\bar{H}}\right)_{mean} \approx \frac{2}{\sqrt{\pi}} (\ln N_0)^{1/2} \quad (3-22)$$

N_0 是以零上切法求得的個別波之數目，隨著 N_0 的不同會得到不同的 H_{max}/\bar{H} ，又由式(3-19)之 \bar{H} 與 H_s 之關係式可推得 Rayleigh 分佈理論之 H_{max}/H_s ，由此關係式即可根據 H_s 求得最大波高 H_{max} ，而 H_{max} 一般常應用於工程上之設計參考，依合田(1990)的建議，在工程設計上，可採用如下之關係式來設計

$$H_{max} = (1.6 \sim 2.0)H_s \quad (3-23)$$

由式(3-22)與式(3-23)可知，理論上最大波高可由示性波高求得一概似值，而安平港與臺北港因其波高分佈為 Weibull 分佈，因此本研究為探討花蓮港之 H_{max} 與 H_s 關係，根據式(3-4)及式(3-10)，可得其比值為

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

由式(3-24)即可計算其理論之比值，並依此結果與實際統計出之比值進行比較，茲將安平港與臺北港 2006 年全年之安平波高資料比較結果列如附圖 1-35 至附圖 1-40 與附圖 1-82 至附圖 1-87 所示，其中 $(H_{max}/H_s)_O$ 代表實際統計值， $(H_{max}/H_s)_T$ 則表示為以式(3-24)所計算出之理論值

由附圖 1-35 至附圖 1-40 與附圖 1-82 至附圖 1-87 結果顯示，其理論 $(H_{max}/H_s)_T$ 分佈的範圍約在 1.2-1.6，其統計之 $(H_{max}/H_s)_O$ 值的分佈範圍 1.2-2.8 不等。當臺北港示性波高大於 3.0m 時， R^2 值約為 0.4，並為最高。由圖分析結果可知，以式(3-10)所計算出 H_{max} 之理論值會產生低估的現象，茲以 H_{max} 在示性波高不分區間下，將安平港與臺北港 2006 年全年實際與理論 H_{max} 之關係示如附圖 1-41 與附圖 1-88，由此二圖觀察結果，理論與實際之 H_{max} 相關性很高，但從數據上發現，在 2006 全年有效資料筆數中，在安平港部份有 28% 的資料其理論與實際之 H_{max} 誤差超過 10%，而臺北港有 43% 的資料其理論與實際之 H_{max} 誤差超過 10%。因此根據分析結果，欲要應用 H_{max} 於工程設計上，應以實際計算之 H_{max} 為準，或依照設計波推算方法的精確度，構造物的重要性或破壞限界等為考慮條件，再加以設計決定之。

3-5-6 理論與實際 H_s/H_{rms} 之比較

H_{rms} 表示為波高之均方根值，由式(3-4)及式(3-13)可求得 H_s/H_{rms}

之理論關係式為

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

根據式(3-25)即可計算出 H_s/H_{rms} 之理論比值，並依此結果與實際統計出之比值進行比較，茲將安平港與臺北港 2006 年全年之波高資料比較結果列如附圖 1-42 至 1-47 所示。根據附圖 1-42 與附圖 1-47 與附圖 1-89 與附圖 1-94 分析結果，安平港當示性波高介於 2.0-3.0m 時， R^2 值為最高，約為 0.77 其理論與實際之相關性較高，最低約為 0.60，其波高大於 3.0m；而臺北港當示性波高介於 1.5m-2.0m 時， R^2 值為最高，約為 0.7 其理論與實際之相關性較高，最低約為 0.47，其波高大於 3.0m。



第四章 週期分佈特性

4-1 最佳分組數及最適分佈

2006 年全年之週期分析結果如表 4-1 至表 4-12 所示，其分組越多其 R^2 遞減與 MSE 遞增之情形與波高分佈分析之結果相同，並由 $P_i=0$ 與 $|P_i-P_j|>1/N$ 來選定適合的分組組數範圍。波高分佈小於 3.0m 以下，最佳組數為 5 組，大於 3.0m 則為 5-6 組。波高小於 0.5m 者，其最佳分佈為 Gamma，大於 0.5m 之最佳分佈大部份則為 Erlang。故在比較各種評估參數後，選定最佳分組組數為 5 組，最佳分佈為 Erlang。其 $P_i=0$ 之百分比約在 2% 以下，其 $|P_i-P_j|>1/N$ 約為 10%。

表 4-1 2006 年安平港週期之各種分佈及指標評估結果($H_s<0.5m$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.099	0.105	0.108	0.110	0.111	0.111	0.111	0.112
	R^2	0.922	0.899	0.878	0.859	0.842	0.826	0.810	0.795
Erlang	MSE	0.111	0.115	0.116	0.117	0.117	0.117	0.117	0.117
	R^2	0.906	0.883	0.862	0.843	0.826	0.809	0.792	0.778
Rayleigh	MSE	0.297	0.283	0.271	0.260	0.251	0.242	0.235	0.229
	R^2	0.488	0.440	0.401	0.369	0.341	0.318	0.299	0.281
L-H	MSE	0.162	0.169	0.179	0.190	0.202	0.214	0.226	0.240
	R^2	0.771	0.754	0.739	0.727	0.715	0.703	0.691	0.680
$P_i=0(\%)$		0.292	1.441	3.971	7.748	14.152	21.277	29.764	38.330
$|P_i-P_j|>1/N(\%)$		20.051	36.403	45.377	49.523	52.949	55.110	57.602	59.957

表 4-2 2006 年安平港週期之各種分佈及指標評估結果
(0.5m<Hs<1.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.127	0.127	0.129	0.131	0.129	0.129	0.129	0.127
	R ²	0.836	0.809	0.778	0.750	0.731	0.708	0.686	0.671
Erlang	MSE	0.126	0.126	0.128	0.130	0.128	0.129	0.129	0.127
	R ²	0.845	0.816	0.785	0.755	0.734	0.711	0.688	0.672
Rayleigh	MSE	0.310	0.293	0.280	0.270	0.261	0.253	0.246	0.240
	R ²	0.316	0.273	0.239	0.213	0.194	0.178	0.163	0.153
L-H	MSE	0.165	0.171	0.180	0.192	0.202	0.218	0.229	0.242
	R ²	0.784	0.768	0.752	0.729	0.720	0.697	0.684	0.673
Pi=0(%)		0.437	1.020	2.913	7.138	11.872	17.334	27.167	35.907
|Pi-Pj|>1/N(%)		15.950	27.749	35.543	40.495	43.409	46.686	51.566	53.969



表 4-3 2006 年安平港週期之各種分佈及指標評估結果
(1.0m<Hs<1.5m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.133	0.137	0.135	0.136	0.134	0.135	0.134	0.134
	R ²	0.803	0.759	0.734	0.696	0.675	0.648	0.624	0.600
Erlang	MSE	0.127	0.132	0.130	0.133	0.131	0.132	0.131	0.132
	R ²	0.823	0.777	0.752	0.712	0.689	0.661	0.635	0.610
Rayleigh	MSE	0.293	0.279	0.267	0.258	0.248	0.243	0.236	0.231
	R ²	0.299	0.253	0.220	0.192	0.169	0.150	0.136	0.124
L-H	MSE	0.138	0.145	0.152	0.164	0.174	0.187	0.200	0.212
	R ²	0.784	0.758	0.746	0.711	0.698	0.678	0.658	0.641
Pi=0(%)		0.000	0.264	1.847	2.639	8.707	15.040	21.108	29.024
|Pi-Pj|>1/N(%)		8.179	20.317	24.538	27.704	32.718	39.050	44.855	46.438

表 4-4 2006 年安平港週期之各種分佈及指標評估結果

(1.5m<Hs<2.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.134	0.139	0.133	0.137	0.133	0.136	0.133	0.134
	R ²	0.789	0.738	0.714	0.668	0.651	0.614	0.598	0.570
Erlang	MSE	0.127	0.133	0.129	0.133	0.129	0.134	0.131	0.132
	R ²	0.812	0.760	0.732	0.687	0.667	0.628	0.611	0.581
Rayleigh	MSE	0.282	0.271	0.255	0.248	0.238	0.235	0.227	0.224
	R ²	0.309	0.251	0.227	0.197	0.185	0.171	0.159	0.147
L-H	MSE	0.129	0.138	0.144	0.154	0.162	0.178	0.186	0.201
	R ²	0.789	0.746	0.732	0.704	0.695	0.661	0.651	0.622
Pi=0(%)		0.000	0.000	2.649	6.623	10.596	13.907	25.166	35.099
|Pi-Pj|>1/N(%)		6.623	14.570	14.570	23.841	23.841	37.086	36.424	48.344

表 4-5 2006 年安平港週期之各種分佈及指標評估結果

(2.0m<Hs<3.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.158	0.156	0.158	0.157	0.154	0.152	0.152	0.151
	R ²	0.723	0.681	0.627	0.596	0.567	0.542	0.513	0.490
Erlang	MSE	0.148	0.147	0.150	0.150	0.148	0.147	0.147	0.148
	R ²	0.756	0.715	0.660	0.623	0.595	0.565	0.536	0.510
Rayleigh	MSE	0.284	0.271	0.261	0.252	0.244	0.238	0.233	0.228
	R ²	0.283	0.237	0.202	0.185	0.168	0.152	0.138	0.127
L-H	MSE	0.123	0.128	0.139	0.148	0.157	0.169	0.180	0.194
	R ²	0.765	0.749	0.703	0.681	0.661	0.634	0.621	0.595
Pi=0(%)		0.000	0.909	1.818	4.545	11.818	20.909	26.364	33.636
|Pi-Pj|>1/N(%)		8.182	13.636	22.727	25.455	32.727	39.091	48.182	56.364

表 4-6 2006 年安平港週期之各種分佈及指標評估結果($H_s > 3.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.182	0.176	0.172	0.175	0.171	0.171	0.170	0.165
	R^2	0.642	0.593	0.567	0.506	0.466	0.439	0.412	0.391
Erlang	MSE	0.171	0.167	0.165	0.169	0.166	0.167	0.166	0.163
	R^2	0.682	0.624	0.596	0.530	0.489	0.457	0.430	0.402
Rayleigh	MSE	0.283	0.266	0.260	0.253	0.244	0.241	0.237	0.229
	R^2	0.219	0.184	0.140	0.117	0.111	0.097	0.089	0.080
L-H	MSE	0.121	0.126	0.130	0.145	0.155	0.166	0.178	0.189
	R^2	0.746	0.691	0.715	0.645	0.607	0.597	0.580	0.546
Pi=0(%)		0.000	0.000	5.405	2.703	5.405	16.216	18.919	24.324
|Pi-Pj|>1/N(%)		10.811	2.703	24.324	48.649	43.243	37.838	62.162	51.351



表 4-7 2006 年臺北港週期之各種分佈及指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.114	0.121	0.122	0.126	0.125	0.124	0.125	0.124
	R^2	0.897	0.869	0.848	0.824	0.806	0.792	0.772	0.758
Erlang	MSE	0.124	0.128	0.128	0.131	0.130	0.128	0.129	0.128
	R^2	0.887	0.860	0.837	0.814	0.794	0.780	0.759	0.744
Rayleigh	MSE	0.282	0.271	0.260	0.252	0.243	0.235	0.228	0.223
	R^2	0.531	0.484	0.449	0.417	0.392	0.372	0.352	0.335
L-H	MSE	0.150	0.155	0.165	0.175	0.186	0.196	0.208	0.221
	R^2	0.771	0.762	0.744	0.733	0.718	0.708	0.695	0.684
Pi=0(%)		0.479	1.164	4.175	8.350	14.442	22.108	31.554	40.931
|Pi-Pj|>1/N(%)		18.960	40.041	47.296	51.540	54.141	55.510	58.453	60.233

表 4-8 2006 年臺北港週期之各種分佈及指標評估結果
(0.5m<Hs<1.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.118	0.121	0.127	0.126	0.126	0.127	0.125	0.125
	R ²	0.873	0.850	0.817	0.796	0.778	0.755	0.738	0.723
Erlang	MSE	0.123	0.125	0.130	0.129	0.128	0.129	0.128	0.128
	R ²	0.869	0.846	0.812	0.790	0.771	0.748	0.731	0.714
Rayleigh	MSE	0.310	0.296	0.285	0.273	0.263	0.256	0.248	0.242
	R ²	0.398	0.347	0.305	0.277	0.252	0.231	0.214	0.200
L-H	MSE	0.171	0.181	0.194	0.206	0.220	0.235	0.248	0.263
	R ²	0.784	0.772	0.749	0.735	0.721	0.708	0.693	0.681
Pi=0(%)		0.760	1.901	4.468	9.506	15.494	21.863	29.753	38.403
|Pi-Pj|>1/N(%)		17.586	31.179	39.829	46.198	47.053	51.711	53.422	57.414

表 4-9 2006 年臺北港週期之各種分佈及指標評估結果
(1.0m<Hs<1.5m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.113	0.114	0.117	0.119	0.118	0.119	0.117	0.118
	R ²	0.854	0.827	0.793	0.765	0.742	0.717	0.701	0.677
Erlang	MSE	0.113	0.114	0.116	0.118	0.118	0.119	0.117	0.119
	R ²	0.858	0.831	0.796	0.767	0.742	0.716	0.698	0.674
Rayleigh	MSE	0.283	0.269	0.257	0.249	0.240	0.234	0.226	0.222
	R ²	0.355	0.301	0.260	0.227	0.205	0.185	0.171	0.156
L-H	MSE	0.148	0.151	0.161	0.171	0.182	0.195	0.206	0.220
	R ²	0.760	0.751	0.724	0.704	0.686	0.671	0.656	0.639
Pi=0(%)		0.176	1.764	2.646	5.820	8.995	12.698	19.577	27.337
|Pi-Pj|>1/N(%)		8.818	19.929	25.750	26.455	30.511	35.450	37.390	46.737

表 4-10 2006 年臺北港週期之各種分佈及指標評估結果
(1.5m<Hs<2.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.126	0.127	0.127	0.127	0.128	0.125	0.127	0.125
	R ²	0.800	0.761	0.729	0.697	0.663	0.647	0.614	0.595
Erlang	MSE	0.122	0.124	0.124	0.125	0.126	0.123	0.126	0.124
	R ²	0.813	0.771	0.738	0.704	0.668	0.651	0.616	0.595
Rayleigh	MSE	0.264	0.250	0.240	0.232	0.226	0.219	0.214	0.209
	R ²	0.352	0.299	0.257	0.227	0.201	0.182	0.164	0.150
L-H	MSE	0.135	0.141	0.148	0.160	0.170	0.178	0.194	0.204
	R ²	0.738	0.710	0.700	0.667	0.641	0.636	0.604	0.593
Pi=0(%)		0.000	0.000	0.803	2.410	6.827	12.851	18.072	23.293
|Pi-Pj|>1/N(%)		4.819	10.442	13.655	16.064	22.892	24.900	34.538	38.153

表 4-11 2006 年臺北港週期之各種分佈及指標評估結果
(2.0m<Hs<3.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.141	0.140	0.140	0.137	0.140	0.137	0.137	0.136
	R ²	0.750	0.711	0.668	0.638	0.598	0.578	0.543	0.524
Erlang	MSE	0.136	0.137	0.136	0.134	0.138	0.135	0.136	0.134
	R ²	0.765	0.722	0.680	0.647	0.604	0.583	0.546	0.525
Rayleigh	MSE	0.247	0.235	0.227	0.218	0.215	0.209	0.204	0.200
	R ²	0.381	0.329	0.280	0.250	0.219	0.199	0.179	0.164
L-H	MSE	0.128	0.133	0.142	0.148	0.164	0.170	0.183	0.193
	R ²	0.687	0.663	0.634	0.621	0.575	0.581	0.548	0.530
Pi=0(%)		0.000	0.000	0.000	1.802	4.505	8.108	19.820	27.928
|Pi-Pj|>1/N(%)		2.703	9.910	9.910	16.216	22.523	26.126	33.333	36.036

表 4-12 2006 年臺北港週期之各種分佈及指標評估結果($H_s > 3.0\text{m}$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.160	0.163	0.159	0.164	0.156	0.164	0.160	0.155
	R^2	0.692	0.615	0.582	0.536	0.518	0.451	0.436	0.423
Erlang	MSE	0.150	0.157	0.152	0.159	0.151	0.161	0.157	0.154
	R^2	0.722	0.637	0.604	0.551	0.534	0.461	0.447	0.427
Rayleigh	MSE	0.247	0.238	0.227	0.228	0.217	0.217	0.212	0.206
	R^2	0.371	0.318	0.285	0.245	0.227	0.194	0.175	0.166
L-H	MSE	0.119	0.128	0.134	0.149	0.151	0.173	0.179	0.188
	R^2	0.694	0.602	0.592	0.553	0.570	0.487	0.488	0.475
Pi=0(%)		0.000	0.000	0.000	0.000	3.333	13.333	16.667	30.000
|Pi-Pj|>1/N(%)		0.000	10.000	16.667	23.333	26.667	40.000	43.333	46.667

4-2 示性週期的最適分佈

本研究根據 2006 年安平港與臺北港及 2004 年花蓮港的實測資料統計而得的之示性週期 T_s ，將其分成全年、季及月等部份，並利用其最適分組數 20 組，與 Gamma、Erlang、Rayleigh 及 Normal 四個分佈函數進行套配(fitted)，以瞭解不同季節下之示性週期 T_s 分佈特性，其結果如表 4-13 至表 4-15。

表 4-13 可得知安平港的示性週期 T_s 除 7 月份為 Normal 分佈之外，其餘都是 Gamma 分佈。而由表 4-14 可得知臺北港除了第 2 季、4 月及 6 月為 Normal 分佈與 7 月份為 Erlang 分佈外，其餘為 Gamma 分佈。由表 4-15 可以得知，第 1 季與 2 月為 Normal 分佈，其餘都是 Gamma 分佈。Gamma、Erlang 與 Normal 分佈的 MSE 與 R^2 相當接近，但就整個分析結果而言，示性週期 T_s 的最適分佈為 Gamma 分佈，Erlang 分佈為最差。

表 4-13 2006 年安平港示性週期 T_s 與各分佈函數評估結果

	Gamma		Erlang		Rayleigh		Normal	
	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²
全年	0.125	0.945	0.160	0.911	0.363	0.913	0.159	0.913
第 1 季	0.028	0.997	0.043	0.993	0.506	0.121	0.048	0.991
第 2 季	0.064	0.973	0.073	0.965	0.414	0.085	0.091	0.946
第 3 季	0.098	0.926	0.123	0.877	0.298	0.814	0.100	0.923
第 4 季	0.161	0.943	0.223	0.887	0.513	0.798	0.207	0.907
1 月	0.030	0.996	0.061	0.981	0.478	0.036	0.048	0.989
2 月	0.044	0.993	0.071	0.981	0.537	0.001	0.065	0.984
3 月	0.068	0.963	0.078	0.949	0.457	0.258	0.075	0.954
4 月	0.066	0.966	0.075	0.956	0.459	0.177	0.083	0.947
6 月	0.049	0.980	0.074	0.952	0.377	0.0004	0.073	0.954
7 月	0.168	0.854	0.151	0.886	0.453	0.023	0.141	0.899
8 月	0.036	0.990	0.057	0.968	0.323	0.132	0.041	0.986
9 月	0.181	0.828	0.226	0.734	0.418	0.811	0.206	0.778
10 月	0.286	0.737	0.320	0.658	0.506	0.779	0.326	0.655
11 月	0.134	0.921	0.166	0.874	0.452	0.621	0.164	0.882
12 月	0.025	0.998	0.057	0.991	0.457	0.858	0.052	0.993

表 4-14 2006 年臺北港示性週期 T_s 與各分佈函數評估結果

	Gamma		Erlang		Rayleigh		Normal	
	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²
全年	0.031	0.995	0.052	0.985	0.346	0.674	0.064	0.978
第 2 季	0.090	0.950	0.081	0.960	0.385	0.365	0.067	0.973
第 3 季	0.101	0.924	0.147	0.834	0.272	0.980	0.130	0.875
第 4 季	0.034	0.994	0.034	0.994	0.438	0.048	0.057	0.982
3 月	0.050	0.983	0.051	0.982	0.339	0.622	0.081	0.953
4 月	0.064	0.971	0.065	0.970	0.383	0.147	0.057	0.978
6 月	0.167	0.719	0.162	0.734	0.405	0.250	0.147	0.784
7 月	0.131	0.909	0.149	0.881	0.330	0.961	0.167	0.853
8 月	0.096	0.922	0.100	0.914	0.329	0.618	0.132	0.852
9 月	0.060	0.970	0.098	0.900	0.265	0.622	0.074	0.952
11 月	0.049	0.984	0.061	0.975	0.393	0.043	0.079	0.957
12 月	0.035	0.991	0.044	0.984	0.430	0.216	0.043	0.985

表 4-15 2004 年花蓮港示性週期 T_s 與各分佈函數評估結果

	Gamma		Erlang		Rayleigh		Normal	
	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²
全年	0.153	0.860	0.167	0.827	0.381	0.071	0.177	0.810
第 1 季	0.043	0.947	0.043	0.947	0.340	0.068	0.038	0.958
第 2 季	0.122	0.799	0.123	0.797	0.284	0.022	0.141	0.732
第 3 季	0.135	0.812	0.146	0.775	0.299	0.061	0.157	0.742
第 4 季	0.187	0.762	0.196	0.732	0.376	0.013	0.206	0.705
1 月	0.053	0.889	0.055	0.880	0.327	0.100	0.054	0.882
2 月	0.072	0.841	0.070	0.848	0.359	0.075	0.067	0.863
3 月	0.065	0.838	0.068	0.820	0.357	0.093	0.067	0.828
4 月	0.107	0.816	0.114	0.788	0.275	0.001	0.122	0.757
5 月	0.103	0.877	0.115	0.838	0.319	0.004	0.119	0.832
6 月	0.153	0.636	0.163	0.585	0.284	0.0003	0.169	0.556
7 月	0.153	0.689	0.159	0.665	0.332	0.031	0.163	0.646
8 月	0.175	0.644	0.176	0.642	0.329	0.014	0.189	0.585
9 月	0.165	0.631	0.169	0.611	0.274	0.013	0.185	0.530
10 月	0.189	0.534	0.199	0.487	0.302	0.0001	0.204	0.453
11 月	0.048	0.967	0.049	0.965	0.404	0.039	0.050	0.964
12 月	0.072	0.919	0.078	0.905	0.336	0.024	0.081	0.899

4-3 週期統計之分析與比較

由 4-1 節的分析結果可以得知，Erlang 分佈對於示性波高描述於所有區間，對於對應之週期分佈分析有不錯之結果。因此，本研究欲進一步建立 Erlang 理論分佈中的參數與頻譜矩的關係，期望提出經驗公式來正確的估算 Erlang 理論示性週期及平均週期所需之參數值，以便能由頻譜矩及 Erlang 參數來計算正確的理论示性週期及平均週期，而能更簡便的應用至波浪統計的研究上。

Erlang 理論分佈中的參數 α 與 λ 的比值，在其理論分佈中的定義為平均週期。如附圖 2-1 與附圖 2-18，分別代表安平港與臺北港，橫軸為實際波浪資料的平均週期，縱軸為 α/λ ，由附圖 2-1 與附圖 2-18 可以明顯看出 α/λ 與 \bar{T} 關係相當一致，其相關係數分別達到 0.976 與

0.846，而大部分的數據平均值分別落於 $Y = 1.041X - 0.047$ 與 $Y = 1.053X - 0.092$ 的最佳迴歸線上，此二港的迴歸直線斜率 1.041 與 1.053 皆接近於 1，而截距接近於 0。由頻譜矩 m_0 及 m_1 所計算出之 T_{01} 在定義上亦為平均週期，故本計劃利用 T_{01} 與 Erlang 理論分佈中的 α/λ 的關係，建立出月份、每季以及全年之計算 Erlang 理論參數的經驗公式；而 Erlang 理論中計算示性週期所需的實際週期統計週期值 $T_{2n/3}$ 亦可利用 T_{01} 與 $T_{2n/3}$ 之間的關係建立出月份、每季以及全年之計算 $T_{2n/3}$ 經驗公式，再以 T_{01} 代入 Erlang 理論參數與 $T_{2n/3}$ 的經驗公式推估 Erlang 理論分佈中計算示性週期所需參數，進一步推算出示性週期與平均週期，與實際週期所計算之 Erlang 理論之示性週期及平均週期比較，提供一較快速的方式，計算出相關的理論週期統計參數。

安平港以 2006 年 8 月、第 3 季以及全年的波浪資料建立推估月份、每季、全年 Erlang 理論參數之經驗公式；臺北港以 2006 年 12 月、第 3 季以及全年的波浪資料建立推估月份、每季、全年 Erlang 理論參數之經驗公式，示如附圖 2-2 至 2-4 與附圖 2-19 至 2-21。若假設其理論參數 α/λ 與頻譜矩 m_0 及 m_1 所計算出的平均週期 T_{01} 成線性關係，其表示如下：

$$\frac{\alpha}{\lambda} = A \cdot T_{01} + B \quad (4-1)$$

其中 A 、 B 為待定之係數值， α/λ 、 T_{01} 單位為 sec。

附圖 2-2 至附圖 2-4 為安平港利用式(4-1)迴歸月份、每季及全年之 α/λ 與 T_{01} 的關係圖，其 R^2 分別為 0.959、0.951、0.936；附圖 2-19 至附圖 2-21 則為臺北港迴歸月份、每季及全年之 α/λ 與 T_{01} 的關係圖，其 R^2 分別為 0.846、0.947、0.935，其中資料點為 T_{01} 所對照之 α/λ 值，實線為迴歸曲線，可得到計算月份、每季、全年之 α/λ 的經驗公式，安平港部份分別如下：

$$\left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)_m = 0.959 \cdot T_{01} + 0.218 \quad (4-2)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)_s = 0.951 \cdot T_{01} + 0.273 \quad (4-3)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)_y = 0.93 \cdot T_{01} + 0.381 \quad (4-4)$$

臺北港部份如下：

$$\left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)_m = 0.983 \cdot T_{01} + 0.085 \quad (4-5)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)_s = 0.951 \cdot T_{01} + 0.253 \quad (4-6)$$

$$\left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)_y = 0.952 \cdot T_{01} + 0.253 \quad (4-7)$$

若假設 T_s 與理論平均週期 \bar{T}^E 成線性關係表示如下：

$$T_s = C \cdot \bar{T}^E + D \quad (4-8)$$

其中 C 、 D 為待定之係數值， T_s 、 \bar{T}^E 單位為 sec， \bar{T}^E 等同 T_{01} 。

附圖 2-5 至附圖 2-7 與附圖 2-22 至附圖 2-24 為分別利用式(4-8)迴歸月份、每季、全年 T_s 與 \bar{T}^E 之關係圖，其 R^2 分別為分別為 0.982、0.983、0.976，其中數據點為 \bar{T}^E 所對照之 T_s 值，實線為迴歸曲線，可得到計算月份、每季、全年之 T_s 的經驗公式，安平港部份如下：

$$(T_s)_m = 0.939 \cdot \bar{T}^E + 0.234 \quad (4-9)$$

$$(T_s)_s = 0.948 \cdot \bar{T}^E + 0.143 \quad (4-10)$$

$$(T_s)_y = 0.937 \cdot \bar{T}^E + 0.191 \quad (4-11)$$

臺北港部份則如下：

$$(T_s)_m = 0.898 \cdot \bar{T}^E + 0.476 \quad (4-12)$$

$$(T_s)_s = 0.922 \cdot \bar{T}^E + 0.254 \quad (4-13)$$

$$(T_s)_y = 0.924 \cdot \bar{T}^E + 0.249 \quad (4-14)$$

利用前述推導出的經驗公式，可推估出月份、每季、全年之 Erlang 理論參數，進一步可推算出 Erlang 理論週期統計參數；而其與實際週期所計算出的理論週期統計參數之比較，在下一節有較詳細的討論。

4-4 推估週期與實際週期之比較

本研究利用前述所建立之經驗公式，以 T_{01} 代入後推求出 Erlang 理論中的相關參數，進一步計算其理論示性週期以及平均週期，並與實際週期所計算之結果比較，分別以月份、每季、全年討論其季節性分析結果。

附圖 2-8 與 2-25 之橫座標 T_{sp} 為分別利用安平港 2006 年 8 月與 2006 年 12 月的波浪資料經由式(4-2)及(4-9)與(4-5)及(4-12)之迴歸公式計算所得的參數所推估之 Erlang 理論示性週期，縱軸為統計計算所得的 Erlang 理論示性週期。由附圖 2-8 可觀察出安平港大部分的數據值落點於 $Y=1.321X-0.524$ 的最佳迴歸線上，其相關係數達到 0.954；而附圖 2-25 可觀察出臺北港的數據值落點於 $Y=1.409X-0.901$ 的最佳迴歸線上，其相關係數也達到 0.879。而附圖 2-9 則為安平港 9 月波浪資料所計算之週期分析結果，其最佳迴歸線的斜率 1.359 以及截距-0.678；附圖 2-26 為臺北港部份，最佳迴歸線的斜率 1.331 以及截距-0.407。就推估值與實際值之間的相關性來說，可以分別得到不錯的推估結果。

附圖 2-10 至附圖 2-11 與附圖 2-27 至附圖 2-28 之橫座標，為利用推估之理論參數所分別計算安平港 8 月及 9 月與臺北港 12 月及 11 月之 Erlang 理論平均週期，縱軸為實際週期推算所得的理論平均週期。由附圖 2-10 至附圖 2-11 與附圖 2-27 至附圖 2-28 可看出兩者關係相當一致，其相關係數分別達到 0.982、1.0 與 0.953、0.961，由此可知，經由推估參數所計算之理論平均週期與實際理論平均週期相當近似。

附圖 2-12 與 2-29 之橫座標為分別利用安平港與臺北港 2006 年第 3 季的波浪資料經由式(4-3)、(4-10)與(4-6)、(4-13)之迴歸公式計算

所得的參數所推估之 Erlang 理論示性週期，縱軸為統計計算所得的 Erlang 理論示性週期。由附圖 2-12 與 2-29 可知其相關係數達到 0.956 與 0.954。附圖 2-13 與 2-30，則為 2006 年安平港與臺北港第 4 季波浪示性週期分析結果，其相關係數達到 0.928 與 0.9，就其相關性來說，以本研究建立之方法所推算之理論值應可作為波浪統計應用上之參考依據。

附圖 2-14、2-15 與附圖 2-31、2-32 之橫座標為利用推估之理論參數所計算第 3 季及第 4 季之 Erlang 理論平均週期，縱軸為實際週期推算所得的理論平均週期。由附圖 2-14、2-15 與附圖 2-31、2-32 之相關係數分別達到 0.983、0.960 與 0.979、0.959，由此可知，經由推估參數可以計算出與實際理論平均週期相似之理論平均週期。

附圖 2-16 與 2-33 之橫座標為利用安平港與臺北港 2006 年全年的波浪資料經由式(4-4)、(4-11)與式(4-7)、(4-14)迴歸公式計算所得的參數所推估之 Erlang 理論示性週期，縱軸為統計計算所得的 Erlang 理論示性週期。附圖 2-16 與附圖 2-33 之相關係數為 0.942 與 0.959；附圖 2-17 與附圖 2-34 之橫軸為 Erlang 理論平均週期，縱軸為實際週期推算所得的理論平均週期，其相關係數約為 0.976 與 0.944。由此可知，經由推估參數所計算之理論平均週期與實際理論平均週期在計算結果上相當近似。

第五章 波高週期聯合分佈

5-1 頻譜說明

由前式(2-1)可知 m_n 為第 n 階的頻譜矩(spectral moment)，又可利用式(2-25)計算出頻寬參數 ν ，範圍通常介於 0 至 1，對窄頻(narrow spectral)而言，當 ν 值會接近於 0 時，波浪能量會接近於主頻率附近，此時波浪會呈現相似的頻率，且最高與最低相位的位置會和波峰與波谷有關係，並呈現對稱，如圖 5-1。 ν 值越大與寬頻(wide spectral)有一定的相關，此時波浪能量會分散於個頻率之中，並且因此有可能出現複合的尖峰值，如圖 5-2。

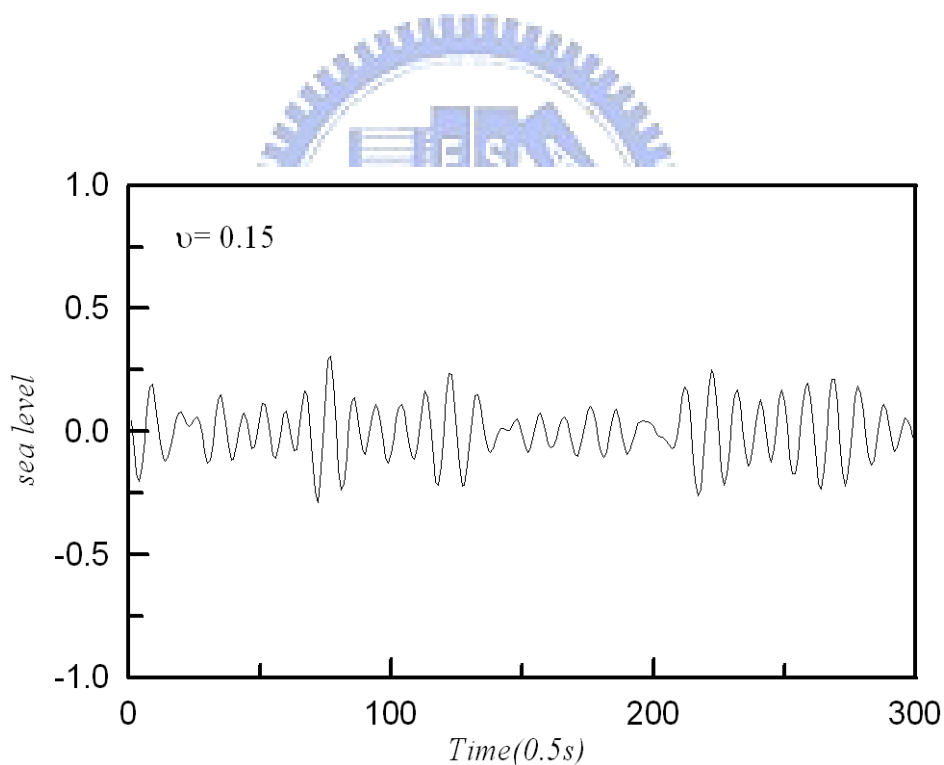


圖 5-1 窄頻時的水位訊號

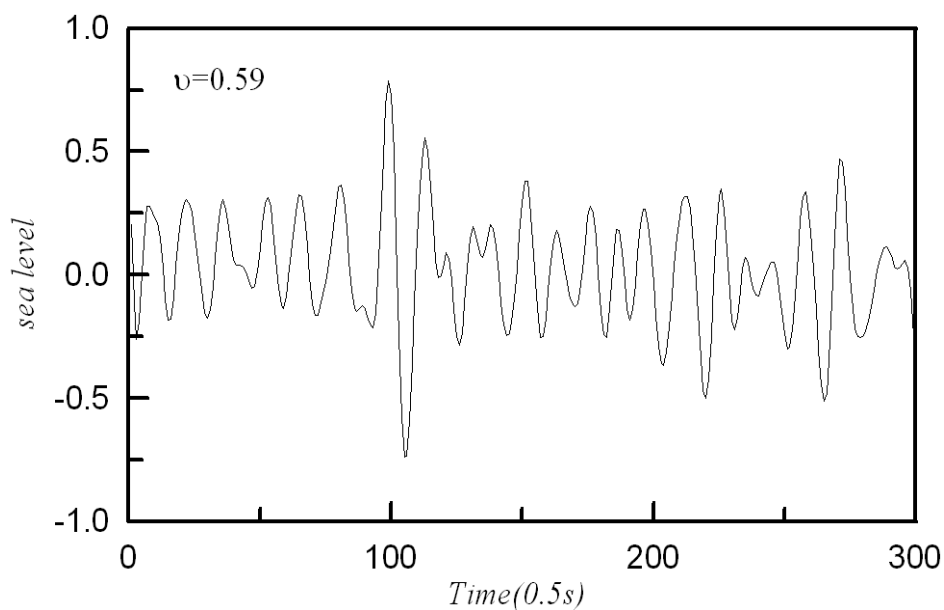


圖 5-2 寬頻時的水位訊號

由前面章節得知，示性波高與 $\sqrt{m_0}$ 成正比，Vandever(2006)也認為理論值與統計值的之示性波高 H_s 比值，會與頻寬參數有一定程度的關係。如圖 5-3 至圖 5-5 為安平港、臺北港與花蓮港頻寬參數 ν 與 H_{m0}/H_s 之關係圖，其中 H_{m0} 為經驗式所推算的示性波高， H_s 為統計值所得的示性波高，安平港與臺北港的 R^2 在 0.13 左右並呈現正相關，而花蓮港為負相關($R^2=0.021$)。圖 5-6 至圖 5-8 為此三港的頻寬參數與 $H_s/\sqrt{m_0}$ 之關係，可以看出安平港與臺北港的資料大部份集中在 4~5 之間，明顯高於 Rayleigh 與 Weibull 的理論值常數，花蓮港則集中在 3~4 之間，但其相關性仍偏低。

其主要原因可能安平港與臺北港的頻寬參數 ν 大部份都比花蓮港來得大，所以也可以驗證 Vandever(2006)所提出的看法，經驗式的求得的示性波高比較適用於窄頻的波浪部份，對於寬頻的部份則容易產生高估的示性波高。

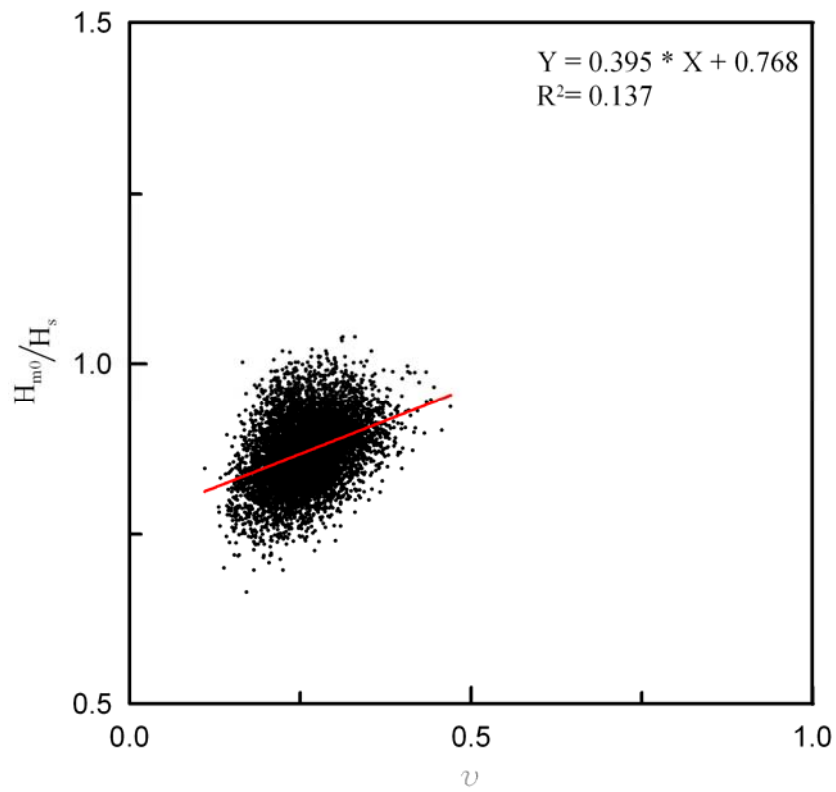


圖 5-3 安平港的頻寬參數與 H_{m0}/H_s 之關係圖

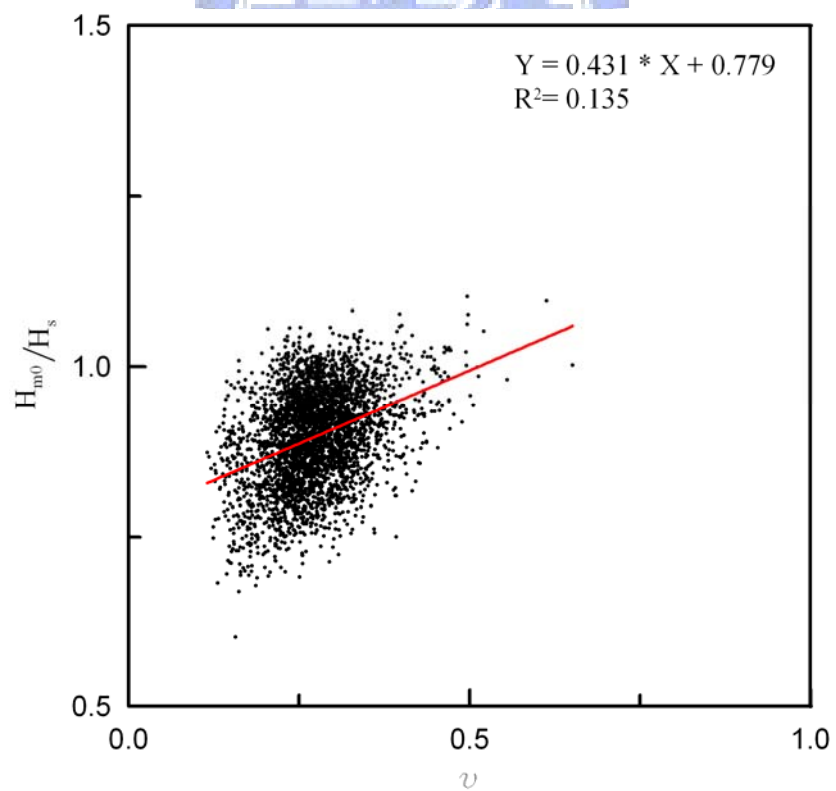


圖 5-4 臺北港的頻寬參數與 H_{m0}/H_s 之關係圖

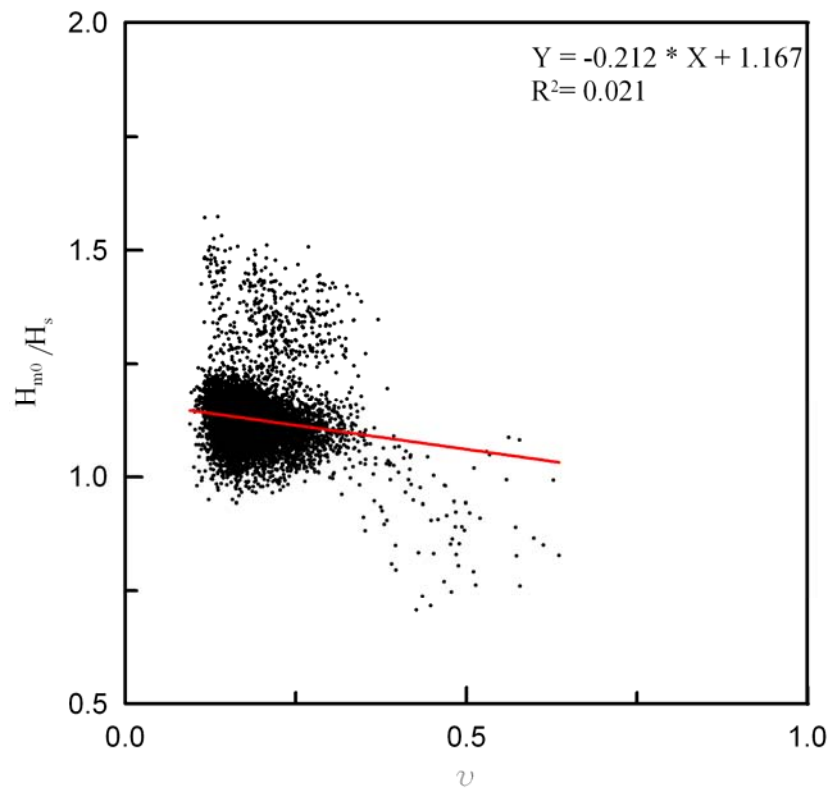


圖 5-5 花蓮港的頻寬參數與 H_{m0}/H_s 之關係圖

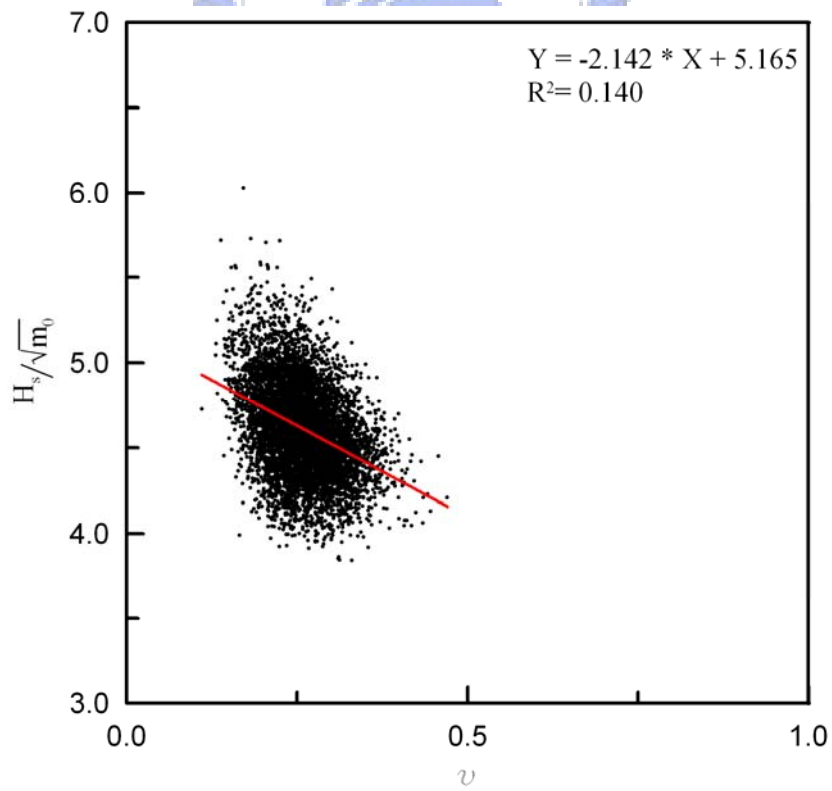


圖 5-6 安平港的頻寬參數與 $H_s/\sqrt{m_0}$ 之關係圖

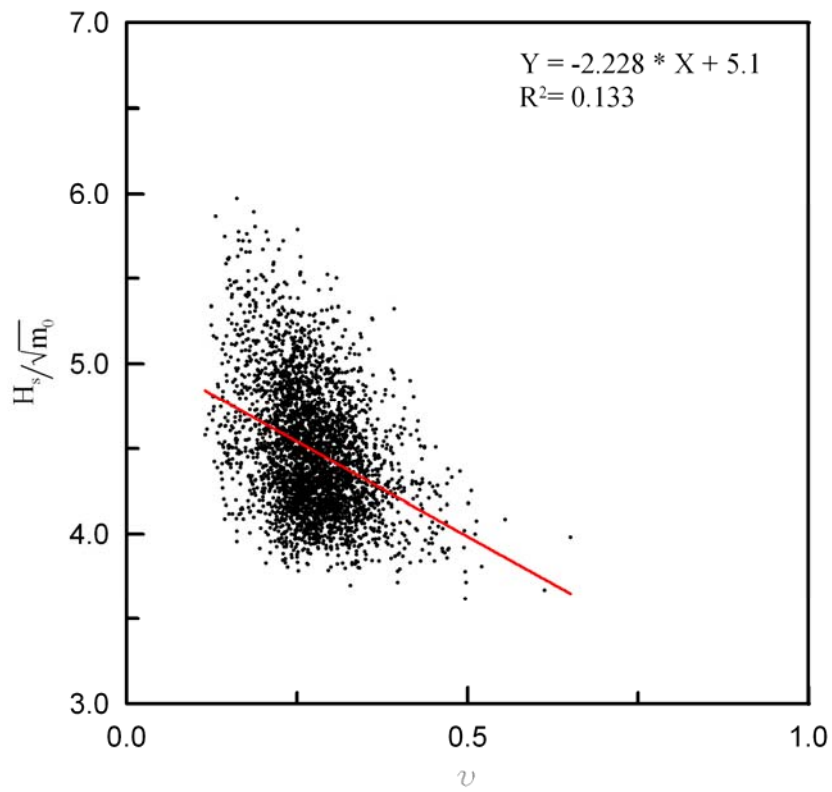


圖 5-7 安平港的頻寬參數與 $H_s/\sqrt{m_0}$ 之關係圖

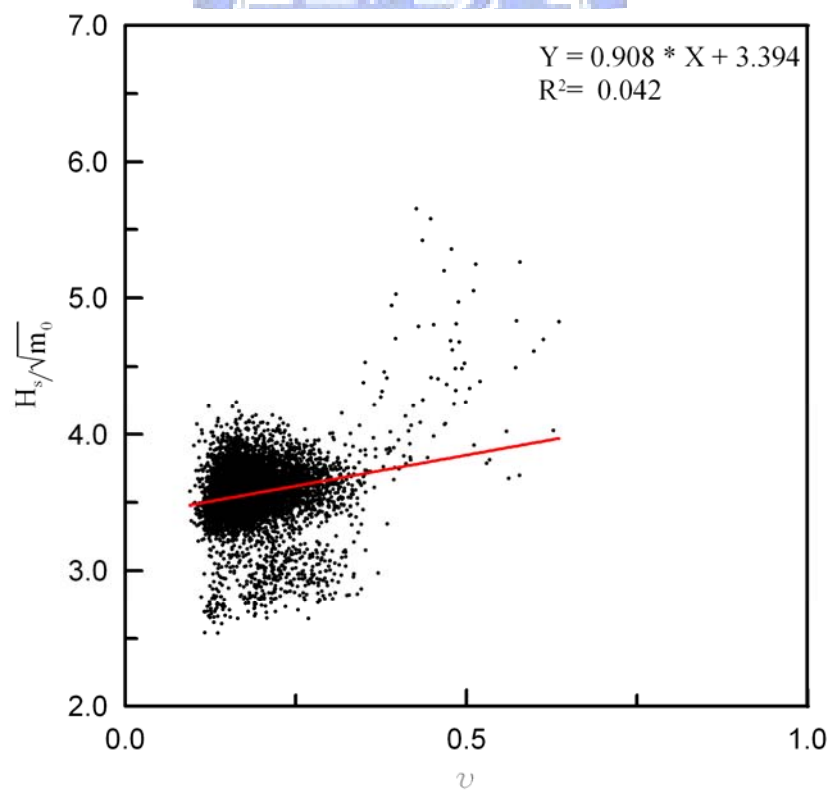


圖 5-8 花蓮港的頻寬參數與 $H_s/\sqrt{m_0}$ 之關係圖

在最大波高 H_{max} 部份，如圖 5-9 至圖 5-11，可以看出此三個港的 H_{max}/H_s 基本上是維持一個定值，其平均值約在 1.5~1.6，與合田(1990)提出的 1.6~2.0 的範圍相符。

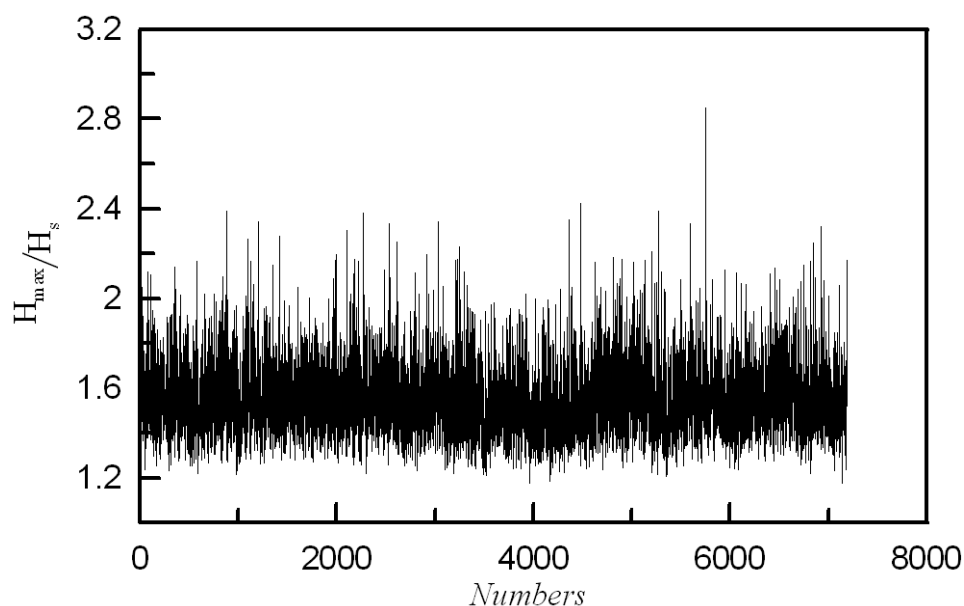


圖 5-9 安平港全年各筆波高資料 H_{max}/H_s 分佈圖

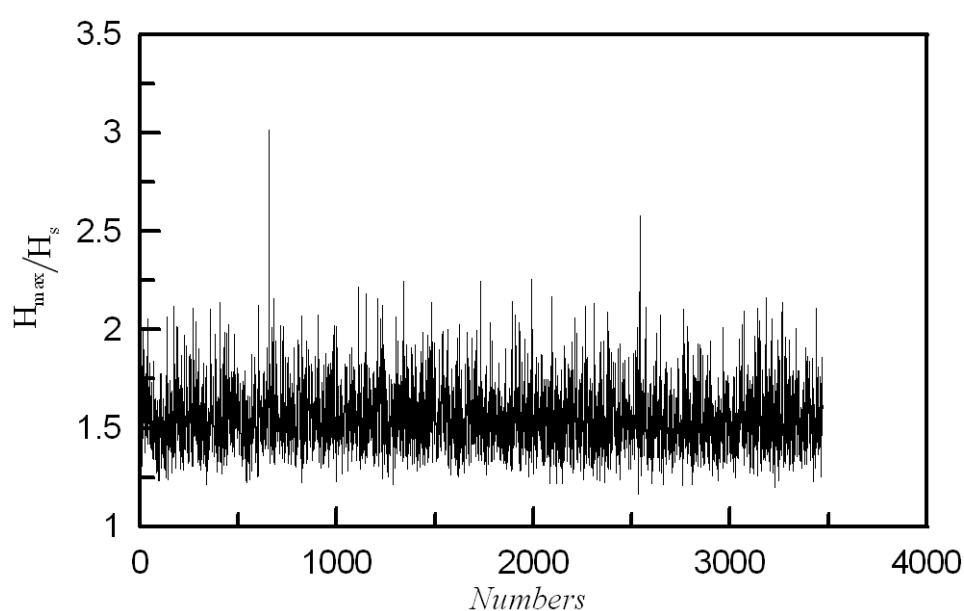


圖 5-10 臺北港全年各筆波高資料 H_{max}/H_s 分佈圖

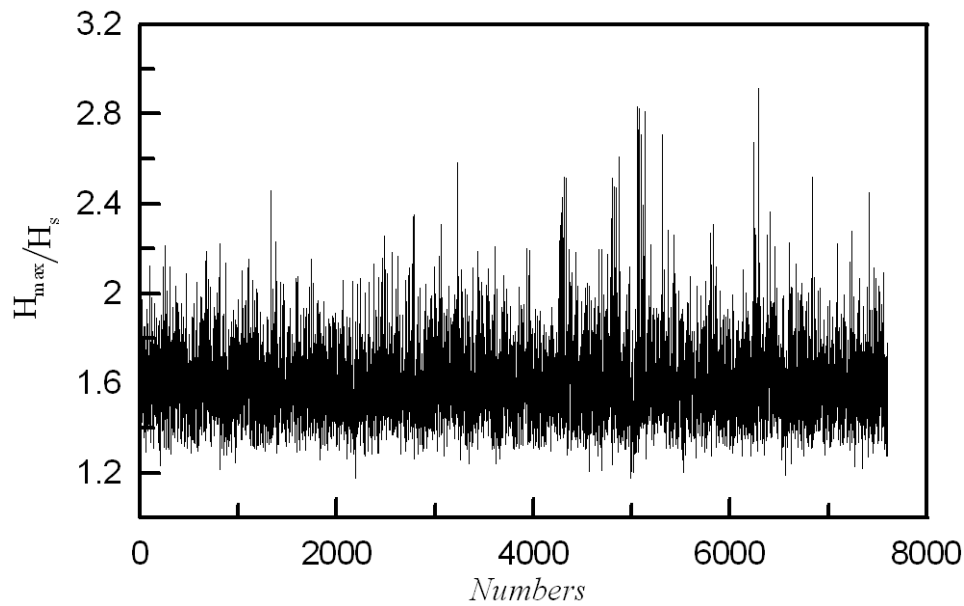


圖 5-11 花蓮港全年各筆波高資料 H_{\max}/H_s 分佈圖

5-2 波高週期聯合分佈

以安平港、臺北港與花蓮港的全年資料，依據第 2-3-2 節的步驟，按月份進行分析比較，可得每月的分析結果，如表 5-1 至表 5-3 所示。根據 MSE 與 R^2 等參數判斷，安平港 Longuest-Higgins 的聯合機率密度之 R^2 約在 0.09~0.21，而 Cavanié 的聯合機率密度分佈其 R^2 值約在 0.57~0.68 左右，明顯大幅優於 Longuest-Higgins。以安平港一月份資料來做說明，由圖 5-12 至圖 5-14 了解 Longuest-Higgins 機率值其結果會比實際值高估許多，雖 Cavanié 計算出來的峰值部份仍然比實際值略高，但整體分佈形狀與實際值較相似。圖 5-15 為實際值之波高週期聯合機率分佈平面圖，圖 5-16 至圖 5-17 為 Longuest-Higgins 與 Cavanié 的波高週期聯合機率分佈平面圖，由平面圖的顏色分佈也可以證實 Cavanié 的結果優於 Longuest-Higgins。其他月份的平面圖皆置放於附表 3。

臺北港 Longuest-Higgins 的聯合機率密度之 R^2 則在 0.12 以下，而 Cavanié 的聯合機率密度除 4 月以外，其餘皆在 0.33 以上。花蓮港 7 月份 Longuest-Higgins 的聯合機率密度呈現負相關，其餘 R^2 皆在 0.1 以下；Cavanié 的聯合機率密度除 7 月至 9 月之 R^2 在 0.13 以下，其餘月份皆在 0.35 以上。

表 5-1 2006 年安平港各月份實際值與理論值之聯合機率評估結果

月份	Longuest-Higgins(1983)		Cavanié et. al.(1976)	
	MSE	R^2	MSE	R^2
1	0.081	0.099	0.033	0.610
2	0.101	0.136	0.035	0.676
3	0.113	0.122	0.042	0.669
4	0.096	0.097	0.039	0.658
5	--	--	--	--
6	0.092	0.218	0.018	0.570
7	0.092	0.218	0.019	0.570
8	0.095	0.160	0.023	0.627
9	0.097	0.099	0.033	0.604
10	0.089	0.089	0.037	0.605
11	0.085	0.100	0.035	0.684
12	0.101	0.142	0.037	0.659

表 5-2 2006 年臺北港各月份實際值與理論值之聯合機率評估結果

月份	Longuest-Higgins(1983)		Cavanié et. al.(1976)	
	MSE	R^2	MSE	R^2
1	--	--	--	--
2	--	--	--	--
3	0.028	0.021	0.017	0.327
4	0.030	0.035	0.023	0.195
5	--	--	--	--
6	0.008	0.005	0.027	0.411
7	0.024	0.016	0.020	0.356
8	0.018	0.123	0.024	0.335
9	0.031	0.015	0.016	0.336
10	--	--	--	--
11	0.032	0.025	0.019	0.411
12	0.036	0.035	0.016	0.397

表 5-3 2004 年花蓮港各月份實際值與理論值之聯合機率評估結果

月份	Longuest-Higgins(1983)		Cavanié et. al.(1976)	
	MSE	R^2	MSE	R^2
1	0.059	0.117	0.020	0.621
2	0.059	0.134	0.020	0.605
3	0.063	0.141	0.022	0.646
4	0.053	0.086	0.019	0.555
5	0.049	0.046	0.024	0.358
6	0.049	0.036	0.019	0.349
7	0.003	0.024	0.006	0.056
8	0.003	0.012	0.006	0.204
9	0.052	0.0001	0.017	0.131
10	0.040	0.114	0.012	0.462
11	0.060	0.124	0.019	0.599
12	0.063	0.162	0.017	0.587

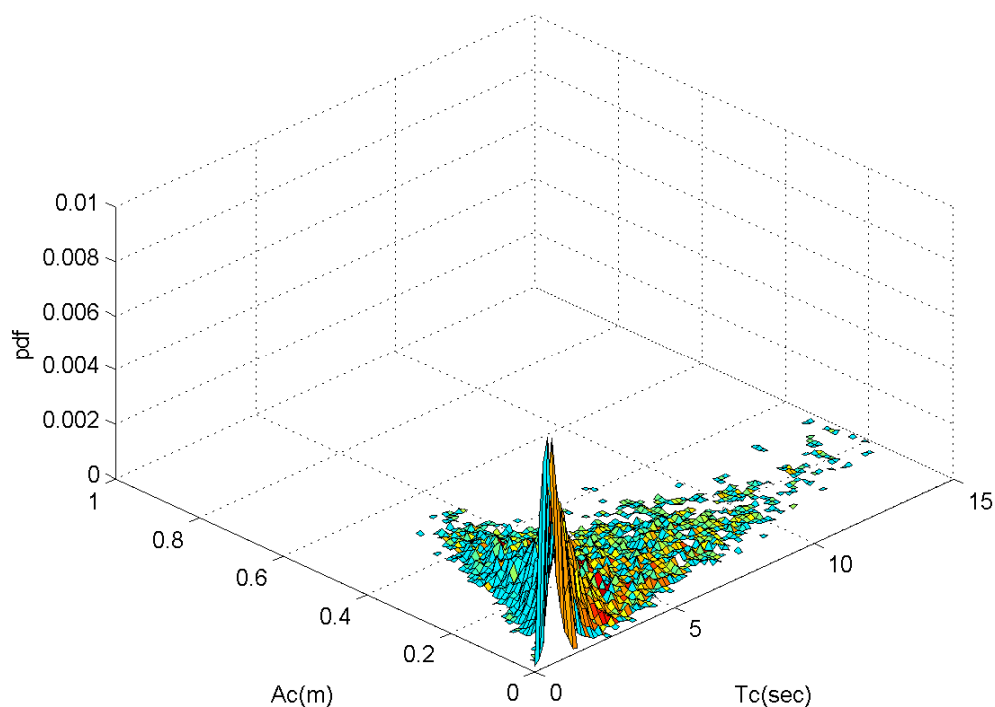


圖 5-12 2006 年安平港一月份實測值之波高週期聯合機率分佈立體圖

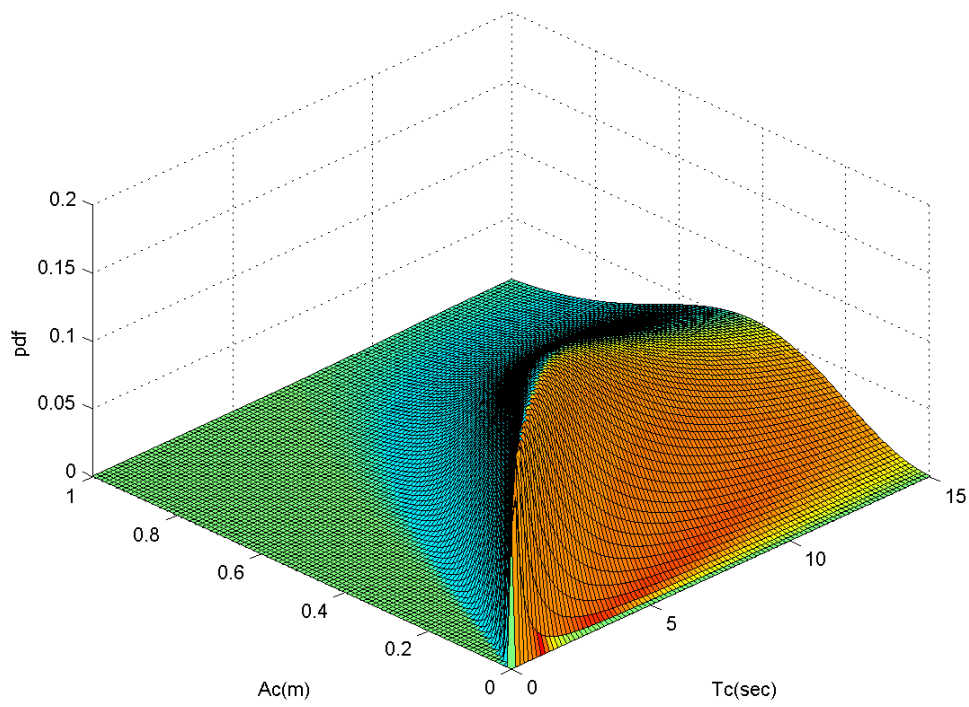


圖 5-13 2006 年安平港一月份 L-H 波高週期聯合機率分佈立體圖

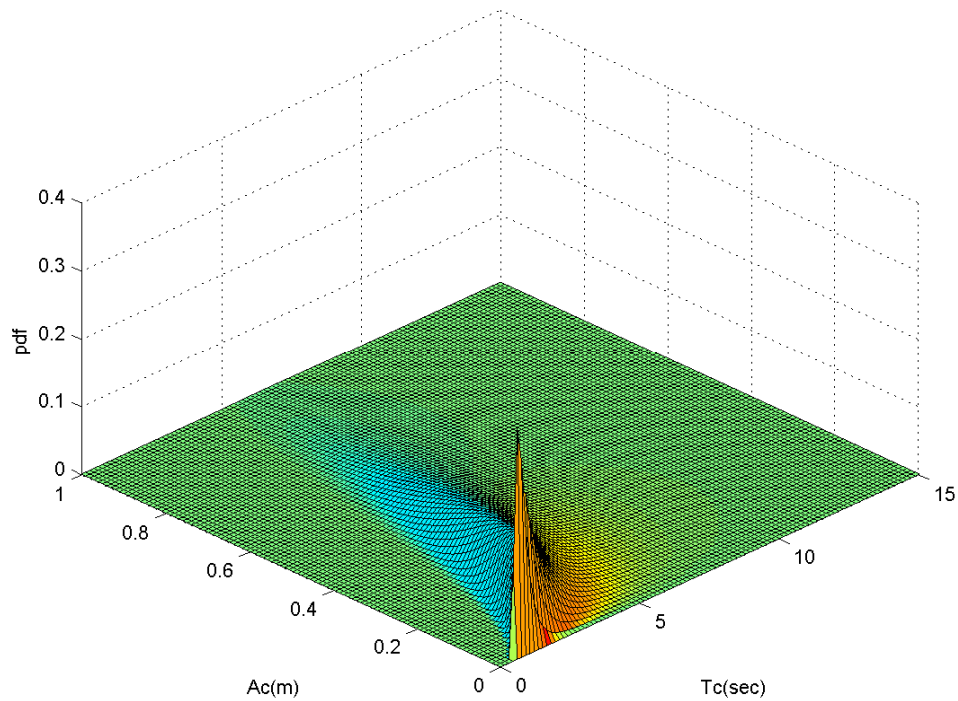


圖 5-14 2006 年安平港一月份 Cavanié 波高週期聯合機率分佈立體圖

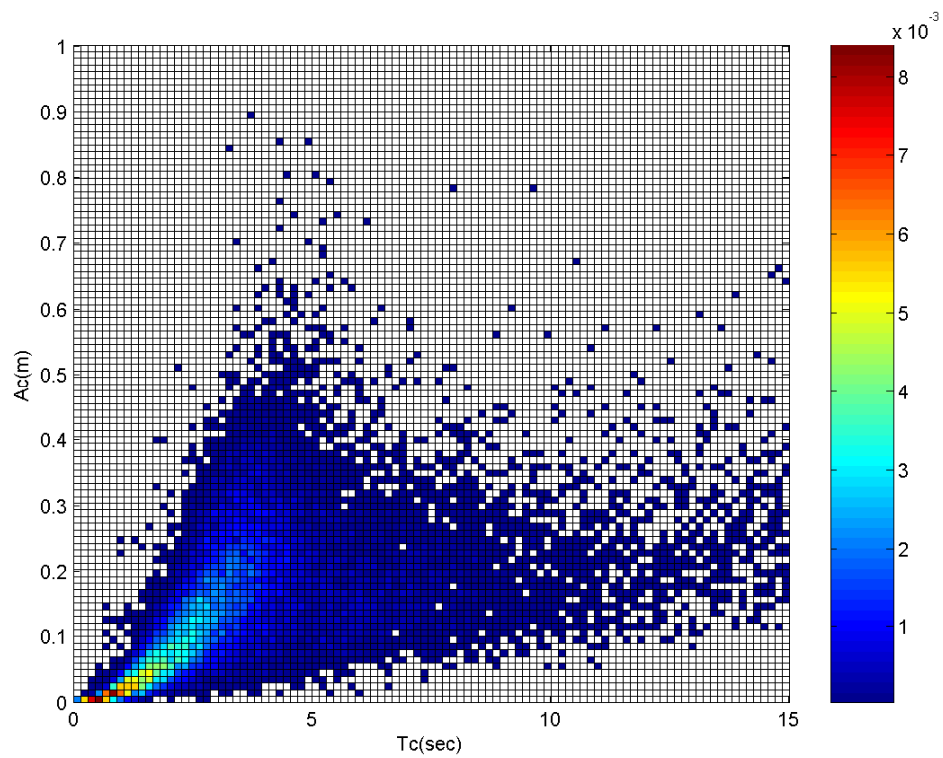


圖 5-15 2006 年安平港一月份實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖

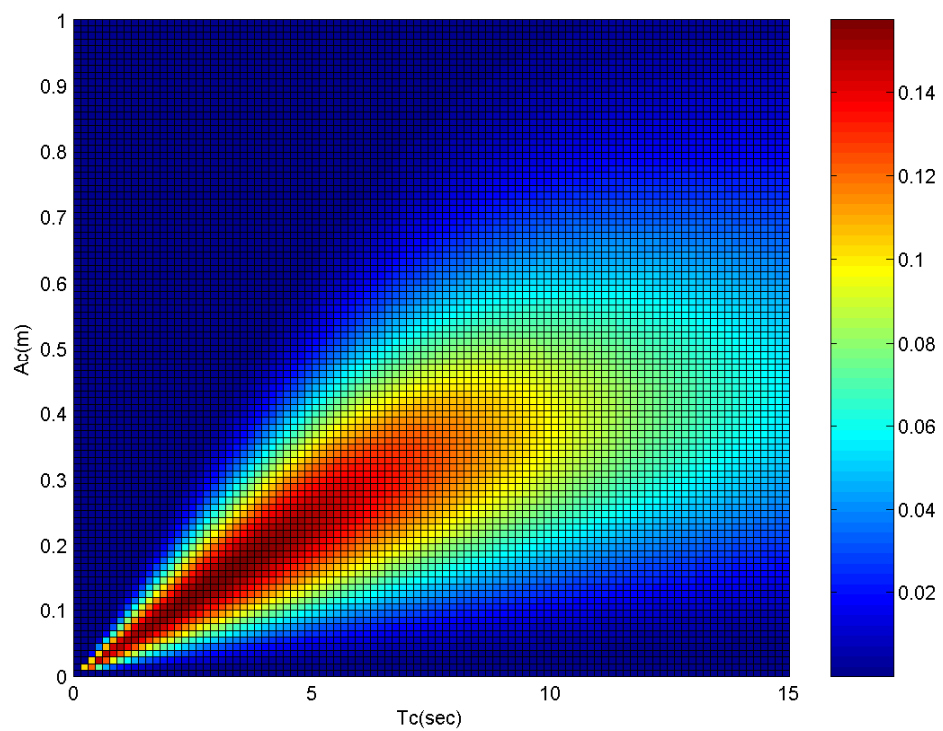


圖 5-16 2006 年安平港一月份 L-H 波高週期聯合機率分佈平面圖

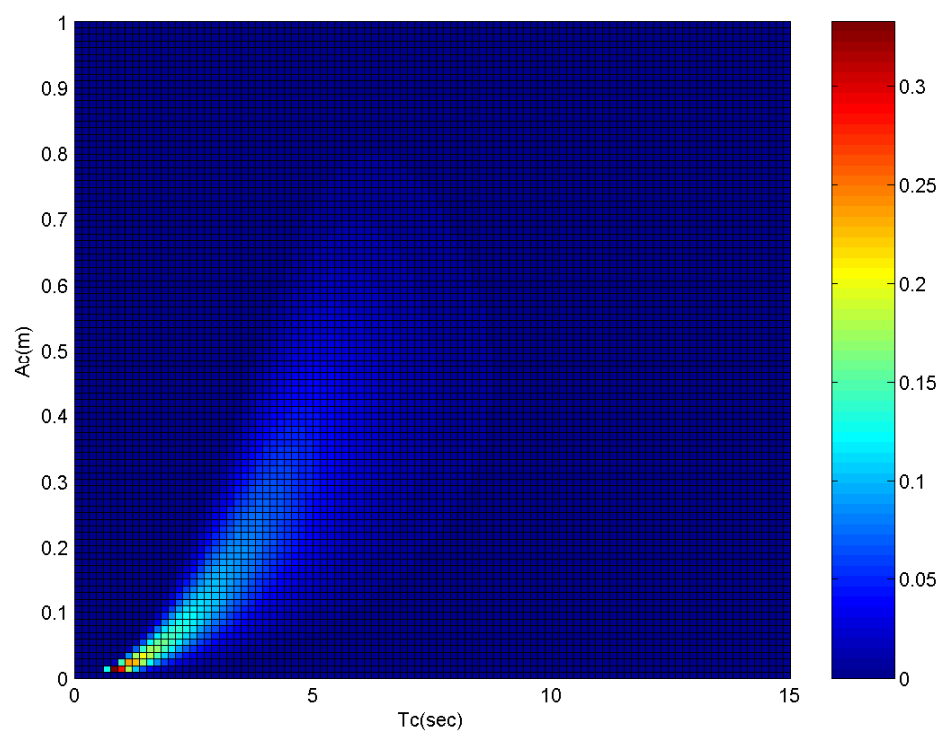


圖 5-17 2006 年安平港一月份 Cavanié 波高週期聯合機率分佈平面圖



第六章 結果與討論

本研究以安平港與臺北港的實測波浪數據，進行波高與週期之直方圖與機率密度的計算，對於波高與週期則選定各四種機率分佈，以相關統計參數，分別為誤差均方根(MSE)、相關性(R^2)、離島型直方圖($P_i=0$)與判斷是否為雙峰直方圖($|P_i-P_j|>1/N$)等四種參數來探討最適之機率分佈特性和最佳分組組數。用來決定最佳組數與最適之機率分佈，並以此探討波高與週期之統計特性。

根據波高分析結果，驗證出安平港與臺北港之波高分佈較近似於 Weibull 分佈，波高直方圖適合分組組數大概介於 5 至 8 組。依其分佈特性，並以最大概似法估其參數，可由參數計算出相關理論波高統計值，如 H_s 、 \bar{H} 、 H_{max} 與 H_{rms} ，經與實際波高統計值比較分析後，以 Weibull 分佈所計算而得之理論 H_s ，與實際波高 H_s 甚為接近。因此進一步建立其它相關波高統計值與 H_s 之關係，其關係一旦建立，即可藉 H_s 以推得其它波高統計值，並了解安平與臺北海域之波高統計特性及以 Weibull 分佈理論計算的可行性。

另外於週期之分析結果，安平港不論在全年、每季或是每月的波浪資料中，波高分佈小於 3.0m 以下，適合分組數為 5 組。波高小於 0.5m 者，其最佳分佈為 Gamma，大於 0.5m 之最佳分佈則為 Erlang；臺北港適合分組數為 5-8 組，波高小於 1.0m 者，最佳分佈 Gamma，大於 1.0m 之最佳分佈則為 Erlang。故在比較各種評估參數後，最適分佈為 Erlang。本研究亦所提出之季節性 Erlang 理論參數經驗公式，藉由頻譜矩 T_{01} 計算出 Erlang 理論示性週期以及平均週期所需之參數，可大略地推算其理論週期統計參數。

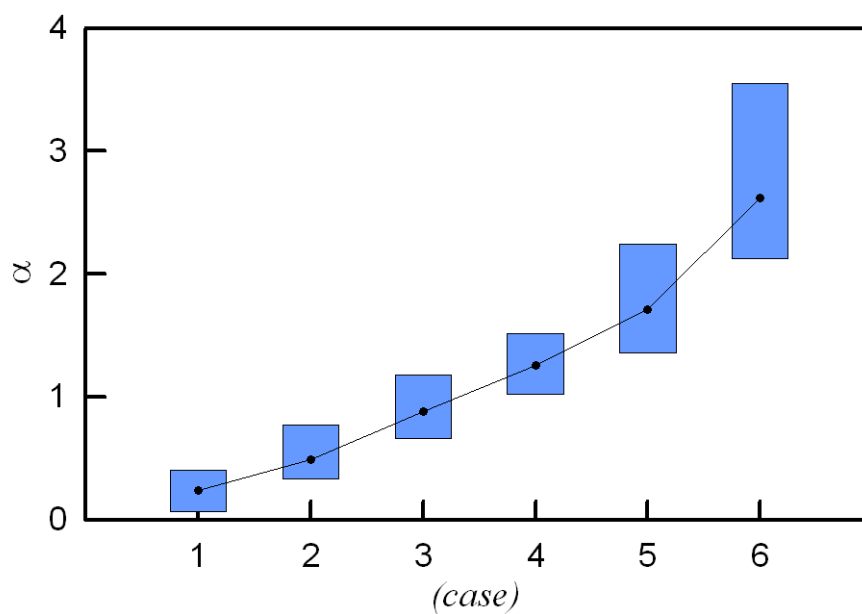
在頻譜分析方面，除了分析安平港與臺北港外，還增加花蓮港部份進行比較，證實 Rayleigh 與 Weibull 理論經驗式求得的示性波高適用於窄頻的波浪部份，對於寬頻的波浪容易產生高估。而聯合機率密度分佈的分析結果，可以得知 Cavanié 的聯合機率密度分佈優於 Longuest-Higgins 的聯合機率密度分佈，但實際值的峰值仍比理論值來得低，以上結果可做為波浪統計上以及海岸工程上的應用參考。

參考文獻

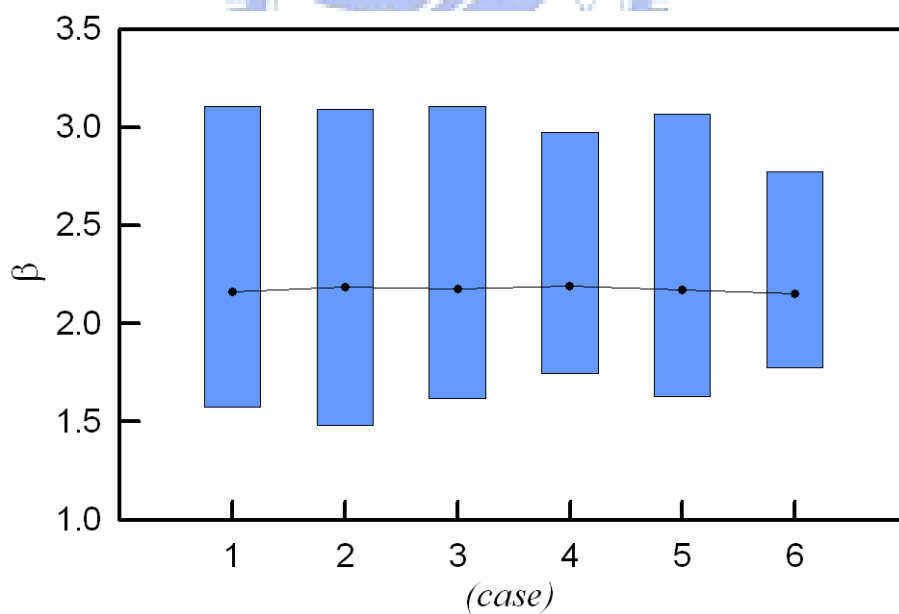
1. 吳兆欣 (1994)「臺灣西南海域波高分佈特性」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
2. 溫博文 (1996)「臺灣近海波譜模式之研究」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文。
3. 曹登皓、張佳哲 (2000)「非高斯統計特性對波高-週期聯合分佈之影響」，第二十二屆海洋工程研討會論文集，第 47-53 頁。
4. 郭一羽 (2001)「海岸工程學」，文山書局。
5. 江俊銘 (2006)「花蓮港海域波浪之波高分佈及其統計特性研究」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文。
6. 蔡弘偉 (2006)「花蓮港海域波浪之週期分佈及其統計特性研究」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文。
7. 合田良實 (1990)，「港灣結構物の耐波設計」，鹿島出版會。
8. Bretschneider, C.L., (1959) "Wave variability and wave spectra for wind generated gravity waves," Tech. Rep., *US Army Beach Erosion Board*. No. 118.
9. Cavanié, A., Arhan M., and Ezraty, R., (1976) "A statistical relationship between individual heights and periods of storm waves," *Proc. Conf. Behavior of Offshore Structures, Trondheim, Norway, Norwegian Inst. of Tech*, pp. 354-360.
10. Erlang, A.K., (1917) "Solution of some Problems in the Theory of Probabilities of Significance in Automatic Telephone Exchanges," *Elektroteknikeren*, 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. Goda, Y. (2000) *Random seas and design of maritime structures*, World Scientific.
13. Longuet-Higgins, M. S., (1952) "On the statistical distribution of the heights of sea waves," *J. Marine, Res.*, Vol. 9, pp. 245-265.
14. Longuet-Higgins, M. S., (1983) "On the joint distribution of wave periods and amplitudes in a random wave fields." *Proceedings of the Royal Society of London*, Vol. 389, pp. 241-258.
15. Mitsuyasu, H. et al., (1975) "Observations of the directional spectrum of ocean waves using a cloverleaf buoy," *J. Phys. Oceanogr.*, Vol. 5, pp.750-760.
16. Nair, N. U., Muraleedharan, G. and Kurup, P.G., (2003) "Erlang distribution model for ocean wave periods," *J. Ind. Geophys. Union* Vol.7, No. 2, pp. 59-70.
17. 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.
18. Satheesh, S.P., Praveen, V.K., Jagadish Kumar, V., Muraleedharan, G. and Kurup, P.G., (2005) "Weibull and Gamma distribution for Wave Parameter Predictions," *J. Ind. Geophys. Union*, Vol. 9, No. 1 , pp. 55-64 .
19. Vandever, J. P., E. M. Siegel, J. M. Brubaker, C. T. Friedrichs, (2006) "Evaluation of wave parameter estimates in coastal environments," *Ocean Sciences*.
20. Wilson, J. R. and W. B. Barid (1972) "A discussion of some measured wave data," *Proc. 13th Conf. on Coastal Eng.*, pp.113-13.

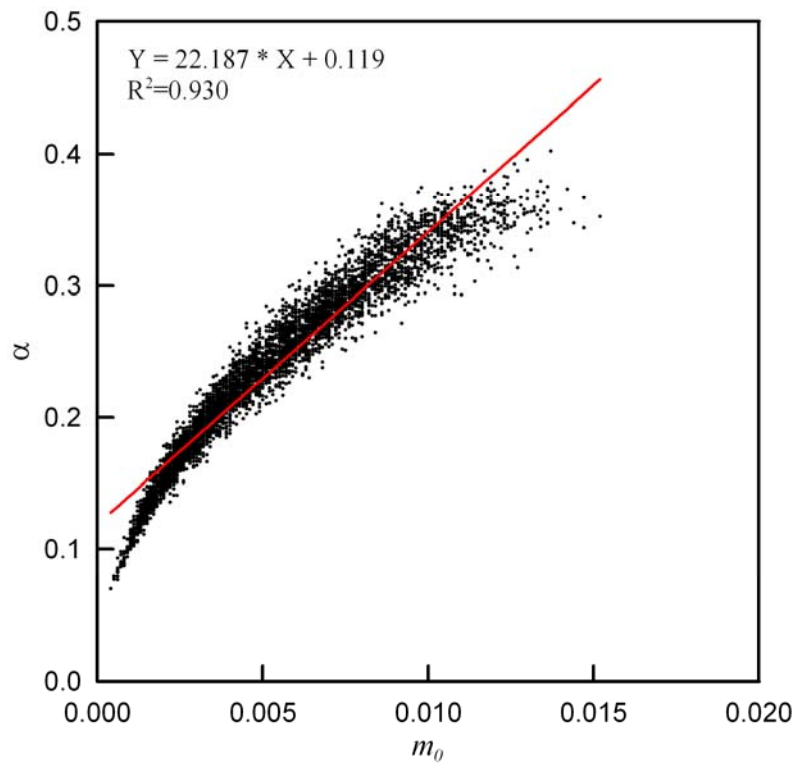
附圖 1 安平港波高特性分析



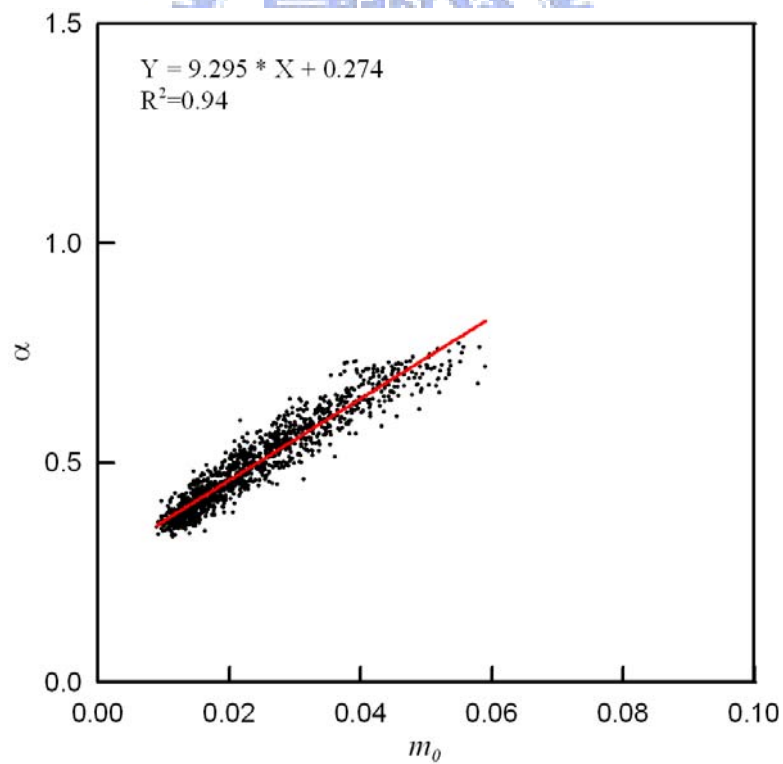
附圖 1-1 安平港波高各區間 Weibull 分佈之 α 分佈範圍



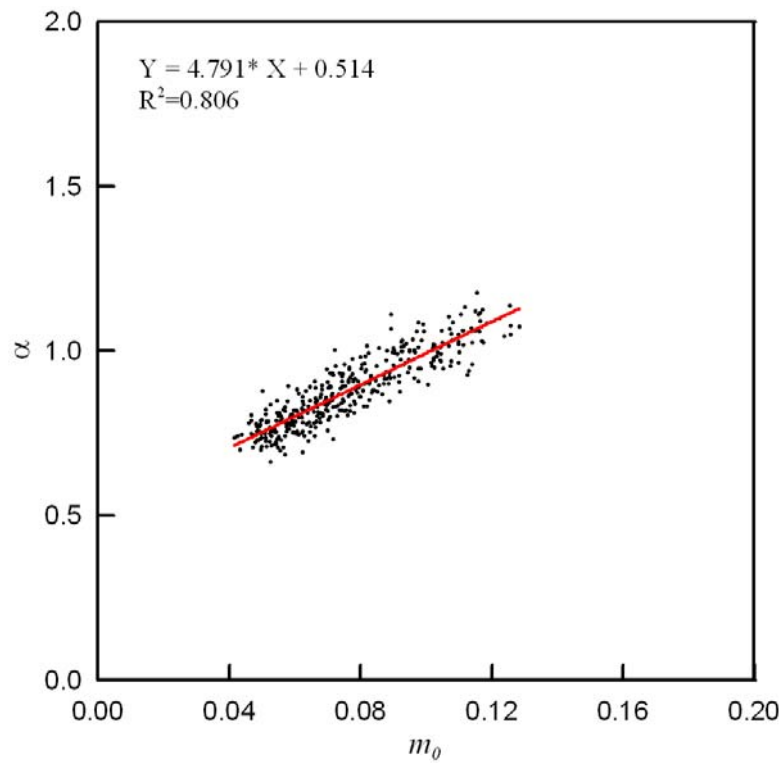
附圖 1-2 安平港波高各區間 Weibull 分佈之 β 分佈範圍



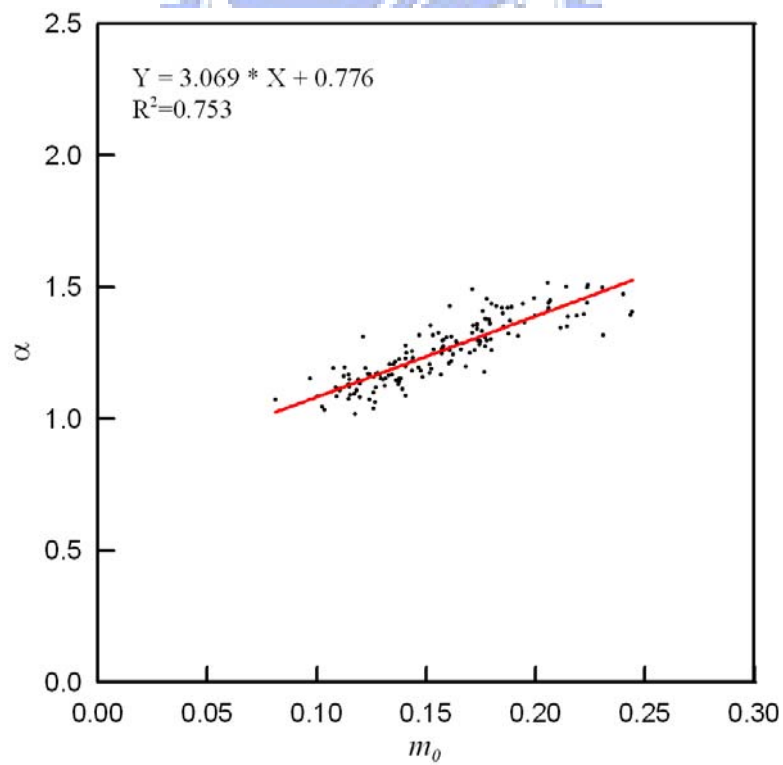
附圖 1-3 安平港波高之 m_0 與 α 關係($H_s < 0.5\text{m}$)



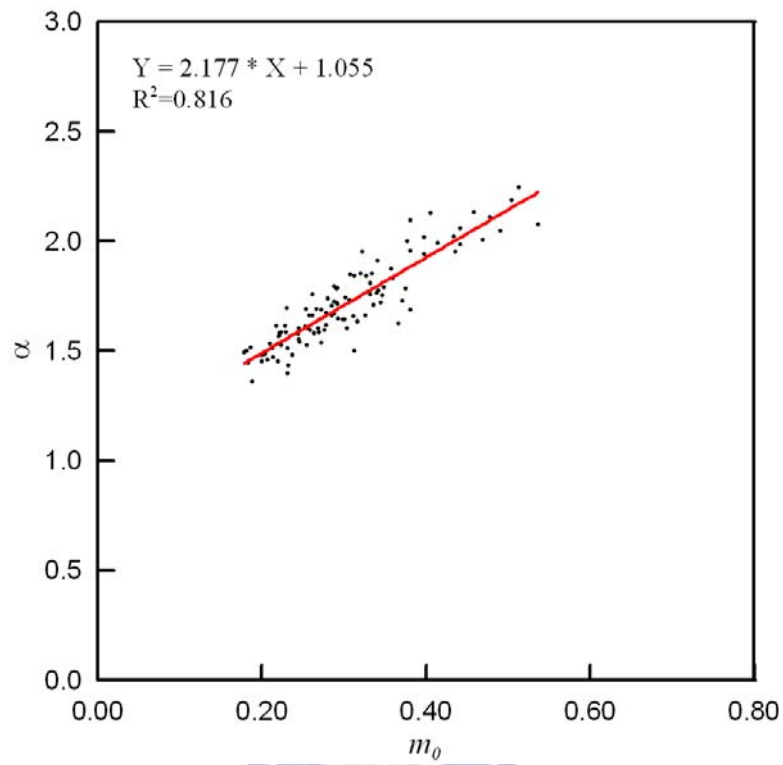
附圖 1-4 安平港波高之 m_0 與 α 關係($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)



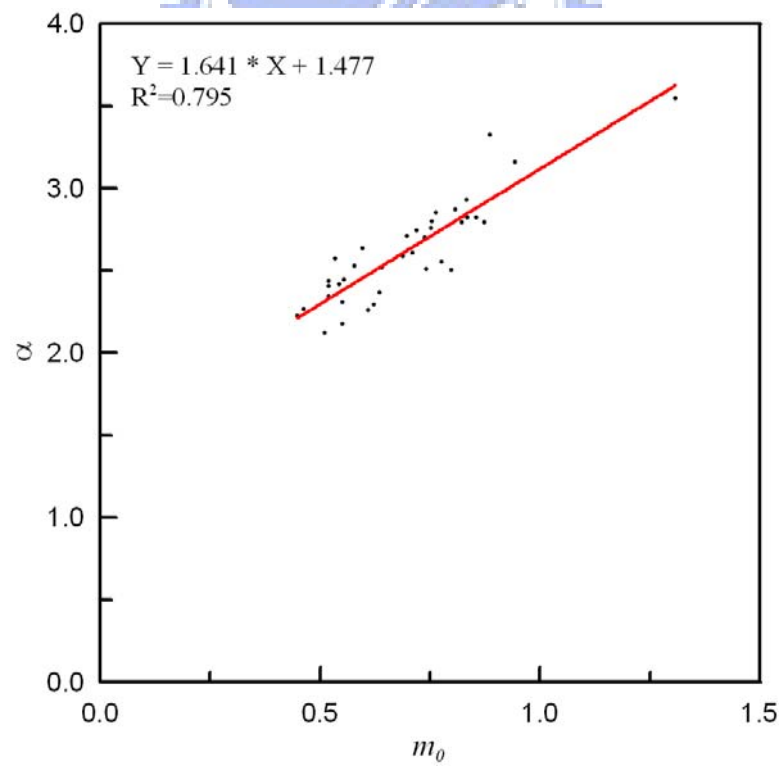
附圖 1-5 安平港波高之 m_0 與 α 關係 ($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)



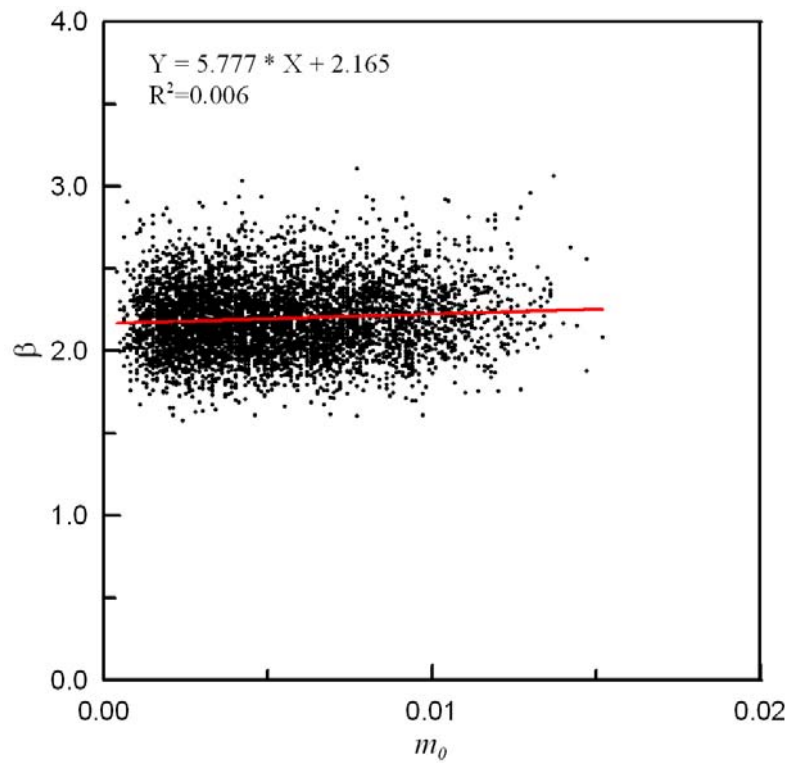
附圖 1-6 安平港波高之 m_0 與 α 關係 ($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)



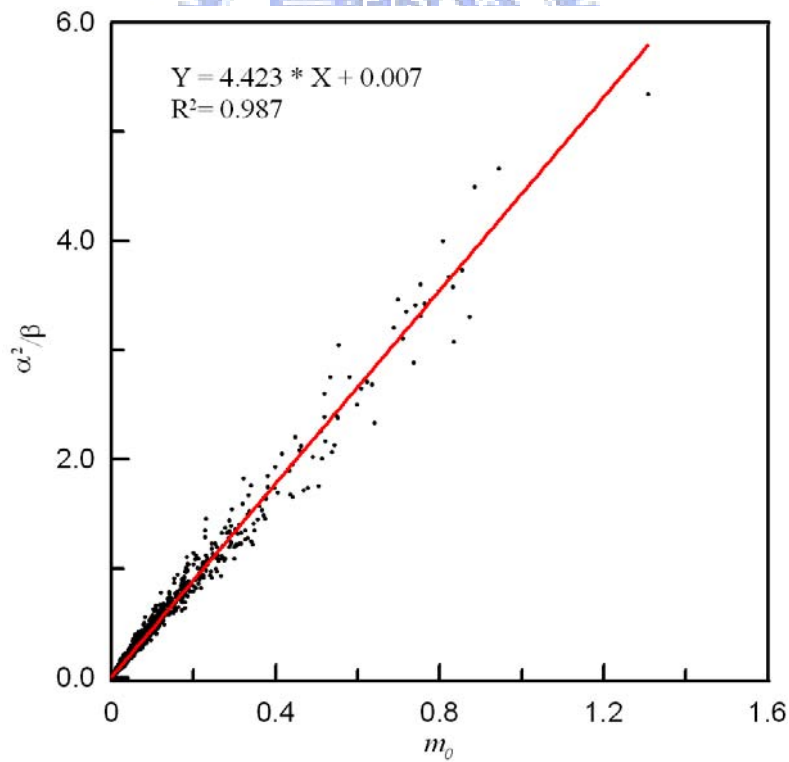
附圖 1-7 安平港波高之 m_0 與 α 關係 ($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)



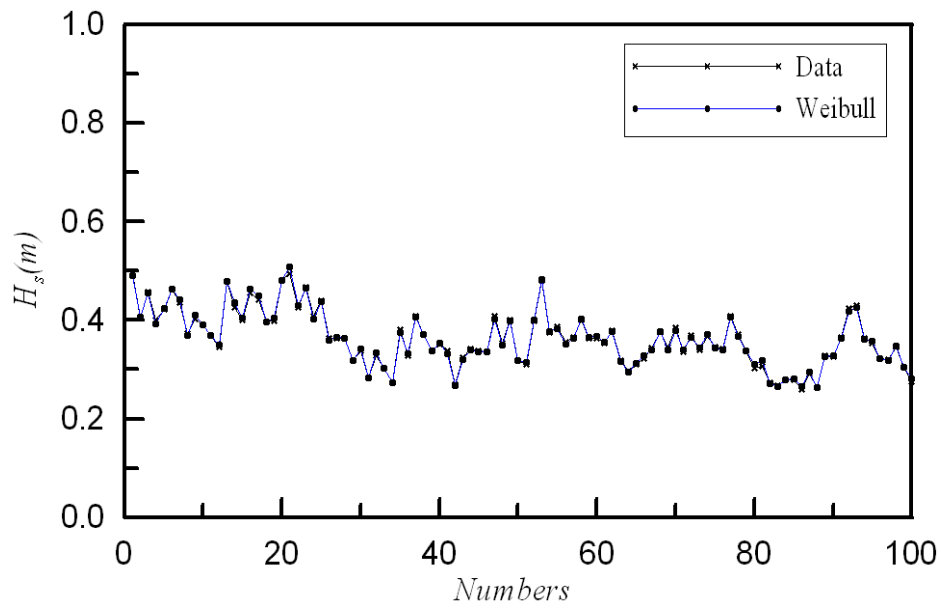
附圖 1-8 安平港波高之 m_0 與 α 關係 ($H_s > 3.0\text{m}$)



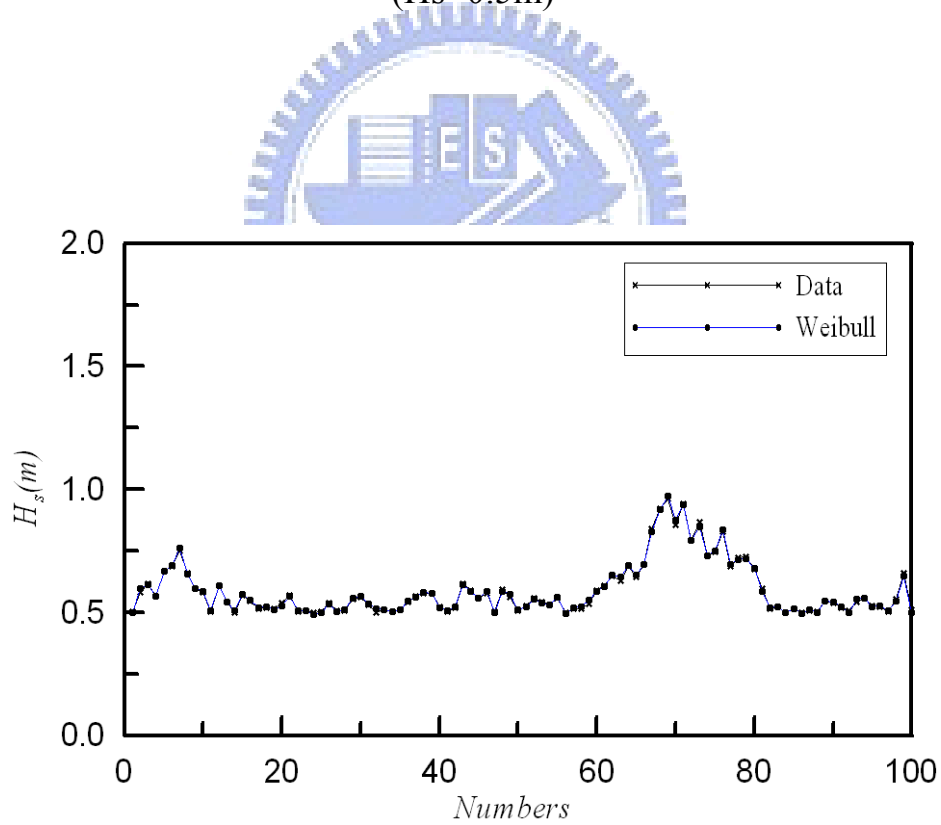
附圖 1-9 安平港波高資料水位時序列之 m_0 與 β 關係($H < 0.5\text{m}$)



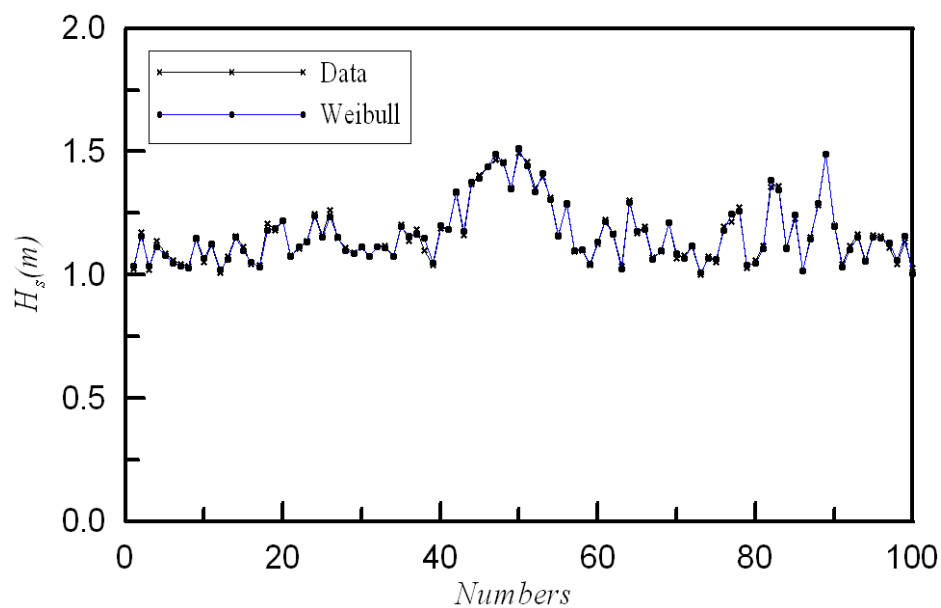
附圖 1-10 安平港全年波高資料水位時序列之 m_0 與 α^2/β 關係



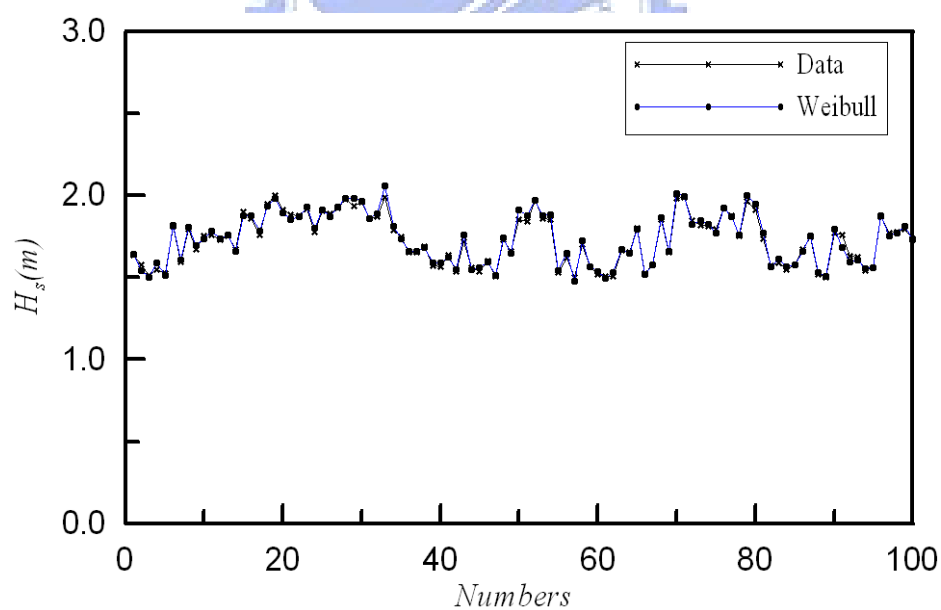
附圖 1-11 安平港示性波高實際值與 Weibull 理論值比較圖
($H_s < 0.5\text{m}$)



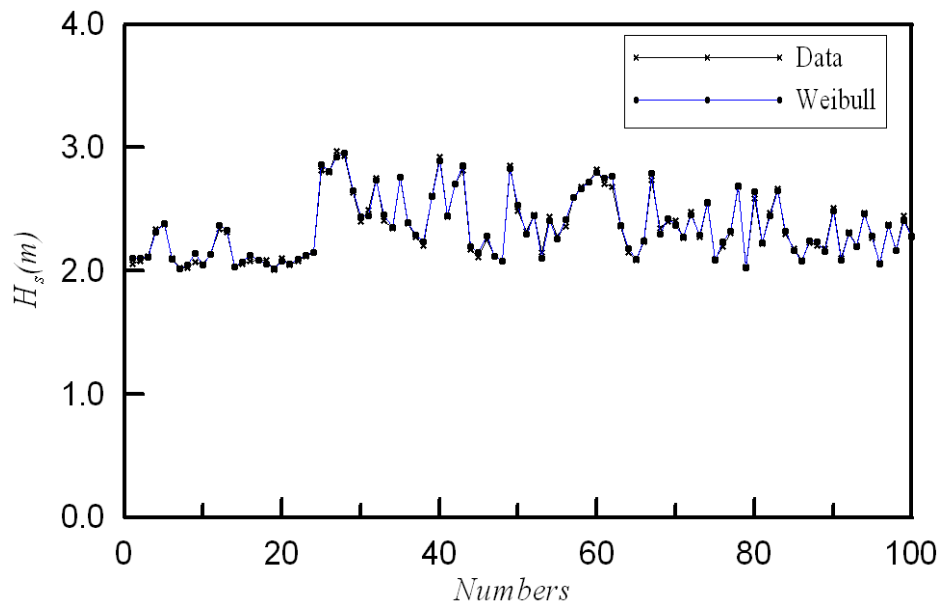
附圖 1-12 安平港示性波高實際值與 Weibull 理論值比較圖
($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)



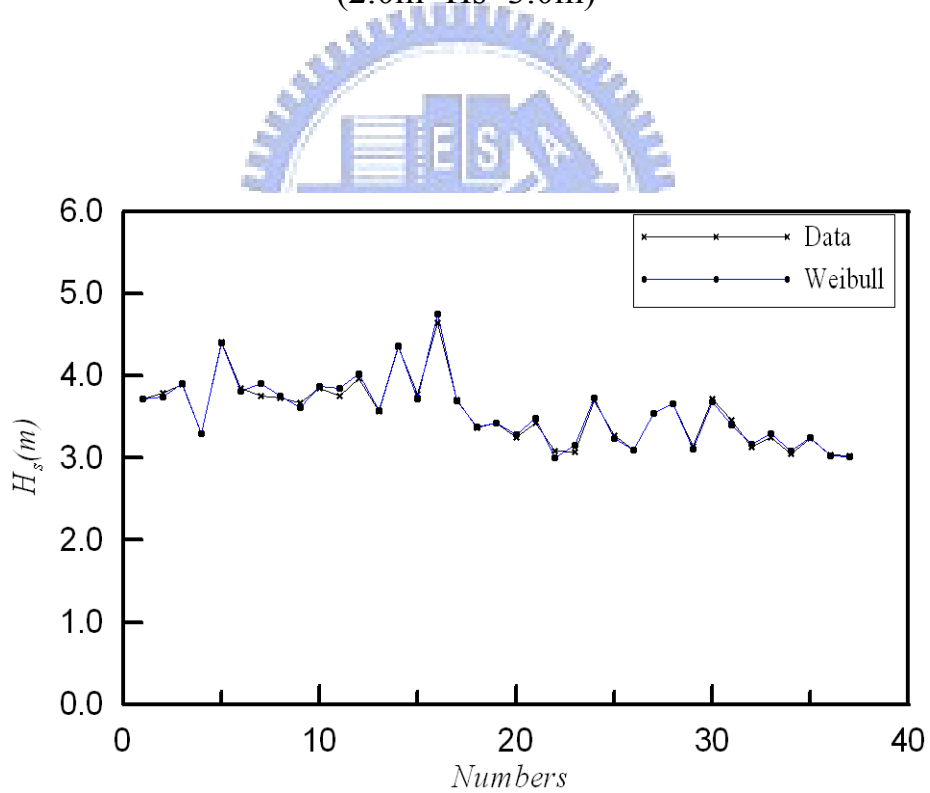
附圖 1-13 安平港示性波高實際值與 Weibull 理論值比較圖
($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)



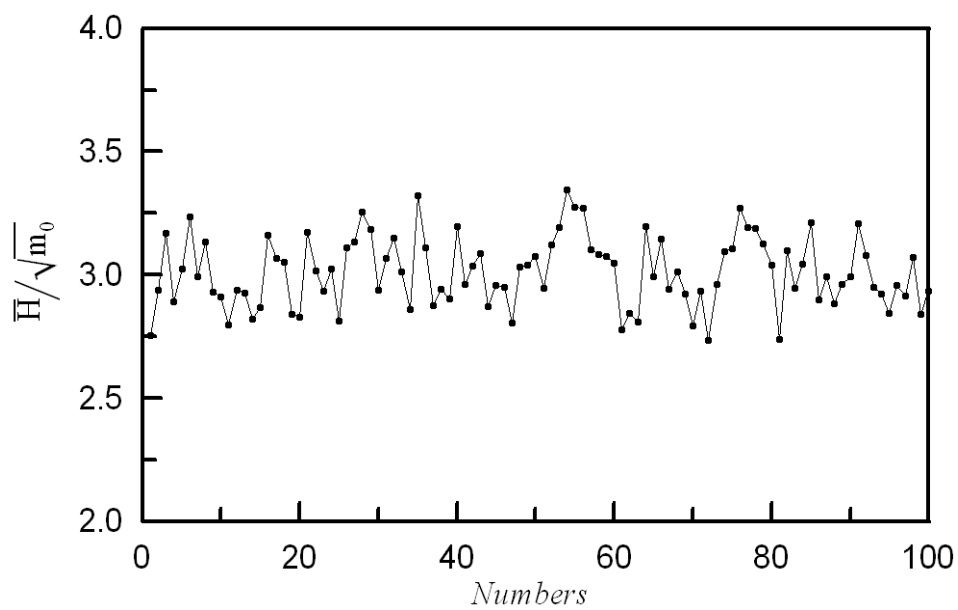
附圖 1-14 安平港示性波高實際值與 Weibull 理論值比較圖
($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)



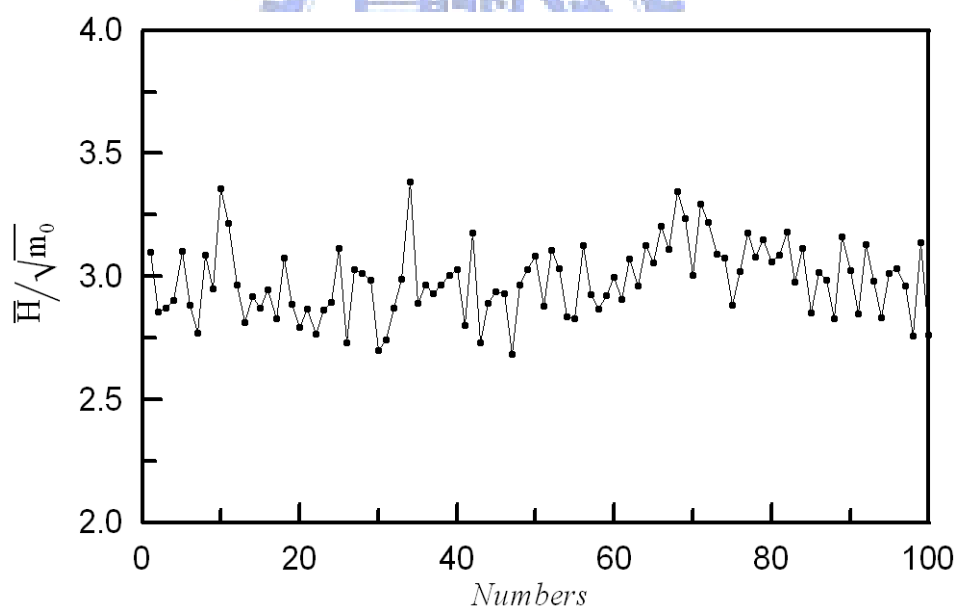
附圖 1-15 安平港示性波高實際值與 Weibull 理論值比較圖
($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)



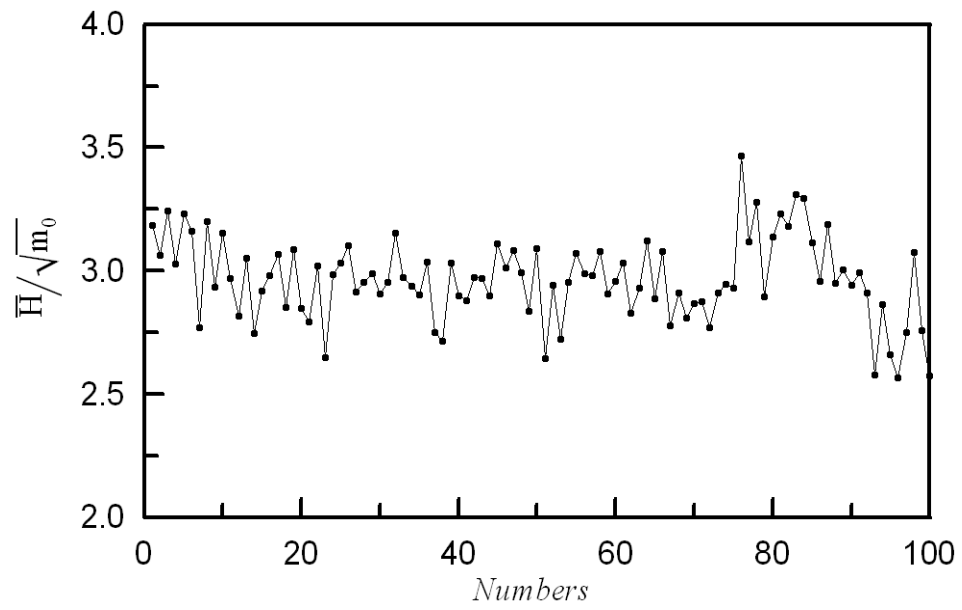
附圖 1-16 安平港示性波高實際值與 Weibull 理論值比較圖
($H_s > 3.0\text{m}$)



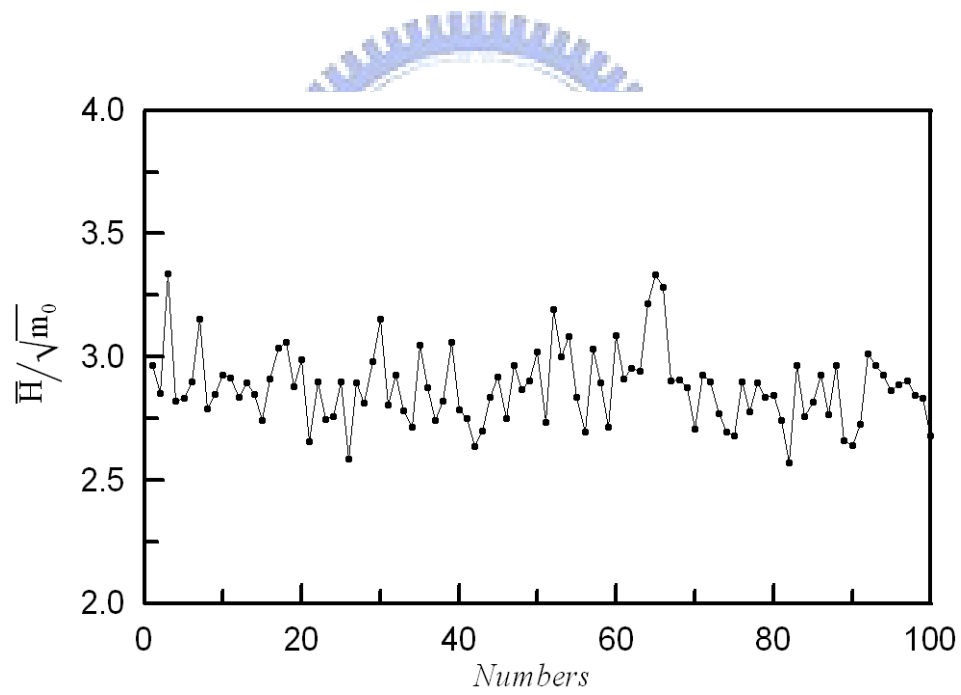
附圖 1-17 安平港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖($H_s < 0.5\text{m}$)



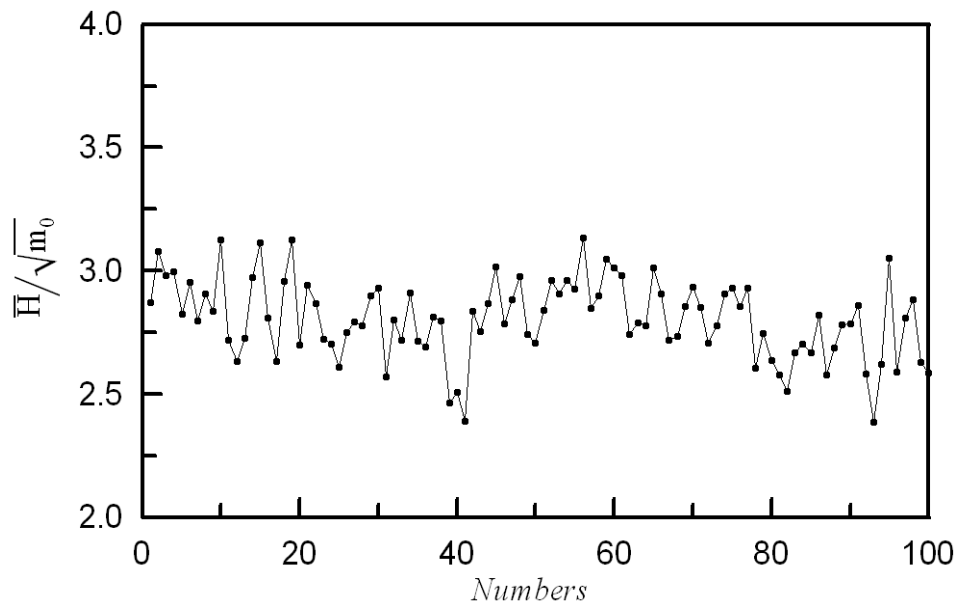
附圖 1-18 安平港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)



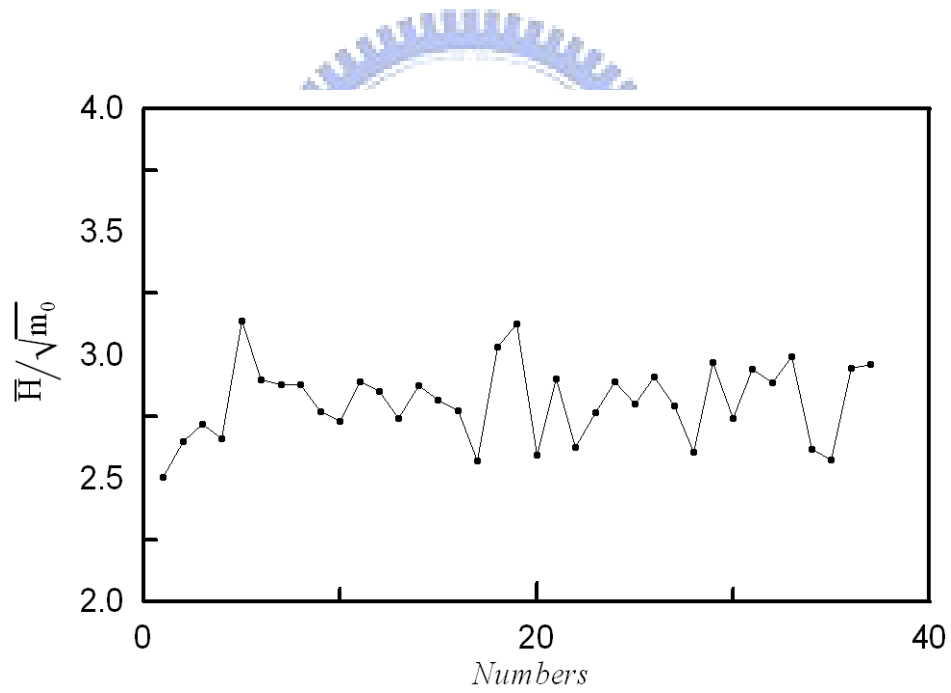
附圖 1-19 安平港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)



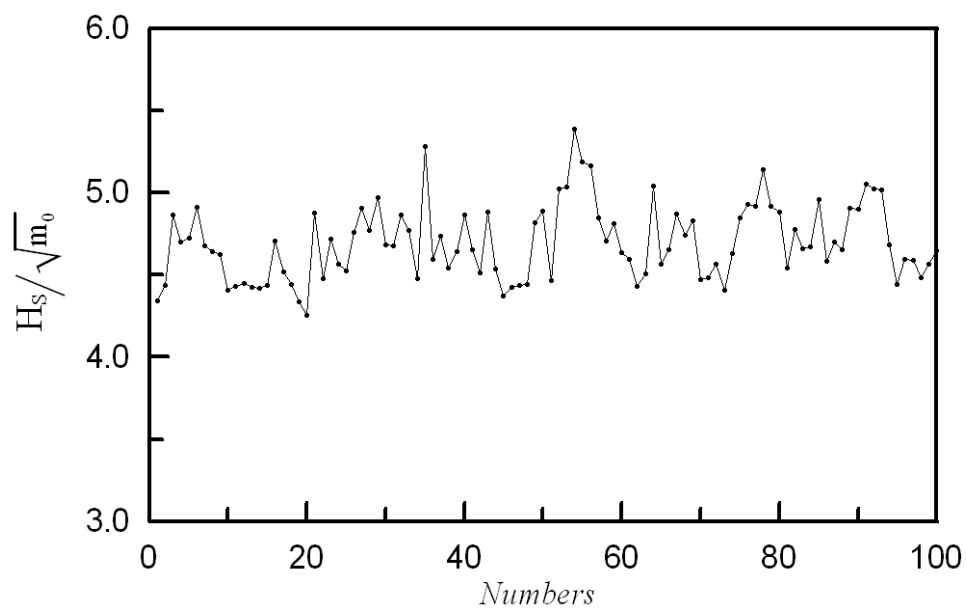
附圖 1-20 安平港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)



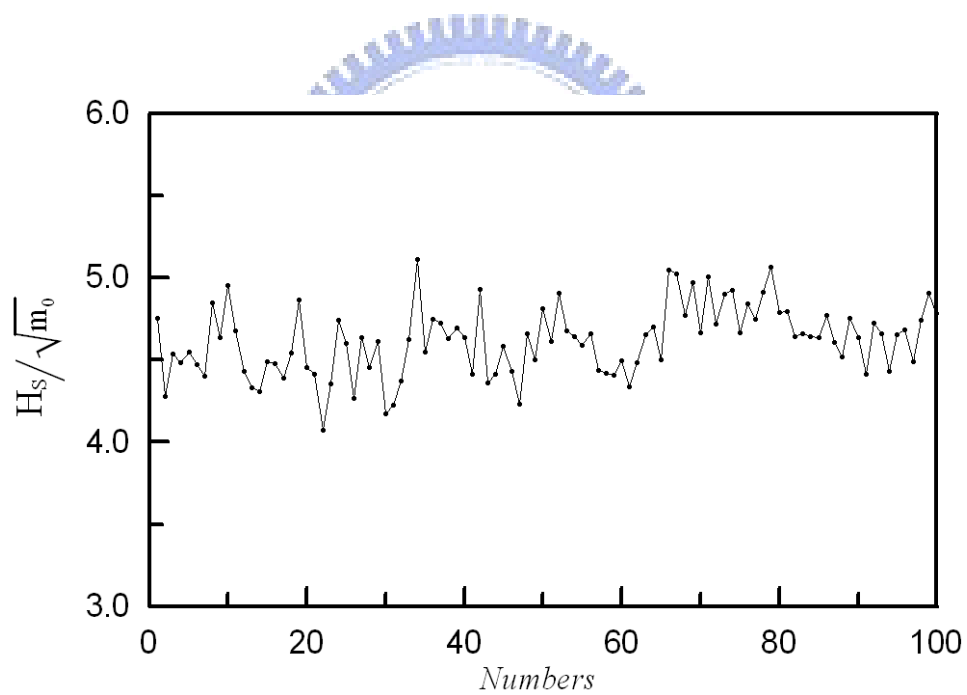
附圖 1-21 安平港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)



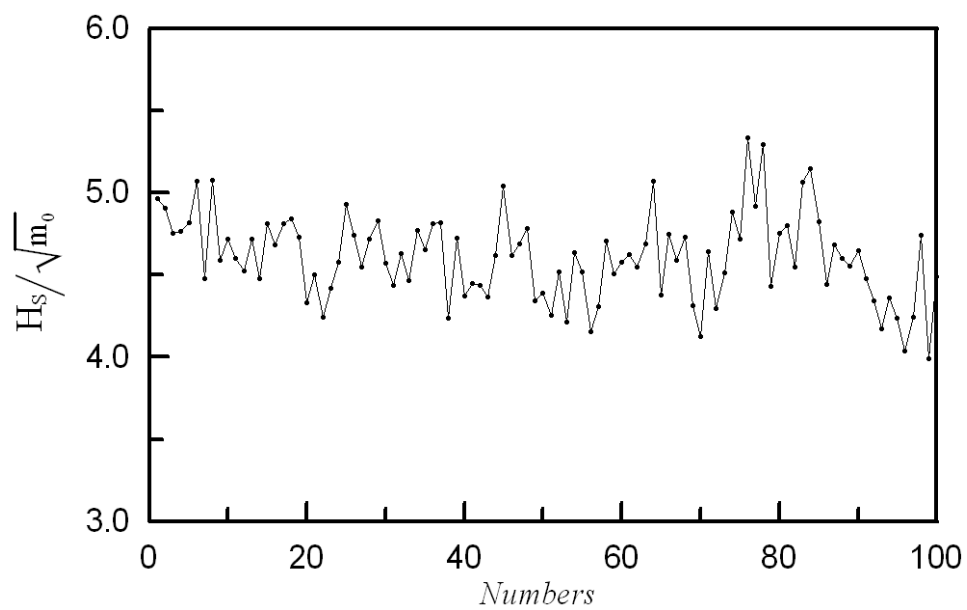
附圖 1-22 安平港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖($H_s > 3.0\text{m}$)



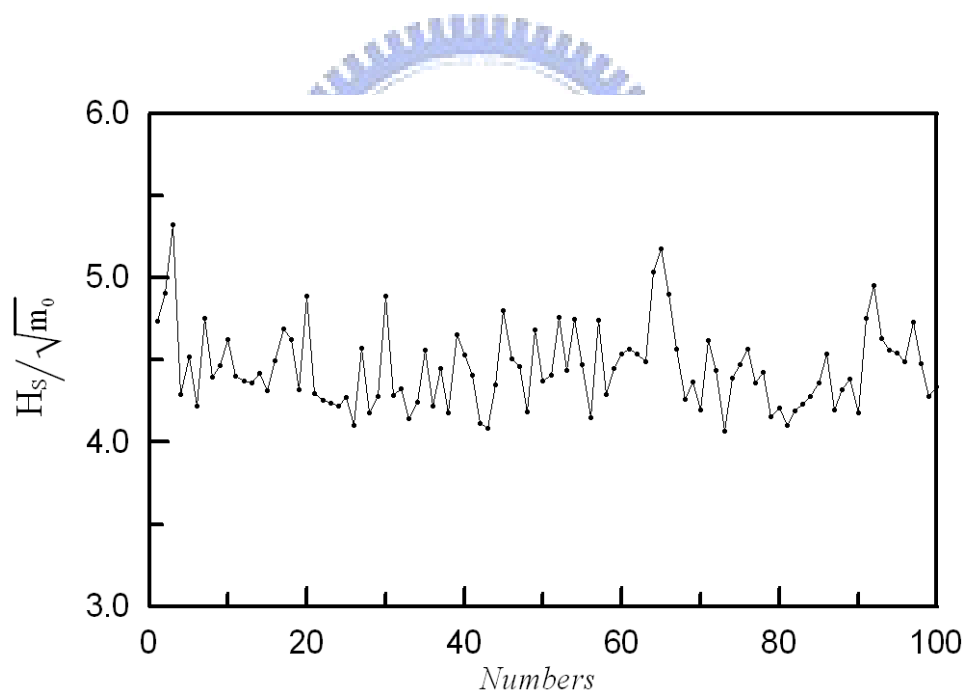
附圖 1-23 安平港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖($H_s < 0.5\text{m}$)



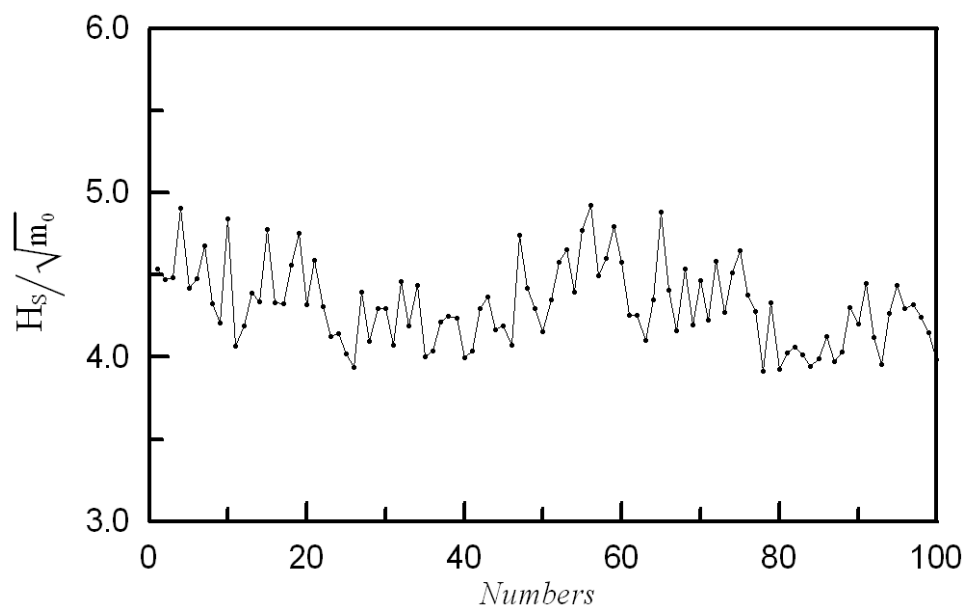
附圖 1-24 安平港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)



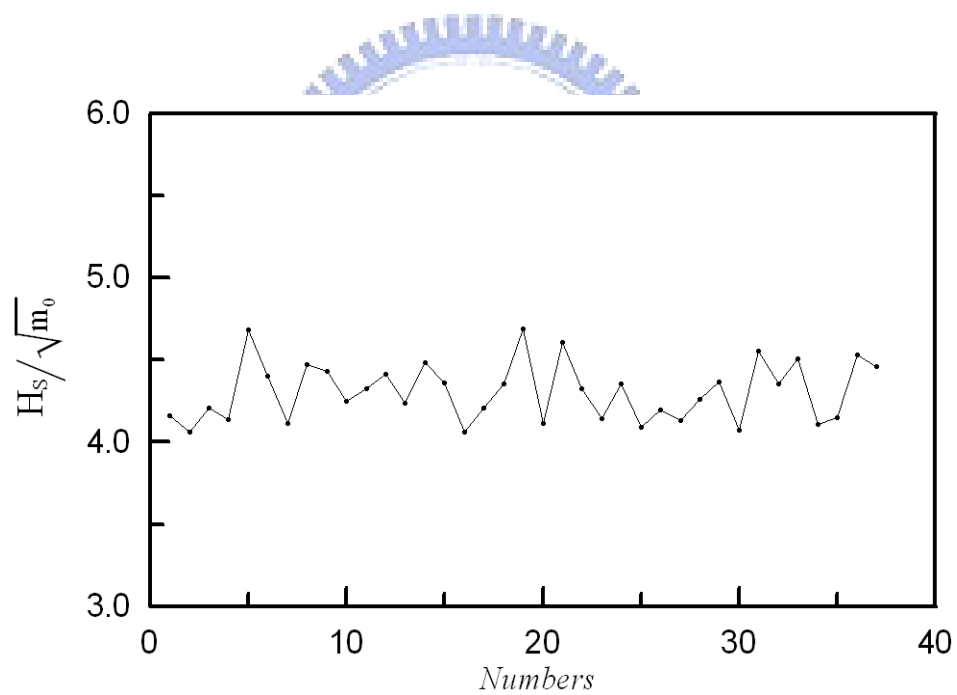
附圖 1-25 安平港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)



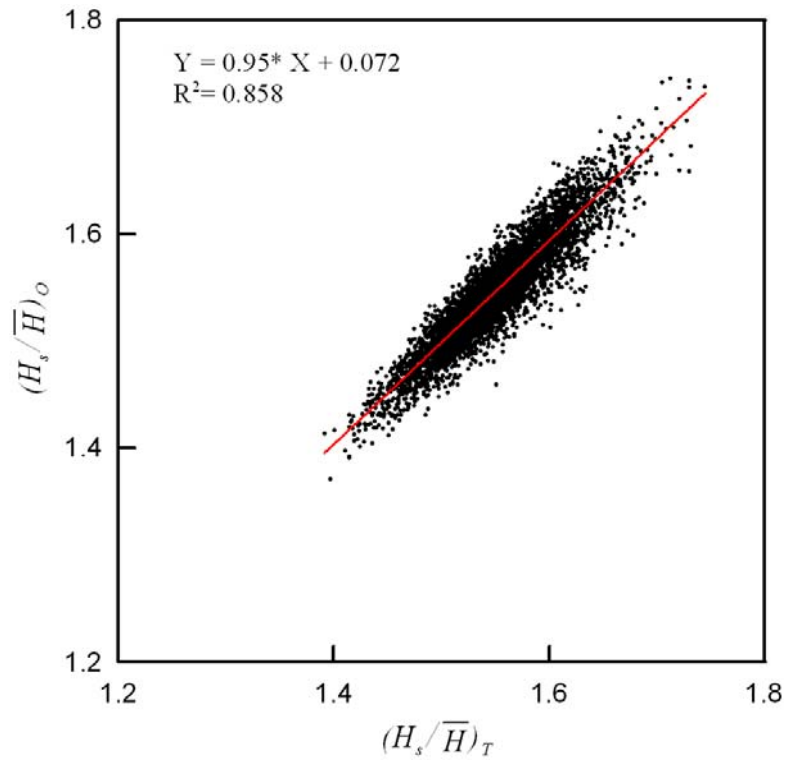
附圖 1-26 安平港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)



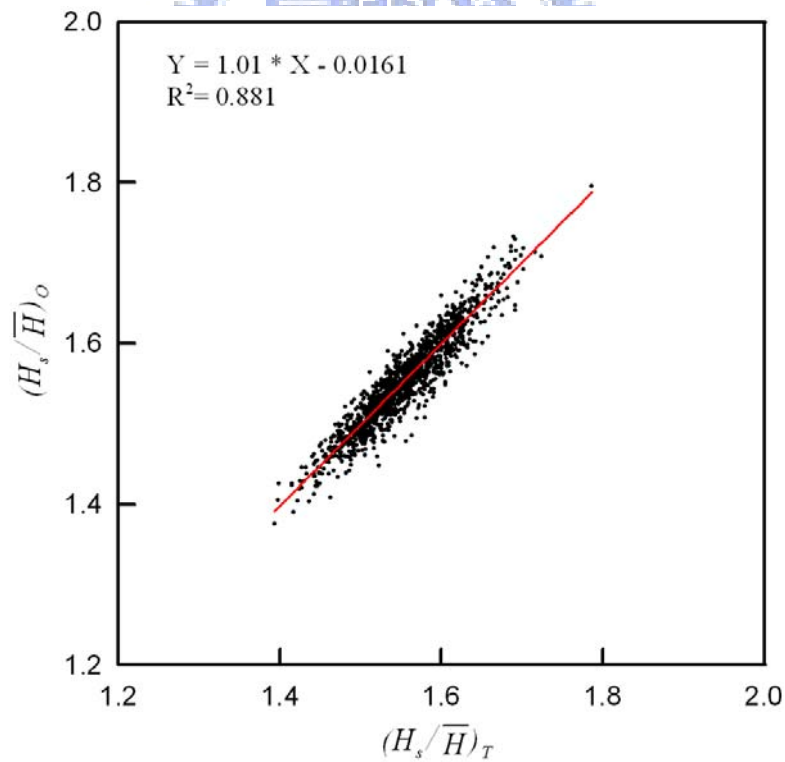
附圖 1-27 安平港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)



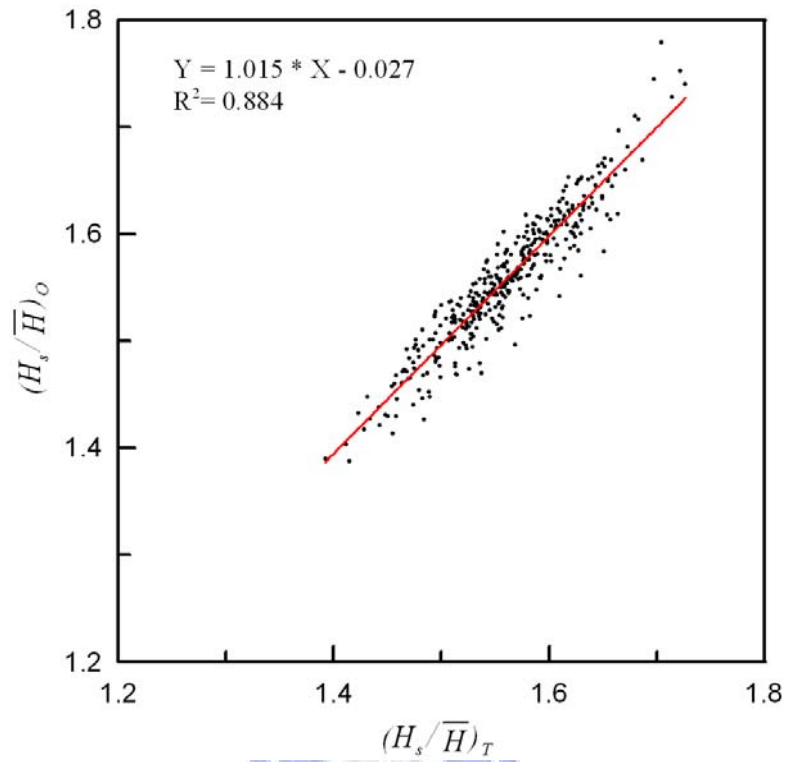
附圖 1-28 安平港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖($H_s > 3.0\text{m}$)



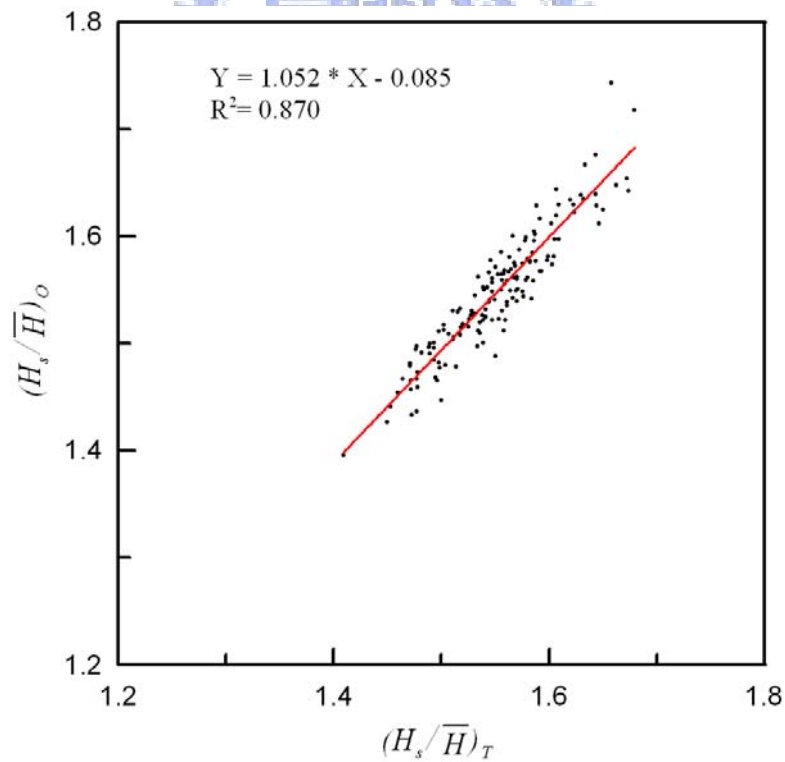
附圖 1-29 安平港波高之理論與實際 H_s/\bar{H} 關係圖 ($H_s < 0.5\text{m}$)



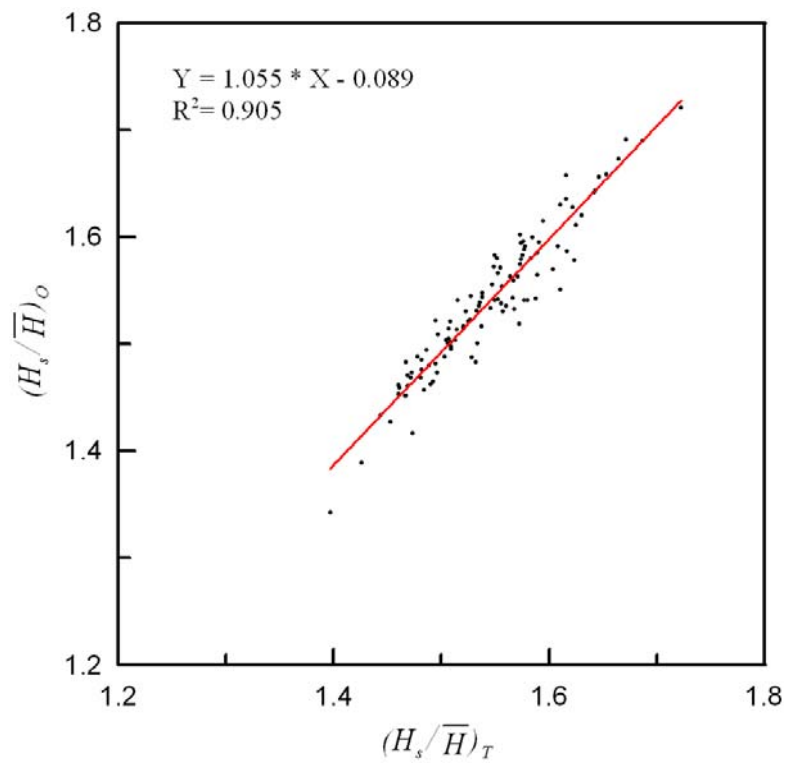
附圖 1-30 安平港波高之理論與實際 H_s/\bar{H} 關係圖 ($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)



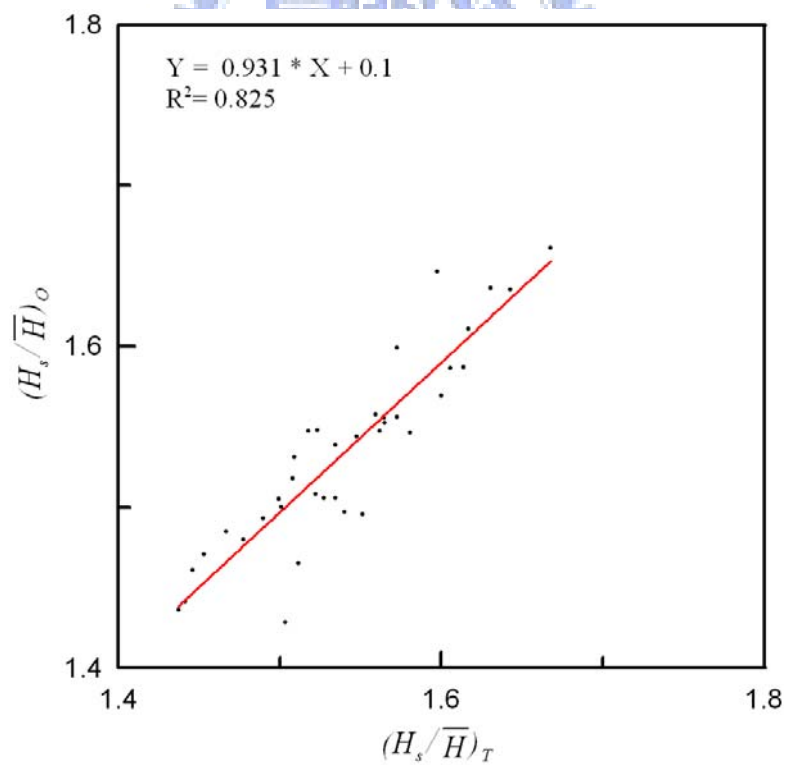
附圖 1-31 安平港波高之理論與實際 H_s/\bar{H} 關係圖(1.0m< H_s <1.5m)



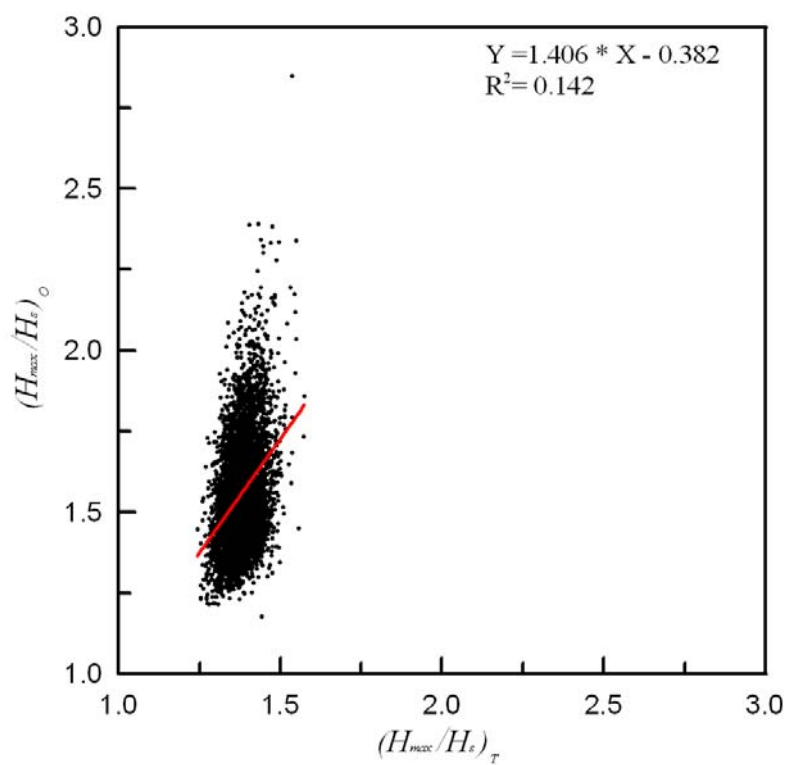
附圖 1-32 安平港波高之理論與實際 H_s/\bar{H} 關係圖(1.5m< H_s <2.0m)



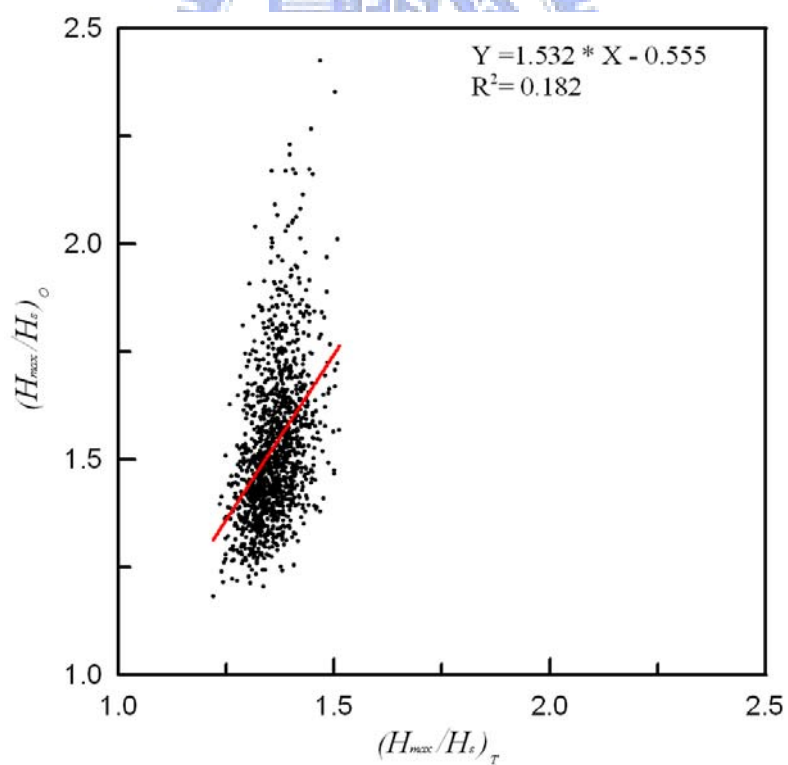
附圖 1-33 安平港波高之理論與實際 H_s/\sqrt{H} 關係圖 ($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)



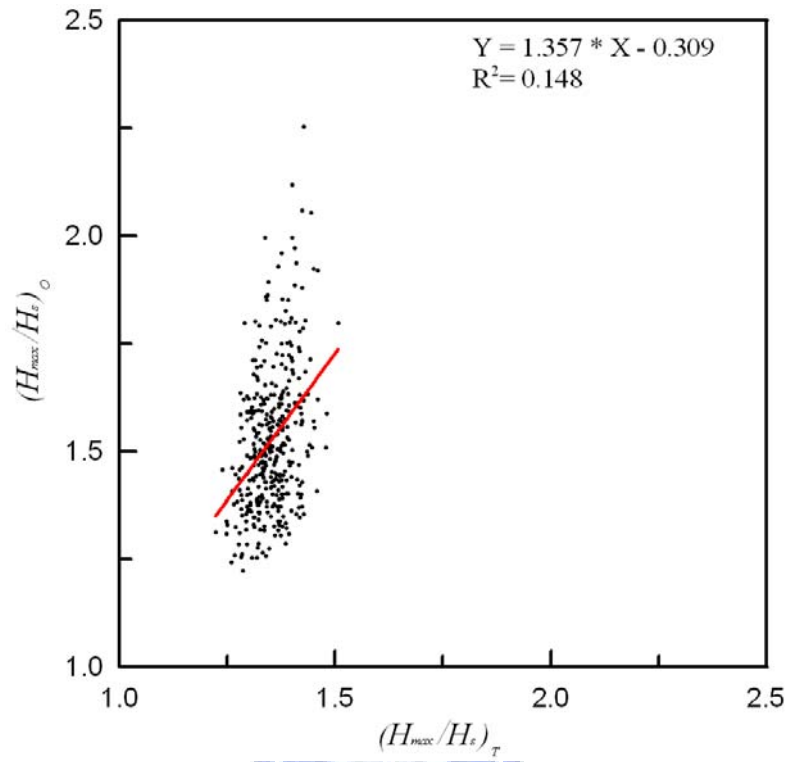
附圖 1-34 安平港波高之理論與實際 H_s/\sqrt{H} 關係圖 ($H_s > 3.0\text{m}$)



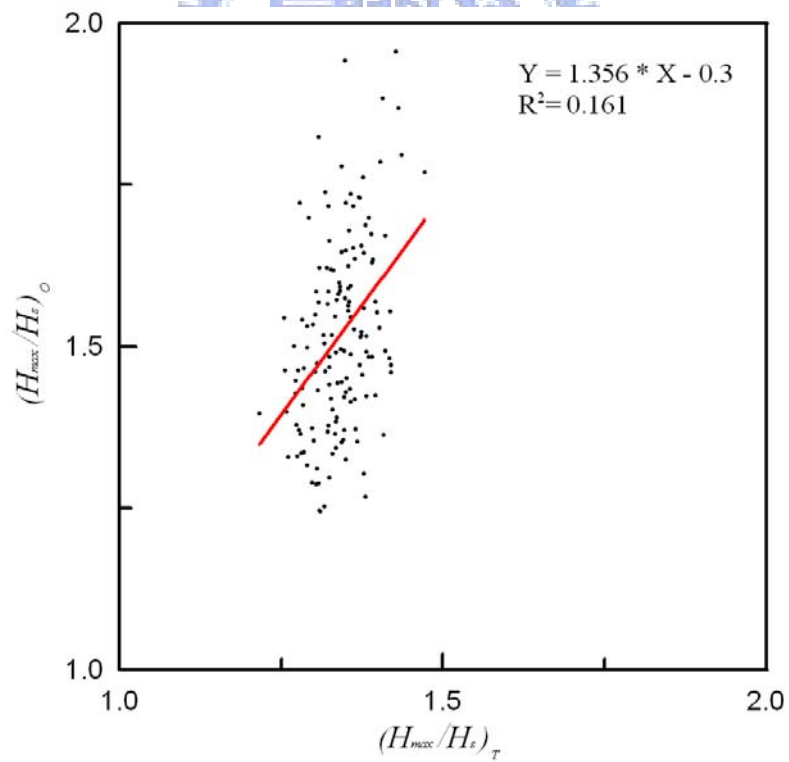
附圖 1-35 安平港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($H_s < 0.5m$)



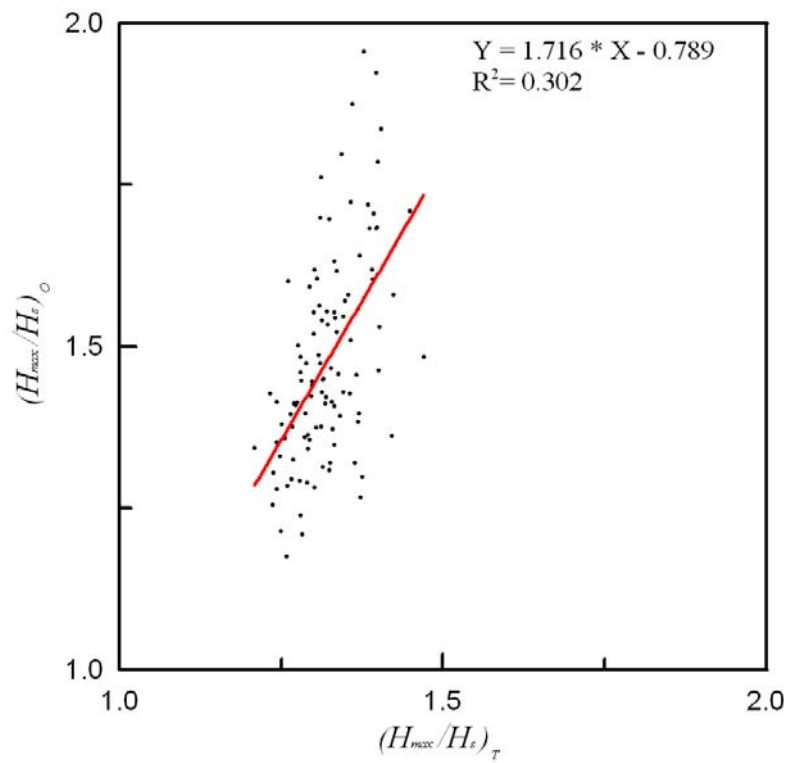
附圖 1-36 安平港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($0.5m < H_s < 1.0m$)



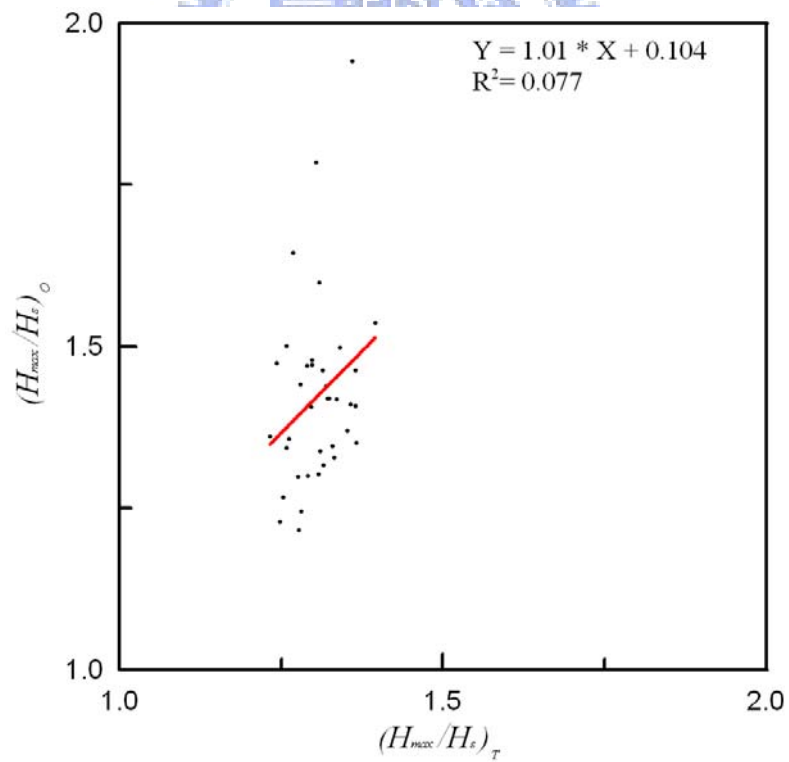
附圖 1-37 安平港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($1.0m < H_s < 1.5m$)



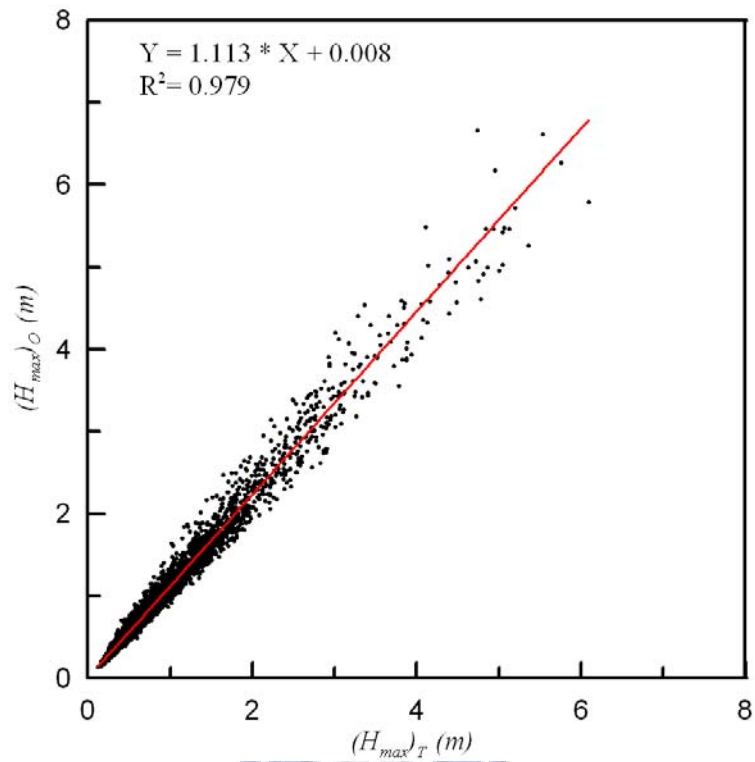
附圖 1-38 安平港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($1.5m < H_s < 2.0m$)



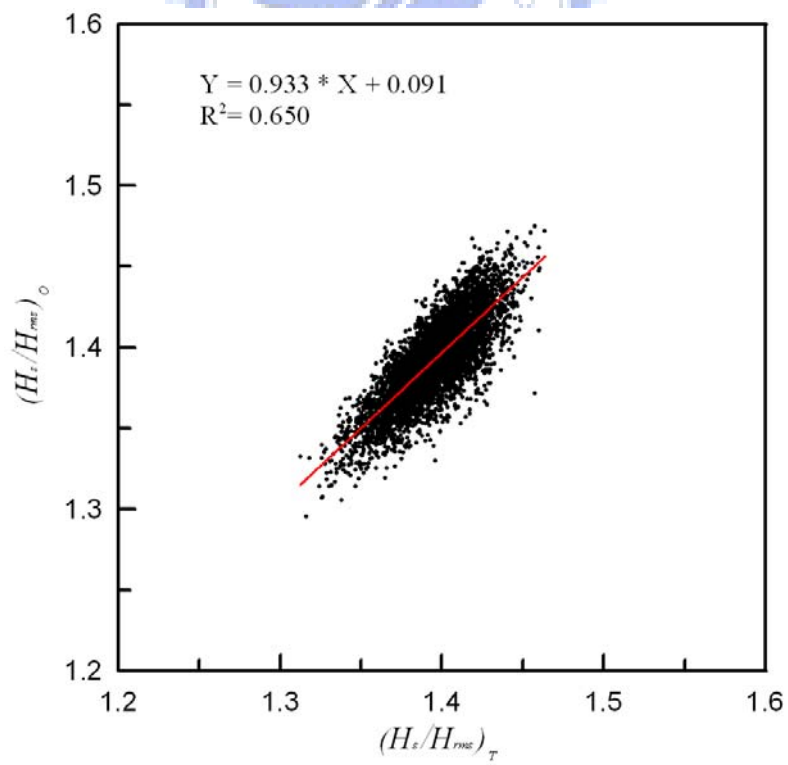
附圖 1-39 安平港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)



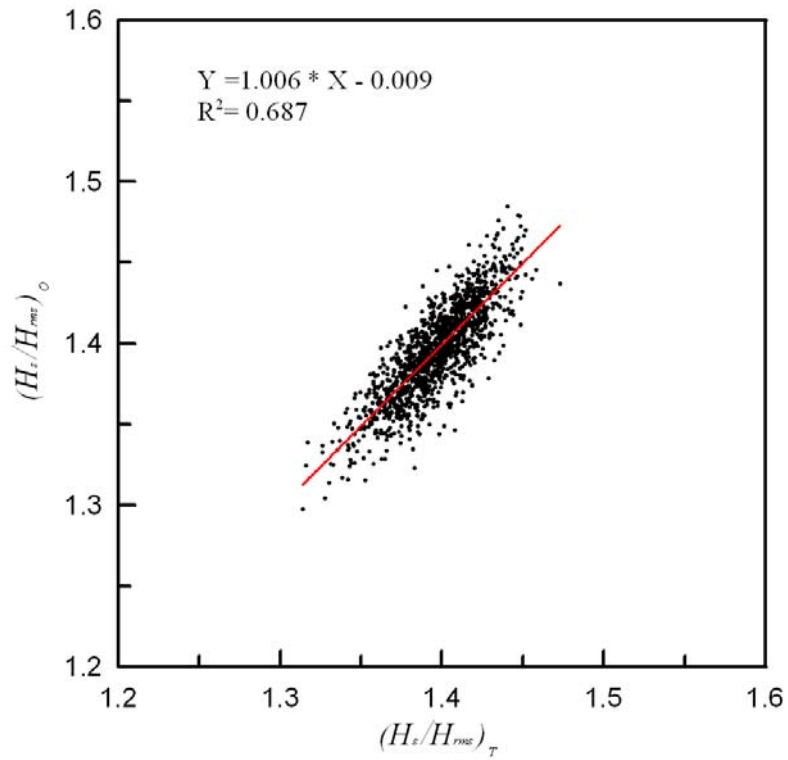
附圖 1-40 安平港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($H_s > 3.0\text{m}$)



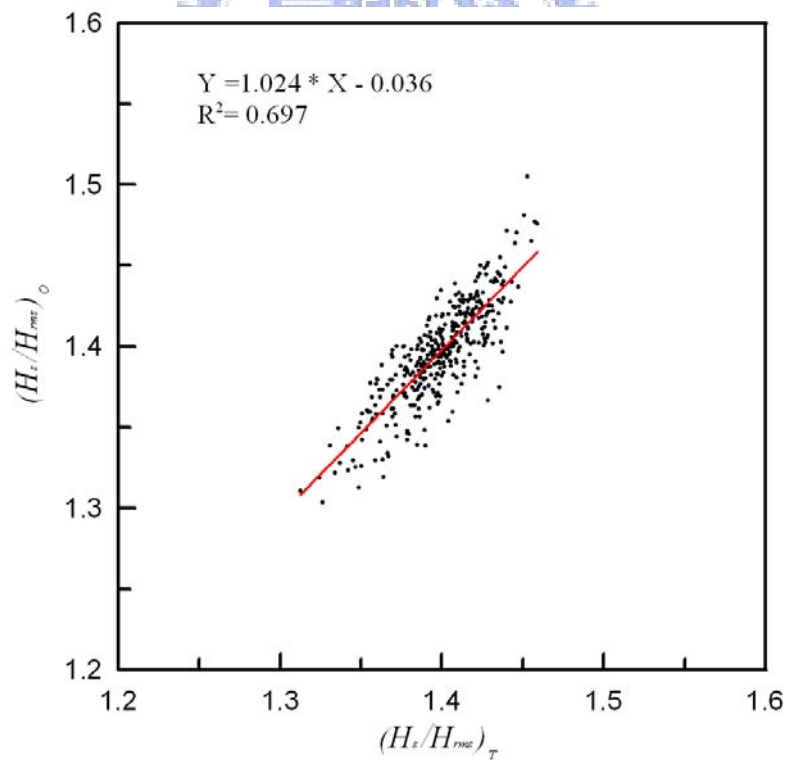
附圖 1-41 安平港全年波高之實際與理論 H_{max} 比較圖



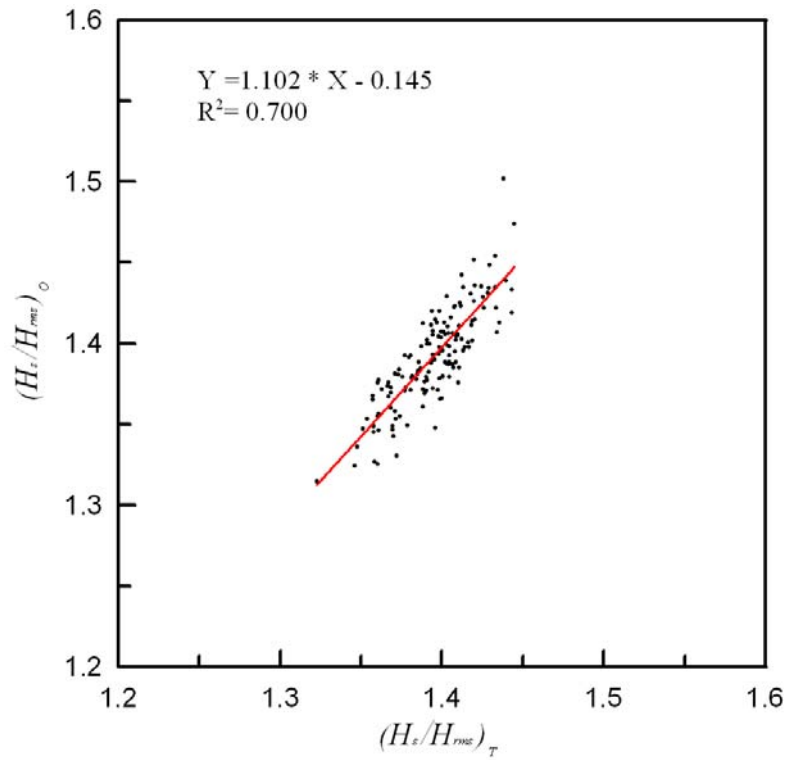
附圖 1-42 安平港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($H_s < 0.5m$)



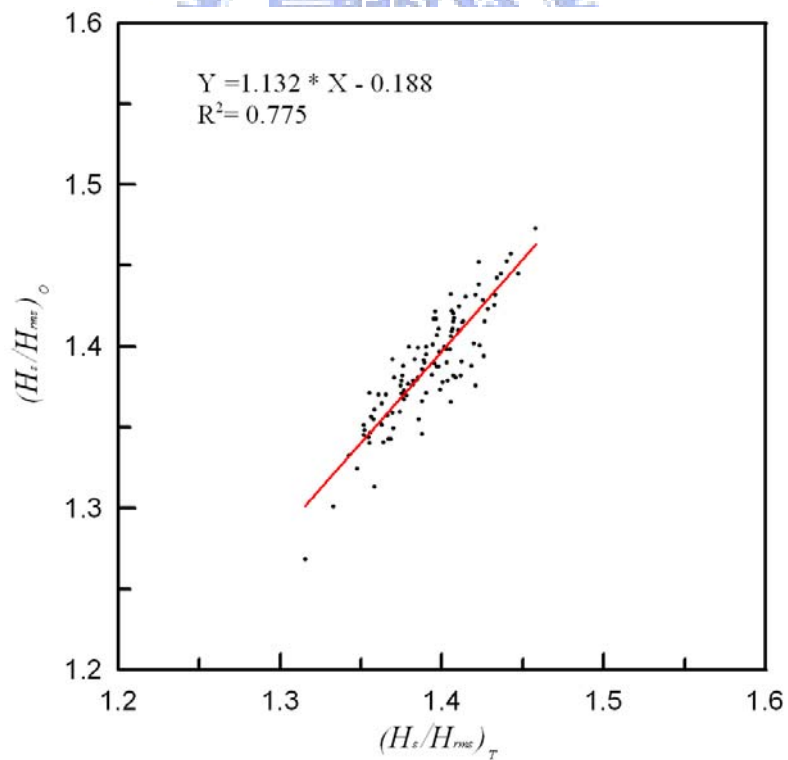
附圖 1-43 安平港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖(0.5m<H_s<1.0m)



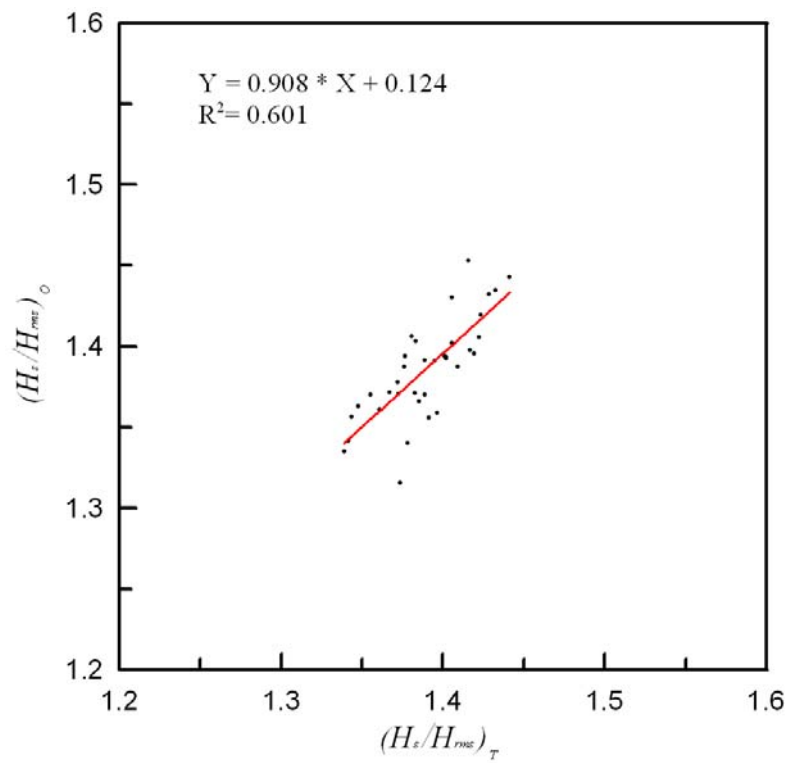
附圖 1-44 安平港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖(1.0m<H_s<1.5m)



附圖 1-45 安平港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{ m}$)



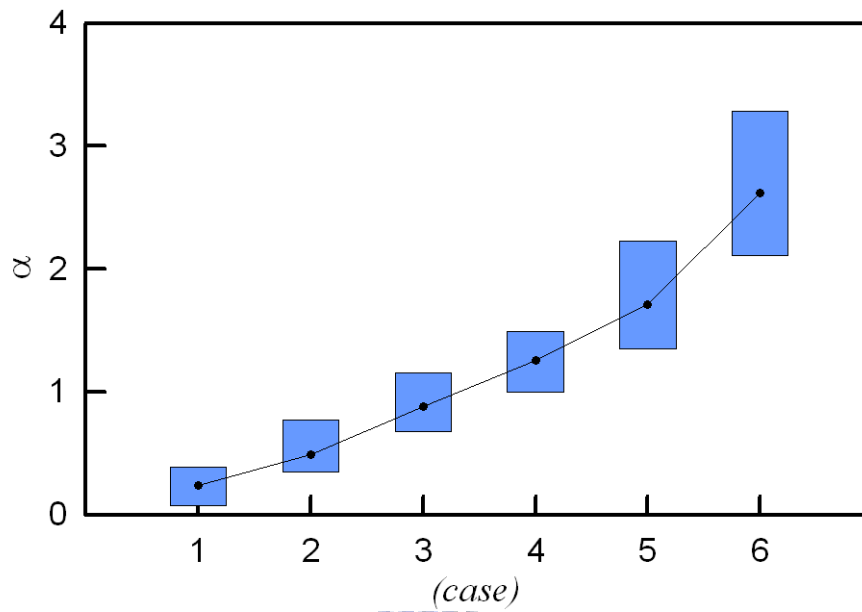
附圖 1-46 安平港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)



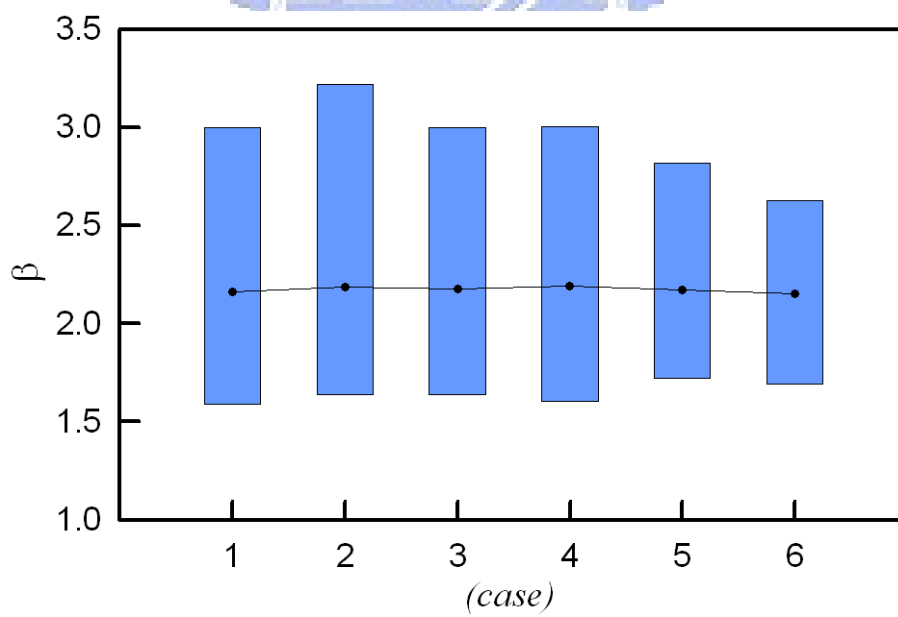
附圖 1-47 安平港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖 ($H_s > 3.0\text{m}$)



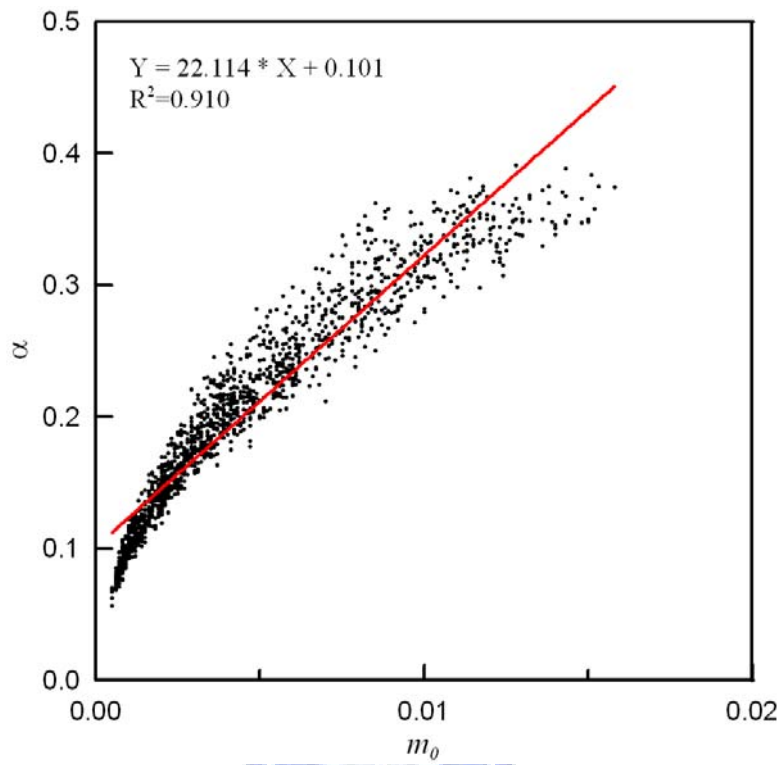
附圖 1 臺北港波高特性分析



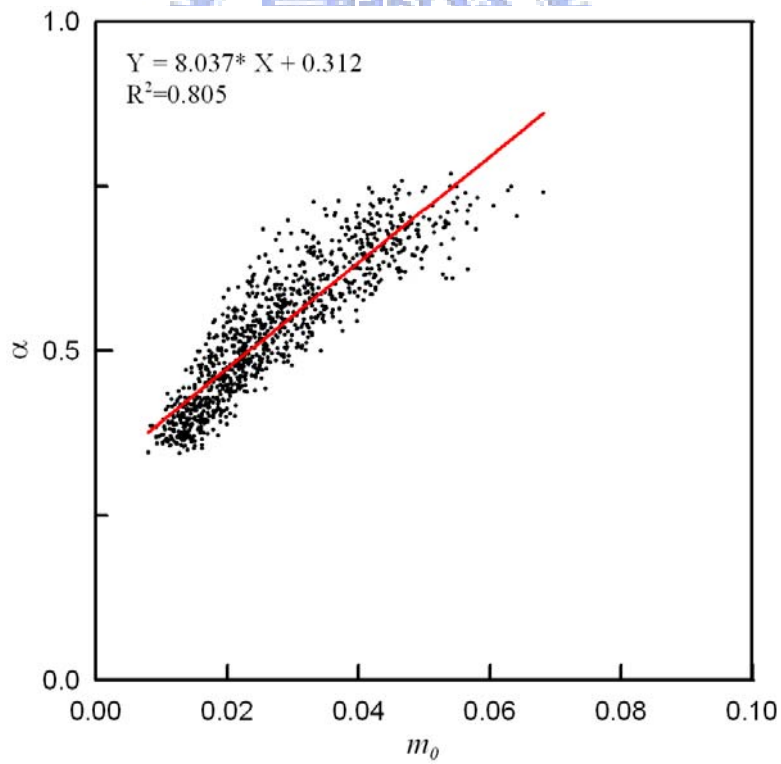
附圖 1-48 臺北港波高各區間 Weibull 分佈之 α 分佈範圍



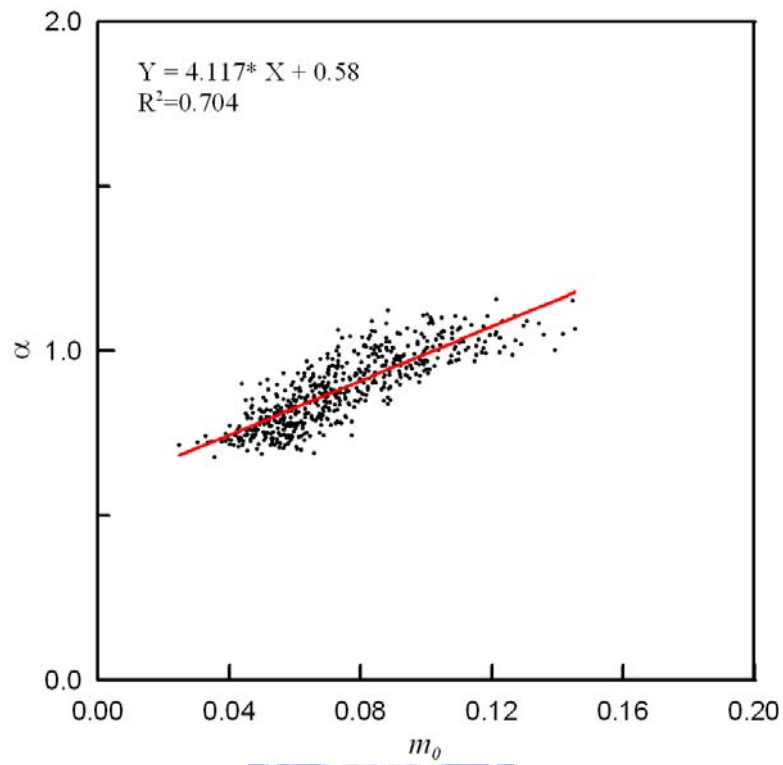
附圖 1-49 臺北港波高各區間 Weibull 分佈之 β 分佈範圍



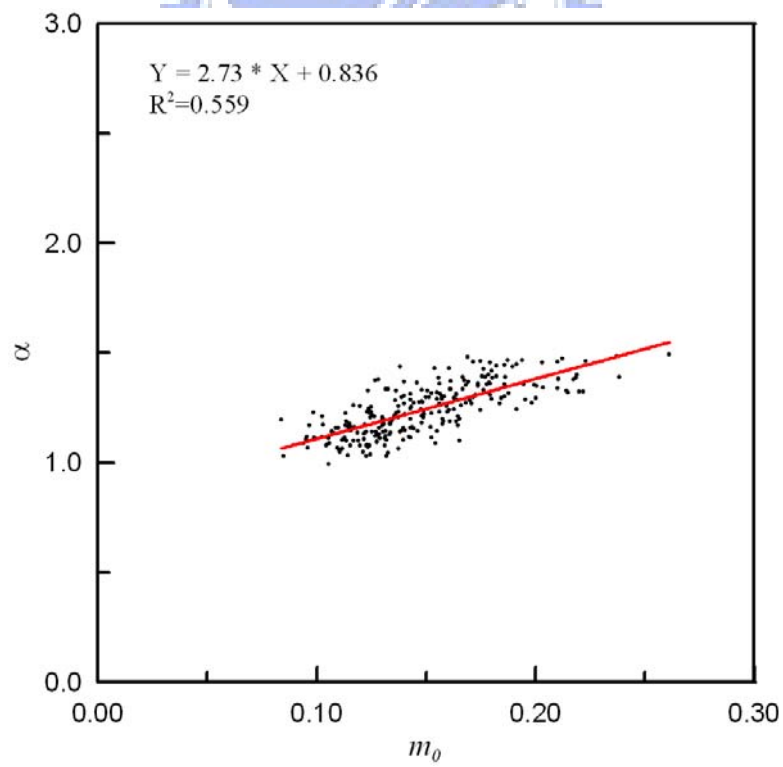
附圖 1-50 臺北港波高之 m_0 與 α 關係($H_s < 0.5\text{m}$)



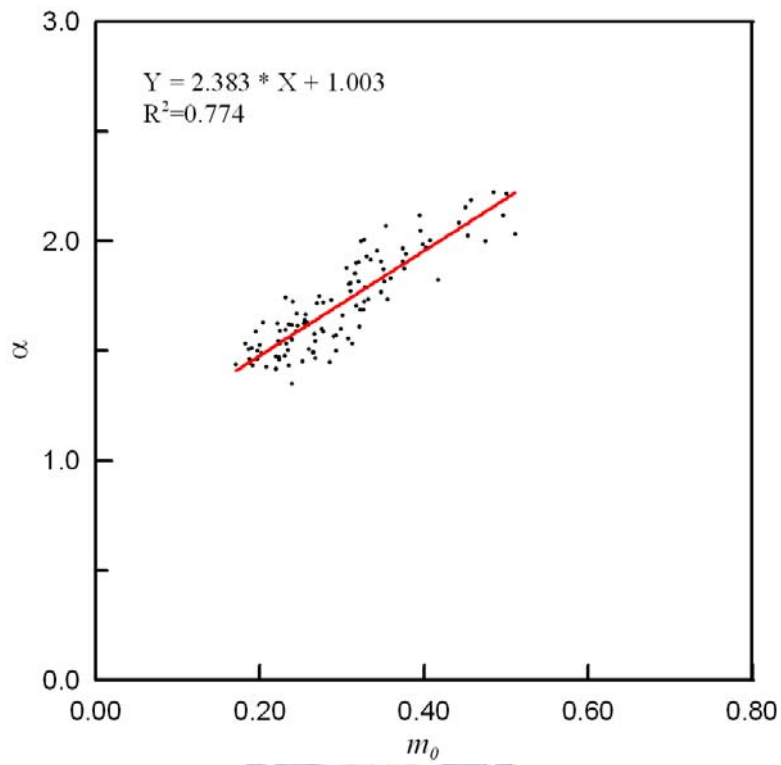
附圖 1-51 臺北港波高之 m_0 與 α 關係($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)



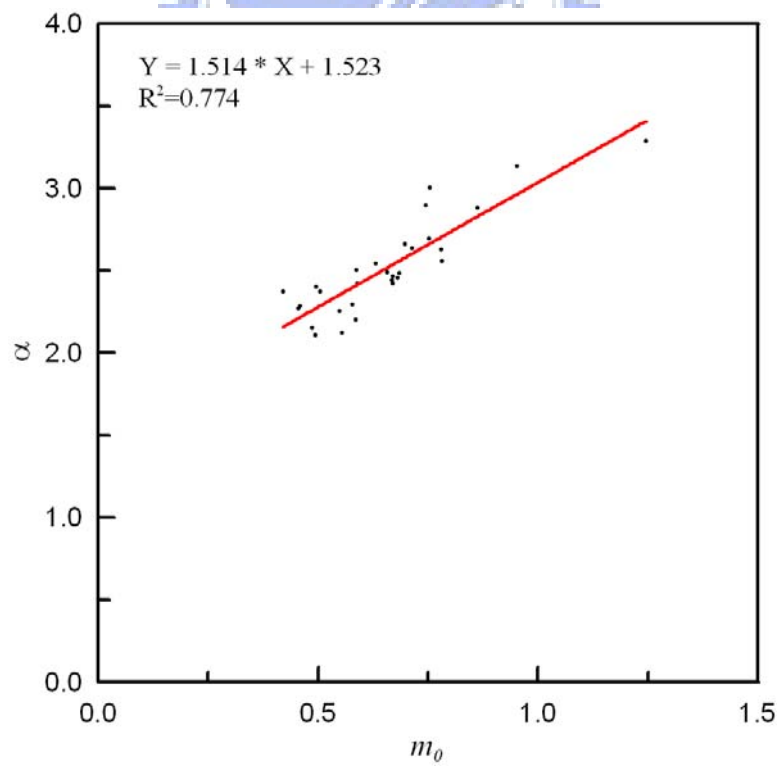
附圖 1-52 臺北港波高之 m_0 與 α 關係($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)



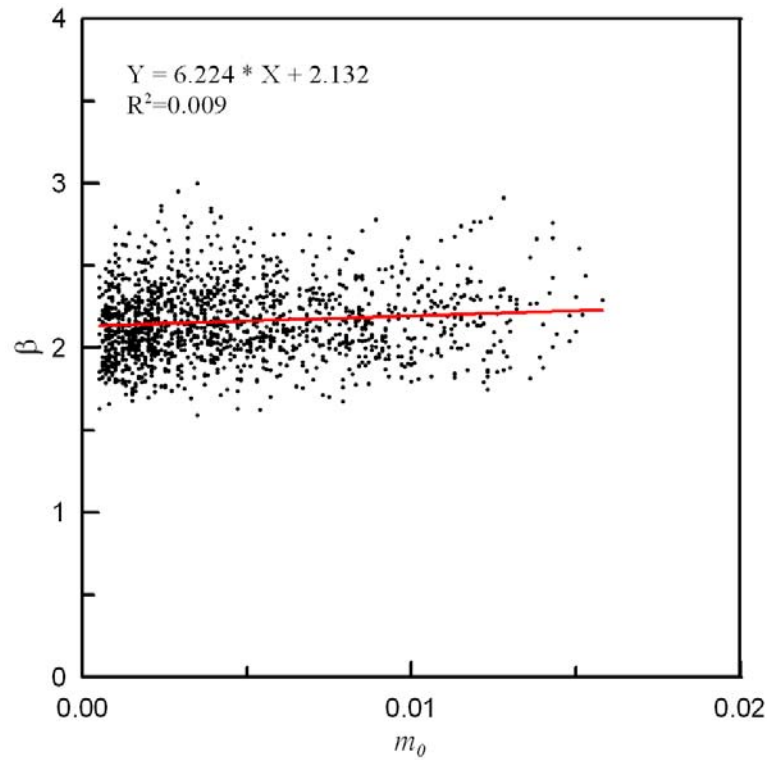
附圖 1-53 臺北港波高之 m_0 與 α 關係($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)



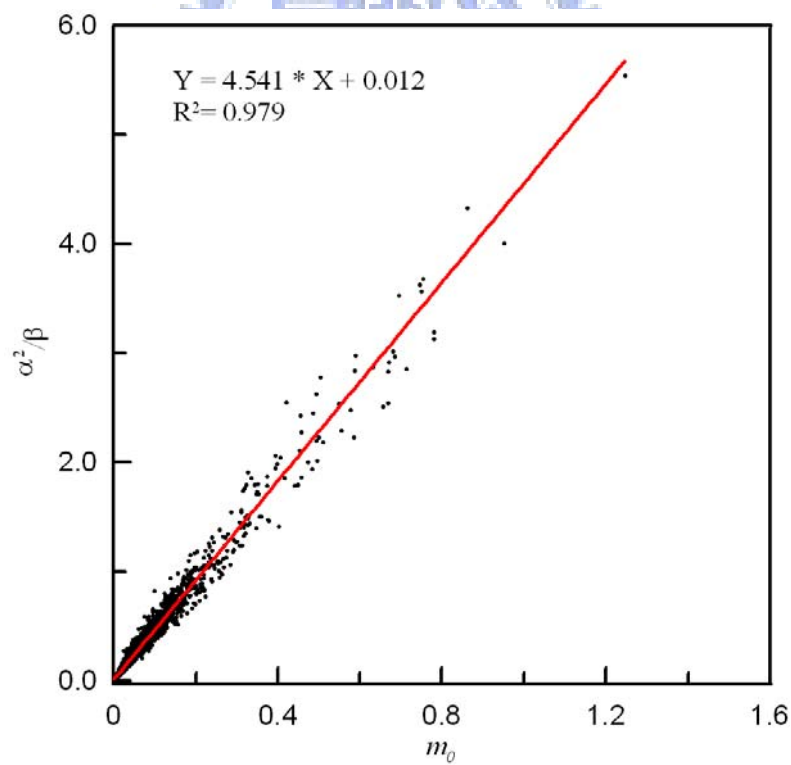
附圖 1-54 臺北港波高之 m_0 與 α 關係($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)



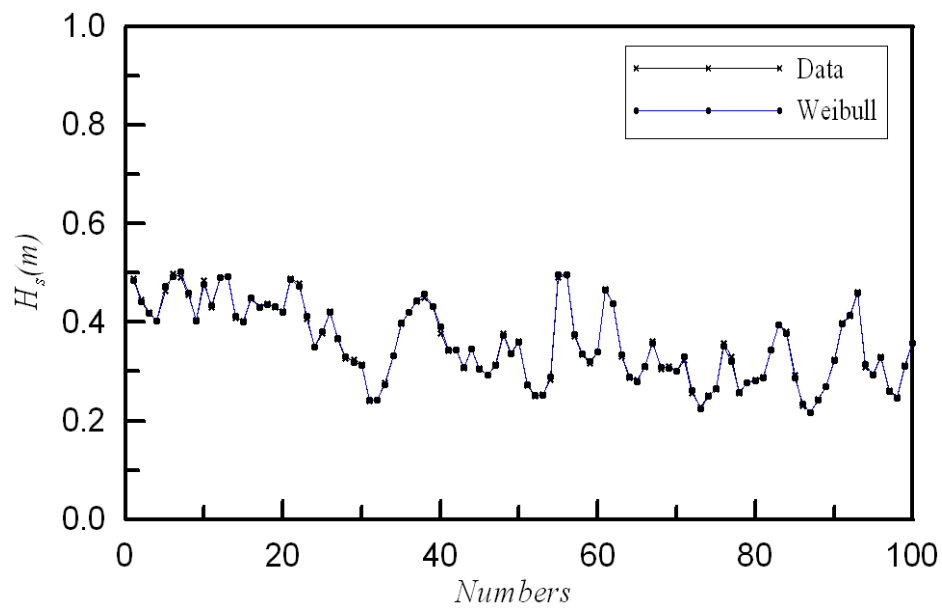
附圖 1-55 臺北港波高之 m_0 與 α 關係($H_s > 3.0\text{m}$)



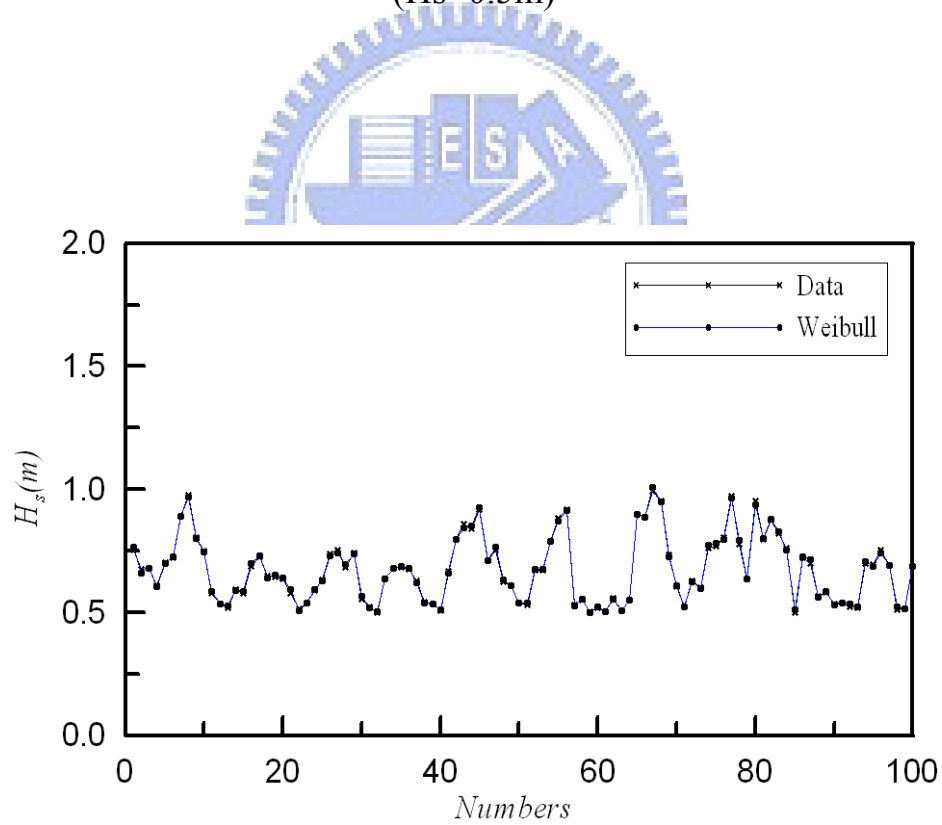
附圖 1-56 臺北港波高資料水位時序列之 m_0 與 β 關係($H < 0.5m$)



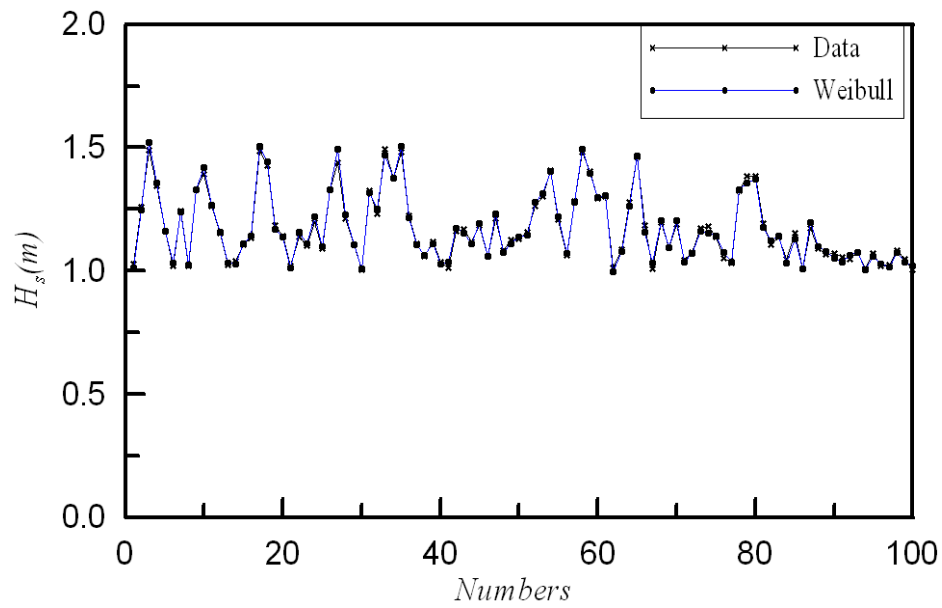
附圖 1-57 臺北港全年波高資料水位時序列之 m_0 與 α^2/β 關係



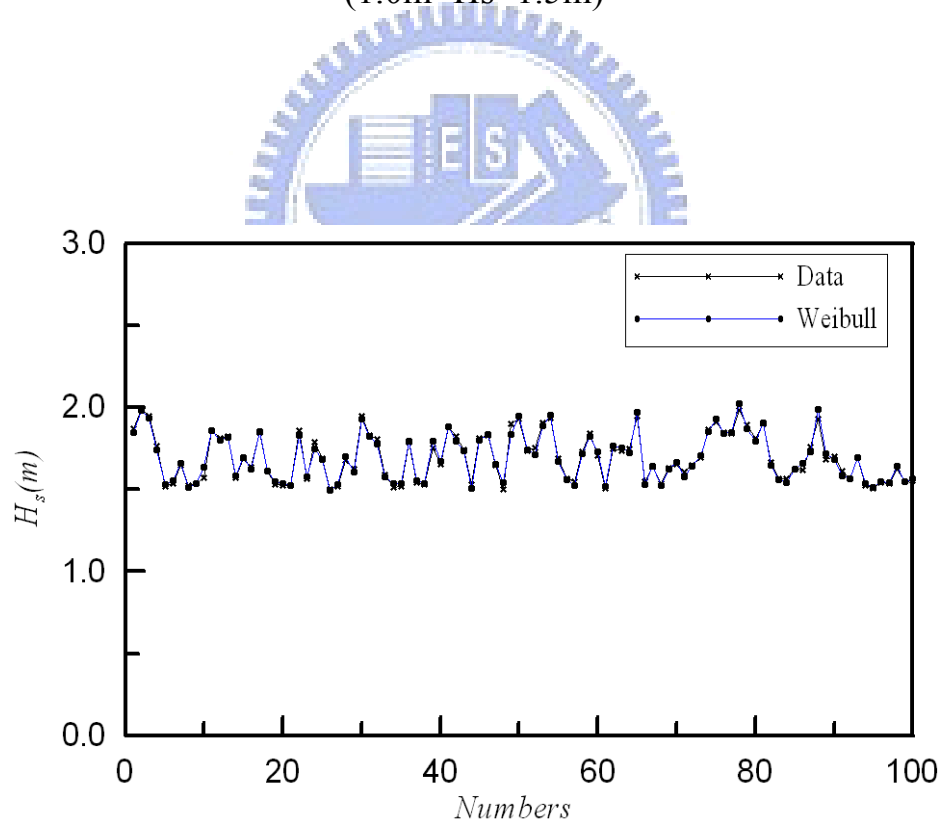
附圖 1-58 臺北港示性波高實際值與 Weibull 理論值比較圖
($H_s < 0.5\text{m}$)



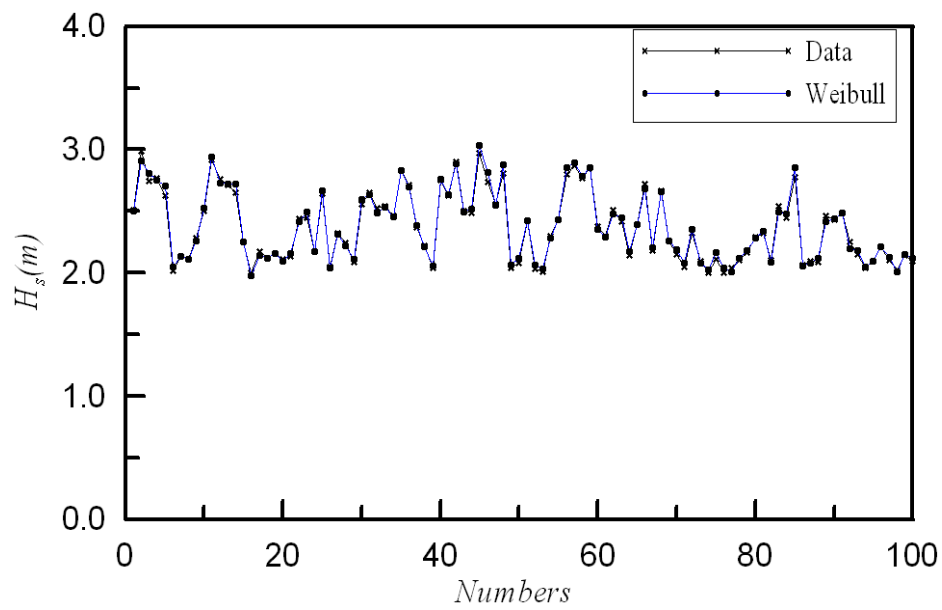
附圖 1-59 臺北港示性波高實際值與 Weibull 理論值比較圖
($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)



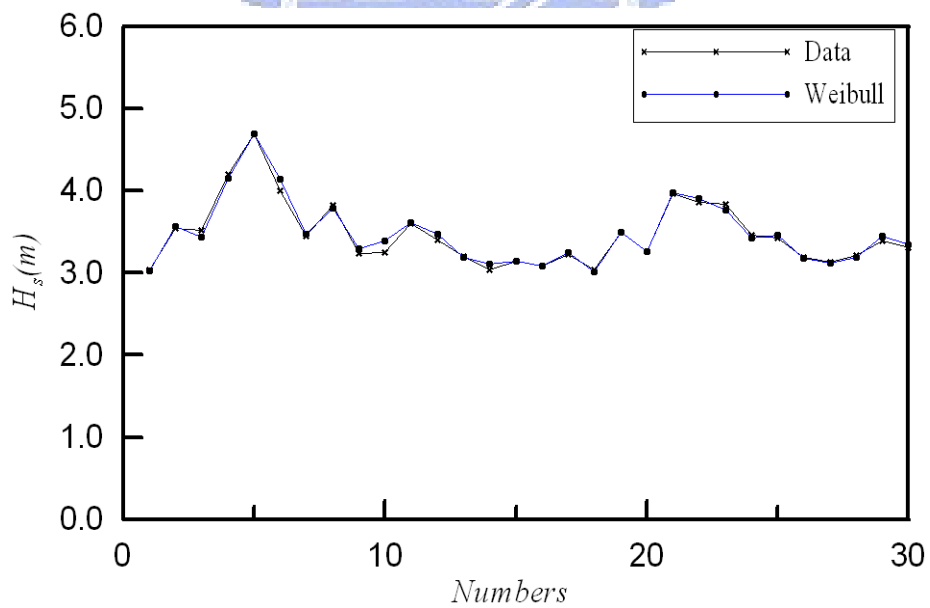
附圖 1-60 臺北港示性波高實際值與 Weibull 理論值比較圖
($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)



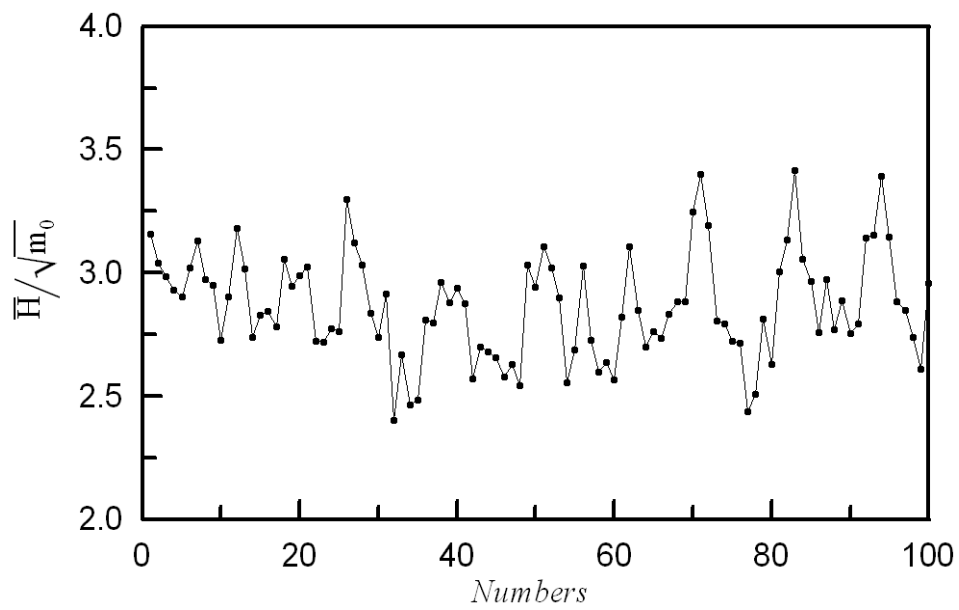
附圖 1-61 臺北港示性波高實際值與 Weibull 理論值比較圖
($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)



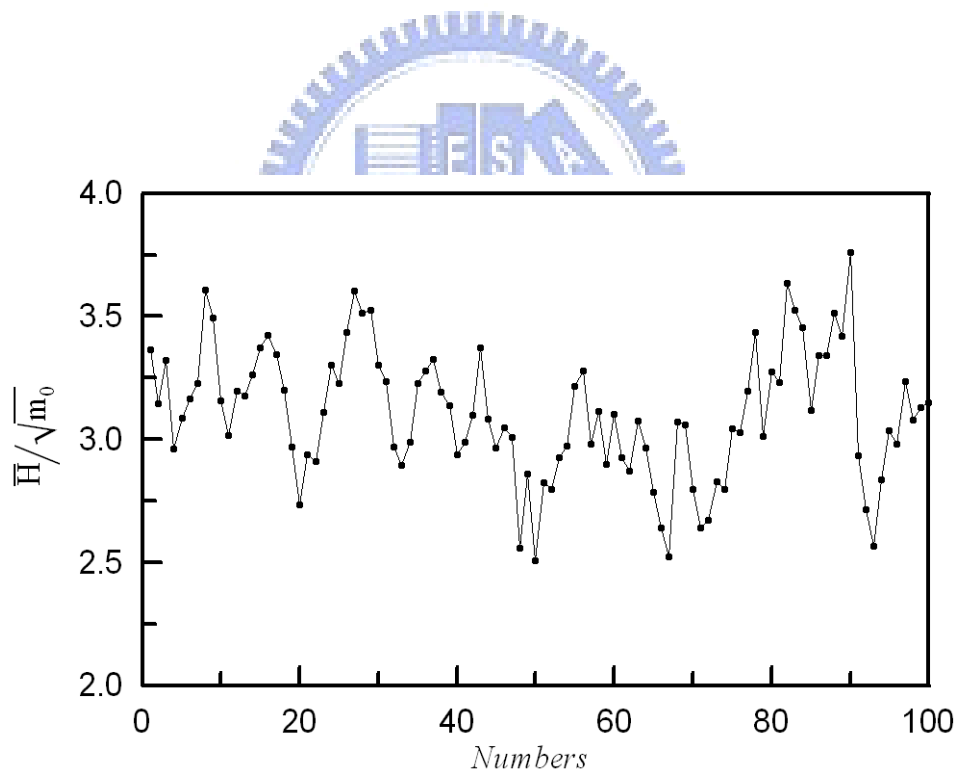
附圖 1-62 臺北港示性波高實際值與 Weibull 理論值比較圖
($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)



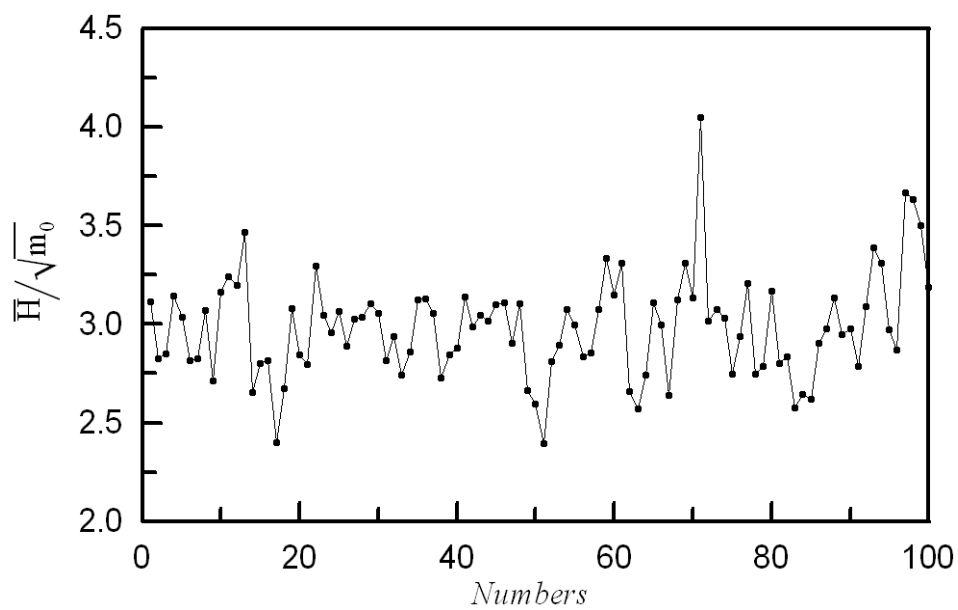
附圖 1-63 臺北港示性波高實際值與 Weibull 理論值比較圖
($H_s > 3.0\text{m}$)



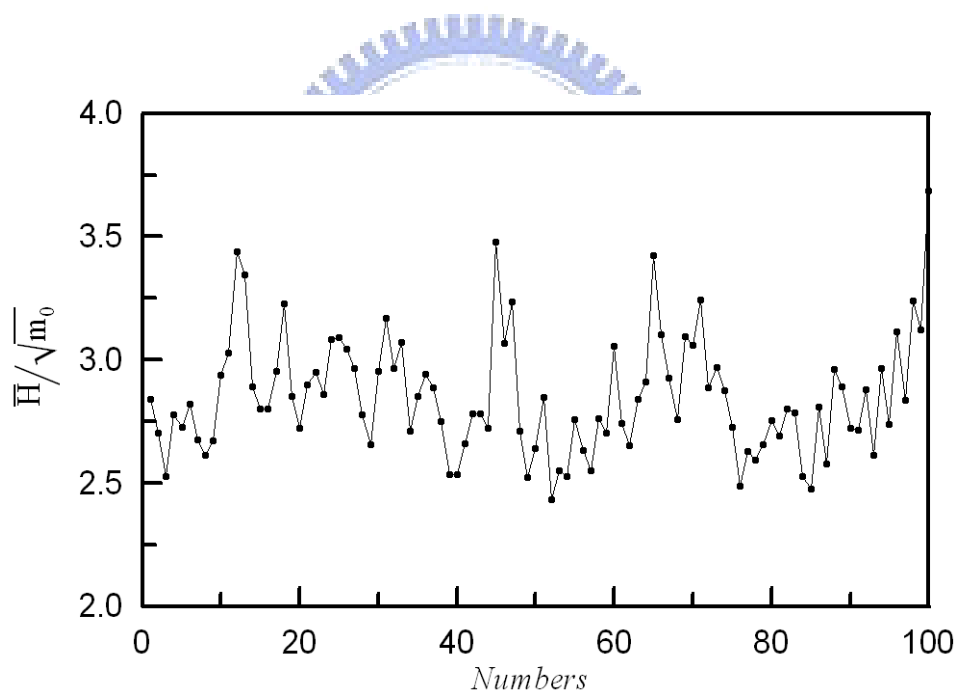
附圖 1-64 臺北港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖($H_s < 0.5\text{m}$)



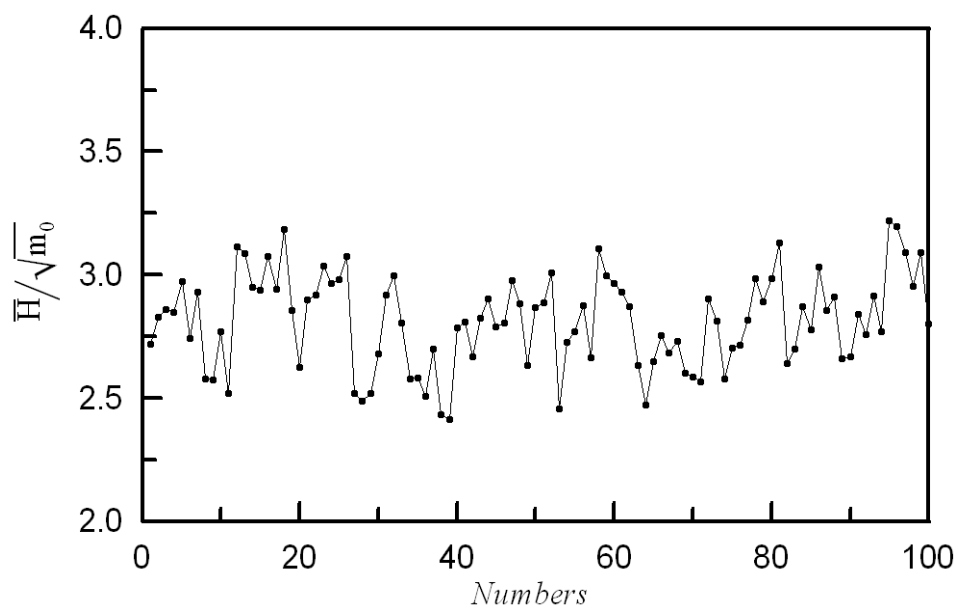
附圖 1-65 臺北港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)



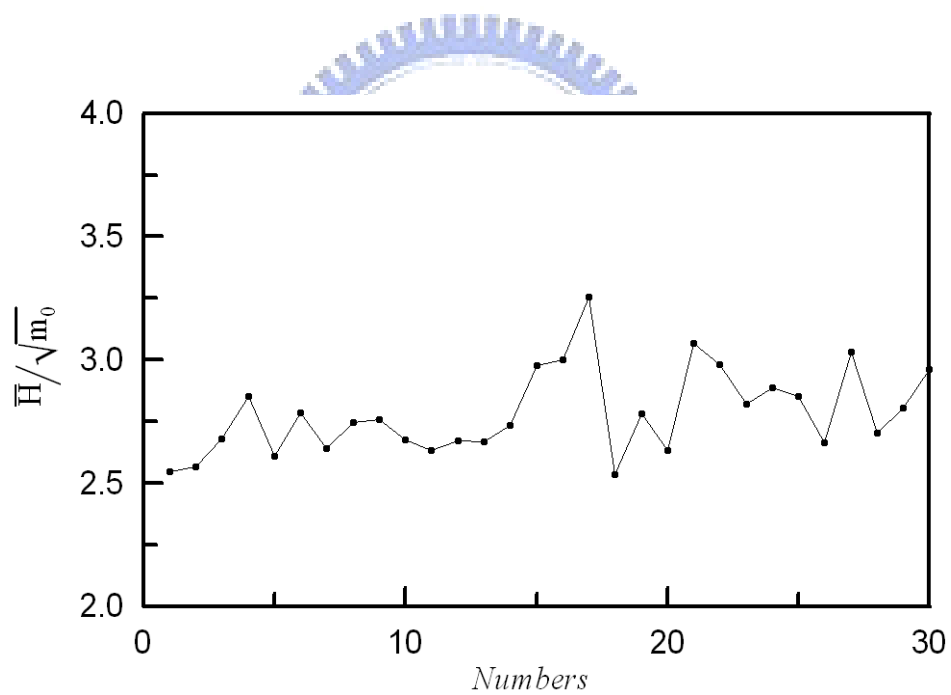
附圖 1-66 臺北港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)



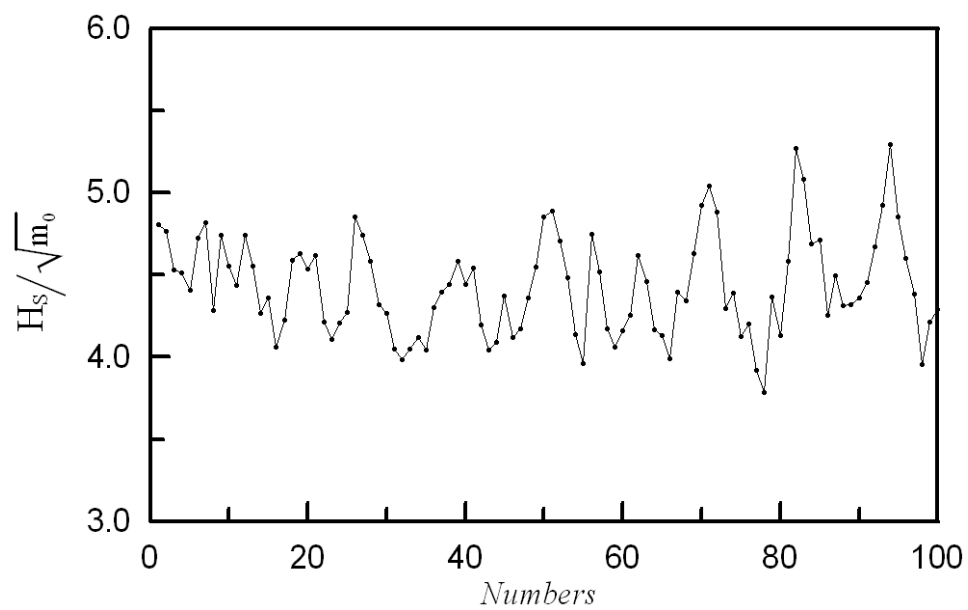
附圖 1-67 臺北港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)



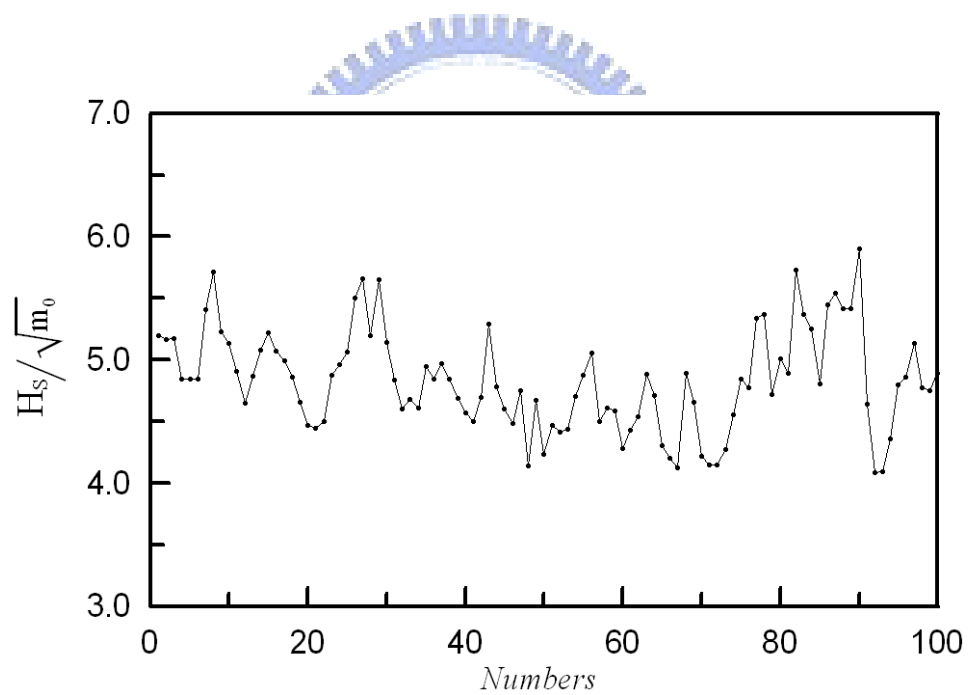
附圖 1-68 臺北港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)



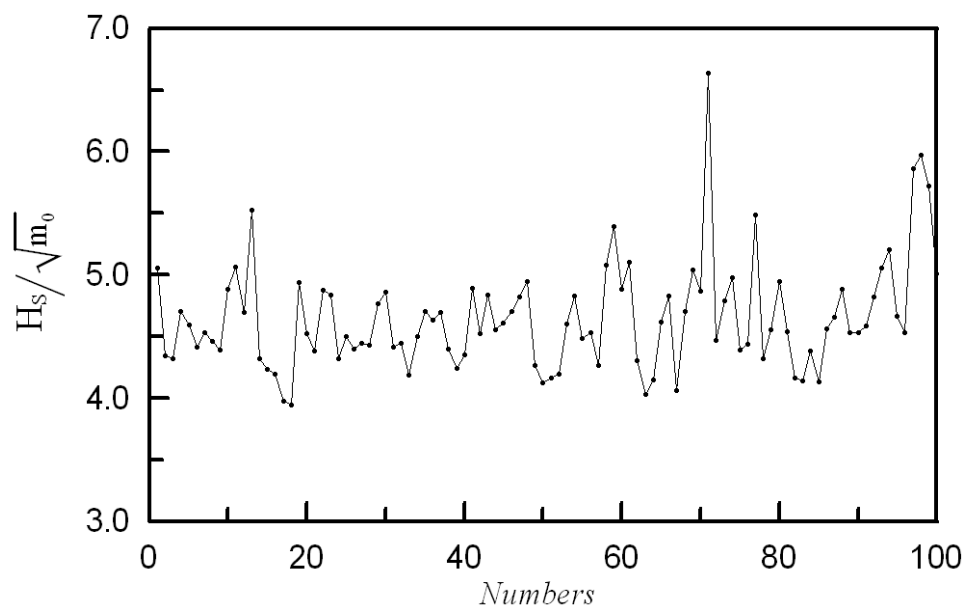
附圖 1-69 臺北港之波高 $\bar{H}/\sqrt{m_0}$ 比值分佈圖($H_s > 3.0\text{m}$)



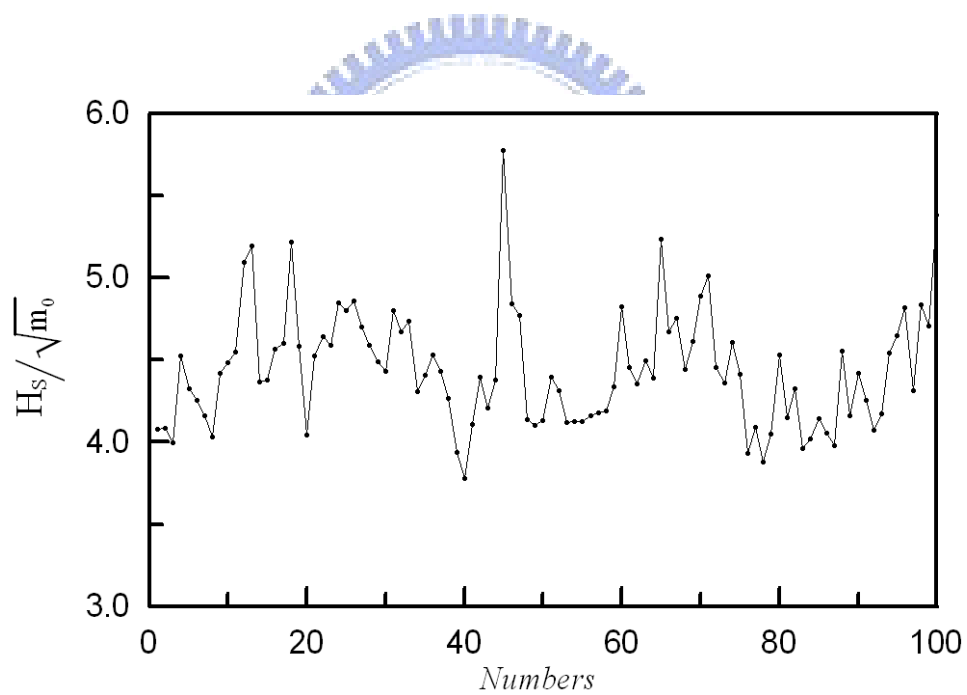
附圖 1-70 臺北港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖($H_s < 0.5\text{m}$)



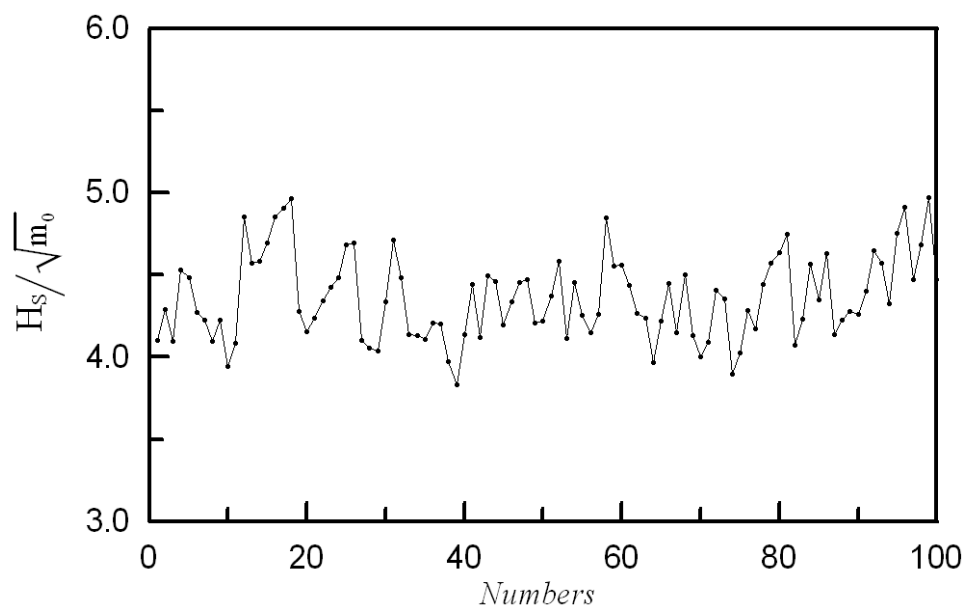
附圖 1-71 臺北港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)



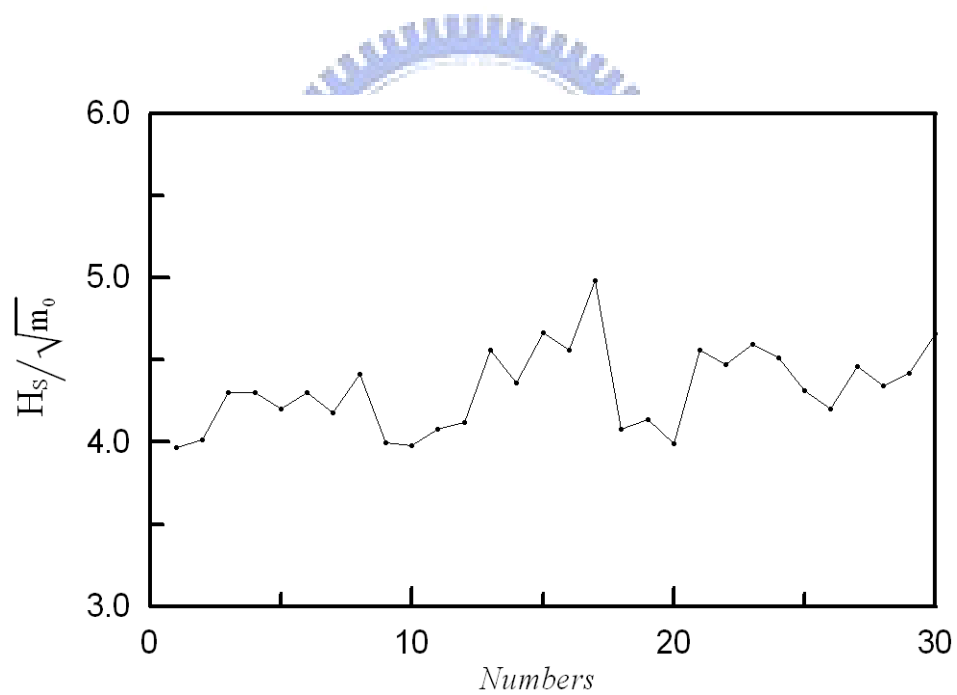
附圖 1-72 臺北港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)



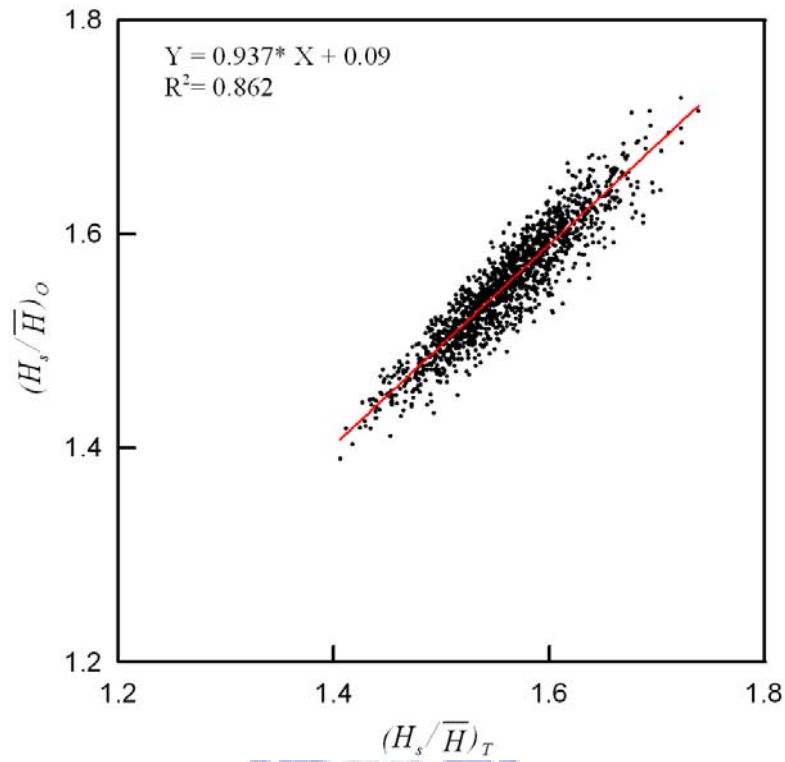
附圖 1-73 臺北港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)



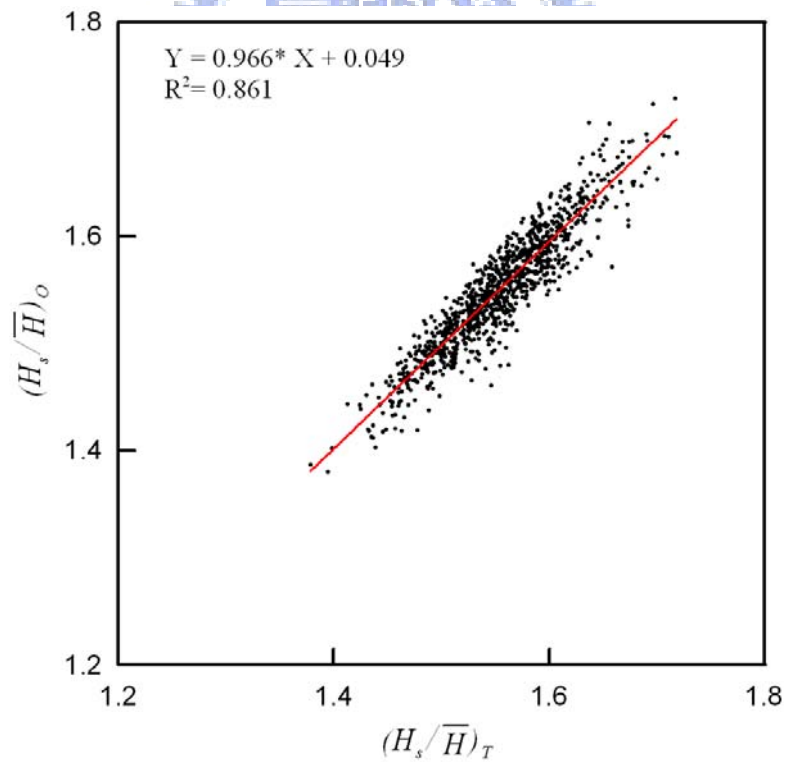
附圖 1-74 臺北港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)



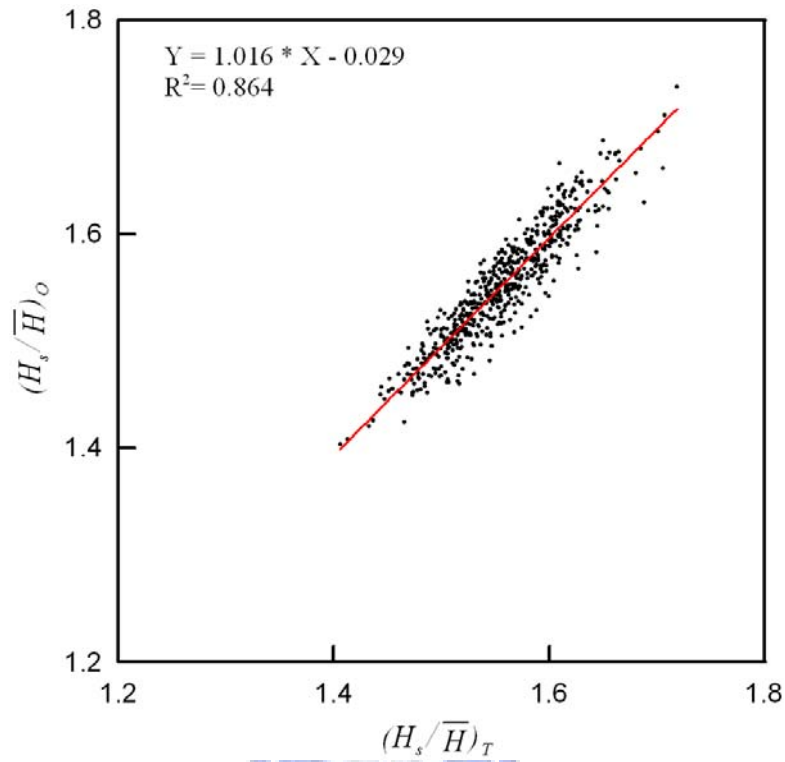
附圖 1-75 臺北港之波高 $H_s/\sqrt{m_0}$ 分佈圖($H_s > 3.0\text{m}$)



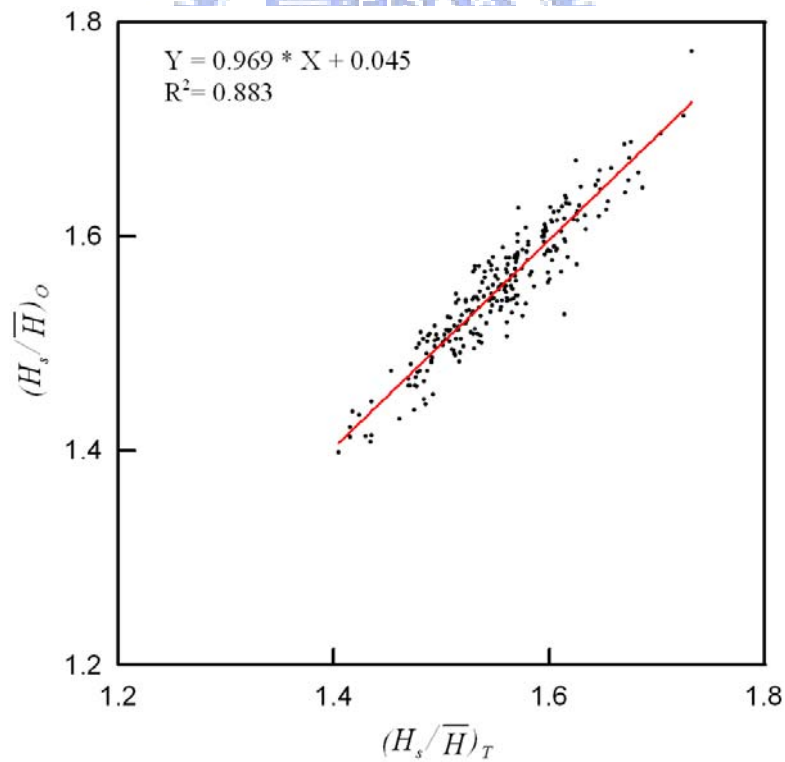
附圖 1-76 臺北港波高之理論與實際 H_s/\bar{H} 關係圖 ($H_s < 0.5\text{m}$)



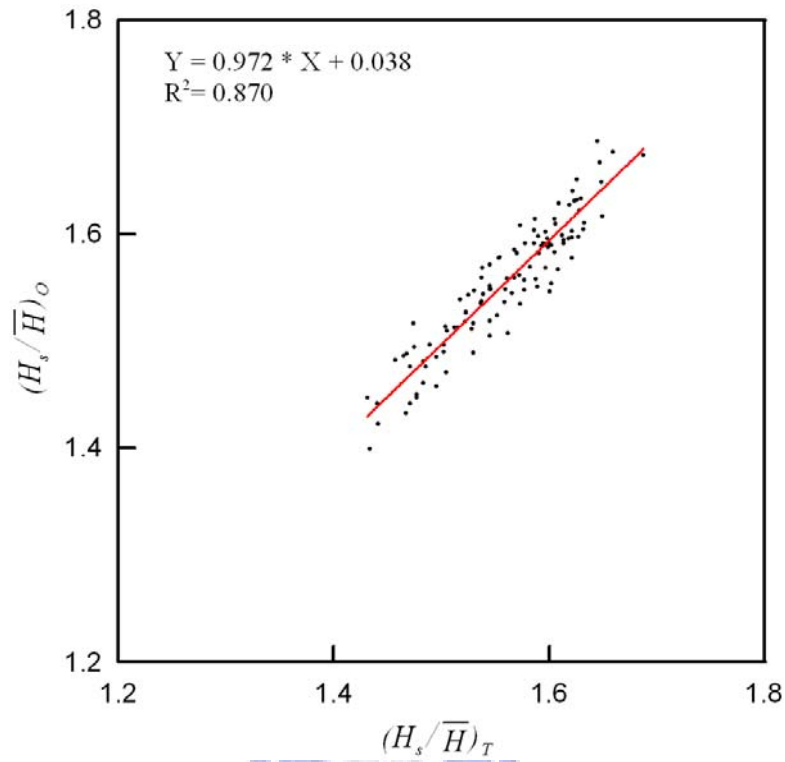
附圖 1-77 臺北港波高之理論與實際 H_s/\bar{H} 關係圖 ($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)



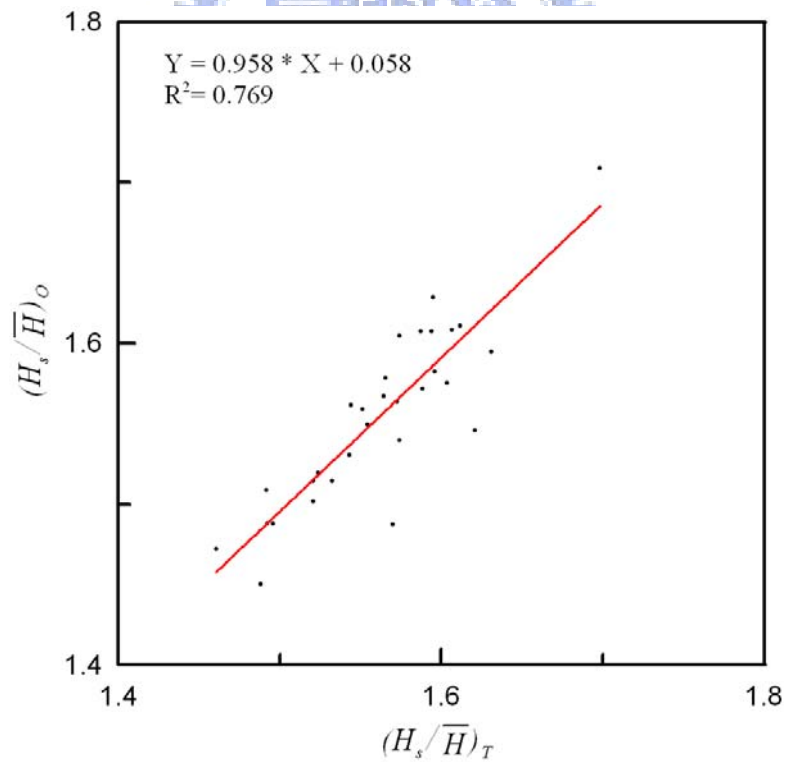
附圖 1-78 臺北港波高之理論與實際 H_s/\sqrt{H} 關係圖($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)



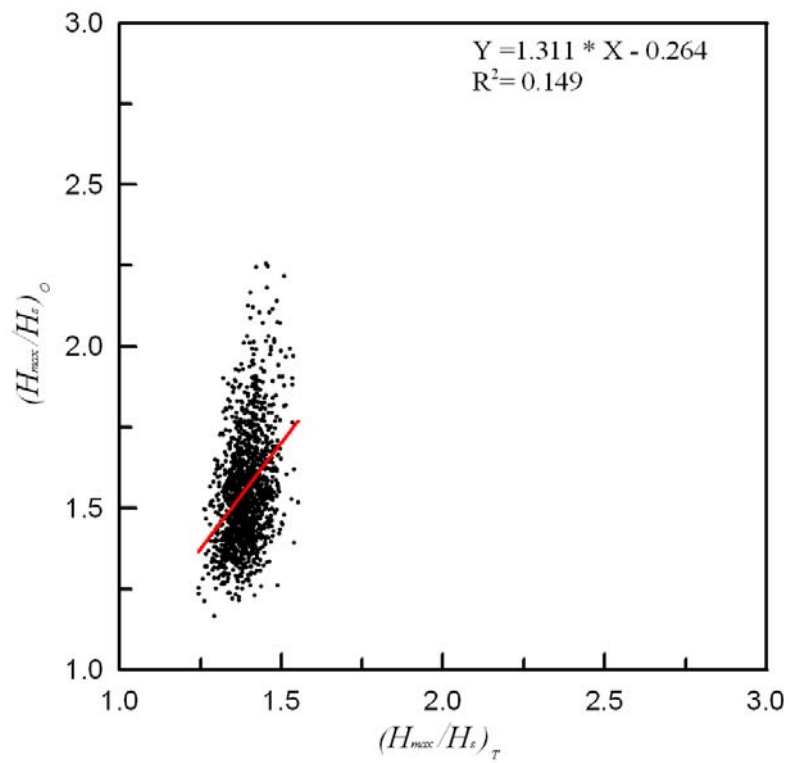
附圖 1-79 臺北港波高之理論與實際 H_s/\sqrt{H} 關係圖($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)



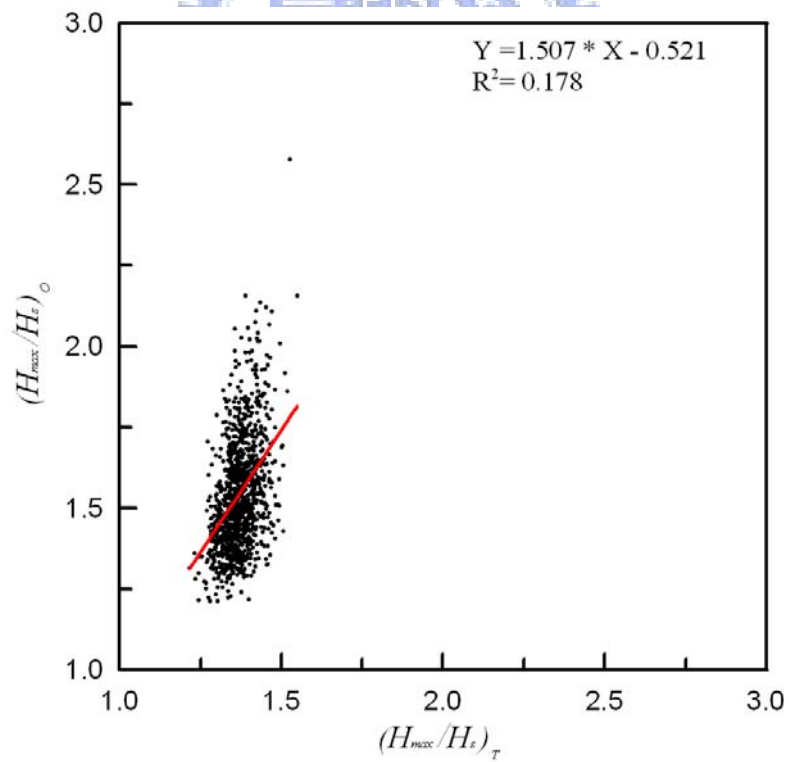
附圖 1-80 臺北港波高之理論與實際 H_s/\sqrt{H} 關係圖 ($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)



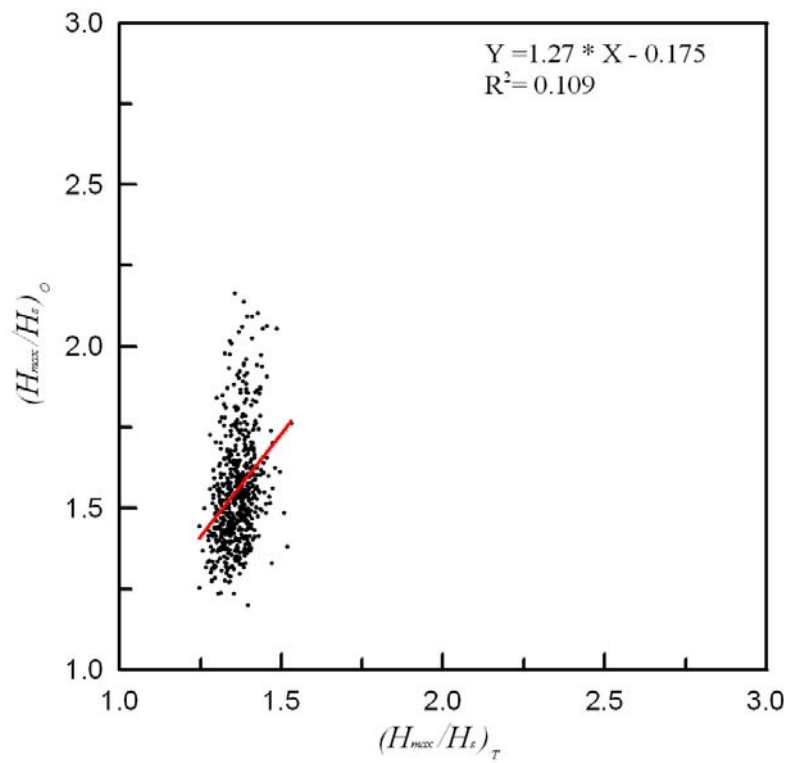
附圖 1-81 臺北港波高之理論與實際 H_s/\sqrt{H} 關係圖 ($H_s > 3.0\text{m}$)



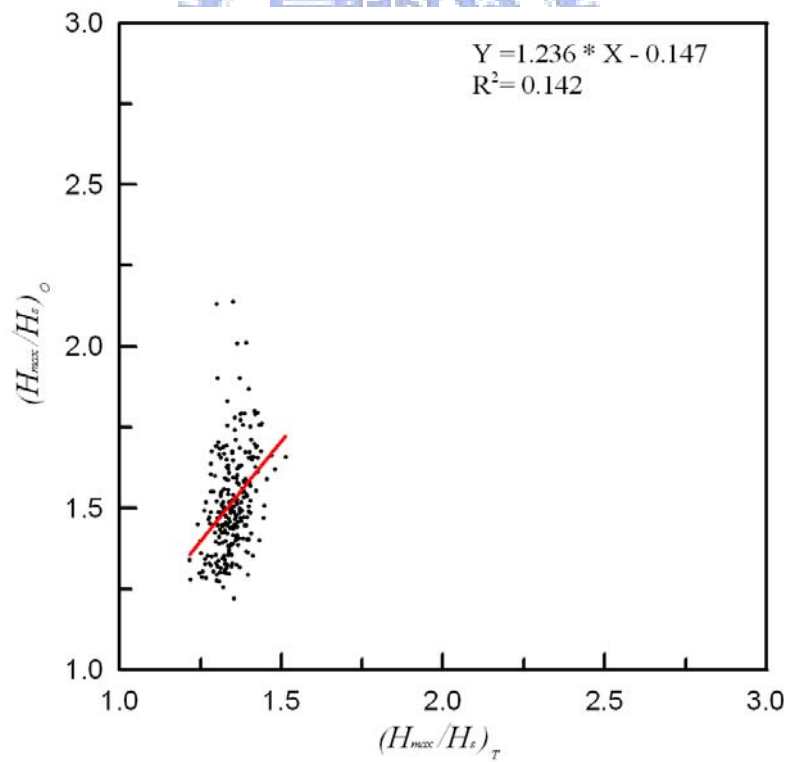
附圖 1-82 臺北港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($H_s < 0.5\text{m}$)



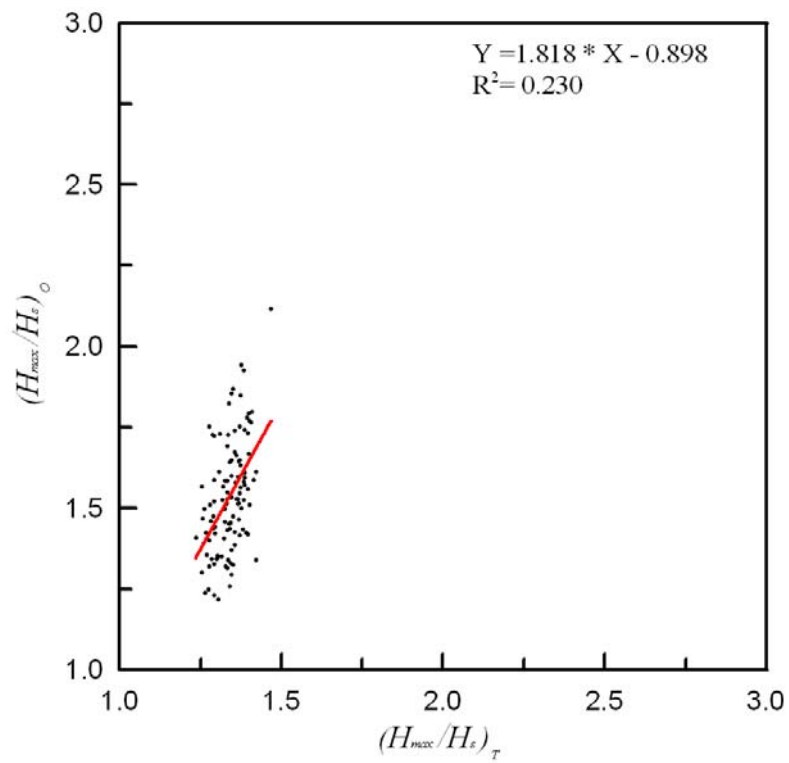
附圖 1-83 臺北港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)



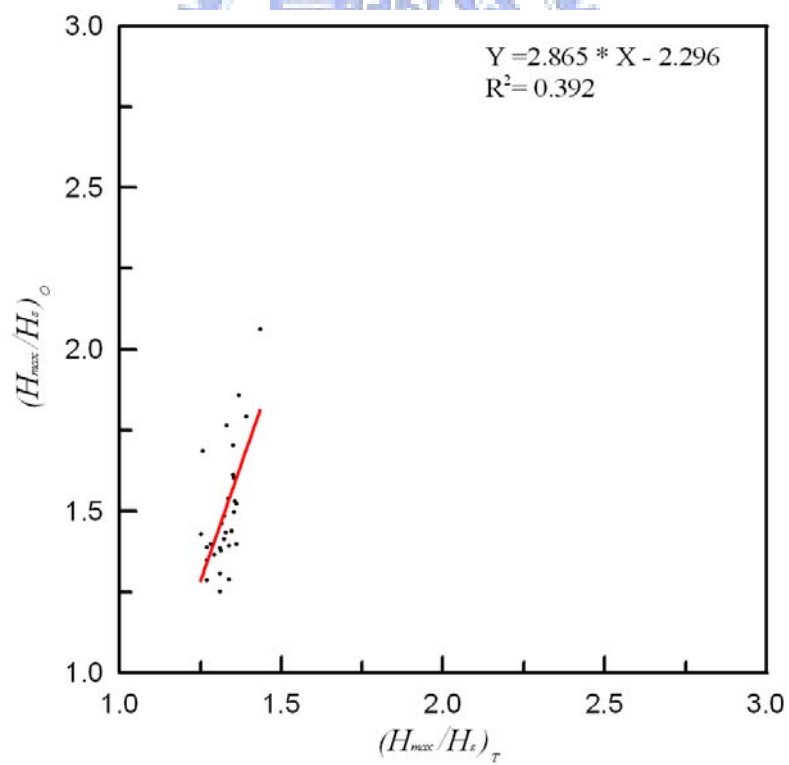
附圖 1-84 臺北港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)



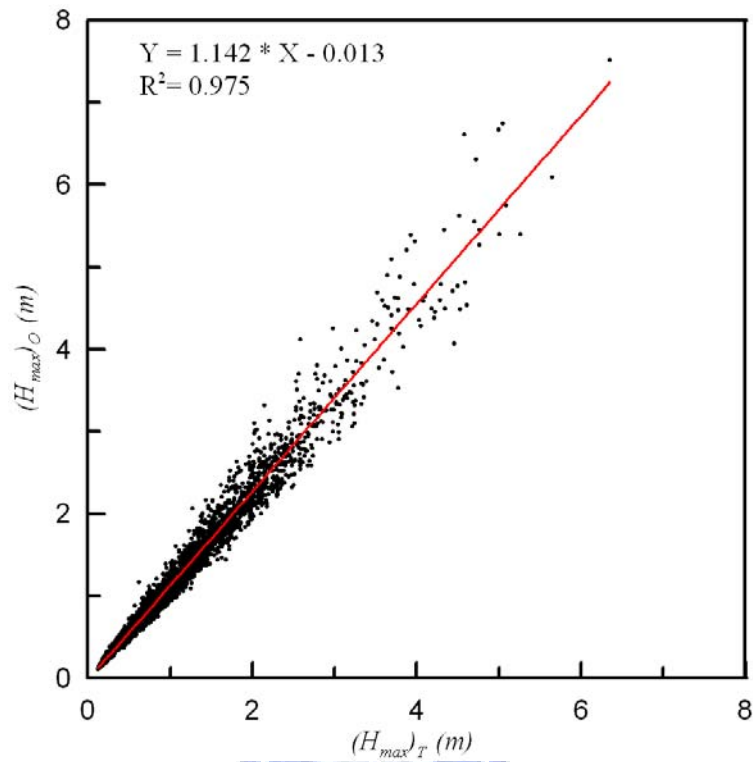
附圖 1-85 臺北港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)



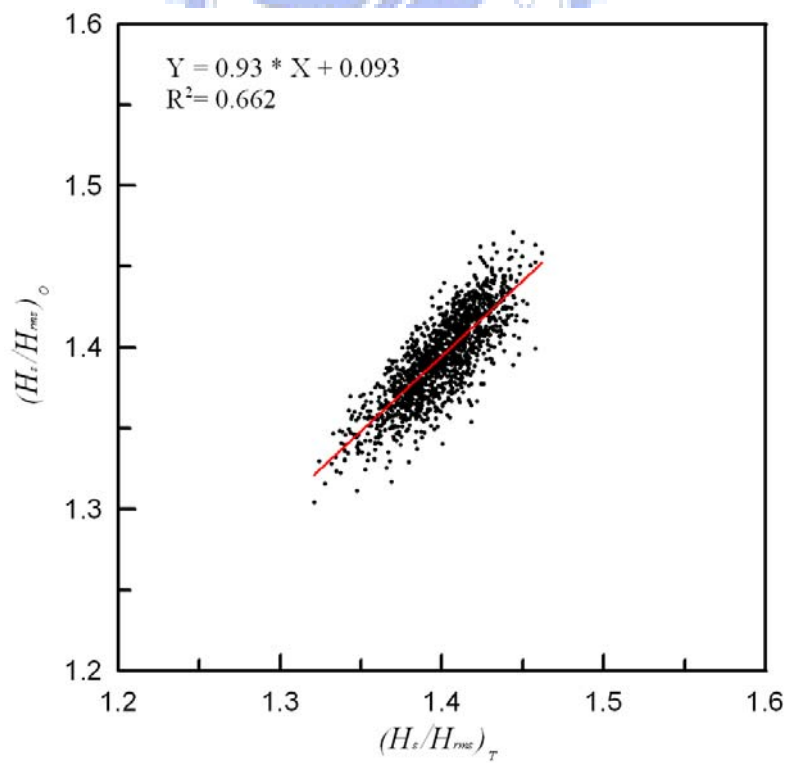
附圖 1-86 臺北港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)



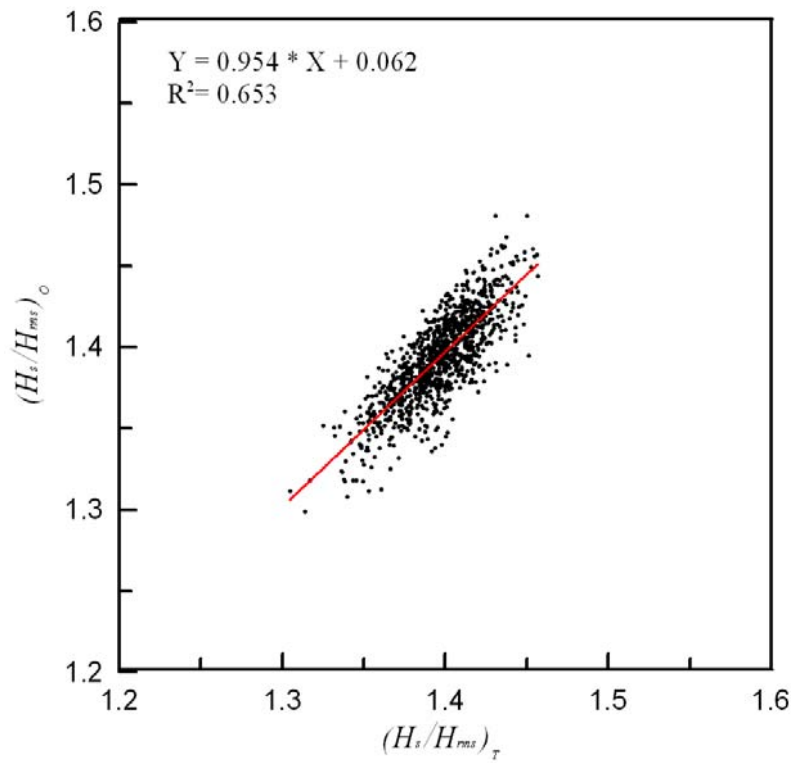
附圖 1-87 臺北港波高之理論與實際 H_{max}/H_s 關係圖($H_s > 3.0\text{m}$)



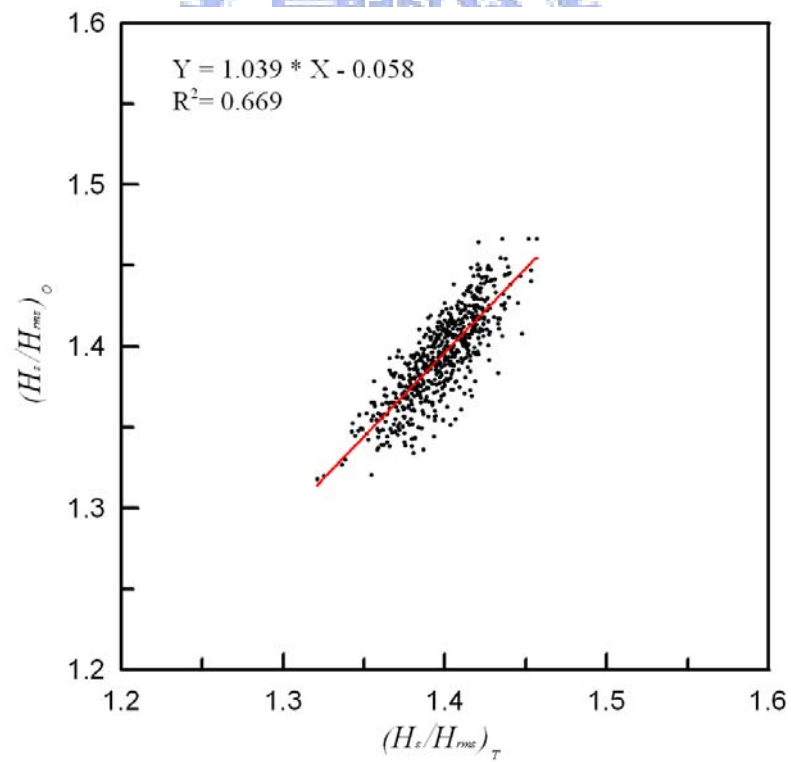
附圖 1-88 臺北港全年波高之實際與理論 H_{max} 比較圖



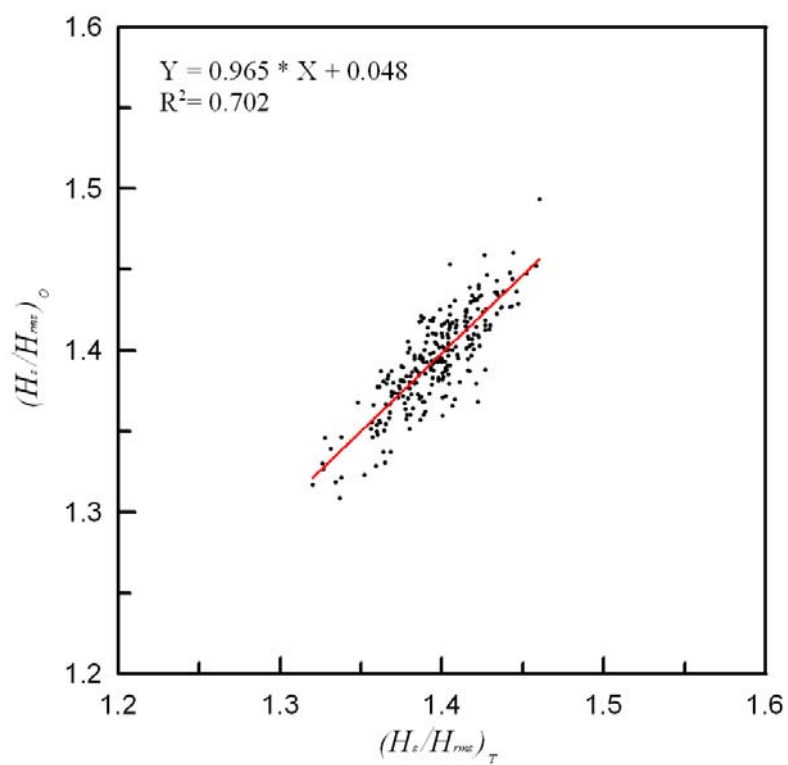
附圖 1-89 臺北港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($H_s < 0.5m$)



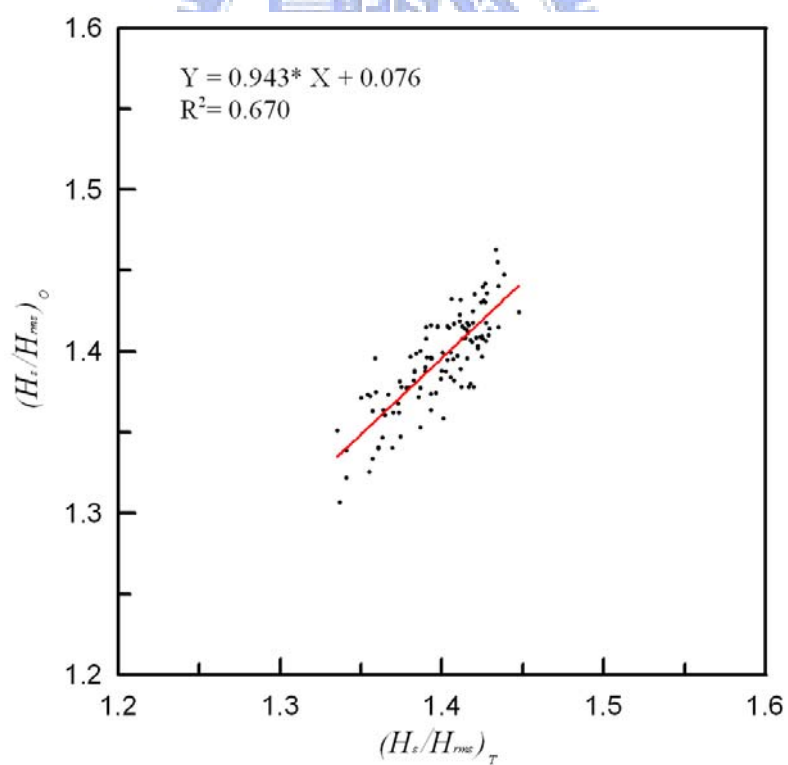
附圖 1-90 臺北港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)



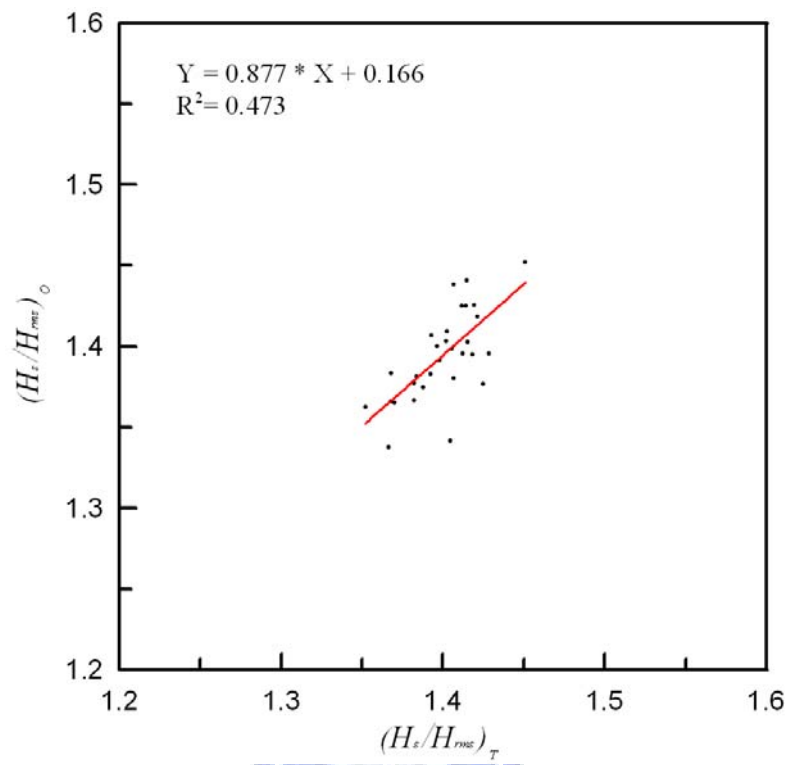
附圖 1-91 臺北港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)



附圖 1-92 臺北港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖(1.5m<H_s<2.0 m)



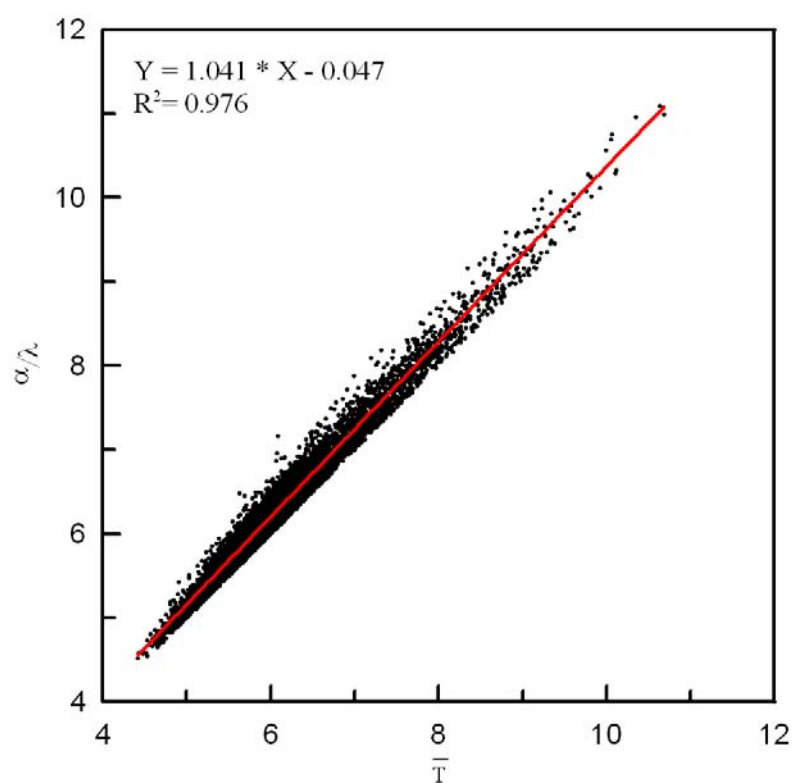
附圖 1-93 臺北港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖(2.0m<H_s<3.0m)



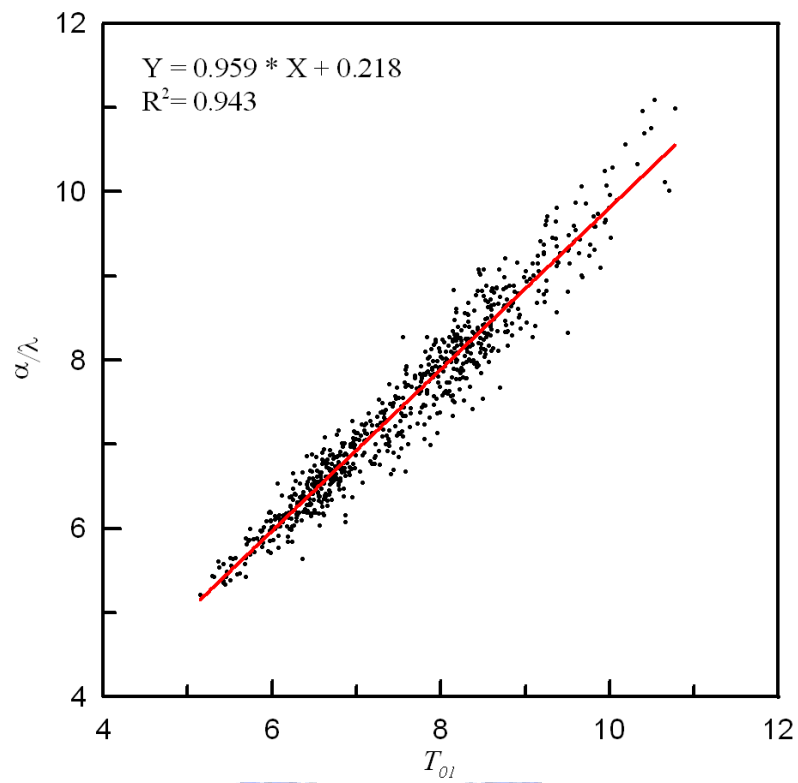
附圖 1-94 臺北港波高之理論與實際 H_s/H_{rms} 關係圖 ($H_s > 3.0\text{m}$)



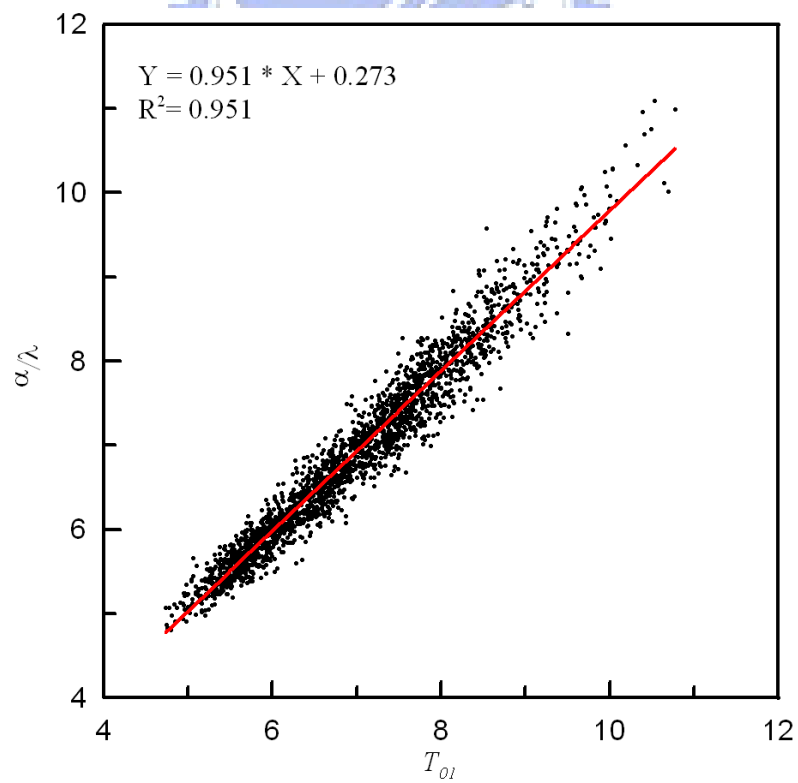
附圖 2 安平港週期特性分析



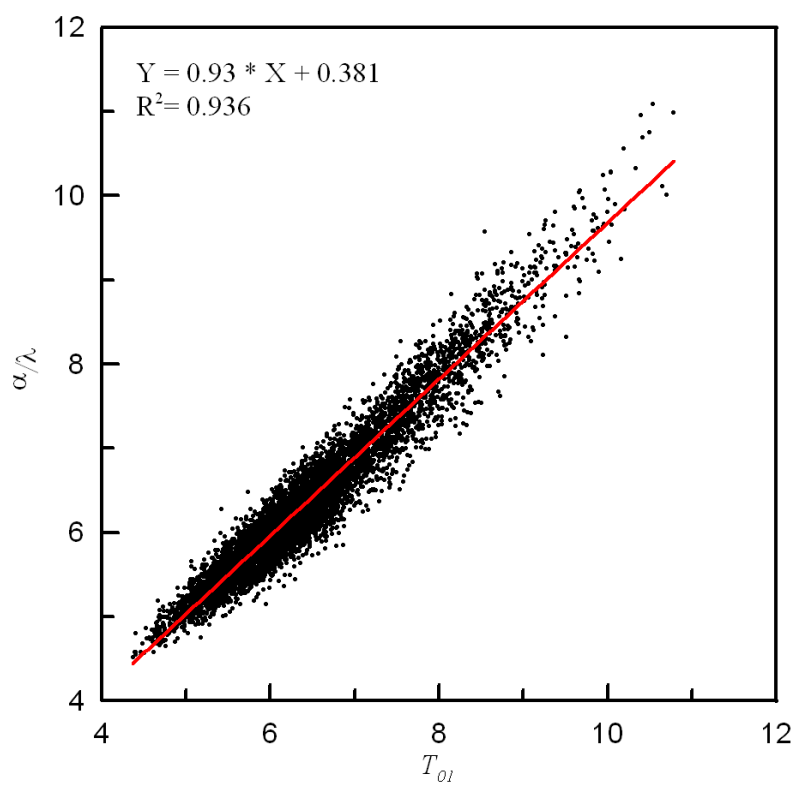
附圖 2-1 安平港 α/λ 與 \bar{T} 之關係圖



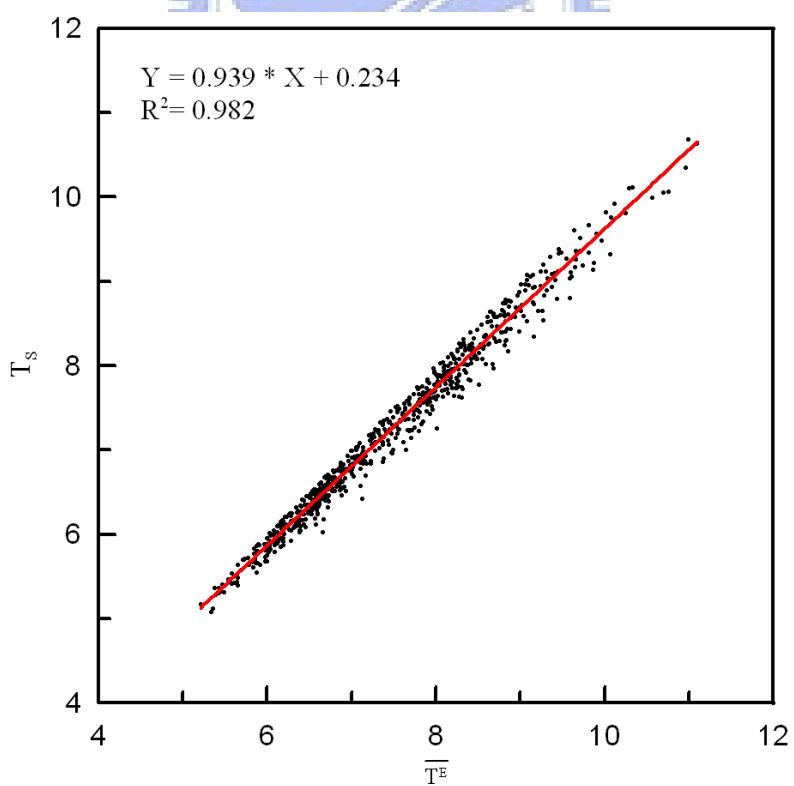
附圖 2-2 安平港 α/λ 與 T_{01} 之關係圖(2006 年 8 月)



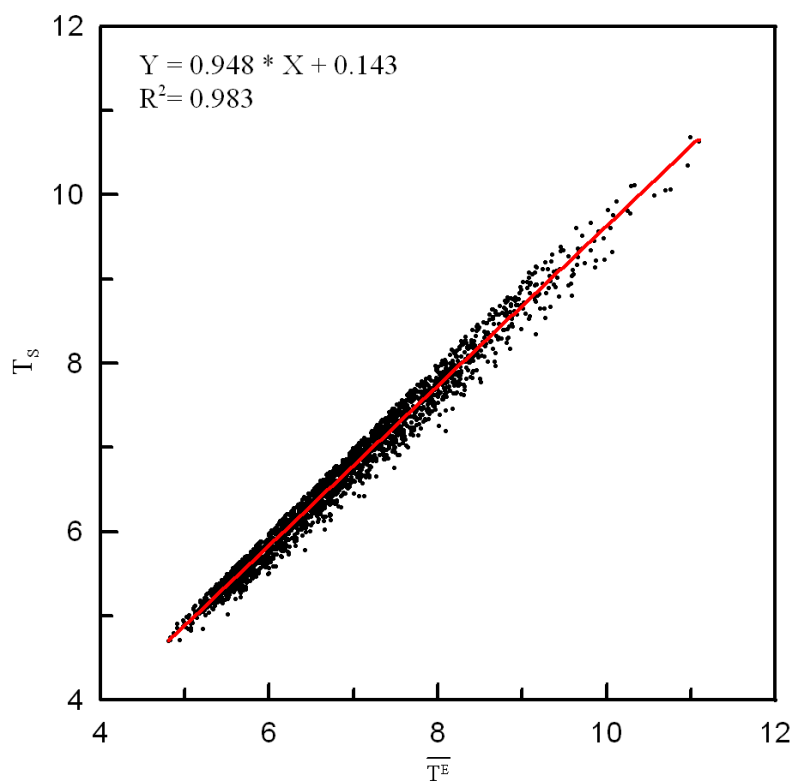
附圖 2-3 安平港 α/λ 與 T_{01} 之關係圖(2006 年第 3 季)



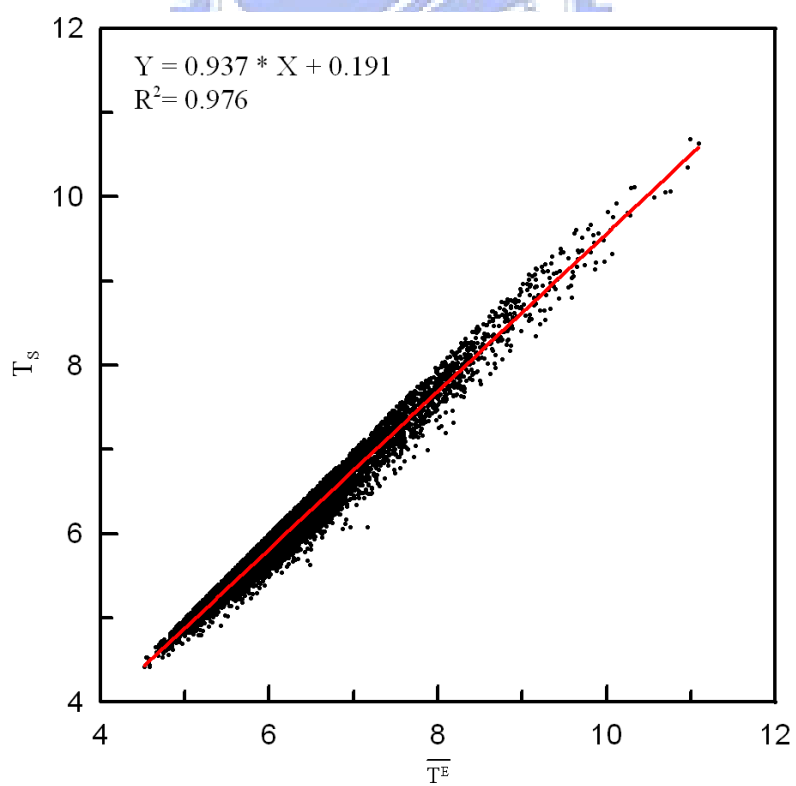
附圖 2-4 安平港 α/λ 與 T_{01} 之關係圖(2006 年全年)



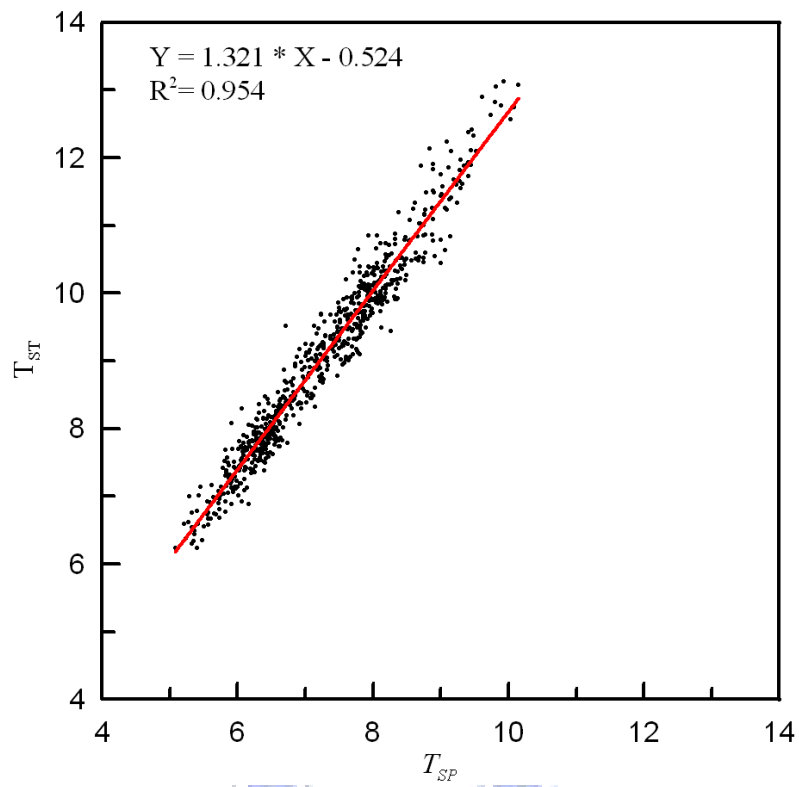
附圖 2-5 安平港 T_s 與理論平均週期 \overline{T}^E 之關係圖(2006 年 8 月)



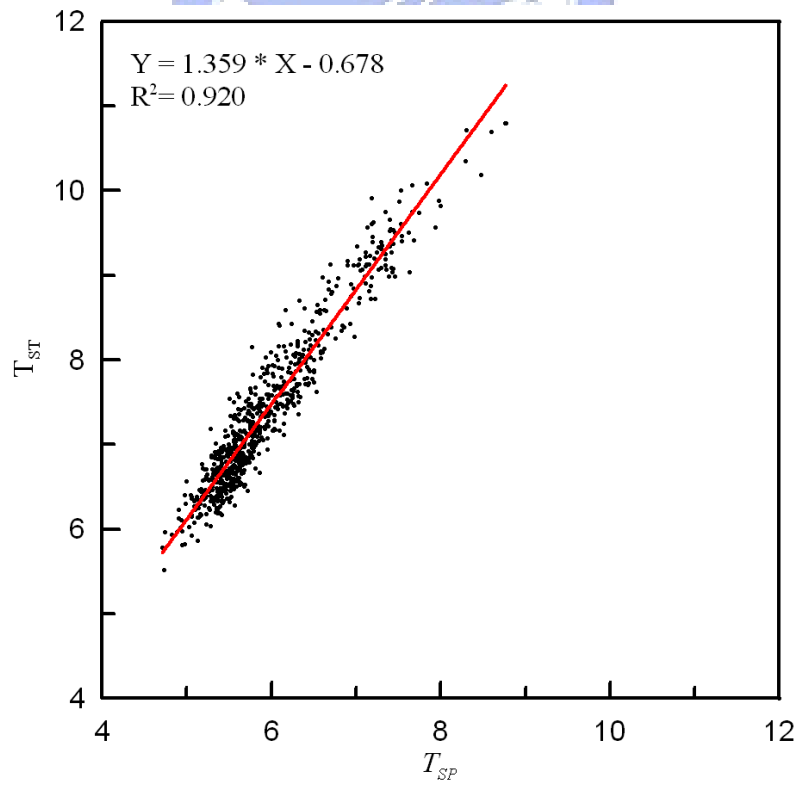
附圖 2-6 安平港 T_s 與理論平均週期 \bar{T}^E 之關係圖(2006 年第 3 季)



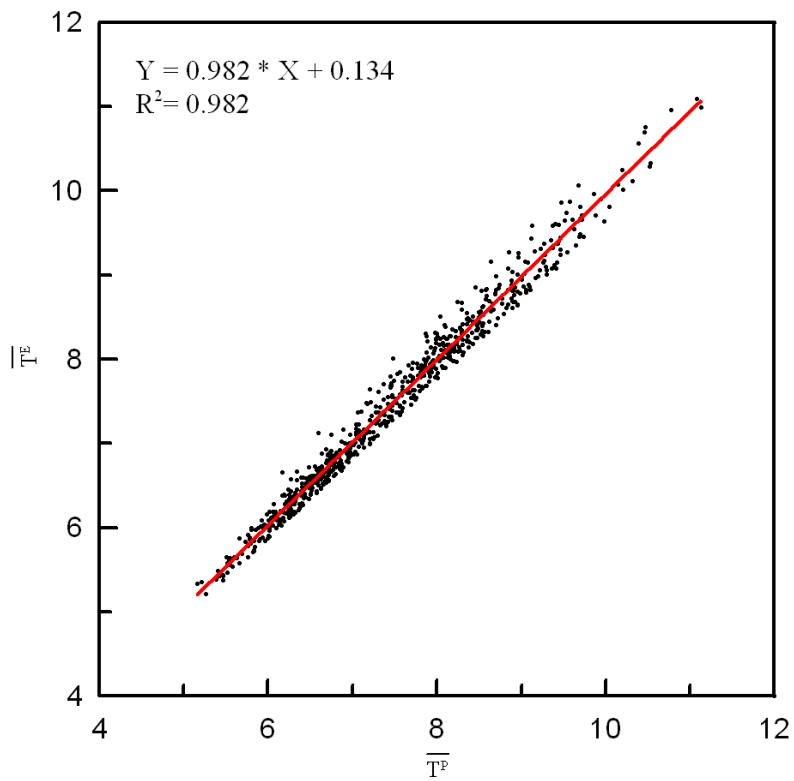
附圖 2-7 安平港 T_s 與理論平均週期 \bar{T}^E 之關係圖(2006 年全年)



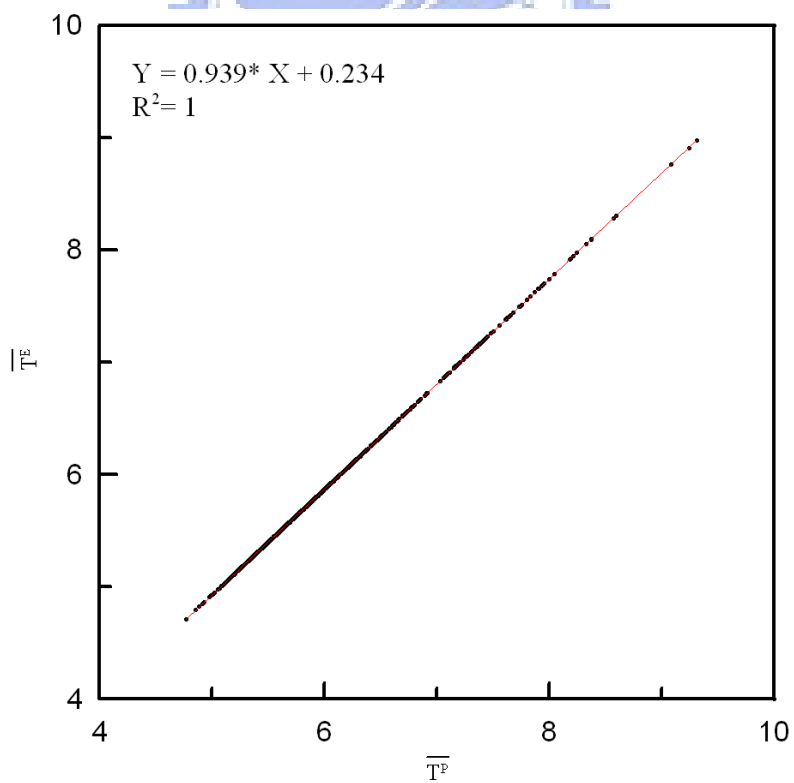
附圖 2-8 安平港理論與推估示性週期之關係圖(2006 年 8 月)



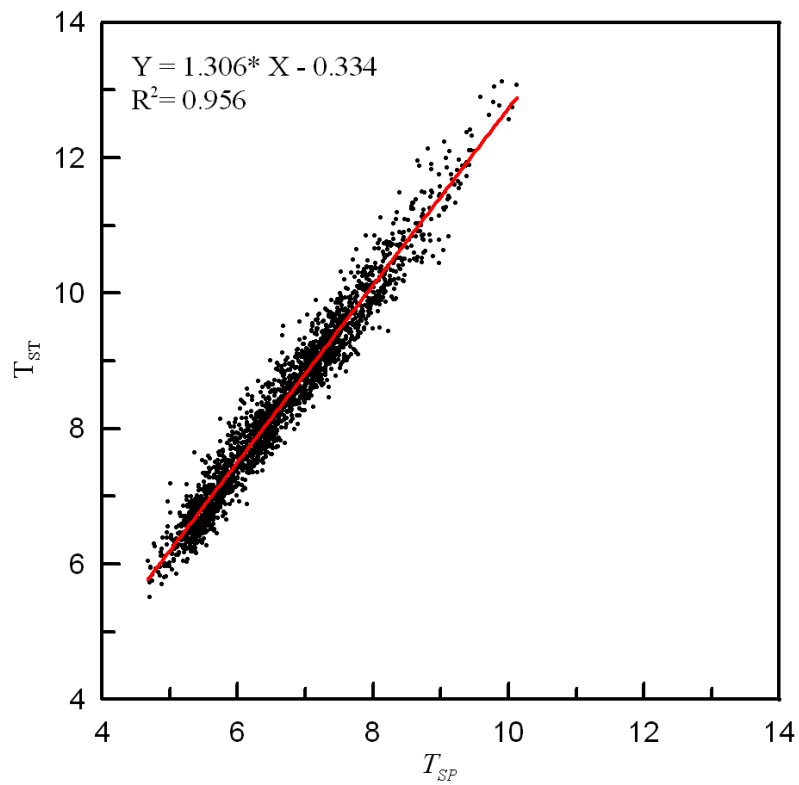
附圖 2-9 安平港理論與推估示性週期之關係圖(2006 年 9 月)



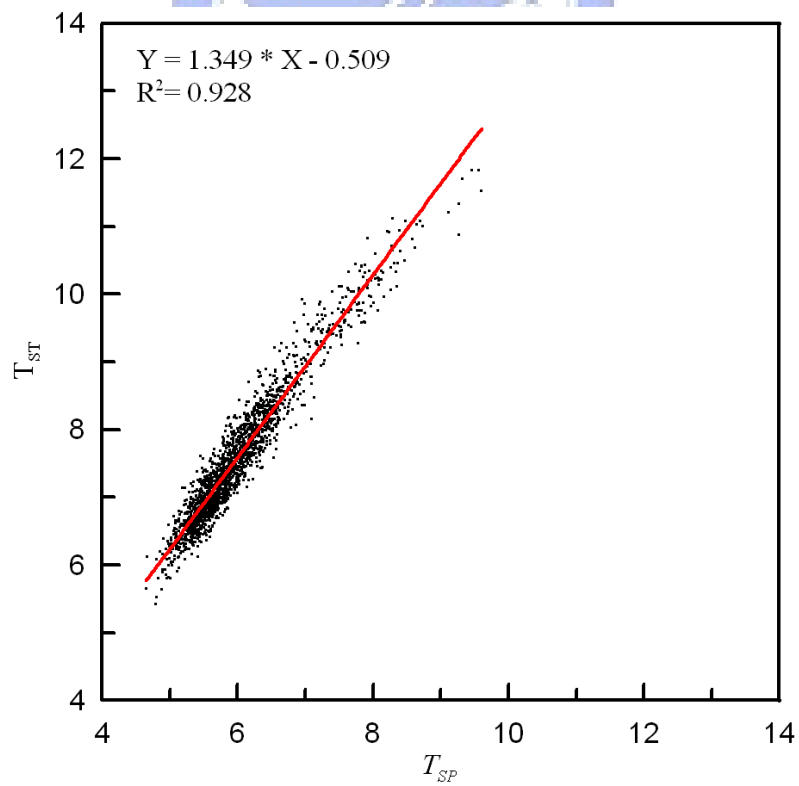
附圖 2-10 安平港理論與推估平均週期之關係圖(2006 年 8 月)



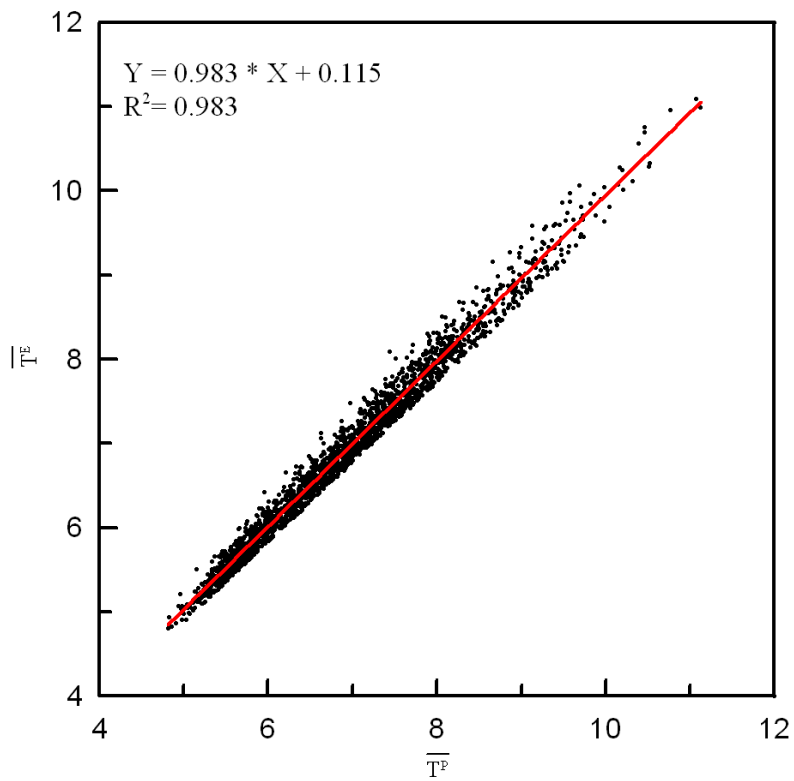
附圖 2-11 安平港理論與推估平均週期之關係圖(2006 年 9 月)



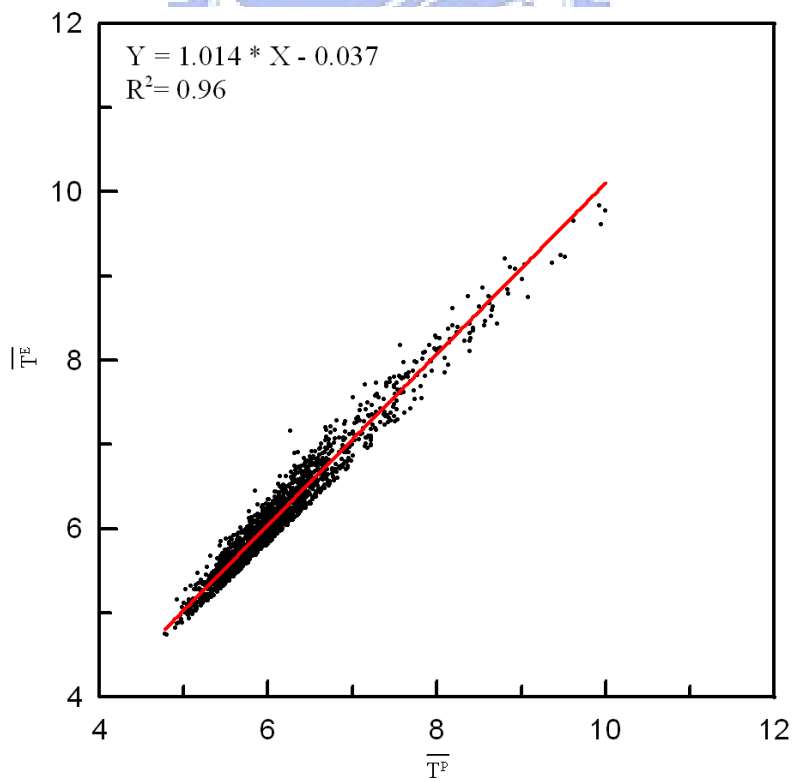
附圖 2-12 安平港理論與推估示性週期之關係圖(2006 年第 3 季)



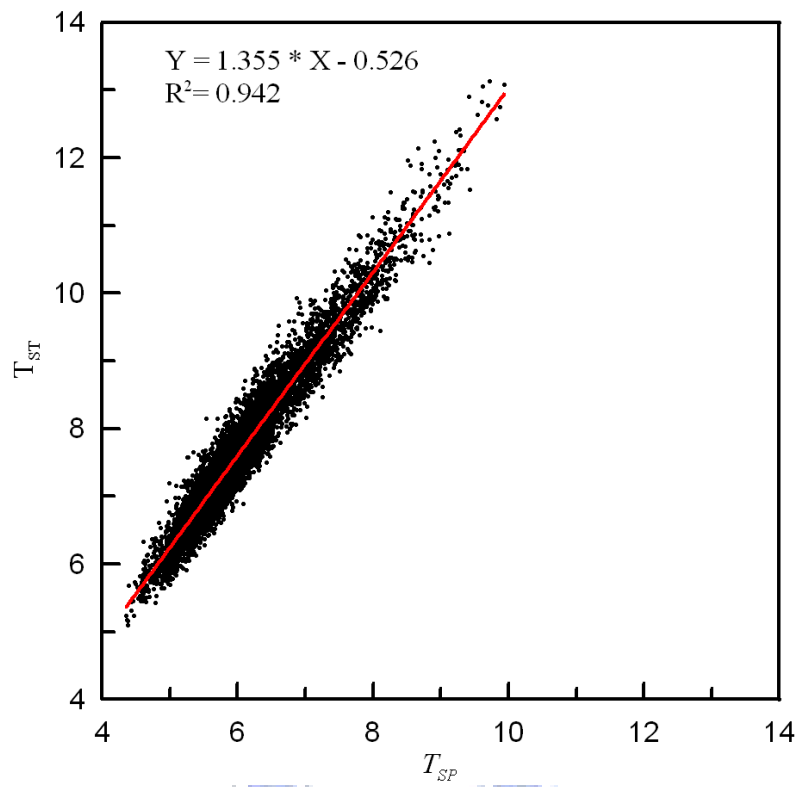
附圖 2-13 安平港理論與推估示性週期之關係圖(2006 年第 4 季)



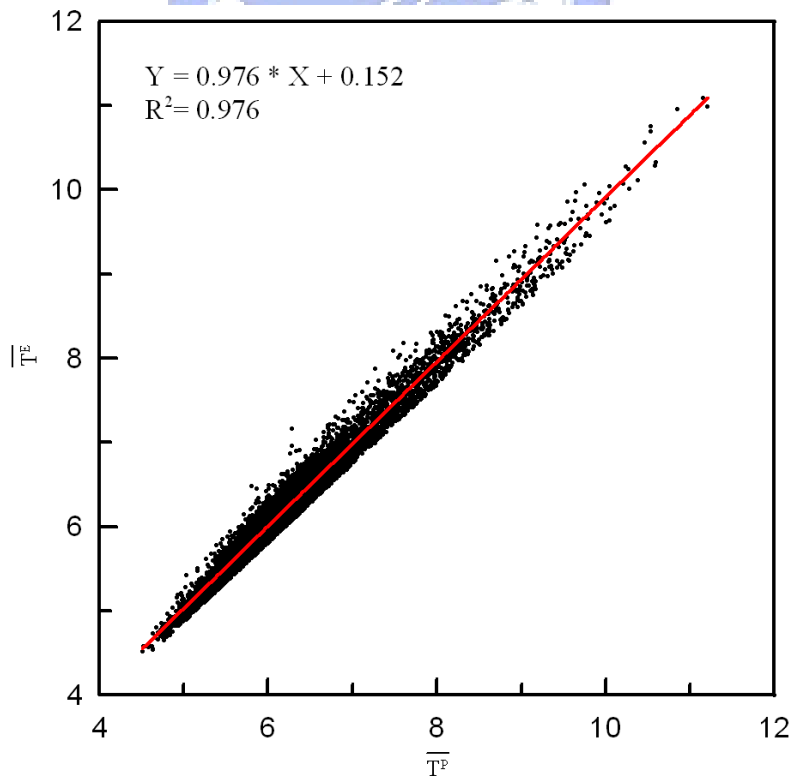
附圖 2-14 安平港理論與推估平均週期之關係圖(2006 年第 3 季)



附圖 2-15 安平港理論與推估平均週期之關係圖(2006 年第 4 季)

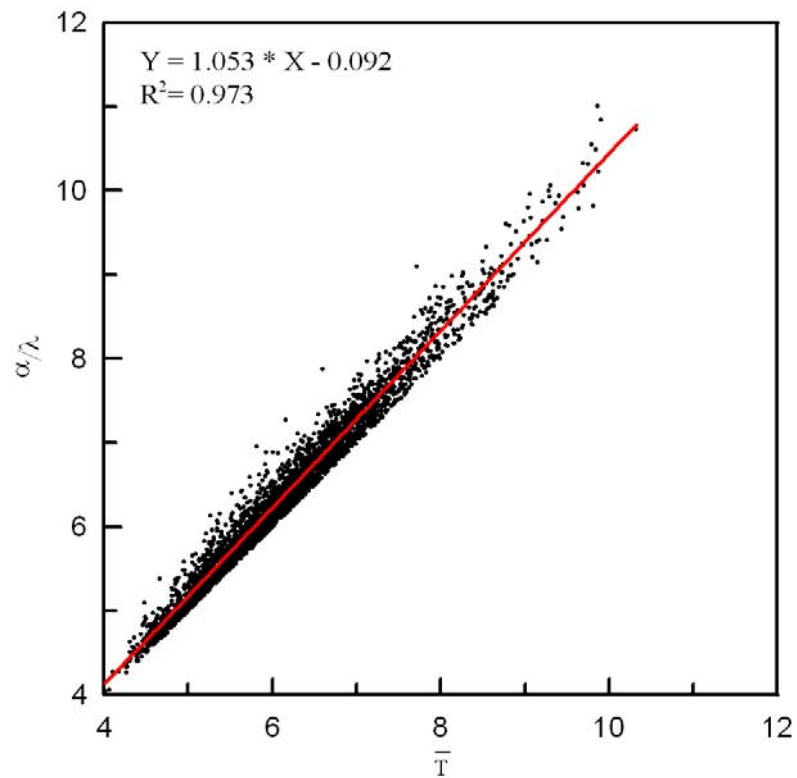


附圖 2-16 安平港理論與推估示性週期之關係圖(2006 年)

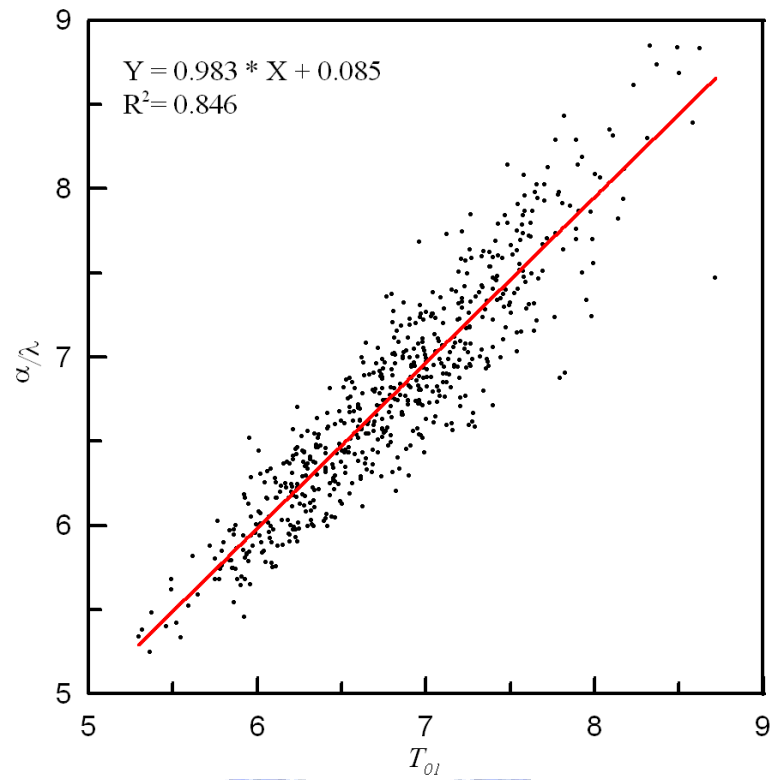


附圖 2-17 安平港理論與推估平均週期之關係圖(2006 年)

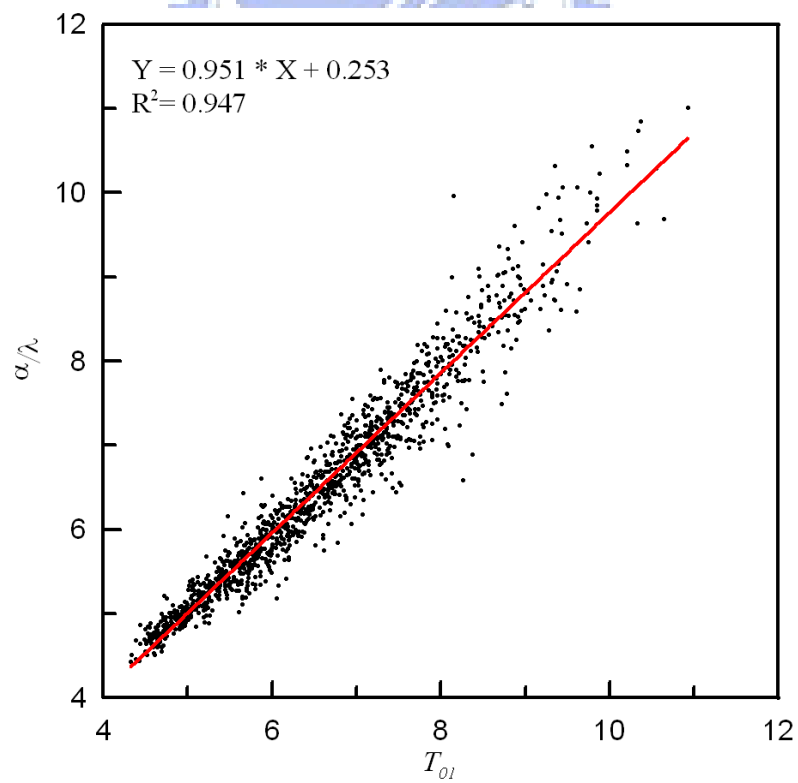
附圖 2 臺北港週期特性分析



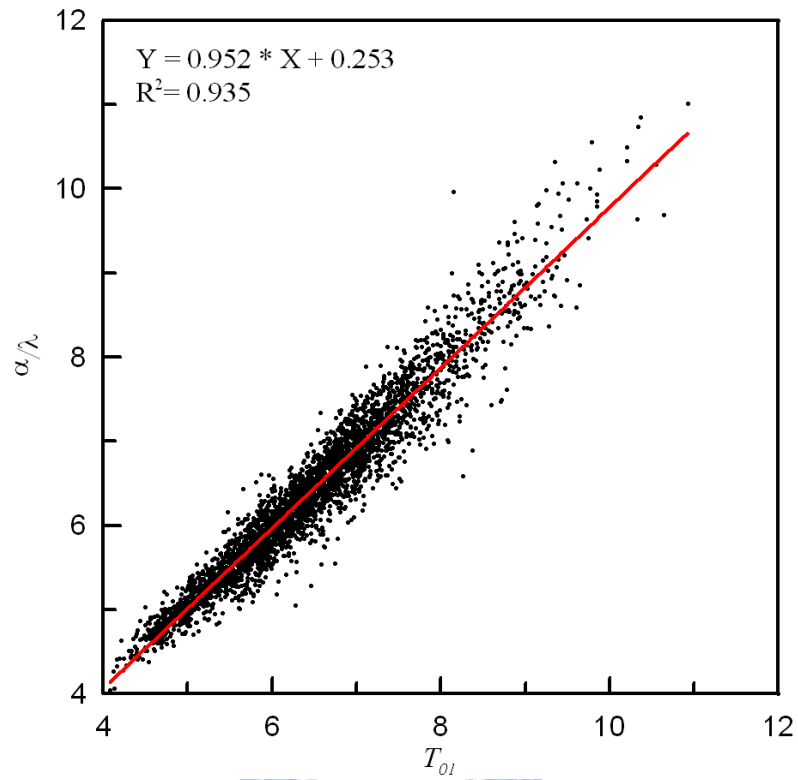
附圖 2-18 臺北港 α/λ 與 \bar{T} 之關係圖



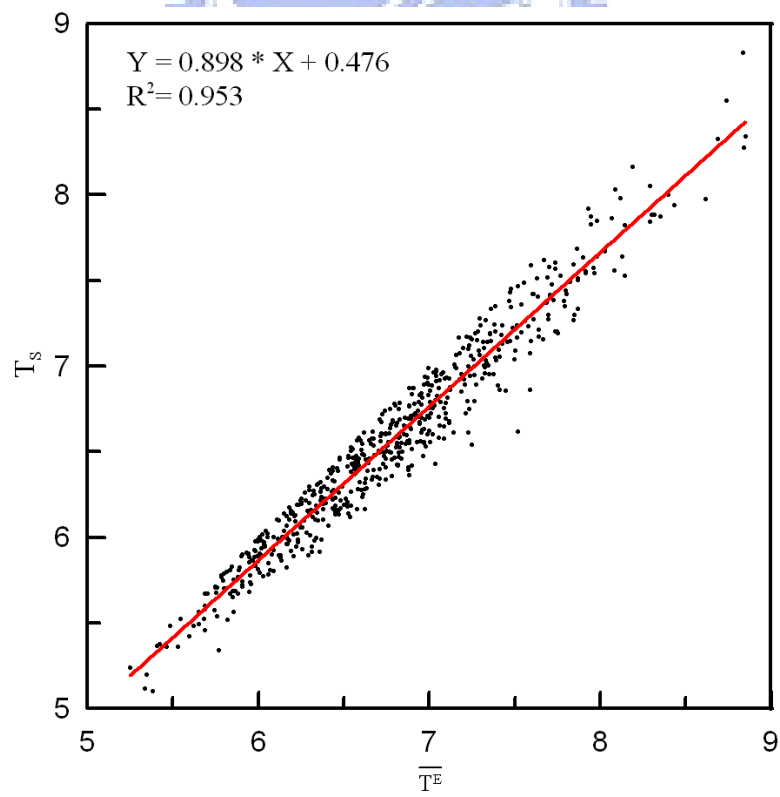
附圖 2-19 臺北港 α/λ 與 T_{01} 之關係圖(2006 年 12 月)



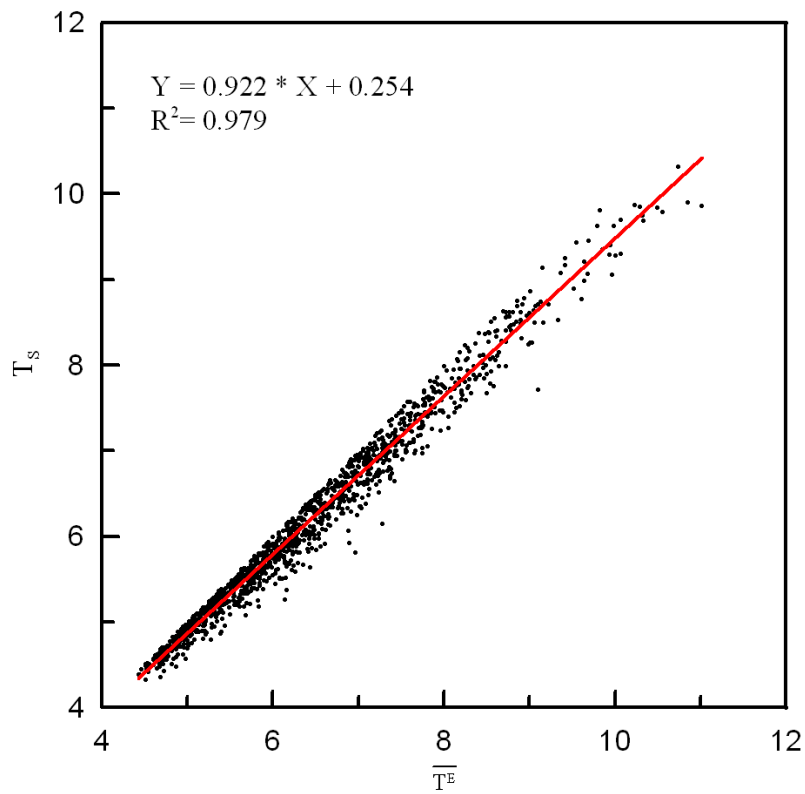
附圖 2-20 臺北港 α/λ 與 T_{01} 之關係圖(2006 年第 3 季)



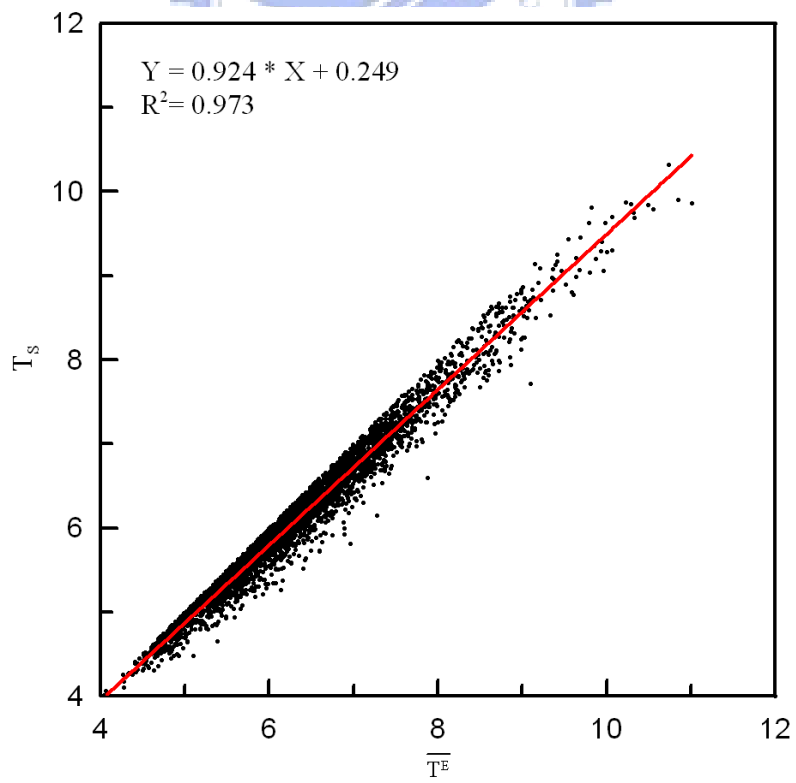
附圖 2-21 臺北港 α/λ 與 T_{01} 之關係圖(2006 年全年)



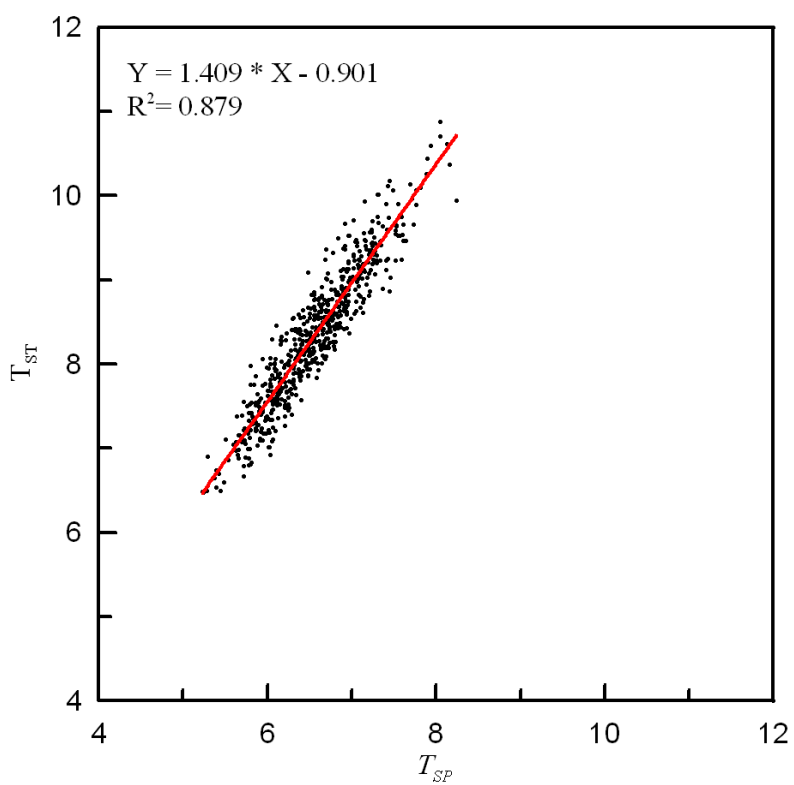
附圖 2-22 臺北港 T_s 與理論平均週期 \overline{T}^E 之關係圖(2006 年 12 月)



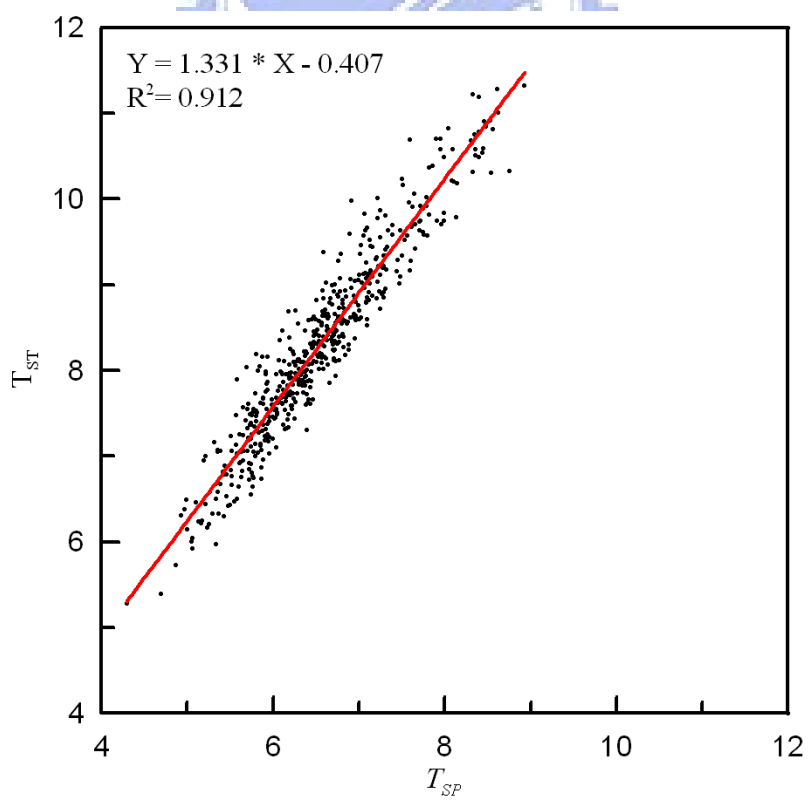
附圖 2-23 臺北港 T_s 與理論平均週期 $\overline{T^E}$ 之關係圖(2006 年第 3 季)



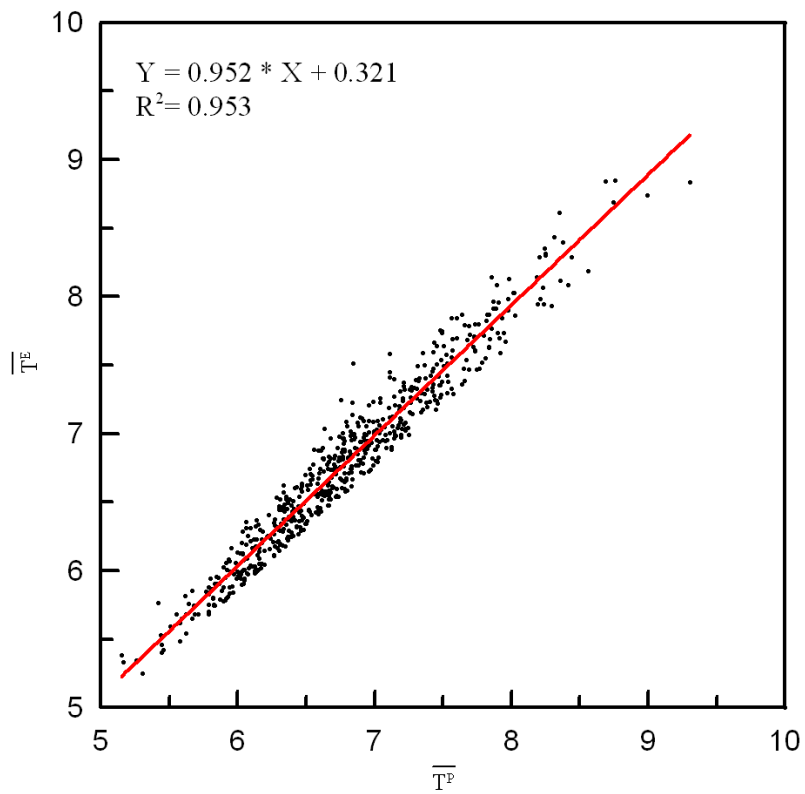
附圖 2-24 臺北港 T_s 與理論平均週期 $\overline{T^E}$ 之關係圖(2006 年全年)



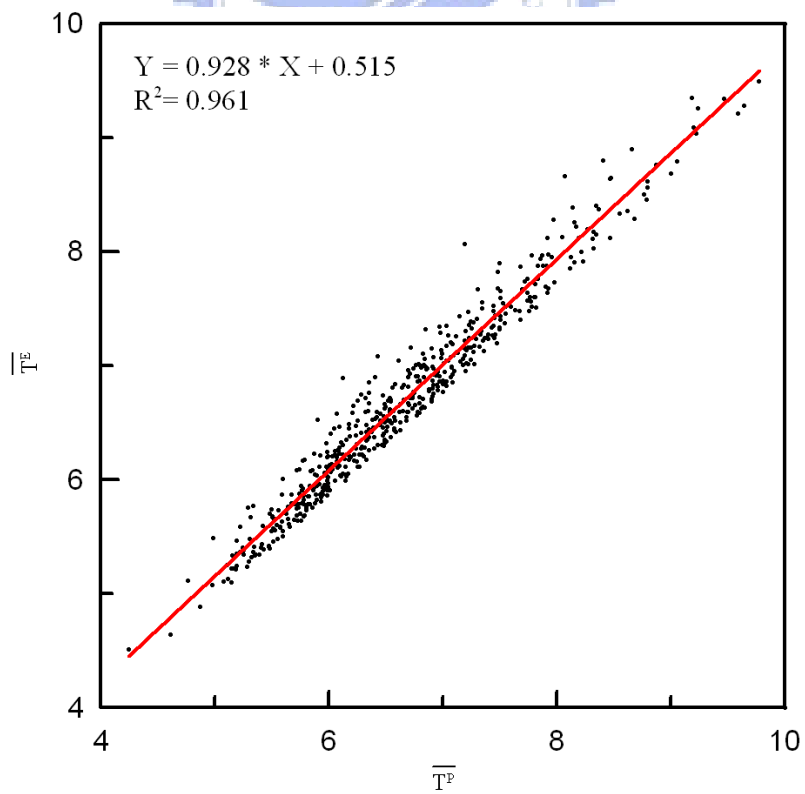
附圖 2-25 臺北港理論與推估示性週期之關係圖(2006 年 12 月)



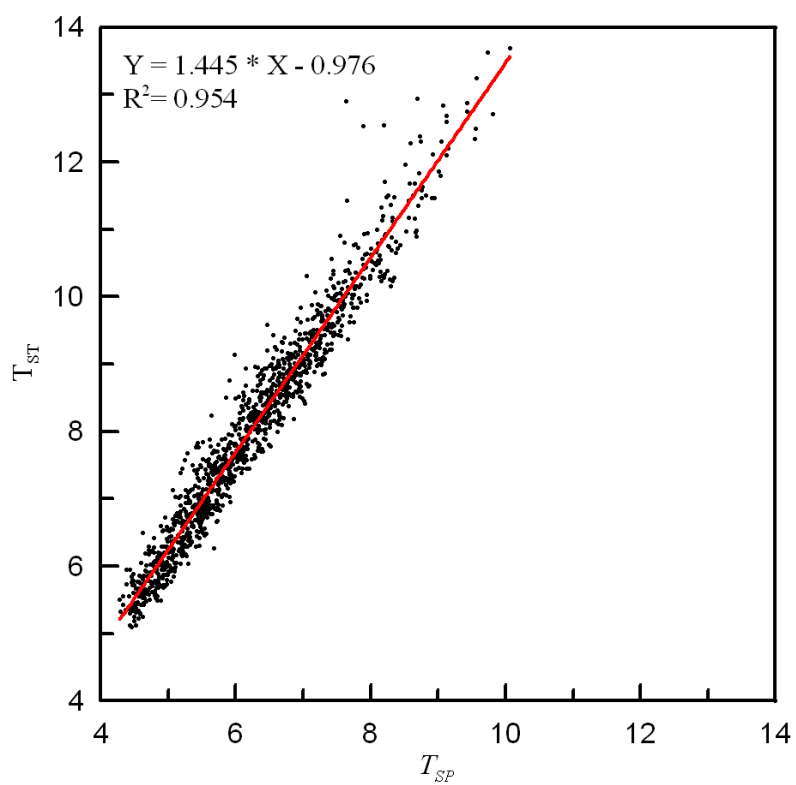
附圖 2-26 臺北港理論與推估示性週期之關係圖(2006 年 11 月)



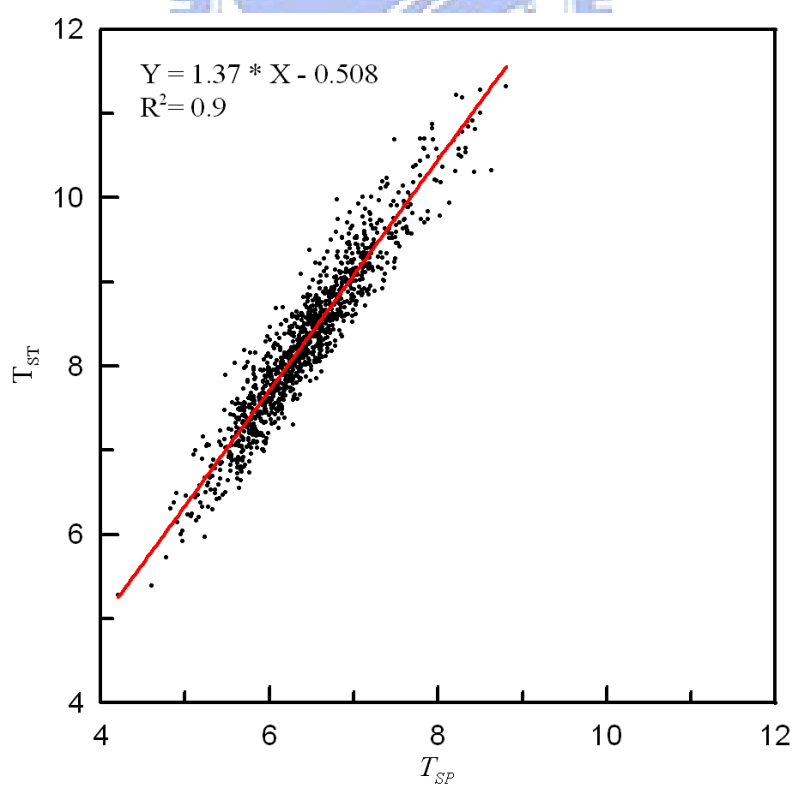
附圖 2-27 臺北港理論與推估平均週期之關係圖(2006 年 12 月)



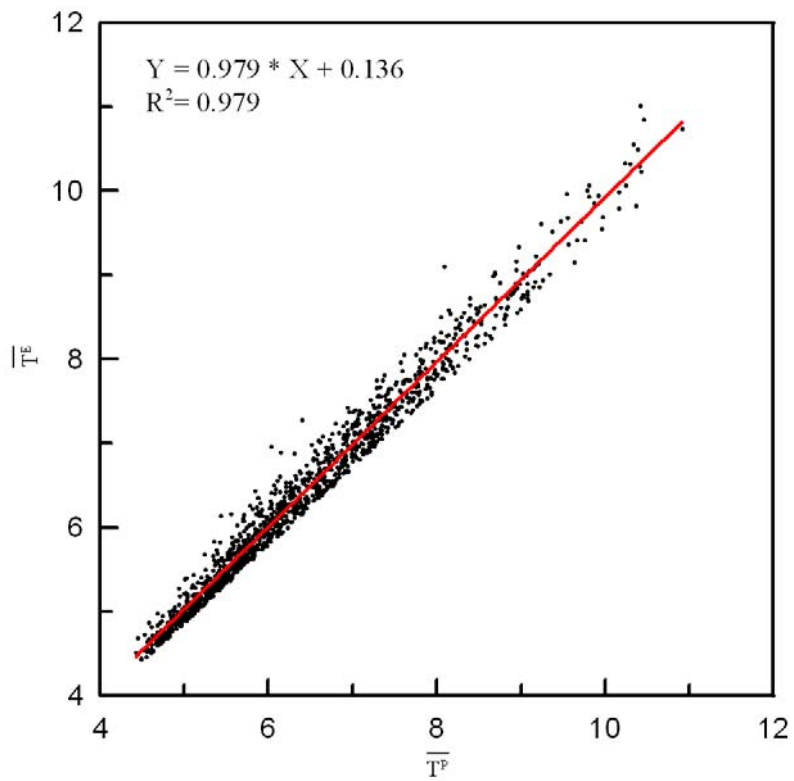
附圖 2-28 臺北港理論與推估平均週期之關係圖(2006 年 11 月)



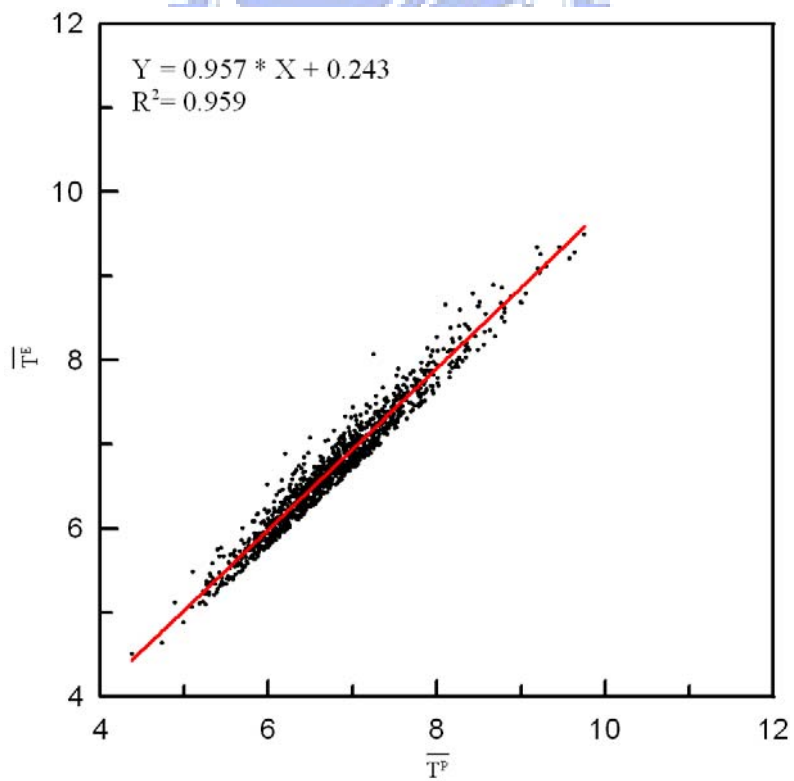
附圖 2-29 臺北港理論與推估示性週期之關係圖(2006 年第 3 季)



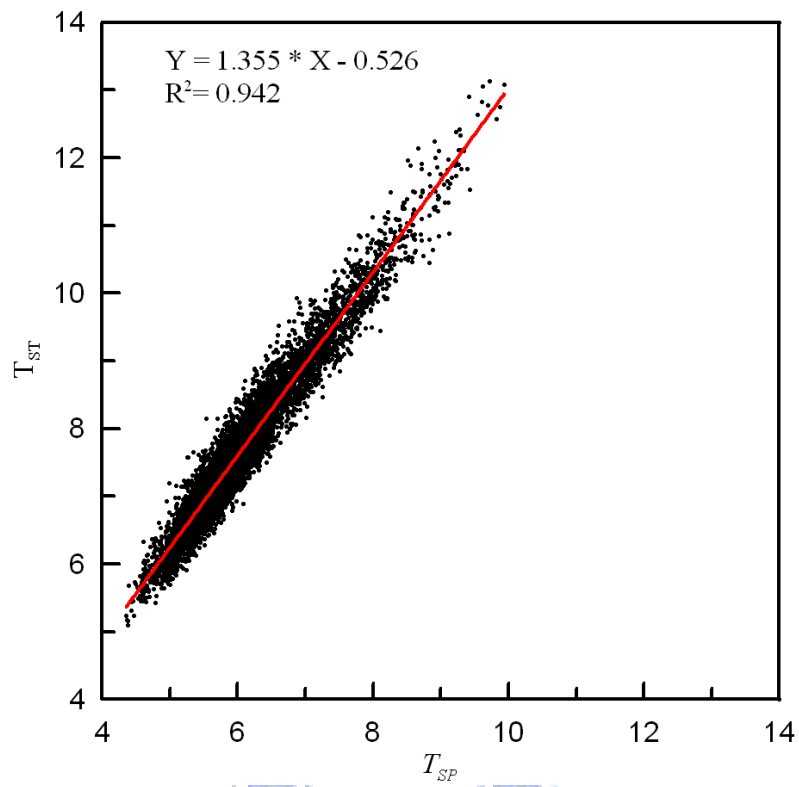
附圖 2-30 臺北港理論與推估示性週期之關係圖(2006 年第 4 季)



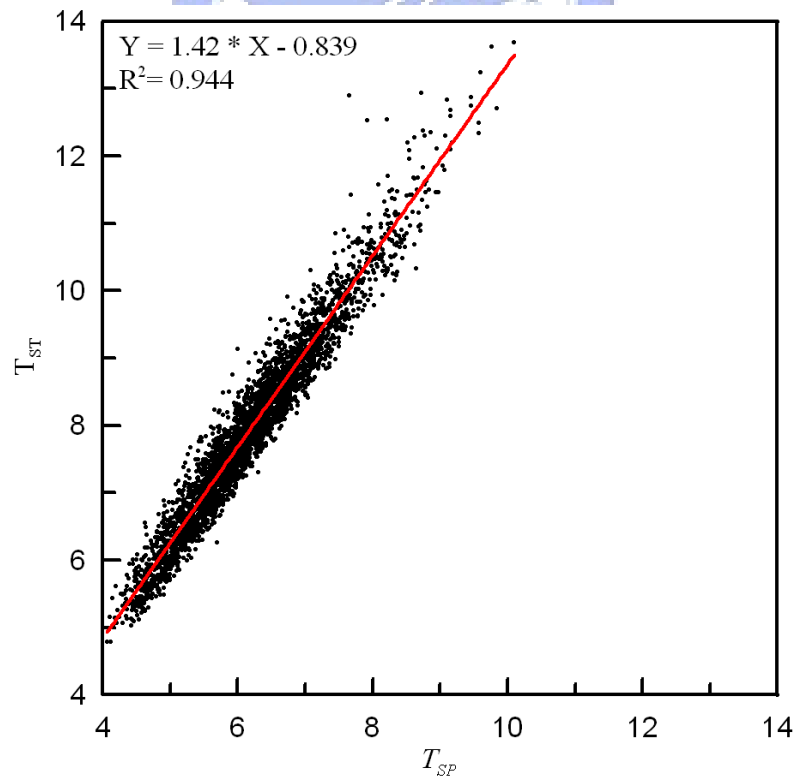
附圖 2-31 臺北港理論與推估平均週期之關係圖(2006 年第 3 季)



附圖 2-32 臺北港理論與推估平均週期之關係圖(2006 年第 4 季)

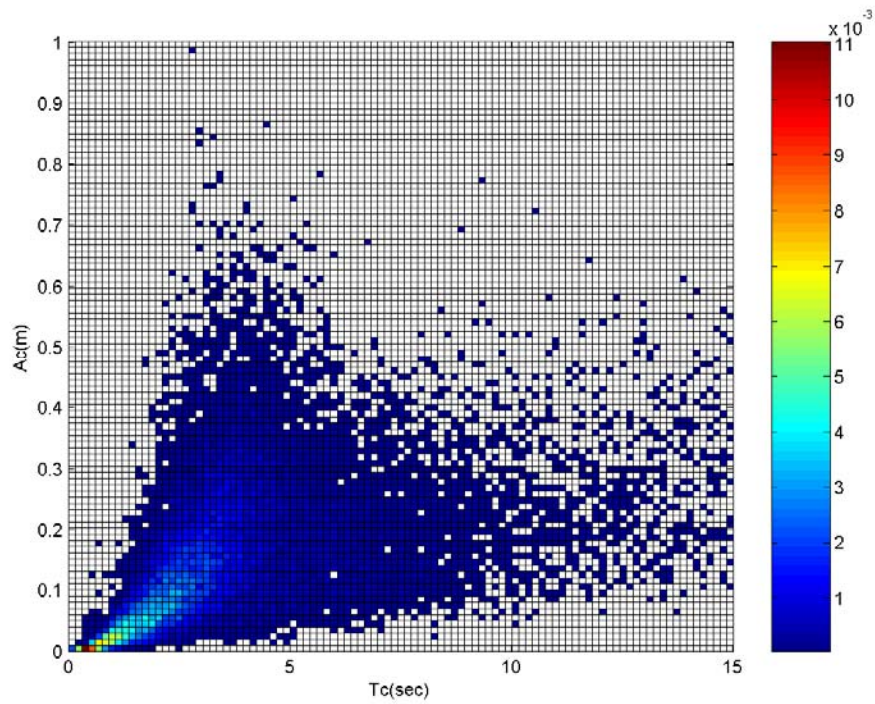


附圖 2-33 臺北港理論與推估示性週期之關係圖(2006 年)

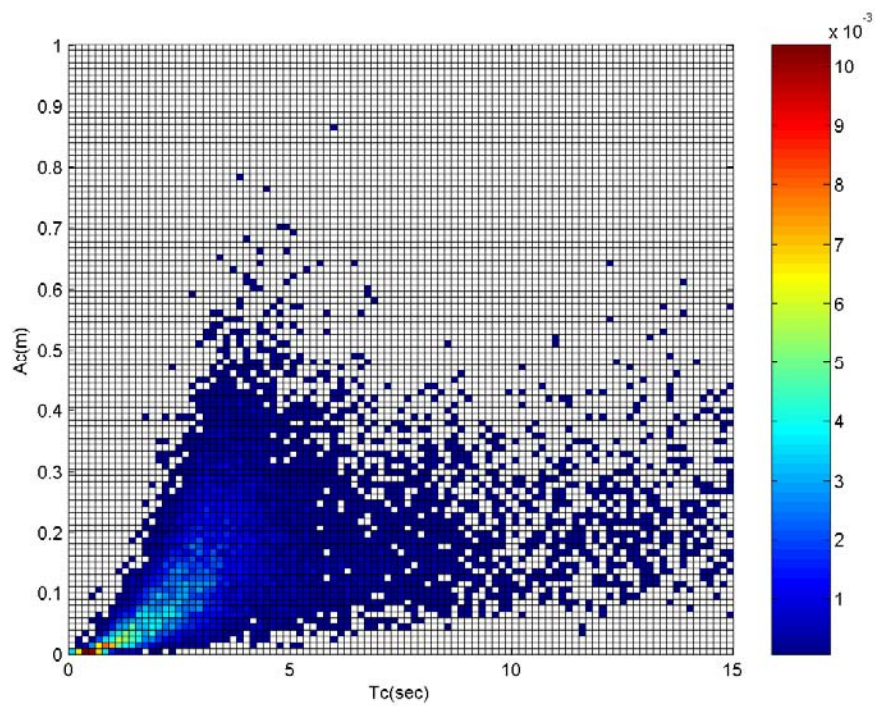


附圖 2-34 臺北港理論與推估平均週期之關係圖(2006 年)

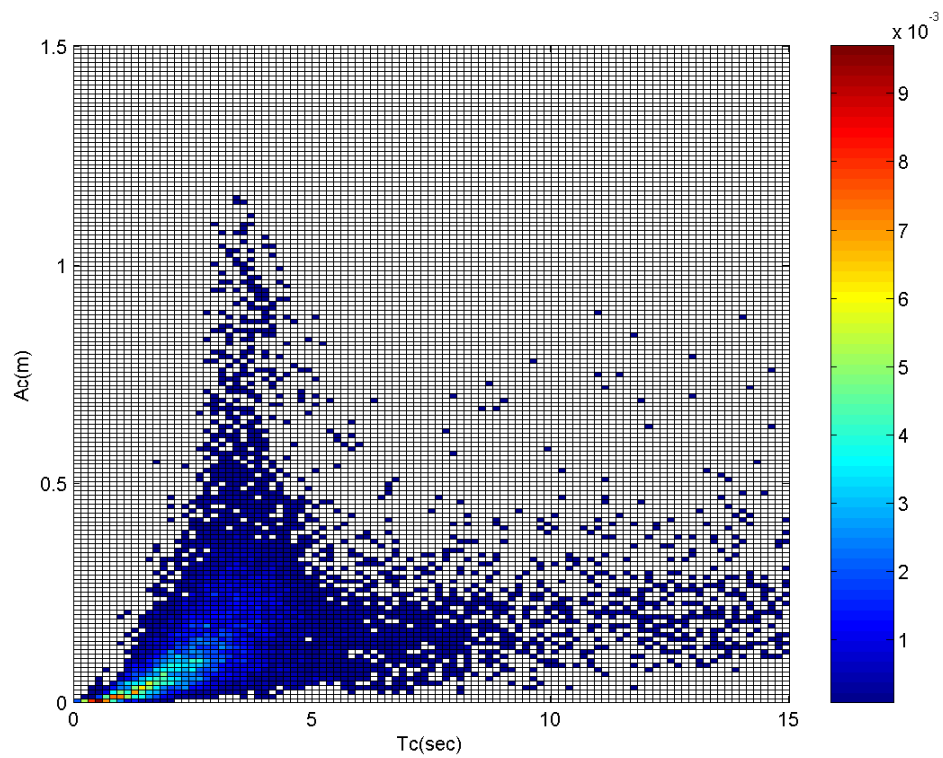
附圖 3 安平港波高週期聯合機率分佈平面圖



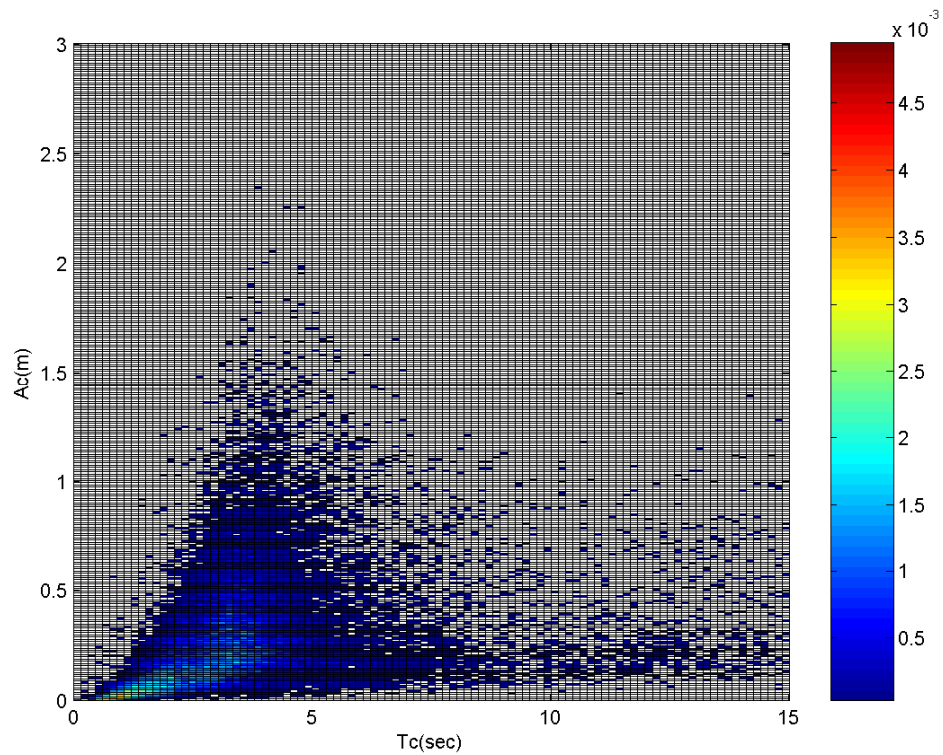
附圖 3-1 2006 年安平港二月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



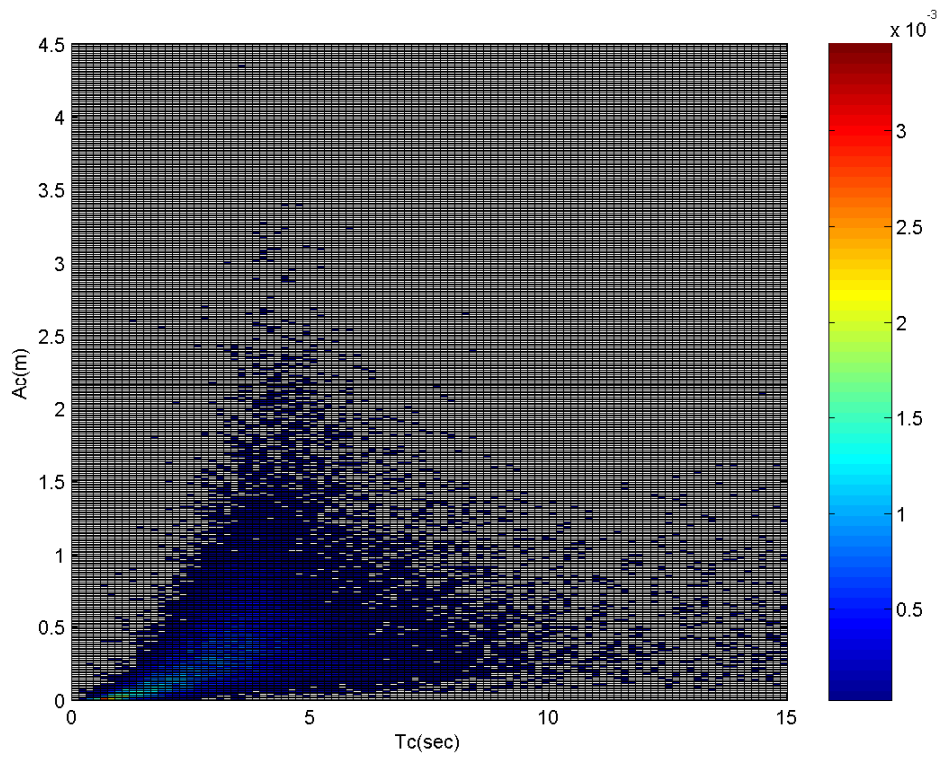
附圖 3-2 2006 年安平港三月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



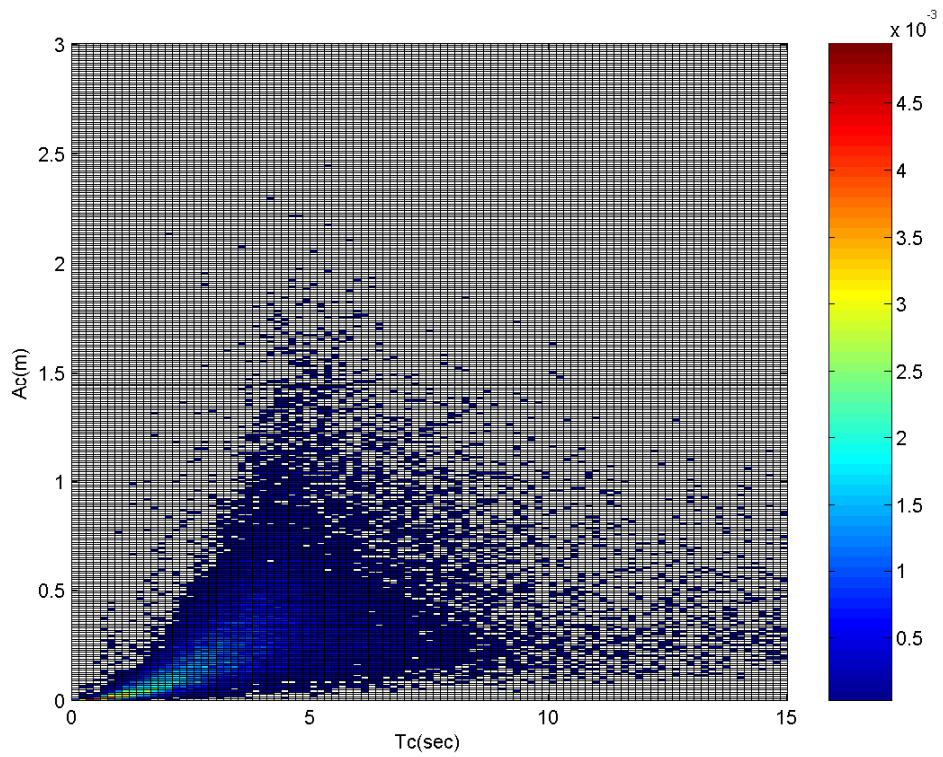
附圖 3-3 2006 年安平港四月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



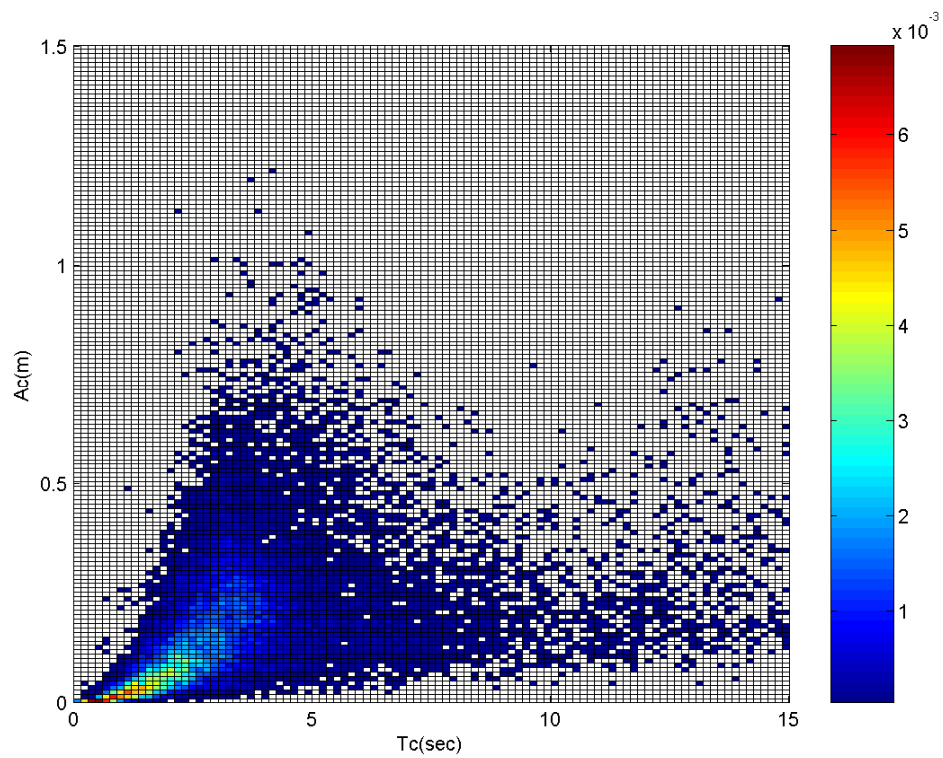
附圖 3-4 2006 年安平港六月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



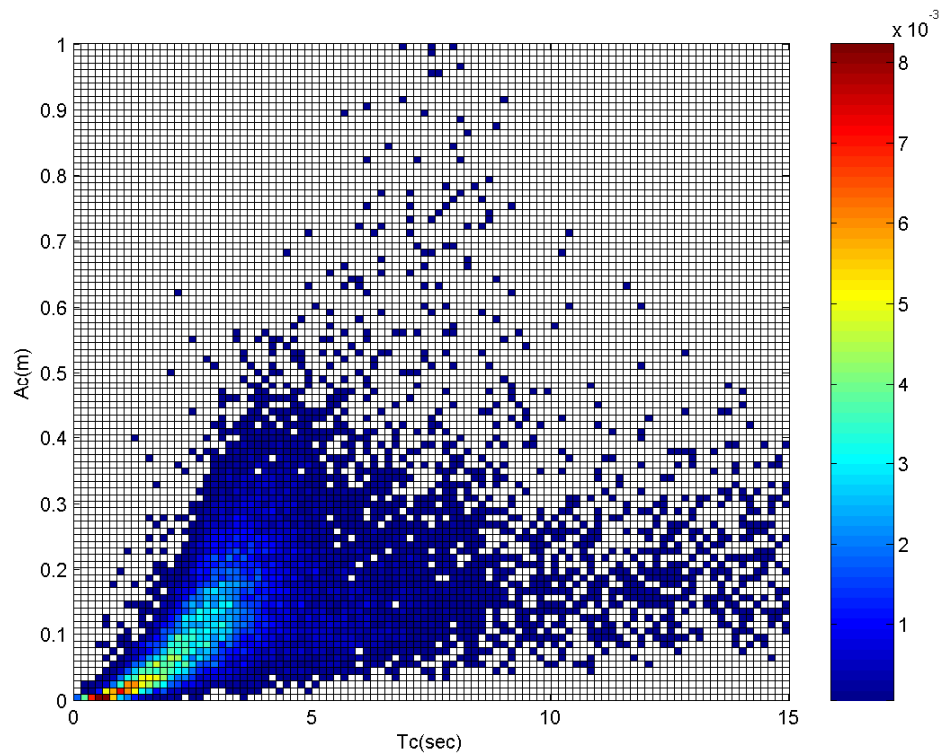
附圖 3-5 2006 年安平港七月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



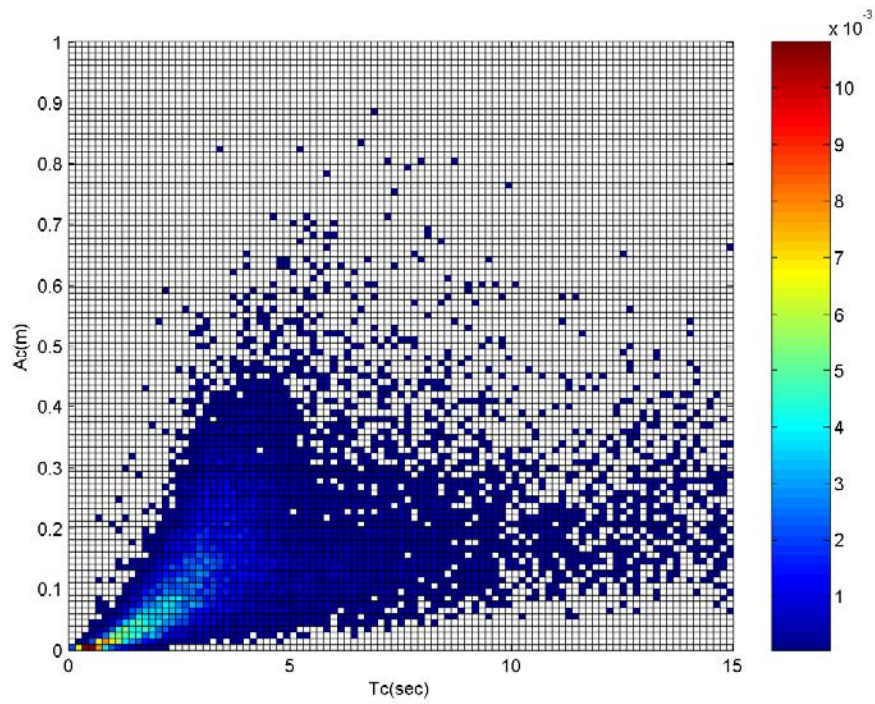
附圖 3-6 2006 年安平港八月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



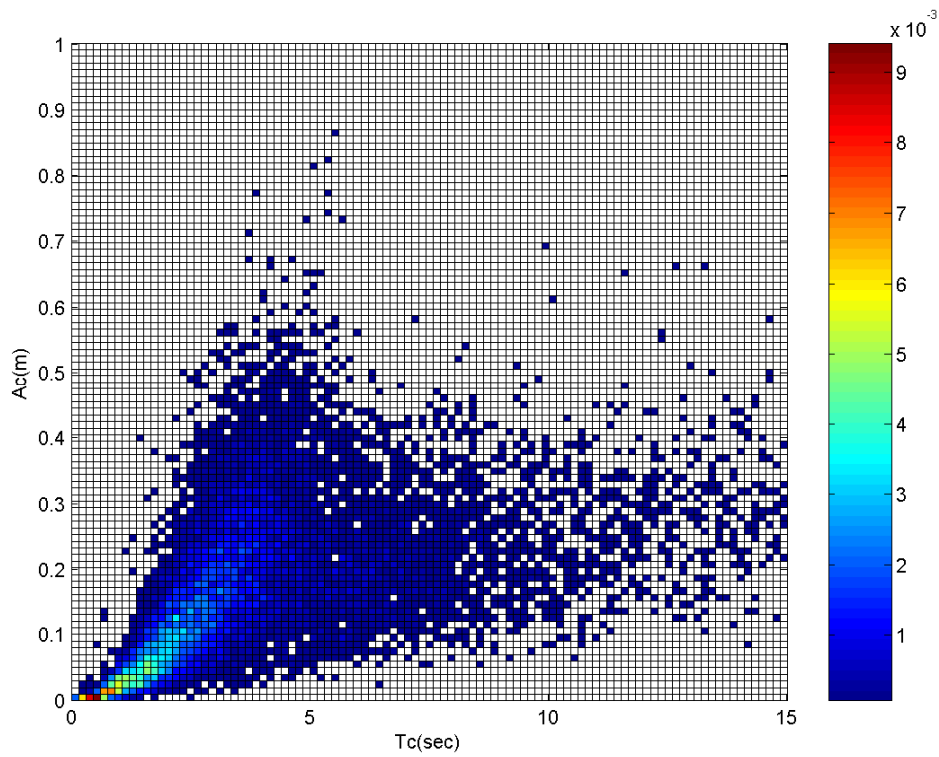
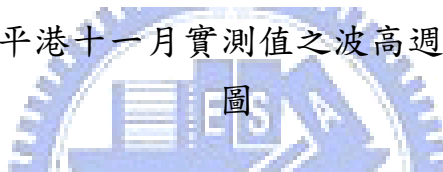
附圖 3-7 2006 年安平港九月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



附圖 3-8 2006 年安平港十月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



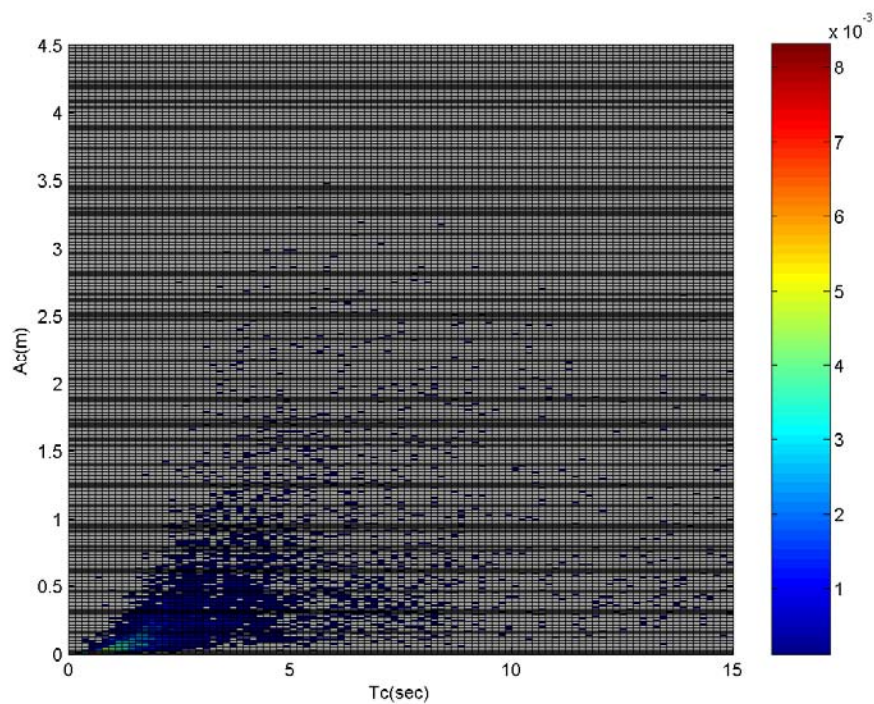
附圖 3-9 2006 年安平港十一月實測值之波高週期聯合機率分佈平面



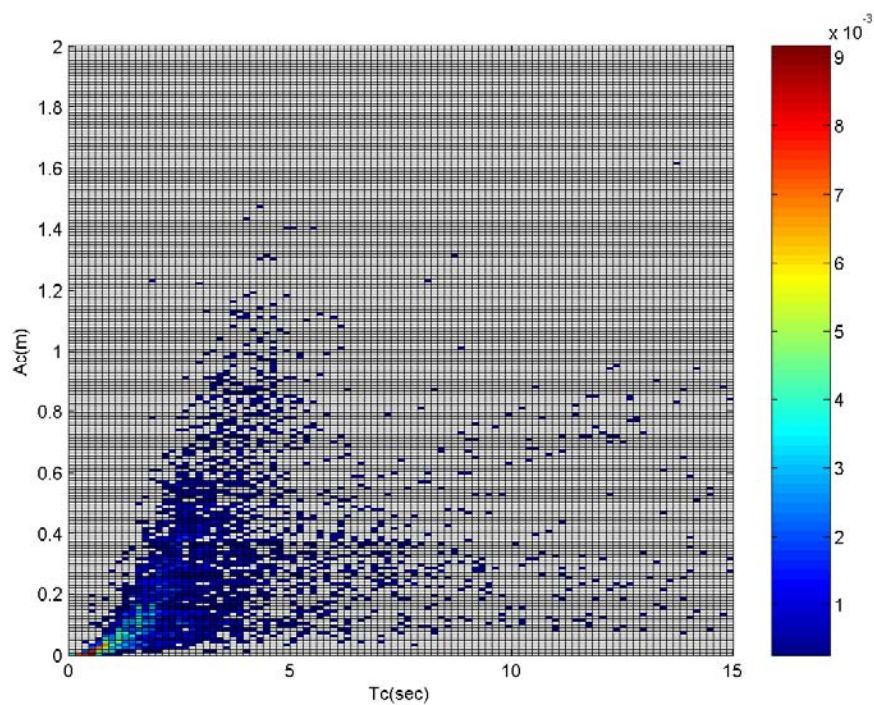
附圖 3-10 2006 年安平港十二月實測值之波高週期聯合機率分佈平面

圖

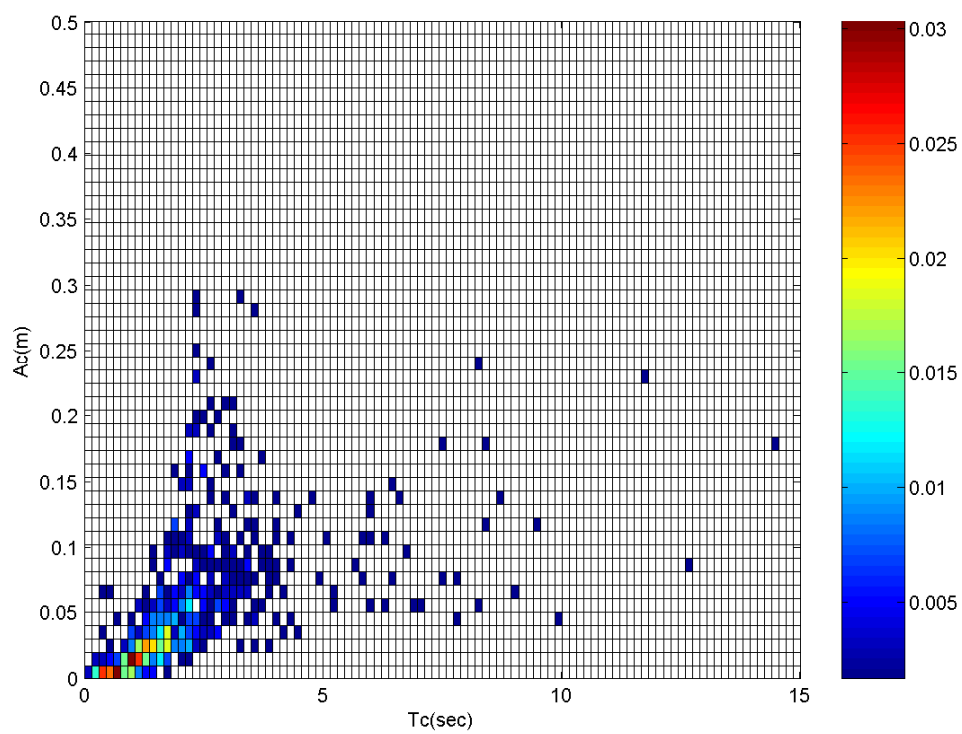
附圖 3 臺北港波高週期聯合機率分佈平面圖



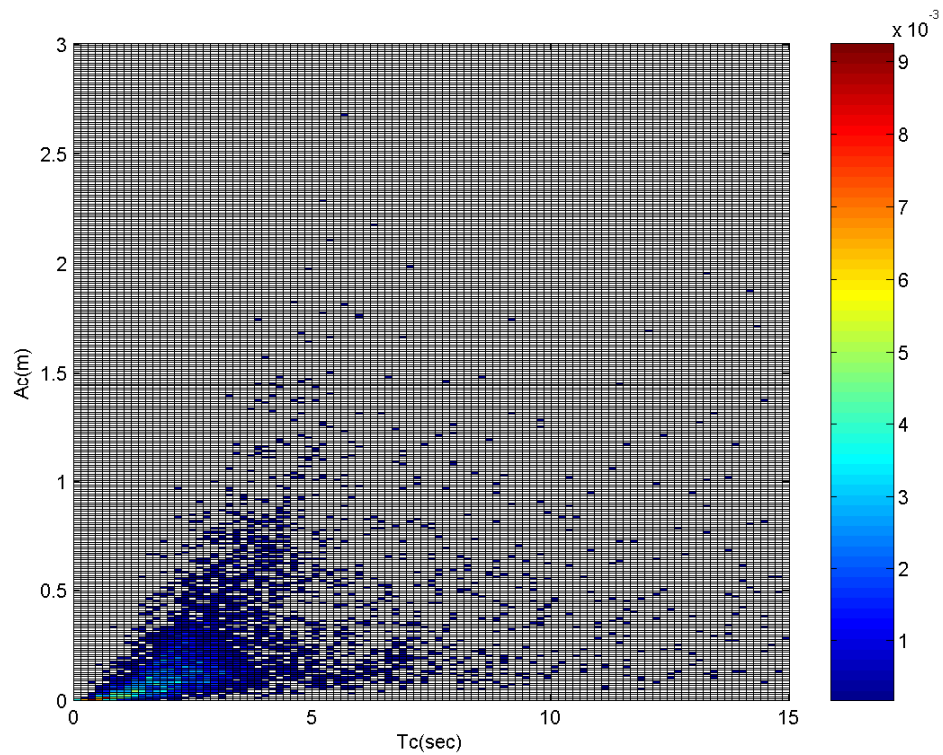
附圖 3-11 2006 年臺北港三月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



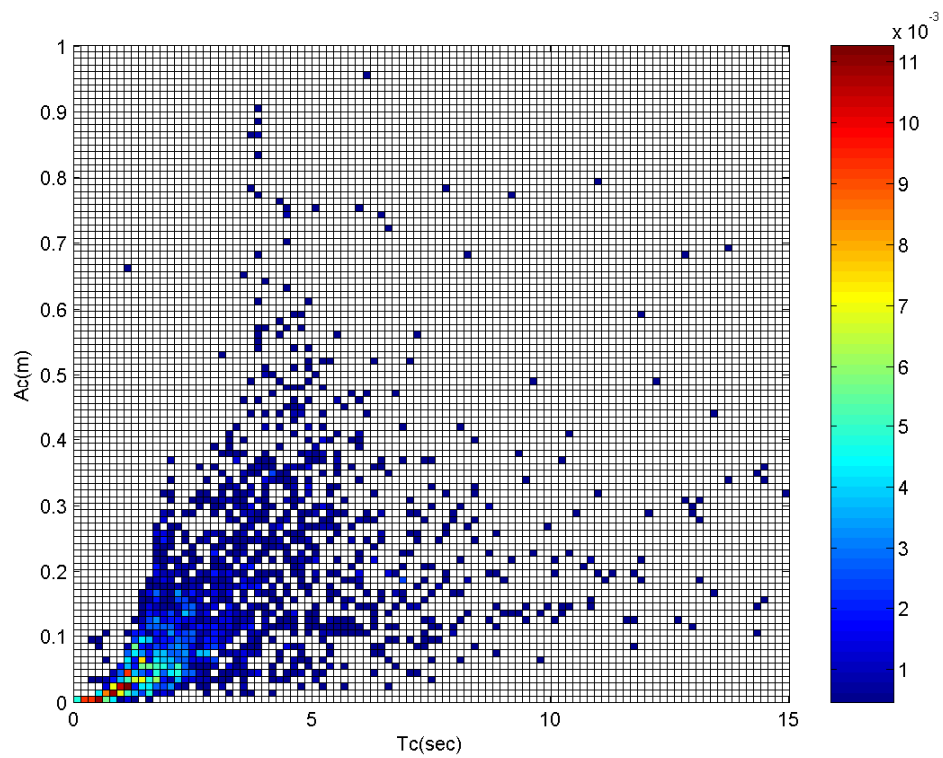
附圖 3-12 2006 年臺北港四月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



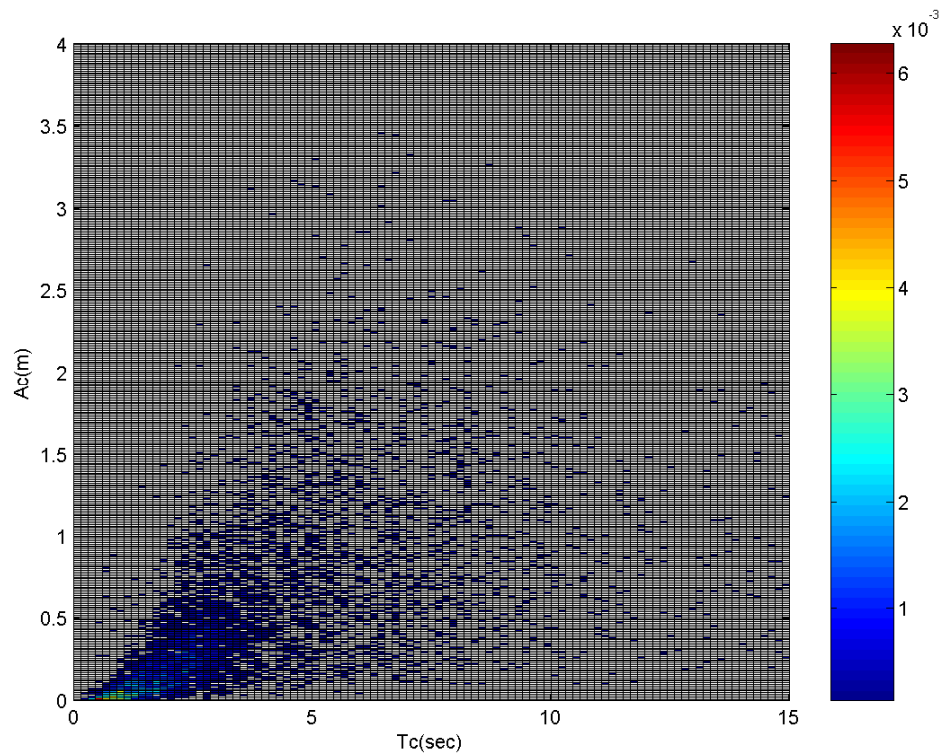
附圖 3-13 2006 年臺北港六月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



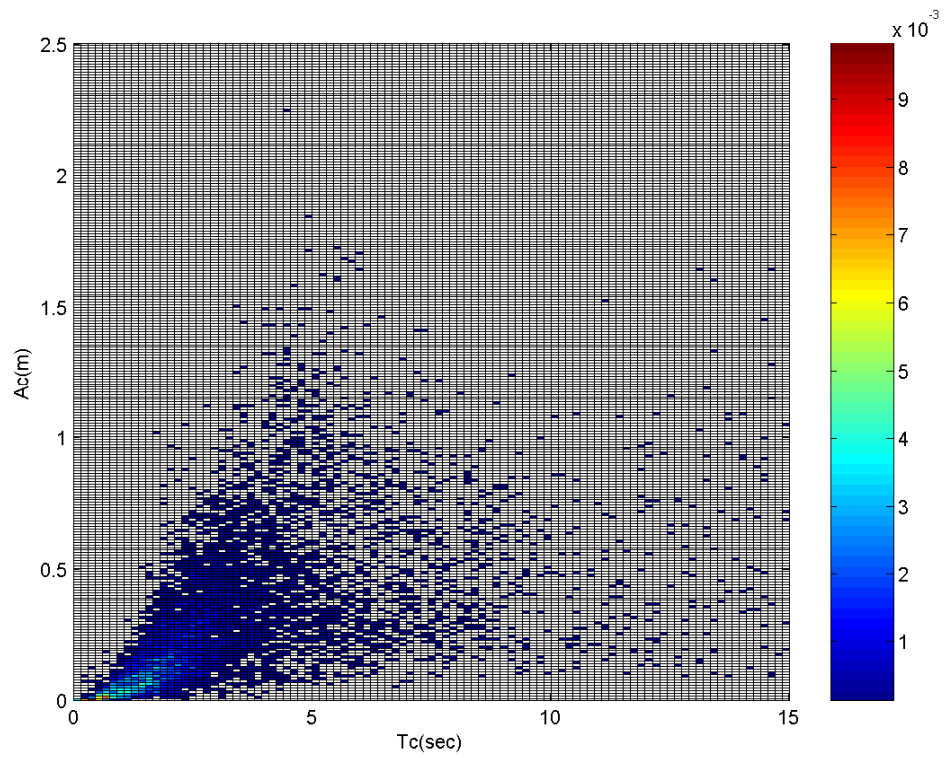
附圖 3-14 2006 年臺北港七月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



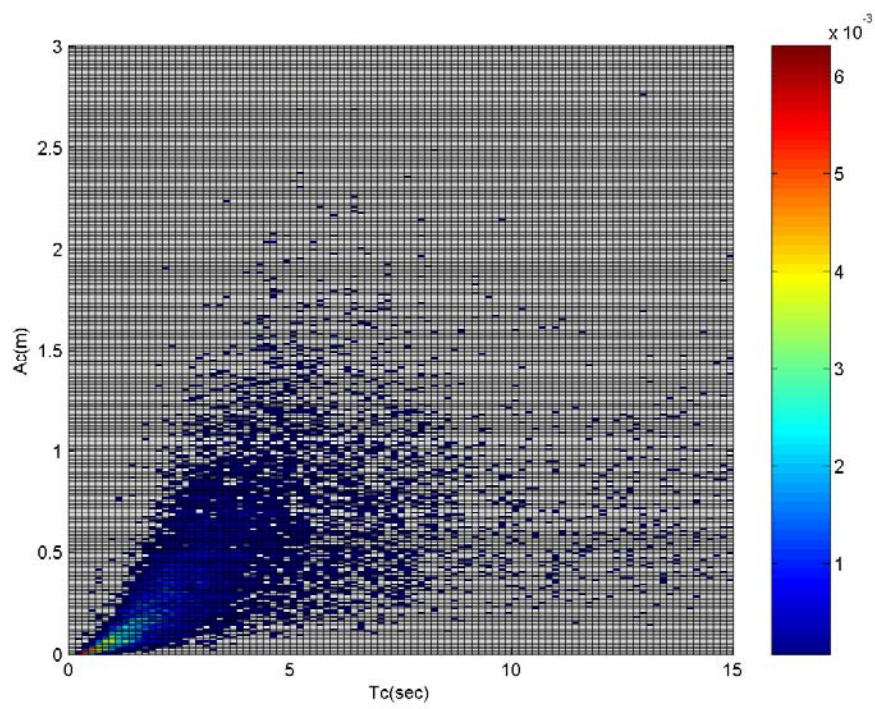
附圖 3-15 2006 年臺北港八月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



附圖 3-16 2006 年臺北港九月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



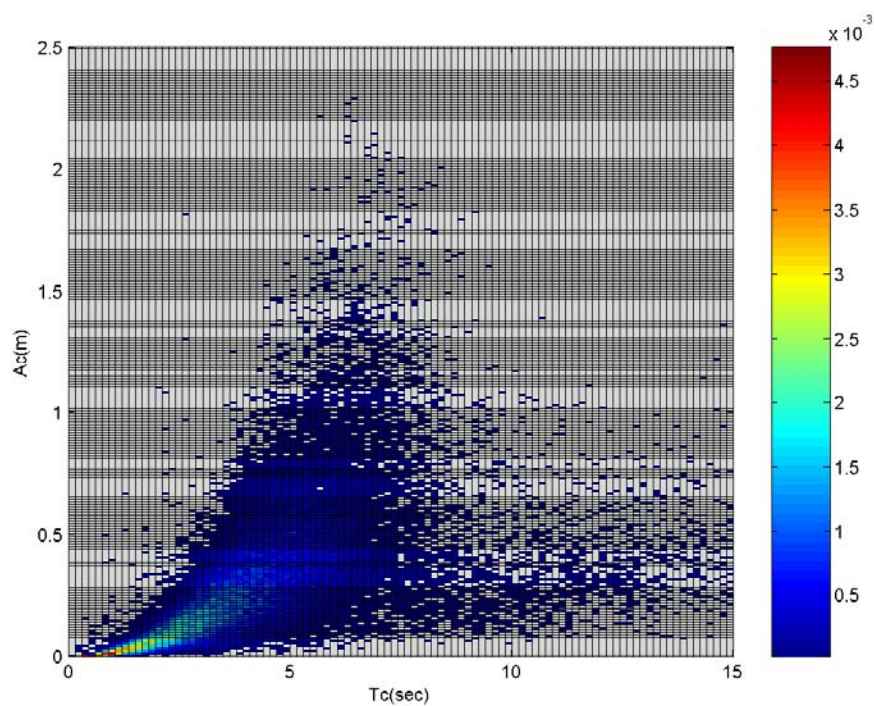
附圖 3-17 2006 年臺北港十一月實測值之波高週期聯合機率分佈平面



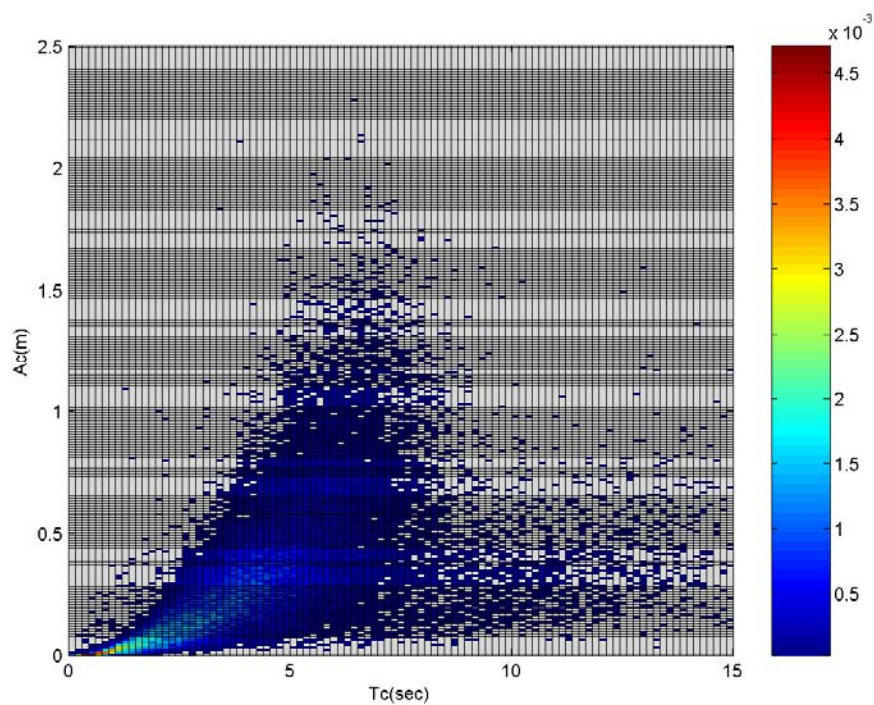
附圖 3-18 2006 年臺北港十二月實測值之波高週期聯合機率分佈平面

圖

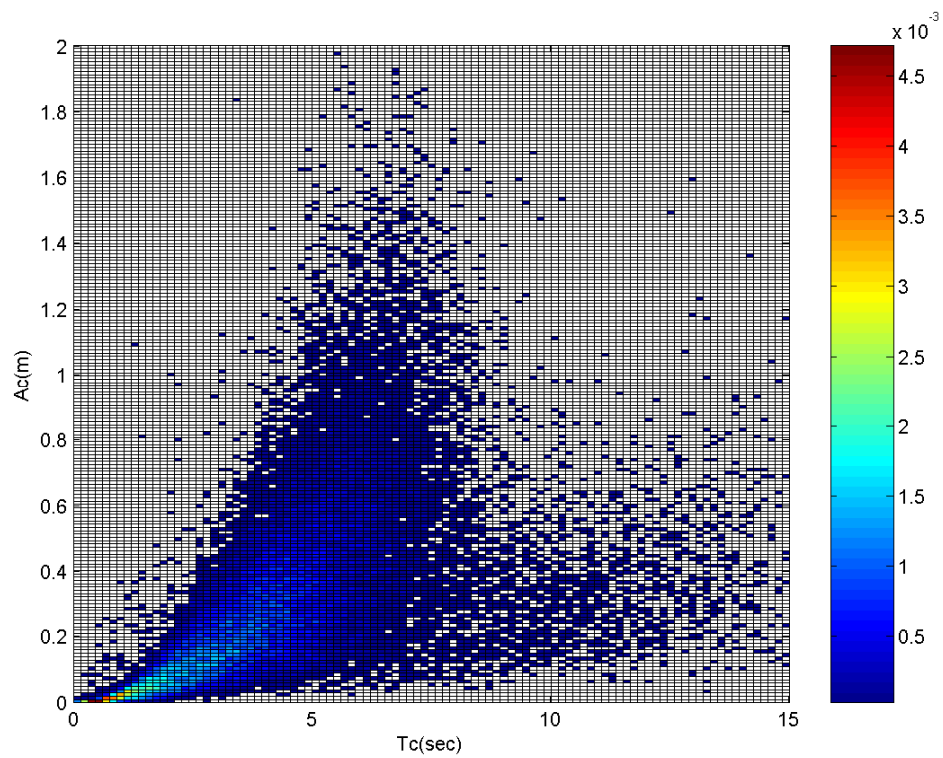
附圖 3 花蓮港波高週期聯合機率分佈平面圖



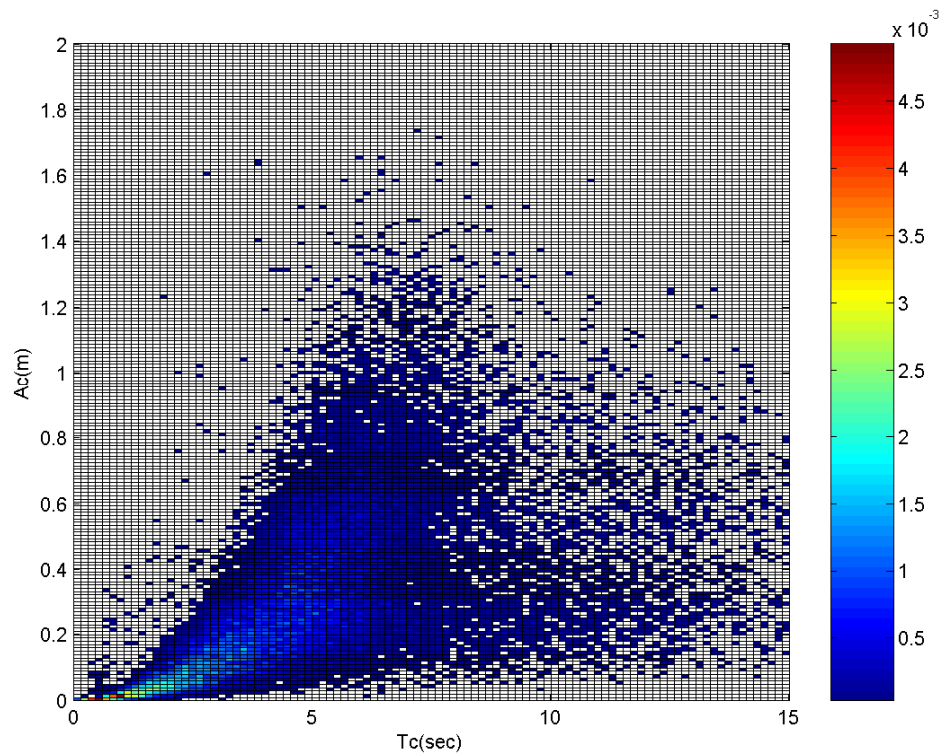
附圖 3-19 2004 年花蓮港一月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



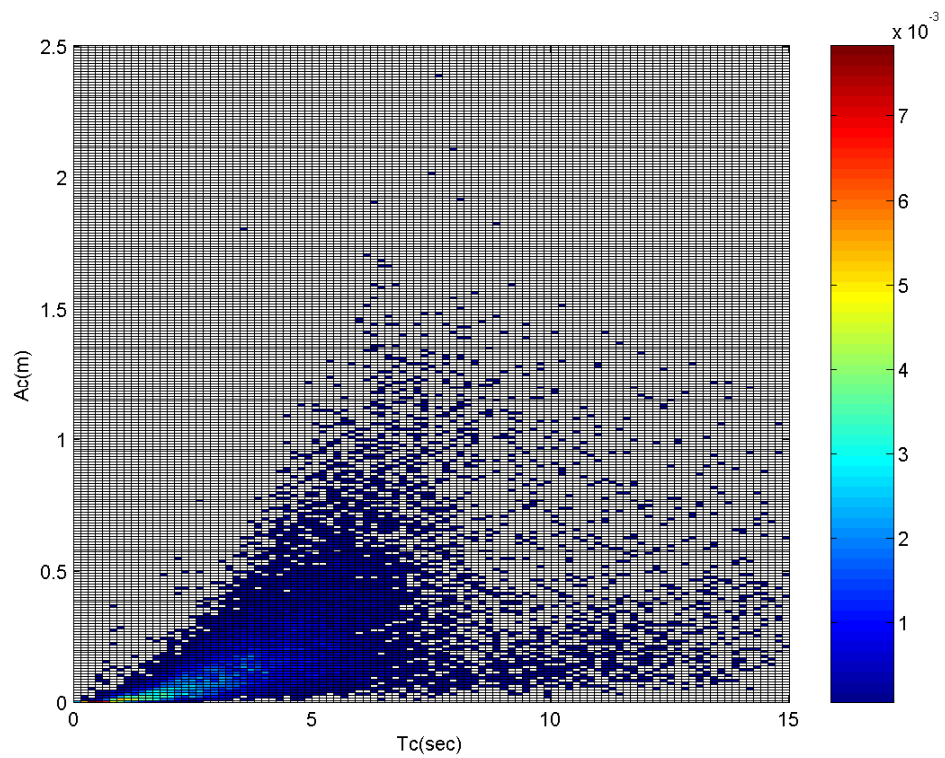
附圖 3-20 2004 年花蓮港二月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



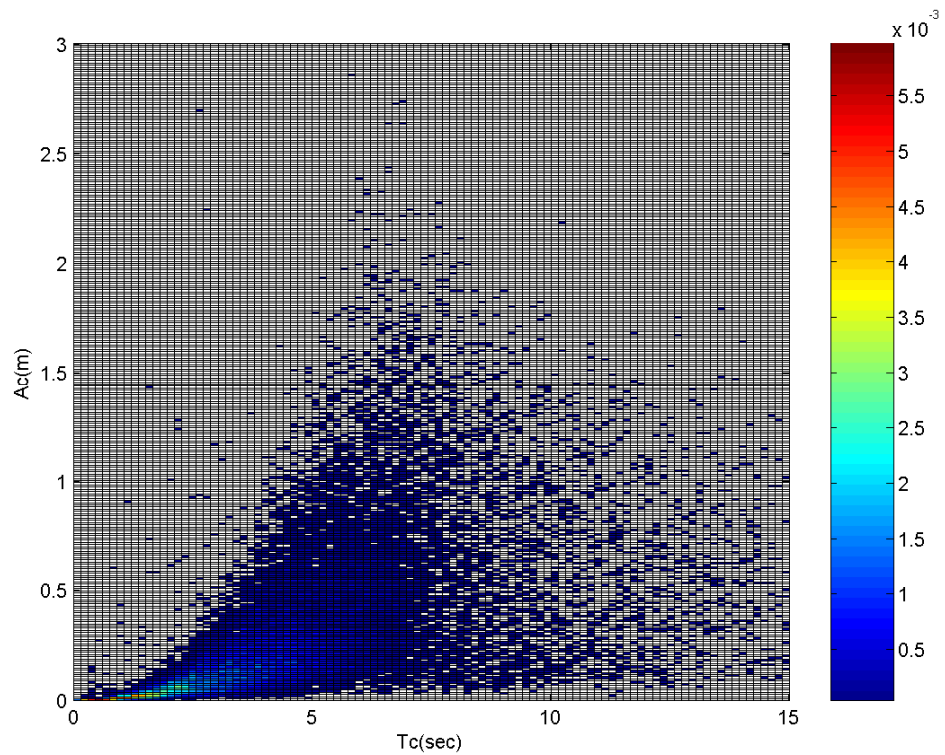
附圖 3-21 2004 年花蓮港三月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



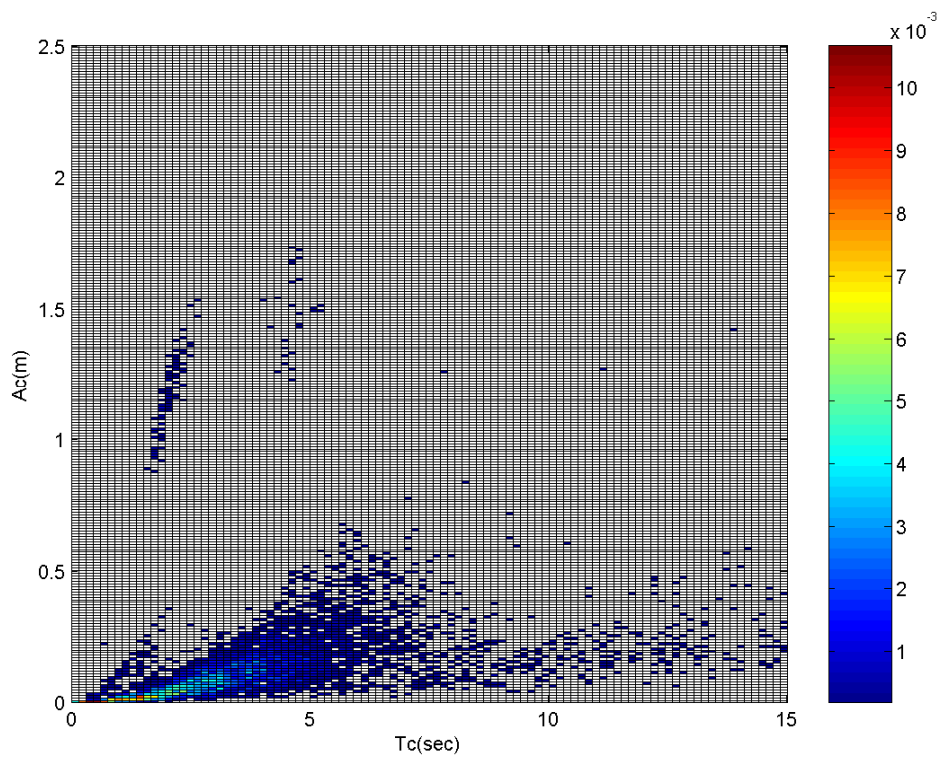
附圖 3-22 2004 年花蓮港四月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



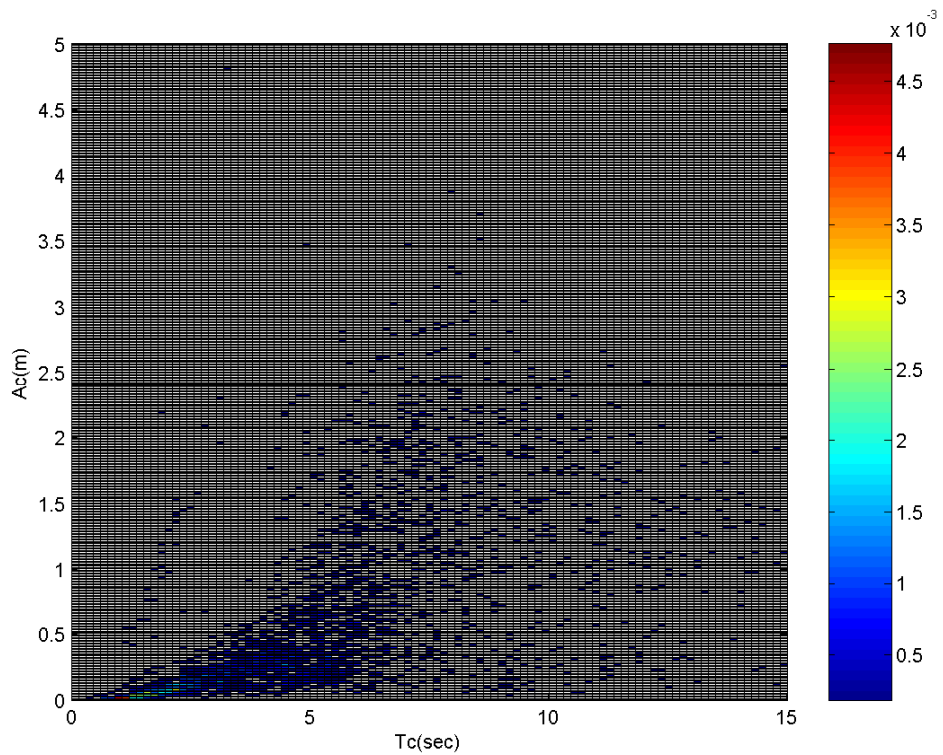
附圖 3-23 2004 年花蓮港五月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



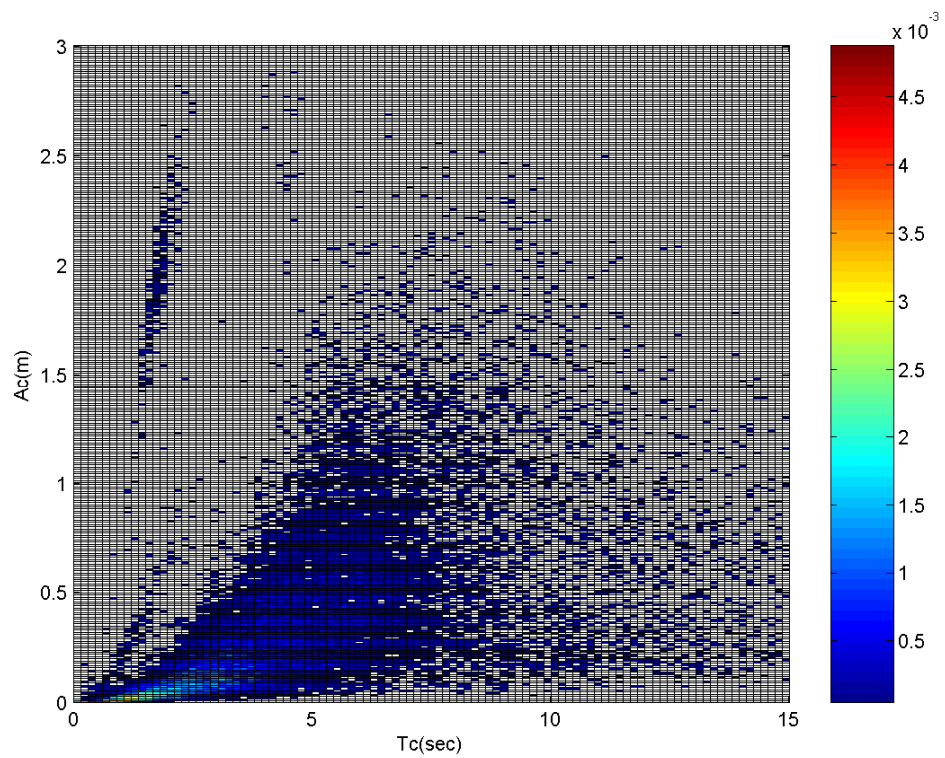
附圖 3-24 2004 年花蓮港六月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



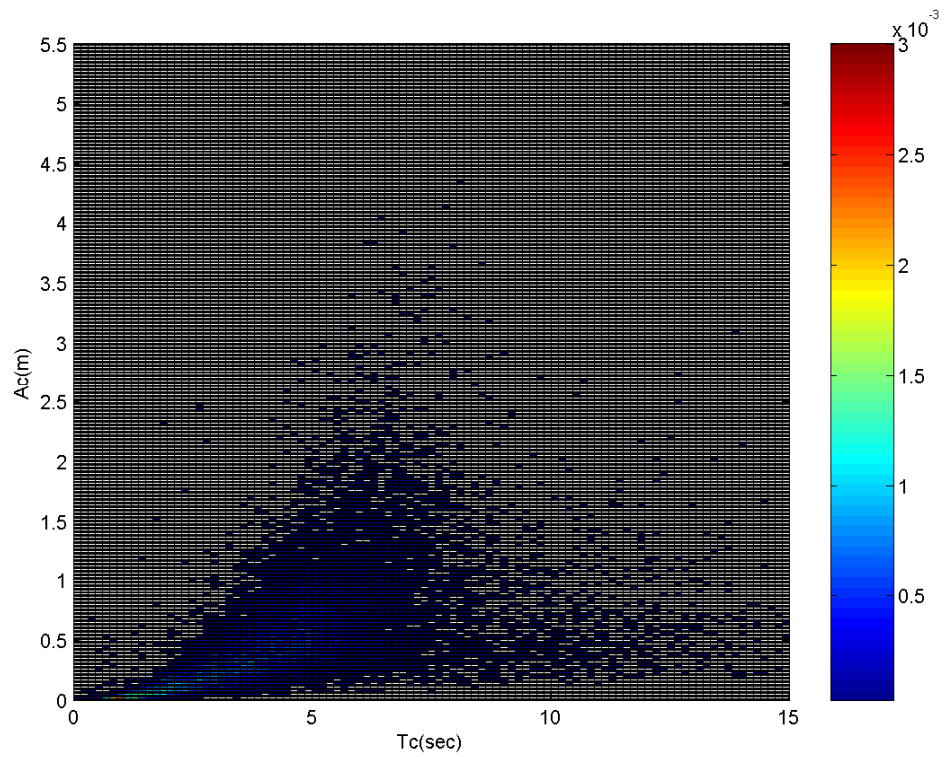
附圖 3-25 2004 年花蓮港七月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



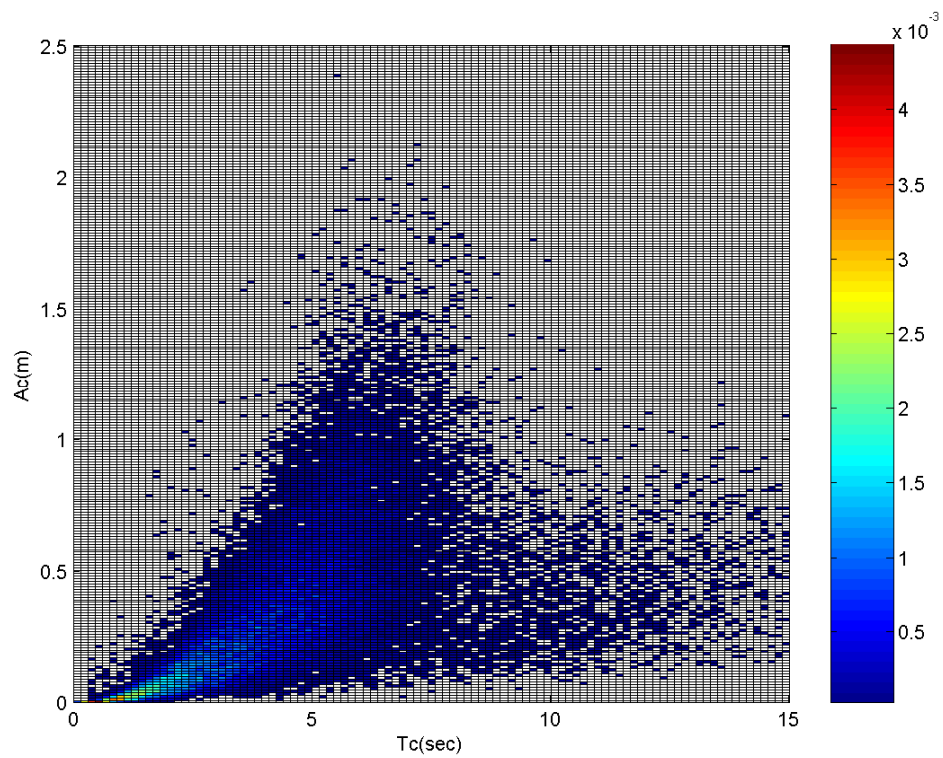
附圖 3-26 2004 年花蓮港八月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



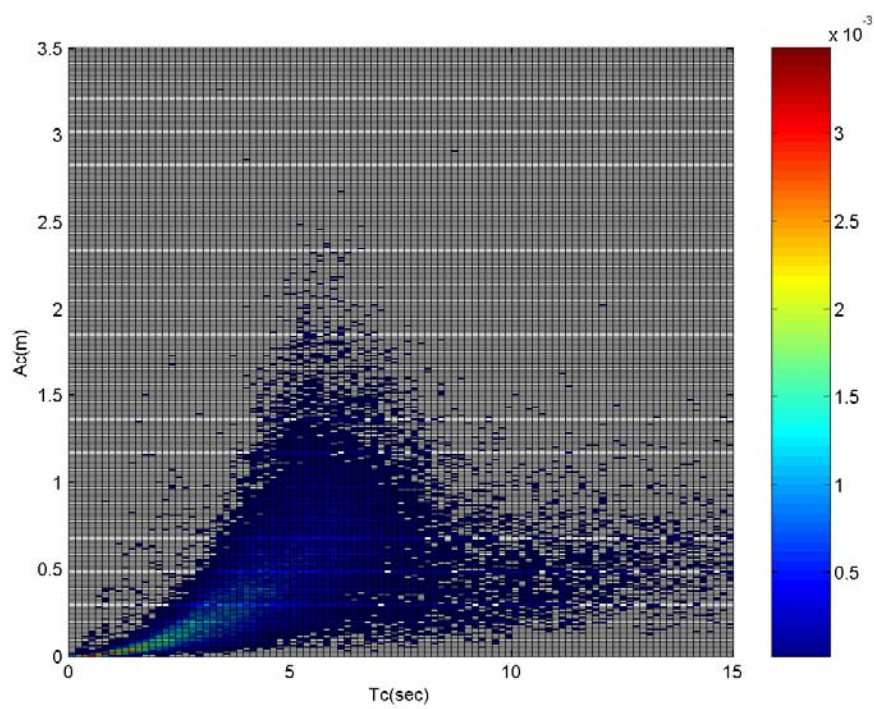
附圖 3-27 2004 年花蓮港九月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



附圖 3-28 2004 年花蓮港十月實測值之波高週期聯合機率分佈平面圖



附圖 3-29 2004 年花蓮港十一月實測值之波高週期聯合機率分佈平面



附圖 3-30 2004 年花蓮港十二月實測值之波高週期聯合機率分佈平面

圖