高雄港港池污染模式之研究

執行單位　：　數學模式組

計畫召集人　：　蘇青和　研究員

第一子計畫主持人：　蘇青和　研究員

第二子計畫主持人：　曾哲茂　副研究員

第三子計畫主持人：　蘇青和　研究員

參與人員　：　周憲德　博士

：　朱佳仁　博士

：　曾相茂　副研究員

：　莊文傑　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

Study on Marine Pollution in Kao-Hsiung Harbor

Ching-Ho Su & Zir-Mao Tseng

Mathematical Modelling Devision

Institute of Harbor & Marine Technology

Wuchi, Taichung District, Taiwan

摘 要

本研究擬採用現場調查、模型實驗和數值模式三種方法對高雄港港域的流場和污染擴模式進行研究。

本年度分三個子計畫進行，第一子計畫以蒐集歷年及本年度在高雄港近岸地區及港內現場觀測海流資料進行分析，以較完整探討全區之海流特性。第二子計畫爲進行高雄港港池水理水質模型試驗，及分析溢油衛星遙測調查之資料，擬對於高雄港域之水理特性，污染擴散能力及溢油範圍之傳輸作更深入的了解。第三子計畫在配合未來包括污染、水質擴散等數值計算整體性發展，引進丹麥水工研究所(DHI)發展的Mike 21二維模式，並自行建立三維水理及傳輸擴散模式。

第一子計畫蒐集現場觀測海流資料進行分析，因現有港外觀測資料不足及港內資料甚爲欠缺，本年度特別加強港內流況之觀測及港內外全區域之海流及潮位同時多點之量測。高雄港海岸地區流場主要受台灣海峽大尺度海潮流所控制，局部地區並受風及地形水深之影響。本區海流主要成份爲半日潮流及全日潮流，部份時候示平均流與潮流之數量級大小約略相等，因此實測之流向並不如預期中之純粹潮流那種往復之迴轉運動。在冬季因風及波浪受陸地遮蔽影響除局部表層影響外，風吹流及近岸流之成份皆甚小。

高雄外海流速觀測記錄之最大流速高達100cm/s以上，其流向爲平行海岸線之西北向，月平均流速約20～30cm/sec。海流向量行進圖顯示，各站之平均流部份時段往東南方流，且流速較大;而也有部份時段各站之平均海流偏向西北方，但流速較小。此區潮流橢圓呈狹長型，沿岸方向流速遠較向離岸方向流速爲大。漲潮向東南向，退潮向西北向，橢圓長軸之方向角與海岸線近乎平行。根據以往在興達港(高雄北北西方約三十公里)長期觀測資料顯示，興達港沿岸附近漲潮時潮流向西北流，退潮時則向東南流，因此本地區內潮流型態和附近地區不一致。一般而言，大林蒲同水深的海潮流流速均比中洲爲大，可能是受地形影響所致。

調和分析潮汐之日變化顯示，或全日潮大於半日潮，或半日潮大於全日潮，或有二者大小相近。因此潮流橢圓分析之日變化也顯示，或全日潮流大於半日潮流，或半日潮流大於全日潮流，或有二者大小相近。其次經比較分析顯示全(半)日潮汐與全(半)日潮流之關係甚爲不穩定，全(半)日潮波之能量傳遞至全(半)日潮流則甚爲不規則。潮波在近岸地區前進時

因受地形及海底摩擦效應之影響，不同潮波在傳遞過程之能量轉換並不完全相同。

大潮期間作28小時海流觀測，一港口行道附近之最大流速達55cm/s(向港內)；二港口之最大流速則爲31cm/s(向港內)。經與潮位變化比較分析，高雄港港內漲潮時海流由一港口向內流(東南向)，二港口之海流則向港外流(西南向)。在退潮時段,一港口之流向爲向外(西北向)，二港口之海流向港內流動(東北向)，其他則僅在轉潮部份時段時，有同進或同出之流況發生。

高雄港港內及港外整體而言，在漲潮時高雄港外近岸地區流向爲東南，此時港內流動順著外海之主要流動方面影響，從一港口進入，而由二港口出海。在退潮時，港外近岸區流向爲西北，此時港內流動也順著外海主要流向，由二港口進入，而從一港口出海。

第二子計畫針對高雄港港域的流況和擴散特性及港池內表面溢油之傳傳分佈進行模型試驗探討，並以既有之潮位水流資料及港池溢油衛星資料加以驗證。本計畫量測模型港域之流速分佈，一二港口之漲退潮之流向及流量，港域內之擴散係數及溢油事件發生的表面溢油面積之分佈。研究成果可提供數值模式所需之水理參數，使模型試驗配合現場資料及數值模式三者互相驗證。經由本研究之水理分析，對於高雄港域之水理特性，污染擴散能力及溢油範圍之傳輸將有更深入的了解，並得以對港域水質及油污之監測管理做更完整有效之規劃及評估。

第三子計畫在配合未來包括污染、水值擴散等數值計算整體性發展，衡諸研究計畫未來大量之計算工作，及需要迅速計算結果，經評估引用丹麥水工研究所(DHI)發展的Mike 21二維模式。另爲考量求解水深變化較大之區域，如海岸與河口交接處之水域，因鹽度變化而產生之層化現象，也自行開發三維水理及傳輸擴散模式。

水理計算數值模式Mike 21 HD，主要考量波浪作用力、潮汐水位變化、風、大氣壓力、地球自轉柯氏力及海底底床摩擦等因素，以模擬海水位變化及海潮流流況。

傳輸擴散數值模式Mike 21 AD，主要功能爲應用於模擬溶解或懸浮物質在流體擴散傳輸過程影響下之分佈，其模擬之污染物主要以滿足線性衰減物質，典型的污染物如大腸桿菌C_J、生化需氧量BOD、氯化合物、指定有機污染、熱量及衰減之含放射性物質。

水質擴散模組Mike 21 WQ，加重於較複雜之多種組合污染物生化反應過程之模擬，其可模擬之污染物包括溶氧DO、生化需氧量BOD、溶解生化需氧量BOD_d、懸浮生化需氧量BOD_s、沉積生化需氧量BOD_b、氨NH_3、硝酸NO_3、磷酸鹽PO_4、總大腸菌C_t及排洩物大腸菌C_F等單一性或多種污染物存在時之擴散情形，模組並可提供模使用者自己定義之污染物。

本計畫自行開發三維水理計算數值模式—Model CT31，主要引用有限元素法，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，並推導各層次積分有限元素方程式;對時間之數值積分方法，則引用二步驟顯示法。使用有限元素法之優點爲更容意處理不規則邊界及地形問題。

三維傳輸擴散數值模式—Model AD31，主要引用有限差分法數值模式，解析三維擴散方程式。在考量實際應用因不規則海岸線、外海假想邊界及海底地形，常使數值計算網格產生造成許多不便，引用彈性座標系統，將不規則地區之海岸線、外海邊界及海底轉換成二平行直線及平面海底之長方體網格系統，大大簡化數值之處理過程。

第一子計畫

—高雄港近岸及港內海流特性研究—

摘 要

本計畫以蒐集高雄港近岸地區及港內歷年,及本年度現場觀測海流資料進行分析，以探討本區之海流特性。因現有港外觀測資料不足及港內資料甚爲欠缺，本年度特別加強港內流況之觀測及港內外全區域之海流及潮位同時多點之量測。

高雄港海岸地區流場主要受台灣海峽大尺度海潮流所控制，局部地區並受風及地形水深之影響。本區海流主要成份爲半日潮流及全日潮流，部份時候示平均流與潮流之數量級大小約略相等，因此實測之流向並不如預期中之純粹潮流那種往復之迴轉運動。在冬季因風及波浪受陸地遮敝影響除局部表層影響外，風吹流及近岸流之成份皆甚小。

高雄外海流速觀測記錄之最大流速高達100cm/s以上,其流向爲平行海岸線之西北向,月平均流速約20～30cm/sec。海流向量行進圖顯示,各站之平均流部份時段往東南方流，且流速較大;而也有部份時段各站之平均海流偏向西北方,但流速較小。此區潮流橢圓呈狹長型，沿岸方向流速遠較向離岸方向流速爲大。漲潮向東南向，退潮向西北向，橢圓長軸之方向角與海岸線近乎平行。根據以往在興達港(高雄北北西方約三十公里)長期觀測資料顯示,興達港沿岸附近漲潮時潮流向西北流,退潮時則向東南流，因此本地區內潮流型態和附近地區不一致。一般而言,大林蒲同水深的海潮流流速均比中洲爲大,可能是受地形影響所致。

調和分析潮汐之日變化顯示，或全日潮大於半日潮，或半日潮大於全日潮，或有二者大小相近。因此潮流橢圓分析之日變化也顯示，或全日潮流大於半日潮流，或半日潮流大於全日潮流，或有二者大小相近。其次經比較分析顯示全(半)日潮汐與全(半)日潮流之關係甚爲不穩定,全(半)日潮波之能量傳遞至全(半)日潮流則甚爲不規則。潮波在近岸地區前進時因受地形及海底摩擦效應之影響,不同潮波在傳遞過程之能量轉換並不完全相同。

大潮期間作28小時海流觀測，一港口行道附近之最大流速達55cm/s(向港內)；二港口之最大流速則爲31cm/s(向港內)。經與潮位變化比較分析,高雄港港內漲潮時海流由一港口向內流(東南向),二港口之海流則向港外流(西南向)。在退潮時段,一港口之流向爲向外(西北向),二港口之海流向港內流動(東北向),其他則僅在轉潮部份時段時,有同進或

同出之流況發生。

高雄港港內及港外整體而言,在漲潮時高雄港外近岸地區流向爲東南,此時港內流動順著外海之主要流動方面影響,從一港口進入,而由二港口出海。在退潮時,港外近岸區流向爲西北,此時港內流動也順著外海主要流向,由二港口進入,而從一港口出海。

高雄港近岸地區及港內海流特性研究

目 錄

壹、前　言

高雄港位於台灣省之西南海岸，港域幅員遼闊，腹地廣大，臨海有狹長沙洲屏蔽，港灣形勢天成，地理條件優良，現有船舶出入港口共有二個，第一港口位於萬壽山與旗后山之間，港口位置爲北緯22°37'1"，東經120°15'25"(以高雄燈塔代表)；自旗后伸建之南堤爲防波堤，長爲938.0公尺，而自萬壽山西子灣伸建之北堤爲防沙堤，長爲938.8公尺，南北二堤堤口相距350公尺，港口有效寬度約228公尺，最窄有效寬度約爲100公尺(水面寬約132m)；目前港口水深爲-11公尺，主航道長度約1000公尺，計畫進港最大船型爲30,000DWT級船舶，其港口方向爲N75.7°W。第二港口位於北緯22°33'21"，東經120°18'26"(以北岸信號台代表)，其中南防波堤長爲2,189.4公尺，北防波堤長爲1,322.7公尺，南北二堤堤口相距爲418.6公尺，港口有效寬度爲200公尺，最窄處爲148公尺，目前港口水深爲-16.0公尺，主航道長度約1,537公尺，計畫進港最大船型爲100,000DWT船舶，其港口方向爲W12.3°S。港口西臨台灣海峽，距菲律賓馬尼拉543海浬;西南距香港342海浬，距新加坡1,621海浬，位處台灣對中國大陸及東南亞航線之交通要衝。進出港航道，高雄港現有第一港口及第二港口，其航道水深分別爲10.5～12.0m及12.0～16.0m。航道全長十八公里，可通行十萬噸級以下之船舶。碼頭145座，全長23,273公尺。

在河川及排水方面，高雄港港域北有典寶溪及後勁溪匯入，港區有仁愛河及前鎮河都市與工業區排水，港域南有林園排水、高屏溪及東港溪流入，另有左營放流管、中洲放流管及大林蒲放流管分別分佈於港域南北及西側。

爲探討高雄港域海流特性，擬先以了解港域自然環境之潮汐、風、波浪及地形等海、氣、地象影響因子特性。影響近岸域之流場，主要外力有潮汐作用、波力、風力等。多年來許多單位在高雄海域已經觀測得許多水理資料(如海流、潮位),惟上述資料,因其量測目的大多僅爲建立海域水理

資料背景之用,因此量測通常僅爲局部不同時間之定點觀測,在採用同時及多地點較全面性的水理量測資料甚缺,因此並無法得到較全面性的流場特性,觀測資料也不適合作爲數值模式率定。爲較完整深入了解此區域之水理特性,本計畫除蒐集歷年之海流資料進行較深入之分析,本年度也增加海流及潮位並同時多地點之量測。

由於高雄港港內偶有發生撞船意外,疑爲海流產生之影響,多年來高雄港外近岸區雖然經有有甚多之海流觀測資料,但在港內之流況資料卻甚爲欠缺。因此爲了解港內流況以提供操船之需,本計畫特別加強港內流況之觀測工作。港內因船隻運動頻繁,儀器安置及觀測作業甚爲困難,爲避免船隻碰撞,儀器僅能安置於海底或靠碼頭處,或採用工作船以機動短時期觀測,又因船隻在港內頻繁運動產生之流體擾動改變流場甚大,觀測位置之選定及海流外力因素之過濾也甚爲重要，今將分析結果說明如后。

貳、高雄地區潮汐、風、波浪及地形特性

爲探討高雄港域海流特性，擬先以了解港域自然環境之潮汐、風、波浪及地形等海、氣、地象影響因子特性。其他在河川及排水方面(如附圖2-1)，高雄港港域北有典寶溪及後勁溪匯入，港區有仁愛河及前鎮河都市與工業區排水，港域南有林園排水、高屏溪及東港溪流入，另有左營放流管、中洲放流管及大林蒲放流管分別分佈於港域南北及西側，對海流僅局部小區域之影響，此處暫不討論。

2-1 潮汐特性

高雄港區之現有長期觀測驗潮站即有二處，其一設置於蓬萊商港區#10碼頭，稱ST-1，另一位於二港口內港第十船渠內，稱ST-2，位置如附圖2-1-1，皆使用自記式潮位儀。表2-1-1爲1992年1月至1992年12月間潮汐水位蒐集之資料統計表，資料期間與1992年間本所海流觀測期間相同(張等，1993)。

1992年在ST-1及ST-2兩測站每月潮位逐時變化，如附圖2-1-2，圖中空心圓圈位置日期爲農曆初一，實心圓圈位置之日期爲農曆15日，其他二個半圓之弦朝上表示農曆初8，弦朝下爲農曆22日。兩測站因相距小於10公里，潮汐形態甚爲相似，大小也相差不大，因ST-1測站缺少部份資料，並且圖中也顯示品質略較ST-2爲差，北處將取用ST-2測站潮位資料做分析。

潮汐水位爲一種長波，其潮波波高及週期分月統計表則如表2-1-2，潮波波高大小即相當於潮差大小。表中顯示此地區之1992年月平均潮差約爲53～64公分，而最大潮差約爲90～123公分。說明高雄潮差較北部淡水地區之月平均潮差約爲2米～3米左右爲小(蘇等，1998)，也較中部台中港附近潮差4～5米爲小(蘇等，1996)。

而由潮汐潮波振幅能譜圖(附圖2-1-3)，顯示潮汐主要成份爲半日潮及全日潮組成，全日潮含有二種期成份，一爲約23.93小時週期(K_1)，另第一

種爲25.82小時週期(O_1)，二者大小相近。半日潮也含有二種週期成份，一爲約12.4小時週期(M_2)，另一種約爲12小時週期(S_2)。M_2與全日潮(K_1及O_1)之成份大小相近，但S_2則不及M_2之二分之一。取用較長之3個月資料進行能譜分析，如圖2-1-4，在全日潮及半日潮部份與月分析結果相似，但在低頻長週期處仍有能量存在，顯示潮汐變化也存在較長週期成份。由統計表2-1-2顯示週期主要爲有半日及全日兩種，因T_{mean}介於15小時～19小時之間，又顯示全日週期潮波數較半日週期爲多。

此一地區之潮型與台中港區及淡水潮汐之潮型並不相同。淡水潮汐主要成份爲半日潮，全日潮其潮差僅爲半日潮潮差約1/5左右(蘇等，1998)。台中港潮汐主要爲半日潮，全日潮差也約爲半日潮差之1/8～1/10間(蘇等，1996)。

爲進一步了解全日潮及半日潮二者之日變化，引用潮汐調和分析求得每日(取30小時資料作分析)之半日潮二種週期成份$T_2 = 12.4$小時，$T_2' = 12.0$小時，及全日潮二種週期成份$T_1 = 23.9$小時及$T_1' = 25.8$小時之振幅a_2, a_2', a_1及a_1'大小，如附圖2-1-5。附表2-1-3中則列出每日半日潮及全日潮之振幅a_2, a_2', a_1, a_1'及比值R_1，其中比值R_1定義爲$R_1 = max(a_1, a_1')/max(a_2, a_2')$，$t_1$及$t_2$分別爲對應$\max(a_1, a_1')$及$\max(a_2, a_2')$之週期。由表圖中明顯看出不同日期每日之全日潮及半日潮之比率變化甚大，或是$a_2(a_2')$較大，或是$a_1(a_1')$較大，或是二者大小相近，分佈甚爲不規則。

圖2-1-6爲選取之4組有3天長之代表性潮位資料水位變化圖，圖2-1-7則爲其振幅能譜圖。第一組全日潮遠大於半日潮，第二組半日潮遠大於全日潮，第三組二者大小相近，第四組全日潮略大於半日潮，此結果也顯示日變化之多變性。

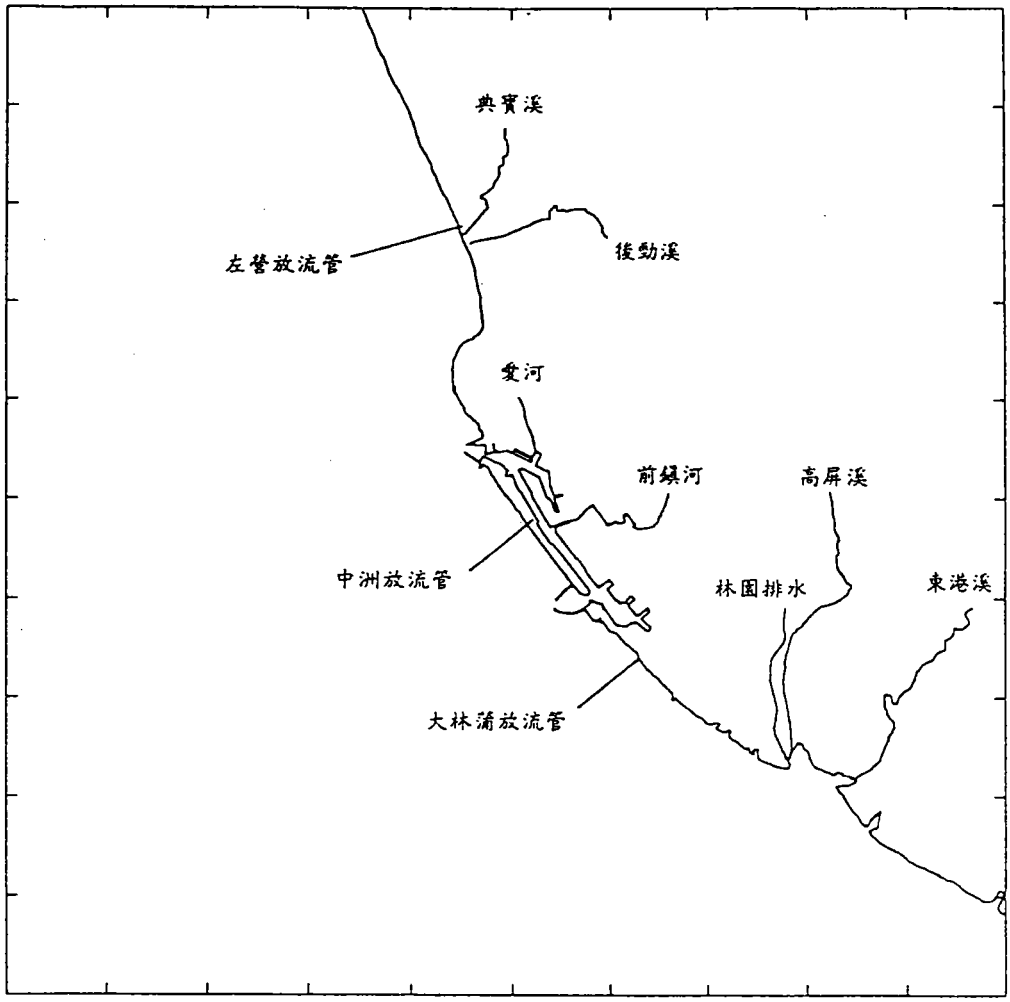


圖2-1 高雄海域海洋放流管系統與主要河川位置示意圖

Kao-Hsiung Harbor

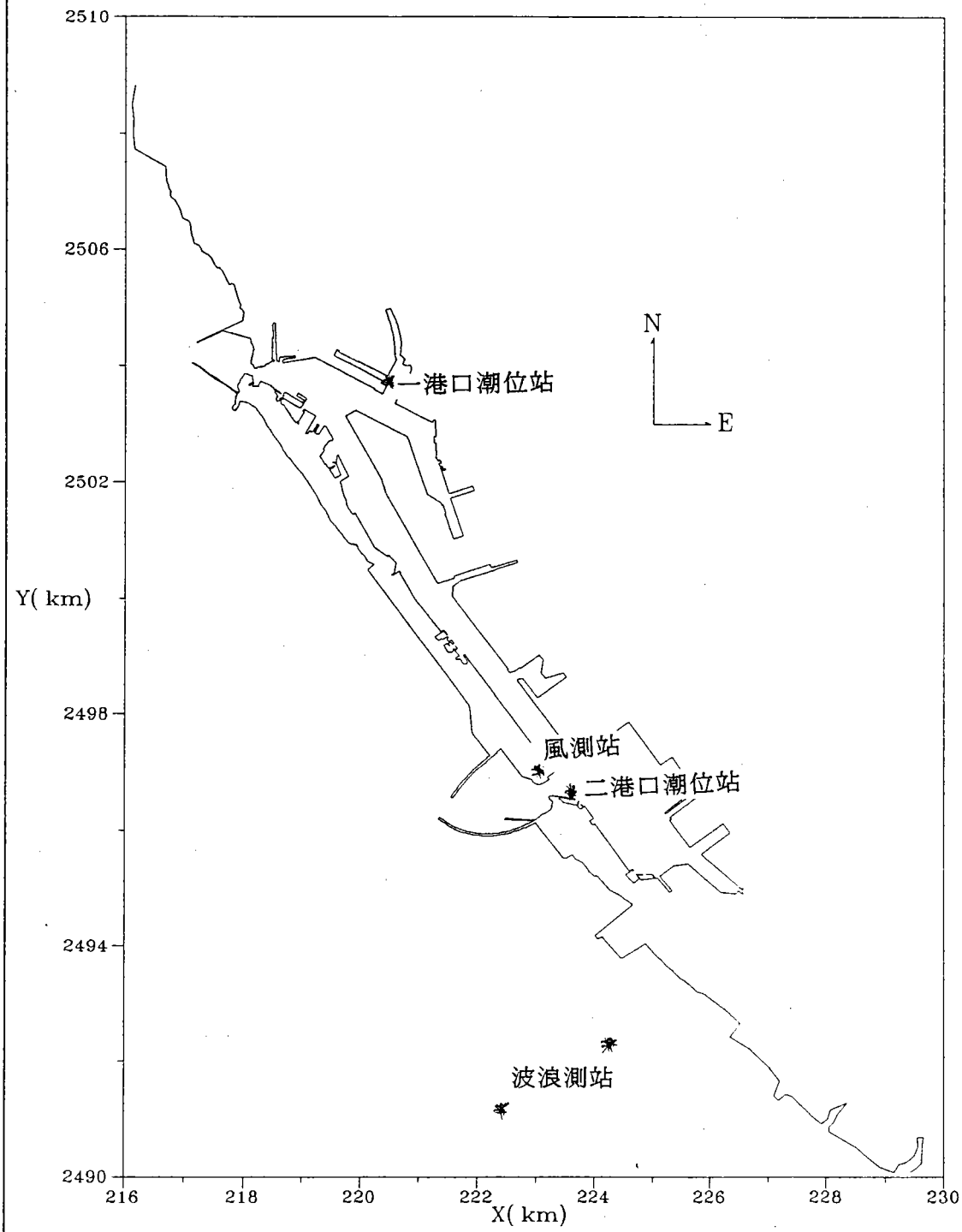


圖2-1-1 高雄地區潮汐、風及波浪等觀測站位置示意圖

KSA1.BOU	Institute of Harbor & Marine Technology

PLBC1V.FOR 1998.7.6

表2-1-1 高雄港現場觀測潮汐資料統計表

序號	測站	年、月	檔名	啓止時間 (日.時:分～日.時:分)	觀測天數	觀測筆數
1	1	1992/01	TI920101.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744
2	2	1992/01	TI920102.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744
3	1	1992/02	TI920201.1HE	04.00:00～29.23:00	26	624
4	2	1992/02	TI920202.1HE	01.00:00～29.23:00	29	696
5	1	1992/03	TI920301.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744
6	2	1992/03	TI920302.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744
7	1	1992/04	TI920401.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720
8	2	1992/04	TI920402.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720
9	1	1992/05	TI920501.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744
10	2	1992/05	TI920502.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744
11	1	1992/06	TI920601.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720
12	2	1992/06	TI920602.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720
13	1	1992/07	TI920701.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744
14	2	1992/07	TI920702.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744
15	1	1992/08	TI920801.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744
16	2	1992/08	TI920802.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744
17	1	1992/09	TI920901.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720
18	2	1992/09	TI920902.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720
19	1	1992/10	TI921001.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744
20	2	1992/10	TI921002.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744
21	1	1992/11	TI921101.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720
22	2	1992/11	TI921102.1HE	01.00:00～30.23:00	30	720
23	1	1992/12	TI921201.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744
24	2	1992/12	TI921202.1HE	01.00:00～31.23:00	31	744

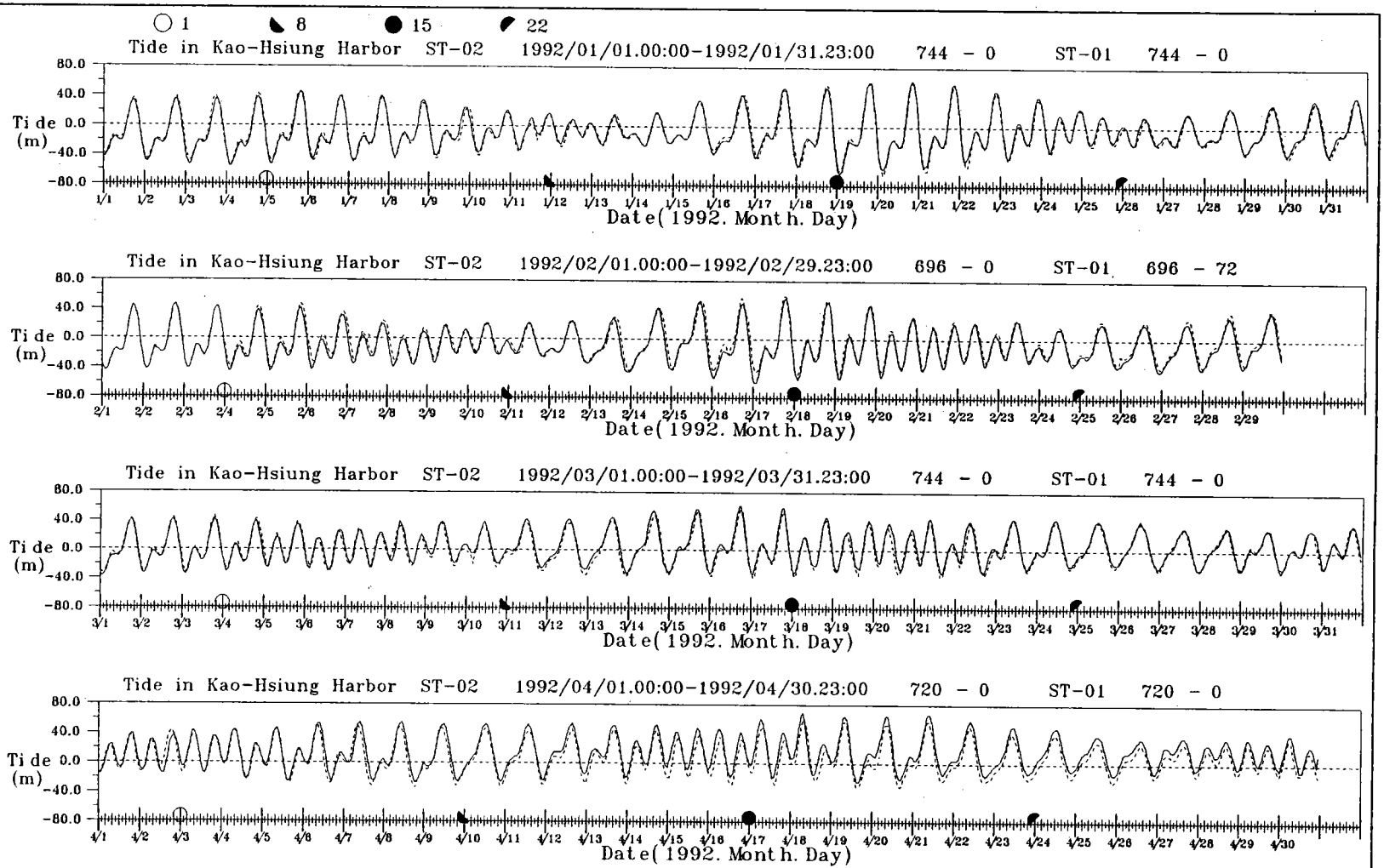


圖2-1-2a 1992年1月～4月於高雄港潮位測站觀測之逐時潮位變化圖

TI920102.1HE	TI920202.1HE	TI920302.1HE	TI920402.1HE
TI920101.1HE	TI920201.1HE	TI920301.1HE	TI920401.1HE

Institute of Harbor & Marine Technology

PLTI2XH.FOR

1996.8.24

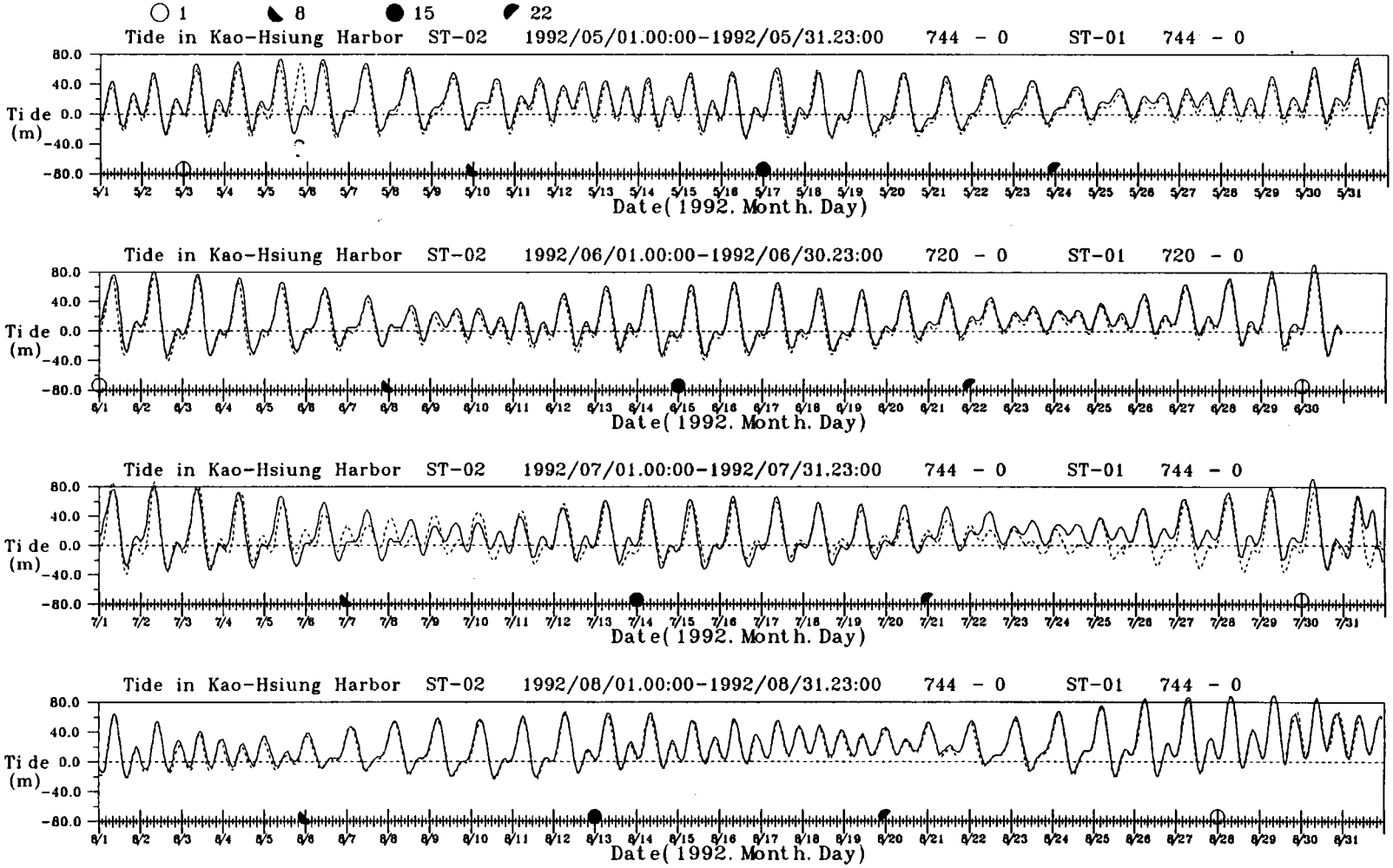


圖2-1-2b 1992年5月～8月於高雄港潮位測站觀測之逐時潮位變化圖

TI920502.1HE	TI920602.1HE	TI920702.1HE	TI920802.1HE
TI920501.1HE	TI920601.1HE	TI920701.1HE	TI920801.1HE

Institute of Harbor & Marine Technology

PLTI2XH.FOR

1995.8.24

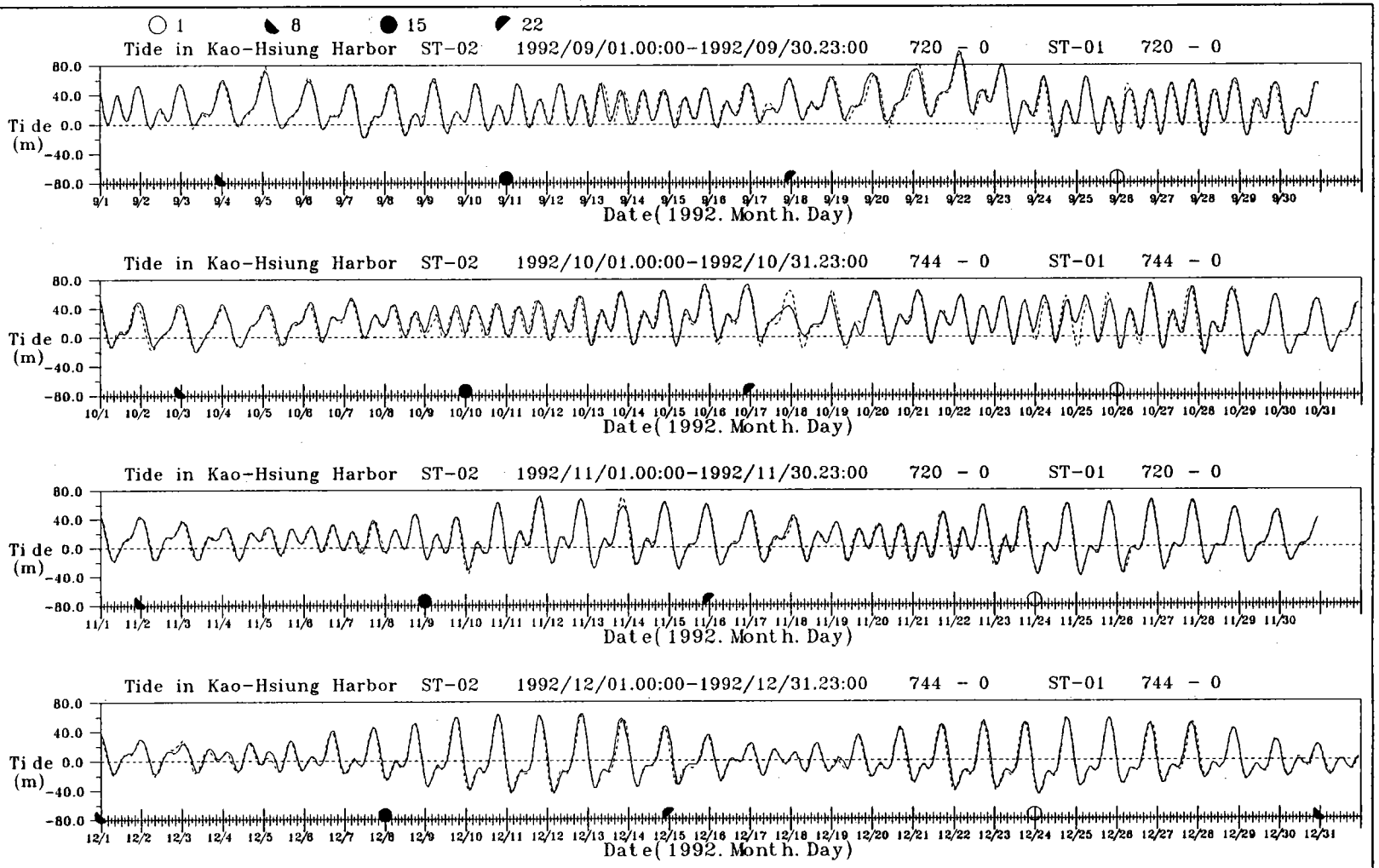


圖2-1-2c 1992年9月～12月於高雄港潮位測站觀測之逐時潮位變化圖

TI920902.1HE	TI921002.1HE	TI921102.1HE	TI921202.1HE
TI920901.1HE	TI921001.1HE	TI921101.1HE	TI921201.1HE

Institute of Harbor & Marine Technology

PLTI2XH.FOR

1998.6.24

表2-1-2a　高雄港ST-2潮波之波高(米)及週期(秒)觀測值分月統計表

日期 (年/月)	H_{max} (米)	T_{max} (小時)	$H_{1/10}$ (米)	$T_{1/10}$ (小時)	$H_{1/3}$ (米)	$T_{1/3}$ (小時)	H_{mean} (米)	T_{mean} (小時)	波數
1992/01	118	25.1	117	25.0	98	23.3	64	19.4	37
1992/02	112	16.4	107	22.1	91	20.6	60	16.7	40
1992/03	95	16.5	90	18.0	77	20.5	53	15.3	47
1992/04	90	18.7	85	20.8	79	21.8	54	16.1	44

	1992/01		1992/02		1992/03		1992/04	
序號	波高(米)	週期(秒)	波高(米)	週期(秒)	波高(米)	週期(秒)	波高(米)	週期(秒)
1	82	25.0	88	24.5	74	24.4	33	10.8
2	88	24.5	88	24.8	76	25.0	50	13.0
3	90	24.5	88	25.3	74	16.0	46	11.7
4	91	24.4	84	17.0	26	8.9	42	11.7
5	92	23.8	18	7.7	64	14.0	58	12.9
6	86	25.0	84	15.2	38	10.8	37	11.0
7	83	24.8	26	9.7	62	13.7	68	14.6
8	76	25.0	66	13.9	44	11.8	30	10.2
9	62	15.9	28	10.5	48	11.8	72	15.7
10	14	8.6	58	14.1	52	13.0	20	8.6
11	54	15.1	36	11.5	40	11.4	80	24.7
12	22	9.3	42	12.3	60	13.1	80	24.3
13	42	14.1	38	11.4	28	10.4	82	24.7
14	25	11.5	34	11.6	58	16.0	78	24.0
15	29	13.1	43	14.8	12	8.4	78	25.4
16	42	25.4	19	9.8	58	24.1	76	20.6
17	42	23.6	48	25.3	68	24.7	70	22.5
18	73	24.7	58	23.7	70	24.8	11	8.5
19	85	24.5	75	25.8	78	24.0	70	15.4
20	106	25.9	84	19.3	86	22.1	32	10.3
21	117	24.9	106	31.7	4	4.0	58	12.3
22	118	25.1	108	25.0	90	19.0	51	12.5
23	116	25.0	112	16.4	10	7.5	58	12.5
24	105	16.4	28	8.8	95	16.5	66	13.3
25	26	8.6	104	15.4	26	9.4	45	10.6
26	91	15.4	38	9.6	90	14.6	80	14.2
27	30	9.6	98	14.6	40	11.2	36	9.5
28	74	13.6	50	11.1	73	13.5	85	14.7
29	34	10.7	71	12.9	52	12.3	24	10.1
30	50	13.5	55	12.0	60	11.4	90	18.7
31	39	13.1	54	12.0	66	13.6	5	4.8
32	27	11.5	60	13.0	50	10.7	86	25.3
33	38	24.4	32	10.9	76	14.8	82	24.0
34	42	24.3	57	17.0	27	8.2	77	26.0
35	62	24.6	20	8.5	72	17.3	64	23.0
36	70	24.6	50	24.0	14	7.0	58	24.0
37	74	23.9	60	24.1	70	25.0	54	24.0

表2-1-2b　高雄港ST-2潮波之波高(米)及週期(秒)觀測值分月統計表

日期 (年/月)	H_{max} (米)	T_{max} (小時)	$H_{1/10}$ (米)	$T_{1/10}$ (小時)	$H_{1/3}$ (米)	$T_{1/3}$ (小時)	H_{mean} (米)	T_{mean} (小時)	波數
1992/05	101	24.7	97	21.2	88	22.1	54	16.0	46
1992/06	114	25.4	109	25.1	98	24.8	61	18.8	37
1992/07	123	28.0	115	26.1	101	25.1	62	19.1	38
1992/08	104	18.0	99	18.5	84	20.2	55	15.9	46

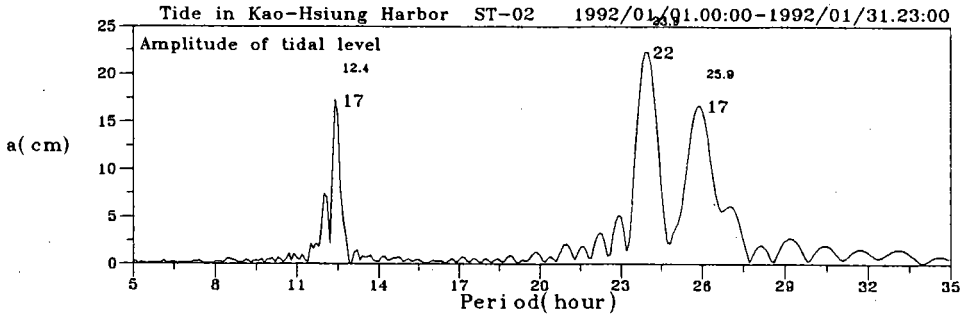
	1992/05		1992/06		1992/07		1992/08	
序號	波高(米)	週期(秒)	波高(米)	週期(秒)	波高(米)	週期(秒)	波高(米)	週期(秒)
1	61	13.8	105	25.0	105	25.0	86	25.4
2	30	10.1	114	25.4	114	25.4	66	13.7
3	82	15.5	110	24.9	110	24.9	36	11.2
4	22	8.5	104	24.7	104	24.7	48	13.1
5	92	16.1	96	25.0	96	25.0	38	13.9
6	18	7.8	80	25.4	80	25.4	30	10.9
7	96	17.8	70	26.0	70	26.0	40	24.4
8	12	6.9	48	15.1	48	15.1	48	24.6
9	101	24.7	22	10.9	22	10.9	58	24.6
10	100	24.4	40	13.4	40	13.4	70	24.9
11	92	24.7	36	14.3	36	14.3	78	24.6
12	84	24.7	30	10.2	30	10.1	78	25.4
13	76	26.4	56	24.0	56	24.0	82	24.4
14	66	17.5	72	24.2	72	24.2	82	24.9
15	16	8.0	86	24.5	86	24.5	74	16.2
16	59	14.9	95	24.7	95	24.7	22	8.6
17	31	11.0	96	24.6	96	24.6	74	15.5
18	49	13.4	96	24.6	96	24.6	28	9.4
19	48	13.1	90	24.8	90	24.8	58	14.5
20	42	11.6	86	24.6	86	24.6	29	9.9
21	66	13.7	76	24.5	76	24.5	58	13.2
22	30	9.9	65	23.9	65	23.9	32	10.9
23	78	16.4	60	17.2	60	17.2	46	12.6
24	24	8.2	6	6.2	6	6.2	38	12.2
25	88	24.5	46	17.7	46	17.7	41	12.8
26	90	25.4	12	8.3	12	8.3	36	12.6
27	87	23.3	34	15.8	34	15.7	30	11.5
28	84	24.7	14	10.2	14	10.3	37	13.9
29	78	24.9	26	14.0	26	13.9	16	10.3
30	72	23.9	32	13.4	32	13.4	42	17.2
31	66	24.1	20	10.8	20	10.8	10	7.5
32	58	25.3	54	15.1	54	15.1	58	25.3
33	44	19.9	13	8.4	13	8.4	74	24.1
34	2	5.0	68	17.0	68	17.1	82	25.5
35	42	18.2	13	7.9	13	7.9	94	25.3
36	10	8.8	88	24.4	88	24.4	104	18.0
37	34	14.7	102	24.9	98	24.9	18	7.6

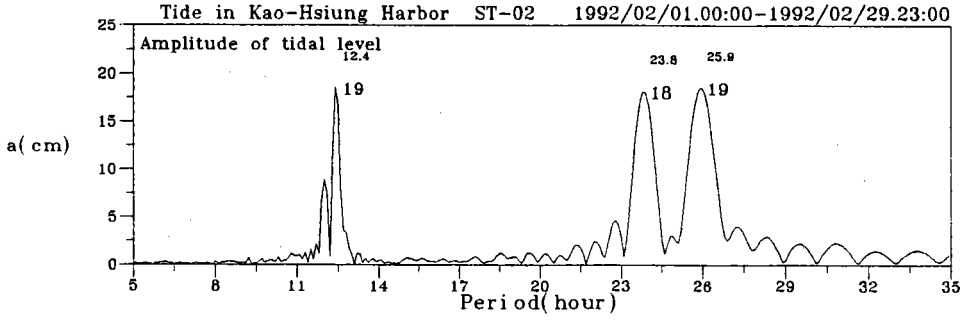
表2-1-2c　高雄港ST-2潮波之波高(米)及週期(秒)觀測值分月統計表

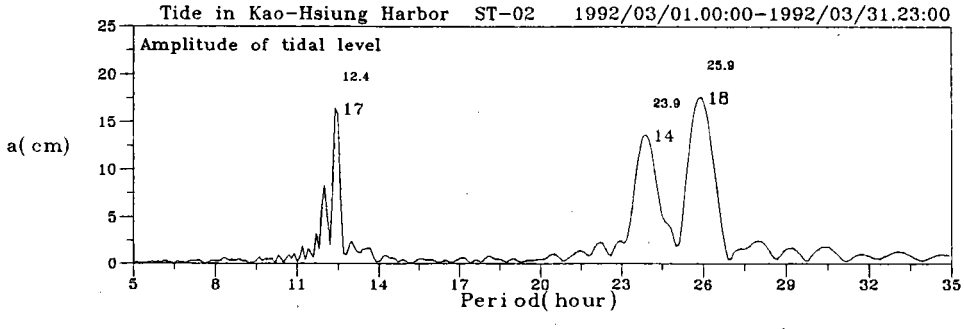
日期 (年/月)	H_{max} (米)	T_{max} (小時)	$H_{1/10}$ (米)	$T_{1/10}$ (小時)	$H_{1/3}$ (米)	$T_{1/3}$ (小時)	H_{mean} (米)	T_{mean} (小時)	波數
1992/09	90	26.0	78	25.3	69	23.3	55	16.2	43
1992/10	90	24.0	81	25.1	67	21.1	53	15.6	46
1992/11	104	24.6	101	25.2	81	21.3	53	15.5	45
1992/12	106	24.2	104	24.6	93	24.6	59	19.9	36

	1992/09		1992/10		1992/11		1992/12	
序號	波高(米)	週期(秒)	波高(米)	週期(秒)	波高(米)	週期(秒)	波高(米)	週期(秒)
1	39	10.9	62	24.8	63	25.1	47	24.5
2	48	13.7	60	24.6	53	25.1	40	25.2
3	60	25.7	67	24.9	31	14.1	32	24.0
4	62	25.8	58	26.5	18	10.3	38	15.0
5	73	25.2	60	25.0	36	14.9	18	10.0
6	64	25.3	60	25.0	20	10.1	42	13.5
7	62	23.4	32	11.8	36	13.9	20	10.5
8	73	24.6	31	12.2	26	11.1	46	14.4
9	78	25.3	34	12.2	38	13.0	20	9.0
10	68	24.4	38	11.7	26	10.5	51	15.6
11	36	10.3	42	13.0	46	13.4	76	24.4
12	54	14.1	40	11.7	31	12.4	94	24.7
13	40	11.3	44	12.1	48	13.3	102	24.4
14	55	13.3	42	13.0	34	10.4	104	25.1
15	44	11.4	46	12.1	50	13.5	106	24.2
16	58	12.3	43	11.6	94	24.8	94	24.6
17	43	11.7	50	12.7	46	11.4	82	24.7
18	48	13.3	49	11.8	70	13.7	68	25.1
19	42	12.3	58	12.9	38	10.3	32	10.9
20	42	12.0	46	12.3	68	14.1	24	14.1
21	42	13.0	54	12.7	42	9.9	36	13.8
22	36	11.0	51	12.5	57	15.6	16	10.7
23	44	14.9	54	12.5	38	9.4	40	14.1
24	62	24.9	38	12.1	62	14.4	20	10.3
25	26	9.2	52	12.9	92	25.1	46	15.2
26	45	15.8	50	24.2	76	25.0	68	24.9
27	64	24.3	56	23.9	36	12.7	78	24.3
28	72	26.0	75	27.2	33	12.6	93	24.8
29	90	26.0	42	12.5	42	13.8	89	24.4
30	68	24.0	48	12.8	30	11.1	102	24.5
31	46	10.6	44	11.7	46	13.0	92	24.9
32	56	13.4	44	12.0	36	11.6	82	24.0
33	50	11.0	52	12.8	50	13.1	82	24.6
34	65	13.7	50	12.0	42	11.2	68	24.6
35	52	11.3	60	13.0	64	14.2	52	24.4
36	60	13.8	52	12.3	42	9.9	44	24.3

Tide Spetrum in Kao-Shung







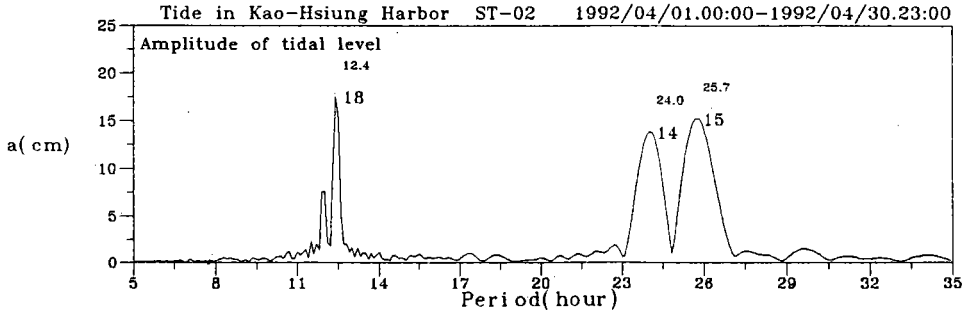
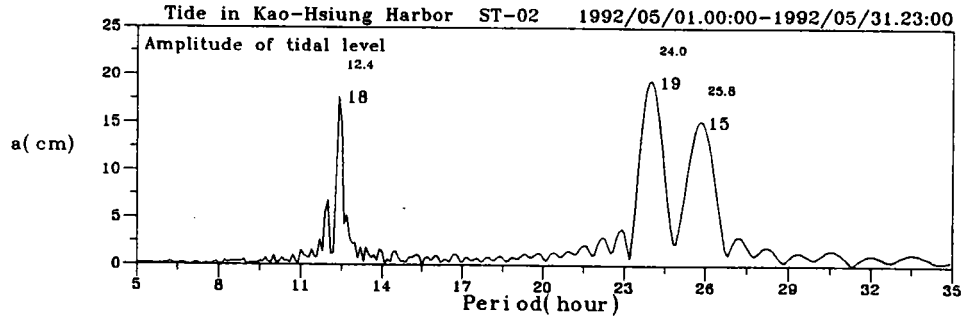


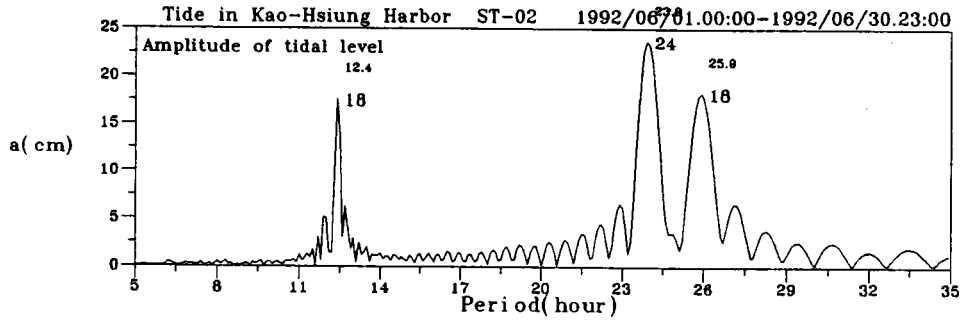
圖2-1-3a 1992年1月～4月間於高雄港潮位測站觀測之分月潮位能譜圖

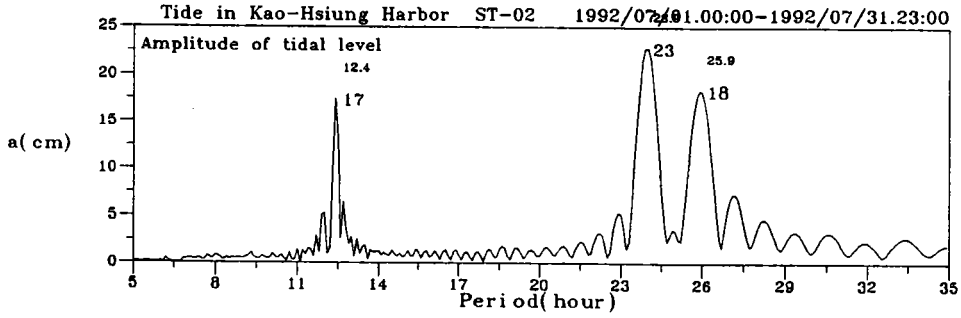
TI920302.HAT	TI920402.HAT	Institute of Harbor & Marine Technology
TI920102.HAT	TI920202.HAT	

PLTP1V.FOR 1996. 6 . 22

Tide Spetrum in Kao-Shung







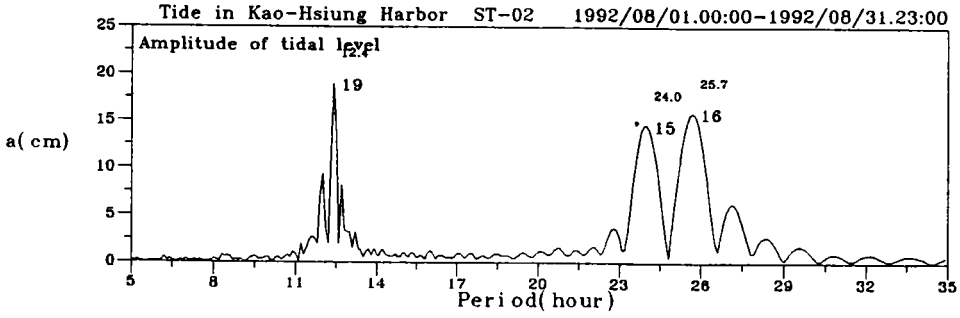


圖2-1-3b 1992年5月～8月間於高雄港潮位測站觀測之分月潮位能譜圖

TI920702.HAT	TI920802.HAT	Institute of Harbor & Marine Technology
TI920502.HAT	TI920602.HAT	

PLTP1V.FOR

1996. 6 . 22

Tide Spetrum in Kao-Shung

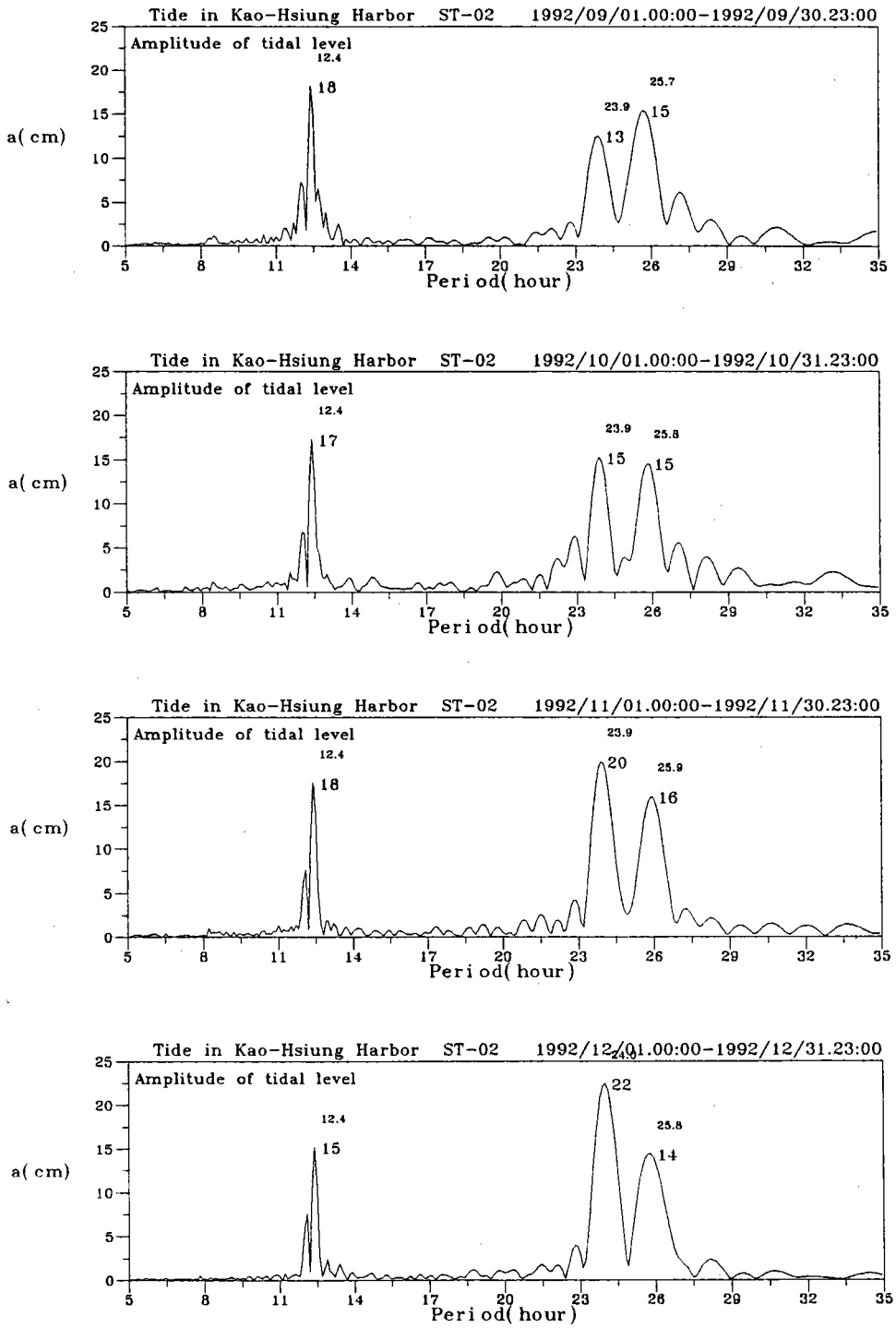
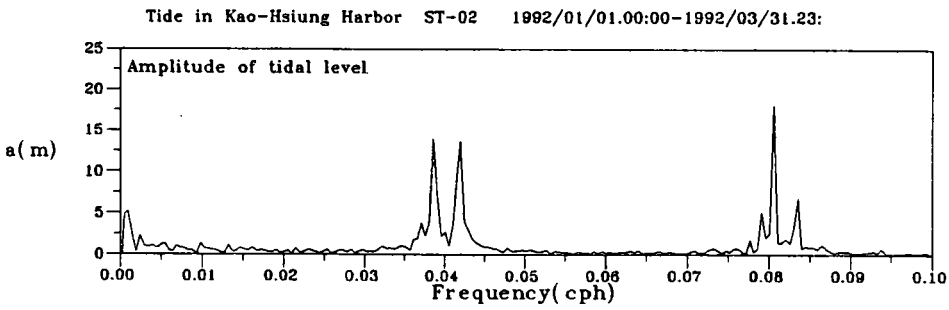


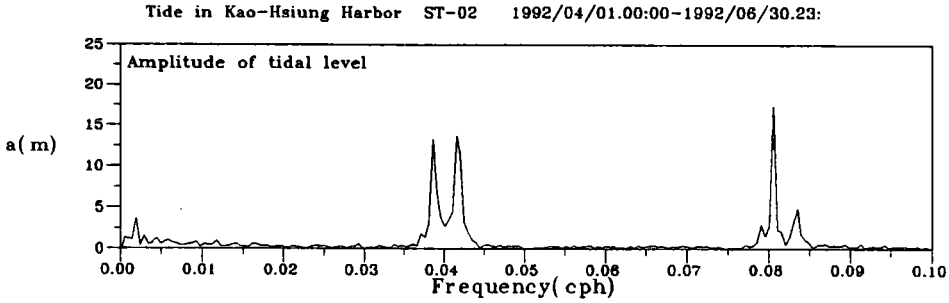
圖2-1-3c 1992年9月～12月間於高雄港潮位測站觀測之分月潮位能譜圖

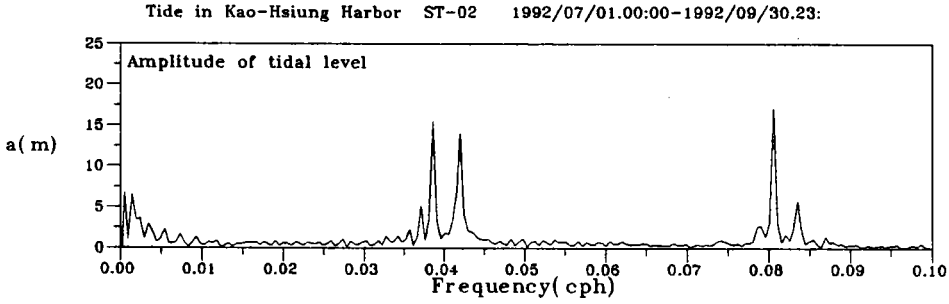
TI921102.HAT	TI921202.HAT	Institute of Harbor & Marine Technology
TI920902.HAT	TI921002.HAT	

PLTP1V.FOR 1998.8.22

Tidal Level Spetrum







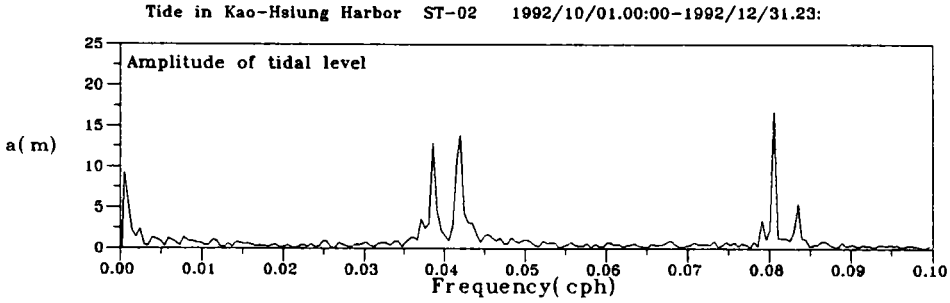


圖2-1-4 1992年1月～12月間於高雄港潮位測站觀測之分3個月潮位能譜圖

TI92A102.TIB	TI92A202.TIB	Institute of Harbor & Marine Technology
TI92A302.TIB	TI92A402.TIB	

PLFT1V.FOR

1998. 8 . 24

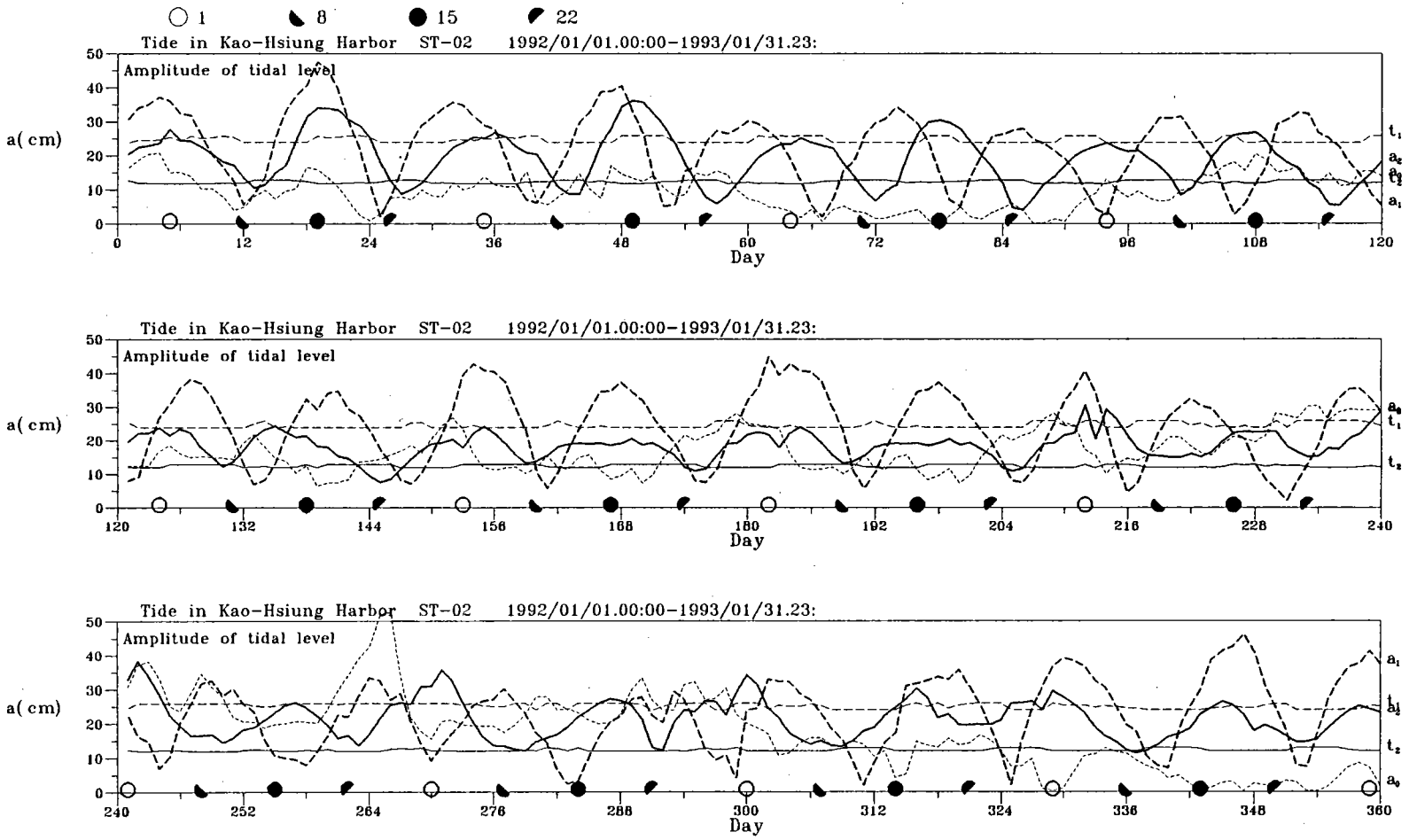


圖2-1-5 1992年高雄港每日半日潮及全日潮之振幅(a_1, a_2)週期(t_1, t_2)及比值R_1

TI92A102.HAS TI92A202.HAS TI92A302.HAS	Institute of Harbor & Marine Technology

PLTS2H.FOR 1996.7.6

表2-1-3a　高雄1992年每日半日潮、全日潮振幅及比值統計表

日	日	平均潮位		半日潮			全日潮			比值
陽曆	陰曆	a_0 (cm)	比率 (%)	週期 t_2(s)	振幅 a_2 (cm)	比率 (%)	週期 t_1(s)	振幅 a_1 (cm)	比率 (%)	R_1 a_2/a_1
1	27	16.4	24.3	12.7	20.4	30.3	23.9	30.6	45.4	.7
2	28	18.8	24.9	12.0	22.6	29.9	24.5	34.0	45.1	.7
3	29	20.5	26.0	11.9	23.0	29.3	24.5	35.1	44.6	.7
4	30	20.9	25.5	11.9	23.6	28.9	24.7	37.3	45.6	.6
5	1	15.1	19.1	11.9	27.7	35.1	25.4	36.1	45.7	.8
6	2	15.1	21.0	11.9	24.6	34.1	24.4	32.4	44.9	.8
7	3	13.9	19.8	11.9	24.4	34.7	25.8	31.9	45.5	.8
8	4	10.3	17.5	11.9	22.6	38.5	25.1	25.9	44.0	.9
9	5	10.4	20.3	11.9	20.6	40.2	25.3	20.3	39.6	1.0
10	6	8.1	18.7	12.0	18.2	42.2	25.8	16.9	39.1	1.1
11	7	4.1	11.9	11.9	17.3	50.8	25.5	12.7	37.2	1.4
12	8	4.9	20.1	12.0	13.6	56.4	23.9	5.7	23.5	2.4
13	9	8.0	29.4	12.9	10.6	38.9	23.9	8.6	31.7	1.2
14	10	9.9	28.2	12.9	11.5	32.9	23.9	13.7	39.0	.8
15	11	7.3	15.3	12.9	14.9	31.3	23.9	25.5	53.4	.6
16	12	9.7	16.1	12.9	17.2	28.7	23.9	33.3	55.3	.5
17	13	10.4	14.2	12.7	24.8	34.0	23.9	37.8	51.8	.7
18	14	16.6	18.7	12.5	31.5	35.5	23.9	40.7	45.9	.8
19	15	15.9	16.3	11.9	34.1	34.9	25.7	47.6	48.8	.7
20	16	13.6	14.6	11.9	33.9	36.5	25.3	45.4	48.8	.7
21	17	10.6	12.8	11.9	33.4	40.2	25.5	39.1	47.0	.9
22	18	6.8	10.1	12.0	30.5	45.4	25.8	29.9	44.5	1.0
23	19	2.6	4.8	12.1	28.9	53.7	25.9	22.4	41.6	1.3
24	20	.9	2.5	12.0	25.2	66.7	25.5	11.6	30.8	2.2
25	21	3.1	13.3	12.3	18.1	77.7	23.9	2.1	9.0	8.7
26	22	7.6	27.0	12.9	12.4	44.2	23.9	8.1	28.8	1.5
27	23	7.9	24.3	12.9	8.8	27.2	23.9	15.7	48.4	.6
28	24	7.1	17.0	12.9	10.2	24.5	23.9	24.2	58.5	.4
29	25	10.0	19.6	12.7	12.0	23.5	23.9	29.0	56.9	.4
30	26	8.2	14.8	12.0	15.6	28.3	23.9	31.4	56.9	.5
31	27	8.0	13.1	12.1	19.5	31.7	23.9	33.8	55.2	.6
32	28	12.1	17.2	11.9	22.4	31.9	24.7	35.7	50.8	.6
33	29	10.0	14.6	11.9	24.0	34.9	24.7	34.8	50.5	.7
34	30	10.9	16.0	11.9	25.5	37.5	24.6	31.6	46.5	.8
35	1	13.9	20.4	11.9	25.1	37.0	25.0	29.0	42.6	.9
36	2	11.5	17.4	11.9	26.8	40.5	25.1	27.8	42.1	1.0
37	3	11.0	19.4	11.9	25.6	45.3	25.5	20.0	35.3	1.3
38	4	10.9	24.0	11.9	22.7	50.0	25.1	11.8	26.0	1.9
39	5	15.3	35.3	12.3	21.0	48.4	25.9	7.1	16.4	3.0
40	6	6.6	19.8	12.4	20.4	61.5	25.9	6.2	18.7	3.3
41	7	5.7	17.6	12.5	15.5	48.0	23.9	11.1	34.3	1.4
42	8	8.0	22.8	12.9	10.9	31.1	23.9	16.2	46.1	.7
43	9	10.2	24.8	12.9	8.8	21.6	23.9	21.9	53.6	.4
44	10	14.7	27.6	12.9	8.7	16.3	23.9	29.9	56.1	.3
45	11	10.2	17.3	12.3	15.6	26.6	23.9	33.1	56.1	.5
46	12	7.6	10.9	12.6	23.4	33.6	23.9	38.7	55.5	.6
47	13	17.2	20.4	12.2	28.0	33.3	23.9	39.0	46.3	.7
48	14	14.6	16.3	11.9	34.5	38.5	25.9	40.5	45.2	.9
49	15	13.5	16.3	11.9	36.2	43.7	25.9	33.2	40.1	1.1
50	16	12.5	16.7	11.9	35.7	47.6	25.9	26.7	35.7	1.3

表2-1-3b　高雄1992年每日半日潮、全日潮振幅及比值統計表

日	日	平均潮位		半日潮			全日潮			比值
陽曆	陰曆	a_0 (cm)	比率 (%)	週期 t_2(s)	振幅 a_2 (cm)	比率 (%)	週期 t_1(s)	振幅 a_1 (cm)	比率 (%)	R_1 a_2/a_1
51	17	14.3	23.5	12.0	32.5	53.4	25.9	14.1	23.1	2.3
52	18	10.5	23.7	12.5	28.7	64.7	25.9	5.2	11.6	5.6
53	19	8.2	21.9	12.4	23.7	63.1	23.9	5.7	15.0	4.2
54	20	8.5	20.3	12.8	17.6	42.2	23.9	15.7	37.5	1.1
55	21	14.9	33.8	12.9	12.4	28.1	23.9	16.8	38.1	.7
56	22	14.1	30.6	12.9	7.7	16.8	23.9	24.3	52.6	.3
57	23	15.6	31.9	12.9	5.9	12.0	23.9	27.4	56.1	.2
58	24	14.5	29.4	11.9	8.4	16.9	23.9	26.5	53.7	.3
59	25	9.7	19.5	12.0	12.1	24.4	23.9	28.0	56.2	.4
60	26	7.3	13.6	12.3	15.9	29.7	23.9	30.2	56.6	.5
61	27	6.6	11.8	11.9	19.7	35.4	25.9	29.4	52.7	.7
62	28	4.9	9.2	12.0	21.8	40.5	25.4	27.0	50.3	.8
63	29	4.7	8.9	11.9	23.4	44.7	25.9	24.3	46.4	1.0
64	1	3.7	8.0	11.9	23.5	50.8	25.8	19.0	41.2	1.2
65	2	1.8	4.6	11.9	25.3	63.6	25.9	12.6	31.8	2.0
66	3	4.3	12.8	12.0	23.9	71.0	25.9	5.4	16.1	4.4
67	4	.6	2.3	12.5	23.1	90.1	25.9	1.9	7.6	11.9
68	5	4.2	12.4	12.6	22.3	65.9	23.9	7.3	21.7	3.0
69	6	5.2	13.4	12.9	17.8	45.8	23.9	15.9	40.8	1.1
70	7	3.7	10.1	12.9	14.0	38.5	23.9	18.7	51.4	.8
71	8	3.2	8.1	12.9	9.7	24.6	23.9	26.5	67.3	.4
72	9	1.5	4.1	12.9	6.8	17.9	23.9	29.7	78.0	.2
73	10	1.6	3.8	12.9	9.8	22.9	23.9	31.3	73.2	.3
74	11	2.6	5.4	12.5	11.6	23.9	23.9	34.3	70.7	.3
75	12	3.5	6.3	12.1	20.3	36.4	23.9	32.0	57.3	.6
76	13	4.2	7.0	12.3	26.6	44.3	23.9	29.2	48.7	.9
77	14	1.0	1.8	12.2	30.0	54.6	25.9	23.9	43.6	1.3
78	15	.1	.2	12.3	30.5	66.5	25.9	15.2	33.2	2.0
79	16	2.3	5.8	12.5	29.8	76.1	25.9	7.1	18.1	4.2
80	17	4.9	13.0	12.5	27.9	73.3	23.9	5.3	13.8	5.3
81	18	1.9	4.9	12.6	24.0	59.8	23.9	14.2	35.3	1.7
82	19	1.4	3.2	12.9	20.1	47.9	23.9	20.5	48.9	1.0
83	20	3.3	7.2	12.9	16.7	36.5	23.9	25.8	56.2	.6
84	21	4.6	10.6	12.9	12.2	28.2	23.9	26.4	61.1	.5
85	22	6.0	15.7	12.9	4.7	12.4	23.9	27.5	71.9	.2
86	23	3.8	10.5	12.9	4.2	11.5	23.9	28.1	77.9	.1
87	24	.2	.6	11.9	7.6	23.1	23.9	24.9	76.3	.3
88	25	.2	.7	11.9	11.7	33.0	23.9	23.6	66.4	.5
89	26	1.4	3.9	12.0	13.9	37.6	23.9	21.6	58.6	.6
90	27	.7	1.9	12.1	17.1	46.2	25.9	19.2	51.9	.9
91	28	4.7	11.6	11.9	20.1	49.8	25.9	15.6	38.6	1.3
92	29	7.5	19.3	12.0	21.8	55.9	25.9	9.7	24.8	2.3
93	30	9.1	25.1	11.9	22.8	63.0	25.9	4.3	11.9	5.3
94	1	13.2	33.2	11.9	23.9	59.9	23.9	2.8	6.9	8.7
95	2	10.0	22.4	12.6	22.3	50.1	23.9	12.2	27.4	1.8
96	3	7.9	17.1	12.9	21.4	46.4	23.9	16.8	36.5	1.3
97	4	9.7	17.7	12.9	21.7	39.7	23.9	23.3	42.6	.9
98	5	7.6	14.2	12.9	19.2	35.7	23.9	26.9	50.1	.7
99	6	6.6	12.0	12.9	17.0	31.0	23.9	31.2	57.0	.5
100	7	7.0	13.5	12.9	13.9	26.7	23.9	31.1	59.9	.4
101	8	9.8	19.6	12.9	8.6	17.1	23.9	31.7	63.3	.3

表2-1-3c　高雄1992年每日半日潮、全日潮振幅及比值統計表

日	日	平均潮位		半日潮			全日潮			比值
陽曆	陰曆	a_0 (cm)	比率 (%)	週期 t_2(s)	振幅 a_2 (cm)	比率 (%)	週期 t_1(s)	振幅 a_1 (cm)	比率 (%)	R_1 a_2/a_1
102	9	10.7	22.1	12.9	10.4	21.5	23.9	27.3	56.4	.4
103	10	14.4	27.6	11.9	14.6	28.1	23.9	23.1	44.3	.6
104	11	14.1	26.4	12.5	20.2	38.0	23.9	18.9	35.5	1.1
105	12	17.0	33.2	11.9	24.1	47.0	25.9	10.2	19.8	2.4
106	13	18.3	38.7	12.5	26.3	55.6	25.9	2.7	5.8	9.7
107	14	15.8	32.7	12.0	26.6	55.0	23.9	6.0	12.3	4.5
108	15	20.7	34.9	12.0	27.0	45.5	23.9	11.7	19.6	2.3
109	16	19.0	31.4	12.1	24.5	40.5	24.4	17.0	28.1	1.4
110	17	15.3	23.5	12.9	20.4	31.3	23.9	29.3	45.1	.7
111	18	15.7	24.3	12.9	18.0	28.0	23.9	30.7	47.7	.6
112	19	17.0	25.7	12.9	16.5	24.8	23.9	32.8	49.5	.5
113	20	13.1	22.7	12.9	12.1	21.0	23.9	32.4	56.3	.4
114	21	12.0	24.5	12.9	10.3	21.0	23.9	26.7	54.5	.4
115	22	15.0	32.7	12.9	5.8	12.6	23.9	25.1	54.7	.2
116	23	11.3	28.6	12.9	5.5	13.9	23.9	22.6	57.4	.2
117	24	11.4	30.0	11.9	8.8	23.3	23.9	17.7	46.7	.5
118	25	15.5	36.8	11.9	12.2	28.9	23.9	14.5	34.3	.8
119	26	15.6	39.6	12.1	14.9	37.7	25.9	8.9	22.7	1.7
120	27	14.1	37.1	12.1	18.4	48.5	25.9	5.5	14.4	3.4
121	28	12.4	30.9	12.1	19.7	49.0	25.5	8.1	20.1	2.4
122	29	12.3	28.3	11.9	22.3	51.0	23.9	9.1	20.8	2.5
123	30	12.5	23.3	12.0	22.3	41.5	23.9	18.9	35.2	1.2
124	1	16.9	25.0	11.9	23.8	35.3	23.9	26.8	39.7	.9
125	2	18.5	26.1	12.9	21.6	30.4	23.9	30.9	43.5	.7
126	3	16.1	21.5	12.9	23.5	31.2	23.9	35.6	47.3	.7
127	4	14.9	19.8	12.9	22.3	29.6	23.9	38.1	50.5	.6
128	5	15.3	21.8	12.9	17.9	25.4	23.9	37.1	52.8	.5
129	6	14.9	23.6	12.9	15.2	24.1	23.9	32.9	52.3	.5
130	7	14.8	27.3	12.9	12.3	22.6	23.9	27.1	50.1	.5
131	8	14.4	29.3	12.9	13.7	27.8	23.9	21.0	42.8	.6
132	9	19.3	39.1	12.0	17.0	34.4	23.9	13.1	26.5	1.3
133	10	21.8	43.7	12.1	21.1	42.3	25.1	7.0	13.9	3.0
134	11	18.1	36.5	12.3	23.3	47.0	25.9	8.2	16.5	2.8
135	12	14.7	28.2	11.9	24.4	46.8	23.9	13.0	25.0	1.9
136	13	13.9	24.1	12.0	22.6	39.2	24.2	21.1	36.6	1.1
137	14	10.4	17.7	12.1	21.0	36.0	23.9	27.1	46.3	.8
138	15	12.6	18.9	12.9	21.4	32.2	23.9	32.5	48.9	.7
139	16	6.4	11.8	11.9	18.3	34.0	23.9	29.1	54.1	.6
140	17	7.3	12.4	12.9	18.0	30.3	23.9	34.1	57.3	.5
141	18	7.5	13.0	12.9	15.3	26.7	23.9	34.7	60.3	.4
142	19	8.4	16.1	12.9	14.6	27.9	23.9	29.3	56.0	.5
143	20	13.6	25.4	12.9	12.3	23.0	23.9	27.6	51.5	.4
144	21	13.9	29.8	12.9	9.5	20.4	23.9	23.2	49.8	.4
145	22	14.4	36.4	12.9	7.6	19.2	23.9	17.5	44.3	.4
146	23	15.7	42.1	12.9	8.5	22.8	23.9	13.1	35.0	.7
147	24	16.9	46.0	11.9	11.6	31.5	23.9	8.3	22.5	1.4
148	25	18.5	46.1	11.9	14.5	36.1	25.3	7.1	17.7	2.0
149	26	16.3	37.4	11.9	17.2	39.2	25.4	10.2	23.4	1.7
150	27	20.6	37.0	11.9	19.1	34.4	23.9	15.9	28.6	1.2
151	28	24.5	37.3	11.9	19.3	29.4	23.9	22.0	33.4	.9
152	29	26.8	35.2	12.1	20.5	26.8	23.9	29.0	38.0	.7

表2-1-3d　高雄1992年每日半日潮、全日潮振幅及比值統計表

日	日	平均潮位		半日潮			全日潮			比值
陽曆	陰曆	a_0 (cm)	比率 (%)	週期 t_2(s)	振幅 a_2 (cm)	比率 (%)	週期 t_1(s)	振幅 a_1 (cm)	比率 (%)	R_1 a_2/a_1
153	1	23.4	29.1	12.9	17.8	22.1	23.9	39.4	48.8	.5
154	2	16.1	19.9	12.9	22.1	27.3	24.5	42.7	52.8	.5
155	3	12.0	15.6	12.9	24.2	31.4	23.9	40.9	53.0	.6
156	4	11.3	15.3	12.9	22.3	30.2	23.9	40.3	54.5	.6
157	5	11.8	17.2	12.9	19.3	28.1	23.9	37.7	54.8	.5
158	6	12.1	21.0	12.9	15.7	27.3	23.9	29.8	51.7	.5
159	7	10.1	21.8	12.9	13.3	28.6	23.9	23.0	49.6	.6
160	8	12.0	32.8	12.9	13.8	37.8	23.9	10.7	29.3	1.3
161	9	15.5	42.1	12.2	15.6	42.3	24.5	5.7	15.6	2.7
162	10	11.9	29.6	12.1	18.1	44.9	25.9	10.3	25.6	1.8
163	11	11.5	24.0	11.9	19.0	39.6	24.7	17.5	36.5	1.1
164	12	15.1	26.1	11.9	19.2	33.3	23.9	23.4	40.6	.8
165	13	15.7	24.6	11.9	19.0	29.9	23.9	29.0	45.5	.7
166	14	11.2	17.2	11.9	19.2	29.7	24.3	34.5	53.1	.6
167	15	8.5	13.8	12.9	18.6	30.1	23.9	34.7	56.1	.5
168	16	9.5	14.5	12.9	19.2	29.1	23.9	37.2	56.4	.5
169	17	11.6	17.5	12.9	20.5	30.8	23.9	34.4	51.7	.6
170	18	7.3	12.5	12.9	18.7	32.3	23.9	32.0	55.1	.6
171	19	9.9	17.5	12.9	19.3	34.3	23.9	27.1	48.1	.7
172	20	15.1	27.1	12.9	17.4	31.4	23.9	23.1	41.5	.8
173	21	18.3	34.3	12.9	15.7	29.4	23.9	19.4	36.3	.8
174	22	21.7	45.7	12.9	12.0	25.3	23.9	13.8	29.1	.9
175	23	20.0	51.2	12.9	10.9	28.1	23.9	8.1	20.7	1.4
176	24	21.5	52.9	11.9	11.7	28.7	23.9	7.5	18.5	1.6
177	25	22.6	46.1	11.9	15.4	31.4	25.9	11.0	22.5	1.4
178	26	26.3	40.9	11.9	19.1	29.6	25.9	18.9	29.5	1.0
179	27	28.1	39.0	12.0	19.3	26.7	25.9	24.7	34.2	.8
180	28	25.1	31.9	11.9	21.8	27.7	24.5	31.8	40.4	.7
181	29	24.7	29.7	11.9	22.6	27.2	24.2	35.8	43.1	.6
182	1	24.3	26.7	11.9	21.7	23.9	23.9	44.8	49.3	.5
183	2	23.4	29.1	12.9	17.8	22.1	23.9	39.4	48.8	.5
184	3	16.0	19.8	12.9	22.2	27.5	24.5	42.7	52.8	.5
185	4	11.8	15.5	12.9	24.0	31.4	23.9	40.6	53.1	.6
186	5	11.3	15.3	12.9	22.3	30.2	23.9	40.3	54.5	.6
187	6	11.5	16.9	12.9	19.2	28.2	23.9	37.5	54.9	.5
188	7	12.1	21.0	12.9	15.7	27.3	23.9	29.8	51.7	.5
189	8	10.1	21.8	12.9	13.3	28.6	23.9	23.0	49.6	.6
190	9	12.0	32.8	12.9	13.8	37.8	23.9	10.7	29.3	1.3
191	10	15.5	42.1	12.2	15.6	42.3	24.5	5.7	15.6	2.7
192	11	11.9	29.6	12.1	18.1	44.9	25.9	10.3	25.6	1.8
193	12	11.5	24.0	11.9	19.0	39.6	24.7	17.5	36.5	1.1
194	13	15.1	26.1	11.9	19.2	33.3	23.9	23.4	40.6	.8
195	14	15.7	24.6	11.9	19.0	29.9	23.9	29.0	45.5	.7
196	15	11.2	17.2	11.9	19.2	29.7	24.3	34.5	53.1	.6
197	16	8.3	13.5	12.9	18.5	29.8	23.9	35.1	56.7	.5
198	17	9.5	14.5	12.9	19.2	29.1	23.9	37.2	56.4	.5
199	18	11.6	17.5	12.9	20.5	30.8	23.9	34.4	51.7	.6
200	19	7.3	12.5	12.9	18.7	32.3	23.9	32.0	55.1	.6
201	20	9.9	17.5	12.9	19.3	34.3	23.9	27.1	48.1	.7
202	21	15.1	27.1	12.9	17.4	31.4	23.9	23.1	41.5	.8
203	22	18.3	34.3	12.9	15.7	29.4	23.9	19.4	36.3	.8

表2-1-3e　高雄1992年每日半日潮、全日潮振幅及比值統計表

日	日	平均潮位		半日潮			全日潮			比值
陽曆	陰曆	a_0 (cm)	比率 (%)	週期 t_2(s)	振幅 a_2 (cm)	比率 (%)	週期 t_1(s)	振幅 a_1 (cm)	比率 (%)	R_1 a_2/a_1
204	23	21.7	45.7	12.9	12.0	25.3	23.9	13.8	29.1	.9
205	24	20.0	51.2	12.9	10.9	28.1	23.9	8.1	20.7	1.4
206	25	21.5	52.9	11.9	11.7	28.7	23.9	7.5	18.5	1.6
207	26	22.6	46.1	11.9	15.4	31.4	25.9	11.0	22.5	1.4
208	27	26.3	40.9	11.9	19.1	29.6	25.9	18.9	29.5	1.0
209	28	28.1	39.0	12.0	19.3	26.7	25.9	24.7	34.2	.8
210	29	25.2	32.1	11.9	21.6	27.5	24.5	31.7	40.4	.7
211	30	24.5	29.8	11.9	22.3	27.1	24.2	35.5	43.1	.6
212	1	17.2	19.5	12.9	30.6	34.6	25.9	40.5	45.9	.8
213	2	15.4	22.0	11.9	20.5	29.3	25.9	34.0	48.6	.6
214	3	10.1	16.0	12.9	29.3	46.3	23.9	23.8	37.7	1.2
215	4	13.2	25.0	12.9	26.4	50.1	23.9	13.1	24.8	2.0
216	5	14.6	35.8	12.9	21.6	52.9	23.9	4.6	11.3	4.7
217	6	14.1	36.2	12.5	17.5	44.8	25.9	7.4	19.0	2.4
218	7	15.7	33.4	11.9	15.7	33.4	25.9	15.6	33.2	1.0
219	8	17.9	32.0	11.9	15.5	27.7	25.9	22.5	40.2	.7
220	9	21.1	33.3	11.9	15.0	23.6	25.9	27.3	43.1	.5
221	10	21.1	31.9	11.9	14.9	22.6	25.9	30.0	45.4	.5
222	11	18.3	27.4	11.9	16.0	24.0	24.5	32.5	48.6	.5
223	12	16.2	26.3	12.1	15.2	24.6	25.1	30.3	49.1	.5
224	13	15.7	25.4	11.9	16.8	27.1	23.9	29.5	47.6	.6
225	14	19.1	29.5	12.2	19.9	30.8	24.3	25.7	39.7	.8
226	15	21.2	32.3	12.9	22.3	34.0	23.9	22.1	33.7	1.0
227	16	20.6	32.2	12.7	22.7	35.6	24.3	20.6	32.2	1.1
228	17	19.6	35.4	12.9	22.5	40.7	23.9	13.2	23.9	1.7
229	18	21.4	40.7	12.3	22.6	43.0	23.9	8.6	16.3	2.6
230	19	28.1	49.8	12.8	22.6	40.2	25.9	5.6	10.0	4.0
231	20	27.3	57.2	12.5	18.3	38.2	23.9	2.2	4.6	8.3
232	21	26.7	52.2	12.6	16.5	32.3	25.9	7.9	15.5	2.1
233	22	30.1	51.6	12.1	15.2	26.1	25.9	13.0	22.3	1.2
234	23	30.4	47.4	11.9	15.3	23.8	25.9	18.5	28.8	.8
235	24	26.2	36.6	11.9	17.7	24.8	25.9	27.6	38.6	.6
236	25	28.5	36.3	11.9	17.5	22.2	25.9	32.7	41.5	.5
237	26	29.2	34.3	11.9	20.6	24.2	25.9	35.3	41.5	.6
238	27	29.1	33.6	12.1	22.1	25.5	25.9	35.5	40.9	.6
239	28	28.9	33.3	12.4	25.4	29.2	25.3	32.6	37.5	.8
240	29	28.8	33.5	12.1	28.7	33.3	24.3	28.7	33.3	1.0
241	1	30.7	35.5	12.3	32.8	38.0	24.5	22.9	26.5	1.4
242	2	37.1	40.5	12.0	38.4	41.9	25.9	16.1	17.6	2.4
243	3	38.3	44.0	11.9	33.9	39.0	25.9	14.8	17.0	2.3
244	4	33.4	48.4	12.3	28.6	41.4	25.9	7.0	10.2	4.1
245	5	25.2	43.5	12.2	22.5	38.8	25.9	10.3	17.7	2.2
246	6	23.7	37.4	12.2	19.2	30.4	25.9	20.3	32.2	.9
247	7	28.8	40.6	11.9	16.5	23.3	25.9	25.6	36.1	.6
248	8	34.6	41.7	11.9	16.6	20.0	25.9	31.7	38.3	.5
249	9	30.7	38.3	11.9	16.8	21.0	25.9	32.6	40.7	.5
250	10	27.9	39.5	11.9	14.5	20.5	25.9	28.2	40.0	.5
251	11	21.8	32.2	11.9	15.8	23.3	25.9	30.1	44.5	.5
252	12	20.6	31.8	12.3	18.3	28.2	25.9	25.9	40.0	.7
253	13	20.4	32.6	12.4	18.9	30.0	25.2	23.5	37.4	.8
254	14	18.7	34.1	12.3	21.0	38.1	25.0	15.3	27.8	1.4

表2-1-3f　高雄1992年每日半日潮、全日潮振幅及比值統計表

日	日	平均潮位		半日潮			全日潮			比值
陽曆	陰曆	a_0 (cm)	比率 (%)	週期 t_2(s)	振幅 a_2 (cm)	比率 (%)	週期 t_1(s)	振幅 a_1 (cm)	比率 (%)	R_1 a_2/a_1
255	15	19.7	36.8	12.1	23.2	43.3	25.1	10.6	19.8	2.2
256	16	19.9	36.0	11.9	25.4	45.8	25.9	10.1	18.2	2.5
257	17	20.6	36.6	11.9	26.2	46.4	25.9	9.6	17.0	2.7
258	18	20.5	38.7	12.3	24.6	46.6	25.9	7.8	14.8	3.2
259	19	20.0	37.2	12.1	22.3	41.4	25.9	11.5	21.4	1.9
260	20	24.0	40.2	12.5	19.7	32.9	25.9	16.1	26.9	1.2
261	21	29.6	43.7	11.9	15.7	23.2	25.6	22.5	33.1	.7
262	22	33.9	46.9	11.9	16.6	22.9	25.9	21.9	30.3	.8
263	23	39.1	48.4	11.9	13.6	16.8	25.9	28.2	34.8	.5
264	24	42.4	45.8	11.9	16.7	18.1	25.9	33.4	36.1	.5
265	25	51.9	49.1	11.9	21.3	20.2	25.9	32.5	30.8	.7
266	26	52.7	50.1	12.5	25.4	24.2	25.9	27.0	25.7	.9
267	27	33.5	38.0	12.7	26.0	29.5	25.9	28.7	32.5	.9
268	28	21.9	32.1	12.6	25.7	37.7	25.9	20.6	30.2	1.2
269	29	17.6	28.2	12.8	30.8	49.2	25.9	14.1	22.6	2.2
270	1	15.4	27.8	12.1	30.9	55.7	25.9	9.1	16.5	3.4
271	2	20.6	29.5	12.1	35.6	50.9	25.9	13.7	19.6	2.6
272	3	20.9	29.7	12.1	32.5	46.1	25.9	17.1	24.2	1.9
273	4	19.6	29.6	11.9	26.4	39.9	25.3	20.2	30.5	1.3
274	5	19.3	29.7	12.0	20.5	31.5	25.9	25.2	38.8	.8
275	6	19.3	31.1	11.9	16.1	26.0	25.1	26.6	42.9	.6
276	7	19.2	32.1	11.9	13.5	22.7	24.9	27.0	45.2	.5
277	8	17.3	28.4	11.9	13.4	22.0	25.0	30.2	49.6	.4
278	9	19.6	33.6	11.9	12.5	21.4	25.9	26.4	45.1	.5
279	10	22.6	39.4	12.3	12.0	21.0	25.9	22.8	39.7	.5
280	11	27.9	46.6	12.0	14.6	24.5	23.9	17.3	28.9	.8
281	12	27.8	47.9	12.9	15.8	27.1	25.9	14.5	24.9	1.1
282	13	24.0	50.6	12.7	16.8	35.4	25.9	6.6	14.0	2.5
283	14	24.2	53.0	12.0	19.0	41.5	23.9	2.5	5.5	7.6
284	15	23.1	47.7	12.9	21.9	45.3	25.9	3.4	7.0	6.5
285	16	20.9	38.1	11.9	23.9	43.6	25.9	10.1	18.3	2.4
286	17	19.8	31.8	11.9	26.0	41.8	25.9	16.4	26.4	1.6
287	18	20.2	29.9	11.9	27.2	40.2	25.9	20.2	29.9	1.3
288	19	22.8	31.8	11.9	26.7	37.3	25.9	22.1	30.9	1.2
289	20	29.7	36.2	11.9	25.4	30.9	25.9	27.0	32.9	.9
290	21	33.4	40.5	11.9	21.4	25.9	25.4	27.7	33.6	.8
291	22	26.7	43.2	11.9	12.9	20.9	23.9	22.2	35.9	.6
292	23	23.9	42.5	11.9	12.1	21.5	24.9	20.2	35.9	.6
293	24	23.9	32.6	12.1	20.1	27.5	25.9	29.3	40.0	.7
294	25	31.3	38.0	11.9	23.9	29.1	25.9	27.1	32.9	.9
295	26	32.2	42.2	12.3	23.3	30.6	25.9	20.7	27.1	1.1
296	27	26.9	40.7	12.7	26.6	40.1	25.9	12.8	19.3	2.1
297	28	27.2	43.2	12.4	26.4	41.9	23.9	9.4	14.9	2.8
298	29	30.2	47.7	12.4	22.4	35.3	23.9	10.8	17.0	2.1
299	30	22.6	40.5	12.9	29.0	52.1	25.9	4.1	7.3	7.1
300	1	20.0	25.6	12.0	34.1	43.8	25.9	23.9	30.7	1.4
301	2	18.6	25.1	11.9	31.4	42.2	25.9	24.3	32.7	1.3
302	3	17.0	22.9	11.9	24.5	32.9	24.2	32.9	44.2	.7
303	4	10.8	16.6	11.9	21.7	33.6	25.2	32.3	49.8	.7
304	5	11.3	18.6	11.9	17.2	28.4	24.9	32.1	53.0	.5
305	6	14.2	24.3	11.9	15.4	26.4	25.0	28.8	49.3	.5

表2-1-3g 高雄1992年每日半日潮、全日潮振幅及比值統計表

日	日	平均潮位		半日潮			全日潮			比值
陽曆	陰曆	a_0 (cm)	比率 (%)	週期 t_2(s)	振幅 a_2 (cm)	比率 (%)	週期 t_1(s)	振幅 a_1 (cm)	比率 (%)	R_1 a_2/a_1
306	7	15.8	27.8	11.9	14.0	24.7	25.5	26.9	47.5	.5
307	8	15.8	29.4	11.9	15.0	27.9	25.1	22.9	42.7	.7
308	9	13.8	30.2	12.1	13.5	29.6	23.9	18.4	40.3	.7
309	10	13.3	31.6	12.7	13.3	31.7	23.9	15.5	36.7	.9
310	11	14.9	38.3	12.9	14.9	38.4	23.9	9.1	23.4	1.6
311	12	13.9	41.3	12.9	17.7	52.8	23.9	2.0	6.0	8.8
312	13	10.4	27.6	12.9	18.7	49.8	23.9	8.5	22.6	2.2
313	14	12.0	24.5	12.8	22.4	45.8	23.9	14.5	29.7	1.5
314	15	4.2	9.1	12.0	24.7	53.7	23.9	17.1	37.2	1.4
315	16	5.3	8.3	11.9	27.1	42.7	25.3	31.1	49.0	.9
316	17	14.7	19.2	11.9	30.2	39.5	25.9	31.6	41.3	1.0
317	18	13.6	18.4	11.9	27.5	37.4	24.8	32.6	44.2	.8
318	19	13.1	19.2	11.9	21.6	31.7	25.8	33.5	49.1	.6
319	20	15.6	21.9	11.9	22.8	32.0	24.3	32.8	46.1	.7
320	21	13.6	19.8	11.9	19.5	28.3	25.3	35.7	51.9	.5
321	22	14.2	22.1	11.9	19.5	30.3	25.7	30.7	47.6	.6
322	23	16.5	26.9	11.9	19.7	31.9	25.9	25.4	41.2	.8
323	24	15.1	28.2	12.5	19.7	36.7	25.9	18.8	35.1	1.0
324	25	12.1	27.2	12.8	20.9	46.9	25.9	11.6	25.9	1.8
325	26	7.6	21.4	12.9	25.9	72.7	23.9	2.1	5.9	12.3
326	27	7.6	15.7	12.7	26.0	53.6	23.9	14.9	30.7	1.7
327	28	9.7	16.0	12.9	26.5	43.7	23.9	24.5	40.3	1.1
328	29	.9	1.7	12.6	23.9	43.1	23.9	30.7	55.3	.8
329	1	.4	.6	11.9	29.5	44.3	25.8	36.8	55.2	.8
330	2	1.1	1.6	11.9	27.7	40.7	25.3	39.2	57.7	.7
331	3	5.8	8.3	11.9	25.6	36.8	25.2	38.2	54.9	.7
332	4	10.5	14.9	11.9	23.2	32.9	25.3	36.8	52.2	.6
333	5	11.0	17.5	11.9	19.0	30.4	24.7	32.6	52.0	.6
334	6	12.8	21.6	11.9	16.3	27.4	25.1	30.3	51.0	.5
335	7	11.8	22.9	11.9	14.6	28.4	24.8	25.1	48.7	.6
336	8	11.2	26.1	11.9	12.3	28.5	24.4	19.5	45.4	.6
337	9	9.2	24.2	11.9	11.3	29.8	24.3	17.4	46.0	.6
338	10	7.5	25.1	12.9	12.1	40.6	23.9	10.3	34.3	1.2
339	11	6.5	23.4	12.9	13.7	49.0	23.9	7.7	27.6	1.8
340	12	4.1	15.1	12.9	16.1	59.3	23.9	7.0	25.6	2.3
341	13	4.9	12.2	12.9	16.9	42.2	23.9	18.3	45.6	.9
342	14	2.5	5.5	12.9	18.5	40.3	23.9	25.0	54.3	.7
343	15	.4	.7	12.5	22.7	42.6	23.9	30.2	56.8	.7
344	16	1.3	2.0	11.9	24.5	38.0	24.3	38.7	60.0	.6
345	17	2.8	3.9	11.9	26.4	37.5	24.5	41.3	58.6	.6
346	18	3.1	4.4	11.9	25.4	35.7	25.1	42.5	59.9	.6
347	19	.3	.5	11.9	22.7	32.8	24.5	46.1	66.7	.5
348	20	2.6	4.2	11.9	17.8	29.0	24.5	41.1	66.9	.4
349	21	2.0	3.7	11.9	19.5	36.9	25.2	31.4	59.4	.6
350	22	1.8	4.1	11.9	18.2	40.5	25.7	24.9	55.4	.7
351	23	3.3	8.7	11.9	16.3	43.4	25.5	18.1	48.0	.9
352	24	3.0	11.8	12.9	14.5	57.2	23.9	7.8	31.0	1.8
353	25	.3	1.2	12.9	14.6	65.7	23.9	7.4	33.1	2.0
354	26	.3	.9	12.9	15.4	47.3	23.9	16.9	51.8	.9
355	27	1.5	3.3	12.9	18.5	39.6	23.9	26.6	57.1	.7
356	28	4.2	7.3	12.9	21.2	36.7	23.9	32.4	56.0	.7

表2-1-3h　高雄1992年每日半日潮、全日潮振幅及比值統計表

日	日	平均潮位		半日潮			全日潮			比值
陽曆	陰曆	a_0 (cm)	比率 (%)	週期 t_2(s)	振幅 a_2 (cm)	比率 (%)	週期 t_1(s)	振幅 a_1 (cm)	比率 (%)	R_1 a_2/a_1
357	29	7.3	10.8	12.3	23.7	35.1	24.1	36.4	54.1	.6
358	30	8.5	12.0	12.0	25.1	35.3	24.1	37.4	52.7	.7
359	1	7.3	10.0	11.9	24.1	33.1	25.1	41.3	56.9	.6
360	2	2.2	3.5	11.9	23.1	36.8	25.0	37.4	59.7	.6
361	3	2.3	4.1	11.9	19.3	34.3	24.1	34.6	61.6	.6
362	4	.7	1.4	11.9	19.2	36.1	25.0	33.2	62.5	.6
363	5	1.1	2.5	11.9	17.9	39.6	24.8	26.1	57.9	.7
364	6	3.4	8.9	11.9	15.9	41.6	24.8	19.0	49.5	.8
365	7	.9	3.2	11.9	14.1	48.8	25.3	13.8	48.0	1.0

File : TI920002.HAS

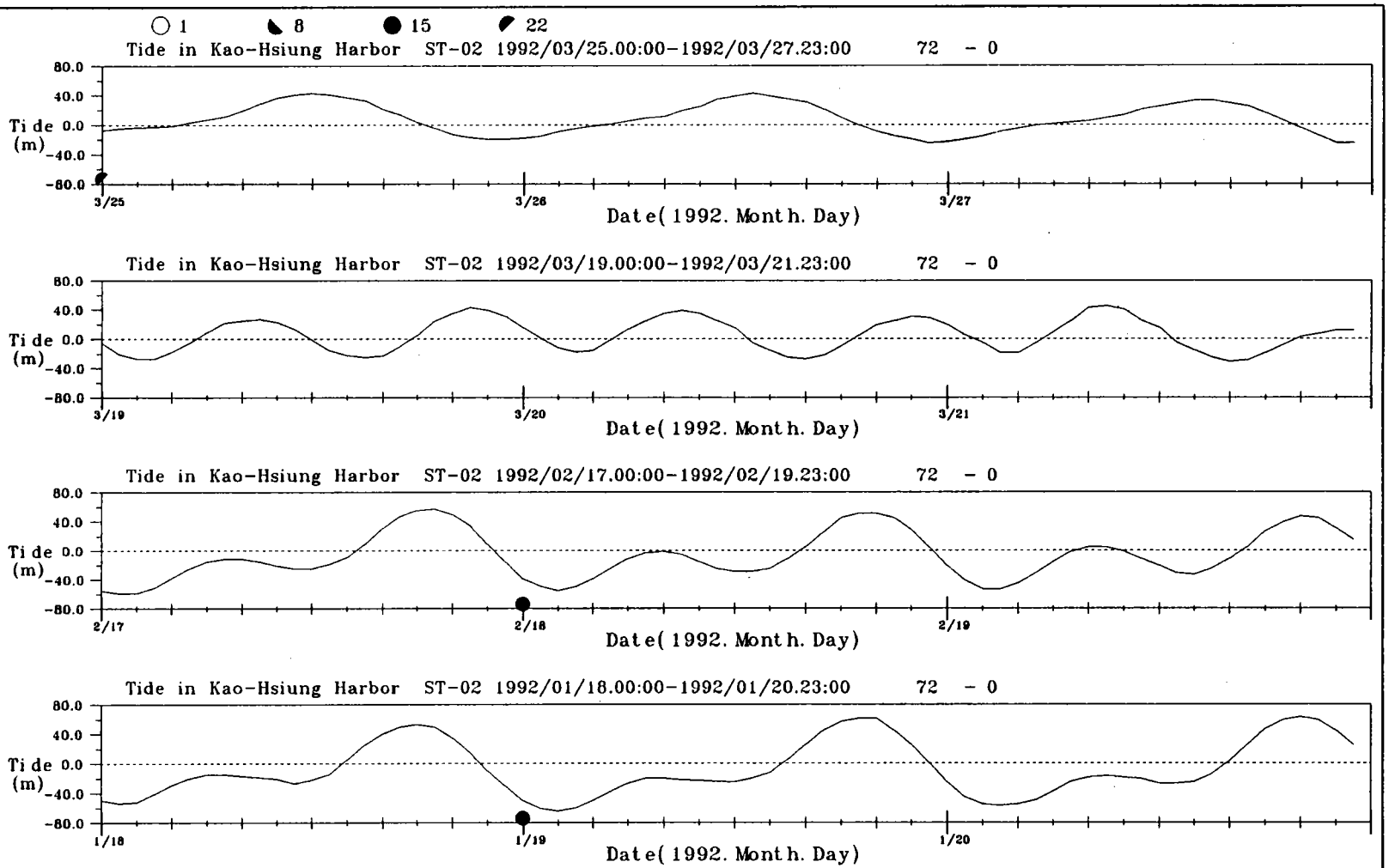


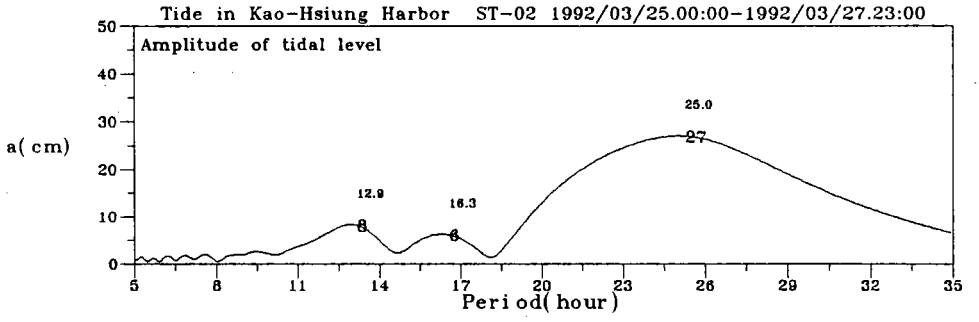
圖2-1-6 1992年高雄港4組有3天長之代表性潮位資料水位變化圖

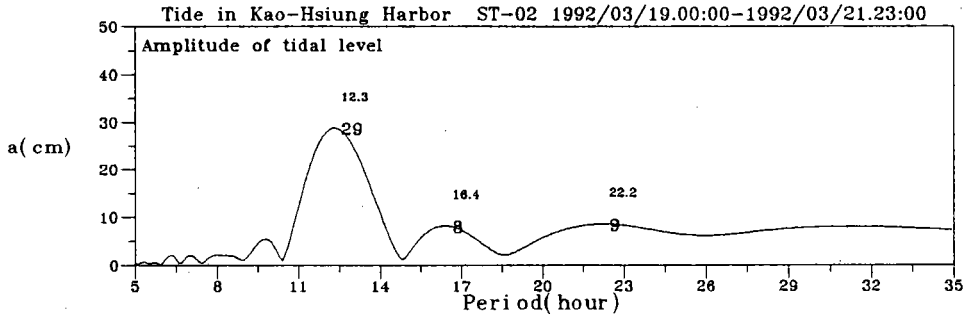
KS02-001.1HE KS02-002.1HE KS02-003.1HE KS02-004.1HE	Institute of Harbor & Marine Technology

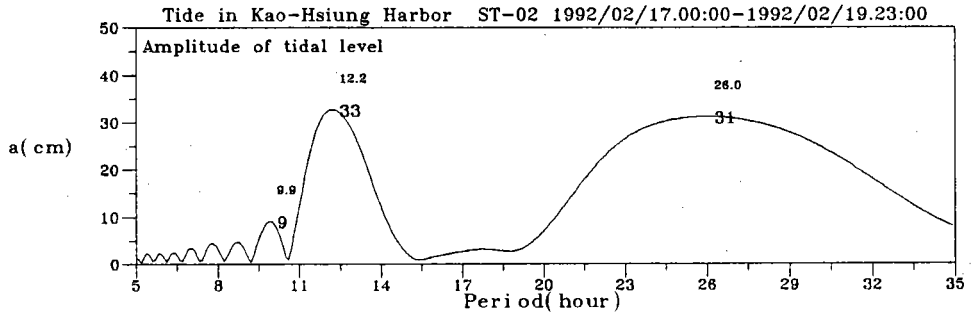
PLTIIGH.FOR

1996.6.24

Tide Spetrum in Kao-Shung







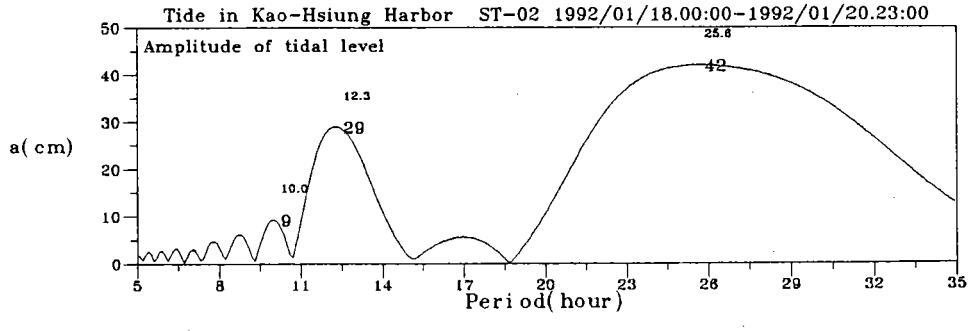


圖2-1-7 1992年高雄港4組有3天長之代表性潮位資料振幅能譜圖

KS02-001.HAT	KS02-002.HAT	Institute of Harbor & Marine Technology
KS02-003.HAT	KS02-004.HAT	

PLTPIV.FOR 1998.6 .24

2-2 風力特性

統計中央氣象局高雄測候站1984年至1994年之觀測記錄(港研所,1996)，測候站位置如附圖2-1-1，經分析得高雄地區之全年及每月風玫瑰圖如圖2-2-1及圖2-2-2，風速、風向出現頻率統計如表2-2-1所示。由圖表可知本區冬季季風期約由每年10月至翌年4月，風向以NNE～WNW間爲主；而5月及6月爲轉型期，WNW向及SSE向所佔比重相當，7～9月則爲夏季季風期，風向以WNW、ENE、S及SSE居多。全年而言，風向以WNW出現頻率最高，N向次之；風速大都介於0.1～5.0m/sec之間，超過15.0m/sec者極少。不同風速延時統計如表2-2-2，由表顯示本地區風速大於5m/sec，延時爲2小時之全年發生頻率爲6.6％。

颱風所造成之災害最主要因素有暴風、豪雨之危害，及大浪、暴潮對海岸及港灣設施之破壞性影響最大。統計過去51年(1940～1990)之颱風資料，選取通過118.22^0～122.22^{0}E，20.57～24.57^{0}N範圍內，且颱風中心氣壓小於或等於970mb，對高雄影響較大之代表性颱風計81個，如表2-2-3。

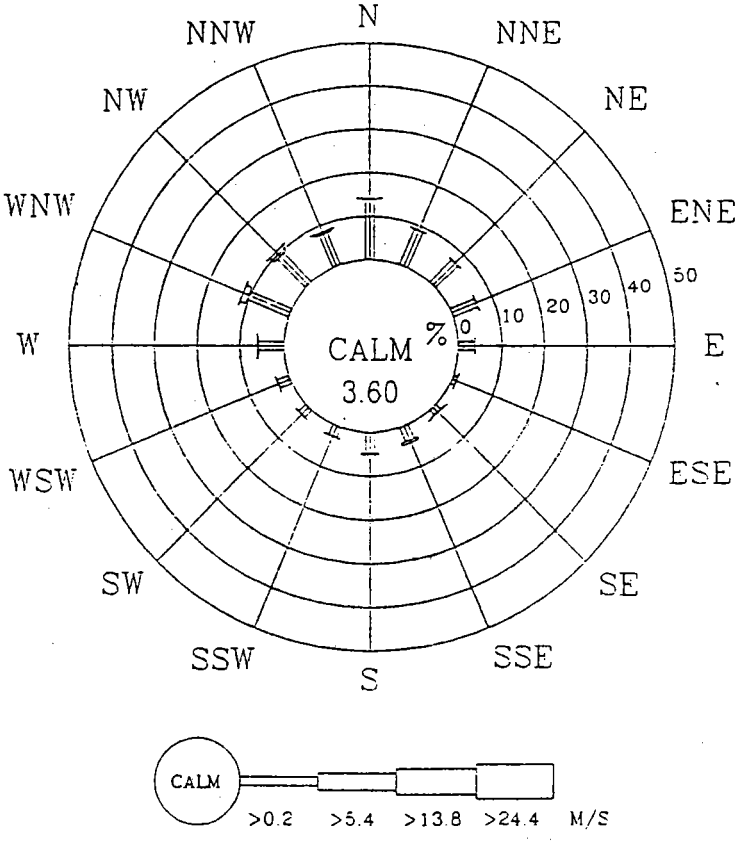


圖2-2-1 高雄地區全年風玫瑰(1984年～1994年)

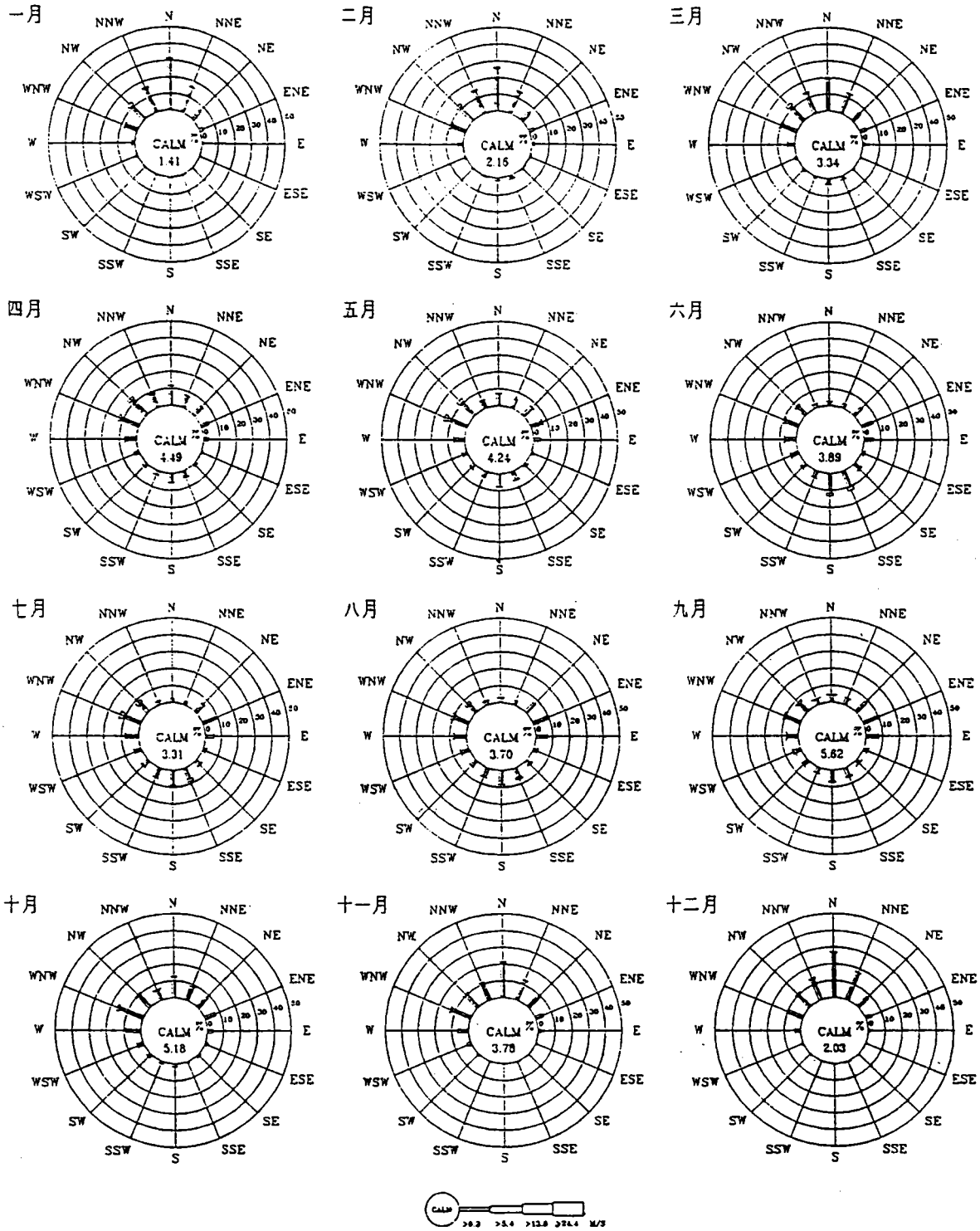


圖 2-2-2 高雄地區各月風玫圖(1984年～1994年)

表2-2-1高雄地區風速風向出現頻率統計表(1984年～1994年)

測站名稱：高雄
資料期間：1984.01 - 1994.12

風速 (M/SEC)	風向																單位：%
	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	合計
.2 - 1.0	1.8	1.9	1.8	1.2	.4	.4	.3	.4	.3	.3	.3	.4	.5	.7	.8	1.8	13.3
1.0 - 2.0	4.3	4.0	3.6	2.1	.5	.4	.8	1.3	.8	.8	.8	1.3	1.5	2.0	2.3	4.9	31.2
2.0 - 3.0	1.8	1.1	.6	.4	.1	.3	.9	1.4	.8	.7	1.0	1.9	2.5	2.3	2.3	3.8	22.0
3.0 - 4.0	.7	.2	.1	.1	.0	.2	.8	1.0	.4	.3	.6	1.4	2.9	2.2	1.6	2.2	14.5
4.0 - 5.0	.2	.0	.0	.0	.0	.1	.6	.6	.2	.1	.2	.6	2.3	1.7	.8	.9	8.2
5.0 - 6.0	.1	.0	.0	.0	.0	.1	.4	.3	.1	.0	.1	.2	1.2	1.1	.4	.4	4.3
6.0 - 7.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.2	.1	.0	.0	.0	.1	.4	.6	.2	.1	1.7
7.0 - 8.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.1	.1	.1	.6
8.0 - 9.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.2
9.0 - 10.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1
10.0 - 11.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1
11.0 - 12.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
12.0 - 13.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
13.0 - 14.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
14.0 - 15.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
15.0 - 16.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
16.0 - 17.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
17.0 - 18.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
18.0 - 19.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
19.0 - 20.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
> 20.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
合計	8.9	7.2	6.0	3.7	1.1	1.7	4.1	5.1	2.5	2.3	3.0	6.0	11.6	10.7	8.4	14.1	96.4

靜風： 3.6
有效資料數： 94799.

表2-2-2 高雄地區不同風速及吹風延時佔該月時數比率表
(1984年～1994年)

月份	風速 M/sec	不同吹風延時佔該月之比率(%) ≧2Hr.	≧4Hr.	≧6Hr.	≧8Hr.	≧10Hr.
一月	≧ 5	6.4% (520)	3.6% (296)	1.8% (144)	1.0% (79)	.7% (54)
	≧10	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
	≧15	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
	≧20	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
二月	≧ 5	6.0% (445)	3.6% (265)	1.3% (98)	.5% (36)	.3% (20)
	≧10	.0% (2)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
	≧15	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
	≧20	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
三月	≧ 5	7.0% (569)	4.5% (366)	2.3% (190)	.8% (62)	.4% (29)
	≧10	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
	≧15	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
	≧20	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
四月	≧ 5	5.6% (447)	3.5% (279)	2.0% (155)	.7% (52)	.1% (10)
	≧10	.0% (2)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
	≧15	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
	≧20	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
五月	≧ 5	6.6% (543)	5.2% (425)	3.5% (288)	1.4% (113)	.4% (30)
	≧10	.0% (2)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
	≧15	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
	≧20	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
六月	≧ 5	9.2% (696)	7.0% (530)	5.4% (411)	3.8% (292)	3.0% (231)
	≧10	.2% (14)	.1% (10)	.1% (6)	.0% (0)	.0% (0)
	≧15	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
	≧20	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
七月	≧ 5	10.7% (876)	8.4% (684)	6.4% (523)	3.9% (316)	2.7% (221)
	≧10	.1% (11)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
	≧15	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
	≧20	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
八月	≧ 5	9.7% (794)	7.9% (648)	6.5% (536)	5.2% (428)	4.5% (367)
	≧10	.5% (37)	.3% (25)	.3% (21)	.1% (9)	.0% (0)
	≧15	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
	≧20	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
九月	≧ 5	7.2% (572)	5.5% (432)	3.9% (306)	3.0% (236)	2.5% (201)
	≧10	.6% (51)	.4% (35)	.3% (22)	.3% (22)	.3% (22)
	≧15	.1% (10)	.1% (8)	.1% (8)	.1% (8)	.0% (0)
	≧20	.0% (2)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
十月	≧ 5	4.3% (354)	2.7% (222)	1.0% (80)	.5% (42)	.4% (34)
	≧10	.1% (7)	.1% (7)	.1% (7)	.0% (0)	.0% (0)
	≧15	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
	≧20	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
十一月	≧ 5	2.9% (226)	1.6% (127)	.2% (18)	.0% (0)	.0% (0)
	≧10	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
	≧15	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
	≧20	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
十二月	≧ 5	3.6% (270)	2.0% (154)	.7% (55)	.3% (24)	.2% (15)
	≧10	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
	≧15	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
	≧20	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)
合計	≧ 5	6.6% (6312)	4.6% (4428)	2.9% (2804)	1.8% (1680)	1.3% (1212)
	≧10	.1% (126)	.1% (77)	.1% (56)	.0% (31)	.0% (22)
	≧15	.0% (10)	.0% (8)	.0% (8)	.0% (8)	.0% (0)
	≧20	.0% (2)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)	.0% (0)

註：( )內之數字係不同風速及吹風延時在該月份之累積時數

表2-2-3 歷年影響高雄地區之颱風(1984年～1994年)

序號	颱風 編號	颱風 名稱	侵台日期 起	侵台日期 訖	侵台路徑	中心氣壓 (毫巴)
1	4023		08/25/40	09/03/40	2	947.
2	4036		09/24/40	10/02/40	3	953.
3	4309		07/02/43	07/12/43	2	960.
4	4311		07/13/43	07/20/43	1	945.
5	4413		08/10/44	08/18/44	2	960.
6	4515		09/05/45	09/14/45	3	970.
7	4518		09/26/45	10/03/45	5	970.
8	4619		09/21/46	09/29/46	2	960.
9	4708	INEZ	08/25/47	08/31/47	3	970.
10	4722		12/23/47	12/28/47	6	970.
11	4806	PEARL	07/02/48	07/08/48	1	960.
12	4822	JACKIE	09/08/48	09/21/48	1	960.
13	4924	CAMILLA	12/10/49	12/14/49	6	970.
14	5104	IRIS	05/02/51	05/10/51	4	910.
15	5221	BESS	11/10/52	11/15/52	5	915.
16	5302	JUDY	05/31/53	06/07/53	6	945.
17	5304	KIT	06/29/53	07/08/53	2	910.
18	5310	RITA	08/28/53	09/02/53	3	940.
19	5316	VIOLA	10/01/53	10/06/53	7	967.
20	5519	IRIS	08/19/55	08/26/55	2	965.
21	5603	THELMA	04/17/56	04/25/56	6	940.
22	5611	DINAH	08/30/56	09/05/56	1	970.
23	5614	GILDA	09/18/56	09/23/56	3	945.
24	5705	VIRGINIA	06/20/57	06/26/57	4	910.
25	5711	CARMEN	09/06/57	09/16/57	3	960.
26	5810	WINNIE	07/11/58	07/18/58	2	925.
27	5819	GRACE	08/30/58	09/06/58	1	905.
28	5909	JOAN	08/26/59	09/02/59	2	885.
29	5911	LOUISE	08/30/59	09/07/59	2	965.
30	5921	FREDA	11/14/59	11/20/59	4	945.
31	6008	SHIRLEY	07/27/60	08/06/60	1	910.
32	6009	TRIX	08/02/60	08/11/60	1	930.
33	6104	BETTY	05/21/61	05/28/61	6	947.
34	6116	LORNA	08/19/61	08/28/61	3	960.
35	6120	PAMELA	09/07/61	09/13/61	2	930.
36	6206	KATE	07/18/62	07/25/62	5	970.
37	6210	OPAL	08/01/62	08/08/62	1	910.
38	6217	AMY	08/31/62	09/07/62	1	940.
39	6221	DINAH	09/26/62	10/05/62	3	955.
40	6307	WENDY	07/12/63	07/20/63	1	930.

表2-2-3(續) 歷年影響高雄地區之颱風(1984年～1994年)

序號	颱風 編號	颱風 名稱	侵台日期 起	侵台日期 訖	侵台路徑	中心氣壓 (毫巴)
41	6314	GLORIA	09/05/63	09/15/63	1	925.
42	6509	DINAH	06/13/65	06/20/65	6	935.
43	6518	MARY	08/14/65	08/23/65	1	950.
44	6621	ELSIE	09/09/66	09/19/66	6	945.
45	6704	VIOLET	04/03/67	04/12/67	6	932.
46	6708	CLARA	07/07/67	07/12/67	2	960.
47	6737	GILDA	11/14/67	11/19/67	2	910.
48	6805	NADINE	07/20/68	07/28/68	3	970.
49	6812	WENDY	09/01/68	09/08/68	3	935.
50	6905	VIOLA	07/23/69	07/29/69	3	900.
51	6908	BETTY	08/04/69	08/11/69	1	960.
52	6911	ELSIE	09/23/69	10/01/69	2	895.
53	6912	FLOSSIE	09/27/69	10/09/69	4	960.
54	7118	NADINE	07/21/71	07/26/71	3	900.
55	7127	BESS	09/17/71	09/23/71	1	905.
56	7315	NORA	10/07/73	10/10/73	5	920.
57	7503	NINA	08/01/75	08/04/75	2	900.
58	7512	BETTY	09/17/75	09/24/75	3	950.
59	7515	ELSIE	10/10/75	10/14/75	3	900.
60	7607	RUBY	06/23/76	07/04/76	7	935.
61	7613	BILLIE	08/03/76	08/11/76	1	910.
62	7704	THELMA	07/21/77	07/26/77	5	950.
63	7705	VERA	07/28/77	08/02/77	1	930.
64	7817	IRMA	09/10/78	09/16/78	4	970.
65	7907	GORDON	07/26/79	07/30/79	3	970.
66	7908	HOPE	07/28/79	08/02/79	3	895.
67	8012	NORRIS	08/24/80	08/29/80	1	950.
68	8104	IKE	06/09/81	06/14/81	7	965.
69	8105	JUNE	06/17/81	06/22/81	1	963.
70	8125	IRMA	11/21/81	11/26/81	4	905.
71	8210	ANDY	07/22/82	07/30/82	4	915.
72	8304	WAYNE	07/20/83	07/25/83	4	920.
73	8510	NELSON	08/18/85	08/24/85	4	961.
74	8605	NANCY	06/22/86	06/25/86	4	960.
75	8612	WAYNE	08/18/86	09/05/86	4	955.
76	8613	ABBY	09/17/86	09/20/86	4	915.
77	8708	ALEX	07/24/79	07/28/79	4	970.
78	8714	GERALD	09/06/87	09/10/87	3	965.
79	8720	LYNN	10/16/87	10/27/87	3	910.
80	8802	SUSAN	05/30/88	06/03/88	6	965.
81	8919	SARAH	09/06/89	09/13/89	4	952.

註：高雄區域篩選範圍東經118.22° ～122.22°
北緯 20.57° ～ 24.57°

2-3 波浪特性

1992年至1993年間，台南水工試驗所在高雄港第二港口外海海域進行波浪調查，觀測位置如附圖2-1-1，依調查結果(如表2-3-1)可得高雄港全年波高小於1.0m者達94.53％，週期多集中在8～10秒間佔67.9％，其間小於10秒部份佔83.9％。

高雄港務局自1966年至1977年間曾經進行較長期之波浪觀測(港研所,1996)，表2-3-2爲觀測結果之統計表。由該表可知，高雄地區之平均波高並不大，全年波高小於1.0m者佔87.5％以上，冬季時該比值則可提高到95.3％，全年波浪週期小於9秒者佔89.4％。

在高雄港鄰近海域內，本所自1990年11月至1993年3月間曾於屏東縣大鵬灣地區進行實際波浪觀測(港研所,1996)，全年、冬及夏季波浪觀測統計結果分別如表2-3-3a,b,c，由表亦可得知，大鵬灣全年波高小於1.25m者佔83.68％，冬季時則可達92.43％，全年波浪週期小於8.5秒者則佔95.24％。

冬季季風時台灣海峽盛行吹NNE向強風，然至新浮崙汕後，因地形呈喇叭狀而風力受分散之影響，風向變爲N或NNE及NNW，風速亦減低。故在冬季季風期，侵襲高雄地區之波浪，主要係由台灣海峽出口處折繞射而來。以近期大鵬灣所測得之資料爲例，可得高雄地區冬季波高與週期分佈情形，如表2-3-3b所示。由該表可知，高雄港區冬季波高與台灣西海岸中北部海域比較，其相對較小，波高小於1.25m部份可達92.43％，週期小於8.5秒者佔98.88％，且其機率等值線整體向橫軸(週期)偏移，湧浪特性顯著。故而高雄港區於冬季時因地理區位關係，東北季風所引致之波浪影響不若其他地區嚴重。

夏季季風時，高雄港區之波浪爲風浪與遠處傳來之湧浪所組成，當熱帶移動性低氣壓接近或引進西南氣流時，可能帶來1～2公尺之波浪，而當颱風來襲時，更可能帶來6公尺（實測記錄）以上之波浪。依表2-3-3c大鵬

灣海域之波浪特性得，高雄港區夏季波浪因受颱風波浪影響，導致波高小於1.25公尺者下降至69.10％，週期在8.5秒者亦降至89.15％。故颱風對高雄地區之影響，已超過一般東北季風主導之型態。

根據以上資料綜合可知，在高雄港區，由於冬季風向大多偏西北，風速較小，且受喇叭狀地形影響，當波浪傳至本區域時，波高均大爲衰減，屬湧浪性質，波高一般均在一公尺左右，週期約爲八秒；而夏季雖受西南季風直接作用，又其間夾帶有颱風之侵襲，致夏季波浪分佈反而較冬季爲大，如非受颱風之影響，波高均在一至二公尺範圍，其繼續時間約爲一至二天，但有長達六至七天者。

表2-3-1 二港口外海有義波高週期與波向發生機率統計表
(1992年～1993年)

Total Record : 2396

T \ H	波 高 (H1/3)								單位: (M)
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0 Total
週期(秒) 0 - 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 - 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 - 8	363	20	0	2	0	0	0	0	385
8 -10	1318	205	70	28	4	1	0	0	1626
10 -12	218	79	10	4	10	2	0	0	323
12以上	55	7	0	0	0	0	0	0	62
Total	1954	311	80	34	14	3	0	0	2396

Total Record : 2396

Θ	波 高 (H1/3)								單位: (M)
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0 Total
波向 N	1	0	0	0	0	0	0	0	1
NNE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ENE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ESE	6	0	0	0	0	0	0	0	6
SE	88	7	7	0	0	0	0	0	102
SSE	175	31	0	0	0	0	0	0	206
S	245	24	0	0	0	0	0	0	269
SSW	218	32	2	0	0	0	0	0	252
SW	278	41	17	2	0	0	0	0	338
WSW	304	12	5	7	6	3	0	0	337
W	311	74	14	14	5	0	0	0	418
WNW	227	53	34	11	3	0	0	0	328
NW	93	35	34	0	0	0	0	0	129
NNW	8	2	0	0	0	0	0	0	10
Total	1954	311	80	34	14	0	0	0	2396

表2-3-2a 高雄地區全年最大波高週期發生頻率
(1966年～1977年)

波高 (m) / 百分率 (%) / 週期 (SEC)	0.00～0.50	0.51～1.00	1.01～1.50	1.51～2.00	>2.00	合計
0～4	5.0	4.6	0.1	—	0.1	9.8
4～4.9	5.5	4.8	0.3	—	—	10.6
5～5.9	19.6	7.7	0.7	0.3	0.1	28.4
6～6.9	8.6	7.0	1.3	0.6	0.3	17.8
7～7.9	4.7	7.1	0.9	0.6	0.3	13.6
8～8.9	2.7	3.8	1.4	0.9	0.3	9.1
9～9.9	1.7	2.3	1.3	0.2	0.7	6.2
10～10.9	0.4	0.9	0.2	0.3	0.2	2.0
11～11.9	0.1	0.4	0.4	0.2	0.2	1.3
12～12.9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5
>13.0	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.7
合計	48.5	39.0	6.8	3.3	2.4	100%

註：1. 資料來源：高雄港務局
2. 統計年份：民國55年至民國66年

表2-3-2b 高雄地區冬季最大波高週期發生頻率
(1966年～1977年)

波高 (m) / 百分率 (%) / 週期 (SEC)	0.00～0.50	0.51～1.00	1.01～1.50	1.51～2.00	>2.00	合計
0～4	2.6	3.6	—	—	—	6.2
4～4.9	4.9	4.9	0.2	—	—	10.0
5～5.9	28.9	9.0	0.3	0.2	—	38.4
6～6.9	7.9	8.5	0.4	—	—	16.8
7～7.9	4.7	7.2	—	0.1	—	12.0
8～8.9	2.6	3.0	0.3	0.1	—	6.0
9～9.9	2.5	2.5	0.5	0.2	.2	5.9
10～10.9	0.4	1.1	0.3	0.4	.3	2.5
11～11.9	0.1	0.4	0.7	0.3	—	1.5
12～12.9	0.1	—	0.3	—	.1	0.5
>13.0	0.1	0.3	0.1	0.1	—	0.6
合計	54.8	40.5	3.1	1.4	.6	100%

表2-3-2c 高雄地區夏季最大波高週期發生頻率
(1966年～1977年)

波高 (m) / 百分率 (%) / 週期 (SEC)	0.00～0.50	0.51～1.00	1.01～1.50	1.51～2.00	＞2.00	合計
0～4	7.5	5.6	0.3	—	0.3	13.7
4～4.9	6.0	4.8	0.4	—	—	11.2
5～5.9	9.7	6.4	1.3	0.4	0.2	18.0
6～6.9	9.4	5.4	2.3	1.2	0.6	18.9
7～7.9	4.7	7.0	1.9	1.0	0.5	15.1
8～8.9	2.9	4.6	2.6	1.7	0.6	12.4
9～9.9	0.9	2.0	2.1	0.3	1.4	6.7
10～10.9	0.4	0.7	0.2	0.2	0.2	1.7
11～11.9	0.2	0.5	0.1	0.2	0.4	1.4
12～12.9	—	0.1	—	0.1	0.1	0.3
＞13.0	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.7
合　計	41.8	37.4	11.3	5.2	4.4	100%

註：1. 資料來源：高雄港務局
2. 統計年份：民國55年至民國66年

表2-3-3a 大鵬灣全年波高週期聯合機率表(1990年～1993年)

單位：%

週期(秒) 波高(米)	0-2.5	2.5-3.5	3.5-4.5	4.5-5.5	5.5-6.5	6.5-7.5	7.5-8.5	8.5-9.5	9.5-10.5	10.5-11.5	11.5-12.5	12.5-13.5	13.5-14.5	14.5-15.5	15.5-16.5	16.5-17.5	17.5-18.5	18.5-19.5	19.5 above	小計
7.75-																				0.00
7.25-7.75																				0.00
6.75-7.25							0.02													0.02
6.25-6.75							0.02													0.02
5.75-6.25								0.05												0.05
5.25-5.75							0.05					0.02								0.07
4.75-5.25						0.02	0.17	0.17		0.03	0.02		0.02							0.42
4.25-4.75						0.07	0.24	0.07	0.03	0.08	0.14	0.03								0.66
3.75-4.25					0.02	0.08	0.37	0.14	0.05	0.14	0.03									0.83
3.25-3.75						0.15	0.42	0.10	0.03	0.12	0.07	0.03								0.93
2.75-3.25				0.02	0.05	0.22	0.54	0.32	0.08	0.08										1.32
2.25-2.75				0.02	0.20	0.34	0.53	0.25	0.14	0.05	0.02	0.03		0.02						1.59
1.75-2.25				0.29	0.66	0.81	0.69	0.29	0.24	0.05	0.03									3.07
1.25-1.75			0.36	1.37	1.68	1.54	1.58	0.58	0.08	0.10	0.05									7.34
0.75-1.25	0.02	0.02	2.00	7.32	11.17	6.34	3.08	0.63	0.10	0.03										30.70
0.25-0.75		0.05	4.76	19.47	17.82	6.03	1.07	0.08	0.02	0.02										49.32
0.00-0.25			0.47	1.51	1.15	0.37	0.07		0.02	0.03			0.02				0.02			3.66
小計	0.02	0.07	7.59	29.99	32.75	15.98	8.84	2.68	0.80	0.75	0.36	0.12	0.03	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	100.00

註：波高、週期採用Hs與Ts，全年係指1~12月。

資料來源：港灣技術研究所，記錄時間為民國79年11月-82年3月。

表2-3-3b 大鵬灣冬季波高週期聯合機率表(1990年～1993年)

單位：%

週期(秒) 波高(米)	0-2.5	2.5-3.5	3.5-4.5	4.5-5.5	5.5-6.5	6.5-7.5	7.5-8.5	8.5-9.5	9.5-10.5	10.5-11.5	11.5-12.5	12.5-13.5	13.5-14.5	14.5-15.5	15.5-16.5	16.5-17.5	17.5-18.5	18.5-19.5	19.5 above	小計
7.75-																				0.00
7.25-7.75																				0.00
6.75-7.25																				0.00
6.25-6.75																				0.00
5.75-6.25																				0.00
5.25-5.75																				0.00
4.75-5.25																				0.00
4.25-4.75																				0.00
3.75-4.25																				0.00
3.25-3.75																				0.00
2.75-3.25					0.07															0.07
2.25-2.75					0.23															0.23
1.75-2.25				0.40	0.57	0.17	0.13	0.07	0.03											1.37
1.25-1.75			0.37	1.31	1.94	0.80	1.11	0.34	0.03											5.90
0.75-1.25	0.03		1.91	8.58	15.69	7.44	3.35	0.37	0.03											37.41
0.25-0.75		0.03	3.18	19.31	20.82	7.91	1.44	0.07												52.77
0.00-0.25			0.17	0.57	0.77	0.47	0.10		0.03	0.07			0.03				0.03			2.25
小計	0.03	0.03	5.63	30.17	40.09	16.80	6.13	0.84	0.13	0.07	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	100.00

註：波高、週期採用Hs與Ts，冬季係指11、12、1、2月。

資料來源：港灣技術研究所，記錄時間為民國79年11月-82年3月。

表2-3-3c 大鵬灣夏季波高週期聯合機率表(1990年～1993年)

單位：%

週期(秒) 波高(米)	0- 2.5	2.5- 3.5	3.5- 4.5	4.5- 5.5	5.5- 6.5	6.5- 7.5	7.5- 8.5	8.5- 9.5	9.5- 10.5	10.5- 11.5	11.5- 12.5	12.5- 13.5	13.5- 14.5	14.5- 15.5	15.5- 16.5	16.5- 17.5	17.5- 18.5	18.5- 19.5	19.5 above	小計
7.75-																				0.00
7.25-7.75																				0.00
6.75-7.25																				0.00
6.25-6.75							0.05													0.05
5.75-6.25								0.15												0.15
5.25-5.75							0.05					0.05								0.10
4.75-5.25						0.05	0.30	0.50		0.10	0.05		0.05							1.05
4.25-4.75						0.20	0.55	0.20	0.10	0.25	0.40	0.10								1.80
3.75-4.25						0.25	0.90	0.40	0.15	0.40	0.10									2.20
3.25-3.75						0.35	1.10	0.30	0.10	0.35	0.20	0.10								2.50
2.75-3.25						0.50	1.30	0.95	0.20	0.25										3.20
2.25-2.75				0.05	0.25	0.85	1.10	0.75	0.35	0.10	0.05	0.10		0.05						3.65
1.75-2.25				0.05	1.10	2.00	1.55	0.55	0.55	0.10	0.10									6.00
1.25-1.75			0.50	1.70	1.80	2.70	2.20	0.75	0.10	0.30	0.15									10.20
0.75-1.25		0.05	2.80	6.85	5.20	4.00	2.50	0.80	0.25	0.10										22.55
0.25-0.75		0.05	7.15	16.85	12.15	3.75	0.95	0.15	0.05	0.05										41.15
0.00-0.25			1.10	2.60	1.40	0.25	0.05													5.40
小計	0.00	0.10	11.55	28.10	21.90	14.90	12.60	5.50	1.85	2.00	1.05	0.35	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

註：波高、週期採用Hs與Ts，夏季係指5、6、7、8月。

資料來源：港灣技術研究所，記錄時間為民國79年11月-82年3月。

2-4 地形特性

高雄港港域位處台灣海峽之最南端，港域海側最西端存在有水深僅約爲40米之台灣灘，海側南北兩端分別由恒春海脊及高屏斜坡圍繞，海域水深40米至200米底床坡度陡峻，港域西南側外海水深可深達2,000米以上。海域水深地形變化甚大且甚爲特殊，水深分佈如附圖2-4-1。

漂沙及地形變化與港域之波浪、潮汐及海流作用息息相關。高雄港務局自第二港口完工後，爲了解港域水深地形變化，即每年於第一及第二港口間進行港域水深測量，另本所曾於1992年全年針對高雄港域進行漂沙調查分析研究(張等，1993)，根據該研究結論指出，高雄海域漂沙特性主要係以向離岸(on-offshore)方向漂沙爲主:當夏季颱風來臨時，往往造成侵蝕海岸，且在離岸400～500公尺外，水深5～6米處形成沿岸沙洲(longshore bar)，愈往南端該沙洲特性愈明顯;迨夏季西南季風或冬季東北季風期，再逐漸將沙洲推向岸側。

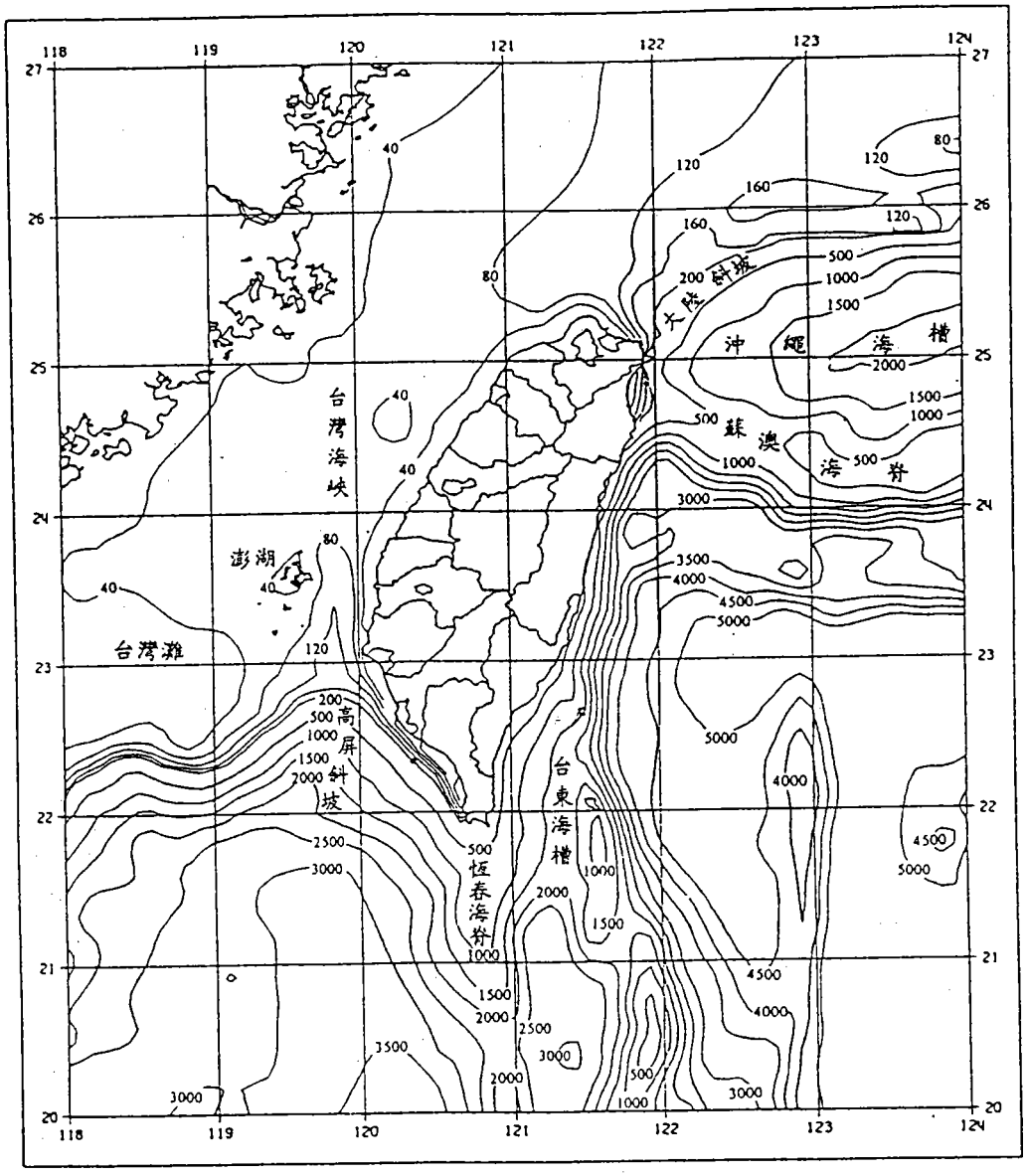


圖2-4-1 台灣附近海域海底地形圖

參、高雄港近岸地區海流特性

影響近岸域之流場，主要外力有潮汐作用、波力、風力等。潮汐可視爲一種淺水長波，其引致之流場稱爲潮流，潮流一般較爲規則化。風剪力所引起之流場稱爲風吹流，其影響之深度有限，而颱風產生之暴潮及流況則較複雜。另將波浪視爲一外力，其引致之流場，稱爲沿岸流，波場本身即爲一複雜之現象，因此沿岸流較爲複雜。影響流場之因素尚有流體剪應力、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,例如河口處造成較大影響，一般實際情形影響不大。

多年來許多單位在高雄海域已經觀測得許多水理資料(如海流、潮位),惟上述資料,因其量測目的大多僅爲建立海域水理資料背景之用,因此量測通常僅爲局部不同時間之定點觀測,在採用同時及多地點較全面性的水理量測資料甚缺,因此並無法得到較全面性的流場特性,觀測資料也不適合作爲數值模式率定。爲較完整深入了解此區域之水理特性,本計畫除蒐集歷年之海流資料進行較深入之分析,本年度也增加海流及潮位並同時多地點之量測。今將分析結果說明如后:

3-1 大林蒲及中洲外海處海流特性

表3-1-1爲1997年10月～11月間在大林蒲及中洲外海處蒐集之潮位及海流資料統計表，約有11日左右之觀測資料。海流儀分別安裝在大林蒲外海處(離岸約3公里，東經120 ^{0} 19’ 05”，北緯22^{0} 30’ 38”，水深15米)水面下11米處，稱大林蒲站,以ST-TL表示，及在中洲外海處(離岸約2.5公里，東經120 ^{0} 15’ 20”，北緯22^{0} 34’ 28”，水深21米)水面下15米處，稱中洲站,以ST-CZ表示，其相對位置如圖3-1-1所示。潮波儀則分別安置在大林蒲站及中洲站同海流儀處之海底，記錄資料甚爲良好。

附錄表A-1爲大林蒲站(ST-TL)及中州站(ST-CZ)逐時潮位、流速(cm/sec)及流向(去向)報表。表中包括大林蒲站及中洲站之平均流速及最大流速(流向)。大林蒲站平均流速爲30cm/sec，中洲站平均流速26cm/sec，相差約4 cm/sec

，大林蒲站平均流速較中洲站平均流速爲大。觀測期間最大流速大林蒲站爲81cm/sec，其流向爲平行海岸線之西北向；中洲站最大流速爲86cm/sec，其流向爲北北西向。

表3-1-1　1997年大林蒲及中洲外海處觀測潮位及海流資料統計表

序號	名稱	測站	資料檔名	啓止時間（年/月/日.時:～年/月/日.時:）	觀測天數	觀測筆數
1	潮位	TL	TI9710TL.1HE	1997/10/28.10:～1997/11/07.10:	11	241
2	潮位	CZ	Ti9710CZ.1HE	1997/10/28.12:～1997/11/07.11:	11	240
3	海流	TL	CU9710TL.1HE	1997/10/28.10:～1997/11/07.10:	11	241
4	海流	CZ	CU9710CZ.1HE	1997/10/28.12:～1997/11/07.11:	11	240

大林蒲站(ST-TL)及中洲站(ST-CZ)之海流之流速(cm/sec)，流向(去向)、東西分量流速(U-comp)，南北分量流速(V-comp)，沿岸分量流(A-comp)、向離岸分量流速(C-comp)、流向量(流矢)及潮位變化圖，如附圖3-1-2。其中流向指流之去向，東西分量流速、東分量爲正，西分量爲負，南北分量流速，北分量爲正，南分量爲負；向離岸分量、離岸分量爲正，向岸分量爲負；沿岸方向，以人面向大海右手方向爲正，左手方向爲負。流速以cm/s爲單位。此處沿著海岸線之方向角經分析大林蒲站約爲北偏西46°，中洲站約爲北偏西38°。逐時流向變化圖(附圖3-1-2)說明流向明顯集中於西北向及東南向，而流向呈半日週期之變化，因高雄附近之海岸也近似西北與東南走向，因此顯示海流運動主要集中在沿岸平行方向做近似半日週期運動，向離岸方向分量流速遠比沿岸方向流速爲小，也說明向離岸方向之流速分量並不明顯。林蒲站及中洲站之流向玫瑰圖及流速、東西分量流速、南北分量流速、沿岸分量流速、向離岸分量流速等統計方塊圖，如附圖3-1-3～圖3-1-4也顯示流向明顯集中於西北向及東南向。以上初步分析顯示大林蒲站及中洲站海流特性甚爲相近。

潮汐資料此段期間計有一港口(ST-1),二港口(ST-2),中洲(ST-CZ)及大林蒲(ST-TL)等4站,由圖3-1-5之潮位資料比較圖顯示,幾個測站之潮型甚爲相似,大小相差不大。

大林蒲站及中洲站之東西分量流速、南北分量流速、沿岸分量流速、向離岸分量流速、海流潮流橢圓半長軸長度、長軸方向角等之能譜圖，如附圖3-1-6

。各分量流速之能譜圖(圖3-1-6a,b,c,d)之大小，即爲對應頻率(週期)之分量流速大小。潮流橢圓半長軸之大小(圖3-1-6e)，即爲對應頻率(週期)運動中最大之潮流大小，而長軸方向(圖3-1-6f)即表示最大潮流時之流向，一般近岸地區潮流之長軸方向與海岸線近乎平行。海流資料能譜分析(包括潮流橢圓半長軸、東西分量流速、南北分量流速、沿岸分量流速、向離岸分量流速之能譜圖)，皆顯示海流主要爲半日潮流及全日潮流，但半日潮流遠較全日潮流爲大，向離岸方向分量流速遠比沿岸方向流速爲小，海流主要爲沿海岸線平行方向做約半日週期及全日週期之往近運動。而圖中也顯示大林蒲站平均流速較中洲站平均流速爲大。

爲探討潮汐及潮流之關係,圖3-1-7及圖3-1-8分別爲大林蒲站及中洲站之潮汐水位、潮流橢圓半長軸長度、長軸方向角等之能譜圖。潮汐水位之能譜圖(圖3-1-7a及圖3-1-8a)之大小(虛線部份)，即爲對應頻率(週期)之潮波振幅大小。潮汐能譜分析顯示主要由半日潮汐及全日潮汐組成,二者大小相近,半日潮僅略大於全日潮,但相差甚小。潮流主要也由半日潮流及全日潮流組成,但半日潮流之最大流速約爲全日潮流之2倍。此現象顯示不同潮波在傳遞過程之能量轉換並不完全相同,根據蘇(1970)在分析潮波在近岸地區前進時因受地形及海底摩擦效應之影響,全日潮波之能量較半日潮波能量損失相對較大。

假設近岸地區潮流是一種往復運動,同時一日之內,連續潮汐潮差相差不多時,則潮流振幅亦應當相差不大。如果這種假設合理,則可以應用簡單之波形分析,將短期記錄中之潮流、平均流與潮汐、平均潮位各別分量分別濾出。

在潮汐及潮流各分量分別濾出之方法,擬引用潮汐調和分析(蘇, 1992)及潮流橢圓分析(如附錄A),以探討全日潮汐(流)及半日潮汐(流)之潮位變化及潮流運動之相關,分析結果大林蒲站及中洲站平均半日(全日)潮流橢圓及半日(全日)潮汐水位變化，如附圖3-1-9～圖3-1-10。橢圓中心點至橢圓上任一點，即表示潮流在半日(全日)不同時間(以小時爲單位)之潮流向量，中心至橢圓之向量即表示潮流向量之大小,而半日(全日)潮汐水位變化即表示在半日(全日)不同時間之水位變化。半日潮流之平均最大流速(即半軸長)(如圖3-1-9b)顯示大林蒲站爲38cm/sec，中洲爲32cm/sec，其流向皆爲沿海岸之西北向或東南向，沿著海岸線之方向角大林蒲站約爲北偏西46°，中洲站約爲北偏西38°。

而由半日潮汐之水位變化與半日潮流橢圓比較(圖3-1-9)顯示潮汐水位增大，即漲潮時海流向東南，潮汐水位降低時，即落潮時水位向西北，潮流橢圓運動爲逆時鐘方向旋轉,長軸遠大於短軸。全日潮流之平均最大流速(圖3-1-10b),顯示大林蒲站爲20cm/sec，中洲爲14cm/sec，遠較半日潮流之流爲小。其流向也皆爲沿海岸之東北向或東南向，沿著海岸線之方向角大林蒲站約爲北偏西49^o，中洲站約爲北偏西30^o。而由全日潮汐之水位變化與全日潮流橢圓比較(圖3-1-10)，也顯示潮汐水位增大，即漲潮時海流向東南向，潮汐水位降低時，即落潮時水位向西北，潮流橢圓運動爲逆時鐘方向旋轉,長軸遠大於短軸,中州站已近乎爲來回運動。

海流主要成份爲半日週期及全日週期之潮流，另外潮流橢圓分析(圖3-1-9～圖3-1-10)也可求得平均流之大小及方向(原點至橢圓中心點向量):大林蒲站爲11cm/s，流向爲北偏西38度，中洲站爲14cm/s，流向爲北偏西18度，顯示此地區除潮流外，其他恒流或洋流支流之影響也不小。海流向量行進圖(progressive vector diagram)，或稱PVD,其運動軌跡之物理意義爲假設測站附近爲均勻海流分佈，放置一浮標於測站，則其浮標之軌跡即爲PVD。此處海流向量行進圖(圖3-1-11～圖3-1-12)也顯示平均流主要爲西北向，其中潮流成份則爲來回週期運動。

爲定量的探討潮流與潮汐之相關，僅取ST-TL站資料做潮汐與海流之相關分析。圖3-1-13a爲潮位自相關圖，顯示其自相關爲半日週期及全日週期變化，圖3-1-13b爲沿岸方向流速自相關圖，也顯示相關曲線爲半日週期及全日週期變化，而潮位與沿岸方向流速之互相關曲線圖(圖3-1-13c)，同樣顯示爲半日週期及全日週期變化，而最大相關值0.63發生在延時爲3小時。此結果說明潮流(半日＋全日)乃由潮波(半日＋全日)引致而產生，潮汐水位領先潮流約3小時。而中洲站也有相同之結果,最大相關值0.45發生延時爲4小時(圖3-1-14)。以上分析顯示潮汐與海流之相關係數小於0.7,表示相關性並不理想,其原因爲半日潮汐(潮流)及全日潮汐(潮流)之能量傳遞大小並不相同,僅以線性相關不易建立二者之關係式。

進一步爲探討半日潮流(汐)及全日潮流(汐)之日變化,引用潮汐調和分析及潮流橢圓分析每日(取30小時爲單位做分析)半(全)日潮汐之振幅及半(全)

日潮流半軸長之流速，及其相對比值，如附圖3-1-15及圖3-1-16，相關統計量則如附表3-1-2及表3-1-3，表中a_o, a_1, a_2分別代表平均潮位、全日潮汐振幅及半日潮汐振幅，A_o, A_1, A_2分別代表平均流、全日潮流半長軸及半日潮流半軸長之流速大小。比值R_1, R_2, R_3, R_4則分別定義爲$R_1 = A_2/a_2$, $R_2 = A_1/a_1$, $R_3 = a_2/a_1$及$R_4 = A_2/A_1$。比值中除R_2值(半日潮流與半日潮位比值)大小較相近外，其他R_1, R_3, R_4之比值皆甚爲散亂，顯示半日潮波產生之半日潮流較穩定，而全日潮汐與全日潮流之關係甚爲不穩定，全日潮波之能量傳遞至全日潮流則甚爲不規則。

圖3-1-17～圖3-1-22爲選取ST-TL及ST-CZ兩測站各取3組有3天長之代表性潮汐之振幅能譜，潮流半長軸長度，長軸方向角能譜圖，表3-1-4爲相關統計量表。第一組及第二組分別爲大林蒲(ST-TL)及中洲(ST-CZ)兩站之資料，潮汐主要爲半日潮，全日潮汐不明顯，對應潮流主要爲半日潮流，但在全日潮位不明顯條件下，卻有全日潮流存在。第三組(ST-TC)及第四組(ST-CZ)潮汐主要爲全日潮汐，次要爲半日潮汐。全日潮位較半日潮位爲大，但對應之潮流主要成份卻仍是半日潮流，次要成份是全日潮流。第五組(ST-TL)及第六組(ST-CZ)爲大潮期間，潮汐主要由半日潮及全日潮組成，二者大小相當，半日潮位略大於全日潮位，對應之潮流之特性則完全與潮汐相似。以上分析顯示本區潮流與潮汐之關係甚爲不規則，欲建立簡易相關式甚爲不易。

1995年台南水工試驗所(劉等, 1996)，在高雄近岸海域之海流測量包括大林蒲及中州附近海域兩個測站，每個測站分別施放兩台海流儀測量上、下兩層之海潮流，共進行兩次量測，測量時間分別爲84年3月17日至84年4月2日以及84年10月4日至84年10月19日。海潮流測量位置分別選在中洲海洋放流管管端水深約21公尺處(C點，離岸約4公里，二分帶座標X(E)=178713,Y(N)=2490057)，以及大林蒲海洋放流管管端水深約17公尺處(D點，離岸約4.2公里，二分帶座標X(E)=173442,Y(N)=2496798)，其相對位置如圖3-1-1所示。大林蒲外海處站之上層站(水面下3米)以ST-TU表示，下層站(水面下14米)以ST-TD表示，中洲外海處站之上層站(水面下3米)以ST-CU表示，下層站(水面下18米)以ST-CD表示。表3-1-5爲1997年10月～11月間在大林蒲及中洲外海處蒐集之潮位及海流資料統計表，每處觀測約有16日左右之觀測資料。

附錄表A-2爲第一次觀測資料在大林蒲站(ST-TU,ST-TD)及中州站(ST-CU, ST-CD)逐時、流速(cm/sec)及流向(去向)及一港口(ST-1)、二港口(ST-2)潮位報表。第一次大林蒲上層ST-TU平均流速爲22cm/sec，下層ST-TD平均流速爲17cm/sec，中洲站上層ST-CU平均流速18cm/sec，下層ST-CD平均流速爲14cm/sec，大林蒲站平均流速較中洲站平均流速爲大,上層較下層流速爲大。最大流速大林蒲站上層ST-TU爲79cm/sec，下層ST-TD爲57cm/sec，其流向皆爲平行海岸之西北向；中洲站上層ST-CU最大流速爲48cm/sec，下層ST-CD爲51cm/sec，其流向上層爲南向,下層爲南南東向。

附錄表A-3爲第二次觀測在爲大林蒲站(ST-TU,ST-TD)及中州站(ST-CU, ST-CD)逐時流速(cm/sec)、流向(去向)及潮位報表。大林蒲上層ST-TU平均流速爲25cm/sec，下層ST-TD平均流速爲17cm/sec，中洲站上層ST-CU平均流速30cm/sec，下層ST-CD平均流速爲13cm/sec，同樣大林蒲站平均流速較中洲站平均流速爲大,上層較下層流速爲大。最大流速大林蒲站上層ST-TU爲72cm/sec，下層ST-TD爲51cm/sec，其流向上層爲東南東向,下層爲南南東向；中洲站上層ST-CU最大流速爲76cm/sec，下層ST-CD爲40cm/sec，其流向皆爲南南東向。此次最大流速大都發生在東南向,與前述1997年10月之最大流速大都爲西北向不相同。

表3-1-5　1995年大林蒲及中洲外海處觀測海流資料統計表

序號	測站	年、月	檔名	啓止時間(日.時:分～日.時:分)	觀測天數	觀測筆數
1	CZ	1995.03	CU9503CD.1HM	17.16:00～02.10:00	17	379
2	CZ	1995.03	CU9503CU.1HM	17.16:00～02.10:00	17	379
3	TL	1995.03	CU9503TD.1HM	17.15:00～02.11:00	17	381
4	TL	1995.03	CU9503TU.1HM	17.15:00～02.11:00	17	381
5	CZ	1995.10	CU9510CD.1HM	04.15:00～19.14:00	16	360
6	CZ	1995.10	CU9510CU.1HM	04.15:00～19.14:00	16	360
7	TL	1995.10	CU9510TD.1HM	04.15:00～19.15:00	16	361
8	TL	1995.10	CU9510TU.1HM	04.15:00～19.15:00	16	361

大林蒲站(ST-TU, ST-TD)及中洲站(ST-CU, ST-CD)之海流之流速(cm/sec)，流向(去向)、東西分量流速(U-comp)，南北分量流速(V-comp)，沿岸分量流(A-comp)、向離岸分量流速(C-comp)、流向量(流失)及潮位變化圖，如附

圖3-1-23及圖3-1-24。此處沿著海岸線之方向角經分析大林蒲站約爲北偏西44°，中洲站約爲北偏西52°。逐時流向變化圖也說明流向明顯集中於西北向及東南向，而流向呈全日週期之變化，說明海流運動主要集中在沿岸平行方向做近似全日週期運動，向離岸方向分量流速遠比沿岸方向流速爲小。大林蒲站及中洲站之流向玫瑰圖及流速、東西分量流速、南北分量流速、沿岸分量流速、向離岸分量流速等統計方塊圖，如附錄圖A-1a～h也顯示流向明顯集中於西北向及東南向。

因爲ST-CU站資料較其他測站爲少,僅取3月及10月各站上、下層同時段之資料,以求得之潮流橢圓半長軸長度、長軸方向角等之能譜比較圖，如附圖3-1-25～圖3-1-28,其相關統計量則如附表3-1-6。能譜分析皆顯示海流主要爲半日潮流及全日潮流，但全日潮流遠較半日潮流爲大，向離岸方向分量流速遠比沿岸方向流速爲小，海流主要爲沿海岸線平行方向做約全日週期及半日週期之往近運動。而圖中也顯示大林蒲站平均流速較中洲站平均流速爲大,上層較下層平均流速爲大。若不考慮ST-CU測站,取10月較長時段之ST-TU, ST-TD及ST-CD等三站資料做能譜分析,其結果如附圖3-1-29～附圖3-1-30,則在全日潮流處明顯有雙週期存在。此段1995年3月及10月間觀測之海流主要成份爲全日潮流,次要成份爲半日潮流,與前述1997年10月觀測海流主要成份爲半日潮,次要成份爲全日潮流不相同。

潮汐資料此段期間(1995年3月,4月及10月)計有一港口(ST-1)及二港口(ST-2)等2站潮位變化如附圖3-1-31,圖中顯示二站潮位變化甚爲相似,但ST-2品質較ST-1較佳,而且ST-1有欠缺部份資料,因此將取ST-2潮位做資料分析。ST-2站潮汐其振幅能譜圖如圖3-1-32。

同樣探討潮汐及潮流之關係,圖3-1-33～圖3-1-40分別爲大林蒲站(ST-TU及ST-TD)及中洲站(ST-CU及ST-CD)之潮汐水位、潮流橢圓半長軸長度、長軸方向角等之能譜圖。虛線部份爲潮汐水位之能譜之大小，實線部份爲潮流橢圓半長軸長度、長軸方向角之能譜之大小。潮汐能譜分析顯示主要由半日潮汐及全日潮汐組成,二者大小相近,半日潮僅略大於全日潮,但相差甚小。潮流主要也由半日潮流及全日潮流組成,但全日潮流之最大流速約爲半日潮流之2倍。此現象與前述1997年10月之資料分析結果完全相反，前述潮流主要也由半

日潮流及全日潮流組成，但半日潮流之最大流速卻是約爲全日潮流之2倍。此結果又顯示不同潮波在傳遞過程之能量轉換甚爲複雜。

大林蒲站(ST-TU及ST-TD)及中洲站(ST-CU及ST-CD)平均半日(全日)潮流橢圓圖及半日(全日)潮汐水位變化圖，如附錄圖A-2-1～圖A-2-8。3月份全日潮流之平均最大流速(即半軸長)(如附錄圖A-2-1b～圖A-2-2b) ST-TU站爲17cm/sec，ST-TD站爲15cm/sec，ST-CU站爲14cm/sec，ST-CD站爲12cm/sec，其流向皆爲沿海岸之西北向或東南向。沿著海岸線之方向角大林蒲站上層約爲北偏西42°，下層約爲北偏西45°，中洲站上層約爲北偏西22°，下層約爲北偏西31°。10月份全日潮流之平均最大流速(如附錄圖A-2-3b～圖A-2-4b)ST-TU站爲32cm/sec，ST-TD站爲14cm/sec，ST-CU站爲30cm/sec，ST-CD站爲12cm/sec，沿著海岸線之方向角大林蒲站上層約爲北偏西43°，下層約爲北偏西49°，中洲站上層約爲北偏西29°，下層約爲北偏西36°。而由全日潮汐之水位變化與全日潮流橢圓比較(圖A-2-1～圖A-2-4)顯示潮汐水位增大，即漲潮時海流向東南向，潮汐水位降低時，即落潮時水位向西北，潮流橢圓運動爲逆時鐘方向旋轉，長軸遠大於短軸。

3月份半日潮流之平均最大流速(即半軸長)(如附錄圖A-2-5b～圖A-2-6b)，ST-TU站爲12cm/sec，ST-TD站爲11cm/sec，ST-CU站爲6cm/sec，ST-CD站爲5cm/sec，其流向皆爲沿海岸之西北向或東南向。沿著海岸線之方向角大林蒲站上層約爲北偏西72°，下層約爲北偏西66°，中洲站上層約爲北偏西35°，下層約爲北偏西39°。10月份半日潮流之平均最大流速(如附錄圖A-2-7b～圖A-2-8b)，ST-TU站爲18cm/sec，ST-TD站爲13cm/sec，ST-CU站爲17cm/sec，ST-CD站爲11cm/sec，沿著海岸線之方向角大林蒲站上層約爲北偏西56°，下層約爲北偏西44°，中洲站上層約爲北偏西40°，下層約爲北偏西26°。全日潮流遠較半日潮流之流速爲大。而由半日潮汐之水位變化與半日潮流橢圓比較(圖A-2-5～圖A-2-8)，也顯示潮汐水位增大，即漲潮時海流向東南向，潮汐水位降低時，即落潮時水位向西北，潮流橢圓運動爲逆時鐘方向旋轉，長軸遠大於短軸。

海流主要成份爲全日週期及半日週期之潮流，潮流橢圓分析求得平均流之大小及方向(原點至橢圓中心點)(圖A-2-1～圖A-2-4)分別如下：3月份ST-TU爲

1.9cm/s，流向爲南偏西40度，ST-TD爲2.0cm/s，流向爲北偏東5度，ST-CU爲2.6cm/s，流向爲北偏西64度，ST-CD爲4.1cm/s，流向爲北偏東5度，10月份ST-TU爲15.6cm/s，流向爲南偏東37度，ST-TD爲11.8cm/s，流向爲南偏東25度，ST-CU爲22.6cm/s，流向爲南偏東28度，ST-CD爲8.8cm/s，流向爲南偏東34度，顯示此地區除潮流外，其他恒流或洋流支流之影響有時也甚重要。海流向量行進圖(圖A-3a～h)也顯示3月份時期各站之平均流大多數情形皆往東南方流，且流速較大;而10月份時期各站之平均海流偏向西北方,但流速偏小。

同樣進一步爲探討半日潮流(汐)及全日潮流(汐)之日變化,引用潮汐調和分析及潮流橢圓分析每日半(全)日潮汐之振幅及半(全)日潮流半長軸流速,及其相對比值,如附錄圖A-4-1～圖A-4-8,相關統計量則如附錄表A-4a～h。同樣R_1, R_2, R_3, R_4皆甚爲散亂,顯示由半日潮波產生之半日潮流,及全日潮波產生之全日潮流之關係甚爲不穩定,潮波之能量傳遞至潮流甚爲不規則。

實際海流是由潮流與平均海流以及其他擾動相加之和。根據海流調查之結果顯示平均流與潮流之數量級大小約略相等。因此實測之流向並不如預期中之純粹潮流那種往復之迴轉運動。本地區內,漲潮時潮流流向多往東南,退潮則往西北,最大流發生時刻,與潮位之關係不定。根據本所以往在興達港(高雄北北西方約三十公里)長期觀測資料顯示,興達港沿岸附近漲潮時潮流向北(約350°N)流,退潮時則向南(160°N)流(當地海岸方向爲140°N)。因此本地區內潮流型態和附近地區不一致。一般而言,大林蒲同水深的海潮流流速均比中洲爲大,可能是受地形影響所致。

Kao-Hsiung Harbor

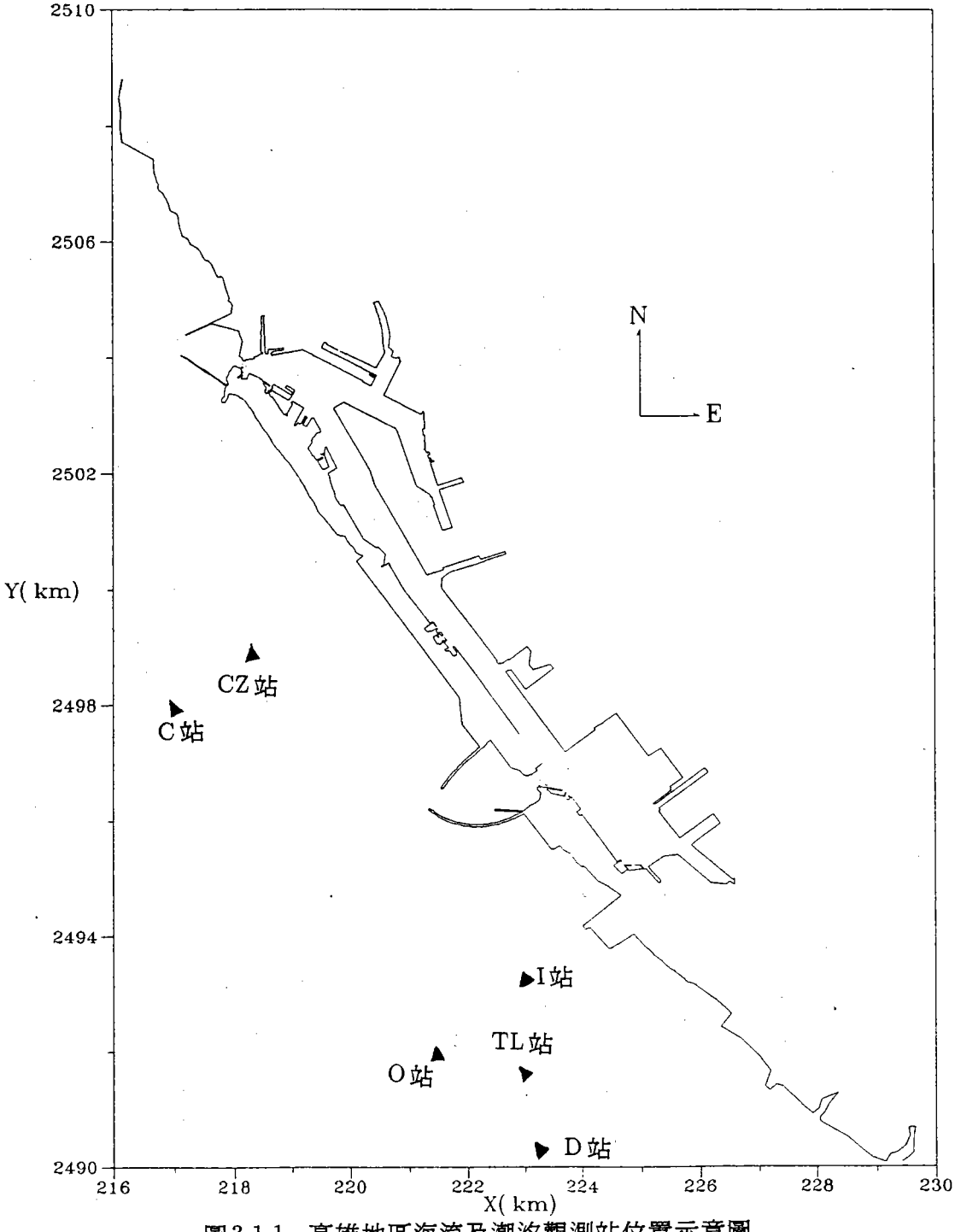


圖3-1-1 高雄地區海流及潮汐觀測站位置示意圖

KSA1.BOU	Institute of Harbor & Marine Technology

PLBC1V.FOR 1996. 7 . 6

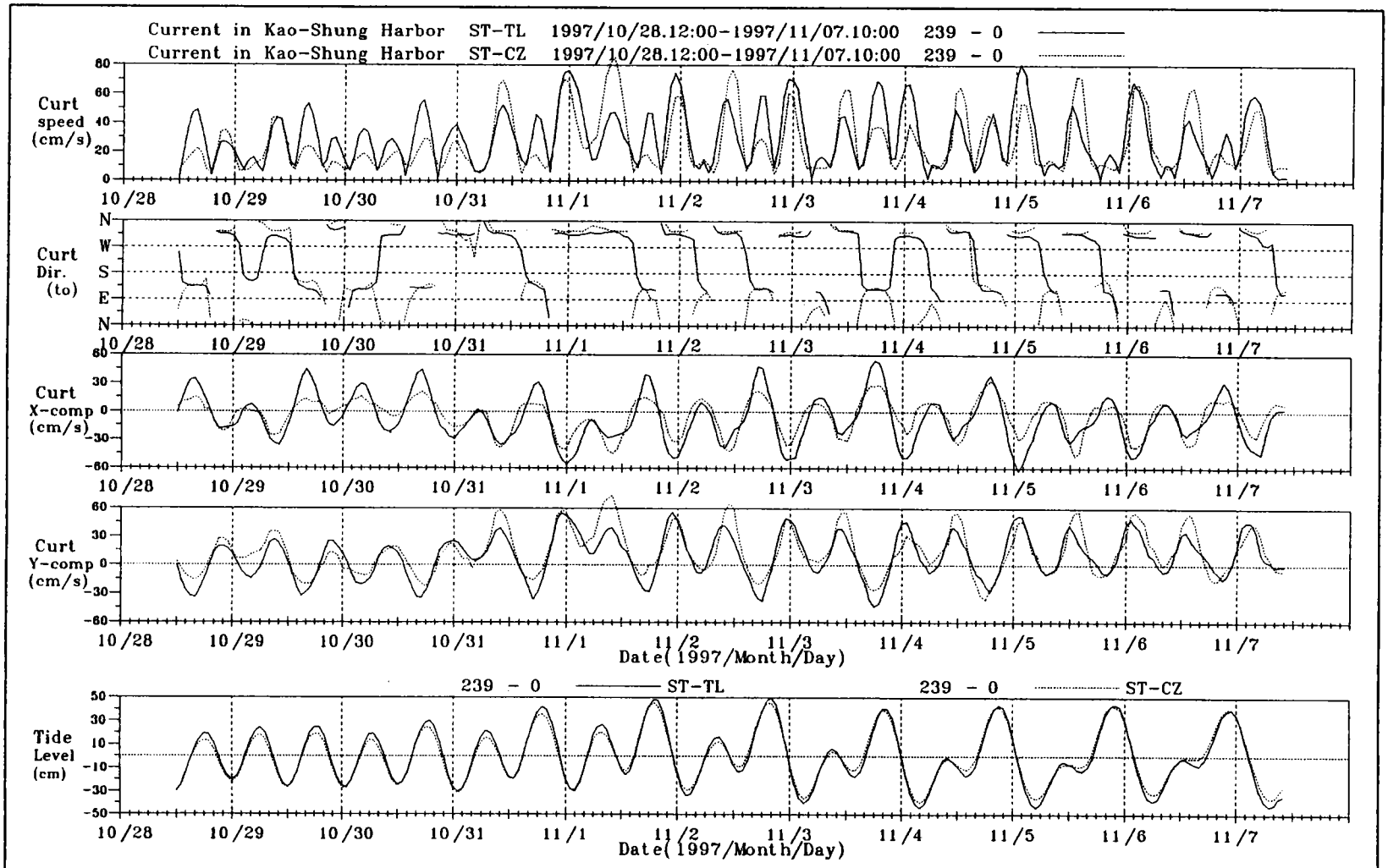


圖3-1-2a 1997年10月TL測站及CZ測站觀測之逐時流速、流向、東西分量、南北分量及潮位變化圖

CU9710TL.1HX	CU9710CZ.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

PLCT2H.FOR

1996.6.11

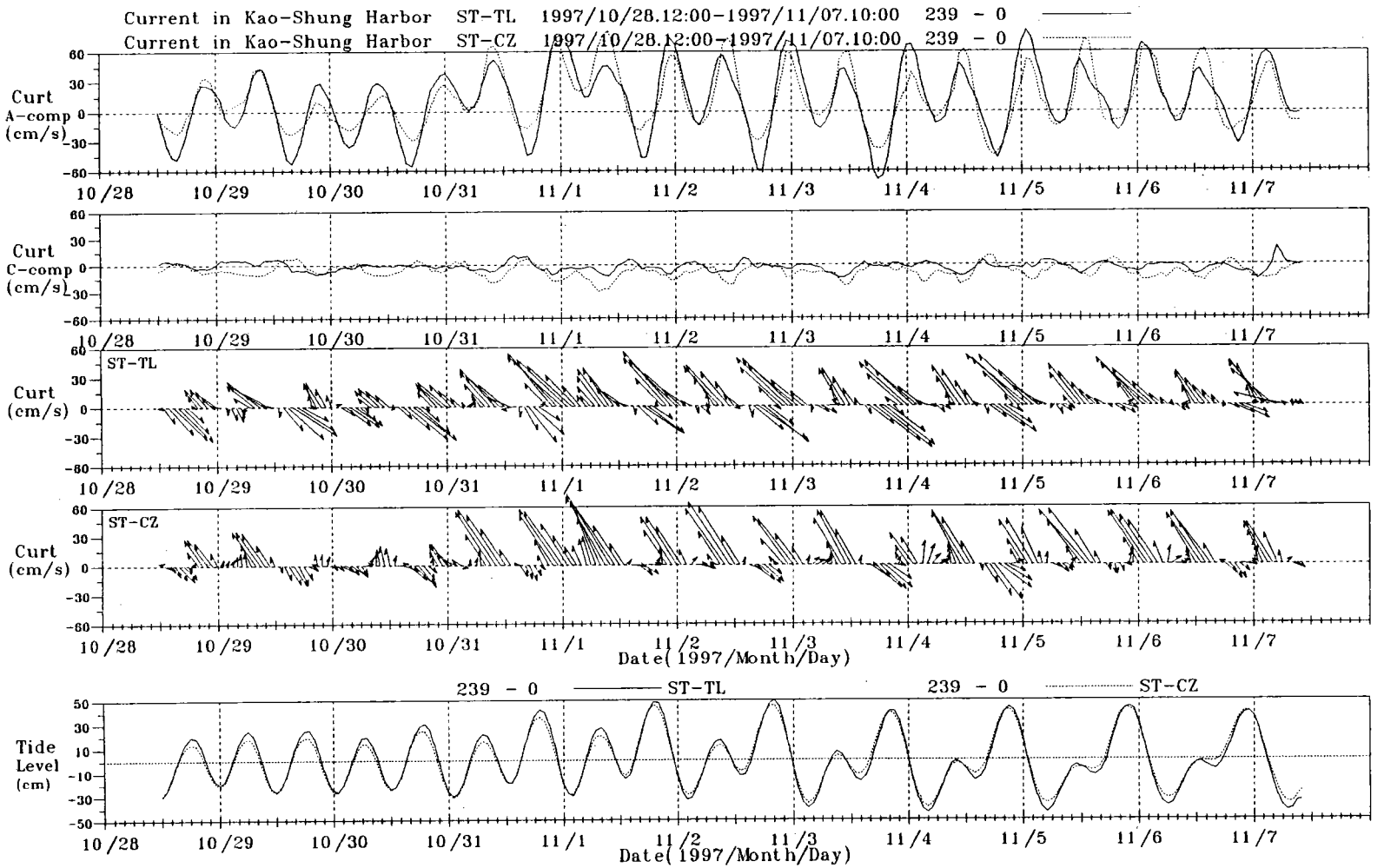


圖3-1-2b 1997年10月TL測站及CZ測站觀測之逐時海流沿岸分量、向離岸分量、海流向量及潮位變化圖

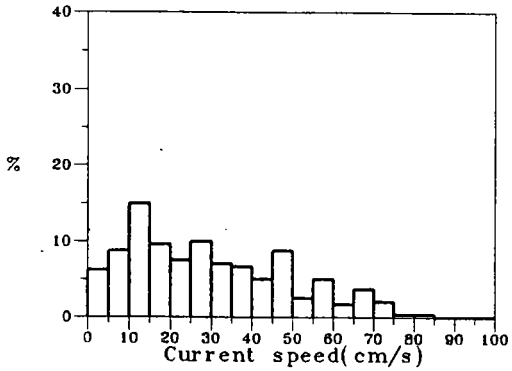
CU9710TL.1HX CU9710CZ.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

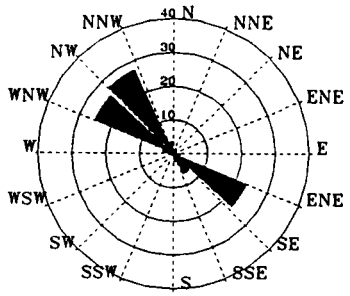
PLCY2H.POR

1998. 8 . 13

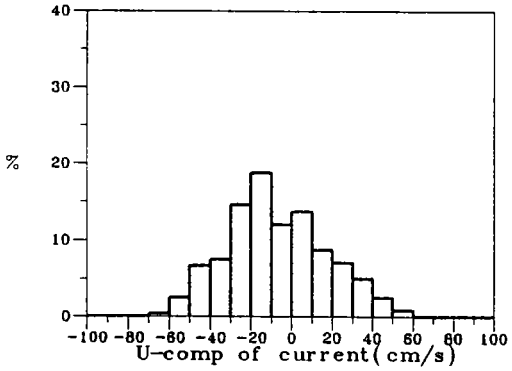
Histogram of Current (cm/s) in Kao-Shung

Current in Kao-Shung Harbor ST-TL 1997/10/28.10:00-1997/11/07.10:00
mean : 29.7cm/s, s.d.: 19.4cm/s, min : 1.5cm/s, max : 81.1cm/s.
File : CU9710TL.1HM Data no. 241 hours Lost data no. 0 hours

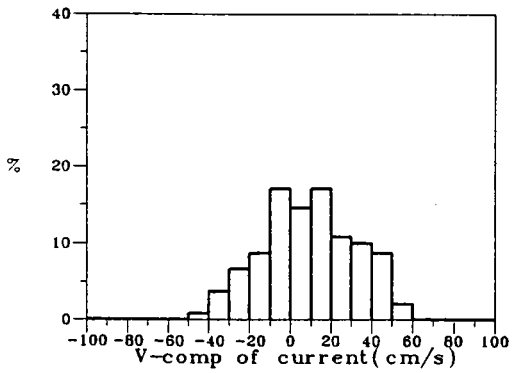




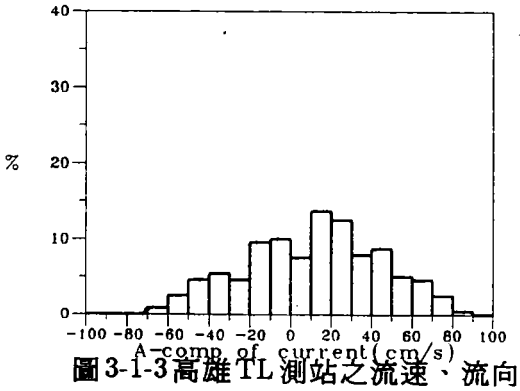
mean : -7.1cm/s, s.d.: 24.6cm/s,
min : -62.5cm/s, max : 54.1cm/s.



mean : 8.9cm/s, s.d.: 22.9cm/s,
min : -43.2cm/s, max : 56.0cm/s.



mean : 11.1cm/s, s.d.: 33.2cm/s,
min : -69.2cm/s, max : 81.1cm/s.



mean : -2.2cm/s, s.d.: 5.3cm/s,
min : -17.4cm/s, max : 19.9cm/s.

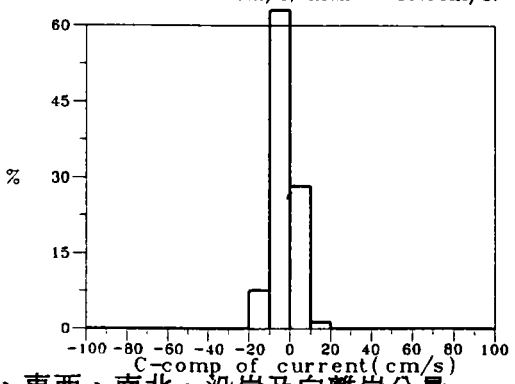


圖3-1-3高雄TL測站之流速、流向、東西、南北、沿岸及向離岸分量

統計方塊圖(玫瑰圖)

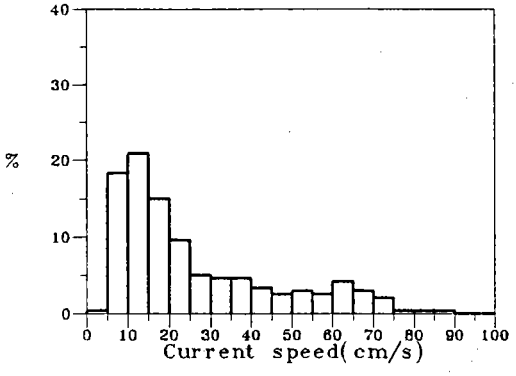
CU9710TL.CSQ	Institute of Harbor & Marine Technology

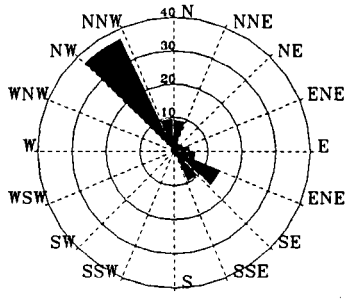
PLHCU1V.FOR

1998.8.13

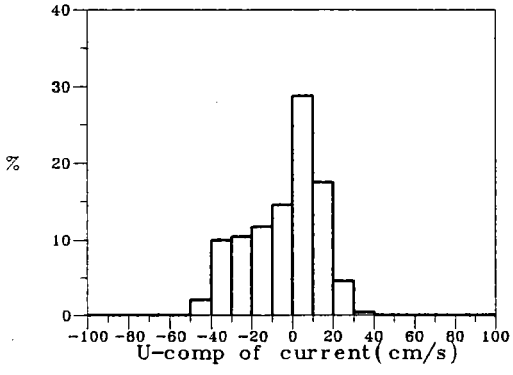
Histogram of Current (cm/s) in Kao-Shung

Current in Kao-Shung Harbor ST-CZ 1997/10/28.12:00-1997/11/07.11:00
mean : 26.1cm/s, s.d.: 19.4cm/s, min : 4.8cm/s, max : 85.6cm/s.
File : CU9710CZ.1HM Data no. 240 hours Lost data no. 0 hours

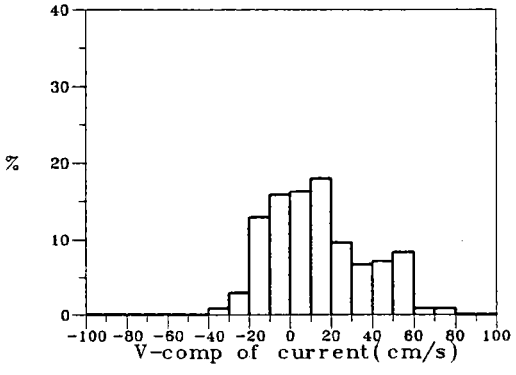




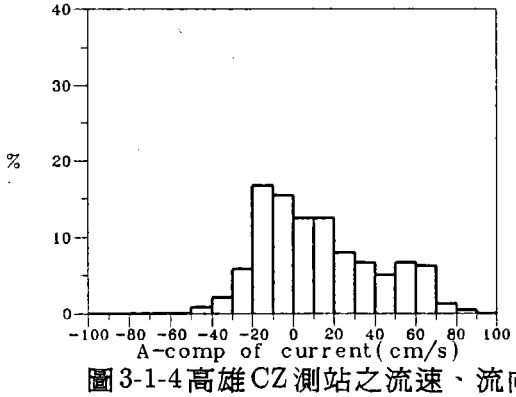
mean : -4.4cm/s, s.d.: 17.8cm/s,
min : -47.3cm/s, max : 33.3cm/s.



mean : 13.4cm/s, s.d.: 23.2cm/s,
min : -36.5cm/s, max : 73.0cm/s.



mean : 12.0cm/s, s.d.: 28.2cm/s,
min : -45.2cm/s, max : 81.2cm/s.



mean : -7.5cm/s, s.d.: 7.6cm/s,
min : -30.3cm/s, max : 10.4cm/s.

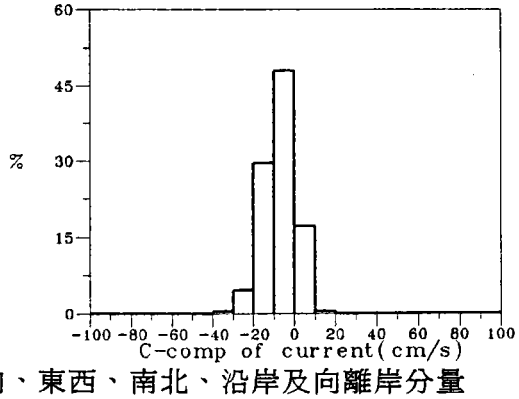


圖3-1-4高雄CZ測站之流速、流向、東西、南北、沿岸及向離岸分量統計方塊圖(玫瑰圖)

CU9710CZ.CSQ	Institute of Harbor & Marine Technology

PLHCU1V.FOR 1998.6.9

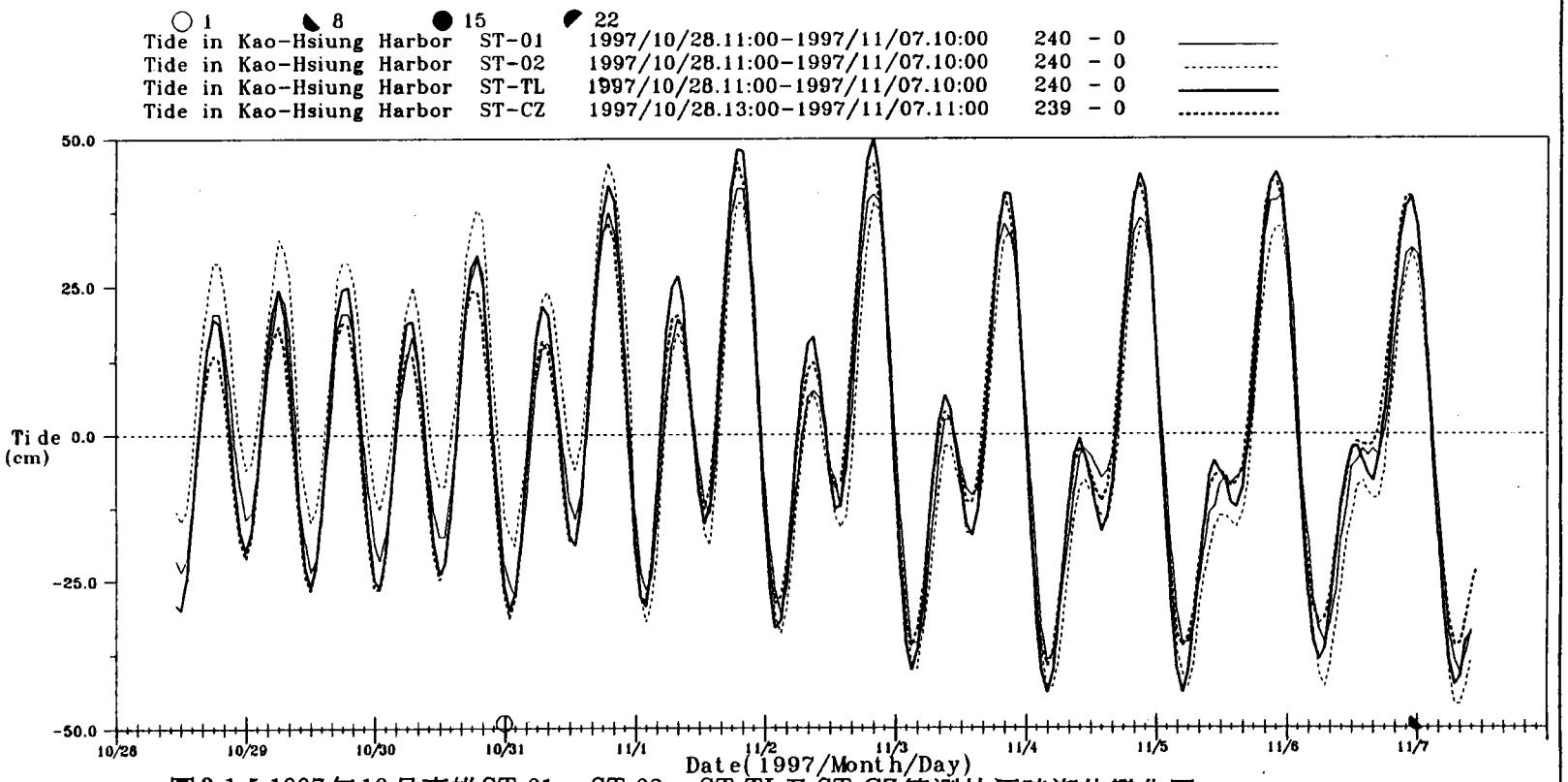


圖3-1-5 1997年10月高雄ST-01、ST-02、ST-TL及ST-CZ等測站逐時潮位變化圖

TI971001.1HX TI971002.1HX TI9710TL.1HX TI9710CZ.1HX

Institute of Harbor & Marine Technology

PLTI4BH.FOR

1996.6.22

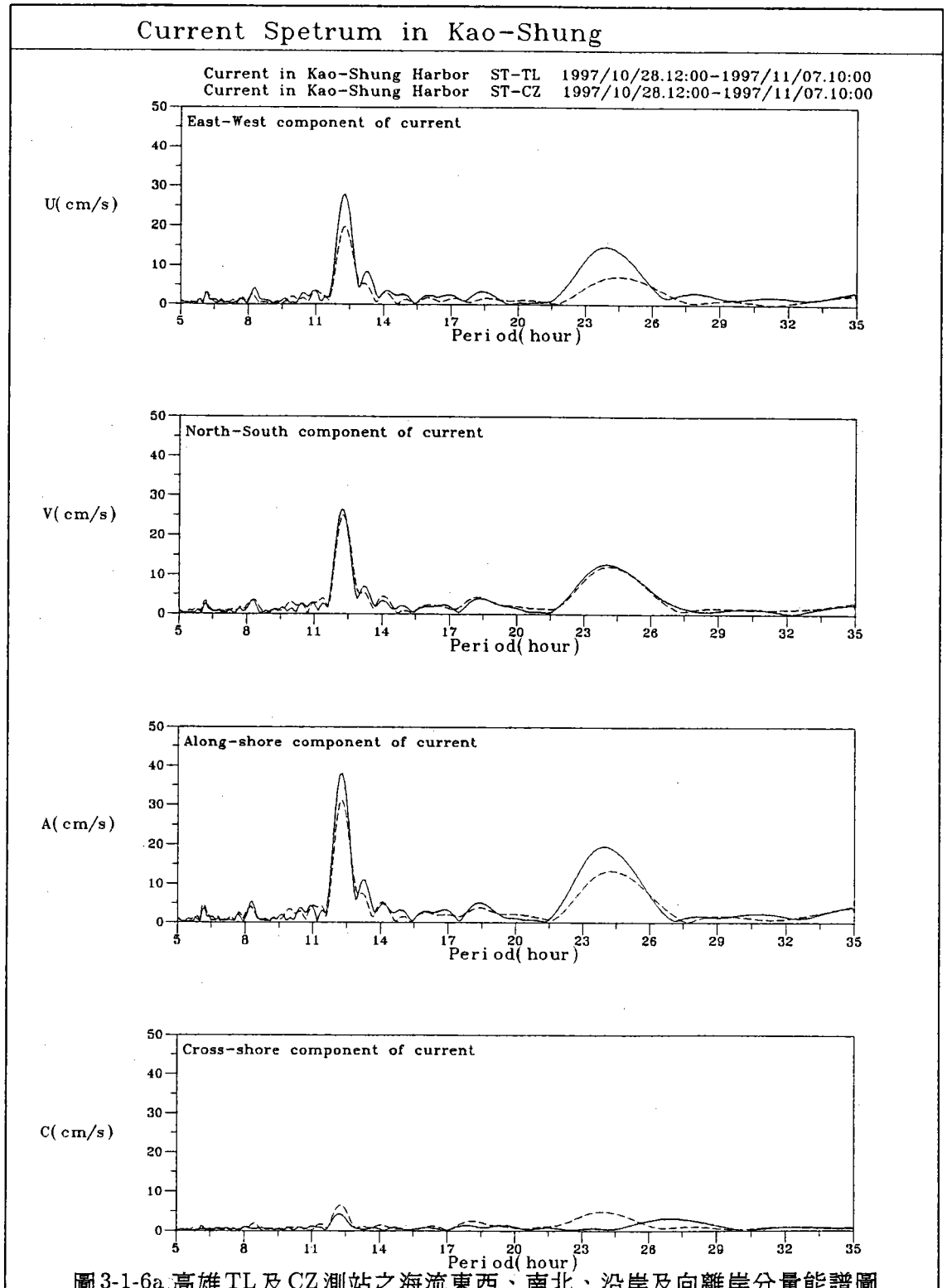


圖3-1-6a 高雄TL及CZ測站之海流東西、南北、沿岸及向離岸分量能譜圖

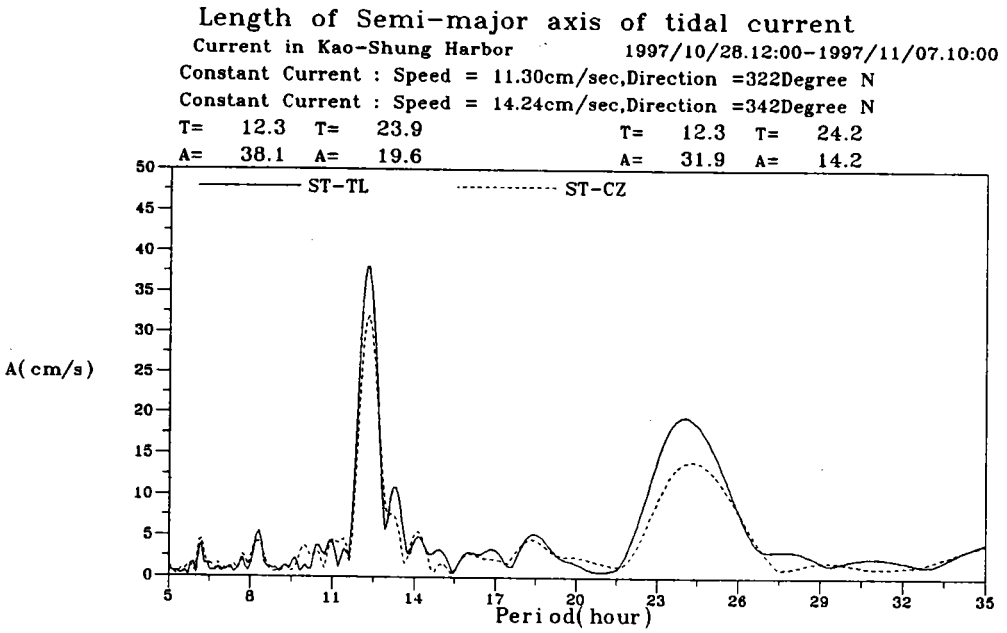


圖3-1-6b高雄TL及CZ測站潮流橢圓半長軸長之能譜圖

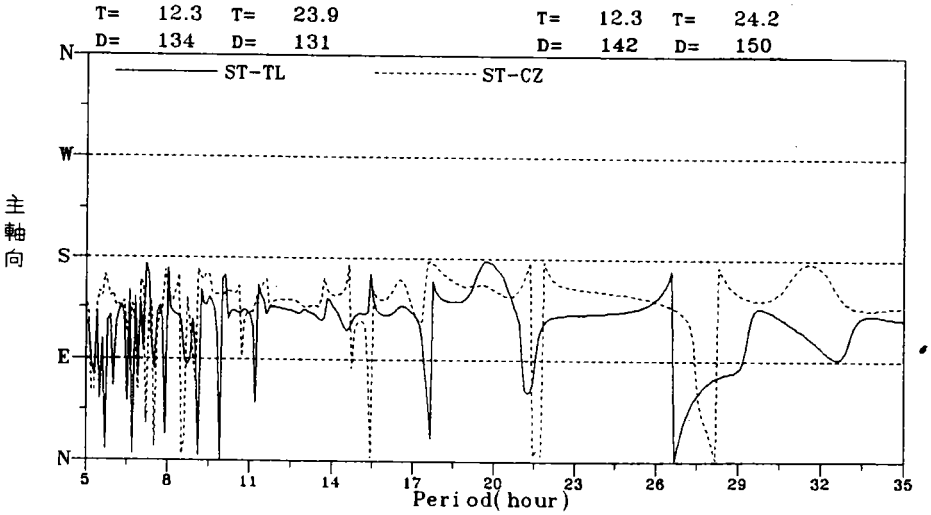


圖3-1-6c高雄TL及CZ測站潮流橢圓長軸方向角譜圖

Current and tide Spetrum in Kao-Shung

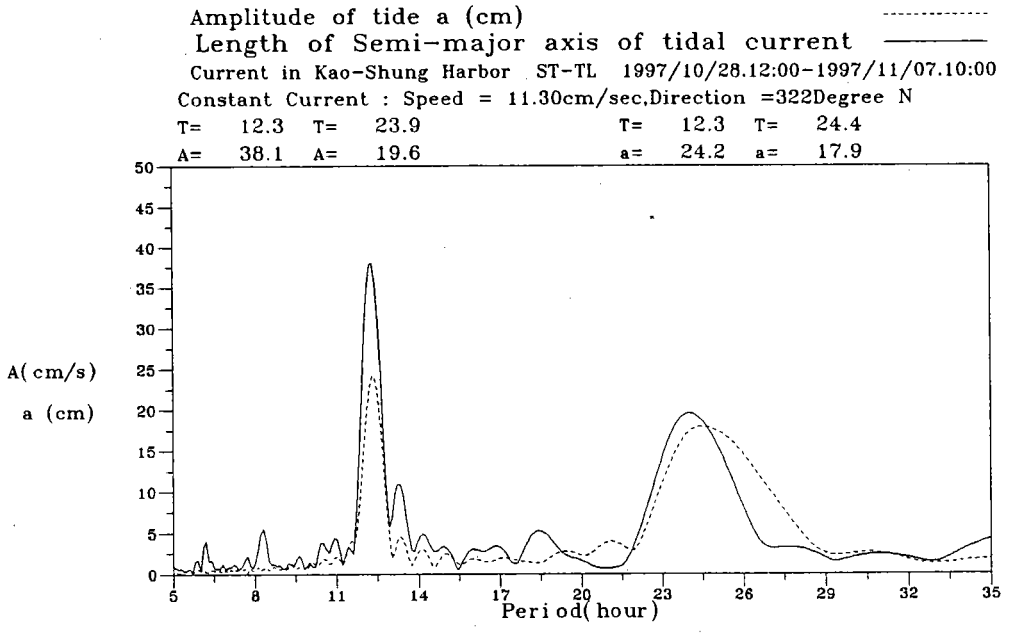


圖3-1-7a 高雄TL測站潮流橢圓半長軸長及潮位振幅之能譜比較圖

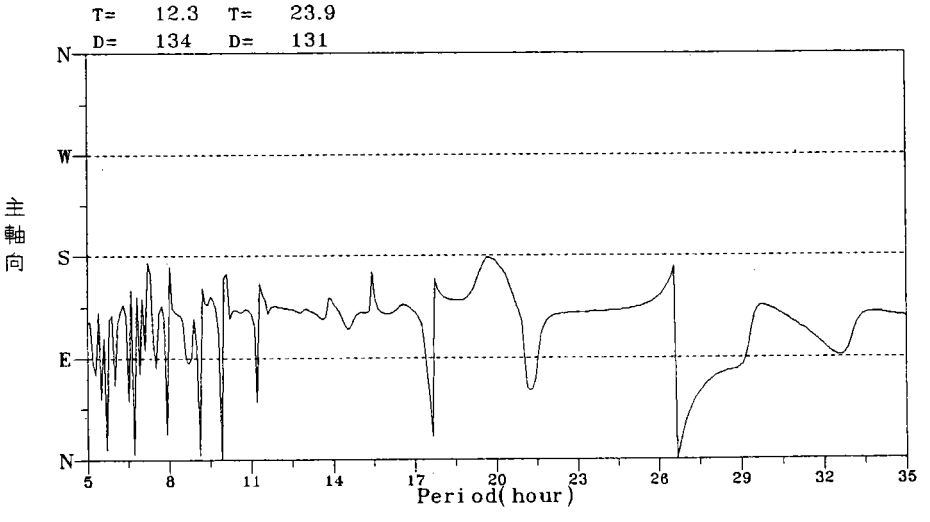


圖3-1-7b 高雄TL測站潮流橢圓長軸方向角譜圖

Current and tide Spetrum in Kao-Shung

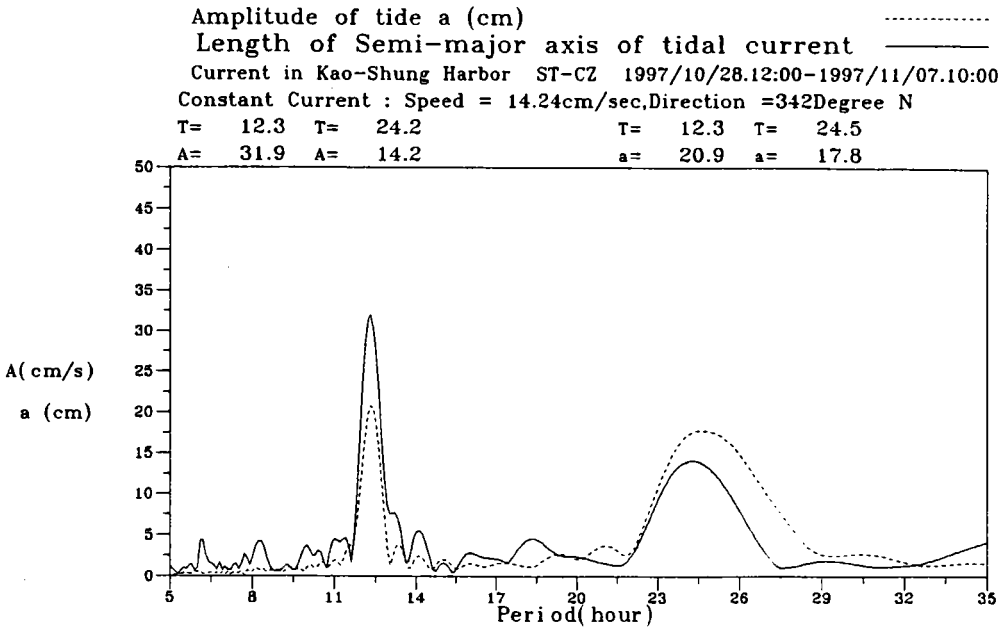


圖3-1-8a 高雄CZ測站潮流橢圓半長軸長及潮位振幅之能譜比較圖

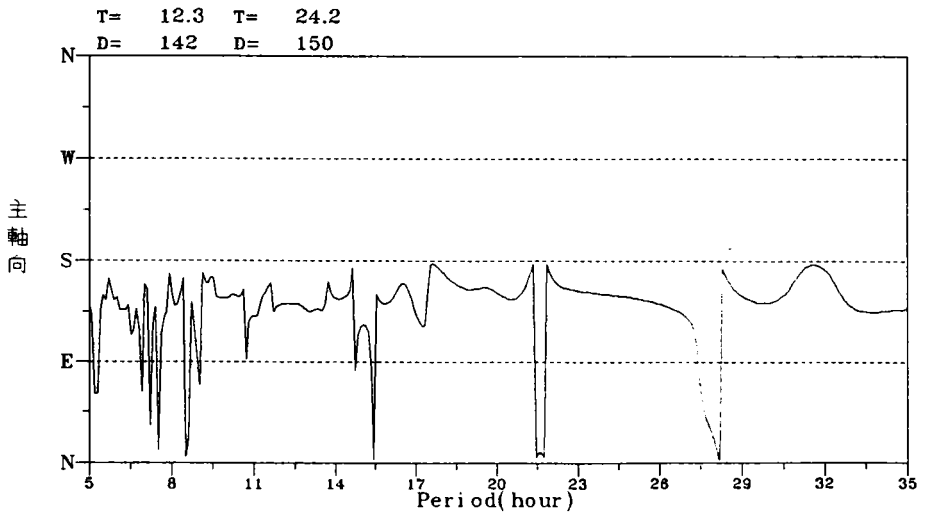


圖3-1-8b 高雄CZ測站潮流橢圓長軸方向角譜圖

Tide in Kao-Shung Harbor ST-TL 1997/10/28.12:00-1997/11/07.10:00
T =12.30 sec, Amplitude = 24.3 cm
Tide in Kao-Shung Harbor ST-CZ 1997/10/28.12:00-1997/11/07.10:00
T =12.30 sec, Amplitude = 20.9 cm

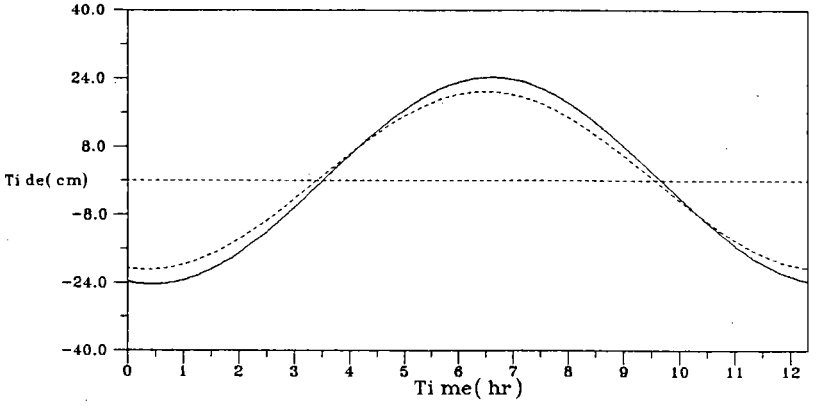
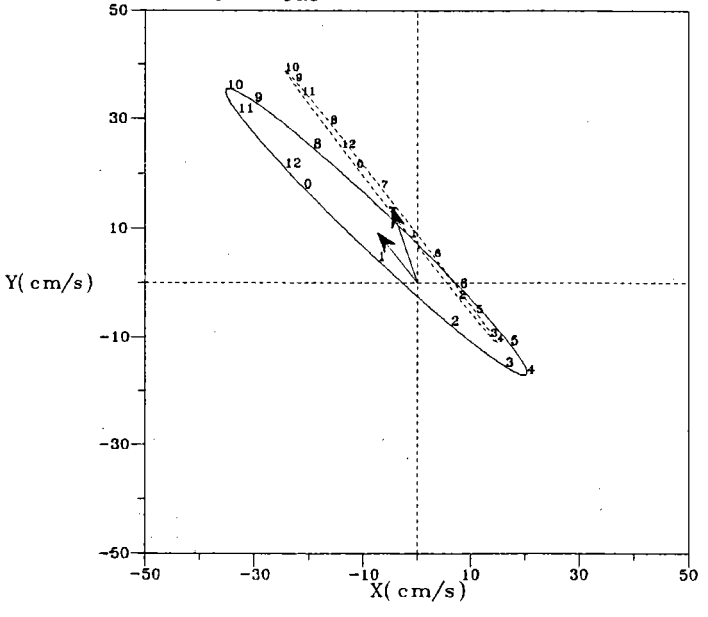


圖3-1-9a 高雄TL及CZ測站半日潮位變化圖

Current in Kao-Shung Harbor ST-TL 1997/10/28.12:00-1997/11/07.10:00
T= 12.3
Current in Kao-Shung Harbor ST-CZ 1997/10/28.12:00-1997/11/07.10:00
T= 12.3



The Semi-Diural :
Semi-major axis= 38.10 cm/sec
Orientation = 134 degree N
Semi-minor axis= 3.67 cm/sec

Constant Current :
Current Speed = 11.87 cm/sec
Direction = 322 degree N

The Semi-Diural :
Semi-major axis= 31.94 cm/sec
Orientation = 142 degree N
Semi-minor axis= .65 cm/sec

Constant Current :
Current Speed = 14.70 cm/sec
Direction = 342 degree N

圖3-1-9b 高雄TL及CZ測站半日潮流橢圓圖

Tide in Kao-Shung Harbor ST-TL 1997/10/28.12:00-1997/11/07.10:00
T =24.00 sec, Amplitude = 17.5 cm
Tide in Kao-Shung Harbor ST-CZ 1997/10/28.12:00-1997/11/07.10:00
T =24.20 sec, Amplitude = 17.6 cm

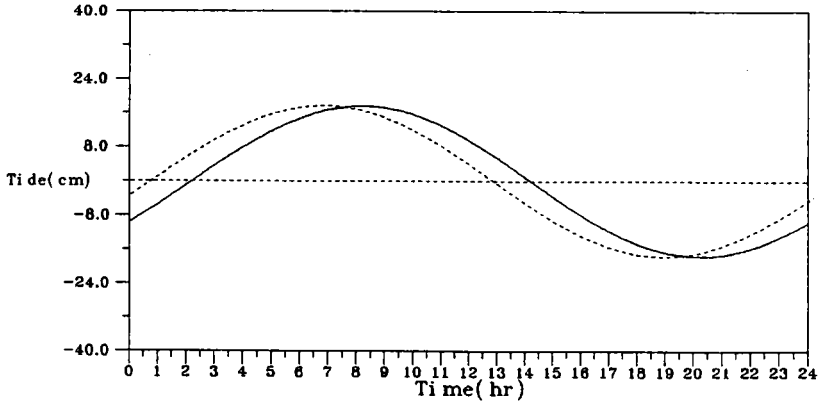
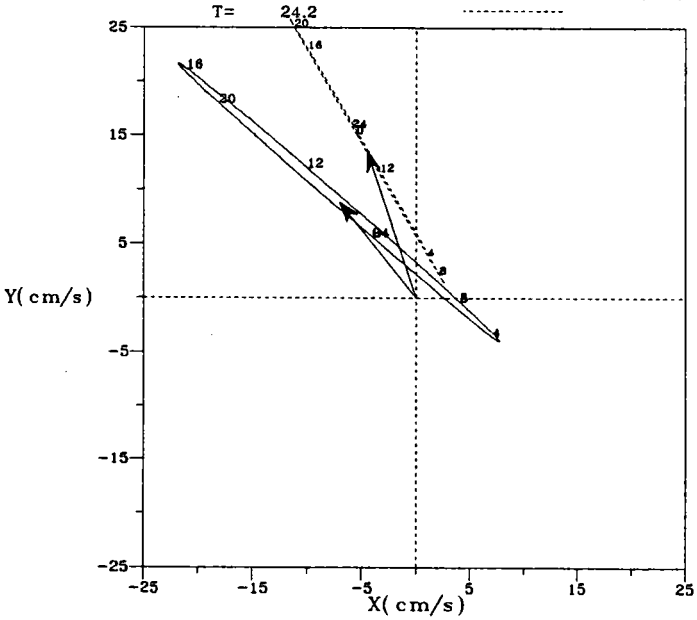


圖3-1-10a 高雄TL及CZ測站全日潮位變化圖

Current in Kao-Shung Harbor ST-TL 1997/10/28.12:00-1997/11/07.10:00
T= 24.0

Current in Kao-Shung Harbor ST-CZ 1997/10/28.12:00-1997/11/07.10:00
T= 24.2



The Diural :
Semi-major axis= 19.60 cm/sec
Orientation = 131 degree N
Semi-minor axis= .52 cm/sec

Constant Current :
Current Speed = 11.29 cm/sec
Direction = 322 degree N

The Diural :
Semi-major axis= 14.16 cm/sec
Orientation = 150 degree N
Semi-minor axis= .08 cm/sec

Constant Current :
Current Speed = 14.30 cm/sec
Direction = 342 degree N

圖3-1-10b 高雄TL及CZ測站全日潮流橢圓圖

Progressive Vector Diagram

Current in Kao-Shung Harbor ST-TL 1997/10/28.12:00-1997/11/07.10:00
Total hours: 239 -0

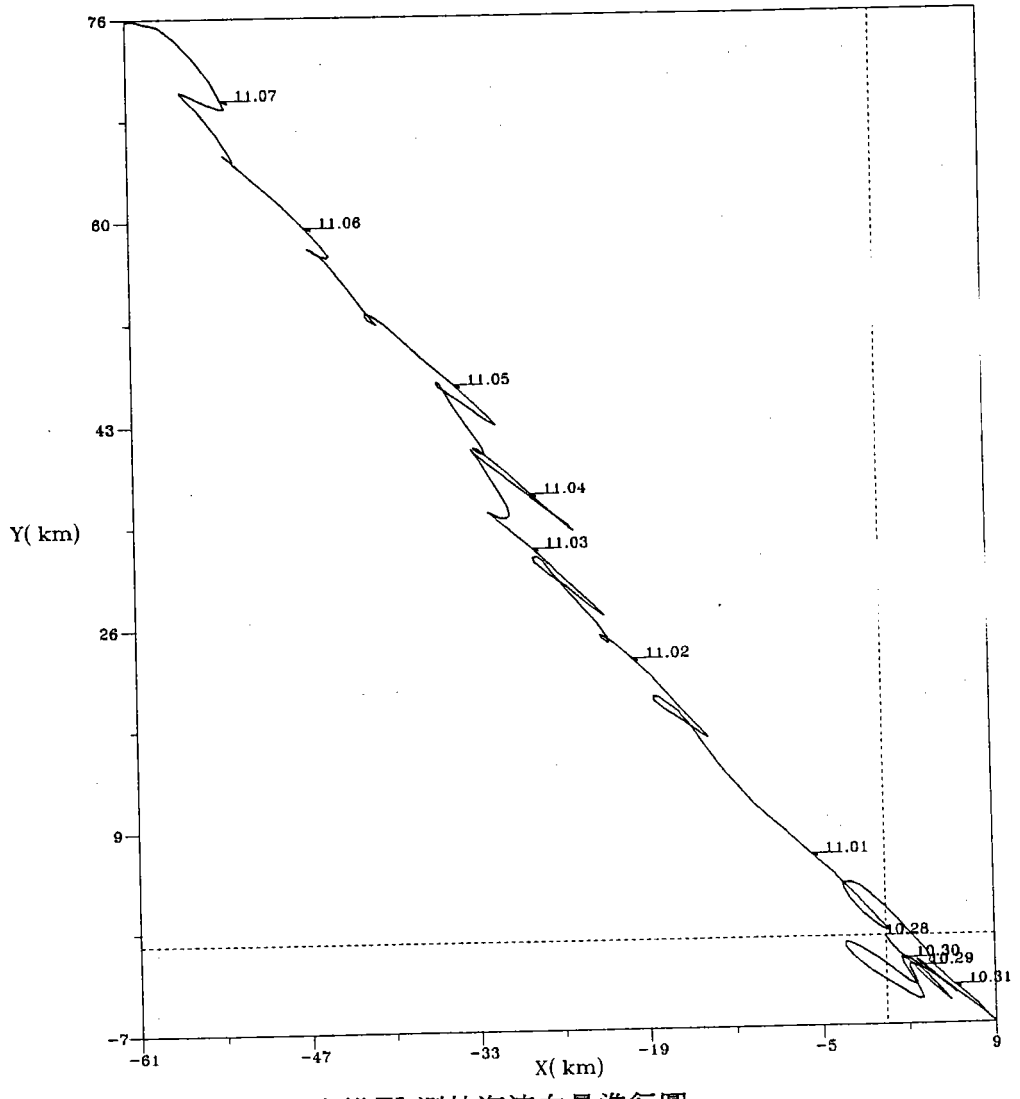


圖3-1-11 高雄TL測站海流向量進行圖

CU9710TL.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

1998. 6 . 15

PLPV1V.FOR

Progressive Vector Diagram

Current in Kao-Shung Harbor ST-CZ 1997/10/28.12:00-1997/11/07.10:00
Total hours: 239 -0

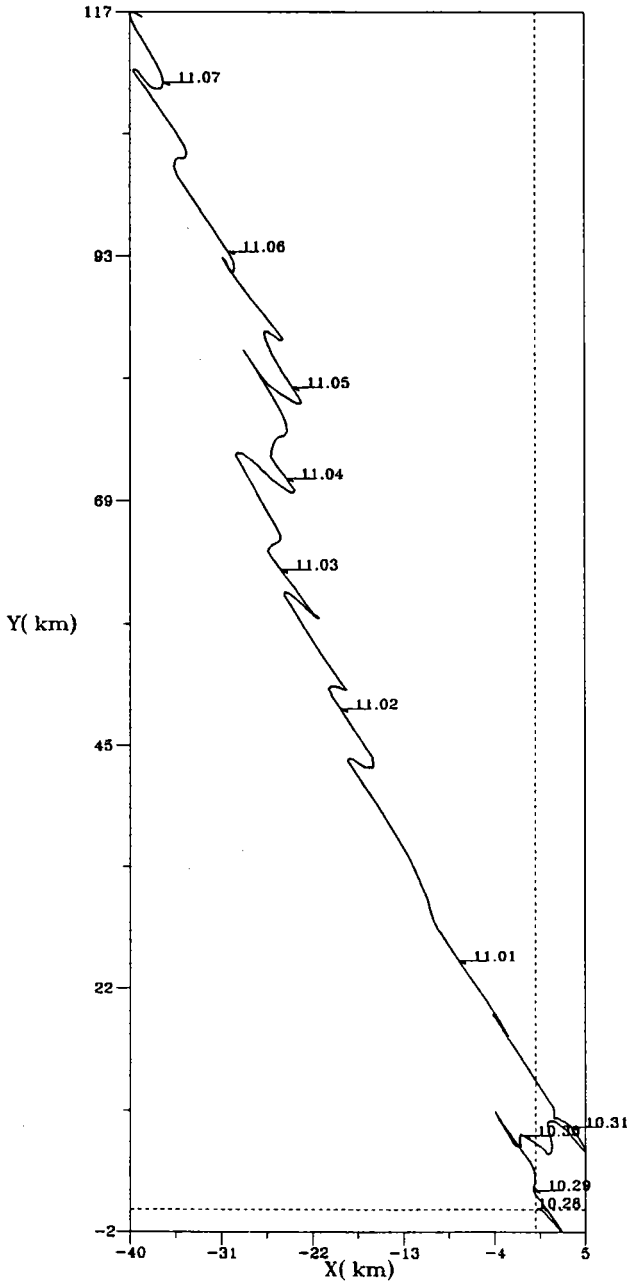


圖3-1-12 高雄CZ測站海流向量進行圖

CU9710CZ.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

PLPV1V.FOR 1998.8.15

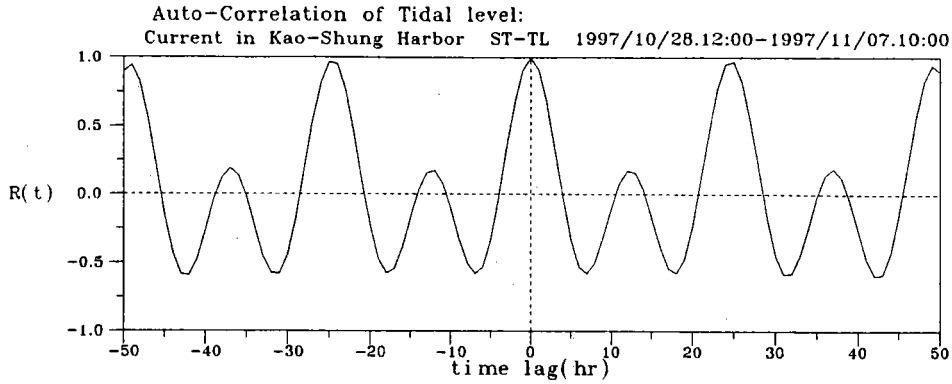


圖3-1-13a 高雄TL測站潮汐水位自相關函數圖

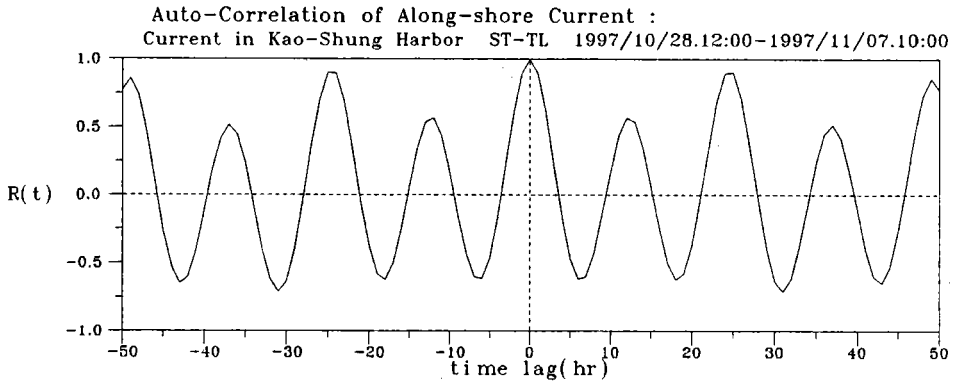


圖3-1-13b 高雄TL測站沿岸流速自相關函數圖

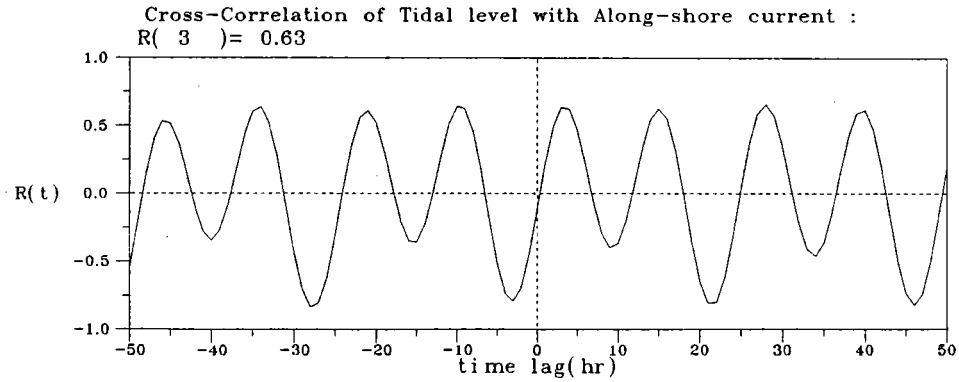


圖3-1-13c 高雄TL測站潮汐水位與沿岸流速互相關函數圖

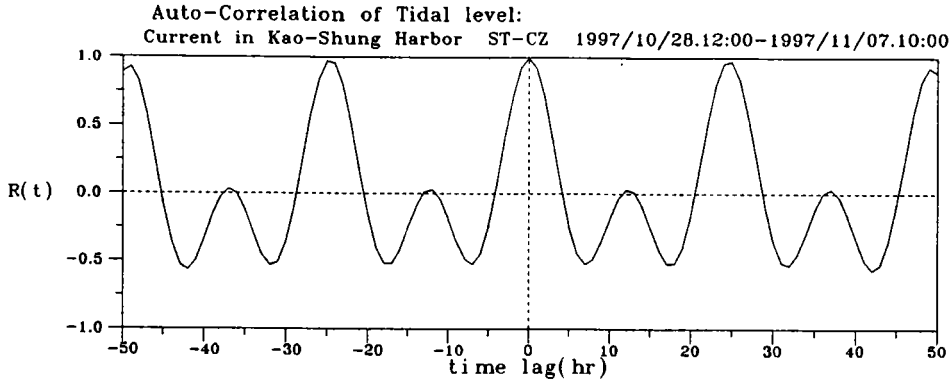


圖3-1-14a 高雄CZ測站潮汐水位自相關函數圖

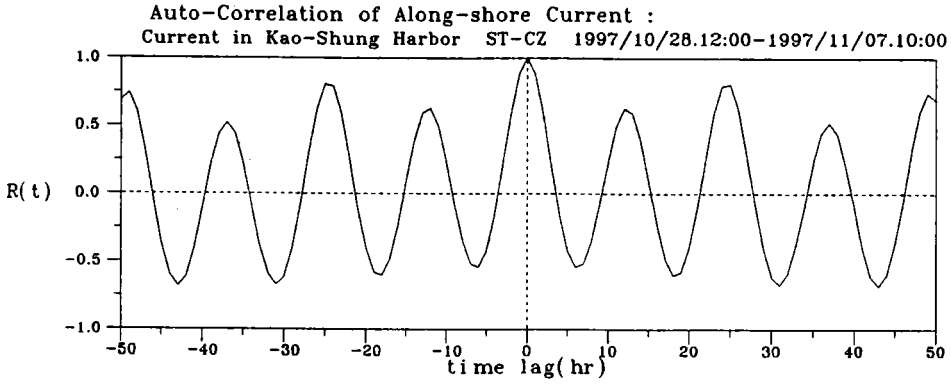


圖3-1-14b 高雄CZ測站沿岸流速自相關函數圖

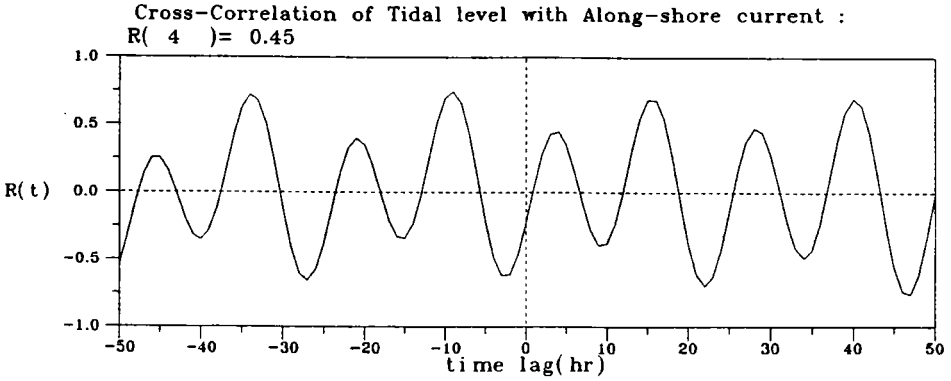


圖3-1-14c 高雄CZ測站潮汐水位與沿岸流速互相關函數圖

表3-1-2　高雄ST-TL站每日平均流、半(全)日潮流橢圓及半(全)日潮位統計表

序號	日期 月/日	平均流 流速 (cm/s)	平均流 A_0流向 (N⁰)	平均流 比率 (%)	半日潮流橢圓 週期 T_2(s)	半日潮流橢圓 半長軸 (cm/s)	半日潮流橢圓 A_2軸向 (N⁰)	半日潮流橢圓 比率 (%)	全日潮流橢圓 週期 T_1(s)	全日潮流橢圓 半長軸 (cm/s)	全日潮流橢圓 A_1軸向 (N⁰)	全日潮流橢圓 比率 (%)	平均潮位 a_0 (cm)	平均潮位 比率 (%)	半日潮 週期 t_2(s)	半日潮 振幅 (cm)	半日潮 a_2比率 (%)	全日潮 週期 t_1(s)	全日潮 振幅 (cm)	全日潮 a_1比率 (%)	比值 R_2 A_2/a_2	比值 R_1 A_1/a_1	比值 R_3 a_2/a_1	比值 R_4 A_2/A_1
1	10/28	3.4	178	5.4	12.0	36.8	133	57.9	26.0	23.3	126	36.7	2.1	6.4	12.0	23.3	72.3	26.0	6.9	21.3	1.6	3.4	3.4	1.6
2	10/29	8.4	115	14.8	12.3	37.7	133	66.4	26.0	10.7	125	18.8	2.3	7.5	12.0	24.0	76.3	26.0	5.1	16.2	1.6	2.1	4.7	3.5
3	10/30	8.1	315	11.5	12.3	34.1	133	48.4	26.0	28.2	137	40.0	.3	.9	12.0	25.0	80.8	23.9	5.7	18.3	1.4	5.0	4.4	1.2
4	10/31	21.9	314	24.7	12.0	35.3	137	39.9	24.5	31.4	141	35.5	5.0	12.2	11.9	27.5	66.6	23.9	8.8	21.2	1.3	3.6	3.1	1.1
5	11/01	15.1	318	19.2	11.9	43.8	136	55.6	26.0	19.9	137	25.2	3.9	8.4	12.3	25.4	54.0	23.9	17.6	37.6	1.7	1.1	1.4	2.2
6	11/02	10.1	331	13.5	12.3	44.9	134	59.6	23.9	20.3	135	26.9	.3	.7	13.0	24.7	50.9	23.9	23.5	48.5	1.8	.9	1.0	2.2
7	11/03	7.3	333	9.4	12.2	43.9	135	57.0	26.0	25.9	134	33.5	5.3	10.1	13.0	22.8	42.9	23.9	24.9	47.0	1.9	1.0	.9	1.7
8	11/04	16.7	319	22.3	12.5	40.8	136	54.6	23.9	17.2	124	23.1	4.5	8.1	13.0	22.1	39.6	23.9	29.1	52.3	1.8	.6	.8	2.4
9	11/05	20.8	321	35.7	11.9	31.1	136	53.4	23.9	6.3	123	10.9	1.6	3.0	13.0	21.0	40.4	23.9	29.4	56.6	1.5	.2	.7	4.9

File : CU9710TL.HA1

表3-1-3　高雄ST-CZ站每日平均流、半(全)日潮流橢圓及半(全)日潮位統計表

序號	日期 月/日	平均流 流速 (cm/s)	平均流 A_0流向 (N⁰)	平均流 比率 (%)	半日潮流橢圓 週期 T_2(s)	半日潮流橢圓 半長軸 (cm/s)	半日潮流橢圓 A_2軸向 (N⁰)	半日潮流橢圓 比率 (%)	全日潮流橢圓 週期 T_1(s)	全日潮流橢圓 半長軸 (cm/s)	全日潮流橢圓 A_1軸向 (N⁰)	全日潮流橢圓 比率 (%)	平均潮位 a_0 (cm)	平均潮位 比率 (%)	半日潮 週期 t_2(s)	半日潮 振幅 (cm)	半日潮 a_2比率 (%)	全日潮 週期 t_1(s)	全日潮 振幅 (cm)	全日潮 a_1比率 (%)	比值 R_2 A_2/a_2	比值 R_1 A_1/a_1	比值 R_3 a_2/a_1	比值 R_4 A_2/A_1
1	10/28	8.0	340	15.3	11.9	25.9	142	49.4	26.0	18.5	150	35.3	4.7	15.2	12.0	20.9	66.8	26.0	5.6	18.0	1.2	3.3	3.7	1.4
2	10/29	6.3	101	20.1	12.5	18.0	153	57.2	26.0	7.1	164	22.6	4.8	15.6	12.0	21.5	69.4	26.0	4.7	15.0	.8	1.5	4.6	2.5
3	10/30	11.0	337	16.7	11.9	28.6	146	43.3	26.0	26.5	143	40.0	2.8	8.7	12.0	22.4	70.9	23.9	6.4	20.4	1.3	4.1	3.5	1.1
4	10/31	29.2	332	29.8	11.9	37.4	145	38.1	26.0	31.4	151	32.0	3.3	9.1	12.0	23.7	65.2	23.9	9.4	25.7	1.6	3.4	2.5	1.2
5	11/01	18.0	341	25.3	12.2	40.8	141	57.4	26.0	12.3	138	17.2	4.3	9.9	12.4	21.3	48.8	23.9	18.1	41.3	1.9	.7	1.2	3.3
6	11/02	16.4	342	22.8	12.1	39.9	140	55.4	25.7	15.7	153	21.7	1.0	2.3	13.0	20.7	45.8	23.9	23.5	51.9	1.9	.7	.9	2.6
7	11/03	11.8	359	16.6	12.0	35.0	139	49.2	25.4	24.3	148	34.2	3.3	7.0	13.0	19.1	40.0	23.9	25.3	53.0	1.8	1.0	.8	1.4
8	11/04	13.2	342	17.2	12.7	44.7	142	58.0	26.0	19.1	139	24.8	2.3	4.8	13.0	18.2	37.1	23.9	28.5	58.1	2.5	.7	.6	2.3
9	11/05	27.4	332	35.9	12.1	38.3	141	50.2	26.0	10.7	153	14.0	.7	1.4	13.0	17.7	37.4	23.9	29.0	61.2	2.2	.4	.6	3.6

File : CU9710CZ.HA1

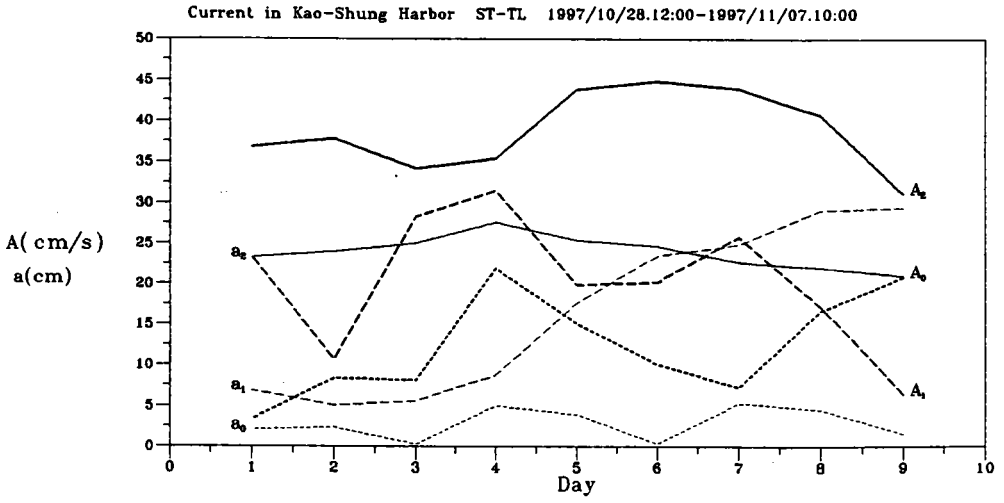


圖3-1-15a 高雄TL站每日半(全)日潮汐振幅及半(全)日潮流半長軸

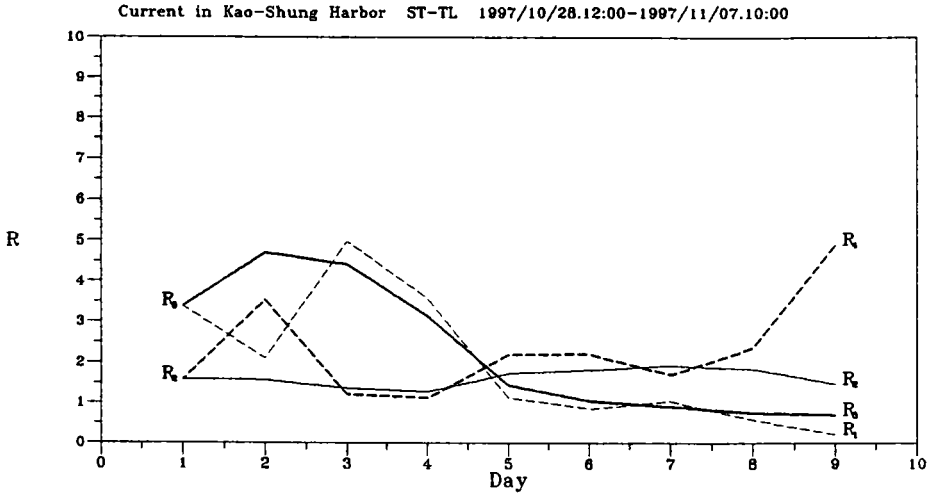


圖3-1-15b 高雄TL站每日潮汐振幅及潮流半長軸相對比值

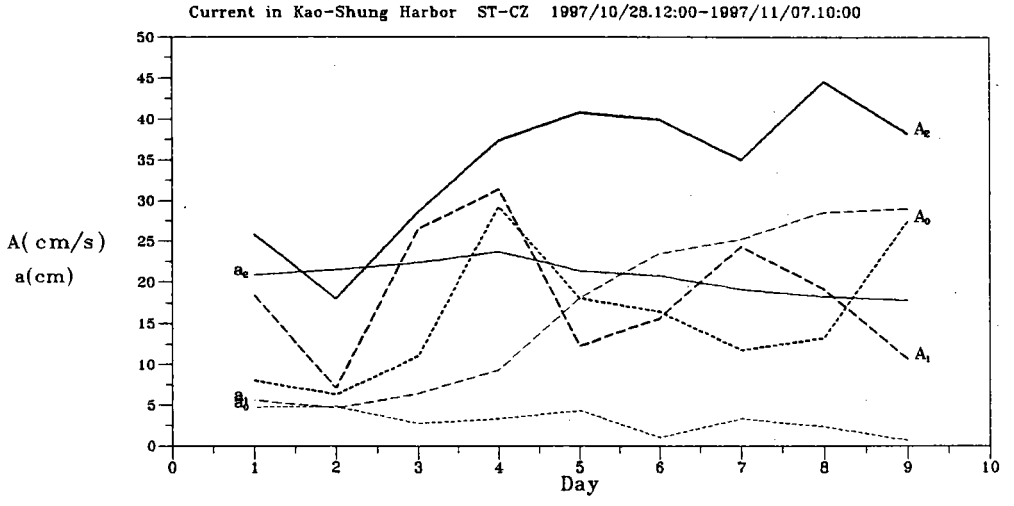


圖3-1-16a 高雄CZ站每日半(全)日潮汐振幅及半(全)日潮流半長軸

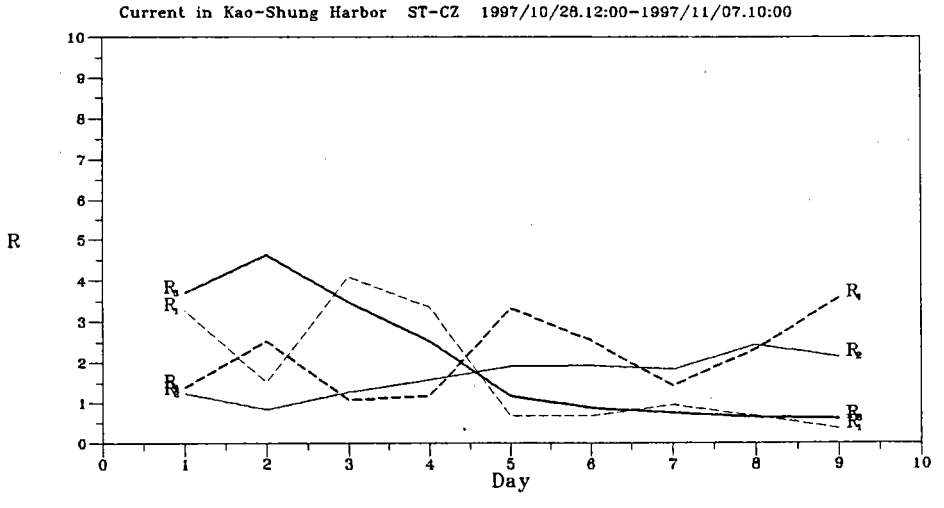


圖3-1-16b 高雄CZ站每日潮汐振幅及潮流半長軸相對比值

表3-1-4　高雄ST-TL及ST-CZ兩站不同時段平均流、半(全)日潮流橢圓及半(全)日潮位統計表

序號	檔案名稱	平均流 流速 A_0 (cm/s)	平均流 流向 (N^0)	平均流 比率 (%)	半日潮流橢圓 週期 T_2(s)	半日潮流橢圓 半長軸 A_2 (cm/s)	半日潮流橢圓 軸向 (N^0)	半日潮流橢圓 比率 (%)	全日潮流橢圓 週期 T_1(s)	全日潮流橢圓 半長軸 A_1 (cm/s)	全日潮流橢圓 軸向 (N^0)	全日潮流橢圓 比率 (%)	平均潮位 a_0 (cm)	平均潮位 比率 (%)	半日潮 週期 t_2(s)	半日潮 振幅 a_2 (cm)	半日潮 比率 (%)	全日潮 週期 t_1(s)	全日潮 振幅 a_1 (cm)	全日潮 比率 (%)	比值 R_2 A_2/a_2	比值 R_1 A_1/a_1	比值 R_3 a_2/a_1	比值 R_4 A_2/A_1
1	CU9710TL.HAT	11.3	322	16.4	12.3	38.1	134	55.2	23.9	19.6	131	28.4	.1	.3	12.3	24.3	57.3	24.4	17.9	42.4	1.6	1.1	1.4	1.9
2	CU9710CZ.HAT	14.2	342	23.6	12.3	31.9	142	52.9	24.2	14.2	150	23.5	.0	.1	12.3	20.9	53.9	24.6	17.8	46.0	1.5	.8	1.2	2.3
3	KSTL-001.HAT	.9	5	1.7	12.2	34.4	133	66.0	24.6	16.8	131	32.3	.2	.8	12.2	24.6	88.8	23.9	2.9	10.4	1.4	5.8	8.5	2.0
4	KSCZ-001.HAT	6.0	355	14.5	12.2	21.5	145	52.1	26.0	13.7	151	33.3	3.2	11.3	12.2	22.1	77.6	23.9	3.2	11.1	1.0	4.3	7.0	1.6
5	KSTL-002.HAT	16.8	322	24.1	12.4	37.9	134	54.4	26.0	15.0	122	21.5	3.9	7.5	12.2	19.7	38.1	25.5	28.2	54.4	1.9	.5	.7	2.5
6	KSCZ-002.HAT	15.9	342	24.3	12.4	37.2	141	56.7	25.1	12.4	155	19.0	1.7	3.6	12.1	16.5	35.5	25.4	28.2	60.9	2.3	.4	.6	3.0
7	KSTL-003.HAT	18.0	318	22.1	12.1	39.6	135	48.5	23.9	24.0	137	29.4	6.4	12.5	12.1	28.5	55.9	26.0	16.1	31.6	1.4	1.5	1.8	1.7
8	KSCZ-003.HAT	22.8	333	29.0	12.3	37.6	144	47.9	23.9	18.2	147	23.2	5.0	10.8	12.1	25.0	53.6	26.0	16.7	35.7	1.5	1.1	1.5	2.1

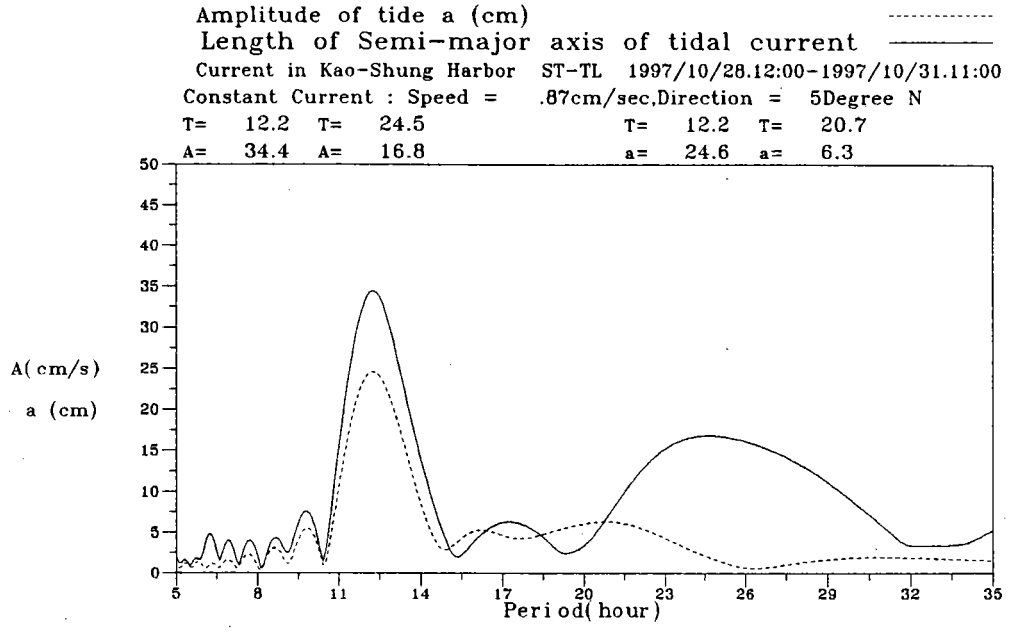


圖3-1-17a TL測站第一組潮流橢圓半長軸長及潮位振幅能譜圖

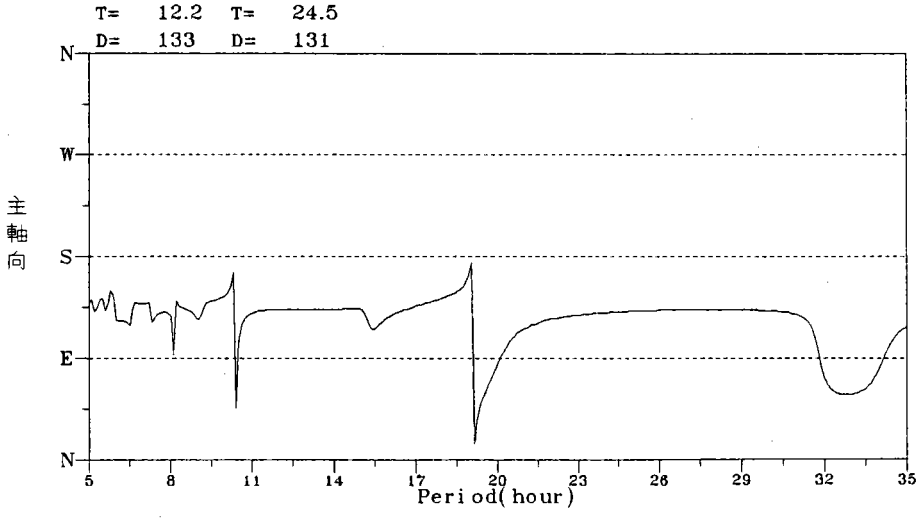


圖3-1-17b TL測站第一組潮流橢圓長軸方向角譜圖

Current and tide Spetrum in Kao-Shung

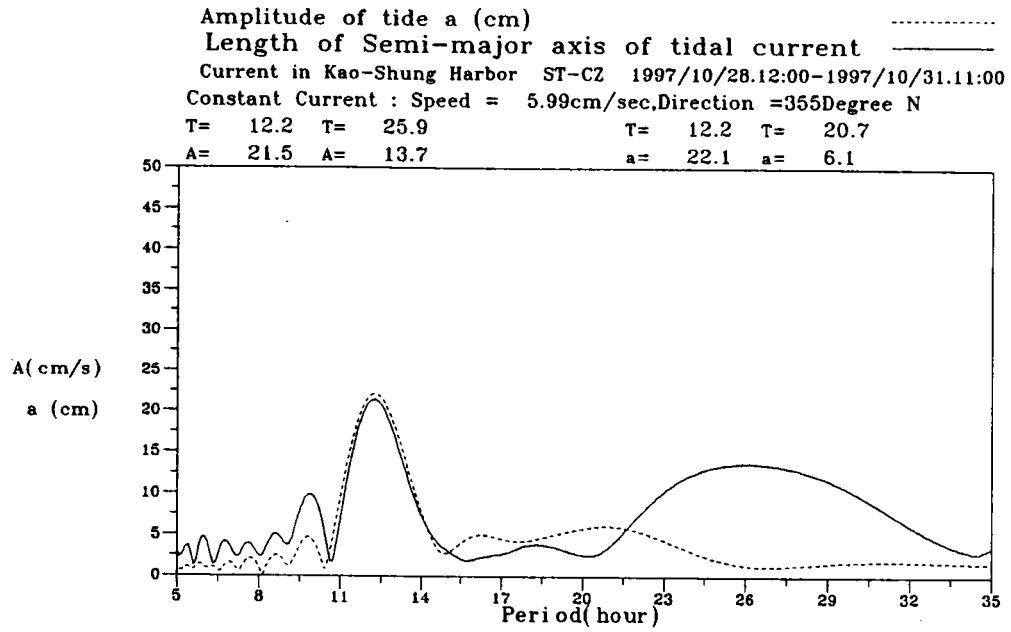


圖3-1-18a CZ測站第一組潮流橢圓半長軸長及潮位振幅能譜圖

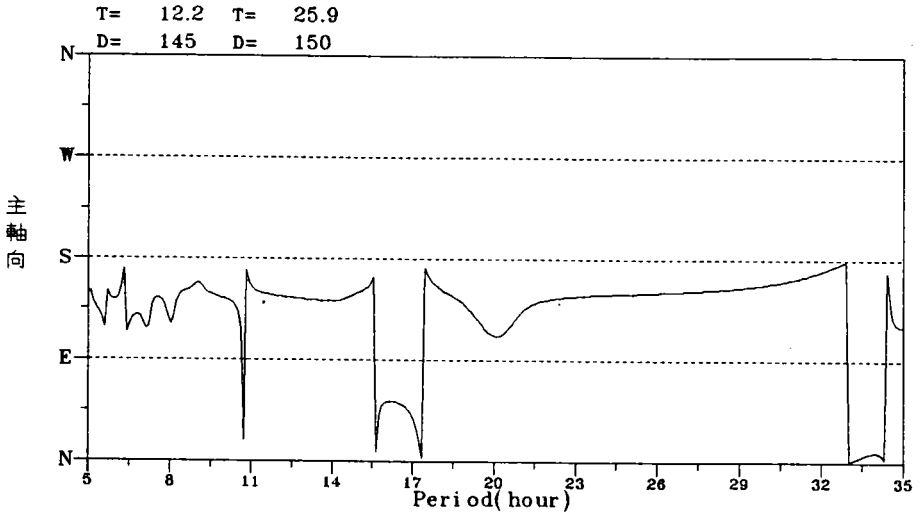


圖3-1-18b CZ測站第一組潮流橢圓長軸方向角譜圖

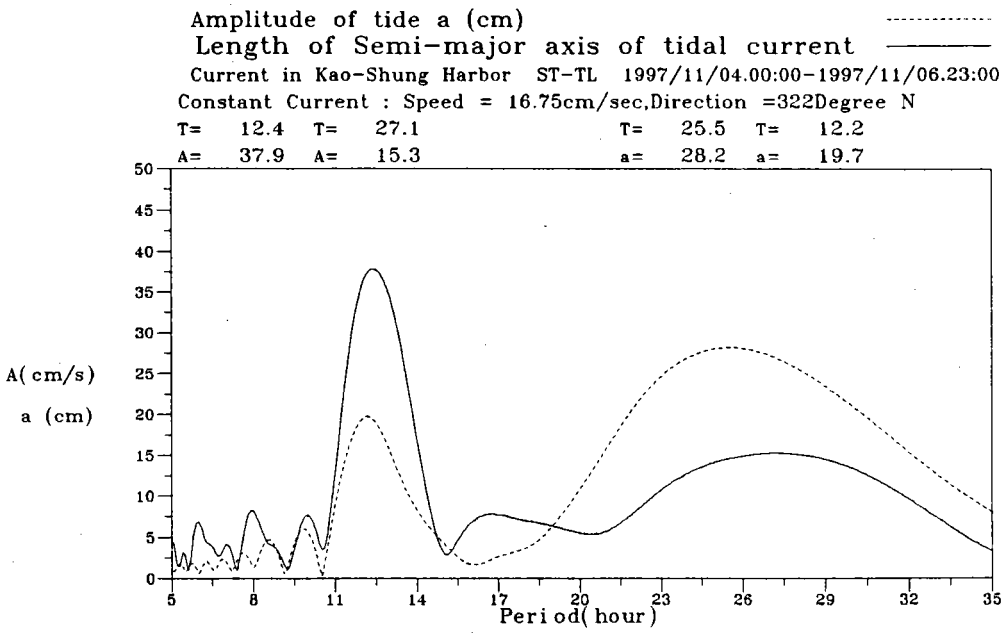


圖3-1-19a TL測站第二組潮流橢圓半長軸長及潮位振幅能譜圖

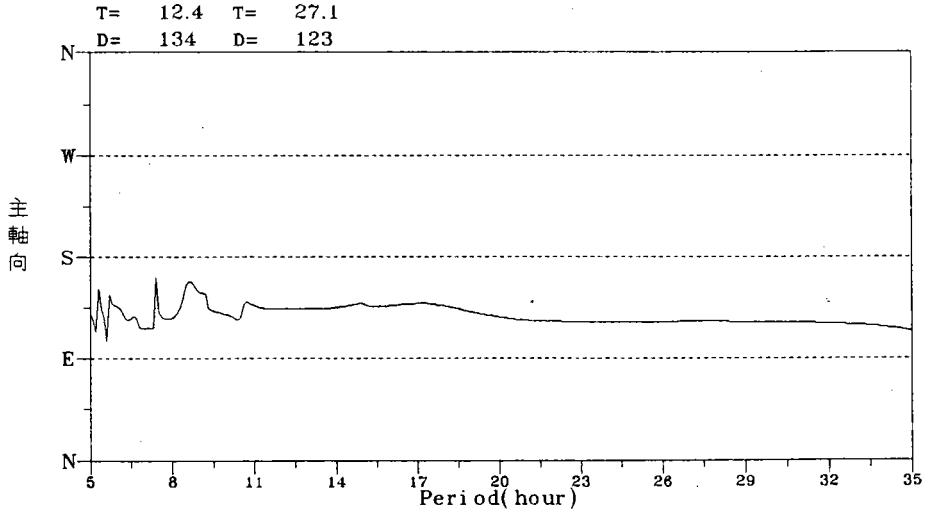


圖3-1-19b TL測站第二組潮流橢圓長軸方向角譜圖

Current and tide Spetrum in Kao-Shung

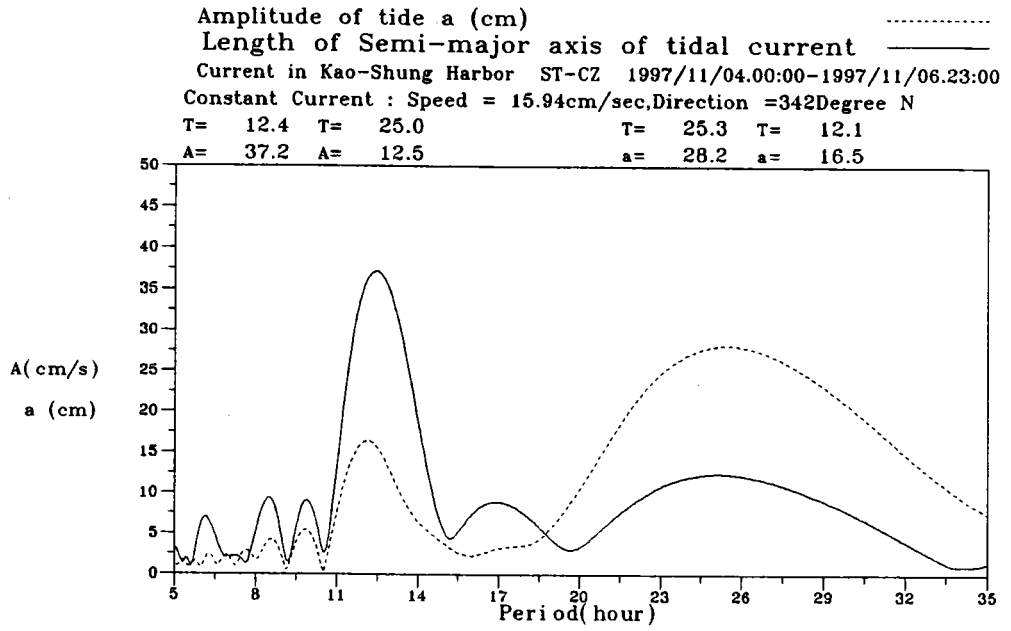


圖3-1-20a CZ測站第二組潮流橢圓半長軸長及潮位振幅能譜圖

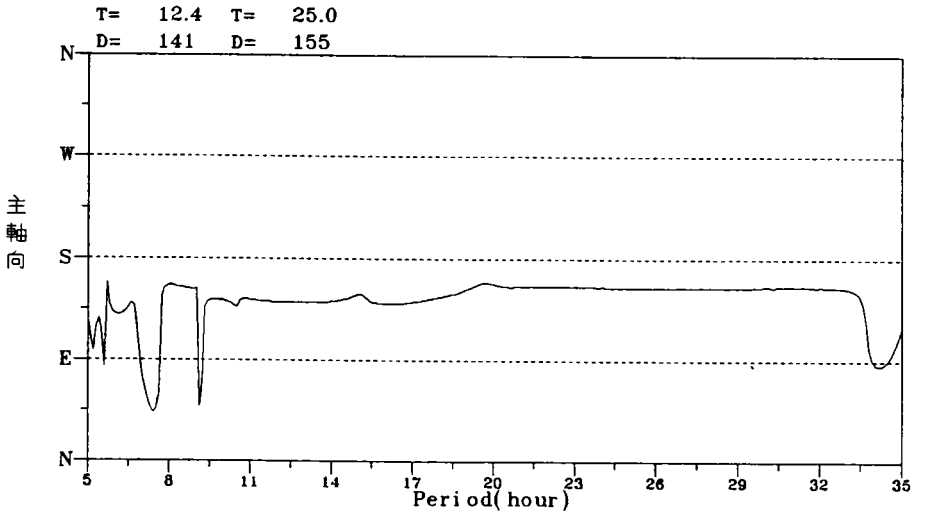


圖3-1-20b CZ測站第二組潮流橢圓長軸方向角譜圖

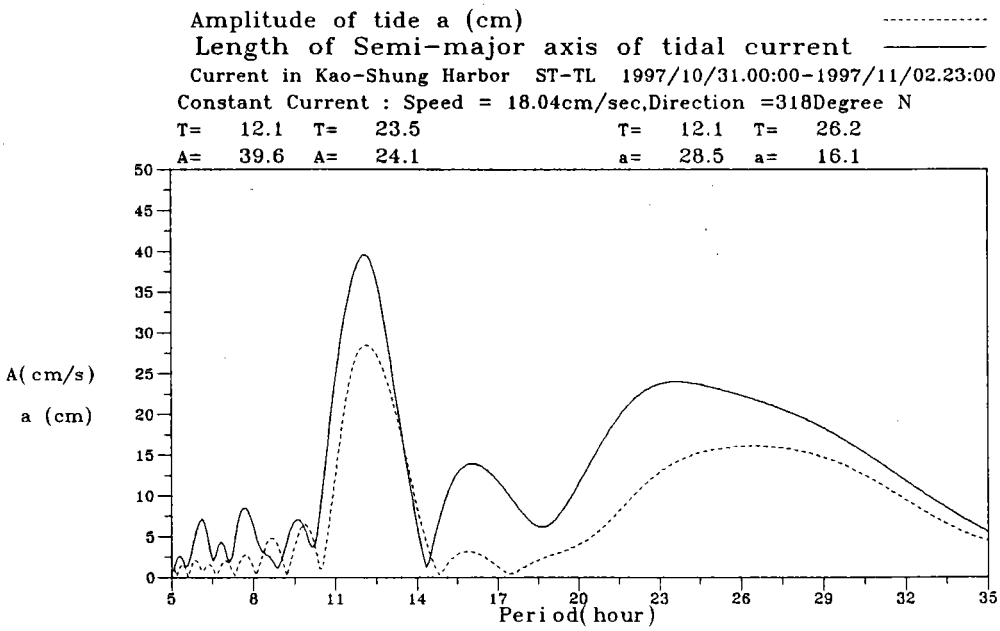


圖3-1-21a TL測站第三組潮流橢圓半長軸長及潮位振幅能譜圖

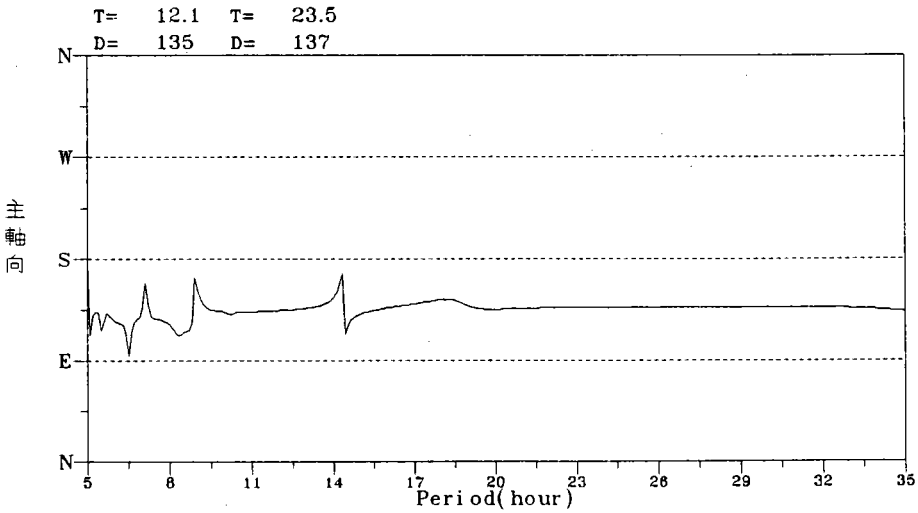


圖3-1-21b TL測站第三組潮流橢圓長軸方向角譜圖

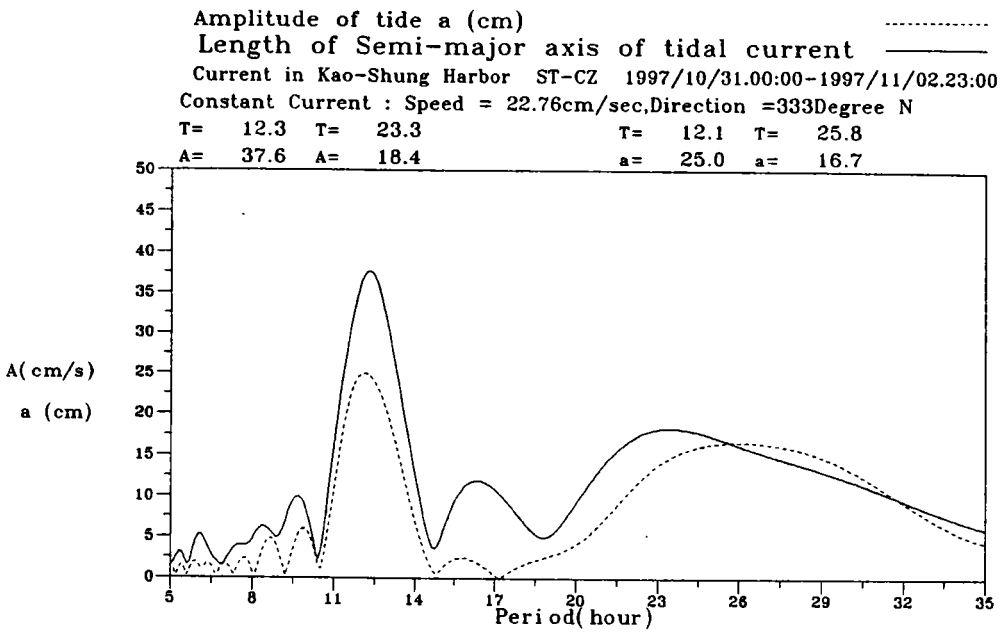


圖3-1-22a CZ測站第三組潮流橢圓半長軸長及潮位振幅能譜圖

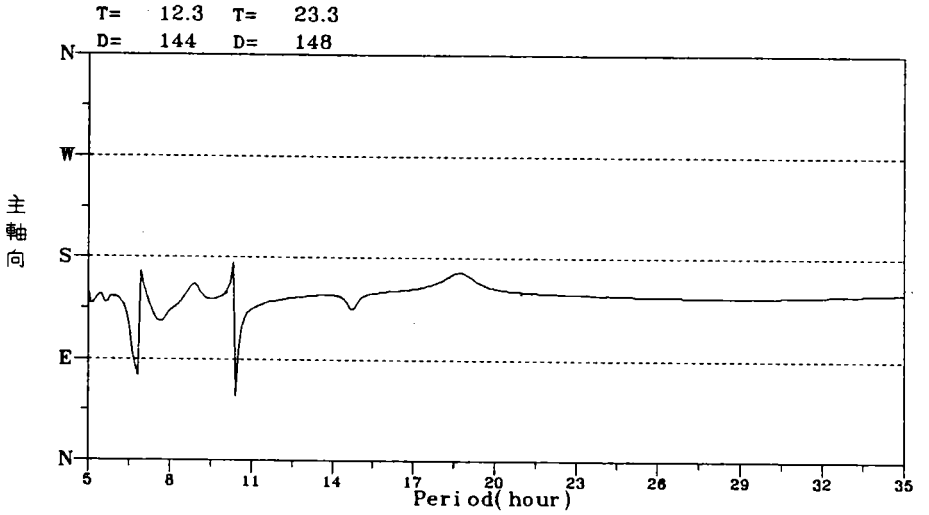


圖3-1-22b CZ測站第三組潮流橢圓長軸方向角譜圖

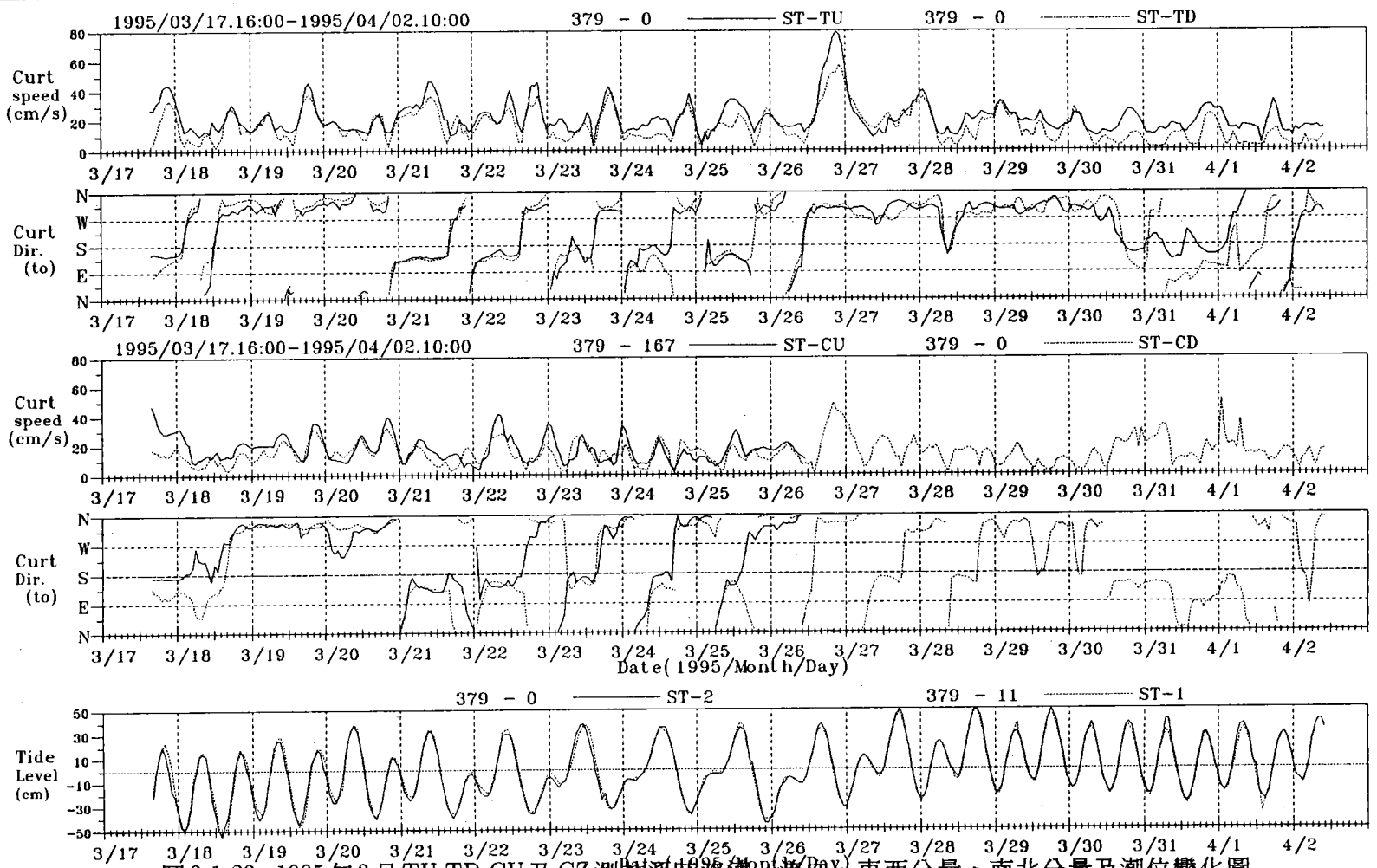


圖3-1-23a 1995年3月TU,TD,CU及CZ測站逐時流速、流向、東西分量、南北分量及潮位變化圖

CU9503TU.1HX CU9503TD.1HX CU9503CU.1HX CU9503CD.1HX

Institute of Harbor & Marine Technology

PLCT4H.FOR

1995. 6 . 29

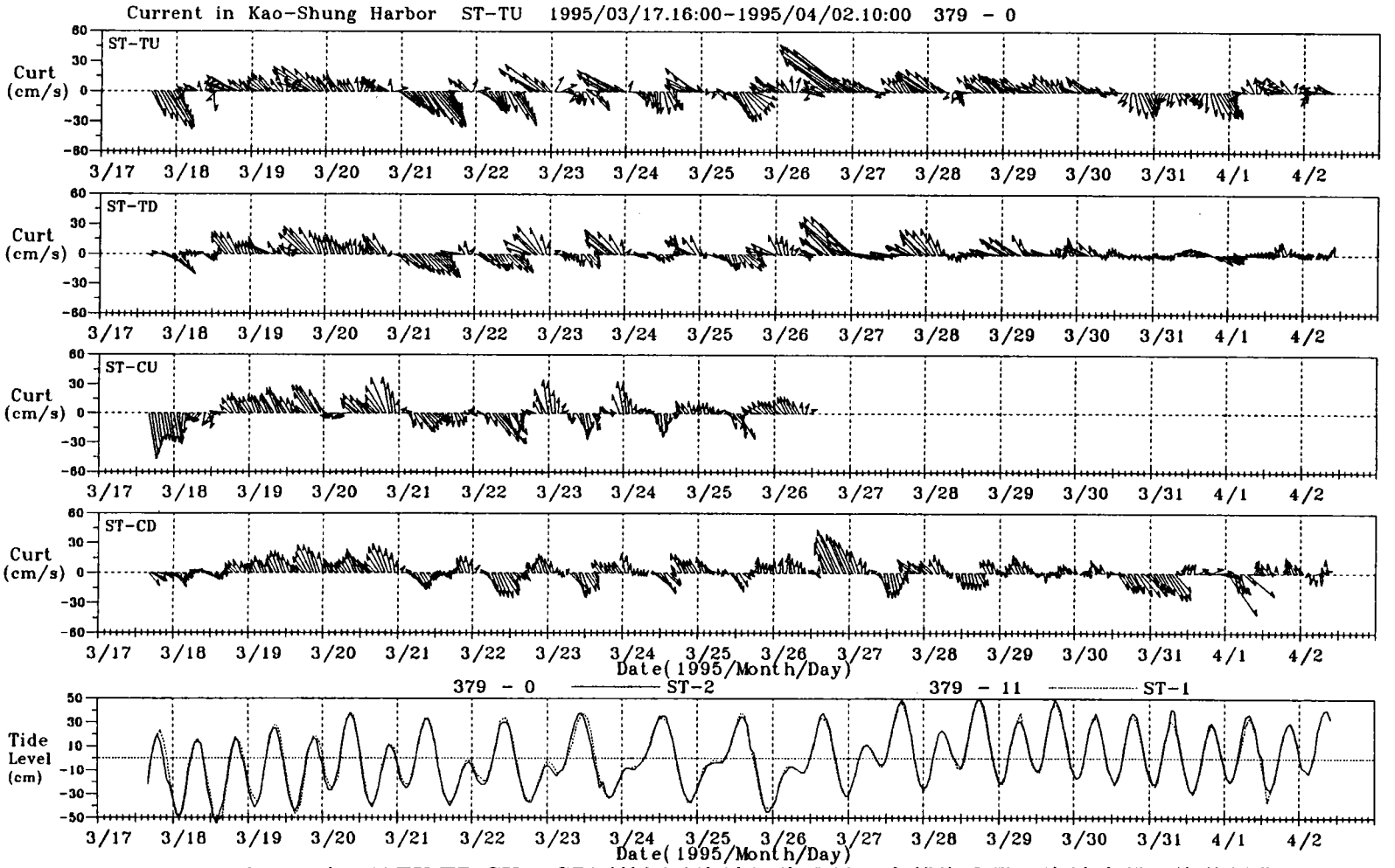


圖3-1-23b 1995年3月TU,TD,CU及CZ測站逐時海流沿岸分量、向離岸分量、海流向量及潮位變化圖

CU9503TU.1HX CU9503TD.1HX CU9503CU.1HX CU9503CD.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

PLCY4H.FOR

1996.8.29

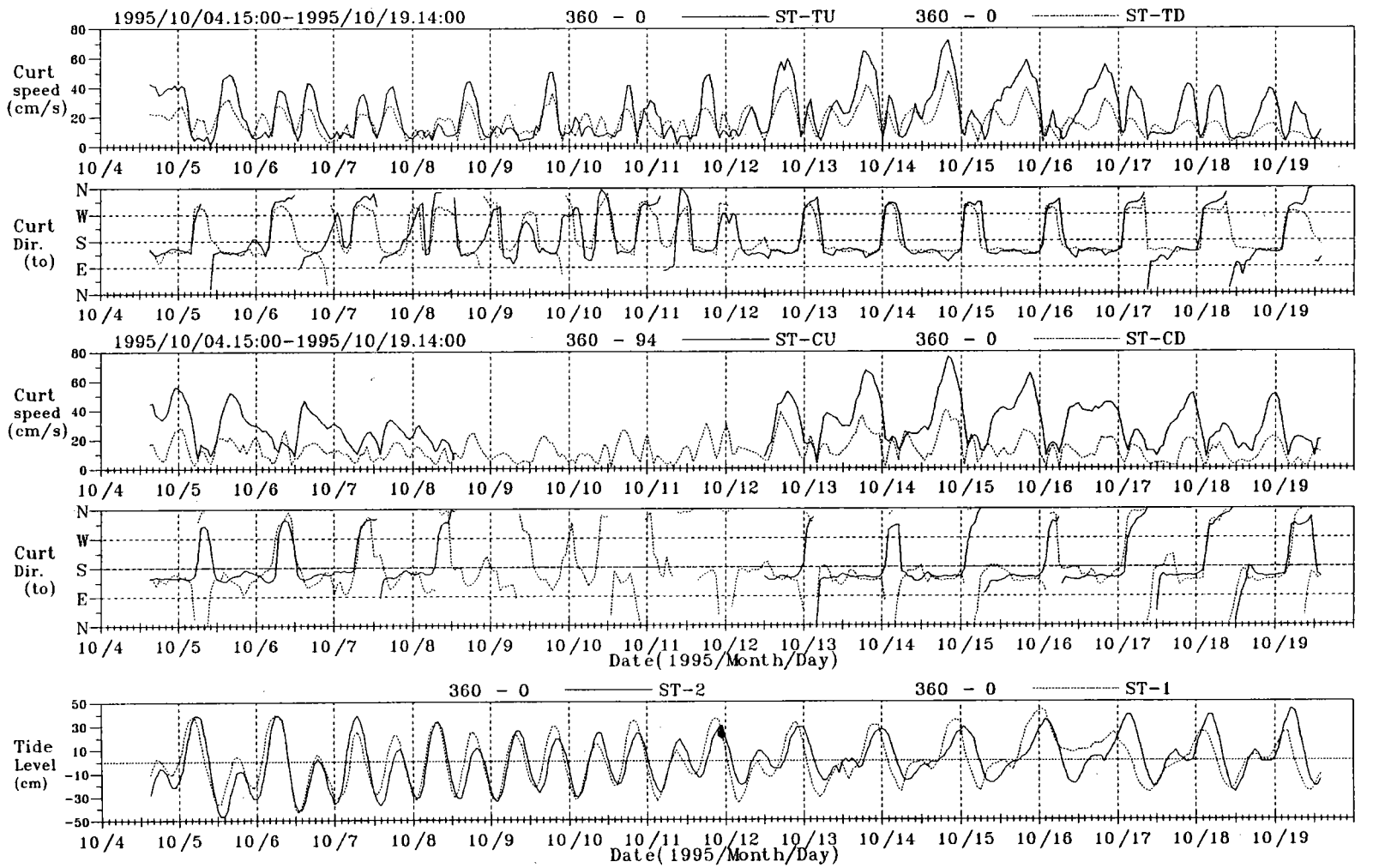


圖3-1-24a 1995年10月TU,TD,CU及CZ測站逐時流速、流向、東西分量、南北分量及潮位變化圖

CU9510TU.1HX CU9510TD.1HX CU9510CU.1HX CU9510CD.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

PLCT4H.FOR

1998.6.29

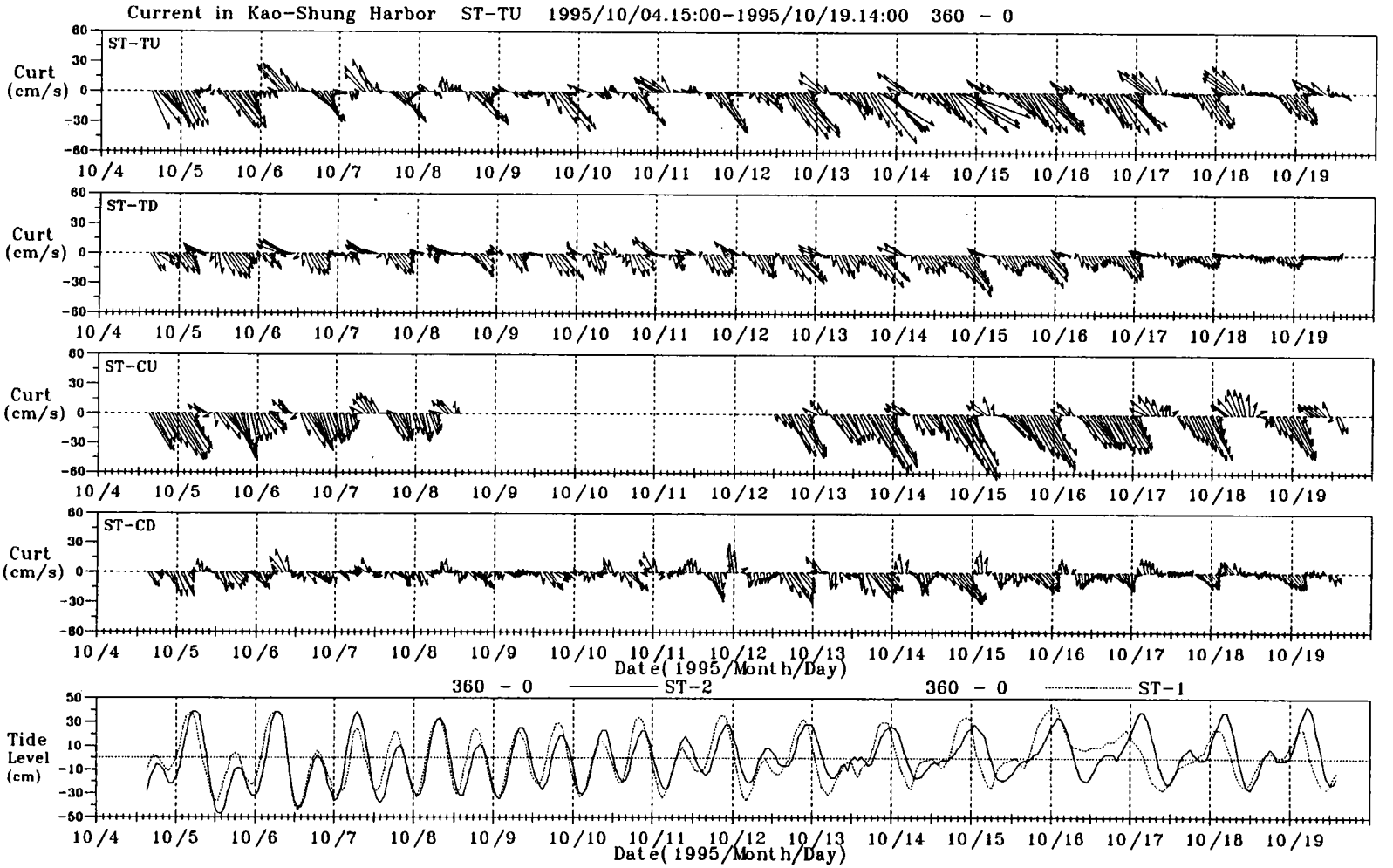


圖3-1-24b 1995年10月TU,TD,CU及CZ測站逐時海流沿岸分量、向離岸分量、海流向量及潮位變化圖

CU9510TU.1HX CU9510TD.1HX CU9510CU.1HX CU9510CD.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

PLCY4H.FOR

1998.6.29

表3-1-6　高雄TU,TD,CU及CD站不同時段平均流、半(全)日潮流橢圓及半(全)日潮位統計表

序號	檔案名稱	平均流 流速 A_0 (cm/s)	平均流 流向 (N^0)	平均流 比率 (%)	半日潮流橢圓 週期 T_2(s)	半日潮流橢圓 半長軸 A_2 (cm/s)	半日潮流橢圓 軸向 (N^0)	半日潮流橢圓 比率 (%)	全日潮流橢圓 週期 T_1(s)	全日潮流橢圓 半長軸 A_1 (cm/s)	全日潮流橢圓 軸向 (N^0)	全日潮流橢圓 比率 (%)	平均潮位 a_0 (cm)	平均潮位 比率 (%)	半日潮 週期 t_2(s)	半日潮 振幅 a_2 (cm)	半日潮 比率 (%)	全日潮 週期 t_1(s)	全日潮 振幅 a_1 (cm)	全日潮 比率 (%)	比值 R_2 A_2/a_2	比值 R_1 A_1/a_1	比值 R_3 a_2/a_1	比值 R_4 A_2/A_1
1	KSTU-001.HAT	1.9	220	6.0	12.4	11.8	108	37.6	25.7	17.7	138	56.4	6.9	15.3	12.5	21.3	47.3	25.1	16.9	37.4	.6	1.0	1.3	.7
2	KSTD-001.HAT	2.0	4	7.4	12.4	10.6	114	38.3	25.3	15.0	135	54.3	6.9	15.3	12.5	21.3	47.3	25.1	16.9	37.4	.5	.9	1.3	.7
3	KSCU-001.HAT	2.6	297	12.0	12.8	5.5	165	25.4	25.9	13.7	158	62.6	6.9	15.3	12.5	21.3	47.3	25.1	16.9	37.4	.3	.8	.3	.4
4	KSCD-001.HAT	4.1	4	19.9	12.9	4.7	161	22.8	25.7	11.9	149	57.3	6.9	15.3	12.5	21.3	47.3	25.1	16.9	37.4	.2	.7	1.3	.4
5	KSTU-002.HAT	15.5	143	23.9	12.4	17.7	124	27.3	24.5	31.6	137	48.7	4.8	12.9	12.5	13.0	34.8	24.9	19.5	52.3	1.4	1.6	.7	.6
6	KSTD-002.HAT	11.7	155	30.1	12.4	12.8	136	33.0	24.5	14.3	131	36.9	4.8	12.9	12.5	13.0	34.8	24.9	19.5	52.3	1.0	.7	.7	.9
7	KSCU-002.HAT	22.6	152	32.9	12.5	17.1	140	24.9	24.6	29.0	151	42.2	4.8	12.9	12.5	13.0	34.8	24.9	19.5	52.3	1.3	1.5	.7	.6
8	KSCD-002.HAT	8.8	146	27.9	12.5	10.7	154	34.2	24.6	11.9	144	38.0	4.8	12.9	12.5	13.0	34.8	24.9	19.5	52.3	.8	.6	.7	.9
9	CU9503TU.HAT	5.8	282	20.9	12.5	9.1	105	32.5	25.4	13.1	135	46.6	.0	.0	12.5	23.0	64.4	25.7	12.7	35.6	.4	1.0	1.8	.7
10	CU9503TD.HAT	5.1	319	21.0	12.5	7.8	112	32.4	25.1	11.2	136	46.5	.0	.0	12.5	23.0	64.4	25.7	12.7	35.6	.3	.9	1.8	.7
11	CU9503CD.HAT	3.0	10	16.9	12.6	4.5	167	25.6	25.7	10.1	151	57.5	.0	.0	12.5	23.0	64.4	25.7	12.7	35.6	.2	.8	1.8	.4
12	CU9510TU.HAT	12.0	146	22.7	12.3	16.7	129	31.6	24.0	24.1	139	45.7	.1	.2	12.4	18.0	55.4	25.9	14.4	44.5	.9	1.7	1.2	.7
13	CU9510TD.HAT	9.3	161	26.6	12.3	14.1	138	40.2	23.9	11.6	128	33.2	.1	.2	12.4	18.0	55.4	25.9	14.4	44.5	.8	.8	1.2	1.2
14	CU9510CD.HAT	7.5	145	27.7	12.4	10.1	153	37.5	23.9	9.4	143	34.9	.1	.2	12.4	18.0	55.4	25.9	14.4	44.5	.6	.7	1.2	1.1

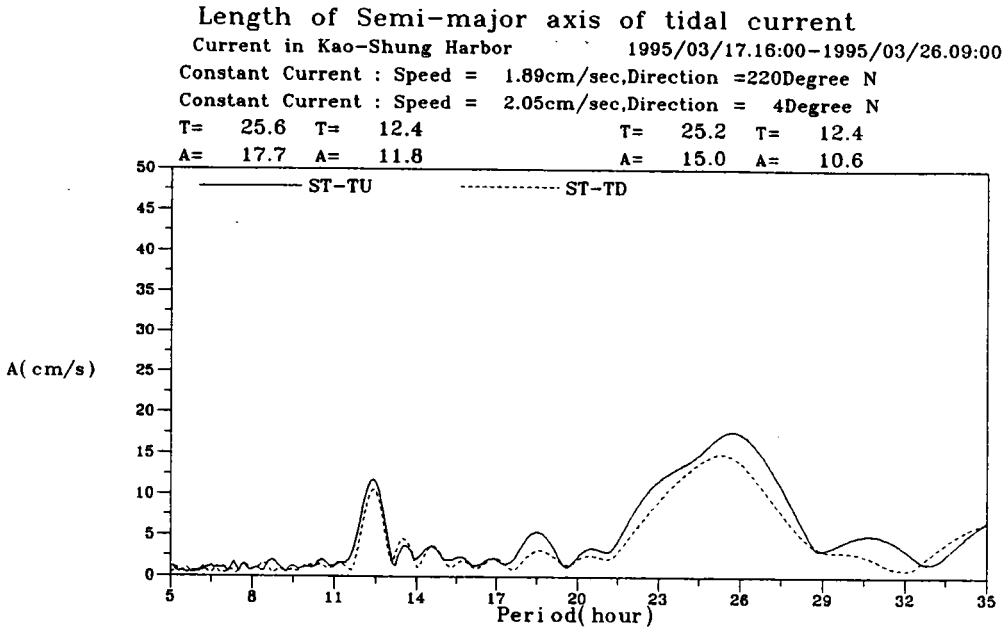


圖3-1-25a 1995年3月TU及TD站潮流橢圓半長軸長之能譜圖

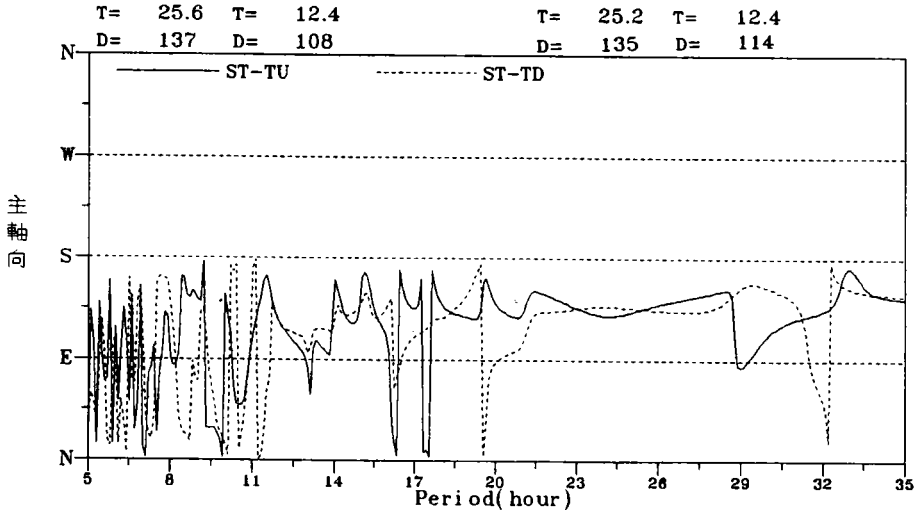


圖3-1-25b 1995年3月TU及TD站潮流橢圓長軸方向角譜圖

Current and tide Spetrum in Kao-Shung

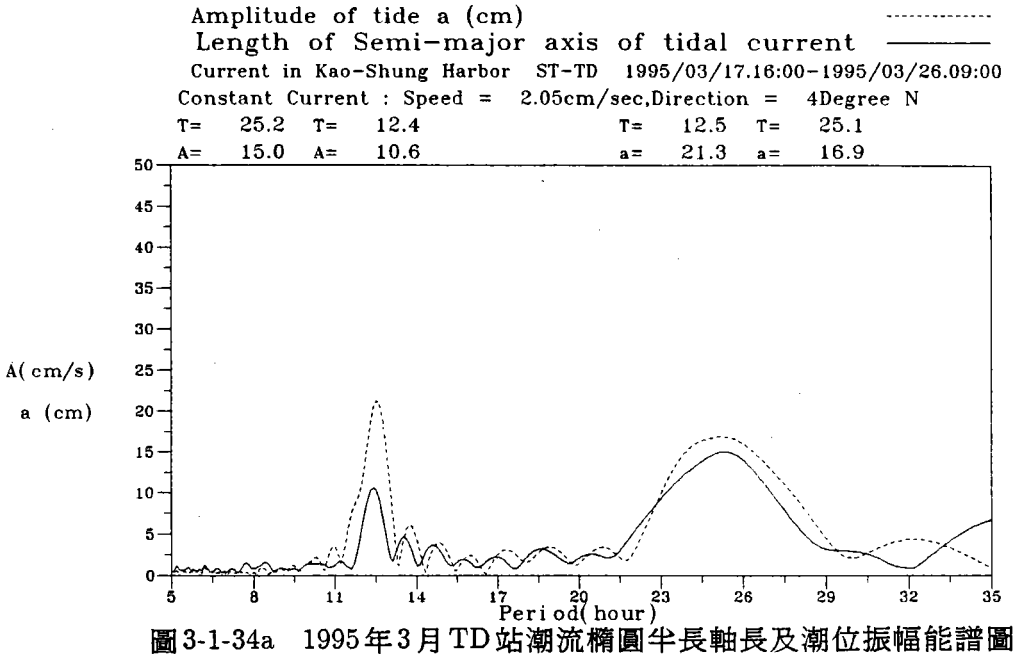


圖3-1-34a 1995年3月TD站潮流橢圓半長軸長及潮位振幅能譜圖

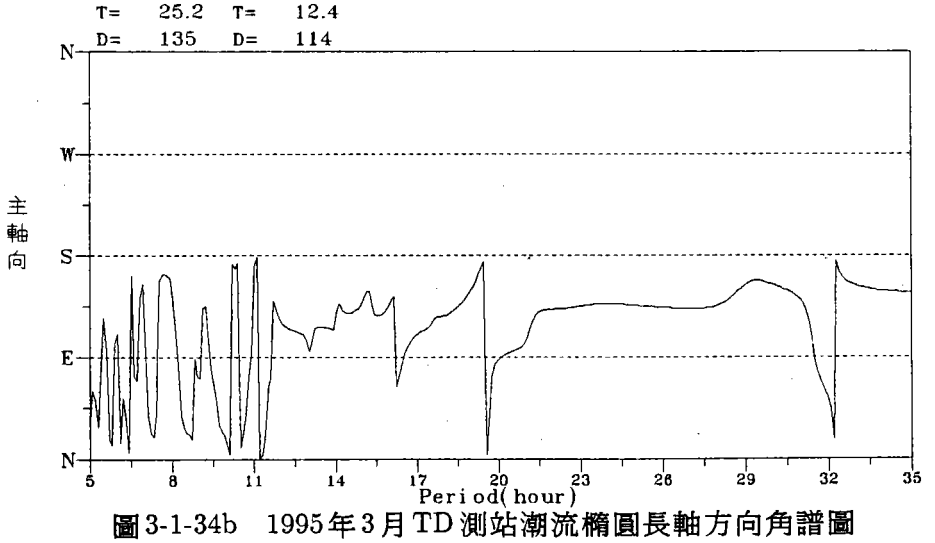


圖3-1-34b 1995年3月TD測站潮流橢圓長軸方向角譜圖

Current Spetrum in Kao-Shung

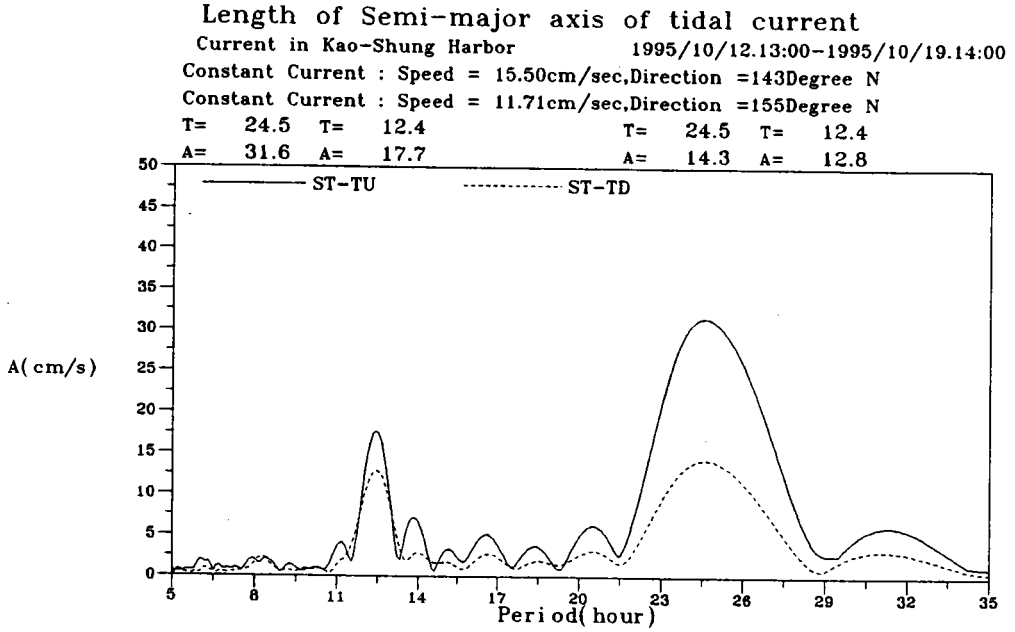


圖3-1-27a 1995年10月TU及TD站潮流橢圓半長軸長之能譜圖

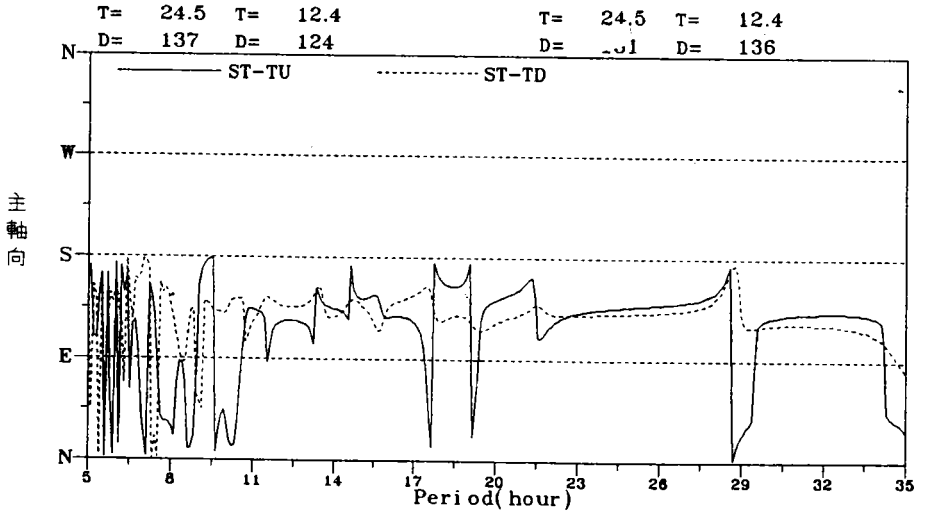


圖3-1-27b 1995年10月TU及TD站潮流橢圓長軸方向角譜圖

KSTU-002.HA0 KSTD-002.HA0	Institute of Harbor & Marine Technology

PLAT3V.FOR

1996.6.22

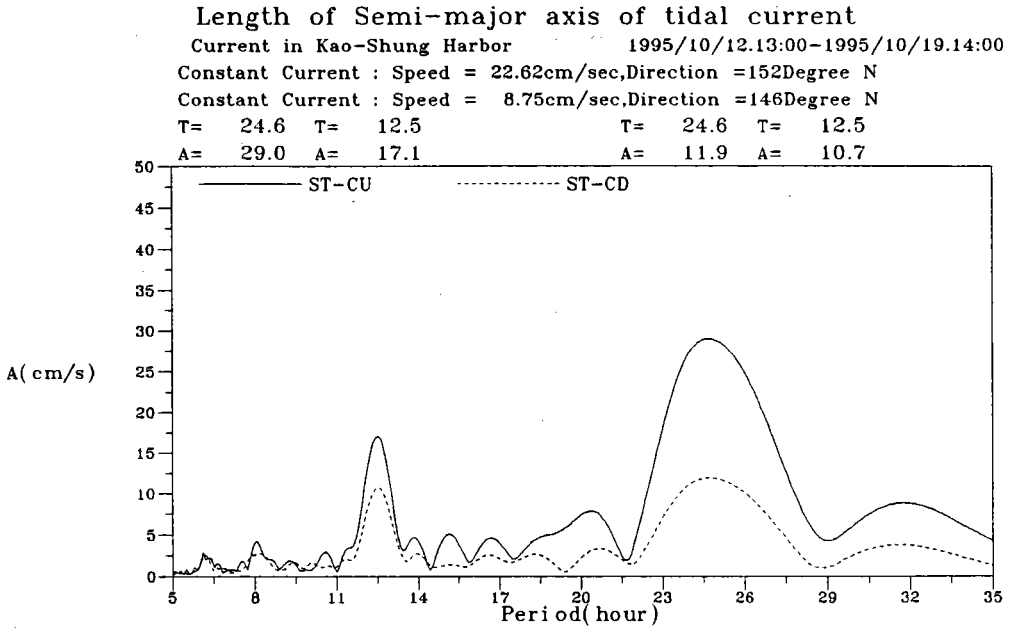


圖3-1-28a 1995年10月CU及CD站潮流橢圓半長軸長之能譜圖

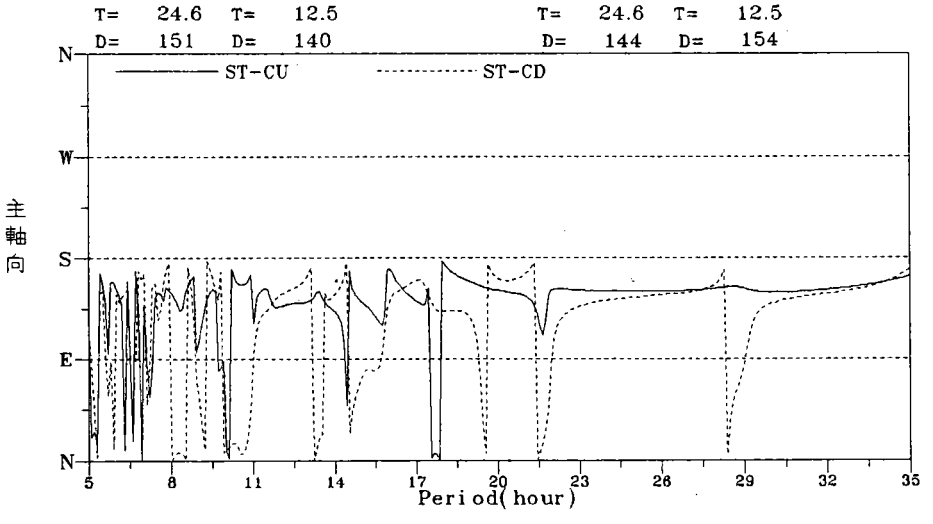


圖3-1-28b 1995年10月CU及CD站潮流橢圓長軸方向角譜圖

Current Spetrum in Kao-Shung

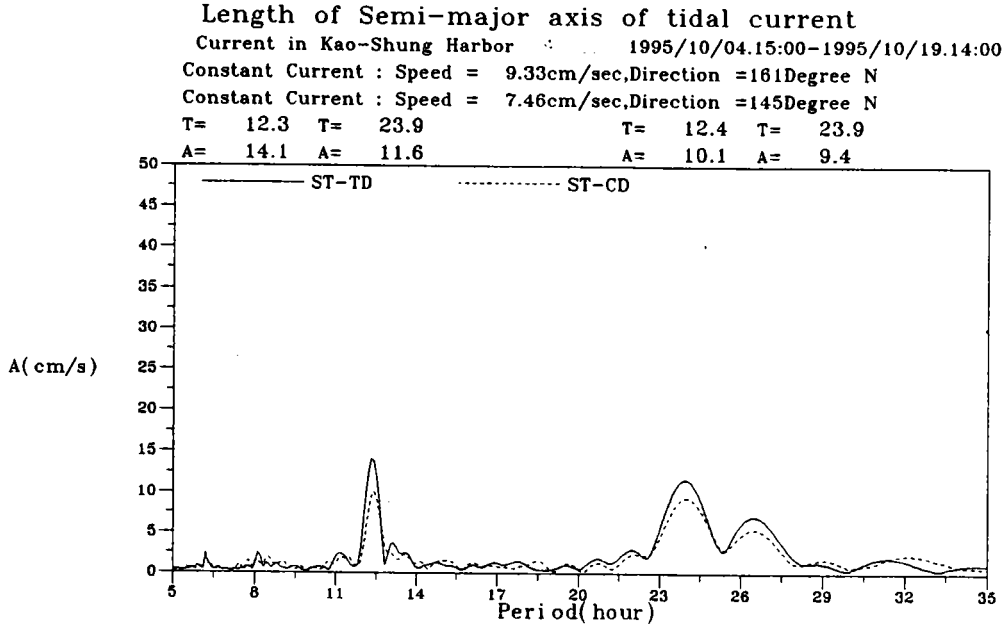


圖3-1-29a 10月份TD及CD站潮流橢圓半長軸長之能譜圖

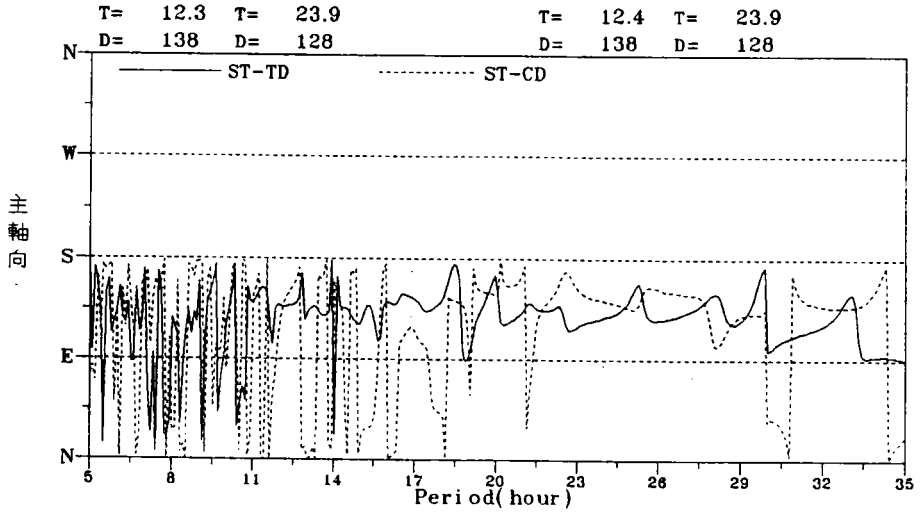


圖3-1-29b 10月份TD及CD站潮流橢圓長軸方向角譜圖

CU9510TD.HA0 CU9510CD.HA0	Institute of Harbor & Marine Technology

PLAT3V.FOR

1996.6.30

Current Spetrum in Kao-Shung

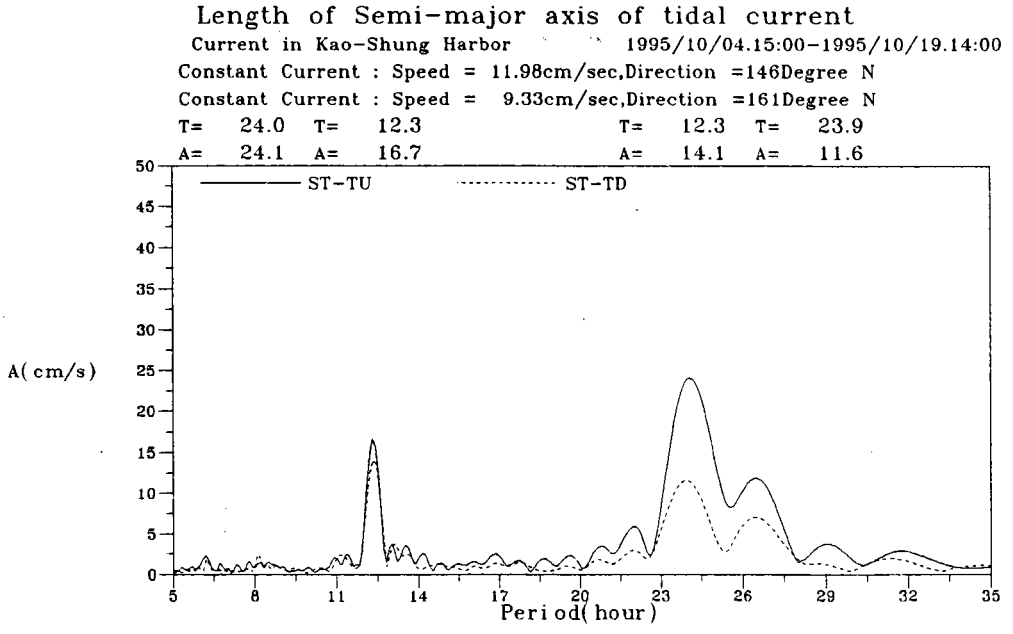


圖3-1-30a 10月份TD及TU站潮流橢圓半長軸長之能譜圖

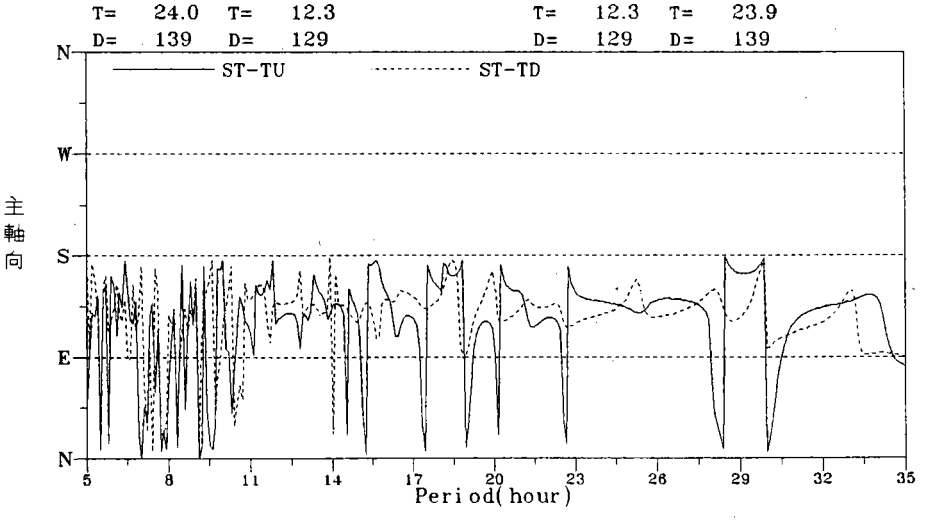


圖3-1-30b 10月份TD及TU站潮流橢圓長軸方向角譜圖

CU9510TU.HA0	CU9510TD.HA0	Institute of Harbor & Marine Technology

PLAT3V.FOR 1998. 5 . 30

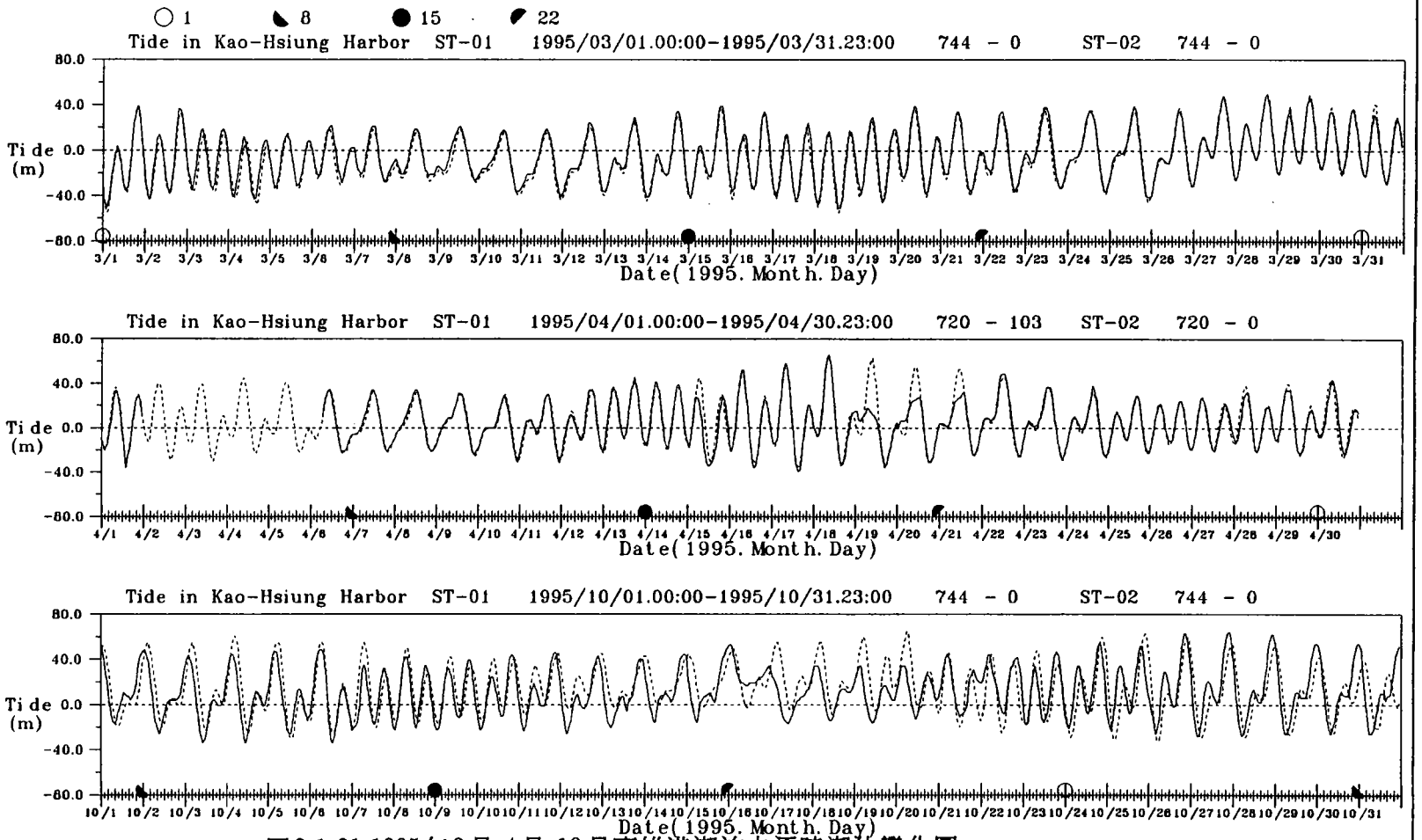
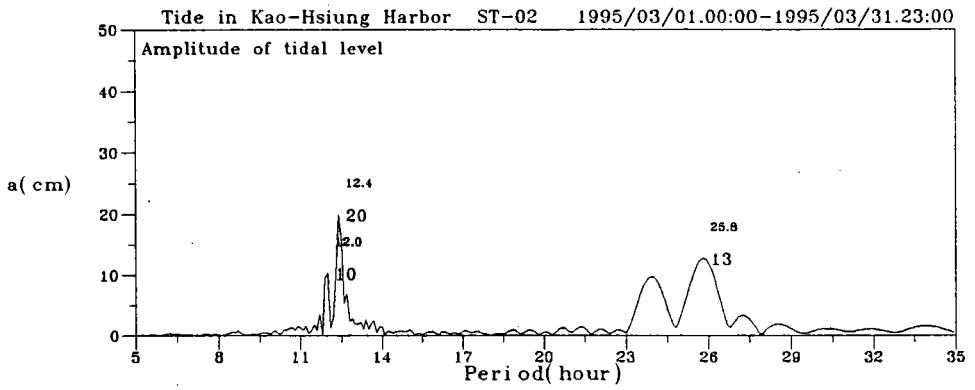


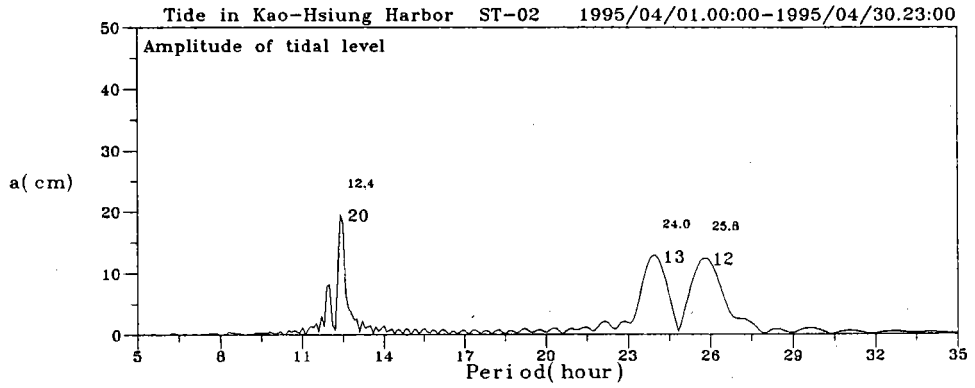
圖3-1-31 1995年3月,4月,10月高雄港潮汐之逐時潮位變化圖

TI950301.1HE	TI950401.1HE	TI951001.1HE	TI951002.1HE	Institute of Harbor & Marine Technology
TI950302.1HE	TI950402.1HE			

PLTI2CH.FOR 1998.6.16

Tide Spetrum in Kao-Shung





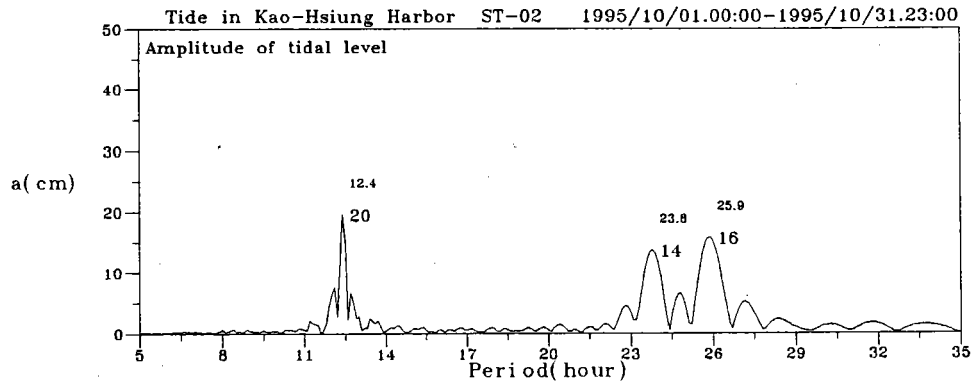


圖3-1-32 1995年3月,4月,10月高雄港之分月潮汐振幅能譜圖

TI950302.HAT TI951002.HAT	TI950402.HAT	Institute of Harbor & Marine Technology

PLTP1AV.FOR 1998. 6 . 30

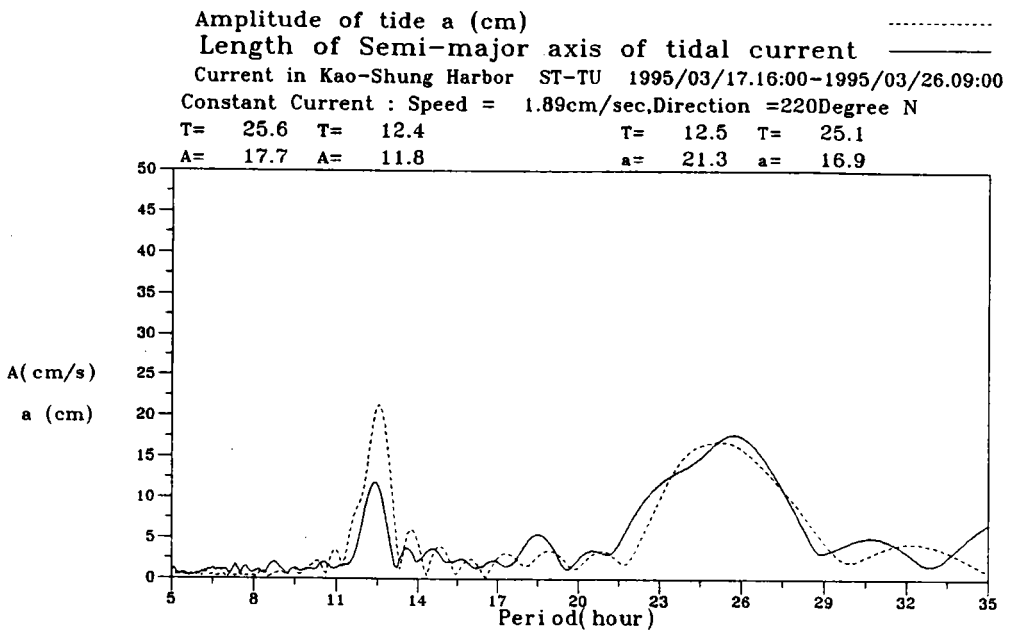


圖3-1-33a 1995年3月TU站潮流橢圓半長軸長及潮位振幅能譜圖

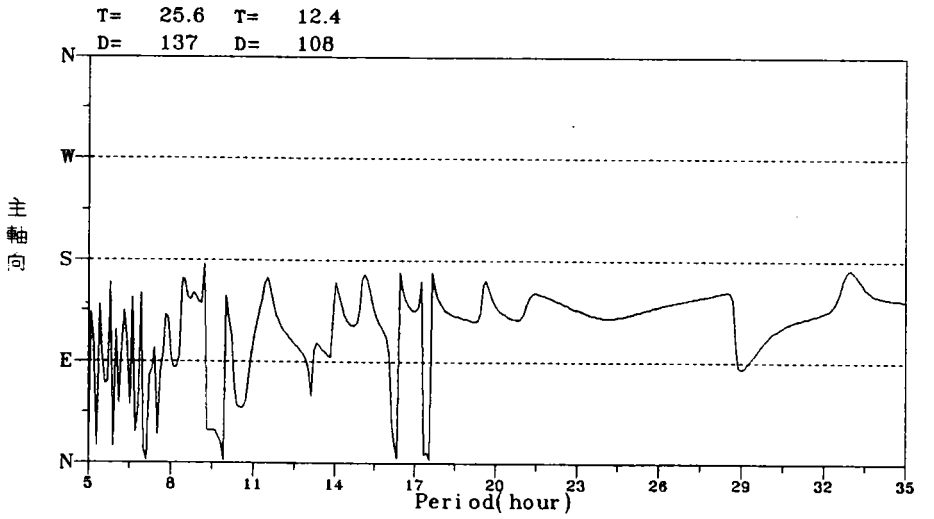


圖3-1-33b 1995年3月TU測站潮流橢圓長軸方向角譜圖

Current and tide Spetrum in Kao-Shung

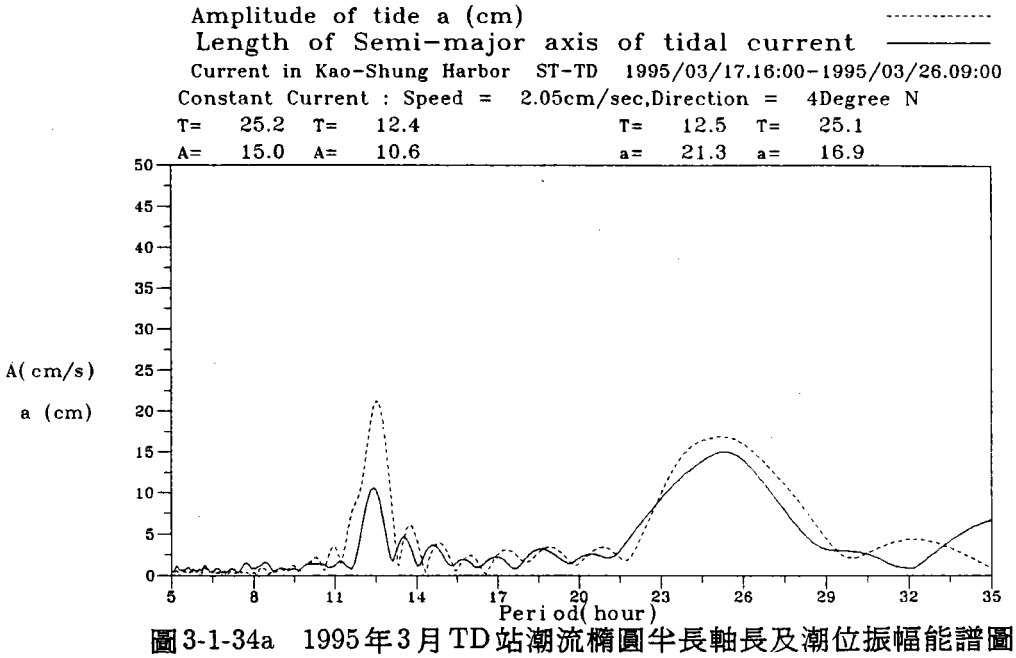


圖3-1-34a 1995年3月TD站潮流橢圓半長軸長及潮位振幅能譜圖

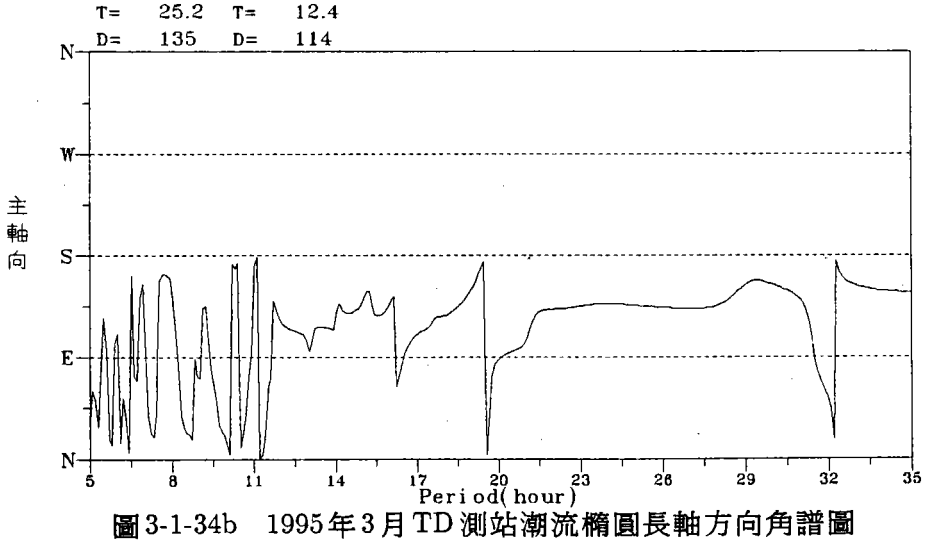


圖3-1-34b 1995年3月TD測站潮流橢圓長軸方向角譜圖

Current and tide Spetrum in Kao-Shung

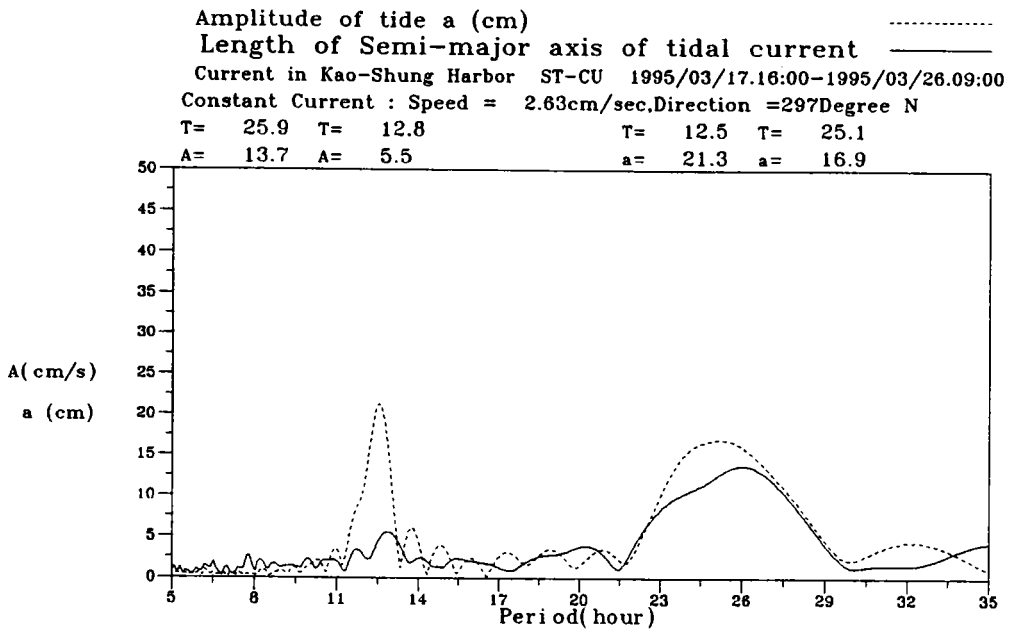


圖3-1-35a 1995年3月CU站潮流橢圓半長軸長及潮位振幅能譜圖

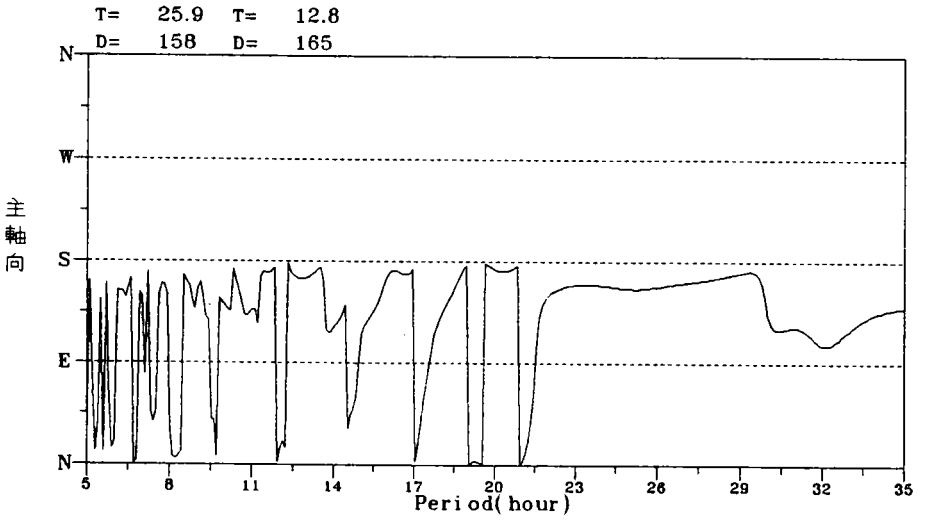


圖3-1-35b 1995年3月CU測站潮流橢圓長軸方向角譜圖

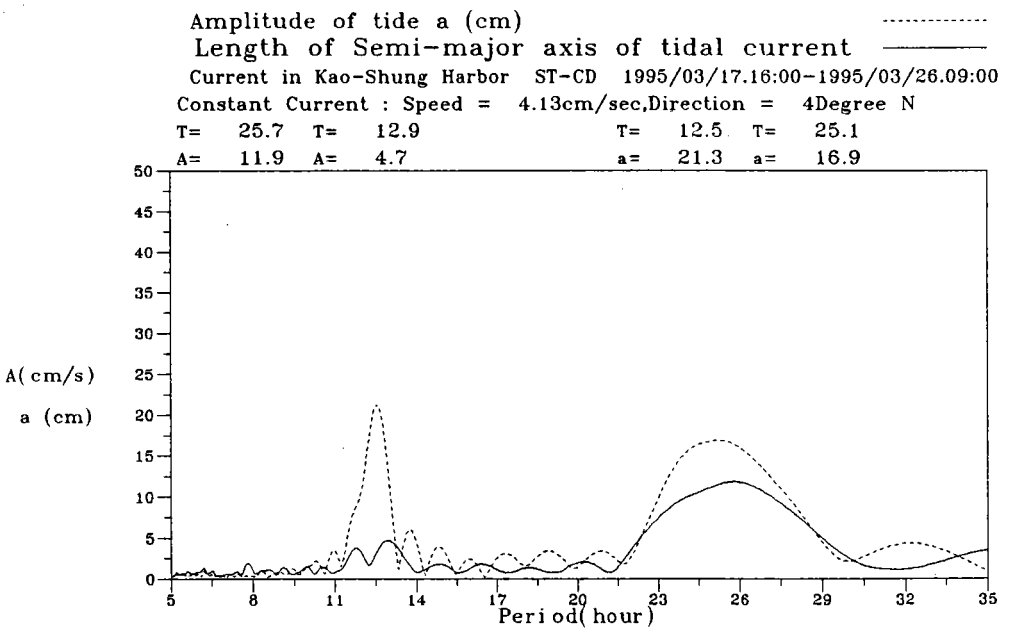


圖3-1-36a 1995年3月CD站潮流橢圓半長軸長及潮位振幅能譜圖

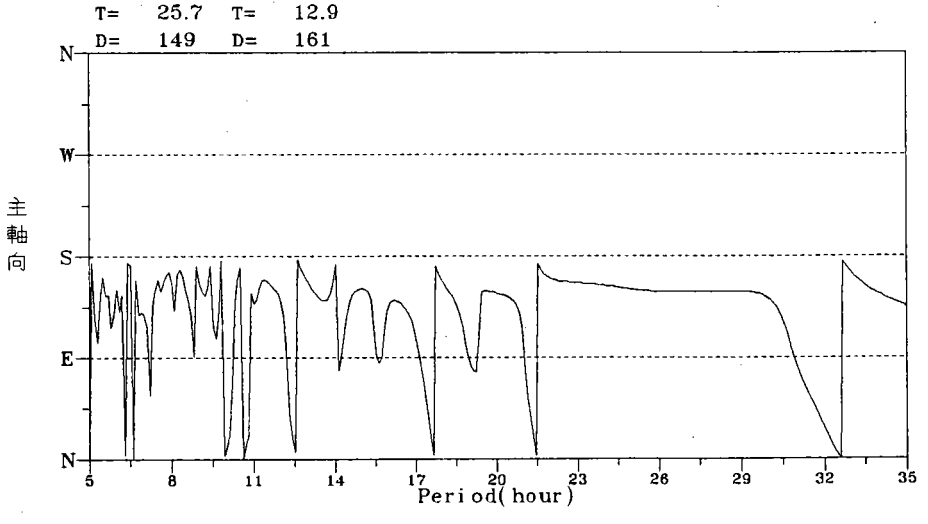


圖3-1-36b 1995年3月CD測站潮流橢圓長軸方向角譜圖

Current and tide Spetrum in Kao-Shung

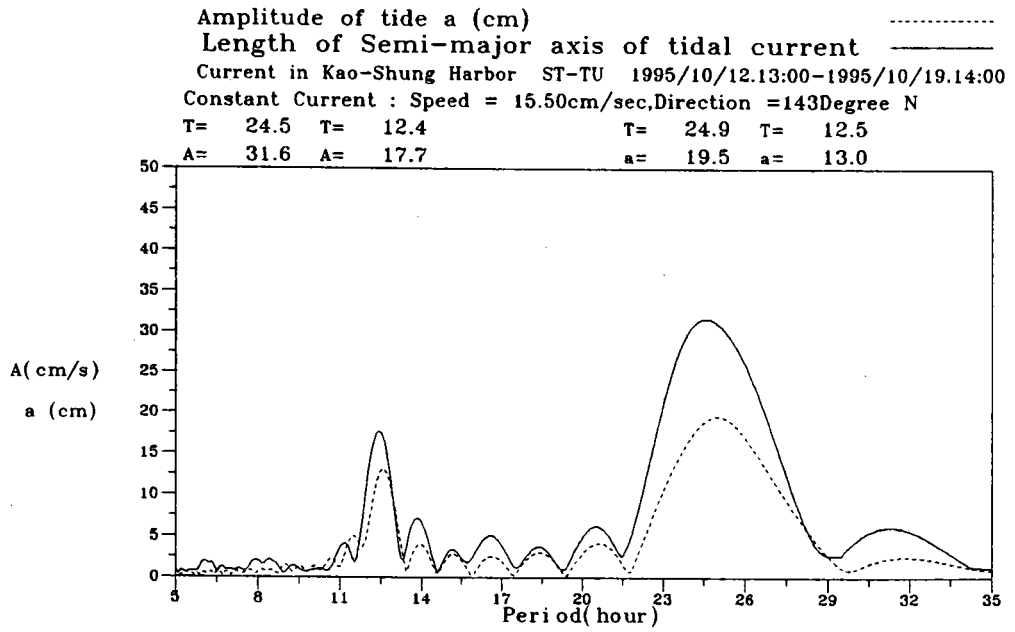


圖3-1-37a 1995年10月TU站潮流橢圓半長軸長及潮位振幅能譜圖

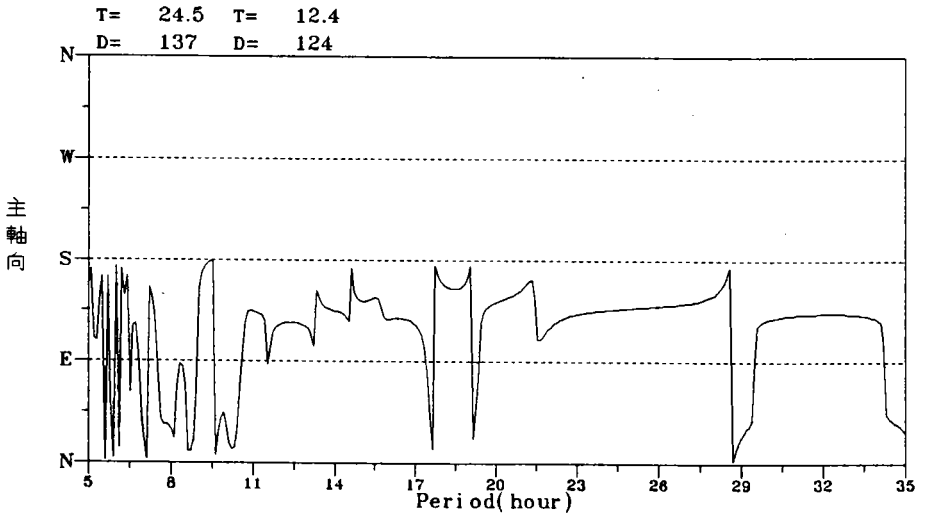


圖3-1-37b 1995年10月TU測站潮流橢圓長軸方向角譜圖

KSTU-002.HA0 KSTU-002.HAT	Institute of Harbor & Marine Technology

PLAT2V.FOR

1996. 5 . 23

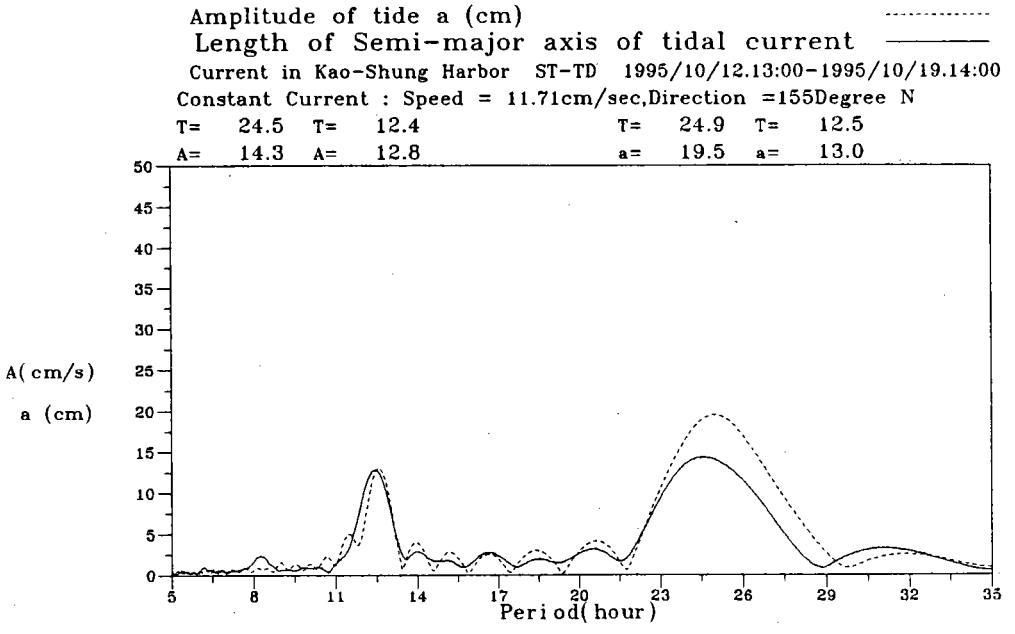


圖3-1-38a 1995年10月TD站潮流橢圓半長軸長及潮位振幅能譜圖

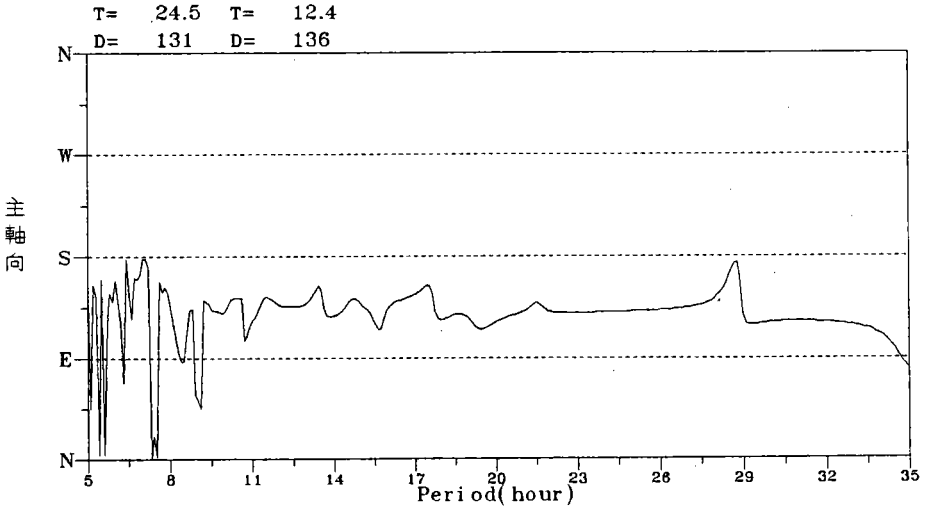


圖3-1-38b 1995年10月TD測站潮流橢圓長軸方向角譜圖

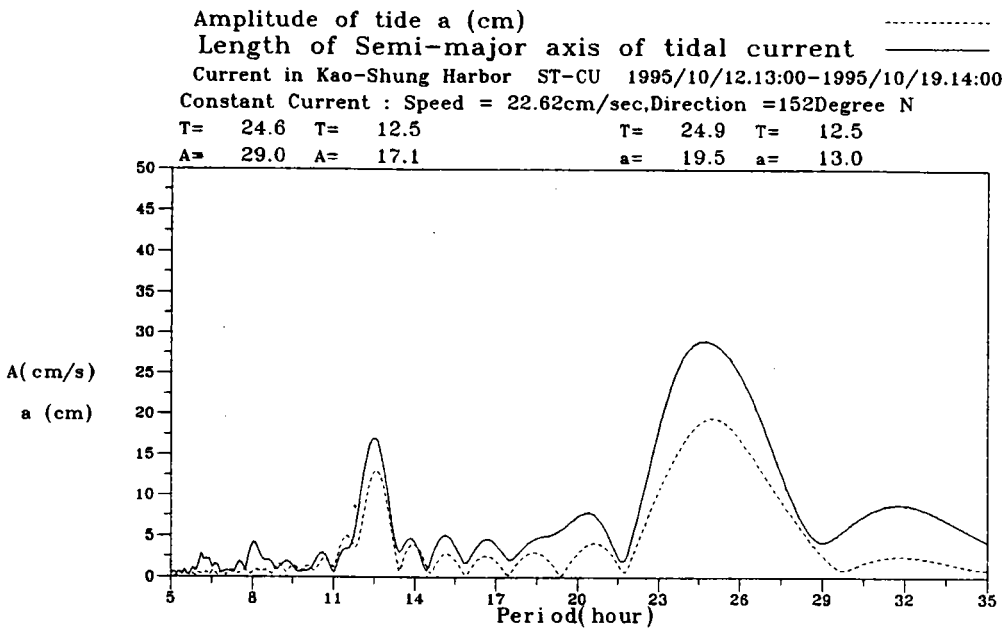


圖3-1-39a 1995年10月CU站潮流橢圓半長軸長及潮位振幅能譜圖

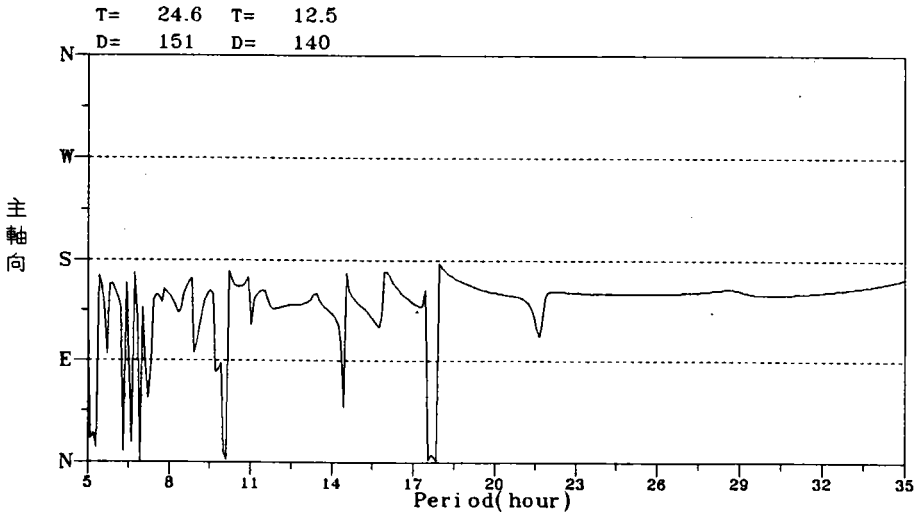


圖3-1-39b 1995年10月CU測站潮流橢圓長軸方向角譜圖

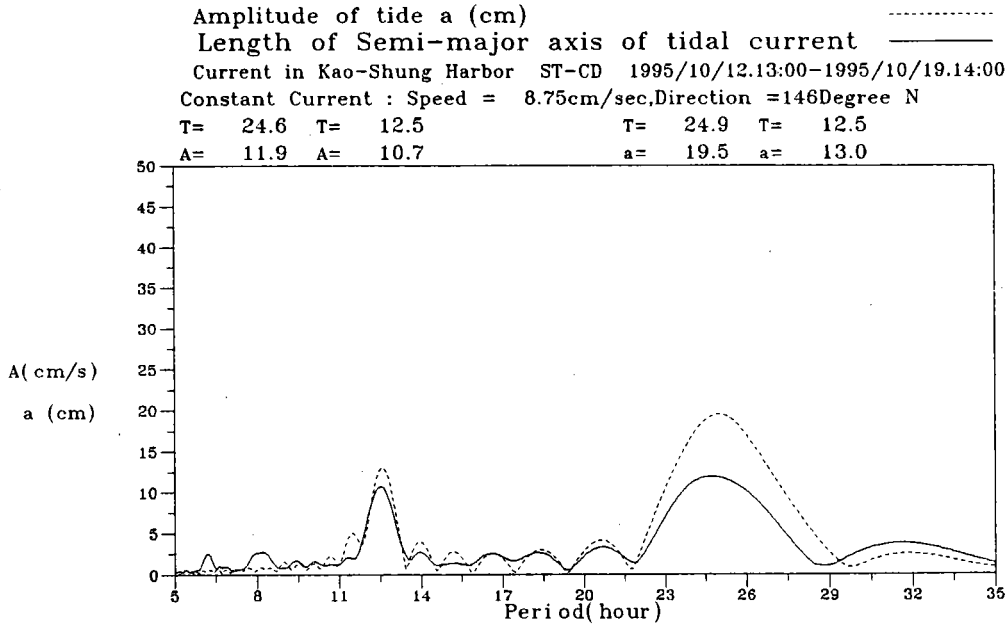


圖3-1-40a 1995年10月CD站潮流橢圓半長軸長及潮位振幅能譜圖

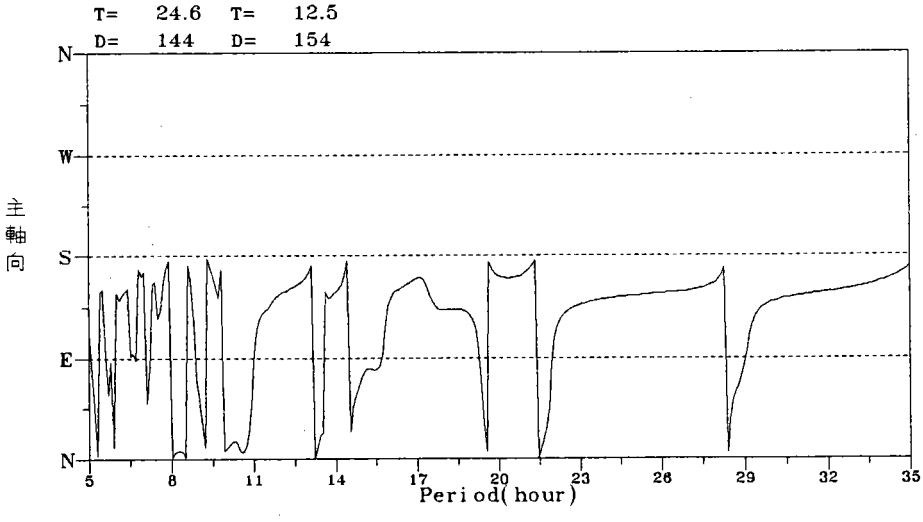


圖3-1-40b 1995年10月CD測站潮流橢圓長軸方向角譜圖

3-2 第二港口外海處海流特性

1992年本所在高雄港第二港口外海處辦理港址附近海域海洋環境調查(1993,張等),海流觀測計設置兩個流速觀測站,位置如圖3-1-1,較近海處(I點),水深約10米(離岸約1.5公里,東經120° 18' 54.6",北緯22° 31' 30.4")之測站分別施放兩台海流儀測量上、下兩層之海潮流,上層流速儀在水面下約1.5～2.5m,底層則設在水面下約8～9m,上層站以ST-IU表示,下層站以ST-IB表示。另較外海處(O點),水深約20米(離岸約3.5公里,東經120° 17' 50",北緯22° 30' 41.8")之測站也分別測量上下兩層之海潮流,上層流速儀在水面下約3～4m,底層則設在水面下約15～16m,上層站以ST-OU表示,下層站以ST-OB表示。觀測自1992年1月17日起至1993年1月15日止共完成二十筆觀測記錄如表3-2-1。

表3-2-1 1992年觀測之第二港口外海處觀測海流資料統計表

序號	測站	檔名	啓止時間 (年/月/日.時:～年/月/日.時:)	觀測天數	觀測筆數
1-1	IB	CU9201IB.1HM	1992/01/17.11:～1992/01/31.23:	15	349
1-2	IU	CU9201IU.1HM	1992/01/17.11:～1992/01/31.23:	15	349
1-3	OB	CU9201OB.1HM	1992/01/17.13:～1992/01/31.23:	15	347
1-4	OU	CU9201OU.1HM	1992/01/17.13:～1992/01/31.23:	15	347
2-1	IB	CU9202IB.1HM	1992/02/01.00:～1992/02/17.19:	17	404
2-2	IU	CU9202IU.1HM	1992/02/01.00:～1992/02/17.19:	17	404
2-3	OB	CU9202OB.1HM	1992/02/01.00:～1992/02/19.06:	19	439
2-4	OU	CU9202OU.1HM	1992/02/01.00:～1992/02/19.06:	19	439
3-1	IB	CU9202IC.1HM	1992/02/27.10:～1992/03/17.10:	20	457
3-2	IU	CU9202IV.1HM	1992/02/27.10:～1992/03/17.10:	20	457
3-3	OB	CU9202OC.1HM	1992/02/27.11:～1992/03/17.10:	20	456
3-4	OU	CU9202OV.1HM	1992/02/27.11:～1992/03/17.10:	20	456
4-1	IB	CU9203IB.1HM	1992/03/18.10:～1992/03/27.00:	10	207
4-2	IU	CU9203IU.1HM	1992/03/18.10:～1992/04/07.11:	21	482
4-3	OB	CU9203OB.1HM	1992/03/18.10:～1992/04/06.01:	20	448
4-4	OU	CU9203OU.1HM	1992/03/18.10:～1992/04/07.11:	21	482
5-1	IB	CU9204IB.1HM	1992/04/08.11:～1992/04/25.21:	18	419
5-2	IU	CU9204IU.1HM	1992/04/08.11:～1992/04/25.21:	18	419
5-3	OB	CU9204OB.1HM	1992/04/08.11:～1992/04/29.09:	22	503
5-4	OU	CU9204OU.1HM	1992/04/08.11:～1992/04/29.09:	22	503

序號	測站	檔名	啓止時間 (年/月/日.時:～年/月/日.時:)	觀測天數	觀測筆數
6-1	IB	CU9204IC.1HM	1992/04/30.11:～1992/05/12.09:	13	287
6-2	IU	CU9204IV.1HM	1992/04/30.11:～1992/05/12.09:	13	287
6-3	OB	CU9204OC.1HM	1992/04/30.11:～1992/05/12.09:	13	287
6-4	OU	CU9204OV.1HM	1992/04/30.11:～1992/05/12.09:	13	287
7-1	IB	CU9205IB.1HM	1992/05/13.11:～1992/05/28.10:	16	360
7-2	IU	CU9205IU.1HM	1992/05/13.11:～1992/05/28.10:	16	360
7-3	OB	CU9205OB.1HM	1992/05/13.10:～1992/05/28.10:	16	361
7-4	OU	CU9205OU.1HM	1992/05/13.10:～1992/05/28.10:	16	361
8-1	IB	CU9205IC.1HM	1992/05/29.11:～1992/06/11.11:	14	313
8-2	IU	CU9205IV.1HM	1992/05/29.11:～1992/06/10.20:	13	298
8-3	OB	CU9205OC.1HM	1992/05/29.10:～1992/06/11.10:	14	313
8-4	OU	CU9205OV.1HM	1992/05/29.10:～1992/06/11.10:	14	313
9-1	IB	CU9206IB.1HM	1992/06/12.10:～1992/06/25.11:	14	314
9-2	IU	CU9206IU.1HM	1992/06/12.10:～1992/06/25.11:	14	314
9-3	OB	CU9206OB.1HM	1992/06/12.12:～1992/06/25.11:	14	312
9-4	OU	CU9206OU.1HM	1992/06/12.12:～1992/06/25.11:	14	312
10-1	IB	CU9207IB.1HM	1992/07/10.12:～1992/07/23.11:	14	312
10-2	IU	CU9207IU.1HM	1992/07/10.12:～1992/07/23.11:	14	312
10-3	OB	CU9207OB.1HM	1992/07/10.12:～1992/07/23.11:	14	312
10-4	OU	CU9207OU.1HM	1992/07/10.11:～1992/07/23.10:	14	312
11-1	IB	CU9207IC.1HM	1992/07/24.11:～1992/08/09.01:	17	375
11-2	IU	CU9207IV.1HM	1992/07/24.11:～1992/08/09.01:	17	375
11-3	OB	CU9207OC.1HM	1992/07/24.11:～1992/08/13.10:	21	480
11-4	OU	CU9207OV.1HM	1992/07/24.11:～1992/08/07.12:	15	338
12-1	IB	CU9208IB.1HM	1992/08/14.10:～1992/08/26.10:	13	289
12-2	IU	CU9208IU.1HM	1992/08/14.10:～1992/08/26.10:	13	289
12-3	OB	CU9208OB.1HM	1992/08/14.11:～1992/08/26.10:	13	288
12-4	OU	CU9208OU.1HM	1992/08/14.11:～1992/08/26.10:	13	288
13-1	IB	CU9208IC.1HM	1992/08/27.10:～1992/09/16.08:	21	479
13-2	IU	CU9208IV.1HM	1992/08/27.10:～1992/09/14.19:	19	442
13-3	OB	CU9208OC.1HM	1992/08/27.10:～1992/09/16.11:	21	482
13-4	OU	CU9208OV.1HM	1992/08/27.10:～1992/09/15.22:	20	469
14-1	IB	CU9209IB.1HM	1992/09/17.12:～1992/09/30.23:	14	324
14-2	IU	CU9209IU.1HM	1992/09/17.12:～1992/09/30.23:	14	324
14-3	OB	CU9209OB.1HM	1992/09/17.11:～1992/09/30.23:	14	325
14-4	OU	CU9209OU.1HM	1992/09/17.11:～1992/09/30.23:	14	325
15-1	IB	CU9210IB.1HM	1992/10/08.11:～1992/10/21.10:	14	312
15-2	IU	CU9210IU.1HM	1992/10/08.11:～1992/10/21.10:	14	312
15-3	OB	CU9210OB.1HM	1992/10/08.10:～1992/10/21.10:	14	313
15-4	OU	CU9210OU.1HM	1992/10/08.10:～1992/10/21.10:	14	313

序號	測站	檔名	啓止時間 (年/月/日.時:～年/月/日.時:)	觀測天數	觀測筆數
16-1	IB	CU9210IC.1HM	1992/10/22.10:～1992/11/03.11:	13	290
16-2	IU	CU9210IV.1HM	1992/10/22.10:～1992/11/03.11:	13	290
16-3	OB	CU9210OC.1HM	1992/10/22.11:～1992/11/03.10:	13	288
16-4	OU	CU9210OV.1HM	1992/10/22.11:～1992/11/03.10:	13	288
17-1	IB	CU9211IB.1HM	1992/11/04.11:～1992/11/19.10:	16	360
17-2	IU	CU9211IU.1HM	1992/11/04.11:～1992/11/19.10:	16	360
17-3	OB	CU9211OB.1HM	1992/11/04.10:～1992/11/19.10:	16	361
17-4	OU	CU9211OU.1HM	1992/11/04.10:～1992/11/19.10:	16	361
18-1	IB	CU9211IC.1HM	1992/11/20.11:～1992/12/03.10:	14	312
18-2	IU	CU9211IV.1HM	1992/11/20.11:～1992/12/03.10:	14	312
18-3	OB	CU9211OC.1HM	1992/11/20.11:～1992/12/03.10:	14	312
18-4	OU	CU9211OV.1HM	1992/11/20.11:～1992/12/03.10:	14	312
19-1	IB	CU9212IB.1HM	1992/12/04.10:～1992/12/16.10:	13	289
19-2	IU	CU9212IU.1HM	1992/12/04.10:～1992/12/16.10:	13	289
19-3	OB	CU9212OB.1HM	1992/12/04.09:～1992/12/16.10:	13	290
19-4	OU	CU9212OU.1HM	1992/12/04.09:～1992/12/16.10:	13	290
20-1	IB	CU9212IC.1HM	1992/12/17.10:～1993/01/05.11:	20	458
20-2	IU	CU9212IV.1HM	1992/12/17.10:～1993/01/05.11:	20	458
20-3	OB	CU9212OC.1HM	1992/12/17.10:～1993/01/05.10:	20	457
20-4	OU	CU9212OV.1HM	1992/12/17.10:～1993/01/05.10:	20	457

附錄表B-1～B-20爲觀測資料在ST-IU,ST-IB、ST-OU及ST-OB等站逐時、流速(cm/sec)及流向(去向)及一港口(ST-1)、二港口(ST-2)潮位報表。經統計兩測站上下兩層計20次觀測資料其平均流速,最大流速(流向)如表3-2-2。一般而言,外海處(ST-OU, ST-OB)之平均流速較近海處(ST-IU, ST-IB)爲大,上層流速又較下層流速爲大。最大流速對應之流向皆發生在平行海岸之西北向或東南向,觀測期間ST-IU最大流速爲129.9cm/s,其流向爲西北向;ST-IB最大流速爲58.8cm/s,其流向爲東南向;ST-OU最大流速爲95.5cm/s,其流向爲東南向;ST-OB最大流速爲63.7cm/s,其流向也爲東南向。

經潮汐調和分析又潮流橢圓分析,20次觀測之平均法,半日(全日)潮流橢圓半長軸大小及方向,平均潮位,半日(全日)潮位振幅及其相對比值各統計量如附表3-2-3。表中a_o, a_1, a_2分別代表平均潮位、全日潮汐振幅及半日潮汐振幅,A_o, A_1, A_2分別代表平均流、全日潮流半長軸及半日潮流半軸長之流速大

小。表中顯示潮汐主要由半日潮汐及全日潮汐組成，二者大小分佈甚不規則，或半日潮大於全日潮，或全日潮大於半日潮，或半日潮與全日潮大小相近。潮流主要也由半日潮流及全日潮流組成，二者大小分佈也甚不規則，或半日潮流大於全日潮流，或全日潮流大於半日潮流，或半日潮流與全日潮流大小相近。比值 R_1, R_2, R_3, R_4 則分別定義爲 $R_1 = A_2/a_2$, $R_2 = A_1/a_1$, $R_3 = a_2/a_1$ 及 $R_4 = A_2/A_1$。同樣 R_1, R_2, R_3, R_4 皆甚爲散亂，顯示由半日潮波產生之半日潮流，及全日潮波產生之全日潮流之關係甚爲不穩定，潮波之能量傳遞至潮流甚爲不規則。

同樣探討半日潮流（汐）及全日潮流（汐）之日變化，引用潮汐調和分析及潮流橢圓分析每日（取30小時爲單位做分析）半（全）日潮汐之振幅及半（全）日潮流半長軸流速，及其相對比值，如圖3-2-1～圖3-2-4，相關統計量則如附錄表3-2-4a～d。也同樣顯示 R_1, R_2, R_3, R_4 皆甚爲散亂，由半日潮波產生之半日潮流，及全日潮波產生之全日潮流之關係甚爲不規則。

表 3-2-2 高雄港IU,IB,OU,OB等測站海流平均流速及最大流速(向)統計表

	測站IU		測站IB		測站OU		測站OB	
序號	平均流速 (cm/s)	最大流速(流向) (cm/s) (去向)	平均流速 (cm/s)	最大流速(流向) (cm/s) (去向)	平均流速 (cm/s)	最大流速(流向) (cm/s) (去向)	平均流速 (cm/s)	最大流速(流向) (cm/s) (去向)
1	12.8	38.5(SE)	16.9	35.3(SE)	15.7	67.3(SSE)	13.0	28.3(SSE)
2	10.1	33.3(NW)	10.3	25.4(NW)	13.2	46.2(NNW)	8.2	26.9(SSE)
3	12.5	46.3(NNW)	14.4	41.8(NNW)	12.4	42.6(SSE)	11.0	41.3(NNW)
4	14.3	45.8(NNW)	12.8	43.5(NW)	14.5	51.5(NNW)	15.7	42.2(NW)
5	14.7	61.7(NW)	12.6	43.0(SE)	17.4	82.6(SSE)	14.5	56.3(SE)
6	14.2	41.4(NNW)	14.5	43.6(SE)	18.9	65.0(SSE)	17.5	47.0(SE)
7	16.8	59.4(NNW)	17.5	57.7(NW)	24.2	75.9(SSE)	19.6	56.6(SE)
8	17.8	70.0(NNW)	16.8	48.0(NW)	24.4	66.9(NNW)	15.7	40.4(SE)
9	20.1	64.5(NW)	16.5	43.6(NNW)	26.1	77.8(NNW)	17.3	40.8(NW)
10	23.4	89.5(NW)	17.5	56.8(NNW)	24.7	79.7(NNW)	15.2	48.6(NW)
11	21.7	72.8(NW)	16.3	44.7(NW)	25.9	80.6(NNW)	15.5	34.7(SSE)
12	19.2	67.4(NW)	13.4	42.7(NNW)	17.5	74.6(NNW)	10.8	38.7(NNW)
13	19.6	129.9(NW)	17.0	58.8(SE)	21.1	95.5(SE)	14.4	63.7(SE)
14	17.5	58.0(SE)	14.1	42.1(SE)	20.6	70.4(SSE)	15.4	47.3(SE)
15	15.5	48.9(NW)	12.9	32.7(NNW)	22.3	61.8(SSE)	13.6	37.1(SE)
16	19.6	63.3(NW)	16.4	46.0(NNW)	20.2	60.4(SSE)	13.9	39.0(SE)
17	14.0	52.0(NW)	10.6	39.4(NNW)	14.9	58.7(NW)	11.6	37.7(NW)
18	17.4	59.5(NW)	15.0	39.5(NW)	20.7	58.3(SSE)	14.7	40.2(SSE)
19	20.6	48.0(SE)	11.4	39.4(NNW)	15.5	58.7(NW)	22.2	49.2(SSE)
20	19.8	53.9(NW)	16.6	38.2(NW)	27.4	76.8(SSE)	18.5	44.5(SE)

REPG1.TEX

表3-2-3a　高雄IU,IB,OU及OB站不同時段平均流、半(全)日潮流橢圓及半(全)日潮位統計表

序號	檔案名稱	平均流 流速 A_0 (cm/s)	平均流 流向 (N^0)	平均流 比率 (%)	半日潮流橢圓 週期 T_2(s)	半日潮流橢圓 半長軸 A_2 (cm/s)	半日潮流橢圓 軸向 (N^0)	半日潮流橢圓 比率 (%)	全日潮流橢圓 週期 T_1(s)	全日潮流橢圓 半長軸 A_1 (cm/s)	全日潮流橢圓 軸向 (N^0)	全日潮流橢圓 比率 (%)	平均潮位 a_0 (cm)	平均潮位 比率 (%)	半日潮 週期 t_2(s)	半日潮 振幅 a_2 (cm)	半日潮 比率 (%)	全日潮 週期 t_1(s)	全日潮 振幅 a_1 (cm)	全日潮 比率 (%)	比值 R_2 A_2/a_2	比值 R_1 A_1/a_1	比值 R_3 a_2/a_1	比值 R_4 A_2/A_1
1	CU9201IU.HAT	.9	117	4.7	12.8	4.3	325	21.4	24.1	14.7	317	73.9	.0	.0	12.5	21.3	47.7	23.9	23.4	52.3	.2	.6	.9	.3
2	CU9201IB.HAT	2.8	36	12.4	12.8	4.6	155	20.1	24.0	15.4	312	67.5	.0	.0	12.5	21.3	47.7	23.9	23.4	52.3	.2	.7	.9	.3
3	CU9201OU.HAT	3.5	123	14.3	12.6	6.8	339	27.5	23.9	14.4	320	58.2	.0	.0	12.5	21.3	47.7	23.9	23.4	52.3	.3	.6	.9	.5
4	CU9201OB.HAT	1.6	121	9.1	12.4	5.6	142	30.8	23.9	10.9	136	60.1	.0	.0	12.5	21.3	47.7	23.9	23.4	52.3	.3	.5	.9	.5
5	CU9202IU.HAT	.8	222	4.1	12.4	5.8	130	30.8	23.9	12.3	316	65.1	.2	.4	12.4	18.2	46.7	25.9	20.6	52.9	.3	.6	.9	.5
6	CU9202IB.HAT	1.1	47	6.2	12.5	5.1	298	29.6	23.9	11.0	134	64.2	.2	.4	12.4	18.2	46.7	25.9	20.6	52.9	.3	.5	.9	.5
7	CU9202OU.HAT	1.3	313	6.2	12.5	5.8	297	27.8	23.9	13.9	321	66.0	.2	.4	12.4	18.2	46.7	25.9	20.6	52.9	.3	.7	.9	.4
8	CU9202OB.HAT	.9	326	7.0	12.5	4.0	117	32.0	23.9	7.6	141	61.0	.2	.4	12.4	18.2	46.7	25.9	20.6	52.9	.2	.4	.9	.5
9	CU9202IV.HAT	4.9	297	24.2	12.3	8.1	310	39.8	23.9	7.3	325	35.9	.0	.1	12.4	17.4	46.7	25.8	19.8	53.3	.5	.4	.9	1.1
10	CU9202IC.HAT	6.3	304	30.2	12.3	7.7	136	36.9	24.0	6.8	334	32.9	.0	.1	12.4	17.4	46.7	25.8	19.8	53.3	.4	.3	.9	1.1
11	CU9202OV.HAT	5.0	312	32.2	12.3	5.4	112	35.0	23.9	5.1	323	32.8	.0	.1	12.4	17.4	46.7	25.8	19.8	53.3	.3	.3	.9	1.1
12	CU9202OC.HAT	4.1	335	25.4	12.3	5.8	123	36.0	24.0	6.2	313	38.6	.0	.1	12.4	17.4	46.7	25.8	19.8	53.3	.3	.3	.9	.9
13	CU9203IU.HAT	2.7	276	8.6	12.3	15.0	316	47.0	23.9	14.2	320	44.5	.0	.0	12.4	19.5	51.1	25.9	18.7	48.9	.8	.8	1.0	1.1
14	CU9203IB.HAT	2.3	341	7.8	12.3	13.5	131	46.1	23.9	13.5	125	46.1	.0	.0	12.4	19.5	51.1	25.9	18.7	48.9	.7	.7	1.0	1.0
15	CU9203OU.HAT	4.5	318	14.7	12.4	12.9	139	42.5	23.9	13.0	327	42.9	.0	.0	12.4	19.5	51.1	25.9	18.7	48.9	.7	.7	1.0	1.0
16	CU9203OB.HAT	5.1	346	15.2	12.4	14.0	322	41.4	24.1	14.7	133	43.4	.0	.0	12.4	19.5	51.1	25.9	18.7	48.9	.7	.8	1.0	1.0
17	CU9204IU.HAT	2.4	294	8.1	12.5	14.3	318	47.6	23.9	13.3	314	44.3	.0	.0	12.4	18.2	47.0	25.9	20.5	53.0	.8	.7	.9	1.1
18	CU9204IB.HAT	1.0	124	4.2	12.5	12.3	131	48.9	23.9	11.9	128	47.0	.0	.0	12.4	18.2	47.0	25.9	20.5	53.0	.7	.6	.9	1.0
19	CU9204OU.HAT	.9	32	2.7	12.4	13.9	140	44.2	23.9	16.7	327	53.1	.0	.0	12.4	18.2	47.0	25.9	20.5	53.0	.8	.8	.9	.8
20	CU9204OB.HAT	1.3	66	5.2	12.5	13.1	138	51.3	24.0	11.1	311	43.5	.0	.0	12.4	18.2	47.0	25.9	20.5	53.0	.7	.5	.9	1.2
21	CU9204IV.HAT	4.7	295	18.2	12.3	4.9	137	19.0	24.6	16.0	316	62.7	.0	.0	12.5	20.1	43.7	24.7	25.9	56.3	.2	.6	.8	.3
22	CU9204IC.HAT	2.7	350	10.5	12.3	5.8	122	22.6	24.5	17.3	313	66.9	.0	.0	12.5	20.1	43.7	24.7	25.9	56.3	.3	.7	.8	.3
23	CU9204OV.HAT	2.1	145	7.3	12.3	7.1	105	25.0	24.6	19.3	324	67.7	.0	.0	12.5	20.1	43.7	24.7	25.9	56.3	.4	.7	.8	.4
24	CU9204OC.HAT	1.5	80	5.9	12.3	5.9	130	22.9	24.8	18.3	313	71.2	.0	.0	12.5	20.1	43.7	24.7	25.9	56.3	.3	.7	.8	.3
25	CU9205IU.HAT	1.0	223	3.0	12.4	13.5	135	39.8	24.2	19.5	318	57.2	.0	.1	12.4	16.2	42.9	24.5	21.5	57.0	.8	.9	.8	.7
26	CU9205IB.HAT	2.7	113	7.2	12.4	14.5	128	38.5	24.4	20.4	128	54.3	.0	.1	12.4	16.2	42.9	24.5	21.5	57.0	.9	1.0	.8	.7
27	CU9205OU.HAT	13.8	158	28.5	12.4	15.3	317	31.5	24.4	19.4	327	40.0	.0	.1	12.4	16.2	42.9	24.5	21.5	57.0	.9	.9	.8	.8
28	CU9205OB.HAT	10.8	134	25.4	12.4	12.0	127	28.2	24.4	19.8	132	46.5	.0	.1	12.4	16.2	42.9	24.5	21.5	57.0	.7	.9	.8	.6
29	CU9205IV.HAT	.7	281	1.7	12.4	15.6	137	40.5	24.3	22.2	135	57.8	.1	.1	12.4	18.6	41.0	24.7	26.7	58.9	.8	.8	.7	.7
30	CU9205IC.HAT	2.7	136	6.9	12.4	17.0	134	44.3	24.4	18.7	131	48.7	.1	.1	12.4	18.6	41.0	24.7	26.7	58.9	.9	.7	.7	.9

表3-2-3b　高雄IU,IB,OU及OB站不同時段平均流、半(全)日潮流橢圓及半(全)日潮位統計表

序號	檔案名稱	平均流 流速 A_0 (cm/s)	平均流 流向 (N⁰)	平均流 比率 (%)	半日潮流橢圓 週期 T_2(s)	半日潮流橢圓 半長軸 A_2 (cm/s)	半日潮流橢圓 軸向 (N⁰)	半日潮流橢圓 比率 (%)	全日潮流橢圓 週期 T_1(s)	全日潮流橢圓 半長軸 A_1 (cm/s)	全日潮流橢圓 軸向 (N⁰)	全日潮流橢圓 比率 (%)	平均潮位 a_0 (cm)	平均潮位 比率 (%)	半日潮 週期 t_2(s)	半日潮 振幅 a_2 (cm)	半日潮 比率 (%)	全日潮 週期 t_1(s)	全日潮 振幅 a_1 (cm)	全日潮 比率 (%)	比值 R_2 A_2/a_2	比值 R_1 A_1/a_1	比值 R_3 a_2/a_1	比值 R_4 A_2/A_1
31	CU9205OV.HAT	8.8	143	15.9	12.4	19.3	134	34.7	24.5	27.5	325	49.4	.1	.1	12.4	18.6	41.0	24.7	26.7	58.9	1.0	1.0	.7	.7
32	CU9205OC.HAT	6.5	135	17.7	12.4	15.5	139	42.1	24.6	14.8	307	40.2	.1	.1	12.4	18.6	41.0	24.7	26.7	58.9	.8	.6	.7	1.0
33	CU9206IU.HAT	.9	227	2.4	12.4	12.3	309	31.8	24.2	25.3	312	65.8	.0	.0	12.3	16.7	40.6	24.5	24.4	59.4	.7	1.0	.7	.5
34	CU9206IB.HAT	1.3	48	4.1	12.4	9.8	132	30.4	24.3	21.2	313	65.5	.0	.0	12.3	16.7	40.6	24.5	24.4	59.4	.6	.9	.7	.5
35	CU9206OU.HAT	3.3	145	8.2	12.3	12.1	133	30.3	24.1	24.6	328	61.6	.0	.0	12.3	16.7	40.6	24.5	24.4	59.4	.7	1.0	.7	.5
36	CU9206OB.HAT	.5	323	1.8	12.4	8.1	116	30.0	24.2	18.4	120	68.2	.0	.0	12.3	16.7	40.6	24.5	24.4	59.4	.5	.8	.7	.4
37	CU9207IU.HAT	6.0	300	11.5	12.2	18.7	128	36.0	24.3	27.3	133	52.5	.1	.1	12.3	18.0	40.7	24.6	26.1	59.2	1.0	1.0	.7	.7
38	CU9207IB.HAT	1.6	30	4.6	12.2	13.0	134	37.0	24.2	20.6	133	58.4	.1	.1	12.3	18.0	40.7	24.6	26.1	59.2	.7	.8	.7	.6
39	CU9207OU.HAT	.4	83	.8	12.2	19.0	139	40.5	24.2	27.6	325	58.8	.0	.1	12.3	17.9	40.6	24.6	26.2	59.3	1.1	1.1	.7	.7
40	CU9207OB.HAT	.8	75	2.9	12.2	10.2	140	36.3	24.3	17.1	302	60.8	.1	.1	12.3	18.0	40.7	24.6	26.1	59.2	.6	.7	.7	.6
41	CU9207IV.HAT	.3	160	.7	12.5	15.8	309	38.3	24.1	25.1	131	61.0	.1	.3	12.5	18.8	55.3	26.0	15.1	44.4	.8	1.7	1.2	.6
42	CU9207IC.HAT	1.8	98	5.7	12.4	10.9	319	35.1	24.1	18.5	130	59.3	.1	.3	12.5	18.8	55.3	26.0	15.1	44.4	.6	1.2	1.2	.6
43	CU9207OV.HAT	6.8	144	13.5	12.4	18.0	316	35.6	24.1	25.8	325	50.9	.1	.3	12.5	18.8	55.3	26.0	15.1	44.4	1.0	1.7	1.2	.7
44	CU9207OC.HAT	2.6	136	9.1	12.5	9.5	326	33.2	24.0	16.5	299	57.7	.1	.3	12.5	18.8	55.3	26.0	15.1	44.4	.5	1.1	1.2	.6
45	CU9208IU.HAT	12.5	301	32.3	12.4	12.6	130	32.6	26.0	13.5	315	35.1	.0	.0	12.4	16.7	52.3	26.0	15.2	47.7	.8	.9	1.1	.9
46	CU9208IB.HAT	3.3	324	14.4	12.3	9.6	132	42.3	23.9	9.9	322	43.3	.0	.0	12.4	16.7	52.3	26.0	15.2	47.7	.6	.6	1.1	1.0
47	CU9208OU.HAT	8.3	310	24.6	12.3	11.9	314	35.3	26.0	13.5	146	40.1	.0	.0	12.4	16.7	52.3	26.0	15.2	47.7	.7	.9	1.1	.9
48	CU9208OB.HAT	1.8	282	10.3	12.4	7.7	315	45.3	26.0	7.5	308	44.4	.0	.0	12.4	16.7	52.3	26.0	15.2	47.7	.5	.5	1.1	1.0
49	CU9208IV.HAT	1.6	212	5.5	12.4	18.3	310	61.7	24.1	9.7	305	32.8	.0	.1	12.4	19.9	58.6	25.8	14.0	41.3	.9	.7	1.4	1.9
50	CU9208IC.HAT	2.4	108	8.5	12.4	15.1	316	53.8	24.1	10.6	313	37.8	.0	.1	12.4	19.9	58.6	25.8	14.0	41.3	.8	.8	1.4	1.4
51	CU9208OV.HAT	2.7	138	9.3	12.4	17.2	314	59.8	24.0	8.9	319	30.9	.0	.1	12.4	19.9	58.6	25.8	14.0	41.3	.9	.6	1.4	1.9
52	CU9208OC.HAT	2.6	124	12.3	12.4	11.7	316	56.0	24.1	6.6	310	31.7	.0	.1	12.4	19.9	58.6	25.8	14.0	41.3	.6	.5	1.4	1.8
53	CU9209IU.HAT	.6	196	1.8	12.5	18.0	306	53.9	23.9	14.8	311	44.3	.1	.2	12.5	21.4	56.6	26.0	16.3	43.1	.8	.9	1.3	1.2
54	CU9209IB.HAT	4.0	121	14.0	12.5	15.7	317	55.3	23.9	8.7	308	30.7	.1	.2	12.5	21.4	56.6	26.0	16.3	43.1	.7	.5	1.3	1.8
55	CU9209OU.HAT	10.7	141	24.1	12.5	18.1	135	40.8	26.0	15.6	140	35.1	.1	.2	12.5	21.4	56.6	26.0	16.3	43.1	.8	1.0	1.3	1.2
56	CU9209OB.HAT	9.4	127	28.3	12.5	16.3	140	49.2	23.9	7.4	297	22.5	.1	.2	12.5	21.4	56.6	26.0	16.3	43.1	.8	.5	1.3	2.2
57	CU9210IU.HAT	1.2	318	3.8	12.2	17.5	129	55.9	23.9	12.6	127	40.3	.1	.4	12.4	18.2	54.7	24.9	15.0	44.9	1.0	.8	1.2	1.4
58	CU9210IB.HAT	.9	54	3.8	12.3	14.3	138	57.1	23.9	9.8	131	39.1	.1	.4	12.4	18.2	54.7	24.9	15.0	44.9	.8	.7	1.2	1.5
59	CU9210OU.HAT	3.5	151	8.9	12.3	17.5	139	43.9	24.9	18.8	317	47.2	.1	.4	12.4	18.2	54.7	24.9	15.0	44.9	1.0	1.3	1.2	.9
60	CU9210OB.HAT	3.1	116	12.9	12.3	12.2	138	50.3	24.9	9.0	134	36.9	.1	.4	12.4	18.2	54.7	24.9	15.0	44.9	.7	.6	1.2	1.4

表3-2-3c　高雄IU,IB,OU及OB站不同時段平均流、半(全)日潮流橢圓及半(全)日潮位統計表

序號	檔案名稱	平均流 流速 A_0 (cm/s)	平均流 流向 (N^0)	平均流 比率 (%)	半日潮流橢圓 週期 T_2(s)	半日潮流橢圓 半長軸 A_2 (cm/s)	半日潮流橢圓 軸向 (N^0)	半日潮流橢圓 比率 (%)	全日潮流橢圓 週期 T_1(s)	全日潮流橢圓 半長軸 A_1 (cm/s)	全日潮流橢圓 軸向 (N^0)	全日潮流橢圓 比率 (%)	平均潮位 a_0 (cm)	平均潮位 比率 (%)	半日潮 週期 t_2(s)	半日潮 振幅 a_2 (cm)	半日潮 比率 (%)	全日潮 週期 t_1(s)	全日潮 振幅 a_1 (cm)	全日潮 比率 (%)	比值 R_2 A_2/a_2	比值 R_1 A_1/a_1	比值 R_3 a_2/a_1	比值 R_4 A_2/A_1
61	CU9210IV.HAT	4.1	136	9.0	12.4	22.0	310	48.7	25.0	19.0	309	42.2	.1	.3	12.4	20.4	52.4	24.0	18.4	47.2	1.1	1.0	1.1	1.2
62	CU9210IC.HAT	3.6	118	9.7	12.4	17.7	138	48.0	25.1	15.6	317	42.3	.1	.3	12.4	20.4	52.4	24.0	18.4	47.2	.9	.8	1.1	1.1
63	CU9210OV.HAT	4.4	143	9.3	12.4	20.6	137	43.5	25.0	22.4	140	47.2	.1	.3	12.4	20.4	52.4	24.0	18.4	47.2	1.0	1.2	1.1	.9
64	CU9210OC.HAT	4.1	119	12.8	12.4	15.2	135	47.3	25.1	12.8	314	39.9	.1	.3	12.4	20.4	52.4	24.0	18.4	47.2	.7	.7	1.1	1.2
65	CU9211IU.HAT	1.8	285	6.3	12.3	14.7	134	51.8	24.3	11.9	313	42.0	.1	.3	12.4	17.9	47.9	24.4	19.3	51.8	.8	.6	.9	1.2
66	CU9211IB.HAT	1.3	342	6.2	12.3	11.5	314	53.7	24.5	8.6	311	40.1	.1	.3	12.4	17.9	47.9	24.4	19.3	51.8	.6	.4	.9	1.3
67	CU9211OU.HAT	1.6	267	5.7	12.3	14.6	138	52.8	24.2	11.5	136	41.5	.1	.3	12.4	17.9	47.9	24.4	19.3	51.8	.8	.6	.9	1.3
68	CU9211OB.HAT	.4	180	2.1	12.3	11.3	136	56.9	24.4	8.1	141	40.9	.1	.3	12.4	17.9	47.9	24.4	19.3	51.8	.6	.4	.9	1.4
69	CU9211IV.HAT	2.5	113	6.6	12.4	13.8	135	36.4	24.3	21.6	132	57.0	.0	.0	12.4	18.2	41.0	24.6	26.3	59.0	.8	.8	.7	.6
70	CU9211IC.HAT	2.3	108	7.1	12.4	11.2	133	35.4	24.3	18.2	311	57.5	.0	.0	12.4	18.2	41.0	24.6	26.3	59.0	.6	.7	.7	.6
71	CU9211OV.HAT	5.6	129	12.5	12.4	15.5	144	35.0	24.4	23.3	136	52.5	.1	.2	12.4	18.2	41.0	24.6	26.2	58.8	.9	.9	.7	.7
72	CU9211OC.HAT	3.4	126	11.4	12.4	11.2	137	37.5	24.3	15.3	316	51.2	.1	.2	12.4	18.2	41.0	24.6	26.2	58.8	.6	.6	.7	.7
73	CU9212IU.HAT	12.1	126	25.2	12.4	14.4	135	30.0	24.3	21.5	134	44.8	.0	.0	12.3	17.6	37.6	24.5	29.1	62.4	.8	.7	.6	.7
74	CU9212IB.HAT	9.6	117	25.2	12.3	12.0	314	31.7	24.3	16.4	313	43.1	.0	.0	12.3	17.6	37.6	24.5	29.1	62.4	.7	.6	.6	.7
75	CU9212OU.HAT	26.9	142	39.4	12.4	14.0	140	20.6	24.4	27.2	140	40.0	.0	.0	12.3	17.6	37.6	24.5	29.1	62.4	.8	.9	.6	.5
76	CU9212OB.HAT	19.5	133	42.0	12.4	10.4	317	22.4	24.4	16.5	132	35.6	.0	.0	12.3	17.6	37.6	24.5	29.1	62.4	.6	.6	.6	.6
77	CU9212IV.HAT	7.4	118	17.1	12.4	11.9	134	27.6	24.1	23.8	127	55.3	.0	.0	12.4	14.0	40.1	24.0	20.9	59.9	.8	1.1	.7	.5
78	CU9212IC.HAT	6.3	113	18.0	12.5	9.7	315	27.4	24.1	19.3	128	54.6	.0	.0	12.4	14.0	40.1	24.0	20.9	59.9	.7	.9	.7	.5
79	CU9212OV.HAT	14.2	139	25.7	12.5	12.4	322	22.6	24.2	28.5	139	51.7	.0	.0	12.4	14.0	40.1	24.0	20.9	59.9	.9	1.4	.7	.4
80	CU9212OC.HAT	9.4	133	26.5	12.5	8.3	318	23.2	24.1	17.9	312	50.3	.0	.0	12.4	14.0	40.1	24.0	20.9	59.9	.6	.9	.7	.5

表3-2-4a　高雄ST-IU站每日平均流、半(全)日潮流橢圓及半(全)日潮位統計表

序號	日期 月/日	平均流 流速 A_0 (cm/s)	平均流 流向 (N⁰)	平均流 比率 (%)	半日潮流橢圓 週期 T_2(s)	半日潮流橢圓 半長軸 A_2 (cm/s)	半日潮流橢圓 軸向 (N⁰)	半日潮流橢圓 比率 (%)	全日潮流橢圓 週期 T_1(s)	全日潮流橢圓 半長軸 A_1 (cm/s)	全日潮流橢圓 軸向 (N⁰)	全日潮流橢圓 比率 (%)	平均潮位 a_0 (cm)	平均潮位 比率 (%)	半日潮 週期 t_2(s)	半日潮 振幅 a_2 (cm)	半日潮 比率 (%)	全日潮 週期 t_1(s)	全日潮 振幅 a_1 (cm)	全日潮 比率 (%)	比值 R_2 A_2/a_2	比值 R_1 A_1/a_1	比值 R_3 a_2/a_1	比值 R_4 A_2/A_1
1	01/17	9.1	136	30.6	13.0	3.7	125	12.3	24.1	17.0	141	57.1	1.7	2.4	12.2	28.6	41.2	26.0	39.1	56.3	.1	.4	.7	.2
2	01/18	5.6	107	14.4	13.0	8.3	145	21.2	23.9	25.2	136	64.4	3.8	5.3	12.2	26.9	37.4	24.8	41.2	57.3	.3	.6	.7	.3
3	01/19	2.5	57	7.9	11.9	5.1	161	16.5	24.3	23.3	140	75.6	2.7	3.9	12.3	26.3	37.3	24.6	41.5	58.8	.2	.6	.6	.2
4	01/20	1.8	288	6.3	11.9	9.2	144	31.6	24.9	18.1	141	62.1	2.6	3.7	13.0	29.2	42.0	24.1	37.7	54.3	.3	.5	.8	.5
5	01/21	4.9	304	17.0	12.0	8.0	157	27.6	26.0	16.1	138	55.4	1.9	3.0	13.0	30.7	48.4	24.1	30.9	48.7	.3	.5	1.0	.5
6	01/22	1.9	263	13.4	12.5	4.0	153	27.6	26.0	8.5	144	59.1	.2	.3	13.0	30.7	55.9	23.9	24.0	43.7	.1	.4	1.3	.5
7	01/23	2.2	316	21.5	13.0	5.1	10	49.4	26.0	3.0	134	29.1	4.0	8.7	13.0	28.6	62.0	23.9	13.5	29.3	.2	.2	2.1	1.7
8	01/24	8.2	140	39.4	12.7	8.0	130	38.4	26.0	4.6	152	22.2	4.5	14.2	12.8	21.7	68.0	23.9	5.7	17.7	.4	.8	3.8	1.7
9	01/25	2.5	148	16.5	11.9	9.0	133	59.3	23.9	3.7	122	24.2	.3	1.3	12.5	16.7	69.4	26.0	7.0	29.3	.5	.5	2.4	2.5
10	01/26	4.3	346	14.6	12.8	9.1	139	30.8	26.0	16.2	133	54.6	1.0	3.2	12.2	14.4	45.0	26.0	16.6	51.9	.6	1.0	.9	.6
11	01/27	2.9	18	7.7	11.9	10.0	124	26.0	24.8	25.4	138	66.3	3.6	9.0	11.9	14.3	35.9	26.0	22.0	55.1	.7	1.2	.7	.4
12	01/28	9.0	126	22.8	11.9	9.8	137	24.8	25.6	20.7	137	52.4	3.8	7.9	11.9	15.0	31.1	26.0	29.6	61.0	.7	.7	.5	.5
13	01/29	5.4	137	14.2	11.9	8.6	130	22.8	25.1	23.9	135	63.0	3.9	7.5	11.9	16.3	31.8	26.0	31.2	60.7	.5	.8	.5	.4
14	01/30	6.3	144	14.8	11.9	10.0	124	23.3	24.6	26.4	137	61.9	7.2	13.3	11.9	16.6	30.7	26.0	30.3	56.0	.6	.9	.5	.4
15	01/31	1.8	148	7.5	13.0	6.9	120	29.7	23.9	14.7	136	62.9	3.9	7.0	12.0	18.0	32.5	26.0	33.5	60.4	.4	.4	.5	.5
16	02/01	2.7	317	9.6	12.0	6.0	146	21.9	26.0	18.9	132	68.4	5.3	9.2	11.9	20.6	35.5	24.2	32.1	55.3	.3	.6	.6	.3
17	02/02	8.5	136	31.5	13.0	5.0	136	18.7	23.9	13.4	129	49.8	4.7	8.3	12.1	21.7	38.2	25.0	30.3	53.5	.2	.4	.7	.4
18	02/03	8.2	136	24.0	13.0	8.5	142	24.6	23.9	17.7	132	51.4	.3	.6	12.3	21.7	42.2	25.1	29.3	57.1	.4	.6	.7	.5
19	02/04	.2	292	.8	11.9	4.0	137	21.1	26.0	15.0	134	78.1	2.1	4.4	12.2	22.3	46.0	23.9	24.1	49.6	.2	.6	.9	.3
20	02/05	2.3	205	12.1	13.0	6.4	141	34.2	23.9	10.0	137	53.6	1.4	2.9	12.1	25.8	52.9	24.8	21.5	44.2	.2	.5	1.2	.6
21	02/06	4.5	156	19.0	13.0	5.8	133	24.5	23.9	13.3	139	56.5	1.5	3.6	12.1	24.7	60.1	24.1	14.9	36.3	.2	.9	1.7	.4
22	02/07	7.4	147	39.7	12.1	5.5	120	29.3	26.0	5.8	146	31.1	6.3	16.0	12.1	22.0	55.3	26.0	11.4	28.7	.2	.5	1.9	.9
23	02/08	7.9	312	21.2	11.9	10.2	133	27.2	26.0	19.4	135	51.7	3.5	11.1	12.9	23.3	73.1	26.0	5.0	15.8	.4	3.8	4.6	.5
24	02/09	6.8	136	23.9	11.9	9.6	139	33.9	26.0	11.9	141	42.2	4.9	16.2	12.4	19.0	62.1	26.0	6.6	21.6	.5	1.8	2.9	.8
25	02/10	4.4	144	23.5	11.9	8.5	132	45.1	26.0	6.0	143	31.5	3.2	10.1	12.3	14.5	45.6	26.0	14.1	44.4	.6	.4	1.0	1.4
26	02/11	.4	172	3.6	13.0	4.8	132	45.2	23.9	5.4	132	51.2	3.3	8.8	12.0	14.5	38.1	26.0	20.2	53.1	.3	.3	.7	.9
27	02/12	1.4	311	5.0	11.9	8.6	130	31.1	26.0	17.7	137	63.9	3.9	8.5	11.9	13.9	30.0	26.0	28.4	61.5	.6	.6	.5	.5
28	02/13	.5	160	1.7	12.9	12.0	136	42.2	24.3	15.9	135	56.1	1.0	1.7	11.9	22.0	37.3	26.0	35.9	61.0	.5	.4	.6	.8
29	02/14	1.6	246	5.6	13.0	5.8	112	20.4	23.9	21.0	140	74.0	12.1	17.1	11.9	23.2	32.9	26.0	35.2	50.0	.3	.6	.7	.3
30	02/15	5.5	151	28.7	13.0	2.8	99	14.7	23.9	10.9	135	56.6	5.7	7.8	12.2	26.4	36.0	26.0	41.0	56.1	.1	.3	.6	.3
31	02/16	4.1	280	17.4	13.0	3.2	120	13.6	23.9	16.4	132	69.0	1.1	1.7	12.3	29.3	44.1	26.0	36.0	54.2	.1	.5	.8	.2

File : KSIU-001.HA1

表3-2-4b　高雄ST-IB站每日平均流、半(全)日潮流橢圓及半(全)日潮位統計表

序號	日期 月/日	平均流 流速 A_0 (cm/s)	平均流 流向 (N°)	平均流 比率 (%)	半日潮流橢圓 週期 T_2(s)	半日潮流橢圓 半長軸 A_2 (cm/s)	半日潮流橢圓 軸向 (N°)	半日潮流橢圓 比率 (%)	全日潮流橢圓 週期 T_1(s)	全日潮流橢圓 半長軸 A_1 (cm/s)	全日潮流橢圓 軸向 (N°)	全日潮流橢圓 比率 (%)	平均潮位 a_0 (cm)	平均潮位 比率 (%)	半日潮 週期 t_2(s)	半日潮 振幅 a_2 (cm)	半日潮 比率 (%)	全日潮 週期 t_1(s)	全日潮 振幅 a_1 (cm)	全日潮 比率 (%)	比值 R_2 A_2/a_2	比值 R_1 A_1/a_1	比值 R_3 a_2/a_1	比值 R_4 A_2/A_1
1	01/17	11.3	116	25.9	13.0	7.7	112	17.5	24.1	24.8	139	56.6	1.7	2.4	12.2	28.6	41.2	26.0	39.1	56.3	.3	.6	.7	.3
2	01/18	7.6	94	17.1	13.0	7.6	126	17.1	23.9	29.3	132	65.8	3.8	5.3	12.2	26.9	37.4	24.8	41.2	57.3	.3	.7	.7	.3
3	01/19	5.4	39	13.4	11.9	7.1	174	17.7	24.3	27.6	136	68.9	2.7	3.9	12.3	26.3	37.3	24.6	41.5	58.8	.3	.7	.6	.3
4	01/20	7.0	347	15.9	12.0	14.7	156	33.4	26.0	22.4	136	50.7	2.6	3.7	13.0	29.2	42.0	24.1	37.7	54.3	.5	.6	.8	.7
5	01/21	7.0	319	17.4	12.1	12.0	143	29.8	26.0	21.2	132	52.8	1.9	3.0	13.0	30.7	48.4	24.1	30.9	48.7	.4	.7	1.0	.6
6	01/22	4.2	310	15.1	13.0	8.4	153	30.2	26.0	15.2	131	54.7	.2	.3	13.0	30.7	55.9	23.9	24.0	43.7	.3	.6	1.3	.6
7	01/23	8.2	337	43.5	11.9	7.3	118	38.8	23.9	3.3	65	17.7	4.0	8.7	13.0	28.6	62.0	23.9	13.5	29.3	.3	.2	2.1	2.2
8	01/24	10.3	103	35.0	11.9	11.8	154	39.8	26.0	7.4	158	25.2	4.5	14.2	12.8	21.7	68.0	23.9	5.7	17.7	.5	1.3	3.8	1.6
9	01/25	6.6	60	30.0	11.9	12.1	138	55.1	23.9	3.3	144	14.9	.3	1.3	12.5	16.7	69.4	26.0	7.0	29.3	.7	.5	2.4	3.7
10	01/26	7.1	335	23.2	12.7	9.8	139	32.0	26.0	13.7	128	44.9	1.0	3.2	12.2	14.4	45.0	26.0	16.6	51.9	.7	.8	.9	.7
11	01/27	2.1	353	6.4	11.9	9.9	143	29.6	24.7	21.4	129	64.0	3.6	9.0	11.9	14.3	35.9	26.0	22.0	55.1	.7	1.0	.7	.5
12	01/28	6.8	117	16.9	11.9	8.0	135	19.9	24.9	25.3	135	63.2	3.8	7.9	11.9	15.0	31.1	26.0	29.6	61.0	.5	.9	.5	.3
13	01/29	3.5	113	9.6	11.9	9.4	149	25.5	25.3	24.0	134	64.9	3.9	7.5	11.9	16.3	31.8	26.0	31.2	60.7	.6	.8	.5	.4
14	01/30	7.3	125	19.1	13.0	5.3	104	13.9	25.1	25.8	134	67.0	7.2	13.3	11.9	16.6	30.7	26.0	30.3	56.0	.3	.9	.5	.2
15	01/31	4.6	61	14.8	11.9	7.7	147	24.8	23.9	18.7	128	60.4	3.9	7.0	12.0	18.0	32.5	26.0	33.5	60.4	.4	.6	.5	.4
16	02/01	1.6	14	5.9	11.9	5.1	144	18.0	26.0	21.4	132	76.1	5.3	9.2	11.9	20.6	35.5	24.2	32.1	55.3	.2	.7	.6	.2
17	02/02	7.9	143	26.9	13.0	6.2	121	21.1	23.9	15.3	138	52.0	4.7	8.3	12.1	21.7	38.2	25.0	30.3	53.5	.3	.5	.7	.4
18	02/03	7.5	131	29.4	13.0	5.8	115	22.9	23.9	12.2	137	47.7	.3	.6	12.3	21.7	42.2	25.1	29.3	57.1	.3	.4	.7	.5
19	02/04	2.8	23	13.3	13.0	5.9	115	27.8	26.0	12.4	130	58.9	2.1	4.4	12.2	22.3	46.0	23.9	24.1	49.6	.3	.5	.9	.5
20	02/05	1.7	41	11.2	13.0	6.6	131	43.8	23.9	6.8	128	45.0	1.4	2.9	12.1	25.8	52.9	24.8	21.5	44.2	.3	.3	1.2	1.0
21	02/06	3.2	136	20.0	13.0	3.5	122	22.1	23.9	9.1	139	57.9	1.5	3.6	12.1	24.7	60.1	24.1	14.9	36.3	.1	.6	1.7	.4
22	02/07	5.2	124	37.7	13.0	3.9	131	27.9	25.6	4.8	151	34.4	6.3	16.0	12.1	22.0	55.3	26.0	11.4	28.7	.2	.4	1.9	.8
23	02/08	5.1	326	18.6	11.9	8.9	136	32.5	26.0	13.5	132	49.0	3.5	11.1	12.9	23.3	73.1	26.0	5.0	15.8	.4	2.7	4.6	.7
24	02/09	3.1	137	14.7	11.9	7.4	124	34.5	26.0	10.8	135	50.8	4.9	16.2	12.4	19.0	62.1	26.0	6.6	21.6	.4	1.6	2.9	.7
25	02/10	3.7	117	19.8	11.9	9.8	131	53.0	26.0	5.0	146	27.2	3.2	10.1	12.3	14.5	45.6	26.0	14.1	44.4	.7	.4	1.0	2.0
26	02/11	.9	110	6.3	13.0	5.8	122	38.2	23.9	8.4	143	55.5	3.3	8.8	12.0	14.5	38.1	26.0	20.2	53.1	.4	.4	.7	.7
27	02/12	1.1	87	5.1	11.9	5.2	133	24.0	26.0	15.3	132	70.8	3.9	8.5	11.9	13.9	30.0	26.0	28.4	61.5	.4	.5	.5	.3
28	02/13	1.6	113	6.4	13.0	8.5	124	33.9	24.5	15.0	136	59.7	1.0	1.7	11.9	22.0	37.3	26.0	35.9	61.0	.4	.4	.6	.6
29	02/14	.7	62	3.0	13.0	3.7	121	16.2	23.9	18.7	133	80.8	12.1	17.1	11.9	23.2	32.9	26.0	35.2	50.0	.2	.5	.7	.2
30	02/15	3.9	119	20.3	13.0	4.4	115	22.8	23.9	10.9	138	57.0	5.7	7.8	12.2	26.4	36.0	26.0	41.0	56.1	.2	.3	.6	.4
31	02/16	3.9	346	18.2	13.0	3.7	70	17.1	23.9	14.0	141	64.6	1.1	1.7	12.3	29.3	44.1	26.0	36.0	54.2	.1	.4	.8	.3

File : KSIB-001.HA1

表3-2-4c 高雄ST-OU站每日平均流、半(全)日潮流橢圓及半(全)日潮位統計表

序號	日期 月/日	平均流 流速 (cm/s)	平均流 A_0流向 (N^0)	平均流 比率 (%)	半日潮流橢圓 週期 T_2(s)	半日潮流橢圓 半長軸 (cm/s)	半日潮流橢圓 A_2 軸向 (N^0)	半日潮流橢圓 比率 (%)	全日潮流橢圓 週期 T_1(s)	全日潮流橢圓 半長軸 (cm/s)	全日潮流橢圓 A_1 軸向 (N^0)	全日潮流橢圓 比率 (%)	平均潮位 a_0 (cm)	平均潮位 比率 (%)	半日潮 週期 t_2(s)	半日潮 振幅 (cm)	半日潮 a_2 比率 (%)	全日潮 週期 t_1(s)	全日潮 振幅 (cm)	全日潮 a_1 比率 (%)	比值 R_2 A_2/a_2	比值 R_1 A_1/a_1	比值 R_3 a_2/a_1	比值 R_4 A_2/A_1
1	01/17	8.7	135	28.8	13.0	3.2	61	10.6	26.0	18.3	141	60.5	1.7	2.4	12.2	28.6	41.2	26.0	39.1	56.3	.1	.5	.7	.2
2	01/18	20.7	145	32.7	11.9	5.7	173	9.0	26.0	36.9	143	58.3	3.8	5.3	12.2	26.9	37.4	24.8	41.2	57.3	.2	.9	.7	.2
3	01/19	21.6	151	33.8	11.9	12.5	170	19.6	26.0	29.8	152	46.6	2.7	3.9	12.3	26.3	37.3	24.6	41.5	58.8	.5	.7	.6	.4
4	01/20	6.5	156	17.3	13.0	10.1	4	26.7	26.0	21.1	150	56.0	2.6	3.7	13.0	29.2	42.0	24.1	37.7	54.3	.3	.6	.8	.5
5	01/21	9.6	329	26.6	12.2	10.8	172	30.1	26.0	15.6	138	43.4	1.9	3.0	13.0	30.7	48.4	24.1	30.9	48.7	.4	.5	1.0	.7
6	01/22	6.7	328	31.5	12.7	8.4	166	39.1	26.0	6.3	125	29.4	.2	.3	13.0	30.7	55.9	23.9	24.0	43.7	.3	.3	1.3	1.3
7	01/23	8.8	324	42.5	12.5	7.4	23	35.7	23.9	4.5	98	21.8	4.0	8.7	13.0	28.6	62.0	23.9	13.5	29.3	.3	.3	2.1	1.6
8	01/24	11.1	135	33.0	12.1	13.4	144	39.7	26.0	9.2	160	27.3	4.5	14.2	12.8	21.7	68.0	23.9	5.7	17.7	.6	1.6	3.8	1.5
9	01/25	13.8	146	37.0	12.1	15.0	146	40.2	26.0	8.4	159	22.7	.3	1.3	12.5	16.7	69.4	26.0	7.0	29.3	.9	1.2	2.4	1.8
10	01/26	4.1	39	11.8	11.9	11.6	141	33.5	24.1	18.9	149	54.7	1.0	3.2	12.2	14.4	45.0	26.0	16.6	51.9	.8	1.1	.9	.6
11	01/27	7.6	11	19.0	11.9	11.9	139	29.6	24.7	20.7	136	51.4	3.6	9.0	11.9	14.3	35.9	26.0	22.0	55.1	.8	.9	.7	.6
12	01/28	7.9	99	19.1	12.3	12.8	141	30.8	26.0	20.9	147	50.1	3.8	7.9	11.9	15.0	31.1	26.0	29.6	61.0	.9	.7	.5	.6
13	01/29	8.0	129	19.3	11.9	11.6	142	28.1	26.0	21.8	138	52.6	3.9	7.5	11.9	16.3	31.8	26.0	31.2	60.7	.7	.7	.5	.5
14	01/30	6.0	146	12.9	11.9	12.7	135	27.2	26.0	28.0	140	59.9	7.2	13.3	11.9	16.6	30.7	26.0	30.3	56.0	.8	.9	.5	.5
15	01/31	1.3	90	4.7	13.0	6.5	133	24.1	26.0	19.3	144	71.2	3.9	7.0	12.0	18.0	32.5	26.0	33.5	60.4	.4	.6	.5	.3
16	02/01	9.1	333	25.0	12.0	6.8	136	18.6	26.0	20.5	135	56.4	5.3	9.2	11.9	20.6	35.5	24.2	32.1	55.3	.3	.6	.6	.3
17	02/02	9.2	131	34.0	13.0	3.6	120	13.2	23.9	14.3	136	52.8	4.7	8.3	12.1	21.7	38.2	25.0	30.3	53.5	.2	.5	.7	.2
18	02/03	18.4	145	40.7	13.0	7.3	159	16.2	23.9	19.5	138	43.1	.3	.6	12.3	21.7	42.2	25.1	29.3	57.1	.3	.7	.7	.4
19	02/04	5.2	138	13.3	13.0	6.4	107	16.5	26.0	27.1	148	70.1	2.1	4.4	12.2	22.3	46.0	23.9	24.1	49.6	.3	1.1	.9	.2
20	02/05	5.5	322	25.2	13.0	6.2	139	28.0	23.9	10.3	128	46.7	1.4	2.9	12.1	25.8	52.9	24.8	21.5	44.2	.2	.5	1.2	.6
21	02/06	.6	190	2.9	13.0	7.5	115	34.4	23.9	13.7	136	62.7	1.5	3.6	12.1	24.7	60.1	24.1	14.9	36.3	.3	.9	1.7	.5
22	02/07	17.0	150	45.6	13.0	11.1	129	30.0	23.9	9.1	146	24.4	6.3	16.0	12.1	22.0	55.3	26.0	11.4	28.7	.5	.8	1.9	1.2
23	02/08	10.1	326	18.4	11.9	12.9	143	23.5	26.0	32.0	146	58.2	3.5	11.1	12.9	23.3	73.1	26.0	5.0	15.8	.6	6.4	4.6	.4
24	02/09	1.4	29	6.9	11.9	7.9	131	39.1	26.0	11.0	151	54.0	4.9	16.2	12.4	19.0	62.1	26.0	6.6	21.6	.4	1.7	2.9	.7
25	02/10	8.6	163	30.8	12.1	11.5	146	41.4	26.0	7.7	153	27.8	3.2	10.1	12.3	14.5	45.6	26.0	14.1	44.4	.8	.5	1.0	1.5
26	02/11	2.7	186	15.7	13.0	6.2	131	36.2	26.0	8.2	157	48.0	3.3	8.8	12.0	14.5	38.1	26.0	20.2	53.1	.4	.4	.7	.8
27	02/12	5.8	328	17.3	11.9	8.5	130	25.5	25.5	19.2	142	57.2	3.9	8.5	11.9	13.9	30.0	26.0	28.4	61.5	.6	.7	.5	.4
28	02/13	4.8	323	15.0	13.0	9.7	134	30.1	23.9	17.6	139	54.9	1.0	1.7	11.9	22.0	37.3	26.0	35.9	61.0	.4	.5	.6	.5
29	02/14	6.0	320	18.8	13.0	6.2	71	19.5	24.0	19.7	148	61.7	12.1	17.1	11.9	23.2	32.9	26.0	35.2	50.0	.3	.6	.7	.3
30	02/15	6.5	167	31.8	11.9	3.3	164	16.2	23.9	10.6	155	52.1	5.7	7.8	12.2	26.4	36.0	26.0	41.0	56.1	.1	.3	.6	.3
31	02/16	5.5	319	17.6	11.9	6.0	8	19.1	23.9	19.8	148	63.3	1.1	1.7	12.3	29.3	44.1	26.0	36.0	54.2	.2	.5	.8	.3

File : KSOU-001.HA1

表3-2-4d 高雄ST-OB站每日平均流、半(全)日潮流橢圓及半(全)日潮位統計表

序號	日期 月/日	平均流 流速 A_0 (cm/s)	平均流 流向 (N⁰)	平均流 比率 (%)	半日潮流橢圓 週期 T_2(s)	半日潮流橢圓 半長軸 (cm/s)	半日潮流橢圓 A_2 軸向 (N⁰)	半日潮流橢圓 比率 (%)	全日潮流橢圓 週期 T_1(s)	全日潮流橢圓 半長軸 (cm/s)	全日潮流橢圓 A_1 軸向 (N⁰)	全日潮流橢圓 比率 (%)	平均潮位 a_0 (cm)	平均潮位 比率 (%)	半日潮 週期 t_2(s)	半日潮 振幅 (cm)	半日潮 a_2 比率 (%)	全日潮 週期 t_1(s)	全日潮 振幅 (cm)	全日潮 a_1 比率 (%)	比值 R_2 A_2/a_2	比值 R_1 A_1/a_1	比值 R_3 a_2/a_1	比值 R_4 A_2/A_1
1	01/17	8.7	136	27.5	12.1	4.0	19	12.6	25.7	19.0	140	59.9	1.7	2.4	12.2	28.6	41.2	26.0	39.1	56.3	.1	.5	.7	.2
2	01/18	11.1	141	32.0	13.0	6.0	126	17.4	23.9	17.4	121	50.6	3.8	5.3	12.2	26.9	37.4	24.8	41.2	57.3	.2	.4	.7	.3
3	01/19	11.9	142	37.3	13.0	4.1	113	12.9	23.9	15.9	134	49.7	2.7	3.9	12.3	26.3	37.3	24.6	41.5	58.8	.2	.4	.6	.3
4	01/20	4.1	115	14.8	12.2	5.6	179	20.2	26.0	17.8	140	65.0	2.6	3.7	13.0	29.2	42.0	24.1	37.7	54.3	.2	.5	.8	.3
5	01/21	7.1	314	26.0	12.2	6.3	172	22.8	26.0	14.0	148	51.2	1.9	3.0	13.0	30.7	48.4	24.1	30.9	48.7	.2	.5	1.0	.4
6	01/22	6.7	311	40.0	11.9	5.5	156	33.3	26.0	4.4	131	26.7	.2	.3	13.0	30.7	55.9	23.9	24.0	43.7	.2	.2	1.3	1.2
7	01/23	8.7	320	44.9	13.0	7.4	35	38.4	23.9	3.2	104	16.6	4.0	8.7	13.0	28.6	62.0	23.9	13.5	29.3	.3	.2	2.1	2.3
8	01/24	7.7	132	27.2	13.0	11.1	154	39.2	26.0	9.5	155	33.7	4.5	14.2	12.8	21.7	68.0	23.9	5.7	17.7	.5	1.7	3.8	1.2
9	01/25	11.6	147	45.2	11.9	10.2	141	39.7	24.0	3.9	164	15.1	.3	1.3	12.5	16.7	69.4	26.0	7.0	29.3	.6	.6	2.4	2.6
10	01/26	3.7	303	12.9	11.9	10.8	136	38.1	24.7	13.9	147	49.0	1.0	3.2	12.2	14.4	45.0	26.0	16.6	51.9	.8	.8	.9	.8
11	01/27	4.2	346	13.6	11.9	10.1	151	32.7	25.3	16.5	135	53.6	3.6	9.0	11.9	14.3	35.9	26.0	22.0	55.1	.7	.7	.7	.6
12	01/28	4.0	104	12.0	12.0	9.6	148	28.8	26.0	19.8	136	59.2	3.8	7.9	11.9	15.0	31.1	26.0	29.6	61.0	.6	.7	.5	.5
13	01/29	4.6	104	13.2	11.9	10.5	147	30.4	26.0	19.5	144	56.4	3.9	7.5	11.9	16.3	31.8	26.0	31.2	60.7	.6	.6	.5	.5
14	01/30	6.2	120	17.5	11.9	8.5	159	24.3	26.0	20.4	140	58.2	7.2	13.3	11.9	16.6	30.7	26.0	30.3	56.0	.5	.7	.5	.4
15	01/31	.3	25	1.3	13.0	6.6	126	25.7	26.0	18.6	147	73.0	3.9	7.0	12.0	18.0	32.5	26.0	33.5	60.4	.4	.6	.5	.4
16	02/01	9.1	326	31.7	11.9	4.2	5	14.6	26.0	15.4	139	53.8	5.3	9.2	11.9	20.6	35.5	24.2	32.1	55.3	.2	.5	.6	.3
17	02/02	5.8	155	26.3	13.0	4.6	119	20.8	23.9	11.7	142	52.9	4.7	8.3	12.1	21.7	38.2	25.0	30.3	53.5	.2	.4	.7	.4
18	02/03	12.0	151	45.8	13.0	4.1	102	15.7	23.9	10.1	142	38.5	.3	.6	12.3	21.7	42.2	25.1	29.3	57.1	.2	.3	.7	.4
19	02/04	3.8	140	12.8	11.9	5.7	124	18.9	26.0	20.5	149	68.3	2.1	4.4	12.2	22.3	46.0	23.9	24.1	49.6	.3	.9	.9	.3
20	02/05	5.2	330	32.6	13.0	6.4	128	40.1	23.9	4.4	129	27.3	1.4	2.9	12.1	25.8	52.9	24.8	21.5	44.2	.2	.2	1.2	1.5
21	02/06	.6	291	5.0	13.0	4.6	135	40.3	23.9	6.3	142	54.8	1.5	3.6	12.1	24.7	60.1	24.1	14.9	36.3	.2	.4	1.7	.7
22	02/07	8.7	148	48.5	13.0	6.6	133	36.8	23.9	2.6	141	14.7	6.3	16.0	12.1	22.0	55.3	26.0	11.4	28.7	.3	.2	1.9	2.5
23	02/08	4.3	321	16.5	11.9	6.8	125	25.8	26.0	15.1	140	57.7	3.5	11.1	12.9	23.3	73.1	26.0	5.0	15.8	.3	3.0	4.6	.4
24	02/09	1.3	0	10.7	11.9	4.9	114	40.8	26.0	5.8	135	48.5	4.9	16.2	12.4	19.0	62.1	26.0	6.6	21.6	.3	.9	2.9	.8
25	02/10	5.0	143	34.2	11.9	5.3	125	35.9	26.0	4.4	138	29.9	3.2	10.1	12.3	14.5	45.6	26.0	14.1	44.4	.4	.3	1.0	1.2
26	02/11	3.1	154	28.8	13.0	3.7	117	34.2	26.0	4.0	143	37.0	3.3	8.8	12.0	14.5	38.1	26.0	20.2	53.1	.3	.2	.7	.9
27	02/12	2.6	333	15.3	11.9	4.3	124	25.2	25.6	10.2	141	59.4	3.9	8.5	11.9	13.9	30.0	26.0	28.4	61.5	.3	.4	.5	.4
28	02/13	2.5	337	13.5	13.0	5.8	133	32.1	23.9	9.9	138	54.4	1.0	1.7	11.9	22.0	37.3	26.0	35.9	61.0	.3	.3	.6	.6
29	02/14	3.9	329	25.1	13.0	1.5	116	10.0	23.9	10.1	136	64.9	12.1	17.1	11.9	23.2	32.9	26.0	35.2	50.0	.1	.3	.7	.2
30	02/15	3.6	123	33.0	13.0	2.8	110	25.5	23.9	4.5	146	41.5	5.7	7.8	12.2	26.4	36.0	26.0	41.0	56.1	.1	.1	.6	.6
31	02/16	3.3	329	18.6	13.0	3.6	108	20.2	23.9	10.9	146	61.2	1.1	1.7	12.3	29.3	44.1	26.0	36.0	54.2	.1	.3	.8	.3

File : KSOB-001.HA1

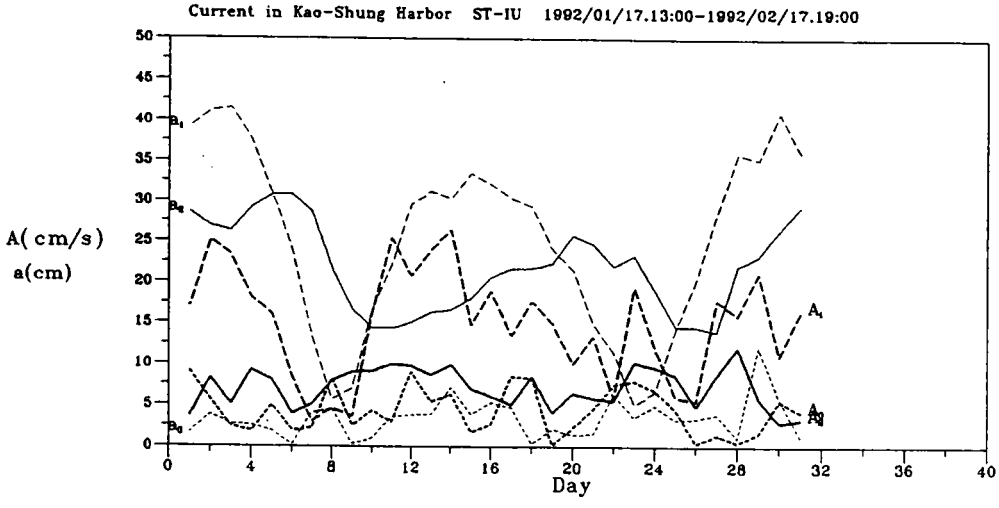


圖3-2-1a 第1次IU測站每日半(全)日潮汐振幅及潮流半長軸

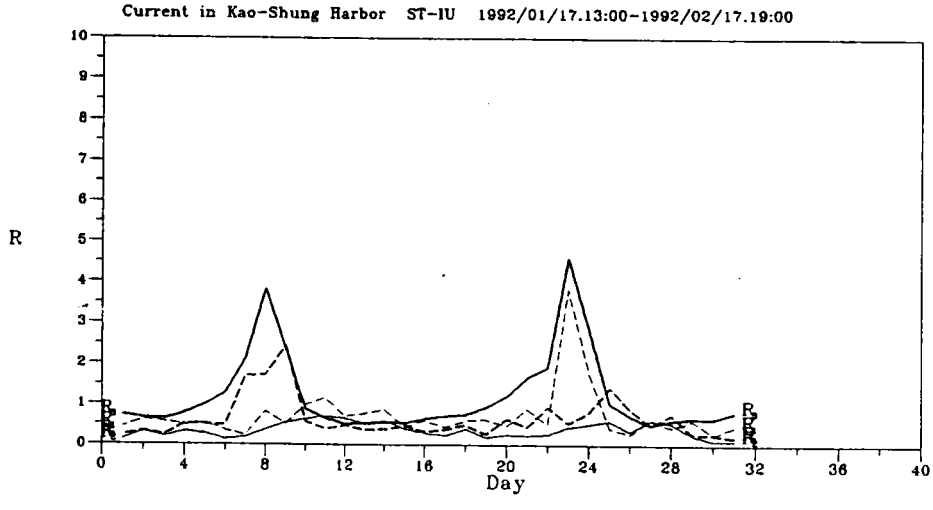


圖3-2-1b 第1次IU測站每日潮汐振幅及潮流半長軸相對比值

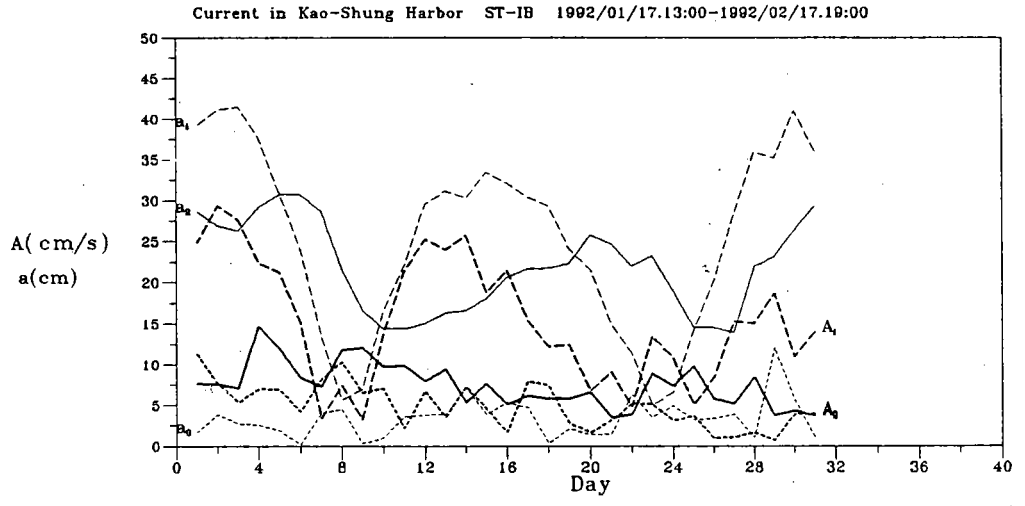


圖3-2-2a 第1次IB測站每日半(全)日潮汐振幅及潮流半長軸

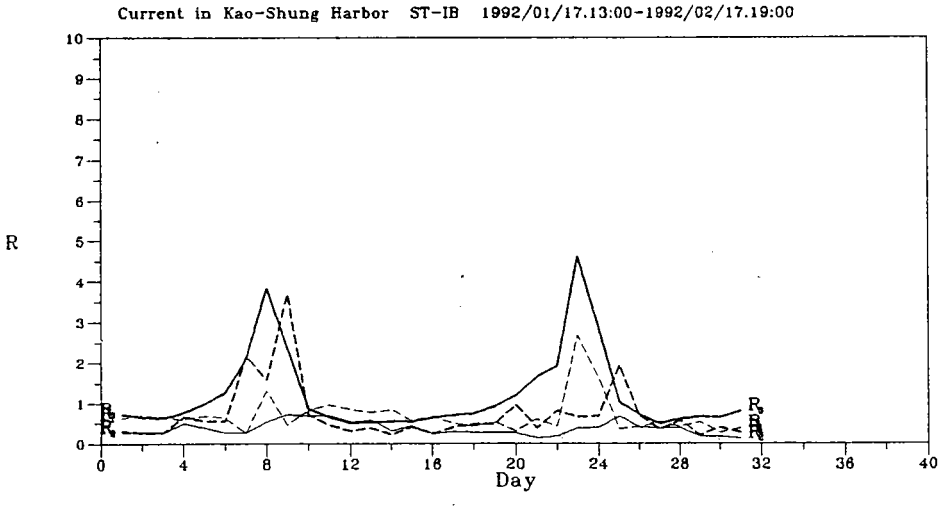


圖3-2-2b 第1次IB測站每日潮汐振幅及潮流半長軸相對比值

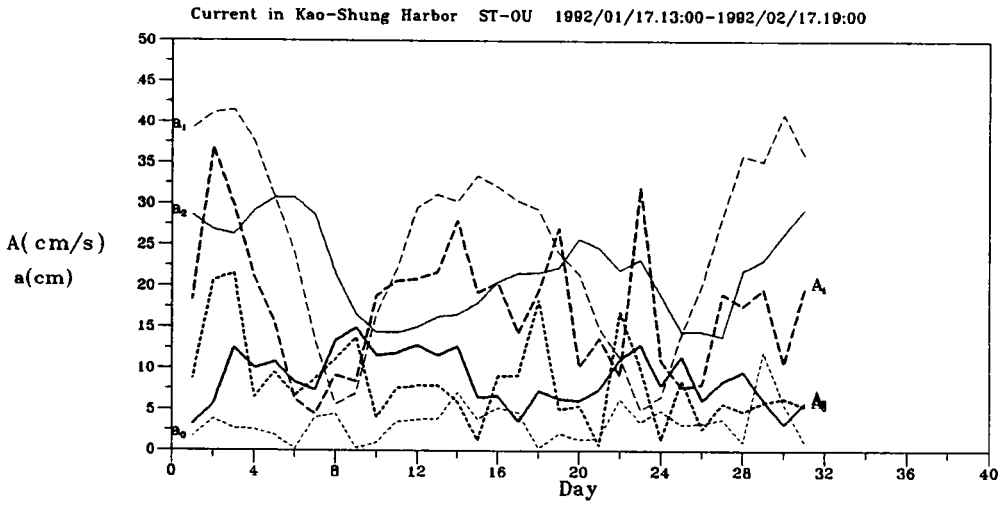


圖3-2-3a 第1次OU測站每日半(全)日潮汐振幅及潮流半長軸

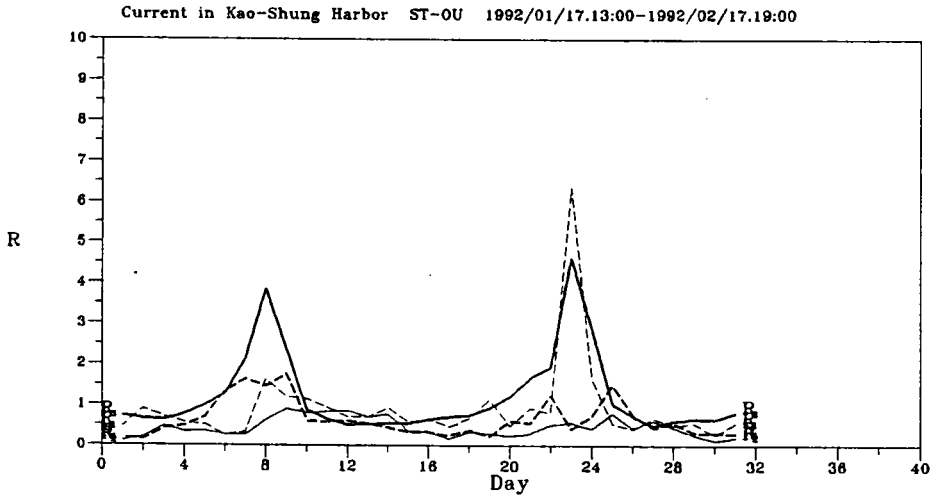


圖3-2-3b 第1次OU測站每日潮汐振幅及潮流半長軸相對比值

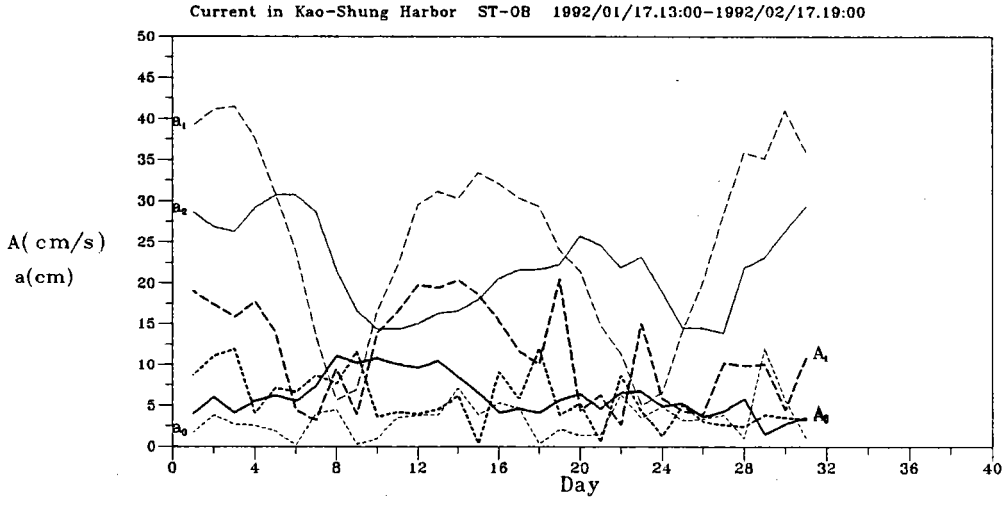


圖3-2-4a 第1次OB測站每日半(全)日潮汐振幅及潮流半長軸

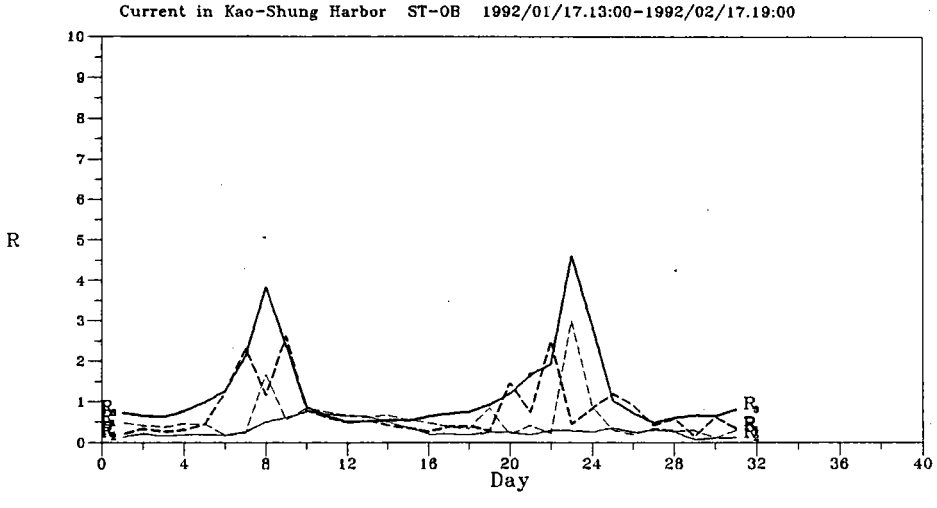


圖3-2-4b 第1次OB測站每日潮汐振幅及潮流半長軸相對比值

肆、高雄港港內海流特性

由於高雄港港內偶有發生撞船意外，疑爲海流產生之影響，多年來高雄港外近岸區雖然經有有甚多之海流觀測資料，但在港內之流況資料卻甚爲欠缺。因此爲了解港內流況以提供操船之需，本計畫特別加強港內流況之觀測工作。港內因船隻運動頻繁，儀器安置及觀測作業甚爲困難，爲避免船隻碰撞，儀器僅能安置於海底或靠碼頭處，或採用工作船以機動短時期觀測，又因船隻在港內頻繁運動產生之流體擾動改變流場甚大，觀測位置之選定及海流外力因素之過濾也甚爲重要。

高雄港港內之水體主要由一港口及二港口進出，因此一二港口之流況觀測爲重點之一，其次港內採機動短期觀測較全面性港區觀測也是方法之一。今將觀測分析結果敘述如后。

4-1　一港口及二港口處海流特性

本計畫爲了解一港口及二港口處海流進出港水體流動之情形，於1997年6月20日及1998年4月28日大潮期間，分別在一港口及二港口狹窄行道附近做28小時間海流及潮位觀測，觀測位置如附圖4-1-1，一港口海流儀安置於近內港口處之浮桶旁（水深約10米，儀器深約4米），以ST-S1表示。二港口海流儀安置於狹窄航道近東南側碼頭處（水深約20米，儀器深約15米），以ST-S2表示。二港口因無類似浮桶結構物可保護儀器，爲避免儀器受船隻或漁網破壞，特顧請船隻做28小時之守護。潮波儀則安置於同地點之海底處，表4-1-1爲海流及潮位資料蒐集統計表，記錄甚爲良好。

表3-1-2爲第一次於1997年6月20日（陰歷16日）在一港口站(ST-S1)及二港口站(ST-S2)逐時潮位、流速及流向報表。表中包括各站之平均流速及最大流速（流向）。一港口站(ST-S1)平均流速爲25cm/sec，二港口站(ST-S2)平均流速14cm/sec，相差高達約11cm/sec，一港口站平均流速較二港口站平均流速爲大。觀測期間最大流速一港口站爲54cm/sec，其流向爲平行航道之東南向（向港內）；二港口站(ST-S2)最大流速爲31cm/sec，其流向也平行航道之東北東（向港內）。

同樣表3-1-3爲第二次於1998年4月28日(陰歷3日)在一港口站(ST-S1)及二港口站(ST-S2)逐時潮位、流速及流向報表。表中包括各站之平均流速及最大流速(流向)。一港口站(ST-S1)平均流速爲24cm/sec，二港口站(ST-S2)平均流速7cm/sec，相差更高達約17cm/sec，一港口站平均流速遠較二港口站平均流速爲大。觀測期間最大流速一港口站爲55cm/sec，其流向爲平行航道之東南向(向港內)；二港口站(ST-S2)最大流速爲18cm/sec，其流向也平行航道之東北東(向港內)。

表4-1-1　一港口及二港口觀測潮位及海流資料統計表

序號	名稱	測站	資料檔名	啓止時間(年/月/日.時:～年/月/日.時:)	觀測天數	觀測筆數
1-1	海流	S1	CU9706S1.1HM	1997/06/20.10:～1997/06/21.13:	2	28
2-1	海流	S2	CU9706S2.1HM	1997/06/20.12:～1997/06/21.13:	2	26
2-1	潮位	S1	TI9804S1.1HM	1998/04/28.09:～1998/04/29.14:	2	31
2-2	潮位	S2	TI9804S2.1HM	1998/04/28.11:～1998/04/29.15:	2	28
2-3	海流	S1	CU9804S1.1HM	1998/04/28.09:～1998/04/29.14:	2	31
2-4	海流	S2	CU9804S1.1HM	1998/04/28.11:～1998/04/29.15:	2	28

一港口站(ST-S1)及二港口站(ST-S2)之海流之流速(cm/sec)，流向(去向)、東西分量流速(U-comp)，南北分量流速(V-comp)，沿岸分量流(A-comp)、向離岸分量流速(C-comp)、流向量(流矢)及潮位變化圖，如附圖3-1-2。此處沿著一港口航道之方向約爲東南及西北走向，沿著二港口航道之方向約爲西南及東北走向，逐時流向變化圖(如附圖3-1-1),顯示一港口站(ST-S1)及二港口站(ST-S2)之流向幾乎相反,如再與潮位變化比較,則可明顯看出大部份時間,漲潮時海流由一港口向內流(東南向),此時二港口之海流則向港外流(西南向)。當在退潮時段,一港口之流向爲向外(西北向),二港口之海流向港內流動(東北向),其他則僅在轉潮部份時段時,有同進或同出之流況發生。

經分析比較港內與外海之流向特性,可發現在漲潮時高雄港外近岸地區流向爲東南,此時港內流動順著外海之主要流動方面影響,從一港口進入,而由二港口出海。在退潮時,港外近岸區流向爲西北,此時港內流動也順著外海主要流向,由二港口進入,而從一港口出海。

Kao-Hsiung Harbor

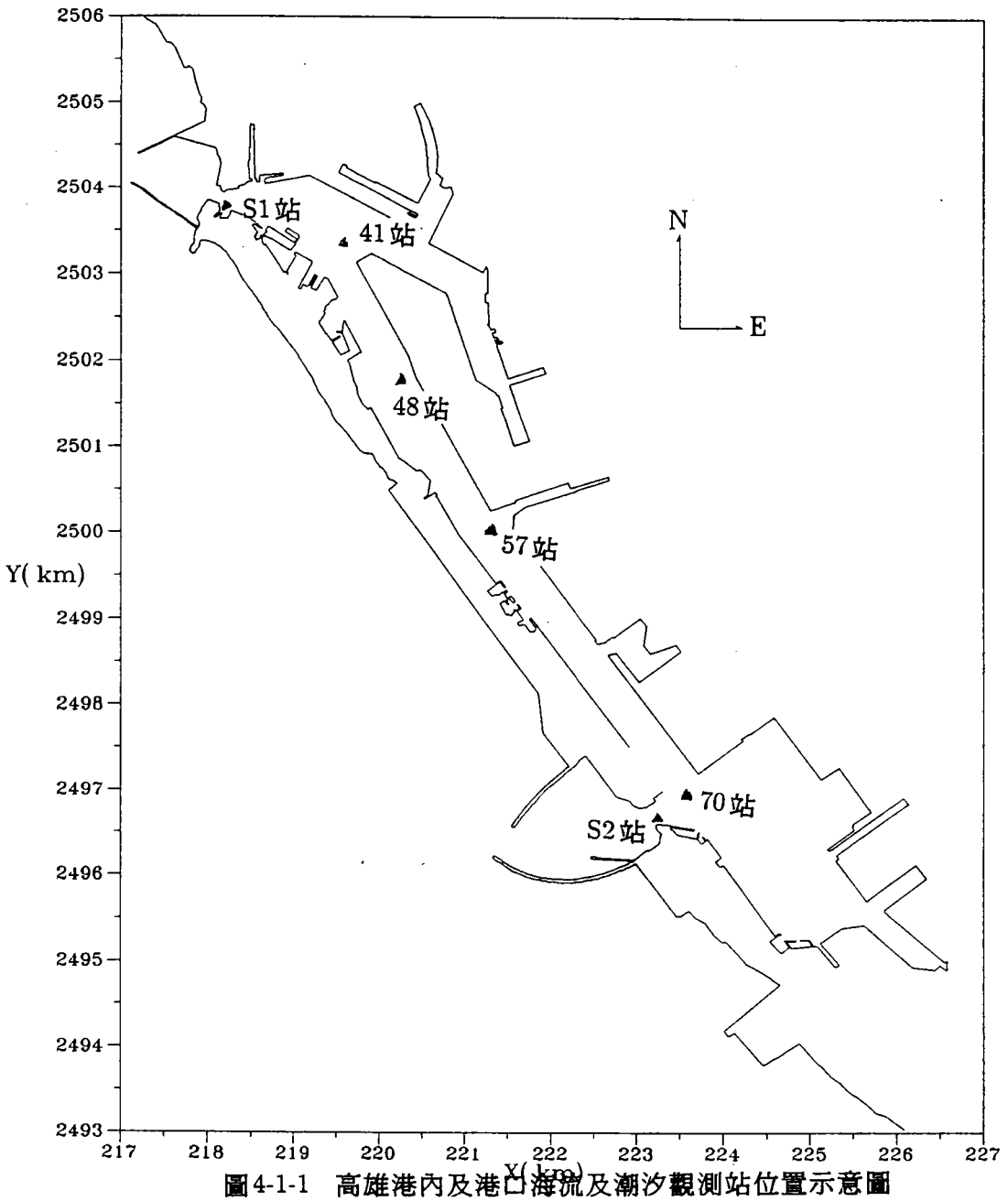


圖4-1-1 高雄港內及港口海流及潮汐觀測站位置示意圖

KSA1.BOU	Institute of Harbor & Marine Technology

PLBB1V.FOR 1996.7.7

表4-1-2　高雄S1測站及S2測站逐時海流及潮位之觀測值

1997年6月20日10時0分～1997年6月21日13時0分

序號	時間 年/月/日.時:分	S1測站 流速 (cm/s)	S1測站 流向 (去向)	S2測站 流速 (cm/s)	S2測站 流向 (去向)	#2 潮位 (cm)	#1 潮位 (cm)
1	1997.06/20.10:00	18.2	NW	*	*	-2	*
2	1997.06/20.11:00	17.2	NW	*	*	0	*
3	1997/06/20.12:00	11.8	WNW	10.1	WSW	-19	-21
4	1997/06/20.13:00	16.3	ENE	20.2	W	-31	-32
5	1997/06/20.14:00	29.6	SE	19.6	W	-36	-39
6	1997/06/20.15:00	38.3	SE	18.8	W	-37	-39
7	1997/06/20.16:00	27.8	SE	12.9	W	-30	-31
8	1997/06/20.17:00	6.7	SSE	2.9	N	-18	-20
9	1997/06/20.18:00	9.6	NW	14.3	ENE	-11	-13
10	1997/06/20.19:00	17.6	NW	6.9	ENE	-6	-3
11	1997/06/20.20:00	8.6	NW	30.9	ENE	0	-1
12	1997/06/20.21:00	8.8	WNW	21.7	ENE	-1	-2
13	1997/06/20.22:00	22.5	NE	10.5	W	-6	-8
14	1997/06/20.23:00	34.2	ENE	14.9	W	-10	-12
15	1997/06/21.00:00	37.0	SE	19.8	W	-13	-15
16	1997/06/21.01:00	54.1	SE	24.5	W	-11	-12
17	1997/06/21.02:00	51.2	SE	25.4	W	-3	-6
18	1997/06/21.03:00	39.2	SE	19.5	W	5	4
19	1997/06/21.04:00	20.5	SE	6.2	WNW	20	18
20	1997/06/21.05:00	19.4	ENE	17.2	NE	38	35
21	1997/06/21.06:00	10.0	N	12.4	ENE	48	46
22	1997/06/21.07:00	31.1	WNW	16.8	E	53	51
23	1997/06/21.08:00	34.4	WNW	12.4	ENE	53	51
24	1997/06/21.09:00	34.7	WNW	2.6	NE	43	43
25	1997/06/21.10:00	33.8	WNW	5.0	NE	25	26
26	1997/06/21.11:00	31.5	WNW	7.9	ENE	3	9
27	1997/06/21.12:00	21.0	NW	5.6	NE	-14	-9
28	1997/06/21.13:00	7.1	NW	10.0	W	-30	-23
平均值(cm/sec)		25.3	**	14.2	**	0	0
最大值(cm/sec)		54.1	SE	30.9	ENE	53	51
最小值(cm/sec)		6.7	SSE	2.6	NE	-37	-39

[註1]: S1測站流速平均值＝25.3cm/sec，最大流速＝54.1cm/sec，其流向爲SE。

[註2]: S2測站流速平均值＝14.2cm/sec，最大流速＝30.9cm/sec，其流向爲ENE。

[註3]: 每小時記錄一次,資料計28筆。

CU970601.1HY

表4-1-3　高雄S1測站及S2測站逐時海流及潮位之觀測值

1998年4月28日9時0分～1998年4月29日15時0分

序號	時間 年/月/日.時:分	S1測站 流速 (cm/s)	S1測站 流向 (去向)	S2測站 流速 (cm/s)	S2測站 流向 (去向)	S1測站 潮位 (cm)	S2測站 潮位 (cm)
1	1998.04/28.09:00	27.7	NW	*	*	41	*
2	1998.04/28.10:00	31.3	NW	*	*	38	*
3	1998.04/28.11:00	45.9	NW	8.7	W	18	22
4	1998.04/28.12:00	39.5	NW	1.9	SW	-1	-2
5	1998.04/28.13:00	24.9	NW	18.2	ENE	-20	-19
6	1998.04/28.14:00	22.1	WNW	2.5	WSW	-37	-38
7	1998.04/28.15:00	1.7	SE	5.6	W	-43	-44
8	1998.04/28.16:00	16.5	SE	3.1	WNW	-42	-42
9	1998.04/28.17:00	55.1	SE	1.4	SSE	-35	-37
10	1998.04/28.18:00	53.2	SE	2.5	SE	-21	-26
11	1998.04/28.19:00	21.3	SE	1.9	ESE	-6	-8
12	1998.04/28.20:00	6.1	ESE	2.8	ESE	3	0
13	1998.04/28.21:00	1.4	SSW	15.7	E	9	7
14	1998.04/28.22:00	17.1	WNW	14.0	E	9	10
15	1998.04/28.23:00	31.1	NW	7.3	ENE	3	6
16	1998.04/29.00:00	34.7	NW	14.5	ENE	-5	-2
17	1998.04/29.01:00	28.8	WNW	8.7	E	-12	-12
18	1998.04/29.02:00	1.4	WSW	1.4	SSE	-14	-15
19	1998.04/29.03:00	18.5	SE	2.8	SW	-13	-15
20	1998.04/29.04:00	31.1	SE	3.6	SW	-7	-8
21	1998.04/29.05:00	37.2	SE	4.2	WSW	6	5
22	1998.04/29.06:00	20.7	SE	7.0	ESE	22	21
23	1998.04/29.07:00	25.5	SE	4.7	W	36	40
24	1998.04/29.08:00	6.7	ESE	9.8	SE	49	50
25	1998.04/29.09:00	6.1	ESE	13.7	E	52	53
26	1998.04/29.10:00	12.3	NW	8.7	ESE	43	46
27	1998.04/29.11:00	22.7	WNW	2.8	SE	32	34
28	1998.04/29.12:00	32.5	NW	6.7	ESE	14	16
29	1998.04/29.13:00	32.5	WNW	3.9	E	-7	-7
30	1998.04/29.14:00	26.3	WNW	9.8	E	-22	-23
31	1998.04/29.15:00	10.1	NW	*	*	-37	*
平均值(cm/sec)		24.0	**	6.7	**	0	0
最大值(cm/sec)		55.1	SE	18.2	ENE	52	53
最小值(cm/sec)		1.4	SSW	1.4	SSE	-43	-44

[註1]: S1測站流速平均值＝24.0cm/sec，最大流速＝55.1cm/sec，其流向爲SE。

[註2]: S2測站流速平均值＝6.7cm/sec，最大流速＝18.2cm/sec，其流向爲ENE。

[註3]: 每小時記錄一次,資料計31筆。

CU980401.1HY

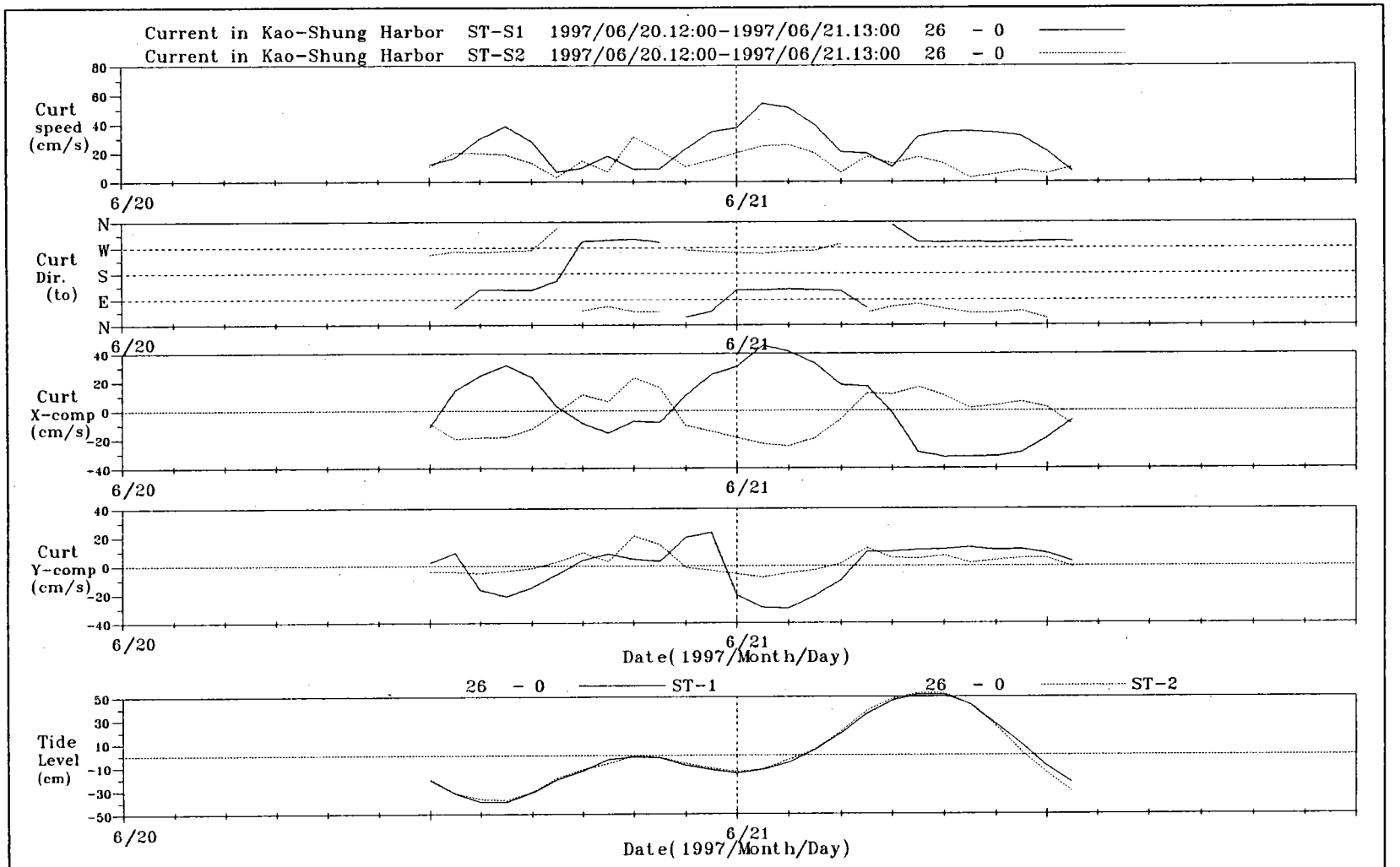


圖4-1-2a 1997年6月一港口S1站及二港口S2站逐時流速、流向、東西分量、南北分量及潮位變化圖

CU9706S1.1HX CU9706S2.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

PLCT2H.FOR

1998.6.30

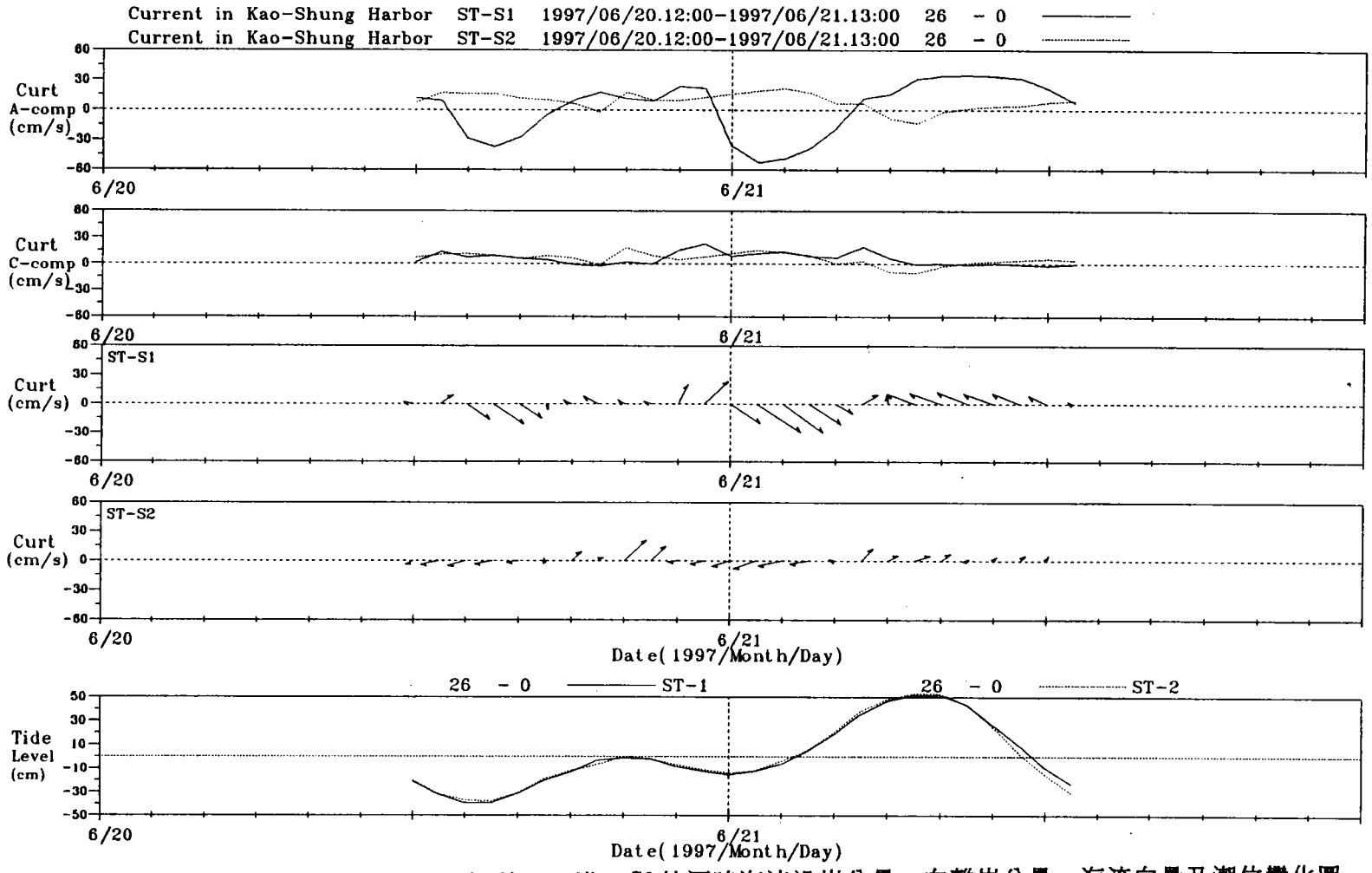


圖4-1-2b 1997年6月一港口S1站及二港口S2站逐時海流沿岸分量、向離岸分量、海流向量及潮位變化圖

CU9706S1.1HX CU9706S2.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

PLCY2H.FOR

1998.6.30

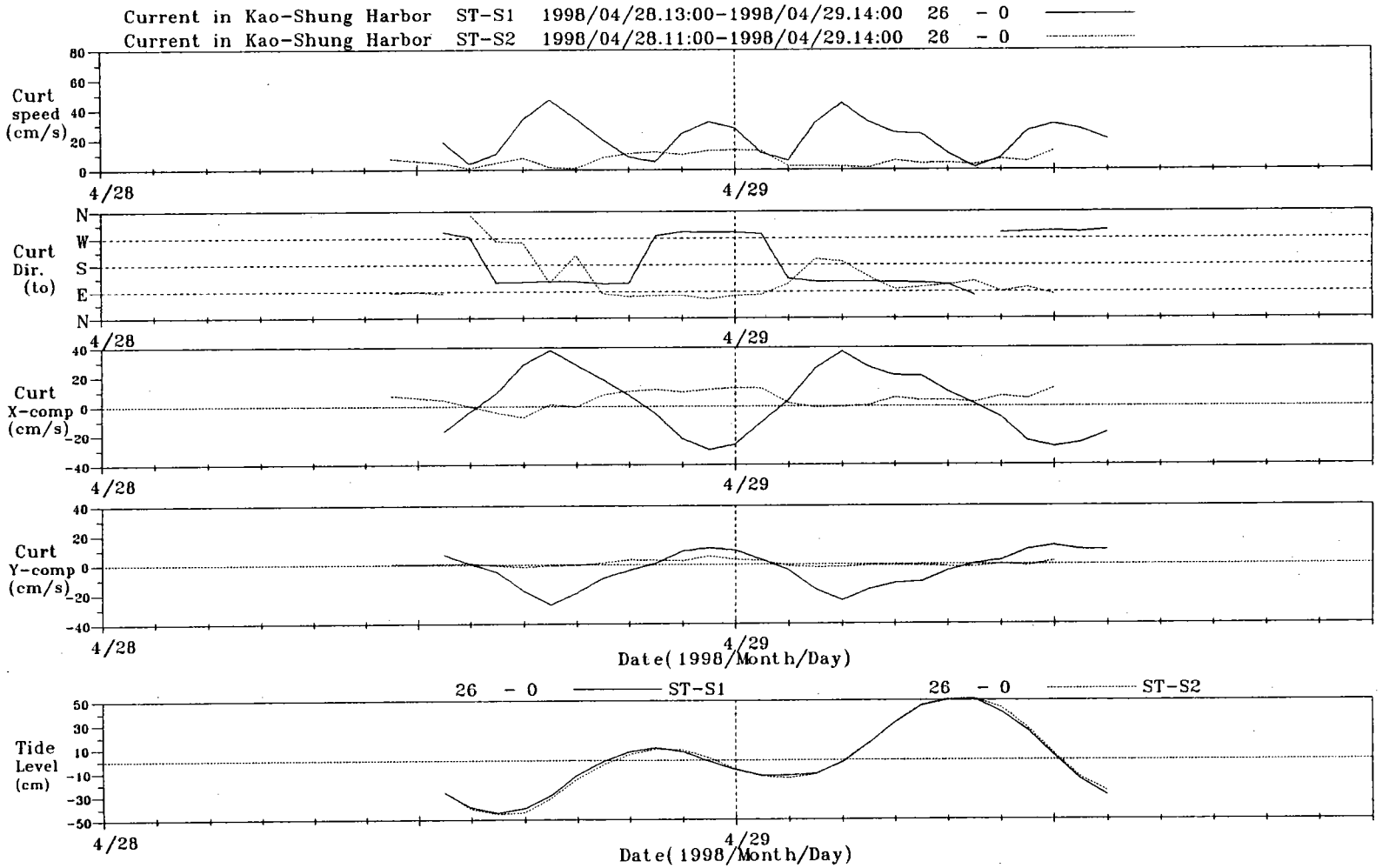


圖4-1-3a 1998年4月一港口S1站及二港口S2站逐時流速、流向、東西分量、南北分量及潮位變化圖

CU9804S1.1HX CU9804S2.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

PLCT2H.FOR 1998.6 .30

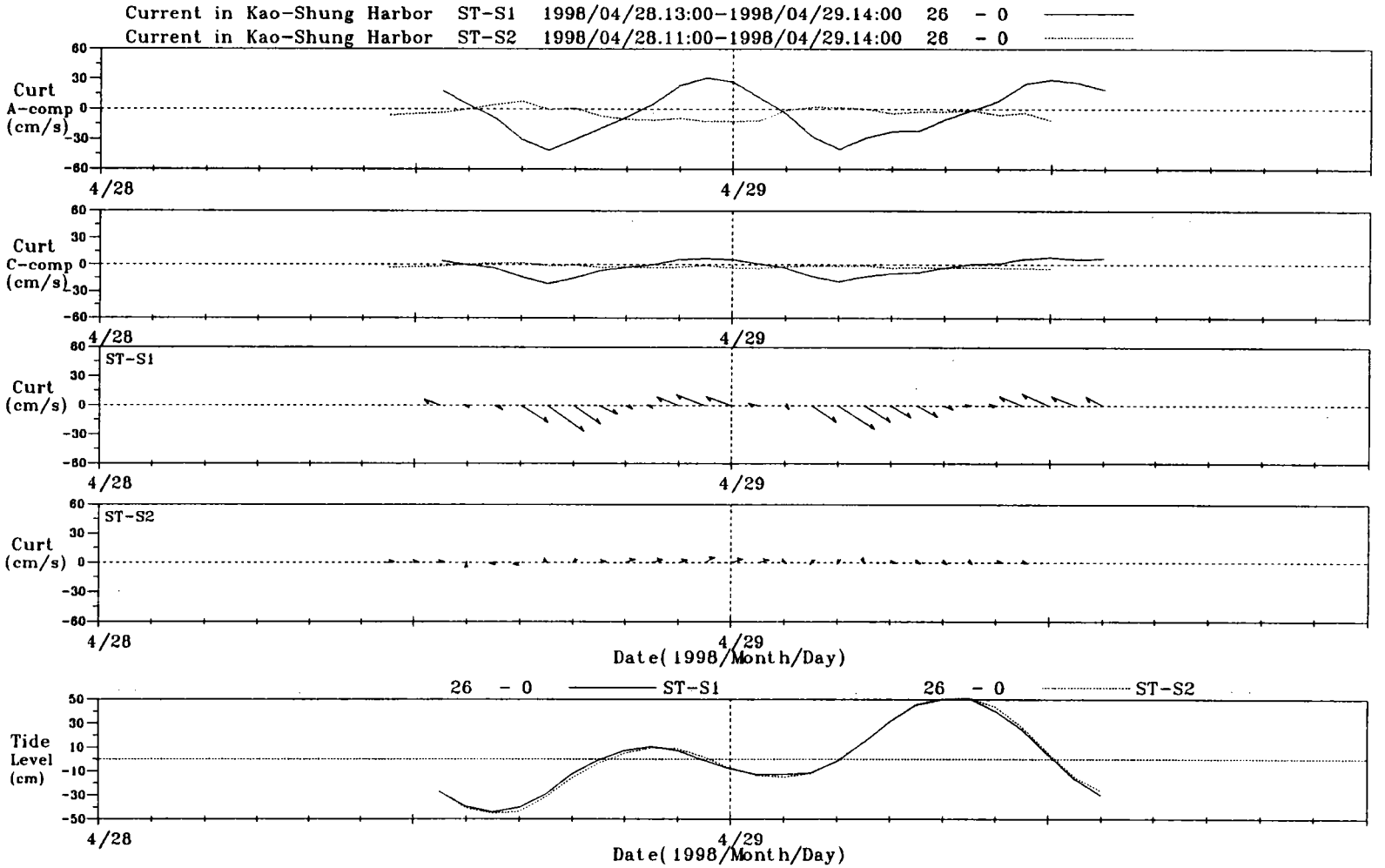


圖4-1-3b 1998年4月一港口S1站及二港口S2站逐時海流沿岸分量、向離岸分量、海流向量及潮位變化圖

CU9804S1.1HX CU9804S2.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

PLCY2H.FOR 1998.6.30

4-2 港內海流特性

1997年中山大學在高雄港港內設了4個海流測站，其相關位置如附圖4-1-1所示。測站41位於41號碼頭外測主航道附近，測站48位於48號碼頭外測主航道附近，測站57位於57號碼頭外測主航附近，亦即前前鎮河口處；測站70位於70號碼頭外測主航道附近，亦即在二港口迴船池附近。各測站之水深41站約爲12.8米，48站約爲11.6米，57站約爲13.3米，48站約爲16.2米。觀測儀器爲自記都卜勒剖流儀(Acoustic Doppler Current Profiler), ADCP。ADCP可量測海底上方1米到海面下方約2米間之流場(每格0.5米計錄一點資料)。此處僅取上、中兩層做分析，其資料統計如附表4-2-1。其儀器深度，41站分別爲水面下3.3米及7.3米二層資料，48站分別爲水面下2.5米及6.5米二層資料，57站分別爲水面下3.8米及7.8米二層資料，70站分別爲水面下5米及10米二層資料。

表4-2-1 高雄港港內觀測海流資料統計表

序號	測站	資料檔名	啓止時間(年/月/日.時:分～月/日.時:分)	觀測天數	觀測筆數
1-1	41-01	CUKS4101.1HM	1997/07/21.16:00～07.15:00	18	408
1-2	41-10	CUKS4110.1HM	1997/07/21.16:00～07.15:00	18	408
2-1	48-01	CUKS4801.1HM	1997/07/15.13:00～21.12:00	7	144
2-2	48-09	CUKS4809.1HM	1997/07/15.13:00～21.12:00	7	144
3-1	57-01	CUKS5701.1HM	1997/08/12.15:00～19.11:00	8	165
3-2	57-10	CUKS5710.1HM	1997/08/12.15:00～19.11:00	8	165
4-1	70-01	CUKS7001.1HM	1997/08/19.14:00～20.11:00	2	22
4-2	70-11	CUKS7011.1HM	1997/08/19.14:00～20.11:00	2	22

附錄表C-1～4爲觀測資料在各站(ST-48,ST-41,ST-57及ST-70)逐時、流速(cm/sec)及流向(去向)及一港口(ST-1)、二港口(ST-2)潮位報表。經統計4測站上中兩層其平均流速，最大流速(流向)如表4-2-2, ST-48上層平均流速爲8.1cm/sec，中層平均流速爲10.5cm/sec；ST-41上層平均流速爲4.7 cm/sec，中層平均流速爲8.7cm/sec；ST-57上層平均流速爲6.7cm/sec，中層平均流速爲10.8cm/sec；ST-70上層平均流速爲7.5cm/sec，中層平均流速爲6.6cm/sec；一般而言各站之平均流速皆小於10 cm/s,中層流速反較上層流速爲大。最大流速ST-48上層爲23cm/sec(流向NNW)，下層爲28cm/sec(流向NNW)；最大流速

ST-41上層爲33cm/sec(流向SE)，下層爲33cm/sec(流向SE)；最大流速ST-48上層爲17cm/sec(流向NNW)，下層爲26cm/sec(流向N)；最大流速ST-48上層爲15cm/sec(流向WSW)，下層爲17cm/sec(流向ENE)。

表 4-2-2 高雄港48,41,57,70等測站海流平均流速及最大流速(向)統計表

		上層		下層		
序號	測站	平均流速 (cm/s)	最大流速(流向) (cm/s) (去向)	平均流速 (cm/s)	最大流速(流向) (cm/s) (去向)	觀測時數
1	48	8.1	23.0(NNW)	10.5	28.1(NNW)	144
2	41	4.7	33.3(SE)	8.7	33.1(SE)	408
3	57	6.7	17.1(NNW)	10.8	26.1(N)	165
4	70	7.5	14.6(WSW)	6.6	17.1(ENE)	22

港內各站(ST-41,ST-48,ST-57及ST-70)之海流流速(cm/sec)，流向(去向)、東西分量流速(U-comp)，南北分量流速(V-comp)，沿岸分量流(A-comp)、向離岸分量流速(C-comp)、流向量(流失)及潮位變化圖，如附圖4-2-1及圖4-2-4。此處沿著航道之方向角經分析ST-48約爲北偏西26°，ST-41約爲北偏西52°，ST-57約爲北偏西37°。逐時流向變化圖則顯示,除ST-48流向明顯集中於西北向及東南向，ST-57流向明顯集中於西北向外，其他ST-41及ST-70測站流向較爲散亂。

潮汐資料此段期間(1997年6月,7月及8月)計有一港口(ST-1)及二港口(ST-2)等2站潮位變化如附圖4-2-5,圖中顯示二站潮位,或於ST-1有欠缺部份資料,或於ST-2有欠缺部份資料,因此將取有潮位資料之站作分析。

因爲ST-70站資料甚少,僅取ST-48,ST-51及ST-57各站上、中層不同時段之資料,以求得之潮流橢圓半長軸長度、長軸方向角等之能譜比較圖，如附圖4-2-6～圖4-2-8,其相關統計量則如附表4-2-3。能譜分析皆顯示海流主要爲半日潮流及全日潮流，ST-48及ST-41全日潮流較半日潮流爲大，ST-57全日潮流與半日潮流大小相近。在ST-57除半日潮流及全日潮流外其他成份也甚重要。

同樣探討潮汐及潮流之關係,圖4-2-9～圖4-2-14分別爲ST-48(上層及中層)、ST-41(上層及中層)及ST-57(上層及中層)之潮汐水位、潮流橢圓半長軸長

度、長軸方向角等之能譜圖。虛線部份爲潮汐水位之能譜之大小，實線部份爲潮流橢圓半長軸長度、長軸方向角之能譜之大小。潮汐能譜分析顯示主要由半日潮汐及全日潮汐組成,二者大小相近,有時半日潮僅略大於全日潮,有時全日潮僅略大於半日潮,但相差甚小。潮流主要也由半日潮流及全日潮流組成,全日潮流較半日潮流爲大。

港內各站(ST-48,ST-41及ST-57)平均半日(全日)潮流橢圓圖及半日(全日)潮汐水位變化圖，如附錄圖4-2-15～圖4-2-20。半日潮流之平均最大流速(即半軸長) ST-48上層爲10.3cm/sec，其軸向北偏西26°，中層爲13.8cm/sec，其軸向北偏西25°；ST-41上層爲3.3cm/sec，其軸向北偏西52°，中層爲8.8cm/sec，其軸向北偏西35°；ST-57上層爲3.9cm/sec，其軸向北偏西37°，中層爲5.4cm/sec，其軸向北偏西28°；全日潮流之平均最大流速(即半軸長) ST-48上層爲6.2cm/sec，其軸向北偏西26°，中層爲8.6cm/sec，其軸向北偏西25°；ST-41上層爲2.6cm/sec，其軸向北偏西53°，中層爲5.1cm/sec，其軸向北偏西51°；ST-57上層爲3.0cm/sec，其軸向北偏西32°，中層爲5.3cm/sec，其軸向北偏西24°。

海流主要成份爲全日週期及半日週期之潮流，潮流橢圓分析求得平均流之大小及方向(原點至橢圓中心點)(圖4-2-21～圖4-2-26)分別如下：ST-48上層爲2.1cm/s，流向爲北偏西23度，ST-48中層爲1.8cm/s，流向爲北偏西38度，ST-41上層爲3.2cm/s，流向爲南偏東30度，ST-41中層爲2.8cm/s，流向爲南偏東87度，ST-57上層爲5.2cm/s，流向爲北偏西37度，ST-57中層爲8.7cm/s，流向爲北偏西15度，顯示港內區除潮流外，其他平均流或殘餘流之影響有時也甚重要。港內4個測站之海流向量行進圖(圖A-3a～h)也顯示平均流大多數情形皆往西北方,少部份情形平均海流偏向東南或東北方。

本年度爲了解大潮時期,在漲潮或退潮期段,港內海流之流動方向及分佈情形,曾多次於港內採機動性短期海流觀測。觀測儀器採用本所超音波式海流儀,船隻則由高雄港務局工作船支援。觀測點約取10點,每個測站(在每一深度)觀測時間約爲2分鐘,記錄時間間格爲5秒,最後取平均值代表各點之流速,流向量大小分佈如附圖4-2-27～圖4-2-32。

在圖4-2-27,圖4-2-30及圖4-2-31分別爲退潮時段在不同位置(不同時間)之海流向量分佈圖,圖中明顯看出海流流向主要由二港口進,而由一港口出。圖4-2-28、圖4-2-29及圖4-2-32則分別爲漲潮期間在不同位置(不同時間)之海流向量分佈圖,圖中也顯示海流流向主要由一港口進入,而由二港口出來,一港口之流速較二港口流速爲大,此現象與在一、二港口處28小時觀測分析結果相同。除一港口處流速較大外,其他港內各點之流速皆小於15cm/sec,也顯示港內流速並不甚大。

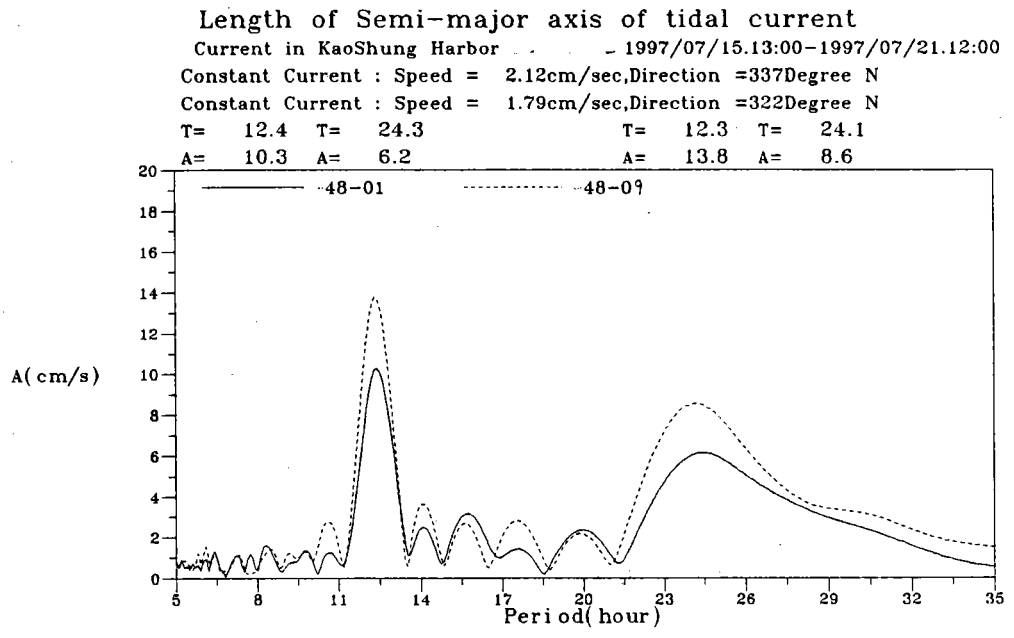


圖4-2-6a 7月份48-01及48-09站潮流橢圓半長軸長之能譜圖

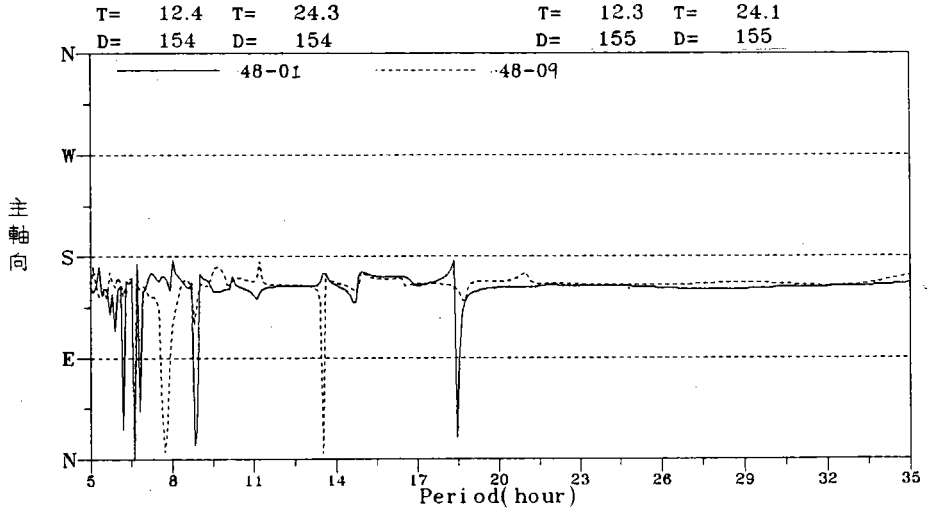


圖4-2-6b 7月份48-01及48-09站潮流橢圓長軸方向角譜圖

Current Spetrum in Kao-Shung

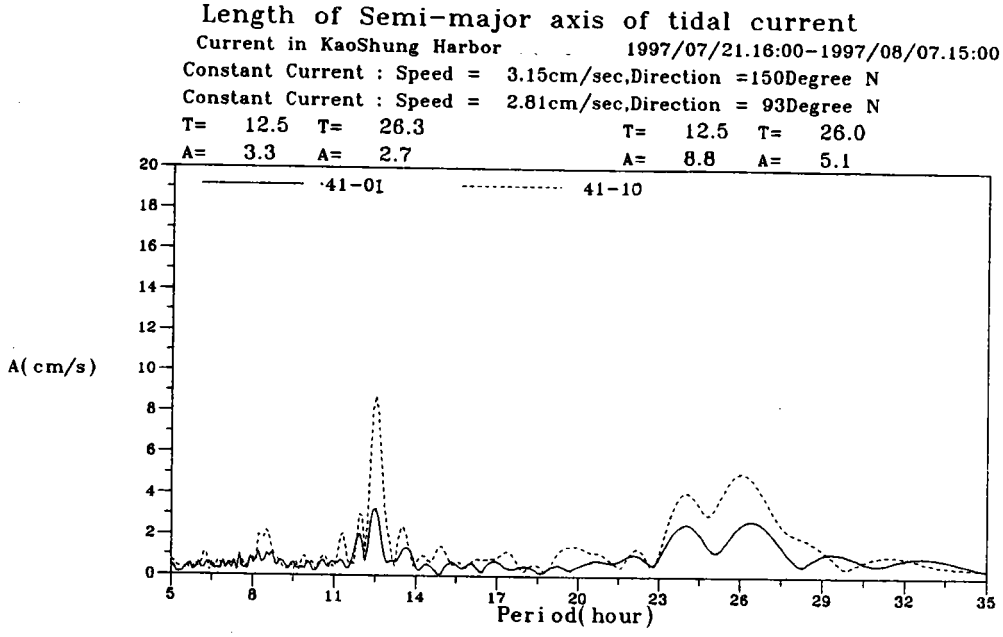


圖4-2-7a 8月份41-01及41-10站潮流橢圓半長軸長之能譜圖

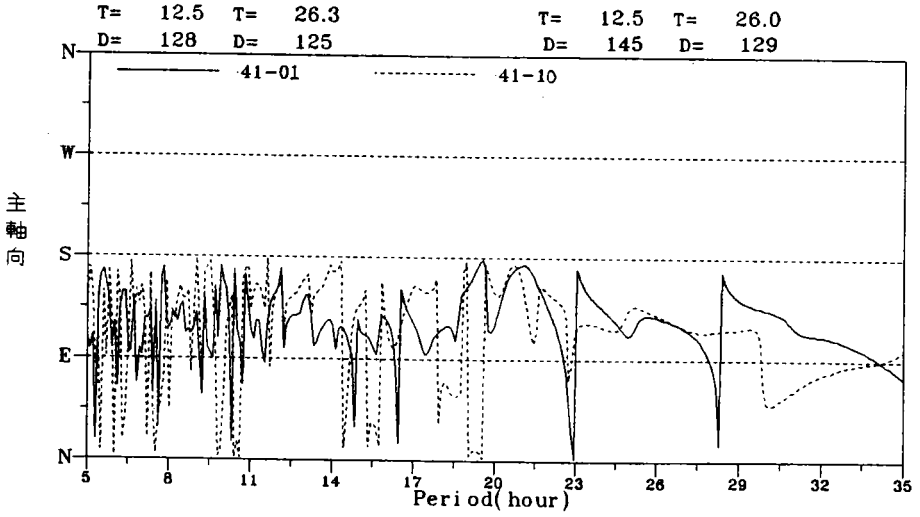


圖4-2-7b 8月份41-01及41-10站潮流橢圓長軸方向角譜圖

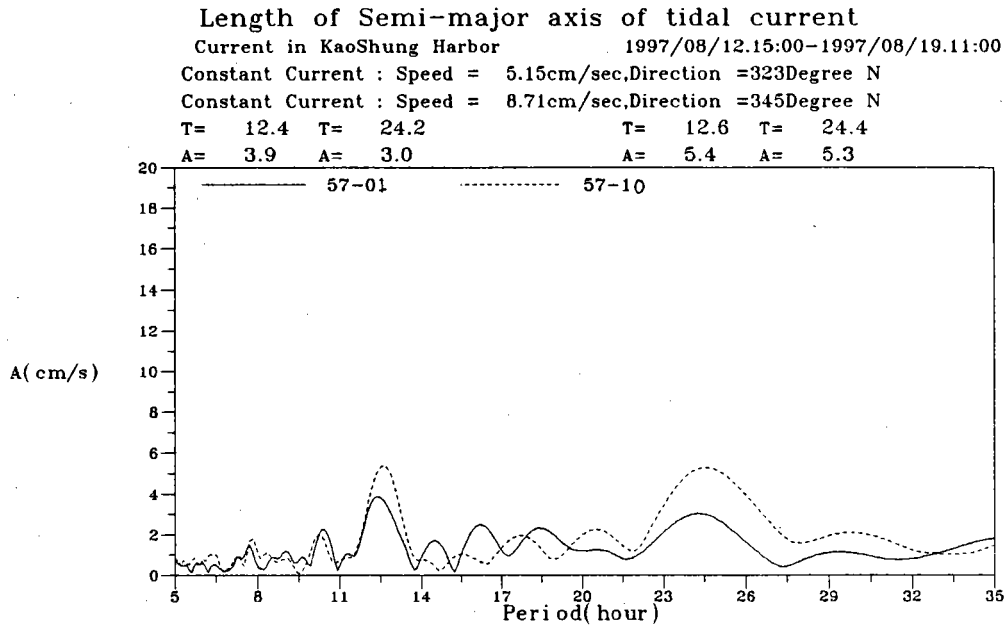


圖4-2-8a 8月份57-01及57-10站潮流橢圓半長軸長之能譜圖

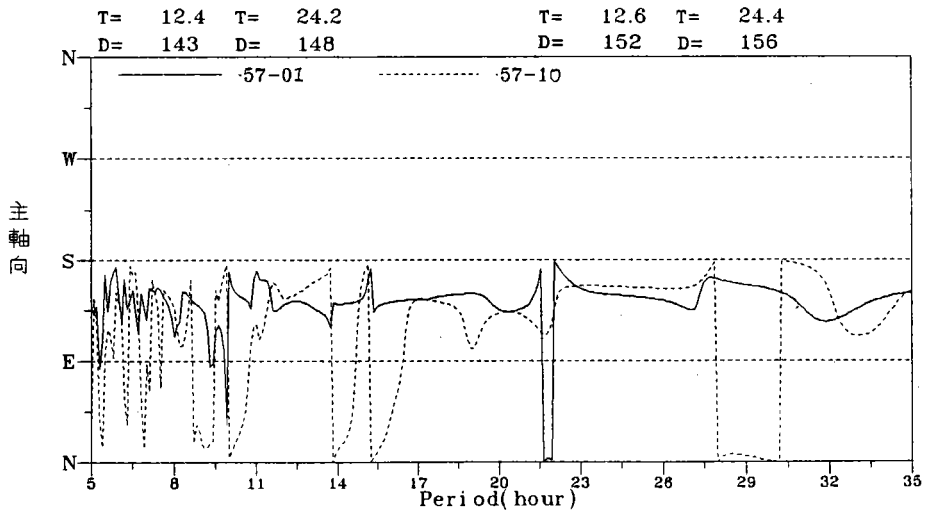


圖4-2-8b 8月份57-01及57-10站潮流橢圓長軸方向角譜圖

表4-2-3　高雄41,48及57測站平均流、半(全)日潮流橢圓及半(全)日潮位統計表

序號	檔案名稱	平均流			半日潮流橢圓				全日潮流橢圓				平均潮位		半日潮			全日潮			比值	比值	比值	比值
		流速 A_0 (cm/s)	流向 (N^0)	比率 (%)	週期 T_2(s)	半長軸 (cm/s)	A_2 軸向 (N^0)	比率 (%)	週期 T_1(s)	半長軸 (cm/s)	A_1 軸向 (N^0)	比率 (%)	a_0 (cm)	比率 (%)	週期 t_2(s)	振幅 (cm)	a_2 比率 (%)	週期 t_1(s)	振幅 (cm)	a_1 比率 (%)	R_2 A_2/a_2	R_1 A_1/a_1	R_3 a_2/a_1	R_4 A_2/A_1
1	CUKS4101.HAT	3.2	150	34.9	12.5	3.3	128	36.4	26.0	2.6	127	28.7	.0	.0	12.4	19.1	52.0	23.9	17.7	48.0	.2	.1	1.1	1.3
2	CUKS4110.HAT	2.8	93	16.9	12.5	8.8	145	52.6	26.0	5.1	129	30.5	.0	.0	12.4	19.1	52.0	23.9	17.7	48.0	.5	.3	1.1	1.7
3	CUKS4801.HAT	2.1	337	11.4	12.4	10.3	154	55.4	24.4	6.2	154	33.2	.0	.0	12.3	23.3	46.7	24.7	26.6	53.3	.4	.2	.9	1.7
4	CUKS4809.HAT	1.8	322	7.4	12.3	13.8	155	57.1	24.1	8.6	155	35.5	.0	.0	12.3	23.3	46.7	24.7	26.6	53.3	.6	.3	.9	1.6
5	CUKS5701.HAT	5.2	323	42.7	12.4	3.9	143	32.1	24.3	3.0	148	25.2	.0	.0	12.4	20.6	45.0	24.9	25.2	55.0	.2	.1	.8	1.3
6	CUKS5710.HAT	8.7	345	44.9	12.6	5.4	152	27.9	24.5	5.3	156	27.3	.0	.0	12.4	20.6	45.0	24.9	25.2	55.0	.3	.2	.8	1.0

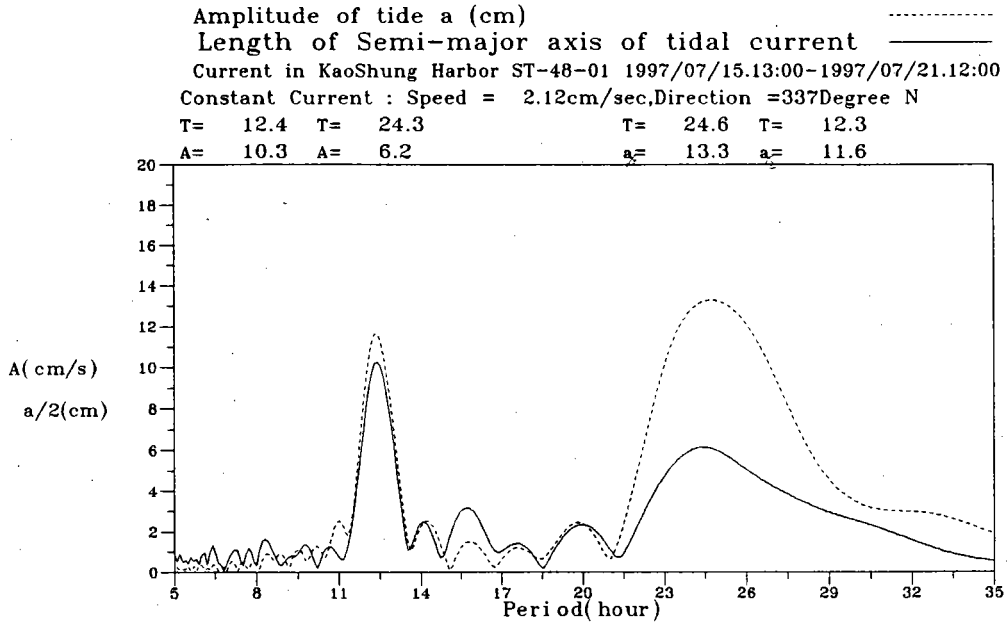


圖4-2-9a 7月48-01站潮流橢圓半長軸長及潮位振幅能譜圖

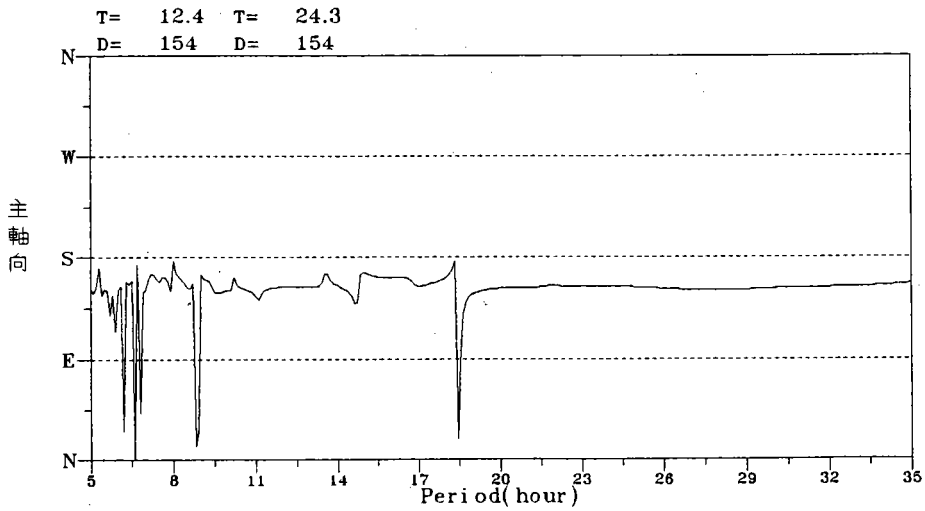


圖4-2-9b 7月48-01測站潮流橢圓長軸方向角譜圖

Current and tide Spetrum in Kao-Shung

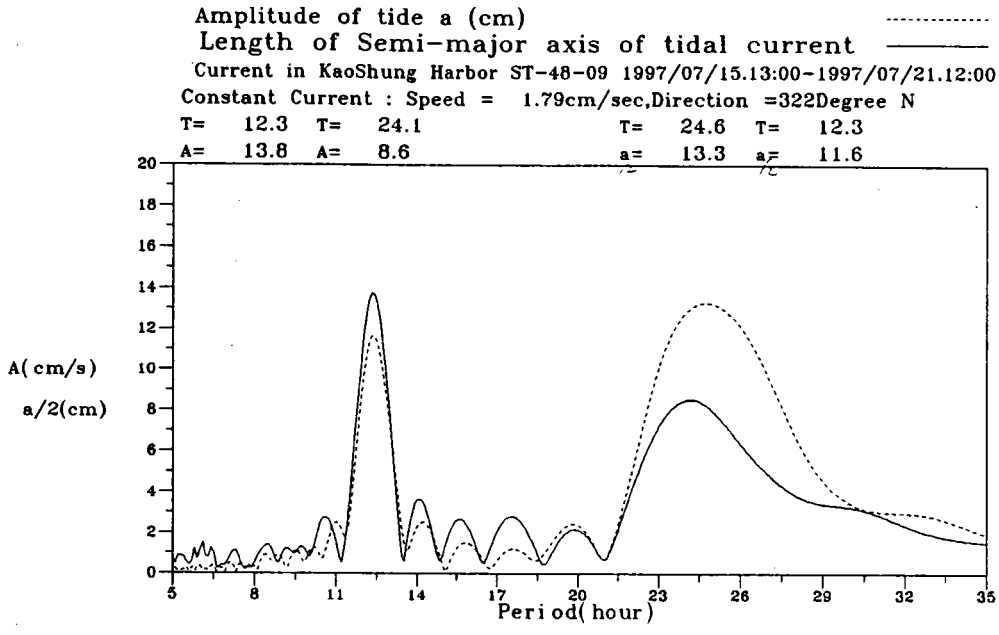


圖4-2-10a 7月48-09站潮流橢圓半長軸長及潮位振幅能譜圖

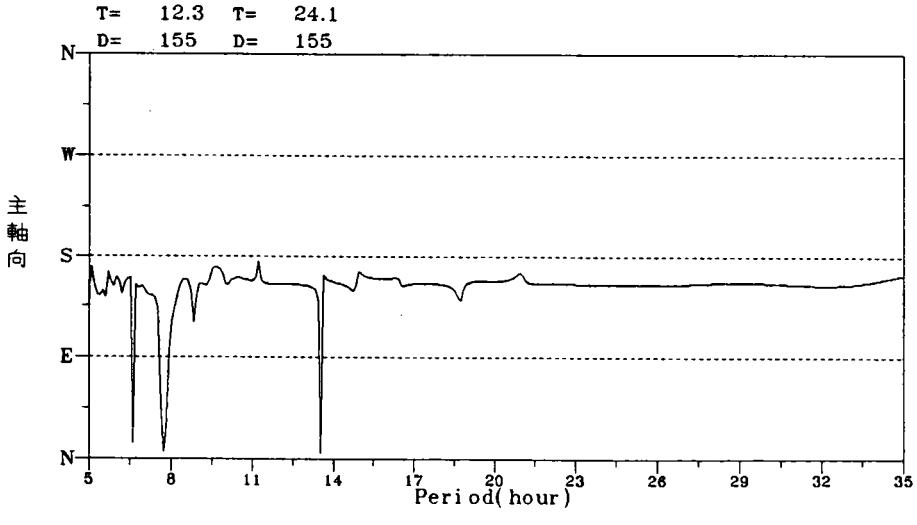


圖4-2-10b 7月48-09測站潮流橢圓長軸方向角譜圖

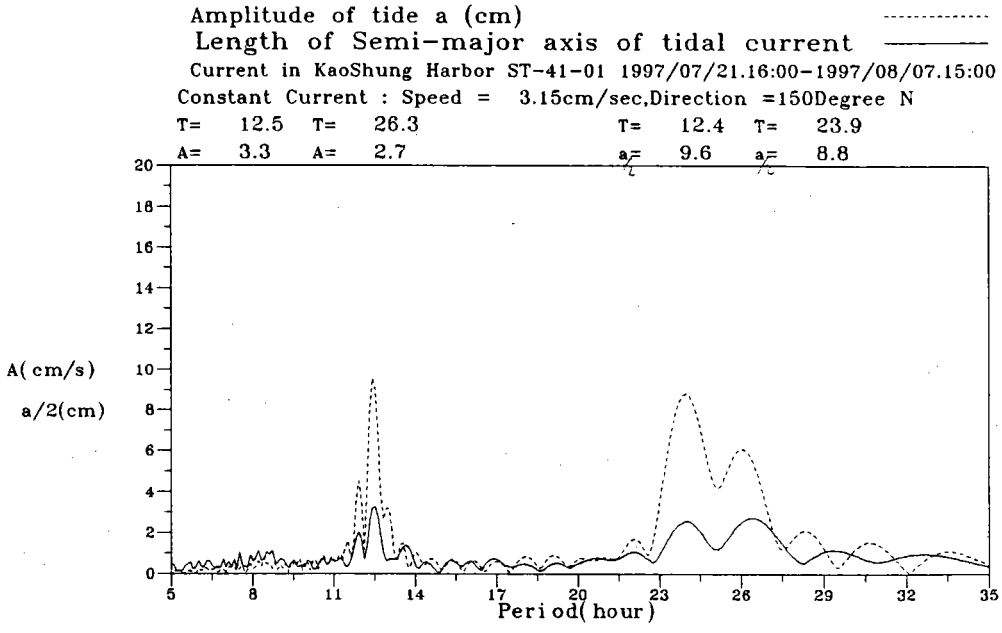


圖4-2-11a 7月41-01站潮流橢圓半長軸長及潮位振幅能譜圖

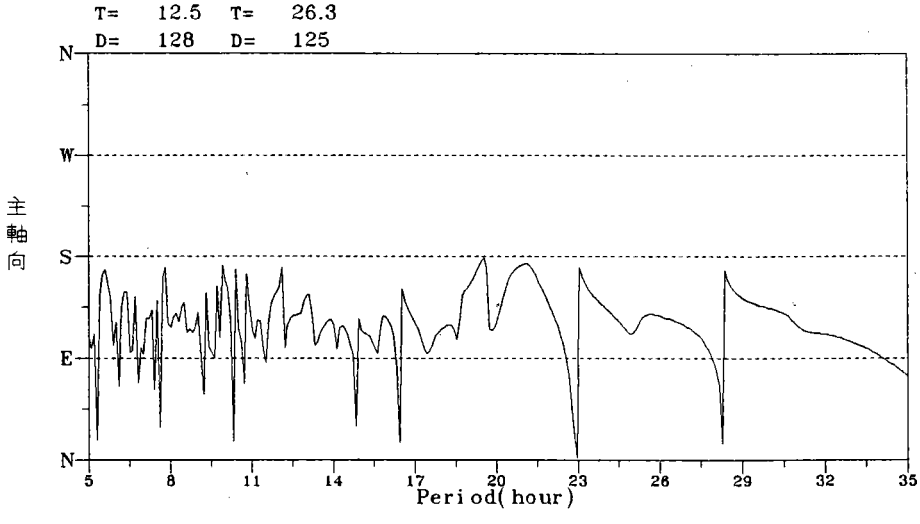


圖4-2-11b 7月41-01測站潮流橢圓長軸方向角譜圖

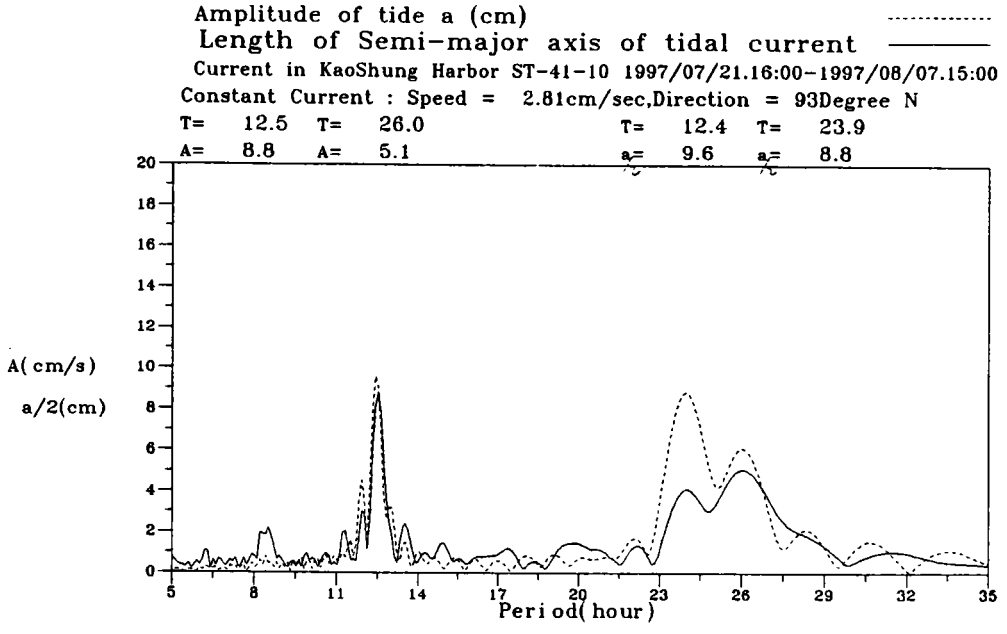


圖4-2-12a 7月41-10站潮流橢圓半長軸長及潮位振幅能譜圖

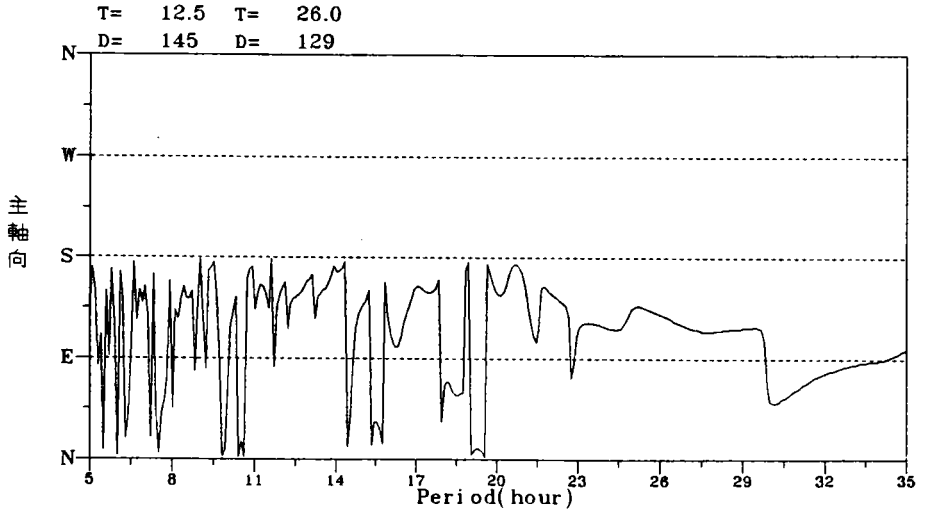


圖4-2-12b 7月41-10測站潮流橢圓長軸方向角譜圖

Current and tide Spetrum in Kao-Shung

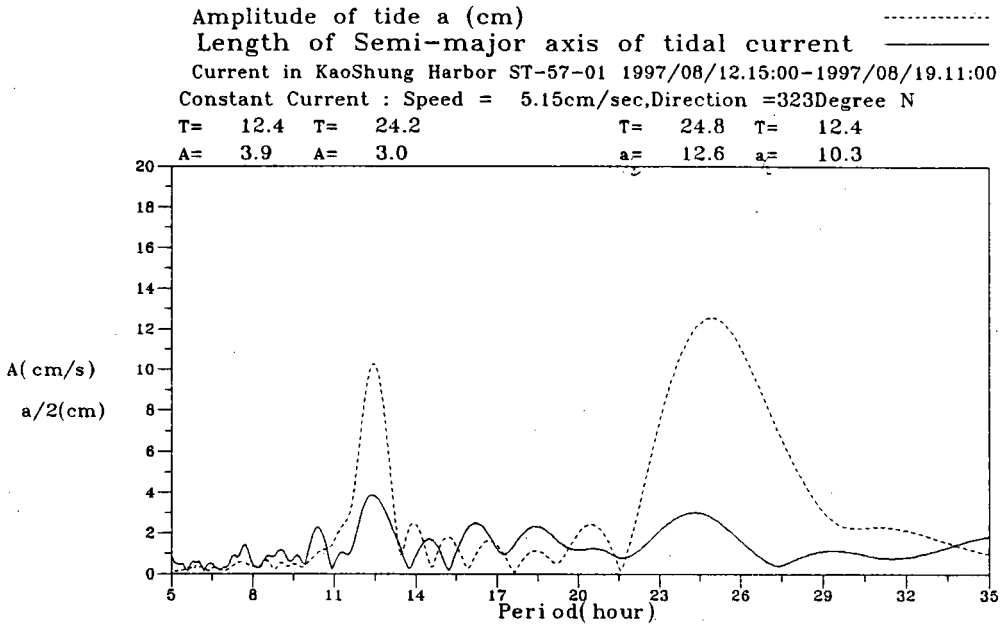


圖4-2-13a 8月57-01站潮流橢圓半長軸長及潮位振幅能譜圖

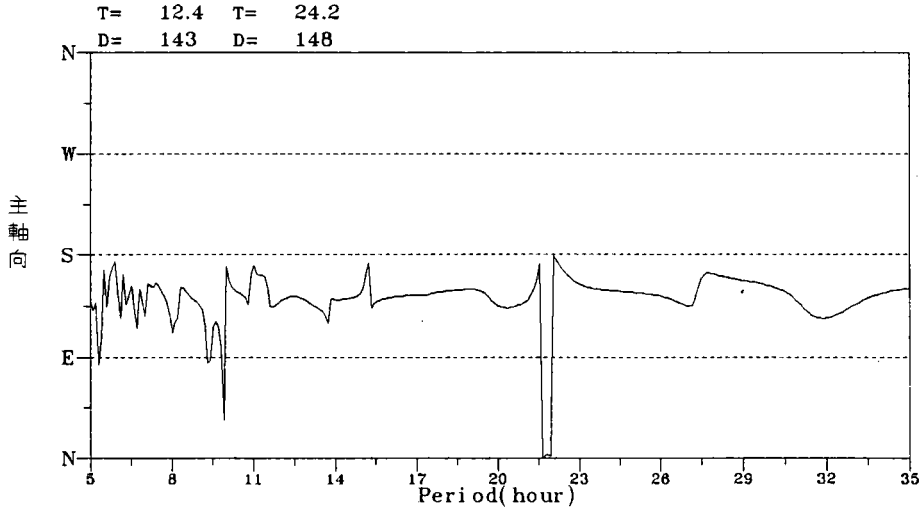


圖4-2-13b 8月57-01測站潮流橢圓長軸方向角譜圖

CUKS5701.HA0 CUKS5701.HAT	Institute of Harbor & Marine Technology

PLAT2V.FOR 1998.6.30

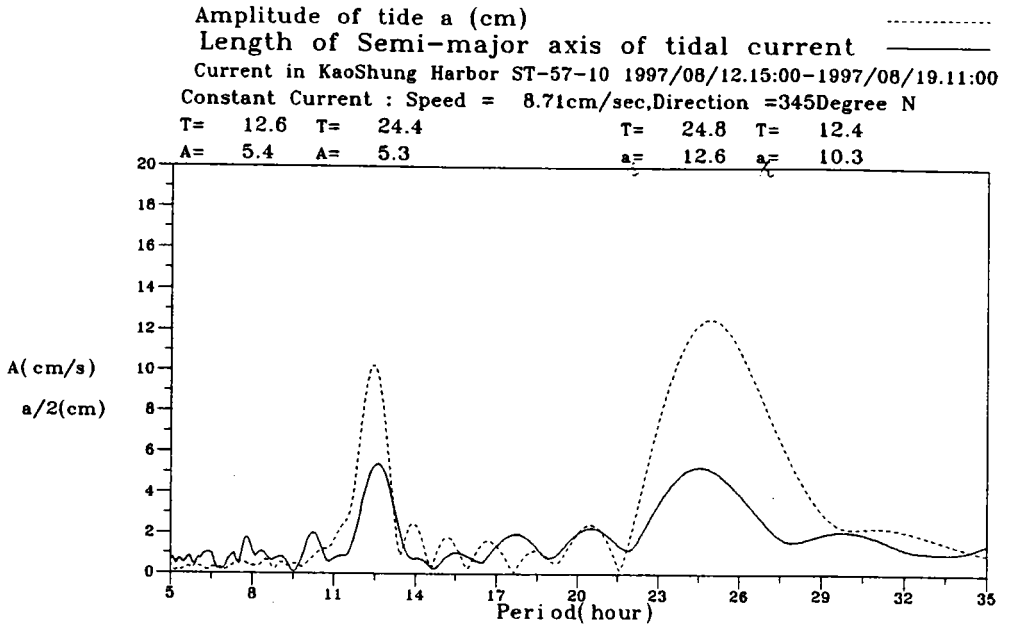


圖4-2-14a 8月57-10站潮流橢圓半長軸長及潮位振幅能譜圖

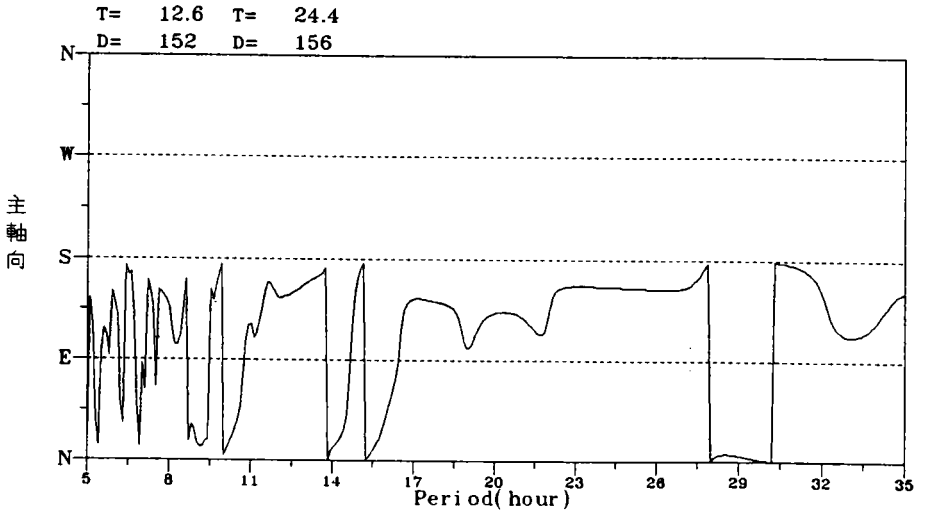


圖4-2-14b 8月57-10測站潮流橢圓長軸方向角譜圖

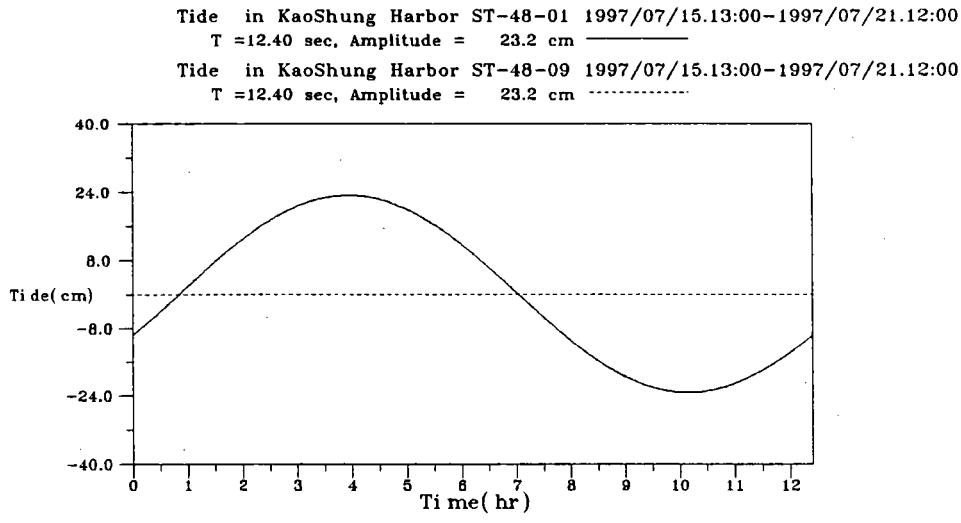


圖4-2-15a 高雄48-01及48-09測站半日潮位變化圖

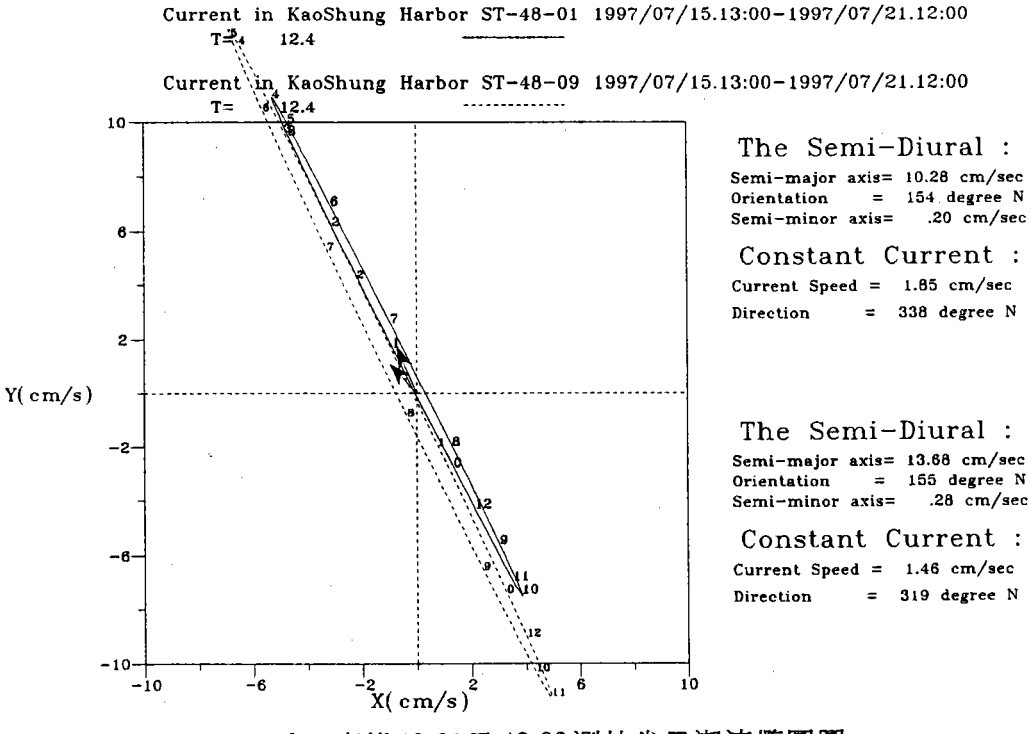


圖4-2-15b 高雄48-01及48-09測站半日潮流橢圓圖

Tide in KaoShung Harbor ST-41-01 1997/07/21.16:00-1997/08/07.15:00
T =12.40 sec, Amplitude = 19.2 cm

Tide in KaoShung Harbor ST-41-10 1997/07/21.16:00-1997/08/07.15:00
T =12.40 sec, Amplitude = 19.2 cm

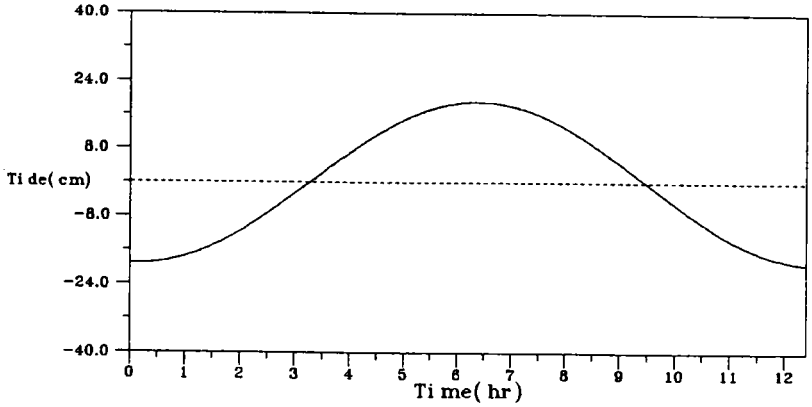
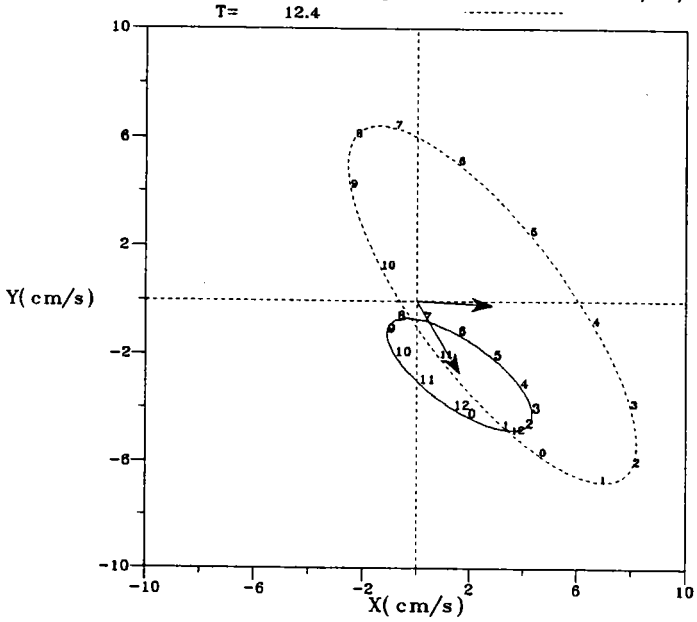


圖4-2-16a 高雄41-01及41-10測站半日潮位變化圖

Current in KaoShung Harbor ST-41-01 1997/07/21.16:00-1997/08/07.15:00
T= 12.4

Current in KaoShung Harbor ST-41-10 1997/07/21.16:00-1997/08/07.15:00
T= 12.4



The Semi-Diural :
Semi-major axis= 3.20 cm/sec
Orientation = 125 degree N
Semi-minor axis= 1.23 cm/sec

Constant Current :
Current Speed = 3.16 cm/sec
Direction = 150 degree N

The Semi-Diural :
Semi-major axis= 8.06 cm/sec
Orientation = 143 degree N
Semi-minor axis= 2.75 cm/sec

Constant Current :
Current Speed = 2.81 cm/sec
Direction = 94 degree N

圖4-2-16b 高雄41-01及41-10測站半日潮流橢圓圖

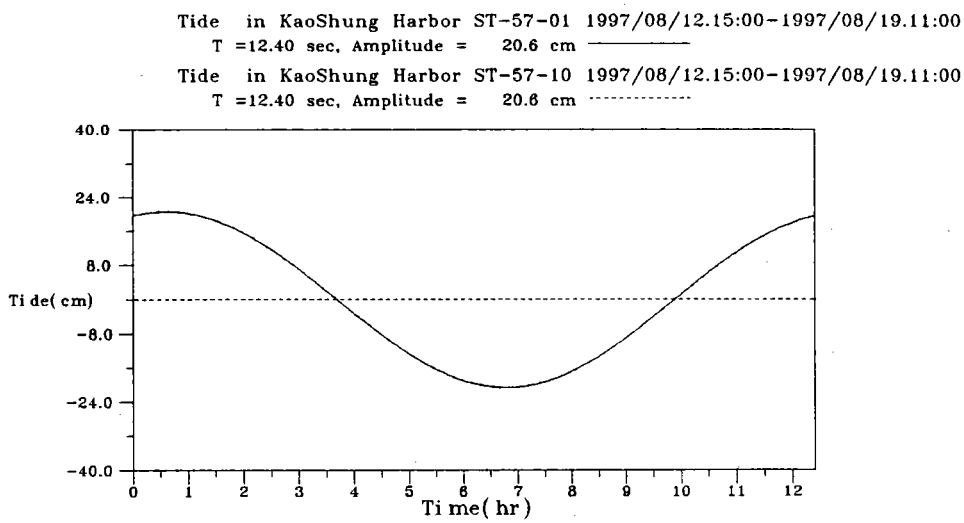


圖4-2-17a 高雄57-01及57-10測站半日潮位變化圖

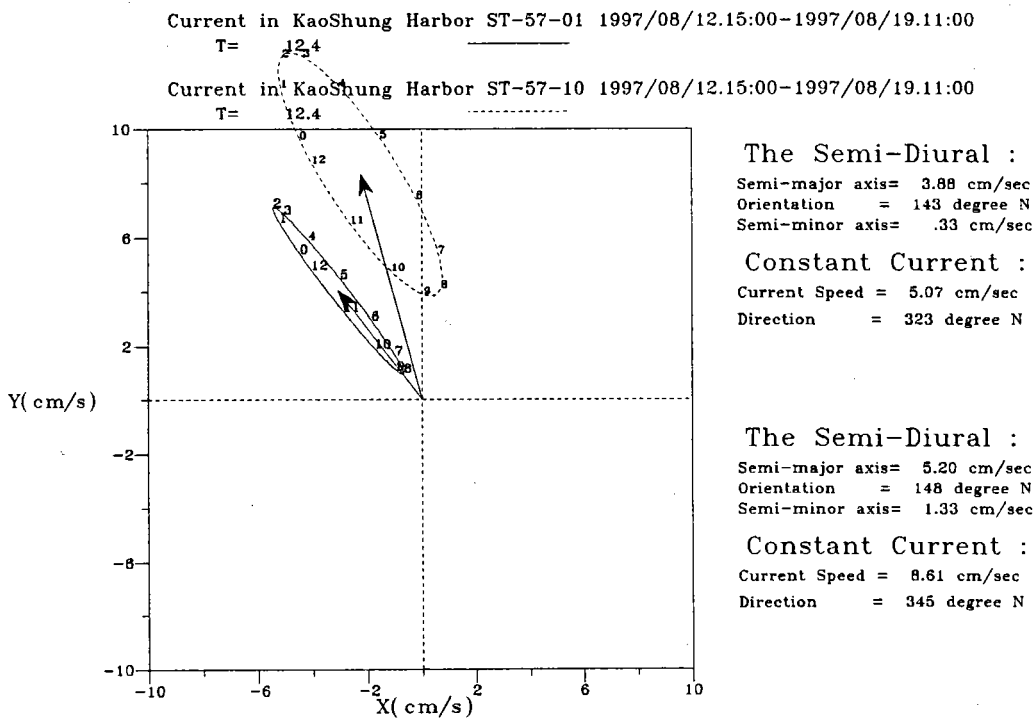


圖4-2-17b 高雄57-01及57-10測站半日潮流橢圓圖

Ellpise of Tidal Current

Tide in KaoShung Harbor ST-48-01 1997/07/15.13:00-1997/07/21.12:00
T =24.60 sec, Amplitude = 26.6 cm

Tide in KaoShung Harbor ST-48-09 1997/07/15.13:00-1997/07/21.12:00
T =24.60 sec, Amplitude = 26.6 cm

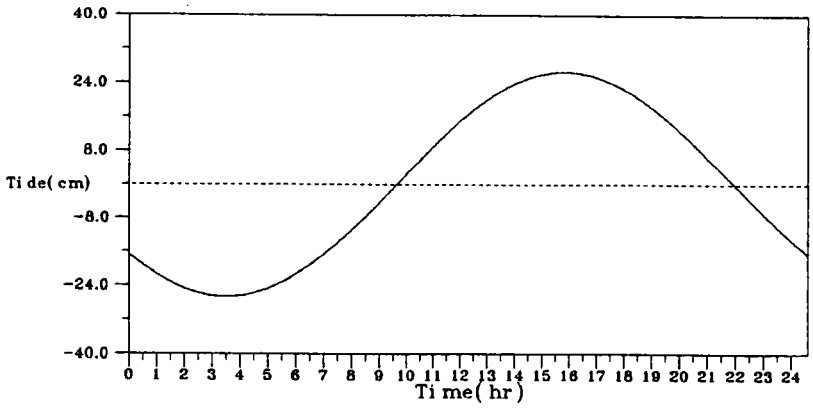
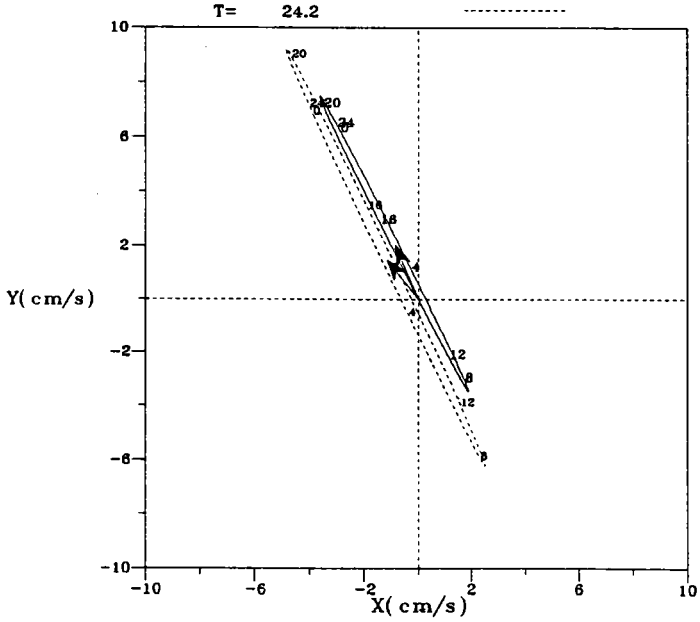


圖4-2-18a 高雄48-01及48-09測站全日潮位變化圖

Current in KaoShung Harbor ST-48-01 1997/07/15.13:00-1997/07/21.12:00
T= 24.2

Current in KaoShung Harbor ST-48-09 1997/07/15.13:00-1997/07/21.12:00
T= 24.2



The Diural :
Semi-major axis= 6.14 cm/sec
Orientation = 154 degree N
Semi-minor axis= .14 cm/sec

Constant Current :
Current Speed = 2.21 cm/sec
Direction = 337 degree N

The Diural :
Semi-major axis= 8.55 cm/sec
Orientation = 155 degree N
Semi-minor axis= .19 cm/sec

Constant Current :
Current Speed = 1.89 cm/sec
Direction = 323 degree N

圖4-2-18b 高雄48-01及48-09測站全日潮流橢圓圖

CUKS4801.HB2 CUKS4809.HB2	Institute of Harbor & Marine Technology

PLHB2V.FOR 1998. 8 . 30

Ellpise of Tidal Current

Tide in KaoShung Harbor ST-41-01 1997/07/21.16:00-1997/08/07.15:00
T =24.00 sec, Amplitude = 17.5 cm

Tide in KaoShung Harbor ST-41-10 1997/07/21.16:00-1997/08/07.15:00
T =24.00 sec, Amplitude = 17.5 cm

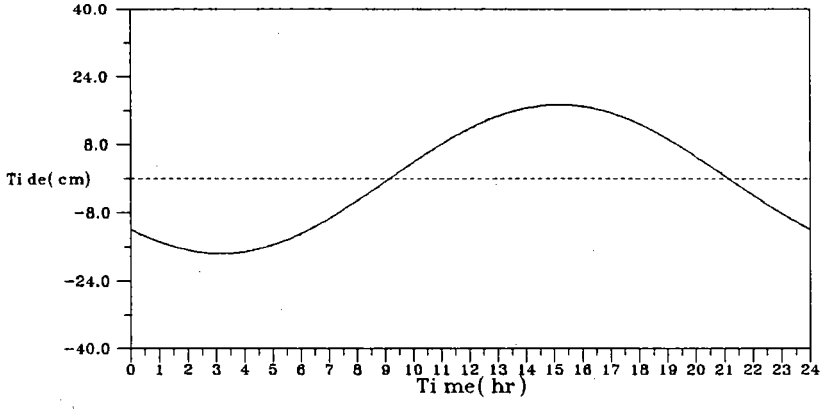
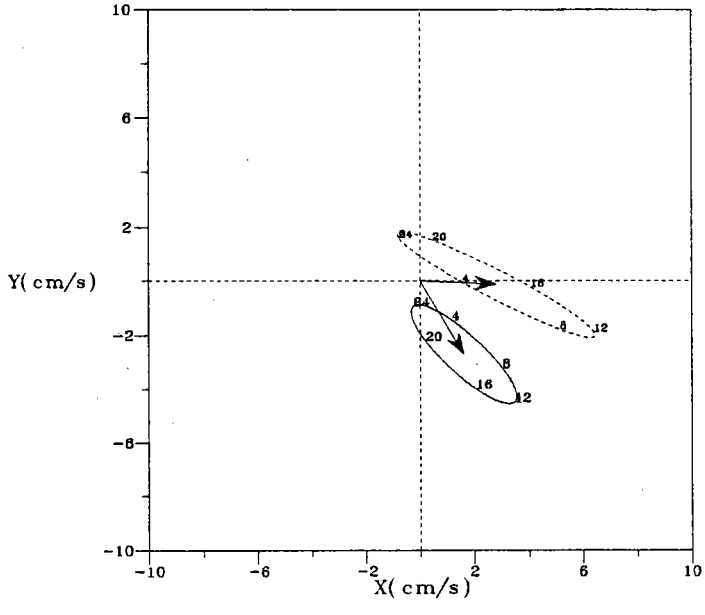


圖4-2-19a 高雄41-01及41-10測站全日潮位變化圖

Current in KaoShung Harbor ST-41-01 1997/07/21.16:00-1997/08/07.15:00
T= 24.0

Current in KaoShung Harbor ST-41-10 1997/07/21.16:00-1997/08/07.15:00
T= 24.0



The Diural :
Semi-major axis= 2.57 cm/sec
Orientation = 133 degree N
Semi-minor axis= .71 cm/sec

Constant Current :
Current Speed = 3.15 cm/sec
Direction = 150 degree N

The Diural :
Semi-major axis= 4.11 cm/sec
Orientation = 118 degree N
Semi-minor axis= .52 cm/sec

Constant Current :
Current Speed = 2.80 cm/sec
Direction = 93 degree N

圖4-2-19b 高雄41-01及41-10測站全日潮流橢圓圖

CUKS4101.HB2 CUKS4110.HB2 | Institute of Harbor & Marine Technology

PLHB2V.FOR 1998.6 .30

Ellpise of Tidal Current

Tide in KaoShung Harbor ST-57-01 1997/08/12.15:00-1997/08/19.11:00
T =24.80 sec, Amplitude = 25.2 cm

Tide in KaoShung Harbor ST-57-10 1997/08/12.15:00-1997/08/19.11:00
T =24.80 sec, Amplitude = 25.2 cm

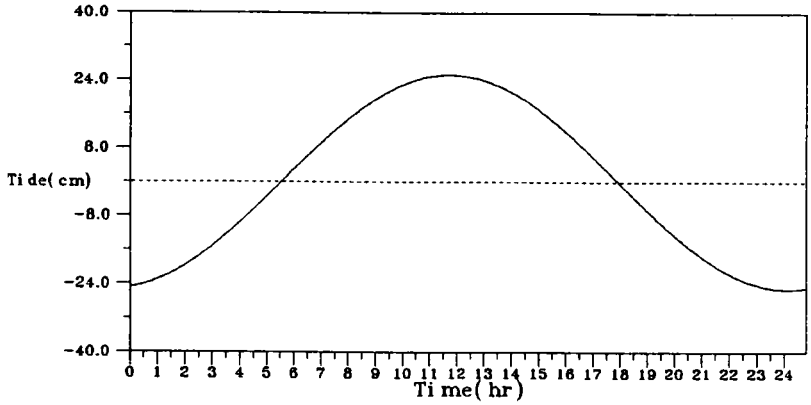
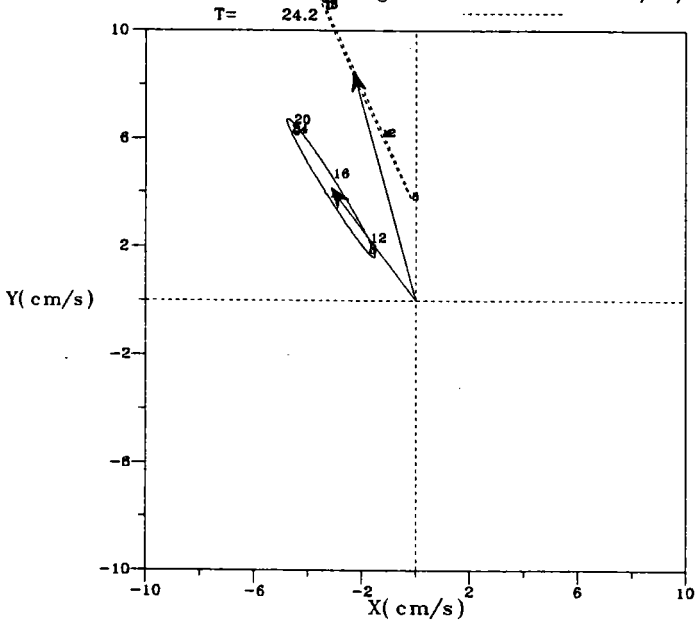


圖4-2-20a 高雄57-01及57-10測站全日潮位變化圖

Current in KaoShung Harbor ST-57-01 1997/08/12.15:00-1997/08/19.11:00
T= 24.2

Current in KaoShung Harbor ST-57-10 1997/08/12.15:00-1997/08/19.11:00
T= 24.2



The Diural :
Semi-major axis= 3.04 cm/sec
Orientation = 148 degree N
Semi-minor axis= .26 cm/sec

Constant Current :
Current Speed = 5.23 cm/sec
Direction = 323 degree N

The Diural :
Semi-major axis= 5.24 cm/sec
Orientation = 156 degree N
Semi-minor axis= .06 cm/sec

Constant Current :
Current Speed = 8.82 cm/sec
Direction = 345 degree N

圖4-2-20b 高雄57-01及57-10測站全日潮流橢圓圖

CUKS5701.HB2 CUKS5710.HB2	Institute of Harbor & Marine Technology

PLHB2V.FOR

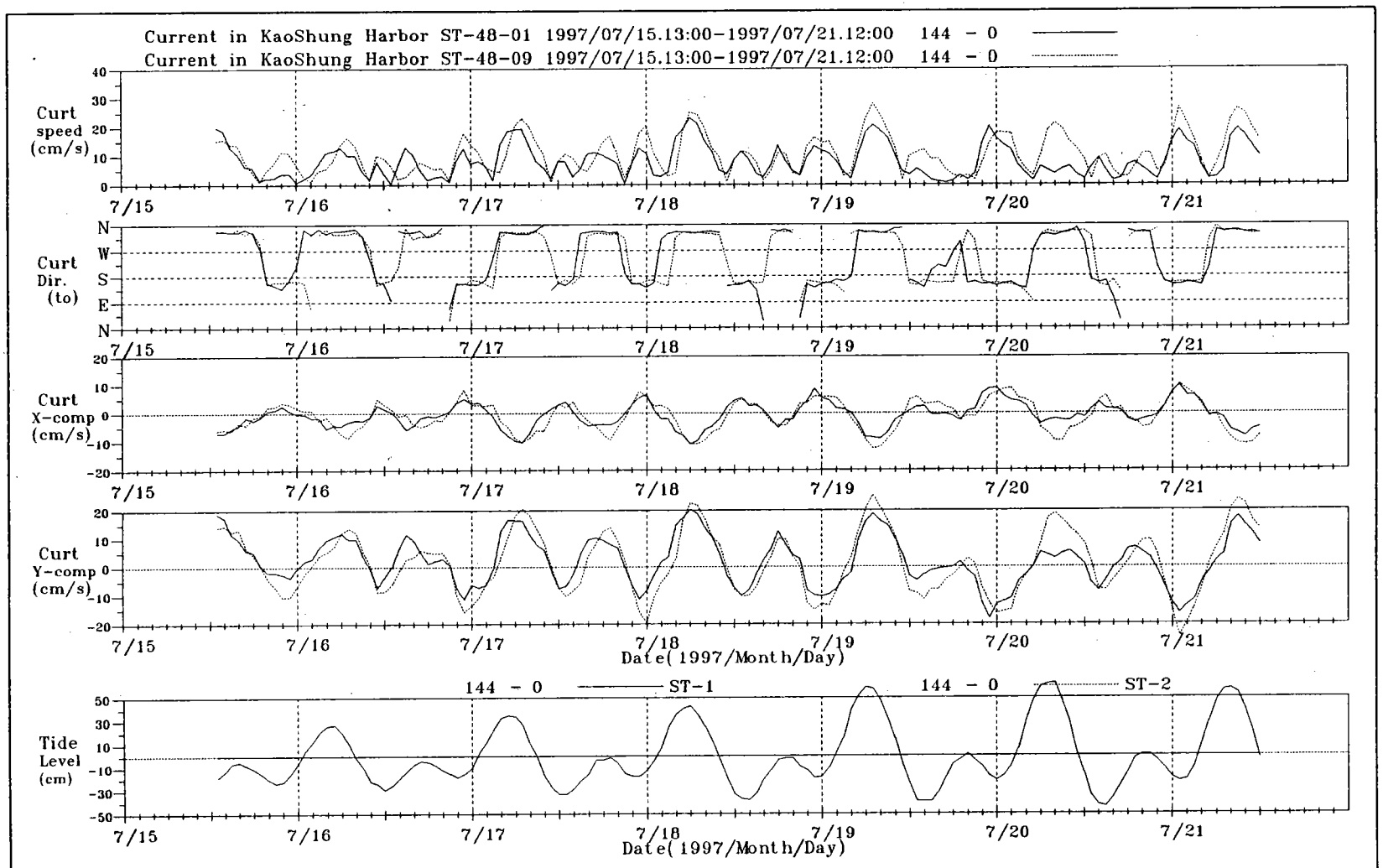


圖4-2-1a 1997年7月48-01站及48-09站逐時流速、流向、東西分量、南北分量及潮位變化圖

CUKS4801.1HX CUKS4809.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

PLCT2H.FOR

1998.8.30

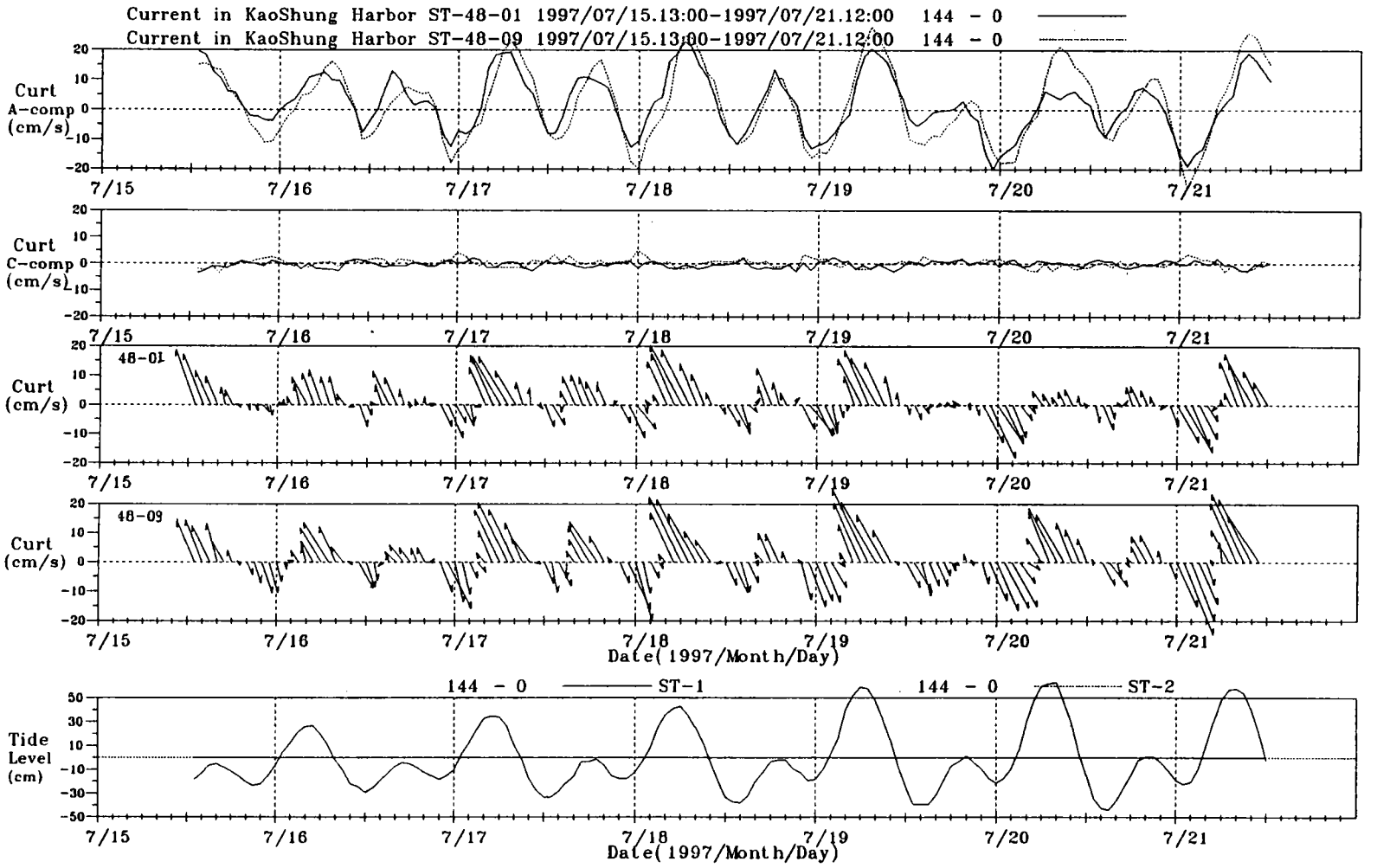


圖4-2-1b 1997年7月48-01站及48-09站逐時海流沿岸分量、向離岸分量、海流向量及潮位變化圖

CUKS4801.1HX CUKS4809.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

PLCY2H.POR 1998.6.30

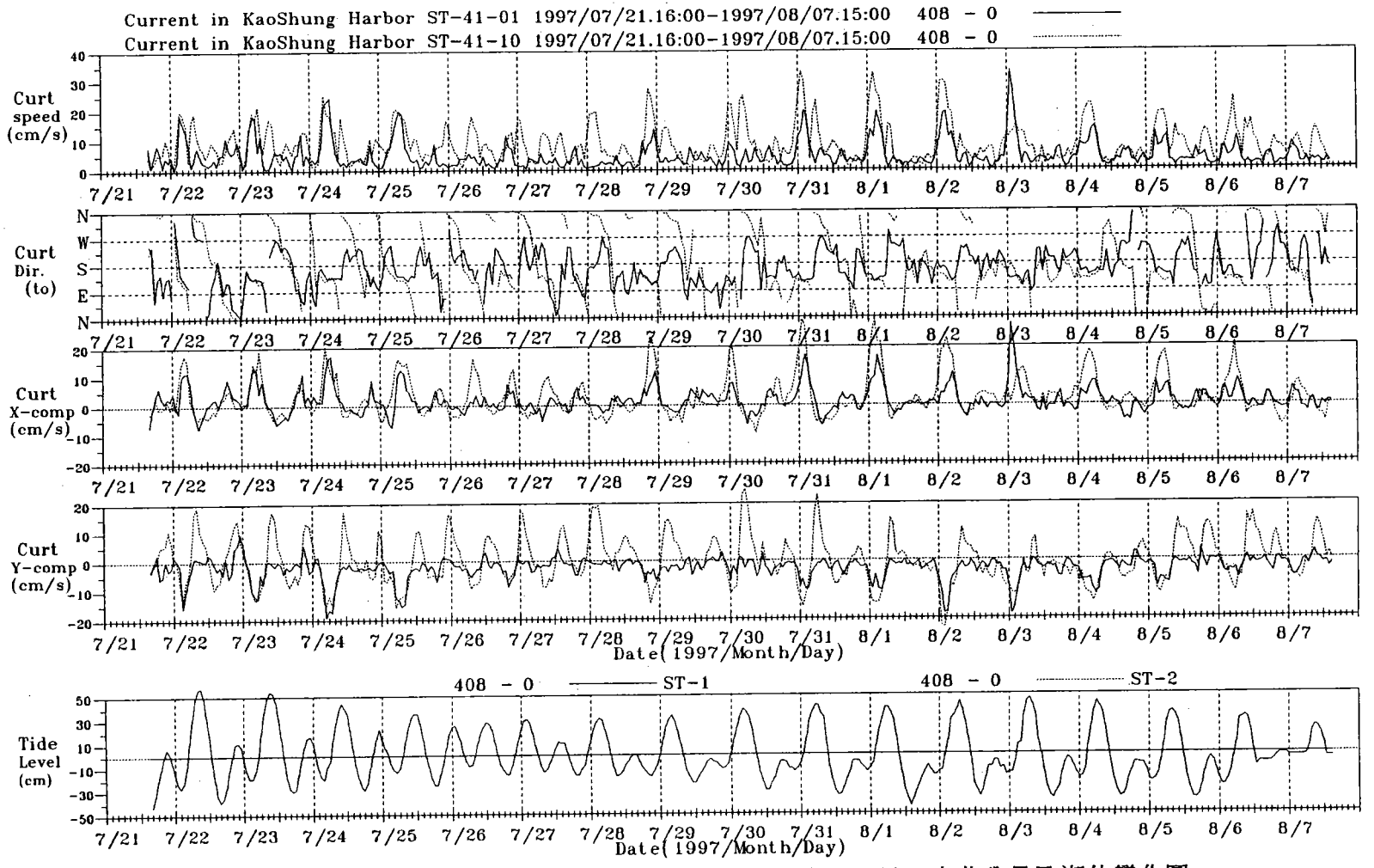


圖4-2-2a 1997年7月41-01站及41-10站逐時流速、流向、東西分量、南北分量及潮位變化圖

CUKS4101.1HX CUKS4110.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

PLCT2H.FOR

1996.6.30

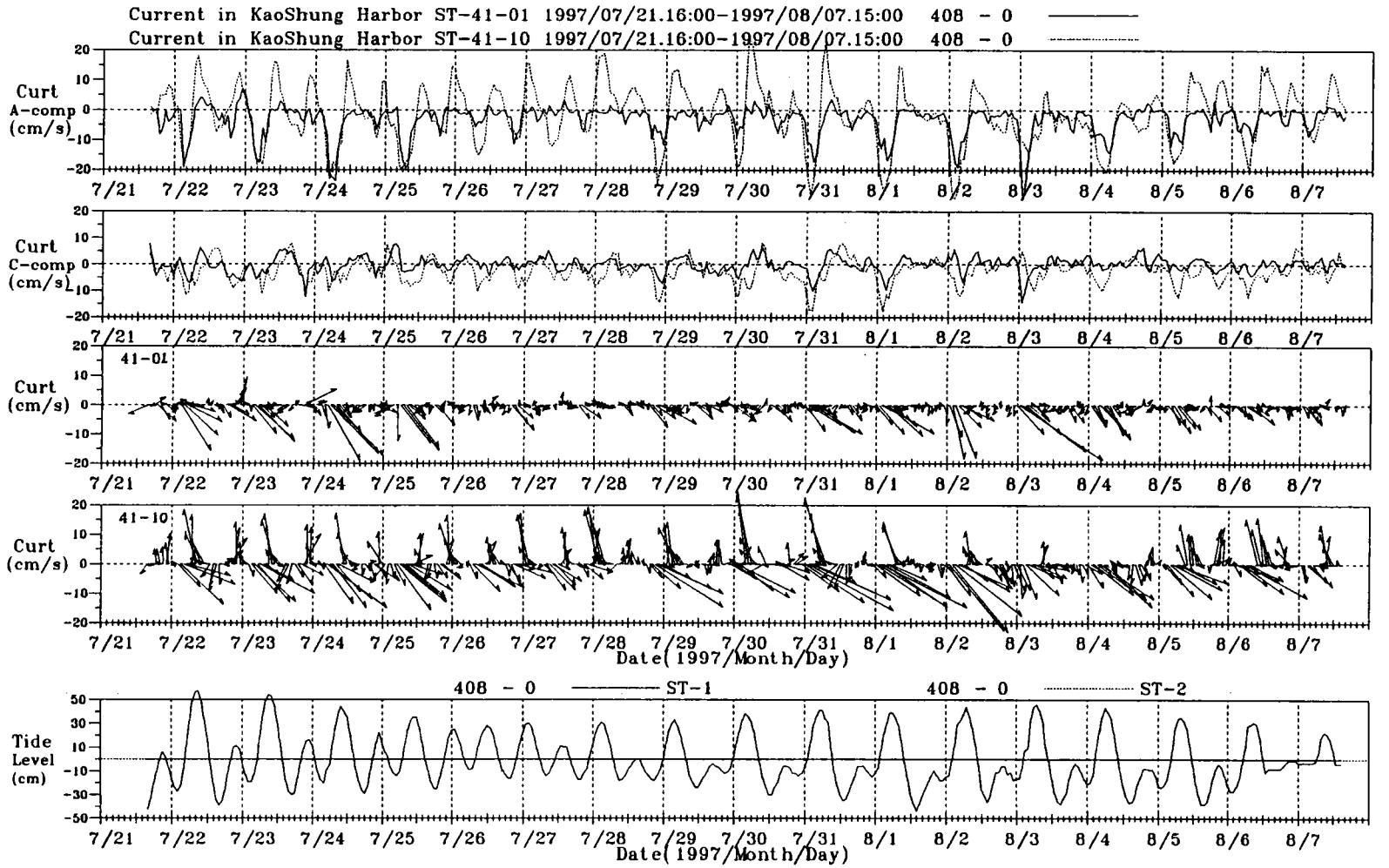


圖4-2-2b 1997年7月41-01站及41-10站逐時海流沿岸分量、向離岸分量、海流向量及潮位變化圖

CUKS4101.1HX	CUKS4110.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

PLCY2H.FOR 1996.8.30

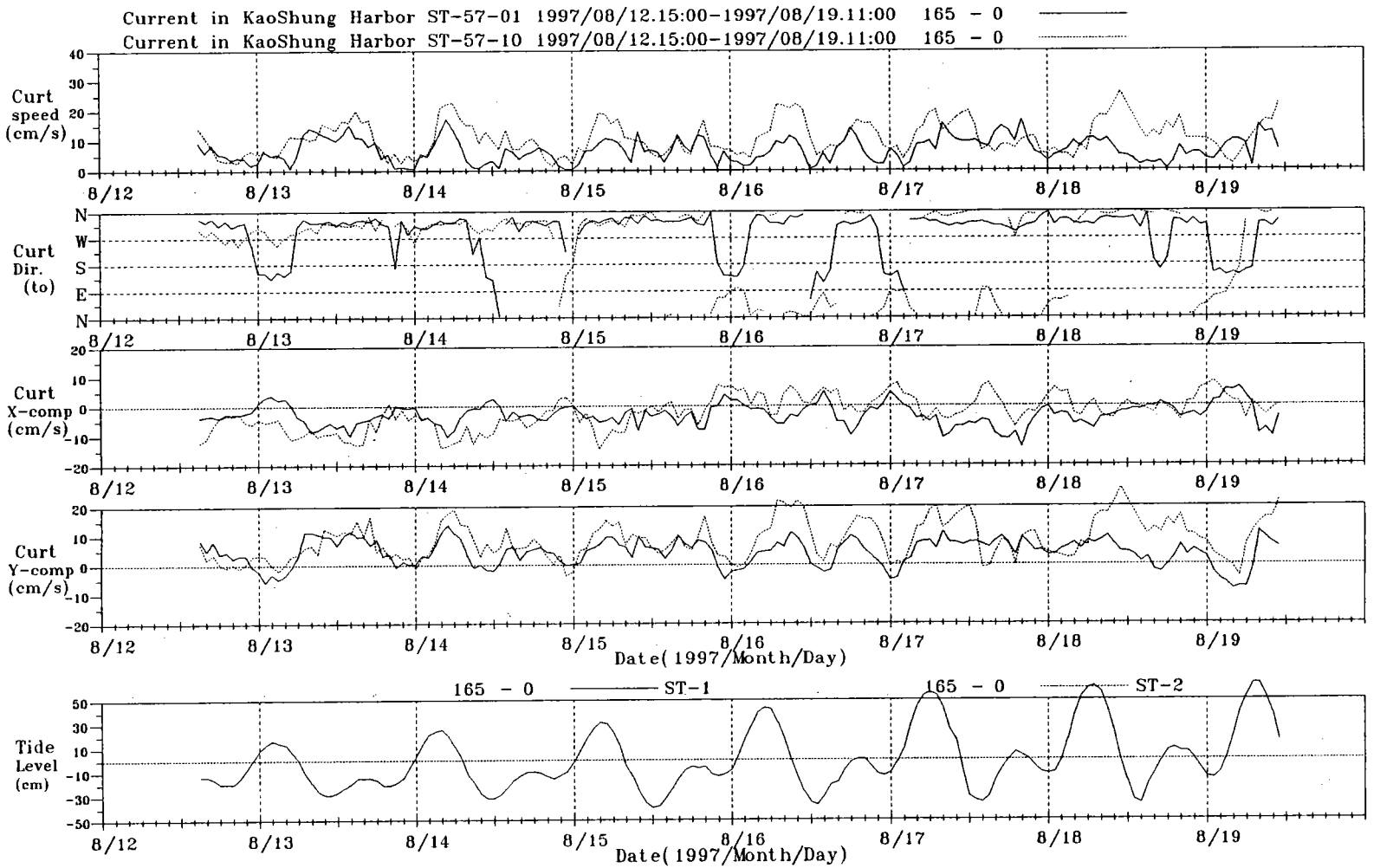


圖4-2-3a 1997年8月57-01站及57-10站逐時流速、流向、東西分量、南北分量及潮位變化圖

CUKS5701.1HX	CUKS5710.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

PLCT2H.FOR

1998.6.30

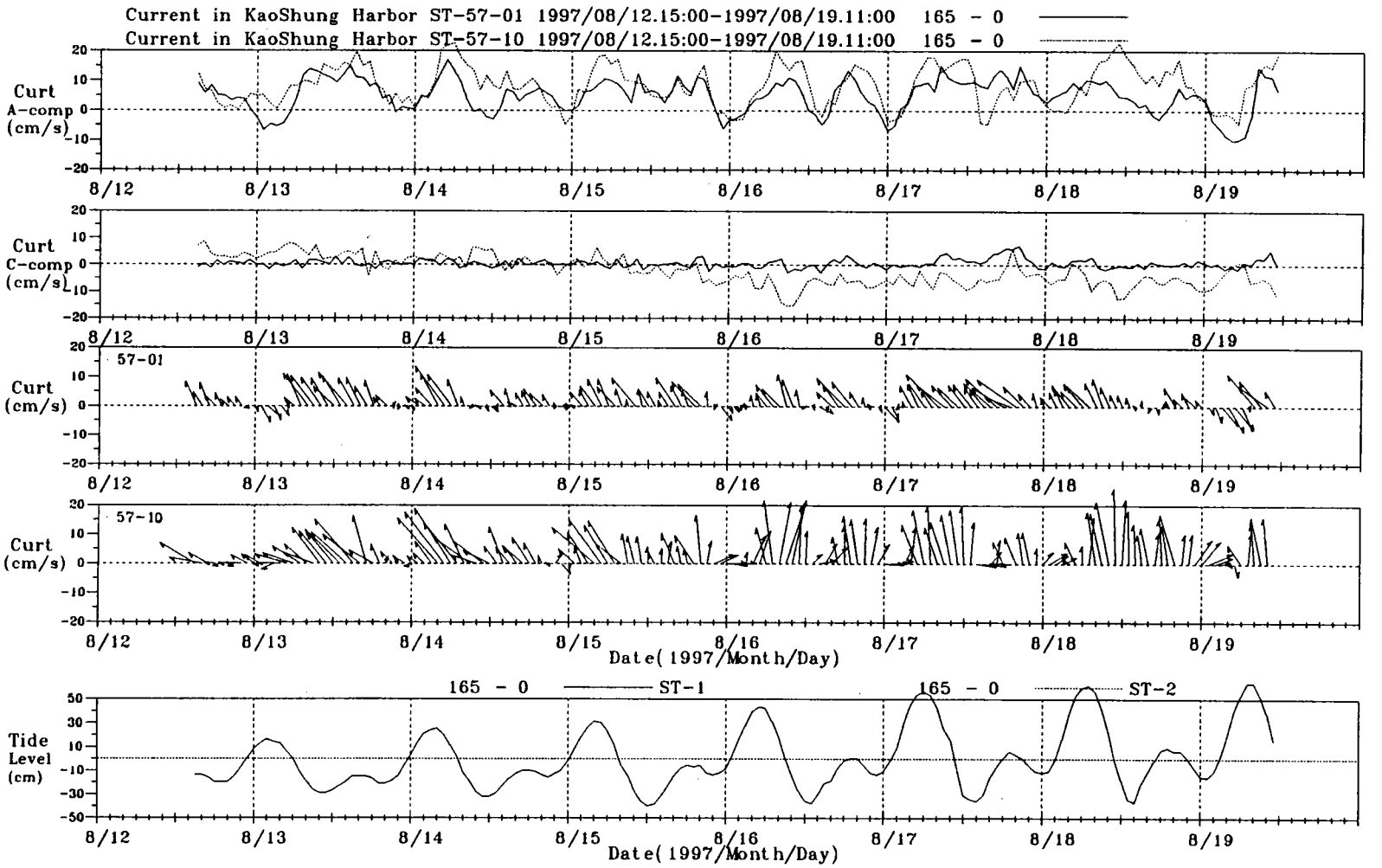


圖4-2-3b 1997年8月57-01站及57-10站逐時海流沿岸分量、向離岸分量、海流向量及潮位變化圖

CUKS5701.1HX	CUKS5710.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

PLCY2H.FOR

1998.6.30

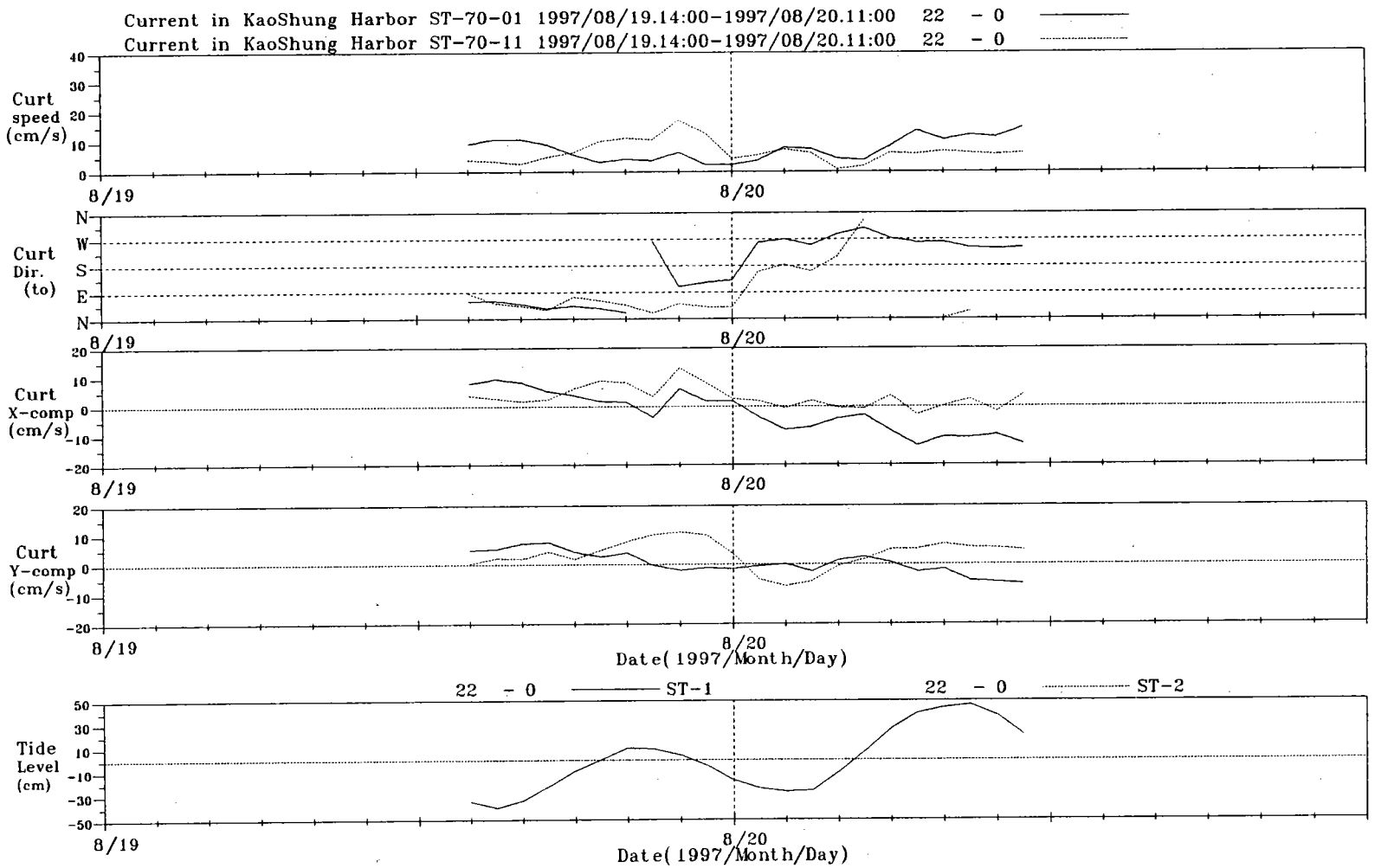


圖4-2-4a 1997年8月70-01站及70-11站逐時流速、流向、東西分量、南北分量及潮位變化圖

CUKS7001.1HX CUKS7011.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

PLCT2H.FOR

1998. 6 . 30

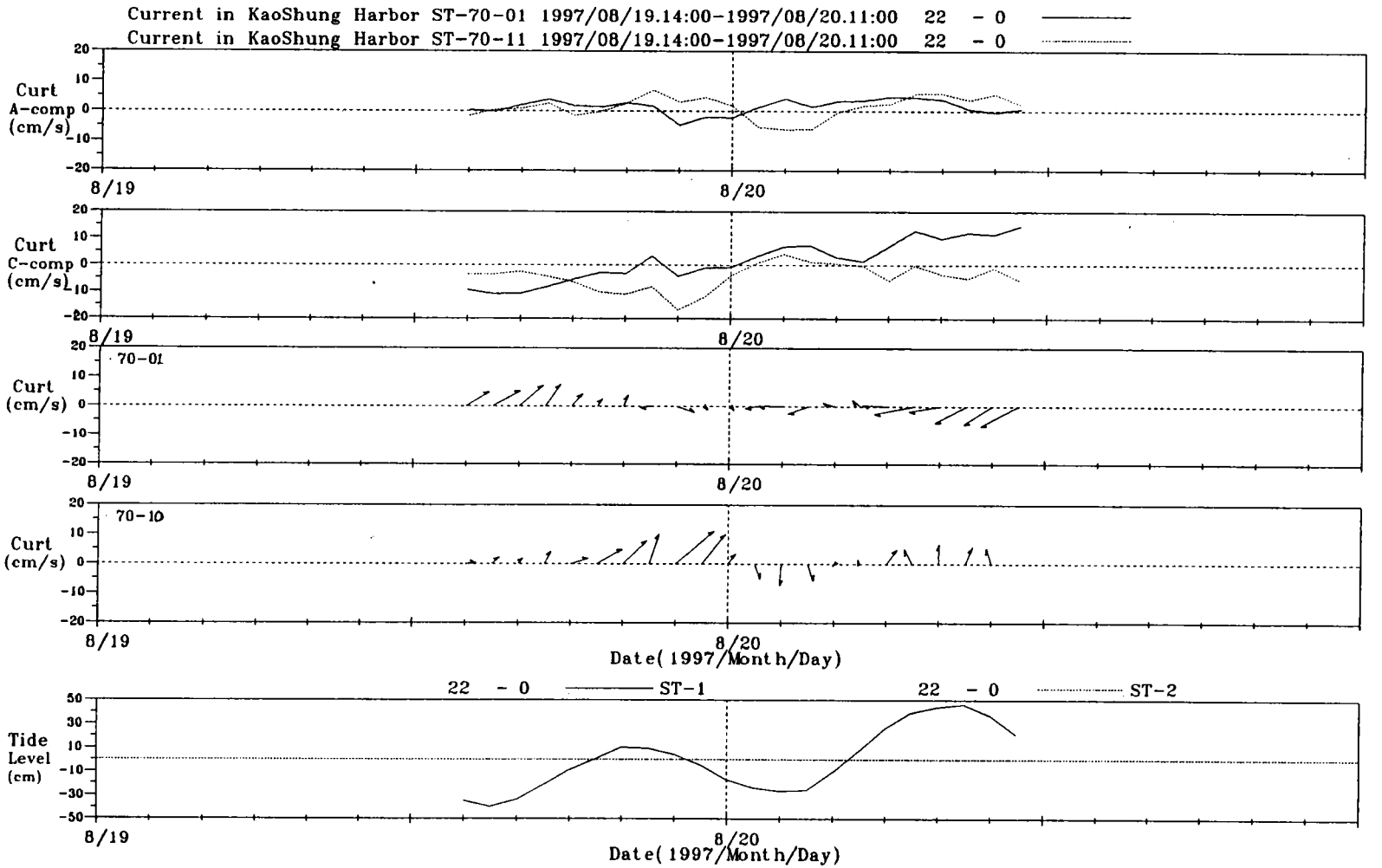


圖4-2-4b 1997年8月70-01站及70-11站逐時海流沿岸分量、向離岸分量、海流向量及潮位變化圖

CUKS7001.1HX CUKS7011.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

PLCY2H.POR

1998.6.30

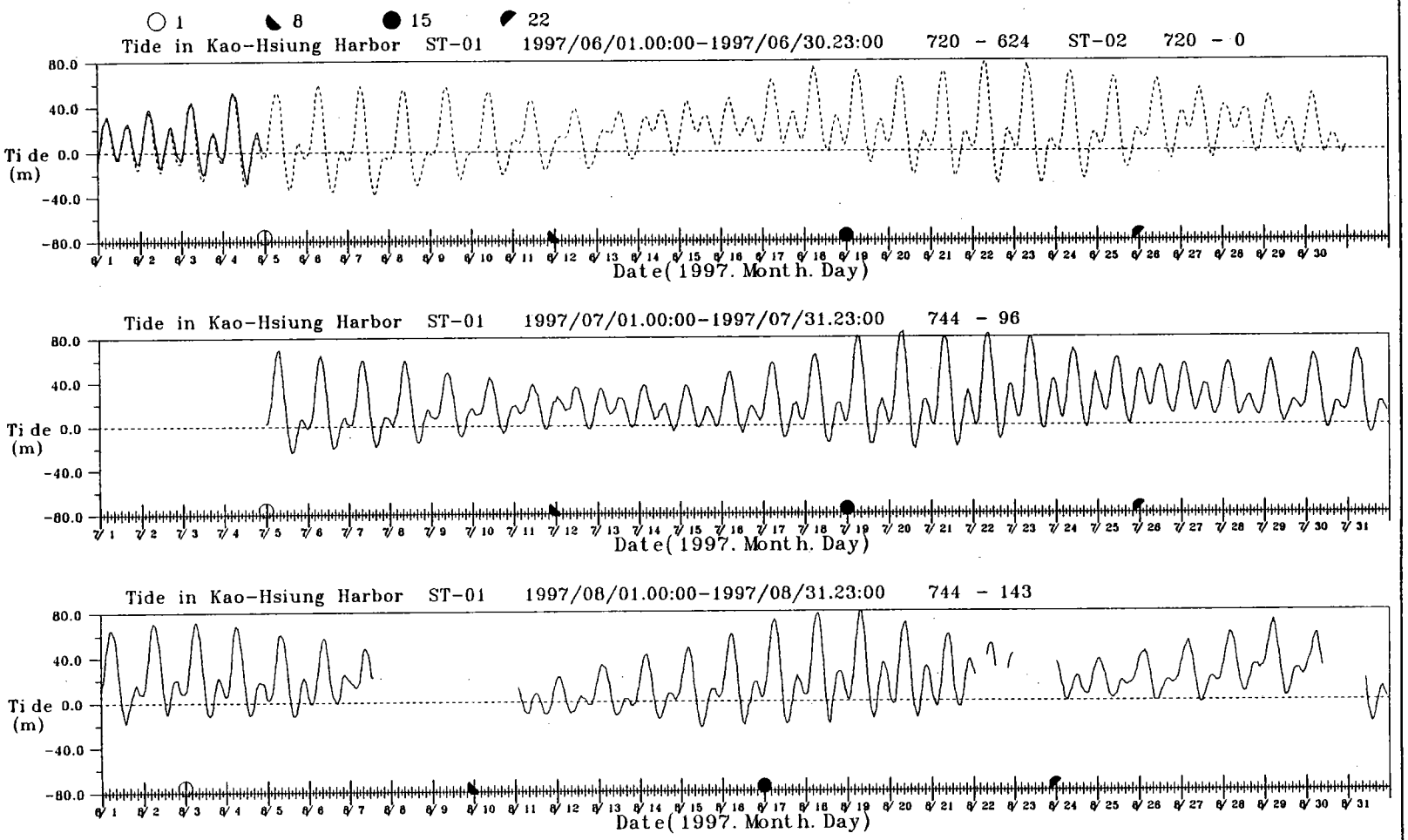


圖4-2-5 1997年6月,7月,8月高雄港潮汐之逐時潮位變化圖

TI970601.1HE	TI970701.1HE	TI970801.1HE	**	Institute of Harbor & Marine Technology
TI970602.1HE	**			

PLTI2CH.FOR

1998.6.30

Progressive Vector Diagram

Current in KaoShung Harbor ST-48-01 1997/07/15.13:00-1997/07/21.12:00
Total hours: 144 -0

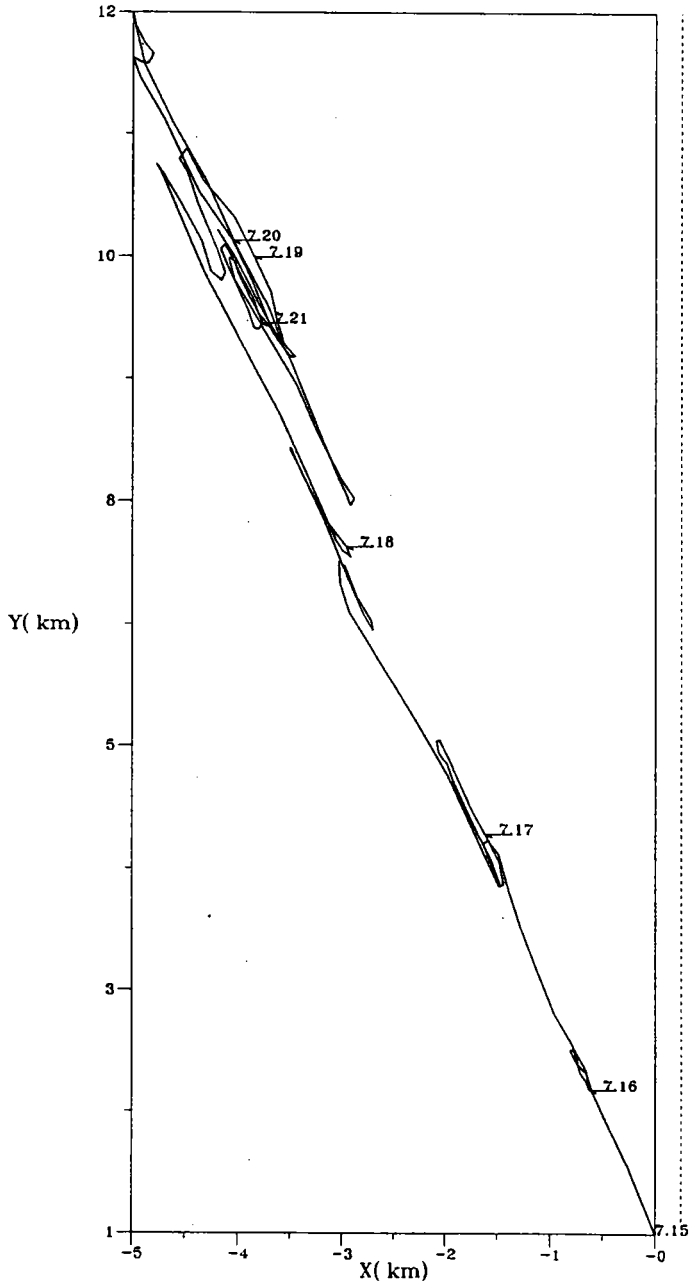


圖4-2-21 1997年7月48-01測站海流向量進行圖

CUKS4801.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

PLPV1V.FOR

Progressive Vector Diagram

Current in KaoShung Harbor 48-09 1997/07/15.13:00-1997/07/21.12:00
Total hours: 144 -0

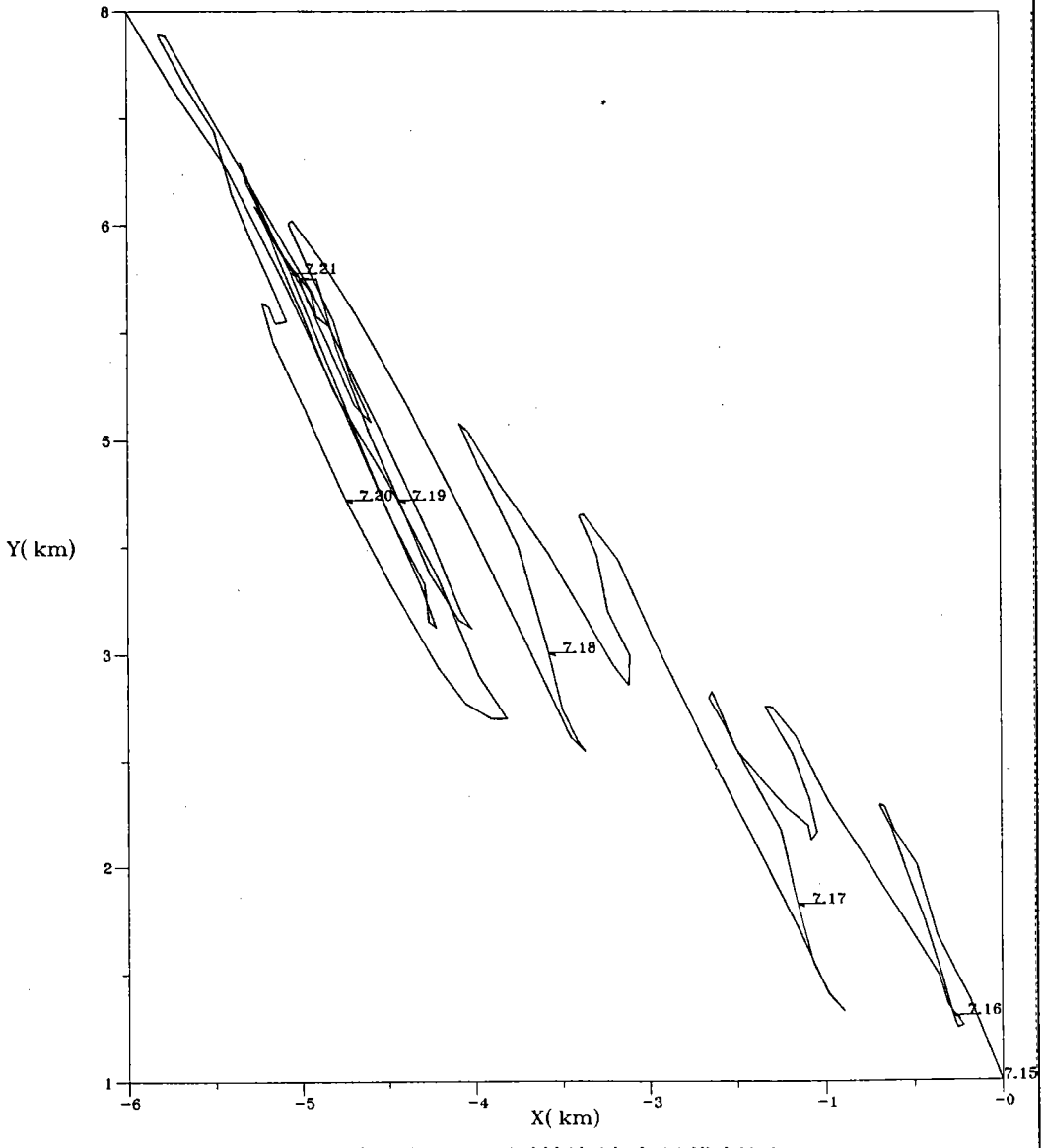


圖4-2-22 1997年7月48-09測站海流向量進行圖

CUKS4809.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

PLPV1V.FOR 1998. 7 . 1

Progressive Vector Diagram

Current in KaoShung Harbor ST-41-01 1997/07/21.16:00-1997/08/07.15:00
Total hours: 408 -0

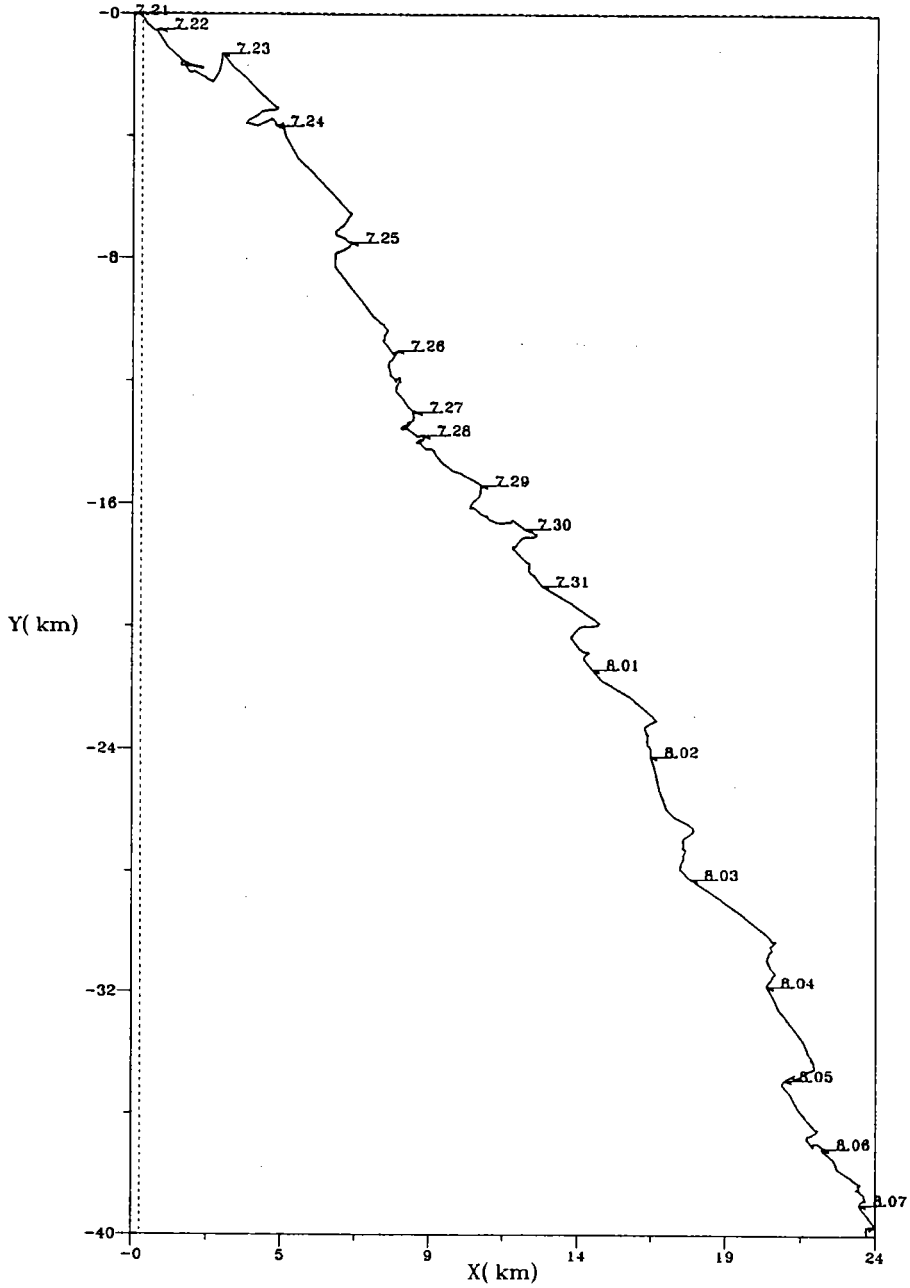


圖4-2-23 1997年7月41-01測站海流向量進行圖

CUKS4101.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

PLPV1V.FOR

1998.5.28

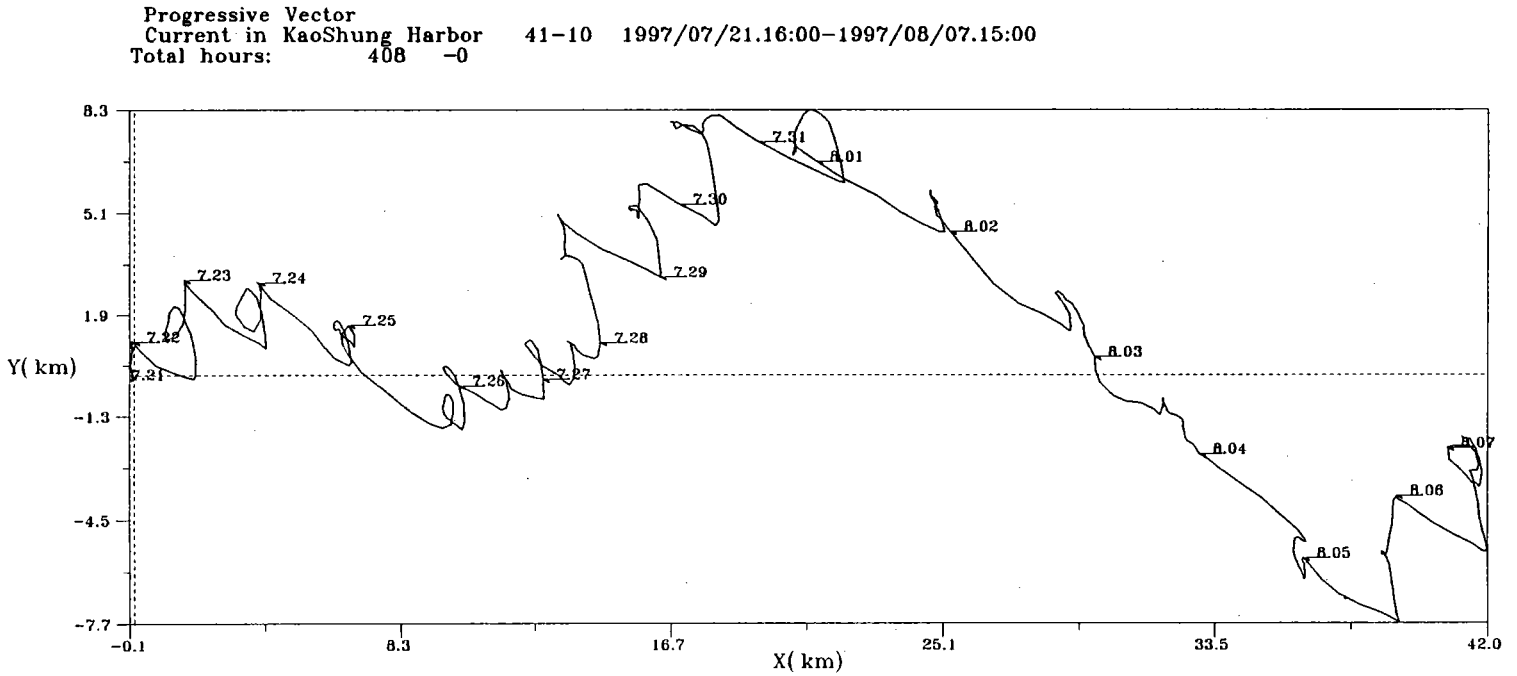


圖4-2-24 1995年7月41-10測站海流向量進行圖

CUKS4110.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

PLPV1H.FOR 1996.7.1

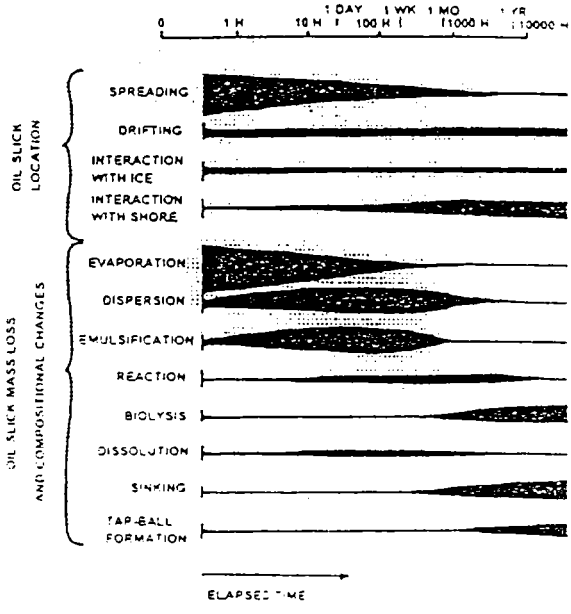


圖 4-3 溢油各階段的時間尺度

Progressive Vector Diagram

Current in KaoShung Harbor 57-10 1997/08/12.15:00-1997/08/19.11:00
Total hours: 165 -0

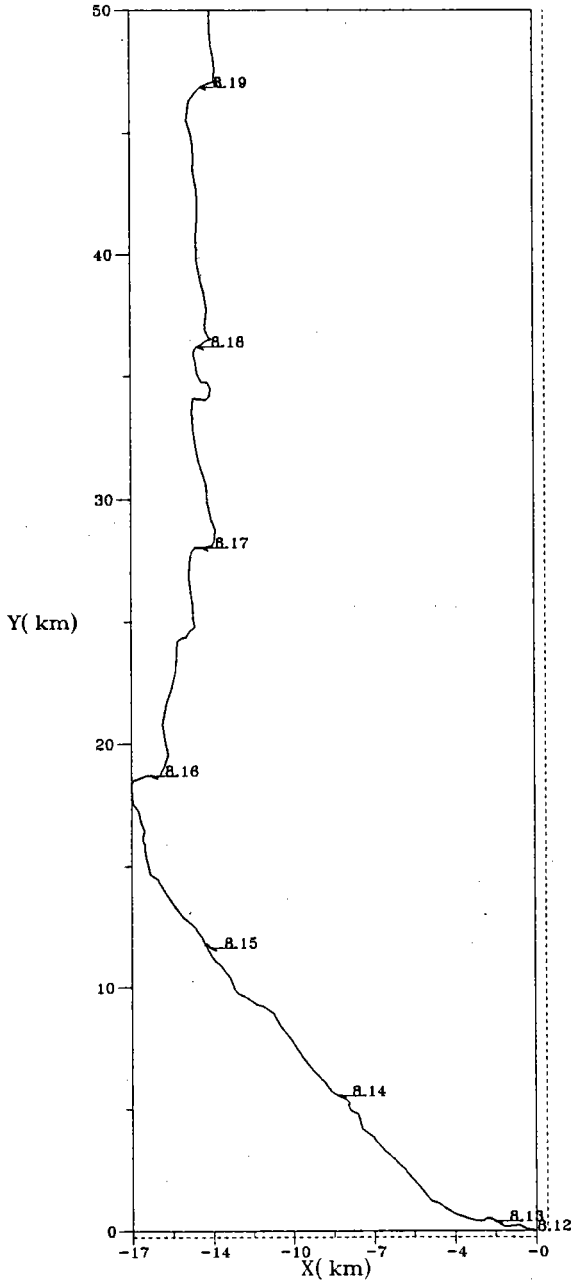


圖4-2-26 1997年8月57-10測站海流向量進行圖

CUKS5710.1HX	Institute of Harbor & Marine Technology

PLPV1V.FOR 1996.7.1

Kao-Hsiung Harbor

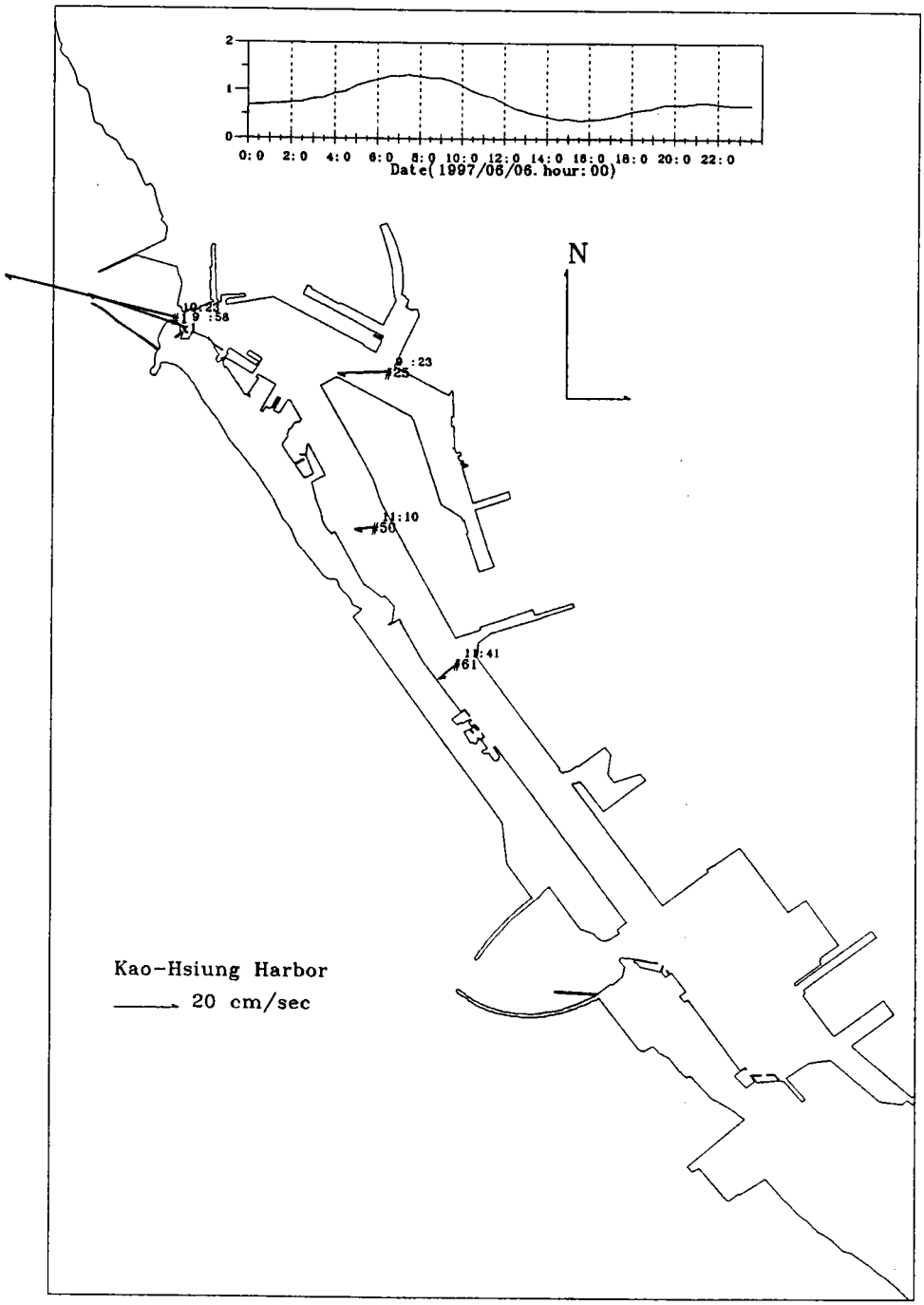


圖4-2-27 1997年6月6日退潮時段港內各測站之海流向量圖

KS0606A.INN	KS0606A.DAT	KS0606A.TID	Institute of Harbor & Marine Technology

PLCX1V.FOR

1998.7.1

Kao-Hsiung Harbor

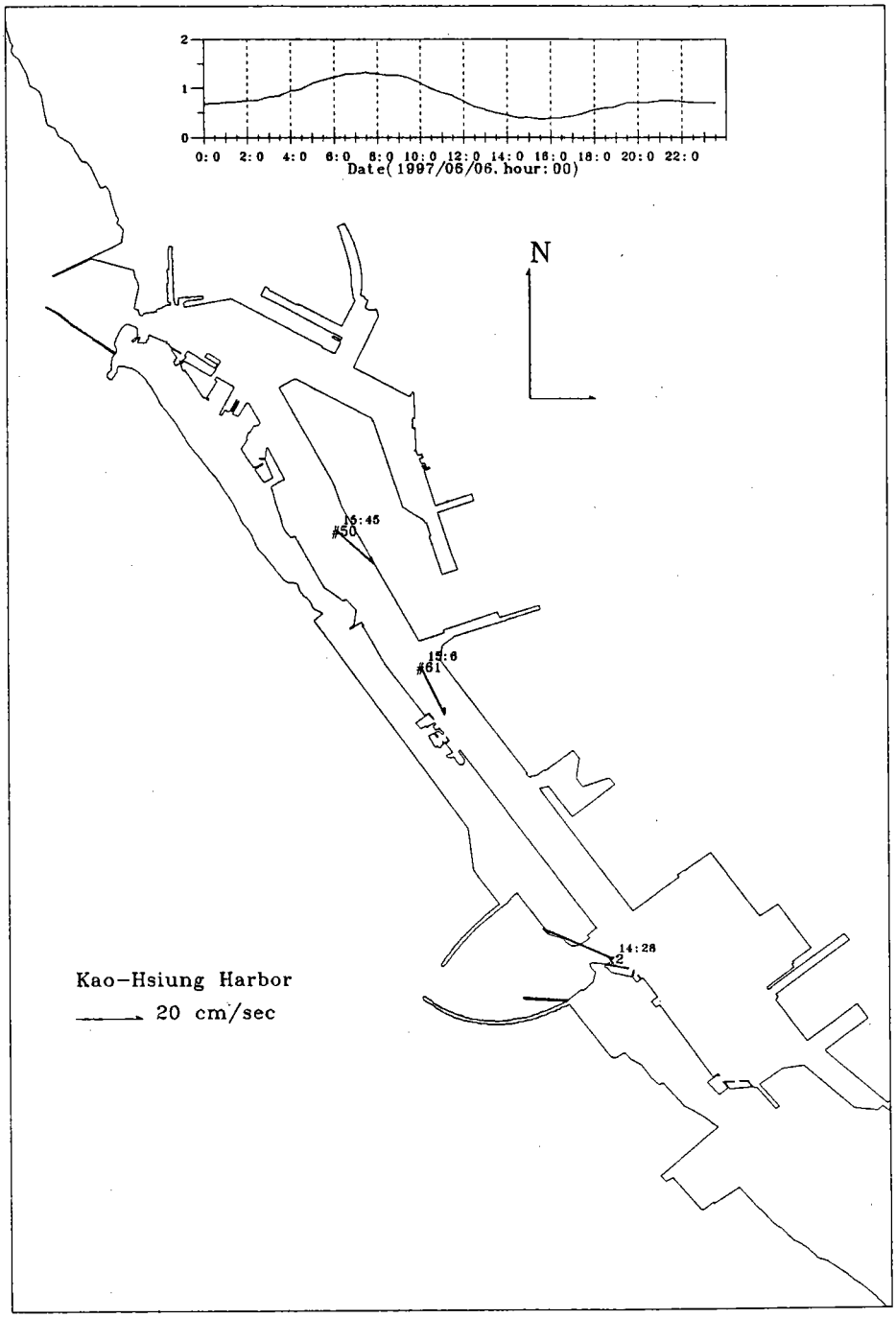


圖4-2-28 1997年6月6日漲潮時段港內各測站之海流向量圖

KS0606B.INN	KS0606B.DAT	KS0606B.TID	Institute of Harbor & Marine Technology

PLCX1V.FOR 1998.7.1

Kao-Hsiung Harbor

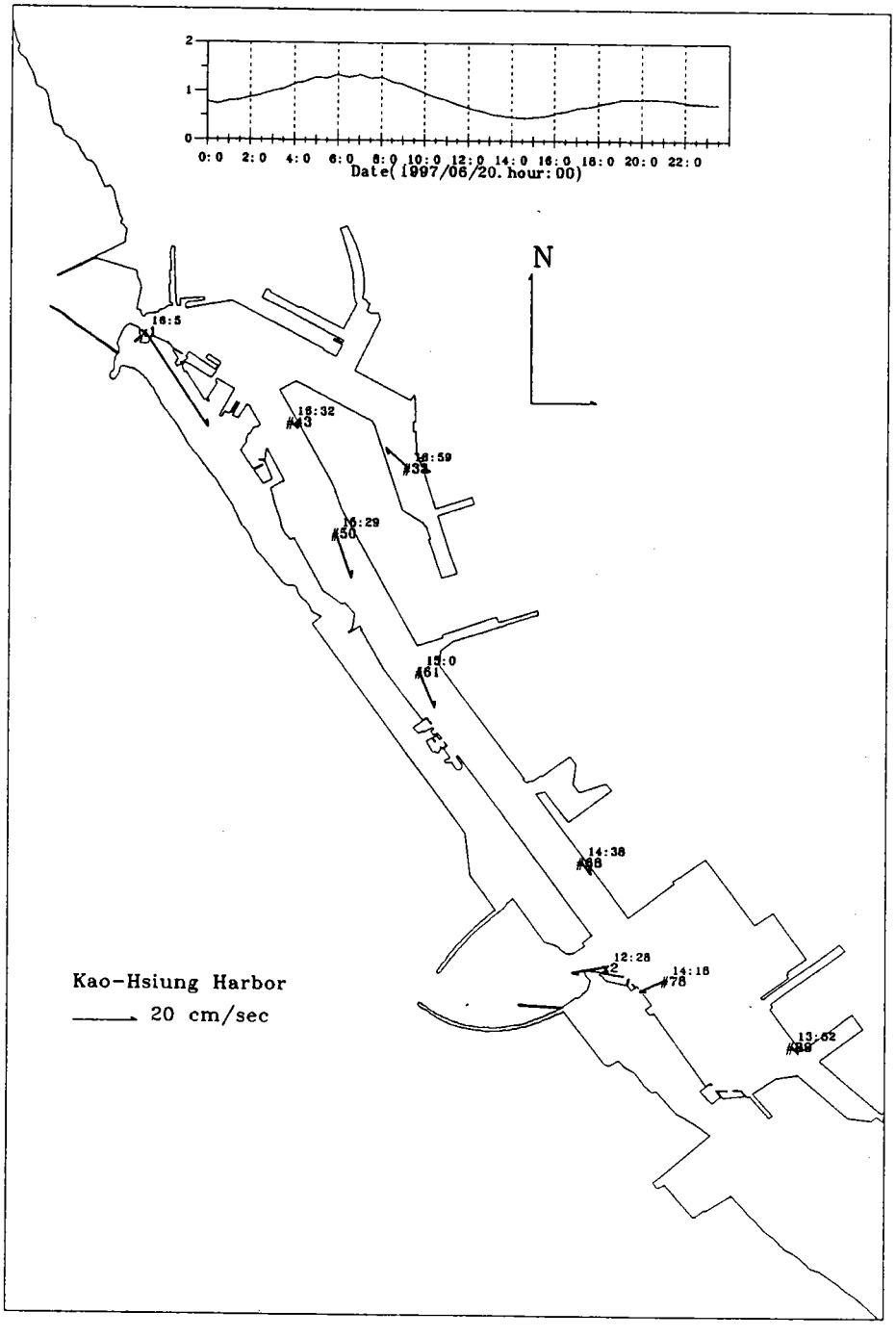


圖4-2-29 1997年6月20日漲潮時段港內各測站之海流向量圖

KS0620A.INN	KS0620A.DAT	KS0620A.TID	Institute of Harbor & Marine Technology

PLCX1V.FOR

1996.7.1

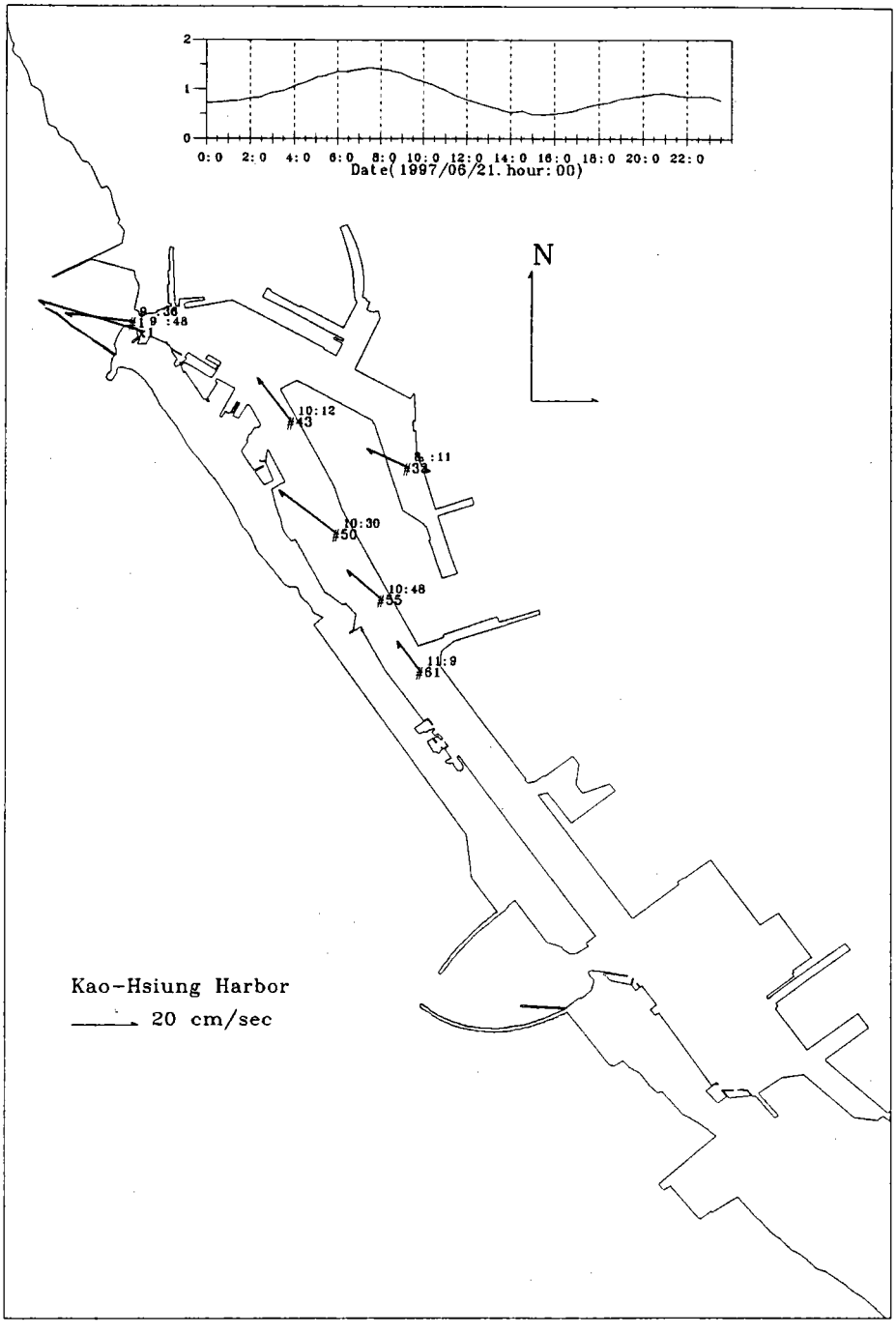


圖4-2-30　1997年6月21日退潮時段港內各測站之海流向量圖

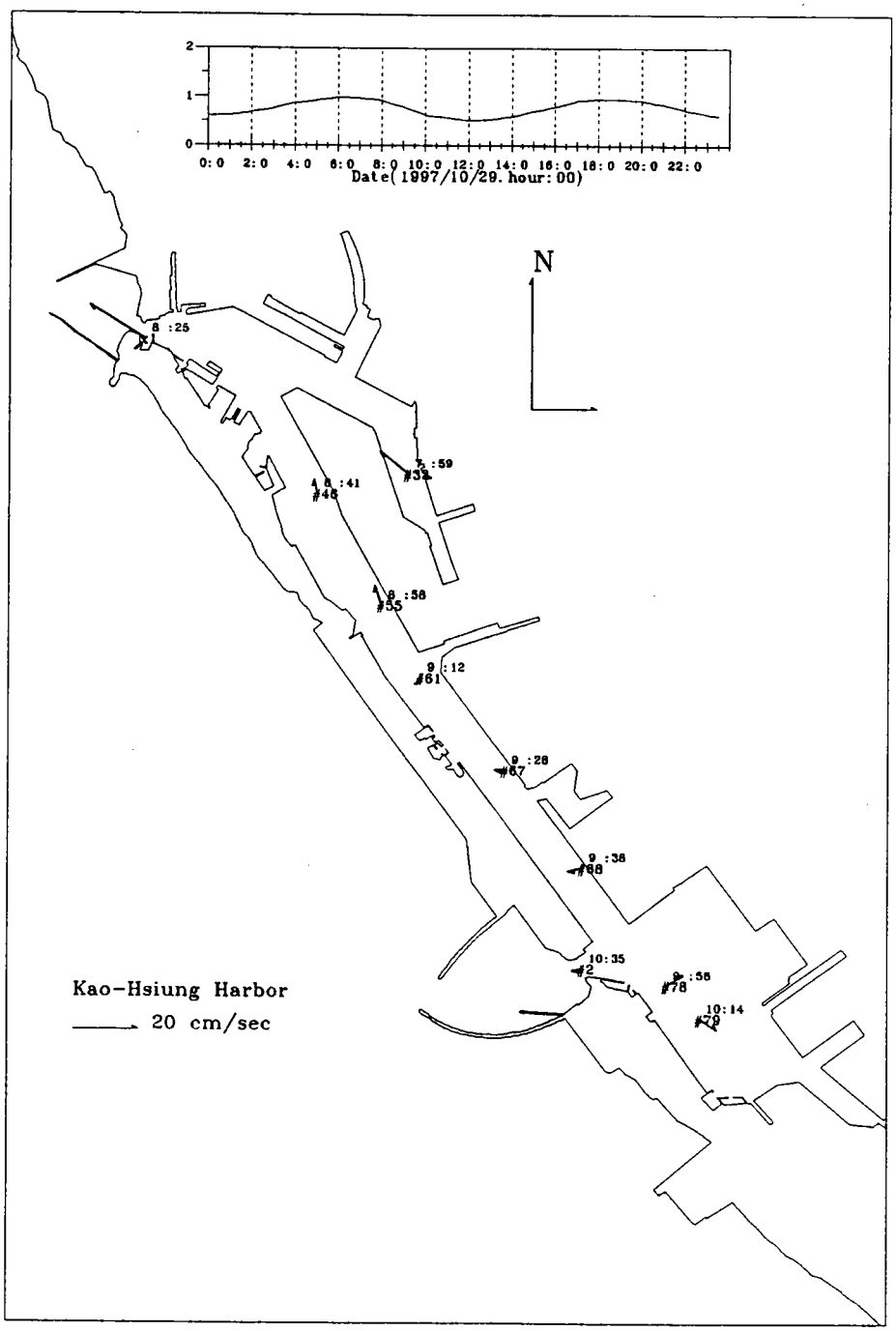


圖4-2-31　1997年10月29日退潮時段港內各測站之海流向量圖

KS1029A.INN	KS1029A.DAT	KS1029A.TID	Institute of Harbor & Marine Technology

PLCX1V.FOR　　1998.7.1

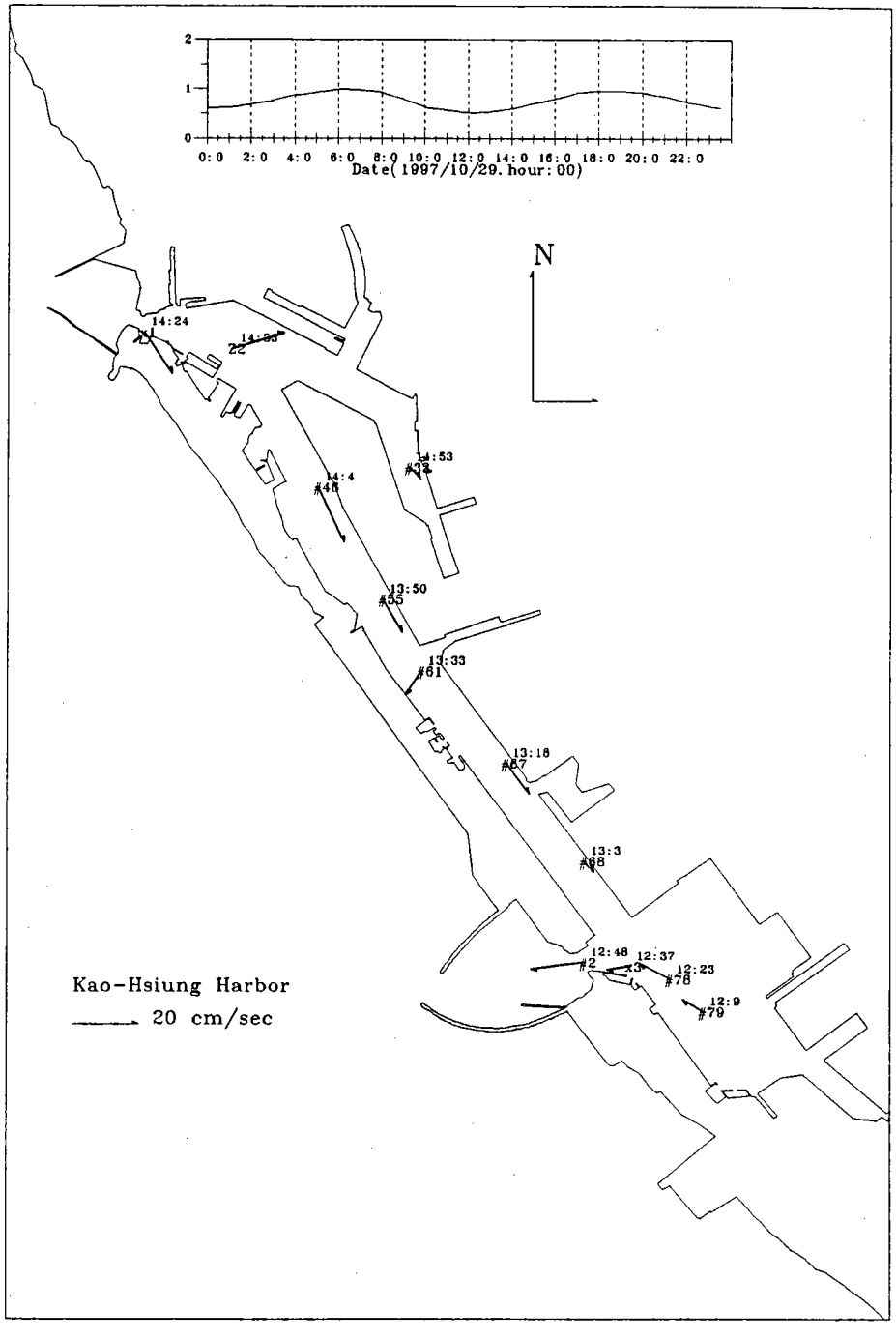


圖4-2-32　1997年10月29日漲潮時段港內各測站之海流向量圖

伍、結論及建議

爲較完整了解高雄港外及港內全區域之水理特性,本計畫除蒐集歷年之海流資料進行較深入之分析,也增加海流及潮位同時多地點之量測。因港內之流況資料卻甚爲欠缺，爲了解港內流況特性,本計畫特別加強港內流況之觀測工作。今將分析結果歸納如后:

1. 高雄港平均潮差約爲50公分，平均最大潮差約爲1米，潮汐主要成分爲半日潮及全日潮，二者大小相近。高雄潮差較北部淡水地區之月平均潮差約爲2米～3米左右爲小，也較中部台中港附近潮差4～5米爲小。此一地區之潮型與台中港區及淡水潮汐之潮型也不相同。淡水潮汐主要成份爲半日潮，全日潮其潮差僅爲半日潮潮差約五分之一左右。台中港潮汐主要成份爲半日潮，全日潮僅爲半日潮八分之一左右。

2. 潮汐能譜分析顯示全日潮含有二種期成份，一爲約23.93小時週期(K_1)，另一種爲25.82小時週期(O_1)，二者大小相近。半日潮也含有二種週期成份，一爲約12.4小時週期(M_2)，另一種約爲12小時週期(S_2)。M_2與全日潮(K_1及O_1)之成份大小相近，但S_2則不及M_2之二分之一。引用潮汐調和分析求得全日潮及半日潮二者之日變化，顯示部份時段全日潮遠大於半日潮，其他時段或半日潮遠大於全日潮，或有二者大小相近。整體月平均值則顯示二者大小相近。

3. 本區海流主要成份爲半日潮流及全日潮流，部份時候示平均流與潮流之數量級大小約略相等，因此實測之流向並不如預期中之純粹潮流那種往復之迴轉運動。在冬季因風及波浪受陸地遮敝影響除局部表層影響外，概略而言風吹流及近岸流皆甚小。

4. 高雄外海流速觀測記錄之最大流速高達100cm/s以上,其流向爲平行海岸線之西北向。月平均流速約20～30cm/sec。海流向量行進圖顯示,各站之平均流部份時段往東南方流，且流速較大;而也有部份時段各站之平均海流偏向西北方,但流速較小。此區潮流橢圓呈狹長型，沿岸方向

流速遠較向離岸方向流速爲大。漲潮向東南向，退潮向西北向，橢圓長軸之方向角與海岸線近乎平行。根據以往在興達港(高雄北北西方約三十公里)長期觀測資料顯示,興達港沿岸附近漲潮時潮流向西北流,退潮時則向東南流，因此本地區內潮流型態和附近地區不一致。一般而言,大林蒲同水深的海潮流流速均比中洲爲大,可能是受地形影響所致。

5. 調和分析潮汐之日變化顯示，或全日潮大於半日潮，或半日潮大於全日潮，或有二者大小相近。因此潮流橢圓分析之日變化也顯示，或全日潮流大於半日潮流，或半日潮流大於全日潮流，或有二者大小相近。其次經比較分析顯示全(半)日潮汐與全(半)日潮流之關係甚爲不穩定,全(半)日潮波之能量傳遞至全(半)日潮流則甚爲不規則，根據蘇(1970)在分析潮波在近岸地區前進時因受地形及海底摩擦效應之影響,不同潮波在傳遞過程之能量轉換並不完全相同。根據流與潮汐之相關分析結果，顯示沿岸流速與潮位相關係數小於0.7,表示相關性並不理想,其原因爲半日潮汐(潮流)及全日潮汐(潮流)之能量傳遞大小並不相同,僅以線性相關不易建立二者之關係式。

6. 大潮期間作28小時海流觀測，一港口行道附近之最大流速達55cm/s，其流向爲平行航道之東南向(向港內)；二港口之最大流速則爲31cm/s，其流向也爲平行航道之東北東(向港內)。經與潮位變化比較分析,高雄港港內漲潮時海流由一港口向內流(東南向),二港口之海流則向港外流(西南向)。在退潮時段,一港口之流向爲向外(西北向),二港口之海流向港內流動(東北向),其他則僅在轉潮部份時段時,有同進或同出之流況發生。

7. 經分析比較港內與外海之流向特性,可發現在漲潮時高雄港外近岸地區流向爲東南,此時港內流動順著外海之主要流動方面影響,從一港口進入,而由二港口出海。在退潮時,港外近岸區流向爲西北,此時港內流動也順著外海主要流向,由二港口進入,而從一港口出海。

8. 高雄港港內4個海流短期觀測，顯示各站之平均流速皆小於10 cm/s,中

層流速反較上層流速爲大；41碼頭行道附近之最大流速達33cm/s，其流向爲東南向；港內區除潮流外，其他平均流或殘餘流之影響有時也甚重要，除ST-48流向明顯集中於西北向及東南向(與行道平行)，其他ST-57、ST-41及ST-70測站流向較爲散亂,其原因爲部份觀測位置接近河口(ST-57),或位於航道之交叉口(ST-41及ST-70)。

9. 大潮時期,分漲潮或退潮期段,於港內採機動性短期海流觀測,同樣顯示退潮期間海流流向主要由二港口進,而由一港口出。漲潮期間海流流向主要由一港口進入,而由二港口出來。一港口之流速較二港口流速爲大，除在兩個港口處流速較大外,其他港內各點之流速皆小於15cm/sec。

參 考 文 獻

1. 中山大學, 1997, "港區空氣、水、噪音環境品質自動監測站研究規劃工作" 高雄港港務局研究報告,86-研(十三)。

2. 港灣技術研究所，1996 ，基隆、高雄、花蓮港整體規劃及未來發展計畫—高雄港整體規劃及未來發展計畫"，港灣技術研究所報告。

3. 張金機等，1993 ，"高雄海域海氣象調查研究"，港灣技術研究所專刊第89號。

4. 蘇青和，1970, "興達港外淺水地區海流特性及成因之研究"，國立台灣大學海洋研究所受，碩士論文。

5. 蘇青和,張金機, 1992, "台灣各港口潮汐相關性與預報模式",港灣技術研究所,基本研究報告,81-研(十三)。

6. 蘇青和、莊文傑等，1996, "台中港港池水理模式之研究"，港灣技術研究所基本研究報告，85-研(七)-1 。

7. 蘇青和,莊文傑,曾哲茂, 1997, "高雄港港池水理模式之研究",港灣技術研究所,基本研究報告,86-研(十三)。

8. 蘇青和等,1997, "淡水國內商港漂砂調查及海、氣象與地形變遷監測",港灣技術研究所專刊。

9. 劉景毅，1996 ，"高雄河川、海域現況水質之模擬與分析"，研究試驗報告176號，國立成功大學水工試驗所。

10. Tukey, J. W. ,1996,"what can data analysis and statistics offer today? " In: Proc. of cofe. on Ocean Wave-spectral , PP. 347 ～ 351 .

11. Jenkins, G. M. and D. G. Watts ,1968, "Spectral analysis and its applications." ,San Francisco , Holden-Day .

12. Welch, P. D. ,1967," The use of fast fourier transform for the estimation of power spectra.", IEEE. Transaction on Audio and Electroacoustics. 15, pp70 ~ 73.

附錄一、旋轉能譜及潮流橢圓分析

7-1 複數值時序能譜分析

1. 變異函數(covariance function)及相關函數(correlation function)：

若複數值時序$\vec{u}(t) = u_1(t) + iu_2(t)$爲定常，零平均值，式中$u_1$及$u_2$分別爲實數值時序，則自變異函數(auto-covariance function)定義爲

$$C_{uu}(\tau) = E[\vec{u}^*(t)\vec{u}(t+\tau)] \tag{7.1}$$

其中E[ ]表期望值，τ爲時間遲延(time lag)

自相關函數(auto-correlation function)定義爲

$$R_{uu}(\tau) = C_{uu}(\tau)/C_{uu}(0) \tag{7.2}$$

2. 自能譜(auto-spectrum):

複數值時序$\vec{u}(t)$的自能譜密度函數定義爲$\vec{u}(t)$自變異函數的傅立葉轉換

$$S_{uu}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} C_{xx}(\tau)e^{-2\pi i f\tau}d\tau \tag{7.3}$$

或

$$S_{uu}(f) = \vec{U}^*(f)\vec{U}(f) \tag{7.4}$$

其中$\vec{U}(f)$爲時序$\vec{u}(t)$的傅立葉轉換，*表共軛複數。

$$\vec{U}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \vec{u}(t)e^{-2\pi i f t}dt \tag{7.5}$$

時序$\vec{u}(t)$的自能譜密度函數$S_{uu}(f)$表示在頻率f之實數值時序u_1及u_2二者自能譜密度函數之和。$S_{uu}(f)$之值與座標系統有關。

3. **旋轉能譜(rotary spectrum):**

複數值時序$\vec{u}(t)$的傅立葉轉換可表爲兩部份

$$\vec{U}_+(\sigma) = \vec{U}(f) = A(\sigma)\exp(iF_+\sigma) \qquad for \quad f > 0 \tag{7.6}$$

$$\vec{U}_-(\sigma) = \vec{U}(f) = B(\sigma)\exp(iF_-\sigma) \qquad for \quad f < 0 \tag{7.7}$$

其中$\sigma = |f|$。一般$\vec{U}_+$及$\vec{U}_-$可化爲

$$\vec{U}_+ = 1/2[(a_1 + b_2) + i(a_2 - b_1)] \tag{7.8}$$

$$\vec{U}_- = 1/2[(a_1 - b_2) + i(a_2 + b_1)] \tag{7.9}$$

其中a_1及a_2分別爲u_1及u_2之餘弦傅立葉轉換。其中b_1及b_2分別爲u_1及u_2之正弦傅立葉轉換。

正能譜(positive spectrum)或稱反轉能譜(counter-clockwise spectrum)定義爲

$$S_+ = \vec{U}_+^*\vec{U}_+ \tag{7.10}$$

負能譜(negative spectrum)或稱順轉能譜(clockwise spectrum)定義爲

$$S_- = \vec{U}_-^*\vec{U}_- \tag{7.11}$$

全能譜(total spectrum)定義爲

$$S_t = S_+ + S_- \tag{7.12}$$

旋轉係數ε (rotary coefficient)定義爲

$$\varepsilon = \frac{S_+ - S_-}{S_t} \tag{7.13}$$

7-2 潮流橢圓分析

若複數值時序$\vec{u}(t)$表示海流向量，u_1及u_2分別爲海流東西及南北分量。且時序$\vec{u}(t)$的傅立葉轉換$\vec{U}(f)$存在反傅立葉轉換則可表示爲

$$\vec{u}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \vec{U}(f) e^{2\pi i f t} df \tag{7.14}$$

或

$$\vec{u}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} [A(\sigma)\exp(iF_+ + 2\pi i\sigma t) + B(\sigma)\exp(iF_- - 2\pi i\sigma t)] d\sigma \tag{7.15}$$

方程式(7.15)表示海流速度$u(t)$可由不同頻率σ橢圓運動組成，在每一頻率σ橢圓運動又可分爲一反時鐘方向之圓運動(半徑爲A，相位角爲F_+，角速度爲$2\sigma\pi$)和一順時鐘方向之圓運動(半徑爲B，相位角爲F_-，角速度爲$-2\sigma\pi$)組成。對頻率σ之橢圓運動其方程式爲

$$A(\sigma)\exp(iF_+ + 2\pi i\sigma t) + B(\sigma)\exp(iF_- - 2\pi i\sigma t) \tag{7.16}$$

長軸之長爲：$A + B$。短軸之長爲：$|A - B|$。長軸之相位角$\alpha = (F_+ - F_-)/2$。正能譜(或稱反轉能譜)代表反時鐘方向圓運動在不同頻率之能量

分佈大小，負能譜(或稱順轉能譜)代表順時鐘方向圓運動在不同頻率之能量分佈大小，而全能譜(total spectrum)代表兩者之能量和。旋轉係數$\varepsilon = 1$代表純反轉，$\varepsilon = -1$代表純順轉，$0 < \varepsilon < 1$表反轉分量大於順轉分量，$-1 < \varepsilon < 0$表順轉分量大於反轉分量。

第二子計畫

—高雄港港池水理水質模型試驗暨—

—溢油衛星遙測調查研究—

摘 要

本計畫針對高雄港港域的流況和擴散特性及港池內表面溢油之傳輸分佈進行模型試驗探討，並以既有之潮位水流資料及港池溢油衛星資料加以驗證。本計畫量測模型港域之流速分佈，一二港口之漲退潮之流向及流量，港域內之擴散係數及溢油事件發生的表面溢油面積之分佈。研究成果可提供數值模式所需之水理參數，使模型試驗配合現場資料及數值模式三者互相驗證。經由本研究之水理分析，對於高雄港域之水理特性，污染擴散能力及溢油範圍之傳輸將有更深入的了解，並得以對港域水質及油污之監測管理做更完整有效之規劃及評估。

Abstract

The hydraulic characteristics, as well as the dispersion phenomenon , of the Kaoshiung Harbor and the transport processes of the oil spill are examined in this study by employing experimental study and remote sensing. A 8m x 6 m plain basin was set up to simulate the flow pattern in the Kaoshiung Harbor and to explore the spreading scenario of the oil-spill events. The results of the experimental study are essential for providing useful parameters for numerical models and for the monitoring system of the oil spill events.

目　錄

表 目 錄

圖 目 錄

第一章 計畫背景及目的

1.1 前言

高雄港港域遼闊，水域寬敞，為本省最大國際港。貨物吞吐量佔全省三分之二，年度貨物裝卸量高達兩億公噸，進出船舶超過二萬四千艘次；同時為世界第三大貨櫃港，八十四年度貨櫃裝卸量更突破五百萬 TEU。但高雄港因位居仁愛河、前鎮河、鹽水溪及一、二、三、五號船渠等主要污水涵渠之下游，納入大量未經適當處理之汙水，致港池水質受嚴重污染，前鎮河口水色常呈污黑且發惡臭。另一方面，高雄港內之溢油污染亦相當嚴重，尤以中島加工區碼頭及浮筒處之老舊船舶溢油情形最嚴重。港外之溢油亦曾發生數次，如 85 年 8 月 10 日中油外海輸油浮筒漏油及 86 年 10 月 7 日長運輪於二港口外海發生之氣爆漏油案例，均造成海域污染及漁民索賠事件。政府鑑於我國經濟外貿及國際局勢發展之需，正全力推動台灣成為亞太營運中心，而高雄港乃我國經濟外貿營運之最重要據點之一。為提供船商之週全服務，順應世界環保潮流及提昇國際形象，以開創高雄港之新紀元，高雄港港池污染整治工作，乃刻不容緩之要務。

港灣技術研究所曾於八十六年對高雄港港域內的流況和擴散特性進行過定點現場調查研究。現場量測項目包含港域流場、速度剖面、港池內外潮差、水鹽度及溫度等水理特性。本研究計畫則以模型試驗為主，對高雄港港域全域的流況和擴散特性及港池內表面溢油之傳輸分佈進行探討，並以既有之潮位水流資料及港池內、外溢油之衛星遙測資料加以驗證。本計畫量測港域之流速分佈，一、二港口之漲退潮之流向及流速剖面，港域內之擴散係數及溢油事件發生的表面溢油面積之分佈。本研究成果可提供數值模式所需之水理參數，使模型試驗配合現場資料及數值模式三者互相驗證。經由本研究之水理分

析，對於高雄港域之水理特性，污染擴散能力及溢油範圍之傳輸將有更深入的了解，並得以對港域水質及油污之監測管理做更完整有效之規劃及評估。

1.2 計畫內容及工作項目

本試驗研究之內容包含港域流速之量測，港域內擴散係數推求，水面油污之範圍量測及港池裡、外溢油之衛星遙測資料收集分析。本研究之現場流場範圍約10公里×10公里，試驗試驗則採水平縮比1/2000及垂直縮比1/200(見圖1-1)。本研究以超音波流速儀(ADV)量測模型港域之潮流速度，以粒子追蹤法推求港域內之擴散係數，並以攝影機及相機量測油污之範圍。本試驗研究之量測結果可增進對港域內水理特性及油汙擴散之了解。各項工作項目說明如下包括：

1. 流速量測：以港外測得之現場潮流及水位資料做為邊界條件，以確定模型試驗之正確性。並於潮汐之不同相位，量測港池內及一、二港口處之潮流分佈以了解漲退潮，高雄港池內海水之交換情形。速度之量測並以超音波流速儀ADV(Nortek)及旋轉流速計(Armfield)互相驗證。
2. 港池內之延散係數：原擬以雷射光源(Argon,4W)及螢光染料(Rodamin B)量測在不同潮流下，在港區各位置之濃度分佈並藉以求出港池內之延散係數(見圖1-1)。而由於雷射光源故障,本研究改用粒子追蹤及亂流擴散理論來推求表面流場之水平延散係數。
3. 池油污傳輸量測：以照相機(Nikon,FM2)及攝影機(Panasonic,NV-DP1,30fps)求出港內油污在不同潮流時及不同位置時之分佈情形。

4. 現場資料驗證：根據現有之潮流資料及漏油資料（地面及衛星影像）與模型試驗結果相驗證。

第二章 高雄港海氣象資料分析

2.1 水文資料

高雄地區的年雨量約1834公釐，每年6月至9月為最大降雨月份，降雨量約佔全年總降雨量的80%左右，而10月致翌年3月則為旱季，降雨量極少，是一旱雨分明的地區。

高雄港地區年平均氣溫約為 25°C，月平均氣溫在 20°C~29°C 之間，以夏季 7 月份為最高，1 月份為最低。冬季多吹北風，夏季則以南風為主，偶而也吹西北風，年平均風速約為 2.3m/s。本地區於每年 9 月至翌年 3 月之冬季季風期間受蒙古及華北高氣壓之影響，強風之方向以北北西向較多，風速在 0.3 至 5.3m/s 之間，吹風延時有達 16 小時者。每年 4 至 9 月為夏季季風，主要風向為西南風，一般風速多在 5.4m/s 以下。超過 5.5 至 15m/s 風速者亦屬常見，概係受颱風或太平洋低氣壓所致。每年 4 及 9 月為夏季季節風與冬季季節風轉換期。

根據中央氣象局高雄測候所及高雄港局前第二港口工程處氣象站之氣象及海象觀測紀錄，可知強風及巨浪多發生於每年之夏季 6~9 月，此時亦為颱風季節。在冬季及春季天氣良好，港面穩靜。高雄地區 7 月至 9 月常遭颱風侵襲，颱風之侵襲常帶來大量雨水，雖然可以沖洗河床且短期改善水質，但亦會從上游挾帶泥沙淤積於下游河段。

2.2 波浪資料

在一般情形下，高雄港外海附近之波向大致與風向一致，亦即在南與西之間，而大多與海岸線約呈垂直之方向。其他情形下之波浪概述如下：

A.颱風時期之波浪狀況：

(a)颱風時之波浪，因颱風強度及其路徑而異，颱風在高雄地區

附近海岸登陸，或其中心在高雄海岸極接近之處通過時，波浪較高，有實測 5 至 5.5 公尺之有義波高，10 至 12 秒週期波浪之紀錄。

(b)颱風沿台灣海峽北上時，對於在高雄港外外所影響之波浪，約在 4~5 公尺波高，12 秒週期。

(c)颱風橫越中央山脈，或通過北部地區時，在高雄港附近海面所發生之波浪較小，大都在 1.0 公尺以下，過去實測紀錄最大者為 3.6 公尺，週期 8.6 秒。

B.季節風時期波浪：

(a)夏季季節風時期之波浪，大多為風浪，或由遠岸處傳播來之湧浪，波高均不大，週期亦短。

(b)冬季季節風時期，風向大多為西北，對於高雄港外海所發生之波浪，呈湧浪性質，波高一般在 1 公尺左右，週期約 8 秒左右。

C.對於波浪之繞射情形曾在第二港口南堤沉箱作一試驗，其抵抗波浪性能之結果，繞射係數均大於 1，亦即反射波高約為入射波高之 2 倍。

2.3 潮汐

天體的萬有引力，如太陰、太陽的吸引力，地球的公轉與自轉，氣象的變化等作用於海面，使海水隨之產生一種週期性的升降運動現象，稱為潮汐(Tide)。潮汐依其發生原因可分為「天文潮」與「氣象潮」。天文潮係地球受太陽與太陰之引力而發生，因天體作一定週期性運動，故潮汐升降有一定的週期。氣象潮則因為氣壓之變化，如風、氣壓、波浪等之氣象情況變化所影響，故此類潮汐之升降無一定之週

期性質。高雄港之潮汐為正規半日潮，每日之二次潮並不相等，高雄港區之平均潮位為 0.74m，平均潮差為 0.68m。而高雄港較為特殊之潮汐情況有如下：

A.高潮位發生於夏季朔望日左右，一般為農曆初三或十八，最高潮位約為 1.7 公尺，最低潮位大都發生在冬季朔望，潮位接近零，平均潮差約在 0.7 公尺左右。

B.發生過最大潮差高達 2.6 公尺，是在民國 58 年 7 月 28 日(陰曆 6 月 15 日)，當時因受「衛歐拉」颱風所影響，氣壓下降，其風暴激浪侵襲高雄港海面，又適逢高潮時期，因而有此異常潮位發生。

C.在第二港口未開口前，高雄港之內外港(二港口附近)之潮位相差在 50 公分左右，二港口開闢後，內外港水面相通，其潮差僅有 5 公分左右。

2.4 潮流

隨著潮汐之海水在水平方向流動者稱為潮流，其垂直方向的升降運動為潮汐，故潮汐與潮流時為一種現象的二個形式，互有密不可分的關係。事實上在潮流中仍含有海流現象。海流與潮流有別，經過某一地點的海流流過後，絕無返回原同一地點；但潮流與潮汐相似，且有半日週期性。潮流隨潮汐的漲落而變化，一般潮差愈大，潮流愈明顯。潮流和潮汐隨為一種現象的二個形式，有不可分離的密切關係，但其振幅的比例；變化的現象，視各地區而異，其轉流的現象有時不隨潮汐之高低潮而變，有時潮汐大但潮流小；有時潮汐小但潮流大，但是在同一地區，大潮期間其潮流亦大。潮流的觀測是以流速及流向為主，高雄港的潮流觀測資料說明如下：

2.4.1 早期觀測資料

A.在第二港口未開口時，高雄港務局測量隊於民國 52 年 8 月~10 月使用 Ekman-Merz 流速儀施測港內六個定點，自水面下 1、3、5 流速之平均值，得漲潮時以 0.2~0.3m/s 流速流向港內；退潮時亦以 0.2~0.3m/s 流速流向港外。以浮標追蹤法測得漲潮表面流速為 0.68m/s；退潮時為 0.73m/s。

B.第二港口開口後，港務局於民國 58 年 7~8 月間，在港口內外各選定 6 個測站，使用 OC 型及 CM-II 型流速儀來量測潮流，結果得港外流速為 0.8m/s，港內流速為 0.52m/s，而港口流速達 0.8m/s 以上。

C.第二港口未開闢前，港內潮流大致有一定軌跡，漲潮流進入港口後偏向旗津沿岸，落潮時偏向哨船頭沿岸，然後繞行而流出港口；在外海的潮流，漲潮時向「南流」，落潮時則向「西北流」。二港口開闢後已有變化，港內潮流在漲潮時，由第一港口及第二港口流入後，各向中島區附近進行；落潮時由前鎮河口之主航道分向各港口流出，其中第一港口狹水道之流速較第二港口狹水道之流速為大。

D.依台灣大學理學院海洋研究所於民國 66 年之調查結果現示：高雄內港之潮流退潮時，5 號船渠及仁愛河所排出之污水係經由第一港口排出，前鎮河所排出之污水則向東南移動，經由第二港口排出，且愈近第二港口流速愈大，高雄內港於退潮時之流向分界線約在 50 號碼頭附近，污水出港後，順潮流被帶往西北方；漲潮時，由於港外沿岸潮流為東南向，正對第一港口，故潮水由第一港口湧入，同時第二港口航道與潮流方向垂直，造成「抽吸」內港水之作用，使第二港口於漲潮時向港內流出之作用不明顯，反而有大部分時間係向港外流出，而整個高雄港池之水流亦呈現向第二港口流動之情

況，為流速較退潮時為小。

2.4.2 近期觀測資料

2.4.2.1 港外潮流資料

根據港灣技術研究所(洪等人,1995)於 1992 之 1 月～12 月於第二港口外 20m 處之長期海流儀觀測資料顯示，夏季西風季節及冬季之潮流能譜均以平行海岸為主，其主軸代表潮流速度約為 23cm/sec。由海流玫瑰圖之分析可知潮流以 NW 及 SE 方向為主。在 3、11、12 月之潮流主頻週期為 12.19 小時，其他月份之潮流主頻則為 23.3 小時。

曾和孫(1997)分別於 1997 年 4 月至 7 月以一部自記式都卜勒剖流儀(ADCP)測得高雄港內外之三個潮流速度剖面。大林埔站之潮流漲潮為東南向(120°)，表面流速為 60cm/sec，退潮則為西北向(300°)，表面流速則為 50cm/sec。

港研所於86年10月28日至11月7日於高雄港大林埔及中洲外海分別佈設二部潮流儀。86年10月29日0時至86年11月7日0時潮位及向北之水平潮流速度分別如圖2-1及圖2-2 所示。由上圖可知退潮時，潮流向北；反之漲潮時水流向南，與前述記錄相符。故可知高雄港域位於沿岸之大渦迴流區內，且與深海之潮流方向相反。兩測站之最大潮流速度值為90cm/sec，大林埔站之平均潮流速度值為30.7cm/sec，中洲站之平均潮流速度值則為27.0cm/sec。由圖2-1及圖2-2可知南北向之平均潮流有一恆流為西北方向，即大林埔站之平均潮流速度為7.8cm/s向西及9.7cm/s向北；中洲站之平均潮流速度則為18.2cm/s向西及14.1cm/s向北；圖2-3為大林埔之流速向量圖，可明顯看出潮流之方向為西北方向。另小潮時以一日二回潮較明顯；在大潮時，則以全日潮較明顯。

由圖2-4及圖2-5之頻譜分析得知兩測站半日潮及全日潮之週期分別為12.0hr及24.0hr。

2.4.2.2 港內潮流資料

曾和孫(1997)分別於1997年5月至7月以一部自記式都卜勒剖流儀(ADCP)測得港內 48 號碼頭處之漲潮流向為 150°，流速為25cm/sec，退潮流向則為 330°，流速為 20cm/sec。而前鎮河口處(57號碼頭)之值與第二測站之值相近。

由上述近期資料可知高雄港內及外港之潮流主要均沿東南/西北走向，即漲潮向東南流，退潮則為西北流。與早期資料顯示:退潮時，5 號船渠及仁愛河所排出之污水係經由第一港口排出，前鎮河所排出，經由第二港口排出，高雄內港於退潮時之流向分界線約在 50 號碼頭附近；漲潮時港外潮水由第一港口湧入，同時第二港口向港內流出之作用不明顯，反而有大部分時間係向港外流出，而整個高雄港池之水流亦呈現向第二港口流動之情況，為流速較退潮時為小。兩者並不一致，故必須有第 1、2 港口同時之潮流資料加以驗證。

為確定第 1、2 港口之潮流方向，港研所遂於 1997 年 6 月 20 日於第 1、2 港口同時佈設兩部海流儀以量測其潮流流向。結果顯示大部份時間為漲潮由一港口進，二港口出；退潮則為二港口進，一港口出，第一、二港口之東向速度(U_x)如圖 2-6 所示。一港口之漲朝最大流速為75cm/sec，退潮流速則50cm/sec。二港口之漲退潮流速則相近，約為25cm/sec。

去年在高雄港港域 86年1月28日流速量測結果為：第一港口(測站2 , 8 am)及第二港口(測站10 , 12 am)之流速均向東(即向港內)，一港口之表面流速約10cm/sec，二港口約12cm/sec，而在49號碼頭(測站5)、

55號碼頭(測站6)及前鎮河口(測站7)其潮流速度較小，可視為二股向港內潮流互相牽制之結果。86年5月7日量測結果為：上午之量測時是退潮階段，一港口之潮流速度約為30cm/sec (一港口狹水道邊浮球段)，在一港口狹水道中央之底部最大速度達60cm/sec。而港內之潮流速度較小，約在10cm/sec以內。下午漲潮時，第一港口之流速約20~25cm/sec。故知一港口之流速較二港口為大，此乃一港口狹水道較二港口窄淺之地形所致。86年6月6日量測結果為：量測時正逢大潮，且高雄地區在6月4、5日適逢暴雨，故河川水位高漲，港內水位因而提高。上午量測時為退潮，一港口之表面潮流速度約54cm/sec；二港口之潮流速度則約為20~25cm/sec (向外)。下午漲潮時，因受河川水位上升之效應，表面水流仍向港外流，而在水面下則明顯有海水入流(即鹽楔)之情形。在一港口量測得水面之流速為30cm/sec(向港外)，約在水下3公尺以後海水才向港內流入；在二港口狹水道，水面二公尺以內水流向外，以下則海水向港內流，港內之流速約10cm/sec。本次測得在水面一公尺以下，海水流入港內最大流速可達60cm/sec，故可知高雄港潮差小，河川水位高低對於港內流速之方向及大小影響顯著。

2.5 港內延散係數

根據文獻資料，以高雄港背景資料分析，顯示由潮汐漲落所導致的水平延散係數(m^2/sec)其數量級大都在0.1左右；而由風驅流所導致的延散係數則在10左右。本計畫於86年度於高雄港內進行三次水理現場量測。86年1月28日現場浮標觀測，浮標漂移的軌跡亦受到船隻尾跡流的影響很大，依Okubo(1974)方法求得之延散係數K值的範圍在0.17~16.6m^2/sec之間。此值遠較理論估算值為大，主要原因是港池內浮標受船尾跡流及船波(bow wave)之效應很大。

第三章 理論分析

3.1 流速剖面

本研究採用二維音波流速儀 ADV(Acoustic Doppler Velocimeter)及一維旋轉式流速計量測剖面流速。二維音波流速儀其原理乃利用杜卜勒(Doppler)效應量測水流速度。ADV 流速計可同時量得每一測點之水平流速值，即縱向(沿主航道)之水平流速(V_x)及側向(向岸)之水平流速(V_y)，兩者與潮流合速(V)及主航道與正北之角度差(β)(正北為零度)之關係為

$$V_x = V\cos\beta \tag{3-1}$$

$$V_y = V\sin\beta \tag{3-2}$$

3.2 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

$$\overline{X_i} = \frac{\sum_j X_{ij}}{N} \tag{3-3}$$

同樣的 Y 座標為

$$\overline{Y_i} = \frac{\sum_j Y_{ij}}{N} \tag{3-4}$$

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) ${\sigma_{x_i}}^2$ 及 ${\sigma_{y_i}}^2$ 定義為

$$\sigma_{x_i}{}^2 = \frac{\sum_j (X_{ij} - \overline{X_i})^2}{(N-1)} \tag{3-5}$$

$$\sigma_{y_i}{}^2 = \frac{\sum_j (Y_{ij} - \overline{Y_i})^2}{(N-1)} \tag{3-6}$$

依據 Okubo(1974)浮標分佈的延散可定義為

$$\sigma_i{}^2 = \frac{(\sigma_{x_i}{}^2 + \sigma_{y_i}{}^2)}{2} \tag{3-7}$$

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

$$K(t_i) = \frac{1}{2}\frac{\partial \sigma_i{}^2}{\partial t} \approx \frac{1}{2}\frac{\Delta \sigma_i^2}{\Delta t} \tag{3-8}$$

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

$$K_x(t_i) = \frac{1}{2}\frac{\partial \sigma_{x_i}{}^2}{\partial t} \approx \frac{1}{2}\frac{\Delta \sigma_{x_i}{}^2}{\Delta t} \tag{3-9}$$

$$K_y(t_i) = \frac{1}{2}\frac{\partial \sigma_{y_i}{}^2}{\partial t} \approx \frac{1}{2}\frac{\Delta \sigma_{y_i}{}^2}{\Delta t} \tag{3-10}$$

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。

3.3 不等比水工試驗之理論

因為重力和慣性力顯著，所以一般河川或港灣模型通常使用福祿數相似定律，在不等比模型中，速度比 U_r 和時間比 T_r 要符合福祿定律。

$$U_r = Y_r^{0.5}$$
$$T_r = L_r Y_r^{0.5}$$

其中 r：模型數與原型之比(scale)

L_r：水平長度比

Y_r：垂直長度比

則剪力速度之比率為

$$u_{*r} = (g_r Y_r S_r)^{1/2} = Y_r L_r^{-1/2} \tag{3-11}$$

其中 g_r 為 1

$$S_r = \frac{Y_r}{L_r}$$

$$(\sigma_x)_r = L_r$$

其中 σ_x 為縱方向雲團尺寸大小

$$E = \frac{1}{2}\frac{d}{dt}\sigma_x^2$$

$$E_r = \frac{L_r^2}{T_r} = L_r Y_r^{1/2}$$

3.4 垂直速度梯度下之延散係數

如果垂直速度在延散過程是主要的變量，Elder(1959)指出在均勻流中延散係數

$$E_v = 5.9hu_* \tag{3-12}$$

其中 h 為水深

而原型與模型的垂直速度分佈和紊流擴散性須相似。延散係數率可從 *eq.*(11)、(12)獲得

$$(E_v)_r = Y_r^2 L_r^{-1/2} \tag{3-13}$$

3.5 橫向速度梯度控制下之側向擴散係數

Fischer(1967)指出 $E_t = (u''^2)b^2 / Ru_*$ (3-14)

其中 b：水面最大速度到河岸的距離

R：水力半徑

u''^2：任一點速度和斷面平均速度之差

在之後的分析，假設半寬用 b 代替，水深用 R 代替。

E.A.Prych(1967)指出：

$$(E_t)_r = L_r^{5/2} Y_r^{-1} \tag{3-15}$$

$$T' = T/T_c \tag{3-16}$$

其中 T：振盪週期

T_c：斷面紊流混合的特徵時間

$$T_c = \lambda^2 / e \tag{3-17}$$

其中 λ：斷面完全混合時紊流擴散的距離

e：延散係數

T_c 的測量需要橫向斷面完全的混合。

對於天然河道，T_c 用來定義垂直與橫向混合的時間尺度，而 T_c 取決於特徵長度與水深 h，寬度 b

$$T_{cv} = \frac{h^2}{e_v} \tag{3-18}$$

$$T_{ct} = \frac{b^2}{e_t} \tag{3-19}$$

對於平直渠道 e_v 和 e_t 接近(Elder 1959)

$$e_v = 0.067hu_* \tag{3-20}$$

$$e_t = 0.23hu_* \tag{3-21}$$

定義無因次

$$T_v' = \frac{T}{T_{cv}} \tag{3-22}$$

$$T_t' = \frac{T}{T_{ct}} \tag{3-23}$$

可由式(3.18)-(3.23)及(3.11)得

$$(T_v')_r = \left(\frac{L_r}{Y_r}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{3.24}$$

$$(T_t')_r = \left(\frac{Y_r}{L_r}\right)^{\frac{3}{2}} \tag{3.25}$$

計算曼寧 n 值，由 Manning 公式 $V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2}$ 推求出

$$V_r = \frac{1}{n_r}(R_h)_r^{2/3} S_r^{1/2} \tag{3.26}$$

$$Y_r^{1/2} = \frac{1}{n_r} \times (Y_r)^{2/3} \left(\frac{Y_r}{L_r}\right)^{1/2} \tag{3.27}$$

$$n_r = Y_r^{2/3} L_r^{-1/2} \tag{3.28}$$

3.6 高雄港池尺度縮比的關係

以高雄港池為例，現場之尺寸為

L=10km

B=500m

h=12m

T=12.0hr

不等比的水工模型分別為

$$L_r = \frac{1}{2000} \qquad Y_r = \frac{1}{200}$$

以下計算U_r、T_r、$(E_v)_r$、$(E_t)_r$、$(T'_v)_r$、$(T'_t)_r$、n_r 分別為

$$U_r = Y_r^{1/2} = \frac{1}{14}$$

$$T_r = L_r Y_r^{-1/2} = \frac{1}{141}$$

$$(E_v)_r = Y_r^2 L_r^{-1/2} = \frac{1}{894}$$

$$(E_t)_r = L_r^{5/2} Y_r^{-1} = \frac{1}{894427}$$

$$(T_v')_r = \left(\frac{L_r}{Y_r}\right)^{1/2} = \frac{1}{3.16}$$

$$(T_t')_r = \left(\frac{Y_r}{L_r}\right)^{3/2} = 31.6$$

曼寧n值 $n_r = Y_r^{2/3} L_r^{-1/2} = (1/200)^{2/3} \times (1/2000)^{-1/2} = 1.31$，亦即模擬試驗中之粗糙度為現場之1.31倍。比較高雄港原型與模型的尺度關係可列表如下：

表3-1 高雄港原型與模型的尺度關係

	L(m)	*B(m)*	*H(cm)*	*V(cm/s)*	*T(min)*
原型	10000	500	1200	80	720
模型	5	0.25	6	5.7	5.09

第四章 油污資料收集及分析

4.1 海域溢油原因

台灣四面環海，天然資源不足，因此石油為我國主要輸入的能源之一。經濟上主要是靠輸入石油原料加工後再外銷，石化工業是其中相當重要的一類。如果油輪因碰撞或觸礁漏出大量原油，或是油輪卸油時處理不當而漏油，則將對海域造成另一類嚴重的污染—『油污染』。另外因台灣的貿易主要是靠海運，每日均有不少的商船進出各港口，台灣海峽及台灣東部又是世界航運的主要航道，通過的船隻繁多，台灣的漁業又相當發達，漁船的數量也相當的龐大。因此除了油輪外，商船及漁船在航行中因故意或因事故而排出含油的污染物也都會造成海域的『油污染』。

溢油污染對海洋環境之衝擊可為相當嚴重，尤其造成近岸海域及潮間帶之生態結構及食物鏈遭到破壞；目前世界各國對於溢油污染事件之處理並無良策，僅以攔油索攔截回收或噴洒化學藥物分解之，此一方式對於較小之溢油事件則有相當效果，但對於大型溢油事件則其成效有限，其原因在於海上潮流及風浪強勁，若再加上強風助長，溢油可於相當短之時間內即可擴展至相當大之面積，屆時已甚難收拾處理。溢油模擬之目的即在平時研究當地海域之海象特性，可預先模擬可能之溢油情況作為決策輔助之工具，方可提供為近岸港口及防波堤等設施佈置妥當與否之參考，於事件發生後可視溢油擴散之初步狀況研判可能之污染位置與範圍。提供決策者當機立斷及作即時得當之攔截處理。目前各國溢油模式紛雜且各有其適用範圍及限制因素，故自行發展適應國內環境之溢油模式是有其必要性。

4.2 油污之分類

(1)油輪之污染：

油輪因碰撞或遭遇惡劣的天候而觸礁、擱淺時，會漏出大量的原油。若原油飄到岸邊，則破壞海岸及其自然生態。油輪之污染主

要有洗艙、壓艙水之例行排出；碰撞或擱淺的溢油；裝卸作業時意外的溢油等等。

(2)商船之污染：

商船因為引擎的運轉而產生許多的廢油，此外船隻在航行中也會因為船員的活動而產生廢水。這些廢機油及廢水理應按國際公約的規定之海域排放或於入港後，送交港內之專責機構進行處理、回收或再排放。然不少船隻為了方便或節省處理費用，在進港之前以不符合國際公約之方式將廢油及廢水傾倒於海中，污染了我的領海及經濟海域。

(3)漁船之污染：

我國近海漁業十分發達，漁船數量相當的多，但設備較為簡陋。一般而言，船上沒有廢油及廢水的處理設備。而漁港本身也沒有處理此類污染物的能力，要求漁船進港後以油污車抽取污油及廢水送往處理場進一步的處理，將增加漁民們的負擔，故配合度不高。

4.3 高雄港港池內、外之溢油污染實例

4.3.1 高雄港港池內溢油污染事件

本計畫收集到高雄港港內之溢油污染記錄，整理如表 4-1，其中以 18 至 20 號碼頭常出現油污為嚴重，究其原因乃其為高雄港進港船舶加油的主要碼頭。而 51 至 57 號碼頭其發生油污原因不一，但亦常因擴散效應不良，常有亦由堆積消散不易之現象。此外，中島加工區（42 至 48 號）碼頭及浮筒處老舊船舶溢油情形亦相當嚴重，如同 1 至 10 號碼頭之老舊船舶（越南、巴拿馬籍等）漏油問題較多。

4.3.2 高雄港港池外溢油事件

本計畫收集到高雄港有關港外之溢油污染資料整理如表 4-2，除了長運輪於第二港口南防波堤外海氣爆起火漏油外，第二港口北防波

堤外海亦常有漏油事件，此乃中油大林海底輸油管所肇禍。另外，除地面資料外，本計畫並配合 SPOT（可見光）及 SAR（合成口徑雷達）之影像監測資料，可進一步判讀油汙範圍及位置。

4.4 溢油特性及機制之探討

對溢油之觀察發現，油塊自溢流於水面上即在重力、內應力、黏滯力與表面張力等平衡作用下向四面擴張，繼而形成廣大之連續薄油層而覆蓋水面之上。基本上，重力及表面張力是造成油塊向外擴張之原動力(Driving force)，而內應力及黏滯力則為維持油塊體型連續及油塊形狀之抗阻力(Retardness)。

溢油之擴散視其作用之過程可分為物理(Physical)變化過程、化學(Chemical)變化過程及生物(Biological)分解過程等，其各機制(Mechanism)於不同作用時間而有不同之狀態，如圖 4-1 所示，溢油受水流及風力之作用下，初期於數個小時內有擴展(Spreading)、溶解(Dissolution)、蒸發(Evaporation)等機制，若油污近岸邊則有著岸沉積(Shoreline Deposition)發生；存於數日至數週之間則有下沉(Sinki-ng)、沉積(Sedimentation)，乳化(Emulsion)等現象；數月後則有微生物分解(Microbiodegradation)及沉底之生物分解(Biodegradation)等現象。另外圖 4-2 對溢油之過程有更詳細之描述，包括岸邊沉積及浮冰下之移動等機制。溢油變化之各類機制或現象則再詳細描述下：

(l)平移(Advection)：油塊主要受水流及風力之作用下移動，為一物理現象。平移為溢油運動之主要機制，又由於油污浮於水面，風力之影響亦極為深遠。

(2)擴展(Spreading)：為控制油塊面積變化之主要機制，主要動力為各內外力(重力、內應力、黏滯力及表面張力)之平衡與紊流延散(Turbulent Diffusion)作用，溢油污染之嚴重與否則與此一

機制息息相關。

(3)蒸發(Evaporation)：溢油發生後蒸發即立刻發生，此為一物理及化學變化之現象。一般而言，蒸發速率之快慢取決於油塊中揮發性(Volatile)物質之比例，愈經煉製之油品可於數日間蒸發達其 75%以上之體積，故原油揮發度較低而不易消散，因而污染嚴重性相形較高。

(4)延散(Dipersion)：漂浮海面之油污塊除受水流之帶動外，更由於其濃度分佈不均而有濃度梯度(Gradient)而造成溢油之延散。

(5)乳化(Emulsification)：主要可分為油入水(Oil-in-water)及水入油(Water-in-oil)等兩類乳化現象，形成水中混有經化學變化後之半固體狀油污，乳化油塊則隨即下沉、沉積或經由微生物分解。

(6)溶解(Dissolution)：一般而言，僅於分子量較低之碳水化物(Low-molecular-weight Hydro-carbons)有較高之水溶性，故油污溶解之比例甚低，但溶解於水散中造成之毒性則相當高。

(7)下沉及沉積(Sinking & Sedimentation)：在油污移動擴展過中，不論靠岸吸附或附著於漂砂，油污之體積將逐時減少，此一機制亦為溢油污染嚴重與否之影響因素。

就海域溢油污染之整治及監測乃以短期之溢油傳輸為主，而擴展，蒸發，延散及乳化為影響短期溢油擴散之主要機制，其理論分析如下：

(1)動力擴展(Mechanical Spreading):

油污在海域中之運動及擴張除受水流(潮流、洋流及風動流等)之帶動及延散外，其於油污本身亦受到重力(Gravity)、慣性力(Inertia)、黏滯力(Viscosity)及表面張力(Surface Tension)等力量制衡而有擴展(Spreading)或凝縮(Shrink-age)之現象。在以往之許多溢油研究中，以Fay(1969,1971)之理論較為詳盡完整及經試驗結果與數學解析結果驗證。Fay 之理論推求其實乃基於定量及規則之單相油質於平靜之水面情況下之理想狀態，其動力平衡僅考慮擴張力量(重力及表面張力)與牽制力量(慣性力及黏滯力)之作用，而擴展(或凝縮)則依據油污形狀不同:如細長條形狀(Elongate Shape)及圓形輻射狀(Radial Shape)，而推求出不同之擴散公式。油污在擴展過程可概分為三個階段：

1.初始階段：主要為重力與慣性力之制衡。

2.中期階段：主要為重力與黏滯力之制衡。

3.終期階段：主要為表面張力與黏滯力之制衡。

在經過上述三階段之作用後，油污終將分散為小因而各自獨立運動，而各小圓油污則再重複進行上述之擴散階段。各個階段之油污擴展公式如表 4-3 所列，而擴散速率如表 4-4 所列(Shen et al.1990)，各擴展階段之發生時間亦如表 4-4 所列。在油污擴張甚大而各種作用力減弱後，動力擴展則隨之停止。根據 Fay 之觀察，油污最終之擴張面積約為：

$$A_f = 10^5 V^{0.75} \tag{4-1}$$

其中 A_f=油污最終面積，V=油污體積。上述之油污動力擴散理論大多居於理想狀況(如平靜水面、均勻流場及規則形狀等)下所推求而得，而於實際之運用則需設定假設之擬理想化狀況及對公式加以修正及簡化方為可行。

(2)蒸發(Evaporation)

蒸發為油污於風化(Weathering)下體積減少之重要機制，過往之研究顯示計算油污之蒸發率(Mackay,etal.1980)如下：

$$F = \alpha_e / C[\ln P_0 + \ln(CK_e t + 1/P_0)] \tag{4-2}$$

其中 α_e=對於油質因乳化或風化改變而影響蒸發之修正係數，$E = K_e t$=蒸發暴露項,$K_e = K_m A_v/(RTV)$，$K_m = 0.0025W^{0.78}$=質量傳遞係數(m/s)，V=莫耳體積($m^3/mole$)，A=擴展面積，R=氣體常數，T=油表溫度=周遭空氣溫度(T_e)，V_0=初始油體積，$\ln P_0 = 10.6(1 - T_0 T_e)$=初始蒸氣壓，$T_0$=油沸點。而常數 C 可依不同之油質而選取如表 4.5 所列之值，若由曲線迴歸可得：

$$C = 1158.9(API)^{-1.1435} \tag{4-3}$$

$$T_0 = 542.6 - 30.275(API) + 1.565(API)^2 + 0.03439(API)^3 + 0.0002604(API)^4 \tag{4-4}$$

不同 API 指數與比重、C 值、T_0 及 P_0 之相對值如表 4.6 所列，而油比重與 API 值有一關係式如：密度=141.5/(API+131.5)。

(3)延散理論

漂浮海面之油污塊除受水流之帶動外，更由於其濃度分佈不均而有濃度梯度(Gradient)而造成溢油之延散，其控制方程式實為傳統之平移一延散方程式(Kinzebach & Ackerer，1986)：

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U_x \frac{\partial C}{\partial x} + U_y \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x}(D_{xx}\frac{\partial C}{\partial x} + D_{xy}\frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial y}(D_{yx}\frac{\partial C}{\partial x} + D_{yy}\frac{\partial C}{\partial y}) \tag{4-5}$$

其中 C=物質濃度

U_x 及 U_y 為 x , y 方向之流速

D=延散係數

4.5 溢油傳輸之時間尺度

溢油污染之嚴重與否著重於數日至數週之短期變化，對生態之影響破壞亦在此一短暫期間所造成;在長期情況下，油污下沉及沉積後則含有生物分解作用，油污將漸漸自環境中消除。

早期溢油模式約在西元 1970·年前後發展，主要仍以海洋環境(Marine Environment)為主，多數模式僅以模擬油塊平移及擴展兩個機制，或有其他模式僅專注於油污之物理及化學變化，而較近期之模式則包括油污之運動(Transport)及風化(Weathering)現象。由於近年來溢油污染多發生於近岸地區或河湖等地，不同於廣闊無邊之大洋，油污受到岸壁沉積之影響相當大，故於模式模擬時邊界之設定亦需詳細考量。

圖 4-3 顯示出溢油各階段的時間尺度，而我們在模型實驗中要探討的是高雄港溢油擴散的問題，平移(Advection)的效應因為尺度縮比的關係，風速及潮流速度會比原型小的很多，我們通常不加以考慮，而我們關心的溢油擴散問題，是在污染開始的兩三天內的擴散情形，所以影響較深的效應為擴展(Spreading)，蒸發(Evaporation)，延散(Dipersion)及乳化(Emulsification)，這四項效應在溢油開始產生的幾小時至一星期內影響最大，所以當成最主要的參數，其他效應產生在一星期之後，則不予考慮。

4.6 溢油監測方法

海域之污染可利用浮標及船隻來監測、採樣。浮標適合從事長期定點的監測，但是設置費用高。船隻的機動性高，可依需要隨時到指定的地點監測採樣；但若設置於偏遠的地區則維護困難，且船隻易受海況及天候之影響。載有儀器之飛機或直升機機動性更高，是空中監測海洋污染的利器，適合大範圍的搜索，許多國家都使用飛機來告發海域中之非法捕魚及排放油污，但是缺點為受天候及航程之限制，且其費用高。利用太空中的衛星及太空梭來監測海面是近年來發展極為迅速的方法，與浮標、船隻及飛機比較之，其費用最低，監測範圍大且較不受天候及地點的限制，其缺點為影像的解析度不如飛機所拍攝的清楚；重訪過同一地點的時間較長，且須海上取樣來校正。考量費用、現階段之技術、解析度、重訪過同一地點的時間間隔等因素，以衛星遙測(SAR 及 SPOT)為主，飛機、船隻、浮標為輔的海域污染監

測方式較為可行。

利用 ERS SAR 合成孔徑雷達影像來探討偵測海域油性物質污染頗為可性。ERS-1 SAR 之 C-Band 影像在 23 度的入射角下，由海面所產生之之回波散射主要由波長為 5 公分之布雷格共振波(Bragg Resonant Waves)所產生。如果水面表層有薄膜物(如油污)時，由於水面之表面張力產生變化，使得海水表面波動被表層薄膜明顯的抑制而消失，亦即其海面之背向散射降低。因此依據電磁波散射原理，當有油污浮現時，SAR 影像所反應出來之灰度值將為之降低，因此在影像灰度值曲面上之油污區塊可想像為一上凹之區域。本研究即利用影像處理的技巧在影像上進行此特性之偵測，進而推斷受污染的區域。

由於 SAR 所得之海面影像，並非眞正與海面目標物直接產生交互作用而來。其所得之資訊主要來自海面目標物的二次交互作用，例如海面的粗糙度。但形成海面粗糙度變化的因素非常多，如海面風場、海面上之懸浮物均為其主要因素，而甚至海水面以下的水流波動現象，亦會使得海水面的粗糙度產生變化，因此在 SAR 所得之海面影像上要偵測某單一目標物並非易事，尤其是在偵測區域很大時。傳統的影像分類方法僅適合在小區域範圍中，同時必需是造成海面粗糙度變化的因子僅有油污一項才可行。主因為其在偵測的過程中使用了絕對的影像灰度作為計算時的主要依據，此作法在大範圍影像上，亦即影響海面粗糙度的因素較多時，其結果將變得極不可靠。

4.7 高雄港海域溢油資料分析

4.7.1 港內之溢油污染

高雄港內之溢油污染，則以中島加工區(42-48 號)碼頭及(55,56,57 號碼頭)及浮筒處之老舊船舶溢油情形最嚴重，而 55-57 號碼頭因擴散效應不良，常有溢油堆積消散不易之現象。另外在 1-10 號碼頭亦有老舊船舶(以越南，巴拿馬籍籍本國籍)最嚴重，而一般貨櫃輪船之設備新穎，問題很少。

4.7.2 港外之溢油污染

1. SAR 影像資料

本計畫所使用的兩張影像為 ERS-1 SAR，C-Band，4 Look 之高雄附近海域影像，影像獲取時間分別為 1994 年 10 月 22 日以及 1996 年 3 月 7 日，影像解析度為 12.5 公尺，涵蓋範圍為 50 公里×50 公里，而影像分析之區域限制在 12 海浬之領海範圍內(曲線範圍)。從區域影像，可看到油污分布，並且其背景灰度值有相當程度之變化。

圖 4-5 為將油污區塊邊界覆疊於原始影像後，再經局部放大後所得之影像，可看到研究中所發展之模式可偵測到區塊邊界上之細微變化。

2. SPOT 衛星影像資料

本計畫收集 85 年 8 月 10 日中油外海輸油浮筒漏油及 86 年 10 月 7 日長運輪於二港口外海發生之氣爆漏油案例之 SPOT 衛星影像，如圖 4-6 及圖 4-7 所示。由圖 4-6 及圖 4-7 可看出油污擴散之方向與前述西北向恆流一致，並可經由影像處理得到溢油範圍。唯其精度為 30m，且為可見光波長，不能用於夜間或天候不良時監測。

第五章 實驗設備及規劃

5.1 實驗設備

本實驗之平面循環水槽位於中央大學環境流體力學實驗室內，尺寸為8m(長)×6m (寬)×0.7m (高) (見圖1-1)。於水槽內製作高雄港港域之模型，以進行港域流速及潮位之量測，水面油污之範圍量測等試驗。本研究之現場範圍約10公里×10公里，故模型分別採水平縮比1/2000及垂直縮比1/200之壓克力模型(照片一)。

本實驗利用二維聲波都普勒流速儀(Nortek,Advlab)，量測流場速度(照片二)。流速儀探針為 Y 字形，探針中間為聲波發射端及兩側各有一訊號接收端，經由接收之訊號，換算與探針同平面之二維速度。聲波發射端之聲波頻率為 10MHz.；量測之流速範圍最大可達±2.5m/s；精確度可達 0.1mm/s；探針取樣頻率從 0.1～25Hz.；取樣點體積小於 0.25cm^3；取樣點距聲波發射端約 5cm。實驗時，若探針之前方之邊界在 25cm 內，量測數據可顯示出取樣點及聲波發射點與邊界之距離。流速並另以螺旋式流速儀(Armfield H33 model)來驗證 ADV 之精確性.本實驗以台車率定 ADV 及螺旋式流速儀 如圖 5-1 及 5-2 所示，相關係數分別為 0.9968 及 0.9997。

溢油擴散及粒子追蹤以相機(Nikon,FM2)及攝影機率(Panasonic, NV-DP1,30fps) 來觀察軌跡之變化。溢油則以機油(Aral,10W-40)並加上油性染料(Unisol,Liquid Red B，比重 1.0)以便於可視化觀測。粒子追蹤使用 5mm 之塑膠粒子(密度為 1.0g/cm^3)置於觀測點(9 個測站)，並計錄粒子位置隨時間之變化。

5.2 實驗規劃

5.2.1 潮流流況

本研究之循環水槽之最大流量可達 1cm^3/sec，其流向則由控制板上調整馬達之轉向求得(照片三)。水流經由幫浦、蜂巢濾層、整流片及整流層再進入水槽內，經測試結果，斷面均勻性良好。模型則以透

明壓克力板(8mm 厚)依港池形狀及水深分佈依縮比製成。一港口處之水深為 5.5cm(現場 11m)，二港口處則為 8cm (現場 16m)。因高雄港之流況乃大尺度之沿岸潮流所主控，實測資料中大林埔、中洲及一、二港口間之潮位相角差值均極小。另一方面，高雄港之平均潮差值僅 70cm，故若以模型比例則僅為 0.35cm，因受表面張力及實驗精度之限制，模型將以水平潮流為主，而忽略潮位變化之效應。ADV 之流速量測以 25Hz 頻率取 2 分鐘之平均值來代表測點之流速。

水槽之潮流系統以大林埔潮流為邊界條件，由 1997 年 10 月 29 日至 11 月 7 日之現場資料分析得退潮最大流速為 80cm/sec(平均方向約 320°)，漲潮則為 60cm/sec(平均方向約 130°)，其平均橫流潮流方向為北偏西 37.8° (或 322°)。中洲站之平均橫流方向則為北偏西 18.7° 或 341° ，平均最大漲潮速度與大林埔站相近。由中洲測站之水深平均退潮速度為 5.34 cm/sec (偏角為 344° ，與實測資料接近)，模擬現場則為 75.6cm/sec。漲潮平均速度則為 4.78cm/sec(偏角為 170°-190°)，模擬現場則為 67.6cm/sec。

5.2.2 粒徑及底床粗糙度分析

由第三章分析得知底床粗糙度之比值 n_r=1.31，而由底床粗糙度與粒徑大小之關係式為 (Garde and Raju , 1977)

$$n = kd^{1/6}$$

所以 $$n_r = n_m / n_p = (d_m / d_p)^{1/6} = 1.31$$

其中 $d_m = 5.05\ d_p$

由港研所大林埔實測海床粒徑之中質粒徑為 0.23mm，故可推求實驗室之底床砂礫粒徑為 1.162mm，本實驗乃選用越南矽砂(其中質粒徑為 1.167mm)來代表底床粗糙度(照片四)。其粒徑分佈如圖 5-5 所示，底

床則依海圖 5 公尺等深線鋪砂至水深為 30 公尺處(模型為 15cm 深)。

5.2.3 延散係數及溢油擴展分析

本研究原擬用雷射光源及螢光染料推求港池內全域之濃度分佈，但因雷射電路板故障，故依第三章亂流延散理論求粒子團之擴散情形，以攝影機拍攝多個質點之不同時間軌跡，由停格分析(1/30 秒)來推求延散係數(照片五)，同理由溢油之面積位置變化亦可定量描述油污在港池內之傳輸過程(照片六)。

第六章 模型試驗結果

6.1 港域內外之潮流流線

圖 6-1 為退潮時之流線示意圖。由於退潮時潮流為西北流，海水乃由第二港口流入，而因二港口之防波堤之遮蔽效應，在旗津海岸產生大小不同之兩個迴流旋渦，最大者長約 7Km，寬約 3Km 之大渦流及靠二港口北堤之較小渦流。港內在進入二港口處偏向南側，且於外廓堤處有迴流，在靠第四貨櫃中心之渠道亦有明顯迴流，而大林商港處及五號船渠處則水流極小，可視為死水區。海水經由第一港口偏北側(哨船頭)流出，並於外廓堤二側產生迴流。圖 6-2 則為漲潮之流況，由圖 6-2 可知港外之迴流區尺度較退潮時小，海水由一港口流入後，偏向旗津半島，而在主航道上有多個渦流存在。在前鎮河以北之水流偏向旗津，而在前鎮河以南則流線轉向第三貨櫃中心，並於 114 號碼頭產生大渦流。二港口狹水道之水流則偏由北側流出。

6.2 港內粒子之路徑徑線

為了解污染介質之路徑及港池內沖洗時間（flushing time）之特性，本研究將中性密度塑膠球（ＢＢ彈，直徑 5mm）置於港口處，以攝影機(Panasonic, NV-DP1)追蹤其路徑。圖 6-3 為退潮時之 4 次粒子徑線圖，圖中測況之箭頭及向量表示測沿速度（1/2 水深位置），圖中所示時間為四粒子經過各測點之時間。由四粒子追蹤可知徑線與流線（圖 6-1）極為相似。粒子由二港口（測點 9）流入至一港口（測點 0）流出所需之時間為 2'01"~2'46"，平均值約 2'25"（現場則約 6 小時），由圖中可見大林埔及五號船渠皆為死水區，且在二港口靠旗津側有一迴流區形成。粒子在二港口狹水道偏向旗津側，在一港口狹水

道則偏向北側船頭處。圖 6-4 為漲潮時之四次粒子行徑，粒子由一港口（測點 0）流入，而由二港口（測點 9）流出，粒子進入一港口狹水道時，偏向旗津側，進入港域內側則折向第二船渠，在主渠道（測點 3 至測點 7）粒子主要沿航道方向，而測點 7 之流速小且有迴流，粒子之停留時間長，延散性差。在二港口狹水道之潮流則偏向旗津，且在二港口有明顯迴流。四次粒子之港池停留時間為 5'40"~11'38"，平均約為 8'23"，遠較退潮時為大。可見港池內退潮之水流傳輸遠比漲潮時佳。

6.3 港域內之流速分佈及剖面

退潮時 10 個測站之水平流速分佈，如圖 6-3 中箭頭所示，漲潮之流速則如圖 6-4 所示。各測點之流速整理如表 6-1 所示。退潮時一港口狹水道之流速為 10cm/sec，二港口之狹水道流速為 4.6 cm/sec。漲潮時一港口狹水道之流速為 3.7cm/sec，二港口狹水道則為 3.2cm/sec。可見退潮時海水之交換率較漲潮時為佳。中洲站之退漲潮速度剖面如圖 6-5 及圖 6-6 所示，退潮流速較漲潮為大。一港口狹水道(測站 1)之流速剖面如圖 6-7 及圖 6-8 所示。主航道測站 3 及測站 5 之潮流剖面則如圖 6-9 至圖 6-12 所示，平均潮流速度約 5 cm/sec。二港口狹水道之退漲潮流速剖面如圖 6-13 及 6-14 所示。

6.4 港池延散係數推求

依據第三章之延散係數理論，本研究分別於 10 個流速測點及二個死水區(死水區 1 為五號船渠，死水區 2 為大林埔商港)，同時於水面放四個塑膠粒子(BB 彈,5mm 直徑)，並依其位置之變異推求水平延散係數。表 6-3 為退潮時之水平延散係數，死水區 1 (五號船渠)及死

水區 2 (大林埔商港)之延散係數僅為 3.1cm^2/sec 及 2.9 cm^2/sec。二港口之延散係數則為 9.5 cm^2/sec 及 14.5 cm^2/sec，航道中除測點 7 因介於迴流邊緣有較大之延散係數為 49.6 cm^2/sec 外，其他測點之值約為 5 cm^2/sec。一港口狹水道之延散係數值則為 7 cm^2/sec，一港口出口處則 40.8 cm^2/sec。由表中可知延散主要以沿航道方向(K_y)為主。漲潮時之延散係數在死水區均較退潮時為小，二港口及 7-8 測站亦有減小之趨勢，然而在測站 1-5 則較退潮為大。此一現象為與漲潮外主航道在這些斷面有產生渦流，其剪力較強致延散較佳(見圖 6-2)。二港口之延散係數為 1.6 cm^2/sec ，一港口則為 17.9 cm^2/sec。故綜合而言，港池之延散以沿航道方向為主，且退潮時之擴展較漲潮時為佳。

6.5 溢油擴散分析

由表 4-1 及 4-2 整理出港內常發生溢油之位置，歸納標明如圖 6-15 所示之九個位置。為了解溢油發生後之傳輸範圍，本研究以機油(10W-40)加上紅色油性染料，滴於上述位置，並用攝影機(Panasonic,NV-DP1)觀測其不同時刻之溢油範圍。圖 6-16 為退潮的 9 個位置油圍之擴展情形，溢油除沿水流方向平移外，並沿流向拉長，而第 9 點(108 號碼頭，紅毛港處)，因位於死水區內，故溢油擴展不易，其餘均較易擴展。圖 6-17 則為漲潮時之油汙擴展情形，因流速較緩，在死水區內之油汙第 3 點(五號船渠)及第 9 點(108 號碼頭)均不易傳輸，然其他船渠因有迴流其擴展反較退潮的為大，其他各點仍沿流向傳輸為主。

第七章 結論與建議

1. 本研究以大林埔站之流向為邊界，並以中洲站之漲退潮潮流速度為驗證，試驗結果與實測值頗為符合。

2. 由模型相似律可推求高雄港原型與不等比的水工模型縮比，水平1/2000及垂直1/200， 的尺度關係可列表如下:

	L(m)	B(m)	H(cm)	V(cm/s)	T(min)
原型	10000	500	1200	80	720
模型	5	0.25	6	5.6	5.09

3. 本計畫收集到高雄港港內、外之溢油污染記錄，其中以 18 至 20 號碼頭常出現油污為嚴重，究其原因乃其為高雄港進港船舶加油的主要碼頭。而 51 至 57 號碼頭其發生油污原因不一，但亦常因擴散效應不良，常有亦由堆積消散不易之現象。此外，中島加工區（42 至 48 號）碼頭及浮筒處老舊船舶溢油情形亦相當嚴重，如同 1 至 10 號碼頭之老舊船舶（越南、巴拿馬籍等）漏油問題較多。除地面資料外，本計畫並配合 SPOT（可見光）及 SAR（合成口徑雷達）之影像監測資料，可進一步判讀油汙範圍及位置。

4. 退潮時潮流為西北流，因二港口之防波堤之遮蔽效應，在旗津海岸產生大小不同之兩個迴流旋渦。港內在進入二港口處偏向南側，且於外廓堤處有迴流，大林商港處及五號船渠處則水流極小，可視為死水區。漲潮時港外之迴流區尺度較退潮時小，海水由一港口流入後，偏向旗津半島，而在主航道上有多個渦流存在。在前鎮河以北之水流偏向旗津，而在前鎮河以南則流線轉向第三貨櫃中心。二港

口狹水道之水流則偏由北側流出。模型之流況因受尺度縮比及邊界之效應，應與現場資料及數值模擬之結果相比較以驗證其正確性。

5.由粒子追蹤可知大林埔及五號船渠皆為死水區。退潮時粒子由二港口流入至一港口流出所需之時間約 2'25"（現場則約 6 小時）。漲潮時粒子由一港口（測點 0）流入，而由二港口（測點 9）流出之時間約為 8'23"，遠較退潮時為大。可見港池內退潮之水流傳輸遠比漲潮時佳。

6.退潮時一港口狹水道之流速為 10cm/sec，二港口之狹水道流速為 4.6 cm/sec。 漲潮時一港口狹水道之流速為 3.7cm/sec，二港口狹水道則為 3.2cm/sec。可見退潮時海水之交換率較漲潮時為佳。

7.退潮時之水平延散係數，死水區 1 (五號船渠)及死水區 2 (大林埔商港)之延散係數僅為 3.1cm^2/sec 及 2.9 cm^2/sec。二港口之延散係數則為 9.5 cm^2/sec，航道中測點之值約為 5 cm^2/sec。一港口狹水道之延散係數值則為 7 cm^2/sec，。延散主要以沿航道方向為主。漲潮時之延散係數在死水區均較退潮時為小，然而在測站 1-5 則較退潮為大。此一現象為與漲潮外主航道在這些斷面有產生渦流，其剪力較強致延散較佳。二港口之延散係數為 1.6 cm^2/sec ，一港口則為 17.9 cm^2/sec。綜合而言，港池之延散以沿航道方向為主，且退潮時之擴展較漲潮時為佳。

8. 溢油在死水區內(五號船渠及 108 號碼頭紅毛港處)擴展較緩。在主航道上，溢油除沿水流方向平移外，並沿流向拉長。因退潮時流速較快，故退潮時之溢油擴展較漲潮時為快。

參考文獻

1. 洪憲忠,廖慶堂,曾相茂（1995）,“高雄港潮流特性之研究”,第十七屆海洋工程研討會論文集, pp.1671-1683.

2. 曾若玄,孫佩君(1997),”近岸海潮流邊界層特性”，第 19 屆海洋工程研討會論文集, pp.381-385.

3. 曾哲茂,蘇青和,周憲德 (1997)，“ 高雄港池水理調查研究” ，第 19 屆海洋工程研討會論 ， pp.469-476

4. 高雄港務局,“高雄港量測記錄”,高雄港務局測量資料,民國 54 年

5. Bowden K.F., (1964),”Horizontal Mixing in the Sea due to a Shearing Current”,J. Fluid Mech., Vol.21, Part 2, pp.83-95.

6. Csandy, C.T. (1963),”Turbulent Diffusion in Lake Huron”, J. Fluid Mech., Vol.17,, pp.360-384.

7. Elder,J.W.(1959),”The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow”, *J. Fluid Mech.*,5(4),544-560.

8. Fischer,H.B.(1967),”The mechanics of dispersion in natural streams”, *J.Hydraulic Div. ,ASCE*, pp.187-216.

9. Fischer , List , Koh , Imberger , Brooks (1979), *Mixing in Inland and Coastal Waters*, Academic Press, New York.

10. Garde and Raju (1977) Mechanics of sediment Transport and Alluvial Stream Problems. John Wiley and sons, 483p.

11. List ,E.J., G. Gartell and C.D. Winant, (1990),”Diffusion and dispersion in coastal waters”, J. of Hydraulic Engineering, Vol.116,

No.10, pp.1158-1179.

12. Pratt William K. (1991), *Digital Image Processing* ,2nd Edition, John Wiley & Sons.

13. Gonzalez, R. C. and R. E. Woods(1992), *Digital Image Processing*, Addison-Wesley.

14. Robinson I. S.(1994), *Satellite Oceanography*, John Wiley & Sons.

15. Shin-Huang Chieh (1985),"Two-dimensional Model of Thermal Discharges", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.111 , No.4 , pp1113~1134.

16. Tsanis ,I.B. (1989),"Simulation of Wind Induced Water Currents", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.115 , No.8 , pp1113~1134.

表 4-1 高雄港港內之油污事件

87.3.6	中興漁港(大汕頭貯木池)	儲存廢油的駁船民聯壹號沈沒	重油	已擴散到主航道至第一貨櫃中心外的海域
86.9.20	51 號碼頭迄前鎮河出海口	1.疑為中島區卸黃豆之船隻作業疏失，黃豆掉入港(待查) 2.上游皮革廠偷排污水（待查）	金黃色污水，還夾雜著似墨汁的油汙（長度逾兩公里）	污水範圍從 51 到 61 號碼頭附近都有
86.5.27	紅毛港拆船區	1.拆船業(待查) 2.油品走私集團接駁油品(待查)	柴油及不明油污	
85.10.4	高雄港海軍第四造船廠	順隆造船廠平台船沈沒	疑為軍艦用油	
85.9.27	旗津區第六船渠	老舊平台船沈沒	柴油	
85.9.25	第五貨櫃中心一帶	貨船裕珍輪溢油	柴油十公秉(約十噸)	
85.4.29	18 號碼頭	疑為中油苓雅寮儲運所漏油	柴油(油汙長數百公尺，最厚處近十公分)	近來 26、33、34 號碼頭皆出現油污
84.6.1	57 號碼頭	化學輪卸機油	重油(一公噸多)	
83.12.6	27、28 號碼頭	13、14 號碼頭軍艦順西北風偷排廢油	廢滑油(一公噸以上)	
83.9.7	13 號軍用碼頭	古董級軍艦排污油	軍艦用油	
83.8.5	18、19 號碼頭	18、19 號碼頭下陷、管線油料溢出	燃料油及柴油	
83.4.19	55、54 號碼頭	油駁船沈沒	四十萬公升原油(燃料油近一百公噸)，浮油長兩公里	兩公里外 42 號碼頭亦受污染

表 4--2 高雄港港外之油汙事件

86.10.7	第二港口南防波堤外海二點五浬	長運輪右舷船尾油櫃氣爆起火三小時並漏油	燃料油(方圓三四百公尺)	有 SPOT 衛星影像資料
86.6.1	第二港口北防波堤迄旗津中洲一帶	疑為中油大林廠外海卸油浮筒漏油	重油類(條狀污油約有一公里長)	
85.9.30	第二港口（紅毛港部份海域）	大船(穩富號)出港撞上碼頭	十公秉(約十噸)柴油長度逾一公里	近六天三起漏油，漏油量逾二十噸
85.8.10	第二港口外海四浬處	高雄港外海至大林廠海底輸油管破裂	柴油或原油類(染黑三、四公里長海域)	有 SPOT 衛星影像資料
85.3.7	第一港口北外海三浬處	不明原因	疑為燃料油	有 SAR 衛星雷達影像
83.10.22	第二港口外海四、五浬處	疑為船隻偷漏油	疑為重油類(長度逾八公里)	有 SAR 衛星雷達影像

表 4-3 油污擴展公式

擴散階段		長度 (Le)	半徑 (Re)
初始階段	(重力-慣性力)	$1.39(\triangle gAt^2)^{1/3}$	$1.14(\triangle gVt^2)^{1/4}$
中期階段	(重力-黏滯力)	$1.39(\triangle gA^2t^{3/2}\nu^{-1/2})^{1/4}$	$0.98(\triangle gV^2t^{3/2}\nu^{-1/2})^{1/6}$
終期階段	(表面張力-黏滯力)	$1.43(\sigma^2t^3\rho^{-2}\nu^{-1})^{1/4}$	$1.6(\sigma^2t^3\rho^{-2}\nu^{-1})^{1/4}$

註1: A = 0.5 (單位長度之油體積)

註2: $\triangle = 1-(\rho o/\rho)$, ν =水運動黏度(Kinematic viscosity)

表 4-4 油污擴張速率與各擴展階段發生時間

擴散階段		細長條形狀 (dLe / dt)	圓形輻射狀 (dRe / dt)
初始階段	(重力-慣性力)	$(2/3)k_{1o}(\triangle g)^{1/3}[L^{-1/3}(dL/dt)^{2/3}+L^{2/3}t^{-1/3}]$	$(k_{2i}/4)(\triangle g)^{1/4}(t^{1/2}V^{-1/4})(dV/dt+2V/t)$
中期階段	(重力-黏滯力)	$k_{1o}(\triangle g\nu^{-1/2})^{1/4}[(3/8)Lt^{-3/8}+(dL/dt)^{1/8}]$	$k_{2v}(\triangle g\nu^{-1/2})^{1/6}[(1/3)(dV/dt)+V/4t](t^{1/4}/V^{2/3})$
終期階段	(表面張力-黏滯力)	$(3/4)k_{1o}(\sigma\rho^{-1})^{1/2}(t\nu)^{-1/4}$	$(3/4)k_{2s}(\sigma\rho^{-1})^{1/2}(t\nu)^{-1/4}$
擴散階段發生時間		T_{Le}	T_{Re}
初始 - 中期階段		$(k_{20}/k_{10})^{24/7}[L^8\nu^{-3}(\triangle g)^{-2}]^{1/7}$	$(k_{2v}/k_{2i})^4[V/(\nu\triangle g)]^{1/3}$
中期 - 終期階段		$(k_{20}/k_{30})^{8/3}(\triangle gL^4\sigma^{-2}\rho^2\nu^{-1/2})^{2/3}$	$(k_{2v}/k_{2t})(\rho/\sigma)(V^2\nu\triangle g)^{1/3}$

註1: L = 特性長度, $L^2 = V/dx$

註2: k_{1o}=1.39, k_{1o}=1.39, k_{1o}=1.43

註3: k_{2i}=1.14, k_{2v}=0.98, k_{2s}=1.16

表 4-5 各類石油油品之蒸發參數（T_E=283° K）

油　品		T_0 (°K)	C	P_0 (atm)
汽車汽油	夏天	314	5.99	0.313
	冬天	308	6.23	0.39
航空汽油		341	2.81	0.12
柴油		496	5.57	3.40E-04
噴射燃油		418	5.06	6.00E-03
2號暖爐用油		465	7.88	1.10E-03
潤滑油		583	8.61	1.32E-03
重油		633	8.99	2.00E-06
煉油殘餘品		783	3.37	7.35E-09
輕油		473	6.37	8.10E-04

（資料來源：Mackay, et al., 1980）

表 4-6 各類原油之蒸發參數（T_E=283° K）

API	密度Sp.Gr.(g/cm³)	C	T_0 (°K)	P_0 (atm)
10	1	89.2	366	0.044
12	0.986	69.4	348	0.088
15	0.966	52.1	339	0.13
20	0.934	34.7	329	0.18
25	0.904	27.3	330	0.17
30	0.876	22.33	325	0.21
35	0.85	19.5	314	0.31
40	0.825	17.9	304	0.45
45	0.802	16.4	283	1.004

（資料來源：Mackay, et al., 1980）

表 6-1 高雄港退潮量測記錄表

量測點	量測項目				備註
退潮	水深(cm)	V_x(cm/s)	V_y(cm/s)	流向	合速度
0	6	1	1.69	30.629008	1.963695
1	6	4.39	8.99	26.040400	10.00461
2	6	1.09	2.02	28.365855	2.295321
3	6	-0.93	2.73	-18.821431	2.88406
4	6	-1.04	3.11	-18.499579	3.279283
5	6	-1.05	3.28	-17.760013	3.443966
6	6	-0.59	2.96	-11.278421	3.018228
7	8	-0.7	1.62	-23.380966	1.764766
8	8	-4.55	0.5	-83.771391	4.57739
9	8	-0.1	-0.48	11.774258	0.490306
中州	12.5	-1.85	4.62	-21.833857	4.976635

表 6-2 高雄港漲潮量測記錄表

量測點	量測項目				備註
漲潮	水深(cm)	V_x(cm/s)	V_y(cm/s)	流向	合速度
0	6	-2.95	-4.97	30.707298	5.779567
1	6	3.15	-1.98	-57.877046	3.720605
2	6	-0.01	0.75	-0.7642859	0.750067
3	6	1.1	-2.77	-21.669602	2.980419
4	6	0.89	-2.76	-17.881696	2.899948
5	6	0.81	-2.58	-17.438703	2.704163
6	6	0.61	-2.53	-13.562551	2.602499
7	8	0.21	-0.52	-22.002284	0.560803
8	8	3.2	0.25	85.576224	3.209751
9	8	1.45	1.6	42.205839	2.159282
中州	12.5	2.32	-4.16	-29.162856	4.763192

表 6-3 水平延散記錄表(退潮)

退潮	Kx(cm^2/s)	Ky(cm^2/s)	U(cm/s)	V(cm/s)
測站0	40.746	0.915	3.175	7.2
測站1	3.078	6.303	0.313	3.788
測站2	2.139	5.778	-0.144	4.488
測站3	0.499	6.397	-0.008	3.483
測站4	0.936	4.567	0.081	4.252
測站5	1.810	4.448	-0.233	3.781
測站6	0.951	6.439	0.067	3.524
測站7	5.269	49.354	0.013	0.942
測站8	2.646	14.306	-1.417	4.556
測站9	9.093	3.331	-0.438	1.938
死水區1	3.161	0.226	0.344	-0.098
死水區2	1.490	2.543	0.008	0.129

表 6-4 水平延散記錄表(漲潮)

漲潮	Kx(cm^2/s)	Ky(cm^2/s)	U(cm/s)	V(cm/s)
測站0	4.281	13.064	5.940	9.520
測站1	8.326	15.859	-1.143	6.007
測站2	15.261	25.523	-1.228	1.850
測站3	4.715	25.113	-0.028	2.967
測站4	4.326	4.629	0.279	3.058
測站5	1.989	9.554	-0.179	3.113
測站6	3.118	6.757	-0.725	2.288
測站7	1.412	0.750	0.033	2.000
測站8	1.201	1.081	0.494	3.428
測站9	3.443	4.259	2.321	3.493
死水區1	0.646	0.931	-0.421	0.154
死水區2	0.673	1.358	-0.198	-0.017

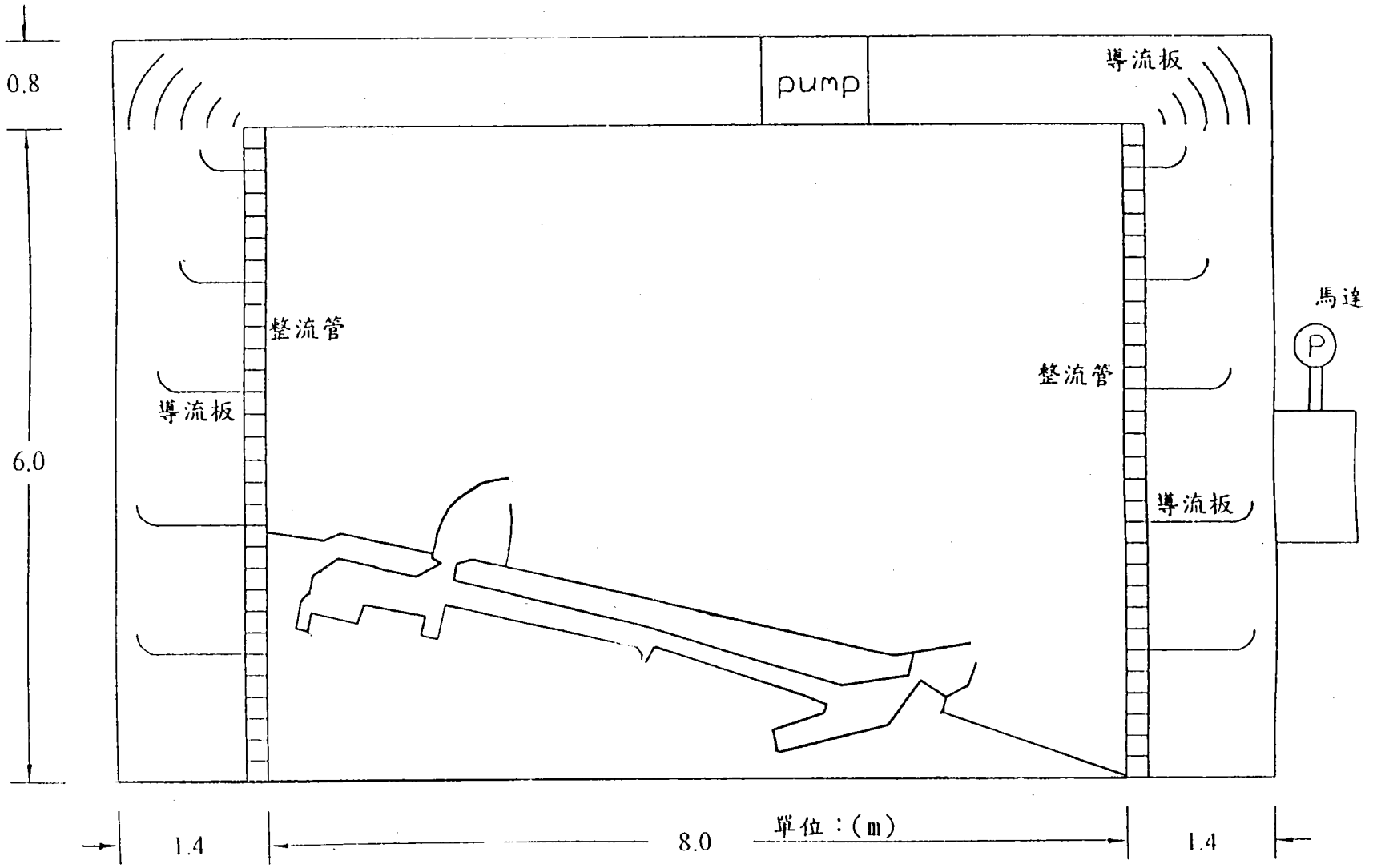


圖 1-1 平面循環水槽示意圖

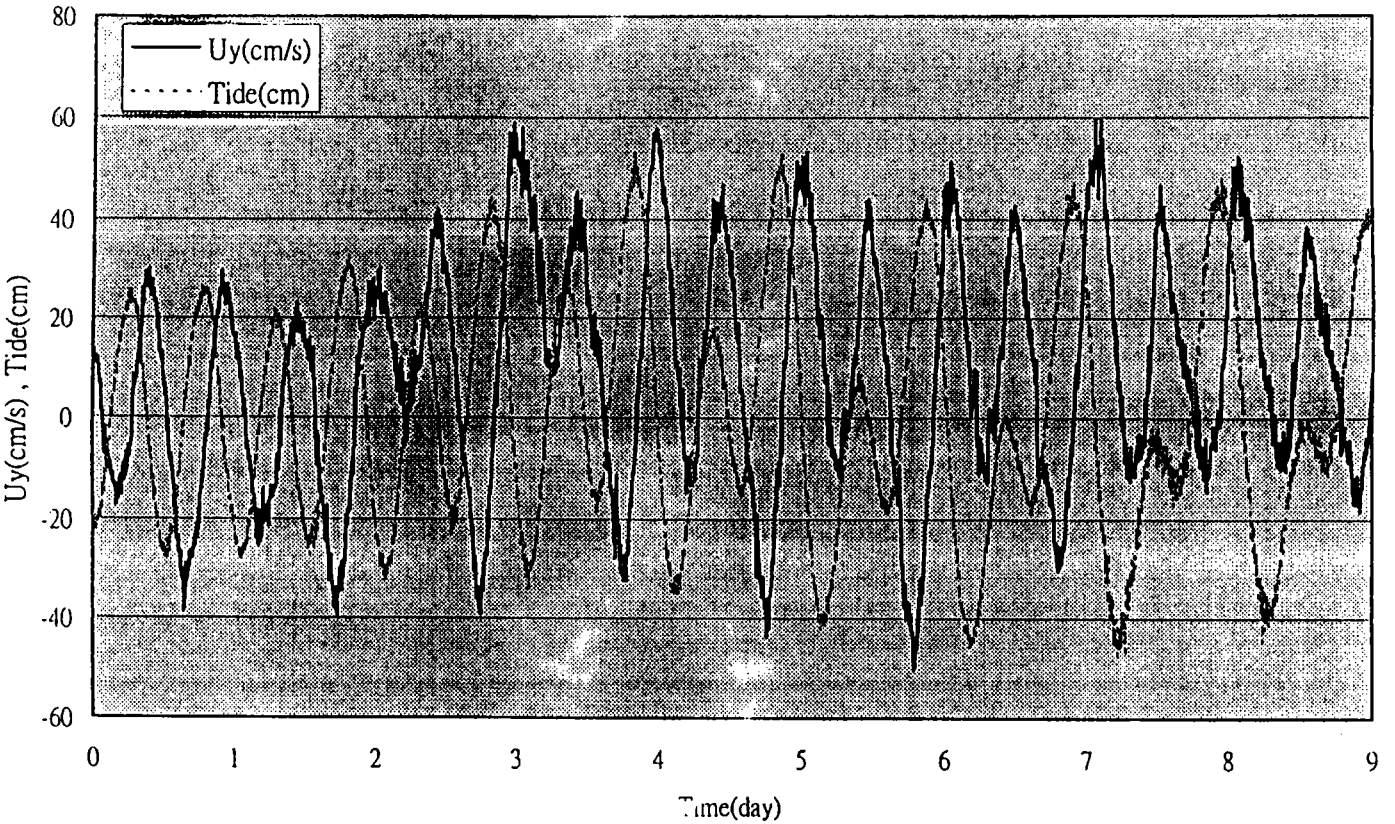


圖 2-1 大林埔外海潮位及北向之水平潮流速度(86 年 10 月 29 日 0 時至 86 年 11 月 7 日 0 時)

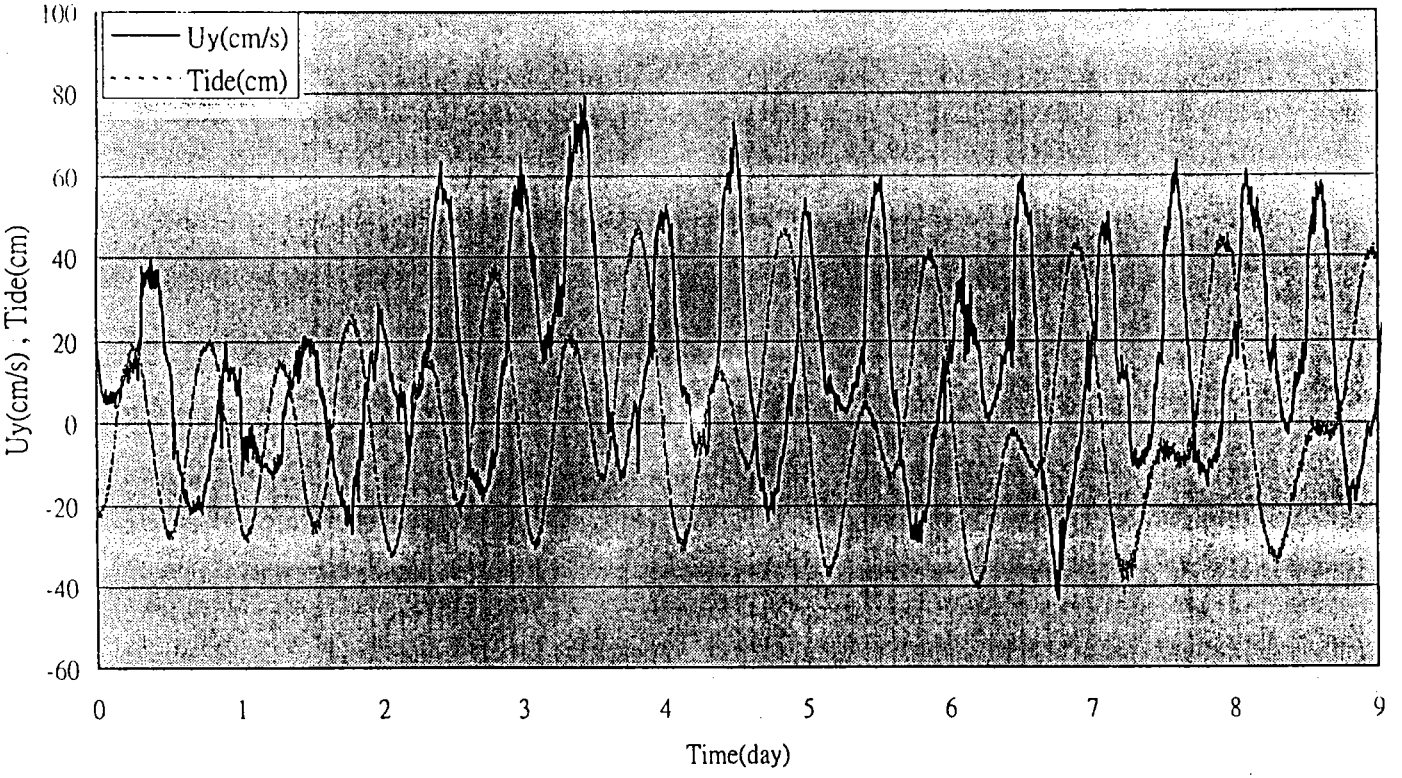


圖 2-2 中州外海潮位及北向之水平潮流速度(86 年 10 月 29 日 0 時至 86 年 11 月 7 日 0 時)

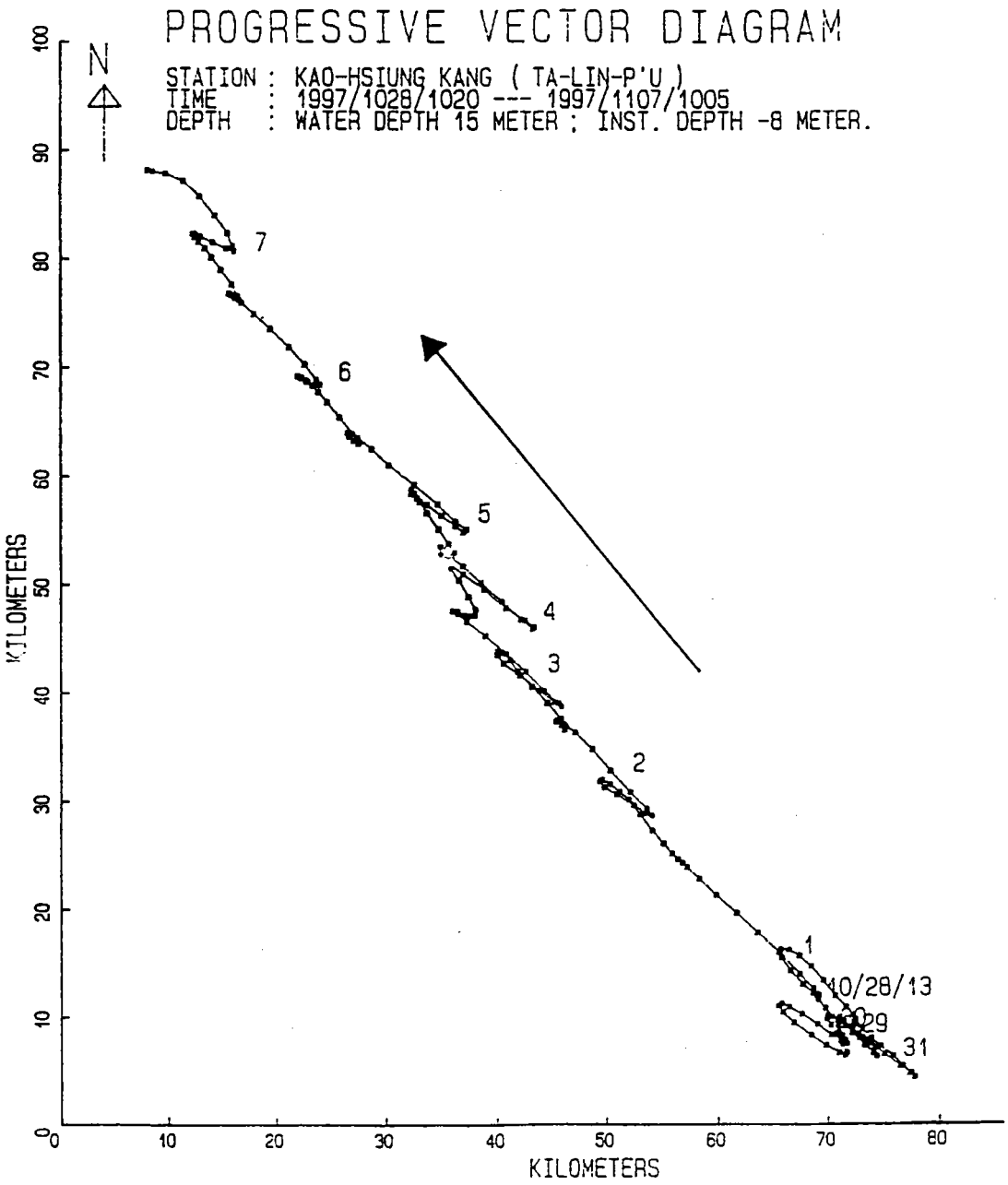


圖 2-3 大林埔之流體粒子速度徑線圖

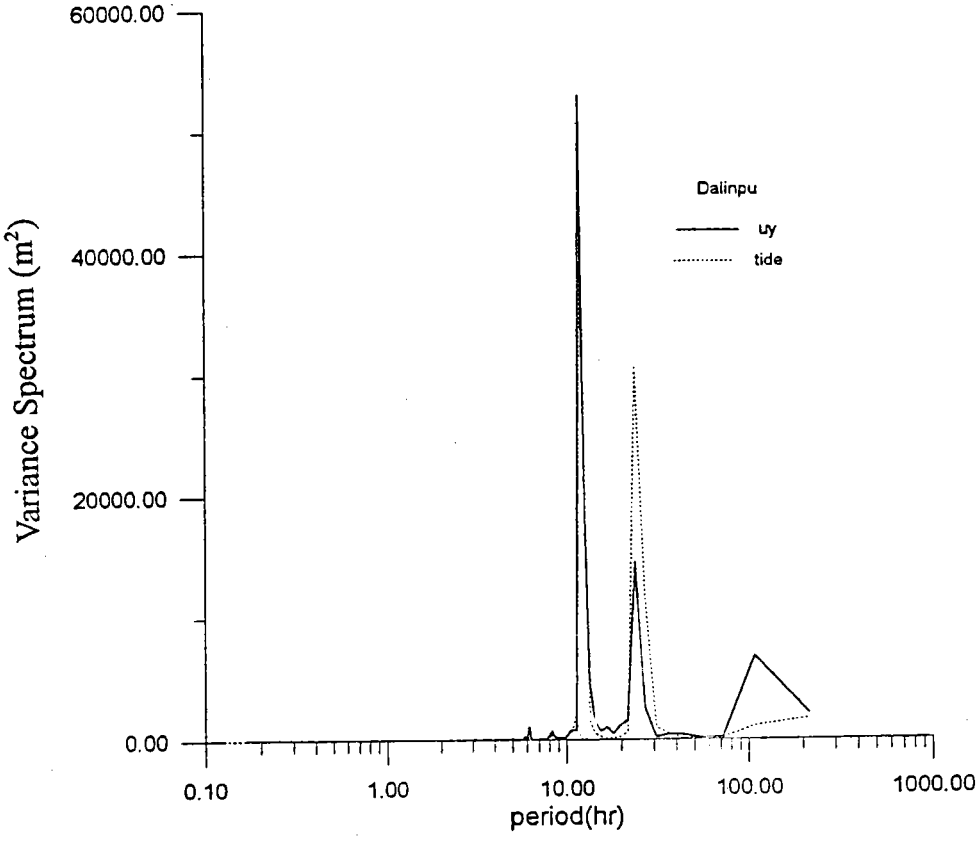


圖 2-4 大林埔外海潮位之頻譜分析

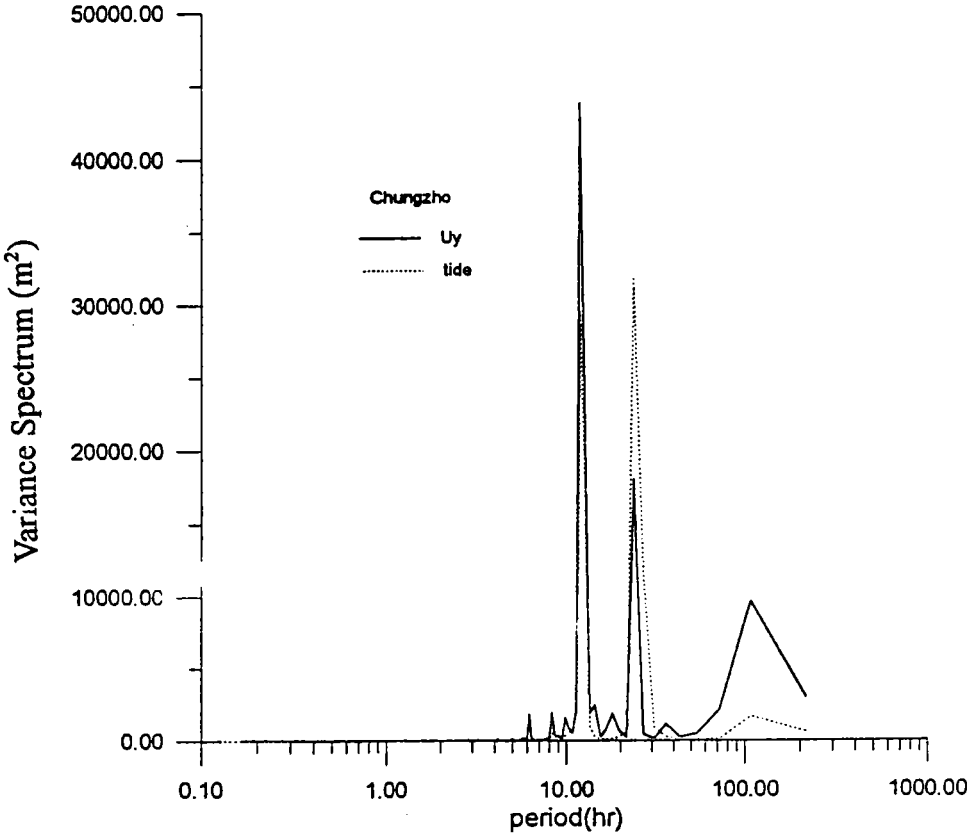


圖 2-5 中州外海潮位之頻譜分析

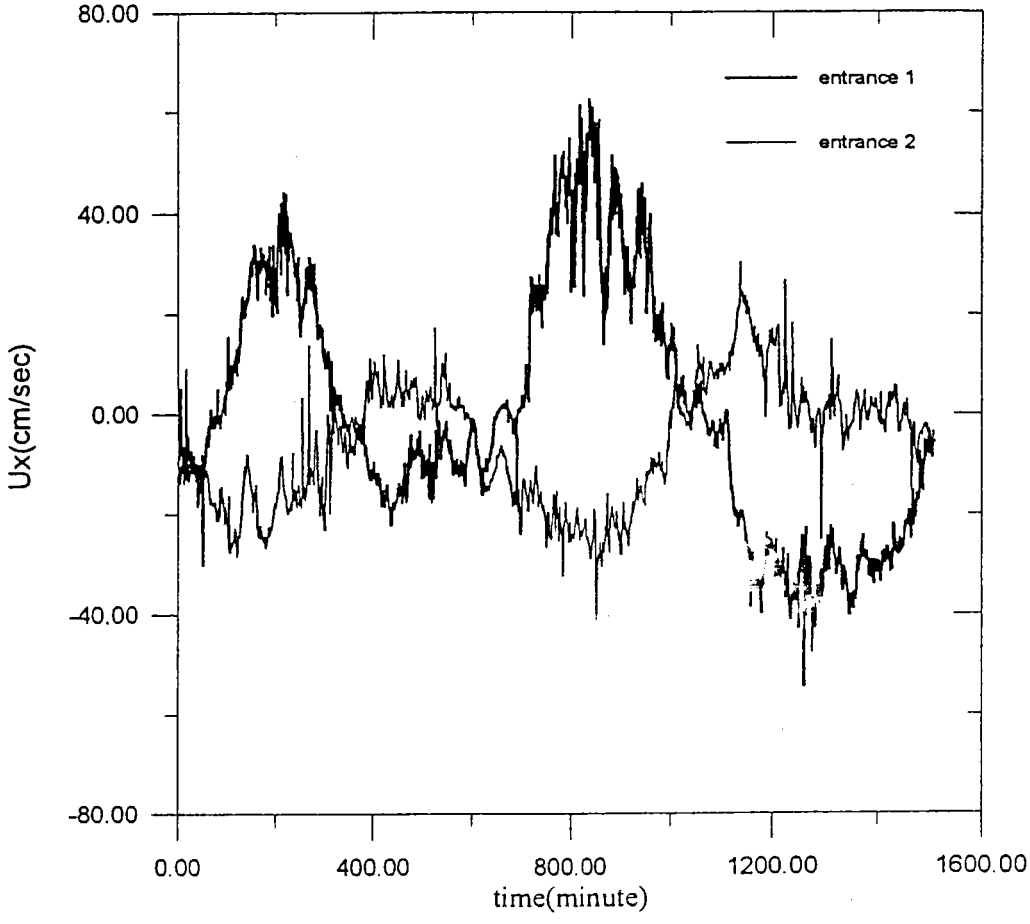
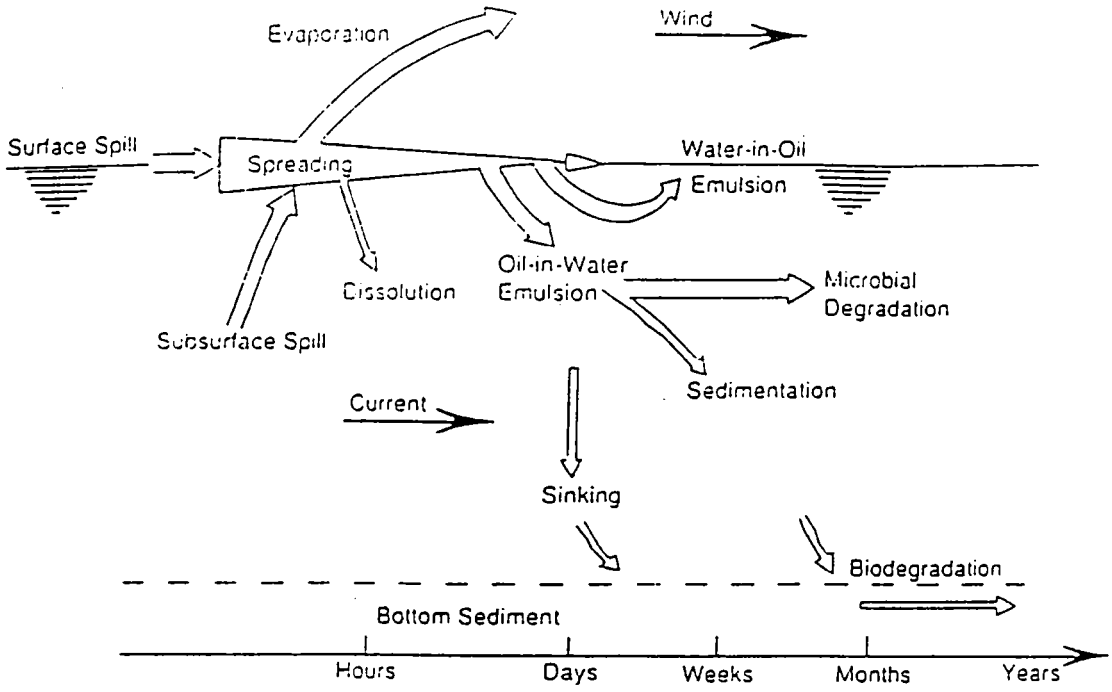
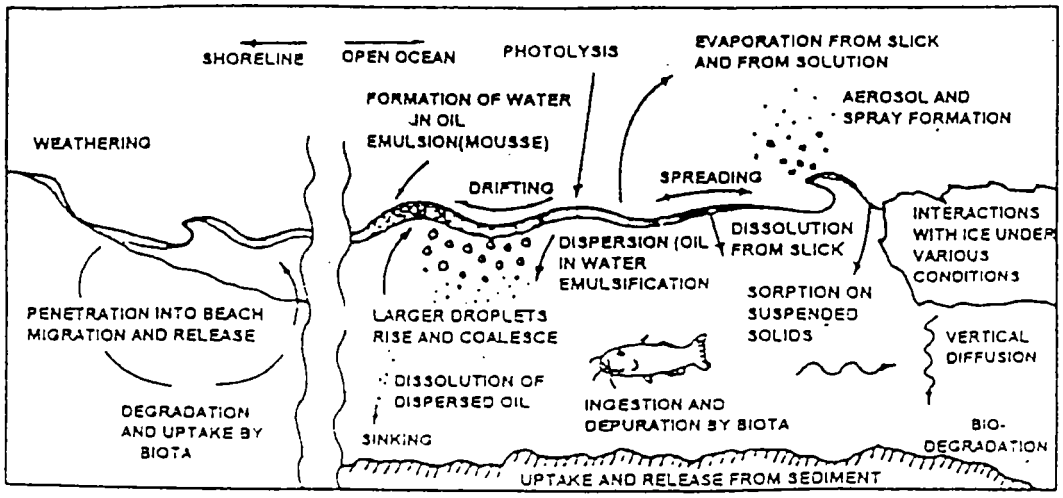


圖 2-6 1997/6/20 第一、二港口二部潮流儀實測水平潮流速度圖
(向東為正)



(資料來源： Shen et al., 1990)

圖 4-1　溢油演化之各階段作用機制示意圖



(資料來源： Mackay & McAuliffe, 1988)

圖 4-2　溢油運動擴散及其物理化學作用機制示意圖

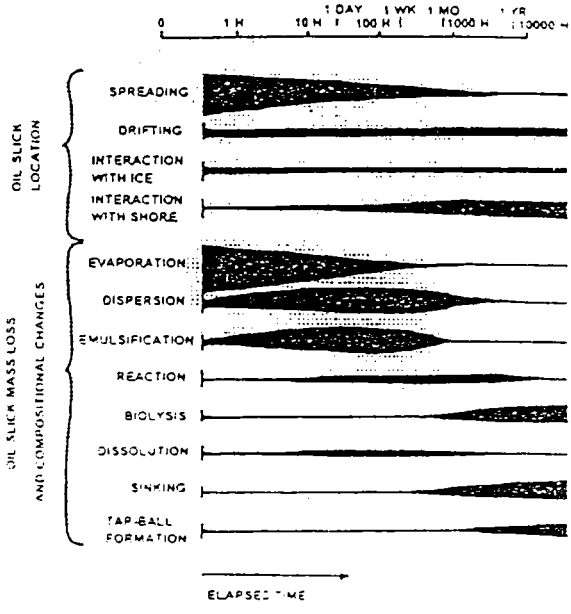
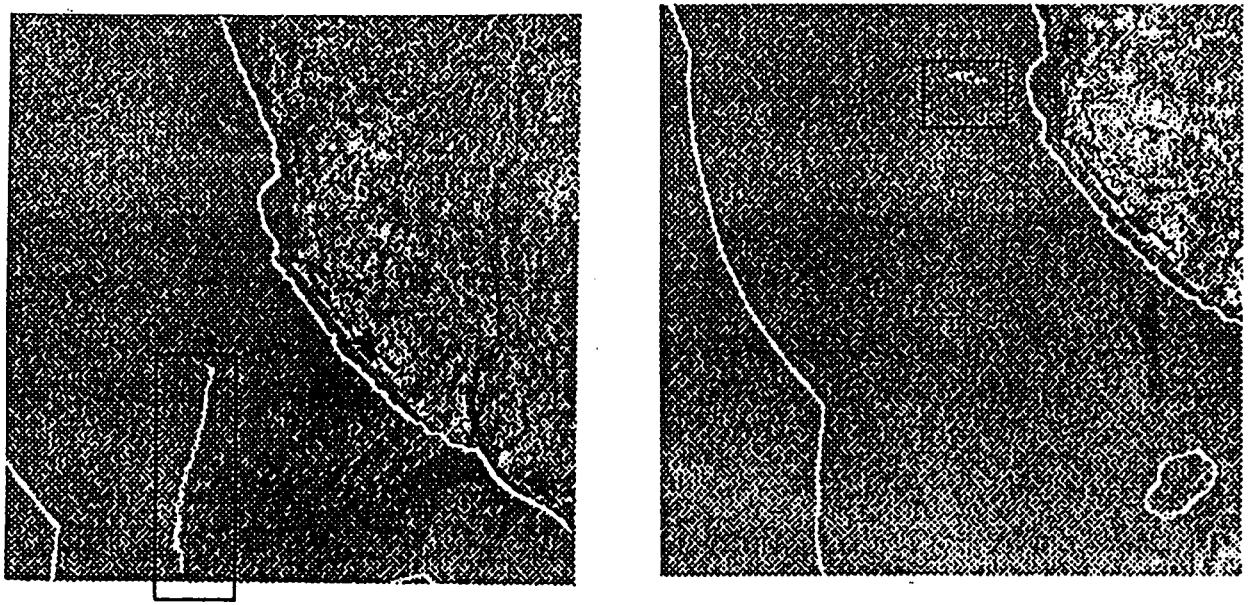
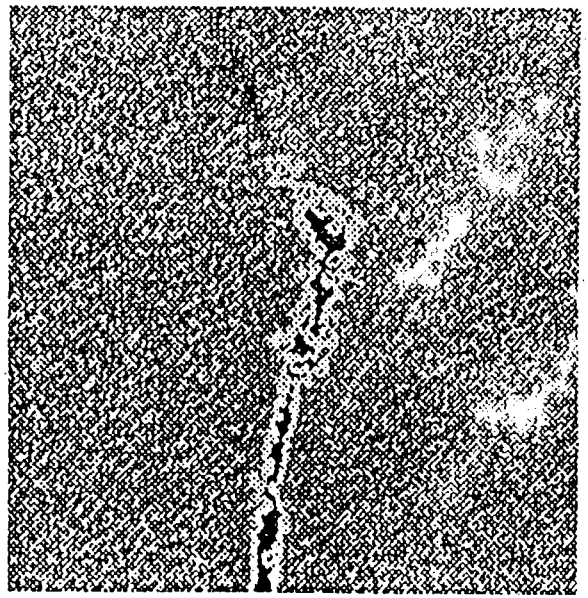


圖 4-3 溢油各階段的時間尺度

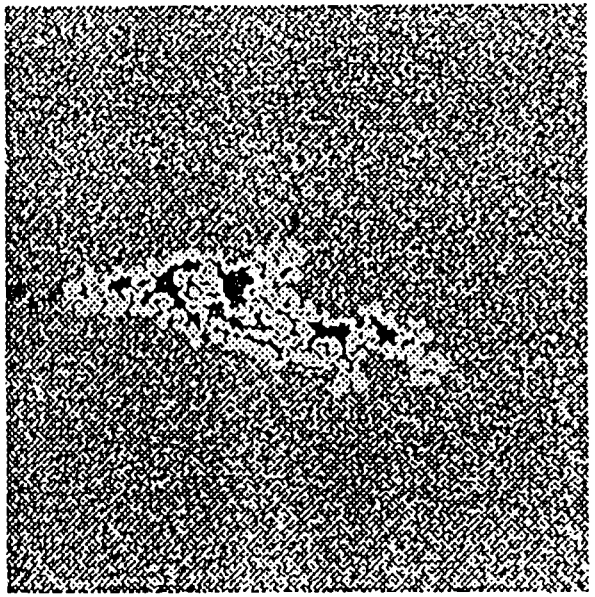


1994 年 10 月 22 日　　1996 年 3 月 7 日

圖 4-4 偵測所得之油污區塊覆疊於原影像(框線內為偵測所得污染位置)



1994 年 10 月 22 日

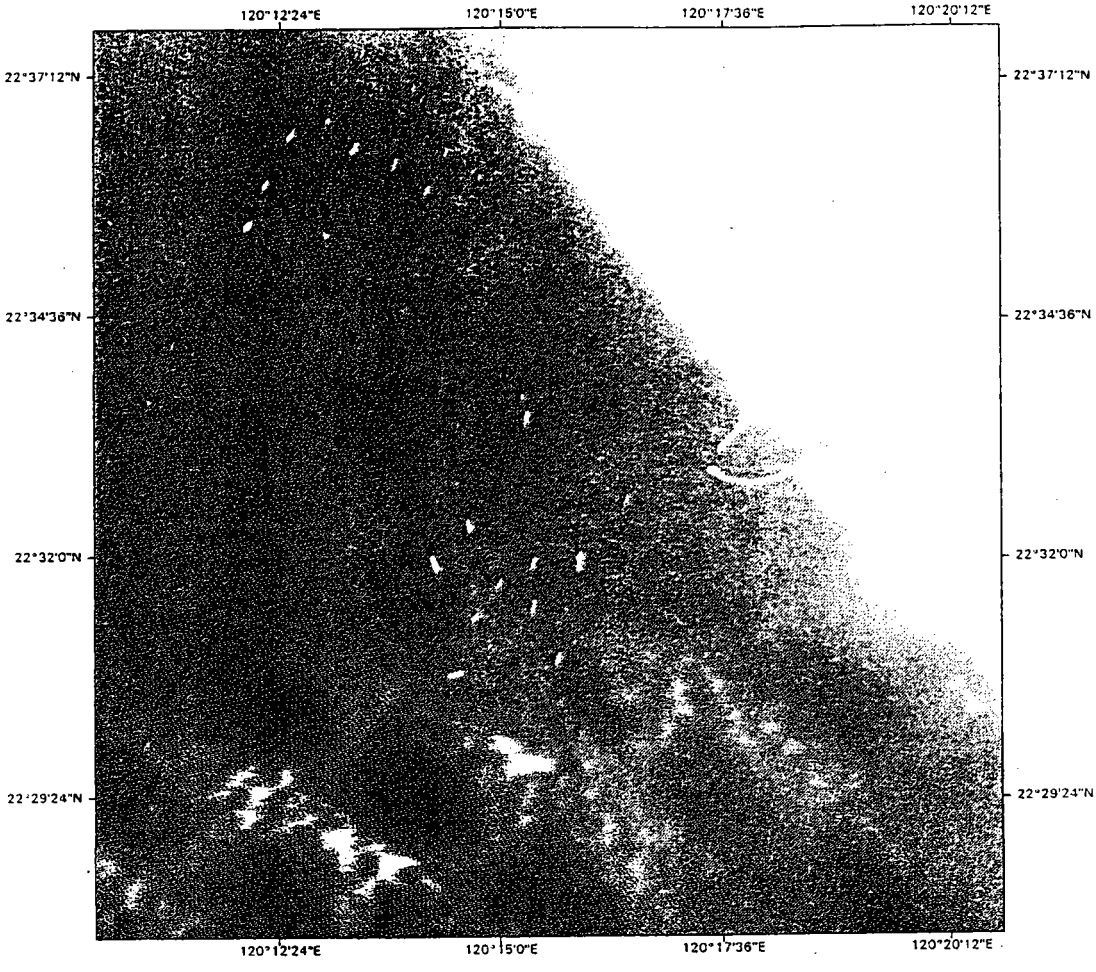


1996 年 3 月 7 日

圖 4-5 偵測所得之油污區塊邊界覆疊於原影像後再經局部放大所得之影像

圖 4-6 85 年 8 月 10 日中油外海輸油浮筒漏油 SPOT 衛星影像

高雄港海域SPOT衛星影像



攝影日期：10/08/1997
感測器種類：SPOT XS
解析度：12.5公尺
影像投影：台灣二度分帶投影
針對海面油污進行影像增揚

圖 4-7 86 年 10 月 7 日長運輪於二港口外海漏油之 SPOT 衛星影像

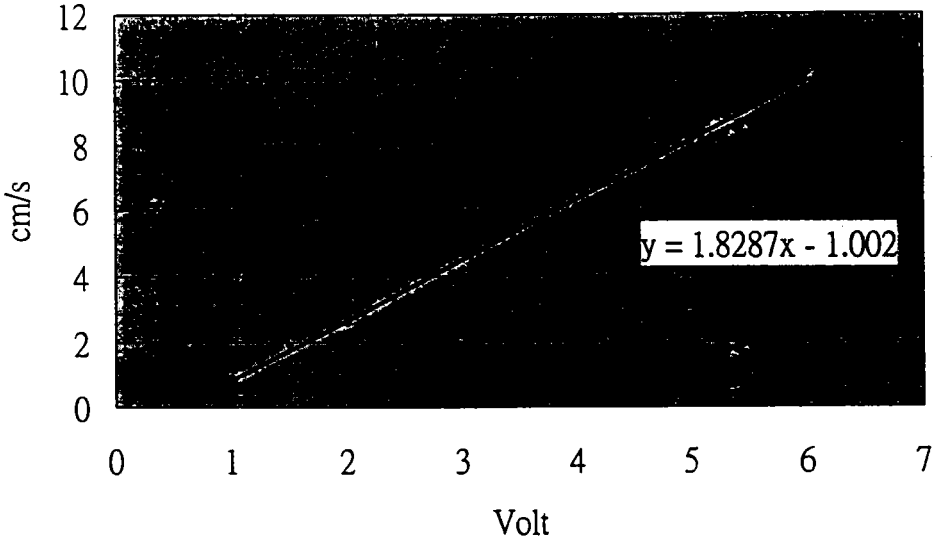


圖 5-1 ADV 率定曲線

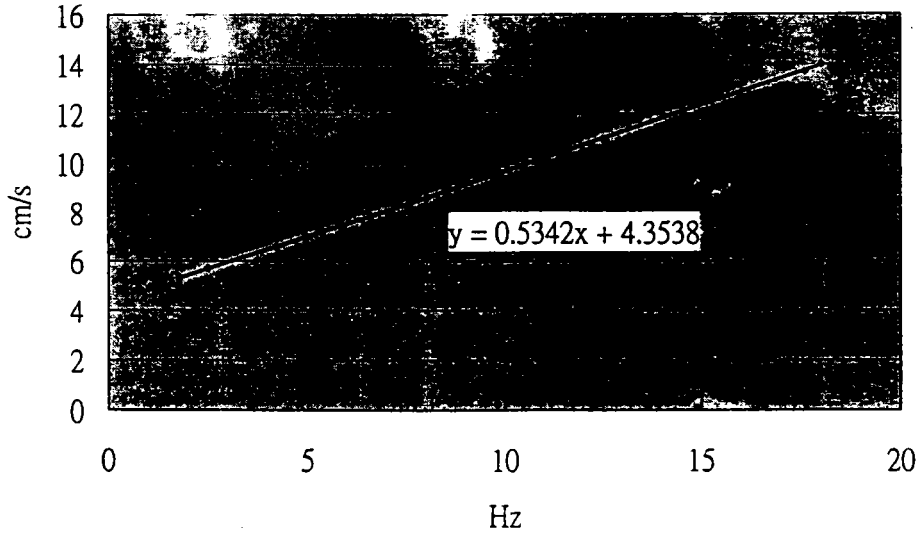


圖 5-2 螺旋式流速計率定曲線

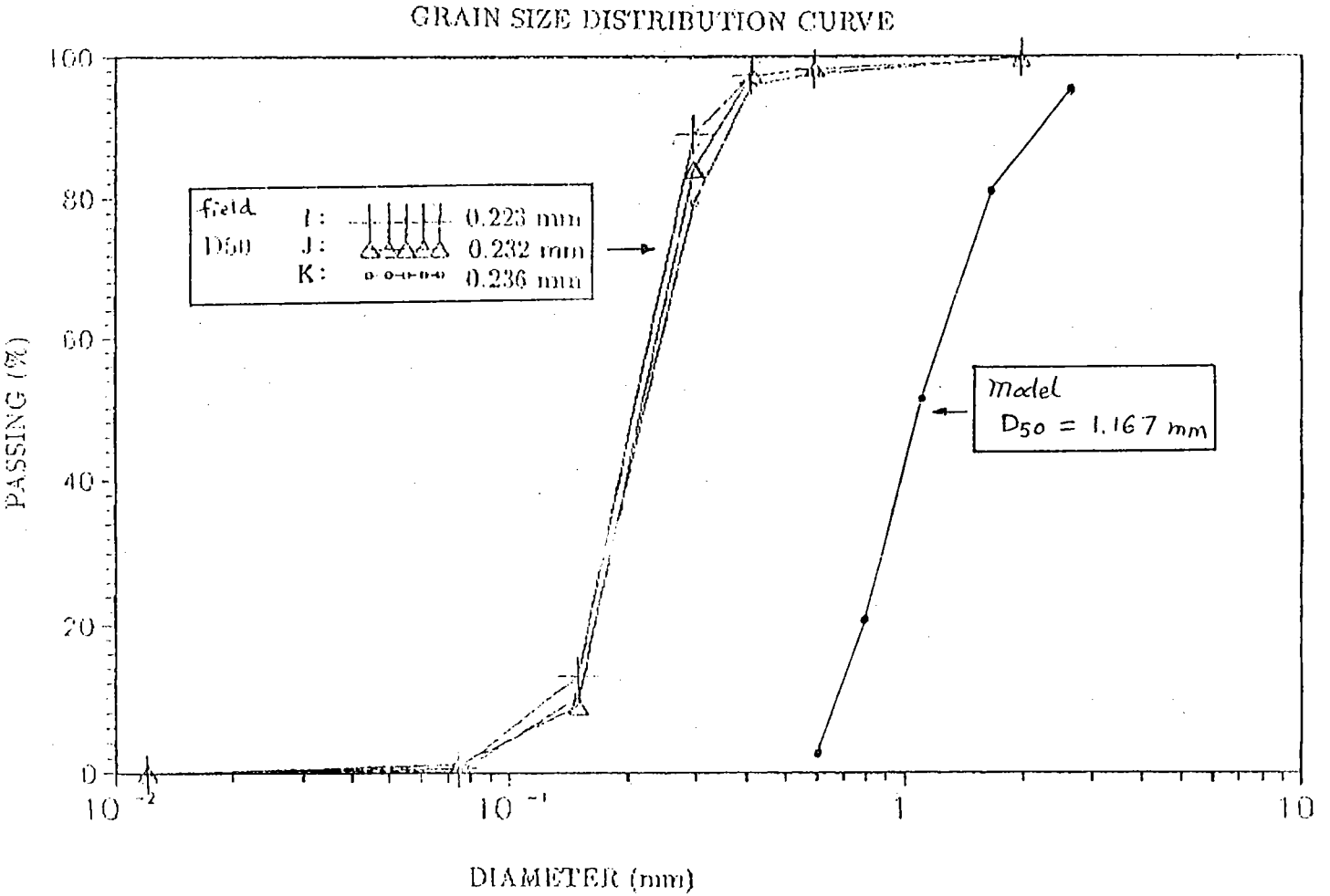


圖 5-3 現場及模型海床砂粒徑分析圖

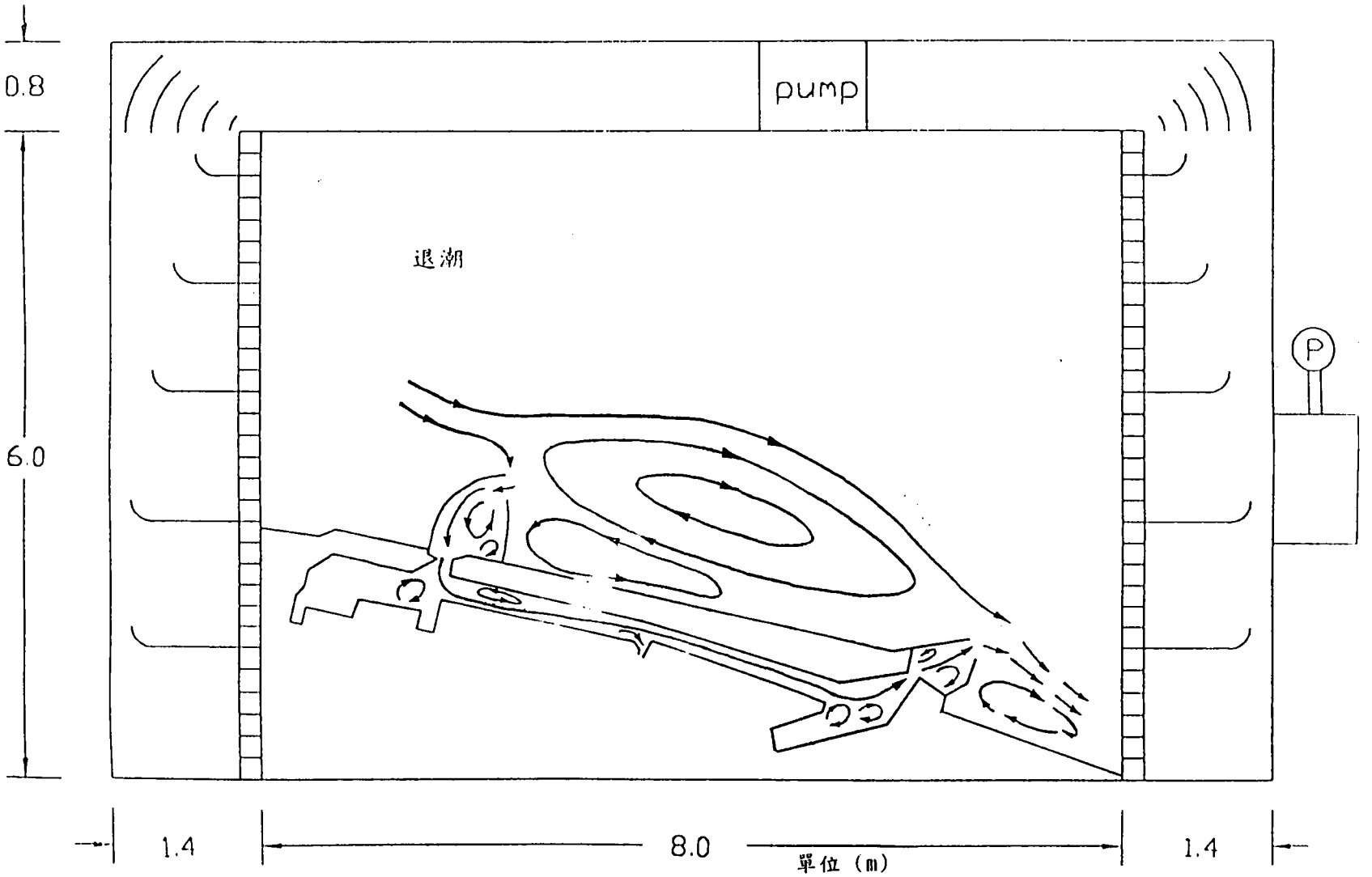


圖 6-1 港域內外之退潮流域圖

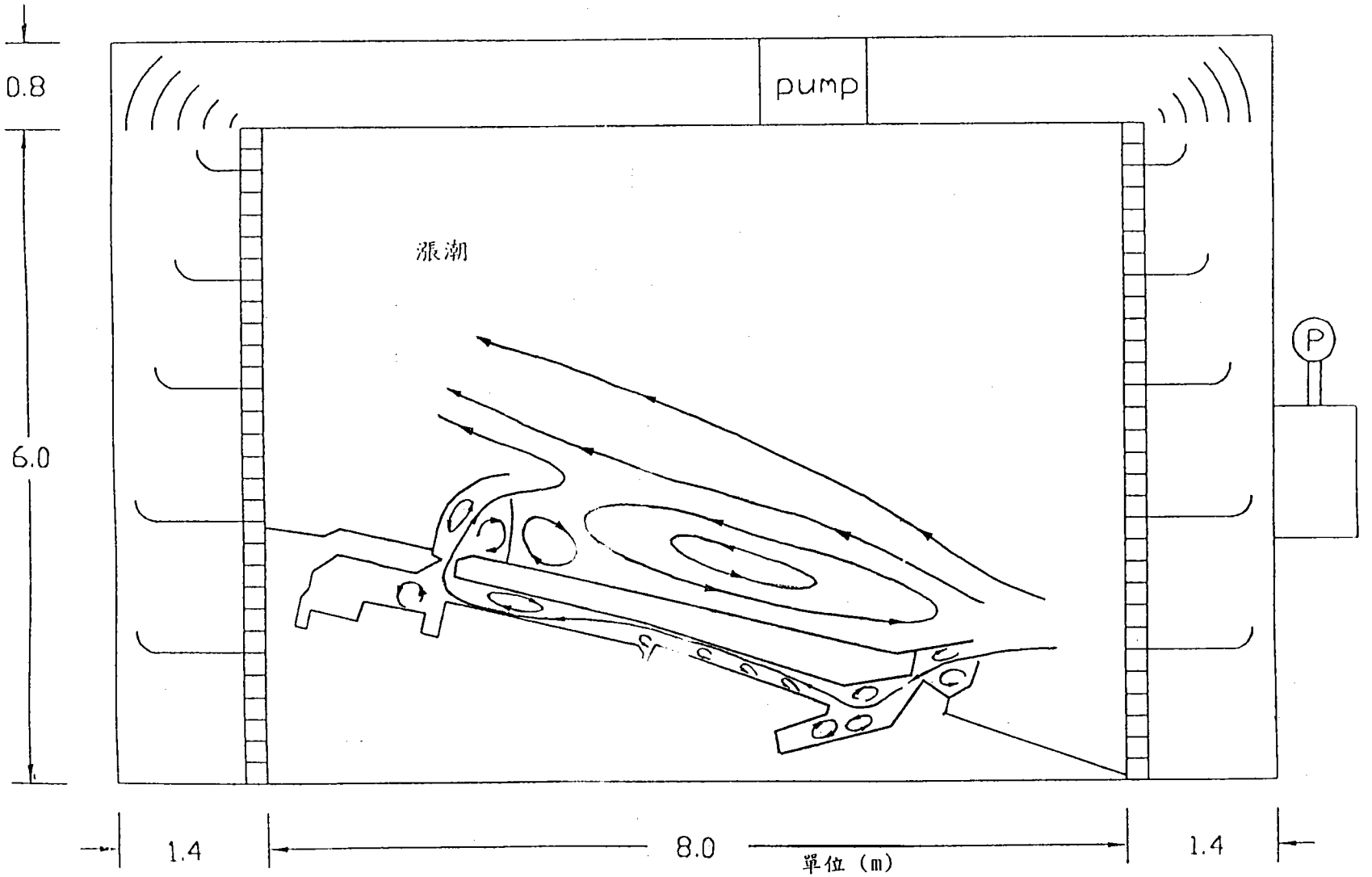
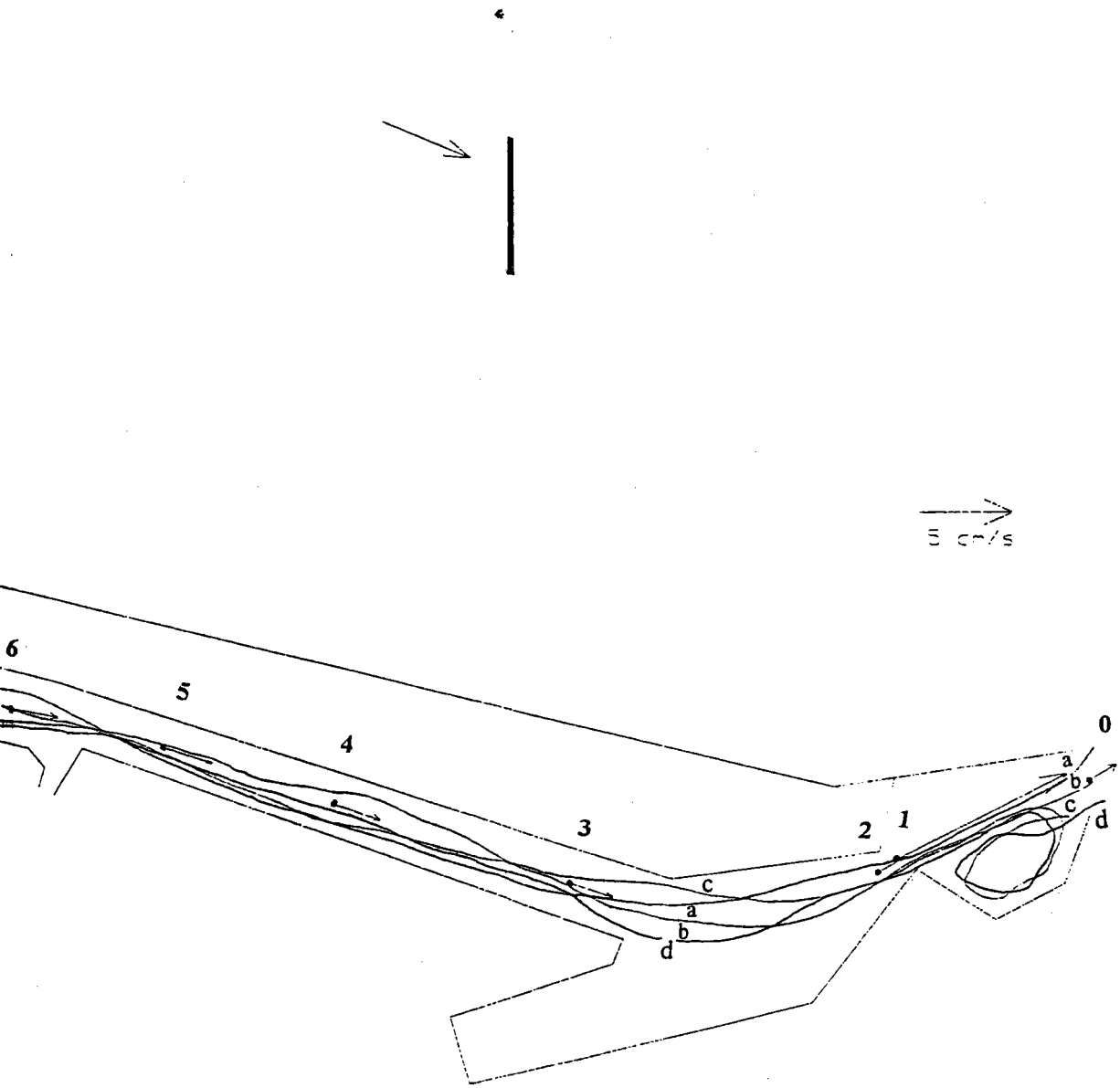
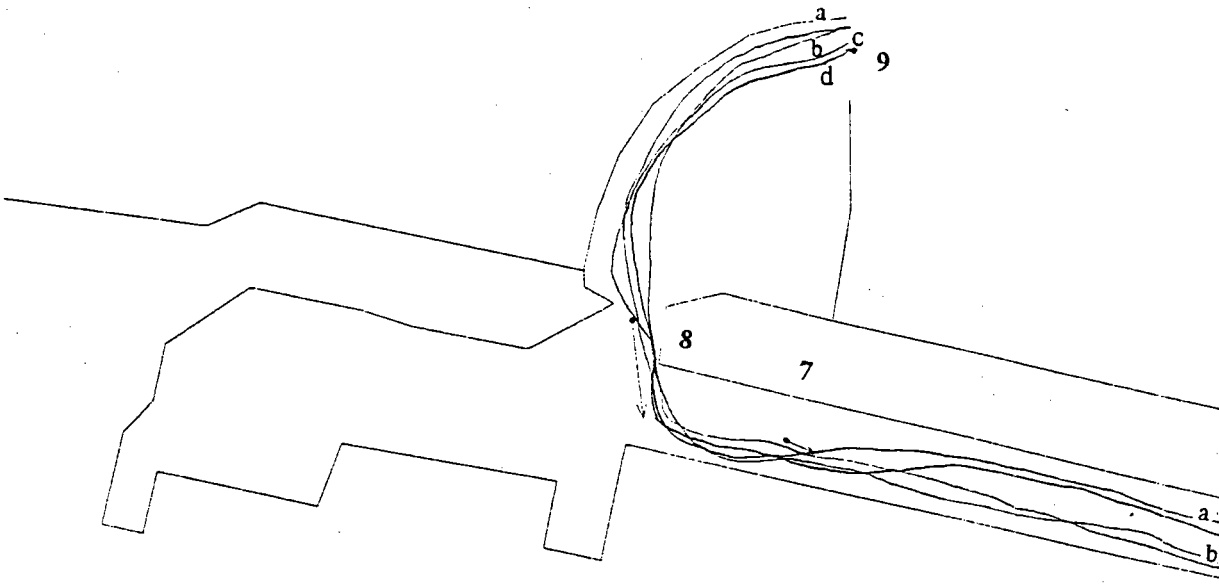


圖 6-2 港域內外之漲潮流域圖



0
02' 01"
02' 37"
❶02' 46" ❷02' 46"
❶02' 21" ❷02' 43"

壓線圖

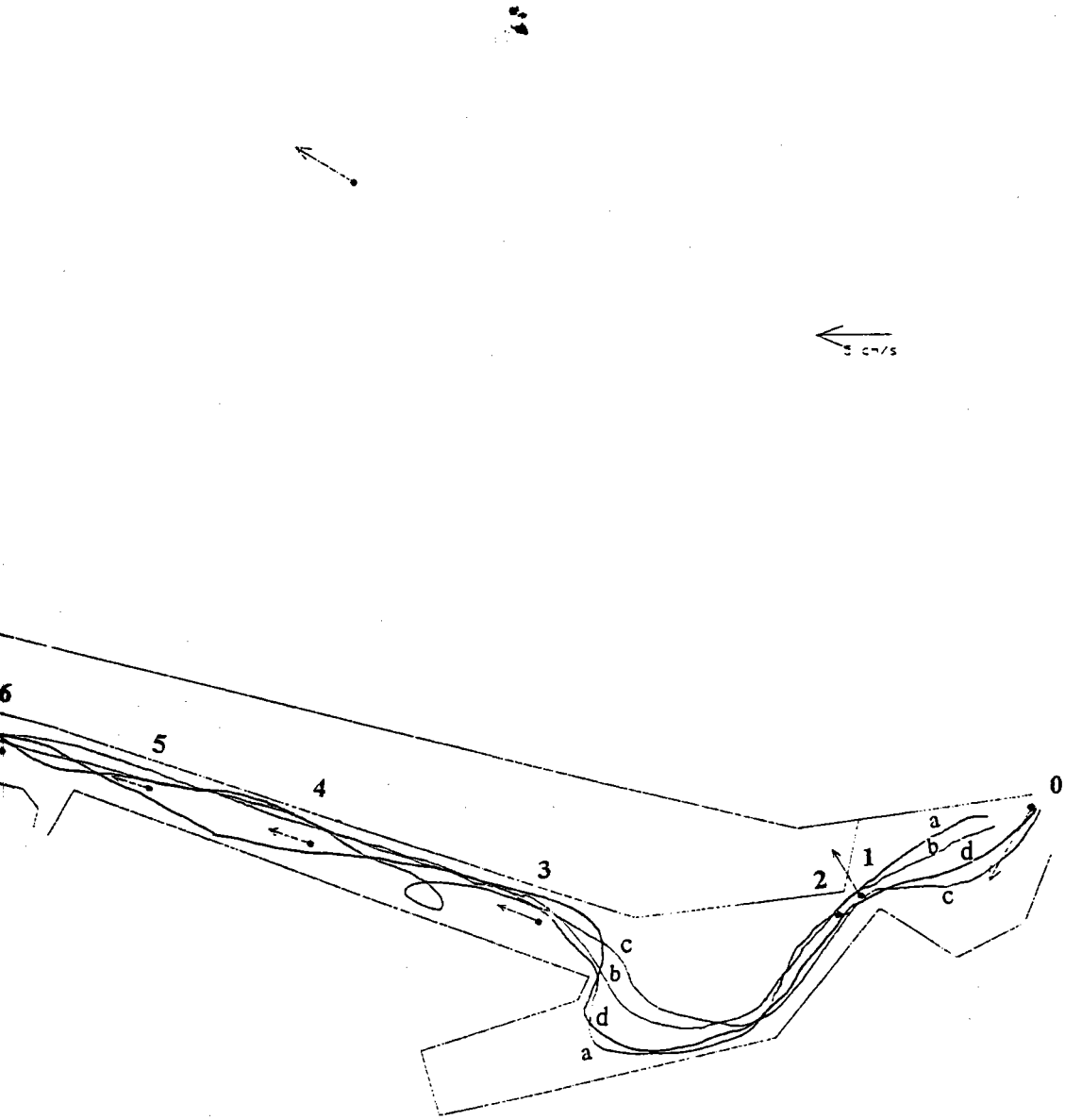


測站	9	8	7	6	5	4	3	2	1
a	00' 00'	00' 23"	00' 31"	00' 59"	01' 10"	01' 21"	01' 36"	01' 55"	01' 57'
b	00' 00"	00' 21"	00' 30"	01' 01"	01' 15"	01' 32"	01' 58"	02' 26"	02' 31'
c	00' 00"	00' 21"	00' 33"	01' 08"	01' 17"	01' 31"	01' 50"	02' 09"	02' 11'
d	00' 00"	00' 11"	00' 29"	01' 01"	01' 13"	01' 28"	01' 48"	02' 13"	02' 16'

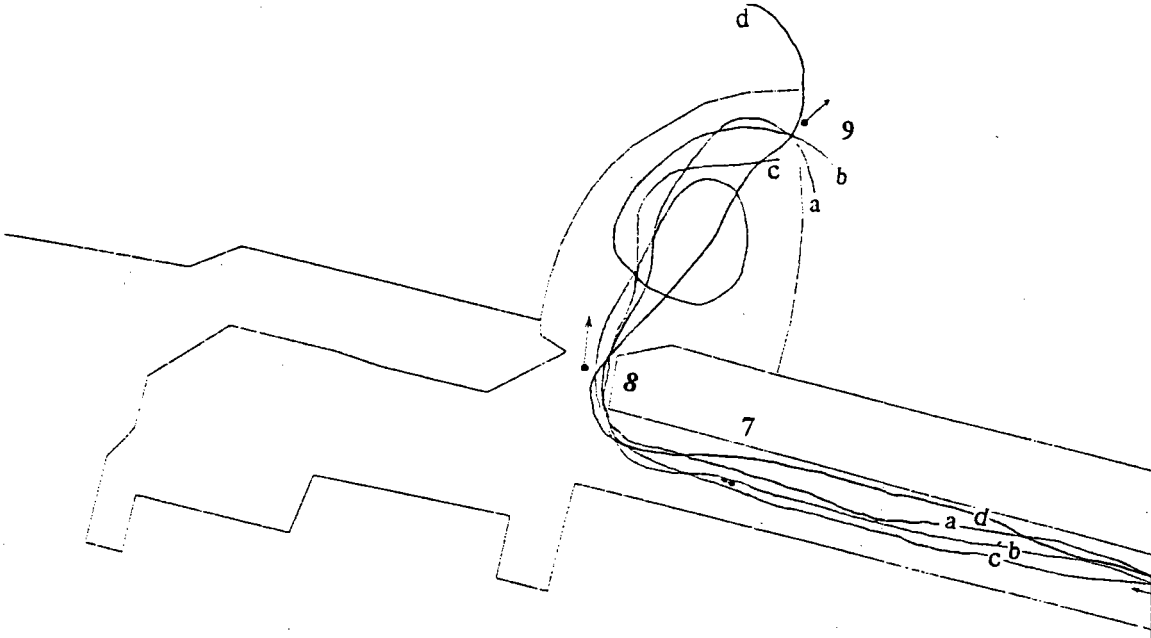
備註：❶表示質點第一次到達測站 0 的時間

❷表示迴流後質點再度到達測站 0 的時間

圖 6-3 退潮之粒



0
' 00"
' 00"
' 00"
' 00"



測站	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
a	08' 20"	05' 04"	03' 56"	01' 05"	00' 51"	00' 39"	00' 25"	00' 03"	00' 02"	0
b	07' 41"	06' 20"	05' 21"	02' 16"	01' 49"	01'25"	00' 38"	00' 02"	00' 01"	0
c	11' 38"	10' 07"	08' 32"	03' 08"	02' 16"	01' 35"	01' 06"	00' 17"	00' 10"	0
d	05' 40"	04' 52"	04' 11"	02' 05"	01' 43"	01' 16"	00' 51"	00' 08"	00' 04"	0

圖 6-4 漲潮之粒子徑線圖

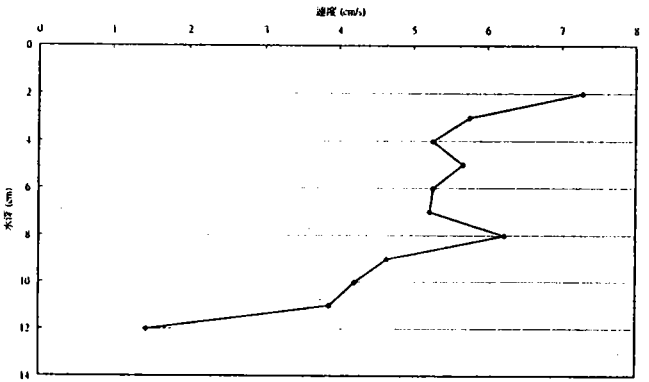


圖 6-5 中州退潮垂直速度剖面圖

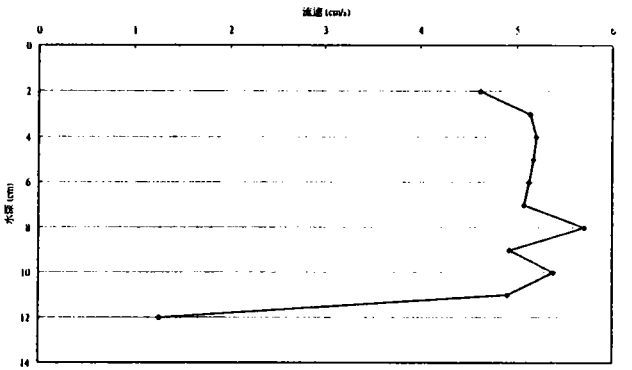


圖 6-6 中州漲潮垂直速度剖面圖

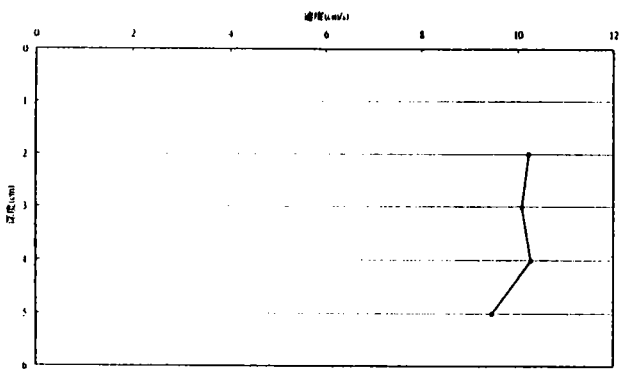


圖 6-7 測站 1 退潮垂直速度剖面圖

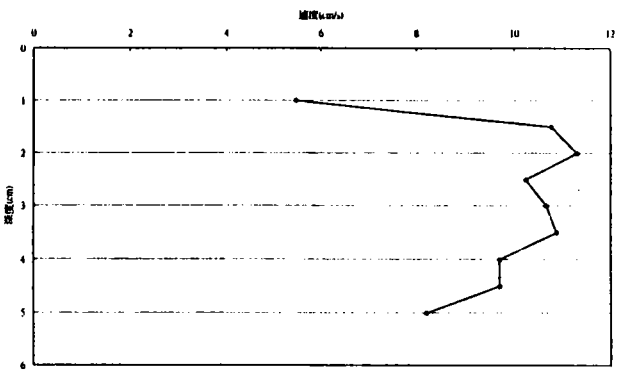


圖 6-8 測站 1 漲潮垂直速度剖面圖

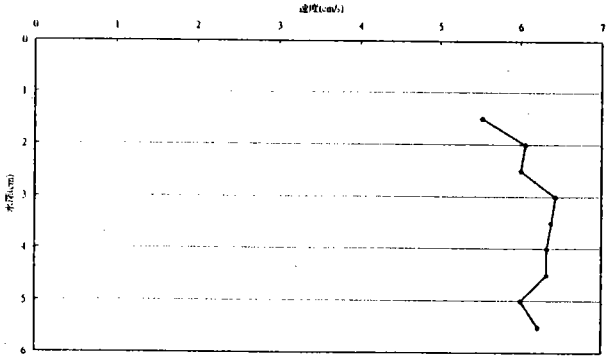


圖 6-9 測站 3 退潮垂直速度剖面圖

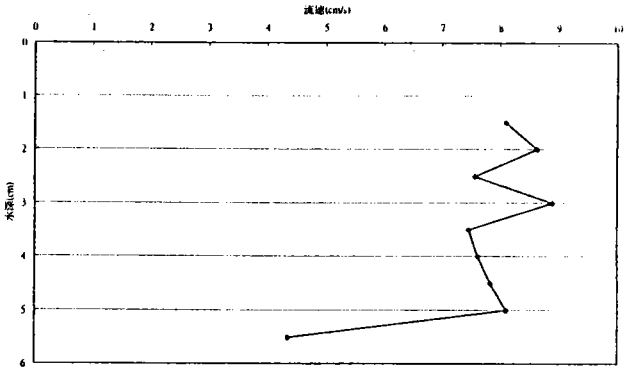


圖 6-10 測站 3 漲潮垂直速度剖面圖

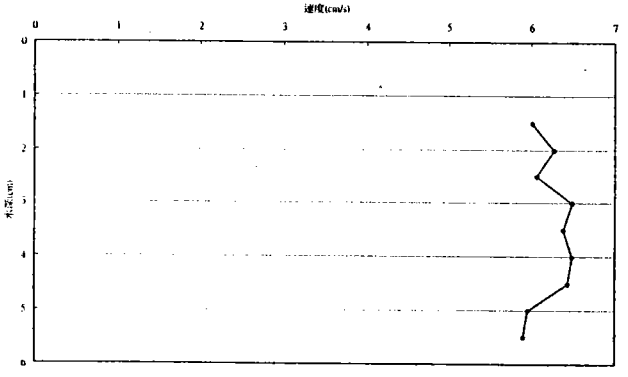


圖 6-11 測站 5 退潮垂直速度剖面圖

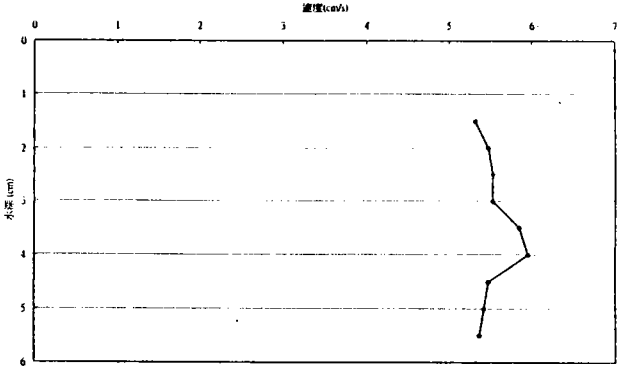


圖 6-12 測站 5 漲潮垂直速度剖面圖

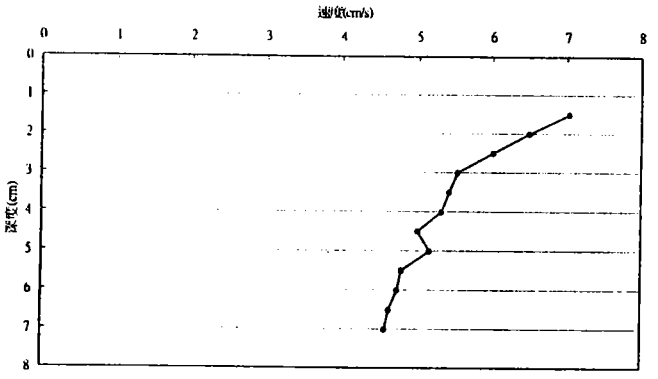


圖 6-13 測站 8 退潮垂直速度剖面圖

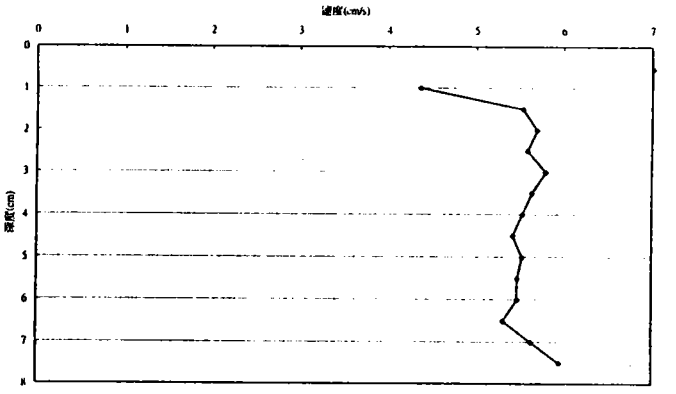


圖 6-14 測站 8 漲潮垂直速度剖面圖

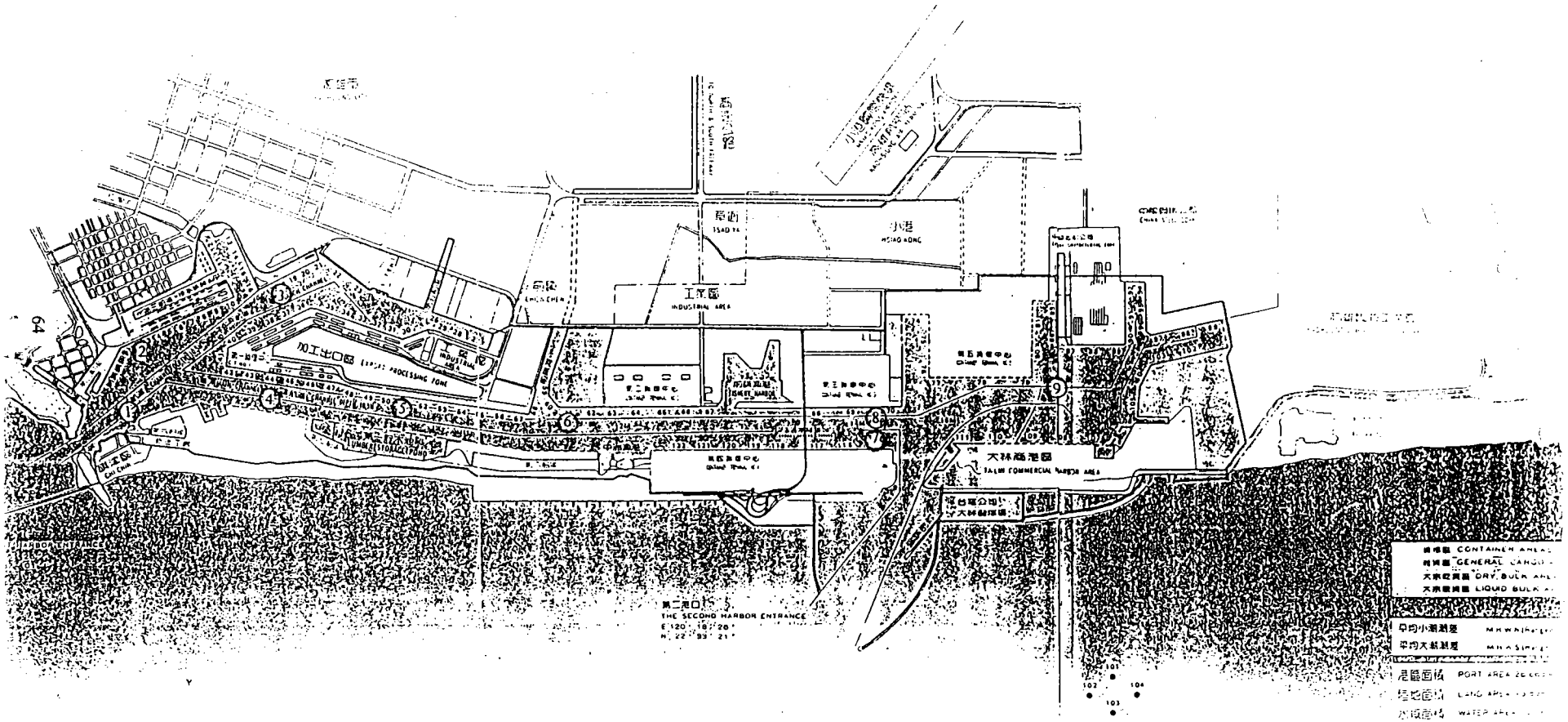


圖 6-15 高雄港常見溢油發生地點

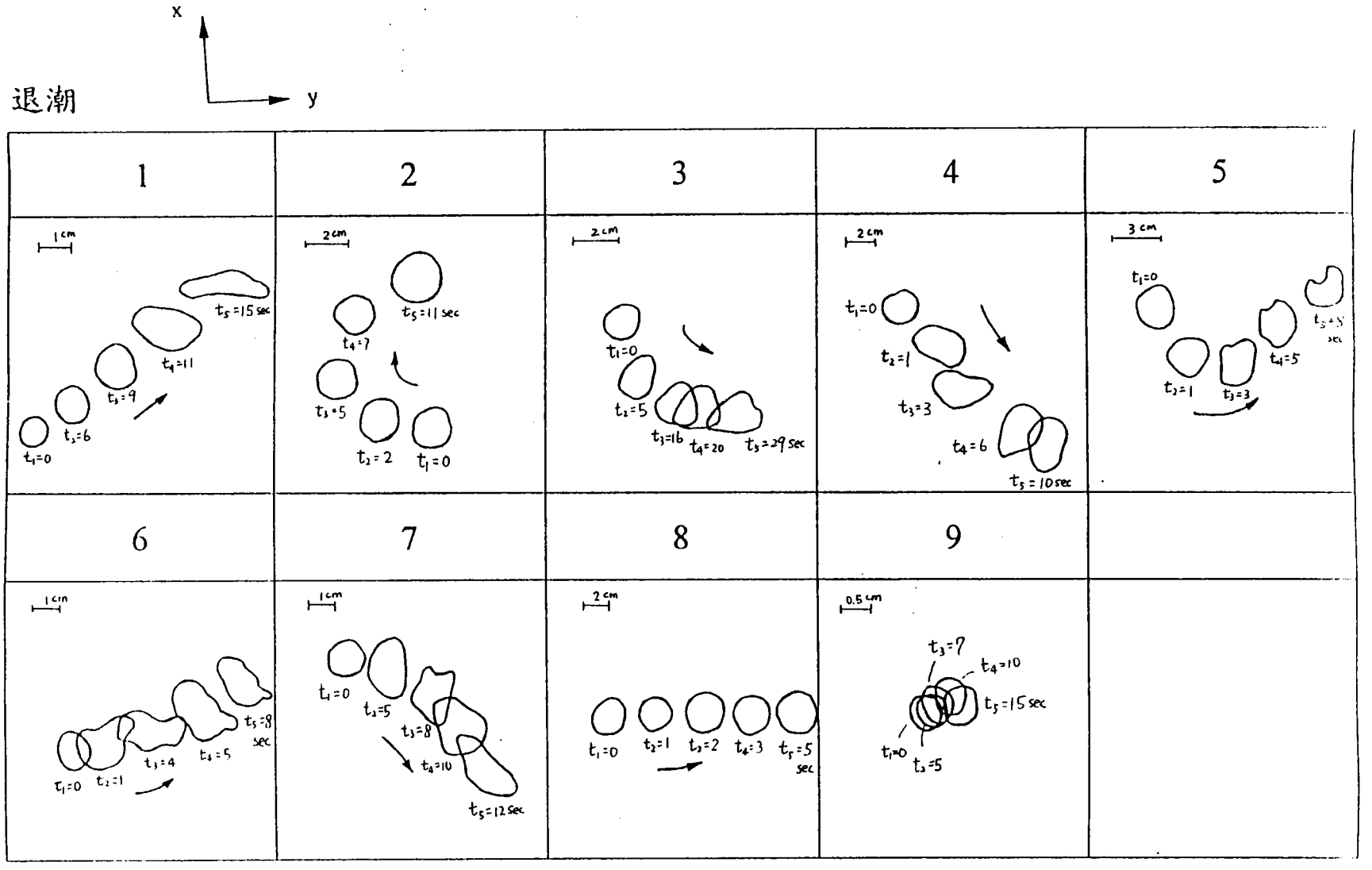


圖 6-16 港內退潮的溢油之傳輸情形

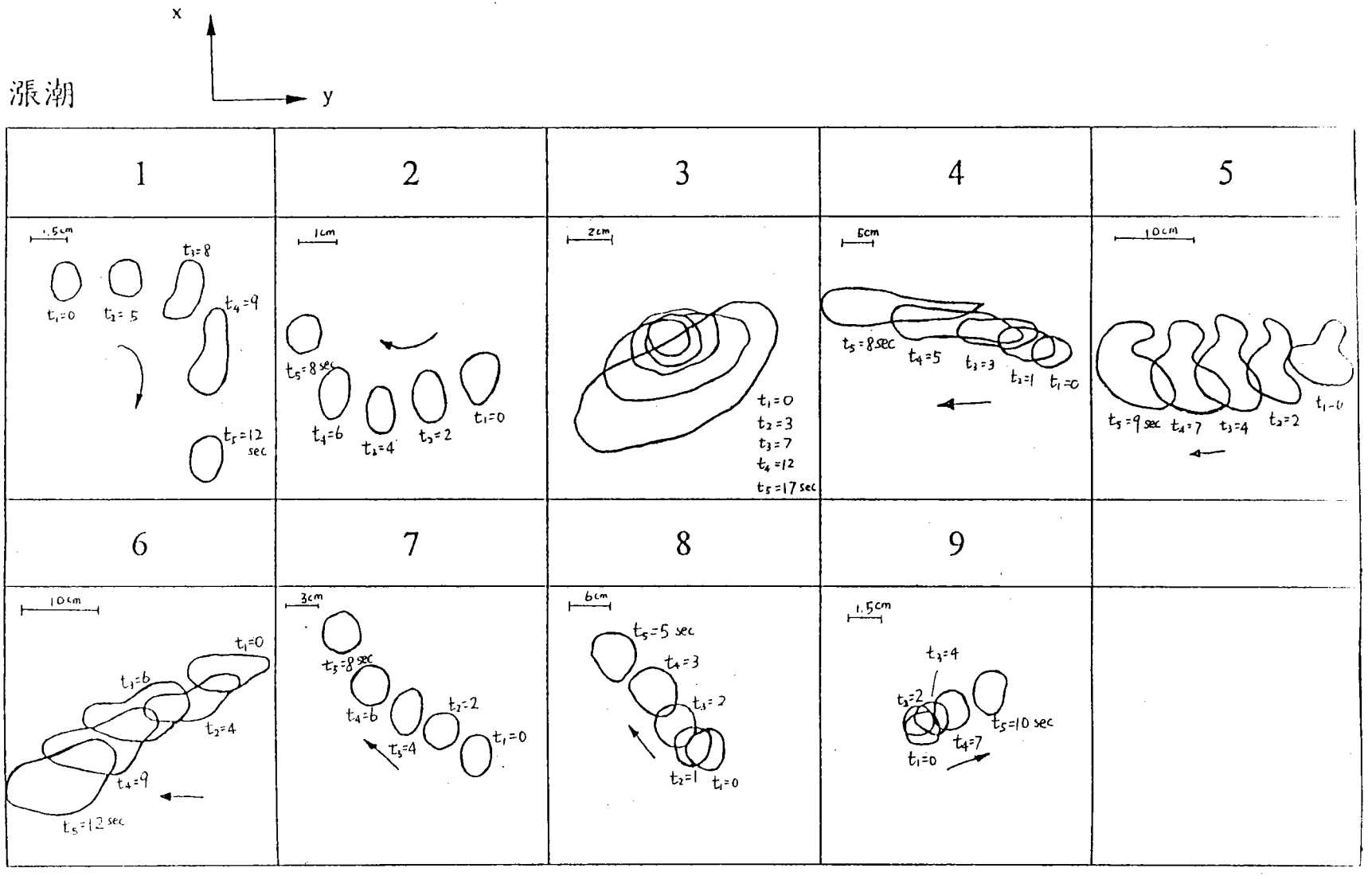
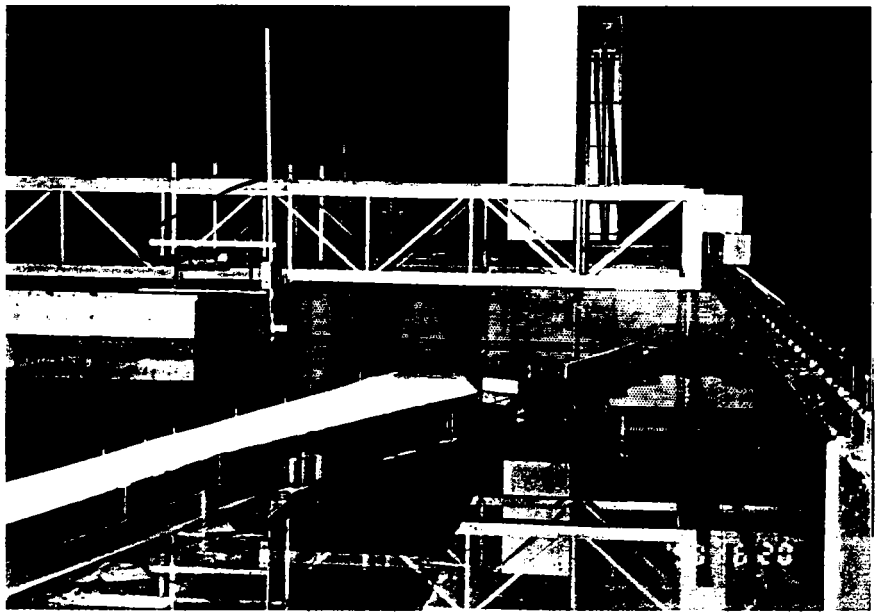
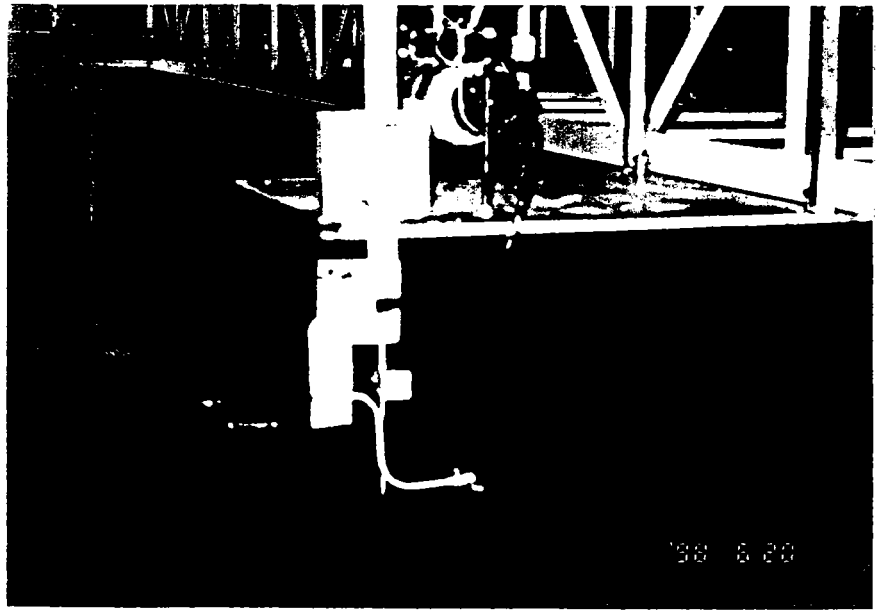


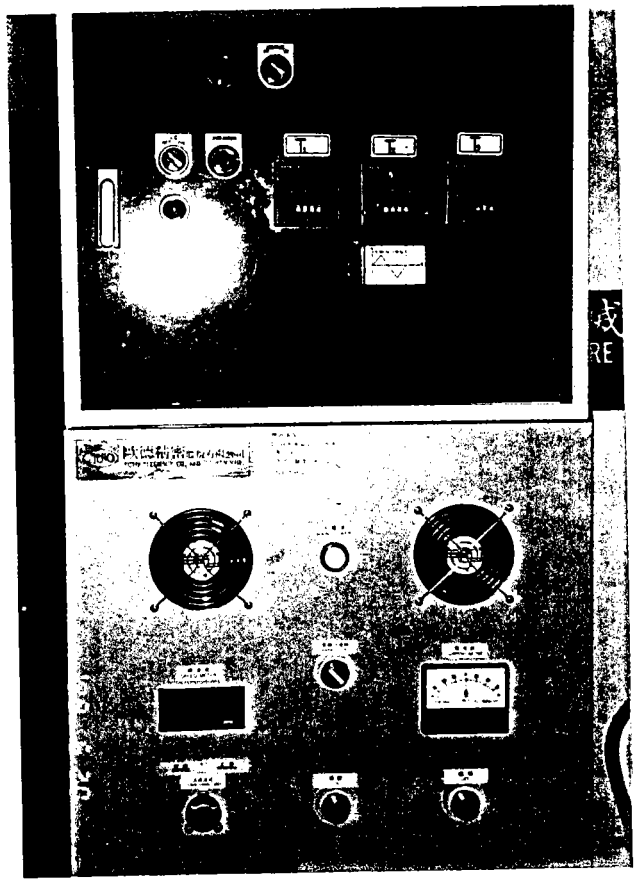
圖 6-17 港內漲潮的溢油之傳輸情形



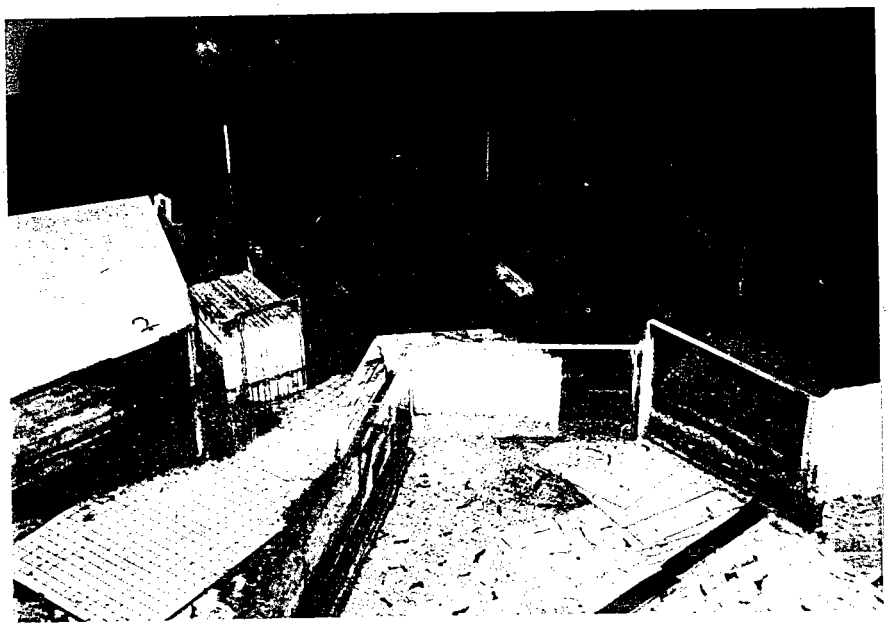
照片一：實驗水槽及高雄港模型



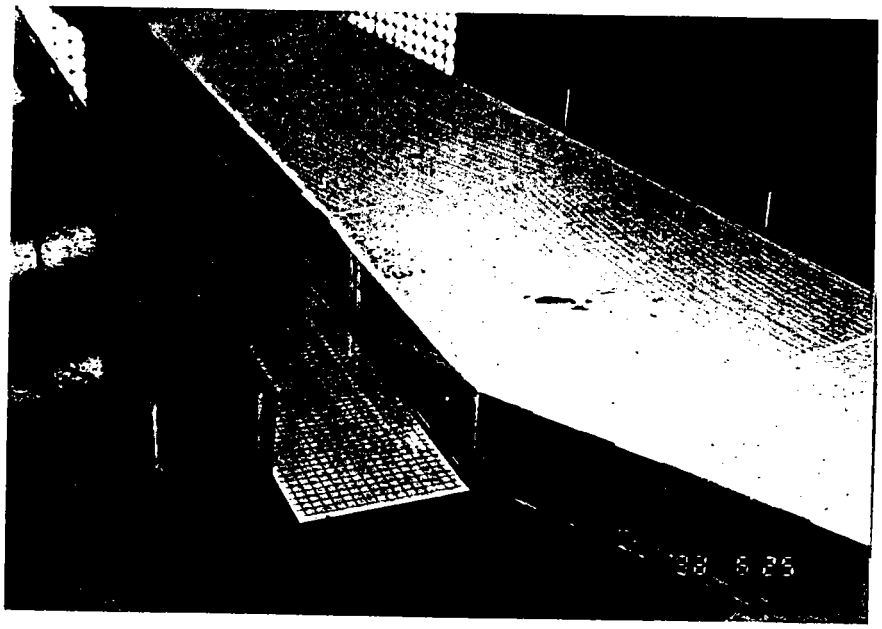
照片二：ADV 二維流速測針



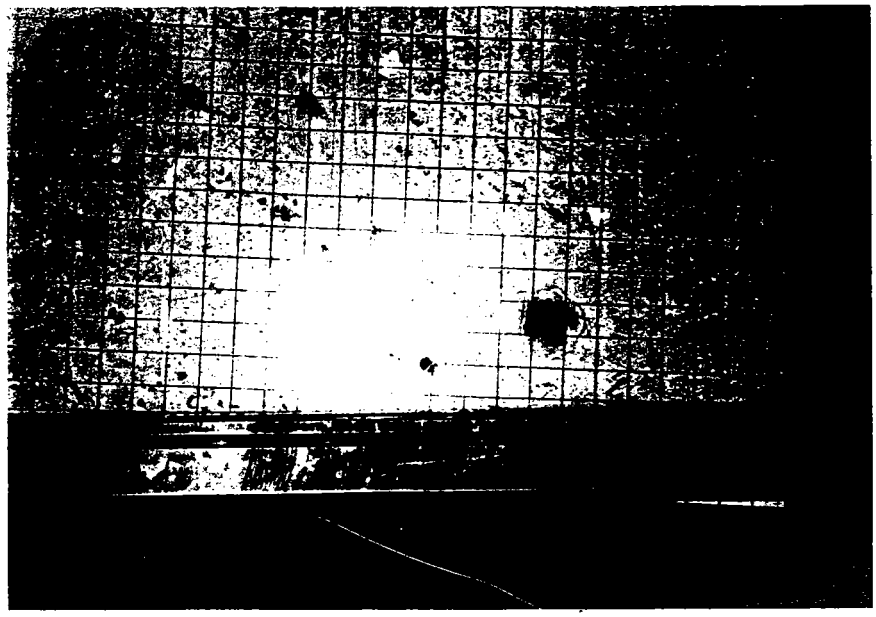
照片三：馬達轉速控制箱



照片四：模型鋪砂及地形（一港口）



照片五：延散係數測點格網（測點三）



照片六：溢油（添加紅色油性染料）之擴展實驗

第三子計畫

—港池污染數值模式之研究—

摘 要

本計畫在配合未來包括污染、水質擴散等數值計算整體性發展，衡諸研究計畫未來大量之計算工作，及需要迅速計算結果，經評估引用丹麥水工研究所(DHI)發展的Mike 21二維模式。另爲考量求解水深變化較大之區域,如海岸與河口交接處之水域,因鹽度變化而產生之層化現象,也自行開發三維水理及傳輸擴散模式。

水理計算數值模式Mike 21 HD,主要考量波浪作用力、潮汐水位變化、風、大氣壓力、地球自轉柯氏力及海底底床摩擦等因素，以模擬海水位變化及海潮流流況。

傳輸擴散數值模式Mike 21 AD，主要功能爲應用於模擬溶解或懸浮物質在流體擴散傳輸過程影響下之分佈，其模擬之污染物主要以滿足線性衰減物質，典型的污染物如大腸桿菌C_J、生化需氧量BOD、氯化合物、指定有機污染、熱量及衰減之含放射性物質。

水質擴散模組Mike 21 WQ，加重於較複雜之多種組合污染物生化反應過程之模擬，其可模擬之污染物包括溶氧DO、生化需氧量BOD、溶解生化需氧量BOD_d、懸浮生化需氧量BOD_s、沉積生化需氧量BOD_b、氨NH_3、硝酸NO_3、磷酸鹽PO_4,總大腸菌C_t及排洩物大腸菌C_F等單一性或多種污染物存在時之擴散情形,模組並可提供模使用者自己定義之污染物。

本計畫自行開發三維水理計算數值模式—Model CT31，主要引用有限元素法，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，並推導各層次積分有限元素方程式;對時間之數值積分方法，則引用二步驟顯示法。使用有限元素法之優點爲更容意處理不規則邊界及地形問題。

三維傳輸擴散數值模式—Model AD31 ,主要引用有限差分法數值模式,解析三維擴散方程式。在考量實際應用因不規則海岸線、外海假想邊界及海底地形，常使數值計算網格產生造成許多不便，引用彈性座標系統,,將不規則地區之海岸線、外海邊界及海底轉換成二平行直線及平面海底之長方體網格系統，大大簡化數值之處理過程。

高雄港港池污染模式之研究

目 錄

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」列爲國家建設六年計畫之項目，而「港池污染整治」則爲「海洋污染防治」之重要要一環。

改善港池污染另外之方法則是提昇港池水體自淨能力，以利用自然或人爲方法，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。如何利用潮流、風吹流及波引起之沿岸流等海水流動之能力，盡可能改善港池水灣之污染，爲研究之重點。

近岸流況爲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。潮汐可視爲一種淺水長波，其引致之流場稱爲潮流，潮流一般較爲規則化，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爲風吹流，其影響之深度有限。另將波浪視爲一外力，其引致之流場，稱爲沿岸流，波場本身即爲一複雜之現象，因此沿岸流之計算較爲複雜。

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，此方法亦廣爲甚他研究所採用。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爲數已然不少。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爲採用層化化積分模式，李、郭(1989)建立三維多層模式，層化積分模式可區分爲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爲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爲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)爲代表。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)爲代表。其層化積分模式均採用壓力爲靜水壓力之假設配合層次積分觀念使三維數值計算簡化爲各層次之二維流場計算。李、郭(1989)利用有限元素法爲基礎，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Leenertse (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(Humbodlt Bag)Chu et al.(1986)，中東的阿拉伯灣(Arabuan Gulf)Chu et al.(1988)，及美國的普及灣(PugetSound)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。

海域傳輸擴散數值模式計算方面,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,並進而建立二維傳輸擴散數值模式(James etc,1976)。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，並延伸建立三維傳輸擴散數值模式。Wang (1998)也針對近岸地區之不規則地形及區域,引用曲線座標系統(curvilinear coordinate system),並以數值方法計算貼壁座標系統(boundary-fitted curvilinear coordinate)，將不規則地區轉換爲長方形網格系統。原有之控制方程式經座標轉換新座標再以差分原理,化爲差分方程式,此種方法將可解決區域不規則形狀時之數值網格切割困擾。

傳輸擴散數值模式主要功能爲模擬溶解或懸浮物質在流體擴散傳輸過程影響下之分佈,在環境水力(Enuironmental Hydraulics)應用爲最基本之模組,其模擬之污染物主要爲線性衰減物質(Pollutants with linear decay)、熱擴散(heat dissipation)等問題。水質擴散基本原理與傳輸擴散模組甚爲相似,其差異爲傳輸擴散模式一般僅應用於較簡易之單一種污染物擴散,其著

重在模擬污染物如何隨海流(風)散傳輸。水質擴散則加重於較複雜之多種組合污染物生化反應過程之模擬。

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。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。

在垂直水深方向流場變化不大之區域,以二維模式模擬流場可得滿意之結果,但在水深變化較大之區域,例如海岸與河口交接處之水域,因鹽度(密度)變化而產生之層化現象往往甚爲明顯,此種區域之流場及傳輸擴散模擬則有賴使用三維模式。三維海流模式可用來計海域、港灣、河口及湖泊之的水理變化,所謂流況變化即指水體內之水流速度和水位變化，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。

在執行三維水理計算數值模式,本計畫將使用有限元素法,可更容意處理不規則邊界問題。在模擬海洋現場之數值模式運作時,大區域之網格自動分割及結點最佳編號,爲一個甚爲重要的過程,元素分割不佳,結點編號未做合理的考慮,將造成前置作業時間延長,電腦記憶體浪費,甚至無法執行,並且影響計算結果之精確性。有限元素法之元素分割及結點編號之功能爲重要考慮因素。

貳、二維有限差分法模式－ MIKE 21

§2.1 水理計算數值模式— MIKE 21 HD

DHI MIKE 21 HD 爲丹麥水工研究所(Danish Hydraulic Institute)發展之水力計算模式(The Hydrodynamic Model)。其主要功能爲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:

2.1.1 主要方程式

HD 模式能夠考量波浪作用力、潮汐水位變化、風、大氣壓力、地球自轉柯氏力及海底底床摩擦等因素，以模擬海水位變化及海潮流流況。河川流量型態之流源(Source)或如蒸發損失型態之流陷(Sink)，此模式亦皆可加以考慮。模式之計算主要在求解平面X及Y方向之水深平均連續方程式及動量守恒方程式，模式可藉調整底床摩擦係數(型態及大小)、消散係數(型態及大小)及風摩擦係數(常數或變數)等加以完成。HD 模式主要控制方程式爲連續方程式(contiunity equation)及運動方程式(momentum equation)，表示如下:

連續方程式:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = I - e \tag{2.1.1}$$

式中

ζ (x,y,t)	: 水位變化(m)
p(x,y,t)	: x 方向流束密度($m^3/s/m$),p=uh

q(x,y,t)	:	y方向流束密度($m^3/s/m$),p=vh
u(x,y,t)	:	x方向流速(m/s)
v(x,y,t)	:	y方向流速(m/s)
h(x,y,t)	:	水深(m)
I	:	單位平面源(Source)的大小($m^3/s/m^2$)
e	:	蒸發率(m/s)

運動方程式:

$$\frac{\partial p}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{p^2}{h}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{p\cdot q}{h}\right]+gh\frac{\partial\zeta}{\partial x}+\frac{\partial S_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial S_{xy}}{\partial y}$$
$$+\frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2\cdot h^2}-fWW_x+\frac{h}{\rho_w}\cdot\frac{\partial p_a}{\partial x} \tag{2.1.2}$$
$$-q\Omega-\left[\frac{\partial}{\partial x}(\tau_{xx}\cdot h)+\frac{\partial}{\partial y}(\tau_{xy}\cdot h)\right]=I_x$$

$$\frac{\partial q}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{q^2}{h}\right]+\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{p\cdot q}{h}\right]+gh\frac{\partial\zeta}{\partial y}+\frac{\partial S_{xy}}{\partial x}+\frac{\partial S_{yy}}{\partial y}$$
$$+\frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{C^2\cdot h^2}-fWW_y+\frac{h}{\rho_w}\cdot\frac{\partial p_a}{\partial y} \tag{2.1.3}$$
$$-\Omega p-\left[\frac{\partial}{\partial x}(\tau_{yy}\cdot h)+\frac{\partial}{\partial y}(\tau_{xy}\cdot h)\right]=I_y$$

式中

ζ (x,y,t)	:	水位變化(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方向源(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.)
f	:	風阻係數(Wind friction factor)(無因次)
$W, W_x, W_y(x,y,t)$	:	風速和x方向及y方向分量(m/s)
P_a(x,y,t)	:	壓力梯度($kg/m/s^2$)

ρ_w	：水密度(Kg/m^3)
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)爲小，垂直之深度(幾拾米)，遠較水平之尺度(幾公里)爲小，動量方程式主要外力說明如下：$gh\frac{\partial\zeta}{\partial x}$，$gh\frac{\partial\zeta}{\partial y}$爲重力。$\frac{h}{\rho_w}\cdot\frac{\partial p_a}{\partial y}$及$\frac{h}{\rho_w}\cdot\frac{\partial p_a}{\partial x}$爲壓力。$p\Omega$及$q\Omega$爲柯氏力。$fWW_x$及$fWW_y$爲風剪應力。$\frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2\cdot h^2}$及$\frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{C^2\cdot h^2}$爲底床阻力。$\tau_{ij}, i,j = x,y$，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}分別定義爲

$$\tau_{xx} = E\frac{\partial u}{\partial x} \tag{2.1.4a}$$

$$\tau_{yy} = E\frac{\partial v}{\partial y} \tag{2.1.4b}$$

$$\tau_{xy} = \frac{1}{2}E(\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial x}) \tag{2.1.4c}$$

式中E爲渦流黏滯係數(Eddy Viscosity)。

2.1.2 邊界條件之設定

邊界條件，在海面一般主要外力爲風力，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)。固定邊界一般假設爲不透水

直立壁，垂直於岸壁之速度爲零，同時假定非滑動(non-slip)，即平行於岸壁之速度不爲零，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，一般引用實測流速或水位變化爲其邊界條件，因爲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爲水理模式之邊界條件。若是邊界條件爲潮位變化，則模式假設其方向爲垂直邊界方向，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。若是邊界條件爲流量束(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)配合潮位爲週期變化，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，用調合分析方式求出當地潮位變化之數學函數方程式，代入爲邊界條件。潮汐調和分析法(Harmonic Analysis)基本原理爲把任何地點之潮汐分成有限個潮汐分潮(component tide)，每個分潮在數學視爲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：

$$y^i(x,t) = f_i H_i \cos[\sigma_i t + (V_0 + U)_i - k_i], \qquad i = 1, 2, ...m \qquad (2.1.5)$$

式中y^i爲在x位置及時間t第i個分潮潮高。

H_i爲振幅(Amplitude)。

f_i爲修正係數(factor of reduction)。

σ_i 爲分潮之角速度(angular velocity)。

m爲分潮之總數。

$E_i = \sigma_i t + (V_0 + U)_i$ 爲平衡引數(equilibrium ararment)，是時間函數。當t=0，則$(V+U)_i$爲起始時間之平衡引數，以E_{i0}表示，即$E_{i0} = (V_0 + U)_i$。k_i爲遲角(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2-1-1)。

分潮之振幅H_i及及遲角k_i稱爲調和常數(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(2-1-5)各變數之間的關係可由圖2-1-1說明。

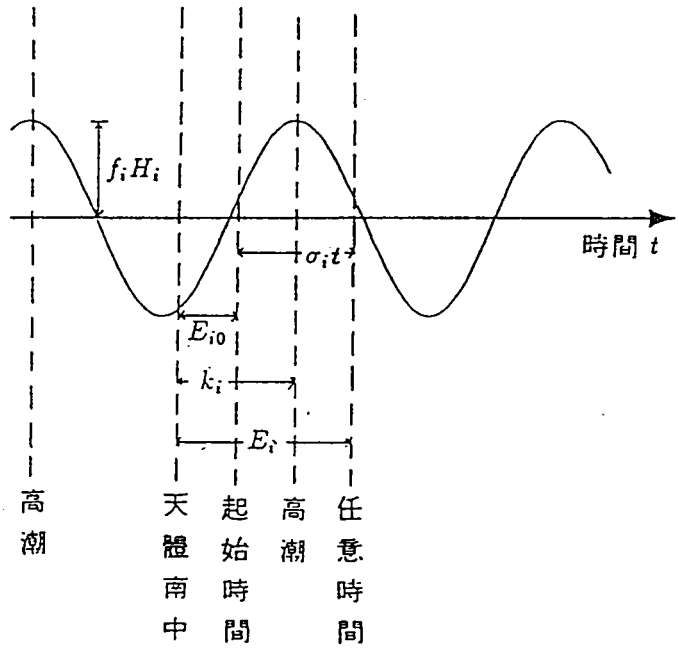


圖2-1-1分潮之修正係數f_i,角速度σ及平衡引數E_{i0}之間的關係

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

$$y(x,t) = H_0(x) + \sum_{i=1}^{m} y^i(x,t) \tag{2.1.6}$$

式中$H_0(x)$爲平均水位，$y^i(x,t)$爲第i個分潮之潮高，定義如(2-1-5)式，由表示式(2-1-6)，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爲困難，具有充足資料之海氣象測站甚爲有限，開放邊界僅能使用水位邊界。因此計算區域選定爲配合計算精度之要求不同，需分階段將計算區域分爲大域、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爲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)。

2.1.3 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可爲20～40，Chezy Number可爲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之使用經驗約爲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Minning Number來解：

$$C = M \cdot h^{1/6} \tag{2.1.7}$$

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 FactorC_s爲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：

$$E = \ell^2 [(\frac{\partial p}{\partial x})^2 + (\frac{\partial p}{\partial y})^2 + \frac{1}{2}(\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial y})]^2 \tag{2.1.8}$$

式中，$\ell = C_s \cdot \triangle x$，$\triangle x$爲mixing length，$C_s$= Smagorinsky Factor。

渦度係數(E)主要用來計算動量方程式中之紊流效應，藉以阻滯(Damping)短波之長向振盪及表現小網格之尺度影響，一般其大小必須滿足下列限制:

$$E \leq \frac{\triangle x^2}{2\triangle t} \tag{9}$$

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:

$$\text{渦流黏滯係數} = 0.1 \times \text{格網距(m)} \times \text{流速(m/s)} \tag{2.1.10}$$

3、 風阻係數(Wind friction factor)

另一個重要參數爲風阻係數(Wind friction factor)，海面一般主要爲風剪力，，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}可表示爲

$$F_{xs} = fWW_x = fW^2\cos(\theta_w) \tag{2.1.11a}$$

$$F_{ys} = fWW_y = fW^2\sin(\theta_w) \tag{2.1.11b}$$

式中W爲距海平面10米處風速，f爲風剪力係數，θ_w爲風與x軸之夾角。

風摩擦係數f主要用來計算風剪力之大小，其係數一般可依下式計算:

$$f(W) = \begin{cases} f_0 & for W < W_0 \\ f_0 + \frac{W-W_0}{W_1-W_0}\cdot(f_1-f_0) & for W_0 \leq W \leq W_1 \\ f_1 & for W > W_1 \end{cases} \tag{2.1.12}$$

式中$f_0 = 0.00063$，$f_1 = 0.0026$，W_0 =0 m/sec及W_1=30m/sec。當考慮風剪力影響時係以逐時實測風速資料輸入，f直接由實測風速大小依上式線性插分求得。

2.1.4 模式先期啓動及初始條件

MIKE 21 HD二維模式爲時間變化問題，因此在啓始時間($t = 0$)時，即啓始條件需給定整個區域之實際水位及流速。計算模擬時，需要輸入初始條件做爲計算分析之開始條件(Hot start)，但實際上，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)爲初始條件。由於採用零水位或其他假設水位作爲初始條件，在計算過程中有一段漸近於穩定正常潮位之過渡時間，是爲模式之先期啓動時間(cold start time)。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。

2.1.5 模式之穩定判定

HD模式爲時變性水深方向積分之二維模式，使用變方向隱式有限差分法(ADI FDM)求解，模式之穩定條件依水動力學計算之一般準則，時間間距必須滿足Courant Number；C_r小於1之限制，故計算中，時距可依計算變數之最大訊息傳遞速度c_{max}(一般取計算期間之最大流速)及空間格距大小$\triangle x$決定如下：

$$\triangle t_{max} = \frac{\triangle x \cdot C_r}{c_{max}} \tag{2.1.13}$$

或

$$C_r = \frac{U_{max} \cdot \triangle t}{\triangle x} \tag{2.1.14}$$

式中

C_r	:	Courant number
c_{max}	:	變數之最大訊息傳遞速度
U_{max}	:	計算期間之最大流速
$\triangle t$	:	時間間隔

$\triangle x$ ：網格大小

g ：重力加速度

h ：水深

式中之$\triangle x$爲格點之大小，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。

2.1.6 模式之可信度

MIKE 21 HD模式之應用，影響其精確度兩個因素爲: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。

2.1.7 例子說明

僅取一簡例說明HD模式之計算,如附圖2-1-2爲一長1000米,寬400米之等水深爲10米之長方形區域,左上角爲不透水正方形邊長爲200米之區域,流體由左向右流動,此處以流量控制,其平均流量爲$1000m^3/s$。網格距取20米,因此格點長有51點,寬有21點。此處不考慮底床底摩擦效應,若不考慮黏滯效應(即取黏滯係數=0),則流場分佈如附圖2-1-3,若取黏滯係數爲$5m^2/s$流場分佈如附圖2-1-4,比較二圖顯示黏滯效應將會減小結構物後之渦流效應。

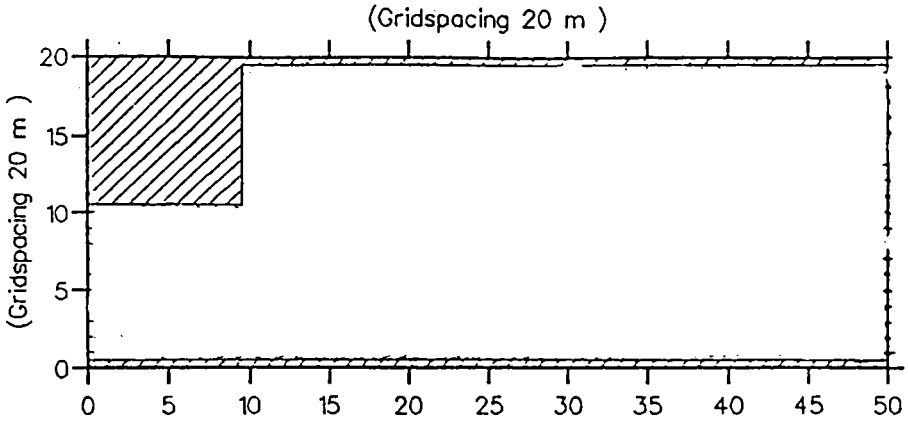


圖 2-1-2　HD 模組計算區示意圖

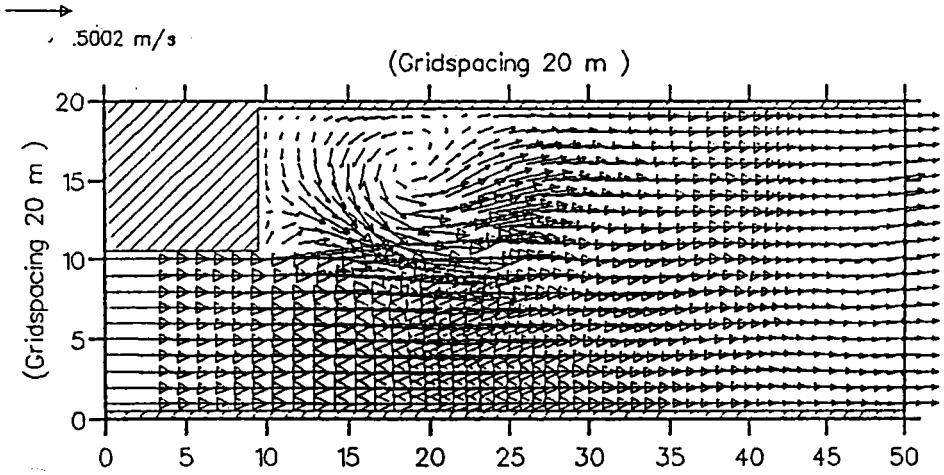


圖 2-1-3　黏滯係數爲 $0m^2/s$ 流場分佈圖

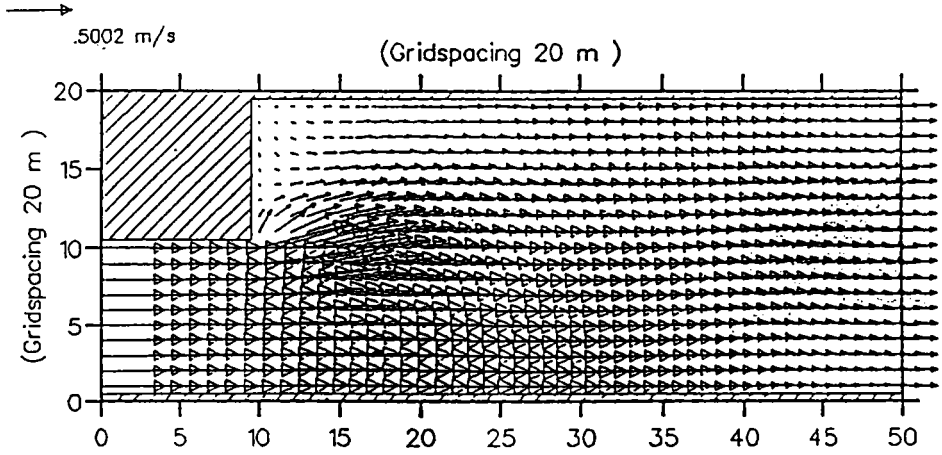


圖 2-1-4　黏滯係數爲 $5m^2/s$ 流場分佈圖

§2.2 傳輸擴散數值模式— MIKE 21 AD

傳輸擴散數值模式Mike 21 AD主要功能爲應用於模擬溶解或懸浮物質在流體擴散傳輸過程影響下之分佈。Mike 21在環境水力(Enuironmental Hydraulics)應用模組中AD爲最基本之模組,其模擬之污染物主要以滿足線性衰減物質爲限(Pollutants with linear decay),其他如熱擴散(heat dissipation),問題也甚適當。但如果污染物爲非線性衰減或污染物成份受外界影響而產生化學或生物反應及相反作用,則需引用其他模組(例SA或WQ模組)。本模組可模擬典型的污染物如大腸桿菌C_J(Coliform bacteria)、生化需氧量BOD(Biological Oxyyem Demand)、氯化合物(Chlorine Components)、指定有機污染(Specific organic Pollannts),熱量(Heat)及衰減之含放射性物質(Radiactine Components)。

2.2.1 主要方程式

AD模組之控制方程式爲二維之溶解及懸浮物質的傳輸擴散方程式:可表示爲

$$\frac{\partial}{\partial t}(hC)+\frac{\partial}{\partial x}(pC)+\frac{\partial}{\partial y}(qC)$$

$$=\frac{\partial}{\partial x}(h\cdot D_x\cdot\frac{\partial C}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(h\cdot D_y\cdot\frac{\partial C}{\partial y})-F\cdot h\cdot C+Q_s(C_s-C) \qquad (2.2.1)$$

式中

C:混合濃度(任意單位)

U: x方向流速(m/s)

V: y方向流速(m/s)

h:水深(m)

p: x分量流量密度(p=Uh)

q: y分量流量密度(q=Vh)

D_x: X方向延散係數(Dispersion Coefficient)(m^2/s)

D_y: X方向延散係數(Dispersion Coefficient)(m^2/s)

F:線性衰減係數(1/s)

Q_s:單位面積源(Souce/Sink)流量(dischange) $(m^3/s/m^2)$

C_s:在源(souce/sink)排放之混合物濃度(與C同單位)

擴散係數D_x, D_y及衰減係數F必需以現場資料校驗之重要參數,AD模組F爲線性衰減係數,在其他下模組F則爲取複雜之係數,其次源之流量Q_s及溶度C_s需由實測提供,而流場U及V則由AD模組計算提供。

2.2.2 模式參數之選定

AD模組中之延散係數, D_x, D_y及線性衰減係數F皆爲校正係數。擴散係數之估算方法甚多,但尚無定論,因此擴散係數值較難決定,在實際模擬所使用之擴散係數根據實測資料來多次校正爲數值途徑。

依據AD模組使用手冊, DHI之研究,擴散係數可依照下列三種經驗公式做預估值:

$$D_x(D_y) = K_1 \frac{\triangle x^2}{\triangle t} \tag{2.2.2}$$

$$D_x(D_y) = K_2 \triangle x U \tag{2.2.3}$$

$$D_x(D_y) = K_3 \triangle t u^2 \tag{2.2.4}$$

式中$\triangle x$爲網格距離(m) , $\triangle t$時間間格(s) , U爲流速(m/s)。

K_1, K_2, K_3爲係數,根據DHI之研究研究在AD模組手冊有提供幾個預估值參考,而擴散係數D_x及D_y必需滿足下列限制

$$(D_x/\triangle x^2 + D_y/\triangle y^2)\triangle t < 0.5 \tag{2.2.5}$$

至於衰減係數F則是依照不同之擴散物對溫度、鹽度及光等環境影響參數而估算其值，AD 模組手冊提供部份衰減係數F,例如大腸桿菌(C_j)之衰減係數可表示爲

$$F = \ell n10/t_{90} \tag{2.2.6}$$

式中t_{90}爲到達90%衰減之時間,濃度衰減率表示爲$\frac{dC_j}{dt} = -FC_j$。

熱擴散之熱衰減係數可表如下之經驗公式

$$F = \frac{0.2388}{\rho C_p h}(4.6 - 0.09(T_o + T) + 4.06W) \cdot \exp[0.033(T_o + T)] \tag{2.2.7}$$

式中ρ爲水密度(kg/cm^3)，C_p爲比熱(specific heat) (Cal/kg ^oC)，h爲水深(m)，T_o爲參考溫度(^oC)，T爲溫度(^oC)，W爲風速(m/sec)。一般ρC_p約爲$10^6 Cal/m^3C^o$。其他較複雜之污染物質衰減係數需引用將於下章介紹之WQ模組。而有關HD模組中參數之選定請參考2.1.3節。

2.2.3 邊界條件及啓始條件之設定

有關現場之推算邊界條件及啓始條件之設定請參考2.1.2及2.1.4二節。在放邊界或源(source/sink)另必須給實測之溶度值。在熱啓計算情形,則必需始於域中每點在啓始時間之實測溶度值。

2.2.4 模式之穩定度及可信度

有關流場部份可參考2.1.5及2.1.6節,而濃度之穩定度主要考慮爲擴散係數D_x, D_y與時間間格$\triangle t$需滿足(2.2.5)式,而欲求得較正之結果以提高可信度,則仍需有較正確之流場及更多實測之濃度資料做檢驗及校正工作。

2.2.5 例子說明

首先將取一簡例說明AD模組之運算，而此例主要說明在水域一個點污染源之污染擴散情形。考慮一寬度爲500米之90度彎曲水道，如附圖2-2-1，計算區爲邊長1500米之正方形，網格距爲50米，格點爲31×31。點污染源位於(25,3)，其固定污染濃度爲100,000ppm，該點出水量爲$0.1m^3/s$。假設南方開放邊界較西方之開放邊界高出約0.05米，可產生約0.8m/s之流速，部份流場如附圖2-2-2。並且假設啓始流速皆爲零，取時間間格取$\triangle t$ =30秒，計算約360個時段，黏滯係數取$3.0m^2/s$，延散係數取$D_x = D_y = 1.5m^2/s$，若不考慮衰減效應，即F=0，則圖2-2-3及圖2-2-4分別爲模擬1.5小時及3小時後之濃度分佈。共取P(25,3), P(25,25)及P(3,25)三點作爲觀察點，則其濃度隨時間之變化如附圖2-2-5。

另考慮一熱擴散之簡例，計算區邊界及深分佈如附圖2-2-6，計算區長16.5公里，寬7.2公里，網距爲300米，長與寬之格點分別爲55及24。計算區水域之平均溫度爲17^o，在點源則較平均溫度增加6.8^oC之熱擴散，計算時間爲1987/08/31.12:000至987/09/18:00:00(時間間格爲300秒)，點源之水量爲$17.6m^3/s$，熱擴散係數平均值數爲$52W/m^2/^oC$。圖2-2-7～圖2-2-11分別爲6小時～30小時後之流場、熱擴散及濃度分析圖，而圖2-2-12～圖2-2-14分別爲觀測點之流速，熱擴散及濃度隨時間變化圖。

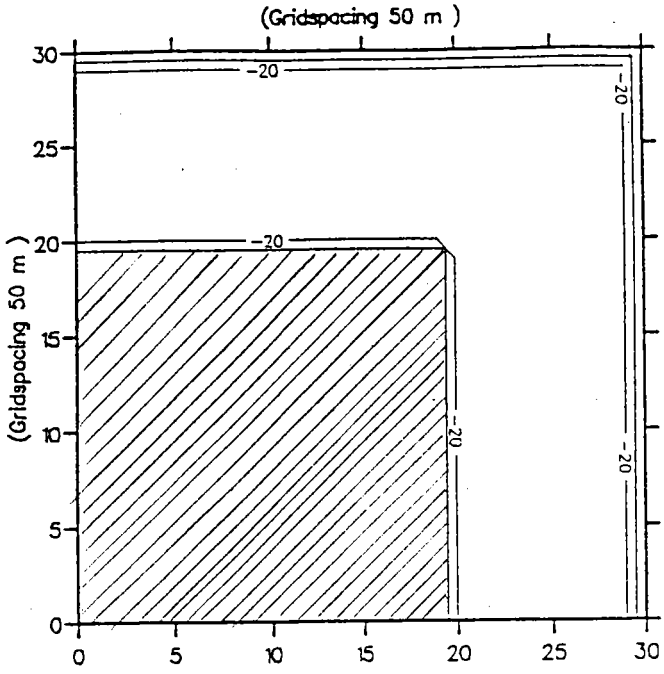


圖 2-2-1　AD 模組濃度計算區示意圖

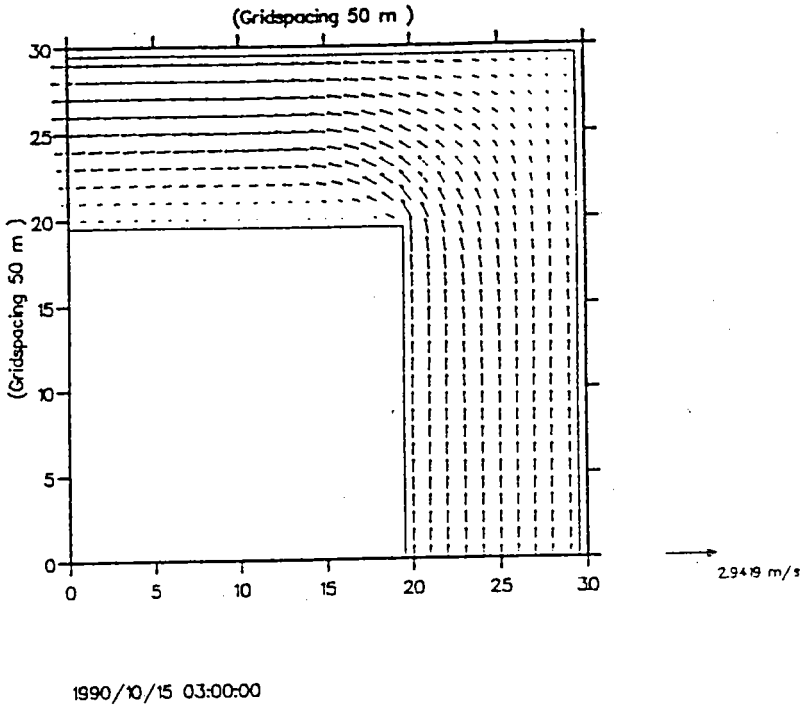


圖 2-2-2　AD 模組計算區流場分佈圖

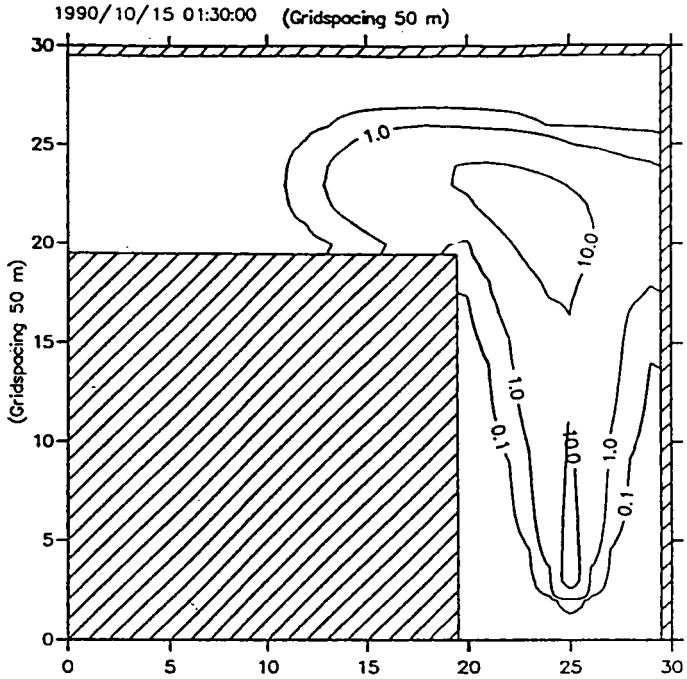


圖 2-2-3　AD 模組模擬 1.5 小時後濃度分佈圖

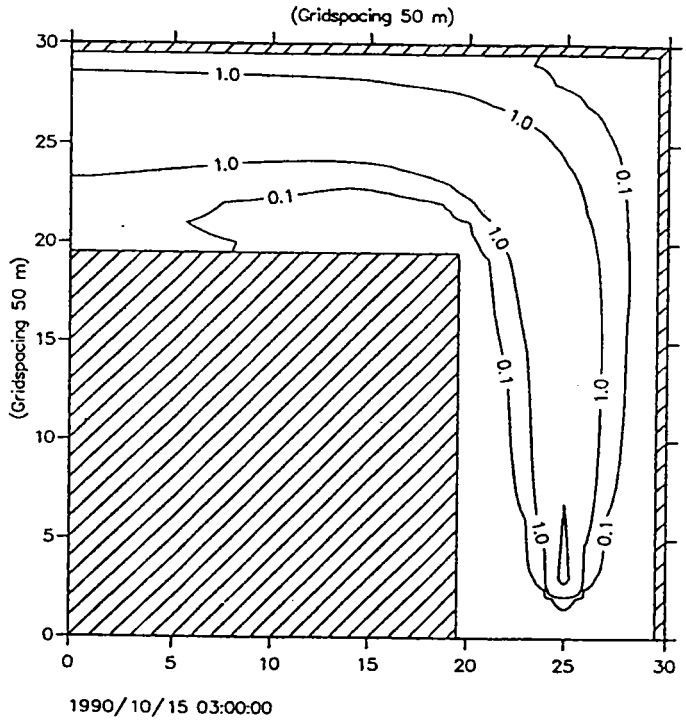


圖 2-2-4　AD 模組模擬 3 小時後濃度分佈圖

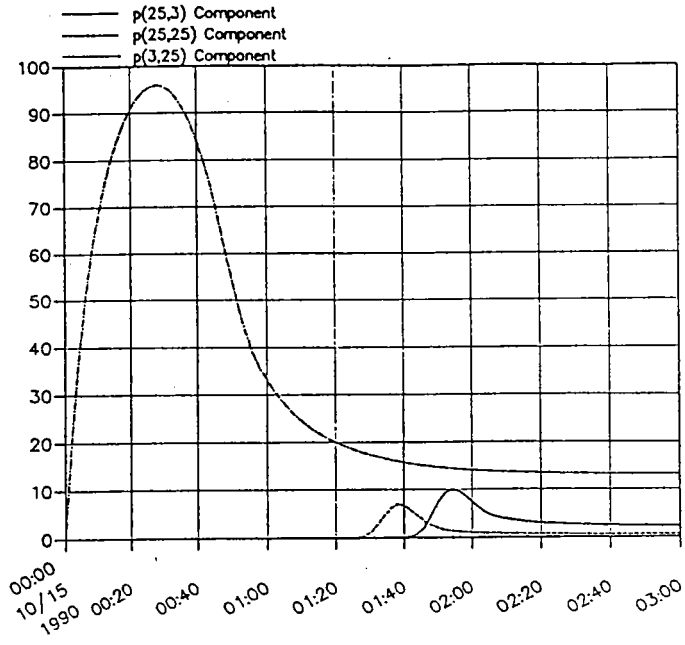


圖 2-2-5　三個觀察點濃度隨時間之變化圖

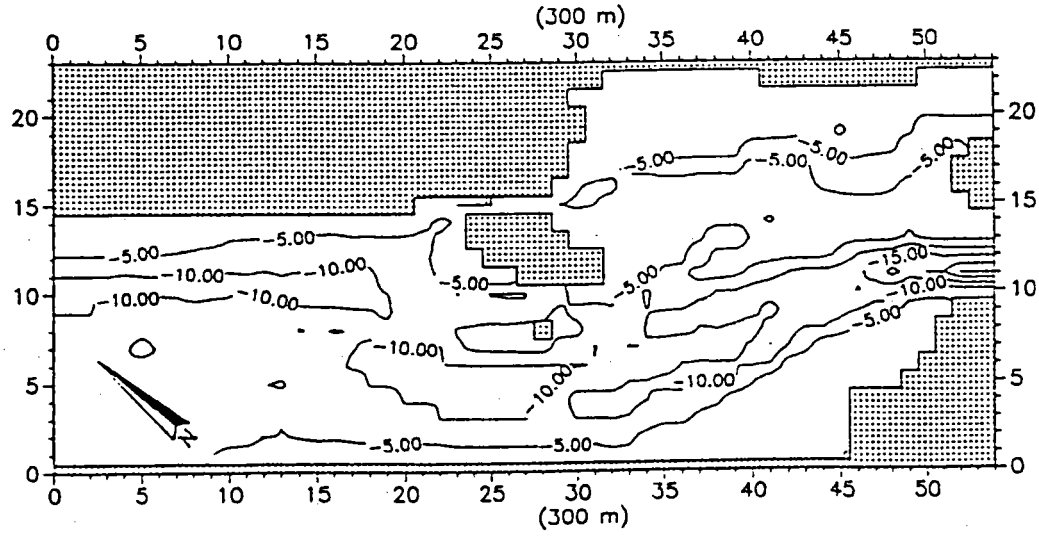


圖 2-2-6　AD 模組熱擴散計算區及水深分佈示意圖

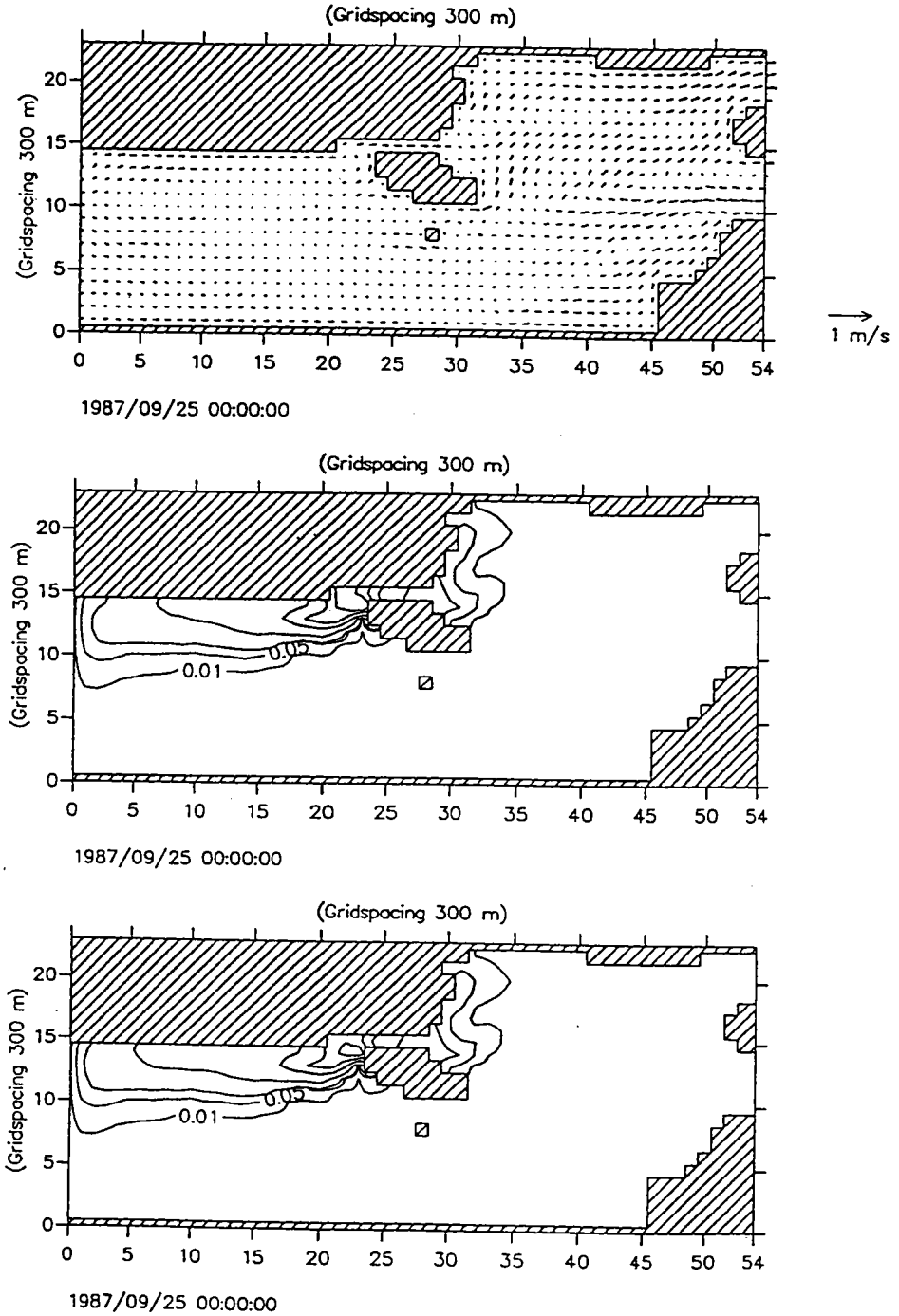


圖 2-2-7　6 小時後流場、濃度及熱分佈圖

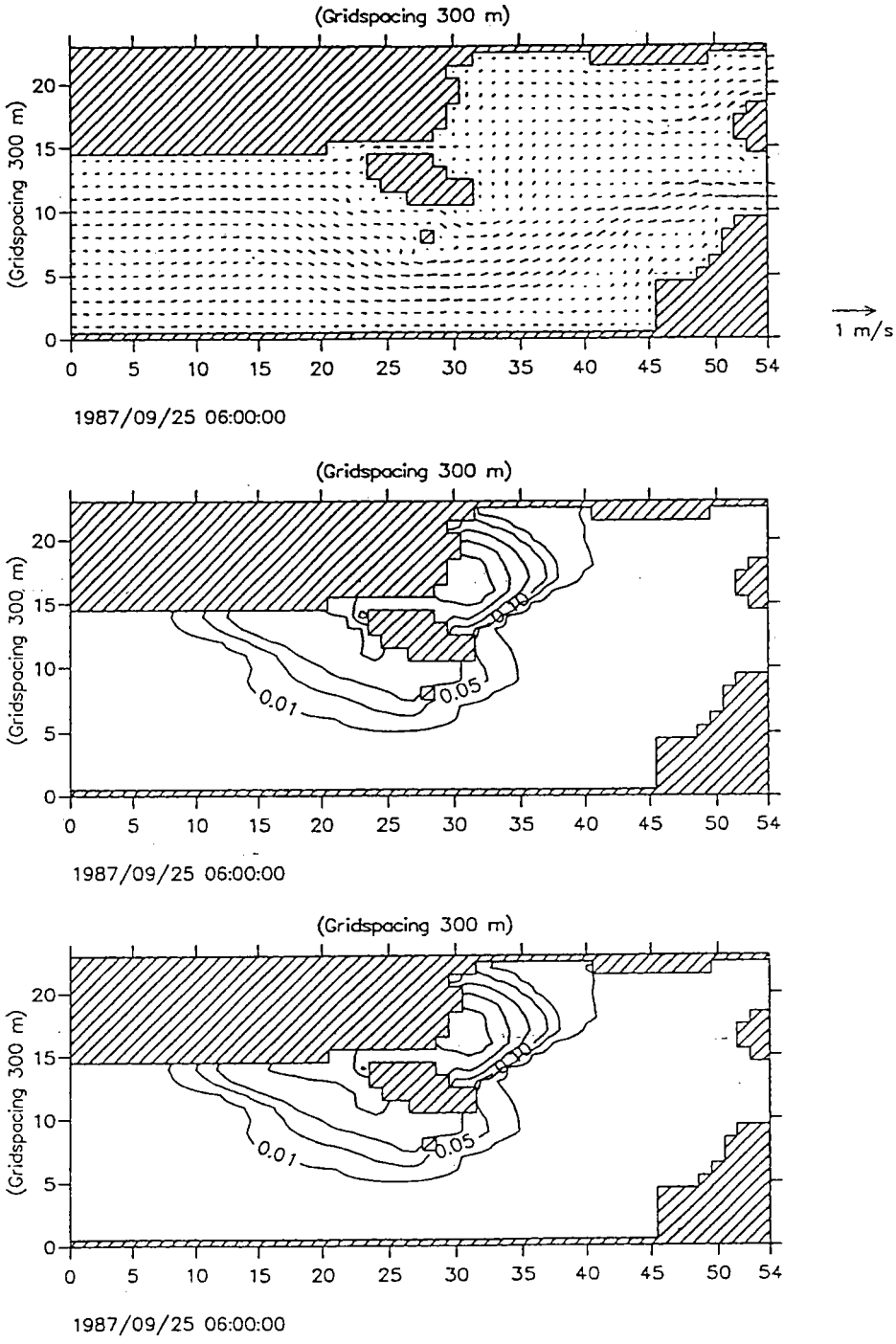


圖 2-2-8　12 小時後流場、濃度及熱分佈圖

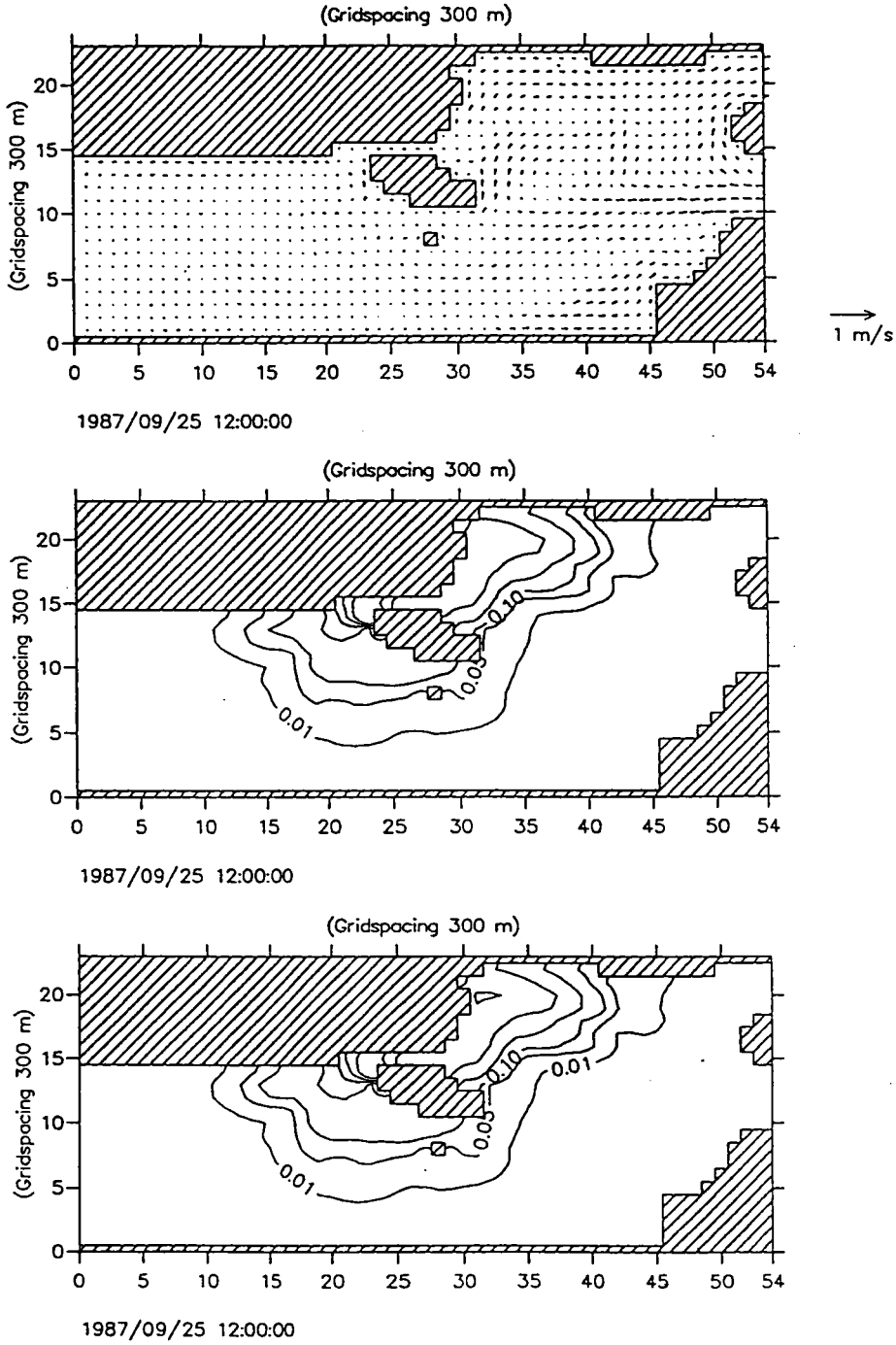


圖 2-2-9　18 小時後流場、濃度及熱分佈圖

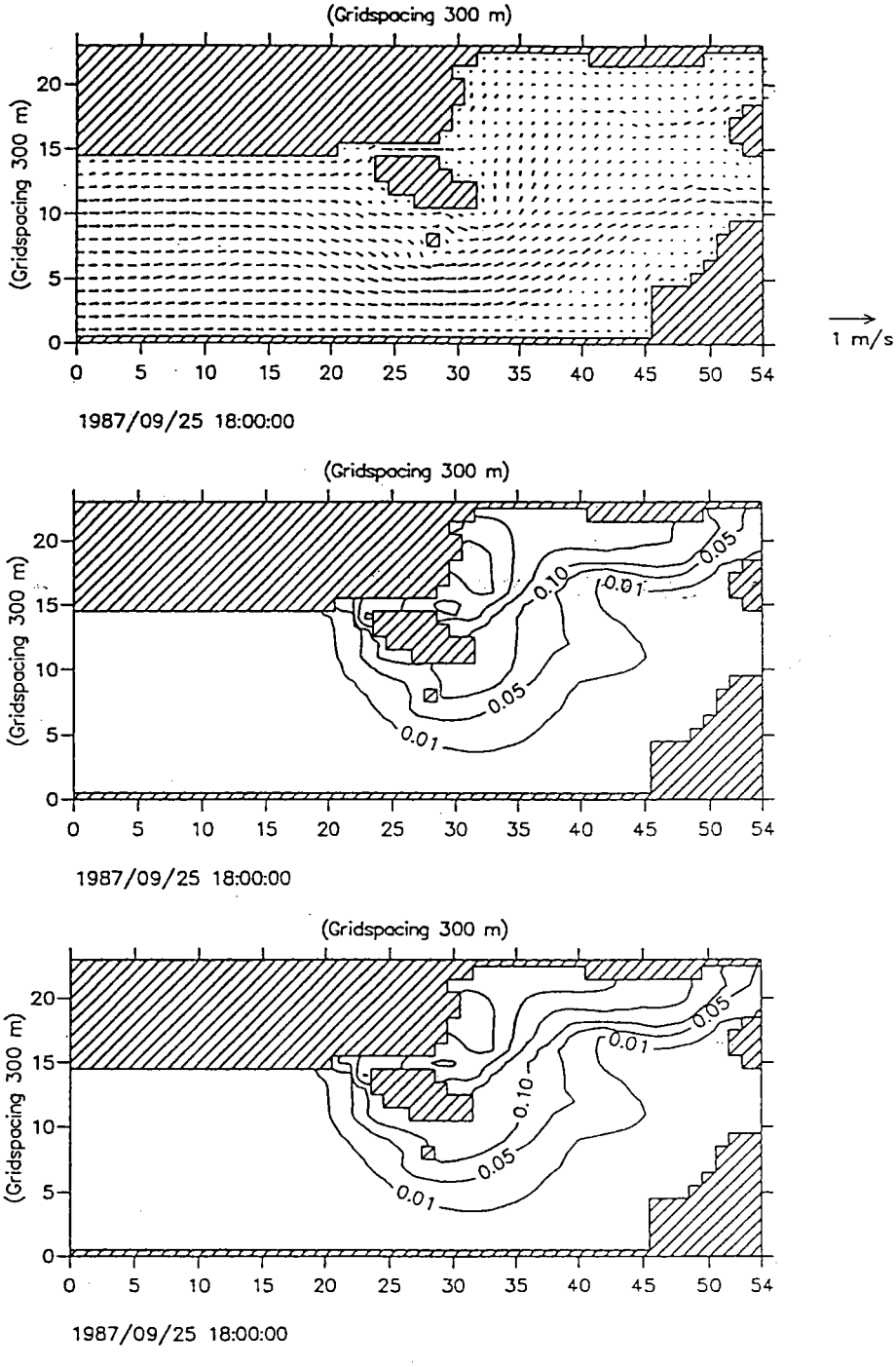


圖2-2-10　24小時後流場、濃度及熱分佈圖

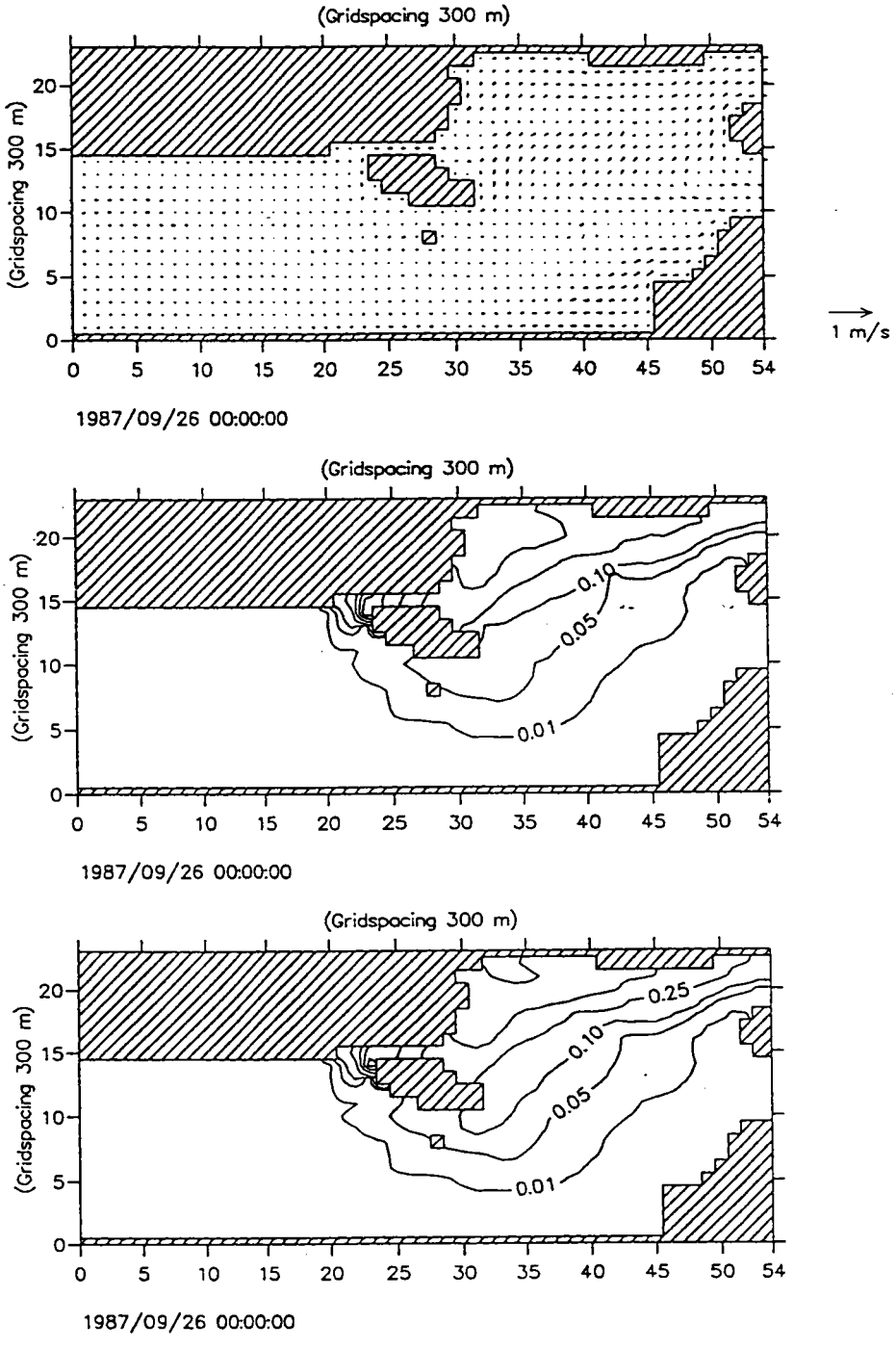
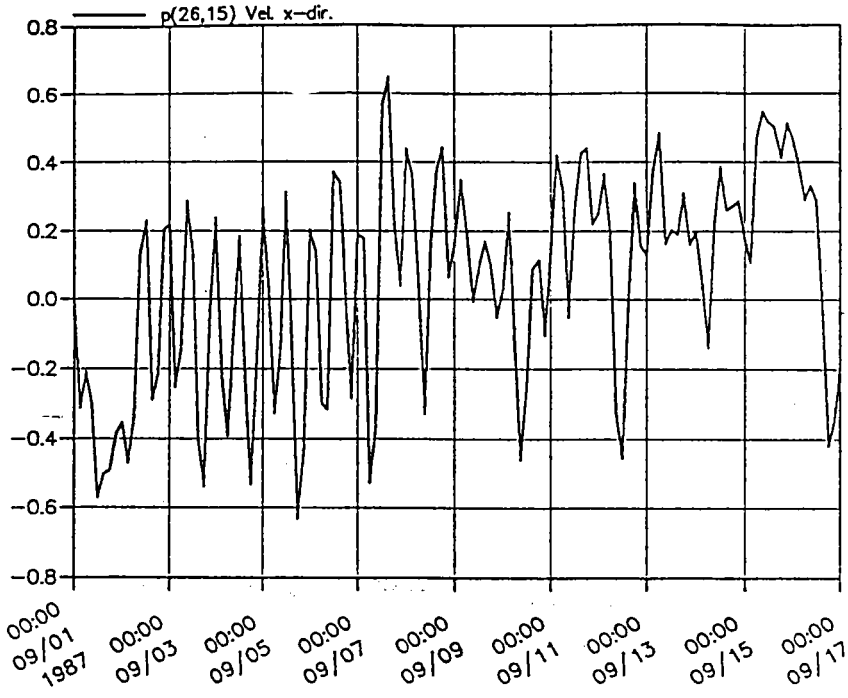


圖 2-2-11　30 小時後流場、濃度及熱分佈圖



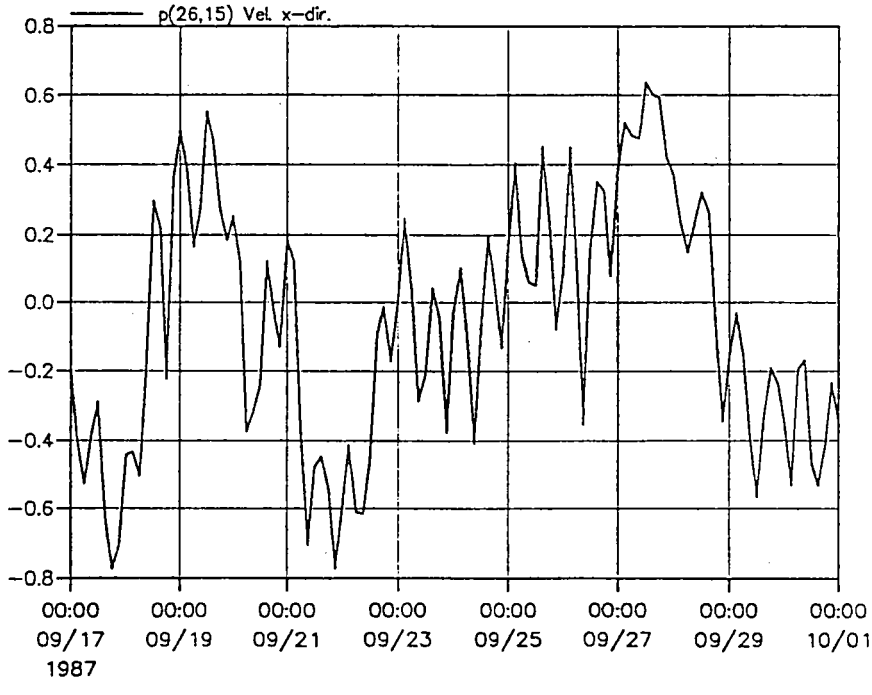
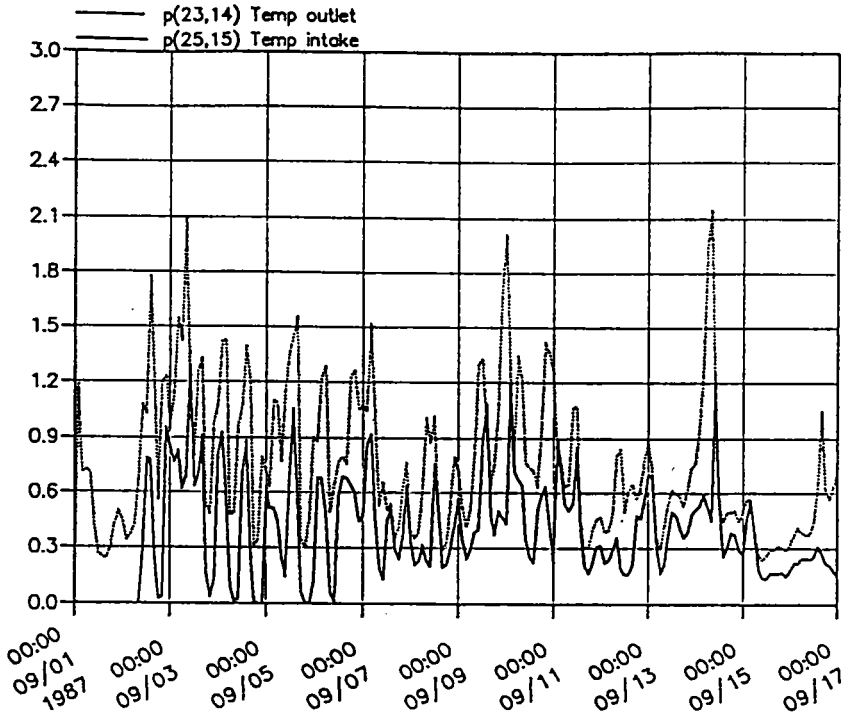


圖 2-2-12　觀察點 P(26,15) 流速隨時間之變化圖



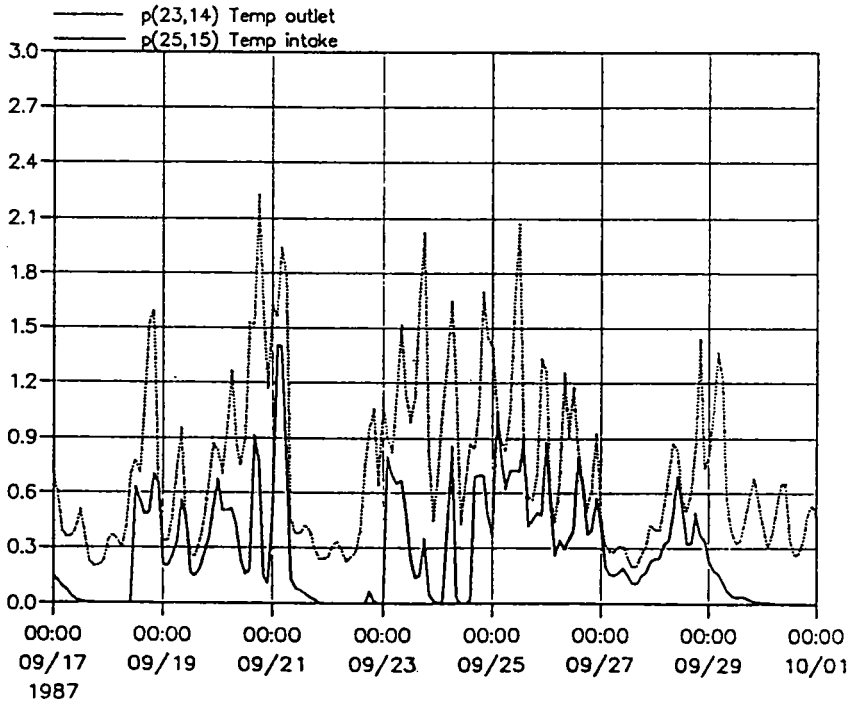
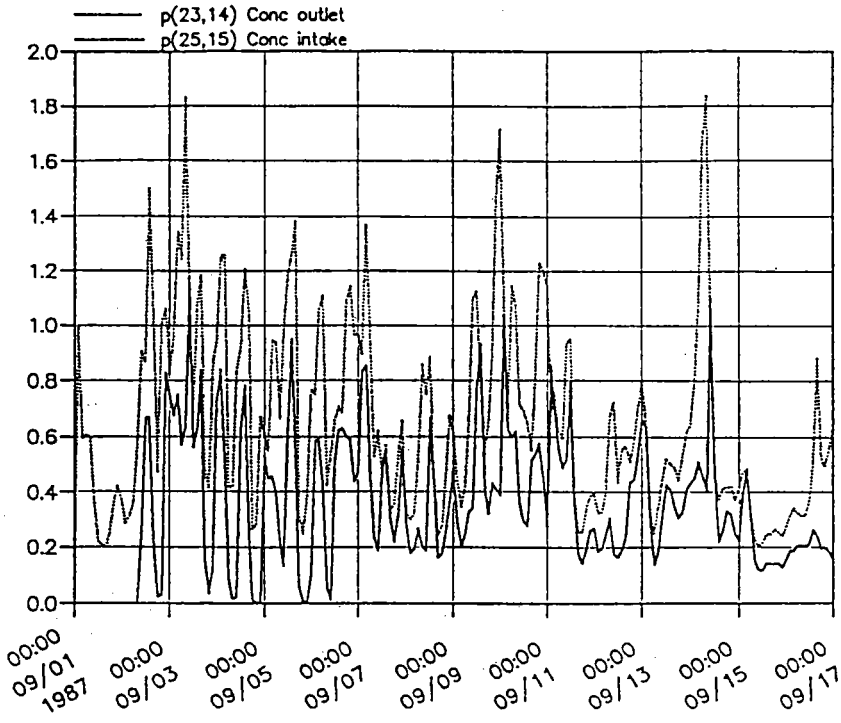


圖 2-2-13　觀察點 P(23,14),P(25,15) 熱擴散隨時間之變化圖



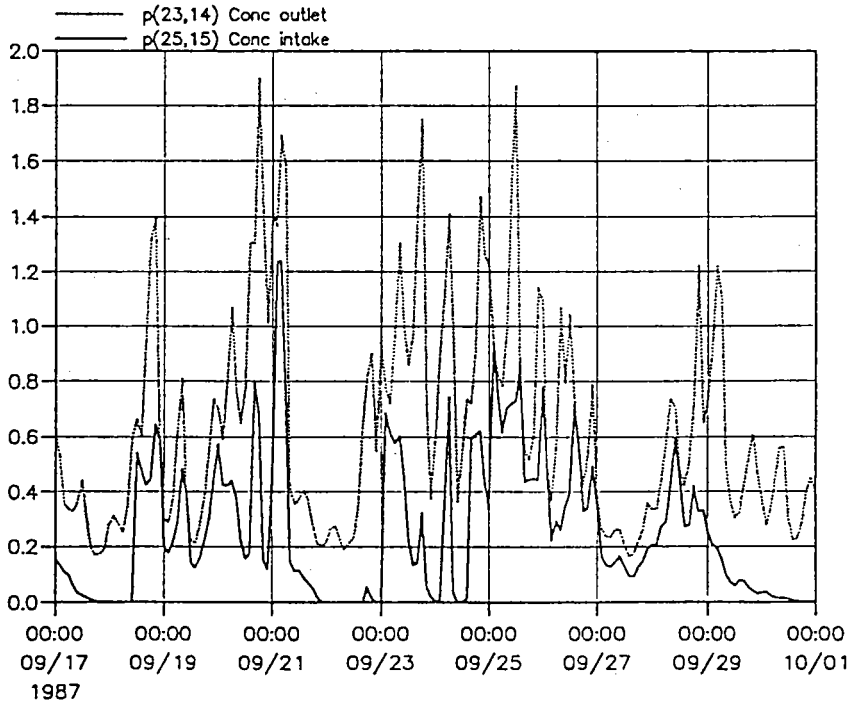


圖 2-2-14　觀察點 P(23,14),P(25,15) 濃度隨時間之變化圖

§2.3 水質擴散數值模式— MIKE 21 WQ

水質擴模組WQ基本原理與AD傳輸擴散模組甚爲相似，其差異則AD模組一般僅應用於較簡易之單一種污染物擴散，其著重在模擬污染物如何隨海流(風)散傳輸。WQ模組則加重於較複雜之多種組合污染物生化反應過程之模擬。WQ模組可模擬之污染物包括溶氧DO(Dissolved oxygen)、生化需氧量BOD(Biological Oxygen Denmand)、溶解生化需氧量BOD_d(Dissolved BOD)、懸浮生化需氧量BOD_s(suspended BOD)、沉積生化需氧量BOD_b(Sedimental BOD)、氨NH_3(Amononia)、硝酸NO_3(Nitrate)、磷酸鹽PO_4(Phosphorus)，總大腸菌C_t (Total Coliforms)及排洩物大腸菌C_F(Faecal Coliforms)等單一性或多種污染物存在時之擴散情形。模組並可提供模使用者自己定義之污染物(user defined pollutants)。

2.3.1 主要方程式

WQ模組之控制方程式與AD模組之控制方程式(3.1)相似，僅方程式之古方的線性衰減項需略加修改，WQ使用手冊有詳細討論不同污染物之線性衰減項之特性。因總類甚多繁雜，此處不在詳述。

2.3.2 模式參數之選定

延散係數D_x, D_y及衰減係數F爲模式運算中甚重要之參數決定，延散係數D_x及D_y與AD模組相同請參2.2.2節，衰減係數與污染物有關，WQ使用手冊有詳細討論不同污染物之線性衰減項之特性。

2.3.3 邊界條件及啓始條件之設定

WQ模組之邊界條件及啓始條件設定與AD模組相似，請參2.2.3節。

2.3.4 模式之穩定度及可信度

WQ模組之穩定度與可信度與AD模組相似，請參2.2.4節。

2.3.5 例子說明

此處將取一簡例說明WQ模組之操作及運算。附圖2-3-1爲一長16公里寬，7公里介於二個島嶼之海峽水域。部份時段流場分佈如附圖2-3-2，此處流場控制方式，在西邊開放邊界輸入流量，在東方開放邊界則輸入水位變化，網格距取300米，因此網格點有55×26點。假設在污染源(23,14)處固定之排洩物大腸菌C_F及BOD其量分別爲$10^6(100m\ell)^{-1}$，及50mg/ℓ，並且在西邊界之開放邊界上考慮固定之DO污染源爲10mg/ℓ。取觀察點P(23,14)，P(20,11)，則圖2-3-3～圖2-3-5爲BOD, DO及C_F在不同時間之濃度變化。

WQ模組中之提供如BOD, C_F, D_O等污染物之表單供選項，並且在有關各項污染物之相關參數也提供甚爲詳細之表單供選擇。

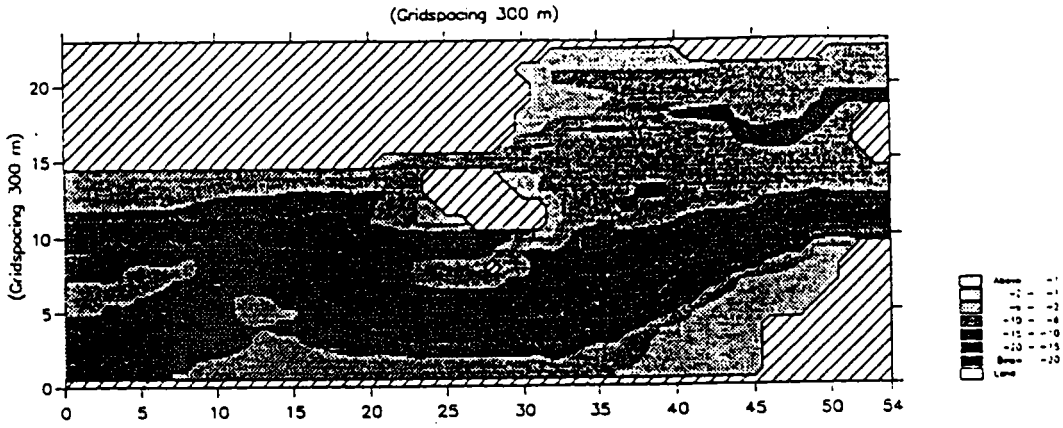


圖 2-3-1　WQ 模組計算區及水深分佈示意圖

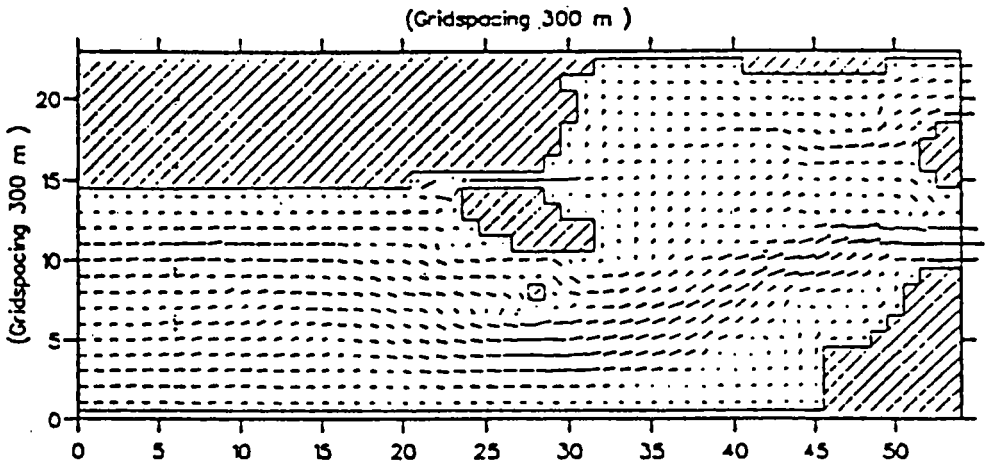


圖 2-3-2　WQ 模組計算區流場分佈圖

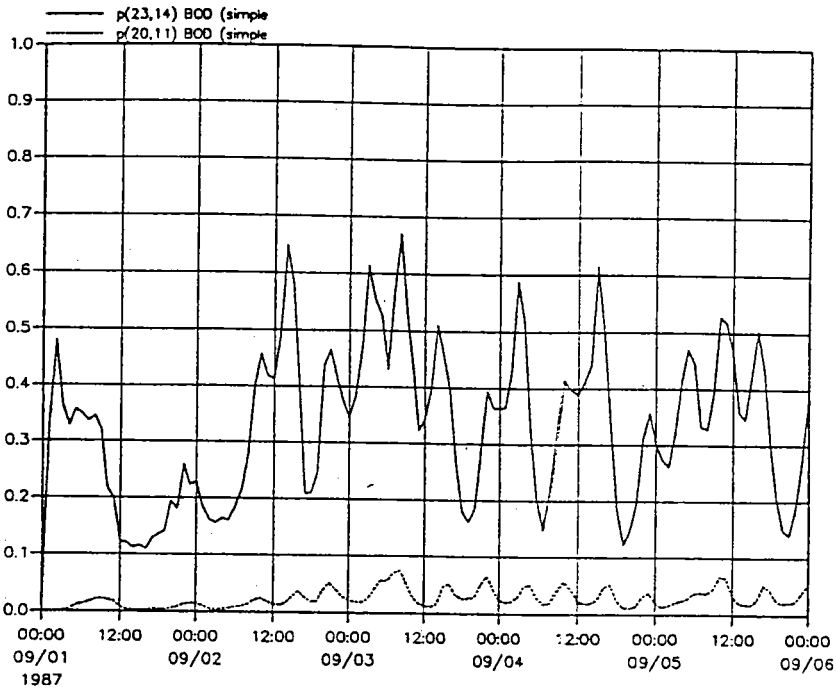


圖 2-3-3　觀察點BOD濃度隨時間之變化圖

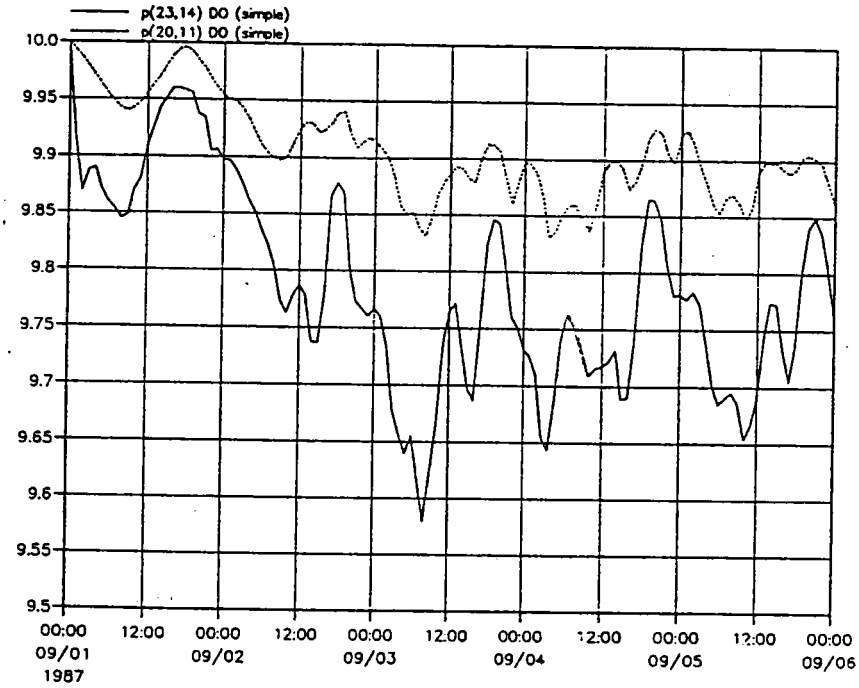


圖 2-3-4　觀察點DO濃度隨時間之變化圖

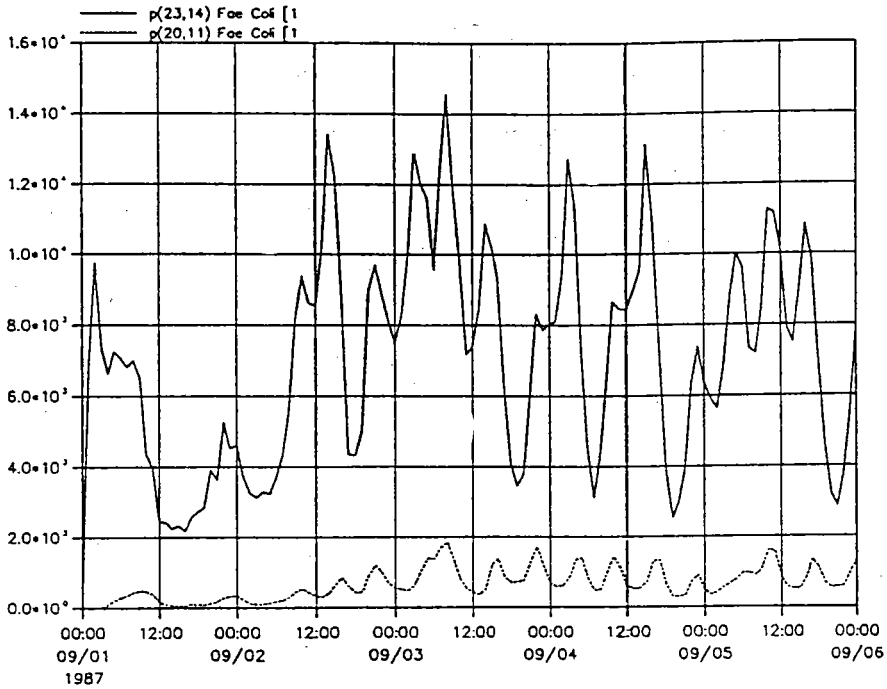


圖 2-3-5　觀察點 C_F 濃度隨時間之變化圖

參、三維傳輸擴散數值模式

在垂直水深方向流場變化不大之區域，以上述二維模式模擬流場可得滿意之結果，但在水深變化較大之區域，例如海岸與河口交接處之水域，因鹽度（密度）變化而產生之層化現象往往甚爲明顯，此種區域之流場及傳輸擴散模擬則有賴使用三維模式。

§3.1 水理計算數值模式— CT31

3.1.1 運動方程式及連續方程式

考慮近岸海域區域（如示意圖3-1-1），x, y軸分別代表離向岸方向（離岸方向爲正），及沿岸方向，z軸表垂直方向（上向爲正），水深分佈爲$h(x,y)$，水位變化爲$\zeta(x,y,t)$。

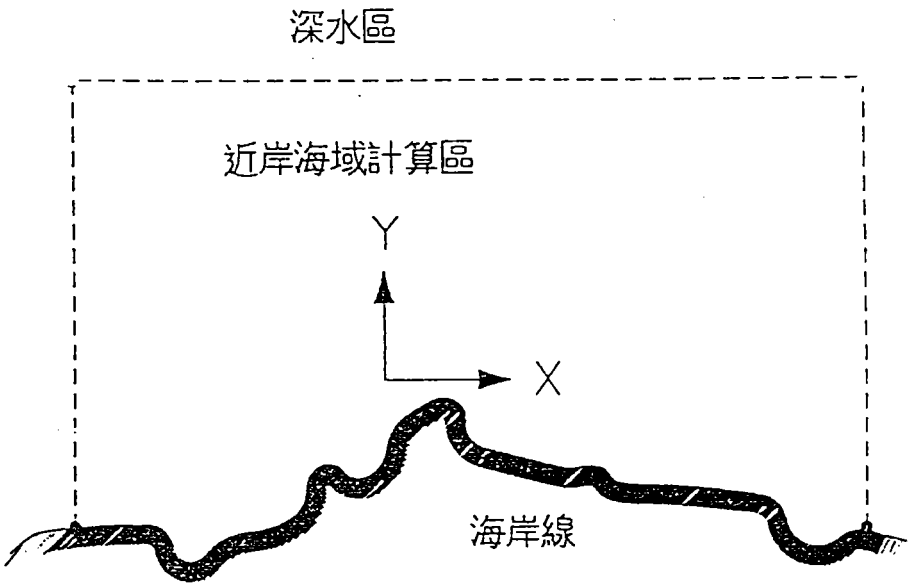


圖3-1-1 近岸海域區域示意圖

根據質量守恒原理(the conservation of mass),不可壓縮流體可表示爲下列連續方程式(continuity equation)

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \tag{3.1.1}$$

式中u(x,y,z,t), v(x,y,z,t), w(x,y,z,t)分別爲x,y及z方向之流速。

根據動量守恒原理(conservation of momentum)不可壓縮流可表示爲下列運動方程式(monentum equation)

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}=fv-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z}\right) \tag{3.1.2a}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}=-fu-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z}\right) \tag{3.1.2b}$$

$$\frac{\partial w}{\partial t}+u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}=-2\omega_x v+2\omega_y u-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}-g+\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z}\right) \tag{3.1.2c}$$

式中f爲柯氏力參數(Coriolis parameter phase velocity), $f=2\omega_e\sin\phi,\omega$爲地球自轉相位速度, ω_x,ω_y分別爲地球自轉之x分量及y分量, ϕ爲緯度(latitute)。$\tau_{ij},i,j=x,y,z$,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。p爲壓力, ρ爲水密度。

一般典型近岸區垂直方向之流速(w),遠較水平速度(u,v)爲小,垂直之深度(幾拾米),遠較水平之尺度(幾公里)爲小,因此在較長波之條件下垂直方向之動量方程式,主要力量爲壓力及重力,其他力量予以忽略,式(3.1.2c)化簡爲

$$\frac{\partial p}{\partial z}+\rho g=0 \tag{3.1.3a}$$

$$or \quad p=\rho g(\zeta-z) \tag{3.1.3b}$$

因此

$$\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} = g\frac{\partial \zeta}{\partial x} \tag{3.1.4a}$$

$$\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y} = g\frac{\partial \zeta}{\partial y} \tag{3.1.4b}$$

將(3.1.4)代入(3.1.2a)及(3.1.2b)可得

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z} = fv - g\frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z}\right) \tag{3.1.5a}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial v}{\partial z} = -fu - g\frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z}\right) \tag{3.1.5b}$$

而三維自由表面運動邊界條件

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + u(x,y,\zeta)\frac{\partial \zeta}{\partial x} + v(x,y,\zeta)\frac{\partial \zeta}{\partial y} - w(x,y,\zeta) = 0, \quad z = \zeta(x,y,t) \tag{3.1.6}$$

及不透水邊界條件

$$u(x,y,-h)\frac{\partial h}{\partial x} + v(x,y,h)\frac{\partial h}{\partial y} + w(x,y,-h) = 0, \quad z = -h(x,y) \tag{3.1.7}$$

假設垂直之水平速度方向變化甚明顯，則單層之二維模式無法完整的描述流場分佈，甚至垂直方向若有反向的流速分佈，其計算之結果更有失真之現象發生。因此將引用多層積分原理以求解多層流場變化。將垂直方向分爲 n_0 層，以 $z_1, z_2, z_3 ... z_{n_0}$ 表示其高層，其中 $z_0 = \zeta, z_{n_0} = -h$，每層之厚度以 $h^{(\ell)}, \ell = 1, 2.....n_0$ 表示，$h^{(\ell)} = z^{(\ell-1)} - z^{(\ell)}$，並假設第 $2, 3, ..n_0$ 等層厚度不

改變，僅水面第一層 $h^{(1)} = \zeta - z^{(1)}$ 之變動量小於該層厚度，即第一層不會消失。

此處將引用類似上節之垂直積分原理，以積分運算 $\int_{z\ell}^{z_{\ell-1}}(\ \ )dz$ 作用於連續方程式(3.1.1)及運動方程式(3.1.5a)(3.1.5b)，而得

$$\frac{\partial U^{(\ell)}}{\partial x} + \frac{\partial V^{(\ell)}}{\partial y} + w\Big|_{z\ell}^{z_{\ell-1}} = 0, \quad \ell = 1,2,3...n_0 \tag{3.1.8}$$

$$\begin{aligned}&\frac{\partial U^{(\ell)}}{\partial t} + U^{(\ell)}\frac{\partial U^{(\ell)}}{\partial x} + V^{(\ell)}\frac{\partial U^{(\ell)}}{\partial y} + \frac{W^{(\ell)}}{h^{(\ell)}}u\Big|_{z_\ell}^{z_{\ell-1}}\\ &= fV^{(\ell)} - g\frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{\rho}\Big(\frac{\partial F_{xx}^{(\ell)}}{\partial x} + \frac{\partial F_{xy}^{(\ell)}}{\partial y}\Big) + \frac{1}{\rho h^{(\ell)}}\tau_{xz}\Big|_{z_\ell}^{z_{\ell-1}}, \quad \ell = 1,2,3....n_0\end{aligned} \tag{3.1.9}$$

$$\begin{aligned}&\frac{\partial V^{(\ell)}}{\partial t} + U^{(\ell)}\frac{\partial V^{(\ell)}}{\partial x} + V^{(\ell)}\frac{\partial V^{(\ell)}}{\partial x} + \frac{W^{(\ell)}}{h^{(\ell)}}v\Big|_{z_\ell}^{z_{\ell-1}}\\ &= -fU^{(\ell)} - g\frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{1}{\rho}\Big(\frac{\partial F_{yx}^{(\ell)}}{\partial x} + \frac{\partial F_{yy}^{(\ell)}}{\partial y}\Big) + \frac{1}{\rho h^{(\ell)}}\tau_{yz}\Big|_{z_\ell}^{z_{\ell-1}}, \quad \ell = 1,2,3...n_0\end{aligned} \tag{3.1.10}$$

式中 $U^{(\ell)}, V^{(\ell)}, F_{xx}^{(\ell)}, F_{yy}^{(\ell)}, F_{xy}^{(\ell)}$ 等皆爲第k層之平均量，可以通式定義爲

$$X^{(\ell)} = \frac{1}{h^{(\ell)}}\int_{z_\ell}^{Z_{\ell-1}} x \quad dz \tag{3.1.11}$$

其中右上標 (ℓ) 代表第 ℓ 層，小寫 x 代表 $u, v, w, \tau_{xy}^{(\ell)}, \tau_{yy}^{(\ell)}, \tau_{yx}^{(\ell)}$ 等變數，大寫 X 代表 $U, V, W, F_{xy}^{(\ell)}, F_{yy}^{(\ell)}, F_{yx}^{(\ell)}$ 等變數，

而且式中 $x\big|_{z_\ell}^{z_{\ell-1}}$ 定義爲

$$x\Big|_{z_\ell}^{z_{\ell-1}} = x\Big|_{z_{\ell-1}} - x\Big|_{z_\ell} \tag{3.1.12}$$

層次界面之變量u,v以其上下兩層之平均值U,V表示爲

$$u\Big|_{z_\ell} = \frac{1}{2}(U^{(\ell)} + U^{(\ell+1)}) \tag{3.1.13a}$$

$$v\Big|_{z_\ell} = \frac{1}{2}(V^{(\ell)} + V^{(\ell+1)}) \tag{3.1.13b}$$

層次界面之變量w由(3.1.8)式可得

$$w\Big|_{z_{\ell-1}} = -\sum_{m=\ell}^{n_0} h^{(m)}\left(\frac{\partial U^{(m)}}{\partial x} + \frac{\partial V^{(m)}}{\partial y}\right) \quad \ell = 1, 2....n_0 \tag{3.1.14a}$$

當$\ell = 1$時又可化爲

$$w\Big|_{z_o} = \frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\sum_{m=1}^{n_0} h^{(m)}\left(\frac{\partial U^{(m)}}{\partial x} + \frac{\partial V^{(m)}}{\partial y}\right) \tag{3.1.14b}$$

每層之平均值$W^{(\ell)}$由下式求得

$$W^{(\ell)} = \frac{1}{2}\left(w\Big|_{z_{\ell-1}} + w\Big|_{z_\ell}\right) \tag{3.1.14c}$$

各層內之流體剪應力$F_{xx}^{(\ell)}, F_{yy}^{(\ell)}, F_{xy}^{(\ell)}, F_{yx}^{(\ell)}$表示爲

$$F_{xx}^{(\ell)} = \rho E_v \frac{\partial U^{(\ell)}}{\partial x} \tag{3.1.15a}$$

$$F_{xy}^{(\ell)} = F_{yx}^{(\ell)} = \rho \frac{E_v}{2}\left(\frac{\partial V^{(\ell)}}{\partial x} + \frac{\partial U^{(\ell)}}{\partial y}\right) \tag{3.1.15b}$$

$$F_{yy}^{(\ell)} = \rho E_v \frac{\partial V^{(\ell)}}{\partial y} \tag{3.1.15c}$$

式中E_v爲水平剪應力黏滯性係數。

層次界面剪應力以二次方法計算表示爲表示

$$\tau_{xz}\Big|_{z_\ell} = \left(\rho E_h \frac{\partial u}{\partial z}\sqrt{(\frac{\partial u}{\partial z})^2 + (\frac{\partial v}{\partial z})^2}\right)\Bigg|_{z_\ell} \tag{3.1.16a}$$

$$\tau_{yz}\Big|_{z_\ell} = \left(\rho E_h \frac{\partial v}{\partial z}\sqrt{(\frac{\partial u}{\partial z})^2 + (\frac{\partial v}{\partial z})^2}\right)\Bigg|_{z_\ell} \tag{3.1.16b}$$

式中 E_h 爲垂直剪應力黏滯性係數,其因次爲長度平方。而表面風剪力爲

$$\tau_{xz}\Big|_{z_o} = F_{xs} \tag{3.1.17a}$$

$$\tau_{yz}\Big|_{z_o} = F_{yb} \tag{3.1.17b}$$

海面風剪力,其分量 F_{xs}, F_{ys} 依Dean(1984)可表示爲

$$F_{xs} = \rho E_w W_d^2 \cos(\theta_w) \tag{3.1.18a}$$

$$F_{ys} = \rho E_w W_d^2 \sin(\theta_w) \tag{3.1.18b}$$

式中 W_d 爲距海平面10米處風速。E_w 爲風剪力係數。θ_w 爲風與x軸之夾角。

海底摩擦剪應力表示爲

$$\tau_{xz}\Big|_{z_{n_0}} = F_{xb} \tag{3.1.19a}$$

$$\tau_{yz}\Big|_{z_{n_0}} = F_{yb} \tag{3.1.19b}$$

海底摩擦力在x及y方向之分量 F_{xb} 及 F_{yb} 依Smith and Cheng(1987)可表示爲

$$F_{xb} = \rho E_b U \sqrt{U^2 + V^2} \tag{3.1.20a}$$

$$F_{yb} = \rho E_b V \sqrt{U^2 + V^2} \tag{3.1.20b}$$

式中E_b爲海底摩擦係數。

綜合式(3.1.9)、(3.1.10)及(3.1.14)即層化積分表示式。

3.1.2 有限元素法模式

多層模式引用控制方程式爲(3.1.9)、(3.1.10)及(3.1.14)之時間值問題(time depentent problem),求解之變數包括水位變化ζ及每層$\ell = 1, 2, ...n_0$之平均流速$U^{(\ell)}, V^{(\ell)}$,垂直方向之流速$W^{(\ell)}$,同上一章將引用有限元素法將上述積分表示式化爲有限元素方程式之Weak form如下：

$$\begin{aligned}
&\int\int_R \psi_i \big[U^{(\ell)}_{,t} + U^{(\ell)}U^{(\ell)}_{,x} + V^{(\ell)}U^{(\ell)}_{,y} + \frac{W^{(\ell)}}{h^{(\ell)}}(u\Big|_{z_{\ell-1}} - u\Big|_{z_\ell}) \\
&- fV^{(\ell)} + g\zeta_{,x} - \frac{1}{\rho}(F_{xx,x} + F_{xy,x}) - \frac{1}{\rho h^{(\ell)}}(\tau_{xz}\Big|_{z_{\ell-1}} - \tau_{xz}\Big|_{z_\ell})\big] dR = 0 \\
&\qquad i = 1, 2, 3, \quad \ell = 1, 2, 3...n_0
\end{aligned} \tag{3.1.21}$$

$$\begin{aligned}
&\int\int_R \psi_i \big[U^{(\ell)}_{,t} + UV^{(\ell)}_{,x} + V^{(\ell)}V^{(\ell)}_{,x} + \frac{W^{(\ell)}}{h^{(\ell)}}(v\Big|_{z_{\ell-1}} - v\Big|_{z_\ell}) \\
&+ fU^{(\ell)} + g\zeta_{,y} - \frac{1}{\rho}(F^{(\ell)}_{yx,x} + F_{yy,x}) - \frac{1}{\rho h^{(\ell)}}(\tau_{yz}\Big|_{z_{\ell-1}} - (\tau_{yz}\Big|_{z_\ell})\big] dR = 0 \\
&\qquad i = 1, 2, 3, \quad \ell = 1, 2, 3...n_0
\end{aligned} \tag{3.1.22}$$

$$\int\int_{R^e} \psi_i [\zeta_{,t} + \sum_{m=1}^{n_0} h^{(m)}(U^{(m)}_{,x} + V^{(m)}_{,y})] dR = 0, \qquad i = 1, 2, 3 \tag{4.1.23}$$

$$\int\int_R \psi_i W^{(\ell)} dR = \frac{1}{2}\left(\int\int_R \psi_i w\Big|_{z_{\ell-1}} dR + \int\int_R \psi_i w\Big|_{z_\ell} dR\right)$$

$$i = 1,2,3, \quad \ell = 1,2,3...n_0 \qquad (3.1.24a)$$

$$w\Big|_{z_{\ell-1}} = -\sum_{m=\ell}^{n_0} h^{(m)}\left(\frac{\partial U^{(m)}}{\partial x} + \frac{\partial V^{(m)}}{\partial y}\right) \quad \ell = 2....n_0 \qquad (3.1.24b)$$

$$w\Big|_{z_0} = \frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\sum_{m=1}^{n_0} h^{(m)}\left(\frac{\partial U^{(m)}}{\partial x} + \frac{\partial V^{(m)}}{\partial y}\right), \ell = 1 \qquad (3.1.24c)$$

式中R爲計算區域,ψ爲權重函數(weighting function)。

本文利用Galerkin有限元素之近似觀念(Galerkin approximation),即權重函數取用元素之形狀函數,將計算區域R分割爲有限個元素(以$R^{(e)}$表示),此處取用線性三角形元素,計有N個元素,對流場每個元素上之變量$U^{(\ell)}, V^{(\ell)}, \zeta, h^{(\ell)}$皆可表示爲

$$U^{(\ell)} = \sum_{i=1}^{3} U_i^{(\ell)} \psi_i \qquad (3.1.25a)$$

$$V^{(\ell)} = \sum_{i=1}^{3} V_i^{(\ell)} \psi_i \qquad (3.1.25b)$$

$$\zeta = \sum_{i=1}^{3} \zeta_i \psi_i \qquad (3.1.25c)$$

$$h^{(\ell)} = \sum_{i=1}^{3} h_i^{(\ell)} \psi_i \qquad (3.1.25d)$$

式中$U_i^{(\ell)}$表示爲元素$R^{(e)}$上結點i之$U^{(\ell)}$值, i=1,2,3,一般以逆時鐘方向排列,其座標分別爲$(x_1, y_1), (x_2, y_2)$及(x_3, x_3)。ψ_i爲線性三角形元素之形狀函數定義爲

$$\psi_1(x,y) = \frac{1}{2A^{(e)}}[(x_2y_3 - x_3y_2) + (y_2 - y_3)x + (x_3 - x_2)y] \qquad (3.1.26a)$$

$$\psi_2(x,y) = \frac{1}{2A^{(e)}}[(x_3y_1 - x_1y_3) + (y_3 - y_1)x + (x_1 - x_3)y] \qquad (3.1.26b)$$

$$\psi_3(x,y) = \frac{1}{2A^{(e)}}[(x_1y_2 - x_2y_1) + (y_1 - y_2)x + (x_2 - x_1)y] \qquad (3.1.26c)$$

式中$A^{(e)}$爲元素$R^{(e)}$之面積。

爲簡化符號,本文此後將引用張量符號(Tenser notation)之定義,即方程式等號同一側重複之下標具有累加之意。

將每層計算區域分割爲N個線性三角形元素,以$R^{(e)}$表示,其形狀函數,$\psi_i, i = 1,2,3$如(3.1.26)式。水位及各層變數物理量以形狀函數展開式如下

$$U^{(\ell)} = U_i^{(\ell)}\psi_i \qquad (3.1.27a)$$

$$V^{(\ell)} = V_i^{(\ell)}\psi_i \qquad (3.1.27b)$$

$$\zeta = \zeta_i\psi_i \qquad (3.1.27c)$$

$$h^{(\ell)} = h_i^{(\ell)}\psi_i \qquad (3.1.27d)$$

其對x微分量表示爲

$$U_{,x}^{(\ell)} = U_i^{(\ell)}\psi_{i,x} \qquad (3.1.28a)$$

$$V_{,x}^{(\ell)} = V_i^{(\ell)}\psi_{i,x} \qquad (3.1.28b)$$

$$\zeta_{,x} = \zeta_i\psi_{i,x} \qquad (3.1.28c)$$

$$h_{,x}^{(\ell)} = h_i^{(\ell)}\psi_{i,x} \qquad (3.1.28d)$$

其對y微分量表示爲

$$U_{,y}^{(\ell)} = U_i^{(\ell)}\psi_{i,y} \qquad (3.1.28e)$$

$$V_{,y}^{(\ell)} = V_i^{(\ell)} \psi_{i,y} \tag{3.1.28f}$$

$$\zeta_{,y} = \zeta_i \psi_{i,y} \tag{3.1.28i}$$

$$h_{,y}^{(\ell)} = h_i^{(\ell)} \psi_{i,y} \tag{3.1.28j}$$

將表示(3.1.25)、(3.1.26)、(3.1.27)及(3.1.28)分別代入Weak form(3.1.21)、(3.1.22)、(3.1.23)及(3.1.24),並引用下列由部分積分公式及divergence定理推導之關係式

$$\int\int_{R^{(e)}} \psi_i \frac{\partial X}{\partial y} dR = \int_{\Gamma^{(e)}} \psi_i X n_y d\Gamma - \int\int_{R^{(e)}} \psi_{i,y} X dR \tag{5.2.9a}$$

$$\int\int_{R^{(e)}} \psi_i \frac{\partial X}{\partial x} dR = \int_{\Gamma^{(e)}} \psi_i X n_x d\Gamma - \int\int_{R^{(e)}} \psi_{i,x} X dR \tag{5.2.9b}$$

式中X代表相關物理量,如$F_{xx}^{(\ell)}, F_{xy}^{(\ell)}, F_{yy}^{(\ell)}, F_{yx}^{(\ell)}$, $\frac{\partial U^{(\ell)}}{\partial x}$, $\frac{\partial V^{(\ell)}}{\partial x}$, $\frac{\partial U^{(\ell)}}{\partial y}$, $\frac{\partial V^{(\ell)}}{\partial y}$等, n_x, n_y爲垂直邊界向外單位向量在x方向及y方向分量。$R^{(e)}$表示第e個元素之區域, $\Gamma^{(e)}$表示元素e之外圍邊界。

各層次之物理量以該層之平均量代表,如(3.1.11)式。而層次與層次間之界面上之物理量以上下兩層之平均值表示,如(3.1.13)式,其中各層流體剪應力引用(3.1.15)式,流體內層次界面之剪應力引用(3.1.18)式,水表面之剪應力引用(3.1.17)式;海底面之剪應力引用(3.1.20)式;則可化爲下列方程式

$$
\begin{aligned}
&\int\int_{R^{(e)}} \psi_i\psi_j dRU_{j,t}^{(\ell)} + \int\int_{R^{(e)}} \psi_i\psi_j\psi_{k,x} dRU_j^{(\ell)}U_k^{(\ell)} \\
&+ \int\int_{R^{(e)}} \psi_i\psi_j\psi_{k,y} dRV_j^{(\ell)}U_k^{(\ell)} \\
&+ \frac{1}{2}\int\int_{R^{(e)}} \psi_i\psi_j\psi_k dR\Big(\frac{W^{\ell)}}{h^{(\ell)}}\Big)_j\left(U_k^{(\ell-1)} - U_k^{(\ell+1)}\right) \\
&- f\int\int_{R^{(e)}} \psi_i\psi_j dRV_j^{(\ell)} - g\int\int_{R^{(e)}} \psi_i\psi_{j,x} dR\zeta_j \\
&+ E_v\int_{\Gamma^{(e)}} \psi_i\psi_j n_x d\Gamma(U_{,x})_j^{(\ell)} - E_v\int\int_{R^{(e)}} \psi_{i,x}\psi_{j,x} dRU_j^{\ell} \\
&- \frac{1}{2}E_v\int_{\Gamma^{(e)}} \psi_i\psi_j n_y d\Gamma(U_{,y})_j^{(\ell)} + \frac{1}{2}E_v\int\int_{R^{(e)}} \psi_{i,y}\psi_{j,y} dRU_j^{(\ell)} \\
&- \frac{1}{2}E_v\int_{\Gamma^{(e)}} \psi_i\psi_j n_y d\Gamma(V_{,x})_j^{(\ell)} + \frac{1}{2}E_v\int\int_{R^{(e)}} \psi_{i,y}\psi_{j,x} dRV_j^{(\ell)} \\
&+ \frac{1}{\rho}\int\int_{R^{(e)}} \psi_i\psi_j\psi_k dR\Big(\frac{1}{h^{(\ell)}}\Big)_j\Big(\tau_{xz}\Big|_{z_\ell}^{z_{\ell-1}}\Big)_k = 0
\end{aligned}
\tag{3.1.30}
$$

$$
\begin{aligned}
&\int\int_{R^{(e)}} \psi_i\psi_j dRV_{j,t}^{(\ell)} + \int\int_{R^{(e)}} \psi_i\psi_j\psi_{k,x} dRU_j^{(\ell)}V_k^{(\ell)} \\
&+ \int\int_{R^{(e)}} \psi_i\psi_j\psi_{k,y} dRV_j^{(\ell)}V_k^{(\ell)} \\
&+ \frac{1}{2}\int\int_{R^{(e)}} \psi_i\psi_j\psi_k dR\Big(\frac{W^{\ell)}}{h^{(\ell)}}\Big)_j\left(V_k^{(\ell-1)} - V_k^{(\ell+1)}\right) \\
&+ f\int\int_{R^{(e)}} \psi_i\psi_j dRU_j^{(\ell)} - g\int\int_{R^{(e)}} \psi_i\psi_{j,y} dR\zeta_j \\
&+ E_v\int_{\Gamma^{(e)}} \psi_i\psi_j n_y d\Gamma(V_{,y})_j^{(\ell)} - E_v\int\int_{R^{(e)}} \psi_{i,y}\psi_{j,y} dRV_j^{\ell} \\
&- \frac{1}{2}E_v\int_{\Gamma^{(e)}} \psi_i\psi_j n_x d\Gamma(V_{,x})_j^{(\ell)} + \frac{1}{2}E_v\int\int_{R^{(e)}} \psi_{i,x}\psi_{j,x} dRV_j^{(\ell)} \\
&- \frac{1}{2}E_v\int_{\Gamma^{(e)}} \psi_i\psi_j n_x d\Gamma(U_{,y})_j^{(\ell)} + \frac{1}{2}E_v\int\int_{R^{(e)}} \psi_{i,x}\psi_{j,y} dRU_j^{(\ell)} \\
&+ \frac{1}{\rho}\int\int_{R^{(e)}} \psi_i\psi_j\psi_k dR\Big(\frac{1}{h^{(\ell)}}\Big)_j\Big(\tau_{yz}\Big|_{z_\ell}^{z_{\ell-1}}\Big)_k = 0
\end{aligned}
\tag{3.1.31}
$$

$$\int\int_{R^{(e)}} \psi_i\psi_j dR\zeta_{j,t} + \sum_{b=1}^{n_0}\Big(\int\int_{R^{(e)}} \psi_i\psi_j\psi_{k,x} dRh_j^{(m)}U_k^{(m)} + \int\int_{R^{(e)}} \psi_i\psi_j\psi_{k,y} dRh_j^{(m)}V_k^{(m)}\Big) = 0 \tag{3.1.32}$$

$$\begin{aligned}
\int\int_{R^{(e)}} \psi_i\psi_j dRW_j^{(\ell)} &= \frac{1}{2}\Big(\int\int_{R^{(e)}} \psi_i w\Big|_{z_{(\ell-1)}} dR + \int\int_{R^{(e)}} \psi_i w\Big|_{z_\ell} dR\Big) \\
&= -\frac{1}{2}\Big[\int\int_{R^{(e)}} \psi_i \sum_{m=\ell}^{n_0} h^{(m)}(U_{,x}^{(m)} + V_{,y}^{(m)})dR \\
&+ \int\int_{R^{(e)}} \psi_i \sum_{m=\ell+1}^{n_0} h^{(m)}(U_{,x}^{(m)} + V_{,y}^{(m)})dR\Big] \\
&= -\sum_{m=\ell+1}^{n_0}\Big(\int\int_{R^{(e)}} \psi_i\psi_j\psi_{k,x} dRh_j^{(m)}U_k^{(m)} + \int\int_{R^{(e)}} \psi_i\psi_j\psi_{k,y} dRh_j^{(m)}V_k^{(m)}\Big) \\
&- \frac{1}{2}\Big(\int\int_{R^{(e)}} \psi_i\psi_j\psi_{k,x} dRh_j^{(\ell)}U_k^{(\ell)} + \int\int_{R^{(e)}} \psi_i\psi_j\psi_{k,y} dRh_j^{(\ell)}V_k^{(\ell)}\Big)
\end{aligned} \tag{3.1.33}$$

式中

$$\begin{aligned}
(\tau_{xy}\Big|_{z_{\ell-1}})_i &= \Big[\Big(\rho E_h \frac{\partial U}{\partial z}\sqrt{(\frac{\partial u}{\partial z})^2 + (\frac{\partial v}{\partial z})^2}\Big)\Big|_{z_{\ell-1}}\Big]_i \\
&= \Big[4\rho E_h \frac{U^{(\ell)} - U^{(\ell+1)}}{(h^{(\ell)} + h^{(\ell+1)})^2}\sqrt{(U^{(\ell)} - U^{(\ell+1)})^2 + (V^{(\ell)} - V^{(\ell+1)})^2}\Big]_i \\
&\qquad i = 1,2,3, \quad \ell = 2,3...n_0
\end{aligned} \tag{3.1.34a}$$

$$\begin{aligned}
(\tau_{yz}\Big|_{z_{\ell-1}})_i &= \Big[\Big(\rho E_h \frac{\partial v}{\partial z}\sqrt{(\frac{\partial u}{\partial z})^2 + (\frac{\partial v}{\partial z})^2}\Big)\Big|_{z_{\ell-1}}\Big]_i \\
&= \Big[4\rho E_h \frac{V^{(\ell)} - V^{(\ell+1)}}{(h^{(\ell)} + h^{(\ell+1)})^2}\sqrt{[(U^{(\ell)} - U^{(\ell+1)})^2 + (V^{(\ell)} - V^{(\ell+1)})^2}\Big]_i \\
&\qquad i = 1,2,3, \quad \ell = 2,3...n_0
\end{aligned} \tag{3.1.34b}$$

$$(\tau_{xz}\Big|_{z_o})_i = (\tau_{sx})_i = \Big[\rho E_w W_d^2 \cos(\theta_w)\Big]_i \tag{3.1.34c}$$

$$(\tau_{yz}\Big|_{z_o})_i = (\tau_{sy})_i = \Big[\rho E_w W_d^2 \sin(\theta_w)\Big]_i \tag{3.1.34d}$$

$$(\tau_{xy}\Big|_{z_{n_0}})_i = \Big[\tau_{bx}]_i = [\rho E_b U^{(n_0)}\sqrt{(U^{(n_0)})^2 + (V^{(n_0)})^2}\Big]_i \tag{3.1.34e}$$

$$(\tau_{yz}\Big|_{z_{n_0}})_i = [\tau_{by}]_i = \Big[\rho E_b V^{(n_0)}\sqrt{(U^{(n_0)})^2 + (V^{(n_0)})^2}\Big]_i \tag{3.1.34f}$$

式(3.1.30), (3.1.31), (3.1.32), (3.1.33)又可分別化爲

$$M_{ij}U_{j,t}^{(\ell)} = a_i^{(\ell)} \qquad \ell = 2,3...n_0 \tag{3.1.35a}$$

$$M_{ij}V_{j,t}^{(\ell)} = b_i^{(\ell)} \qquad \ell = 2,3...n_0 \tag{3.1.35b}$$

$$M_{ij}\zeta_{j,t} = c_i \qquad \ell = 2,3...n_0 \tag{3.1.35c}$$

$$M_{ij}W_j^{(\ell)} = d_i^{(\ell)} \qquad \ell = 2,3...n_0 \tag{3.1.35d}$$

式中M_{ij}定義爲

$$M_{ij} = \int\int_{R(e)} \psi_i \psi_j dR \tag{3.1.36}$$

係數$a_i^{(\ell)}, b_i^{(\ell)}, c_i$及$d_i^{(\ell)}$分別定義如下：

$$\begin{aligned} a_i^{(\ell)} = & - M_{kij}^x U_j^{(\ell)} U_k^{(\ell)} - M_{kij}^y V_j^{(\ell)} U_k^{(\ell)} \\ & - \frac{1}{2} M_{ijk} \Big(\frac{W^{(\ell)}}{h^{(\ell)}}\Big)_j (U_k^{(\ell-1)} - U_k^{(\ell+1)}) + f M_{ij} V_j^{(\ell)} \\ & + g M_{ji}^x \zeta_j - E_v N_{ij}^x (U_{,x})_j^{(\ell)} + E_v M_{ij}^{xx} U_j^{(\ell)} \\ & + \frac{1}{2} E_v N_{ij}^y (U_{,y})_j^{(\ell)} - \frac{1}{2} E_v M_{ij}^{yy} U_j^{(\ell)} \\ & + \frac{1}{2} E_v N_{ij}^y (V_{,x})_j^{(\ell)} - \frac{1}{2} E_v M_{ij}^{yx} V_j^{(\ell)} \\ & - \frac{1}{\rho} M_{ijk} \Big(\frac{1}{h^{(\ell)}}\Big)_j (\tau_{xz}\Big|_{z_\ell}^{z_{\ell-1}})_k \end{aligned} \tag{3.1.37a}$$

$$
\begin{aligned}
b_i^{(\ell)} = & - M_{kij}^x U_j^{(\ell)} V_k^{(\ell)} - M_{kij}^y V_j^{(\ell)} V_k^{(\ell)} \\
& - \frac{1}{2} M_{ijk} \left(\frac{W^{(\ell)}}{h^{(\ell)}} \right)_j (V_k^{(\ell-1)} - V_k^{(\ell+1)}) - f M_{ij} U_j^{(\ell)} \\
& + g M_{ji}^y \zeta_j - E_v N_{ij}^y (V_{,y})_j^{(\ell)} + E_v M_{ij}^{yy} V_j^{(\ell)} \\
& + \frac{1}{2} E_v N_{ij}^x (V_{,x})_j^{(\ell)} - \frac{1}{2} E_v M_{ij}^{xx} V_j^{(\ell)} \\
& + \frac{1}{2} E_v N_{ij}^x (U_{,y})_j^{(\ell)} - \frac{1}{2} E_v M_{ij}^{xy} U_j^{(\ell)} \\
& - \frac{1}{\rho} M_{ijk} \left(\frac{1}{h^{(\ell)}} \right)_j \left(\tau_{yz} \Big|_{z_\ell}^{z_{\ell-1}} \right)_k
\end{aligned}
\tag{3.1.37b}
$$

$$
c_i = - \sum_{m=1}^{n_0} [M_{kij}^x h_j^{(m)} U_k^{(m)} + M_{kij}^y h_j^{(m)} V_k^{(m)}] \tag{3.1.37c}
$$

$$
\begin{aligned}
d_i^{(\ell)} = & - \sum_{m=\ell+1}^{n_0} (M_{kij}^x h_j^{(m)} U_k^{(m)} + M_{kij}^y h_j^{(m)} V_k^{(m)}) \\
& - \frac{1}{2} M_{kij}^x h_j^{(\ell)} U_k(\ell) + M_{kij}^y h_j^{(\ell)} V_k^{(\ell)}
\end{aligned}
\tag{3.1.37d}
$$

式中 M_{ij}^x, M_{ij}^y, M_{ijk}^x, M_{ijk}^y, N_{ij}^x, N_{ij}^y, 定義爲

$$
M_{ij}^x = \int\int_{R^{(e)}} \psi_{i,x} \psi_j dR \tag{3.1.38a}
$$

$$
M_{ij}^y = \int\int_{R^{(e)}} \psi_{i,y} \psi_j dR \tag{3.1.38b}
$$

$$
M_{ijk}^x = \int\int_{R^{(e)}} \psi_{i,x} \psi_j \psi_k dR \tag{3.1.38c}
$$

$$
M_{ij}^y = \int\int_{R^{(e)}} \psi_{i,y} \psi_j \psi_k dR \tag{3.1.38d}
$$

$$
N_{ij}^x = \int\int_{\Gamma^{(e)}} \psi_i \psi_j n_x d\Gamma \tag{3.1.38e}
$$

$$
N_{ij}^y = \int\int_{\Gamma^{(e)}} \psi_i \psi_j n_y d\Gamma \tag{3.1.38f}
$$

其他係數定義如下:

$$M_{ijk} = \int\int_{R^{(e)}} \phi_i \phi_j \phi_k dR \tag{3.1.39a}$$

$$M_{ij}^{xx} = \int\int_{R^{(e)}} \phi_{i,x} \phi_{j,x} dR \tag{3.1.39b}$$

$$M_{ij}^{yy} = \int\int_{R^{(e)}} \phi_{i,y} \phi_{j,y} dR \tag{3.1.39c}$$

$$M_{ij}^{xy} = \int\int_{R^{(e)}} \phi_{i,x} \phi_{j,y} dR \tag{3.1.39d}$$

$$M_{ij}^{yx} = \int\int_{R^{(e)}} \phi_{i,y} \phi_{j,x} dR \tag{3.1.39e}$$

方程式(3.1.35a)、(3.1.35b)、(3.1.35c)及(3.1.35d)爲對時間一階率微分法,本文引用二步驟顯示法(Kawahara, Takench and Yoskida, 1978)對時間做數值積分表示如下差分式,其中第一步驟:

$$M_{ij}\{U_j^{(\ell)}\}^{n+\frac{1}{2}} = M_{ij}\{U_j^{(\ell)}\}^n + \frac{\triangle t}{2}\{a_i^{(\ell)}\}^n \tag{3.1.40a}$$

$$M_{ij}\{V_j^{(\ell)}\}^{n+\frac{1}{2}} = M_{ij}\{V_j^{(\ell)}\}^n + \frac{\triangle t}{2}\{b_i^{(\ell)}\}^n \tag{3.1.40b}$$

$$M_{ij}\{\zeta_j\}^{n+\frac{1}{2}} = M_{ij}\{\zeta_j\}^n + \frac{\triangle t}{2}\{c_i\}^n \tag{3.1.40c}$$

$$M_{ij}\{W_j^{(\ell)}\}^{n+\frac{1}{2}} = \{d_i^{(\ell)}\}^{n+\frac{1}{2}} \tag{3.1.40d}$$

式中$\triangle t$爲時間間距,右上標n表時間間距個數,即$t = n\triangle t, n = 0, 1, 2...$,當$n = 0$代表啓始時間之值。第二步驟計算式爲

$$M_{ij}\{U_j^{(\ell)}\}^{n+1} = M_{ij}\{U_j^{(\ell)}\}^n + \triangle t\{a_i^{(\ell)}\}^{n+\frac{1}{2}} \tag{3.1.41a}$$

$$M_{ij}\{V_j^{(\ell)}\}^{n+1} = M_{ij}\{V_j^{(\ell)}\}^n + \triangle t\{b_i^{(\ell)}\}^{n+\frac{1}{2}} \tag{3.1.41b}$$

$$M_{ij}\{\zeta_j\}^{n+1} = M_{ij}\{\zeta_j\}^n + \triangle t\{c_i\}^{n+\frac{1}{2}} \tag{3.1.41c}$$

$$M_{ij}\{W_j^{(\ell)}\}^{n+1} = \{d_i^{(\ell)}\}^{n+1} \tag{3.1.41d}$$

二步驟顯示法爲積分一個時間間距時先計算半個時距之值再據以完成整個時距之計算,此方法具有二階精確度。此方法滿足條件穩定,時間間距之大小一般受限於Courant-Friendrichs-lewy條件

$$\triangle t \leq (1-2)\frac{\triangle d}{\sqrt{2gh}} \tag{3.1.42}$$

式中$\triangle d$爲元素之最小邊長。

邊界條件,在海面一般主要外力爲風力,海底則引用經驗式描述摩擦力之作用。模式側面邊界有固定邊界及開放邊界。固定邊界一般假設爲不透水直立壁,垂直於岸壁之速度爲零,同時假定非滑動(non-slip),即平行於岸壁之速度不爲零,在開口邊界則需給定實測之潮位或每層流速。計算過程爲已知時間$t = n\triangle t$時水位$\{\zeta_i\}^n$及所有每層ℓ之流場,$\{U_i^{(\ell)}\}^n$, $\{V_i^{(\ell)}\}^n$, $\{W_i^{(\ell)}\}^n$,並由(3.1.214)式計算$t = n\triangle t$時剪應力,其次由第一步驟差分式(3.1.40)計算$t = (n+\frac{1}{2})\triangle t$時之$\{U_i^{(\ell)}\}^{n+\frac{1}{2}}$, $\{V_i^{(\ell)}\}^{n+\frac{1}{2}}$,$\{W_i^{(\ell)}\}^{n+\frac{1}{2}}$,及$\{\zeta_i\}^{n+\frac{1}{2}}$,最後再由(3.1.41)求解$t = (n+1)\triangle t$時間之水位$\{\zeta_i\}^{n+1}$及每層$\{V_i^{(\ell)}\}^{n+1}$,$\{V_i^{(\ell)}\}^{n+1}$及$\{W_i^{(\ell)}\}^{n+1}$及(3.1.214)式計算$t = (n+1)\triangle t$時之剪應力,如此完成一個時間間距之計算。

3.1.3 例子說明

爲驗證前述理論所建立起來之三維模式,以下取一個例子做模擬運算,模擬此計算例之主要目的在測試數值模式計算平面單向流動之正確性。所考慮渠道寬22.2公里、長30公里、水深8公尺,如圖3-1-2所示,渠道開口端設有水位作sine函數週期性變化,振幅爲1.3公尺,週期爲12.4小時,渠道另一端爲全反射直立壁,渠道側面爲不透水直立壁。數值模式計算所用之有限元素三角形格網表示在圖3-1-3中,在水深方向則取2層。數值積分時間間距取20秒。所考慮之流體爲無黏滯性之理想流體。數值計算結果求得在不同時間渠道中水位分佈如圖3-1-4,第一層水平速度流速向量分佈如圖3-1-5,

第二層水平速度流速向量分佈如圖3-1-6。圖3-1-7及圖3-1-8則爲在不同位置,水平x方向流速和水位在起始時間一個週期內對應變化關係。在此計算例中起始條件爲流場靜止水位爲零,因此由於渠道開口端水位變化引致渠道內之流況可預期須經萬一段時間才達穩定。由圖3-1-4～3-1-8可看出數值計算結果,在振幅及流速分佈隨時間變畫皆甚爲合理。

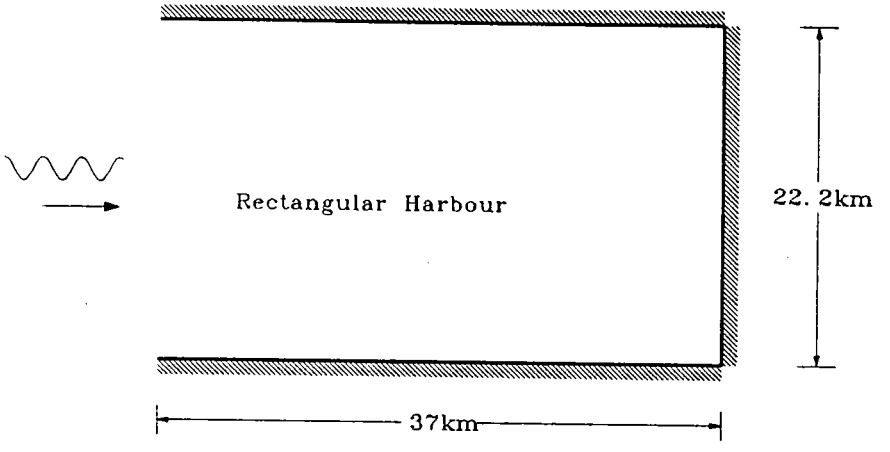


圖3-1-2長方形港池圖(長30公里,寬22.2公里,深度8米)

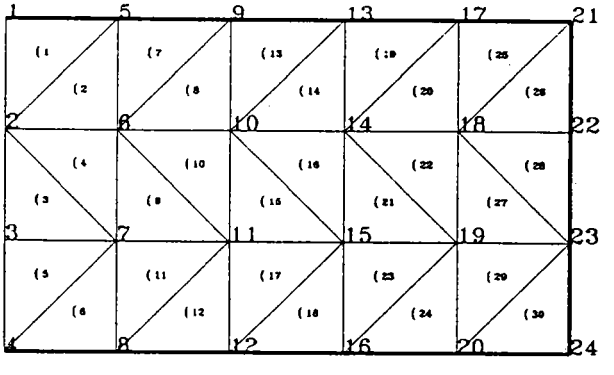


圖3-1-3有限元素格網分割圖

Water level in harbor

Example-4 2-layer retangular harbor with a left open 3D2A21.DAT

Water level(cm)

Time: 0.28 hours

1	1	0	0	0	0
1	1	0	0	0	-0
1	1	0	0	-0	0
1	1	0	0	0	-0

Time: 2.22 hours

75	74	74	73	73	73
75	74	74	74	73	73
75	74	74	73	73	73
75	74	74	74	73	73

Time: 0.56 hours

5	4	3	2	1	1
5	4	2	2	1	1
5	4	3	2	1	1
5	4	2	2	1	1

Time: 2.50 hours

92	91	90	89	89	89
92	91	90	90	89	89
92	91	90	89	89	89
92	91	90	90	89	89

Time: 0.83 hours

12	10	8	7	6	6
12	10	8	7	6	6
12	10	8	7	6	6
12	10	8	7	6	6

Time: 2.78 hours

110	109	106	106	107	107
110	109	106	106	107	107
110	109	106	106	107	107
110	109	106	106	107	107

Time: 1.11 hours

20	19	17	16	16	15
20	19	17	16	16	15
20	19	17	16	16	15
20	19	17	16	16	15

Time: 3.06 hours

128	128	128	128	128	128
128	128	128	128	128	128
128	128	128	128	128	128
128	128	128	128	128	128

Time: 1.39 hours

31	30	30	29	29	29
31	30	30	29	29	29
31	30	30	29	29	29
31	30	30	29	29	29

Time: 3.33 hours

147	147	146	146	146	146
147	147	146	146	146	146
147	147	146	146	146	146
147	147	146	146	146	146

Time: 1.67 hours

44	44	44	44	44	44
44	44	44	44	44	44
44	44	44	44	44	44
44	44	44	44	44	44

Time: 3.61 hours

165	165	166	167	167	167
165	166	166	167	167	167
165	165	166	167	167	167
165	166	166	167	167	167

Time: 1.94 hours

59	59	59	59	59	59
59	59	59	59	59	59
59	59	59	59	59	59
59	59	59	59	59	59

Time: 3.89 hours

182	183	183	184	184	184
182	183	183	184	184	184
182	183	183	184	184	184
182	183	183	184	184	184

3D2A21.OU2 | Institute of Harbor & Marine Technology

PLT12V.FOR 1996.7.14

圖 3-1-4a 不同時間港區水位分佈圖

Water level in harbor

Example-4 2-layer retangular harbor with a left open 3D2A21.DAT

Water level(cm)

Time: 4.17 hours

198	199	199	199	199	199
198	199	199	199	199	199
198	199	199	199	199	199
198	199	199	199	199	199

Time: 4.44 hours

214	214	214	214	214	214
214	214	214	214	214	214
214	214	214	214	214	214
214	214	214	214	214	214

Time: 4.72 hours

227	228	228	228	229	229
227	228	228	228	229	229
227	228	228	228	229	229
227	228	228	228	229	229

Time: 5.00 hours

239	240	241	241	242	242
239	240	241	241	242	242
239	240	241	241	242	242
239	240	241	241	242	242

Time: 5.28 hours

248	249	251	252	252	252
248	249	251	252	252	253
248	249	251	252	252	252
248	249	251	252	252	253

Time: 5.56 hours

255	257	258	258	259	259
255	256	258	258	259	259
255	257	258	258	259	259
255	256	258	258	259	259

Time: 5.83 hours

260	261	262	262	263	263
260	261	262	262	263	263
260	261	262	262	263	263
260	261	262	262	263	263

Time: 6.11 hours

262	263	263	264	264	264
262	263	263	264	264	264
262	263	263	264	264	264
262	263	263	264	264	264

Time: 6.39 hours

261	262	263	264	264	264
261	262	263	264	264	264
261	262	263	264	264	264
261	262	263	264	264	264

Time: 6.67 hours

258	260	261	261	262	262
258	260	261	261	262	262
258	260	261	261	262	262
258	260	261	261	262	262

Time: 6.94 hours

253	254	255	256	257	257
253	254	255	256	257	257
253	254	255	256	257	257
253	254	255	256	257	257

Time: 7.22 hours

245	246	247	248	248	249
245	246	247	248	248	249
245	246	247	248	248	249
245	246	247	248	248	249

Time: 7.50 hours

235	236	236	237	237	237
235	236	236	237	237	237
235	236	236	237	237	237
235	236	236	237	237	237

Time: 7.78 hours

222	223	223	224	224	224
222	223	223	224	224	224
222	223	223	224	224	224
222	223	223	224	224	224

3D2A21.OU2 | Institute of Harbor & Marine Technology

PLTI2V.FOR 1998. 7 . 14

圖 3-1-4b 不同時間港區水位分佈圖

Water level in harbor

Example-4 2-layer retangular harbor with a left open 3D2A21.DAT

Water level(cm)

Time: 8.06 hours

208	209	209	209	210	210
208	209	209	209	210	210
208	209	209	209	210	210
208	209	209	209	210	210

Time: 8.33 hours

193	193	194	194	194	194
193	193	194	194	194	194
193	193	194	194	194	194
193	193	194	194	194	194

Time: 8.61 hours

176	176	177	177	178	178
176	176	177	177	178	178
176	176	177	177	178	178
176	176	177	177	178	178

Time: 8.89 hours

158	159	159	159	160	160
158	159	159	159	160	160
158	159	159	159	160	160
158	159	159	159	160	160

Time: 9.17 hours

140	140	140	140	140	140
140	140	140	140	141	141
140	140	140	140	140	140
140	140	140	140	141	141

Time: 9.44 hours

121	121	121	121	121	121
121	121	121	121	121	121
121	121	121	121	121	121
121	121	121	121	121	121

Time: 9.72 hours

103	103	102	102	102	102
103	103	103	102	102	102
103	103	102	102	102	102
103	103	103	102	102	102

Time: 10.00 hours

86	85	85	84	84	84
86	85	85	84	84	84
86	85	85	84	84	84
86	85	85	84	84	84

Time: 10.28 hours

69	68	68	68	68	68
69	68	68	68	68	68
69	68	68	68	68	68
69	68	68	68	68	68

Time: 10.56 hours

53	53	52	52	52	52
53	53	52	52	52	52
53	53	52	52	52	52
53	53	52	52	52	52

Time: 10.83 hours

39	38	38	38	37	37
39	39	38	38	37	37
39	38	38	38	37	37
39	39	38	38	37	37

Time: 11.11 hours

27	26	25	25	24	24
27	26	25	25	24	24
27	26	25	25	24	24
27	26	25	25	24	24

Time: 11.39 hours

17	16	15	14	14	14
17	16	15	14	14	14
17	16	15	14	14	14
17	16	15	14	14	14

Time: 11.67 hours

9	8	7	6	6	6
9	8	7	6	6	6
9	8	7	6	6	6
9	8	7	6	6	6

3D2A21.OU2 | Institute of Harbor & Marine Technology

PLT12V.FOR 1996.7.14

圖3-1-4c不同時間港區水位分佈圖

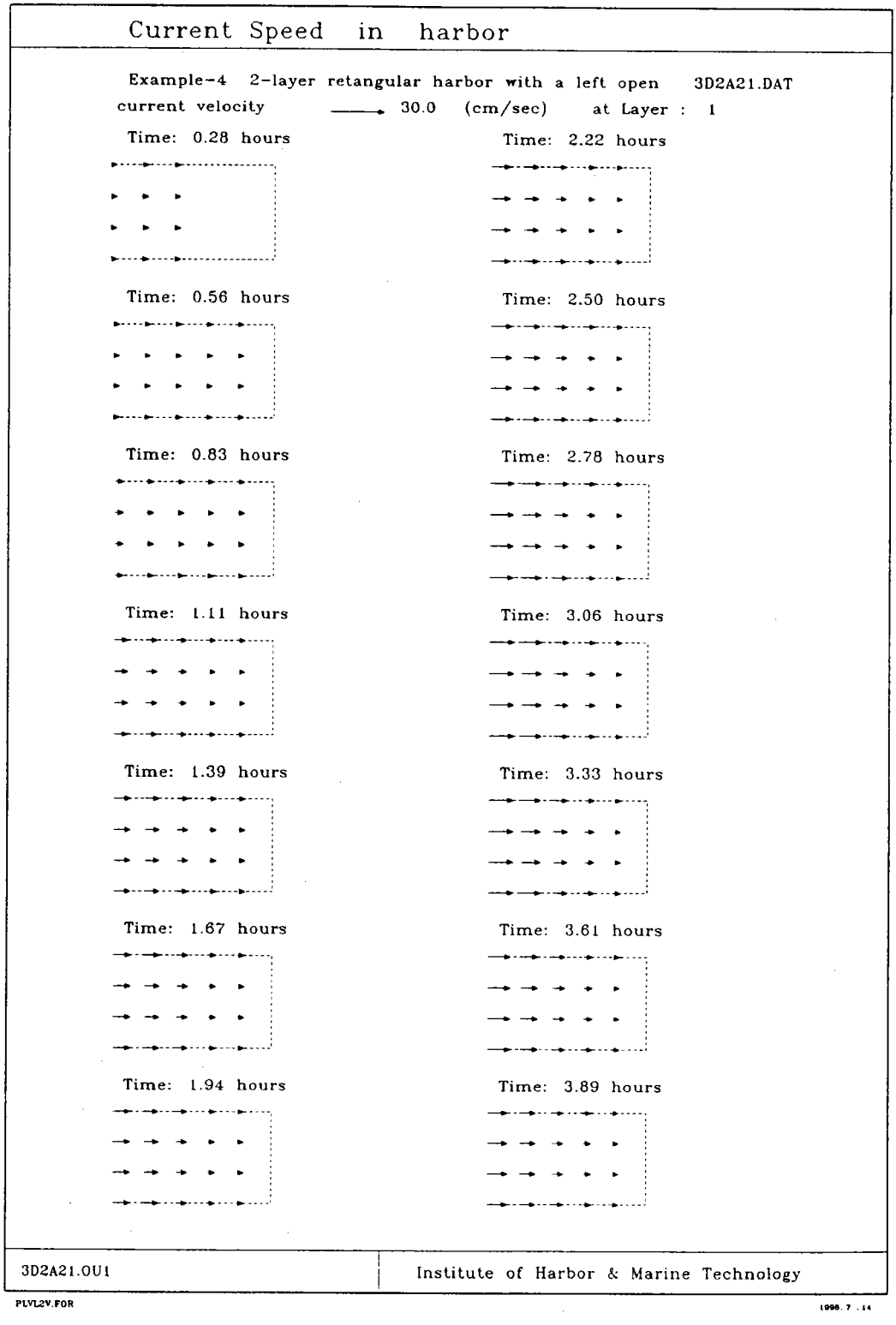


圖 3-1-5a 不同時間第一層水平速度分佈圖

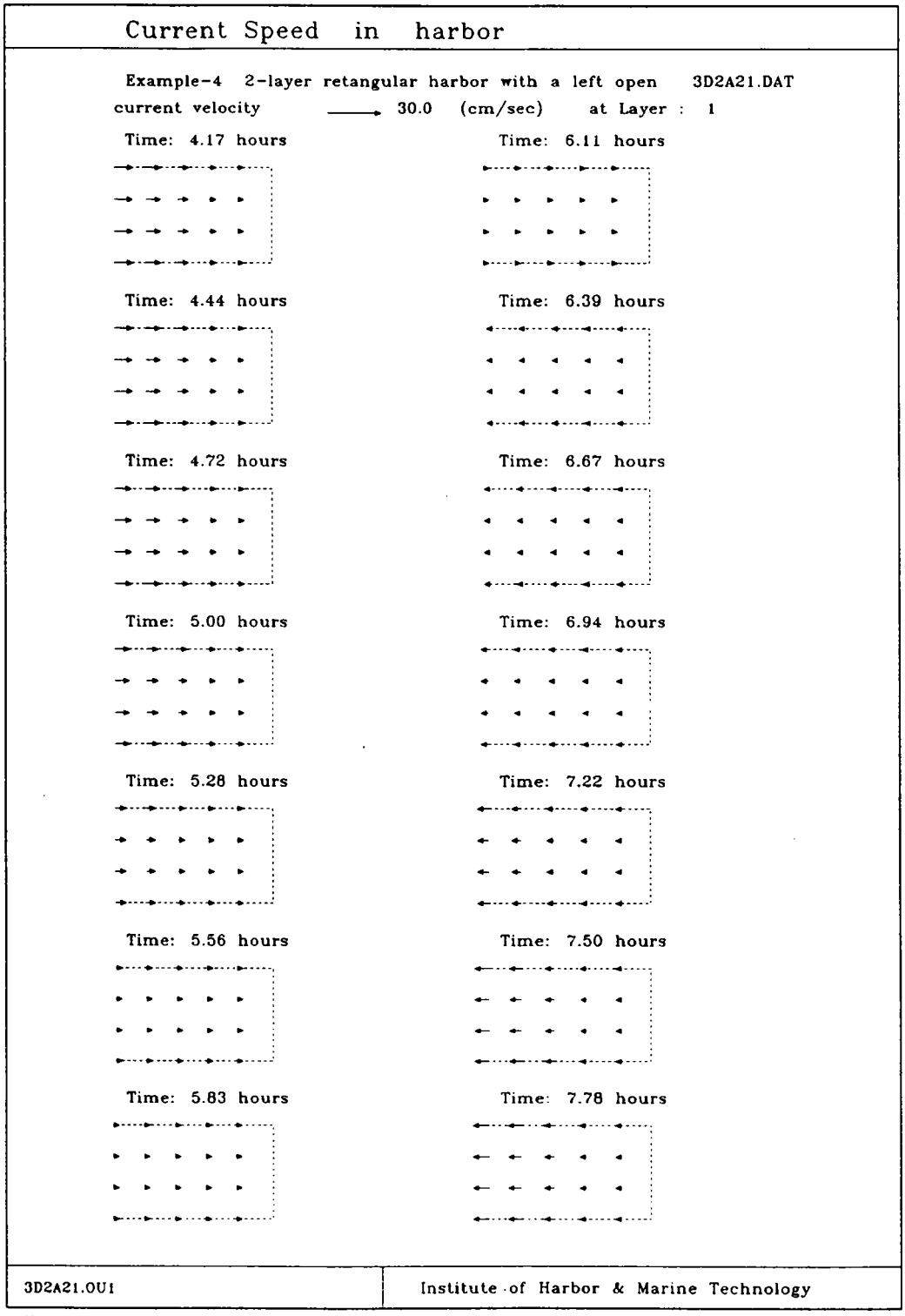


圖 3-1-5b 不同時間第一層水平速度分佈圖

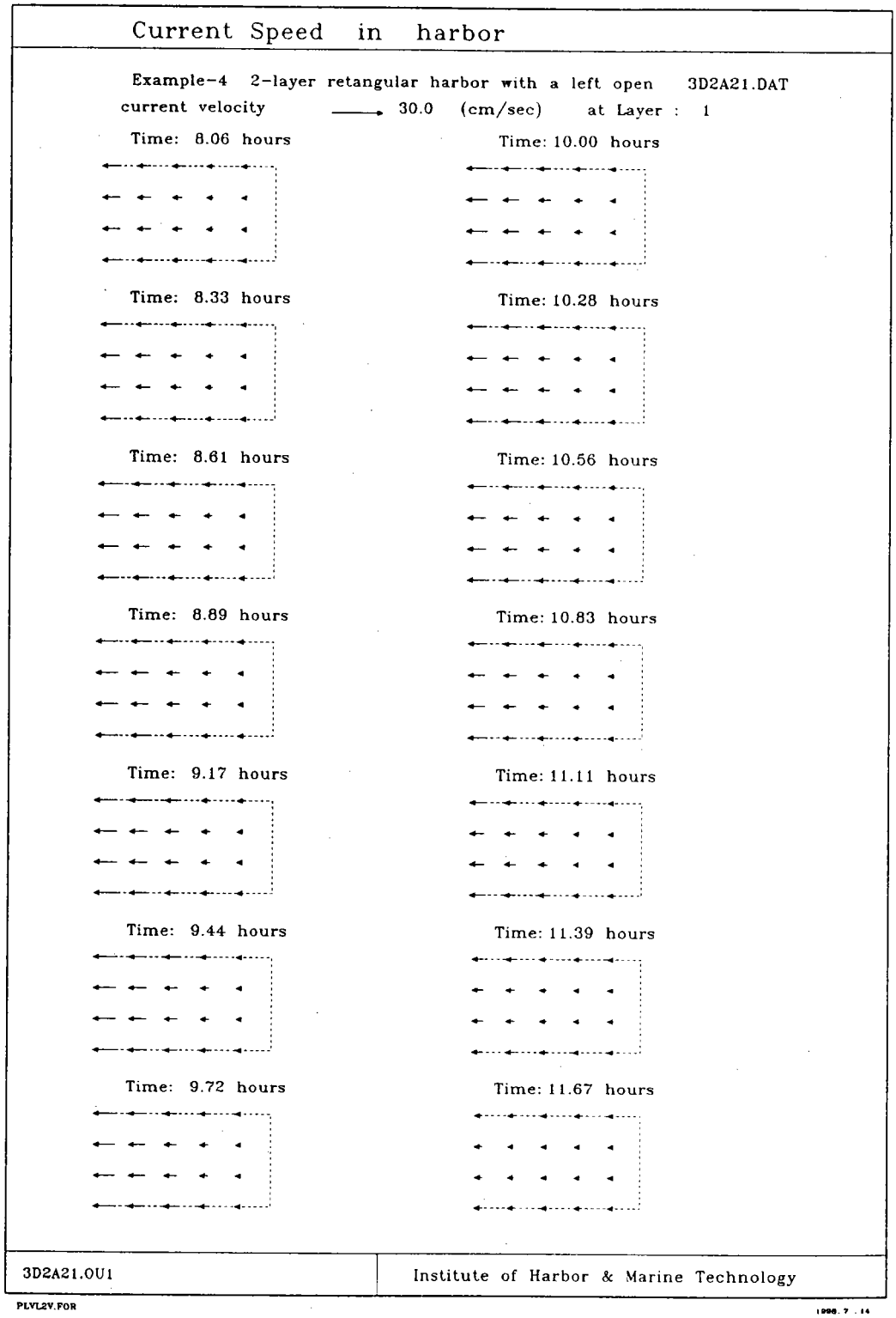


圖 3-1-5c 不同時間第一層水平速度分佈圖

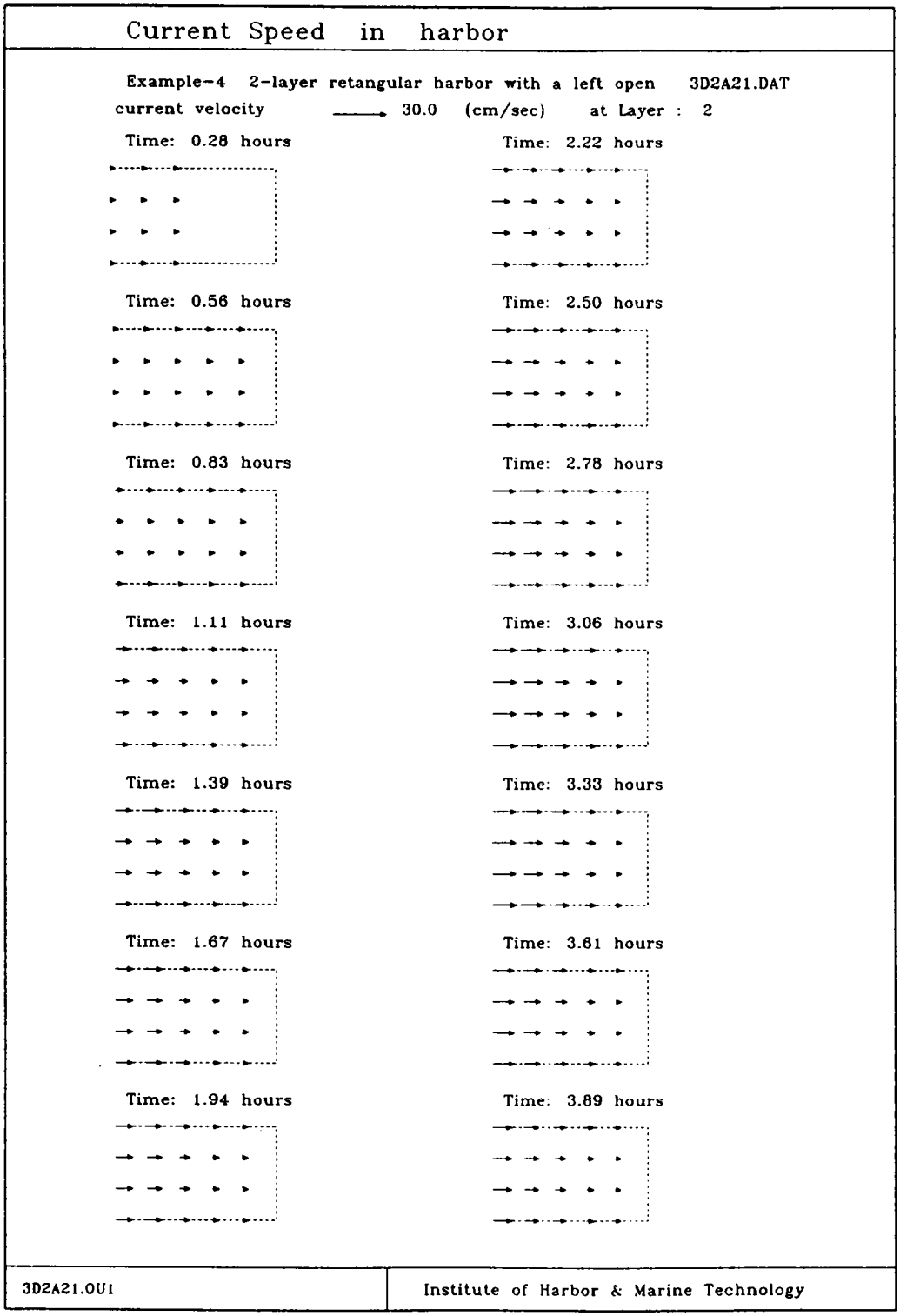


圖 3-1-6a 不同時間第二層水平速度分佈圖

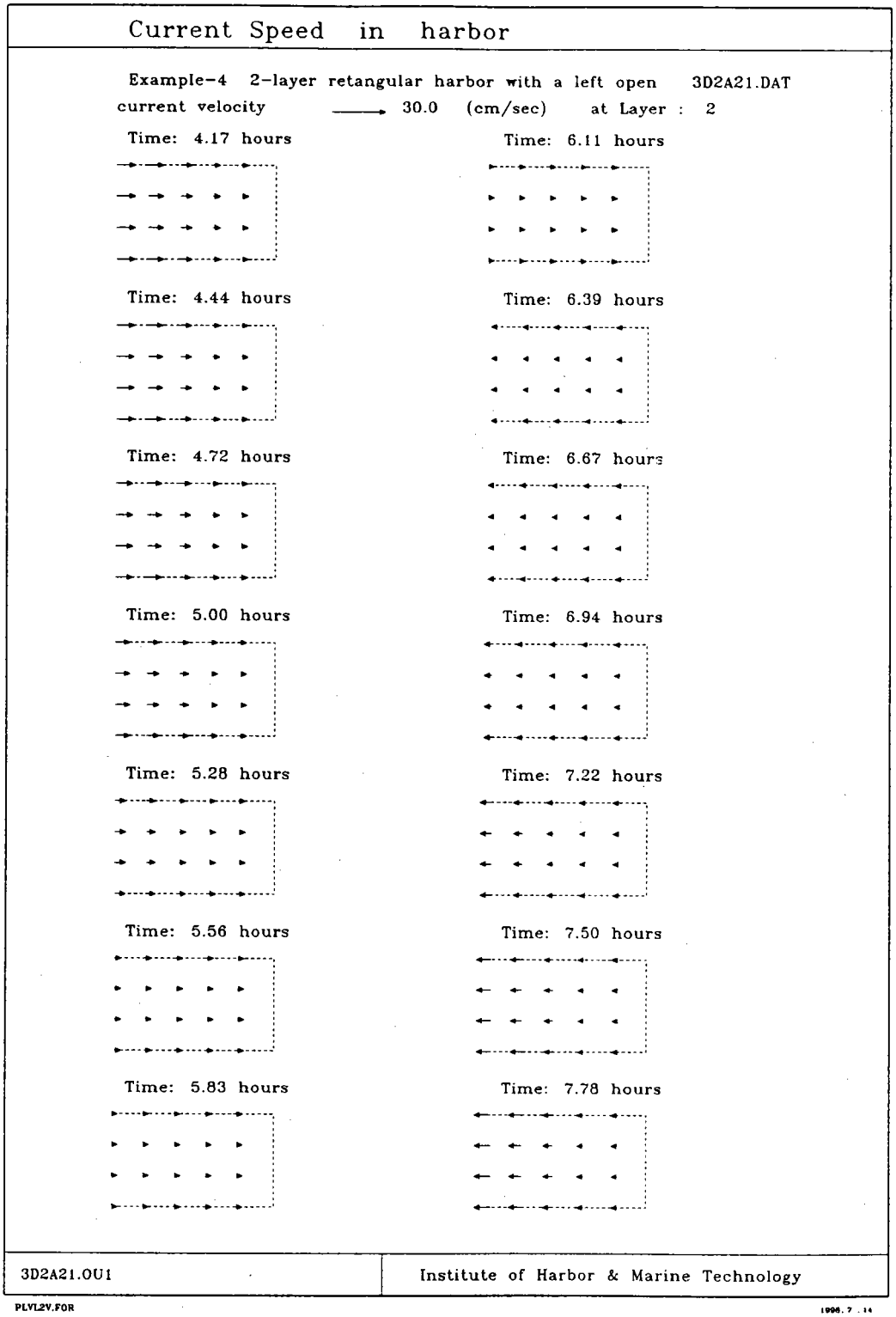


圖3-1-6b不同時間第二層水平速度分佈圖

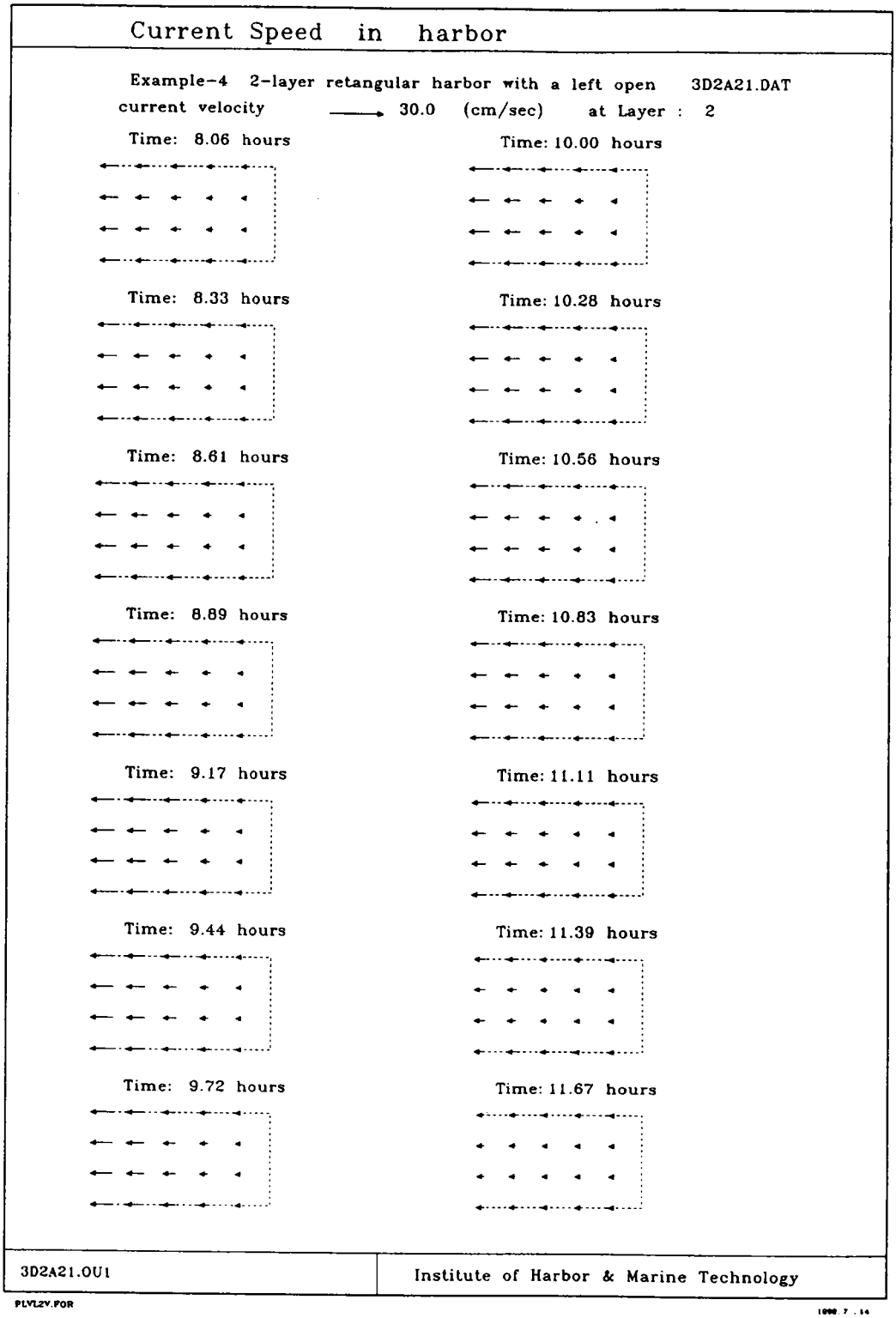
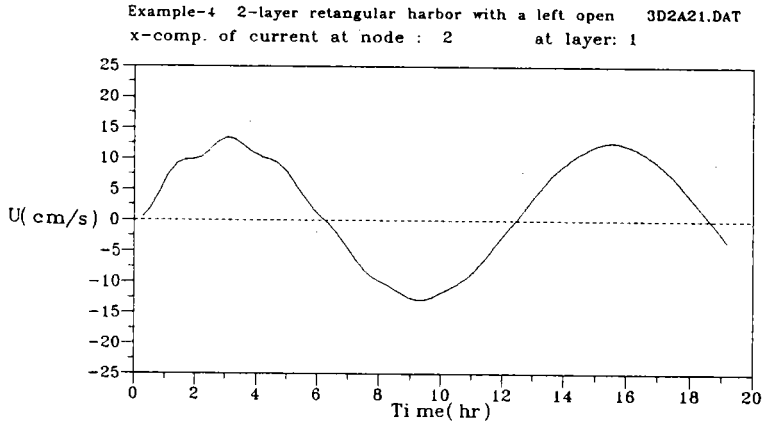
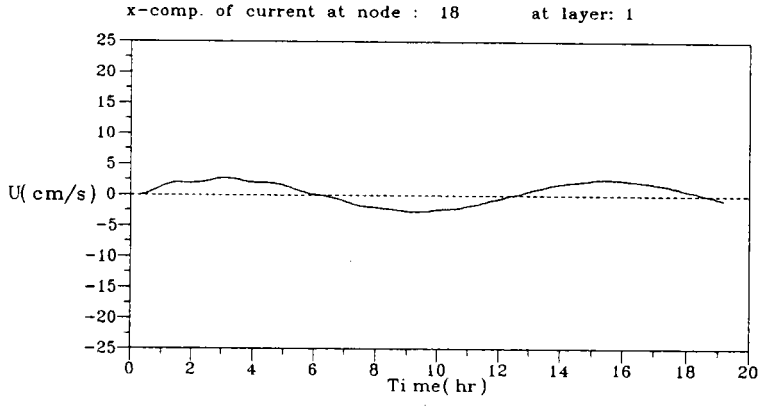


圖 3-1-6c 不同時間第二層水平速度分佈圖

Current speed v.s. time





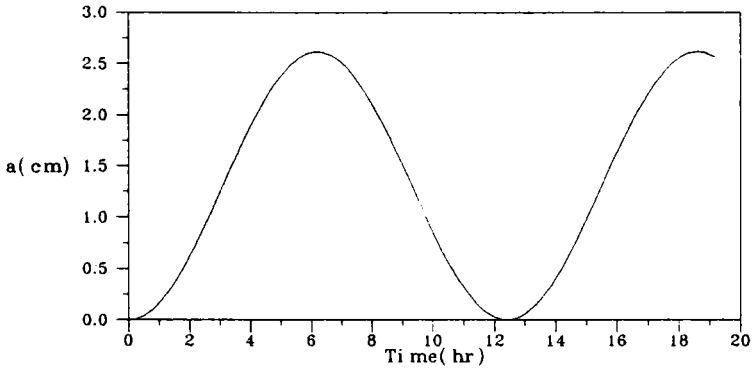
3D2A21.OU1 | Institute of Harbor & Marine Technology

PLVT2V.FOR 1996. 7 . 14

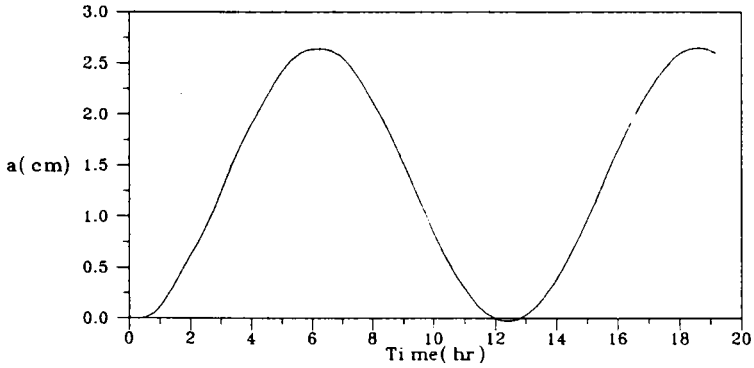
圖3-1-7水平速度隨時間變化圖

Water level v.s. time

Example-4 2-layer retangular harbor with a left open 3D2A21.DAT
water level at node : 2



water level at node : 18



3D2A21.OU2 | Institute of Harbor & Marine Technology

PLVT2V.FOR 1998. 7 . 14

圖3-1-8水位隨時間變化圖

§3.2 傳輸擴散數值模式— AD31

3.2.1 控制方程式及邊界條件

1. 控制方程式:

海岸地形、水文條件及海流是決定近海海水中污染物含量之主要因素,而以擴散方程式(disffusion advection equation)計算污染含量是一個有效方法,根據不可壓縮流質量不減定理,擴散方程式可表示爲

$$C_{,t}+uC_{,x}+vC_{,y}+wC_{,z}=(D_hC_{,x})_{,x}+(D_hC_{,y})_{,y}+(D_vC_{,z})_{,z}+S-KC \quad (3.2.1)$$

其中C = C (x,y,z,t)爲濃度, u = u (x,y,z,t)爲x - 方向之流速, v = v (x,y,z,t)爲y - 方向之流速, w = w (x,y,z,t)爲z - 方向之流速, t爲時間。x,y,z方向定義如圖3-2-1所示, x軸面向外海,y軸沿著海岸線,z軸向上,z=0爲平均海平面。D_h, D_v :水平及垂直之延散係數(diffussion coefficient), k爲衰退率(decay rate)。各變數之附腳變數x,y,z,t表示偏微分,例如$C_{,x}=\frac{\partial C}{\partial x}$, $C_{,y}=\frac{\partial C}{\partial y}$, $C_{,z}=\frac{\partial C}{\partial z}$, $C_{,t}=\frac{\partial C}{\partial t}$ 。

2. 邊界條件

(1) 自由表面邊界條件:

在自由海平面($z=0$)之濃度在垂直方向無變化,即

$$C_{,z}=0 \quad at \qquad z=0 \qquad (3.2.2)$$

(2) 海岸邊界條件:

在海岸線$x=f_1(y)$ (如圖3-2-1)濃度在垂直海岸線變化分量爲零。即

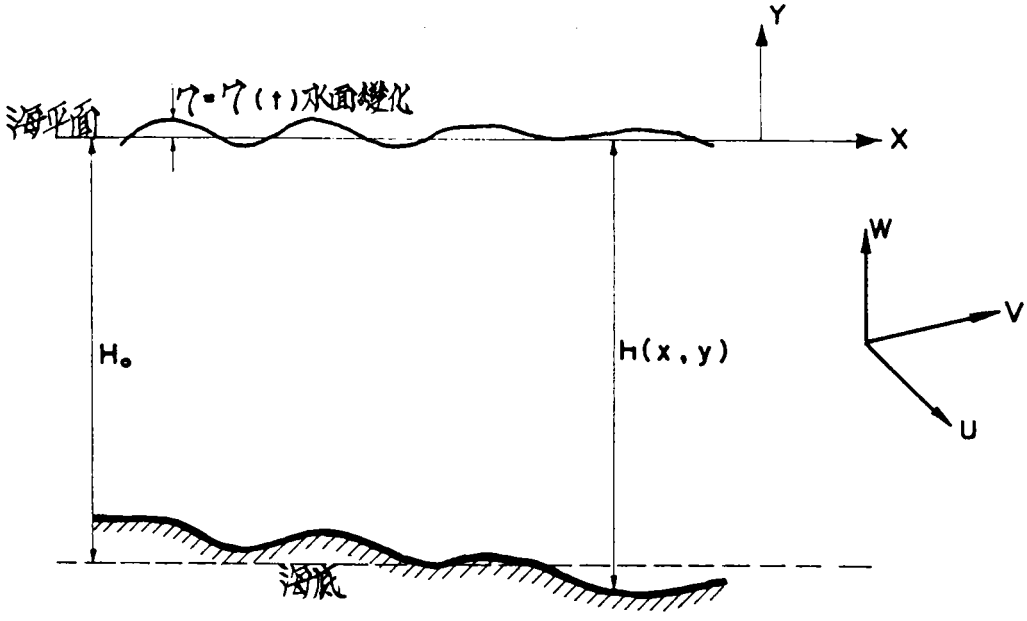


圖3-2-1a近岸海域區域示意圖

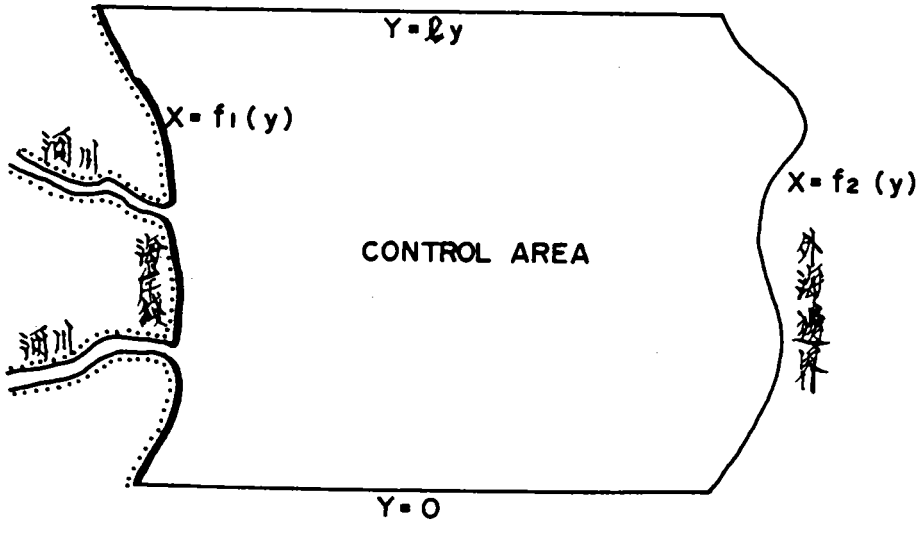


圖3-2-1a近岸海域區域示意圖

$$\nabla c \cdot \hat{n}_s = 0 \tag{3.2.3a}$$

其中$\hat{n}_s = \hat{i} - f_{1,y}\hat{j}$爲向外垂直海岸線向量，且$f_{1,y}(y) = \frac{df_1}{dy}$，方程式(3.2.3a)或可表示爲

$$C_{,x} - f_{1,y}(y)C_{,y} = 0 \quad at \qquad x = f_1(y) \tag{3.2.3b}$$

(3) 外海假想邊界條件

理論上在外海無限遠處濃度爲零，但爲方便於數值計算及加以限制後造成人爲反射因素，在外海有限遠處($y = 0, y = \ell_y, x = f_2(y)$)取濃度二次微分在垂直邊界之分量爲零即

$$\nabla^2 C \cdot \hat{n}_o = 0 \quad at \quad y = 0, \quad y = \ell_y, \quad x = f_2(y) \tag{3.2.4}$$

其中＝$\hat{n}_o$爲垂直向外邊界之向量。

(4) 海底邊界條件

假設海底不透水則海底濃度在垂直分量之變化爲零，即

$$\nabla C \cdot \hat{n}_b = 0 \quad at \quad z = -h(x,y) \tag{3.2.5}$$

其中$\hat{n}_b = D_h h_{,x}\hat{i} + D_h h_{,y}\hat{j} + D_v\hat{k}$爲海底向上垂直向量，方程式(3.2.5)或可表示爲

$$D_h C_{,x} h_{,x} + D_h C_{,y} h_{,y} + D_v C_{,z} = 0 \quad at \quad z = -h(x,y) \tag{3.2.6}$$

3.2.2 無因次分析

假設取下列無因次量:

令

$$
\begin{aligned}
(x', y') &= (x/L_0, y/L_0) \\
z' &= z/H_o \\
t' &= t/T_o \\
C' &= C/C_o \\
(u', v', w') &= (u/U_o, v/U_o, wL_o/U_oH_o) \\
S' &= ST_o/C_o \\
K' &= KT_o
\end{aligned}
\tag{3.2.7}
$$

其中C_o, H_o, L_o, U_o及T_o分別爲特徵濃度,水深,水平長度,水平流速及時間,且$L_o = U_oT_o$,此處取$L_o = \ell_y$。假設D_h及D_v皆爲常數則方程式(3.2.1)可化爲

$$
C'_{t'} + u'C'_{x'} + v'C'_{y'} + w'C'_{z'} = \frac{1}{R}(C'_{x'x'} + C'_{y'y'} + \frac{1}{\delta}C'_{z'z'}) + S' - K'C' \tag{3.2.8}
$$

其中$R = U_oL_o/D_h$稱爲eddy Peclet number, $\delta = (D_h/D_v)\cdot(H_o^2/L_o^2)$稱爲the square of viscous aspect ratio, R表示移流(advection or convection)與擴散(diffusion)二者之成份比例R愈大(L_o大)表示移流成份大於擴散,反之R愈小(L_o小)表示擴散成份大於移流。而δ表示水平擴散與垂直擴散之成份比值(D_h/D_v)。假設R=1則定義$L_P = D_h/L_o$(intrinsic length scale)。

(1) 在源流區附近$L_o << L_p$主要成份爲擴散,移流成份甚小。

(2) 在臨界區$L_o \approx L_p$二者成份相當。

(3) 在遠離區$L_o >> L_p$主要成份爲移流,擴散成份甚小。

延散係數 D_h 及 D_v 與海流大小及地形有關，D_h 值可根據 Okubo's 經驗公式(Okubo,1971)決定，假設水平長度約 100km，則 D_h 約 $5\times10^6 cm^2/sec$，若水平長度約 400km，則 D_h 約 $5\times10^6 cm^2/\text{sec}$。$D_v$ 值則可根據 Csanady 經驗公式(Csanady,1976)：

$$D_v = \frac{Eh}{20} \quad at \quad h < 0.1U^*/f \tag{3.2.10a}$$

$$D_v = \frac{E^2}{200f} \quad at \quad otherwise \tag{3.2.10b}$$

式中 f 爲柯氏力參數，$E = \sqrt{\tau}$，τ 爲風剪力或海底摩擦力。假如 $\tau \sim 1$ dyne/cm^2，h $\sim$ 20m，則 $D_v \sim 100\text{cm}^2/\text{sec}$。

[註]各變數之無因次量爲下節彈性座標轉換方便表示，在不混淆情況下將忽略上標，例如以 x 取代 x'，以 y 取代 y' 等。

3.2.3 彈性座標(stretched corrdinate)轉換

在實際應用因不規則海岸線、外海假想邊界及海底地形常使數值計算產生許多不便，爲簡化數值計算，此處取用彈性座標系統，將海岸線、外海邊界及海底轉換成二平行直線及平面海底。彈性座標 $(\bar{x},\bar{y},\bar{z})$ 定義爲：

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{x - f_1(y)}{f_2(y) - f_1(y)} \\ \bar{y} &= y \\ \bar{z} &= z/h(x,y) \\ \bar{t} &= t \end{aligned} \tag{3.2.11}$$

其中 $h(x,y)$ 爲水深。

彈性座標系統示意如附3-2-2,而彈性座標與直角座標之關係如下:

$$\frac{\partial}{\partial x} = 1/f_s \frac{\partial}{\partial \bar{x}} + \bar{z}Q\frac{\partial}{\partial \bar{z}} \tag{3.2.12a}$$

$$\frac{\partial}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial \bar{y}} + F\frac{\partial}{\partial \bar{x}} + \bar{z}G\frac{\partial}{\partial \bar{z}} \tag{3.2.12b}$$

$$\frac{\partial}{\partial z} = 1/h\frac{\partial}{\partial \bar{z}} \tag{3.2.12c}$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} = 1/f_s^2\frac{\partial^2}{\partial \bar{x}^2} + 2\bar{z}Q/f_s\frac{\partial^2}{\partial \bar{x}\partial \bar{z}} + \bar{z}^2Q^2\frac{\partial^2}{\partial \bar{z}^2} + \bar{z}(Q\bar{x}/f_s + Q^2)\frac{\partial}{\partial \bar{z}} \tag{3.2.12d}$$

$$\frac{\partial^2}{\partial y^2} = \frac{\partial^2}{\partial \bar{y}^2} + F^2\frac{\partial^2}{\partial \bar{x}^2} + \bar{z}^2G^2\frac{\partial^2}{\partial \bar{z}^2} + 2F\frac{\partial^2}{\partial \bar{x}\partial \bar{y}} + 2\bar{z}G\frac{\partial^2}{\partial \bar{z}\partial \bar{y}}$$

$$+2F\bar{z}G\frac{\partial^2}{\partial \bar{x}\partial \bar{z}} + (\frac{\partial F}{\partial \bar{y}} + F\frac{\partial F}{\partial \bar{x}})\frac{\partial}{\partial \bar{x}} + \bar{z}(\frac{\partial G}{\partial \bar{y}} + F\frac{\partial G}{\partial \bar{y}} + G^2)\frac{\partial}{\partial \bar{z}} \tag{3.2.12e}$$

式中

$$\begin{aligned} f_s &= f_2 - f_1 \\ F &= -(\frac{df_s}{d\bar{y}}x' + \frac{df_1}{d\bar{y}})/f_s \\ Q &= \frac{\partial h}{\partial \bar{x}}\frac{-1}{f_s h} \\ G &= -(\frac{\partial h}{\partial \bar{y}} + F\frac{\partial h}{\partial \bar{x}})/h \end{aligned} \tag{3.2.13}$$

將關係數(3.2.12)代入(3.2.8)可得

$$C_{,t} + A_1C_{,\bar{x}} + A_2C_{,\bar{y}} + A_3C_{,\bar{z}} = A_4C_{,\bar{x}\bar{x}} + A_5C_{,\bar{y}\bar{y}} + A_6C_{,\bar{z}\bar{z}} +$$

$$A_7C_{,\bar{x}\bar{z}} + A_8C_{,\bar{y}\bar{z}} + A_9C_{,\bar{x}\bar{y}} + S - KC \tag{3.2.14}$$

其中

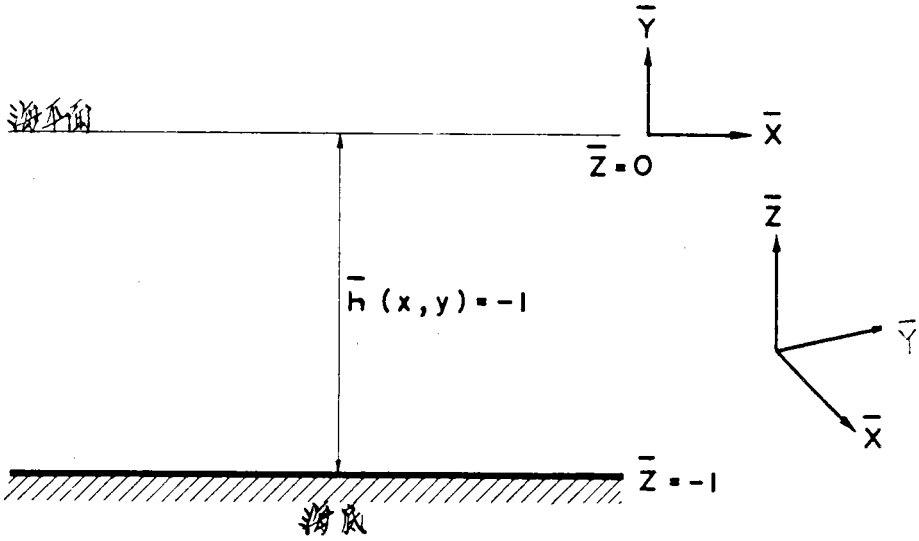


圖3-2-2a彈性座標系統示意圖

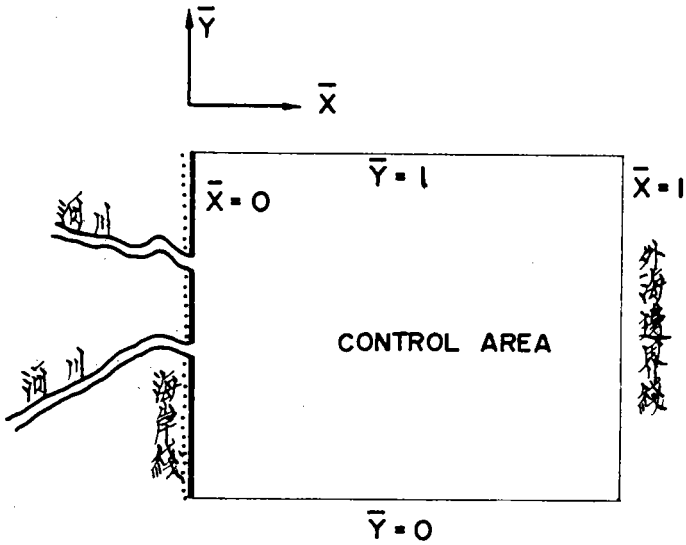


圖3-2-2b彈性座標系統示意圖

$$
\begin{aligned}
A_1 =& u/f_s + vF - D_h(F_{,\bar{y}} + FF_{,\bar{y}}) \\
A_2 =& v \\
A_3 =& \bar{z}(uQ + vG) + w/h - D_h\bar{z}(Q_{,\bar{x}}/f_s + Q^2 + G_{,\bar{y}} + FG_{,\bar{x}} + G^2) \\
A_4 =& D_h(1/f_s^2 + F^2) \\
A_5 =& D_h \\
A_6 =& D_v/h^2 + D_h\bar{z}^2(Q^2 + G^2) \\
A_7 =& 2D_h\bar{z}(Q/f_s + FG) \\
A_8 =& 2D_h\bar{z}G \\
A_9 =& 2D_hF
\end{aligned}
\tag{3.2.15}
$$

而邊界條件(3.2.2)～(3.2.5)可化爲

$$C_{,\bar{z}} = 0 \quad at \quad z = 0 \tag{3.2.16}$$

$$(1 + f_{1,y}^2)/f_s \cdot C_{\bar{x}} - f_{1,y}C_{,\bar{y}} + \bar{z}Q|_{\bar{x}=0}(1 + f_1^2)C_{,\bar{z}} = 0 \quad at \quad \bar{x} = 0 \tag{3.2.17}$$

$$(Q/f_s + GF)C_{,\bar{x}} + GC_{,\bar{y}} - (Q^2 + G^2 + \frac{D_v}{D_h h^2}C_{,\bar{z}} = 0 \quad at \quad \bar{z} = -1 \tag{3.2.18}$$

$$\bar{\nabla}^2 C \cdot \hat{n}_o = 0 \quad at \quad \bar{x} = 1, \quad \bar{y} = 0, \quad \bar{y} = 1 \tag{3.2.19}$$

3.2.3 數值方法

根據有限差分法原理方程式(3.2.14)可化爲

$$
\begin{aligned}
C_{i,j,k}^{n+1} =& C_{is,j,k}^{n} \\
&-|A_1'|(C_{i,j,k}^{n} - C_{i,js,k}^{n}) \\
&-|A_2'|(C_{i,j,k}^{n} - C_{i,j,s,k}^{n}) \\
&-|A_3'|(C_{i,j,k}^{n} - C_{i,j,ks}^{n}) \\
&+A_4'(C_{i+1,j,k}^{n} + C_{i-1,j,k}^{n} - 2C_{i,j,k}^{n}) \\
&+A_5'(C_{i,j+1,k+1}^{n} + C_{i,j-1,k}^{n} - 2C_{i,j,k}^{n}) \\
&+A_6'(C_{i,j,k+1}^{n} + C_{i,,k-1}^{n} - 2C_{i,j,k}^{n}) \\
&+A_7'(C_{i+1,j,k+1}^{n} + C_{i-1,j,k-1}^{n} - C_{i-1,j,k+1}^{n} - C_{i+1,j,k-1}^{n}) \\
&+A_8'(C_{i,j+1,k+1}^{n} + C_{i,j-1,k-1}^{n} - C_{i,j-1,k+1}^{n} - C_{i,j+1,k-1}^{n}) \\
&+A_9'(C_{i+1,j+1,k}^{n} + C_{i-1,j-1,k}^{n} - C_{i-1,j+1,k}^{n} - C_{i+1,j-1,k}^{n}) \\
&+S^n \triangle T - KC_{i,j,k}^{n} \triangle T
\end{aligned}
\tag{3.2.20}
$$

其中$\triangle x, \triangle y, \triangle z$爲x,y,z向量之格子距離，$\triangle T$爲時間間格，$C_{i,j,k}^{n}$表示在點(i,j,k)位置及時間$T = n\triangle t$之濃度，$n_i, n_j, n_k$分別爲x,y,z上之格點數。

$$
\begin{aligned}
A_1' =& A_1 \triangle T/\triangle x, & A_2' =& A_2 \triangle T/\triangle y \\
A_3' =& A_3 \triangle T/\triangle z, & A_4' =& A_4 \triangle T/\triangle x^2 \\
A_5' =& A_5 \triangle T/\triangle y^2, & A_6' =& A_6 \triangle T/\triangle z^2 \\
A_7' =& A_7 \triangle T/\triangle x \triangle z, & A_8' =& A_8 \triangle T/\triangle y \triangle z \\
A_9' =& A_9 \triangle T/\triangle x \triangle y
\end{aligned}
\tag{3.2.21}
$$

其中$is = i - 1$,若$A_1' > 0$; $is = i + 1$,若$A_1' < 0$。$js = j - 1$,若$A_2' > 0$; $js = j + 1$,若$A_2' < 0$。$ks = k - 1$,若$A_3' > 0$; $ks = k + 1$,若$A_3' < 0$。

邊界條件方程式(3.2.16)～(3.2.19)可化爲

$$\begin{aligned} C_{2,j,k} =& C_{3,j,k} + BB_j(C_{2,j+1,k} - C_{2,j-1,k}) \\ &+ BC_{j,k}(C_{2,j,k+1} - C_{2,j,k-1} \quad at \quad \bar{x} = 0(i = 2) \end{aligned} \tag{3.2.22}$$

$$\begin{aligned} C_{i,j,2} =& C_{i,j,3} + BD_{i,j}(C_{i,j+1,2} - C_{i,j-1,2}) \\ &+ BE_{i,j}(C_{i+1,j,2} - C_{i-1,j,2}) \quad at \quad \bar{z} = -1(k = 2) \end{aligned} \tag{3.2.23}$$

且

$$C_{i,j,n_k} = C_{i,j,n_k-1} \quad at \quad z = 0(k = n_k - 1) \tag{3.2.24}$$

$$C_{i,1,k} = 2C_{i,2,k} - C_{i,3,k} \quad at \quad \bar{y} = 0(j = 2) \tag{3.2.25}$$

$$C_{i,n_j,k} = 2C_{i,n_j-1,k} - C_{i,n_j-2,k} \quad at \quad y = 1(j = n_j - 1) \tag{3.2.26}$$

$$C_{n_i,j,k} = 2C_{n_i-1,j,k} - C_{n_i-2,j,k} \quad at \quad x = 1(i = n_i - 1) \tag{3.2.27}$$

其中

$$\begin{aligned} BB_j =& \frac{-f_s f_{1,y}}{1 + f_{1,y}^2} \frac{\triangle x}{\triangle y} \\ BC_{j,k} =& f_s \bar{z} Q|_{\bar{x}=0} \frac{\triangle x}{\triangle z} \\ BD_{i,j} =& \frac{-G}{Q^2 + G^2 + D_v/(D_h h^2)} \frac{\triangle z}{\triangle y} \\ BEi,j =& \frac{-(Q/f_s + FG)}{Q^2 + G^2 + D_v/(D_h h^2)} \frac{\triangle z}{\triangle x} \end{aligned} \tag{3.2.28}$$

點(i,j,k)在i=1,j=1,k=1及i=n_i, j=n_j, k=n_k時爲虛擬點，$C_{i,j,k}$虛擬點之值是爲輔助邊界條件計算。

數值計算步驟:

1. 令$C^n = S^n$,在源流點,$C_n =$,在其他位置,當n=0。其中S^n在源點附近單位體積,單位時間內之平均濃度。
2. 使用方程式(3.2.20)～(3.2.21)計算C^{n+1}。
3. 代入邊界條件(3.2.22)～(3.2.28)。
4. 在源流點增加S^{n+1}值,此處S^{n+1}爲在單位體積,新單位時間內之平均濃度。
5. 重複(2)(3)(4)。

3.2.4 數值穩定分析

根據Hann和Young(1972)各係數穩定條件爲

$$D_h \frac{\triangle t}{\triangle x^2} - \frac{\bar{u}\triangle t}{2\triangle x} > 0 \qquad (3.2.29a)$$

$$D_h \frac{\triangle t}{\triangle y^2} - \frac{\bar{v}\triangle t}{2\triangle y} > 0 \qquad (3.2.29b)$$

$$D_v \frac{\triangle t}{\triangle z^2} - \frac{\bar{w}\triangle t}{2\triangle z} > 0 \qquad (3.2.29c)$$

$$1 - 2\frac{D_h\triangle t}{\triangle x^2} - 2\frac{D_h\triangle t}{\triangle y^2} - 2\frac{D_v\triangle t}{\triangle z^2} - \triangle t \cdot k > 0 \qquad (3.2.29d)$$

對較大流速之狀況,根據(Hirt, 1968)需滿足$\triangle t < \frac{2D_h}{V_m^2}$,其中$V_m$爲流場最大流速。

3.2.2 範例說明

爲初步驗證前述三維擴散模式，僅取一個簡例做模擬運算說明。所考慮計算區爲長12公里，寬10公里之水域，模擬水口（原點處）附近濃度可能分佈狀況，在水深方向則取2層。模擬此計算例之主要目的在測試數值模式計算平面擴散之正確性。流速分佈方面，假設河口處水團速度，往西約爲60cm/sec，往北約爲48cm/sec，並假設水域爲等水深約爲15公尺。假設出水口污染濃度爲定值，並取$D_h = 5 \times 10^5 cm^2/sec, D_v = 1.0 \times 10^2 cm/sec$，衰退率設爲常數0.1，則在60小時及120小時後附近表層及底層面濃度等高線分佈如圖3-2-3及圖3-2-4。

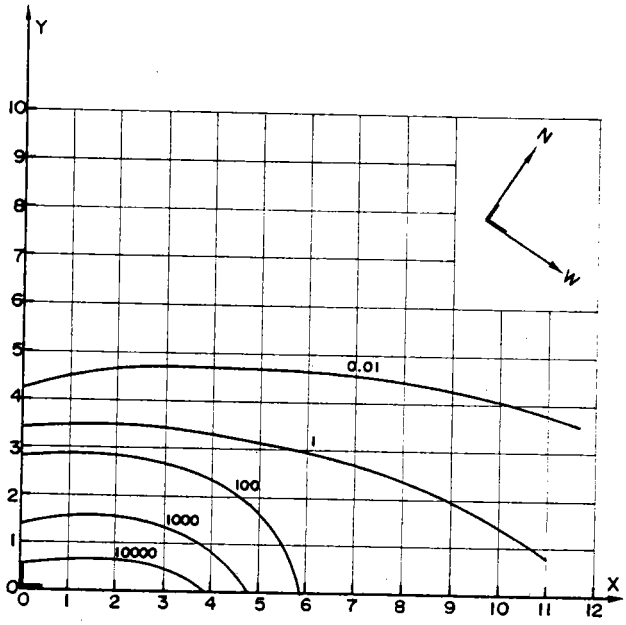


圖3-2-3a　60小時後表層濃度佈圖

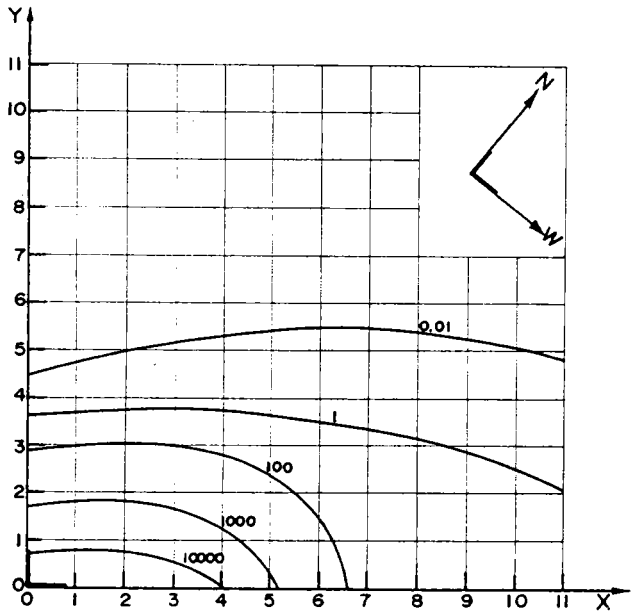


圖3-2-3b　120小時後表層濃度佈圖

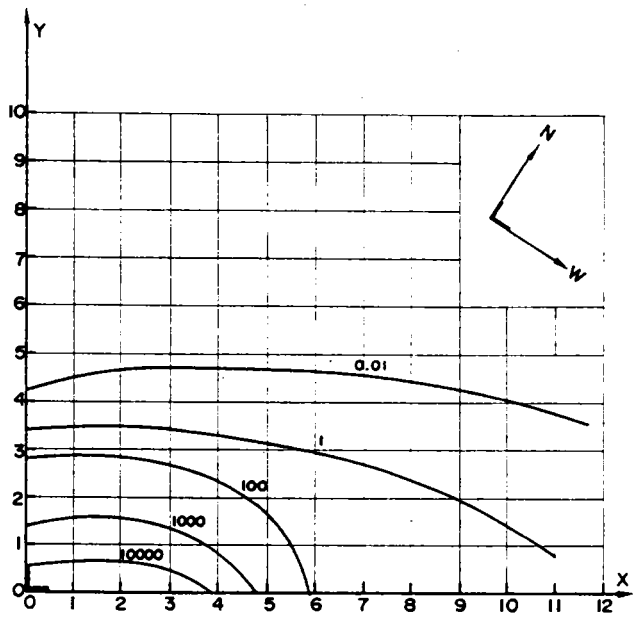


圖3-2-4a　60小時後底層濃度佈圖

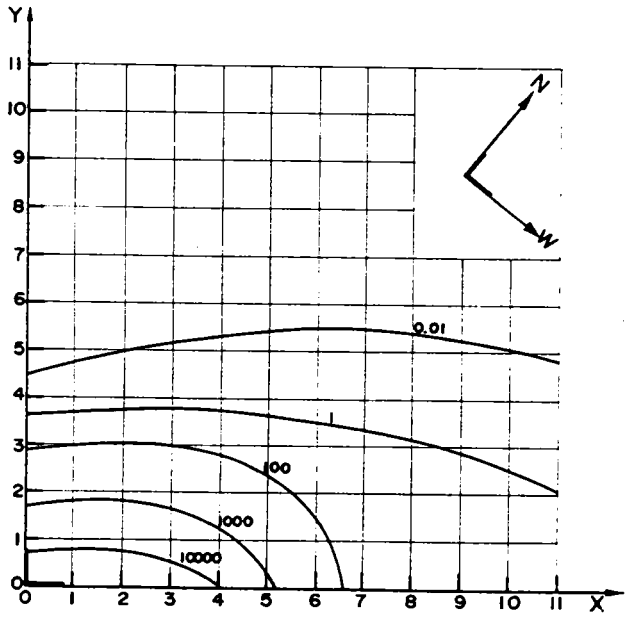


圖3-2-4b　120小時後底層濃度佈圖

肆、結論及建議

1. 本計畫在配合未來包括污染、水值擴散等數值計算整體性發展，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，經評估引用丹麥水工研究所(DHI)發展的Mike 21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，將有助於本計畫之執行。

2. 水理計算數值模式Mike 21 HD,主要考量波浪作用力、潮汐水位變化、風、大氣壓力、地球自轉柯氏力及海底底床摩擦等因素，以模擬海水位變化及海潮流流況。模式之計算主要在求解平面X及Y方向之水深平均連續方程式及動量守恒方程式，模式可藉調整底床摩擦係數、消散係數及風摩擦係數等，以求得實際流場。

3. 傳輸擴散數值模式Mike 21 AD，主要功能爲應用於模擬溶解或懸浮物質在流體擴散傳輸過程影響下之分佈，其模擬之污染物主要以滿足線性衰減物質爲限，如果污染物爲非線性衰減或污染物成份受外界影響而產生化學或生物反應及相反作用,則需引用WQ模組。本模組可模擬典型的污染物如大腸桿菌C_J、生化需氧量BOD、氯化合物、指定有機污染、熱量及衰減之含放射性物質。

4. 水質擴散模組WQ基本原理與AD傳輸擴散模組甚爲相似,其差異則AD模組一般僅應用於較簡易之單一種污染物擴散,其著重在模擬污染物如何隨海流(風)散傳輸。WQ模組則加重於較複雜之多種組合污染物生化反應過程之模擬。WQ模組可模擬之污染物包括溶氧DO、生化需氧量BOD、溶解生化需氧量BOD_d、懸浮生化需氧量BOD_s、沉積生化需氧量BOD_b、氨NH_3、硝酸NO_3、磷酸鹽PO_4,總大腸菌C_t及排洩物大腸菌C_F等單一性或多種污染物存在時之擴散情形,模組並可提供模使用者自己定義之污染物。

5. 在垂直水深方向流場變化不大之區域,以二維模式模擬流場可得滿意之結果,但在水深變化較大之區域,例如海岸與河口交接處之水域,因鹽度(密度)變化而產生之層化現象往往甚爲明顯,此種區域之流場及傳輸擴散模擬則有賴使用三維模式。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。

6. 水理計算數值模式—Model CT31，主要引用有限元素法，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，並推導各層次積分有限元素方程式;對時間之數值積分方法，則引用二步驟顯示法。此種模式爲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爲二維之計算但仍保有三維問題之特性。使用有限元素法,可更容意處理不規則邊界問題。在模擬海洋現場之數值模式運作時,大區域之網格自動分割及結點最佳編號,也是一個甚爲重要的過程。

7. 三維傳輸擴散數值模式—Model AD31 ,主要引用有限差分法數值模式,解析三維擴散方程式。因在實際應用因不規則海岸線、外海假想邊界及海底地形常使數值計算產生許多不便,爲簡化數值計算,此處取用彈性座標系統,將海岸線、外海邊界及海底轉換成二平行直線及平面海底。

8. 未來改善港池污染另外之方法則是提昇港池水體自淨能力，以利用自然或人爲方法，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。如何引用以上之數值模式,以探討利用潮流、風吹流及波引起之沿岸流等海水流動之能力，盡可能改善港池水灣之污染，爲研究之重點。

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-Dinensional partical 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. "Modeleing 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 PP (Pre- and Post-processing) User Gide and Referencemanual " ,1997.

6. Danish Hydraulic Institute, " MIKE 21 HD (Hydrodynamic) Module User Gide and Referencemanual " ,1997.

7. Danish Hydraulic Institute, " MIKE 21 AD (Advection-Dispersion) Module User Gide and Referencemanual " ,1997.

8. Danish Hydraulic Institute, " MIKE 21 WQ (Water Quality) Module User Gide and Referencemanual " ,1997.

9. 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.

10. 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).

11. 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).

12. 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).

13. Leendertse, J.J. and Liu, S-K. ," A Three-Dinensional Model for OWRT," Rand, Santa Monica, CA., USA ,(1977).

14. 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).

15. 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).

16. 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).

17. 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.

18. 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).

19. 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)。

20. 劉肖孔，"中國海域三度空間數值模式"，行政院科技顧問組，(1988)。

21. 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)。

22. 蕭政宗、蔡長泰，”感潮河川颱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)。

23. 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)。

高雄港港池污染模式之研究

編輯者：蘇青和、曾哲茂
發行人：張金機
發行所：台灣省政府交通處港灣技術研究所
台中縣梧棲鎮臨海路 83 號
電　話:：(04)6564216

中華民國 87 年出版，印製 50 本，非賣品