

委 託 機 關：中國石油股份有限公司

計 畫 名 稱：台中港口流況調查研究

金 額：新台幣壹佰壹拾萬元

時 間：自中華民國七十年九月起至
七十一年十二月三十一日止

計 畫 主 持 人：所長 梁 乃 匡

協 同 主 持 人：研究員兼海岸工程組組長 張 金 機

顧 問：國立海洋學院海洋學系主任 李 賢 文

國立海洋學院河海工程研究所所長 林 銘 崇

國立台灣大學海洋研究所 副教授 陳 慶 生

助 理 研 究 員：何 良 勝

助 理：曾相茂、林柏青、王克尹、陳錫奎

技 工：梅海潮、蔡金吉、陳正義、張富東、楊怡芸

邱御墩、胡泰龍、張阿平、曾文傑、林振田

繪 圖：楊怡芸

目 錄

一、前言	梁乃匡	1
二、現場實測	梁乃匡、曾相茂	2
1. 測量經過		2
2. 資料處理		3
3. 資料分析		13
4. 結論		15
三、由波浪引起的近岸流數值模式	林銘崇、蔡禮滔	16
四、風驅流及潮流數值模式	李賢文、鍾致遠	33
五、討 論	梁乃匡、張金機、曾相茂	57
六、綜合結論	梁乃匡、張金機、曾相茂	58
七、誌 謝		59
八、附 錄	陳慶生、曾相茂	61
附錄 1 海象資料圖		61
附錄 2 海象流向流速統計圖		75
附錄 3 海流向量行徑圖		83
附錄 4 海流能譜圖		91
附錄 5 海流之互相關函數圖		99

台中港口流況調查研究報告

一、前言

中國石油公司爲徹底了解中華顧問工程公司所擬台中港外港興建LNG進口站佈置，將現有北防波堤延伸及南防波堤南移，並加以修正後在冬季季風盛吹時，港口流速分佈情形，委託本所辦理目前港口外流況及有關氣象、海象觀測及分析和建立數值模式。本研究工作首先著手辦理現場流況調查以了解台中港港口附近流況受風浪、海流及潮汐等之影響，再利用現場所得資料決定數值模式的邊界條件及校核數值模型的正確性，使現場流況在模型上重現，進一步推算修改後港口流況。現場資料同時也提供成大水利及海洋工程研究所模型試驗之用值。

綜合實測、數值模式及水工模型試驗的結果作出結論，提供中油公司參考。

二、現場實測

1. 測量經過

本委託研究計畫分爲現場資料觀測分析與數值模式兩部份，首先著手辦理現場流況調查，分爲冬季與夏季兩個階段，其工作內容與方法概述如下：

(一)第一階段觀測期間自民國70年11月5日至70年12月9日止，觀測冬季期間港口附近流況，辦理兩次。按照計畫在台中港港口附近選擇四個測站（如圖一）作流況調查，因釋放儀不足，最多同時只維持兩站海流測站，波浪則爲連續記錄。其中11月5日～13日爲B、D站，11月14日～16日爲B站，11月20日～12月4日爲B、C站，12月5日～12月9日爲B站。在此期間有數次強勁東北季風出現。

1. A站：水深22公尺，安裝波浪儀（WAVERIDER 6000 FL）一具（如圖二）。

2. B站：水深25公尺，安裝自記式流速儀（RECORDER CURRENT METER 4 4885）底部連接一具音響釋放儀（RELEASE - G）及水泥重錘（如圖三）。

3. C站：水深27公尺，安裝自記式流速儀（RECORDER CURRENT METER 4 4969）底部連接一具音響釋放儀（RELEASE-H）及水泥重錘。

4. D站：水深7公尺，安裝自記式流速儀（RECORDER CURRENT METER 4 4972）。

(二)第二階段觀測期間自民國71年4月28日至71年5月18日止，觀測夏季期間（即無東北季風時期）港口附近流況辦理一次連續三星期，除A站移至B站同點測波浪與流況外，其餘B、C、D三站與第一階段觀測站同。

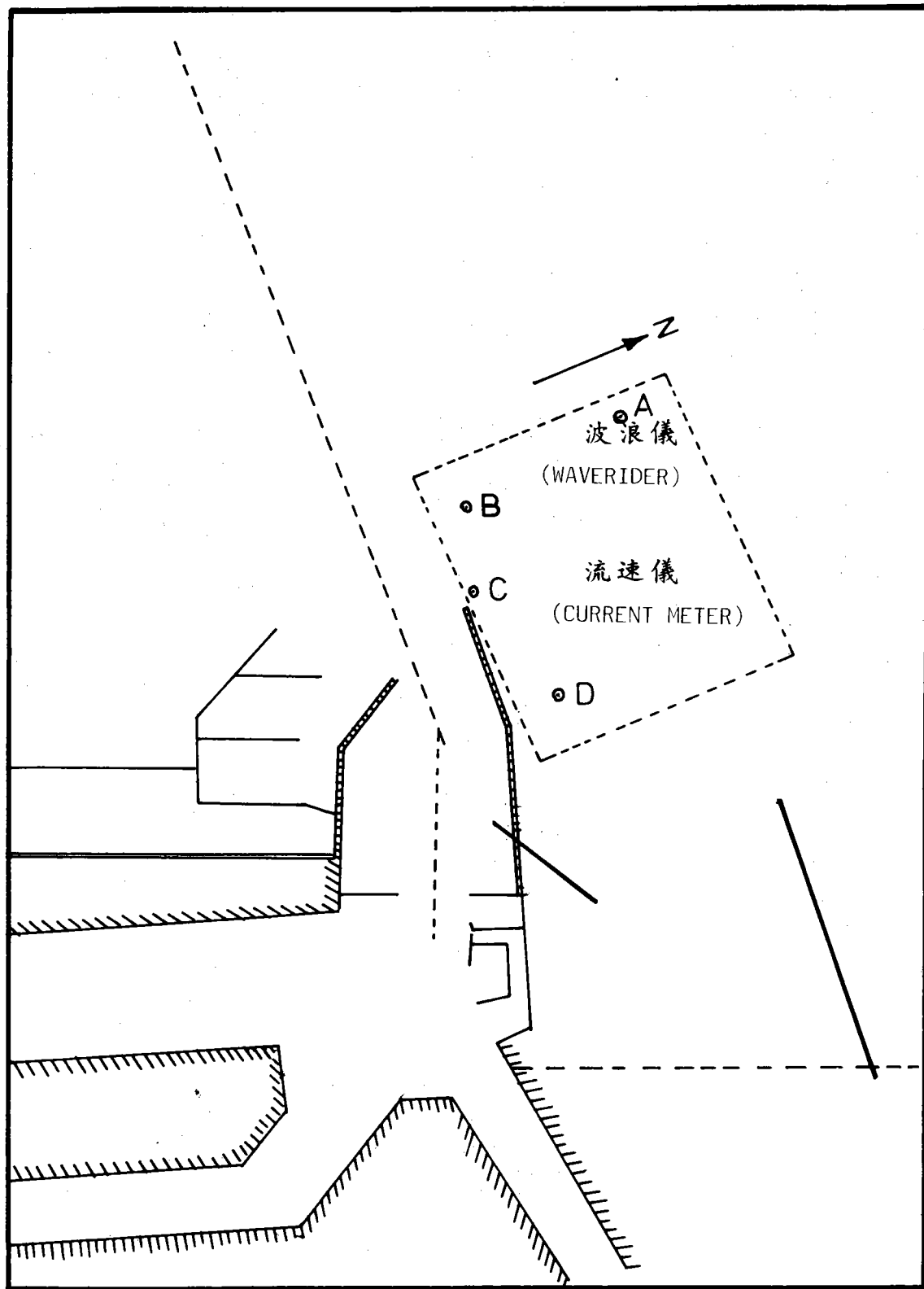
爲了推算該地點的流況，除了現場流況波浪調查外，並於台中港內

南堤測潮位及北防沙堤附近測出風速資料，台中港務局提供最近的台中港沿岸水深地形圖，分別求出海流與潮汐、風、地形等之關係。

第二階段觀測 A 站波浪儀之接收器故障無法收到訊號，幸好此時並無明顯波浪。D 站流速儀之旋轉器下水後當晚即被漁網纏繞不動以致都無法取得正常記錄資料。

2. 資料處理

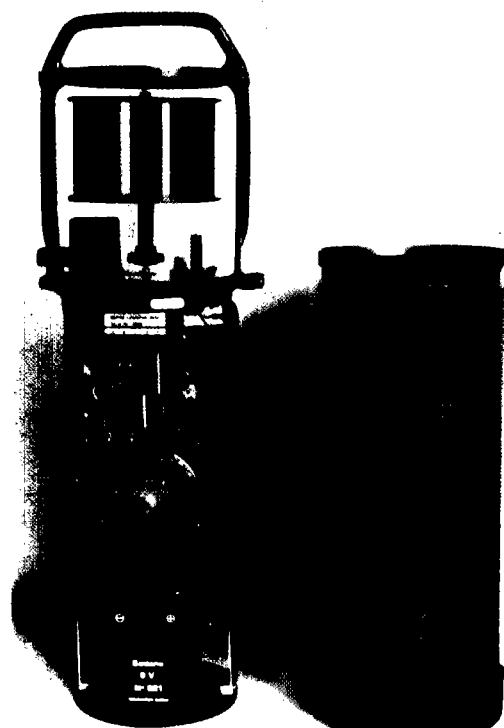
測流所收回的資料，因本所電腦之周邊裝置尚未建立完整，其初步分析須送至台大海洋研究所處理（如圖四）將實測每小時的波高、波週期、海流流速、流向、風速、風向及潮位點繪於圖上（如附錄一所示）。



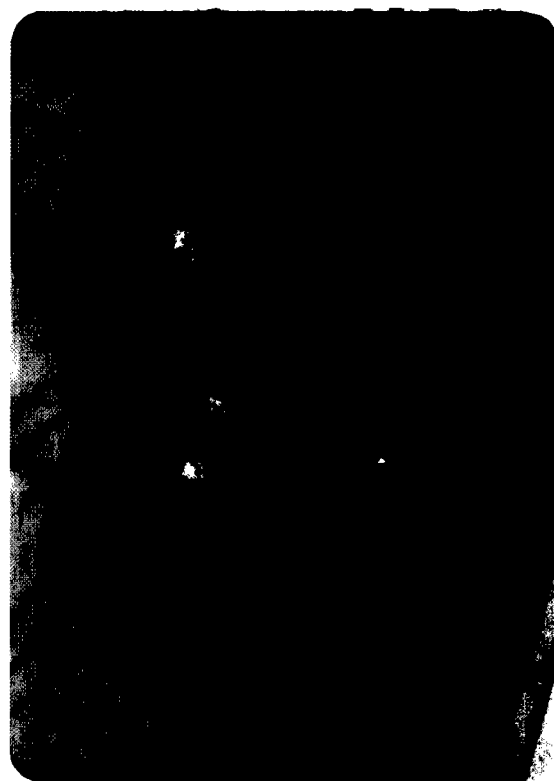
圖一 台中港港口附近測站位置圖



(a) 流速儀安裝方式



(b) RCM4 自記式流速儀



(c) 釋放儀與流速儀連接方式



(d) WAYERIDER 波浪儀

照片--

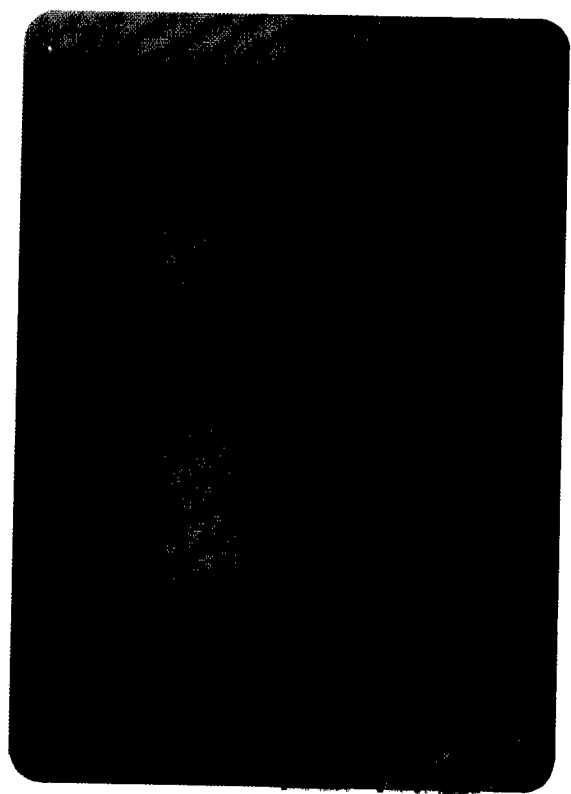
(a) 安裝儀器在拖船上已完成準備

照片二

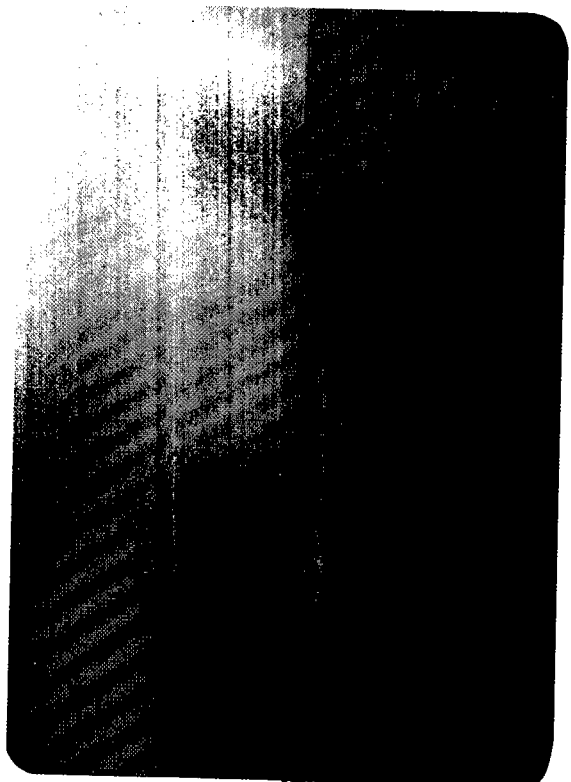
(b) 工作人員在拖船上作準備工作

(c) 波浪儀下水中

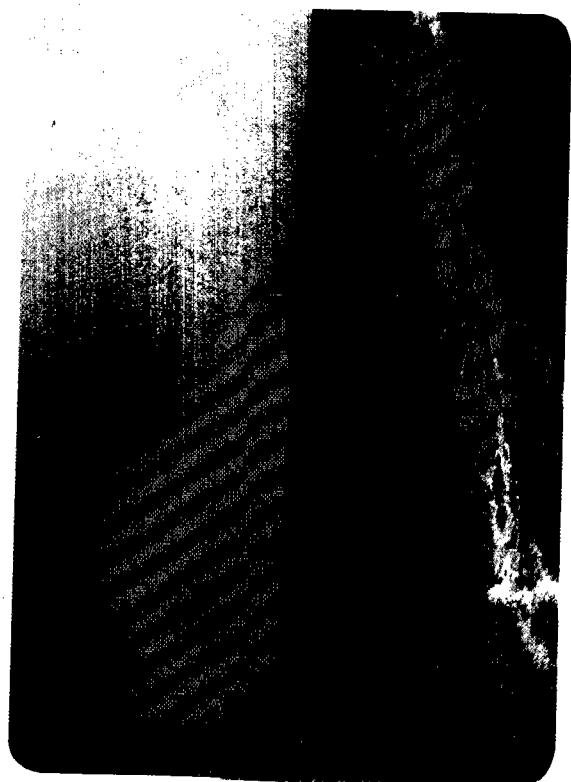
(d) 波浪儀已安裝完畢



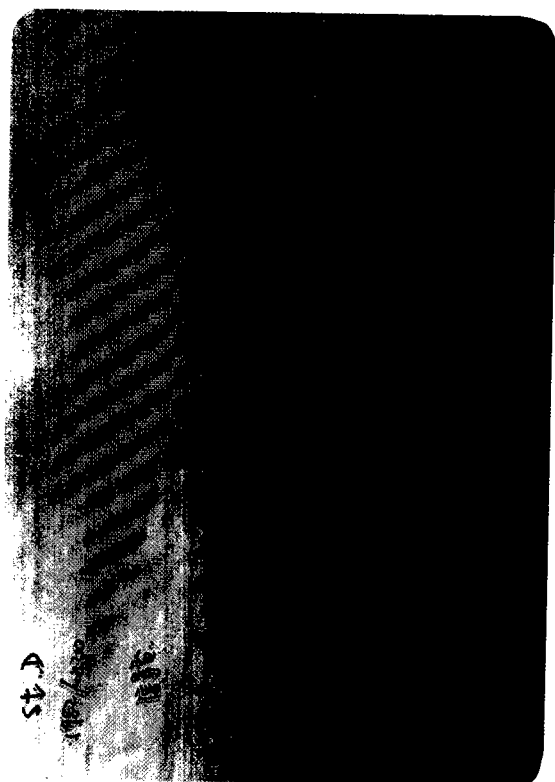
(a) 測 站 A



(b) 測 站 B

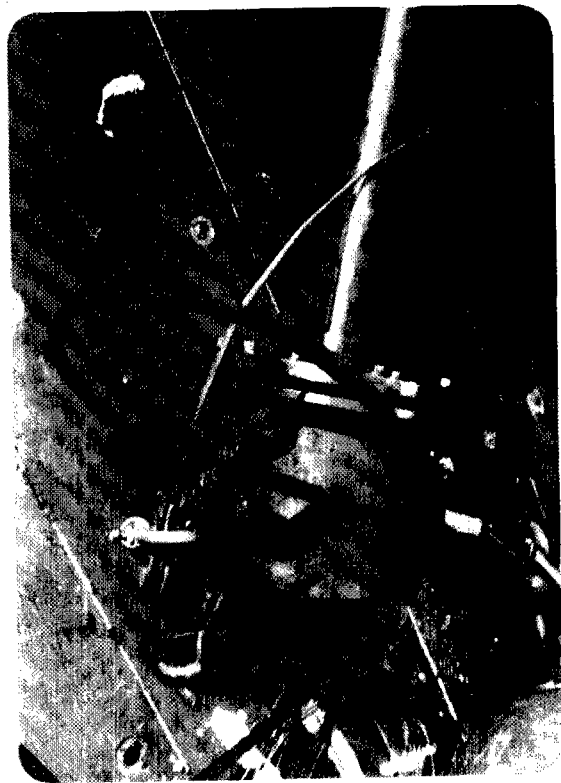


(c) 測 站 C

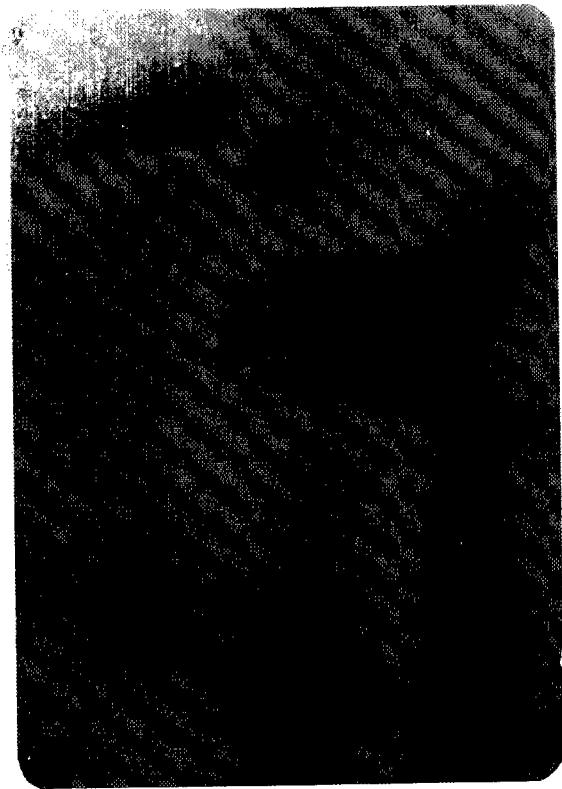


(d) 測 站 D

照片三



(a) 警示浮燈 10 mm 網索被外力拉斷狀況



(b) 儀器於海中生物附著情況

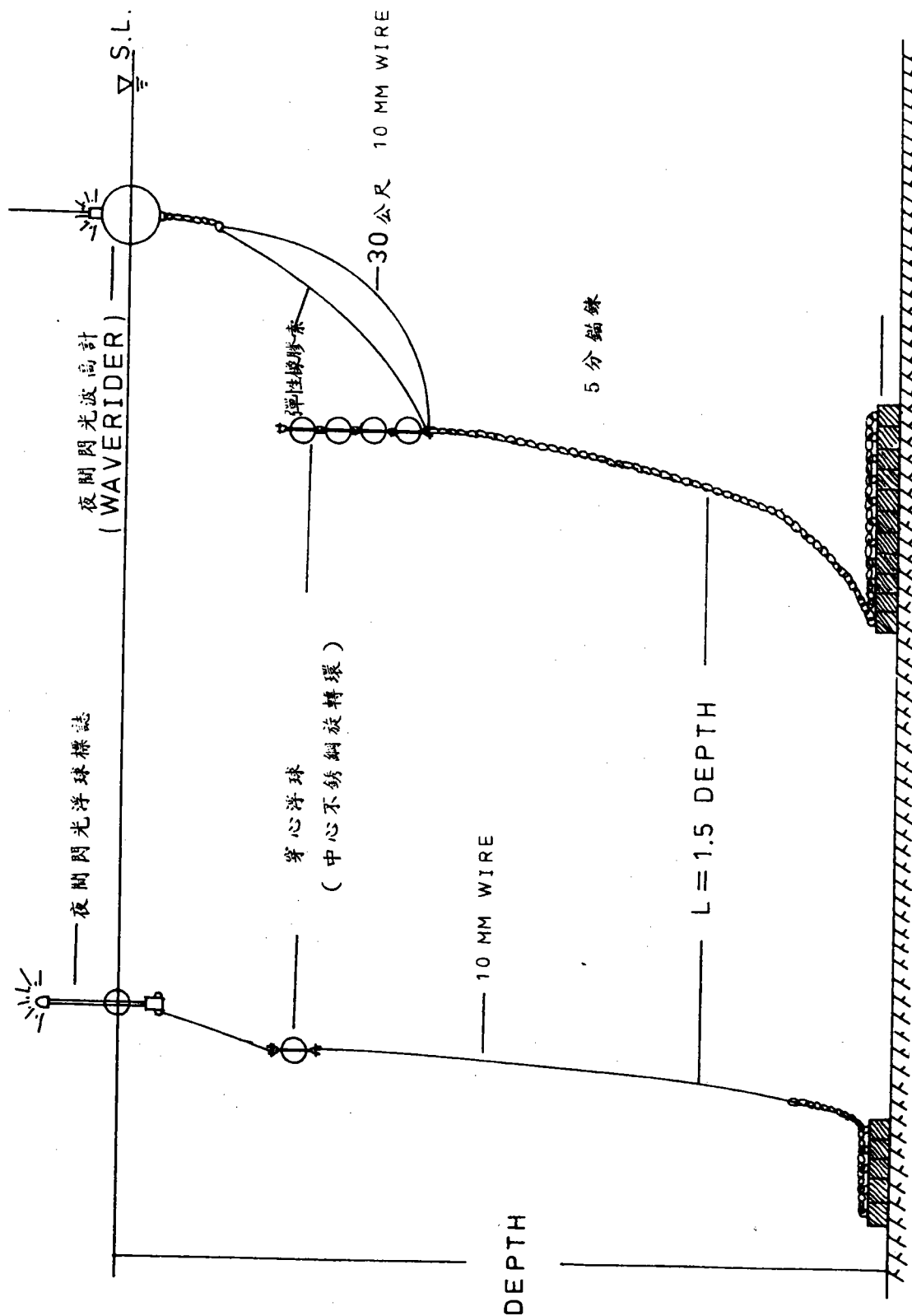
照片四



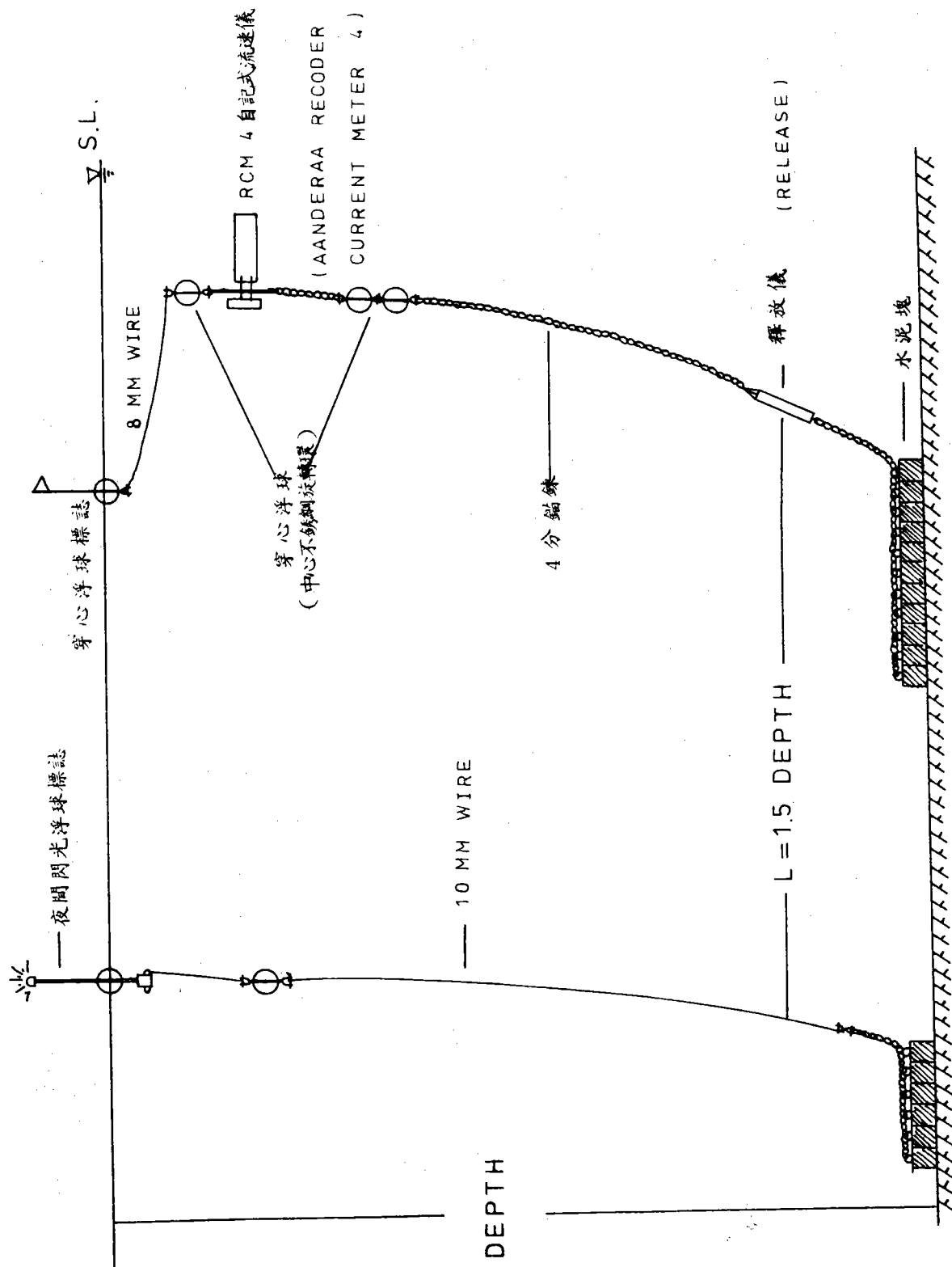
(c) 漁網纏繞儀器影響記錄



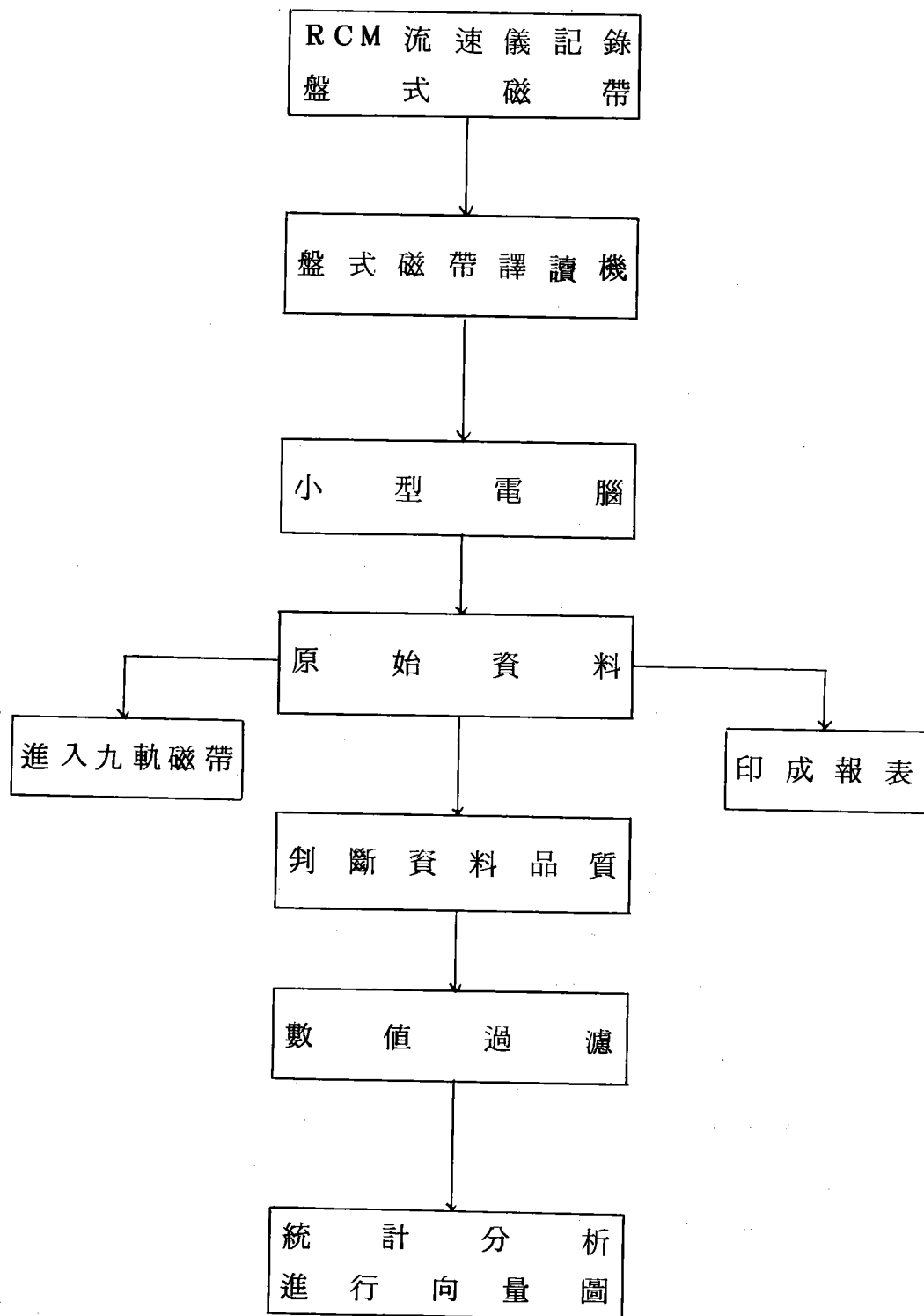
(d) 儀器配件被漁船撞損情形



圖二 波高計安裝圖



圖三 流速儀安裝圖



圖四 資料處理流程圖

3. 資料分析

由附錄一海象資料圖可看出以下的特性：

3.1 海流特性

3.1.1 海流流向：本地區一般風速並不很大，但如冬天有強大的冷鋒通過，則出現相當大的風速，同時引發頗強的風飄流，B站受風與潮流的影響，C站則受地形、波浪及風的影響，各測站之流向因位置的不同而異，概述如下：

3.1.1.1 B站：此站受東北季風影響，大部份以風飄流為主，流向 $220^{\circ} \sim 240^{\circ}$ 。做一致運動，如無冷鋒通過風速很小時則流向為 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 與 $270^{\circ} \sim 290^{\circ}$ ，但主要流向為 $270^{\circ} \sim 290^{\circ}$ 方向，只在落潮轉流一小段時間流向 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 方向運動，尤其在大潮時才有此現象。夏季B站除5月10日18時至5月13日5時止受微弱東北季風影響流向 $240^{\circ} \sim 300^{\circ}$ 方向，否則流向一律向 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 方向運動。

3.1.1.2 C站：冬季冷鋒通過受東北季風影響流向一律 $240^{\circ} \sim 260^{\circ}$ 運動，因受裂流影響較B站偏西，否則流向做 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 及 $240^{\circ} \sim 260^{\circ}$ 週期運動但主要為流向 $240^{\circ} \sim 260^{\circ}$ 。

3.1.1.3 D站：冬季冷鋒通過受東北季風影響流向往 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 及 $260^{\circ} \sim 270^{\circ}$ 。在風速微弱時在漲潮時向東北，落潮時向西，即沿防波堤的方向。

3.1.2 海流流速：

3.1.2.1 B站：冬季冷鋒通過東北季風漸增大，流速延遲2~3小時而漸增大，1981年11月7日20時最大流速為 $146.35\text{cm}/\text{sec}$ 。無風飄流時主要受潮流影響，隨半日潮週期而變，速率在 $10 - 60\text{cm}/\text{s}$ 之間，在高潮位時流速最小，漲潮段平均水位附近流速最大。

3.1.2.2 C站：在風小時與B站雷同，但在東北季風加強時，流速

作半日潮週期性振盪，最高潮位時流速最小，低潮位稍後流速為最大，而最小流速時與 B 站同，此點證明 C 站受因波浪而生的裂流所影響，在高潮位時碎波帶離岸較近，故裂流不能到達 C 站，最大流速時 C 站比 B 站流速可大到 80 cm/sec 。1981 年 11 月 27 日 8 時最大流速為 211.95 cm/sec 。

夏季流速隨潮汐週期而運動與 B 站同。

3.1.2.3 D 站：如同 C 站，一般有如半日週期性振盪但稍複雜，在高潮位時，流向北流速變小，在 20 cm/s 以內，表示在高潮位時裂流無法到達 D 站，或裂流不經過該站。最大流速約 125 cm/sec ，發生在最低潮位稍後。1981 年 11 月 27 日 14 時最大流速為 126.77 cm/sec 。

3.2. 波浪特性

本地區波浪主要由冬季東北季風造成，由於海峽吹風域受到限制，所以波浪之成長與衰退迅速，因此風速與波浪有良好的相關。大致上，風速在 5 m/s 左右時 $H^{1/3}$ 在 1 公尺以下， $T^{1/3}$ 在 4 ~ 5 秒，風速在 12 m/s 左右時， $H^{1/3}$ 在 1 ~ 2 公尺， $T^{1/3}$ 在 6 ~ 7 秒，風速在 20 m/s 左右時， $H^{1/3}$ 在 3 ~ 4 公尺， $T^{1/3}$ 在 7 ~ 8 秒之間，波向在 15° 左右。

附錄二是海流流向流速統計圖，吾人可看出冬季 B 站流向主要為西南，C 站為西南西，D 站為西，夏季 B 站則為東北，C 站為北北東。流速則 B 站出現尖峯為 40 cm/s 與 100 cm/s ，C 站為 40 cm/s ，但有較寬的區域，表示 C 站流速頗大，D 站尖峯亦在 40 cm/s 。

附錄三為海流向量行徑圖，吾人可看出，冬季時向量行徑向西南，夏季向東北。

附錄四為海流能譜圖，冬季時除半日與全日潮頻率的能譜外低頻率部份能量很高，表示此部份由風飄流構成，夏季半日潮流的能

量大於全日潮流部份。

附錄五爲B站與C站海流及潮位與該兩站海流的相關係數，可看出兩站海流相關很大，最大相關在1~2小時延遲時發生；海流與潮位的相關不高。

4. 結 論

- (1)由實測資料顯示，C站受風飄流、潮流與波浪之三重影響，B站主要受風飄流與潮流的影響，D站受潮流及沿岸流的影響較大，本地區潮汐以半日潮爲主。
- (2)在無風情況下，僅潮流存在，但本地點的潮流在B、C站無論漲潮落潮均向北，僅有流速大小的變化，最小流速約 $10\text{cm}/\text{sec}$ 發生在最高潮位時，最大流速約 $50\text{cm}/\text{sec}$ 左右發生在漲潮段的平均水位附近。
- (3)冷鋒過境東北季風較強時B站流向一律向西南，假定冬季潮流如(2)所述的情形，則求出風飄流與風速的平均比值爲0.06°。
- (4)D站在強勁東北季風吹拂下主要成份爲沿岸流（裂流）及潮流，最大流速約爲 $120\text{cm}/\text{sec}$ ，發生在漲潮段之平均水位附近，扣除此時之潮流 $20\text{cm}/\text{sec}$ 得裂流流速爲 $100\text{cm}/\text{sec}$ ，再看圖四，在強勁風速吹拂下，C站流速大於B站者約 $80\text{cm}/\text{sec}$ ，此部份流速應爲裂流，（由此兩站可知裂流流速到C站已漸減弱。）。)
- (5)估計在40節的冬季季節風吹拂下，B站流速約爲3節左右，（ $154\text{cm}/\text{sec}$ ），流向爲西南，C站（北堤頭）流速4.5節（ $231.5\text{cm}/\text{sec}$ ），流向西南西。但C站在高潮位時亦約爲3節。
- (6)冬季有波浪時C站流速在高潮位時最小。

三、由波浪引起的近岸流數值模式

1. 緒 言

林 銘 崇
蔡 禮 滔

開敞性海岸之近岸流系統，包括由波浪作用所造成的質量傳遞，沿岸流及離岸流。此近岸流系統成一循環流型態，型態之形狀隨波浪入射方向之不同而不同。若在海岸構築防波堤，則在防波堤之影響下，此近岸流型態將變得更為複雜。

近岸流流況之性質受潮汐、波浪、風及地形等之相互作用的影響，爲了計算上的方便，本文只考慮，從外海有一由風所造成的湧浪，與海岸成某一角度向岸邊行進，由於地形變化及防波堤存在之影響，波浪會發生淺化、折射及繞射諸現象。隨著波浪由深水區往淺水區前進，其波形尖銳度隨之增加，尖銳度增大至某一臨界值，波浪發生碎波遂產生一防波堤附近之近岸流系統。

爲了探討防波堤在不同的佈置下，其近岸流流況之變化，將以有限元素法數值計算三種不同防波堤佈置下之近岸流流況。如圖 3-1，佈置(A)爲台中港防波堤之現狀佈置；佈置(B)爲將防波堤現狀佈置之北防波堤沿航道方向直綫延長 600 公尺，南防波堤拆除約 100 公尺；佈置(C)爲將防波堤現狀佈置之北防波堤沿堤綫方向延長 600 公尺，南防波堤改變佈置如圖中所示。

2. 基本理論

2-1 基本方程式

在波浪及近岸流同時存在之流場，以 X，Y 爲水平面的兩個軸，Z 爲與水平面垂直向上的縱軸，描述近岸流之基本方程式爲：

(Horikawa, 1978)

$$\begin{cases} U_{\beta} U_{\alpha, \beta} = \frac{1}{\rho D} T_{\alpha} + \frac{1}{\rho D} R_{\alpha} - \frac{1}{\rho D} S_{\alpha \beta, \beta} \dots\dots\dots (1-1) \\ (DU_{\alpha}),_{\alpha} = 0 \dots\dots\dots (1-2) \end{cases}$$

式中 $\alpha, \beta = 1, 2$

$$\left\{ \begin{array}{l} D = h + \bar{\eta}, \text{ 爲水深與平均水位之和。} \\ T_{\alpha} \text{ 爲水面坡降所造成之單位面積水平力。} \\ T_{\alpha} = -\rho g (h + \bar{\eta}) \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial X_{\alpha}} \dots\dots\dots (2) \\ R_{\alpha} \text{ 爲摩擦力, } R_{\alpha} = \int_h^{\eta} \frac{\partial \tau^{\beta \alpha}}{\partial X_{\beta}} dZ + \bar{\tau}_{\eta \alpha} - \bar{\tau}_{h \alpha} \dots\dots\dots (3) \\ S_{\alpha \beta} \text{ 爲輻射應力} \\ S_{\alpha \beta} = \begin{pmatrix} S_{xx} & S_{xy} \\ S_{yx} & S_{yy} \end{pmatrix} = E \begin{pmatrix} \frac{C_g}{C} \cos 2\theta + \frac{1}{2} \left(2 \frac{C_g}{C} - 1 \right) & \frac{1}{2} \frac{C_g}{C} \sin 2\theta \\ \frac{1}{2} \frac{C_g}{C} \sin 2\theta & \frac{C_g}{C} \sin 2\theta + \frac{1}{2} \left(2 \frac{C_g}{C} - 1 \right) \end{pmatrix} \dots\dots\dots (4) \\ \bar{E} = \frac{1}{8} \rho g H^2 \dots\dots\dots (5) \end{array} \right.$$

忽略水平紊亂擴散項及水表面之平均剪應力，則(3)式可寫成

$$R_{\alpha} = -\bar{\tau}_{h \alpha} = -\frac{2}{\pi} \rho C_f U_{max} U_{\alpha} \dots\dots\dots (6)$$

C_f 爲摩擦係數， U_{max} 爲因波浪作用在海底處之粒子軌跡速度的振幅，依據微小振幅波理論

$$U_{max} = \frac{\pi H}{T} \frac{1}{\sinh \left(\frac{2\pi h}{L} \right)} \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{令 } C_r = \frac{2}{\pi} C_f U_{max}$$

$$\text{則 } R_{\alpha} = -\rho C_r U_{\alpha} \dots\dots\dots (8)$$

故(1)式可改寫爲

$$\left\{ \begin{array}{l} g \bar{\eta}, \alpha + \frac{C_r}{D} U_{\alpha} + \frac{1}{\rho D} S_{\alpha \beta}, \beta = 0 \dots\dots\dots (9-1) \\ (DU_{\alpha}), \alpha = 0 \dots\dots\dots (9-2) \end{array} \right.$$

(9)式爲本模式近岸流流場之控制方程式。

2-2 有限元素方程式

本模式採用權重殘餘有限元素法為數值解析之方法。

將欲解析之區域，分割成有限個元素。在每一元素中，將變數 U_α 取權重函數 U_α^* ，則 (9-1) 可寫成積分型式如下：

$$\int_{\Omega} U_\alpha^* \left[\rho g \bar{\eta}_{,\alpha} + \rho \frac{C_r}{D} U_\alpha + \frac{1}{D} S_{\alpha\beta,\beta} \right] d\Omega = 0 \dots \dots \dots (10)$$

定義

$$\begin{cases} U_\alpha = \frac{1}{D} \epsilon_{\beta\alpha} \psi_{,\beta} \\ U_\alpha^* = \epsilon_{r\alpha} \psi^*_{,r} \end{cases} \dots \dots \dots (11)$$

$$\epsilon_{\beta\alpha} = \begin{cases} 1, \alpha=2, \beta=1 \\ -1, \alpha=1, \beta=2 \\ 0, \alpha=\psi \quad \alpha=\beta \end{cases}$$

(11) 式已自動滿足連續方程式 (9-2)，將 (11) 式代入 (10) 式得

$$\rho g \int_{\Omega} \epsilon_{r\alpha} \psi^*_{,r} \bar{\eta}_{,\alpha} d\Omega + \frac{\rho}{D^2} \int_{\Omega} C_r \epsilon_{r\alpha} \psi^*_{,r} \epsilon_{\beta\alpha} \psi_{,\beta} d\Omega + \frac{1}{D} \int_{\Omega} \epsilon_{r\alpha} \psi^*_{,r} S_{\alpha\beta,\beta} d\Omega = 0 \dots \dots \dots (12)$$

若取三角形元素，將 ψ 及 ψ^* 分別以插值函數 ϕ 線性組合如下：

$$\begin{cases} \psi = \phi_N \varphi_N \\ \psi^* = \phi_N \varphi_N^* \end{cases} \quad N = 1, 3 \dots \dots \dots (13)$$

插值函數 ϕ_N 可表示為

$$\phi_N = a_N + b_N x + c_N y \quad N = 1, 3 \dots \dots \dots (14)$$

其中

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \frac{1}{|A_r|} (x_2 y_3 - x_3 y_2), b_1 = \frac{1}{|A_r|} (y_2 - y_3), c_1 = \frac{1}{|A_r|} (x_3 - x_2) \\ a_2 &= \frac{1}{|A_r|} (x_3 y_1 - x_1 y_3), b_2 = \frac{1}{|A_r|} (y_3 - y_1), c_2 = \frac{1}{|A_r|} (x_1 - x_3) \\ a_3 &= \frac{1}{|A_r|} (x_1 y_2 - x_2 y_1), b_3 = \frac{1}{|A_r|} (y_1 - y_2), c_3 = \frac{1}{|A_r|} (x_2 - x_1) \end{aligned} \right\} (15)$$

$$A_r = \begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (16)$$

φ_N 為三角形元素節點上的值

φ_N^* 代表插值函數在節點上的值，一般取 $\varphi_N^* = 1$

(13)式代入(12)式得

$$\left[\frac{\rho C_r}{D^2} \int_{\Omega} \epsilon_{r\alpha} \epsilon_{\beta\alpha} \phi_{N,r} \phi_{M,\beta} d\Omega \right] \varphi_M = -\rho g \int_{\Omega} \epsilon_{r\alpha} \phi_{N,r} \phi_{R,\alpha} d\Omega (\bar{\eta})_R - \frac{1}{D} \int_{\Omega} \epsilon_{r\alpha} \phi_{N,r} \phi_{R,\beta} d\Omega (S\alpha\beta)_R \dots\dots\dots (17)$$

或

$$A_{NM}^{(e)} \varphi_M = B_N^{(e)} \dots\dots\dots (18)$$

全部元素之 $A_{NM}^{(e)}$ 及 $B_N^{(e)}$ 求得後，以下式

$$\begin{cases} A_{ij} = \triangle_{Ni}^{(e)} \triangle_{Mj}^{(e)} A_{NM}^{(e)} \\ B_i = \triangle_{Ni}^{(e)} B_N^{(e)} \end{cases} \dots\dots\dots (19)$$

式中 $\triangle_{Ni}^{(e)}$ 稱為 Boolean Matrix，其性質為

$$\triangle_{Ni}^{(e)} = \begin{cases} 1, & \text{若元素之節點 } N \text{ 與大域系統箱點 } i \text{ 相重合。} \\ 0, & \text{其他。} \end{cases}$$

將所求得之元素局部聯立方程式組合成一個大域系統的聯立方程式，即

$$A_{ij} \varphi_j = B_i \dots\dots\dots (20)$$

(20)式配合適當的邊界條件解聯立方程式即可得每一節點的流函數，再根據(11)式之定義，可得每一節點之速度分量 U 及 V 。

2-3 防波堤附近的波浪現象

以有限元素法解析防波堤附近近岸流流場之前，必須先行推求每一節點的平均水位及波高之值。

由於水深變化及防波堤之存在，防波堤附近之波浪變形包括淺化、折射及繞射現象。

2-3-1 波浪的淺化及折射

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{c_0}{2nc}} \sqrt{\frac{b_0}{b}} = K_s K_r \quad \dots\dots\dots (21)$$

b_0 及 b 分別為外海及波高 H 處之兩條波向淺間的寬度， n 為群波速度與波速之比值。 K_s 及 K_r 分別定義為淺化係數及折射係數。

本文採用 A.H.Brdmpton (1979) 之三角網格折射法求得波向淺之行經路徑。

2-3-2 波浪的繞射

定義，繞射係數為繞射後波高與入射波高之比，即

$$K_d = \frac{H}{H_i} \quad \dots\dots\dots (22)$$

$$\text{則 } K_d = \sqrt{A^2 + B^2} \quad \dots\dots\dots (23)$$

A 及 B 之值隨區域之不同而不同 (Wiegel, 1964) :

① 在繞射區 ($0 < \theta < \theta_0$) (θ_0 表防波堤與入射波向之夾角，自防波堤反時針方向計)

$$\begin{aligned} A &= U_1 \cos R + U_2 \cos R' + W_1 \sin R + W_2 \sin R' \\ B &= W_1 \cos R + W_2 \cos R' - U_1 \sin R - U_2 \sin R' \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (24)$$

② 在反射區 ($2\pi - \theta_0 < \theta < 2\pi$)

$$\begin{aligned} A &= \cos R + \cos R' - U_1 \cos R - U_2 \cos R' - W_1 \sin R - W_2 \sin R' \\ B &= -\sin R - \sin R' - W_1 \cos R - W_2 \cos R' + U_1 \sin R + U_2 \sin R' \end{aligned} \quad (25)$$

③ 在入射區 ($\theta_0 < \theta < 2\pi - \theta_0$)

$$\begin{aligned} A &= \cos R - U_1 \cos R - W_1 \sin R + U_2 \cos R' + W_2 \sin R' \\ B &= -\sin R - W_1 \cos R + U_1 \sin R + W_2 \cos R' - W_2 \sin R' \end{aligned} \quad (26)$$

式中

$$\begin{cases} U_\alpha = \frac{1}{2} (1 - S(\sigma_\alpha) - C(\sigma_\alpha)) \\ W_\alpha = \frac{1}{2} (S(\sigma_\alpha) - C(\sigma_\alpha)) \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R = kr \cos(\theta - \theta_0) \\ R' = kr \cos(\theta + \theta_0) \\ \sigma_1 = 2 \sqrt{\frac{kr}{\pi}} \sin \frac{1}{2}(\theta - \theta_0) \\ \sigma_2 = -2 \sqrt{\frac{kr}{\pi}} \sin \frac{1}{2}(\theta + \theta_0) \end{array} \right. \dots\dots\dots (27)$$

$C(\sigma)$ 及 $S(\sigma)$ 分別為 Fresnel 餘弦及正弦積分。

2-3-3 波高及平均水位

任一點之波高 H 可表示為

$$H = K_s K_r K_d H_0 \dots\dots\dots (28)$$

為了求得任一點之平均水位，必先求得碎波線之位置。依據 Miche 等所提出之淺水波臨界尖銳度為

$$(H/L)_{\max} = 0.142 \tanh 2\pi h/L \dots\dots\dots (29)$$

在碎波帶內

$$H = \gamma(h + \bar{\eta}) \quad , \quad \gamma = 0.73 \dots\dots\dots (30)$$

$$\bar{\eta} = K(h_b - h) + \bar{\eta}_b \quad , \quad K = \frac{1}{1 + (8/(3\gamma^2))} \dots\dots\dots (31)$$

在淺化區

$$\bar{\eta} = -\frac{H^2}{8} \frac{k}{\sinh 2kh} \dots\dots\dots (32)$$

$\bar{\eta}_b$ 及 h_b 分別為碎波線上的平均水位及水深。

3. 計算步驟

本文之計算乃將波浪之推算及近岸流流場之解析分別處理，先以微小振幅波理論得波高及平均水位之分佈，再以有限元素法解得港口附近近岸流流況。

波浪之推算，首先應取得外海波高、週期及波向等波浪資料，並側得地形資料，將欲探討之地區建立一三角網格系統，以 A.H.

Brampton 折射模式求得波向線在網格上所行經之路徑，並計算各格點之波向線間寬度，以(21)式可得每一格點之淺化係數 K_s 及折射係數 K_r 。接著加入防波堤之資料，以半無限長防波堤繞射模式，計算每一格點之繞射係數 K_d 。則每一格點之波向 H 可以(28)式求得。以(29)式求得碎波線之位置。在淺化區平均水位之分佈由(32)式推得。在碎波帶之波高以(30)式分佈，而平均水位之分佈則由(31)式求得。

應用有限元素法解析港口附近近岸流況之前，先將研究區域分割為有限數目的三角形元素。讀取每一節點所在之座標，則由(15)及(16)式，可得每一元素的 a_N 、 b_N 及 c_N 的值，由(14)式知，每一元素之每一節點的插值函數為 x 、 y 的函數。

以已知每一節點上的波高及平均水位，由(4)、(5)式可得每一節點的輻射應力值，再選取一個適當的摩擦係數 C_f ，可利用(17)式分別計算每一元素上的係數矩陣 $A_{NM}^{(e)}$ 及向量矩陣 $B_N^{(e)}$ 。

全部元素之 $A_{NM}^{(e)}$ 及 $B_N^{(e)}$ 求得後，以(19)式組合成合一個大域系統的聯立方程式，如式(20)，即可配合適當邊界條件求得每一節點之流函數值，再推得速度分量之值。詳細步驟之流程圖見圖3-2。

以上第2節及第3節所述，其詳細內容請參閱林銘崇、蔡禮滔(1982)之研究報告。

4. 計算結果

計算三種不同防波堤佈置之近岸流流況時，選用之外海浪資料乃根據台中港工程局之“台中港海岸氣象及海象調查研究”報告中，出現頻率最高之波向、波高及週期分別為，北偏東 10° 、 $H_0=2.5\text{ m}$ 及 $T=6\text{ sec}$ 。台中港口附近之地形資料如圖3-3所示。圖中等高線乃以最低潮位為基準往下側得之值。平均潮位與最低潮位之潮差約為 1.79 m 。

依前節所述之計算步驟分別計算三種不同防波堤佈置之近岸流流況，其元素分割圖分別如圖3-4～圖3-6，選取 $C_f=0.09$ 時，結果則分別如圖3-7～圖3-9所示。

由圖中可看出，三種不同佈置的港口附近皆有一順時針方向的循環流出現，佈置(A)之循環流尺度較小，其位置亦較遠離港口。佈置(B)與佈置(C)之循環流尺度相差不多，但佈置(C)循環流之位置已進入港口內部。

佈置(A)北防波堤折角處的離岸流流速最大約為 20 cm/sec ，與實測值 80 cm/sec 相較顯得太小。其原因可能是計算時所選用的摩擦係數偏大以及所用的波浪資料非屬颱風時之最大波高所致。一般而言，摩擦係數的大小，雖不影響整個流場的流況趨勢，但定量上對於流速值却有相當敏感的影響。

參 考 文 獻：

- Brampton, A. H. (1977) : " A computer method for wave refraction", Hgdroulics Research Station, Wallingford, Report NO. IT 172.
- Horikawa, K. (1978): Coastal Engineering, An Introduction to Ocean Engineering, University of Tokyo Press.
- 林銘崇、蔡禮滔(1982) : " 防波堤附近近岸之數值模擬" , 國立台灣大學土木工程學研究所研究報告。
- 台中港工程局(1973) : 台中港海岸氣象及海象調查研究。
- Wiegel, R.L. (1964): Oceanographical Engineering, Prentice-Hall.

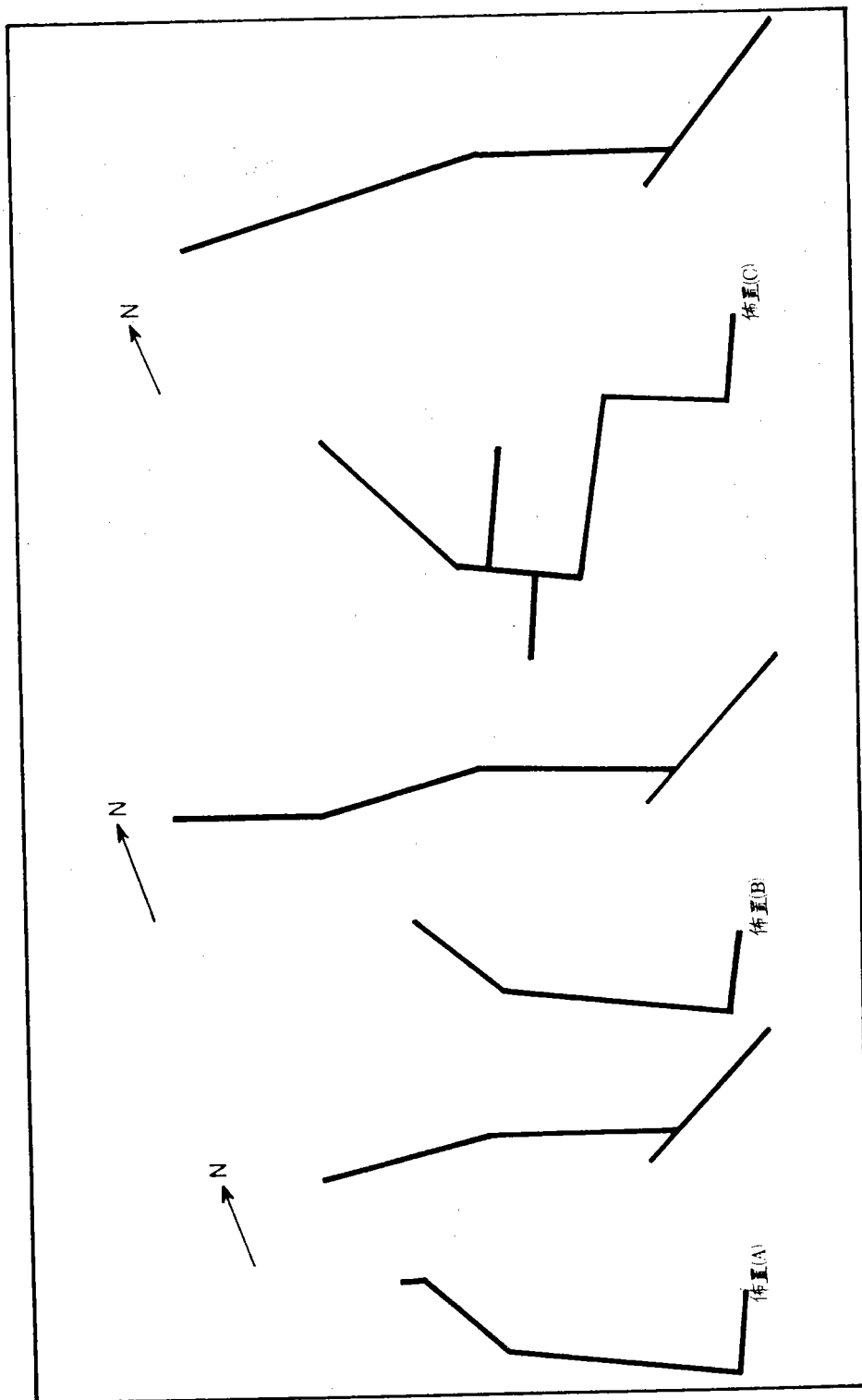


圖 3 - 1 三種不同防波堤佈置

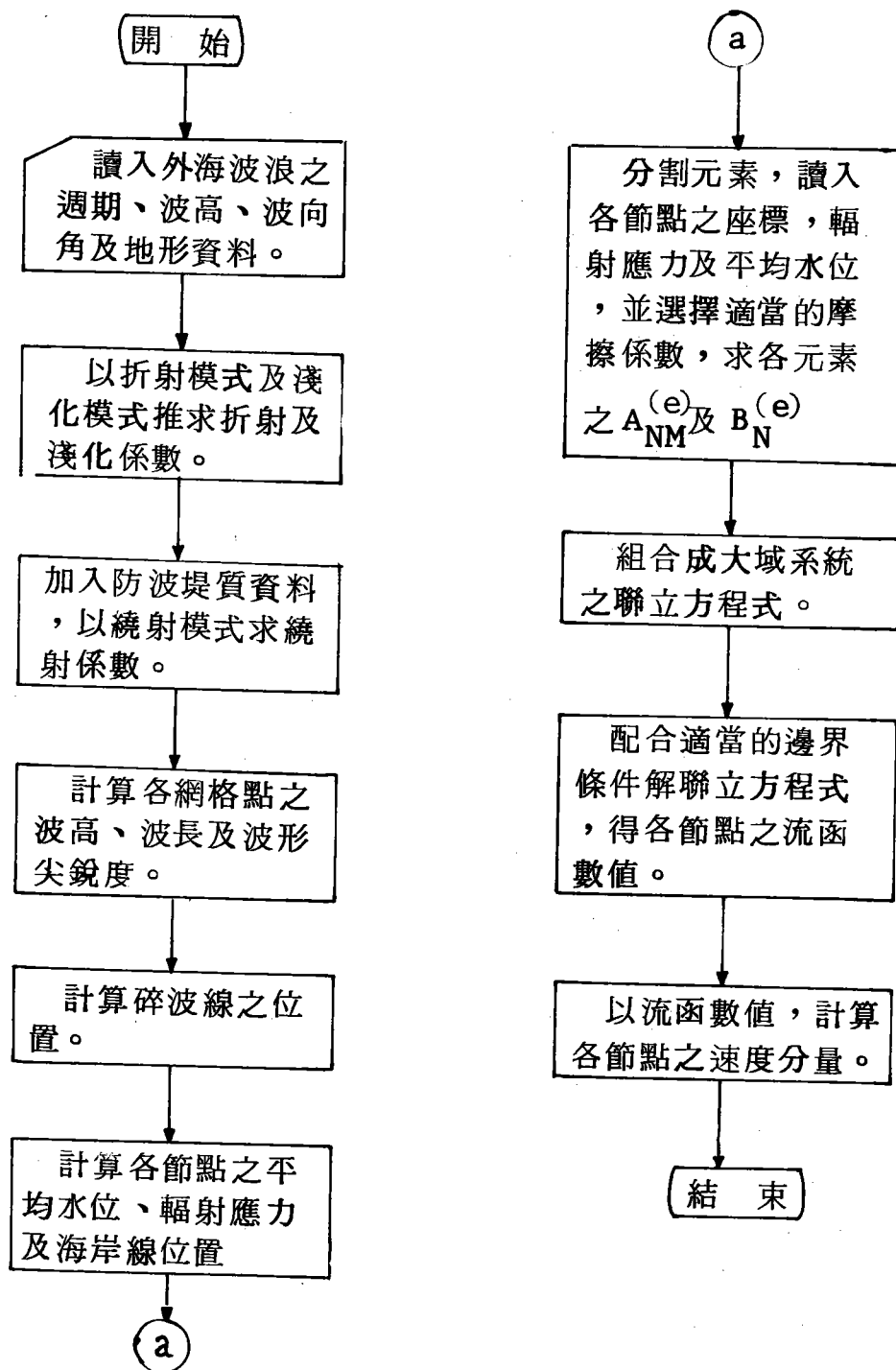


圖 3-2 本模式計算步驟之流程圖

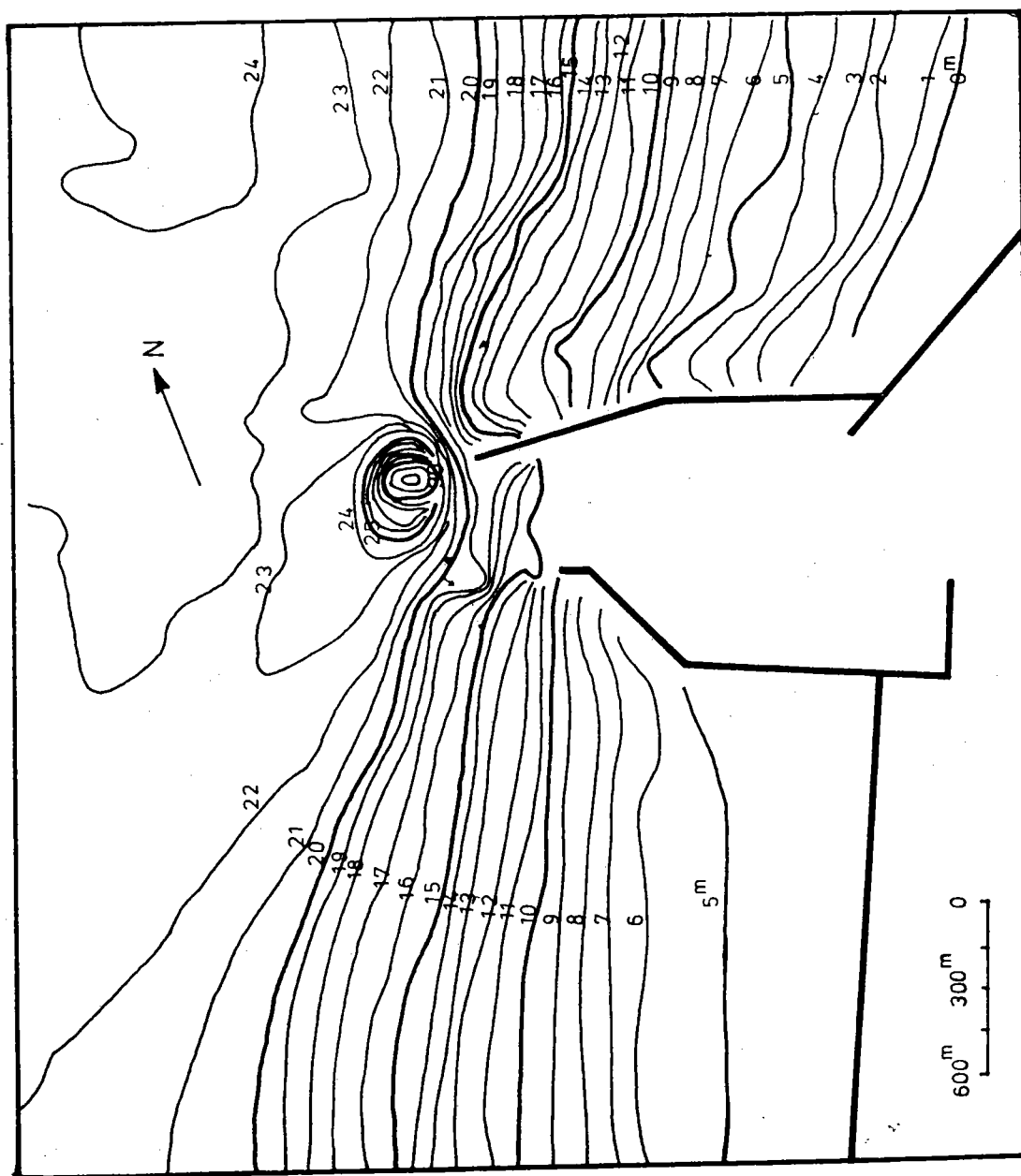


圖 3-3 台中港港口附近之地形圖

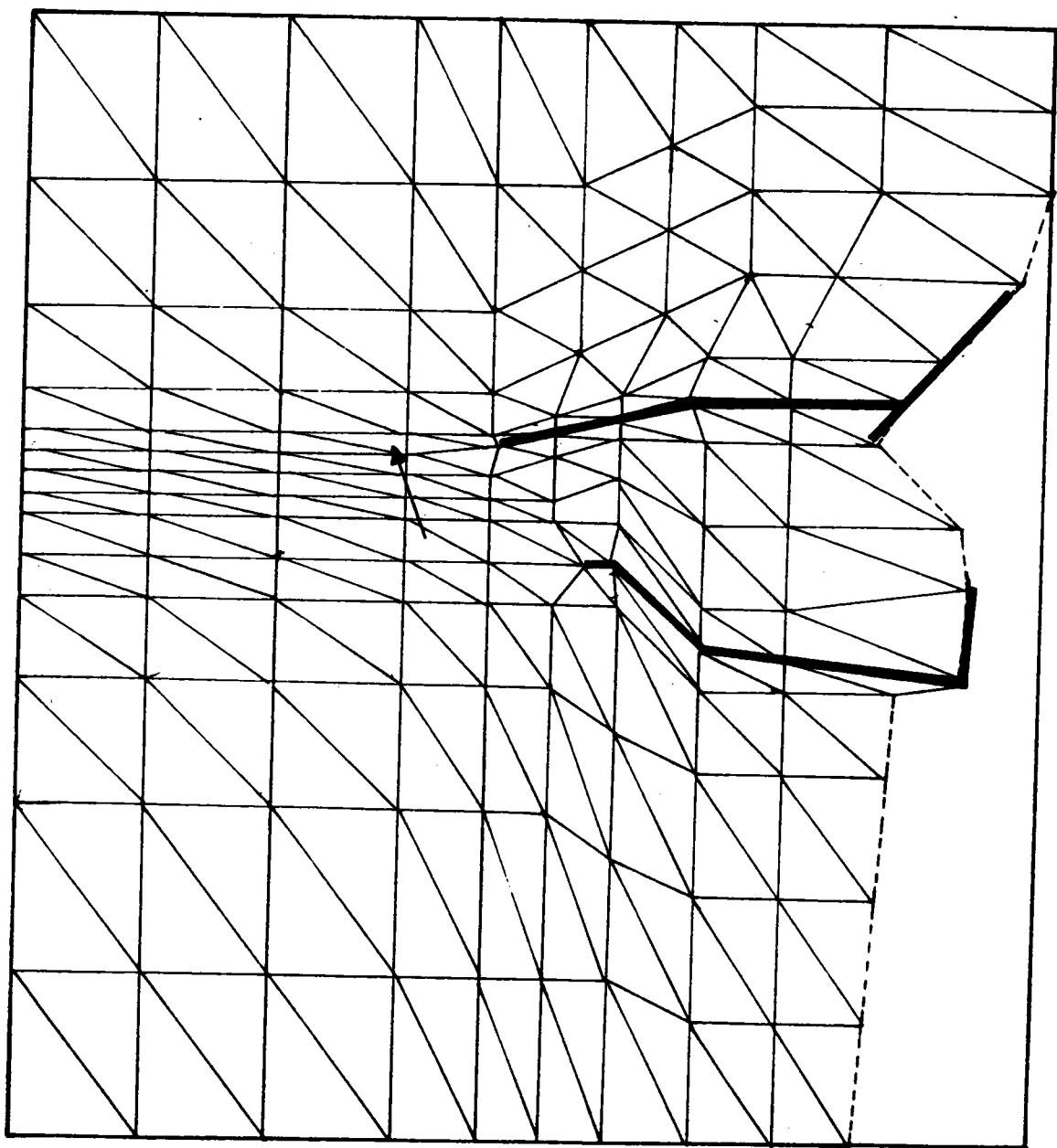


圖 3-4 (A)佈置元素分割圖

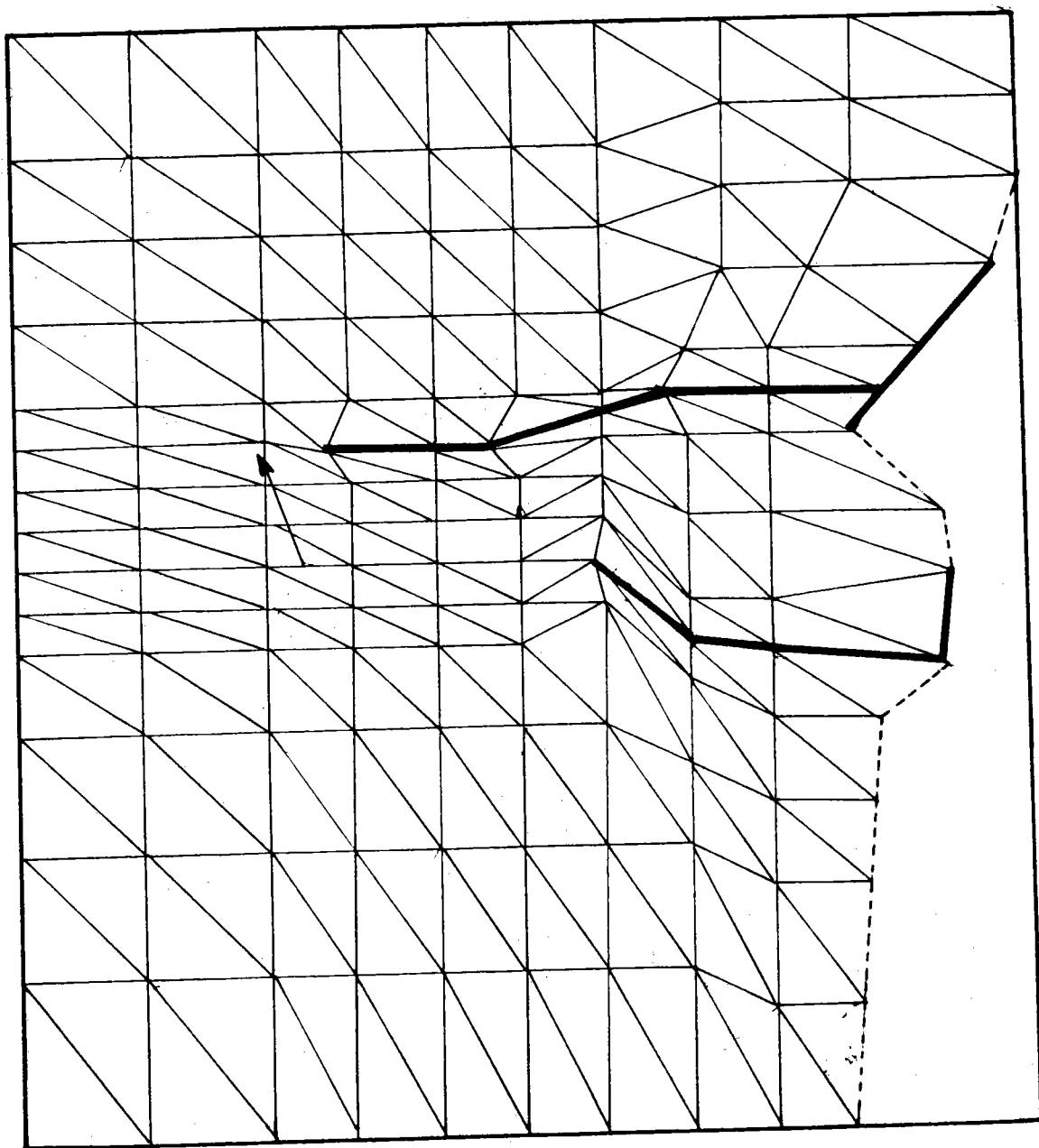


圖 3 - 5 (B)佈置元素分割圖

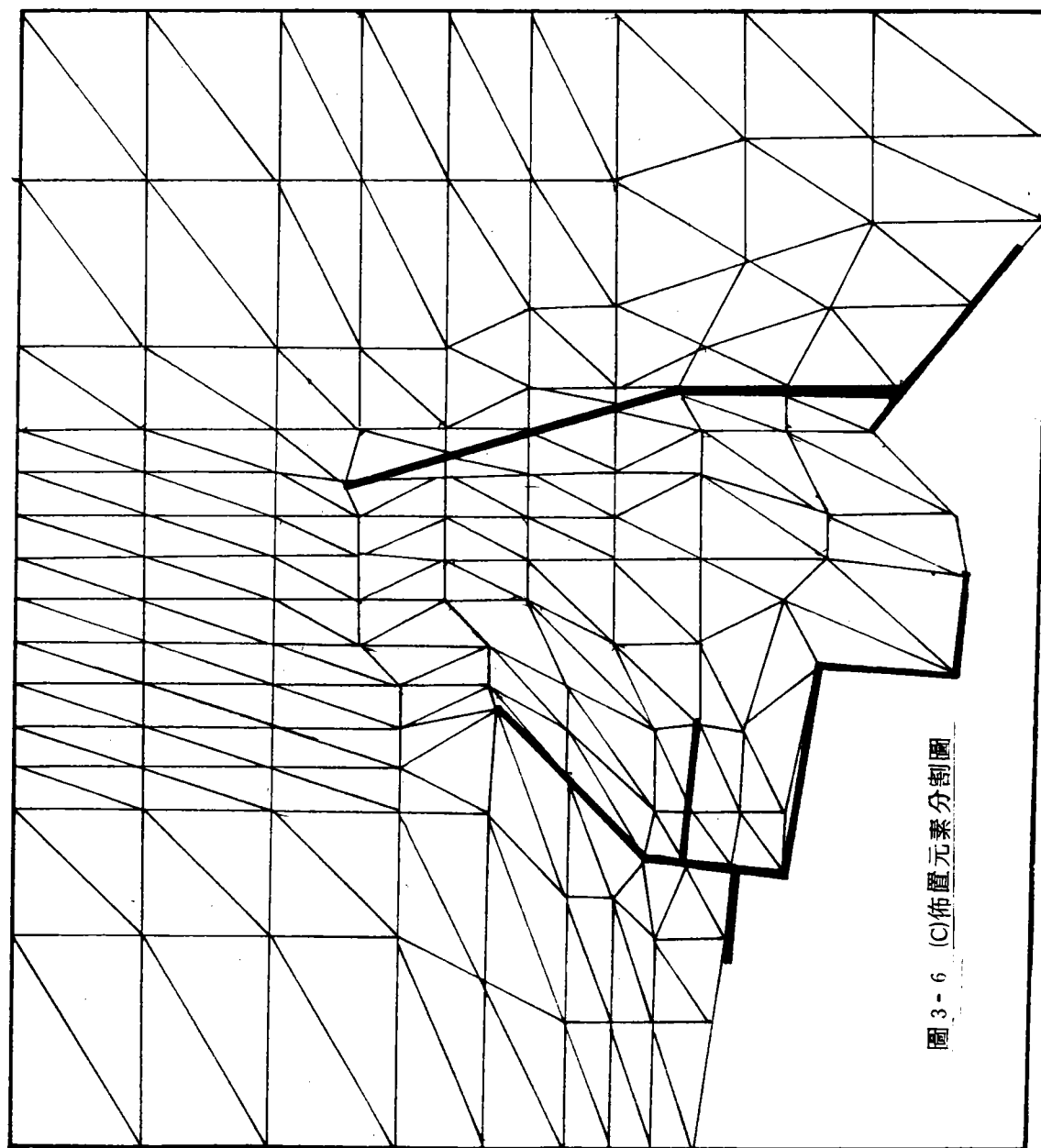


圖 3 - 6 (C)佈置元素分割圖

圖 3 - 6 (C)佈置元素分割圖

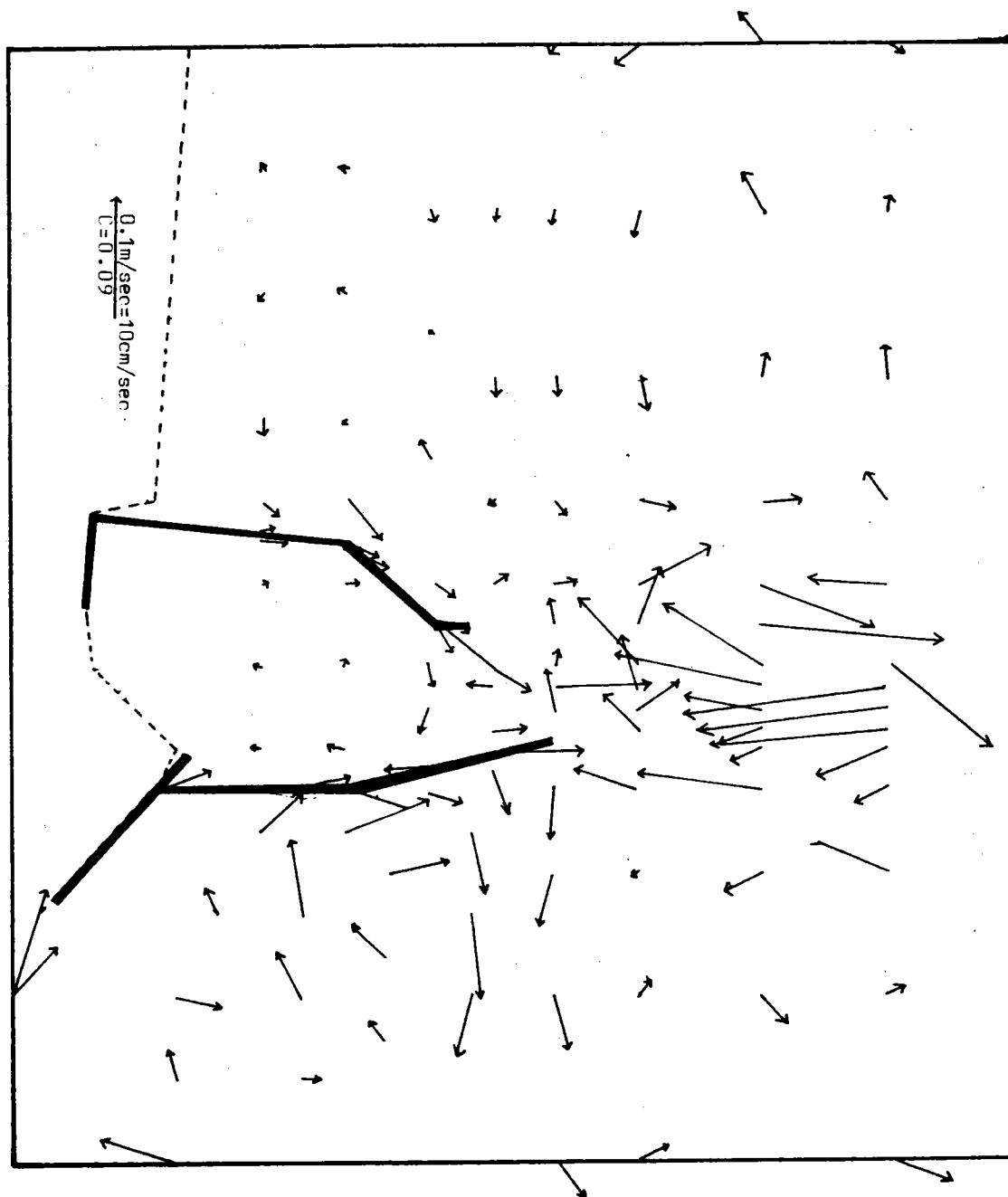


圖 3-7 (A)佈置之流場

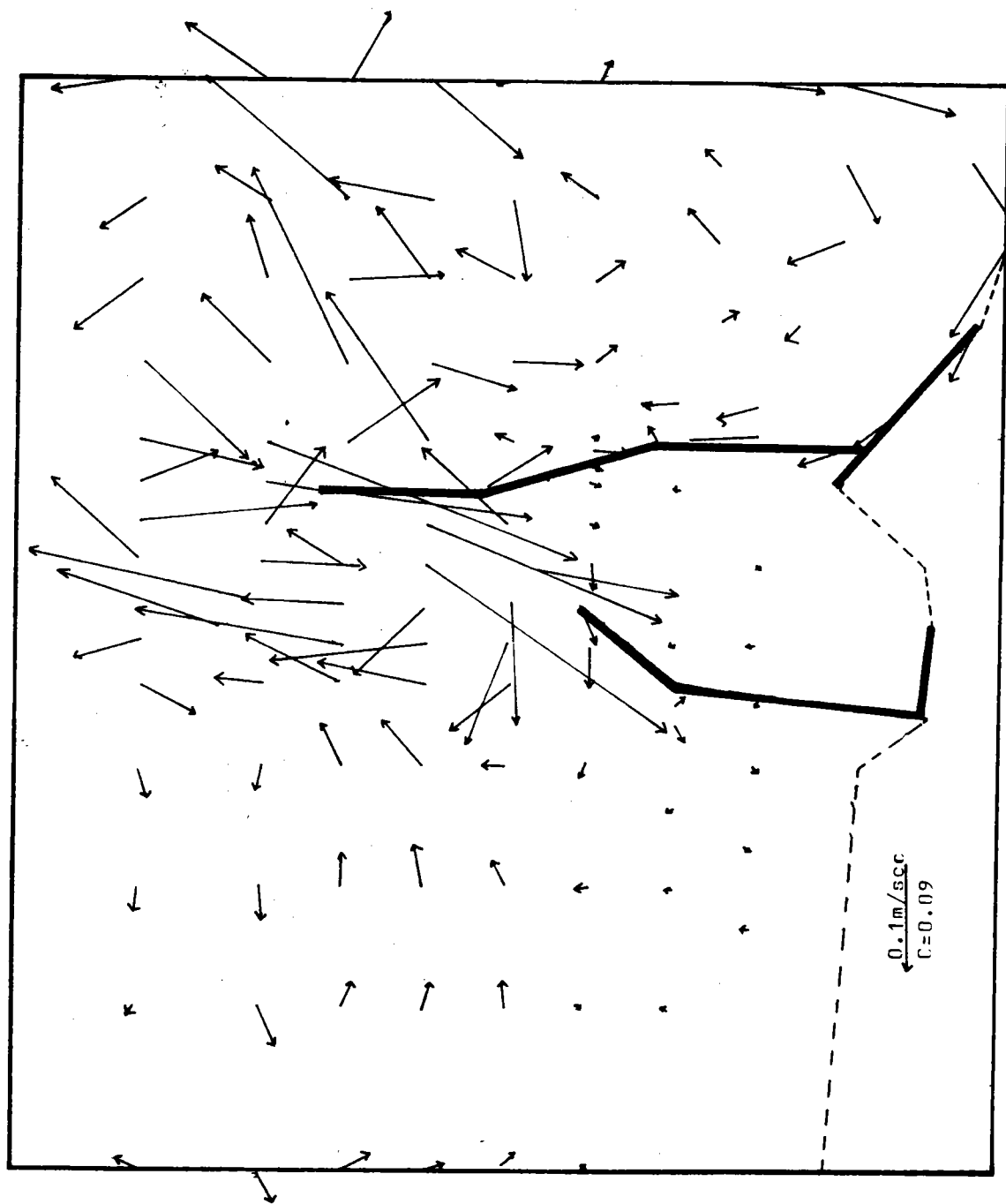


圖 3-8 (B)佈置之流場

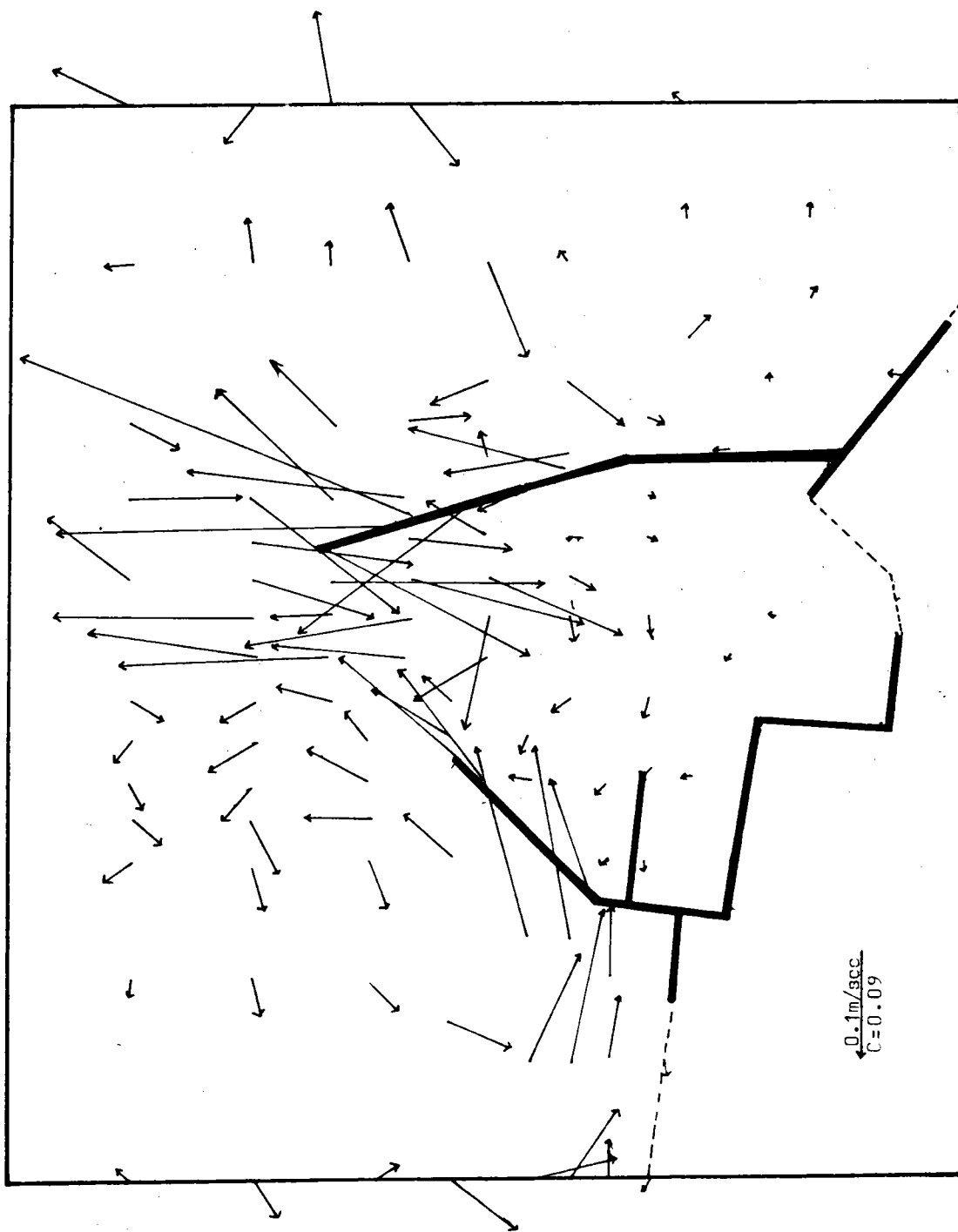


圖 3 - 9 (C)佈置之流場

四、台中港外港 L N G 進口站案港口 風及潮汐引起水流之數值計算

李賢文

鍾致遠

1. 引言：

本研究係利用流體動力方程式；以數值模式解出台中港外港；由風及潮汐引起之流況；本研究首先依現有防波堤的形式，而設計一個基本數值模式，而以此基本模式計算結果與實測結果比較，驗證模式之正確性後再將防波堤形式更改，防波堤更改形式有兩種，先後依照兩種不同的防波堤形式，分別更改基本數值模式之水深與邊界，而計算出其流況，以作為 L N G 進口站設計之參考。

2. 流體動力方程式及邊界條件：

本研究考慮引潮力所造成之水流，其水平運動方程式如下：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = fu - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(A_h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_h \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] + G_x \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -fu - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(A_h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_h \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] + G_y \quad (2)$$

(1)式為向東之運動方程式分量，(2)式為向北之運動方程式分量，在此所用之坐標系統為 CARTESIAN 直角座標系統，X 向東，Y 向北，Z 向上，U、V、W 分別為向東、向北、向上之速度分量， ρ 為海水密度， p 為海水壓力， f 為柯氏參數， G_x 和 G_y 分別為引潮力之向東及向北分量， A_h 和 A_v 分別為水平和垂直之渦漩摩擦係數。

將(1)、(2)與連續方程式：

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

配合，則得：

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uu) + \frac{\partial}{\partial y}(uv) + \frac{\partial}{\partial z}(uw) = fu - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(A_h \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right. \\ \left. + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_h \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] + G_x \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(vu) + \frac{\partial}{\partial y}(vv) + \frac{\partial}{\partial z}(vw) = -fu - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(A_h \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right. \\ \left. + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_h \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] + G_y \end{aligned} \quad (5)$$

垂直運動方程式分量，我們取流體靜力平衡方程式：

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g$$

故在深度為 z 之壓力，可由上式垂直積分，得到：

$$p = P_a + \rho g (\zeta - z)$$

其中 P_a 為海面大氣壓力， z 為自由表面與平均海面之偏差，除了上述運動方程式之外，我們還需下列邊界條件：

(一)運動邊界條件：

$$w = u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\partial \zeta}{\partial t} \quad \text{at the surface } z = \zeta(x, y, t) \quad (6)$$

$$w = -u \frac{\partial H}{\partial x} - v \frac{\partial H}{\partial y} \quad \text{at the bottom } z = -H(x, y)$$

(二)動力邊界條件：

$$\begin{aligned}
A_v \frac{\partial u}{\partial z} - (A_h \frac{\partial u}{\partial x}) \frac{\partial \zeta}{\partial x} - (A_h \frac{\partial u}{\partial y}) \frac{\partial \zeta}{\partial y} &= \tau_{sx} \\
A_v \frac{\partial v}{\partial z} - (A_h \frac{\partial v}{\partial x}) \frac{\partial \zeta}{\partial x} - (A_h \frac{\partial v}{\partial y}) \frac{\partial \zeta}{\partial y} &= \tau_{sy}
\end{aligned}
\tag{7}$$

at the surface $z = \zeta(x, y, t)$

其中 τ_{sx} 和 τ_{sy} 分別代表海面上風剪力在 X 方向和 Y 方向之分量：

$$\begin{aligned}
A_v \frac{\partial u}{\partial z} + (A_h \frac{\partial u}{\partial x}) \frac{\partial H}{\partial x} + (A_h \frac{\partial u}{\partial y}) \frac{\partial H}{\partial y} &= \tau_{bx} \\
A_v \frac{\partial v}{\partial z} + (A_h \frac{\partial v}{\partial x}) \frac{\partial H}{\partial x} + (A_h \frac{\partial v}{\partial y}) \frac{\partial H}{\partial y} &= \tau_{by}
\end{aligned}
\tag{8}$$

at the bottom $z = -H(x, y)$

其中 τ_{bx} 和 τ_{by} 分別代表海底之摩擦剪力在 X 方向和 Y 方向之分量：

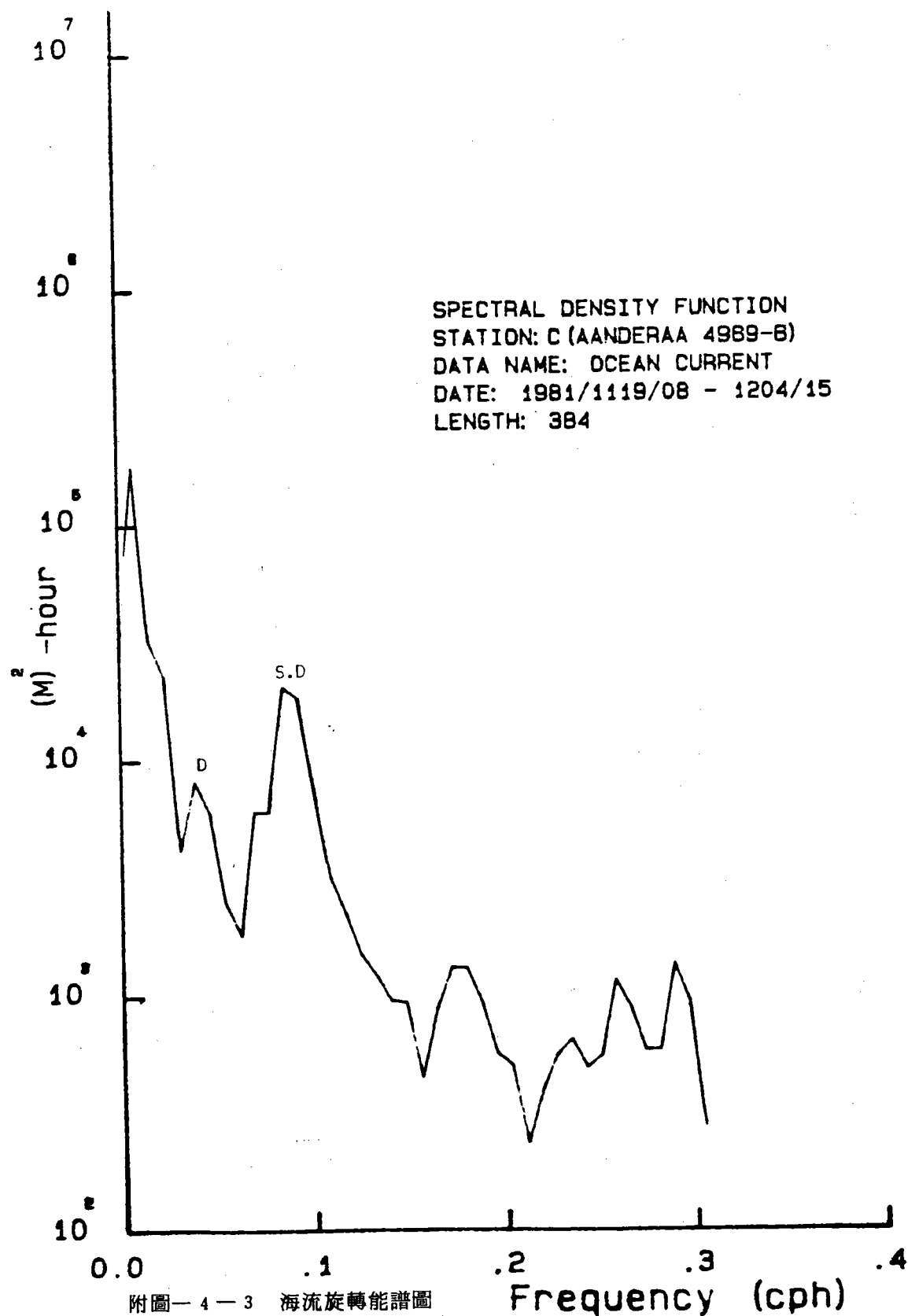
將(3)、(4)、(5)由海底至海面垂直積分，配合邊界條件(6)、(7)、(8)得：

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = - \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)
\tag{9}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial U}{\partial t} = fV - \frac{1}{\rho} (\zeta + H) \left(\frac{\partial P_a}{\partial x} + \rho g \frac{\partial \zeta}{\partial x} \right) + \frac{\tau_{sx} - \tau_{bx}}{\rho} - \left(\frac{\partial}{\partial x} \int_{-H}^{\zeta} u dz \right. \\
\left. + \frac{\partial}{\partial y} \int_{-H}^{\zeta} u v dz \right) + \left(\frac{\partial}{\partial x} \int_{-H}^{\zeta} A_h \frac{\partial u}{\partial x} dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{-H}^{\zeta} A_h \frac{\partial u}{\partial y} dz \right) \\
+ G_x (\zeta + H)
\end{aligned}
\tag{10}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial V}{\partial t} = -fU - \frac{1}{\rho} (\zeta + H) \left(\frac{\partial P_a}{\partial y} + \rho g \frac{\partial \zeta}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{sy} - \tau_{by}}{\rho} - \left(\frac{\partial}{\partial y} \int_{-H}^{\zeta} v dz \right. \\
\left. + \frac{\partial}{\partial x} \int_{-H}^{\zeta} v u dz \right) + \left(\frac{\partial}{\partial x} \int_{-H}^{\zeta} A_h \frac{\partial v}{\partial x} dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{-H}^{\zeta} A_h \frac{\partial v}{\partial y} dz \right) + G_y (\zeta + H)
\end{aligned}
\tag{11}$$

其中 $U = \int_{-H}^{\zeta} u dz$, $V = \int_{-H}^{\zeta} v dz$



附圖—4—3 海流旋轉能譜圖

由於台中港域很小，在此我們已忽略了大氣壓力之水平梯度，同時由於通常 $\zeta \ll H$ ，因此我們忽略了 ζ 之平方項，關於非線性平流項及速度之 LAPLACIAN 項的有限差分形式，參考李賢文(1979)文獻，風剪力和海底摩擦剪力由下列式子計算出來，

$$\tau_s = \rho_a C_d W W \qquad \tau_b = \rho k v_b v_b$$

其中 ρ_a 為空氣密度， C_d 為拉力係數(DRAG COEFFICIENT) W 為風速， K 為海底摩擦係數， V_b 為靠近海底之流速，在此我們取它為垂直平均流速，對於引潮力 G_x 和 G_y 我們只取 M_2 潮分潮和 K_1 分潮，二個分潮力之引潮力，即

$$G_x = x_{M_2} + x_{K_1}$$

$$G_y = y_{M_2} + y_{K_1}$$

其中 x_{M_2} 和 y_{M_2} 分別代表 M_2 分潮引潮力在 X 和 Y 方向之分量，而 x_{K_1} 和 y_{K_1} 分別代表 K_1 分潮引潮力在 X 和 Y 方向之分量，根據 BARTELS(1957) 可得

$$x_M = 74.702 \cos \phi \cos (2\tau + 90^\circ)$$

$$y_M = 37.351 \sin 2\phi \cos (2\tau + 180^\circ)$$

$$x_{K_1} = 29.805 \sin \phi \cos (\theta^* + 90^\circ)$$

$$y_{K_1} = 29.805 \cos 2\phi \cos \theta^*$$

上述公式之數字常數皆用 C.G.S. 單位，其中 ϕ 為緯度， τ 為平均太陰時， θ^* 為行星時，在本研究中，可將行星時採用平均太陽時為近似值，即 $\theta^* \approx t$ 。 t 為平均太陽時，其變化為 $t = 15^\circ/\text{hr}$ ，而平均太陰時之變化率為 $\tau = 14.4920521^\circ/\text{hr}$ 在我們之計算中，日月隨時間之移動位置可由天文曆查出，因此可得出引潮力 G_x 和 G_y ，以代我們的模式之中。

(8)、(9)、(10)所描述之邊界條件，係在海面和海底，而有關側面之邊界條件為垂直於岸壁之速度為零，同時我們假定非滑動(NON-SLIP) 條件，即平行於岸壁之速度亦為零，在本研究模式之開口處，將以預測之潮位高度代入。

3. 計算結果

首先將網格點蓋在台中港海域上，其海岸及防波堤形式（A式）依現有情況，加以考慮。整個網格圖的結構，如第4-1圖所示。在此，網格點之距離為119.5公尺。在計算時，我們將潮汐之高度代入開口邊界，在此我們假定模式北邊和南邊之潮汐水位變化曲線皆與台中港之潮汐記錄曲線一致，只不過北邊與南邊之潮汐，有一個位相差，由於本模式所計算之海域很小，因此此種假設是合理。在本模式中，就以潮汐表所列之台中港潮汐代入計算。為了與實測比較，所取之時間為70年11月26日4時到27日5時，同時我們把當時之實際風速亦一併代入。計算結果如第4-2圖所示。第4-2圖(a)，表示流速之時間序列，第4-2圖(b)表示流向之時間序列，由第4-2圖可知，計算結果之前段時間，流速計算值比實測值稍大，而流向也稍有擺動。但在26日13時之後之計算結果與實測結果，無論流速與流向都相當吻合。尤其是流向之偏差，僅在 5° 左右，顯示計算結果相當合理。第4-3～4-5圖分別顯示11月26日14時、20時及27日1時計算出來之整個流況。

為了設計LNG進口站之需要，將防波堤分別修改為B式及C式。因此本模式之邊界亦稍微修改，配合B式之模式網格圖，如第4-6圖所示。為了設計防波堤之參考，我們取最大東北季風來計算，風速為 24.6 m/sec 。第4-7～4-9圖分別代表吹風時間一小時，二小時及三小時之計算出來之流況分佈。而配合C式防波堤之網格圖，如第4-10圖所示。計算所用之風，仍是東北風，風速依然是 24.6 m/sec 。第4-11～4-13圖，分別代表吹風時間一小時、二小時及三小時之計算出來之流況分佈。以上B式及C式防波堤計算出來之流況分佈，即可做為防波堤設計之參考。

同樣地，我們亦可以如同前述條件，計算A式，即依現在防波堤形式之流況，我們代入東北季風，最大風速為 24.6m/sec ，得到計算結果，如第4-14～4-16圖所示，分別代表吹風時間一小時，二小時及三小時之流況。

如此，我們已計算出現有防波堤形式下之流況，即A式（第4-14～4-16圖）。以及二種改變防波堤後之流況，即B式（第4-7～4-9圖），和C式（4-10～4-13）由這些流況分佈圖，將可作為LNG進口站建設之參考。

4. 討 論：

雖然計算結果與測觀值比較，相當良好。但由於測觀記錄只是一點而已，這是需要增加的。如有更多點之測觀記錄，則更能驗證本模式。

5. 誌 謝：

本研究之完成，係得力於李日勇先生之操作電算機程式，特此誌謝。同時感謝陳炳宗先生之繪圖。港灣技術研究所楊怡芸小姐幫忙描繪流況圖，一併誌謝。本研究由中油公司提供經費支援。

6. 參考文獻

Bartels, J. (1967) : Gezeiten Kräfte. In Handbuch der Physik, 48; Geophys. 2.734-774, Springer Verlag, Berlin.

Li, Hsien-Wen 李賢文 (1979) : Numerical Prediction of Typhoon Surges along the coast Area of Taiwan Strait Acta Oceanographica Taiwanica, 10:50-66.

李賢文 (1981) : 基隆港海水流動之三度空間數值模式，國家科學委員會科學發展月刊第九卷第十二期，1080-1094 頁。

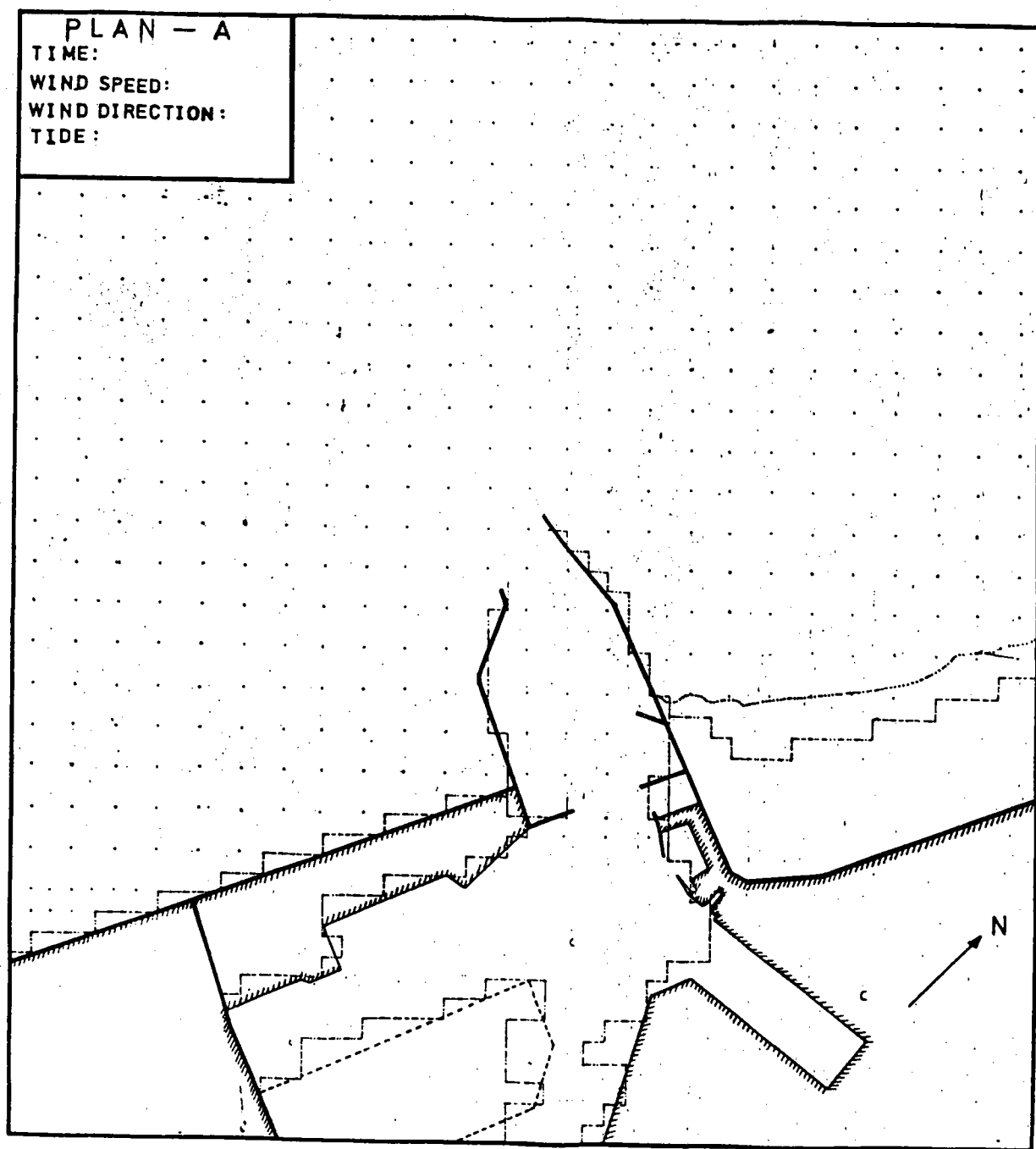


圖 4 - 1

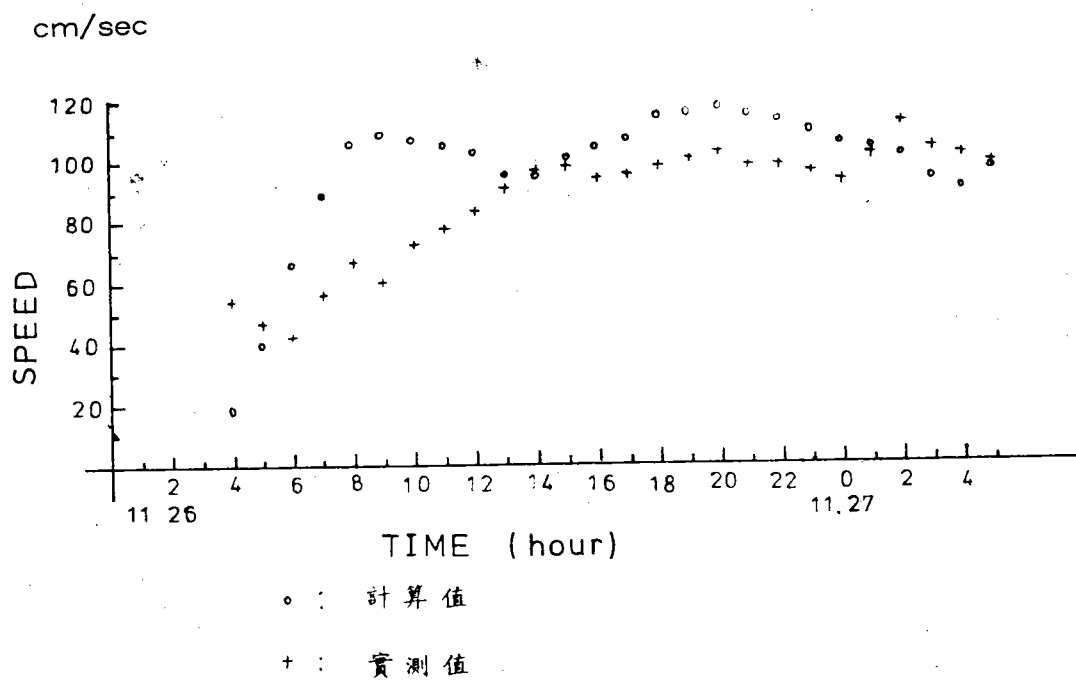


圖 4 — 2(a) 流速計算值與實測值之比較

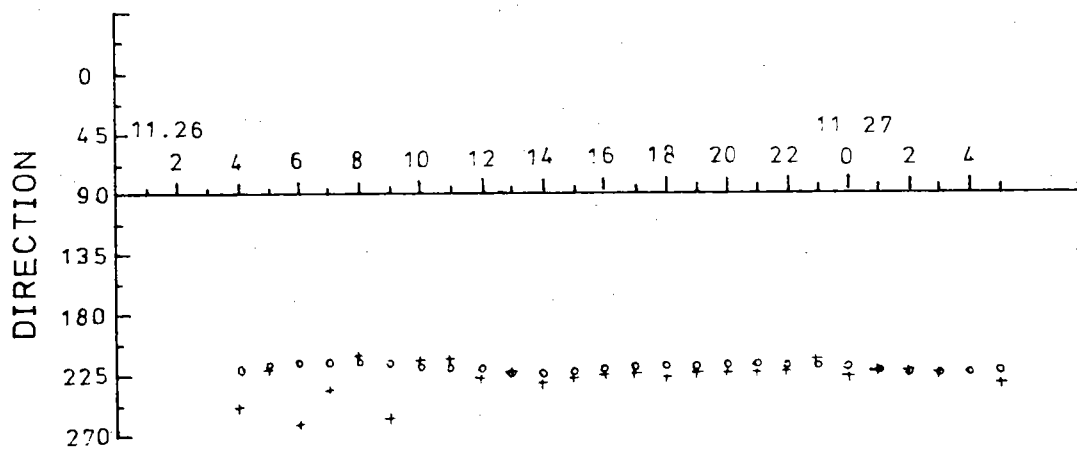


圖 4 — 2(b) 流向計算值與實測值之比較

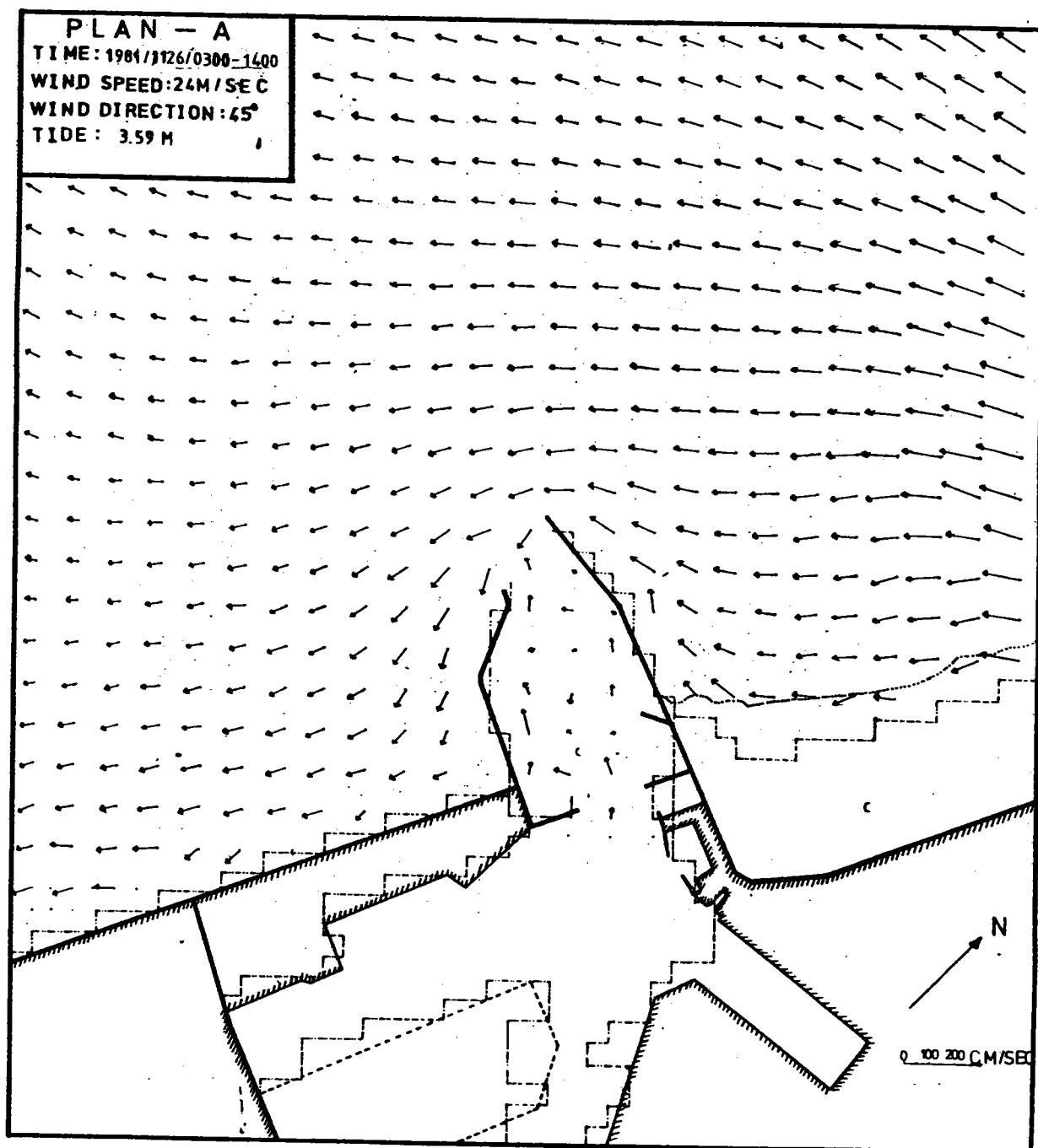


圖 4 — 3 依實際風速及潮汐計算之流況 (1981 年 11 月 26 日 14 時)

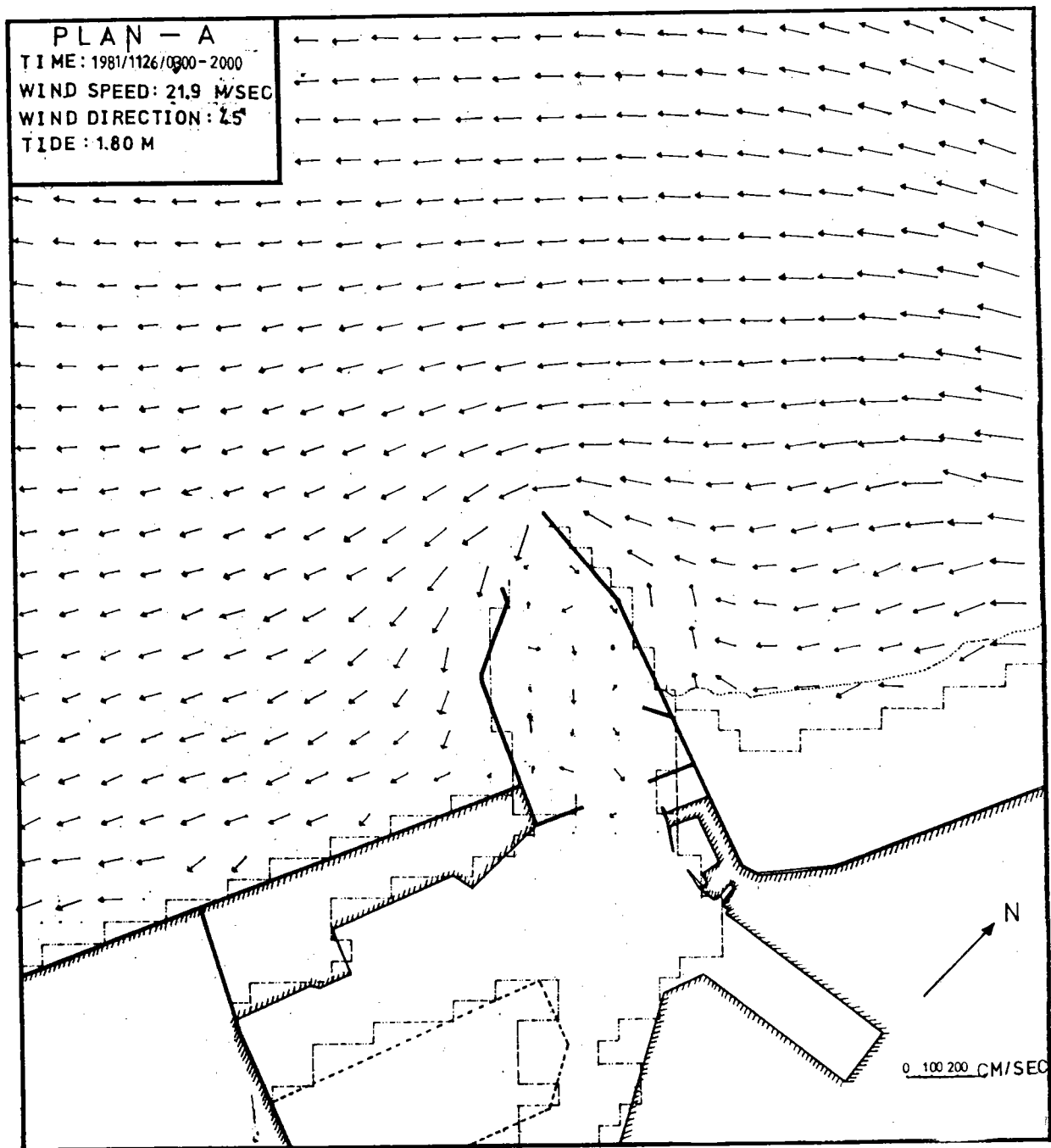


圖 4—4 依實際風速及潮汐計算之流況（1981 年 11 月 26 日 20 時）

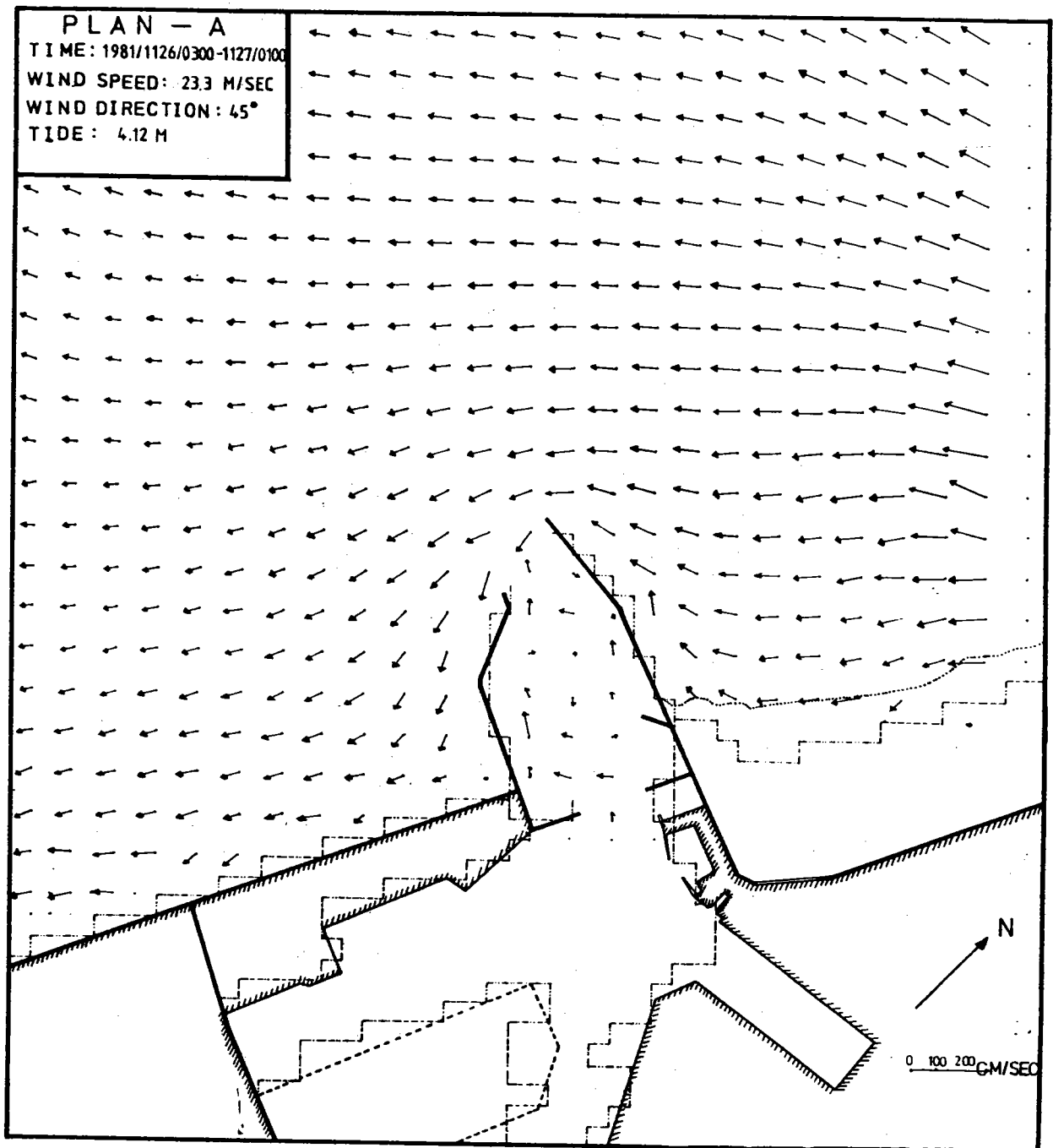


圖 4—5 依實際風速及潮汐計算之流況 (1981 年 11 月 27 日 1 時)

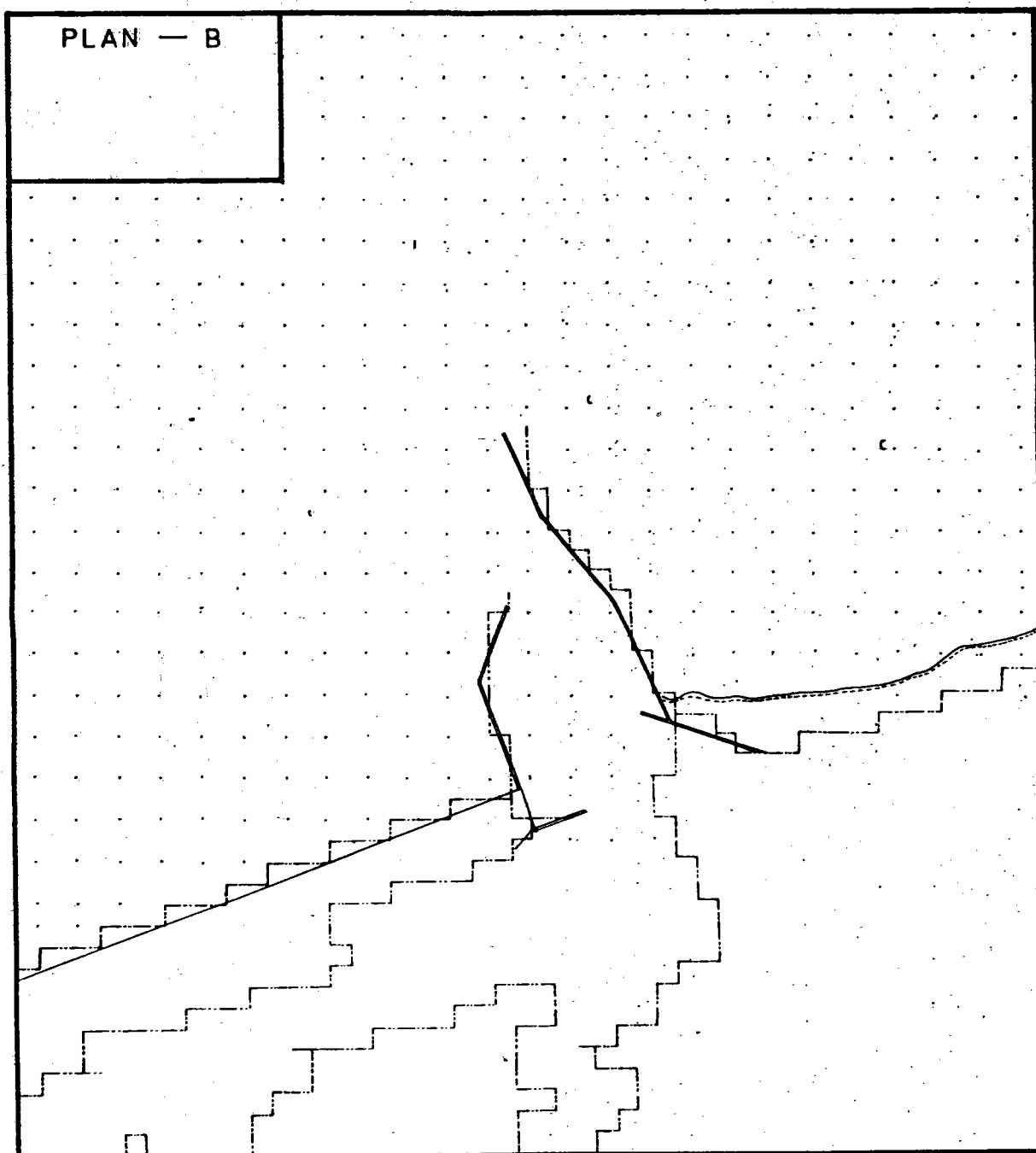


圖 4 - 6

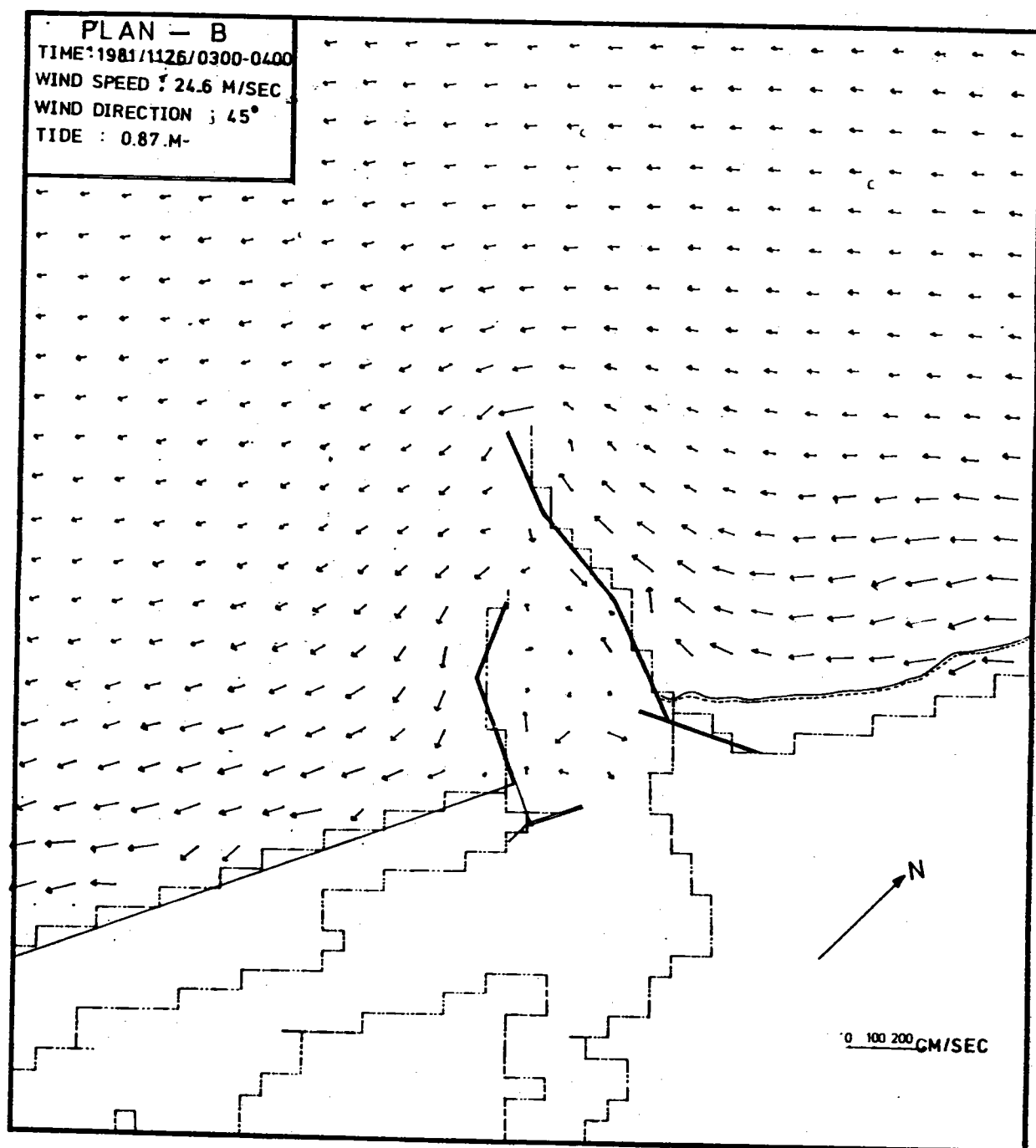


圖 4—7 東北季風(最大風速: 24.6M/SEC)吹襲一小時之流況(B式防波堤)

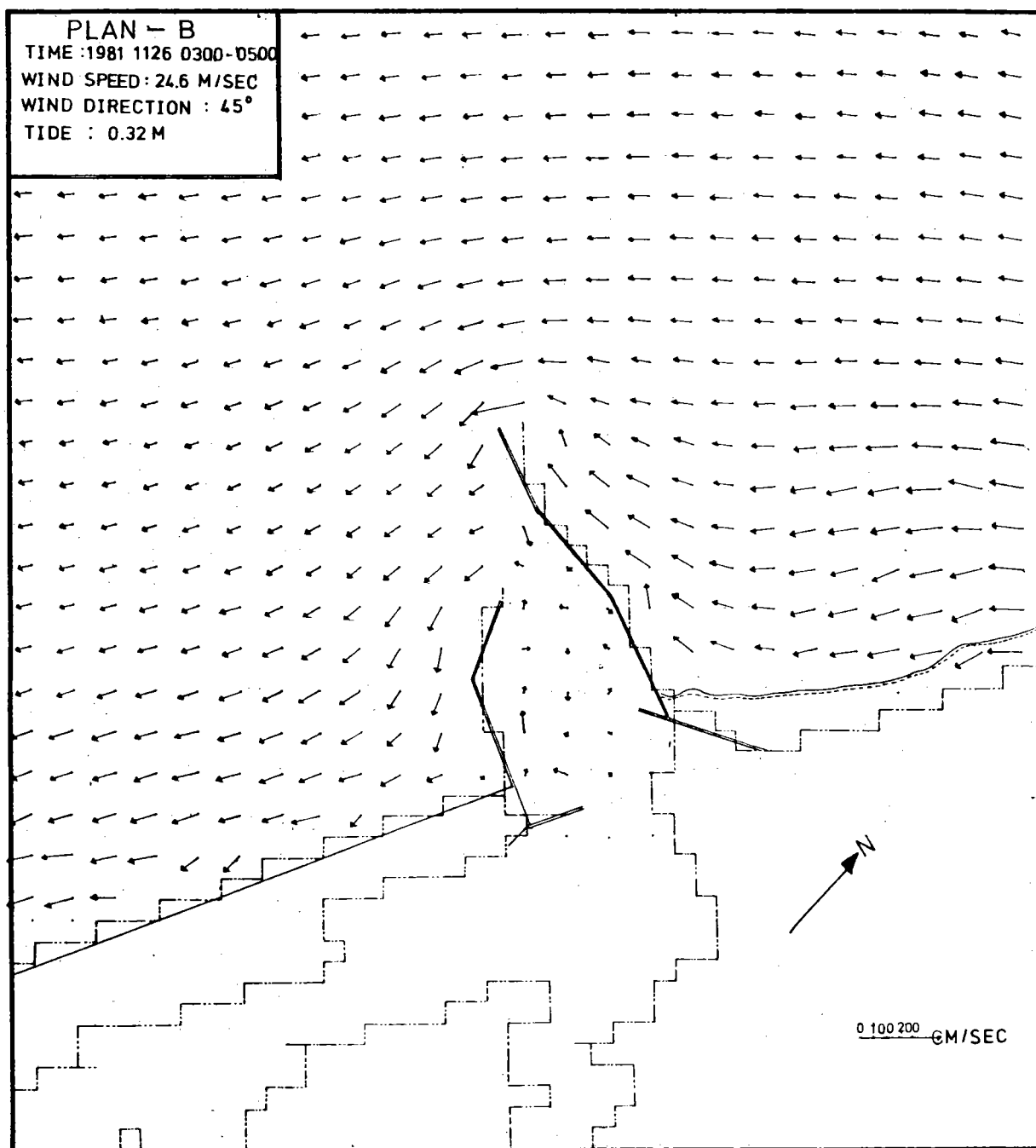


圖 4—8 東北季風（最大風速：24.6M/SEC）吹襲二小時後之流況（B 式防波堤）

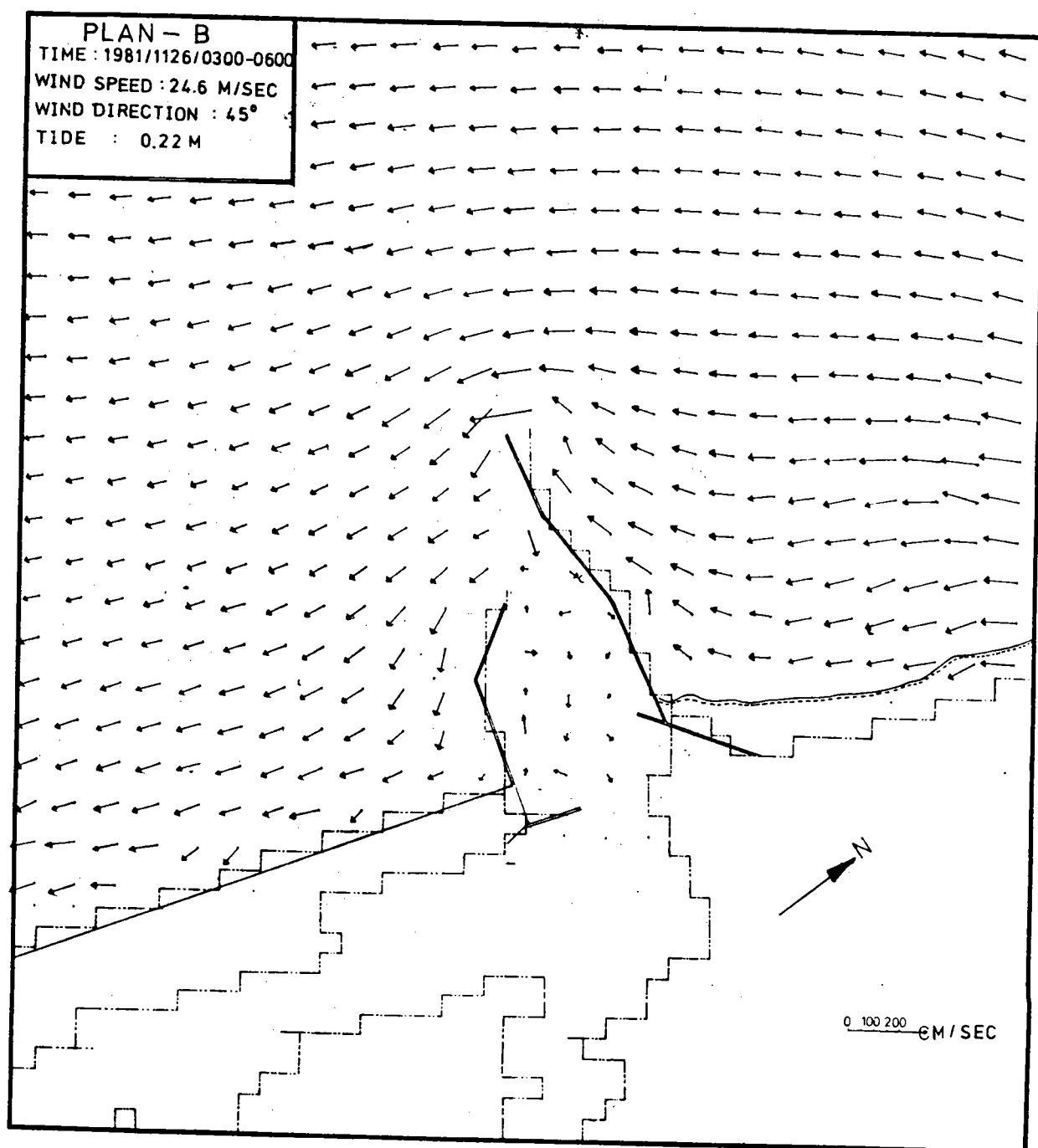


圖 4-9 東北季風 (最大風速 : 24.6 M/SEC) 吹襲三小時後之流況 (B 式防波堤)

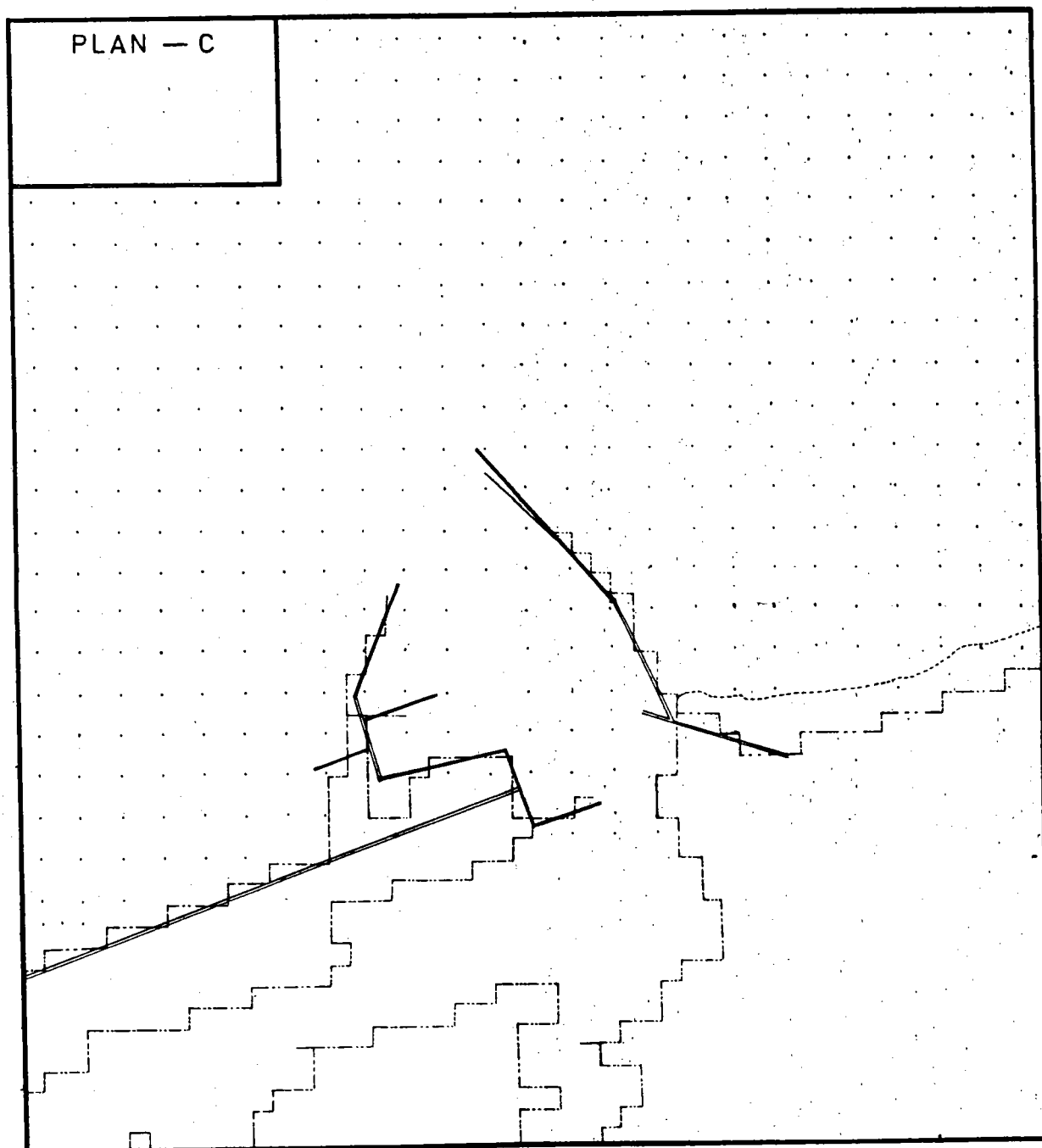


圖 4 - 10

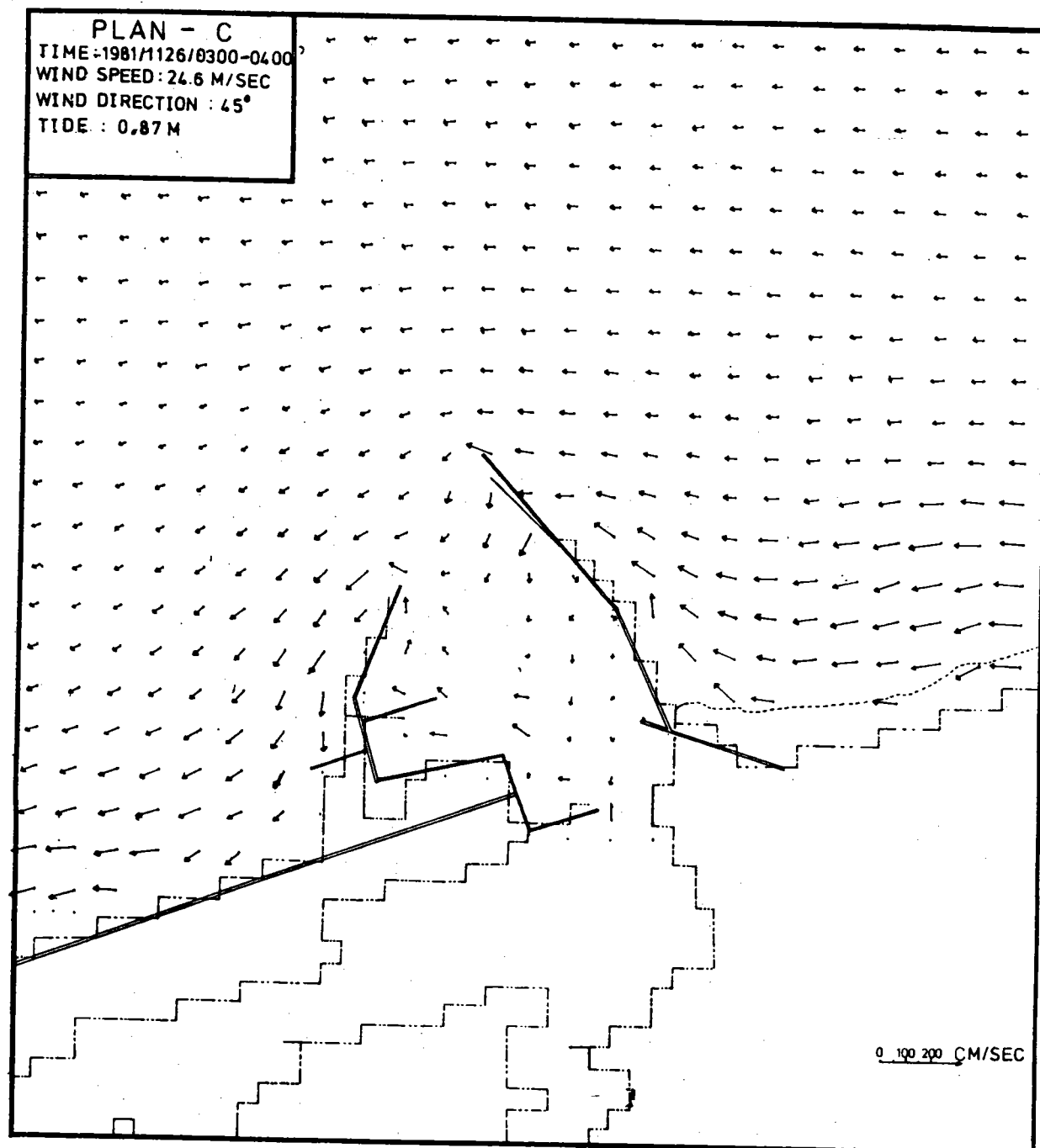


圖 4-11 東北季風(最大風速: 24.6M/SEC)吹襲一小時後之流況(C式防波堤)

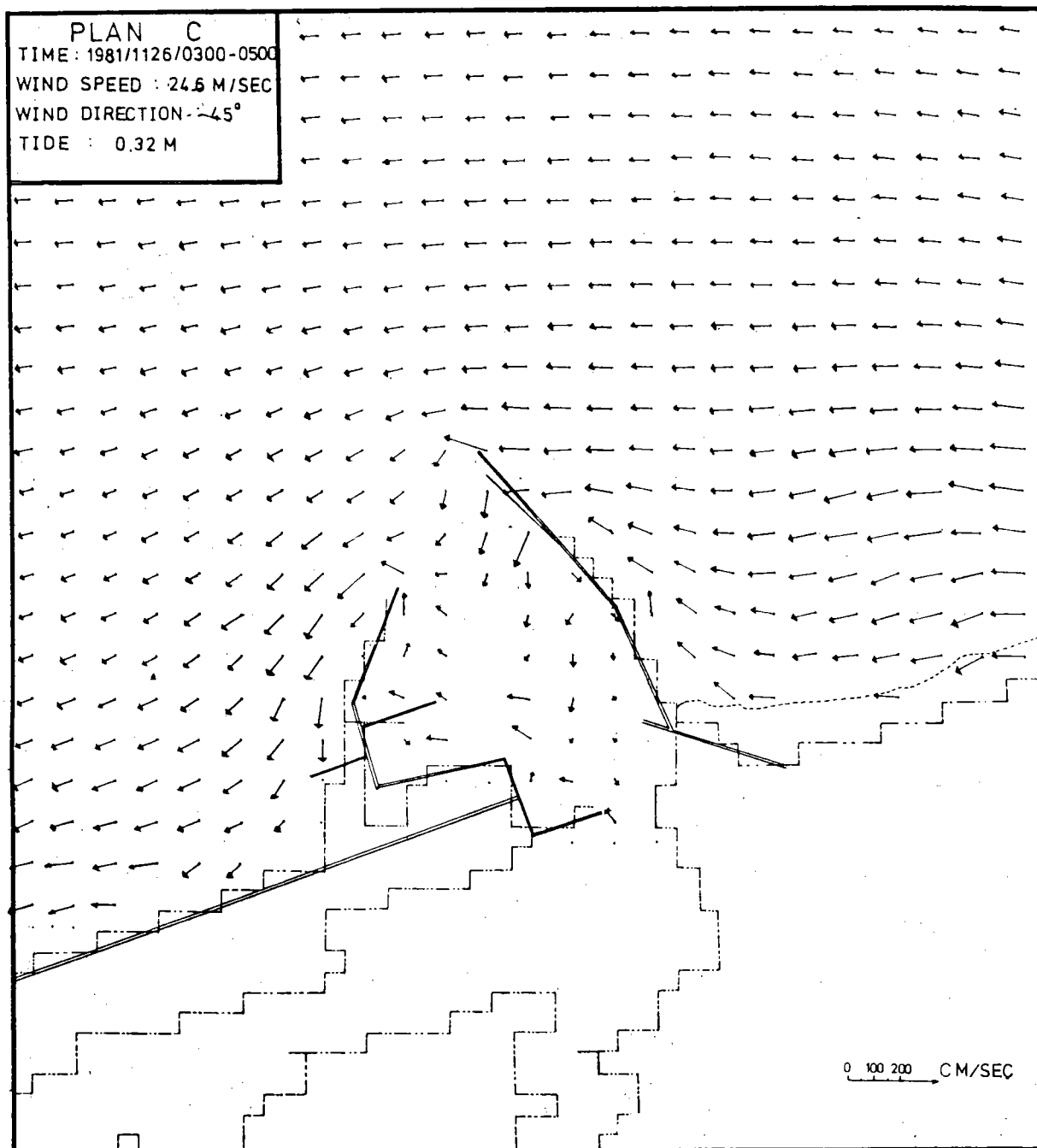


圖 4—12 東北季風 (最大風速: 24.6 M / SEC) 吹襲二小時後之流況 (C式防波堤)

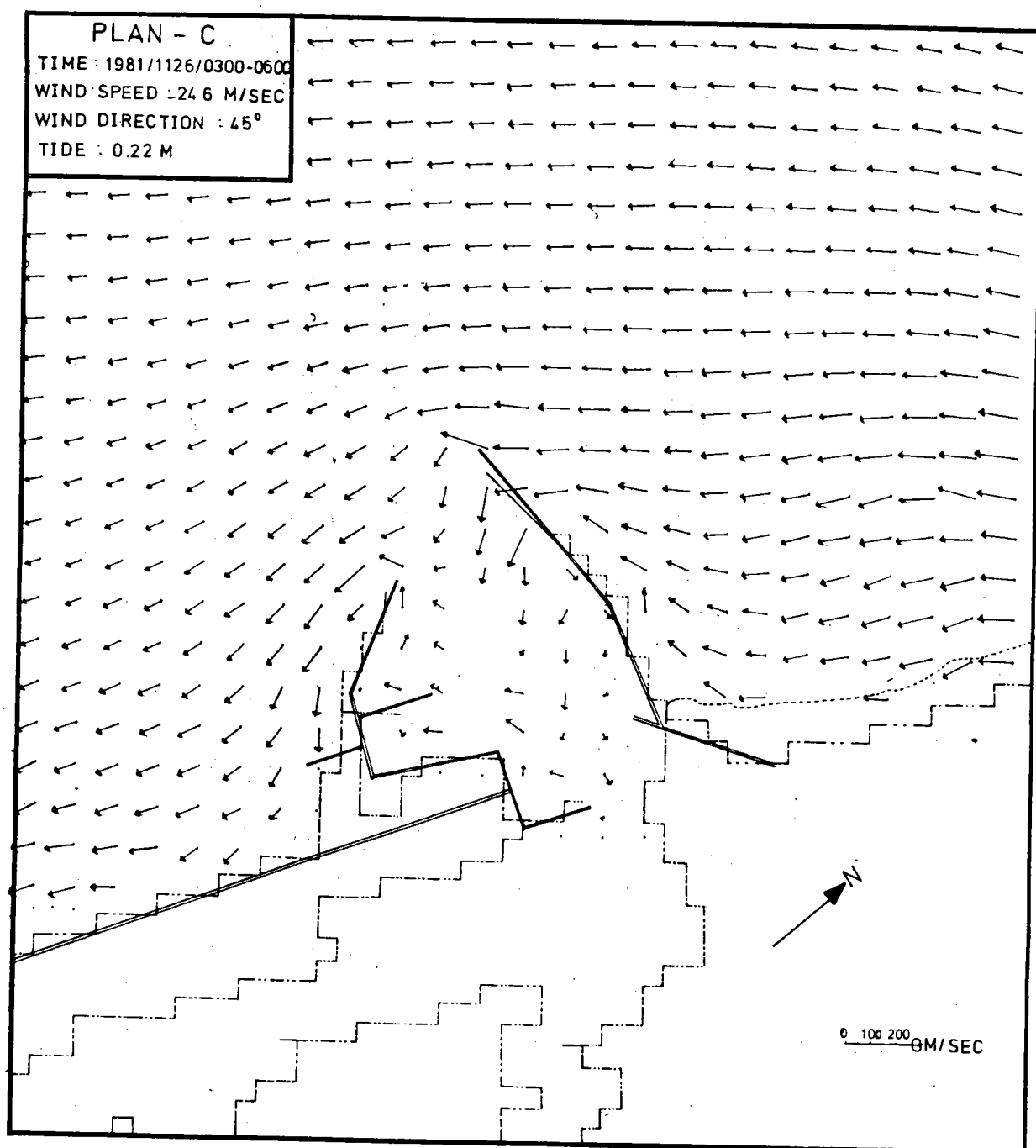


圖 4 - 13 東北季風 (最大風速 : 24.6M/SEC) 吹襲三小時後之流況 (C 式防波堤)

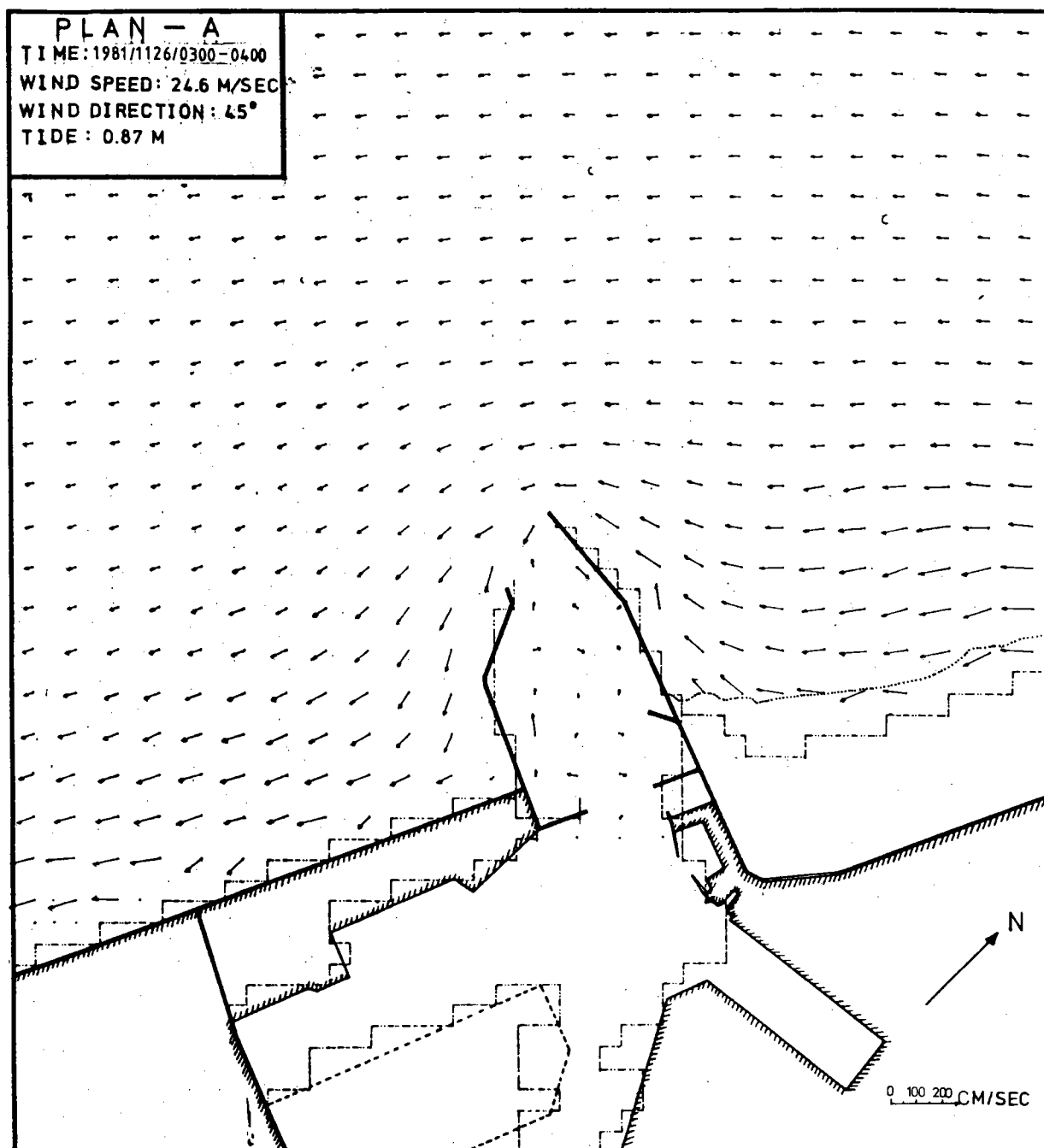


圖 4-14 東北季風(最大風速: 24.6 M/SEC)吹襲一小時後之流況(A式防波堤)

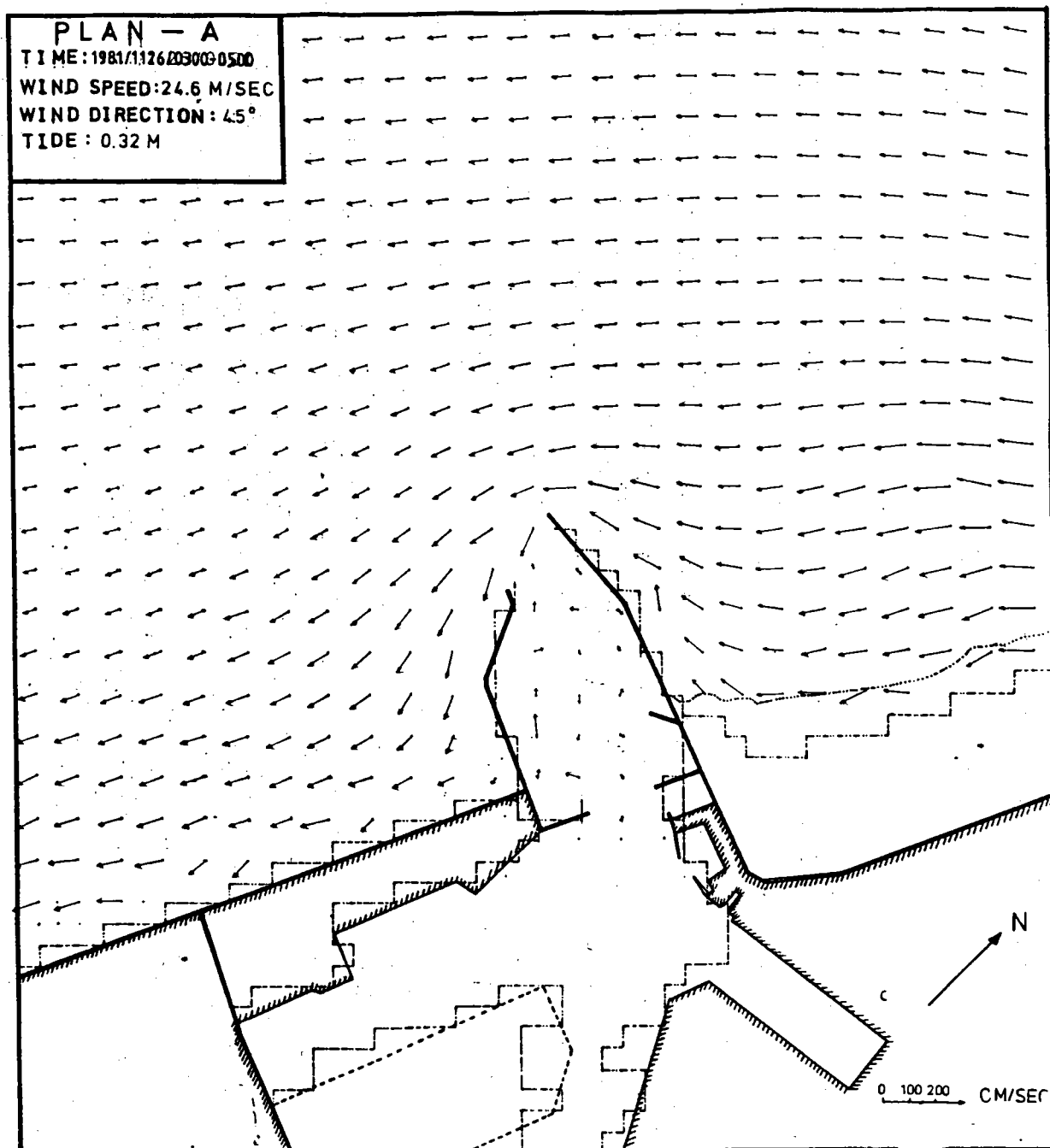


圖 4 - 15 東北季風（最大風速：24.6M/SEC）吹襲二小時後之流況（A式防波堤）

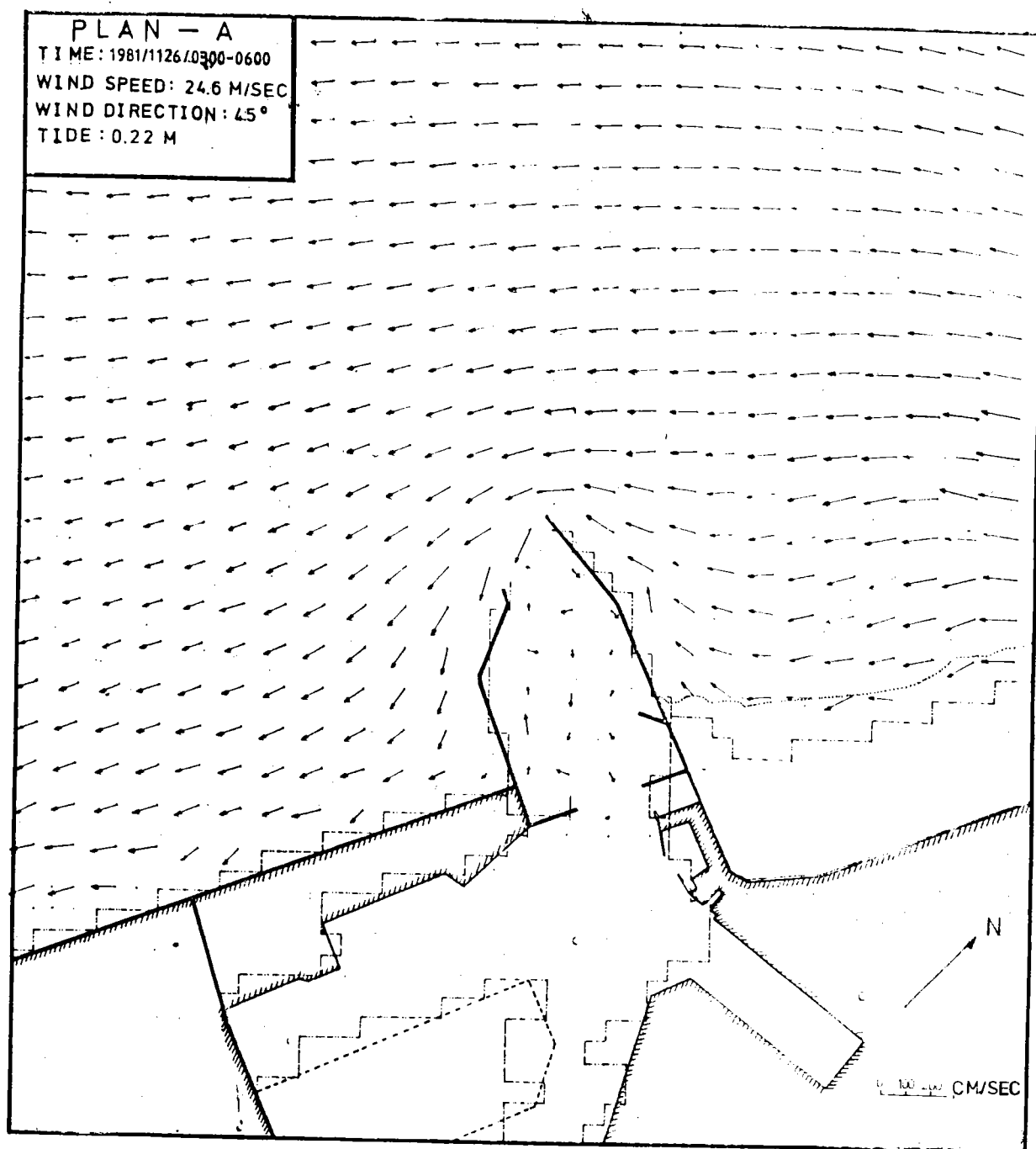


圖 4 — 16 東北季風 (最大風速 : 24.6M/SEC) 吹襲三小時後之流況 (A 式防波堤)

五、討 論

1. 由現場實測資料顯示，夏季期間海流均往北，冬季期間風速較低時仍有偏北趨勢，可知冬夏期間均有恒流存在，流向偏東北，流速約為 30 cm/sec ，其原因不明，本文乃根據此假設，求出風驅流的流速與風速係數為 0.06，根據 Bretschneider 的公式 $\frac{\bar{V}}{U} = 0.018 d^{1/6}$ (d 單位呎) 取定常狀態，此係數為 0.058，但是比一般深水中之係數 0.03 為大。
2. 因測站 B 離岸較遠，漲退潮時流速變化不顯著，因此可假定 B 站不受裂流影響，如果此假設正確，則研判高潮位時，北防波堤堤頭 (測站 C 附近) 不受裂流影響，如附圖 1—4 所示。
3. 本文採用兩種數值模式，一為只考慮波浪引起的近岸流數值模式，另一為考慮風及潮汐作用引起水流之數值模式，而現場實測之海流則受上述三因素影響。只能利用風及潮汐引起水流數值計算結果與 B 站實測值比較，但上述兩種數值模式對佈置方案之選擇，仍有參考價值。
4. 根據兩種不同數值模式所推算之結果，可研判佈置方案 B 與 C 對台中港船舶之進出較佈置方案 A 為佳。

六、綜合結論

本文現場實測及數值模式「佈置方案 A」與成大模型試驗「現況佈置方案」相同。「佈置方案 B」相當於成大模型試驗「佈置方案 I 及 II」，佈置方案 I 係將現況佈置之北防波堤，向外海以 294.5° 延伸 600 公尺，而將南防波堤堤頭拆除 140 公尺，而佈置方案 II 則未將南防波堤堤頭 140 公尺拆除，其餘均與 I 相同。在數值模式中、南防波堤堤頭 140 公尺，影響甚微，可以不予考慮。「佈置方案 C」與成大模型試驗「佈置 III」相同，將北防波堤順原方向向外延伸 600 公尺，將現有南防波堤全部拆除後南移。

現場實測、數值模式與模型試驗各有其優劣點，現場實測可獲得正確且可靠的資料，但測點有限，且未能預測佈置改變後之流程。數值模式優點在於經濟快捷又可推算佈置改變後流況，但無法將邊界條件之影響完全避免，且其所採用之係數，又無法作進一步之校核，其結果僅能提供參考。模型試驗則受設備之影響無法完全模擬現場波浪、風速，且試驗室面積有限，甚難達到完全相似，但如能盡量克服試驗邊界影響，則因其能瞭解佈置改變後之各種情況，故不失為解決規劃問題理想之途徑。

綜合現場實測、數值模式及水工模型試驗結果，判斷在所研究之佈置中，以防波堤沿現有航道方向延伸六百公尺，為改善目前台中港港口流況之較佳佈置。

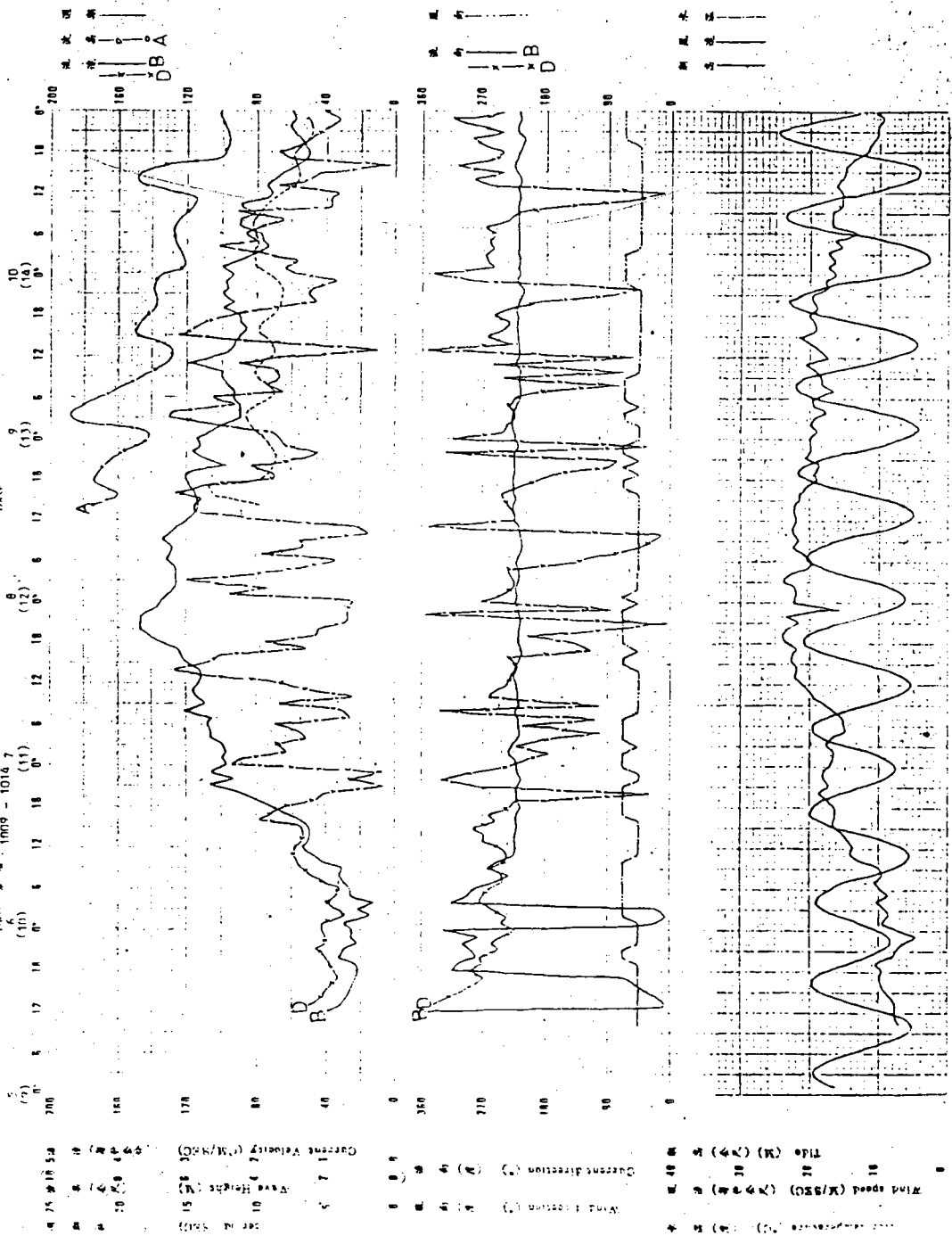
七、誌 謝

本計畫執行期間，台中港務局章總工程師家燦，王課長壽雄指導與協調工作之進行，船舶大隊的拖船在現場工作上發揮了極重要的支援作用。中國石油公司熊運林先生之監督指導，野柳漁船順發26號，每日駐守海上現場看顧儀器對本計畫現場測量工作的順利進行幫助很大，本所林柏青先生收放儀器之潛水工作所作的貢獻也是不可缺少的重要部份。以上所提到的各單位與人士及本所參與本計畫同仁，在此敬表謝意。

附 錄 1

海 象 資 料 圖

Project: 1001/1105/1110
Date: 1009-1014
Date: 1010-1014
Date: 1011-1014
Date: 1012-1014
Date: 1013-1014
Date: 1014-1014

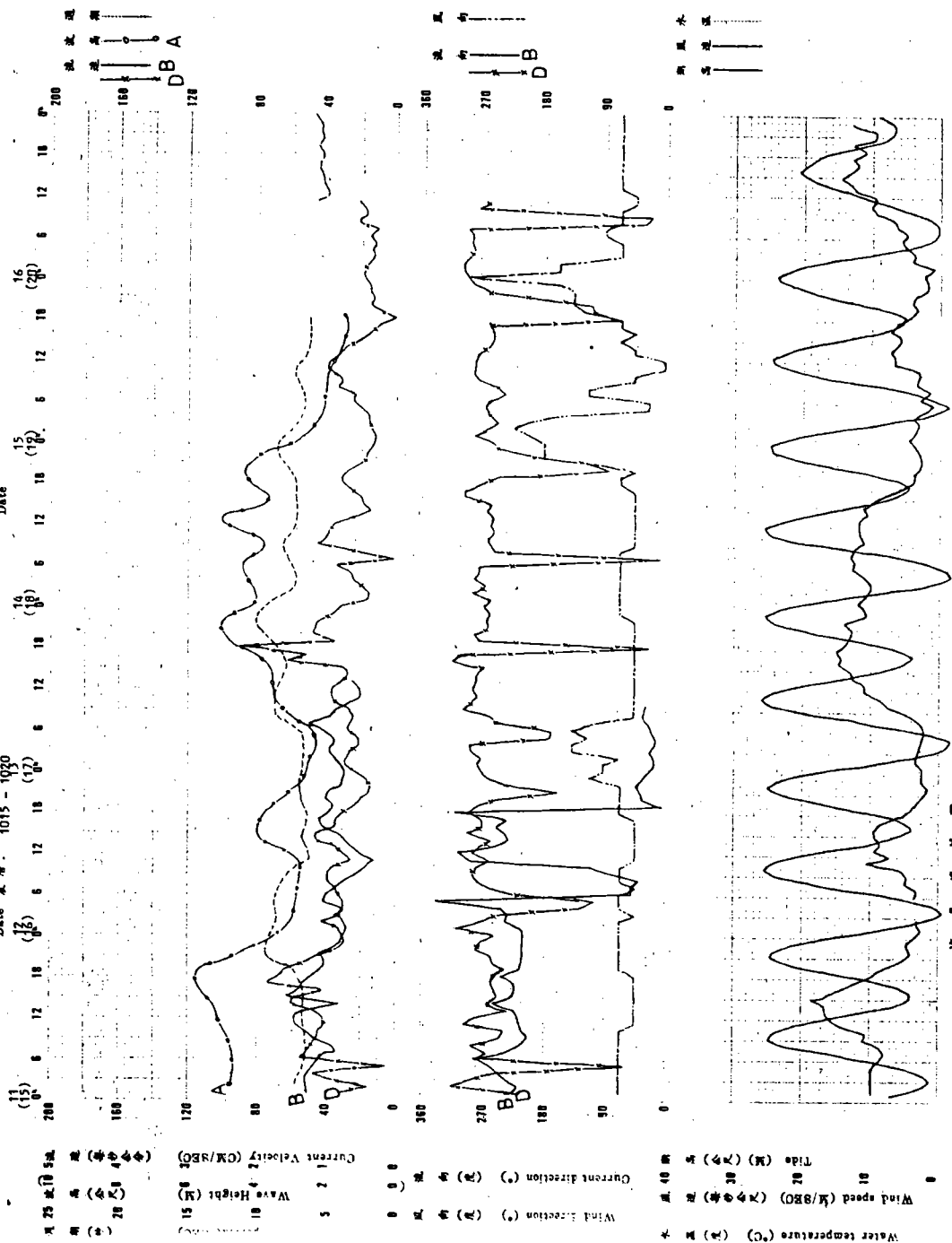


附圖 1-1 風、波浪、海流及潮位概圖

計畫:
Project

交通部港務技術研究所
INSTITUTE OF HARBOR & MARINE TECHNOLOGY

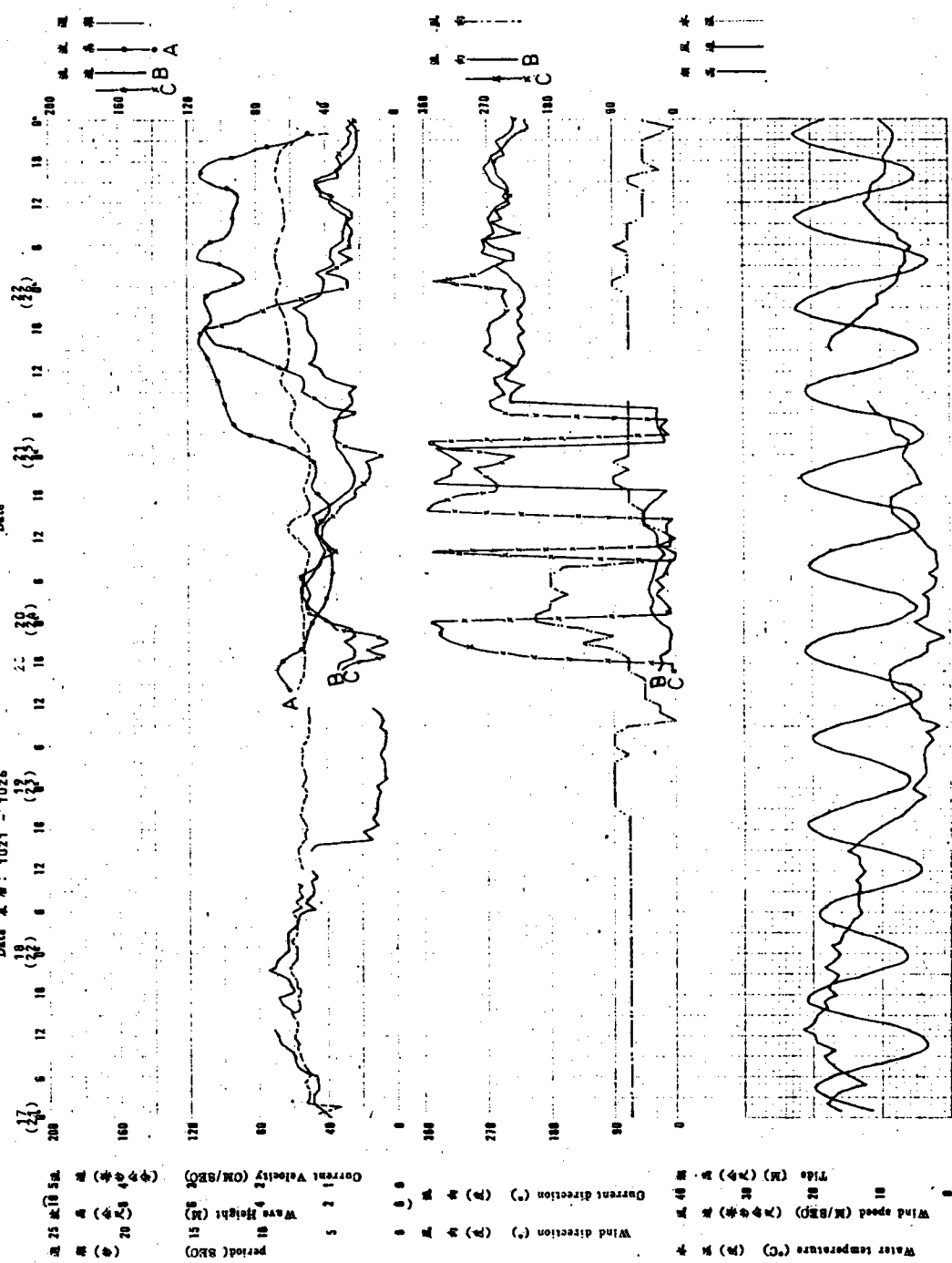
位置: ST: B N E
Date: 1981 / 1111 - 1116
Date: 1015 - 1030
Date: (13) 6 12 18 (14) 6 12 18 (15) 6 12 18 (16) 6 12 18 (17) 6 12 18 (18) 6 12 18 (19) 6 12 18 (20) 6 12 18



附圖 1-2 風、波浪、海流及潮位概圖

計畫: Project
日期: 1981/11/17/1122
Date 風速: 1021 -- 1026
Date 風向: 1021 -- 1026
Date 風速: 1021 -- 1026
Date 風向: 1021 -- 1026

計畫: Project



附圖 1-3 風、波浪、海流及潮位概圖

計畫:
Project

位置: 51° 0' N
E

日期: 1981/1123/1128
Date: 1027 - 1103

26 (28) 5 12 18 0° 6 12 18 0° 27 (28) 5 12 18 0° 28 (28) 5 12 18 0°

風速 (m/sec)
風向 (°)

浪高 (m)

潮流速度 (cm/sec)

潮流方向 (°)

風速 (m/sec)

風向 (°)

浪高 (m)

潮流速度 (cm/sec)

潮流方向 (°)

風速 (m/sec)

風向 (°)

浪高 (m)

潮流速度 (cm/sec)

潮流方向 (°)

風速 (m/sec)

風向 (°)

浪高 (m)

潮流速度 (cm/sec)

潮流方向 (°)

風速 (m/sec)

風向 (°)

浪高 (m)

潮流速度 (cm/sec)

潮流方向 (°)

風速 (m/sec)

風向 (°)

浪高 (m)

潮流速度 (cm/sec)

潮流方向 (°)

風速 (m/sec)

風向 (°)

浪高 (m)

潮流速度 (cm/sec)

潮流方向 (°)

風速 (m/sec)

風向 (°)

浪高 (m)

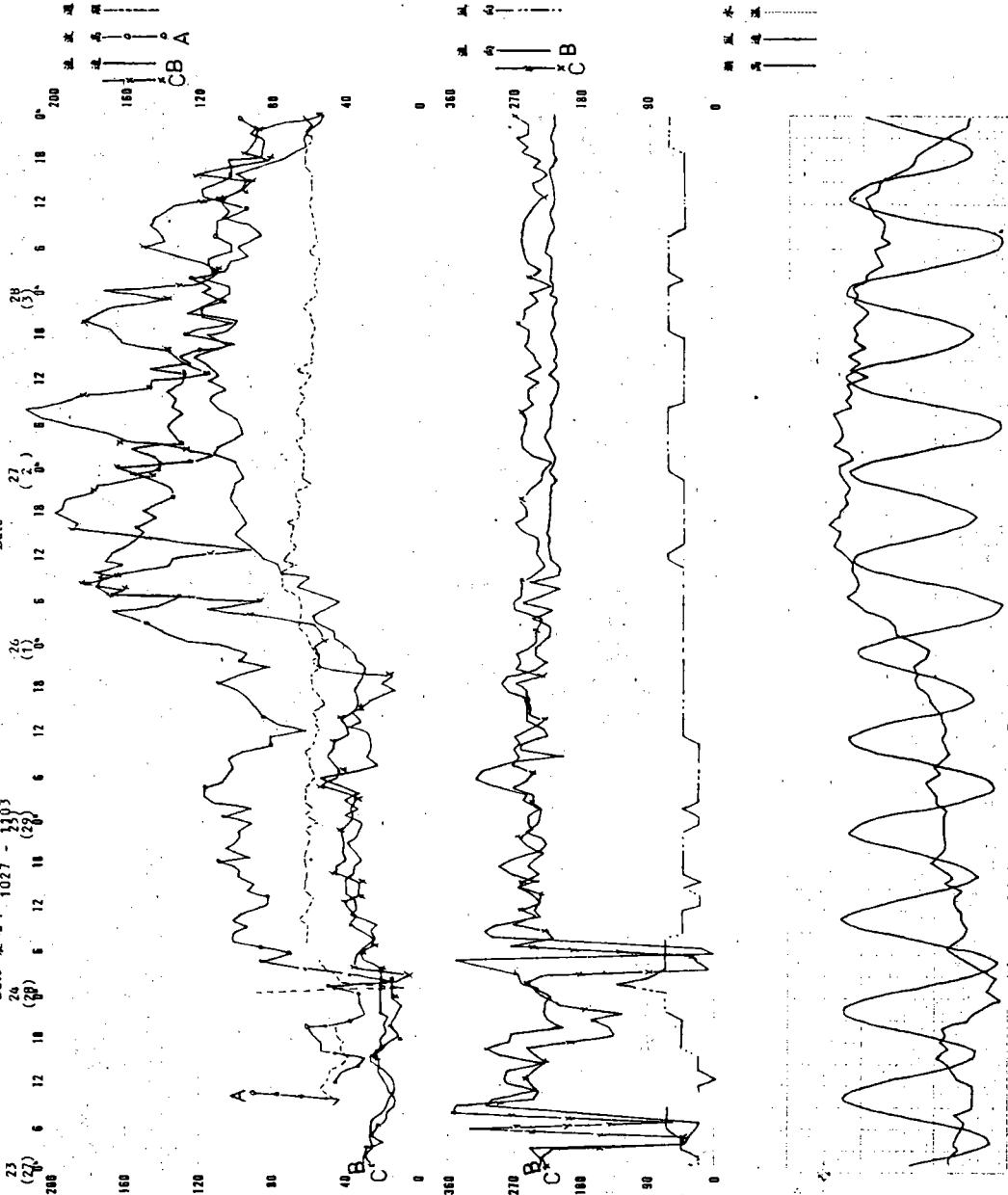
潮流速度 (cm/sec)

潮流方向 (°)

風速 (m/sec)

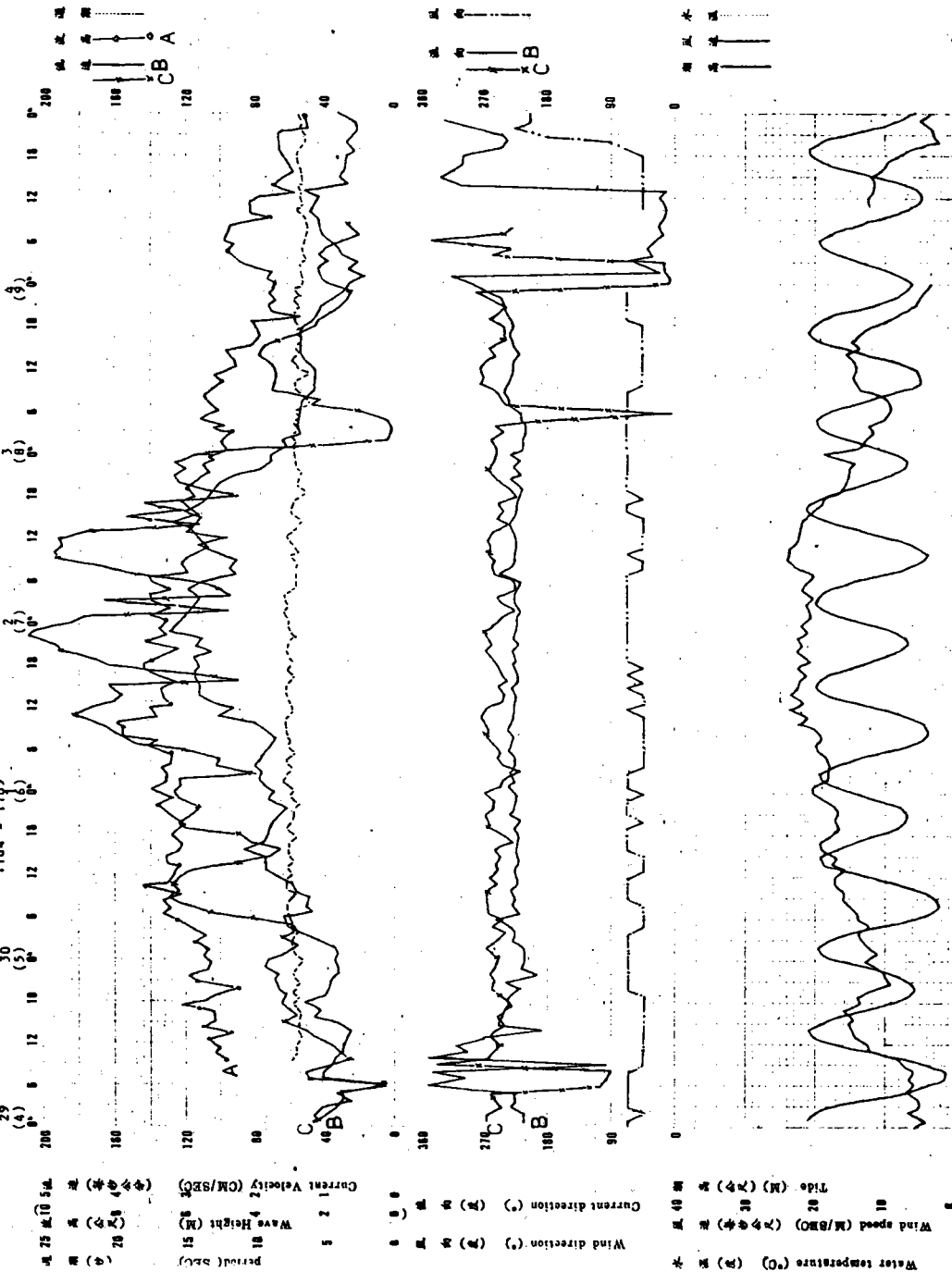
風向 (°)

附圖—1—4 風、波浪、海流及潮位概圖



海象資料圖

計畫：Project
位置：ST: A N E
日期：1981/1129/1204
Data 日期：1104 - 1109
(4) (5) (6) (7) (8) (9)



附圖 1 — 5 風、波浪、海流及潮位概圖

計畫:
Project

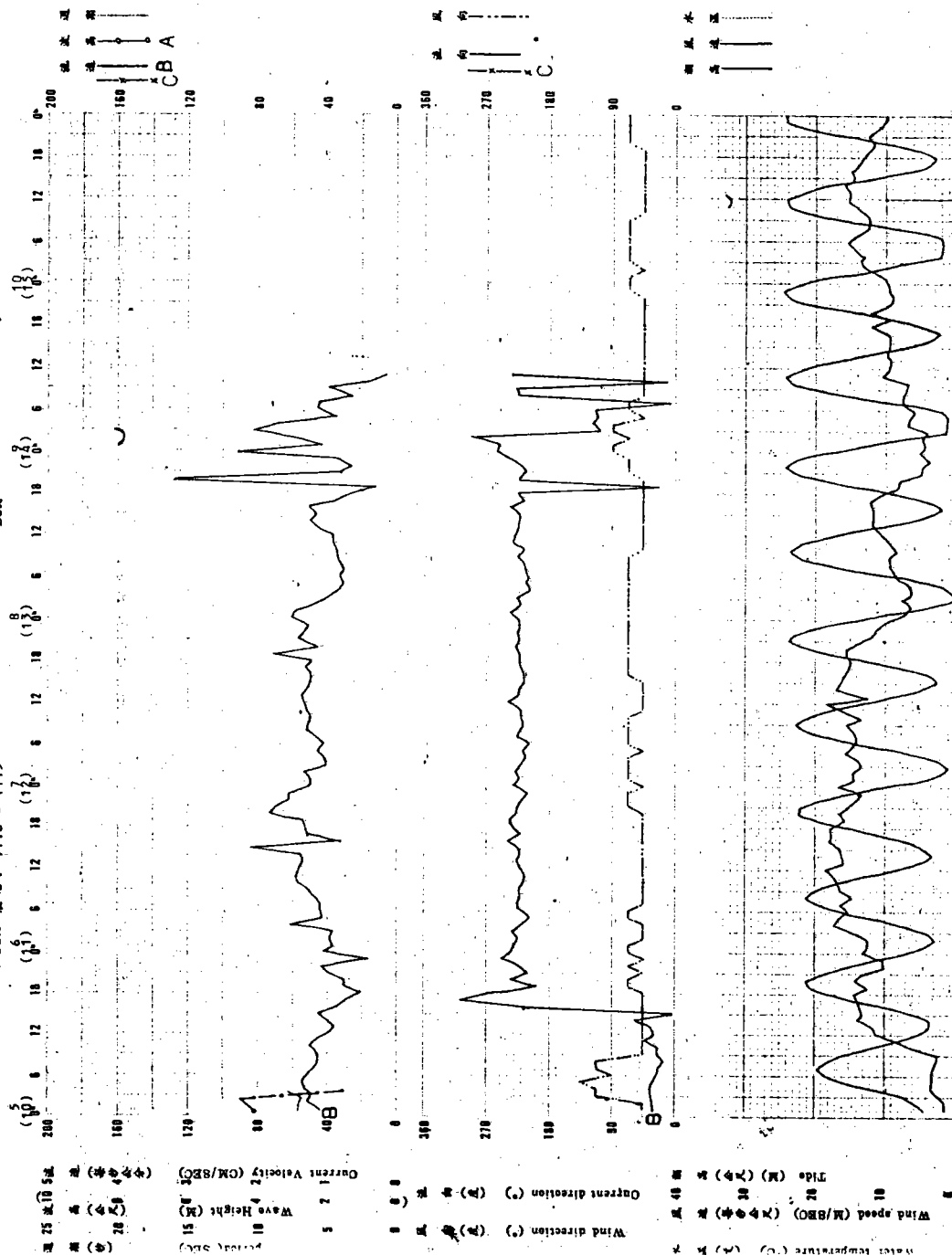
日期: 1981/1205/1210
Date: 1110 - 1115

位置: N E

深度:
Depth
日期:
Date

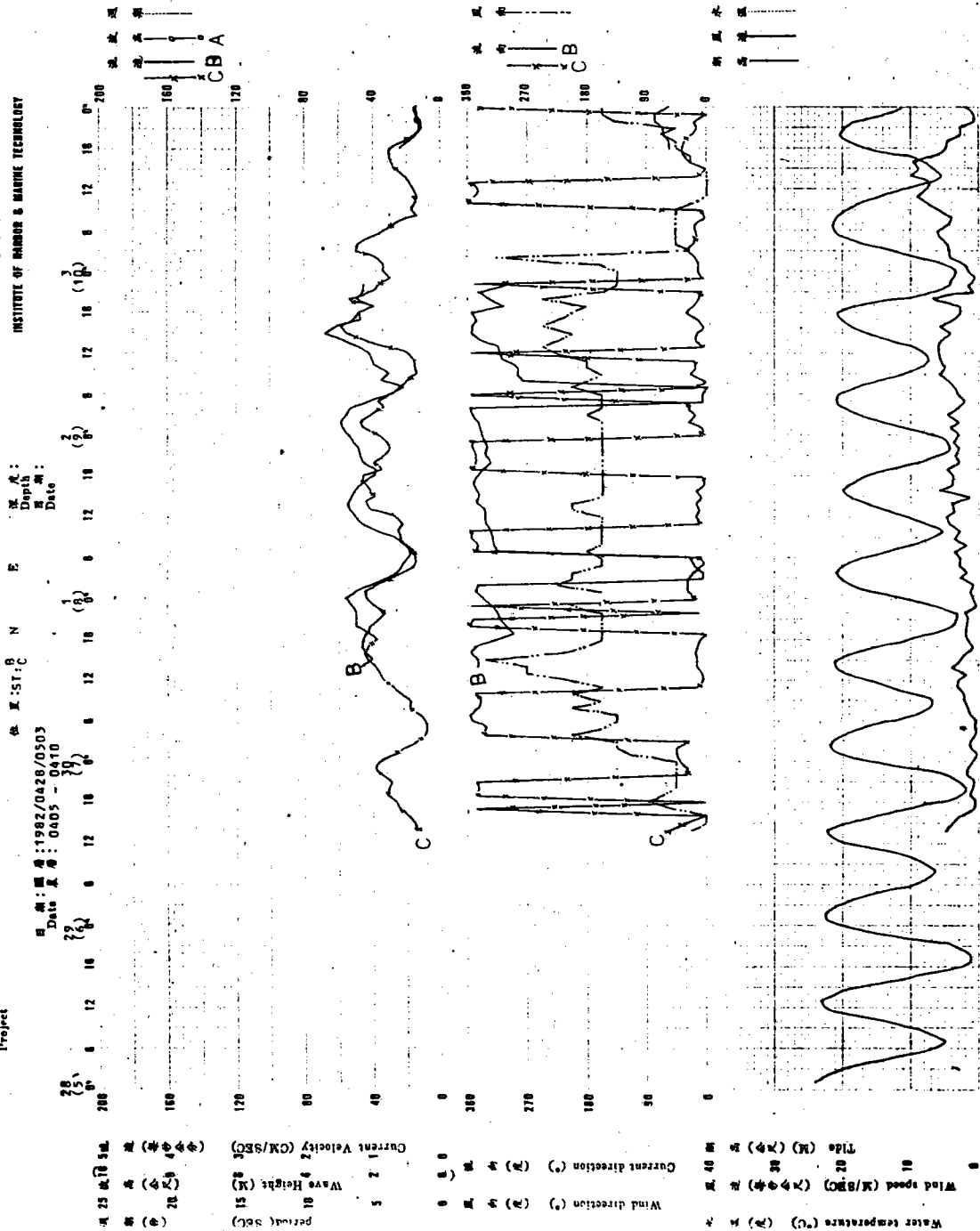
交通處港灣技術研究所

INSTITUTE OF HARBOR & MARINE TECHNOLOGY



附圖 1—6 風、波浪、海流及潮位概圖

計畫: Project
地點: 基隆港
日期: 1982/0428/0503
日期: 0405 - 0410
日期: 29



附圖一 1-7 風、波浪、海流及潮位概圖

日期: 1982/0504/0509

Date: 0411 - 0416

位置: ST: C N E

Depth: 12 10 8 6 4 2 0

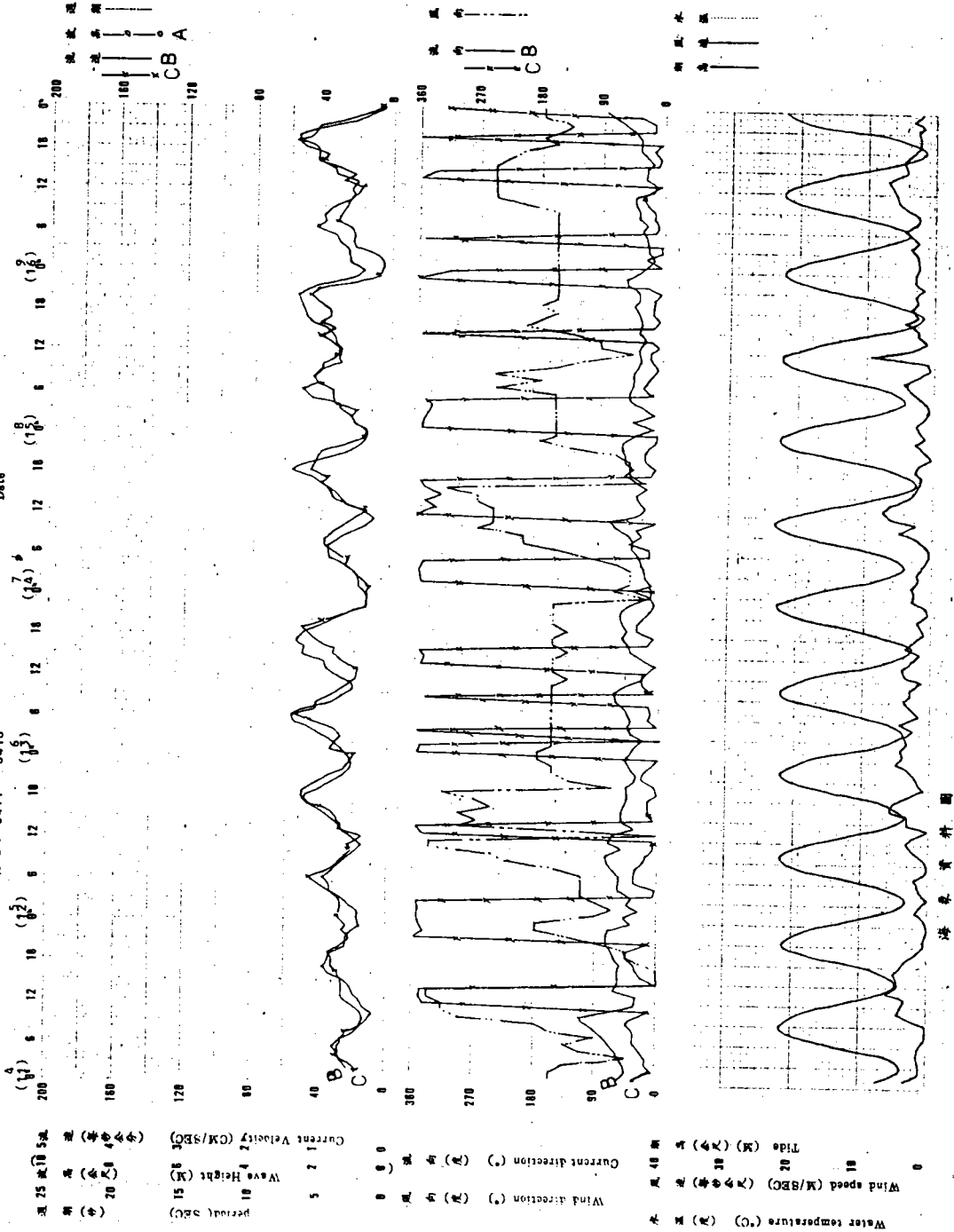
儀器: ST: C N E

Depth: 12 10 8 6 4 2 0

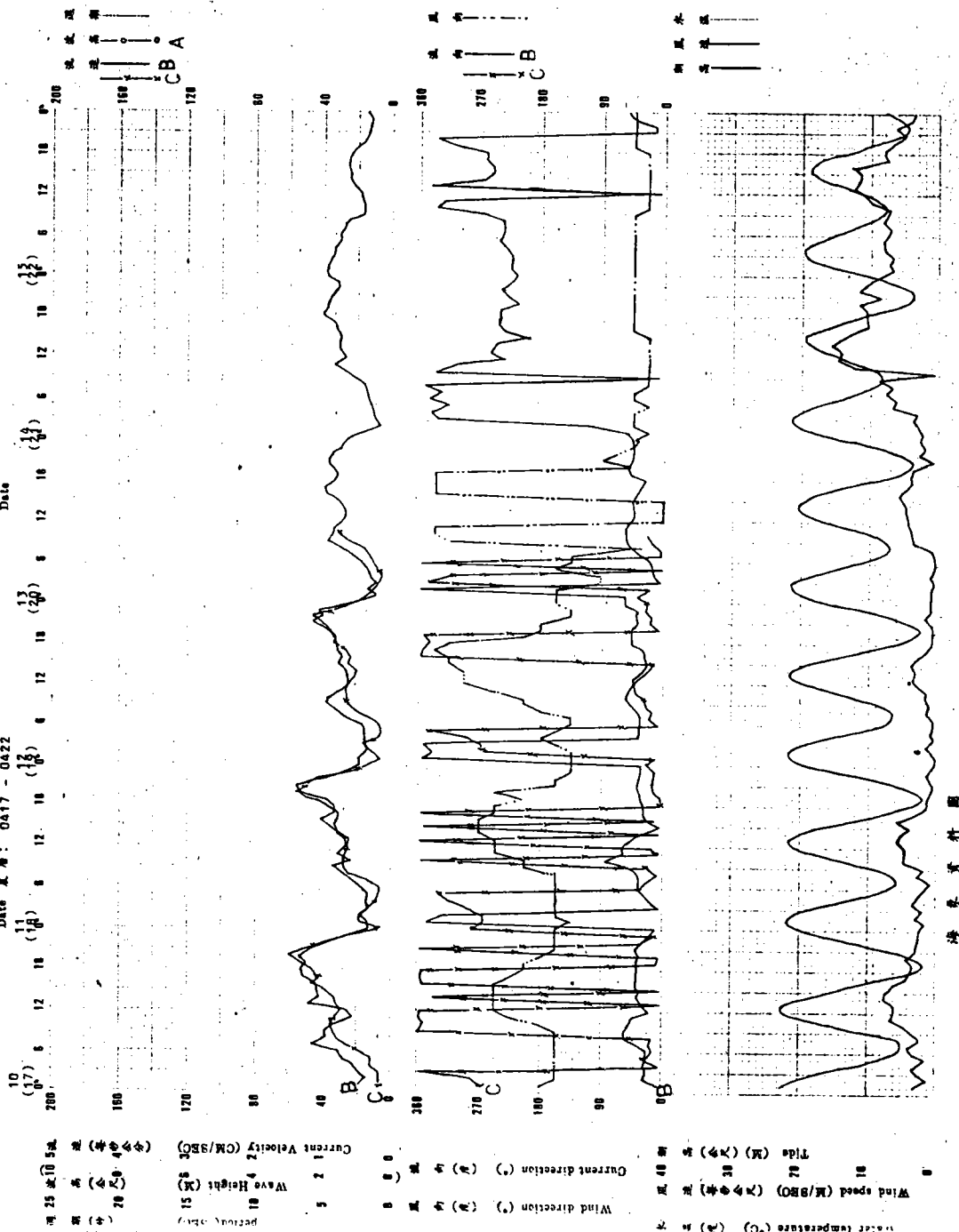
計畫: Project

Depth: 12 10 8 6 4 2 0

附圖—1—8 風、波浪、海流及潮位概圖



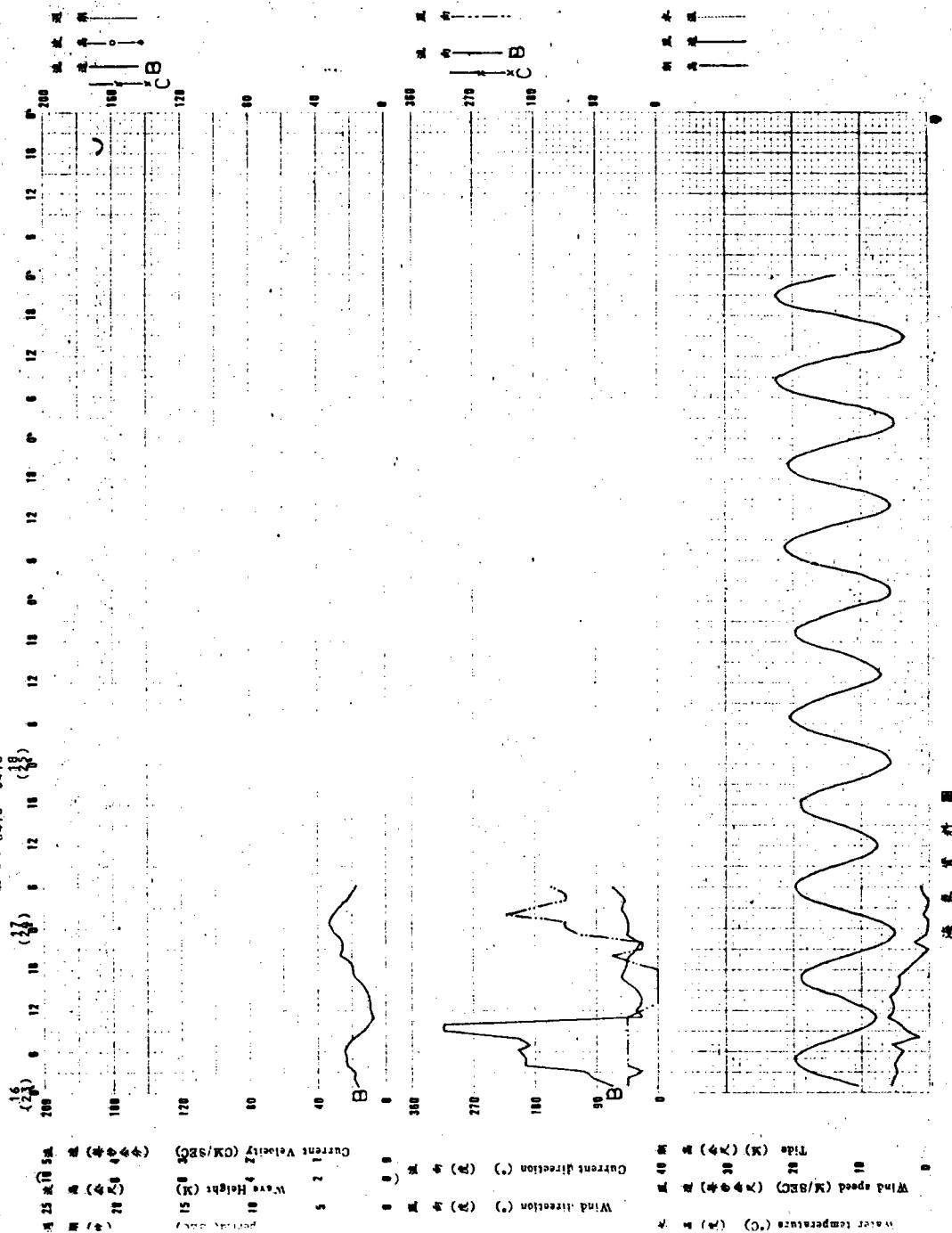
計畫：1982/0310/0515
日期：0417 - 0422
位置：ST: C N E
日期：0417 - 0422



附圖 1 — 9 風、波浪、海流及潮位概圖

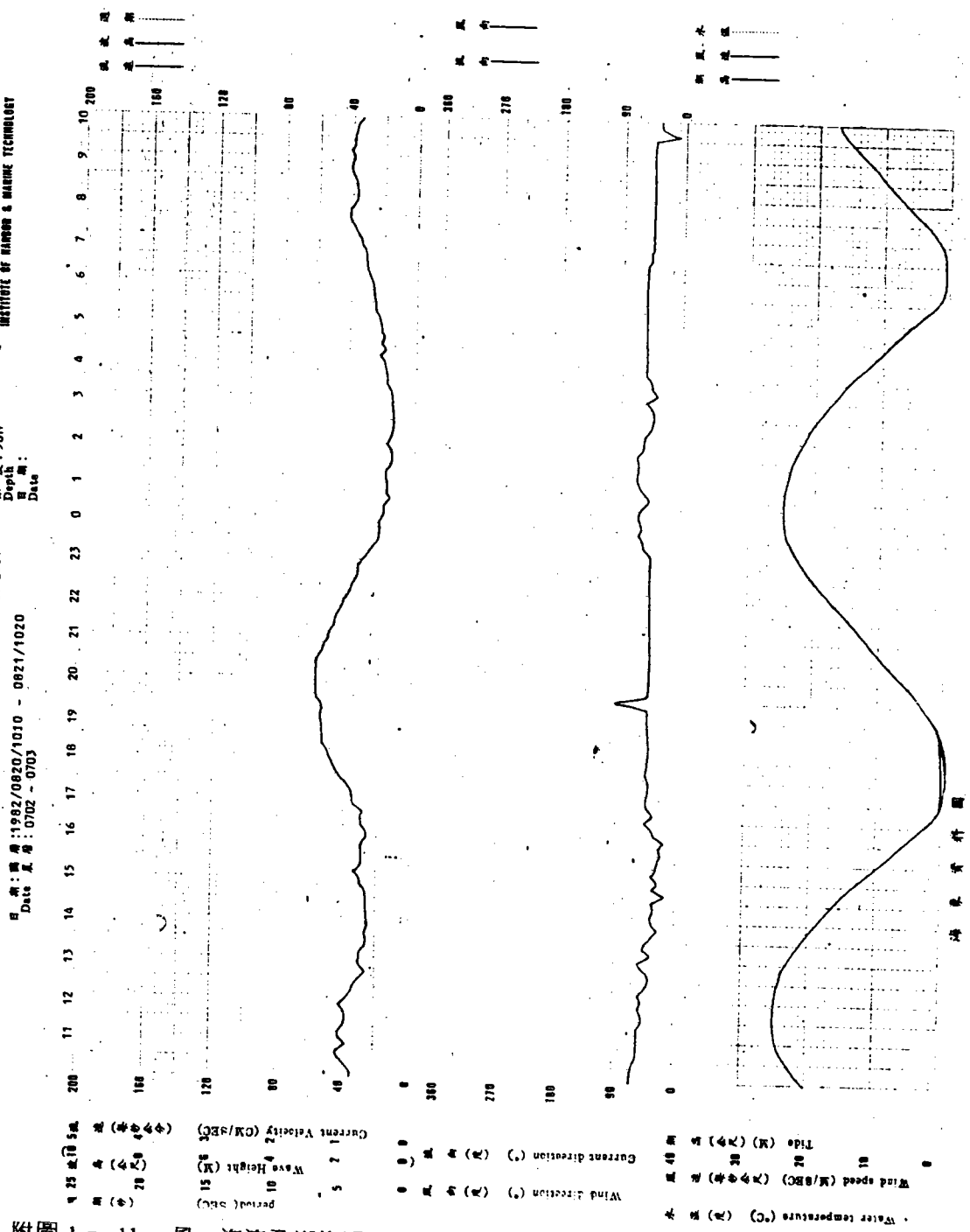
計畫:
Project

位置: ST: B N E
日期: 1982/0516/0518
Date 風向: 0416 -0418



附圖 1-10 風、波浪、海流及潮位概圖

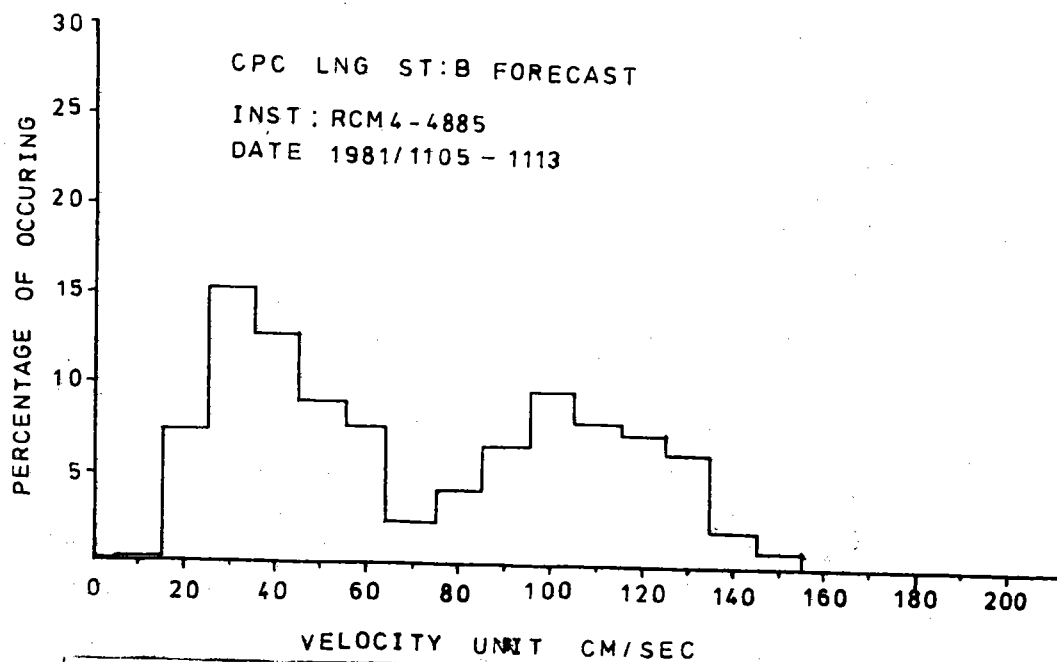
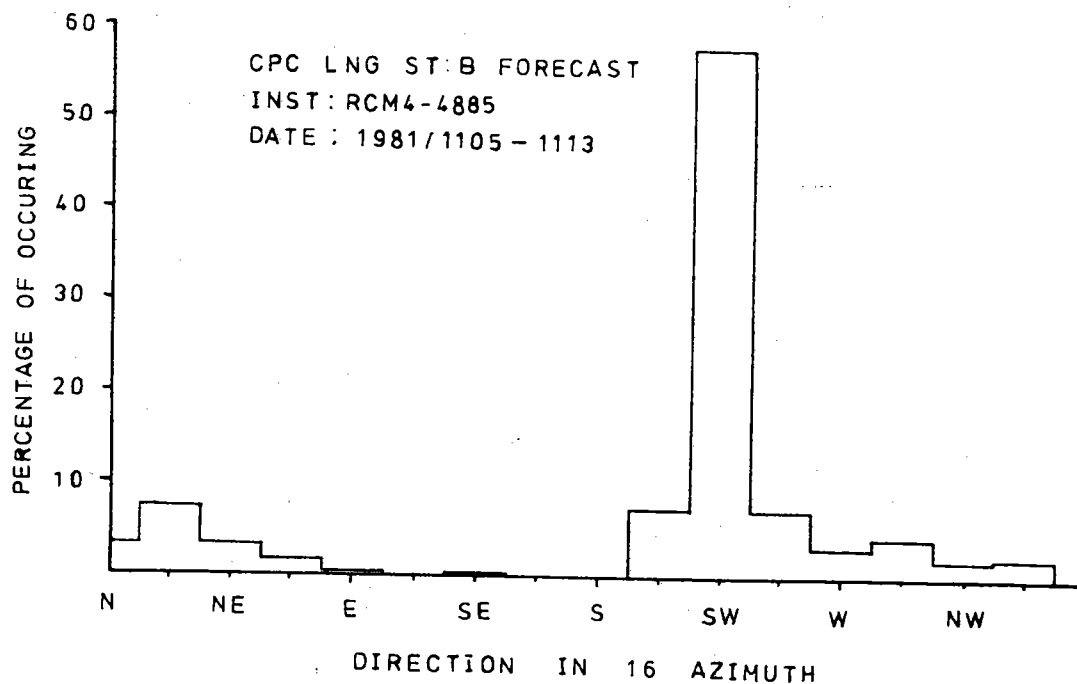
計畫: Project
 交通部港務技術研究所
 INSTITUTE OF MARINE & MARINE TECHNOLOGY
 位置: 24°17.3'N 120°26.4'E
 水深: 50M
 日期: 1982/0820/1010 - 0821/1020
 Date 風向: 0702 - 0703



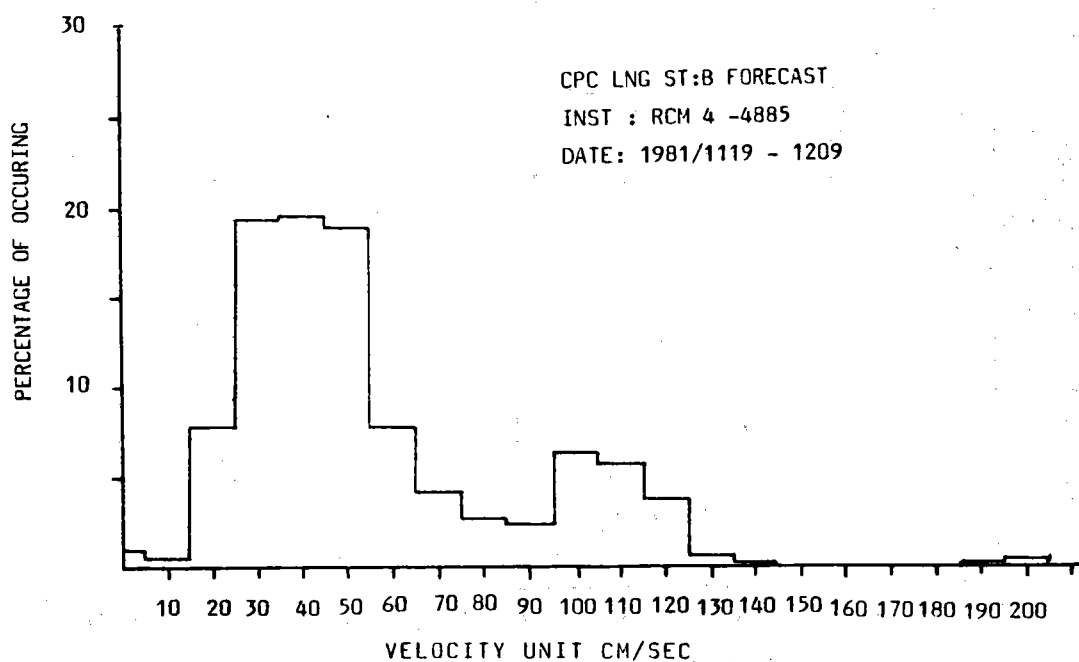
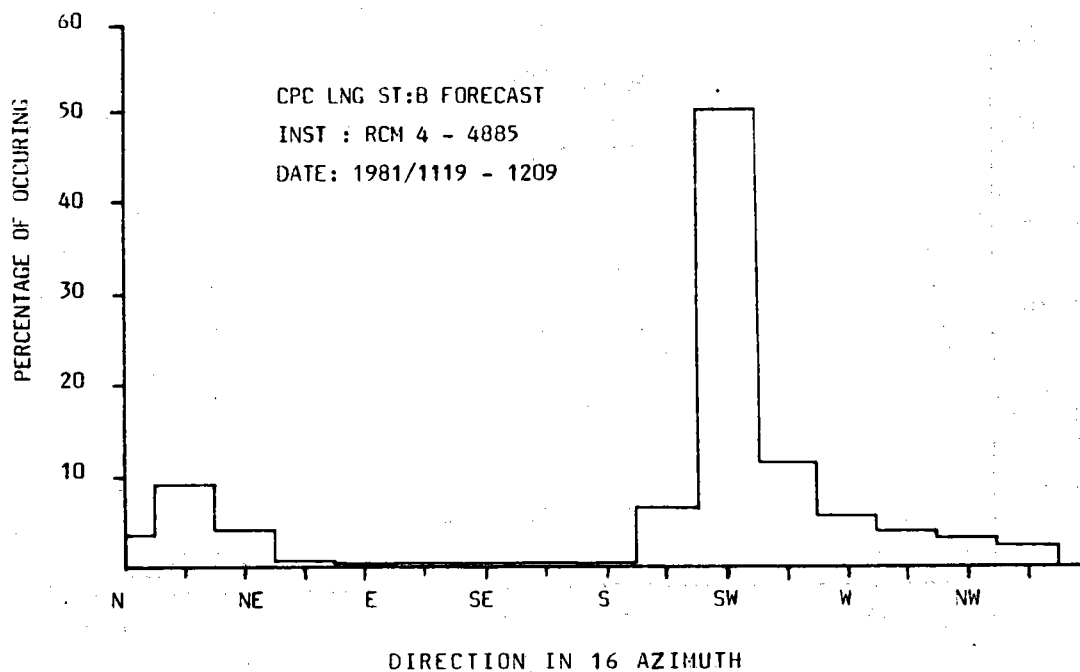
附圖 1-11 風、海流及潮位圖

附 錄 2

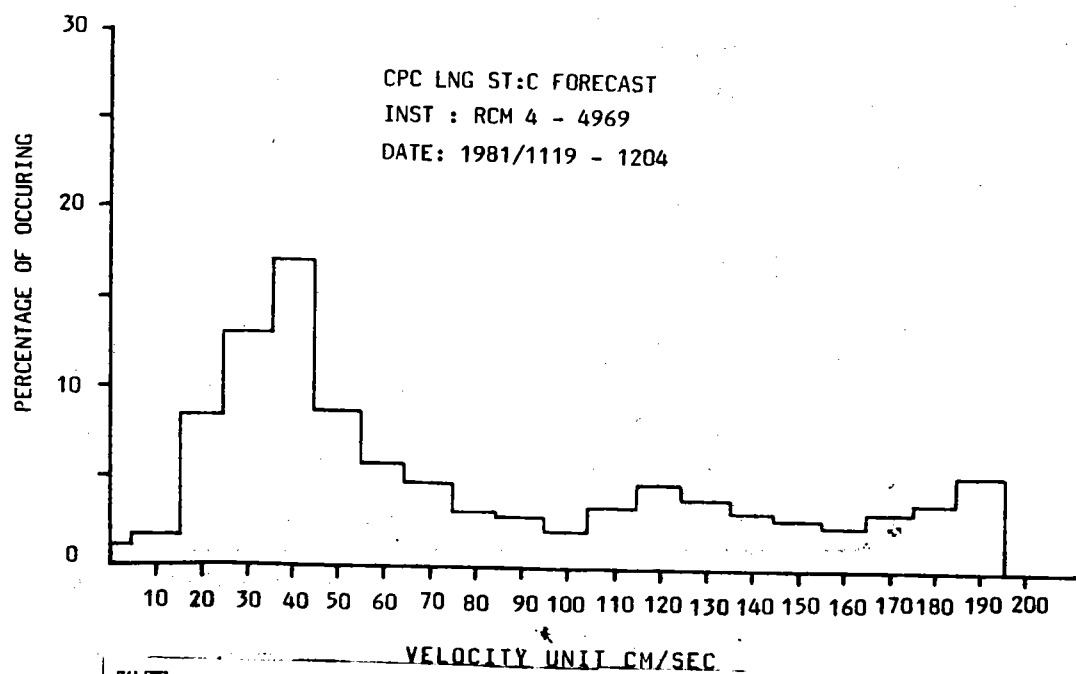
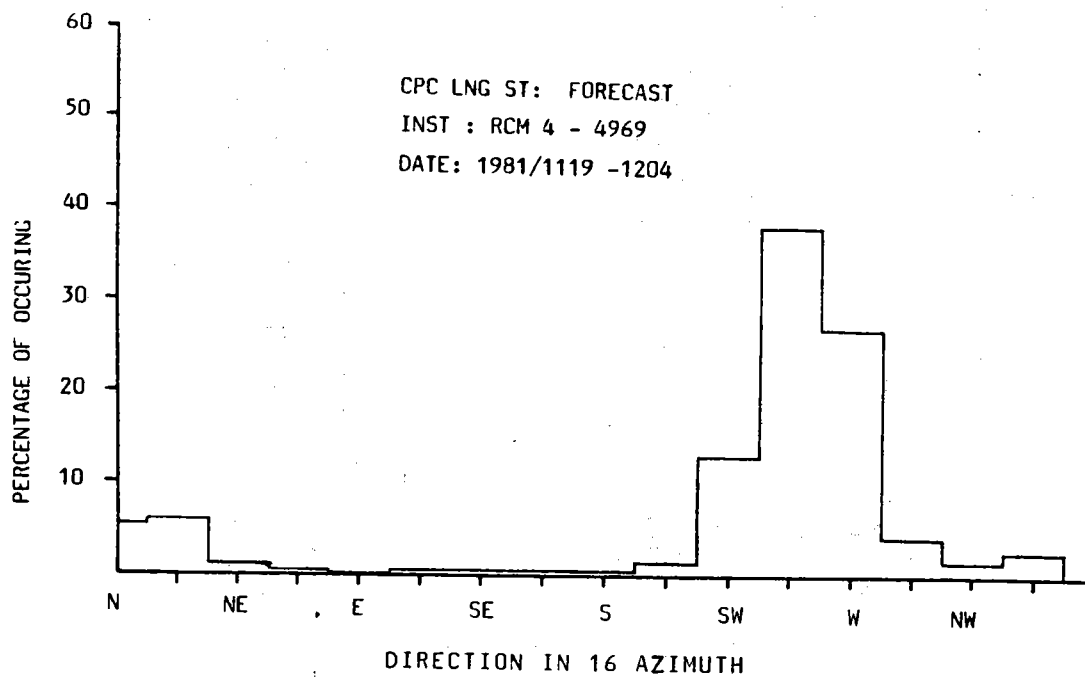
海流流向流速統計圖



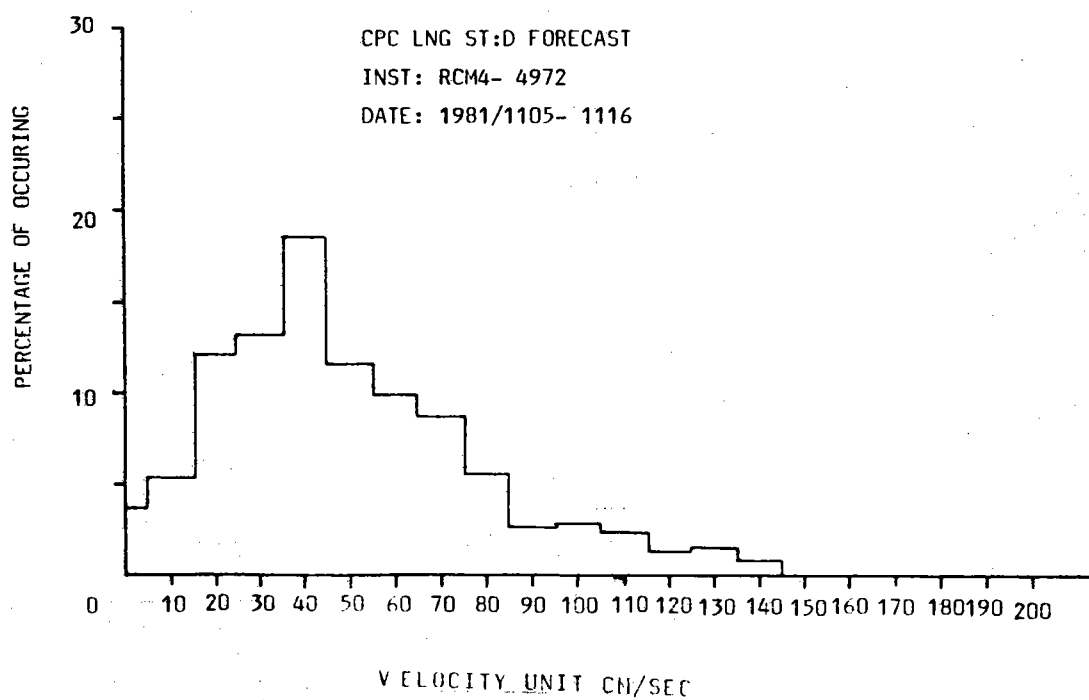
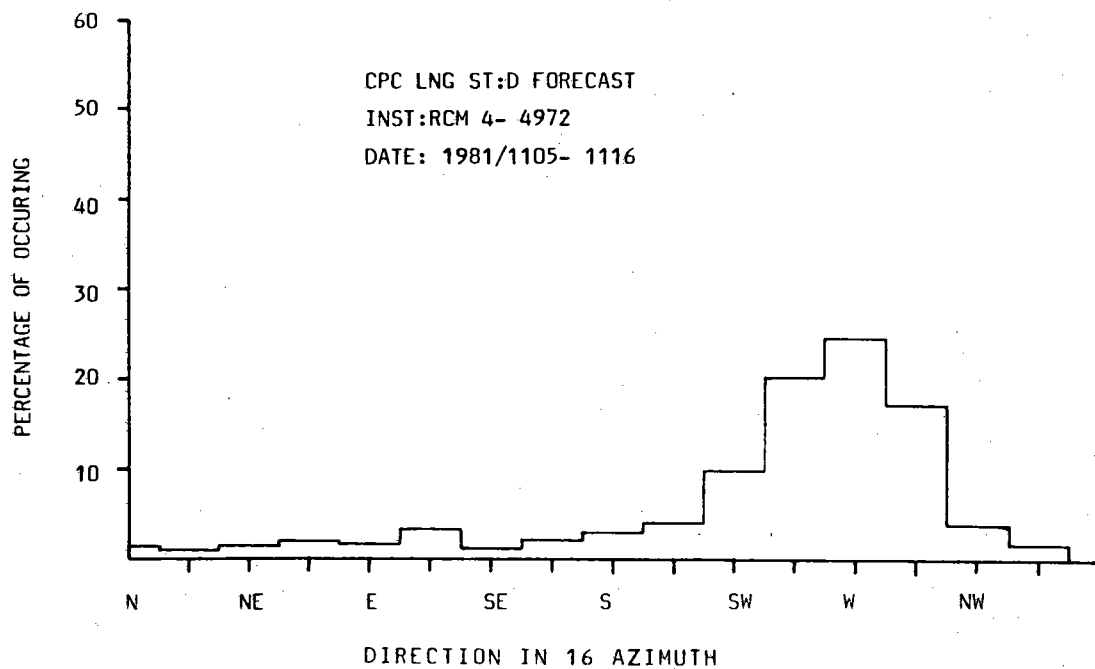
附圖—2—1 海流流向、流速統計圖



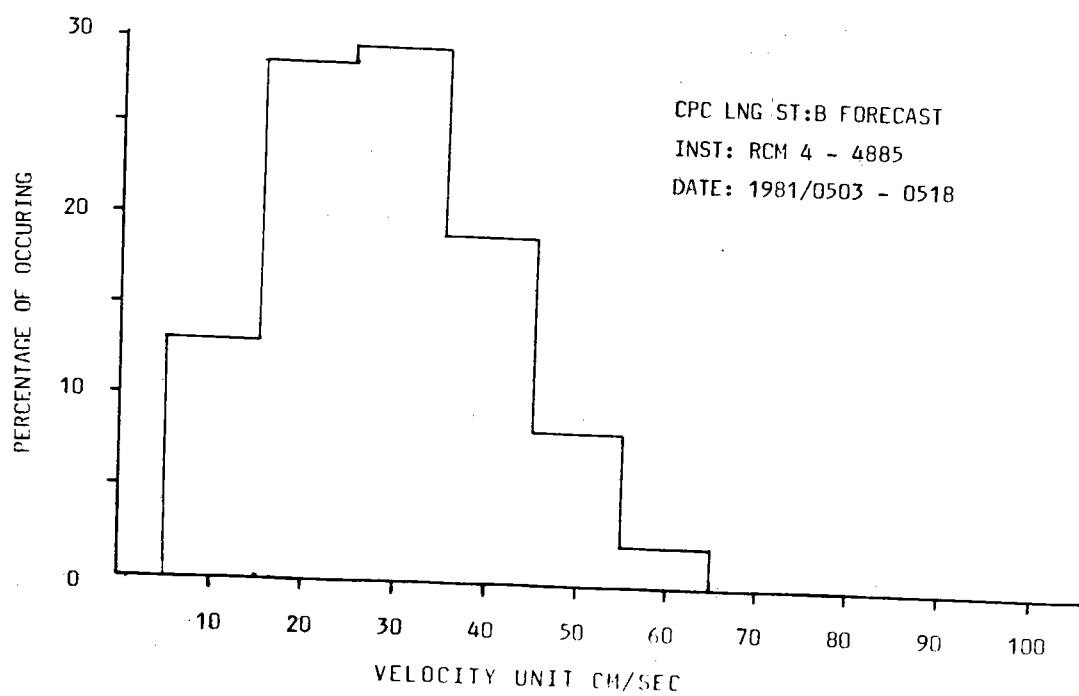
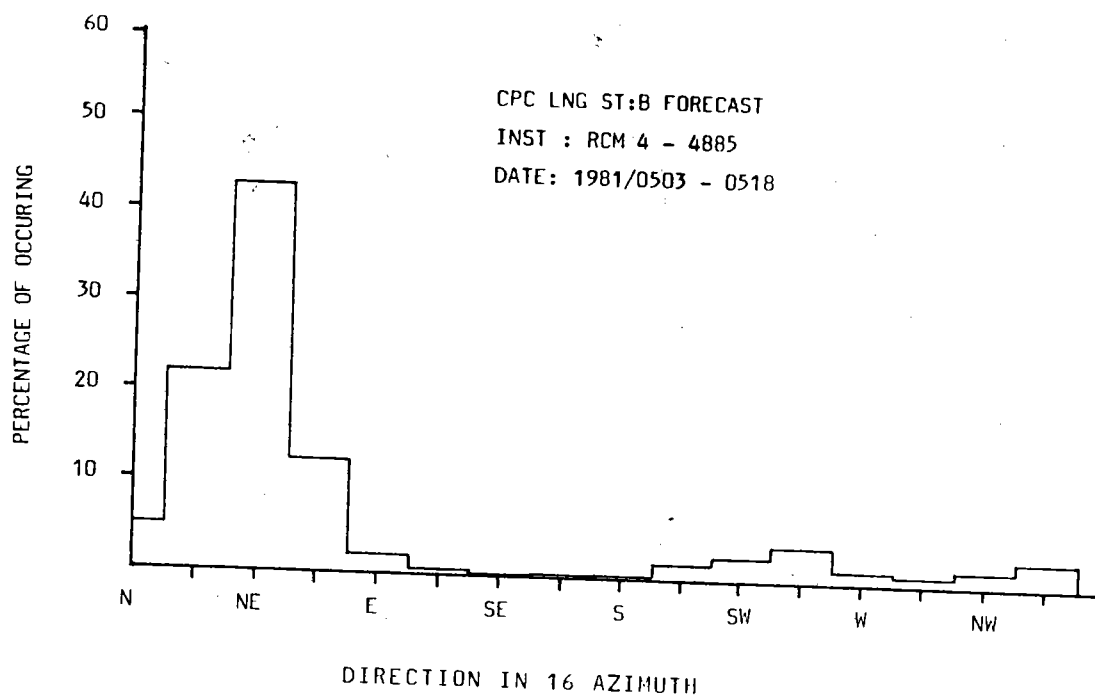
附圖—2—2 海流流向、流速統計圖



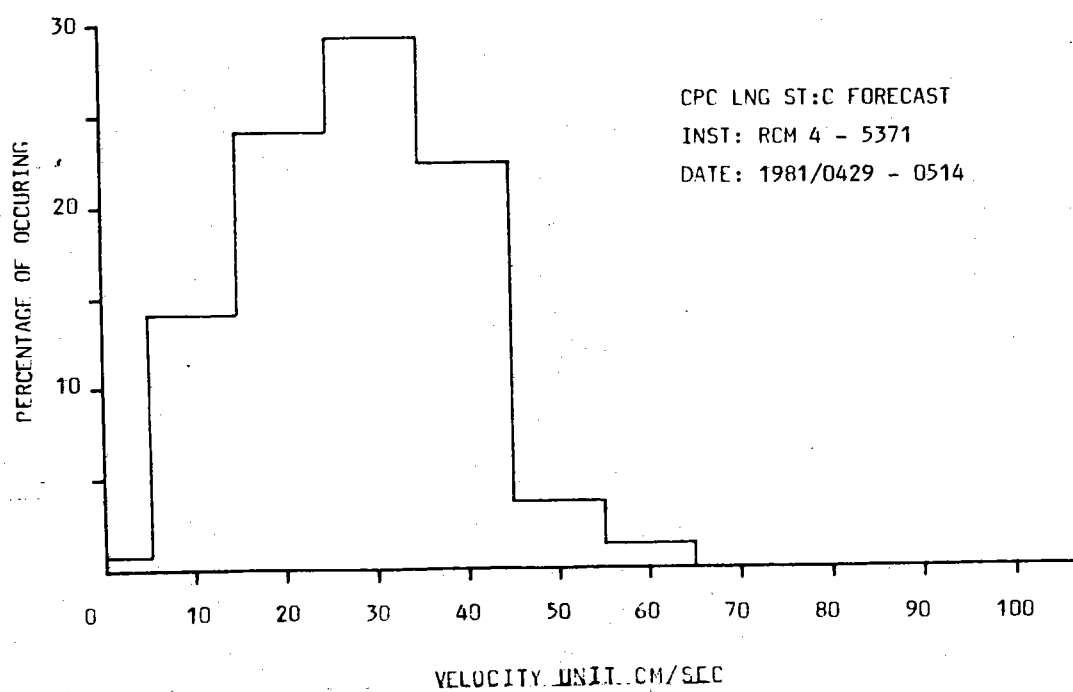
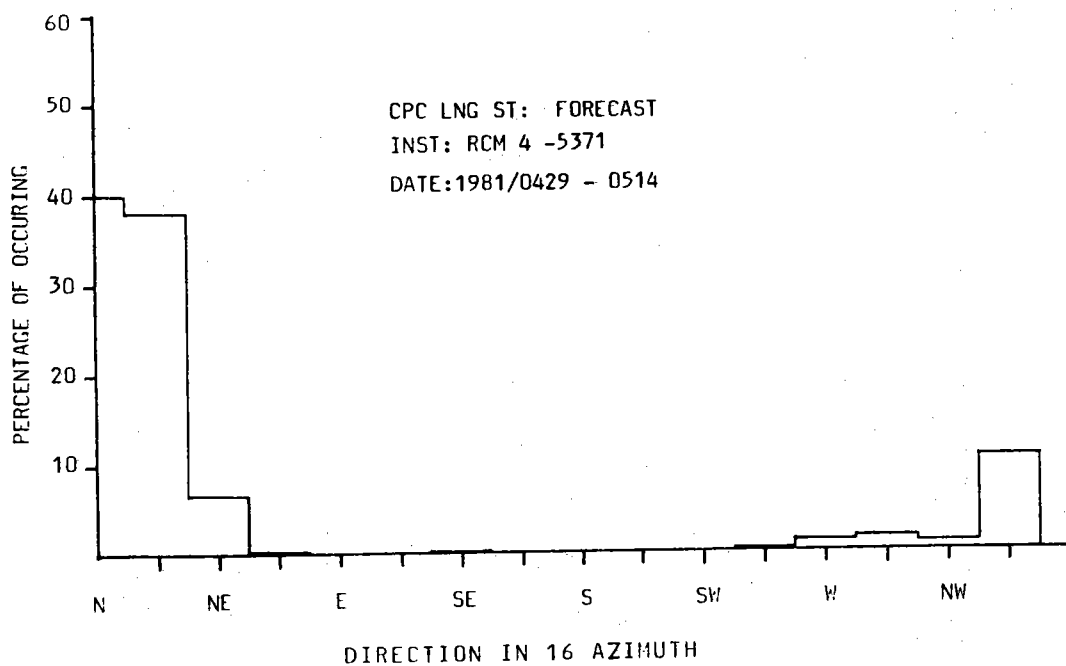
附圖—2—3 海流流向、流速統計圖



附圖一 2—4 海流流向、流速統計圖



附圖—2—5 海流流速、流向統計圖



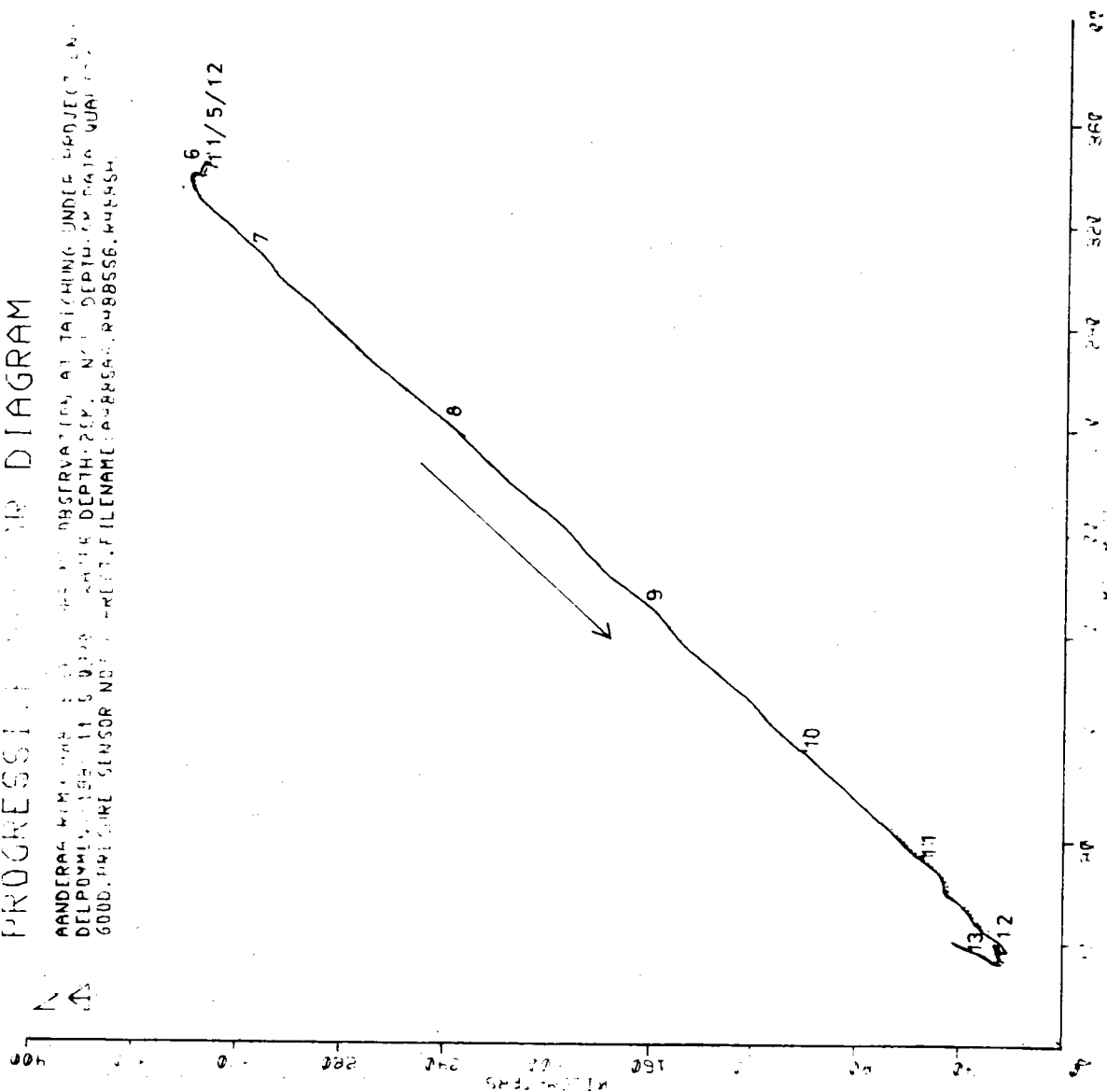
附圖—2—6 海流流向、流速統計圖

附 錄 3

海 流 向 量 行 經 圖

PROGRESSIVE TRACKING DIAGRAM

ANDERSON WIND TOWER 100 OBSERVATION AT TAIPEI UNDER PROJECT
 DELPOWIND 100 11 5 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
 GOOD. PRESSURE SENSOR NOT WORK. FILENAME: A-8855A-RUBBS6.WINDSH.



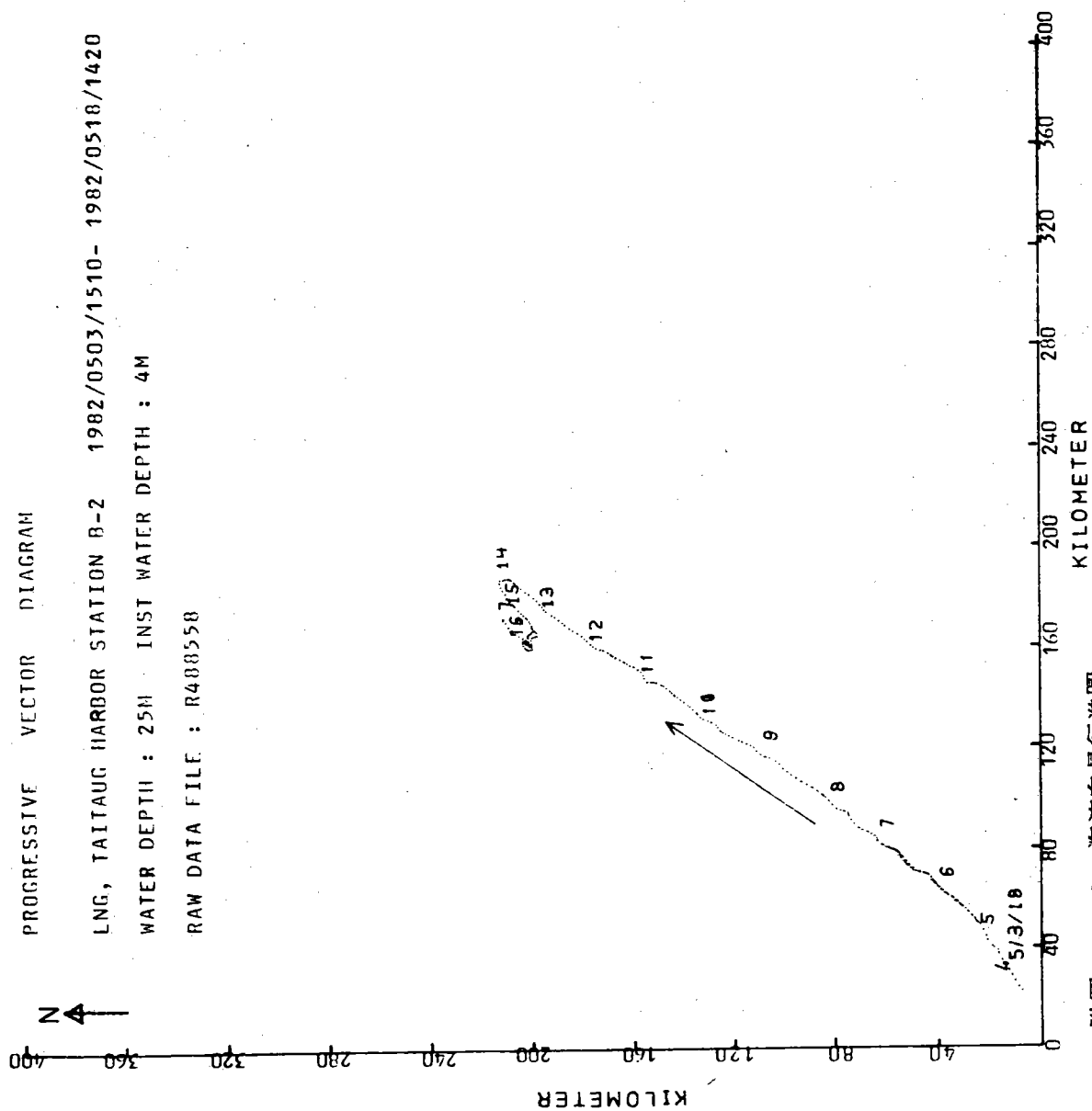
附圖—3—1 海流向量行進圖

PROGRESSIVE VECTOR DIAGRAM

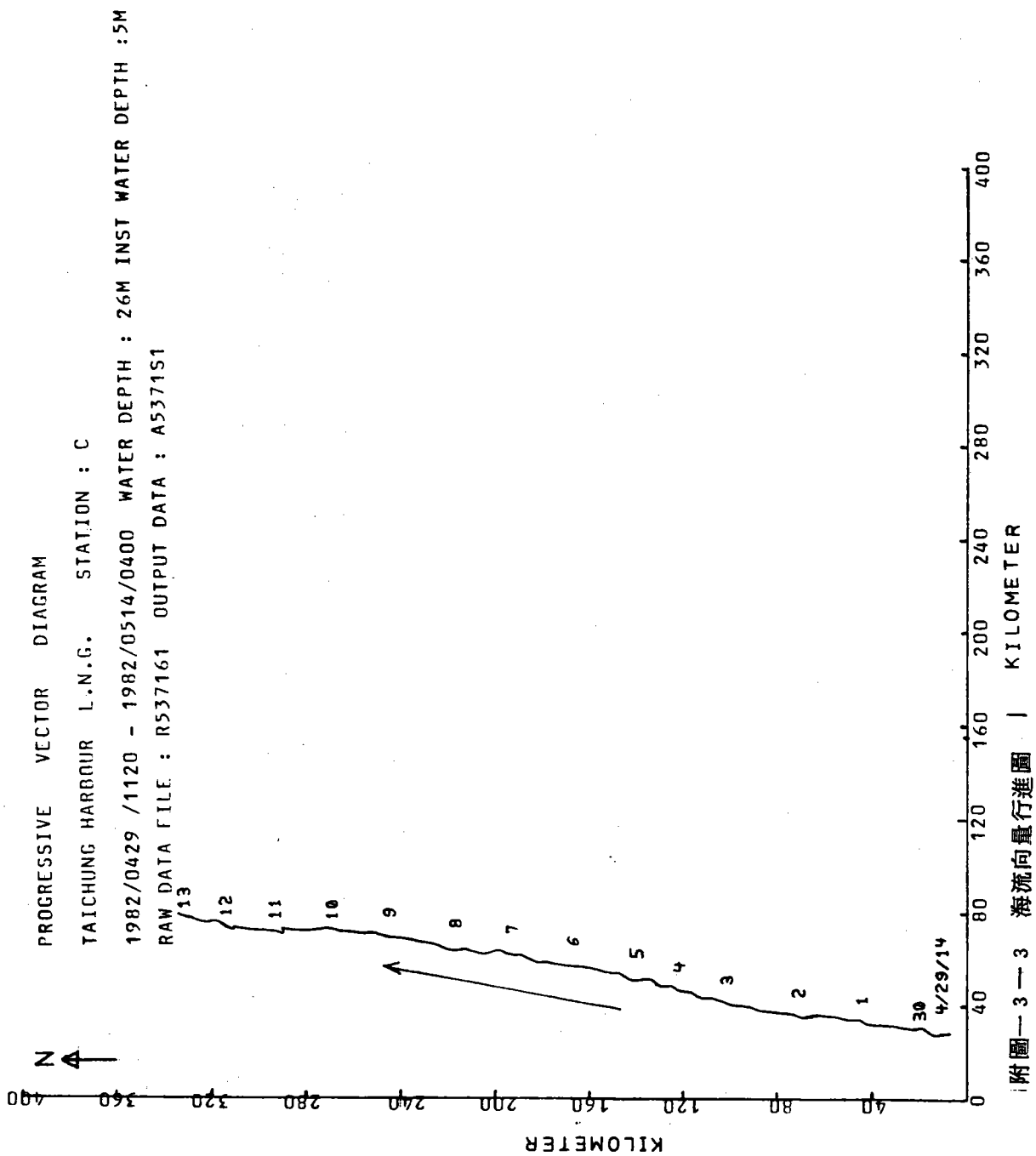
LNG, TAITAUG HARBOR STATION B-2 1982/0503/1510- 1982/0518/1420

WATER DEPTH : 25M INST WATER DEPTH : 4M

RAW DATA FILE : R488558



附圖一3—2 海流向量行進圖



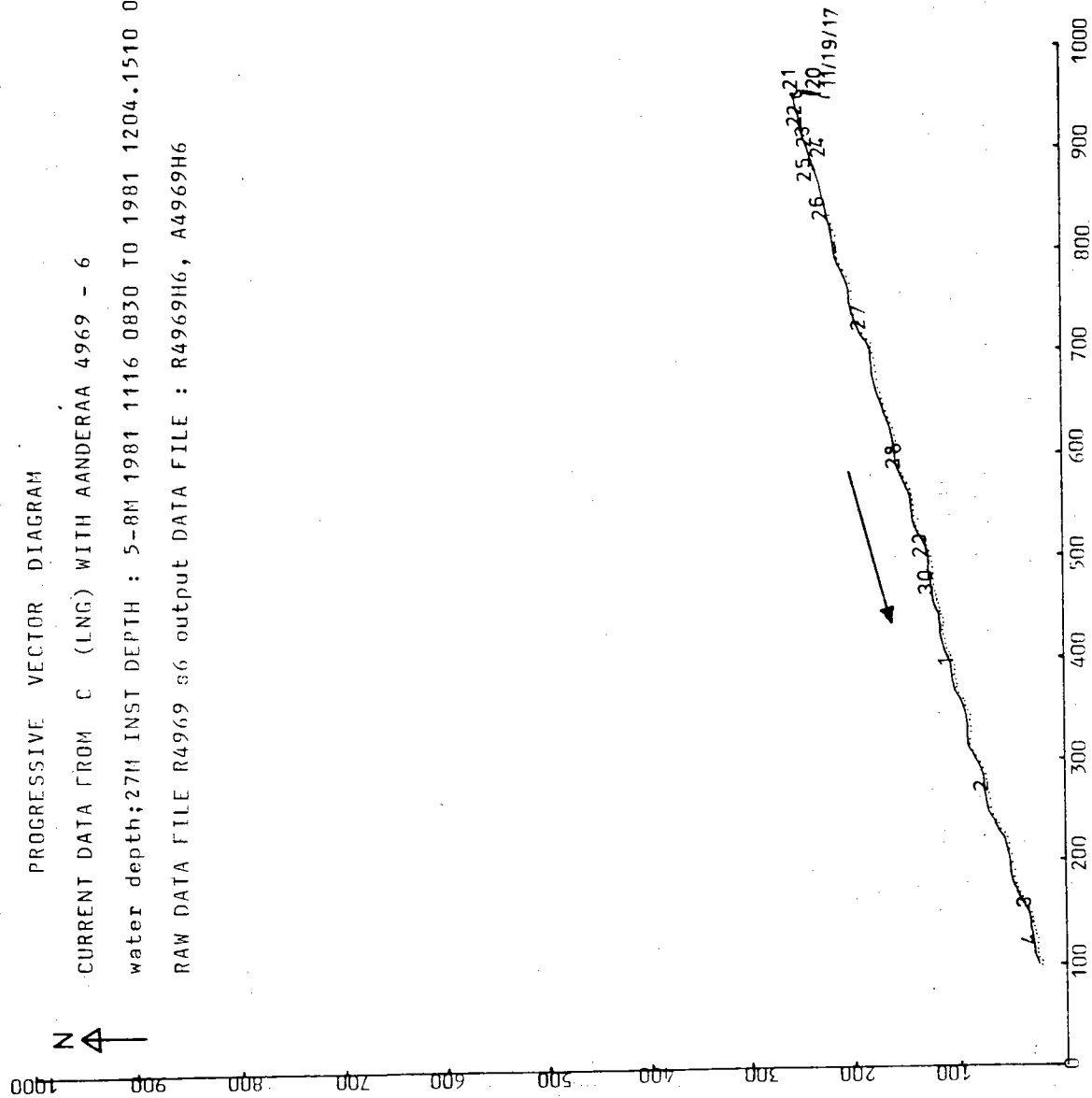
附圖—3—3 海流向量行進圖

PROGRESSIVE VECTOR DIAGRAM

CURRENT DATA FROM C (LNG) WITH AANDERAA 4969 - 6

water depth; 27M INST DEPTH : 5-8M 1981 1116 0830 TO 1981 1204.1510 OFF

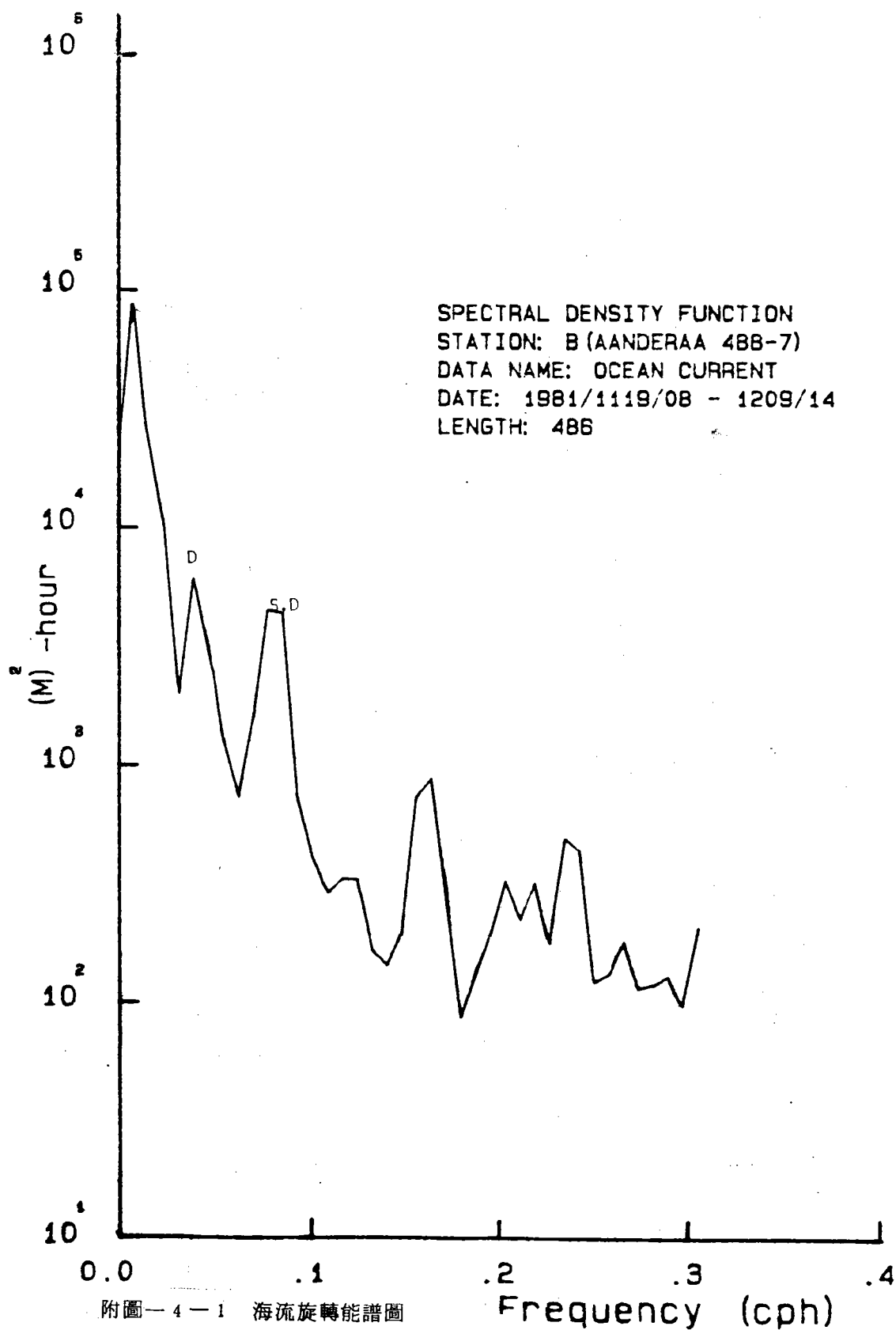
RAW DATA FILE R4969 s6 output DATA FILE : R4969H6, A4969H6

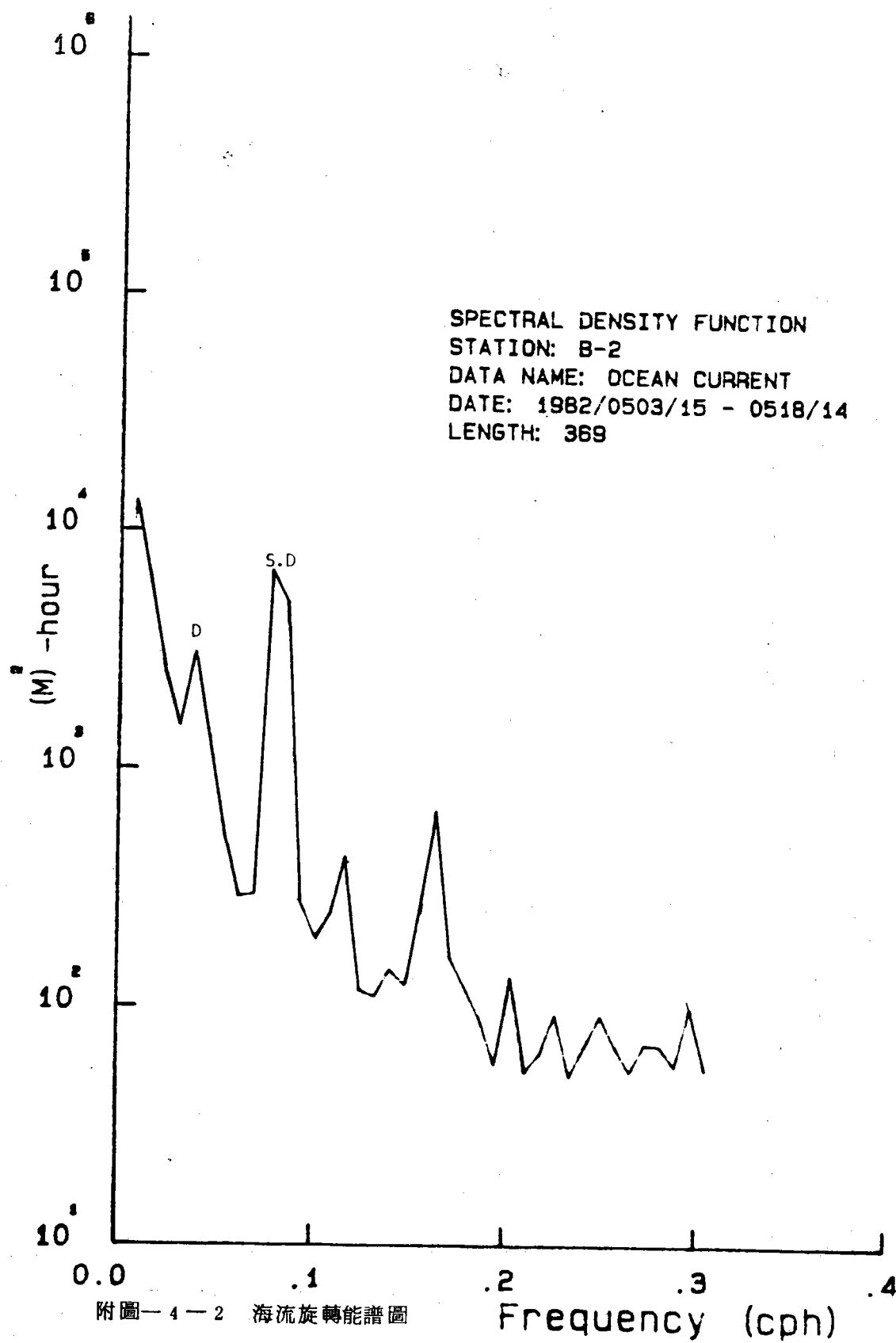


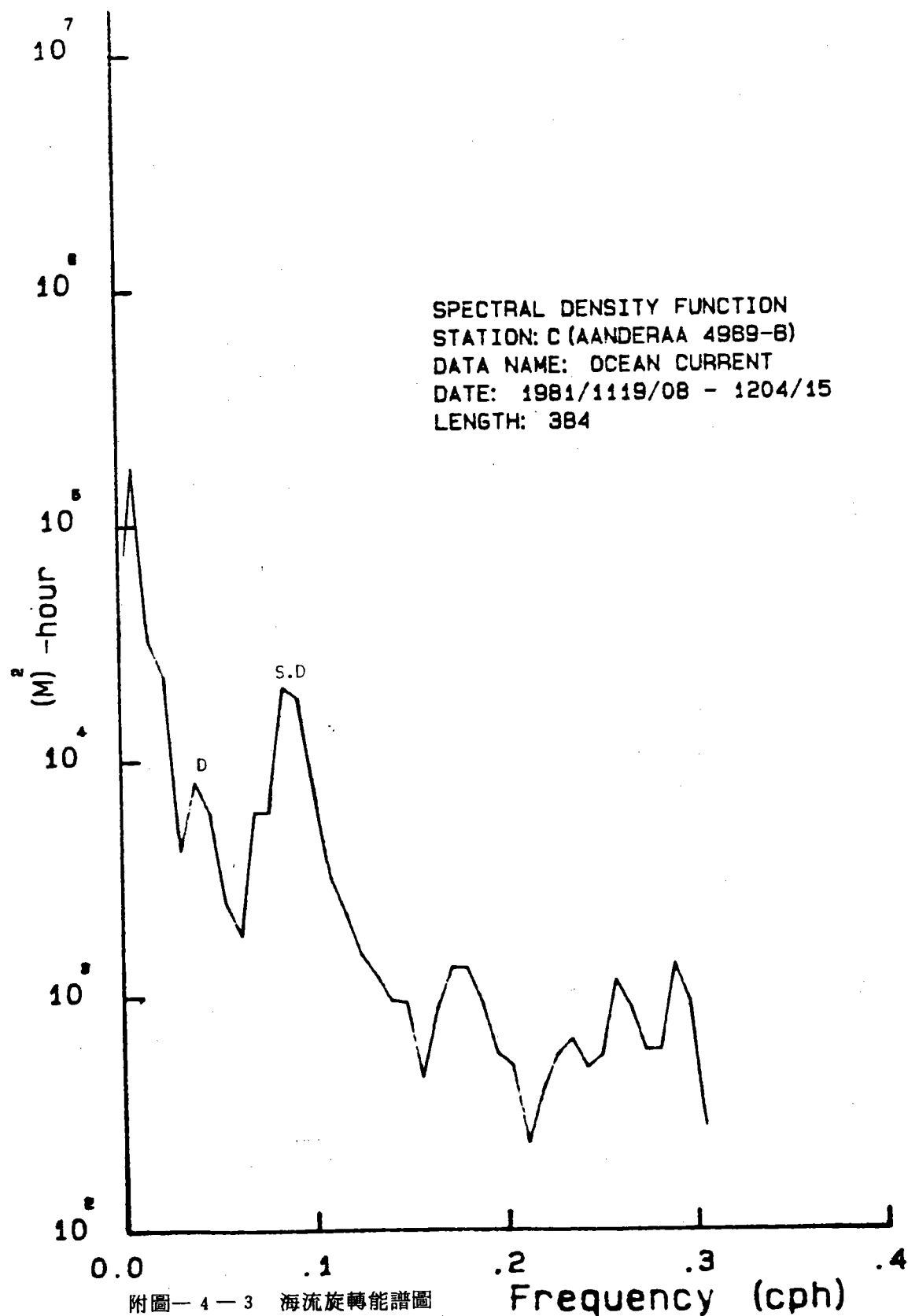
附圖一 3—4 海流向量行進圖

附 錄 4

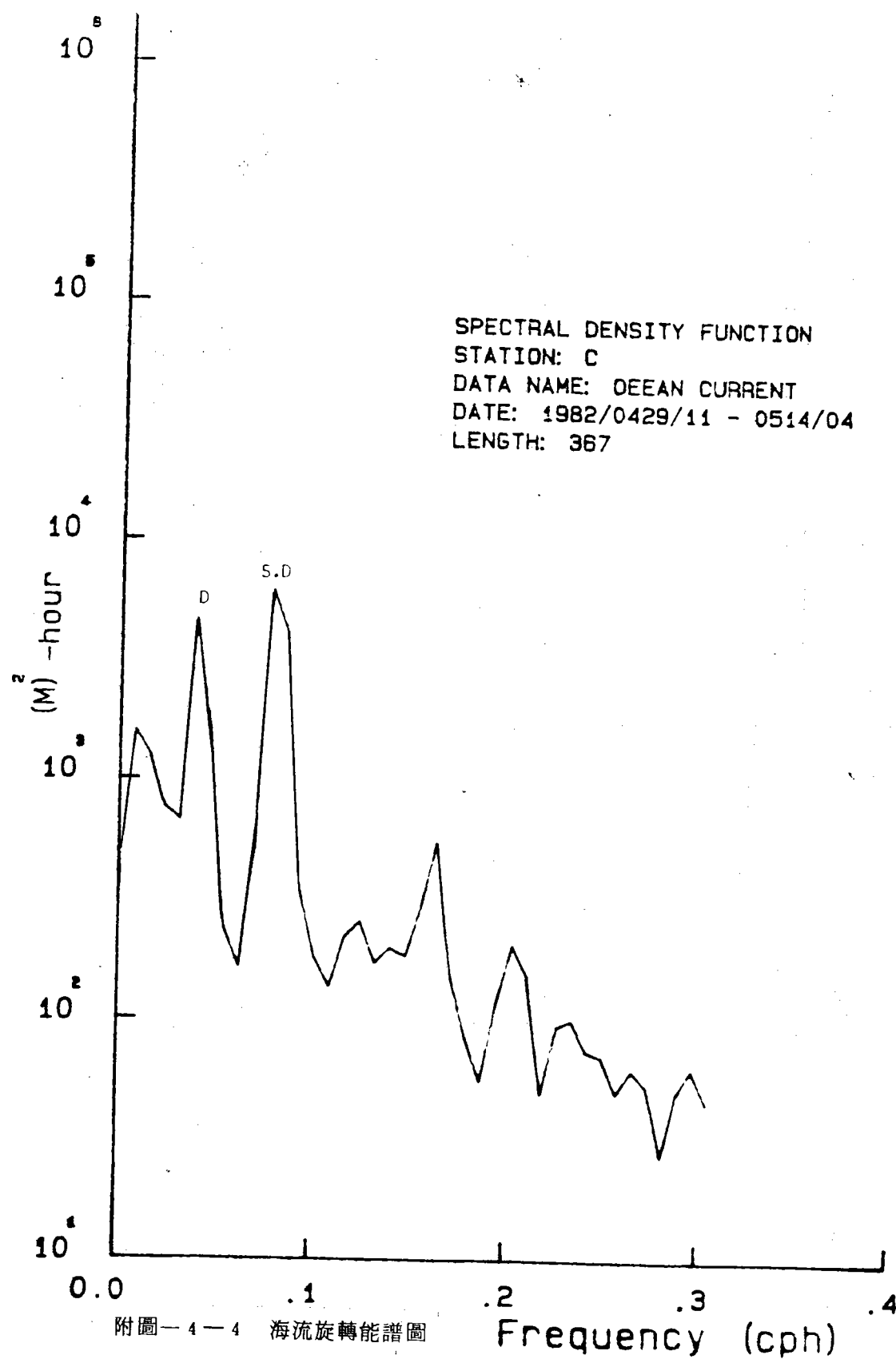
海 流 能 譜 圖

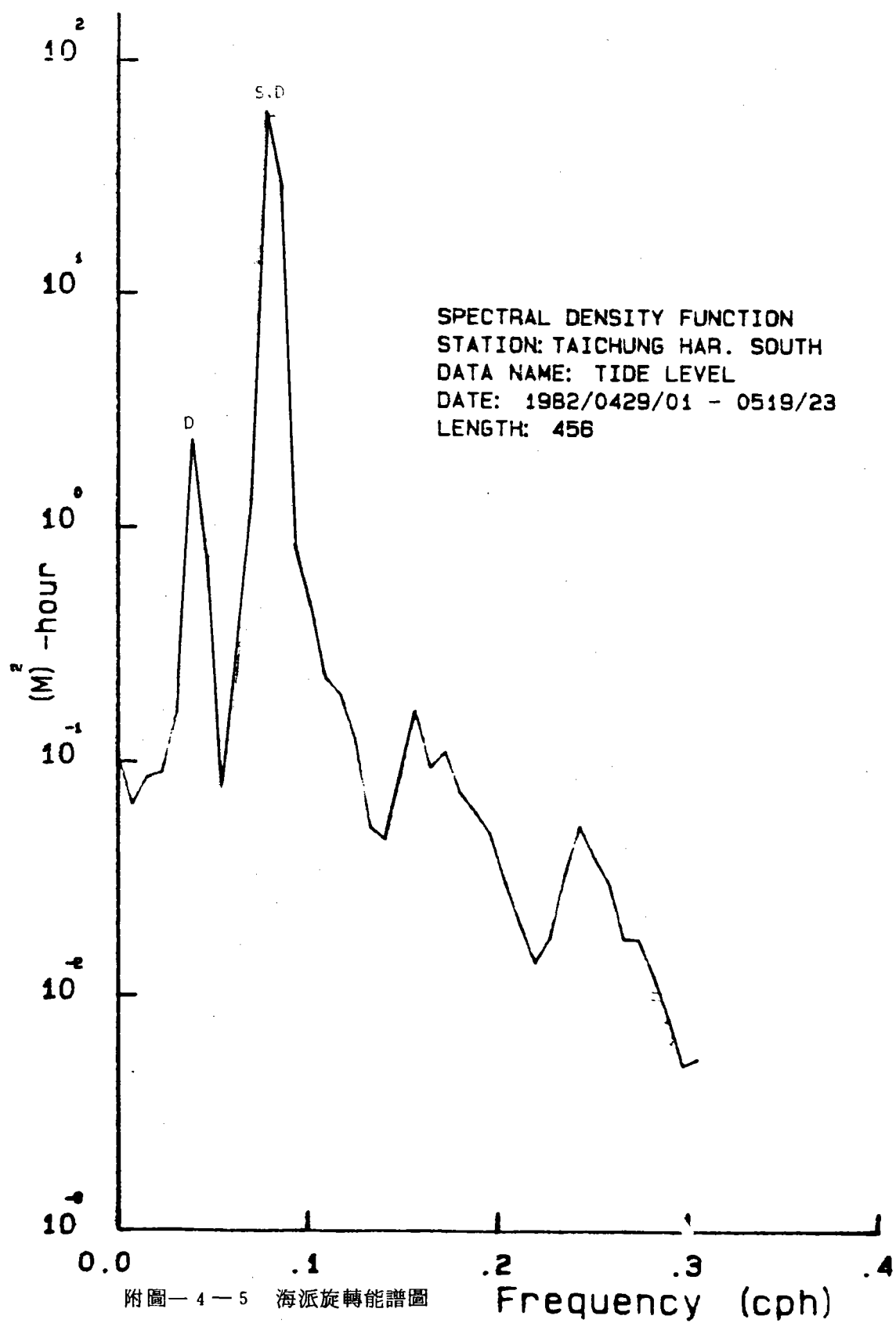






附圖—4—3 海流旋轉能譜圖

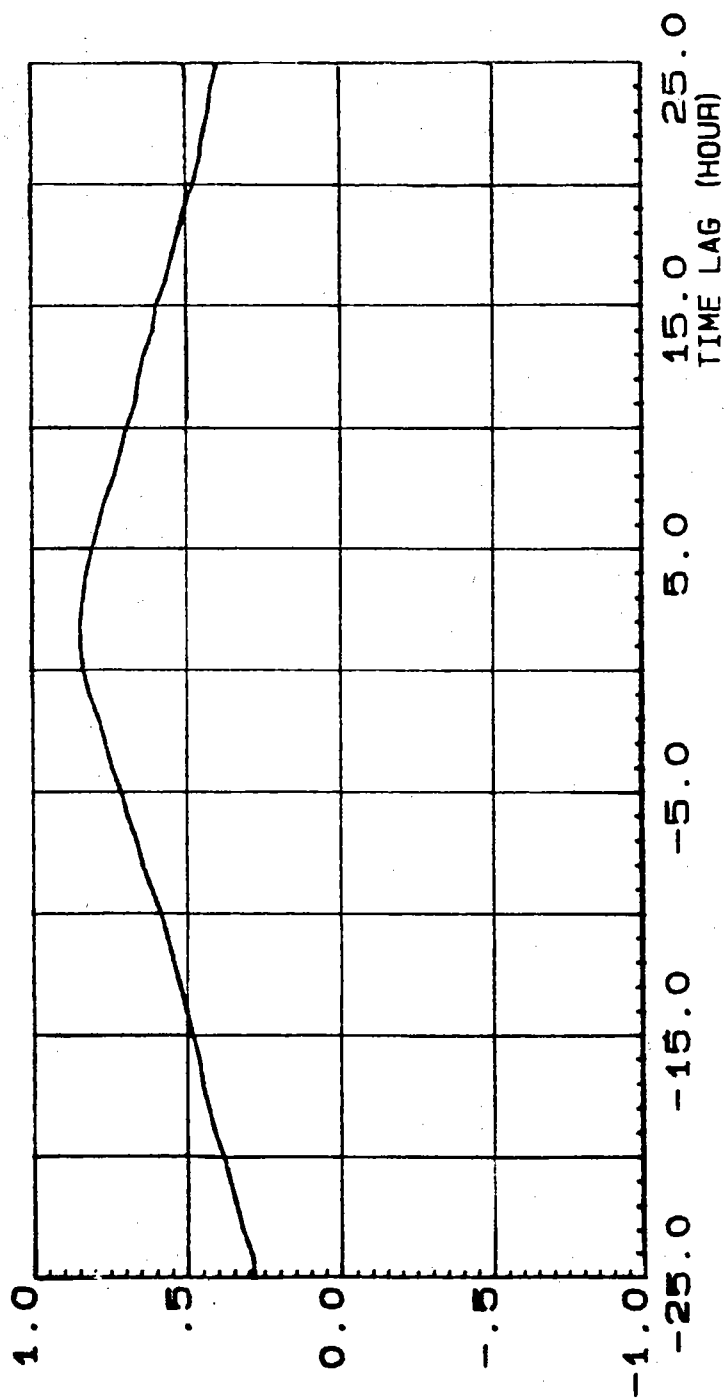




附 錄 5

海流之互相關函數圖

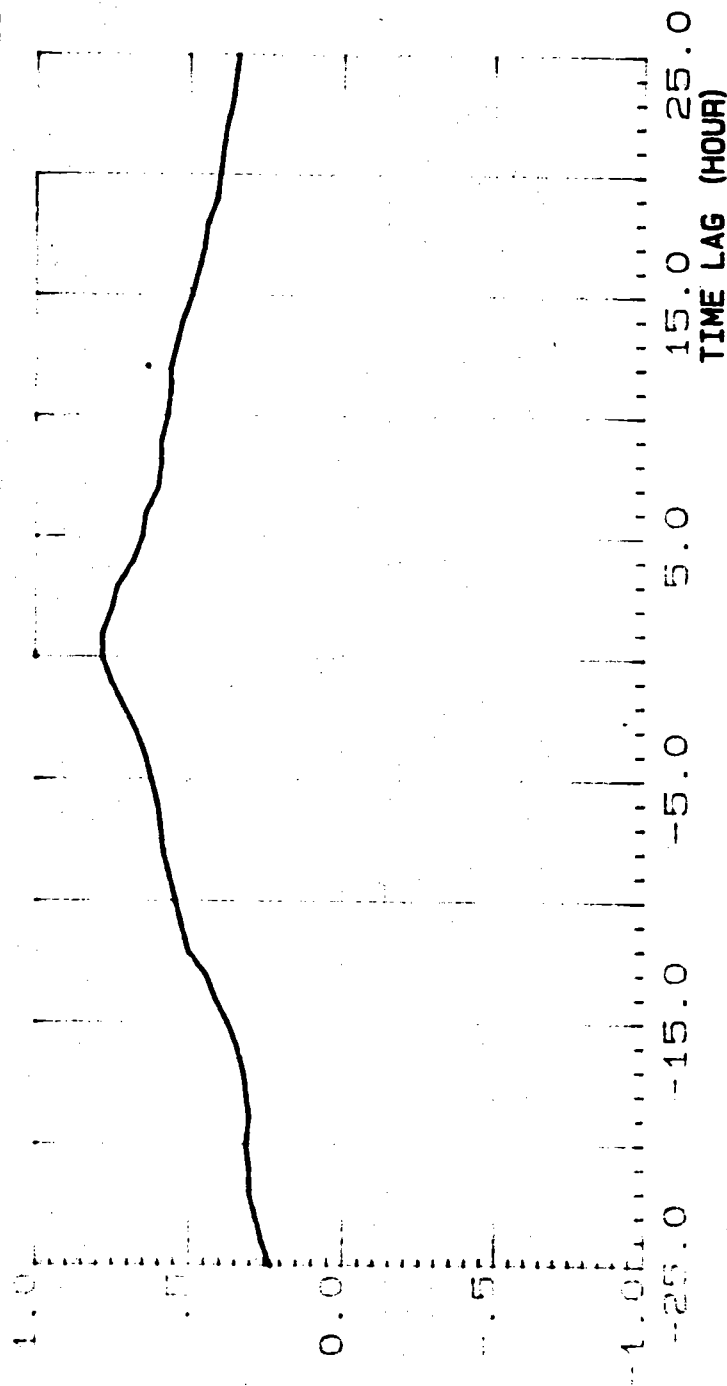
CORRELATION FUNCTION OF SERIES X WITH SERIES Y
 X SERIES: OCEAN CURRENT AT STATION: B (AANDERAA 4885-7)
 Y SERIES: OCEAN CURRENT AT STATION: C (AANDERAA 4989-8)



THE DATA DURATION : 1981/1119/17 - 1204/15

附圖—5—1 B 站與C 站冬季海流之互相關函數圖

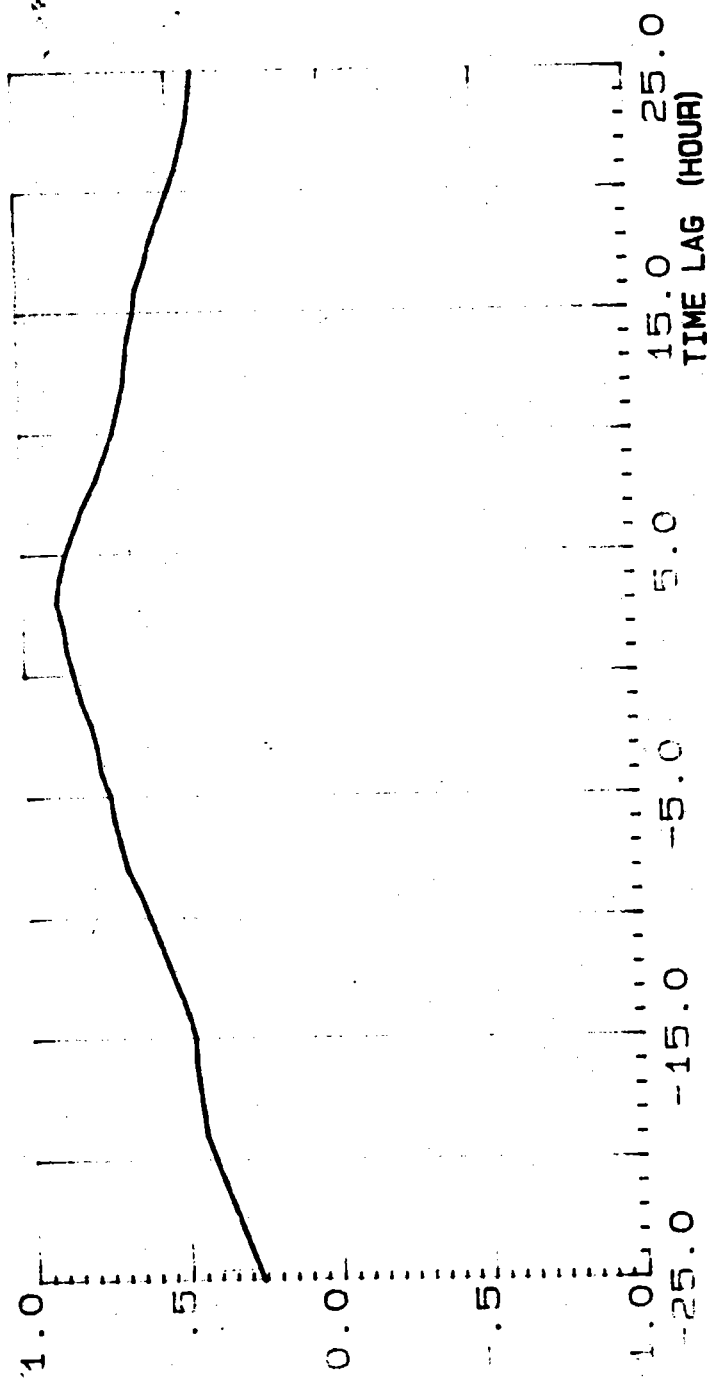
CORRELATION FUNCTION OF SERIES X WITH SERIES Y
 X SERIES: U-COMP. OF CURRENT AT STATION: B (AANDERAA 4885-7)
 Y SERIES: V-COMP. OF CURRENT AT STATION: C (AANDERAA 4989-8)



THE DATA DURATION : 1981/1119/17 - 1204/15

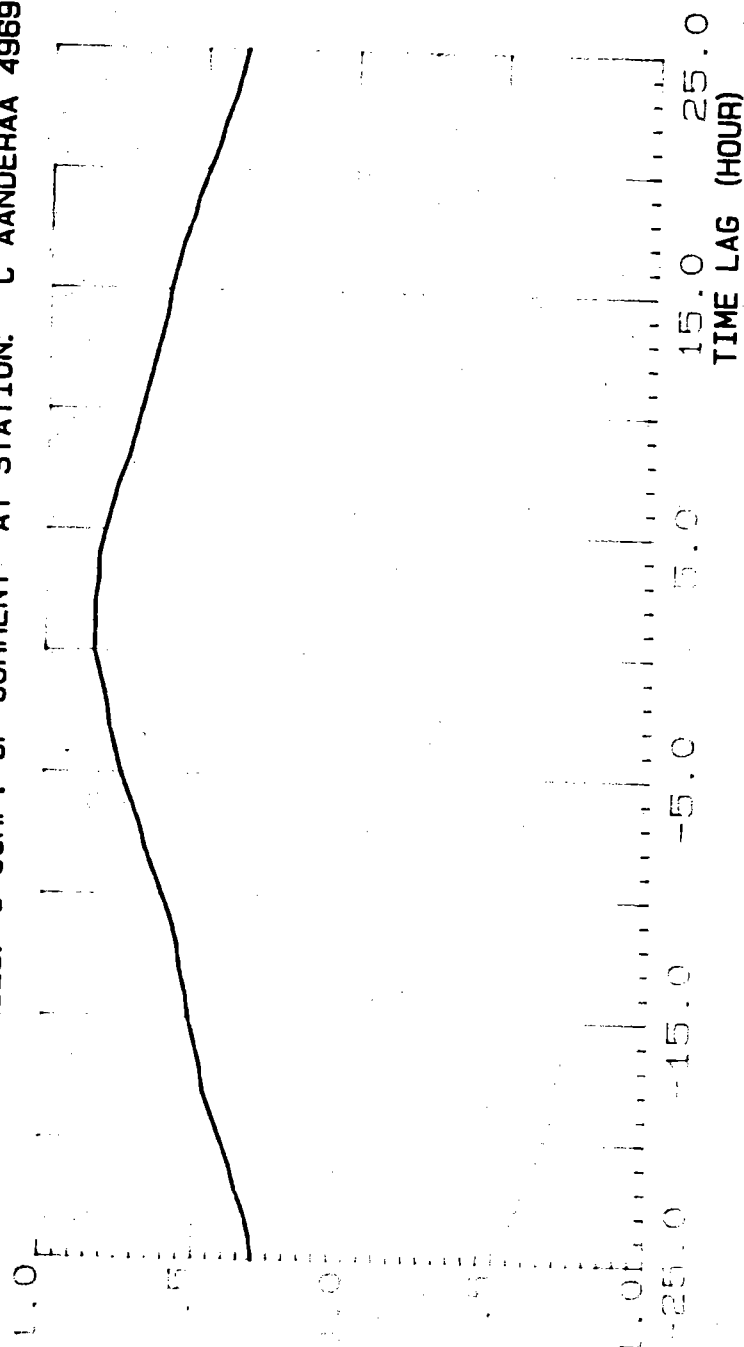
附圖 5 — 2

CORRELATION FUNCTION OF SERIES X WITH SERIES Y
 X SERIES: V-COMP. OF CURRENT AT STATION: B (AANDERAA 4885-7)
 Y SERIES: U-COMP. OF CURRENT AT STATION: C (AANDERAA 4889-6)



THE DATA DURATION : 1981/1119/17 -1204/15

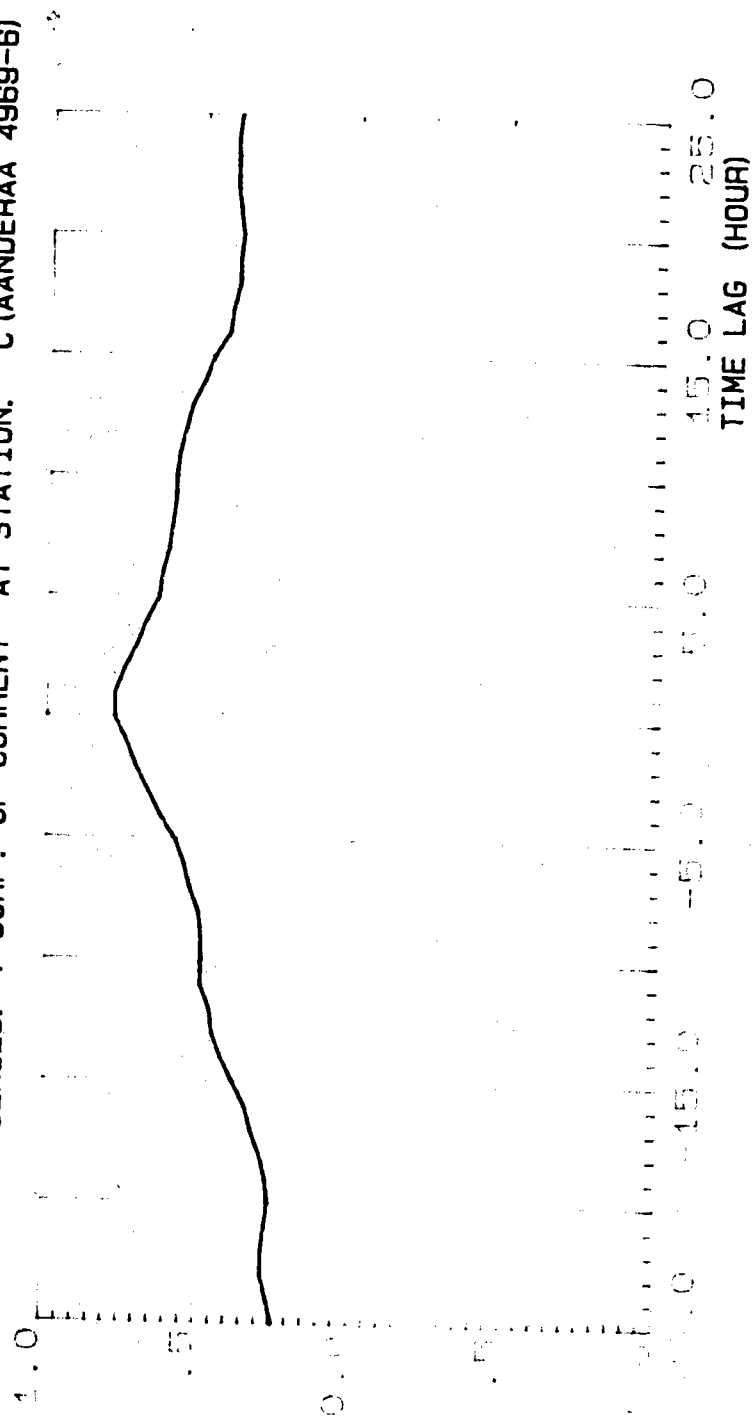
CORRELATION FUNCTION OF SERIES X WITH SERIES Y
 X SERIES: U-COMP. OF CURRENT AT STATION: B AANDERAA 4885-7
 Y SERIES: U-COMP. OF CURRENT AT STATION: C AANDERAA 4969-8



THE DATA DURATION : 1981/1119/17 - 1204/15

附圖 5—4

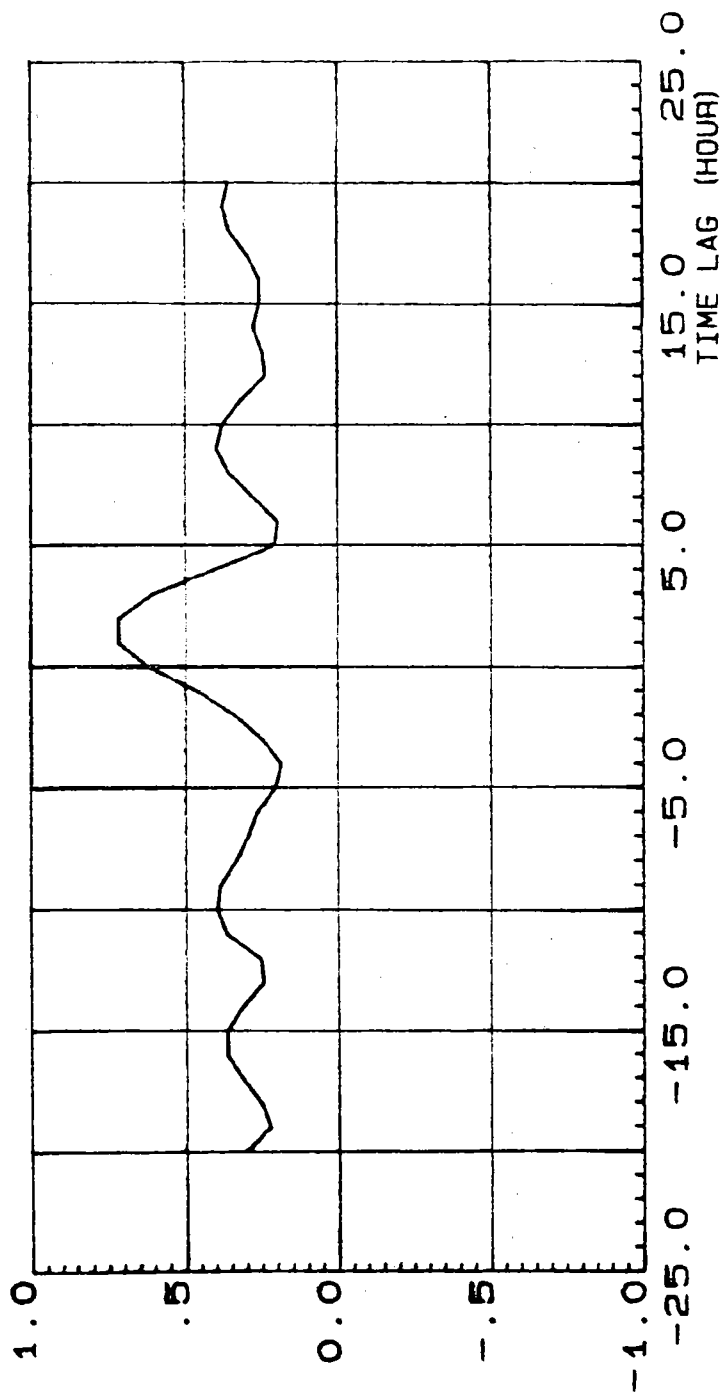
CORRELATION FUNCTION OF SERIES X WITH SERIES Y
 X SERIES: V-COMP. OF CURRENT AT STATION: B (AANDERAA 4885-7)
 Y SERIES: V-COMP. OF CURRENT AT STATION: C (AANDERAA 4969-6)



THE DATA DURATION : 1981/1119/17 - 1204/15

附圖 5 — 5

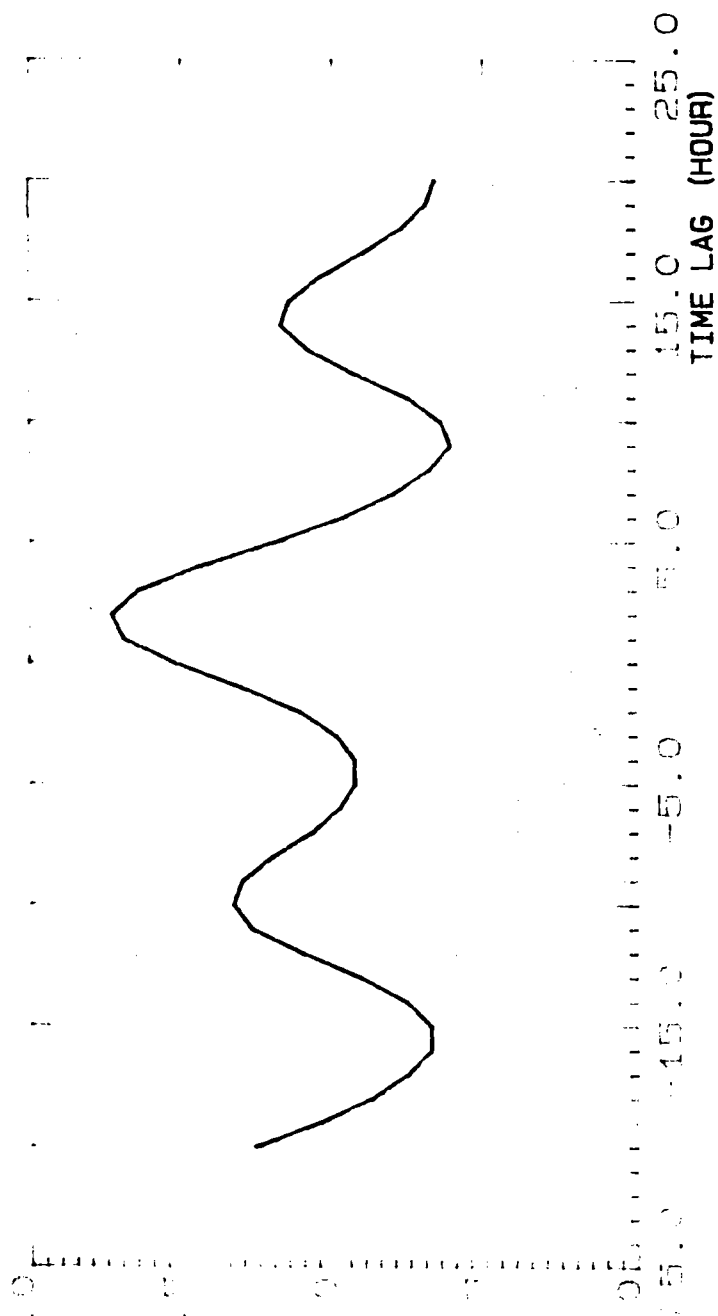
CORRELATION FUNCTION OF SERIES X WITH SERIES Y
 X SERIES: OCEAN CURRENT AT STATION: C
 Y SERIES: OCEAN CURRENT AT STATION: B-2



THE DATA DURATION : 1982/0503/14 - 0514/04

附圖 5-6 C 站與 B 站夏季流速間之互相關函數圖

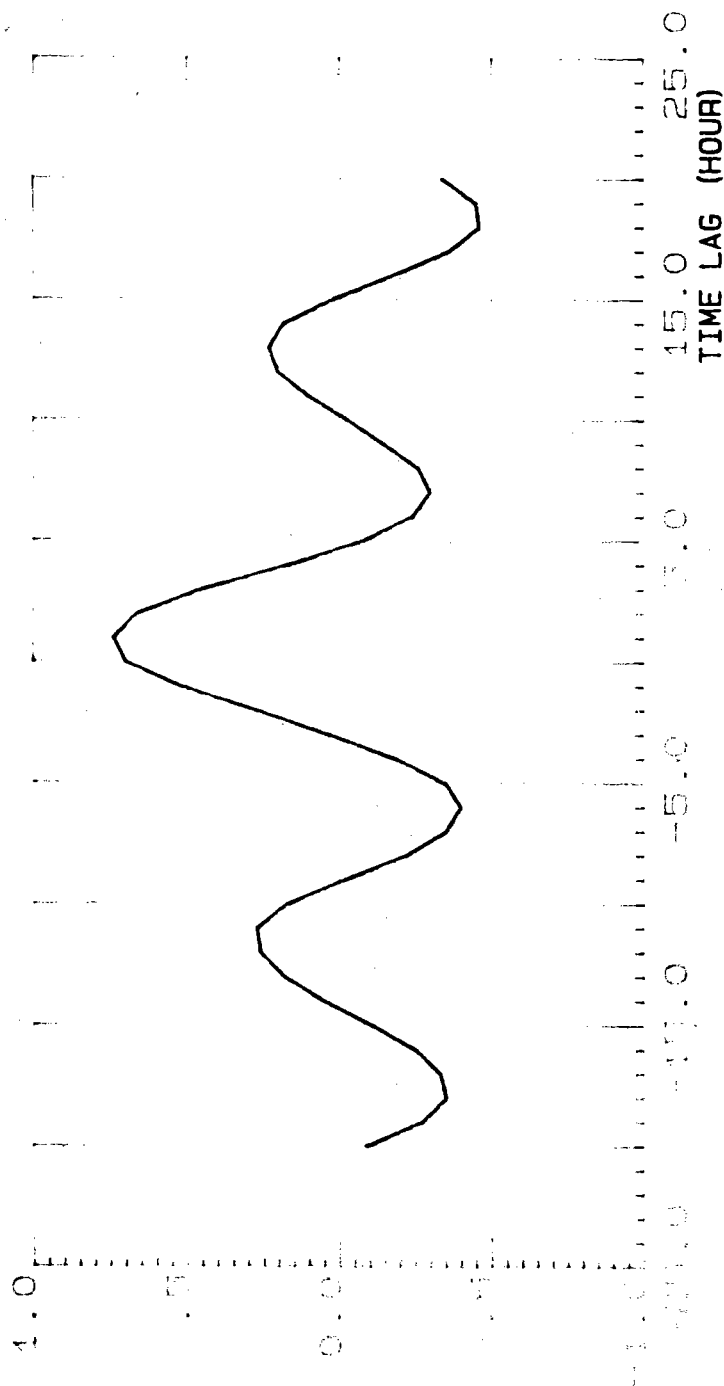
CORRELATION FUNCTION OF SERIES X WITH SERIES Y
 X SERIES: V-COMP. OF CURRENT AT STATION: C
 Y SERIES: V-COMP. OF CURRENT AT STATION: B-2



THE DATA DURATION : 1982/0503/14 - 0514/04

附圖 5 — 7

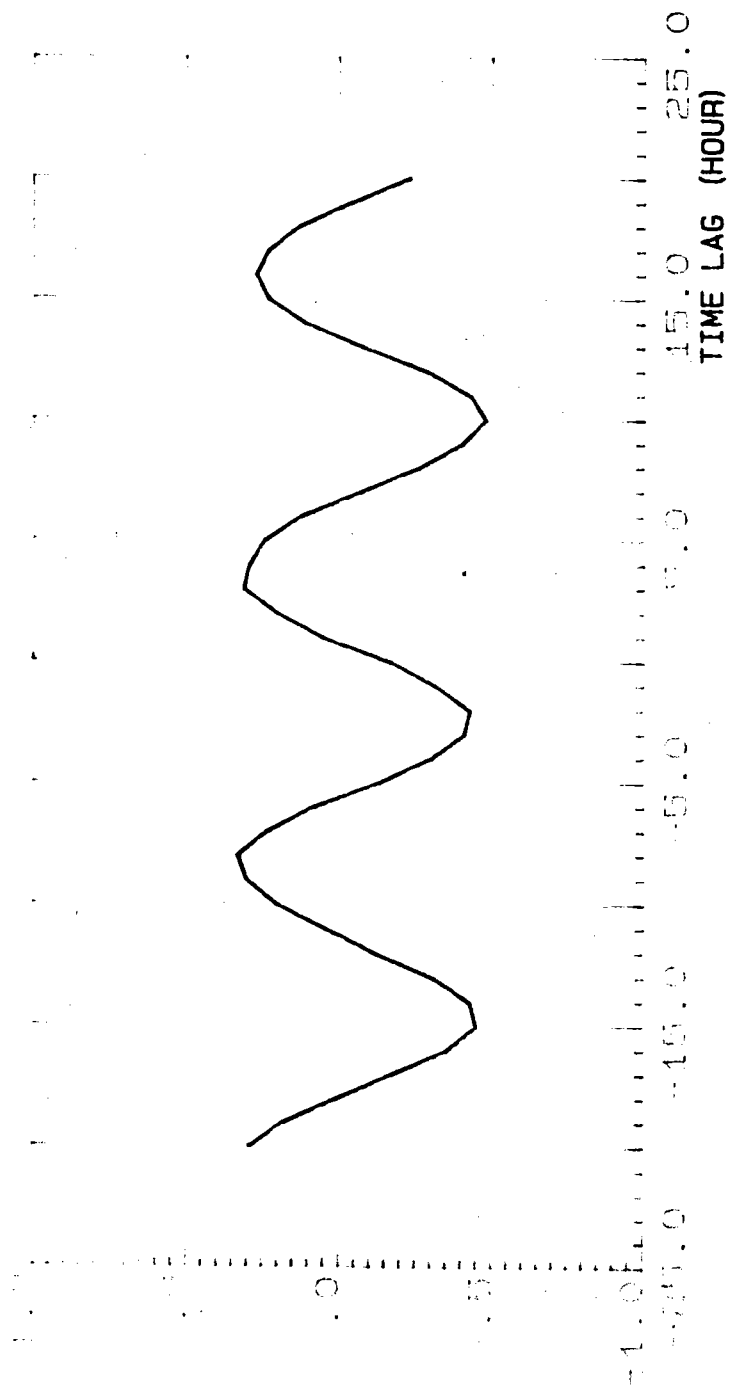
CORRELATION FUNCTION OF SERIES X WITH SERIES Y
 X SERIES: V-COMP. OF CURRENT AT STATION: C
 Y SERIES: U-COMP. OF CURRENT AT STATION: B-2



THE DATA DURATION : 1982/0503/15 - 0514/04

附圖 5—8

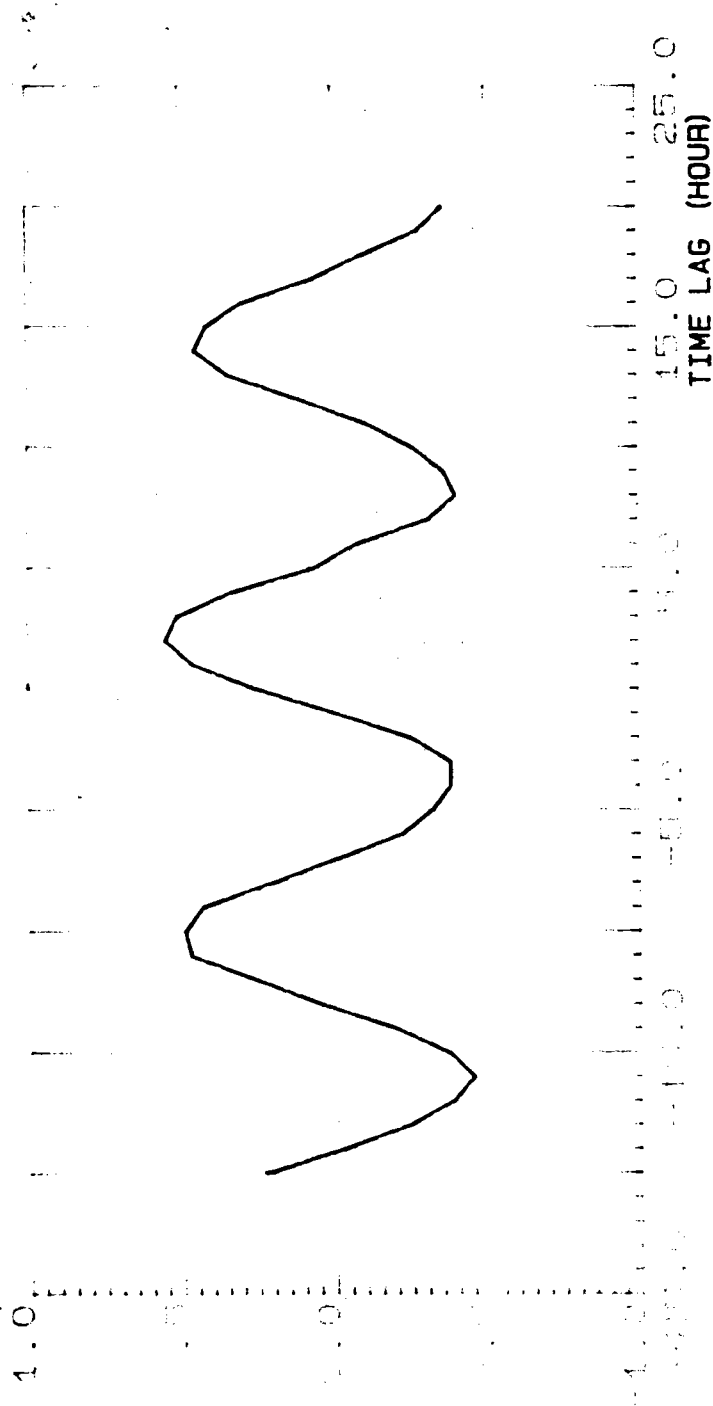
CORRELATION FUNCTION OF SERIES X WITH SERIES Y
 X SERIES: U-COMP. OF CURRENT AT STATION: C
 Y SERIES: V-COMP. OF CURRENT AT STATION: B-2



THE DATA DURATION : 1982/05/03/15 - 0514/04

附圖 5—9

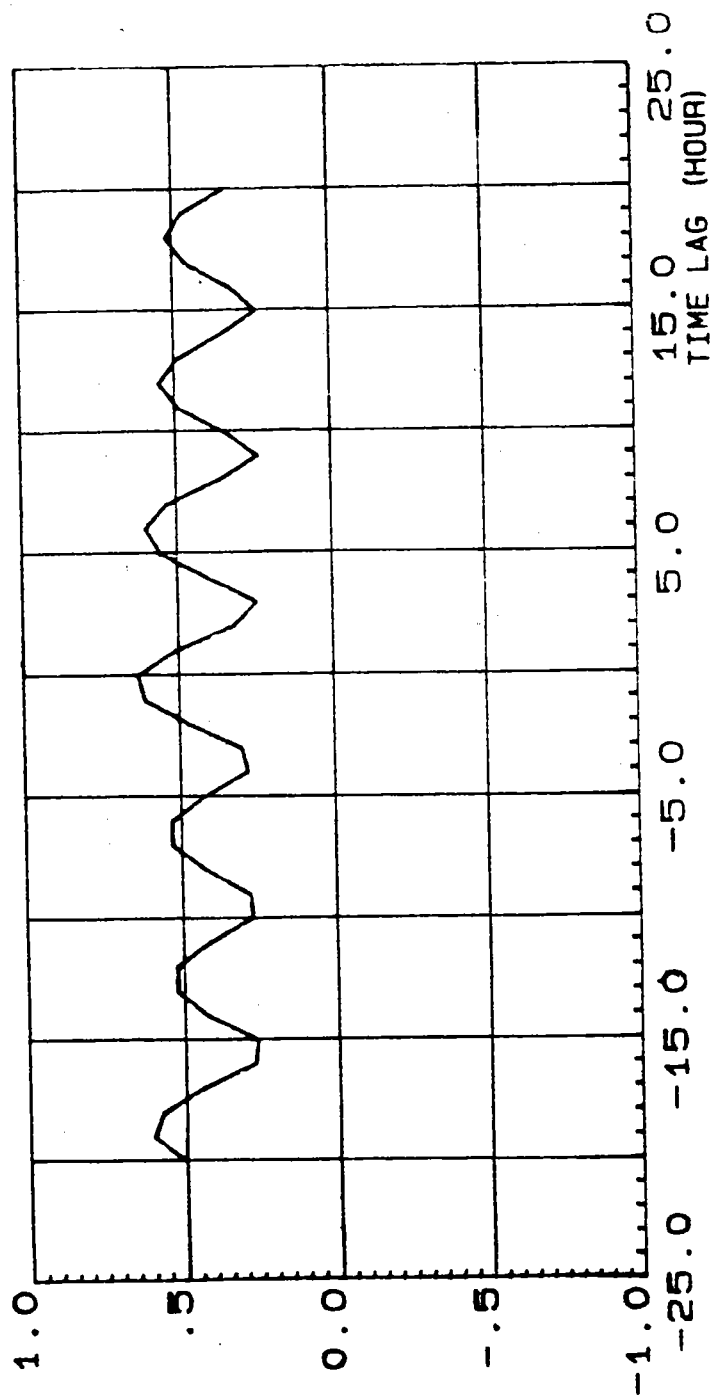
CORRELATION FUNCTION OF SERIES X WITH SERIES Y
 X SERIES: U-COMP. OF CURRENT AT STATION: C
 Y SERIES: U-COMP. OF CURRENT AT STATION: B-2



THE DATA DURATION : 1982/0503/15 - 0514/0

附圖 5 — 10

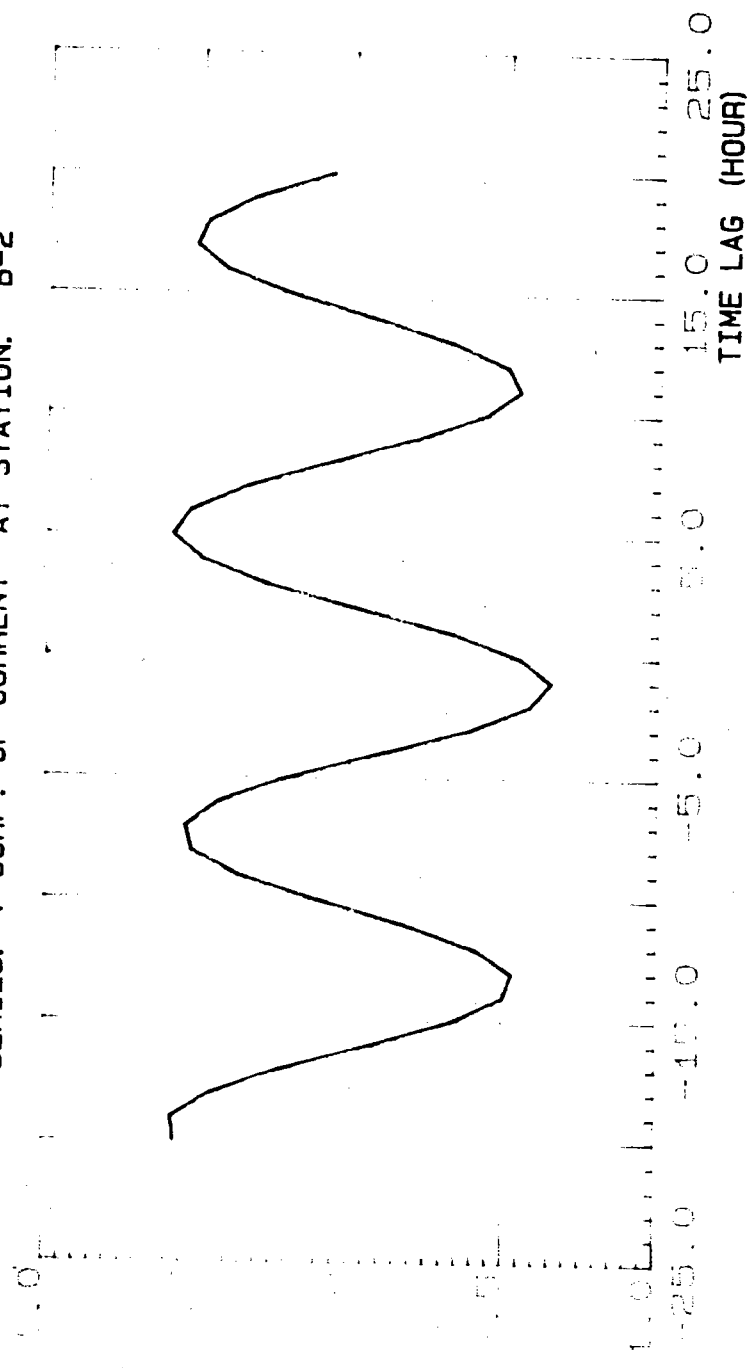
CORRELATION FUNCTION OF SERIES X WITH SERIES Y
 X SERIES: TIDE LEVEL AT STATION: TAICHUNG HAR. SOUTH
 Y SERIES: OCEAN CURRENT AT STATION: B-2



THE DATA DURATION : 1982/0503/15 - 0518/14

附圖一 5—11 台中港內南堤潮位與B站夏季海流之互相關函數圖

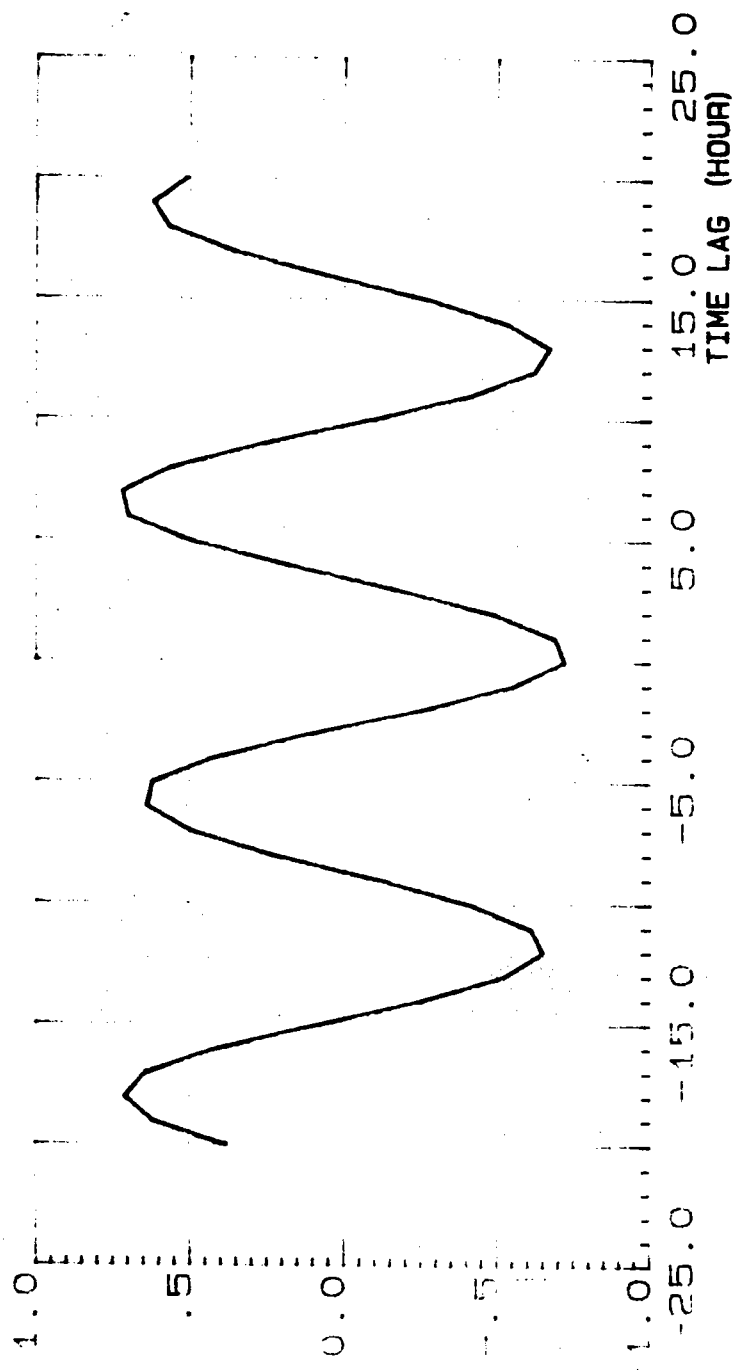
CORRELATION FUNCTION OF SERIES X WITH SERIES Y
 X SERIES: TIDE LEVEL AT STATION: TAICHUNG HAR. SOUTH
 Y SERIES: V-COMP. OF CURRENT AT STATION: B-2



THE DATA DURATION : 1982/0503/15 - 0518/14

附圖 5-12

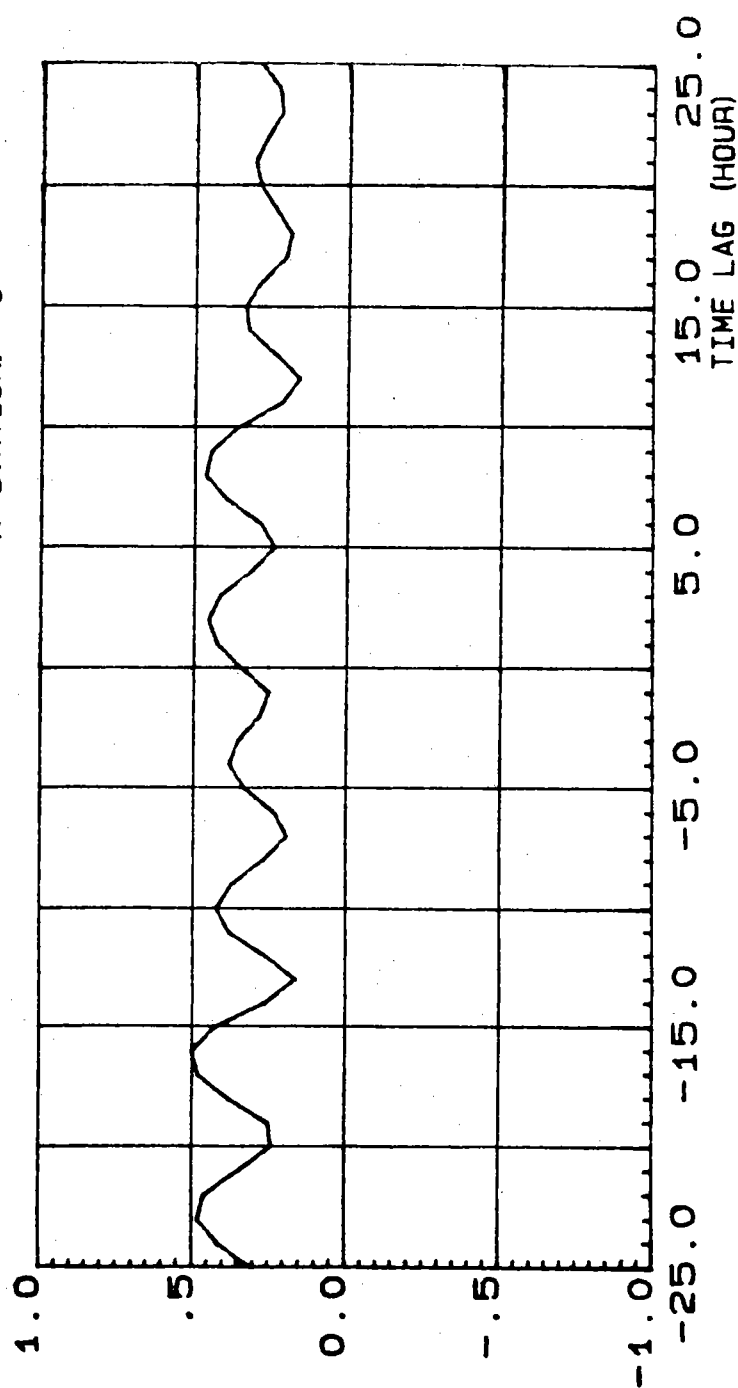
CORRELATION FUNCTION OF SERIES X WITH SERIES Y
 X SERIES: TIDE LEVEL AT STATION: TAICHUNG HAR. SOUTH
 Y SERIES: U-COMP. OF CURRENT AT STATION: B-2



THE DATA DURATION : 1982/0503/15 - 0518/14

附圖 5—13

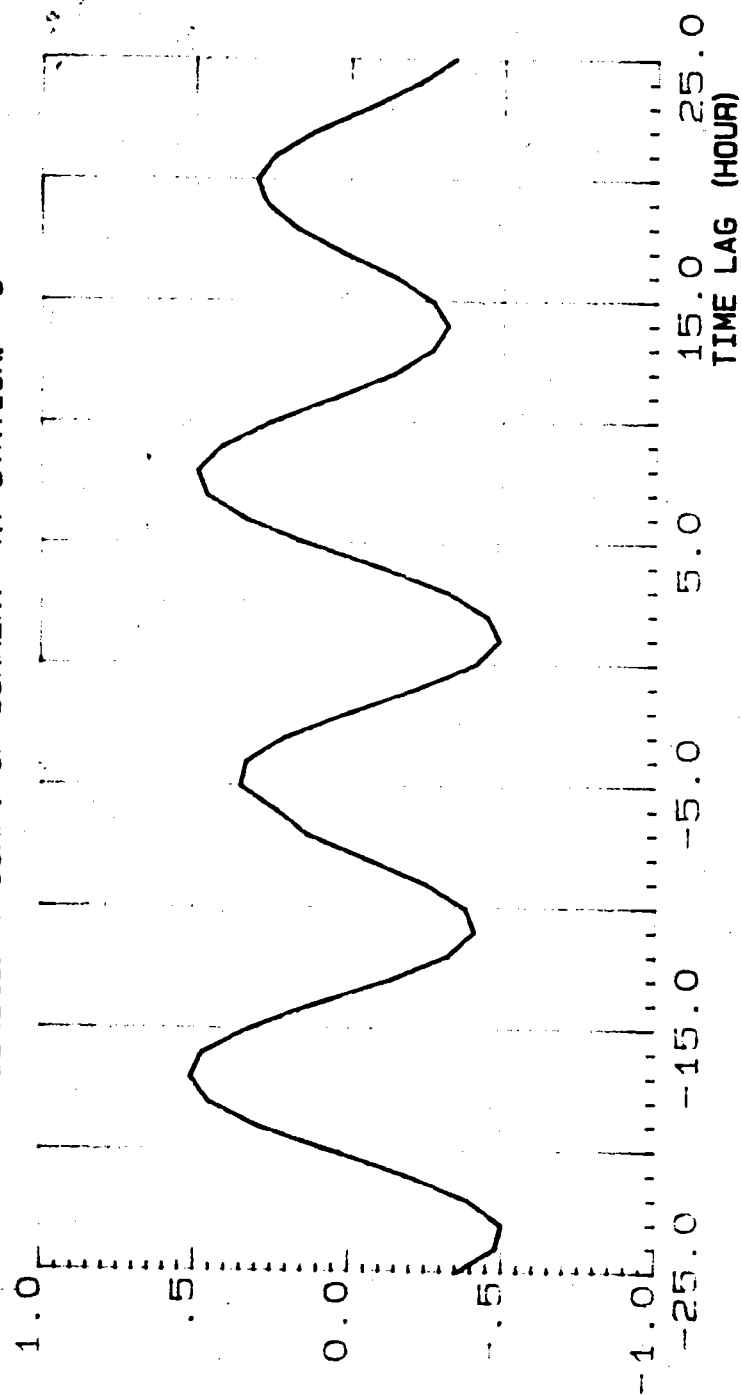
CORRELATION FUNCTION OF SERIES X WITH SERIES Y
 X SERIES: TIDE LEVEL AT STATION: TAICHUNG HAR. SOUTH
 Y SERIES: OCEAN CURRENT AT STATION: C



THE DATA DURATION : 1982/0429/11 - 0514/04

附圖—5—14 台中港內南堤潮位與C站夏季海流之互相關函數圖

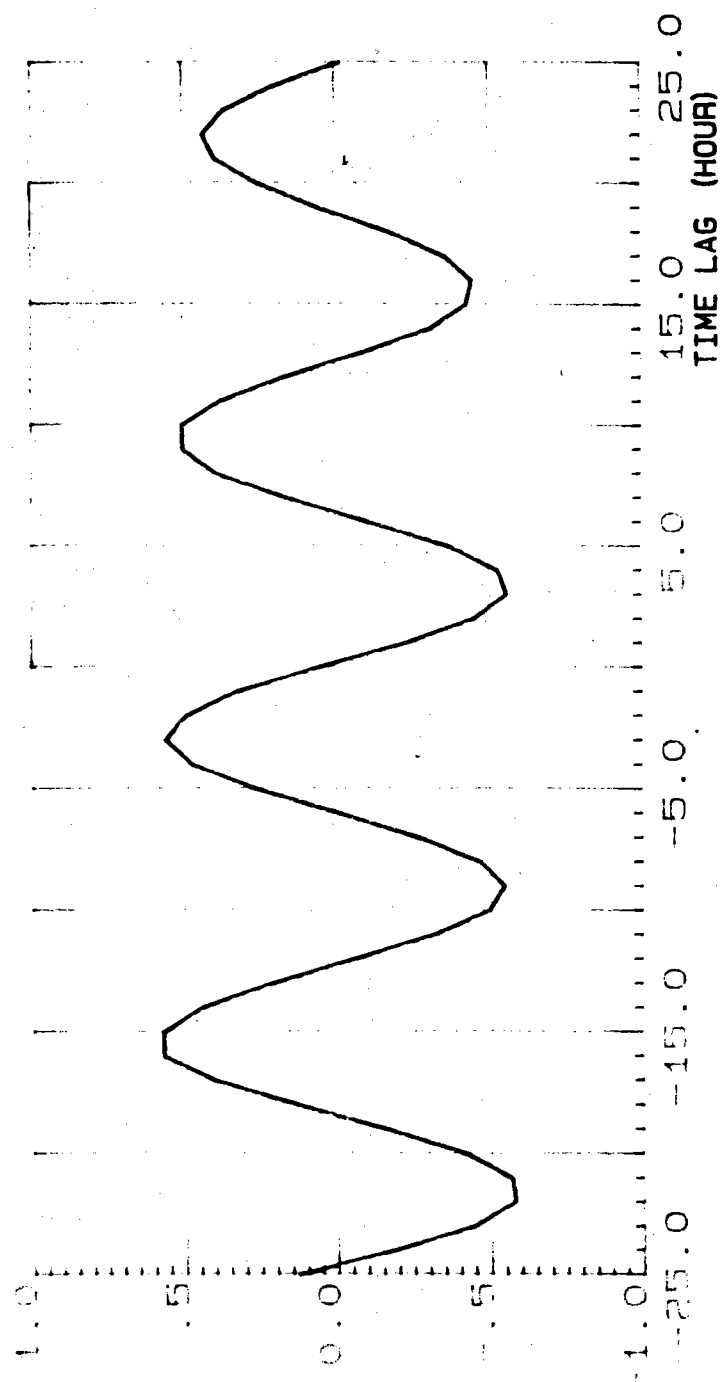
CORRELATION FUNCTION OF SERIES X WITH SERIES Y
 X SERIES: TIDE LEVEL AT STATION: TAICHUNG HAR. SOUTH
 Y SERIES: V-COMP. OF CURRENT AT STATION: C



THE DATA DURATION : 1982/0429/11 - 0514/04

附圖 5 — 15

CORRELATION FUNCTION OF SERIES X WITH SERIES Y
 X SERIES: TIDE LEVEL AT STATION: TAICHUNG HAR. SOUTH
 Y SERIES: U-COMP. OF CURRENT AT STATION: C



THE DATA DURATION : 1982/0429/11 - 0514/04

附圖 5-16