

85-研(三)

港灣海域海氣象特性之研究

台灣省政府交通處
港灣技術研究所

台中 梧棲

中華民國 八十五年 六月

港灣海域海氣象特性之研究

執 行 單 位： 海岸工程組

群 計 畫 召 集 人： 何良勝研究員

第一子計畫主持人： 曾相茂副研究員

第二子計畫主持人： 簡仲環研究員

第三子計畫主持人： 何良勝研究員

邱永芳研究員

摘 要

自民國 75 年開始，本所即著手進行台灣五個國際港附近海域長期性海氣象資料之收集、觀測、整理及分析歸納，冀求得到台灣四周各劃分代表性區域的海氣象整體特性，歷年來已獲致頗佳的績效並提供港灣工程界學者、專家參考之依據。為擴展相關海氣象資料之整理分析與應用，本研究計畫跟慶續進行三年(84 年 7 月至 86 年 6 月)時間，除原有之現場資料調查與分析外，另外，重點增加建立資料庫查詢系統與相關資料之統計特性分析，最後建立台灣海域各地區適用的波譜預測模式。

本年度(第二年，84 年 7 月至 85 年 6 月)本研究計畫包含三個子計畫：(一)台灣五個國際港附近海域海氣象調查研究；(二)海氣象資料庫與查詢系統建立研究；(三)台灣五個國際港波譜預測模式之研究。各子計畫主要的研究成果分述如下：

一、現場調查方面，主要為花蓮與台中兩港附近海域之風、波浪與海流的調查與分析，分析結果包含風速、風向分佈圖；流速與流向之聯合機率分佈、海流逐時變化累進向量與能譜分析；波浪 $H_{1/3}$ 與 $T_{1/3}$ 聯合分佈， $H_{\max}$ ， $T_{\max}$ ， $H_{1/3}$ ， $T_{1/3}$ ， H_{avg} ， T_{avg} 的逐時變化及波浪能譜等等。其中針對花蓮港颱風波浪侵襲期間，比較港、內外波浪特性的變化情況。由波譜分析結果顯示，港內屬於短週期的波浪能量明顯的減小，長週期的波浪能量卻顯著增加許多。而台中港附近之實測資料分析則比較延伸 850 公尺後北防波堤的遮蔽效果。

二、資料庫查詢與建立研究方面，蒐集整理台灣近岸海域海氣象資料計有風速、風向測站 17 個，1945 年至 1995 年颱風資料，波浪站 11 個，潮汐站 14 個，海流測站 9 個等，以其資料原始形式及其鍵檔的處理

方式與基本分析項目加以舉列說明，並對資料庫的管理及查詢系統作一架構設計。針對資料庫與查詢系統內容說明相關事項、處理原則及使用方式，讓使用者瞭解本系統之應用方式與方法。

三、應用波浪預測模式研究方面，分別以理論解析與模型試驗探討有限水深區域波譜形狀與能量分佈的變化情況。理論解析方面係以各種已知的有限水深波譜作為第一階波譜，比較各種水深時第二階波譜能量分佈的變化，其中以波譜的整體型態變化、較高頻及極低頻處尖峰主頻值與其總能量等各方面的分析方式，比較受水深影響時，各種波浪非線性效應的變化情況。模型試驗方面，係以 1/30 與 1/50 之斜面底床探討淺水波譜形狀的變化現象。試驗結果併與 WALLOPS 波譜作一比較，同時探討雙峰型波浪分裂現象的非線性效應。

有關各子計畫現場調查方式、統計分析方法、資料庫查詢系統應用、理論解析與試驗過程等，將於下列各章中詳細描述。

台灣五個國際港附近
海域海氣象調查研究

台灣省政府交通處
港灣技術研究所

台中 梧棲

中華民國八十五年六月

台灣五個國際港附近海域海氣象調查研究

計畫主持人	副研究員	曾相茂
共同主持人	所長	張金機
	研究員	簡仲璟
協同主持人	助研員	吳基
	參與人員	楊怡芸
		蔡瑞成
		何炳紹
		陳進冰
		李江澤

各港務局參與人員

花蓮港務局	李詩鴻
蘇澳港務局	陳金水
基隆港務局	劉凡正
高雄港務局	游文在
台中港務局	吳啓東
台中港務局	尤仲卿

台灣五個國際港附近海域海氣象調查研究

總 目 錄

中文摘要.....	I
壹、資料蒐集.....	1-1
貳、花蓮港附近海域海流與波浪調查與分析(VI).....	2-1
參、台中港近海域海流與波浪調查與分析(VI).....	3-1
參考文獻.....	II

摘 要

茲將本計畫本年度的研究工作内容摘述如下：第一章為本計畫歷年的海氣象資料蒐集，建檔情況說明。第二章為花蓮港附近海域海流與波浪調查，分別說明現場作業經過及針對颱風侵襲期間此區域的波浪特性；第三章為台中港港口擴建後台中港港口附近海流、波浪、潮汐及風調查研究，分別說明現場作業經過及其延伸公尺後北防波堤遮蔽效果：

壹、資料蒐集

一、前言

本計畫為一經常性之研究工作，除繼續辦理台灣四周有關波浪、海流、潮汐、風及颱風現場資料觀測外，並蒐集各有關單位提供之原始資料，輸入本所電腦資料庫，以建立基本標準檔；本年度工作重點包括現場觀測台中港、花蓮港附近海域波浪與海流等各項資料之收集。茲將目前資料蒐集情形敘述如后：

1-2 資料鍵入部份

各單位提供有關波浪、海流、潮汐、風及颱風等各項資料，大部份以電腦磁片提供或經由數據傳訊機直接傳到本所，再經本所整理後建檔在個人電腦中，目前本所已建檔有關風速風向、波浪、海流以及潮汐等各不同測站名稱與資料蒐集時間分別如表1至表1-4。

1-3 結語

任何港灣、海岸與海洋結構之規劃、設計施工及營運均需有長期分析之海象資料為依據。而在海洋環境中，波浪是最複雜且影響最大的自然外力。台灣地區處西太平洋亞熱帶，夏季均常處於颱風侵襲中，冬季則有強烈東北季風之吹襲，致使沿岸與海峽地區經年累月處於惡劣海象條件下。

表 1-1 風速、風向測站名稱及時間表

測站名稱	代號	時 間	提供單位	備 註
台中港	TC	1971/01-1996/06	中港局、港研所	缺 1981/01-1983/10
興達港	SD	1984/06-1985/08(IN) 1984/07-1985/03(OUT)	台電火力發電廠	內港 新港
大鵬灣	TP	1990/11-1995/06 1979/01-1984/12	高港局	新建
大武	TW	1965/01-1983/12	中央氣象局	
台東	TT	1965/01-1987/12	中央氣象局	
新港	SK	1965/01-1983/10	中央氣象局	
花蓮	HL	1965/01-1995/04	中央氣象局	缺 1991/11
鹽寮	YL	1982/01-1982/08(CC) 1982/01-1983/12(ABDE)	台電能源開發處	共有五個測站
觀音	KI	1981/12-1983/08	港研所	
澎湖	PH	1965/01-1987/12	中央氣象局	
東吉島	DG	1965/01-1987/12	中央氣象局	缺 1969/10-1970/09
彭佳嶼	PG	1965/04-1987/11	中央氣象局	
東沙	TS	1971/01-1987/12	海軍氣象中心	
南沙	NS	1971/01-1987/12	海軍氣象中心	
蘭嶼	LY	1965/01-1987/10	中央氣象局	
基隆	KL	1984/01-1995/06	中央氣象局	
蘇澳	SA	1984/01-1994/11	中央氣象局	
高雄	KS	1984/01-1995/01	中央氣象局	
梧棲	WC	1984/01-1995/06	中央氣象局	
外傘頂洲	WA	1988/01-1996/06	水利局	
鹿港	LK	1988/01/1996/06	水利局	
後安寮	AL	1988/01/1996/06	水利局	
塭港	WK	1988/01/1996/06	水利局	
曾文	TW	1992/05/1996/06	水利局	

表 1-2 波浪測站名稱及時間表

測站名稱	代號	時 間	提供單位	備 註
台中港	TC	1971/0712-1977/1215 1981/1108-1981/1204 1986/1202-1987/0107 1988/0311-1988/0420 1987/0306-1987/0324 1989/0823-1989/0918 1989/1108-1989/1206 1994/10-1996/05	中港局 港研所	缺 1973/0521-1973/0912 1973/1024-1973/1207 1974/1201-1974/1231 1975/1101-1976/0304 1976/0722-1976/1002 1976/1110-1977/0630 1977/0929-1977/1107
興達港	SD	1984/06-1992/06	港研所	缺 1985/06
大鵬灣	TP	1990/11-1994/02 1978/09-1984/12	高港局	缺 1995/03-1995/07
新港	SK	1980/06-1995/06	中央氣象局	缺 1981/10 1983/01-1083/12 1984/10-1985/11
鹽寮	YL	1982/04-1983/03	台電	
觀音	KI	1981/12-1984/06	港研所	缺 1982/10-1983/04 1984/02-1984/04
蘇澳	SA	1984/07-1984/10 1986/07 1986/0908-1986/1102(IN) 1986/0418-1986/1207(OUT) 1987/0610-1987/0715(IN) 1987/0101-1987/0204(OUT) 1987/0610-1987/0715(OUT) 1987/0701-1988/0531(IN) 1987/0701-1987/1023(OUT)	蘇澳港分局 港研所	
基隆港	KL	1983/06-1990/04 1987/0710-1987/0919 1988/0308-1990/09 1995/08-1996/06	基隆港務局 港研所	缺 1983/08 1983/10-11

表 1-2 (續) 波浪測站名稱及時間表

鼻頭角	BT	1980/10-1996/06	中央氣象局	缺 1982/07 1983/11 1984/03-06 1984/08-11
花蓮港	HL	1984/06-1984/09 1988/0122-1988/0129 1989/1229-1996/06	港研所	缺 1984/08
東吉島	DG	1977/12 1981/07-1996/06	中央氣象局	缺 1986/06-1985/01 1985/08
小琉球	LC	1977/01-1996/06	中央氣象局	缺 1978/02 1978/07-08 1980/08-09 1981/05-10 1982/01-04 1983/01-12 1985/07-08
外傘頂洲	WA	1990/11-1991/03 1989/0909-1989/1130 1989/0131-1989/0330	港研所	

表 1-3 海流測站名稱及時間表

測站名稱	代號	時 間	提供單位	備 註
台中港	TC	1981/11-1981/12 1982/04-1982/05 1982/08 1983/03 1985/12-1986/01 1986/03-1986/04 1986/12-1987/03 1988/0311-1988/0427 1992/01-1992/03 1994/10-1996/03	中港局 港研所	RCM-4 海流儀 RCM-7 海流儀 RCM-7 海流儀 RCM-7 海流儀
興達港	SD	1984/08-1985/11	港研所	
紅柴	HT	1982/12 1984/02-1984/11	港研所	
蘇澳港	SA	1986/09-1986/11	港研所	RCM-2 海流儀
觀 音 (永安)	YA	1982/02-1982/05 1983/05-1994/06	港研所	RCM-4 海流儀
蘭嶼	LY	1982/06	港研所	
花蓮港	HL	1989/1229-1990/0108 1990/0323-1995/06	港研所	
外傘頂洲	WA	1989/0301-1989/0330	港研所	

表 1-4 潮汐測站名稱及時間表

測站名稱	代號	時 間	提供單位	備 註
台中港	TC	1971/03-1996/06	中港局、港研所	缺 1976/08-1977/04
興達港	SD	1984/06-1985/11	台電火力發電廠	缺 1984/08
高雄港	KS10 KS02	1971/01-1996/05 1988/01-1996/05	高港局	
花蓮	HL	1976/01-1994/01 1994/07-1995/06	中央氣象局 港研所	缺 1981/01-1983/12
蘇澳	SA	1981/01/1993/10	中央氣象局	
基隆	KL	1986/01-1995/08	中央氣象局	
永安	YA	1982/04-1984/03	港研所	缺 1983/01-03
塭港	WK	1988/01/1996/06	水利局	
三條崙	SL	1988/01-1995/04	水利局	
將軍	JJ	1988/01-1996/06	水利局	1993/09-1994/04
竹圍	CW	1988/01-1994/04	水利局	
芳苑	FU	1988/01-1996/06	水利局	
富岡	FK	1988/01-1996/06	水利局	
埤廣嘴	KT	1988/01-1996/06	水利局	缺 1994/01

貳、花蓮港附近海域海流與波浪之調查與分析(VI)

目 錄

中文摘要	2-1
一、前言	2-2
二、現場作業概況.....	2-3
三、海流基本資料分析與特性.....	2-5
四、波浪基本資料分析與特性.....	2-6
五、颱風侵襲期間港外、港內波浪能譜分析.....	2-12
六、颱風波浪與船隻碇泊關係.....	2-15
七、討論與結論.....	2-18
附表.....	2-20
附圖.....	2-30
附錄 A-花蓮港波浪觀測站 ST.2 測站 1995 年 1 月至 1996 年 5 月間每個月的波高週期逐時變化圖	A-1
附錄 B- 波浪 $H_{1/3}$ 與 $T_{1/3}$ 聯合分佈統計表	B-1
附錄 C- 颱風在花蓮港港內、港外波浪能量集中週期比較表	C-1

貳、花蓮港附近海域海流與波浪之調查與分析(VI)

摘 要

花蓮港位於台灣東岸每年夏天遭受菲律賓東方海面颱風波浪威脅。為進一步了解港池水力環境作為改善颱風波浪所造成港池不穩靜現象，本研究分別在花蓮港外海及港池內安裝波高計，同步測取颱風期間波浪資料。本報告分析實測波浪資料，比較港內、外波浪能譜結果顯示，外海短週期能峰密度經過防波堤遮蔽後在港內已經大幅減小，但是長週期波浪能量密度卻反而增加上百倍。同時間港外與港內水位變化圖可以很清楚的印證港內長週期能量增加。本文最後描述港外波浪與港內船隻碇泊，甚至往外海疏散情形。

一、前言

花蓮港位於台灣東部海岸，經過四期擴建後擁有 25 座碼頭，佈置如圖 1 所示，港池成簡單之漏斗型，長達四千五百多公尺，港口朝南，岸壁缺乏消波設施。每年夏季受太平洋颱風波浪直接侵襲，常造成港內船隻無法裝卸、碇泊，甚至可能發生斷纜而必需往海外疏散。民國 79 年 6 月 22 日遭受中度颱風(強烈轉中度)歐菲莉直接侵襲，路徑如圖 2，統計波浪延時變化圖如圖 3，實測波浪頻譜如圖 4，颱風登陸前約一小時外海測得最大波高超過 20m，最大示性波高超過 13m，造成港內碇泊船隻斷纜並撞毀碼頭設施，也使航經該港外錨泊於南濱海岸避難船隻擱淺斷裂等重大災難。

花蓮港除颱風直接侵襲造成災難外，也可能受菲律賓東方海面形成之遠洋颱風威脅。81 年 11 月在菲律賓東方海面艾爾西、漢特及蓋伊三個颱風，路徑如圖 5 至 7。三個颱風中心距離花蓮港均在 1000km 以上，甚至超過 2000km，氣象局尚未發佈海上颱風警報，但花蓮港卻受湧浪侵襲，雖然，港內波高並非太大，但船隻仍需往海外疏散，留港船隻甚至發生斷纜現象。

民國 79 年歐菲莉颱風與 81 年艾爾西、漢特及蓋伊颱風，本所雖測得相當完整之花蓮外海波浪，但卻缺乏港內波浪資料，無法進一步研析造成船隻無法碇泊之港池動力機制。為了解花蓮港在颱風波浪作用下，港池動力特性，作為改善港灣佈置之依據。本基本研究計畫與本所受花蓮港務局委託在颱風侵襲期間同步進行港外、港內波浪調查研究期限兩年，本報告所涵蓋之範圍系本所開始在花蓮港進行現場海氣象調查，即民國 83 年 7 月起至 85 年 5 月底止所觀測之所有海象及氣象資料，上述各觀測站之地理位置請見圖 8，本文謹就初步調查分析結果提出報告，期盼往後能再深入分析以了解造成不穩靜之力學機制。

二、現場作業概況

為量測颱風期間花蓮港內、外波浪資料，本所自 79 年 1 月起進行現場海象調查計畫，並自 83 年 7 月起展開港內與港外之現場調查，儀器佈置如圖 9 至圖 15。茲分別就港外、港內觀測概況介紹如下：

2.1 港外波浪觀測

港外波浪觀測站由原來 78 年 12 月 28 日至 82 年 3 月底使用浮球式波浪儀從 ST.1 移至 ST.2，並且更改使用 Datawell 公司出品之浮球式方向型波浪儀(Directional Waverider)，每小時紀錄 20min 原始波浪資料，取樣頻率為 1.28Hz，此外在波浪儀旁安裝流速儀同時測取流速。觀測期間波浪儀因受提姆颱風巨浪拍擊，錨碇系統斷裂，浮球被沖至岸邊嚴重受損。ST.2 站之波浪儀損毀期間，曾在 ST.5 安裝臨時性波浪儀，測取波浪，但僅維持十天受凱特琳颱風波浪侵襲造成故障。隨後 8 月 16 日重新在 ST.2 安裝浮球式方向型波浪儀，順利測得接續而來的三個颱風波浪資料。此外港口附近 ST.5 在 83 年 7 月 5 日同時安裝一具壓力式波浪儀，但提姆颱風過境後經過十個月的尋找終於在 84 年 4 月找回，幸好儀器一切正常，記錄內存有非常完整之五個颱風(提姆、凱特琳、道格、弗雷特、葛拉絲颱風)的波浪資料。

2.2 港內波浪觀測

颱風期間為測取港內波浪資料，分別在#8、#10、#17 及#22 碼頭前使用壓力式波浪儀紀錄短期波浪資料，並在內航道量測流速。港內波浪每

小時紀錄 34min(2048sec)，取樣頻率為 1Hz。83 年夏季共發生提姆、凱特琳、道格、弗雷特、葛拉絲、及席斯六個颱風侵襲台灣；84 年僅有從台灣南部穿越巴士海峽繼而從香港登陸的肯特颱風。茲就颱風期間各測站波浪量測情形整理如表 1。

2.3 海流觀測

作業期間內，海流觀測使用挪威 AANDERAA 公司之 RCM-7 型海流儀，潮位觀測則使用美國 PACER 公司之 10688(A)/WTG 型之潮波儀。觀測期間儀器均能順利收回並無重大損失，至於資料回收情形則除了部份記錄因資料記憶體不穩，而無法使用外，其餘均完全正常(請見表 2)。

2.4 風速、風向觀測

風場之觀測係使用日本海上電機株式會社出品的 WA-200 型超音波風速儀，觀測期間在 83 年 6 月 22 日起至 8 月 20 日故障外，其餘均正常運作。(詳見表 2)。

三、海流基本資料分析與特性

現場調查作業使用的海流儀為挪威公司出品的RCM-7。記錄方式為將資料直接儲存在記憶體內，取樣間隔定為10分鐘，儀器收回後經READER 2995由傳入個人電腦中，再進行過濾，初步檢查資料品質，修正謬誤數值，篩選不良記錄後，經整理分析後得到海流之10分鐘平均、一小時平均、低通數值過濾後，整理資料得

- ◆ 流速與流向之聯合機率分佈。
- ◆ 海流逐時變化圖。
- ◆ 海流累進向量圖。
- ◆ 能譜分析圖。
- ◆ 聯合機率直方圖。

表3代表海潮流調查之流速、流向之聯合機率分佈統計表。圖8代表花蓮港測站之海流累進向量圖。根據這些基本統計圖顯示，花蓮港測站主要是以長週期海流以及潮流所組合而成，由統計直方圖顯示流向分佈呈雙峰，其主軸為NNE，而副軸為SW。由累進向量圖更可以看出花蓮港測站海流主要是沿著北北東(NNE)方向附近運動，以上結果可知本區海域之海潮流與沿岸平行。由圖9代表ST.4站與圖10代表ST.5站可看出完全受地形導引沿著建築物而流動。

為了瞭解海潮流和潮汐之主要成份週期，對一小時間隔之資料作能譜分析，圖 11 為花蓮港測站之海流流速能譜圖。由能譜分析結果可知在頻率 0.0391CPH(週期 25.58 小時)、0.0781 ~ 0.0859CPH(週期 12.81 ~ 11.64 小時)、0.1250CPH(週期 8 小時)、0.1641CPH(週期 6.09 小時)等四處呈現非常顯著的尖峰值。綜觀能譜圖，可見此地區的海流主要以半日潮流(頻率 0.0781 ~ 0.0859CPH)為主，顯示出有明顯的複合潮流產生。

四、波浪基本資料分析與特性

現場調查作業港內使用美國製PACER 10688與WOODS HOLD SP2200型壓力式波浪儀，取樣間隔1小時，記錄分鐘，記錄到的資料每1秒一次。收回之儀器由RS 232直接輸入個人電腦重新加權後之結果再加以分析；港外使用荷蘭製DATAWELL WAVERIDER浮球式波向波浪儀，其由加速度變化訊號轉換成水位變化，再以無線電方式傳送到接收站之接收機，再由RS 232直接輸入個人電腦硬碟中儲存。記錄上係每間隔2小時記錄20分鐘，每0.78125秒取樣一次收取波浪的水位變化，所以共有1536個資料經整理分析後取得：

- ◆ 波浪 $H_{1/3}$ 與 $T_{1/3}$ 聯合分佈統計表。
- ◆ 波浪之波高與週期 $H_{\max}$ 、 $T_{\max}$ 、 $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ 、 H_{ave} 、 T_{ave} 逐時變化圖。
- ◆ 波浪 $H_{1/3}$ 與 $T_{1/3}$ 聯合機率分佈直方表。
- ◆ 波浪能譜圖。

4.1 波浪特性

附錄A為1995年1月至1996年5月間在花蓮港測站每個月的波高週期逐時變化圖；附錄B為上述期間的波浪之波高 $H_{1/3}$ 與 $T_{1/3}$ 聯合機率分佈直方表，由這些基本統計表與圖再配合附錄C中之波浪能量集中週期表，可以看出波浪變化情形與颱風大小與路徑變化息息相關。從每年6月至8月可以看出基本上是颱風侵襲台灣附近的型態，11月至翌年3月是東北季風盛行的型態，4月、5月有明顯的季節風更替現象，這些都反應在實測波高變化上。

如圖12所示，發生於1994年7月10日20時10分之提姆颱風(詳見路徑圖13)從台灣東部花蓮縣秀姑巒溪口登陸前所記錄之波浪資料，實測波高 $H_{1/3}$ 為10.01公尺，應之週期 $T_{1/3}$ 為14.1秒，1994年8月3日18時15分之輕度颱風凱特琳(路徑詳見圖14)登陸花蓮縣秀姑巒溪口前時所記錄到的波浪資料，實測波高 $H_{1/3}$ 為4.38公尺，對應之週期 $T_{1/3}$ 為12.3秒。圖15所示1994年8月20日之弗雷特颱風(路徑詳見圖16)從台灣東部海面緩慢北上掠過北部海面進入大陸浙江省陸地期間時所記錄到之波浪資料，實測波高 $H_{1/3}$ 為7.29公尺，對應之週期 $T_{1/3}$ 為13.8秒。圖17所示，1994年8月31日之葛拉絲颱風(路徑詳見圖18)，雖然是輕度颱風，但一直向花蓮港逼進，最後稍為偏北於9月1日清晨在蘇澳港南邊登陸，其實測波高 $H_{1/3}$ 為6.76公尺， $T_{1/3}$ 為13.7秒。圖19所示，1994年10月8日之席斯颱風(路徑詳見圖20)在距離台灣南部300~400公里左右已形成強烈颱風邊緣，幸好路徑一直都保持距離台灣東部300公里左右北上而過，實測波高 $H_{1/3}$ 為7.91公尺，週期 $T_{1/3}$ 為13.5秒。84年8月29日之肯颱風(路徑詳見圖21)由輕度轉中度，但一直朝西北西方向通過巴士海峽最後在香港登陸。圖22所示；發生於8月30日時實測波高 $H_{1/3}$ 為6.29公尺，週期 $T_{1/3}$ 為12.4秒(8月30日18時)。83年度之觀測期間共計六個颱風，84年度有一個颱風歸納出的主要波浪事件分別列於表4內。

4-2 颱風波浪資料分析

4-2-1 1994 年颱風波浪的特性

1994 年到 10 月為止，中央氣象局共發佈了六個颱風警報，第一號提姆颱風(TIM)與第二號凱特琳颱風(KAITLIN)都是從台灣東部花蓮縣秀姑巒溪口登陸後由台中附近出海；第三號道格颱風(DOUG)、第四號弗雷特颱風(FRED)等二個颱風都是由東部近海北上掠過台灣北部海面，第五號葛拉絲颱風(GLADYS)由蘇澳登陸；第六號席斯颱風(SWTH)則與台灣東部一直保持 300 公里左右距離北上而過。連續前五個颱風對台灣的殺傷力強，花蓮港遭今年首度佈警告的強烈颱風提姆侵襲時，東防波堤破壞嚴重。中央氣象局未發佈海上、上颱風警報時，花蓮港即已先受到湧浪之侵襲，造成港內船隻無法靠泊裝卸，甚至生斷纜現象。本計畫總共收集到六個颱風之路徑及中心位置、中心氣壓、中央最大風速、暴風半徑等資料。分別敘述如下：

(1) 提姆颱風

1994 年 7 月 7 日還只是一個熱帶性低氣壓，兩天內不僅增強為中度颱風，並且來勢洶洶的如旋風般快襲至南台灣，9 日又增強為強烈颱風後，10 日晚時分由花蓮縣秀姑巒溪口登陸，約在日凌晨時從台中出海。花蓮港遭強烈颱風侵襲時，正逢農曆初二亦是大潮之滿潮(19 時分)時附近登陸，海水高漲，狂風怒濤猛襲東防波堤的新堤段(波向約 $120^{\circ} \sim 130^{\circ}$)有近六百公尺的胸牆破損(詳見照片 L-2)，港內東砂一號運砂船在第 10 號碼頭斷纜後漂盪，險象環生，本所觀測站(ST.2)之浮球式波向波浪儀在時分量測之 $H_{\max}$ 15.95 公尺、 $T_{\max}$ 13.7 秒，有義波高 $H_{1/3}$ 10.01 公尺、 $T_{1/3}$ 14.1 秒，資訊傳回後亦脫離錨碇系統隨浪漂流至岸邊，嚴重

毀損不堪使用。圖23是花蓮港ST.2觀測站所量測到提姆颱風在登陸前產生波浪連續變化壓力之能譜圖。

(2) 凱特琳颱風

輕度颱風凱特琳來去匆匆，8月3日在台灣警戒區域內即台灣東南部近海正式發展為颱風後，當天晚上6時15分已於花蓮縣秀姑巒溪口登陸，4日凌晨從台中附近出海偏北進行通過台灣海峽後進入大陸。台灣地區於8月4日～5日受到凱特琳外圍環流所狹帶的西南氣流豐沛降雨，各地都有陣雨，但花蓮附近海面因受到陸地保護影響不很大。本所暫時安裝在觀測站(ST.5)傳回之浮球式波向波浪儀在8月3日15時15分量測之 $H_{\max}$ 10.85公尺、 $T_{\max}$ 28.3秒，有義波 $H_{1/3}$ 4.38公尺、 $H_{1/3}$ 12.3秒；資料傳回後儀器故障，資訊隨即中斷。

(3) 道格颱風

8月4日輕度颱風凱特琳已遠離台灣地區，但尾隨而至並遙指台灣地區而來的道格颱風在4日早上8時已發展成中度颱風，7日增強為強烈颱風後，沿著台東海岸，由南向北通過台灣東北角的路徑前進，道格颱風過境時，在花蓮港附近海域掀起滔天巨浪，沖毀南濱海堤階梯。但因海上天氣不佳本所人員來不及重新修復與安裝儀器，所以道格颱風期間都沒有實測之資料。

(4) 弗雷特颱風

8月16日在關島北方發展成形的輕度颱風弗雷特，向台灣地區接近，18日已增強為強烈颱風後繼續向西北西行進，但是在19日受到地形及導引氣流的影響，前進路線蛇行不定，刁鑽的弗雷

特不僅行徑飄忽，且速度比預期的慢，在21日清晨4~6時左右通過東北部外海，20日下午撲進花蓮地區海域引起巨浪，造成花蓮港東防波堤舊堤段損壞多處。實測波高在8月20日清晨5時14分之 $H_{\max}$ 11.99公尺、 $T_{\max}$ 14.4秒；有義波高 $H_{1/3}$ 7.29公尺、 $T_{1/3}$ 13.8秒。圖24為弗雷特颱風侵襲前後在花蓮港ST.2觀測站產生波浪連續變化壓力之能譜圖。

(5) 葛拉絲颱風

快如閃電的葛拉絲颱風讓中央氣象局預測失準，八月卅一日發佈海上颱風警報，即快速的向台灣接近，原本預報會在花蓮一帶登陸，結果偏北於九月一日早上十一時左右在蘇澳港南邊登陸，在下午二時左右由新竹出海，造成宜蘭、台北災情慘重，實測波高在九月一日5時56分之 $H_{\max}$ 13.42公尺、 $T_{\max}$ 12.9秒， $H_{1/3}$ 8.43公尺、 $T_{1/3}$ 13.6秒。圖25為葛拉絲颱風登陸前後在花蓮港ST.2觀測站產生波浪連續變化壓力之能譜圖。

(6) 席斯颱風

秋天很詩意，但『秋颱』卻恐怖，在氣象學上說秋颱的可怕在於大氣有兩個不同的氣候系統互相角力的結果，雨會很大，腳步放慢而且拖得較久，席斯就是典型的秋颱。十月八日強烈颱風的外環流已在東部海域掀起陣陣大浪，九日雖然已減弱為中度颱風，但仍猛沖海堤及離岸堤的消波塊，花蓮南濱公園海堤又有部份被沖毀，颱風中心不登陸台灣，沿著東部海面北上通過基隆外海後，速度加快北上離去。

實測波高在十月九日12時12分之 $H_{\max}$ 12.99公尺， $T_{\max}$ 13.6秒， $H_{1/3}$ 7.56公尺， $T_{1/3}$ 13.3秒。圖26為席斯颱風在花蓮港ST.2觀測站產生波浪連續變化壓力之能譜。

4-2-2 1995 年颱風波浪的特性

中央氣象局發佈的颱風警報計有荻安娜(DEANNA)、蓋瑞(GARY)、海倫(HELEN)、珍妮絲(JANIS)、肯特(KENT)及賴恩(RYAN)等六個颱風，但都沒有直接侵襲本省，只有肯特及賴恩兩個颱風在台灣南部掠過；肯特颱風於8月27日在呂宋島東邊400公里左右形成，然後逐漸向巴士海峽逼近，30日靠近恒春160公里從巴士海峽通過，31日繼續往西北西移動而在香港附近登陸後，解除台灣南部地區颱風警報示，8月30日8時花蓮港現場實測波高 $H_{\max}$ 8.54公尺， $T_{\max}$ 11.2秒； $H_{1/3}$ 6.26公尺， $T_{1/3}$ 12.4秒。

五、颱風侵襲期間港外、港內波浪能譜分析

(1) 提姆颱風

提姆颱風在菲律賓東方海面形成後，7月9日增強為強烈颱風後以極快速度朝西北方向前進，7月10日20:10在花蓮港南方秀姑巒溪口登陸。花蓮港外海 ST.2 實測波浪統計值延時變化(如圖 12)，因風浪太大浮球式波浪儀因旋轉環斷裂而遭流失因此沒有資料傳回(後來在海邊找到，但已變形損毀)。在波浪儀流失前測得最大波高 16m，示性波高 10m，港外、港內各測站統計波高最大值整理如表 4。颱風侵襲期間外海及港內波浪頻譜分析結果繪製如圖 27。港外、港內波浪頻譜圖顯示，外海能峰週期約為 15.5sec，港內長週期能量密度顯著增加為外海百倍以上，相對的短週期能量密度則大幅減小，外港#22 碼頭約減小 1/10，內港#8 及#10 碼頭則減為 1/100 或數百分之一。同一時間外海與港池內水位延時變化繪製如圖 28，內港水位波動幅度雖較外海大幅減小，但波動週期則顯著增加，外港#22 碼頭水面雖維持短週期波動，但平均水位仍呈現長週期波動現象，此種水位變動特性可以印證波譜分析結果港內長週期能量成長。

(2) 弗雷特颱風

弗雷特颱風 8 月 16 日在關島北方形成為輕度颱風，接著在 18 日增強為強烈颱風以每小時 20km 速度向西北西前進。當 20 日 02:00 颱風中心抵達花蓮港東南東方海面約 450km 後轉向北北西緩慢前進，在 21 日清晨通過北部海面。

弗雷特颱風侵襲期間花蓮外海波浪測站 ST.2，實測波浪延時變化圖 15。雖然弗雷特颱風強度與範圍均較提姆颱風強大，且在花蓮東方海面延滯三天，在花蓮外海 ST.2 測得最大波高 12.5m，示性波高 7.3m，較提姆颱風期間波浪為小，究其原因，主要係路徑偏北所致，港外、港內各測站統計波高最大值整理如表 4。外海與港內實測波浪原始資料辦理頻譜分析結果繪如圖 29。外海能峰週期約為 14sec 外港短週期波浪能量密度約減為外海密度之 1/10，內港區則大幅減為 1/100 左右；相對的長週期波浪能量密度則增數十倍甚至上百倍。

(3) 葛拉絲颱風

葛拉絲颱風是中央氣象局在 8 月 31 日發佈海上颱風警報後，就以極快速度向西轉西北西移動，9 月 1 日 11:00 在蘇澳南方登陸。外海波浪測站 ST.2 實測波浪延時變化如圖 17。颱風期間港外港內測站統計波高整理如表 6。港外、港內波浪頻譜分析結果如圖 30。因颱風路徑偏北，短週期波浪受防波堤有效遮蔽，港內能量顯著降低，但長週期波浪能量則大幅增加為港外數百倍。

提姆、弗雷特及葛拉絲三個颱風因路徑不同，利用方向式波浪儀在外海 ST.2 測得波浪資料，方向頻譜分析結果主波向因風場不同而有顯著差異。

提姆颱風發生在菲律賓東方海面向西北行進直撲台灣在花蓮南方登陸，方向頻譜顯示主波向在 130° 與 150° 間。弗雷特

颱風形成於關島北方，氣象局發佈海上颱風警報後，向西北西轉西北方向行進，掠過台灣北部海面。由於路徑偏北，在花蓮外海測得颱風所帶來波浪，主方向介於 120° 與 80° 間，隨颱風中心接近台灣波向有轉偏北之趨勢。葛拉絲颱風形成於台灣東方海面，向西行進，接近台灣時略向北偏，在宜蘭附近登陸。主波向大都維持在 100° 與 110° 間，颱風中心接近台灣時主波向減為 90° 左右。

根據波浪頻譜分析結果顯示外海颱風波浪能峰週期大都介於 13sec 至 15sec 間。港內長週期波浪能峰週期，在內港區#8 及#10 碼頭集中在 147.1sec 及 158.7sec，外港區#17 及#22 碼頭長波能峰週期分佈較為散亂，但以 137.0sec、147.1sec 及 185.2sec 發生頻率較高。

六、颱風波浪與船隻碇泊關係

花蓮港港口朝南，發生在台灣東南海面之颱風所形成風浪或東南方向遠洋傳來之湧浪均對港池穩靜造成威脅，茲就八十三年三個波浪紀錄較完整之颱風對花蓮港所造成影響分別概述如下：

(1) 提姆颱風

強烈颱風提姆在菲律賓東方海面形成後，直撲台灣，並在花蓮港南方約 70km 處登陸。颱風所帶來巨浪(風浪加湧浪)在高潮期間對花蓮港造成極為嚴重之破壞。消波式東防波堤胸牆受波浪作用損毀近 500m。港內#25 碼頭消波艙支柱長 8m 斷面 1.2m × 1.2m 共 13 支斷裂傾倒，隔艙損毀，碼頭面版長 14cm 寬 7.2m 厚 1m 因未設置消氣孔受上揚力作用整塊被掀起；西防波堤堤基 20ton 護坡塊流失約 600 個。

提姆颱風威脅花蓮港前港內碇泊三艘商船及小型工作船。當 7 月 10 日 02:30，颱風中心在 19.9° N，124.3° E 附近，距花蓮約 500 公里時，花蓮港外海 St.2 測得示性波高 3.8m，此時碇靠在内港#15 碼頭約 6,000DWT 商船開始往外海疏散。停靠在外港池#17 及#23 碼頭約 15,000DWT 及 25,000DWT 船隻也在隨後五、六小時陸續往外海疏散，此時港內僅在内港區停泊小型工作船，颱風期間港內船隻動態及波浪特性整理如表 5。

(2) 弗雷特颱風

弗雷特颱風在關島北方形成後，在 8 月 18 日增強烈颱風快

速向西北西前進。當 8 月 19 日 17:00 颱風中心位置在 22.2°N ， 126.6°E 距花蓮約 550km 處時，花蓮港外海 St.2 測得示性波高 3.8m，此時碇靠在 #6 碼頭約 2,500DWT 貨輪開始往外海疏散避風浪。隨後每隔 20 分鐘陸續有貨輪自 #19，#20 碼頭往港外疏散。當停靠 #24 碼頭 35,800DWT 貨輪在 18:20 離港後港內除小型工作船外，已無商船。颱風期間港內船隻疏散情形與波浪特性整理如表 5。

(3) 葛拉絲颱風

葛拉絲颱風在 8 月 31 日發佈颱風警報後以極快速度向西前進在 8 月 31 日 18:00 當颱風中心位於 22.8°N ， 125.6°E ，距花蓮約 450km，停泊 #10 碼頭約 14,000DWT 貨輪開始往外海疏散，此時外海 St.2 實測示性波高僅 1.8m，週期亦只有 7.5sec。停泊在 #25 碼頭 36,000DWT 貨輪與 #3 碼頭 2,500DWT 貨輪亦陸續離港，當時波高亦只有 2.3m，週期 7.4sec。颱風期間港內船隻動態整理如表 5。

提姆、弗雷特、葛拉絲三個颱風均造成花蓮港全部貨輪往外海疏散避難，每次颱風波浪與船隻動態資料顯示，造成貨輪出港避難之外海波浪差異極大。提姆颱風實測波浪資料分析顯示，波浪入射角度在 140° 至 145° 之間，對花蓮港港池直接造成威脅，且波浪隨颱風中心逼近而急遽增大，而此次颱風也確實給花蓮港帶來極大災害。但停泊在外港池 #17 及 #23 貨輪卻在外海波高超過 5m 時才往外海疏散。

弗雷特颱風掠過台灣北部海面，實測波浪資料分析顯示，入射波向幾乎垂直東防波堤，港池遮蔽效果良好。然而停泊在外港池#19、#20及#24船隻卻在波高未達4m時離港避難。因船隻出港時間均在傍晚五至六點，因此研判主要係因颱風直撲而來乘日落之前作好防颱風心裏準備提前出港。

根據葛拉絲颱風行進路徑研判，其所造成波浪應不致對花蓮港港池穩靜造成直接威脅；實測波浪資料亦顯示，入射波向約為100°。東防波堤能發揮良好遮蔽效果，且隨颱風愈接近花蓮港波向愈偏北，遮蔽效果良好。但是碇泊港內船隻卻在外海波高未超過2.5m時出海避難。研判主要係因颱風行進速度極快，直撲花蓮而來，氣象預報颱風將在花蓮附近登陸，造成港航人員心裏壓力，且前幾次颱風造成花蓮港不少災害，因此在傍晚以前作好防颱風準備，提前出港避難。

七、討論與結論

花蓮港港池成漏斗型，岸壁缺乏消波設施受偏東南向颱風波浪作用造成港池內不穩靜船隻無法碇靠碼頭而必需往外海疏散避難。實測波浪資料分析結果顯示，港外 St.2 測站波浪能峰週期除少許時間外，大都在 11sec 至 15sec 間，並無異常之長週期波浪能量。但到達港口附近的港外 ST.5 測站之波浪週期其能量約略降低，但長週期亦顯著的出現。外海入射波浪受東防波堤遮蔽，港池內短週期波浪能量顯著降低，外港池約降低一階。內港池約降低二階，但 160 秒左右長週期波能卻大幅增加約二階。

隨颱風路徑與登陸位置不同，外海測站 St.2 所測取之波向亦顯著改變。提姆颱風路徑向西北行進在花蓮以南登陸，入射波主波向約為 145° ，弗雷特颱風路徑也是向西北行進，但位置偏北，掠過北部海面，花蓮所測得主波向約為 115° ，隨中心接近台灣入射角減小。葛拉絲颱風路徑向西前進並在蓮北方登陸，入射波向約為 110° ，且隨著颱風中心逼近陸地而減為 90° 以下。

港內實測波浪延時變化顯示，內港池水位呈 150 餘秒長週期變動；外港池表面上雖為 20 餘秒短期波動，但平均水位亦呈長週期變化。外海入射波向偏北，東防波堤遮蔽效果愈顯著，外港池#17 碼頭前波高大約為#22 碼頭前一半。

船隻往外海疏散時機，除感受港內波浪大小外，颱風強度，中心路徑，行進速度及登陸時間等造成港航人員心裏壓力均為決定出海避之因素。就實際情況而言，葛拉絲颱風侵襲期間，碇泊港內貨輪，可以不必離港避難。

外海 ST.2 站波浪採用浮球式波高計，因加速度感應器無法感應長週期波重力加速度，因此外海波浪資料未顯現長週期波浪能量。港內波浪紀錄時間約 34 分，用以分析一百多秒長週期波譜資料點不足造成頻譜擾動現象。

外海短波群進入近岸時，兩種機制可能產生自由行進超長重力波，其一為碎波點位置振盪所生為之自由長波，另一種可能則是伴隨短波群前進之強制長波。根據徐(1995)研究指出颱風所產生之短波群可能在花蓮港港口附近碎波，產生自由長波進入港內，造成共振現象。另一種可能則是在港口附近未發生碎波現象，但颱風短波群波長增加(湧浪)，且為斜向入射至淺海，因而在岸邊產生 Edge Waves，使超長重力強制長波振幅增加，進入港內造成超長重力長波共振現象。詳細過程及分量則有待進一步計算分析。

表 1 颱風期間測站資料紀錄情形

年	颱風名稱	發生時間	紀錄時間					
			ST.1	ST.5	#8	#10	#17	#20
81	歐瑪	09/03 ~ 09/05	09/03 ~ 09/05					09/05
82	珂茵	06/25 ~ 06/28	06/25 ~ 06/28		06/26			06/26
		發生時間	紀錄時間					
			ST.2	ST.5	#8	#10	#17	#22
83	提姆 (TIM)	07/09 ~ 07/11	03/11 ~ 07/10	--	07/10 ~ 07/11	07/10 ~ 07/11	--	07/10 ~ 07/22
	凱特琳 (KAITLIN)	08/03 ~ 08/04	--	08/03 ~ 08/03	08/03 ~ 08/04	--	08/03 ~ 08/04	--
	道格 (DOUG)	08/06 ~ 08/09	--	--	--	--	--	--
	弗雷特 (FRED)	08/19 ~ 08/22	08/17 ~ 10/10	--	08/19 ~ 08/21	08/19 ~ 08/21	08/19 ~ 08/21	08/18 ~ 10/15
	葛拉絲 (GLADYS)	08/31 ~ 09/02	08/17 ~ 10/10	--	--	09/01 ~ 09/02	09/01 ~ 09/02	08/18 ~ 10/15
	席斯 (SETH)	10/07 ~ 10/11	08/17 ~ 10/10	--	--	--	--	08/18 ~ 10/15
84	肯特 (KENY)	08/27 ~ 08/31	08/27 ~ 08/31	08/27 ~ 08/31	08/27 ~ 08/31	--	--	08/27 ~ 08/31

表 2 現場作業資料回收狀況表

(1)海流—ST.2 觀測站

次 序	儀 器 號 碼	觀 測 期 間	說 明
1	RCM7-19741	1994 年 06 月 08 日 1994 年 07 月 04 日	
2	RCM7-10744	1994 年 07 月 04 日 1994 年 07 月 22 日	1994 年 7 月 10 日 20:10 提姆颱風登陸舵板受損，流向部份資料欠佳。
3	RCM7-10741	1994 年 08 月 17 日 1994 年 10 月 11 日	提姆颱風將整個觀測摧毀，等觀測站重新建立好後，才將儀器重新施放，量測正常。
4	RCM7-10741	1994 年 10 月 17 日 1994 年 11 月 16 日	
5	RCM7-10741	1994 年 11 月 17 日 1994 年 01 月 18 日	
6	RCM7-10741	1995 年 01 月 18 日 1994 年 02 月 22 日	
7	RCM7-10741	1995 年 02 月 23 日 1994 年 04 月 13 日	
8	RCM7-10741	1995 年 04 月 13 日 1994 年 06 月 05 日	

表 2(續) 現場作業資料回收狀況表

(2)海流—ST.4 觀測站

次 序	儀 器 號 碼	觀 測 期 間	說 明
1	RCM7-9890	1994 年 05 月 12 日 1994 年 06 月 07 日	
2	RCM7-10742	1994 年 06 月 24 日 1994 年 07 月 07 日	
3	RCM7-9891	1994 年 07 月 04 日 1994 年 08 月 05 日	7 月 10 日提姆颱風後 ROTTER 受漂流物纏繞著，7 月 20 日潛水人員下水清理後，儀器正常運轉。
4	RCM7-9891	1994 年 08 月 09 日 1994 年 09 月 06 日	

表 2(續) 現場作業資料回收狀況表

(3)海流—ST.5 觀測站

次 序	儀 器 號 碼	觀 測 期 間	說 明
1	RCM7-9614	1994 年 05 月 12 日 1994 年 06 月 09 日	
2	RCM7-9890	1994 年 06 月 09 日 1994 年 07 月 05 日	
3	RCM7-10741	1994 年 07 月 05 日 1994 年 08 月 05 日	7 月 9 日～10 日提姆颱風 8 月 3 日～4 日凱特琳颱風
4	RCM7-9614	1994 年 08 月 17 日 1994 年 10 月 08 日	1994 年 9 月 14 日後舵板受漂流物 纏繞而影響資料之正確性。 8 月 19 日～21 日弗雷特颱風 8 月 31 日～9 月 1 日拉絲颱風
5	RCM7-9891	1994 年 10 月 18 日 1994 年 11 月 18 日	

表 2(續) 現場作業資料回收狀況表

(4)波浪—ST.2 觀測站

次 序	儀 器 號 碼	觀 測 期 間	說 明
1	NO.30099	1994 年 01 月 01 日 1994 年 03 月 11 日	收回保養
2	NO.30125	1994 年 03 月 11 日 1994 年 07 月 10 日	7 月 10 日 17:34 傳回最一筆資料 後遭提姆颱風摧毀，已不堪使用。
3	NO.30126	1994 年 08 月 17 日 1994 年 10 月 12 日	10 月 8 日～10 日席斯颱風過境 後，12 日即沒有資料傳回，14 日確定儀器已流失。
4	NO.30099	1994 年 11 月 15 日 1994 年 06 月 30 日	
5	no.30099	1996 年 7 月 迄 今	1995 年 7 月上旬收回儀器保養， 更換電池後再下水繼續量測。

表 2(續) 現場作業資料回收狀況表

(5)波浪—#8、#10、#17、#22 碼頭

次 序	儀 器 號 碼	觀 測 期 間	說 明
#8 (ST.7)	10688-78	1994/07/10- 1994/07/11	提姆颱風
	10688-78	1994/08/03- 1994/08/04	凱特琳颱風
	10688-76	1994/08/19- 1994/08/21	弗雷特颱風
	10688-	1995/08/27- 1995/08/31	肯特颱風
#10 (ST.8)	SP2200-2	1994/07/10- 1994/07/11	提姆颱風
	-----		凱特琳颱風(缺)
	SP2200-2	1994/08/19- 1994/08/21	弗雷特颱風
	SP2200-1	1994/09/01- 1994/09/02	葛拉絲颱風
#17 (ST.3)	10688-75	1994/07/10- 1994/07/11	提姆颱風(儀器故障)
	10688-75	1994/08/03- 1994/08/04	凱特琳颱風
	10688-78	1994/08/19- 1994/08/21	弗雷特颱風
	10688-78	1994/09/01- 1994/09/02	葛拉絲颱風
#22 (ST.6)	10688-76	1994/07/04- 1994/08/	提姆颱風
	10688-76	1994/07/04- 1994/08/18	凱特琳颱風(儀器記憶已滿，共記錄到 7 月 22 日止)。
	10688-75	1994/08/18- 1994/10/15	弗雷特颱風
	10688-75	1994/08/18- 1994/10/15	葛拉絲颱風(儀器記錄到 10 月 1 日止)。
	10688-	1995/08/27- 1995/08/31	肯特颱風

表 3 流速、流向分佈統計表

STATION : HAI-LIAN HARBOUR (ST2-01) TIME : 1994/0510/1200 --- 1994/0608/1030 DEPTH : WATER DEPTH 25 METER; INST. DEPTH -5 METER INST. : AANDERAA CURRENT METER RCW7-9691-01										
BIVARIATE PROBABILITY FOR SKETCH OF THE CURRENT ROSE										
DIR.	0	25	50	75	100	125	150	175	200	TOTAL
NNE	5.76	16.22	14.42	2.69	.00	.00	.00	.00	.00	39.08
NE	4.61	13.53	4.99	.05	.00	.00	.00	.00	.00	23.18
ENE	2.62	1.30	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	3.91
E	1.10	.05	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.15
ESE	.65	.05	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.70
SE	.67	.05	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.72
SSE	.89	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.91
S	1.54	.24	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.78
SSW	2.45	2.33	.26	.00	.00	.00	.00	.00	.00	5.04
SW	3.29	4.89	.67	.05	.00	.00	.00	.00	.00	8.90
WSW	1.58	.91	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	2.50
W	1.54	.22	.19	.12	.00	.00	.00	.00	.00	2.06
WNW	1.46	.22	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.68
NW	1.51	.12	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.63
NNW	1.78	.53	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	2.30
N	2.33	2.04	.10	.00	.00	.00	.00	.00	.00	4.46
ALL	33.76	42.71	20.63	2.90	.00	.00	.00	.00	.00	100.00
TOTAL MEAN OF TEMP. = 26.78 TOTAL MEAN OF VEL. = 17.65 TOTAL MEAN DIRECTION = 28.2 MEAN X-COMPONENT NT = 8.31 MEAN Y-COMPONENT = 15.57 MAX. VELOCITY = 81.02 ITS DIRECTION = 24.2 MIN. VELOCITY = 1.50 ITS DIRECTION = 187.9 MAX. TEMP. = 28.02 MIN. TEMP. = 23.94 VARIANCE OF X-COMP. = .1679272E+03 VARIANCE OF Y-COMP. = .4019364E+03 VARIANCE OF TEMP. = .2746357E+00 TOTAL NUMBER OF DATA = 4168 SKEWNESS OF U = -.2431690E+00 OF V = .9041036E+03 OF T = -.5806305E-05 KURTOSIS OF U = .2712312E+01 OF V = .4421407E+06 OF T = .1585313E-05 30 DAYS OF DATA DAILY MAX. TEMP. MONTHLY = 27.39 DAILY MIN. TEMP. MONTHLY = 26.01										

表 3(續) 流速、流向分佈統計表

STATION : HAI-LIAN HARBOUR (ST2-02) TIME : 1994/0608/1040 --- 1994/0704/0930 DEPTH : WATER DEPTH 25.0 METER; INST. DEPTH 5.0 METER INST. : AANDERAA CURRENT METER RCW7-10741										
BIVARIATE PROBABILITY FOR SKETCH OF THE CURRENT ROSE										
DIR.	0	25	50	75	100	125	150	175	200	TOTAL
NNE	4.25	15.46	9.79	.35	.00	.00	.00	.00	.00	29.86
NE	6.26	12.23	2.51	.00	.00	.00	.00	.00	.00	21.00
ENE	3.67	.29	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	3.96
E	1.69	.13	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.03	1.85
ESE	1.69	.03	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.71
SE	1.55	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.55
SSE	1.58	.03	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.61
S	2.27	.16	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	2.43
SSW	5.43	3.88	.05	.00	.00	.00	.00	.00	.00	9.36
SW	4.71	5.40	.35	.00	.00	.00	.00	.00	.00	10.46
WSW	2.35	.94	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	3.29
W	1.79	.62	.24	.05	.00	.00	.00	.00	.00	2.70
WNW	1.44	.19	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.63
NW	1.79	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.87
NNW	1.55	.48	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	2.03
N	2.89	1.71	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00	4.68
ALL	44.92	41.63	13.03	.40	.00	.00	.00	.00	.03	100.00
TOTAL MEAN OF TEMP. = 26.41 TOTAL MEAN OF VEL. = 11.22 TOTAL MEAN DIRECTION = 27.8 MEAN X-COMPONENT NT = 5.22 MEAN Y-COMPONENT = 9.93 MAX. VELOCITY = 99.00 ITS DIRECTION = 99.2 MIN. VELOCITY = 1.78 ITS DIRECTION = 297.1 MAX. TEMP. = 28.33 MIN. TEMP. = 2.94 VARIANCE OF X-COMP. = .3975491E+03 VARIANCE OF Y-COMP. = .5691838E+03 VARIANCE OF TEMP. = .6853409E+00 TOTAL NUMBER OF DATA = 3738 SKEWNESS OF U = .3312677E+02 OF V = .2605726E+06 OF T = -.5087661E-03 KURTOSIS OF U = .1532197E+04 OF V = .2562730E+09 OF T = .5029599E-03 27 DAYS OF DATA DAILY MAX. TEMP. MONTHLY = 27.32 DAILY MIN. TEMP. MONTHLY = 23.69										

表 4 颱風期間港外與港內各測站統計波高最大值

年份	颱風名稱	測站	H _{max} (m)	T _{max} (sec)	H _{1/3} (m)	T _{1/3} (sec)	波向	發生時間
1994	提姆	St.2	15.95	13.7	10.01	14.1	68 °	0710/17:34
		St.5	7.7	13.9	5.6	13.8		0710/17:34
		#08	3.02	102.1	1.62	79.0		0710/20:00
		#10	2.49	176.4	1.60	91.9		0710/20:00
		#22	6.51	16.1	3.55	20.4		0710/20:00
		新港	13.57	16.3	9.51	14.4		0710/16:03
1994	凱特琳	St.2	6.86	11.1	3.96	10.2	136 °	0803/16:03
		St.5	2.0	6.0	1.2	15.8		0803/16:03
		#08	1.53	88.3	1.07	88.0		0803/18:00
		#17	1.63	10.4	1.14	11.6		0803/19:00
		新港	5.86	7.8	3.75	7.6		0804/09:00
1994	道格	St.5	2.19	70.1	1.29	15.8		0807/07:00
		新港	8.10	15.3	4.66	13.7		0807/07:00
1994	弗雷特	St.2	12.40	13.8	6.77	13.9	98 °	0820/12:00
		St.5	3.5	13.1	2.6	13.5		0820/12:00
		#08	2.40	95.9	1.82	90.3		0820/07:00
		#10	1.35	97.3	0.80	57.8		0820/07:00
		#17	1.78	16.3	1.30	20.8		0820/07:00
		#22	3.58	18.2	2.46	18.2		0820/06:00
		新港	6.33	12.8	4.62	12.7		0820/12:00
1994	葛拉絲	St.2	13.42	12.9	6.76	13.7	98 °	0901/05:56
		St.5	5.8	14.8	3.3	13.1		0901/05:56
		#10	1.46	151.6	0.87	111.7		0901/05:00
		#17	1.17	16.3	0.88	24.7		0901/06:00
		#22	3.15	16.2	1.76	17.7		0901/07:00
		新港	5.89	12.5	4.05	12.0		0901/07:00
1994	席斯	St.2	12.52	15.1	7.91	13.5		1009/15:09
		新港	儀器故障					
1995	肯特	St.2	9.64	11.2	6.3	12.4	155 °	0830/18:07
		St.5	10.7	13.5	6.3	12.0		0830/18:00
		#08	0.5	106.7	0.2	47.3		0830/18:00
		#22	1.1	14.4	0.6	17.0		0830/18:00
1992	歐瑪	St.1	9.7	10.3	6.1	12.43		0904/10:10
		#20	2.6	8.9	1.6	22.7		0904/10:10
1993	珂茵	St.1	7.9	14.45	5.9	14.44		0626/14:44
		#10	0.6	175.6	0.5	117.2		0626/14:44
		#20	1.9	27.8	1.3	39.2		0626/14:44

表 5 颱風期間波浪與船隻動態

颱風 名稱	時間	外海波浪			船隻動態	碼頭前波 浪		備註
		H ₃ (m)	T _s (sec)	波向 (o)		H _s (m)	T _p (sec)	
提姆	0710/ 02:30	3.8	10.8	140	碇泊#15 貨輪 6,000 DWT 往外海疏散	0.6	147.1	颱風中心距 花蓮港約 500km
		5.4	11.4	145	碇泊#23 貨輪 25,000 DWT 往外海疏散	1.9	147.1	
	0710/ 07:00	5.9	11.9	145	碇泊#17 貨輪 15,000 DWT 往外海疏散	1.1	147.1	
		10.0	14.1	142	實測最大波高、波浪 仍繼續成形。港內除 碇泊小型工作船 外，無貨輪滯港。 波高計流失未能繼 續紀錄	3.55 1.60 1.62		
	0710/ 08:30							
	0710/ 17:34							
	0710/ 20:00							
	0713/ 00:00							
					颱風過境船隻進港			
弗雷特	0819/ 17:00	3.8	11.7	115	碇泊#6 貨輪 2,500DWT 往外海疏散	0.46	158.7	颱風中心 距花蓮港 約 550 km
	0819/ 17:20	3.9	11.7	115	碇泊#19 貨輪 13,000 DWT 往外海疏散	0.74	185.2	
	0819/ 17:40	3.9	11.7	110	碇泊#20 貨輪 9,600 DWT 出港避難	0.74	185.2	
	0819/ 18:20	4.0	12.3	105	碇泊#24 貨輪 35,000 DWT 出港避難	1.40	147.1	

	0820/ 07:00	6.77	13.9	110	發生最大外海波高,港 內除小型工作船外無 貨輪	2.46 1.30 0.80		
	0821/ 00:30	3.1	11.6	85	0821 颱風轉向 NNE 貨 船開進港			#22 #17 #06
葛拉絲	0831/ 18:00	1.8	7.5	102	碇泊#10 貨輪 14,000 DWT 出港避難	0.23	158.7	颱風中心 距花蓮港 約 450 km
	0831/ 19:40	2.3	7.4	102	碇泊#25 貨輪 36,000 DWT 出港避難	0.70	137.0	
	0831/ 20:20	2.3	7.4	102	碇泊#3 貨輪 2,500 DWT 往外海疏散	0.30	158.7	
	0910/ 06:47	7.0	13.8	106	發生最大外海波浪,港 內除停泊小型工作船 外無貨船	1.76 0.88 0.87		#22 #17 #10
	0902/ 00:00	1.4	8.0		颱風警報已解除,貨輪 開始進港			

註：1. #xx 為碼頭編號位置如圖 1。

2. 船隻噸位(DWT)為千噸近似值。

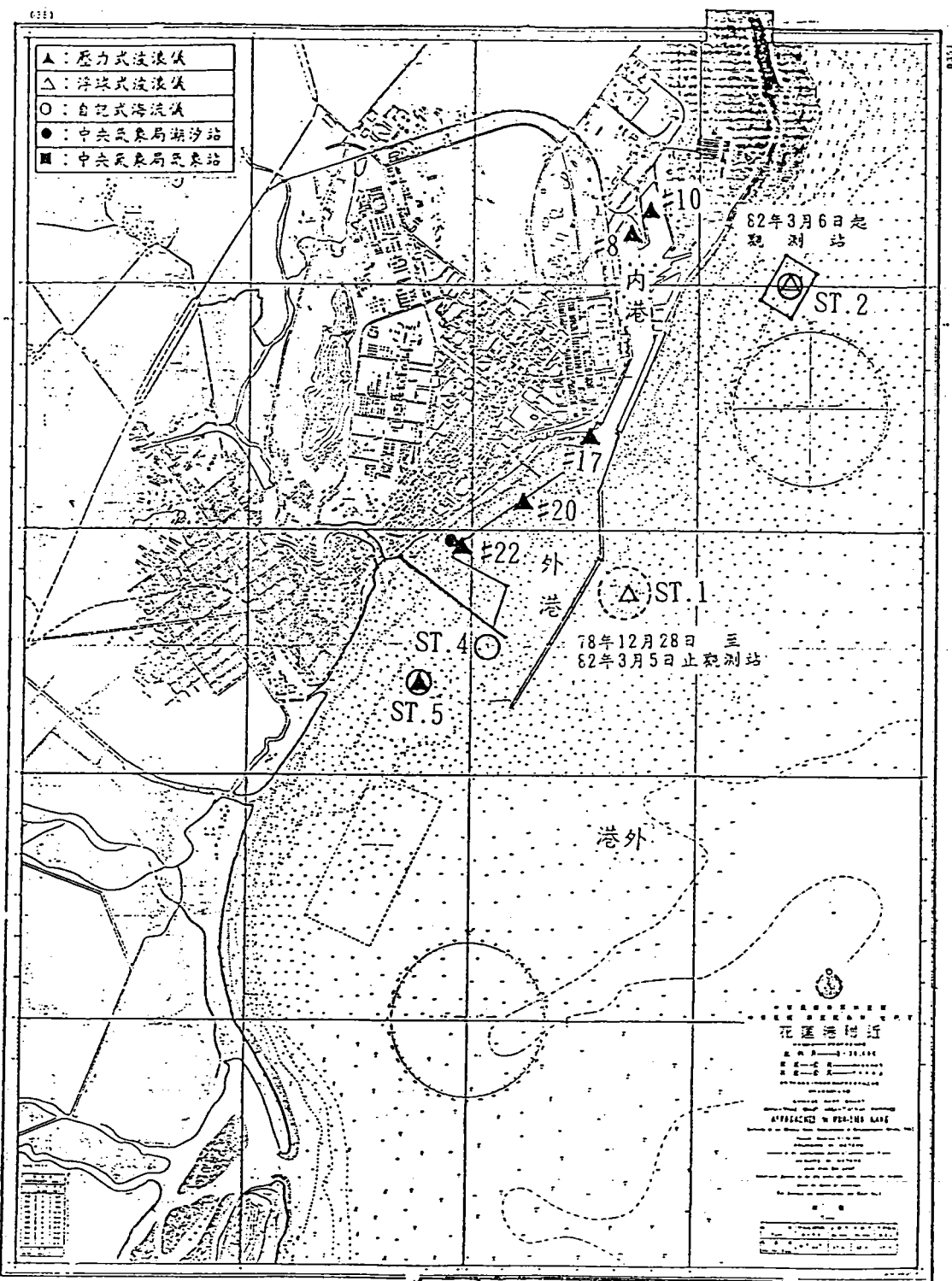
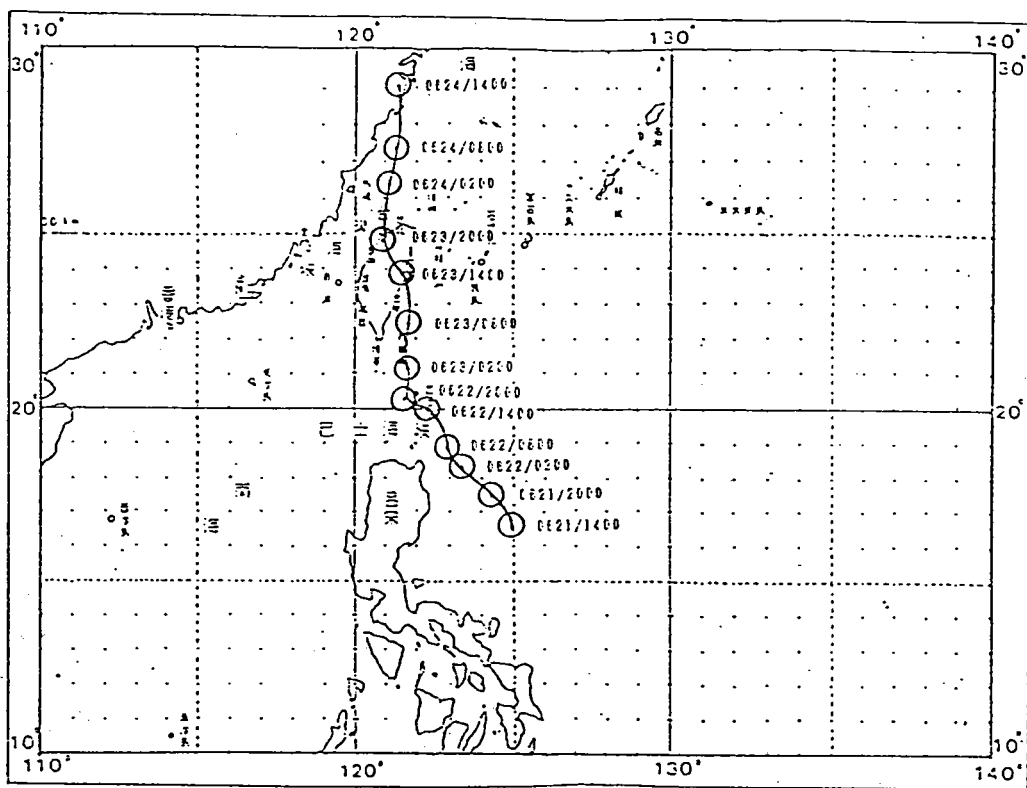


圖 1 花蓮港附近海域海氣象觀測站地理位置示意圖



時 間	中心最 大風速	中心 氣壓	北緯 東經	七級暴 風半徑	十級暴 風半徑
0621 1400	32	980	15.5 125.0	200	100
0621 2000	35	975	17.4 124.3	200	100
0622 0200	35	975	13.2 123.4	200	100
0622 0800	38	970	18.9 123.0	200	100
0622 1400	38	970	20.0 122.3	200	100
0622 2000	38	970	20.3 121.6	200	100
0623 0200	38	970	21.1 121.9	200	100
0623 0600	38	968	22.4 121.8	200	100

時 間	中心最 大風速	中心 氣壓	北緯 東經	七級暴 風半徑	十級暴 風半徑
0623 1400	33	975	23.9 121.5	200	80
0623 2000	28	985	24.8 120.8	180	50
0624 0200	25	988	26.4 121.2	120	30
0624 0800	25	988	27.3 121.3	120	30
0624 1400	25	988	29.0 121.4	120	30

圖 2 79年第2號颱風歐菲莉(OFELIA)之路徑圖

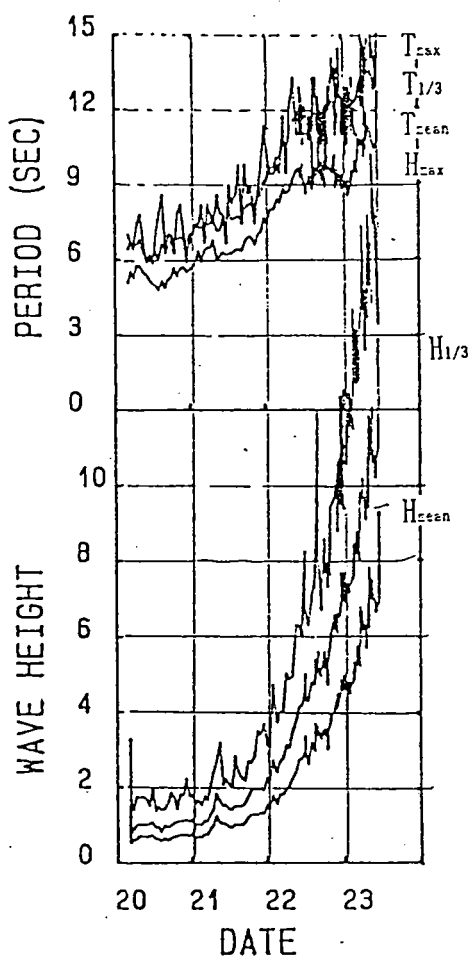


圖 3 1990 年 6 月 20 日～23 日歐菲莉颱風造成
花蓮港港外 ST.1 站之波浪逐時變化圖

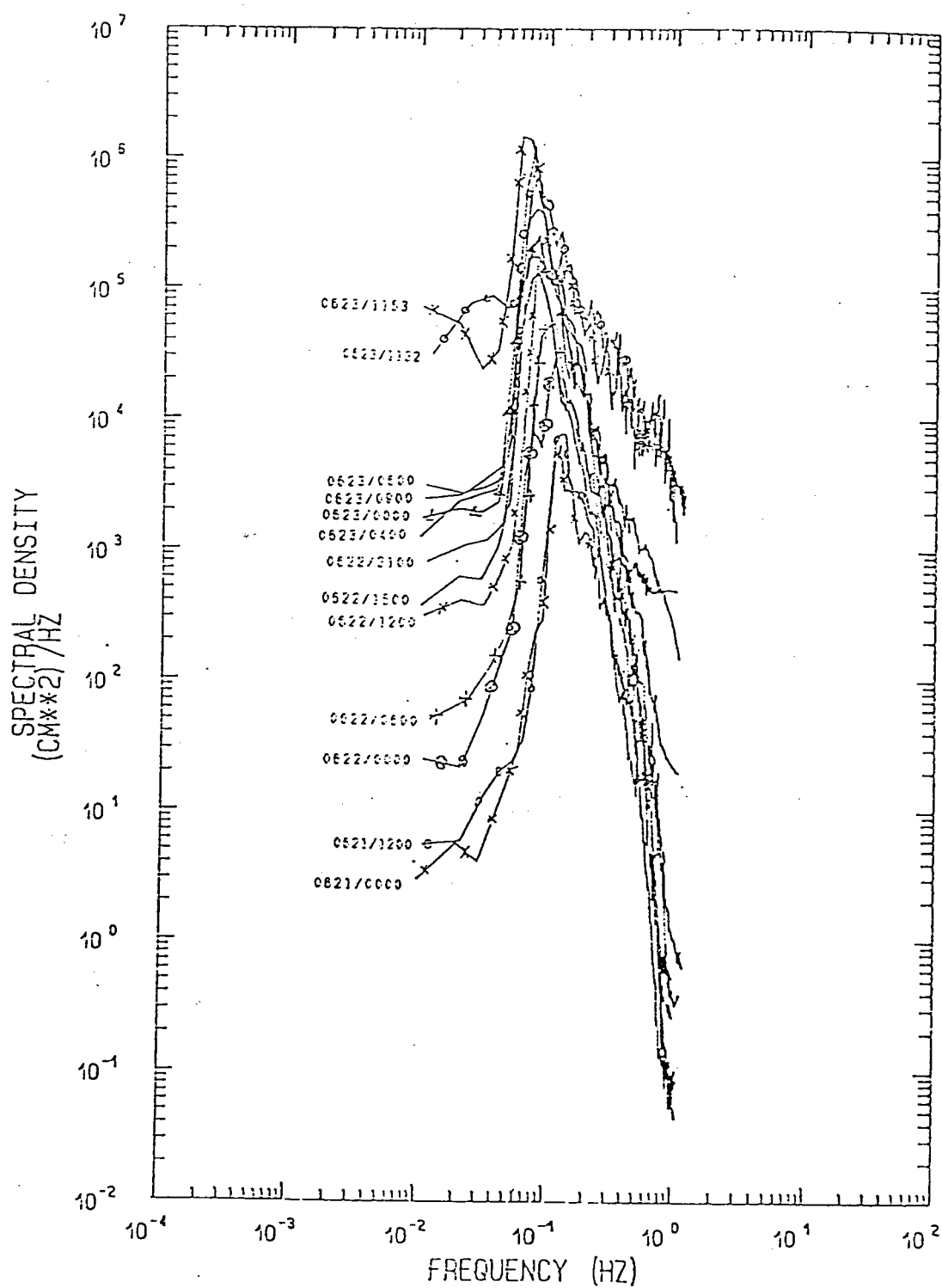
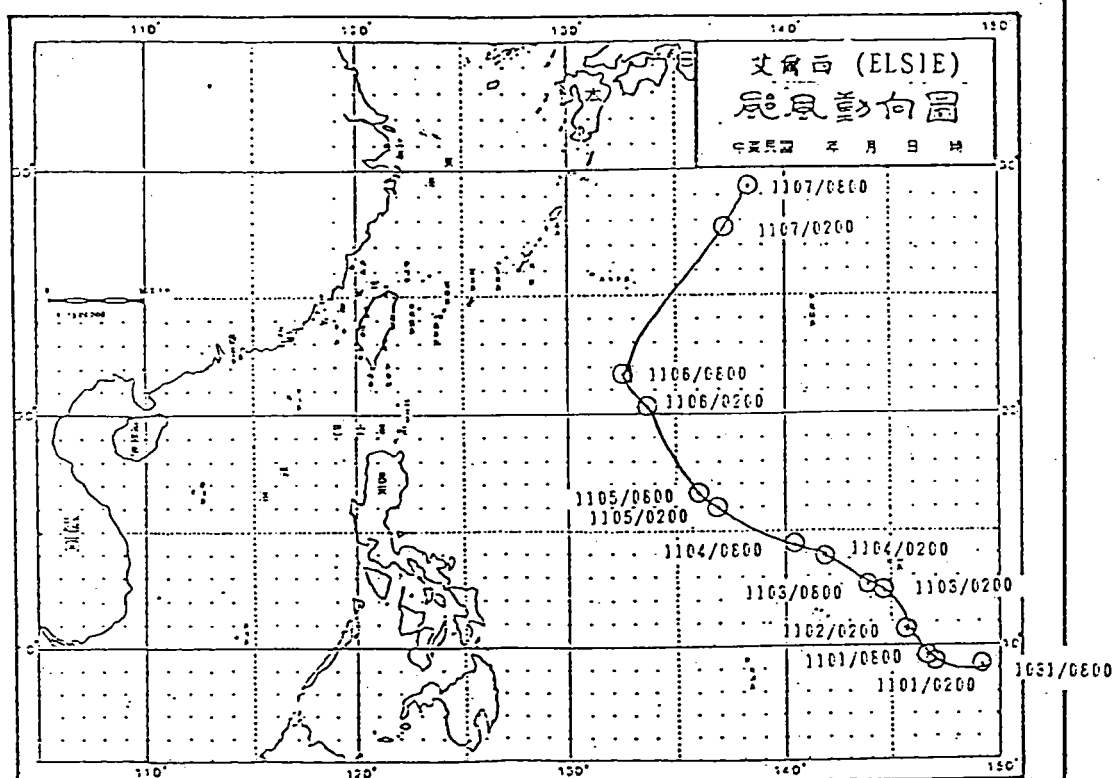


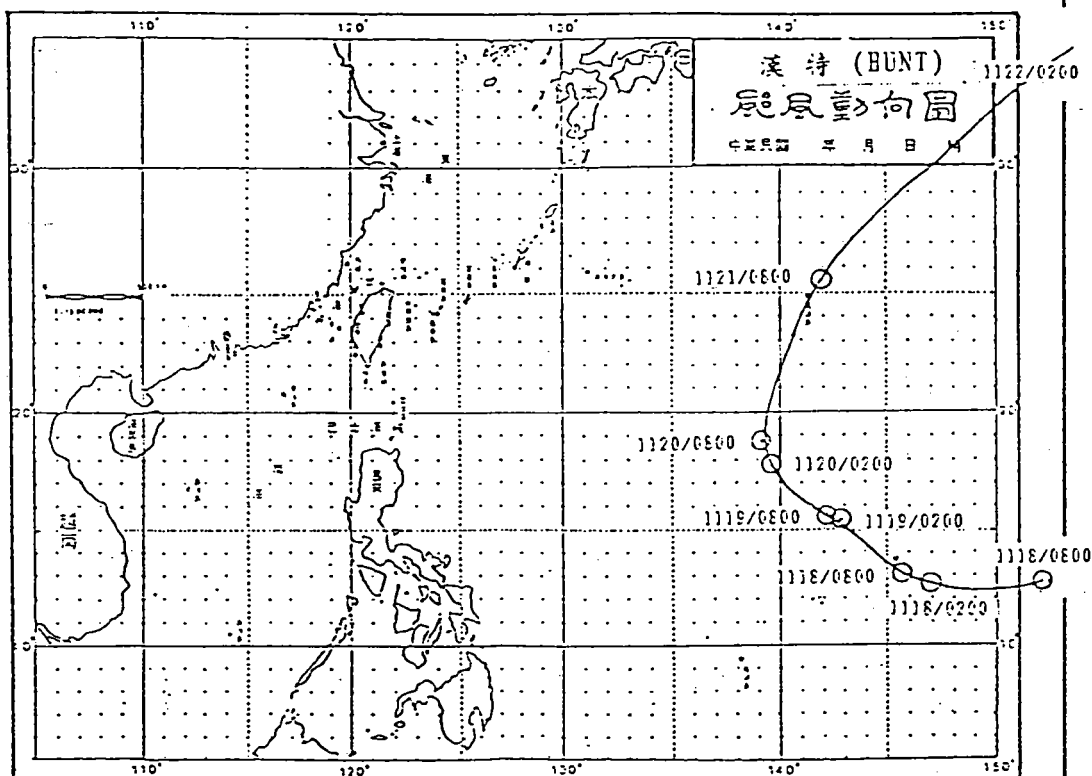
圖 4 歐菲莉颱風波浪能譜比較



時 間	中心 風速	北緯 東經	中心最 大風速	七級暴 風半徑	十級暴 風半徑
1101 0800	955	9.4 149.1	25	150	----
1101 0200	970	9.5 147.0	35	200	100
1101 0800	970	9.6 146.7	35	200	100
1102 0200	970	10.6 145.7	43	200	100
1103 0200	970	12.3 144.6	40	200	100
1103 0800	955	12.6 144.0	43	200	100
1104 0200	950	13.9 141.8	51	200	100

時 間	中心 風速	北緯 東經	中心最 大風速	七級暴 風半徑	十級暴 風半徑
1104 0800	940	14.4 140.4	53	200	100
1105 0200	940	16.0 137.0	53	250	150
1105 0800	950	16.8 136.1	55	250	150
1106 0200	950	20.2 133.8	55	250	150
1106 0800	920	21.7 133.7	58	250	150
1107 0200	945	27.8 137.2	45	250	150
1107 0800	945	29.2 138.4	45	250	150

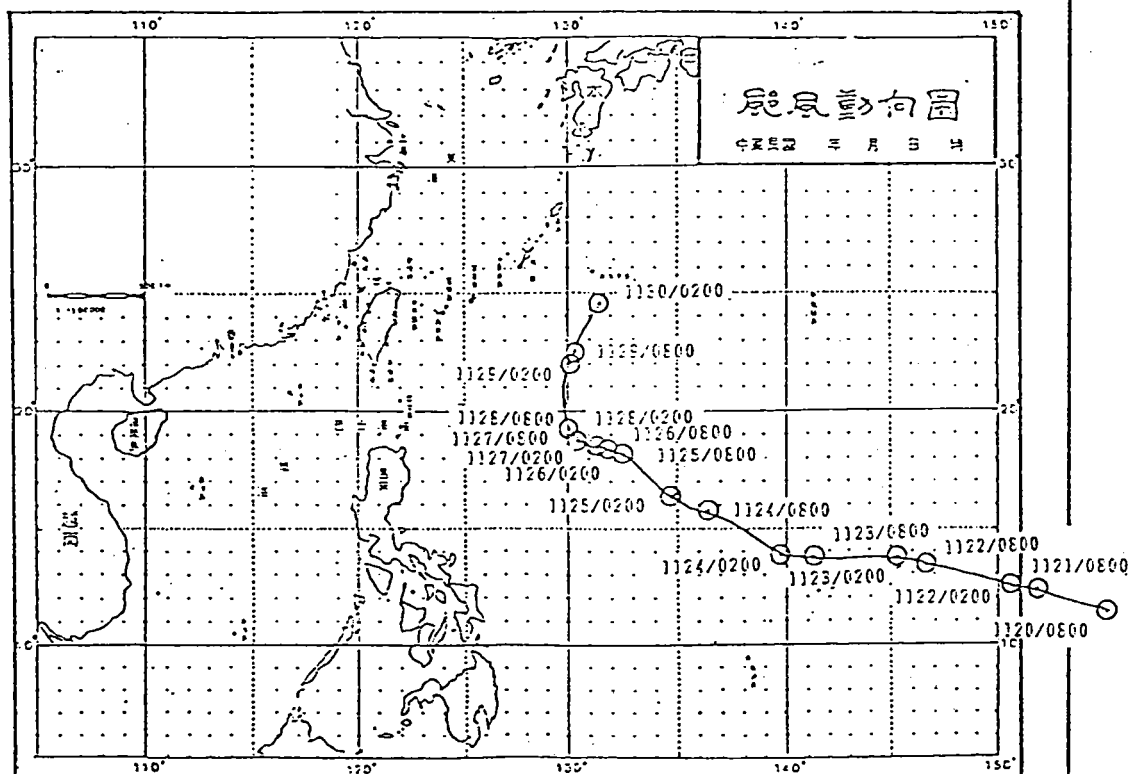
圖 5 1992 年艾爾西(ELSIE)颱風之路徑圖



時 間	中心 氣壓	北緯 東經	中心最 大風速	七級暴 風半徑	十級暴 風半徑
1117 0800	998	12.7 152.0	18	100	---
1118 0200	990	12.7 147.0	28	120	50
1118 0800	975	13.0 145.8	33	150	80
1119 0200	975	15.3 142.9	43	200	80
1119 0800	965	15.5 142.2	38	200	80
1120 0200	950	17.9 139.7	45	250	120
1120 0800	940	18.8 139.3	51	250	120
1121 0800	950	25.5 142.0	45	200	100

時 間	中心 氣壓	北緯 東經	中心最 大風速	七級暴 風半徑	十級暴 風半徑
1122 0200	975	34.0 155.0	30	150	80

圖 6 1992 年漢特(HUNT)颱風之路徑圖



時 間	中心 氣壓	北緯 東經	中心風速 最大風速	七級暴 風半徑	十級暴 風半徑
1120 0800	935	10.1 160.9	58	200	100
1121 0800	925	11.5 155.8	60	250	150
1122 0200	920	12.2 151.7	60	250	150
1122 0800	920	12.4 150.5	60	250	150
1123 0200	930	13.4 146.8	55	250	150
1123 0800	930	13.6 145.3	55	250	150
1124 0200	950	13.7 141.2	48	250	150
1124 0800	950	13.9 139.6	45	250	150
1125 0200	965	15.8 136.5	40	250	150
1125 0800	960	16.4 134.9	43	250	150

時 間	中心 氣壓	北緯 東經	中心風速 最大風速	七級暴 風半徑	十級暴 風半徑
1126 0200	950	18.1 132.6	51	250	150
1126 0800	950	18.3 132.0	51	250	150
1127 0200	955	18.4 131.5	48	250	150
1127 0800	955	18.3 131.4	48	250	150
1128 0200	965	18.6 130.5	40	250	150
1128 0800	965	19.2 130.2	38	250	150
1129 0200	975	22.0 130.3	35	200	100
1129 0800	980	22.3 130.4	30	200	100
1130 0200	988	24.5 131.5	25	150	80

圖 7 1992 年蓋伊(GAY)颱風之路徑圖

PROGRESSIVE VECTOR DIAGRAM

STATION : HAN-LIAN HARBOUR (ST2-02)
 TIME : 1994/0600/1040 --- 1994/0704/0030
 DEPTH : WATER DEPTH 25.0 METER; INST. DEPTH 5.0 METER

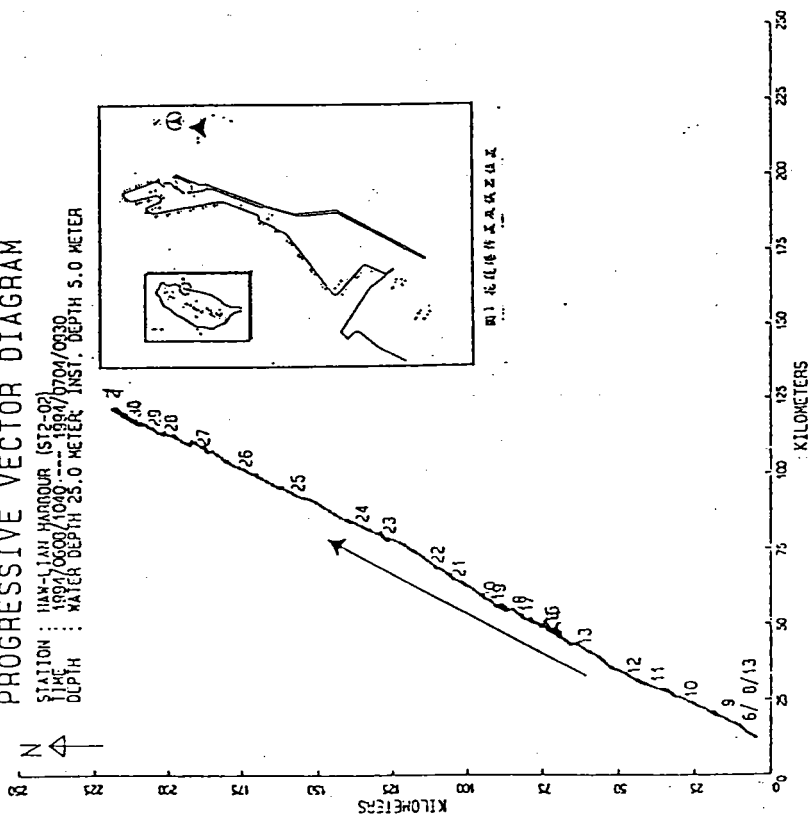


圖 8 ST.2 站海流累進向量圖

PROGRESSIVE VECTOR DIAGRAM

STATION : HAN-LIAN HARBOUR (ST2-03)
 TIME : 1994/0704/1020 --- 1994/0722/1140
 DEPTH : WATER DEPTH 25.0 METER; INST. DEPTH 5.0 METER

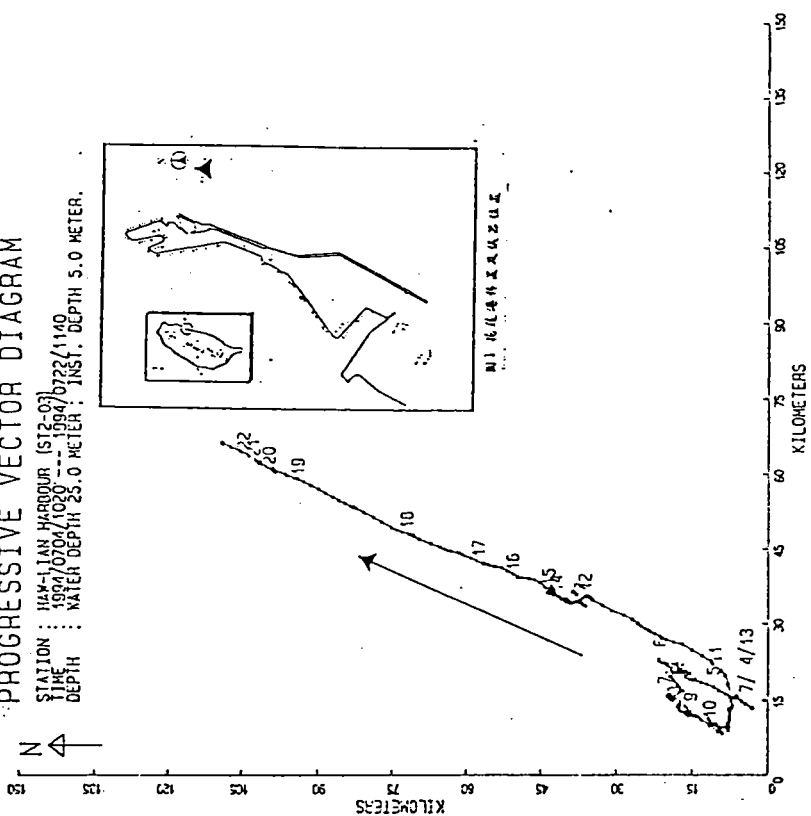


圖 8(續) ST.2 站海流累進向量圖

PROGRESSIVE VECTOR DIAGRAM

STATION : HAW-LIAN HARBOUR (STA-01)
 TIME : 1994/0512/1230 --- 1994/0607/1250
 DEPTH : WATER DEPTH 14 METER : INST. DEPTH -3 METER .

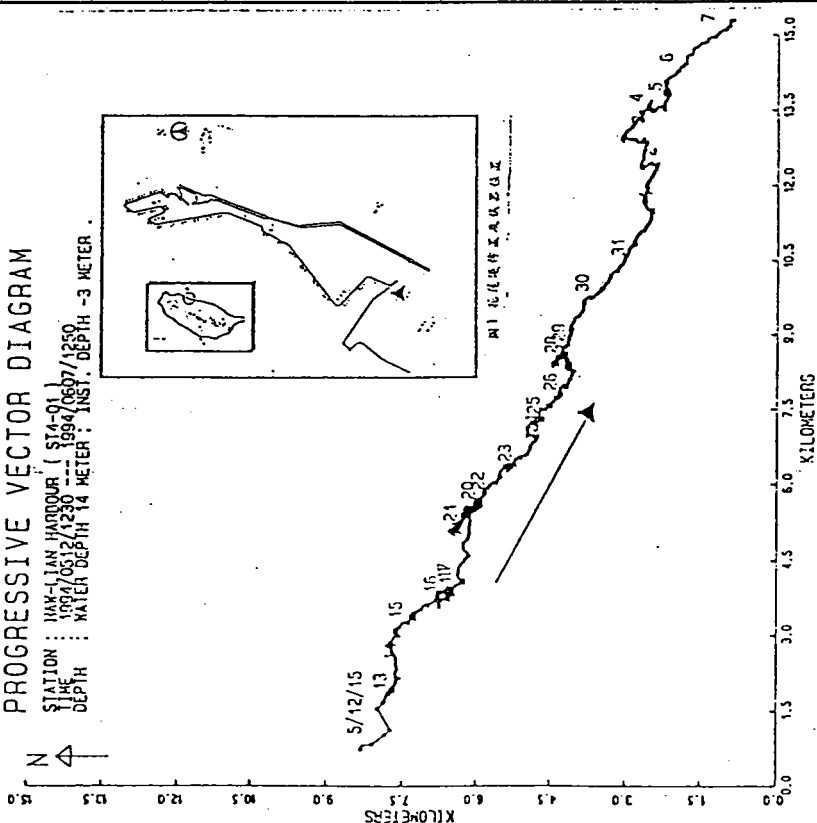


圖 9 ST.4 站海流累進向量圖

PROGRESSIVE VECTOR DIAGRAM

STATION : HAW-LIAN HARBOUR (STA-03)
 TIME : 1994/0704/1200 --- 1994/0805/0950
 DEPTH : WATER DEPTH 15 METER : INST. DEPTH 4 METER .

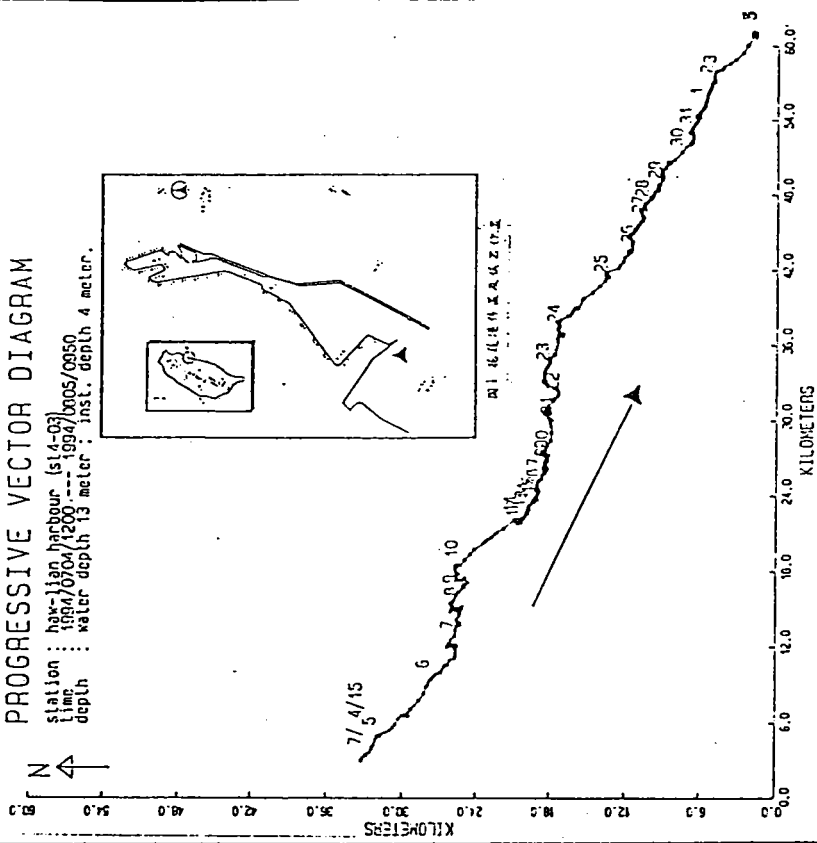
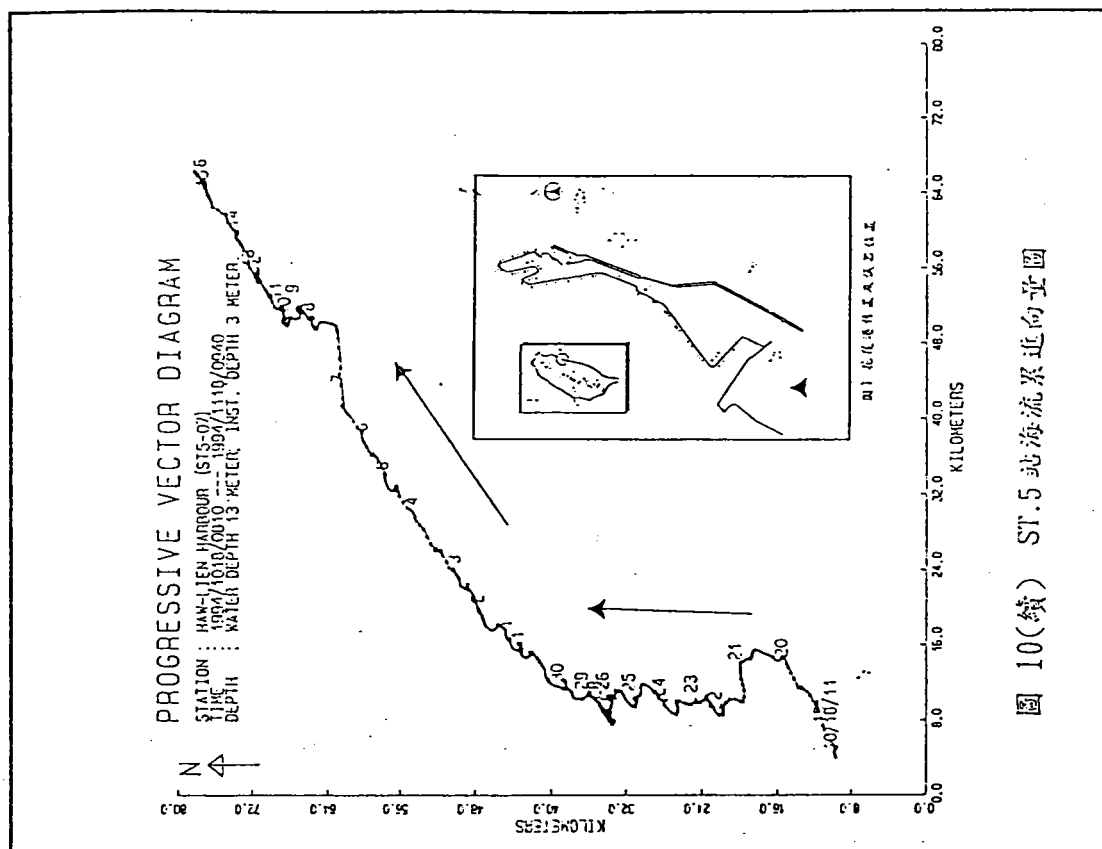
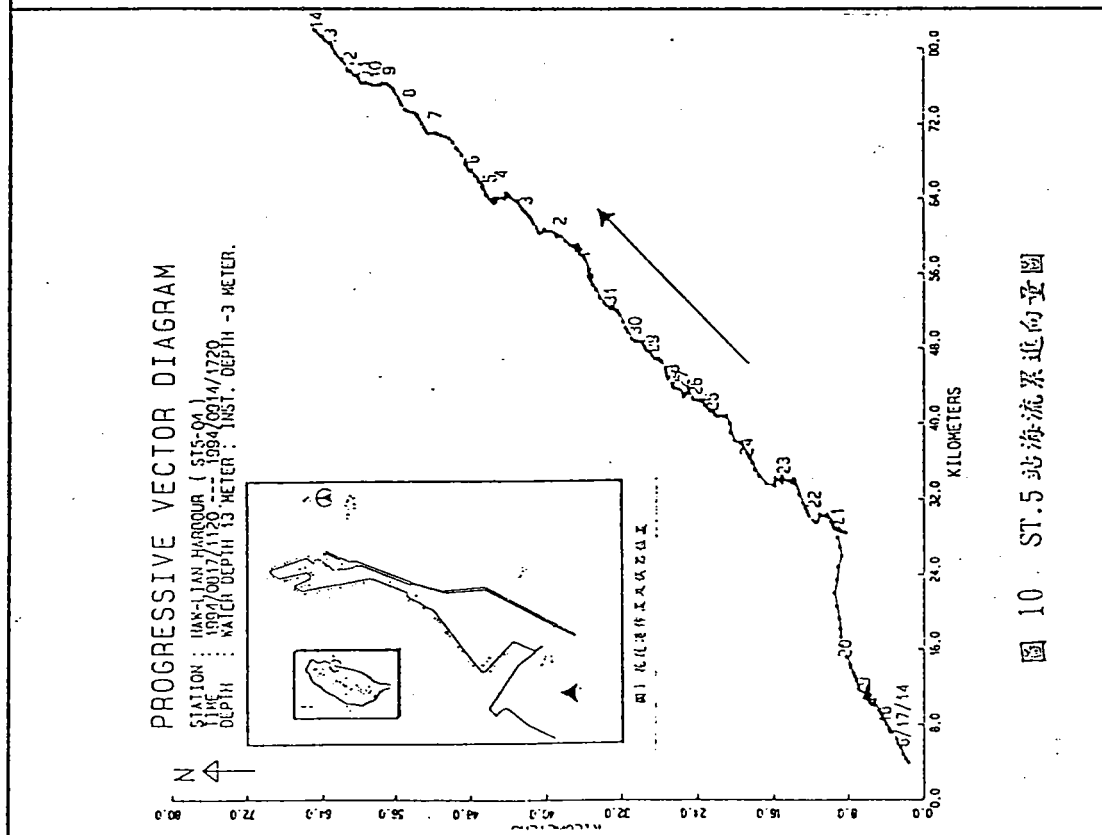


圖 9(續) ST.4 站海流累進向量圖



current data of haw-lien 1993/06-1994/07

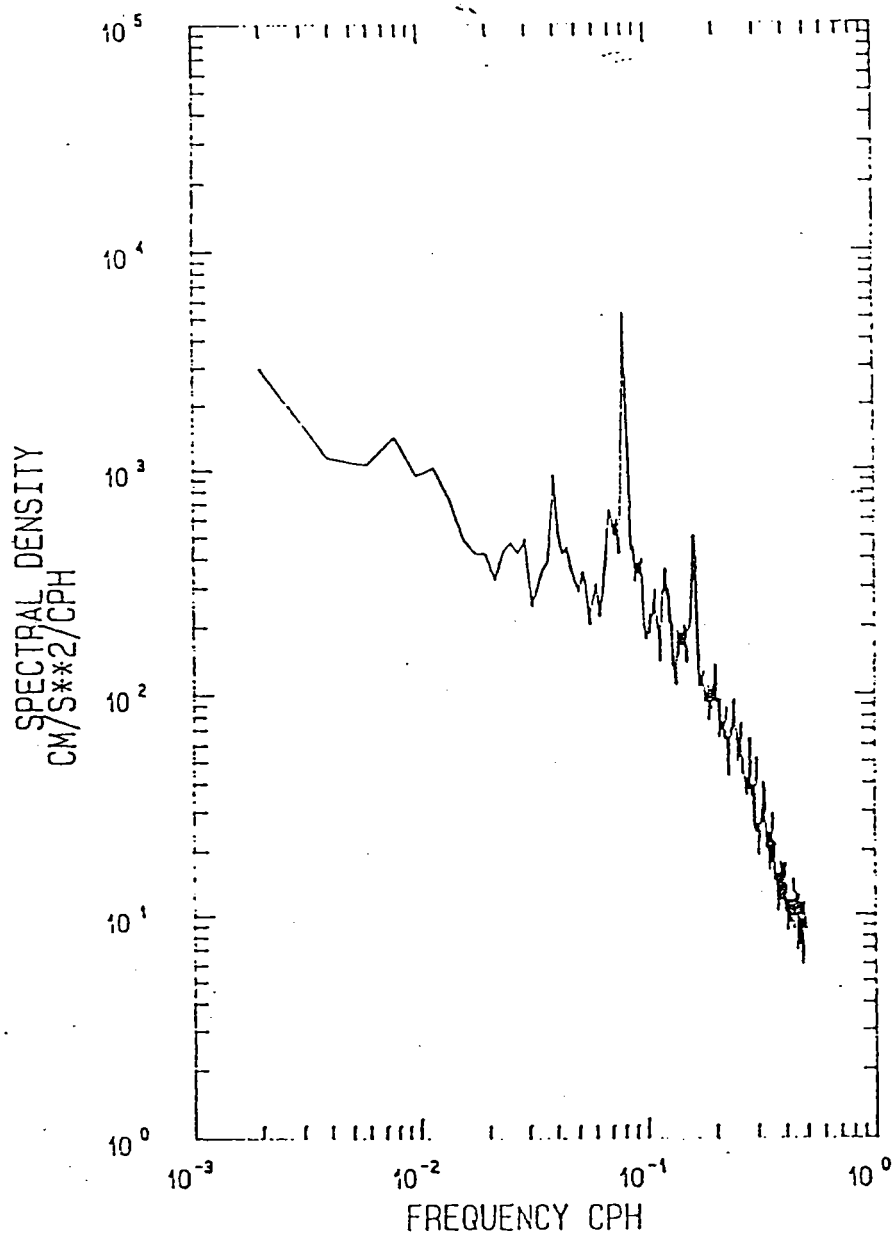


圖 11 花蓮港觀測站(ST.2)海流流速能譜圖

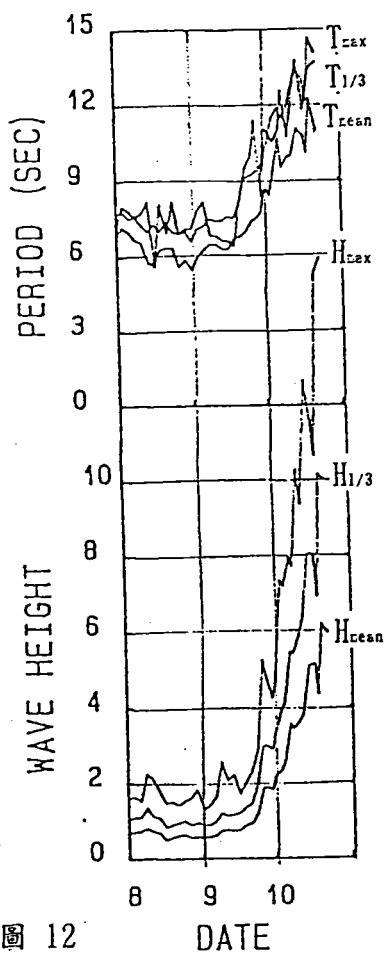


圖 12

DATE

1994 年 7 月 8 日 ~ 10 日提姆颱風造成
花蓮港港外 ST.2 站之波浪逐時變化圖

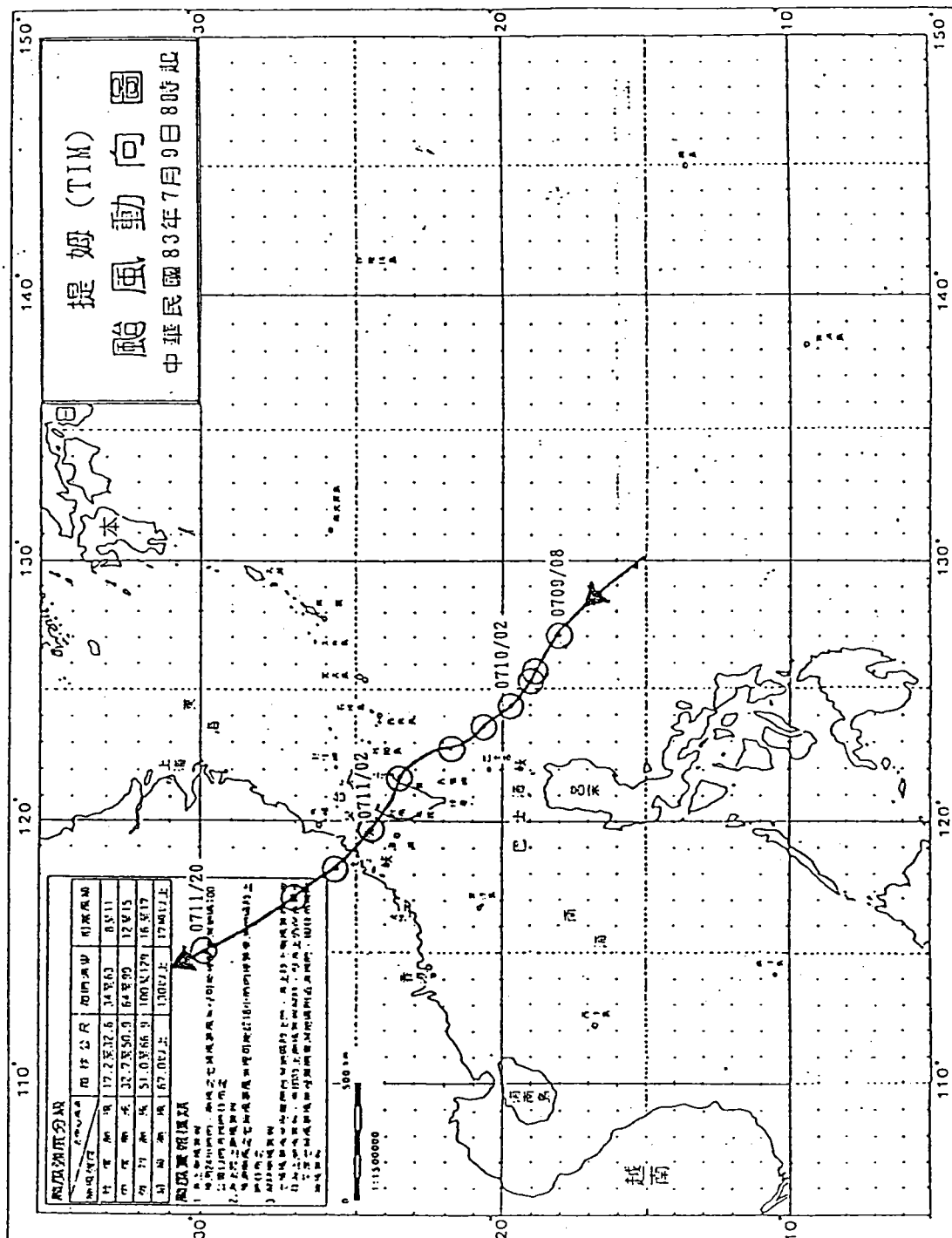


圖 13 1994 年提姆(TIM)颱風之路徑圖

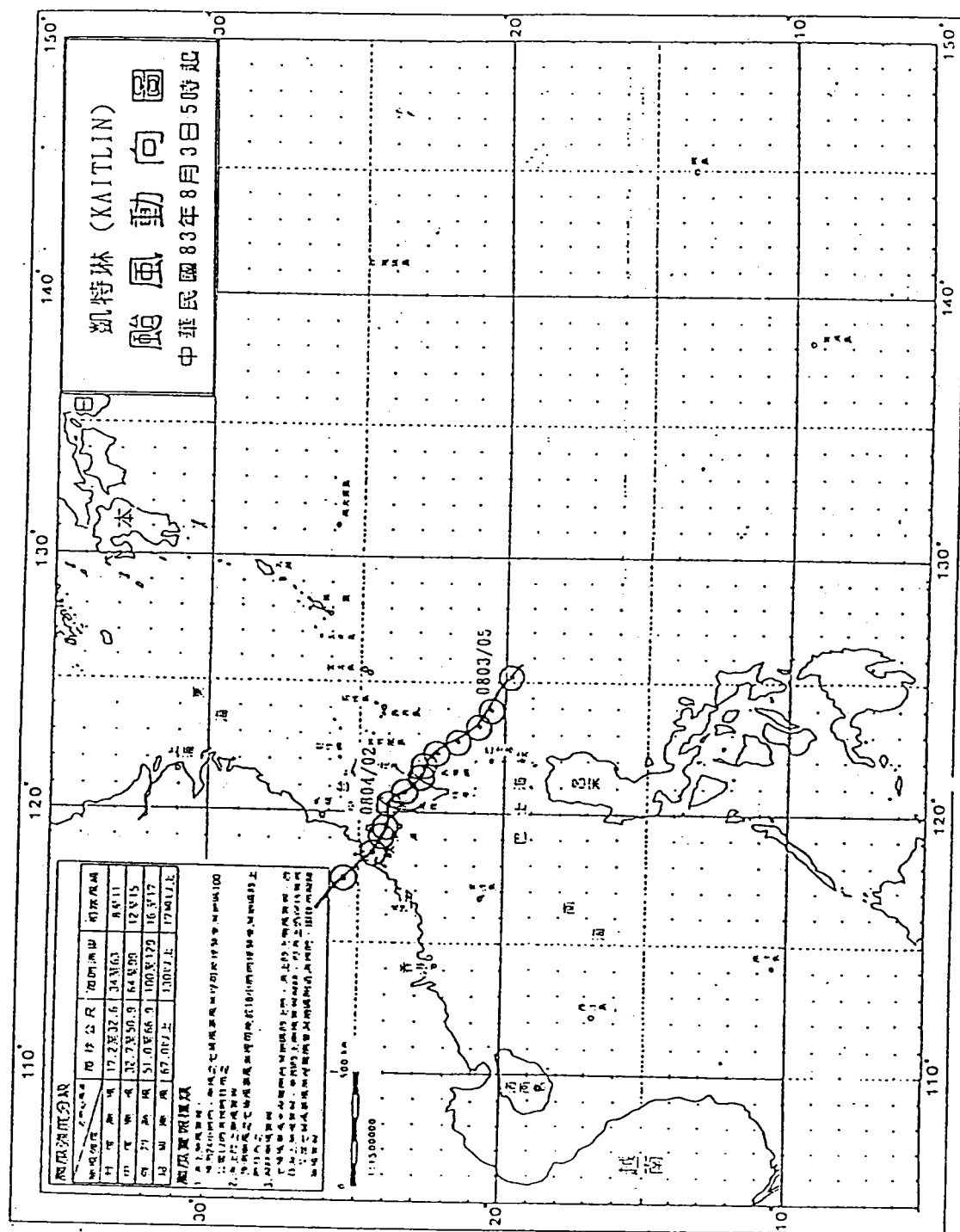


圖 14 1994 年凱特琳 (KAITLIN) 颱風之路徑圖

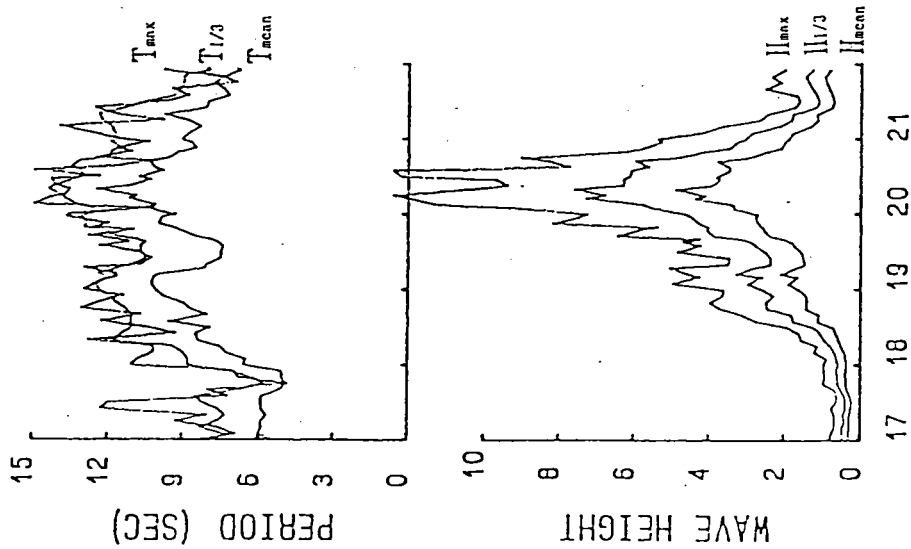


圖 15

1994 年 8 月 17 日 ~ 21 日弗雷特颱風造成
花蓮港港外 ST.2 站之波浪逐時變化圖

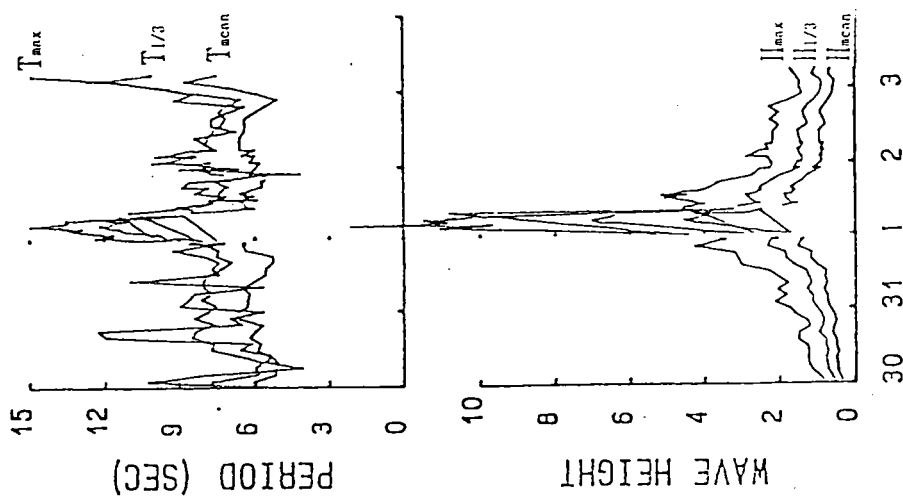


圖 17 1994 年 8 月 30 日 ~ 9 月 3 日葛拉絲颱風造成
花蓮港港外 ST.2 站之波浪逐時變化圖

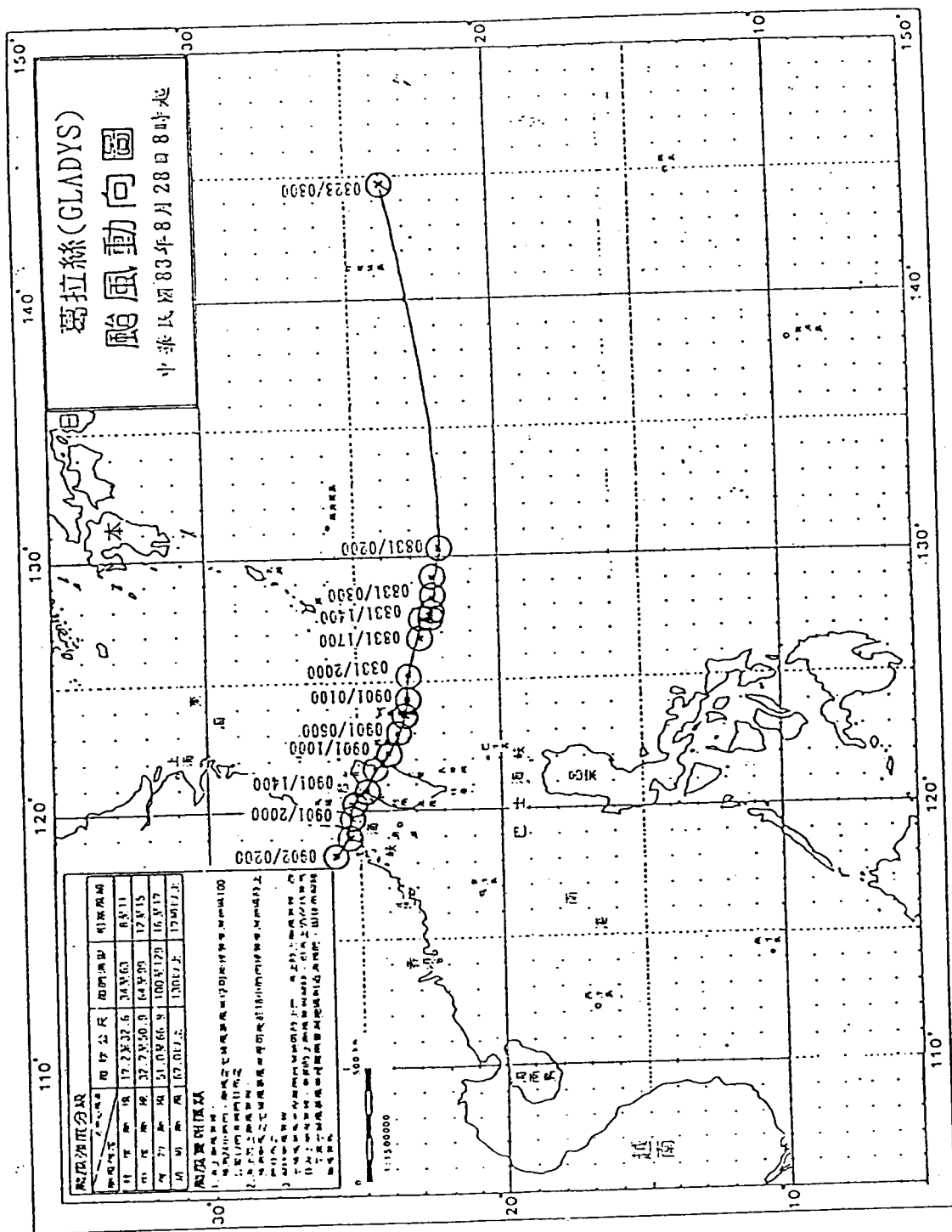


圖 18: 1994 年葛拉絲 (GLADYS) 颱風之路徑圖

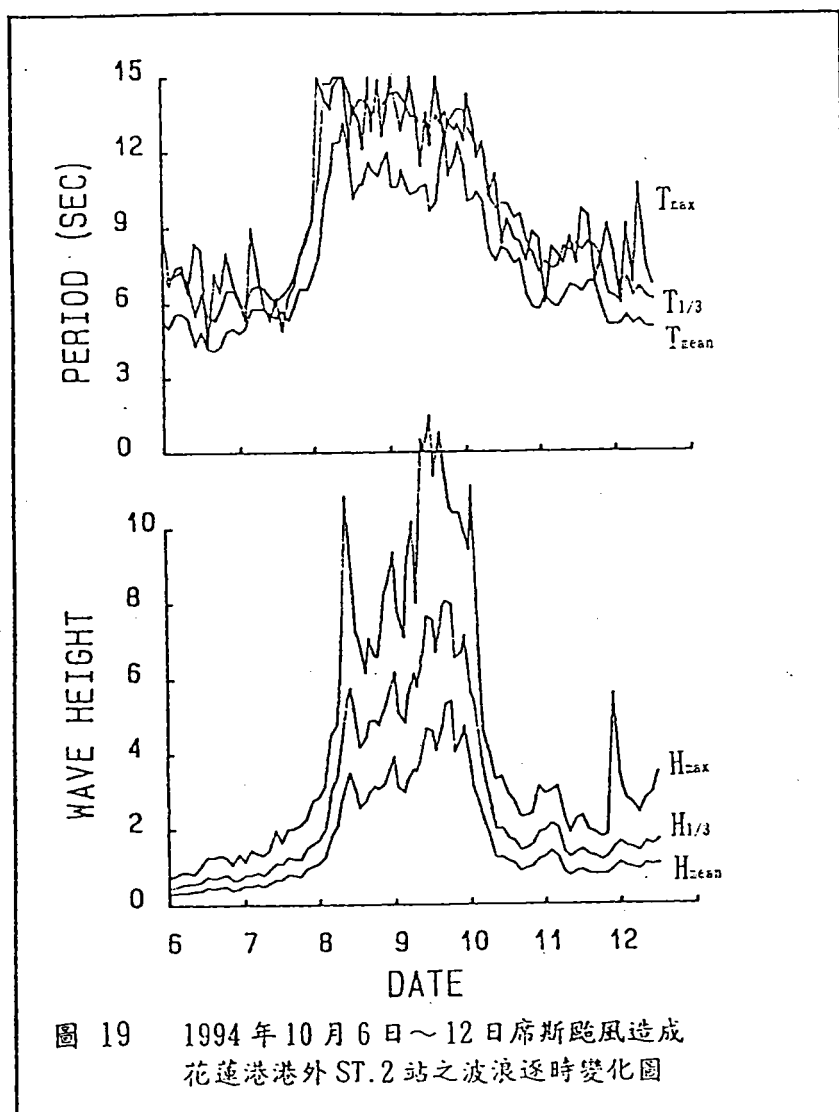


圖 19 1994 年 10 月 6 日~12 日席斯颱風造成
花蓮港港外 ST.2 站之波浪逐時變化圖

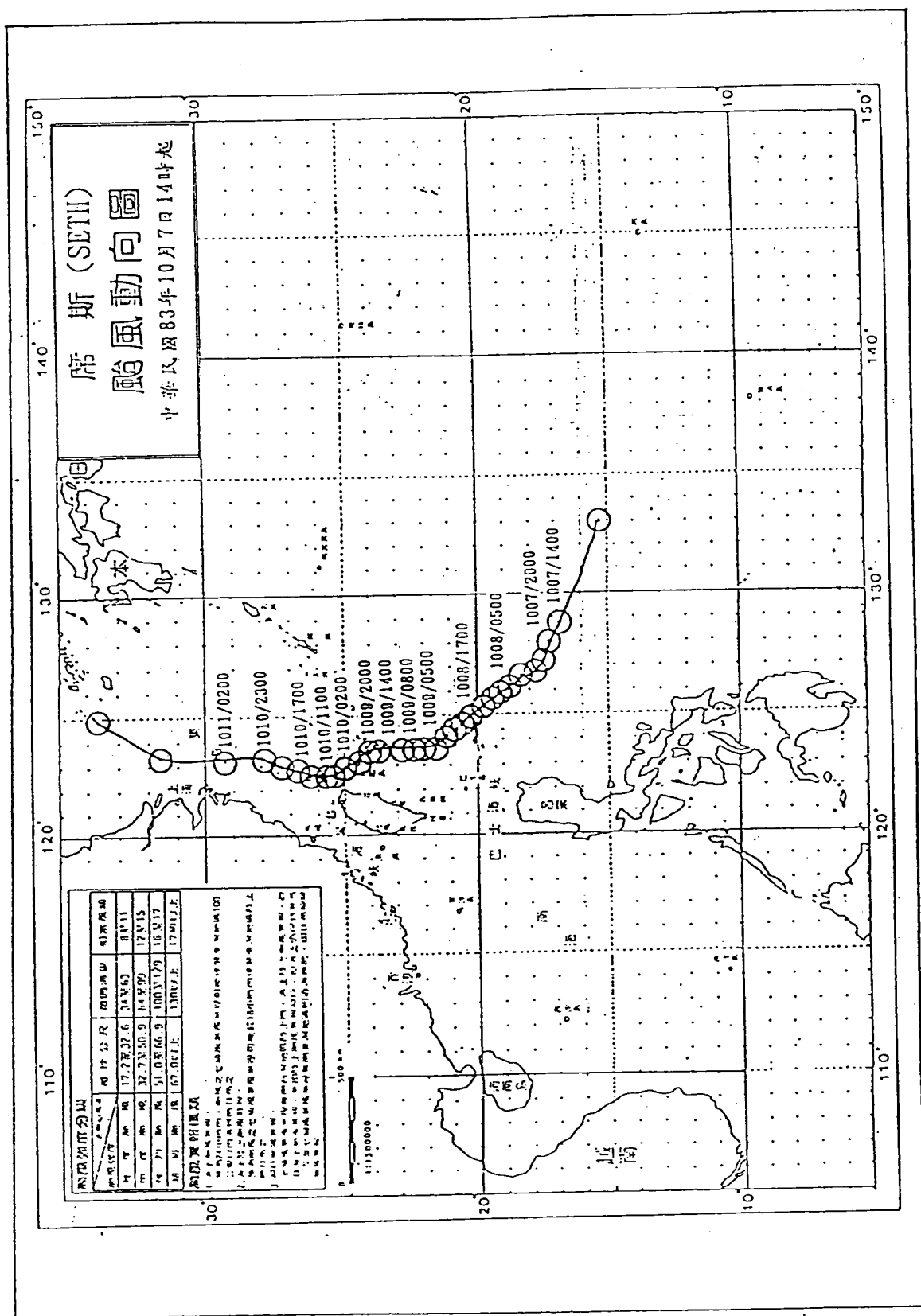
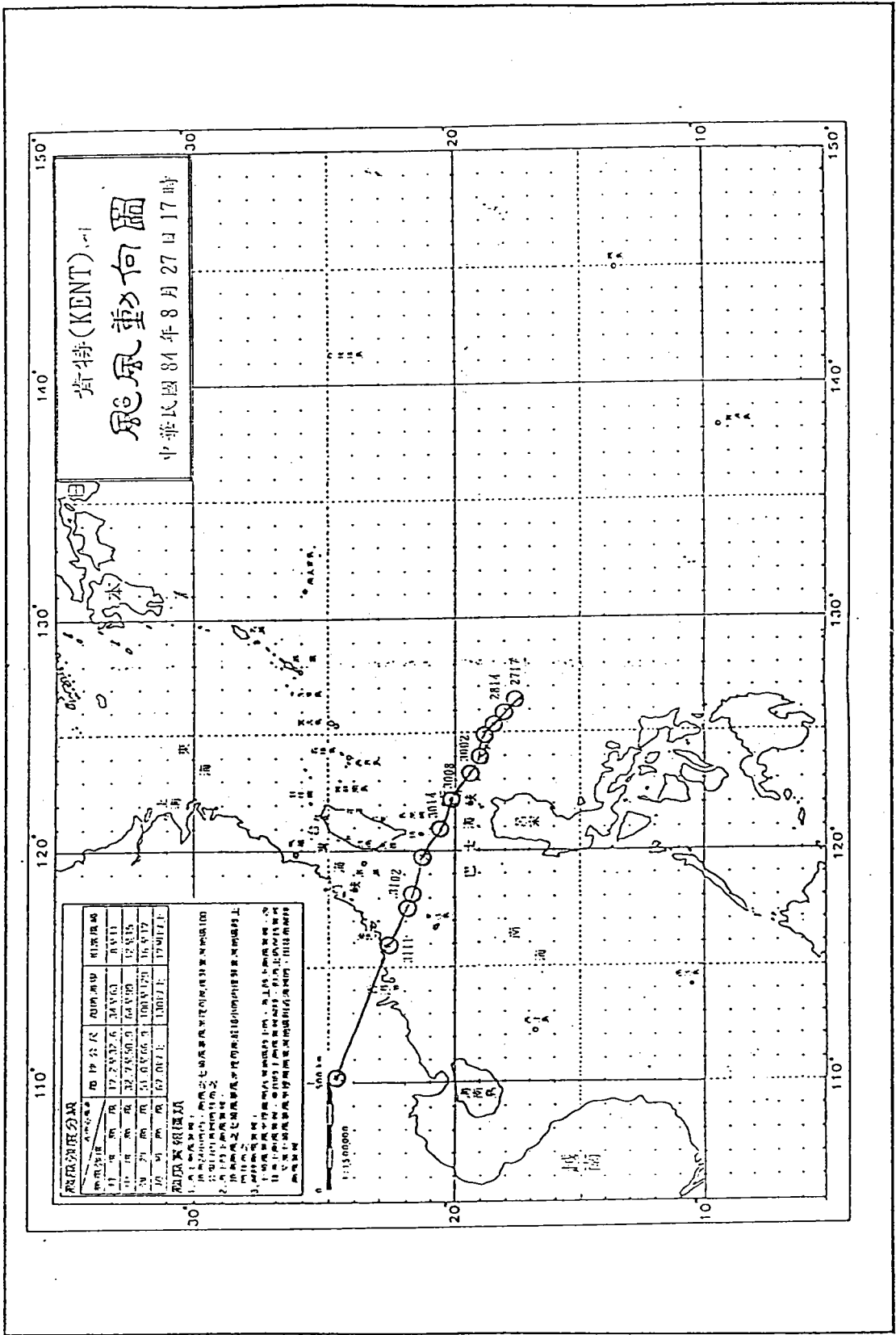


圖 20 1994 年席斯 (SETH) 颱風之路徑圖



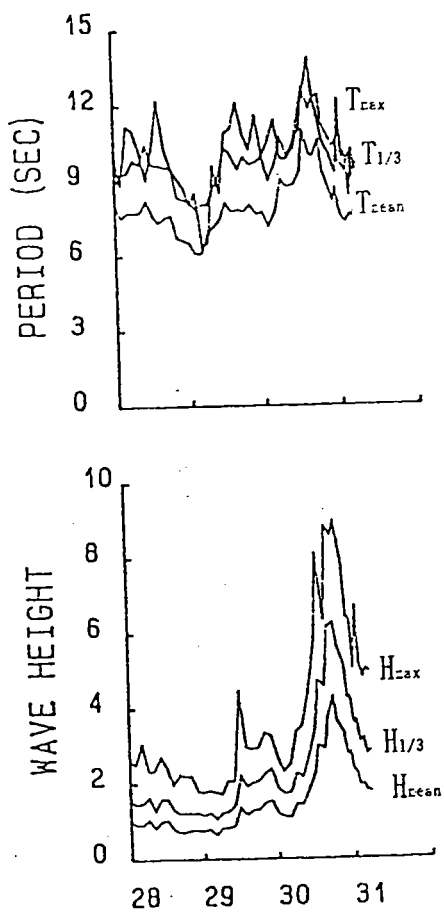


圖 22

DATE

1995 年 8 月 28 日 ~ 31 日肯特颱風造成
花蓮港港外 ST.2 站之波浪逐時變化圖

顏色	時間	主頻率(Hz)	能譜密度(cm^2/Hz)	備註
紫	0710/0820	0.0850	0.3436534 E6	
綠	0710/1300	0.0700	0.9190938 E6	
藍	0710/1556	0.0650	0.1608447 E7	
紅	0710/1734	0.0600	0.1069268 E7	

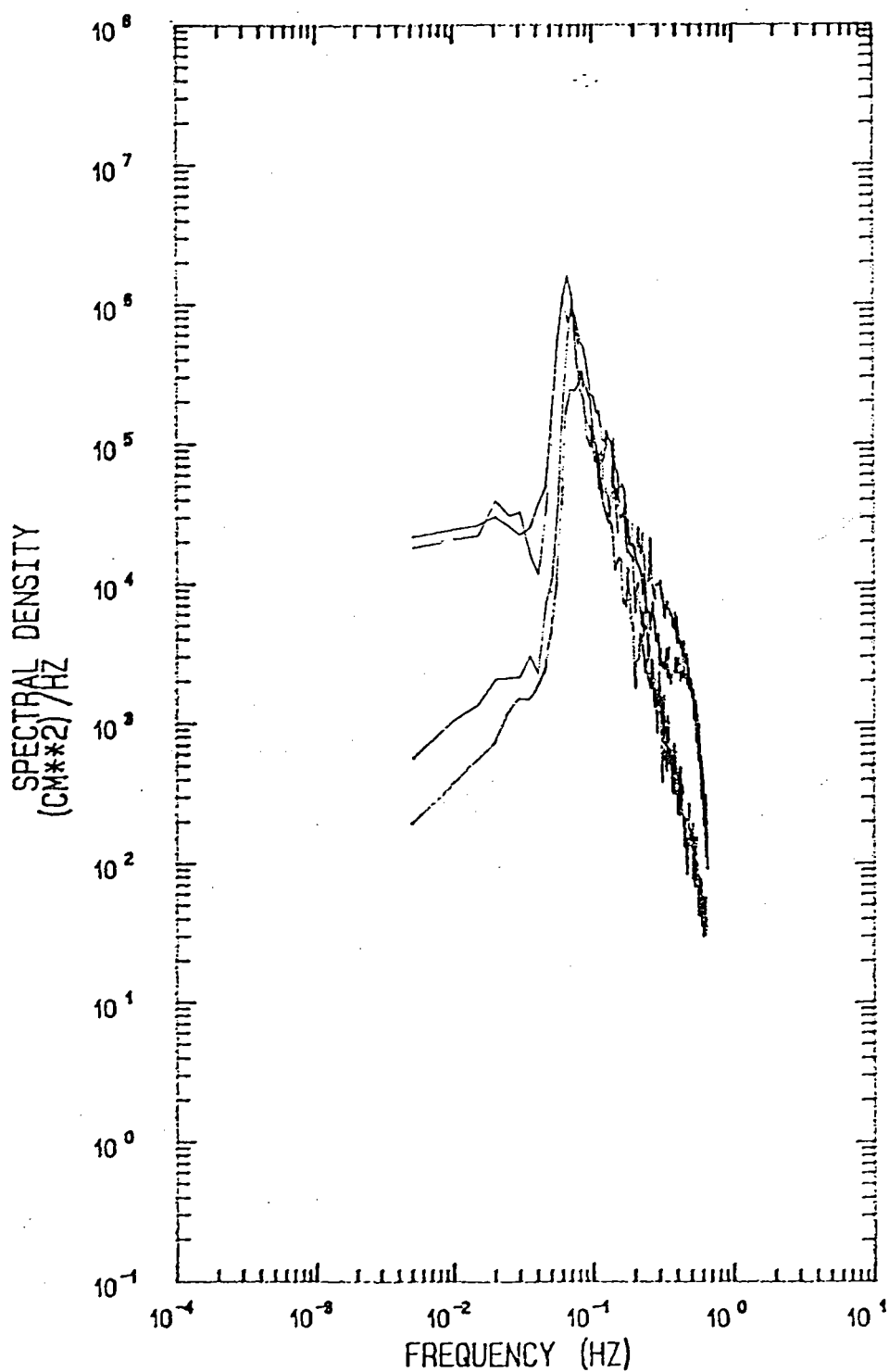


圖 23 花蓮港港外ST. 2測站83年7月10日
提姆颱風產生波浪連續變化壓力能譜密度圖

顏色	時間	主頻率(Hz)	能譜密度(cm^2/Hz)	備 註
橘	0819/1214	0.080	0.6281617 E5	
紅	0820/0345	0.070	0.5823247 E5	
藍	0820/0946	0.060	0.5289001 E6	
綠	0820/1844	0.075	0.2475321 E6	
紫	0820/2305	0.080	0.1753238 E6	

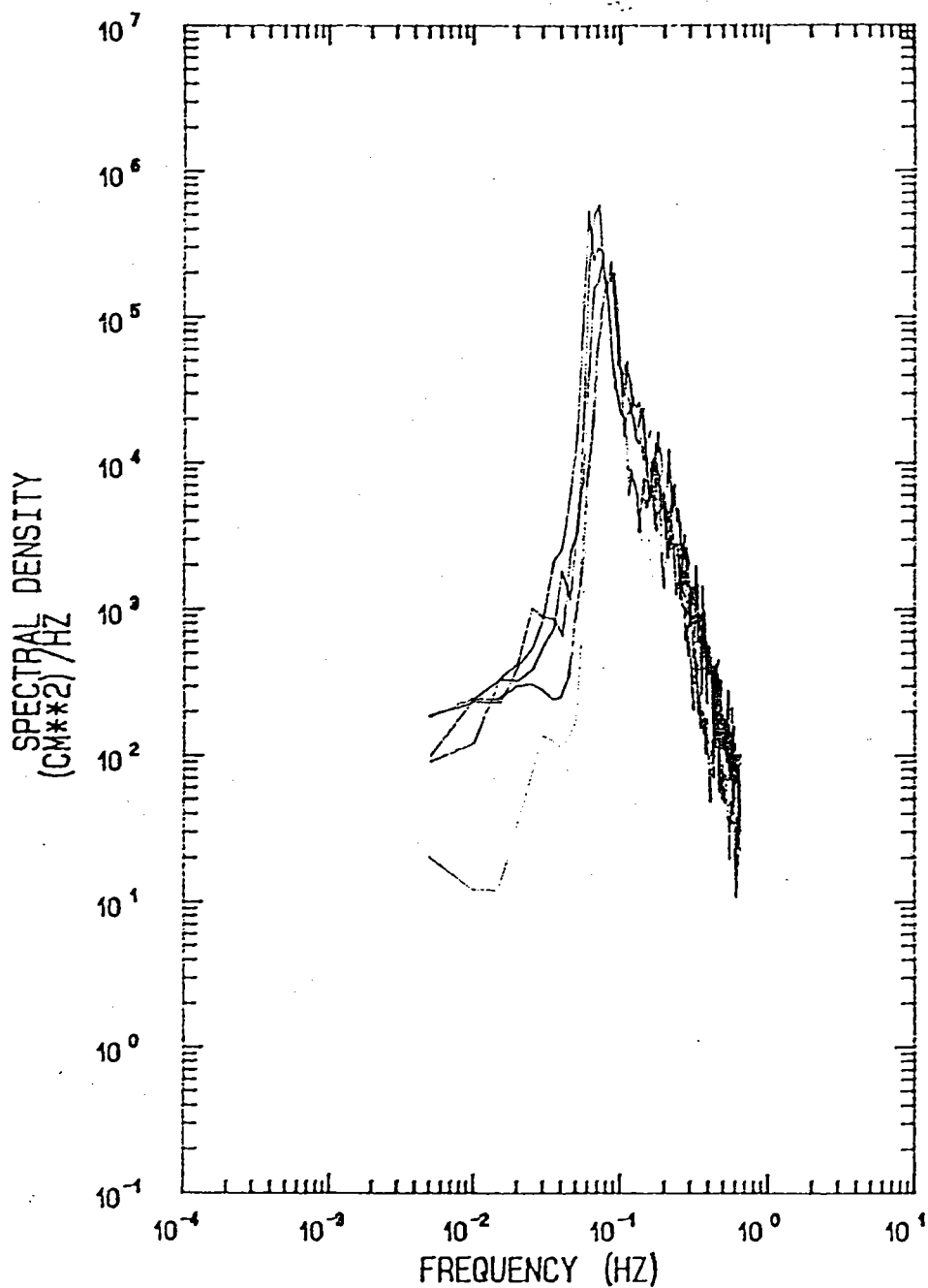


圖 24 花蓮港港外ST. 2測站83年8月19日~8月20日
弗雷特颱風產生波浪連續變化壓力能譜密度圖

顏色	時間	主頻率(Hz)	能譜密度(cm^2/Hz)	備 註
橘	0831/1825	0.0750	0.2534592 E5	
橘	0901/0212	0.0900	0.7081967 E5	
紅	0901/0647	0.0650	0.9278039 E6	
藍	0901/0816	0.0750	0.5824154 E6	
綠	0901/1036	0.0850	0.1665965 E6	
紫	0901/1303	0.1000	0.2522343 E5	

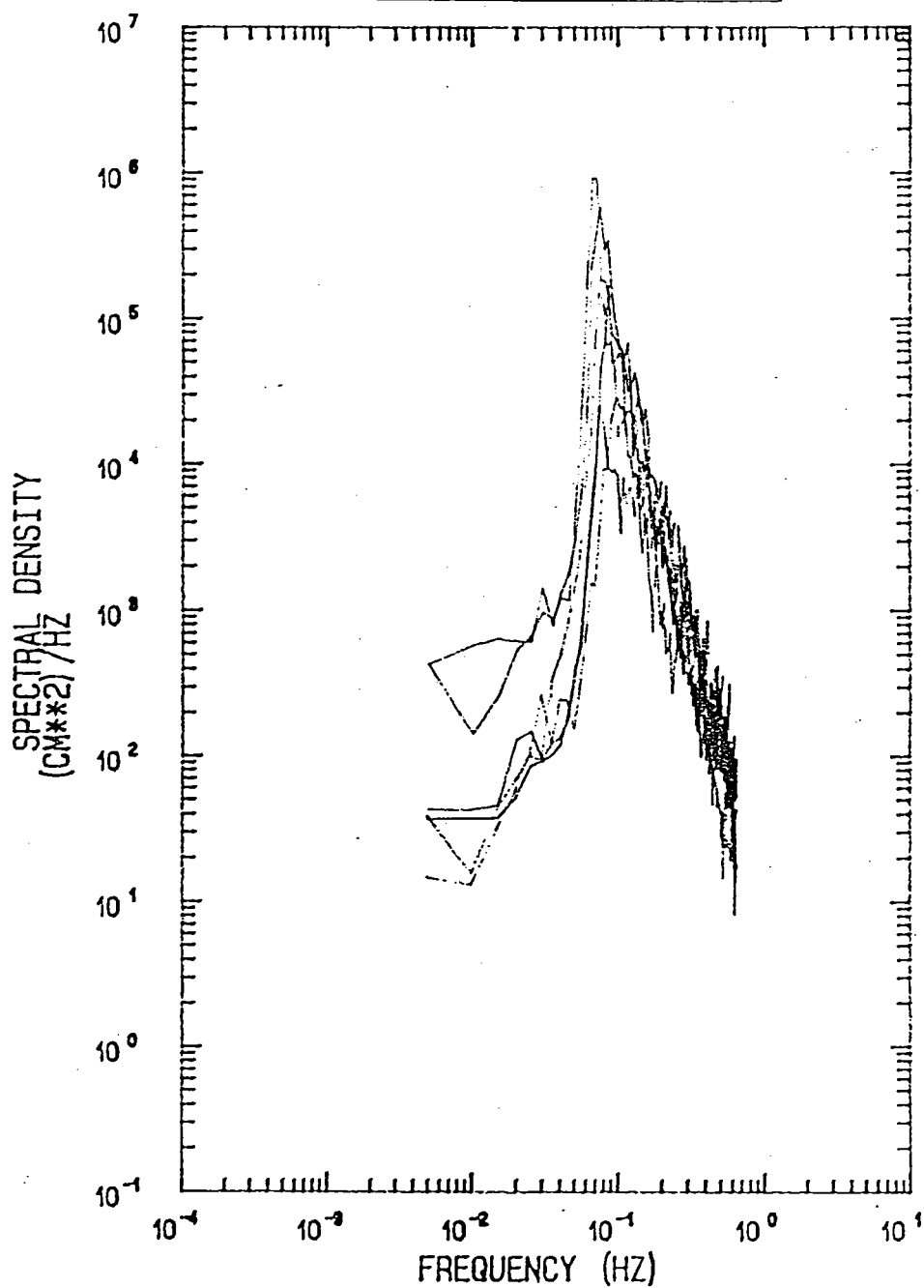


圖 25 花蓮港港外ST. 2測站83年8月31日~9月1日
葛拉絲颱風產生波浪連續變化壓力能譜密度圖

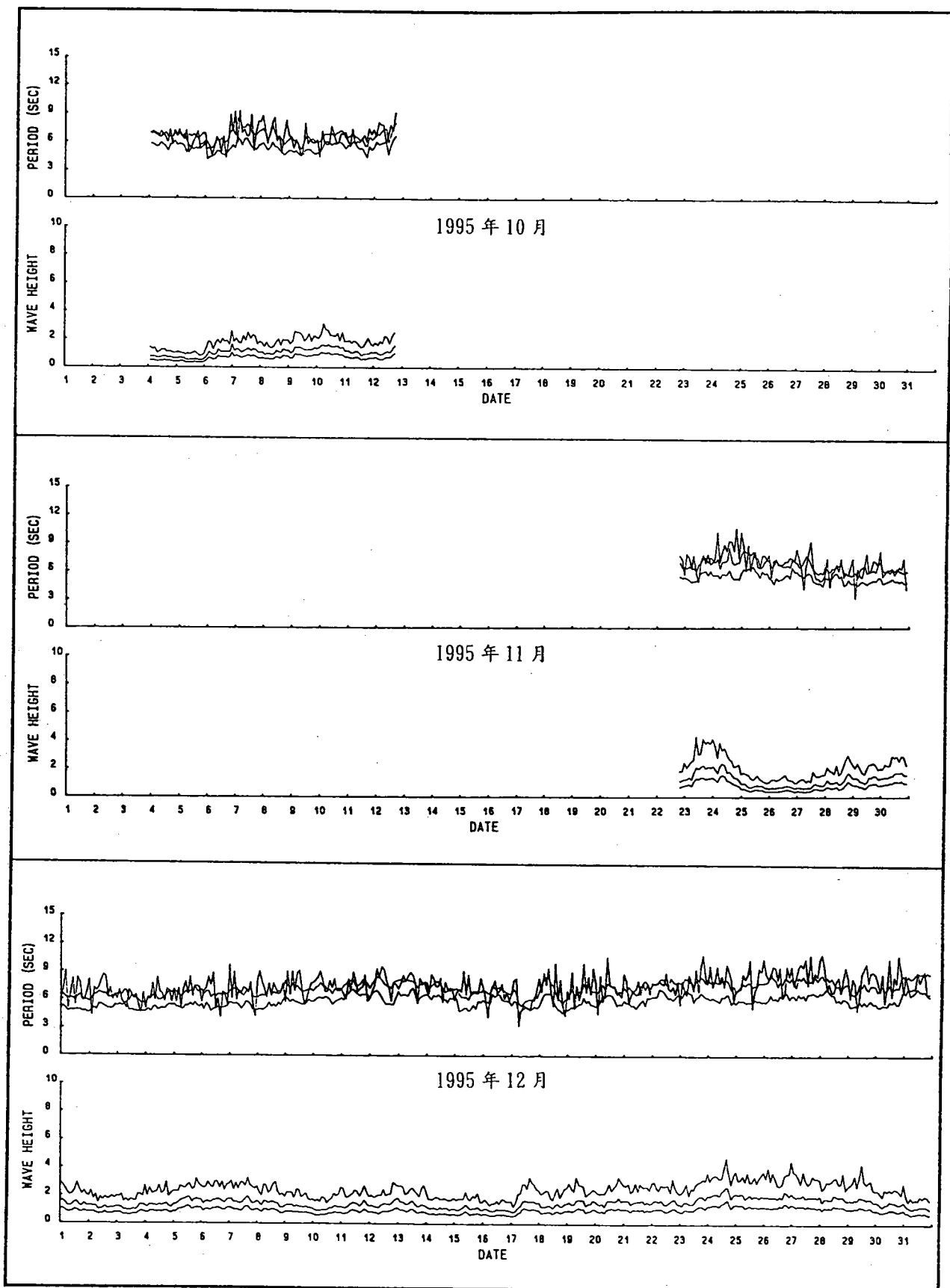


圖 A-4 花蓮港測站港外波浪逐時變化圖

1994/0710/1600 wave data of hhl1.

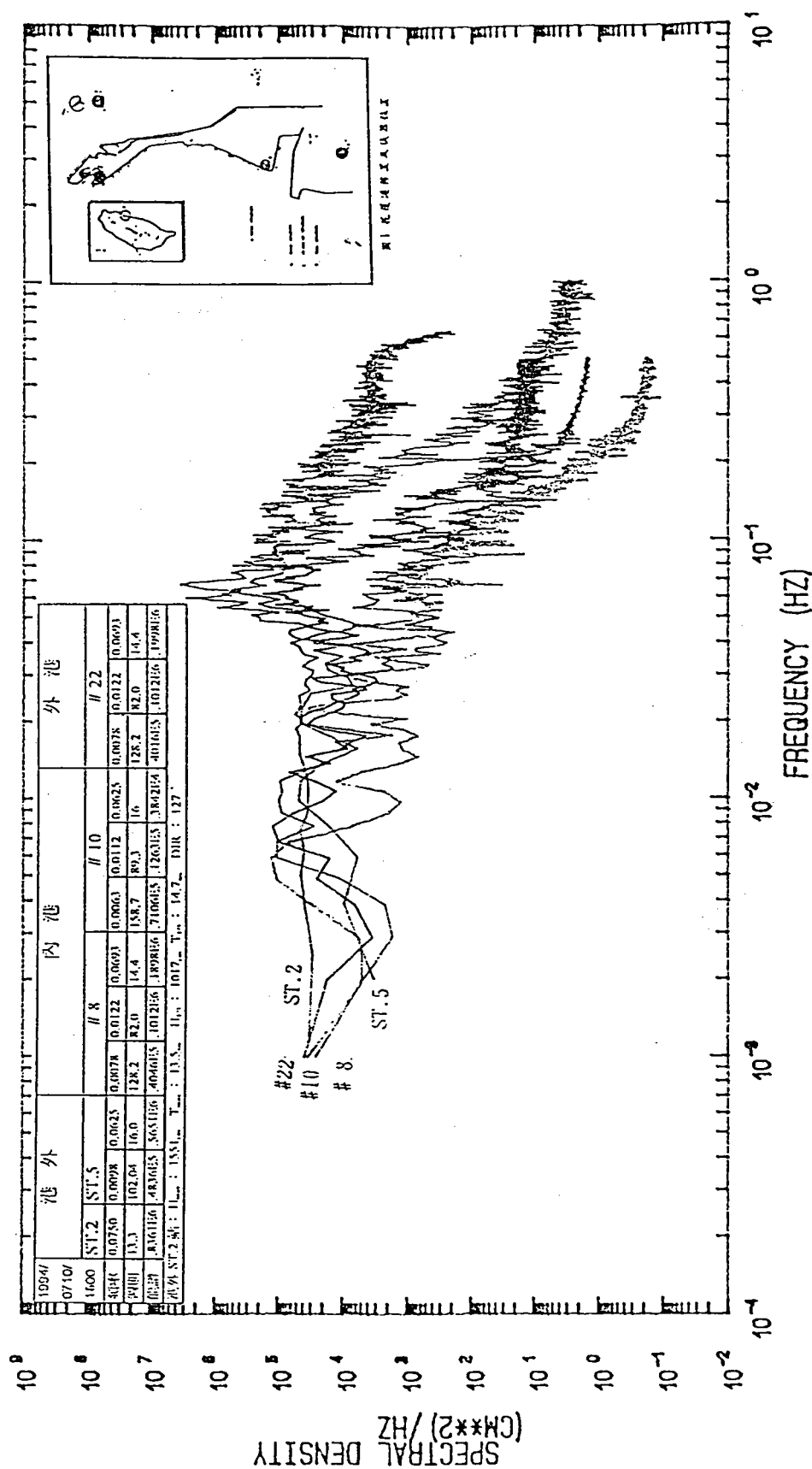


圖 27 83 年 7 月 10 日 16 時堤壩颱風侵襲時花蓮港 ST.2、ST.5、#8、#10、#22 等觀測站波浪能譜比較圖

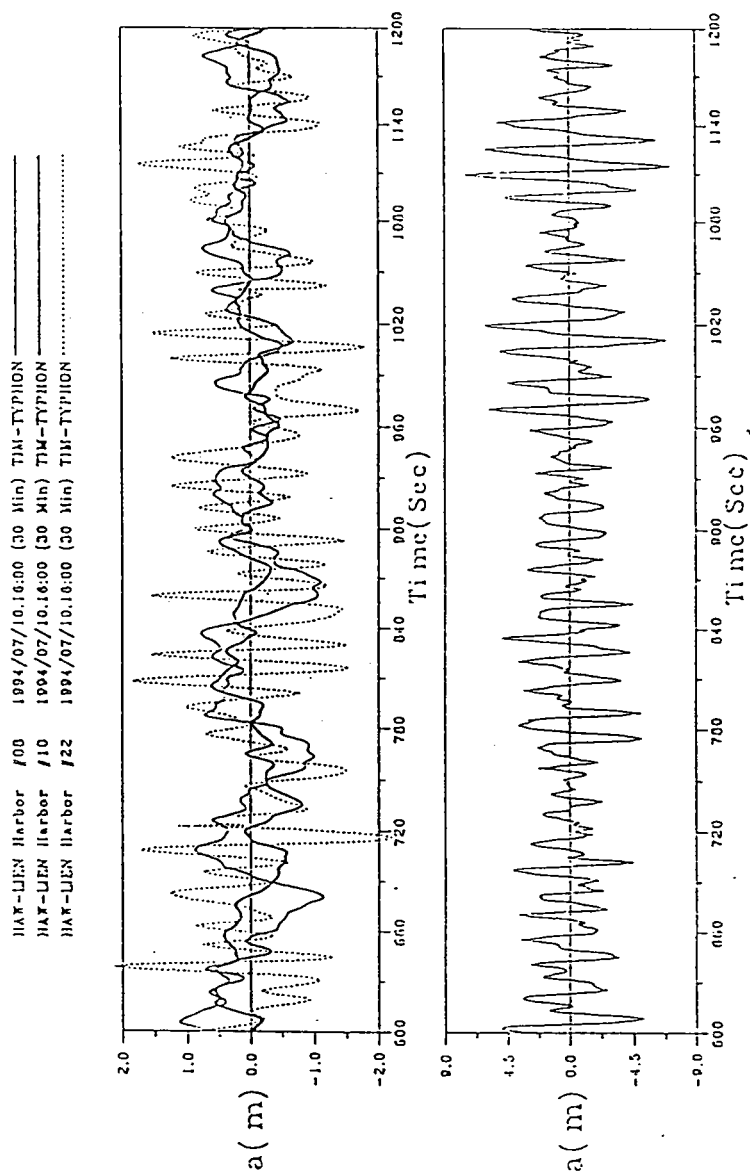
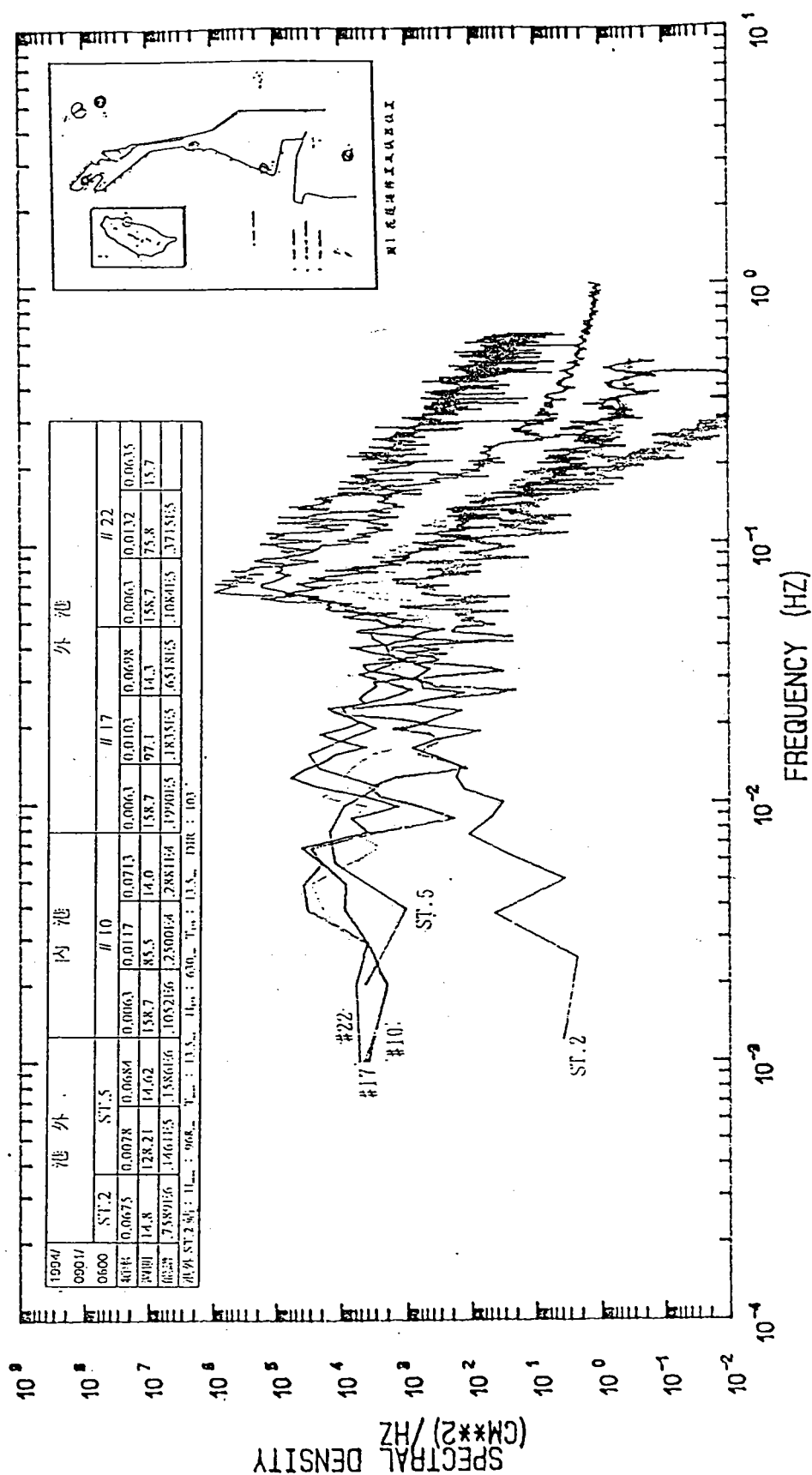


圖 28 披姆颶風港內外水位延時變化

1994/0901/0600 wave data of h.l.



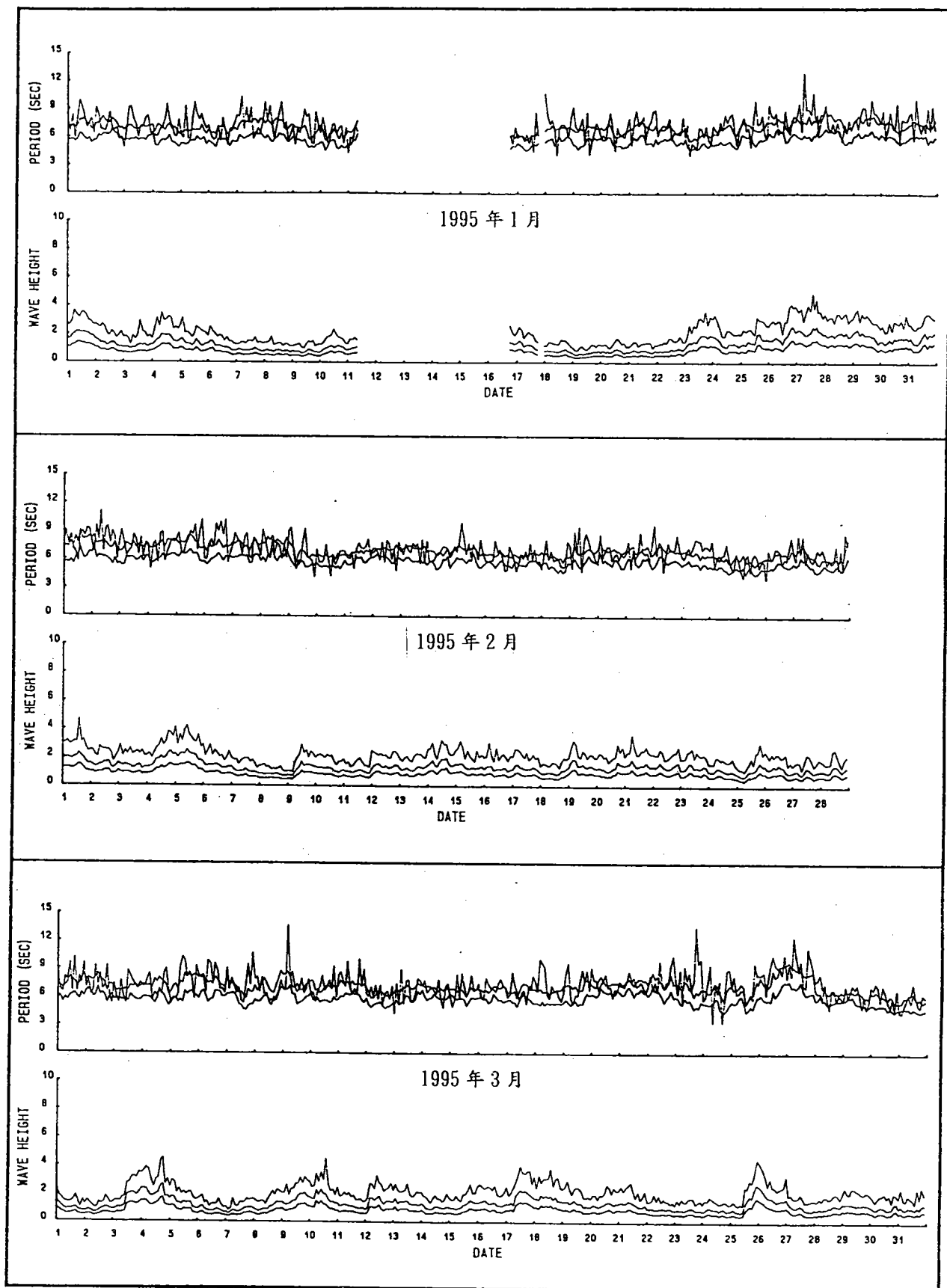


圖 A-1 花蓮港測站港外波浪逐時變化圖

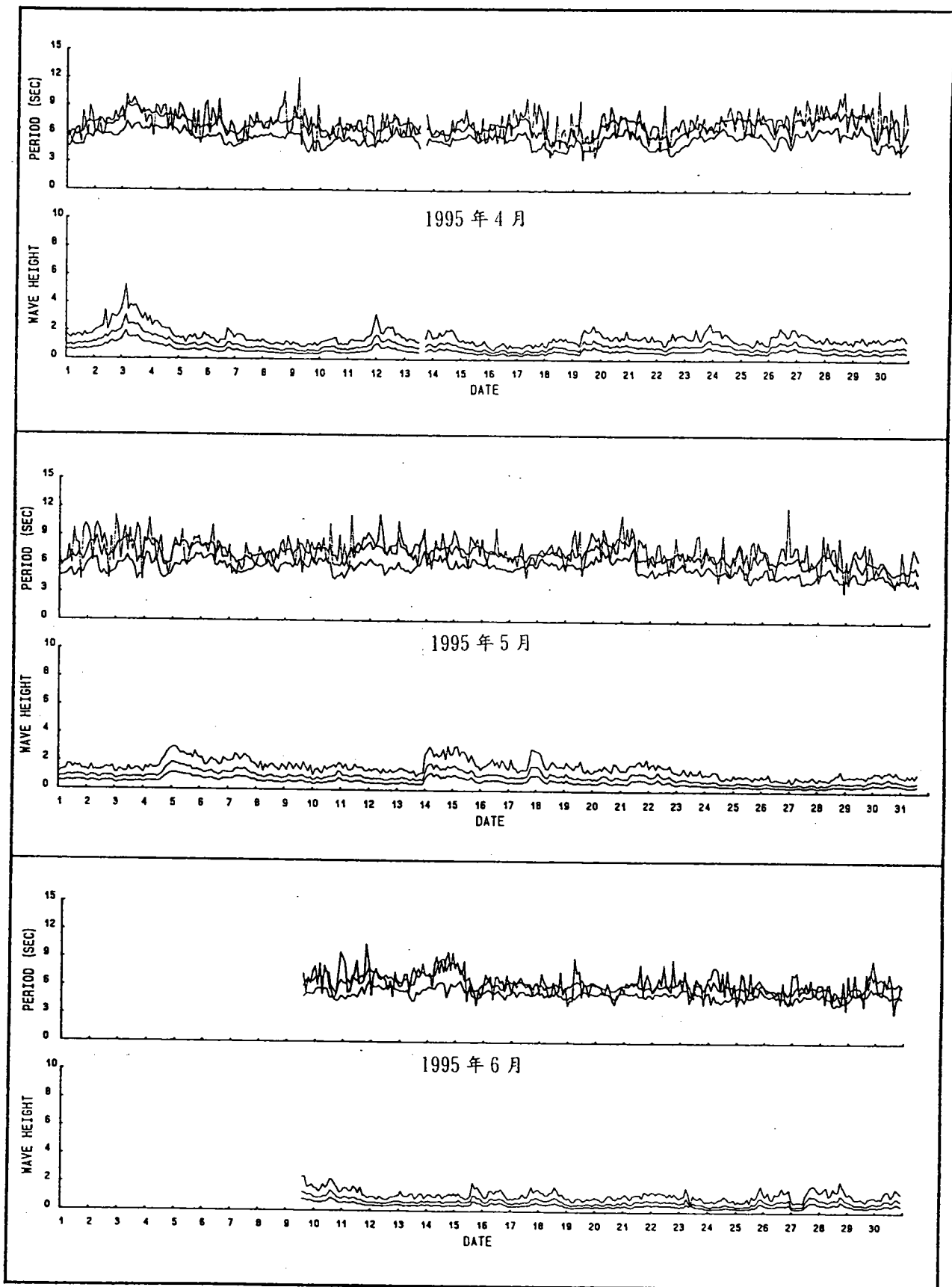


圖 A-2 花蓮港測站港外波浪逐時變化圖

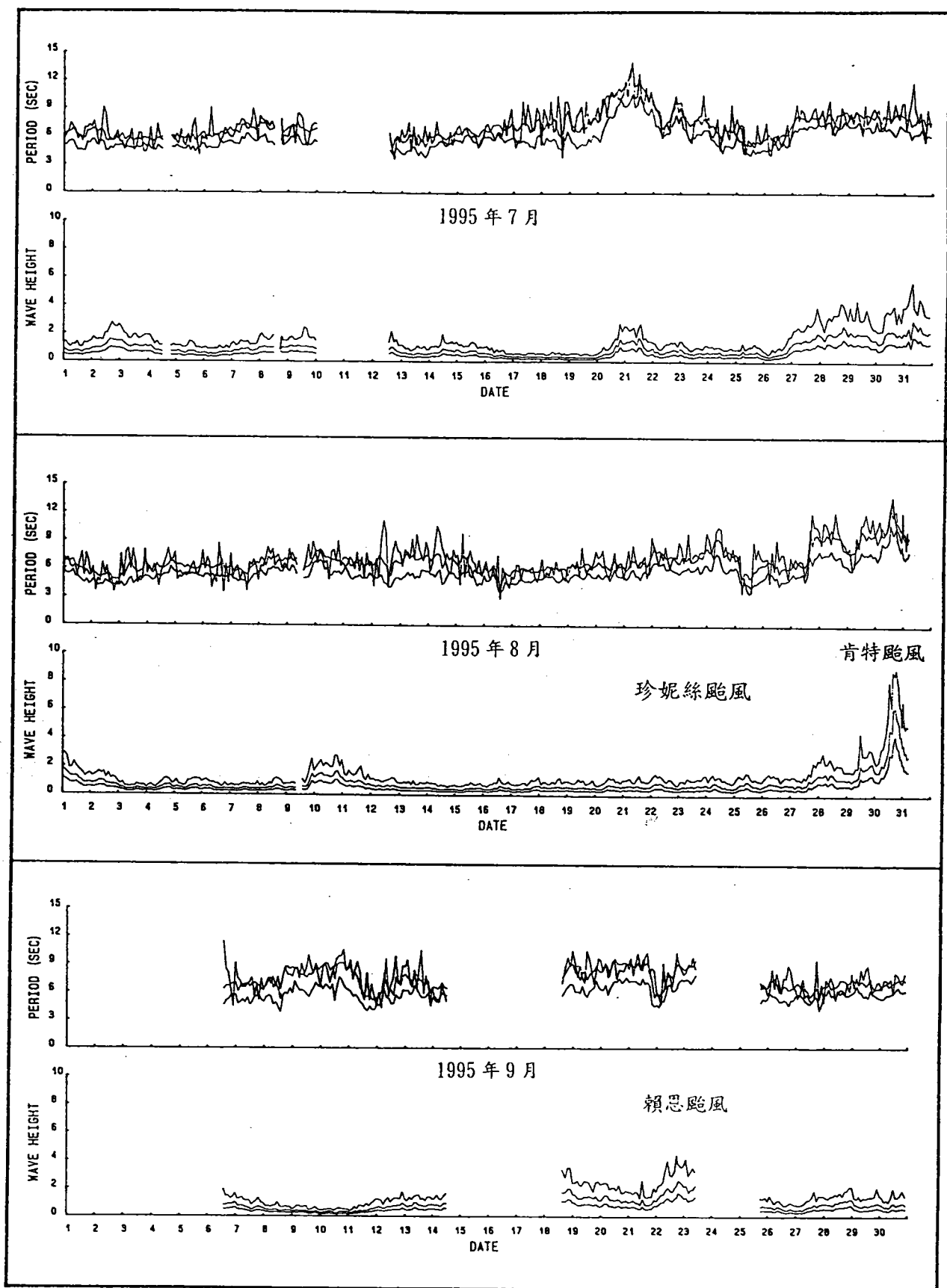


圖 A-3 花蓮港測站港外波浪逐時變化圖

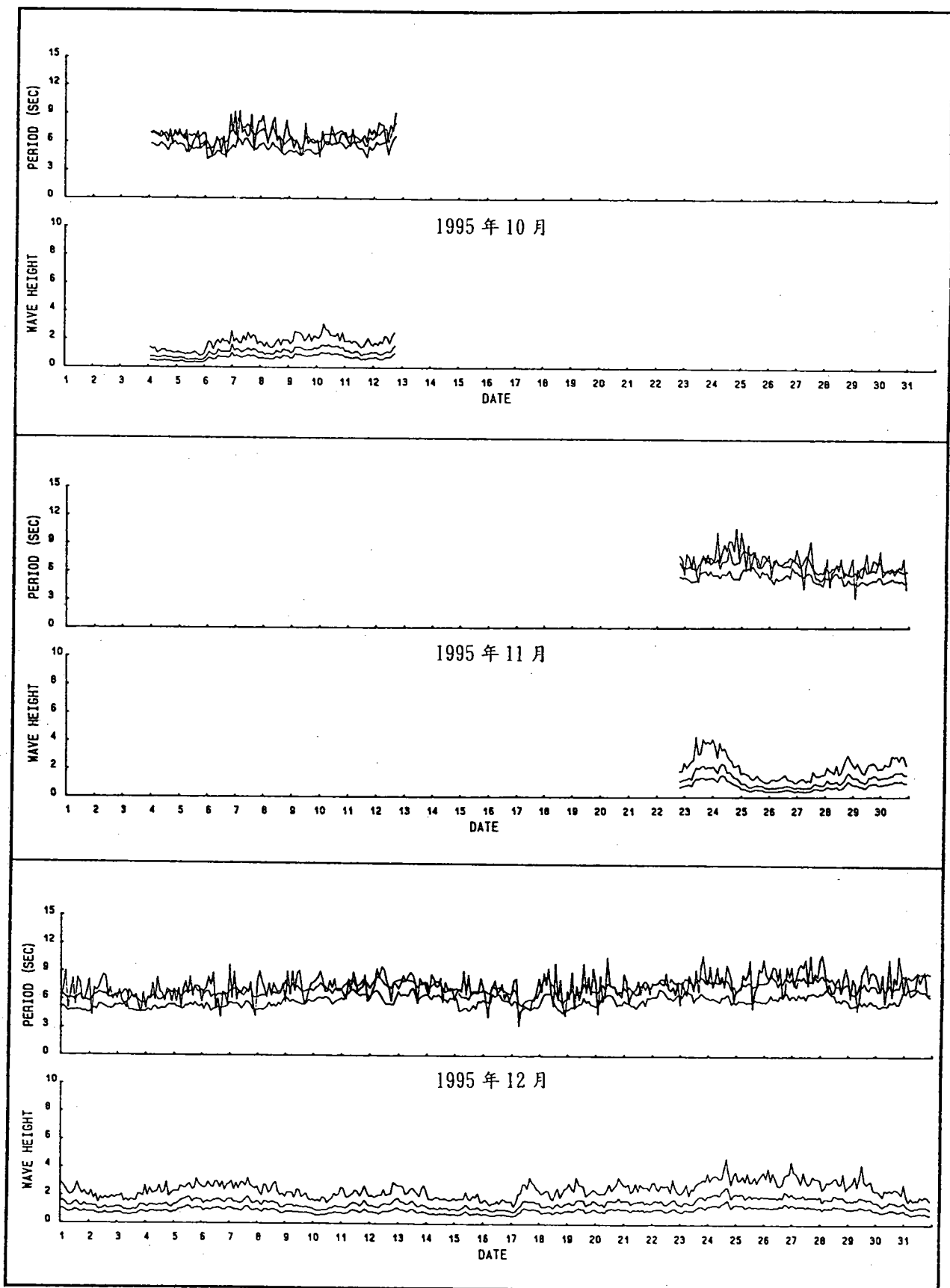


圖 A-4 花蓮港測站港外波浪逐時變化圖

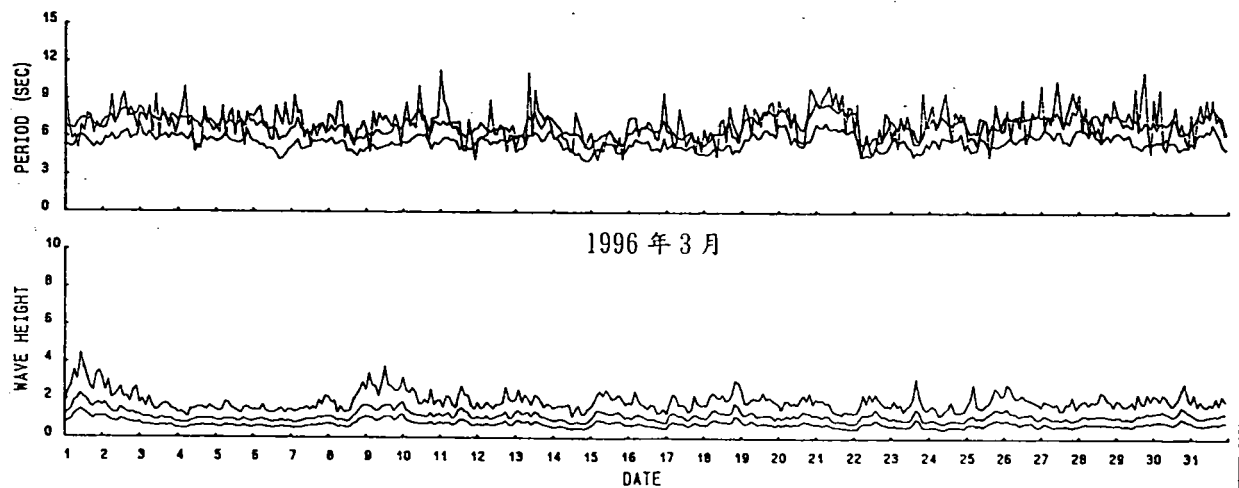
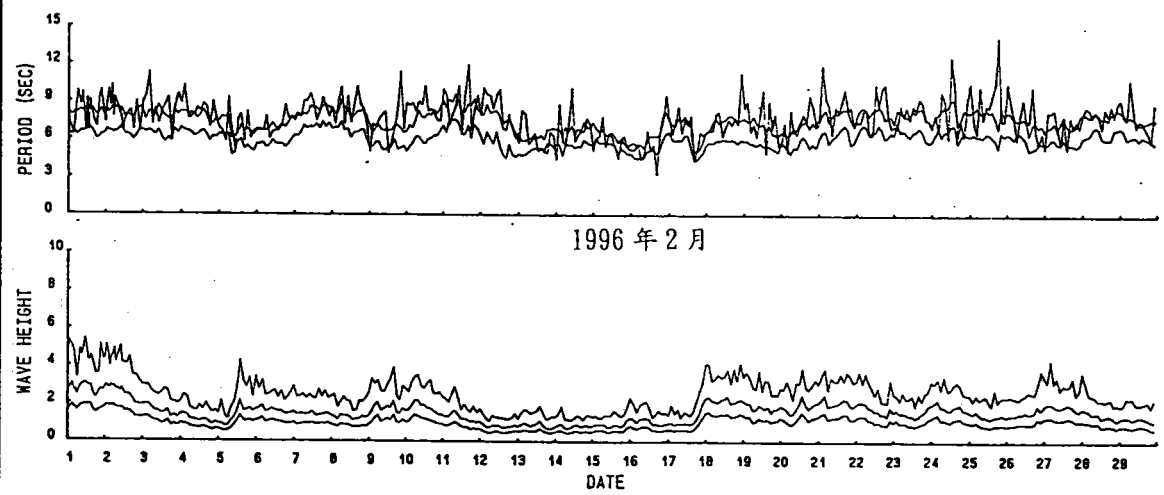
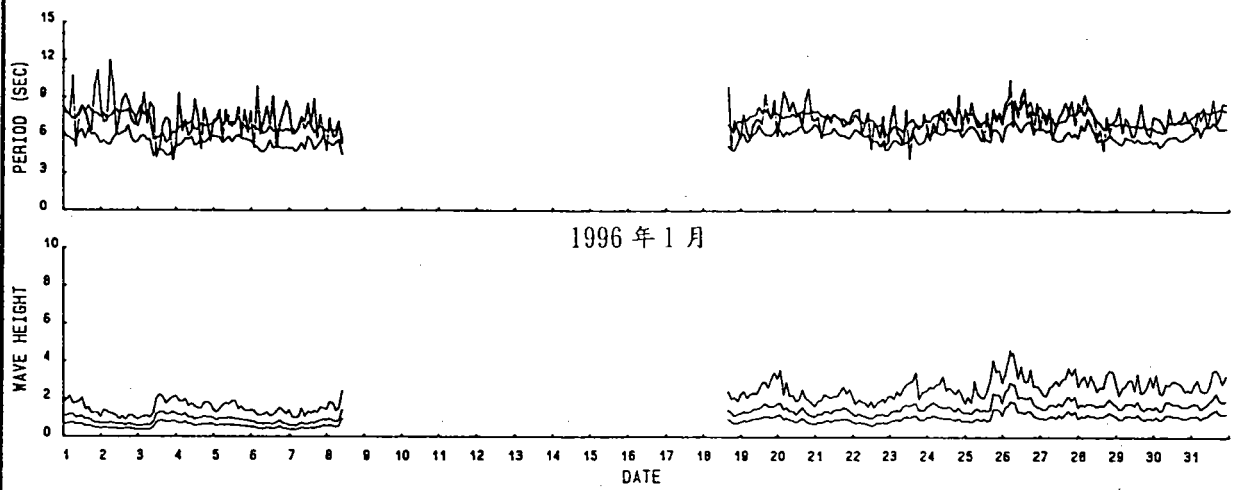


圖 A-5 花蓮港測站港外波浪逐時變化圖

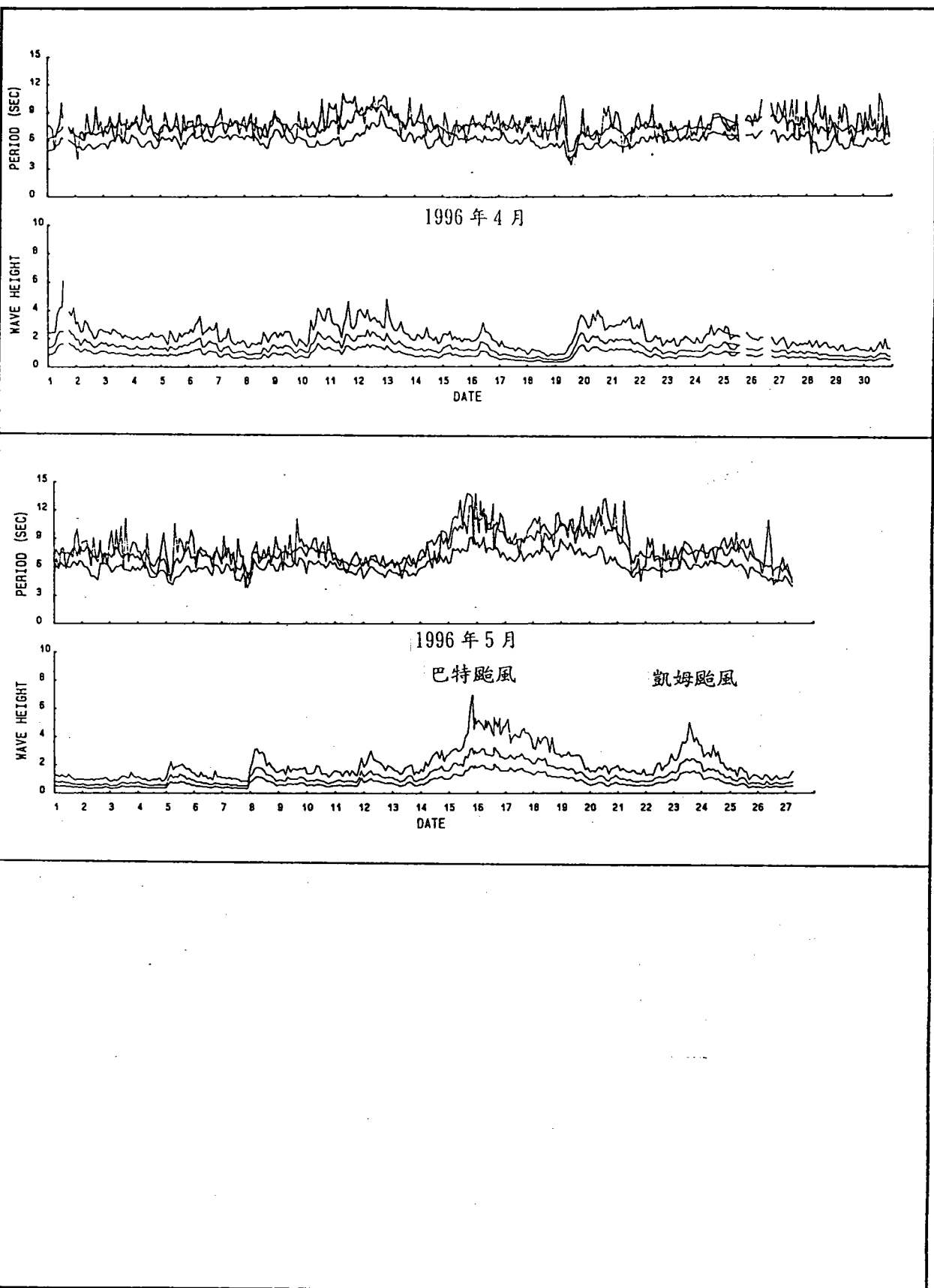


圖 A-6 花蓮港測站港外波浪逐時變化圖

表 B-1

PROBABILITY Distribution of wave HEIGHT at HAW-LIAN --- st2		ST-02 DATE : 95.01.01.00:00-95.01.31.16:30	
UNIT : M	----	wave HEIGHT H1/3(M) 0.7802 SEC DATA	
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRIBUTION	
.00	.00		
.50	34.20	*****	
1.00	30.62	*****	
1.50	22.48	*****	
2.00	11.40	*****	
2.50	1.30	*	
3.00	.00		
3.50	.00		
4.00	.00		
4.50	.00		
5.00	.00		
5.50	.00		
6.00	.00		
6.50	.00		
7.00	.00		
7.50	.00		
8.00	.00		
8.50	.00		
9.00	.00		
9.50	.00		
10.00	.00		
LOST DATA	.00		
TOTAL NO. OF DATA	: 307	LOST NO. OF DATA	: 0 (.00 %)
MEAN OF wave HEIGHT	: 1.33	VARIANCE OF wave HEIGHT	: .25
MAX OF wave HEIGHT	: 2.61	IT'S wave period	: 8.50
MIN OF wave HEIGHT	: .57	IT'S wave period	: 6.60
CORNU RATIO OF wave HEIGHT	: 1.35	SKEWNESS OF wave HEIGHT	: .76
MOST LOCATED AT wave HEIGHT INTERVAL (.50, 1.00) IS 34.2%		STANDARD DEVIATION OF wave HEIGHT	: .50
		AT TIME : 1995. 1.27.17: 9	
		AT TIME : 1995. 1.19. 4:21	
		DC VALUE OF wave HEIGHT	: -13.99

表 B-1(續)

PROBILITY Distribution of wave period at HAW-LIAN --- st2		ST-02 DATE : 95.01.01.00:00-95.01.31.16:30	
UNIT : SEC	----	wave period T1/3(SEC) 0.7802 SEC DATA	
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION	
4.00	.00		
5.00	3.58	***	
6.00	38.44	*****	
7.00	49.84	*****	
8.00	7.82	*****	
9.00	.33		
10.00	.00		
11.00	.00		
12.00	.00		
13.00	.00		
14.00	.00		
15.00	.00		
16.00	.00		
17.00	.00		
18.00	.00		
19.00	.00		
20.00	.00		
21.00	.00		
22.00	.00		
LOST DATA	.00		
TOTAL NO. OF DATA : 307		LOST NO. OF DATA : 0 (.00 %)	
MEAN OF wave period : 7.08		VARIANCE OF wave period : .40	
MAX OF wave period : 9.10		STANDARD DEVIATION OF wave period : .63	
MIN OF wave period : 5.60		IT'S wave HEIGHT : 2.06	
CORNU RATIO OF wave period: 1.56		IT'S wave HEIGHT : .93	
MOST LOCATED AT wave period INTERVAL (7.00, 8.00) IS 49.8%		SKEWNESS OF wave period : .10	
		DC VALUE OF wave period : -.59	

表 B-2

PROBABILITY Distribution of wave HEIGHT at HAW-LIAN --- st2			ST-02 DATE : 95.02.01.00:00-95.02.28.22:30		
UNIT : M ----			wave HEIGHT H1/3(M) 0.7802 SEC DATA		
VALUE	PERCENTAGE	DISTRBUTION			
	(%)				
.00	.00				
.50	12.84	*****			
1.00	62.39	*****			
1.50	20.00	*****			
2.00	4.48	****			
2.50	.30				
3.00	.00				
3.50	.00				
4.00	.00				
4.50	.00				
5.00	.00				
5.50	.00				
6.00	.00				
6.50	.00				
7.00	.00				
7.50	.00				
8.00	.00				
8.50	.00				
9.00	.00				
9.50	.00				
10.00	.00				
LOST DATA	.00				
TOTAL NO. OF DATA : 335		LOST NO. OF DATA : 0 (.00 %)			
MEAN OF wave HEIGHT : 1.36		VARIANCE OF wave HEIGHT : .11		STANDARD DEVIATION OF wave HEIGHT : .33	
MAX OF wave HEIGHT : 2.52		IT'S wave period : 8.50		AT TIME : 1995. 2. 5.10:28	
MIN OF wave HEIGHT : .69		IT'S wave period : 7.10		AT TIME : 1995. 2. 9. 4:23	
CORNU RATIO OF wave HEIGHT: 1.76		SKEWNESS OF wave HEIGHT : 1.68		DC VALUE OF wave HEIGHT : 11.78	
MOST LOCATED AT wave HEIGHT INTERVAL (1.00, 1.50) IS 62.4%					

表 B-2(續)

PROBABILITY Distribution of wave period at HAW-LIAN --- st2			ST-02	DAT2 : 95.02.01.00:00-95.02.28.22:30
UNIT : SEC ---- wave period T1/3(SEC) 0.7802 SEC DATA				
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRUBTION		
4.00	.00			
5.00	2.99	**		
6.00	43.88	*****		
7.00	46.27	*****		
8.00	6.57	*****		
9.00	.30			
10.00	.00			
11.00	.00			
12.00	.00			
13.00	.00			
14.00	.00			
15.00	.00			
16.00	.00			
17.00	.00			
18.00	.00			
19.00	.00			
20.00	.00			
21.00	.00			
22.00	.00			
LOST DATA	.00			
TOTAL NO. OF DATA	: 335	LOST NO. OF DATA	: 0 (.00 %)	
MEAN OF wave period	: 7.01	VARIANCE OF wave period	: .38	STANDARD DEVIATION OF wave period : .62
MAX OF wave period	: 9.10	IT'S wave HEIGHT	: 2.28	
MIN OF wave period	: 5.50	IT'S wave HEIGHT	: 1.14	
CORNNU RATIO OF wave period	: 1.53	SKEWNESS OF wave period	: .49	DC VALUE OF wave period : -2.29
MOST LOCATED AT wave period INTERVAL (7.00, 8.00) IS 46.3%				

表 B-3

PROBILITY Distribution of wave HEIGHT at HAW-LIAN --- st2			ST-02 DATE : 95.03.01.00:00-95.03.31.22:30	
UNIT : M ---- wave HEIGHT H1/3(M) 0.7802 SEC DATA				
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRUBTION		
.00	.00			
.50	27.22	*****		
1.00	49.33	*****		
1.50	16.71	*****		
2.00	5.39	*****		
2.50	1.35	*		
3.00	.00			
3.50	.00			
4.00	.00			
4.50	.00			
5.00	.00			
5.50	.00			
6.00	.00			
6.50	.00			
7.00	.00			
7.50	.00			
8.00	.00			
8.50	.00			
9.00	.00			
9.50	.00			
10.00	.00			
LOST DATA		.00		
TOTAL NO. OF DATA : 371 LOST NO. OF DATA : 0 (.00 %)				
MEAN OF wave HEIGHT : 1.29		VARIANCE OF wave HEIGHT : .17		STANDARD DEVIATION OF wave HEIGHT : .41
MAX OF wave HEIGHT : 2.74		IT'S wave period : 7.80		AT TIME : 1995. 3.25.22:15
MIN OF wave HEIGHT : .57		IT'S wave period : 7.60		AT TIME : 1995. 3. 7. 2:27
CORNNU RATIO OF wave HEIGHT: 1.62		SKEWNESS OF wave HEIGHT : 2.03		DC VALUE OF wave HEIGHT : 3.39
MOST LOCATED AT wave HEIGHT INTERVAL (1.00, 1.50) IS 49.3%				

表 B-3(續)

PROBILITY Distribution of wave period at HAW-LIAN --- st2			ST-02 DATE : 95.03.01.00:00-95.03.31.22:30	
UNIT : SEC		----	wave period T1/3(SEC) 0.7802 SEC DATA	
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION		
4.00	.00			
5.00	5.12	*****		
6.00	36.66	*****		
7.00	45.01	*****		
8.00	10.78	*****		
9.00	2.43	**		
10.00	.00			
11.00	.00			
12.00	.00			
13.00	.00			
14.00	.00			
15.00	.00			
16.00	.00			
17.00	.00			
18.00	.00			
19.00	.00			
20.00	.00			
21.00	.00			
22.00	.00			
LOST DATA		.00		
TOTAL NO. OF DATA		: 371	LOST NO. OF DATA : 0 (.00 %)	
MEAN OF wave period		: 7.15	VARIANCE OF wave period : .58	
MAX OF wave period		: 9.80	STANDARD DEVIATION OF wave period : .76	
MIN OF wave period		: 5.40	IT'S wave HEIGHT : 1.44	
CORNU RATIO OF wave period		: 1.70	IT'S wave HEIGHT : 1.34	
MOST LOCATED AT wave period INTERVAL (7.00, 8.00) IS 45.0%			SKEWNESS OF wave period : 1.16	
			DC VALUE OF wave period : 8.37	

表 B-4

PROBILITY Distribution of wave HEIGHT at HAW-LIAN --- st2		ST-02 DATE : 95.04.01.00:00-95.04.13.12:21	
UNIT : M ---- wave HEIGHT H1/3(M) 0.7802 SEC DATA			
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRUBTION	
.00	.56		
.50	59.50	*****	
1.00	32.40	*****	
1.50	5.03	*****	
2.00	1.96	*	
2.50	.28		
3.00	.28		
3.50	.00		
4.00	.00		
4.50	.00		
5.00	.00		
5.50	.00		
6.00	.00		
6.50	.00		
7.00	.00		
7.50	.00		
8.00	.00		
8.50	.00		
9.00	.00		
9.50	.00		
10.00	.00		
LOST DATA	.00		
TOTAL NO. OF DATA : 358 LOST NO. OF DATA : 0 (.00 %)			
MEAN OF wave HEIGHT : 1.00		VARIANCE OF wave HEIGHT : .13 STANDARD DEVIATION OF wave HEIGHT : .36	
MAX OF wave HEIGHT : 3.08		IT'S wave period : 9.20 AT TIME : 1995. 4. 3. 4:14	
MIN OF wave HEIGHT : .45		IT'S wave period : 7.60 AT TIME : 1995. 4.17. 4:25	
CORNU RATIO OF wave HEIGHT: 2.20		SKEWNESS OF wave HEIGHT : 7.02 DC VALUE OF wave HEIGHT : 39.84	
MOST LOCATED AT wave HEIGHT INTERVAL (.50, 1.00) IS 59.5%			

表 B-4(續)

PROBILITY Distribution of wave period at HAW-LIAN --- st2		ST-02 DATE : 95.04.01.00:00-95.04.13.12:21	
UNIT : SEC	----	wave period T1/3(SEC) 0.7802 SEC DATA	
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRIBUTION	
4.00	1.40	*	
5.00	13.41	*****	
6.00	34.36	*****	
7.00	40.22	*****	
8.00	9.78	*****	
9.00	.84		
10.00	.00		
11.00	.00		
12.00	.00		
13.00	.00		
14.00	.00		
15.00	.00		
16.00	.00		
17.00	.00		
18.00	.00		
19.00	.00		
20.00	.00		
21.00	.00		
22.00	.00		
LOST DATA	.00		
TOTAL NO. OF DATA	: 358	LOST NO. OF DATA	: 0 (.00 %)
MEAN OF wave period	: 6.90	VARIANCE OF wave period	: .75
MAX OF wave period	: 9.20	STANDARD DEVIATION OF wave period	: .86
MIN OF wave period	: 4.70	IT'S wave HEIGHT	: 3.08
CORNU RATIO OF wave period	: 1.53	IT'S wave HEIGHT	: .81
MOST LOCATED AT wave period INTERVAL (7.00, 8.00)	IS 40.2%	SKWNESS OF wave period	: -.19
		DC VALUE OF wave period	: -2.90

表 B-5

PROBILITY Distribution of wave HEIGHT at HA*-LIAN --- st2			ST-02 DATE : 95.05.01 00:20-95.05.31 22:30	
UNIT : M	----	wave HEIGHT H1/3(M) 0.7802 SEC DATA		
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION		
.00	2.18	**		
.50	61.85	*****		
1.00	27.79	*****		
1.50	8.17	*****		
2.00	.00			
2.50	.00			
3.00	.00			
3.50	.00			
4.00	.00			
4.50	.00			
5.00	.00			
5.50	.00			
6.00	.00			
6.50	.00			
7.00	.00			
7.50	.00			
8.00	.00			
8.50	.00			
9.00	.00			
9.50	.00			
10.00	.00			
LOST DATA	.00			
TOTAL NO. OF DATA	: 367	LOST NO. OF DATA	: 0 (.00 %)	
MEAN OF wave HEIGHT	: .96	VARIANCE OF wave HEIGHT	: .10	STANDARD DEVIATION OF wave HEIGHT : .31
MAX OF wave HEIGHT	: 1.91	IT'S wave period	: 7.50	AT TIME : 1995. 5.14. 6:28
MIN OF wave HEIGHT	: .44	IT'S wave period	: 6.60	AT TIME : 1995. 5.27. 2:20
CORNUB RATIO OF wave HEIGHT	: 1.73	SKEWNESS OF wave HEIGHT	: 2.09	DC VALUE OF wave HEIGHT : 10.36
MOST LOCATED AT wave HEIGHT INTERVAL (.50, 1.00) IS 61.9%				

表 B-5(續)

PROBILITY Distribution of wave period at HAW-LIAN --- st2

ST-02 DATE : 95.05.01.00:20-95.05.31.22:30

UNIT : SEC ---- wave period T1/3(SEC) 0.7802 SEC DATA

VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION
4.00	.00	
5.00	8.17	*****
6.00	31.88	*****
7.00	42.51	*****
8.00	16.35	*****
9.00	1.09	*
10.00	.00	
11.00	.00	
12.00	.00	
13.00	.00	
14.00	.00	
15.00	.00	
16.00	.00	
17.00	.00	
18.00	.00	
19.00	.00	
20.00	.00	
21.00	.00	
22.00	.00	
LOST DATA	.00	

TOTAL NO. OF DATA	: 367	LOST NO. OF DATA	: 0 (.00 %)	
MEAN OF wave period	: 7.16	VARIANCE OF wave period	: .67	STANDARD DEVIATION OF wave period : .82
MAX OF wave period	: 9.40	IT'S wave HEIGHT	: 1.28	
MIN OF wave period	: 5.20	IT'S wave HEIGHT	: .84	
CORNU RATIO OF wave period	: 1.52	SKEWNESS OF wave period	: -.06	DC VALUE OF wave period : -3.43
MOST LOCATED AT wave period INTERVAL (7.00, 8.00) IS 42.5%				

表 B-6

PROBILITY Distribution of wave HEIGHT at HA#-LIAN --- st2			ST-02 DATE : 95.06.09.10:22-95.06.30.22:30	
UNIT : M		wave HEIGHT H1/3(M) 0.7802 SEC DATA		
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION		
.00	9.27	*****		
.50	81.85	*****		
1.00	8.88	*****		
1.50	.00			
2.00	.00			
2.50	.00			
3.00	.00			
3.50	.00			
4.00	.00			
4.50	.00			
5.00	.00			
5.50	.00			
6.00	.00			
6.50	.00			
7.00	.00			
7.50	.00			
8.00	.00			
8.50	.00			
9.00	.00			
9.50	.00			
10.00	.00			
LOST DATA		.00		
TOTAL NO. OF DATA		: 259	LOST NO. OF DATA : 0 (.00 %)	
MEAN OF wave HEIGHT		: .73	VARIANCE OF wave HEIGHT : .04	
MAX OF wave HEIGHT		: 1.45	STANDARD DEVIATION OF wave HEIGHT : .20	
MIN OF wave HEIGHT		: .39	AT TIME : 1995. 6.10.14:20	
CORNU RATIO OF wave HEIGHT		: 1.56	IT'S wave period : 6.00	
MOST LOCATED AT wave HEIGHT INTERVAL (.50. 1.00) IS		81.9%	AT TIME : 1995. 6.24. 2:19	
			SKEWNESS OF wave HEIGHT : 1.62	
			DC VALUE OF wave HEIGHT : -.79	

表 B-6(續)

PROBILITY Distribution of wave period at HAW-LIAN --- st2			ST-02	DATE : 95.05.09.10:22-95.06.30.22:30
UNIT : SEC ---- wave period T1/3(SEC) 0.7802 SEC DATA				
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION		
4.00	.39			
5.00	28.96	*****		
6.00	55.98	*****		
7.00	10.81	*****		
8.00	3.86	***		
9.00	.00			
10.00	.00			
11.00	.00			
12.00	.00			
13.00	.00			
14.00	.00			
15.00	.00			
16.00	.00			
17.00	.00			
18.00	.00			
19.00	.00			
20.00	.00			
21.00	.00			
22.00	.00			
LOST DATA	.00			
TOTAL NO. OF DATA	: 259	LOST NO. OF DATA	: 0 (.00 %)	
MEAN OF wave period	: 6.30	VARIANCE OF wave period	: .50	STANDARD DEVIATION OF wave period : .70
MAX OF wave period	: 8.90	IT'S wave HEIGHT	: .72	
MIN OF wave period	: 4.70	IT'S wave HEIGHT	: .62	
CORNU RATIO OF wave period	: 1.82	SKEWNESS OF wave period	: 2.89	DC VALUE OF wave period : 16.17
MOST LOCATED AT wave period INTERVAL (6.00, 7.00) IS 56.0%				

表 B-7

PROBILITY Distribution of wave HEIGHT at HAW-LIAN --- st2			ST-02 DATE : 95.07.01.00:00-95.07.31.22:30	
UNIT : M ---- wave HEIGHT H1/3(M) 0.7802 SEC DATA				
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION		
.00	15.04	*****		
.50	51.92	*****		
1.00	14.75	*****		
1.50	8.85	*****		
2.00	7.67	*****		
2.50	1.47	*		
3.00	.29			
3.50	.00			
4.00	.00			
4.50	.00			
5.00	.00			
5.50	.00			
6.00	.00			
6.50	.00			
7.00	.00			
7.50	.00			
8.00	.00			
8.50	.00			
9.00	.00			
9.50	.00			
10.00	.00			
LOST DATA	.00			
TOTAL NO. OF DATA : 339 LOST NO. OF DATA : 0 (.00 %)				
MEAN OF wave HEIGHT : .97 VARIANCE OF wave HEIGHT : .32 STANDARD DEVIATION OF wave HEIGHT : .56				
MAX OF wave HEIGHT : 3.02 IT'S wave period : 7.60 AT TIME : 1995. 7.31. 8:32				
MIN OF wave HEIGHT : .31 IT'S wave period : 7.30 AT TIME : 1995. 7.19.18:22				
CORNU RATIO OF wave HEIGHT: 1.65 SKEWNESS OF wave HEIGHT : 2.71 DC VALUE OF wave HEIGHT : 5.01				
MOST LOCATED AT wave HEIGHT INTERVAL (.50. 1.00) IS 51.9%				

表 B-7(續)

PROBILITY Distribution of wave period at HAW-LIAN --- st2			ST-02 DATE : 95.07.01.00:00-95.07.31.22:30
UNIT : SEC ---- wave period T1/3(SEC) 0.7802 SEC DATA			
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION	
4.00	.59		
5.00	19.17	*****	
6.00	31.56	*****	
7.00	21.53	*****	
8.00	18.88	*****	
9.00	2.36	**	
10.00	2.65	**	
11.00	2.06	**	
12.00	.59		
13.00	.59		
14.00	.00		
15.00	.00		
16.00	.00		
17.00	.00		
18.00	.00		
19.00	.00		
20.00	.00		
21.00	.00		
22.00	.00		
LOST DATA	.00		
TOTAL NO. OF DATA : 339 LOST NO. OF DATA : 0 (.00 %)			
MEAN OF wave period : 7.18 VARIANCE OF wave period : 2.16 STANDARD DEVIATION OF wave period : 1.47			
MAX OF wave period : 13.50 IT'S wave HEIGHT : 1.60			
MIN OF wave period : 4.80 IT'S wave HEIGHT : 1.08			
CORNU RATIO OF wave period: 1.75 SKEWNESS OF wave period : 3.19 DC VALUE OF wave period : 11.16			
MOST LOCATED AT wave period INTERVAL (6.00, 7.00) IS 31.6%			

表 B-8

PROBABILITY Distribution of wave HEIGHT at HAW-LIAN --- st2

ST-02 DATE : 95.08.01.00:00-95.08.31.05:54

UNIT : M ---- wave HEIGHT H1/3(M) 0.7802 SEC DATA

VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRIBUTION
.00	20.44	*****
.50	58.86	*****
1.00	10.90	*****
1.50	3.81	***
2.00	1.63	*
2.50	.82	
3.00	.82	
3.50	.54	
4.00	.54	
4.50	.54	
5.00	.27	
5.50	.27	
6.00	.54	
6.50	.00	
7.00	.00	
7.50	.00	
8.00	.00	
8.50	.00	
9.00	.00	
9.50	.00	
10.00	.00	
LOST DATA	.00	

TOTAL NO. OF DATA	: 367	LOST NO. OF DATA	: 0 (.00 %)	
MEAN OF wave HEIGHT	: .90	VARIANCE OF wave HEIGHT	: .67	STANDARD DEVIATION OF wave HEIGHT : .82
MAX OF wave HEIGHT	: 6.26	IT'S wave period	: 12.40	AT TIME : 1995. 8.30.18: 7
MIN OF wave HEIGHT	: .34	IT'S wave period	: 6.30	AT TIME : 1995. 8. 3. 8:19
CORNU RATIO OF wave HEIGHT: 3.08		SKEWNESS OF wave HEIGHT	: 20.78	DC VALUE OF wave HEIGHT : 96.28
MOST LOCATED AT wave HEIGHT INTERVAL (.50, 1.00) IS 58.9%				

表 B-8(續)

PROBILITY Distribution of wave period at HAW-LIAN --- st2		ST-02 DATE : 95.08.01.00:00-95.08.31.05:54	
UNIT : SEC ----		wave period T1/3(SEC) 0.7802 SEC DATA	
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION	
4.00	1.91	*	
5.00	17.17	*****	
6.00	42.23	*****	
7.00	22.34	*****	
8.00	4.63	****	
9.00	7.36	*****	
10.00	2.72	**	
11.00	.82		
12.00	.82		
13.00	.00		
14.00	.00		
15.00	.00		
16.00	.00		
17.00	.00		
18.00	.00		
19.00	.00		
20.00	.00		
21.00	.00		
22.00	.00		
LOST DATA		.00	
TOTAL NO. OF DATA : 367		LOST NO. OF DATA : 0 (.00 %)	
MEAN OF wave period : 6.96		VARIANCE OF wave period : 1.95	
MAX OF wave period : 12.70		STANDARD DEVIATION OF wave period : 1.40	
MIN OF wave period : 4.10		IT'S wave HEIGHT : 4.71	
CORNU RATIO OF wave period: 1.89		IT'S wave HEIGHT : .69	
MOST LOCATED AT wave period INTERVAL (6.00, 7.00) IS 42.2%		DC VALUE OF wave period : 20.05	

表 B-9

PROBILITY Distribution of wave HEIGHT at HAW-LIAN --- st2			ST-02 DATE : 95.09.06.14:19-95.09.30.22:30	
UNIT : M ---- wave HEIGHT H1/3(M) 0.7802 SEC DATA				
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION		
.00	20.37	*****		
.50	50.46	*****		
1.00	18.06	*****		
1.50	6.48	*****		
2.00	4.17	****		
2.50	.46			
3.00	.00			
3.50	.00			
4.00	.00			
4.50	.00			
5.00	.00			
5.50	.00			
6.00	.00			
6.50	.00			
7.00	.00			
7.50	.00			
8.00	.00			
8.50	.00			
9.00	.00			
9.50	.00			
10.00	.00			
LOST DATA	.00			
TOTAL NO. OF DATA : 216 LOST NO. OF DATA : 0 (.00 %)				
MEAN OF wave HEIGHT : .89 VARIANCE OF wave HEIGHT : .22 STANDARD DEVIATION OF wave HEIGHT : .47				
MAX OF wave HEIGHT : 2.62 IT'S wave period : 8.90 AT TIME : 1995. 9.22.19:51				
MIN OF wave HEIGHT : .23 IT'S wave period : 8.90 AT TIME : 1995. 9.10.14:23				
CORNU RATIO OF wave HEIGHT: 1.81 SKEWNESS OF wave HEIGHT : 3.00 DC VALUE OF wave HEIGHT : 15.30				
MOST LOCATED AT wave HEIGHT INTERVAL (.50. 1.00) IS 50.5%				

表 B-9(續)

PROBILITY Distribution of wave period at HAW-LIAN --- st2		ST-XX DATE : 95.09.06.14:19-95.09.30.22:30	
UNIT : SEC ----		wave period T1/3(SEC) 0.7802 SEC DATA	
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION	
4.00	.00		
5.00	7.41	*****	
6.00	34.26	*****	
7.00	29.17	*****	
8.00	18.98	*****	
9.00	10.19	*****	
10.00	.00		
11.00	.00		
12.00	.00		
13.00	.00		
14.00	.00		
15.00	.00		
16.00	.00		
17.00	.00		
18.00	.00		
19.00	.00		
20.00	.00		
21.00	.00		
22.00	.00		
LOST DATA	.00		
TOTAL NO. OF DATA : 216		LOST NO. OF DATA : 0 (.00 %)	
MEAN OF wave period : 7.34		VARIANCE OF wave period : 1.12	
MAX OF wave period : 9.60		STANDARD DEVIATION OF wave period : 1.06	
MIN OF wave period : 5.10		IT'S wave HEIGHT : 1.15	
CORNU RATIO OF wave period: 1.43		IT'S wave HEIGHT : .59	
MOST LOCATED AT wave period INTERVAL (6.00, 7.00) IS 34.3%		SKEWNESS OF wave period : .30	
		DC VALUE OF wave period : -9.08	

表 B-10

PROBILITY Distribution of wave HEIGHT at HAW-LIAN --- st2			ST-02 DATE : 95.10.01.00:00-95.10.12.22:30	
UNIT : M ---- wave HEIGHT H1/3(M) 0.7802 SEC DATA				
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION		
.00	.00			
.50	36.79	*****		
1.00	54.72	*****		
1.50	8.49	*****		
2.00	.00			
2.50	.00			
3.00	.00			
3.50	.00			
4.00	.00			
4.50	.00			
5.00	.00			
5.50	.00			
6.00	.00			
6.50	.00			
7.00	.00			
7.50	.00			
8.00	.00			
8.50	.00			
9.00	.00			
9.50	.00			
10.00	.00			
LOST DATA		.00		
TOTAL NO. OF DATA		: 106	LOST NO. OF DATA : 0 (.00 %)	
MEAN OF wave HEIGHT		: 1.07	VARIANCE OF wave HEIGHT : .09	
MAX OF wave HEIGHT		: 1.64	STANDARD DEVIATION OF wave HEIGHT : .30	
MIN OF wave HEIGHT		: .52	IT'S wave period : 7.20	
CORNU RATIO OF wave HEIGHT: 1.52		AT TIME : 1995.10. 7. 0:23		IT'S wave period : 6.80
MOST LOCATED AT wave HEIGHT INTERVAL (1.00. 1.50) IS 54.7%		AT TIME : 1995.10. 5.10:23		SKEWNESS OF wave HEIGHT : -.21
		DC VALUE OF wave HEIGHT : -3.27		

表 B-10(續)

PROBILITY Distribution of wave period at HAW-LIAN --- st2			ST-XX DATE : 95.10.01.00:00-95.10.12.22:30	
UNIT : SEC	----	wave period T1/3(SEC) 0.7802 SEC DATA		
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION		
4.00	.00			
5.00	10.38	*****		
6.00	64.15	*****		
7.00	22.64	*****		
8.00	2.83	**		
9.00	.00			
10.00	.00			
11.00	.00			
12.00	.00			
13.00	.00			
14.00	.00			
15.00	.00			
16.00	.00			
17.00	.00			
18.00	.00			
19.00	.00			
20.00	.00			
21.00	.00			
22.00	.00			
LOST DATA	.00			
TOTAL NO. OF DATA	: 106	LOST NO. OF DATA	: 0 (.00 %)	
MEAN OF wave period	: 6.65	VARIANCE OF wave period	: .36	STANDARD DEVIATION OF wave period : .60
MAX OF wave period	: 8.50	IT'S wave HEIGHT	: 1.33	
MIN OF wave period	: 5.20	IT'S wave HEIGHT	: .77	
CORNU RATIO OF wave period	: 1.75	SKEWNESS OF wave period	: .41	DC VALUE OF wave period : 11.33
MOST LOCATED AT wave period INTERVAL (6.00, 7.00) IS 64.2%				

表 B-11

PROBILITY Distribution of wave HEIGHT at HAW-LIAN --- st2			ST-02 DATE : 95.11.22.20:00-95.11.30.22:30	
UNIT : M	----	wave HEIGHT H1/3(M) 0.7802 SEC DATA		
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION		
.00	.00			
.50	.00			
1.00	36.08	*****		
1.50	34.02	*****		
2.00	18.56	*****		
2.50	11.34	*****		
3.00	.00			
3.50	.00			
4.00	.00			
4.50	.00			
5.00	.00			
5.50	.00			
6.00	.00			
6.50	.00			
7.00	.00			
7.50	.00			
8.00	.00			
8.50	.00			
9.00	.00			
9.50	.00			
10.00	.00			
LOST DATA	.00			
TOTAL NO. OF DATA	: 97	LOST NO. OF DATA	: 0 (.00 %)	
MEAN OF wave HEIGHT	: 1.27	VARIANCE OF wave HEIGHT	: .23	STANDARD DEVIATION OF wave HEIGHT : .48
MAX OF wave HEIGHT	: 2.41	IT'S wave period	: 7.10	AT TIME : 1995.11.24. 8:23
MIN OF wave HEIGHT	: .65	IT'S wave period	: 7.20	AT TIME : 1995.11.26. 0:23
CORNU RATIO OF wave HEIGHT	: 1.42	SKEWNESS OF wave HEIGHT	: .98	DC VALUE OF wave HEIGHT : -9.79
MOST LOCATED AT wave HEIGHT INTERVAL (.50, 1.00) IS 36.1%				

表 B-11(續)

PROBILITY Distribution of wave period at HAW-LIAN --- st2			ST-02 DATE : 95.11.22.20:00-95.11.30.22:30	
UNIT : SEC ---- wave period T1/3(SEC) 0.7802 SEC DATA				
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION		
4.00	.00			
5.00	10.31	*****		
6.00	52.58	*****		
7.00	31.96	*****		
8.00	5.15	*****		
9.00	.00			
10.00	.00			
11.00	.00			
12.00	.00			
13.00	.00			
14.00	.00			
15.00	.00			
16.00	.00			
17.00	.00			
18.00	.00			
19.00	.00			
20.00	.00			
21.00	.00			
22.00	.00			
LOST DATA		.00		
TOTAL NO. OF DATA : 97		LOST NO. OF DATA : 0 (.00 %)		
MEAN OF wave period : 6.72		VARIANCE OF wave period : .46		STANDARD DEVIATION OF wave period : .68
MAX OF wave period : 8.60		IT'S wave HEIGHT : 1.86		
MIN OF wave period : 5.40		IT'S wave HEIGHT : 1.36		
CORNU RATIO OF wave period: 1.49		SKEWNESS OF wave period : .92		DC VALUE OF wave period : -5.29
MOST LOCATED AT wave period INTERVAL (6.00. 7.00) IS 52.6%				

表 B-12

PROBABILITY Distribution of wave HEIGHT at HAW-LIAN --- st2			ST-02 DATE : 95.12.01.00:00-95.12.31.22:30	
UNIT : M		----	wave HEIGHT H1/3(M) 0.7802 SEC DATA	
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION		
.00	.00			
.50	5.11	*****		
1.00	47.51	*****		
1.50	36.83	*****		
2.00	9.95	*****		
2.50	.81			
3.00	.00			
3.50	.00			
4.00	.00			
4.50	.00			
5.00	.00			
5.50	.00			
6.00	.00			
6.50	.00			
7.00	.00			
7.50	.00			
8.00	.00			
8.50	.00			
9.00	.00			
9.50	.00			
10.00	.00			
LOST DATA		.00		
TOTAL NO. OF DATA		: 372	LOST NO. OF DATA : 0 (0.00 %)	
MEAN OF wave HEIGHT		: 1.51	VARIANCE OF wave HEIGHT : .12	
MAX OF wave HEIGHT		: 2.71	STANDARD DEVIATION OF wave HEIGHT : .34	
MIN OF wave HEIGHT		: .86	AT TIME : 1995.12.24.16: 0	
CORNW RATIO OF wave HEIGHT		: 1.49	AT TIME : 1995.12.17. 2:25	
MOST LOCATED AT wave HEIGHT INTERVAL (1.00, 1.50) IS		47.3%	DC VALUE OF wave HEIGHT : -5.16	

表 B-12(續)

PROBILITY Distribution of wave period at HAW-LIAN --- st2			ST-02	DATE : 95.12.01.00:00-95.12.31.22:30
UNIT : SEC	----	wave period T1/3(SEC)	0.7802	SEC DATA
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION		
4.00	.00			
5.00	4.30	****		
6.00	32.80	*****		
7.00	41.04	*****		
8.00	20.16	*****		
9.00	.81			
10.00	.00			
11.00	.00			
12.00	.00			
13.00	.00			
14.00	.00			
15.00	.00			
16.00	.00			
17.00	.00			
18.00	.00			
19.00	.00			
20.00	.00			
21.00	.00			
22.00	.00			
LOST DATA	.00			
TOTAL NO. OF DATA	: 372	LOST NO. OF DATA	: 0 (.00 %)	
MEAN OF wave period	: 7.25	VARIANCE OF wave period	: .58	STANDARD DEVIATION OF wave period : .76
MAX OF wave period	: 9.00	IT'S wave HEIGHT	: 1.96	
MIN OF wave period	: 5.40	IT'S wave HEIGHT	: 1.29	
CORNU RATIO OF wave period	: 1.42	SKEWNESS OF wave period	: -.07	DC VALUE OF wave period : -9.69
MOST LOCATED AT wave period INTERVAL (7.00. 8.00) IS 41.9%				

表 B-13

PROBILITY Distribution of wave HEIGHT at HAW-LIAN --- st2		ST-02 DATE : 96.01.01.00:00-96.01.31.22:30	
UNIT : M		wave HEIGHT H1/3(M) 0.7802 SEC DATA	
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION	
.00	.00		
.50	24.60	*****	
1.00	35.71	*****	
1.50	32.14	*****	
2.00	5.56	*****	
2.50	1.98	*	
3.00	.00		
3.50	.00		
4.00	.00		
4.50	.00		
5.00	.00		
5.50	.00		
6.00	.00		
6.50	.00		
7.00	.00		
7.50	.00		
8.00	.00		
8.50	.00		
9.00	.00		
9.50	.00		
10.00	.00		
LOST DATA	.00		
TOTAL NO. OF DATA : 252		LOST NO. OF DATA : 0 (.00 %)	
MEAN OF wave HEIGHT : 1.37		VARIANCE OF wave HEIGHT : .22	
MAX OF wave HEIGHT : 2.92		STANDARD DEVIATION OF wave HEIGHT : .47	
MIN OF wave HEIGHT : .59		AT TIME : 1995. 1.26. 5:44	
CORNU RATIO OF wave HEIGHT: 1.54		AT TIME : 1995. 1. 3. 0:21	
MOST LOCATED AT wave HEIGHT INTERVAL (1.00, 1.50) IS 35.7%		DC VALUE OF wave HEIGHT : -2.10	

表 B-13(續)

PROBABILITY Distribution of wave period at HAW-LIAN --- st2		ST-02 DATE : 96.01.01.00:00-96.01.31.22:30	
UNIT : SEC ----		wave period T1/3(SEC) 0.7802 SEC DATA	
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION	
4.00	.00		
5.00	2.38	**	
6.00	30.95	*****	
7.00	51.98	*****	
8.00	14.68	*****	
9.00	.00		
10.00	.00		
11.00	.00		
12.00	.00		
13.00	.00		
14.00	.00		
15.00	.00		
16.00	.00		
17.00	.00		
18.00	.00		
19.00	.00		
20.00	.00		
21.00	.00		
22.00	.00		
LOST DATA	.00		
TOTAL NO. OF DATA : 252		LOST NO. OF DATA : 0 (.00 %)	
MEAN OF wave period : 7.27		VARIANCE OF wave period : .44	
MAX OF wave period : 8.90		STANDARD DEVIATION OF wave period : .66	
MIN OF wave period : 5.40		IT'S wave HEIGHT : 2.83	
CORNU RATIO OF wave period:1.49		IT'S wave HEIGHT : 1.20	
MOST LOCATED AT wave period INTERVAL (7.00, 8.00) IS 52.0%		SKEWNESS OF wave period : -.07	
		DC VALUE OF wave period : -5.35	

表 B-14

PROBILITY Distribution of wave HEIGHT at HAW-LIAN --- st2		ST-02 DATE : 96.02.01.00:00-96.02.29.22:30	
UNIT : M	----	wave HEIGHT H1/3(M) 0.7802 SEC DATA	
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION	
.00	.00		
.50	17.09	*****	
1.00	30.81	*****	
1.50	31.37	*****	
2.00	13.17	*****	
2.50	6.72	*****	
3.00	.84		
3.50	.00		
4.00	.00		
4.50	.00		
5.00	.00		
5.50	.00		
6.00	.00		
6.50	.00		
7.00	.00		
7.50	.00		
8.00	.00		
8.50	.00		
9.00	.00		
9.50	.00		
10.00	.00		
LOST DATA	.00		
TOTAL NO. OF DATA : 357		LOST NO. OF DATA : 0 (.00 %)	
MEAN OF wave HEIGHT : 1.59		VARIANCE OF wave HEIGHT : .30	
MAX OF wave HEIGHT : 3.10		STANDARD DEVIATION OF wave HEIGHT : .55	
MIN OF wave HEIGHT : .70		IT'S wave period : 8.30	
CORNW RATIO OF wave HEIGHT: 1.58		AT TIME : 1995. 2. 1.11:16	
MOST LOCATED AT wave HEIGHT INTERVAL (1.50, 2.00) IS 31.4%		IT'S wave period : 6.60	
		AT TIME : 1995. 2.14. 8:23	
		DC VALUE OF wave HEIGHT : .65	

表 B-14(續)

PROBILITY Distribution of wave period at HAW-LIAN --- st2			ST-02	DATE : 96.02.01.00:00-96.02.28.22:30
UNIT : SEC	----	wave period T1/3(SEC) 0.7802 SEC DATA		
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION		
4.00	.00			
5.00	3.92	***		
6.00	21.57	*****		
7.00	38.38	*****		
8.00	34.17	*****		
9.00	1.96	*		
10.00	.00			
11.00	.00			
12.00	.00			
13.00	.00			
14.00	.00			
15.00	.00			
16.00	.00			
17.00	.00			
18.00	.00			
19.00	.00			
20.00	.00			
21.00	.00			
22.00	.00			
LOST DATA	.00			
TOTAL NO. OF DATA	: 357	LOST NO. OF DATA	: 0 (0.00 %)	
MEAN OF wave period	: 7.54	VARIANCE OF wave period	: .67	STANDARD DEVIATION OF wave period : .82
MAX OF wave period	: 9.60	IT'S wave HEIGHT	: 1.67	
MIN OF wave period	: 5.00	IT'S wave HEIGHT	: .99	
CORNU RATIO OF wave period	: 1.47	SKEWNESS OF wave period	: -.87	DC VALUE OF wave period : -6.26
MOST LOCATED AT wave period INTERVAL (7.00. 8.00) IS 38.4%				

表 B-15

PROBILITY Distribution of wave HEIGHT at HAW-LIAN --- st2		ST-02 DATE : 96.03.01.00:00-96.03.31.22:30	
UNIT : M	----	wave HEIGHT H1/3(M) 0.7802 SEC DATA	
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION	
.00	.00		
.50	23.92	*****	
1.00	66.67	*****	
1.50	8.33	*****	
2.00	1.08	*	
2.50	.00		
3.00	.00		
3.50	.00		
4.00	.00		
4.50	.00		
5.00	.00		
5.50	.00		
6.00	.00		
6.50	.00		
7.00	.00		
7.50	.00		
8.00	.00		
8.50	.00		
9.00	.00		
9.50	.00		
10.00	.00		
LOST DATA	.00		
TOTAL NO. OF DATA : 372		LOST NO. OF DATA : 0 (.00 %)	
MEAN OF wave HEIGHT : 1.19		VARIANCE OF wave HEIGHT : .06	
MAX OF wave HEIGHT : 2.33		IT'S wave period : 7.40	
MIN OF wave HEIGHT : .77		IT'S wave period : 6.30	
CORNU RATIO OF wave HEIGHT: 1.66		SKEWNESS OF wave HEIGHT : 2.18	
MOST LOCATED AT wave HEIGHT INTERVAL (1.00, 1.50) IS 66.7%		STANDARD DEVIATION OF wave HEIGHT : .25	
		AT TIME : 1995. 3. 1.10:25	
		AT TIME : 1995. 3.14.12:21	
		DC VALUE OF wave HEIGHT : 5.98	

表 B-15(續)

PROBILITY Distribution of wave period at HAW-LIAN --- st2			ST-02	DATE : 96.03.01.00:00-96.03.31.22:30
UNIT : SEC	----	wave period T1/3(SEC) 0.7802 SEC DATA		
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION		
4.00	.00			
5.00	8.87	*****		
6.00	38.17	*****		
7.00	42.74	*****		
8.00	9.95	*****		
9.00	.27			
10.00	.00			
11.00	.00			
12.00	.00			
13.00	.00			
14.00	.00			
15.00	.00			
16.00	.00			
17.00	.00			
18.00	.00			
19.00	.00			
20.00	.00			
21.00	.00			
22.00	.00			
LOST DATA	.00			
TOTAL NO. OF DATA : 372	LOST NO. OF DATA : 0 (.00 %)			
MEAN OF wave period : 6.99	VARIANCE OF wave period : .54	STANDARD DEVIATION OF wave period : .74		
MAX OF wave period : 9.00	IT'S wave HEIGHT : 1.27			
MIN OF wave period : 5.10	IT'S wave HEIGHT : .86			
CORNU RATIO OF wave period:1.47	SKEWNESS OF wave period : -.16	DC VALUE OF wave period : -6.43		
MOST LOCATED AT wave period INTERVAL (7.00, 8.00) IS 42.7%				

表 B-16

PROBILITY Distribution of wave HEIGHT at HAW-LIAN --- st2			ST-02 DAT2 : 96.04.01.00:00-96.04.30.22:30		
UNIT : M /----- wave HEIGHT H1/3(M) 0.7802 SEC DATA					
VALUE	PERCENTAGE	DISTRBUTION			
	(%)				
.00	.28				
.50	22.56	*****			
1.00	42.90	*****			
1.50	24.23	*****			
2.00	8.08	*****			
2.50	1.95	*			
3.00	.00				
3.50	.00				
4.00	.00				
4.50	.00				
5.00	.00				
5.50	.00				
6.00	.00				
6.50	.00				
7.00	.00				
7.50	.00				
8.00	.00				
8.50	.00				
9.00	.00				
9.50	.00				
10.00	.00				
LOST DATA	.00				
TOTAL NO. OF DATA : 359		LOST NO. OF DATA : 0 (.00 %)			
MEAN OF wave HEIGHT : 1.35		VARIANCE OF wave HEIGHT : .22		STANDARD DEVIATION OF wave HEIGHT : .47	
MAX OF wave HEIGHT : 2.67		IT'S wave period : 9.70		AT TIME : 1996. 4.12. 8:30	
MIN OF wave HEIGHT : .47		IT'S wave period : 7.30		AT TIME : 1996. 4.19. 0:22	
CORNU RATIO OF wave HEIGHT: 1.55		SKEWNESS OF wave HEIGHT : .93		DC VALUE OF wave HEIGHT : -1.25	
MOST LOCATED AT wave HEIGHT INTERVAL (1.00, 1.50) IS 42.9%					

表 B-16(續)

PROBILITY Distribution of wave period at HAW-LIAN --- s:2			ST-02 DATE : 96.04.01.00:00-96.04.30.22:30	
UNIT : SEC		wave period T1/3(SEC) 0.7802 SEC DATA		
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION		
4.00	.56			
5.00	.28			
6.00	20.33	*****		
7.00	59.89	*****		
8.00	15.32	*****		
9.00	3.62	***		
10.00	.00			
11.00	.00			
12.00	.00			
13.00	.00			
14.00	.00			
15.00	.00			
16.00	.00			
17.00	.00			
18.00	.00			
19.00	.00			
20.00	.00			
21.00	.00			
22.00	.00			
LOST DATA		.00		
TOTAL NO. OF DATA		: 359	LOST NO. OF DATA : 0 (.00 %)	
MEAN OF wave period		: 7.48	VARIANCE OF wave period : .50	
MAX OF wave period		: 9.00	STANDARD DEVIATION OF wave period : .71	
MIN OF wave period		: 4.00	IT'S wave HEIGHT : 2.53	
CORNU RATIO OF wave period		: 1.86	IT'S wave HEIGHT : .72	
MOST LOCATED AT wave period INTERVAL (7.00, 8.00) IS 59.9%		SKEWNESS OF wave period : .71		DC VALUE OF wave period : 18.20

表 B-17

PROBILITY Distribution of wave HEIGHT at HAW-LIAN --- st2			ST-02 DATE : 96.05.01.00:00-96.05.27.14:30	
UNIT : M	----	wave HEIGHT H1/3(M) 0.7802 SEC DATA		
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRIBUTION		
.00	.00			
.50	45.85	*****		
1.00	23.69	*****		
1.50	12.92	*****		
2.00	7.08	*****		
2.50	7.69	*****		
3.00	2.77	**		
3.50	.00			
4.00	.00			
4.50	.00			
5.00	.00			
5.50	.00			
6.00	.00			
6.50	.00			
7.00	.00			
7.50	.00			
8.00	.00			
8.50	.00			
9.00	.00			
9.50	.00			
10.00	.00			
LOST DATA	.00			
TOTAL NO. OF DATA	: 325	LOST NO. OF DATA	: 0 (.00 %)	
MEAN OF wave HEIGHT	: 1.30	VARIANCE OF wave HEIGHT	: .49	STANDARD DEVIATION OF wave HEIGHT : .70
MAX OF wave HEIGHT	: 3.24	IT'S wave period	: 12.50	AT TIME : 1996. 5.15.20: 2
MIN OF wave HEIGHT	: .52	IT'S wave period	: 5.80	AT TIME : 1996. 5. 7.14:18
CORNU RATIO OF wave HEIGHT	: 1.52	SKWNESS OF wave HEIGHT	: 2.05	DC VALUE OF wave HEIGHT : -3.48
MOST LOCATED AT wave HEIGHT INTERVAL (.50, 1.00) IS 45.8%				

表 B-17(續)

PROBILITY Distribution of wave period at HAW-LIAN --- st2		ST-02 DATE : 96.05.01.00:00-96.05.27.14:30	
UNIT : SEC ----		wave period T1/3(SEC) 0.7802 SEC DATA	
VALUE	PERCENTAGE (%)	DISTRBUTION	
4.00	.62		
5.00	4.00	****	
6.00	24.31	*****	
7.00	36.31	*****	
8.00	11.08	*****	
9.00	11.38	*****	
10.00	8.92	*****	
11.00	2.77	**	
12.00	.62		
13.00	.00		
14.00	.00		
15.00	.00		
16.00	.00		
17.00	.00		
18.00	.00		
19.00	.00		
20.00	.00		
21.00	.00		
22.00	.00		
LOST DATA	.00		
TOTAL NO. OF DATA : 325		LOST NO. OF DATA : 0 (.00 %)	
MEAN OF wave period : 7.85		VARIANCE OF wave period : 2.22	
MAX OF wave period : 12.50		STANDARD DEVIATION OF wave period : 1.49	
MIN OF wave period : 4.90		IT'S wave HEIGHT : 3.10	
CORNU RATIO OF wave period: 1.59		IT'S wave HEIGHT : .55	
MOST LOCATED AT wave period INTERVAL (7.00, 8.00) IS 36.3%		SKEWNESS OF wave period : 1.51	
		DC VALUE OF wave period : 1.06	

表 C-1

83年7月10日~7月11日 提姆颱風在花蓮港港內、外波浪能量集中週期比較表

日期	港外 ST. 2	内港				外港				
		#8 碼頭		#10 碼頭		#17 碼頭		#22 碼頭		
7月10日 00:00	頻率	0.0875						0.0078	0.0127	0.0752
	週期	14.4						128.2	78.7	13.3
	能譜	.1163E6						.2685E4	.1476E5	.9543E4
7月10日 01:00	頻率	0.0925						0.0078	0.0127	0.0737
	週期	10.8						128.2	78.7	13.6
	能譜	.1356E6						.3373E4	.1278E5	.2046E5
7月10日 02:00	頻率							0.0078	0.0146	0.0742
	週期							128.2	68.5	13.5
	能譜							.1107E5	.4411E5	.3339E5
7月10日 03:00	頻率	0.0825						0.0073	0.0127	0.0747
	週期	12.1						137.0	78.7	13.4
	能譜	.18806						.2533E5	.1070E5	.1782E6
7月10日 04:00	頻率	0.0800						0.0063	0.0127	0.0752
	週期	12.5						158.7	78.7	13.3
	能譜	.22356						.1050E5	.1823E5	.1065E6
7月10日 05:00	頻率	0.0750						0.0078	0.0127	0.0708
	週期	13.3						128.2	78.7	14.1
	能譜	.51346						.7424E4	.1046E5	.6128E5
7月10日 06:00	頻率							0.0063	0.0127	0.0770
	週期							158.7	78.7	12.9
	能譜							.1061E5	.3811E5	.1011E6

註：能譜單位(cm^2/Hz)

表 C-2 83年7月10日~7月11日 提姆颱風在花蓮港港內、外波浪能量集中週期比較表

日期		港外	内港				外港					
			#8 碼頭		#10碼頭		#17 碼頭		#22 碼頭			
7月10日 07:00	頻率	0.0825								0.0068	0.0137	0.0757
	週期	12.1								147.1	73.0	13.2
	能譜	.3378E6								.2253E5	.1145E5	.1255E6
7月10日 08:00	頻率	0.0775								0.0073	0.0127	0.0728
	週期	12.9								137.0	78.7	13.7
	能譜	.4641E6								.1807E5	.5166E5	.1248E6
7月10日 09:00	頻率									0.0068	0.0127	0.0703
	週期									147.1	78.7	14.2
	能譜									.2005E5	.1942E5	.1875E6
7月10日 10:00	頻率	0.0700								0.0068	0.0146	0.0718
	週期	14.3								147.1	68.5	13.9
	能譜	.6585E6								.3966E5	.4585E5	.1089E6
7月10日 11:00	頻率		0.0088	0.0112	0.0718					0.0068	0.0146	0.0698
	週期		113.6	89.3	13.9					147.1	68.5	14.3
	能譜		.2010E6	.1837E6	.4059E4					.2992E5	.6668E5	.1623E6
7月10日 12:00	頻率	0.0650	0.0063	0.0107	0.0659	0.0073	0.0146	0.0630		0.0068	0.0146	0.0684
	週期	15.4	158.7	93.5	15.2	137.0	68.5	15.9		147.1	68.5	14.3
	能譜	.1634E7	.7019E5	.2008E6	.5561E4	.4132E5	.1269E6	.1599E6		.3315E5	.1269E6	.8857E5
7月10日 13:00	頻率	0.0725	0.0063	0.0107	0.0693	0.0049	0.0117	0.0703		0.0068	0.0127	0.0620
	週期	13.8	158.7	93.5	14.4	204.1	85.5	14.2		147.1	78.7	16.1
	能譜	.1044E7	.3229E5	.6230E5	.1750E4	.5980E5	.6607E5	.1307E4		.6335E5	.6611E5	.1067E6

註：能譜單位(cm^2/Hz)

表 C-3 83年7月10日~7月11日 提姆颱風在花蓮港港內、外波浪能量集中週期比較表

日期	港外 ST.2	港內						港外		
		#8 碼頭			#10碼頭			#17 碼頭		
		0.0063	0.0103	0.0688	0.0063	0.0117	0.0737			
7月10日 14:00	頻率							0.0068	0.0122	0.0893
	週期	158.7	97.1	14.5	158.7	85.5	13.6	147.1	82.0	14.4
	能譜	.5744E5	.2755E6	.2502E4	.3177E5	.1900E5	.8668E3	.3345E5	.1128E6	.1763E6
7月10日 15:00	頻率	0.0078	0.0122	0.0693	0.0063	0.0112	0.0625	0.0078	0.0122	0.0893
	週期	128.2	82.0	14.4	158.7	89.3	16	128.2	82.0	14.4
	能譜	.4016E5	.1012E6	.1898E6	.7106E5	.1263E5	.3842E4	.4016E5	.1012E6	.1998E6
7月10日 16:00	頻率	0.0063	0.0088	0.0703	0.0063	0.0122	0.0640	0.0073	0.0122	0.0625
	週期	158.7	102.0	14.2	158.7	82.0	15.6	137.0	82.0	16
	能譜	.1560E6	.1107E6	.4193E4	.1678E6	.1901E5	.2231E4	.1336E5	.7160E5	.1436E6
7月10日 17:00	頻率	0.0068	0.0107	0.0635	0.0068	0.0122	0.0640	0.0068	0.0122	0.0708
	週期	147.1	93.5	15.7	147.1	82.0	15.6	147.1	82.0	14.1
	能譜	.2086E6	.1029E6	.7105E4	.1123E6	.3413E5	.5230E4	.1482E6	.3222E6	.2567E6
7月10日 18:00	頻率	0.0073	0.0107	0.063	0.0059		0.0649	0.0078	0.0132	0.0776
	週期	137	93.5	15.0	169.5		15.4	128.2	75.8	12.9
	能譜	.1490E6	.1771E6	.4413E4	.2824E6		.3964E4	.1862E6	.1347E6	.2660E6
7月10日 19:00	頻率	0.0068	0.0107	0.0630	0.0054		0.0742	0.0073	0.0146	0.0654
	週期	147.1	93.5	15.9	185.2		13.5	137.0	68.5	15.3
	能譜	.1726E6	.2514E6	.6100E4	.2514E6		.4413E4	.9473E5	.7397E5	.1695E6
7月10日 20:00	頻率	0.0068	0.0112	0.0640	0.0059	0.0127	0.0605	0.0078	0.0146	0.0684
	週期	147.1	89.3	15.6	169.5	78.7	16.5	128.2	68.5	14.6
	能譜	.3600E6	.1281E6	.6784E4	.3873E6	.1663E5	.8131E4	.3109E6	.1316E6	.2312E6

註：能譜單位(cm^2/Hz)

表 C-4 83年7月10日~7月11日 提姆颱風在花蓮港港內、外波浪能彙集中週期比較表

日期		港外 ST. 2	内港						外港					
			#8 碼頭			#10 碼頭			#17 碼頭			#22 碼頭		
			頻率	迎期	能譜	頻率	迎期	能譜	頻率	迎期	能譜	頻率	迎期	能譜
7月10日 21:00	頻率		0.0068	0.0112	0.0645	0.0063	0.0117	0.0664				0.0078	0.0146	0.0645
	迎期		147.1	89.3	15.5	158.7	85.5	15.1				128.2	68.5	15.5
	能譜		.4401E6	.3744E6	.8210E4	.3046E6	.1186E5	.4546E4				.5370E6	.9733E5	.1858E6
7月10日 22:00	頻率		0.0068	0.0117	0.0728	0.0059	0.0117	0.0659				0.0078	0.0122	0.0669
	迎期		147.1	85.5	13.7	169.5	85.5	15.2				128.2	82.0	14.9
	能譜		.2625E6	.2717E6	.5625E4	.3412E6	.1301E5	.2281E4				.2252E6	.1156E6	.1852E6
7月10日 23:00	頻率		0.0063	0.0098	0.0781	0.0063	0.0122	0.0776				0.0078	0.0122	0.0757
	迎期		158.7	102.0	12.8	158.7	82.0	12.9				128.2	82.0	13.2
	能譜		.5448E6	.3177E5	.4704E4	.4478E6	.7304E4	.3174E4				.1149E6	.6708E5	.2065E6
7月11日 00:00	頻率		0.0063	0.0107	0.0610	0.0063	0.0117	0.0728				0.0078	0.0127	0.0693
	迎期		158.7	93.5	16.4	158.7	85.5	13.7				128.2	78.7	14.4
	能譜		.1491E5	.7817E5	.2788E4	.1126E6	.4726E4	.2012E4				.4589E5	.6787E5	.1177E6
7月11日 01:00	頻率		0.0063	0.0122	0.0767	0.0063	0.0112	0.0762				0.0073	0.0122	0.0762
	迎期		158.7	82.0	13.0	158.7	89.3	13.1				137.0	82.0	13.1
	能譜		.5222E5	.9241E5	.1139E4	.4829E5	.4807E4	.8302E3				.3434E5	.3336E5	.7294E5
7月11日 02:00	頻率		0.0063	0.0112	0.0703	0.0063	0.0112	0.0757				0.0063	0.0127	0.0747
	迎期		158.7	89.3	14.2	158.7	89.3	13.2				158.7	78.7	13.4
	能譜		.9202E5	.3788E6	.1732E4	.7765E5	.1454E5	.5198E3				.5328E4	.2674E5	.3034E5
7月11日 03:00	頻率		0.0068	0.0112	0.0608	0.0068	0.0112	0.0713				0.0073	0.0132	0.0801
	迎期		147.1	89.3	14.3	147.1	89.3	14.0				137.0	75.8	12.5
	能譜		.9266E4	.7371E5	.9754E3	.5286E4	.3498E4	.3086E3				.3905E4	.2637E5	.8568E5

註：能譜單位(cm^2/Hz)

表 C-6 83年8月3日~8月4日 凱特琳颱風在花蓮港港內、外波浪能量集中週期比較表

日期	港外 ST.2	內港			外港		
		#8 碼頭			#10 碼頭		
8月03日 11:00	頻率	0.0925					
	週期	10.8					
	能譜	.80435					
8月03日 12:00	頻率						
	週期						
	能譜						
8月03日 13:00	頻率	0.0950					
	週期	10.5					
	能譜	.13176					
8月03日 14:00	頻率						
	週期						
	能譜						
8月03日 15:00	頻率						
	週期						
	能譜						
8月03日 16:00	頻率						
	週期						
	能譜						
8月03日 17:00	頻率	0.0049	0.0117	0.0820		0.0049	0.0017
	週期	204.1	85.5	12.2		204.1	85.5
	能譜	.6859E4	.1871E5	.3348E5		.6859E4	.1871E5

註：能譜單位 (cm²/Hz)

表 C-7 83年8月3日~8月4日 凱特琳颱風在花蓮港港內、外波浪能疊集中週期比較表

日期	港外 ST.2	內港			外港		
		#8 碼頭			#10碼頭		
		頻率	週期	能譜	頻率	週期	能譜
8月03日 18:00	頻率	0.0054	0.0132	0.0923	0.0054	0.0132	0.0923
	週期	185.2	75.8	10.8	185.2	75.8	10.8
	能譜	.5259E4	.4664E5	.2532E5	.5260E4	.4661E5	.2537E5
8月03日 19:00	頻率	0.0063	0.0112	0.0869	0.0054	0.0132	0.0933
	週期	158.7	89.3	11.5	185.2	75.8	10.7
	能譜	.2487E5	.3126E6	.3833E4	.1135E5	.8417E4	.4343E5
8月03日 20:00	頻率	0.0063	0.0112	0.0967	0.0054	0.0151	0.0967
	週期	158.7	89.3	10.3	185.2	66.2	10.3
	能譜	.6501E4	.4610E5	.2241E4	.3772E4	.5627E4	.2298E5
8月03日 21:00	頻率	0.0063	0.0112	0.0952	0.0054	0.0093	0.0981
	週期	158.7	89.3	10.5	185.2	107.5	10.2
	能譜	.1074E5	.2804E5	.9148E3	.1772E4	.4088E4	.6194E4
8月03日 22:00	頻率	0.0073	0.0112	0.0903	0.0049	0.0127	0.0942
	週期	137	89.3	11.1	204.1	78.7	10.6
	能譜	.1833E4	.1470E5	.5057E3	.2488E3	.2559E4	.2177E4
8月03日 23:00	頻率	0.0063	0.0112	0.0908	0.0054	0.0112	0.1138
	週期	158.7	89.3	11.0	185.2	89.3	8.8
	能譜	.5654E3	.1715E4	.3454E3	.1382E3	.2774E3	.3066E4
8月04日 00:00	頻率	0.0063	0.0112	0.0908	0.0054	0.0132	0.0928
	週期	158.7	89.3	11.0	185.2	75.8	10.8
	能譜	.1376E4	.1742E4	.1380E3	.2354E3	.4594E3	.2779E4

註：能譜單位 (cm²/Hz)

表 C-8 83年8月3日~8月4日 凱特琳颱風在花蓮港港內、外波浪能量集中週期比較表

日期	港外 ST.2	內港			外港		
		#8 碼頭			#17 碼頭		
8月04日 01:00	頻率	0.0063	0.0112	0.0928	0.0059	0.0127	0.0952
	週期	158.7	89.3	10.8	129.5	78.7	10.5
	能譜	.1821E4	.4266E4	.2201E3	.2180E3	.3656E3	.5431E4
8月04日 02:00	頻率	0.0063	0.0112	0.0942	0.0059	0.0132	0.0952
	週期	158.7	89.3	10.6	169.5	75.8	10.5
	能譜	.6100E3	.1073E5	.1735E3	.2638E3	.1114E3	.8541E4
8月04日 03:00	頻率	0.0063	0.0112	0.0928			
	週期	158.7	89.3	10.8			
	能譜	.3060E4	.5078E4	.6777E3			
8月04日 04:00	頻率	0.0050	0.0112	0.0898	0.0049	0.0132	0.0957
	週期	169.5	80.3	11.1	204.1	75.8	10.4
	能譜	.3696E3	.3066E4	.4355E3	.1958E4	.5678E3	.4445E4
8月04日 05:00	頻率	0.0063	0.0112	0.0952	0.0049	0.0132	0.0957
	週期	158.7	80.3	10.5	204.1	75.8	10.4
	能譜	.7705E3	.7758E4	.2528E3	.2256E3	.5203E3	.3345E4
8月04日 06:00	頻率						
	週期						
	能譜						
8月04日 07:00	頻率						
	週期						
	能譜						

註：能譜單位 (cm²/Hz)

表 C-9 83年8月19日~8月21日 弗雷特颱風在花蓮港港內、外波浪能量集中週期比較表

日期		港外			港內						港外					
		ST.2			#8 碼頭						#10 碼頭					
		頻率	週期	能譜	0.0063	0.0107	0.0859	0.0049	0.0229	0.0713	0.0049	0.0088	0.0854	0.0059	0.0117	0.0703
8月19日 12:00					12.5	158.7	93.5	11.6	204.1	43.7	14.0	204.1	113.6	11.7	189.5	85.5
					6282E5	1409E4	1012E5	4433E3	2949E4	9498E3	1362E3	2997E4	3204E4	6087E4	1009E4	1853E4
					0.0750	0.0063	0.0107	0.0703	0.0063	0.0112	0.0723	0.0049	0.0093	0.0815	0.0068	0.0132
8月19日 14:00					13.3	158.7	93.5	14.2	158.7	89.3	13.8	204.1	107.5	12.3	147.1	75.7
					1324E6	1689E5	3472E5	5264E3	1209E5	1181E4	1045E4	2275E4	8145E4	8606E4	1736E4	1024E5
					0.0775	0.0063	0.0107	0.0776	0.0063	0.0132	0.0737	0.0049	0.0132	0.0815	0.0068	0.0127
8月19日 16:00					13.2	158.7	93.5	12.9	158.7	75.8	13.6	204.1	75.8	12.3	147.1	78.7
					1410E6	7974E4	1131E5	4254E4	5923E4	1795E4	7205E4	4784E4	8891E4	9161E4	4046E4	1803E5
					0.0750	0.0068	0.0112	0.0776	0.0068	0.0112	0.0737	0.0054	0.0107	0.0742	0.0073	0.0151
8月19日 18:00					13.3	147.1	89.3	12.9	147.1	89.3	13.6	185.2	93.5	13.5	137.0	66.2
					1558E6	1455E5	1671E6	4184E4	7524E4	4280E4	9579E4	7536E4	6078E4	1177E5	3666E4	1892E5
					0.0650	0.0068	0.0112	0.0615	0.0068	0.0117	0.0732	0.0054	0.0103	0.0698	0.0068	0.0127
8月19日 20:00					15.4	147.1	89.3	16.3	147.1	85.5	13.7	185.2	97.1	14.3	147.1	78.7
					2681E6	1324E5	1548E6	6576E4	7136E4	2280E4	2919E4	1457E5	5615E4	1017E5	8418E4	1598E5
					0.0625	0.0063	0.0103	0.0605	0.0063	0.0127	0.0708	0.0068	0.0127	0.0664	0.0068	0.0122
8月19日 22:00					16	158.7	97.1	16.5	158.7	78.7	14.1	147.1	78.7	15.1	147.1	82.0
					3276E6	4929E5	1120E5	1636E4	2881E5	2008E4	1809E4	8842E4	1873E5	1628E5	8260E4	4272E5
					0.0725	0.0059	0.0112	0.0610	0.0063	0.0117	0.0703	0.0059	0.0093	0.0693	0.0063	0.0122
8月20日 00:00					13.8	160.5	89.3	16.4	158.7	85.5	14.2	169.5	107.5	14.4	158.7	82.0
					5999E6	1063E5	1044E5	3074E4	3253E5	1552E4	1023E4	6780E4	1289E5	1367E5	2547E5	5937E5
																1181E6

註：能譜單位(cm^2/Hz)

表 C-10 83年8月19日~8月21日 非雷特颱風在花蓮港港內、外波浪能量集中週期比較表

日期	港外	內港						外港					
		#8 碼頭			#10 碼頭			#17 碼頭			#22 碼頭		
		頻率	週期	能譜	頻率	週期	能譜	頻率	週期	能譜	頻率	週期	能譜
8月20日 02:00	ST.2	0.0775	0.0063	0.0112	0.0718	0.0063	0.0117	0.0776	0.0054	0.0098	0.0674	0.0068	0.0127
	週期	13.2	158.7	89.3	13.9	158.7	85.5	12.9	185.2	102.0	14.8	147.1	78.7
	能譜	.4816E6	.2501E6	.1542E6	.1812E5	.3012E6	.1797E4	.1608E4	.1364E5	.2508E5	.2513E5	.8479E4	.5588E5
8月20日 04:00	頻率	0.0700	0.0063	0.0112	0.0620	0.0063	0.0127	0.0742	0.0054	0.0107	0.0674	0.0068	0.0127
	週期	14.3	158.7	89.3	16.1	158.7	78.7	13.5	185.2	93.55	14.8	147.1	78.7
	能譜	.5882E6	.7851E5	.2377E5	.3908E4	.7129E5	.3198E4	.2512E4	.6378E5	.1370E5	.1469E5	.2064E5	.8445E5
8月20日 06:00	頻率	0.0625	0.0063	0.0117	0.0625	0.0059	0.0132	0.0601	0.0059	0.0098	0.0645	0.0068	0.0127
	週期	16.0	158.7	89.5	16.0	169.5	75.8	16.6	169.5	102.0	15.5	147.1	78.7
	能譜	.9763E6	.7282E5	.2370E5	.4887E4	.1084E6	.5032E4	.3156E4	.8677E5	.3400E5	.7503E5	.5291E5	.6469E5
8月20日 08:00	頻率	0.0650	0.0063	0.0112	0.0615	0.0059	0.0122	0.0718	0.0054	0.0098	0.0674	0.0078	0.0127
	週期	15.4	158.7	80.3	16.3	169.5	82.0	13.9	185.2	102.0	14.8	128.2	78.7
	能譜	.8880E6	.3793E5	.3028E6	.8931E4	.2478E5	.1542E5	.3292E4	.2255E5	.6725E5	.4939E5	.8545E5	.3740E5
8月21日 10:00	頻率	0.0700	0.0063	0.0107	0.0654	0.0049	0.0117	0.0625	0.0049	0.0103	0.0605	0.0068	0.0127
	週期	14.3	158.7	93.5	15.3	204.1	85.5	16.0	204.1	97.1	16.5	147.1	78.7
	能譜	.2966E6	.8782E5	.1611E6	.1677E4	.1280E6	.5571E4	.1195E4	.1031E6	.4571E5	.1621E5	.4272E5	.2536E5
8月21日 12:00	頻率	0.0775	0.0063	0.0107	0.0713	0.0049	0.0107	0.0713	0.0049	0.0127	0.0649	0.0068	0.0127
	週期	13.2	158.7	93.5	14.0	204.1	93.5	14.0	204.1	78.7	15.4	147.1	78.7
	能譜	.6116E6	.6260E5	.2402E6	.3042E4	.6674E5	.5597E4	.3271E4	.6571E5	.3758E5	.1835E5	.2341E5	.6747E5
8月21日 14:00	頻率	0.0650	0.0060	0.0112	0.0615	0.0060	0.0117	0.0635	0.0049	0.0127	0.0610	0.0063	0.0122
	週期	15.4	158.7	89.3	16.3	158.7	85.5	15.8	204.1	78.7	16.4	158.7	82.0
	能譜	.4966E6	.2408E5	.6200E5	.2059E4	.1916E5	.2733E4	.1233E4	.2072E5	.2143E5	.9855E4	.8770E4	.3958E5

註：能譜單位 (cm²/Hz)

表 C-11 83年8月19日~8月21日 弗雷特颱風在花蓮港港內、外波浪能量集中週期比較表

日 期	港 外	内 港				外 港									
		#8 碼頭		#10碼頭		#17 碼頭		#22 碼頭							
		頻率	ST. 2	0.0088	0.0112	0.0030	0.0054	0.0122	0.0742	0.0049	0.0117	0.0025	0.0063	0.0122	0.0649
8月20日 16:00	頻率	0.0700		0.0068	0.0112	0.0030	0.0054	0.0122	0.0742	0.0049	0.0117	0.0025	0.0063	0.0122	0.0649
	週期	14.3		147.1	89.3	15.9	185.2	82.0	13.5	204.1	85.5	16	158.7	82.0	15.4
	能譜	.4737E6		.4879E5	.3827E6	.3620E4	.3567E5	.1666E5	.6617E3	.3150E5	.1804E5	.9607E4	.2242E5	.6862E5	.1319E6
8月20日 18:00	頻率	0.0750		0.0088	0.0117	0.0771	0.0063	0.0112	0.0747	0.0054	0.0093	0.0107	0.0752	0.0054	0.0654
	週期	13.3		147.1	85.5	13.0	158.7	82.0	13.4	185.2	93.55	13.3	185.2	78.7	15.3
	能譜	.2475E6		.9812E5	.5626E5	.1203E4	.6482E5	.5969E4	.1483E4	.2666E5	.2423E5	.9494E4	.1436E5	.1243E5	.1039E6
8月20日 20:00	頻率	0.0725		0.0063	0.0112	0.0737	0.0063	0.0112	0.0737	0.0054	0.0103	0.0064	0.0068	0.0127	0.0659
	週期	13.8		158.7	89.3	13.6	158.7	89.3	13.6	185.2	97.1	15.1	147.1	78.7	15.2
	能譜	.2044E6		.2649E5	.3060E6	.1179E4	.1757E5	.7045E4	.2695E4	.5763E4	.4785E4	.7068E4	.2613E5	.1635E5	.1880E5
8月20日 22:00	頻率	0.0825		0.0063	0.0112	0.0776	0.0063	0.0112	0.0723	0.0040	0.0103	0.0776	0.0068	0.0140	0.0645
	週期	12.1		158.7	89.3	12.9	158.7	89.3	13.8	204.1	97.1	12.9	147.1	68.5	15.5
	能譜	.1862E6		.1665E5	.2089E6	.2769E3	.1349E5	.7323E4	.1995E3	.3732E4	.1089E5	.5570E4	.9127E4	.1150E5	.9974E4
8月21日 00:00	頻率	0.0775		0.0073	0.0112	0.0610	0.0063	0.0117	0.0728	0.0054	0.0107	0.0811	0.0068	0.0137	0.0801
	週期	13.2		136.0	89.3	16.4	158.7	85.5	13.7	185.2	93.5	12.3	147.1	73.0	12.5
	能譜	.1592E6		.7453E4	.1795E5	.7542E3	.2491E4	.7819E3	.3666E3	.1074E4	.9173E3	.1921E4	.9086E4	.2707E4	.7532E4
8月21日 02:00	頻率	0.0750		0.0068	0.0112	0.0767	0.0068	0.0112	0.0732	0.0054	0.0132	0.0801	0.0078	0.0127	0.0698
	週期	13.3		147.1	89.3	13.0	147.1	89.3	13.7	185.2	75.8	12.5	128.2	78.7	14.3
	能譜	.1609E6		.1533E5	.3884E5	.7481E3	.7692E4	.1050E4	.6509E3	.3643E4	.9425E4	.2434E4	.1011E5	.2856E5	.8390E4
8月21日 04:00	頻率	0.0725		0.0068	0.0112	0.0689	0.0068	0.0137	0.0732	0.0054	0.0137	0.0698	0.0073	0.0127	0.0728
	週期	13.8		147.1	89.3	14.3	147.1	73.0	13.7	185.2	73.0	14.3	137.0	78.7	13.7
	能譜	.9262E5		.3122E5	.6055E4	.8749E3	.2152E5	.6365E3	.5508E3	.7815E4	.7796E4	.6154E4	.1700E5	.1432E5	.1152E5

註：能譜單位 (cm²/Hz)

表 C-12 83年8月19日~8月21日 弗雷特颱風在花蓮港港內、外波浪能量集中週期比較表

日期	港外	港內						港外					
		#8 碼頭			#10 碼頭			#17 碼頭			#22 碼頭		
8月21日 06:00	頻率	0.0700	0.0068	0.0107	0.0635	0.0054	0.0117	0.0786	0.0054	0.0107	0.0674	0.0078	0.0137
	週期	14.3	147.1	93.5	15.7	185.2	85.5	12.7	185.2	93.5	14.8	128.2	73.0
	能譜	.4544E5	.2366E4	.9617E4	.2767E4	.5792E4	.2232E3	.8630E3	.6754E4	.4612E4	.2882E4	.8577E4	.3633E4
8月21日 08:00	頻率	0.0725	0.0068	0.0112	0.0625	0.0068	0.0117	0.0742	0.0073	0.0117	0.0742	0.0073	0.0132
	週期	13.8	147.1	89.3	16.0	147.1	85.5	13.5	137.0	85.5	13.5	137.0	75.8
	能譜	.6616E5	.4142E4	.1779E5	.9411E3	.2281E4	.7592E3	.2525E4	.1777E4	.1439E4	.2742E4	.1691E4	.7265E4
月 日	頻率												
	週期												
	能譜												
月 日	頻率												
	週期												
	能譜												
月 日	頻率												
	週期												
	能譜												
月 日	頻率												
	週期												
	能譜												
月 日	頻率												
	週期												
	能譜												

註：能譜單位(cm^2/Hz)

表 C-13 83年8月31日~9月1日 葛拉絲風在花蓮港港內、外波浪能量集中週期比較表

日期	港外 ST.2	內港			外港		
		#8 碼頭			#17 碼頭		
8月31日 14:00	頻率						
	週期						
	能譜						
8月31日 15:00	頻率						
	週期						
	能譜						
8月31日 16:00	頻率						
	週期						
	能譜						
8月31日 17:00	頻率						
	週期						
	能譜						
8月31日 18:00	頻率	0.1175					
	週期	8.5					
	能譜	.14945					
8月31日 19:00	頻率						
	週期						
	能譜						
8月31日 20:00	頻率	0.0775				0.0078	0.0127
	週期	12.9				128.2	78.7
	能譜	.3930E5				.6966E3	.7398E3
8月31日 21:00	頻率					0.0073	0.0127
	週期					137.0	78.7
	能譜					.3910E3	.9382E3
8月31日 22:00	頻率	0.0800				0.0063	0.0127
	週期	12.5				158.7	78.7
	能譜	.4672E5				.4506E3	.1126E4

註：能譜單位(cm^2/Hz)

表 C-14 83年8月31日～9月1日 葛拉絲風在花蓮港港內、外波浪能量集中週期比較表

日期	港外 ST. 2	內港			外港		
		#8 碼頭			#10 碼頭		
						#17 碼頭	#22 碼頭
8月31日 21:00	頻率					0.0068	0.0146
	週期						0.0811
	能譜					147.1	68.5
8月31日 22:00	頻率						12.3
	週期						
	能譜					.6074E3	.1586E4
8月31日 23:00	頻率						.1210E4
	週期						
	能譜					0.0073	0.0127
9月01日 00:00	頻率					137.0	78.7
	週期						12.4
	能譜					.0180E3	.1920E4
9月01日 01:00	頻率						3512E4
	週期						
	能譜					0.0073	0.0127
9月01日 02:00	頻率					137.0	78.7
	週期						12.5
	能譜					.4739E3	.1764E4
9月01日 03:00	頻率						.2874E4
	週期						
	能譜					0.0073	0.0127
9月01日 04:00	頻率					137.0	78.7
	週期						13.8
	能譜					.1265E4	.8667E3
9月01日 05:00	頻率						.1320E5
	週期						
	能譜					0.0073	0.0132
9月01日 06:00	頻率					137.0	75.8
	週期						12.4
	能譜					.2293E4	.3831E4
9月01日 07:00	頻率						.7167E4
	週期						
	能譜					0.0132	0.0708
9月01日 08:00	頻率					147.1	14.1
	週期						
	能譜					.4563E4	
9月01日 09:00	頻率						
	週期						
	能譜					0.0137	0.0701
9月01日 10:00	頻率					73.0	12.6
	週期						14.2
	能譜					.3367E4	.3939E4

註：能譜單位(cm^2/Hz)

表 C-15 83年8月31日～9月1日 葛拉絲風在花蓮港港內、外波浪能量集中週期比較表

日期	港外 ST. 2	港内			港外							
		#8 碼頭	#10 碼頭		#17 碼頭		#22 碼頭					
9月01日 04:00	頻率		0.0063	0.0112	0.0737	0.0068	0.0103	0.0098	0.0063	0.0127	0.0654	
	週期		158.7	89.3	13.6	147.1	97.1	14.3	158.7	78.7	15.3	
	能譜	.4313E6	.5938E5	.2455E4	.2770E4	.8284E4	.1182E5	.9487E4	.9743E4	.3878E5	.4808E5	
9月01日 05:00	頻率	0.0675		0.0063	0.0117	0.0713	0.0063	0.0103	0.0098	0.0063	0.0132	0.0635
	週期	14.8		158.7	85.5	14.0	158.7	97.1	14.3	158.7	75.8	15.7
	能譜	.7580E6		.1052E6	.2500E4	.2881E4	.1990E5	.1835E5	.6518E5	.1084E5	.3715E5	
9月01日 06:00	頻率			0.0063	0.0112	0.0718	0.0054	0.0107	0.0093	0.0068	0.0127	0.0654
	週期			158.7	89.3	13.9	158.2	93.5	14.4	147.1	78.7	15.3
	能譜			.4008E5	.3971E4	.1867E4	.2468E5	.1727E5	.1591E5	.4830E5	.6290E5	.8596E5
9月01日 07:00	頻率	0.0675		0.0063	0.0117	0.0723	0.0073	0.0127	0.0713	0.0059	0.0127	0.0645
	週期	14.8		158.7	85.5	13.8	137	78.7	14.0	169.5	78.7	15.5
	能譜	.1824E7		.1602E6	.1714E4	.1105E4	.1623E5	.1359E5	.9055E4	.2917E5	.4146E5	.1632E6
9月01日 08:00	頻率	0.0750		0.0063	0.0112	0.0718	0.0054	0.0112	0.0703	0.0068	0.0122	0.0640
	週期	13.3		158.7	89.3	13.9	185.2	89.3	14.2	147.1	82.0	15.6
	能譜	.7806E6		.1352E6	.1727E4	.1036E4	.4191E5	.1466E5	.8623E4	.2684E5	.2192E5	.1422E6
9月01日 09:00	頻率			0.0063	0.0112	0.0718	0.0054	0.0112	0.0811	0.0078	0.0127	0.0645
	週期			158.7	89.3	13.9	185.2	89.3	12.3	128.2	78.7	15.5
	能譜			.1723E5	.1430E4	.8940E3	.2347E5	.5538E4	.9716E4	.7103E5	.5801E5	.4050E5
9月01日 10:00	頻率	0.0850		0.0063	0.0117	0.0728	0.0049	0.0122	0.0845	0.0063	0.0127	0.0806
	週期	11.8		158.7	85.5	13.7	204.1	82.0	11.8	158.7	78.7	12.4
	能譜	.2581E6		.2523E5	.8044E3	.2181E3	.6767E4	.3701E4	.3946E4	.5709E4	.2631E5	.6242E4

註：能譜單位 (cm²/Hz)

參、台中港港口擴建後海氣象調查研究(VI)

目 錄

一、前 言	3-1
二、現場調查概況	3-3
三、波浪基本資料分析與特性	3-6
四、海流基本資料分析與特性	3-9
五、潮汐基本資料分析與特性	3-13
六、風速風向基本資料分析與特性	3-14
七、波浪、海流、風、潮汐間的相關特性	3-17
八、北防波堤延長效益評估—模型試驗數值計算 與現場調查結果比較.....	3-20
九、結果與討論	3-31
十、結語	3-34
十一、附圖.....	3-35

參、台中港港口擴建後海氣象調查研究(VI)

一、前言

台灣省政府交通處台中港務局，為徹底瞭解現有北防波堤延伸八百五十公尺後外廓防波堤之遮蔽效果，除作為評估港口擴建工程成效之依據外，並為未來擴建之參據。特委託台灣省政府交通處港灣技術研究所(以下簡稱本所)辦理台中港附近海域冬季季風與夏季季風及颱風期間波浪、海流、風及潮汐調查研究分析。

根據本所之經驗，完整之海氣象調查，必須包含現場波浪之觀測(wave observation)、海流實測(current measurement)、潮汐水位實測及分析(tide record and analysis)及風向風速觀測(wind observation)。因此現場實測調查研究計畫乃依據上述各項調查，就調查的內容，測定的方法，施測的頻率以及資料之分析，於下章中依序說明之。

民國七十年起，本所即接受中國石油公司委託進行台中港港口流況調查研究，其中包括當時港口外現場流況調查以了解台中港港口附近流況受風浪、海流及潮汐之影響，再利用現場所得資料決定數值模式的邊界條件及校核數值模型的正確性，使現場流況在模型上重現，綜合實測、數值模式及水工模型試驗的結果作出結論，提供中油公司參考。接著自民國七十年至七十二年，本所基本研究計畫辦理台中海岸流況調查研究計畫，並利用水工模型作沿岸流及碎波流況試驗。民國七十五年九月至七十七年六月，所接受台中港務局委託進行台中港港口擴建流況調查研究及水工模型試驗，其中包括港口附近在冬季強風侵襲時流速分佈情形，作為規劃港口擴建、延伸防波堤之依據。並利用流體力學方程式

建立近岸海流數值模式，以現有防波堤的形式設計一基本模式，配合實測資料，以驗證模式之正確性。並為瞭解未來北外廓防波堤擴建後，遮蔽效果及領港登輪區領港人員登輪之難易，辦理水工模型試驗。民國七十八年至七十九年，台中港務局委託本所辦理台中港港口擴建北防波堤延伸堤頭動床試驗，以瞭解防波堤延伸後堤頭穩定情形，辦理堤頭穩定三維動床試驗，以期能良好掌握擴建延長後港池波浪及堤頭穩定狀況。民國八十年至八十一年，台中港務局再次委託本所進行沈箱式防波堤施工中海床沖刷防治研究之流況調查部份，主要是考慮在強勁東北季風盛吹時堤頭附近的流況及其受風、潮汐等之影響及關係特性。由上述之資料作為台中港北防波堤延伸850公尺前之背景資料外，並可將以往之實測結果納入本計畫中共同分析，作為延伸850公尺後之參考，相信在本所有系統性之整理後，對於台中港附近海域之海氣象變化能有更深入之瞭解。由本所建立統一系統資料，以期作為台中港在日後規劃、設計之重要參考。

二、現場調查概況

2-1 波浪觀測

1. 觀測儀器

- (a) 浮球式波向波高波浪儀一組
- (b) 浮球式波浪儀三組

2. 作業內容

(a) 長期觀測

本所已於民國八十三年九月於北防沙堤西北西方約800公尺水深-13公尺ST.1處設置一浮球式波向波高波浪儀正式運轉做一長期波浪觀測站。

(b) 短期觀測

於台中港北防波堤距堤頭約200公尺之間(ST.2)及南防波堤以南附近(ST.4)位置如圖3-1，設置一浮球式波浪儀，依合約須在83、84年冬季季風期間各觀測二至三鋒面過境時之波浪，但本所於八十三年十月在ST.2與ST.4兩站各安裝一組浮球式波浪儀，因安裝時費時費力，資料蒐集不易，因此本所決定在整個冬季期間都連續觀測，八十四年四月收回保養，七月及九月分別再安裝ST.2站與ST.4站。本計畫進行觀測期間因人為的破壞陸續損失十二組閃光浮燈與浮筒，但一有損失台中港務局信號台來電通知後即迅速補充，所以波浪儀都沒有損失。

2-2海流觀測

1. 觀測儀器

使用RCM-4或RCM-7自記式海流儀或同品質之自記式海流儀共六具。

2. 作業內容

(1) 長期觀測

本所在八十三年九月與波浪觀測站ST.1同測站，水面下2-4公尺處安裝一台自記式海流儀，記錄之取樣率定為每十分鐘記錄一次。定期收回儀器收取記錄帶及更換電池。

本省在冬季至前後為烏魚捕捉時期，因此調查工作常常因與漁民之雙托網式之流棘網交會而受到漁民之肆意破壞，因而流失了四部海流儀，故未能取得較完整之流速資料。

(2) 短期觀測

於觀測站ST.2及ST.4二個測站在83年冬季季風與波浪觀測期間短期同時觀測調查。

2-3風速、風向觀測

風向、風速資料對於港口設計及航行之安全有重大之影響，風對港口之佈置必需有足夠之風向風速統計資料作為規劃之參考，以確保船舶出入之安全。

1. 本計劃使用本所在台中港北堤觀測站(ST.7)之風速風向統計實測資料進行分析，並找出海流、波浪與風向、風速之相互關係。

2. 本所希望能在83年4月左右北防波堤堤頭延伸工程完工後即安裝一部風速儀，開始量測至長期監測網系統開始正常運轉止，因該項延伸工程到84年7月尚未完工，但本所希望能收集到較多的資料才能與長期測站(ST.7)重疊一年資料，於84年7月31日第一次安裝完成該觀測網系，但於8月底發覺遭受破壞已停止運轉，即迅速與美國原廠緊急採購零件於85年1月6日再行安裝，但1月24日左右又遭破壞，該系統接收與傳送部份已完全損壞不能使用，經與財政部關稅總局共同討論與現場會勘後得到共識，同意本所在不影響其白燈塔運作下可將觀測監測網系統安裝於白燈塔內。此系安好後將可正常運作而得到良好的資料。

2-4潮汐水位觀測

任何海岸工程或港灣工程進行設計之前首重基準水位之訂定，此須有長期之潮汐水位資料進行分析，根據實測分析之結果，即可得到平均水位、平均高潮位、平均低潮位、最高潮位、最低潮位。藉此可作為海岸結構物設計高度之決定。本計畫使用本所在台中港四號碼頭之潮汐觀測站之實測資料進行分析。

三、波浪基本資料分析與特性

現場調查作業ST.1站使用荷蘭製DATAWELL WAVEWRIDER浮球式波向波高波浪儀；ST.2與ST.4兩站使用同廠牌但沒有波向之波浪儀，其由加速度變化之訊號轉換成水位變化，以無線電傳回本所接收機，再經由RS232直接輸入個人電腦硬碟中儲存。

3-1 資料處理

波浪觀測期站共有三處，資料涵蓋期間自1994年9月底至1996年3月止，下就各站的波浪特性作一分析說明：

- (1) 初步資料分析
- (2) 每一波浪記錄須以零上切法(Zero up-cross method)定出波高及週期，並進行下列分析。
- (3) 每一筆之波浪記錄須分析求出 $H_{\max}$ 、 $T_{\max}$ 、 $H_{1/10}$ 、 $T_{1/10}$ 、 $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ 、 H_{mean} 、 T_{mean} 並列出時間及波數，分別以微電腦磁片儲存及列印出報表紙中。
- (4) 求出每日、每月第(3)條內各項之平均及最大值。

波浪觀測期間之潮汐、風速、風向記錄須與波浪記錄合成繪製時間逐時連續圖。

- (5) 每季調查記錄中選擇最大波浪及最常出現波浪之記錄，進行波譜(wave spectrum)分析。

3-2 波浪基本資料分析

台中港港口附近的波浪觀測站共有三處，資料涵蓋期間自

1994年9月底至1996年3月底至年月止共計十九個月由各月料分析所繪之圖、表整理，以下就本調查海域各站的波浪特性作一分析說明：

1. 由逐時變化圖(圖A-1~圖A-19)，可知在83年10月間分別有三個颱風通過台灣附近海域，其外圍環流及東北季風雙重影響所產生的湧浪與風浪，到達台中港海域ST.1站，所產生之有義波高($H_{1/3}$)、週期($T_{1/3}$)分別為(3.28公尺，7.70秒)；ST.2站所產生之有義波高($H_{1/3}$)、週期分別為(4.21公尺，7.45秒)；ST.4站所產生之有義波高($H_{1/3}$)、週期分別為(3.45公尺，7.22秒)。
2. 本地區波浪主要由冬季東北季風造成，由於海峽吹風區域受到限制，所以波浪之成長與衰退迅速，因此風速與波浪有良好的相關。以ST.1站而言，風速在5m/s左右時 $H_{1/3}$ 在1公尺以下， $T_{1/3}$ 在4~5秒，風速在10m/s左右時， $H_{1/3}$ 在1~2公尺， $T_{1/3}$ 在5~7秒，風速在15m/s左右時， $H_{1/3}$ 在3~4公尺， $T_{1/3}$ 在6~8秒，波向在北北西~北北東之間。
3. 由有義波高發生機率分佈與有義週期發生機率分佈可知台中港之波高與週期的發生次數百分比，在83年10月這段觀測期間的波浪，由於包含了季節風風浪與颱風湧浪合併列入計算，故造成波高、週期的提高。
4. 由其方向波浪能譜立體圖，分別為觀測夏季颱風期間席斯颱風(10月8日至10日)過境時段、泰瑞莎颱風(10月20日至22日)外圍環流影響及弗恩颱風(10月23日至26日)在琉球南方海面滯留，增強了台灣地區的東北季風，由各組波浪記錄分析得到之能譜圖中得知，其波向主要在 $335^{\circ} \sim 350^{\circ}$ 間。

5. 單一能量尖峰的水位能譜型態代表該記錄時段的波浪主要集中於此頻率，波況較單純；亦有雙(或多)能量尖鋒的波譜發生，此時表示波浪有來自不同風場，在觀測站匯聚而成。一般情況可分區域性的風浪(較高頻分量)及遠方颱風與風場產生的湧浪(較低頻分量)匯聚而成。

四、海流基本資料分析與特性

4-1 資料處理

本計畫現場調查作業使用的海流儀為挪威AANDERAA公司出品的自記式RCM-7，將資料直接儲存在DSU記憶體內，取樣時隔為10分鐘。儀器收回後由DSU READER 2995經RS232傳入手提式電腦中，回本所後再進行過濾、初步檢查資料品質、修正謬誤數值、篩選不良記錄後經由整理分析再經由下列方式處理：

- (1)初步資料分析
- (2)流速流向、潮汐、風速、風向、波高、週期等資料以逐時之時間序列繪製成每月連續逐時時間序列圖。
- (3)流速、流向以每小時平均值繪製時間序列柱狀圖及列表。
- (4)流速、流向海流累進向量圖(PVD)。
- (5)每日流速資料之最大值、最小值及其相對應之流向、時間。
- (6)流速、流向玫瑰圖。
- (7)流速、流向極值圖(Scatter plot)。
- (8)比較分析不同測站之流況間關係。
- (9)比較分析潮汐、風與每測站之流況與波浪間關係。

4-2 基本資料分析

台中港港口附近的海流觀測站共有三處，分別是北防沙堤測站ST.1(北緯 $24^{\circ} 19' 25''$ ，東經 $120^{\circ} 30' 44''$ ，水深15公尺)；北防波堤堤頭站ST.2(北緯 $24^{\circ} 18'$ ，東經 $120^{\circ} 28' 09''$ ，水深25公尺)；南防波堤登輪區測站ST.4(北緯 $24^{\circ} 17' 10''$ ，東經 $120^{\circ} 29'$ ，水深11公尺)，資料涵蓋期間自1994年9月至1996年2月共18個月。以下就各站的流況特性作一分析說明。

1. 北防沙堤測站(ST.1)

由本站的冬季流況玫瑰圖如圖3-2可發現流向大部分為西南向，此顯示在冬季東北季風吹襲下本站的海流向受風驅流或沿岸流影響，此外由流速分佈極值圖如圖3-3，同樣發現大部份的資料點落在負x與負y的第四象限(正x軸為E向，正y軸為N向)，此也表示流向大致為西南向。在觀測期間曾於83年10月9日測得本站最大流速可達87cm/sec。由行進向量圖圖3-4也可明顯看出主要流向為西南。

由本站的夏季流況玫瑰圖如圖3-5則發現流向分佈較冬季散亂，但主要是南南西與東北兩個方向。此顯示夏季由於風速較小，風驅流不強，使得本站夏季海流含潮流成份較明顯。另外由流速分佈極值圖如圖3-6也可發現相同情形，不過流速較冬季為小。

2. 北防波堤堤頭測站(ST.2)

由冬季流玫瑰圖如圖3-7，可發現大部分的流向分別分佈在西南西及北北西方向，此與北防沙堤測站明顯不同，西南西向的流可能是受到北防波堤結構物的影響，而產生之強制裂流(沿岸流或風驅流受結構物影響而轉向外海之海流)，至於北北西向的流則可能是恒流與潮流所造成。由極值圖如圖3-8，也可發現資料點大部份落在正y軸與負x軸向上，此同樣表示流向大都分佈在西南西向及北北西向上，其中西南西向的流速較北北西向為大。觀測期間曾於85年2月2日測得本站最大流速可達100cm/sec。另外由行進向量圖如圖3-9也可發現流向大都不是西南西向就是北北西向，其中以西南西向的行進距離較北北西向為大，另外配合北堤測風站的風速資料發現當風速較大期間(鋒面來襲時)，流向為西南西，而當風速較小時則流向為北北西，此與前述西南西向的流為強制裂流，而北北西向的流為恒流與潮流的推論一致。

由本站的夏季流沉玫瑰圖如圖3-10發現流向集中在北北西向，此與冬季的情況相較已無西南西的強制裂流，此仍因夏季風向較不穩定且風速較小，使得風驅流及沿岸流減弱之故。由極值圖如圖3-11也可發現資料點大部份落在正Y軸近，表示本站夏季海流為恒流與潮流所組成，其型態較冬季單純。

3. 南防波堤登輪區測站(ST.4)

由冬季流沉玫瑰圖如圖3-12，可發現大部分的流向分佈在北至東北向之間，其分佈的集中程度不似上述兩站，且主要流向與

北防沙堤測站明顯相反，此顯示此站的海流受風的影響不大，也就是風驅流或沿岸流成份不高，主要還是恒流與潮流成份。另外由極值圖如圖3-13也可發現大部份資料點落在正 x 軸及正 y 軸向間，且分佈範圍為廣，不似北防沙堤測站的集中，且最大流速也較小僅70cm /sec左右。由行進向量圖如圖3-14也可看出本站海流大致流向東北，這與北防沙堤測站明顯不同。

而本站夏季的流況由玫瑰圖圖3-15及極值圖3-16可以發現大致與冬季相似，不過流向的分佈較冬季集中，而流速則較小。流場型態仍是以潮流及恒流為主。

五、海流資料庫

本計畫共蒐集台灣近岸海域9個測站的海流資料，如表2-5。

表2-5 台灣近岸海域海流測站相關資料表

測站名稱	代號	時 間	提供單位	原資料來源	備 註
台中港	TC	1981/11-1981/12 1982/04-1982/05 1982/08 1983/03 1985/12-1986/01 1986/03-1986/04 1986/12-1987/03 1988/0311-1988/0427 1992/01-1992/03	港研所	磁帶	RCM-4海流儀 RCM-7海流儀
興達港	SD	1984/08-1985/11	港研所	磁帶	RCM-4海流儀
紅 柴	HT	1982/12- 1984/02-1984/11	港研所	磁帶	RCM-4海流儀
蘇澳港	SA	1986/09-1986/11	港研所	磁帶	ACM-2海流儀
觀 音 (永安)	YA	1982/02-1982/05 1983/05-1994/06	港研所	磁帶	RCM-4海流儀
蘭 嶼	LY	1982/06	港研所	磁帶	RCM-4海流儀
花 蓮	HL	1989/1229-1990/0108 1990/0323-1994/06	港研所	磁帶	RCM-4海流儀 RCM-7海流儀
外傘頂洲	WA	1989/0301-1989/0330	港研所	磁帶	
高 雄	KS	1992/01-1992/12	港研所	磁帶	

六、風速風向基本資料分析與特性

本所北堤觀測站位於北防波堤與北防沙堤間如圖3-1，高程為27公尺。觀測期間共有五十二次強弱不同的東北季風出現，其中有二十次強勁東北季風；在本工作期間冷鋒過境日期如下述：

表 6-1 冷 鋒 過 境 日 期

編號	起迄時間	說 明
1	83.10.06~83.10.06-07	東北季風，8日席斯颱風外圍雙重影響
2	83.10.18~83.10.19	東北季風
3	83.10.20~83.10.23	東北季風增強與泰瑞沙颱風外圍影響
4	83.10.23~83.10.26	弗恩颱風增強東北季風
5	83.11.15~83.11.20	微弱東北季風
6	83.12.02~83.12.03	東北季風
7	83.12.12~83.12.13	東北季風
8	83.12.16~83.12.19	東北季風
9	83.12.20~83.10.21	東北季風
1	83.12.26~83.12.27	東北季風
11	84.01.03~84.01.06	冷鋒，較強勁東北季風
12	84.01.10~84.01.14	冷鋒，較強勁東北季風
13	84.01.15~84.01.15	東北季風
14	84.01.23~84.01.25	冷鋒，東北季風
15	84.01.30~84.02.02	冷鋒，較強勁東北季風
16	84.01.30~84.02.02	冷鋒，較強勁東北季風
17	84.02.08~84.02.12	東北季風
18	84.02.14~84.02.17	冷鋒，較強勁東北季風
19	84.02.20~84.02.22	東北季風
20	84.02.25~84.02.27	東北季風

21	84.03.01~84.02.03	冷鋒，東北季風
22	84.03.04~84.03.05	冷鋒，較強勁東北季風
23	84.03.10~84.03.13	冷鋒，較強勁東北季風
24	84.03.16~84.03.18	冷鋒，東北季風
25	84.03.25~84.03.26	冷鋒，較強勁東北季風
26	84.04.01~84.04.07	東北季風
27	84.09.11~84.09.15	微弱東北季風
28	84.09.21~84.09.22	賴恩颱風，增強東北季風
29	84.10.05~84.10.11	東北季風
30	84.11.03~84.11.04	東北季風及安琪拉颱風外圍影響
31	84.11.07~84.11.08	東北季風
32	84.11.14~84.11.16	東北季風
33	84.11.19~84.11.22	東北季風
34	84.11.24~84.11.25	冷鋒，強勁東北季風
35	84.12.03~84.12.09	強勁東北季風
36	84.12.12~84.12.16	東北季風
37	84.12.17~84.12.19	東北季風
38	84.12.20~84.12.22	東北季風
39	84.12.24~84.12.27	強勁東北季風
40	84.12.29~85.01.01	冷鋒，強勁東北季風
41	85.01.08~85.01.11	冷鋒，強勁東北季風
42	85.01.12~85.01.14	微弱東北季風
43	85.01.18~85.01.22	強勁東北季風
44	85.01.26~85.01.30	強勁東北季風
45	85.02.01~85.02.03	冷鋒南下，強勁東北季風
46	85.02.05~85.02.065	冷鋒南下，強勁東北季風
47	85.02.09~85.02.10	冷鋒南下，強勁東北季風

48	85.02.17~85.02.20	冷鋒南下，強勁東北季風
49	85.02.18~85.02.18-22	冷鋒，強勁東北季風
50	85.03.01~85.03.02	冷鋒，強勁東北季風
51	85.03.08~85.03.11	冷鋒，強勁東北季風
52	85.03.17~85.03.20	微弱東北季風

冬季月份之風玫瑰圖以1996年2月份為例如圖3-18，顯示風向主要集中在東北方向，大約佔60%，風速超過15m/sec者約佔12%，呈現典型的冬季東北季風型態。夏季月份之風玫瑰圖以1995年7月份為例如圖3-1中顯示風向集中在南及南南西方向大約佔50%，風速超過10m/sec者約佔5%，是屬夏季西南季風型態。此外由於夏季季節、動量傳遞作用明顯常使台中港風速出現日變化。空氣受到太陽輻射作用而使動量傳遞增強，所以台中港的風速常於午後增大，傍晚開始減弱，而於午夜至翌日清晨風速最小如圖3-20所示。

七、波浪、海流、潮汐及風相關分析

在本計畫調查作業期間，雖曾同時進行多項海氣象觀測，然受限於觀測方式，儀器穩定度及自然天氣狀況等等因素，而無法同時得到長期連續的各項資料。但為了進行相關分析，因此由觀測資料中擷取分別分佈於不同月份的六個時段，各段皆有7天以上的長度且在此六個時段各項海氣象資料皆完整正常。這六個時段分別是94/11/06：10～94/11/21：08、94/12/01：00～94/12/14：23、95/02/12：12～95/02/28：23、95/03/01：00～95/03/12：23、95/07/04：15～95/07/24：23及95/08/12：17～95/08/31：23。今將上述各時段的各測站海流資料，進行測站間相關分析，並以同時段的風速及潮位資料與流速變化作相關分析，藉此明瞭本海域海受風及潮汐的影響情形及不同測站間的流況變化。此外進行不同測站間的波浪資料相關性分析，同時也對各測站的波高、週期與同時段的風速變化相關性分析，以瞭解本海域波浪場的特性。

(一)不同測站間海流相關分析

由代表冬季時段的圖3-21中可發現ST.1站與ST.2站間流速的相關係數值在時間延時為-2時左右皆可達0.5以上，可見此兩站的流速變化趨勢稍具相關性而且無太大的時間差。至於流向由於相關係數值於各時間延時皆不大故相關性不高。同上述時段另外由圖3-22中可看出ST.2站與ST.4站間流速的相關係數值於時間延時為2小時附近皆達0.5以上，此顯示這兩站的流速變化趨勢也稍具相關性，(ST.4站落後ST.2站)，而流向間的相關性仍然不高。由以上說明可知冬季台中港附近的海流流速變化趨勢大致存在著某一程度的關連，但流向變化則受到結構物及近岸影響而關連性低。

由代表夏季時段的圖3-23中顯示ST.1站與ST.2站間流速的相關係數值於各時間延時皆不高(低於0.25)，此與上述冬季情況明顯不同。但是ST.2站與ST.4站間流速的相關係數值於時間延時2小時附近可達0.5以上如圖3-24。此表示這兩站的流速變化趨勢仍稍具相關性。至於各測站間的流向變化相關性仍然不高。

(二)流速與風速相關分析

由代表冬季時段的圖3-25及圖3-26中可發現ST.1站流速與風速的相關係數值於11月的時段皆可達0.75以上(延時約2小時)，但在2月的時段則不到0.25。此原因是在11月的時段中有多次強烈鋒面發生，因此風速大且持續穩定的時間也較長，相反的2月的時段中風速較小且較不穩定(此可由風玫瑰圖中可發現)。因此ST.1站的流速與強勁東北季風有密切關係。換句話說ST.1站的海流於強勁季風吹襲時是屬風驅流型態。ST.2站流速與風速的相關性可參考圖3-27及圖3-28，圖中顯示相關係數最大值並不高，且時間延時也不太穩定，此表示此站的流速與風速的相關性並不高，此原因可能是ST.2站的位置是在北防波堤堤頭附近，海流因受結構物影響而有不少的成份是屬強制裂流所造成。

由代表夏季時段的圖3-29、圖3-30及圖3-31顯示三站的流速與同時段風速相關係數值不高，此表示夏季海流中風驅流的成份較冬季為小。

(三)流速與潮位相關分析

ST.1站流速與潮位的相關性如圖3-25及圖3-26所示於冬季時段皆不高(相關係數值約0.25以下)，不過詳細比較後可看出於風速較小的時段2月份，其相關係數值較風速較大的11月時段來得稍大些，但不是很明顯。可見當風速變小時，潮流成份所佔的比例會增

加。至於ST.2站流速與潮位的相關性如圖3-27及3-28所示，其結果與ST.1站相似。至於夏季時段參照圖3-29、圖3-30及圖3-31可發現ST.1站的流速變化與潮位相關性不高，但ST.2站與ST.4站的流速變化與潮位相關性較高，其相關係數值於時間延時約5小時左右有較大值達0.5以上。

(四)波浪相關分析

本計畫波浪調查的三個測站相互之間有義波高的相關性可由冬季時段的圖3-32及夏季時段的圖3-33中得知，在冬季的時段各測站間的波高相關係數值於時間延時零時左右皆可達0.9以上；而夏季時段雖較小，但也可達0.7以上，此顯示這三個測站的波高變化趨勢具有相當的一致性。

三測站的有義波高與風速的相關性可由冬季時段的圖3-34及夏季時的圖3-35發現無論冬、夏季各測站有義波高與風速的相關係數值於時間延時-2小時左右可達0.7左右，這顯示台中港海域的波浪變化趨勢與風速變化有密切相關性，此與以往的研究結果相似。

八、台中港港口擴建北防波堤延長效益評估 — 模型試驗 數值計算與現場調查結果比較

台中港港口擴建延長防波堤前，曾辦理多次海象氣象調查、水工模型試驗及數值模擬計算，本章簡略介紹調查、試驗及計算結果。台中港擴建完成後為了解港口波浪及流況分佈特性再度委託本所辦理海象氣象調查，作為評估防波堤延伸效益之依據。本章利用堤頭前及登輪區附近所測得波浪、流速、流向資料與港口擴建前遮蔽試驗及數值模擬計算結果作比較分析。比較結果顯示現場實測波浪資料與不規則波水工模型遮蔽試驗結果相當符合；流況模擬計算則因邊界受限及計算前驗證資料不足產生較大差異。本所利用 MIKE 21 計算結果與實測資料有一致之趨勢。

一、前言

台中港原港口外廓防波堤佈置係根據日本調查團與中華顧問工程司所提佈置，再參考專家學者意見，經多次模型試驗修正後所獲得防沙防浪最佳佈置。民國 65 年外廓防波堤完成後，實測資料證實台中港外廓防波堤確實發揮防沙防浪效果。設計最大進港船型(巴拿馬極限級貨輪)於正常天候條件在領港人員領航下均能順利進港靠泊。但在強烈季節風侵襲期間，風速強勁，波浪洶湧，除領港人員登輪不易外，港口橫風、橫流影響進港船隻安全。民國 83 年台中港吞吐量近 34,000,000 公噸，進港船達 3,780 艘次，其中約 1 % 超過 40,000GT。平均船噸由 74 年 7,400GT 增加至 83 年 11,700GT。營運資料顯示，台中港近十年來進港船隻數量劇增，平均船舶噸位亦大幅增長。

台中港務局為改善港口操船條件，以因應冬季季節風盛吹時，大型船舶能安全進泊，除根據 70 年中油公司委託本所測取冬季強風侵襲時港口流況資料外，民國 74 年曾再委託本所辦理現場流況調查，以蒐集數值計算、水工模型試驗及操船模擬等驗證資料，作為評估港口擴建防波堤延伸計畫之依據。

根據台中港港口擴建計畫評估研究結果，台中港務局於民國 80 年進行港口擴建，延伸北防波堤 850m。北防波堤延長工程在 83 年底大致完成，台中港務局為瞭解北防波堤延長 850m 後，港口流況特性及登輪區遮蔽效果，委託本所辦理流況及波浪調查研究，作為評估港口擴建工程成效之依據。本章除對港口擴建後流況數值計算與現場實測結果作比較分析外，並就北防波堤延伸後登輪區波浪實測資料探討模型試驗可靠性，作為評估北防波堤延伸對改善港口操船效益之依據。

二、往昔調查試驗研究

(一)中油公司 LNG 計畫港口流況調查

中油公司為了解冬季港口流速作為規劃 LNG 進口站依據，在民國 70 年委託本所進行港口流況及相關海氣象調查研究，實測強風作用下港口流況，測站位置如圖 3-36 所示。本所配合年度研究計畫在台中海岸長期觀測風力與潮汐，海流與波浪則分冬季、夏季進行兩次觀測。

冬季冷鋒過境，風速急劇增加，引進強大風驅流。港口北防波堤堤端前約 800m 及 200m，B、C 兩測站在 70 年 11 月 26 日至 28 日及 12 月 1 日至 3 日間流速、流向及對應風速風向與潮汐延時變化繪如圖 3-37 及 3-38。測站 B 在冷鋒過境東北季風增強

時流速與風速關係密切，相關係數超過 0.8 以上，風速領先流速約 2 小時，流速以風驅流為主。風速減弱時，則以恒流及潮流為主，流速隨半日潮週期變化，高潮時最小，漲潮至平均水位時段流速最大。接近堤頭測站 C，在東北季風盛吹時受波浪產生之強制裂流影響，低潮時碎波帶接近測點，且橫流通過堤頭斷面因水深減小而縮減，流速劇增；高潮時，碎波帶遠離 C 測站，水深增大流速減緩，而與 B 測站相近。民國 70 年 11 月 27 日 8 時測站 C 測得風速超過 20m/s 低潮時流速達 212cm/s，流向沿北防波堤線向西南西流；同時間測得測站 B 流速為 108cm/s，流向約為 225° 高潮時測站 C 流速減慢與 B 站相近，流向亦往南偏接近 230°。

風速減低時，風驅流減小，碎波帶與測站 C 距離增加，測站流速除受恒流影響外，隨潮汐漲落而變化，如圖 3-39。高潮時流速減至 20cm/s 左右，低潮時增至 40cm/s 上下，測站 B 與 C 趨勢相同，B 站流向穩定偏 NNE，C 站流速、流向變化略大。

(二)台中港港口擴建流況調查

台中港務局為瞭解冬季強風侵襲時，港口附近流速分佈特性作為規劃港口擴建，延伸防波堤之依據。民國 74 年委託本所辦理流況調查，本次調查工作因遭受漁民肆意破壞未能測取得較大風速時港口流速資料。但分析各測站流速資料顯示港口流況特性與民國 70 年極為一致。沿岸流速與風速分量相關係數高達 0.89，風速領先流速約二小時。北防波堤前約 800m 測站 B 流速與風速關係顯示風速在 20m/s 時 B 測站流速約為 140cm/s。研判此時北防波堤堤端 200m 附近流速可達 200cm/s。東北季風轉弱，港口流速受恒流及潮流影響，東北向恒流強度約 30cm/s。

(三)台中港港口擴建水工模型試驗

台中港務局為了解北防波堤延伸後領港登輪區波浪遮蔽效果及對港內水域穩靜度影響，在 76 年委託本所辦理遮蔽及船舶運動水工模型試驗。試驗結果選定北外防波堤沿航道平行方向延長 850m，南外防波堤拆除七個沉箱，南內堤拆除 50m 為定案佈置。定案佈置南外堤與內堤堤頭拆除後影響港內穩靜，建議在北外堤內側佈置消波設施。台中港務局進行港口擴建時為顧及北防波堤延長後受偏西向波浪作用，影響港池水域穩靜，暫不拆除南內、外防波堤。北防波堤沿航道平行方向延長 750m, 850m 及 1000m 受偏北向波浪作用時登輪區發揮不同之遮蔽效果，NNW 向入射波試驗結果各種不同週期各區波高係數分佈如圖 3-40。受北防波堤遮蔽，NNW 向波浪侵襲時，登輪區附近波高係數減為外海入射波高之 0.6 至 0.7 倍。

(四)台中港港口擴建海流數值模擬

台中港辦理多次流況調查，已能逐步掌握現有港口流況特性；但為了解各種擴建佈置可能造成流況改變，必需利用數值模擬加以計算，以作為操船模擬之依據。海流數值計算由荷蘭 PRC 工程顧問公司辦理。PRC 工程顧問公司針對潮汐、風與波浪時間週期差異所造成海流尺度不同，分別採用 CURMO 及 REFRAC 二種程式計算。

REFRAC 程式以折射理論同時考慮波浪淺化、碎波及底床摩擦能量消散等至各網格點波高，再計算各點之輻射應力輸入 CURMO 模式。CURMO 程式係以動量平衡及流體連續公式計算海水流動。平均潮位，風速在 15m/s，波高 2.5m 時定案佈置計算結果流況分佈如圖 3-41。流向由北防波堤堤頭前 200m 西南西向往外海逐漸向南偏，堤頭前 800M 附近流向轉

為西南，流速約為 80cm/s。風速增強除流速逐漸增大外，堤頭附近流向往西偏，漸趨平行防波堤，但距堤頭較遠處受防波堤影響漸減，水流逐漸向西南流。

三、擴建後海氣象調查

台中港務局為瞭解港口擴建北防波堤延長 850m 後，港口流況及領港登輪區遮蔽效果，作為評估港口擴建效益之依據，在民國 83 年委託本所辦理港口附近海域海、氣象調查。此外，台中港務局為因應船舶大型化發展趨勢，針對台中港港口擴建後既有港灣設施提供大型船舶進港安全進行評估研究，並研擬改善方案提供未來擴建規劃參考，委託本所辦理港口段航道設置減風設施可行性研究並計算港口流況。港口海氣象現場調查包括波浪、海流、潮汐及風力四個主要項目，測站佈置如圖 3-36。謹就資料蒐集分析結果分別報告如下：

1. 波浪觀測

本所於民國 82 年在北防沙堤堤頭西北西方約 800m，水深 13m 測站 1(ST.1) 處設置超音波波高計，長期紀錄台中港外海波浪資料，但因北淤沙區整治抽沙造地，電纜遭受損毀，82 年 10 月紀錄中斷。83 年 9 月以浮球式波浪儀觀測 ST.1 波浪。此外為了解領港登輪區遮蔽效果，分別在堤頭前約 800m 測站 2(ST.2)及領港登輪區附近測站 4(ST.4)安裝浮球式波浪儀觀測短期波浪。

冬季期間民國 83 年 10 月至 85 年 3 月 ST.1，ST.2 及 ST.4 三波浪測站波高超過值統計分佈繪如圖 3-42。堤頭 ST.2 測站波浪偏大，波高超過 2.5m 佔 29.6%，登輪區受北防波堤有效遮蔽波高大於 2.5m 所佔機率減為 3.3%。波高大於 2.0m 所佔

機率亦由 ST.2 約 54 %，降低為 ST.4 的 9 %。相反的波高小於 1.5 % 所佔機率由 ST.2 約 28 % 提高為 ST.4 約 77 %。ST.1 波高分佈機率則介於 ST.2 與 ST.4 之間。週期分佈分析結果顯示，ST.1 及 ST.2 二測站週期相當一致，集中分佈於 5sec 至 7sec，所佔概率超過 85 %；ST.4 測站受防波堤遮蔽影響，週期集中在 4sec 至 6sec，所佔機率超過 90%。為比較冬季東北季風侵襲時防波堤延長對登輪區遮蔽效果，除分析波高超過值累積機率外，選擇同時間三測站，所測取波浪資料，同時間每日波高與週期比值繪如圖 3-43。堤頭前測站(ST.2)波高最大，北沙堤堤頭外側測站(ST.2)波高較登輪區(ST.4)略大。由圖 3-37 可知東北向風浪侵襲時，受北防波堤遮蔽影響，登輪區波高減為外海(堤頭前)波高之 0.5 至 0.6 倍；登輪區波浪週期較外海略減，兩測站比值約為 0.8。

夏季偏西南向波浪作用時，短期間三測站，波高週期延時變化如圖 3-44，測站 1 及 4 所測得波高反比測站 2 略大。

2. 海流觀測

台中港港口擴建海流調查配合波浪測站設置三個測點(ST.1, St.2 及 ST.4)測站 1 水深 15m，測站 2 水深 25m，測站 4 水深 11m，海流儀採用挪威 AANDERAA 公司自記式 RCM-7 海流儀，每隔 10min 測取平均流速直接儲存於內部記憶體，儀器收回後經由 RS232 介面卡輸入 PC 中，再進行過濾與資料品質檢驗，篩選良好資料作處理分析。

流速流向分析統計結果如圖 3-45。測站 1 受防波堤防沙堤結構物影響甚小且較近岸邊，冬季東北季風盛吹時，受強烈風吹流及漲退潮影響較大，受洋流影響較小，流向偏西南，其中

SW, WSW 及 SSW 三方向佔 70 % 以上。11 月 6 日至 1 月 8 日二個月中測站水深 15m，儀器安置在水下 6m 處有 16.2 % 流速超過 50cm/sec；2 月 12 日至 3 月 18 日流速減小，僅 5.4 % 超過 50cm/sec。測站 2 受堤頭束流影響，流向由測站 1 偏西南轉為偏西向。風浪較大的流速流向受風吹流及碎波後產生之沿岸流影響較大，流向偏西；風速減小時流向隨潮汐漲落改變。流速流向分佈統計圖顯示，1 月 8 日至 2 月 2 日約一個月資料中 WSW, W 及 WNW 三方向為主佔 70.4 %，其餘則以 N, NNW 及 NW 三方向為主約佔 27 %；流速約有 50 % 超過 50cm/sec。季風轉弱時，除流速減小外偏西向流速所佔比例亦減小，2 月 12 日至 3 月 26 日一個半月資料中，偏 WSW, W 及 WNW 三個方向所佔比率約 55 %，N, NNW 及 NW 三方向則提高為 43.2 %。測站 4 受北堤延長產生環流影響，流向偏北北東，強風盛吹時西南向風吹流增強偏 SSW、SW 及 S 所佔比率 8.5 %，當風速減弱時偏 SSW, SW 及 S 三方向比率減為 4.9 %，但偏北主流向則由十一月至一月份強風時佔 54.3 %，風速減弱後增加為 67.8 %。流速大於 50cm/sec，由冬季佔 16.1 % 減為春季僅為 1.3 %。

按月流速極值分佈繪如圖 3-47，83 年 11 月份流速極值資料顯示，測站 1 較大，流速極值流向均為西南向，極值較小時流向則平均分佈在各象限。測站 2 流速極值之流向明顯分佈於北偏東及西偏南兩個主方向。偏西之極值較偏北約大 30 %，顯示強風時受潮流、風吹流及沿岸流影響流速增大流向西偏南；風速減低，受海、潮流合併，流向偏北。測站 4 流速極值流向分佈較散亂，極值較大時，流向偏東北及西北。整體而言，登輪區測站 4 流速極值甚少超過 50cm/sec，流向隨潮汐漲落而轉變。

為更進一步了解潮汐漲落及風力強弱與三測點流況變化關係，選擇冬、夏季二時段繪製潮位、風矢及流矢延時變化圖，如圖 3-48。冬季風速較小時風向較不穩定，測站 1 流速約在 10cm/sec 以下，流向隨潮汐漲退作 360° 旋轉。風速增強時，主要風向為 NNE，但每日中午前後約 3 至 5 小時風向明顯轉為 NE。測站 1 主流向為 SW，流速隨潮汐漲落略有變化，12 月 3 日至 5 日測站水深 15m，儀器安置於水下 6m 處，風速約在 10m/sec 至 15m/sec 間，流速約為 40cm/sec。測站 2，儀器安裝於水下 8m 處，風速較小時，流向明顯偏北，流速隨潮汐漲退而增減；風速增大時，流向轉為西偏南，退潮時則略為偏北，流速介於 40cm/sec 至 50cm/sec 間。測站 4，儀器安裝在水下 3m 處，風速較小，海面風浪平靜時，測點流速均在 10cm/sec 以下，受北防波堤延長段產生環流影響流向偏北，流速與流向隨潮汐漲落而變化。風速較大時，流速隨風速增大，流向則受漲退潮及波浪等因素改變，作 360° 迴旋，分佈相當散亂。

夏季時風速均在 5m/sec 以下，由 7 月 14 日至 16 日之風矢與流矢延時圖如圖 3-49。測站 1 流速與流向很明顯隨潮汐漲落而改變，流向隨潮汐變化由西北順時針方向旋轉，流速亦由小轉大再減小，每日由最低潮升至最高潮時段約 5 小時流向偏西南向非常清楚，流速亦明顯偏大。堤頭前測站 2，流向除在每日最低潮漲潮時段約 5 小時偏西南西至西北西外，其餘時段流向雖隨潮汐升降略為改變，但明顯朝北流，流速在低水位期間較大可達 50cm/sec 以上。登輪區附近測站 4 之流向隨潮汐漲退改變，退潮至低水位附近時段水向北流，潮升時段流向順時針方向旋轉流速漸大，到高水位時流向在 SE 至 SW 間流速最小；退潮時段流向由西順時針方向往北旋轉，流速逐漸增大。綜合上述冬夏季流況特性顯示，冬季港口流況除受潮汐及海洋恒流

影響外，還受風吹流及碎波所產生之沿岸流影響，而且各項影響因素又交互作用，例如：漲退潮水位高低影響碎波帶位置；水位相同時碎波帶位置又決定於波高大小及週期長短；波高大小決定沿岸流強弱，堤頭束流強度又受碎波帶與堤頭距離影響。因此，冬季不論風力大小，海面波浪較夏季為大，流況分佈較複雜，流況特性較難掌握。夏季除颱風外，海面風平浪靜，潮汐漲落是影響流況主要因素，港口流況特性呈較規則性變化。

四、海象特性試驗、計算與調查結果比較

台中港港口擴建前曾對各種不同外廓防波堤佈置案，辦理波浪遮蔽模型試驗及流況數值模擬計算，如第二節(三)及(四)所述。港口擴建北防波堤延伸工程在民國 83 年完工後，為評估擴建效益，再度辦理現場海、氣象調查，部份調查資料分析結果如第三節所述。本節將就擴建前後研究調查結果比較驗證，除作為評估擴建效益之依據外，亦可供未來辦理類似擴建規劃之參考。

(一)登輪區波浪遮蔽特性比較

北防波堤沿航道方向延長 850m，受 NNW 向入射波浪作用下不規則波水工模型試驗結果遮蔽區分區波高係數隨防波堤延伸長度，與波浪週期變化情形，如圖 3-40。定案佈置北防波堤延長 850m，領港登輪區波高係數為 0.6 至 0.7 間。同一試驗情況，試驗結果顯示愈接近港口南防波堤附近波高係數急劇減小。北防波堤延長 850m 完成後，83 年現場波浪調查除在北防沙堤外海永久測站繼續觀測外，為了解登輪區受偏北向波浪作用發揮遮蔽功效，分別在北防波堤前約 800m 水深 25m 處(ST.2)及登輪區附近水深 15m 處(ST.4)量測波浪。民國 83 年 12 月 1 日至 31 日實測風力資料顯示約有 80 % 風向集中在 N, NNE 及 NE 三個方向，登

輪區(ST.4)受防波堤遮蔽後波高與北防波堤堤頭前 800m(ST.2)實測入射波高比值繪如圖 3-44，登輪區附近遮蔽後波高係數約為 0.5 至 0.6 間。12 月 3 日零晨後風速維持在 10 至 15m/sec，風向為 NNE，此時堤頭前入射波在 00:32 實測波浪資料方向波譜分析結果如圖 8-14，主波向為 344°。由此顯示外海波浪經過折射後，在堤頭附近接近 NNW 向。三測站在 12 月 1 日至 4 日逐時示性波浪延時變化如圖 3-51，測站 2 平均波高比值約為 0.6，雖較試驗值 0.65 略低，實測波浪方向譜顯示主波向均介於 345 至 360 間，較試驗波向 NNW 略微偏北，因此北防波堤對登輪區發揮較佳之遮蔽效果。

(二)堤頭前 800m 及登輪區流況特性比較

台中港港口擴建北防波堤延長 850m 流況特性民國 77 年 PRC 模擬風速 15m/sec，波高 2.5m 在中潮位時流速流向分佈計算結果如圖 3-41。主要針對強風作用下港口附近流速、流向分佈作為操船模擬依據。受北防波堤束流影響堤頭前計算流速增大流向為 WSW，與現場測站 2 風向 NNE 風速 10~15m/sec，波高 2.5m 時觀測流速、流向相似；但離頭 800m 附近受計算邊界限制，流向由 WSW 轉為 SW 反而造成計算失真與實測向略有差異。登輪區附近在強風作用時形成一環流計算流向偏北，流速約為堤頭流速三分之一。但現場實測結果顯示在 10m/sec 以上強風吹送下受風、浪、潮及洋流交互作用下，流速超 40cm/sec，流向則隨潮汐漲退改變與模擬計算結果有顯著差異。推斷造成流向誤差主要是因為數值模擬結果為平均水位流況，而依實測資料驗證顯示應為漲潮至平均水位時之結果，堤頭流向為西偏南，登輪區附近受防波堤延長段產生環流影響流向為北偏東。

登輪區附近計算流速偏小，主要係建立數值模式時缺乏驗證資料，無法調整邊界條件，重現該區流況特性。本所執行中之台中港航道研究計畫，利用 DHI 發展之 MIKE 21 模擬港口流況分佈作為操船依據。目前進度僅考慮 NE 風向，風速 15m/sec 作用下，未加入碎波所造成沿岸流因素，受潮汐漲落不同水位影響，模擬計算港口附近流況。堤頭前及登輪區附近流速流向均隨潮汐漲落而改變，登輪區附近在低潮位時流向偏南，如圖 3-52 所示。夏季風平浪靜時港口流況分佈在民國 77 年 PRC 並未模擬計算，因此本文引用本所執行中之港口流況計算結果，僅考慮受潮汐作用忽略風力及波浪因素所得流況分佈如圖 3-53 與實測資料作比較。計算結果顯示堤頭前在高、低潮位時出現較大流速，高水位前後約五小時流向為 WSW，當水位降到平均潮位以下，流向由 NW 隨潮位變化逐漸轉為 N。登輪區附近流向大都偏 N 向，隨潮汐漲落略偏 NNW 或 NNE 向，但在高潮轉潮前約三小時出現 S 向水流，流速甚小。實測夏季風浪甚小時港口附近流況特性如圖 3-48。堤前之流向隨漲退潮略有變化，但大都偏 N 向，每日高潮前後約五小時流向由 WSW 逐漸向北旋轉，低潮時偏北，此與計算結果極為一致。登輪區附近測站 4 所測得資料顯示，流向流速均隨潮汐變化，流向在 NNW 與 NNE 間變化，在高潮轉潮前後二、三小時流向亦呈現往南流趨勢，此與計算結果相吻合。

九、結果與討論

綜合本計畫各項調查結果，歸納各章結論如下：

1. 由觀測地點皆為近岸區域，因此受地形或海岸結構物的影響，不同測站的海流特性有明顯的差異，因此對於近岸的流況判斷宜小心。
2. 北防沙堤測站海流成份主要為風驅流及沿岸流，流向西南最大流速87cm/sec。北堤堤頭測站海流成份主要為恒流，及強制裂流，流向明顯分佈於西南西向及北北西向，鋒面來襲時風速增強，強制裂流成份明顯流向向西南西，最大流速可達100cm/sec，當鋒面離境時風速減弱，恒流成份較明顯，流向向北北西。南防波堤測站海流成份主要為潮流及恒流，流向分佈較分散，大致在北向與東北向之間，最大流速70cm/sec。不同測站間的海流組成成份隨季節變化而有所不同。
3. 與以往堤頭海流觀測資料比較發現，最大流速有偏小的趨勢，此可能是北防波堤延伸850公尺及堤頭水深變深，使得強制裂流的強度減弱所致。
4. ST.1站潮流振幅在50cm/sec左右，主要沿著平行海岸方向(北北東～南南西走向)往復運動。
5. 83年10月份為秋、冬交接期間，受颱風與東北季風雙重影響，有明顯東北東強風出現，83年11月至85年3月期間風向集中在東北(NE)方向，呈現典型的冬季東北季風型態。

6. 83年10月份台灣地區發佈之颱風警報有一次，但未直接通過調查海域，僅為湧浪傳播到達與外圍環流東北季風梯度增強所產生之有義波高、週期，分別為ST.1站(3.28公尺，7.70秒)，ST.2站(4.21公尺，7.45秒)，ST.4站(3.45公尺，7.22秒)；由於颱風路徑並未通過台中港附近海域，觀測結果較台中港過去相關記錄為低。
7. 本地區波浪主要由冬季東北季風造成，由於海峽吹風區域受到限制，所以波浪之成長與衰退迅速，因此風速與波浪有良好的相關。以ST.1站來看，風速在5m/s左右時 $H_{1/3}$ 在1公尺以下， $T_{1/3}$ 在4~5秒，風速在10m/s左右時， $H_{1/3}$ 在1~2公尺， $T_{1/3}$ 在5~7秒，風速在15m/s左右時， $H_{1/3}$ 在3~4公尺， $T_{1/3}$ 在6~8秒，波向在北北西~北北東之間。
8. 水位能譜的型態有單一能量尖峰的代表，該記錄時段的波浪主要集中在於此頻率，波況較單純；亦有雙(或多)能量尖鋒的波譜發生，此時表示波浪有來自不同風場而來，在觀測站匯聚而成。一般情況可分區域性的風浪(較高頻分量)及遠方颱風與風場產生的湧浪(較低頻分量)匯聚而成。
9. 波浪觀測站ST.1、ST.2及ST.4三個站同時期之有義波高、週期之逐時變化資料中顯示出北防波堤延伸850公尺後東北季風時遮蔽已達到效果，使得ST.4站之波高已有明顯下降之現象。

拾、結 語

水工模型試驗與數值模擬計算是研究解決港灣與海岸規劃佈置最常用方法，既省經費又可以在短期間內獲得所需資料，是執行規劃不可或缺的工具。現場海象調查是既耗費人力又需要龐大經費的工作，也是蒐集港灣及海岸工程規劃設計資料最重要的一環。過去許多港灣及海岸工程規劃設計往往為節省經費而忽視現場觀測調查，而以推算（追算）取代，殊不知因資料短缺，錯誤所造成工程浪費甚至失敗遠超過事前觀測調查費用。因此，我們常說：「已開發國家把有限經費花在工程規劃設計前之調查、試驗研究；開發中國家則將大筆金錢浪費在工程失敗的經驗上」。

台中港建港工程在國內是開啓港灣工程規劃調查與水工模型試驗先端，也是島內率先採用超音波波高計建立永久性觀測站連續量測外海波浪的第一站。民國 65 年建港完成後證明經過審慎試驗評估所獲的台中港外廓防波堤佈置發揮預期防沙防浪功能。民國 77 年為配合台電進船大型煤輪以及國際船舶大型化趨勢，並改善冬季強烈東北季風侵襲時港口操船條件，進行現場調查、水工試驗、流況數值計算及操船模擬作為規劃港口擴建之依據。港口擴建防波堤延長 850m 在 83 年順利完成；由進港船舶資料以及實際操船領港意見顯示，防波堤延長後，在強烈東北季風作用下六萬噸級船隻已可安全進港。台中港務局為了解防波堤延長後港口及領港登輪區附近波浪及流況特性，作為評估港口擴建之依據，委託本所辦理擴建港海氣象調查。本文為期中報告資料分析結果，在研討會提出希望借由研討會各位專家學者指教，以使期末報告更臻完善。

現場海象觀測調查工作是一項極為艱巨任務，風浪愈大取得的資料愈可貴，因此本所研究人員經常冒著惡劣天候出海佈放儀器，期盼測取強風巨浪侵襲時海面波浪與流速作為規劃設計依據。這些年來，本所工作同仁用盡不少心血，暈船嘔吐、吹風雨淋，頂著大太陽辛勤工作，也花費不少國家公帑，在海上安裝儀器，佈置警示燈，並依規定發佈海上航行通告，但卻遭釣客與漁民肆意損毀造成儀器流失，且只能取得殘缺資料。工作人員對漁民見利忘義感到悲憤，也對社會公義道德淪喪感到痛心。因而在此呼籲海上船隻應重視作業規範。

台中港港口擴建後海氣象調查研究儀器佈置示意圖

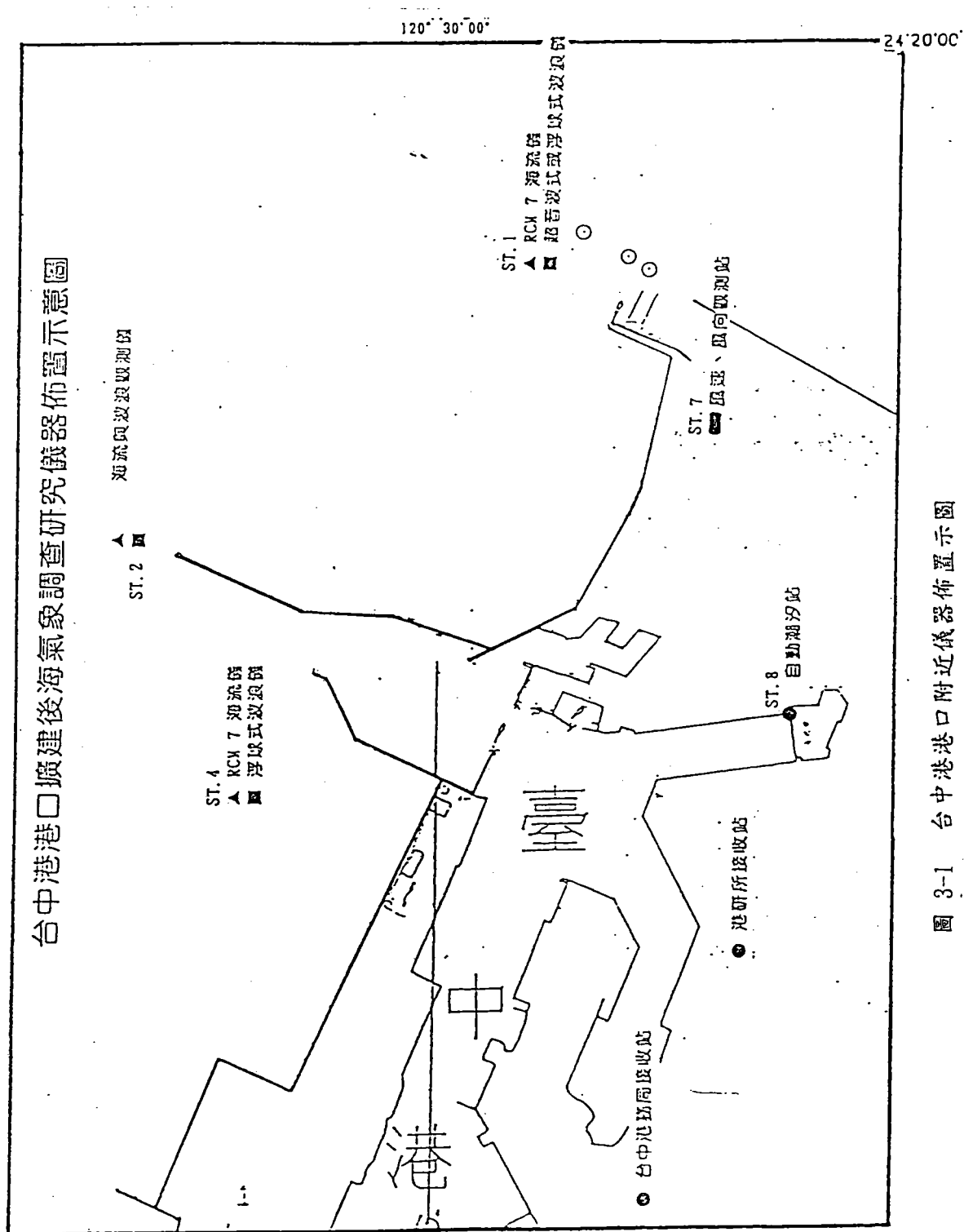


圖 3-1 台中港港口附近儀器佈置示意圖

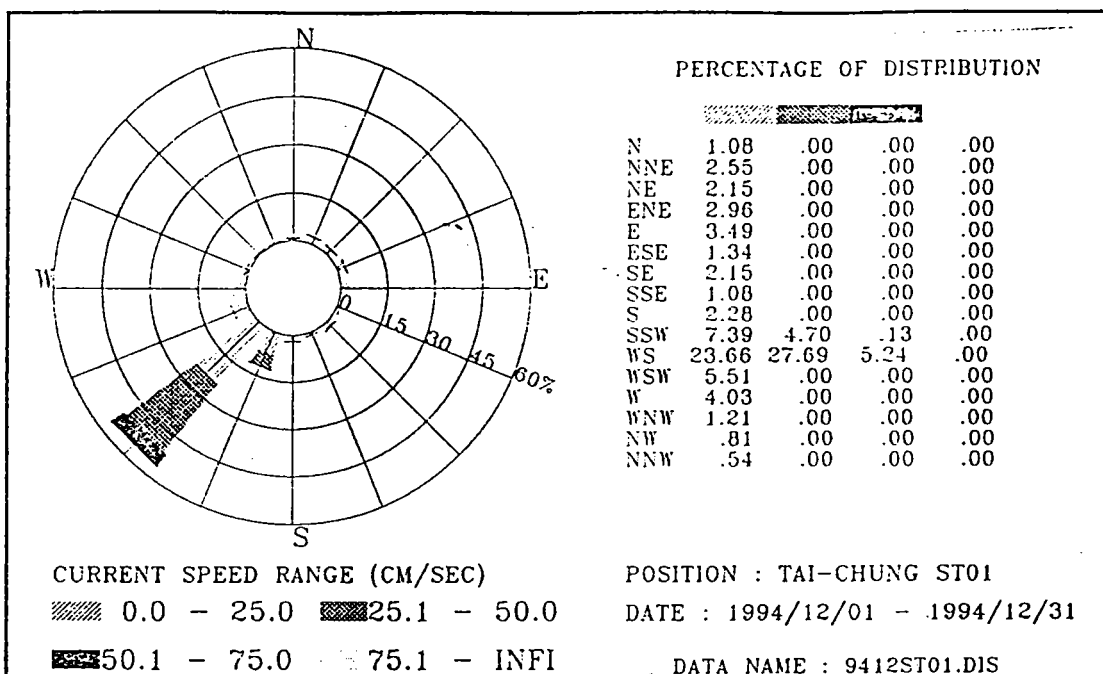


圖 3-2 北防沙堤測站(ST.1)冬季流況玫瑰圖

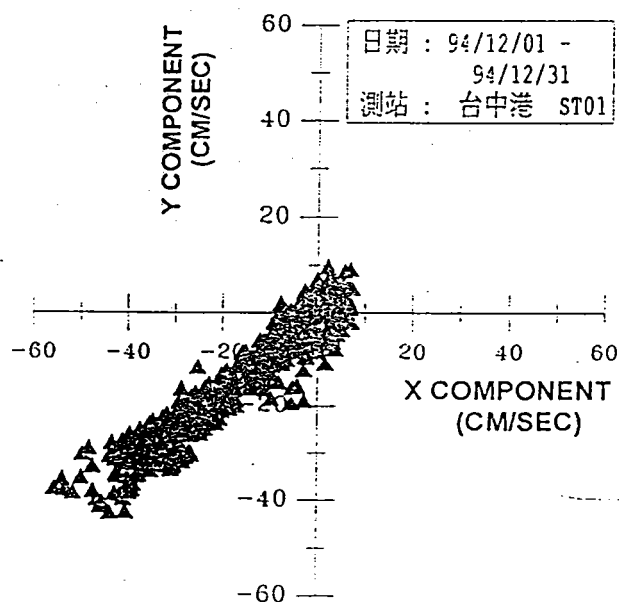


圖 3-3 北防沙堤測站(ST.1)冬季流速分佈極值圖

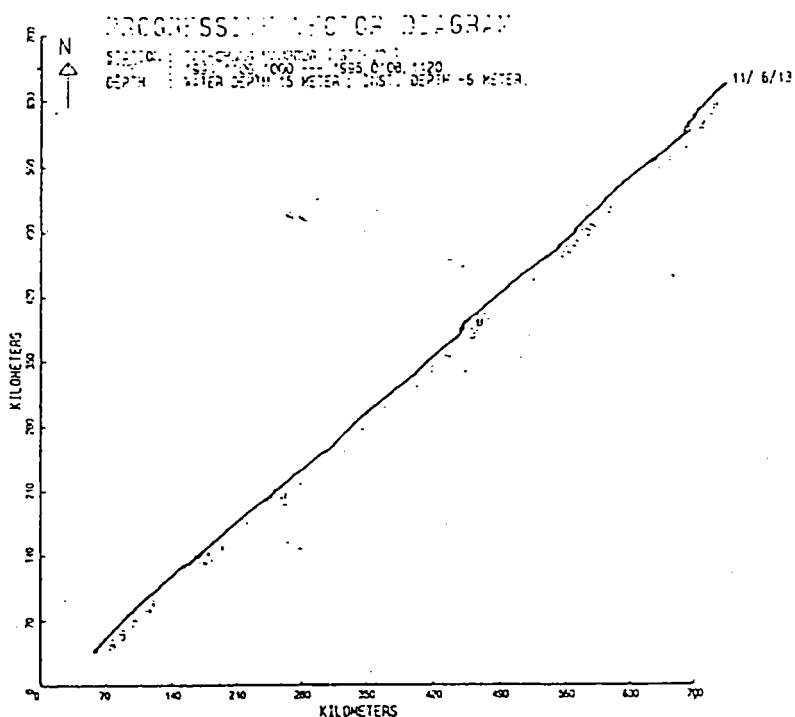
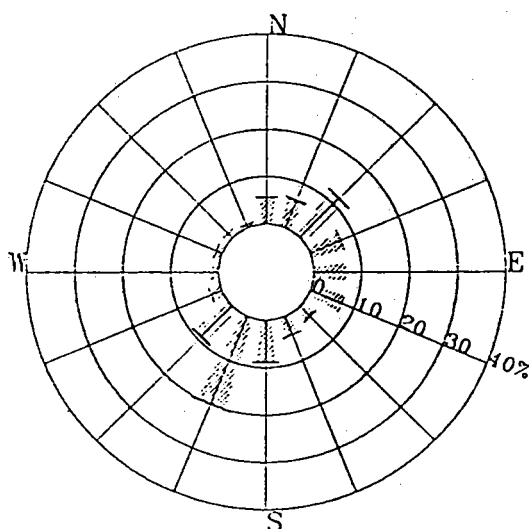


圖 3-4 北防沙堤測站(ST.1)冬季海流累進向量圖



PERCENTAGE OF DISTRIBUTION

N	5.83	.00	.00	.00
NNE	6.05	.43	.00	.00
NE	11.88	.00	.00	.00
ENE	7.13	.00	.00	.00
E	6.91	.00	.00	.00
ESE	7.34	.00	.00	.00
SE	3.24	.00	.00	.00
SSE	4.32	.00	.00	.00
S	8.86	.22	.00	.00
SSW	19.87	.43	.00	.00
WS	9.07	.43	.00	.00
WSW	2.59	.00	.00	.00
W	1.51	.00	.00	.00
WNW	1.51	.00	.00	.00
NW	1.51	.00	.00	.00
NNW	.86	.00	.00	.00

CURRENT SPEED RANGE (CM/SEC)

0.0 - 25.0 25.1 - 50.0

50.1 - 75.0 75.1 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG ST01

DATE : 1995/08/12 - 1995/08/31

DATA NAME : 9508ST01.DIS

圖 3-5 北防沙堤測站(ST.1)夏季流況玫瑰圖

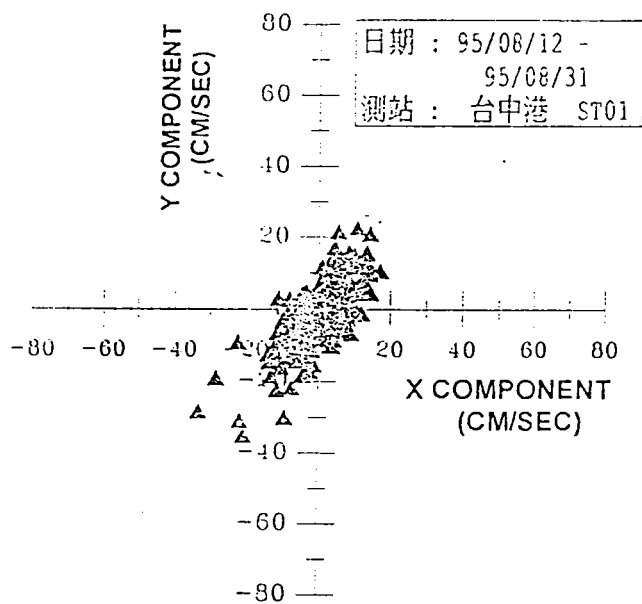
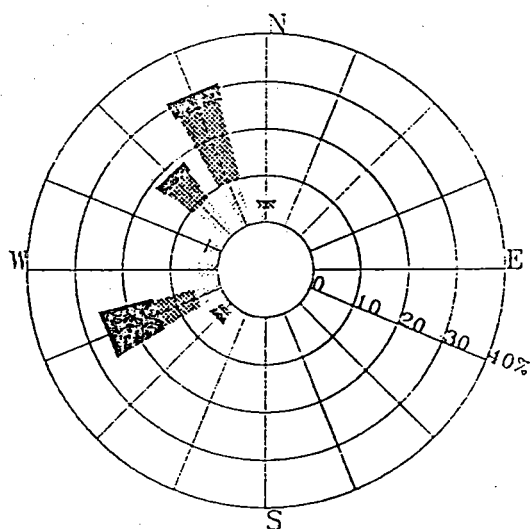


圖 3-6 北防沙堤測站(ST.1)夏季流速分佈極值圖



PERCENTAGE OF DISTRIBUTION

	0.0 - 25.0	25.1 - 50.0	50.1 - 75.0	75.1 - INFI
N	2.97	1.72	.16	.00
NNE	.00	.00	.00	.00
NE	.00	.00	.00	.00
ENE	.00	.00	.00	.00
E	.00	.00	.00	.31
ESE	.00	.00	.00	.00
SE	.00	.00	.00	.00
SSE	.00	.00	.00	.00
S	.00	.00	.00	.00
SSW	.16	.16	.00	.00
WS	1.72	1.72	1.10	.16
WSW	5.63	8.76	11.89	3.13
W	4.23	.00	.00	2.66
WNW	3.29	.16	.00	.00
NW	9.39	6.89	2.66	.00
NNW	10.33	16.90	3.91	.00

CURRENT SPEED RANGE (CM/SEC)

0.0 - 25.0 25.1 - 50.0 50.1 - 75.0 75.1 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG ST02

DATE : 1995/03/01 - 1995/03/18

DATA NAME : 9503ST02.DIS

圖 3-7 北防波堤堤頭測站(ST.2)冬季流況玫瑰圖

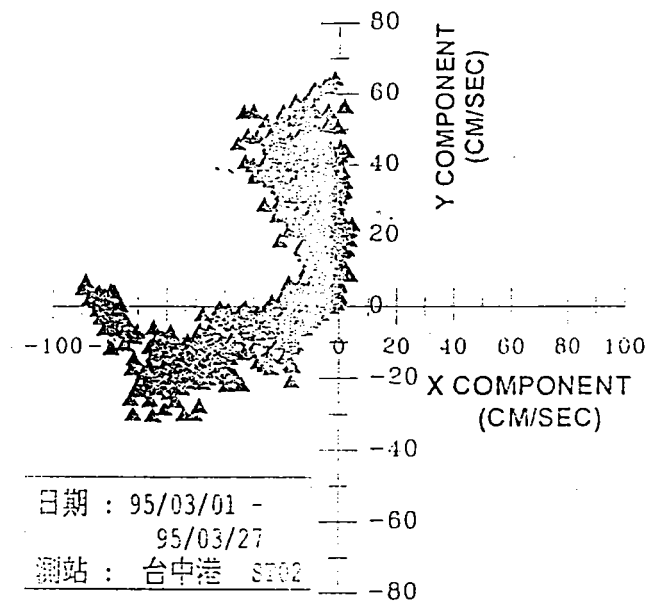


圖 3-8 北防波堤堤頭測站(ST.2)冬季流速分佈極值圖

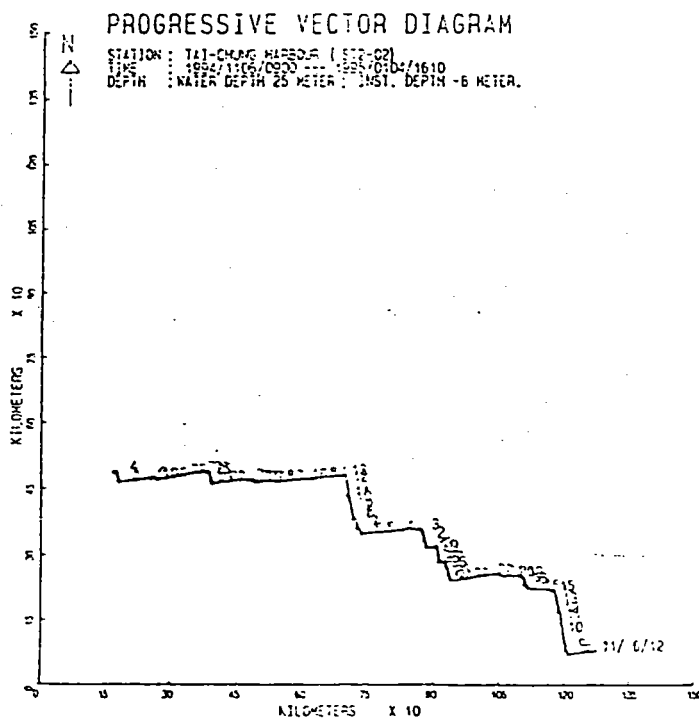
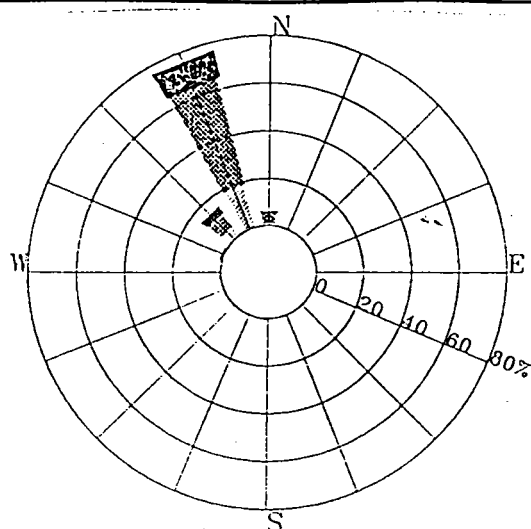


圖 3-9 北防波堤堤頭測站(ST.2)冬季海流累進向量圖



PERCENTAGE OF DISTRIBUTION

	0.0 - 25.0	25.1 - 50.0	50.1 - 75.0	75.1 - INFI
N	1.49	4.04	.85	.00
NNE	.00	.00	.00	.00
NE	.00	.00	.00	.00
ENE	.00	.00	.00	.00
E	.00	.00	.00	.00
ESE	.00	.00	.00	.00
SE	.00	.00	.00	.00
SSE	.00	.00	.00	.00
S	.00	.00	.00	.00
SSW	.00	.00	.00	.00
SW	.00	.00	.00	.00
WSW	.00	.00	.00	.00
W	.64	.00	.00	.00
WNW	1.06	.00	.00	.00
NW	4.47	7.23	3.40	.00
NNW	18.94	45.96	11.91	.00

CURRENT SPEED RANGE (CM/SEC)

0.0 - 25.0 25.1 - 50.0

50.1 - 75.0 75.1 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG ST02

DATE : 1995/08/12 - 1995/08/31

DATA NAME : 9508ST02.DIS

圖 3-10 北防波堤堤頭測站(ST.2)夏季流況玫瑰圖

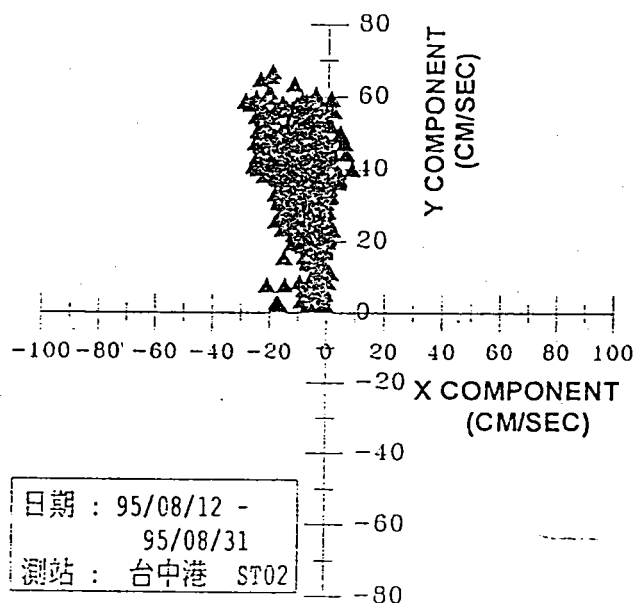
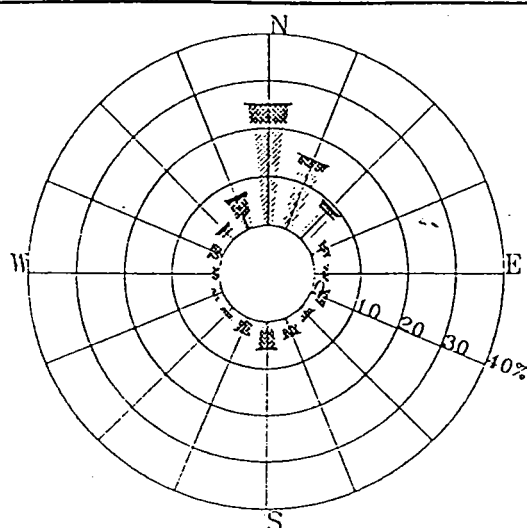


圖 3-11 北防波堤堤頭測站(ST.2)夏季流速分佈極值圖



PERCENTAGE OF DISTRIBUTION

N	21.24	3.90	.54	.00
NNE	13.71	1.88	.13	.00
NE	7.93	1.21	.40	.00
ENE	2.55	1.61	.13	.00
E	2.15	.94	.13	.00
ESE	1.88	1.75	.40	.00
SE	1.48	.81	.54	.00
SSE	2.15	2.02	.13	.00
S	1.88	4.03	.27	.00
SSW	.94	2.69	.00	.00
WS	1.21	1.08	.00	.00
WSW	1.21	.94	.00	.00
W	.54	1.21	.00	.00
WNW	.81	2.15	.13	.00
NW	1.48	1.48	.67	.00
NNW	2.96	3.63	1.08	.00

CURRENT SPEED RANGE (CM/SEC)

0.0 - 25.0 25.1 - 50.0

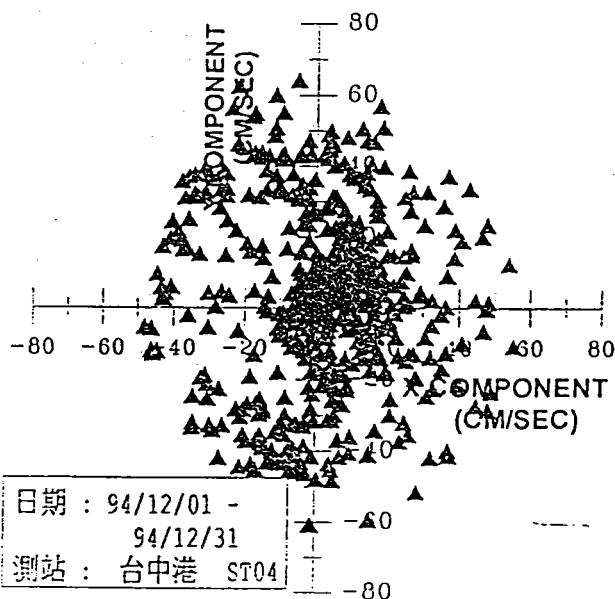
50.1 - 75.0 75.1 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG ST04

DATE : 1994/12/01 - 1994/12/31

DATA NAME : 9412ST04.DIS

圖 3-12 南防波堤登輪區(ST.4)冬季流況玫瑰圖



日期 : 94/12/01 -
94/12/31

測站 : 台中港 ST04

圖 3-13 南防波堤登輪區(ST.4)冬季流速分佈極值圖

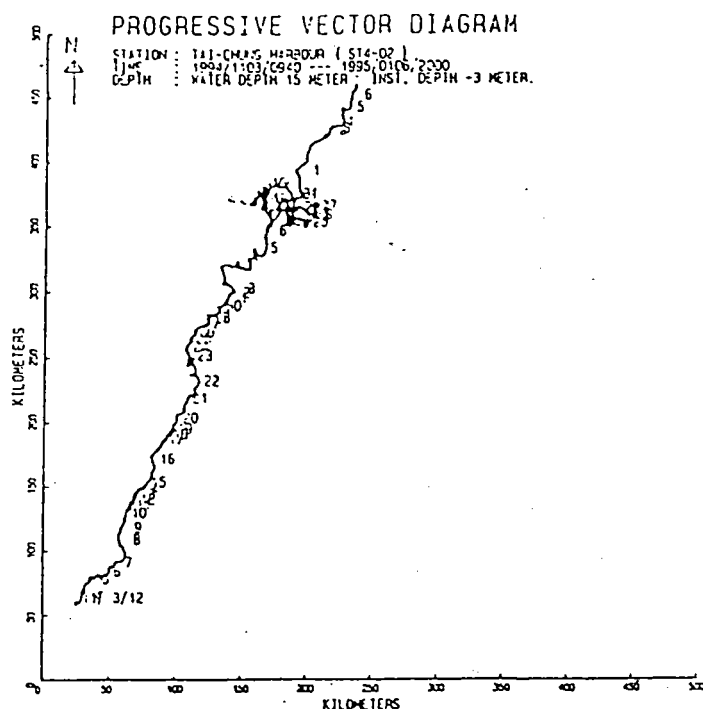


圖 3-14 南防波堤登輪區(ST.4)冬季海流累進向量圖

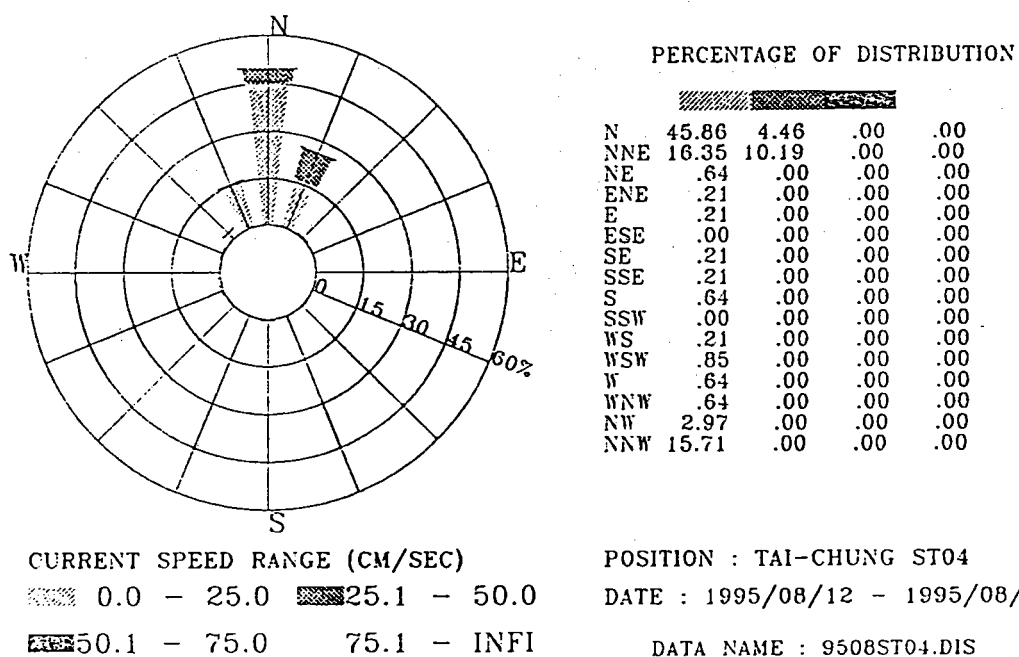


圖 3-15 南防波堤登輪區(ST.4)夏季流況玫瑰圖

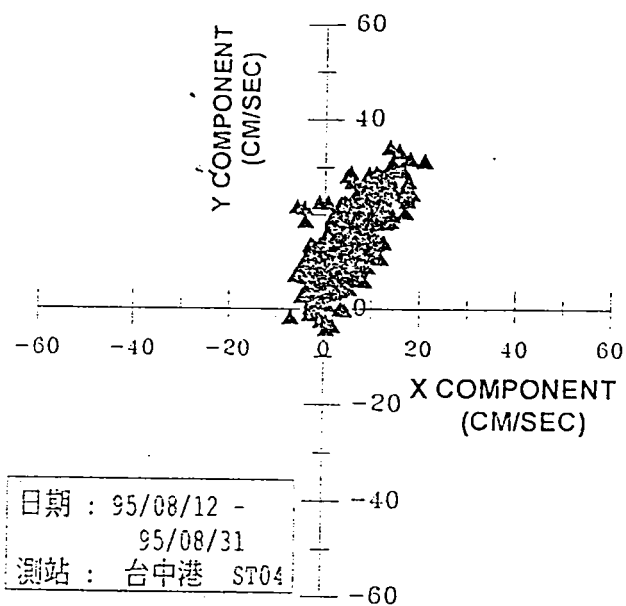
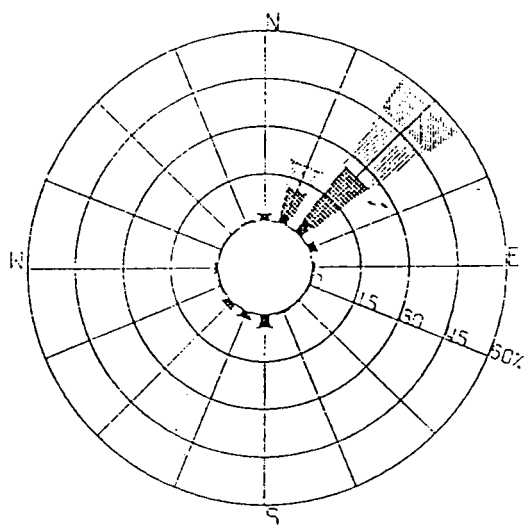


圖 3-16 南防波堤登輪區(ST.4)夏季流速分佈極值圖



PERCENTAGE OF DISTRIBUTION

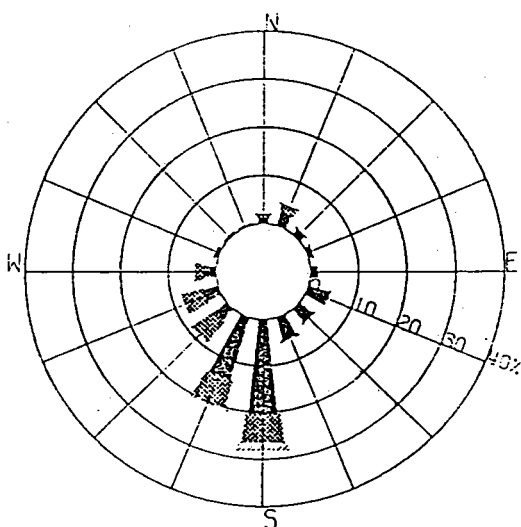
	0.0 - 5.0	5.1 - 10.0	10.1 - 15.0	15.1 - INF
N	1.29	1.15	.00	.00
NNE	3.02	8.76	8.33	.72
NE	4.89	21.12	21.79	10.92
ENE	2.73	.00	.00	.00
E	1.15	.00	.00	.00
ESE	.72	.00	.00	.00
SE	.14	.00	.00	.00
SSE	.57	.00	.00	.00
S	4.45	.00	.00	.00
SWS	2.16	.45	.00	.00
WS	.86	1.44	.00	.00
WSW	.43	.14	.00	.00
W	1.01	.57	.00	.00
WNW	.29	.00	.00	.00
NW	.29	.00	.00	.00
NNW	.72	.00	.00	.00

DATA NAME : W19602TC.D15
DATA LOST = .00%

WIND SPEED RANGE (M/SEC)

0.0 - 5.0 5.1 - 10.0
10.1 - 15.0 15.1 - INF

圖 3-17 台中港北堤觀測站 1996 年 2 月風玫瑰圖



PERCENTAGE OF DISTRIBUTION

	0.0 - 5.0	5.1 - 10.0	10.1 - 15.0	15.1 - INF
N	1.22	.87	.00	.00
NNE	3.13	1.56	.00	.00
NE	1.55	.00	.00	.00
ENE	1.22	.00	.00	.00
E	1.74	.00	.00	.00
ESE	4.66	.00	.00	.00
SE	3.82	.00	.00	.00
SSE	5.03	.35	.17	.00
S	20.66	5.90	1.91	.00
SWS	14.06	5.73	.87	.17
WS	3.30	5.73	1.55	.00
WSW	3.30	4.69	.00	.00
W	2.95	1.74	.00	.00
WNW	1.04	.00	.00	.00
NW	.35	.17	.00	.00
NNW	.35	.00	.00	.00

DATA NAME : W19507TC.D15
DATA LOST = 22.58%

WIND SPEED RANGE (M/SEC)

0.0 - 5.0 5.1 - 10.0
10.1 - 15.0 15.1 - INF

圖 3-18 台中港北堤觀測站 1995 年 7 月風玫瑰圖

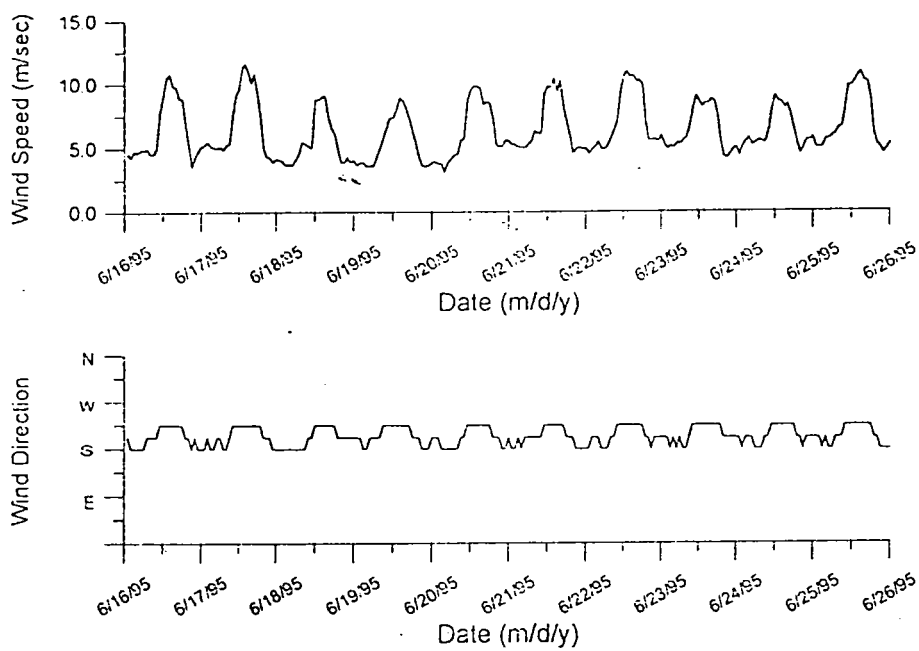


圖 3-19 風速、風向逐時變化圖(1995/06/16 ~ 1995/06/25)

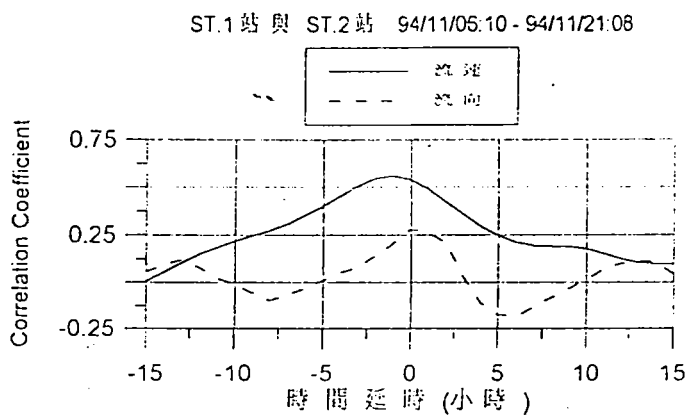


圖 3-20 冬季 ST.1 站與 ST.2 站流速、流向交互相關函數圖

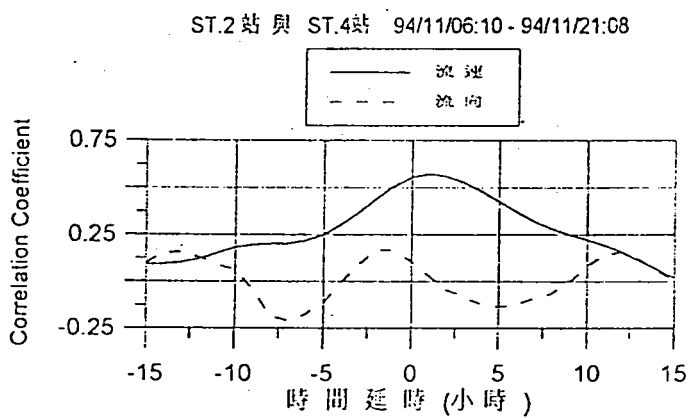


圖 3-21 冬季 ST.2 站與 ST.4 站流速、流向交互相關函數圖

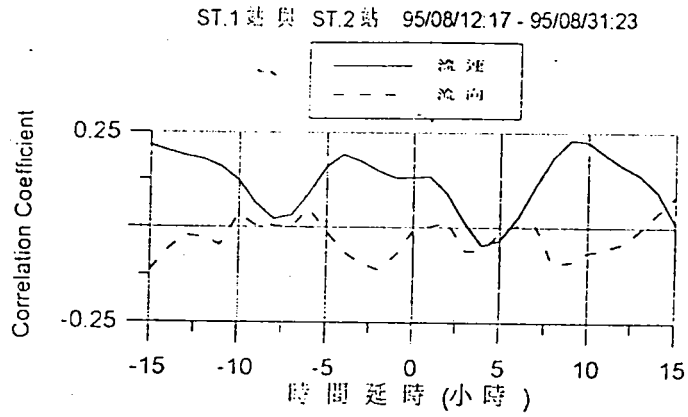


圖 3-22 夏季 ST.1 站與 ST.2 站流速、流向交互相關函數圖

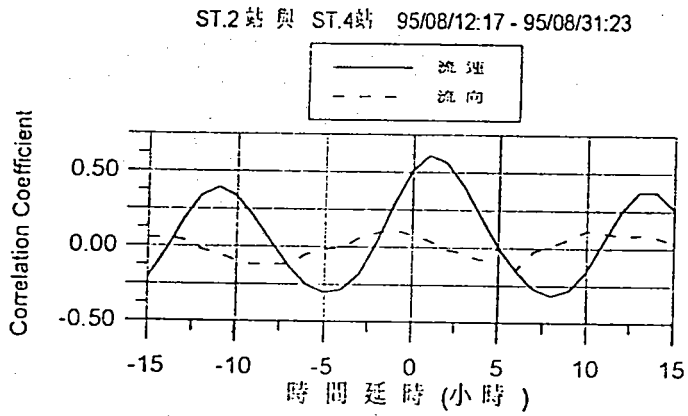


圖 3-23 夏季 ST.2 站與 ST.4 站流速、流向交互相關函數圖

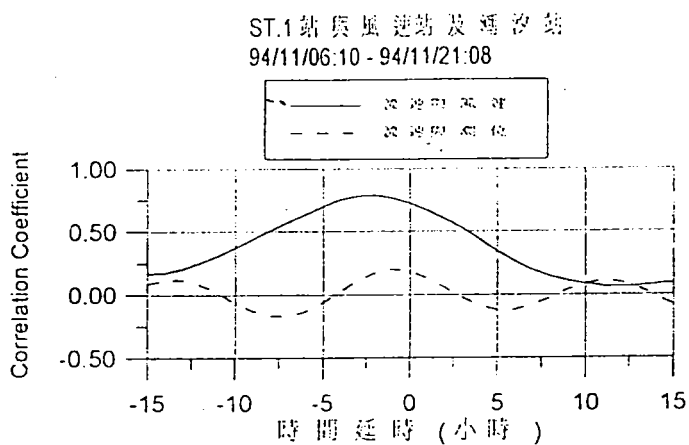


圖 3-24 冬季 ST.1 流速與風速及潮位交互相關函數圖(1994/11)

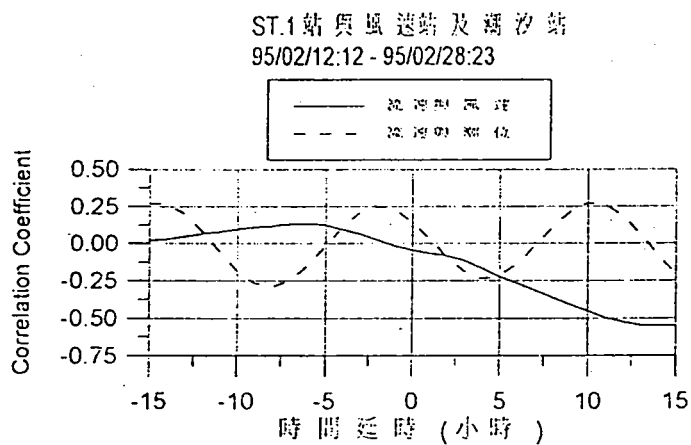


圖 3-25 冬季 ST.1 流速與風速及潮位交互相關函數圖(1995/02)

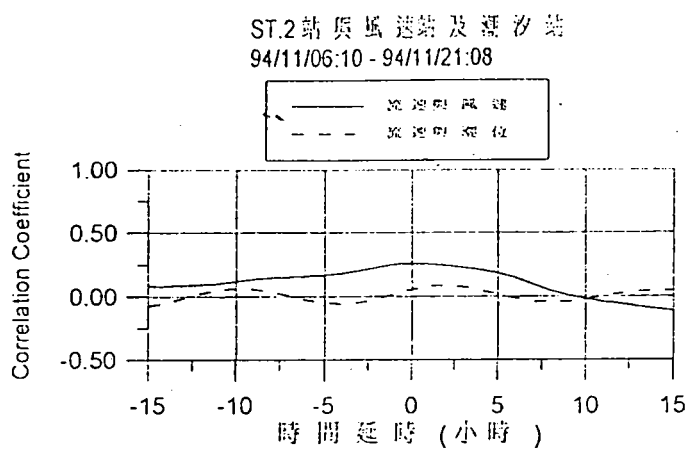


圖 3-26 '冬季 ST.2 流速與風速及潮位交互相關函數圖(1994/11)

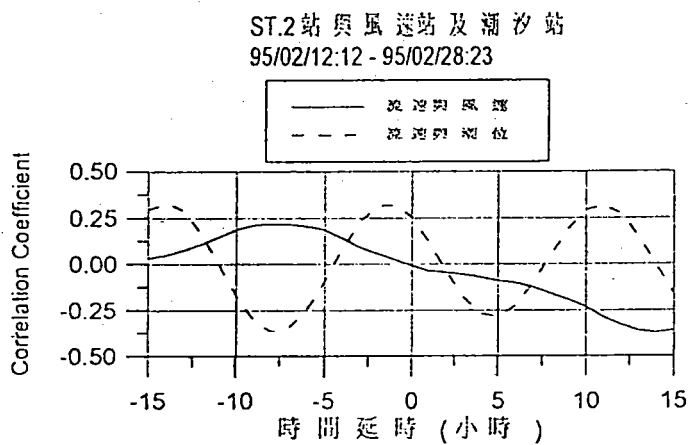


圖 3-27 冬季 ST.2 流速與風速及潮位交互相關函數圖(1995/02)

ST.1站與風速站及潮汐站

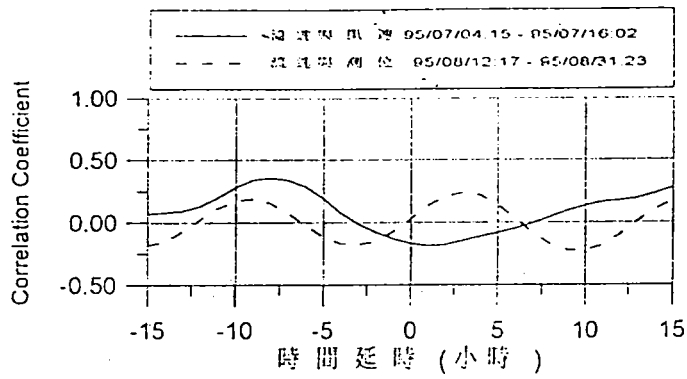


圖 3-28 夏季 ST.1 流速與風速及潮位交互相關函數圖(1995/07)

ST.2站與風速站及潮汐站

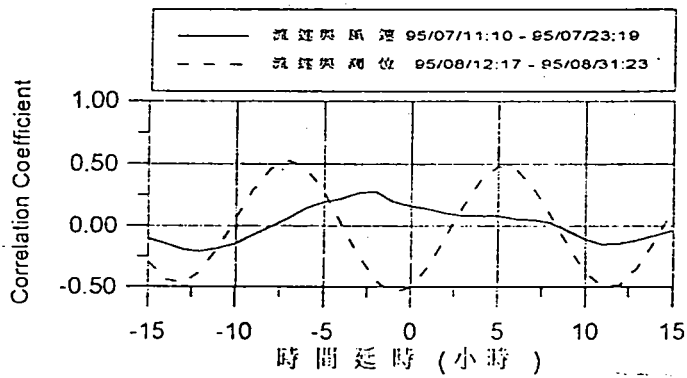


圖 3-29 冬季 ST.2 流速與風速及潮位交互相關函數圖(1995/07)

ST.4站質風速站及潮沙站

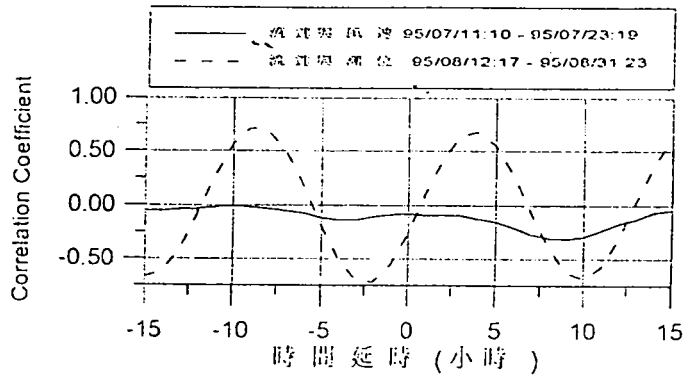


圖 3-30 冬季 ST.4 流速與風速及潮位交互相關函數圖(1995/07)

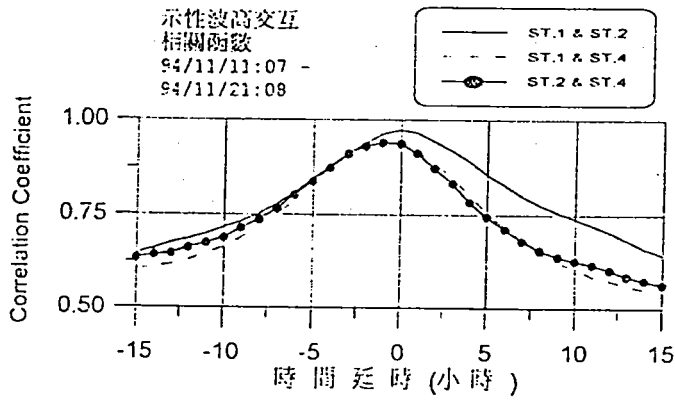


圖 3-31 冬季三測站間有義波高交互相關函數圖

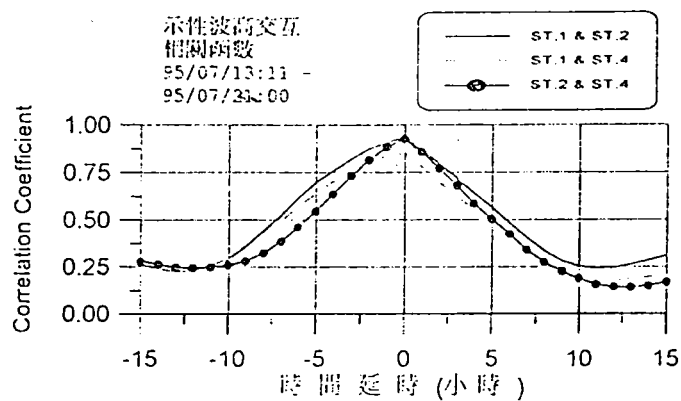


圖 3-32 夏季三測站間有義波高交互相關函數圖

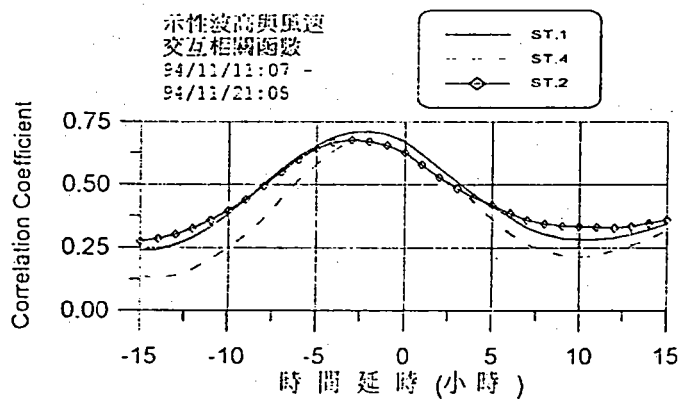


圖 3-33 冬季三測站有義波高與風速交互相關函數圖

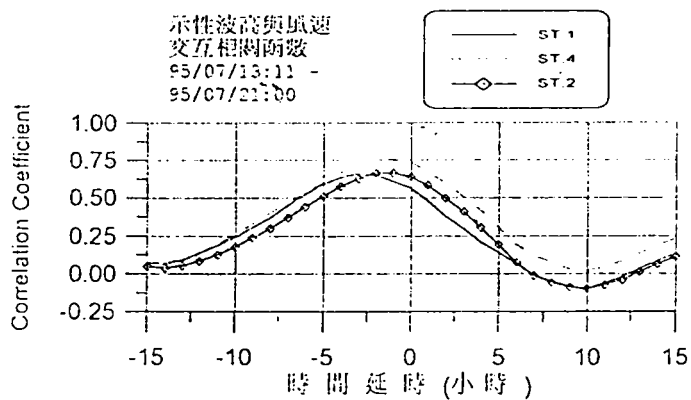


圖 3-34 夏季三測站有義波高與風速交互相關函數圖

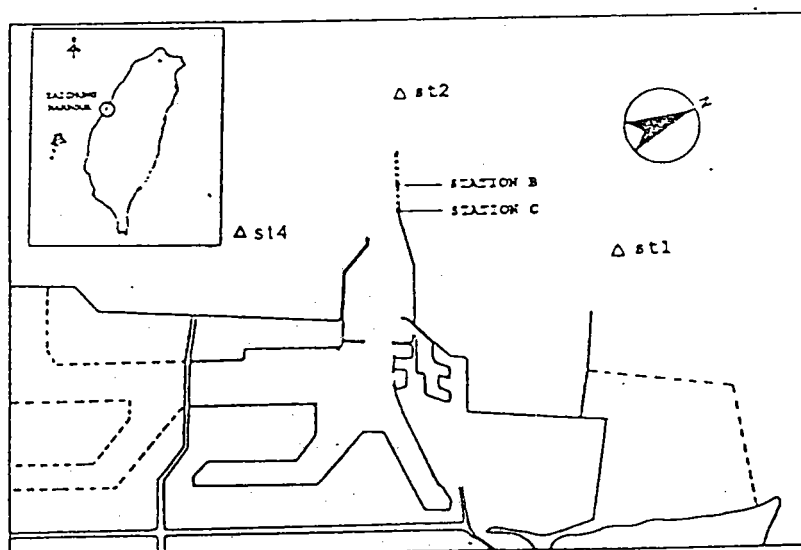
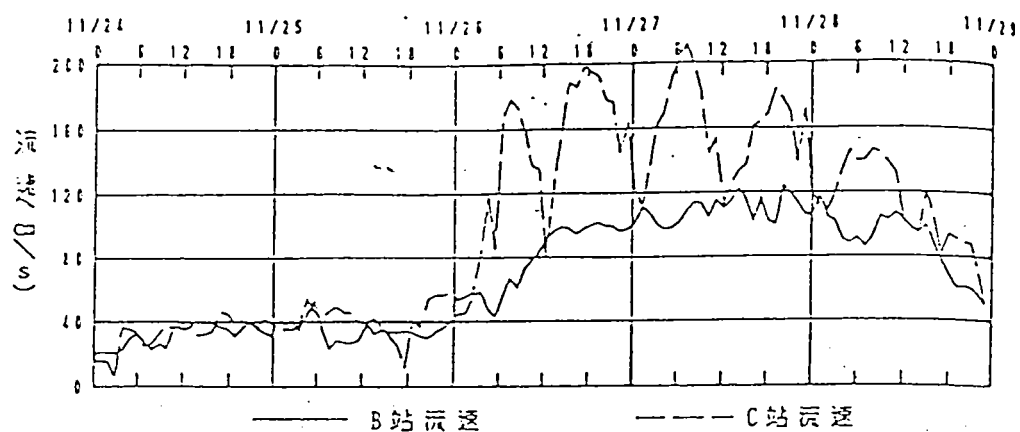
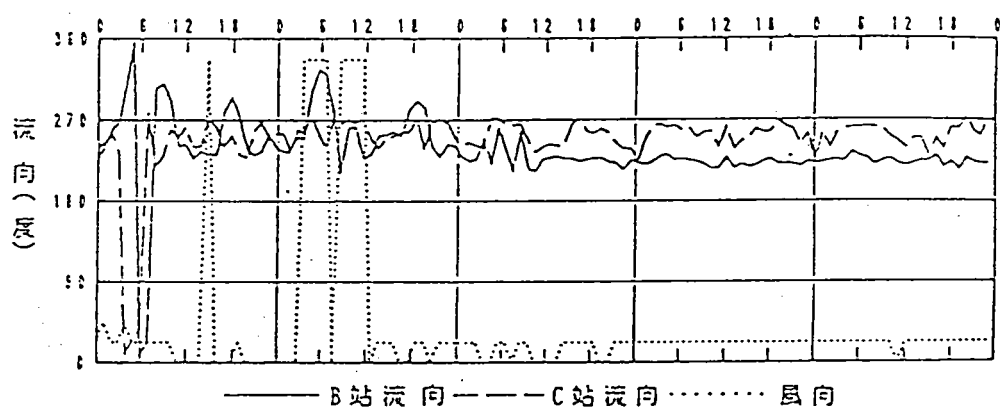


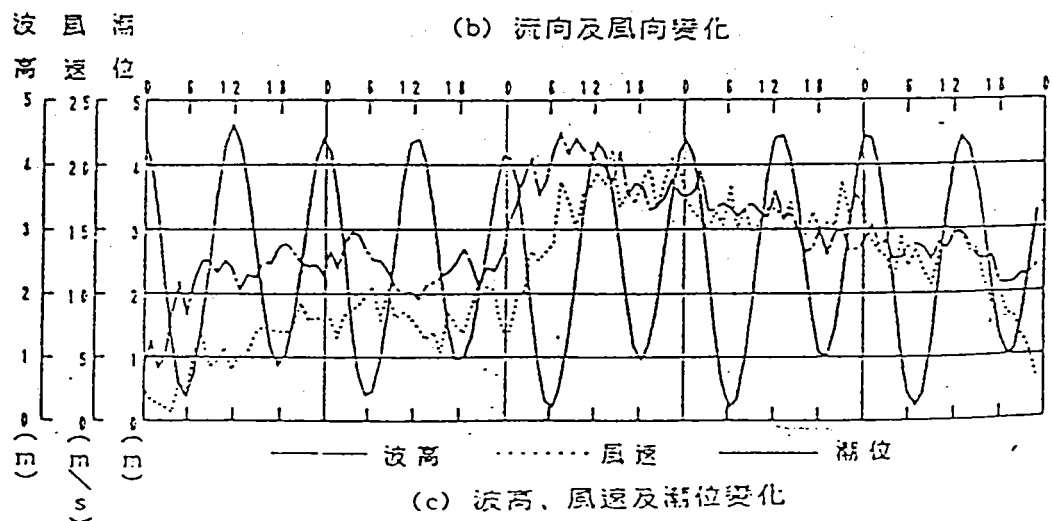
圖 3-35 台中港海氣調查測站位置



(a) B、C站流速變化

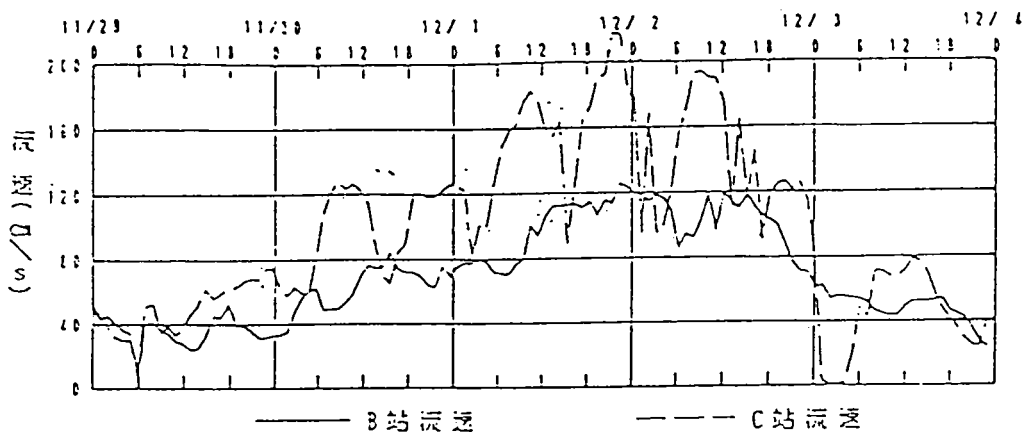


(b) 流向及風向變化

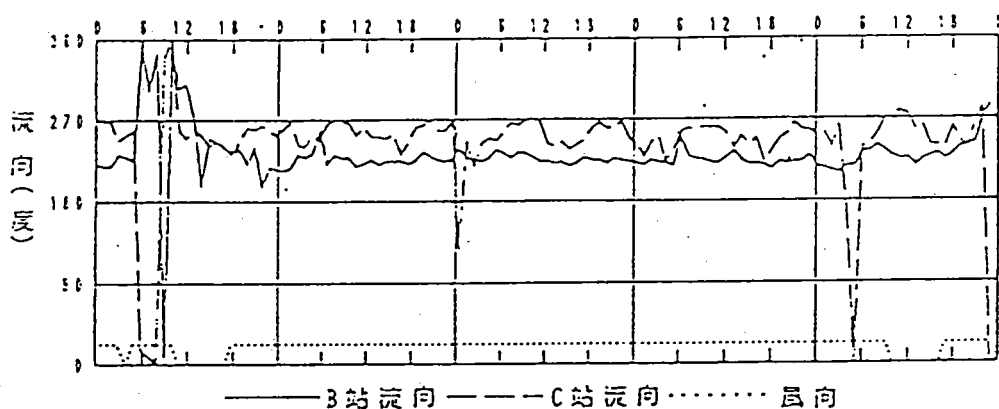


(c) 波高、風速及潮位變化

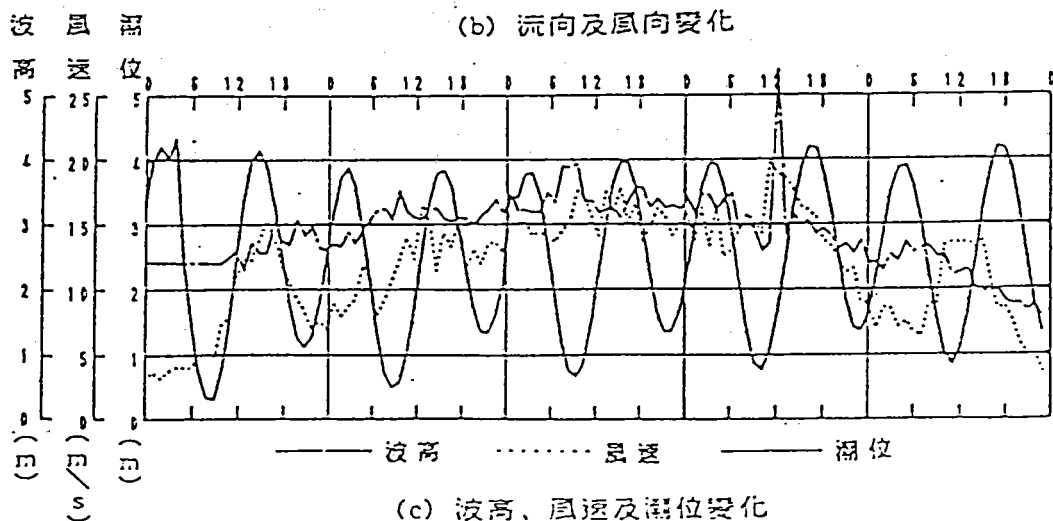
圖 3-36 強烈東北季風港口風、浪、潮與流延時變化
(70/11/26 ~ 11/28)



(a) B、C站流速變化



(b) 流向及風向變化



(c) 波高、風速及潮位變化

圖 3-37 強烈東北季風港口風、浪、潮與流延時變化
(70/12/01 ~ 12/03)

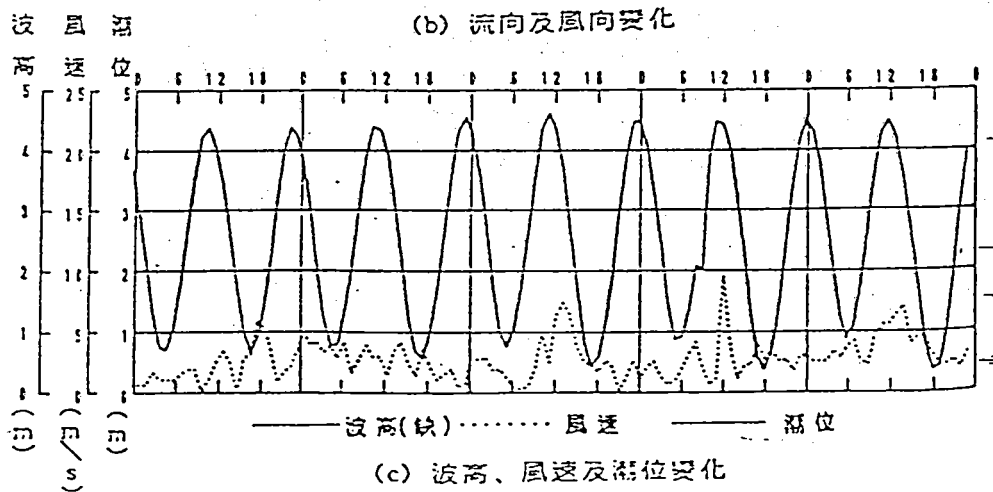
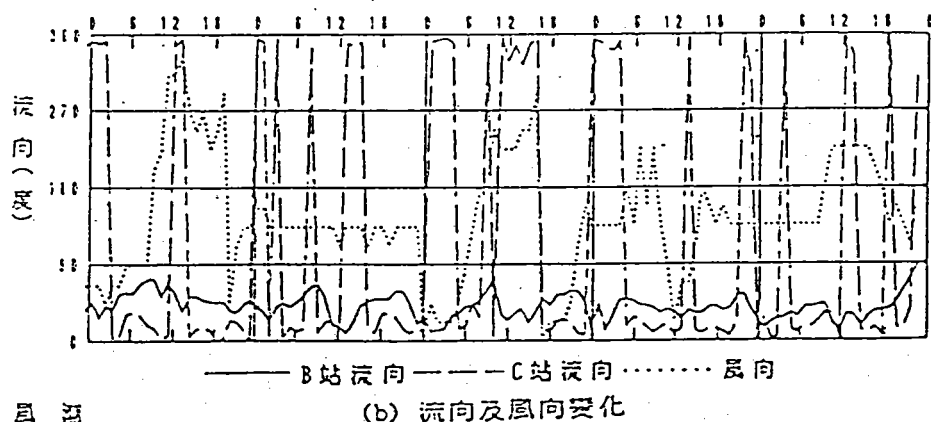
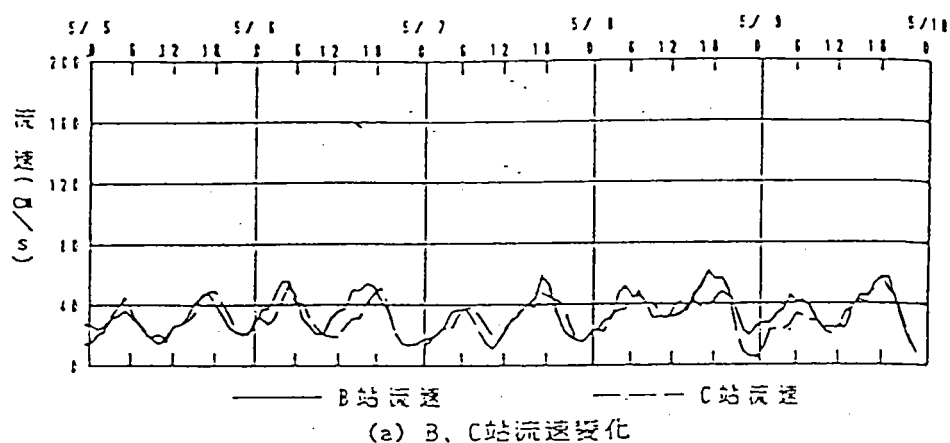


圖 3-38 低風速時港口風、浪、潮與流延時變化

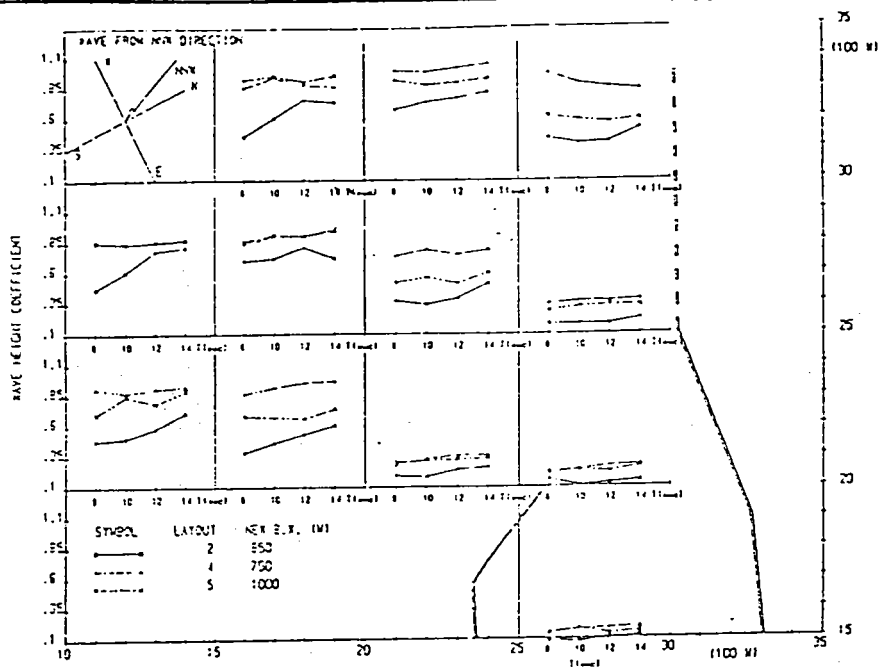


圖 3-39 防波堤延長後受 NNW 向波浪作用各區波高係數

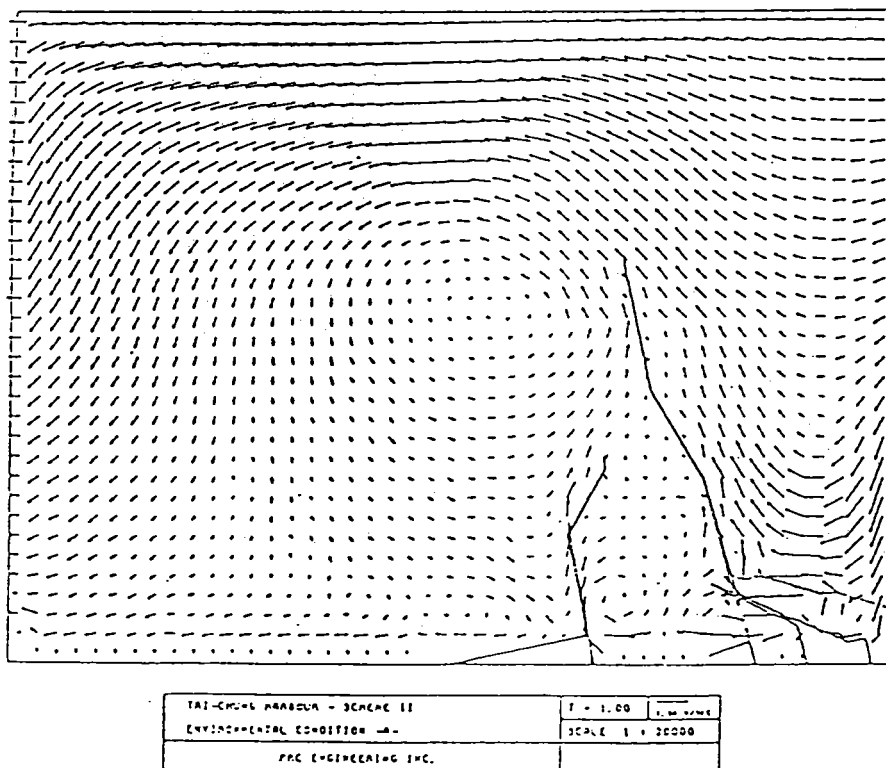


圖 3-40 防波堤延長 850M，在平均水位受風速 15m/s，波高 2.5m 作用時流況分佈計算值

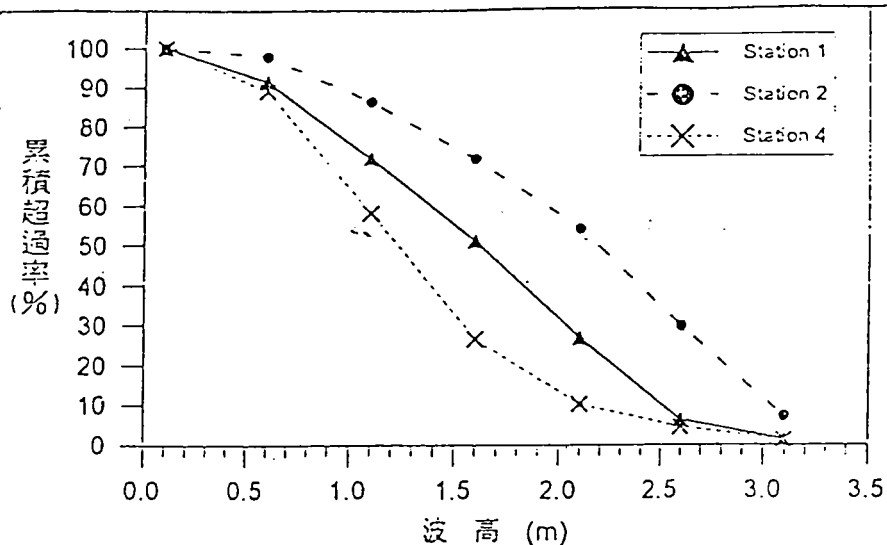


圖 3-41 冬季三測站波高超過值計圖(83/11 - 84/03)

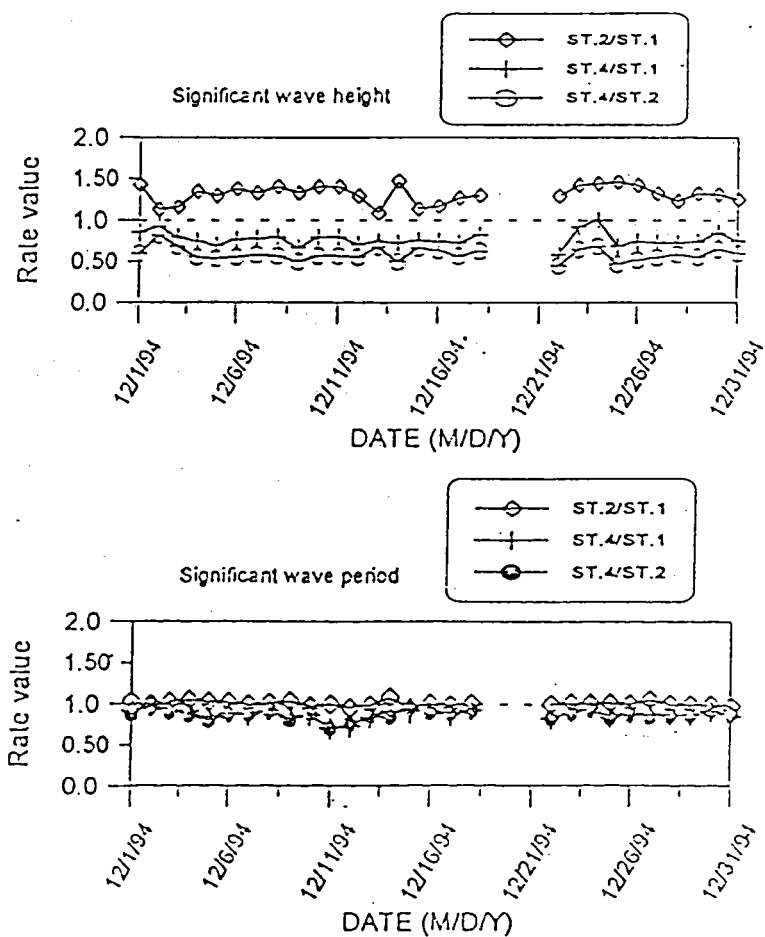


圖 3-42 冬季相對應時間三測站每日波高與週期比值

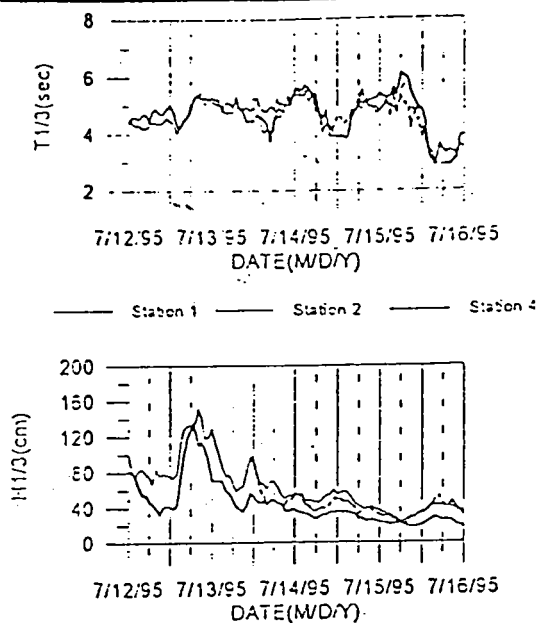


圖 3-43 夏季西南風三測站波高週期延時變化

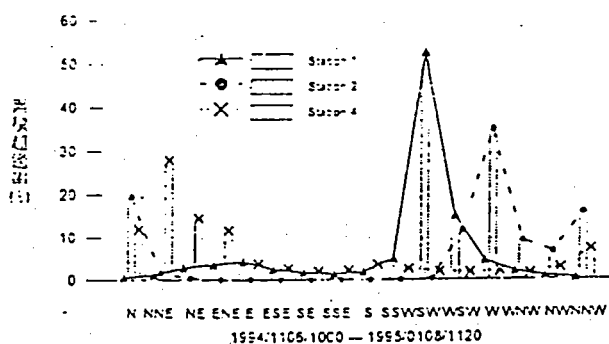


圖 3-44 冬季風速較大時三測站流向統計分析

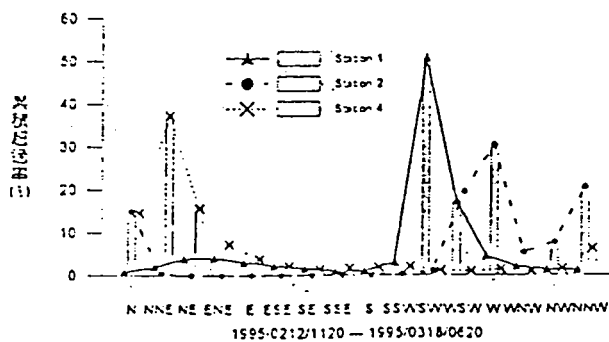
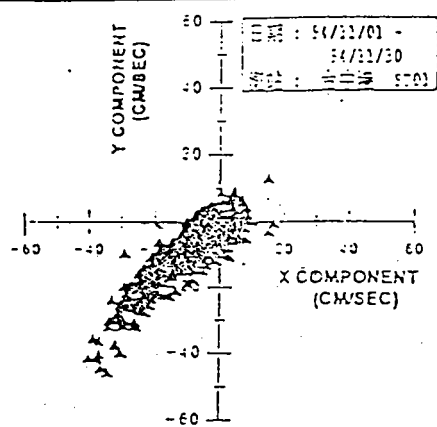
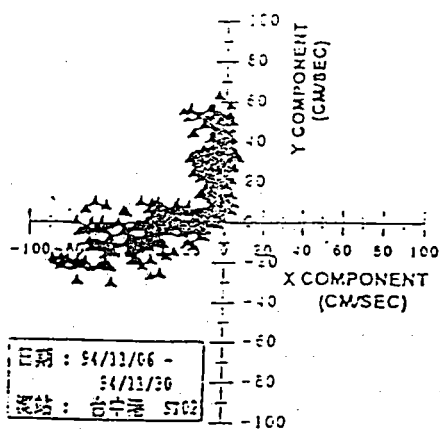


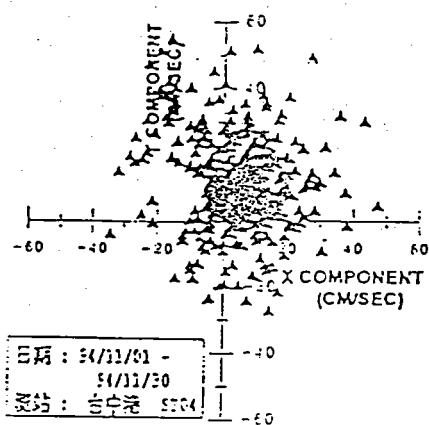
圖 3-45 春季風速減弱時三測站流向統計分析



流速分佈散佈圖

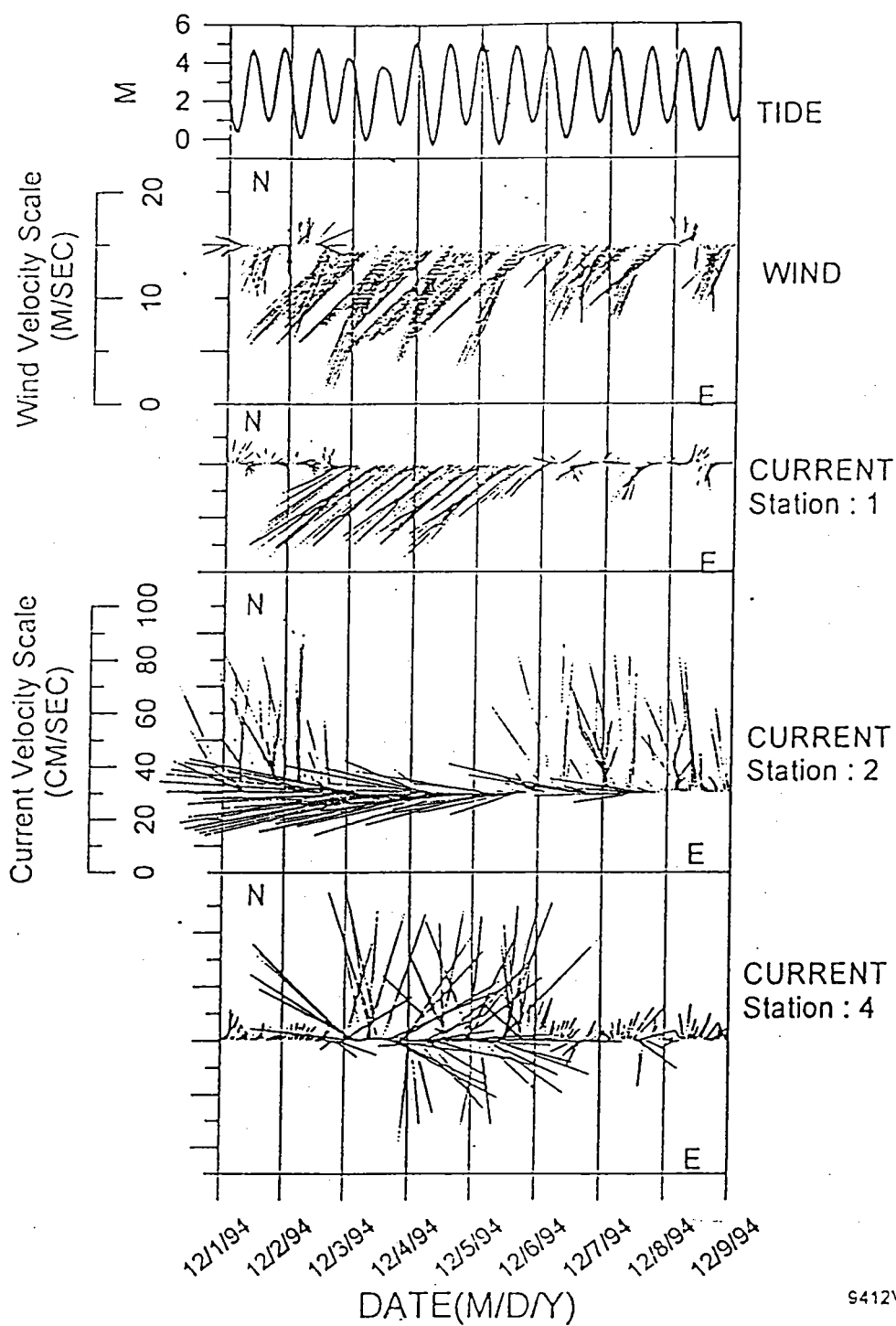


流速分佈散佈圖



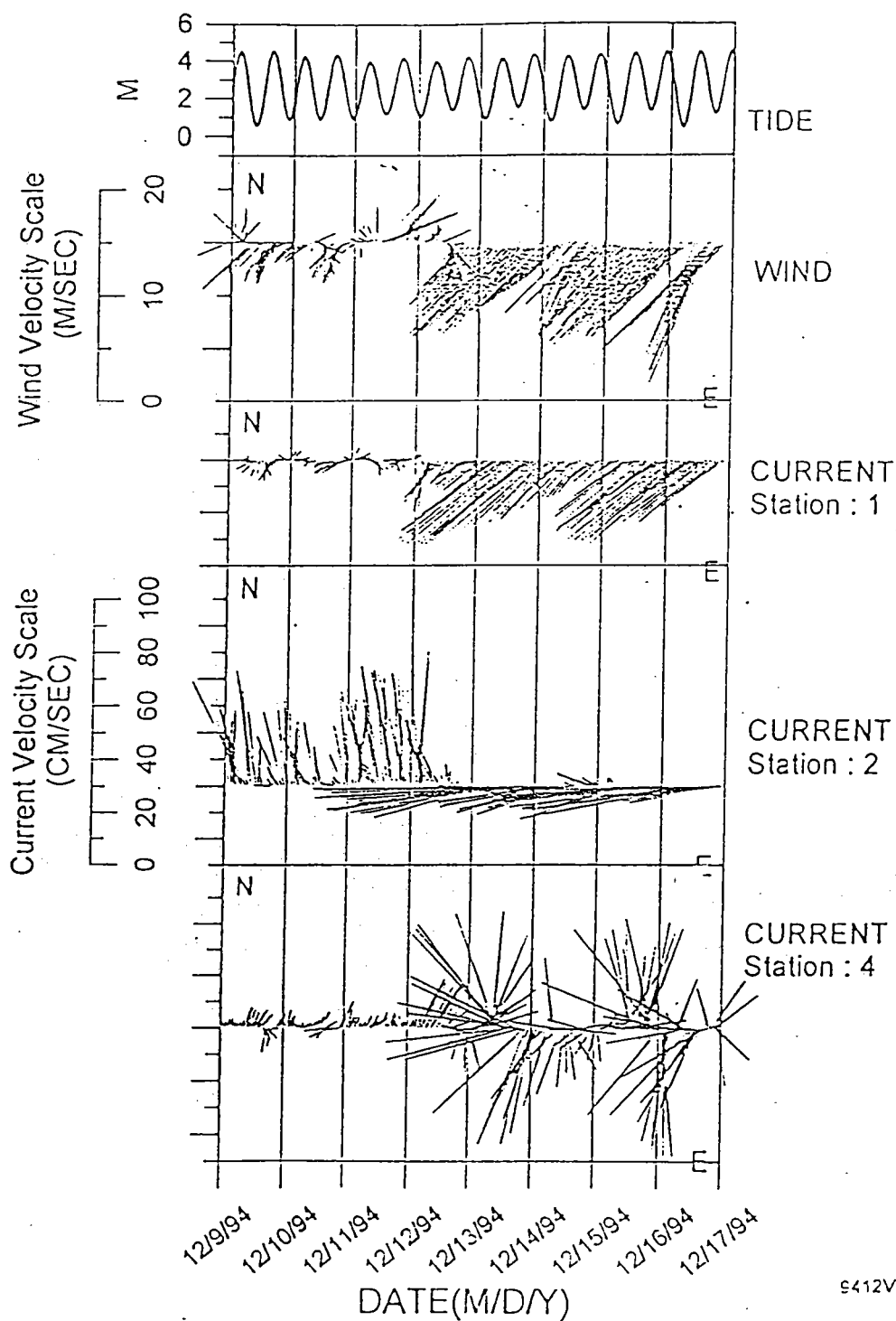
流速分佈散佈圖

圖 3-46 冬季時三測站流速極值分佈



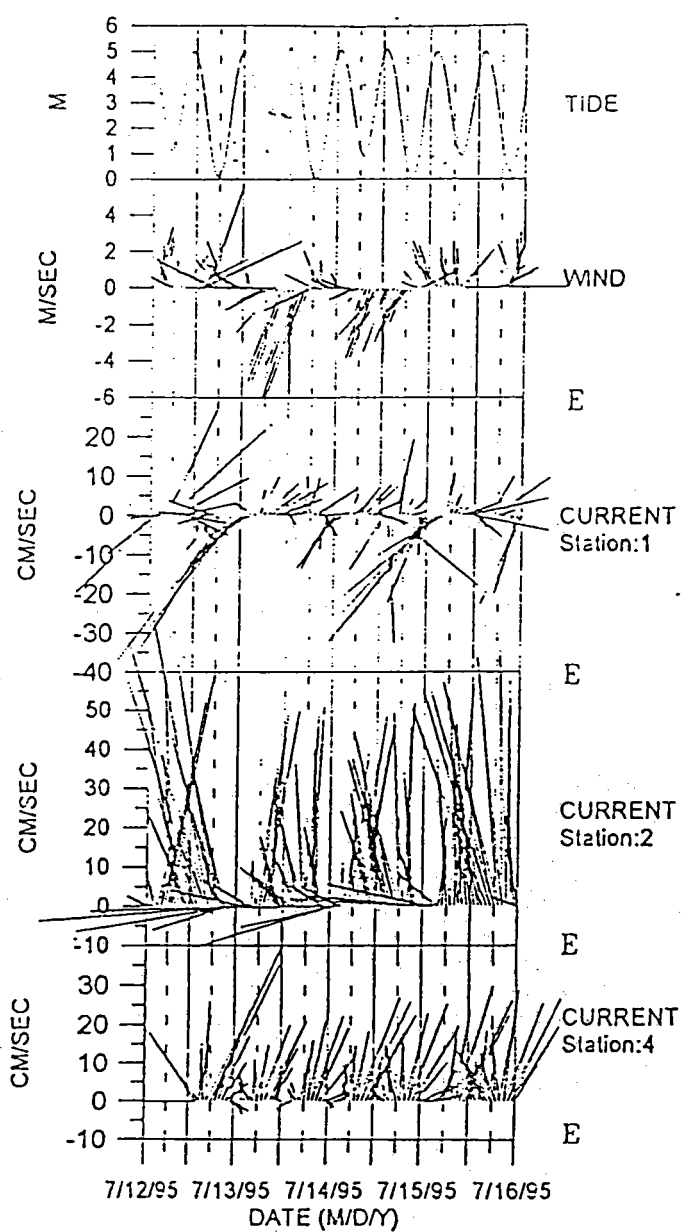
S412VTA1

圖 3-47 冬季東北季風時潮位、風矢及流況延時變化



S412VTA2

圖 3-47(續)冬季東北季風時潮位、風矢及流況延時變化(續)



D:\NECK\CUR71215.GR7

圖 3-48 夏季風速轉弱時潮位、風矢及流況延時變化

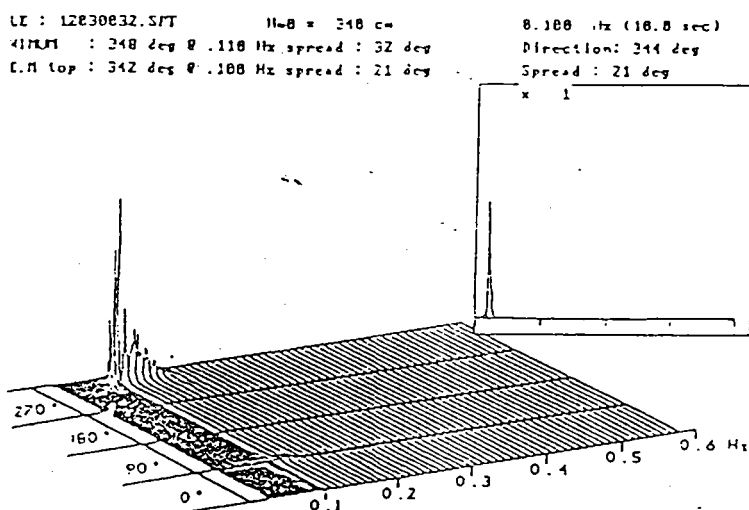


圖 3-49 堤頭前實測波浪方向頻譜

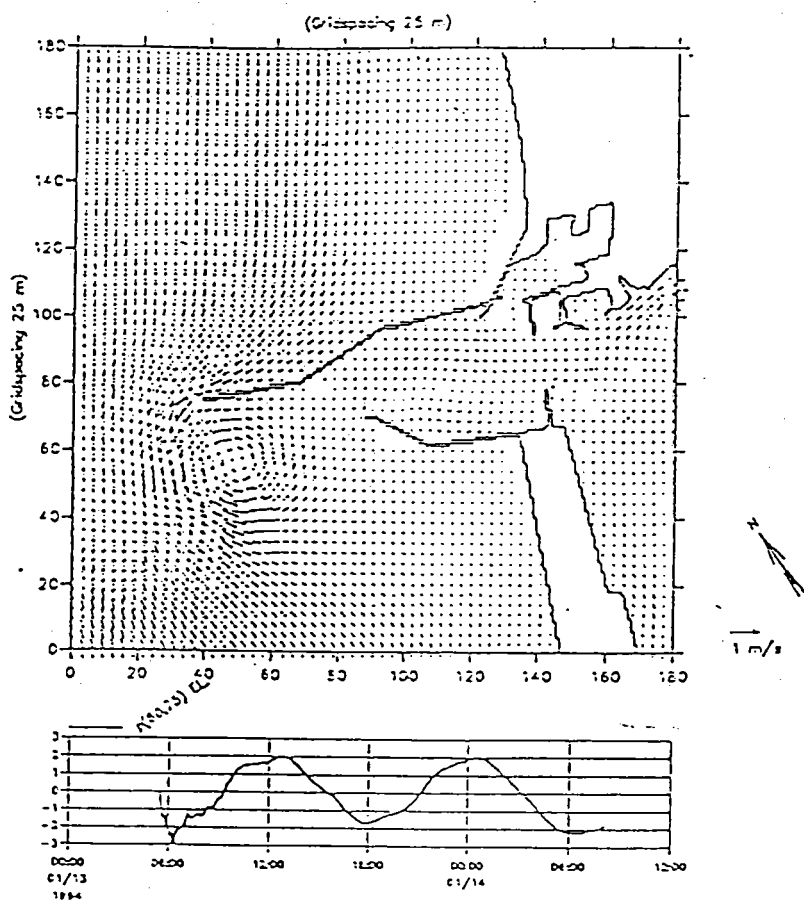


圖 3-50 潮汐作用(不考慮風與浪)港口流況計算結果

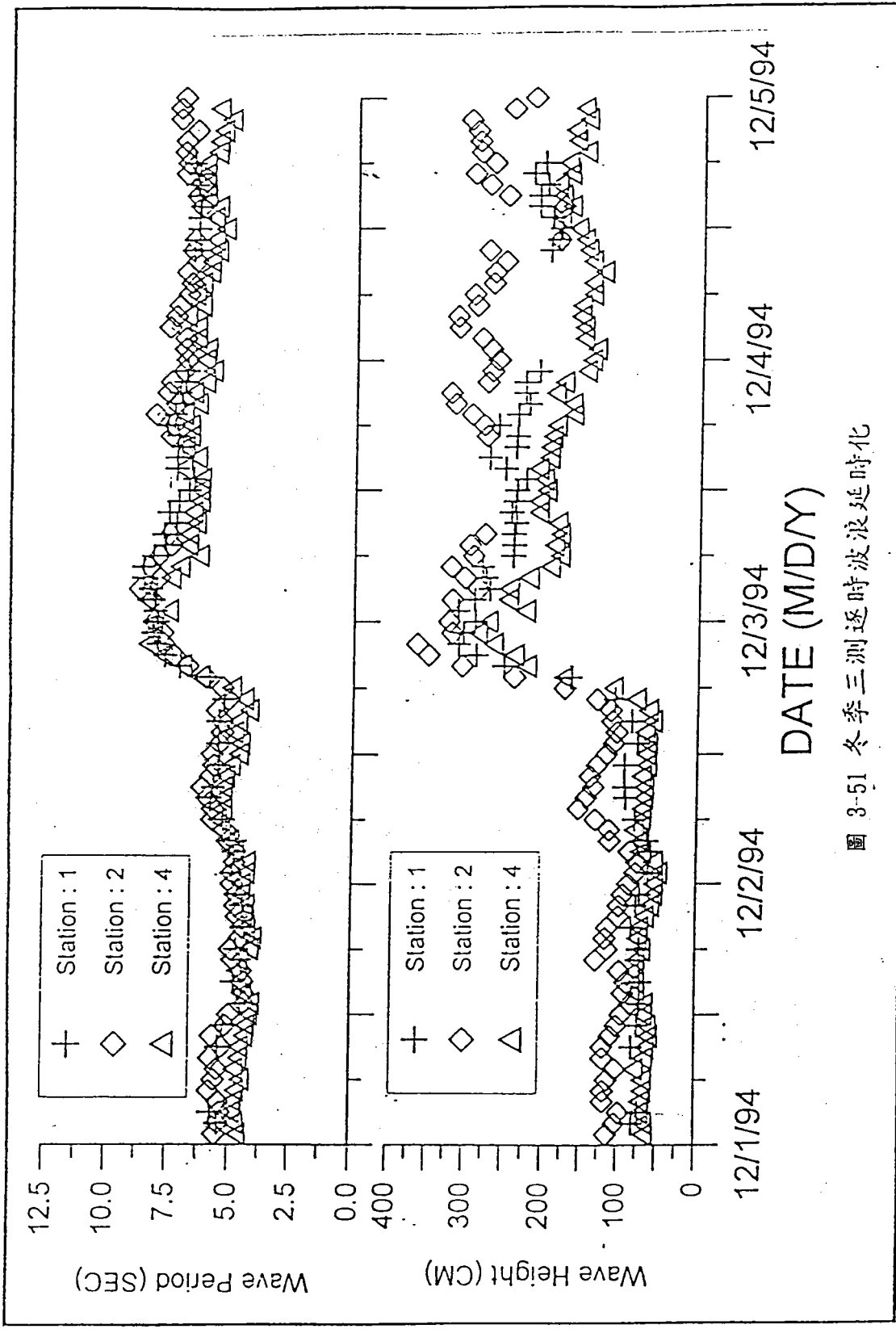


圖 3-51 冬季三測逐時波浪延時化

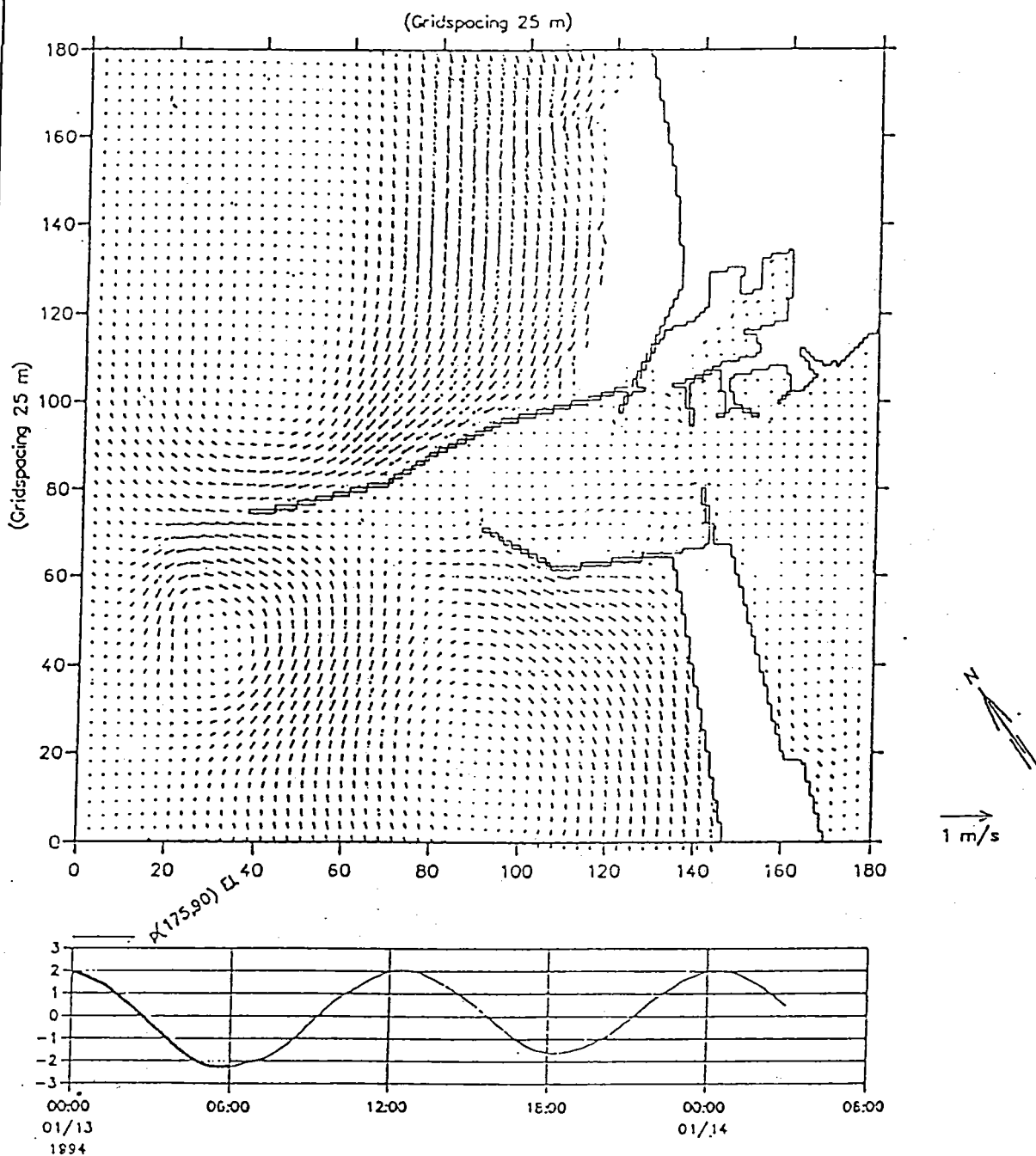


圖 3-52 東北向風速 15m/s，低潮時港口流況計算結果
(未考慮波浪)。

參考文獻

1. 梁乃匡、張金機等(1983)，台中海岸流況調查研究，港灣技術研究所 72 研(二)。
2. 張金機、蘇青和、簡仲璟(1988)，台中港港口流速調查研究，港研所專刊 50 號。
3. 張金機、何良勝、黃清和(1988)，台中港港口擴建水工模型試驗研究，港研所專刊 47 號。
4. 中華顧問工程司(1988)，台中港港口擴建計算評估研究，中華顧問工程司。
5. 張金機、曾相茂(1990)，“台灣四周海氣象調查研究(五)”，港灣技術研究所 79 研(三)。
6. 黃清和、曾相茂(1991)，“台灣四周海氣象調查研究(六)”，港灣技術研究所 80 研(三)。
7. 張金機、曾相茂(1992)，“台灣四周海氣象調查研究(七)”，港灣技術研究所 81 研(三)。
8. 簡仲璟、曾相茂(1993)，“台灣四周海氣象調查研究(八)”，港灣技術研究所 82 研(四)。
9. 張金機、曾相茂(1993)，“花蓮港港池不穩靜初步調查研究”，第十五屆海洋工程研討會論文集，pp.489-502。
10. 簡仲璟、曾相茂(1994)，“台灣四周海氣象調查研究”，港灣技術研究所 84 研(二)-1。
11. 張金機(1994)，“蘇澳港與花蓮港八十二年颱風災害探討”，港灣技術研究專刊第 99 號。

12. 花蓮港務局(1994),“颱風期間船舶動態資料”。
13. 曾相茂、張金機、簡仲璟等(1995), 台中港港口擴建後海氣象調查研究, 期中報告。
14. 曾相茂、張金機(1995), “台灣海域海氣象調查研究”, 港灣技術研究所。
15. 張金機、曾相茂(1995), “花蓮港港灣設施改善之研究期中報告”, 港灣技術研究。
16. 徐進華(1995), “長波非線性效應研究”, 港灣技術研究所 84(七)。
17. 張金機、曾相茂(1995), “花蓮港港池不穩靜調查研究”, 第十七屆海洋工程研討會暨兩岸港口及海洋工程研討會論文集, pp.131-143。
18. 莊文傑、蘇青和等(1996), 台中港港口段航道設置減風設施可行性研究, 期中報告。

海氣象資料庫
與
查詢系統建立研究

台灣省政府交通處
港灣技術研究所

台中 梧棲

中華民國八十五年六月

港灣海域海氣象特性研究

— 海氣象資料庫與查詢系統建立研究

計畫主持人： 簡 仲 璟 研究員

協同主持人： 曾 相 茂 副研究員

研究人員： 廖 慶 堂 助理研究員

 楊 怡 芸 行政助理

 李 江 澤 行政助理

港灣海域海氣象特性研究

— 海氣象資料庫與查詢系統建立研究

目 錄

中文摘要.....	1
壹、前 言.....	2
貳、海氣象資料庫說明.....	5
參、資料庫查詢系統規劃與操作介紹.....	16
肆、結論與建議.....	41
參考文獻.....	42

港灣海域海氣象特性研究

— 海氣象資料庫與查詢系統建立研究

摘 要

本計畫是以 82 及 83 年度“台灣四周海氣象調查研究”計畫中的資料蒐集與統計分析結果，經整理歸納後建立海氣象資料庫查詢系統。本系統將於個人電腦上以方便、易操作的視窗方式將上述的資料及其統計結果以各類圖形或表格顯示，而讓使用者能方便、快速的瞭解台灣海域海氣象資料的種類、時間涵蓋範圍、測站相關資料及其基本特性。

目前本計畫蒐集整理台灣近岸區域海氣象資料計有風速、風向測站 17 個，1945 年至 1994 年颱風資料，波浪測站 11 個，潮汐測站 14 個，海流測站 9 個。上述這些資料的蒐集與鍵檔情形，見本報告第貳章。

最後本研究對於海氣象資料的查詢系統提出初步的架構設計，並說明所考慮的相關事項，及處理原則。並且以台中港風速、風向的查詢作一舉例說明，讓使用者明瞭如何利用此一查詢系統獲得其所須的海氣象資訊，見本報告第參章。

壹、前言

一、計畫背景

本所於 75～82 年度的基本研究“台灣四周海氣象調查研究”計畫中曾蒐集大量的海氣象資料(包括本所自行的觀測資料，及其他單位的資料)。雖然在歷年的計畫中，曾就這些資料加以整理、分析。但主要是以本所的觀測資料為主，且常侷限於某一測站，而缺乏台灣四周整體海域的特性分析結果。因此在 83 年及 84 年度同上述計畫中將台灣四周海域的海氣象資料作整體的區域性分析。而這些分析結果數量龐大，實須有一套方便操作的查詢系統，加以管理，以便快速、正確的獲得所須資訊。

二、計畫目的

本計畫是以 82 及 83 年度“台灣四周海氣象調查研究”計畫中的資料統計分析結果，經整理歸納後建立海氣象資料庫查詢系統。本系統將於個人電腦上以方便，易學的視窗方式將上述的分析結果以易看、易懂的各類圖形或格顯示，而讓使用者能方便，快速的瞭解台灣海域海氣象的基本特性。

此外配合籌建中的港研所網際網路查詢系統，將本海氣象資料庫查詢系統納入作整體考量。同時考慮本系統是否將來納入全國海氣象資訊網中，而成為其一子系統。

查詢系統使用者透過本系統除了上述可概括的瞭解台灣四周的海氣象特性外，也可知道本所目前蒐集的各種海氣象原始資料的相關

資訊，如果使用者需要這些原始資料，以便作進一步的分析時，也可藉由本系統清楚瞭解如何將所需資料下載到使用者的個人電腦上，而省去資料拷貝時的人力與時間，同時也達到資料廣泛提供及交流與國家推動政府業務電腦化的政策。

三、實施方法

本計畫主要工作分兩大部份

- (一)海氣象料蒐集、鍵檔及資料庫建立。
- (二)海氣象資料庫查詢系統建立。

除本所目前自行觀測(主要以台灣五個國際港口為主)外，另外向中央象局、台南水工試驗、水利局、海軍氣象中心及學術研究單位蒐集有關資料進行格式統一、資料篩選、謬誤修正等品質管制後存檔至資料庫中。目前所含的資料種類計有風、波浪、海流、潮汐與颱風等五種。第二部份資料庫查詢系統的建立，由於屬專業的技術，非本所現有人力可完成，因此在政府推動「政府業務電腦化」的七大策略中，曾明白提出如下策略：

策略之一：推動委外服務

- (1)為有效運用政府人力及技術資源，加速系統發展，應以委外服務為原則。
- (2)各機關於研議資訊計畫時，如須增加人力，應將委外服務納入人力資源替代方案。

策略之二：促進資訊交換及流通

(1)各機關應在可行的最大範圍內，經合法程序，提供可資利用的資訊。

(二)政府建置之資料庫，應加強開放，提供各界運用，以促進資訊流通。

根據以上推動策略及衡量本所現有人力資源後，此第二部份的工作將與國內學術機構進行合作，以期能順利將海氣象資料庫查詢系統上網路連線，同時培養訓練本所有關資料庫的規劃與維護人員。在本研究中將依據海氣象資料的特性及使用者的可能需求，提出資料庫查詢系統的架構規劃，操作功能需求，與相關注意事項，以便和外界的學術合作機構進行溝通與協調，使海氣象資料庫及查詢系統的建立能順利完成。

貳、海氣象資料庫說明

一、風速、風向資料庫

在本計畫中主要是以蒐集海氣象資料為目的，故風測站的選擇是以近岸或離島地區為考量。經蒐集整理後共得 17 個測站的風資料如表 2-1。

表 2-1 台灣近岸及離島地區風測站名稱及相關資料表

測站名稱	代號	測站經緯度	海拔(m)	儀高(m)	涵蓋期間	提供單位	原資料媒體
台中港	TC	24° 18' 25" N 120° 31' 20" E	----	----	1984/01~ 1991/12	港研所	磁片
梧棲	WC	24° 15' 31.44" N 120° 30' 54.24" E	8.6	10.5	1984/01~ 1991/12	氣象局	報表紙
外傘頂洲	WA	23° 28' 05" N 120° 52' E	----	----	1988/01~ 1991/12	水利局	報表紙
塭港	WK	23° 28' 06" N 120° 7' 46" E	----	----	1988/01~ 1991/12	水利局	報表紙
觀音	KI	-----	----	----	1981/12~ 1983/08	港研所	報表紙
大鵬灣	TP	22° 26' 12" N 120° 28' 7" E	----	----	1990/11~ 1991/12	港研所	磁片
高雄	KS	22° 33' 20" N 120° 18' 27" E	----	----	1984/01~ 1991/12	氣象局	磁帶
新港	SK	23° 06' N 121° 22' E	32.7	12.3	1975/01~ 1982/12	氣象局	報表紙
台東	TT	22° 45' N 121° 09' E	9	11.4	1984/01~ 1987/12	氣象局	磁帶
花蓮	HL	23° 59' N 121° 36' E	----	----	1984/01~ 1991/12	氣象局	磁帶
基隆	KL	25° 09' 26.4" N 121° 44' 38.7" E	----	----	1984/01~ 1991/12	氣象局	磁帶
蘇澳	SA	24° 36' N 121° 52' E	3.3	10.1	1984/01~ 1991/12	氣象局	磁帶
東吉島	DG	23° 16' N 119° 40' E	45.5	8.7	1978/01~ 1987/11	氣象局	磁帶
澎湖	PH	23° 34' N 119° 33' E	----	----	1978/01~ 1987/11	氣象局	磁帶
澎湖嶼	PG	250° 38' N 122° 04' E	99.0	7.2	1978/01~ 1987/11	氣象局	磁帶
蘭嶼	LY	22° 02' N 121° 33' E	323.3	12.5	1978/01~ 1987/10	氣象局	磁帶
東沙	TS	20° 42' N 116° 43' E	----	----	1978/01~ 1987/11	海軍氣象中心	報表紙

上表中資料是截至民國81年6月本所所蒐集之較完整資料經整理而得，不過在涵蓋期間內仍有零星資料缺失。民國81年6月至目前為止本所除繼續蒐集上述各站的後續資料外並蒐集興達港、鹽寮、南沙、鹿港、後安寮及曾文等站的資料，以豐富資料庫內容。

二、颱風資料說明

本計劃共蒐集1945年至1994年的颱風資料，其內容包含時間(Y/M/D/H)，颱風中心位置、中心氣壓、移動速度、七級風及十級風暴風半徑等、上述這些資料將配合台灣附近海域大陸東南沿海及菲律賓北部海域以圖示顯示，方便使用者查詢。此外本計畫將氣象局編印之台灣地歷年侵台颱風強度、路徑及災害統計建表，如表2-2。

表2-2 台灣地區歷年侵台颱風強度、路徑及災害統計
(民國四十七年至八十三年)

侵台日期			名 稱	颱 風 強 度	近 中 心 最大風級	侵 台 路 徑	死 亡 (人)	受 傷 (人)	房屋倒塌 (間)
年	月	日							
47	7	15	溫妮絲	強烈	17	2	19	78	19807
47	9	3	葛瑞絲	強烈	17	1	13	27	3740
48	7	15	畢莉	中度	14	1	30	50	3735
48	8	22	艾瑞絲	中度	14	3	8	13	1138
48	8	29	瓊安	強烈	17	2	27	371	15708
48	9	3	魯依絲	中度	14	2	7	197	1503
48	11	18	芙瑞達	中度	13	4	11	5	52
49	6	10	瑪麗	中度	12	7	1	1	91
49	7	31	雪莉*	強烈	16	1	183	430	23917
49	8	8	崔絲	強烈	17	1	6	7	349
49	8	23	艾琳	中度	13	7	9	3	405
50	5	26	貝蒂	強烈	17	2	16	210	4817
50	7	13	艾爾西	中度	14	3	4	0	22
50	8	7	裘恩	中度	15	2	14	31	565
50	8	25	勞娜	強烈	17	3	3	4	244
50	9	12	波密拉*	強烈	17	1	279	1810	34941
50	9	28	莎莉	中度	13	3	0	0	72
51	7	22	凱蒂	中度	13	4	18	43	1037
51	8	5	歐珀	強烈	17	1	80	1501	21146
51	8	31	萬達	中度	15	3	1	0	33
51	9	5	愛美	強烈	17	1	13	89	1898
51	10	3	黛納	強烈	16	3	1	15	1758
52	7	16	范迪	強烈	17	1	15	16	402
52	9	11	葛樂禮*	強烈	17	1	312	450	24733

資料來源：由內政部[台灣警務統計分析]及中央氣象局[歷年颱風警報發佈概況]整理而得。

附註：

1.

路徑代號	1	2	3	4	5	6	7
侵台颱風路徑	通過北部向西北進行	通過中部向西北進行	通過南部向西北進行	沿東岸北上	沿西岸北上	通過中南部向東北進行	特殊路徑

2. 颱風強度以近中心最大風級為準，輕度颱風為8-11級，中度颱風為12-15級，強烈颱風為16級以上。

3. *表死亡人數超過100人之颱風。

表2-2 台灣地區歷年侵台颱風強度、路徑及災害統計(續)
(民國四十七年至八十三年)

侵台日期			名 稱	颱 風	近 中 心	侵 台	死 亡	受 傷	房屋倒塌
年	月	日		強 度	最大風級	路 徑	(人)	(人)	(間)
54	6	18	黛 納	強烈	17	4	62	219	11617
54	7	26	哈 莉	強烈	16	2	2	13	164
54	8	18	瑪 麗	強烈	17	1	31	493	2427
55	5	30	裘 迪	中度	14	6	18	14	1123
55	8	16	蒂 絲	輕度	11	7	1	0	28
55	9	6	寇 拉	強烈	17	1	1	7	55
55	9	16	艾 爾 西	強烈	16	6	10	29	236
56	7	11	葛 萊 拉	中度	14	2	22	27	808
56	8	29	娜 娜	中度	12	2	0	0	4
56	10	18	解 拉	強烈	17	3	82	203	2033
56	11	18	吉 達	強烈	17	2	5	57	4021
57	7	28	娜 定	輕度	10	7	5	8	137
57	9	6	范 迪	中度	14	3	19	10	146
57	9	30	艾 琳	強烈	17	3	60	27	2178
58	7	27	衛 歐 拉	強烈	17	3	11	63	2122
58	8	8	貝 蒂	中度	12	1	6	0	120
58	9	26	艾 爾 西*	強烈	17	2	105	371	32846
58	10	2	芙 勞 西*	中度	12	4	105	41	5969
59	9	7	芙 安 *	輕度	10	7	130	47	2865
60	7	21	露 西	強烈	16	3	4	8	61
60	7	26	娜 定	強烈	17	3	52	117	6596
60	9	18	艾 妮 絲	中度	13	2	7	4	276
60	9	22	貝 絲	強烈	17	7	39	208	7078
61	7	12	蘇 珊	中度	12	7	4	0	26
61	7	23	莉 泰	中度	12	7	11	3	432
61	8	17	貝 蒂	強烈	17	1	27	17	1328
62	8	20	瓊 安	輕度	9	7	9	1	14
62	10	9	娜 拉	強烈	17	5	68	85	1684

表2-2 台灣地區歷年侵台颱風強度、路徑及災害統計(續)
(民國四十七年至八十三年)

侵台日期			名 稱	颱 風	近 中 心	侵 台	死 亡	受 傷	房屋倒塌
年	月	日		強 度	最大風級	路 徑	(人)	(人)	(間)
63	9	28	范 迪	輕度	11	4	54	40	342
63	11	8	葛 樂	強烈	16	7	1	0	0
64	8	3	妮 娜	強烈	17	2	18	140	2745
64	9	22	貝 蒂	中度	14	3	20	47	2755
65	6	29	魯 碧	強烈	12	7	0	0	9
65	8	9	畢 莉	強烈	16	1	12	24	7947
66	7	25	賽 洛 瑪	中度	13	5	49	298	25423
66	7	31	薇 拉 *	強烈	16	1	114	65	8114
67	10	13	娜 拉	中度	13	4	7	8	6
68	7	28	戈 登	輕度	10	7	0	0	136
68	8	1	賀 璞	強烈	17	3	1	1	465
68	8	14	歐 敏	中度	13	4	0	0	3
68	8	23	茶 迪	強烈	17	7	0	0	12
69	8	27	諾 瑞 斯	中度	14	1	6	7	372
69	9	18	珀 西	強烈	17	3	7	27	469
70	6	13	艾 克	輕度	11	6	5	5	6
70	6	20	裘 恩	中度	13	4	3	0	4
70	7	19	莫 瑞	輕度	11	1	41	20	661
70	9	20	葛 萊	強烈	17	3	0	0	4
71	7	29	安 迪	強烈	17	3	21	24	1157
71	8	9	西 仕	強烈	17	4	27	9	101
71	8	15	黛 特	中度	12	3	0	3	13
73	6	24	魏 恩	輕度	10	3	1	0	0
73	7	3	亞 力	中度	12	2	3	1	13
73	8	7	芙 瑞	輕度	10	1	5	1	11
73	8	19	郝 麗	中度	12	4	0	0	2
74	6	22	海 爾	中度	15	3	10	12	17
74	7	29	傑 夫	中度	12	1	1	0	0
74	8	23	尼 爾	中度	15	1	10	24	23
74	9	17	衛 奧	輕度	10	3	1	0	0
74	10	4	白 蘭	中度	14	4	1	5	1

表2-2 台灣地區歷年侵台颱風強度、路徑及災害統計(續)
(民國四十七年至八十三年)

侵台日期			名 稱	颱 風 強 度	近 中 心 最大風級	侵 台 路 徑	死 亡 (人)	受 傷 (人)	房屋倒塌 (間)
年	月	日							
75	6	24	南 施	中度	13	4	2	2	1
75	7	10	佩 姬	強烈	17	3	2	1	0
75	8	22	韋 恩	中度	13	7	87	422	38156
75	9	19	艾 貝	中度	16	2	14	39	410
76	7	21	費 南	中度	12	4	4	0	0
76	7	27	亞 力 士	中度	12	4	1	0	26
76	9	9	傑 魯 得	強烈	16	3	11	39	1325
76	10	24	琳 恩	強烈	16	3	63	8	531
77	6	2	蘇 珊	中度	13	6	1	0	4
77	10	25	魯 碧	中度	15	7	9	1	3
78	9	11	莎 拉	強烈	16	4	52	47	1190
79	5	19	瑪 麗 安	中度	13	6	4	0	0
79	6	23	歐 菲 莉	中度	13	2	38	10	227
79	8	19	楊 希	中度	13	1	30	15	141
79	8	30	亞 伯	中度	14	1	1	3	5
79	9	7	黛 特	中度	13	2	10	4	118
80	7	18	艾 美	強烈	16	3	4	8	129
80	9	23	耐 美	強烈	16	7	7	9	81
80	10	1	耐 特	輕度	11	7	0	2	0
80	10	30	露 絲	強烈	17	7	1	1	4
81	8	30	寶 莉	輕度	9	2	11	6	4
81	9	4	歐 馬	中度	13	2	3	9	13
81	9	22	泰 德	輕度	11	4	0	0	0
83	7	10	提 姆	強烈	16	2	23	65	261
83	8	3	凱 特 琳	輕度	8	2	8	0	11
83	8	8	道 格	中度	14	7	16	41	72
83	8	21	弗 雷 特	強烈	16	7	4	2	0
83	9	1	葛 拉 絲	中度	12	1	7	51	67
合 計							2797	8969	342097

三、波浪資料庫

本計畫先蒐集11個測站的波浪資料，各測站的相關資料如表2-3。

表2-3 台灣近岸海域波浪站相關資料

站名	代號	位置	水深	儀器形式	起迄時間	檔案筆數	提供單位	原資料媒體
鼻頭角	BT	25° 8' 9" N 121° 55' 31" E	55	超音波	1980/10~ 1993/08	106	氣象局	磁帶
成功	CK	23° 4' 47" N 121° 23' 00" E	36	超音波	1980/06~ 1989/12	101	氣象局	磁帶
		-----	43	超音波	1992/06~ 1993/09			
東吉島	DG	23° 15' 00" N 119° 41' 46" E	44	超音波	1981/07~ 1988/10	88	氣象局	磁帶
		-----	29	超音波	1991/08~ 1993/09			
花蓮	HL	23° 58' 45" N 121° 37' 46" E	30	浮球式	1989/12~ 1993/03	40	港研所	磁片
觀音	KI	-----	13	壓力式	1981/12~ 1984/06	21	港研所	磁片
(許厝)	SS	25° 03' 30" N 121° 03' 24" E	16	壓力式	1991/10~ 1993/03		港研所	磁片
高雄	KS	22° 25' 40" N 120° 27' 40" E	16	超音波	1990/11~ 1993/03	22	港研所	磁片
小琉球	LC	22° 24' 13" N 120° 20' 46" E	34	超音波	1988/04~ 1989/08	25	氣象局	磁片
		-----	23	超音波	1992/06~ 1993/09			
興達	SD	-----	9.5	壓力式	1984/06~ 1985/06	13	港研所	磁片
台中	TC	-----	19	超音波	1971/07~ 1977/12	63	中港局	報表紙
			20	浮球式	1989/08~ 1989/09		港研所	磁片
				壓力式	1889/11~ 1989/12			
大鵬洲	TP	-----	16	超音波	1978/09~ 1984/12	75	高港局	報表紙
外傘洲	WS	23° 36' N 120° 03' E	20	壓力式	1989/02~ 1989/03	5	港研所	磁片
		-----	13	壓力式	1989/09~ 1989/11			

上表中資料是截至82年止，在近兩年港研所於花蓮港，及台中港進行新觀測，目前尚未儲入資料庫中。由上表中可發現某些測站資料涵蓋期間較短，因此無法進行長期統計分析，故只挑選6個具較長資料的測站進行分析，其結果可參考「台灣區域波浪統計特性比較研究」，參見參考文獻1。

四、潮汐資料庫

本計畫共蒐集40個測站的潮汐資料，目前建檔完成的有14個測站(具較長期資料)各測站的相關資料如表2-4。

表2-4 台灣近岸海域潮汐站相關資料表

測站名稱	代號	時 間	提拱單位	原資料來源	備 註
台中港	TC	1971/03-1994/06	中港局、港研所	報表紙	缺1976/08-1977/04
興達港	SD	1984/06-1985/11	台 電	報表紙	缺1984/08
高雄港	KS10 KS02	1971/01-1992/06 1988/01-1994/06	高雄港務局	報表紙	
花蓮港	HL	1976/01-1994/01	高雄港務局	報表紙	缺1981/01-1983/12
蘇澳港	SA	1981/01-1992/12	高雄港務局	報表紙	
基隆港	KL	1956/01-1993/11	基隆港務局	報表紙	
永 安	YA	1982/04-1984/03	港 研 所	磁 帶	缺1983/01-03
塭 港	WK	1988/01-1994/06	水 利 局	報表紙	
三條崙	SL	1988/01-1994/06	水 利 局	報表紙	
將 軍	JJ	1988/01-1994/06	水 利 局	報表紙	缺1993/09-1994/04
竹 園	CW	1991/01-1993/09	水 利 局	報表紙	
芳 苑	FU	1988/01-1994/06	水 利 局	報表紙	
富 岡	FK	1992/05-1994/06	水 利 局	報表紙	
埤廣嘴	KT	1992/06-1994/06	水 利 局	報表紙	1994/01

一般在港灣規劃設計時因為在防波堤堤頂高度，或胸牆高度的決定，必須依據暴潮位加以計算。而目前一般潮汐資料中並未提供暴潮位，而是由經驗公式加以推算，其準確性如何？仍有待蒐集暴潮實測記錄加以驗證。在本畫的後續相關工作將進行此方面的研究。此外本所於民國81年對台灣四周26個潮汐站的潮汐資料進行調和分析，在本計畫中將其各港口的各分潮相關資料也納入查詢系統中，以供各界進行潮汐預報之用。

五、海流資料庫

本計畫共蒐集台灣近岸海域9個測站的海流資料，如表2-5。

表2-5 台灣近岸海域海流測站相關資料表

測站名稱	代號	時 間	提供單位	原資料來源	備 註
台中港	TC	1981/11-1981/12 1982/04-1982/05 1982/08 1983/03 1985/12-1986/01 1986/03-1986/04 1986/12-1987/03 1988/0311-1988/0427 1992/01-1992/03	港研所	磁帶	RCM-4海流儀 RCM-7海流儀
興達港	SD	1984/08-1985/11	港研所	磁帶	RCM-4海流儀
紅 柴	HT	1982/12- 1984/02-1984/11	港研所	磁帶	RCM-4海流儀
蘇澳港	SA	1986/09-1986/11	港研所	磁帶	ACM-2海流儀
觀 音 (永安)	YA	1982/02-1982/05 1983/05-1994/06	港研所	磁帶	RCM-4海流儀
蘭 嶼	LY	1982/06	港研所	磁帶	RCM-4海流儀
花 蓮	HL	1989/1229-1990/0108 1990/0323-1994/06	港研所	磁帶	RCM-4海流儀 RCM-7海流儀
外傘頂洲	WA	1989/0301-1989/0330	港研所	磁帶	
高 雄	KS	1992/01-1992/12	港研所	磁帶	

事實上近岸海流受海岸線，底部摩擦，及海岸人工結構物的影響，兩測站雖相距數百公尺，甚至僅數十公尺，其流速、流向都有很大的差別，而且同一點的上、下兩層流速，流向變化也可能有很大的不同。因此海流資料在應用時應特別小心，尤其在近岸地區。

參、資料庫查詢系規劃與操作介紹

一、資料媒體與電腦硬體發展趨勢

1. 資料媒體

傳統式的資料傳遞媒體大部份是紙面，而其有以下幾點優點：

- (1)易於被接受，一目了然
- (2)合法的媒體，行之有年
- (3)資料原始
- (4)移動性高
- (5)無需軟體或硬體設備

但由於紙面資料所佔空間大、查閱與保存不易、傳遞速度慢及資料的再處理分析困難等缺點，近年來有關的電腦資料儲存媒體大量被使用，而且有取代紙面媒體的趨勢，因為其具有新科技、容量大、速度快及效率高等優點。

2. 電腦體發展趨勢

上述已說明電腦資料儲存媒體已有漸漸取代紙面媒體的趨勢(如大量的電子書出版)。而目前電腦的硬體發展趨勢在此作一概括說明

- ◆ PC個人電腦因其低價格及具備多功能特性，已成為資訊全面發展應用之必備工具。

- ◆ 良好的人機溝通介面使PC更具人性化，降低資料庫查詢使用者對電腦的排斥感。
- ◆ 價格日見低廉的電腦工作站具有快速運算、高解析度圖形畫面、資料高儲存容量及優良電腦網路環境等優點，將成為海氣象資料庫的伺服主機。
- ◆ 低價格、高容量與快速存取的光碟機發展，將成為未來資料儲存與備份之使用。
- ◆ 高解析度銀幕(1280*1024)與高解析度彩色繪圖機(靜電式或雷射式)可提昇監視或資料輸出設備的效果。
- ◆ 快速的電腦網路如區域網路(10M bits/sec)與廣域網路(1M bits/sec)及快速的光纖網路(100M bits/sec)，將使資訊的傳遞、交換更加便捷。

由以上說明可知未來的資訊傳遞、交換將由傳統的紙面郵寄或電傳而變成利用電腦透過網路進行快速、廣泛的流通與交換，以達資訊共享的目的。

二、文件影像處理

前一節中已說明電腦儲存媒體取代紙面媒體的主客觀情勢。然而如何將大量的紙面資料(如海氣象統計分析之圖、表)轉換成影像資料而儲存於電腦資料庫中，則至少牽涉到如下幾件事項：

1. 紙面資料轉換

將原始紙面文件經高解析度掃描器變成影像資料，由於一般影像資

所佔磁碟空間很大，因此須進行檔案壓縮工作。壓縮後的檔案為了方便以後的查詢及建檔儲存，因此須要建立索引及品質管制再儲存入硬碟或光碟櫃中。

2. 文件影像資料索引

影像資料的索引須注意至少包含下列幾項資訊

- ◆ 資料的種類
- ◆ 文件影像標題
- ◆ 文件建立人
- ◆ 文件建立日期
- ◆ 文件的檔案編號

3. 文件影品質管制

在影像的品質管制方面注意下列幾件事項

- ◆ 文件的先期準備，即決定使用那些文件及其大小、形式、數量。
- ◆ 影像的清晰度
- ◆ 索引正確性
- ◆ 資料正確性

4. 文件影自動存取系統之關鍵組件

影像存取系統之組件可分為硬體與軟體兩部份，硬體部份至少須含有

- ◆ 掃瞄器
- ◆ 電腦工作站
- ◆ 光碟櫃

- ◆ 印表機
- ◆ 伺服器、網路

而軟體方面則須有下列相關的模組

- ◆ 掃描模組
- ◆ 格式轉換模組
- ◆ 光碟櫃模組
- ◆ 磁碟模組
- ◆ 印表機模組
- ◆ 品管模組
- ◆ 編修模組
- ◆ 記錄模組
- ◆ 讀取模組
- ◆ 資料庫模組

5. 文件影像存取技術

影像存取的技包含有

- ◆ 資料轉換
- ◆ 數位化與影像壓縮
- ◆ 索引建立、品質管制
- ◆ 資料的儲存與讀取
- ◆ 使用上的管制
- ◆ 資料存取的速度與列印
- ◆ 網路建設與資料庫管理
- ◆ 緊急狀況的處理
- ◆ 可擴充性及備份功能

6. 文件影像存取系統之注意事項

- (1)儲存量需求：預計提供多少的文件影像資料，以便設置充足的儲存設備。
- (2)多少使用者：根據預定的服務對象，決定使用者的可能數量與同一時間內最大的上線使用者人數。
- (3)文件的讀取與處理速度：根據影像資料的大小及相關軟、硬體設備來決定其速度，由於海氣象資料的查詢系統一般情況下並不是非常急迫，因此其速度可稍慢，以降低設備的價格。
- (4)資料備份需求：雖然一般的資料庫皆有保護措施，以避免病毒侵入和人為的惡意或無意破壞。但由於海氣象資料的觀測成本很高，而且又具不可回復性，因此為安全起見，仍須有資料的備份，以增加保障。
- (5)系統的擴充：考慮到未來可能增加的資料量，及使用者。須預留發展擴充的空間以避免短時間內該系統即發生超載的情況。
- (6)售後服務與人員訓練：該系統的日常操作，仍由本所人員負責，因此建置該系統的單位應負責操作人員的訓練，並提供相關的售後服務。以確保系統順利運轉。
- (7)資料更新：由於海氣象資料量會隨時間而逐漸增加，因此資料的更新及增加須配合系統的可擴充性，以選擇較佳的更新方式。

三、資料庫查詢系統操作介紹

因考慮到本所的網路查詢系統的完整性，故本計畫之查詢系統擬規劃為港研所網路查詢系統之一部份，如圖3-1、3-2。在圖3-1中所顯示的是

港研所網路查詢系統之首頁(Home Page)，而圖3-2中則列有各種選擇項目，而海氣象資料查詢是其中的一項。事實上海氣象資料庫的完整架構應如圖3-3所示，包含查詢資料與更新資料兩部份。此兩部份的目的與功能完全不同，但兩部份間卻有密不可分的關連。查詢部份主要是提供使用者一個方便、快速的資料查詢管道，而更新部份則是提供資料庫管理人員一個安全、方便及可靠的資料庫維護環境。因此如何讓使用者得到最新最正確的資料則有賴此兩子系統間的連繫，但本報告中將先著重於查詢系統的功能說明，關於海氣象資料庫建立的相關注意事項，見參考文獻2。

本章將規劃中的查詢系統其操作功能作一範例的逐步(step by step)介紹，以便使用者大致瞭解該系統的架構與提供那些資訊。

1. 海氣象資料庫查詢系統首頁

如圖3-4所示，為本系統之首頁，其包含主題說明與輔助說明選擇功能。在主題說明將概略敘述本系統之架構、建立單位與本系統之設立目的。在輔助說明中則敘述其他相關事項如使用者意見欄，系統使用規則與限制及緊急狀況之連絡人等。

2. 海氣象資料項目選擇

如圖3-5所示，是海氣象資料項目根據使用者需求進行選擇，目前本所資料庫中共含五種海氣象資料，使用者於欲查詢的項目中選擇後按確定鍵即進入該項目的查詢；按取消鍵則再次等待項目選擇；按離開鍵則回到海氣象資料庫查詢系統首頁。

3. 風資料查詢

如圖3-6所示為風資料查詢之首頁(在此為方便說明，故以風查詢為例，其他海氣象項目查詢則大致相同)，圖中有四種選擇按鍵。測站查詢鍵將提供本資料庫中各風測站的相關資料說明，而資料檔案查詢鍵，則將提供風資料檔案，輔助說明鍵則說明查詢風資料時的注意事項及可查詢到那些資訊。離開鍵則回到上一層即海氣象資料項目選擇頁。

(1) 風測站相關資料查詢

如圖3-7所示，為風測站相關資料查詢之首頁。圖中顯示出台灣四周近岸及離島之各風測站大略位置。於該圖中選擇某一測站後按確定鍵則進入該測站說明(在此以台中港風測站為例)，按取消鍵則再次等待測站選擇，按離開鍵則回到上一層，即風資料查詢頁。台中港測站相關資料說明如圖3-8所示，該圖中包含下列各項資料：

- ◆測站之地理位置概述：描述該測站是何單位設立，鄰近之地形，地貌.....等等。
- ◆經緯度：該測站之東經及北緯座標。
- ◆儀器海拔高度：從海平面起算之儀器設置高程。當然在其他資料項目則有所不同如在海流資料項目中則是儀器深度。
- ◆儀器型式：說明使用何種儀器觀測，其隨年度可能有所變更。
- ◆觀測單位：說明是由那個單位負責觀測及資料處理。
- ◆測站代號：此代號將與風資料檔案有關。
- ◆觀測期間：說明本測站是由何時開始觀測及何時結束觀測或持續觀測中。

- ◆鄰近10公里是否有其他海氣象資料：此是考慮目前國內海氣象資料仍相當缺乏且無妥善管理，因此許多使用者常不知何處有進行觀測，且對各項資料間的關連性資訊感到缺乏，故設此欄，以增加各項資料間的相互查詢。

由以上各項內容，對於該測站的相關資訊，應當足以有瞭解。

(2)風資料檔案查詢

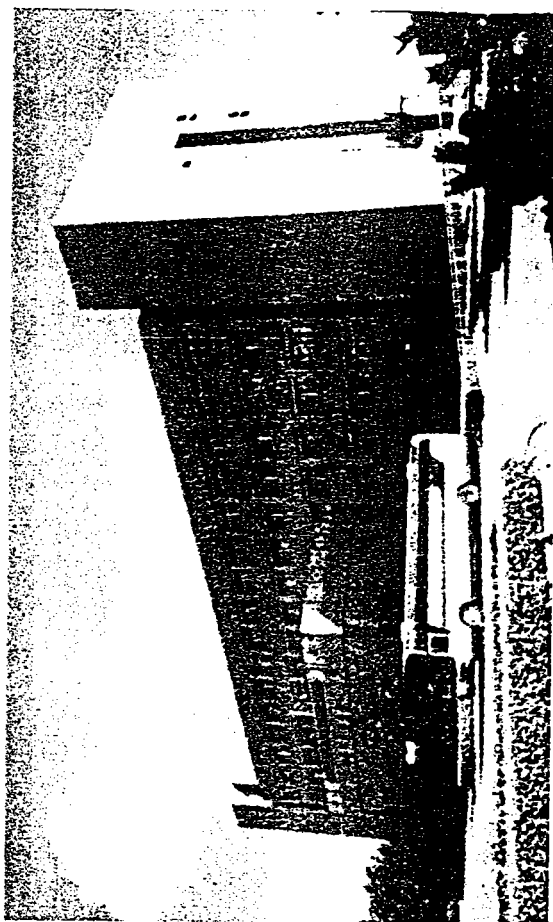
如圖3-9所示，為風資料檔案查詢之首頁，圖中顯示各測站之地理位置，同時類似風測站相關資料查詢設置測站選擇鍵。仍以台中港為例，其風資料案查詢如圖3-10所示。圖中共分四個按鍵。資料檔案總表鍵，則可顯示該測站歷年來的風資料蒐集概況，如圖3-11，由該圖中可大略了解那些年、月有資料，及資料的品質等級。資料檔案瀏覽鍵，則可顯示該測站有那些風資料檔案及各檔案的資料有效量(以百分比顯示)、本站同時段它項海氣象資料，資料所有權、保密等級及儀器型號如圖3-12。藉由圖中右側滑鼠鍵可快速瀏覽本測站含有那些風資料檔案，及其相關資訊。資料典說明鍵，則說明資料檔案的其他資訊，如圖3-13。圖中資料取得管道是說明系統使用者於查詢到所需資料後，如何將資料下載(Down Load)到使用者的電腦中，以便進行分析，其他資訊欄則如圖中所示。統計圖、表鍵，則可顯示該測站的基本統計分析圖、表首頁，如圖3-14所示，於該圖中選擇資料的年代，月份及圖表種類，圖3-15為台中港1995年12月的風速、風向分佈直方圖。

由上述說明可大略瞭解風資料的查詢，至於其他海氣象資料其查詢方式大致與此雷同。不過要另外強調的是本報告僅是對資料庫的查詢系統作一初步規劃，至於實際上的設計與製作，則必須配合海氣

象資料庫的架構設計，再作調整。有關這一方面的工作如資料庫建立、網際網路上查詢系統與下載介面程式，或者是使用者使用資料庫之監視管理系統，其目前尚未整體完成，但已著手進行中，可望於86年初建立一雛型系統上線讓使用者試用，並同時調查使用者的意見，以進行系統修正。另外配合五個國際港的船舶交通管理系統(VTMS)所須的海氣象即時查報系統，則須待下年度本所海氣象電腦工作站主機的採購完成後，才能進行。

歡迎光臨港灣技術研究所

網路查詢系統 1996/05



系統
開啓

系統
關閉

系統
開啓

地址：台中縣梧棲鎮臨海路83號
電話：(04)6564216

圖 3-2 港研所網際網路查詢項目選擇

歡迎光臨海氣象資料庫查詢系統



圖 3-4 海氣象資料庫查詢系統首頁



海氣象資料項目選擇

風

潮汐

波浪

海流

颱風

確定

取消

離開

圖 3-5 海氣象資料項目選擇

風資料查詢

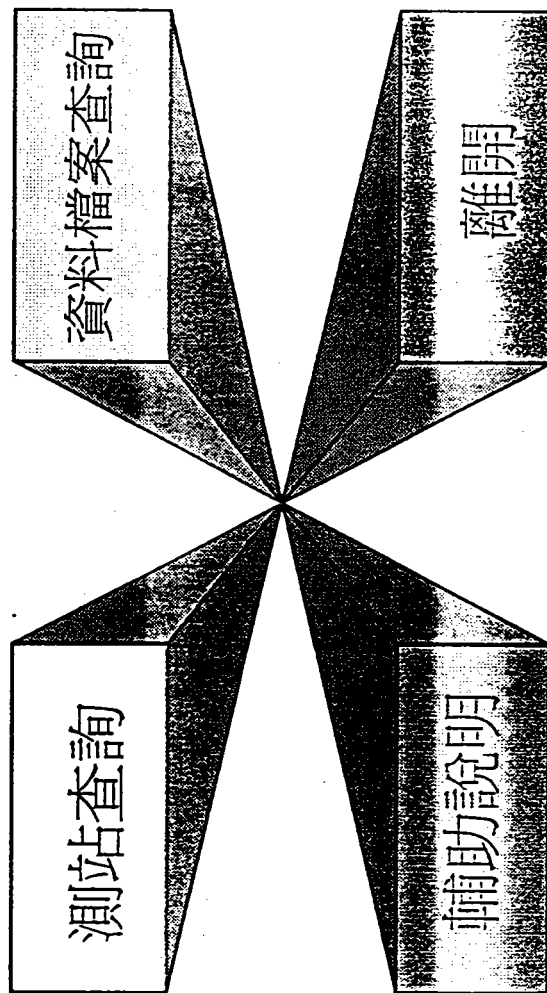
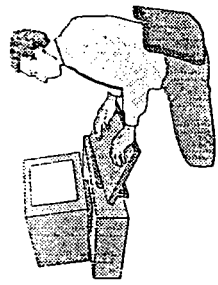
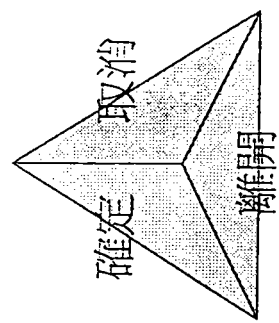
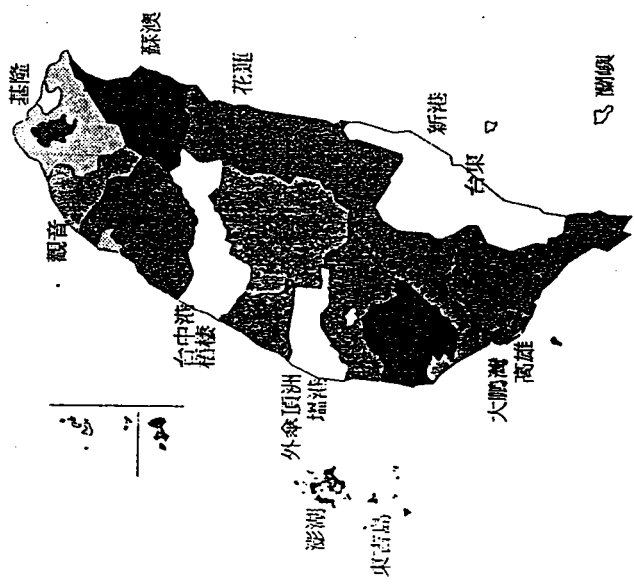


圖 3-6 風資料查詢首頁

風測站相關資料查詢



測站選擇



東沙

圖 3-7 風測站相關資料查詢首頁

台中港風測站相關資料說明

地理位置概述：

本測站位於台中港北側淤沙區,是屬港研所管理之測站.該測站樓高約15公尺,離海岸線約100公尺(北淤沙區未填方),附近有高約10公尺之防風林.

經緯度：東經 120.31.20 北緯 24.18.25 儀器海拔高度：+27 公尺.

儀器型式：

觀測單位：港研所.

測站代號：TCX

觀測期間：1984/01 ~

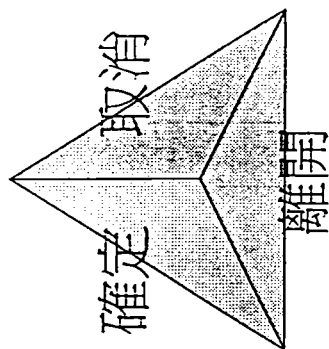
鄰近(10Km)是否有其他海氣象資料：

風	波浪	海流	潮汐
有	有	有	有

圖 3-8 台中港風測站相關資料說明

風資料檔案查詢

測站選擇



3-9

台中港風資料檔案查詢

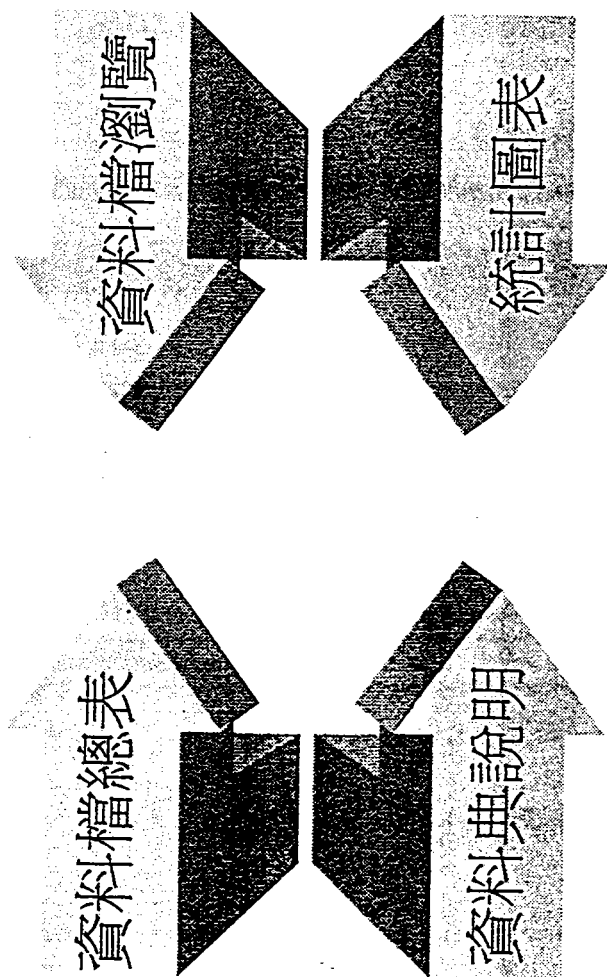


圖 3-10 台中港風資料檔案查詢首頁

測站名稱：台中港（港研所北堤）資料種類：風
 測站經緯度：N 24,18,24.95 E 120,31,19.74 備註：

100%	75%	50%	0%												
年	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1970															
1971															
1972															
1973															
1974															
1975															
1976															
1977															
1978															
1979															
1980															
1981															
1982															
1983															
1984															
1985															

圖 3-11 台中港風資料檔案總表

測站名稱：台中港（港研所北堤）資料種類：風
 測站經緯度：N 24,18,24.95 E 120,31,19.74 備註：

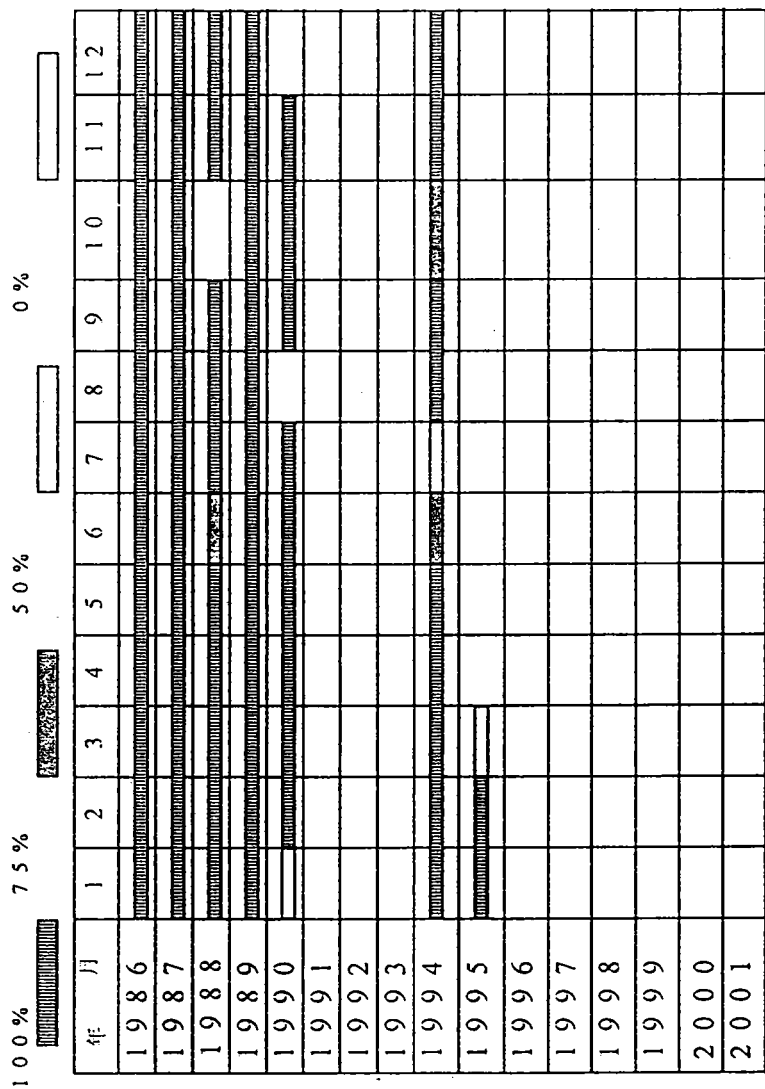


圖 3-11 台中港風資料檔案總表(續)

台中港風資料檔案瀏覽

檔案名稱	有效量	本站同時段它項資料	儀器	所有權	密級
WI8401TC	100%	風 Y 潮 X 波浪 N 海流 N		IHMT	G
WI8402TC	100%	風 Y 潮 X 波浪 N 海流 N		IHMT	G
WI8403TC	100%	風 Y 潮 X 波浪 N 海流 N		IHMT	G
WI8404TC	100%	風 Y 潮 X 波浪 N 海流 N		IHMT	G
WI8405TC	100%	風 N 潮 X 波浪 N 海流 N		IHMT	G
WI8405TC	100%	風 Y 潮 X 波浪 Y 海流 N		IHMT	G
WI8405TC	100%	風 Y 潮 X 波浪 Y 海流 Y		IHMT	G
WI8406TC	80%	風 Y 潮 X 波浪 N 海流 N		IHMT	G

圖 3-12 台中港風資料檔案瀏覽

台中港風資料典

- 資料檔案編碼：1,2欄為資料種類, 3,4欄為西元年, 5,6欄為月份, 7,8欄為測站代號.
- 資料權責單位：台中港務局(TCHB); 港灣技術研究所(IHMT)
- 資料生產單位：港灣技術研究所
- 資料提供及更新單位：港灣技術研究所
- 資料內容簡述：風速單位 (公尺/秒); 風向單位 (1:N,2:NNE,...,16:NNW)
- 資料生產方法：每小時1筆10分鐘平均值.
- 資料使用限制：無限制(G); 有限制(S)
- 資料取得管道：網路地址：<http://www.ihmt.com.tw>
連絡人：港灣技術研究所, 簡仲璟 (04)6564216-411
- 資料出版情形：“台灣四周海氣象調查研究”, 82/07; 83/07

圖 3-13 台中港風資料典說明

台中港風統計圖表

輸入檔案名稱：_____
西元年：__ __ 月份：__ __

確定

取消

風玫瑰圖顯示

風速風向分佈圖

離開

圖 3-14 台中港風統計圖表查詢

台中港風速風向分佈圖

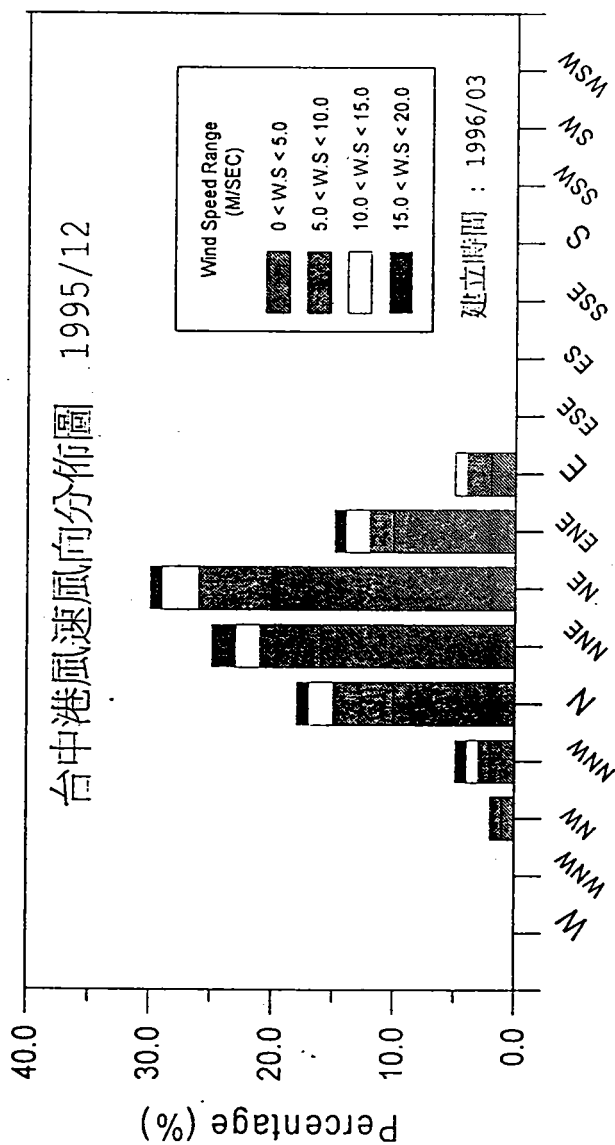


圖 3-15 台中港風速、風向分佈圖

肆、結論與建議

1. 海氣象資料蒐集後須系統化整理及分析，以轉變成有用之資訊，提供給規劃設計單位參考或學術研究單位進行深入的分析。
2. 海氣象資料量龐大繁雜，格式不統一，因此須先作前級修正、篩選及謬誤更正工作，以保障資料的正確性與品質。
3. 資料庫的更新管理、查詢系統的維護，需有專職人員及充足的經費，才能持續順利運作，如此也才能達到資訊共享及提高海氣象資料的應用價值。
4. 資料庫及查詢系統應有專屬電腦主機，例如電腦工作站及充足的磁碟空間與相關附屬設備，以保障資料及資訊品質。
5. 資料庫與查詢系統的建立是屬專業性工作，且在政府所提委外原則的資訊策略下應依政府所公佈之各機關資訊作業委外服務實施要點，尋找民間合格專業廠商或有關學術機構進行合作計畫，加速業務資訊化的達成。
6. 海氣象特性在短期內沒有大變動，但長期而言，可能受地球自然環境或人為環境的改變而有所變化，因此海氣象資料的蒐集與調查是一長期性、永續性的工作，其不僅是對未來可能的開發建設，事先作好環境調查，同時也對目前的環境現況作一監測，以便提早發現可能發生的災害，而作預防措施，其道理如同人的定期健康檢查一般。對於慢性變化的海氣象環境若無長期的觀測資料，如何在面臨可能發生的災害時，而能夠提出對症下藥的防治措施。

參 考 文 獻

1. 簡仲璟、曾相茂、林受勳(1995)，「台灣區域波浪統計特性比較研究」，第十七屆海洋工程研討會，第161～176頁。
2. 梁乃匡、張金機、簡仲璟、曾相茂(1987～1993)，「台灣四周海氣象調查研究(一)-(八)」，港灣技術研究。
3. 何良勝、簡仲璟(1995)，「台灣海域海氣象特性之研究」，港灣技術研究所。
4. 「政府業務電腦化報告書」，行政院資訊發展推動小組編印，1995年9月。

台灣五個國際港
波譜預測模式之研究

台灣省政府交通處
台灣技術研究所

台中 梧棲

中華民國八十五年六月

台灣五個國際港波譜預測模式之研究

執行單位：海岸工程組

計畫主持人：何良勝 研究員

邱永芳 研究員

計畫顧問：郭一羽 教授

陳陽益 教授

歐善惠 教授

參與人員：江金德 助理研究員

楊怡芸 技工

李江澤 技工

何炳紹 技工

陳進冰 技工

蔡瑞成 技工

摘 要

本計畫係分別以理論解析與模型試驗研究探討波浪於有限水深區域波譜形狀與能量分佈的變化情況。理論解析結果方面，文中以 TMA 波譜與深海修正型波譜分別為第一階波譜，探討各種水深情況時，第二階波譜的整體型態、較高頻及極低頻處的能量分佈與其總能量等的變化情況。由解析結果得知，第二階波譜的能量分佈與水深有密切的關係，當 $d/L_0 < 0.2$ 時，由於波浪的非線性效應較為強烈，第二階波譜的能量分佈變化較大，當 $d/L_0 \geq 0.3$ 時，波浪的非線性效應較弱，第二階波譜的型態則趨於固定。

利用成份波本身的高階非線性量與各成份波間相互作用之非線性量的關係，比較說明不同型態的第一階波譜，其對應獲得的第二階波譜亦呈現不同的能量分佈型態。由結果得知，屬於窄帶型的第一階波譜，其產生的第二階波譜能量較為尖銳集中，且較高頻處之尖峰主頻產生於 $\sigma/\sigma_{1P} = 0.2$ 處，若屬於寬帶型的第一階波譜，則其第二階波譜的能量分佈較為寬廣平滑，且其較高頻處之尖峰主頻會往 $\sigma/\sigma_{1P} > 0.2$ 處位移。另外，以現場實測資料與理論解析方式驗證第二階波譜極低頻處確切有能量分佈的情況，由解析結果顯示，當水深較淺時，第二階波譜極低頻處有大量的能量顯現。

模型試驗結果方面，文中分別以 1/30 與 1/50 之斜面底床，探討淺水性波譜形狀的變化情況。試驗結果證明波浪尖銳度與波高水深比皆不會受影響波譜的形狀參數，其主要的影響因素為相對水深。與 WALLOPS 波譜比較，於相對水深 d/L 較小時，本文的波譜形狀參數值與 WALLOPS 推估值差異不大，但 d/L 較大時則有偏大的趨勢。另外，當 $d/L < 0.05$ 時，波浪

會產生分裂的現象造致波譜形狀發生分裂而形成雙峰型，分裂時在較高頻處所產生尖峰的成份波由雙階波譜係數得知仍是線性成份波。

另外，當相對水深 0.3 至 0.05 之波浪的非線性量由雙階波譜係數可知，於主頻處仍是線性波浪，較高頻處之非線性量所佔成份約為此處線性成份的 15 % 以內。

目 錄

摘 要.....	1
圖 目 錄.....	V
表 目 錄.....	X
符號說明.....	XI
壹、前言.....	1
貳、理論解析與探討.....	5
一、理論解析.....	5
1-1 控制方程式.....	5
1-2 波動流場之解析.....	7
1-3 波譜非線性效應之解析.....	11
二、有限水深型波譜為第一階波譜之解析.....	16
2-1 第二階波譜形成之探討.....	17
2-2 第二階波譜極低頻處能量之驗證.....	19
2-3 第二階波譜型態特性之探討.....	21
三、修正型波譜為第一階波譜之解析.....	23
3-1 第二階波譜形成之探討.....	24
3-2 與 TMA 波譜結果之比較.....	26
3-3 第二階波譜型態特性之探討.....	28
參、試驗結果與探討.....	44

一、試驗過程.....	44
1-1 設備與儀器.....	44
1-2 模型佈置.....	44
1-3 試驗條件.....	45
1-4 資料收集與處理.....	47
二、試驗結果與討論.....	49
2-1 通用型之正規化標準波譜.....	49
2-2 波譜形狀的變化.....	51
2-3 波譜形狀參數之決定.....	54
2-4 影響波譜形狀參數 m 之通用表示式.....	56
2-5 波譜形狀參數 m 之通用表示式.....	57
2-6 底床坡度的影響.....	58
三、與 WALLOPS 波譜比較.....	59
3-1 WALLOPS 波譜.....	59
3-2 實驗值與理論值之討論.....	60
四、線性理論之探討.....	61
4-1 不分裂型波譜.....	61
4-2 分裂型波譜.....	63
肆、結論.....	82
參考文獻.....	85

圖 目 錄

		頁數
圖 2-1	TMA 波譜($\gamma=3.3$)於各種水深之標準化波譜.....	30
圖 2-2	TMA 波譜($\gamma=3.3$)為第一階波譜時,各種水深之第二階波譜.....	30
圖 2-3	TMA 波譜($\gamma=2.08$)於各種水深之標準化波譜.....	31
圖 2-4	TMA 波譜($\gamma=2.08$)為第一階波譜時,各種水深之第二階波譜.....	31
圖 2-5	TMA 波譜($\gamma=1.0$)於各種水深之標準化波譜.....	32
圖 2-6	TMA 波譜($\gamma=1.0$)為第一階波譜時,各水深之第二階波譜.....	32
圖 2-7	Goda(1983)實測分析之波譜(1981 於 Costa Rica).....	33
圖 2-8	曾(1995)實測分析之波譜(1994 於台中港).....	33
圖 2-9	陳和湯(1987)模式為第一階波譜所得之第二階波譜....	34
圖 2-10	TMA 波譜($\gamma=3.3$ 、 2.08 、 1.0)為第一階波譜時,各種水深之第二階波譜極低頻處之尖峰主頻密度值.....	34
圖 2-11	TMA 波譜($\gamma=3.3$ 、 2.08 、 1.0)為第一階波譜時,各種水深之第二階波譜與第一階波譜總能量比值(E_1 為第一階波譜總能量, E_2 為第二階波譜總能量).....	35
圖 2-12	TMA 波譜($\gamma=3.3$ 、 2.08 、 1.0)為第一階波譜時,各種水深之第二階波譜較高頻處之尖峰主頻密度值.....	35
圖 2-13	修正型 JONSWAP 波譜($\gamma=3.3$)於各種水深之標準化波譜.	36

圖 2-14	修正型 JONSWAP 波譜($\gamma=3.3$)為第一階波譜時,各種水深之第二階波譜.....	36
圖 2-15	修正型 JONSWAP 波譜($\gamma=2.08$)於各種水深之標準化波譜.....	37
圖 2-16	修正型 JONSWAP 波譜($\gamma=2.08$)為第一階波譜時,各種水深之第二階波譜.....	37
圖 2-17	修正型 JONSWAP 波譜($\gamma=1.0$)於各種水深之標準化波譜.....	38
圖 2-18	修正型 JONSWAP 波譜($\gamma=1.0$)為第一階波譜時,各種水深之第二階波譜.....	38
圖 2-19	深海型 JONSWAP 波譜($\gamma=3.3$)為第一階波譜時,各種水深之第二階波譜.....	39
圖 2-20	深海型 JONSWAP 波譜($\gamma=2.08$)為第一階波譜時,各種水深之第二階波譜.....	39
圖 2-21	深海型 JONSWAP 波譜($\gamma=1.0$)為第一階波譜時,各種水深之第二階波譜.....	40
圖 2-22	修正型 JONSWAP 波譜與 TMA 波譜之第二階波譜總能量比值(E_c 為修正型 JONSWAP 波譜之第二階波譜總能量, E_T 為 TMA 波譜所得者總能量).....	40
圖 2-23	修正型 JONSWAP 波譜與 TMA 波譜($\gamma=3.3$)之第二階波譜較高頻及極低頻處尖峰主頻密度比值(實線為極低頻處比值,虛線為較高頻處比值。 S_{cp} 為修正型 JONSWAP 第二階波譜之尖峰主頻密度值, S_{Tp} 為 TMA 波譜第二階波譜之尖峰主頻密度值).....	41
圖 2-24	修正型 JONSWAP 波譜與 TMA 波譜($\gamma=2.08$)之第二階波譜較高頻及極低頻處尖峰主頻密度比值.....	41

圖 2-25	修正型 JONSWAP 波譜與 TMA 波譜($\gamma=1.0$)之第二階波譜較高頻及極低頻處尖峰主頻密度比值.....	42
圖 2-26	修正型 JONSWAP 波譜($\gamma=3.3$ 、 2.08 、 1.0)為第一階波譜時，各種水深之第二階波譜與第一階波譜總能量比值(E_1 為第一階波譜總能量， E_2 為第二階波譜總能量)....	42
圖 2-27	修正型 JONSWAP 波譜($\gamma=3.3$ 、 2.08 、 1.0)為第一階波譜時，各種水深之第二階波譜極低頻處之尖峰主頻密度值.....	43
圖 2-28	修正型 JONSWAP 波譜($\gamma=3.3$ 、 2.08 、 1.0)為第一階波譜時，各種水深之第二階波譜較高頻處之尖峰主頻密度值.....	43
圖 3-1	水平底床模型配置圖.....	65
圖 3-2	底床斜率 1:30 模型配置圖.....	65
圖 3-3	底床斜率 1:50 模型配置圖.....	65
圖 3-4	不同 m 值之 Pierson-Moskowitz 標準波譜.....	66
圖 3-5	不同 γ 值之 JONSWAP 標準波譜.....	66
圖 3-6	分裂型波譜與波形之演變關係圖.....	67
圖 3-7	水平底床各測站之正規化波譜圖($d/L=0.28$).....	68
圖 3-8	水平底床各測站之正規化波譜圖($d/L=0.15$).....	68
圖 3- 9	水平底床各測站之正規化波譜圖($d/L=0.088$).....	69
圖 3-10	水平底床各測站之正規化波譜圖($d/L=0.074$).....	69
圖 3-11	水平底床各測站之正規化波譜圖($d/L=0.06$).....	70

圖 3-12	水平底床實驗正規化波譜與 P-M 及 JONSWAP 標準波譜之比較圖($d/L=0.28$).....	70
圖 3-13	水平底床實驗正規化波譜與 P-M 及 JONSWAP 標準波譜之比較圖($d/L=0.217$).....	71
圖 3-14	水平底床實驗正規化波譜與 P-M 及 JONSWAP 標準波譜之比較圖($d/L=0.15$).....	71
圖 3-15	水平底床實驗正規化波譜與 P-M 及 JONSWAP 標準波譜之比較圖($d/L=0.098$).....	72
圖 3-16	水平底床實驗正規化波譜與 P-M 及 JONSWAP 標準波譜之比較圖($d/L=0.088$).....	72
圖 3-17	水平底床實驗正規化波譜與 P-M 及 JONSWAP 標準波譜之比較圖($d/L=0.069$).....	73
圖 3-18	水平底床實驗正規化波譜與 P-M 及 JONSWAP 標準波譜之比較圖($d/L=0.063$).....	73
圖 3-19	相對水深與波浪尖銳度關係圖.....	74
圖 3-20	相對水深與波高水深比關係圖.....	74
圖 3-21	波譜形狀參數 m 與波浪尖銳度關係圖.....	75
圖 3-22	波譜形狀參數 m 與波高水深比關係圖.....	75
圖 3-23	波譜形狀參數 m 與相對水深關係圖.....	76
圖 3-24	波譜形狀參數 m 與 G_s 參數關係圖.....	76
圖 3-25	波譜形狀參數 m 與 Ursell number 關係圖.....	77
圖 3-26	波譜形狀參數 m 與相對水深倒數關係圖.....	77
圖 3-27	斜率 1:30 各測站之無因次能量頻譜圖.....	78

圖 3-28	斜率 1:50 各測站之無因次能量頻譜圖.....	78
圖 3-29	水平底床之經驗公式與各斜率之實驗值之比較圖.....	79
圖 3-30	波譜形狀參數經驗式之 m 值與 WALLOPS 波譜之推估值 $\bar{m}$ 比較圖.....	79
圖 3-31	波譜形狀參數經驗式之 m 值與 WALLOPS 波譜之推估值 $\bar{m}$ 帶入 P-M 標準波譜與實驗值之比較圖($d/L=0.28$).....	80
圖 3-32	波譜形狀參數經驗式之 m 值與 WALLOPS 波譜之推估值 $\bar{m}$ 帶入 P-M 標準波譜與實驗值之比較圖($d/L=0.15$).....	80
圖 3-33	波譜形狀參數經驗式之 m 值與 WALLOPS 波譜之推估值 $\bar{m}$ 帶入 P-M 標準波譜與實驗值之比較圖($d/L=0.088$).....	81

表 目 錄

	頁數
表 2-1 TMA 波譜為第一階波譜時，第二階波譜極低頻處尖峰主頻 密度之比值.....	21
表 2-2 水平底床實驗之波浪統計參數表.....	46
表 2-3 底床斜率 1:30 實驗之波浪統計參數表	47
表 2-4 底床斜率 1:50 實驗之波浪統計參數表	47

符 號 說 明

B_2	第二階流速勢函數之計算值
$B(f_i, f_i)$	訊號之雙階頻譜
C	第二階流速勢函數之計算值
C_2	第二階波動表面水位之計算值
D	第二階流速勢函數之計算值
d	水深
E_1	第一階波譜能量
E_2	第二階波譜能量
E_c	修正型波譜能量
E_T	TMA 波譜能量
$E[\]$	期望值
f	波浪頻率(H_z)
g	重力加速度
H_b	碎波波高
$H_{1/3}$	示性波高
$K(\sigma, \lambda)$	第二階波譜之水深影響函數
k	週波數
k'	不同成份波週波數
k_2	$k + k'$ 成份波週波數
L_0	深海波長
L_b	碎波波長
m	波譜形狀參數
m_{10}	第一階波譜能量
n	波譜形狀參數

$R(\tau)$	連貫函數
$R_1(\tau)$	第一階連貫函數
$R_2(\tau)$	第二階連貫函數
$S(f)$	波譜密度函數
$S(\sigma)$	波譜密度函數
$S_1(\sigma)$	第一階波譜密度函數
$S_2(\sigma)$	第二階波譜密度函數
$S_{2p}(\sigma)$	局部成份波第二階波譜密度函數
$S_c(\sigma)$	修正型波譜密度函數
S_J	JONSWAP 波譜密度函數
S_T	TMA 波譜密度函數
t	時間
u	x 方向水粒子速度
$\bar{v}$	水粒運動速度
w	z 方向水粒子速度
$X(f)$	時間訊號之傅利葉係數
(x, z)	卡氏座標
α	位相函數
α'	不同成份波位相函數
α_2	$\alpha + \alpha'$ 成份波位相函數
β	Kitaigorodskii 水深影響函數中之參數
γ	波譜之尖峰集中度
Γ	Gamma 函數
η	波動表面水位
η_1	第一階波動表面水位
η_2	第二階波動表面水位
λ	$\sigma + \sigma'$ 之值

σ	週頻率($\sigma=2\pi f$)
σ_{1p}	第一階波譜之尖峰主頻值
σ_d	Kitaigorodskii 水深影響函數中之參數
$\phi_{xx}(f)$	訊號之波譜密度函數
$\Phi(\sigma_d)$	Kitaigorodskii 之水深影響函數
ϕ	流速勢函數
ϕ_1	第一階流速勢函數
ϕ_2	第二階流速勢函數
τ	時間延時
$dZ(\sigma)$	振幅函數
$\overline{dZ}(\sigma)$	$dZ(\sigma)$ 之共軛複數

壹、前言

除了自然的天體引力所生的潮波之外，出現於廣大水域上起伏脈動的重力波浪通常是風之吹刮所引起，然而這些包括各種成份波組合而成的紛紜波浪，由於微動而發展至完全成熟的波浪時，其即具有統計的特性，而波譜分佈型態的研究，無疑地是瞭解此種統計特性較有效的方法之一。諸如，由波譜型態可以得到一些重要的物理參數量，或是能推算出各種相關的統計量，而由上述的各種物理量或統計量除能瞭解海面波浪的狀況外，並且是港灣工程規劃設計者或實驗室試驗重要參考的依據。因此世界各地無不以研究探討適用於當地的波譜型態或者波譜預測模式為重要課題之一。

雖然波譜的型態可以呈現海域波浪的整體特性，然而實際水面的波動是由一大大小小的紛紜波浪所組合而成，其各成份波間能量分佈的情況，則無法由已知的波譜型態中獲得，尤其是當一波群於較淺水深時，由於受水深的影響，不論是成份波本身或者各成份波之間相互作用的非線性效應，其能量分佈的變化即影響波譜型態的架構，因而造致淺水性波譜模式研究探討的複雜與困難。可是一般海洋或海岸工程上的問題大多都發生於淺水區域。關於淺水區域之海洋波浪的頻譜模式，至今雖有甚多的研究成果出現，但意見分雜，未能有一可被廣泛接受的標準波譜型態存在。主要原因是淺海波浪頻譜的形狀及力學機構均較深海波浪複雜，因此近岸淺海波譜形式的確定對海岸工程設計上是必須的。

由於波譜是研究紛紜波群特性的重要方法，往昔學者對於波譜模式的探討不遺餘力，並有甚多良好的結果，尤其對實際應用甚有助益的淺水性波譜模式，更是近年來研究的主題之一。

首先，對於波譜型態的研究，Phillips(1958)提出高頻處平衡領域之波譜型態後，接著有 Pierson-Moskowitz 波譜(Pierson 和 Moskowitz, 1964)、Bretschneider 波譜(Bretschneider 1965)、JONSWAP 波譜(Hasselmann 等人, 1973)與 WALLOPS 波譜(Huang 等人, 1981)等適用於深海的波譜模式。鑑於實際應用的關係，接著有 Ou(1977)、WALLOPS 波譜(Huang 等人, 1983)、GLERL 波譜(Liu, 1983)、TMA 波譜(Bouws 等人, 1985)、郭和彭(1985)、Li 和 Mao(1992)等有限水深波譜模式。上述研究或是利用現場實測資料的分析，或是以試驗室資料配合理論解析，據此而提出的波譜分佈型態。通常深海波譜的密度函數與頻率的 -5 次方成正比，即是 $S(\sigma) \sim \sigma^{-5}$ ，而淺水波譜大致為 $S(\sigma) \sim \sigma^{-3}$ 。陳和湯(1987)以探討波譜的力學機構，推導出一適用於深海至極淺水深的理論模式，使得其波譜分佈為 $S(\sigma) \sim \sigma^{-5} \sim \sigma^0$ 。不論是屬於深海或者有限水深的波譜，上述往昔學者的論著，僅研究波譜整體性的分佈型態。

當波群由深海前進至較淺水深時，由於受水深影響，波浪的非線性效應往往影響波譜分佈的力學機構，因此，學者專家致力於研究探討較適用的淺水性波譜模式，以提供港灣工程規劃設計者之參考應用。有關此方面的研究，則有 Imasato 和 Kunishi(1977)、Guza 和 Thornton(1985)、Guza(1985)、Elgar 和 Guza(1986)分別以現場實測資料，利用雙階波譜(bispectrum)理論探討不同水深時，波浪非線性效應影響波譜的情況。Masuda 和 Kuo(1981)亦利用雙階波譜理論，探討受非線性效應影響時，波浪成長與減衰的變化情況。Goda(1983)以一非線性效應參數配合現場實測資料，探討線性與非線性波譜的差異。郭和陳(1982)、簡和郭(1994)、以非線性理論配合試驗室或現場實測資料，以一波譜形狀參數探討淺水性波譜的變化。雖然上述學者已考慮受水深影響之波浪非線性效應，然而彼等研究僅呈現其最後的整體結果，對於影響波譜型態的能量分佈架構並未研究探討。另外，Chen 和 Wang(1983)、

Young(1988)、Cavaleri 等人(1989)，應用 Hasselmann(1962)的結果，以能量傳輸方程式(energy transfer equation)求解波浪傳遞時的能量變化，進而建立淺水性的波譜模式。雖然彼等研究已考慮波浪成份波間相互作用的非線性效應，但對於波譜的高階能量分佈情況亦未加以分析研究。

至於利用成份波與成份波間之非線性效應而探討能量分佈的研究，早期有 Tick(1959)以理論解析深海情況時之第二階波譜(second-order spectrum)能量分佈的變化情況。Hasselmann(1962、1963a、1963b)以波譜的觀念，假設各成份波相互獨立，推導出四波交會的非線性交互作用的結果，雖然其結果被廣泛的應用於求解能量方程式中波浪能量的交互作用，但對較淺水區域的非線性交互作用的變化情況，並未加以研究探討。Hasselmann 等人(1963)則應用上述之解析過程求解至第二階解，利用雙階波譜理論解析非線性效應的波壓結果。Le Mehaute 和 Wang(1982)以波浪折射方式，解析斜坡地形波譜能量分佈的變化，其結果顯現非線性效應的波譜高階能量的分佈情況。Freilich 和 Guza(1984)利用 Boussinesq 方程式解析各獨立成份波非線性效應的能量分佈情況。Hasselmann 和 Hasselmann(1985)利用上述 Hasselmann(1962)的結果，以數值計算方式提供更快速的非線性交互作用能量分佈的結果，便利能量傳輸方程式的應用。Tayfun(1990)以理論解析第二階解的週波數(wave number)頻譜的非線性能量分佈的變化，但其僅分析深海情況時頻譜較高頻處斜率的變化情況。

至於對波譜狀的研究，Ijima et al.(1970)利用 Miche(1944)之任何水深碎波極限理論與因次分析得到淺水波譜斜率為-1，而深水為-5。Kitaigorodskii (1975)以線性理論之分散關係式作因次分析得知淺水波譜的斜率為-3，深水波譜的斜率為-5。Goda(1974)以現場資料分析得到淺水波譜斜率為-4，深水為-5。Ou(1977)也以現場實測資料作分析得到

淺水為-3，深水為-5。郭一羽、彭鏡洋 (1985) 在實驗室中所得高頻部份之斜率，若不考慮二次尖峰的時候，則淺水區到深水區的變化是-6至-10，若考慮二次尖峰的產生則是-4至-7。所以由以上可知波譜自深海至淺水其形狀（斜率）變緩。並可知深海波譜形狀固定，淺海波譜形狀則並不固定。其淺海波譜形狀變緩原因不外乎是受到底床淺化摩擦的影響，非線型的影響，碎波的發生等因素。對於淺水波譜模式Huang(1983)曾利用非線性理論推導出WALLOS波譜，其涵蓋自深水至淺水的各個波譜形狀，是目前較簡便適用於淺水的波譜模式。

由以上闡述可知，由於受水深之非線性效應及其他因素的影響，淺水性波譜的形狀及力學機制均極富變化且難於確立，然基於港灣工程規劃設計的應用與需求，本計畫擬在往昔學者研究成果的基礎上，以理論解析與模型試驗方式，對淺水性波浪的特性加探討，瞭解淺水波譜形狀的變化，進而尋找出影響波譜形狀的因素，求得淺水波譜的通用模式，以提供港灣工程參考與應用。

貳、理論解析與探討

一、理論解析

1-1 控制方程式

二度空間之任一均勻等深 d 之水域中，假設流體運動為非旋性的(irrotational)，吾人可定義出一流速勢函數(velocity potential function)，使得所考慮的波動流場內水粒子的速度與其分量關係為

$$\vec{V} = \nabla\phi = \left(\frac{\partial\phi}{\partial x}, \frac{\partial\phi}{\partial z} \right) = (u, w) \quad (2-1)$$

此處 x 為波浪前進方向， z 為水位變動方向，向上為正， u, w 分別為 x 與 z 方向的水粒子速度，又假設流體為不可壓縮性的(incompressible)，則流速勢函數 $\phi = \phi(x, z, t)$ 滿足拉普拉氏方程式(Laplace's equation)為

$$\nabla^2\phi = \frac{\partial^2\phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\phi}{\partial z^2} = 0 \quad (2-2)$$

至於波動流場所必需滿足的邊界條件有：

在底部 $z = -d$ 處

$$w = \frac{\partial\phi}{\partial z} = 0, \quad z = -d \quad (2-3)$$

在波動表面處，有

(1)運動邊界條件(kinematic boundary condition)

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{d\eta}{dt} = \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x}, \quad z = \eta \quad (2-4)$$

式中 $\eta(x, t)$ 為波動表面水位

(2)動力邊界條件(dynamic boundary condition)

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + g\eta + \frac{1}{2}(\vec{V}^2) = 0, \quad z = \eta \quad (2-5)$$

式中 g 為重力加速度。

由以上可知，波動場的基本控制式雖然是線性的Laplace方程式，但由於表面條件中的水位是個未知邊界，以及表面邊界條件中含有非線性項，因此不能得到其正解(exact solution)。若波浪的運動是一種微小的脈動(相對於波長而言)，且非線性量與線性量的比值又相當的小，則可應用攝動法以微小參數展開的級數形式而求得其近似解。為便於逐階展開解析起見，於此先將非線性的自由表面運動與動力邊界條件式(2-4)與式(2-5)做適當地處理，即是式(2-5)被 d/dt 總微分後減去 g 倍的式(2-4)，可得綜合表面邊界條件如下：

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \phi}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial t}(\vec{V}^2) + \vec{V} \cdot \nabla \left(\frac{1}{2} \vec{V}^2 \right) = 0, \quad z = \eta \quad (2-6)$$

接著，利用Taylor 級數展開在 $z=0$ 處以取代在未知的波動表面 $z=\eta$ 處，則非線性表面邊界條件式(2-6)與式(2-5)可由下列兩

式取代之，為

$$\left[\left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) + \eta \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) + \frac{1}{2} \eta^2 \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) + \dots \right] \\ + \left[\frac{\partial}{\partial t} (\bar{V}^2) + \eta \frac{\partial^2}{\partial z \partial t} (\bar{V}^2) + \dots \right] + \left[\bar{V} \cdot \nabla \left(\frac{1}{2} \bar{V}^2 \right) + \dots \right] = 0, \quad z = 0 \quad (2-7)$$

與

$$g\eta + \left[\frac{\partial \phi}{\partial t} + \eta \frac{\partial^2 \phi}{\partial z \partial t} + \frac{1}{2} \eta^2 \frac{\partial^3 \phi}{\partial z^2 \partial t} + \dots \right] \\ + \left[\frac{1}{2} \bar{V}^2 + \eta \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{2} \bar{V}^2 \right) + \dots \right] = 0, \quad z = 0 \quad (2-8)$$

以上式(2-2)至式(2-8)為處理波動流場各階物理量的基本控制方程式，有關其詳細解析過程如下節所述。

1-2 波動流場之解析

依攝動展開法的原則，所考慮的波動系統流場解 ϕ 與 η 等物理量之型式可表示為

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \dots \quad (2-9)$$

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \dots \quad (2-10)$$

由式(2-2)至式(2-8)等式中，波動流場的第一階控制方程式為

$$\nabla^2 \phi_1 = 0 \quad (2-11)$$

$$\frac{\partial \phi_1}{\partial z} = 0, \quad z = -d \quad (2-12)$$

$$\frac{\partial^2 \phi_1}{\partial t^2} + g \frac{\partial \phi_1}{\partial z} = 0, \quad z = 0 \quad (2-13)$$

$$g\eta_1 + \frac{\partial \phi_1}{\partial t} = 0, \quad z = 0 \quad (2-14)$$

上列各式與Stokes(1847)之自由前進波攝動解的第一階控制方程式相同，因此一紛紜波群的第一階解則為

$$\eta_1(x, t) = \int_{\sigma} e^{i\alpha} dZ(\sigma) \quad (2-15)$$

$$\phi_1(x, z, t) = -i \int_{\sigma} \frac{g \cosh|k|(d+z)}{\sigma \cosh|k|d} e^{i\alpha} dZ(\sigma) \quad (2-16)$$

式中 α 為位相函數， $\alpha = kx - \sigma t$ ， σ 為週頻率 (wave frequency)， k 為週波數 (wave number)， $dZ(\sigma)$ 為各相關式之振幅函數。

由於本文後之波譜參數為週頻率 σ ，為方便配合起見，波動流場中亦以週頻率為其解析的參數。因此，週波數需利用波浪分散關係 (dispersion relation)， $\sigma^2 = gk \tanh kd$ ，化解為含有週頻率的函數，即是 $k = k(\sigma)$ 。

式(2-15)與式(2-16)分別表示為波動流場中，包含各種可能發生的頻率的水面波動與流場流速勢函數的第一階解的總和，如此，亦是紛紜波浪場的一特性表徵。

接著，由式(2-2)至式(2-8)等式中，檢列出第二階的控制方程式為

$$\nabla^2 \phi_2 = 0 \quad (2-17)$$

$$\frac{\partial \phi_2}{\partial z} = 0, \quad z = -d \quad (2-18)$$

$$\frac{\partial^2 \phi_2}{\partial t^2} + g \frac{\partial \phi_2}{\partial z} + \eta_1 \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial^2 \phi_1}{\partial t^2} + g \frac{\partial \phi_1}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial t} (\bar{V}^2) = 0, \quad z = 0 \quad (2-19)$$

$$g\eta_2 + \frac{\partial \phi_2}{\partial t} + \eta_1 \frac{\partial^2 \phi_1}{\partial z \partial t} + \frac{1}{2} \bar{V}^2 = 0, \quad z = 0 \quad (2-20)$$

$$\text{式中} \quad \bar{V}^2 = \left(\frac{\partial \phi_1}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi_1}{\partial z} \right)^2$$

由式(2-17)與式(2-18)之控制方程式中，吾人可求出一適合的第二階流速勢函數的通式為

$$\phi_2(x, z, t) = -i \int_{\sigma} \int_{\sigma'} A \frac{\cosh[k_2|(d+z)|]}{\cosh[k_2|d|]} e^{i\alpha_2} dZ(\sigma) dZ(\sigma') \quad (2-21)$$

式中上標符號“'”表示不同的成份波量，A為一未知量。

同時將式(2-19)之邊界條件移項如下

$$-\left(\frac{\partial^2 \phi_2}{\partial t^2} + g \frac{\partial \phi_2}{\partial z}\right) = \eta_1 \frac{\partial^3 \phi_1}{\partial z \partial t^2} + g \eta_1 \frac{\partial^2 \phi_1}{\partial z^2} + 2 \left[\frac{\partial \phi_1}{\partial x} \frac{\partial^2 \phi_1}{\partial x \partial t} + \frac{\partial \phi_1}{\partial z} \frac{\partial^2 \phi_1}{\partial z \partial t} \right] \quad (2-22)$$

將 η_1 與 ϕ_1 之第一階解代入上式之右邊，式(2-21)則代入左邊，比較相關係數後，則可求得 ϕ_2 的正確解為

$$\phi_2(x, z, t) = -i \int_{\sigma} \int_{\sigma'} B_2 \frac{\cosh|k_2|(d+z)}{\cosh|k_2|d} e^{i\alpha_2} dZ(\sigma) dZ(\sigma') \quad (2-23)$$

其中

$$\alpha_2 = \alpha + \alpha', \quad \alpha = kx - \sigma t, \quad \alpha' = k'x - \sigma't \quad (2-24)$$

$$k_2 = k + k', \quad k = k(\sigma), \quad k' = k(\sigma') \quad (2-25)$$

$$B_2 = C / D \quad (2-26)$$

$$C = 2|\sigma|(|\sigma'| - \sigma|\sigma'| \coth|k|d \coth|k'|d) + \sigma|\sigma|^2(1 - \coth^2|k|d) \quad (2-27)$$

$$D = g|k_2| \frac{\sinh|k_2|d}{\cosh|k_2|d} - (\sigma + \sigma')^2 \quad (2-28)$$

接著，利用式(2-20)之邊界條件，同時代入式(2-15)、式(2-16)與式(2-23)之 η_1 ， ϕ_1 ， ϕ_2 ，解得第二階解之 η_2 如下

$$\begin{aligned}\eta_2 = & -\frac{1}{g} \left\{ \frac{\partial \phi_2}{\partial t} + \eta_1 \frac{\partial^2 \phi_1}{\partial z \partial t} + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial \phi_1}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi_1}{\partial z} \right)^2 \right] \right\} \\ & = \int_{\sigma} \int_{\sigma'} C_2 e^{i\alpha_2} dZ(\sigma) dZ(\sigma')\end{aligned}\quad (2-29)$$

式中

$$\begin{aligned}C_2 = C_2(\sigma, \sigma') = & B_2 \frac{(\sigma + \sigma')}{g} + |k| \frac{\sinh|k|d}{\cosh|k|d} - \frac{1}{2} \frac{|\sigma||\sigma'|}{g} \coth|k|d \\ & \times \coth|k'|d + \frac{1}{2} \frac{g|k||k'|}{\sigma\sigma'} \frac{\sinh|k|d}{\cosh|k|d} \frac{\sinh|k'|d}{\cosh|k'|d}\end{aligned}\quad (2-30)$$

其中函數 B_2 之值可由式(2-26)求得。

至此，整個波動流場的第二階解 ϕ 與 η 在遵循攝動解析法的原則下，已如上列的解析獲得。接著，將利用此解析結果，求解波浪因非線性效應所產生的第二階波譜，相關過程如下節所詳述。

1-3 波譜非線性效應之解析

在紛紜的海面上，假定水位的變動為一定常過程(stationary process)的時間序列，則水位變化 $\eta(t)$ 與連貫函數(autocorrelation function) $R(\tau)$ 的關係可以下式表示為

$$\begin{aligned}R(\tau) &= E[\eta(x, t) \eta(x, t + \tau)] \\ &= E[(\eta_1(x, t) + \eta_2(x, t)) \times (\eta_1(x, t + \tau) + \eta_2(x, t + \tau))]\end{aligned}\quad (2-31)$$

式中 $E[\cdot]$ 表示為期望值，海面水位變動的產生，除了大氣壓力的影響外，尚有其他影響因素，其過程極為複雜，因此為簡化解析過程，假設水位的變動為一近似高斯過程 (pesudo-Gaussian process)，如此式(2-31)中水位變化函數的第一階與第二階乘積的期望值則等於零，即是言

$$E[\eta_1(x, t)\eta_2(x, t + \tau)] = E[\eta_1(x, t + \tau)\eta_2(x, t)] = 0 \quad (2-32)$$

因此，式(2-31)可改寫為

$$\begin{aligned} R(\tau) &= E[\eta_1(x, t)\eta_1(x, t + \tau)] + E[\eta_2(x, t)\eta_2(x, t + \tau)] \\ &= R_1(\tau) + R_2(\tau) \end{aligned} \quad (2-33)$$

式中 $R_1(\tau)$ 與 $R_2(\tau)$ 分別為第一階與第二階之連貫函數，其連貫函數與波譜密度函數可以定義為

$$R_1(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_1(\sigma) e^{i\sigma\tau} d\sigma \quad (2-34)$$

$$R_2(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_2(\sigma) e^{i\sigma\tau} d\sigma \quad (2-35)$$

式中 $S_1(\sigma)$ 與 $S_2(\sigma)$ 分別為第一階與第二階之波譜密度函數。

利用式(2-29)之 η_2 代入式(2-33)之 $R_2(\tau)$ 中，同時假設時間與位置固定時(即是 $x = 0$ ， $t = 0$)，可得

$$R_2(\tau) = \int \int \int_{-\infty}^{\infty} C_2(\sigma, \sigma') C_2(\sigma'', \sigma''') e^{-i(\sigma'' + \sigma''')\tau} \\ \times E[dZ(\sigma)dZ(\sigma')dZ(\sigma'')dZ(\sigma''')] \quad (2-36)$$

式中 C_2 值如式(2-30)所示，上標不同斜線表示不同的成份波量。

依據 Isserlis²¹(1918) 論著中動差(moment)轉換的原理，可將式(2-36)中 $E[dZ(\sigma)dZ(\sigma')dZ(\sigma'')dZ(\sigma''')]$ 項轉換為下式的結果：

$$E[dZ(\sigma)dZ(\sigma')dZ(\sigma'')dZ(\sigma''')] \\ = E[dZ(\sigma)dZ(\sigma')] E[dZ(\sigma'')dZ(\sigma''')] \\ + E[dZ(\sigma)dZ(\sigma'')] E[dZ(\sigma')dZ(\sigma''')] \\ + E[dZ(\sigma)dZ(\sigma''')] E[dZ(\sigma')dZ(\sigma'')] \quad (2-37)$$

另外

$$E[dZ(\sigma)dZ(-\sigma)] = E[dZ(\sigma)\overline{dZ(\sigma)}] \\ = S(\sigma)d\sigma \quad (2-38)$$

式中 $\overline{dZ(\sigma)}$ 表示 $dZ(\sigma)$ 之共軛複數，利用式(2-38)之結果，式(2-37)右邊各式可表示如下

$$E[dZ(\sigma)dZ(\sigma')] E[dZ(\sigma'')dZ(\sigma''')] \\ = S(\sigma)S(\sigma'')d\sigma d\sigma'' \quad , \text{當 } \sigma = -\sigma', \sigma'' = -\sigma''' \quad (2-39)$$

$$E[dZ(\sigma)dZ(\sigma'')] E[dZ(\sigma')dZ(\sigma''')] \\ = S(\sigma)S(\sigma')d\sigma d\sigma' \quad , \text{當 } \sigma = -\sigma'', \sigma' = -\sigma''' \quad (2-40)$$

$$\begin{aligned}
& E[dZ(\sigma)dZ(\sigma''')] E[dZ(\sigma')dZ(\sigma'')] \\
& = S(\sigma)S(\sigma')d\sigma d\sigma' \quad , \text{當 } \sigma = -\sigma''', \sigma' = -\sigma'' \quad (2-41)
\end{aligned}$$

將式(2-39)至式(2-41)代入式(2-36)中，同時變換參數 σ 的正負符號，且為區別高階波譜密度函數關係，將上式中 $S(\sigma)$ 以第一階波譜 $S_1(\sigma)$ 表示之，則式(2-36)可改寫為

$$\begin{aligned}
R_2(\tau) = & \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(\sigma+\sigma')\tau} [C_2(\sigma, \sigma')C_2(-\sigma, -\sigma') \\
& + C_2(\sigma, \sigma')C_2(-\sigma', -\sigma)] S_1(\sigma)S_1(\sigma') d\sigma d\sigma' \quad (2-42)
\end{aligned}$$

若令 $\lambda = \sigma + \sigma'$ ，並利用式(2-35)之連貫函數與波譜密度函數的傅利葉轉換關係，則可求得第二階的波譜密度函數 $S_2(\lambda)$ 為

$$S_2(\lambda) = 2\pi \int_{-\infty}^{\infty} K(\sigma, \lambda) S_1(\sigma) S_1(\lambda - \sigma) d\sigma \quad (2-43)$$

式中

$$K(\sigma, \lambda) = C_2^2(\sigma, \lambda - \sigma) + C_2(\sigma, \lambda - \sigma)C_2(\lambda - \sigma, \sigma) \quad (2-44)$$

其中相對應的 C_2 值如下列所示。

$$\begin{aligned}
C_2(\sigma, \lambda - \sigma) = & \frac{\lambda}{g} B_2(\sigma, \lambda - \sigma) + |k| \frac{\sinh|k|d}{\cosh|k|d} - \frac{1}{2} \frac{|\sigma||\lambda - \sigma|}{g} \coth|k|d \coth|k'|d \\
& + \frac{1}{2} \frac{g|k||k'|}{\sigma(\lambda - \sigma)} \frac{\sinh|k|d \sinh|k'|d}{\cosh|k|d \cosh|k'|d} \quad (2-45)
\end{aligned}$$

$$B_2(\sigma, \lambda - \sigma) = \frac{2|\sigma|[(\lambda - \sigma)|\sigma| - \sigma|\lambda - \sigma| \coth|k|d \coth|k'|d] + \sigma|\sigma|^2(1 - \coth^2|k|d)}{g|k_2| \frac{\sinh|k_2|d}{\cosh|k_2|d} - \lambda^2} \quad (2-46)$$

$$C_2(\lambda - \sigma, \sigma) = \frac{\lambda}{g} B_2(\lambda - \sigma, \sigma) + |k'| \frac{\sinh|k'|d}{\cosh|k'|d} - \frac{1}{2} \frac{|\sigma||\lambda - \sigma|}{g} \coth|k|d \coth|k'|d$$

$$+ \frac{1}{2} \frac{g|k||k'|}{\sigma(\lambda - \sigma)} \frac{\sinh|k|d \sinh|k'|d}{\cosh|k|d \cosh|k'|d} \quad (2-47)$$

$$B_2(\lambda - \sigma, \sigma) = \frac{2\lambda - \sigma[|\sigma|\lambda - \sigma| - (\lambda - \sigma)|\sigma| \coth|k|d \coth|k'|d] + (\lambda - \sigma)|\lambda - \sigma|^2(1 - \coth^2|k'|d)}{g|k_2| \frac{\sinh|k_2|d}{\cosh|k_2|d} - \lambda^2} \quad (2-48)$$

至此，利用攝動法解析波浪因非線性產生的第二階波譜已如式(2-43)般完整地獲得。而式(2-43)所表達的意義則是：當一已知的第一階波譜 $S_1(\sigma)$ 的波群至任一特定的水深時，由於此波群各成份波間因非線性效應關係所產生的第二階波譜 $S_2(\lambda)$ ，可經由一影響函數 $K(\sigma, \lambda)$ 求得。

二、有限水深型波譜為第一階波譜之解析

當一紛紜波群由深海及至較淺水區域時，應用本文前節式(2-43)的解析結果，可以求得第二階波譜，由第二階波譜的型態可以瞭解波浪因非線性效應所形成的能量分佈情況。應用式(2-43)時，除了須計算水深影響函數 $K(\sigma, \lambda)$ 外，尚需一已知的第一階波譜。由於波浪的非線性效應於有限水深及至較淺水區域較為顯著，因此本文中將引用適用於有限水深區域的波譜作為第一階波譜。往昔學者已發展的多種有限水深波譜模式中，由於區域性或者嚴密性的限制，本文中將以較為著名的 TMA 波譜 (Bouws 等人，1985) 為第一階波譜。TMA 波譜係利用現場實測資料，以一水深影響函數修正著名的 JONSWAP 波譜所得的半理論性 (semi-theoretical) 波譜模式，有關其表示式如下列所示。

$$S_T(\sigma) = S_J(\sigma) \Phi(\sigma_d) \quad (2-49)$$

式中 $S_T(\sigma)$ 為 TMA 波譜， $S_J(\sigma)$ 為 JONSWAP 波譜， $\Phi(\sigma_d)$ 則為 Kitai-
gorodskii 等人，(1975) 所推導的水深影響函數，如下列表示

$$\Phi(\sigma_d) = \beta^{-2} \left[1 + 2\sigma_d^2 \beta / \sinh(2\sigma_d^2 \beta) \right]^{-1} \quad (2-50)$$

其中 $\sigma_d = \sigma(d/g)^{1/2}$ ，參數 β 需由 $\beta \tanh(\sigma_d^2 \beta) = 1$ 式中求得。

利用 TMA 波譜解析波浪因非線性效應產生的第二階波譜分佈型態的變化情況，將於下列中詳述。

2-1 第二階波譜形成之探討

由於第一階波譜型態的不同，將可能產生相異的第二階波譜能量分布型態，因此，本文中將改變 TMA 波譜中 JONSWAP 波譜的尖峰集中度(peak enhancement factor)， γ ，以不同的第一階波譜型態加以研究探討。

圖 2-1 為 $\gamma = 3.3$ 時，TMA 波譜於 $d/L_0 = 0.1 \sim 0.5$ 各種水深情況的標準化型式，圖中橫座標為週波率 σ 與尖峰主頻 σ_{1p} 之無因次化比值，縱座標則為波譜密度之無因次化比值，其中 S_1 表示為第一階波譜之密度值， m_{10} 則為波譜之總能量。

圖 2-2 係利用式(2-43)，以 TMA 波譜($\gamma = 3.3$)當作第一階波譜，於各種水深時其第二階波譜分佈型態的變化情況。圖中縱座標 S_2 為第二階波譜的密度值，其餘者皆與圖 2-1 之表示相同。考慮理論解析攝動法的限制(水深太淺時有發散之虞)，因此僅就 $d/L_0 = 0.1 \sim 0.5$ 之間，探討其非線性效應的能量分佈變化情況。

當一紛紜波群受水深影響而產生非線性效應時，此非線性效應包含成份波本身的高階非線性量以及各成份波之間相互作用的非線性量兩部份。對於成份波本身的非線性效應而言，其高階非線性量會產生於各成份波頻率倍數的位置，依本文理論解析至第二階的情況，其成份波本身的非線性量即產生於極低頻 $\sigma/\sigma_{1p} \rightarrow 0$ 以及較高頻 $\sigma/\sigma_{1p} = 2.0$ 的附近處，而各成份波之間相互作用的非線性效應，亦在高頻與極低頻處有能量分佈的現象。因此，就整體波浪的非線性效應而言，其分佈的能量大都會集中於極低頻 $\sigma/\sigma_{1p} \rightarrow 0$ 及較高頻 $\sigma/\sigma_{1p} = 2.0$ 附近處。

由圖 2-2 之結果觀之，當 d/L_0 較小時(如 $d/L_0 = 0.1$ 與 $d/L_0 = 0.15$)，係屬於淺水性波浪，此時波浪的非線性效應即較明顯地增加，非線性效應

產生的能量分佈，令第二階波譜於極低頻 $\sigma/\sigma_{1p} \rightarrow 0$ 以及較高頻 $\sigma/\sigma_{1p} = 2.0$ 附近有較明顯能量集中的尖峰主頻，尤其當 d/L_0 較小時，極低頻處更有較大的能量分佈。由於極低頻率的成份波即是較長週期的波浪，對於港灣規劃設計者而言，長週期的波浪能量為不容忽視的問題(2-2 節有較詳細的分析)。當 d/L_0 較大時(如 $d/L_0 = 0.4$ 與 $d/L_0 = 0.5$)則為深海性波浪，其整體的非線性效應亦因水深關係而減弱，極低頻處幾無能量，而 $\sigma/\sigma_{1p} = 2.0$ 較高頻處之能量分佈亦減少而趨於固定。由於水深的影響，當深海時，成份波本身已幾乎無非線性效應，因此，成份波本身亦應無較高階的非線性量，但由於各成份波間相互作用之非線性效應依然存在，因而有第二階波譜於極低頻處幾無能量存在，但較高頻處仍有較小的能量分佈。

圖 2-3 則為 $\gamma=2.08$ 時，TMA 波譜各種水深情況的標準化型式，圖中座標表示皆與圖 2-1 相同。與 $\gamma=3.3$ TMA 波譜(圖 2-1)的比較，圖中的結果顯示，無因次化的波譜密度較小，且波譜的整體型態稍為寬廣圓滑。

圖 2-4 則為 $\gamma=2.08$ 之 TMA 波譜為第一階波譜時，解析所得之第二階波譜量分佈的變化情況。由圖中結果顯示，當波群於較淺水時，由於波浪的非線性效應較強烈，其產生的第二階波譜能量分佈亦較顯著；較深水情況時，波浪的非性效應已減弱，因此第二階波譜則明顯的降低。就波譜的整體型態而言， $\gamma=2.08$ 之 TMA 波譜所求的第二階波譜，其形成的原因與上述 $\gamma=3.3$ 所獲得者相類似，惟因第一階波譜型態稍有差異，造致第二階波譜的分佈型態亦有所不同，如 $\gamma=2.08$ 之第二階波譜，除較高頻及極低頻處的尖峰主頻明顯減小能量分佈較為圓滑外，於較深水區域(如 $d/L_0 = 0.4$ 與 $d/L_0 = 0.5$)所得之較高頻處的尖峰主頻會稍往 $\sigma/\sigma_{1p} > 2.0$ 處位移。有關較詳細的第二階波譜分佈型態的差異將於 2-3 節中詳述。

圖 2-5 則為 $\gamma=1.0$ 時 TMA 波譜的標準化型式，與前兩者($\gamma=3.3$ 與 $\gamma=2.08$)的比較，除了無因次化的波譜密度更小外，波譜的整體型態已屬於寬廣平滑的寬帶波譜型式。

圖 2-6 則為 $\gamma=1.0$ 之 TMA 波譜為第一階波譜時，其所獲得之第二階波譜的變化情況。由圖中結果可知，第二階波譜形成的方式與前述兩者相類似，惟因第一階波譜的差異，第二階波譜的整體型式，除了波譜較高頻及極低頻處尖峰主頻值更形減小，能量分佈更為寬廣圓滑外，其產生於較高頻處之尖峰主頻位置皆往 $\sigma/\sigma_{1p} > 2.0$ 處位移，尤其於較深水處之值，更往 $\sigma/\sigma_{1p} > 2.0$ 之更高頻處位移。

綜合上述所言，第二階波譜能量分佈的型態主要受水深的影響，於較淺水區域時，由於波浪成份波本身與各成份波間相互作用的非線性效應較為強烈，其於極低頻與 $\sigma/\sigma_{1p} = 2.0$ 附近較高頻處皆有顯著的能量分佈情況；於較深水處時，由於波浪的非線性效應已減弱，較低高頻處的能量則亦明顯的減小，於低頻處幾無能量分佈現象。由於第一階波譜型態的差異，造致第二階波譜的分佈型式亦有所不同，屬於尖銳窄帶型的第一階波譜(如 $\gamma=3.3$ 者)，其產生的第二階波譜，於較高頻及極低頻處的能量分佈較為尖銳集中，且較高頻處的尖峰主頻大致位於 $\sigma/\sigma_{1p} = 2.0$ 處；屬於寬帶型的第一階波譜(如 $\gamma=1.0$ 者)，其第二階波譜的能量分佈較為平滑寬廣，而較高頻處的尖峰主頻則往 $\sigma/\sigma_{1p} > 2.0$ 的更高頻處位移。

2-2 第二階波譜極低頻處能量之驗證

依據波浪理論，較高階的能量會產生於第一階波浪主頻率的倍數處，由於本文之理論解析至第二階解，因此，於第二階波譜尖峰主頻的零倍與兩倍處會產生較高階的能量。由前節所得之第二階波譜能量分佈的結果觀之， $\sigma/\sigma_{1p} \rightarrow 0$ 之極低頻處與 $\sigma/\sigma_{1p} = 2.0$ 附近之較高頻處皆有能

量集中之尖峰主頻出現，尤其於較淺水處($d/L_0 = 0.1$)，低頻位置往往有較大量的能量分佈現象，此現象於實際情況如何，本節中將依現場實測資料與理論解析兩方面驗證。

圖 2-7 為 Goda(1983)於 Costa Rica 實測分析所得之波譜($d=19m, H_{1/3}=3.1m, T_{1/3}=17.7sec$)，由圖中清楚可見，除了較高頻處有非線性效應產生的能量外，於極低頻處亦可能顯現。圖 2-8 則為 Ou(1977)於 1972 年 12 月台中港附近實測分析的波譜($d=19m, H_{1/3}=3.62m, T_{1/3}=8.75sec$)，由圖中亦可看出，較高、低頻處分別有非線性效應的高階能量產生。其他如 Le Mehaute 等人(1982)論著中的實測資料亦有類似的能量分佈現象。

圖 2-9 則係應用陳和湯(1987)論著中，當 $kd \rightarrow 0$ 之第一階波譜所得的第二階波譜情況。由圖中結果顯示，當水深極淺時，除了較高階的能量分佈外，於極低頻處亦出現大量的能量。

由以上論述可知，當水深較淺時，波浪非線性效應產生的第二階波譜，極低頻處確實有能量分佈現象，此極低頻(即較長週期)波浪能量的現象，對構築於較淺水處之港灣工程而言，實屬不容忽視的問題，但往昔之港灣工程規劃設計者，卻往往未加注意而忽略。以下將分析前節所得之第二階波譜於極低頻處的能量結果以供參考。

圖 2-10 為 $\gamma = 3.3$ 、 2.08 、 1.0 之 TMA 波譜為第一階波譜時，各種水深第二階波譜極低頻處的尖峰主頻密度值。由圖中顯示，相同的第一階波譜時，尖峰主頻值隨 d/L_0 之減小而快速增加，於較淺水區($d/L_0 = 0.1$)，由於較強烈的波浪非線性效應而有較大的能量產生；於較深水區域($d/L_0 \geq 0.3$)，由於波浪的非線性應減弱而近乎沒有能量。將圖 2-10 尖峰主頻值與相對應第一階波譜的尖峰主頻值作一比較，如表 2-1 所示。

表 2-1 TMA 波譜為第一階波譜時，第二階波譜極低頻處尖峰主頻密度之比值

	$\gamma = 3.3$	$\gamma = 2.08$	$\gamma = 1.0$
$d/L_0 = 0.10$	18 %	12 %	8 %
$d/L_0 = 0.15$	5 %	3 %	2 %
$d/L_0 = 0.20$	3 %	1 %	1 %

註： S_{2p} 為第二階波譜極低頻處之尖峰主頻值
 S_{1p} 為第一階波譜之尖峰主頻值

由表 2-1 之結果可知，於 $d/L_0 = 0.1$ 之較淺水處，第二階波譜極低頻處的尖峰主頻值為其相對應的第一階波譜尖峰主頻值的 8% ~ 18% 之間，其比例值隨第一階波譜型態的尖銳化而增加，因此，在較淺水處之非線性效應產生的較長週期的波浪能量應予重視。

2-3 第二階波譜型態特性之探討

利用 TMA 波譜為第一階波譜，其於各種水深情況時，因波浪非線性效應產生的第二階波譜的整體型態已如前節所描述。由於波浪的非線性效應係由成份波本身的非線性量與各成份波間相互作用的非線性量兩部份所總和而成，且受水深的影響，當較淺水時，此兩部份的非線性效應同時存在，但當較深水時，由於波浪線性化的關係，此時波浪的非線性效應即由各成份波間的相互作用所主宰，因此，由各成份波組成的第一階波譜型態，即影響其非線性效應產生的第二階波譜的能量分佈變化。當第一階波譜屬於能量較集中，主頻尖峰較尖銳，形心位置較靠近尖峰

主頻處的窄帶波譜型態時(如 $\gamma = 3.3$)，其產生的第二階波譜型態亦較尖銳化，且較高頻處能量集中於 $\sigma/\sigma_{1p}=2.0$ 之處(如圖 2-2 結果)。即是言，由於第一階波譜成份波的頻率範圍比較狹窄，因此其產生的較高階的能量分佈亦較集中。反之，若第一階波譜屬於較寬廣平滑，形心向右偏移的寬帶型式(如 $\gamma = 1.0$)，由前節所述之較高階能量產生於尖峰主頻倍數的關係，其第二階波譜型態除較為寬廣平滑外，較高頻處之主頻尖峰亦因第一階波譜成份波頻率範圍較為寬廣而產生於 $\sigma/\sigma_{1p}>2.0$ 之更高頻處(如圖 2-6 結果)。

由前節之結果得知，當水深較淺時，由於波浪的非線性效應較為強烈，造致有較大的第二階波譜的能量分佈，而水深深淺的指標如何，下列中將以第二階波譜的總能量與較高頻及極低頻處之尖峰主頻值等分別研究探討。

由圖 2-2、圖 2-4 與圖 2-6 等各種第二階波譜的能量分佈型態大致可看出，當 $d/L_0 < 0.2$ 時，波浪的非線性效應較為強烈，致使第二階波譜的能量分佈有較大的變化；當 $d/L_0 \geq 0.3$ 時，由於非線性效應的減弱，其第二階波譜的能量分佈則減小而趨於固定型態。若以波譜的總能量加以分析，則更能佐証水深的影響因素。

圖 2-11 為 $\gamma = 3.3$ 、 2.08 、 1.0 之 TMA 波譜為第一階波譜時，其對應產生的第二階波譜總能量與第一階波譜總能量的比值曲線。由圖中結果顯示，當 $d/L_0 < 0.2$ 之較淺水深時，由於第二階波譜的能量快速增加，因此，各曲線斜率增加較快；當 $d/L_0 \geq 0.3$ 之較深水時，由於非線性效應減弱而第二階波譜能量增加較少，故曲線近乎呈現直線情況。

圖 2-12 則為 TMA 波譜為第一階波譜時，其第二階波譜於 $\sigma/\sigma_{1p}=2.0$ 附近較高頻處之尖峰主頻密度值。由圖中結果得知，當 $d/L_0 < 0.2$ 時，各

曲線斜率的增加較快，此亦表示波浪的非線性效應較為強烈，產生於較高頻處之能量增加較大之故；當 $d/L_0 \geq 0.3$ 時，由於非線性效應已弱，能量增加有限，故各曲線呈現近似直線的情況。至於第二階波譜於 $\sigma/\sigma_{1p} \rightarrow 0$ 之極低頻處尖峰主頻值的結果則如前節圖 2-10 所示，由圖中結果亦顯現相類似的情況。

綜合上述所言，以第二階波譜的能量分佈型態、總能量的比值與較高頻及極低頻處尖峰主頻值等整體架構為考量，當 TMA 波譜為第一階波譜時，於 $d/L_0 < 0.2$ 之較淺水區域，因波浪的非線性效應較為強烈，造致第二階波譜的能量分佈有較大的變化；當 $d/L_0 \geq 0.3$ 之較深水處，由於波浪的非線性效應已減弱，因此，其第二階波譜的能量分佈趨於固定型態。

三、修正型波譜為第一波譜之解析

由於波浪非線性效應於有限水深區域時較為顯著，因此，本文中引用之第一階波譜需適合於有限水深的波譜模式，方能求得較正確的第二波譜。但由於有限水深及至較淺水區域波浪的變化較為複雜，造致有限水深波譜模式的難求與莫衷一是，亦因如此，由第一階波譜所獲得的第二階波譜即更為不確定。假若能引用較為確切的深海型波譜，並加以一簡單化的水深影響參數作為有限水深的第二階波譜，且其求得的第二階波譜不致於有太大的誤差，如此，當可克服本文中所需求的第一階波譜困擾的問題。

由陳和湯(1987)的論著中得知，波譜分佈的特性與相對水深的關係為

$$\int_0^\infty S(\sigma) d\sigma \sim \sum_{n=1}^{\infty} \tanh^2 k_n d \quad (2-51)$$

由上式可知，有限水深的波譜與水深影響參數， $\tanh^2 kd$ ，成正比，為方便處理起見，水深影響參數以 $\tanh^2 k_0 d$ 表示之，其中 k_0 為深水時之週波數。因此，有限水深的波譜可以下列表示

$$S_c(\sigma) = S_1(\sigma) \tanh^2 k_0 d \quad (2-52)$$

式中 $S_1(\sigma)$ 為深海型波譜， $S_c(\sigma)$ 為修正型有限水深波譜。

為方便與前章 TMA 波譜之結果比較，此處之深海型波譜同樣引用 JONSWAP 波譜，同時以 $\gamma = 3.3$ 、2.08、1.0 等不同的波譜型態解析結果。因此，本章中將以如式(5-2)之修正型波譜為第一階波譜，解析波浪非線性效應產生的第二階波譜能量分佈的變化情況，此修正型波譜為 $S_j(\sigma) \tanh^2 k_0 d$ ， $S_j(\sigma)$ 為 JONSWAP 波譜。

雖然前章之第一階波譜 TMA 波譜亦含有 JONSWAP 波譜的型式，基本上，TMA 波譜係以區域性之現場實測資料修正 JONSWAP 波譜所獲得，而本文此處係以深海型波譜配合一簡單化之水深參數，提供解決有限水深波譜的困擾問題，只是為方便比較起見，深海型波譜仍以 JONSWAP 波譜為之。

3-1 第二階波譜形成之探討

本節中仍以改變 JONSWAP 波譜之尖峰集中度係數， γ 當作不同的第一階波譜，探討其第二階波譜能量分佈的變化情況。圖 2-13 為 $\gamma = 3.3$ 時，修正型 JONSWAP 波譜於各種水深的標準化型式，圖中座標表示皆以前章者相同。與圖 2-1 結果之比較，修正型 JONSWAP 波譜($\gamma = 3.3$)與 TMA 波譜者相近似，仍為能量集中尖銳之窄帶型波譜，但於 d/L_0 較小之較淺水處，其尖峰主頻右側之高頻處則顯現稍為寬廣，尤其於 $d/L_0 = 0.1$ 時，其尖峰主頻值較小外，較高頻處之能量曲線變化亦較大。

圖 2-14 則為修正型 JONSWAP 波譜($\gamma = 3.3$)為第一階波譜時，各種水深之第二階波譜能量分佈的變化情況。由於第一階波譜為窄帶型波譜，因此，其第二階波譜能量分佈的形成與前章所述者相類似，於較淺水區域有較大量的能量分佈，且較高頻之尖峰主頻位於 $\sigma/\sigma_{1p} = 2.0$ 之處。惟因第一階波譜於 $d/L_0 = 0.1$ 時，其尖峰主頻較小且高頻處較為寬廣，因此，第二階波譜於 $d/L_0 = 0.1$ 時，其 $\sigma/\sigma_{1p} \rightarrow 0$ 之極低頻與 $\sigma/\sigma_{1p} = 2.0$ 較高頻處之尖峰主頻值明顯較小，且較高頻處之能量分佈呈現較為寬廣平滑。

圖 2-15 為 $\gamma = 2.08$ 之修正型 JONSWAP 波譜標準化型式，與圖 2-3TMA 波譜結果之比較，同樣的，於較淺水區域，其尖峰主頻右側高頻處較為寬廣平滑，且 $d/L_0 = 0.1$ 時，其差異性亦較大。

圖 2-16 則為上述修正型 JONSWAP 波譜為第一階波譜時，其第二階波譜的變化情況。與圖 2-4TMA 波譜結果作一比較，除了 $d/L_0 = 0.1$ 外，其餘水深情況由於第一階波譜的型態較為相似，因此，其所獲得之第二階波譜的整體型式亦相類似。而 $d/L_0 = 0.1$ 時，因第一階波譜主頻值與右側高頻的能量分佈有所差異，致使第二階波譜較高頻及極低頻處之能量較小，且較高頻處之能量分佈較為圓滑，其整體能量分佈變化的差異較 $\gamma = 3.3$ 者為小。

圖 2-17 為 $\gamma = 1.0$ 之修正型 JONSWAP 波譜的標準型式，由於此波譜屬於較寬廣海域的寬帶波譜型式，因此，其與圖 2-5 TMA 波譜的型態較相似。

圖 2-18 則為上述修正型 JONSWAP 波譜產生的第二階波譜的變化情況，與圖 2-6TMA 波譜的結果比較，由於兩者第一階波譜的相似性，因此，非線性效應產生的第二階波譜能量分佈的形成與變化情況亦極為近

似，皆為寬廣平滑的型式，且其與 TMA 波譜所得者的差異性又較 $\gamma = 3.3$ 與 $\gamma = 2.08$ 者為小。

綜合以上所述，以 $\tanh^2 k_0 d$ 為水深參數的修正型 JONSWAP 波譜，於各水深情況時，由於第一階波譜型態與前章 TMA 波譜者較為相似，因此，其非線性效應產生的第二階波譜，不論 $\sigma/\sigma_{1p} \rightarrow 0$ 之極低頻處與 $\sigma/\sigma_{1p} = 2.0$ 附近較高頻處能量分佈的成因，或者整體型態變化的情況，皆有相似性，是故，以較簡化之 $\tanh^2 k_0 d$ 參數作為深海型波譜的水深影響參數，以求解有限水深情況波浪非性效應的第二階波譜，是為可行之道。

若純以深海型之 JONSWAP 波譜作為第一階波譜時，其產生之第二階波譜能量分佈的變化情況如何，以下將陳列其結果作為分析比較。圖 2-19 至圖 2-21 分別為 $\gamma = 3.3$ 、 2.08 、 1.0 之深海型 JONSWAP 波譜為第一階波譜時，其對應產生之第二階波譜的結果。由各圖中得知，第二階波譜的型態呈現出能量分佈較為集中尖銳的型式，於水深較淺處（尤其是 $d/L_0 = 0.1$ ），較高頻及極低頻處有較大的能量產生。與前述修正型波譜結果的比較，於 $d/L_0 \leq 0.2$ 之較淺水區域，除了波譜整體型態的不同外，於較高頻及極低頻處之尖峰主頻更呈現較大的差異，但於 $d/L_0 \geq 0.3$ 之較深水區域，水深參數 $\tanh^2 k_0 d$ 已趨近於 1，兩者的第一階波譜較為相似，因此其第二階波譜的型態也趨於相似。

由以上論述可知，若以深海型波譜當作第一階波譜以求解非線性效應的第二階波譜時，需注意水深的影響，在較淺水情況可能獲致較大的誤差結果。

3-2 與 TMA 波譜結果之比較

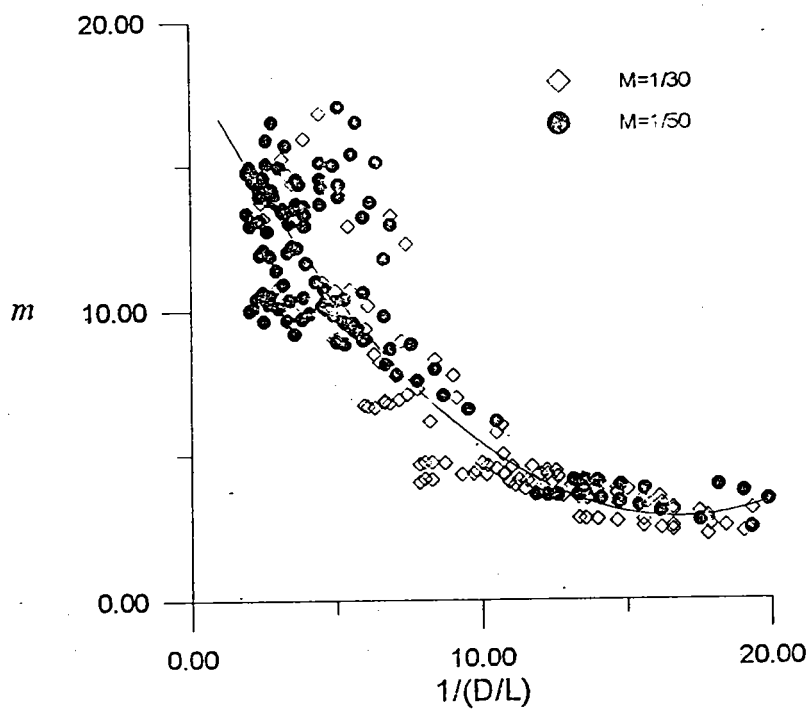


圖 3-29 平底床之經驗公式與各斜率之實驗值之比較圖

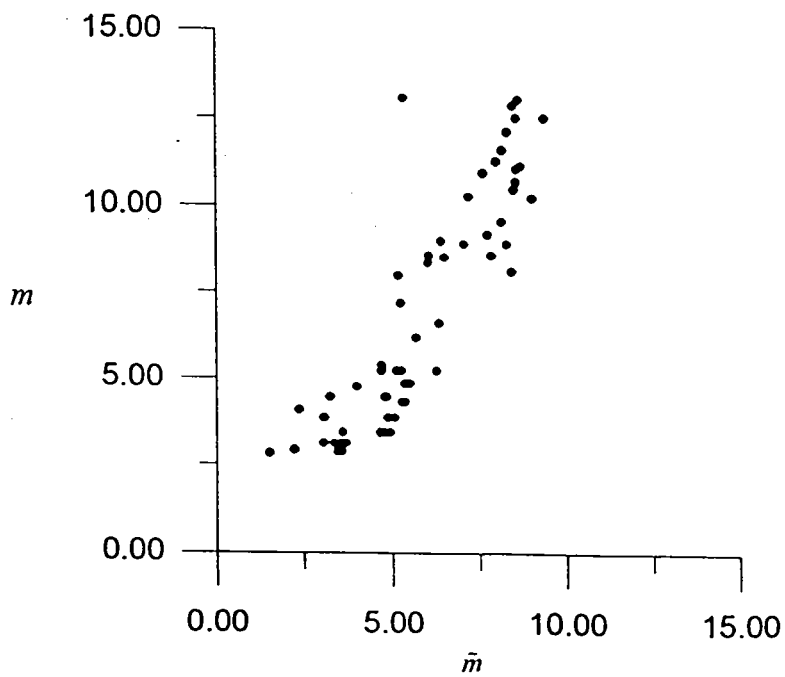


圖 3-30 波譜形狀參數經驗式

之 m 值與 WALLOPS 波譜之推估值 $\bar{m}$ 比較圖

者較大，於 $d/L_0=0.15$ 時，其較高頻及極低頻處之比值差異約在 10% 以內；於 $d/L_0=0.2$ 時，比值差異則在 15% 以內，其他水深情況亦在 15% 以內。

綜合上述所言，以 $\tanh^2 k_0 d$ 為水深參數的修正型波譜所獲得之第二階波譜的能量分佈，依整體型態的形成原因與變化的情況，其結果與有限水深波譜產生的第二階波譜相近似。依第二階波譜的總能量與 $\sigma/\sigma_{1p} \rightarrow 0$ 之極低頻與 $\sigma/\sigma_{1p} = 2.0$ 附近較高頻處尖峰主頻值的分析比較而言，修正型波譜的結果與有限水深波譜者雖有所差別，但亦不致差異太大。因此，以 $\tanh^2 k_0 d$ 水深參數為深海型波譜之修正形式當作有限水深波譜的方式，確實可為有限水深波譜難求的困擾提供另一種解決的方法，惟於水深較淺區域(如 $d/L_0=0.1$)時，由於 $\tanh^2 k_0 d$ 值較快速變小，致使較尖銳型的窄帶波譜能量分佈之值受影響而有較大差異，為應用此方式須注意之處。

3-3 第二階波譜型態特性之探討

利用修正型 JONSWAP 波譜為第一階波譜所求取之第二階波譜能量分佈的變化情況已如前 3-1 節所描述。由於修正型波譜的型態與 TMA 波譜頗為近似，因此，其非線性效應產生的第二階波譜能量分佈的成因與型式亦如前 2-3 節所述，即是言，能量較集中尖銳的窄帶型第一階波譜(如 $\gamma = 3.3$)，其所獲致之第二階波譜能量亦較尖銳集中於 $\sigma/\sigma_{1p} = 2.0$ 之較高頻處(如圖 2-14)；若第一階波譜屬於寬廣平滑的寬帶型波譜(如 $\gamma = 1.0$)，則其第二階波譜於較高頻處的能量分佈亦較寬廣平滑，且其尖峰主頻會往 $\sigma/\sigma_{1p} > 2.0$ 之更高頻處位移(如圖 2-18)。

由於水深較淺時，波浪的非線性效應較為強烈，致使有較大的第二階波譜的能量分佈。當水深較大時，波浪的非線性效應已減弱，第二階

波譜的能量增加較少，其能量分佈型態則趨於固定。同樣地，本節中將探討第二階波譜總能量與其較高頻及極低頻處之尖峰主頻值於各種水深的變化情況。

圖 2-26 為 $\gamma = 3.3$ 、 2.08 、 1.0 之修正型 JONSWAP 波譜為第一階波譜時，其對應產生的第二階波譜總能量與第一階波譜總能量的比值圖。由圖中結果可知，各曲線於各種水深的變化情況與前章圖 2-11 的結果很相似，當 $d/L_0 < 0.2$ 之較淺水處，由於波浪的非線性效應較大，其第二階波譜的能量增加較快，因此，各曲線斜率增加較大；反之，當 $d/L_0 \geq 0.3$ 之較深水處，由於非線性效應已減弱，第二階波譜能量減小，故曲線呈現近似直線情況。

圖 2-27 與圖 2-28 則分別為 $\gamma = 3.3$ 、 2.08 、 1.0 之修正型 JONSWAP 波譜為第一階波譜時，其產生之第二階波譜於 $\sigma/\sigma_{1p} \rightarrow 0$ 之極低頻與 $\sigma/\sigma_{1p} = 2.0$ 附近較高頻處之尖峰主頻密度值。由各圖中顯示，極低頻與較高頻之尖峰主頻值於各種水深的變化情況與 TMA 波譜所得者相似，當 $d/L_0 < 0.2$ 時，波浪的非線性效應較強烈，尖峰主頻值增加較快，是故曲線斜率較大；當 $d/L_0 \geq 0.3$ 時，非線性效應已減弱，故有較小的尖峰主頻值。

綜合上述所言，修正型 JONSWAP 波譜為第一階波譜時，其第二階波譜的總能量與較高頻及極低頻處的尖峰主頻於各種水深的變化情況，與 TMA 波譜所得之第二階波譜頗為相似。因此，本節的結果亦以 $d/L_0 < 0.2$ 之較淺水區域，界定為波浪的非線性效應較為強烈，而 $d/L_0 \geq 0.3$ 之較深水區域，波浪的非線性效應較微弱，第二階波譜的能量分佈則趨於固定型態。

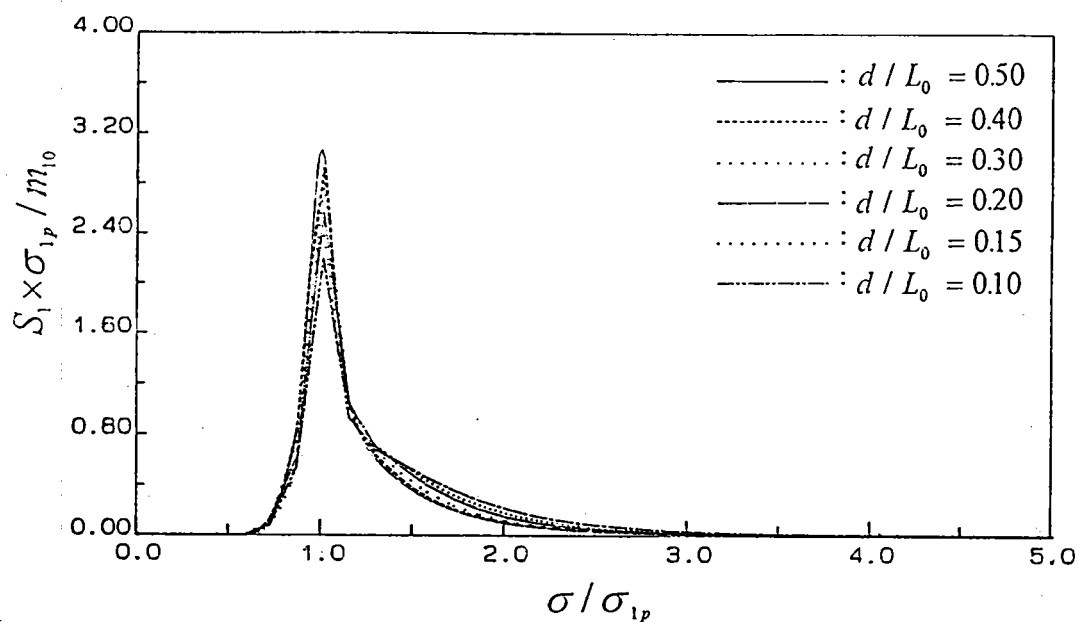


圖 2-1 TMA 波譜($\gamma=3.3$)於各種水深之標準化波譜

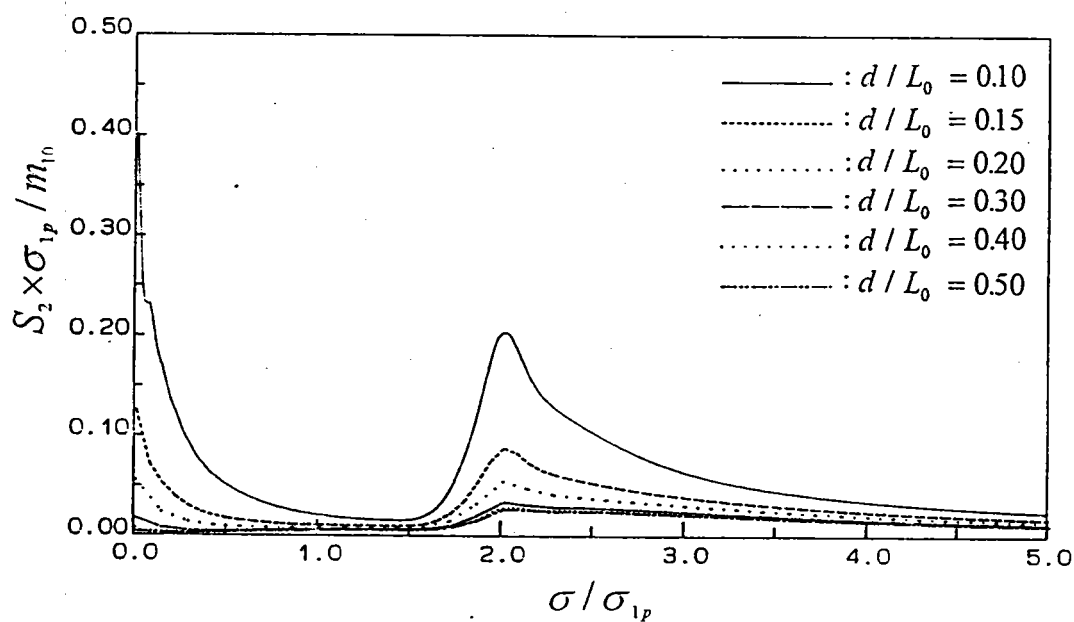


圖 2-2 TMA 波譜($\gamma=3.3$)為第一階波譜時,各種水深之第二階波譜

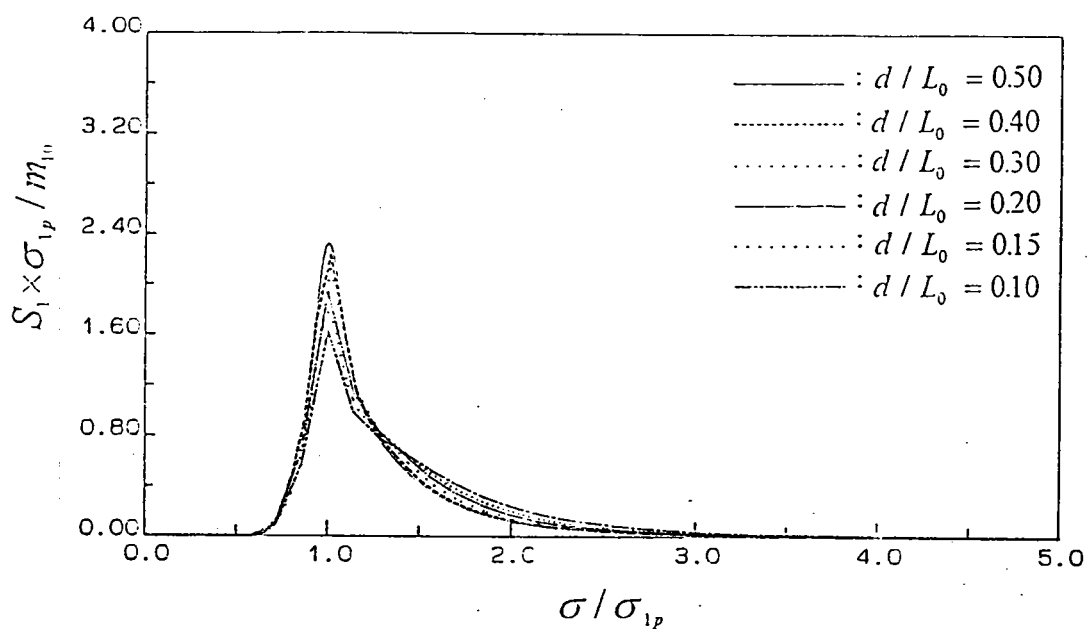


圖 2-3 TMA 波譜($\gamma=2.08$)於各種水深之標準化波譜

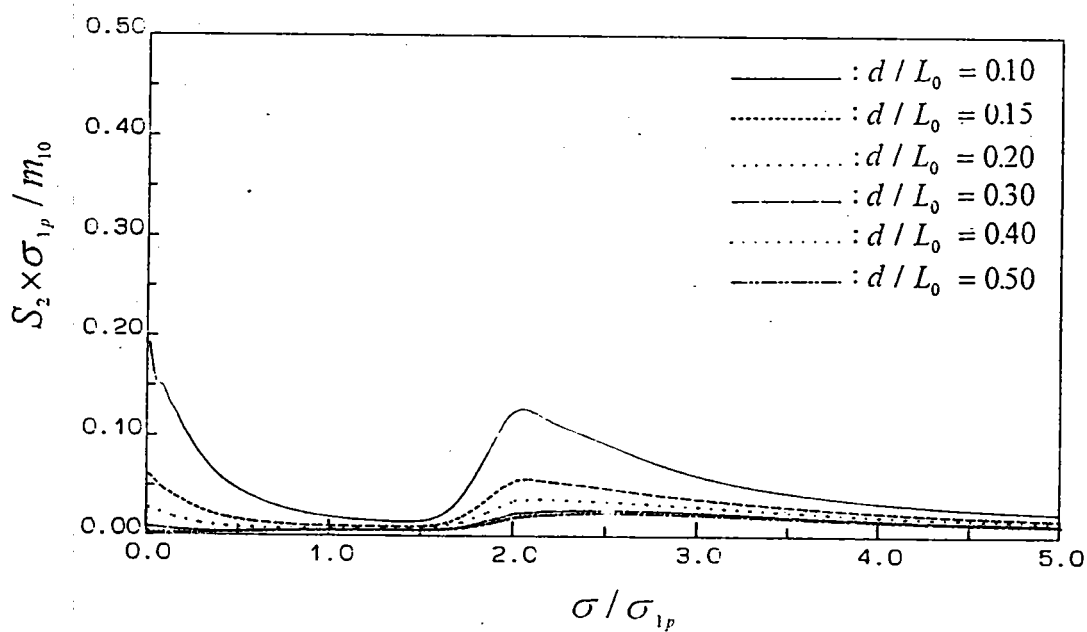


圖 2-4 TMA 波譜($\gamma=2.08$)為第一階波譜時，各種水深之第二階波譜

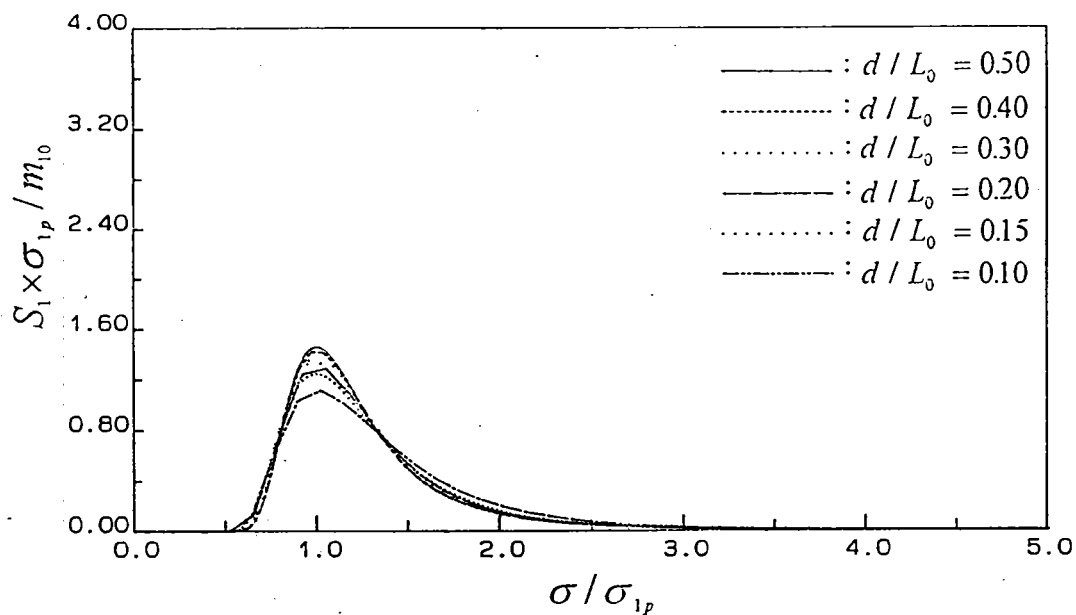


圖 2-5 TMA 波譜($\gamma=1.0$)於各種水深之標準化波譜

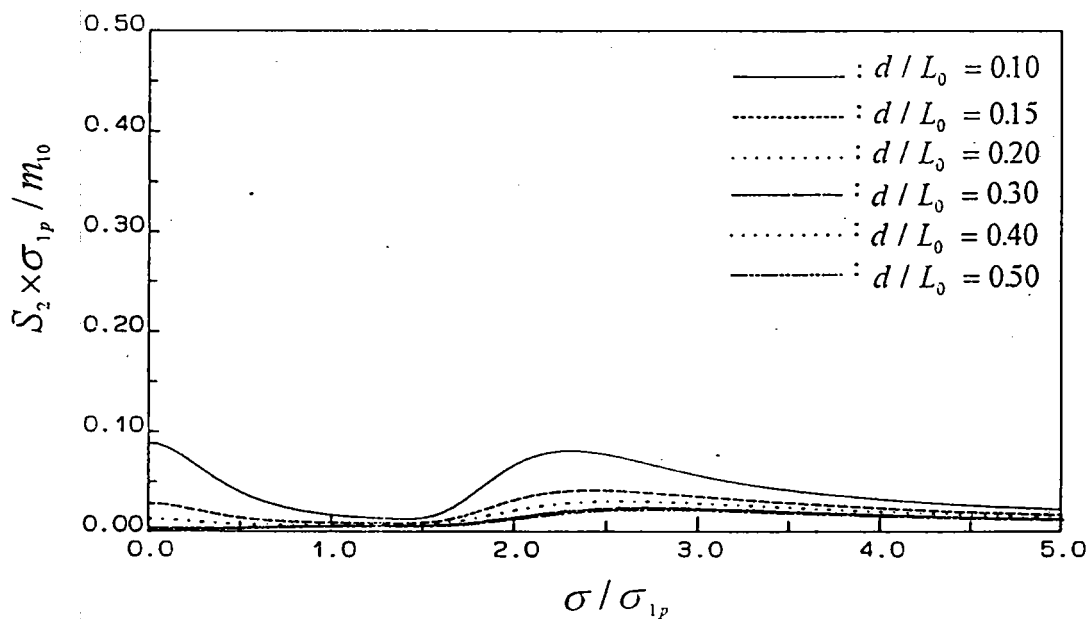


圖 2-6 TMA 波譜($\gamma=1.0$)為第一階波譜時，各種水深之第二階波譜

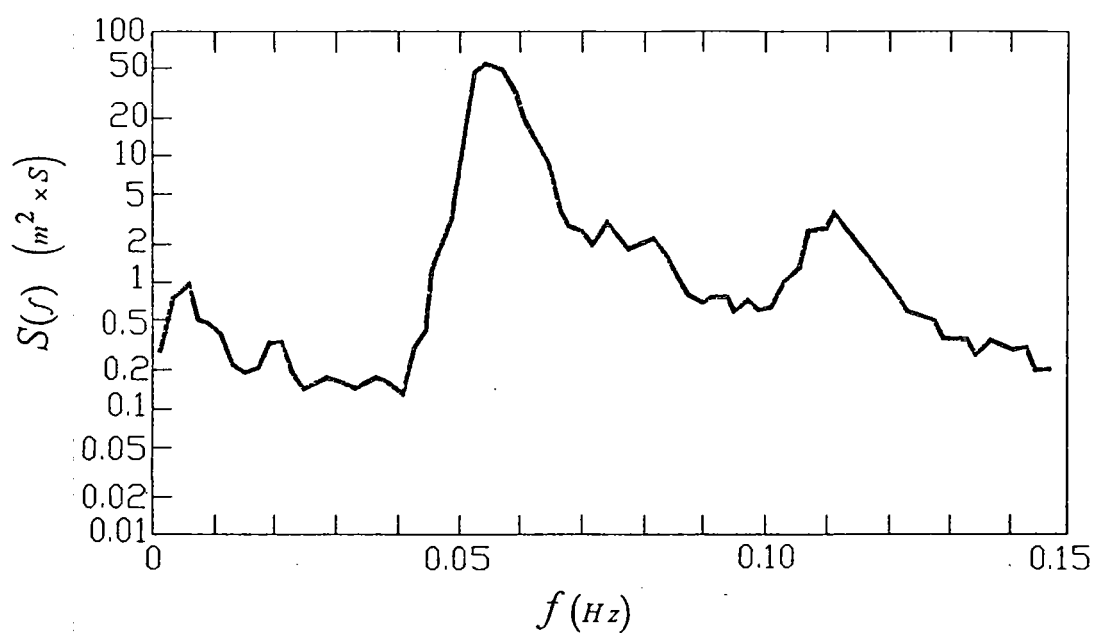


圖 2-7 Goda(1983)實測分析之波譜(1981 於 Costa Rica)

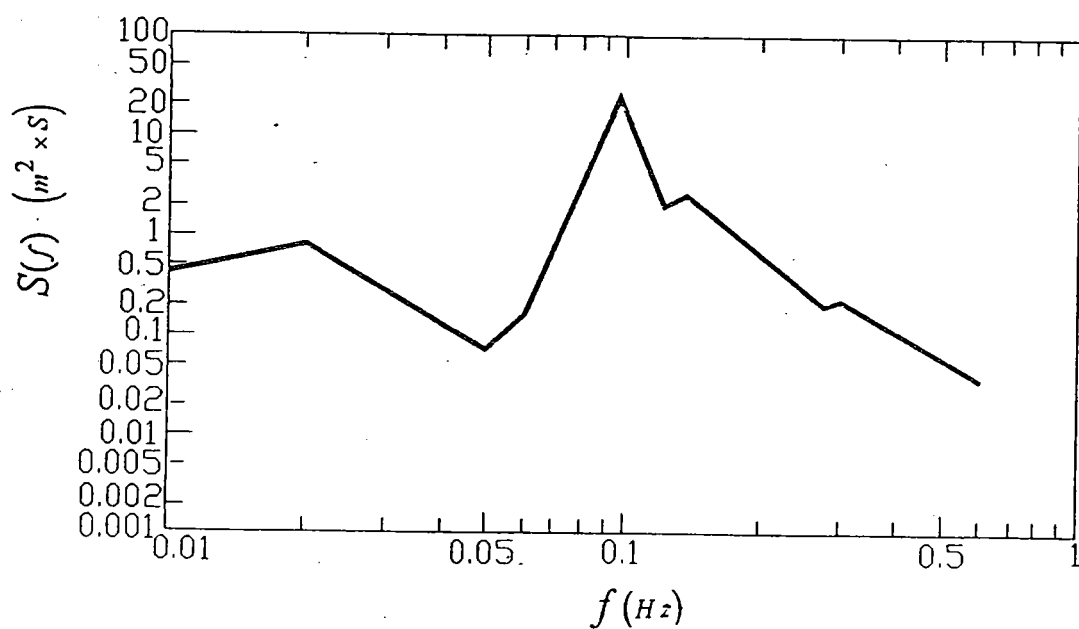


圖 2-8 Ou(1977)實測分析之波譜(1972 於台中港)

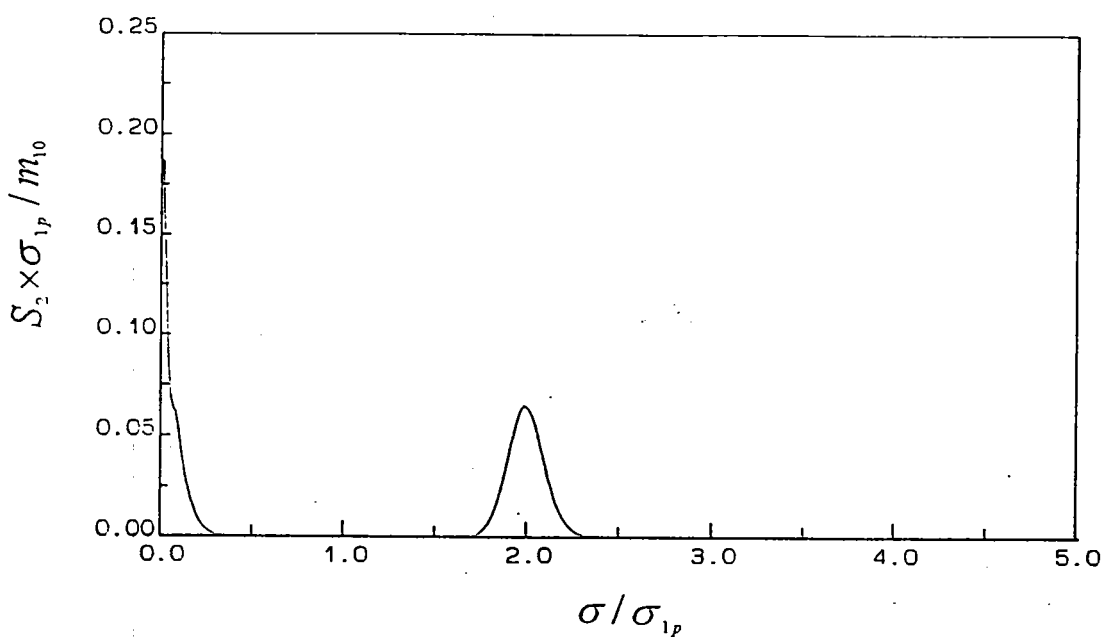


圖 2-9 陳和湯(1987)模式為第一階波譜所得之第二階波譜

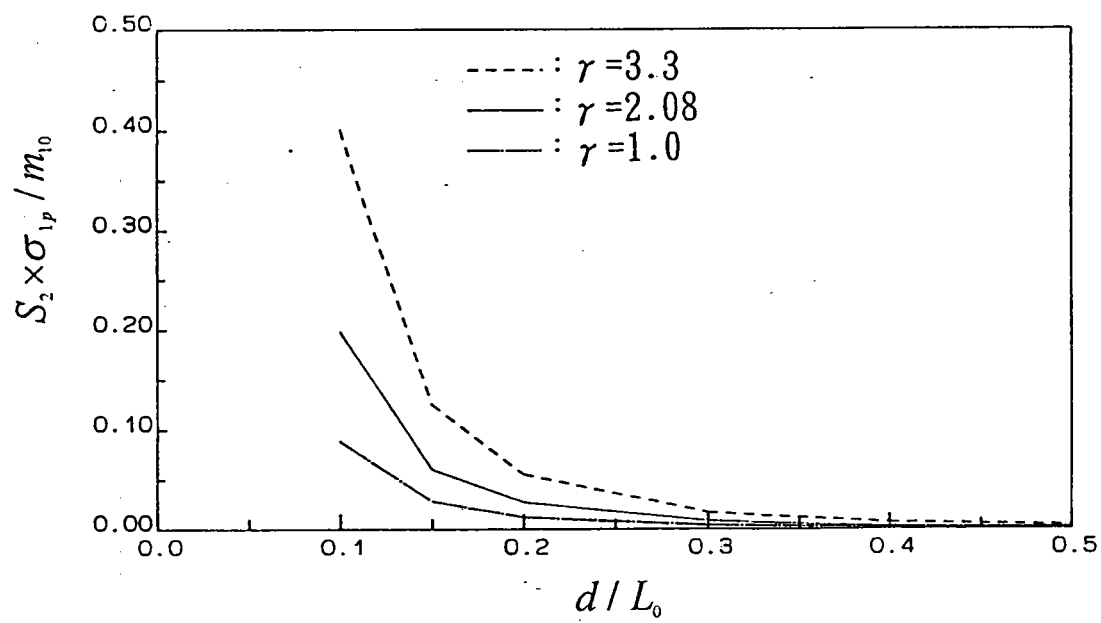


圖 2-10 TMA 波譜($\gamma=3.3$ 、 2.08 、 1.0)為第一階波譜時，各種水深之第二階波譜極低頻處之尖峰主頻密度值

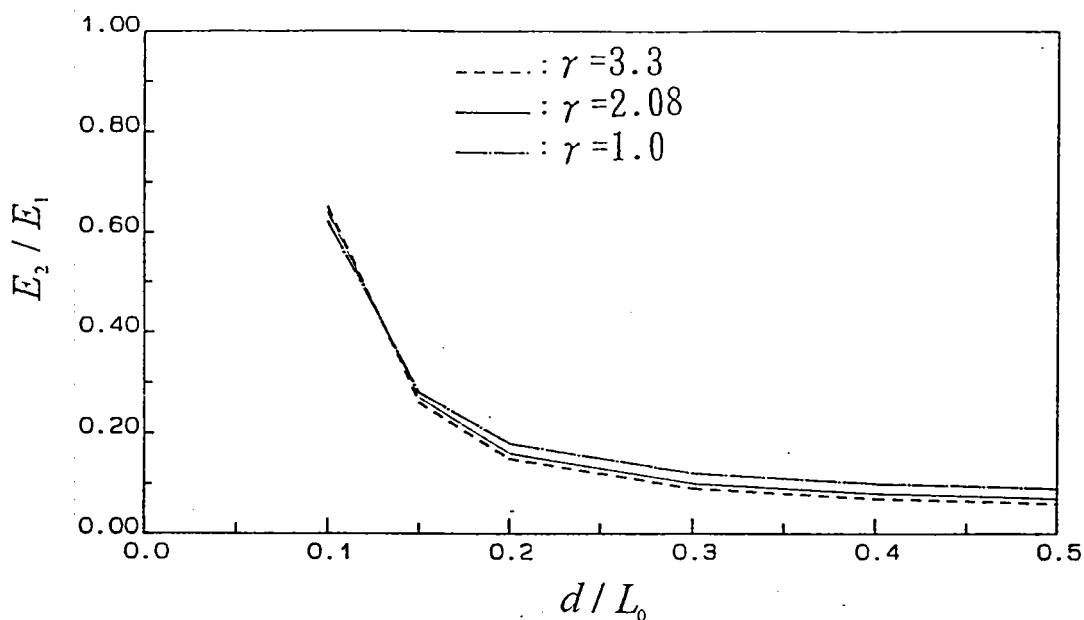


圖 2-11 TMA 波譜($\gamma=3.3$ 、 2.08 、 1.0)為第一階波譜時，各種水深之第二階波譜與第一階波譜總能量比值(E_1 為第一階波譜總能量， E_2 為第二階波譜總能量)

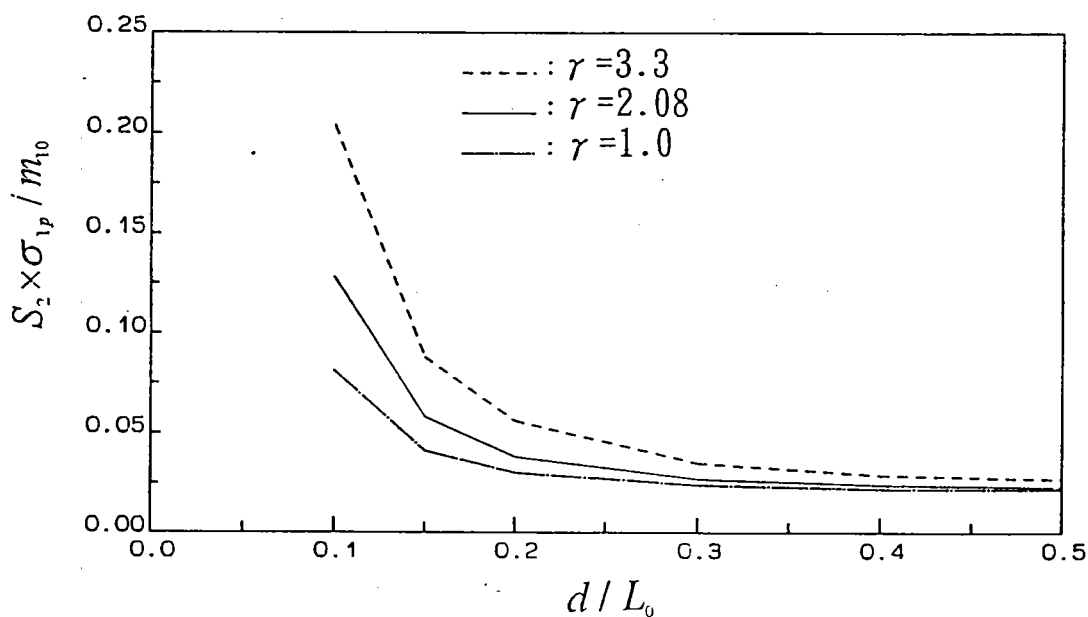


圖 2-12 TMA 波譜($\gamma=3.3$ 、 2.08 、 1.0)為第一階波譜時，各種水深之第二階波譜較高頻處之尖峰主頻密度值

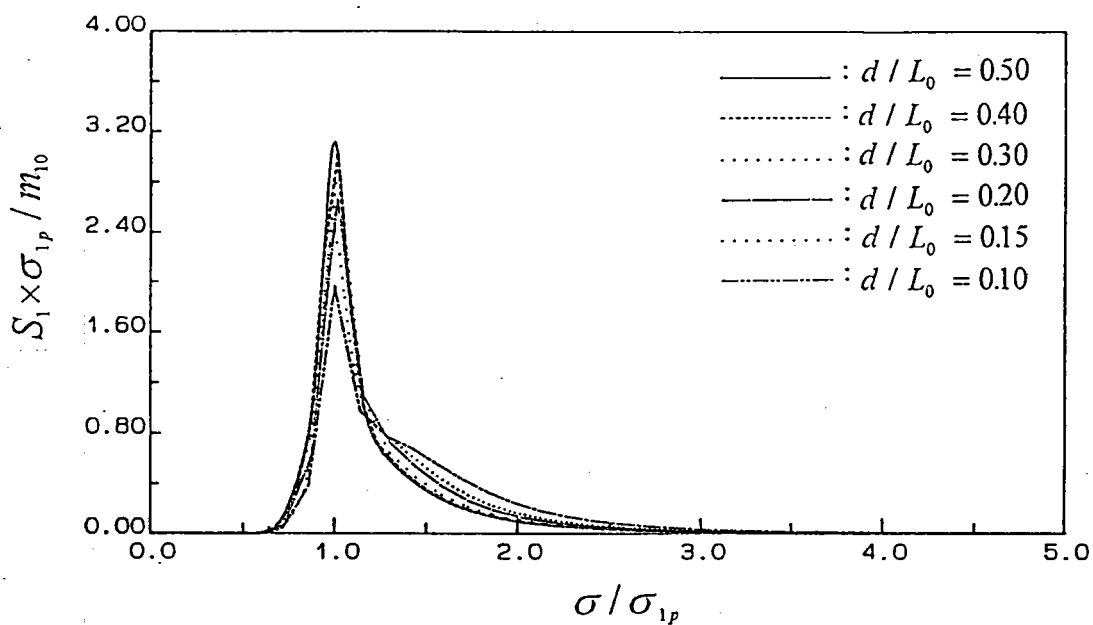


圖 2-13 修正型 JONSWAP 波譜($\gamma=3.3$)於各種水深之標準化波譜

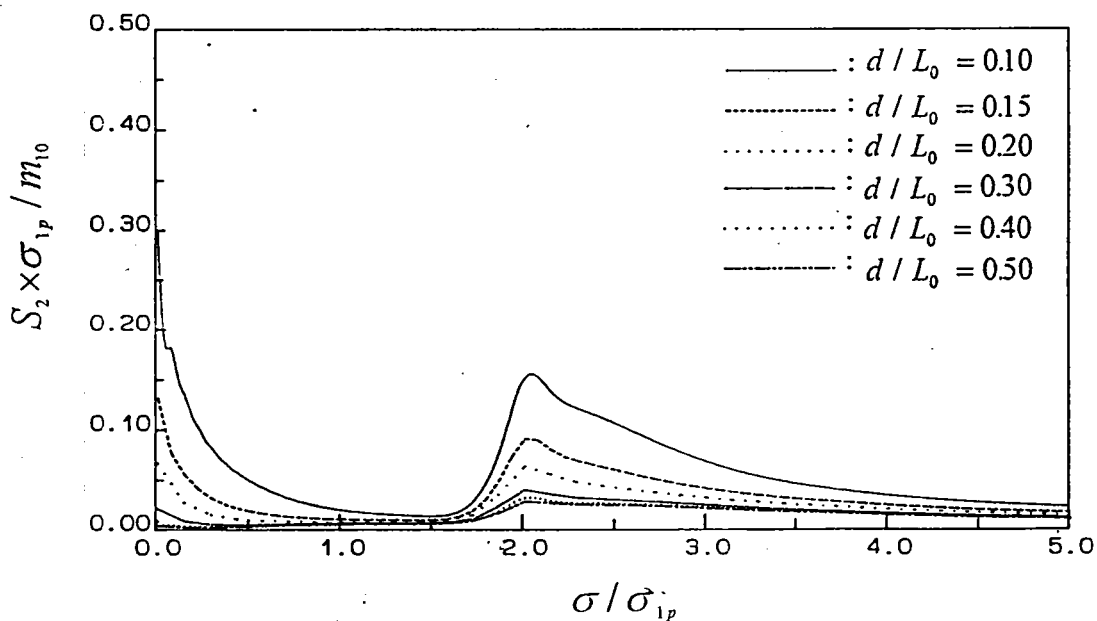


圖 2-14 修正型 JONSWAP 波譜($\gamma=3.3$)為第一階波譜時，各種水深之第二階波譜

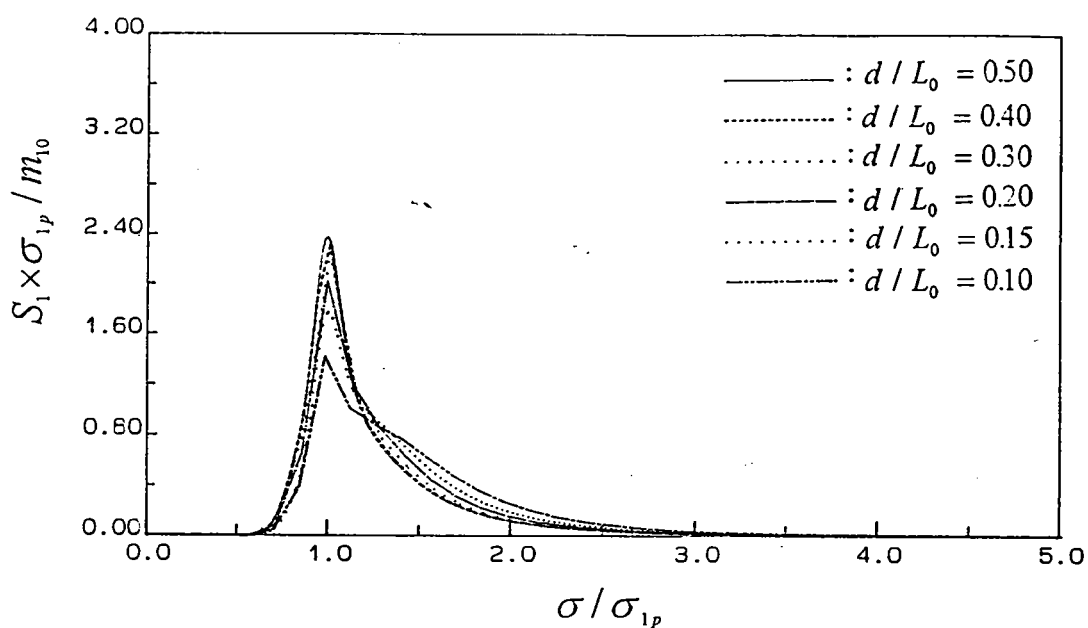


圖 2-15 修正型 JONSWAP 波譜($\gamma=2.08$)於各種水深之標準化波譜

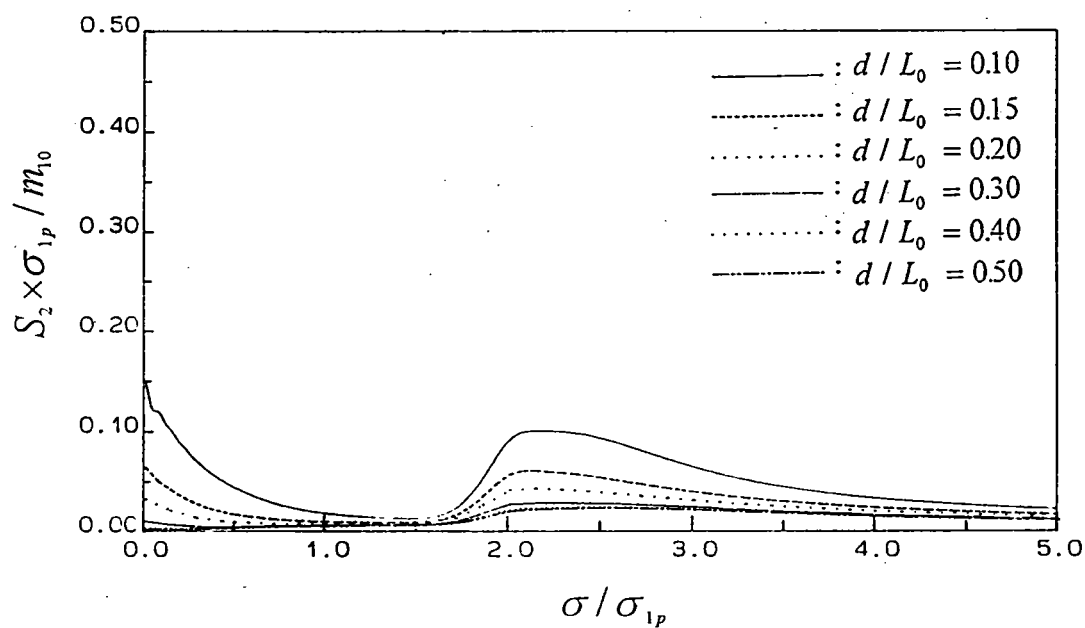


圖 2-16 修正型 JONSWAP 波譜($\gamma=2.08$)為第一階波譜時，各種水深之第二階波譜

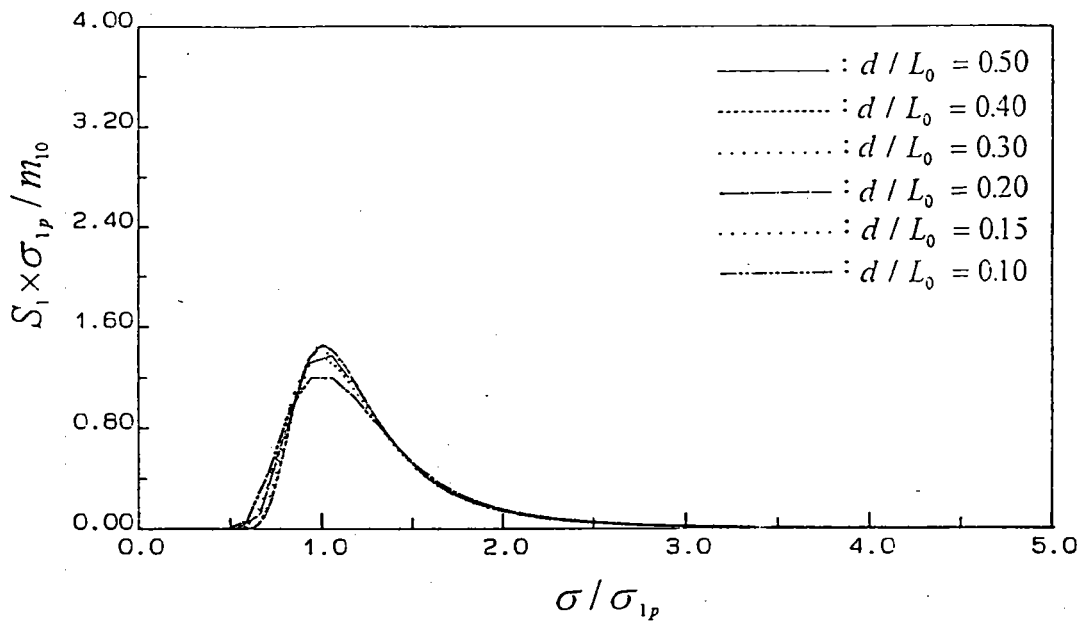


圖 2-17 修正型 JONSWAP 波譜($\gamma=1.0$)於各種水深之標準化波譜

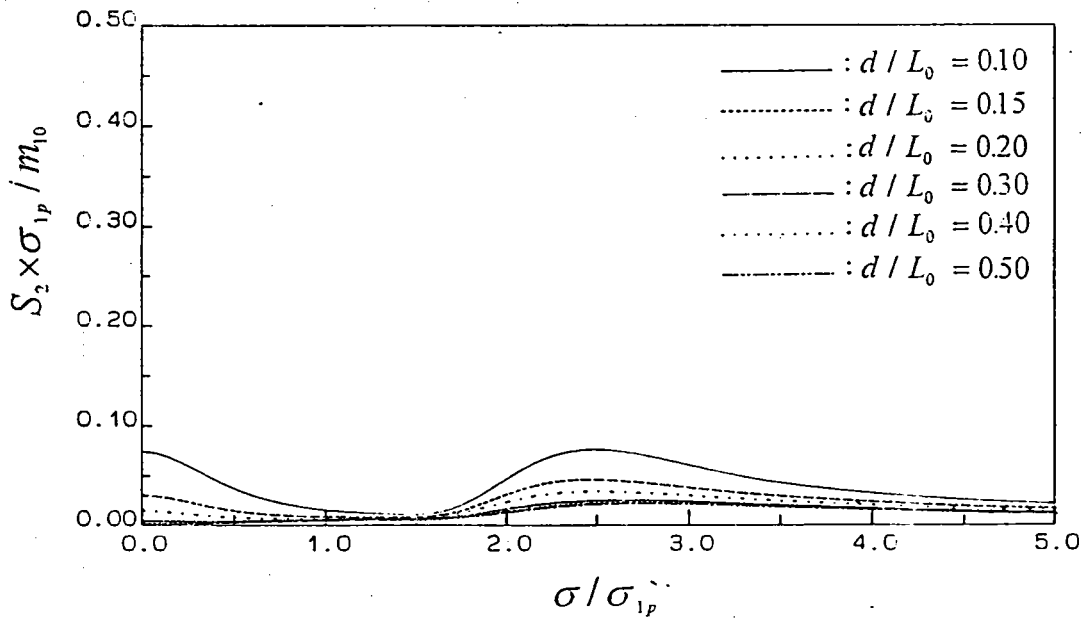


圖 2-18 修正型 JONSWAP 波譜($\gamma=1.0$)為第一階波譜時，各種水深之第二階波譜

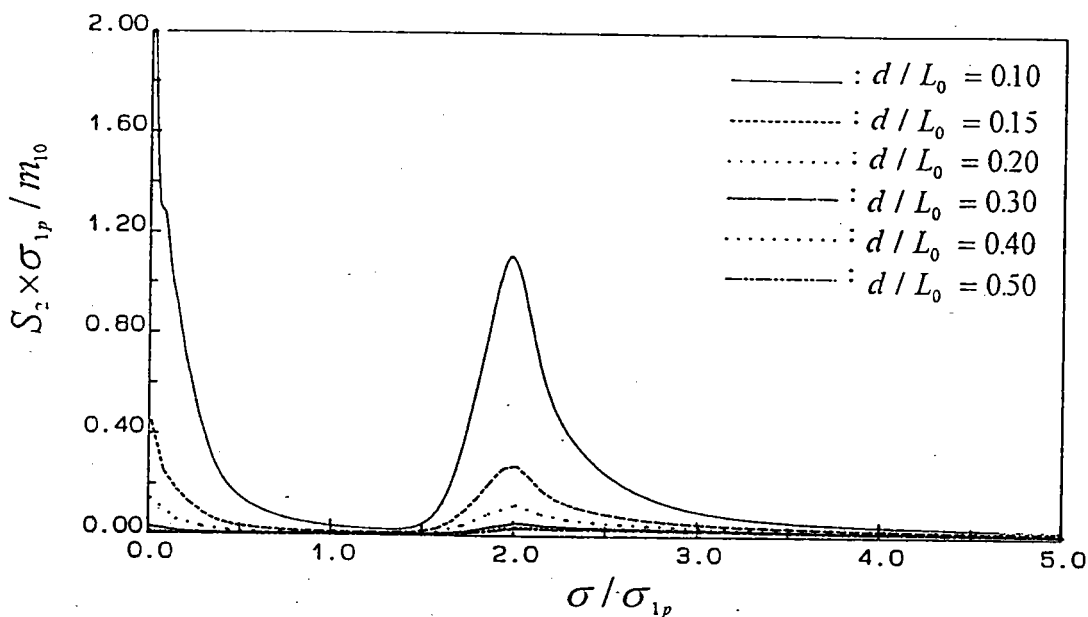


圖 2-19 深海型 JONSWAP 波譜($\gamma=3.3$)為第一階波譜時，各種水深之第二階波譜

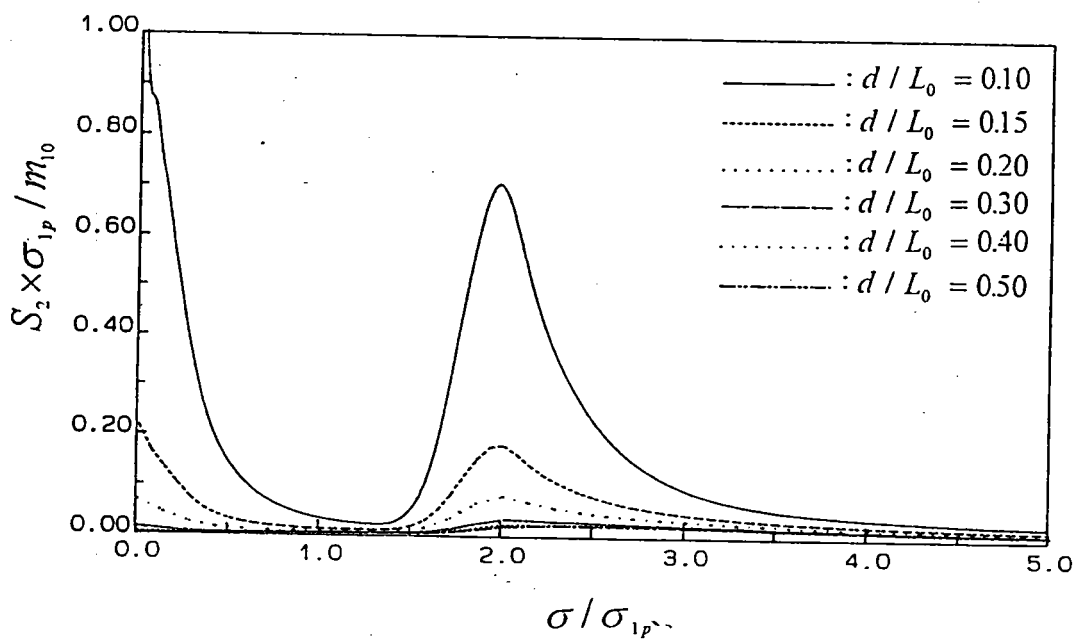


圖 2-20 深海型 JONSWAP 波譜($\gamma=2.08$)為第一階波譜時，各種水深之第二階波譜

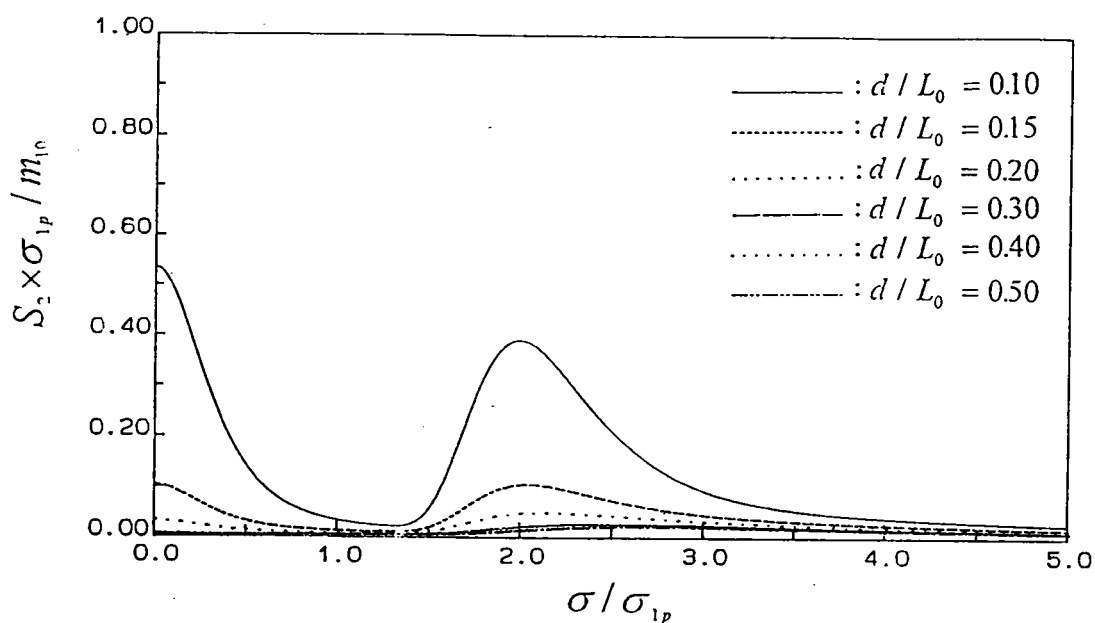


圖 2-21 深海型 JONSWAP 波譜($\gamma=1.0$)為第一階波譜時，各種水深之第二階波譜

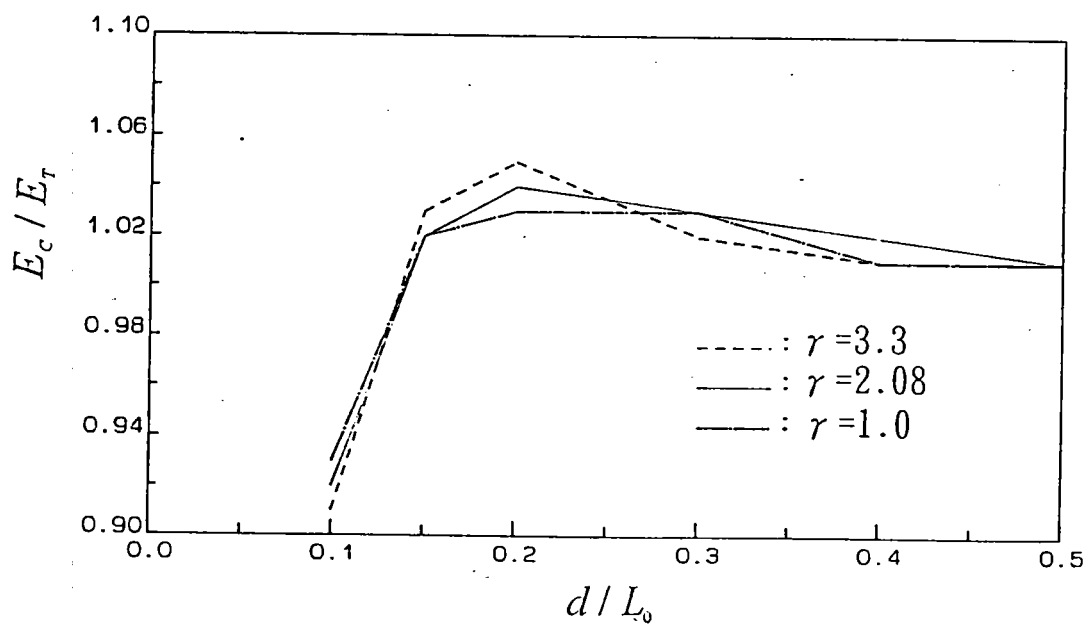


圖 2-22 修正型 JONSWAP 波譜與 TMA 波譜之第二階波譜總能量比值(E_c 為修正型 JONSWAP 波譜之第二階波譜總能量， E_T 為 TMA 波譜所得者總能量)

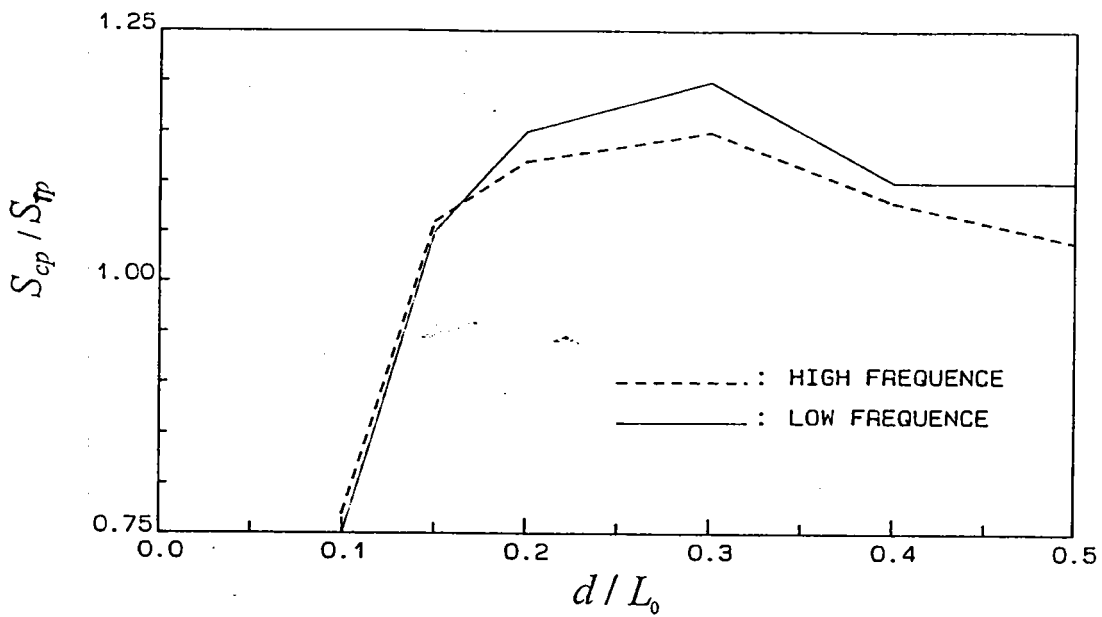


圖 2-23 修正型 JONSWAP 波譜與 TMA 波譜($\gamma=3.3$)之第二階波譜較高頻及極低頻處尖峰主頻密度比值(實線為極低頻處比值，虛線為較高頻處比值。 S_{cp} 為修正型 JONSWAP 第二階波譜之尖峰主頻密度值， S_{tp} 為 TMA 波譜第二階波譜之尖峰主頻密度值)

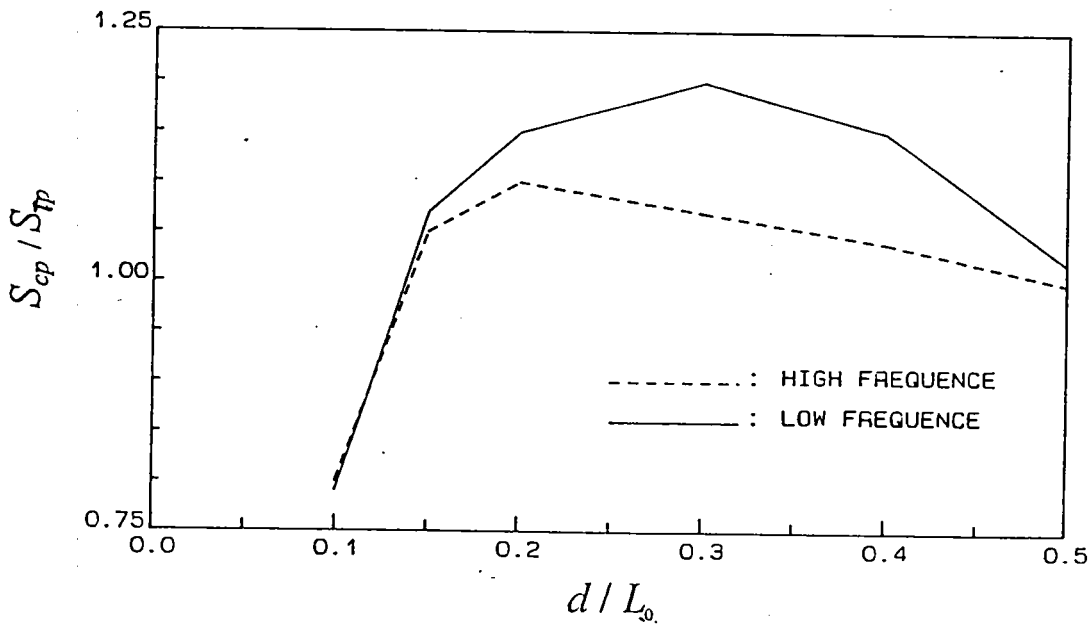


圖 2-24 修正型 JONSWAP 波譜與 TMA 波譜($\gamma=2.08$)之第二階波譜較高頻及極低頻處尖峰主頻密度比值

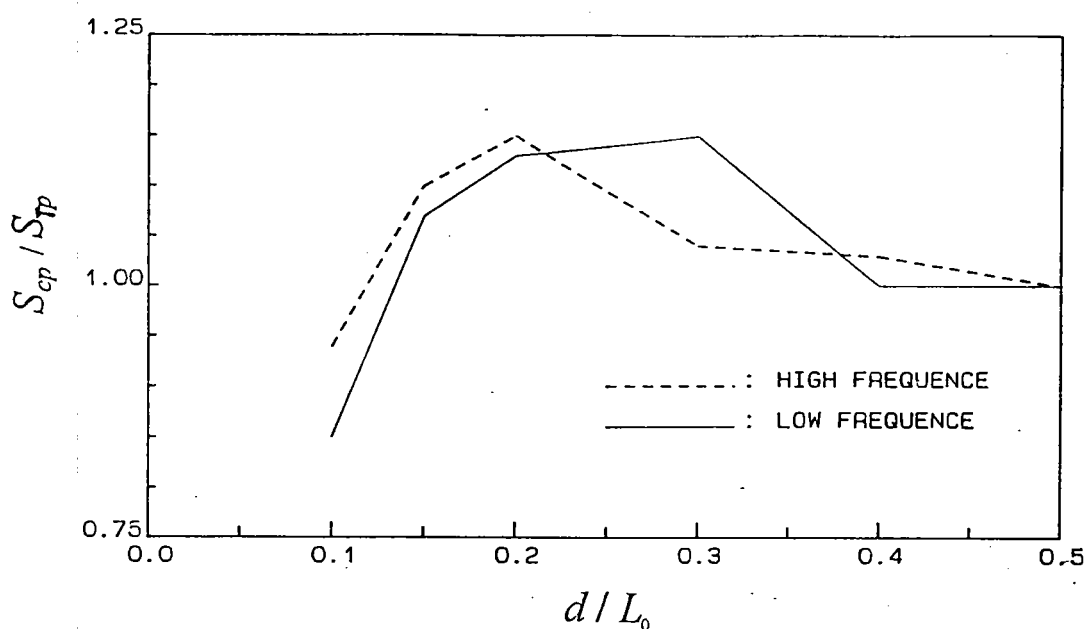


圖 2-25 修正型 JONSWAP 波譜與 TMA 波譜($\gamma=1.0$)之第二階波譜較高頻及極低頻處尖峰主頻密度比值

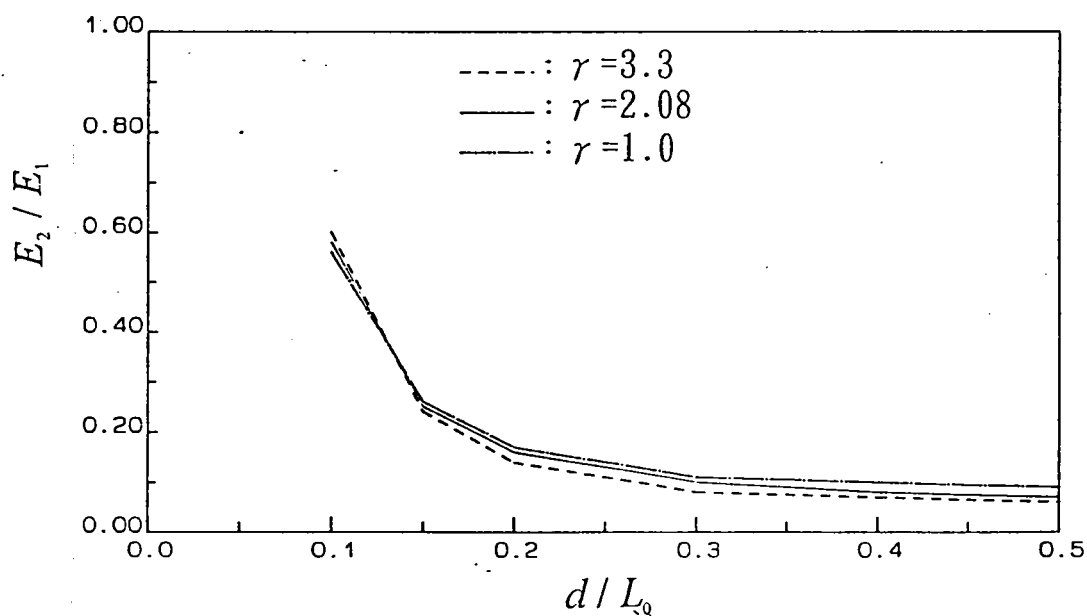


圖 2-26 修正型 JONSWAP 波譜($\gamma=3.3$ 、 2.08 、 1.0)為第一階波譜時，各種水深之第二階波譜與第一階波譜總能量比值(E_1 為第一階波譜總能量， E_2 為第二階波譜總能量)

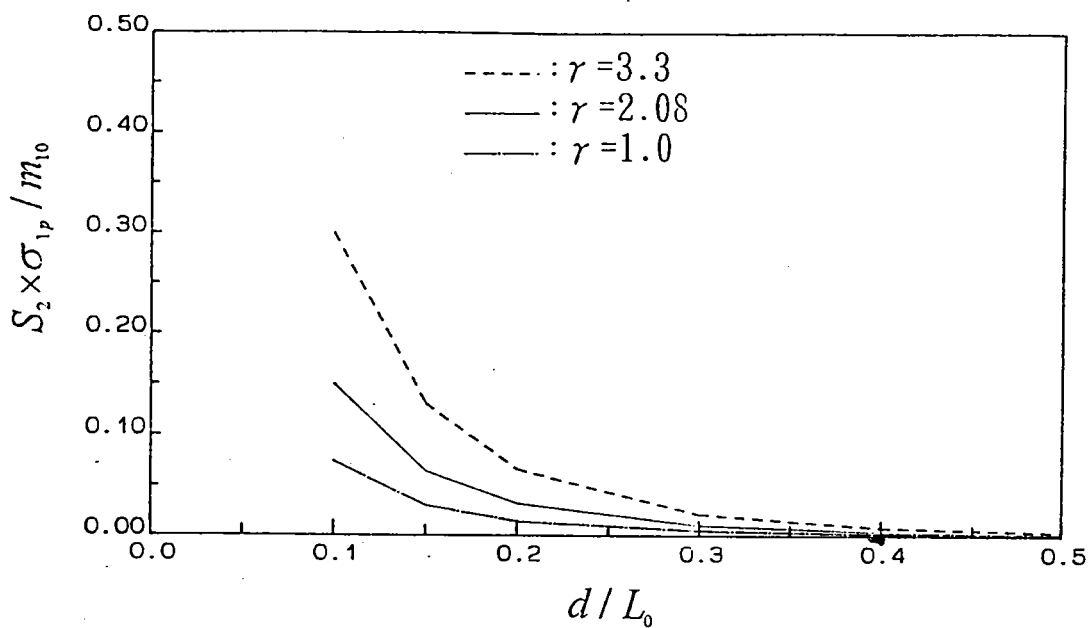


圖 2-27 修正型 JONSWAP 波譜($\gamma=3.3$ 、 2.08 、 1.0)為第一階波譜時，各種水深之第二階波譜極低頻處之尖峰主頻密度值

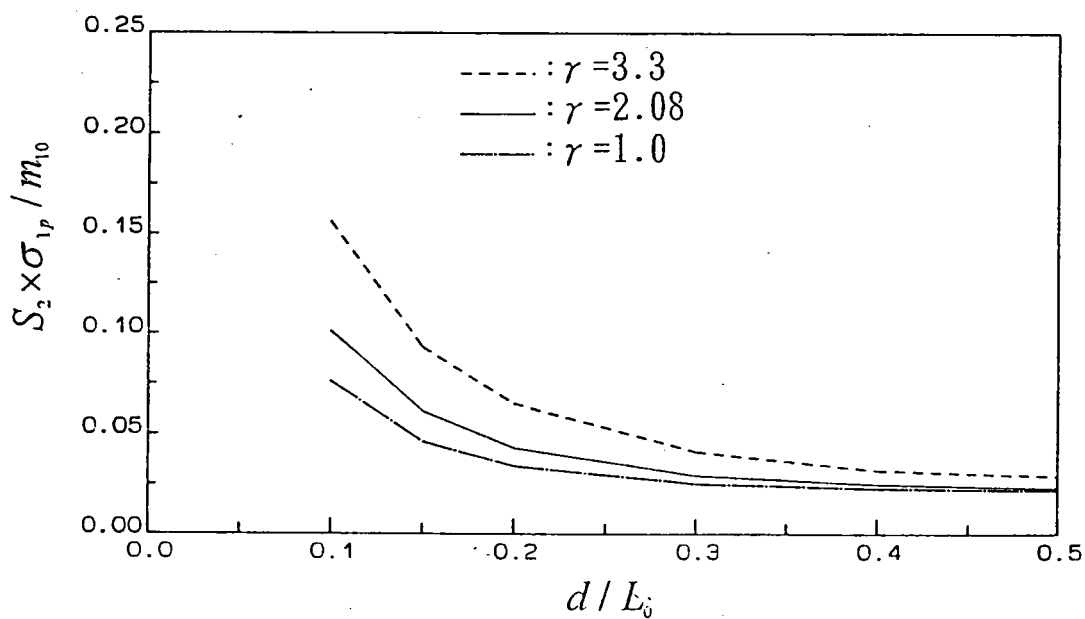


圖 2-28 修正型 JONSWAP 波譜($\gamma=3.3$ 、 2.08 、 1.0)為第一階波譜時，各種水深之第二階波譜較高頻處之尖峰主頻密度值

參、試驗結果與探討

一、試驗過程

1-1 設備與儀器

本試驗乃是利用台中港灣技術研究所風洞試驗室中的斷面水槽進行，其試驗設備與儀器如下：

(1) 斷面水槽

槽長100公尺，寬1.5公尺，高2公尺，右端設置一造波機。並設置一處玻璃段以便觀察波浪進行時的變化。

(2) 造波機

為一油壓式 (*piston*) 造波機，置於斷面水槽右端，由電腦控制可依試驗需求造出各種不同的規則波與不規則波。

(3) 電容式波高計、增幅器、電腦

此套系統經由波高計感應水位訊號，藉由增幅器放大水位訊號，再由電腦完成蒐集資料。

1-2 模型佈置

本試驗的底床共分兩大類：一為水平底床，二為斜面底床（斜度包括1：30與1：50兩種），詳述如下：

(a) 水平底床

模型佈置一共可分四區，分別為深水區、斜面段、淺水區與消能段。深水區自造波機起共35公尺，此區設置2支波高計，其位置分別距離造波機25公尺與26公尺，所測得知水位訊號即代表深海之入射波訊號。斜面段長12公尺斜率為1：30，此區為一緩衝區，連接深水區與淺水區。淺水區一共長40公尺，此區共配置14支波高計，其波高計的間距為不等間距，第一支波高計距離淺水區與斜面斷起1.38公尺。最後一段為消能設施，此段為深水區並配置多孔板做為消能設施。配置圖如圖2-1所示。

(b) 斜面底床

由於考慮實際海洋地形並非為一水平底床而台灣西部海岸底床十分平緩，因此本次實驗斜面底床的斜率共分1：30與1：50，其基本模型如同水平底床，但將其斜面段延長，波高計也採不等間距，以測波浪在有斜度變化的底床其變化為何。佈置圖如圖3-2與圖3-3所示。

1-3 試驗條件

斜面底床試驗中其斜面的斜度分別為1：30與1：50，本試驗只做一種水深，在深水區之水深為90公分，同時每一波浪條件分別做Pierson-Moskowitz與JONSWAP兩種不同波譜型態的不規則波浪。而在斜坡則有各種水深的波浪可供分析討論。

資料的取樣頻率為30Hz，並且為確保資料的真實性，不受反射波的影響，其取樣時間為120秒。

由於碎波的影響並不是本次試驗所考慮的，因此必須注意波浪由深水區至淺水區的變化。由波浪理論可知，波浪自深水區至淺水區其波速、波長、波高都會發生變化。波高的變化尤為明顯，它會隆起且能量集中於波峰形成類似孤立波之波形，而容易造成碎波。而為了確保不發生碎波現象，根據Miche及濱田之淺海碎波界限

$$\frac{H_b}{L_b} = 0.142 \tanh \frac{2\pi h_b}{L_b} \quad (3-1)$$

作為造波前輸入電腦造波之依據。

本次試驗主要是針對淺水波，由波浪理論可知淺水波發生的條件為相對水深（ h/L ）小於0.5（包括中間性水深 $0.05 < h/L < 0.5$ 與淺水波 $h/L < 0.05$ ），本次研究所得之斜面底床試驗的波浪參數如表3-1、表3-2、表3-3所示。

表3-1 水平底床實驗之波浪統計參數表

水深d (cm)	10-50	波高水深比 $H_{1/3}/d$	0.099-0.5
主頻 f_p (Hz)	0.352-1.289	Ursell number	1.175-80.5
波高 $H_{1/3}$ (cm)	1.18-11.14	Goda 之Gs參數	0.033-0.37
波浪尖銳度 $H_{1/3}/L_p$	0.0096-0.042	相對水深 d/L_p	0.055- 0.313

表3-2 底床斜率1:30實驗之波浪統計參數表

水深d (cm)	90	波高水深比 $H_{1/3}/d$	0.083-0.43
主頻 f_p (Hz)	0.264-1.143	Ursell number	0.32-131.9
波高 $H_{1/3}$ (cm)	4.64-9.14	Goda 之Gs參數	0.033-0.59
波浪尖銳度 $H_{1/3}/L_p$	0.009-0.0524	相對水深 d/L_p	0.051-0.5133

表3-3 底床斜率1:50實驗之波浪統計參數表

水深d (cm)	90	波高水深比 H/d	0.11-0.62
主頻 f_p (Hz)	0.293-1.025	Ursell number	0.74-225
波高 $H_{1/3}$ (cm)	2.21-11.16	Goda 之Gs參數	0.036-1.01
波浪尖銳度 H/L_p	0.01-0.056	相對水深 d/L_p	0.052-0.408

1-4 資料收集與處理

各波高計於試驗前先做波高的率定（校正），以確保資料收集的準確性。試驗所得的資料為波高計所感應的連續電壓信號先經由增幅器（Amplifier）放大後再經由A/D卡轉換為數位訊號（Digital data），然後由電腦收集資料。

資料分析方法大致可分下列幾種：

(1) 能量頻譜（Power Spectrum）即一階能譜

本次試驗數據一共120秒，取樣頻率為30Hz，即整組數據為3600點。為了取得成熟且不受反射波的影響之資料，則每次

分析資料取其2048點數據作一組，每組共兩個樣本，每個樣本共1024點，對每一樣本做快速傅立葉轉換（FFT），以求得水位之能量頻譜。在統計上為提高其信賴度，將能量頻譜取7條頻譜線移動平均作為最後的能量頻譜。波高之能量頻譜之定義如下：

$$\phi_{xx}(f) = E[X(f)X^*(f)] \quad (3-2)$$

其中，

$E[]$ ：代表樣本平均

f ：代表頻率

$X(f)$ ：時間訊號 $x(t)$ 之傅立葉係數

$X^*(f)$ ： $X(f)$ 之共軛複數

$\phi_{xx}(f)$ ：訊號 $x(t)$ 之能量頻譜密度函數

在不同水深、不同波浪條件下，各種波浪特性不同，其波譜也不同，若欲比較不同波譜的形狀，則需將它正規化（*Normalized*）如下所示：

$$\frac{\phi(f)f_p}{m_0} = F\left(\frac{f}{f_p}\right) \quad (3-3)$$

其中，

f_p ：主頻率

m_0 ：波浪之總能量 $= \int_{-\infty}^{\infty} \phi(f)df$

(2) 雙階頻譜 (*Bispectrum*)

由於本次試驗所得之數據點數不足，為了彌補點數不足的缺點，其雙階頻譜的計算方法是將總點數2048點分為雙個樣本，將每個樣本後再加上1024點的0值，使得每個樣本總數為2048點，然後進行快速傅立葉轉換求得雙階頻譜，並且取其15條頻譜線作移動平均作為最後的雙階頻譜，雙階頻譜的定義如下：

$$B(f_i, f_j) = E[X(f_i)X(f_j)X^*(f_{i+j})] \quad (3-4)$$

而雙階係數 (*bicoherence*) b^2 則為

$$b^2(f_i, f_j) = \frac{|B(f_i, f_j)|^2}{E[|X(f_i)X(f_j)|^2]E[|X(f_{i+j})|^2]} \quad (3-5)$$

其中，

$B(f_i, f_j)$ ：訊號 $X(t)$ 之雙階頻譜

$b^2(f_i, f_j)$ ：訊號 $X(t)$ 之雙階係數

二、實驗結果與討論

2-1 通用型之正規化標準波譜

波譜型態常與風速、吹送距離及吹送時間有關。當吹送距離短時風

浪達到飽和所需的時間較短，吹送距離長時風浪達到飽和所需的時間較長。而風速越大達到飽和時的風浪規模也越大。一般實驗室中之風浪因吹送距離短，較易達到飽和狀態，故其波譜能量集中波譜形狀較陡；實際海洋上的風速則因吹送距離長、較不易達到飽和狀態，故波譜形狀較為平緩。一般海洋較常用的波浪頻譜模式有Pierson-Moskowitz與JONSWAP兩種。其中Pierson-Moskowitz模式能量較為分散形狀較為平緩；JONSWAP模式能量較為集中形狀較為尖銳。欲描述實測海洋風浪波譜形狀的時候，我們常把這兩種模式一般化或正規化來使用。

若將Pierson-Moskowitz波譜予以正規化可得Pierson-Moskowitz之通用型標準波譜表示式如下：

$$\frac{\phi(f)f_p}{m_0} = \frac{n}{\Gamma\left(\frac{m-1}{n}\right)} \left(\frac{m}{n}\right)^{\frac{m-1}{n}} \left(\frac{f}{f_p}\right)^{-m} \exp\left[\frac{-m}{n}\left(\frac{f}{f_p}\right)^{-n}\right] \quad (3-6)$$

式中，

m ：波譜形狀參數

n ：波譜形狀參數

Γ ：Gamma函數

式(6)中的 m 、 n 是個變數，改變 m 、 n 值可得到各種不同形狀的波譜。由於 n 值的大小於本次研究中影響不大，故令 n 值等於4，改變 m 值得到各種不同的波譜形狀。不同 m 值之Pierson-Moskowitz波譜形狀如圖3-4所示。

將JONSWAP波譜修正且正規化後得到JONSWAP之通用型標準波譜表示式如下所示：

$$\frac{\phi(f)f_p}{m_0} = K \left(\frac{f}{f_p} \right)^{-5} \exp \left(-\frac{5}{4} \left(\frac{f}{f_p} \right)^{-4} \right) \left\{ \gamma \left[\frac{\left(\frac{f}{f_p} - 1 \right)^2}{\sqrt{2}\sigma} \right] \right\} \quad (3-7)$$

式中，

$$\sigma = 0.07 \quad f \leq f_p$$

$$\sigma = 0.09 \quad f > f_p$$

$$K : \text{正規化係數} = \frac{1}{\int_0^{\infty} \hat{f}^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4} \hat{f}^{-4}\right) (\gamma^{\exp A}) d\hat{f}}$$

$$\hat{f} : \frac{f}{f_p}$$

$$A : -\frac{(\hat{f} - 1)^2}{2\sigma^2}$$

γ : 波譜形狀參數

調整不同的 γ ，可得到各種不同的JONSWAP波譜形狀。不同 γ 值之JONSWAP波譜形狀如圖3-5所示，但當 $\gamma < 0.9$ 時即產生雙峰而與一般正常型態不同，故通常並不考慮 $\gamma < 0.9$ 以下的情況。

2-2 波譜形狀的變化

本次實驗對於波譜形狀的探討大致上可分為兩類加以研究，分裂型與不分裂型兩類，兩者大致以相對水深0.05為界線，大於0.05其波譜形狀與一般波譜一樣具有單峰型，而小於0.05則波譜形狀會發生分裂而產生雙峰型。其物理特性詳述如下：

(1) 分裂型波譜

當相對水深 (d/L) 小於0.05以下時，波浪自深水進入淺水時，其波形會發生分裂的現象而能量波譜也會跟隨著發生分裂。而由於此時的波形正處在一不穩定的狀態下，因此波譜的形狀也會隨著波浪的進行而發生不固定的形狀。在此僅能以物理現象的描述加以說明，並不能以固定的形狀加以敘述。如圖3-6的分裂型波譜與波形之演變關係圖所示。

圖3-6 (a) 為深海波，即圖3-1水平底床模型佈置圖之ch1之能量頻譜圖與波形圖，圖3-6 (b) 為圖3-1之ch3之能量頻譜圖與波形圖，圖3-6 (c) 為圖3-1之ch6之能量頻譜圖與波形圖，圖3-6 (d) 為圖2-1之ch12之能量頻譜圖與波形圖，圖3-5 (e) 為圖2-1之ch16之能量頻譜圖與波形圖。由圖形中可得知在深水區時 (a圖)，其波浪具有一單峰頻譜，主頻約0.25Hz處。當波浪經斜面至淺水區時 (b圖)，波浪波形開始有分裂的現象，尤其是愈大的波分裂現象愈明顯。此時在其頻譜的高頻處，約1Hz附近另外產生一尖峰。隨著波浪的前進，第二個尖峰逐漸變大，甚至大於第一個尖峰，而且此第二尖峰所在位置 (頻率)，逐漸往低頻移動 (如圖c與圖d)。然後當波浪前進至一相當距離後，第一尖峰有逐漸消失的趨勢，波浪可能變成一只具有單峰頻譜的波浪，其主頻則位於先前二尖峰的中間 (約0.6Hz)，此時的波浪比之先前的深水波，乃形成一具有較短週期的波浪 (如圖e)。

以上這種波浪在淺水區的變形，很早在實驗中已被發現。Elgar et al. (1993) 曾利用非線性理論試圖加以解說，但其只限於規則波的範圍。依照理論上的說法，此種高頻波的出現係一種高調波的結果，此種高調波的出現隨著距離變化會週期性的出現，此在實驗上也尚未給予證明。而且對不規則波而言，理論上的探討可能更加困難。在此只知道這種波浪分裂造成頻譜明顯變化，以致欲將波譜形狀標準化，似乎是不可行的事，故只能以物理現象描述。

(2) 不分裂型波譜

當相對水深大於0.05時，其頻譜的變化可由圖3-7至3-11加以討論。此五張圖分別是各種不同波況（包括波高、週期、水深等）的入射波，在平台上每一測站所量測到的水位訊號，經計算後的無因次頻譜重疊繪在一起的圖形。由於波浪的進行受到摩擦效應的影響，其能量頻譜會隨著變緩。圖3-7與圖3-8相對水深為0.28與0.15，在此情況下其各測站的無因次頻譜圖形狀皆十分一致。圖3-9與圖3-10相對水深為0.088與0.074，雖然在低頻與高頻處有一些微小的變動，但此處的能量與全部能量相比較仍然是十分微小，故其各測站的頻譜形狀仍是有一致性。圖3-11相對水深為0.06，在二倍主頻處有能量出現，但比較其形狀仍可說是有相當的一致性。故由以上所述，各測站所得的無因次頻譜並不會隨著測站的位置不同而有所不同，其形狀十分相似，因此摩擦效應對波譜形狀（無因次波譜）並不會有影響。

對於同一波況之波浪，其波譜形狀並不會受到位置的不同而有

所不同，因此在相同入射波況的條件下，取一測站的資料來代表即可。本次研究是取平台上第四支（圖3-1之ch6）波高計所測得的資料作分析，其基本參數表如表1所示。

因此由以上可得知，在相對水深小於0.05時，波譜形狀會發生分裂的現象，而且是處在不穩定的狀態下；而相對水深大於0.05時，各測站可以得到具有一致性的無因次頻譜，故以下將只討論是相對水深大於0.05的波浪的波譜形狀。

2-3 波譜形狀參數之決定

在工程應用上，希望能將波譜形狀規格化，然後再予以數式化。對於淺水波譜模式的確定，目前尚無一定的結論，將淺水波譜以數學式表示則是本實驗之目的。而本研究擬採用常用之*Pierson-Moskowitz*與*JONSWAP*標準型態之數學表示式來套用實驗數據。標準波譜形狀（即波譜形狀參數）的決定，乃是先將實驗所得的正規化波譜形狀與標準波譜形狀相比。以不同的標準波譜形狀參數所得的標準波譜與實驗波譜相比，以標準偏差（ ε ）最小值之波譜形狀參數來代表實驗數據的形狀參數。當以*Pierson-Moskowitz*標準波譜與實驗值比較時，其波譜形狀參數即為式（3-6）中的 m 。當以*JONSWAP*標準波譜與實驗值比較時，其波譜形狀參數即為式（3-7）中的 γ 。

為了探討是以*Pierson-Moskowitz*波譜表示實驗波譜較好還是以*JONSWAP*波譜表示實驗值，在此將實驗值與二者之比照圖如圖3-12至圖3-18所示。

由圖3-12與圖3-13的二張圖其相對水深大於0.2，在此以主頻率為界限，分別討論大於主頻率部份與小於主頻率部份，實驗值與二標準波譜之間的差異性。由圖形中可知，當小於主頻部份的波譜形狀與兩標準波譜之間的差異並不大。但當大於主頻部份的波譜形狀，由圖中JONSWAP標準波譜的結果可知主頻處尖峭，而至1.5倍主頻後則平緩地向高頻處延伸，造成此處與實驗值的差異過大。然而Pierson-Moskowitz標準波譜則不會有此種情形發生，而且由圖中可發現Pierson-Moskowitz標準波譜與實驗值十分接近幾乎一致。因此當相對水深大於0.2時，以Pierson-Moskowitz標準波譜來描述實驗值是十分恰當的。

由圖3-14可發現，當相對水深於0.15時，波譜中2倍主頻處已有能量產生，此時與JONSWAP的差異已大為減小，但比較圖形仍以Pierson-Moskowitz標準波譜與實驗值差異最小。

當相對水深小於0.1時，即由圖3-15至圖3-18可看出，實驗值與二標準波譜之間的差異變大而且實驗的波譜形狀變得十分平緩。由於當JONSWAP中的 γ 值小於0.9時即有雙峰的情形產生，此與一般正常的波譜形狀有所不同，因此JONSWAP的 γ 在此不能小於0.9，凡是計算結果小於0.9者以0.9替代之。由圖3-15至圖3-18可瞭解，當JONSWAP的 γ 過小造成主頻處JONSWAP其值大於實驗值甚多，而Pierson-Moskowitz的主頻能量與實驗值仍是十分吻合，因而當相對水深小於0.1時仍是以Pierson-Moskowitz標準波譜與實驗值的差異最小。另一方面由標準差的計算，可得實驗值與Pierson-Moskowitz波譜之平均標準偏差為0.09，實驗值與JONSWAP波譜之標準偏差為0.11。

故綜合上述結果，以Pierson—Moskowitz標準波譜來描述淺水波譜的形狀較為恰當。最後即以Pierson—Moskowitz波譜之參數 m 值來代表實驗波譜的形狀參數。

2-4 影響波譜形狀參數 m 的因素

影響頻譜變形的因素有許多，諸如碎波、底床摩擦、水深等。但本次試驗並無碎波的發生；而摩擦的影響由前二節中可知，在同一入射波浪情況下，各測站之正規化波譜其形狀皆十分一致，因此認為摩擦對影響波譜形狀的效應很小。因而推定影響頻譜形狀參數（ m ）的因素應是相對水深、波浪尖銳度、波高水深比三者。

為了探討波譜形狀與相對水深、波浪尖銳度、波高水深比之關係，在此先將相對水深、波浪尖銳度與波高水深比之間的關係加以說明。見圖3-19與圖3-20。由圖3-19中的相對水深與波浪尖銳度的關係圖可發現，相對水深與波浪尖銳度的關係有些散亂，但散亂中又似乎可找出其彼此間略成正比的關係，在比較其散亂度後，相對水深與波浪尖銳度應是無關的。由圖3-20中的相對水深與波高水深比的關係圖也可發現其之間雖有略呈反比的趨勢但二者之間仍過於散亂。所以綜合上述結果，應可以認定三參數彼此之間並無直接的關係。我們由圖3-19也可知道本次試驗相對水深的範圍過小，其原因是因為本試驗排除碎波發生的狀況。由於強調淺水波所以只要波浪太大即會發生碎波，因此造成波浪尖銳度範圍太小。

知道相對水深、波浪尖銳度與波高水深比三者之間彼此無關後，則再討論波譜形狀參數（ m ）與三者之關係。如圖3-21至圖3-23所示。圖3-21為波譜形狀參數（ m ）與波浪尖銳度的關係圖，由此圖可看出波譜形狀參數與波浪尖銳度並無明確的關係，而圖3-22的波譜形狀參數與波高水深比關係圖中，二者之間也無明確的關係。由圖3-23的波譜形狀參數與 1 對水深關係圖，我們可發現二者之間呈一線性相關，相對水深越大則波譜形狀參數也越大，與預期的情況一樣。而為了更確定波譜形狀參數只與相對水深有關，在此將波譜形狀參數和Goda的 G_s 參數與Ursell number做比較，如圖3-24與圖3-25所示。由此二圖可看出兩圖之間的差異不大，但由於 G_s 參數是相對水深與波浪尖銳度的函數而Ursell number則是相對水深與波高水深比的函數，二者均由不同的變數所組成，但造成二圖結果類似的原因，應該是由於波譜形狀參數只與相對水深有關所造成的。所以更明顯的顯示出波譜形狀參數只與相對水深有關。

2-5 波譜形狀參數 m 之通用表示式

基於前節所歸納出的結論，頻譜形狀 m 與相對水深 d/L 有關，因此以各種不同的方法嘗試找出波譜形狀參數與相對水深的最佳迴歸公式，最後將 d/L 倒數與 m 值做圖（如圖3-26），此時可看出 d/L 與 m 呈一散亂度最小的曲線關係。在此將 m 與 d/L 做二次曲線的迴歸而得到 m 與 d/L 之經驗公式：

$$m = 0.0552 \left(\frac{1}{d/L} \right)^2 - 1.855 \left(\frac{1}{d/L} \right) + 18.413 \quad (3-8)$$

此經驗公式只包含一個參數相對水深 d/L ，故只須知道相對水深即可知道頻譜形狀 m ，再代入Pierson-Moskowitz的標準波譜模式中即可知道某一海域的波譜模式形狀。

2-6 底床坡度的影響

由於實際海底地形並不是規則平坦的，因此需考慮底床坡度對波譜形狀的影響，本次共做二種不同底床斜率的試驗。探討波浪於斜面上其波譜的變化，及式(3-8)是否能適用於斜面底床，在此進一步加以討論：

波譜形狀的描述，我們可由圖3-27與圖3-28瞭解，圖3-27為底床斜率為1：30的各測站之無因次能譜圖，由此圖可看出channel 3至channel 7的波譜形狀相當一致，而此時的相對水深為0.084至0.075，而自channel 9至channel 11可看出波譜形狀開始變緩，其主頻的能量略減，2倍主頻處的能量略增，此時相對水深約0.068至0.065，最後至channel 13至channel 17則可明顯發現波譜形狀變緩，其主頻的能量大量減少，2倍主頻處的能量大增，其相對水深為0.057至0.05。圖3-28為底床斜率為1：50的各測站之無因次能譜圖，由此圖可看出channel 3至channel 11的波譜形狀十分一致，而此時的相對水深為0.091至0.076，而自channel 13至channel 15可看出波譜形狀變緩，其主頻的能量大量減少，2倍主頻處的能量大增，此時相對水深約為0.057至0.05。以上可知波譜形狀會隨著測站水深的減少而漸漸變緩。斜面底床試驗所得的數據如表2與表3所示。

將水平底床所得的經驗式(式3-8)與斜面底床所得的數據，繪製

成圖3-29所示，我們可發現在相對水深大於0.15及小於0.313之間有些變動，其變動的原因可由圖3-4加以說明。當相對水深大於0.15時， m 值大於12，由圖3-4可知 m 值大於12時，不同 m 值的波譜形狀之間差距較小，不像 m 值小於12時之間的差異性相當大。所以在此條件下的波譜，只要形狀有點變化， m 值的反應就很大，因此當相對水深大於0.15其 m 值有很大的差異性。但在相對水深小於0.15時，不論是1:30或1:50的底床，實驗數據與經驗式的關係十分良好，因此此經驗式依然能適用於斜面底床（緩坡）。

三、與WALLOPS波譜比較

3-1 WALLOPS波譜

由於WALLOPS波譜模式是目前較為簡便的波譜模式，故採用WALLOPS波譜與實驗波譜做一比較。

Huang et al . (1983) 利用stokes二次波浪理論，以頻譜在高頻處的斜率作為Pierson-Moskowitz波譜的 m 值，得到Pierson-Moskowitz波譜之 m 值的推估值 $\tilde{m}$ ，如下所示：

$$\tilde{m} = \frac{\left| \log \left\{ \frac{1}{8} (\pi \delta)^2 \coth^2 kD \left[1 + \left\{ \frac{3}{2} \sinh^2(kD) \right\} \right]^2 \right\} \right|}{\log 2} \quad (3-9)$$

其中， $\delta: \frac{H}{L}$ ， $k: \frac{2\pi}{L}$ ， D : 水深

其WALLOPS波譜的優點是：

- (1) 波譜斜率可直接表示能量集中部份之波譜形狀。
- (2) 波譜斜度隨非線性量出現之多寡可做連續的改變以符合實際上的自然現象。

但也有其缺點：

- (1) 使用規則波理論，不含波譜存在之本意。
- (2) 對此型波譜之適用性未做明確的討論和合理的說明。

3-2 實驗值與理論值之討論

將本次實驗所歸納出的波譜形狀參數表示式（式3-8）與WALLOPS波譜形狀推估式（式3-9）做比較，繪製成如圖3-30所示，縱軸為式（3-8）的 m 值，橫軸為式（3-9）的 $\tilde{m}$ 值。由圖中可發現當 m 值在2.27-6之間，式（3-8）的 m 值與式（3-9）的 $\tilde{m}$ 值相當接近，但當 m 值大於6以上，則發現式（3-8）所得的結果與式（3-9）相比較有偏大的趨勢。亦即當波譜形狀愈平緩，以式（3-8）所得的波譜形狀參數與WALLOPS波譜所推估的波譜形狀參數相當接近，而當波譜形狀較尖銳時，則WALLOPS波譜所得的結果與實驗式有所差異。另一方面我們也可由實際的圖形加以說明，如圖3-31至圖3-33中長虛線即為以WALLOPS波譜推估的 $\tilde{m}$ 值代入Pierson-Moskowitz標準波譜所得之波譜形狀，點線則是以式（3-8）所得的 m 值代入Pierson-Moskowitz標準波譜繪出的圖形。由圖中發現 m

值大時，以WALLOPS波譜方法所得的結果與本次實驗所用的方法所得的結果差異相當大，而 m 值變小時則差異性逐漸減少，如圖3-31水深為0.28、 m 值為12.55，其之間的差異性是相當大的；而至圖3-32差異則逐漸的減小；至圖3-33為0.088、 m 值為5.2，二者幾乎是沒有差異。綜合以上所述可得到一個結論，WALLOPS波譜之波譜形狀參數所採行的方法是以高頻處非線性量得出現所推估而得的，並未考慮實際波譜的整體形狀，以WALLOPS波譜來描述實際的淺水波譜似乎有點牽強，而本研究的經驗式（式3-8）則是將實驗值與Pierson-Moskowitz理論波譜直接做比較求得最接近實際現象的 m 值，故較合乎實際現象。只要實驗數據之範圍條件具有一般性，則此經驗式應可比WALLOPS波譜更確切的描述實際淺水波譜。

四、線性理論之探討

頻譜分析雖然對不規則波浪分析上是十分方便好用的分析方法，但由於頻譜分析是基於線性疊加理論，而當波浪的波高較大或水深較淺時，此線性模式的通用性就受到懷疑。對於深海波浪的探討，已經證明以線性理論為基礎的頻譜分析可適用。但淺水波由於非線性成分居多，因此頻譜分析適用的界限為何？以及波譜形狀變緩的原因是否是非線性所造成的，則是本章節所需加以探討的。茲將以二階頻譜（Bispectra）中的二階係數（bicoherence）加以說明分裂型與不分裂型波譜的非線性量；對於非線性是否造成波譜形狀變緩的原因，將由波譜形狀參數與二階係數的關係加以說明。

（一）不分裂型波譜

二階頻譜 (Bispectra) 是表示波形非對稱性，波形非對稱性表現在波浪理論上應該是判斷波浪非線性強弱及描述波形不對稱性的一個方便且直接的方法。而二階係數 (bicoherence) 則是表示 f_i 與 f_j 二頻率線型成分波相互作用所引起的非線性成分波能量在 (f_i+f_j) 這頻率成分的全部能量上所佔的比值。圖3-34至圖3-37其相對水深分別為0.28、0.15、0.088、0.069，由這四張的二階係數圖中可看出，不論相對水深為何？在主頻率 (f_p, f_p) 附近都有較大或明顯的二階係數值出現，表示能量頻譜二倍主頻處有非線性量的存在，其值分別為0.8、0.12、0.09、0.03，但非線性影響最大並非在主頻率，如圖3-34、3-36、3-37其最大值分別為0.13、0.175、0.08，與理論應在主頻率處有最大值有所差異，而且在 $(f_p, 2f_p)$ 處也會有不小的非線性量出現，表示能量頻譜在三倍主頻率處非線性是存在的，但由於此處的能量皆十分微小，故可以不考慮。由以上結果大致可證明非線性效應在此時（相對水深0.069至0.28）已有明顯得出現。對於淺水波浪線性理論適用性的探討，由二階係數 (bicoherence) 可知在主頻率時，其波浪組成是線性成分波，而至二倍主頻率處則非線性量大約佔線性量的15% 以下，所佔比例並不高。

對於水深變淺是否使得非線性效應增加造成波譜變緩的原因，我們可先由相對水深與二階係數的關係圖加以說明。圖3-38是二階係數最大值與相對水深關係圖。此張圖可明顯指出二階係數與相對水深的關係十分散亂，即相對水深減少非線性不一定增加。接著由圖3-39的波譜形狀參數與二階係數最大值關係圖可知，波譜形狀與非線性的關係也是十分散亂，因此非線性並不是造成波譜形狀變緩的原因。所以由以上可知，水深變淺非線性效應不一定增加，而非線性也並不是造成頻譜形狀變緩的原因，造成波譜形狀變緩的原因仍有待研究。

(二) 分裂型波譜

由圖3-40 (a) 深海波之二階係數圖中可知，在深海時二階係數（主頻率為0.25Hz，二階係數為0.04）並不明顯，可以說是線性波。而當波浪進入淺海時，如圖3-40 (b) 淺水區第一個測站（圖3-1之ch3）所測得之能譜與二階係數圖中可看出，原先主頻處能量降低而在高頻處（約1Hz）產生另一尖峰，但與理論上非線性應是在二倍主頻處出現有所差異，於是由二階係數圖可知，在1Hz處二階係數大增約為0.14至0.2，表示在二倍第二尖峰頻率處（2Hz）有大量的非線性量存在。第二尖峰的非線性量可由在0.5Hz處的二階係數可得知，此處的二階係數為0.04左右，表示此處應是線性波。波浪再進行至淺水區第四個測站（圖3-1之ch6），如圖3-40 (c) 其第二尖峰（頻率為0.8Hz）的二階係數增加為0.14至0.22，表示在二倍第二尖峰（1.6Hz）處的非線性量增加，但第二尖峰與主頻處的波浪依然是線性波。至淺水區第十個測站（圖3-1之ch12），如圖3-40 (d) 其二階係數則減少為0.14，表示在1.2Hz的非線性量漸漸減少，最後至最後一測站（圖3-1之ch16）其第二尖峰的二階係數為0.1。由以上可知分裂型波譜當波浪至深水區進入淺水區後，主頻率處與波譜分裂後所產生的第二尖峰的波浪應為線性波，二倍第二尖峰頻率處的波浪非線性量大增，而波浪本身會自我調整，隨著波浪的進行非線性量漸漸消失，最後可形成一線性成分波。

由以上分裂型與不分裂型波譜情況的敘述可明瞭，於本次試驗所得經驗式範圍內（ $0.05 < D/L < 0.3$ ）的波浪，在主頻處之波浪應為線性波，在二倍主頻處其非線性量約佔線性成分的15% 以下，但由於在此時

非線性能量與線性能量的比值相當小，所以非線性量應是可以忽略的，且非線性應不是造成波譜形狀變緩的原因。而分裂型波譜所產生的第二尖峰的波浪成分由二階係數可知應是線性成分波，非線性成分的產生應是在更高頻處（二倍第二尖峰頻率處）。

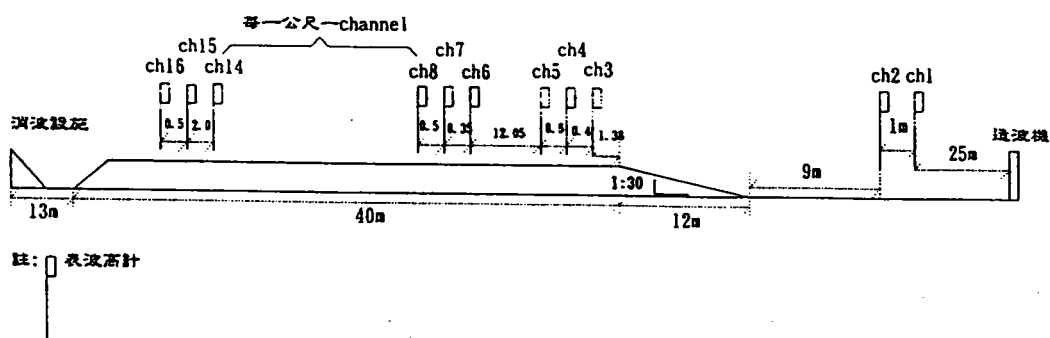


圖 3-1 水平底床模型配置圖

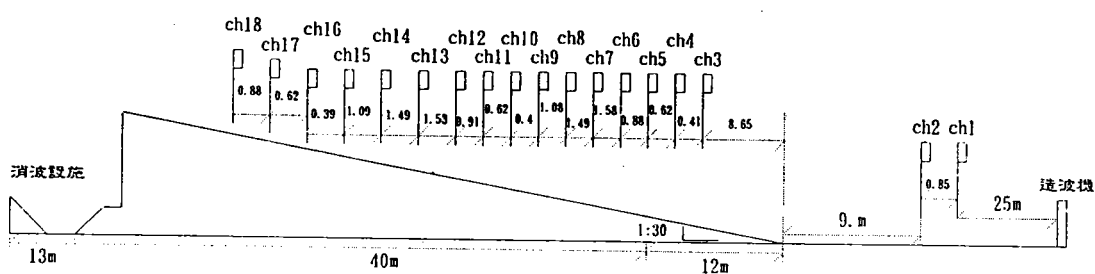


圖 3-2 底床斜率 1:30 模型配置圖

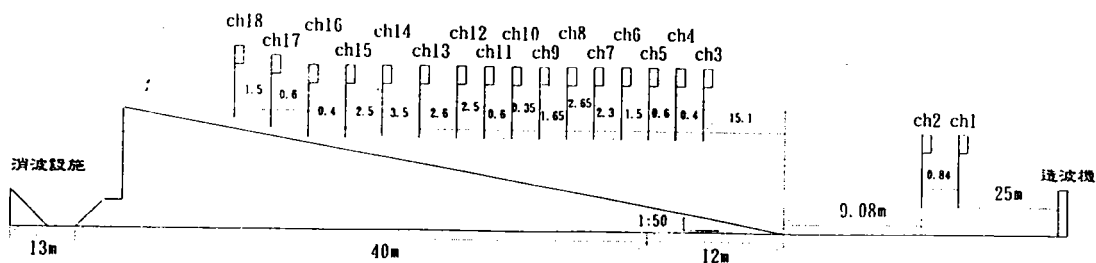


圖 3-3 底床斜率 1:50 模型配置圖

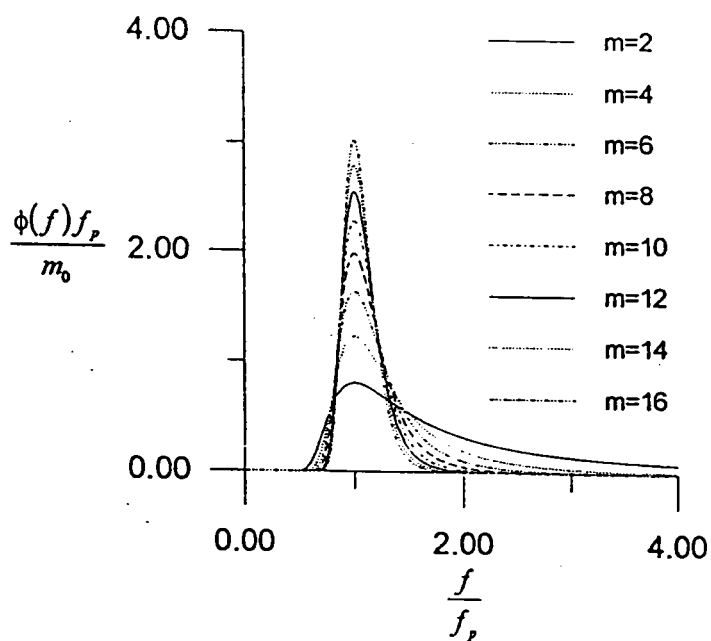


圖 3-4 不同 m 值之Pierson-Moskowitz標準波譜

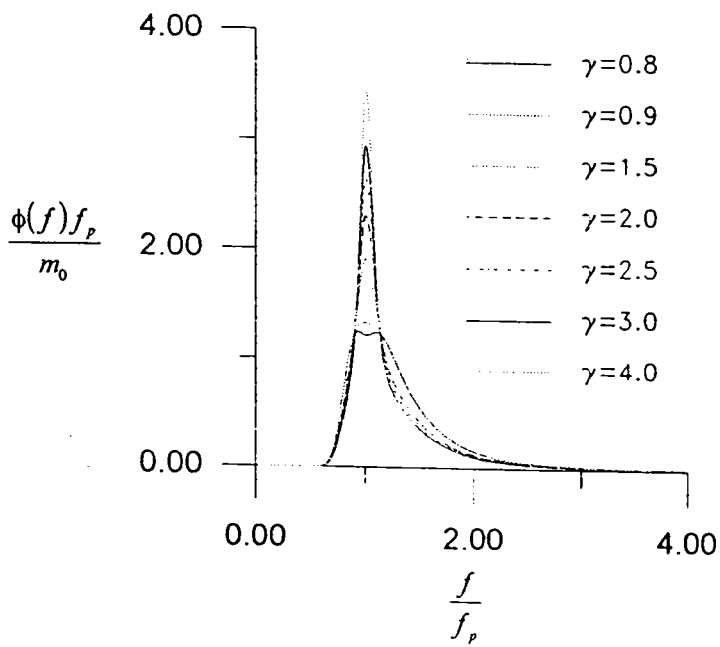


圖 3-5 不同 γ 值之JONSWAP標準波譜

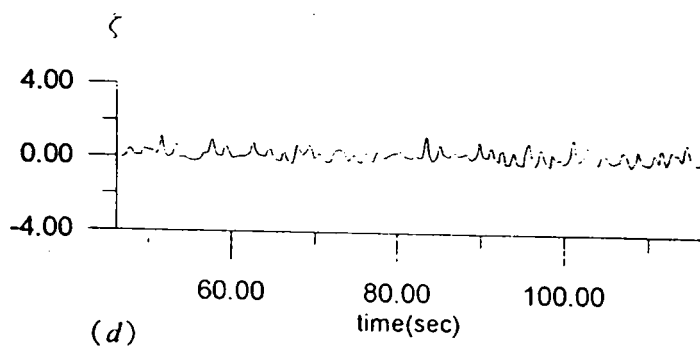
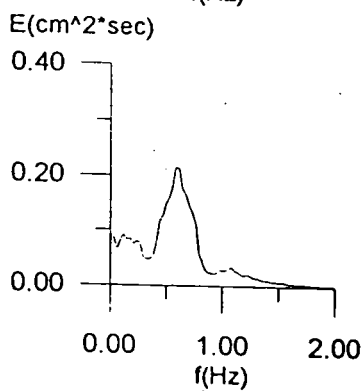
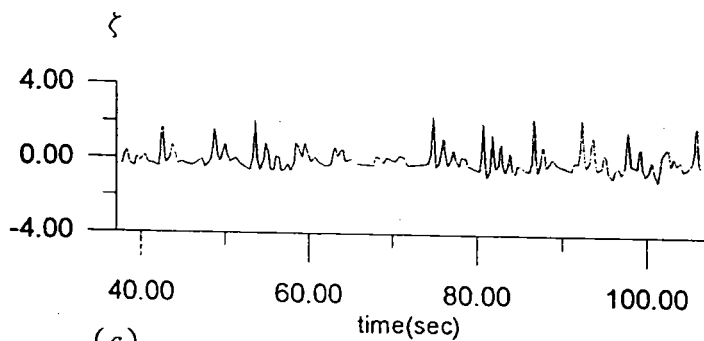
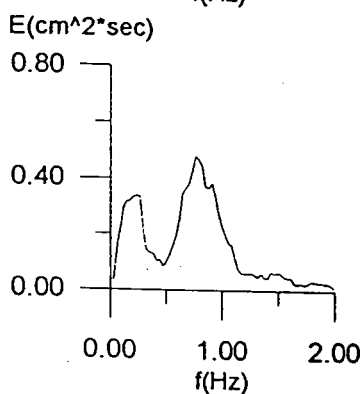
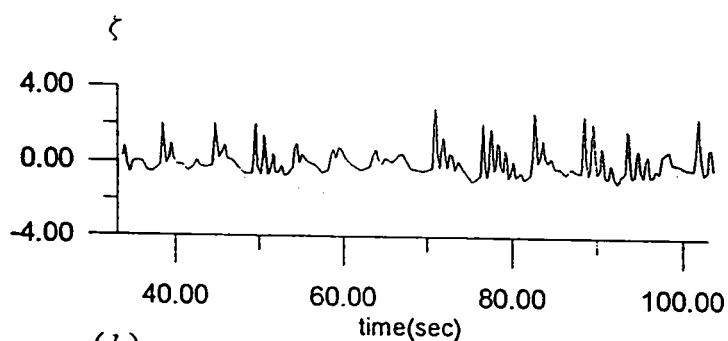
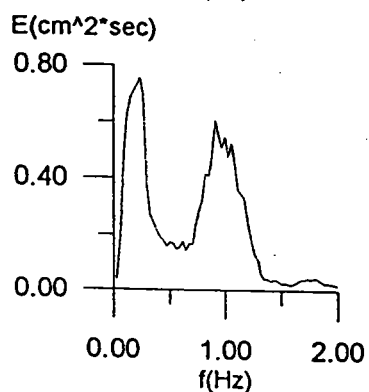
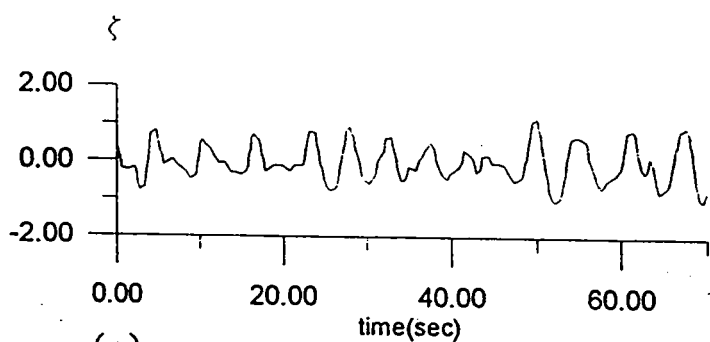
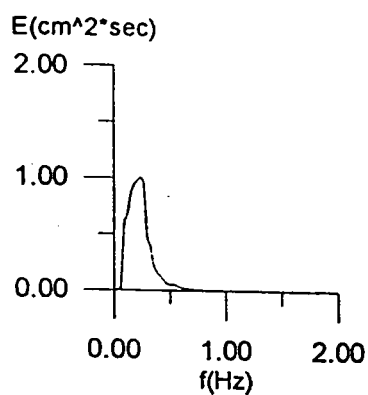


圖 3-6 分裂型波譜與波形之演變關係圖

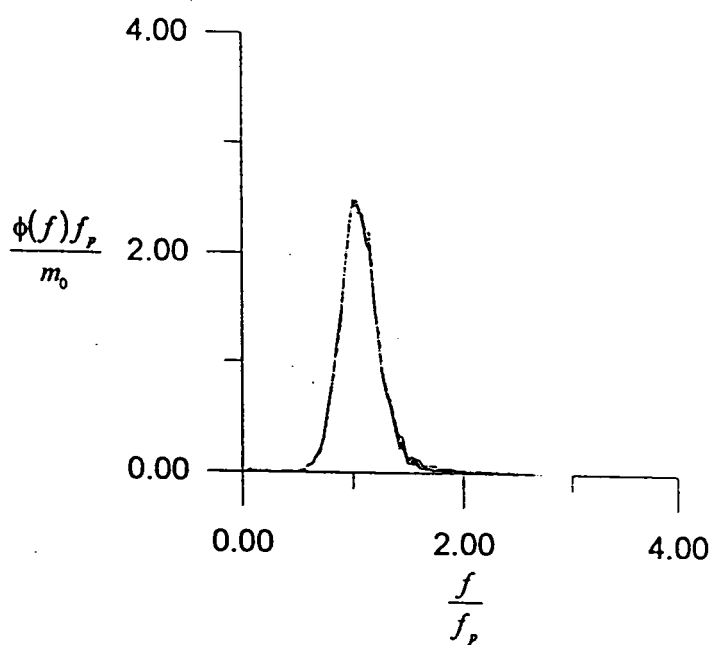


圖 3-7 水平底床各測站之正規化波譜圖 ($D/L=0.28$)

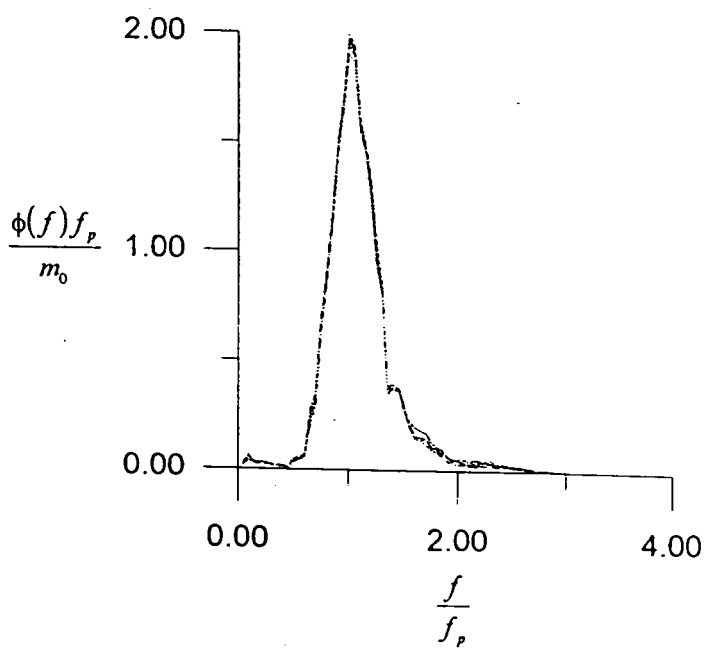


圖 3-8 水平底床各測站之正規化波譜圖 ($D/L=0.15$)

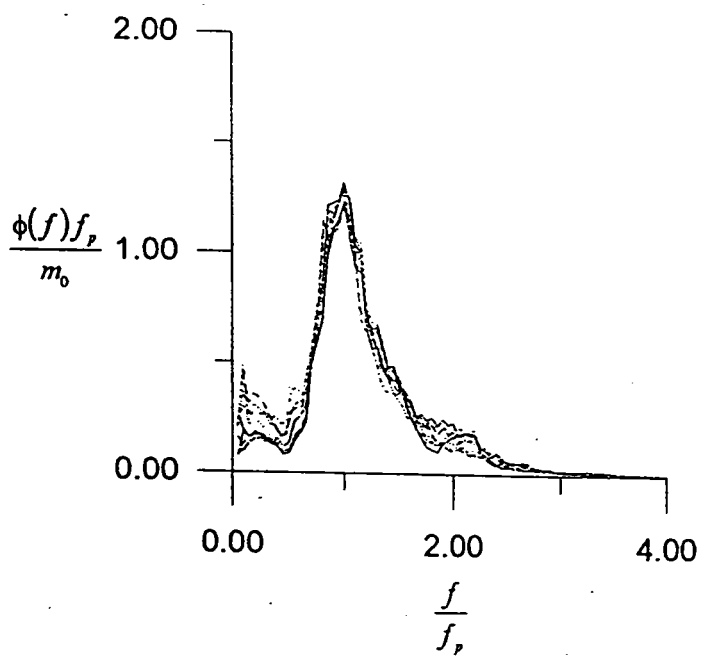


圖 3-9 平底床各測站之正規化波譜圖 (D/L=0.088)

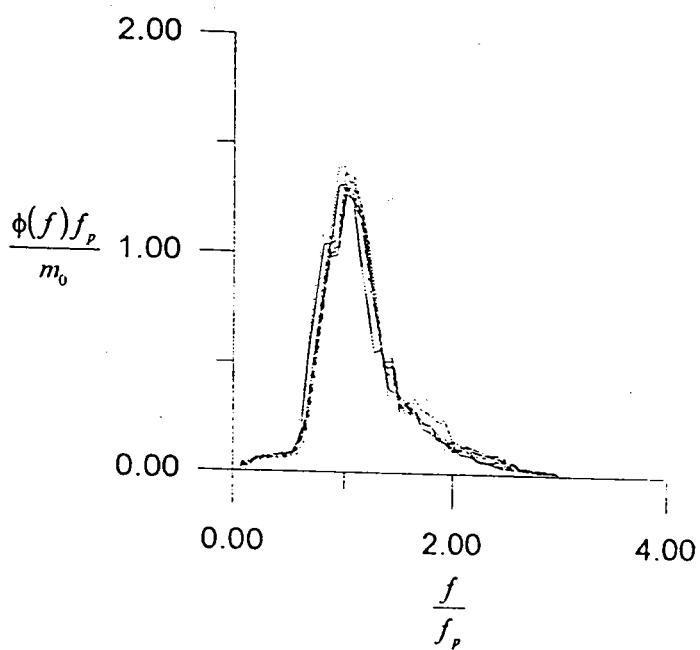


圖 3-10 平底床各測站之正規化波譜圖 (D/L=0.074)

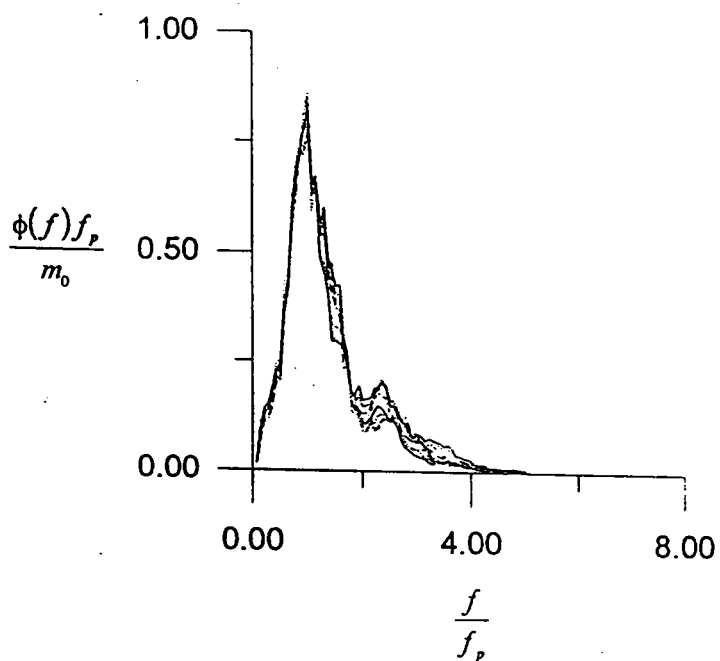


圖 3-11 平底床各測站之正規化波譜圖 ($D/L=0.06$)

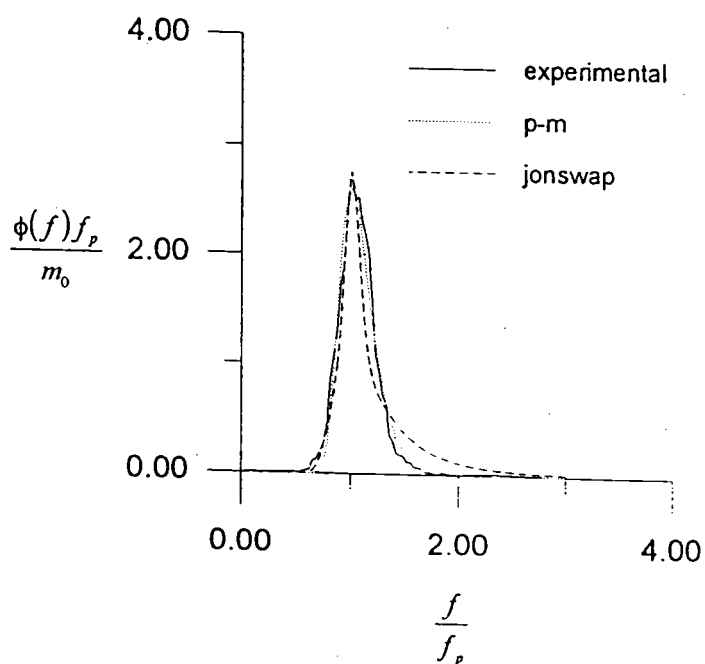


圖 3-12 平底床實驗正規化波譜與Pierson-Moskowitz及JONSWAP
標準波譜之比較圖 ($D/L=0.28$)

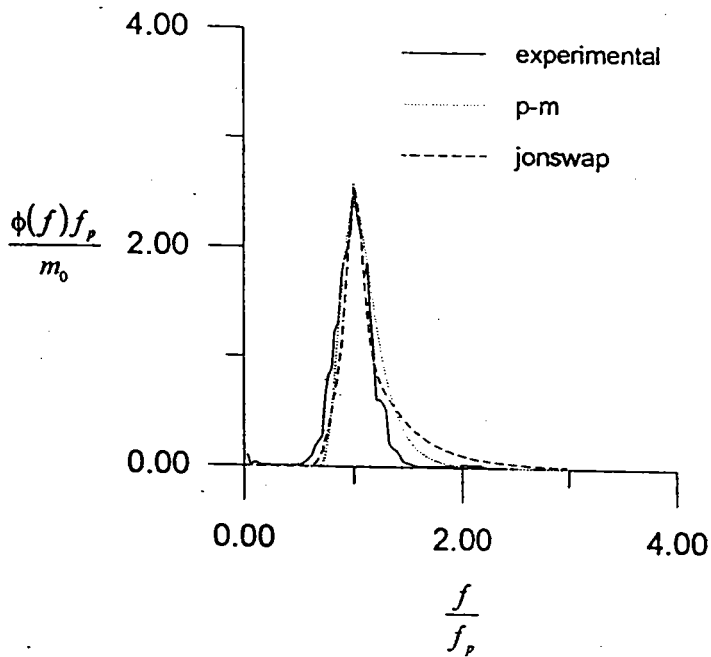


圖 3-13 水平底床實驗正規化波譜與Pierson-Moskowitz及JONSWAP
標準波譜之比較圖 (D/L=0.217)

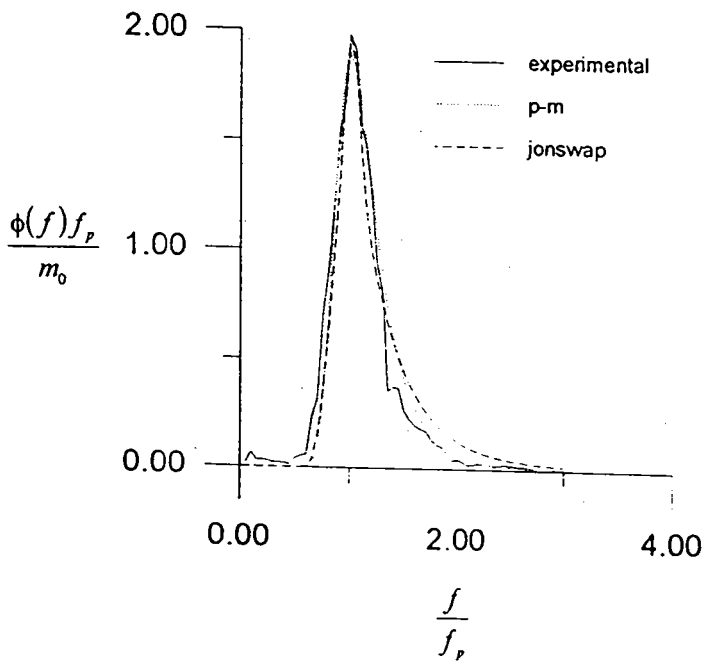


圖 3-14 水平底床實驗正規化波譜與Pierson-Moskowitz及JONSWAP
標準波譜之比較圖 (D/L=0.15)

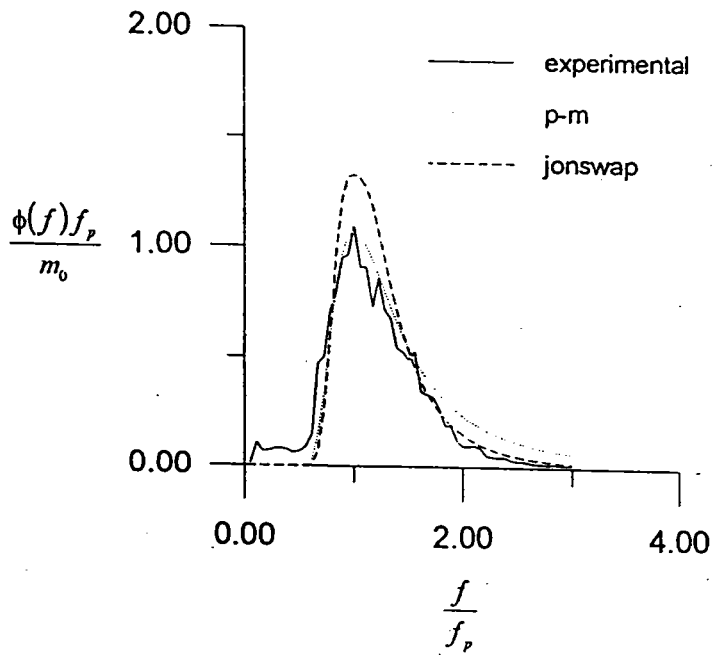


圖 3-15 水平底床實驗正規化波譜與Pierson-Moskowitz及JONSWAP
標準波譜之比較圖 ($D/L=0.098$)

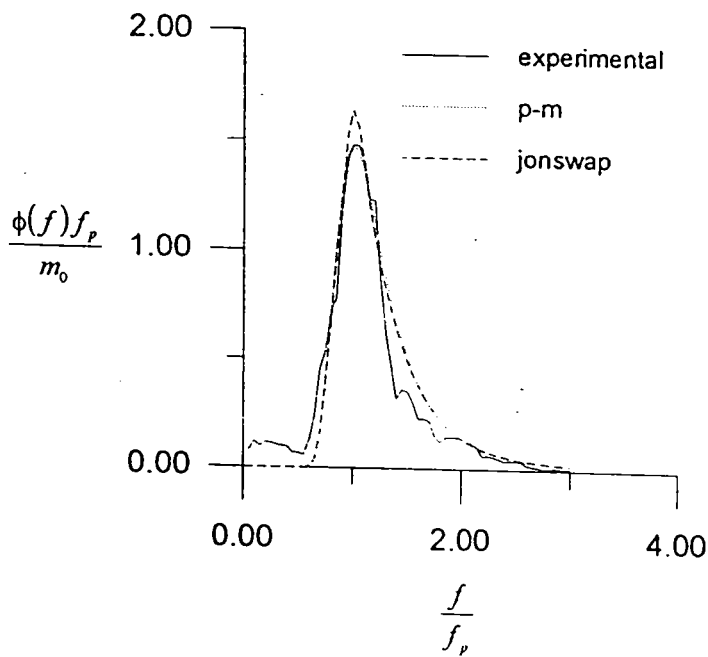


圖 3-16 水平底床實驗正規化波譜與Pierson-Moskowitz及JONSWAP
標準波譜之比較圖 ($D/L=0.088$)

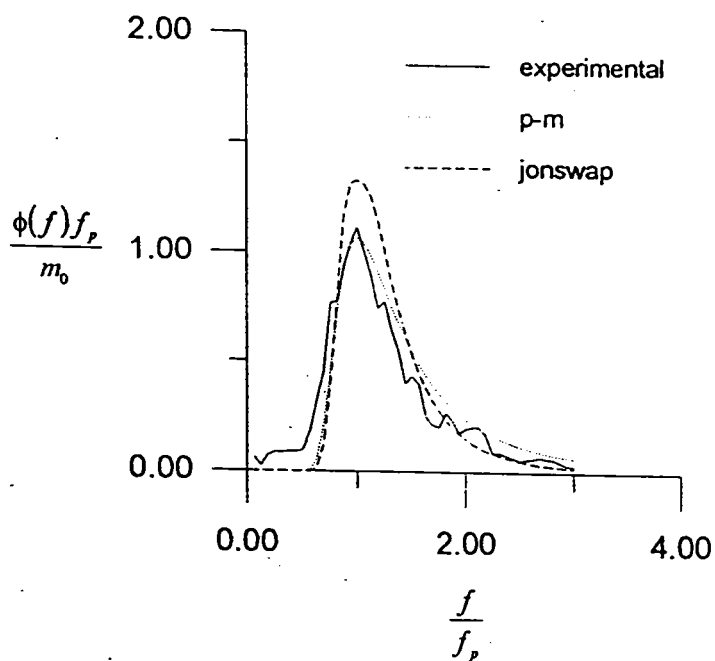


圖 3-17 水平底床實驗正規化波譜與Pierson-Moskowitz及JONSWAP
標準波譜之比較圖 ($D/L=0.069$)

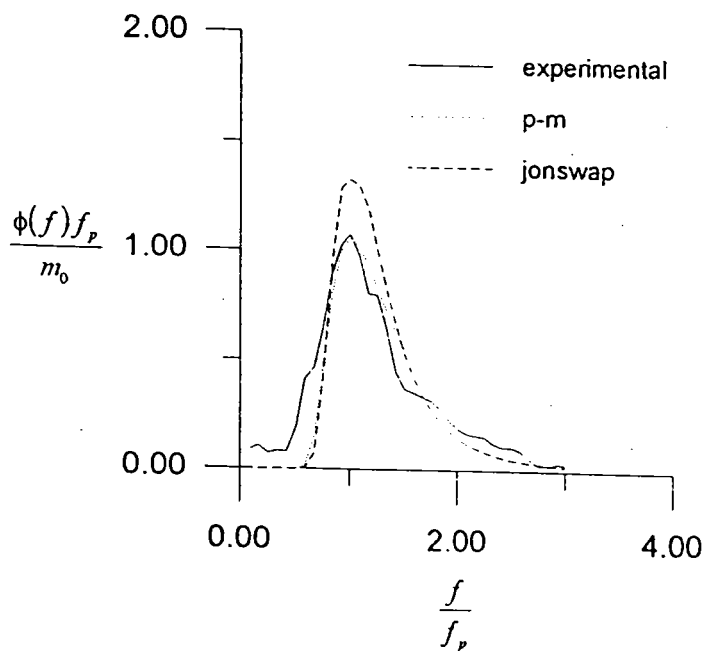


圖 3-18 水平底床實驗正規化波譜與Pierson-Moskowitz及JONSWAP
標準波譜之比較圖 ($D/L=0.063$)

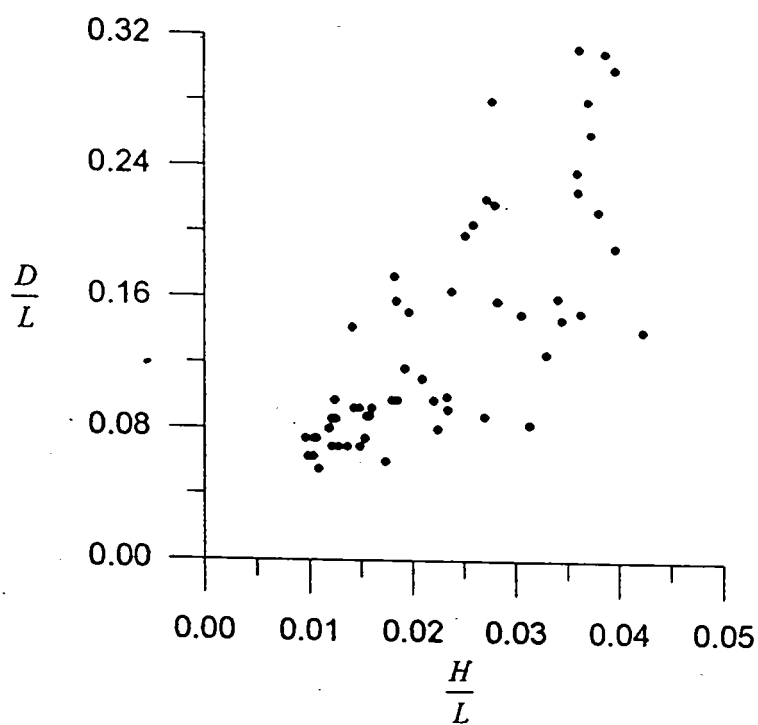


圖 3-19 相對水深與波浪尖銳度關係圖

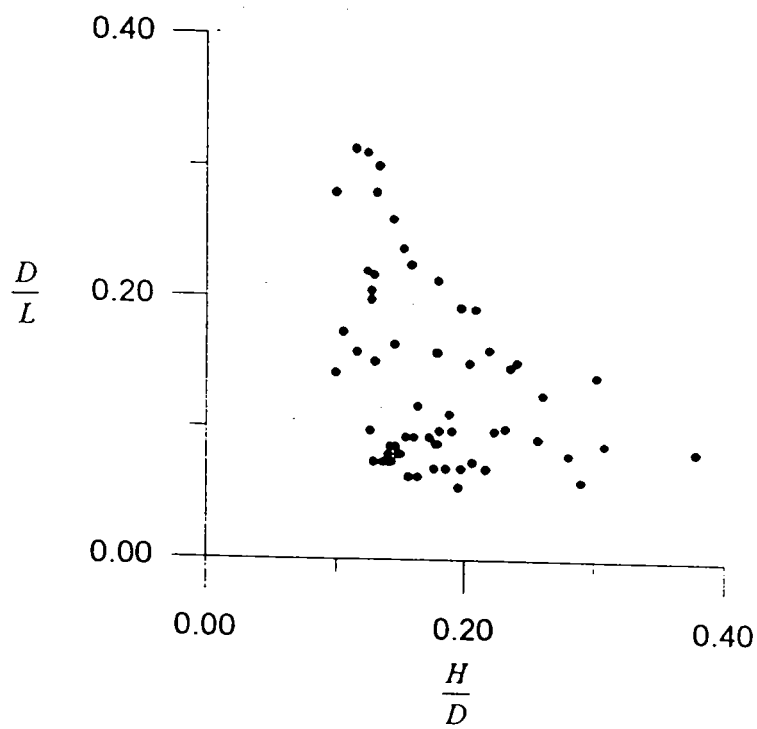


圖 3-20 相對水深與波高水深比關係圖

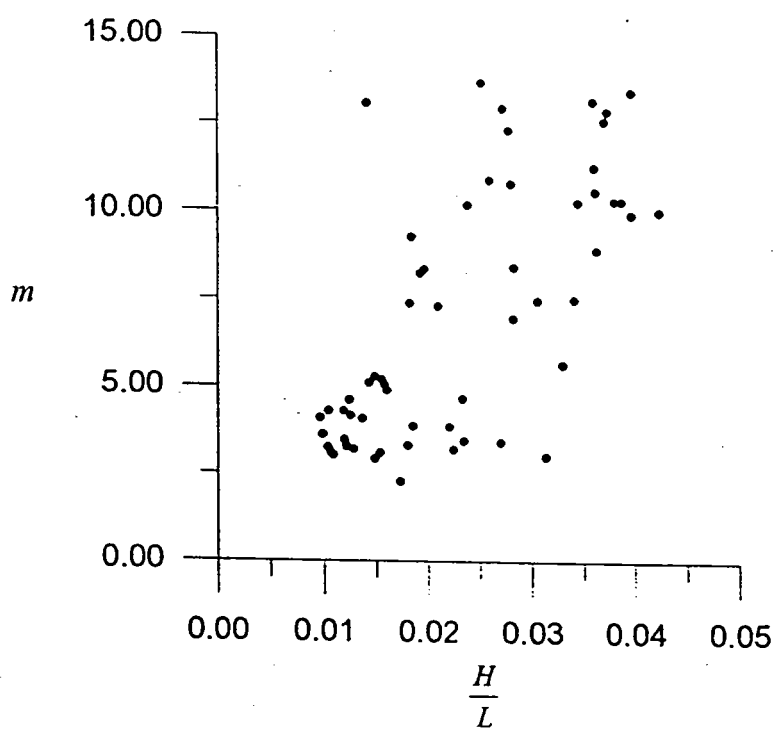


圖 3-21 波譜形狀參數 m 與波浪尖銳度關係圖

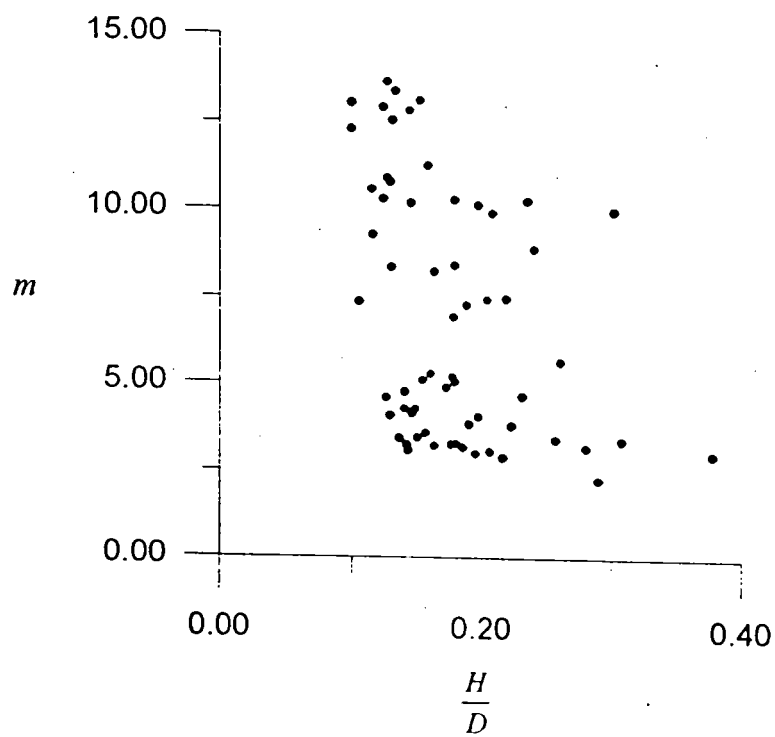


圖 3-22 波譜形狀參數 m 與波高水深比關係圖

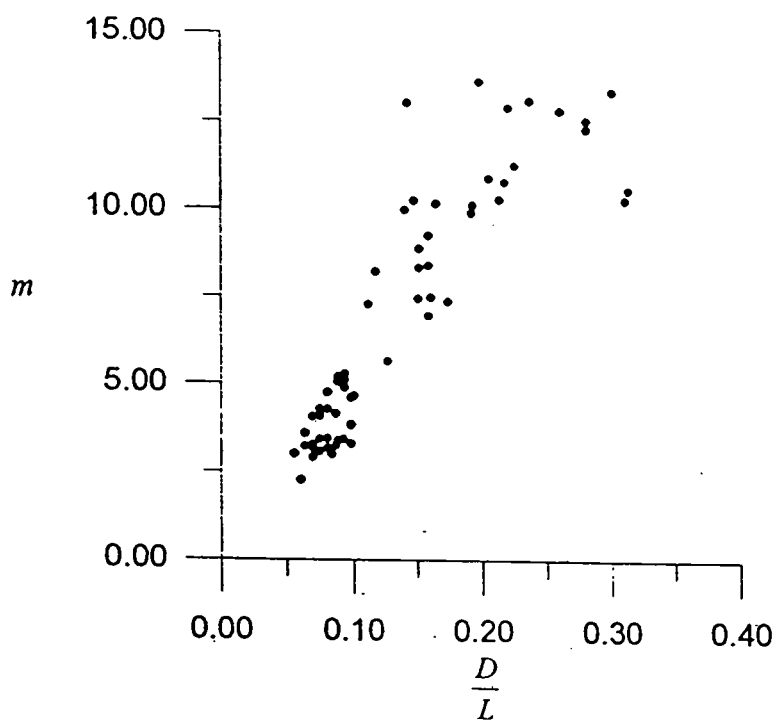


圖 3-23 波譜形狀參數 m 與相對水深關係圖

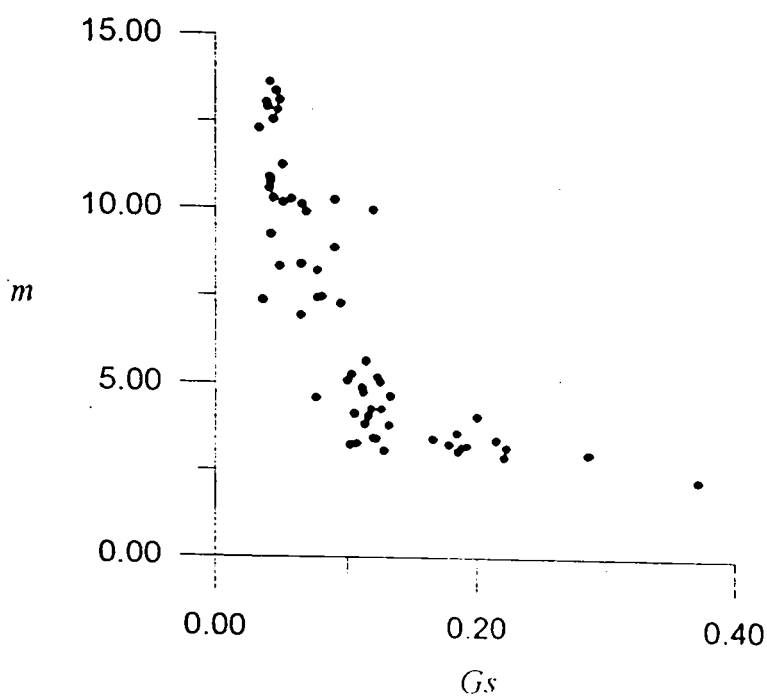


圖 3-24 波譜形狀參數 m 與 G_s 參數關係圖

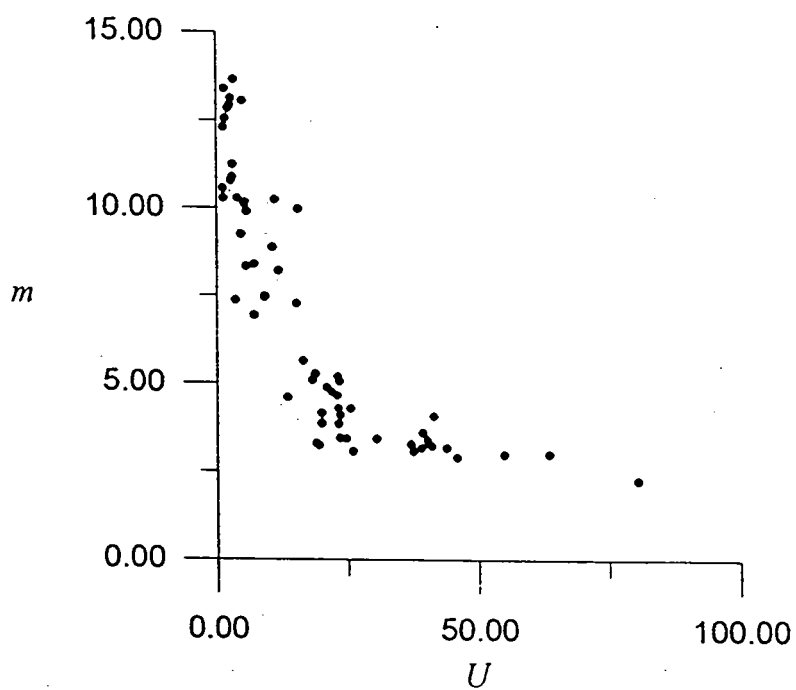


圖 3-25 波譜形狀參數 m 與Ursell number關係圖

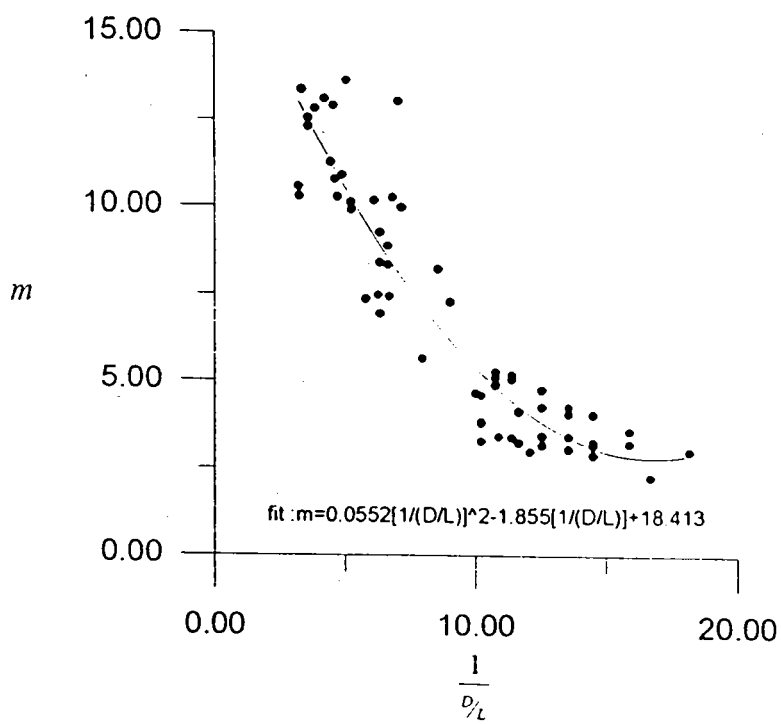


圖 3-26 波譜形狀參數 m 與相對水深倒數關係圖

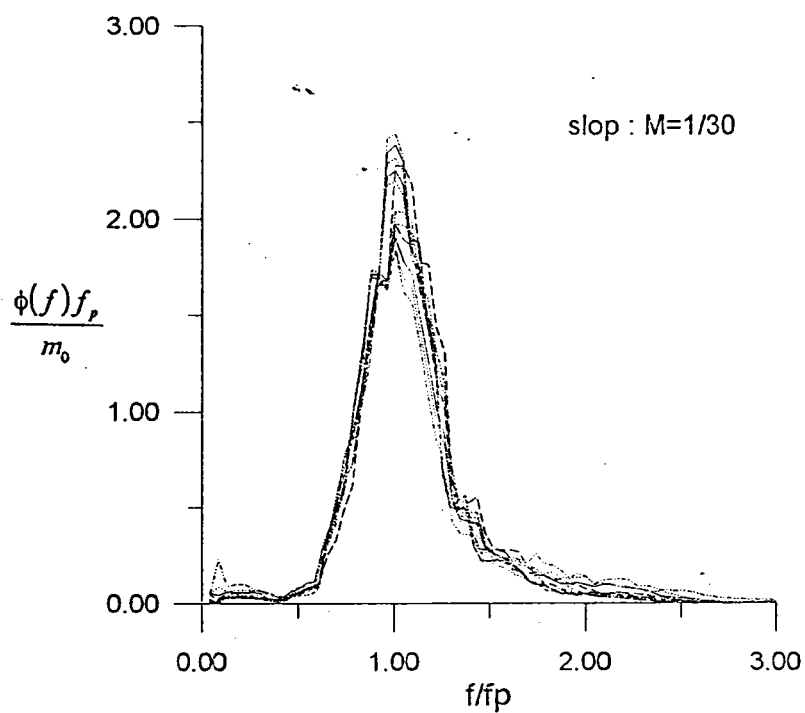


圖 3-27 斜率1 : 30各測站之無因次能量頻譜圖

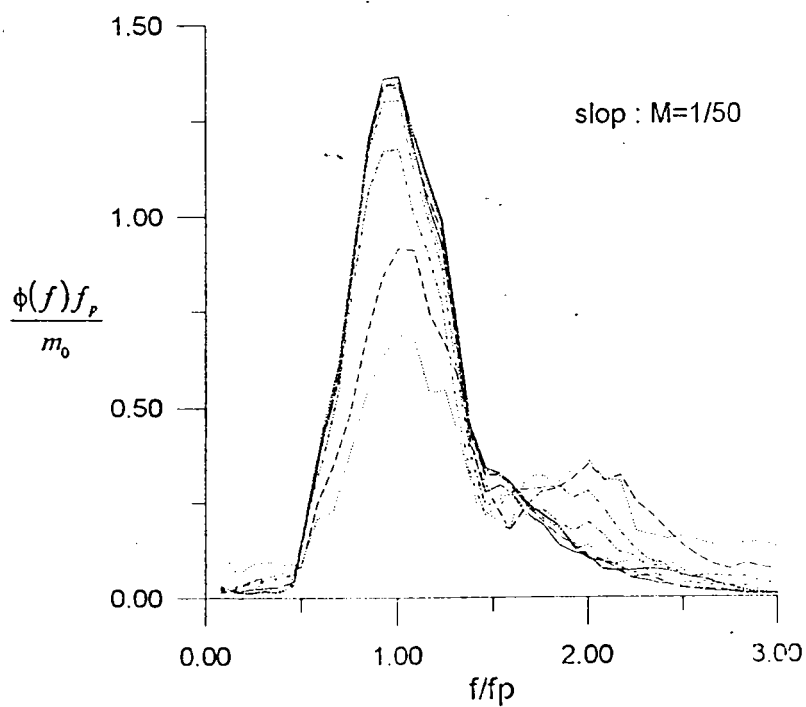


圖 3-28 斜率1 : 50各測站之無因次能量頻譜圖

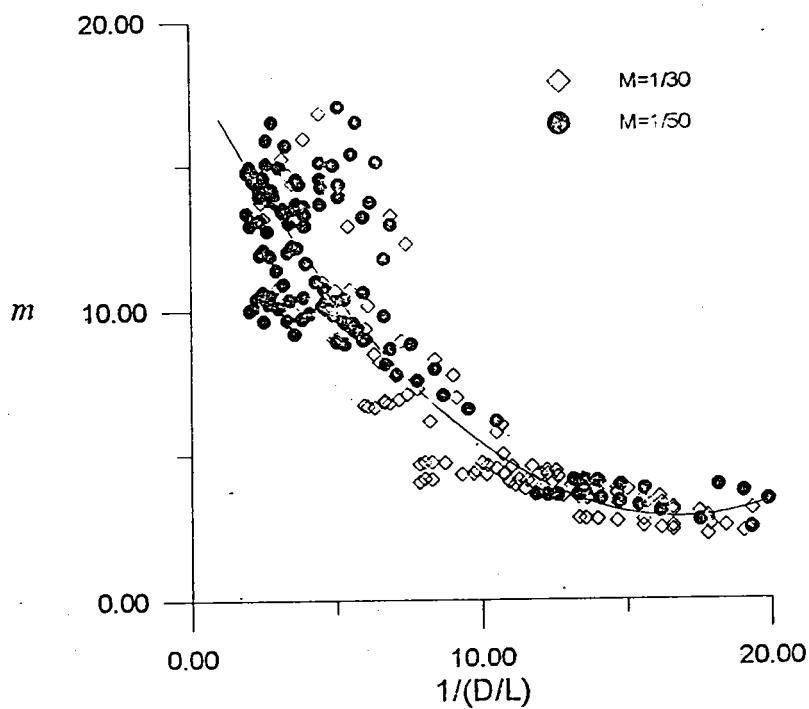


圖 3-29 水平底床之經驗公式與各斜率之實驗值之比較圖

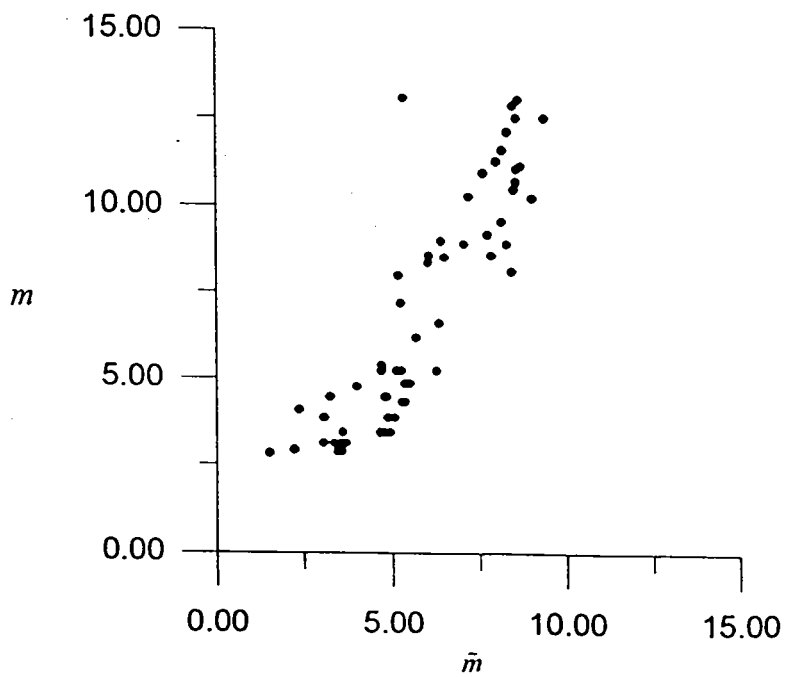


圖 3-30 波譜形狀參數經驗式

之 m 值與 WALLOPS 波譜之推估值 $\bar{m}$ 比較圖

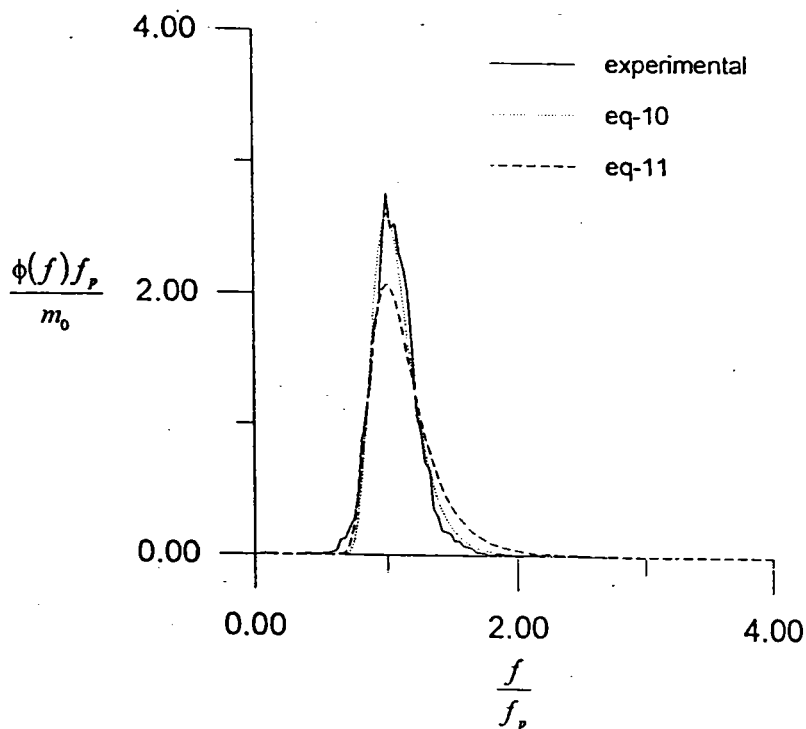


圖 3-31 波譜形狀參數經驗式 所得之 m 值及 WALLOPS 波譜之推估值 m 帶入
Pierson-Moskowitz 標準波譜與實驗值之比較圖 ($D/L=0.28$)

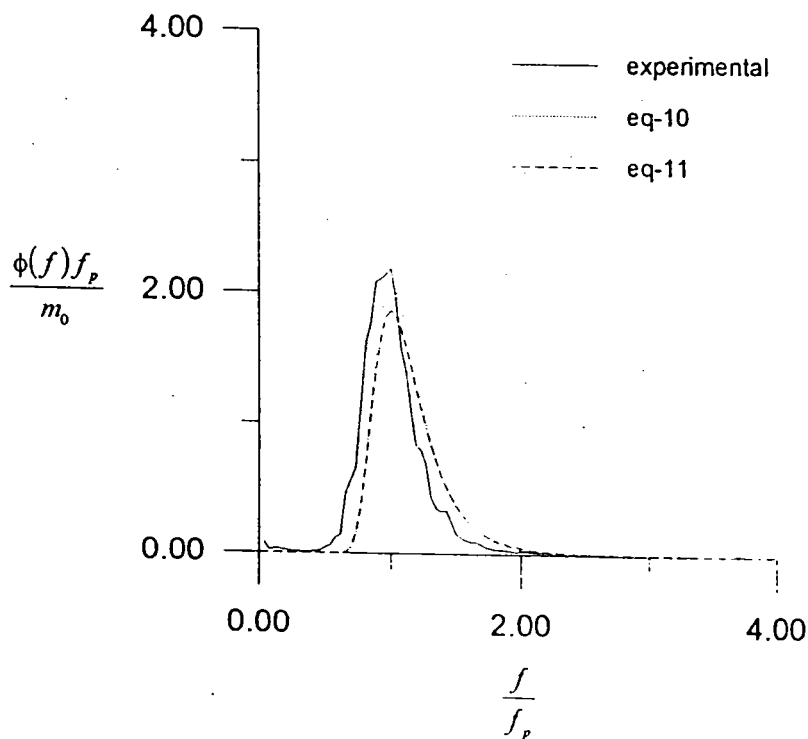


圖 3-32 波譜形狀參數經驗式 所得之 m 值及 WALLOPS 波譜之推估值 m 帶入
Pierson-Moskowitz 標準波譜與實驗值之比較圖 ($D/L=0.15$)

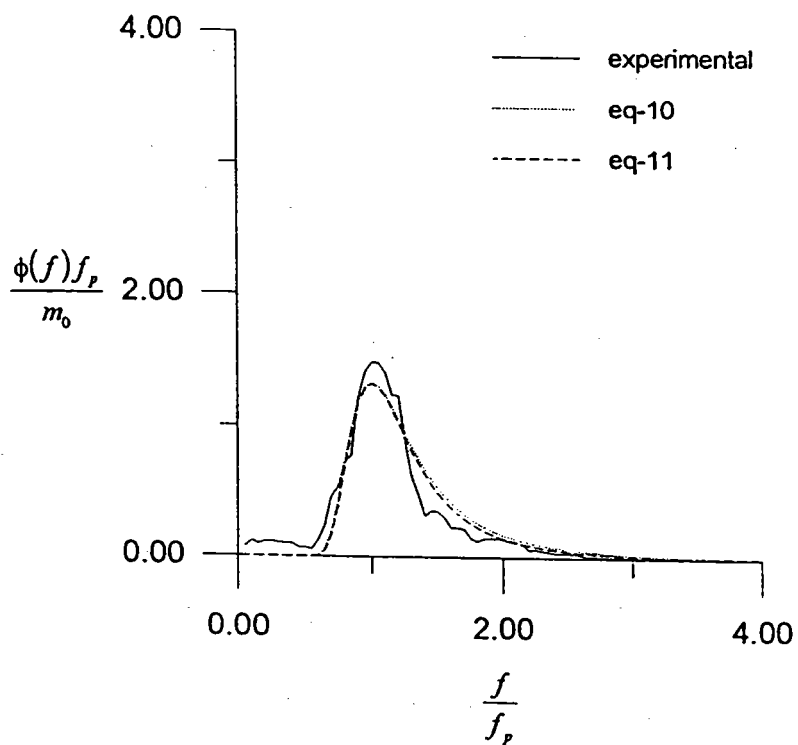


圖 3-33 波譜形狀參數經驗式 所得之 m 值及WALLOPS波譜之推估值 m 帶入
Pierson-Moskowitz標準波譜與實驗值之比較圖 (D/L=0.088)

肆、結 論

針對淺水區域波浪頻譜的形狀與能量分佈變化情況，本計畫以理論解析與模型試驗兩方面分別加以研究探討，綜合解析與試驗結果，可得結論如下：

- 一、以 $\tanh^2 k_0 d$ 作為 JONSWAP 波譜水深參數的修正型波譜當作有限水深波譜時，其第二階波譜能量分佈的整体型態，與 TMA 波譜為有限水深波譜的結果頗為近似。以此修正型波譜的方式，可適時解決無適當的有限水深波譜當作第一階波譜的困擾。惟於較淺水區域，修正型波譜可能產生較大的誤差結果。同時，若引用深海型波譜為第一階波譜時，將獲致較大誤差的第二階波譜。
- 二、應用有限水深波譜為第一階波譜，探討波浪因非線性效應產生的第二階波譜能量分佈的變化情況，其能量分佈於第二階波譜 $\sigma/\sigma_{1p} \rightarrow 0$ 之極低頻與 $\sigma/\sigma_{1p} = 2.0$ 之較高頻附近會產生能量集中的尖峰主頻。
- 三、本文引用的有限水深波譜(第一階波譜)，包含能量集中尖銳的窄帶型與能量分佈較寬廣的寬帶型等三種不同型態的波譜，而第一階波譜的型態往往影響其非線性效應產生的第二階波譜的型式。當第一階波譜屬於能量較集中且主頻尖峰較尖銳的窄帶型式時，其所獲得之第二階波譜於較高頻處之能量亦較集中尖銳，且其尖峰主頻產生於 $\sigma/\sigma_{1p} = 2.0$ 處；若第一階波譜屬於較寬廣平滑且形心向右偏移的寬帶型式時，則其第二階波譜於較高頻處之型態亦較寬廣平滑且尖峰主頻會往 $\sigma/\sigma_{1p} > 2.0$ 處位移。
- 四、分析第二階波譜的總能量與較高頻及極低頻處尖峰主頻值的方式，當相對水深比 $d/L_0 < 0.2$ 之較淺水區域，由於波浪的非線性效應較為強烈，其第二階波譜較高頻及極低頻處之尖峰主頻即有較大之值顯現，尤其極低頻處之尖峰值更快速增大，波譜總能量亦快速增加，其整体的波譜型態變化較大；當 $d/L_0 \geq 0.3$ 之較深水區

域，波浪的非線性效應較弱，第二階波譜較高頻及極低頻處之尖峰主頻值即減小，極低頻處甚或無能量分佈情況，波譜的總能量增加有限，整體的波譜型態則趨於固定型式。

五、利用現場實測資料與理論解析方式驗證波浪的非線性效應，於第二階波譜 $\sigma/\sigma_{1p} \rightarrow 0$ 之極低頻處確實有能量產生。本文的解析結果亦顯示，於較淺水區域時，波浪的非線性效應於極低頻處亦有較大量的能量出現，此現象對構築於較淺水處之港灣工程而言，須正視此非線性效應產生之較長週期的波浪能量。由分析結果得知， $d/L_0 = 0.1$ 時，第二階波譜極低頻處尖峰主頻與第一階波譜之尖峰主頻的主頻的比值在8%至18%之間。

六、試驗結果證明波浪尖銳度與波高水深比皆不會影響淺海波譜形狀參數，影響波譜形狀的主要因素為相對水深。在本次研究中，相對水深介於0.05至0.3之間，依實驗數據作迴歸分析，結果可將波譜形狀參數 m 表示為下列的表示式：

$$m = 0.0552 \left(\frac{1}{D/L} \right)^2 - 1.855 \left(\frac{1}{D/L} \right) + 18.413$$

七、以1/30與1/50的斜面底床試驗所得的數據與上面的經驗式比較可知，除了相對水深大於0.15時有稍微的差異外，其他部份皆十分一致，表示此經驗式有其一般性，不論平面或斜面底床皆適用。

八、與WALLOPS波譜比較後發現於相對水深較小時，本文的形狀參數值與WALLOPS推估值差異不大，但相對水深較大時則有偏大的趨勢。由於WALLOPS波譜是以高頻處非線性量出現（overshoot）的概念來描述頻譜的形狀，理論上有點過於牽強不易與實際現象完全符合。

九、相對水深小於0.05時，其波浪會發生分裂的現象以至於波譜形狀發生分裂而形成雙峰型，分裂時在高頻處所產生第二尖峰處的成分波由二階係數得知仍是線性成分波。隨著波浪的進行，波譜又漸漸地變成單一波峰型波譜，但主頻會略往高頻處移動，而波形也變成較有對稱性，逐漸形成線性波。

十、相對水深0.3至0.05時之波浪的非線性量由二階係數可知，於主頻處仍是線性波；非線性量發生在高頻處，所佔成分約為此處線性成分的15% 以內，所佔比例很低，因此在工程應用上應可忽略此非線性的影響。

十一、相對水深愈小，波譜形狀會變得愈緩。造成波譜形狀變緩的原因可能包括碎波、底床摩擦、非線性量的增加、水深、回流等。由本次水平底床實驗結果顯示，對於同一入射波波浪，各測站波高計所測得的頻譜形狀十分一致，並且於實驗中並無碎波、回流等現象發生，因此碎波、回流、底床摩擦並不是造成頻譜變緩的原因。由二階係數與波譜形狀的關係中可得知，非線性量也並不是造成波譜形狀變緩的原因。探討此波譜形狀變緩的原因仍有待進一步加以研究。

參考文獻

1. Bouws, E., H. Gunther, W. Rosenthal and C. L. Vincent, "Similarity of the Wind Wave Spectrum in Finite Depth Water: 1 -Spectral Form," *Journal of Geophysical Research*, Vol.90, pp.975-986(1985).
2. Bretschneider, C.L., "Significant Wave of Wave Spectrum," *Ocean Industry*, pp.40-46(1965).
3. Cavaleri, L., L. L. Bertotti and P. Lionello, "Shallow Water Application of the Third-Generation WAM Wave Model," *Journal of Geophysical Research*, Vol.94, pp.8111-8124(1989).
4. Chen, Y.H. and H. Wang, "Numerical Model for Nonstationary Shallow Water Wave Spectral Transformations," *Journal of Geophysical Research*, Vol.88, pp.9851-9863(1983).
5. Elgar, S. and R.T. Guza, "Nonlinear Model Predictions of Bispectra of Shoaling Surface Gravity Waves," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 167, pp.1-18(1986).
6. Elgar, S., R.T. Guza and M.H. Freilich, "Dispersion, Nonlinearities, and Viscosity in Shallow Water Wave," *Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol.119, No.4, pp.351-366(1993).
7. Freilich, M.H. and R.T. Guza, "Nonlinear Effects on Shoaling Surface Gravity Waves," *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond*, A311, pp.1-41(1984).

8. Goda, Y., "Estimation of wave statistics from spectral information." Proc. Int. Symp. on Ocean Wave Measurement and Analysis, ASCE, New Orleans, pp. 320-337, 1974.
9. Goda, Y., "A Unified Nonlinearity Parameter of Water Waves," *Report of the Port and Harbour Research Institute*, Vol. 22, No. 3, pp. 3-30 (1983).
10. Guza, R.T., "Shoaling Gravity Waves: Comparisons between Field Observations, Linear Theory, and a Nonlinear Model," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 158, pp. 47-70 (1985).
11. Guza, R.T. and E.B. Thornton, "Observations of Surf Beat," *Journal of Geophysical Research*, Vol. 90, pp. 3161-3172 (1985).
12. Hasselmann, K., "On the Non-Linear Energy Transfer in a Gravity Wave Spectrum-Part 1," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 12, pp. 481-500 (1962).
13. Hasselmann, K., "On the Non-Linear Energy Transfer in a Gravity Wave Spectrum-Part 2," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 15, pp. 273 ~ 281 (1963a).
14. Hasselmann, K., "On the Non-Linear Energy Transfer in a Gravity Wave Spectrum-Part 3," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 15, pp. 385-398 (1963b).
15. Hasselmann, K., T.P. Barnett, E. Bouws, H. Carlson, D.E. Cartwright, E. Enke, J.A. Ewing, H. Gienapp, S. Hasselmann, P. Kruseman, A. Meerburg, P. Müller, D.J. Olbers, K. Richter, W. Sell and H. Walden, "Measurements of Wind-Wave Growth and Swell Decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)," *Deutsches Hydrographisches Zeit*, Suppl. A, Vol. 8, No. 12 (1973).

16. Hasselmann, S. and K. Hasselmann, "Computation and Parameterizations of the Nonlinear Energy Transfer in a Gravity-Wave Spectrum, Part I : New Method for Efficient Computations of the Exact Nonlinear Transfer Integral," *Journal of Physical Oceanography*, Vol.15, pp.1369-1377(1985).
17. Hasselmann, S., K. Hasselmann, J.M. Altdorf and T.P. Barnett, "Computation and Parameterizations of the Nonlinear Energy Transfer in a Gravity-Wave Spectrum, Part II : Parameterization of the Nonlinear Energy Transfer for Application in Wave Models," *Journal of Physical Oceanography*, Vol.15, pp.1378-1391(1985).
18. Hasselmann, K., W. Munk and G. MacDonald, "Bispectra of Ocean Waves," *Proceeding of Symposium on Time Series Analysis*, John Wiley, New York, pp.125-139(1963).
19. Huang, N.E., P.A. Hwang, H. Wang, S.R. Long and L.F. Bliven, "A Study on the Spectral Models for Waves in Finite Water Depth," *Journal of Geophysical Research*, Vol.88, pp.9579-9587(1983).
20. Huang, N.E., S.R. Long, C.C. Tung, Y. Yuen and L.F. Bliven, "A Unified Two-Parameter Wave Spectra Model for a General Sea State," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol.112, pp.203-224(1981).
21. Imasato, N. and H. Kunishi, "Bispectra of Wind-Waves and Wave-Wave Interaction," *Journal of the Oceanographical Society of Japan*, Vol.33, pp.267-271(1977).
22. Iijima, T., T. Matsuo and K. Koga "Equilibrium range spectra in shoaling water." *proc. 12th. Coastal Eng., ASCE.*, pp.127-149, 1970.

23. Isserlis, L., "On a Formula for the Product-Moment Coefficient of Any Order of a Normal Frequency-Distribution in Any Number of Variables," *BIOMETRIKA*, Vol.12, pp.185-190(1918).
24. Julius, S.B. and Allan, G.P., "*Random Data Analysis and Measurement procedures*" ,2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., 407pp.1971.
25. Kitaigorodskii, S.A., V.P. Krasitskii and M.M. Zaslavskii, "On Phillips' Theory of Equilibrium Range in the Spectra of Wind-Generated Gravity Waves," *Journal of Physical Oceanography*, Vol.5, pp.410-420(1975).
26. Kuo Yiyu and Chien Chungching " *A Study on the Spectral Form of Nearshore Water Waves* " ,China Ocean Engineering, Vol. 7 ,No.3 ,pp.289-304., 1993.
27. Le Mehaute, B. and D. Wang, "Wave Spectrum Changes on Sloped Beach," *Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Division*, Vol.108, No.WW1, pp.33-47(1982).
28. Li, C.W. and M. Mao, "Spectral Modelling of Typhoon-Generated Waves in Shallow Water," *Journal of Hydraulic Research*, Vol.30, No.5, pp.611-621(1992).
29. Liu, C., "A representation for the Frequency Spectrum of Wind-Generated Wave," *Ocean Engineering*, Vol.10, pp.429-441(1983).
30. Masuda, A. and Y.Y. Kuo, "A Note on the Imaginary of Bispectra," *Deep-Sea Research*, Vol. 28A, No.3, pp.213-222(1981).

31. Ou, S.H., "Parametric Determination of Wave Statistics and Wave Spectrum of Gravity Waves," Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan(1977) .
32. Phillips, O.M., "The Equilibrium Range in the Spectrum of Wind-Generated Waves," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 4, pp.426-434(1958).
33. Pierson, W.J. and L. Moskowitz, "A Proposed Spectrum Form for Fully Developed Wind Sea Based on the Similarity Theory of S.A. Kitaigorodskii," *Journal of Geophysical Research*, Vol. 69, pp.5181-5190(1964).
34. Stokes, G.G., "On the Theory of Oscillatory Wave," *Trans. Camb. Phil. Soc.*, Vol.8, pp.441-451(1847).
35. Tayfun, M.A., "High-Wave-Number/Frequency Attenuation of Wind-Wave Spectra," *Journal Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol.116, No.3, pp.381-398(1990).
36. Tick, L.T., "A Nonlinear Random Model of Gravity Waves I," *Journal of Mathematics and Mechanics*, Vol.8, No.5, pp.643-652(1959).
37. Young, L.R., "A Shallow Water Spectral Wave Model," *Journal of Geophysical Research*, Vol.93, pp.5113-5129(1988).
38. 郭一羽、邱永芳、羅克信, 「淺海波浪頻譜模式之建立」, 第十七屆海洋工程研討會論文集, 第 177 ~ 192 頁(1995)。

39. 郭一羽、陳合源, 「淺海波浪頻譜之研究(一)—非線性成份波與波譜之關連」, 第六屆海洋工程研討會論文集, 第 11-1 ~ 11-21 頁(1982)。
40. 郭一羽、彭鏡洋, 「有關淺水波浪頻譜形態之研究」, 港灣技術, 第一期, 第 93-108 頁 (1985)。
41. 陳陽益、湯麟武, 「波譜之力學基礎」, 第九屆海洋工程研討會論文集, 第 271-286 頁(1987)。
42. 曾相茂, 「台灣海域海氣象調查研究」, 港灣技術研究所 84-研(二)-1(1995)。
43. 簡仲璟、郭一羽, 「近岸波浪頻譜形狀之研究」, 第十六屆海洋工程研討會論文集, 第 A-193 ~ A-215 頁(1994)。

結 論

各子計畫相關之研方法、分析過程及所得之結果已如上列各章詳細陳列在此不必贅述。如何獲取良好有用的現場調查資料並經由有效地統計分析方法與試驗室及理論解析的應用，卻是要有豐富的經驗累積與良好的學識配合，尤其現場資料的量測與收集需冒著強風大浪或者日曬雨淋，工作同仁以無比毅力與心血方獲得寶貴的資料。本研究計畫群策群力，各盡其能地冀望能提供適用的分析結果與模式，以為港灣工程界的參考依據。