

85—研(七)

港池污染防治之研究(一)

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

港池污染防治之研究(一)

- 執行單位 : 數學模式組
- 計畫召集人 : 蘇青和 研究員兼組長
- 第一子計畫主持人 : 蘇青和 研究員兼組長
- 第二子計畫主持人 : 曾哲茂 副研究員
- 參與人員 :
- 張金機 所長
 - 周憲德 博士
 - 朱佳仁 博士
 - 簡仲環 研究員
 - 莊文傑 副研究員
 - 曾相茂 副研究員
 - 陳明宗 副研究員
 - 江中權 助理研究員
 - 林柏青 助理研究員
 - 陳毓清 行政助理

Marine Pollution Protection in Harbor(I)

Ching-Ho Su & Wen-Jye Juang

**Mathematical Modelling Division
Institute of Harbor & Marine Technology
Wuchi, Taichung District, Taiwan**

Zir-Mao Tseng

**Harbor Planning & Design Division
Institute of Harbor & Marine Technology
Wuchi, Taichung District, Taiwan**

摘 要

本省各港灣地區，由於人口聚集，工商發展，乃產生了各種污染問題。且各種點污染源與非點污染源匯集，污物順著河川、市區排水溝等直接流入港內，造成港池污染日漸嚴重。此結果不但威脅港都居民生活品質及健康，且有礙國際觀瞻，故本省各港灣污染調查整治工作確已刻不容緩。本計畫將分二個子計畫進行。

(1) 台中港地區港池污染數值模式之研究

針對台中港現況及未來發展之需求，建立港池水理計算模式及污染擴散水質模式，以探討台中港港內污染質的傳輸及擴散情形。本計畫以了解台中港港池污染的傳輸及擴散情形，期能建立水質反應函數以爲水質指標作爲污染管制之參考，進而以污染物排放總量爲依據，決定截流及廢水排放的標準。而建立之數值模式未來將可應用於分析其他港口。本計畫分三年執行，第一年之計畫目標以水理模式之建立爲主，並配合台中港港區現場之水理及水質現場資料蒐集，以初步了解水理及水質特性。第二年之計畫目標主要在檢核並改進第一年建建構之水理模式，同時並著手建立污染擴散模式，並繼續做台中港現場水質及水理資料蒐集，第三年以完成並整合水理及污染模式爲主要之計畫目標，以完成台中港區水質反應函數以爲水質指標，作爲污染管制之參考進而決定截流及廢水排放的標準。

本年度之計畫以數值方法配合現場觀測資料分析，探討台中港港區之海流特性，數值計算之流場將可提供未來探討污染研究及提昇港池水體自淨能力之重要輸入條件。

改善港池污染方法之一爲提昇港池水體自淨能力，台中港港區之潮差甚大，每年季風期更有強勁季風作用，因此海流包括潮流、風吹流及沿岸流，各成份流動皆較其他地區爲大，本研究之目的即是希望引用此強勁之水流條件，探討提昇台中港港池水體自淨能力。第一年度之計畫擬先進行台中港區之水理數值模式研究，在配合台中港港區現場之水理資料蒐集，以初步了解水理特性。

台中港海岸地區流場主要受台灣海峽大尺度海潮流所控制，局部地區並受風、波浪及地形水深之影響。為詳細了解84年港口擴建後之海象狀況，本所於台中港附近海域針對波浪、海流、風及潮汐作現場調查，以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。

現場觀測資料顯示，影響台中港區海流之主要外力為潮汐、季節風、波浪及洋流之支流。冬季季風期間風驅流所導致的港域環流較於潮汐漲落所導致的海流影響為大，因此探討台中港區之水理特性，宜分季風期及非季風期兩階段來進行。此外風驅流在季風期間又受日週期影響，每日下午二至三點風速較大，而入夜以後又逐漸變小，深夜甚至無風。由於潮汐漲落、恒流及風驅流均受一季節週期性影響或日週期、或半日週期使得流場變化更形複雜。由於流場在近岸區甚易受水深、地形及結構物影響而改變大小及方向，加以其全面施測並不易進行，因此有必要配合現場條件進行數值模擬，俾利現場流況之掌握。

本計畫採用丹麥水工研究所發展的Mike 21 HD二維模式進行海流推算，數值推算之流場與現場觀測之現況分析結果比較頗為一致。

台中港由於係一封閉性港口，港池形狀特殊，成狹長形，長約七、八公里，而寬僅半公里左右，數值計算之流場分佈顯示港內火力電廠附近之水域之流速甚小，因此內港區之流量不大。整體而言內港區之水體與外海之水交換情形並不十分理想，可預期進入港池內之污水乃不易擴散稀釋至大海，詳細情形有待進一步污染擴散數值分析。

(2) 港池污染水理及水質調查研究

台灣幾個重要國際港如基隆、高雄、台中港、花蓮港、蘇澳港等，由於都市污水下水道系統均未建立，致雨、污水等均由排水路直接排入港池，嚴重污染水質。為瞭解各港區水質惡質化程度，本研究擬針對上述幾個國際港分年進行全面性的水質相關資料調查研究，以作為日後規劃該港港池污染整治方案的依據。本年度手先以台中港進行水理及水質相關資料調查研究。

台中港由於港池形狀特殊（成狹長形，長約七、八公里而寬僅半公里左右）且其主航渠為NNE走向，與冬季東北季風之主要方向(85時風驅流的影響已不容忽視。加以台中港地處台灣海峽中部，為一受限海域其平均潮差在4.6公尺以上，由潮汐漲落所引致的港域環流（Circulation current）對污染物的沖洗（Flushing out）有很大的影響。

台中港域自民國65年營運後，因接受附近梧棲、沙鹿排入污水，嚴重污染港池水質。為能有效管理和改善港域水質，瞭解港池內之水理特性和擴散情形實為首要工作。本研究以現場調查方法對台中港港域的流場情況和擴散特性進行研究。現場調查內容含港域流場量測、水平延散係數、風速、港池內潮差、水鹽度及溫度等水理特性，以對港域內流況和擴散特性做全域的瞭解。現場調查之結果並可用為數值模式之驗證，及工程規劃之參考。

台中港港池水理模式之研究

- 執行單位 ： 數學模式組
- 計畫主持人 ： 蘇青和 研究員兼組長
- 協同主持人 ： 莊文傑 副研究員
- 參與人員 ： 張金機 所長
- ： 簡仲璟 研究員
- ： 陳明宗 副研究員
- ： 曾相茂 副研究員
- ： 江中權 助理研究員
- ： 陳毓清 行政助理

Hydrodynamic Model in Tai-Chung Harbor

Ching-Ho Su & Wen-Jye Juang

Mathematical Modelling Division

Institute of Harbor & Marine Technology

Wuchi, Taichung District, Taiwan

摘 要

本計畫以數值方法配合現場觀測資料分析，以探討台中港港區之海流特性，數值計算之流場將可提供未來探討污染研究及提昇港池水體自淨能力之重要輸入條件。

改善港池污染方法之一為提昇港池水體自淨能力，台中港港區之潮差甚大，每年季風期更有強勁季風作用，因此海流包括潮流、風吹流及沿岸流，各成份流動皆較其他地區為大，本研究之目的即是希望引用此強勁之水流條件，探討提昇台中港港池水體自淨能力。第一年度之計畫擬先進行台中港區之水理數值模式研究，在配合台中港港區現場之水理資料蒐集，以初步了解水理特性。

台中港海岸地區流場主要受台灣海峽大尺度海潮流所控制，局部地區並受風、波浪及地形水深之影響。為詳細了解84年港口擴建後之海象狀況，本所於台中港附近海域針對波浪、海流、風及潮汐作現場調查，以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。

現場觀測資料顯示，影響台中港區海流之主要外力為潮汐、季節風、波浪及洋流之支流。冬季季風期間風驅流所導致的港域環流較於潮汐漲落所導致的海流影響為大，因此探討台中港區之水理特性，宜分季風期及非季風期兩階段來進行。此外風驅流在季風期間又受日週期影響，每日下午二至三點風速較大，而入夜以後又逐漸變小，深夜甚至無風。由於潮汐漲落、恒流及風驅流均受一季節週期性影響或日週期、或半日週期使得流場變化更形複雜。由於流場在近岸區甚易受水深、地形及結構物影響而改變大小及方向，加以其全面施測並不易進行，因此有必要配合現場條件進行數值模擬，俾利現場流況之掌握。

本計畫採用丹麥水工研究所發展的Mike 21 HD二維模式進行海流推算，數值推算之流場與現場觀測之現況分析結果比較頗為一致。

台中港由於係一封閉性港口，港池形狀特殊，成狹長形，長約七、八公里，而寬僅半公里左右，數值計算之流場分佈顯示港內火力電廠附近之水域之流速甚小，因此內港區之流量不大。整體而言內港區之水體與外海之水交換情形並不十分理想，可預期進入港池內之污水乃不易擴散稀釋至大海，詳細情形有待進一步污染擴散數值分析。

台中港港池水理模式之研究

目 錄

壹、前言	1
貳、台中港現場觀測之海流特性分析	6
一、台中港現場觀測之潮汐特性	6
二、台中港現場觀測之風場特性	7
三、台中港現場觀測之波場特性	8
四、台中港現場觀測之海流特性	10
參、水理推算數值模式— MIKE 21 HD	16
一、主要方程式	16
二、MIKE 21 HD 介紹	19
(一)、邊界條件之設定	19
(二)、模式參數之選定	21
(三)、模式先期啓動及初始條件	23
(四)、模式之穩定判定	23
(五)、模式之可信度	24
肆、台中港近岸海域之海流數值推算	25
一、台中港海流數值計算回顧	26
二、現況台中港海流數值計算	28
(一)、計算區域選定	28
(二)、潮位及風之邊界條件	28
(三)、海流模擬結果及驗證	29
伍、結論及建議	33
參考文獻	36
附圖	A1 ~ A77
附表	B1 ~ B3

壹、前 言

本省各港灣地區，由於人口聚集，工商發展，乃產生了各種污染問題。且各種點污染源與非點污染源匯集，污物順著河川、市區排水溝等直接流入港內，造成港池污染日漸嚴重。此結果不但威脅港都居民生活品質及健康，且有礙國際觀瞻，故本省各港灣污染調查整治工作確已刻不容緩。行政院曾將「海洋污染防治」列為國家建設六年計畫之項目，而「港池污染整治」則為「海洋污染防治」之重要要一環。

台中港自民國六十六年開港營運以來，位於台中港上游配合台中港發展而規劃之都市特定區包括清水、沙鹿、梧棲、龍井四鄉鎮開發進展卻甚緩慢，污水處理系統未能配合建立，致使特定區之家庭污水與工業廢水仍直接匯入港池造成嚴重污染，除影響港池水質環境外，並使施工機具受損，同時漁民陳情索賠案件也屢見不鮮，對電廠發電機組運轉亦負面影響。

台中港港區北起大甲溪南岸，南至大肚溪北岸，南北長度綿延15公里，東起臨港路向西延伸3至5公里不等，陸、水域面積廣達5,038公頃(陸域4,034公頃，水域1,004公頃)，港區範圍甚大。而且由於台中港係一封閉性港口，除承受來自陸域範圍各種污染源之侵襲外，緊臨都市區之現有十二條大、中排水溝，經年累月挾帶上游未經處理之工業廢水、生活污水等，沿著排水路大量匯入港池，造成港池之嚴重污染。尤以每次大雨或颱風過後，大量垃圾、廢棄物、油污等，經由特定區順流而下，充斥整個港區，必須花費大量人力、物力即時清除，以確保港區工作環境及船舶裝卸業務之正常運作。

台中港原有建港規模僅及漁港區及部份商港區，開發範圍向南至南堤施工道路為止。自台中火力電廠奉准設立於工業港區南端後，為航道需求已將外廓海堤合攏，進入港池內之污水乃無法擴散稀釋至大海，使得工業港池之污染日益嚴重，並隨原南海堤施工道路之打通而波及商港區。為維護港區環境品質，確保國際形象，更為國家整體經濟之發展考量及發電計

畫之順利推動，港灣污染整治已經刻不容緩。

依據環保署委託中興工程顧問社辦理之「台中港港灣污染整治規劃」報告(81年10月)，台中港區水質最主要污染源為有機污染、重金屬污染、油脂及酚類污染。其中有機污染及重金屬污染，係來自港區名台中港特定區之工業廢水，經由梧棲大排、仁民中排等排水路流入港池，約佔整個污染量90%。因此如何有效解決港區附近由家庭污水與工業廢水仍直接匯入港池造成嚴重污染，為港池污染整治之最有效途徑。但因港區相臨之污水處理系統建立，需發費甚大之經費，又需與省、縣、市、鄉等多重政府單位之配合，推行甚為困難。依85年4月29日於環保署召開之「港灣及海洋污染防治研討會」會中討論，顯示各國際港此方面之工作進度甚為緩慢，仍有待加強。

改善港池污染另外之方法則是提昇港池水體自淨能力，以利用自然或人為方法，提昇或導引海水流動之能力，盡可能使進入港灣之污染擴散、稀釋再流至大海。台中港港區之潮差甚大，每年季風期更有強勁季風作用，因此潮流、風吹流及波引起之沿岸流較其他地區為大。如何以利用此海水流動之能力，盡可能改善港池水灣之污染，為研究之重點，而本研究之目的即是探討提昇台中港港池水體自淨能力。

第一年度之計畫擬先進行台中港區之水理數值模式研究。針對台中港北防波堤擴建、南海堤施工道路打通，外廓海堤合攏的邊界條變換建立台中港水理模式。並配合台中港港區現場之水理現場資料蒐集，以初步了解水理特性。近岸流況為造成港池污染擴散之主要成因之一，由於流場在近岸區甚易受水深、地形及結構物影響而改變大小及方向，加以其全面施測並不易進行，因此有必要配合現場條件進行數值模擬，俾利現場流況之掌握。

影響近岸域之流場，主要外力有潮汐作用、波力、風力、流體剪應力、科氏力、地形邊界效應、底床摩擦力等項目，而流體密度變化、濃差效應，除某些特定地區造成較大影響，一般實際情形影響不大。潮汐可視為

一種淺水長波，其引致之流場稱為潮流，潮流一般較為規則化，而颱風產生之暴潮及流況則較複雜。風剪力所引起之流場稱為風吹流，其影響之深度有限。另將波浪視為一外力，其引致之流場，稱為沿岸流，波場本身即為一複雜之現象，因此沿岸流之計算較為複雜。

海域潮汐水流計算方面文獻中，Hansen(1962)，首先應用顯式有限差分法模擬二維暴潮水流現象。Leenderste(1967)依據Hansen理論，利用隱式、顯式交替方向差分法建立二維模式模擬河口及海岸附近之水流流況。另外，Dronker(1969)忽略非線性項之影響，以Leenderste方法模擬演算潮汐水流。之後，Leenderste等(1973, 1971)，以空間交錯格網(space-staggered grid)建立多層水深平均之三維模式模擬潮汐水流，此方法亦廣為其他研究所採用。國內亦有系列之研究採用Leendertse及Liu之差分法建立二維或三維模式模擬海域流況，如Tsai et al. (1987)，蔡、宋(1990)，蕭、蔡(1991)等學者。

Yih and Chen(1982)，劉肖孔(1988)以及李賢文(1989)等人的論著，則探討有關台灣海峽的潮汐數值計算，這些文獻研究的主要重點在於整個台灣海峽大區域潮汐海流之水理分析，其結果與局部海域水理特性分析不同。

使用層化積分模式計算流在文獻中為數已然不少。Wang and Connor(1975)使用有限元素法發展出單層及雙層深度積分模式用來計算海岸地區流況。高等(1989)利用美國ALDEN公司發展出之單層深度積分模式模擬深澳灣海域流況。而相關之參考文獻可參考Kawaharu、Hirano and Tsubota(1982)。使用單層水深積分模式模擬流場可得到滿意之結果，但是流場在水深方向之變化則無法獲得。

如以數值方法模擬大範圍三維流場，首先遭遇之問題在於所考慮區域之平面尺度遠大於水深，以致於數值計算格網足以代表欲模擬區域時，格網節點數往往過多，而數值計算所需電腦容量甚大，且電腦計算時間過久；導致數值模擬大範圍，以三維流場於實際上、經濟上不可行。解決此問

題之方法之一即為採用層化積分模式，李、郭(1989)建立三維多層模式，層化積分模式可區分為單層水深積分模式及多層深度積分模式，此種模式之基本精神為利用深度積分平均量表現模擬之流場特性，進而配合層次上下交界面之界條件化簡原有三維之數值計算為二維之計算但仍保有三維問題之特性。

至於使用多層深度積分模式模擬流場，其使用之數值方法有有限差分法及有限元素法。使用有限差分法的可以 Leendertse、Alexander and Liu(1973)為代表。Leendertse and Liu(1977)加考慮紊流能量於模式中使數值模擬結果更能代表實際之流況。使用有限元素法的較早可以 Kawahara、Kobayashi and Nakata(1982)為代表。其層化積分模式均採用壓力為靜水壓力之假設配合層次積分觀念使三維數值計算簡化為各層次之二維流場計算。李、郭(1989)利用有限元素法為基礎，建立一個以模擬三維流場之多層深度積分模式，利用層次深度積分觀念推導多層深度積分方程式；利用有限元素法推導各層次積分有限元素方程式；對時間之數值積分方法，則用已知解析之計算例，以驗證所發展出來模式之正確性。

Chu and Yeh(1984)建立港灣水理模式(Harbour Hydrodynamic Model，簡稱HHM)也是依照 Leendertse (1973)之空間離散方法以顯性之正規蛙躍法(leap frog)所建立之多維水理數值模式。HHM模式曾應用於美國的漢堡灣(Humboldt Bay)Chu et al.(1986)，中東的阿拉伯灣(Arabian Gulf)Chu et al.(1988)，及美國的普及灣(Puget Sound)Chu et al.(1989)，對於複雜幾何條件之適用性及水理現象之模擬均獲致不錯的結果。

海流模式可用來計海域、港灣、河口及湖泊之三維(三度空間變化)或二維(深度平均)的水理變化。所謂流況變化即指水體內之水流速度和水位變化。至於三維或二維的選擇，三維模式適用於深水或深度變化較大的港灣與海域。但三維模式之應用需要龐大的計算容量和較長的計算時間，而且需要較多的邊界條件、參數值和水位、水流速的觀測值資料。

由於本地區水深變畫並不劇烈，且三維模式目前研發尚未十分成熟，

擬決定採用二維模式，並在配合未來包括污染、水值擴散等數值計算整體性發展，經評估選用丹麥水工研究所 (Danish Hydraulic Institute, 簡稱 DHI) 發展的 Mike 21 HD 模式；該模式則提供使用者極佳之操作環境、極快速之運算速度、良好之技術服務及使用紀錄。並且該模式目前在國際上有為數眾多之使用者包括許多主要港埠單位 (如新加坡港等)，在國內則有成功大學、海洋大學及環保署等單位使用。衡諸本研究計畫未來大量之計算工作，及需要迅速計算結果，因此，引用像 Mike 21 這樣操作簡單輸出品質甚佳之數值模式，將有助於本計畫之執行。

Mike 21 HD 模式能夠模擬因受潮汐水位差、風、大氣壓力、地球自轉柯氏力及海底底床摩擦等作用，產生之海水位變化及海潮流流況。河川流量等以通量及動量表現之流源 (Source) 或如蒸發損失形態之流陷 (Sink)，此模式皆可加以考慮，詳細功能文中將作介紹。

貳、台中港現場觀測之海流特性分析

影響近岸域之流場，主要外力有潮汐作用、波力、風力、流體剪應力、科氏力、地形邊界效應、底床摩擦力等項目，而流體密度變化、濃差效應，除某些特定地區造成較大影響，一般實際情形影響不大，有些地區洋流之支流也會些微之影響。探討近岸地區之流況，首先必須了解當地之潮汐、風及波浪等主要影想因素之特性。潮汐可視為一種淺水長波，其引致之潮流一般較為規則化，而颱風產生之暴潮及流況則較複雜。風剪力所引起之風吹流，其影響之深度有限。有關潮位、風、波浪及海流之現場觀測資料，本所於1994至1996年間作較長期之觀測，此處僅取典型之代表資料分析於后。

一、台中港現場觀測之潮汐特性

台中港附近所設之潮位站(ST-8)，於四號碼頭附近，位置如附圖2-1。圖2-2分別為1994年1月至4月間，於潮測站觀測之典型逐時潮位變化圖，表2-1為1994年1月至4月間，於潮測站觀測之四筆潮位按潮波波高大小排列之潮波波高及週期分佈之統計量。圖2-2顯示潮位變動範圍約在0至5米之間，表2-1顯示平均潮差(即潮波波高)接近4米左右，平均潮波週期約為12.5時左右(半日潮)。最大潮差(潮波波高)為5米，1/3平均潮差(即潮波波高1/3)，約為4.5米左右。

整體而言台中港地區之潮差甚大。圖2-3a, b, c分別為1994年1月至3月間，於潮測站觀測之三筆潮位能譜圖，潮位能譜分析結果，由資料中可看出能譜的相對尖鋒出現在週期12小時及24小時附近，亦即台中港的潮汐主要為半日潮及全日潮，而半日潮又較全日潮為大，全日潮振幅約為半日潮之1/8至1/10間，半日潮之振幅約為3.0米左右。

二、台中港現場觀測之風場特性

風速計則設置於北堤觀測站(ST-7)，位於北防波堤與北防沙堤間，高程為27米，位置如附圖2-1。圖2-4a~h分別為1995年6月，於測風站觀測之逐時風速及風向(指來向)逐時變化圖，風之東西分量及風之南北分量逐時變化圖，風速統計方塊圖，風向統計玫瑰圖，風東西分量之統計方塊圖，風南北分量之統計方塊圖，風東西分量之能譜圖，風南北分量之能譜圖。以U-comp.，代表風之東西分量，正值代表東分量，負值代表西分量，以V-comp.，代表風之南北分量，正值代表北分量，負值代表南分量。圖2-5a~h分別為1994年1月間，於測風站觀測之三筆逐時風速及風向(指來向)逐時變化圖，風之東西分量及風之南北分量逐時變化圖，統計方塊圖，玫瑰圖，能譜圖。

夏季月份之風玫瑰圖以1994年6月份為例(如圖2-4d)，圖中顯示風向集中在西南南、南西及南方向大約佔53%，部份集中于北北東及東北向大約佔22%，整月平均風速約為5m/sec(如圖2-4c)，風速超過10m/sec者僅約佔5.4%，是屬夏季西南季風型態，因屬西部地區不受陸地遮蔽效應之影響，整體而言台中港外海地區之夏季西南季風較東部地區為大。夏季季節、動量傳遞作用明顯常使台中港風速出現日變化(如圖2-4a, b)，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，風各分量之能譜圖(如圖2-4g, h)在日週期明顯尖鋒也顯示此現象。

冬季月份之風玫瑰圖以1994年1月份為例如圖2-5d，顯示風向主要分別集中在東北方向，大約佔64%，整月平均風速約為7.2m/sec，風速超過10m/sec者約佔26.6%(如圖2-5c)，風速較6月典型夏季西南季風型態顯然為大，由逐時風速及風向(指來向)逐時變化圖(如圖2-5a, b)，也顯示東北季風時風速較西南季風為大。以上分析初步顯示台中港外海地區風吹流成份在冬季可能甚大，而夏季海流中風驅流的成份遠較冬季為小。

三、台中港現場觀測之波浪特性

本所於民國83年9月於北防沙堤西北西方約800米水深13米處(ST-1)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。並於台中港北防波堤距堤頭約200米之間(ST-2)及南防波堤以南附近(ST-4)位置如圖2-1，設置浮球式波浪儀，在83、84年冬季季風期間各觀測二至三鋒面過境時之波浪。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月底止共計十九個月，此處僅取調查海域各站典型之代表資料分析於后。

在1995年7月及8月夏季西南季風期間各觀測時期之波浪(H1/3及T1/3)逐時變化圖，如圖2-6a，b，因為西南季風影響所產生的風浪，先到達台中港海域ST-4站及ST-2站，而ST-1站因受北堤遮蔽波浪較小(圖2-6a，b)。因此夏季擬以ST-4站為分析對象，於1995年1月間H1/3統計方塊圖及T1/3統計方塊圖(圖2-6c，d)，平均H1/3為0.5米，最大H1/3為1.7米，H1/3小於0.5米約佔67%，H1/3介於0.5米~1.0米約佔28%，平均T1/3為4.2秒，最大T1/3為9.9秒，T1/3介於3秒~4秒約佔41%，T1/3介於4秒~5秒約佔23%，T1/3介於5秒~6秒約佔17%，顯示夏季除颱風期間，波浪並不大。

在1995年1月及2月冬季東北季風期間各觀測鋒面過境時期之波浪(H1/3及T1/3)波逐時變化，如圖2-7a，b，因為冬季東北季風影響所產生的風浪，先到達台中港海域ST-2站及ST-1站，而ST-4站則受北堤遮蔽波浪較小(圖2-7a，b)。因此冬季擬以ST-2站為分析對象，於1995年1月間ST-2站H1/3統計方塊圖及T1/3統計方塊圖(圖2-7c，d)，平均H1/3為1.9米，最大H1/3為3.4米，H1/3大於2.0米約佔53%，H1/3介於1.0米~2.0米約佔33%，平均T1/3為6.0秒，最大T1/3為7.9秒，T1/3介於4秒~5秒約佔12%，T1/3介於5秒~6秒約佔31%，T1/3介於6秒~7秒約佔43%。

以上初步分析顯示冬季之波高及週期皆較夏季期間為大。夏季西南季

風期間因風速小，波浪一般也甚小。而在冬季東北季風期間，因風速增大，波高、週期則顯然較夏季為高。冬季波浪主要由東北季風造成，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。根據曾等(1996)針對現場風與浪相關分析顯示，以ST-1站而言，風速在5m/s左右時在1米以下，在4~5秒，風速在10m/s左右時，在1~2米，在5~7秒，風速在15m/s左右時，在3~4米，在6~8秒，波向在北北西~北北東之間。而波浪相關分析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，表示這三個測站的波高變化趨勢具有相當的一致性。對於週期方面也有相似情形。三測站的有義波高與風速的相關性，由冬季時段及夏季時的分析，皆發現無論冬、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。一般風浪較大的流速、流向，受風吹流及碎波後產生之沿岸流影響也較大，以上分析顯示冬季波浪將影響台中港近岸流場較大。

四、台中港現場觀測之海流特性

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米)；北防波堤堤頭站ST-2(北緯 $24^{\circ}18'$ ，東經 $120^{\circ}28'09''$ ，水深25米)；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米)，位置如圖2-1，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，僅取調查海域各站典型之代表資料分析於后。

圖2-8a~i分別為1995年7月間(夏季)，於ST-1站觀測之逐時流速及流向(指去向)逐時變化圖，流之東西分量及流之南北分量逐時變化圖，流速統計方塊圖，流向統計玫瑰圖，流東西分量之統計方塊圖，流南北分量之統計方塊圖，海流向量進行圖，流東西分量之能譜圖，流南北分量之能譜圖。以U-comp.，代表流之東西分量，正值代表東分量，負值代表西分量，以V-comp.，代表流之南北分量，正值代表北分量，負值代表南分量。圖2-9a~i分別為1994年12月間(冬季)，於ST-1站觀測之海流逐時變化圖、統計圖、向量進行圖及能譜圖。圖2-10a~i分別為1995年7月間(夏季)，於ST-2站觀測之海流逐時變化圖、統計圖、向量進行圖及能譜圖。圖2-11a~i分別為1994年12月間(冬季)，於ST-2站觀測之海流逐時變化圖、統計圖、向量進行圖及能譜圖。圖2-12a~i分別為1995年7月間(夏季)，於ST-4站觀測之海流逐時變化圖、統計圖、向量進行圖及能譜圖。圖2-13a~i分別為1994年12月間(冬季)，於ST-4站觀測之海流逐時變化圖、統計圖、向量進行圖及能譜圖。

北防沙堤測站ST-1，由圖2-8a海流逐時變化圖顯示在夏季海流並不大，潮汐漲落是影響流況主要因素，流況特性呈較規則性變化，圖2-8c~f統計圖顯示此段期間ST-1測站之平均流速約為 12.5cm/sec ，東西分量平均流速約 -0.7cm/sec ，南北分量平均流速約為 -4.1cm/sec ，流向集中在SW、SSW(佔34%)及NNE、NE、ENE(佔24%)等方向。能譜分析(圖2-8g及圖2-8h)顯示在12小時及24小時左右，有明顯尖峰值存在，表示海流之主成

為半日潮及全日潮，而半日潮與全日潮大小相當。因為潮汐主要份為半日潮，次要成份為全日潮，潮波在近岸傳遞過程因海底摩擦效應，短週期之半日潮比長週期之全日潮能量消散為大，因此在ST-1站半日潮流降至與全日潮流大小相當。因測站ST-1位於北防沙堤測，流向變化受到近岸影響，主要在沿岸方向做週期流動。潮流之移動，漲潮往西南向，退潮往東北向。而海流向量進行圖(圖2-8i)顯示長期流向偏往西南向移動，其原因為漲潮時在北防沙堤測站ST-1潮水往西南流，而退潮時潮水應往東南向，但由於北防波堤之阻擋，產生順時鐘(往西南向)之環流，因此不管漲退潮流向皆有往西南向移動之趨勢。

圖2-9a海流逐時變化圖顯示北防沙堤測站ST-1，在冬季之海流遠較夏季為大，流向並不呈週期規則性變化，圖2-9c~f統計圖顯示此段期間ST-1測站之平均流速約為21.2cm/sec，東西分量平均流速約-14.9cm/sec，南北分量平均流速約為-12.7cm/sec，流向集中在SW(佔60%)及WSW(佔10%)等方向。冬季流況玫瑰圖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甚大。能譜分析(圖2-9g及圖2-9h)顯示在12小時及24小時左右，也有明顯尖峰值存在，表示海流之主成份為半日潮及全日潮，而半日潮與全日潮大小相當，但長週期之能譜值確遠較半日潮及全日潮為大，此顯示風驅流或沿岸流之成分遠較潮流為大。海流向量進行圖(圖2-9i)顯示長期流向偏往西南向移動，表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，風速較大時，風驅流轉強，不管潮流之漲潮或退潮流向皆往西南向，但風速較小，風驅流轉弱，往西南向之趨勢轉弱。

測站ST-2位於北防波堤堤頭處，圖2-10a為夏季海流逐時變化圖，圖2-10c~f統計圖顯示此段期間平均流速約為35.4cm/sec，東西分量平均流速-3.6cm/sec，南北分量平均流速33.4cm/sec，表示測站ST-2之流速遠較ST-1之流速為大，而流向集中在N向(佔68%)及NNW向(佔17%)，顯示不管漲潮或退潮ST-4之流向皆往北向。由海流向量進行圖(圖2-10i)也顯

顯示長期流向偏往北向移動，此與北防沙堤測站明顯不同。現場北向之平均流(或稱恒流)甚大，其可能為此站離海岸較遠，夏季往北向洋流分叉於近岸產生之支流，而西南季風引起之風吹流成份並不大。能譜圖(圖2-10g, h)顯示在在12小時及24小時左右，也有明顯相對尖峰存在，表示海流之主成份為半日潮及全日潮，而半日潮較全日潮為大。因為潮汐主要份為半日潮，次要成份為全日潮，潮波在近岸傳遞過程因海底摩擦效應，短週期之半日潮比長週期之全日潮能量消散為大，因此在較外海北防波堤堤頭處ST-2站半日潮流仍然比全日潮流為大，但在傳遞至北防沙堤測站ST-1處，半日潮流與全日潮流大小相當，本站夏季海流主要為恒流與潮流所組成。

圖2-11a為冬季位於北防波堤堤頭處測站ST-2之海流逐時變化圖，圖2-11c, d, e, f統計圖顯示此段期間平均流速約為35.4cm/sec，東西分量平均流速-24.0cm/sec，南北分量平均流速5.6cm/sec，表示測站ST-2之流速仍較ST-1之流速為大，而流向集中在W向(佔44%)及N、NNW向(佔32%)，顯示流向分別分佈在西向及北北西向，此與北防沙堤測站明顯不同，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。由海流向量進行圖(圖2-10i)也顯示長期流向偏往西向及北北西向，其中西向的流速較北北西向為大。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，而當風速較小時則流向為北北西，此與前述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。能譜分析(圖2-11g及圖2-11h)顯示在12小時及24小時左右，也有明顯尖峰值存在，表示潮流之主成份為半日潮及全日潮，但長週期之能譜值確遠較半日潮及全日潮為大，此也顯示風驅流或沿岸流之成分遠較潮流為大。

南防波堤登輪區測站ST-4位於北防波堤堤頭處測站ST-2之東南方，圖2-12a為夏季之海流逐時變化圖，圖2-12c~f為統計圖，此段期間平均流

速約 12.9cm/sec，東西分量平均流速約 -2.0cm/sec，東西分量平均流速約 10.4cm/sec，顯示測站 ST-4 之流速較測站 ST-2 為小，而流向集中於 NW(佔 43%)及 NNE(佔 22%)，表示測站 ST-4 之流向與測站 ST-1 及測站 ST-2 皆不同。而流向集中在 NW 及 NNE 向，顯示不管漲潮或退潮在 ST-4 站，海流往西北向或北北東向之流向趨勢較強。其原因可為漲潮時在南堤附近海域，由於南防波堤之阻擋，產生因大小不同環流，流向變化較複雜之故；至於二者何者較重或於何種情況才能發生，有待進一步探討。而由能譜分析(圖 2-12g 及圖 2-12h)顯示流場型態仍是以潮流及恒流為主。

南防波堤登輪區測站 ST-4 圖 2-13a 為冬季之海流逐時變化圖，圖 2-13c ~ f 為統計圖，此段期間平均流速約 20.6cm/sec，東西分量平均流速約 1.9cm/sec，東西分量平均流速約 3.6cm/sec，顯示測站 ST-4 冬季之流速較夏季為小，而流向集中於 NNE(佔 26%)及 N(佔 11%)，表示測站 ST-4 之流向與測站 ST-1 及測站 ST-2 皆不同。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，分佈範圍甚廣，不似北防沙堤測站的集中，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如測站 ST-4 及測站 ST-1，也就是風驅流或沿岸流成份不特別高，能譜圖(2-13g, h)顯示其值大小與潮流成份相當。由行進向量圖如圖 2-13i 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。海流之能譜圖(2-13g, h)則顯示因受東北季風及波浪之影響。風浪較大的流速其流向受風吹流及碎波後產生之沿岸流影響較大，流向些微偏西北，本站冬季海流之成份包括潮流、風吹流及沿岸流，不完全是潮流的週期性運動。

綜合上述冬、夏兩季流況特性顯示，冬季港口流況除受潮汐影響外，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。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。夏季海流之主要成份為潮流週期性運動。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。與以往梁等(1983)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 米及堤頭水深變深，使得強制裂流的強度減弱所致。

北防沙堤測站(ST-1)海流成份主要為風驅流及沿岸流，流向西南最大流速 87 cm/sec，本站潮流振幅在 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。北堤堤頭測站(ST-2)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 100 cm/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(ST-4)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。不同測站間海流組成成份隨季節變化而有所不同。

根據曾等(1996)針對現場上速各時段的各測站海流資料，進行測站間相關分析，顯示由代表冬季時段分析發現 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。經分析同上述時段 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。由代表夏季時段的分析顯示 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，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。

曾等(1996)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。

在流速與風速相關分析方面，曾等(1996)由代表冬季時段的分析中可發現ST-1站流速與風速的相關係數值於1994年11月的時段皆可達0.75以上(延時約2小時)，但在1995年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。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。由分析代表夏季時段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。

在流速與潮位相關分析方面，曾等(1996)由ST-1站流速與潮位的相關顯示於冬季時段皆不高(相關係數值約0.25以下)。至於ST-2站流速與潮位的相關性其結果與ST-1站相似。至於夏季時段經分析也可發現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。

參、水理推算數值模式— MIKE 21 HD

DHI MIKE 21 HD 為丹麥水工研究所(Danish Hydraulic Institute)發展之水力計算模式(The Hydrodynamic Model)。其主要功能為模擬計算海域之潮汐變化、潮流、暴潮及近岸地區沿岸流。一般可應用於計算海洋、近岸、港口及湖泊等區域之水流及水位變化。MIKE 21 HD 主要方程式、數值方法及使用,將介紹如后:

一、主要方程式

Mike 21 HD 模式主要控制方程式為連續方程式(continuity equation)及運動方程式(momentum equation),表示如下:

連續方程式:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = I - e \quad (3.1)$$

式中

- | | |
|----------------|--------------------------------|
| $\zeta(x,y,t)$ | : 水位變化(m) |
| $p(x,y,t)$ | : x方向流束密度($m^3/s/m$) |
| $q(x,y,t)$ | : y方向流束密度($m^3/s/m$) |
| I | : 單位平面Source的大小($m^3/s/m^2$) |
| e | : 蒸發率(m/s) |

運動方程式:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{p^2}{h} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{p \cdot q}{h} \right] + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \\ & + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} - C_w W W_x + \frac{h}{\rho_w} \cdot \frac{\partial p_a}{\partial x} \\ & - q\Omega - \left[\frac{\partial}{\partial x} (\tau_{xx} \cdot h) + \frac{\partial}{\partial y} (\tau_{xy} \cdot h) \right] = I_x \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{q^2}{h} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{p \cdot q}{h} \right] + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \\ & + \frac{gq\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} - C_w W W_y + \frac{h}{\rho_w} \cdot \frac{\partial p_a}{\partial y} \\ & - \Omega p - \left[\frac{\partial}{\partial x} (\tau_{xy} \cdot h) + \frac{\partial}{\partial y} (\tau_{yy} \cdot h) \right] = I_y \end{aligned} \quad (3.3)$$

式中

- $\zeta(x,y,t)$: 水位變化(m)
- $p(x,y,t)$: x方向流束密度($m^3/s/m$)
- $q(x,y,t)$: y方向流束密度($m^3/s/m$)
- $h(x,y,t)$: 水深(m)
- S_{xx}, S_{yy}, S_{xy} : 波浪幅射應力(wave radiation stress)
- I_x, I_y : x和y方向Source的衝量($m^3/s/m^2 \cdot m/s$)
- g : 重力加速度(m/s^2)
- C : 底床阻力係數($m^{1/2}/s$) (Chezy resistance No.)
- C_w : 風阻係數(Wind friction factor)
- $W, W_x, W_y(x,y,t)$: 風速和x方向及y方向分量
- $P_a(x,y,t)$: 壓力梯度($kg/m/s^2$)
- ρ_w : 水密度
- Ω : 柯氏力係數(S^{-1})(Coriolis coefficient)
- (x,y) : 空間座標(m)
- t : 時間(s)

一般典型近岸區垂直方向之流速(w)，遠較水平速度(u, v)為小，垂直之深度(幾拾米)，遠較水平之尺度(幾公里)為小，動量方程式主要外力說明如下： $gh \frac{\partial \zeta}{\partial x}$ ， $gh \frac{\partial \zeta}{\partial y}$ 為重力。 $\frac{h}{\rho_w} \cdot \frac{\partial p_a}{\partial y}$ 及 $\frac{h}{\rho_w} \cdot \frac{\partial p_a}{\partial x}$ 為壓力。 $p\Omega$ 及 $q\Omega$ 為柯氏力。 $C_w W W_x$ 及 $C_w W W_y$ 為風剪應力。 $\frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2}$ 及 $\frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2}$ 為底床阻力。 $\tau_{ij}, i, j = x, y$ ，表示分子粘滯力(molecular velocity)及亂流動量傳遞(turbulent momentum transfer)之合成剪應力(stress)。 $S_{ij}, i, j = x, y$ ，表示波浪幅射應力(wave radiation stress)。

剪應力 τ_{xx} ， τ_{yy} ， τ_{xy} 分別定義為

$$\tau_{xx} = E \frac{\partial u}{\partial x} \quad (3.4a)$$

$$\tau_{yy} = E \frac{\partial v}{\partial y} \quad (3.4b)$$

$$\tau_{xy} = \frac{1}{2} E \left(\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial x} \right) \quad (3.4c)$$

式中 E 為渦流粘滯係數(Eddy Viscosity)。

二、MIKE 21 HD 介紹

(一)、邊界條件之設定

邊界條件，在海面一般主要外力為風力，模式計算需輸入採用之風速、風向及風摩擦係數之資料。海底則引用經驗式描述摩擦力之作用，底床摩擦係數，可選擇 Chezy Number 或 Manning Number。在二維模式側面邊界有固定邊界及開放邊界(Open Boundary)。固定邊界一般假設為不透水直立壁，垂直於岸壁之速度為零，同時假定非滑動(non-slip)，即平行於岸壁之速度不為零，在開放邊界則需給定實測之潮位或流速。

HD Model 在海岸或結構物邊界，可引用不透水邊界條件。開放邊界條件，一般引用流速或水位變化為其邊界條件，因為潮位變化之資料較易取得，故大部份之應用均以潮位變化資料為水理模式之邊界條件。若是邊界條件為潮位變化，則模式假設其方向為垂直邊界方向，因數值計算上之限制，需假設潮流在模式邊界內外之潮位差異很小。而在計算流入量(Inflow)與流出量(Outflow)時，是利用差補法(extrapolation)計算。若是邊界條件為流量束(Flux)，則選擇之方式有三種：(1)給定一定量之流量束流于模式中。(2)給于變化之流量束，此資料需經長期之觀測，以估算任何兩個時間間格下之流量束變化。(3)配合潮位為週期變化，假設流量束的變化是一個三角正弦型式之資料，以估計流量束的大小。

開放邊界條件之水位變化資料可以引用當地潮位資料，用調和分析方式求出當地潮位變化之數學函數方程式，代入為邊界條件。潮汐調和分析法(Harmonic Analysis)基本原理為把任何地點之潮汐分成有限個潮汐分潮(component tide)，每個分潮在數學視為一簡單的時間調和函數，理論上潮汐是包含無窮多的分潮，但是只有少數的分潮是主要的分潮，因此在實用上可視精確度的要求而選取分潮數目。

由牛頓的平衡理論及實際海岸，海底地形的影響，潮汐分潮可由下面一

般化的公式來表示：

$$y^i(x, t) = f_i H_i \cos[\sigma_i t + (V_0 + U)_i - k_i], \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.5)$$

式中 y^i 為在 x 位置及時間 t 第 i 個分潮潮高。

H_i 為振幅 (Amplitude)。

f_i 為修正係數 (factor of reduction)。

σ_i 為分潮之角速度 (angular velocity)。

m 為分潮之總數。

$E_i = \sigma_i t + (V_0 + U)_i$ 為平衡引數 (equilibrium argument), 是時間函數。

當 $t=0$, 則 $(V + U)_i$ 為起始時間之平衡引數, 以 E_{i0} 表示, 即 $E_{i0} = (V_0 + U)_i$;

• k_i 為遲角 (phase angle), 其值相當於平衡潮汐理論推算的高潮時間與實際潮汐高潮時差 (圖 3-1)。

分潮之振幅 H_i 及及遲角 k_i 稱為調和常數 (Harmonic constants), 其值係隨地點 (x) 及時間 (t) 而異, 必需由當地觀測的潮汐實測值來決定。而分潮之修正係數 f_{i0} , 角速度 σ_i 及平衡引數 E_{i0} 則受天體運動之影響, 可由天體運動之公式求得。表示式 (3-5) 各變數之間的關係可由圖 3-1 說明。

根據上述分潮之調和函數, 任何地點 (x) 任何時間 (t) 之潮高為各分潮之總和, 表示式如下：

$$y(x, t) = H_0(x) + \sum_{i=1}^m y^i(x, t) \quad (3.6)$$

式中 $H_0(x)$ 為平均水位, $y^i(x, t)$ 為第 i 個分潮之潮高, 定義如 (3-5) 式, 由表示式 (3-6), 如果知道平均水位 $H_0(x)$, 各分潮之振幅 H_i , 遲角 k_i , 修正係數 f_i , 角速度 σ_i 及平衡引數 E_{i0} , 則任何地點 (x), 任何時間 (t) 之潮位 $y(x, t)$ 即可求得。

根據一般經驗流場資料觀測及蒐集甚為困難，具有充足資料之海氣象測站甚為有限，開放邊界僅能使用水位邊界。因此計算區域選定為配合計算精度之要求不同，需分階段將計算區域分為大域、小域及局部區域等形式計算，網格間距分別由大至小依需要分割。模式中在邊界上可定義為水位邊界或通量邊界，通常模式中沿模式邊界方向之通量在出流時以模式範圍內流場通量外差求得，入流時則定義水流垂直邊界進入。小格網距模式之邊界水位及通量條件則由較大格網模式計算結果提供轉換邊界。(例如 1000 公尺格網距模式提供 250 公尺格網距模式計算所需之邊界條件，250 公尺格網距模式提供 50 公尺格網距模式計算所需之邊界條件)。

(二)、模式參數之選定

HD 模式參數中最主要有三個(1)底床摩擦係數(bottom friction coefficient) (2)渦流黏滯係數(Eddy Viscosity) (3)風阻係數(Wind friction factor)，將分述如后。

1、底床摩擦係數(bottom friction coefficient):

底床摩擦係數，可選擇 Chezy Number 或 Manning Number。此二參數最大之差異在於 Manning Number 給定，將隨水深變化而造成 Chezy Number 之變化。而 Chezy Number 越大，則表示底床摩擦力越小，可從動量方程式中看出。

無論底床摩擦係數與渦流黏滯係數以何種形式表示，最正確之方法必須經由模式之驗證過程求出。利用實測資料與數值之比數以修正參數，這些參數需經驗與物理現象判定。依 HD 模式本身之演算功能，Manning Number 可為 20 ~ 40，Chezy Number 可為 30 ~ 50。

對於底床摩擦係數之決定有兩種：Chezy Number，通常大小值依 HD 之使用經驗約為 30 ~ 50；若考慮底床摩擦力依水深之變化而改變摩擦係數，則可以使用 Manning Number 來解：

$$C = M \cdot h^{1/6} \quad (3.7)$$

式中 C : Chezy number , M: Manning Number , h: 水深

對於摩擦係數之決定，最主要是配合水深不同而改變。常水深大於網格間距很多時，底床摩擦係數之考慮將大於渦流黏滯係數；若水深小於網格間距時，則渦流黏滯係數之考慮將大於底床摩擦係數。

2、渦流黏滯係數(Eddy Viscosity)

對於渦流黏滯係數之選定，可假設整個地區是固定之常數或由公式計算出來。若用 Smagorinsky 公式，則 Smagorinsky Factor 為 0.25 至 1.00 間。此參數值之選擇，主要依地形水深之不同而做適當之選擇與校正。當整個流場的渦流黏滯係數非固定常數時，Smagorinsky 公式可決定動力消散係數(eddy dispersion coefficient) E 值：

$$E = \ell^2 \left[\left(\frac{\partial p}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial p}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial y} \right)^2 \right] \quad (3.8)$$

式中， $\ell = c_s \cdot \Delta x$ ， Δx 為 mixing length， $c_s =$ Smagorinsky Factor。

渦流黏滯係數參數值的選定也可根據 Madsen etc.(1988) 之研究建議如下式所示：

$$\text{渦流黏滯係數} = 0.1 \times \text{格網距(m)} \times \text{流速(m/s)} \quad (3.9)$$

3、風阻係數(Wind friction factor)

另一個重要參數為風阻係數(Wind friction factor)，海面一般主要為風剪力，當考慮風對整個區域之影響後，可假設一個定值之風速，或依實際測得之資料，代入 HD 模式中。風剪力，其分量 F_{xs} 、 F_{ys} 可表示為

$$F_{x_s} = C_w W W_x = C_w W^2 \cos(\theta_w) \quad (3.10)$$

$$F_{y_s} = C_w W W_y = C_w W^2 \sin(\theta_w) \quad (3.11)$$

式中 W 為距海平面 10 米處風速， C_w 為風剪力係數， θ_w 為風與 x 軸之夾角。

(三)、模式先期啓動及初始條件

MIKE 21 HD 二維模式為時間變化問題，因此在啓始時間 ($t = 0$) 時，即啓始條件需給定整個區域之水位及流速。計算模擬時，需要輸入初始條件做為計算分析之開始條件，實際上，不可能在某一時刻時，對全區之水做同時之觀測，因此在計算時均採用假設之初始水位，一般以零水位 (即靜止狀態) 為初始條件。由於採用零水位或其他假設水位作為初始條件，在計算過程中有一段漸近於穩定正常潮位之過渡時間，是為模式之先期啓動時間。不同網距模式計算起始時間便須選擇在模式轉換邊界作用下，模式全區水位坡降很小近似水平之時間點上。

(四)、模式之穩定判定

HD Model 所使用之數值方法是利用 ADI Method 求解，模式之穩定條件，依據 HD 模式過去使用之經驗可得：

$$\Delta t_{max} = \frac{\Delta x \cdot C_r}{c} \quad (3.3)$$

$$C_r = \frac{U_{max} \cdot \Delta t}{\Delta x} \quad (3.4)$$

式中

C_r	: Courant number
c	: 波速 (the celerity)
U_{max}	: 計算期間之最大流速
Δt	: 時間間隔
Δx	: 網格大小
g	: 重力加速度
h	: 水深

式中之 Δx 為格點之大小，一般格點大小依港灣地形、電腦容量、計算時間與計算之精確度而定。當網格距離決定後，依據穩定判別式，即可選擇計算時距。適當之選擇，不僅可以達到數值穩定，亦可節省甚多之時間。在使用 HD 模式時，網格取的越小，理論上模式所計算之結果會越精確。但網格越小，則所需之計算機容量越大，計算時間越久。故網格大小之選定，必須折衷於模式精確度與計算需求量之間。

(五)、模式之可信度

MIKE 21 HD 模式之應用，影響其精確度兩個因素為：邊界條件之設定與計算區域幾何形狀，所謂區域幾何形狀包括海岸線形狀與海底之形狀變化。若模式能充份地將港灣之形狀與深度變化較正確之刻劃出，且又有正確之邊界條件，則 HD 模式應能精確地演算出結果。

肆、台中港近岸海域之海流數值推算

研究台中港海岸地區流場之主要目的在提供污染研究之流場輸入條件，並提供其他不同問題研究所需之基本流場，如輸砂傳輸模式分析、河口泥砂傳輸模式分析、水質模式分析、船舶進出港口段航道之操船模擬使用等，流場研究亦將提供未來其他更詳細水理研究之基礎。

台中港海岸地區流場主要受台灣海峽大尺度海潮流所控制，局部地區並受風、波浪及地形水深之影響。流場模式分析主要在正確反映本地區海流活動之特性，雖然理想狀況下的模式分析，需要非常細密之海底地形，及模擬較詳細之流況，特別是在模擬碎波帶內現況時更需非常細小之格網距如30公尺或更小，惟因本研究區域在南北甚為廣達的範圍下，過小的格網距將導致計算時間急劇地增加，因此有必要使用各種不同尺度之網格，來進行分皆段研究。

由於本地區水深變畫並不劇烈，且三維模式目前研發尙未十分成熟及實測資料甚為困難配合之原故，本計畫採用丹麥水工研究所(Danish Hydraulic Institute，簡稱DHI)發展的Mike 21 HD二維模式模式；該模式則提供使用者極佳之操作環境及輸出品質。並且該模式目前在國際上有為數眾多之使用者包括許多主要港埠單位(如新加坡港等)，在國內則有成功大學、海洋大學、環保署等單位使用。Mike 21 HD模式能夠模擬因受潮汐、風、大氣壓力、地球自轉柯氏力、幅射應力及海底底床摩擦等作用，產生之水位變化及海流。河川流量則以通量及動量表現之流源(Source)或如蒸發損失形態之流陷(Sink)，此模式皆可加以考慮。

模式主要在求解 x 、 y 方向之平均水深連續方程式及動量守恒方程式，其計算結果則包括每一計算時階及每個格點之水深(h)、 x 方向通量(p)及 y 方向通量(q)，根據這三個基本物理量及地形資料，可推導出每一計算時階及格點上之水位變化、 x 方向流速、 y 方向流速、流速及流向，模式校正流場可藉調整底床摩擦係數、渦流黏滯係數及風阻力係數等參數值。

一、台中港海流數值計算回顧

台中港在進行「台中港港口擴建計畫評估研究」，曾於74年委託本所進行海氣象調查，台中港經辦理多次流況調查言究，如梁等(1982)，張等(1988)，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，海流數值計算由荷蘭PRC工程顧問公司辦理，當時PRC公司係採用REFRAC及CURMO二程式分別計算波浪及風與潮造成之海流。

PRC公司之REFRAC程式係以折射理論計算波浪由外海入射至近岸之折係數，在考慮波浪淺化，碎波及底床摩擦能量消散等作用下，估算近岸區波浪之波向及波高值，進而計算波浪引起之輻射剪應力，作為CURMO程式波浪影響因子之輸入資料。

CURMO程式則係以動量平衡及流體連續性觀念以差分法計算水面因外力作用或不同水面高程差造成之海水流動。外力因素除潮位因素外已導入波浪造成之輻射應力及風之剪應力，故波浪及風所產生海流之效應加上潮汐因水面高程差異所產生之潮流，可同時於計算中顯現。根據「台中港港口擴建計畫評估研究」之研究報告(1988)，當時之計算條件於參考實際海氣象調查資料分析結果後，曾研選不同風速及波浪條件進行數值模擬，其研選之條件為風速 = 15 ~ 25 m/s，風向 = NNE ~ NE，波浪之有義波高 $H_s = 2.5 \sim 4.0$ 米，有義週期 $T_s = 7 \sim 8.5$ 秒，波向 = N。

另為配合不同計算目的(波浪及海流)及精度需要，共以四種網格分別處理計算海域。各網格涵蓋範圍如圖4-1所示。A網格(Refraction Model)：主要供REFRAC程式計算波浪折射所需，因主要波浪為N向約略平行海岸，計算範圍涵蓋台中港區及大安溪以北海岸，面積 $9 \times 25 \text{ Km}^2$ ，網格間格250m。B網格(Coarse Grid Model)：主要計算恒流及潮流之流況變化計算範圍 $20 \times 30 \text{ Km}^2$ ，網格間距1000m。C網格(Fine Grid Model)：因B網格間距較寬，對於近岸較複雜地形之流況較難模擬，故另進行較精確之C

網格計算，其範圍 $7 \times 10 \text{Km}^2$ ，間距250m。C網格四週邊界條件，採B網格所計算之水位及流速作輸入資料，再加上風及浪產生之剪應力。所得成果並與實測資料驗證，憑以修正有關輸入資料及係數，以建立一較正確之模式。D網格(Detail Model)：主要供各擴建方案流況計算所採用。但其間距較小，精確度較高。計算範圍 $5.5 \times 4 \text{Km}^2$ ，網格間距125m。其邊界條件處理及風、浪外力之輸入同C網格。

台中港附近海域之波浪，當時經PRC公司以REFRAC程式模擬計算，結果如圖4-2所示。海流之計算，引用條件為風速在15m/s，波高2.5米，風向=NE時定案佈置計算結果流況分佈如圖4-3。流向由北防波堤堤頭前200米西南西向往外海逐漸向南偏，堤頭前800米附近流向轉為西南，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。受北防波堤束流影響堤頭前計算流速甚大流向為WSW，與現場北防波堤堤頭處ST-2當風向NNE、風速10~15m/sec，波高2.5米時觀測流速、流向相似；但離堤頭800米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。北防波堤之南方登輪區附近在強風作用時形成一環流，計算之流向偏北，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。

二、現況台中港海流數值計算

根據以往台中港海象調查之分析及數值模擬結果知，台中港海流之構成成分含有風、浪、潮及其他恒流等複雜因子，且不同之港口水域點其隨季節之變化特性亦不盡相似。為能充分評估各不同原因造成之海流大小及波浪之影響，本所特別引用丹麥水力研究所研發之 MIKE 21 水動力模擬軟體，以計算台中港區北防波堤延伸 850 公尺後因潮汐及風場作用之海流特性。

(一)、計算區域選定

進行海流數值模擬最困難之事即在計算區域上之邊界條件設定，正確且品質良好之邊界條件為海流數值模擬計算準確成功之先決條件。根據資料收集結果知道，台中港南北兩側具有充足潮汐水位資料之海氣象測站甚為有限，南側最近地僅有芳苑一站，北側則需遠至新竹方有新竹漁港一站，因此計算區域選定如圖 4-4。為配合計算精度之要求同時並將計算區域分為大域、小域及局部區域等三種，網格間距分別為 1 公里、100 公尺及 25 公尺，所涵蓋之計算範圍分別為 120 公里 × 60 公里、18.1 公里 × 14 公里及 4.5 公里 × 4.5 公里，計算區域位置、範圍及相關之地形如圖 4-5、圖 4-6 及圖 4-7 所示。

(二)、潮位及風之邊界條件

為計算台中港之海流變化，於大域計算區域南側網格上以芳苑水位站之驗潮結果(圖 4-8)為南側水位變化邊界，以新竹漁港水位站之驗潮結果(圖 4-9)為北側水位變化邊界，西側之邊界條件因其距海岸線已達約 60 公里，因此由海圖上取其恒流大小及方向為邊界條件。小域網格邊界由大域網格計算結果截取，局部區域網格邊界再由小域網格邊界截取。邊界條件之設定依以上原則及步驟設定後，即可進行台中港港域海流數值模擬。另為

驗證需要，同時並需準備台中港之水位資料及驗潮結果(圖4-10)，資料時間並與芳苑及新竹漁港同時期，俾利計算結果之檢核。在起始計算之前首先截取以上台中港、芳苑及新竹漁港三水位站之水位資料，比較並分析如圖4-11，由圖可知，若以台中港滿潮或低潮時間為準，則可發現新竹漁港雖與台中港相距較遠，但滿潮或低潮之時間卻較接近，芳苑潮位站相較之下則落後甚多，而依圖4-8芳苑潮位站之實測與驗測結果發現，驗潮記錄實際上落後實際潮位約一小時，倘調整此差距，則芳苑與新竹之潮汐相位則約略相近。此潮時上之誤差尚待進一步驗證。至於本研究中各潮位站驗潮使用之分潮振幅及遲角參見表4-1、表4-2及表4-3。

外力因素除潮位因素外，風之剪應力，也同時納入於計算中，參考實際海氣象調查資料分析結果後，研選之風條件如下：冬季考慮風速 = 15m/s，風向 = NE，夏季因西南季風之影響甚微，風之作用予於忽略。

(三)、海流模擬結果及驗證

海流模擬之計算結果，茲將大域、小域及局部區域等三種網格計算之流場分佈分述如下后。

在大域網格上，台中港之網格座標為(50, 46)，在冬季期間引用上述之邊界條件，其逐時之海流計算結果如圖4-12a~e所示。比較各圖可知，台中港滿潮位時，潮流自北向南流動(圖4-12a)，低潮位時，潮流自南向北流動(圖4-12c)，退潮位時(滿潮至低潮間)，潮流自南向北流動(圖4-12b)，漲潮位時(平潮至滿潮間)，潮流於台中港南側向北流動，台中港北側則向南流動(圖4-12d)，此與台中港附近為南北潮流之匯集點觀測結果一致，隨漲潮時間增加至滿潮位時，潮流自北向南流動(圖4-12e)。冬季因東北季風甚強，其引起之風吹流甚強，所以自北向南之海流遠較自南向北之流動為大。唯若將台中港港口附近之計算潮位與實測潮位相驗證，結果如圖4-13所示，由圖可比較得知，雖然計算之潮差與實測大小頗為一致，但潮時相位卻有約一小時之潮時差，此原因可能係芳苑潮位站潮時誤差所致。

儘管如此，潮位漲退造成之潮流型態變化應可供參考。

夏季期間因西南季風之影響甚微，風之作用予於忽略，在假設無風力作用下，在大域計算區域其部份時段之海流計算結果如圖4-14a~d所示。海流之主要成份為潮流，其潮流漲退之特性與圖4-12甚相似，但因為無風驅流之影響，所以南向與北向之潮流大小較一致。

在小域網格上，台中港港口之網格座標為(70,100)，漁港港口之座標為(105, 102)，截取大域網格之計算結果將其設定於小域網格邊界上，重複大域網格之操作步驟可得小域網格潮流之模擬結果如圖4-15a~d所示。比較台中港港口附之流況可看出，滿潮時北防波堤南側將有渦流形成，低潮時，渦流則形成於北防波堤北側，退潮段潮流由港內向外流動，漲潮段則反之。

小域網格計算結果，在港口附近之局部區域如圖4-16a~d所示，圖中之流場分佈顯示港內之流速遠較港外為小，港內火力電廠附近之水域之流速又遠較港口處為小。自台中火力電廠奉准設立於工業港區南端後，為航道需求已將外廓海堤合攏，使台中港成為一封閉性狹長港口，因其港池形狀特殊，成狹長形，長約七、八公里，而寬僅半公里左右，因此內港區之流量不大。整體而言港區內之水體與外海之水交換情形並不十分理想，尤其火力電廠附近之水域進入港池內之污水乃不易擴散稀釋至大海。小域網格計算之結果進一步將港口及漁港港口計算潮位與實測潮位相驗證，如圖4-17，比較結果發現，台中港港口內外，水位漲落之潮時幾乎一致，但計算與實測潮時仍保持約一小時之時差，其原因經檢討應與大域網格上，芳苑潮位站之潮時誤差有關。

局部區域網格之計算，其目的除為了提高計算精度並使局部區域流場特性易於展現外，最主要之目的乃在克服邊界條件設定之困難及障礙。如前所述，局部區域網格邊界條件係由小域網格流場中截取，而小域網格之邊界條件則截取自大域網格之流場計算結果，至於大域網格之邊界設定則主要依據現場實測及調查所得之資料，因此局部區域網格之計算結果應足

以反應現場實測及調查所得之水理現象。台中港潮位站位於北泊渠渠端4A碼頭附近，鑑於依小域網格計算所得之結果於比較台中港港內外潮時差，顯示台中港港口內外潮時差其實甚為有限，因此於小域網格上取港口格點P(80, 75)上，以24小時之計算潮汐代表台中港水位變化。

局部區域網格計算台中港港口附近一天內之潮流分佈，其部分時段如圖4-18a～d所示。海流之計算結果可知，台中港因港口外廓堤防伸入海測長度甚長，於潮汐一日變化當中，南外防波堤內常有渦流產生，北外防堤南北兩側其渦流隨潮位高低而呈南北向更替，潮流因堤伸入海側引起渦流流場其對航道造成之影響應為港口段航道起始點深坑洞形成之主要成因。另南北內堤附近，隨潮汐漲落亦有一定規模之渦流場存在，此渦流場之影響尚待未來進一步觀測。此階段之計算結果之海流流場分佈，圖4-18c，d，於1994/1/13 13:00:00之計算結果，與PRC公司以CURMO程式模擬計算，在引用條件為風速15m/s，波高2.5米，風向=NE時定案佈置計算結果流況分佈圖4-3比較，可知兩者流場之型態甚為相似。

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甚大，比較海流計算結果圖4-12a～d各圖可知，台中港滿潮位時(圖4-12d)，外海及北外防堤北側地區海流自北向南或西南流動，西南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，北外防堤南側有逆時鐘之渦流，堤口內也存在一順時鐘之渦流；低潮位時(圖4-12b)，外海及北外防堤北側地區海流也是自北向南或西南流動，但流速較滿潮時為小，同樣北外防堤南側有逆時鐘之渦流，但堤口內海流主要往外，逆時鐘之渦流規模甚小；退潮位時(滿潮至低潮間)，如圖4-12a，北外防堤北側地區海流自北向南或西南流動，流速也較滿潮時為小，但北外防堤南側地區海流也是向西南流動，逆時鐘之渦流流速減小，堤口內海流往外流速增大，南內堤西側之逆時鐘之渦流規模加大；漲潮位時(平潮至滿潮間)，如圖4-12c，北外防堤北側地區海流也向西南流動，流速也較滿潮時為小，但北外防堤南側地區逆時鐘之渦流半

徑減小，往堤口內海流流速增大，南內堤東側之逆時鐘之渦流規模加大。

整體而言冬季期間受北防波堤東流影響堤頭前計算流速增大流向為WSW，與現場冬季位於北防波堤堤頭處測站ST-2之海流觀測流向相似；北外防堤南側登輪區附近在強風作用時形成一環流計算流向偏北，與現場冬季位於南防波堤登輪區測站ST-4之海流觀測流向也甚相似；至於在北外防堤北側地區海流自北向南或西南流動之現象，與北防沙堤測站ST-1海流觀測流向也完全一致。

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4-19a~d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，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。

伍、結論及建議

1. 本計畫以數值方法配合現場觀測資料分析，以探討台中港港區之海流特性，最後數值結果之流場將可提供，未來探討污染研究及提昇港池水體自淨能力之重要輸入條件。
2. 改善港池污染方法之一是提昇港池水體自淨能力，以利用自然或人為方法，提昇或導引海水流動之能力，台中港港區之潮差甚大，每年季風期更有強勁季風作用，因此海流包括潮流、風吹流及沿岸流，各成份流動皆較其他地區為大，如此強勁之水流條件，有利提昇台中港港池水體自淨能力。
3. 台中港海岸地區流場主要受台灣海峽大尺度海潮流所控制，局部地區並受風、波浪及地形水深之影響。台中港口擴建防波堤延長850m在84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。為更詳細了解港口擴建後之海象狀況，本所於台中港附近海域針對波浪、海流、風及潮汐作現場調查，以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。
4. 現場觀測台中港之平均潮差(即潮波波高)接近4米左右，平均潮波週期約為12.5時左右(半日潮)。最大潮差(潮波波高)為5米，1/3平均潮差(即潮波波高1/3)，約為4.5米左右，潮差甚大。潮汐主要為半日潮及全日潮，而半日潮又較全日潮為大，全日潮振幅約為半日潮之1/8至1/10間，半日潮之振幅約為3.0米左右，分析顯示如此大之潮差引致之潮流將不小。
5. 現場觀測台中港夏季月份之風以1994年6月份為例，風向集中在西南南、南西及南方向大約佔53%，部份集中于北北東及東北向大約佔22%，風速超過10m/sec者僅約佔5.4%，是屬夏季西南季風型態。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。冬季月份之風以1994年1月份為例，風向主要集中在東北方向，大約佔64%，風速超過10m/sec者約佔26.6%，風速

較典型夏季西南季風型態顯然為大。分析顯示台中港外海地區風吹流成份在冬季季節風盛行時可能甚大，而夏季海流中風驅流的成份遠較冬季為小。

6. 現場觀測台中港冬季之波高及週期皆較夏季期間為大。夏季西南季風期間因風速小，波浪一般也甚小。而在冬季東北季風期間，因風速增大，波高、週期則顯然較夏季為高。冬季波浪主要由東北季風造成，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。針對現場風與浪相關分析顯示，以ST-1站而言，風速在5m/s左右時在1米以下，在4~5秒，風速在10m/s左右時，在1~2米，在5~7秒，風速在15m/s左右時，在3~4米，在6~8秒，波向在北北西~北北東之間。分析顯示冬季波浪將影響台中港近岸流場較大，尤其受到北防波堤結構物的影響，而產生之強制裂流(沿岸流)不可忽視。
7. 現場觀測資料顯示，影響台中港區海流之主要外力為潮汐、季節風、波浪及洋流之支流。冬季季風期間風驅流所導致的港域環流較於潮汐漲落所導致的海流影響為大，因此探討台中港區之水理特性，宜分季風期及非季風期兩階段來進行。此外風驅流在季風期間又受日週期影響，每日下午二至三點風速較大，而入夜以後又逐漸變小，深夜甚至無風。由於潮汐漲落、恒流及風驅流均受一季節週期性影響或日週期、或半日週期使得流場變化更形複雜。
8. 綜合冬、夏兩季流況特性顯示，冬季港口流況除受潮汐影響外，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，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。夏季海流之主要成份為潮流週期性運動。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。與以往梁等(1983)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米及堤頭水深變深，使得強制裂流的強度減弱所致。
9. 由於流場在近岸區甚易受水深、地形及結構物影響而改變大小及方向，加以其全面施測並不易進行，因此有必要配合現場條件進行數值模擬，俾利現場流況之掌握。本計畫採用丹麥水工研究所(Danish Hydraulic Institute

，簡稱 DHI)發展的 Mike 21 HD 二維模式模式；數值推算之流場與現場觀測之現況分析結果比較頗為一致。

10. 台中港因港口外廓堤防伸入海測長度甚長，於潮汐一日變化當中，南外防波堤內常有渦流產生，北外防堤南北兩側其渦流隨潮位高低而呈南北向更替，潮流因堤伸入海側引起渦流流場其對航道造成之影響，可能為港口段航道起始點深坑洞形成之主要成因。
11. 台中港由於係一封閉性港口，港池形狀特殊，成狹長形，長約七、八公里，而寬僅半公里左右，數值計算之流場分佈顯示港內火力電廠附近之水域之流速甚小，因此內港區之流量不大。整體而言內港區之水體與外海之水交換情形並不十分理想，可預期進入港池內之污水乃不易擴散稀釋至大海，詳細情形有待進一步污染擴散數值分析。
12. 由於台中港係長約七、八公里寬僅半公里左右之一封閉性港口，因此內港區之附近之水域流速甚小，港區之水體與外海之水交換情形並不十分理想，可預期進入港池內之污水乃不易擴散稀釋至大海，配合台中港第二階段區域整體規畫，開闢第二港口對港池污染之改善應有助益，至於其詳細提昇台中港港池水體自淨能力待進一步研究。

參考文獻

1. Chu, W-S and Yeh. W.W-G., "Calibration of a Two Dimensional Hydrodynamics Model", Coastal Engineering, Vol.9, pp. 293-307, Elsevier Science Publishers, (1985).
2. Chu, W-S and Gardner, S., "A Two-Dimensional partial Tracking Estuarine Transport Model", Water Resources Bulletin, Vol.22, No.2, pp. 183-198, (1986).
3. Chu, W-S., Barker, B.L. and Akbar, A.M. "Modeling Tidal Transport in The Arabian Gulf", ASCE, J. of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Vol.114, No.4, pp.37-53, (1988).
4. Chu, W-S., Liu, J-Y. and Flenniken, K.O, "Numerical Modelling of Tide and Current in Central Puget Sound: Comparison of a Three-Dimensional and a Depth-Averaged Model", Water Resources Research, Vol.25, No.4, pp.721-734, (1989).
5. Danish Hydraulic Institute, " MIKE 21 User Gide and Reference manual " ,1994.
6. Dronker, J.J., "Tidal Computations of Rivers, Coastal Areas and Seas", J. of Hydraulics Div., ASCE, Vol 95, No. HYI, Jan. 1969, pp.29-77.
7. Hansen, W., "Hydrodynamics method Applied to oceangraphic Problems", Proceedings of the Symposium on Mathematical Hydrodynamical Methods of Physical oceangraph, institute fur Meereskunde der Universitat Hamberg, Hamberg, West Germany, pp.25-34 ,(1962).
8. Leenderste, J.J., "Aspects of a Computational Model for Long Period Water Wave Propagation", RM 5294-PR, 'The Rand Corporation', Santa Monica, Calif., May, (1967).
9. Leendertse, J.J., R.C. Alexander, and S.K. Liu, "A Three-Dimensional Model for Estuaries and Coastal Seas, Vol.I, Principles of Computation", R- 1417-0

- WWR, Rand Corporation, Santa Monica, CA, pp.1-21(1973).
10. Leendertse, J.J. and Liu, S-K. ,” A Three-Dimensional Model for OWRT,” Rand, Santa Monica, CA., USA ,(1977).
 11. Leendertse, J.J. and S.K. Liu, ” A Three-Dimensional Model for Estuaries and Coastal Seas, Vol. II, Aspects of Computation”, R-1764-OWRT, Rand Corporation, Santa Monica, CA, pp.1-29 (1965).
 12. Tsai, C.T., Kuo, C.T. and Su, L.T. ” A Study on Typhoon-Flood Simulation in Tidal River”, Proc. of ROC-Japan Joint Seminar on Water Resources Eng., Taipei, pp.149-104 (1987).
 13. Wang, J.D. and Connor, J.J.,” Mathematical Modelling of near Coastal Circulation, Report No.200, Ralph M. Parsons Lab. for Water Resources and Hydrodynamics, Dept. of Civil Engineering, MIT, USA ,(1975).
 14. Yin, F., and Chen, S.H. ”Tidal Computation on Taiwan Strait”, ASCE, J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean, Vol. 108, No. WW4, pp.539-553, 1982.
 15. 李兆芳、郭仲仁”三維流場有限元素多層深度積分模式”，中華民國第十一屆海洋工程研討會論文集，pp.383-400 (1989).
 16. 李賢文，”台灣鄰近海域潮流預報數值模式”，第二屆海洋數值模式研習會論文集，台灣省交通處港灣技術研究所，(1989)。
 17. 劉肖孔，”中國海域三度空間數值模式”，行政院科技顧問組，(1988)。
 18. 蔡長泰、宋長虹，”河海模式之初步研究”，第3屆水利工程研討會論文集，台南，第1010-1022頁，(1990)。
 19. 蕭政宗、蔡長泰，”感潮河川颱風洪暴潮模式及其於淡水河系之應用”，中國土木水利工程學刊，第三卷，第三期，(1991)。
 20. 高瑞棋、李忠潘和李兆芳，”深澳漁港擴建與發電廠出水口佈置影響之海域流況現場調查及溫排水擴散研究”，台南水工試驗所研究報告第110號，(1989)。

21. 梁乃匡、張金機等，”台中海岸流況調查研究”，港灣技術研究所72研(二)，(1983)。
22. 張金機、蘇青和、簡仲璟，”台中港港口流速調查研究”，港研所專刊50號，(1988)。
23. 中華顧問工程司，”台中港港口擴建計算評估研究”，中華顧問工程司，(1988)。
24. 曾相茂、張金機、簡仲璟等，”台中港港口擴建後海氣象調查研究”，期末報告，(1996)。

台中港港口擴建後海氣象調查研究儀器佈置示意圖

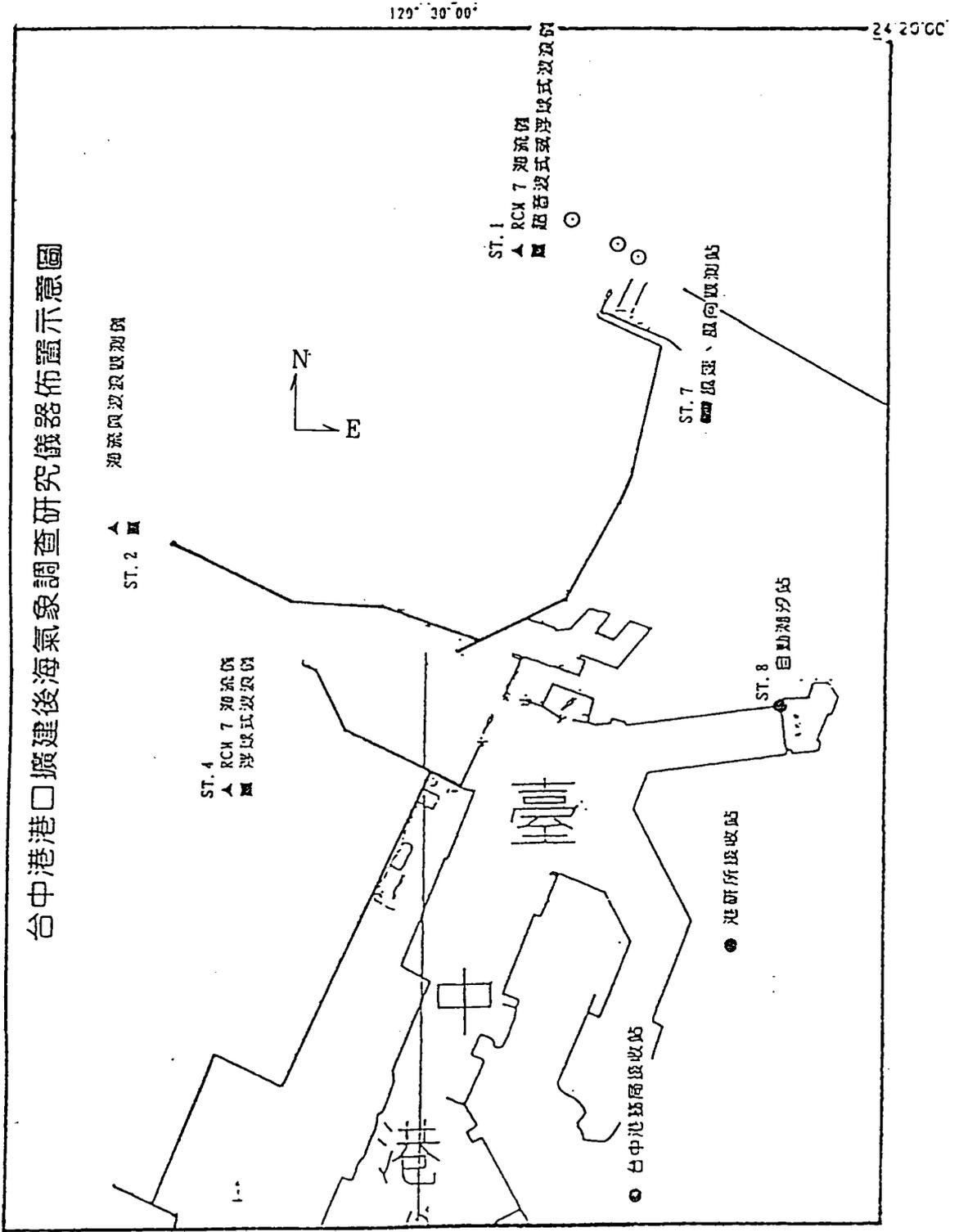


圖 2-1 台中港港口位置及儀器安置示意圖

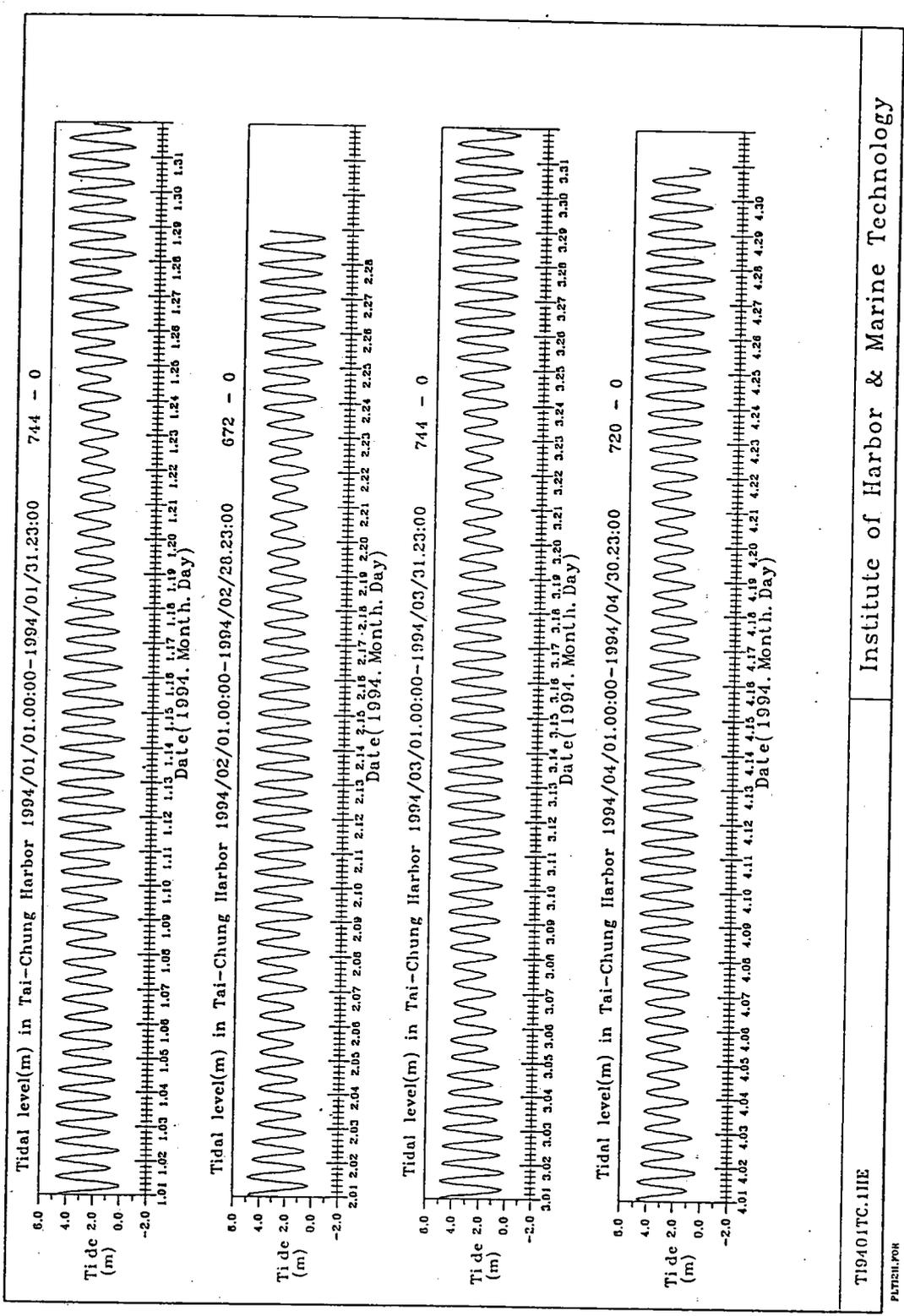
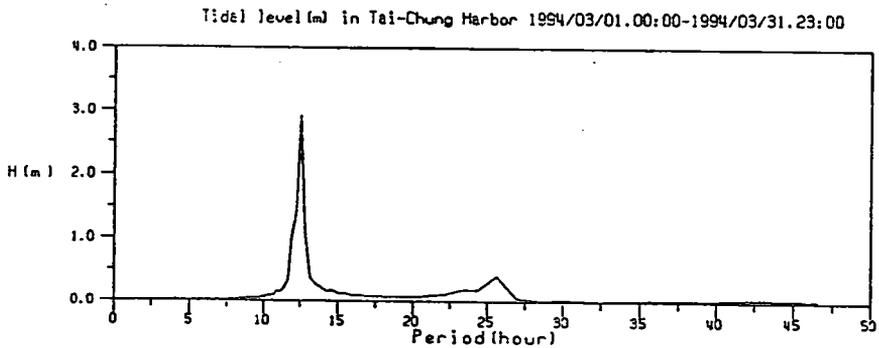
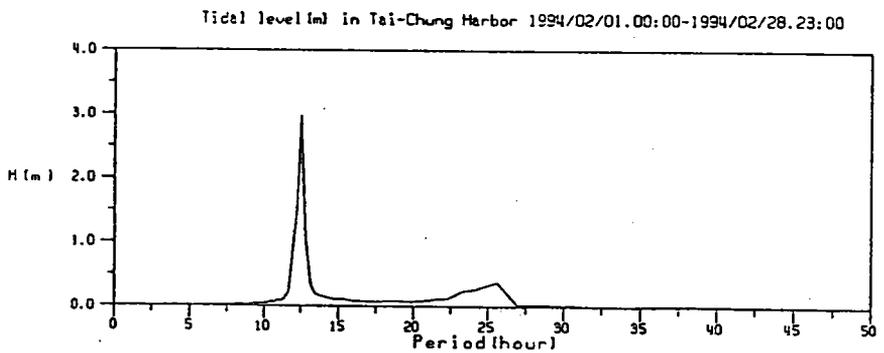
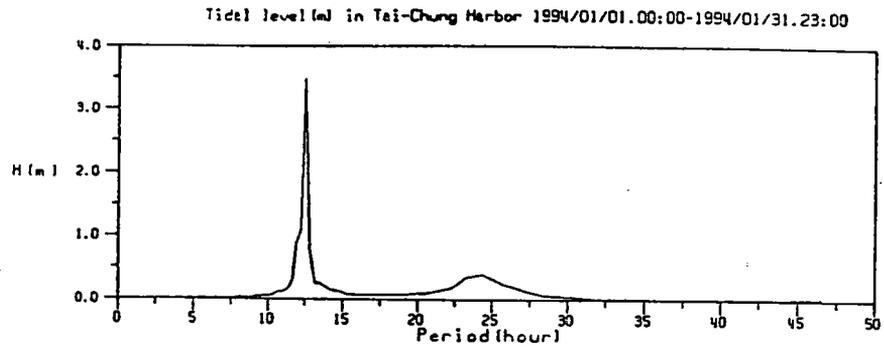


圖 2-2 1994 年 1 月 ~ 4 月 間 於 台 中 港 潮 位 測 站 觀 測 之 逐 時 潮 位 變 化 圖

Tidal Level Spetrum in Tai-Chung



T19401TC.TIB

Institute of Harbor & Marine Technology

P.L.T2V.F04

1996.7.15

圖 2-3 1994 年 1 月 ~ 3 月 間 於 台 中 港 潮 位 測 站 觀 測 之 分 月 潮 位 能 譜 圖

表2-1 1994年1月~3月於台中港觀測之潮波波高及週期分佈分月統計量

Tidal Wave Height H(m) and Period T(hour) in Tai-Chung									
Date Y/M	HMAX (m)	TMAX (sec)	H1/10 (m)	T1/10 (sec)	H1/3 (m)	T1/3 (sec)	HMEAN (m)	TMEAN (sec)	NO.
1994/01	4.96	13.1	4.91	12.9	4.64	12.7	3.81	12.4	59
1994/02	4.98	12.4	4.85	12.5	4.46	12.6	3.67	12.4	53
1994/03	5.25	12.6	5.07	12.6	4.64	12.4	3.77	12.4	59

Tidal Wave Height and period (Descending) 25 wave					
1994/01		1994/02		1994/03	
H(m)	T(sec)	H(m)	T(sec)	H(m)	T(sec)
4.96	13.1	4.98	12.4	5.25	12.6
4.93	12.8	4.97	12.6	5.17	12.7
4.93	12.7	4.83	12.7	5.09	12.9
4.91	13.0	4.81	12.2	4.98	12.3
4.83	12.9	4.65	12.5	4.88	12.5
4.82	12.6	4.64	12.1	4.87	12.1
4.79	13.0	4.47	12.5	4.71	12.3
4.75	13.2	4.45	12.8	4.71	12.5
4.71	12.9	4.39	12.7	4.71	12.3
4.71	12.7	4.38	13.0	4.59	12.0
4.55	12.9	4.35	13.0	4.58	12.7
4.55	12.8	4.31	12.4	4.54	12.1
4.55	12.9	4.25	12.5	4.49	12.5
4.54	13.2	4.10	12.8	4.37	12.3
4.50	12.1	4.09	12.0	4.31	12.6
4.35	12.8	4.07	12.1	4.26	11.9
4.32	11.8	4.04	13.2	4.25	12.4
4.25	12.7	4.04	11.8	4.19	12.1
4.22	11.8	4.03	12.2	4.17	12.5
4.18	13.0	4.01	12.1	4.11	12.6
4.13	11.7	3.97	12.3	4.10	12.1
4.10	13.3	3.97	11.9	4.09	12.9
4.09	11.6	3.93	11.9	4.07	12.2
4.08	11.9	3.86	12.4	4.06	12.8
4.08	12.7	3.81	12.5	4.00	12.1

rept1.dat

Wind (m/s) in Tai-Chung Harbor at 1995/06/01.00:00-1995/06/30.23:00 720 - 0
 Wind speed(m/s) and Direction

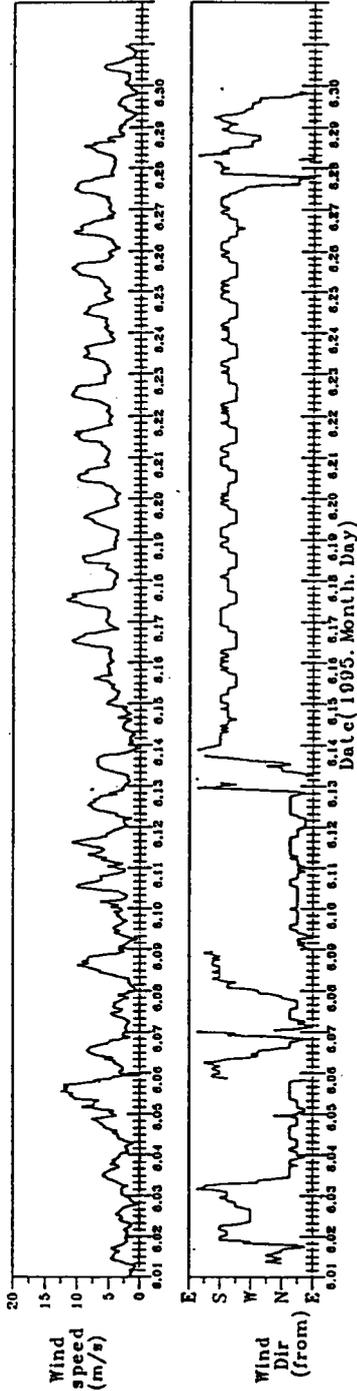


圖 2-4a. 1995 年 6 月於台中港觀測之風速及風向(指來向)逐時變化圖

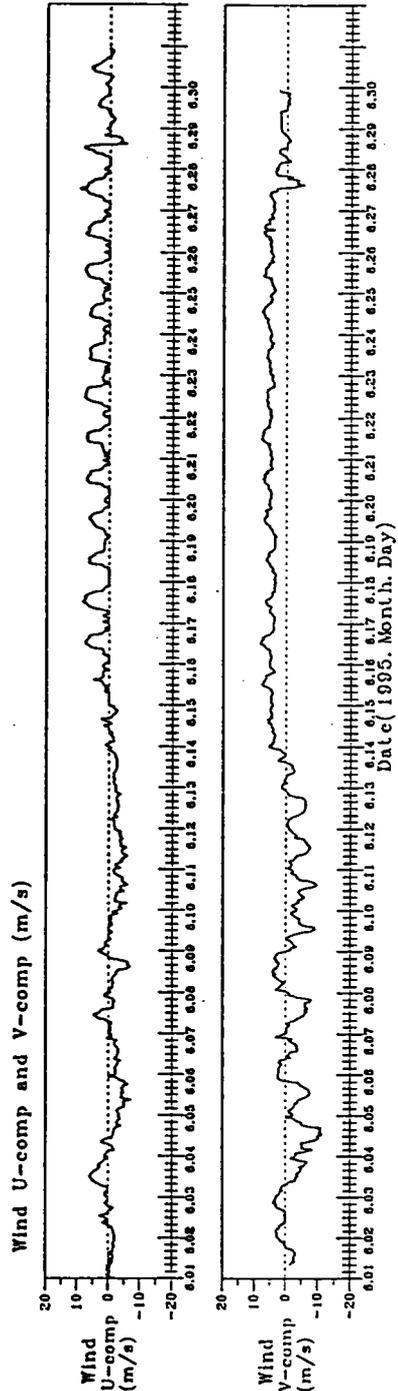


圖 2-4b. 1995 年 6 月於台中港觀測之風之東西分量及南北分量逐時變化圖

Histogram of Wind(m/s) in Tai-Chung

Wind (m/s) in Tai-Chung Harbor at 1995/06/01.00:00-1995/06/30.23:00
 mean : 5.0m/s, s.d.: 2.6m/s, min : .0m/s, max : 12.4m/s.
 File : W19506TC.IHE Data no. 720 hours Lost data no. 0 hours

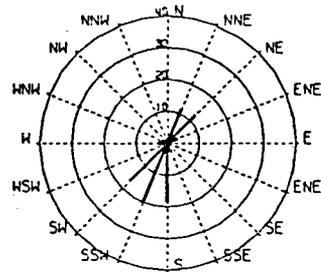
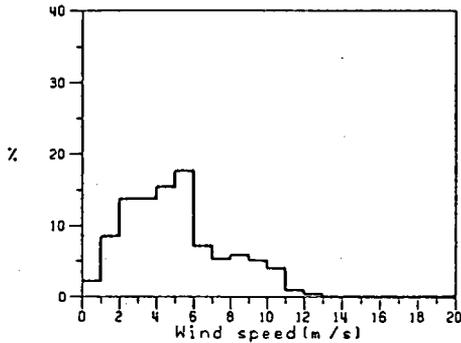


圖 2-4c 風速統計方塊圖

圖 2-4d 風向統計玫瑰圖

Wind (m/s) in Tai-Chung Harbor at 1995/06/01.00:00-1995/06/30.23:00
 mean : .7m/s, s.d.: 3.2m/s, min : -7.3m/s, max : 9.4m/s.
 File : W19506TC.IHE Data no. 720 hours Lost data no. 0 hours

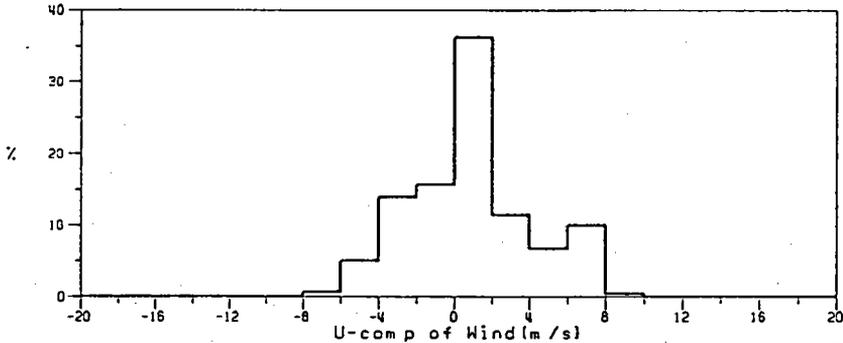


圖 2-4e 1995年6月於台中港觀測之風東西分量統計方塊圖

Wind (m/s) in Tai-Chung Harbor at 1995/06/01.00:00-1995/06/30.23:00
 mean : 1.4m/s, s.d.: 4.3m/s, min : -11.5m/s, max : 8.3m/s.
 File : W19506TC.IHE Data no. 720 hours Lost data no. 0 hours

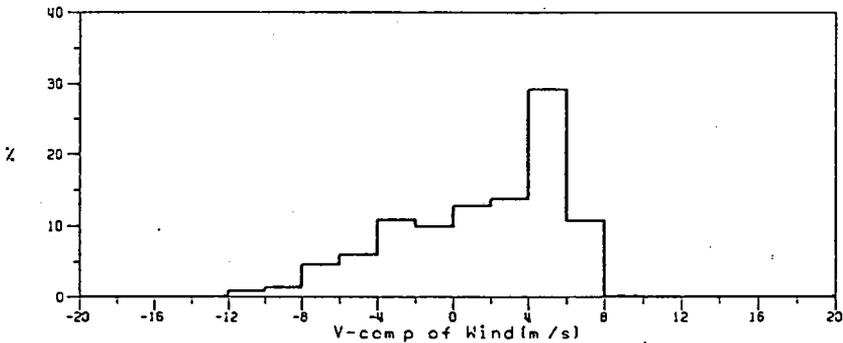


圖 2-4f 1995年6月於台中港觀測之風南北分量統計方塊圖

Wind spectrum in Tai-Chung

Wind (m/s) in Tai-Chung Harbor at 1995/05/01.00:00-1995/06/30.23:00

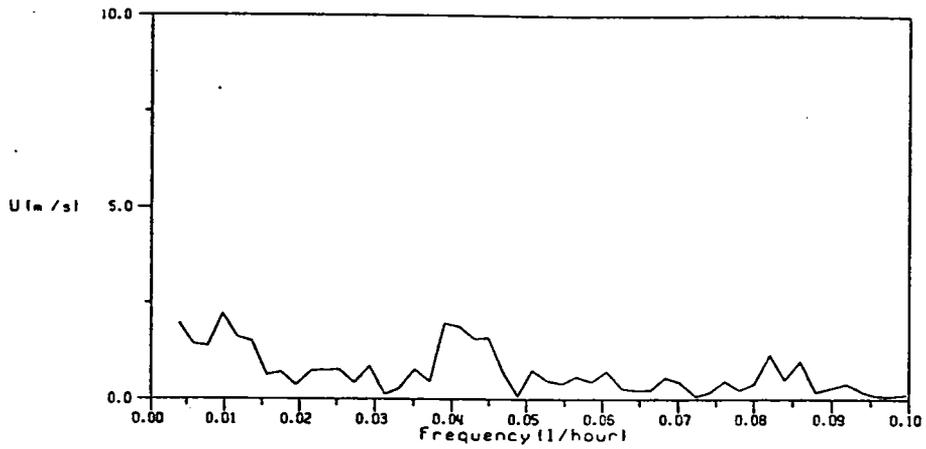


圖2-4h 1995年6月於台中港觀測之風南北分量之能譜圖

Wind (m/s) in Tai-Chung Harbor at 1995/05/01.00:00-1995/06/30.23:00

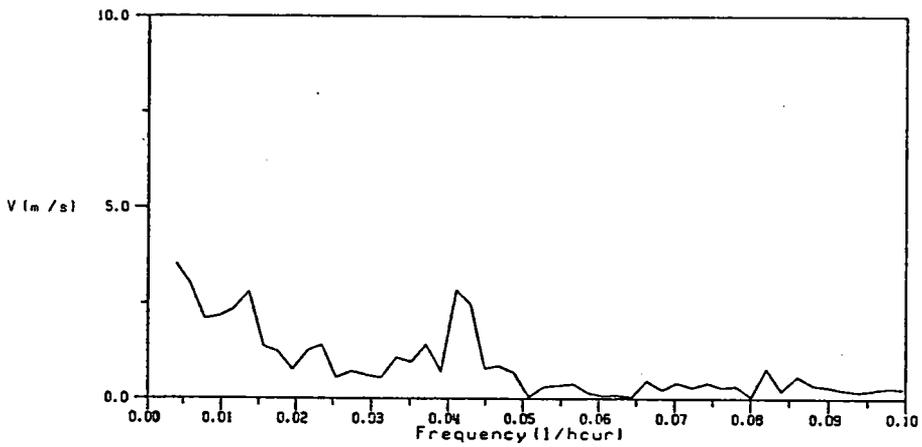


圖2-4g 1995年6月於台中港觀測之風東西分量之能譜圖

Wind (m/s) in Tai-Chung Harbor at 1994/01/01.00:00-1994/01/31.23:00 744 - 0
 Wind speed(m/s) and Direction

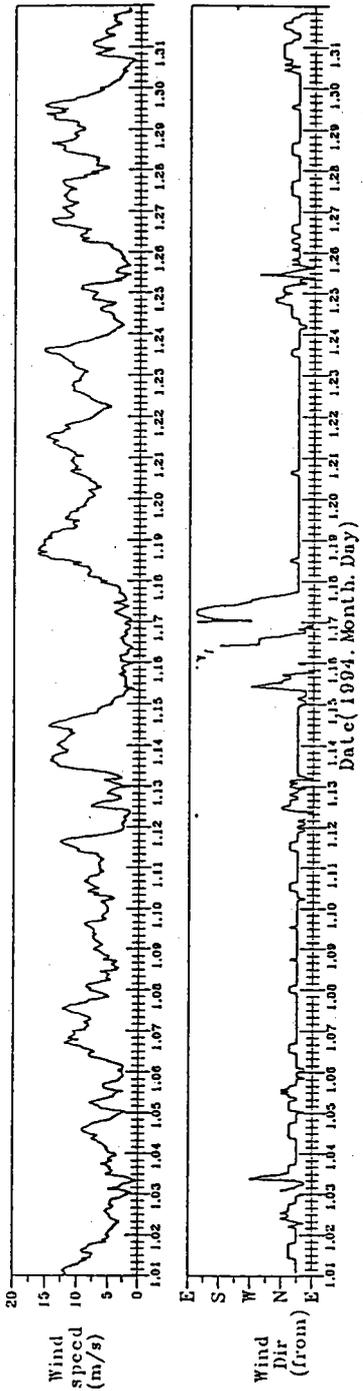


圖 2-5a 1994年1月於台中港觀測之風速及風向(指來向)逐時變化圖

Wind U-comp and V-comp (m/s)

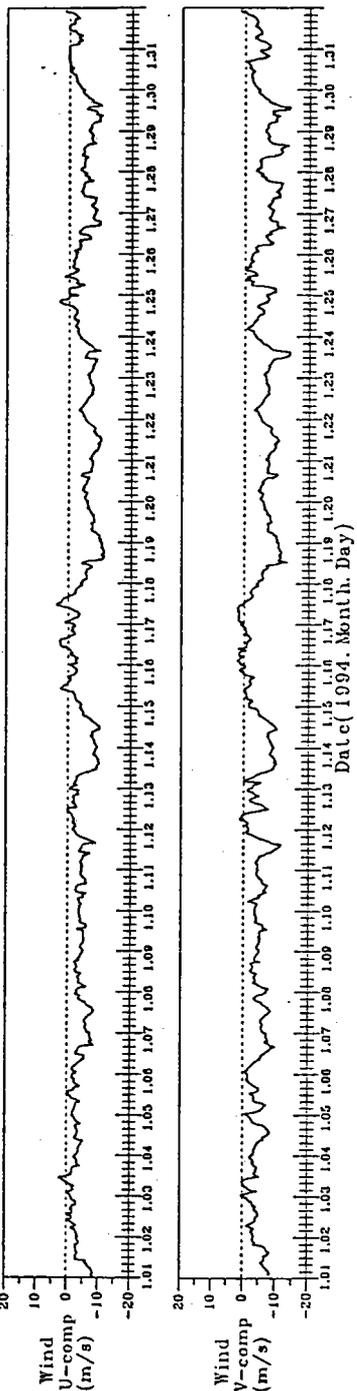


圖 2-5b 1994年1月於台中港觀測之風之東西分量及南北分量逐時變化圖

Histogram of Wind(m/s) in Tai-Chung

Wind (m/s) in Tai-Chung Harbor at 1994/01/01.00:00-1994/01/31.23:00
 mean : 7.2m/s, s.d.: 3.7m/s, min : .4m/s, max : 16.4m/s.
 File : W19401TC.IHE Data no. 744 hours Lost data no. 0 hours

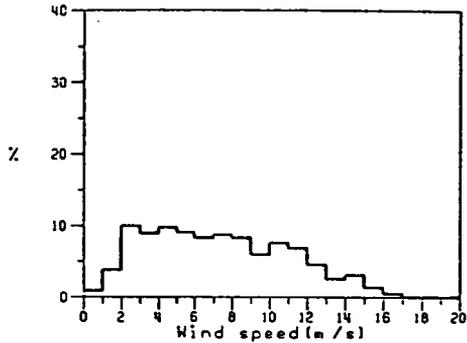


圖 2-5c 風速統計方塊圖

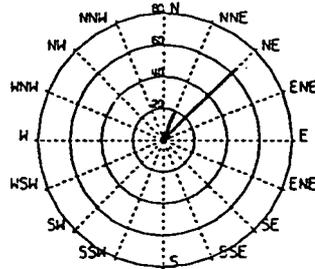


圖 2-5d 風向統計玫瑰圖

Wind (m/s) in Tai-Chung Harbor at 1994/01/01.00:00-1994/01/31.23:00
 mean : -4.4m/s, s.d.: 3.0m/s, min : -11.6m/s, max : 3.8m/s.
 File : W19401TC.IHE Data no. 744 hours Lost data no. 0 hours

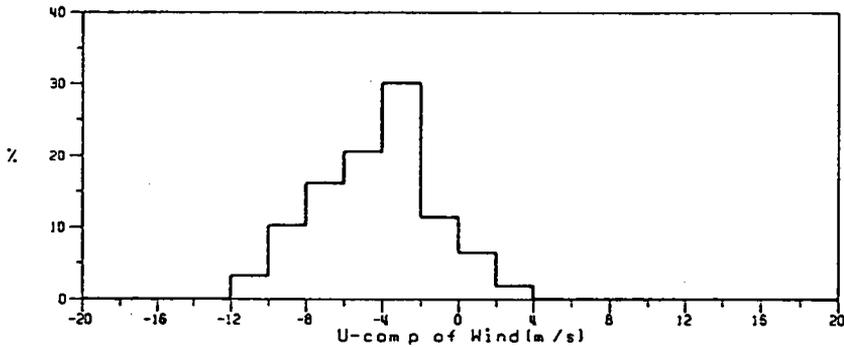


圖 2-5e 1994年1月於台中港觀測之風東西分量統計方塊圖

Wind (m/s) in Tai-Chung Harbor at 1994/01/01.00:00-1994/01/31.23:00
 mean : -5.3m/s, s.d.: 3.2m/s, min : -14.2m/s, max : 2.1m/s.
 File : W19401TC.IHE Data no. 744 hours Lost data no. 0 hours

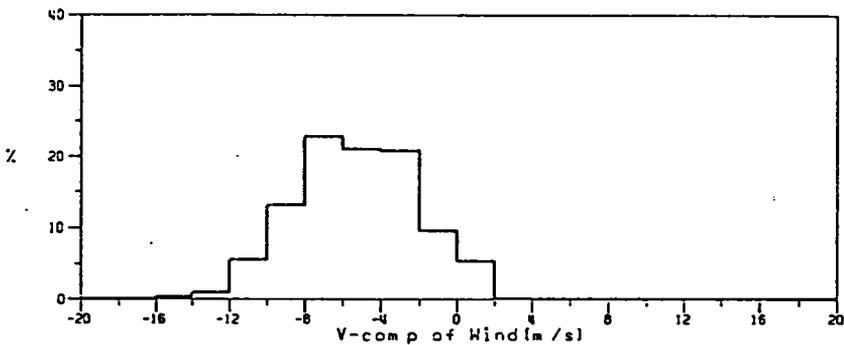


圖 2-5f 1994年1月於台中港觀測之風南北分量統計方塊圖

Wind spectrum in Tai-Chung

Wind in Tai-Chung Harbor at 1994/01/01/00:00-1994/01/31/23:00

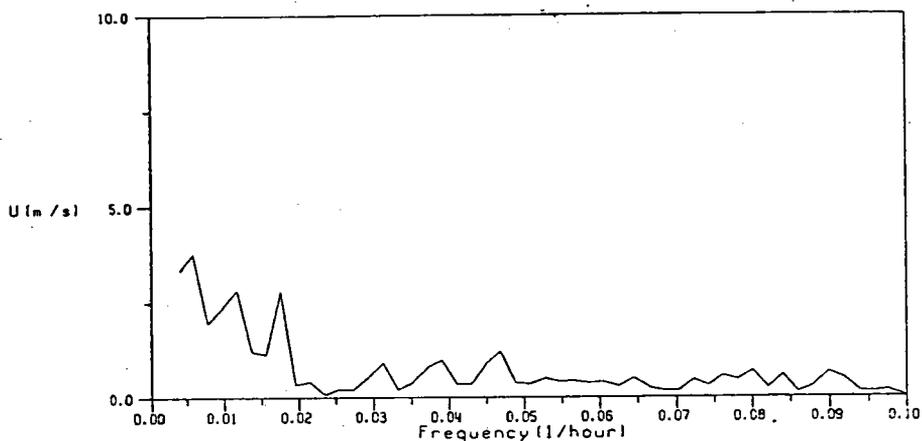


圖 2-5g 1994年1月於台中港觀測之風東西分量之能譜圖

Wind in Tai-Chung Harbor at 1994/01/01/00:00-1994/01/31/23:00

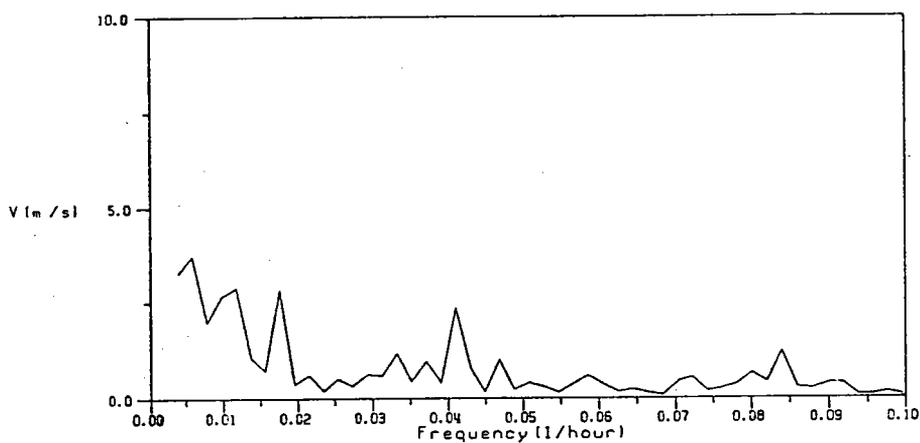


圖 2-5h 1994年1月於台中港觀測之風南北分量之能譜圖

WI9401TC.WXB

Institute of Harbor & Marine Technology

PLU-K2V.FOR

1996.7.18

Wave in Tai-Chung Harbor 1995/07/01.00:00-1995/07/31.23:00

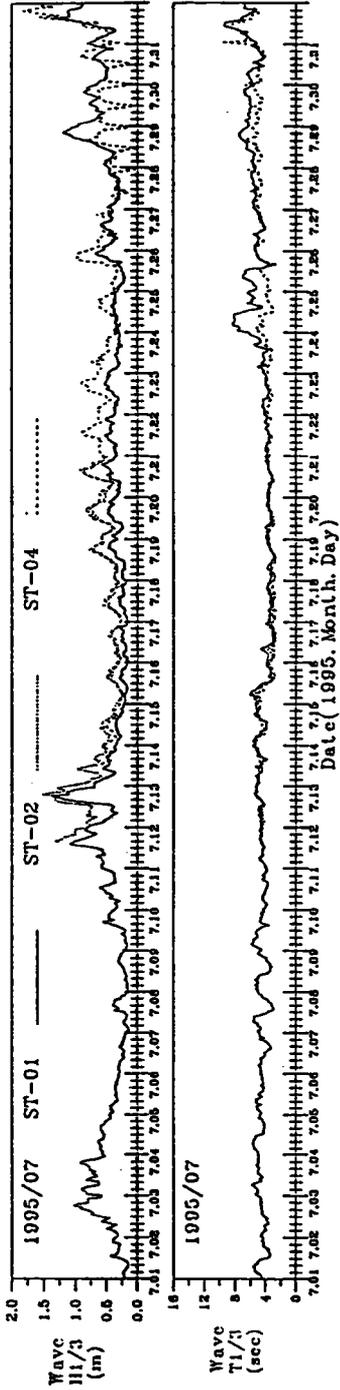


圖 2-6a. 1995年7月於ST-1, ST-2, ST-4三站觀測之波浪(H1/3及T1/3)逐時變化圖

Wave in Tai-Chung Harbor 1995/08/01.00:00-1995/08/31.23:00

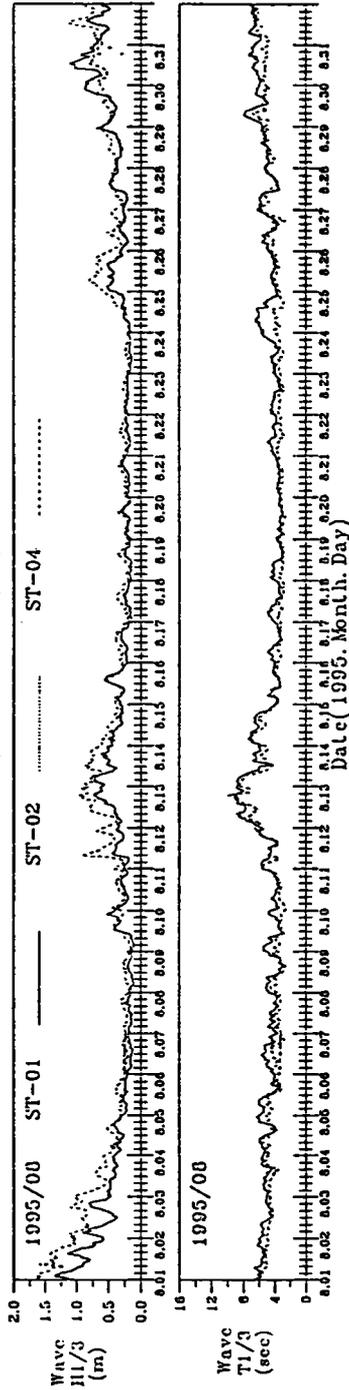


圖 2-6b. 1995年8月於ST-1, ST-2, ST-4三站觀測之波浪(H1/3及T1/3)逐時變化圖

Histogram of H1/3 (m) and T1/3 (sec) in Tai-Chung

File : WV950102.1HE Data no. 689 Lost data no. 0
 Wave in Tai-Chung Harbor St-02 1995/01/01.00:00-1995/01/31.19:00
 mean : 1.9m, s.d. : .7m, min : .2m, max : 3.4m.

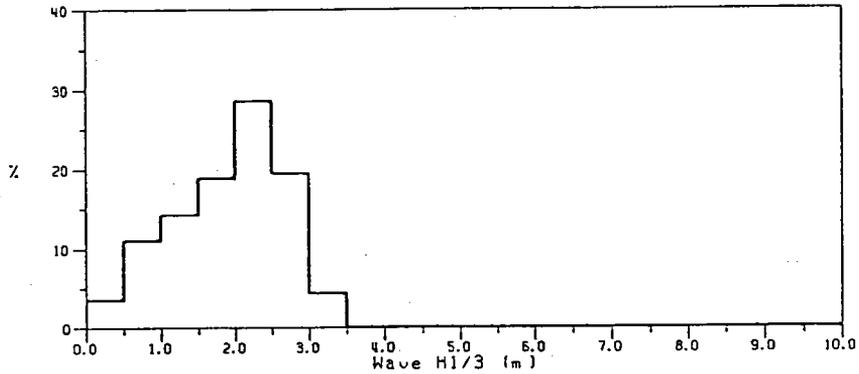


圖 2-6c 1995年7月於ST-1站觀測之示性波高(H1/3)統計方塊圖

File : WV950102.1HE Data no. 689 Lost data no. 0
 Wave in Tai-Chung Harbor St-02 1995/01/01.00:00-1995/01/31.19:00
 mean : 6.0sec, s.d. : .9sec, min : 3.1sec, max : 7.9sec.

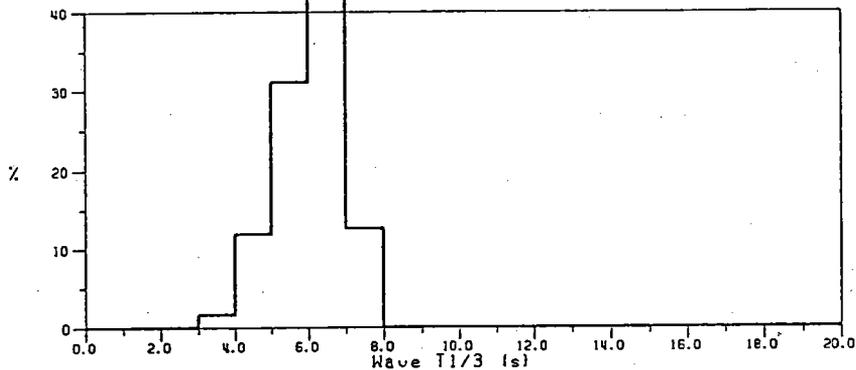


圖 2-6d 1995年7月於ST-1站觀測之示性週期(T1/3)統計方塊圖

Wave in Tai-Chung Harbor 1995/01/01.00:00-1995/01/31.19:00

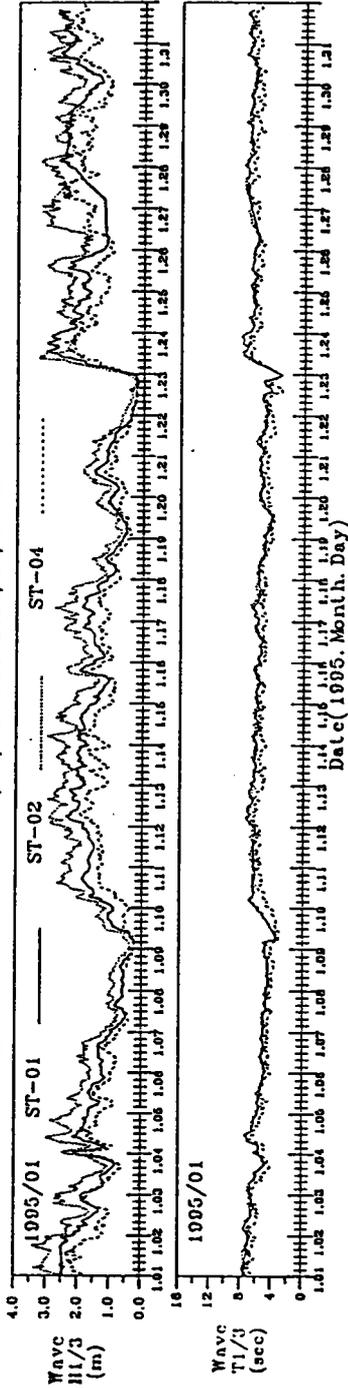


圖 2-7a 1995年1月於ST-1,ST-2,ST-4三站觀測之波浪(H1/3及T1/3)逐時變化圖

Wave in Tai-Chung Harbor 1995/02/01.00:00-1995/02/29.22:00

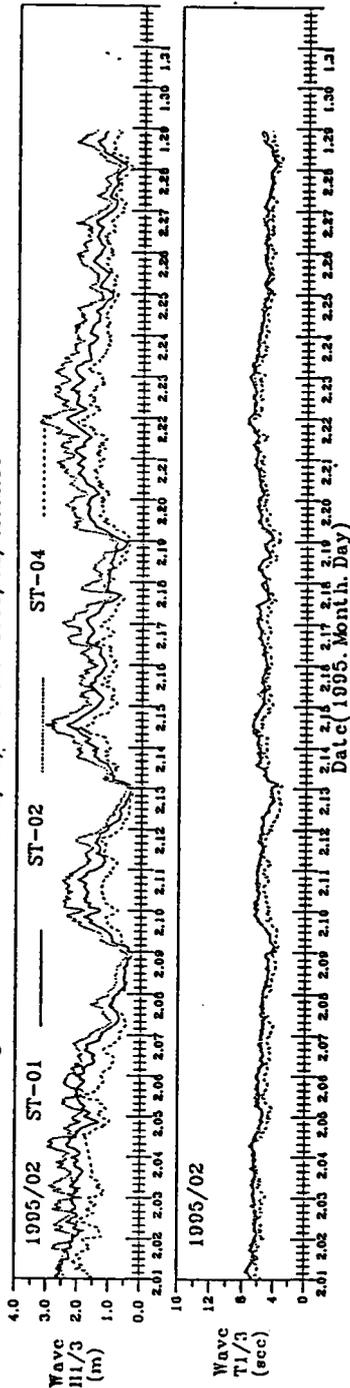


圖 2-7b 1995年1月於ST-1,ST-2,ST-4三站觀測之波浪(H1/3及T1/3)逐時變化圖

Histogram of H1/3(m) and T1/3(sec) in Tai-Chung

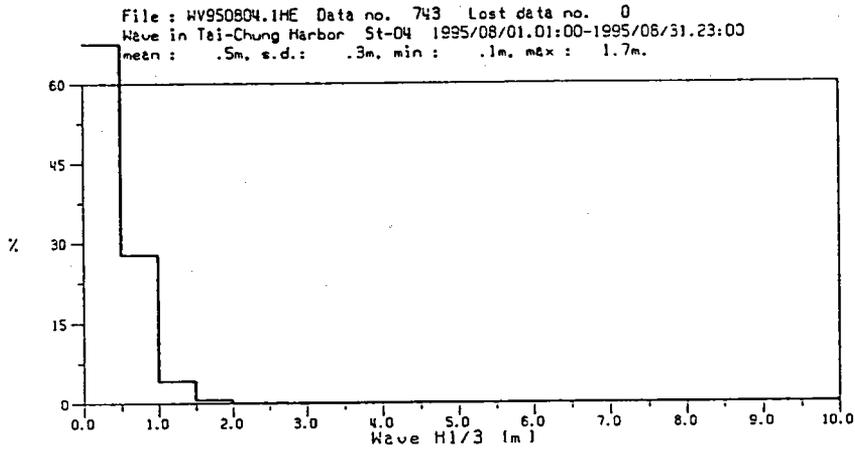


圖 2-7c 1995年1月於ST-4站觀測之示性波高(H1/3)統計方塊圖

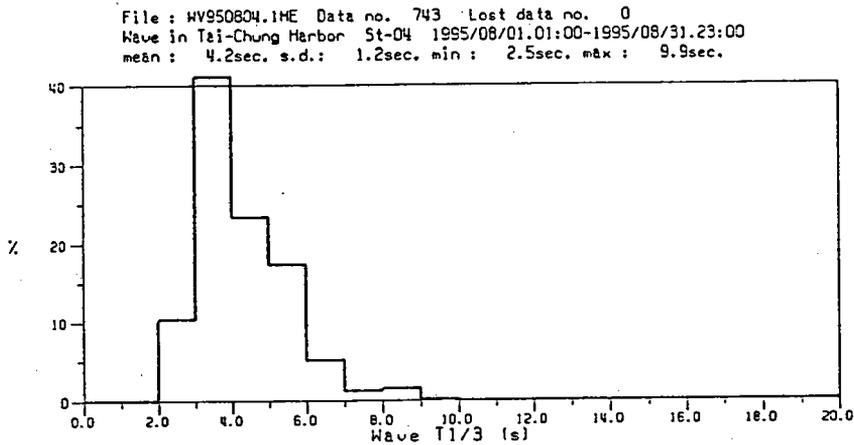


圖 2-7d 1995年1月於ST-4站觀測之示性週期(T1/3)統計方塊圖

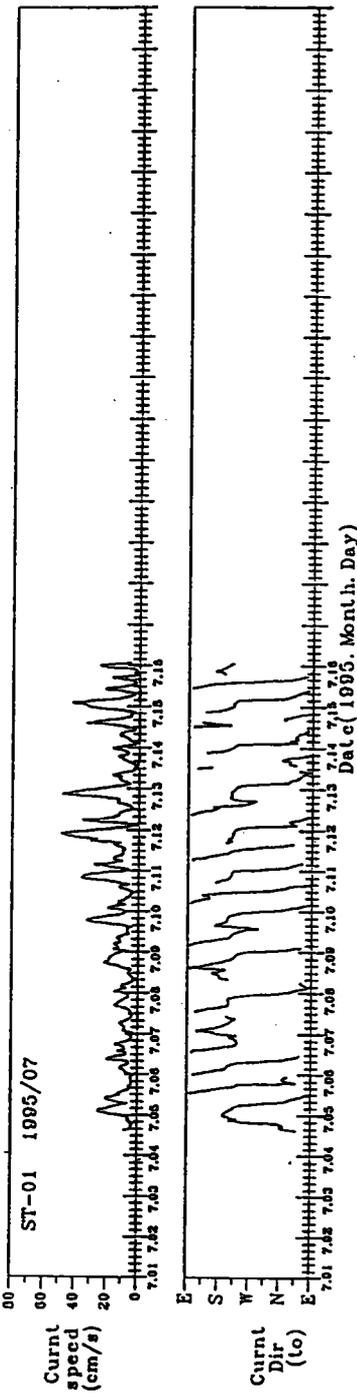


圖 2-8a 1995年7月於ST-1站觀測之逐時流速及流向(指去向)變化圖

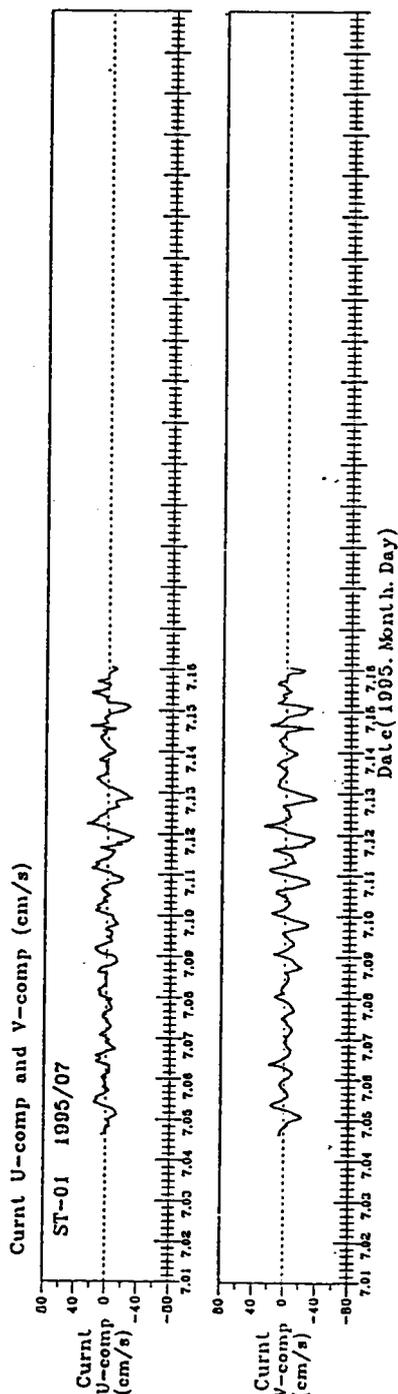


圖 2-8b 1995年7月於ST-1站觀測之逐時流東西分量及南北分量變化圖

Histogram of Current (cm/s) in Haw-Lien

Current in Tai-Chung Harbor ST-01 1995/07/04.15:00-1995/07/16.02:00
 mean : 12.5cm/s, s.d.: 9.4cm/s, min : .4cm/s, max : 49.1cm/s.
 File : CU950701.1HM Data no. 276 hours Lost data no. 0 hours

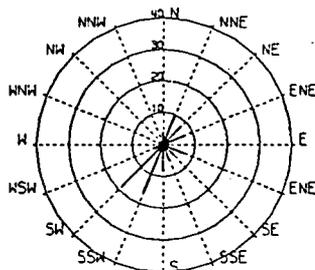
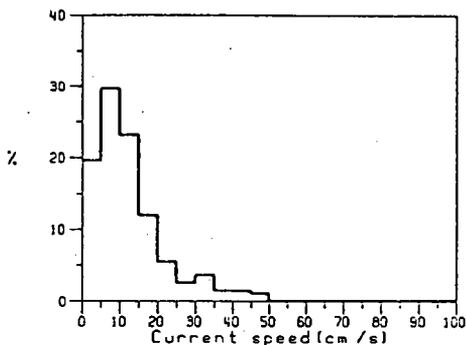


圖 2-8c ST-1 站流速統計方塊圖

圖 2-8d ST-1 站流向統計玫瑰圖

Current in Tai-Chung Harbor ST-01 1995/07/04.15:00-1995/07/16.02:00
 mean : -7.7cm/s, s.d.: 9.7cm/s, min : -32.9cm/s, max : 26.5cm/s..
 File : CU950701.1HM Data no. 276 hours Lost data no. 0 hours

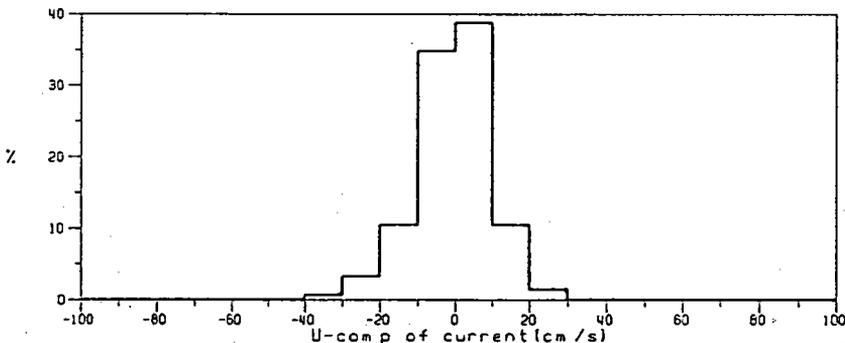


圖 2-8e 1995 年 7 月於 ST-1 站觀測之流東西分量統計方塊圖

Current in Tai-Chung Harbor ST-01 1995/07/04.15:00-1995/07/16.02:00
 mean : -4.1cm/s, s.d.: 11.5cm/s, min : -37.7cm/s, max : 27.6cm/s.
 File : CU950701.1HM Data no. 276 hours Lost data no. 0 hours

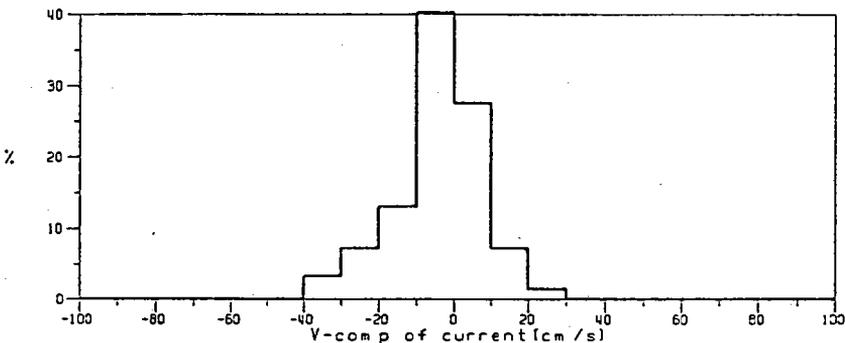


圖 2-8f 1995 年 7 月於 ST-1 站觀測之流南北分量統計方塊圖

Current Spectrum in Haw-Lien

Current in Tai-Chung Harbor ST-01 1995/07/04.15:00-1995/07/16.02:00

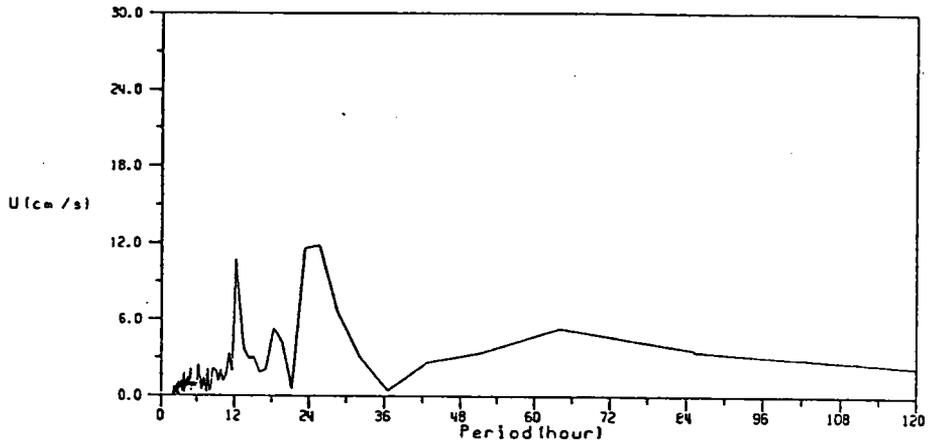


圖 2-8g 1995年7月於ST-1站觀測之流東西分量能譜圖

Current in Tai-Chung Harbor ST-01 1995/07/04.15:00-1995/07/16.02:00

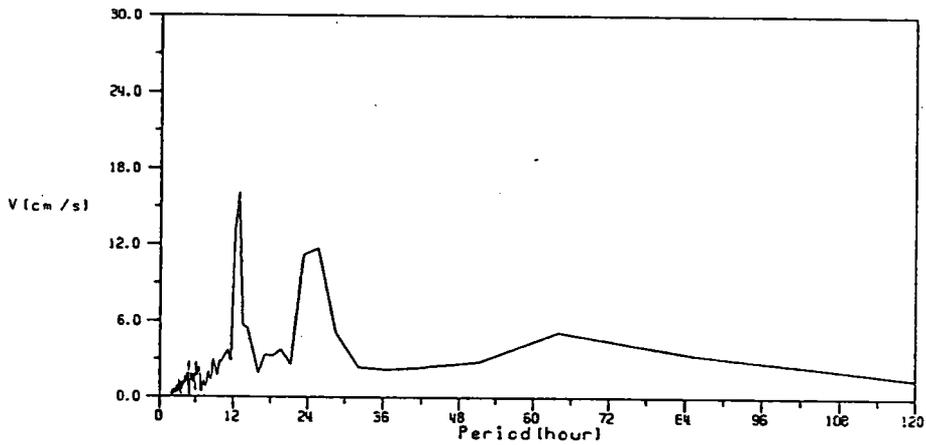
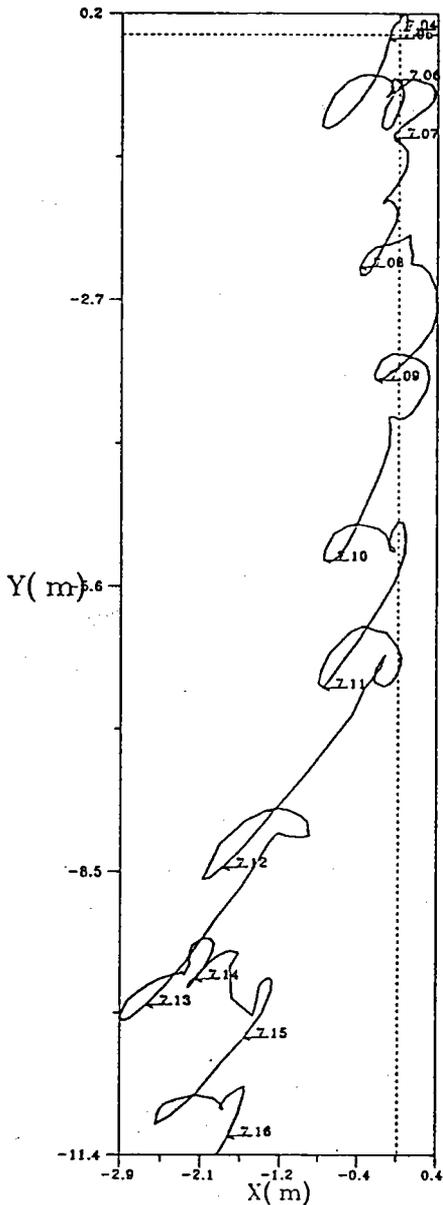


圖 2-8h 1995年7月於ST-1站觀測之流南北分量能譜圖

Progressive Vector Diagram

Current in Tai-Chung Harbor ST-01 1995/07/04.15:00-1995/07/16.02:00
 Total hours: 278 -0



CU950701.1HM

Institute of Harbor & Marine Technology

PLPVIV.PDR

1995.8.2

圖 2-8i 1995年7月於ST-1站觀測之海流向量進行圖

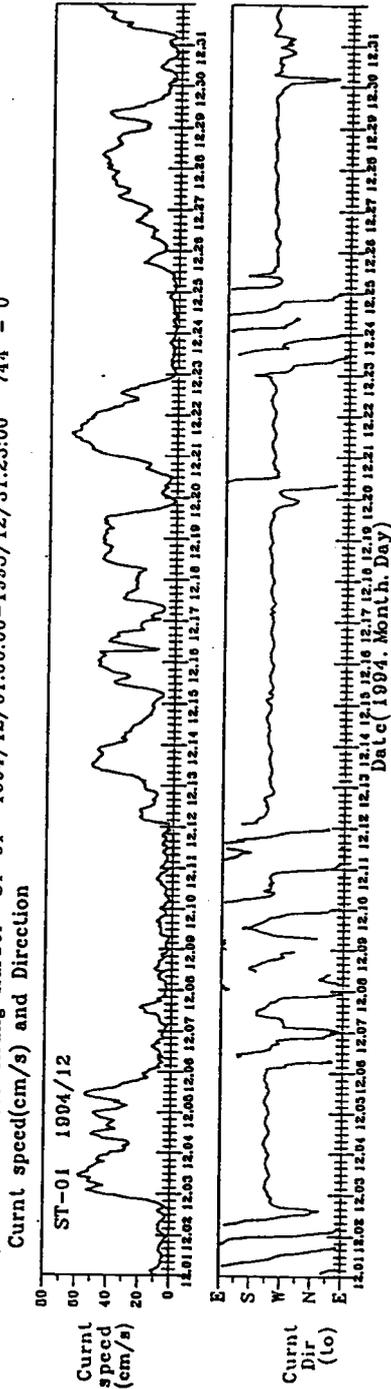


圖 2-9a 1994年12月於ST-1站觀測之逐時流速及流向(指去向)變化圖

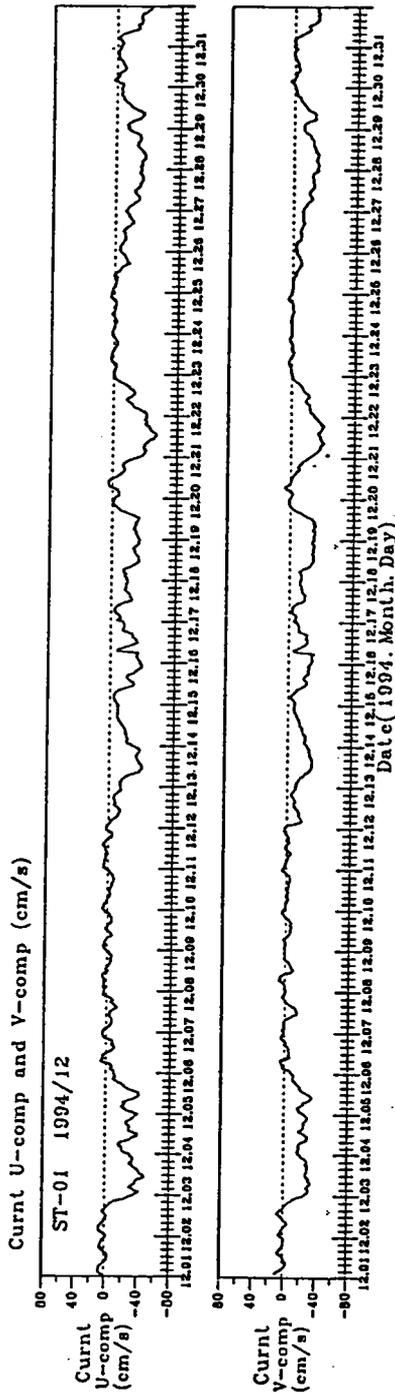


圖 2-9b 1994年12月於ST-1站觀測之逐時流東西分量及南北分量變化圖

Histogram of Current (cm/s) in Haw-Lien

Current in Tai-Chung Harbor ST-01 1994/12/01:00:00-1995/12/31:23:00
 mean : 21.2cm/s, s.d.: 17.3cm/s, min : .3cm/s, max : 65.9cm/s.
 File : CU941201.1HM Data no. 744 hours Lost data no. 0 hours

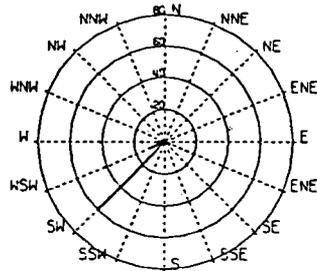
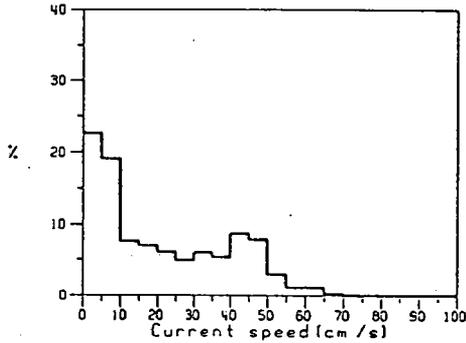


圖 2-9c ST-1 站流速統計方塊圖 圖 2-9d ST-1 站流向統計玫瑰圖

Current in Tai-Chung Harbor ST-01 1994/12/01:00:00-1995/12/31:23:00
 mean : -14.9cm/s, s.d.: 14.6cm/s, min : -55.5cm/s, max : 7.2cm/s..
 File : CU941201.1HM D : no. 744 hours Lost data no. 0 hours

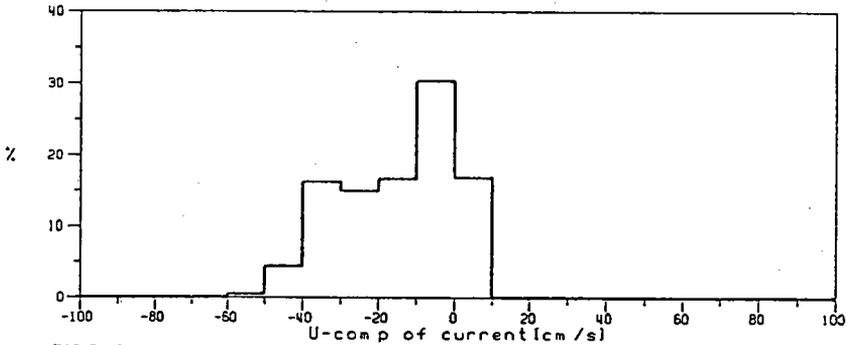


圖 2-9e 1994 年 12 月於 ST-1 站觀測之流東西分量統計方塊圖

Current in Tai-Chung Harbor ST-01 1994/12/01:00:00-1995/12/31:23:00
 mean : -12.7cm/s, s.d.: 12.2cm/s, min : -42.6cm/s, max : 9.8cm/s.
 File : CU941201.1HM Data no. 744 hours Lost data no. 0 hours

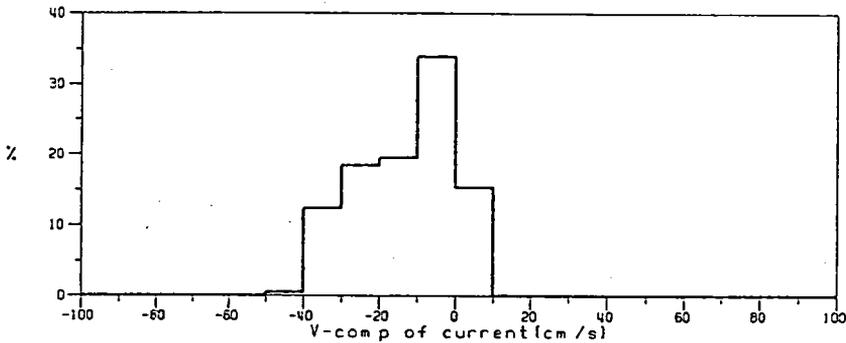


圖 2-9f 1994 年 12 月於 ST-1 站觀測之流南北分量統計方塊圖

Current Spetrum in Haw-Lien

Current in Tzi-Chung Harbor ST-01 1994/12/01.00:00-1995/12/31.23:00

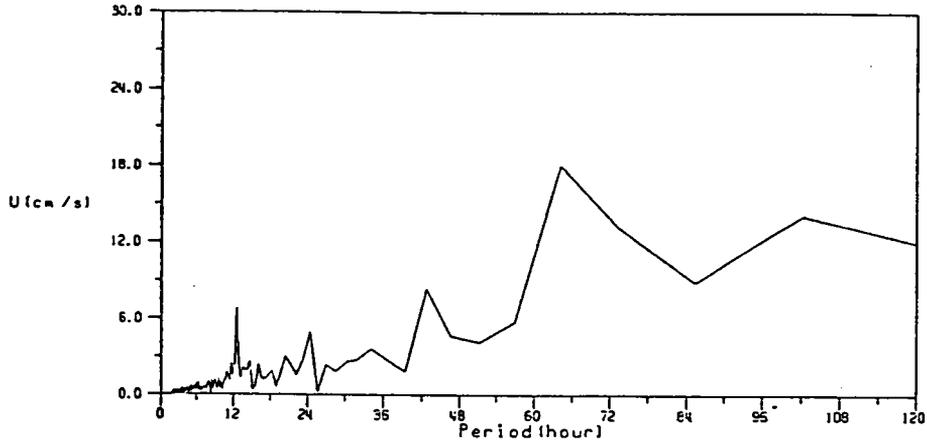


圖 2-9g 1994年12月於ST-1站觀測之流東西分量能譜圖

Current in Tzi-Chung Harbor ST-01 1994/12/01.00:00-1995/12/31.23:00

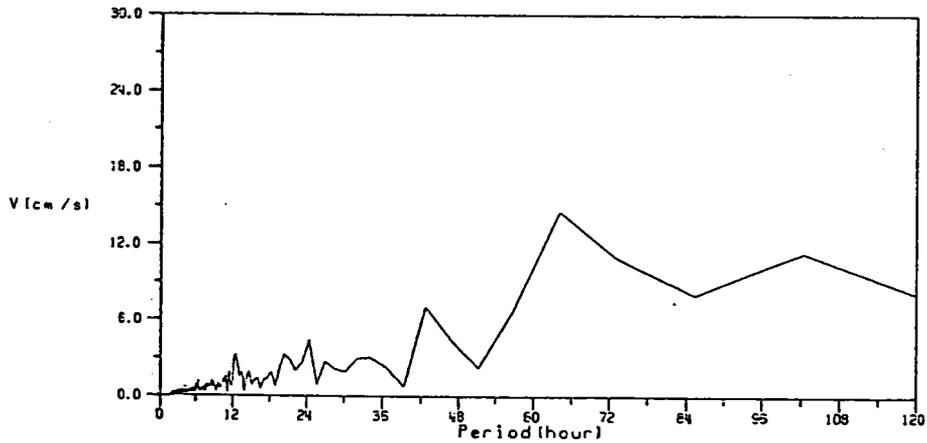


圖 2-9h 1994年12月於ST-1站觀測之流南北分量能譜圖

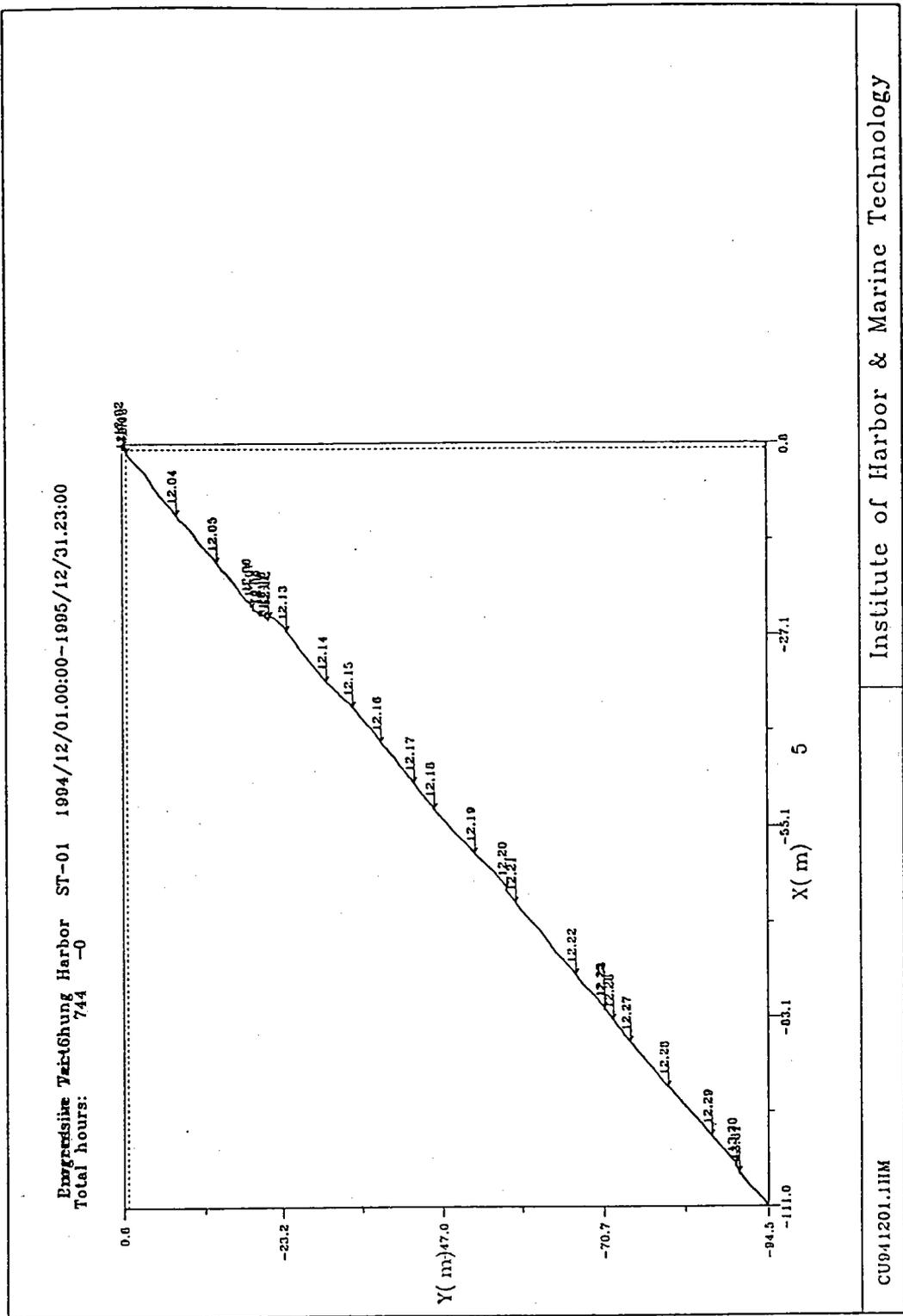


圖 2-9i 1994 年 12 月 於 ST-1 站 觀 測 之 海 流 向 量 進 行 圖

Current in Tai-Chung Harbor ST-02 1995/07/11.10:00-1995/07/23.19:00 300 - 10
 Curnt speed(cm/s) and Direction

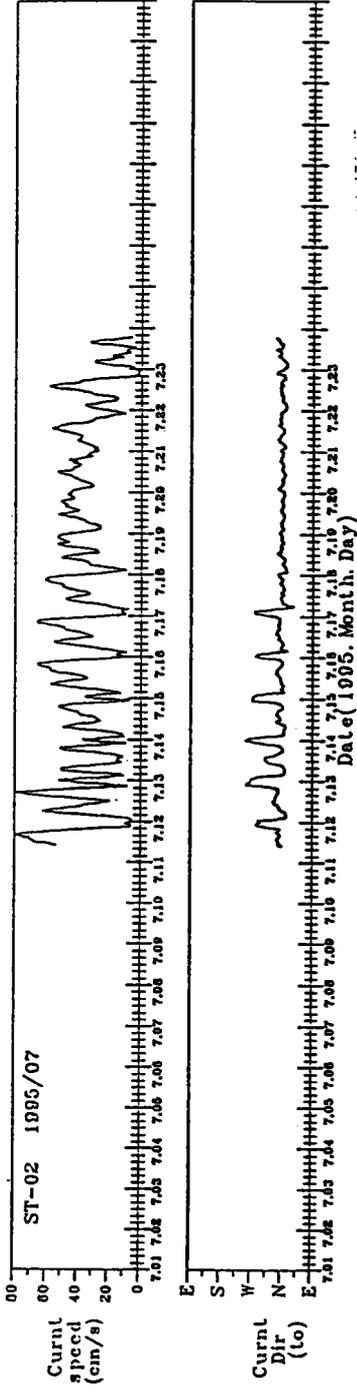


圖 2-10a. 1995年7月於ST-2站觀測之逐時流速及流向(指去向)變化圖

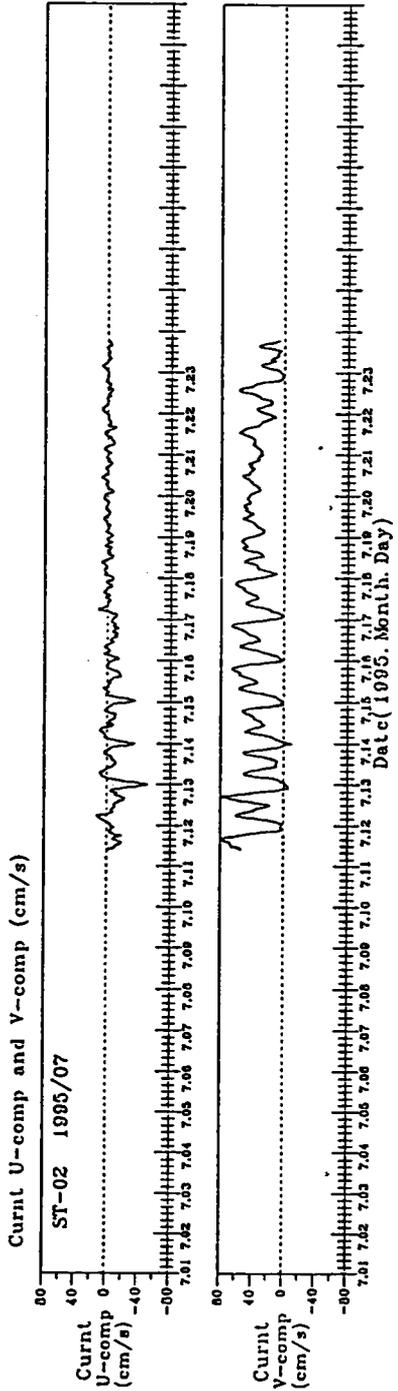


圖 2-10b. 1995年7月於ST-2站觀測之逐時流東西分量及南北分量變化圖

CU9507X2.IIIM

Institute of Harbor & Marine Technology

PLCUSHI.POR

1995.6.13

Histogram of Current (cm/s) in Haw-Lien

Current in Tai-Chung Harbor ST-02 1995/07/11.10:00-1995/07/23.19:00
 mean : 35.4cm/s, s.d.: 16.8cm/s, min : 1.4cm/s, max : 79.8cm/s.
 File : CU950702.1HM Data no. 298 hours Lost data no. 0 hours

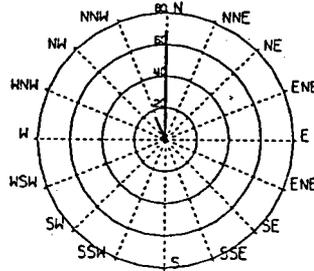
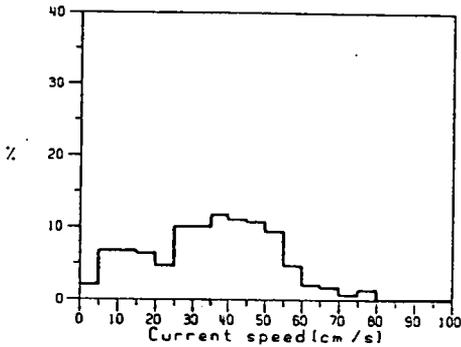


圖 2-10c ST-2站流速統計方塊圖

圖 2-10d ST-2站流向統計玫瑰圖

Current in Tai-Chung Harbor ST-02 1995/07/11.10:00-1995/07/23.19:00
 mean : -3.6cm/s, s.d.: 8.2cm/s, min : -51.8cm/s, max : 12.2cm/s..
 File : CU950702.1HM Data no. 298 hours Lost data no. 0 hours

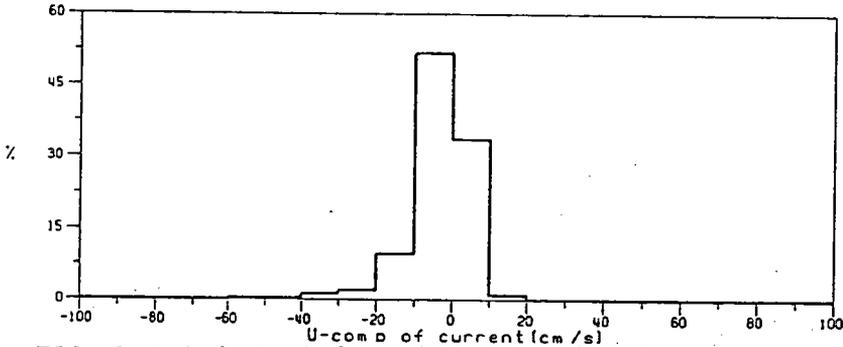


圖 2-10e 1995年7月於ST-2站觀測之流東西分量統計方塊圖

Current in Tai-Chung Harbor ST-02 1995/07/11.10:00-1995/07/23.19:00
 mean : 33.4cm/s, s.d.: 18.5cm/s, min : -10.6cm/s, max : 79.6cm/s.
 File : CU950702.1HM Data no. 298 hours Lost data no. 0 hours

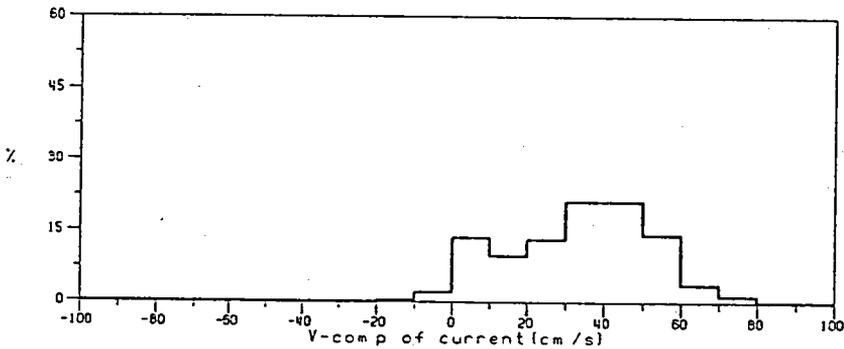


圖 2-10f 1995年7月於ST-2站觀測之流南北分量統計方塊圖

Current Spetrum in Haw-Lien

Current in Tai-Chung Harbor ST-02 1995/07/11.10:00-1995/07/23.19:00

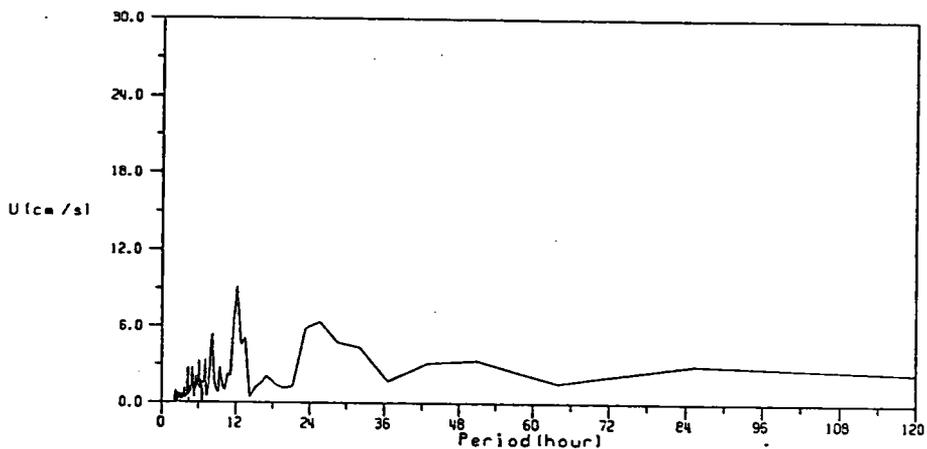


圖 2-10g 1995年7月於ST-2站觀測之流東西分量能譜圖

Current in Tai-Chung Harbor ST-02 1995/07/11.10:00-1995/07/23.19:00

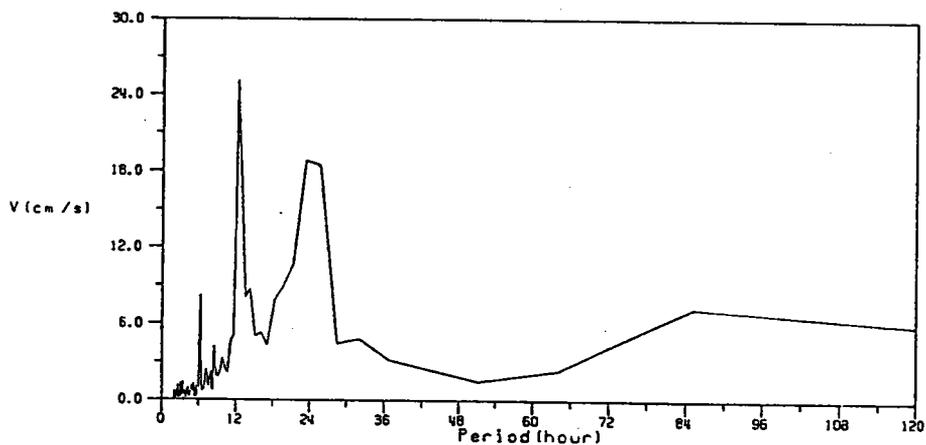
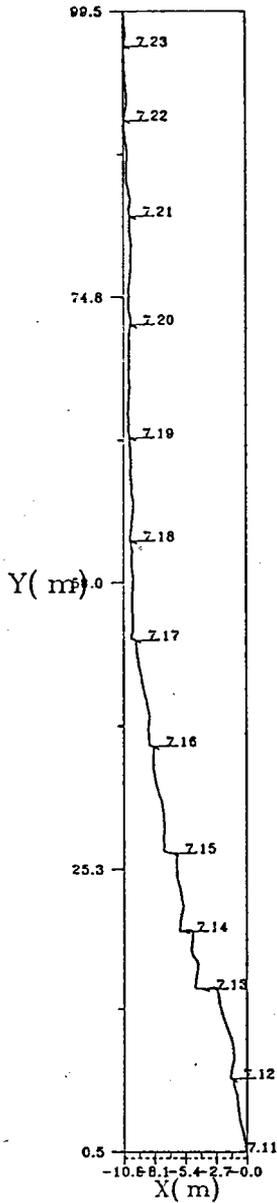


圖 2-10h 1995年7月於ST-2站觀測之流南北分量能譜圖

Progressive Vector Diagram

Current in Tai-Chung Harbor ST-02 1995/07/11.10:00-1995/07/23.19:00
 Total hours: 298 -0



CU950702.1HM

Institute of Harbor & Marine Technology

PLPVIV.FOR

1995.8.2

圖 2-10i 1995 年 7 月 於 ST-2 站 觀 測 之 海 流 向 量 進 行 圖

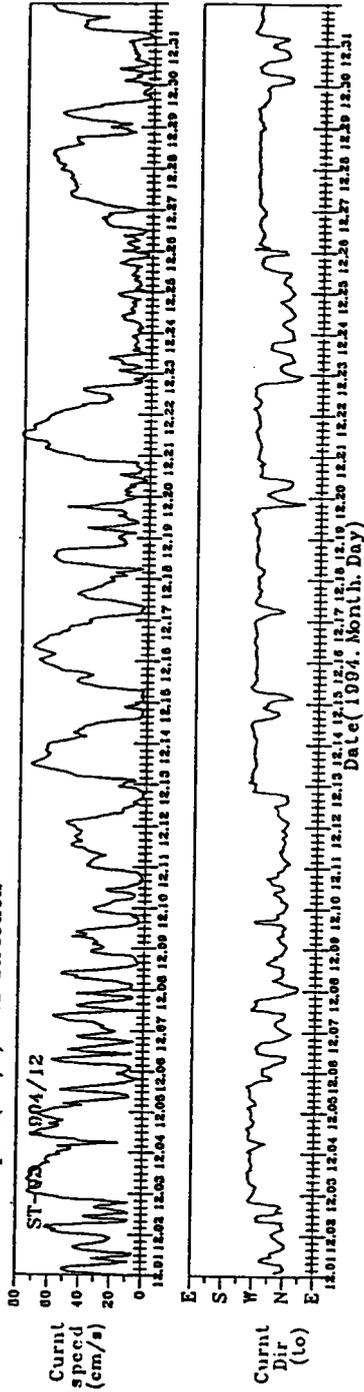


圖 2-11a 1994年12月於ST-2站觀測之逐時流速及流向(指去向)變化圖

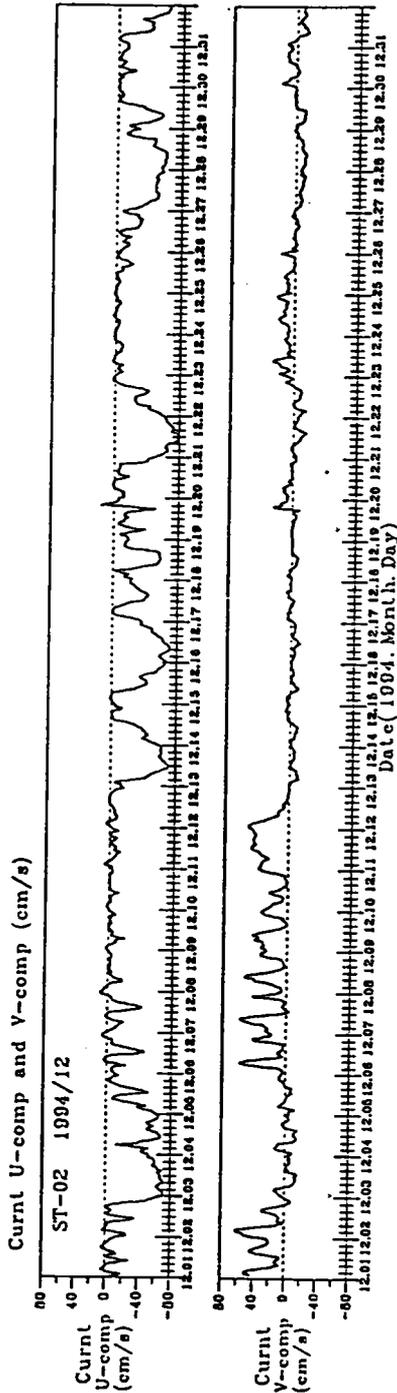


圖 2-11b 1994年12月於ST-2站觀測之逐時流東西分量及南北分量變化圖

Histogram of Current (cm/s) in Haw-Lien

Current in Tai-Chung Harbor ST-02 1994/12/01:00:00-1994/12/31:23:00
 mean : 30.9cm/s, s.d.: 21.6cm/s, min : 1.3cm/s, max : 81.0cm/s.
 File : CU941202.1HM Data no. 744 hours Lost data no. 0 hours

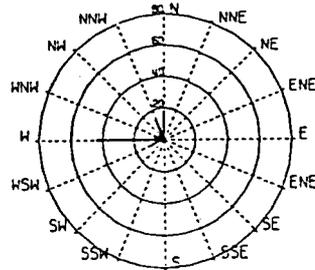
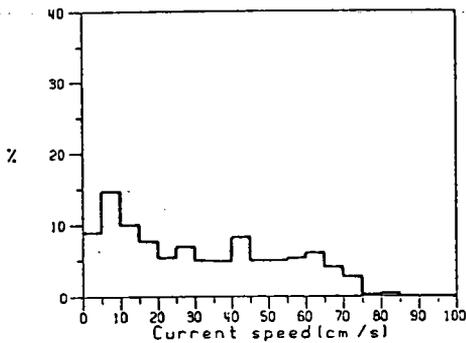


圖 2-11c ST-2 站流速統計方塊圖

圖 2-11d ST-2 站流向統計玫瑰圖

Current in Tai-Chung Harbor ST-02 1994/12/01:00:00-1994/12/31:23:00
 mean : -24.0cm/s, s.d.: 24.2cm/s, min : -80.4cm/s, max : 16.6cm/s.
 File : CU941202.1HM Data no. 744 hours Lost data no. 0 hours

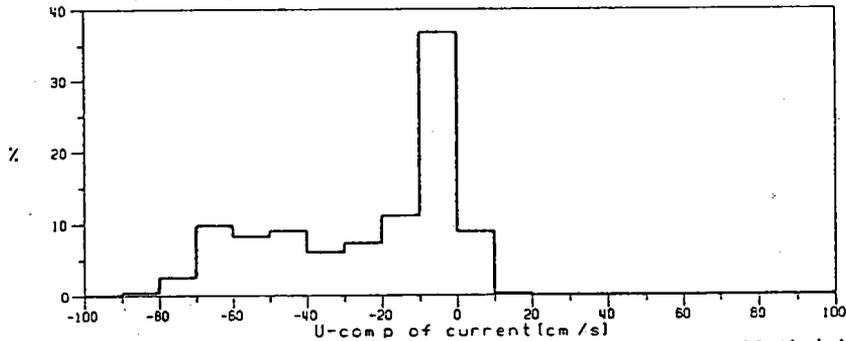


圖 2-11e 1994 年 12 月於 ST-2 站觀測之流東西分量統計方塊圖

Current in Tai-Chung Harbor ST-02 1994/12/01:00:00-1994/12/31:23:00
 mean : 5.6cm/s, s.d.: 15.2cm/s, min : -17.1cm/s, max : 61.2cm/s.
 File : CU941202.1HM Data no. 744 hours Lost data no. 0 hours

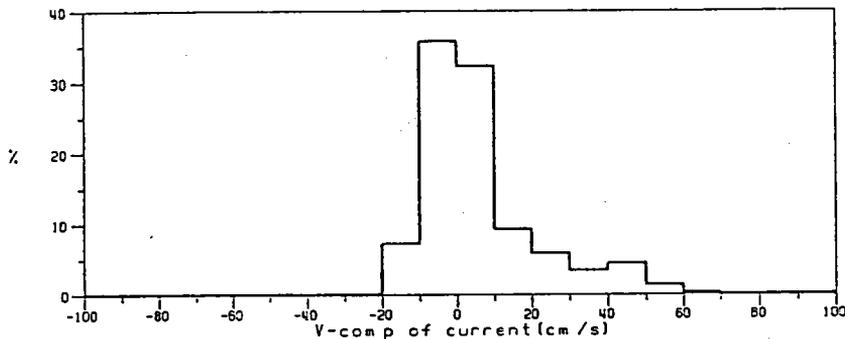


圖 2-11f 1994 年 12 月於 ST-2 站觀測之流南北分量統計方塊圖

Current Spetrum in Haw-Lien

Current in Tai-Chung Harbor ST-02 1994/12/01.00:00-1994/12/31.23:00

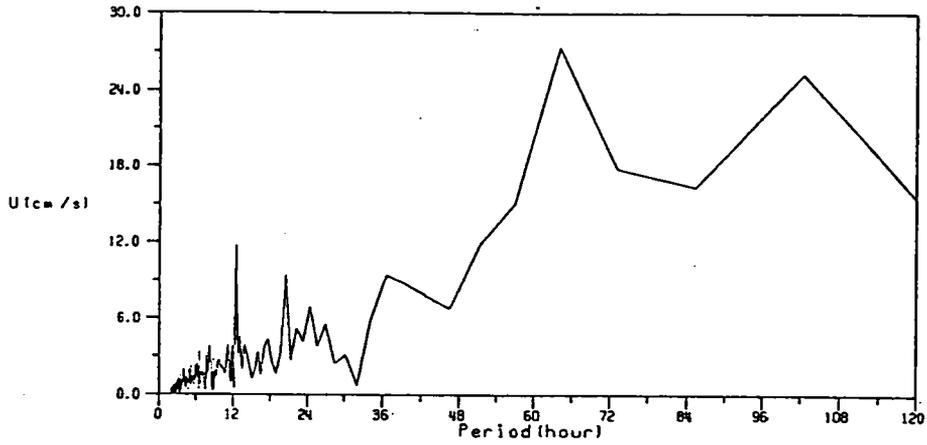


圖 2-11g 1994年12月於ST-2站觀測之流東西分量能譜圖

Current in Tai-Chung Harbor ST-02 1994/12/01.00:00-1994/12/31.23:00

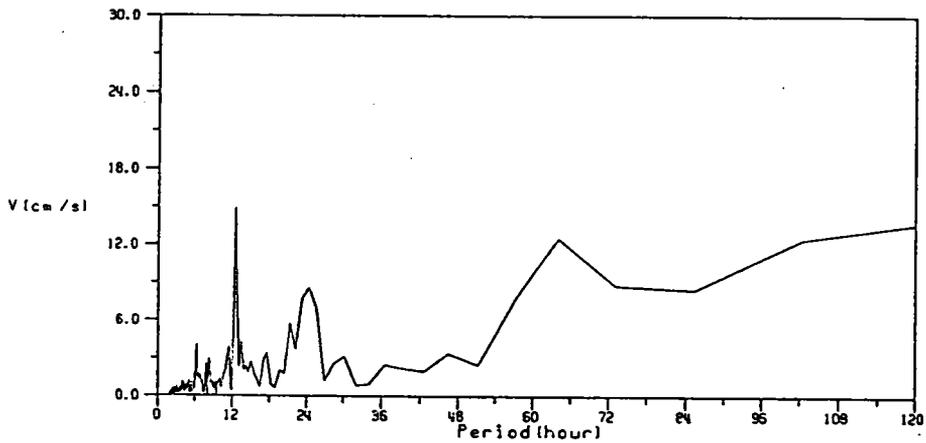


圖 2-11h 1994年12月於ST-2站觀測之流南北分量能譜圖

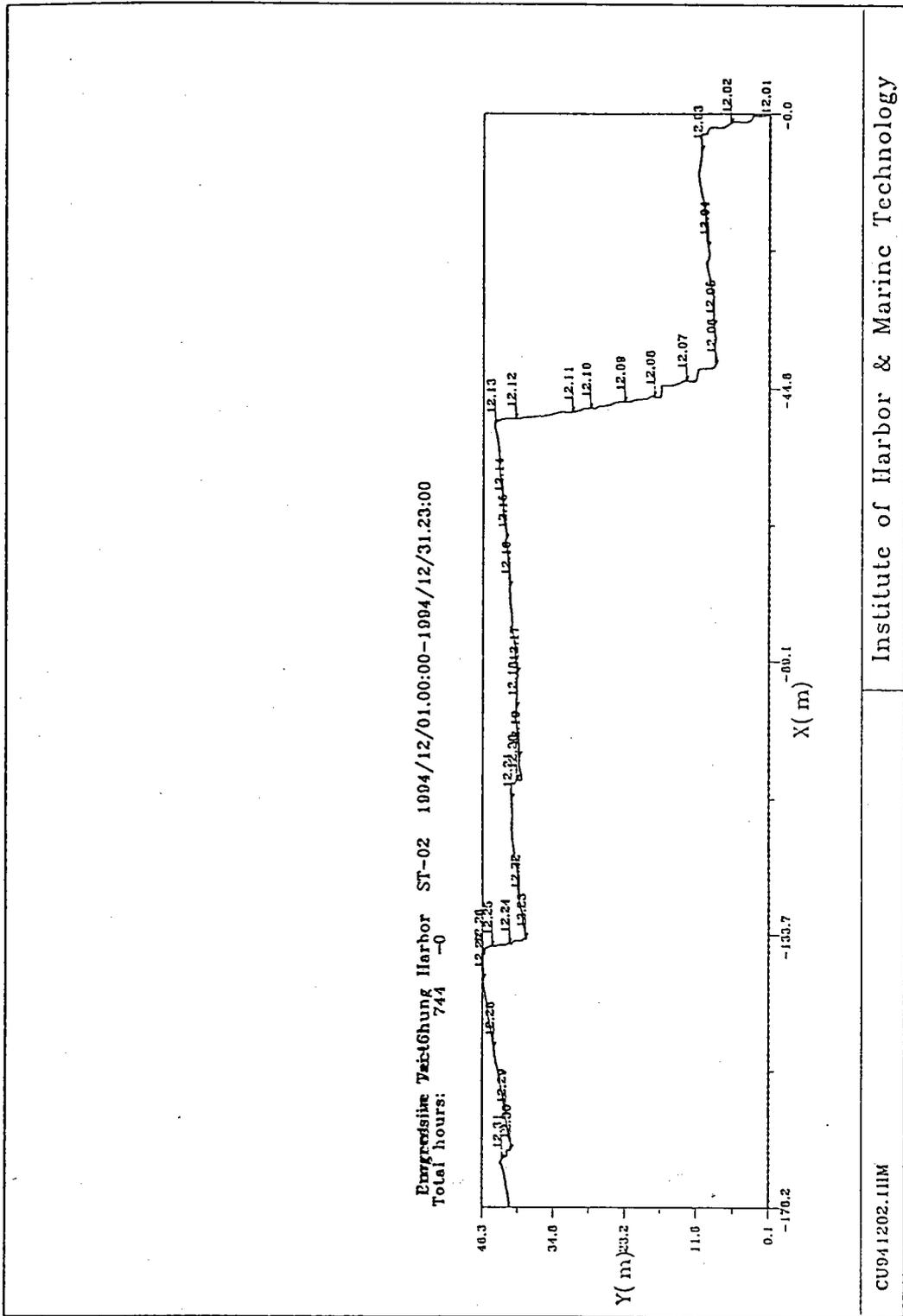


圖 2-11i 1994 年 12 月 於 ST-2 站 觀測 之 海 流 向 量 進 行 圖

Current in Tai-Chung Harbor ST-04 1995/07/12.14:00--1995/07/25.02:00 312 - 11
 Curnt speed(cm/s) and Direction

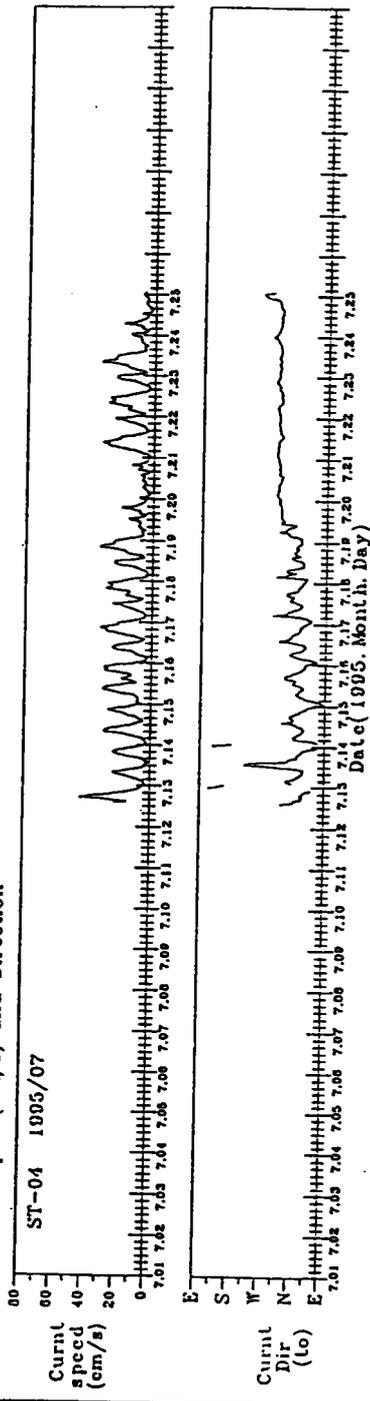


圖 2-12a 1995年7月於ST-4站觀測之逐時流速及流向(指去向)變化圖

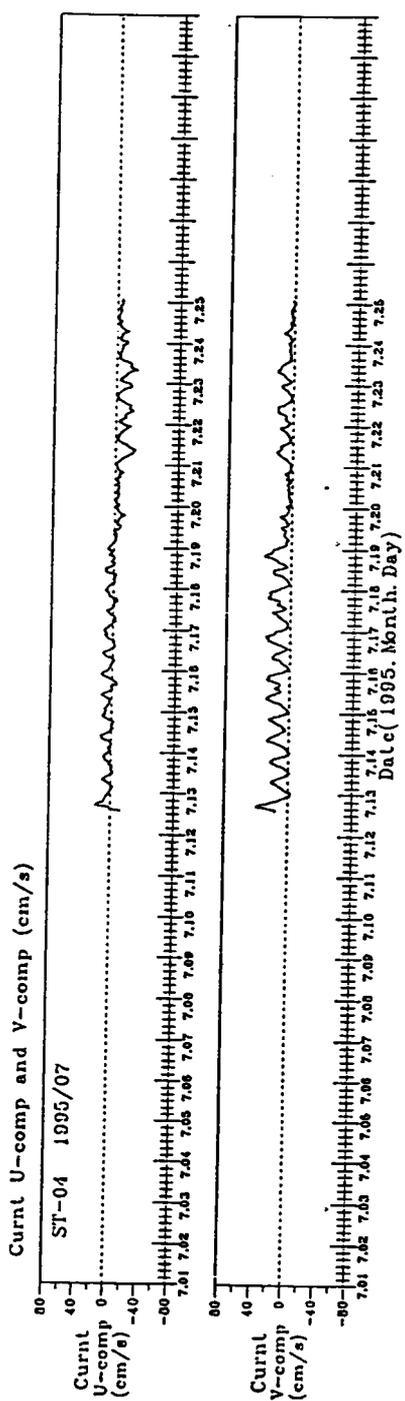


圖 2-12b 1995年7月於ST-4站觀測之逐時流東西分量及南北分量變化圖

CU9507X4.JIIM

Institute of Harbor & Marine Technology

PLCZHJ.P04

1995.9.13

Histogram of Current (cm/s) in Haw-Lien

Current in Tai-Chung Harbor ST-04 1995/07/12.14:00-1995/07/25.02:00
 mean : 12.9cm/s, s.d.: 8.6cm/s, min : .6cm/s, max : 43.9cm/s.
 File : CU950704.1HM Data no. 301 hours Lost data no. 0 hours

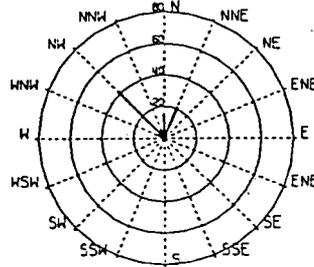
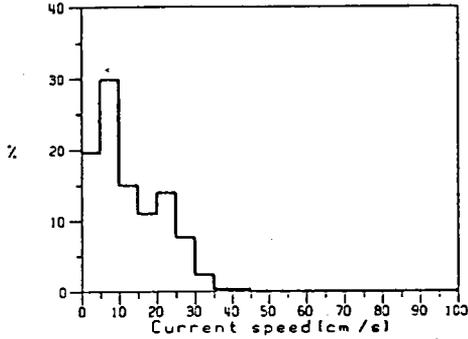


圖 2-12c ST-4 站流速統計方塊圖

圖 2-12d ST-4 站流向統計玫瑰圖

Current in Tai-Chung Harbor ST-04 1995/07/12.14:00-1995/07/25.02:00
 mean : -2.0cm/s, s.d.: 8.0cm/s, min : -26.5cm/s, max : 18.8cm/s.
 File : CU950704.1HM Data no. 301 hours Lost data no. 0 hours

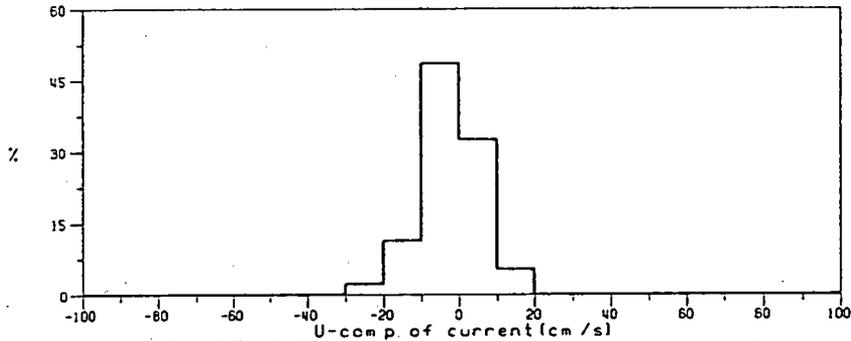


圖 2-12e 1995 年 7 月於 ST-4 站觀測之流東西分量統計方塊圖

Current in Tai-Chung Harbor ST-04 1995/07/12.14:00-1995/07/25.02:00
 mean : 10.4cm/s, s.d.: 8.1cm/s, min : -3.5cm/s, max : 39.7cm/s.
 File : CU950704.1HM Data no. 301 hours Lost data no. 0 hours

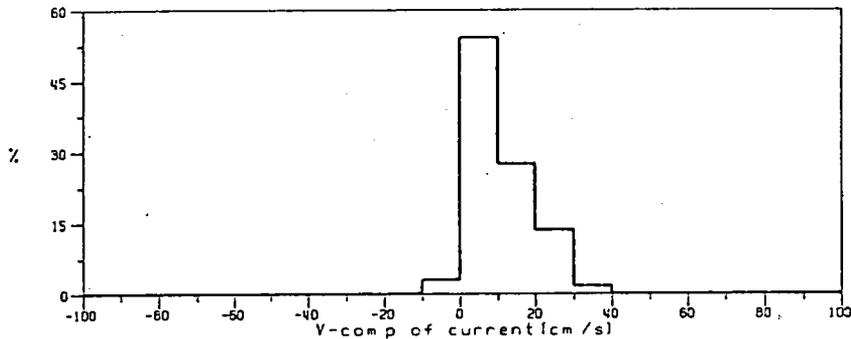


圖 2-12f 1995 年 7 月於 ST-4 站觀測之流南北分量統計方塊圖

Current Spectrum in Hsu-Lien

Current in Tzi-Chung Harbor ST-04 1995/07/12.14:00-1995/07/25.02:00

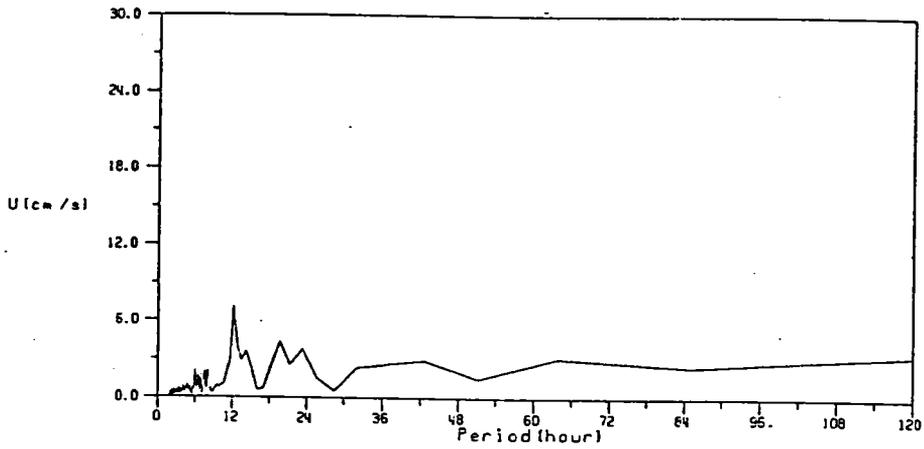


圖 2-12g 1995年7月於ST-4站觀測之流東西分量能譜圖

Current in Tzi-Chung Harbor ST-04 1995/07/12.14:00-1995/07/25.02:00

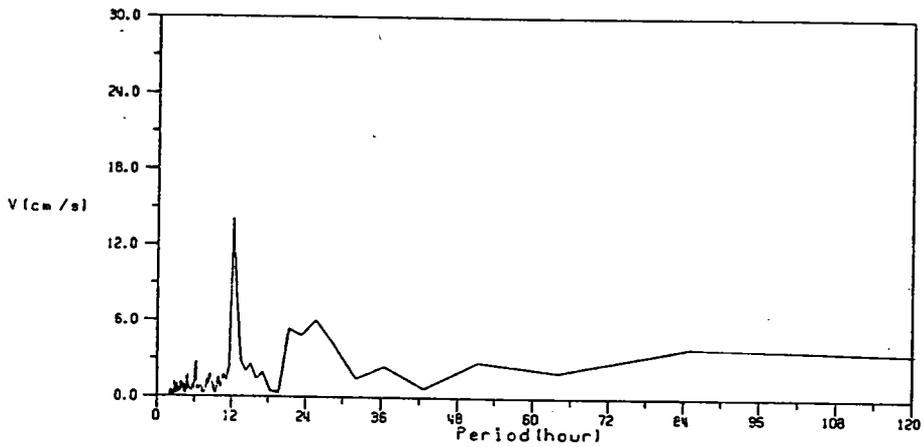
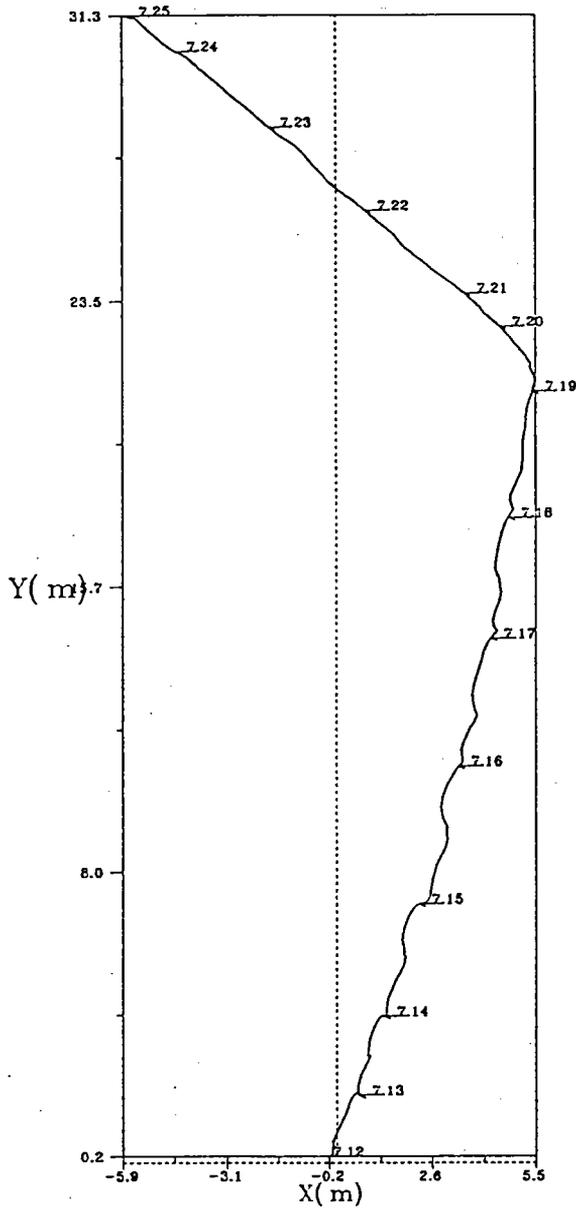


圖 2-12h 1995年7月於ST-4站觀測之流南北分量能譜圖

Progressive Vector Diagram

Current in Tai-Chung Harbor ST-04 1995/07/12.14:00-1995/07/25.02:00
 Total hours: 301 -0



CU950704.1HM

Institute of Harbor & Marine Technology

PLPVIV.FOR

1995.8.2

圖 2-12i 1995年7月於ST-4站觀測之海流向量進行圖

Current in Tai-Chung Harbor ST-04 1994/12/01.00:00-1994/12/31.23:00 744 - 0
 Curnt speed(cm/s) and Direction

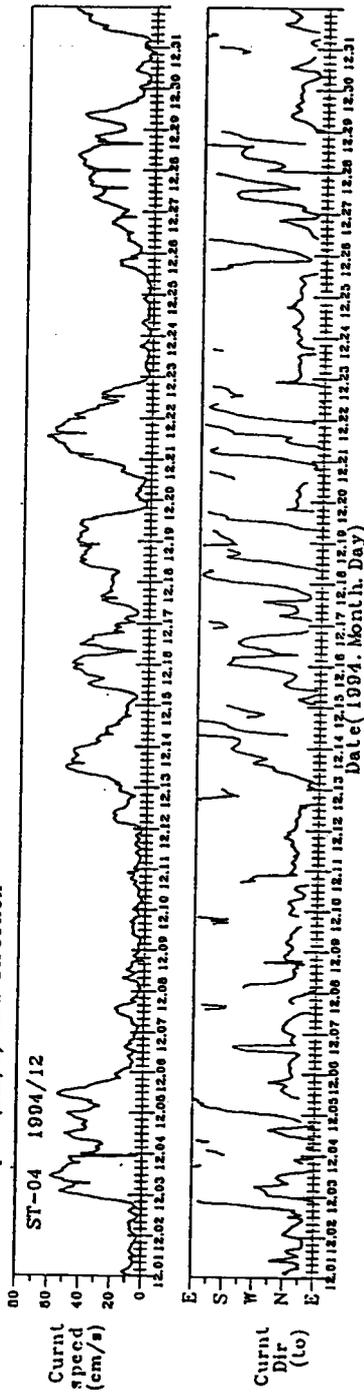


圖 2-13a 1994年12月於ST-4站觀測之逐時流速及流向(指去向)變化圖

Curnt U-comp and V-comp (cm/s)

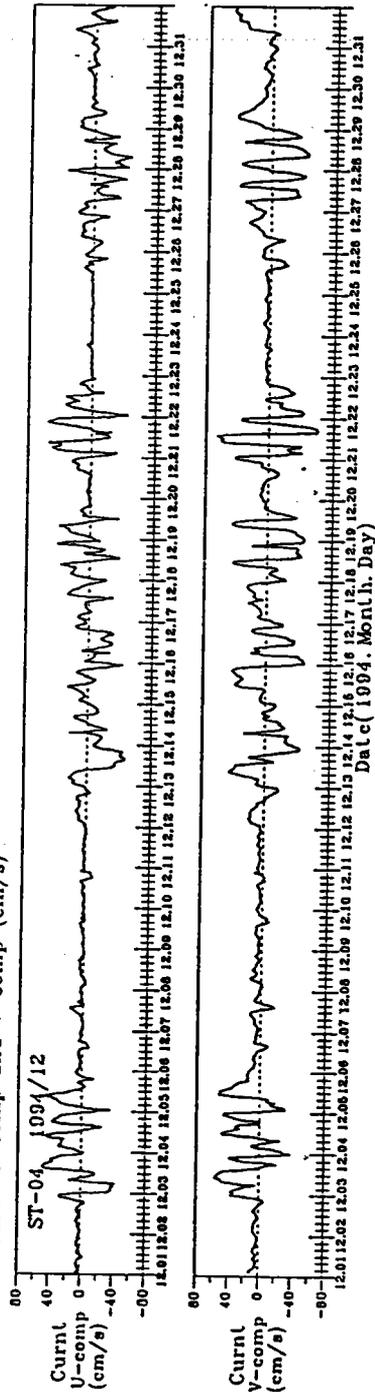


圖 2-13b 1994年12月於ST-4站觀測之逐時流東西分量及南北分量變化圖

CU941204.1HM

Institute of Harbor & Marine Technology

FILENOM

1994.12

histogram of Current (cm/s) in Haw-Lien

Current in Tai-Chung Harbor ST-04 1994/12/01:00:00-1994/12/31:23:00
 mean : 20.6cm/s, s.d.: 16.7cm/s, min : .3cm/s, max : 66.5cm/s.
 File : CU941204.1HM Data no. 744 hours Lost data no. 0 hours

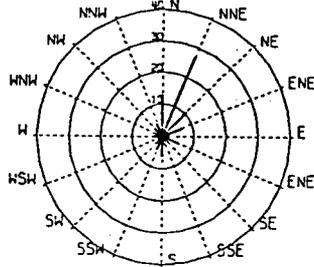
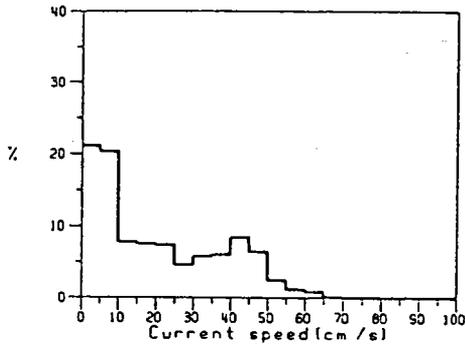


圖 2-13c ST-4 站流速統計方塊圖

圖 2-13d ST-4 站流向統計玫瑰圖

Current in Tai-Chung Harbor ST-04 1994/12/01:00:00-1994/12/31:23:00
 mean : 1.9cm/s, s.d.: 15.8cm/s, min : -48.0cm/s, max : 55.5cm/s.
 File : CU941204.1HM Data no. 744 hours Lost data no. 0 hours

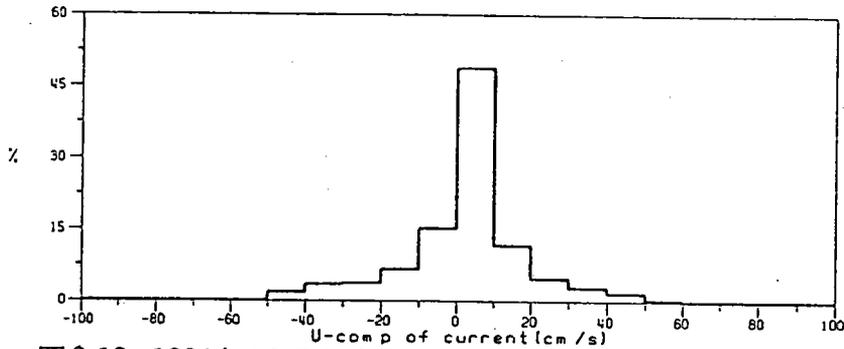


圖 2-13e 1994 年 12 月於 ST-4 站觀測之流東西分量統計方塊圖

Current in Tai-Chung Harbor ST-04 1994/12/01:00:00-1994/12/31:23:00
 mean : 3.6cm/s, s.d.: 20.9cm/s, min : -60.9cm/s, max : 64.3cm/s.
 File : CU941204.1HM Data no. 744 hours Lost data no. 0 hours

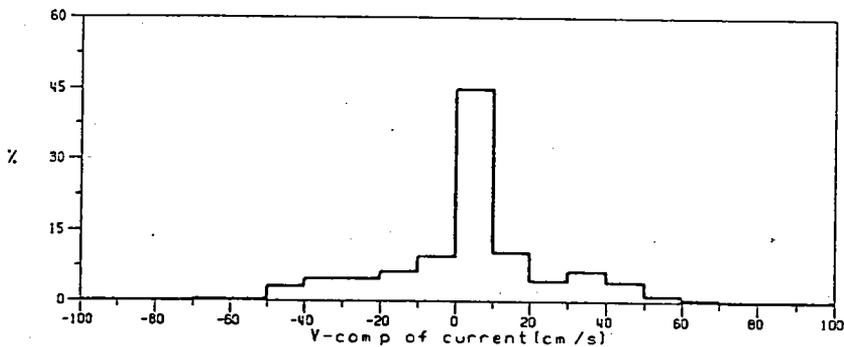


圖 2-13f 1994 年 12 月於 ST-4 站觀測之流南北分量統計方塊圖

Current Spetrum in Haw-Lien

Current in Tai-Chung Harbor ST-04 1994/12/01.00:00-1994/12/31.23:00

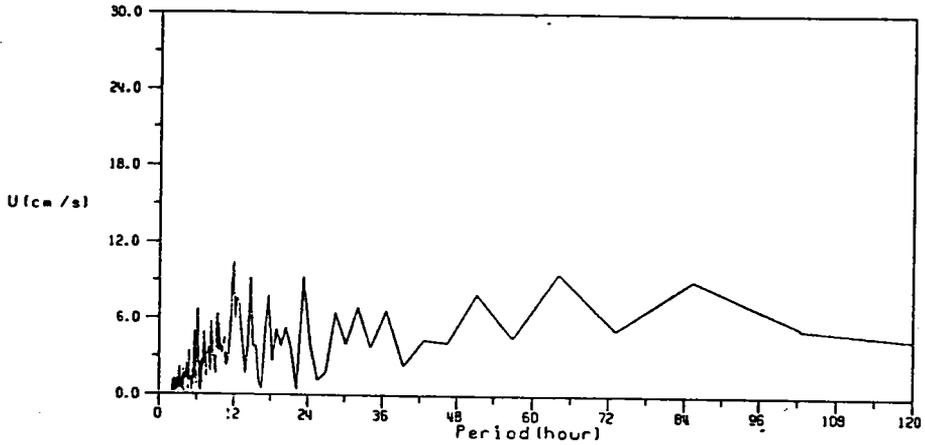


圖 2-13g 1994年12月於ST-4站觀測之流東西分量能譜圖

Current in Tai-Chung Harbor ST-04 1994/12/01.00:00-1994/12/31.23:00

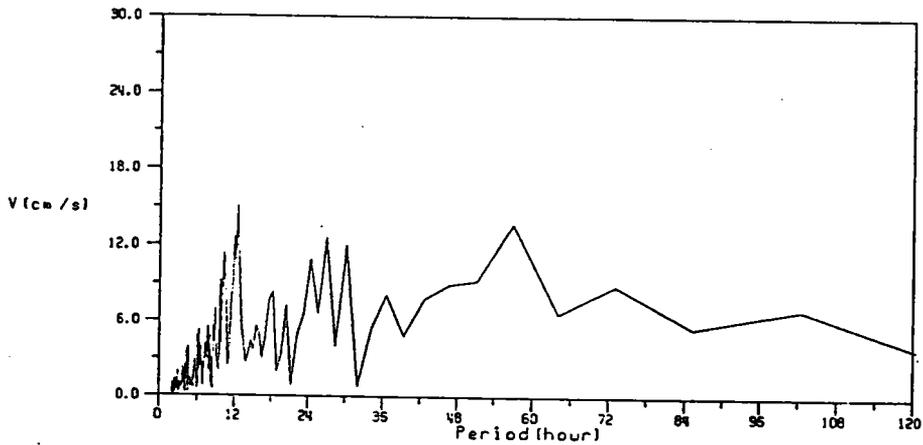
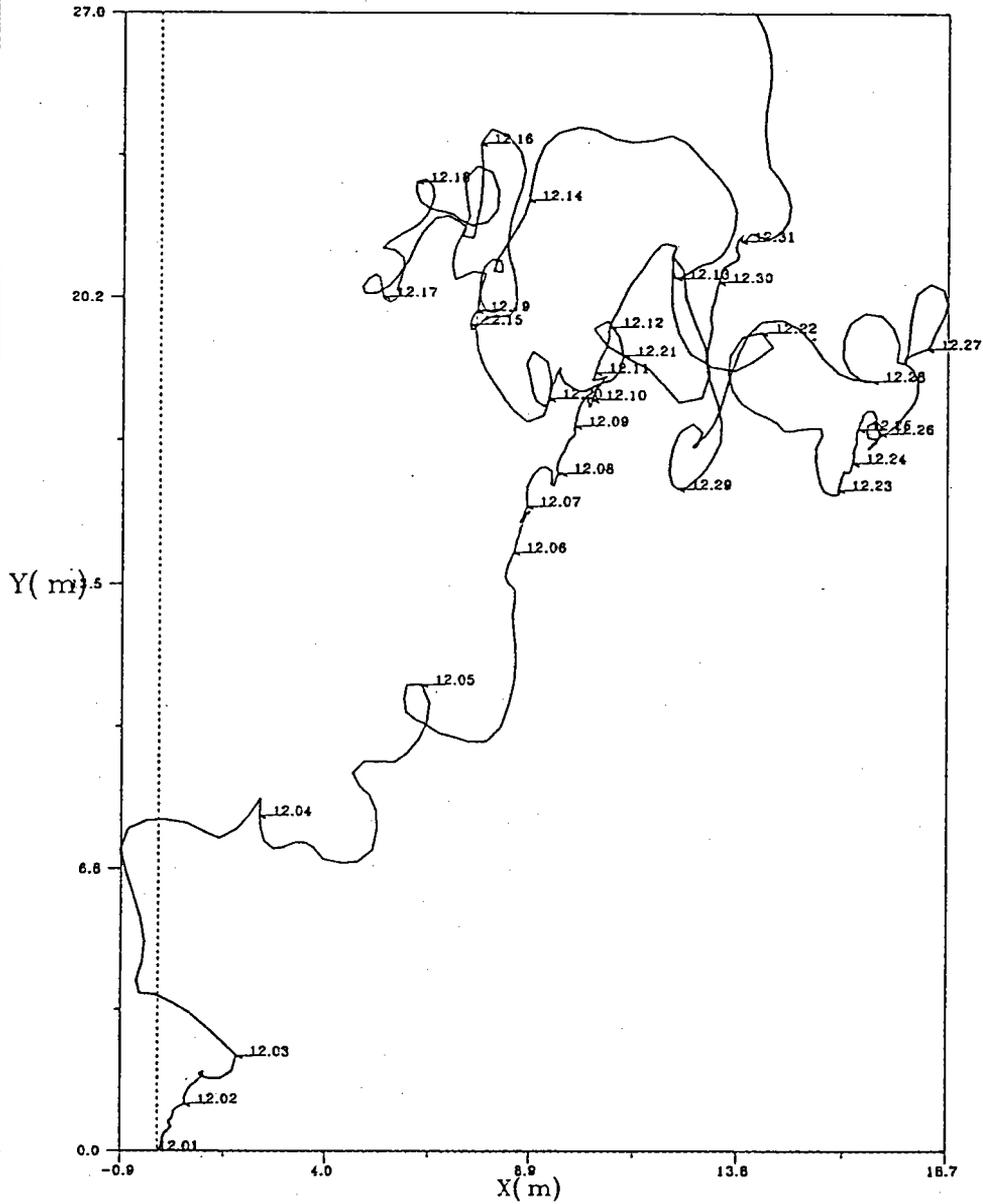


圖 2-13h 1994年12月於ST-4站觀測之流南北分量能譜圖

Progressive Vector Diagram

Current in Tai-Chung Harbor ST-04 1994/12/01.00:00-1994/12/31.23:00
 Total hours: 744 -0



CU941204.1HM

Institute of Harbor & Marine Technology

PLPVIV.FOR

1994.6.2

圖 2-13i 1994年12月於ST-4站觀測之海流向量進行圖

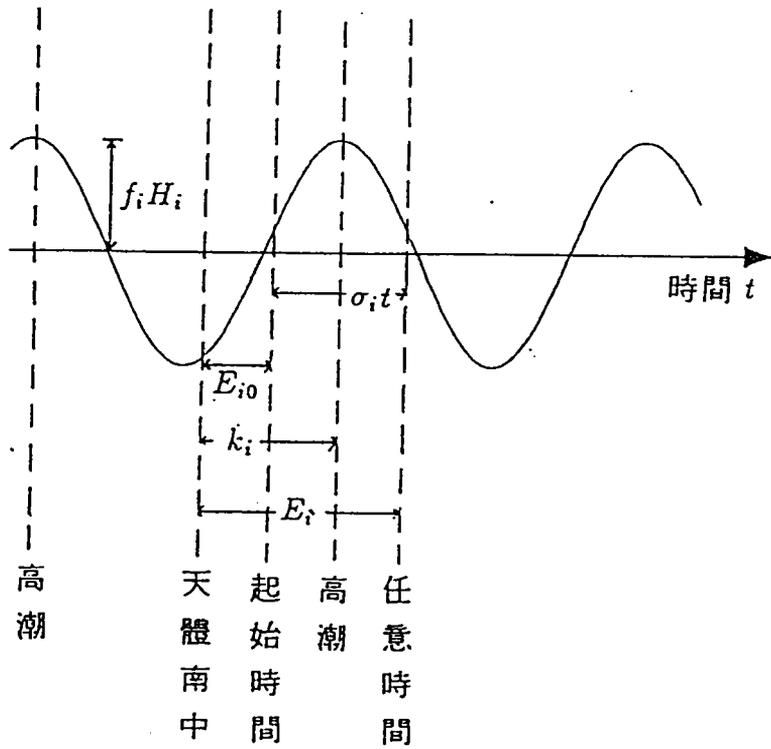


圖 3-1 分潮之修正係數 f_i , 角速度 σ 及平衡引數 E_{i0} 之間的關係

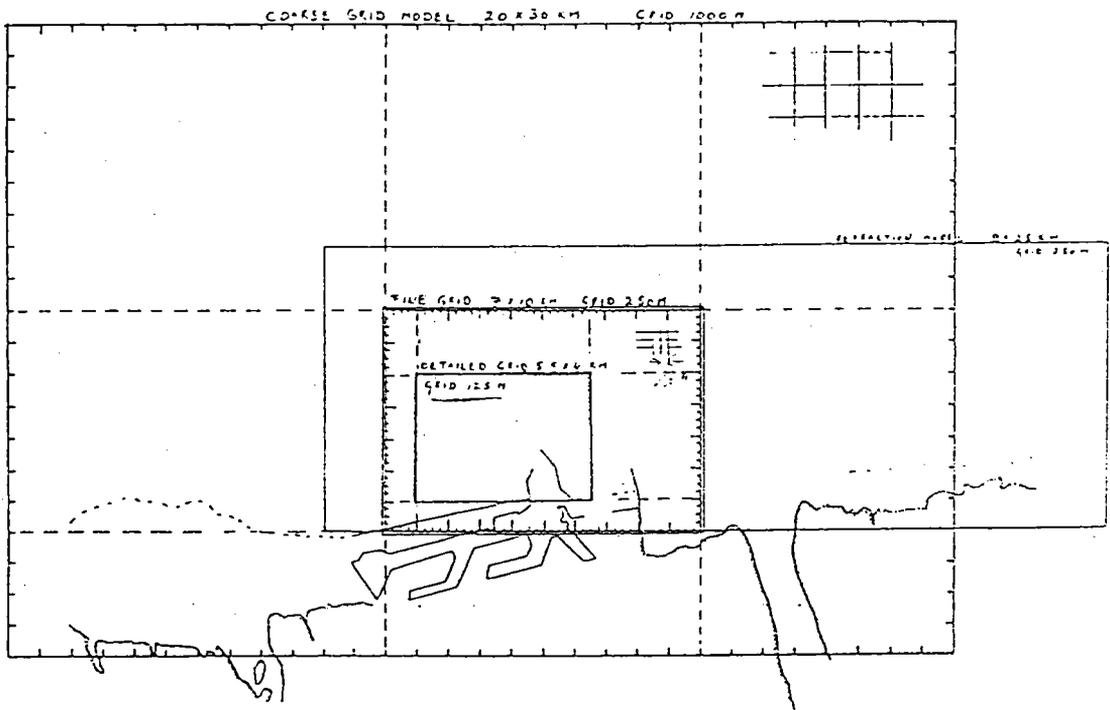
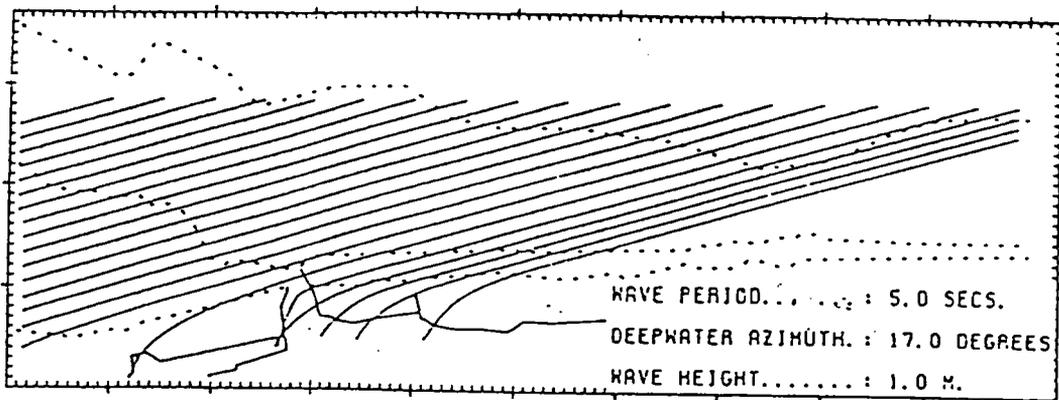
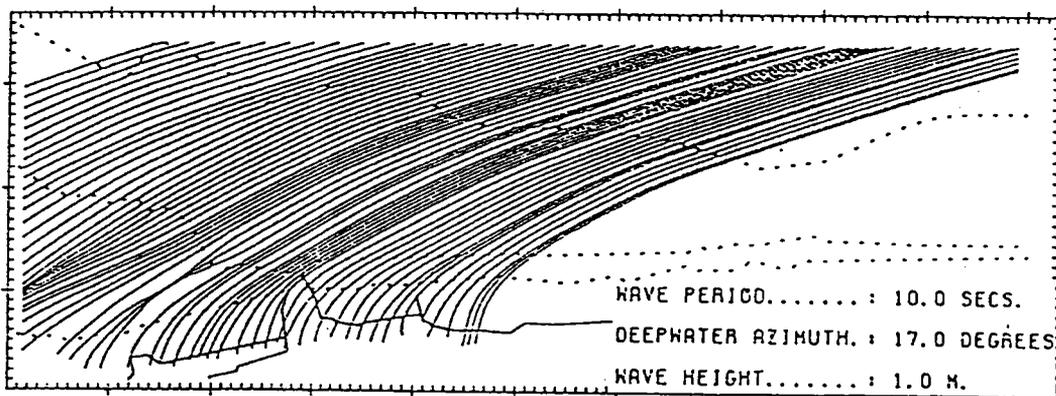


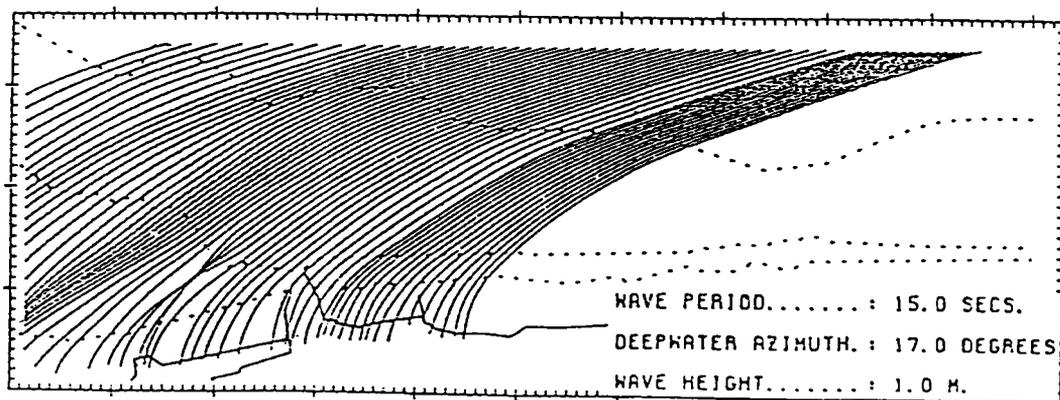
圖 4-1 REFRAC 及 CURMO 模式各種計算區域示意圖
 (資料來源：中華顧問工程司—民國 77 年)



(a)



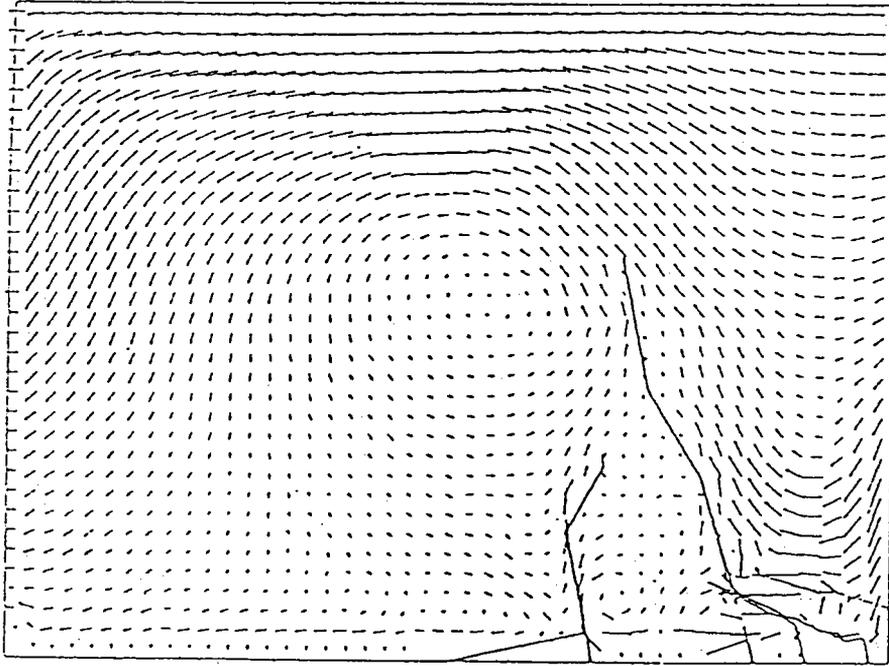
(b)



(c)

圖4-2台中港波浪折射圖

(資料來源：中華顧問工程司—民國77年)



TAI-CHUNG HARBOR - SCHEME II	f = 1.00	1/1000
EXPERIMENTAL CONDITION - A -	SCALE: 1 : 20000	
PAC ENGINEERING INC.		

圖4-3防波堤延長850米在平均水位時之數值計算流況分佈
 (資料來源：中華顧問工程司—民國77年)

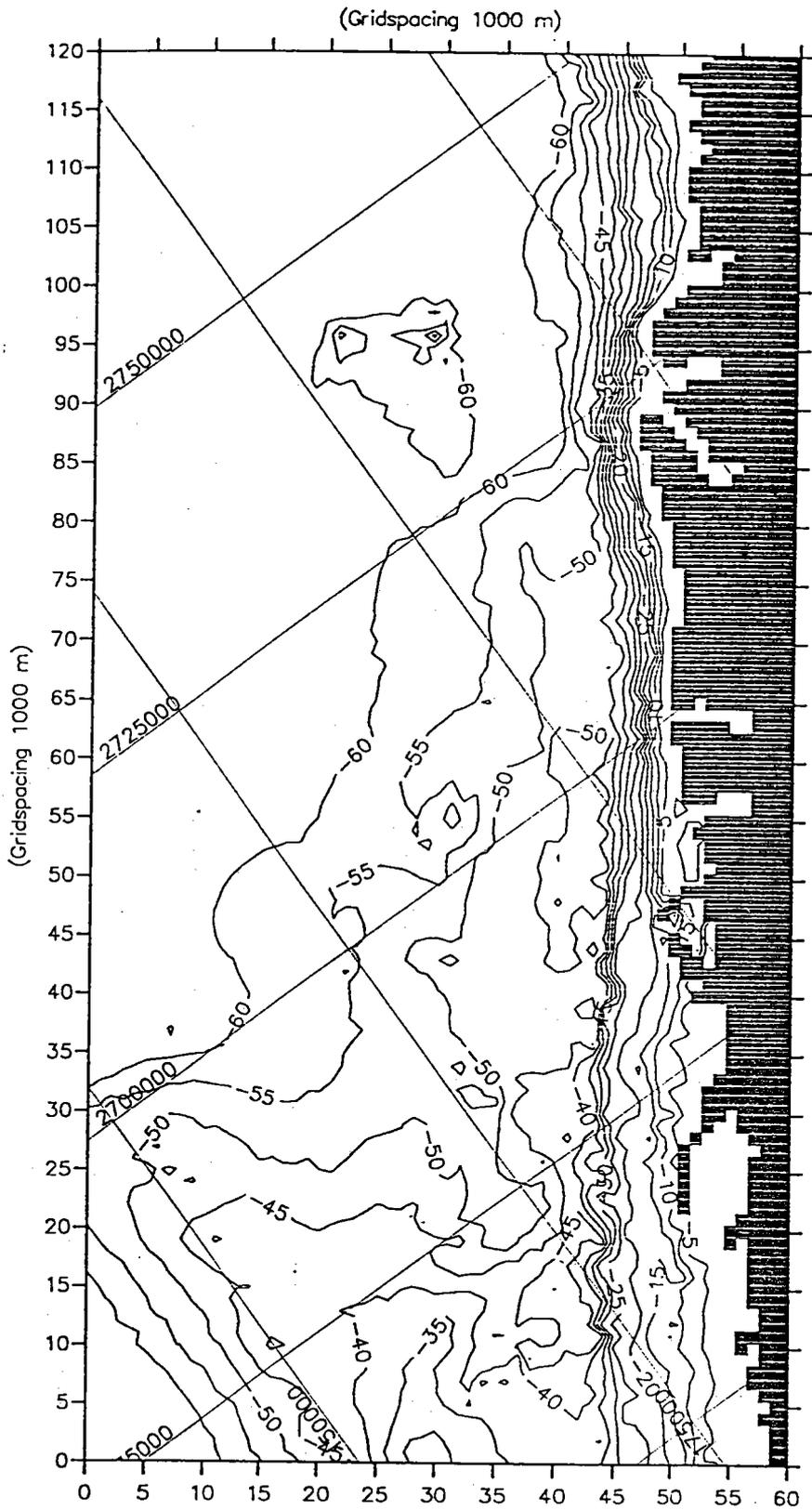
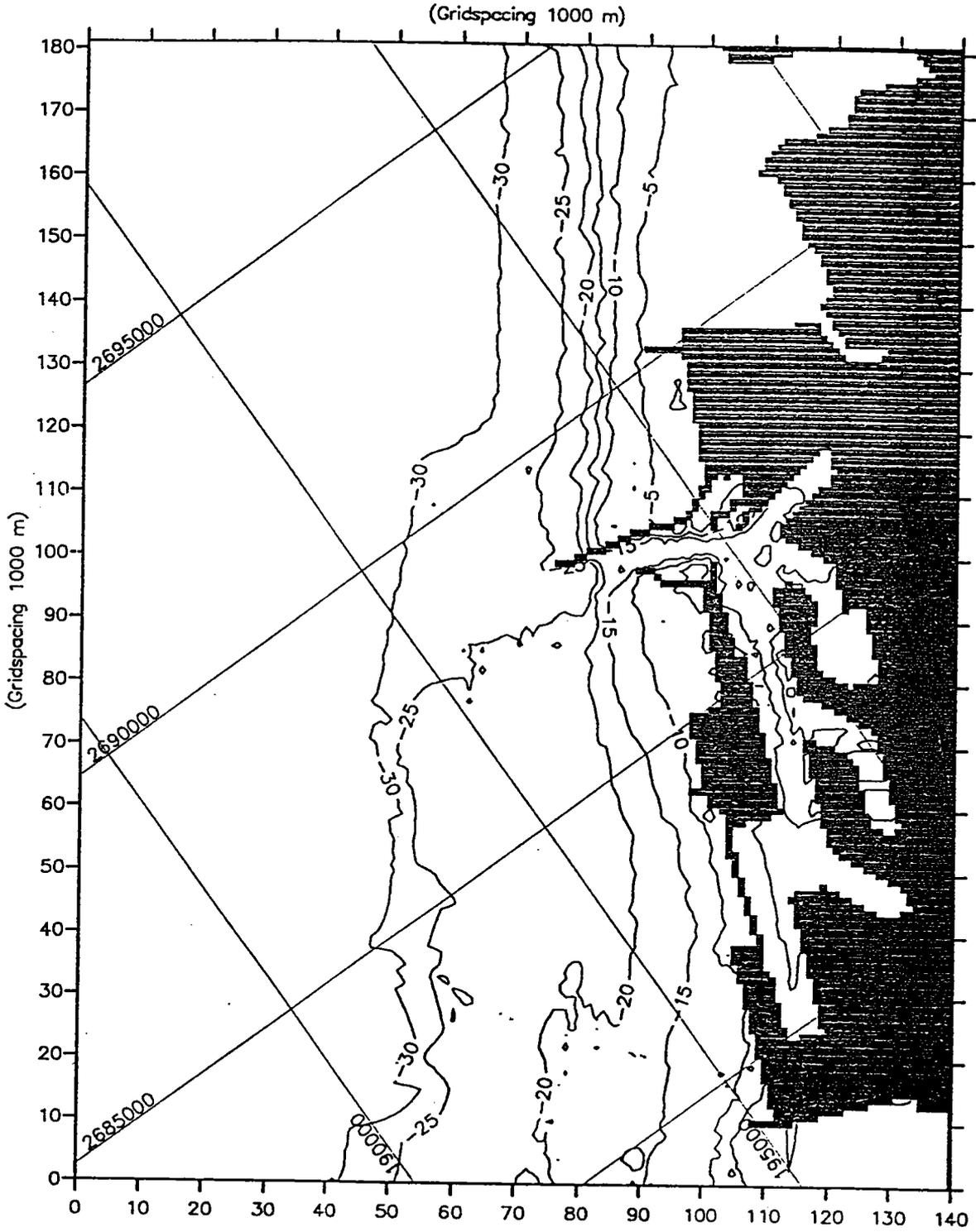


圖4-5 Mike 21 HD大域計算區域網格及水深示義圖



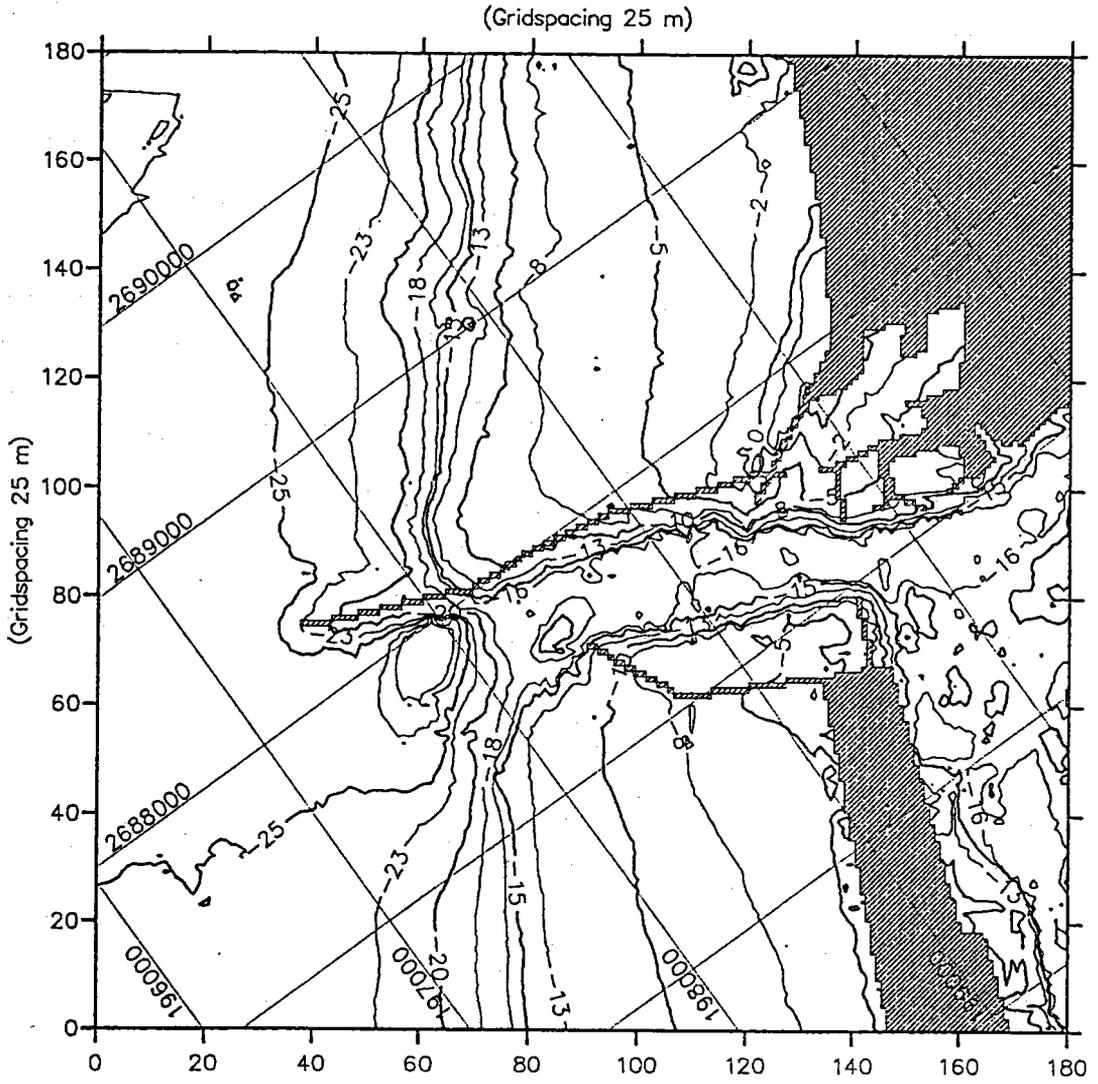


圖 4-7 Mike 21 HD 局部計算區域網格及水深示意圖

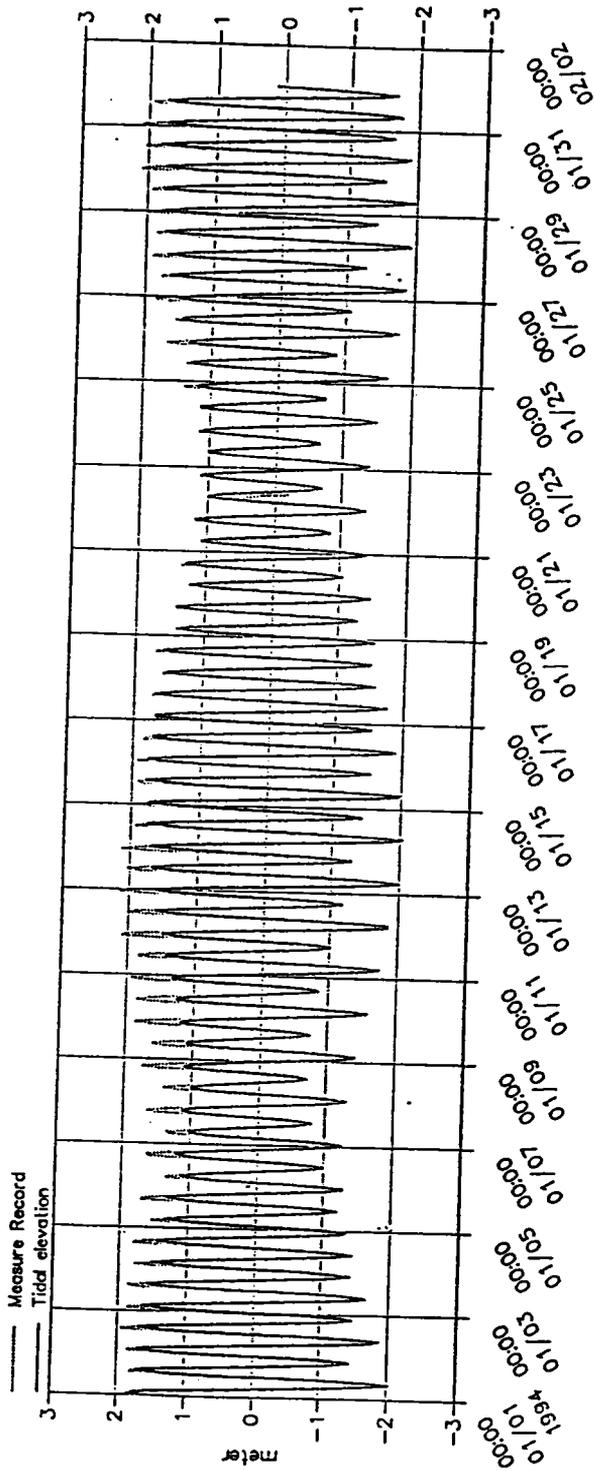


圖4-8芳苑潮位站實測潮位及驗潮結果

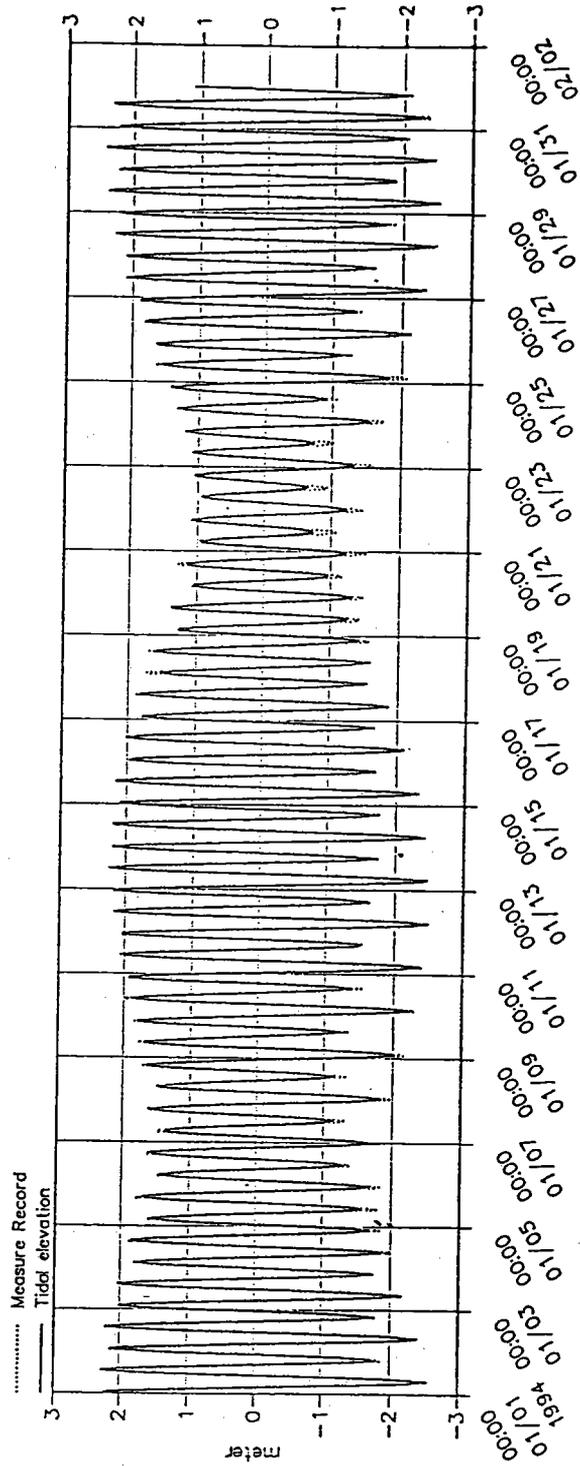


圖 4-9 新竹漁港潮位站實測潮位及驗潮結果

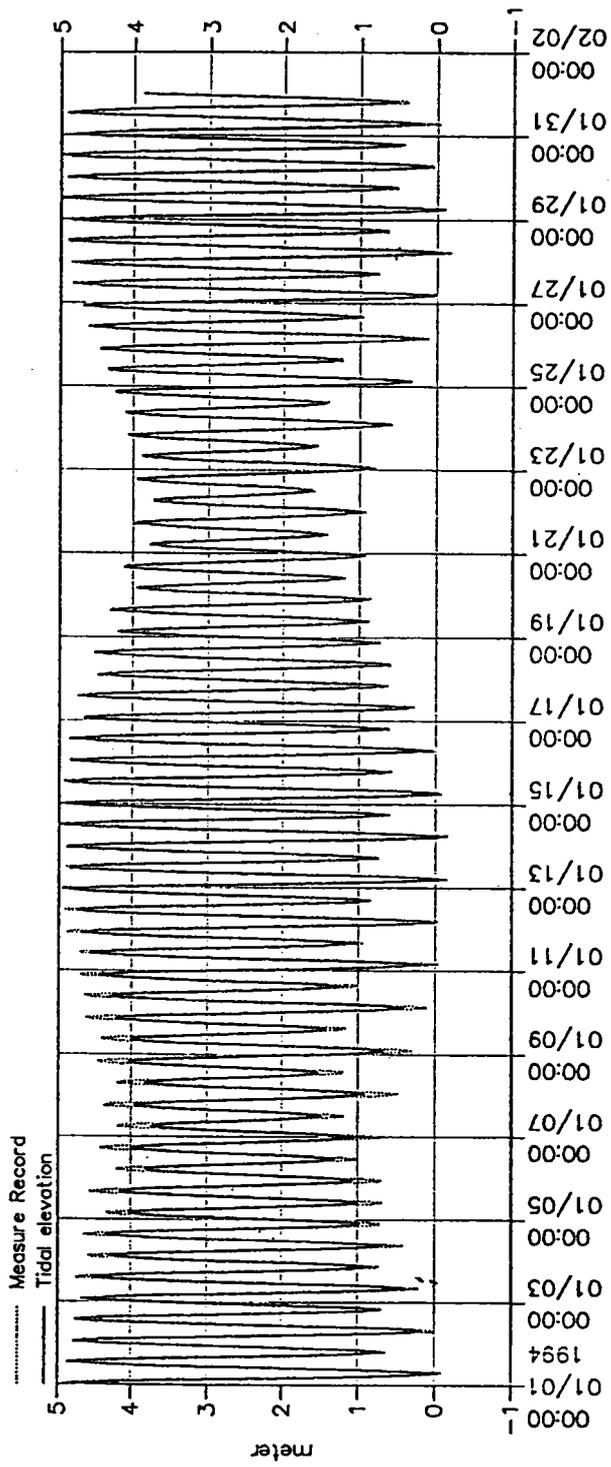


圖4-10 台中港潮位站實測潮位及驗潮結果

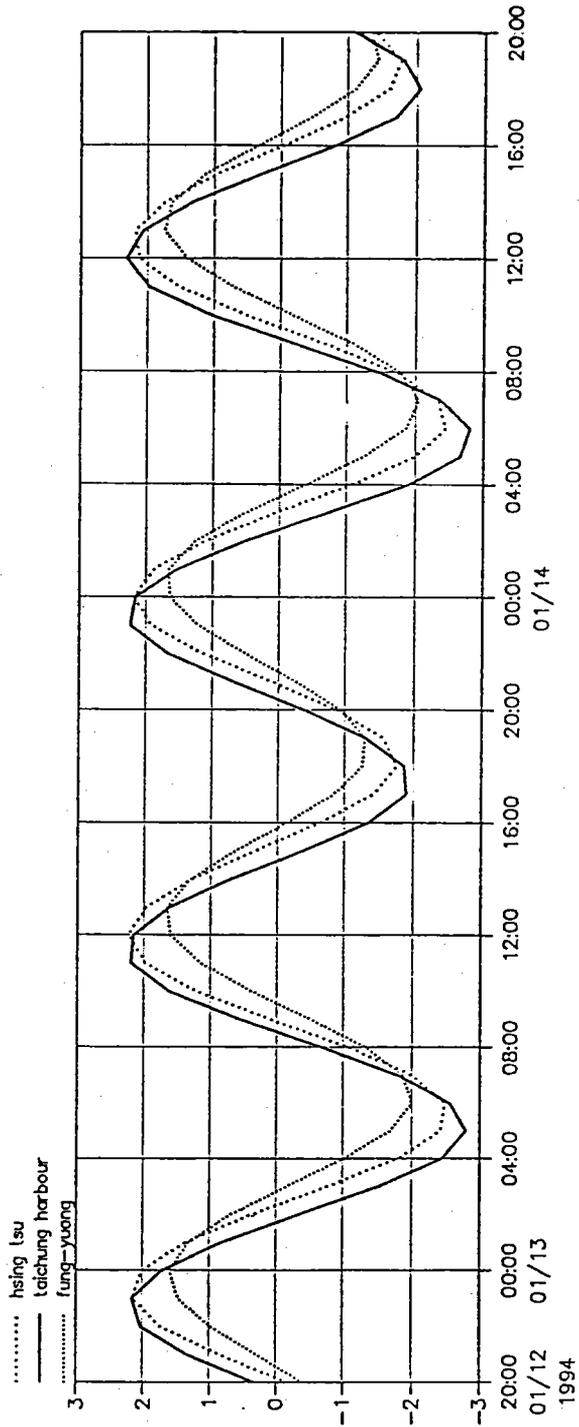


圖4-11 芳苑潮位站、新竹漁港潮位站與台中港潮位站潮位記錄比較

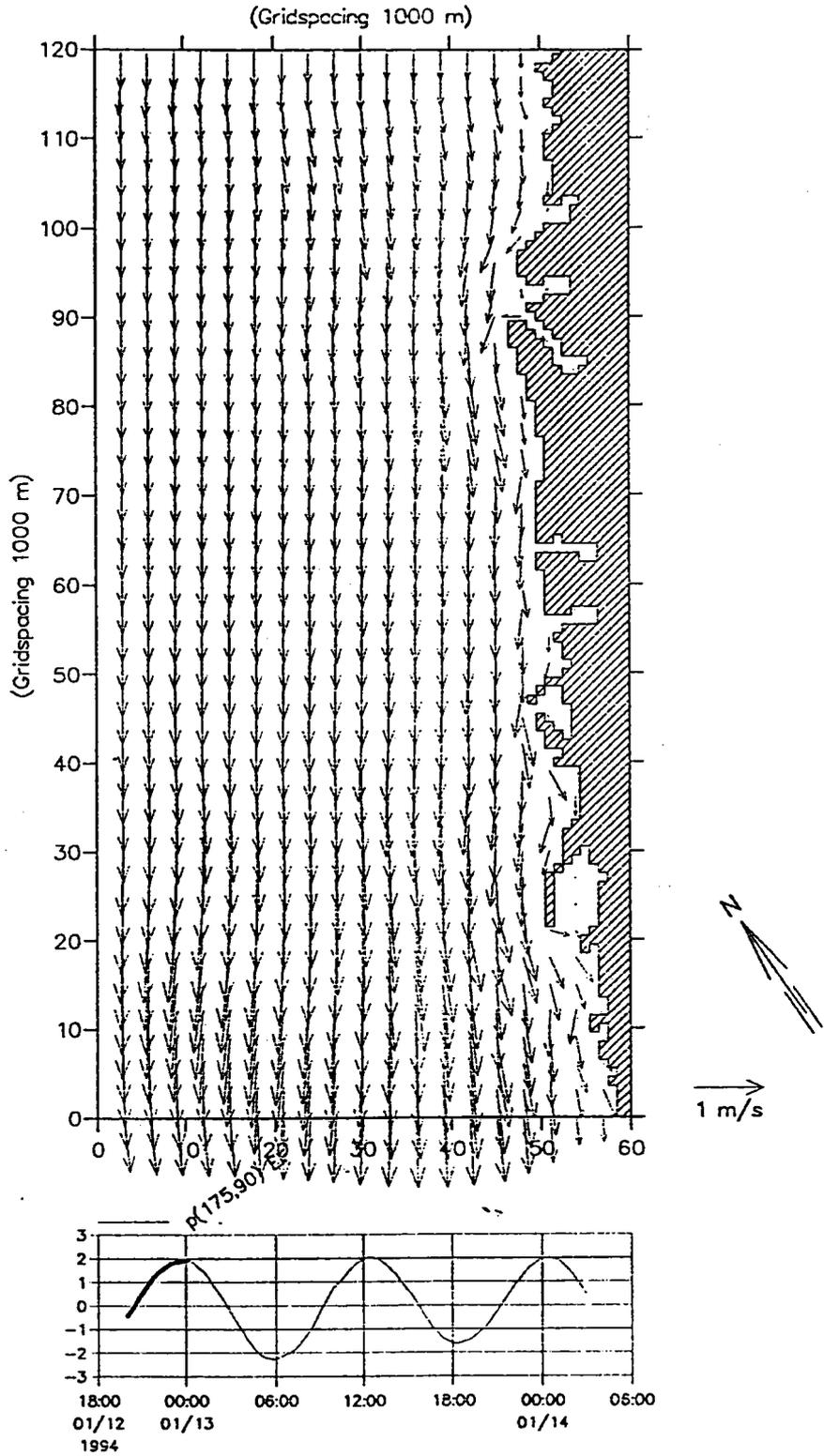


圖 4-12a 冬季台中港大域網格海流分佈 (1994/01/13 00:00)

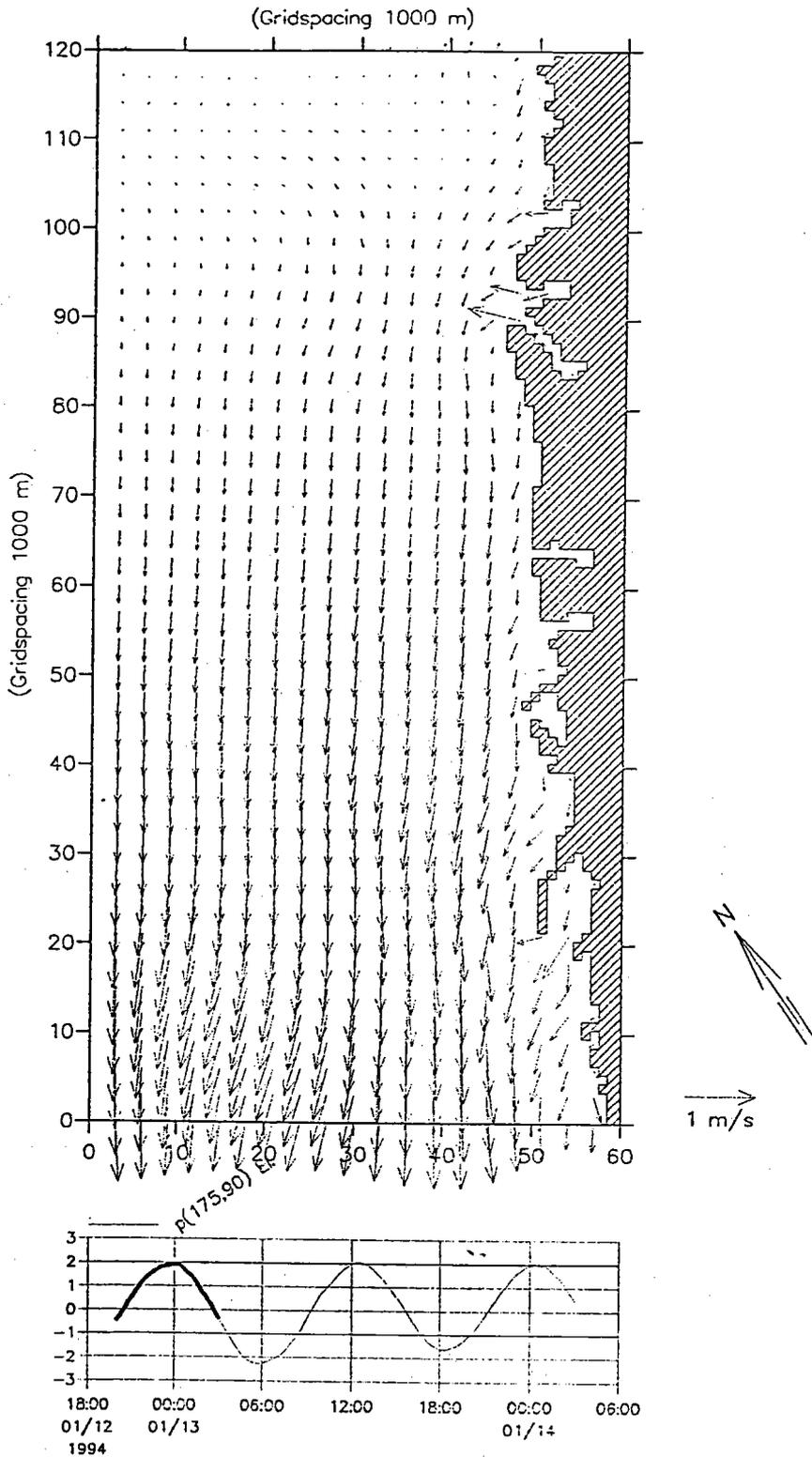


圖4-12b 冬季台中港大域網格海流分佈(1994/01/13 03:00)

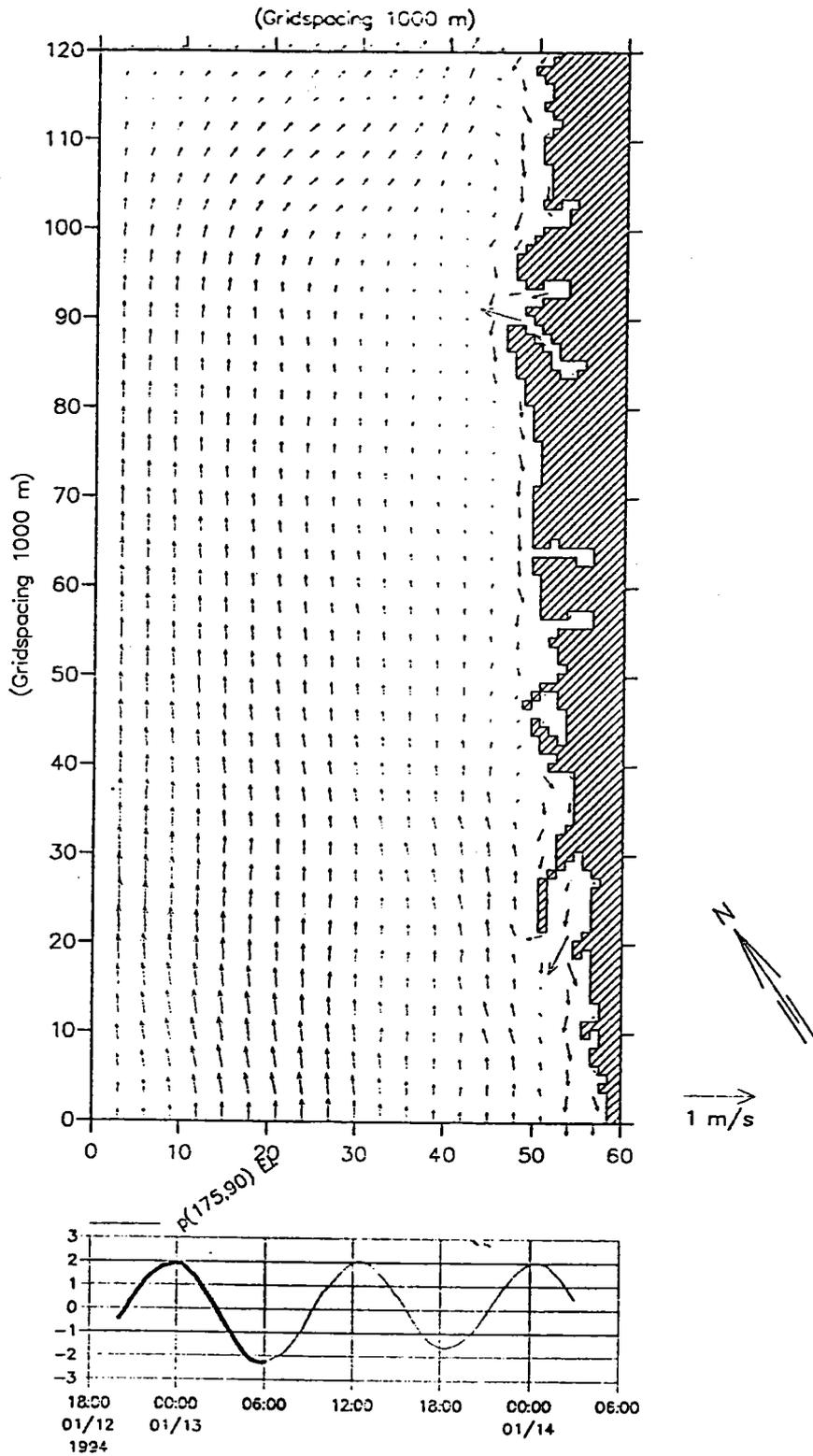


圖4-12c 冬季台中港大域網格海流分佈(1994/01/13 06:00)

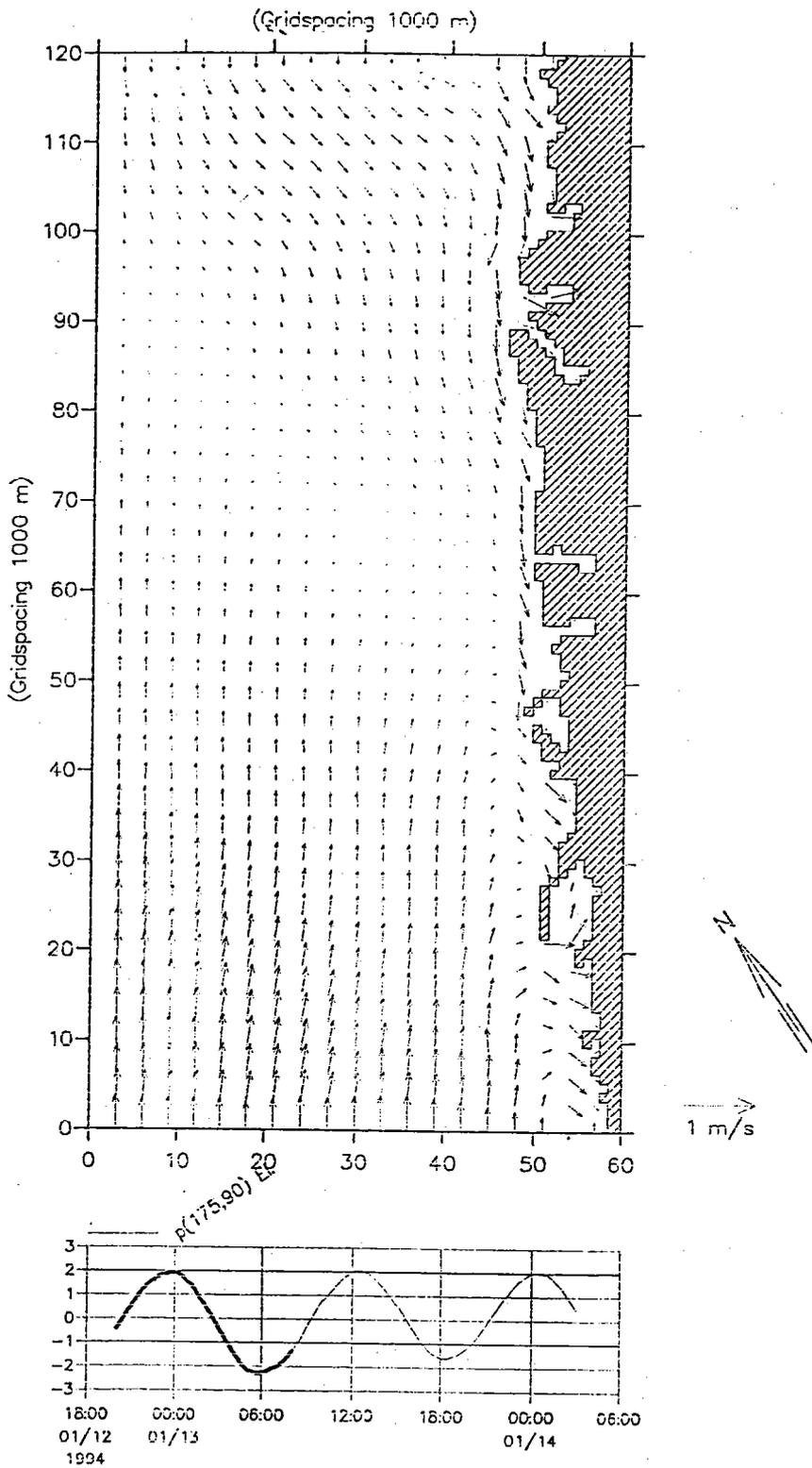


圖4-12d 冬季台中港大域網格海流分佈(1994/01/13 08:00)

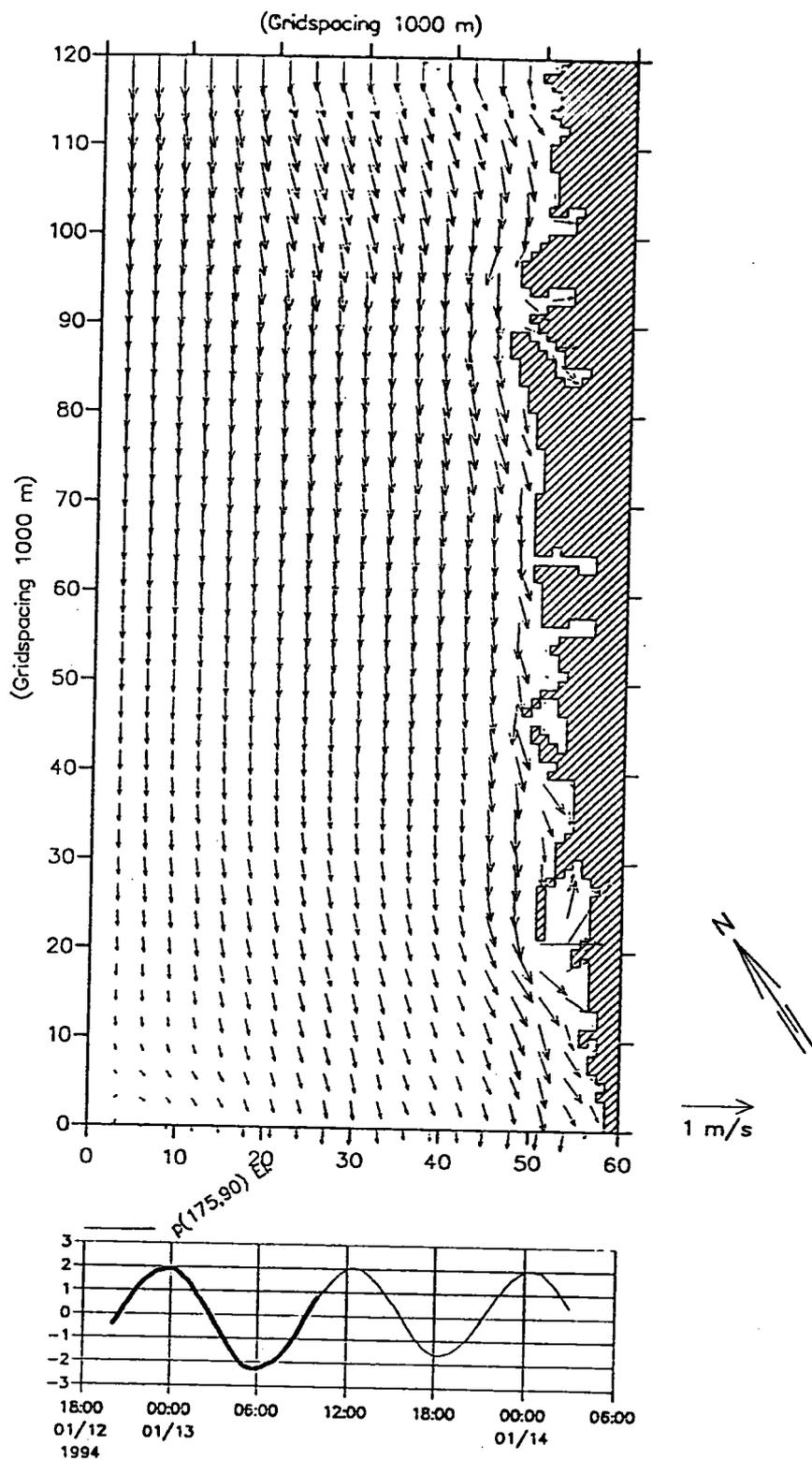


圖 4-12e 冬季台中港大域網格海流分佈 (1994/01/13 10:00)

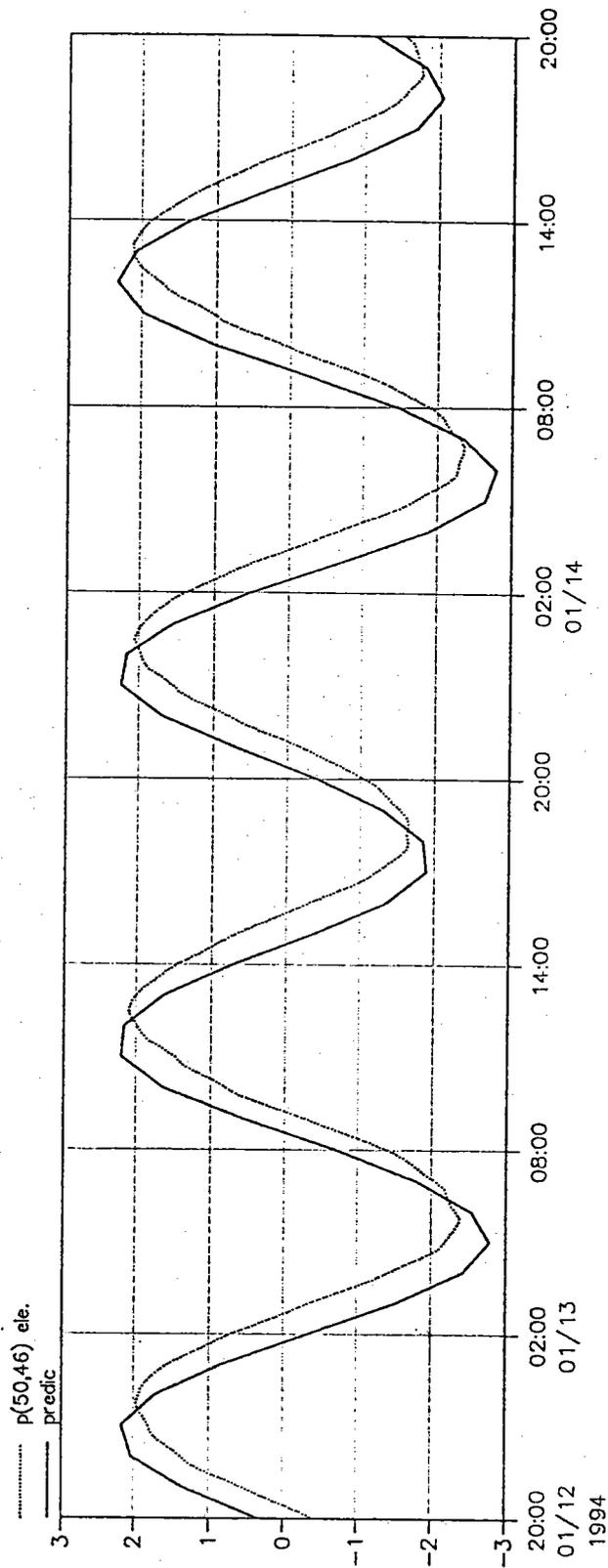


圖4-13台中港大域網格實測及計算水位驗證

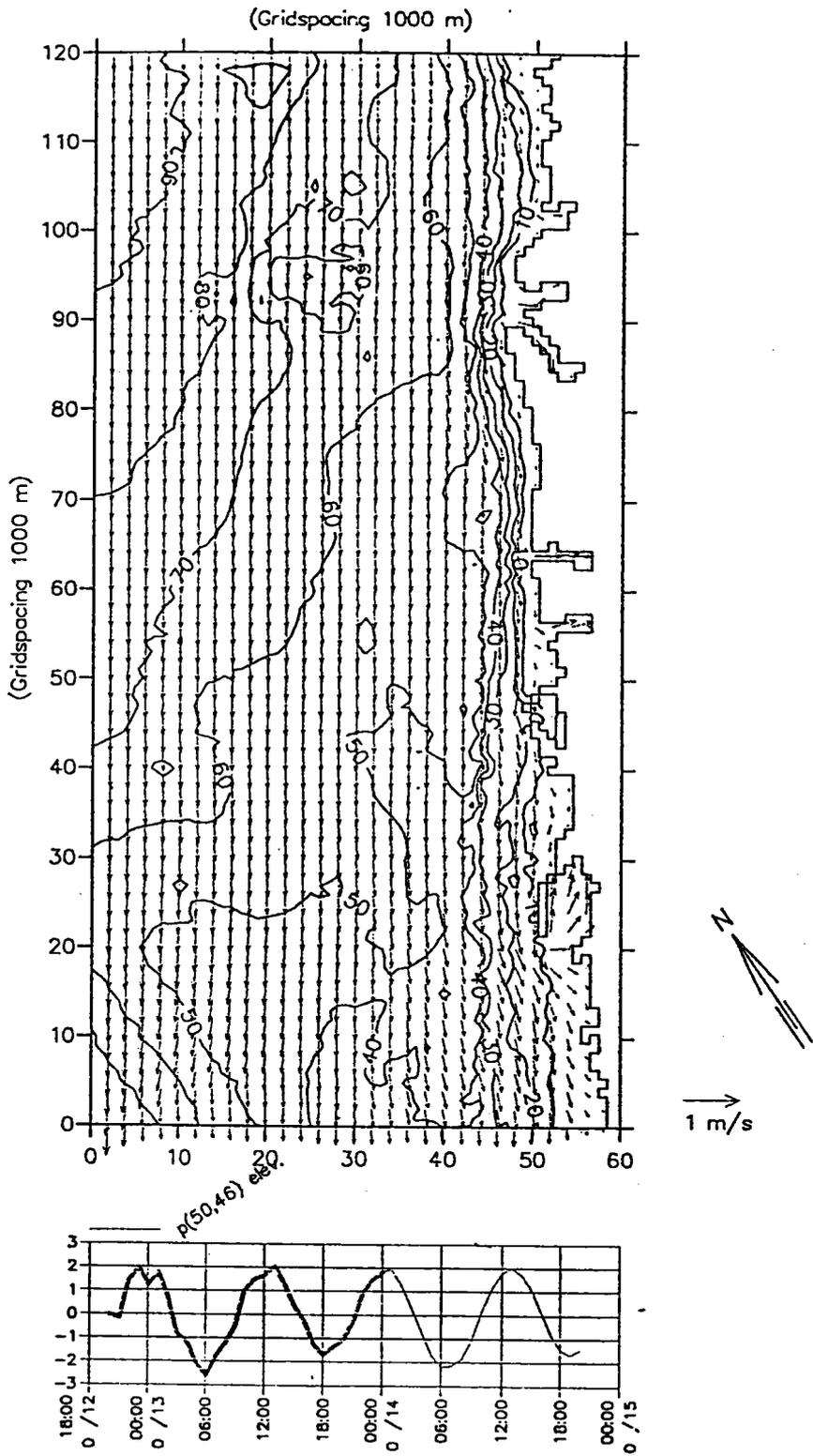


圖4-14a夏季台中港大域網格海流分佈(高潮)

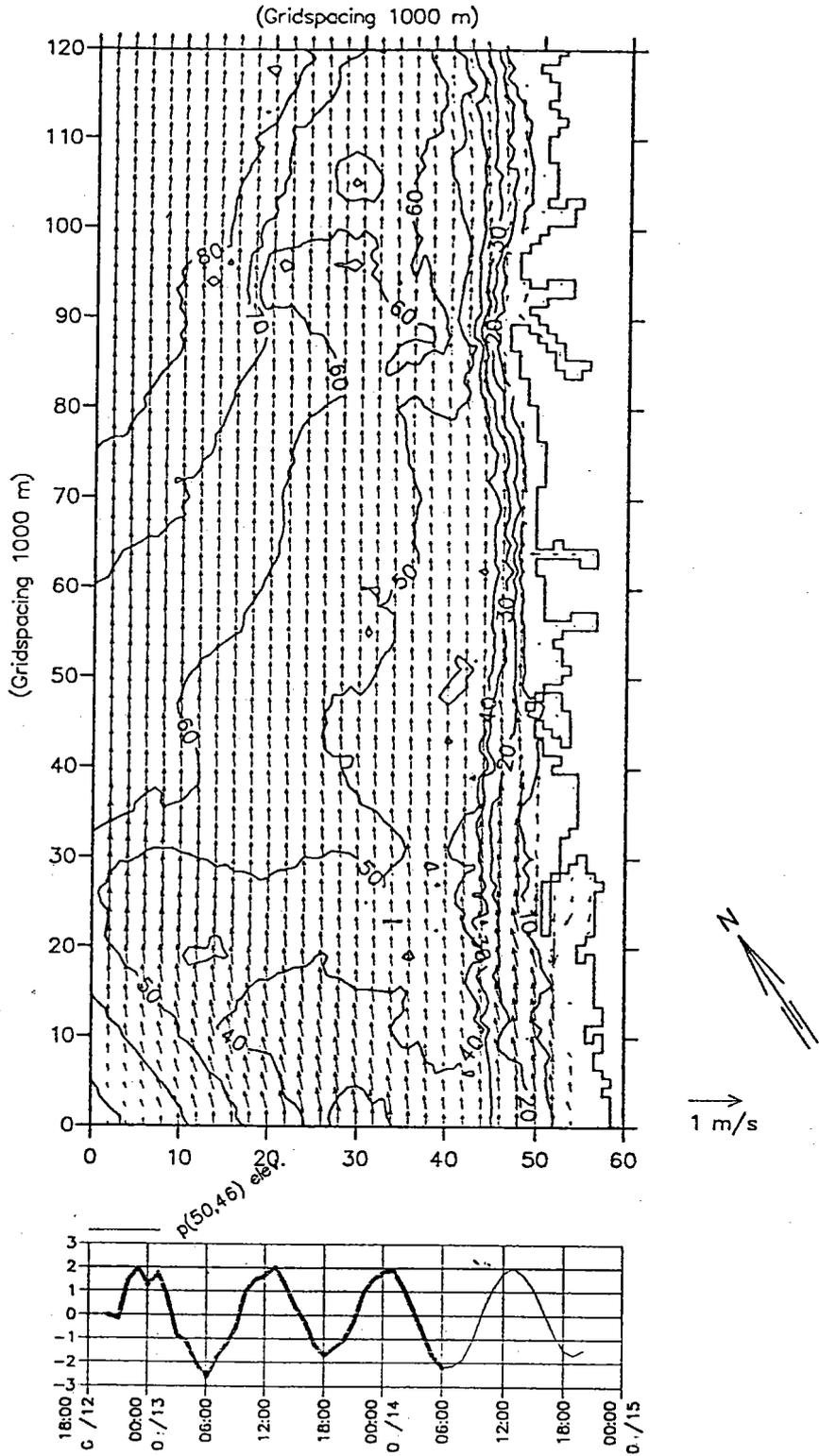


圖4-14b夏季台中港大域網格海流分佈(低潮)

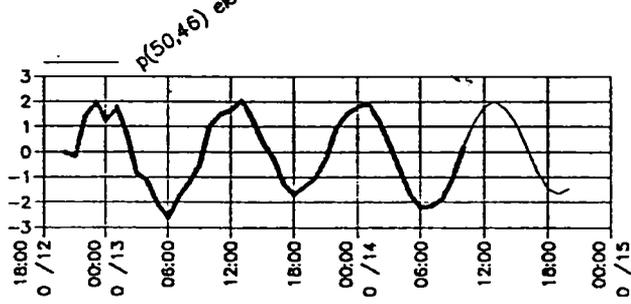
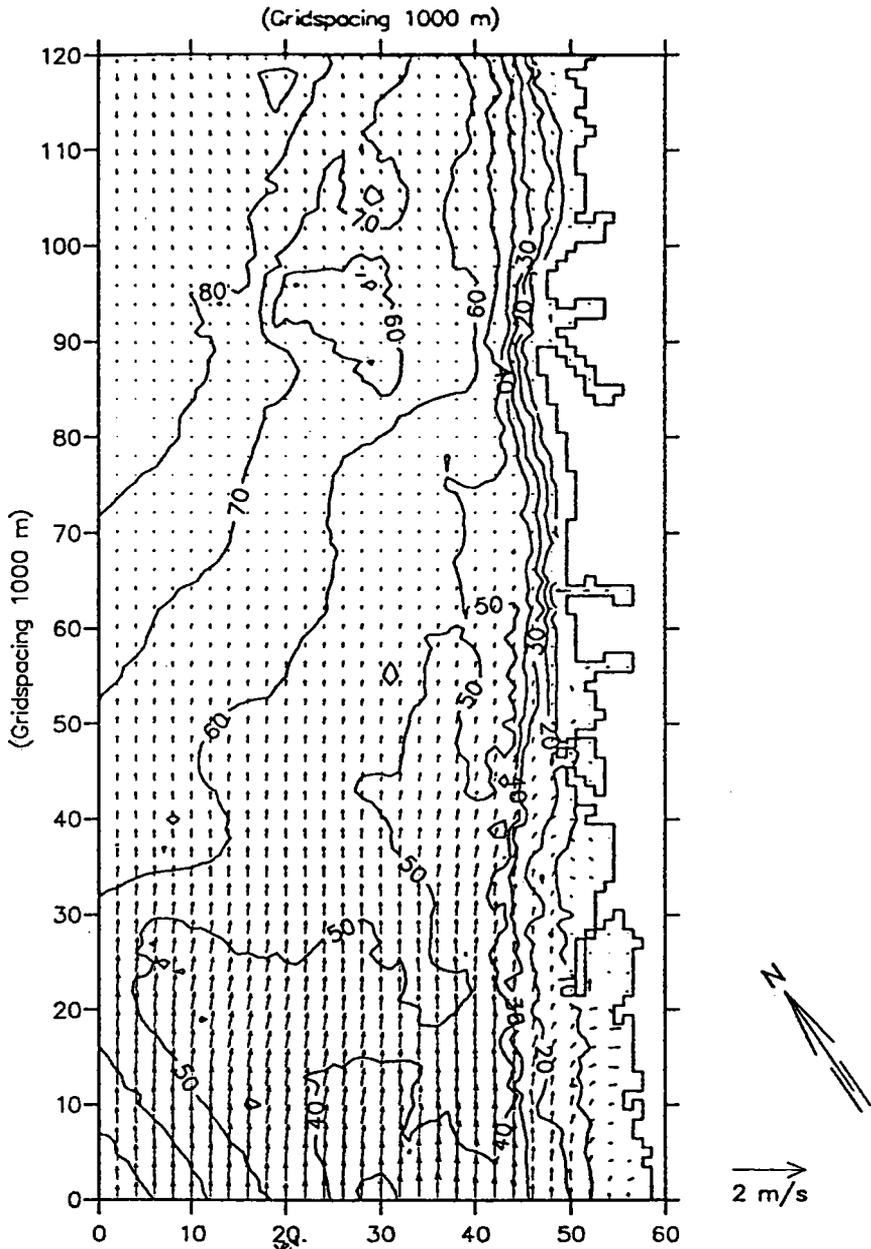


圖4-14c 夏季台中港大域網格海流分佈(漲潮)

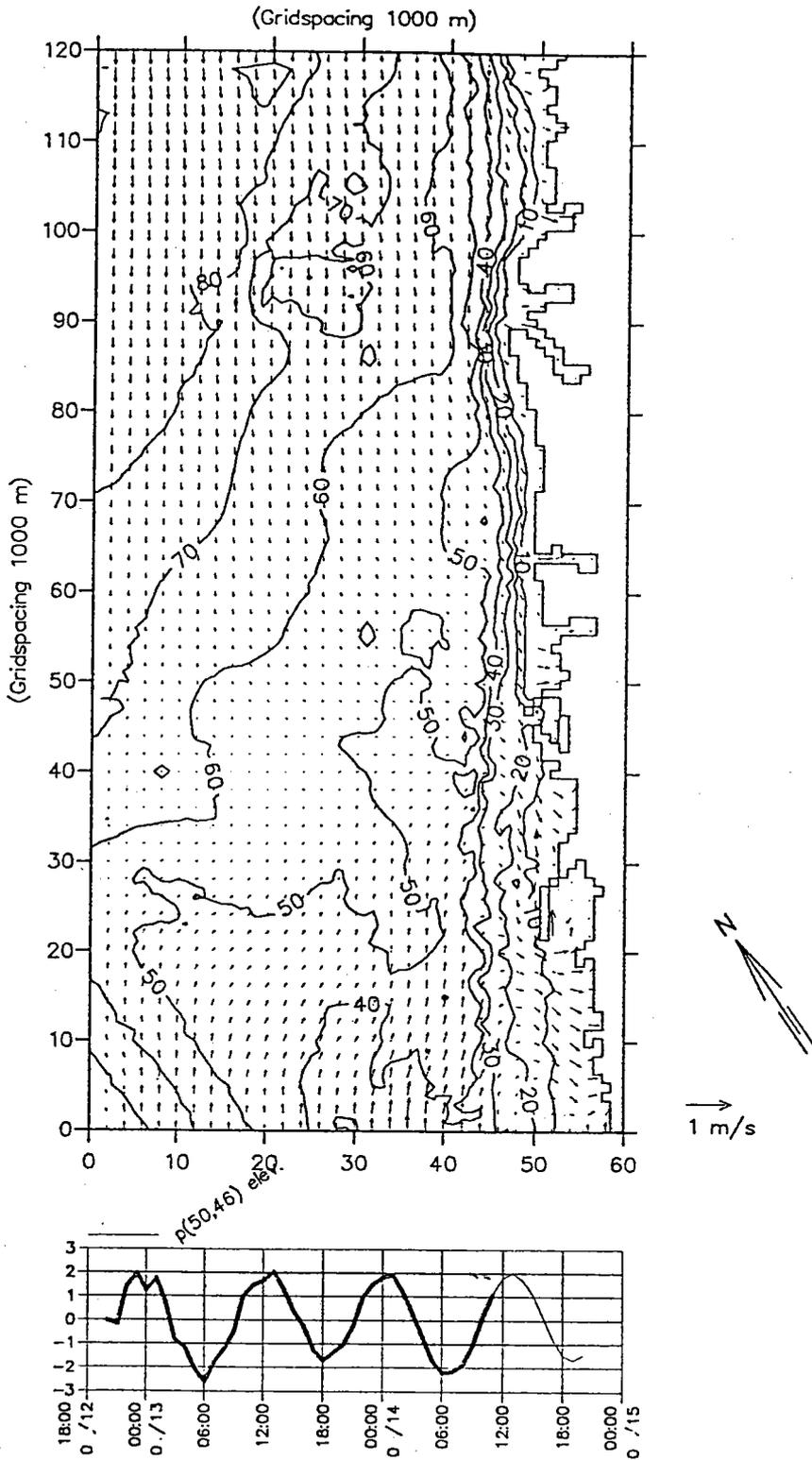


圖4-14d夏季台中港大域網格海流分佈(漲潮)

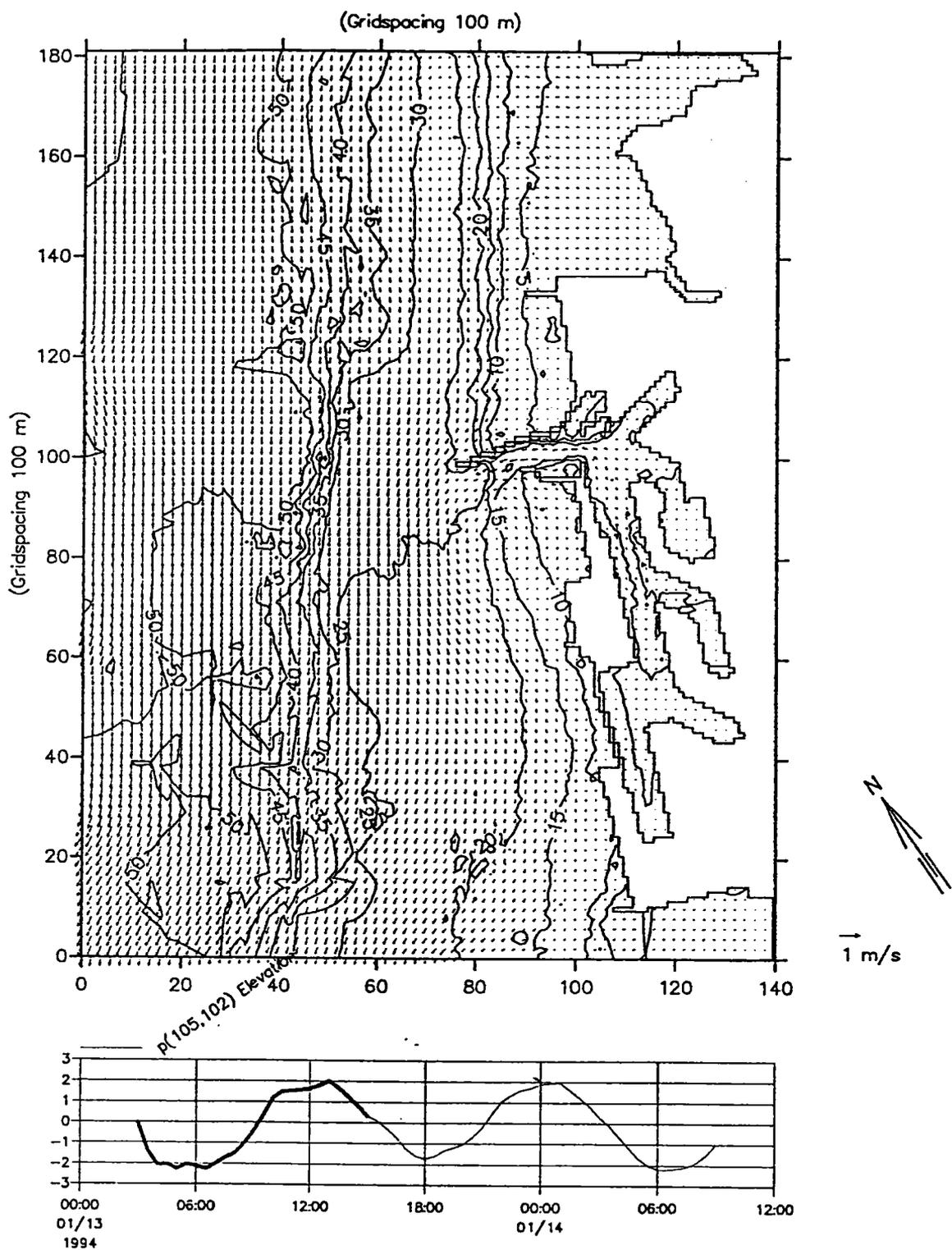


圖 4-15a 冬季台中港小域網格海流分佈(1994/01/13 15:00)

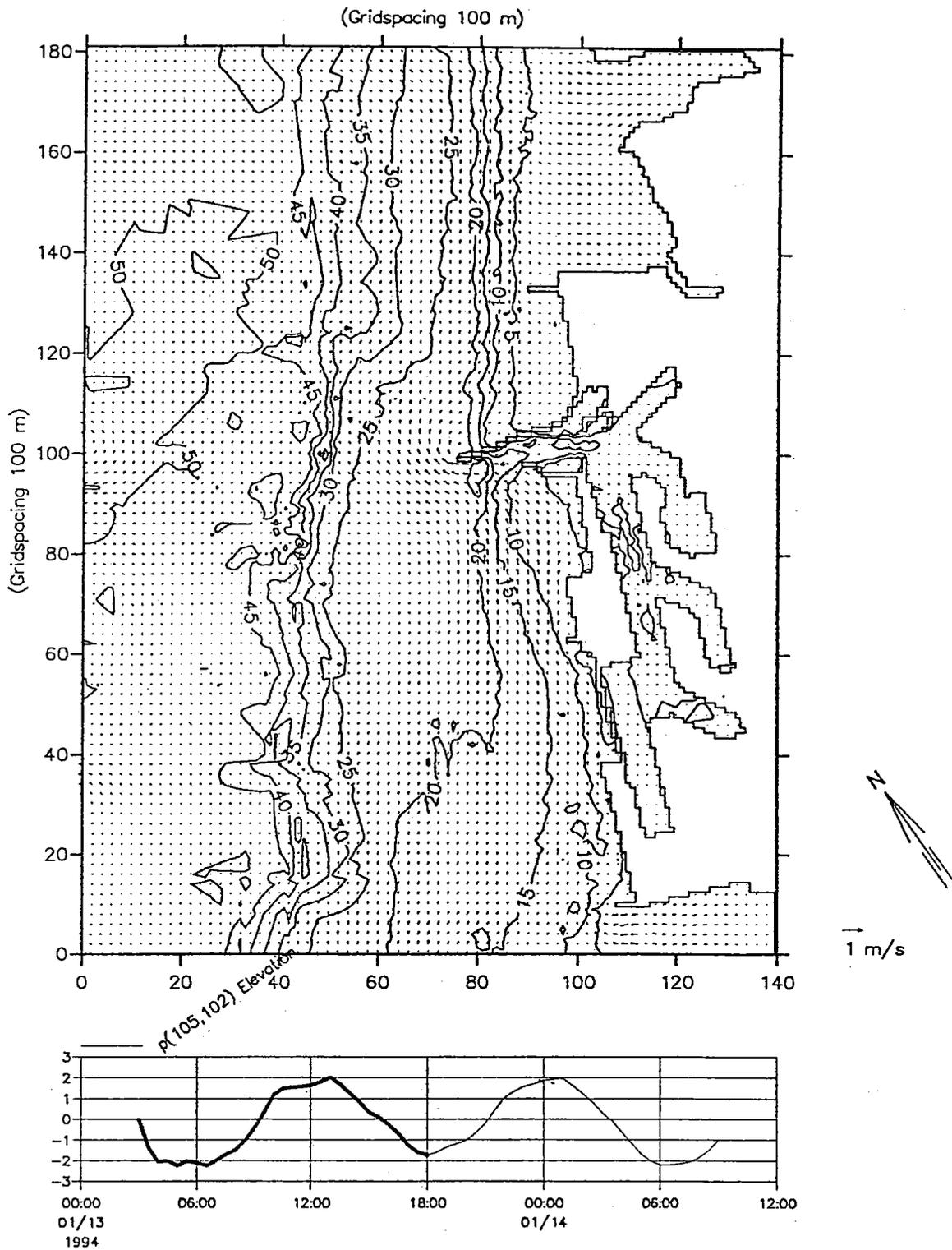


圖 4-15b 冬季台中港小域網格海流分佈(1994/01/13 18:00)

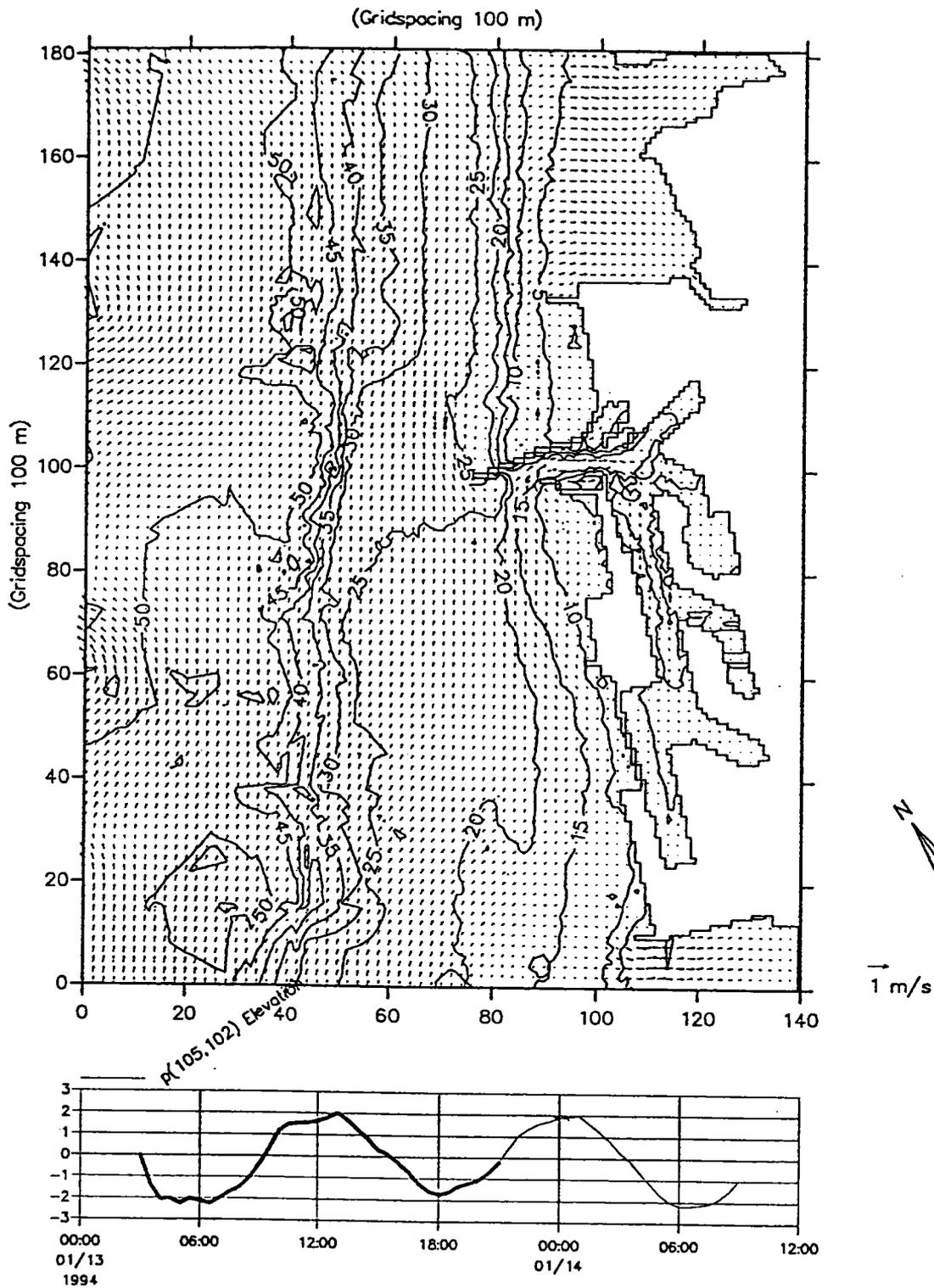


圖4-15c 冬季台中港小域網格海流分佈(1994/01/13 21:00)

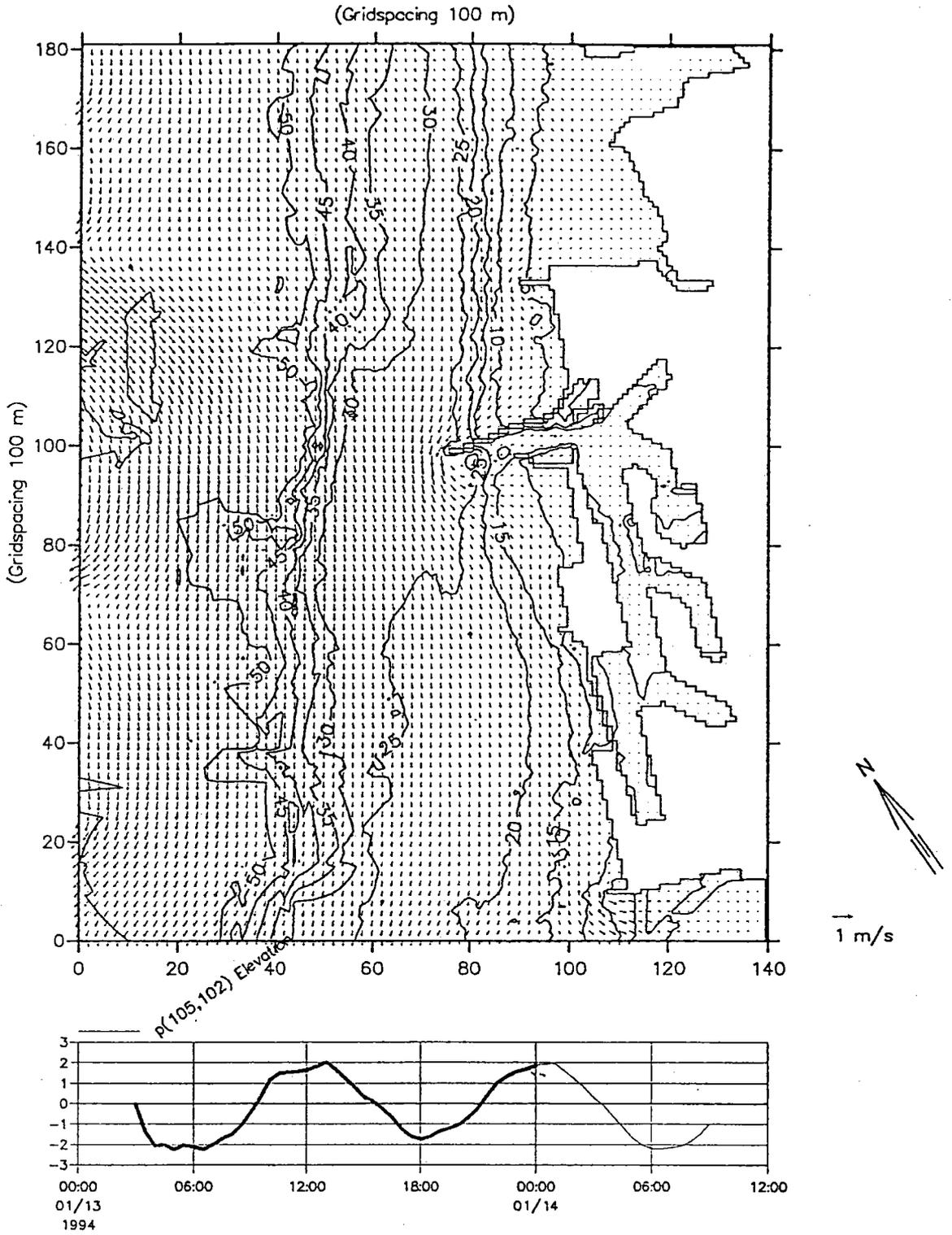


圖 4-15d 冬季台中港小域網格海流分佈(1994/01/14 00:00)

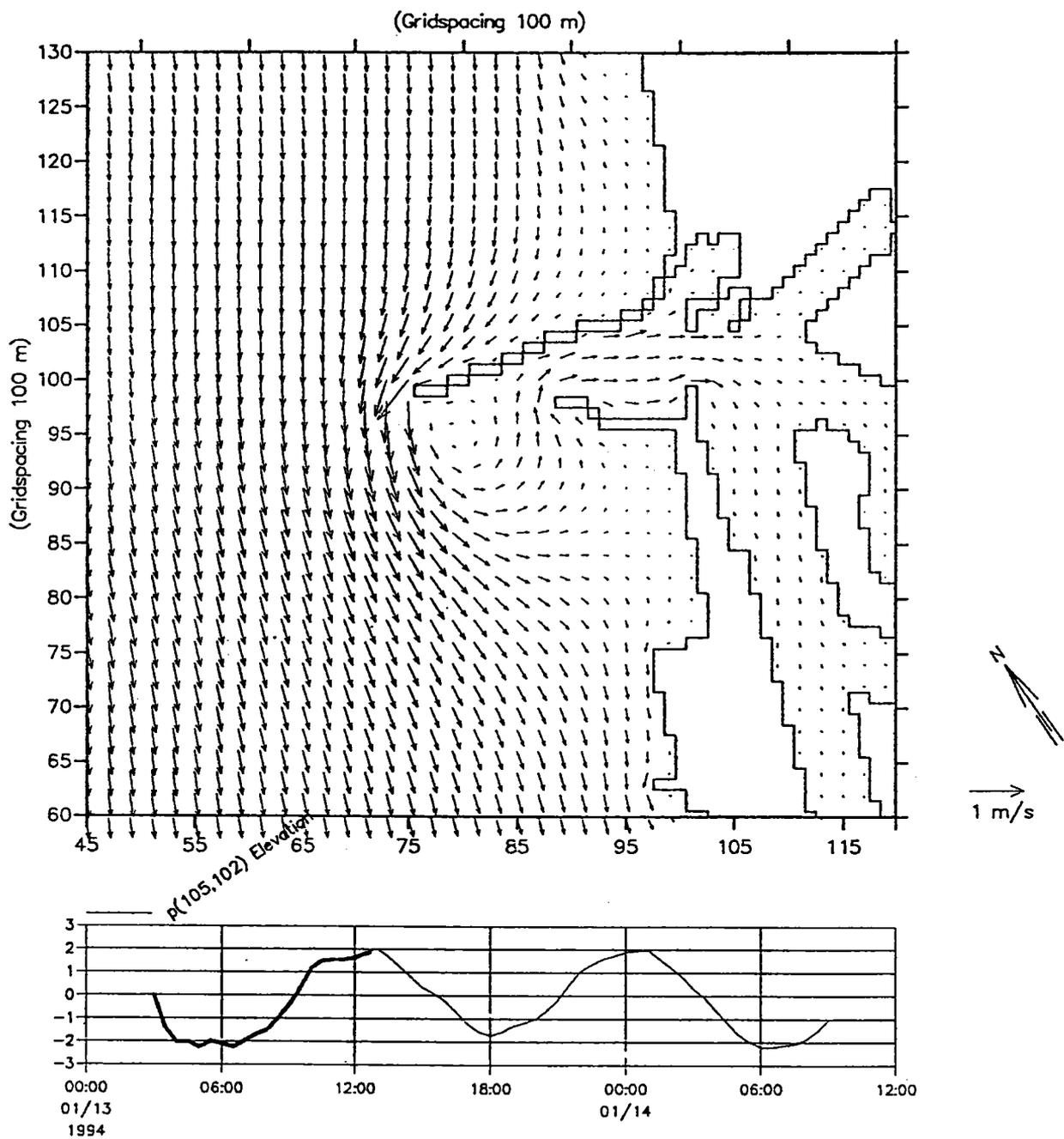


圖 4-16a 冬季台中港小域網格港口區海流分佈(1994/01/13 13:00)

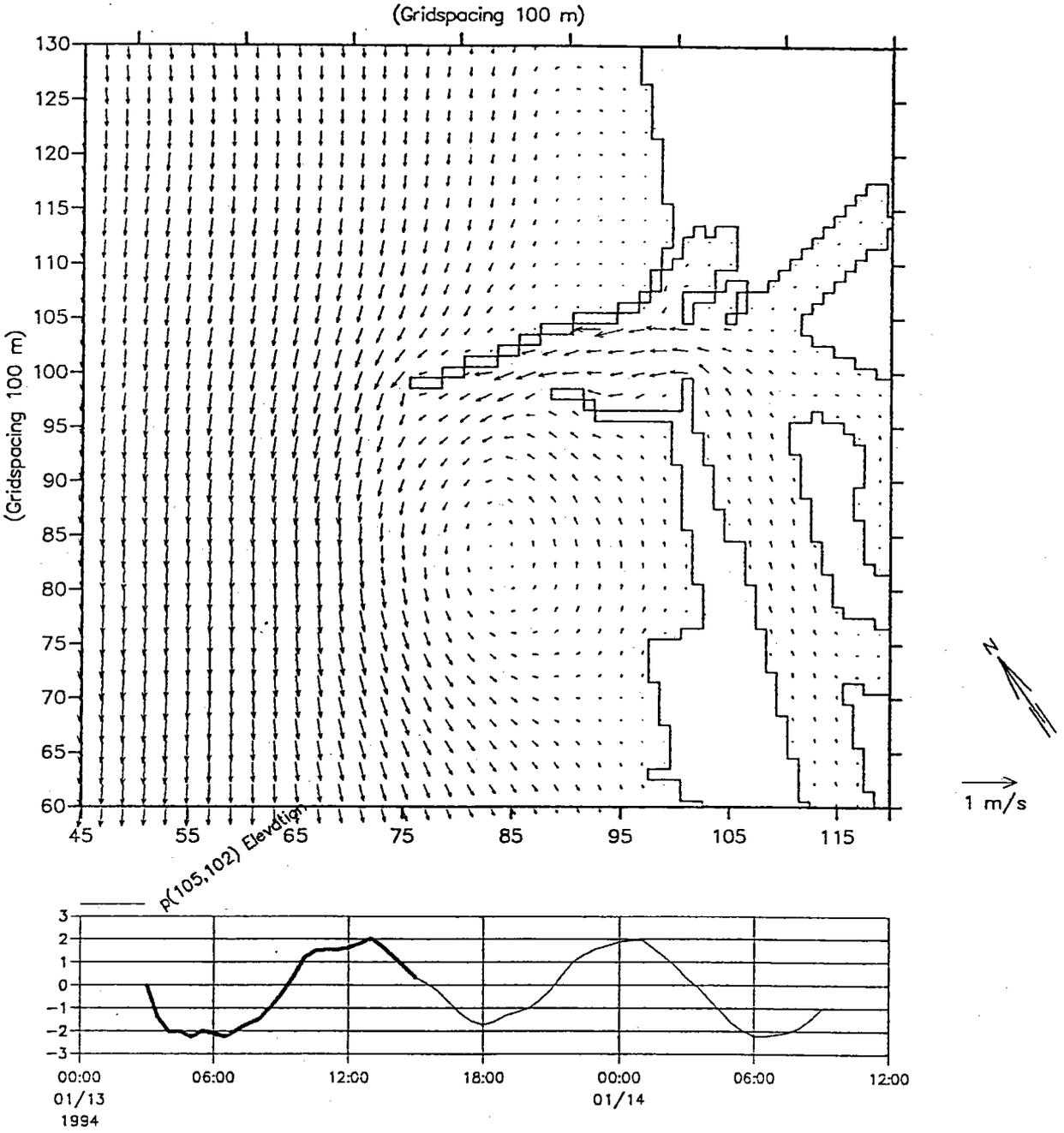


圖 4-16b 冬季台中港小域網格港口區海流分佈(1994/01/13 15:00)

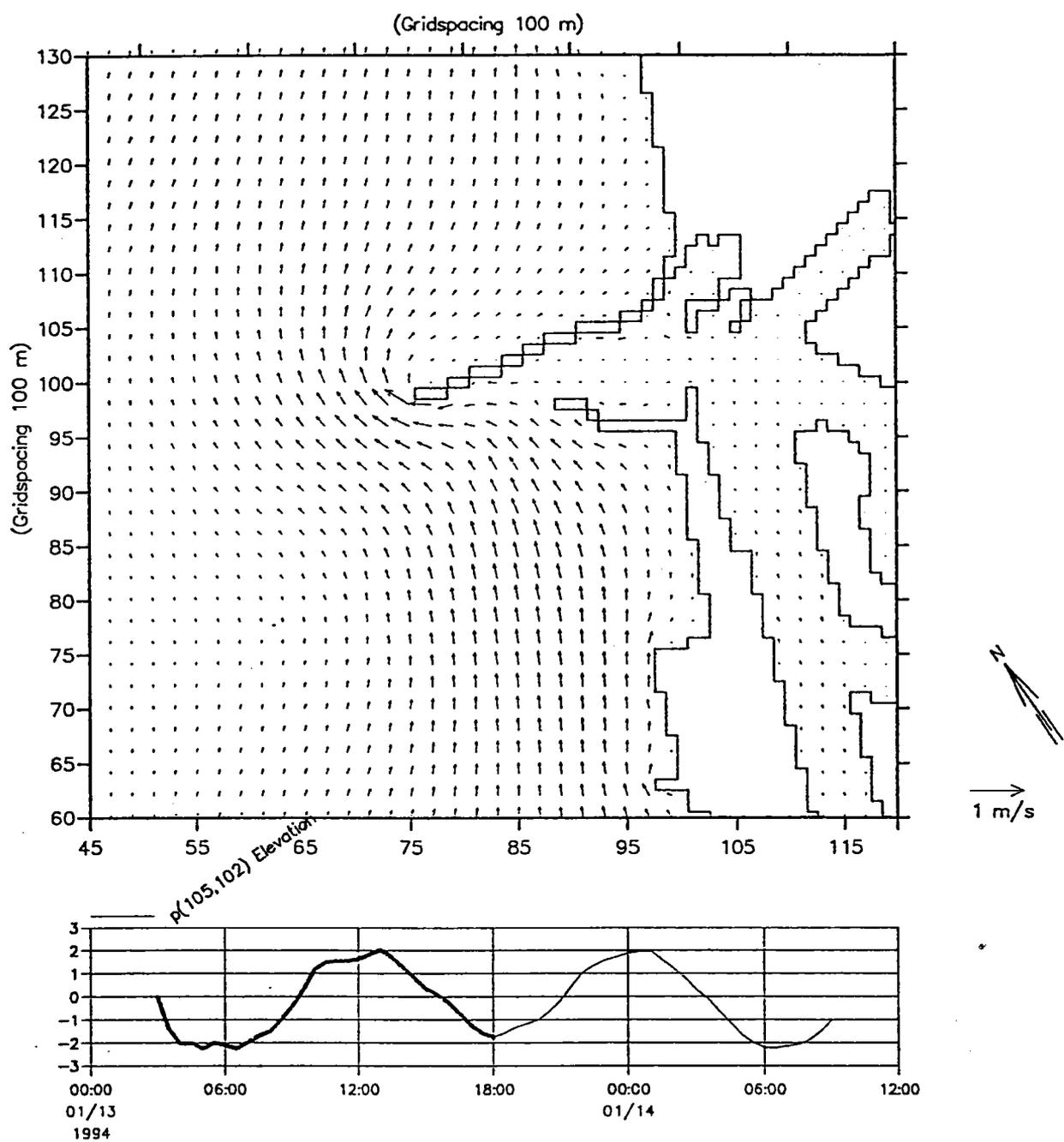


圖 4-16c 冬季台中港小域網格港口區海流分佈(1994/01/13 18:00)

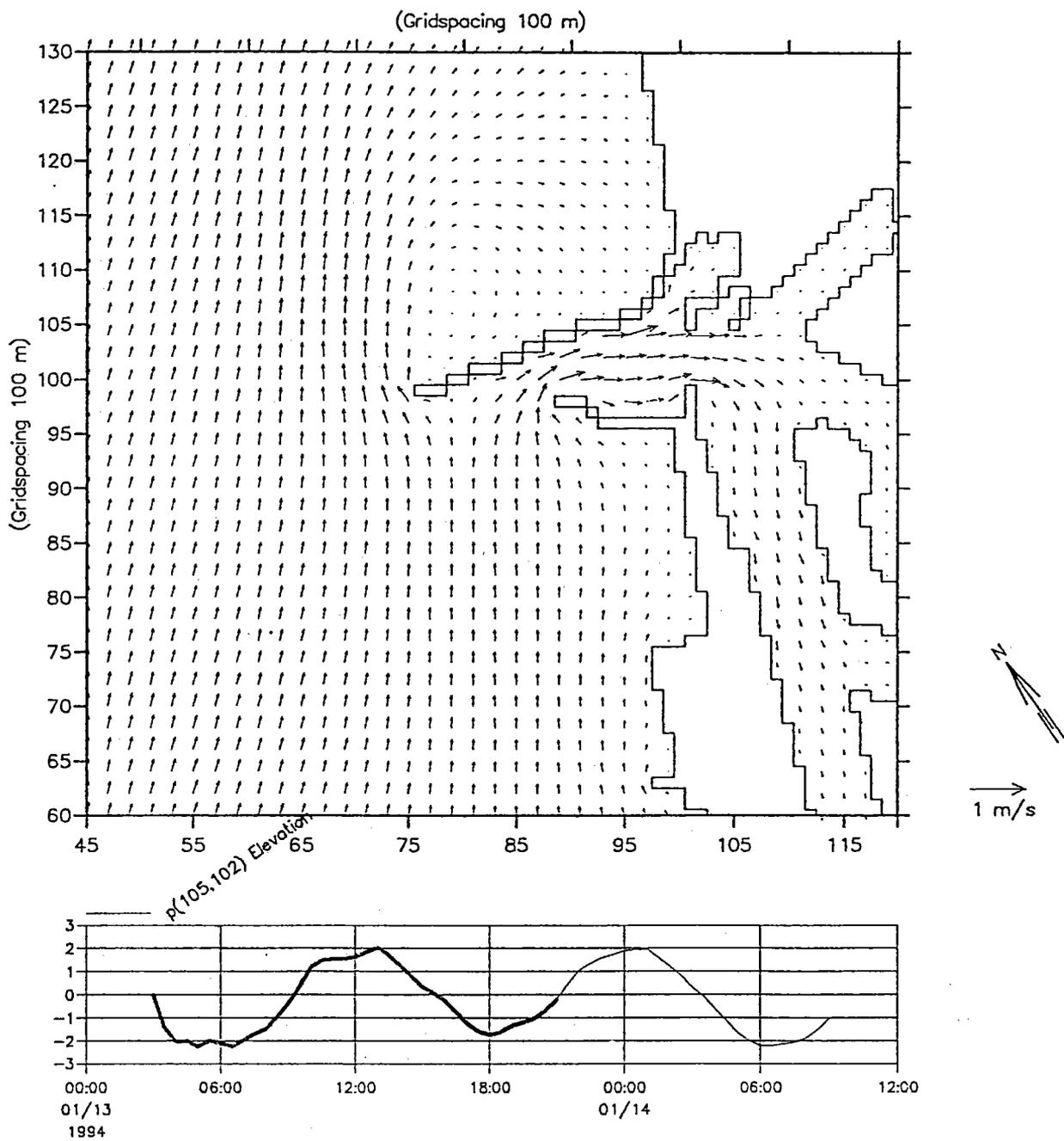


圖 4-16d 冬季台中港小域網格港口區海流分佈(1994/01/13 21:00)

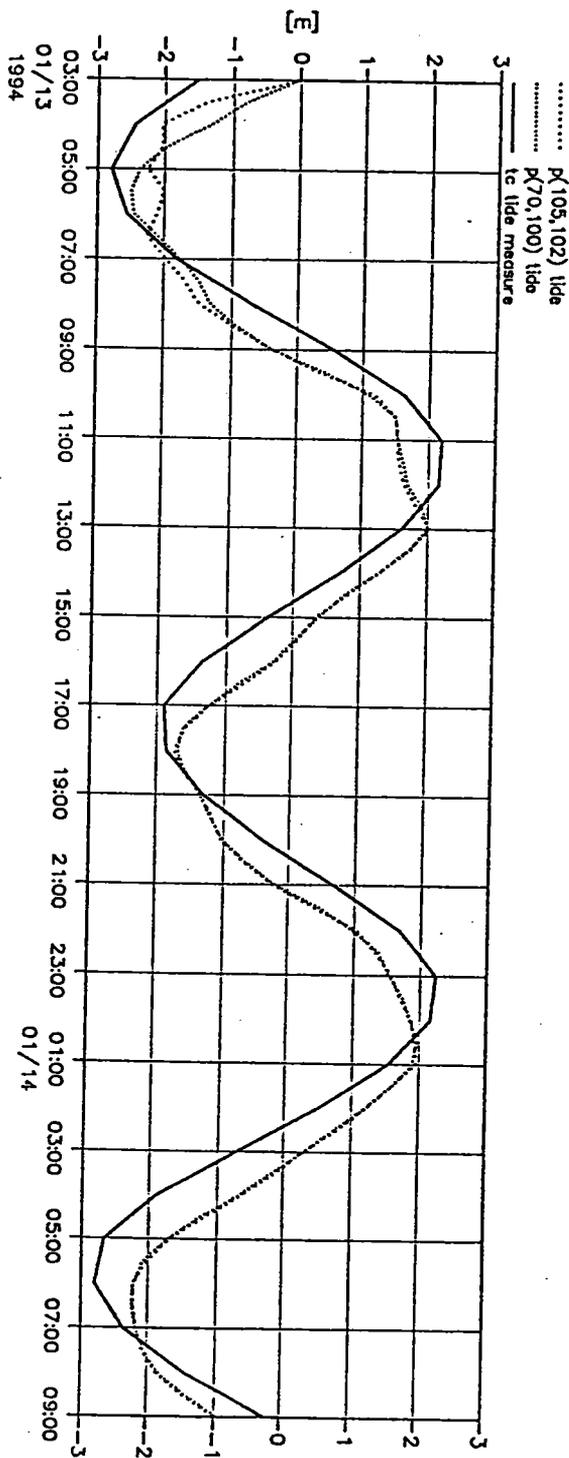


圖4-17 台中港小域網格實測及計算水位驗證

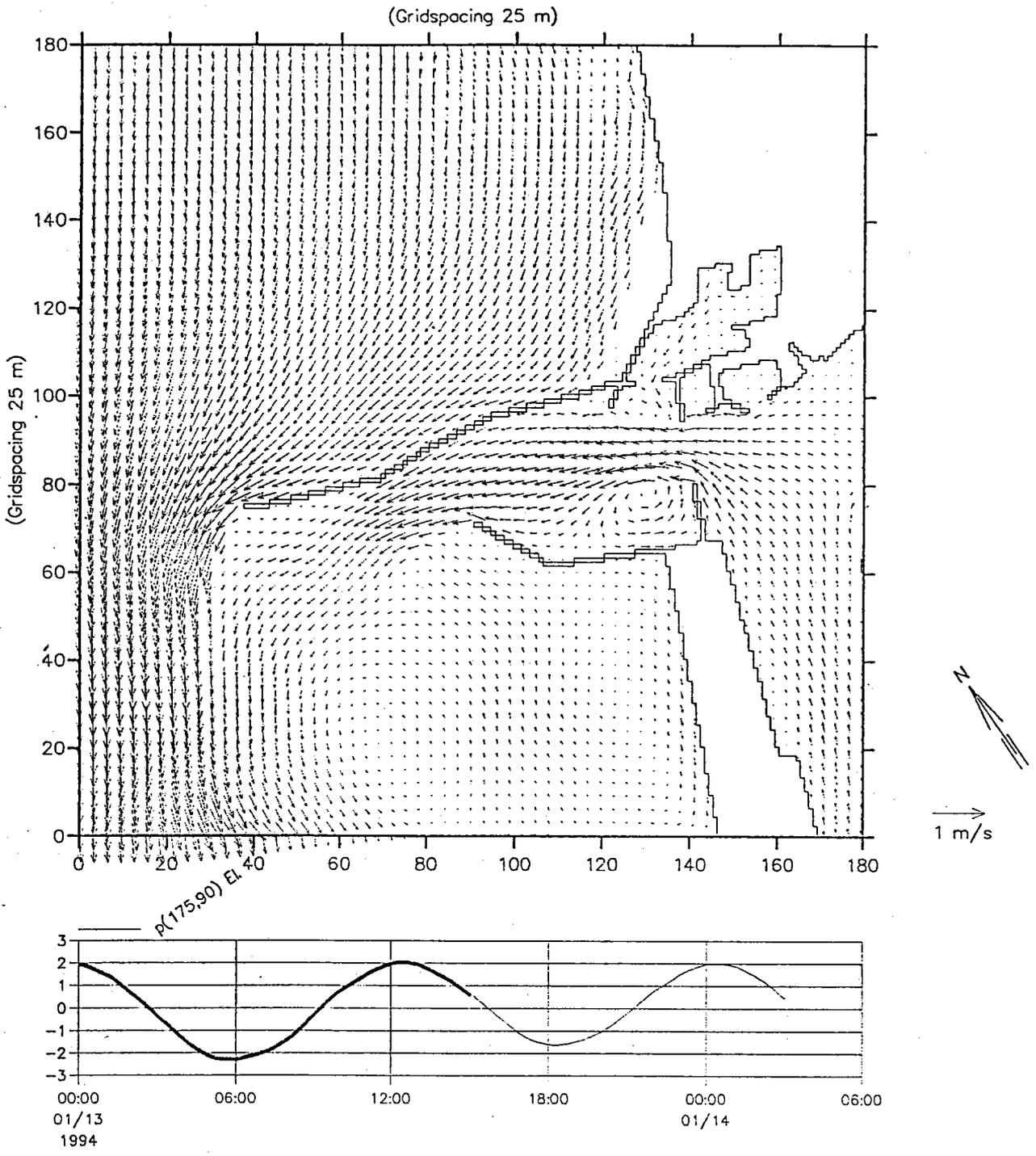


圖 4-18a 冬季台中港局部網格海流分佈(1994/01/13 15:00)

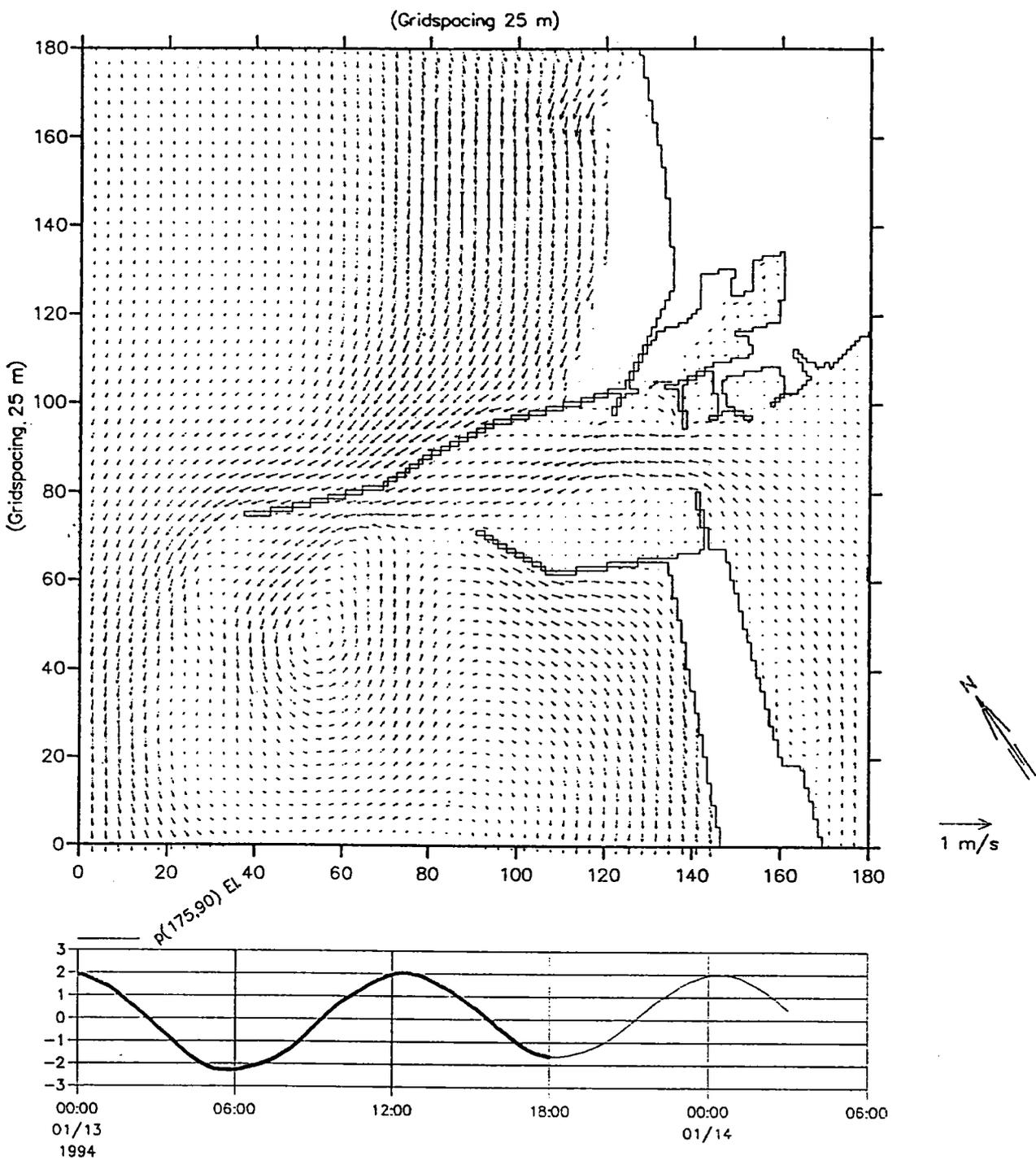


圖4-18b 冬季台中港局部網格海流分佈(1994/01/13 18:00)

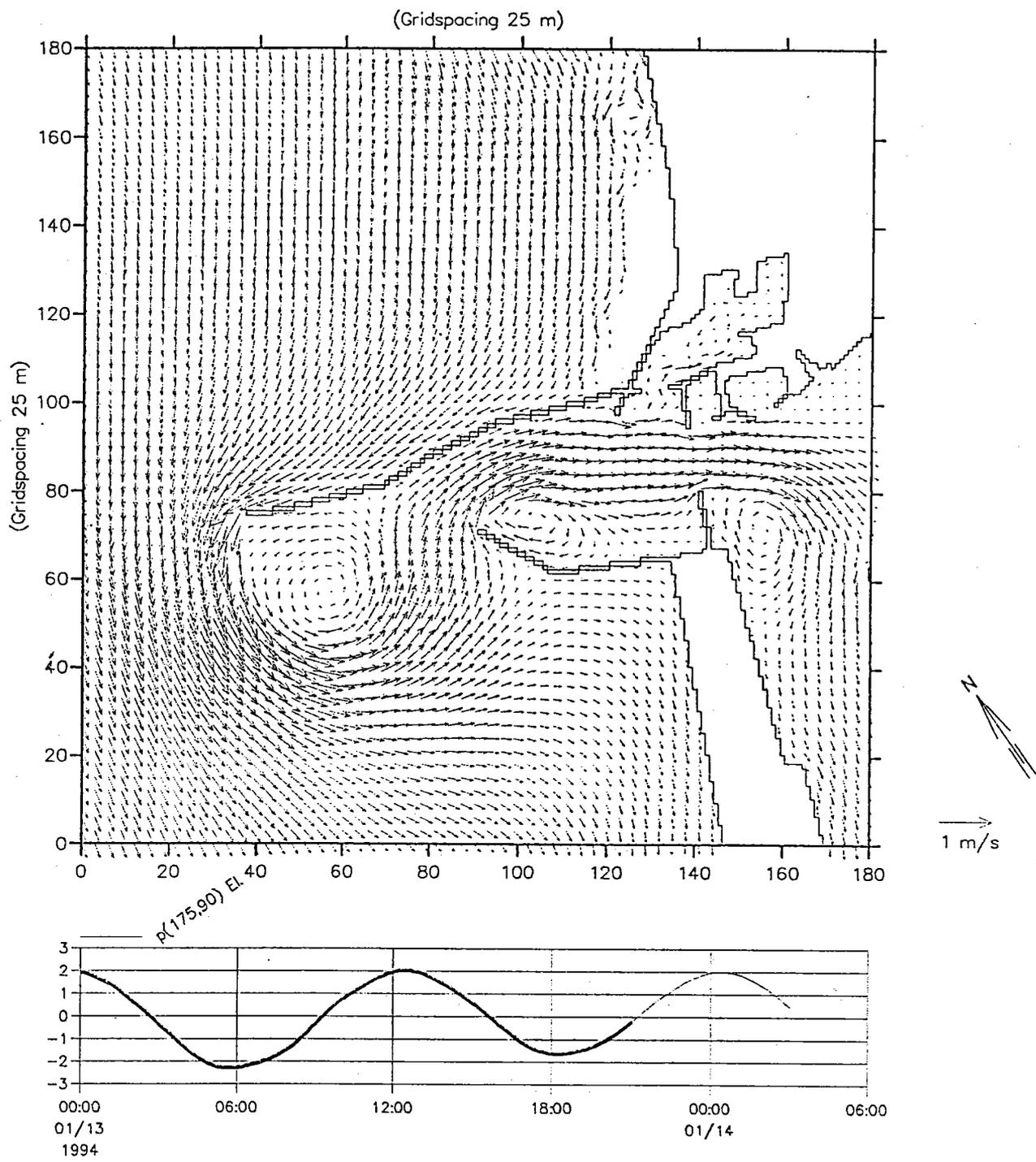


圖4-18c 冬季台中港局部網格海流分佈(1994/01/13 21:00)

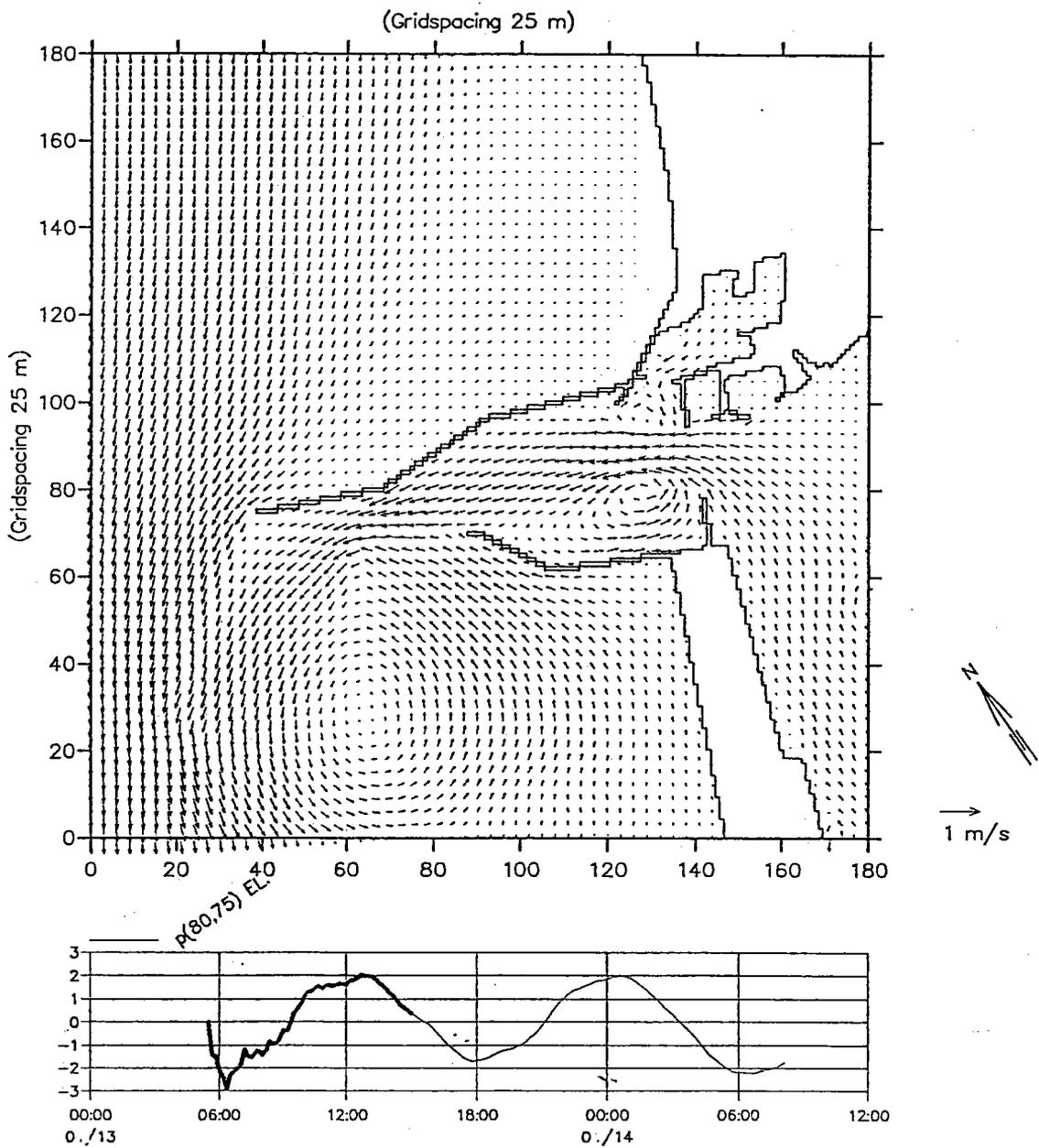


圖4-19a夏季台中港局部網格海流分佈(退潮)

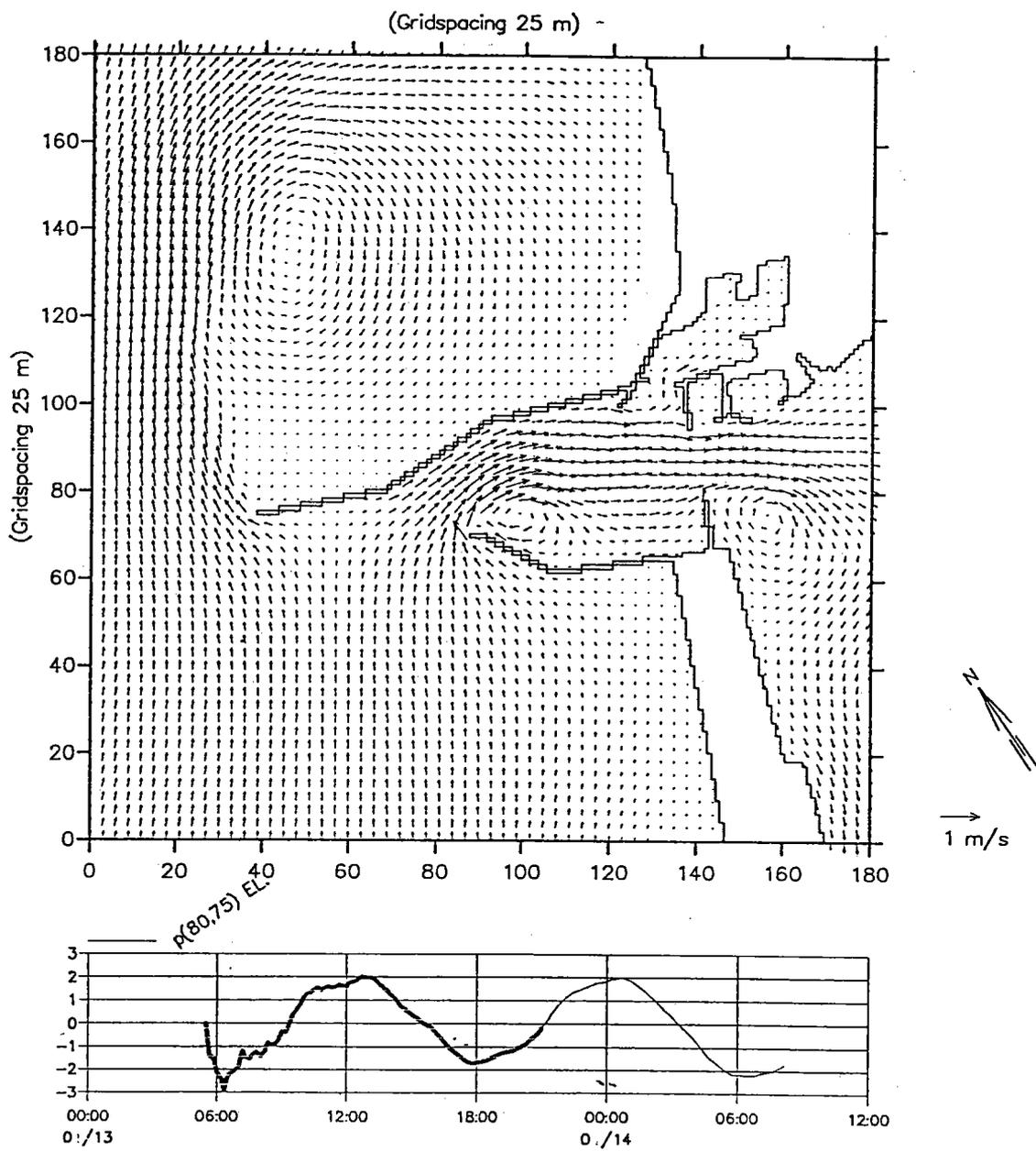


圖 4-19c 夏季台中港局部網格海流分佈(漲潮)

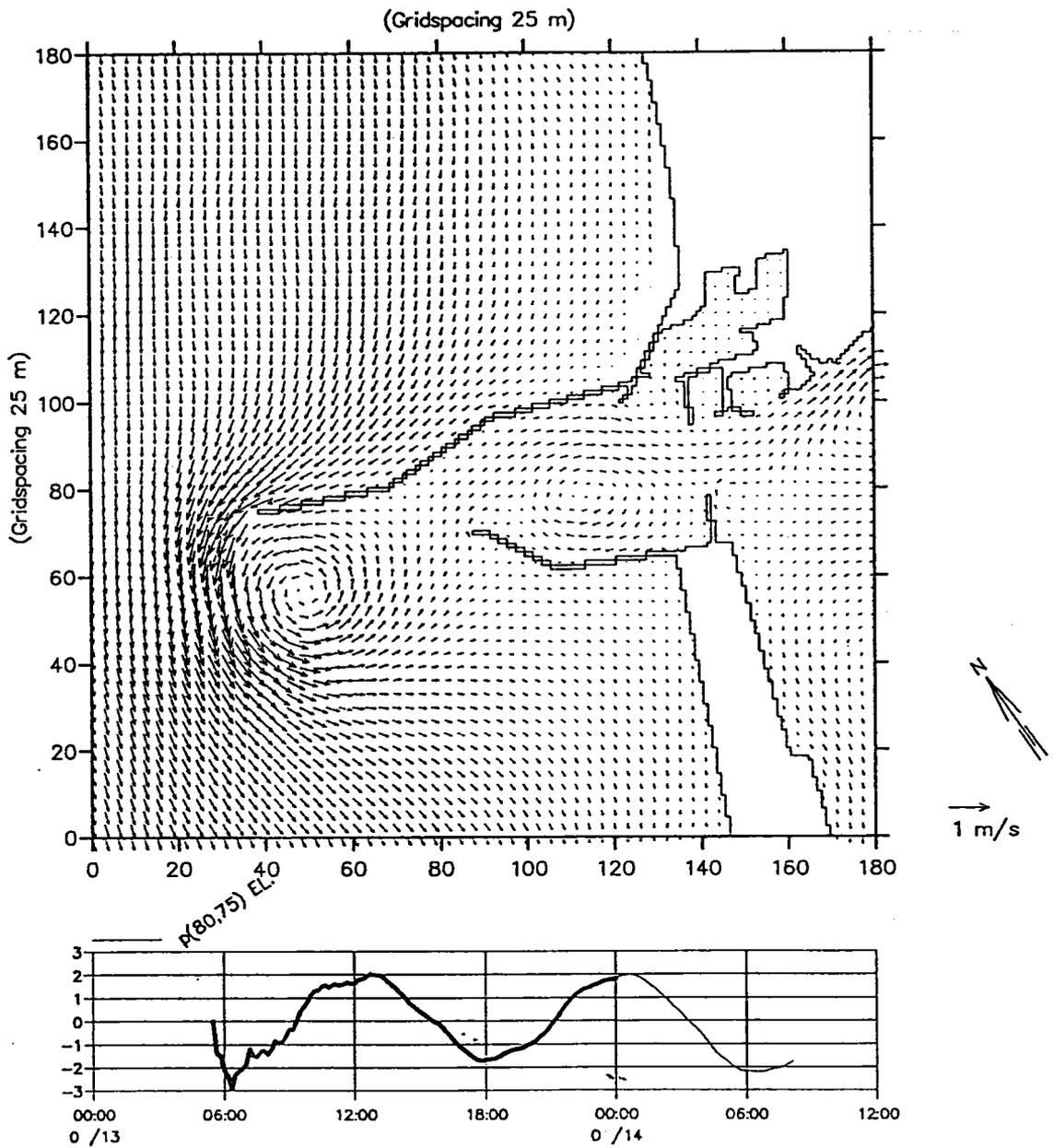


圖 4-19d 夏季台中港局部網格海流分佈(高潮)

表4-1芳苑潮汐觀測站潮位分潮振幅、遲角統計
 (資料來源：中興工程顧問社—民國84年)

測 站	芳苑	三條崙	塭港	將軍	澎湖
分 潮	振幅(cm)	振幅(cm)	振幅(cm)	振幅(cm)	振幅(cm)
	相位角(°)	相位角(°)	相位角(°)	相位角(°)	相位角(°)
O_1	20.2	21.7	19.3	16.0	22.0
	242.1	239.4	242.8	247.2	239.3
K_1	23.4	22.9	20.6	16.4	24.9
	279.8	281.9	284.3	290.3	280.2
M_2	137.6	91.0	60.3	32.4	80.8
	335.6	323.1	313.8	312.6	326.6
S_2	36.6	28.7	14.7	9.0	21.1
	50.8	43.3	27.0	11.3	43.8

表4-2台中港各分潮振幅、遲角統計表

(註：平均水位2.70m)

分潮 編號	分潮 名稱	振幅 (米)	遲角 (度)	分潮 編號	分潮 名稱	振幅 (米)	遲角 (度)
1	H_m	0.032	103.36	21	MO_3	0.006	311.63
2	M_{sr}	0.026	40.597	22	M_3	0.000	155.17
3	$2Q_3$	0.008	-156.89	23	SO_3	0.007	248.10
4	ρ_3	0.027	304.88	24	MK_3	0.011	342.93
5	O_3	0.196	251.51	25	SK_3	0.003	332.20
6	M_3	0.021	269.83	26	MN_4	0.006	250.56
7	P_3	0.074	269.31	27	M_4	0.016	314.07
8	K_3	0.240	279.00	28	SN_4	0.002	23.58
9	θ_3	0.009	34.25	29	MS_4	0.008	325.08
10	SO_3	0.003	95.56	30	MK_4	0.004	99.72
11	OQ_2	0.010	13.05	31	S_4	0.001	1.51
12	MNS_2	0.032	133.90	32	SK_4	0.003	121.31
13	$2N_2$	0.030	13.58	33	$2MN_6$	0.008	213.75
14	N_2	0.388	329.38	34	M_6	0.007	276.46
15	M_2	1.767	0.22	35	MSN_6	0.003	196.71
16	L_2	0.158	50.75	36	$2MS_6$	0.006	291.99
17	S_2	0.515	35.38	37	$2MK_6$	0.003	108.03
18	K_2	0.117	44.45	38	$2SM_6$	0.002	307.96
19	MSN_2	0.018	259.81	39	MSK_6	0.002	201.16
20	$2SM_2$	0.033	262.32				

表4-3新竹漁港前25個分潮之調和常數表
(資料來源：台灣省漁業局—民國77年)

新 竹 漁 港			
No.	分 潮 名 稱	振 幅 (m)	相 角 (°)
1	S_1	0.1818	135.369
2	S_{21}	0.0691	205.405
3	M_{21}	0.0092	- 193.812
4	M_{22}	0.0240	- 301.892
5	M_2	0.0144	149.694
6	Q_1	0.0276	306.978
7	ρ_1	0.0155	87.625
8	O_1	0.1703	- 49.384
9	M_1	0.0143	68.372
10	P_1	0.0529	- 145.515
11	K_1	0.1990	120.619
12	ϕ_1	0.0163	358.799
13	O_2	0.0210	113.079
14	J_1	0.0239	85.653
15	SO_1	0.0143	134.288
16	$2N_2$	0.0799	272.588
17	N_2	0.1713	187.102
18	OP_2	0.2300	167.314
19	M_2	1.2443	229.429
20	MKS_2	0.0486	291.287
21	λ_2	0.1489	- 8.947
22	S_2	0.4982	- 82.323
23	K_2	0.0585	34.488
24	M_3	0.0154	50.922
25	MS_3	0.0086	76.390

台中港港池水理調查研究

計畫主持人：曾哲茂副研究員

共同主持人：周憲德 博士
朱佳仁 博士

參與人員： 林柏青
紀丁元、 林建章
董世傑、 鄭瑞元
詹國華、 李坤樹

台中港港池水理調查研究

目 錄

摘要	-----	1
第一章 計畫背景與目的	-----	2
1-1 台中港港池現場調查	-----	2
1-2 台中港港池數值模擬	-----	3
第二章 港池延散係數推估	-----	4
2-1 延散係數之文獻回顧	-----	5
2-2 台中港港池延散係數之推估	-----	7
第三章 現場調查項目與內容	-----	9
3-1 流速剖面	-----	9
3-2 浮標追蹤	-----	10
3-3 染料釋放	-----	10
3-4 潮汐遲角觀測	-----	10
第四章 理論依據及資料分析	-----	11
4-1 理論依據	-----	11
4-2 資料分析與討論	-----	13
第五章 結論及建議	-----	16
第六章 參考文獻	-----	18
附圖	-----	19~51

台中港港池水理調查研究

摘 要

台中港由於港池形狀特殊（成狹長形，長約七、八公里而寬僅半公里左右）且其主航渠為NNE走向，與冬季東北季風之主要方向（85%發生機率）相同，尤其瞬間風速可達每秒一、二十公尺以上，此時風驅流的影響已不容忽視。加以台中港地處台灣海峽中部，為一受限海域其平均潮差在4.6公尺以上，由潮汐漲落所引致的港域環流（Circulation current）對污染物的沖洗（Flushing out）有很大的影響。台中港域自民國65年營運後，因接受附近梧棲、沙鹿排入污水，嚴重污染港池水質。為能有效管理和改善港域水質，瞭解港池內之水理特性和擴散情形實為首要工作。本研究以現場調查方法對台中港港域的流場情況和擴散特性進行研究。現場調查內容含港域流場量測、水平延散係數、風速、港池內潮差、水鹽度及溫度等水理特性，以對港域內流況和擴散特性做全域的瞭解。現場調查之結果並可用為數值模式之驗證，及工程規劃之參考。

壹、計劃背景及目的：

台中港位於台灣省西海岸中部，自開港營運以來，對疏解北部基隆港與南部高雄港之容量負荷及平衡北、中、南地區發展有很大貢獻。然台中港上游特定區包括清水、沙鹿、梧棲、龍井四鄉鎮由於開發進展緩慢致污水處理系統未能適時建立，使特定區之家庭污水與工業廢水直接排入港池產生嚴重污染，除影響近海生態環境外亦引發漁民陳情索賠案件屢見不鮮。又因港池內如南泊渠、重件橋等多處死角與港外海水交換率不高，擴散能力亦較差，水質皆屬乙~丙類水質〔見行政院環保署台中港港灣污染整治規劃，1992〕，污染情形十分嚴重。台中火力電廠奉准設立於航道南端的工業港區後，又因航道需求將外廓海堤合攏，使得進入南端港池之污水無法再直接擴散稀釋至大海，致工業港池之污染日形嚴重並隨南堤路之打通而波及商港區之港域水質。

為能有效管理和改善港域水質，必須先瞭解港灣的水理特性和污染物傳輸狀況，而台中港因特殊的地理環境，位於台灣海峽中央，大甲溪和大渡溪之間，潮差大且東北季風強烈，港池航道方面又與風向大略一致，港池內水理特性及擴散情形受潮汐和風力之影響頗大。前人研究此問題多採取現場調查及數值模擬兩種方法，相關文獻說明如下：

1-1 台中港港池現場調查：

國內對於台中港港域水質已有多次的現場調查〔見行政院環保署台中港港灣污染整治規劃，1992〕，這些現場調查多著重於污染物濃度作點的量測，量測項目包括溶氧量（Dissolved Oxygen）、生化耗氧量（B. O. D.）、懸浮顆粒（Suspended Solid）濃度及酸鹼值（pH）等水質參數。但對港域之水理特性，如潮汐所引致之環流（Tide-induced Residual Circulation Current）、風驅流（Wind-induced Drift Current）和港外海水交換率（Exchange）等參數因量測困難並未有一全盤性之調查研究，因而港域的污染物擴散（Diffusion）情形無法做深入的瞭解。

1-2 台中港港池數值模擬：

代表港域內的流場特性和污染物分佈狀況亦可以數值模式模擬計算，所依據方程式為連續方程式、動量方程式(一維或二維)、密度傳輸方程式和擴散方程式。

對於台中港港池內污染物傳輸的模擬曾有Hwang (1985) 提出二維數值模式來計算流況和污染物傳輸，但其模式因當時南堤路尚未打通，僅模擬港口至商港區，並未考慮工業港區開放和台中火力發電廠抽取港池內海水對港池內流況和擴散的影響。且黃之模式假設正弦潮位與實際潮位變化不同且未與任何實測數據比較，固無法得知其模式的正確性。張仁德(1994)亦曾以二維有限元素之數值模式來計算流況和污染物傳輸，然其擴散係數假定為 $45\text{m}^2/\text{s}$ ，並未經現場驗證；港內潮流之分佈仍須實測值加以証實。

中興工程顧問社曾於1991使用丹麥水利研究所(Danish Hydraulic Institute)所發展之數值模式MIKE II 計算港域中B. O. D. 與D. O. 之分佈，但MIKE II 為一維模式，其模擬結果與現場調查結果相差甚大(台中港港灣污染整治規劃期末報告, 1991)。

本研究採用現場量測方式對港域流況和污染物擴散情形進行研究。研究內容含量測港域流場、紊流擴散係數、風速、港池內潮差、水鹽度及溫度等水理特性，以對港域內流況和擴散特性做全域的瞭解。實測所得之結果可用以驗證日後之數值模式。期能對台中港港域流況和污染物擴散情形有更深入之瞭解，以對港域水質作更有效之管理。

貳、港池延散係數之推估

港域內之延散係數是港池水質稀釋能力最重要的參數。延散係數之值大表示港池水質稀釋能力強，反之亦然。而延散係數為港域內的流場特性來決定，並非一定值。港域內的流場特性和污染物分佈狀況係依據二維之連續方程式(Continuity Equation)、水深平均之動量方程式(Depth-averaged Momentum Equations)、密度傳輸方程式(Density Transport Equation)和濃度擴散方程式(Diffusion Equation)。茲分述如下：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{d[U(h+\eta)]}{dx} + \frac{d[V(h+\eta)]}{dy} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{DU}{Dt} - fV = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\tau_x^w - \tau_x^b}{\rho_o(h+\eta)} + g \frac{(h+\eta)}{\rho_o} \frac{\partial \rho}{\partial x} \quad (2)$$

$$\frac{DV}{Dt} + fU = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\tau_y^w - \tau_y^b}{\rho_o(h+\eta)} + g \frac{(h+\eta)}{\rho_o} \frac{\partial \rho}{\partial y} \quad (3)$$

$$\frac{D\rho}{Dt} = \frac{1}{h+\eta} \nabla(K_h(h+\eta)\nabla\rho) \quad (4)$$

$$\frac{DC}{Dt} = \frac{1}{h+\eta} \nabla(K_h(h+\eta)\nabla C) + R \quad (5)$$

其中 $\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + U \frac{\partial}{\partial x} + V \frac{\partial}{\partial y}$ 為實質導數， U 、 V 分別為在 x 、 y 方面之水深平均流速， ρ 為水深平均水的密度， ρ_o 為參考密度， f 為科氏力參數， h 為水深， η 為水面位移高程， g 為重力加速度， τ^w 為風所造成之剪應力， τ^b 為底床剪應力， K_h 為水平方向之延散係數， c 為污染物濃度， R 為污染物化學反應速率。計算時可用有限差分法或有限元素法對計算區域加以網格分割，再加上適當的起始條件和邊界條件。但此方法須輸入正確的擴散係數和邊界條件〔例如潮汐之流速，水位之變化，底泥對污染物之吸附或釋放率等〕，方能準確的計算出污染物之分佈 (Signell and Butman, 1992)。延散係數受流速剖面、潮汐、風驅流及密度層變之作用將於下節中加以說明。

2-1 延散係數之文獻回顧

Bowden(1964)對於海域表面剪力流中之延散係數提出以下理論解析：

- (1)、在海岸及河口地區因剪力效應所導致的水平混合主要來自潮流、密度流及風驅流等，其中水平方向有效延散係數 K_x 、 K_y 與垂直方向 K_z 成反比。
- (2)、縱向水平延散受制於橫向速度梯度及紊流混合，且與垂直方向之速度分佈有關。
- (3)、導因於潮流的水體運動受半日週期影響來回震盪，就污染物的長時間擴散而言，這種隨時間變化的影響必須加以考慮。
- (4)、穩定的密度梯度將有效增加水平混合程度。
- (5)、通常潮流的相位角隨深度變化不大。

Bowden(1964)分析不同速度剖面之水平有效延散係數 (Effective values of K_x) 分別為

(1)、潮流：

速度剖面	$K_x(U^*)$	$K_x(\bar{U}) k=0.002$
Log	$5.9U^*h$	$0.26\bar{U}h$
Log+parabolic	$14.0U^*h$	$0.625\bar{U}h$

(2)、風驅流： $\Phi=10^{-3} (U^2h^2/K_x)$

$h=0.25D$	$K_x=8.3\Phi$	$K_y=0.02\Phi$
$h=1.25D$	$K_x=5.3\Phi$	$K_y=1.1\Phi$

D 代表磨擦影響深度(The depth of frictional influence)
 $\bar{U}h$ 代表的是單位寬度的流量，在河口或港池內由於受潮流來回震盪的影響，事實上 $\bar{U}h$ 是隨時間及位置改變。

一般而言：

$$K_x(\text{來回流}) \cong 1/2 K_x(\text{定常流})$$

Csanady(1963)對忽倫湖(Lake Huron)之紊流擴散做了以下分析：

(1)、潮流：

$$\text{管流} \quad K_x = 10.1u^*a$$

$$\text{渠道} \quad K_x = 5.9u^*h$$

(2)、風驅流：

$$\tau = 0.0012\rho_a U^2 \quad U : \text{海面上10米風速}$$

ρ_a : 空氣密度
 ρ_w : 海水密度

$$u^* = \left(\frac{\tau}{\rho_w}\right)^{1/2} = \left(0.0012 \frac{\rho_a}{\rho_w}\right)^{1/2} U$$

Chieh(1985)對二維溫排水排入海岸水域之水平延散係數提出以下延散係數估算經驗式

$$D_L = 4.53 * 10^{-4} L^{4/3}$$

D_L : 水平延散係數，單位 m^2/s

L : Scaling dimension of dispersion process in m

Fisher等人(1979)對水平縱向延散係數受潮汐來回震盪影響下之時變性提出下列關係

$$K = K_0 f(T) \quad , \quad \text{其中} \quad T = \frac{T}{T_c}$$

T : Tidal period

T_c : The cross-sectional mixing time

K_0 : Dispersion Coefficient as $T \gg T_c$

當斷面相較寬而淺時則密度的影響可忽略不計

$$K_0 = 0.1\bar{u}^2 T_c$$

$$\text{其中 } T_c = W^2 / \varepsilon_t$$

即 $K = 0.1\bar{u}^2 T \left[(1/T) f(T) \right]$ 其中 W : 為斷面寬度

ε_t : Transverse Mixing Coefficient

2-2、台中港港池延散係數之推估

台中港港池背景條件：

Length : 8000 M

Width : 500 M

Water Depth : 13 M

Tidal Range : 4.6 M

Wind speed : 15m/s

Tidal Excursion = $8000 * 4.6 / 13 = 2830\text{m}$

Mean Tidal Velocity $\bar{U} = 2830\text{m} / 6.25\text{hr} = 0.13 \text{ m/s}$

Rate of Transverse Mixing (Assumption)

$U^* = 0.1\bar{U} = 0.013\text{m/s}$

代入上述學者的推導公式可估算台中港港池之水平延散係數：

(1)、(Bowden, 1964)

潮流：

$$K_x = 0.625\bar{U}h = 0.625 * 0.13 * 13 = 1.06 \text{ m}^2/\text{s}$$

(for log+parabolic velocity profile)

$$K_x = 0.26\bar{U}h = 0.26 * 0.13 * 13 = 0.44 \text{ m}^2/\text{s}$$

(for log velocity profile)

風驅流：

$$\Phi = 10^{-3} (U^2 h^2 / K_x) = 10^{-3} * (15 * 15 * 13 * 13 / 1.06) = 35.87 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K_x = 5.3\Phi \sim 8.3\Phi = 5.3 * 35.87 \sim 8.3 * 35.87 = 190 \sim 298 \text{ m}^2/\text{s}$$

(for wind speed 15m/s)

(2) 、(Csanady, 1963)

潮 流：

$$\text{渠道 } K_x = 5.9u^*h = 5.9 * 0.013 * 13 = 0.997 \text{ m}^2 / \text{s}$$

風驅流：

$$u^* = \left(\frac{\tau}{\rho_w} \right)^{1/2} = \left(0.0012 \frac{\rho_a}{\rho_w} \right)^{1/2} U = (0.0012 * 1.19 / 1003)^{1/2} * 15 = 0.019 \text{ m/s}$$

$$K_x = 5.9u^*h = 5.9 * 0.019 * 13 = 1.46 \text{ m}^2 / \text{s}$$

(3) 、(Shin-Huang Chieh, 1985)

由於水平延散係數與數值模擬範圍的尺度有關，因此亦有由歸納導出的經驗法則如 Shin-Huang Chieh (1985) 關係式 $k_L = 4.53 * 10^{-4} L^{4/3}$ ，此處若 L 代入橫向寬度 500m 則 $k_L = 1.8 \text{ m}^2 / \text{s}$ 左右。

(4) 、(Fisher, 1979)

潮 流：

$$\varepsilon_t = 0.6dU^* = 0.6 * 13 * 0.013 = 0.10 \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$T_c = (500\text{m})^2 / 0.1 \text{ m}^2 / \text{s} = 2500000\text{s}$$

$$T' = T / T_c = 45000 / 2500000 = 0.018$$

Referred to Fig 7.4 Fischer(1979)

$$K = 0.1U^2T(0.04) \approx 0.1(0.2\bar{U}^2)(45000)(0.04) \approx 0.61 \text{ m}^2 / \text{s}$$

參、現場調查項目及內容

本研究就潮汐和風力影響下港域水理特性和擴散情形，進行現場調查並量測港內水域垂直斷面流速分佈、水平延散係數、風速分佈、港池內潮差、水鹽度及溫度等水理參數。現場調查在冬夏兩季各一潮位周期中，選擇港池內數點量測流速、溫度及鹽度剖面再利用雷諾類比法推估上述之流況參數，並在工業港內量測風驅流與潮汐之流況互動。這些現場實測資料將可增加對港域內水理特性和擴散機制的瞭解，並可用於驗證或校正數值模式。本計畫之港域現場量測原預定為冬季季風期及非冬季季風期各作業乙次；但因第一次部份儀器故障乃加作一次總共出海三次。日期分別為：第一次為 85 年 2 月 27 日，第二次為 85 年 3 月 30 日，第三次為 85 年 6 月 8 日。

3.1 流速剖面量測

港池內流速剖面量測係以船上作業，以衛星定位儀(GPS)定出測站位置，定點下錨後，以 UCM-40 電磁式流速計或 RCM-7 旋轉式流速儀由水面往下每間隔 1-2 公尺水深處定點量測流速 2 分鐘。為瞭解風驅流對港池的影響，採樣點分別選擇在主航道兩個直線段上如圖一所示。為配合潮汐週期之流況觀測及限於儀器之記憶體容量，除測站五外，每個測站漲退潮各一次。因此包含流速剖面量測、船舶移動以及起、拋錨時間，每次船上作業共量測得五個測站九次之流速剖面資料。

第一次流速量測係採用 UCM-40 電磁式流速計，因該儀器之啟動設定功能發生問題，使得量測結果無法使用。為爭取時效第二次改用挪威製 RCM-7 旋轉式流速儀，但由於受速度起始限制為 2cm/s、誤差±2%、方向起始速限為 5cm/s、誤差在±7.5%左右影響，因此使得部份速度量測剖面因現場流速較小、方向變化頗巨誤差甚大。僅得 ST.1 及 ST.3 兩個測站下午退潮時沿航道方向流速資料較為理想，其餘均因誤差甚大而無法使用。為彌補上述缺點第三次量測則改用修正後之 UCM-40 電磁式流速計。

3.2 浮標追蹤

本研究之浮標製作含三部份，最上部為細鋼管及三角形布旗以利追蹤觀測，中間為直徑 30cm 之浮球，下部為二片垂直相交之鐵片以穩定浮標。經測試結果，浮標在水面漂浮相當穩定。浮標自流速剖面量測之作業船上施放，早上及下午漲、退潮各一次，每次各兩個；同時在岸邊選擇一長 500 公尺之基線，兩端各利用一部電子經緯儀 (Zeiss, Model Elta-6) 以前方交會法進行追蹤浮標。並依據浮標之漂流軌跡分別推算出風驅流速度及水平延散係數 (List, 1990)。為減少來往船舶所產生的尾跡波干擾，施放位置儘量選擇在港池較裡側，即台電卸煤碼頭北側附近海域進行。總共進行三次：第一次二月二十七日海面風速約為 15-20m/s 左右，然因風速過大，經緯儀不能架設。第二次三月三十日海面為 10m/s 左右；第二次為六月八日當時海面風速為 2~3m/s 幾近無風。追蹤軌跡將於下一章加以說明。

3.3 染料施放及濃度量測

染料施放本欲利用人造衛星 (SPOT 及 LANDSET) 進行觀測，然因施放染料的需要量甚多且需掌握衛星通過時間，同時必須有良好的能見度，有其技術上的限制及困難，因此只好放棄。第一次染料施放及觀測於南迴船池進行，然因風浪過大，以致船隻定位及染料施放困難，無功而返。第二次及第三次之染料施放則採沿岸邊定點定量釋放。本研究使用薔薇紅螢光染料 (Rhodamine B)，以定量加藥幫浦 (順益, Model NE4) 持續施放固定流量 (1-2 L/min) 及固定濃度 (1g/L) 之染料，亦即以點源之方式排入港域。下游之染料濃度則經採樣器取得表面海水並以螢光染料濃度計 (Turner Filter Fluorometer, Model 450) 分析而得。經施放 40~60 分鐘後，濃度幾近達到一穩定狀態後，在岸邊不同距離採樣量測濃度，並將濃度及距源頭距離繪在雙對數紙上以求其延散係數。

3.4 潮汐遲角觀測

為推估潮汐在港池內之變化及其受風吹流之影響程度，本研究在港口北端進口處之西二號化學品碼頭邊及港內南端之台電 101 號碼頭處，各裝置一部潮波儀，利用時間序列分析其水位變化及相對應之潮汐遲角。

肆、理論依據及資料分析

4.1 理論依據

(一)、流速剖面

依據 UCM-40 電磁式流速計或 RCM-7 旋轉式流速儀可量得每一測站之水平流速值, V , 及其方位角(正北為零度)隨水深之變化。已知南向主航道之方位角為 201° , 故可由二者之角度差, β , 及水平流速值 V 求得縱向(沿主航道)之水平流速, V_x , 及側向(向岸)之水平流速, V_y 。即

$$V_x = V \cos\beta$$

$$V_y = V \sin\beta$$

(二)、浮標追蹤

若浮標 j 在時間 i 的水平座標點位置定義為 (X_{ij}, Y_{ij}) , 從這些座標可以推估浮標的拉格蘭治速度 (Lagrangian velocity) 以及算出浮標組的形心位置(List et al., 1990) 對 N 個浮標組在時間 i 時的形心之 X 座標可定義為

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_j X_{ij}}{N}$$

同樣的 Y 座標為

$$\bar{Y}_i = \frac{\sum_j Y_{ij}}{N}$$

則浮標組的平均速度簡單的就是其位置座標的導數。浮標位置的變異 (Variance) σ_x^2 及 σ_y^2 定義為

$$\sigma_{x_i}^2 = \frac{\sum_j (X_j - \bar{X}_j)^2}{(N-1)} \quad \text{和} \quad \sigma_{y_i}^2 = \frac{\sum_j (Y_j - \bar{Y}_j)^2}{(N-1)}$$

依據 Okubo (1974) 浮標分佈的延散可定義為

$$\sigma_i^2 = \frac{(\sigma_{x_i}^2 + \sigma_{y_i}^2)}{2}$$

則可得相對延散係數 K (Relative dispersion coefficient)

$$K(t_i) = \frac{1}{2} \frac{\partial \sigma_i^2}{\partial t} \approx \frac{1}{2} \frac{\Delta \sigma_i^2}{\Delta t}$$

而空間有關的相對延散係數 (Spatially dependent relative dispersion) 為

$$K_x(t_i) = \frac{1}{2} \frac{\partial \sigma_{x_i}^2}{\partial t} \approx \frac{1}{2} \frac{\Delta \sigma_{x_i}^2}{\Delta t}$$

$$K_y(t_i) = \frac{1}{2} \frac{\partial \sigma_{y_i}^2}{\partial t} \approx \frac{1}{2} \frac{\Delta \sigma_{y_i}^2}{\Delta t}$$

上述 K(t) 和 σ^2 之間的關係在浮標數目足夠而每一個浮標組能充分代表整體 (Ensemble) 特性的假設下方能成立。

(三)、染料施放

點源 (point source) 在具橫向流之三維流場中的濃度擴散可表示為下式 (Fischer et al., 1979)

$$C(x, y, z) = \frac{M'}{4\pi D x} \exp\left[-\frac{(y^2 + z^2)u}{4Dx}\right]$$

式中 C(x, y, z) 為濃度，M' 為質量通率 (mass flux)，即 M' = QC₀，Q 為點源流量，C₀ 為點源濃度，D 為擴散係數，u 為縱向 (x 方向) 速度。當 y=z=0 時 可得斷面最大濃度，即

$$C(x,0,0) = \frac{M'}{4\pi Dx}$$

在紊流擴散中之擴散係數可表示為 $D = A_1 x^{4/3}$ (Okubo, 1974)。由上式中斷面最大濃度, $C(x, 0, 0)$ 與下游距離之關係, 可求得係數 A_1 , 及擴散係數 D 值。

(四)、潮汐遲角估算

因台中港航道狹長、水深僅約 13m, 可以用淺水波理論來估算二潮位站之遲角延時(time lag)。若二測站之距離為 L , 平均水深為 h , 則二潮位站之遲角延時, t_1 , 為

$$t_1 = L / (gh)^{0.5}$$

4-2 資料分析與討論

(一)、流速剖面

本研究第二次及第三次之五個流速剖面測站位置如圖一所示, 作業方式由南端之測站一 (St.1) 開始, 依次至測站五 (St.5) 再漸次折回至測站一。第二次量測(85/3/30)之流速剖面如圖一至圖十所示。第二次流速量測(85/3/30)採用 RCM-7 旋轉式流速儀, 測站一上午之流速剖面(圖二)較不規則, 下午之流速剖面則有明顯之風驅流剖面, 表面水流之速度約為 0.30 m/sec, 並於水下約 7m 處產生迴流。測站三下午之流速剖面(圖 7)亦有明顯之風驅流剖面, 其表面水流速度約 0.25 m/sec, 迴流則發生於水下約 4m 處。其他三站之速度剖面因速度值較小, 且流速方向較不規則。第三次流速剖面量測(85/3/30)改採 UCM-40 電磁式流速計, 量測之結果如圖十一至圖十九所示。一般而言, 因當日幾近無風, 所以並無風驅流之剖面產生。測站一因偏港池裡側, 較接近台電火力電廠之取水口, 及受當日卸煤碼頭之船隻作業之影響, 流速分佈呈不規則鋸齒狀(圖十一至圖十三)。測站一至測站五之上(低潮)平均潮流速度依次約為: 0.1m/sec, 0.15m/sec, 0.15m/sec, 0.22m/sec 及 0.17m/sec; 下午之平均潮流流速則依次為 0.08m/sec, 0.12m/sec, 0.13m/sec, 0.20m/sec 及 0.17m/sec. 且由圖

中可見潮流速度雖以縱向為主，然橫向之速度值仍不可忽略。靠近底床 1m 處(儀器之最低量測點)之潮流速度仍約有 5-20cm/sec 之流速。

(二)、浮標追蹤觀測

第二次浮標觀測(3/30/96)之軌跡見圖廿至圖廿三，第三次浮標觀測之結果見圖廿四至圖廿五。圖中之水平座標為沿岸之縱向(SSW)，橫座標為離岸橫向(SEE)。圖廿至圖廿三所示，浮標軌跡與風驅流方向一致，即由 NNE 偏向 SSW，平均風驅流速度約為 0.20m/sec。第三次浮標追蹤(圖廿四至圖廿五)，因當日天晴風微且非東北季風期，浮標之方向為 SSW，另一浮標則為 SEE 方向，平均速度為 0.10m/sec。本研究依據 List 等人(1990)之浮標追蹤法求得水平之延散係數，第二次浮標觀測(3/30/96)上午(剛退潮)之 $K_x=0.517\text{m}^2/\text{sec}$ ， $K_y=0.152\text{m}^2/\text{sec}$ ；下午之量測結果則得 $K_x=1.69\text{m}^2/\text{sec}$ ， $K_y=0.134\text{m}^2/\text{sec}$ 。推估表面流速約在 25~35 cm/s 左右與流速剖面之量測結果頗為吻合，以當時平均風速 10m/s 計算大約為其 3.5%。

(三)、染料施放及濃度量測

將兩次染料濃度隨距離變化之關係表示如圖廿六及圖廿七。由圖上可知濃度 C 與距離 X 之斜率為 -7/3 次方關係，亦即滿足 $D=A_1X^{4/3}$ 之關係。第二次量得之 $A_1=1.83 \times 10^{-4} \text{m}^{2/3}/\text{sec}$ ，第三次量測之 $A_1=1.14 \times 10^{-5} \text{m}^{2/3}/\text{sec}$ 。若取下游尺度 $X=1000\text{m}$ ，則二次港域流沉擴散係數分別為 $1.83\text{m}^2/\text{sec}$ (第二次，85/3/30)及 $0.114\text{m}^2/\text{sec}$ (第三次，85/6/8)。二次之差異原因主要是表面風驅流之差異及潮汐相位角不同。第二次量測(85/3/30)時風速約為 10m/sec；潮位為退潮中。第三次量測時(85/6/8)，風速約為 0-3m/sec；潮位則由低潮開始轉為漲潮。由現場染料之軌跡觀測顯示染料之擴散範圍及軌跡會因潮流或風向而改變性，故精確之量測方式應包含全域或斷面上之多點採樣量測。

(四)、潮汐遲角估算

由第二次潮波儀之資料(圖廿八)，可知兩個潮位站低潮延時為 9 分 42 秒。若以水深為 12m，兩潮位站之距離為 6.2km，並以淺水波估算

得兩站之潮差延時為9分32秒，與觀測值頗為相近。而由圖廿八中亦可看出港裡側之潮差較外側之潮差略小，顯示潮差有消減之效應。而在低潮時，水位或水體內部有一週期約為1.3小時之振盪。若以風力引起之振盪其週期約為0.41小時，顯示港池內可能有內波或其他機制造成此一水壓之波動。

(五) 溫度剖面

UCM-40流速儀上同時可觀測得溫度之剖面(第三次量測, 85/6/8), 如圖三十至圖三十四所示。圖上較高溫度之曲線為下午之量測結果, 較低之曲線為早上之測量結果。當日港池內之平均水溫度約為28°C, 各測站之溫度剖面有分層之現象, 測站一因較靠近台中火力電廠取水口, 其分層位置較複雜, 分別為4m及15m, 亦即在水下4m到15m間之溫度約為定值(28.2°C-28.4°C), 其他測站則有明顯的二層溫度現象, 其上層之混合層(mixed layer)厚度約為4-6m, 與下層(未混合層)之溫度差約為0.6°C(上午)至1.2°C(下午)。根據推估其理查生數(Richardson No)為70左右有輕微的密度層變現象。

(六) 鹽度剖面

UCM-40流速儀上測得之鹽度剖面(85/6/8)如圖三十五至三十九所示。台中港池內之平均鹽度約為3320ppm, 除測站一外, 其他測站之鹽度均有隨水深增加之趨勢。因港池內有排水溝渠排入淡水(靠近測站二及測站四), 故測站二、三、四靠水表面之鹽度較低。測站五因靠近主航道口, 故其鹽度則較高。

伍、結論及建議

(一)、根據文獻資料以臺中港背景資料代入，顯現由潮汐漲落所導致的水平延散係數(m^2/s)其數量級大都在 10^0 左右；而由風驅流所導致的則在 10^2 左右，由此可見在冬季季風期間風驅流所導致的港域環流對污染物的沖洗相較於潮汐漲落所導致的影響來得大，因此以台中港為例：港池污染的數值模擬宜分為兩階段來進行即季風期及非季風期兩種，季風期以風驅流影響較為明顯而非季風期則以潮汐漲落影響較為顯著。此外風驅流在季風期間又受日週期影響，每日下午二至三點風速較大，而入夜以後又逐漸變小，深夜甚至無風。由於潮汐漲落及風驅流均受一週期性影響或日週期、或半日週期使得流場變化更形複雜，更具挑戰性。

(二)、本研究依據 List 等人(1990)之浮標追蹤法求得水平之延散係數，第二次浮標觀測(3/30/96)上午(剛退潮)之 $K_x=0.517m^2/sec$ ， $K_y=0.152m^2/sec$ ；下午之量測結果則得 $K_x=1.69m^2/sec$ ， $K_y=0.134m^2/sec$ 。推估表面流速約在 25~35 cm/s 左右與流速剖面之量測結果頗為吻合，以當時平均風速 10m/s 計算大約為其 3.5%。顯然文獻推估值與現場量測值相當的接近其數量級大致在 10^0 左右。

(三)、由兩次染料濃度隨距離變化之關係知濃度 C 與距離 X 之斜率為 $-7/3$ 次方關係，亦即滿足 $D=A_1X^{4/3}$ 之關係。第二次量得之 $A_1=1.83*10^{-4} m^{2/3}/sec$ ，第三次量測之 $A_1=1.14*10^{-5} m^{2/3}/sec$ 。若取下游尺度 $X=1000m$ ，則二次港域流況擴散係數分別為 $1.83m^2/sec$ (第二次，85/3/30)及 $0.114m^2/sec$ (第三次，85/6/8)。二次之差異原因主要是表面風驅流之差異及潮汐相位角不同。第二次量測(85/3/30)時風速約為 10m/sec；潮位為退潮中。第三次量測時(85/6/8)，風速約為 0-3m/sec；潮位則由低潮開始轉為漲潮。由現場染料之軌跡觀測顯示染料之擴散範圍及軌跡會因潮流或風向而改變性，故精確之量測方式應包含全域或斷面上之多點採樣量測。

(四)、觀測溫度剖面，各測站之溫度剖面有分層之現象，測站一因較靠近台中火力電廠取水口，其分層位置較複雜，分別為 4m 及 15m，亦即在水下 4m 到 15m 間之溫度約為定值(28.2°C-28.4°C)，其他測站則有

明顯的二層溫度現象,其上層之混合層 (mixed layer)厚度約為4-6m,與下層(未混合層)之溫度差約為0.6°C(上午)至1.2°C(下午)。根據推估其理查生數(Richardson No)為70左右有輕微的密度層變現象。

(五)、由第二次潮波儀之資料,可知兩個潮位站低潮延時為9分42秒。若以水深為12m,兩潮位站之距離為6.2km,並以淺水波估算得兩站之潮差延時為9分32秒,與觀測值頗為相近。而由圖廿八中亦可看出港裡側之潮差較外側之潮差略小,顯示潮差有消滅之效應。而在低潮時,水位或水體內部有一週期約為1.3小時之振盪。若以風力引起之振盪其週期約為0.41小時,顯示港池內可能有內波或其他機制造成此一水壓之波動。

(六)、流速剖面量測結果因受旋轉式流速計起始速度 2cm/s 限制,方向量測在流速 5cm/s 以下誤差幾近 10%,使得部份斷面流速較小無法精確量測,因而轉換為沿風向及橫風向兩斷面時誤差更大。若改用電磁式流速計因無起始速度限制應可有效改善此一缺點。

(七)、染料施放理不應在岸邊,容易受邊界效應影響;但若在航道中央施放染料及採樣有其技術上的困難。尤其是定位須進一步研究改善。此外濃度量測當濃度愈小背景濃度干擾影響愈大也是有待克服的問題。

綜合以上討論知道延散係數除受水面風速即表面摩擦影響外底床粗糙度及水深、速度剖面分佈亦為重要影響因子。若能以上述諸變數求解出延散係數之解析解或近似解析解,則可有效改善數值模擬時相關參數推估所遭遇的瓶頸,這將是今後努力的重點方向。

陸、參考文獻

- (一) 、G. T. Csanady(1963),“Turbulent Diffusion in Lake Huron ”
- (二) 、K. F. Bowden(1964),“Horizontal Mixing in the Sea due to a Shearing Current”
- (三) 、Fisher, List, Koh, Imberger, Brooks(1979),
“Mixing in Inland and Coastal Waters ”
- (四) 、Shin-Huang Chieh(1985),“Two-dimensional Model of Thermal Discharges ”
- (五) 、Ioannis K. Tsanis(1989),“Simulation of Wind_Induced Water Currents”, Journal of Hydraulic Engineering. Vol. , No.8, p1113~1134
- (六) 、張仁德(1994), “港灣水質污染擴散數值模擬”, 中國土木水利工程學刊, 第六卷, 第三期, pp. 321-327.

台中港水理調查流速剖面採樣點位置

Along Channel
+ Inward
- Outward

Cross Channel
+ Seaward
- Shoreward

*1

*2

*3

*4

*5

Fig. 1

Velocity Profile Of Taichung Harbor Basin (along channel) ST.1
96-03-30 Morning

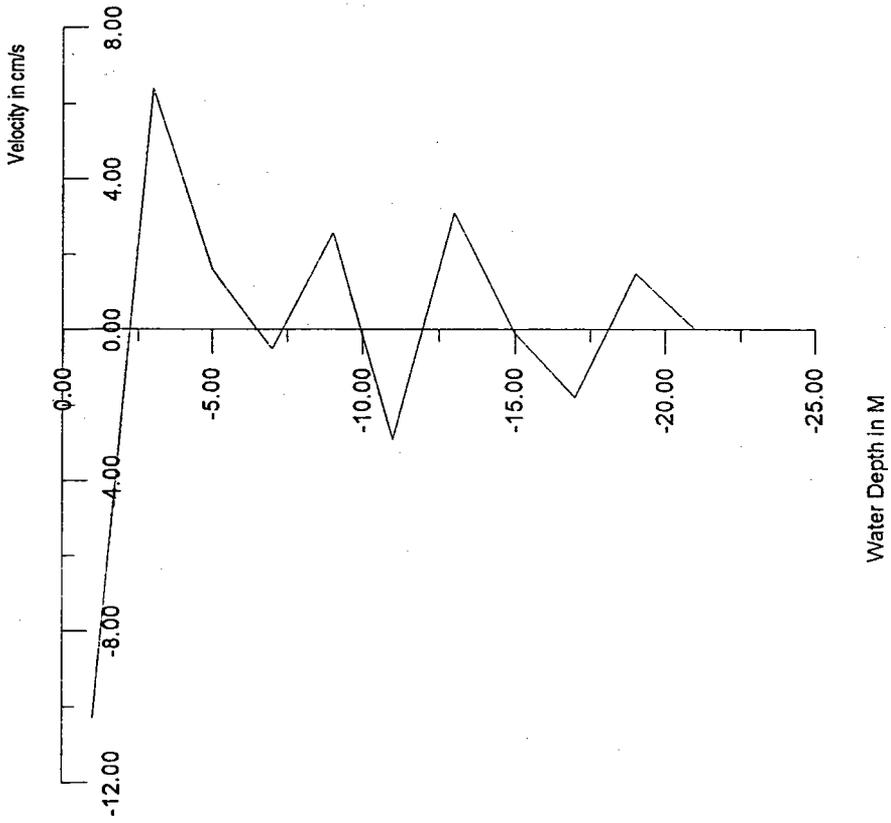


Fig.2-1

Velocity Profile Of Taichung Harbor Basin (cross channel) ST.1
96-03-30 Morning

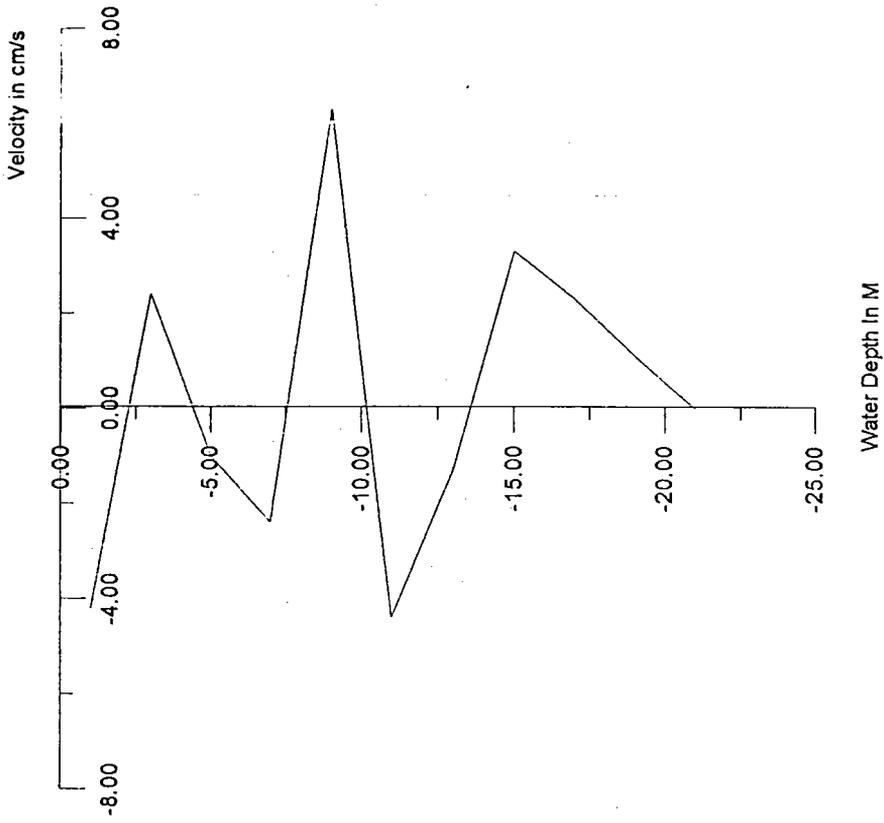


Fig.2-2

Velocity Profile Of Taichung Harbor Basin (along channel) ST.1
96-03-30 Afternoon

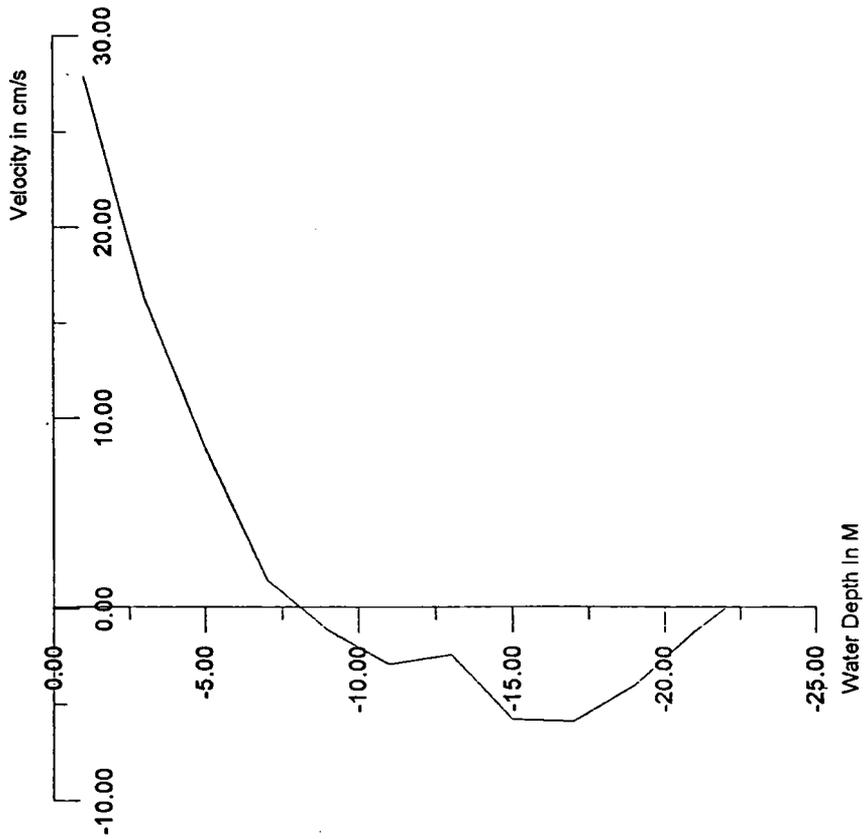


Fig.3-1

Velocity Profile Of Taichung Harbor Basin (cross channel) ST.1
96-03-30 Afternoon

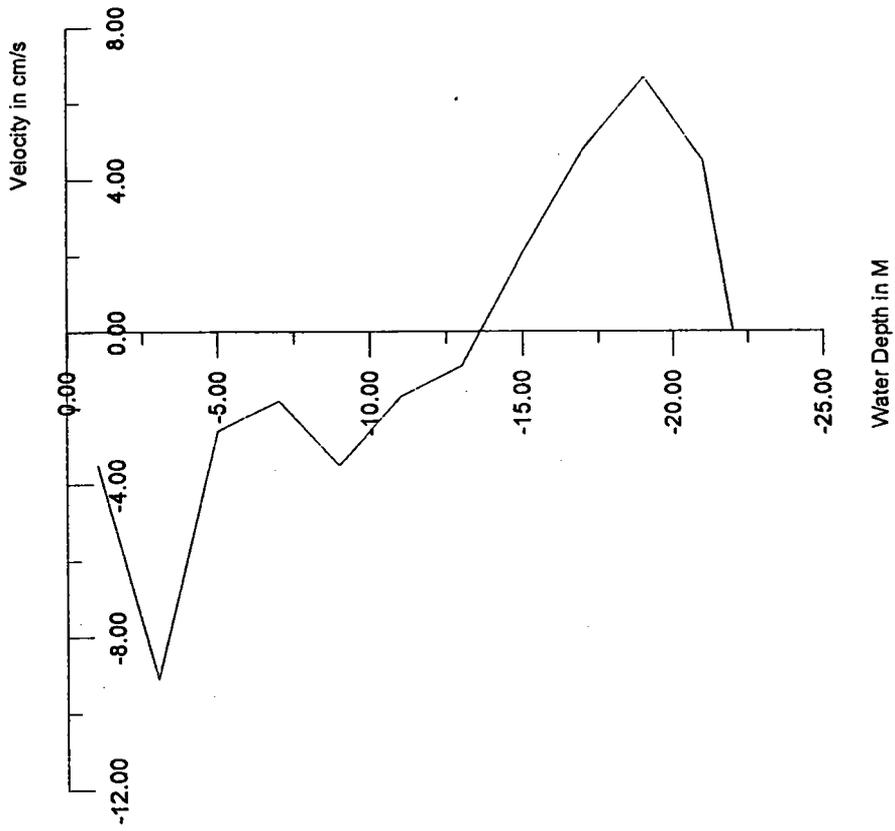


Fig.3-2

Velocity Profile Of Taichung Harbor Basin (along channel) ST.2
96-03-30 Morning

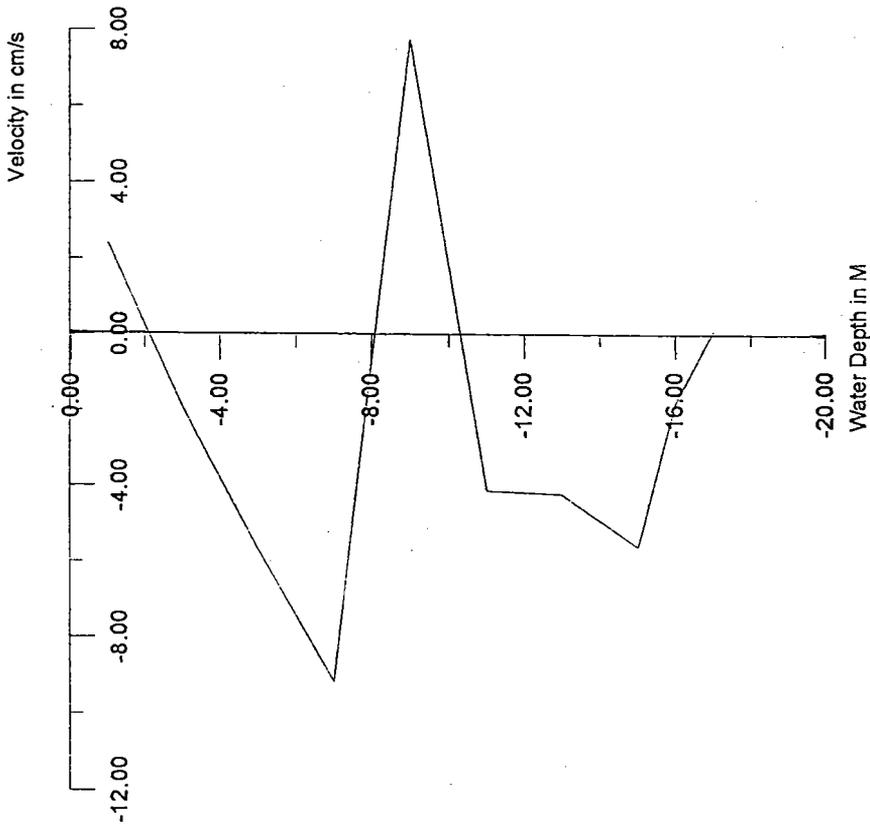


Fig.4-1

Velocity Profile Of Taichung Harbor Basin (cross channel) ST.2
96-03-30 Morning

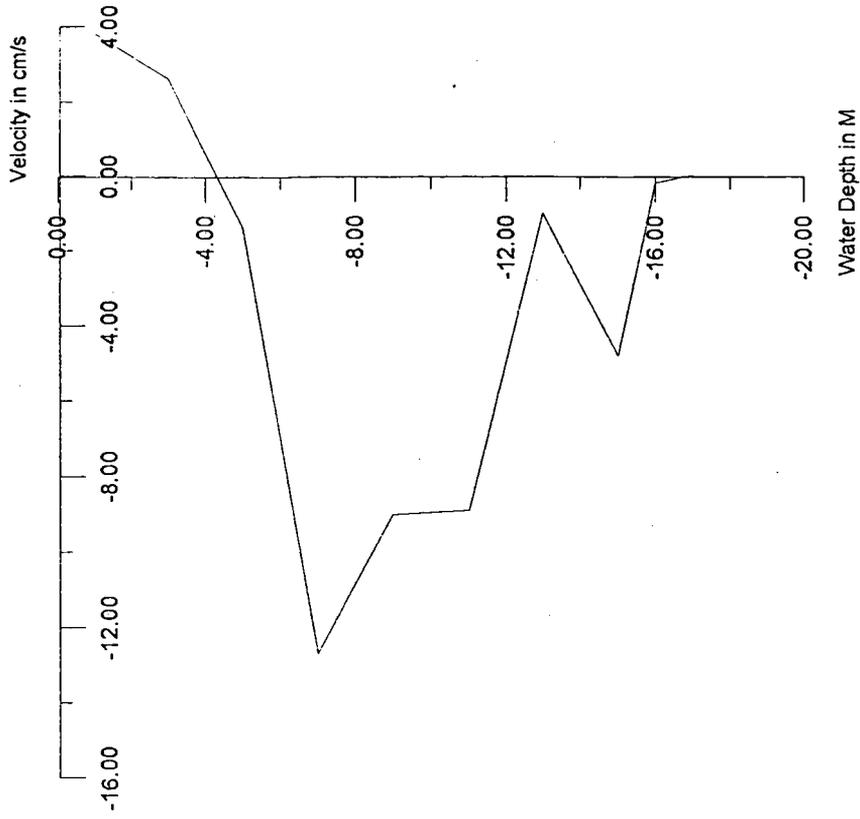


Fig.4-2

Velocity Profile Of Taichung Harbor Basin (along channel) ST.2
96-03-30 Afternoon

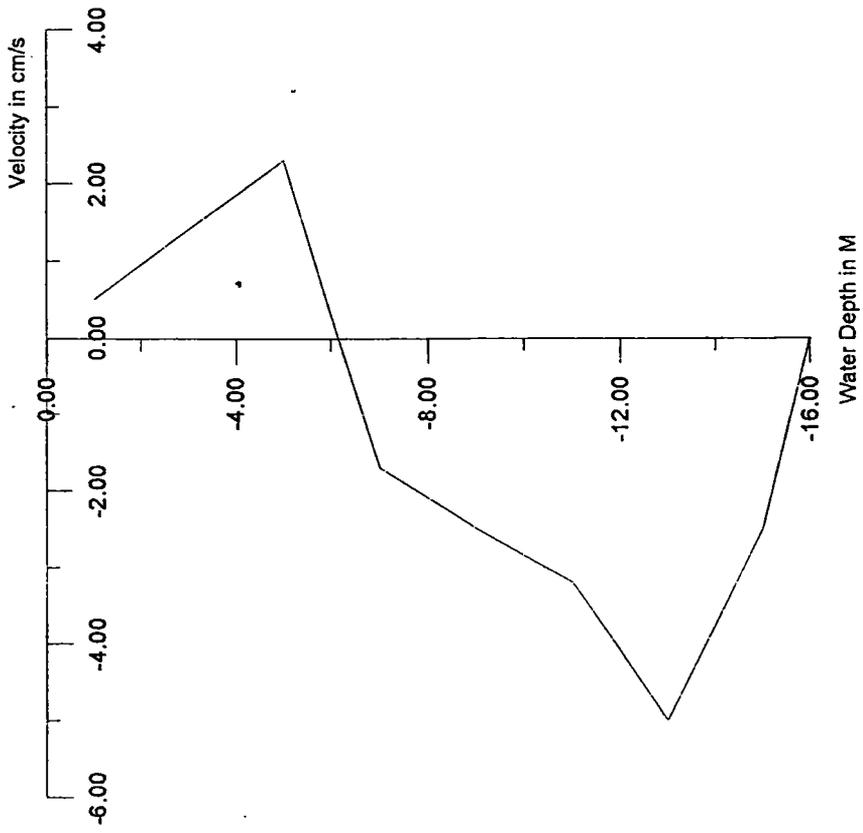


Fig.5-1

Velocity Profile Of Taichung Harbor Basin (cross channel) ST.2
96-03-30 Afternoon

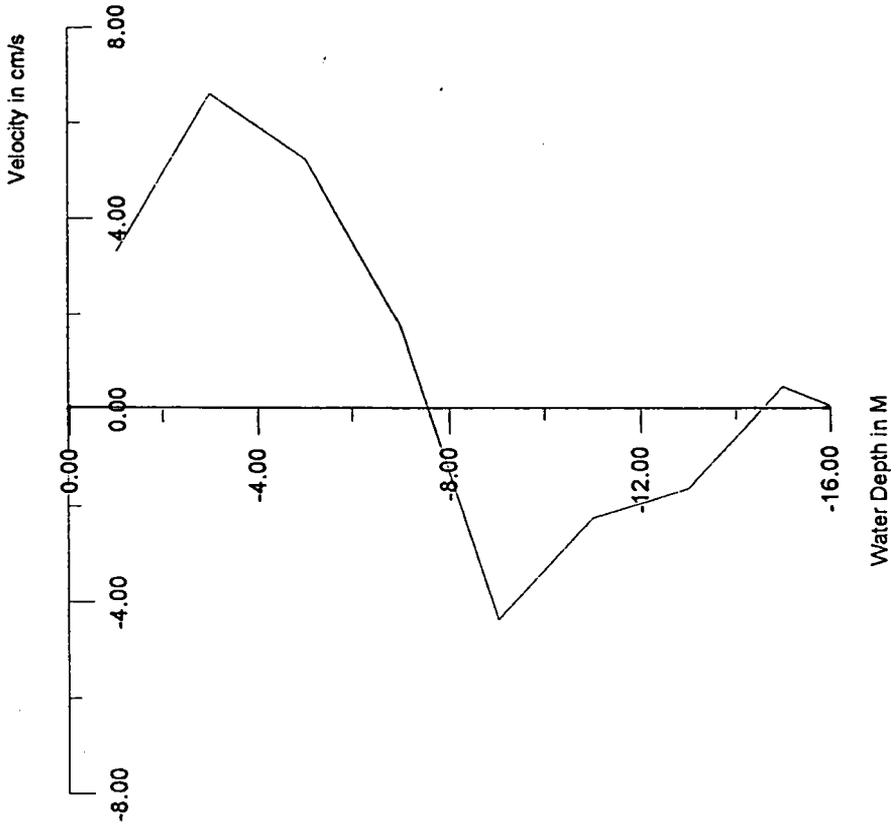


Fig.5-2

Velocity Profile Of Taichung Harbor Basin (along channel) ST.3
96-03-30 Morning

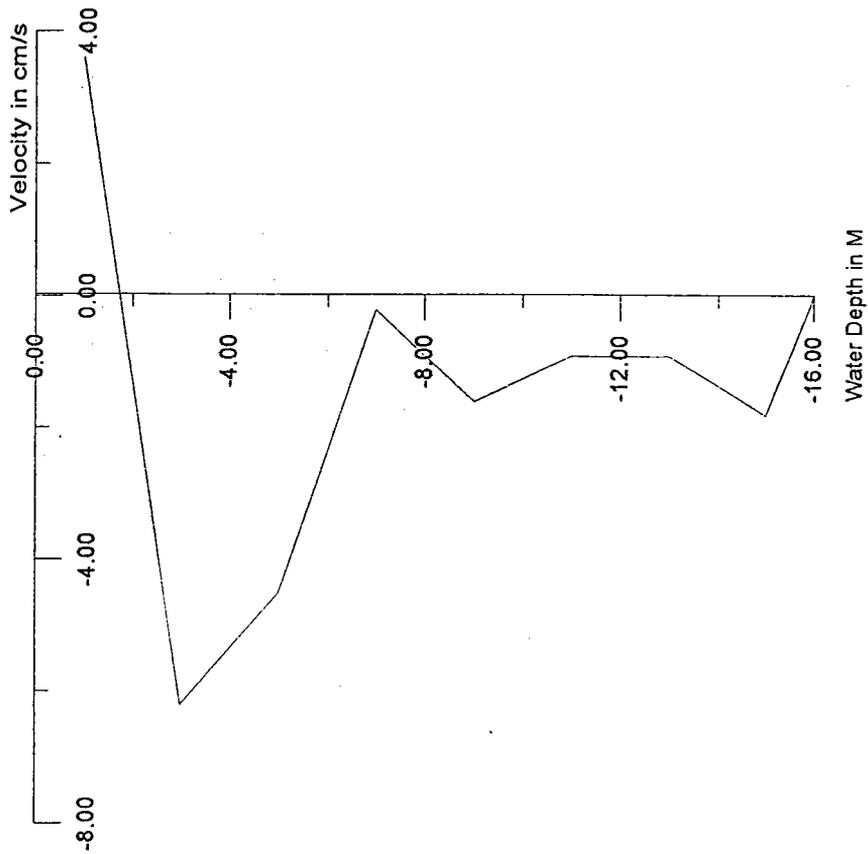


Fig.6-1

Velocity Profile Of Taichung Harbor Basin (cross channel) ST.3
96-03-30 Morning

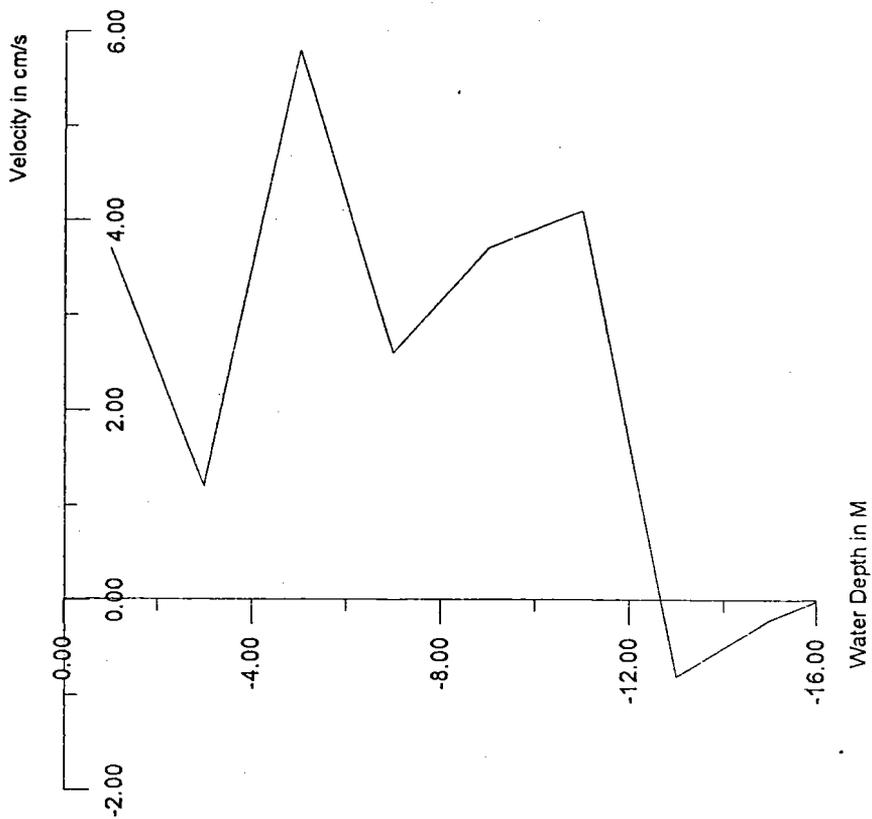


Fig.6-2

Velocity Profile Of Taichung Harbor Basin (along channel) ST.3
96-03-30 Afternoon

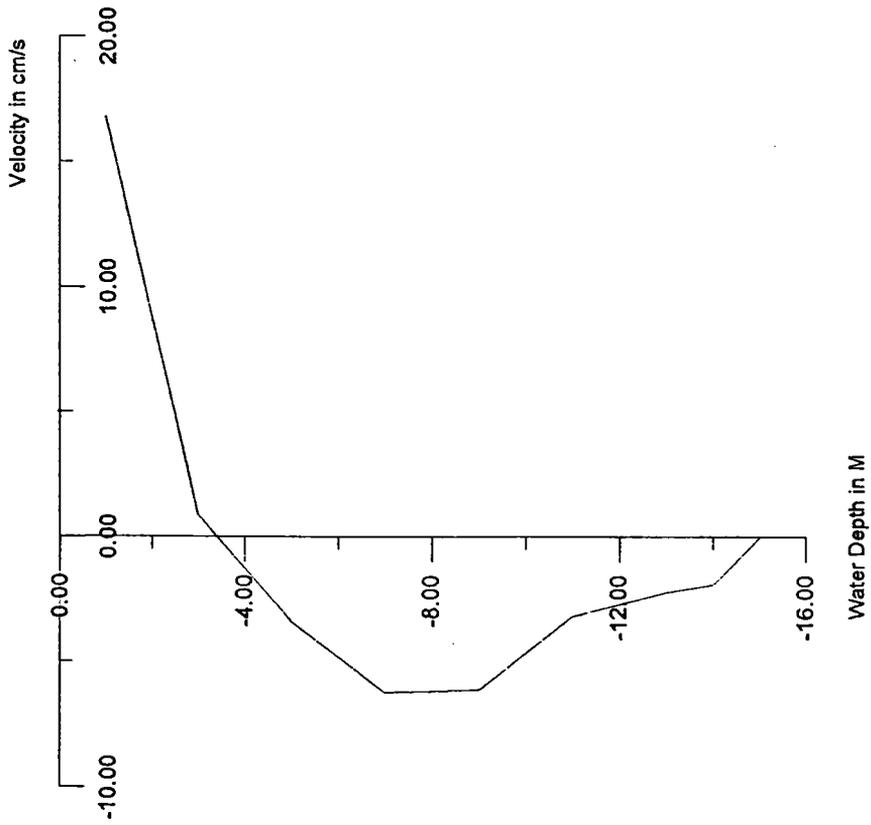


Fig.7-1

Velocity Profile Of Taichung Harbor Basin (cross channel) ST.3
96-03-30 Afternoon

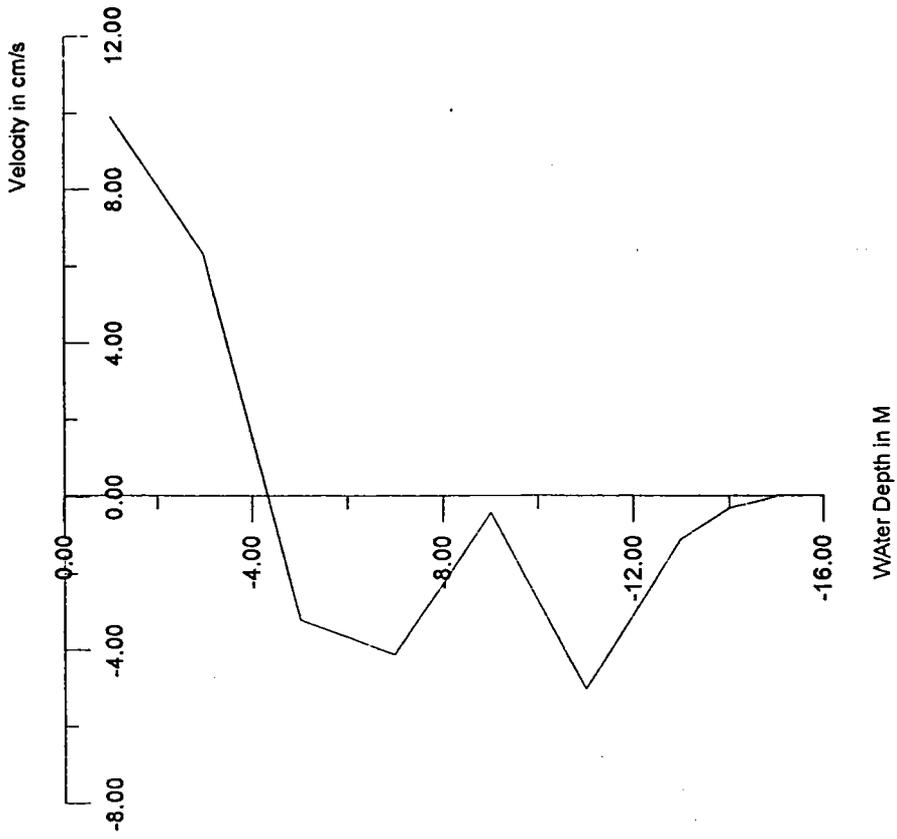


Fig.7-2

Velocity Profile Of Taichung Harbor Basin (along channel) ST.4
96-03-30 Morning

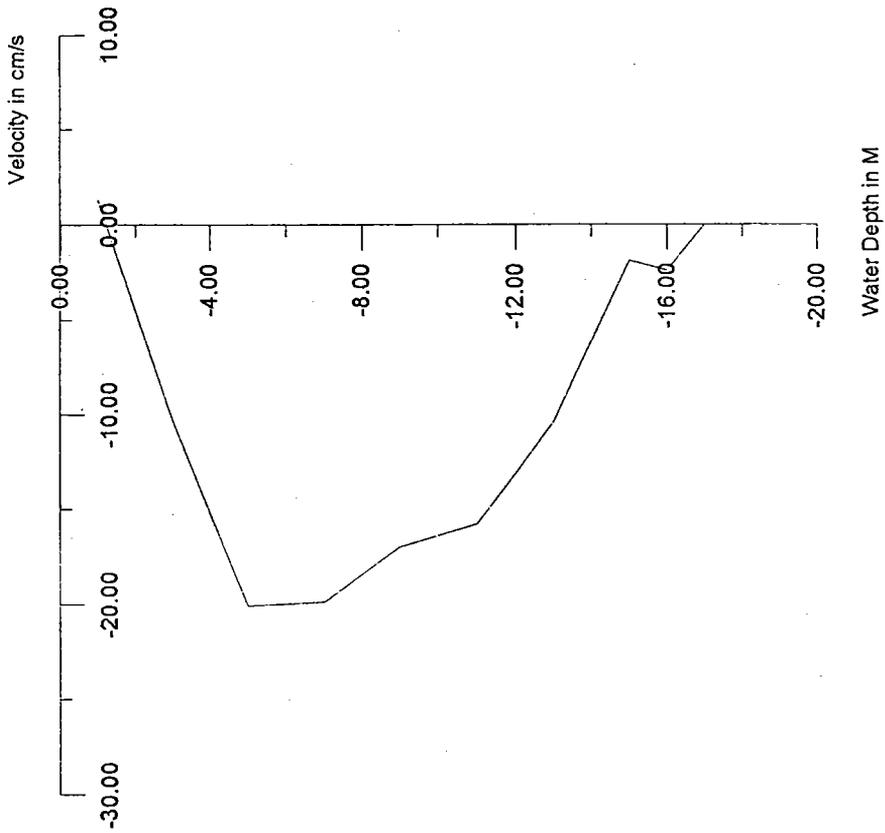


Fig.8-1

Velocity Profile Of Taichung Harbor Basin (cross channel) ST.4
96-03-30 Morning

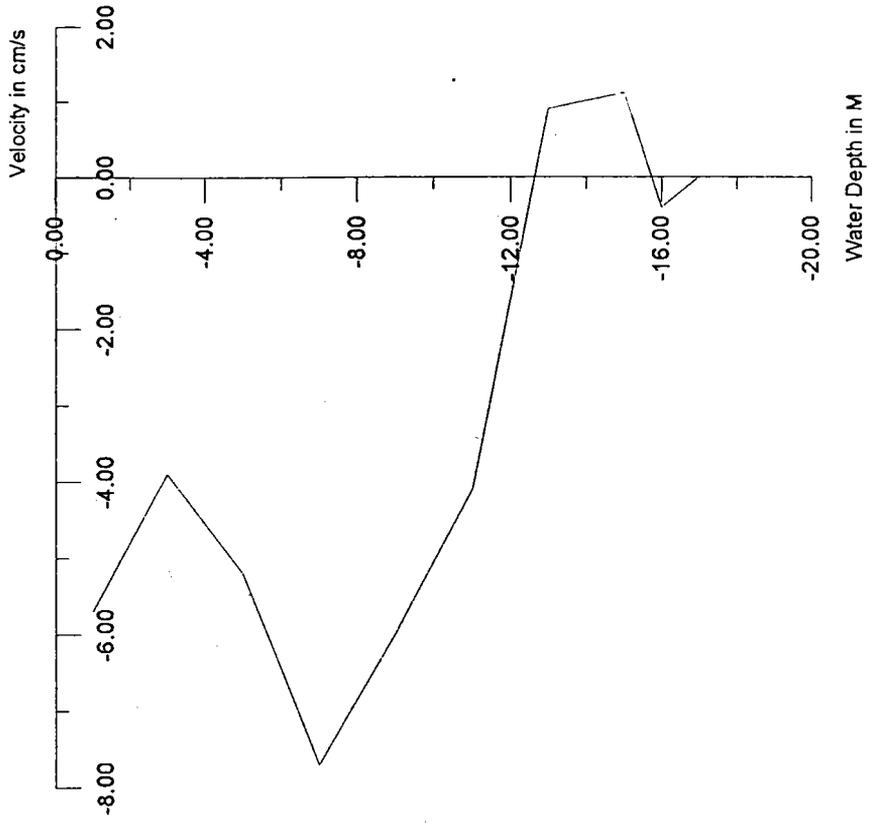


Fig.8-2

Velocity Profile Of Taichung Harbor Basin (along channel) ST.4
96-03-30 Afternoon

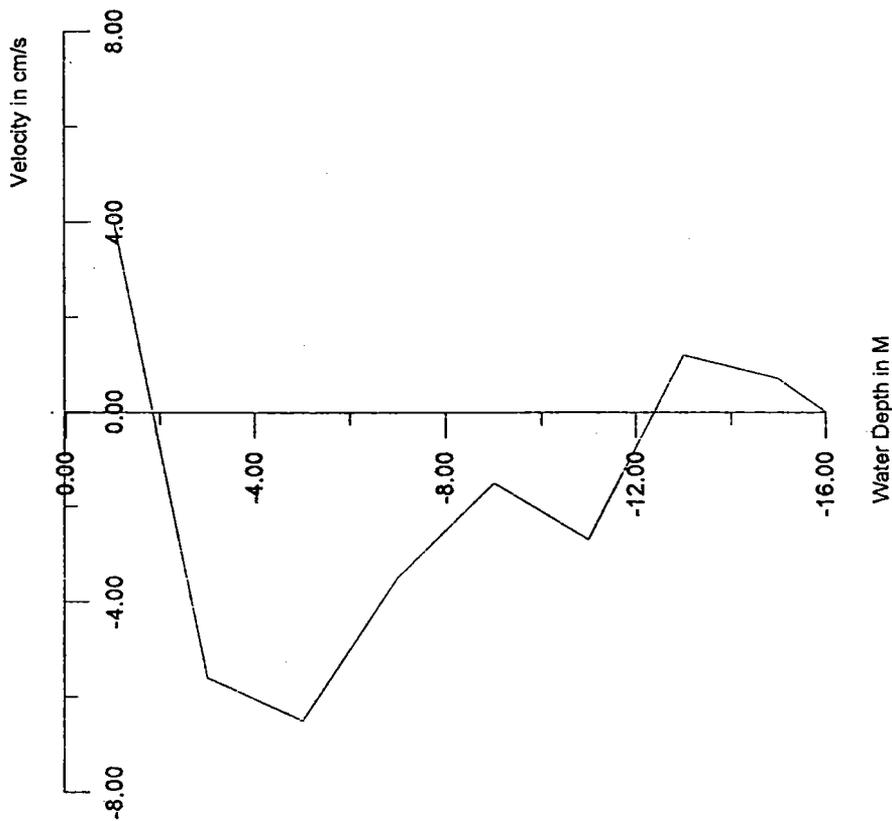


Fig.9-1

Velocity Profile Of Taichung Harbor Basin (cross channel) ST.4
96-03-30 Afternoon

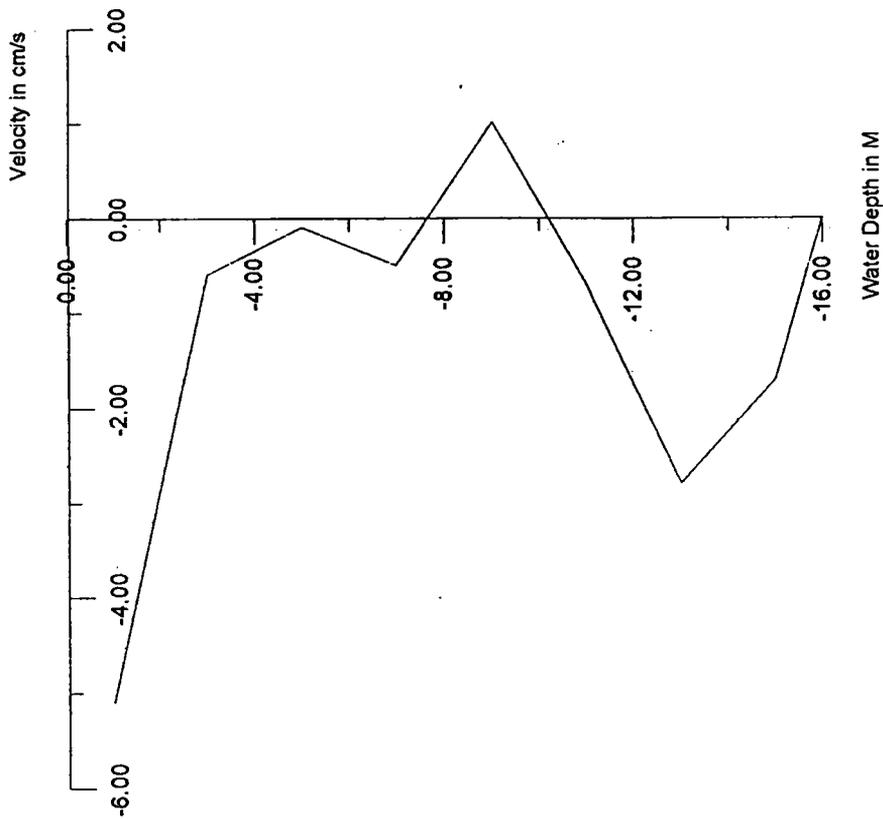


Fig.9-2

Velocity Profile Of Taichung Harbor Basin (along channel) ST.5
96-03-30 Noon

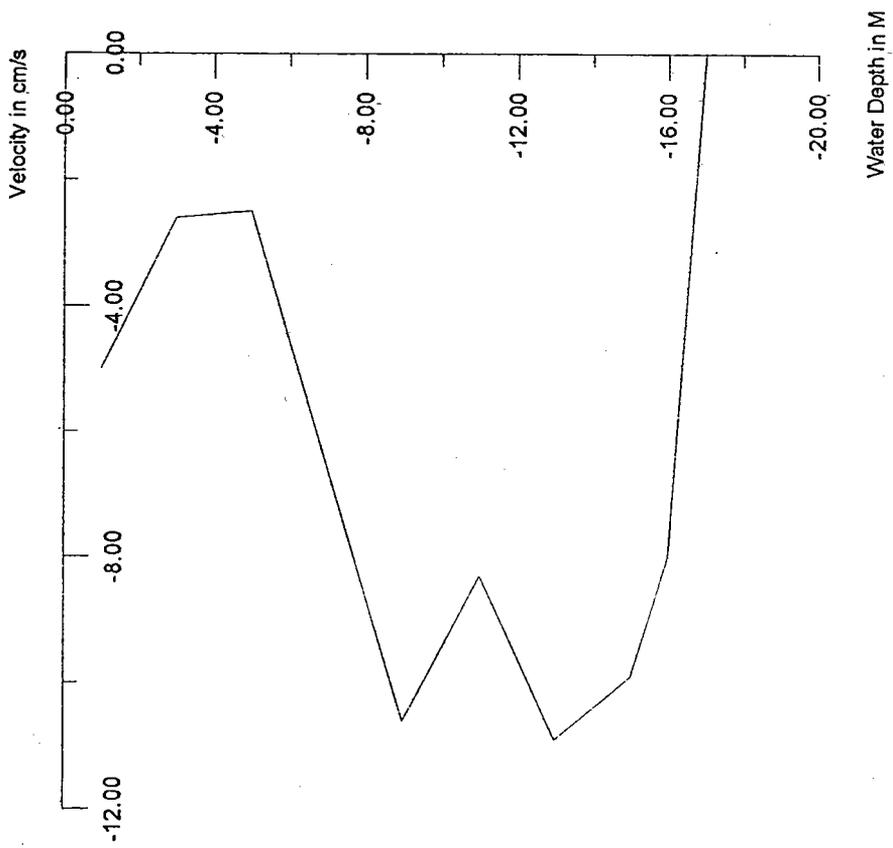


Fig.10-1

Velocity Profile Of Taichung Harbor Basin (cross channel) ST.5
96-03-30 Noon

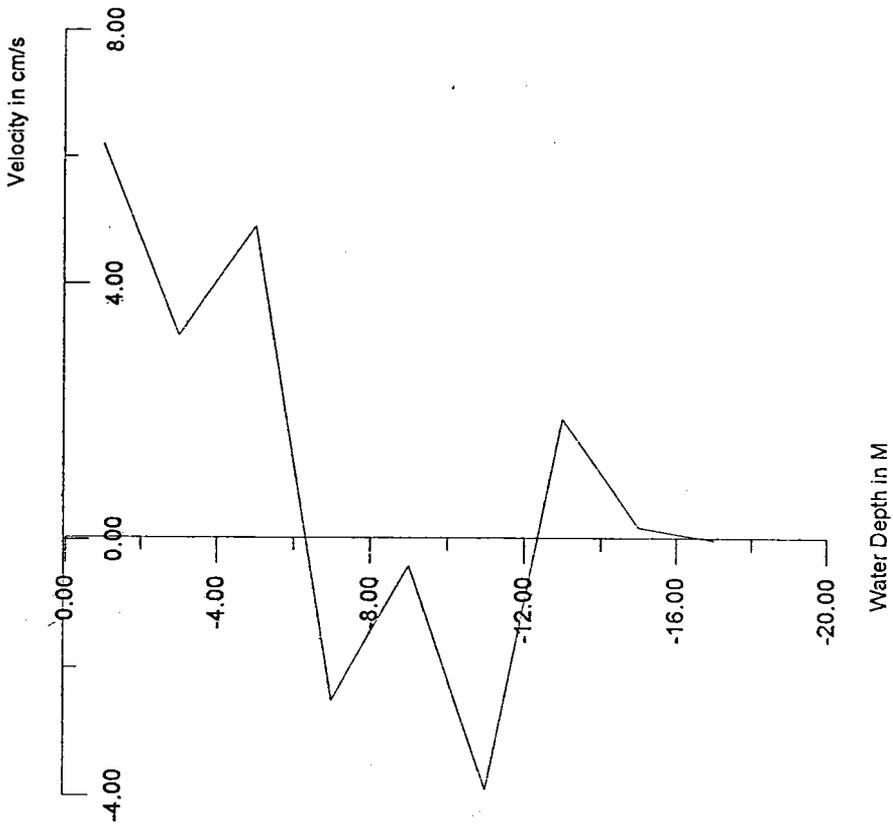


Fig.10-2

Velocity Profile of Taichung Harbor Basin (along channel) ST.1
96-06-08 Morning

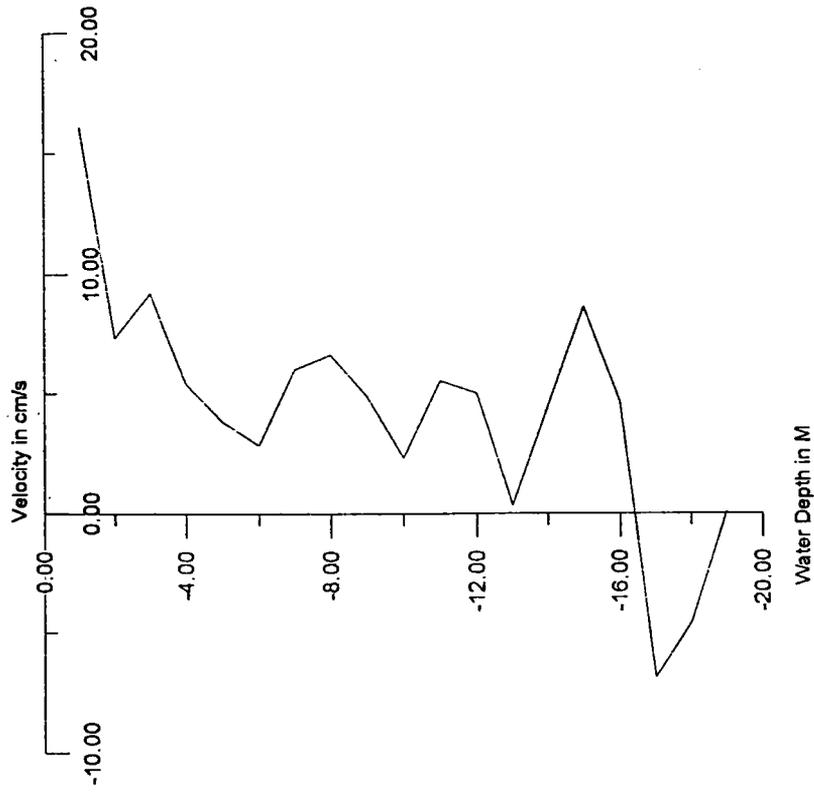


Fig. 11-1

Velocity Profile of Taichung Harbor (cross channel) ST.1
96-06-08 Morning

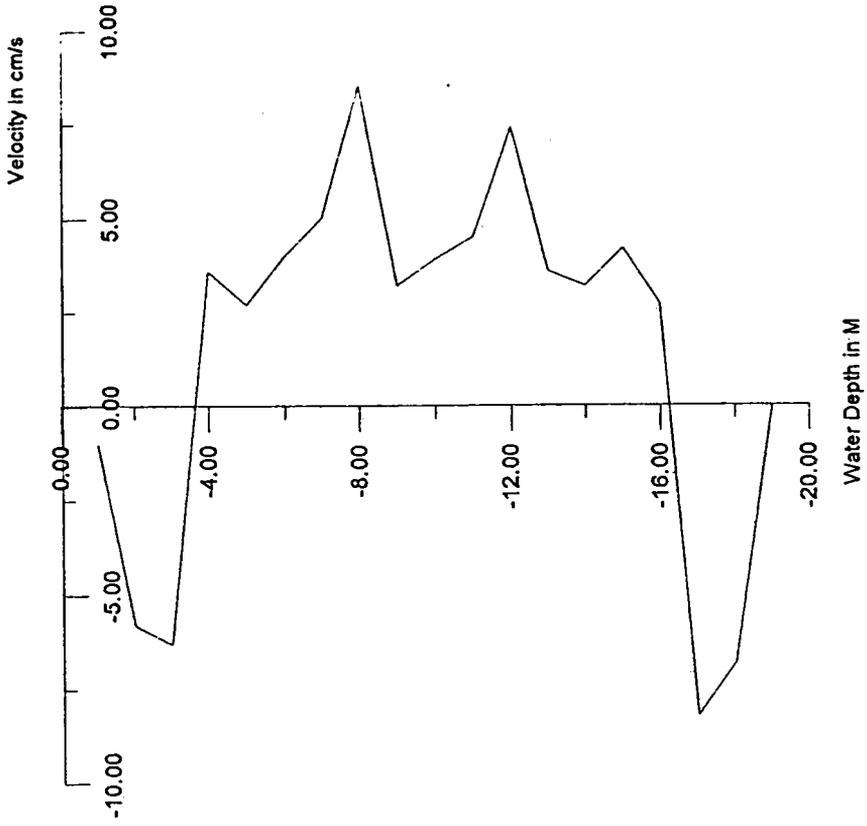


Fig.11-2

Velocity Profile of Taichung Harbor Basin (along channel) ST.1
96-06-08 Afternoon

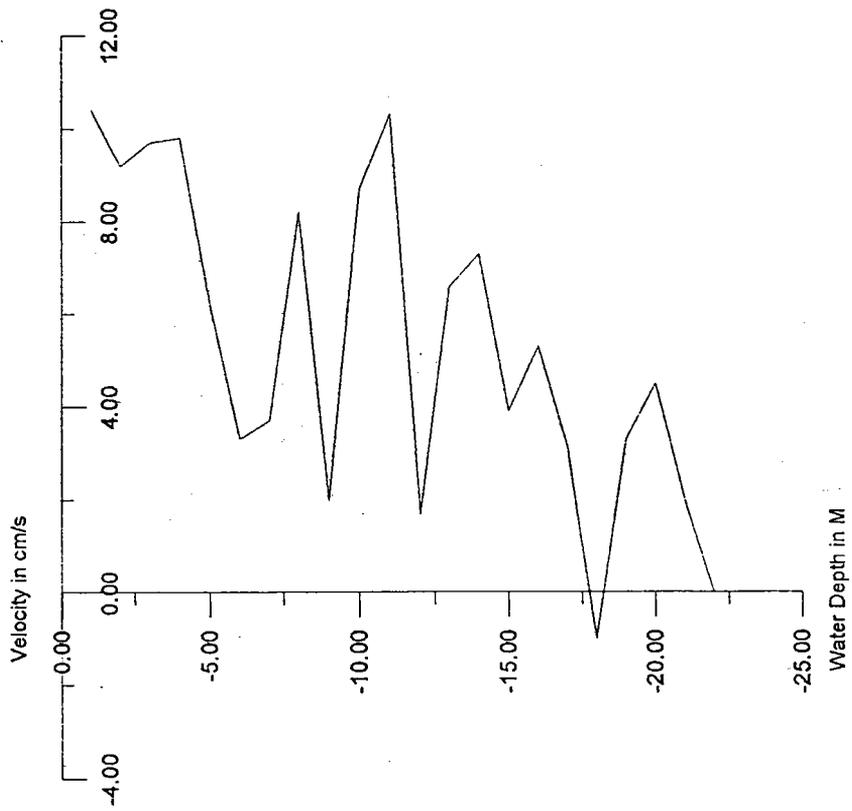


Fig.12-1

Velocity Profile of Taichung Harbor Basin (cross channel) ST.1
96-06-08 Afternoon

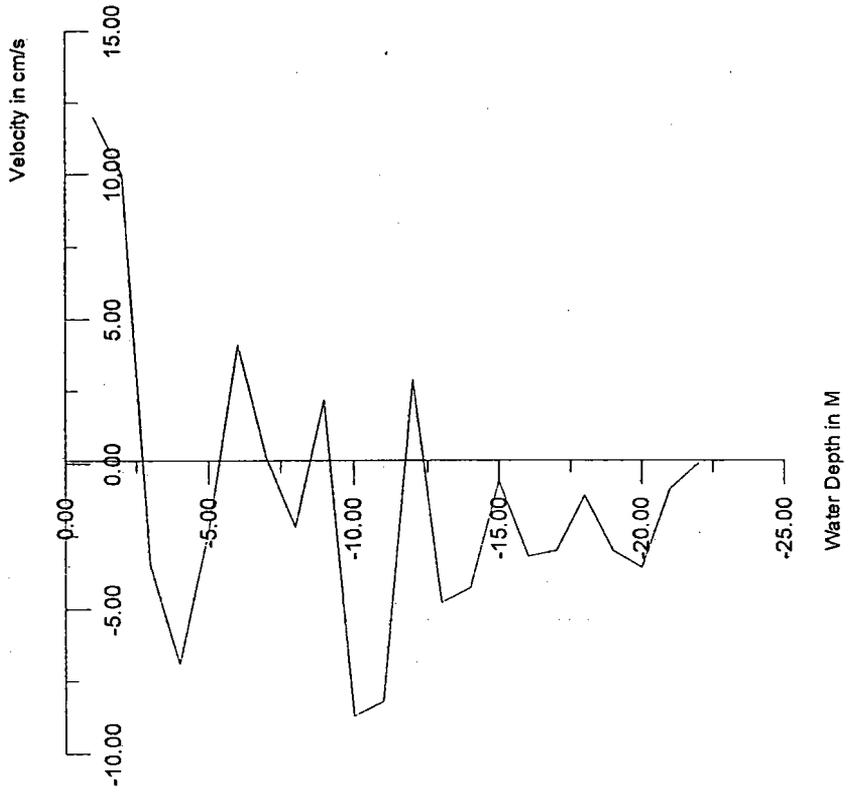


Fig.12-2

Velocity Profile of Taichung Harbor Basin (along channel) ST.2
96-06-08 Morning

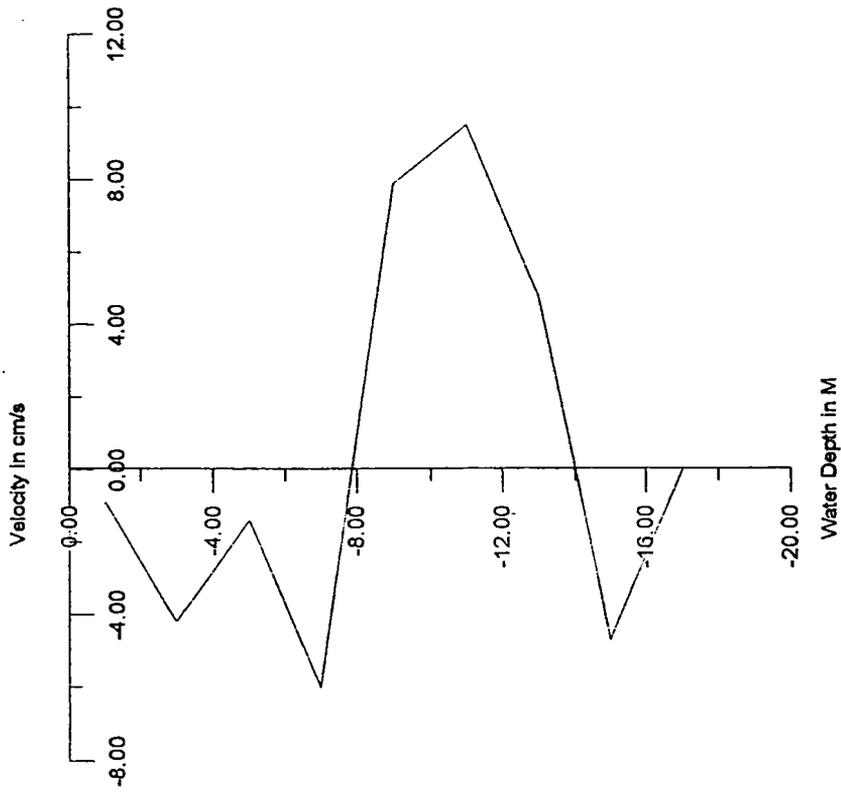


Fig.13-1

Velocity Profile of Taichung Harbor Basin (cross channel) ST.2
96-06-08 Morning

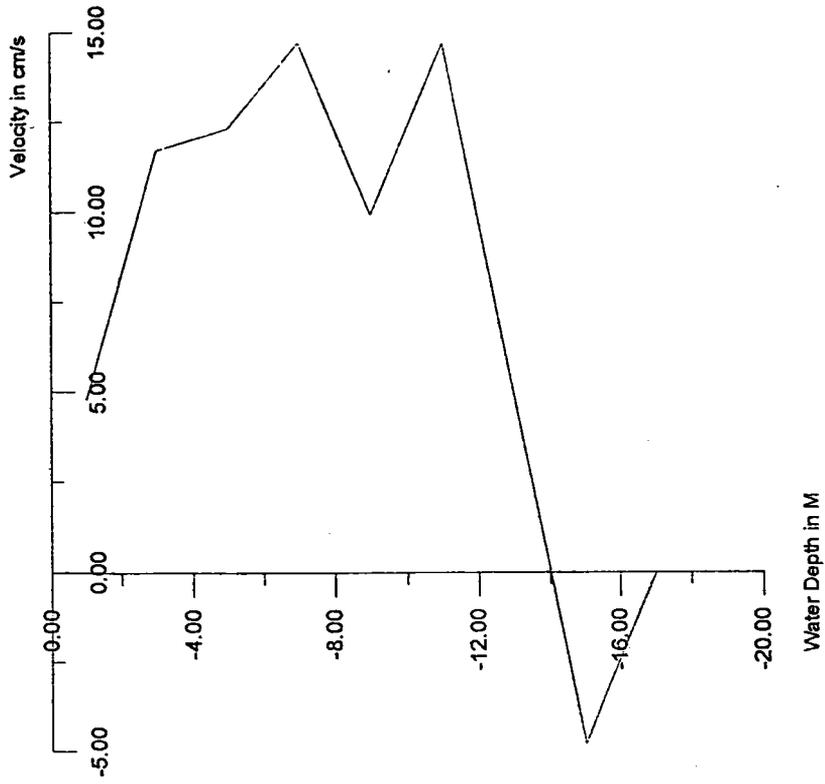


Fig.13-2

Velocity Profile of Taichung Harbor Basin (along channel) ST. 2
96-06-08 Afternoon

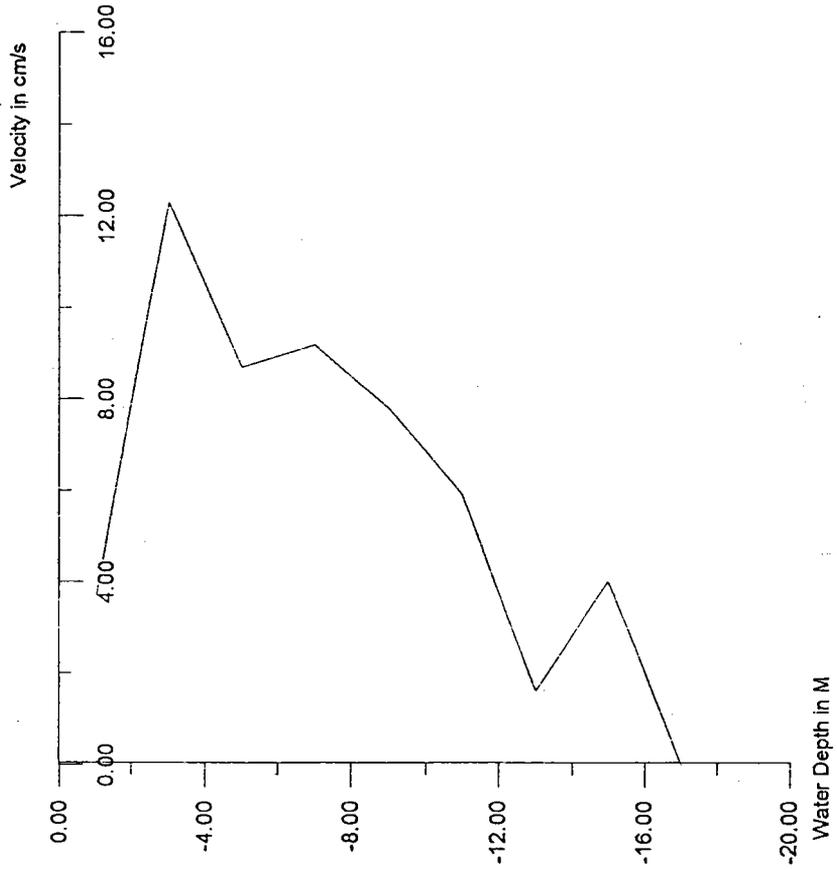


Fig.14-1

Velocity Profile of Taichung Harbor Basin (cross channel) ST.2
96-06-08 Afternoon

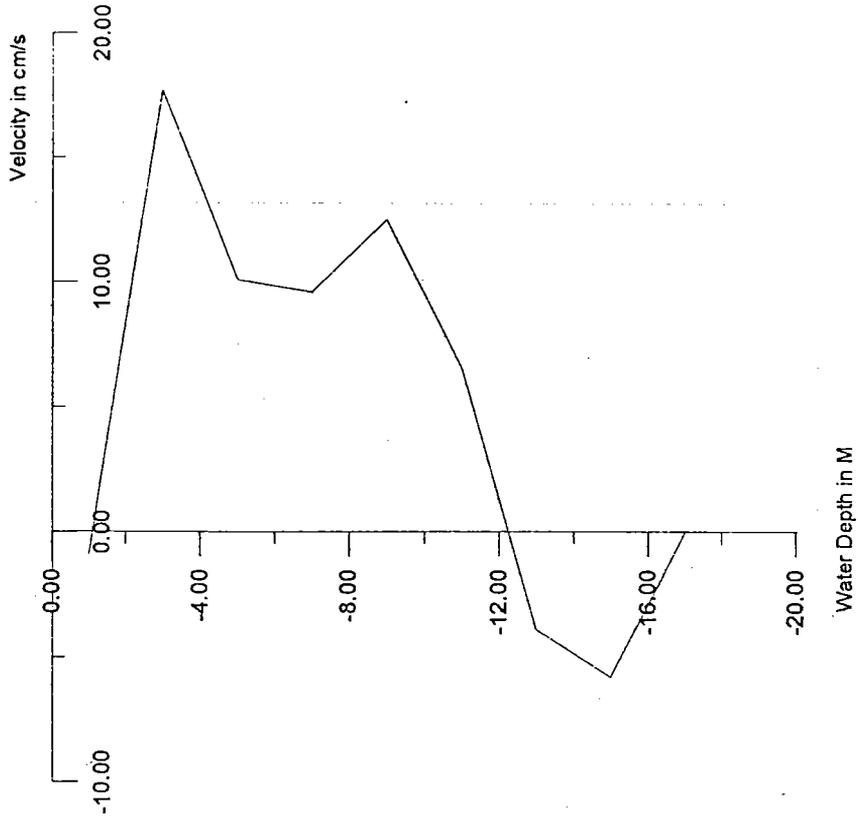


Fig.14-2

Velocity Profile of Taichung Harbor Basin (along channel) ST.3
96-06-08 Morning

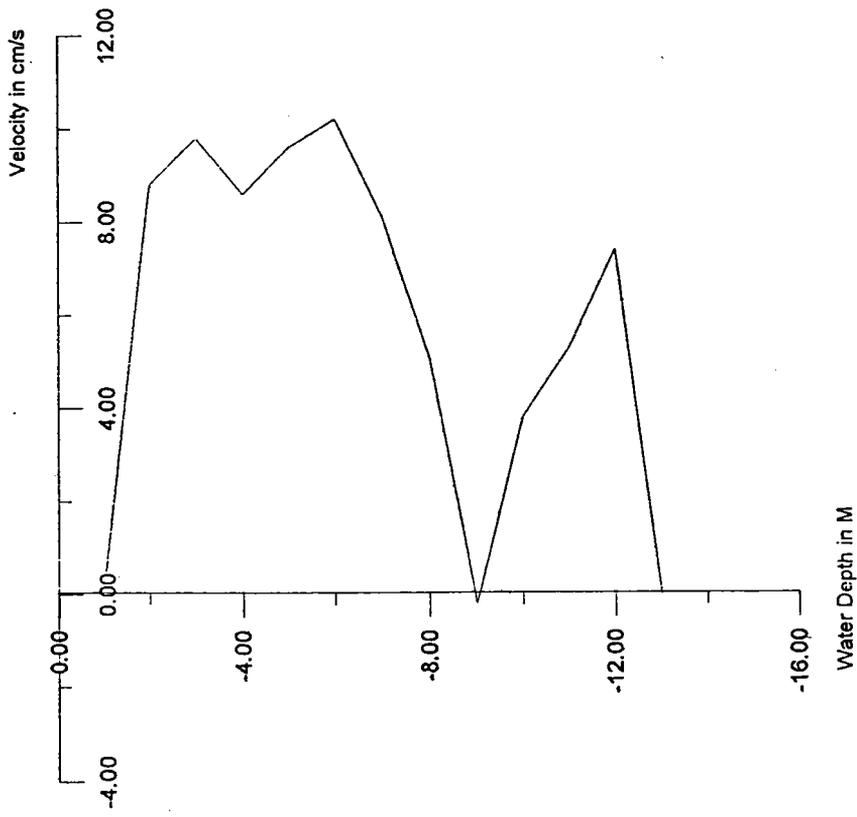


Fig.15-1

Velocity Profile of Taichung Harbor Basin (cross channel) ST.3
96-06-08 Morning

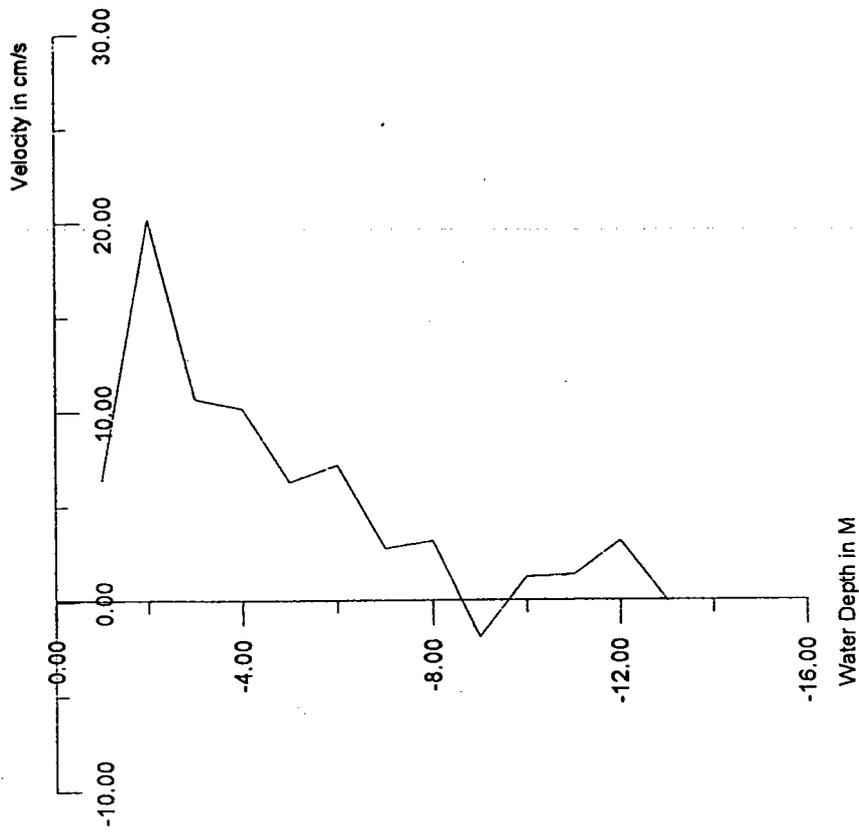


Fig.15-2

Velocity Profile of Taichung Harbor Basin (along channel) ST.3
96-06-08 Afternoon

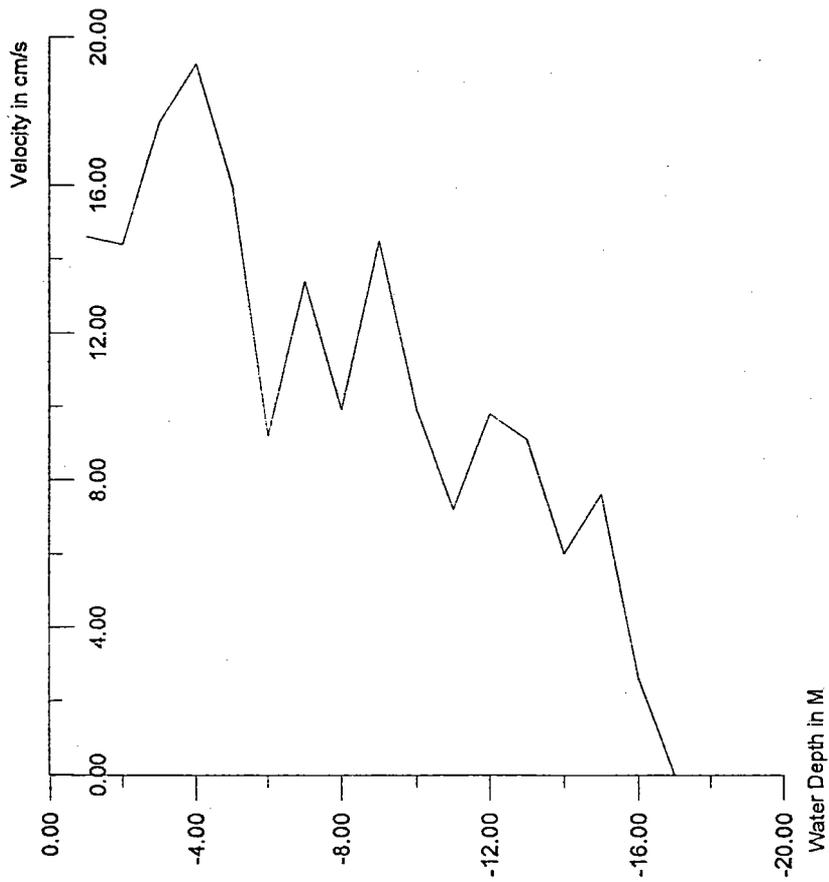


Fig.16-1

Velocity Profile of Taichung Harbor Basin (cross channel) ST.3
96-06-08 Afternoon

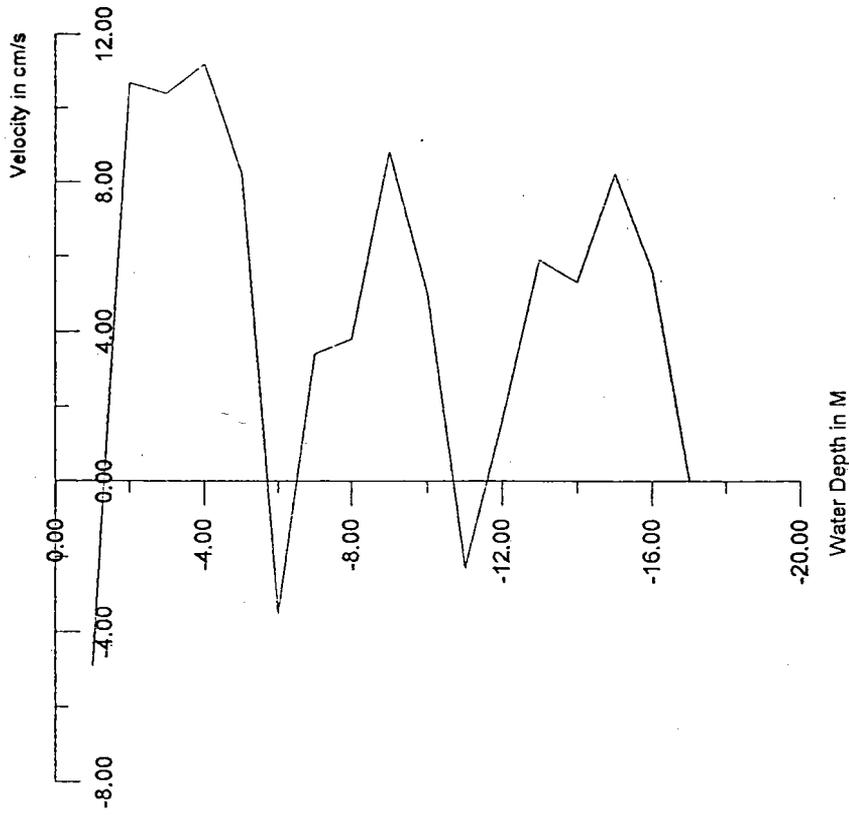


Fig.16-2

Velocity Profile of Taichung Harbor Basin (along channel) ST.4 96-06-08 Morning

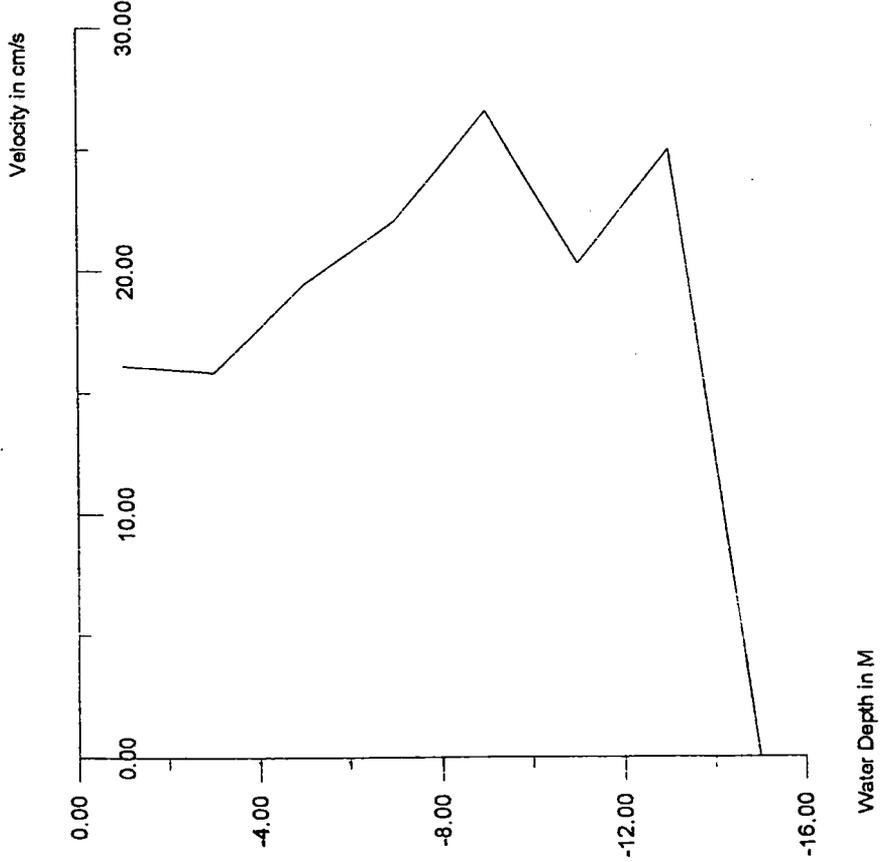


Fig.17-1

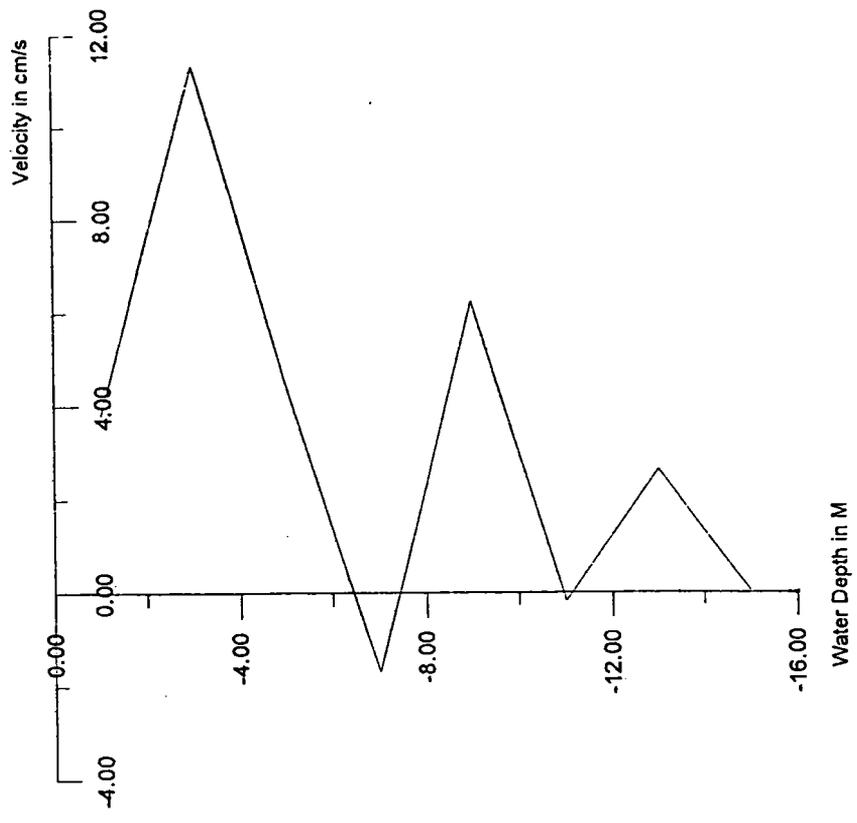


Fig.17-2

Velocity Profile of Taichung Harbor Basin (along channel) ST.4
 96-06-08 Afternoon

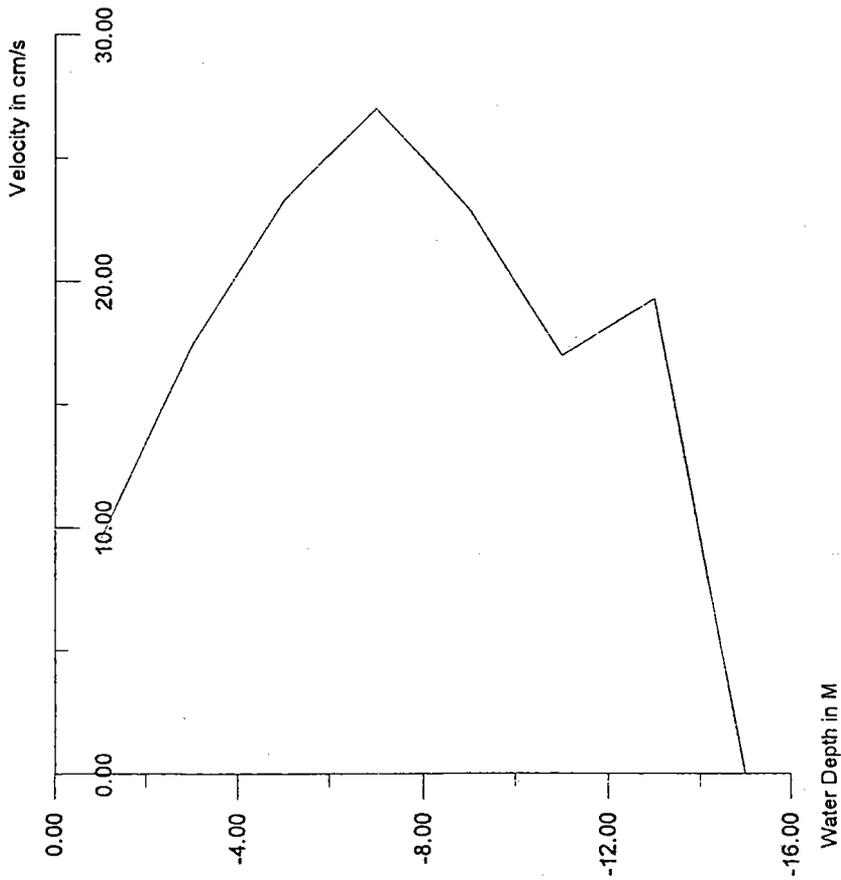


Fig.18-1

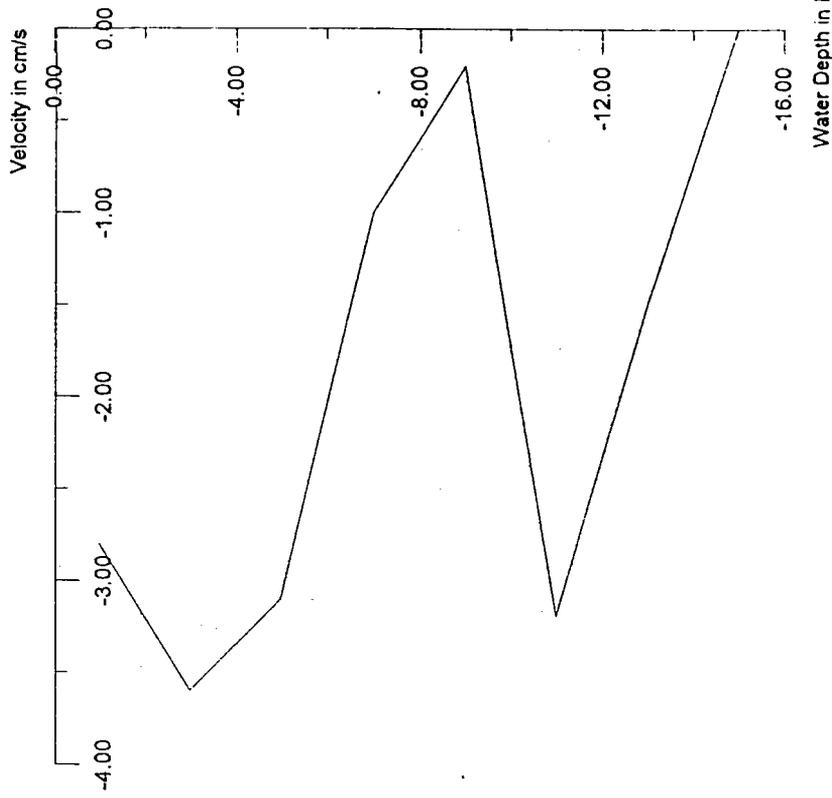


Fig.18-2

Velocity Profile of Taichung Harbor Basin (along channel) ST.5
 96-06-08 Morning

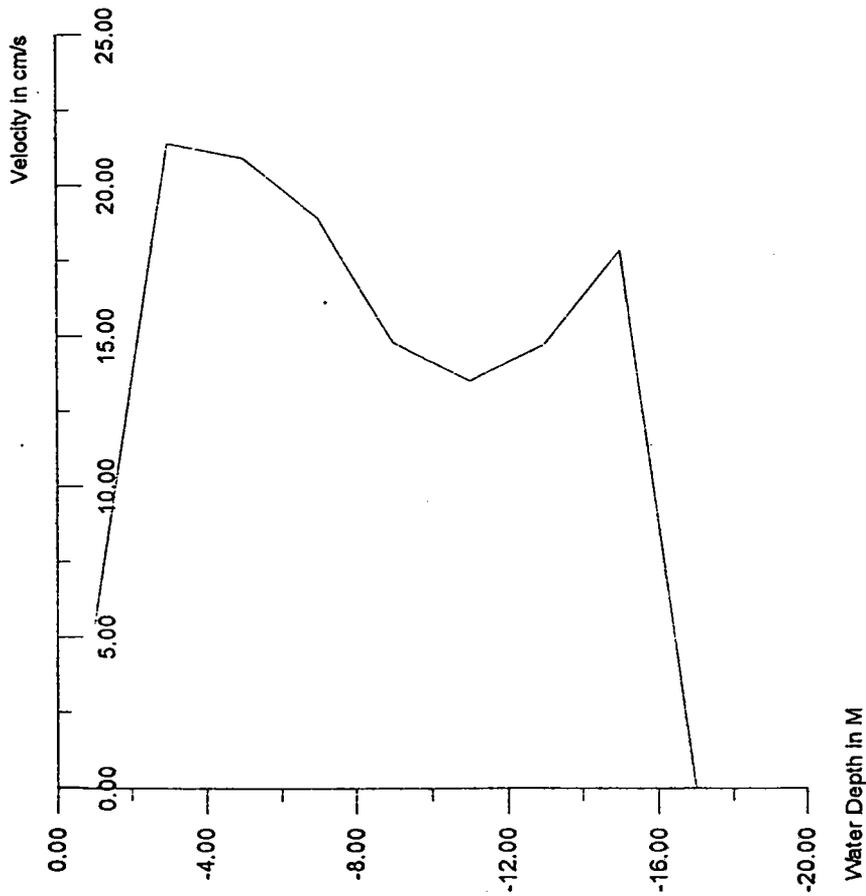


Fig.19-1

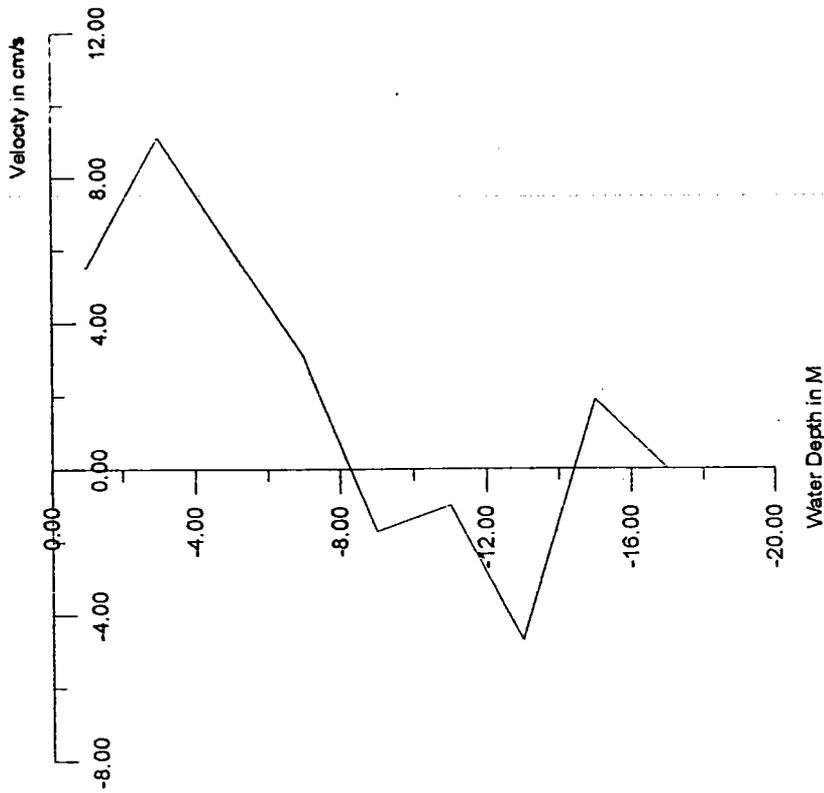


Fig.19-2

第二次觀測白色浮標水平與垂直度標關係圖

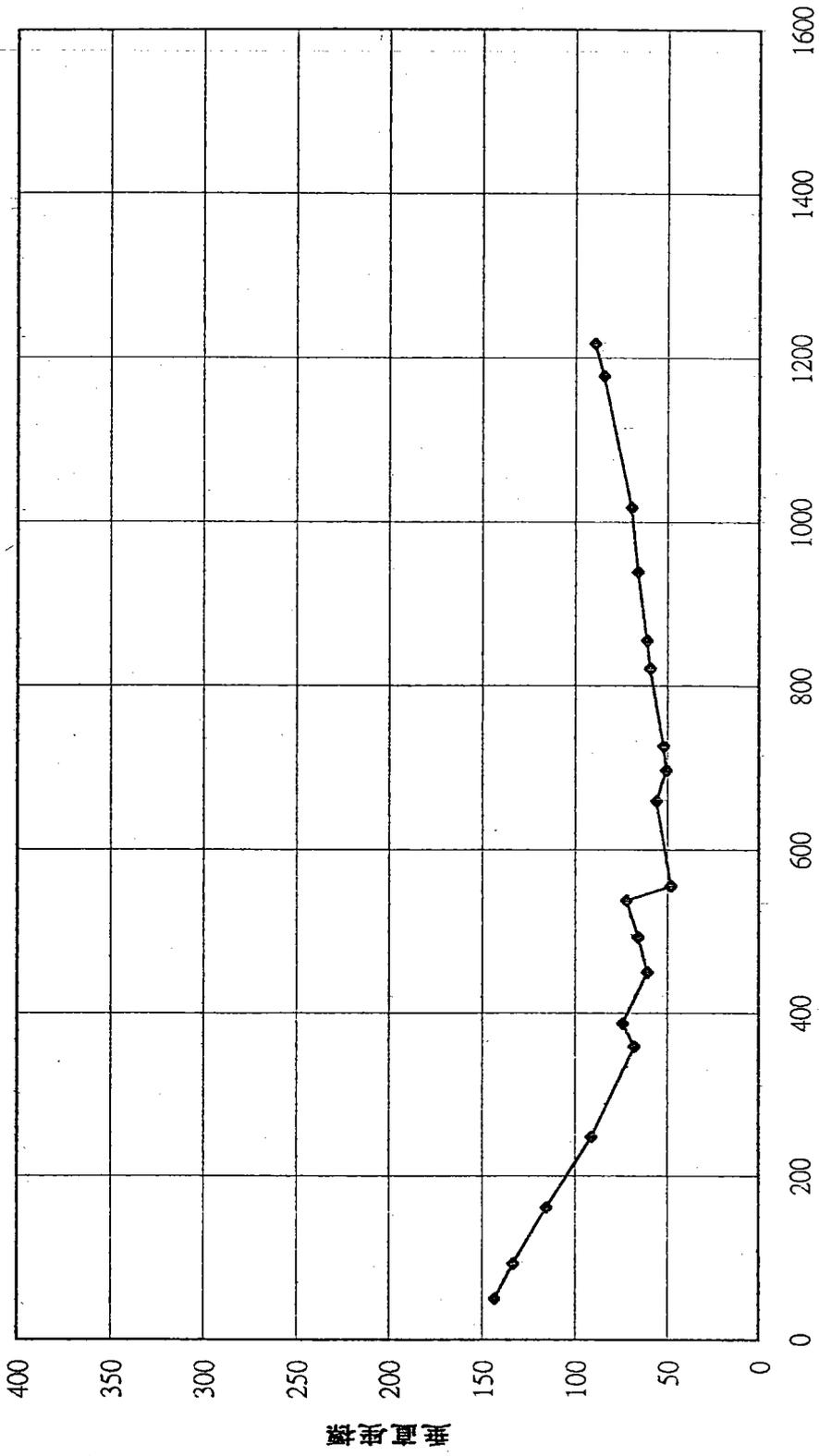


Fig. 20 水平度標

第二次觀測綠色浮標水平與垂直度標關係圖

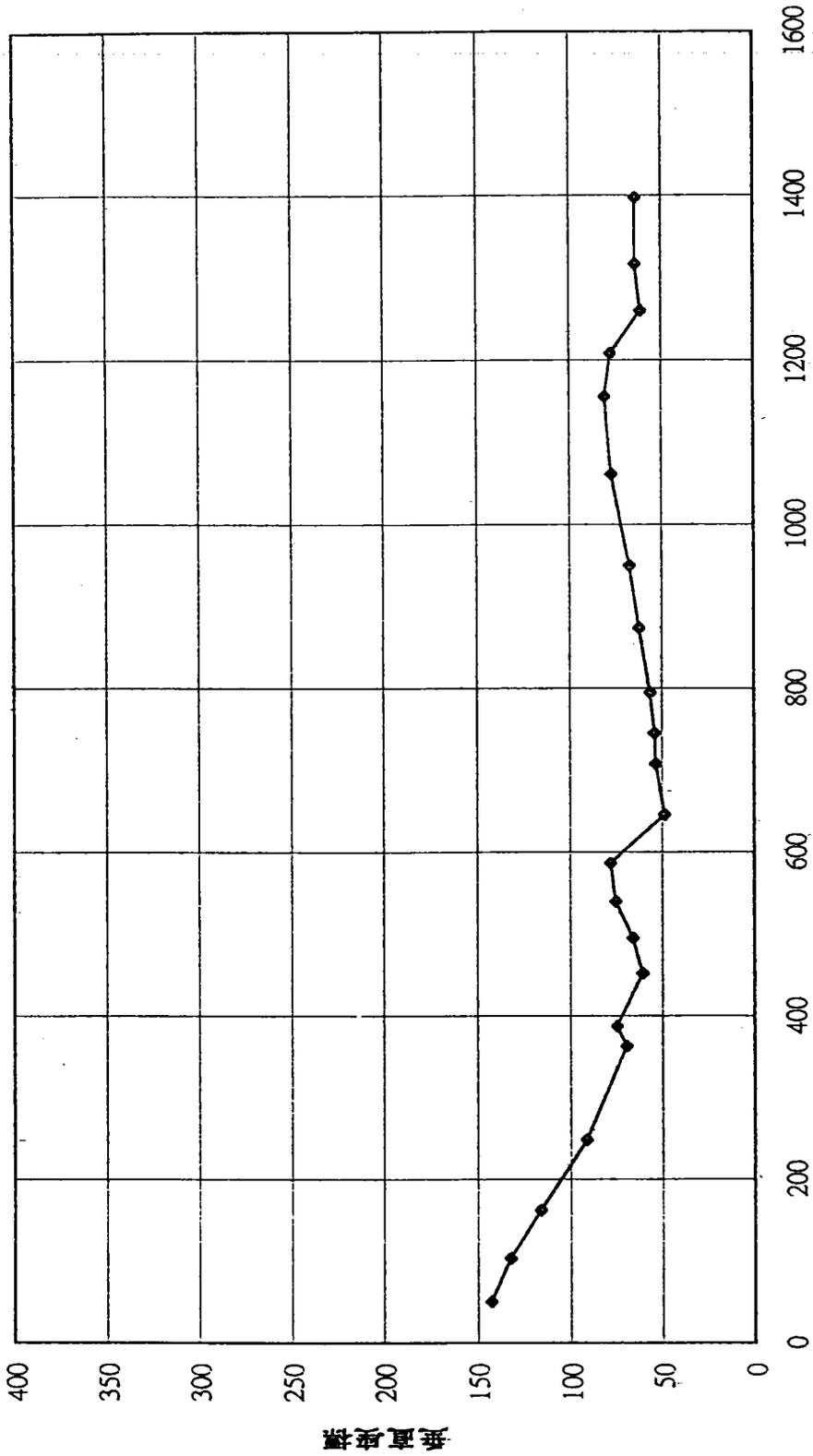


Fig. 21 水平度標

第二次觀測黃色浮標水平與垂直變標關係圖

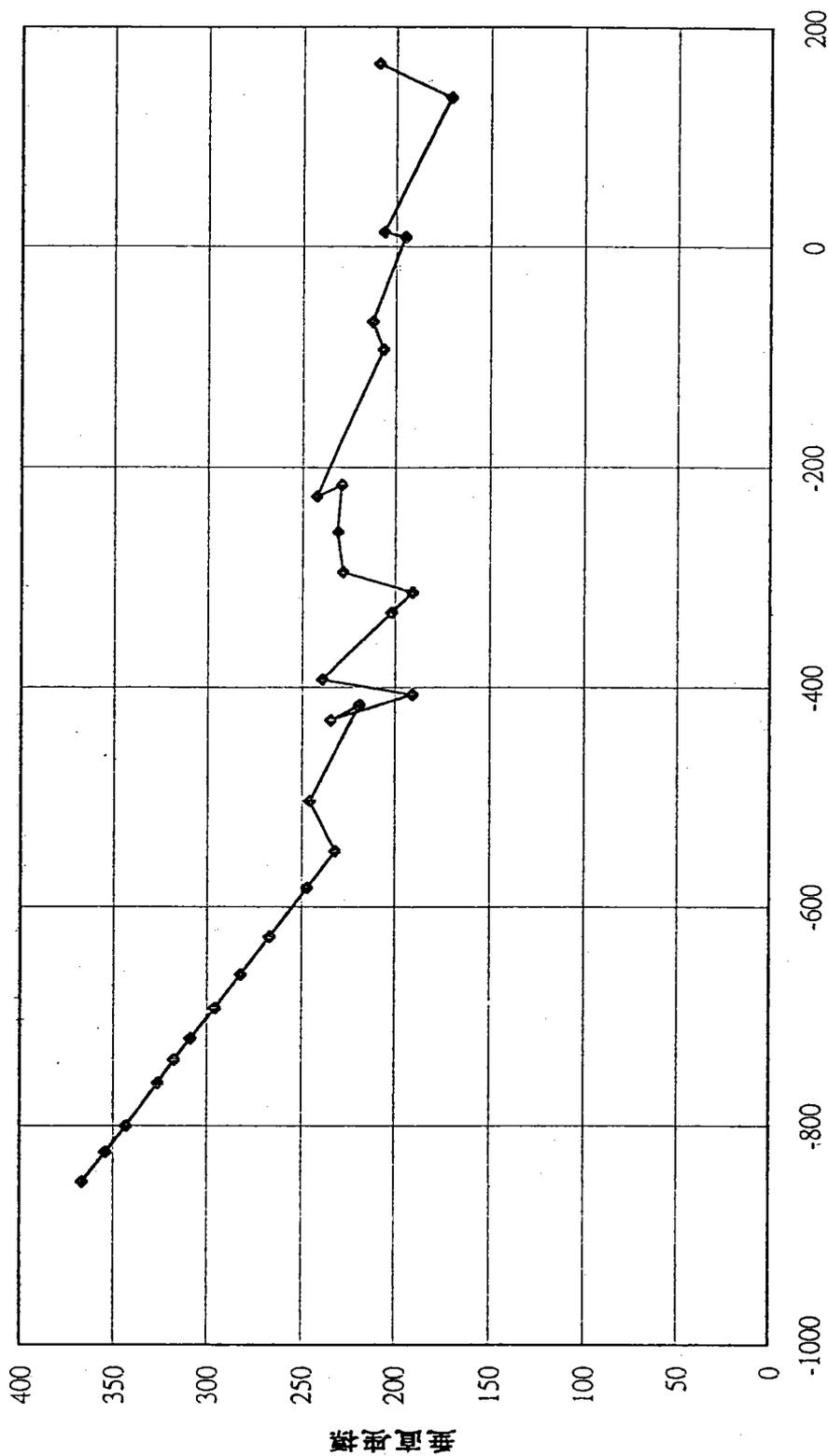


Fig. 22 水平變標

第二次觀測黑色浮標水平與垂直座標關係圖

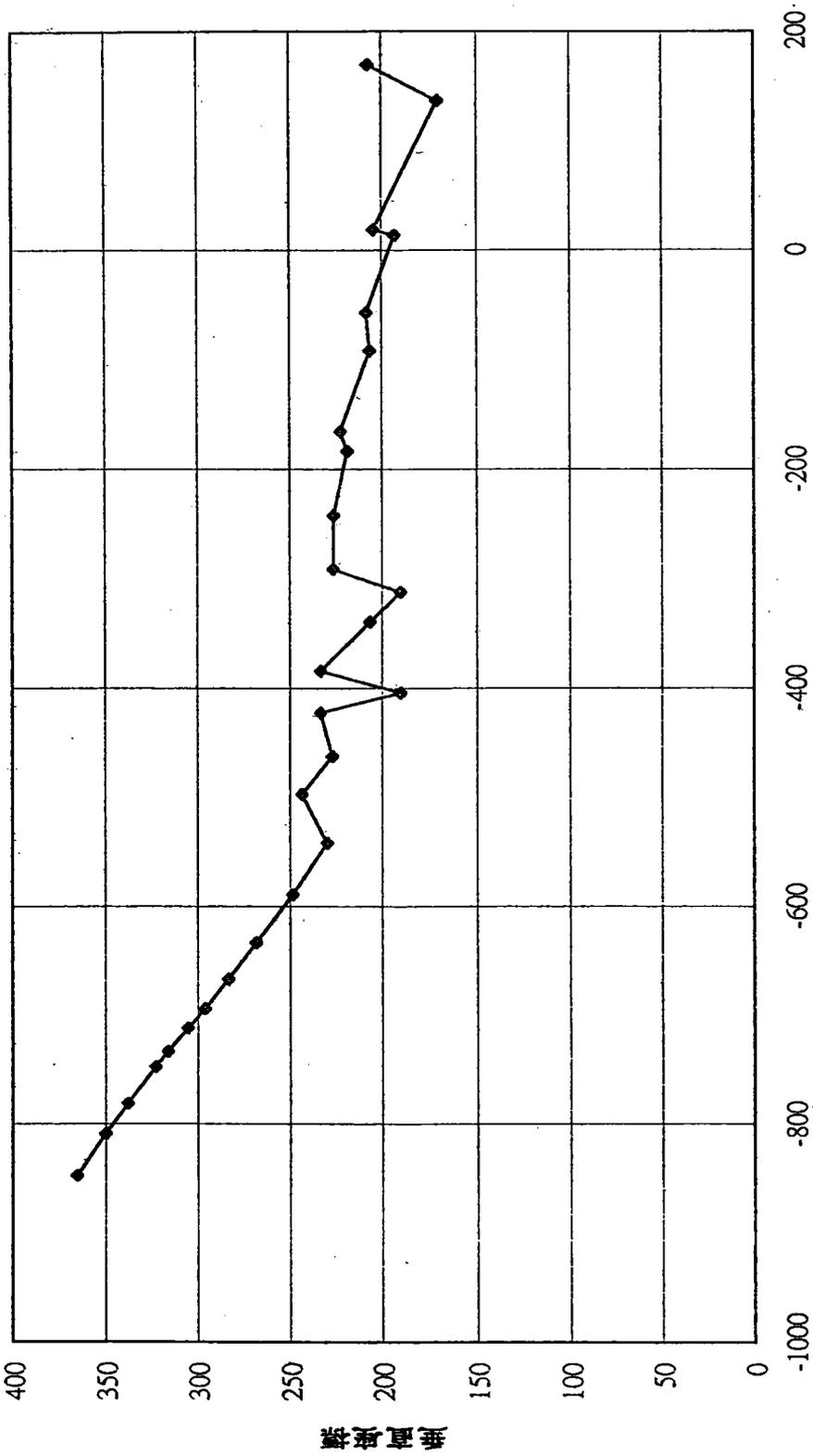


Fig. 23 水平座標

第三次觀測黃色浮標水平與垂直座標關係圖

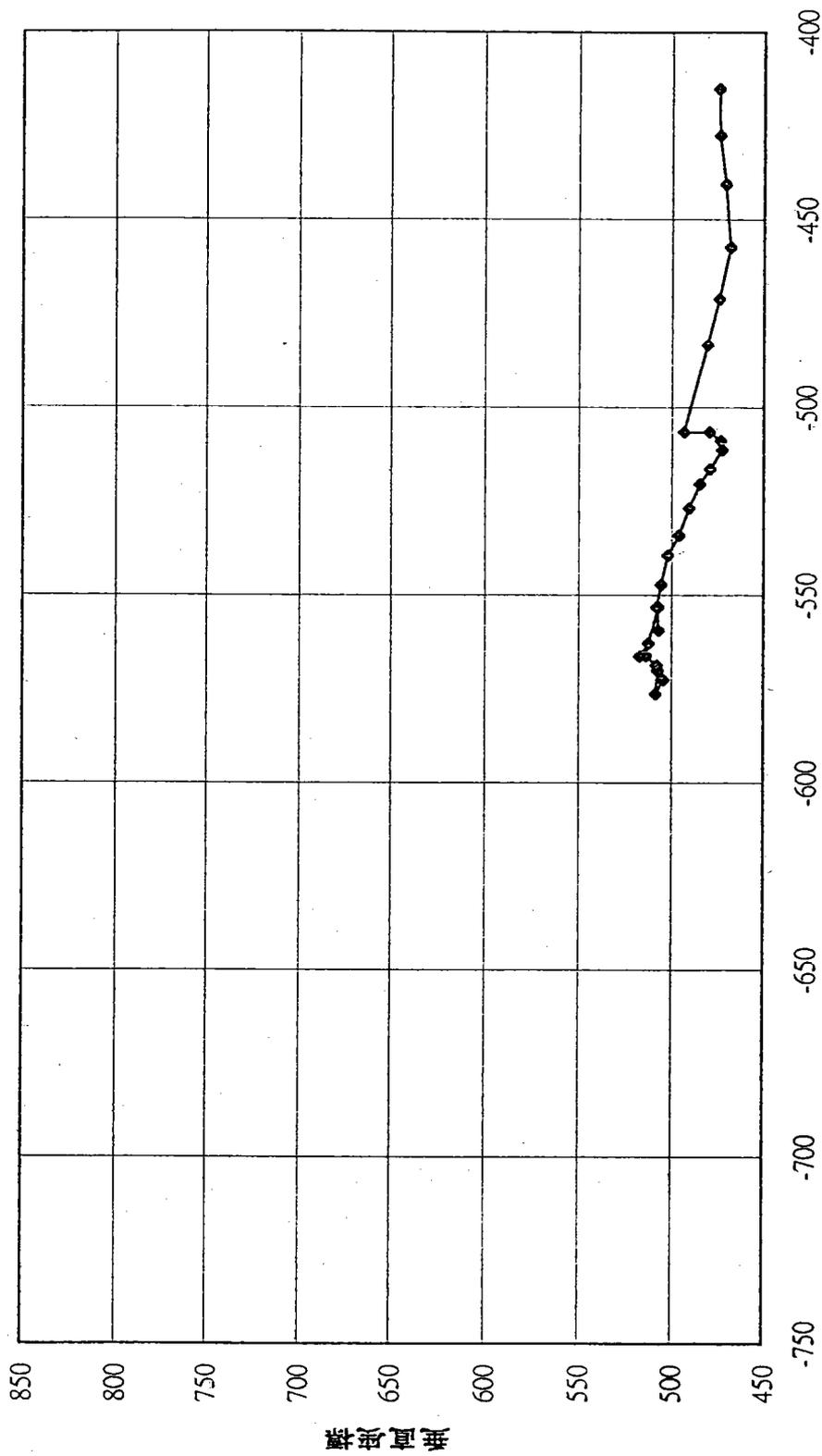


Fig. 25 水平座標

第三次觀測藍色浮標水平與垂直座標關係圖

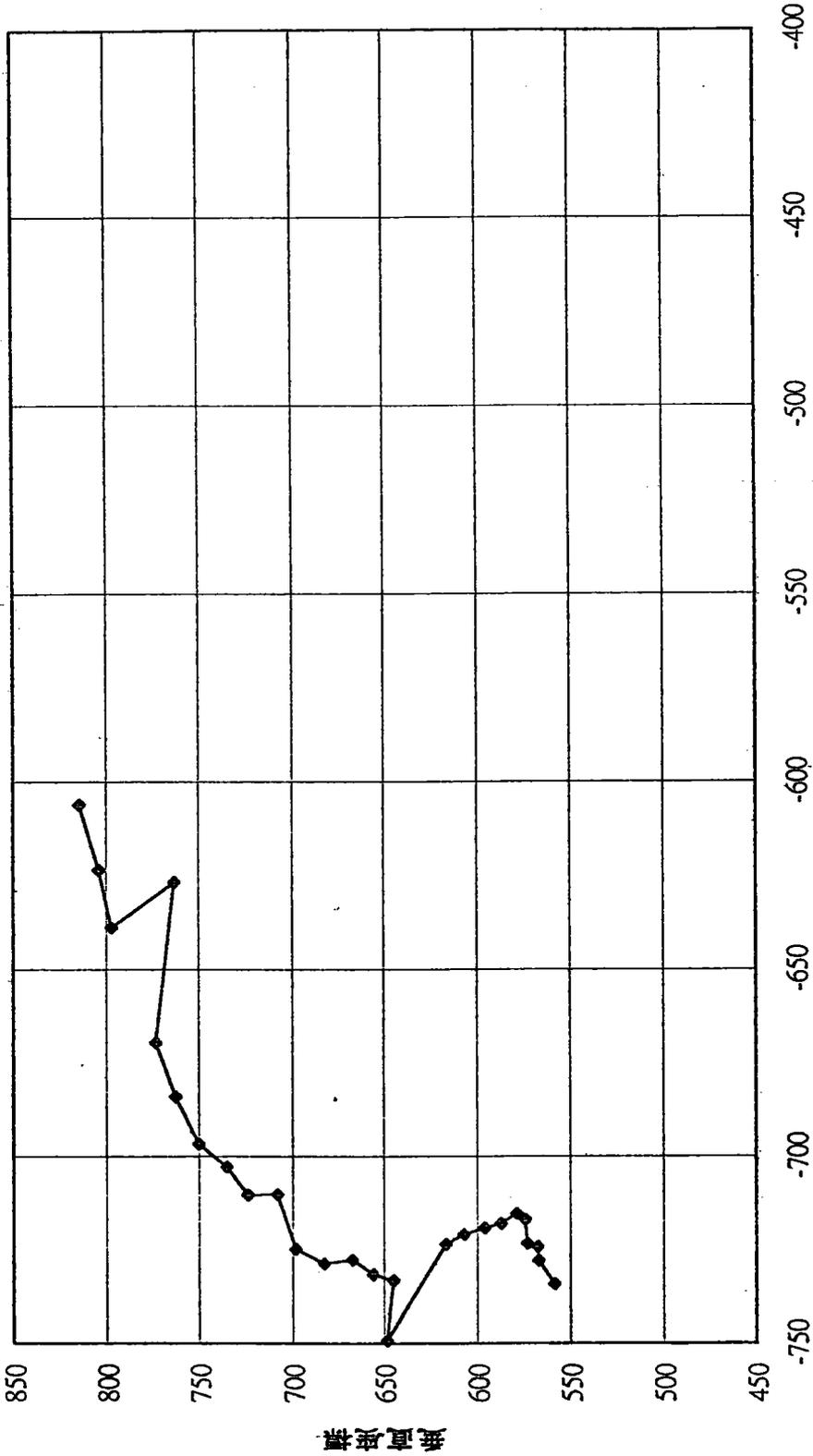


Fig. 24 水平座標

第二次染料投放及濃度量測成果圖 (96.03.30)

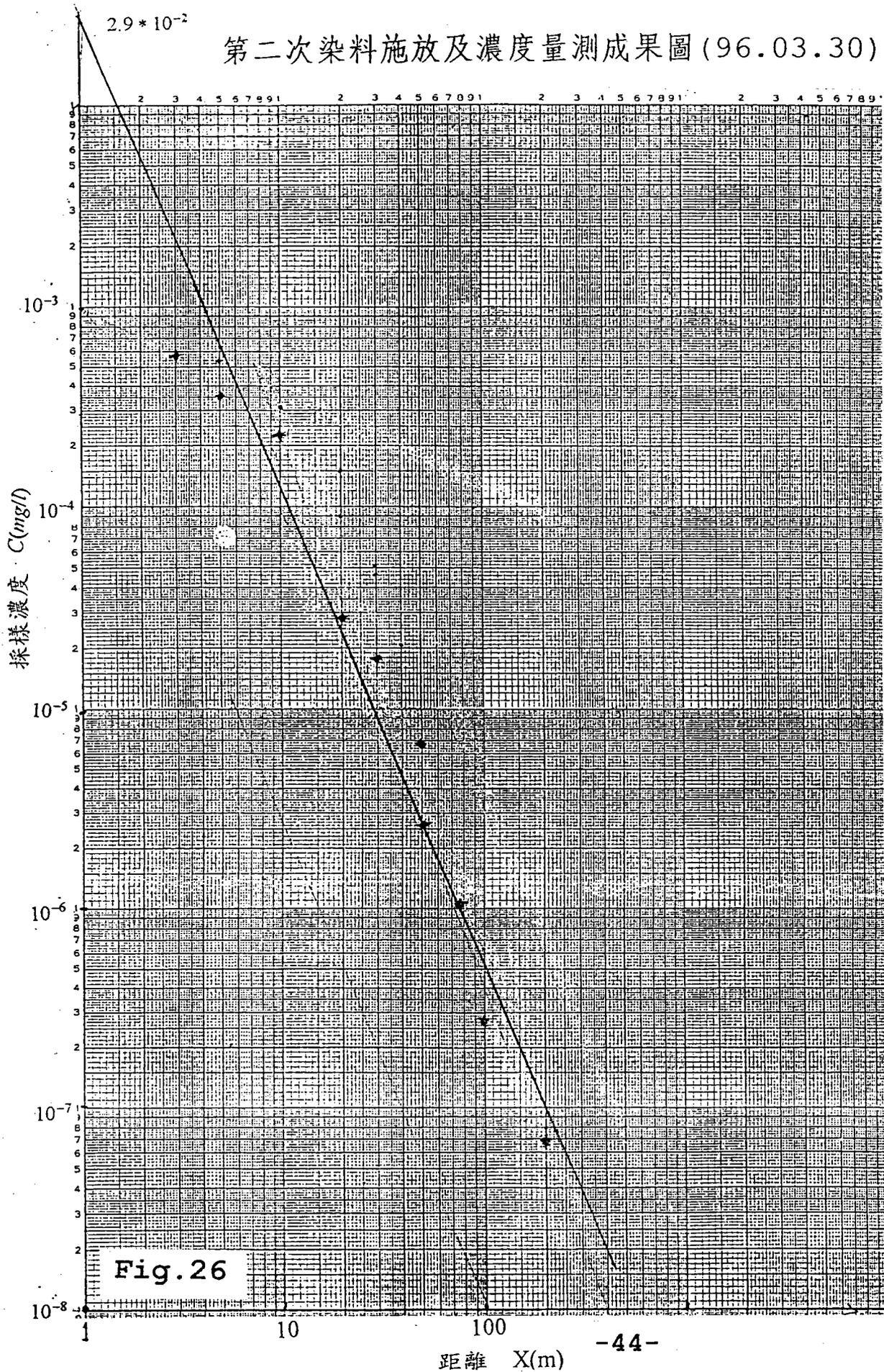


Fig. 26

第三次染料施放及濃度量測成果圖 (96.06.08)

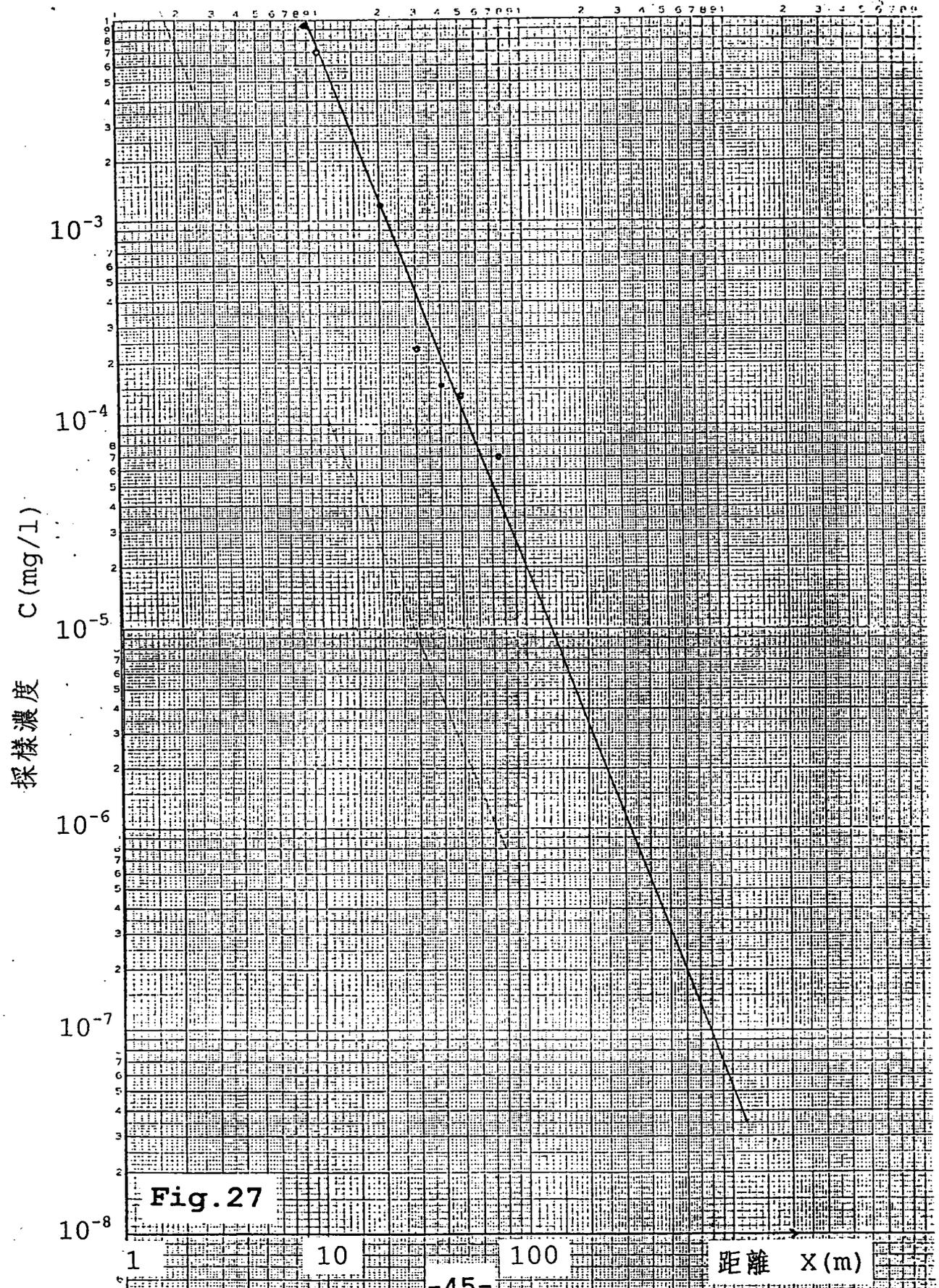


Fig. 27

Tide-change in Wharf #W2 & #101 (1996/02/27)

Time-lag = 9'42"

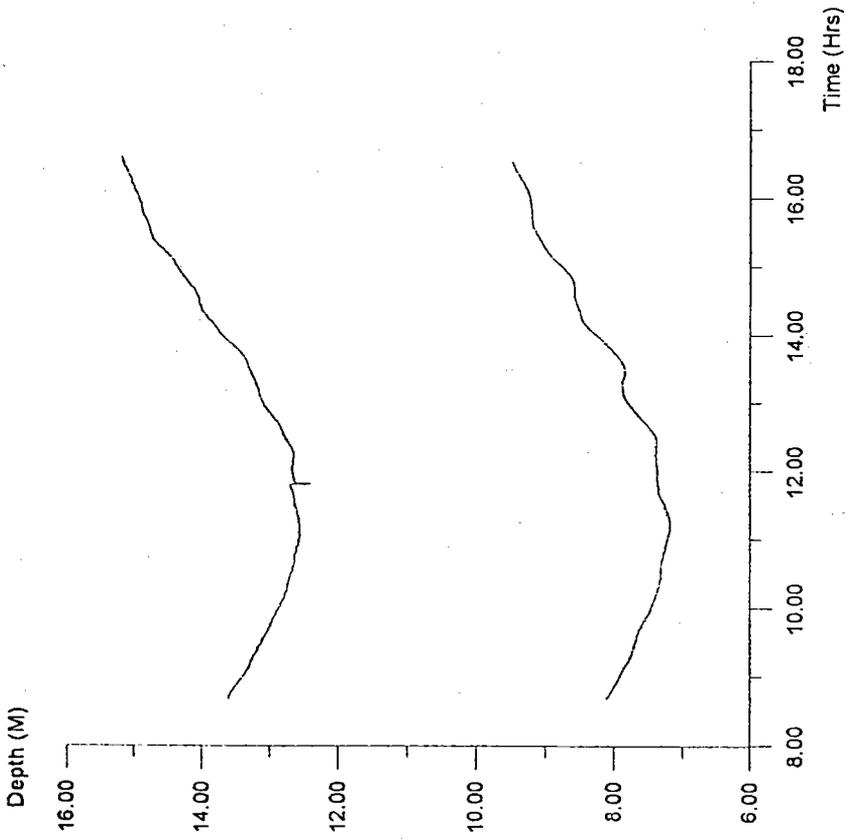


Fig.28

Tide-Change in Wharf #W2 & #101 (1996/06/08)

Time-lag = 8'58"

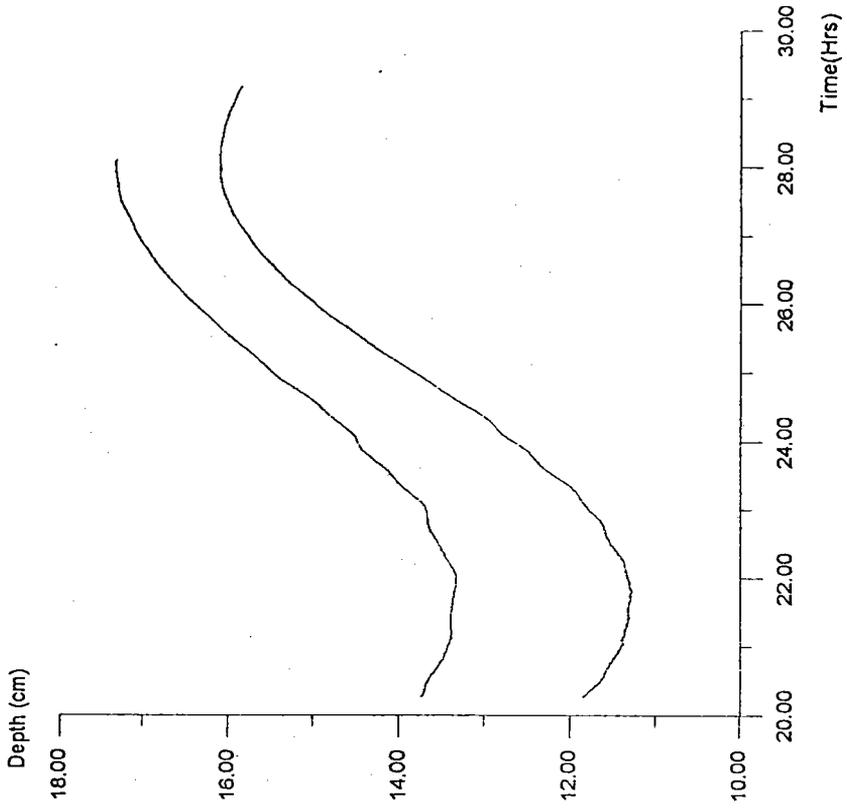


Fig.29

Temperature profile of Taichung Harbor Basin
ST.1 96-06-08

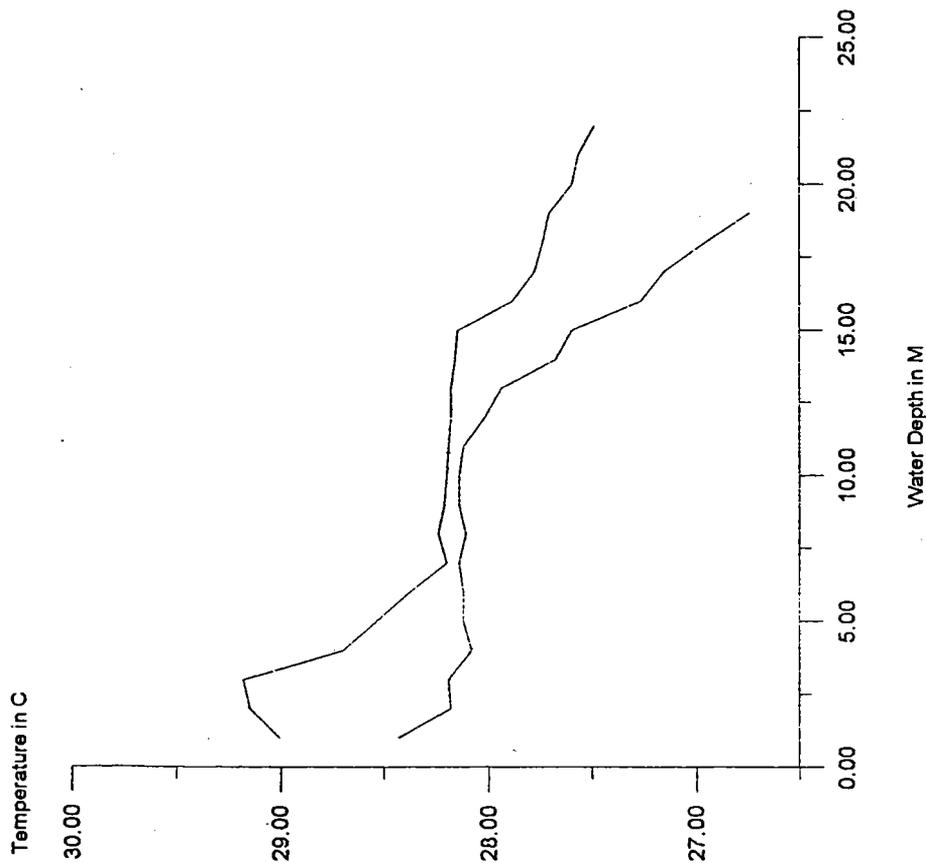


Fig.30

Temperature profile of Taichung Harbor Basin
ST.2 96-06-08

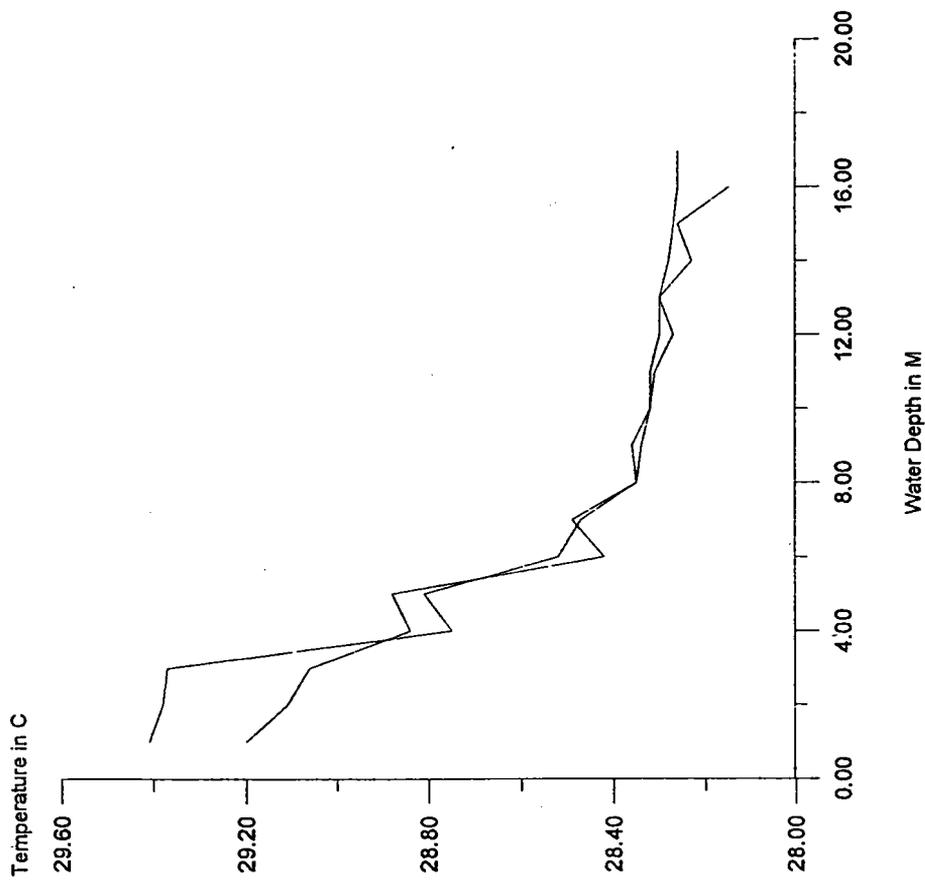


Fig.31

Temperature profile of Taichung Harbor Basin
ST.3 96-06-08

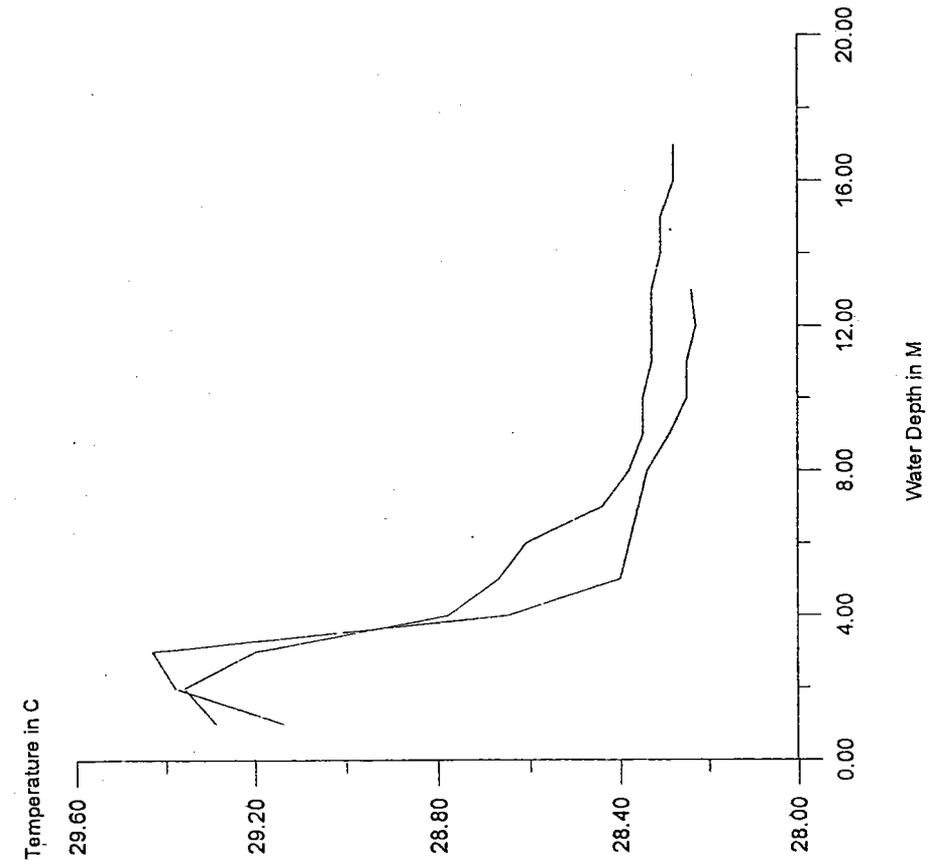


Fig.32

Temperature profile of Taichung Harbor Basin
ST.4 96-06-08

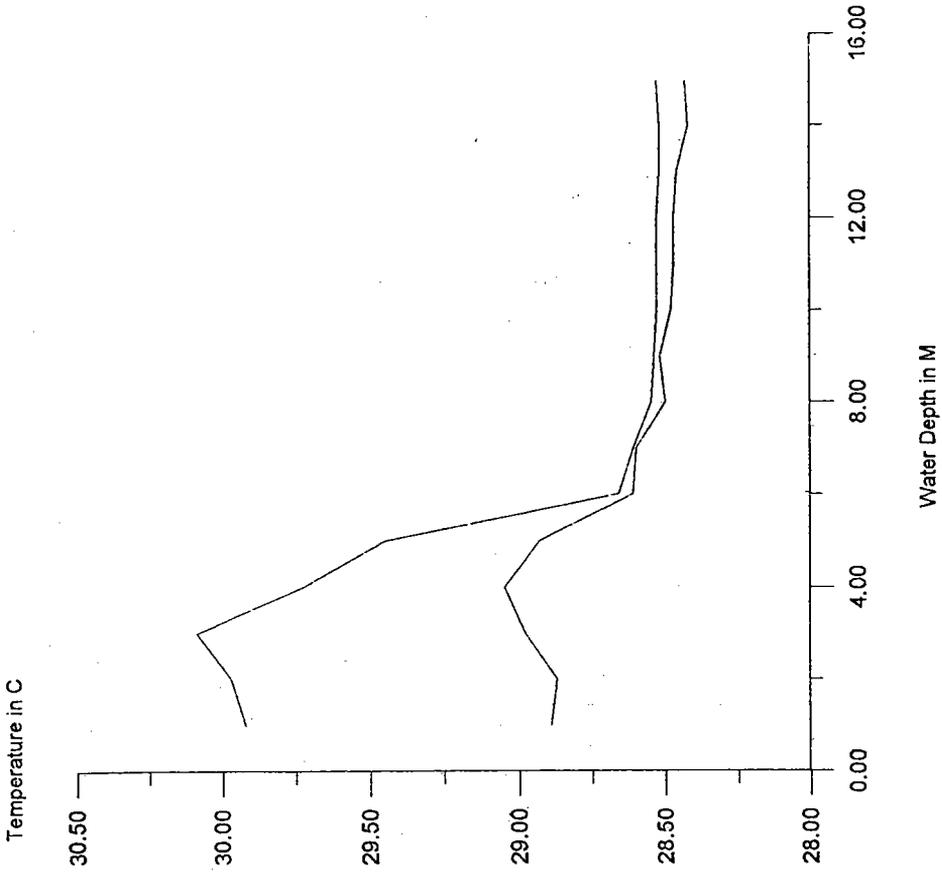


Fig.33

Temperature profile of Taichung Harbor Basin
ST.5 96-06-08

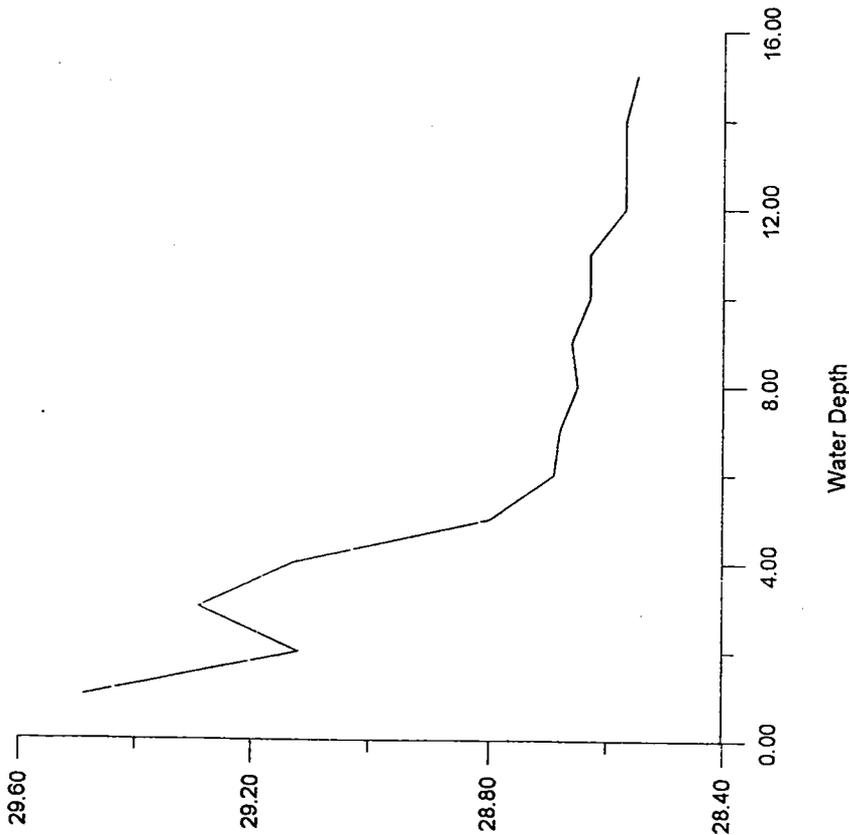


Fig.34

Salinity Profile of Taichung Harbor Basin
ST.1 96-06-08

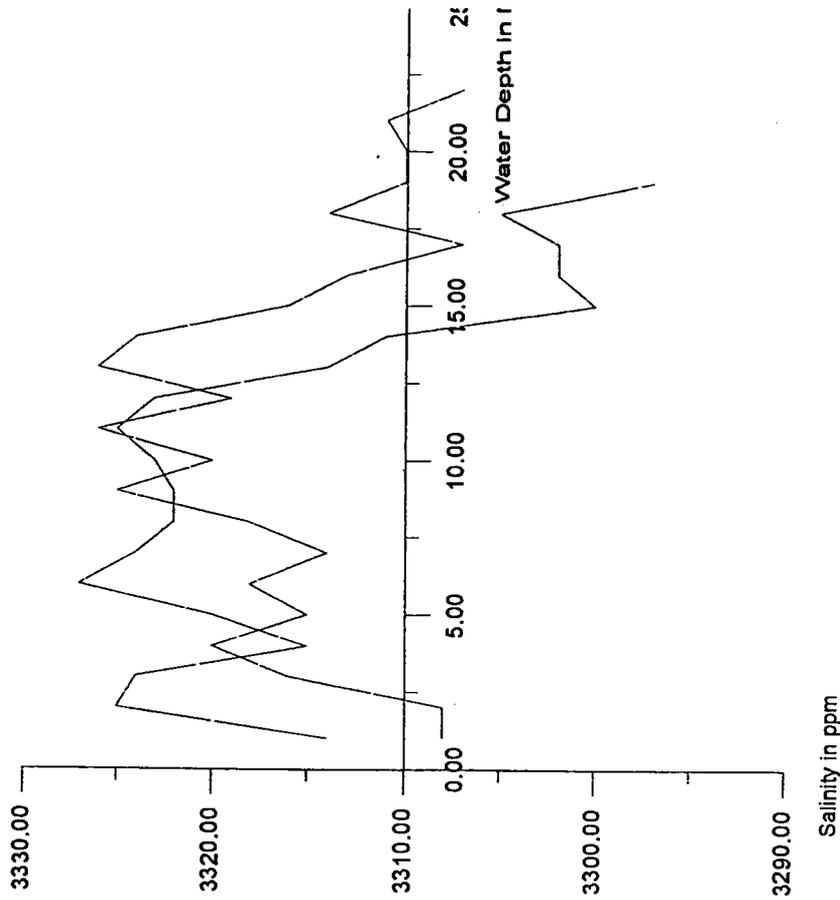


Fig.35

Salinity Profile of Taichung Harbor Basin
ST.2 96-06-08

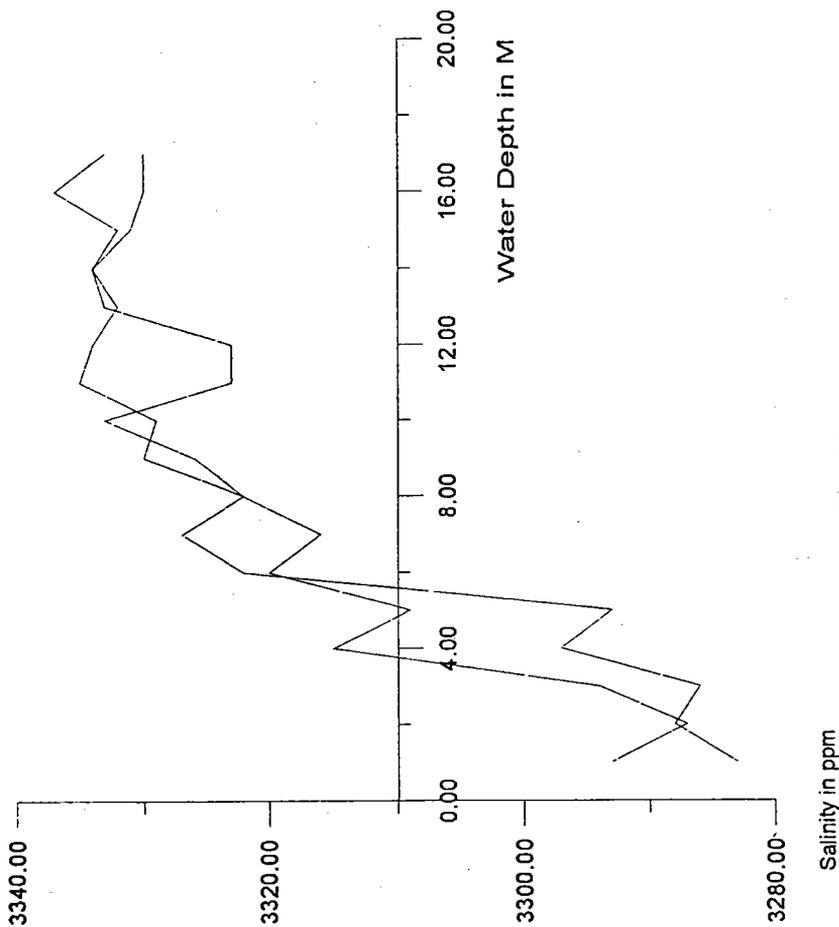


Fig.36

Salinity Profile of Taichung Harbor Basin
ST.3 96-06-08

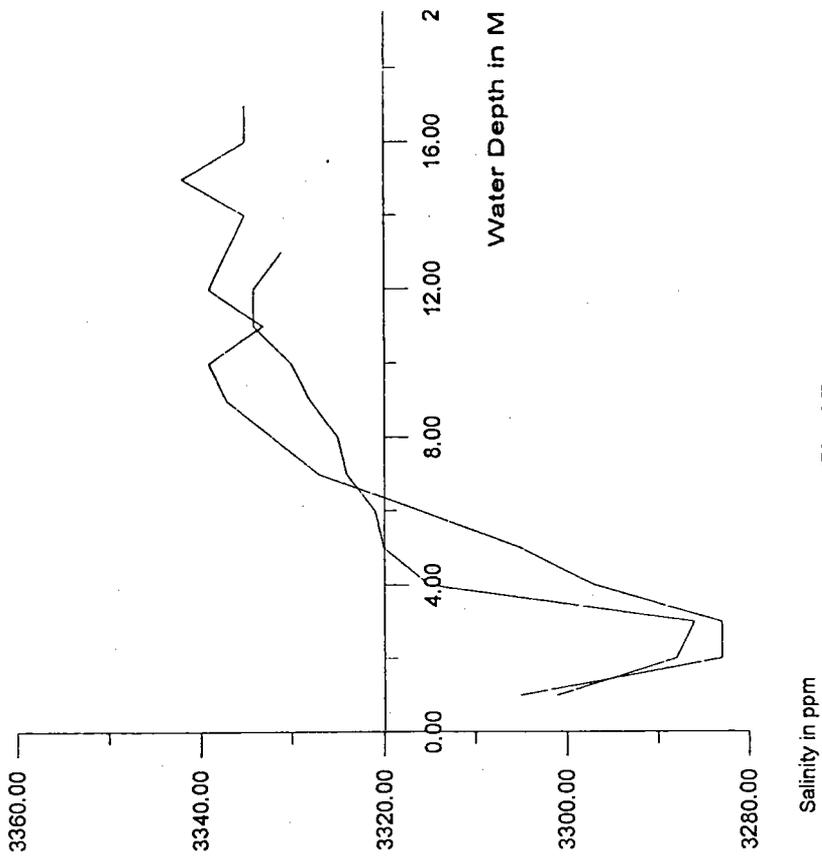


Fig.37

Salinity Profile of Taichung Harbor Basin
ST.4 · 96-06-08

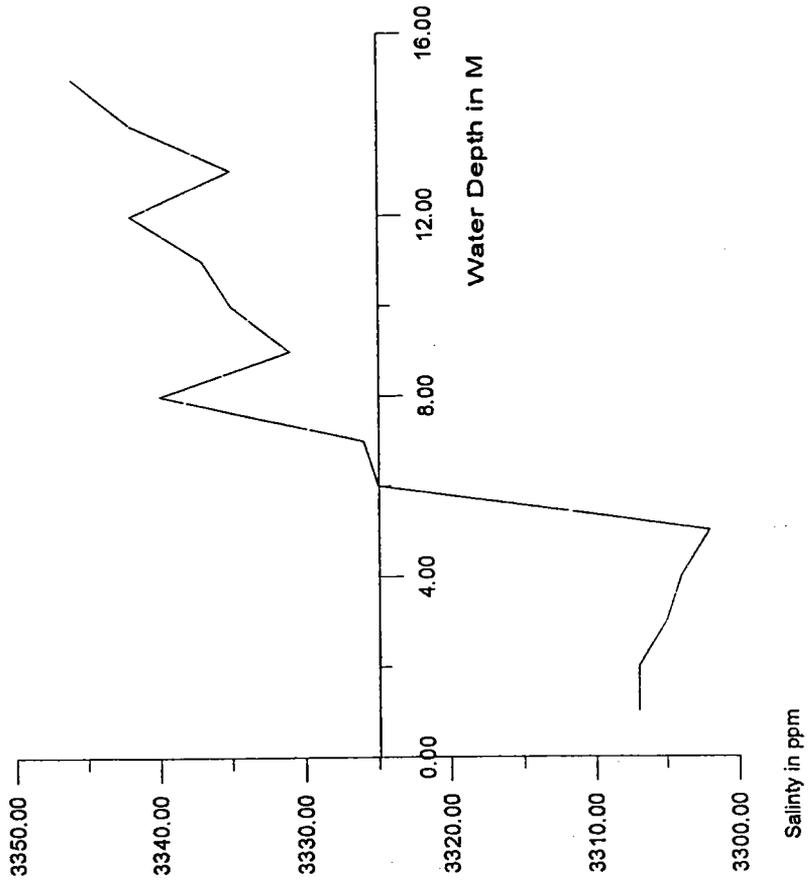


Fig.38

Salinity Profile of Taichung Harbor Basin
ST.5 · 96-06-08

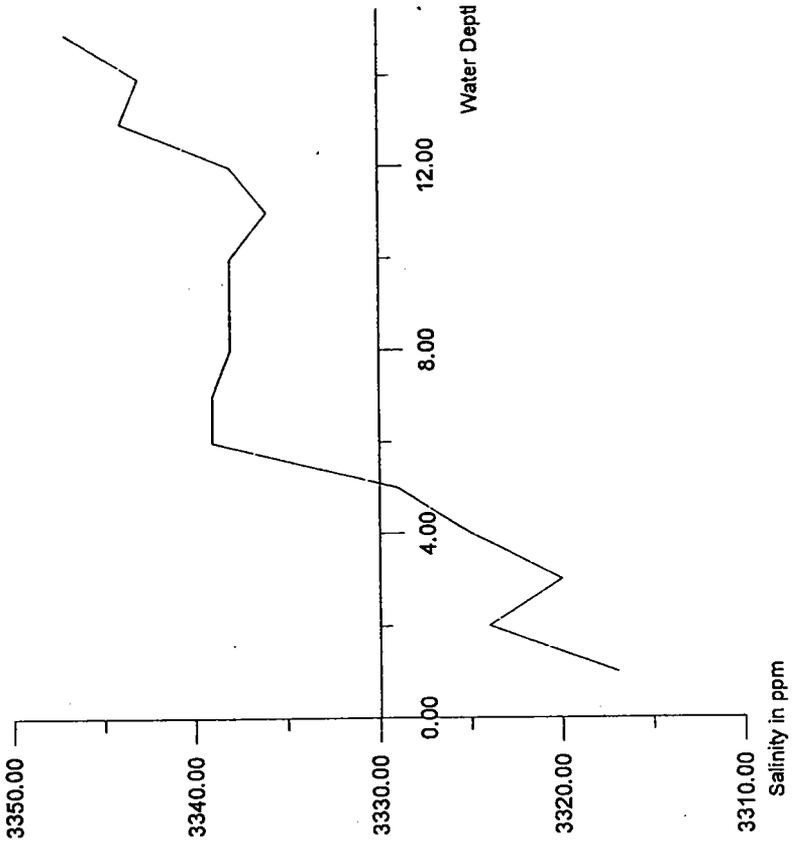


Fig.39