

83-研(八)

台灣北部海岸環境之調查研究

台灣省政府交通處港灣技術研究所
台中 梧棲

中華民國八十三年六月

83-研(八)

台灣北部海岸環境之調查研究

計畫主持人：莊 甲 子

共同主持人：吳 基

83-研(八)

台灣北部海岸環境之調查研究

計畫主持人：莊 甲 子

共同主持人：吳 基

台灣北部海岸環境之調查研究

目 錄

摘要	
圖目錄	I
表目錄	V
一、前言	1
二、現場調查與資料蒐集	2
三、資料分析	6
四、理論分析	16
五、模式應用	30
六、結果與討論	35
七、結論與建議	37
參考文獻	40

摘 要

風速、風向、波浪、潮汐、海流、海岸地形等構成了海岸環境的重要組成因子。本研究為在台灣北部桃園觀音外海就上述各項海氣象條件作一系列且儘求完整的現場調查、資料收集與分析，波浪預報、流況模擬與污染擴散模擬等模式之建立與驗證工作。

一般說來，本區海岸屬東北季風主導型，波浪亦在冬季時較大(夏季颱風除外)。波高極值(H_{max})約為指示波高($H_{1/3}$)的1.44倍，流向為在ENE與WSW方向間作週期性往復變化，時間約每六小時轉向一次。而一次潮汐週期內之最大流速為在50cm/s至90cm/s左右。而最大流速有100cm/s以上之記錄。

波浪預報方面由於浪與浪交互作用下之主波與副波的能量保存率在類此觀音外海較開闊海域地區的變動性較有限，是故本區海域之風浪授受係數為在0.00475左右應可確定。

流況模擬方面，由於風剪應力與科氏力對模擬結果影響不大，故可忽略。至於亂流粘性係數值則以選用 $200m^2/s$ 為最佳。

污染擴散模擬方面，本區海域外側部份由於水流較強，污染物較易被帶離，靠岸區域則因水流甚弱，且部份流向受底床地形及邊界之影響較不一致。致河口污染物需要較長時間才會擴散開來。

海洋放流方面，放流管口離岸愈遠，由於本區海域海流之特性，污染物將較不易回污，其也較易被外海較強之海流所帶離，對海岸生態之衝擊亦可大量降低。

圖 目 錄

- 圖 2.1 海象測站位置圖
- 圖 2.2 海象觀測儀器錨碇圖
- 圖 3.1.a 風觀測逐月風玫瑰圖
- 圖 3.1.b 風觀測逐月風玫瑰圖
- 圖 3.1.c 風觀測逐月風玫瑰圖
- 圖 3.1.d 風觀測逐月風玫瑰圖
- 圖 3.1.e 風觀測逐月風玫瑰圖
- 圖 3.1.f 風觀測逐月風玫瑰圖
- 圖 3.1.g 風觀測逐月風玫瑰圖
- 圖 3.1.h 風觀測逐月風玫瑰圖
- 圖 3.2.a 波浪統計 $H_{1/3}$, $T_{1/3}$ 時序圖
- 圖 3.2.b 波浪統計 $H_{1/3}$, $T_{1/3}$ 時序圖
- 圖 3.3.a 波浪統計直方圖
- 圖 3.3.b 波浪統計直方圖
- 圖 3.4.a 波浪統計最大波與 $H_{1/3}$ 時序圖
- 圖 3.4.b 波浪統計最大波與 $H_{1/3}$ 時序圖
- 圖 3.5 H_{max} 與 $H_{1/3}$ 迴歸圖
- 圖 3.6.a 波浪能譜密度圖
- 圖 3.6.b 波浪能譜密度圖
- 圖 3.6.c 波浪能譜密度圖
- 圖 3.6.d 波浪能譜密度圖
- 圖 3.6.e 波浪能譜密度圖
- 圖 3.7.a 實測海流時序圖
- 圖 3.7.b 實測海流時序圖
- 圖 3.7.c 實測海流時序圖
- 圖 3.7.d 實測海流時序圖
- 圖 3.7.e 實測海流時序圖
- 圖 3.8.a 海流沿岸與向岸流速分量圖

- 圖 3.8.b 海流沿岸與向岸流速分量圖
- 圖 3.8.c 海流沿岸與向岸流速分量圖
- 圖 3.9.a 海流統計直方圖
- 圖 3.9.b 海流統計直方圖
- 圖 3.9.c 海流統計直方圖
- 圖 3.9.d 海流統計直方圖
- 圖 3.9.e 海流統計直方圖
- 圖3.10.a 海流能譜密度圖
- 圖3.10.b 海流能譜密度圖
- 圖3.10.c 海流能譜密度圖
- 圖3.10.d 海流能譜密度圖
- 圖3.10.e 海流能譜密度圖
- 圖3.11.a 海流行進向量圖
- 圖3.11.b 海流行進向量圖
- 圖3.11.c 海流行進向量圖
- 圖3.11.d 海流行進向量圖
- 圖3.11.e 海流行進向量圖
- 圖3.11.f 海流行進向量圖
- 圖3.11.g 海流行進向量圖
- 圖3.12 不同測站海流相關係數圖
- 圖3.13 沿岸流速分量與水位相關分析圖
- 圖3.14 觀音至許厝海域等深線圖
- 圖3.15 1987年北部海岸衛星影像圖
- 圖3.16 1993年北部海岸衛星影像圖
- 圖3.17 1987年至1993年北部海岸變遷圖
- 圖4.1 風場座標系統示意圖
- 圖4.2 元素波法現場示意圖
- 圖4.3 座標系統與水深水位示意圖
- 圖5.1 有限元素網格畫分示意圖
- 圖5.2 橫向流速之計算值與實測值比較圖

- 圖5.3 縱向流速之計算值與實測值比較圖
- 圖5.4 水位變化之計算值與實測值比較圖
- 圖5.5 風剪力對橫向流速之影響百分率比較圖
- 圖5.6 風剪力對縱向流速之影響百分率比較圖
- 圖5.7 科氏力對橫向流速之影響百分率圖
- 圖6.1.a 不同 ξ 值對波高預報結果之影響 ($\xi = 0.002$)
- 圖6.1.b 不同 ξ 值對波高預報結果之影響 ($\xi = 0.00475$)
- 圖6.1.c 不同 ξ 值對波高預報結果之影響 ($\xi = 0.007$)
- 圖6.2.a ξ 值與預報波高適合度之關係
- 圖6.2.b ξ 值與預報波高適合度之關係
- 圖6.3.a ξ 值對週期預報結果之影響
- 圖6.3.b ξ 值對週期預報結果之影響
- 圖6.3.c ξ 值對週期預報結果之影響
- 圖6.3.d ξ 值對週期預報結果之影響
- 圖6.4.a 波浪預報時間變化圖
- 圖6.4.b 波浪預報時間變化圖
- 圖6.5 風速時間變化圖
- 圖6.6 風向時間變化圖
- 圖6.7 15.5小時後，流況與濃度擴散分佈圖
- 圖6.8 34.5小時後，流況與濃度擴散分佈圖
- 圖6.9 40小時後，流況與濃度擴散分佈圖
- 圖6.10 46小時後，流況與濃度擴散分佈圖
- 圖6.11.a 放流濃度擴散分佈圖 ($h=10\text{m}$, $t=15.5\text{hr}$)
- 圖6.11.b 放流濃度擴散分佈圖 ($h=10\text{m}$, $t=34.5\text{hr}$)
- 圖6.11.c 放流濃度擴散分佈圖 ($h=10\text{m}$, $t=40\text{hr}$)
- 圖6.11.d 放流濃度擴散分佈圖 ($h=10\text{m}$, $t=46\text{hr}$)
- 圖6.12.a 放流濃度擴散分佈圖 ($h=15\text{m}$, $t=15.5\text{hr}$)
- 圖6.12.b 放流濃度擴散分佈圖 ($h=15\text{m}$, $t=34.5\text{hr}$)
- 圖6.12.c 放流濃度擴散分佈圖 ($h=15\text{m}$, $t=40\text{hr}$)
- 圖6.12.d 放流濃度擴散分佈圖 ($h=15\text{m}$, $t=46\text{hr}$)

表 目 錄

表 3.4 a	海流觀測流向流速統計機率表
表 3.4 b	海流觀測流向流速統計機率表
表 3.4 c	海流觀測流向流速統計機率表
表 3.4 d	海流觀測流向流速統計機率表
表 3.4 e	海流觀測流向流速統計機率表

一、前 言

民國七十年至民國七十一年，港灣技術研究所曾接受基隆港務局之委託，對台灣北部桃園沿岸一帶之海洋環境作過風速、風向、波浪與潮汐等海氣象現象之觀測與調查。調查之範圍為自桃園縣大園鄉老街溪至觀音鄉社子溪口之海岸附近，以觀音海水浴場附近為中心點。此項工作於民國七十三年夏季結束，此後對本區海域之觀測活動暫停，而此段時間台灣北部海岸地區由於工業之發展和經濟成長，各工業區相繼開發，北部基隆港之設施漸不敷使用，對於新港址之選定、設計及海岸地區之線合開發需求乃更加迫切。

另方面隨著都會區之逐漸擴展與工業區開發，產生了大量之廢棄物。這些污染物質大部份均直接或間接的匯入河川溪流而往海洋排放，對於污染物在海中擴散的情況亦需要在規畫之先即有通盤之瞭解。因此港灣技術研究所乃於民國八十年七月起，以三年的時間進行「台灣北部海岸環境之調查研究」。蒐集海氣象因素，如風向、風速、海流、潮汐、波浪之實測資料作統計分析。另外由理論方面著手，希望能從動力學的觀點配合實測資料之校驗，建立有關風浪、海流以及擴散的數值模式。因此三年中的主要工作包括：

- (一)設置風測站，觀測風向、風速。
- (二)設置海上海象測站，觀測海流、潮位、波浪現象。
- (三)實施海域水深調查。
- (四)與其它學術單位合作(如中大遙測中心)蒐集本地區以往至今的衛星遙測影像以作綜合分析。
- (五)建立本區海域風浪模式、海流流況模式、污染擴散模式。

在本計畫執行完畢後，所得之各項資料希望能有助於研究及工程單位對本地區海岸環境之通盤瞭解，作為未來開發與工程規畫之依據。

二、現場調查與資料蒐集

八十年七月本計畫執行之初，選定觀音地區作為觀測之重點地區。其中，風速測站經實地踏勘後選定觀音海水浴場旁廢棄之海防舊哨所陽台裝設 Komatso牌螺旋槳式風向風速儀觀測風速、風向資料。該儀器以類比信號輸出，在紀錄圖紙上繪出瞬時風向、十分鐘平均風速及瞬間風速資料，經過人工判讀鍵入電腦儲存，作進一步之統計分析。由於此型儀器之型式已舊，且輸出訊號需經人工判讀，不論是時效性和正確性均不理想。因此八十三年度乃採購較新型之美國HEATH/ZENITH公司電腦氣象儀，該型儀器可直接連接PC電腦，將風速、風向、氣壓、溫度、濕度、降雨量等數據以數據式資料經RS-232介面，輸出至電腦加以儲存。唯經與觀音駐地海防部隊交涉，始終未獲同意於原觀音風速測站改裝新型氣象儀，因此只得轉移目標，除觀音地區繼續以類比式儀器觀測外，另外在竹圍漁港覓得新場所於八十三年元月底裝設新購之電腦式氣象儀，開始觀測。但由於裝設場所所有新建工程正在進行，常有電源不穩之現象發生，因此紀錄之情形亦不十分理想。

海象測站之設立於八十年十月係以觀音燈塔外海水深15米水深處作為觀測重點。八十一年一月底因附近漁場問題轉向東北東約 2.5公里之20米水深處繼續觀測，該次觀測作業中本所雖已去函有關漁會及安放警示燈標，但因附近之漁民多採流刺網之作業方式，在水深10米至40米之間佈放大範圍之漁網。因此仍不時發生掛網事件，有永安漁會所屬漁船提出抗議。經過協調後，為顧及漁民生計，乃依漁民建議，於八十一年九月起將測站轉往觀音東北東方許厝港水域繼續觀測。新舊測站相距約10公里。同時為配合計畫內建立流況模式及擴散數值模式之需要，將測站之數目增為三站。以許厝港外海15米水深處為中心站，沿海岸線向左、向右各約三公里20米水深處設置測站二、三。同時觀測海流、潮汐、波浪之現象。各測站之地理位置如圖2-1 所示。而歷次海象觀測之時間、測站及觀測預目等資料列如表2.1。

表 2.1 海象觀測紀錄表

序號	觀 測 時 間	測 站	觀 測 項 目
1	1991年10月16日 - 11月 6日	81 - 1	海流、波浪、潮汐
2	1992年 1月28日 - 2月26日	81 - 3	海流、波浪、潮汐
3	1992年 5月 6日 - 5月25日	82 - 3	海流
4	1992年 9月16日 - 11月31日	82 - 1	海流、波浪、潮汐
	1992年 9月17日 - 10月31日	82 - 2	海流
	1992年 9月18日 - 10月31日	82 - 3	海流
5	1993年 3月24日 - 4月20日	82 - 1	海流、波浪
	1993年 3月25日 - 4月20日	82 - 2	海流、潮位
	1993年 3月25日 - 4月19日	82 - 3	海流
6	1993年 9月10日 - 10月16日	83 - 1	海流、波浪
	1993年 9月11日 - 10月13日	83 - 2	海流
	1993年 9月 9日 - 10月14日	83 - 3	海流、潮位
7	1994年 3月25日 - 4月19日	83 - 1	海流、波浪
	1993年 3月28日 - 4月21日	83 - 2	海流、潮位
	1993年 4月 3日 - 4月20日	83 - 3	海流

至於各測站之經緯度如下：

81 - 1 站	25° 03'30" N	121° 03'24" E
81 - 3 站	25° 04'36" N	121° 04'18" E
82 - 1 站 (83 - 1)	25° 05'46" N	121° 09'26" E
82 - 2 站 (83 - 2)	25° 05'33" N	121° 07'29" E
82 - 3 站 (83 - 3)	25° 06'56" N	121° 10'39" E

海象觀測的工作內容包括了海流、波浪與潮汐之量測。所使用的測流儀器為挪威AANDERAA公司出品的RCM-4與RCM-7海流計，該儀器係以 ROTOR 計數量測流速，以十分鐘取樣一次，紀錄溫度、鹽度、流向、流速。因此所得出之流速是十分鐘平均流速及流向。測波浪與潮汐則使用NBA 公司之DNW-5M潮波儀，該儀器每0.5Sec取樣一次，紀錄當時水壓訊號，經處理資料後可轉為水位數據。藉著取樣時間之不同可設定為量測波浪或潮汐現象。如波浪紀錄設定為每二小時連續取樣10分鐘(共1200個數據)，所得之資料可用作一般之 H_{max} 、 $H_{1/10}$ 、 $H_{1/3}$ 、 H_{ave} 等統計分析，亦可作波譜分析。潮汐量測則設定為十分鐘(共120個數據) 或二十分鐘紀錄一分鐘，經程式處理得出平均之水位值，至於海象儀器之錨碇方式如圖2-2所示。

桃園竹圍至觀音海岸區域有大園、觀音等工業區之設置。考慮該地區未來大量工業原料之輸入及沿海土地利用之效益問題，如在本區有新的港灣建設，自然有助地方整體之開發與發展。而新港址之選定，海岸地形與水深變化資料極為重要，且本計畫執行重點工作中建立流況與擴散之數值模式亦需要輸入全區之水深數據。因此港研所於八十二年二月委託詮華工程顧問公司進行水深調查工程，範圍自許厝港外沿海岸線往西南測至觀音外海，總長約13公里，寬約3.5公里，施測水域共45平方公里。作業方式為先在陸地上以電子經緯儀WILD TC1600作主導線控制點測量，WILD NA2000水準儀測定高程，然後使用自動定位儀器，以三邊法測量海上工作船之位置。測深船上則將自動測深儀連接個人電腦，於探測地區每隔100米向岸測一連續斷面水深剖面。船行方向則由自動定位儀所顯示之座標值加以控制，每隔15秒輸出座標值及水深值，以個人電腦儲存後，再配合設置於竹圍漁港內之臨時驗潮站所量得的同時間水位資料修正為正確之水深。垂直於岸的測線共一百三十餘條，施測之範圍如圖2-1所標示。

台灣海岸地區長久受人為及自然的有形與無形之破壞，沿岸地形，大型沙洲之變化相當劇烈。有關其現況及變化的調查和了解，傳統上必須依賴地面逐點的量測資料，所耗費的人力、時間與金錢非常驚人，同時也因作業繁雜，不易得到現狀及變化的即時情況。近幾年來，有些研究利用遙測技術進行海岸地區之偵測，但受限於少量的衛星資料及缺少客觀條件的配合，其地區之應用必須要有相當密集的遙測資料及相對潮汐資料的定量修正。兩者的配合對於海岸地區現況之了解和變化之偵測非常重要。國科會所委託籌建的資源衛星接收站，於民國八十二年在中央大學運轉接收後，台灣部份，尤其西海岸地區累積了較多的衛星遙測資料，因此本計畫自八十二年八月開始與國立中央大學太空及遙測中心簽約，利用十個月的時間接收並蒐集台灣西海岸地區之衛星遙測影像。利用法國SPOT衛星20公尺多光譜及10公尺全色態數值影像製作10公尺彩色衛星影像圖。以IHS(Intensity, Hue, Saturation)數學轉換法將上述影像轉換成10公尺彩色影像，經過幾何校正，座標轉換步驟後，提供正確的2度TM座標與1:50,000比例尺的10公尺彩色衛星圖像。本所則按照所製作之衛星圖像掃瞄日期，蒐

集同一地區或附近之潮汐紀錄，與衛星影像相互配合。除了能瞭解不同潮位時其水深線之範圍變化，並能由長期之觀點得知海岸線變遷之現象，分析其原因，作日後海岸開發之參考依據。另外也嚐試利用衛星影像研究在波浪判釋應用上的可行性。

三、資料分析

3-1 風向風速

根據本計畫在觀音地區觀測到的風資料加以統計而繪成風玫瑰圖(圖3.1)可看出，本地區的天氣型態大致可分為夏季季風型，冬季季風型及春、秋轉換型。其中冬季季風期大致由十月開始，至次年之三月初結束，所佔的時間最長。此段時間由於大陸高氣壓盤踞在中國大陸蒙古地區，沿著大陸沿海至台灣一帶均受高壓順時鐘環流影響，吹襲東北風。本地區海岸線走向為東北東—西南西，與主要風向一致，因此此段時間風力強勁，連帶的使本地區之海上活動，包括漁船作業，中油桃園煉油廠海上平台卸油作業均陷入半停頓狀態。也使本計畫較缺少此段期間之海上實測資料。至三月份開始，大陸高壓減弱，進入春天型氣候，鋒面以三至五天的頻率快速通過，鋒面前後風向有顯著之不同。表現在玫瑰風圖上之現象為各種方位之風的發生機率較為平均，且風力減弱。五月以後太平洋地區逐漸形成高氣壓，本地區之南來風向的機率也漸增，至六、七、八 2 個月份為夏季季風盛行期，風向主要是西南。九月份的風玫瑰圖顯示東北風的成份增加，至十月份本區再回復冬季季風型態。

3-2 波 浪

自八十年七月至八十三年六月，本區之波浪觀測共執行六次。起訖時間和測站、水深等資料列如表3.1。

表3.1 波浪紀錄表

序號	年度	測站	水深(m)	起 訖 日 期
1	81	81-1	16	1991 10/16 1800-11/06 2200
2	81	81-3	21	1992 01/28 1200-02/13 2000
3	82	82-1	17	1992 09/18 0900-10/06 1300
4	82	82-1	17	1993 03/24 1130-04/13 1730
5	83	83-1	17	1993 09/10 0900-10/16 1100
6	83	82-1	17	1994 03/25 1600-04/18 0000

第1 及第2 次之波浪觀測係在觀音地區，八十二年度開始則轉移
到許厝港外海。在觀音地區之觀測結果顯示，在十月至十一月間， $H_1/3$
在2米以上的比例佔全部時間之60%。而一月至二月間則更高達65%
以上。 $T_1/3$ 部份，十至十一月份之尖峰值在7 至 8 秒間，一至二月
則移至8 至9秒間，可能是一至二月為東北風最盛期，吹風距離與延
時均增大，導致波浪週期變長。

測站移至許厝港外海之後，八十二年度所得到的紀錄數據顯示，在九至十月間， $H_1/3$ 超過2米的機率大約佔全部時間的27%，超過1米之比例大約是60%。而三月至四月的觀測紀錄則顯示超過2米之比例為23%，超過1米之比例為58%。 $T_1/3$ 多在7.5秒至9.5秒之間。與八十一年度觀音站的結果相較，波高較低。

八十三年度兩次施測的紀錄， $H_1/3$ 與 $T_1/3$ 之時間序列見圖3.2。兩次的波高均低，由統計直方圖(圖3.3)可知超過2米之紀錄所佔的比例九月至十月中佔全部時間之20%，三月至四月測得之比例更低於5%， $H_1/3$ 仍以7秒至8秒為尖峰值。圖3.4是 H_{max} 與 $H_1/3$ 之時間序列圖，二者之間的相關性良好，將兩次觀測資料之 H_{max} 與 $H_1/3$ 作迴歸分析得圖3.5，橫軸為 $H_1/3$ ，縱軸為 H_{max} ，二圖均有良好的線性關係，且迴歸曲線斜率相當接近一為1.46，一為1.44，與八十二年度所作之結果相當接近(82迴歸曲線斜率為1.44)。將八十三年度測得之波浪紀錄中選出波高較大的幾段時間，將水位變化時間序列(取樣時間0.5秒)作波譜分析，繪成圖3.6。尖峰值大多在 0.11Hz 附近，即週期為9秒左右的波具有最大的能量成份。

綜合而論，北部海岸之風浪在夏季時最平穩(颱風期間除外)，冬季時較南部海域為大，且觀音海域之波浪紀錄較許厝港為大，其原因是地理位置之不同遮蔽效應或是取樣月份不同或是統計樣本數不夠多的結果尚難定論，但根據當地漁民及海事工作人員之經驗，觀音地區之風浪確實比許厝港為大。

各次觀測期間的波浪極值列於表3.2。

表3.2 波浪紀錄極值表

年度	期	期	Hmax	當時 $H_1/3$
81	1991	1016 -1105	7.90米	6.70米
81	1992	0128 -0213	6.70米	3.10米
82	1992	0918 -1006	5.75米	3.67米
82	1993	0324 -0413	5.59米	3.52米
83	1993	0910 -1016	5.00米	2.85米
83	1994	0325 -0418	4.45米	3.40米

另外較值得注意的現象是在秋天之際，大陸高氣壓已有相當之勢力，而如果此時在太平洋上生成颱風逼進台灣南部附近時，由於高氣壓順時針環流和颱風之逆時針環流在台灣地區造成極強之氣壓梯度，對東北風之增強有雙重的效果。造成八十一年度第一次觀測時 7.9米之最大波，海上活動宜加以留意。

有關八十一年度及八十二年度觀測結果諸圖表，可參閱本計畫八十一年度及八十二年度期中研究報告。

3-3 海 流

計畫執行期間所觀測的海流資料，去除了部份儀器故障及轉子被雜物纏住等意外，有效的數據列於表3.3。

表3.3 海流紀錄表

序號	年度	測站	水深(m)	起 訖 日 期
1	81	81-1	16	1991 10/16 1600-10/20 1100
2	81	81-3	21	1992 01/28 1200-02/13 2010
3	81	81-3	21	1992 05/06 1030-05/25 0950
4	82	82-1	17	1993 09/16 1500-10/05 0000
5	82	82-3	21	1993 09/17 0900-10/23 0000
6	82	82-1	17	1993 03/24 0950-04/20 0700
7	82	82-2	21	1993 03/25 1010-04/15 2240
8	82	82-3	21	1993 03/25 0920-04/19 1440
9	83	83-2	21	1993 09/11 0900-10/13 1500
10	83	83-2	21	1993 09/09 0900-10/14 0930
11	83	83-1	17	1994 03/25 1500-04/19 1450
12	83	83-2	21	1994 03/28 1030-04/21 1020
13	83	83-3	21	1994 04/12 1200-04/20 0950

海流的組成成份包括恒流、風吹流和潮流。三者間之強弱比率視地區特性與季節變化而定。恒流代表大環境的洋流狀態，較為穩定，風吹流因風之吹襲而生，變化較大，而潮流一般較具規律性。如在外海開闊水域，流向常呈橢圓變化，在近岸海域則多呈往復式。

在觀音海域水深20米處所測得的海流資料顯示各次潮汐週期內流速最大值連線而成之包絡線在 50cm/s至100cm/s間變化，大潮時均接近90cm/s以上。由流速統計直方圖可看出超過 60cm/s之例佔全部觀測時間之 30-40%，流速較高。流向機率則在ENE及WSW二個方位上呈雙峰狀凸起，二方向之分佈機率達全部之85%以上，凸顯了本區以潮流成份為主之特性。

將實測流速資料經過座標轉換，將流速向量投影在垂直岸與平行岸之後，再作能譜分析，得出之能譜密度圖也顯示出本區海流以半日週潮為主，全日週潮為輔，半日週潮之能量要大過全日週潮。

另外由累進向量圖（PVD圖）中可看出觀音海域水流一面呈東北東—西南西往復狀移動，一面逐漸向北方移動，移動之速率約為 4cm/s。與潮流之幅度相較，流速甚小，代表觀測期間，恒流成份不顯。

八十二年度轉往許厝港觀測後，流速紀錄顯示較觀音站為小。同樣以20米水深測站為準，潮汐週期內最大流速包絡線在50cm/s至90cm/s間變動，測站1 由於較近岸邊，水深淺，受底層邊界磨擦效應之影響，流速較緩，最大流速包絡線在40cm/s至60cm/s內作規則變化。八十三年度於同樣地點測得之流速流向時間序列圖3.7。測站1之每日最大流速包絡線在30cm/s至55cm/s之間變動，測站2.3則在40cm/s至 80 cm/s 間變化。另外將流速分解成沿岸分量與向岸分量來看，圖3.8的

結果顯示，沿岸分量之成份佔了潮流能量之大部份，離向岸分量多在10cm/s以內變化，凸顯了近岸地區潮流之特性。流速與流向之統計直方圖繪於圖 3.9，與八十二年所測之結果頗為一致，表3.4 則為八十三年度所測得之結果，流速與流向聯合機率分佈表。較諸觀音地區，高流速部份所佔之比例顯然較低。至於由流速之時間序列製作的能譜密度圖3.10，與八十一年及八十二年觀測之結果一致。最大和次大的尖峰位置分別對應了半日週潮和全日週潮，半日週期能量比全日週潮要大二個數量級。

許厝港測站與觀音測站海流紀錄分析，最大的不同點在PVD 圖之結果。在觀音站各次結果均是水團逐漸向北移動，許厝港則有所不同。由於三個測站呈等腰三角形，第1 站為頂點，最近岸邊，水深16米。2、3 站則離岸較遠，水深20米。八十二年度施測之結果，同一站不同季節的結果本身即不相同。如八十一年九月測站1 為先向西南西又轉為東北東，經過二十天幾乎返回原點。八十二年三月則向東南東推進了四十五公里（每日移動約1.6公里），至於各測站間之走向亦不一致。如測站2 於八十二年三月之結果為每日向西北西移動約三公里，測站三則二次施測均向北或東北每日移動約3.5 公里。至於八十三年度施測結果如圖3.11，測站1 於三月底至四月二十日係向東方緩慢移動（每日約二公里），測站2 在八十二年九月間為先向西南西轉東北東方向移動，十一天後又轉為向西南西移動，平均為3.3 公里／日向西南西。但八十三年三月施測的結果則與觀音站相近，為逐漸向北方移動，平均每日1.7 公里向北。至於測站3 則與八十二年度所測之結果相同，在九月九日至十三日間在原地滯留外，之後均呈穩定的向東北東方向移動，每日約4.5 公里。由於九月十日至十四日間水團移動特性與長期走向不同，因此，我們找出當時的天氣圖，發現這段時間有颱風亞伯正通過台灣之南邊海域，受到了颱風外圍環流之影響，水體之運動亦有所改變。這是風驅流勢力增強的影響。至於風影響流之機制過程，需要對海底至海面流速剖面作更多的觀測，值得在往後繼續加以研究。

綜合各季節各測站之PVD圖加以討論，觀音地區之長期水流走向為向北，而許厝港水域海水移動之北向成份均比觀音測站為小，水團傾向沿海岸線方向移動。將來如果在本海域考慮到污染物排放的問題，可能而要多作進一步之研究。

至於各測站之間海流相關性問題，取同一段時間之不同測站數據，以不同的相對延遲(LAG)作相關分析，繪出相關係數圖3.12。結果顯示測站2 落後測站3 約十分鐘時有最大之相關性。而較淺的測站1 領先測站3 約20餘分鐘，與八十二年度之結果一致。將同時段之水位與流速資料作分析則如圖3.13 所示，當兩者之延遲為260分鐘時具有最大之相關性，代表流速領先水位4 小時餘。

歷次海流觀測所得之最大流速列於表3.5。

表 3.5 海流觀測最大值表

年度	測站	期 間	最 大 值	當時流向
81	81-1	1991/1016-1106	82cm/s	65°
	81-3	1992/0128-0226	108cm/s	60°
	81-3	1992/0506-0525	107cm/s	53°
82	82-1	1992/0916-1005	78cm/s	71°
	82-3	1992/0917-1023	102cm/s	67°
	82-1	1993/0324-0420	66cm/s	67°
	82-2	1993/0325-0415	102cm/s	251°
	82-3	1993/0325-0419	91cm/s	247°
83	83-2	1993/0911-1013	86cm/s	251°
	82-3	1993/0909-1014	87cm/s	63°
	82-1	1994/0325-0419	58cm/s	62°
	82-2	1994/0328-0421	86cm/s	253°
	82-3	1994/0412-0420	78cm/s	62°

3-4 水深調查

由本所委託詮華工程顧問公司於八十二年二月至四月執行之「桃園許厝港至觀音海域水深調查工程」結果，分別繪製出 1/10000 DTM 水深圖，1/100000及1/25000 等深線圖。全部量測平面控制採用TM二度分帶座標系統，高程則採用竹圍地區最低潮位為零公尺（竹圍漁港最低潮位零公尺＝內政部一等水準系統加1 公尺）。

水深測量結果顯示本區海域之等深線大致與海岸線呈平行走向。在許厝港附近，10米等深線約離1 公里，25米水深線約離岸3 公里。觀音燈塔附近，10米等深線離岸約1 公里，25米等深線約離岸2.5 公里。觀音工業區外，有一淺溝存在，而許厝港東北往竹圍方向水深變化較劇烈，自許厝港至觀音工業區之間的海底水深變化較為緩和。施測結果可參閱圖3.14。

3-5 衛星資料應用

利用衛星遙測來偵測海岸地區的土地變遷，首先必須考慮潮汐所引起的變化。因為高低不同潮位會影響海岸土地的變化，這現象在高解析度的SPOT衛星影像上可以很明顯的偵測到。因此衛星影像必須先配合不同高低潮位來進行定量的修正，然後才能做進一步的土地變遷之分析。其過程可分為二個階段：(1)潮汐變化之修正；(2)土地變遷之偵測，詳細過程如下：

(1)潮汐變化之修正

首先收集在短時間內不同高低潮位之衛星影像，並假設在此短時間內，海底地形沒有任何變化，因此海岸線的變化只是因潮汐所引起的。利用影像處理技術找出不同潮位的水與陸之邊界。

每一條邊界線基本上可視為不同高低潮位的海岸線。然後利用內插法可得到在任何潮位的海陸邊界，因此可得到一類似"等潮位"圖。所以衛星影像可用不同潮位的資料進行定量的修正以消除潮位所引起的海岸線變化。

(2) 土地變遷之偵測

將過去衛星影像資料的水陸邊界線重疊在上述的"等潮位"圖，因所對應的潮位是已知的，因此如果長期以來海岸地區沒有變化，則此衛星影像的水陸邊界線必定落在等潮位圖中所對應潮位的線段上。如果對應位置有所偏差，則必然是由土地變化而來的，同時由偏差的位置及方向亦可量出變化的大小及方向。

此變遷之技術應用桃園觀音附近的海岸線，兩張分別拍攝於1987年10月13日(潮位-50cm)(圖3.15)與1993年8月27日(潮位-51cm)(圖3.16)的SPOT影像重疊後(圖2.17)，顯示從1987至1993年6年之間，觀音地區除了人工導致地貌改變(如竹圍漁港之擴建等)及許厝港出海口附近之局部變化外，全區海岸線並無太大的變遷。

除了利用在土地變遷之分析外，衛星影像還可以直接用來監看海象的狀況，如觀測波浪之波向、波長、折射現象、反射現象以及污染物質之排放、擴散。這些相關的技術都有待進一步之研究與開發。

四、理論分析

4-1 波浪預報理論

4-1-1 預報理論

梁(1973,1975)根據不同之風速區域提出元素波法 (element wave method)之預報觀念，其理論假設可歸納如下：

1. 整個風場可劃分為諸多元素面積。
2. 各獨立的元素面積即為獨立的風浪生成中心。
3. 預報點之總波能即為由各風浪生成中心傳遞到達之波能的總合。
4. 元素波擴散為圓圈狀，吹風為定常。

根據上述之假設狀況，對於任意預報點之波浪能量即可由元素面積風域法(示如圖4.1)計算出，其計算式為

$$H_{1/3}^2 = \frac{8\xi}{gT_{1/3}} \sum \sum U^2(r, \theta) \cdot \cos^2 \beta(r, \theta) \cdot \exp\left[\frac{-0.08r}{U^2(r, \theta)}\right] \Delta r \Delta \theta$$

式中 $H_{1/3}$: 指示波高
 ξ : 風浪授受係數
 U : 風速
 r : 射線距離
 θ : 射線角度
 β : 風向與射線方向之夾角

計算元素風域面積之射線為由東向北而西之反鐘向計算，每 10° 為一射線如圖4.2所示，各射線依適當距離加以區段，最長者可分為七段。為計算方便，任意射線之能量和(SUUBB)可用下式表示。

$$SUUBB = \sum_r U^2 \cos^2 \beta \cdot \exp\left(\frac{-0.08r}{U^2}\right) \Delta r$$

當各射線之能量和求得後，預報點處之能量總和(COUNT)即可求得為

$$COUNT = \sum_r SUUBB$$

而代表波向則可用下式表示

$$\theta = \frac{\sum_i (SUUBB)_i \theta_i}{\sum_i (SUUBB)_i}$$

至於決定海面上風速風向之有效條件有二：

1. 風向與射線方向夾角 β 絕對值須小於九十度。
2. 當地風所產生之波能否傳達到觀測點。

此即對任一風場而言，先檢查射線上之 β 的絕對值是否小於 90° ，若滿足此條件則反推在某一段時間內，元素波能影響的區域是否與此段風域重疊，若不重疊則不為有效風域。

其次對於不同天氣圖(I)上之每段(J)的風速以 $U(I, J)$ 加以表示。各段時間內吹風所產生波浪的傳達距離上下限，則可分別以下式加以求得

$$R_u(I, J) = 1.8U(I, J) \cdot [t + (n-1)\Delta t]$$

$$R_l(I, J) = 1.8U(I, J) \cdot [t(n-2)\Delta t]$$

式中 t ：距起算時間的小時數

n ：選用天氣圖張數

Δt ：選用兩連續天氣圖之時間間隔(小時)數

故在該段時間內吹風所產生之波浪傳達到預報點的真正有效距離即為

$$R(I, J) = [R_u(I, J) + R_l(I, J)]/2$$

對於波浪週期之計算而言，可由吹風延時 t_d 和平均風速加以決定，亦可由平均風域和風速加以計算，兩者之計算式(梁, 1978)分別為

$$\frac{gT_{1/3}}{2\pi\bar{U}} = 0.00416 \left[\frac{gt_d}{\bar{U}} \right]^{0.475732}$$

$$\frac{gT_{1/3}}{2\pi\bar{U}} = 0.071262 \left[\frac{gF}{\bar{U}^2} \right]^{0.245974}$$

就桃園觀音外海地區之理形狀觀之，本區海岸之冬季風浪主要係由強勁季風吹襲廣大東海洋面所產生之風浪傳遞而至應無疑問，惟沿岸盛吹之當地風所可能產生之淺海風浪亦會有所影響而不可忽視。此種淺海風浪之推算法頗多。根據 Bretschneider (1958) 和 Thijsse (1952) 分別以實測記錄及實驗值所完之風域、水深、風速、波高、吹風距離及週期等關係圖形，湯(1970)將其公式化且略作修正後，求得淺海波高及週期之計算式為

$$\frac{gH}{U^2} = \alpha_s \cdot \tanh\left\{k_3 \cdot \left(\frac{gD}{U^2}\right)^{3/4}\right\} \cdot \tanh\left\{k_1 \cdot \left(\frac{gF}{U^2}\right)^{1/2} / \right.$$

$$\left. \tanh\left[k_3 \cdot \left(\frac{gD}{U^2}\right)^{3/4}\right]\right\}$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = \beta_s \cdot \tanh\left\{k_4 \cdot \left(\frac{gD}{U^2}\right)^{3/8}\right\} \cdot \tanh\left\{k_2 \cdot \left(\frac{gF}{U^2}\right)^{1/3} / \right.$$

$$\left. \tanh\left[k_4 \cdot \left(\frac{gD}{U^2}\right)^{3/8}\right]\right\}$$

式中 F：風域長，D：固定水深

$$\begin{aligned} \text{係數} \quad \alpha_s &= 0.026, \beta_s = 1.40, k_1 = 0.01, \\ k_2 &= 0.0436, k_3 = 0.578, k_4 = 0.52 \end{aligned}$$

最後，利用波浪能量合成理論，並訂定主波與副波之能量保存率後，預報點之合成波浪以至於預報波高及週期便可求出。

4-1-2 預報方式

根據上述波浪預報理論計算式加以程式化，並由現場大域之天氣圖加以換算成風場分佈作為預報之輸入資料後，便可開始作預報工作，其預報步驟概述如下：

1. 利用元素面積風域法計算主波之指示波高及週期。
2. 利用淺水風浪推算法計算副波之波高及週期。
3. 利用波譜合成理論算合成波之波高及週期。
4. 變動風浪授受係數，探求其對預報波高及週期之影響程度。
5. 利用Chi-square之適合度檢定方法定出本區海岸之風浪授受係數值。
6. 據上分析結果作為輸入之最終條件以完成本區之風浪預報工作

4-2 潮流傳輸理論

4-2-1 控制方程式

利用質量與動量守恒的觀念導出之連續方程式與由Navier-Stoke's方程式加以描述流體之流速與水位間關係，其座標如圖4.3。並假設水為不可壓縮流體。

質量守恒方程式：

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4.1)$$

動量守恒方程式：

x方向：

$$P\left(\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z} + f_w - f_v\right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \quad (4.2)$$

y方向：

$$P\left(\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial v}{\partial z} + f_u - f_w\right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \quad (4.3)$$

z方向：

$$P\left(\frac{\partial w}{\partial t} + u\frac{\partial w}{\partial x} + v\frac{\partial w}{\partial y} + w\frac{\partial w}{\partial z} + f_v - f_u\right) = -\frac{\partial p}{\partial z} - \rho g + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \quad (4.4)$$

各式中， x 、 y 、 z ：卡氏座標軸方向。

u 、 v 、 w ：流體質點在 x 、 y 、 z 方向的速度分量。

τ ：各方向之側向剪應力。

ρ ：海水密度(1030Kg/m^3)。

p ：流體壓力。

g ：重力加速度($=9.80\text{m/s}^2$)

f ：科氏力參數(Coriolis Parameter)。

式(4.2),(4.3),(4.4)中，若假設重力方向的速度遠小於水平方向的速度($w=0$)，且重力方向的外力以重力為主。則原式(4.2)至式(4.4)便可改為：

$$P\left(\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} - fv\right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \quad (4.5)$$

$$P\left(\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + fu\right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \quad (4.6)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -Pg \quad (4.7)$$

4-4-2 邊界條件

潮汐造成水位變動，水位 h 因地點及時間而異，即 $h=h(x,y,t)$ ，所以潮波水面方程式為 $z=h(x,y,t)$ ，水面粒子隨時間起伏變化的方程為：

$$w_s = \frac{dz}{dt} \Big|_{z=h} = \frac{\partial h}{\partial t} + u\frac{\partial h}{\partial x} + v\frac{\partial h}{\partial y} \quad (4.8)$$

海底方程式為 $z=-d(x,y)$ ， d 為水深，故底床邊界條件為：

$$w_b = \frac{dz}{dt} \Big|_{z=-d} = -u \frac{\partial d}{\partial x} - v \frac{\partial d}{\partial y} \quad (4.9)$$

4-2-3 水深平均觀念之應用

對於三維的控制方程式，假設潮汐漲落所驅動的水流幾乎是水平方向的，即忽略重力方向之速度，而水平方向的流速可分別以 $\bar{u}$ ， $\bar{v}$ 表示如下：

$$\bar{u} = \bar{u}(x,y,t) = \frac{1}{h+d} \int_{-d}^h u(x,y,z,t) dz$$

$$\bar{v} = \bar{v}(x,y,t) = \frac{1}{h+d} \int_{-d}^h v(x,y,z,t) dz$$

將控制方程式與 w_s, w_b 中的 u, v 分別以 $\bar{u}, \bar{v}$ 取代，並應用水深平均的觀念，便可將複雜的三維問題化簡為二維問題，其步驟如下：

(1) 連續方程式

將式(4.1)由海底積分至海面：

$$\int_{-d}^h \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) dz = 0 \quad (4.10)$$

因為 $\bar{u}, \bar{v}$ 僅為 x, y, t 之函數，故可得：

$$\int_{-d}^h \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} dz = (h+d) \frac{\partial \bar{u}}{\partial x}$$

$$\int_{-d}^h \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} dz = (h+d) \frac{\partial \bar{v}}{\partial y}$$

$$\int_{-d}^h \frac{\partial w}{\partial z} dz = w \Big|_{z=-d}^{z=h} = w_s - w_b$$

結合式(4.8),式(4.9)與上列三式再代入式(4.10)得：

$$(h+d)\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + (h+d)\frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial t} + u_s \frac{\partial h}{\partial x} + v_s \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial d}{\partial t} + u_b \frac{\partial d}{\partial x} + v_b \frac{\partial d}{\partial y} = 0$$

由於假設流速與水深無關，故 $\bar{u}=u_s=u_b$ ； $\bar{v}=v_s=v_b$ 代入上式並合併後，連續方程式便可改寫為：

$$\frac{\partial(h+d)}{\partial t} + \frac{\partial[\bar{u}(h+d)]}{\partial x} + \frac{\partial[\bar{v}(h+d)]}{\partial y} = 0 \quad (4.11)$$

(2) 動量方程式

由式(4.7)： $\frac{\partial p}{\partial z} = -Pg$ 且 $z = h$ 時 $p = 0$ 得

$$P = -Pg(z-h)$$

將此結果代入式(4.5)可得：

$$P\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} - f\bar{v}\right) = -Pg \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z}$$

將上式由海底積分至海面：

$$\int_{-d}^h \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} dz = (h+d) \frac{\partial \bar{u}}{\partial t}$$

$$\int_{-d}^h \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} dz = (h+d) \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x}$$

$$\int_{-d}^h \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} dz = (h+d) \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y}$$

$$\int_{-d}^h f \bar{v} dz = (h+d) f \bar{v}$$

$$\int_{-d}^h \frac{\partial h}{\partial x} dz = (h+d) \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$\int_{-d}^h \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} dz = (h+d) \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x}$$

$$\int_{-d}^h \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} dz = (h+d) \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y}$$

$$\int_{-d}^h \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dz = \tau_{zx} \Big|_{z=-d}^{z=h} = \tau_{zx} \Big|_s - \tau_{zx} \Big|_b$$

將上列各式合併，化簡整理後可得x 方向之動量方程式：

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} - f \bar{v} = -g \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{p} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{zx} \Big|_s - \tau_{zx} \Big|_b}{p(h+d)} \quad (4.12)$$

以同樣方式可得y 方向動量方程式：

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} - f \bar{u} = -g \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{1}{p} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{zy} \Big|_s - \tau_{zy} \Big|_b}{p(h+d)} \quad (4.13)$$

上兩式中各剪應力之意義如下：

$\tau_{zx}|_s, \tau_{zy}|_s$ ：作用於海面之風剪應力分別在 x 與 y 方向的分量。

其計算方式係採用 Falconer(1986)的建議，即

$$\tau_{zx}|_s = C_D \rho_a K W^2 \cos \beta ; \tau_{zy}|_s = C_D \rho_a K W^2 \sin \beta$$

$\tau_{zx}|_b, \tau_{zy}|_b$ ：作用於海底摩擦剪應力分別在 x 與 y 方向的分量。

$$\tau_{zx}|_b = \rho f_r \bar{u} (\bar{u}^2 + \bar{v}^2)^{1/2}$$

$$\tau_{zy}|_b = \rho f_r \bar{v} (\bar{u}^2 + \bar{v}^2)^{1/2} \quad (4.14)$$

f_r ：無因次次摩擦係數 ($=g/c_c^2$)

C_c ：切西係數。

對於(4.12)、(4.13)中各方向的側向應力($\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{yy}$)表示流體之間的一種黏滯剪應力,加上因亂流流場效應所產生之亂流黏滯剪應力 (Turbulence Viscosity Stress)。但由於水的運動黏滯係數 (Kinematic Viscosity)約在 $10^{-5}(\text{m}^2/\text{s})$ 左右,而海域的亂流黏滯係數則從十到數千(m^2/s)不等。所以在亂流流場中,運動黏滯應力甚小於亂流黏滯應力,故前者一般均予忽略,而僅考慮亂流黏滯應力,用以代表流體質點之間的橫向動量交換。亂流黏滯應力愈大,表示動量交換得愈均勻。

關於亂流黏滯應力之計算，一般均採用以下各式 [Ponce, 1981; Tingsanchali, 1989]

$$\begin{aligned}\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} &= pE \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} &= pE \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)\end{aligned}\quad (4.15)$$

E 表亂流黏滯係數 (Turbulent Viscous Coefficient)，將式 (4.14)、(4.15) 分別入式 (4.12)、(4.13) 中，便可得到：

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} - f\bar{v} + g \frac{\partial h}{\partial x} - E \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} \right) - \frac{p_a K W^2 \cos \beta}{p(h+d)} + \frac{g\bar{u}(\bar{u}^2 + \bar{v}^2)^{1/2}}{C_c^2(h+d)} = 0 \quad (4.16)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + f\bar{u} + g \frac{\partial h}{\partial y} - E \left(\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} \right) - \frac{p_a K W^2 \sin \beta}{p(h+d)} + \frac{g\bar{v}(\bar{u}^2 + \bar{v}^2)^{1/2}}{C_c^2(h+d)} = 0 \quad (4.17)$$

至此，已將三維之連續與動量方程式經由水深平均垂直積分的方式轉化為二維之連續及動量方程式，即式 (4.11)、(4.16)、(4.17)，再由此三式以求解未知變數 $\bar{u}$ ， $\bar{v}$ ， h 。

4-3 污染物傳輸理論

4-3-1 控制方程式

在一般流場中，污染物的傳輸擴散主要包括三部份即分子擴散(Molecular Diffusion)、傳導(Advection)及亂流擴散(Turbulent Diffusion)。其中分子擴散為分子由高濃度處移向低濃度處的現象。傳導為物質分子受流場中水分子流速帶動而移運。亂流擴散為亂流流場中，物質因受擾動(fluctuation)作用而產生的散射現象。

由於亂流擴散較分子擴散大得多，所以在亂流流場中分子擴散通常省略不計。

污染物之擴散可由Fick's Law 所推導之傳導擴散方程式加以描述[Leendertse,1970]。

$$\vec{q} = -\left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} + D_y \frac{\partial C}{\partial y} + D_z \frac{\partial C}{\partial z}\right) \quad (4.18)$$

式中 $\vec{q}$: 單位時間內通過某一表面積的污染量。

D_x, D_y, D_z : 分別為 x, y, z 方向之亂流擴散係數(若海水是等向均勻的, $D_x = D_y = D_z = D$)。

C : 亂流平均濃度。

而由質量守恒定律：

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_v C(x,t) dv + \int_s (q(x,t) \cdot \hat{n}) ds = 0$$

由高斯散度定律，可改寫為

$$\int_v \frac{\partial C(x,t)}{\partial t} dv + \int_v (\nabla \cdot \vec{q}) dv = 0$$

$$\Rightarrow \int_v \left(\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{q} \right) dv = 0 \quad \text{此處 } v \text{ 表示意控制體積}$$

$$\text{所以 } \frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{q} = 0 \quad (4.19)$$

將式(4.18)代入式(4.19)可得：

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad (4.20)$$

以上推導為靜止流場中之擴散現象，若在流動流場中則式(4.20)須改寫為：

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad (4.21)$$

其中等式左邊的第二、三、四項為傳導項，等式右邊三項皆為亂流擴散項。

4-3-2 濃度擴散方程式之垂直積分

先做以下二項假設：

1. 海域在垂直方向上混合良好。(Well-Mixed, $\frac{\partial c}{\partial z} = 0$)。
2. 不考慮垂直方向的流速 ($w = 0$)

便可將式(4.21)改寫為

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial c}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial c}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial c}{\partial y} \right)$$

將上式以水深平均的觀念，從海底積分至海面並加入點污染源之影響，濃度擴散方程式可改為

$$\begin{aligned} & \frac{\partial c}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial c}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial c}{\partial y} \\ &= \frac{1}{h+d} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[D_x (h+d) \frac{\partial c}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[D_y (h+d) \frac{\partial c}{\partial y} \right] \right\} + Q_s \delta P \end{aligned} \quad (4.22)$$

上式中 $Q_s \delta P$ 表示點源 P 於單位時間內釋放 Q_s 重量之污染物，其中 δ 表示派衝函數(Delta Function)，定義如下：

$$\delta P = \begin{cases} 1 & \text{at point } P \\ 0 & \text{at other point} \end{cases}$$

如果流場中的某一點持續地排放污染物質，則此點可視為是一種點源(Point Source)。在實際應用時，河流將污染物排入海中，則此河之出海口(Estuary)便可模擬成一個點源。

五、模式應用

5-1 現場調查

5-1-1 位置說明

模式應用現場選定桃園觀音與大園海岸區，此區由南岸的觀音與大園交界至北岸的後厝溪長約 5Km，寬約 1.5km。亦即位於中正國際機場西南邊，附近海岸線略呈外曲弧形，南北向之海岸線約成 140° 夾角。大園區海岸位在突出海岸線之腹端，因此不論是冬季或夏季，在本區所蒐到的海象資料將較不受遮蔽之影響，亦即有較佳的代表性。

5-1-2 海象調查

本調查選定三個測站，測站1 位於外海水深約16米處，測站2 與測站3 則分別位於測站1 之西方與北北東向，水深約21米處，三站略呈等腰三角形，三站位置之經緯度分別為：

測站 1：北緯25度03分30秒，東經121度03分24秒。

測站 2：北緯25度03分20秒，東經121度01分54秒。

測站 3：北緯25度04分36秒，東經121度04分18秒。

根據本開闊平直的海岸區內的調查結果，發現沿岸方向動的趨勢比垂岸方向流動要大很多，其流向約略呈東北東與西南西走向。

至於污染濃度之調查，由於無法做現場實測，本研究乃假設此區中間的河川(老街溪)為污染源，模擬計算污染排放物質受潮汐影響後的擴散狀況，作為日後相關工程規劃之參考。

5-2 邊界條件

大園海岸為一相當開闊平直之海域，本文將觀察區域切割成40個元素，共計149個節點(如圖5.1)。由圖中可看出區域略呈一個長方形，底部為固定邊界，其餘三邊為開放邊界。本區面積相當大，區域內的流況主要是由邊界上的潮流及潮汐狀況所支配。本研究由現有的資料中，選取一個時段的流速與潮位實測值當作已知輸入條件而加以計算，歷時2日(1993年4月2,3日)。資料狀況敘述如後：

在本期間，測站1、測站2、測站3均有流速的實測資料，但水位的實測資料則僅測站2才有。於是本文將測站2與測站3之流速資料做為邊界條件輸入值，測站1之資料則做檢核用。另海岸四週流速的邊界條件則假設與水深具正比關係，潮位的設定則因此區是極寬闊之海域，在不考慮波浪作用的情況下，邊界上水位假設是同時升降的。

至於污染濃度的邊界條件，由於三個開放邊界距污染源（大堀溪）相當遠，所以污染物剛開始排放時，邊界上的濃度可假設為0至於下邊界，由於其為固定邊界，所以可假設(Wang, 1978)。

5-3 穩定性及正確性

由於模式中對於非穩定項為採差分近似，即假設在 Δt 時間內各變數之變化為線性。理論上，這個假設在 Δt 趨近於零時很合理。且求得的近似解將非常接近正確解，但將耗費太多的計算時間與記憶空間。反之，若 Δt 太大時，則其解將不夠精確，亦可能在求解過程中，產生不穩定的現象。

時間積分項若以外顯法則(explicit scheme)處理，則 Δt 的選取必須滿足Courant-Fredrichs-Lewy條件 [Blumberh,1977]，即

$$\Delta t \leq [\sqrt{gD_{\max}}(\frac{1}{\Delta x} + \frac{1}{\Delta y})]^{-1} \quad (5.1)$$

或Courant數不大於5 [Falconer,1986]

$$\frac{\sqrt{gd}}{\Delta x/\Delta t} \leq 5 \quad (5.2)$$

其中， Δx ， Δy ：節點間距。

$D_{\max}$ ：最大水深。

$\sqrt{gd}$ ：長波波速。

若時間積分項以內隱法則(implicit scheme)處理，時間間隔便不受上述條件限制。理論上， Δt 可隨心所欲地增大，但實際上須考慮差分近似的正確性，因此 Δt 之大小仍必須有所限制。Wang [1978] 與 partridge [1976] 認為，在考慮模式正確性的前題之下，時間間隔 Δt 應有下列限制(T 表潮汐週期)：

$$\Delta t \leq T/20 \quad (5.3)$$

對於模式中的時間積分，採用Crank-Nicolson 法(即 $\theta=0.5$)，該法為無條件穩定，僅考慮正確性即可，故 $\Delta t \leq 12$ 小時/20 = 0.6小時。

由於實測資料是每半小時記錄一次，今為求精確並配合實測資料，本研究對時間間隔採 $\Delta t = 10$ 分鐘，即每10分鐘輸入其邊界條件並計算，但每半小時輸出其計算結果一次。

5-4 參數設定

各類參數除了蘊含著不同的物理意義，對於模擬的結果，更有不同程度的影響；本研究為要探討此類參數之影響，乃假設不同的參數值以代入程式中計算並加以比較，以便瞭解其影響程度。

5-4-1 切西係數之設定

切西係數可由曼寧公式定義

$$C = \frac{(h+d)^{1/6}}{n} \quad (5.4)$$

其中 n 為曼寧粗糙度(Manning roughness)，用以決定海底床之摩擦力，一般均使用 $n=0.035$ [Falconer,1986]。惟為簡化問題，可假設切西係數為常數。一般而言，切西係數對模擬結果影響不大 [Blumberg,1985]，本研究取為 $70(m^{1/2}/s)$ 。

5-4-2 E 值的設定

忽略風及科式力的假設情況，分別以 $E = 100, 200, 500, 1000$ 等代入模式後計算出區域內各點之流速與水位，再將測站1處之計算結果與該點之實測值比較，如圖5.2 ~5.4 計算其標準偏差，即

$$\sigma^2 = \sum (\text{計算值} - \text{實測值})^2$$

計算結果： σ_u^2 分別為0.316 , 0.086 , 0.921 , 1.358

σ_v^2 分別為0.103 , 0.093 , 0.112 , 0.378

σ_h^2 分別為0.952 , 0.134 , 2.642 , 3.459

由於結果可發現其標準差之共同最小值為當 $E = 200(m^2/s)$ 時，往後計算即用此值。

5-4-3 風剪力之探討

當確定 $E=200$ 及 $C=70$ 後，分別假設不同的風速大小 $w=10, 20, 30(m/s)$ 及吹風方向，算出測站1之流速，並計算其與無風時之流速差值所占最大實測值之影響百分率，分別得如圖 5.5 - 5.6 所示。其中，

$|U_w|, |V_w|$ ：風速為 w 時之橫向及縱向流速之量值。

$|U_w=0|, |V_w=0|$ ：不考慮風速時之橫向及縱向流速之量值

U_{max}, V_{max} ：實測值中橫向及縱向流速之最大值。

β ：吹風方向與正 x 軸之夾角。

圖中顯示：即使在最大風速 $w=30(m/s)$ 時，其影響亦不過約 $\pm 10\%$ ；風速 $w=20(m/s)$ 時，影響則只有 $\pm 4\%$ 。

5-4-4 科氏力之探討

在忽略風速的情況下，分別計算有科氏力時之流速，並計算其差值所占最大實測值之影響百分率，藉以評估其重要性(圖5.7)，由該圖可知其影響極小，僅約 $\pm 1\%$ ，是故應可忽略。圖中，

$|U_f=0|$ ：不考慮科氏力時之橫向流速量值。

$|U_f|$ ：考慮科氏力時之橫向流速量值。

5-4-5 亂流擴散係數之設定

一般係由現場調查或水工模型試驗資料分析而得。本文採用黃煌輝(1980)之研究結果，即台灣沿海的亂流擴散係數其平均值為 $5(m^2/s)$ 。

六、結果與討論

(一)風浪授受係數對預報波高之影響

由於風浪授受係數(ξ)對波浪能量之計算結果影響很大，是故過高之 ξ 值將得過量之波高預報結果，反之亦然。針對此點，乃就各種不同之 ξ 值代入模式計算並繪出其對預報結果之影響如圖6.1.a至c所示。由此些圖可看出，當由0.002增至0.007時， χ^2 值由132.18遞減至36.81後再回昇至51.45。此種U型反應曲線顯示最佳之 ξ 值可以求得。於是乃進一步作 ξ 值與預報波高之適合度的變化關係曲線如圖6.2.a及b，其中b圖係a圖中矩形範圍內之放大圖形，由該圖可發現，b點為最佳適合度之所在，是故本區海域之風浪授受係數為在0.00475左右應可確定。

(二)風浪授受係數對預報週期之影響

如同上節所述，風浪授受係數對預報週期結果亦將有所影響，圖6.3.a至d顯示 ξ 之變化對週期之預報結果影響很有限。

(三)風速、風向與波高間之關係

根據前二節所得之結果可以認定本區海域之風浪授受係數應在0.00475左右應無問題，乃應用之進一步作出本區波浪預報之時間變化圖如圖6.4a及b。經與風速時間變化圖(如圖6.5)及風向時間變化圖(如圖6.6)加以比對可以發現，本北部地區海岸於冬季(2月)時期，風向固定於東北(NE)與東北東(ENE)之間，風速在10-15m/s間，波浪則在3-4m間。且風起浪升，風降浪減，浪對風之立即反應至為明顯，此更足說明本區沿岸勁風對風浪生成之影響的重要性。

(四)經應用前章所訂定之參數值代入以計算本海域區流場中各點之流速並繪成各時刻之流況圖(如圖6-1至6-4)中之流速分佈。由該些圖可看出此區之海流變化是均勻且規則的。其方向在外海大致為平行於海岸的；靠近陸地時，由於水深淺，底床摩擦力較大，且受到沿岸幾何形狀的影響，其流況稍顯紊亂。另外，受潮汐影響約每六小時反方向流動一次。

(五)由流速之模擬結果代入濃度變化計算程式，並假定污染源為河口時，可得到相對應之污染濃度分佈圖（如圖6.7至6.10）中之濃度分佈。由該些圖中可明顯地看出：當開始計算時，污染物剛排出，污染的區域較小。時間長久後，污染區域變大，污染物逐漸擴散到邊界；時間更長後，整個區域都佈滿污染物質並達於平衡狀態。同時，若對照當時的流況圖，亦可發現污染物會隨著潮流漲落而使等濃度線左右移動。此些計算結果，雖無實測資料可供驗證（事實上亦難有此污染變化實測資料），但仍不失符合實際物理現象。

(六)對於污染放流模擬方面，今假設污染於外海不同水深（約10m及15m）處排放時，在同樣的潮汐條件下觀察其污染擴散分佈分別如圖6.11a-d 及圖6.12a-d 所示。由上列各圖中顯示：排放口置於外海時，由於距岸較遠且流速大傳導作用較強，污染物質大多被潮汐帶至本區之外而不易擴散到陸地上，所以對沿岸生態影響較小。

(七)濃度程式中，亦有研究者不設定邊界上的點源之量 Q_s ，而改採假設此源之濃度一直維持在某定值100%。但由於此法不給定單位時間內所排放之污染量，故無法看出污染排放量與濃度間之關係。且此法係假設在點源上濃度永保飽合（即100%）故無法模擬污染剛排放時之前期狀況。實際上，點源之濃度為隨污染之不斷排放而遞增，而此法假設點源濃度為定宜，較不符合真實物理情況。

(八)邊界條件對模擬結果影響很大；以污染擴散模擬言而，邊界上假設為 $\partial c / \partial n = 0$ 時，雖不表示通量為0（因尚有水流帶動之傳導項 $\vec{u} \cdot \nabla C$ ），但此邊界條件是否真能反映實際海域狀況，仍是問題。事實上，邊界條件之設定應考慮當地之海流狀況、模擬區域之幾何形狀與面積大小、排放口之位置，其至污染物之種類（是否會與周遭環境起交互作用）及其擴散特性（如是否為衰減物質）等，值得深入研究。

七、結論與建議

- (一) 台灣北部海岸風向、風速、季節變化可分為三種型態，每年十月至次年之二月為東北季風型，六至八月為夏季西南季風型，其它月份為春、秋轉換型。
- (二) 北部海域之波浪情況在冬天時非常惡劣，觀音地區之波浪紀錄 $H_{1/3}$ 超過2 米之比例佔全部觀測時間60%以上，許厝港波高則較小，觀測期間的 $T_{1/3}$ 值多在7-9秒間。
- (三) 各次觀測期間 H_{max} 與 $H_{1/3}$ 間有良好之線性關係，迴歸分析結果顯示最大波約為指示波的1.44倍。
- (四) 全部觀測期間之絕對最大 H_{max} 達7.9米，當時之 $H_{1/3}$ 為6.7米，發生時的天氣型態為大陸有強大高壓而台灣南部海域有颱風通過，造成東北風增強所到致。
- (五) 不論觀音或許厝測站，海流中均以潮流為主要成份，流向每日有四次變化。而潮流又以半日週潮為主，全日週潮次之，半日潮能量大於全日潮能量。
- (六) 觀音地區之海流較許厝港為大，但兩地測站之最大流速均有100cm/s以上的紀錄。
- (七) 行進向量圖之結果顯示觀音海域海水長期走向為北向，而許厝港三個測站則各自有所不同。

(八)許厝港至觀音燈塔之間的水域之水深調查結果顯示等深線大致與海岸線平行，許厝港東北東方向之水域水深變化較大。全區域之10米水深線約離岸1 公里，25米等深線則離岸2.5-3 公里。

(九)利用已往與現在所蒐集到的衛星影像資料，配合當時的潮汐數據，可瞭解海岸地區土地之變遷。同時在未來資料蒐集更充份時，可發展出海岸線與潮位之間的模式關係。另外衛星遙測在海象判釋如波向、波長、折射、繞射、污染物擴散、流況等的應用仍有很大的發展潛能。

(十)流況模擬方面，由於風剪應力對橫向與縱向流速之影響量大致相等，且都不大，可多忽略。此外，科氏力對流況模擬的影響亦相當小，故亦可以忽略。至於亂流粘滯係數值之採用宜加謹慎，因其對模擬結果之準確性影響很大。就本研究區域而言，應用之最佳 E 值為 $200(m^2/s)$ 。

(十一)對污染擴散模擬而言，海域內的污染分佈與水流狀況同作週期性變化乃為必然現象。本研究，位於外側部分由於水流較強，污染物容易被帶離；但靠岸處則水流很弱，且流向會受底床地形及邊界的影響，故較不一致。致污染物需要較長時間才會擴散開來。

(十二)在海洋放流中，當管口延伸得愈遠離岸邊，除了污染物較不易回流而達陸地外，其也較會被外海較強之海流所帶離或稀釋，對於海岸生態之破壞將可大量降低。

(十三)開放邊界上之濃度的邊界條件之設定對模擬結果影響不小，其處理方法可先規劃一個相當大的區域(大到污染擴散無法達到)，先做一次模擬(此時令邊界條件為 $C=0$)，得出內部濃度後以做為小區域之開放邊界條件，再做第二次模擬，將可得到較正確之模擬結果。

(十四) 本文所採用之污染擴散係數值(D)係由實驗得出並取為定值，事實上D值是與流況相關的；故如何由理論的方式著手以建立出D 值與流況之關係為一值得嘗試之課題？

(十五) 由於本海域漁事活動頻繁，以往中油台電等單位進行各項調查或作業工程時，常與當地漁民常生糾紛。因此未來如欲進行進一步之開發計畫，對此方面之阻力應多加考量。

參考文獻

1. 梁乃匡、張金機、林柏青："七十一年度台灣北部海岸環境調查報告"，台灣省交通處港灣技術研究所專刊第13號，1983。
2. 梁乃匡、張金機、蘇青和、林柏青、王克尹："七十二度台灣北部海岸海洋環境調查報告"，台灣省交通處港灣技術研究所專刊第17號，1984
3. 王胄、陳慶生："CBK海域海象調查報告"台灣大學海洋研究所專刊第46號, April, 1985。
4. 王胄、陳慶生、吳基、陳俊賢："CBK海域海象調查報告"台灣大學海洋研究所專刊第48號, Oct., 1985。
5. 楊德良，林寬心："有限元素法在二維流場上之應用"，第三屆水利工程研討會論文集，頁223-240，民國75年5月。
6. 楊文衡、李耀輝："瞬變層流中之渦流擴散係數"，第十三屆海洋工程研討會論文集，頁556-568。民國80年11月。
7. 蕭葆意、蔡榮森、柯允沛："海面溢油擴展數值模擬的研究"，第十三屆海洋工程研討會論文集，頁570-583，民國80年11月。
8. 楊文昌、黃榮鑑："河口流場傳輸及污染質擴散的數值研究"，第十二屆海洋工程研討會論文集，頁353-363，民國79年11月。
9. 黃煌輝、楊春生、唐公群、李德藩："大氣影響下之溫排水擴散二維數值模式分析"，第八屆海洋工程研討會論文集，頁19-41，民國74年10月。

10. Blumberg, A.F.: "Numerical Tidal Model of Chesapeake Bay", J. Hydraulics Division, ASCE, Vol. 103, No. HY1, pp.1-10, 1977.
11. Blumberg, A.F. and L.H. Kantha: "Open Boundary Condition for Circulation Models", J. Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 197, No. 2, pp. 237-255, 1985.
12. Chu, W. S., B. L. Barker and A. M. Akbar: "Modeling Tidal Transport in the Arabian Gulf", J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol. 114, No. 4, pp. 455-471, 1988.
13. Falconer, R. A. : "Water Quality Simulation Study of a Natural Harbor", J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol. 112, No. 1, pp. 15-34, 1986.
14. Falconer R.A., D. G. George and P. Hall: "Three Dimensional Numerical Modeling of Wind-Driven Circulation in a Shallow Homogeneous Lake", J. Hydrology, 124, pp. 59-79, 1991.
15. Gopalakrishnan, T.C.: "A Moving Boundary Circulation Model for Regions with large Tidal Flats", International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 28, pp. 245-260, 1989.
16. Kawahara, M. and K. Hasegawa: "Periodic Galerkin Finite Element Method of Tidal Flow", International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 12, pp. 115-127, 1978.
17. Liu, P. L-F. and G. P. Lennon: "Finite Element Modeling of Nearshore Currents", J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Division, ASCE, Vol. 104, No. WW2, pp. 175-187, 1977.

- 18.Ou, S. H.: "Parametric Determination of Wave Statistics and Wave Spectrum of Gravity Waves, Dissertation No.1., Tainan Hydraulic Laboratory, NCKU, 1977.
- 19.Ponce, V. M. and S. B. Yabusaki: "Modeling Circulation in Depth-Averaged Flow", J. Hydraulics Division, ASCE, Vol.107, No.HY.11,pp.1501-1516,1981.
- 20.Tingsanchali T., S. Vongvisessomaji and G. J. Hwang: "Stability Analysis of Two-Dimensional Depth-Averaged Model", J. Hydraulic Engineering, Vol.115, No.9, ASCE,pp.1204-1222, 1989.
- 21.Wang, J.D.: "Real-Time Flow in Unstratified Shallow Water", J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Division, ASCE, Vol.104, No.WW1, pp.53-69,1978.

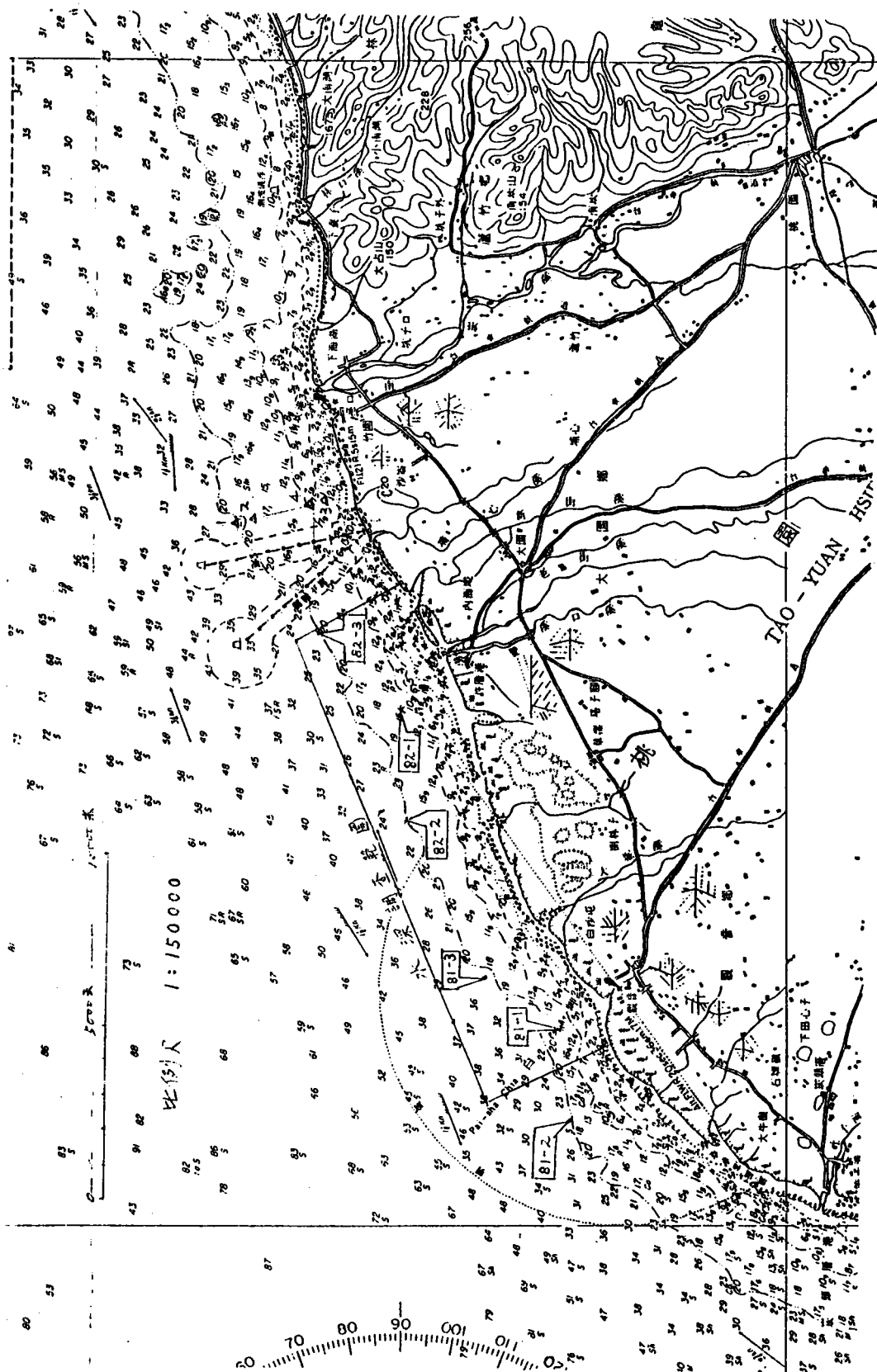


圖 2.1 海象測站位置圖

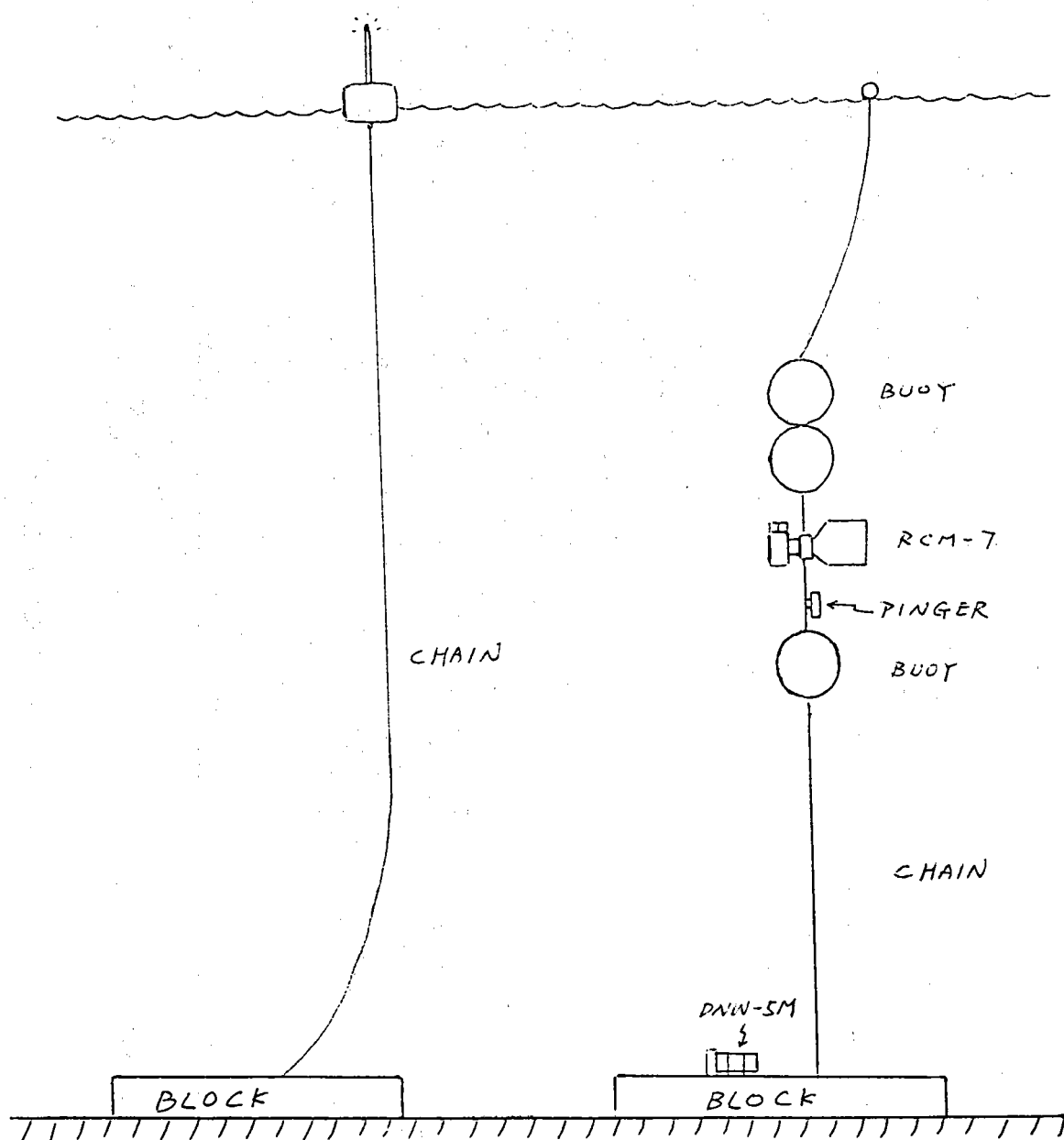


圖 2.2 海象觀測儀器錨碇圖

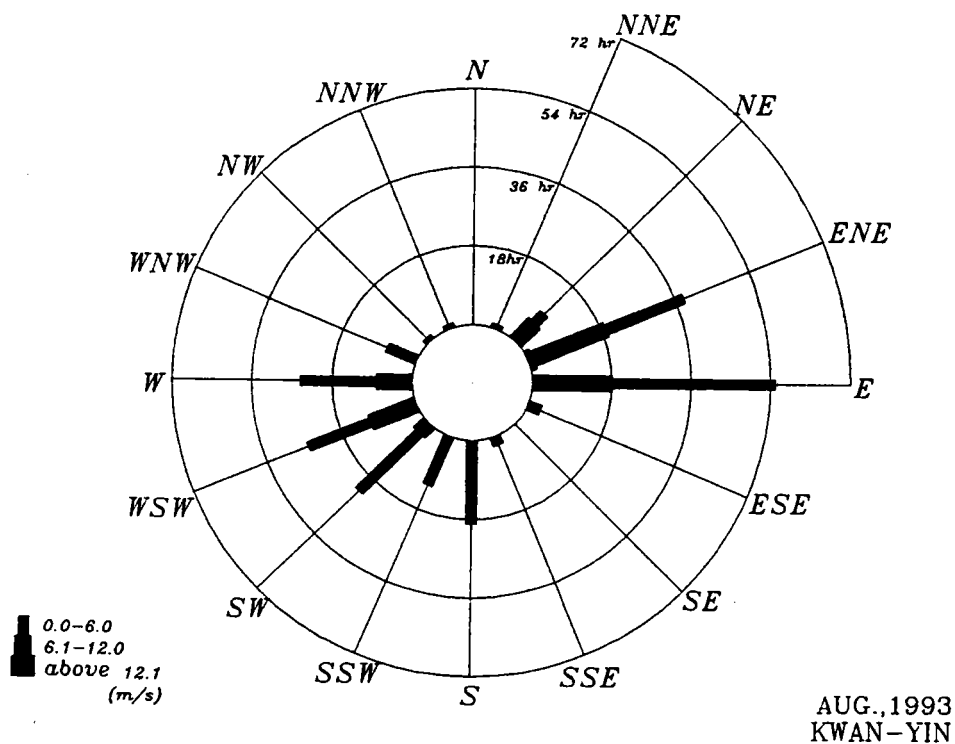
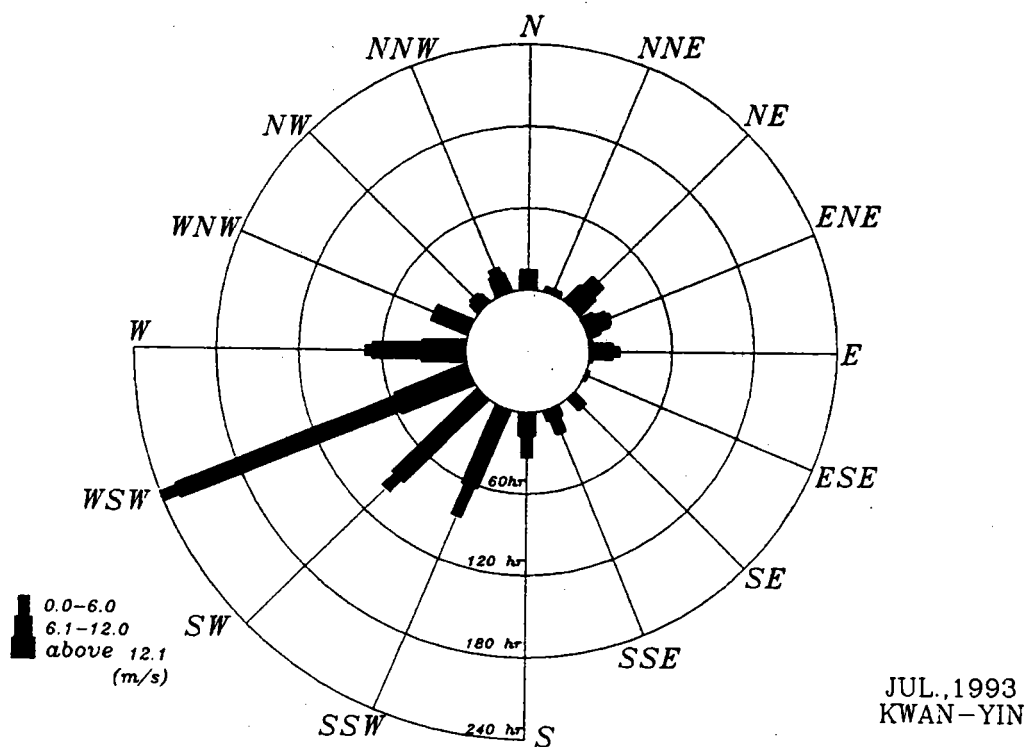


圖 3.1.a 風觀測逐月風玫瑰圖

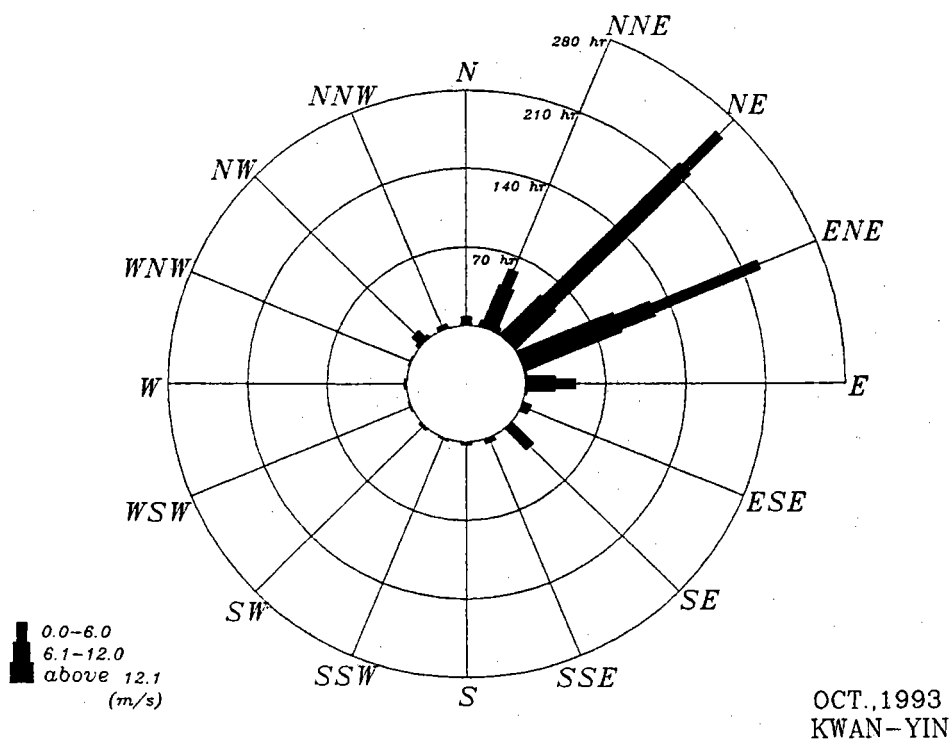
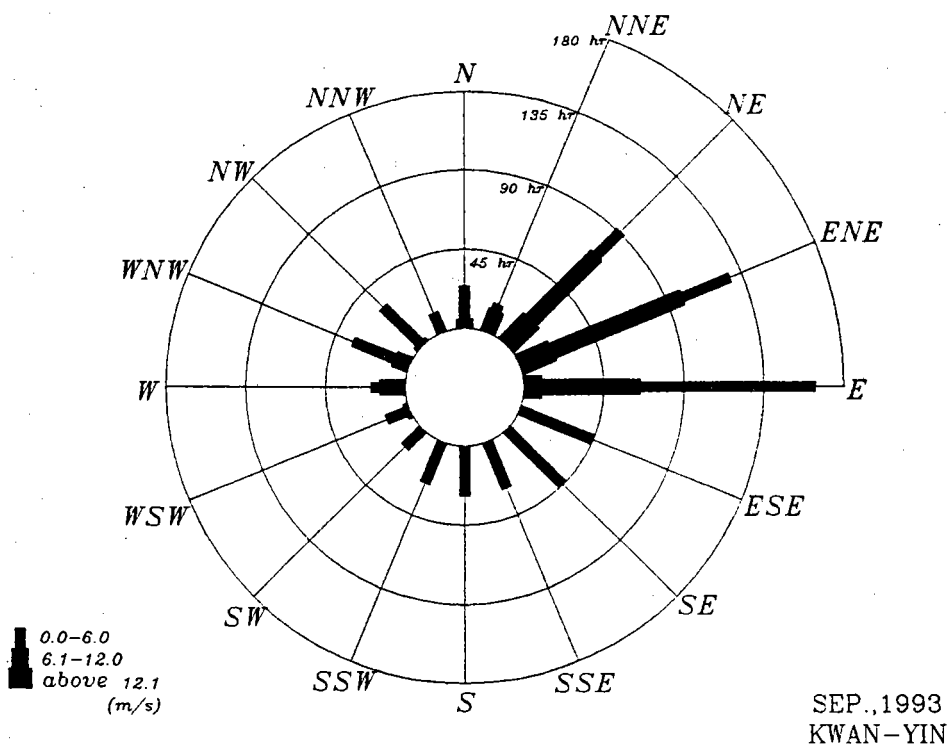


圖 3.1.b 風觀測逐月風玫瑰圖

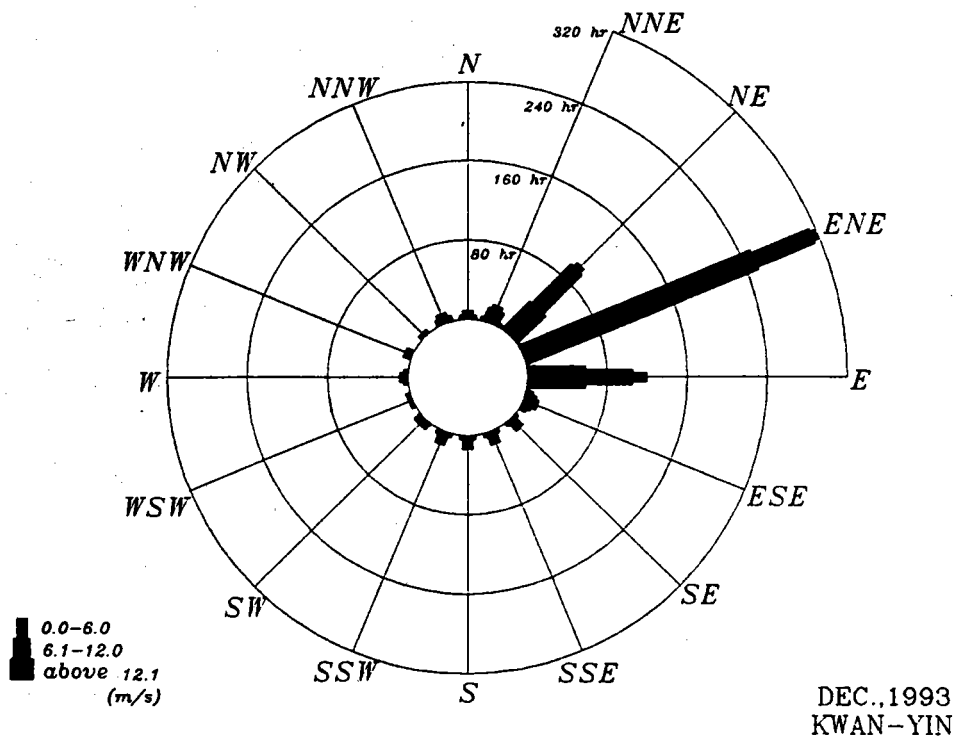
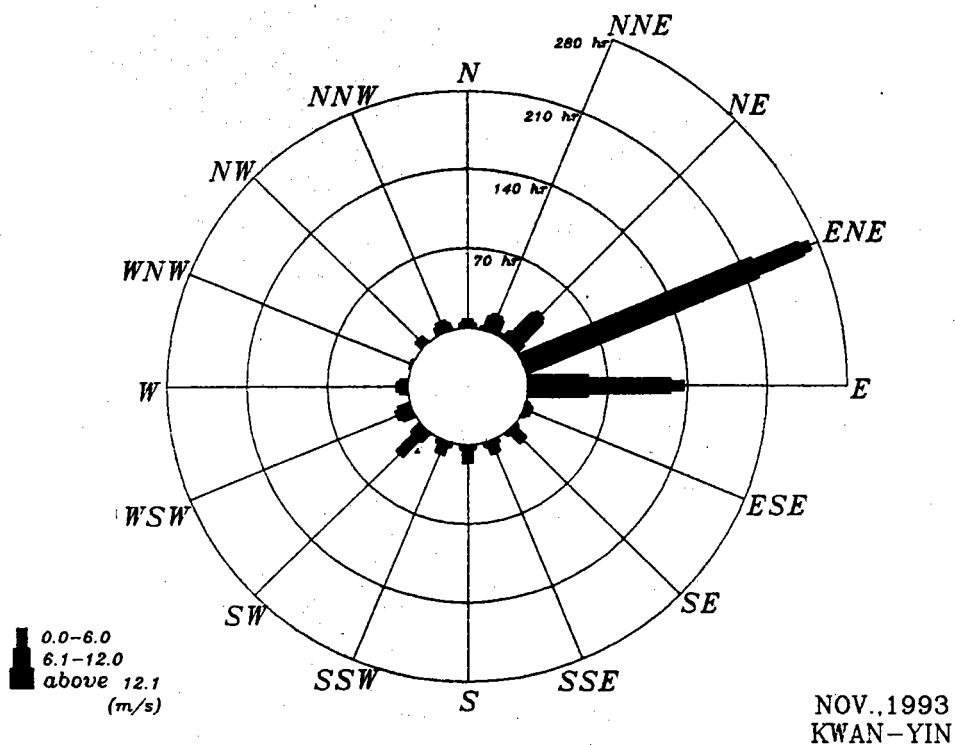


圖 3.1.c 風觀測逐月風玫瑰圖

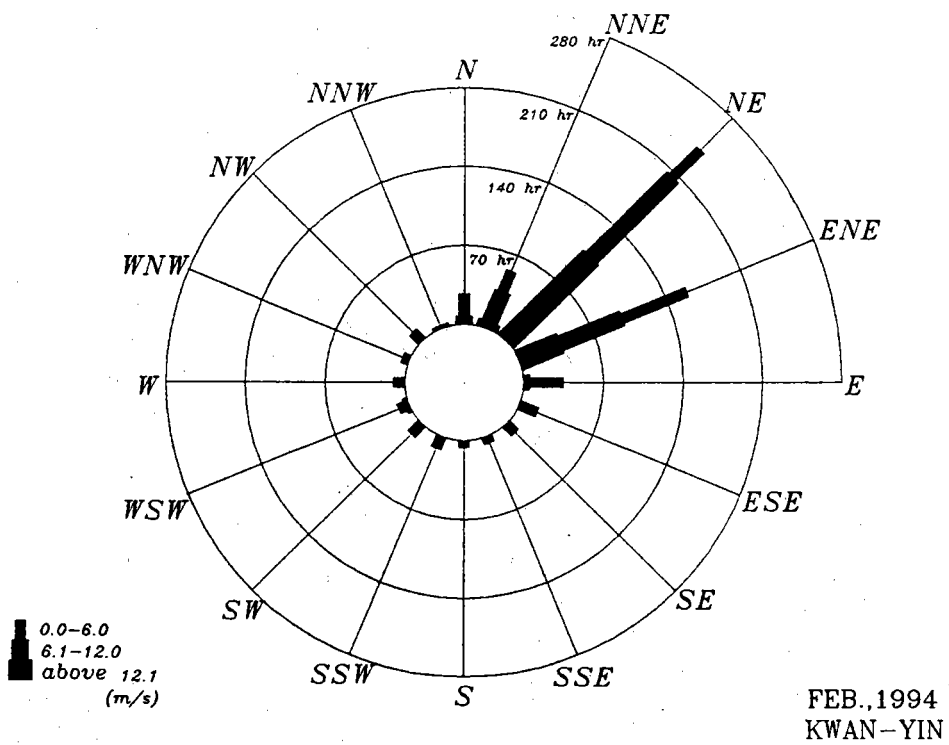
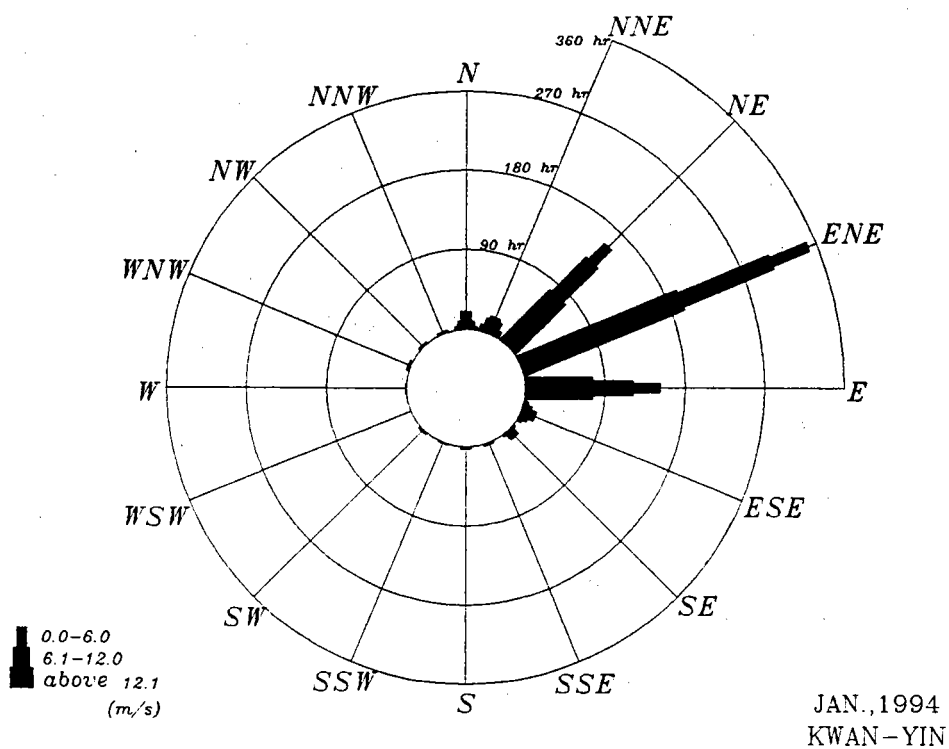


圖 3.1.d 風觀測逐月風玫瑰圖

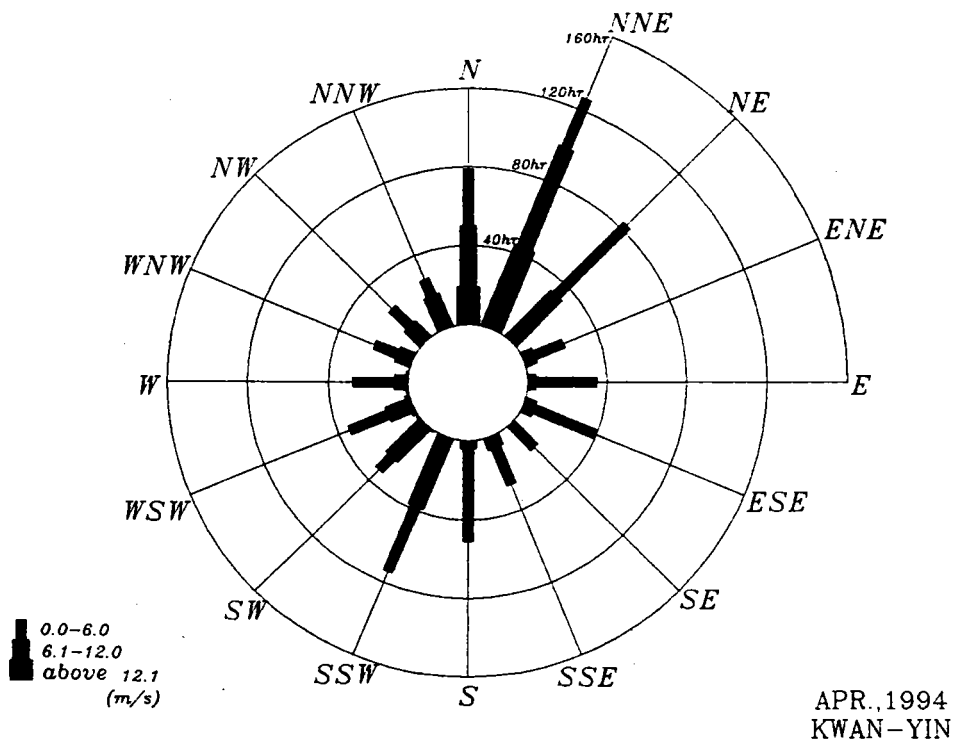
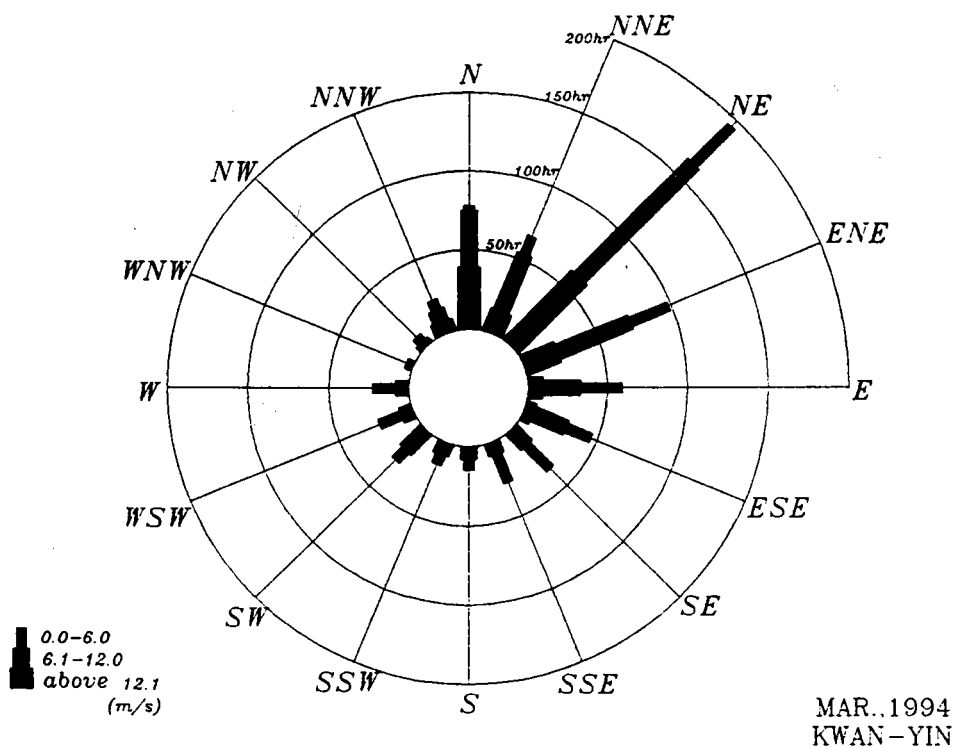


圖 3.1.e 風觀測逐月風玫瑰圖

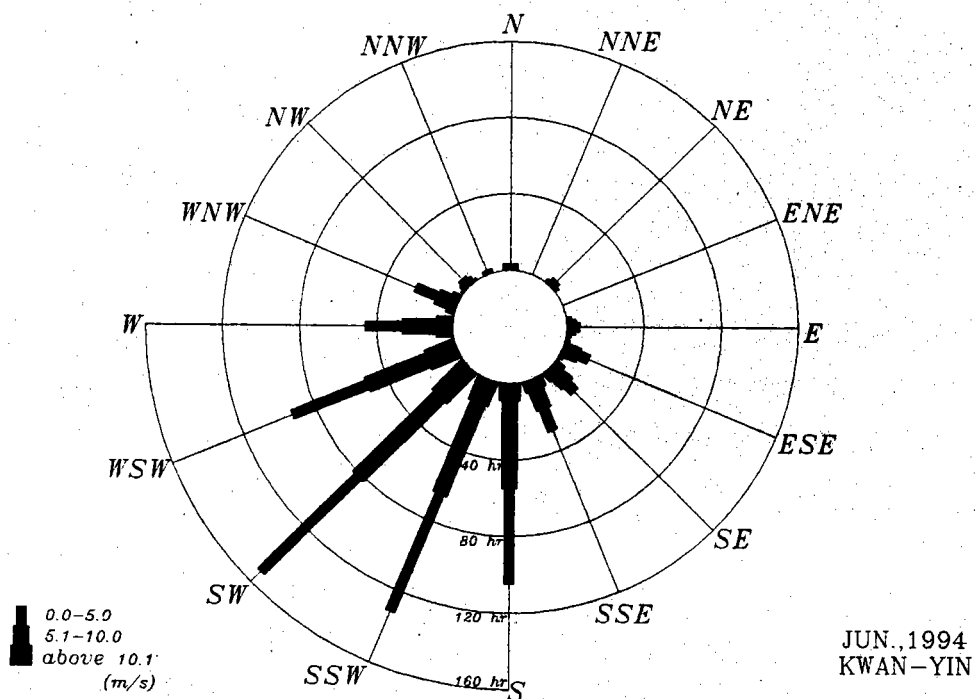
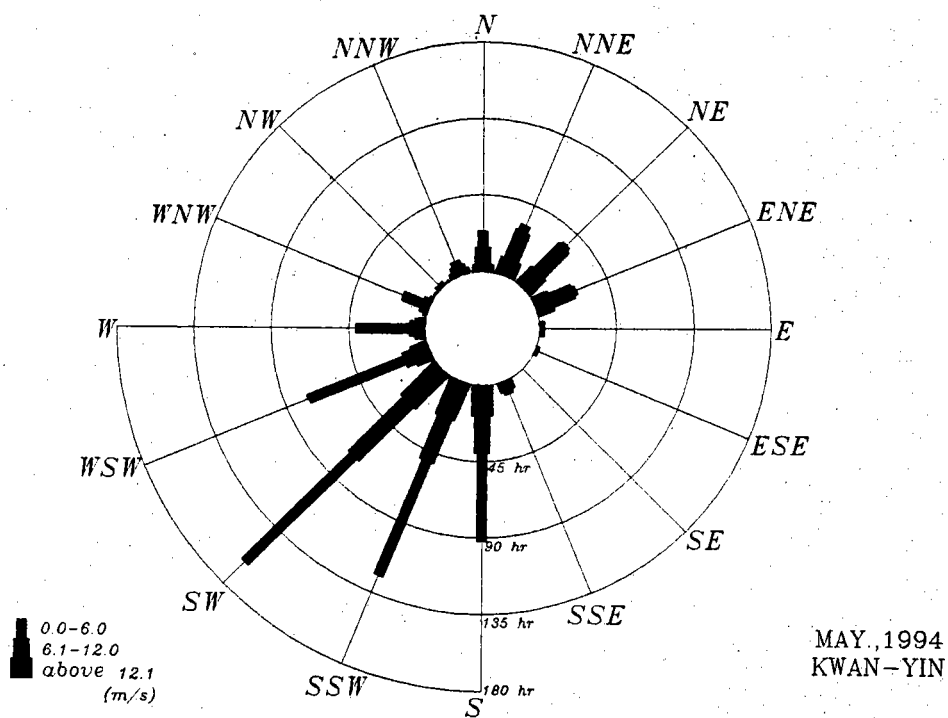


圖 3.1.f 風觀測逐月風玫瑰圖

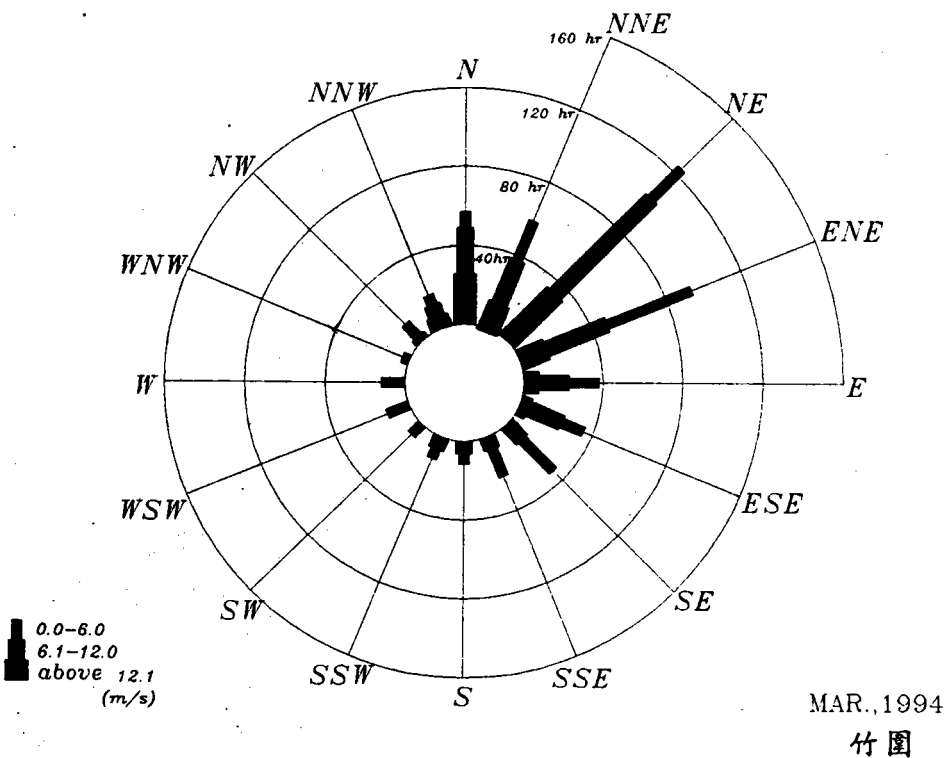
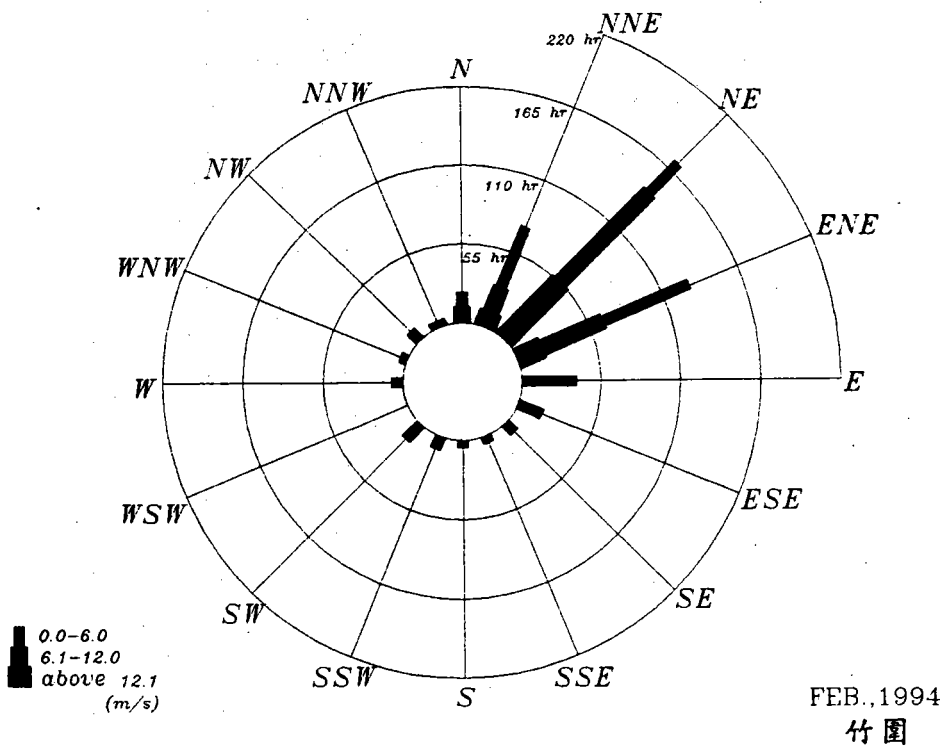


圖 3.1.8 風觀測逐月風玫瑰圖

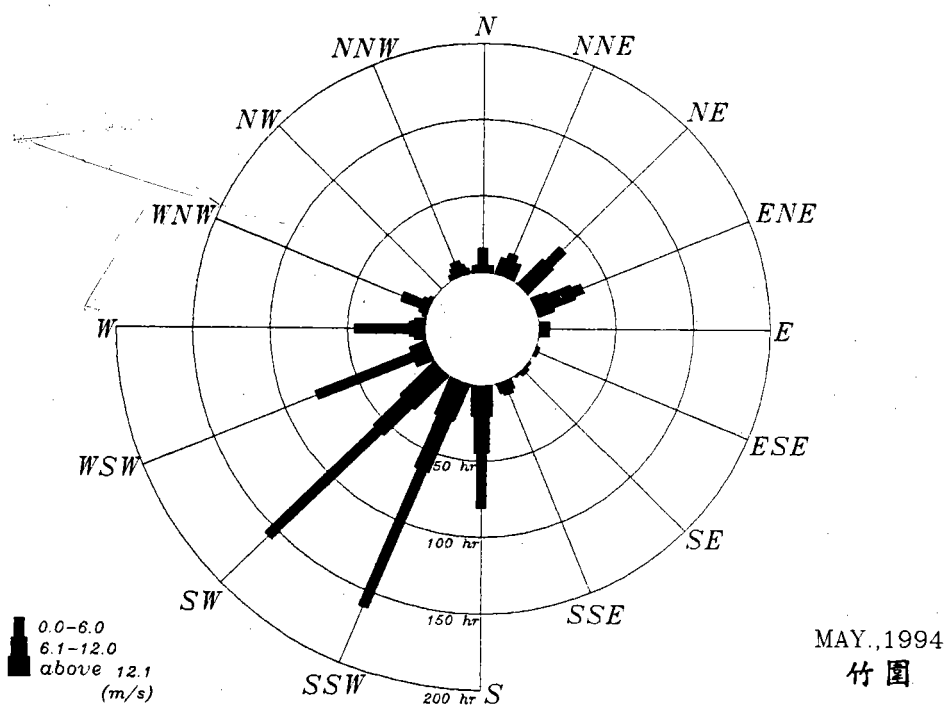
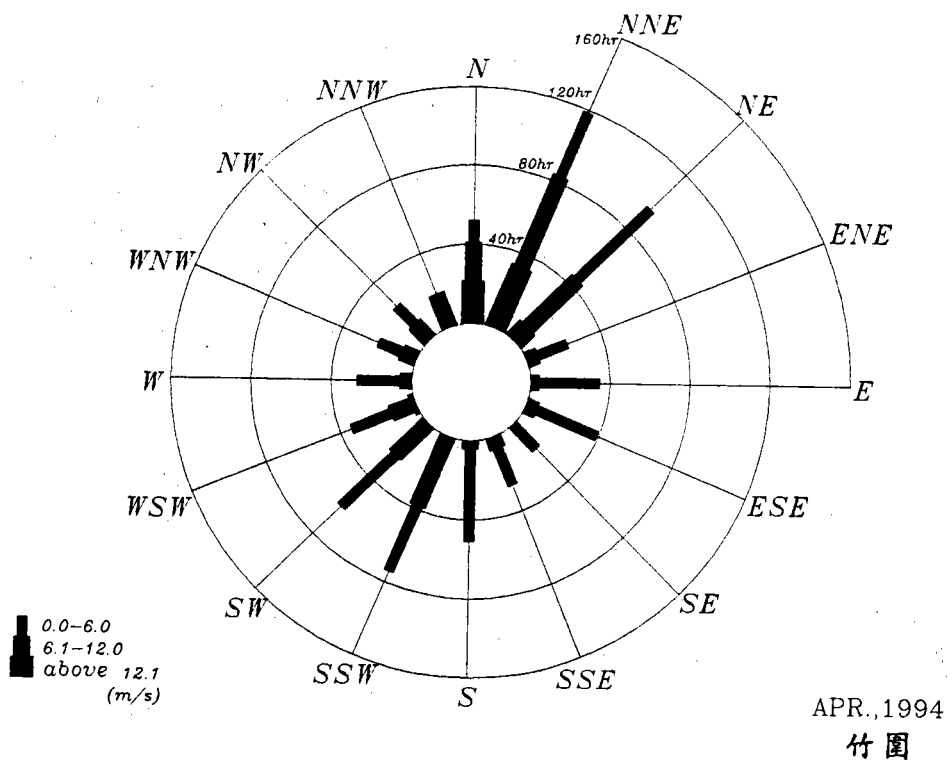
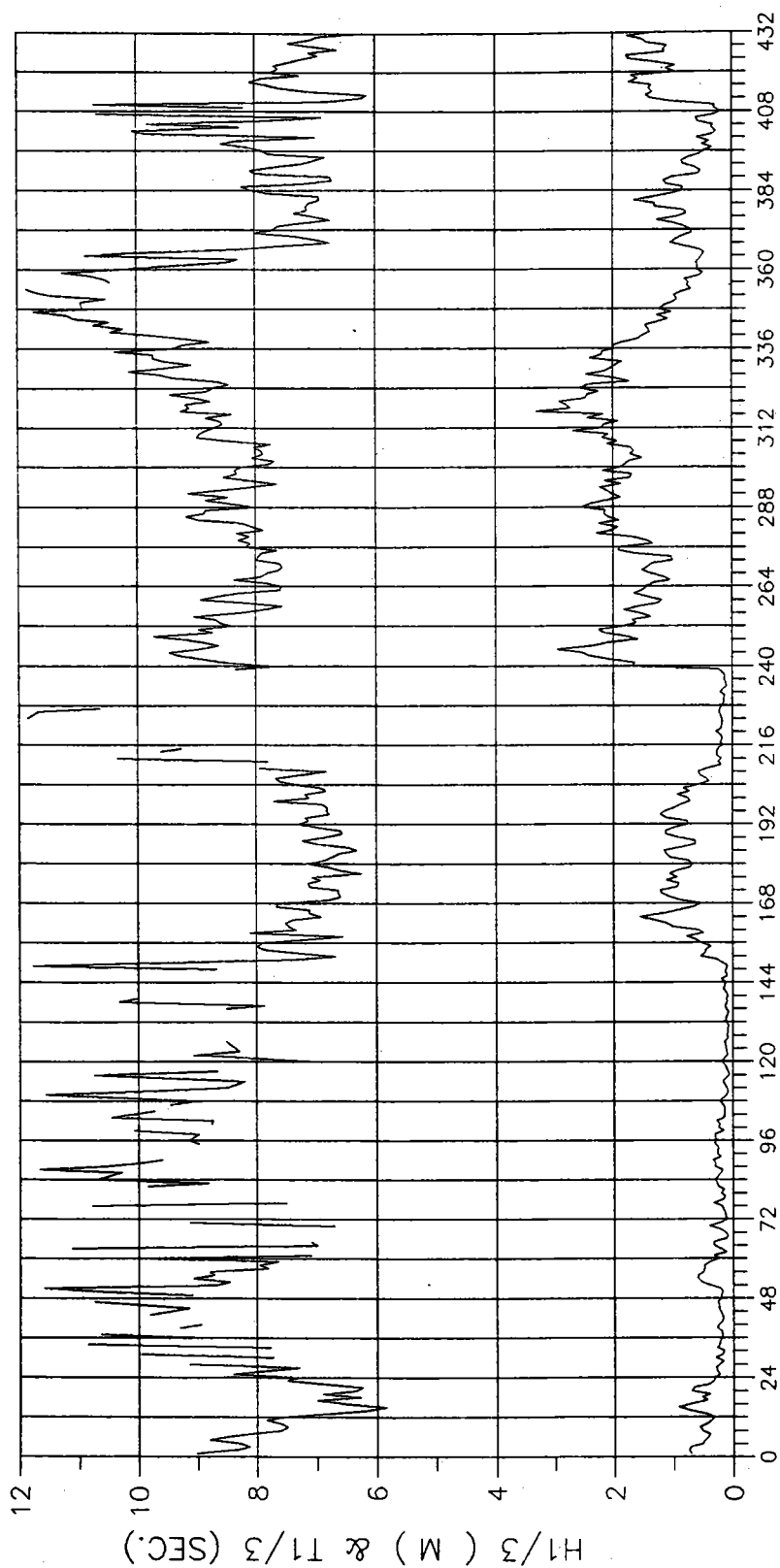
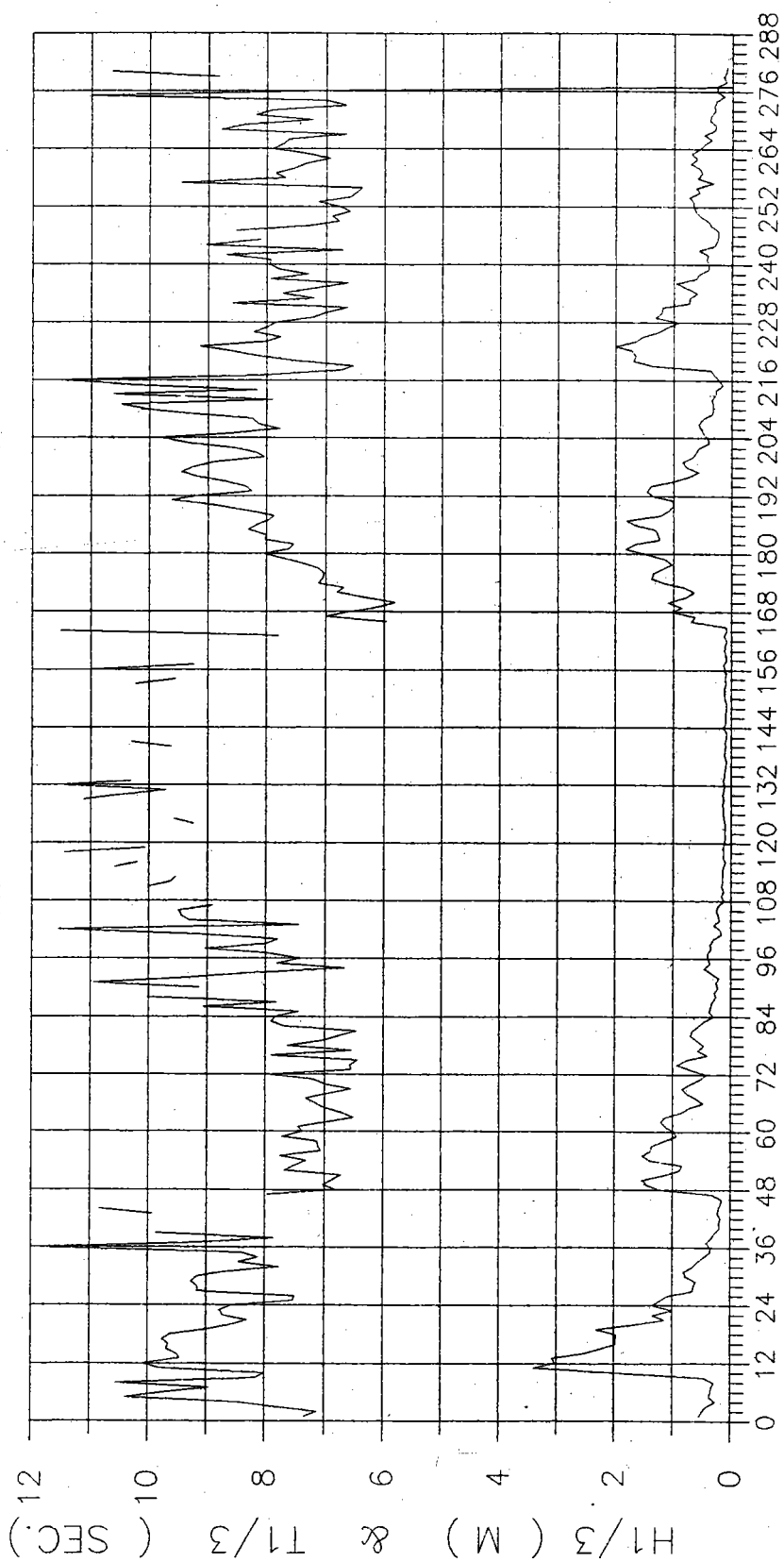


圖 3.1.h 風觀測逐月風玫瑰圖



TIME (x 2 HOURS) 1993 0910 0900 - 1016 0900 ST.83-1

圖 3.2.a 波浪統計 $H_{1/3}$, $T_{1/3}$ 時序圖

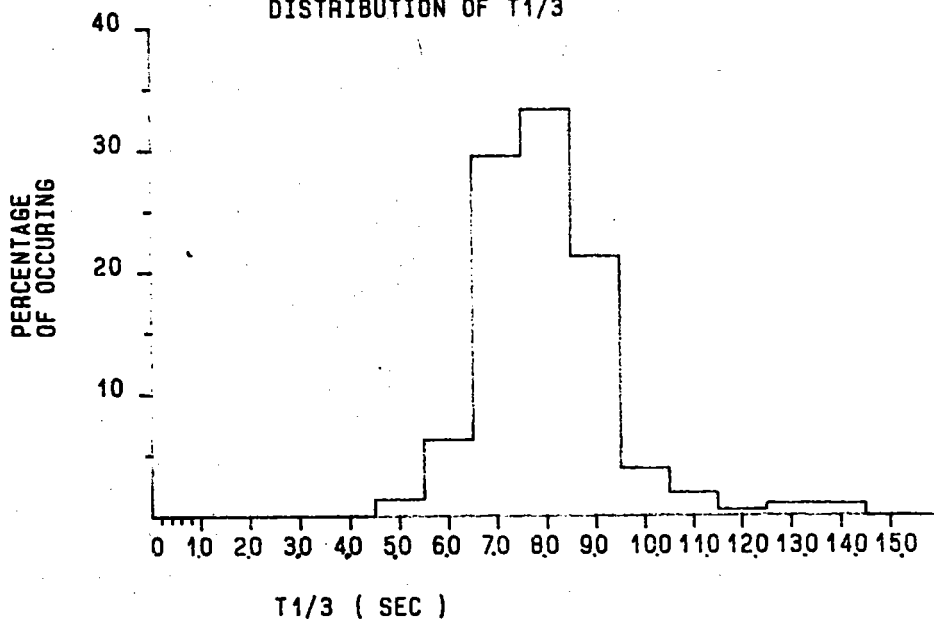


TIME (X 2HOURS) 1994 03/25 1600 - 04/18 0000 ST.83-1

圖 3.2.b 波浪統計 $H_{1/3}$, $T_{1/3}$ 時序圖

HISTOGRAM

STATION : 83 - 1
TIME : 1993 0910 - 1016
DISTRIBUTION OF T1/3



HISTOGRAM

STATION : 83 - 1
TIME : 1993 0910 - 1016
DISTRIBUTION OF H1/3

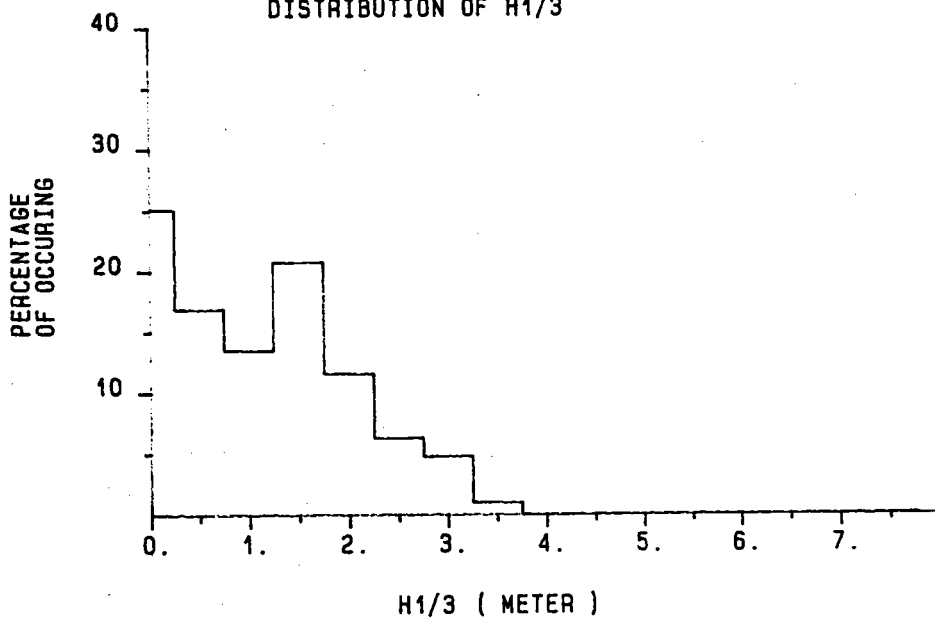
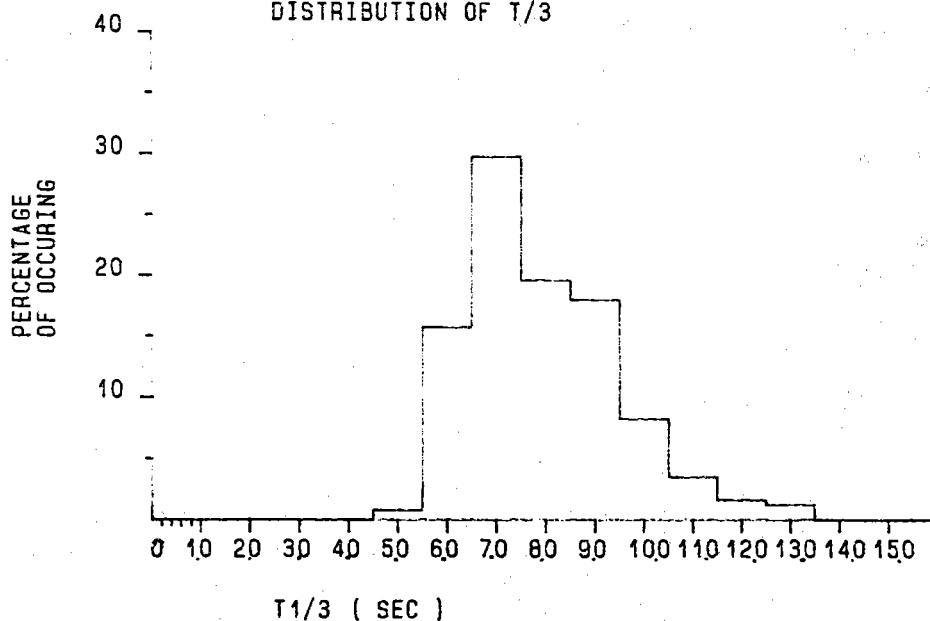


圖 3.3.a 波浪統計直方圖

HISTOGRAM

STATION : 83 - 1
TIME : 1994 0325 - 0419
DISTRIBUTION OF T/3



HISTOGRAM

STATION : 83 - 1
TIME : 1994 0325 - 0419
DISTRIBUTION OF H1/3

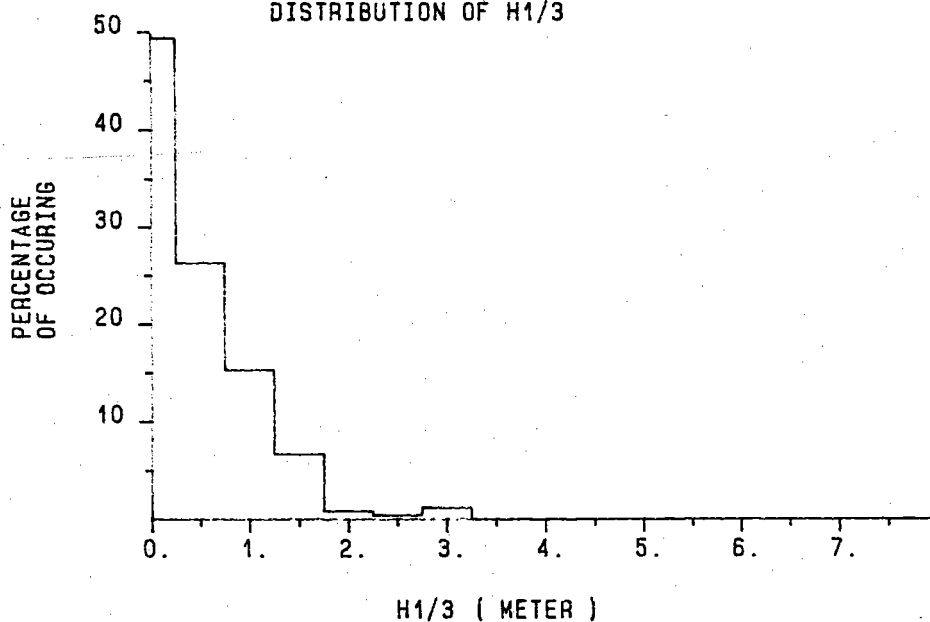


圖 3.3.b 波浪統計直方圖

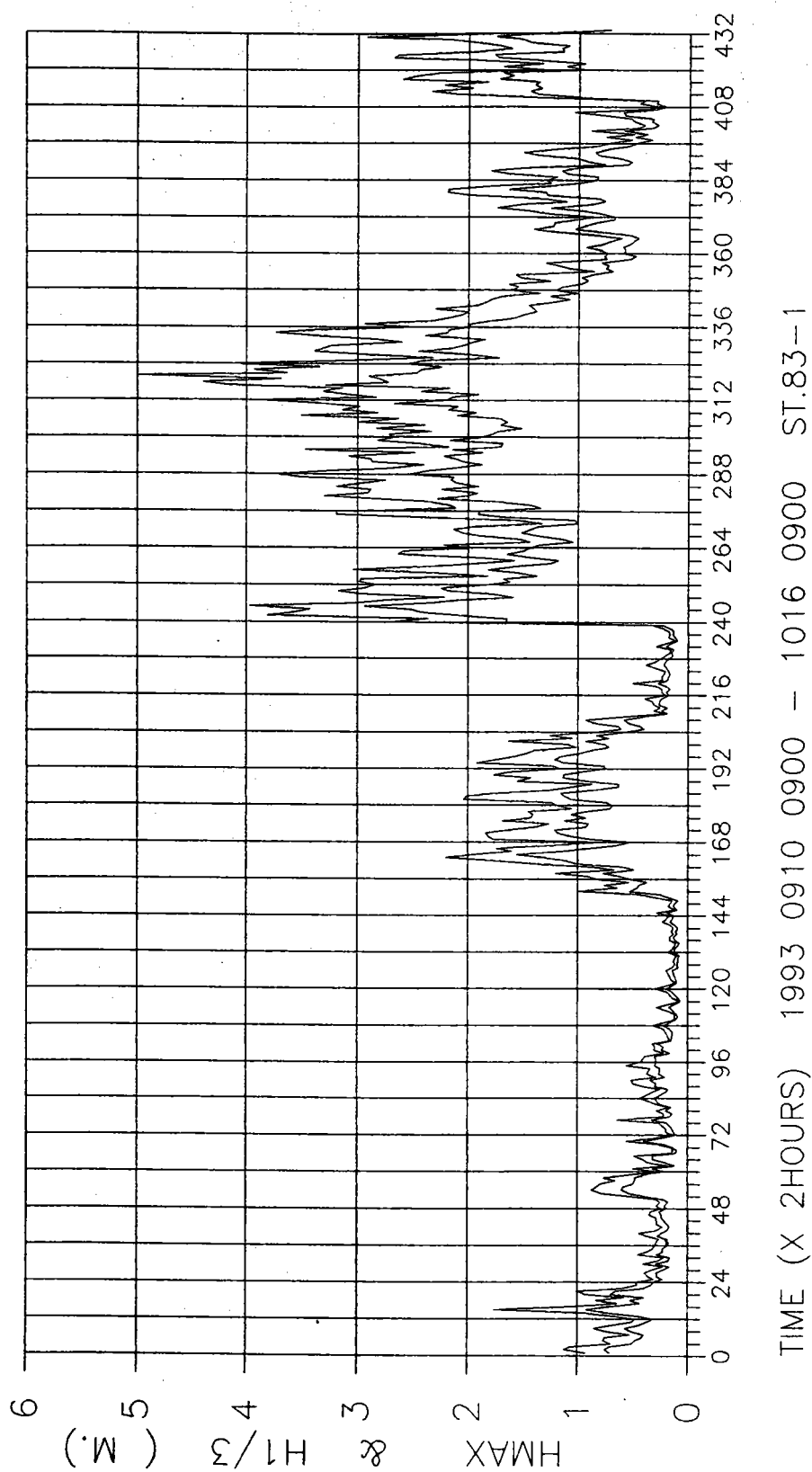


圖 3.4.a 波浪統計最大波與 H_{1/3} 時序圖

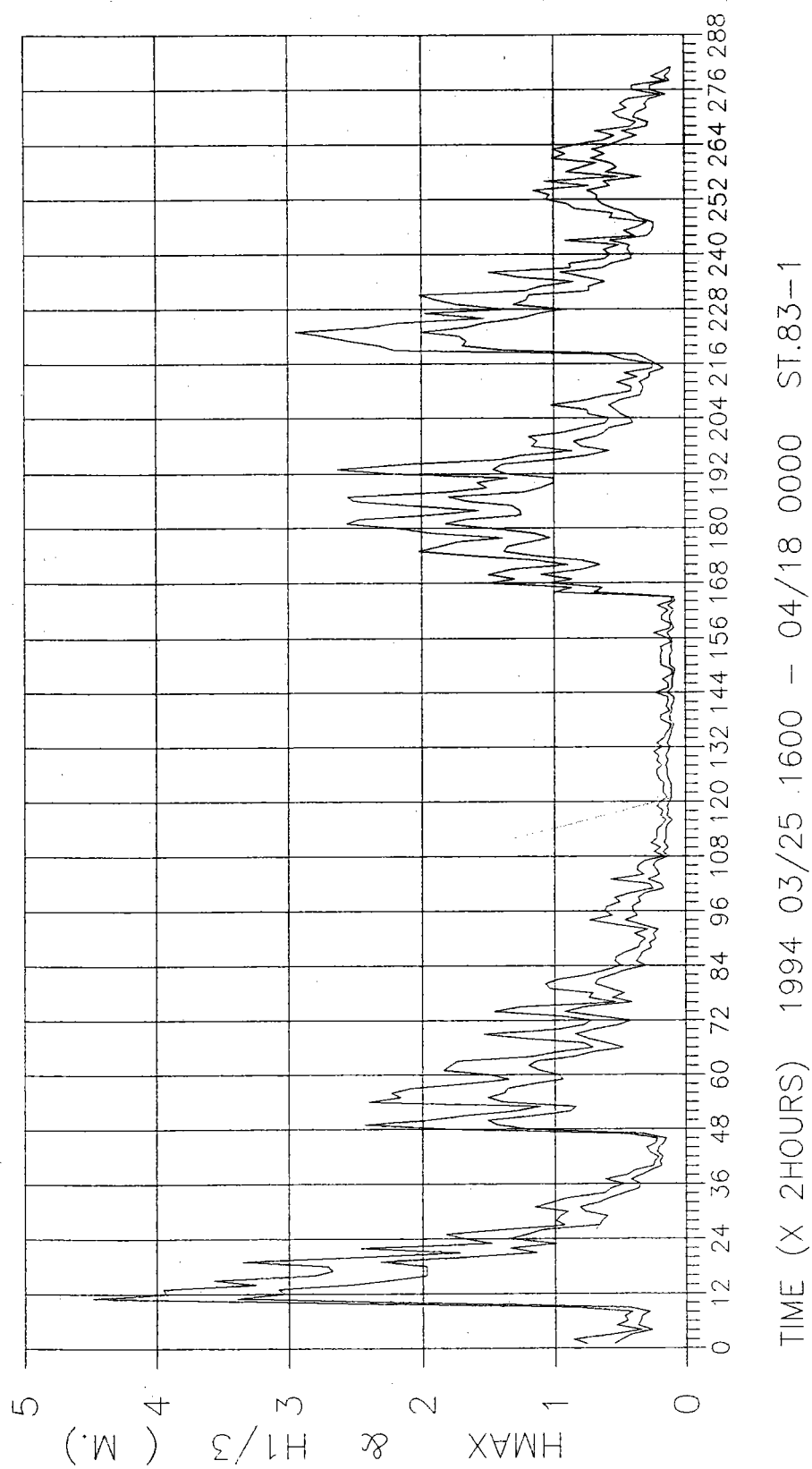


圖 3.4.b 波浪統計最大波與 $H_{1/3}$ 時序圖

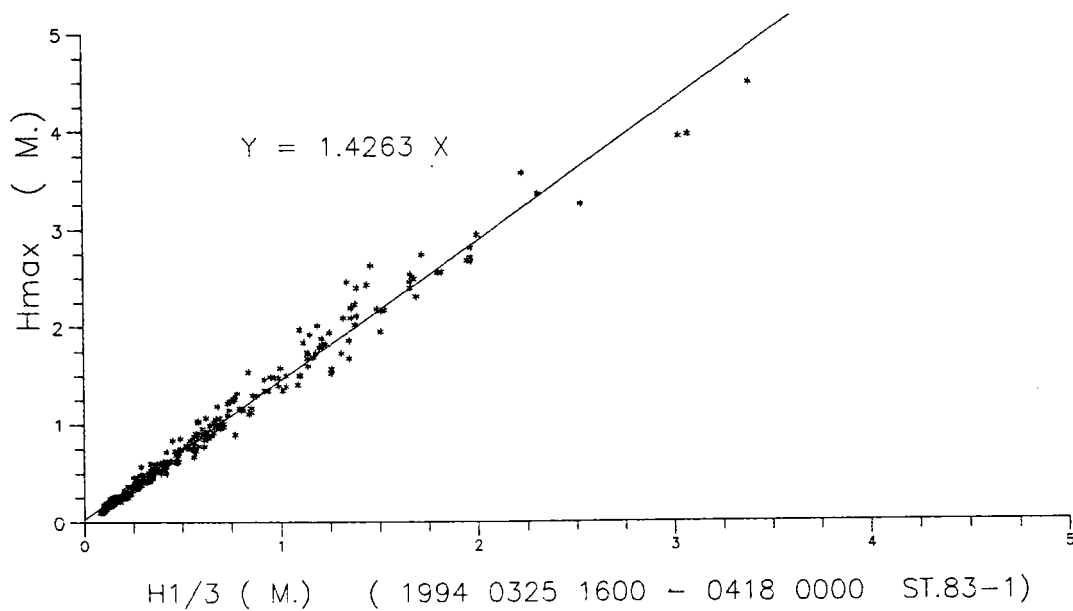
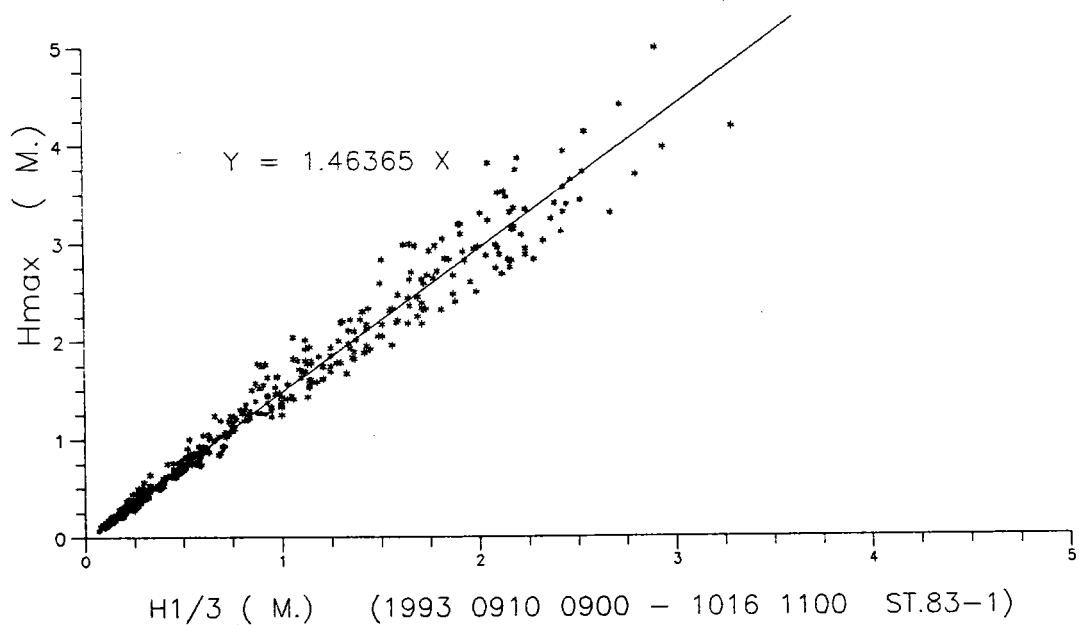


圖 3.5 H_{max} 與 $H_{1/3}$ 迴歸圖

WAVE DATA OF ST.83 - 1 1993 0925 1300

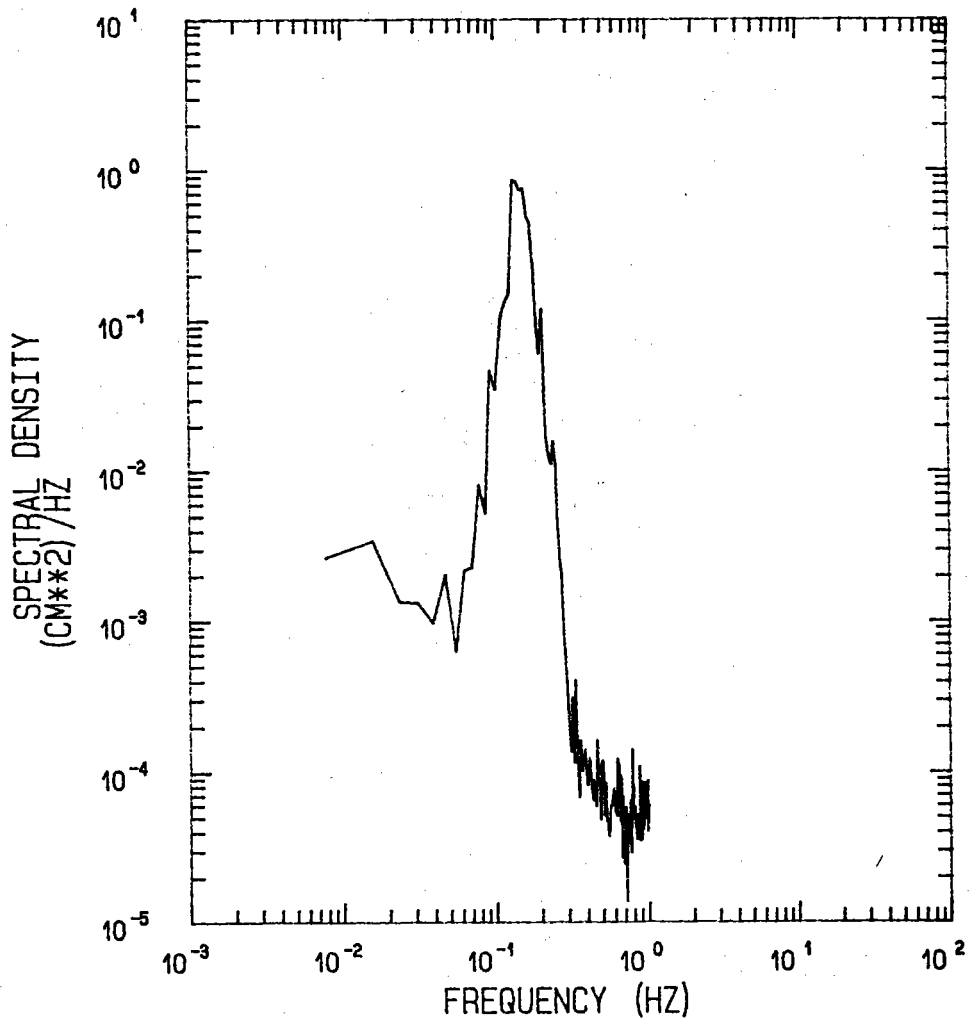


圖 3.6.a 波浪能譜密度圖

WAVE DATA OF ST.83 - 1 1993 0930 1700

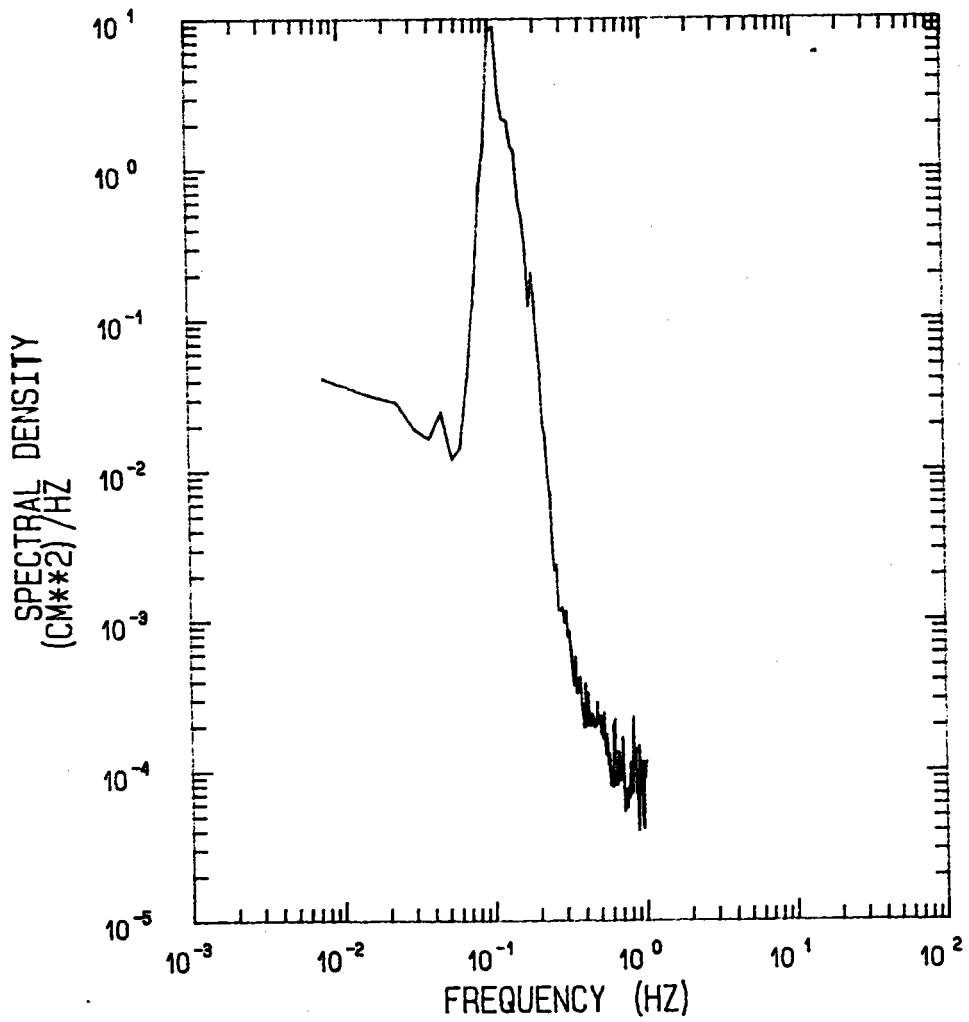


圖 3.6.b 波浪能譜密度圖

WAVE OF ST.83 - 1 1994 0326 1800

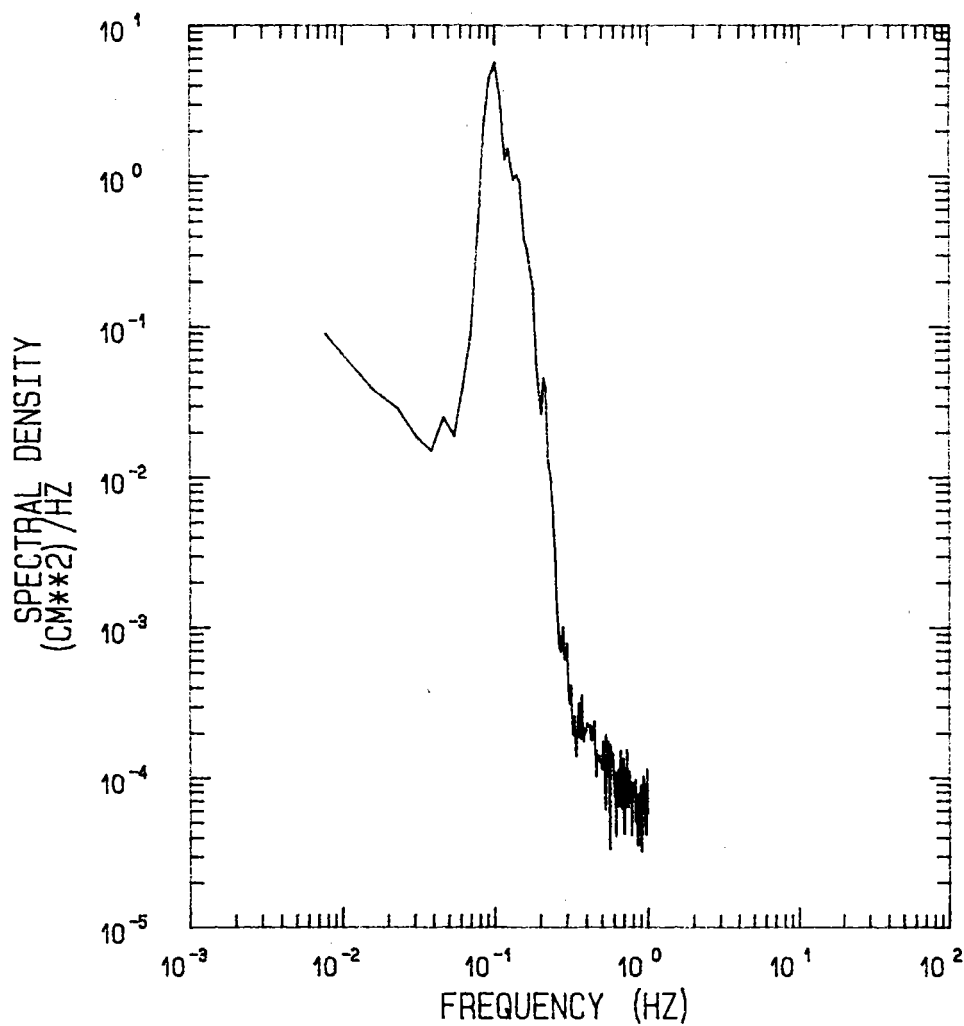


圖 3.6.c 波浪能譜密度圖

WAVE DATA OF ST.83 - 1 1994 0327 0400

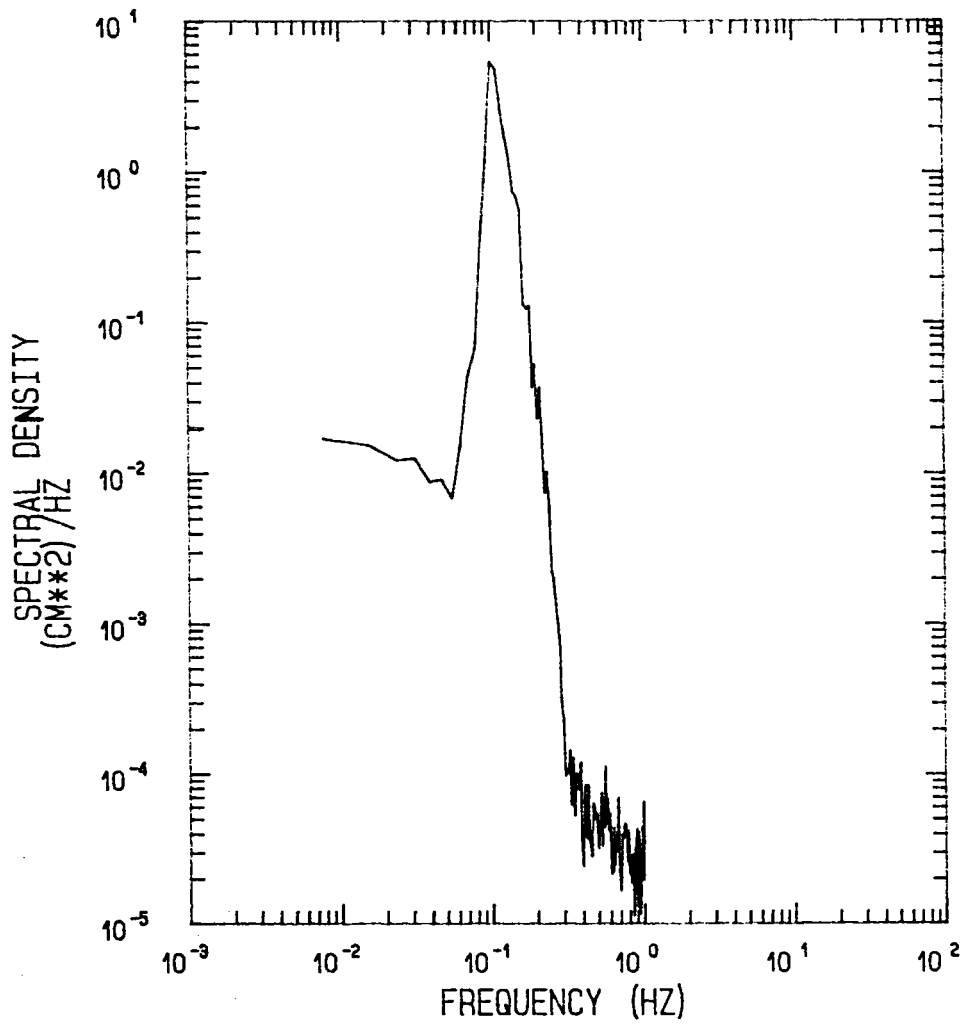


圖 3.6.d 波浪能譜密度圖

WAVE DATA OF ST.83 - 1 1994 0410 0200

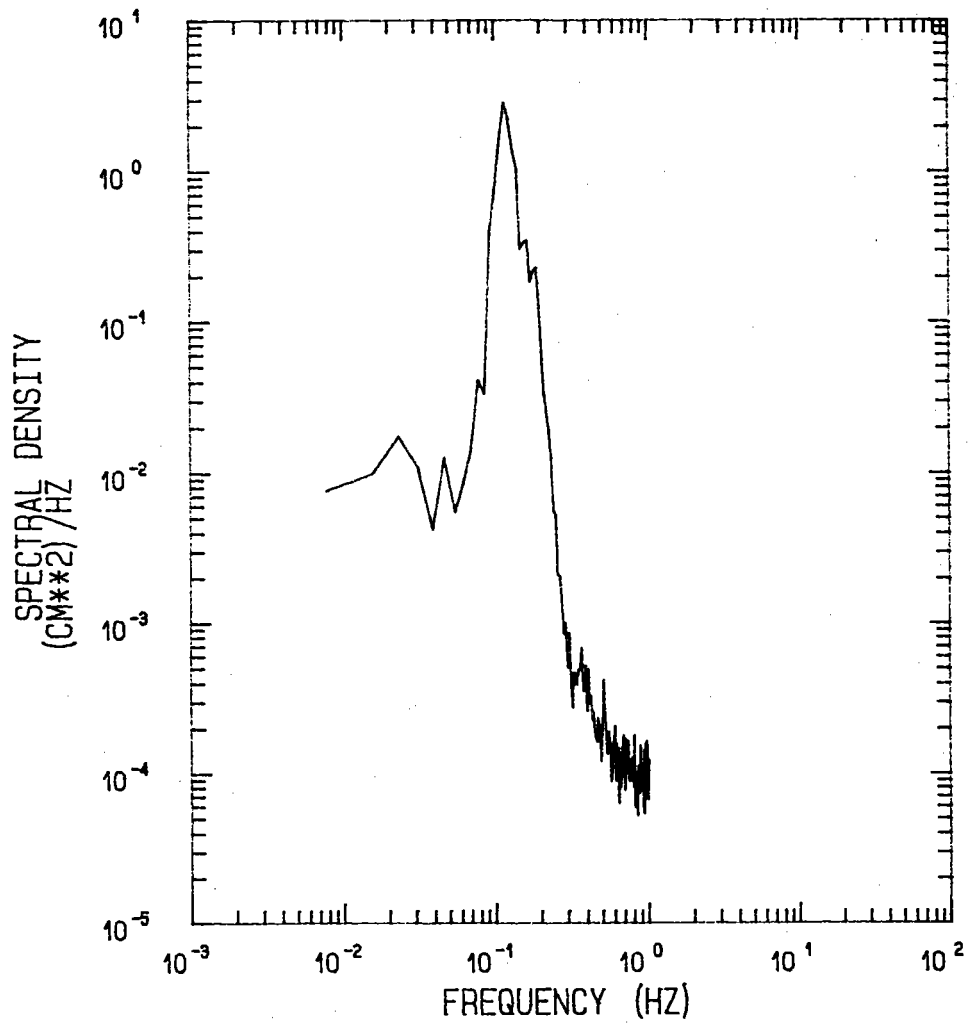


圖 3.6.e 波浪能譜密度圖

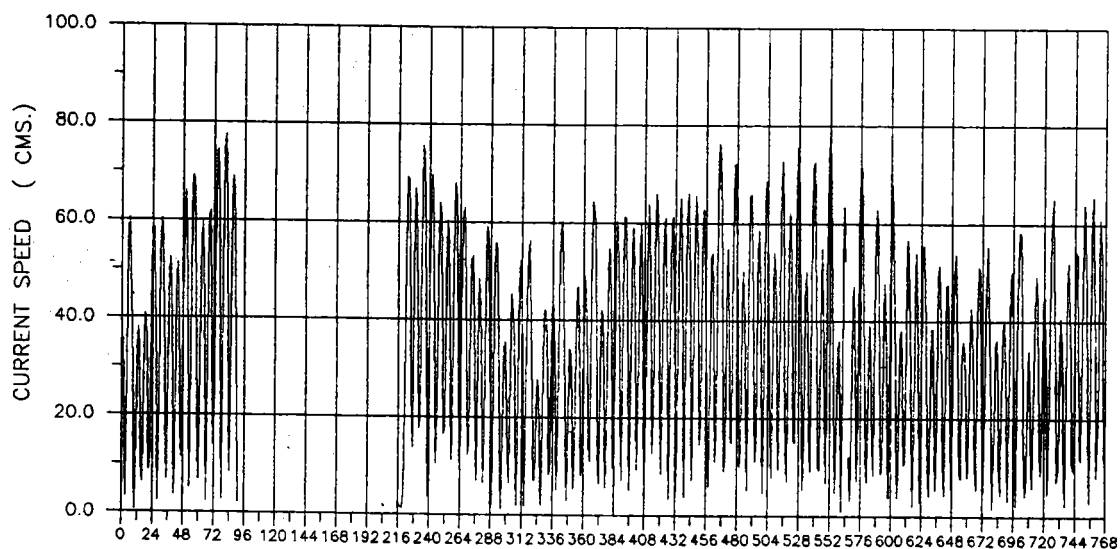
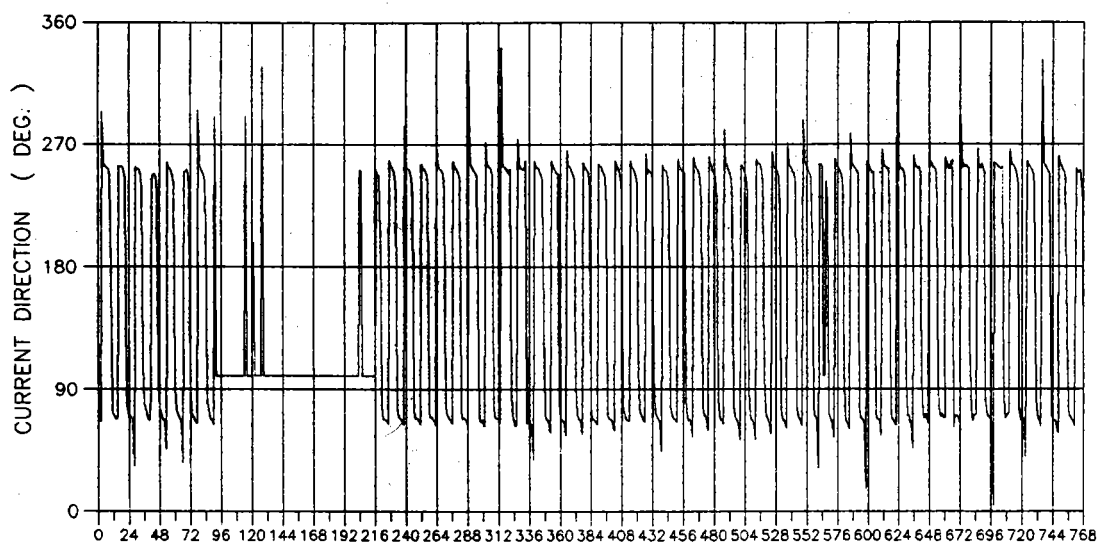


圖 3.7.a 實測海流時序圖

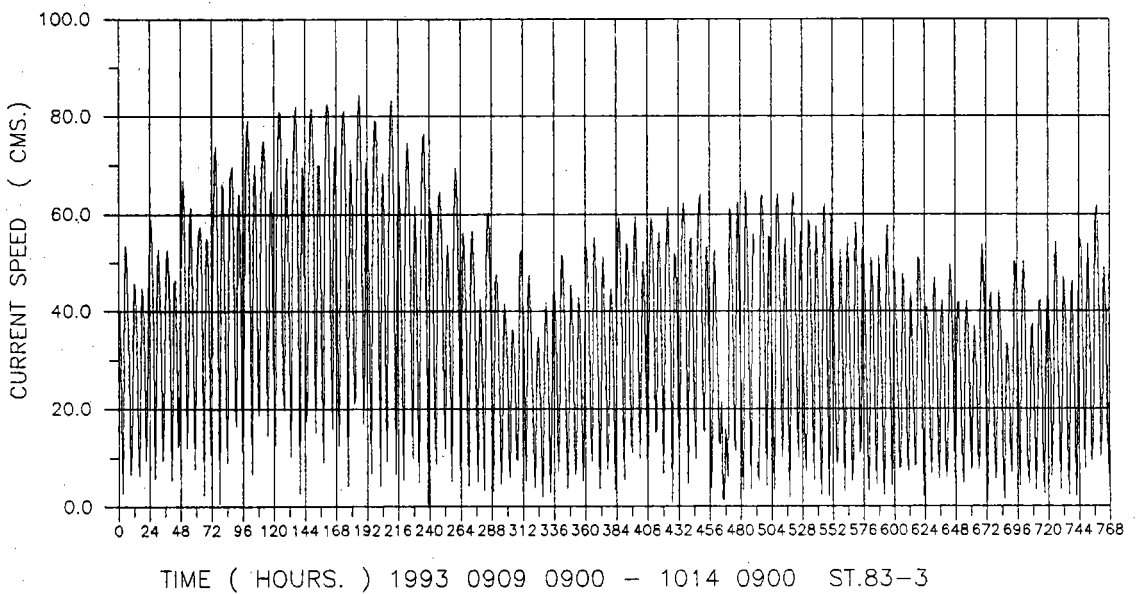
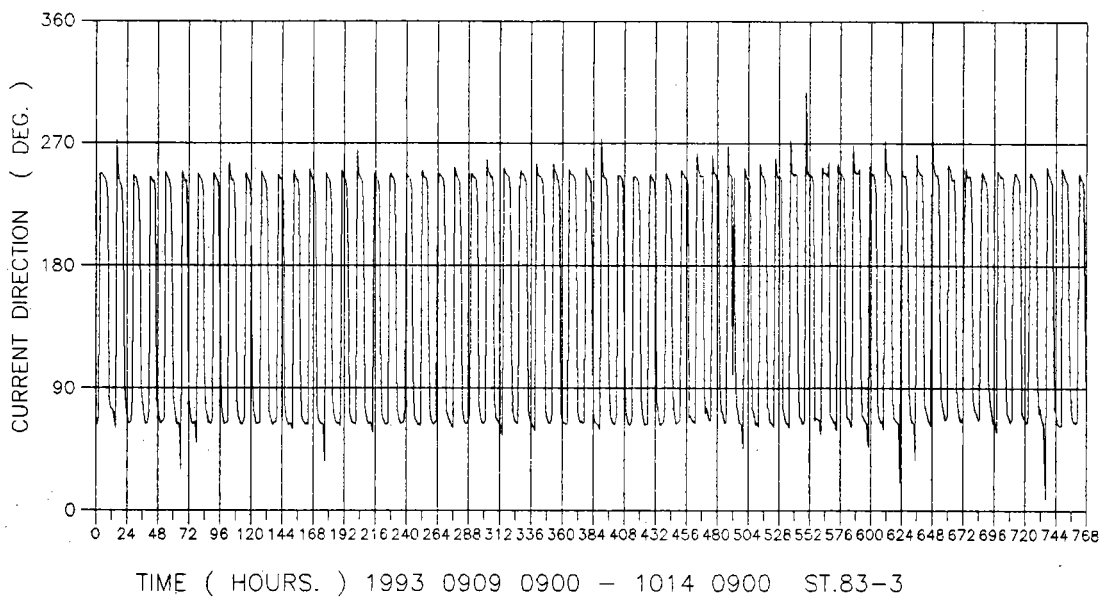


圖 3.7.b 實測海流時序圖

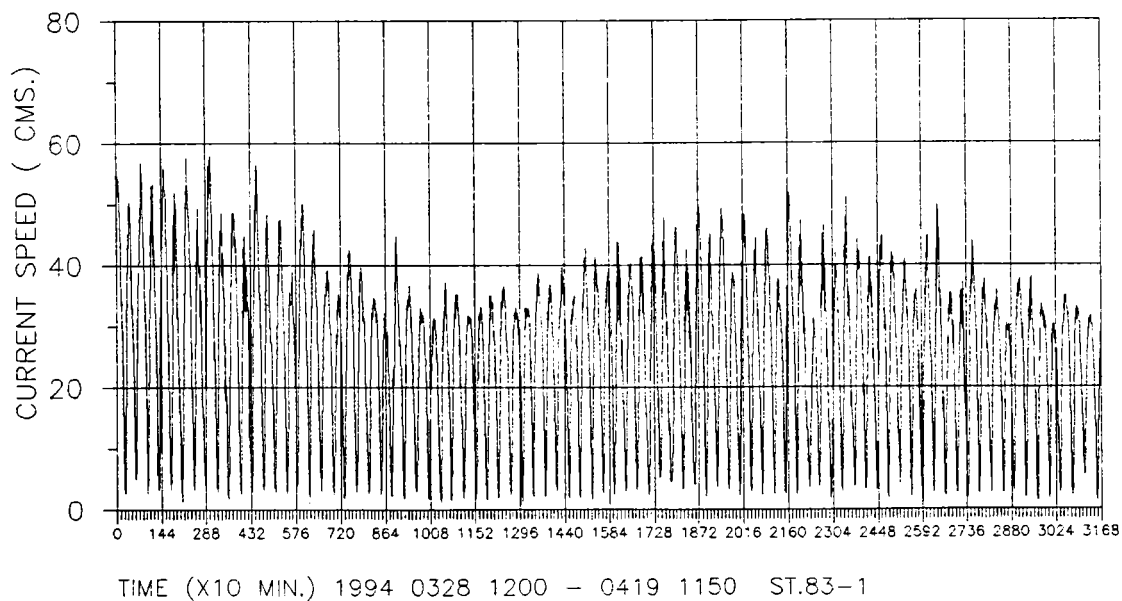
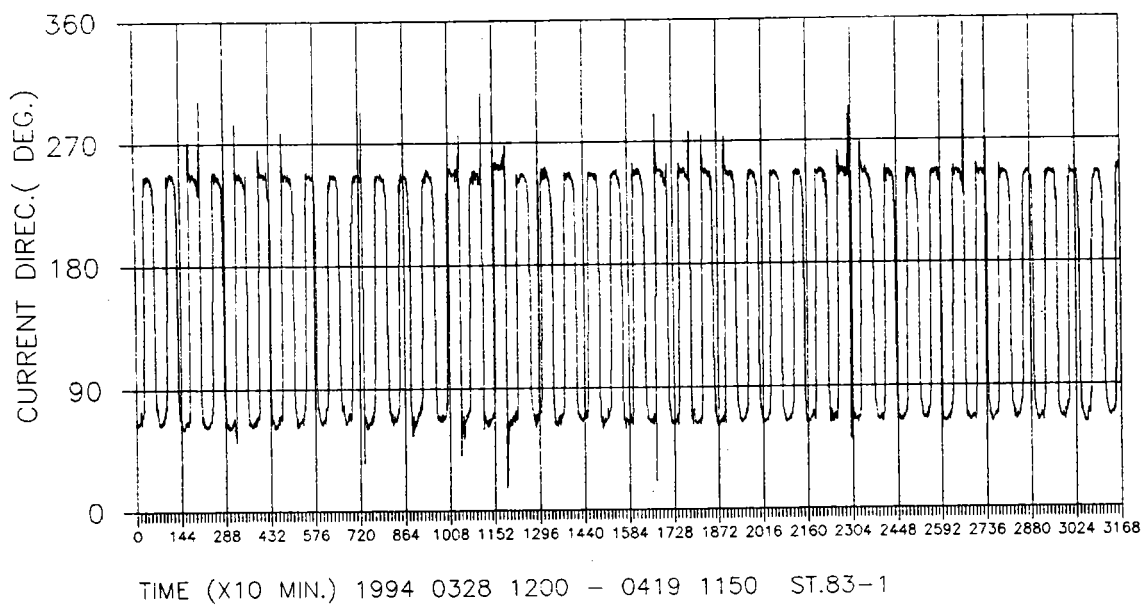


圖 3.7.c 實測海流時序圖

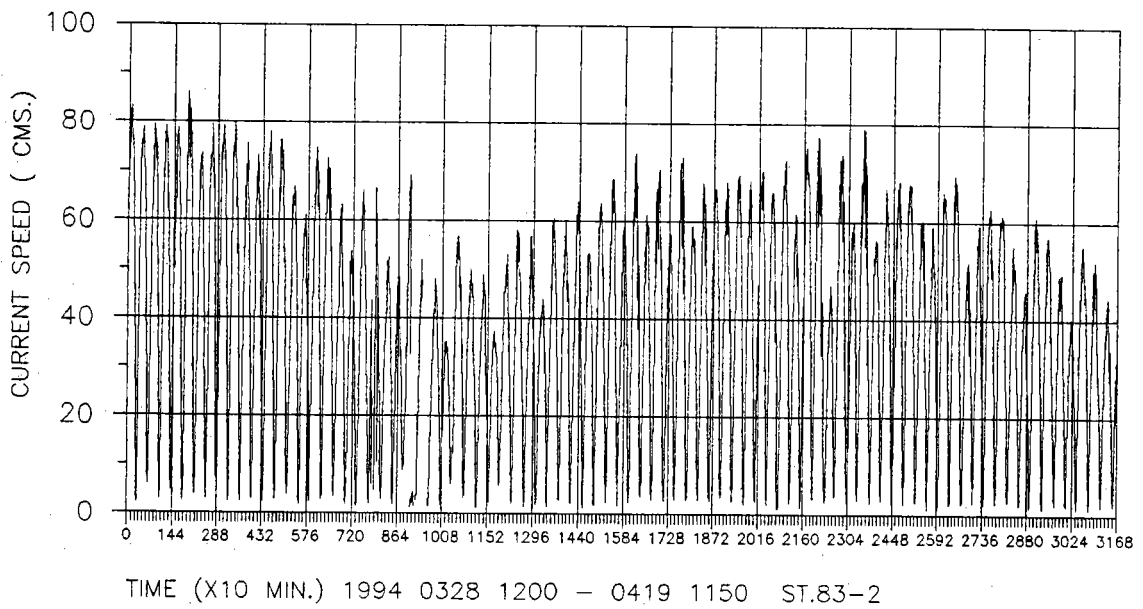
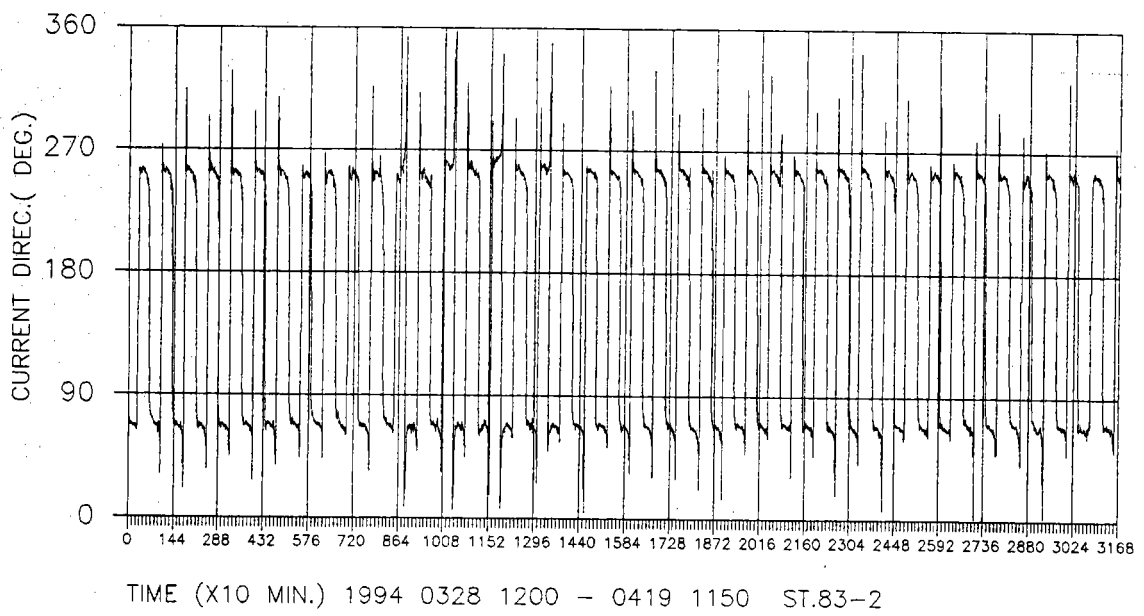
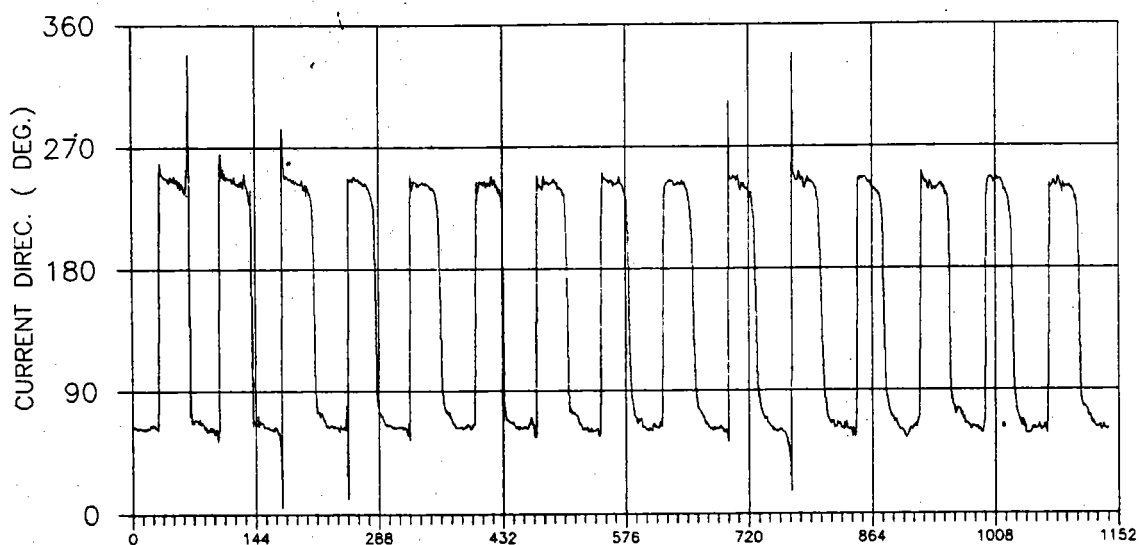
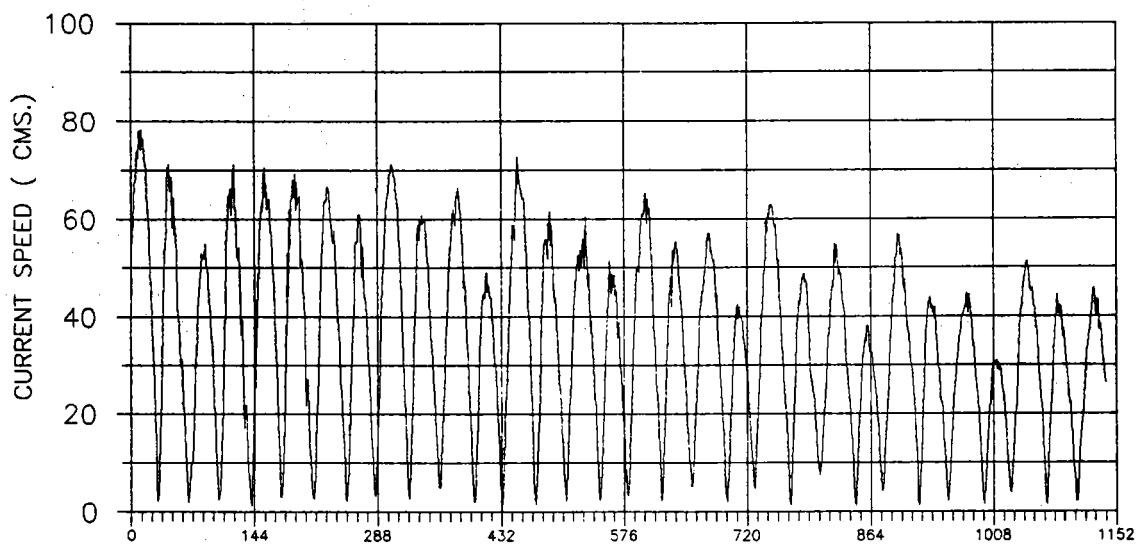


圖 3.7.d 實測海流時序圖



1994 0412 1200 - 0420 0950 ST.83-3



1994 0412 1200 - 0420 0950 ST.83-3

圖 3.7.e 實測海流時序圖

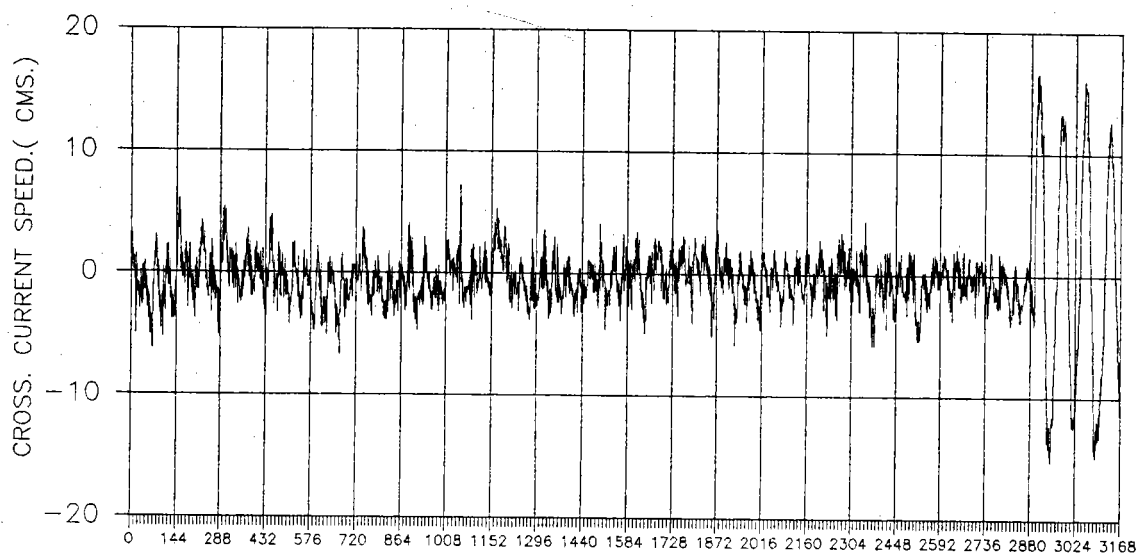
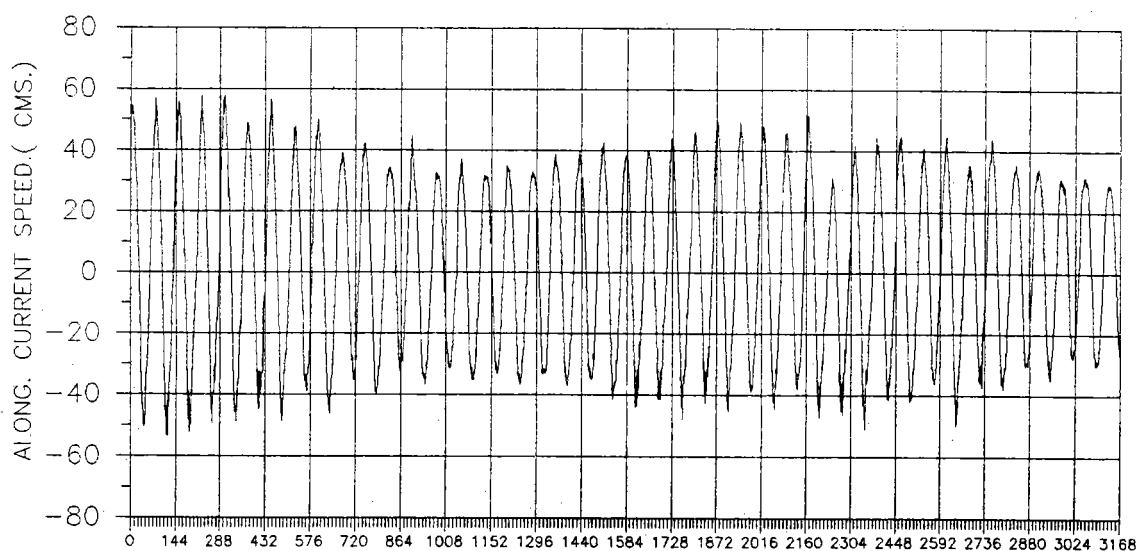


圖 3.8.a 海流沿岸與向岸流速分量圖

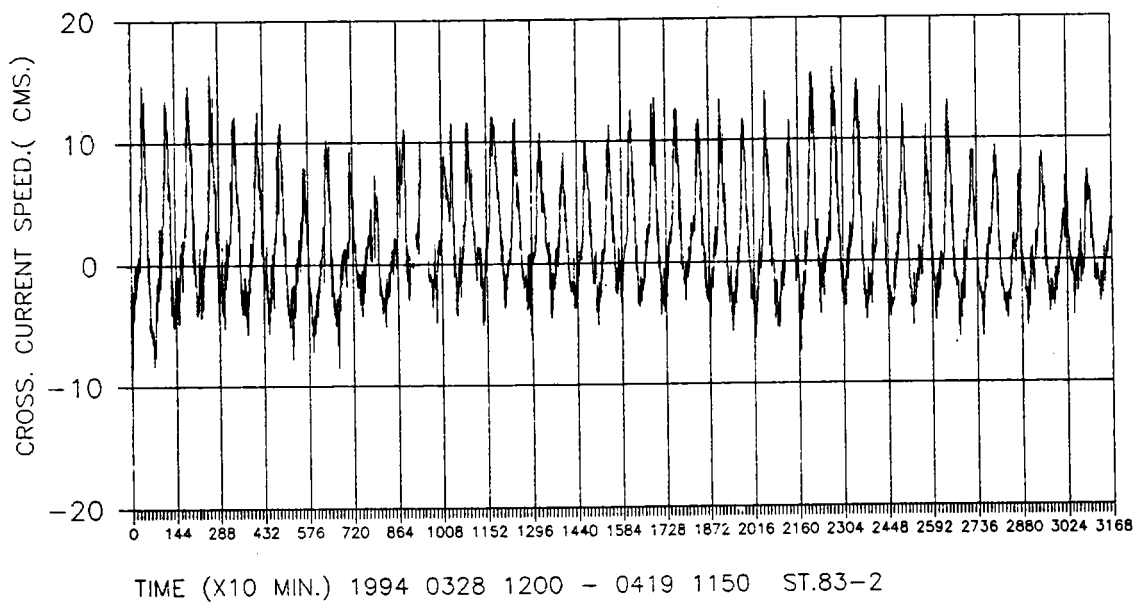
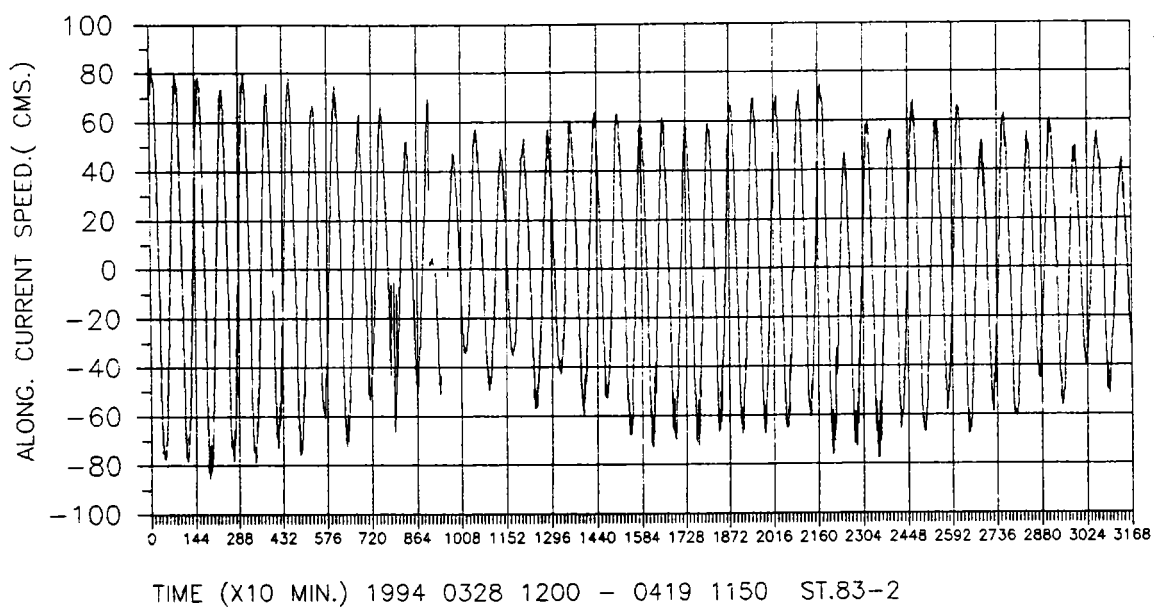


圖 3.8.b 海流沿岸與向岸流速分量圖

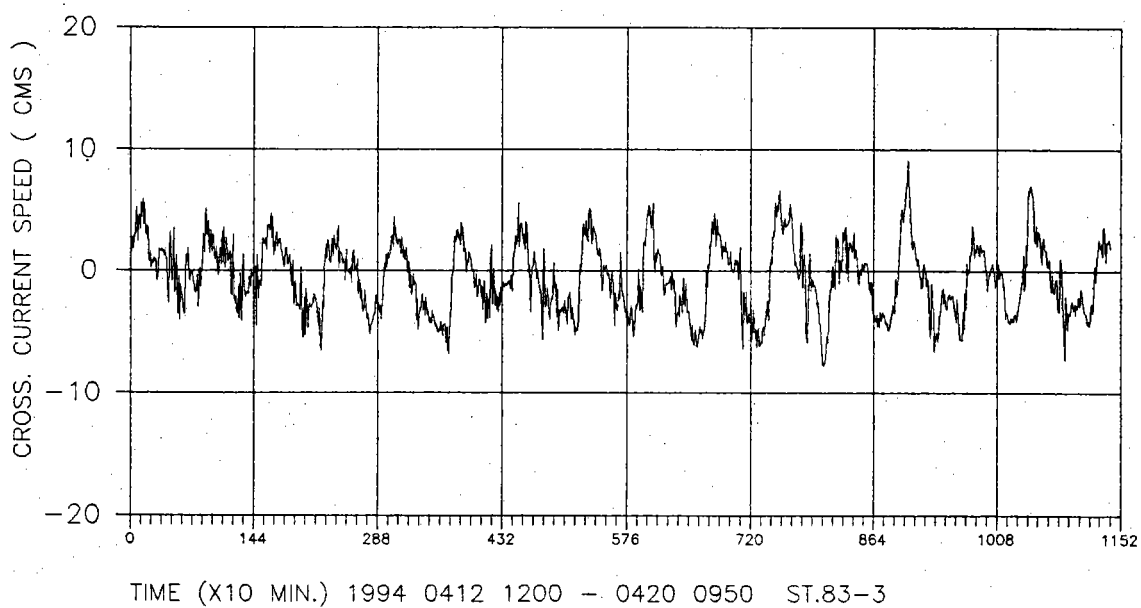
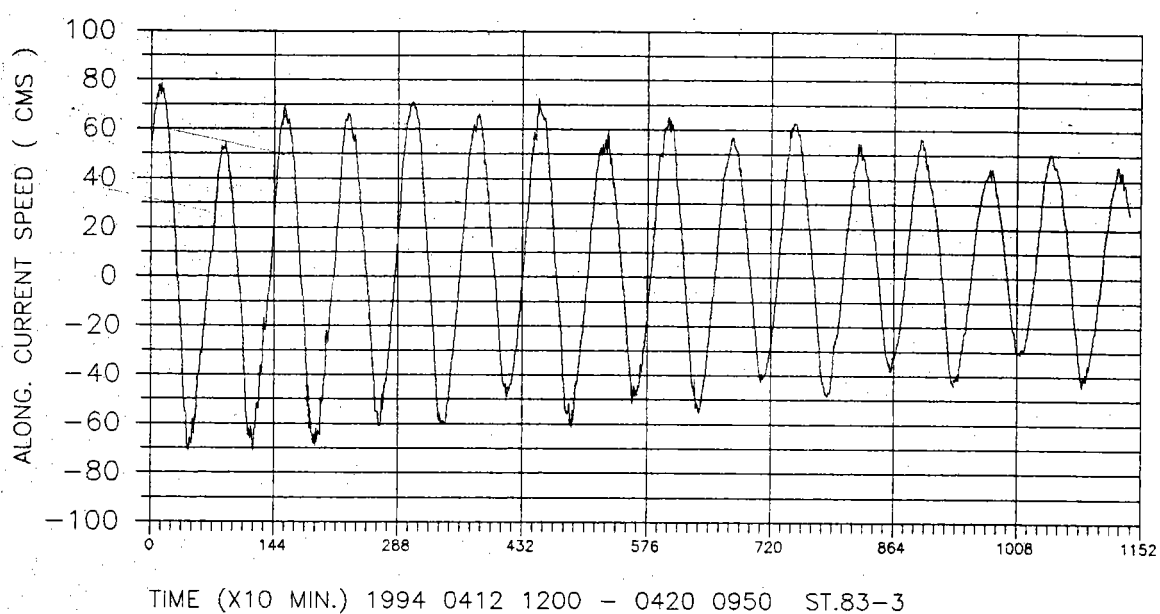
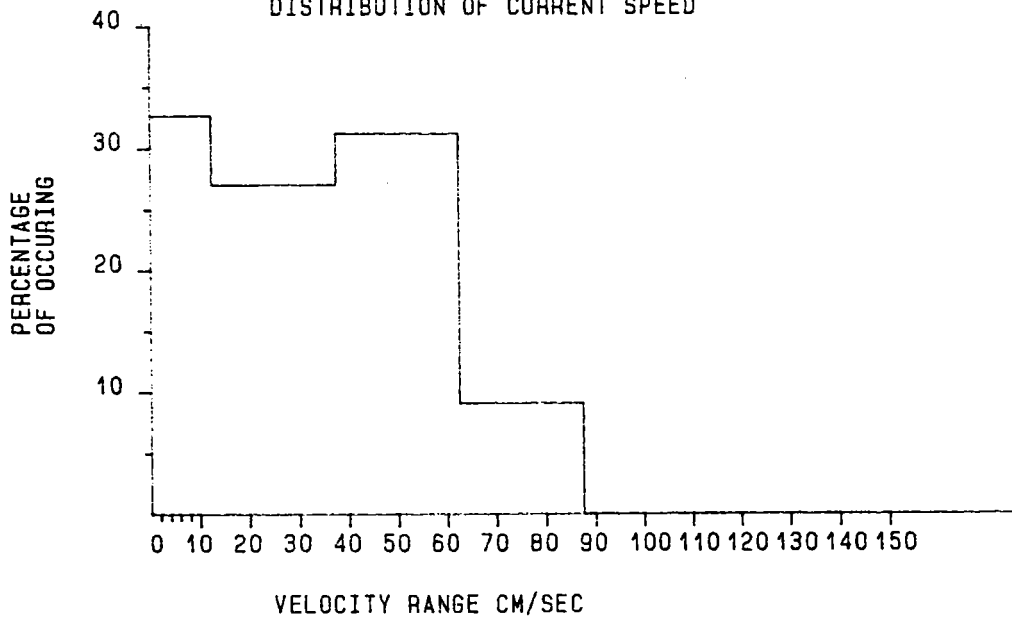


圖 3.8.c 海流沿岸與向岸流速分量圖

HISTOGRAM

STATION : 83 - 2
TIME : 1993 0911 - 1013
DISTRIBUTION OF CURRENT SPEED



HISTOGRAM

STATION : 83 - 2
TIME : 1993 0911 - 1013
DISTRIBUTION OF CURRENT DIRECT

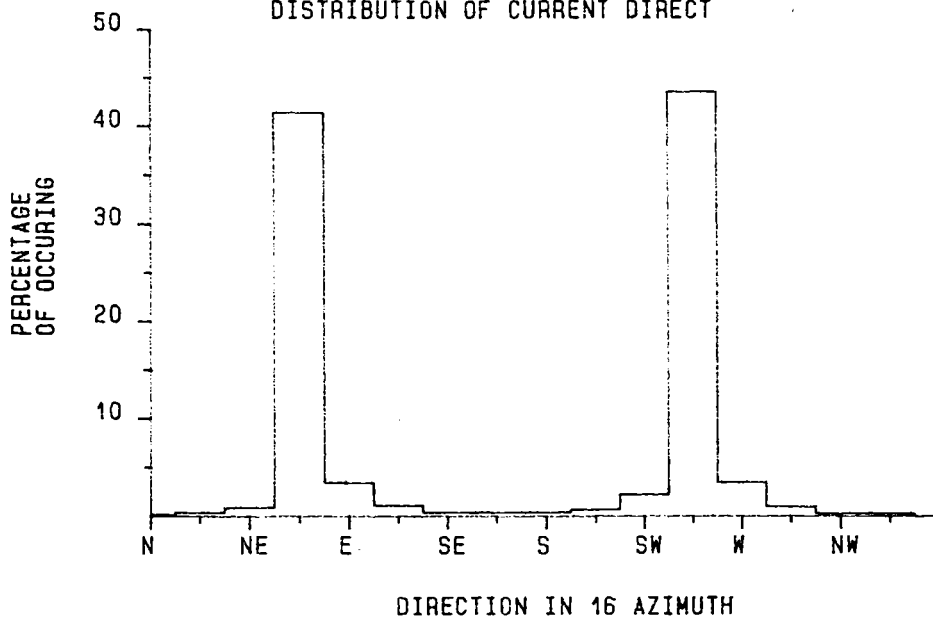
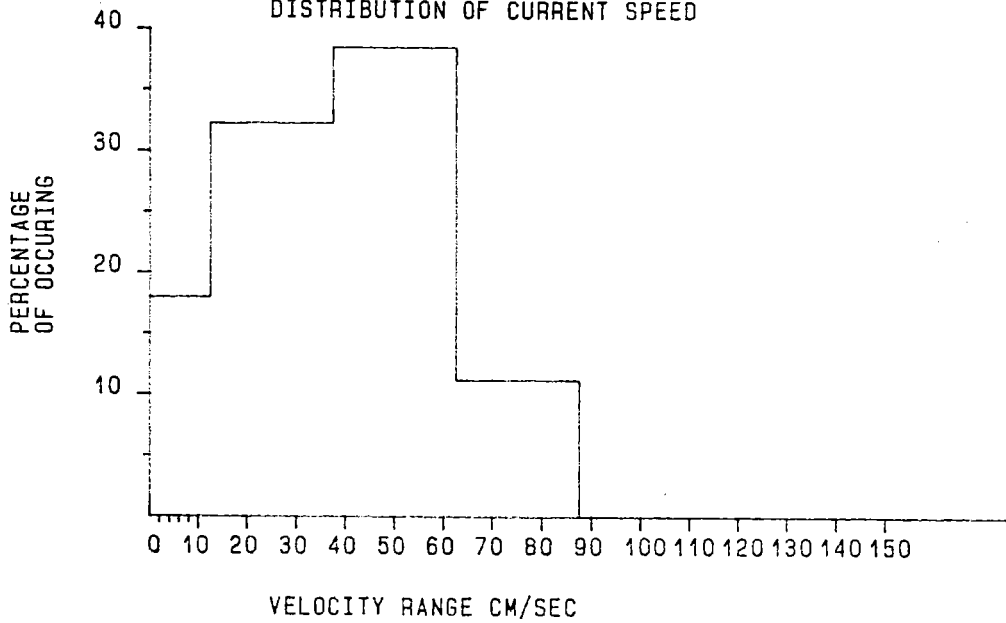


圖 3.9.a 海流統計直方圖

HISTOGRAM

STATION : 83 - 3
TIME : 1993 0909 - 1014
DISTRIBUTION OF CURRENT SPEED



HISTOGRAM

STATION : 83 - 3
TIME : 1993 0909 - 1014
DISTRIBUTION OF CURRENT DIRECT

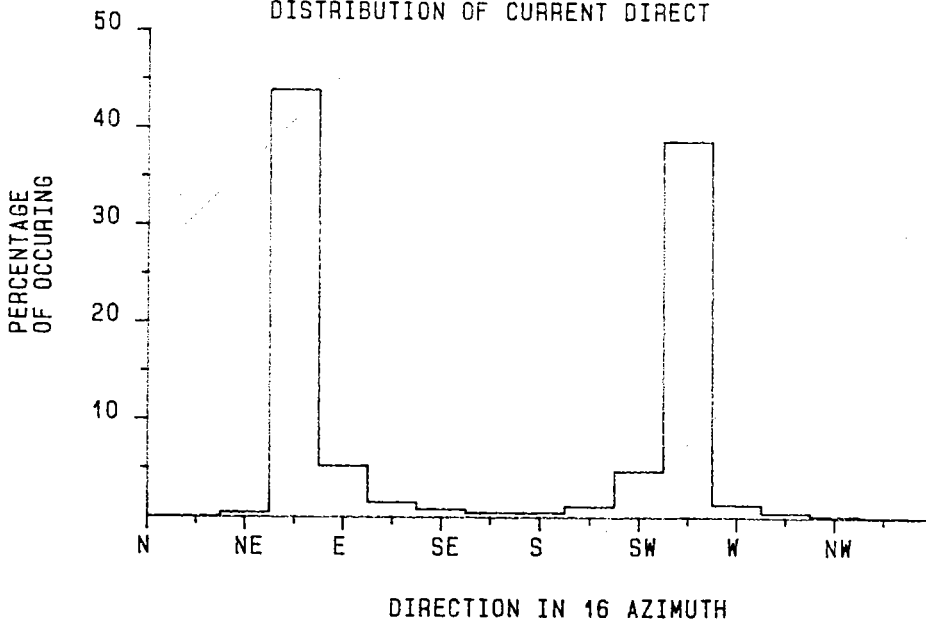
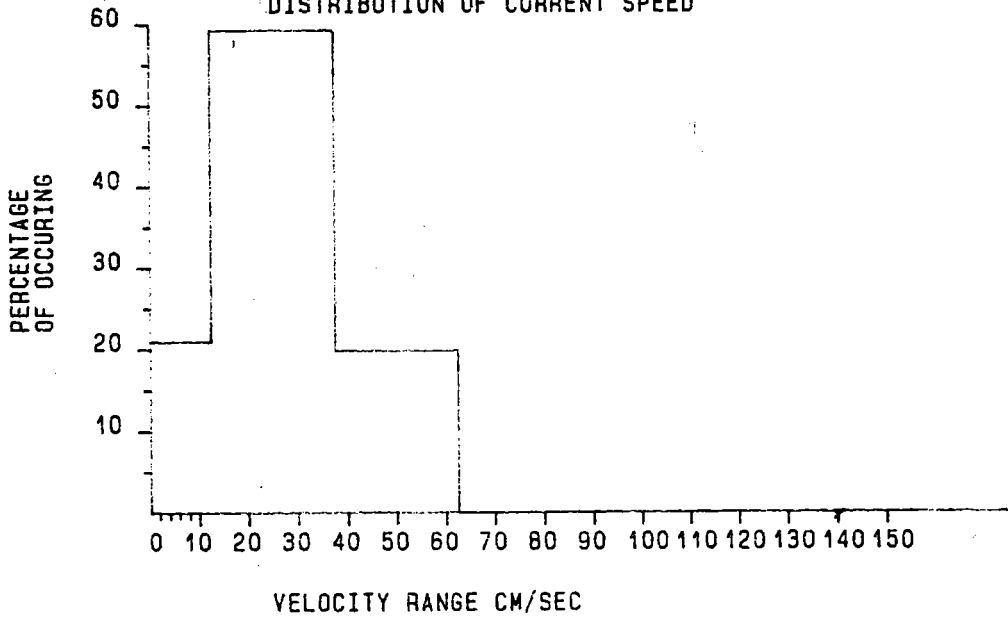


圖 3.9.b 海流統計直方圖

HISTOGRAM

STATION : 83 - 1
 TIME : 1994 0325 - 0419
 DISTRIBUTION OF CURRENT SPEED



HISTOGRAM

STATION : 83 - 1
 TIME : 1994 0325 - 0419
 DISTRIBUTION OF CURRENT DIRECT

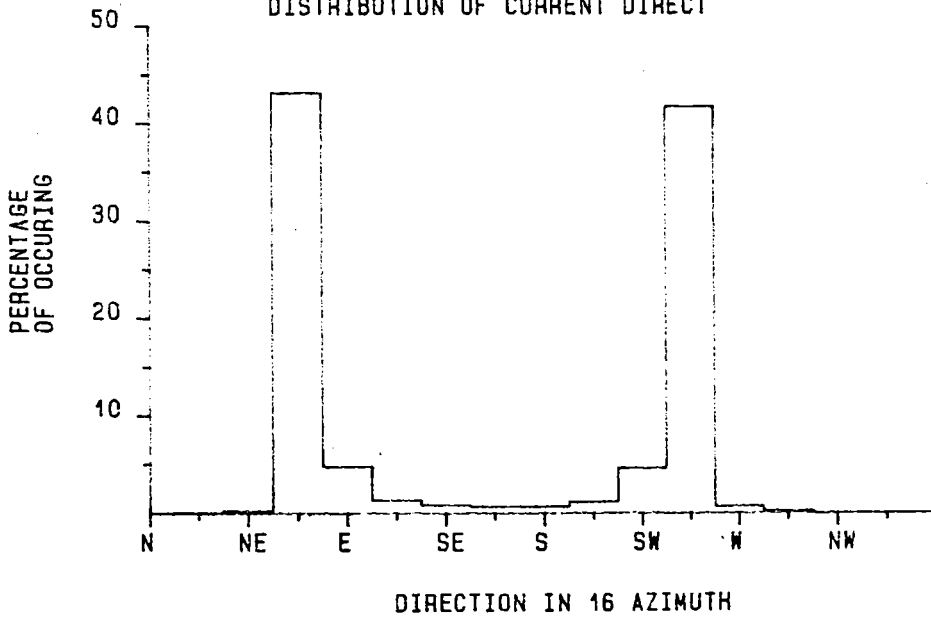
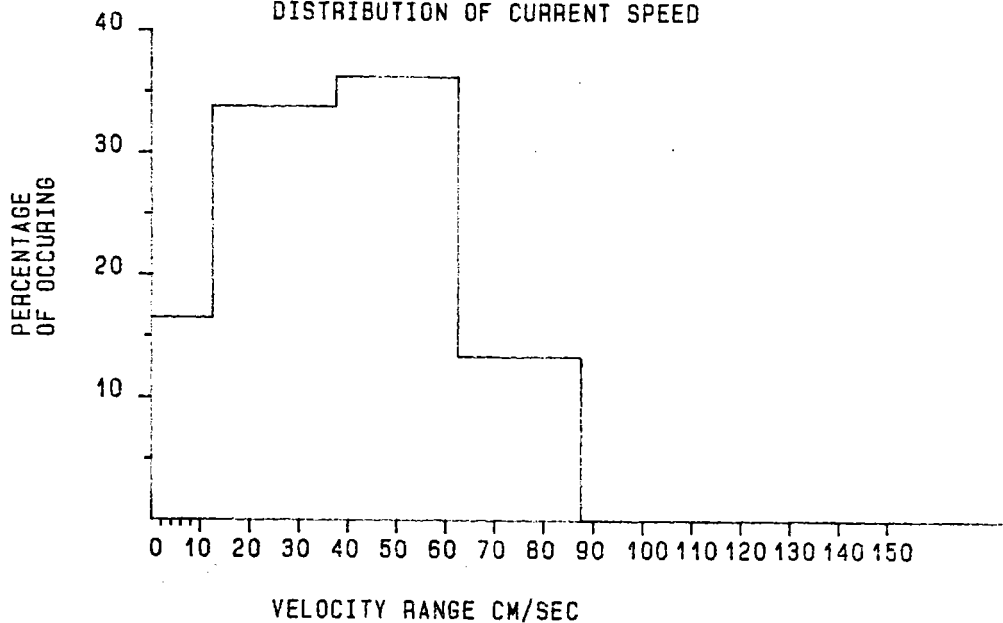


圖 3.9.c 海流統計直方圖

HISTOGRAM

STATION : 83 - 2
TIME : 1994 0328 - 0420
DISTRIBUTION OF CURRENT SPEED



HISTOGRAM

STATION : 83 - 2
TIME : 1994 0328 - 0420
DISTRIBUTION OF CURRENT DIRECT

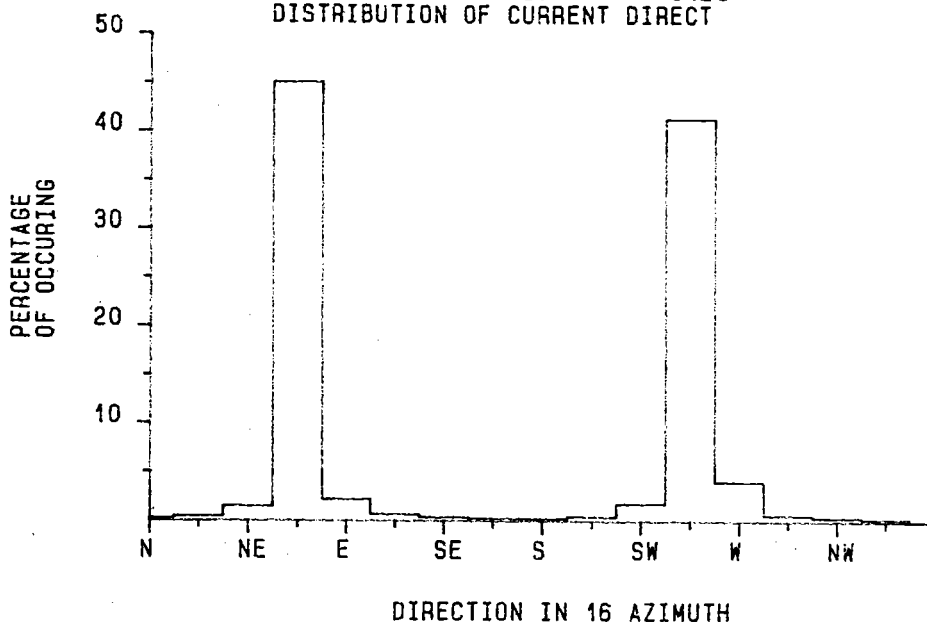


圖 3.9.d 海流統計直方圖

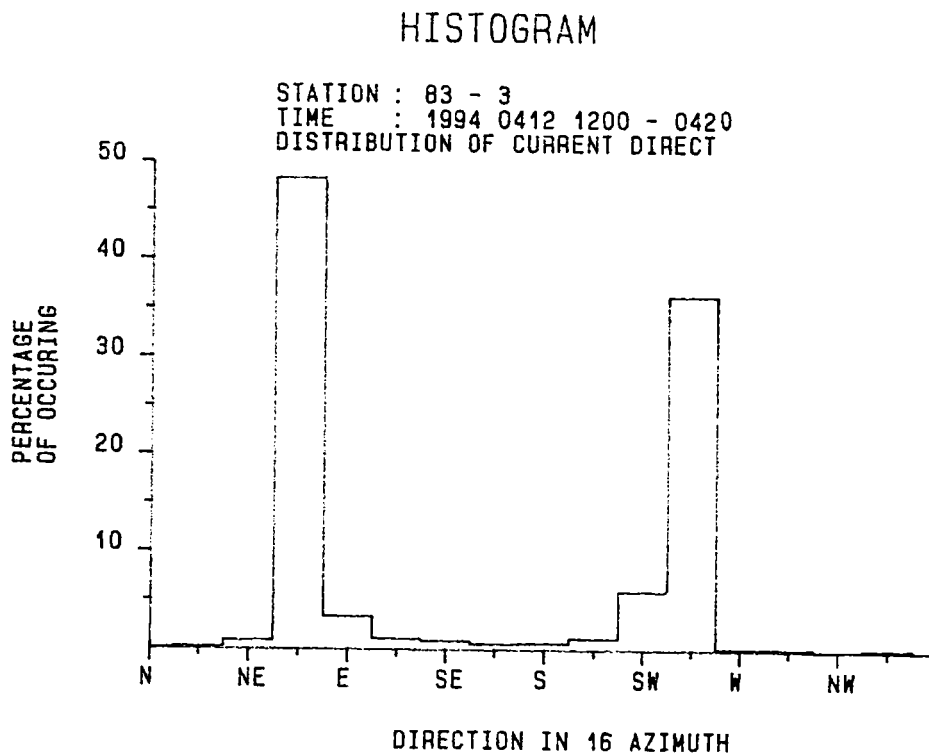
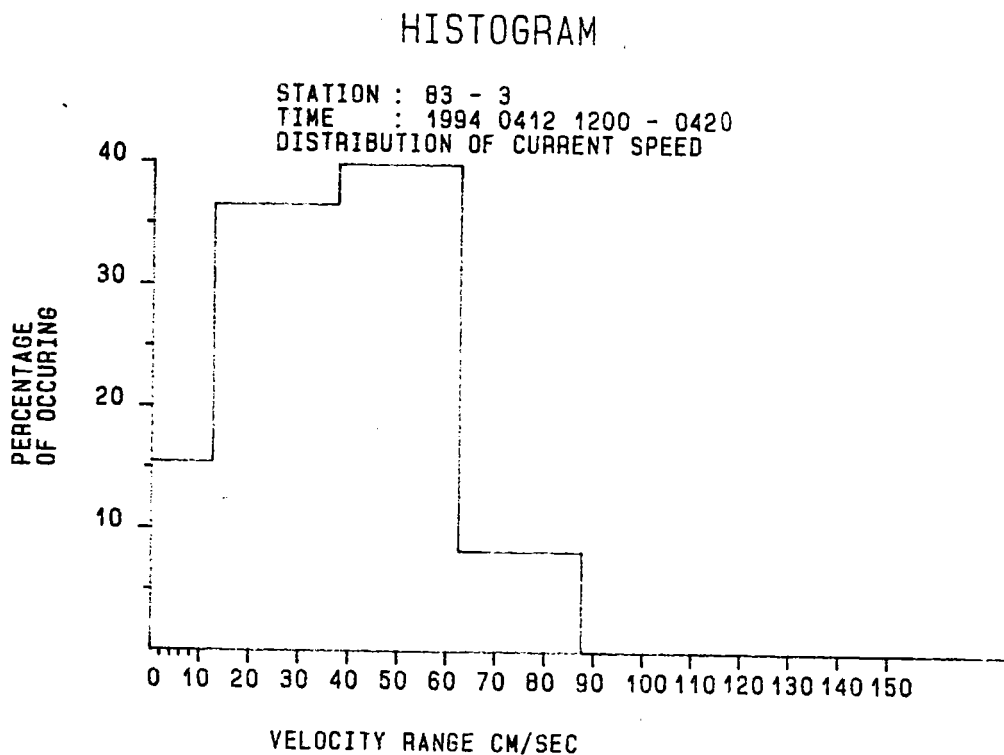


圖 3.9.e 海流統計直方圖

CURRENT DATA OF ST.83 - 2 1993 0911-1013

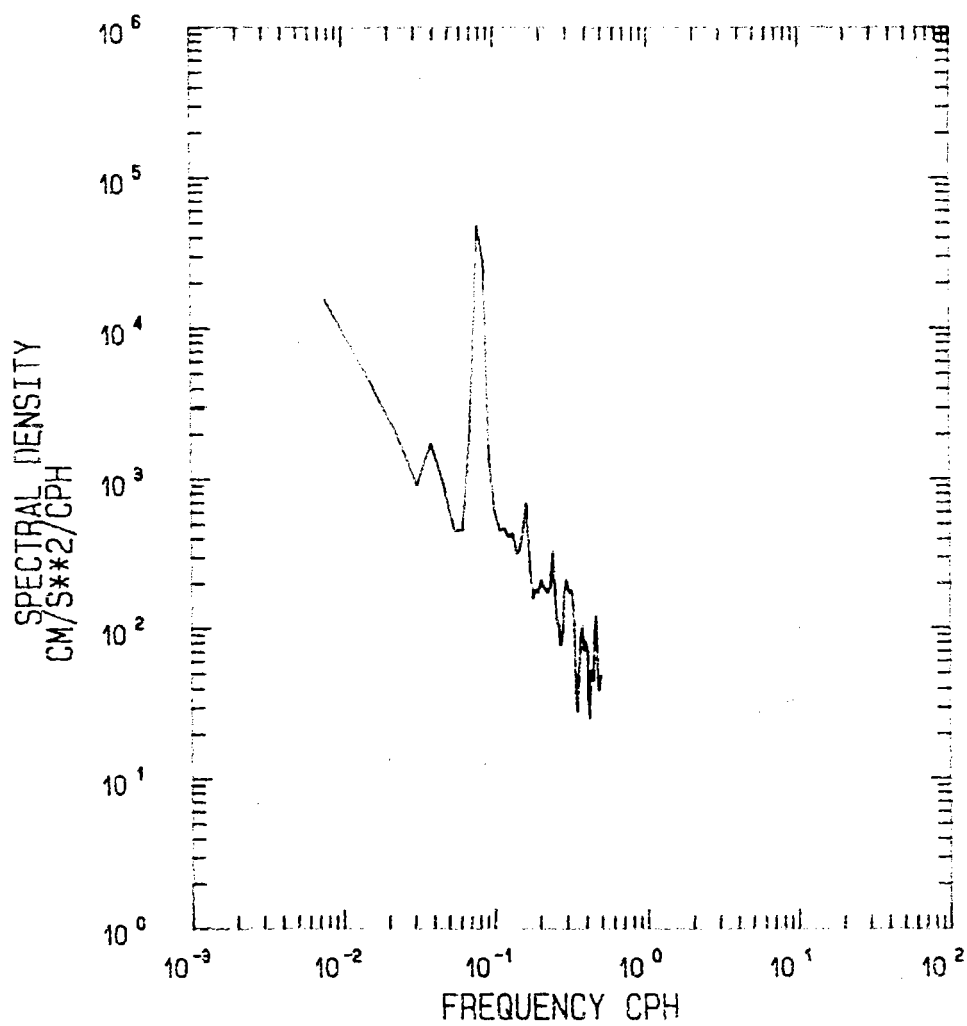


圖3.10.a 海流能譜密度圖

CURRENT DATA OF ST.83 - 3 1993 0909 - 1014

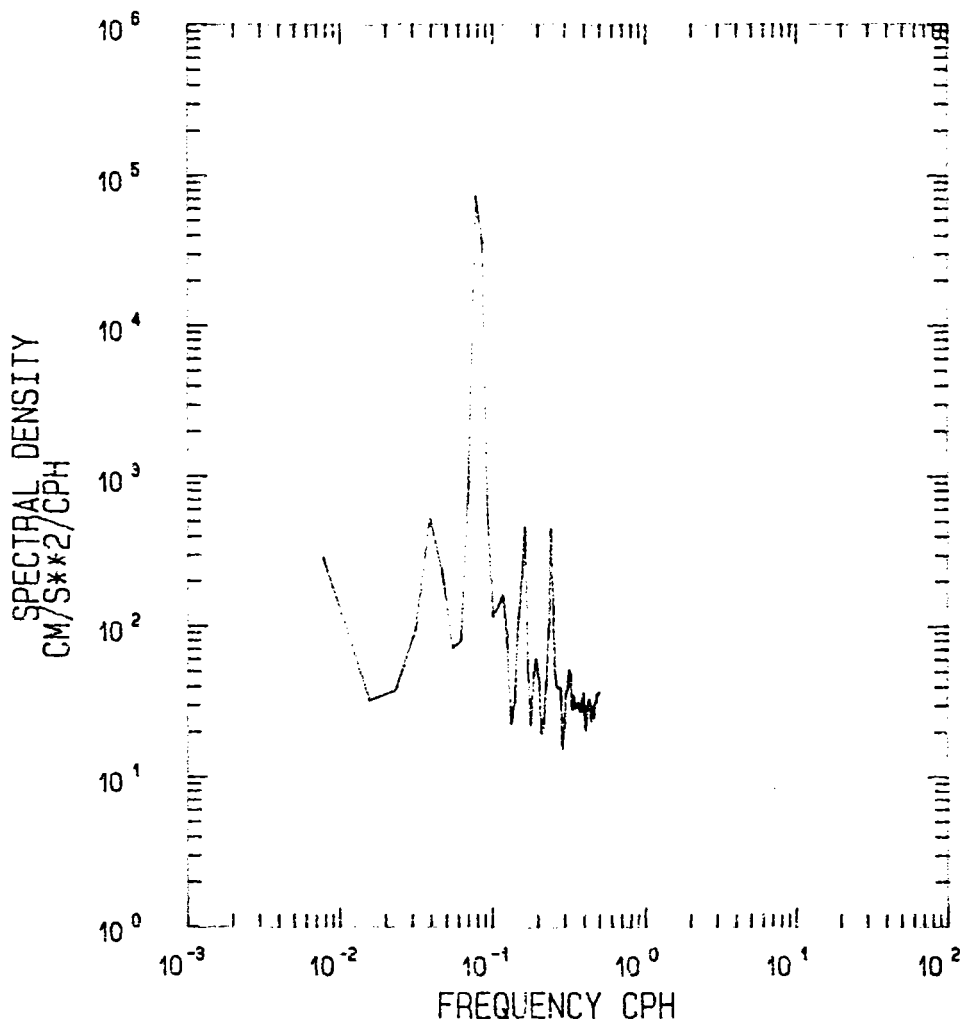


圖3.10.b 海流能譜密度圖

CURRENT DATA OF ST.83 - 1 1994 0325 - 04/9

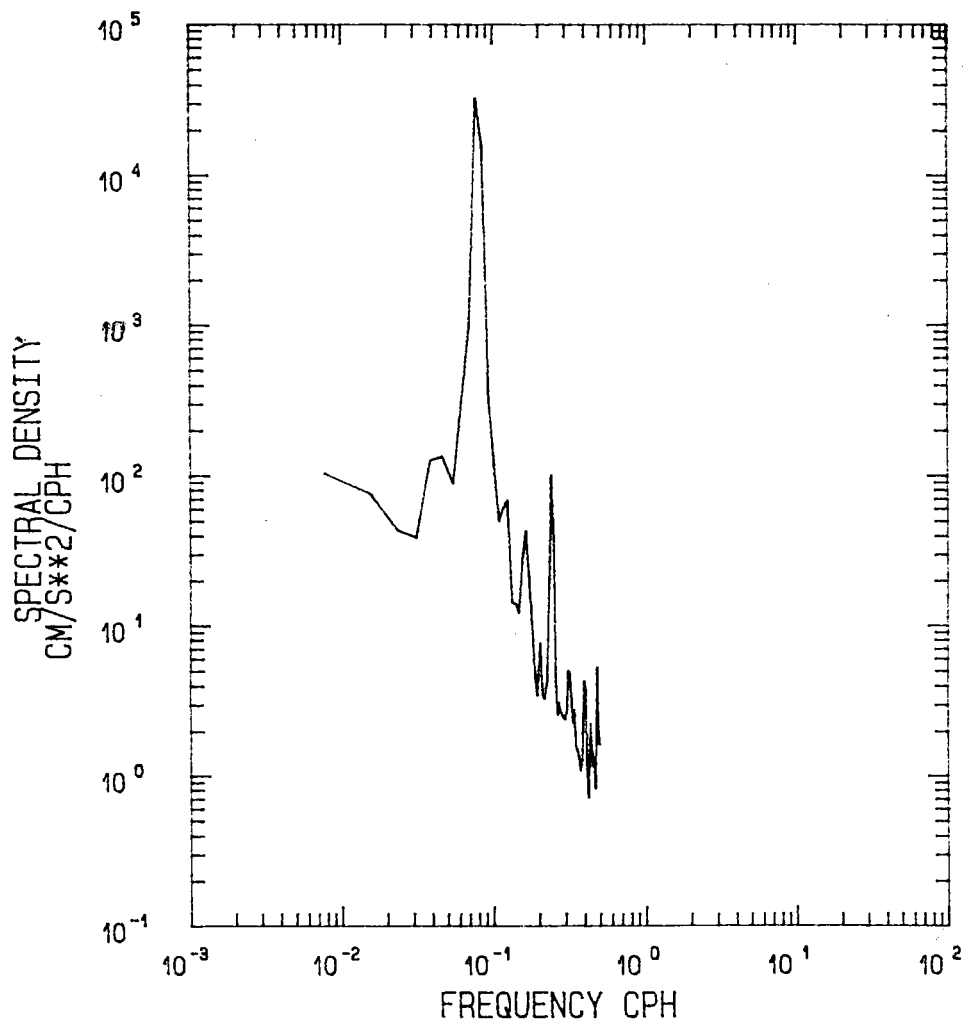


圖3.10.c 海流能譜密度圖

CURRENT DATA OF ST.83 -2 1994 0328 - 0421

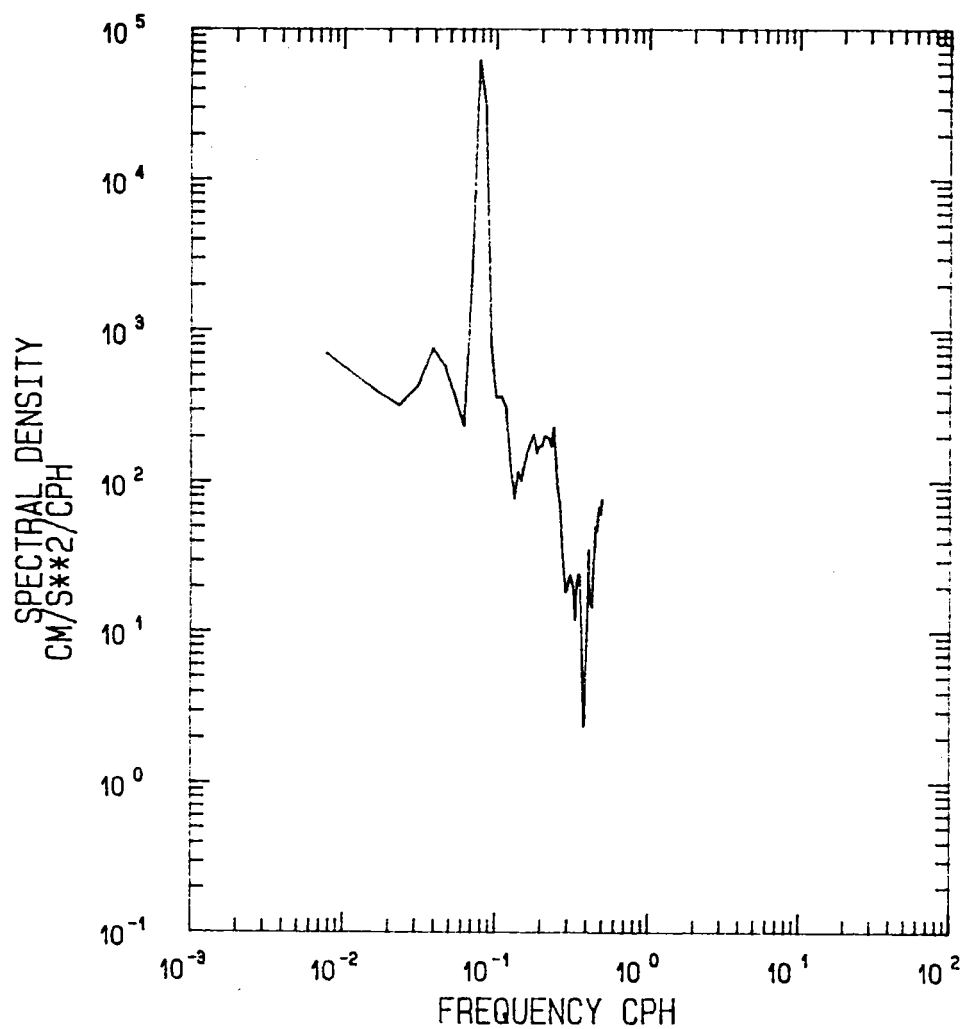


圖3.10.d 海流能譜密度圖

CURRENT DATA OF ST.83 - 3 1994 0412 - 0420

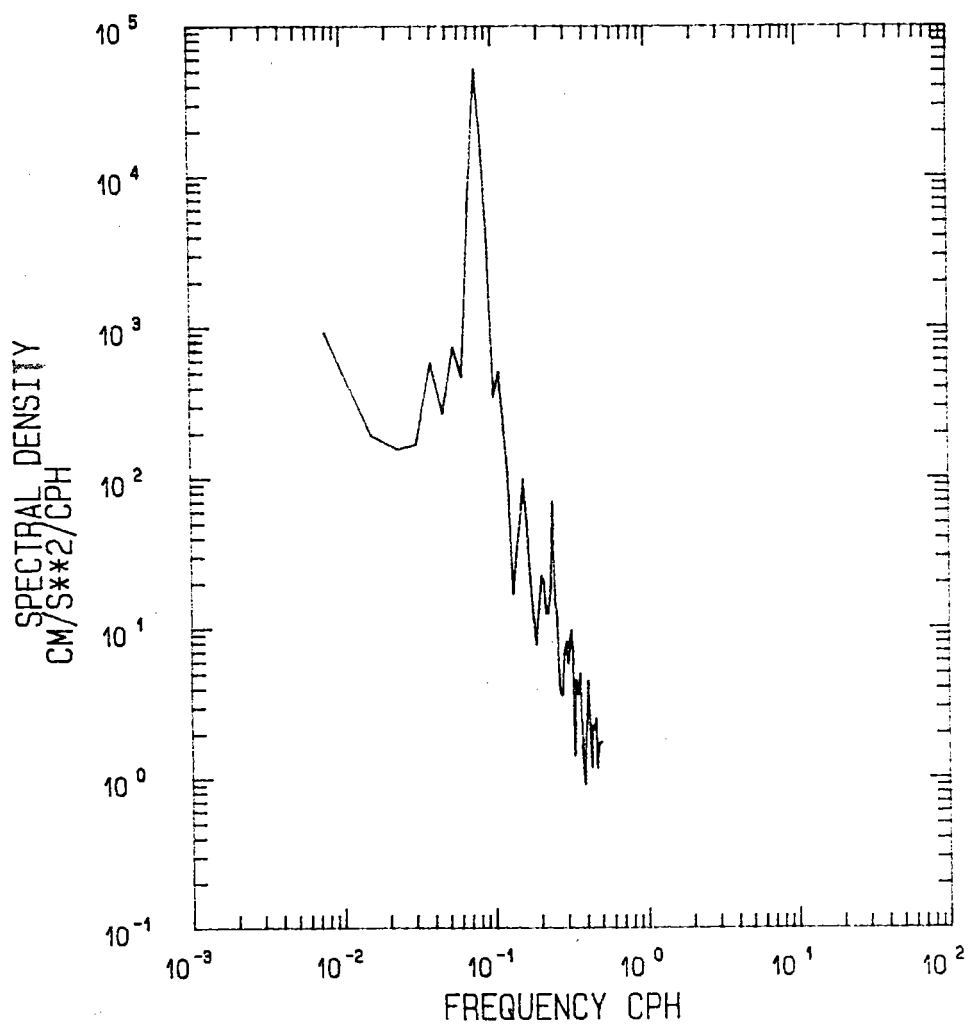


圖3.10.e 海流能譜密度圖

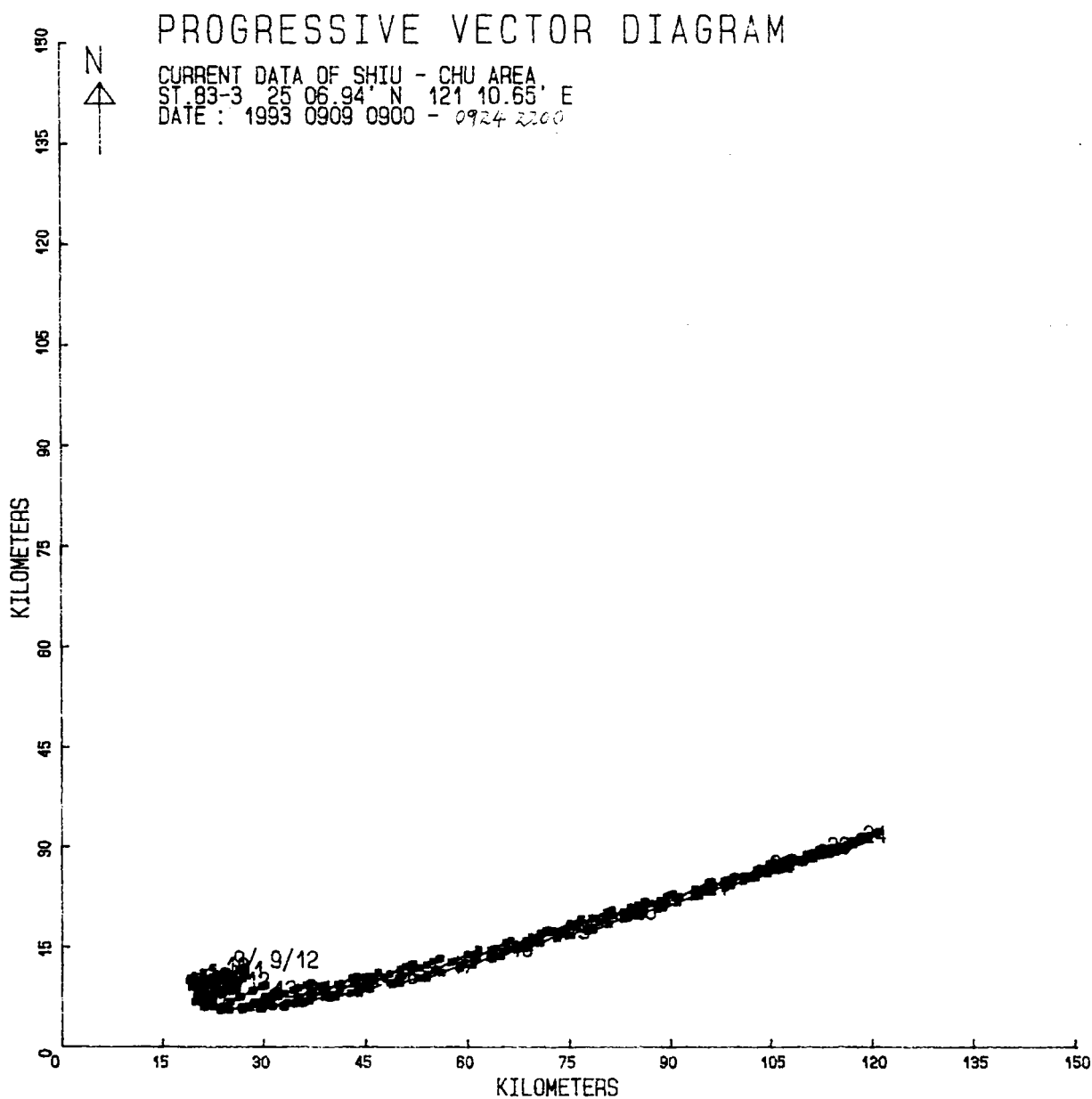


圖3.11.a 海流行進向量圖

PROGRESSIVE VECTOR DIAGRAM

CURRENT DATA OF SHIU - CHU AREA
 ST. 83-3 25 06.94' N 121 10.65' E
 DATE : 1993 0924 2200 - 1014 0930

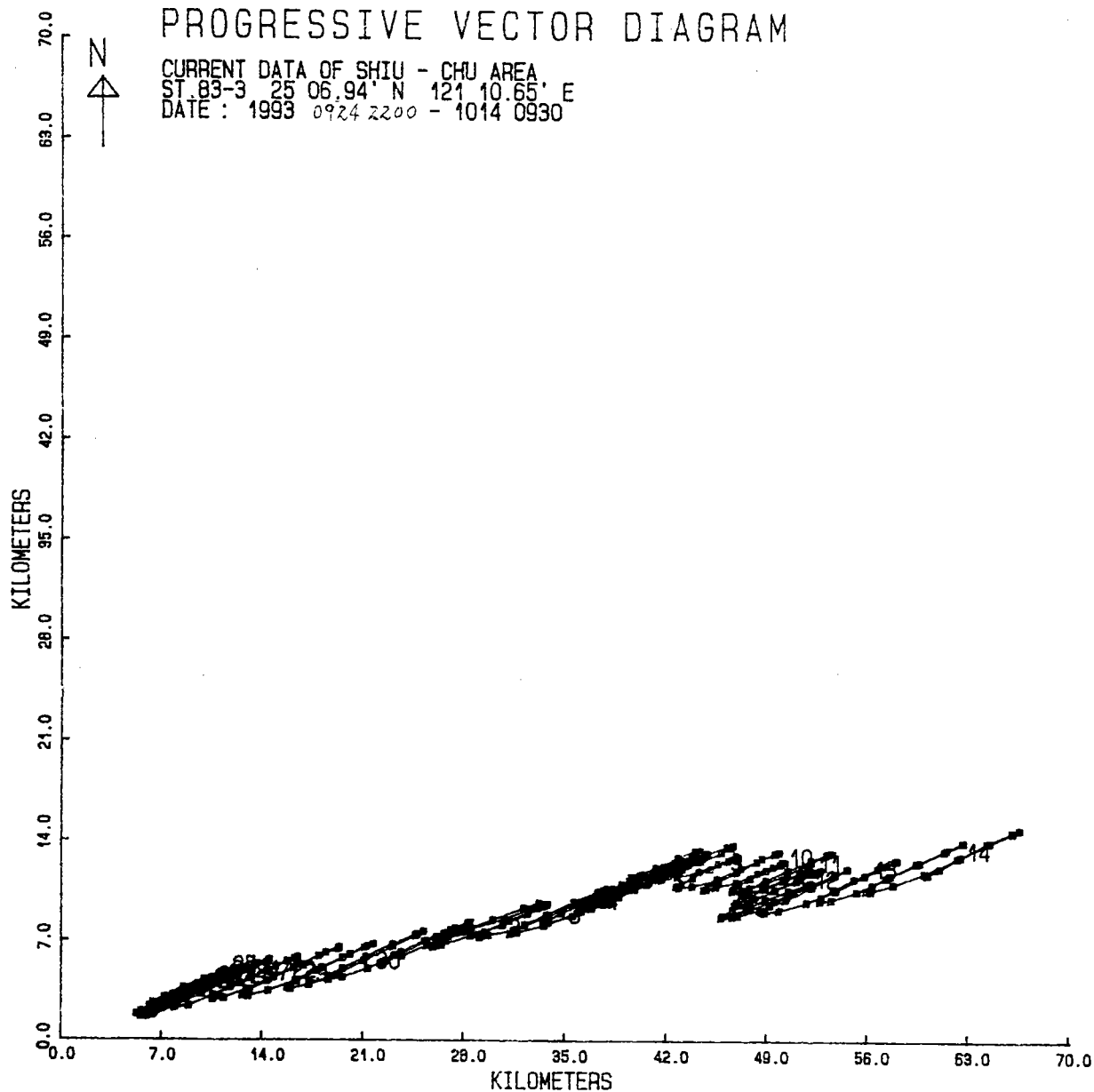


圖3.11.b 海流行進向量圖

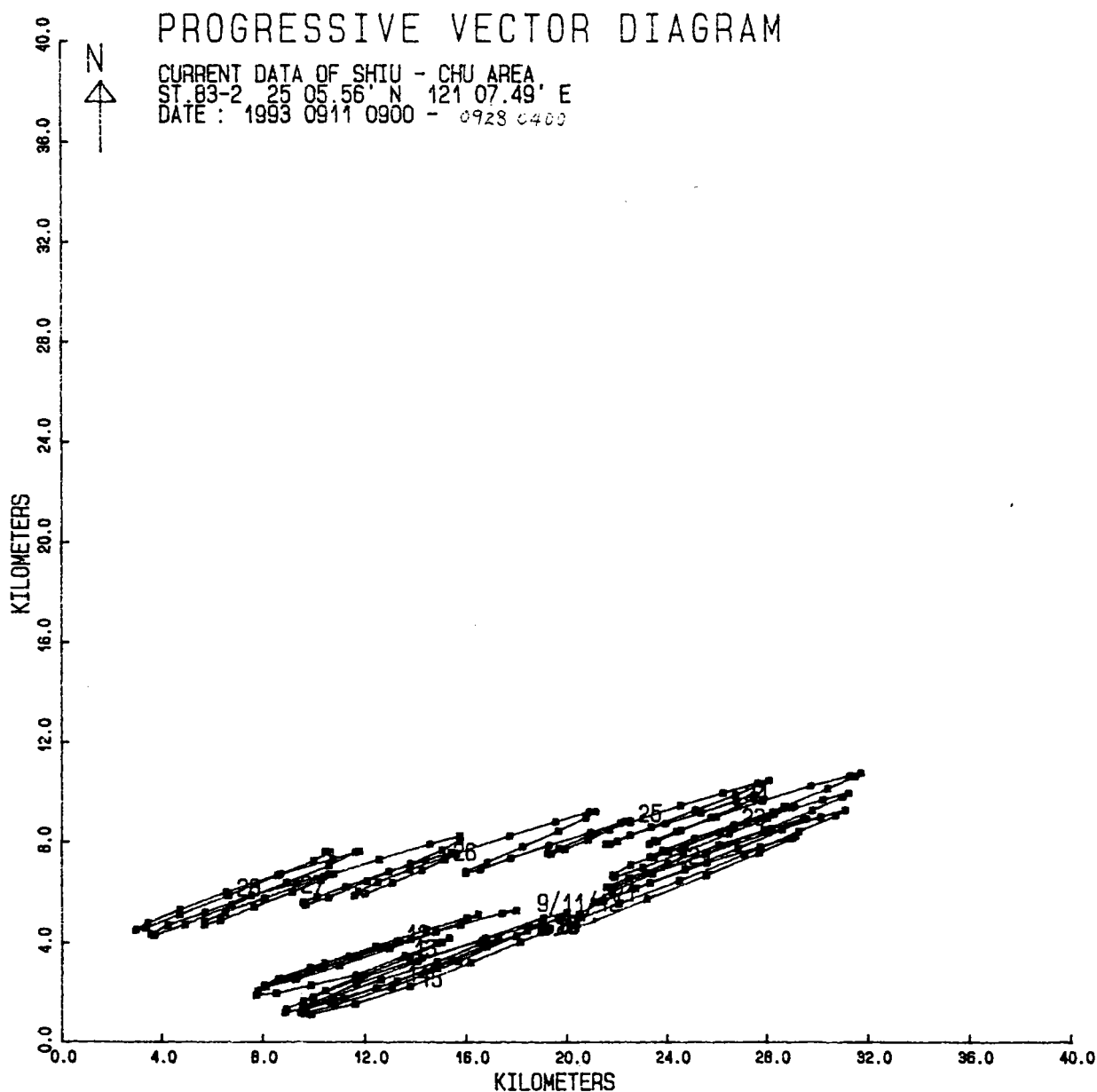


圖3.11.c 海流行進向量圖

PROGRESSIVE VECTOR DIAGRAM

CURRENT DATA OF SHIU - CHU AREA
ST. 83-2 25 05.56' N 121 07.49' E
DATE : 1993 0928 0400 - 1013 1500

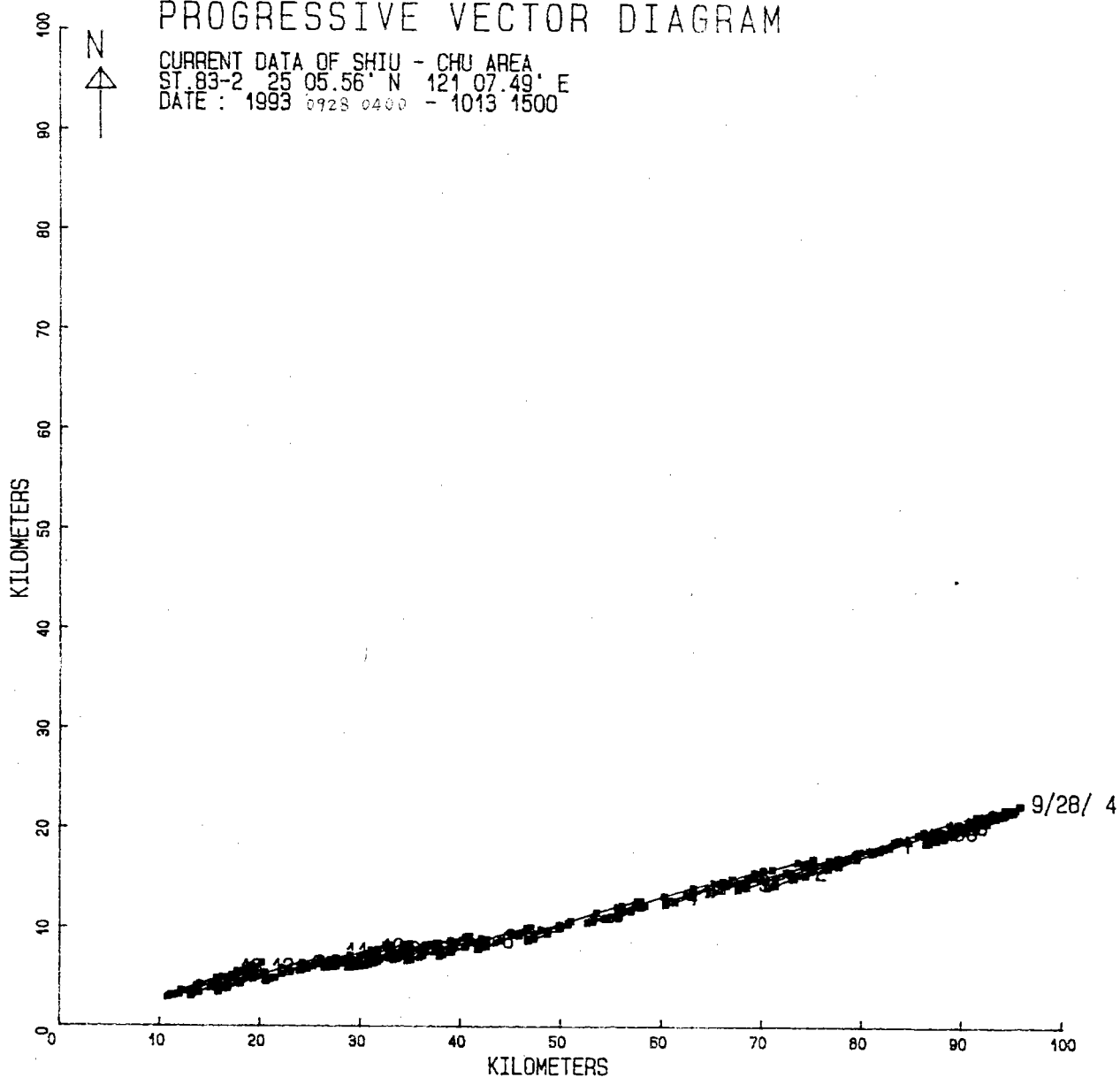


圖3.11.d 海流行進向量圖

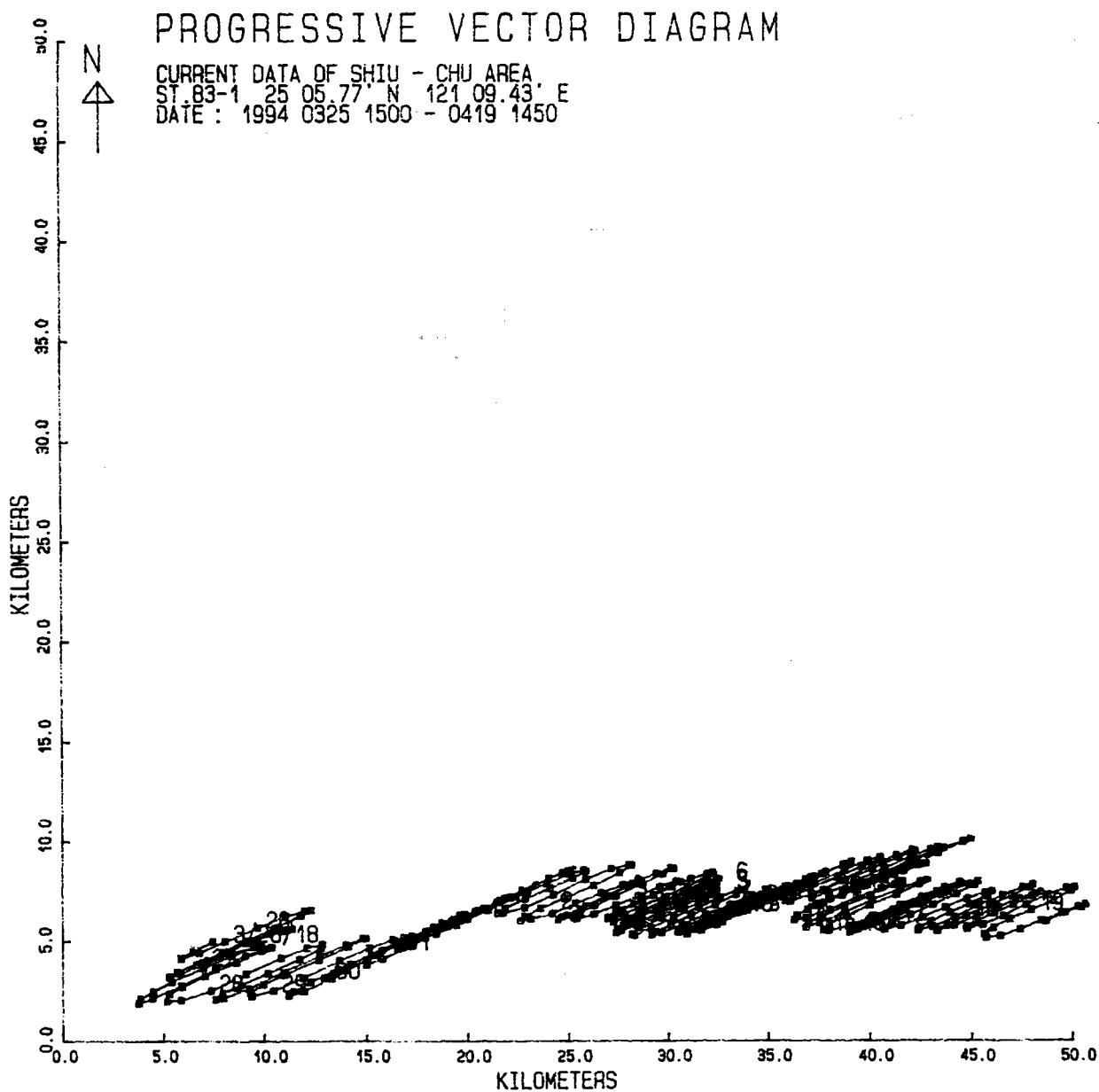


圖3.11.e 海流行進向量圖

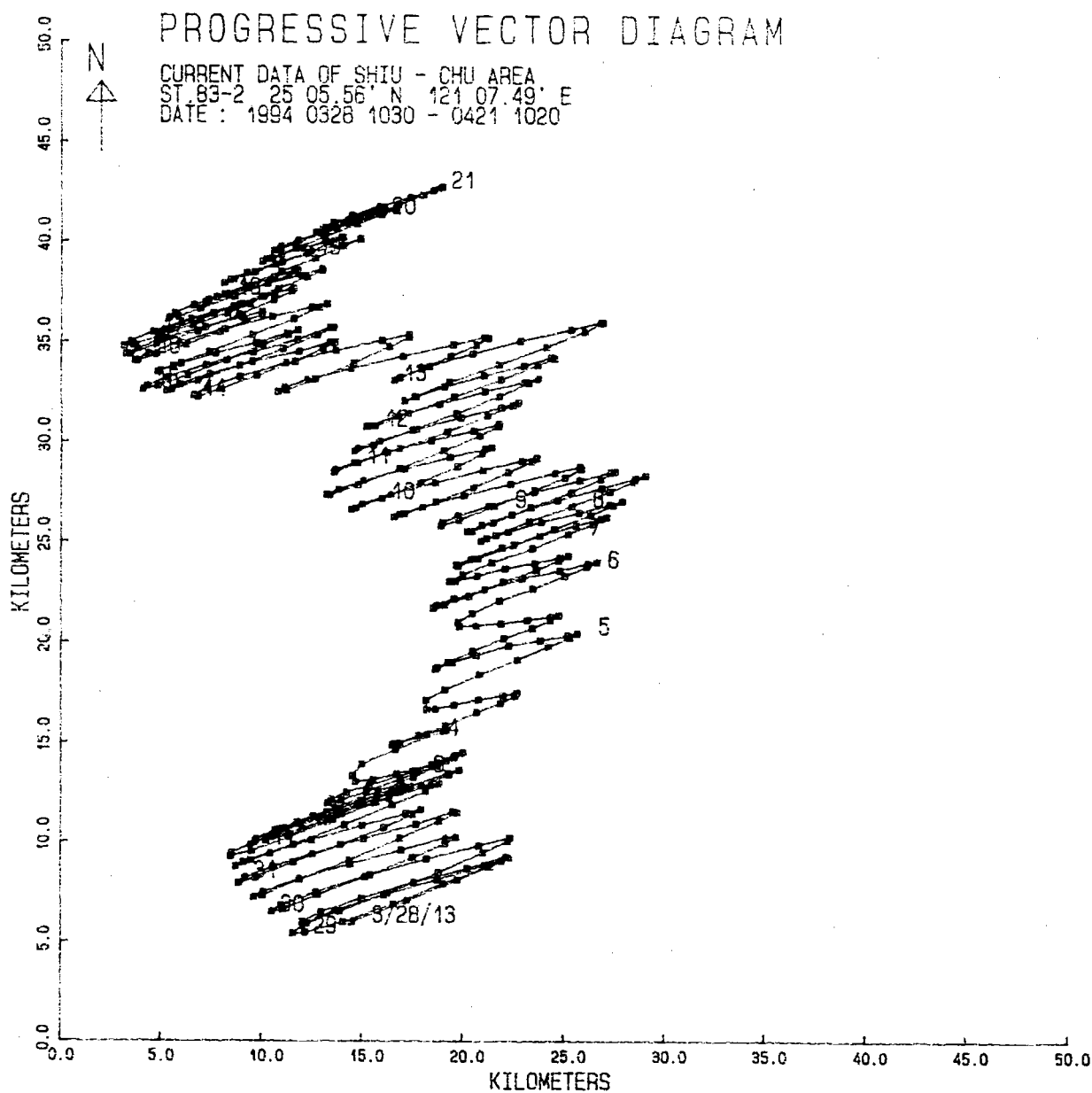


圖3.11.f 海流行進向量圖

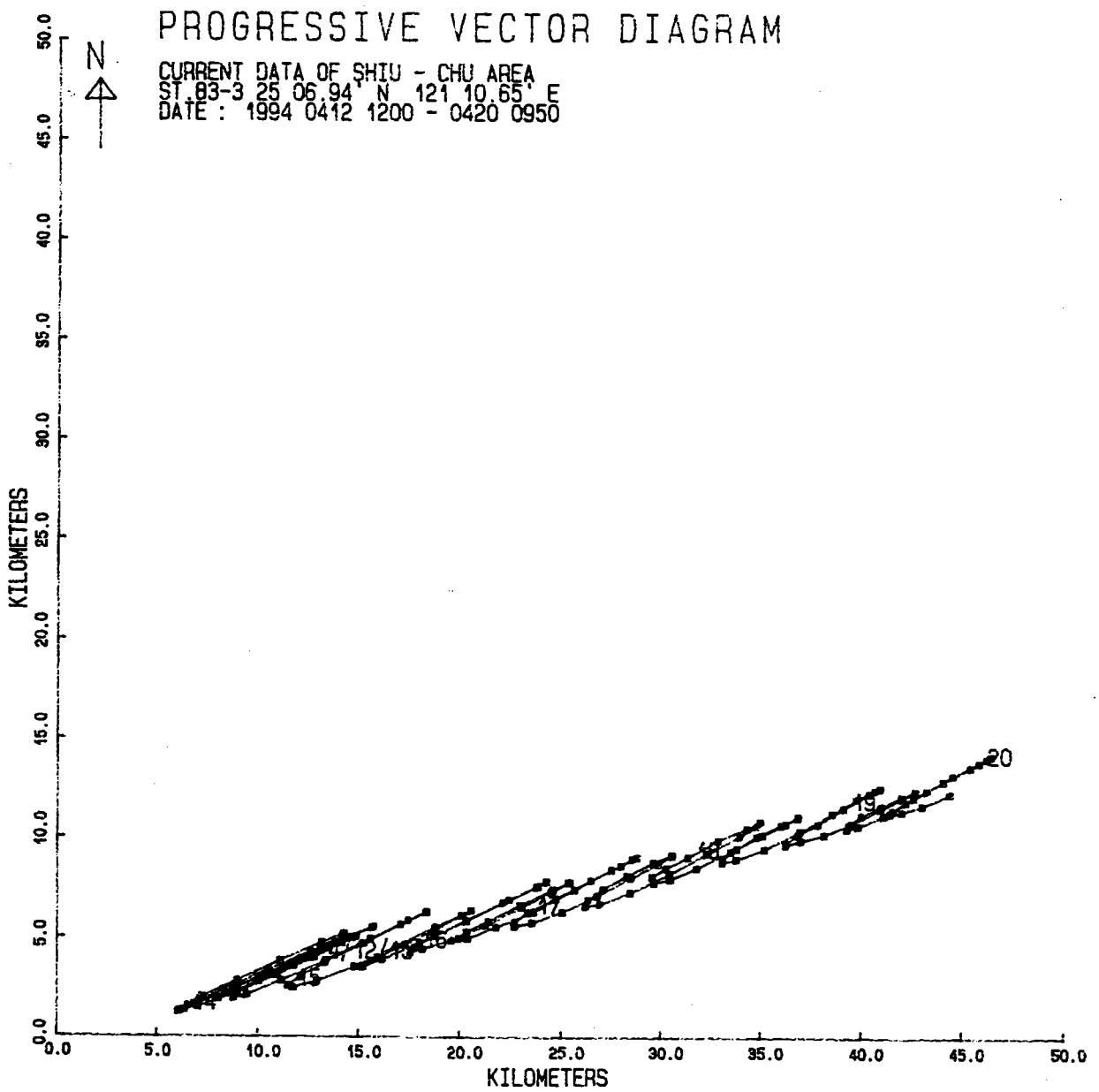


圖3.11.g 海流行進向量圖

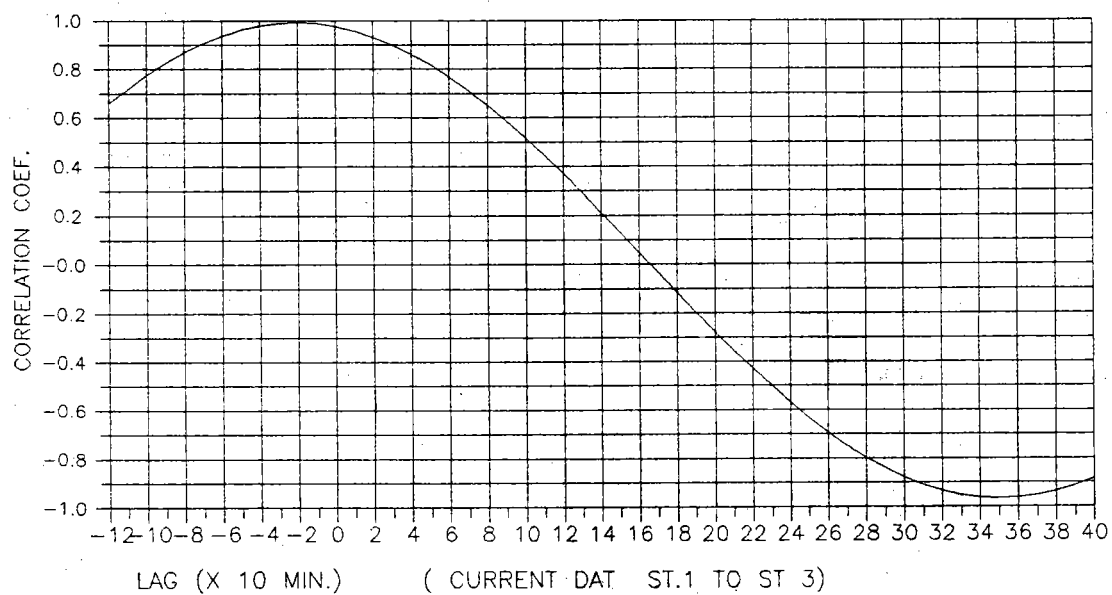
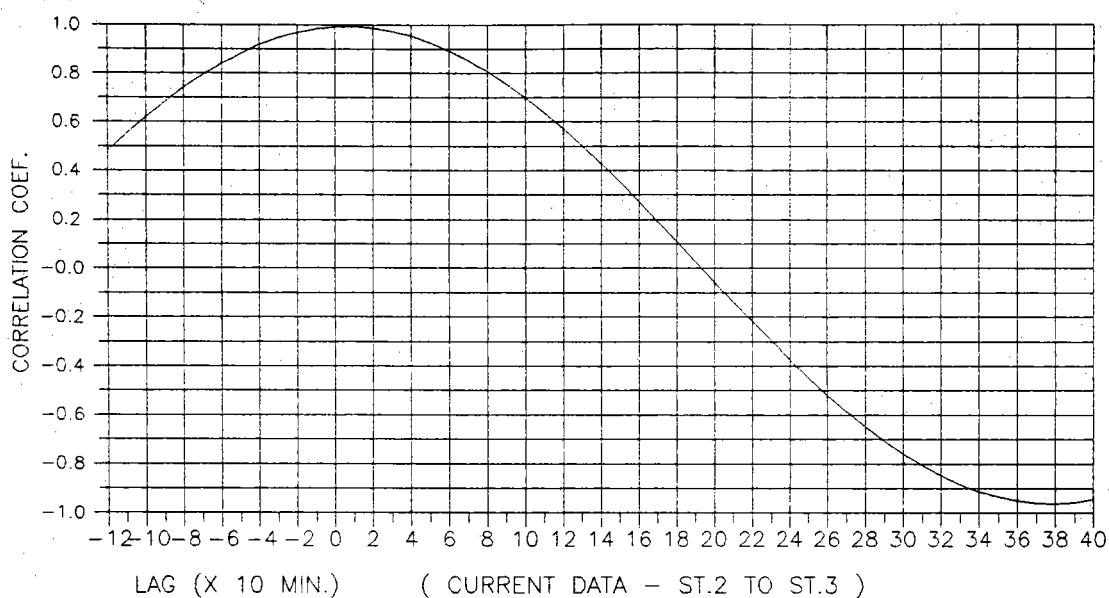


圖3.12 不同測站海流相關係數圖

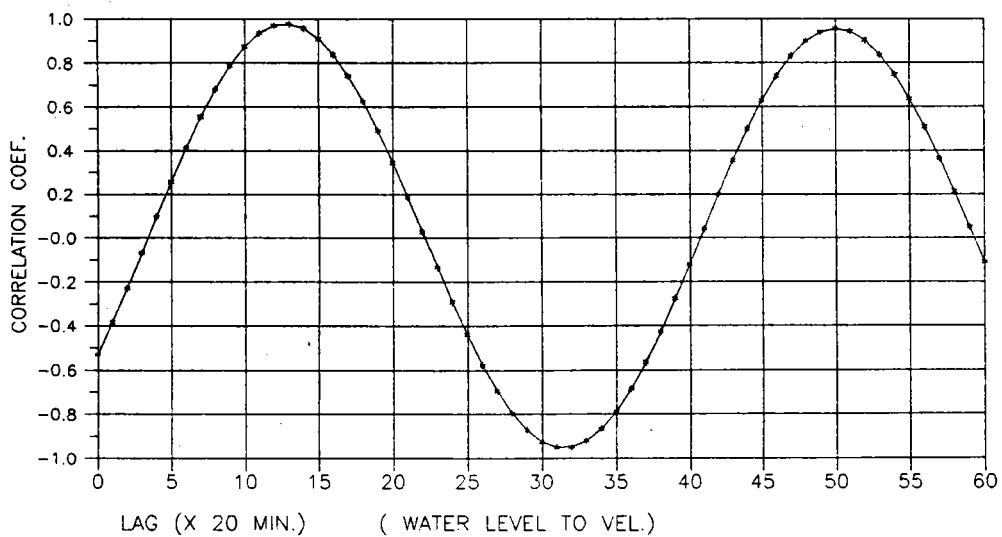
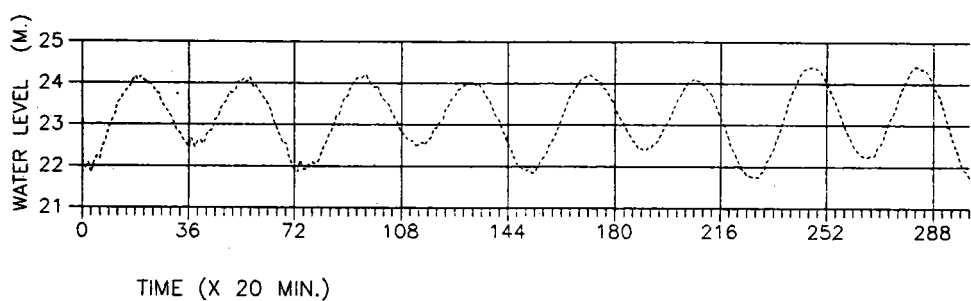
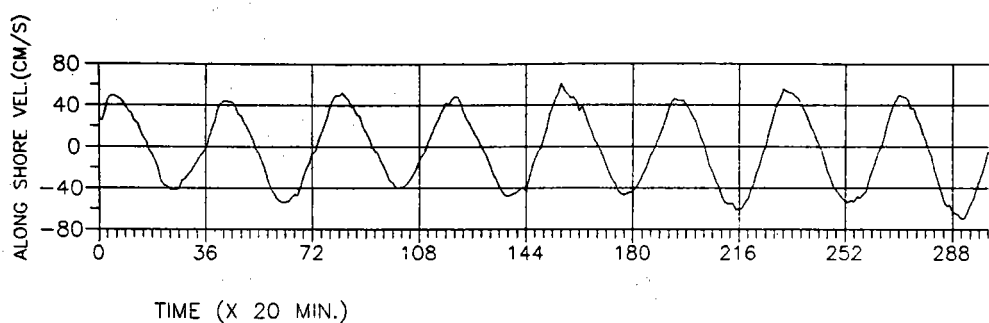


圖3.13 沿岸流速分量與水位相關分析圖

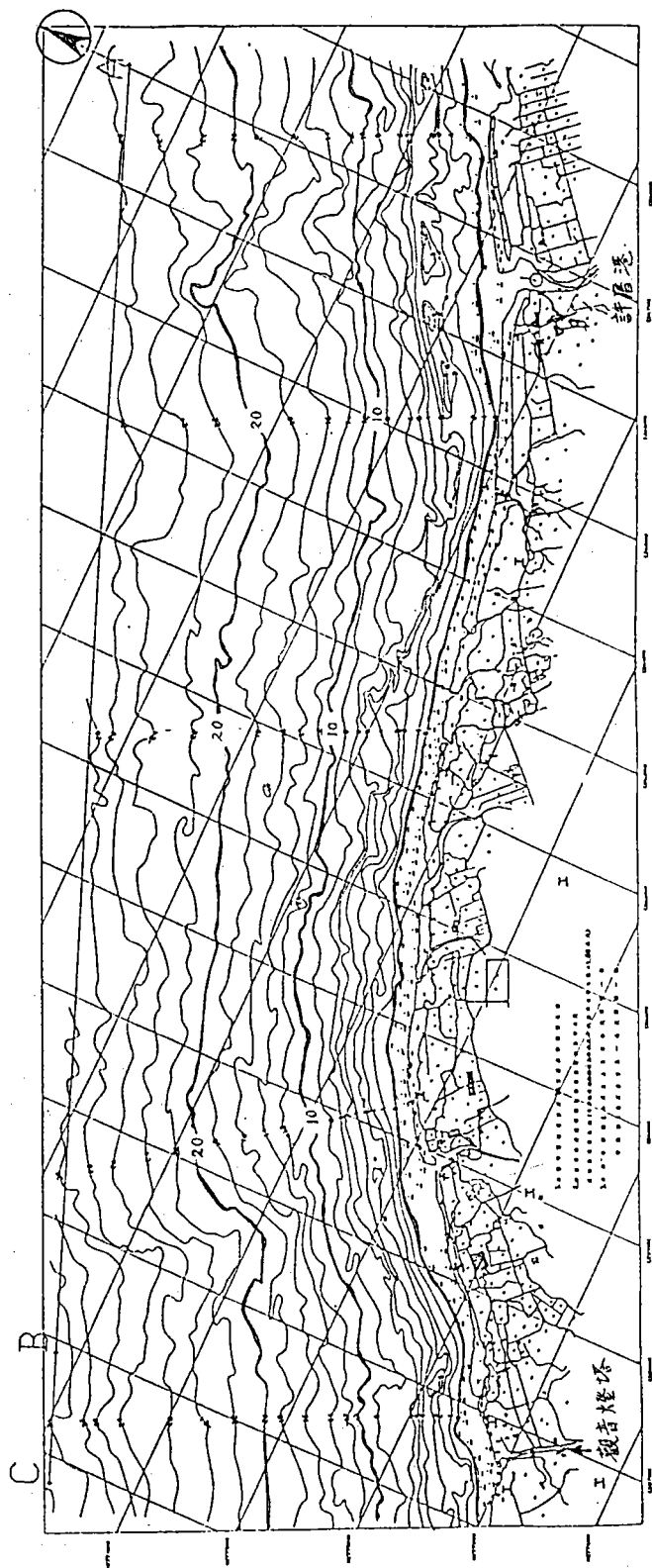


圖 3.14 觀音至許厝海域等深線圖

臺灣省交通處港灣技術研究所	桃園許厝港至觀音海域水深測量工程測量水深圖	設計工程師有限公司	比例尺	測繪日期	圖號
				82.05	



IMAGE : SPOT1 10/13/87
TIDE : - 50 CM

圖 3.15 1987年10月13日桃園觀音在潮位 -50cm 的 SPOT 影像 COPYRIGHT (C) CNES

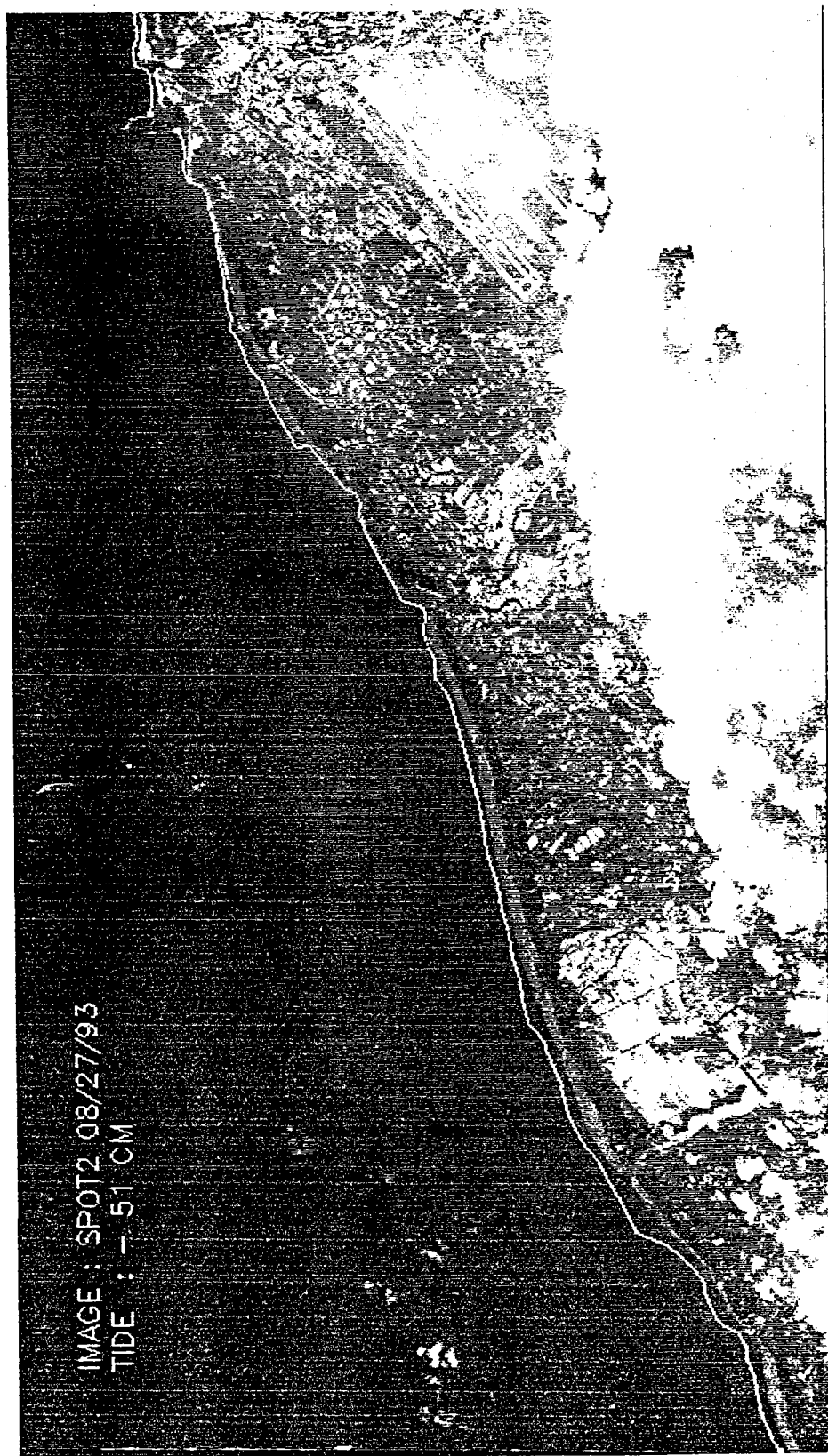


IMAGE : SPOT2 08/27/93
TIDE : - 51 CM

圖 3.16 1993 年 8 月 27 日桃園觀音在潮位 -51cm 的 SPOT 影像 COPYRIGHT (C) CNES



圖 3.17 桃園觀音從1987年至1993年之變化，黃線為1987年，
紅線為1993年之水陸邊界 COPYRIGHT (C) CNES

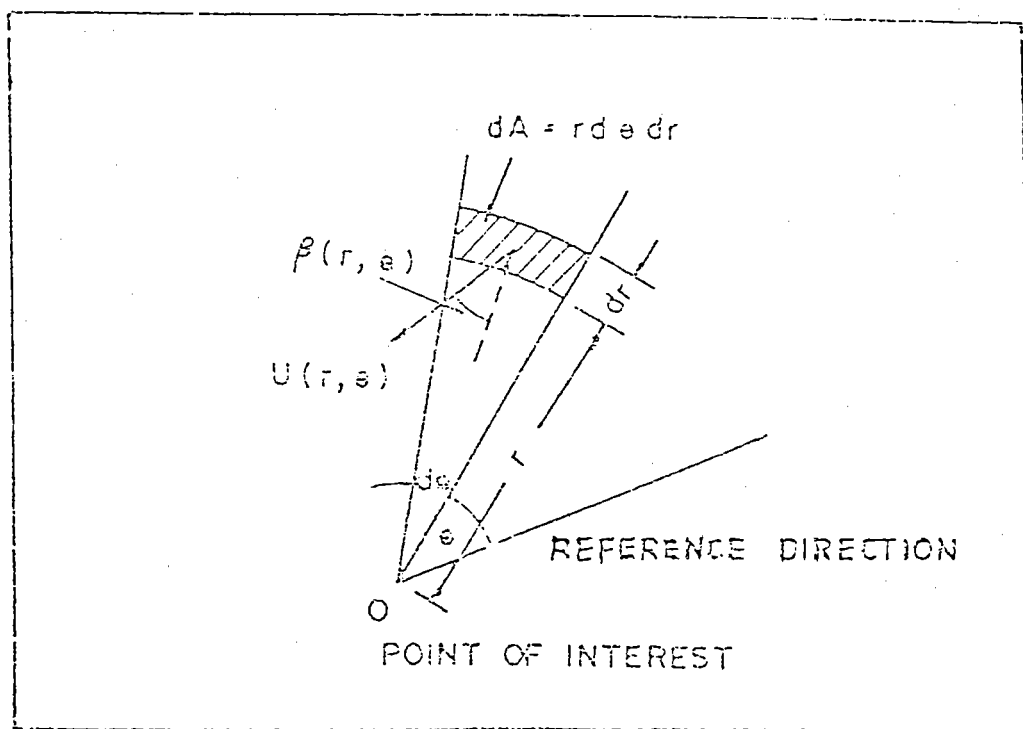


圖 4.1 風場座標系統示意圖

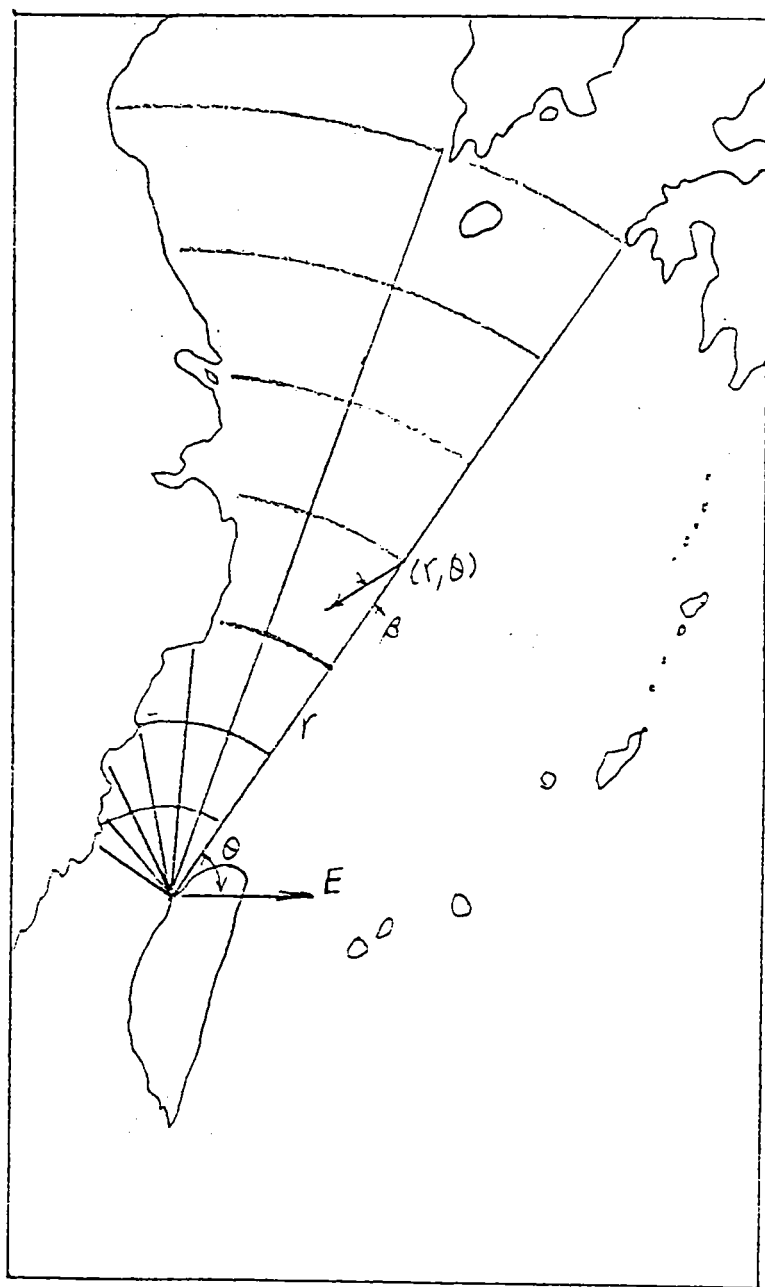


圖 4.2 元素波法現場示意圖

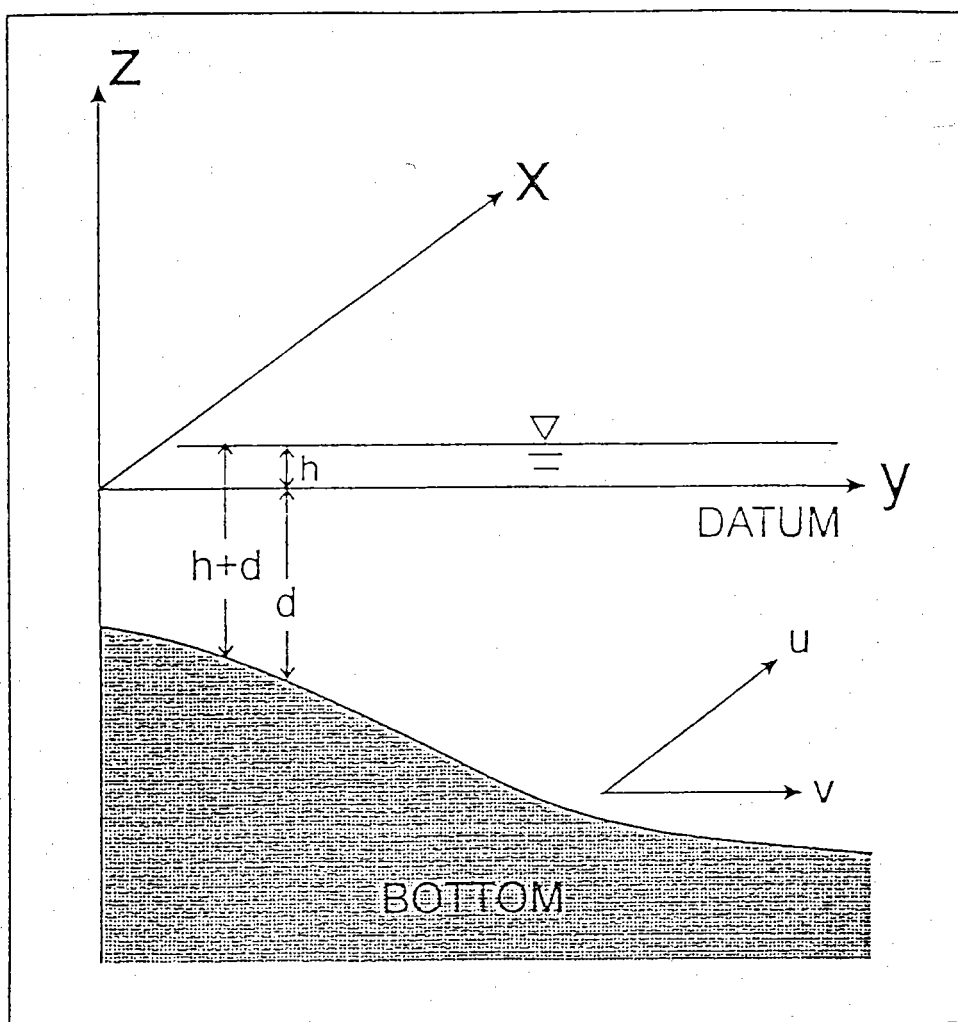


圖 4.3 座標系統與水深水位示意圖

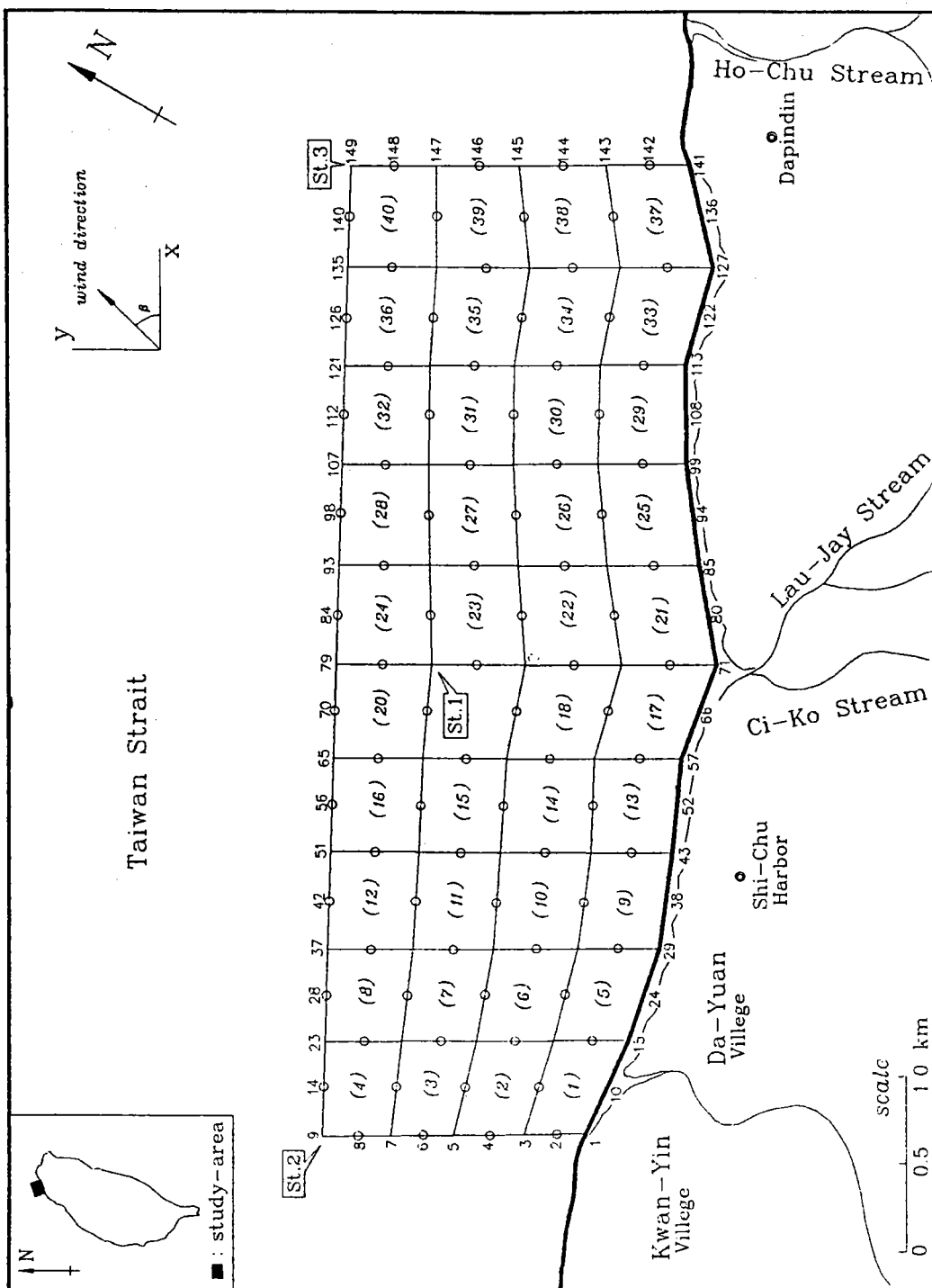


圖 5.1 有限元素網格畫分示意圖

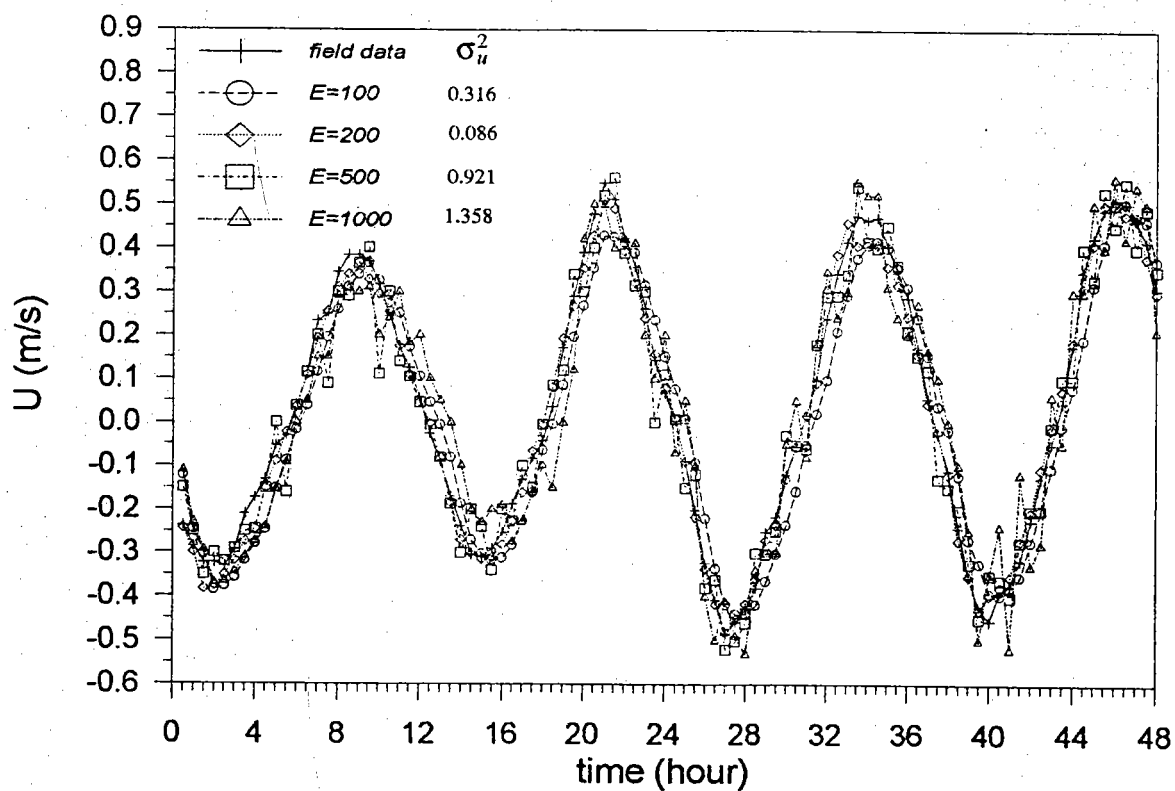


圖 5.2 橫向流速之計算值與實測值比較圖

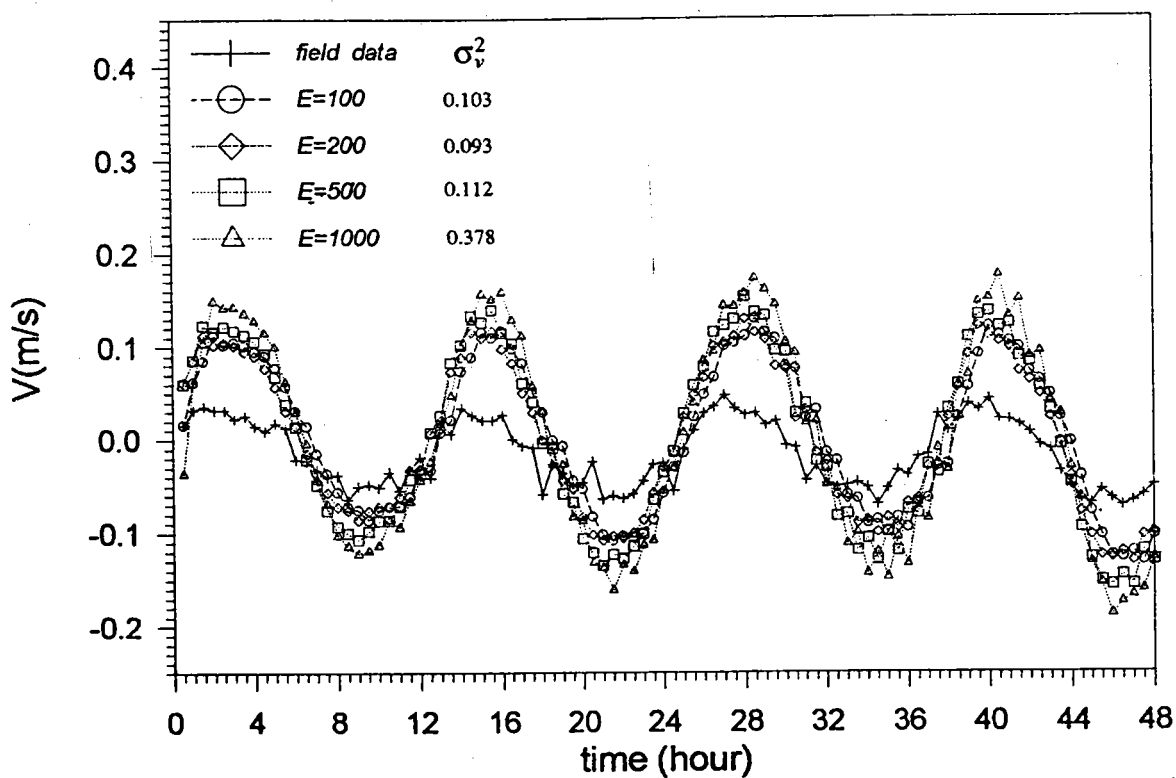


圖 5.3 縱向流速之計算值與實測值比較圖

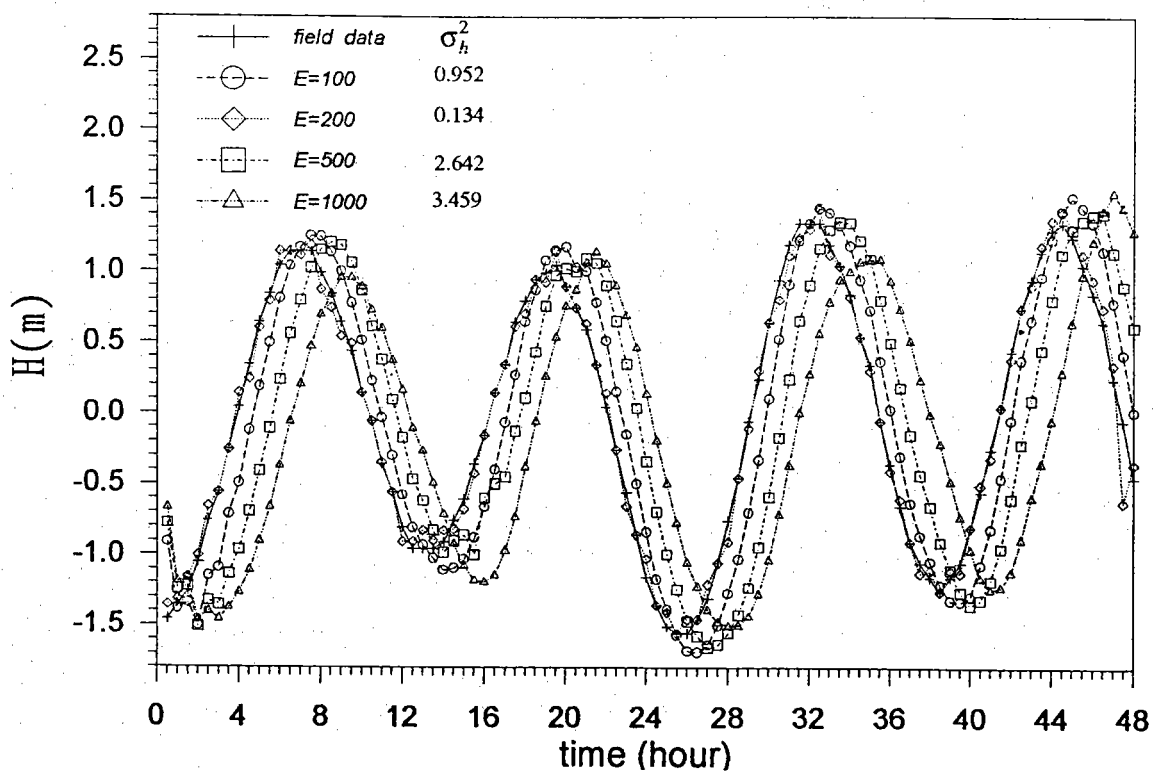


圖 5.4 水位變化之計算值與實測值比較圖

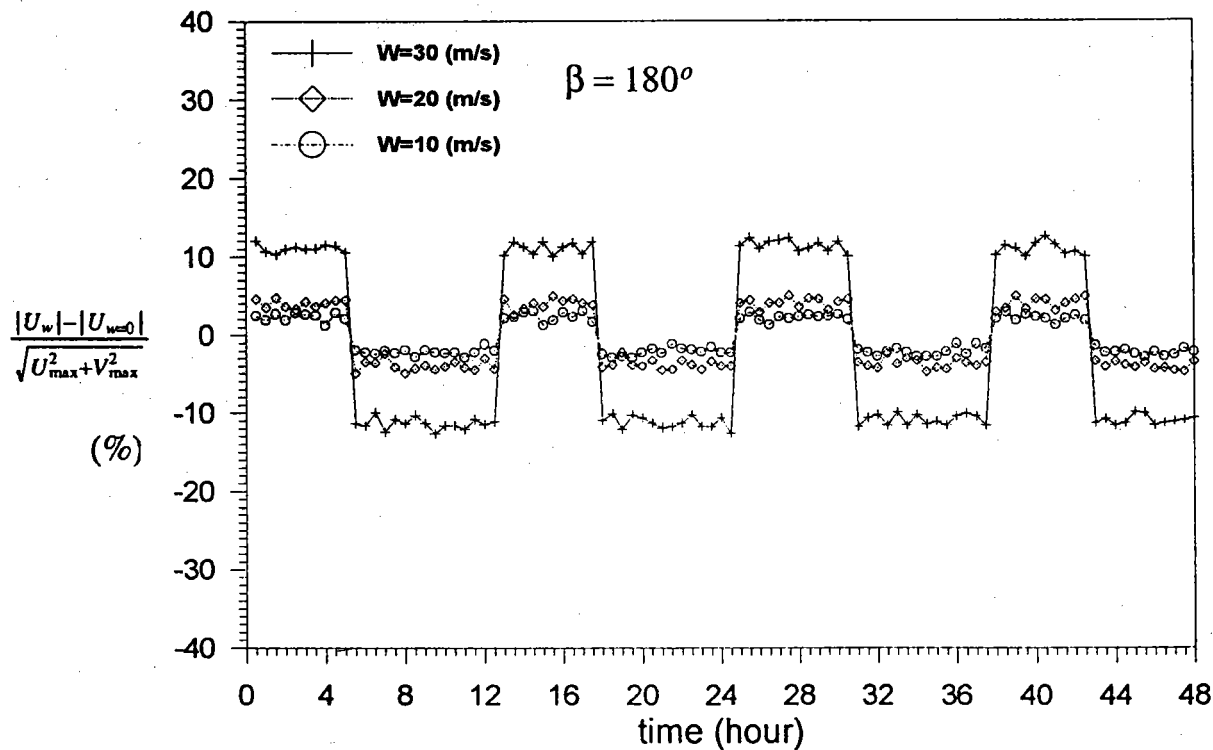
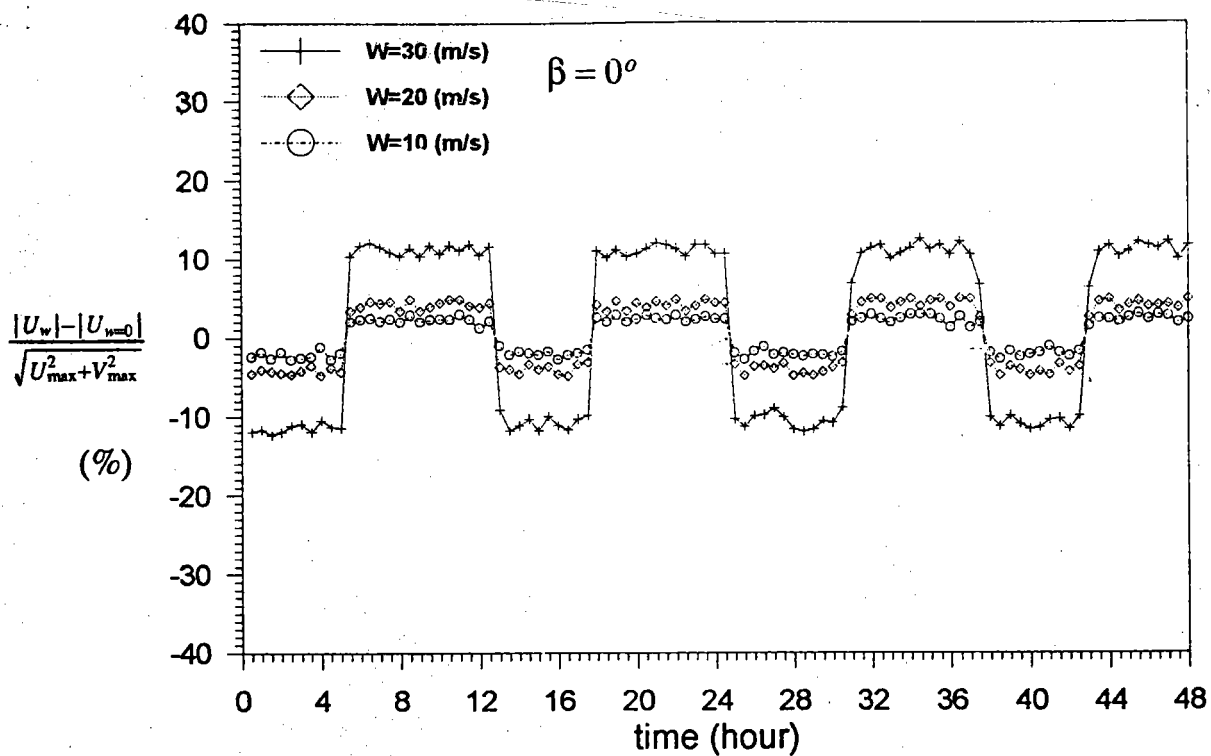


圖 5.5 風剪力對橫向流速之影響百分率比較圖

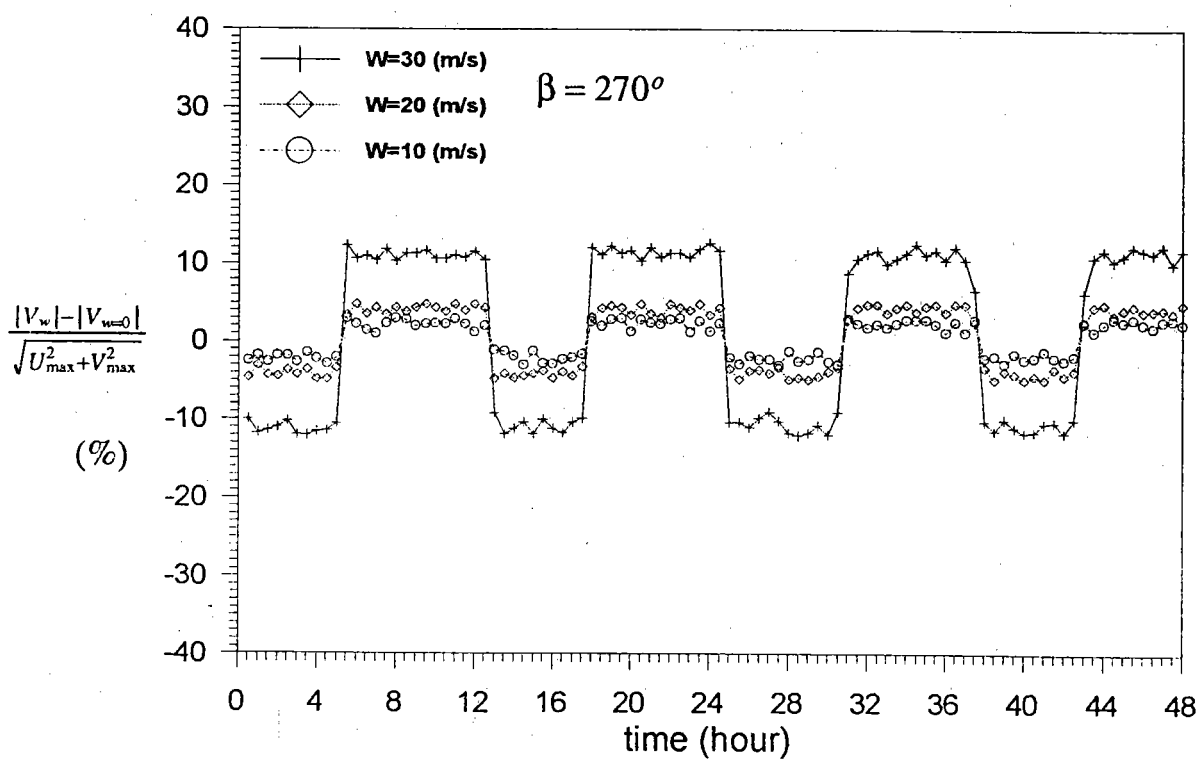
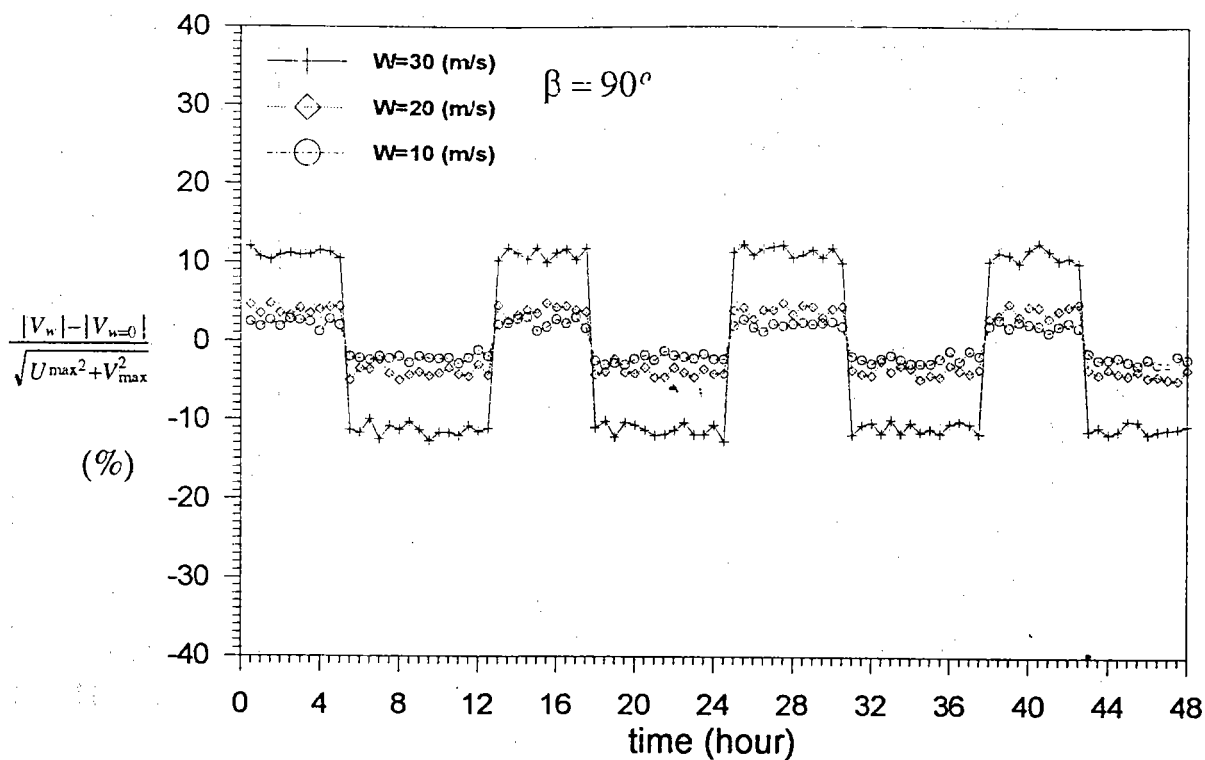


圖 5.6 風剪力對縱向流速之影響百分率比較圖

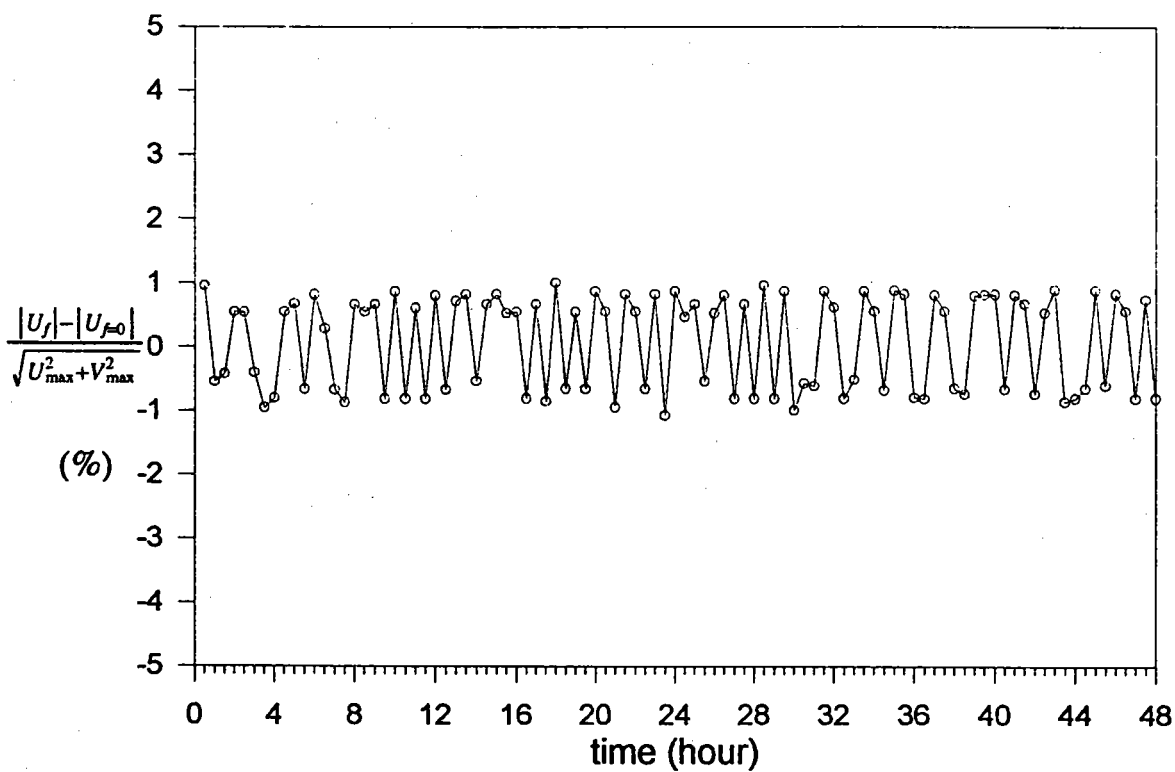


圖 5.7 科氏力對橫向流速之影響百分率圖

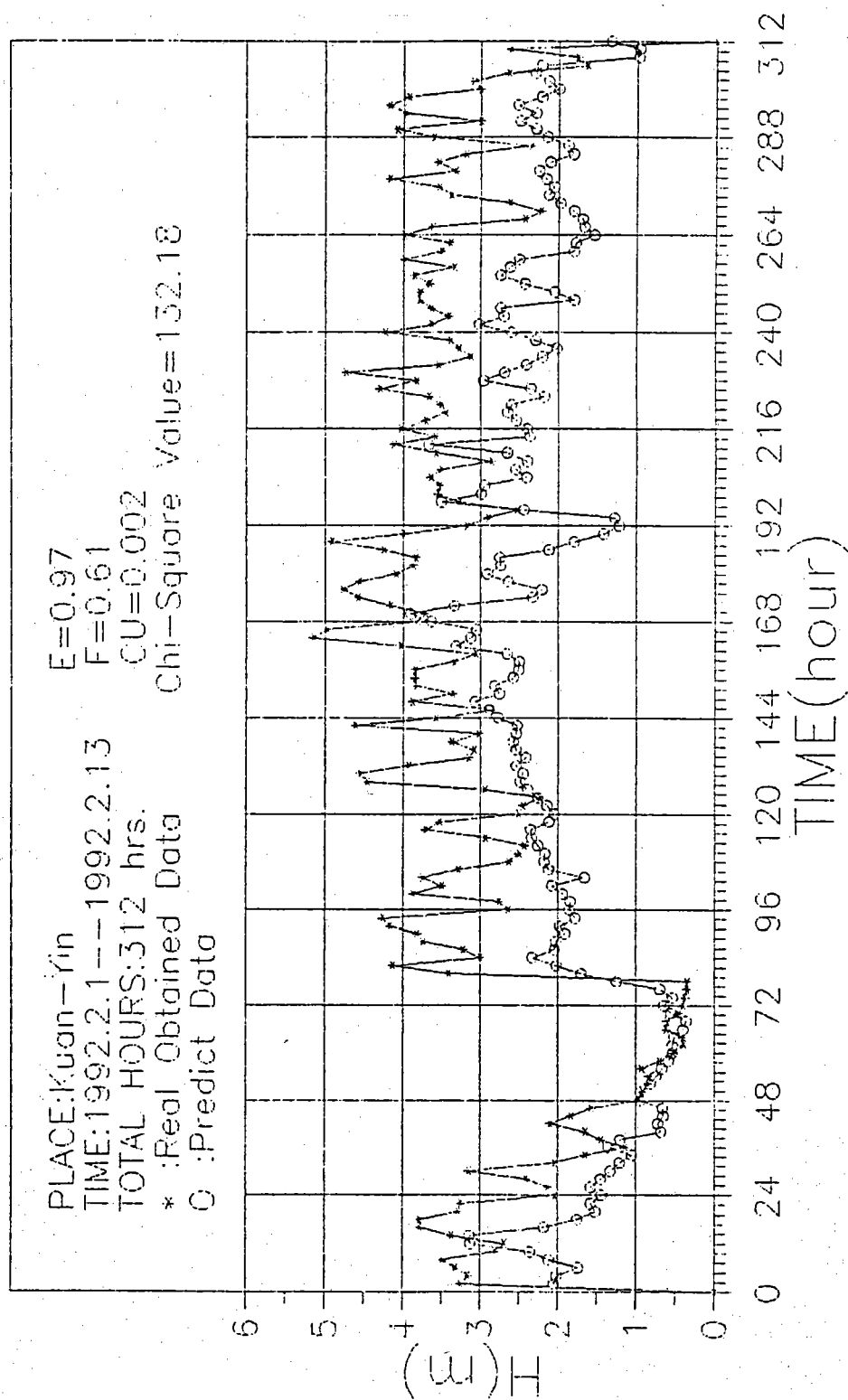


圖 6.1.a 不同 ξ 值對波高預報結果之影響 ($\xi = 0.002$)

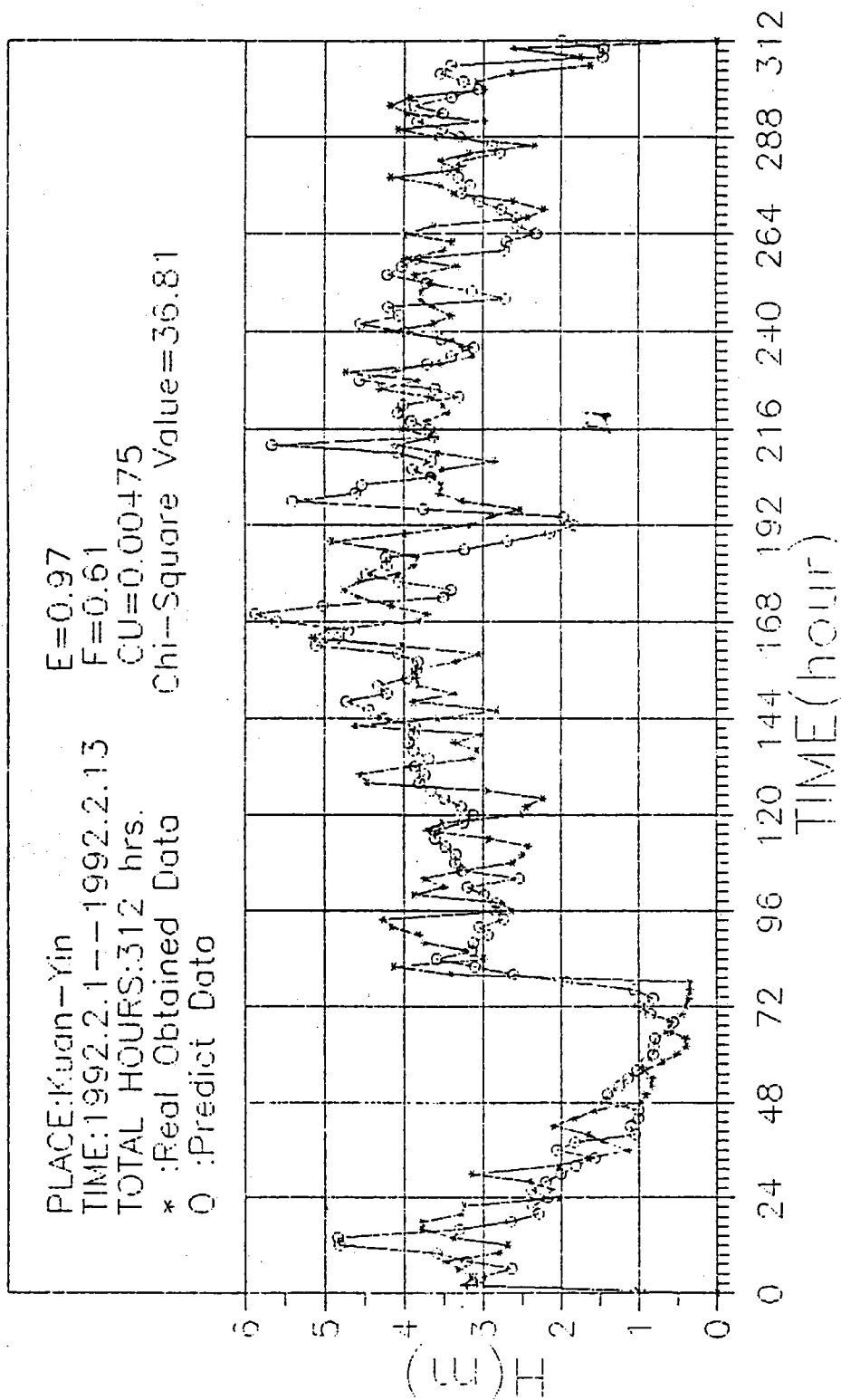


圖 6.1.1.b 不同 ξ 值對波高預報結果之影響 ($\xi = 0.00475$)

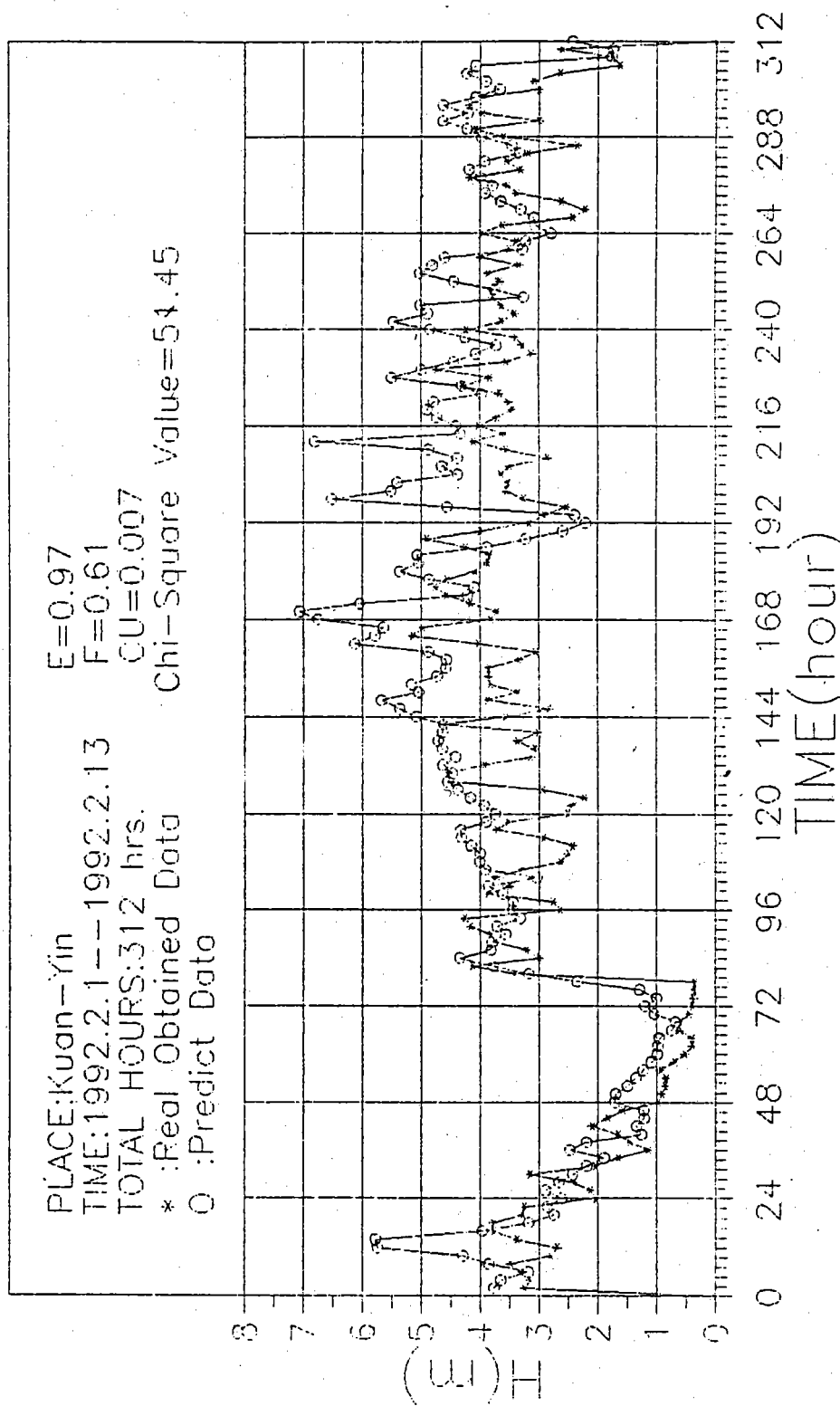


圖 6.1.c 不同 ξ 值對波高預報結果之影響 ($\xi = 0.007$)

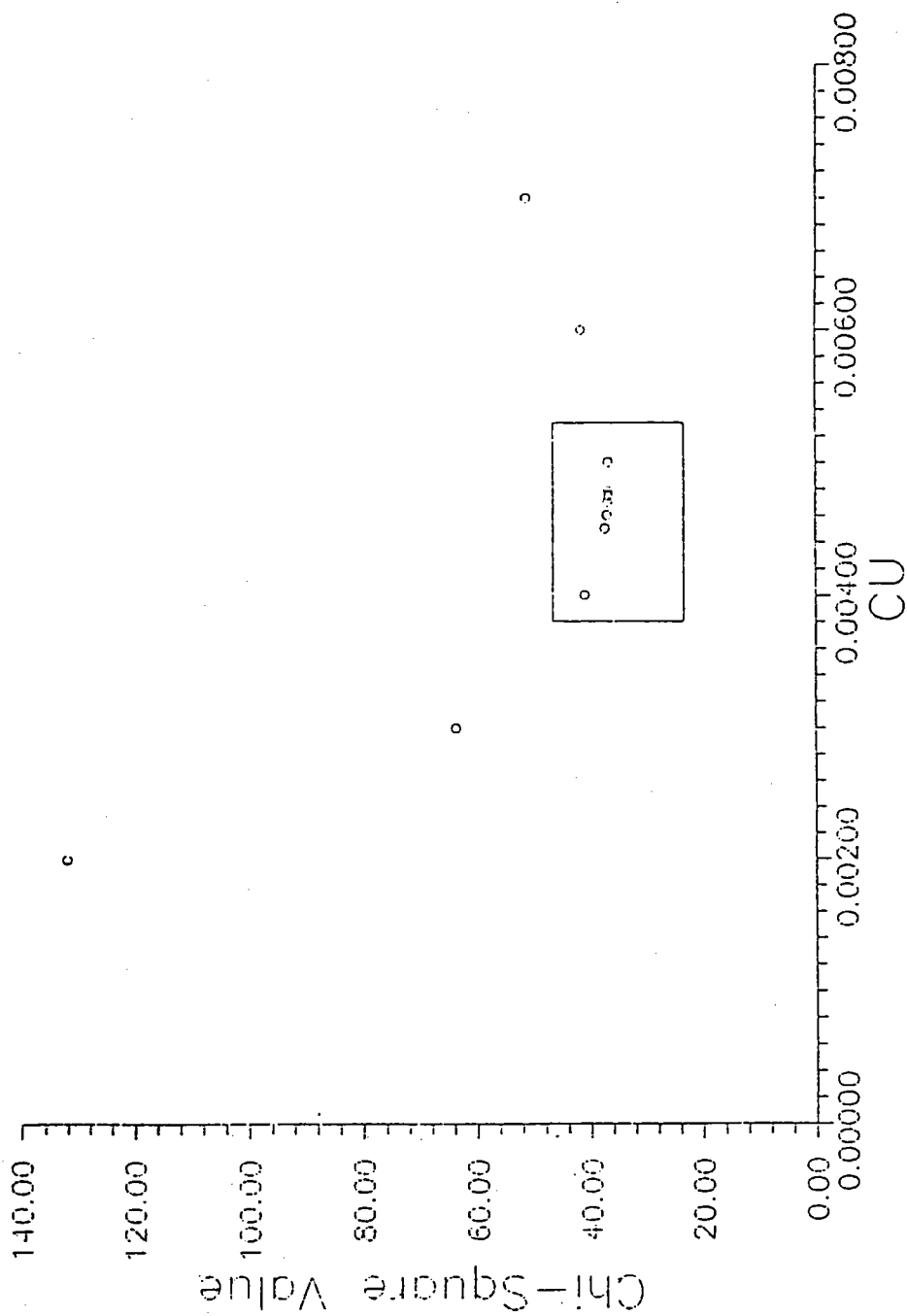


圖 6.2.a ξ 值與預報波高適合度之關係

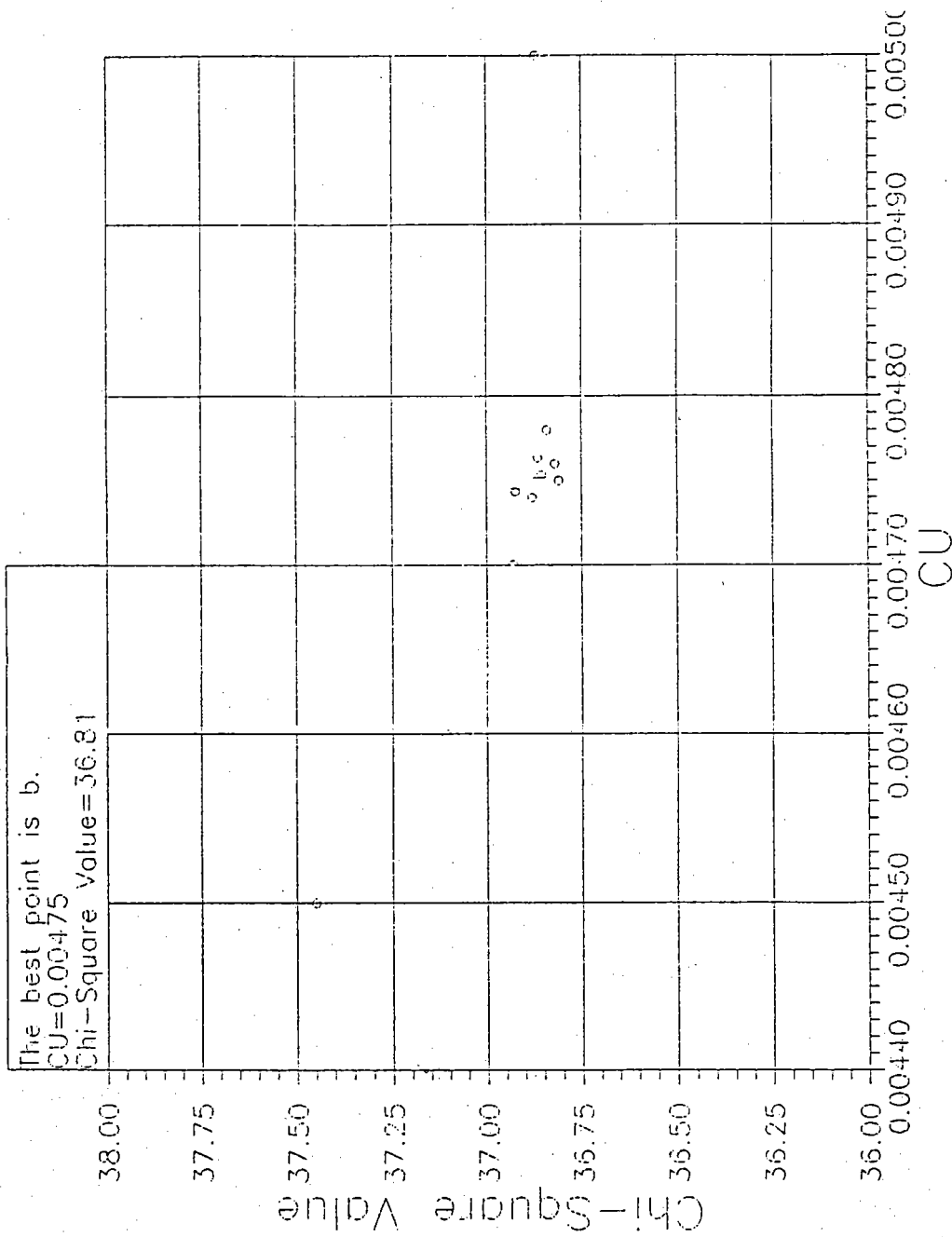


圖 6.2.b ξ 值與預報波高適合度之關係

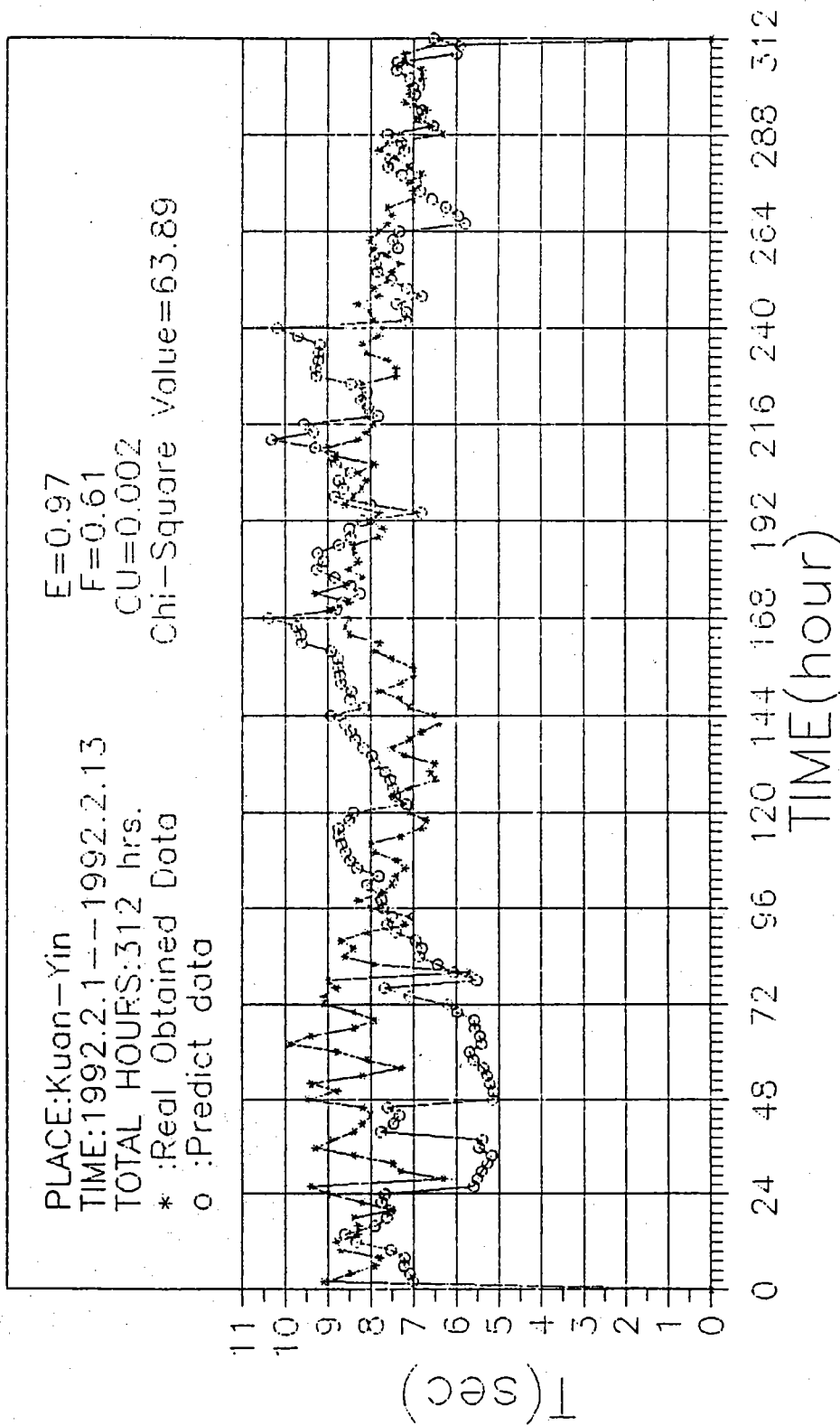


圖 6.3.a ξ 值對週期預報結果之影響

PLACE:Kuan-Yin
 TIME:1992.2.1--1992.2.13
 TOTAL HOURS:312 hrs.
 * :Real Obtained Data
 o :Predict Data
 E=0.97
 F=0.61
 CU=0.00475
 Chi-Square Value=62.54

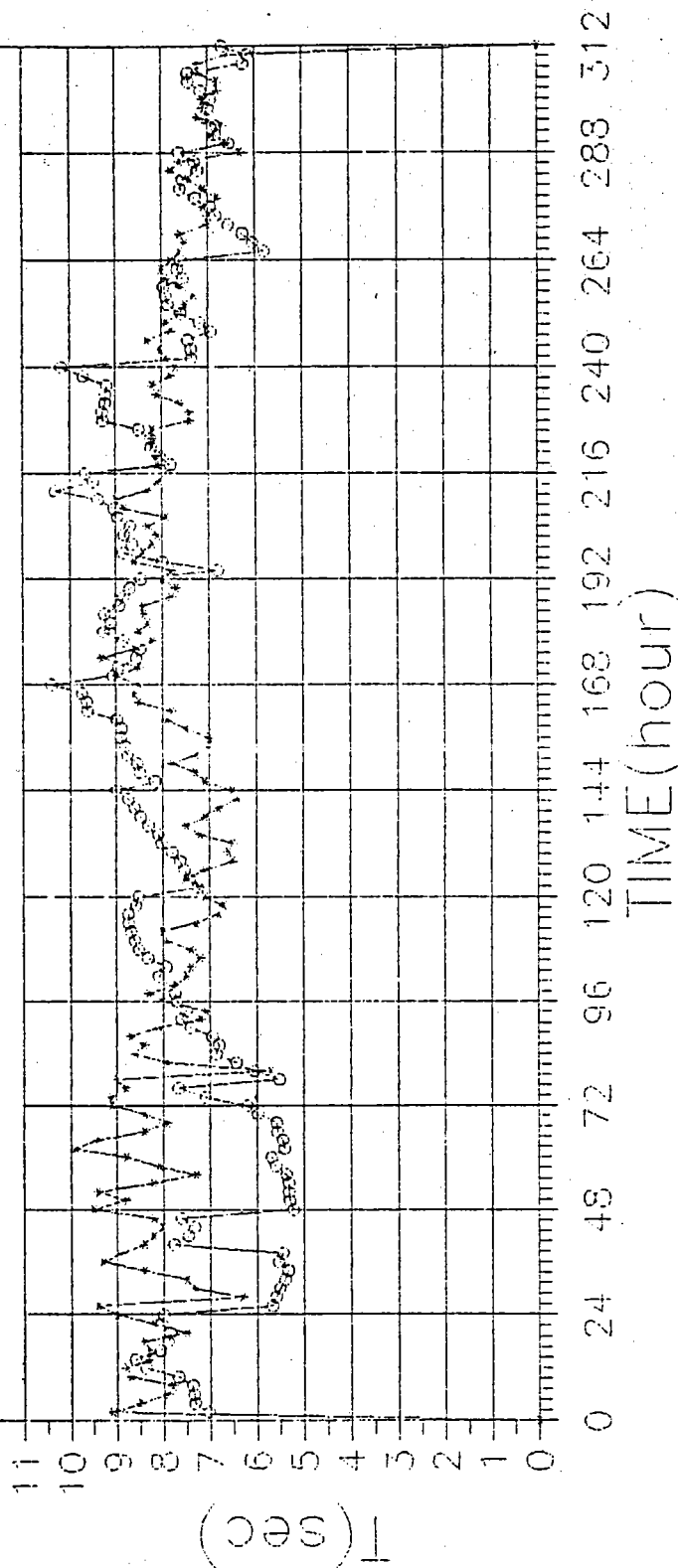


圖 6.3.b ξ 值對週期預報結果之影響

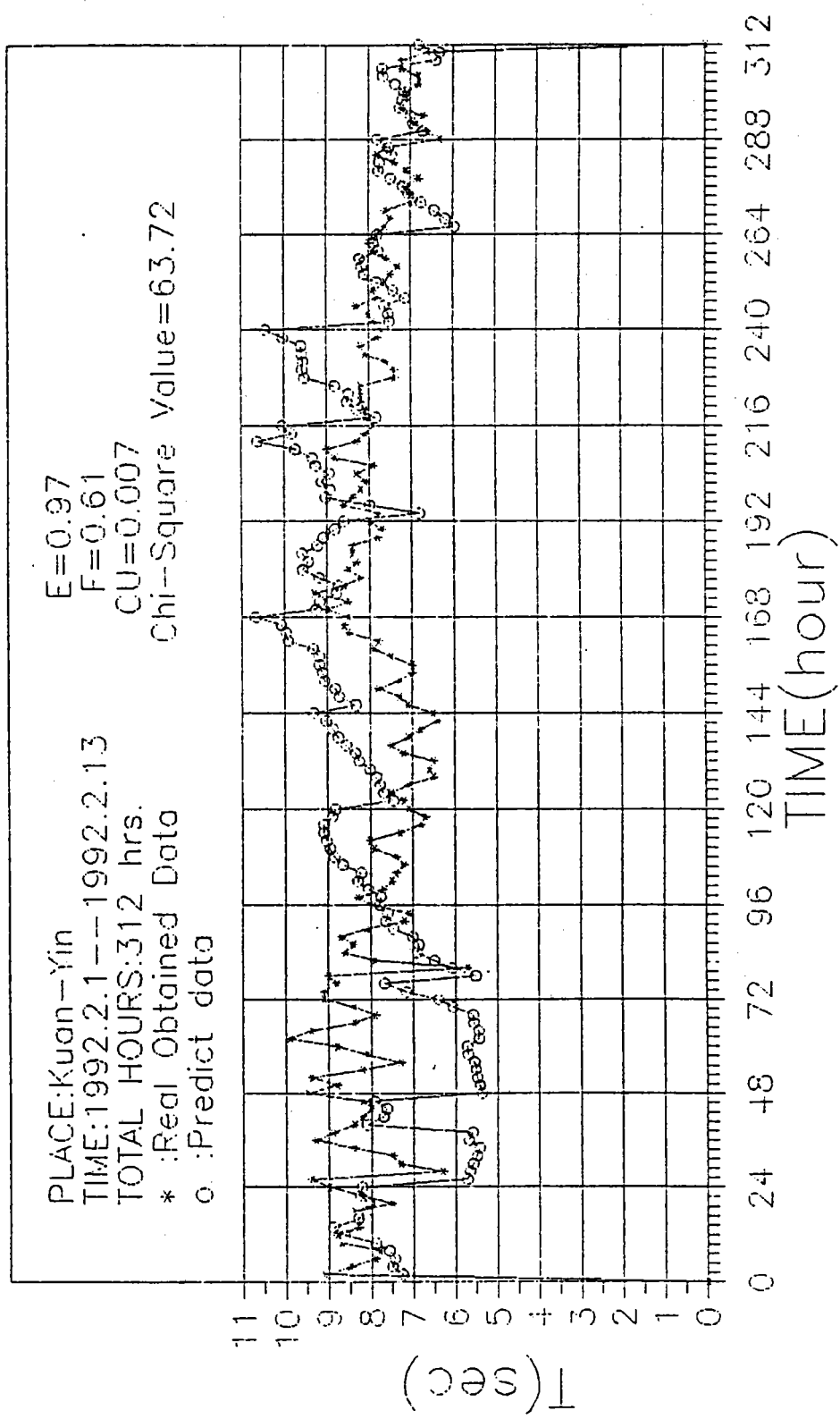


圖 6.3.c ξ 值對週期預報結果之影響

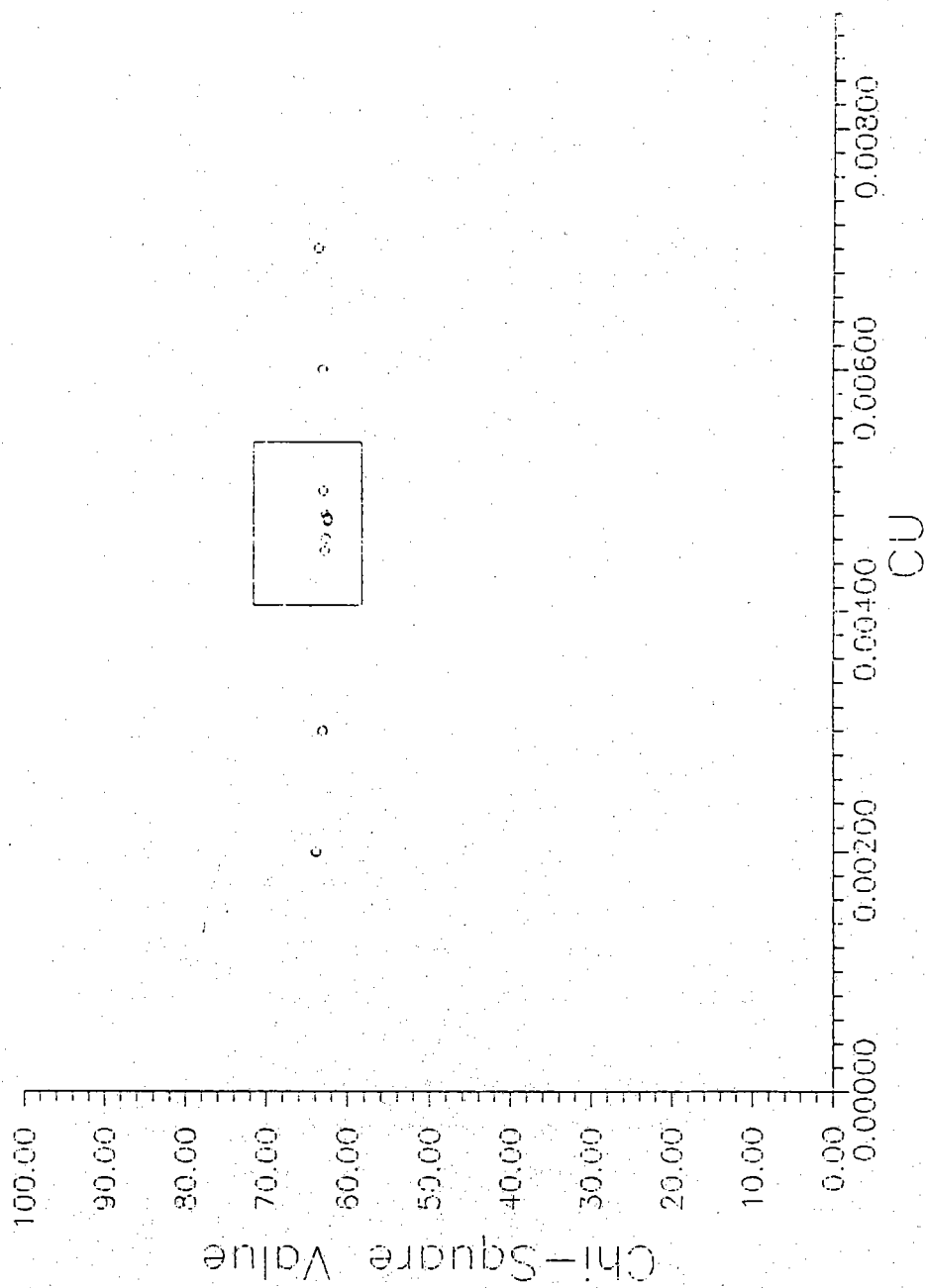


圖 6.3.d ξ 值對週期預報結果之影響

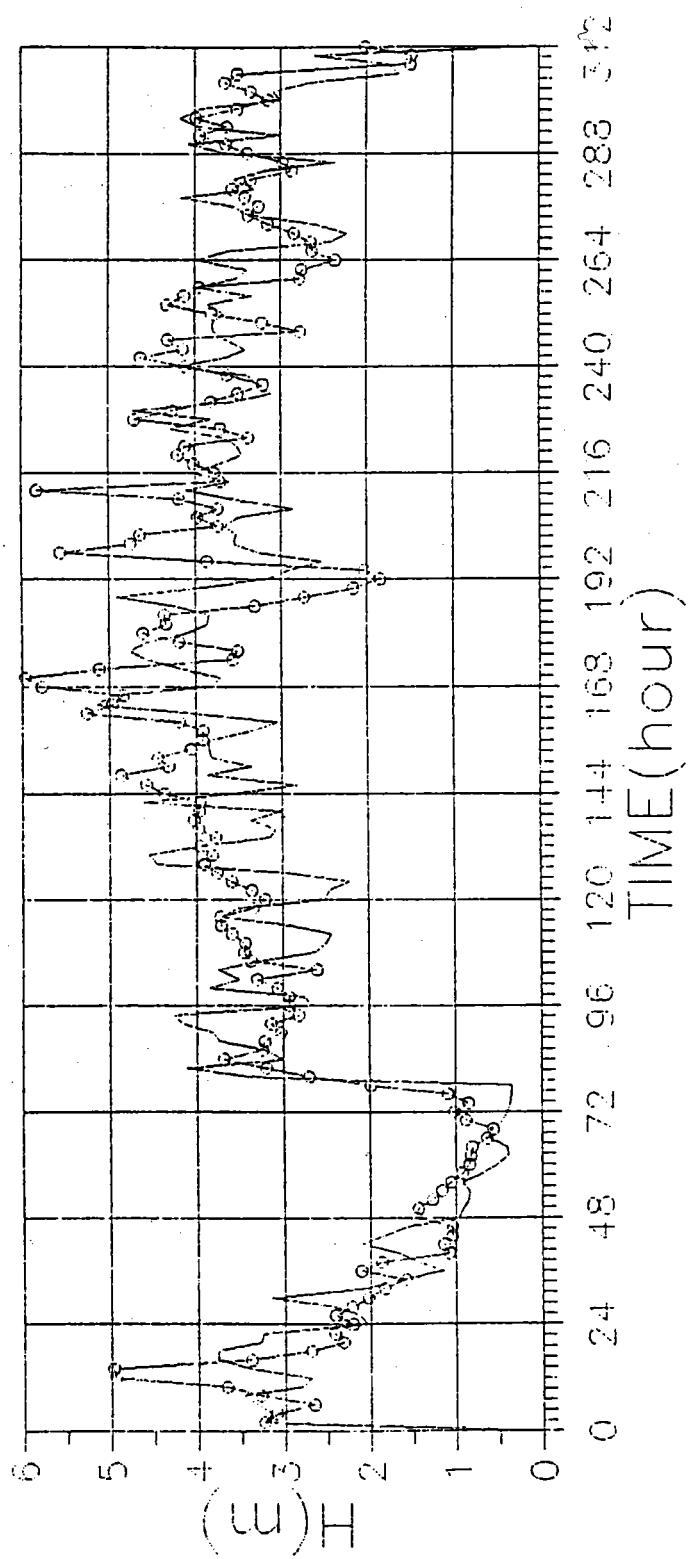


圖 6.4.a 波浪預報時間變化圖

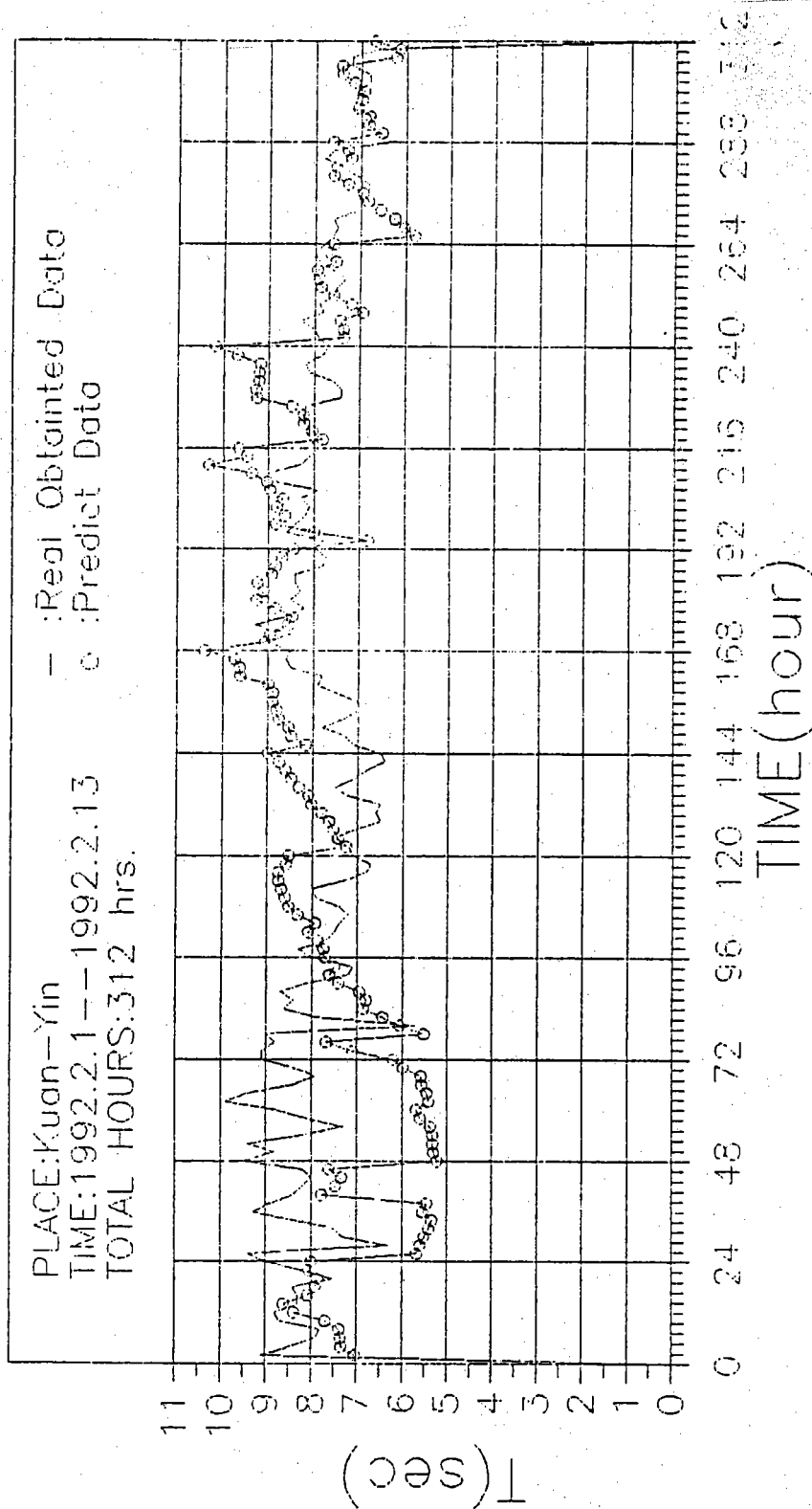


圖 6.4.b 波浪預報時間變化圖

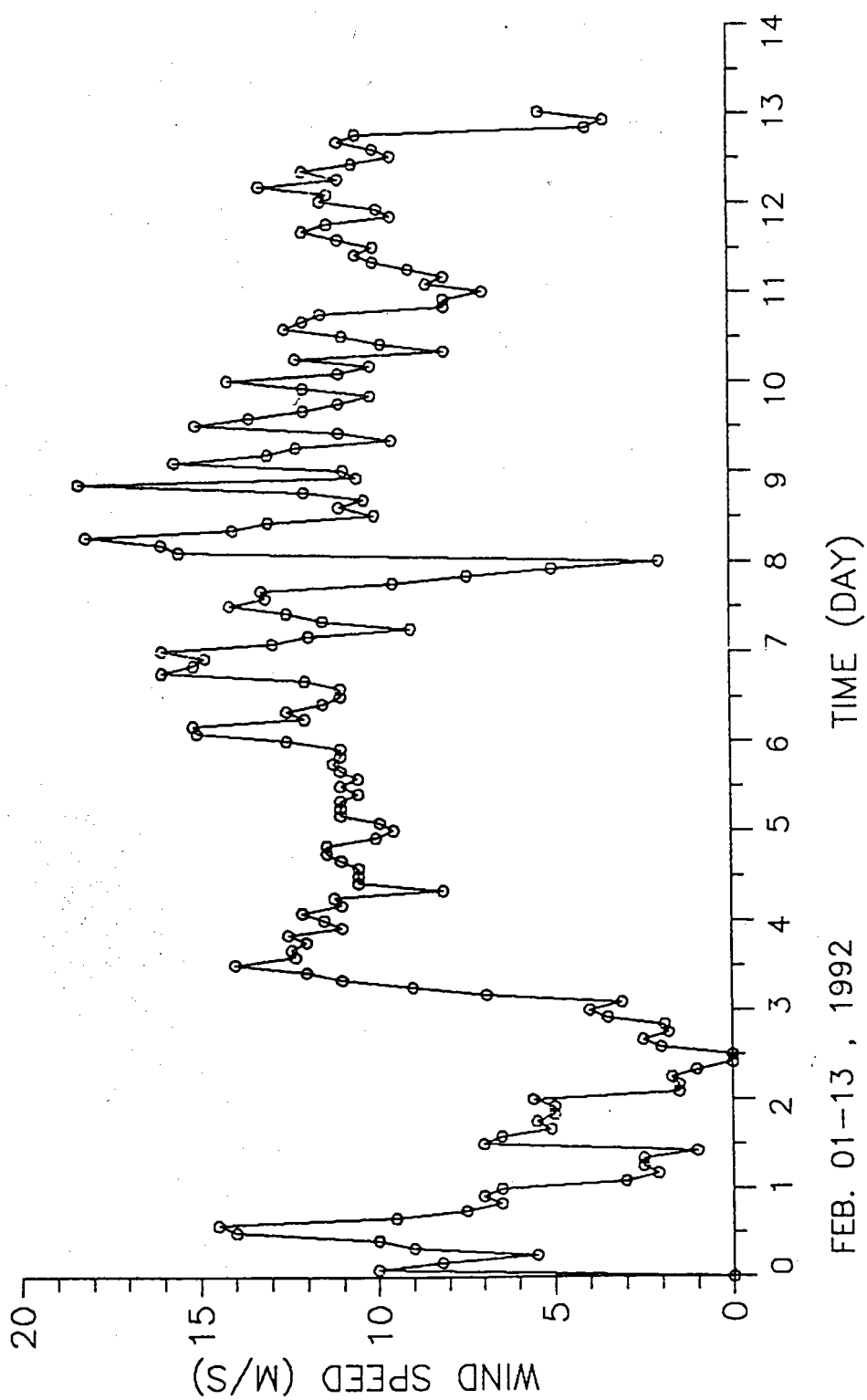


圖 6.5 風速時間變化圖

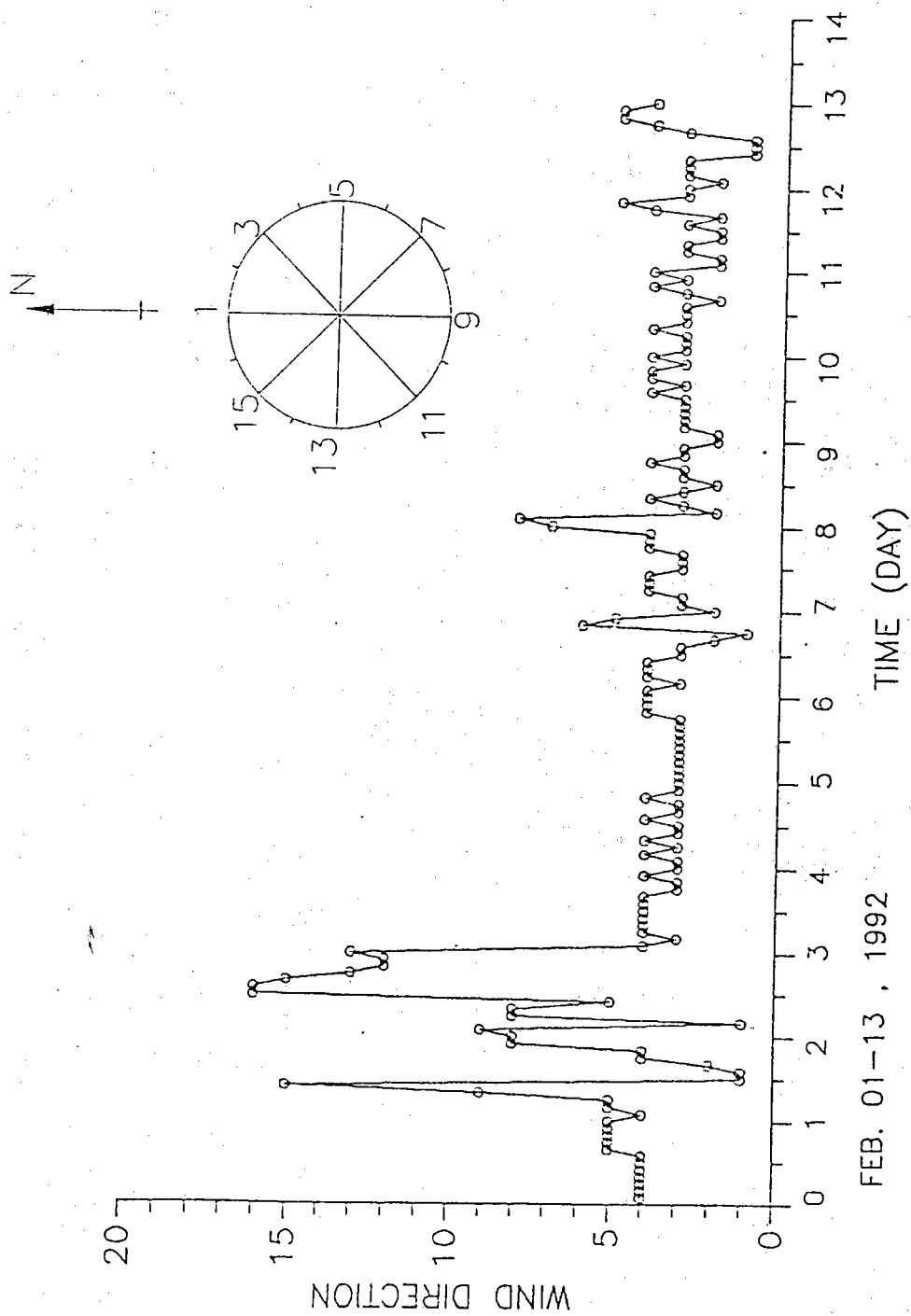


圖 6.6 風向時間變化圖

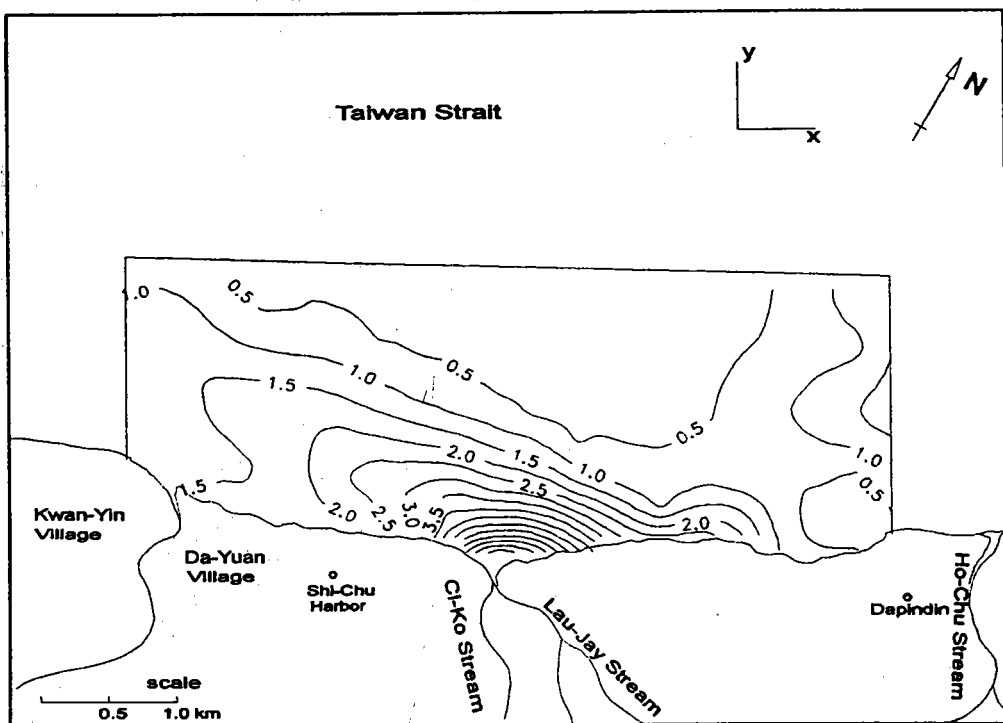
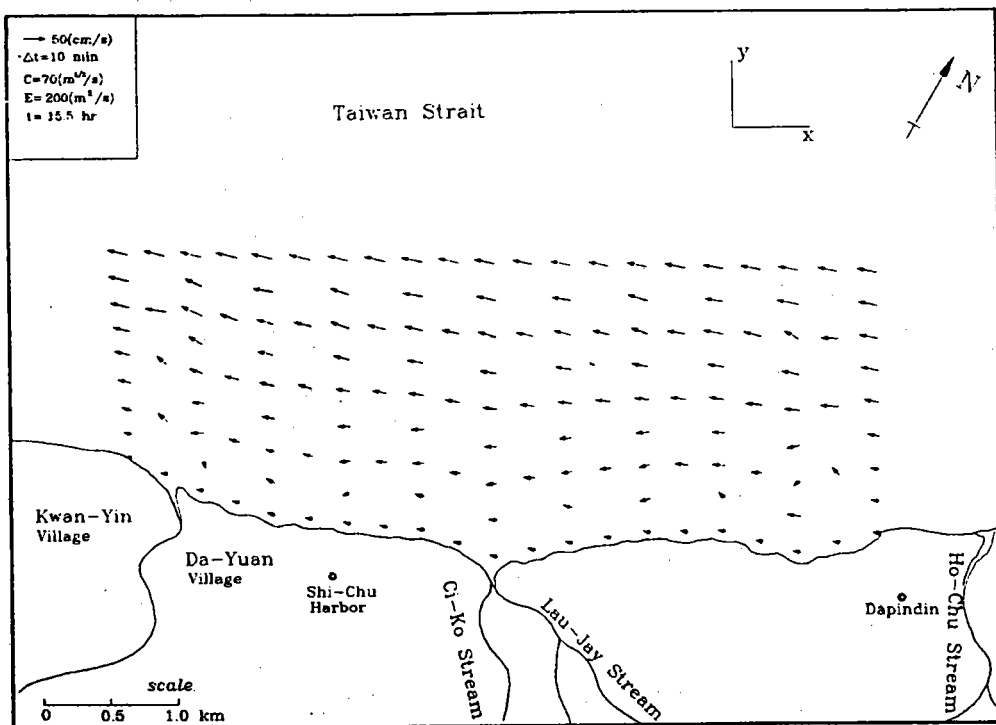


圖 6.7 15.5小時後，流況與濃度擴散分佈圖

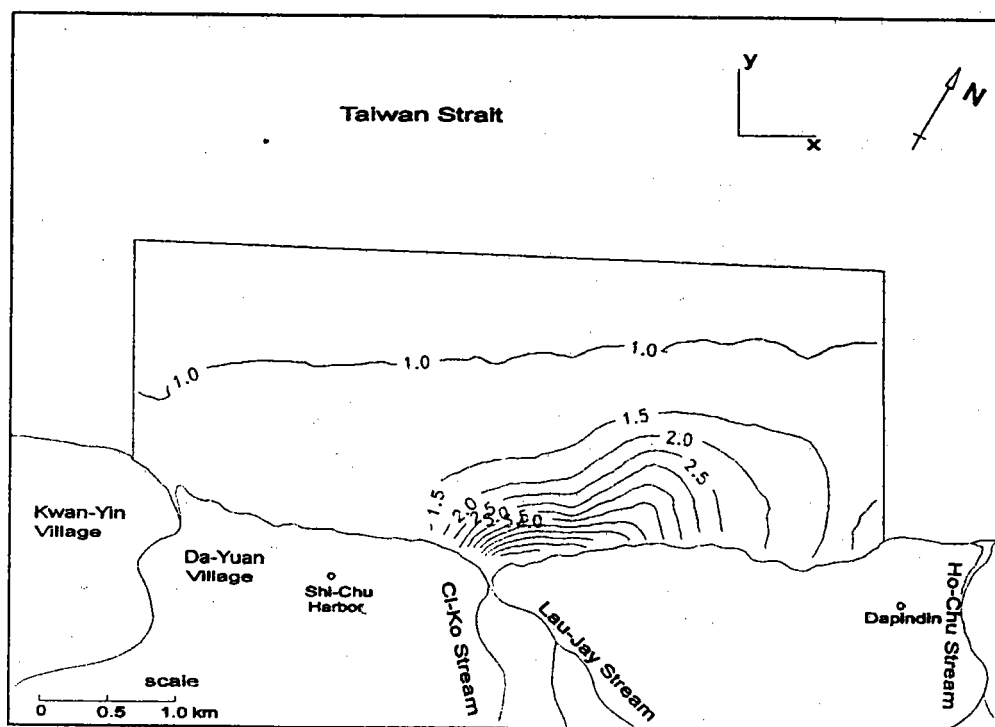
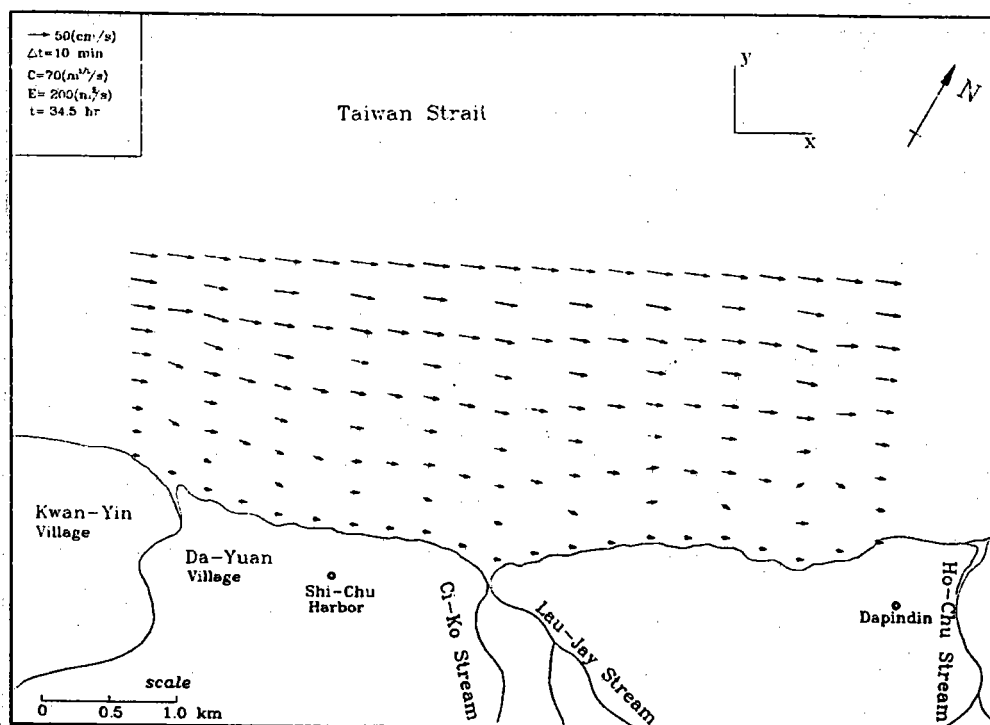


圖 6.8 34.5小時後，流況與濃度擴散分佈圖

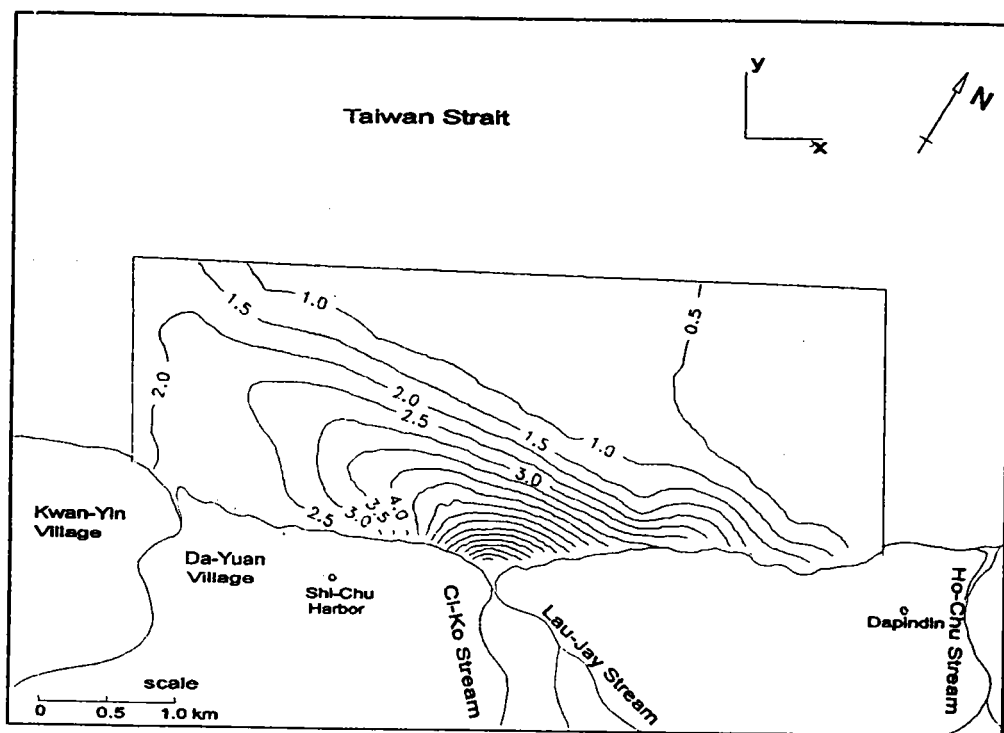
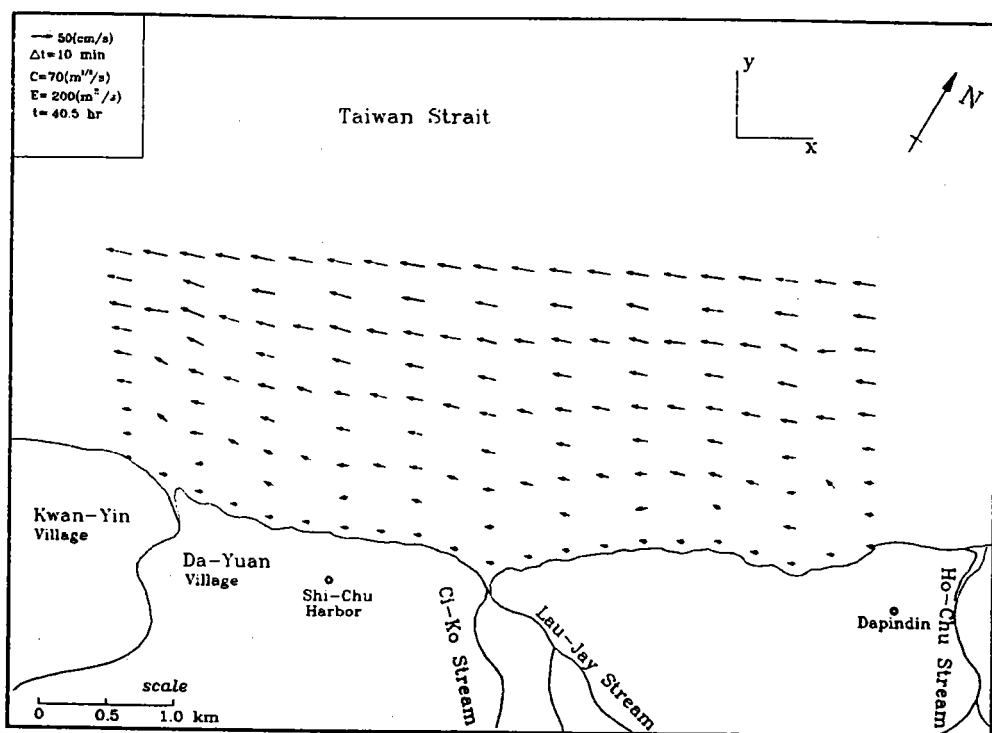


圖 6.9 40小時後，流況與濃度擴散分佈圖

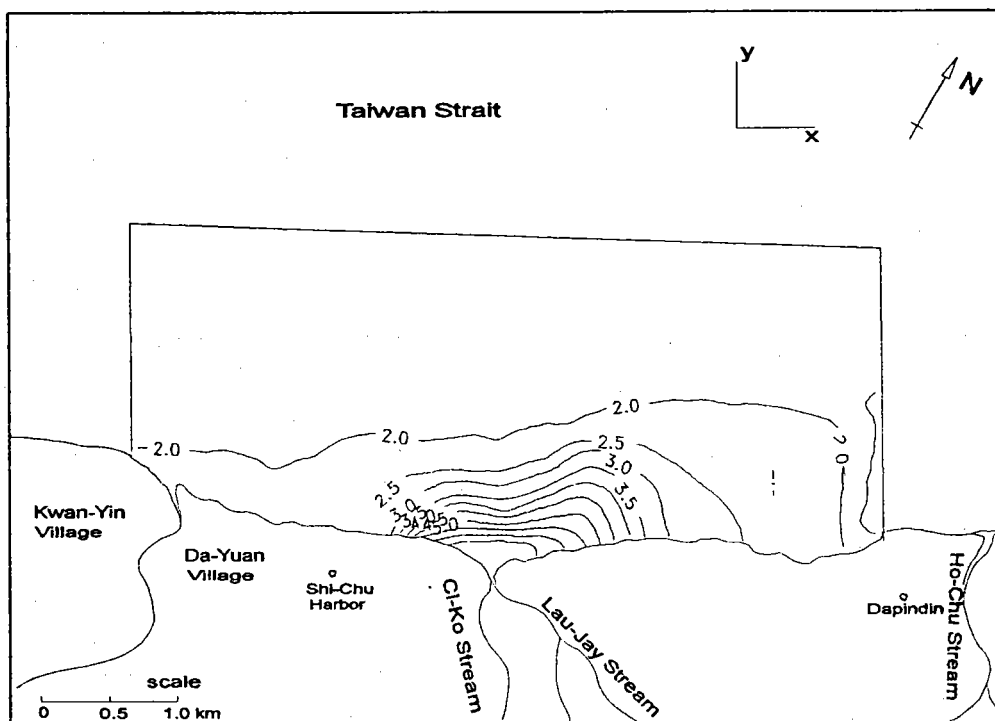
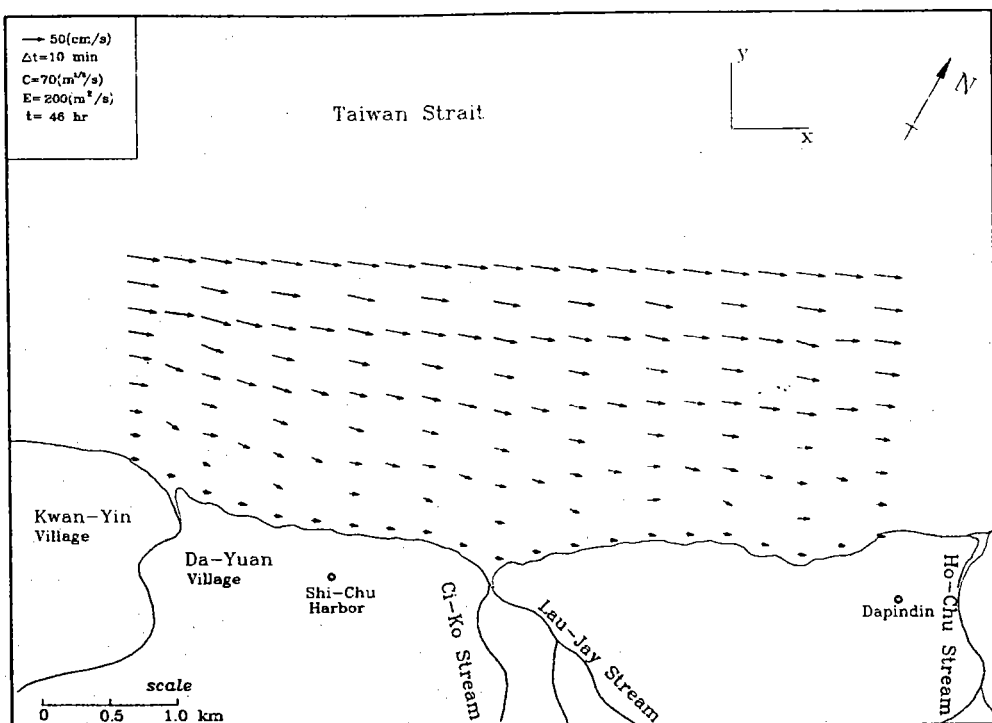


圖 6.10 46小時後，流況與濃度擴散分佈圖

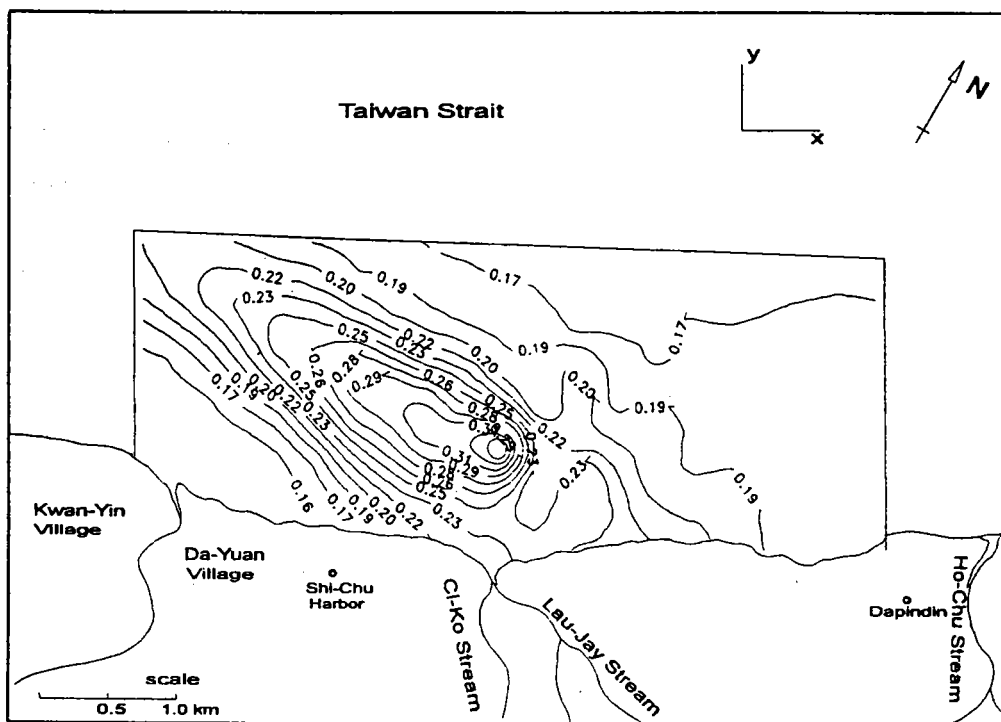
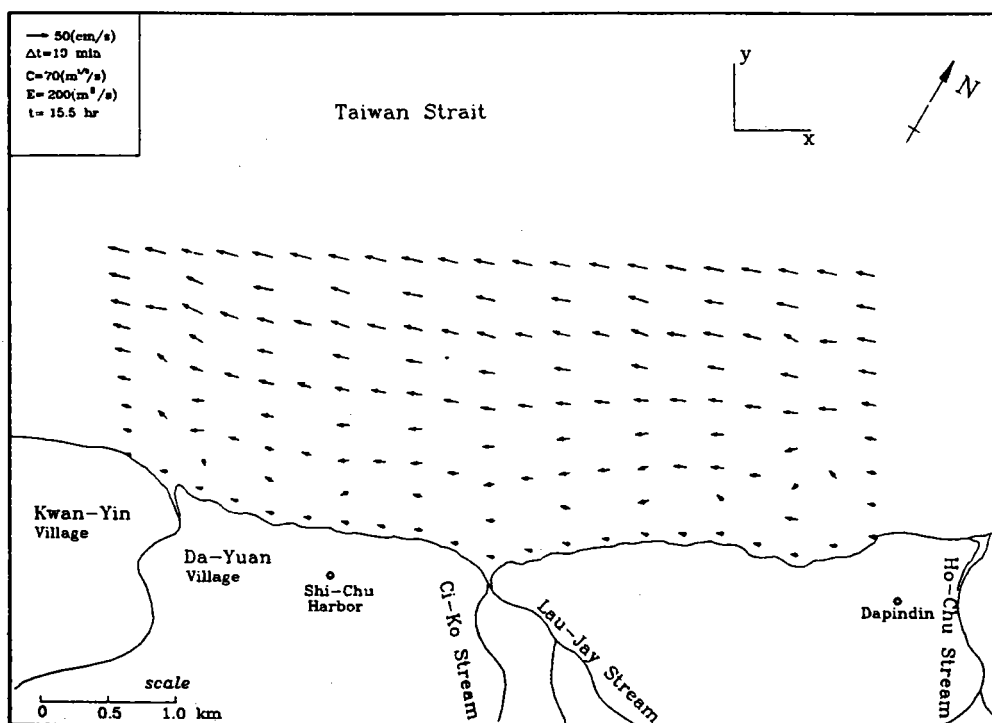


圖 6.11.a 放流濃度擴散分佈圖($h=10\text{m}$, $t=15.5\text{hr}$)

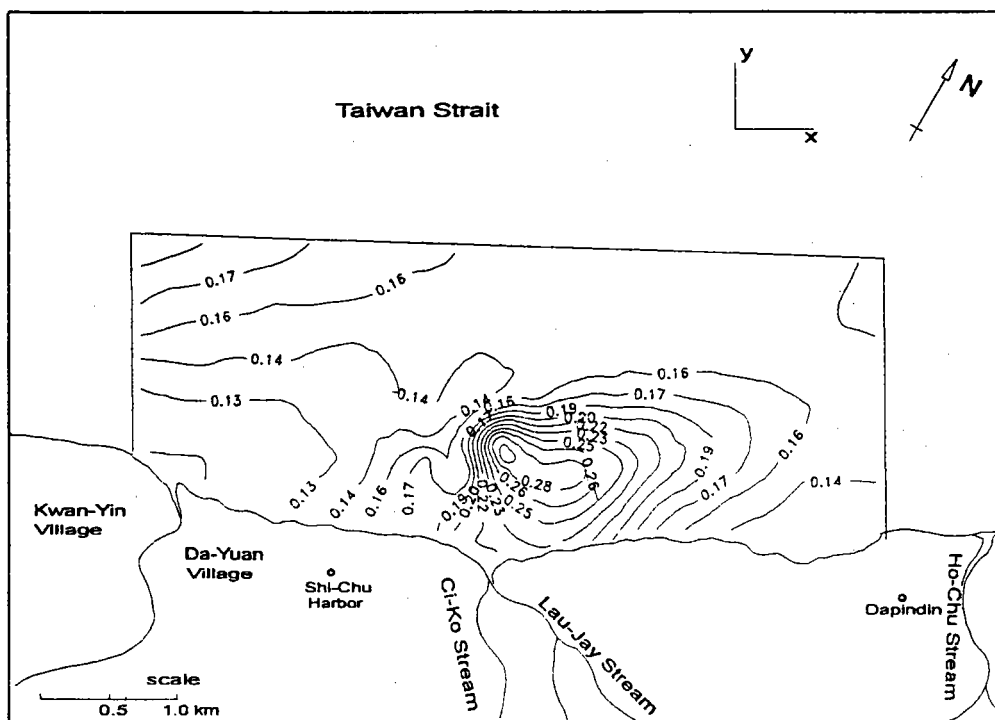
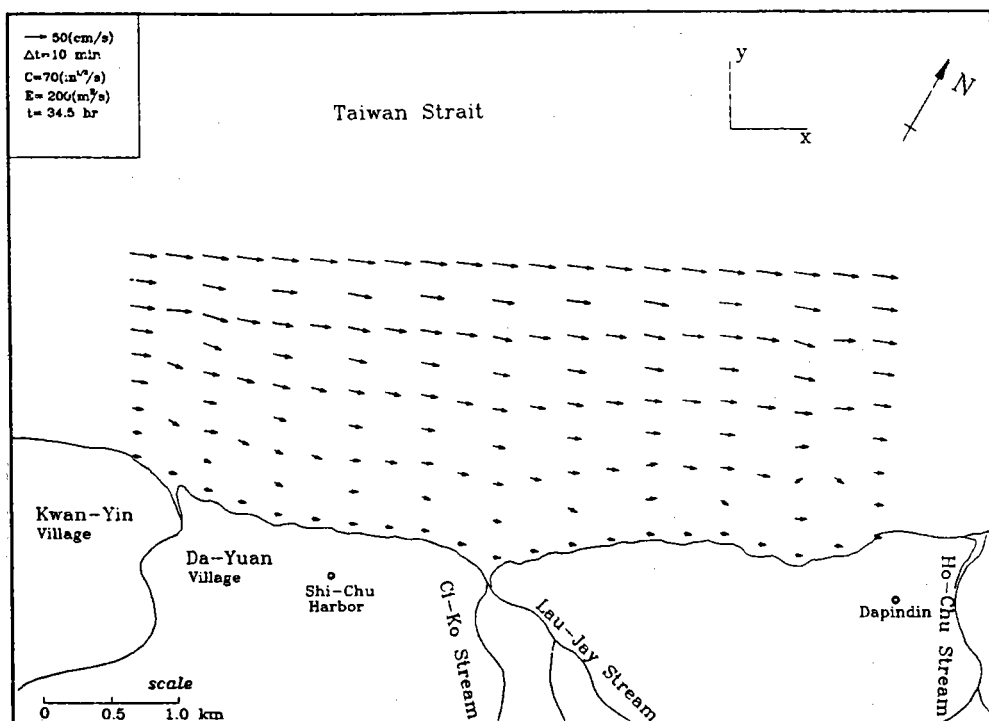


圖 6.11.b 放流濃度擴散分佈圖($h=10\text{m}$, $t=34.5\text{hr}$)

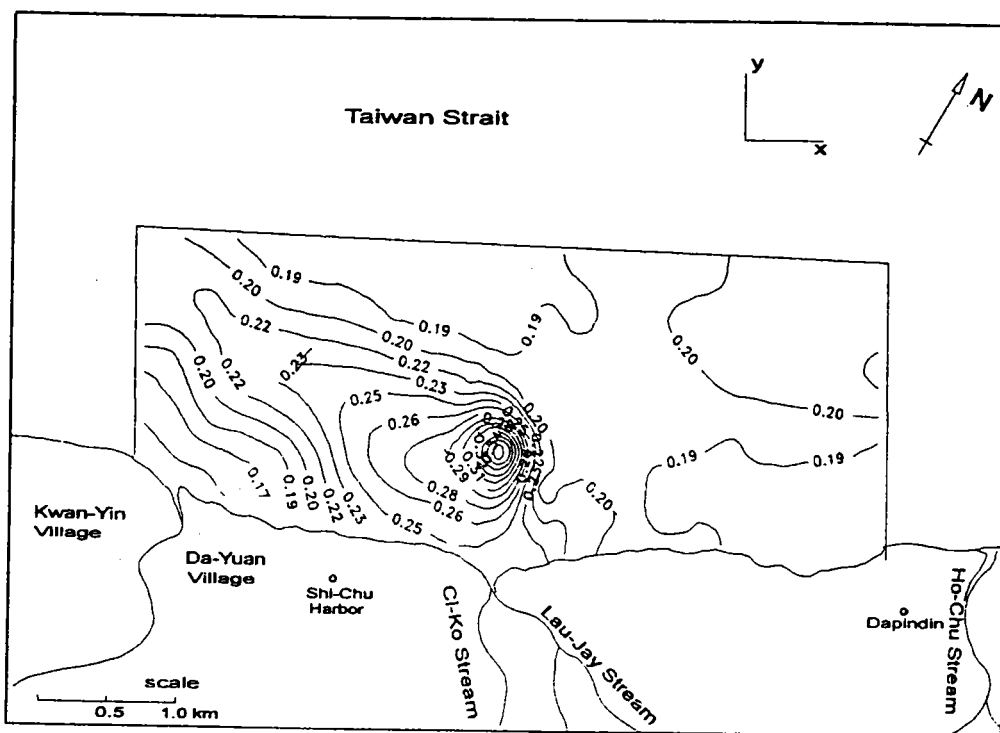
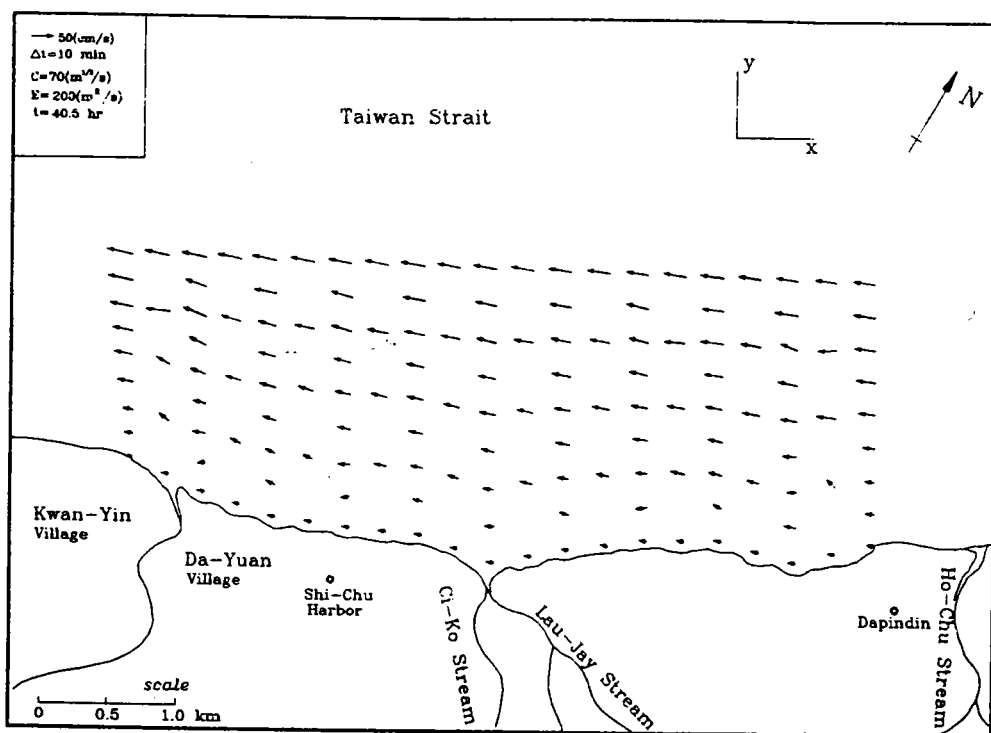


圖 6.11.c 放流濃度擴散分佈圖($h=10\text{m}$, $t=40\text{hr}$)

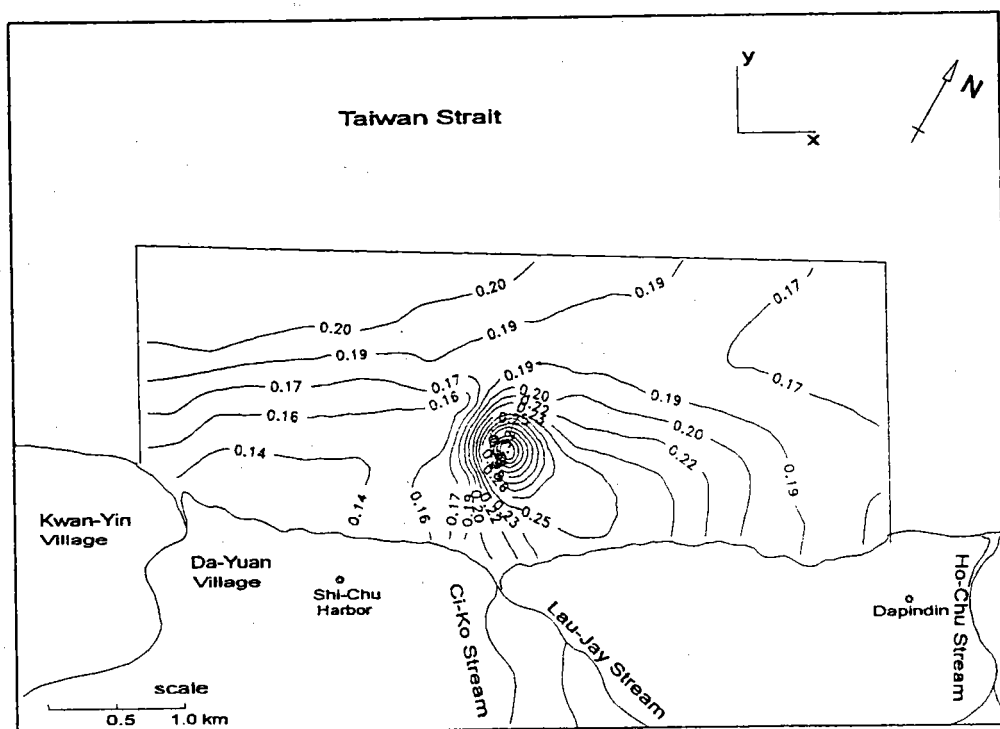
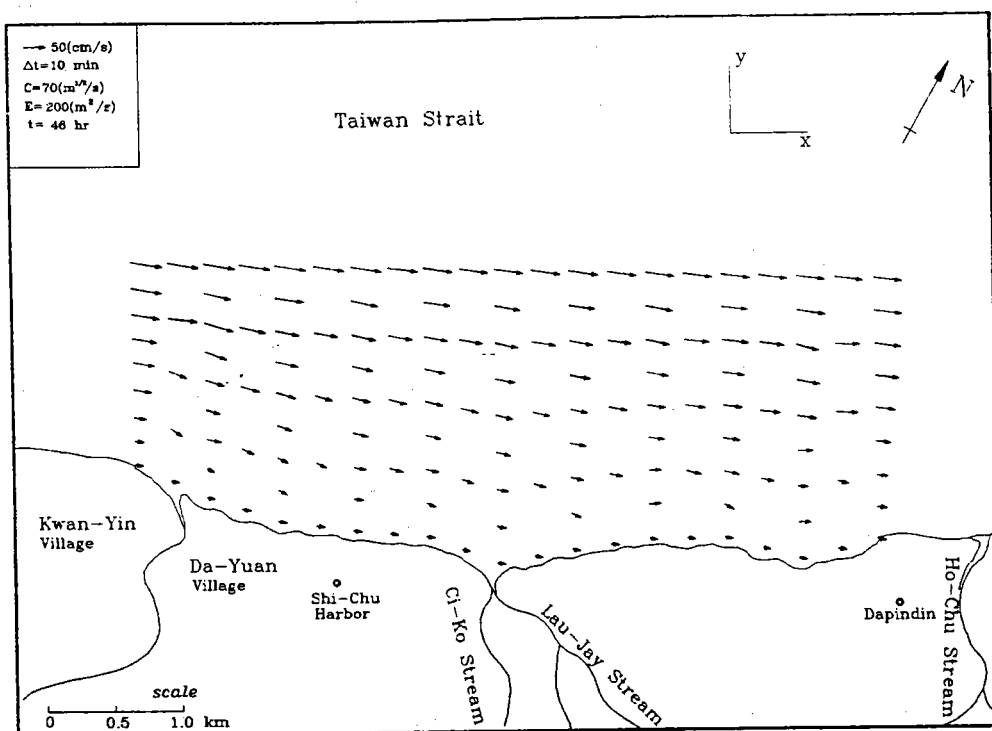


圖 6.11.d 放流濃度擴散分佈圖($h=10\text{m}$, $t=46\text{hr}$)

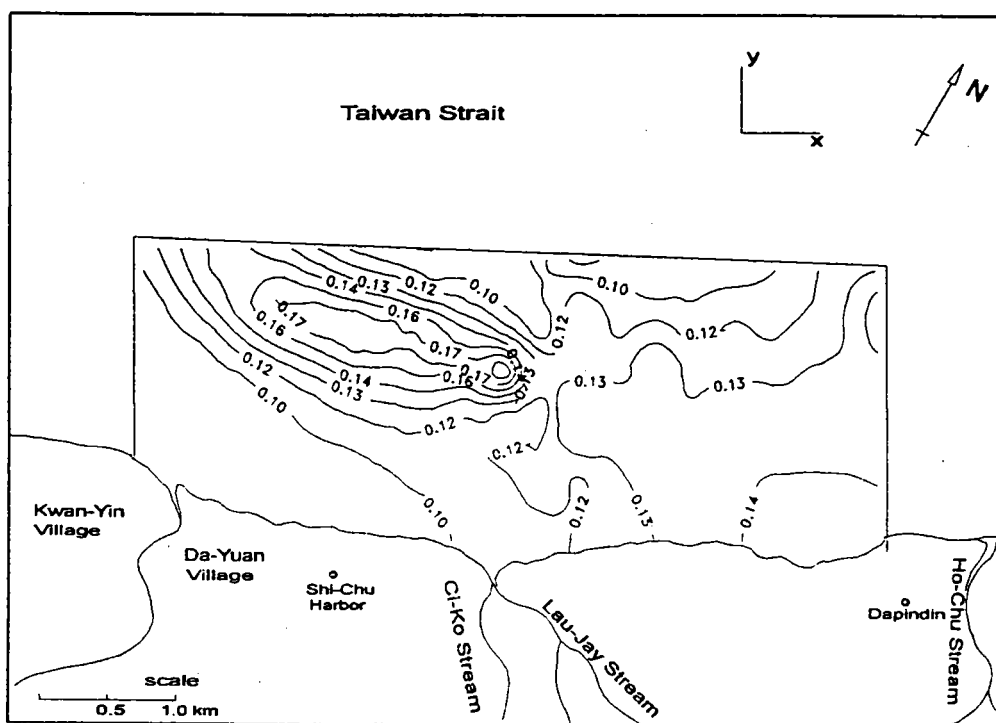
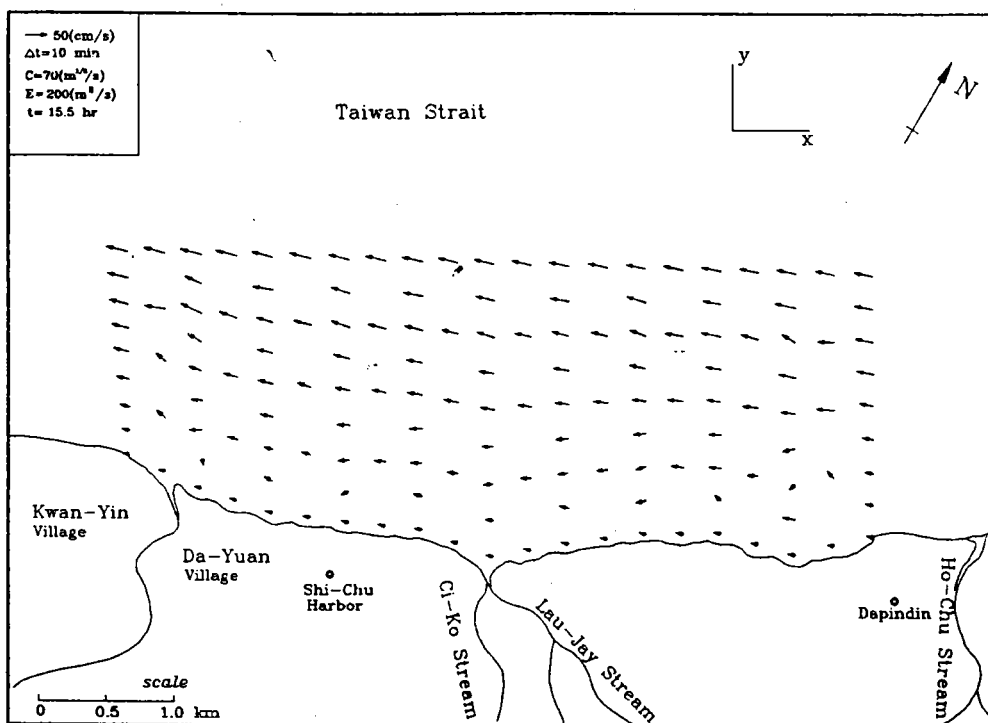


圖 6.12.a 放流濃度擴散分佈圖($h=15\text{m}$, $t=15.5\text{hr}$)

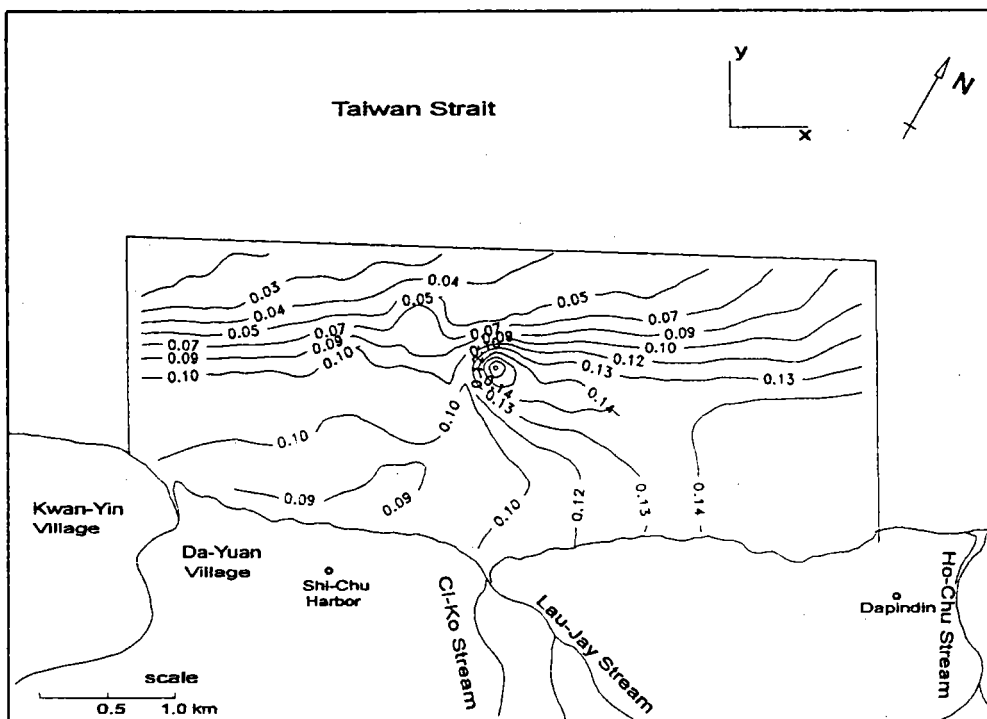
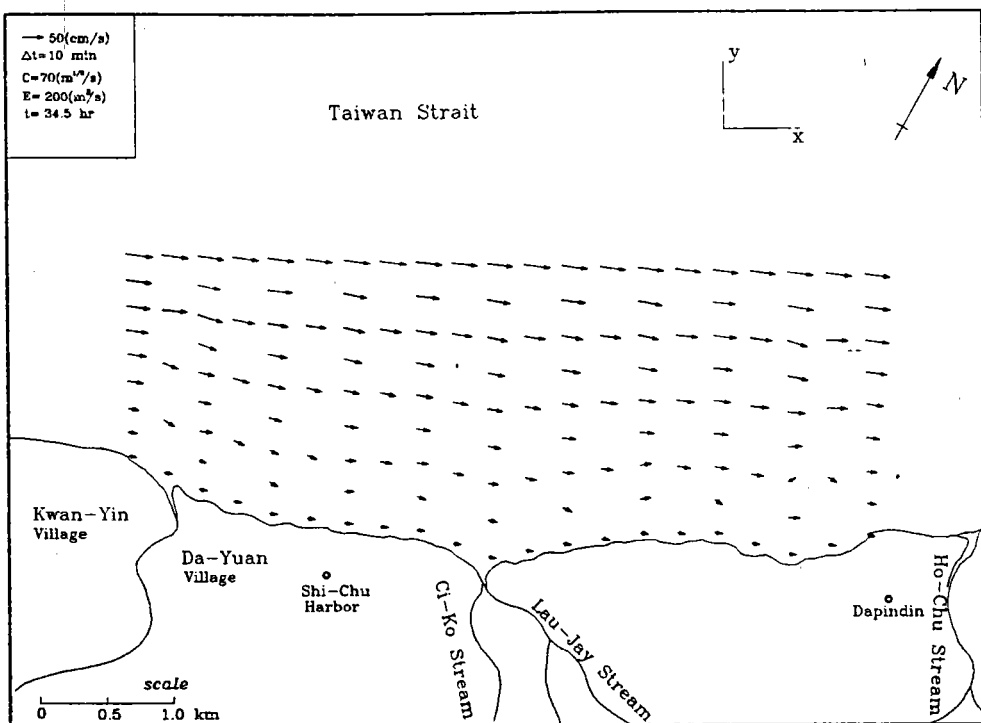


圖 6.12.b 放流濃度擴散分佈圖($h=15\text{m}$, $t=34.5\text{hr}$)

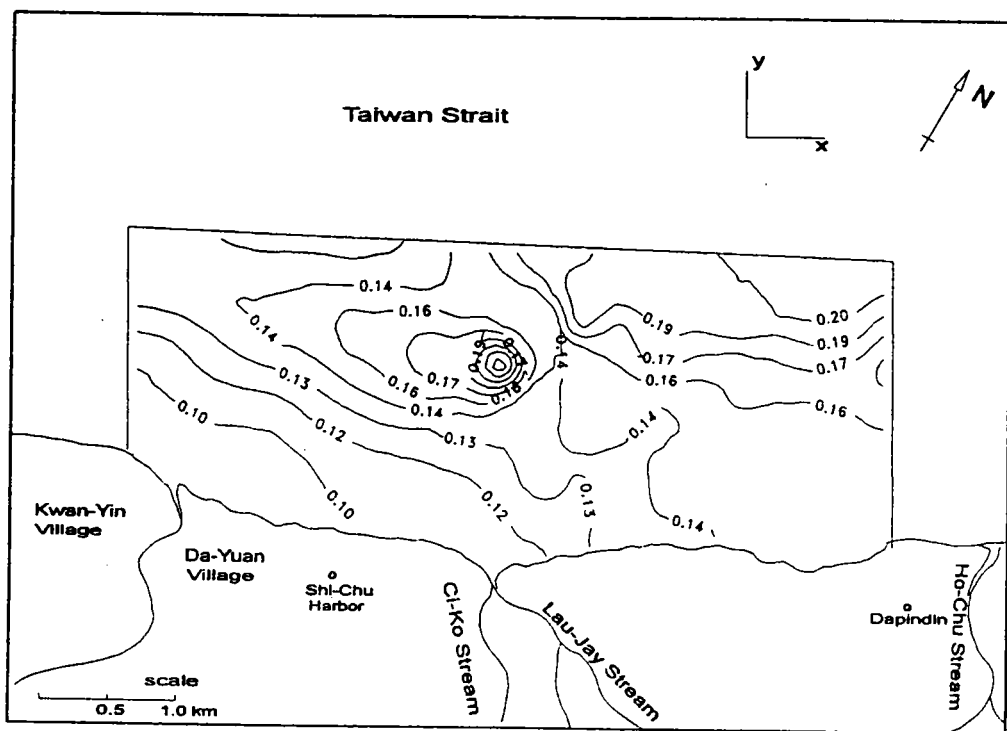
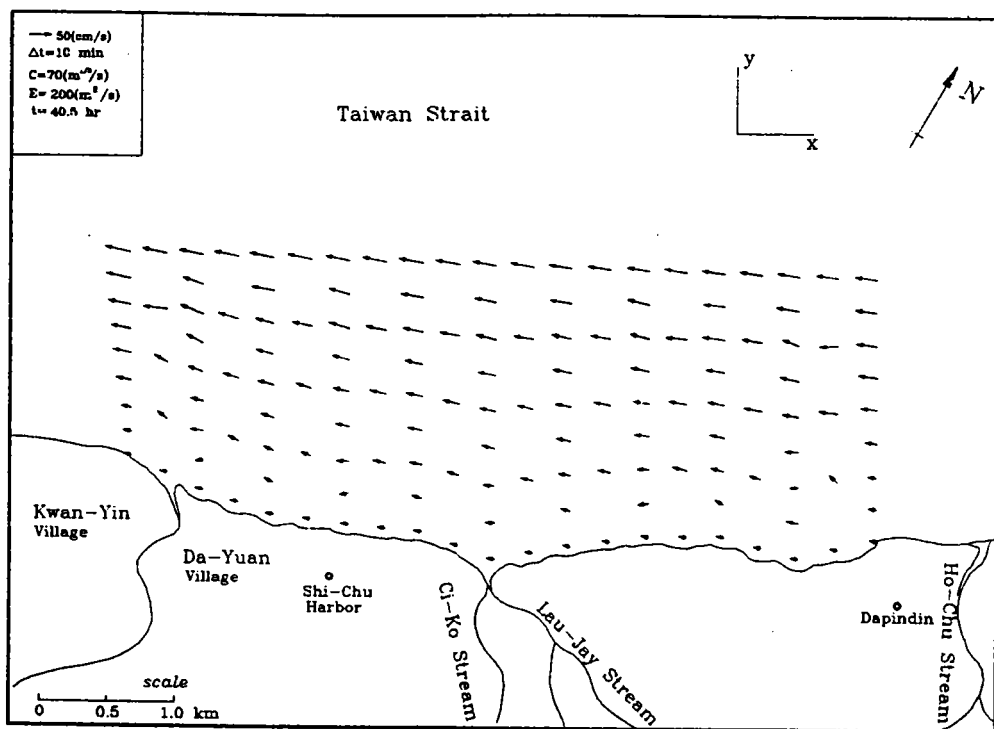


圖 6.12.c 放流濃度擴散分佈圖($h=15\text{m}$, $t=40\text{hr}$)

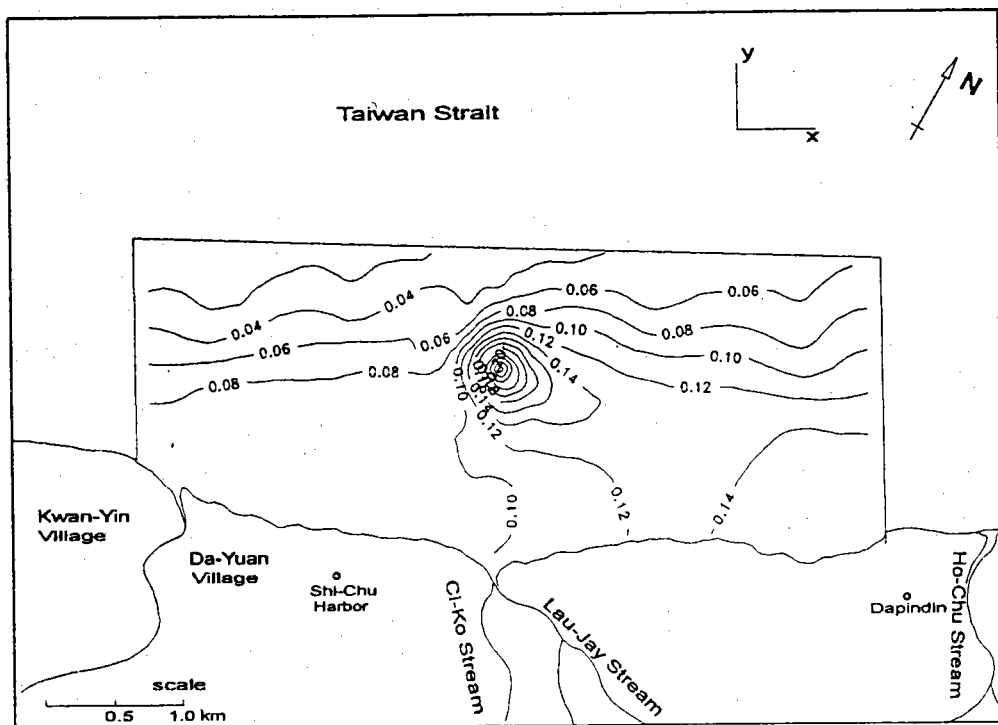
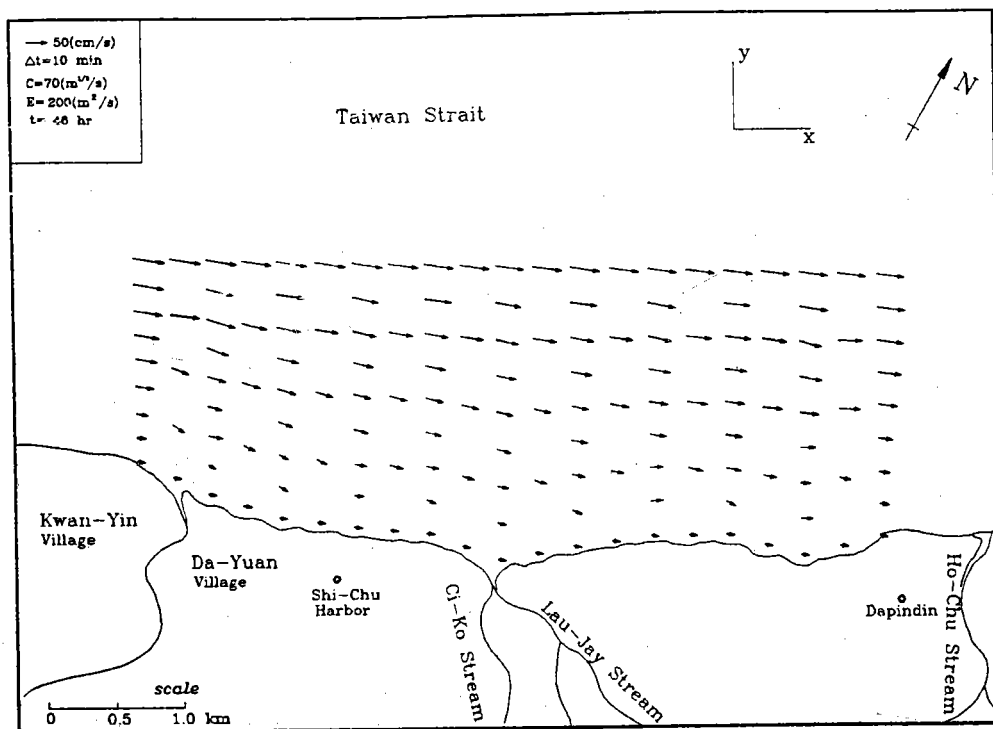


圖 6.12.d 放流濃度擴散分佈圖($h=15\text{m}$, $t=46\text{hr}$)

表 3.4.a 海流觀測流向流速統計機率表

1993/0911-1013 ST.2 TOTAL NUMBER OF DATA = 4645

BIVARIATE PROBABILITY FOR SKETCH OF THE CURRENT ROSE

DIR.	0	25	50	75	100	125	150	175	200	
NNE	.39	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.39
NE	.82	.04	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.86
ENE	10.03	13.95	14.38	3.01	.00	.00	.00	.00	.00	41.38
E	2.50	.86	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	3.38
ESE	1.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.08
SE	.43	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.43
SSE	.43	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.43
S	.37	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.37
SSW	.73	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.73
SW	1.92	.26	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	2.17
WSW	9.60	11.15	16.77	6.07	.00	.00	.00	.00	.00	43.60
W	2.69	.78	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	3.49
WNW	.95	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.95
NW	.28	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.28
NNW	.24	.00	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.26
N	.22	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.22
ALL	32.66	27.04	31.22	9.09	.00	.00	.00	.00	.00	100.00

TOTAL MEAN OF TEMP. = 27.41

TOTAL MEAN OF VEL. = 2.93

TOTAL MEAN DIRECTION = 262.3

MEAN X-COMPONENT = -2.90 MEAN Y-COMPONENT = -.39

MAX. VELOCITY = 86.06 ITS DIRECTION = 251.4

MIN. VELOCITY = 1.50 ITS DIRECTION = 254.5

MAX. TEMP. = 29.39 MIN. TEMP. = 24.85

表 3.4.b 海流觀測流向流速統計機率表

1993/0909-1014 ST.3 TOTAL NUMBER OF DATA = 5044

BIVARIATE PROBABILITY FOR SKETCH OF THE CURRENT ROSE

DIR.	0	25	50	75	100	125	150	175	200	TOTAL
NNE	.16	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.16
NE	.52	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.54
ENE	3.09	12.79	19.71	8.37	.00	.00	.00	.00	.00	43.95
E	2.42	2.46	.34	.00	.00	.00	.00	.00	.00	5.21
ESE	1.47	.04	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.51
SE	.81	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.81
SSE	.50	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.50
S	.54	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.54
SSW	1.07	.06	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.13
SW	2.02	2.62	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	4.66
WSW	3.27	14.20	18.38	2.84	.00	.00	.00	.00	.00	38.68
W	1.27	.06	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.33
WNW	.50	.02	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.54
NW	.16	.02	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.20
NNW	.12	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.12
N	.12	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.14
ALL	18.02	32.30	38.48	11.20	.00	.00	.00	.00	.00	100.00

TOTAL MEAN OF TEMP. = 27.34

TOTAL MEAN OF VEL. = 4.79

TOTAL MEAN DIRECTION = 80.1

MEAN X-COMPONE NT = 4.72 MEAN Y-COMPONENT = .83

MAX. VELOCITY = 86.90 ITS DIRECTION = 63.3

MIN. VELOCITY = 1.50 ITS DIRECTION = 67.8

MAX. TEMP. = 29.26 MIN. TEMP. = 24.99

表 3.4.c 海流觀測流向流速統計機率表

1994/0325-0419 ST.1 TOTAL NUMBER OF DATA = 3600

BIVARIATE PROBABILITY FOR SKETCH OF THE CURRENT ROSE

DIR.	0	25	50	75	100	125	150	175	200	TOTAL
NNE	.06	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.06
NE	.19	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.28
ENE	3.03	27.97	12.03	.00	.00	.00	.00	.00	.00	43.03
E	3.86	.81	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	4.67
ESE	1.31	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.31
SE	.81	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.81
SSE	.67	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.67
S	.69	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.69
SSW	1.19	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.19
SW	3.86	.72	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	4.58
WSW	4.28	29.69	7.75	.00	.00	.00	.00	.00	.00	41.72
W	.69	.00	.06	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.75
WNW	.19	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.19
NW	.03	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.03
NNW	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
N	.03	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.03
ALL	20.89	59.28	19.83	.00	.00	.00	.00	.00	.00	100.00

TOTAL MEAN OF TEMP. = 21.74

TOTAL MEAN OF VEL. = 1.73

TOTAL MEAN DIRECTION = 90.7

MEAN X-COMPONE NT = 1.73 MEAN Y-COMPONENT = -.02

MAX. VELOCITY = 58.34 ITS DIRECTION = 62.2

MIN. VELOCITY = 1.78 ITS DIRECTION = 301.3

MAX. TEMP. = 24.83 MIN. TEMP. = 17.47

表 3.4.d 海流觀測流向流速統計機率表

1994/0328-0421 ST.2 TOTAL NUMBER OF DATA = 3456

BIVARIATE PROBABILITY FOR SKETCH OF THE CURRENT ROSE

DIR.	0	25	50	75	100	125	150	175	200	TOTAL
NNE	.41	.12	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.52
NE	1.19	.35	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.53
ENE	3.07	16.12	19.79	6.16	.00	.00	.00	.00	.00	45.14
E	1.39	.75	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	2.14
ESE	.67	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.67
SE	.35	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.35
SSE	.29	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.29
S	.26	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.26
SSW	.52	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.52
SW	1.56	.23	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.79
WSW	3.50	14.47	16.15	7.18	.00	.00	.00	.00	.00	41.29
W	1.82	1.77	.32	.06	.00	.00	.00	.00	.00	3.96
WNW	.58	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.58
NW	.41	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.41
NNW	.26	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.26
N	.23	.06	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.29
ALL	16.49	33.85	36.26	13.40	.00	.00	.00	.00	.00	100.00

TOTAL MEAN OF TEMP. = 22.56

TOTAL MEAN OF VEL. = 1.81

TOTAL MEAN DIRECTION = 12.1

MEAN X-COMPONE NT = .38 MEAN Y-COMPONENT = 1.77

MAX. VELOCITY = 86.34 ITS DIRECTION = 253.8

MIN. VELOCITY = 1.50 ITS DIRECTION = 252.8

MAX. TEMP. = 25.58 MIN. TEMP. = 17.90

表 3.4.e 海流觀測流向流速統計機率表

1994/0412-0420 ST.3 TOTAL NUMBER OF DATA = 1140

BIVARIATE PROBABILITY FOR SKETCH OF THE CURRENT ROSE

DIR.	0	25	50	75	100	125	150	175	200	TOTAL
NNE	.18	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.18
NE	.53	.26	.09	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.88
ENE	2.98	15.70	23.60	6.05	.00	.00	.00	.00	.00	48.33
E	1.58	1.67	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	3.25
ESE	1.05	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.05
SE	.88	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.88
SSE	.61	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.61
S	.70	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.70
SSW	1.23	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.23
SW	2.37	3.51	.09	.00	.00	.00	.00	.00	.00	5.96
WSW	2.72	15.35	16.05	2.19	.00	.00	.00	.00	.00	36.32
W	.18	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.18
WNW	.18	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.18
NW	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
NNW	.18	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.18
N	.09	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.09
ALL	15.44	36.49	39.82	8.25	.00	.00	.00	.00	.00	100.00

TOTAL MEAN OF TEMP. = 23.74

TOTAL MEAN OF VEL. = 6.27

TOTAL MEAN DIRECTION = 72.8

MEAN X-COMPONE NT = 5.99 MEAN Y-COMPONENT = 1.86

MAX. VELOCITY = 78.78 ITS DIRECTION = 62.2

MIN. VELOCITY = 1.78 ITS DIRECTION = 135.9

MAX. TEMP. = 25.05 MIN. TEMP. = 22.73

台灣北部海岸環境之調查研究

編輯者：莊甲子，吳基

發行人：張金機

發行所：台灣省交通處港灣技術研究所

台中縣梧棲鎮臨海路83號

電話：(04)6564216

承印者：明進印刷廠

電話：(04)3265859

本書印製 150 冊，非賣品