

## 港研所基本研究計劃（二）

計劃名稱：台中海岸流況調查研究

計劃主持人：所長 梁乃匡

研究人員

研究員：張金機  
兼組長

副研究員：黃清和

助理研究員：蘇青和 簡仲璟 朱金元

助理：曾相茂 林柏青 江中權

陳錫奎 王克尹 廖慶堂

陳明宗

技工：張富東 何炳紹 蔡金吉

陳正義 李永勝 梅海潮

楊怡芸 張喆音 陳毓清

# 目 錄

## 摘 要

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 一、前 言 .....        | 8   |
| 二、現場觀測及資料分析 .....  | 10  |
| 三、潮流調和分析理論 .....   | 14  |
| 四、風驅流 .....        | 20  |
| 五、台中港口海流預報模式 ..... | 24  |
| 六、沿岸流及裂流 .....     | 30  |
| 七、碎波的質量輸送 .....    | 45  |
| 八、討 論 .....        | 50  |
| 九、誌 謝 .....        | 53  |
| 十、參考文獻 .....       | 54  |
| 十一、附 圖 .....       | 55  |
| 十二、附 表 .....       | 133 |
| 十三、附 錄 .....       | 159 |

## 附 圖 名 稱

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 1-1 海流成份概略分佈圖 .....      | 57 |
| 1-2 強制裂流形成概圖 .....       | 57 |
| 2-1 台中海岸附近海況觀測站位置圖.....  | 58 |
| 2-2 台中港港口附近之地形圖 .....    | 59 |
| 2-3 長期測流流速儀安裝圖 .....     | 60 |
| 2-4 短期測流流速儀安裝圖 .....     | 61 |
| 2-5 海流資料處理流程圖 .....      | 62 |
| 3-1 潮流橢圓圖 .....          | 63 |
| 4-1 風驅流座標圖 .....         | 64 |
| 4-2 混合長度函數圖 .....        | 64 |
| 4-3 風驅流剖面格子點圖 .....      | 64 |
| 4-4 風驅流剖面理論值圖 .....      | 65 |
| 5-1 夏季風向與流向的百分比分佈圖 ..... | 66 |
| 5-2 冬季風向與流向的百分比分佈圖 ..... | 67 |
| 5-3 潮汐能譜圖 .....          | 68 |
| 5-4 夏季風速與流速互相關函數圖 .....  | 69 |
| 5-5 夏季潮位與流速互相關函數圖 .....  | 70 |
| 5-6 冬季風速與流速互相關函數圖 .....  | 71 |
| 5-7 冬季潮位與流速互相關函數圖 .....  | 72 |
| 5-8 風向角度定義圖 .....        | 73 |
| 6-1 沿岸流控制體座標系統圖 .....    | 74 |
| 6-2 入射波座標系統圖 .....       | 74 |
| 6-3 沿岸流流量座標系統圖 .....     | 74 |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| 6-4         | 沿岸流單元表示圖.....                               | 75  |
| 6-5         | 模型試驗配置圖.....                                | 75  |
| 6-6         | 模型試驗突堤佈置圖.....                              | 76  |
| 6-7         | 橢圓地形圖 .....                                 | 77  |
| 6-8         | 常數 $B'$ 分佈圖 .....                           | 78  |
| 6-9         | 常數 $A_1, A_2$ 分佈圖 .....                     | 78  |
| 6-10 至 6-18 | 沿岸流浮子軌跡圖(無堤) .....                          | 79  |
| 6-19        | 沿岸流流速試驗值與理論值比較圖.....                        | 88  |
| 6-20        | 無因次沿岸流流速分佈圖.....                            | 88  |
| 6-21至 6-25  | 堤頭離岸流流速試驗值.....                             | 89  |
| 6-26至 6-65  | 沿岸流浮子軌跡圖(有堤).....                           | 92  |
| 7-1         | 碎波單位寬度之質量輸送表示圖 .....                        | 149 |
| 7-2 至 7-3   | 碎波水深指數與 $H_0 / T^2$ 之關係( Iverson ) .....    | 150 |
| 7-4 至 7-5   | 碎波水深指數與 $H_0 / L_0$ 及 $S$ 之關係( Tang ) ..... | 151 |
| 7-6 至 7-7   | 碎波水深指數與 $H_0 / L_0$ 之關係( IHMT ) .....       | 152 |
| 7-8         | 碎波點之流速與水深關係 .....                           | 153 |
| 7-9         | 碎波有效高度 $h / H_0$ 與 $H_0 / L_0$ 之關係圖 .....   | 154 |

## 附 表 名 稱

2-1 台中海岸附近海氣象觀測記錄情形

6-1 沿岸流模型試驗記錄表

6-2 沿岸流試驗波浪條件

6-3 沿岸流流速試驗值與理論值表

6-4 下波區環流試驗值

6-5 上波區環流試驗值

7-1 碎波實驗流況各項參數值

## 附 錄 名 稱

1. 海流、風、潮汐、波浪實測資料圖

2. 海流向量行進圖

3. 海流流向及流速統計圖

4. 夏季階段海流流速實測值與預測值比較圖

5. 冬季階段海流流速實測值與預測值比較圖

## 摘要

台中海岸流況調查研究計畫，本所自70年7月起着手辦理海流及其相關海氣象觀測，並於71年7月起利用水工模型作沿岸流及碎波流況試驗。

台中海岸冬季東北季風盛吹時，風向為影響流向主要因素，風速減小時，主流向則偏北。流速隨半日週期變化。高潮時最小，漲潮至平均水面附近時，流速最大，冬季東北季風增強，北堤堤頭附近在低潮時受強制裂流影響流速極大。強大鋒面過境，實測流速高達211.95 cm/sec。夏季流速亦隨潮汐作週期性變化，流向近似一致，偏東北向，表示恆流流速大於潮流。利用最小平方法分析實測資料求得流速與代表風速及潮位與潮流關係式，其計算值與實測資料甚為吻合。

試驗資料顯示，質量輸送理論沿岸流流速計算值較能符合試驗值；碎波線附近流速較大，流向與海岸線平行。單突堤堤頭處受強制裂流影響流速最大。突堤下波區產生環流現象，其特性受堤長及碎波波高等因素影響。突堤長度穿越碎波線時下波區環流結構被破壞，使環流強度減小。

碎波波高及水深均隨 $H_0/L$ 增加而減小，分析試驗資料求得碎波水分子平均流速為 $0.53 [g(d_b + 0.75H_b)]^{1/2}$ 。碎波有效高度 $h/H_0 = -0.11 - 0.692(\log H_0/L)$ 。

## 壹、前言

海岸的流況關係海岸地形的變遷，污染質的擴散，船舶進出港口等，為海岸工程一項重要的研究課題，在區域的劃分上可分為碎波帶以外及碎波帶以內兩區（如圖 1-1）。在碎波帶以外，主要成份是潮流與風驅流。在碎波帶以內，主要成份是波浪引起的沿岸流及風驅流。碎波帶內是漂沙主要活動的地方。在海岸的形態又可區分為平直的自然海岸，及受人為構造物破壞的海岸（如圖 1-2）。本計劃研究主要分成現場調查、理論及模型試驗三部份。

台中海岸流況主要受到潮汐、風與波浪的影響。潮汐主要為日、月等引潮力而生的天文潮，季節性影響可以忽略。在台中海岸氣象潮出現的機會很少，而且其成份遠較天文潮為小。

風與波浪相伴而生，波浪隨風而來，台中海岸可分為冬季與夏季季節風。冬季季風起自每年九月至翌年四月，冬季東北季風盛行，風速強勁而持久。夏季主要為西南季風及颱風。颱風發生於每年五月至十一月。冬季台中海岸風強浪大，流急。流岸流況受風與波浪的影響特別大。

為提供在冬季台中港船舶進出操船參考，根據實測資料加以分析，研提港口海流預報模式利用風速資料推算可能發生之流速，作為進出港船隻航行依據。

風驅流無論在碎波帶之外及碎波帶之內均極為重要。而在探討因波浪而引起的沿岸流，實測海流中必須扣除部份的風驅流。本文用簡易的數值分析法求風驅流剖面。並與實測比較。

在碎波帶內因波浪而引起的沿岸流，已有許多理論。本文將介紹二個主要的，並以台中港為實例估算沿岸流大小。另外本文建立一半經驗公式。此模式是假定波浪碎波時造成向岸方向的水質量輸送，但由於碎波波向

與垂直海岸的法線有一夾角，因此產生沿岸方向流動。如果此一假設成立，則將造成沿岸流流量向下游方向線性增加。此一假設利用試驗加以驗證。

對台中海岸而言，台中港港口是一個典型的被人為構造物破壞的海岸。冬季當東北季風盛吹時，沿著此防波堤有一離岸裂流存在，此裂流因防波堤而產生，稱之為「強制裂流」（圖 1-2）。為印證上述觀點利用本所平面波浪水池進行模型試驗，以了解沿岸流及強制裂流之特性。

碎波時所造成的質量輸送，使海岸發生沖蝕或堆積等現象，為瞭解海岸碎波時質量輸送特性，利用本所斷面波浪水槽進行試驗，以求取波浪參數與質量輸送關係，以作為未來研究，碎波帶質量輸送之依據。

## 貳、現場調查及資料處理

### 一、實測經過：

本計畫自民國70年10月開始於台中海岸附近進行流況及其他海象觀測工作，測站位置如圖2-1所示，海底地形如圖2-2。資料記錄時間潮汐及風為長期觀測，海流及波浪則分冬季與夏季兩個階段觀測。自70年底起分別在各測站安置自記式流速儀（AANDERAA RCM-4），風速儀、潮位儀及波浪儀等儀器，其記錄情形如附表2-1，觀測工作內容與方法概述如下：

1. 風與潮汐皆為長期的觀測記錄，潮位儀安置於南堤內側（測站T），風速儀安置於北堤右側海岸邊如圖2-1測站G，儀高為水面上24公尺。

#### 2. 冬季階段觀測：

冬季觀測期間分為二段自70年11月5日至70年12月9日及自72年3月21日至72年4月3日。冷鋒接近前一兩天左右，風浪較小時出海安裝儀器，以測得冷鋒通過時強勁東北季風之流況。在各測站不同水深處裝設自記式流速儀（AANDERAA RCM-4）。底部連接一具音響釋放儀，以水泥塊連接固定如圖2-3所示。計有B站、C站、D站、D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>站、D<sub>3</sub>站、D<sub>4</sub>站等測站，除D<sub>4</sub>站於72年3月28日因東北季風過境儀器不明原因而失落，及D<sub>1</sub>站記錄不佳外，其他測站記錄情形甚為良好（如表2-1）。波浪儀則安裝於測站A處，觀測記錄，水深約20公尺處波高。

#### 3. 夏季階段觀測：

夏季觀測期間自民國71年4月28日至71年5月18日止，觀測站計有B站、C站、D站、N<sub>1</sub>站、N<sub>2</sub>站、N<sub>3</sub>站、S<sub>1</sub>站、S<sub>2</sub>站、S<sub>3</sub>站及W<sub>1</sub>站等10站。除D站儀器下水第二天即受到附近漁船拖網作業影響，

漁網纏繞流速儀，以致無法取得正常記錄資料外，其他記錄情形良好（如表 2-1）。其中  $N_1$  站， $N_2$  站， $N_3$  站， $S_1$  站， $S_2$  站及  $S_3$  站皆為 24 小時短期海流觀測。其安裝方法如圖 2-4。此段流速觀測期間未同時辦理波浪觀測。

## 二、資料處理分析

### 1. 初步資料處理

測流所收回的資料，因本所電腦周邊裝置尚未建立完整，其初步分析需送至台灣大學海洋研究所處理，其處理流程圖如圖 2-5。為配合測流記錄時間較短，而風及潮汐記錄時間較長，故僅取與海流同時間之相關記錄做分析。而海流資料為每 10 分鐘記錄一次資料，以 Cosine Laczous Filter 過濾成每一小時為間隔的資料。配合與風、波浪及潮汐等資料分別以一小時為間隔繪延時變化圖如附錄(-)。

### 2. 海流特性

(1) 海流流向：本地區冬季東北季風起自每年九月至次年四月，極盛期為每年十月至翌年三月，風向以 NE, NNE, N 為主約佔 85%，平均風速 11 m / sec，但如有強大的冷鋒過境時，則出現相當大的風速，同時引發頗強的風驅流。各觀測站之流速、流向主要受到風、波浪與潮汐等的影響。潮汐為日月引潮力而生的天文潮，季節性影響不顯著。風與波浪相伴而生，浪隨風而來，各測站之流況，因受地形的不同影響概述如下：

甲 B 站：由圖顯示此站，冬季受東北季風影響，大部份以風驅流為主，流向約為西南流向與風向作一致運動。如冷鋒通過東北風逐漸減弱，風速很小時，則流向約為東北與北北西，但主要流向為北北西方向，只在漲潮轉流一小段時間，流向為東北方向運動。此種情形尤其在朔望大潮時更有明顯現象，夏季選擇風、浪甚小

時觀測，除5月10日至15日止，受微弱東北風影響流向為西至西北外，其餘流向一律向東北方向運動。

乙C站：由圖顯示此觀測站受地形、波浪及風的影響，冬季受東北風影響流向一律西南西運動。季風減小時流向為北北東與西南西週期運動，但主要流向為西南西運動。夏季流向主要為北北東方向運動。

丙D站：由圖顯示，此觀測站受地形、波浪及風的影響，冬季冷鋒通過受東北風影響，流向往東北及偏西南西方向運動，但主要流向偏西南西。在風速微弱，漲潮時為東北，落潮時向西南西，即沿防波堤方向。

丁 $N_1$ ， $N_2$ ， $N_3$ 站：觀測期間風浪甚小，流向往東北方向運動。

戊 $S_1$ ， $S_2$ ， $S_3$ 站：觀測期間風、浪均小， $S_2$ ， $S_3$ 站於低潮時在碎波帶附近其流向為漲潮後2小時開始北北東方向運動，至高潮時其流向轉為西南及南方向運動至低潮時止， $S_1$ 站流向一律往北北東方向運動。

己 $W_1$ 站：此站位於台中港南防波堤紅燈塔以西5.2公里處，24小時連續測流由圖顯示流向均往東北方向運動。

## (2) 海流流速

甲B站：由圖顯示，冬季冷鋒通過東北風漸增大，流速延遲2~3小時後而漸增大，大部份以風驅流為主。東北風減弱至甚小或無時，則以恒流與潮流為主，流速隨半日潮週期而變化，約在10~60 cm/sec間增減，在高潮時流速最小，漲潮段平均水位附近流速最大。

乙C站：由圖顯示，東北風風速較小時，流速與B站近似，但在東北季風盛吹時，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，流速最大，而最小流速與B站近似，此點可證明C站受波浪產生強制裂流影響，在高潮位時，碎波帶離岸較近，故C站未受到強制裂流影響，最大流速時，C站比B站約大80 cm/sec，1981年11月27日8時實際觀測資料C站為211.95 cm/sec 而B站為108.1 cm/sec。夏季期間風、浪小時，流速隨潮汐半日週期而運動，與B站狀況相似。

丙D站：由圖顯示，D站流況與C站相似，隨半日潮週期性振盪，風小時或無風時流向北，流速變小約在20 cm/sec 左右，且在高潮位時，因強制裂流無法到達D站已消失或不經過該站，冬季其最大流速約125 cm/sec 且發生在最低潮稍後，1981年11月27日14時實際觀測資料最大流速為126.8 cm/sec。

丁 $N_1$ ， $N_2$ ， $N_3$ 站：由圖顯示， $N_1$ 站流速近似一致約在20 cm/sec 左右， $N_2$ 站流速在20~30 cm/sec 間， $N_3$ 站流速在30~40 cm/sec 間。

戊 $S_1$ ， $S_2$ ， $S_3$ 站：由圖顯示， $S_1$ ， $S_2$ 站流速約在10~40 cm/sec 隨半日潮週期性運動， $S_3$ 站流速約在5~20 cm/sec 間隨半日潮週期性運動， $S_1$ 在最高潮時流速最大，低潮位時流速漸小， $S_2$ ， $S_3$ 兩站則於低潮位時流速最大，高潮位時流速最小，顯示潮流在距岸不同地點有時差存在，此點尚需繼續印證。

己 $W_1$ 站：由圖顯示，流速隨半日潮週期性而變，高潮後1小時左右流速增大至低潮後1小時左右最大，而後漸小，此表示，恒流比潮流大，使方向近似一致。

附錄(二)為各站海流向徑圖 ( progressive vector diagram )，可以清楚看出各站附近水團平均連續動向。附錄(三)為海流流向及流速統計圖。

### 叁、潮流調和分析理論

將週期性變化的二度空間向量時序考慮成由許多不同頻率的橢圓運動分量所組成，而對任一頻率的橢圓運動分量又可考慮成由二個反向旋轉的圓運動所組成，此二圓運動各有其振幅及相位，反轉（反時鐘）圓運動代表海洋中旋轉頻率為正的運動，順轉（順時鐘）圓運動代表海洋中旋轉頻率為負的運動（圖 3-1）。

潮流起源於天體引潮力之作用，因此調和分析法係假設潮流由各分潮流所組合而成的，各分潮流均具有其一定之角速度，今將各分潮流考慮成由二反向旋轉的圓運動所組合而成，並利用複數座標討論之。

$$W(t) = U(t) + iV(t) = U_0 + iV_0 + \sum_{j=1}^m A_j e^{i\omega_j t} + \sum_{j=1}^m C_j e^{-i\omega_j t} \dots\dots\dots(3-1)$$

其中  $W(t)$  表潮流速度向量

$A_j, C_j$  表第  $j$  個分潮流反轉與順轉分量的振幅

$U(t), V(t)$  表潮流的實部和虛部分量

$U_0, V_0$  表平均海流的實部和虛部分量

$\omega_j$  表第  $j$  個分潮流的角速度

$t$  表時間。

$m$  表分潮個數。

（以上諸量除  $W, A_j, C_j$  為複數量，其餘諸量均為實數量）。

而  $A_j = AR_j + iAI_j = |A_j| \exp \{ i[(V_0 + U)_j - k_{aj}] \}$

$C_j = CR_j + iCI_j = |C_j| \exp \{ -i[(V_0 + U)_j - k_{cj}] \}$

其中  $(V_0 + U)_j$  為第  $j$  個分潮流的天文引數 (Astronomical

Argument )。

$k_{aj}, k_{cj}$  分別表第  $j$  個分潮流反轉與順轉分量的遲角。

$$U(t) = U_0 + \sum_{j=1}^m AR_j \cos wjt - \sum_{j=1}^m AI_j \sin wjt + \sum_{j=1}^m CR_j \cos wjt + \sum_{j=1}^m CI_j \sin wjt \dots\dots\dots(3-2)$$

$$V(t) = V_0 + \sum_{j=1}^m AR_j \sin wjt + \sum_{j=1}^m AI_j \cos wjt - \sum_{j=1}^m CR_j \sin wjt + \sum_{j=1}^m CI_j \cos wjt \dots\dots\dots(3-3)$$

將紀錄所得之潮流值和 (3-2) 及 (3-3) 二式利用統計上最小平方方法可求得  $U_0, V_0, AR_j, AI_j, CR_j, CI_j$  而天文引數可另外利用公式計算出，則順轉反轉分量之振幅及其對應之遲角均可求得。

利用最小平方方法估計 (3-2) 及 (3-3) 二式中的  $U_0, V_0, AR_j, AI_j, CR_j, CI_j$  的方法如下：

令  $U_t, V_t$  分別表示觀測得之沿岸流速及離向岸流速，其中  $-n \leq t \leq n$ ， $e_a, e_b$  分表觀測值與利用 (3-2) (3-3) 二式估計之值的差，則由最小平方方法之定義知：

$$e_a^2 = \sum_{t=-n}^n [U_t - U(t)]^2$$

$$e_b^2 = \sum_{t=-n}^n [V_t - V(t)]^2$$

為使  $e_a^2, e_b^2$  為最小，則必須滿足下列諸式：

$$\frac{\partial e_a^2}{\partial U_0} = \frac{\partial e_a^2}{\partial AR_k} = \frac{\partial e_a^2}{\partial AI_k} =$$

$$\frac{\partial e_a^2}{\partial CR_k} = \frac{\partial e_a^2}{\partial CI_k} = 0 \dots\dots\dots(3-4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial e_b^2}{\partial V_0} &= \frac{\partial e_b^2}{\partial AR_k} = \frac{\partial e_b^2}{\partial AI_k} \\ &= \frac{\partial e_b^2}{\partial CR_k} = \frac{\partial e_b^2}{\partial CI_k} = 0 \end{aligned} \dots\dots\dots(3-5)$$

或表示為

$$\frac{\partial e_a^2}{\partial U_0} = 0 \dots\dots\dots(3-4a)$$

$$\frac{\partial e_a^2}{\partial AR_k} = \frac{\partial e_a^2}{\partial CR_k} = 0 \dots\dots\dots(3-4b)$$

$$\frac{\partial e_a^2}{\partial AI_k} = \frac{\partial e_a^2}{\partial CI_k} = 0 \dots\dots\dots(3-4c)$$

$$\frac{\partial e_b^2}{\partial V_0} = 0 \dots\dots\dots(3-5a)$$

$$\frac{\partial e_b^2}{\partial AR_k} = \frac{\partial e_b^2}{\partial CR_k} = 0 \dots\dots\dots(3-5b)$$

$$\frac{\partial e_b^2}{\partial AI_k} = \frac{\partial e_b^2}{\partial CI_k} = 0 \dots\dots\dots(3-5c)$$

其中  $k = 1, \dots\dots\dots m$

由 (3-4) 式吾人可得，

$$\begin{aligned} NU_0 + \sum_{j=1}^m \sum_{t=-n}^n (AR_j + CR_j) \cos w_j t + \\ \sum_{j=1}^m \sum_{t=-n}^n (-AI_j + CI_j) \sin w_j t = \sum_{t=-n}^n U_t \dots\dots(3-6a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& U_0 \sum_{t=-n}^n \cos w_k t + \sum_{j=1}^m (AR_j + CR_j) \sum_{t=-n}^n \cos w_j t \\
& \cos w_k t + \sum_{j=1}^m (-AI_j + CI_j) \sum_{t=-n}^n \sin w_j t \cos w_k t \\
& = \sum_{t=-n}^n U_t \cos w_k t \dots\dots\dots(3-6b)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& U_0 \sum_{t=-n}^n \sin w_k t + \sum_{j=1}^m (AR_j + CR_j) \sum_{t=-n}^n \cos w_j t \\
& \sin w_k t + \sum_{j=1}^m (AI_j + CI_j) \sum_{t=-n}^n \sin w_j t \sin w_k t \\
& = \sum_{t=-n}^n U_t \sin w_k t \dots\dots\dots(3-6c)
\end{aligned}$$

由(3-5)式吾人可得

$$\begin{aligned}
& NV_0 - \sum_{j=1}^m (-AR_j + CR_j) \sum_{t=-n}^n \sin w_j t + \\
& \sum_{j=1}^m (AI_j + CI_j) \cos w_j t = \sum_{t=-n}^n V_t \dots\dots\dots(3-7a)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& V_0 \sum_{t=-n}^n \sin w_k t + \sum_{j=1}^m (-AR_j - CR_j) \sum_{t=-n}^n \sin w_j t \\
& \sin w_k t + \sum_{j=1}^m (AI_j + CI_j) \sum_{t=-n}^n \cos w_j t \sin w_k t \\
& = \sum_{t=-n}^n V_t \sin w_k t \dots\dots\dots(3-7b)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& V_0 \sum_{t=-n}^n \cos w_k t + \sum_{j=1}^m (AR_j - CR_j) \sin w_j t \cos w_k t \\
& + \sum_{j=1}^m (AI_j + CI_j) \sum_{t=-n}^n \cos w_j t \cos w_k t
\end{aligned}$$

$$= \sum_{t=-n}^n V_t \cos w_k t \dots\dots\dots(3-7c)$$

其中  $N = 2n + 1$

由於正弦函數為奇函數  $\therefore \sum_{t=-n}^n \sin w_k t = 0 \dots\dots\dots(3-8a)$

定義

$$S(w_k) = \sum_{t=-n}^n \cos w_k t = 1 + 2 \sum_{t=0}^n \cos w_k t =$$

$$\frac{\sin(2n+1)w_k / 2}{\sin w_k / 2} = \frac{\sin Nw_k / 2}{\sin w_k / 2} \dots\dots\dots(3-8b)$$

同理又

$$\sum_{t=-n}^n \sin w_j t \cos w_k t = \sum_{t=-n}^n \cos w_j t \sin w_k t = 0 \dots\dots\dots(3-9a)$$

定義

$$\frac{1}{2} F_{jk} = \sum_{t=-n}^n \cos w_j t \cos w_k t = \frac{1}{2} [ S(w_j + w_k) + S(w_j - w_k) ] \dots\dots\dots(3-9b)$$

$$\frac{1}{2} G_{jk} = \sum_{t=-n}^n \sin w_j t \sin w_k t = \frac{1}{2} [ -S(w_j + w_k) + S(w_j - w_k) ] \dots\dots\dots(3-9c)$$

其中  $J, K = 1, 2, 3 \dots\dots\dots m$

$$\left. \begin{aligned} \text{以及令 } AA_j &= (AR_j + CR_j) / 2, AB_j = (AR_j - CR_j) / 2 \\ AC_j &= (-AI_j + CR_j) / 2, AD_j = (AI_j + CR_j) / 2 \end{aligned} \right\} (3-10)$$

將(3-8)(3-9)(3-10)代入(3-6)可化簡成

$$NU_0 + 2 \sum_{j=1}^m S(w_j) AA_j = \sum_{t=-n}^n U_t \dots\dots\dots(3-11a)$$

$$S(w_k)U_0 + \sum_{j=1}^m F_{jk} AA_j = \sum_{t=-n}^n U_t \cos w_k t \quad (3-11b)$$

其中 J, K = 1, 2, \dots, m

$$\sum_{j=1}^m G_{jk} AC_j = \sum_{t=-n}^n U_t \sin w_k t \dots\dots\dots(3-11c)$$

將(3-8)(3-9)(3-10)代入(3-7)可化簡成

$$NV_0 + 2 \sum_{j=1}^m S(w_j) AD_j = \sum_{t=-n}^n V_t \dots\dots\dots(3-12a)$$

$$S(w_k)V_0 + \sum_{j=1}^m F_{jk} AD_j = \sum_{t=-n}^n V_t \cos w_k t (k=1, \dots, m) \dots\dots\dots(3-12b)$$

$$\sum_{j=1}^m G_{jk} AB_j = \sum_{t=-n}^n V_t \sin w_k t \dots\dots\dots(3-12c)$$

方程式(3-11)及(3-12)形成二組 2m+1 個線性方程式，故可由矩陣解線性方程式之方法求出  $U_0, V_0, AA_j, AB_j, AC_j, AD_j$ ，並利用(3-10)的關係求出  $AR_j, AI_j, CR_j$  及  $CI_j$ 。

## 肆、風驅流

### 一、Bretschneider 風驅流理論：

在大洋中風驅流之風向與流向成  $45^\circ$  夾角，流速約為風速的 3%；在小範圍的海域及受限制的海域，如台灣海峽，風驅流的流向與風向一致，其流速則根據 Bretschneider 的公式如下：

$$\frac{\bar{V}}{U} = \sqrt{k/k^*} \cdot \tanh \left( \frac{tU}{d} \sqrt{k/k^*} \right)$$

其中

$\bar{V}$  = 平均流速 (呎/秒)

$U$  = 10 公尺高平均風速

$k$  = 水表面摩擦係數

$k^* = 14.6 d^{-1/3} n^2$

$n$  = Manning's  $n$

$t$  = 吹風延時

$d$  = 水深 (呎)

如取定常狀態： $k = 3.0 \times 10^{-6}$ ， $n = 0.025$  (呎) $^{1/3}$

$$\text{則 } \frac{\bar{V}}{U} = 0.018 d^{1/6}$$

假設  $d = 20$  公尺  $\doteq 66$  呎

$$\text{則 } \bar{V} = 0.036 U$$

表面流及底部流大約為

$$\text{表面流} = \frac{3}{2} \bar{V} = 0.054 U$$

$$\text{底部流} = \frac{2}{3} \bar{V} = 0.024 U$$

## 二、簡易淺水風驅流數值模式

考慮二度空間，座標系如圖(4-1)所示，假設定常狀態，二次項及科氏力可忽略，則運動方程式為

$$\frac{\partial}{\partial Z} \left( -\overline{\rho u' w'} + \mu \frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} \right) = 0 \quad \dots\dots\dots(4-2)$$

對Z積分，即

$$-\overline{\rho u' w'} + \mu \frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} = C \quad \dots\dots\dots(4-3)$$

設在水面風造成的剪應力為  $\rho' C_0 U_a^2$ ， $U_a$  為 10m 高風速。

$$\text{則 } -\overline{\rho u' w'} + \mu \frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} = \rho' C_0 U_a^2 \quad \dots\dots\dots(4-4)$$

其中

$U, W$  分別為 X - 方向及 Z - 方向之流速

$\bar{U}, \bar{W}$  分別為 X - 方向及 Z - 方向之平均流速

$$u' = U - \bar{U}, w' = W - \bar{W}$$

$\rho$  為海水密度 (  $g / cm^3$  )

$\rho'$  為空氣密度 =  $1.2 \times 10^{-3} g / cm^3$

$$C_0 = 1.3 \times 10^{-3}$$

$$C = \rho' C_0 U_a^2$$

1 根據 Panndtl 的混合長度 ( mixing length ) 理論：

$$\rho \ell^2 \left| \frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} \right| \frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} + \mu \frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} = \rho' C_0 U_a^2 \quad \dots\dots\dots(4-5)$$

其中  $\ell$  為混合長度

$$\text{因 } \frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} > 0$$

則方程式(4-5)可寫為

$$\rho l^2 \left( \frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} \right)^2 + \mu \frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} - C = 0 \dots\dots\dots(4-6)$$

其中  $C = \rho' C_0 U_a^2$

2 混合長度之實驗式：

將流場分為二部份，每部份各視為一半管流 (Semi-Pipe Flow)，分界點假設在  $1/10 d$  水深處 (如圖 4-2)，依尼氏 (Nikuradse) 實驗式混合長度為

$$l = 0.4 Z \left[ 1 - 1.1 Z/R + 0.6 (Z/R)^2 - 0.15 (Z/R)^3 \right] \dots\dots\dots(4-7)$$

其中  $R = \text{Reynolds Number}$

本文不採用尼氏實驗式而假設流場二部份之混合長度  $l$  皆為隨水深做線性變化 (如圖 4-2)，其方程式如下：

上半流場： $l = -10 l_1 Z/(9d) \quad 0 \geq Z \geq \frac{-9}{10} d$  .....(4-8)

下半流場： $l = 10 l_1 (d+Z)/d \quad -\frac{9}{10} d \geq Z \geq -d$

由方程式(4-6)及(4-8)得流場的平均流速

$$\bar{U}(Z) = \int_{-d}^0 \frac{-\mu \pm (\mu^2 - 4\rho l^2 C)^{\frac{1}{2}}}{2\rho l^2} dZ + A \dots\dots\dots(4-9)$$

其中  $l = -10 l_1 Z/(9d) \quad 0 \geq Z \geq \frac{-9}{10} d$

$l = 10 l_1 (d+Z)/d \quad -\frac{9}{10} d \geq Z \geq -d$

A 為常數

設  $l_1 = c' d \quad 0 < c' < 1$

本文用數值解方程式(4-6)及(4-8)，將其表為差分方程式，如圖

4-3。

$$\rho l_{n-1}^2 \left( \frac{U(Z_n) - U(Z_{n-1})}{\Delta Z} \right)^2 + \mu \left( \frac{U(Z_n) - U(Z_{n-1})}{\Delta Z} \right) - C = 0 \dots\dots\dots(4-10)$$

其中

$$l_n = -10 l_1 Z_n / (9d), \quad N = 1, 2, \dots, M$$

$$l_n = -10 l_1 (d + Z_n) / d, \quad N = M+1, M+2, \dots, N$$

$$\Delta Z = \frac{d}{N} \quad Z_n = -n \Delta Z, \quad M < N$$

3. 理論與實測值比較：

本地區實測值  $U_a = 10.0 \text{ m/sec}$  (10 公尺高平均風速)，水深  $d = 20$  公尺

$$\text{風驅流流速 } \bar{U}_r \left( -\frac{1}{3}d \right) = 0.61 \text{ m/sec} \quad , \quad \text{在 } Z = -\frac{1}{3}d$$

$$\text{即 } \bar{U}_r \left( -\frac{1}{3}d \right) / U_a = 0.061$$

取常數值  $c' = 0.03$

由差分方程式 (4-10) 得理論值

$$\bar{U} \left( -\frac{1}{3}d \right) = 0.65 \text{ m/sec} \quad , \quad \text{在 } Z = \frac{1}{3}d \text{ 處}$$

$$\text{即 } \bar{U} \left( -\frac{1}{3}d \right) / U_a = 0.065 \quad (\text{如圖 4-4})$$

與實測值甚為接近，惟無實測的風驅流剖面資料作進一步比較。

## 伍、台中港口流況預報模式

### 一、概述

台中港附近海流較特異，茲就觀測所得資料，分夏季與冬季處理。夏季海流受潮汐影響為主，其相關係數最大為0.6延時2小時，除潮流成份外，也受風速、風向影響，造成風驅流，其相關係數最大0.2延時4小時，且當風向為西南時，流速偏大，風向為東北時，流速偏小。此原因可能為存在一北北東方向的恆流，因此預報此地區夏季海流須考慮三個因素：潮汐、風和恆流。冬季海流受潮汐影響小，其相關係數小於0.1，但與風之關係密切相關係數達0.75，延時2至6小時，而流向幾乎與風向一致。故冬季海流絕大部份為風驅流的成份。本文以迴歸法預報潮流，雖由滑動平均法分析得知風速與海流非線性關係，但為簡化計故假設風驅流流速與風速在北北東方向分量的平均比值為0.03，而風驅流流向與風向同，由此求得風驅流再與潮流、恆流作向量和而推得夏季海流，冬季海流則考慮吹風歷時，以最小平方法求得風速與流速的關係式，而流向則與風向同，以此推得冬季海流，結果與實測相當吻合。

### 二、資料分析

取在台中港現場測得風、海流、潮汐資料。分夏季（71 / 4 ~ 71 / 5）及冬季（70 / 11 ~ 70 / 12）此兩段短期觀測資料特性分別概述如下：

#### (一)風(測站：北防沙堤)

1. 夏季：一般風速很小，平均風速3.4 m / sec，且風向大多為南南東（25%），但風向的分佈較冬季分散。（圖5-1）
2. 冬季：東北季風盛行，風速明顯增大，平均風速為12.5 m / sec，且風向大多為東北及東北東共佔85.5%。（圖5-2）

(二)潮汐：(測站：南內堤)

- 1.夏季：由能譜圖(圖 5-3)顯示本區潮汐主要成份為全日潮及半日潮，其中半日潮成份遠比全日潮為大。
- 2.冬季：與夏季相同。

(三)海流：(測站：北防波堤外 B 站)

- 1.夏季：平均流速 28.84 cm/sec，極大值平均 43.5 cm/sec，極小值平均，17.1 cm/sec，流向大多為北北東(41.4%)，東北(26.5%)與最多風向夾角約 45 度(如圖 5-1)，本段資料有一冷鋒靠近，風向轉成東北，流向隨著轉變成西南方向，所以流向受風向影響，但流速受風速的影響較潮汐為小，因流速與風速相關係數值為 0.2，見(圖 5-4)，流速與潮汐相關係數為 0.6，見(圖 5-5)。雖然除了冷鋒通過外流向大致固定在北北東及東北方向上，但流速仍呈現週期性的變化，其週期與潮汐週期相符，在漲潮至平均水位附近流速最大，高潮位時流速最小見資料圖(如附錄一)。
- 2.冬季：平均流速 54.61 cm/sec，極大值平均 63.4 cm/sec，極小值平均 36.5 cm/sec。流向大多為南南西(34.2%)，西南(31.2%)本段期間由於東北季風盛行風速較夏季大，故流速也較夏季大，因受風驅流直接影響，而潮汐影響不顯着，故無週期現象。由相關函數圖知流速與風速相關函數值為 0.75 (見圖 5-6)流速變化較風速變化延遲 2 至 6 小時，冬季海流主要成份為風驅流，潮流成份小，潮汐與海流相關函數值小於 0.1，見(圖 5-7)。

三、預報方法

1.夏季

- (1)以滑動平均法，求流速與風速的關係。

$$\bar{W}(t) = \frac{1}{N+1} \sum_{i=0}^N W(t-i) \dots\dots\dots(5-1)$$

$$M(t) = \frac{\bar{W}(t)}{C(t)} \dots\dots\dots(5-2)$$

$\bar{W}(t)$  = 滑動平均風速 ( cm/sec )

$W(t)$  = 風速 ( cm/sec )

$C(t)$  = 流速 ( cm/sec )

$M(t)$  = 滑動平均值

$N$  = 滑動時間 ( 小時 )

$t$  = 時間

當滑動時間為 11 小時， $M$  最大值 15

$M$  最小值 2

但當冷鋒通過時風速變大， $M$  最大值 43.1

$M$  最小值 24.1

當滑動時間為 1 小時， $M$  最大值 34

$M$  最小值 0

冷鋒通過時  $M$  最大值 55.5

$M$  最小值 17.5

由上述分析結果顯示風速與流速並非線性關係。

(2) 迴歸法預報潮流 (含恒流項)

甲求潮流與潮汐相關函數 CR

$$CR(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^M (T_i - \bar{T})(C_{i+\tau} - \bar{C})}{\sqrt{\sum_{i=1}^M (T_i - \bar{T})^2 \sum_{i=1}^M (C_i - \bar{C})^2}} \dots\dots\dots(5-3)$$

$\tau$  = 延時 (小時)

$T_i$  = 潮位 (m)

$C$  = 實測流速 (cm/sec)

$$\bar{T} = \frac{\sum T_i}{M}$$

$$\bar{C} = \frac{\sum C_i}{M}$$

當  $\tau = 2$ ,  $CR = 0.6$ , 即延遲 2 小時, 相關函數最大值 0.6

乙簡單迴歸法求潮流

以最小平方法求潮流與潮位的二次曲線變化關係, 故 TC 對 T 二次迴歸曲線一般式為

$$TC(t+2) = A + BT(t) + CT^2(t) \dots\dots\dots(5-4)$$

TC = 潮流流速 (cm/sec)

A, B, C : 常數

由最小平方法求得

$$A = 18.042 \quad B = 1.052 \quad C = 1.123$$

分析資料假設潮流方向與恒流方向相同。

### (3) 風驅流預報法

#### 甲 已知與假設

(甲) 由風速與流速的相關函數知  $\tau = 4$  ,  $CR = 0.2$

(乙) 因西南風向時流速有增加趨勢，而東北風向時則有減小趨勢，故須考慮風向。

(丙) 雖風速與流速是非線性關係，但為求簡單故假設風驅流流向與風向同，且流速與風速比值如下：

$$WC(t+4) / \bar{W}(t) = 3 \dots\dots\dots (5-5)$$

$WC(t)$  = 風驅流流速 ( cm/sec )

$\bar{W}(t)$  =  $W(t)$  在北北東方向的分量 ( m / sec )

#### 乙 風驅流表示式

$$WC(t+4) = \pm ( W(t) * 3 * | \cos(D^\circ - 202.5^\circ) | ) \dots\dots\dots (5-6)$$

$D^\circ$  = 風向角度  $0^\circ \leq D^\circ < 360^\circ$

風向角度定義及正負號取法 ( 如圖 5-8 )

若東北風向時：

當  $112.5^\circ \leq D^\circ \leq 292.5^\circ$  取負號

$0^\circ \leq D^\circ < 112.5^\circ$  或  $292.5^\circ < D^\circ < 360^\circ$  取正號

### (4) 海流預報

由 (5-4)(5-6) 兩式求得潮流 ( 含恒流項 ) 及風驅流以向量和

得  $PC = TC + WC$   $PC$  = 預測海流  $\dots\dots\dots (5-7)$

## 2. 冬季

### (1) 以權重法求代表風速

因延時 2 至 6 小時，其相關係數皆約 0.75，因此項考慮吹風歷時，故取前 2 至 6 小時的風速平均作為前 2 小時的代表風速。

$$SW(t) = \frac{1}{5} \sum_{I=0}^4 w(t-I) \dots\dots\dots(5-8)$$

SW(t) = t 時代表風速 m / sec

(2) 最小平方法求風速與流速關係式

$$C(t+2) = A \cdot SW^2(t) + B \cdot SW(t) + C \dots\dots\dots(5-9)$$

C(t) = 推算流速 cm/sec

A, B, C = 常數

以最小平方法求得

$$A = 0.30345 \quad B = -4.09 \quad C = 46.91$$

(四)、計算與實測值比較

1. 夏季：

夏季海流主要為潮流、風驅流則為次要。本文考慮潮位及風速風向，以推算流速，而流向則因恒流存在，故流向夏季大多為北北東，因此未作預報。由於推算風驅流時未考慮歷時，故推算與實測仍稍有誤差，但若同時考慮風向與歷時則較繁且費時，為求簡單故只考慮風向。推算與實測值比較如(附錄四)，結果顯示良好。

2. 冬季：

冬季海流主要為風驅流，潮流成份很小，所以本文只考慮風速以推算流速。而流向則與風向幾乎一致，所以流向未作預報，流速推算與實測比較見(附錄五)。結果頗吻合。

## 陸、沿岸流及裂流

### 一、概述

由波浪造成之近岸流對海岸工程、港埠工程、海岸環境污染等都有非常重要的影響。如港口的泥沙淤積，海岸的侵蝕造成海岸線的後退，污染物徘徊在海岸附近無法渲洩，發電廠溫排水再回流於取水口附近，防波堤的基礎流失等。故對近岸流系統之研究須加強探討以提供解決海岸工程規劃設計上所遭遇實際問題之方法。往昔學者對於近岸流之研究大都集中在沿岸平均流速之探討，而忽視離岸方向之流速變化。例如早期 Putnam - Munk - Traylor, Inman - Bagnold 及 Galvin - Eagleson 等，曾以孤立波理論分別利用動量通率 (momentum flux) 及質量通率等觀念而得到沿岸流平均流速公式。直到 Longuet - Higgins 之輻射應力 (radiation stress) 理論發展成熟後，學者們才開始利用此一觀念來研究沿岸流的速度分佈及近岸環流現象。惟以上學者均假設沿岸流在沿岸方向之流動係一種均勻及穩定之流態，本文以質量輸送觀念，推導沿岸流理論公式。依據該理論沿岸流之流量在一單位元內向下游方向增加，以實驗驗證該結果，並同時對 Galvin 與 Eagleson 沿岸流理論及 Longuet - Higgins 沿岸流理論作一綜合比較檢討。當防波堤存在或地形改變時之近岸流不但流本身受結構物之阻擋，波浪也會受到繞射，反射與折射之影響。因此，波浪與流之間的相互作用，在防波堤附近顯得重要，在這種情況下理論解析是複雜且困難的。C. C. Mei 以差分法解析平均動量及質量方程式，建立了防波堤存在下之近岸流模式，而 Bettles、林錦崇等，則以有限元素數值方法解析防波堤附近的近岸流，本文以實驗方法研究防波堤存在下及地形改變時，近岸流之各種現象。希望由實驗結果的分析，而有助於理論解析之發展。

## 二、沿岸流理論

沿岸流已如前述係因波浪而引起的沿岸流動過去主要理論有二，推導觀念皆在動量守衡。

### 1. Galvin 與 Eagleson 理論

如圖 6-1 所示，對控制體而言，其基本觀念為通過碎波線的動量通率 (momentum flux) 與作用在此控制體邊界的力平衡。假設 ABC 與 DEF 面之力平衡，ACDF 之剪力忽略，風剪力為零，則僅餘底部之摩擦力，故沿岸方向力平衡方程式為

$$F_{sY} + \iiint B_Y \rho dV = \iint V_Y (\rho \vec{v} \cdot \vec{r}) dA + \frac{\partial}{\partial t} \iiint V_Y \rho dV \dots\dots\dots(6-1)$$

其中

$F_{sY}$  = Y 方向在控制體表面之作用力

$B_Y$  = Y 方向在單位質量之質量力

$V$  = 體積

$\vec{V}$  = 流速

$A$  = 面積

$\vec{r}$  = 垂直單位向量 (向外為正)

因為在碎波帶內紊流強度極高故假設

$$F_{sY} = \frac{-\rho \Delta y \sec \beta}{2T} \int_0^T \int_0^b C_f V_s^2(x, y, t) \sin \theta_s dx dt \dots\dots\dots(6-2)$$

並假設為定常狀態利用微小振幅波理論推得平均沿岸流

$$V_L^2 = \frac{3}{8} \left[ \frac{g H_b^2 n_b}{d_b} \right] \frac{\sin \beta \sin \theta_b \sin 2\theta_b}{f} \dots\dots(6-3)$$

其中

$$n_b = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{2 k d_b}{\text{Sinh } 2 k d_b} \right] \dots\dots\dots(6-4)$$

f 為 Darcy 及 Weisbach 摩擦係數，可根據 Karman- Prandtl 摩擦公式，求得

$$f = \left[ 2 \log_{10} \frac{d_b}{k e} + 1.74 \right]^{-2} \dots\dots\dots(6-5)$$

其中 k。值為粗糙長度 ( Roughness Length )，對於光滑混凝土表面取 k。值為 0.03 cm，自然砂床取 k。值為 0.1 cm 本實驗 k。值採用 0.04 cm。

## 2. Longuet - Higgins 理論

依據 Longuet - Higgins & Stewart 理論，波浪沿著波向線，其單位海面面積的超出動量通率為

$$S_{11} = E \left( \frac{1}{2} + \frac{2 k d}{\text{Sinh } 2 k d} \right) \dots\dots\dots(6-6)$$

其中  $E = \frac{1}{2} \rho g a^2$

與波向線垂直方向的超出動量通率為

$$S_{22} = E \left( \frac{k d}{\text{Sinh } 2 k d} \right) \dots\dots\dots(6-7)$$

若座標系統如圖 6-2 所示，通過向岸方向的斷面在 y 方向的動量通率：

$$\begin{aligned} S_{xy} &= S_{11} \sin \theta \cos \theta + S_{22} \cos \theta (-\sin \theta) \\ &= E \left( \frac{1}{2} + \frac{k d}{\text{sinh } 2 k d} \right) \cos \theta \sin \theta \end{aligned}$$

$$= E ( Cg / c ) \sin \theta \cos \theta \dots\dots\dots(6-8)$$

沿海岸每單位長度通過之向岸方向波能通率

$$F_x = E C g \cos \theta \dots\dots\dots(6-9)$$

$$S_{xy} = F_x \sin \theta / c \dots\dots\dots(6-10)$$

根據 Snell's 定理，吾人可得

$$S_{xy} = F_x \sin \theta_0 / c_0 \dots\dots\dots(6-11)$$

假定  $F_x$  在碎波帶外定數，在碎波帶內  $F_x$  在向岸方向遞減，並假定碎波帶內波高與平均水深成正比，波能之減衰主要由碎波而非底部摩擦。

$$\text{即 } a = \alpha d \dots\dots\dots(6-12)$$

其中  $a$  為振幅， $d$  為水深， $\alpha$  為常數在 0.3 ~ 0.6 之間，則根據線性淺水波理論  $U_{max} = a \sigma / (k d) = \alpha (\sigma / k) = \alpha (g d)^{1/2}$  單位面積由波浪作用在海水的  $y$  方向剪應力為

$$\tau_y = \frac{5}{4} \rho U_{max}^2 S \sin \theta \dots\dots\dots(6-13)$$

其中  $S$  為海底坡度

若假設波浪水分子速度為  $U_{orb}$ ，沿岸流之平均流速  $V_L$  與  $U_{orb}$  相比甚小，如果入射角亦甚小，則可推導平均  $y$  方向摩擦剪力為：

$$\langle B_y \rangle = \left( \frac{2}{\pi} \right) C \rho U_{max} V_L \dots\dots\dots(6-14)$$

其中  $C \doteq 0.01$

並假定定常狀態，則二次度空間沿岸流之運動方程式為

$$0 = \tau_y + \frac{\partial}{\partial x} \left( N \frac{\partial V_L}{\partial x} \right) - \langle B_y \rangle \dots\dots\dots(6-15)$$

其中  $N$  為造成水平動量交換之渦旋粘滯係數，若假定為零則  $\langle B_y \rangle = \tau_y$ 。

$$\text{即 } \frac{2}{\pi} C \rho U_{\max} V_L = \frac{5}{4} \rho U_{\max}^2 S \cdot \sin \theta$$

$$V_L = \frac{5\pi}{8c} \cdot U_{\max} (S \cdot \sin \theta)$$

$$= \frac{5\pi}{8} \frac{a}{c} (gd)^{1/2} S \cdot \sin \theta \dots \dots \dots (6-16)$$

令  $d_b$  為碎波水深則

$$V_L = \left( \frac{d}{d_b} \right) \times \begin{cases} v_0 & d < d_b \\ 0 & d \geq d_b \end{cases} \dots \dots \dots (6-17)$$

$$V_0 = \frac{5\pi}{8} \frac{a}{c} (gd_b)^{1/2} S \cdot \sin \theta_b \dots \dots \dots (6-18)$$

$V_0$  = 碎波點之沿岸流速度

### 3. 質量輸送原則之推論

波浪碎波時水粒子有顯著質量輸送現象，故吾人可將碎波帶視為一河川處理，不考慮動量平衡，根據質量守恒法則，假定碎波時向岸所作之質量輸送，因連續關係而就地再離岸而去但沿岸之分量加入沿岸流之流量。如圖 6-3 所示設單位寬度碎波時將產生之平均質量輸送為  $q$ ，則沿  $dy$  寬度碎波線所得之沿岸方向平均質量輸送為

$$dQ = q \sec \theta_b \sin \theta_b dy = q \tan \theta_b dy \dots \dots \dots (6-19)$$

其中  $\theta_b$  = 碎波波峯線與海岸線夾角

$q$  為單位碎波波峯寬度單位時間質量輸送量

向岸方向為

$$dQ' = q \sec \theta_b \cos \theta_b dy = q dy \dots \dots \dots (6-20)$$

假定向岸方向之質量輸送在空檔中再流回外海則沿岸方向之質量輸送

為

$$Q = q \tan \theta_b y + c \dots \dots \dots (6-21)$$

令  $y = 0$  時  $Q = 0$  則  $c = 0$

其物理意義為  $y = 0$  為一段沿岸流單位元之上游，裂流 (rip current) 位置如圖 6-4 所示：

$$\text{故 } Q = q \tan \theta_b y$$

但根據實驗結果在起始斷面 1 處(見圖 6-5)並無裂流，故  $Q \neq 0$  即  $C \neq 0$ ，其流量受邊界條件影響，由因次分析得知斷面 1 處流量與碎波波高、邊界長度，入射波週期及入射波角度，海底坡度有關。由 9 個實驗數據結果分析得知其流量與碎波波高平方，波浪入射角及邊界長度成正比，與入射波週期成反比。因實驗模型為固定床，試驗過程未曾更換海底坡度。因此未獲得流量與坡度的關係。假設

$$PQ_1 = B \cdot \frac{H_b^2}{T} \sin \theta \cdot D \dots \dots \dots (6-22)$$

其中

$PQ_1$  = 斷面 1 處的推算流量 ( $m^3 / sec$ )

$H_b$  = 碎波波高 (m)

$T$  = 入射波週期 (sec)

$\theta$  = 入射波角度

$D$  = 邊界長度 (m)

$B$  = 常數

$$\text{由實驗數據求得 } B = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 B'_i = 1.49 \quad \text{見表 6-1}$$

$$\text{其中 } B'_i = \frac{Q_{1i}}{\frac{H_{bi}^2}{T_i} \sin \theta_i \cdot D_i} \quad i = 1, 2, 3 \dots \dots 9$$

$B'_i$  的分佈如圖 6-8，其值相當集中於 1.5 左右。

單位時間、單位碎波線寬度平均質量輸送  $q'$  應與碎波波高，入射波週期入射波入射角，海底坡度有關，由因次分析得

$$q' = A \cdot \frac{H_b^2}{T} \sin \theta \dots\dots\dots(6-23)$$

其中  $A$ ：常數

$$\text{由實驗數據求得 } A = \frac{1}{18} \left( \sum_{i=1}^9 A_{1i} + \sum_{i=1}^9 A_{2i} \right) = 7.91 \times 10^{-1}$$

詳見表 6-1。

其中

$$A_{ni} = \frac{\Delta Q_{ni}}{\frac{H_{bi}^2}{T_i} \sin \theta_i \tan \theta_{bi} \cdot \underline{Y}} \quad \begin{matrix} n = 1, 2 \\ i = 1, 2 \dots 9 \end{matrix}$$

其中  $\underline{Y}$  為推算斷面間距離 (m)

$A_{1i}$  及  $A_{2i}$  的分佈如圖 6-9

因各斷面間的  $Q_b$  值不固定，故推算時須由斷面 1 開始逐步往下游推算。

$$PQ_{I+1} = PQ_I + A \frac{H_b^2}{T} \sin \theta \tan \theta_{bI} \cdot \underline{Y}$$

$$I = 1, 2, 3 \dots\dots\dots(6-24)$$

依以上之理論沿岸流的流量在一單位元內向下游方向增加，如水深不變，而沿岸流之斷面積為三角形，故斷面  $I$  處的平均流速為

$$V_{LI} = \frac{2 PQ_I}{B_I \cdot d_{bI}} \quad I = 1, 2, 3, 4 \dots\dots\dots(6-25)$$

其中  $B_I$  = 碎波寬度 (m)

$d_{br}$  = 碎波水深 ( m )

如流量增加而保持水位不提高，必須增大  $V_L$ ，但由於底部摩擦及側方向摩擦之影響，勢必有一限度，使其流速減小，則水位上昇必造成離岸的裂流。

### (三)、模型試驗

#### 1. 模型製作與試驗佈置

試驗係於港灣技術研究所之平面水槽中進行。水槽長 60 公尺，寬 43 公尺，深 1 公尺，池內設錘擊式造波機，由三十匹馬力馬達帶動變速機及偏心輪以製造波浪。週期之長短可調整變速機之變速比，波高之大小可改變偏心輪之偏心距。造波機則安裝在弧形鐵軌上藉齒輪以變換位置製造各種方向之波浪。模型製作採固定床上鋪混凝土沙漿。海岸線為直線形，模型為等比縮尺，模型率為 1 / 200。海底坡度固定為 1 / 100，等深線與海岸線平行，水深達 25 公尺處。為便於拍照，觀測以及資料分析特於模型上每隔 1 公尺作一明顯十字形符號，並將整個觀測區域劃分為 1，2，3，4 等 4 個主要觀測斷面。整個配置如圖 6-5 所示。為了消除試驗時邊界所造成之干擾，試驗區域選擇於水槽之中央部份，並將模型之兩側邊界開口，使得流能自由通過不致受邊界影響，以確保試驗之準確性。

本試驗之佈置共分三類，各類再以各種的入射波加以試驗，茲說明如下：

第一類佈置：無結構物存在，平行等深線時。

第二類佈置：平行等深線配置垂直單突堤，堤長分 5 m，7.5 m，10 m 三種。如圖 6-6。

第三類佈置：垂直單突堤，上波區 ( up wave region ) 為橢圓地形，堤長 10 m。如圖 6-7 所示。

模型試驗，入射波浪條件，如表 6-2。

## 2. 試驗步驟及方法

### (1) 試驗步驟

試驗觀測項目包括：平面流速及分佈，平面流況，碎波線、碎波波高、碎波水深、碎波角度、遡上線。

首先觀測無結構物平行等深線時之狀況，以瞭解近岸流之基本流動型態，接著測定防波堤存在，平行等深線時之狀況，再接著測定防波堤存在，橢圓地形時之狀況，以便相互比較，瞭解防波堤附近近岸流之影響情況。

試驗步驟如下：

甲決定地形佈置。

乙決定防波堤位置及長度。

丙選定入射波之週期，波高及入射角度，調整造波機。

丁描繪碎波線及遡上線。

戊量測碎波波高，碎波水深。

己測定流速，描繪流況。

庚施放染料，拍照。

辛重複丙～庚之步驟。

壬重複乙～庚之步驟。

癸重複甲～庚之步驟。

### 2) 試驗方法

試驗時分別利用浮子及高錳酸鉀 ( $KMnO_4$ ) 染料以追蹤法測定各點因波浪引起近岸流之流速及流向變化。浮子係一球形塑膠體，直徑為 2.67 公分，體積為 10 立方公分，比重 0.88。觀測時兩人一組，每隔 5 秒鐘時間分別記錄浮子在模型上座標 X 軸及 Y 軸之位置變化，以計算其表面流速。並於觀測斷面利用染料觀察其流向變

化，其所得資料與浮子流向比較。試驗證明除在碎波線附近外兩者方向大致相同，利用照相機自模型上方觀測架拍攝波浪波峯線位置，根據模型上座標點利用相對位置變化，以分析其入射波峯線行進路徑，求出碎波角度  $\theta_b$ ，以此資料計算分析並比較試驗值與理論值。

#### (四)、試驗結果分析

##### 1. 遡上線、碎波線及碎波角度

根據上述試驗步驟及方法，有關觀測區域浮子流跡線，如圖 6-10 ~ 圖 6-18 所示。波浪遡上線與入射波波高有關，波高愈大遡上線愈高。遡上線與入射波週期入射波角度無顯著關係。垂直單突堤存在時，在上波區 ( up wave region ) 的遡上線稍增高，下波區 ( down wave region ) 的遡上線則稍降低。

碎波線受入射波浪影響差異極大，入射波高增大，碎波線離岸越遠，碎波水深亦增大。入射波高小，碎波線離岸近，碎波水深較小。碎波線受週期影響不顯著。當波浪入射角  $\theta = 30^\circ$  時，亦即入射角度  $\theta$  值較小時，碎波線與等深線大致平行，當入射角度  $\theta$  增大至  $\theta = 45^\circ$  時，碎波線不再平行於海岸線，而逐漸向下游區趨近海岸，即碎波寬度往下游逐漸變小，當入射角度增大為  $\theta = 60^\circ$  時，此現象更加明顯，如圖 6-10 ~ 6-18。推究其原因除受邊界條件影響外，波浪之減衰是主要原因。因為波浪傳播距離上游區較下游區小，如圖 6-5，波浪入射至上游區的減衰程度較小，在較深處發生碎波。入射至下游區的波浪，因傳播路徑較遠，減衰程度較大，波高變小，在較淺處碎波；當入射角度較小時，上、下游區與造波板距離相近，減衰程度相侷，碎波水深大致相同。故碎波線與等深線平行。但當入射角度變大時，上、下游區與造波板距離相差變大，故減衰程度差異較大，碎波線由上游往下游愈趨近海岸。

觀測區域內 4 個斷面其碎波角度  $\theta$ ，經利用照相分析後發現愈往下游區域其碎波角度值愈小，且其值均較入射角度為小。推究其原因，主要為因上游區域波浪折射效應較不顯著，且下游區流速加大波浪受同向流影響較大，故上游區  $\theta$  較下游區大。當  $\theta = 30^\circ$  時，波浪折射現象受沿岸流影響，碎波角度較不規則，故沿岸流對波浪折射現象及碎波角度之影響有待進一步研究。

## 2. 無結構物存在時之流況

觀測斷面各點其沿岸及離岸方向速度分佈。試驗結果顯示，對不同入射波浪所引起沿岸流分佈情況而言，均以碎波線附近流速最大。然後沿著向岸方向逐漸遞減，碎波線外流速分佈則急遽減小，此點與 Longuet - Higgins 理論相符合。入射角度  $\theta$  值較小時，此現象並不明顯，例如  $\theta = 30^\circ$  時，試驗結果顯示每一觀測斷面各點其流速分佈較為均勻，無顯著變化，試驗資料顯示碎波帶內流向與波浪入射角關係極為密切。當入射角度  $\theta$  值較大時，每一觀測斷面在碎波帶內均有一顯著離岸速度分量，碎波帶外則明顯均為向岸速度分量，無離岸分量。而當入射角度  $\theta = 45^\circ$  時，觀測斷面各點於碎波帶內沿岸流分佈其方向大致平行於海岸線並無顯著離岸及向岸速度分量，但碎波帶外仍然具有向岸速度分量。當入射角度減為  $\theta = 30^\circ$  時，於碎波帶內相反的具有顯著向岸速度分量，碎波帶外仍只有向岸分量，無離岸分量。本實驗為與 Galvin 與 Eagleson 及 Longuet - Higgins 沿岸流理論值比較特將實驗整理如表 6-3-1 ~ 6-3-9 所示。每一觀測斷面之碎波角度係由相片中利用模型方格點相對位置求出。並將 4 個斷面處之平均沿岸流速實測值，與 Galvin Eagleson 理論值和其他學者 Putnam, et al, Shimans, et al (1956), Horikawa & Sasaki (1968) 等固定床試驗值及 Putnam, et al (1949), Inman & Quinn (1951), Galvin & Savage

(1965)等現場實測值相比較。如圖 6-19 所示。圖形顯示本試驗值與理論值及其他學者實驗值等關係非常一致，四個斷面之試驗垂直岸方向平均速度分佈點繪如圖 6-20 所示，與 Longuet - Higgins 理論值相比較，圖形顯示碎波帶內試驗值與側向混合參數 ( Lateral Diffusion Parameter )  $P = 0$  時理論值一致為線性增加。斜率為  $45^\circ$ ，惟碎波帶外速度分佈根據 Longuet - Higgins 理論其值應為 0，試驗值與理論值相差甚大。當  $P > 0$  時亦然，此點有待進一步探討。Galvin - Eagleson 及 Longuet - Higgins 兩者均假設沿岸流係一種穩定均勻流。換言之，對某一固定波浪條件言，沿岸流並不因時間、地點而異，惟試驗結果顯示，沿岸流大小有向下游方向逐漸增加之趨勢，亦即有質量輸送之現象。此現象對質量輸送理論提供一有力佐證。茲將試驗數據整理如表 6-3-1 ~ 表 6-3-9 所示。結果顯示實驗值與質量輸送理論值較接近。平均誤差 12.44 %，Galvin - Eagleson，平均誤差 28.5 %，Longuet - Higgins 平均誤差 41.6 %，故本文所提以質量輸送理論推算沿岸流速的方法，值得採用。斷面 4 處因受邊界回流影響故其值偏小。本文 ( 6-22 ) 及 ( 6-23 ) 式中的 B，A 兩常數，應受海底坡度的影響而改變。因本試驗只作 1 個 1 / 100 的海底坡度情況，故未能獲得海底坡度，對 A 及 B 兩數的確定關係，此點須再做進一步研究。

### 3. 防波堤存在時之情況

垂直單突堤，與海岸線垂直時，突堤根處之環流 ( Circulation ) 及堤頭處之強制裂流 ( Forced rip current ) 為極重要之現象。無論入射波條件如何，堤頭附近之流速不受堤長影響均為整個觀測區域中最大者，且侷限於狹窄帶內。此足以說明防波堤堤頭常發生冲刷現象主要原因。堤頭離岸流成份，即強制裂流 (  $V_r$  ) 由試驗結果分析得知，強制裂流流速與堤長，入射波角度、碎波波高及地形有關。當堤長 5 公尺與 7.5 公

尺時，強制裂流流速皆隨入射角度與單突堤堤長增加而加大。即  $\theta = 60^\circ$  時， $V_r$  最大， $\theta = 30^\circ$  時  $V_r$  最小。堤長 10 公尺時亦然。當入射角  $60^\circ$  堤長 5 公尺，增加為 10 公尺時， $V_r$  由 4.6 cm/sec 增為 19.2 cm/sec，其餘不同入射角度亦有相同現象。如圖 6-21 ~ 圖 6-25，當入射角度值固定，堤長 7.5 公尺的裂流流速比堤長 5 公尺稍大些。但當堤長增為 10 公尺時，裂流流速明顯急劇增加。推究其原因可能為堤長 10 公尺已對沿岸流場中最大流量區域（即碎波帶內近碎波線區域），產生阻擋而造成的。由浮子跡線（如圖 6-26 ~ 圖 6-65）可知堤長 10 公尺，堤頭已非常接近碎波線，但如果突堤再予延長，則強制裂流受海底摩擦將減小。另入射角度偏小時裂流流速之增加趨勢較為緩慢，甚至呈減小現象如圖 6-22。在相同堤長及波浪入射條件下可能橢圓地形時上坡區出現強勢完整的環流，而影響下游流況，故平行等深線地形所造成裂流流速比橢圓地形為大。

試驗資料顯示碎波波高與裂流流速並無明顯關係，裂流流速主要受堤長，波浪入射角度之影響。由試驗資料分析結果裂流之近似值可以由下式求得

$$V_r = F(L') \cdot G(\theta') = (0.48 L'^2 - 5.6 L' + 20) (1.36 - 0.0178 \theta'^2) \dots \dots \dots (6-26)$$

式中  $V_r$  = 裂流流速 (cm/sec)

$$L' = \frac{L}{100} \quad L \text{ 為堤長 (cm)}$$

$$\theta' = \frac{\theta}{10} \quad \theta \text{ 為入射角度 (度)}$$

上式應限於堤長不超出碎波帶。

由試驗結果發現不論堤長如何，在下波區皆產生一環流 (circula-

tion) 如圖 6-26 ~ 圖 6-65。但在平行等深線地形，堤長較長時(如 10 公尺)，因堤頭已深入碎波線破壞環流結構，而使環流現象不明顯。而堤長較短時(如 5 公尺及 7.5 公尺)平行等深線地形，堤下波區出現較完整的近似橢圓形環流。環流中心位置約在橢圓較靠近突堤的焦點上。其長軸與短軸皆隨堤長增長及碎波波高增大而增加。長軸與突堤之夾角  $\theta$ ，隨堤長增加而減小，但隨碎波波高增大而增大。長軸與短軸長度及長軸與突堤夾角與波浪入射角度及週期無關。試驗結果平行等深線地形，下波區綜合整理歸納如表 6-4。

其中長軸近似值 CL 與堤長與碎波波高關係為  $CL = 100 \times (H_b^2 L / 100)^{\frac{1}{4}}$ 。短軸近似值 CS 則為  $CS = 0.74 CL$ 。其中 CL、CS 單位為公分，碎波波高  $H_b$  單位為公分，堤長 L 單位為公分。長軸與堤夾角  $\theta_a$  近似值可寫成  $\theta_a = (-8 H_b^2 + 103 H_b - 240) \left( \frac{L}{500} \right)^{-3.1}$ ，橢圓地形堤

長 10 公尺時下波區因突堤未侵入碎波線故環流結構較完整。因橢圓地形只做堤長 10 公尺，試驗碎波波高大約在 7.0 公分左右。未能明瞭突堤長度與碎波波高對下波區環流的影響。試驗資料整理歸納如表 6-4。

平行等深線地形上波區 (up wave region) 不一定出現環流。試驗結果，分析上波區出現環流條件為  $H_b / L < 0.0065$ ，其中 L 為堤長，且  $H_b / L_w > 0.037$ 。其中波長  $L_w = 1.56 T^2$ 。在本試驗研究中，當堤長 10 公尺，平行等深線地形時，上波區出現環流，其試驗結果整理見表 6-5。但當橢圓地形時，上波區的環流受波浪入射角度的影響入射角度值愈大，長軸長度增大，短軸長度減小，長軸與堤夾角  $\theta$  愈小。環流似與波浪週期無關。因試驗時又碎波波高集中在 7.0 公分，故未能獲得碎波波高對環流之影響。試驗結果如表 6-5。長軸與短軸長度近似值，分別為

$CL = 600 + (\theta - 30^\circ) / 0.3$  但  $\theta \geq 30^\circ$ 。短軸長度則為  $CS = 470 + (60^\circ - \theta) / 0.3$ ， $\theta \leq 60^\circ$  而長軸與堤的夾角  $\theta$ 。近似值為  $\theta_a = 64 - 0.0074 \theta^2$ ，但  $30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ 。

## 浪、碎波之質量輸送

波浪在碎波時造成之單位寬度波峯之質量輸送（如圖 7-1），可以下式表示：

$$q = \frac{h \cdot U_b \cdot t}{T} \dots\dots\dots(7-1)$$

式中

$q$  = 質量輸送之流量

$h$  = 質量輸送之有效高度（自底床至波峯之距離）

$t$  = 碎波時間

$T$  = 波浪週期

$U_b$  = 碎波水粒子之水平速度

$$= C' \sqrt{g \left( d_b + \frac{3}{4} H_b \right)} \dots\dots\dots(7-2)$$

$C'$  = 修正係數

式中（7-1）中之週期  $T$ ，一般而言較易求得，其餘之變數如  $h$ ， $U_b$ ， $t$  等，仍需借助試驗，以求得其與波浪及水底條件之關係。為達到此目的，乃利用本所長 28 m，寬 1 m，高 1 m 斷面水槽，試驗坡度 1 / 20 之各種流況。試驗儀器主要為日製 KENEK 螺旋式流速計。試驗水槽及流速計示如照片 7-1，2，3。由試驗資料分析，可獲致下列若干結果：

(一)、 $U_b$  與  $d_b$ （碎波水深）及  $H_b$ （碎波波高）之關係：

1.  $d_b$  與  $H_b$  之關係：

McCowan 由水分子流速等於波速求得碎波時之波高水深比為

$$H_b / d_b = 0.78 \quad \text{或} \quad d_b / H_b = 1.282$$

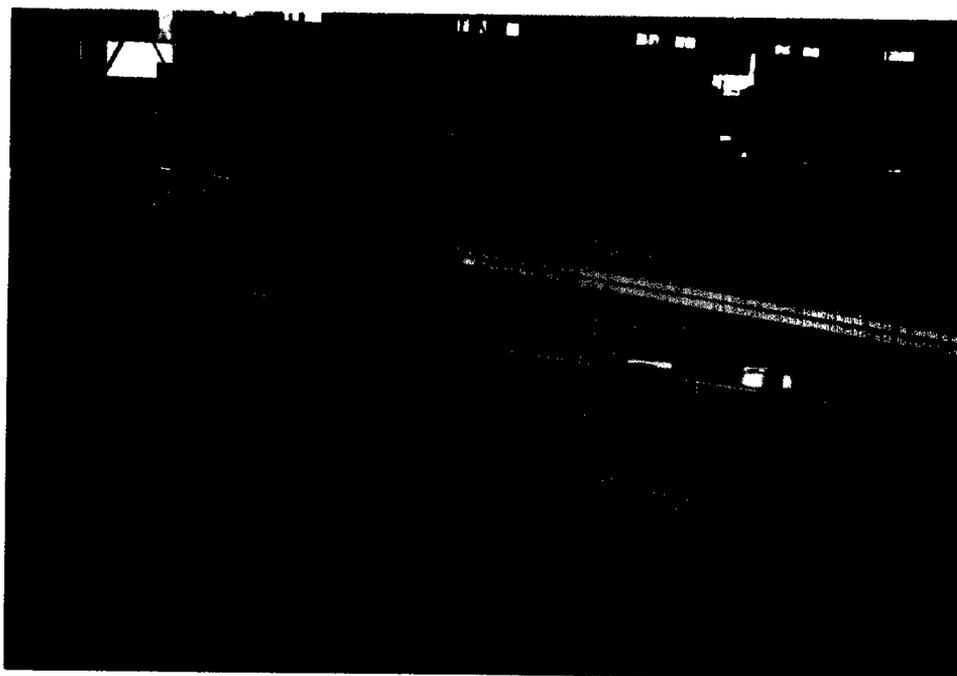
山田（Yamada，1957）之計算值為

$$H_b / d_b = 0.827 \quad \text{或} \quad d_b / H_b = 1.209$$

岸 (Kishi, 1968) 之計算值為

$$H_b / d_b = 0.75 \quad \text{或} \quad d_b / H_b = 1.333$$

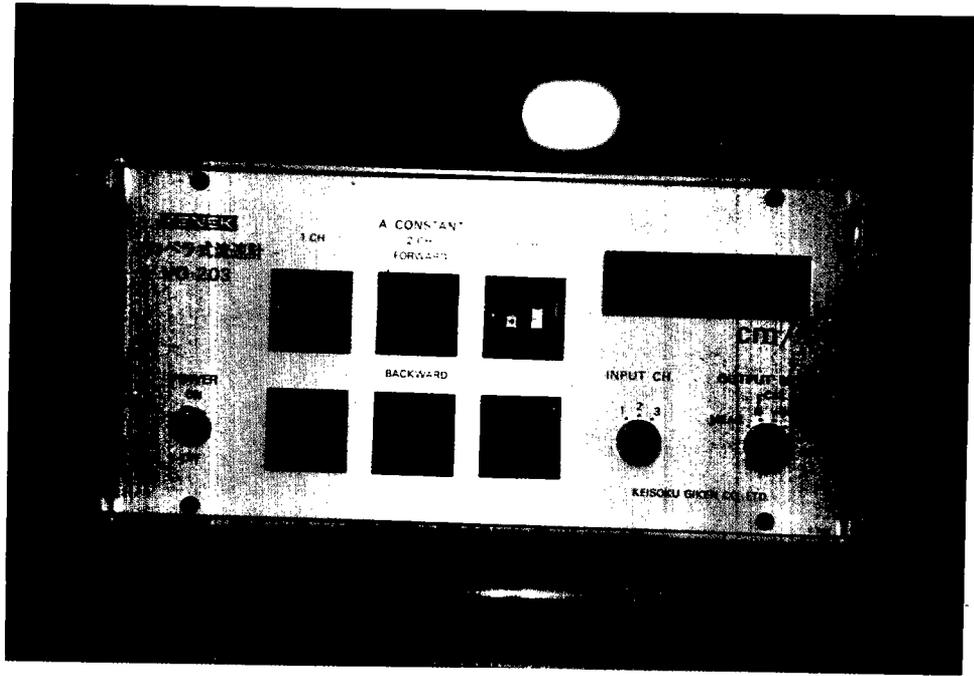
但又據 Iverson (1952) 及 Tang (1968) 等，依據不同海底比降及不同週期，試驗有關碎波波高指數 ( $H_b / H_o$ ) 及碎波水深指數 ( $d_b / H_b$ ) 與  $H_o / T^2$  或  $H_o / L_o$  之關係時，得到如圖 7-2, 7-3, 7-4, 7-5 之結果。圖中顯示， $H_b$  與  $d_b$  之值均隨不同之海底坡降  $S$  及波浪週期  $T$  而有所差異。本次試驗所採用之坡降為  $S = 1/20$ ，其與 Tang 之試驗所得曲線比較時， $H_b / H_o$  值稍低，而  $d_b / H_o$  值稍高，其散亂



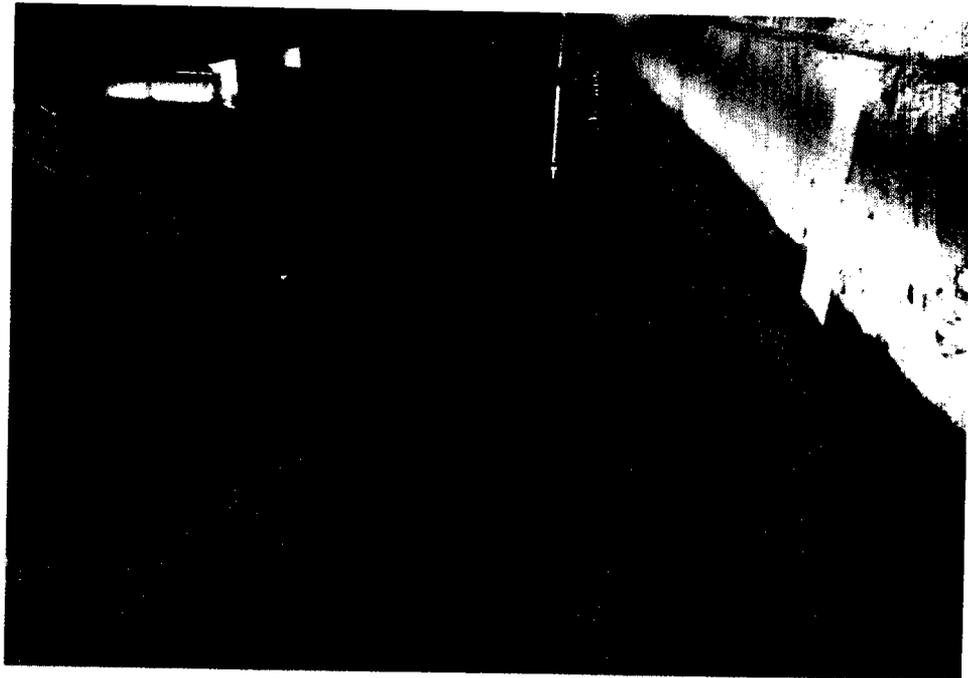
照片 7-1 試驗水槽側視

程度與 Tang 比較如圖 7-6 及 7-7 所示，其結果相當一致。圖中「X」為 Tang 所作之試驗數據「0」為本所所作之試驗數據。

..2.  $U_b$  值之概估



照片 7-2 KENEK 流速計



照片 7-3 試驗水槽橫斷面

根據試驗，測得在碎波點處，不同流況時其流速分佈，繪如圖 7-8 碎波點處在  $h$  範圍內實測得之平均流速為  $\bar{U}$ 。

利用實測之  $d_b$  與  $H_b$  值，代入 (7-2) 式， $C'$  值採用 1.0 時之計算值為  $U_{b1}$ ，由  $H_o / L_o$  值及圖 7-4，7-5 查出之  $d_b$ ， $H_b$  值代入 (7-2) 式， $C'$  值採用 1.0 時，計算得之流速為  $U_{b2}$ 。

以  $H_b = 0.78 d_b$ ， $C' = 1$  代入 (7-2) 式時計算得之流速為  $U_{b3}$ 。

實測之平均流速  $\bar{U}$  與  $U_{b1}$ ， $U_{b2}$ ， $U_{b3}$  之比值  $\bar{U} / U_{b1}$ ， $\bar{U} / U_{b2}$ ， $\bar{U} / U_{b3}$  列於表 7-1，經計算結果：

$\bar{U} / U_{b1}$  之平均值為 0.398，標準偏差  $\sigma_{n-1} = 0.046$

$\bar{U} / U_{b2}$  之平均值為 0.399， $\sigma_{n-1} = 0.045$

$\bar{U} / U_{b3}$  之平均值為 0.412， $\sigma_{n-1} = 0.050$

由以上計算可知， $\bar{U} / U_{b1}$  與  $\bar{U} / U_{b2}$  之值甚為接近，而  $\bar{U} / U_{b3}$  與上二者之差異亦極小，僅約 3%，由上述結果可知碎波點處之平均流速，依據 (7-2) 式， $U_b = C' \sqrt{g(d_b + 3/4H_b)}$  計算時，如  $C'$  值採用 0.4，而  $d_b$ ， $H_b$  值根據圖 7-4，7-5 查出，其計算值與實測值非常接近。

## (二)、 $h$ 值之概估

碎波有效高度  $h$  值，根據試驗資料顯示， $h / H_o$  值隨著  $H_o / L_o$  值之增大而有減少之趨勢，如圖 7-9 所示。由於本次試驗只作  $S = 1/20$ ，故  $h / H_o$  與  $S$  之關係無法得知。而  $h / H_o$  是否與  $d_b / H_o$  一樣，如圖 7-5 所示，當  $H_o / L_o$  達一定值後， $h / H_o$  值隨  $H_o / L_o$  增加而成增加之趨勢亦無法預知。由試驗資料分析得  $h / H_o$  值與  $H_o / L_o$  之關係公式為：

$$h / H_o = 1.11 - 0.822 (\log H_o / L_o)$$

$$\text{相關係數 } r = 0.85 \dots\dots\dots (7-3)$$

### 三、碎波時間 $t$ 值之概估

利用 8 厘米攝影機拍攝下不同週期之流況後，再利用放影機分別讀出 Case 1~Case 11 不同週期之碎波時間  $t$  為 0.500, 0.500, 0.542, 0.500, 0.500, 0.500, 0.417, 0.417, 0.375, 0.375, 0.417 秒，其與週期  $T$  之比值  $t/T$  則分別為 0.262, 0.275, 0.311, 0.300, 0.313, 0.325, 0.281, 0.292, 0.281, 0.300, 0.417 平均值大約為 0.300，故  $t$  值可利用  $t=0.3T$  來估計。但因試驗時間太匆促，僅辦理一種坡度試驗，而未能涵蓋所有情況，故此值僅供作參考。

## 捌、結 論

- (一)、台中海岸冬季東北向季風盛吹時，風向為影響外海流向主要因素流向偏西南及南南西，風速減小時，主要流向則偏北。夏季除風颳期間外，風浪甚小，流向主要為東北向。
- (二)、風速較小時，北防波堤附近 B，C 及 D 三測站流速隨半日潮週期變化。高潮時，流速最小，漲潮至平均水面附近時，流速最大。冬季東北季風增大時，北防波堤堤端附近之 C 測站，低潮時受防波堤所產生強制裂流影響流速極大。70 年 11 月 27 日 8 時 C 站流速高達 211.95 cm/sec。
- (三)、外海  $W_1$  測站夏季流速隨半日潮作週期性變化，高潮後一小時，流速漸增，低潮後一小時，流速最大。流向近似一致均偏東北，此表示恆流大於潮流。
- (四)、夏季海流主要成份為潮流，受風影響較小，流速與潮汐相關係數高達 0.6，而流速與風速相關係數僅為 0.2。冬季時，情況相反，流速與風速相關係數高達 0.75；而與潮汐相關係數僅為 0.1。
- (五)、利用最小平方法求得冬季代表風速  $SW(t)$  (m/sec)，與流速  $C(t)$  (cm/sec) 之關係式為
- $$C(t+2) = 0.30345 SW^2(t) - 0.409 SW(t) + 46.91$$
- 夏季潮流  $TC(t)$  (cm/sec) 與潮位  $T(t)$  (m) 關係式為
- $$TC(t+2) = 18.042 + 1.052 T(t) + 1.123 T^2(t)$$
- 利用上述關係式計算流速與實測值相當吻合。
- (六)、試驗結果證明因波浪引起之沿岸流在一單位元內有向下游線性增加趨勢，此點符合質量輸送理論。

- (七)、試驗結果沿岸流流速與  $Ga^1$  & Eagleson, Longuet-Higgins 及質量輸送理論比較，顯示質量輸送理論值與試驗值最為接近。而 Longuet-Higgins 較不理想。斜向入射波浪所造成沿岸流大致與海岸線平行，最大流速發生在碎波線附近，此點與 Longuet-Higgins 理論一致。
- (八)、試驗結果顯示，波浪入射角度大於  $45^\circ$  時，碎波帶內沿岸流具有離岸速度分量，而當入射角度小於  $45^\circ$  時，沿岸流則具有顯著向岸分量。但本試驗測量偏重於表面流，有關此特性尚須作更精密的試驗與測量。
- (九)、在本試驗中發現波浪折射衰減影響碎波線及碎波角度和影響沿岸流流速分佈，因之在模型製作時，須注意造波機與試驗區域距離不同而造成不一致之折射及衰減效果，而影響試驗的準確性。
- (十)、垂直海岸突堤之存在，使堤頭處產生強制裂流，其大小主要受堤長及波浪入射角度的影響，在本試驗資料顯示裂流流速可以  $V_r = (0.48 L'^2 - 5.6 L' + 20) (1.36 - 0.0178 \theta'^2)$  求得近似值。
- (十一)、單突堤上波區平行等深線地形所造成裂流比橢圓地形所產生裂流為大，究其原因可能為在橢圓地形，上波區出現強勢，完整之環流，裂流動能損失較多，因之流速變小。
- (十二)、試驗結果顯示，不論單突堤堤長如何，在下波區皆產生一橢圓形環流。但若單突堤長度穿越碎波線，則環流結構被破壞，而減小環流強度。環流的長軸長  $CL$ ，短軸長  $CS$ ，長軸與單突堤夾角  $\theta_a$  皆與碎波波高、堤長有關。試驗結果其近似值可分別以下式求得： $CL = 100 \times (H_b^2 L / 100)^{\frac{1}{4}}$ ， $CS = 0.74 CL$ ， $\theta_a = (-8 H_b^2 + 103 H_b - 240) \cdot \left(\frac{L}{500}\right)^{-3.1}$ 。
- (十三)、本試驗中平行等深線地形上波區出現橢圓形環流條件為  $H_b / L_w <$

0.0065 且  $H_b / L_w > 0.037$ 。而在橢圓地形單突堤長10公尺時，上波區皆出現橢圓形環流，其形狀受波浪入射角度的影響。

(四)、碎波試驗結果顯示，碎波無因次參數  $H_b / H_0$  及  $d_b / H_0$  均隨  $H_0 / L_0$  增加而減小。碎波水分子平均流速  $U_b = C' \sqrt{g(d_b + 0.75 H_b)}$ ，試驗求得  $C'$  值為 0.40。由試驗資料分析碎波有效高度無因次參數  $h / H_0$  與  $H_0 / L_0$  關係為

$$h / H_0 = 1.11 - 0.822(\log H_0 / L_0); \text{碎浪時間 } t \text{ 約為}$$

0.3 T。故碎波質量輸送計算所有之變數均可求得。但因試驗未涵蓋所有情況，故此值僅供參考。

(五)、將 Nikuradse 混合長度實驗值，代入 Prandtl 混合長度理論公

式，利用差分法，假設  $C' = 0.03$ ，求得  $\bar{U}(-\frac{1}{3}d) / U_* =$

0.065 與實測值水深 20 m，10 m 高風速 10 m/sec 時  $\bar{U}$ ，

$(-\frac{1}{3}d) / U_* = 0.061$  甚為接近，其中  $U_*$  為風速。

## 致、誌 謝

台大海洋研究所提供電腦處理資料之初步分析及陳慶生教授無酬金之指導使用電腦之程式使得計畫順利完成。

十、參考文獻：

1. Putnam, Munk and Traylor (1949), "The prediction of long-shore currents".
2. Galvin and Eagleson (1965), "Experimental study of long-shore currents on a plane beach", U.S. Army CERC. No. 10.
3. Longuet-Higgins (1962), "Radiation stress and mass transport in gravity waves", J. Fluid Mech. 13, 481-504.
4. Horikawa (1978), "Coastal Engineering", University of Tokyo Press.
5. Hsiang Wang, Tsuguo Sunamura and Paul A. Hwang, "Drift Velocity at the Wave Breaking Point" Coastal Engineering, 6 (1982) 121-150, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
6. 梁乃匡、曾相茂 台中港口流況調查研究 港灣技術研究所專刊第六號，民國 71 年 12 月。
7. 梁乃匡、黃清和、簡仲環 對波浪引起沿岸流之理論與試驗研究，第七屆海洋工程研討會論文集，民國 72 年 9 月。
8. 台中港海象氣象調查研究報告，台中港工程局，民國 62 年
9. "海岸工程規劃設計"，農復會特刊新二號，民國六十年。
10. 郭金棟，"海岸工程"，中國土木水利工程師學會，民國六十九年。
11. 連三郎 潮汐預報電腦程式模型，台灣大學海洋研究所專刊，65 年 5 月。
12. 港池盪漾與吹送流之研究，台灣省交通處台中港務局，67 年 6 月。

十一、附圖

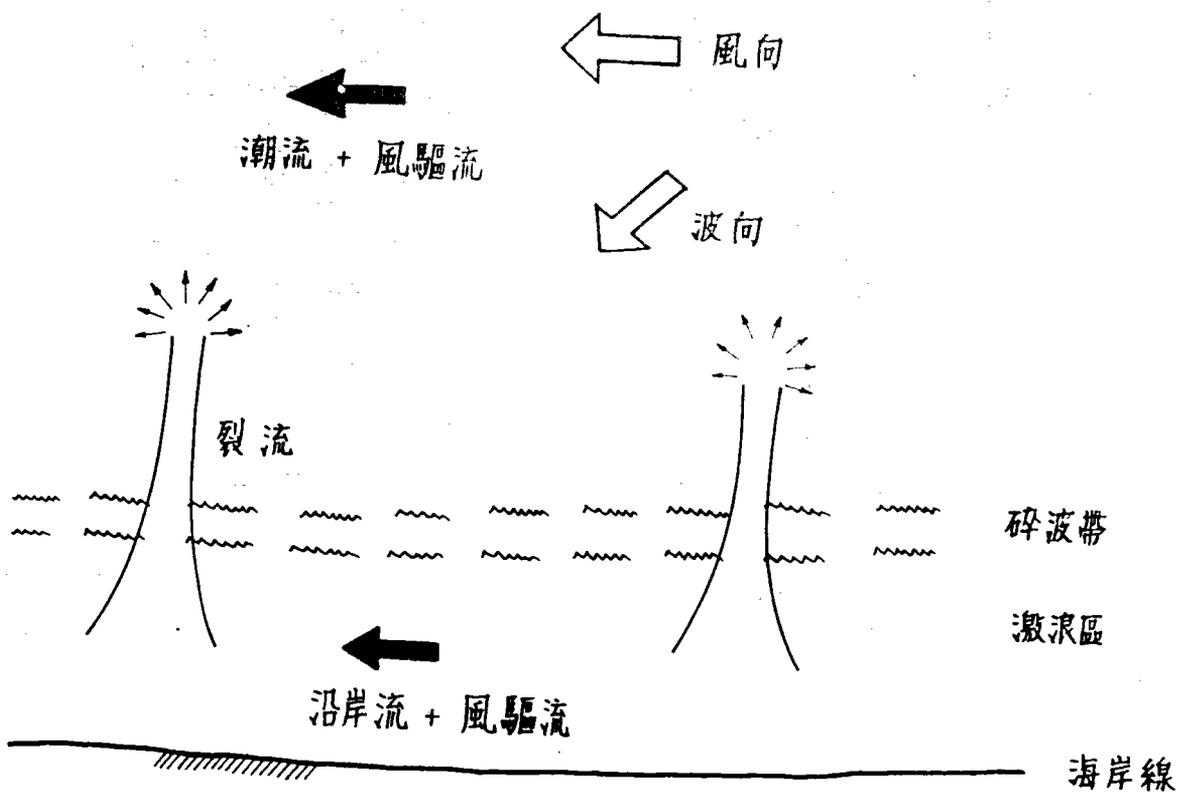


圖 1-1 海流成份概略分佈圖

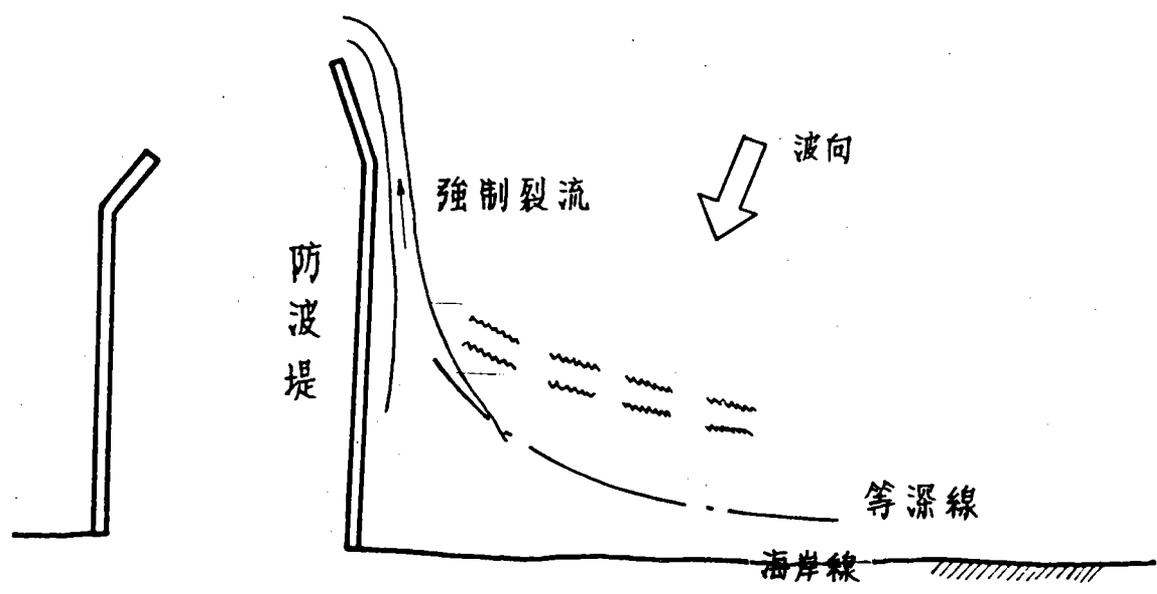


圖 1-2 強制裂流形成概圖

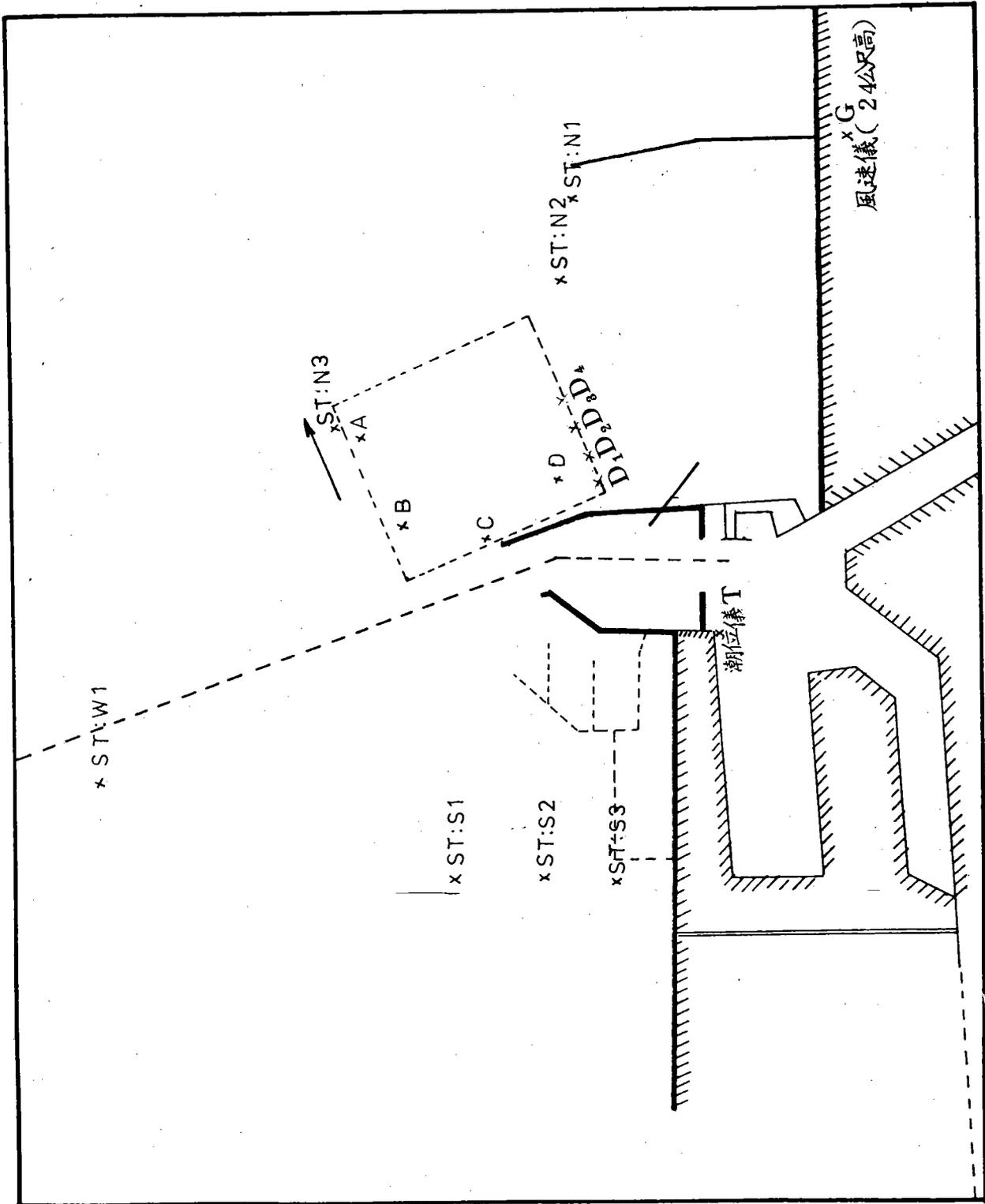


圖 2-1 台中海岸附近海況觀測站位置圖

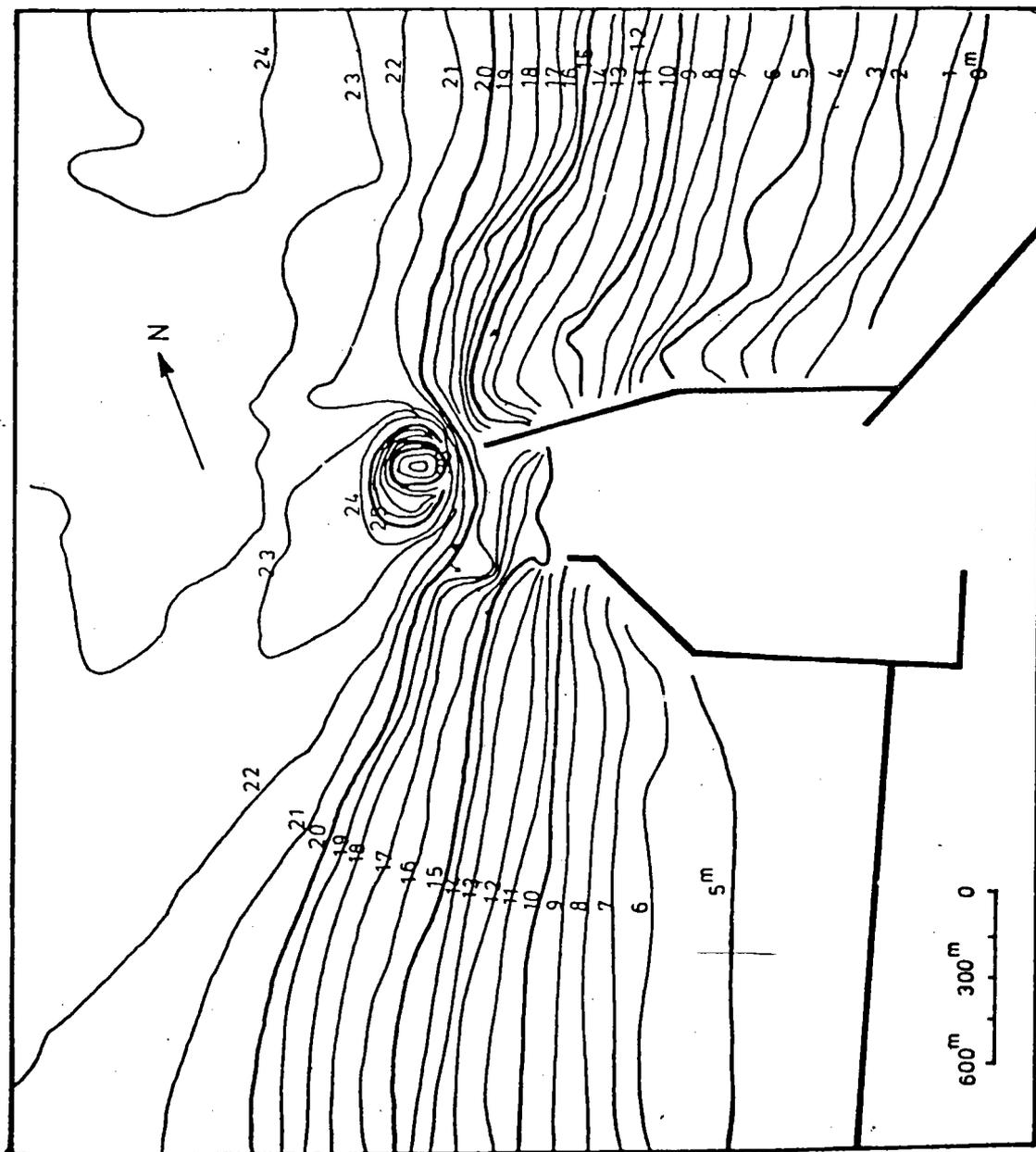


圖 2 - 2 台中港港口附近之地形圖

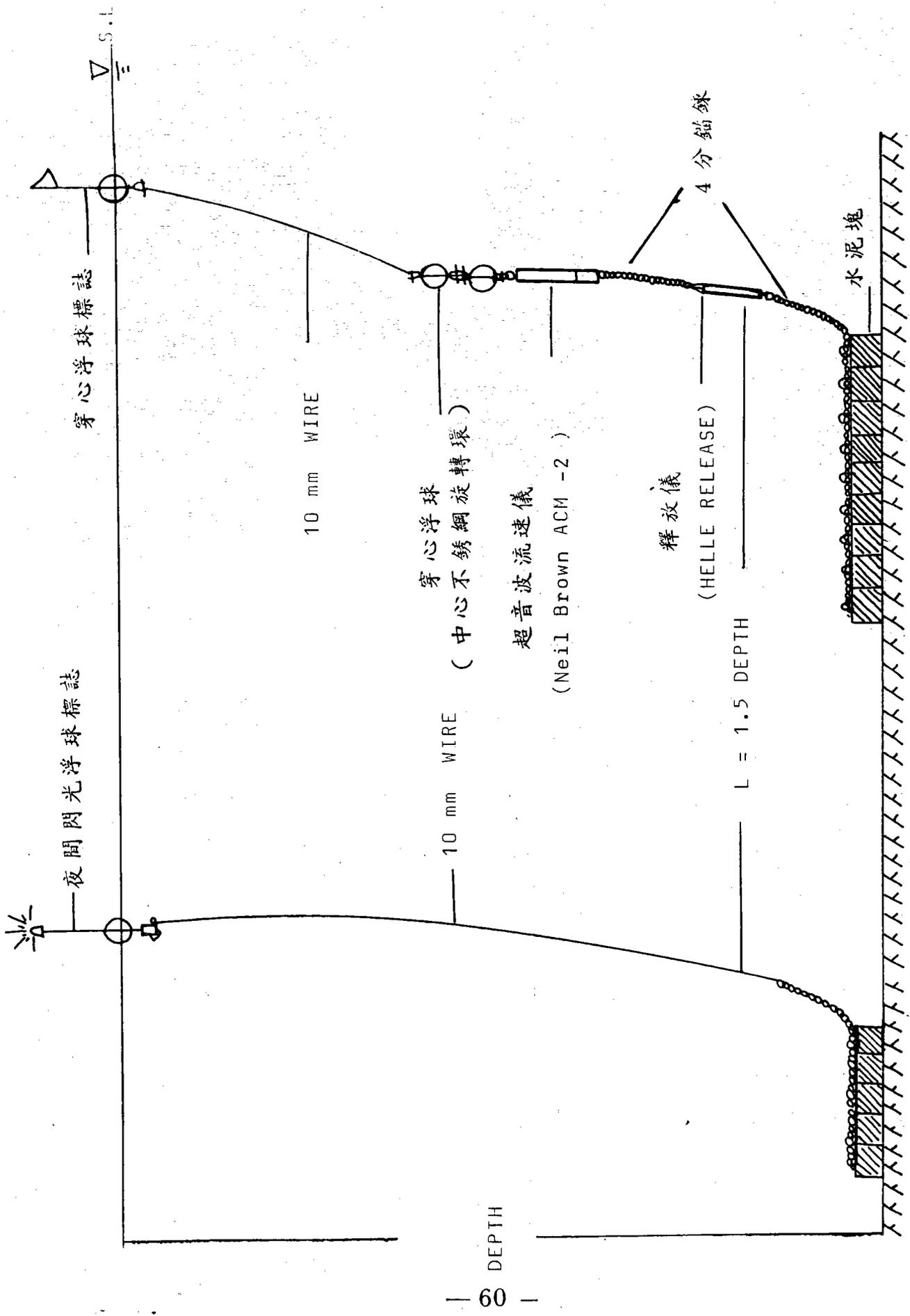


圖 2-3 長期測流速儀安裝圖

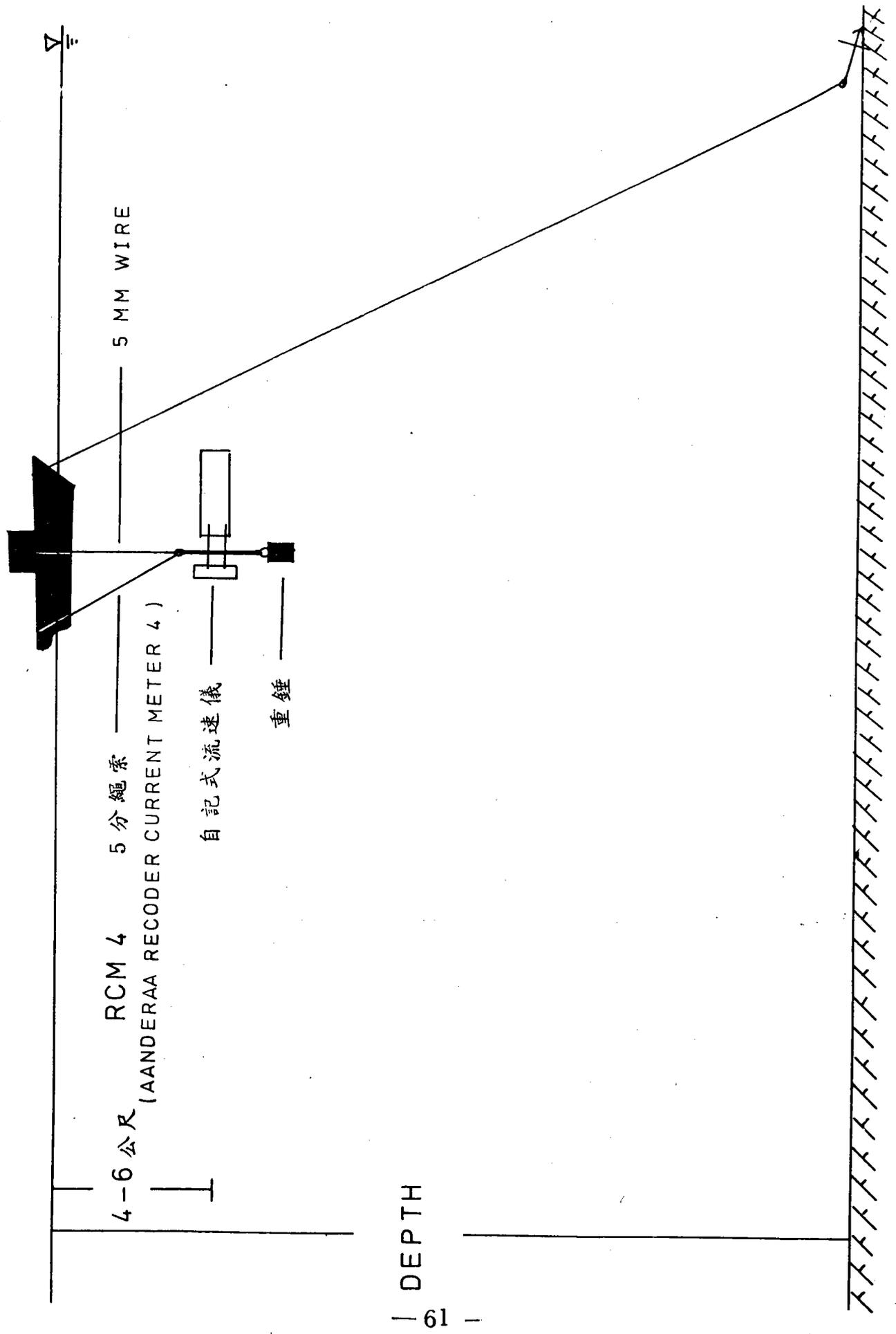


圖 2-4 短期測流流速儀安裝圖

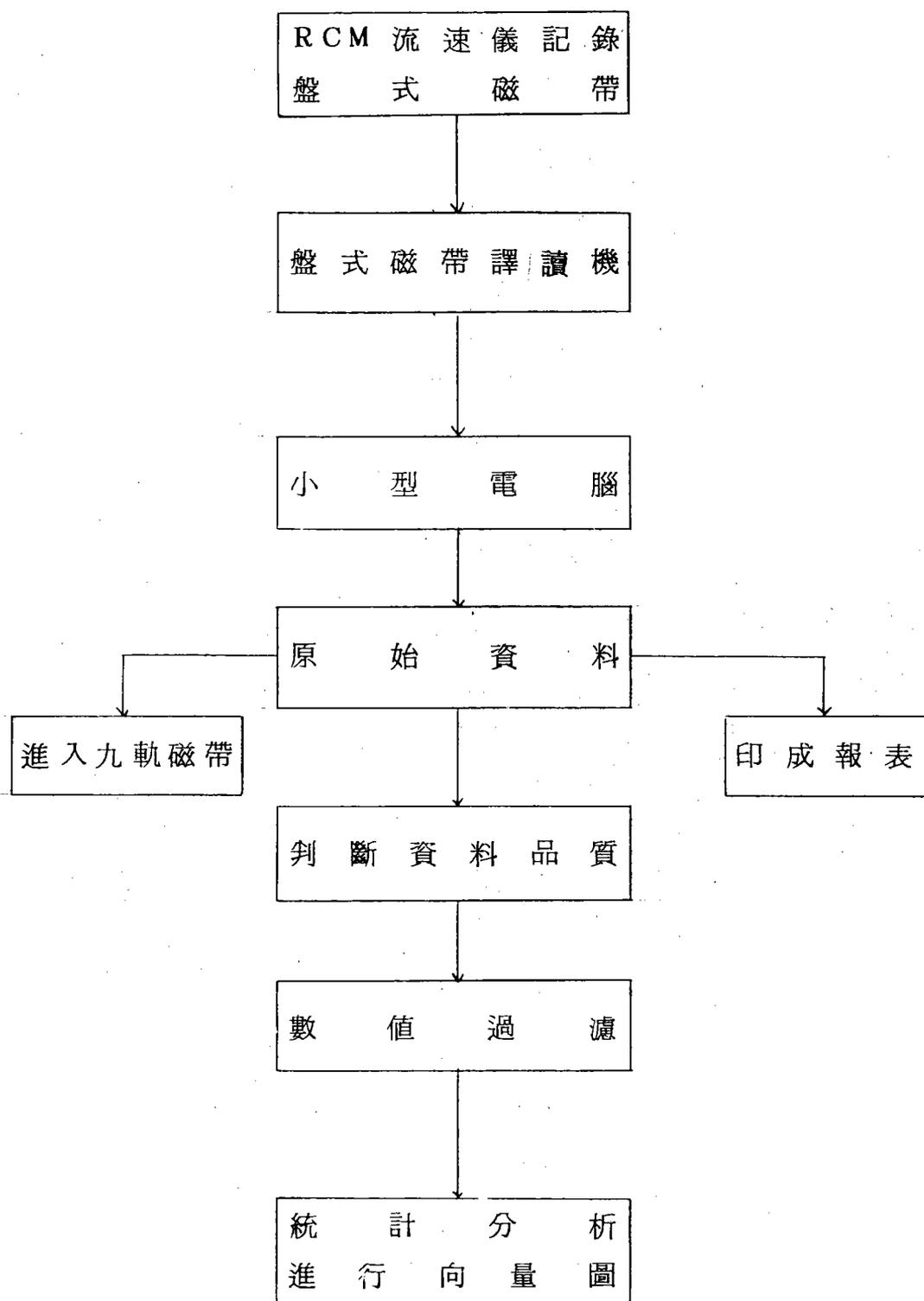
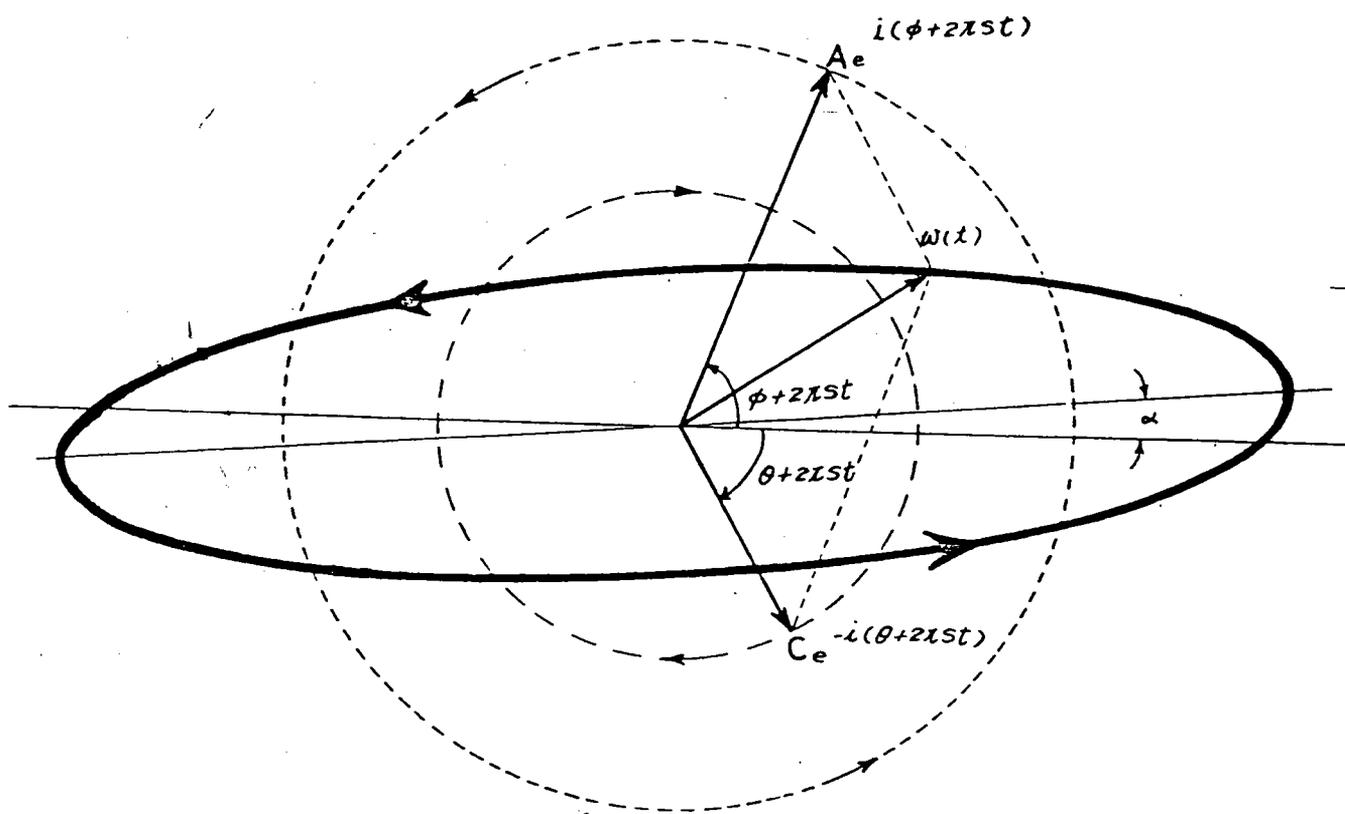


圖 2-5 海流資料處理流程圖



$A$  : 反轉分量的振幅  
 $C$  : 順轉分量的振幅  
 $\phi$  : 反轉分量的相位  
 $\theta$  : 順轉分量的相位

$S$  : 頻率  
 $\alpha$  : 潮流橢圓長軸指向  
 $\omega(t)$  : 橢圓運動之瞬間速度向量

圖 3 - 1 潮流橢圓圖

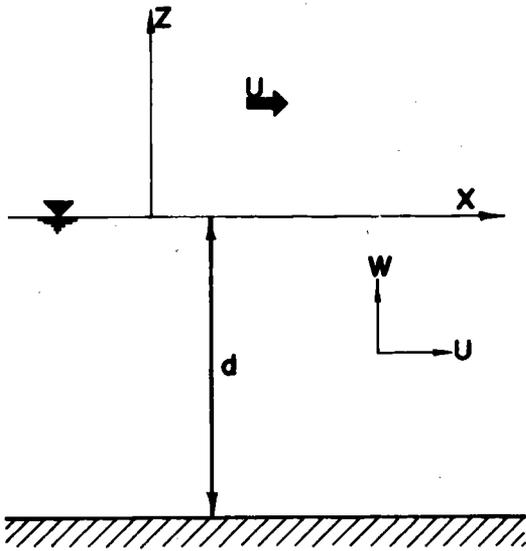


圖 4-1 風驅流座標圖

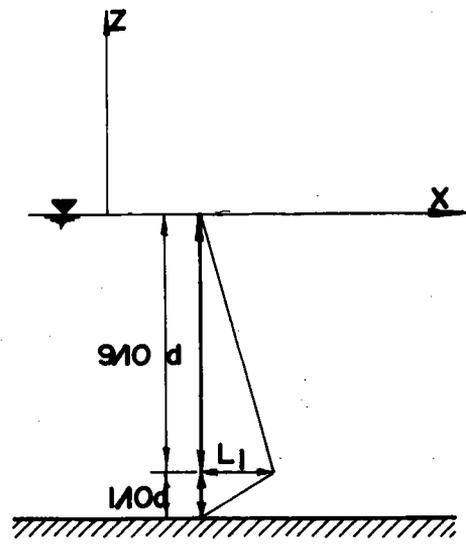


圖 4-2 混合長度函數圖

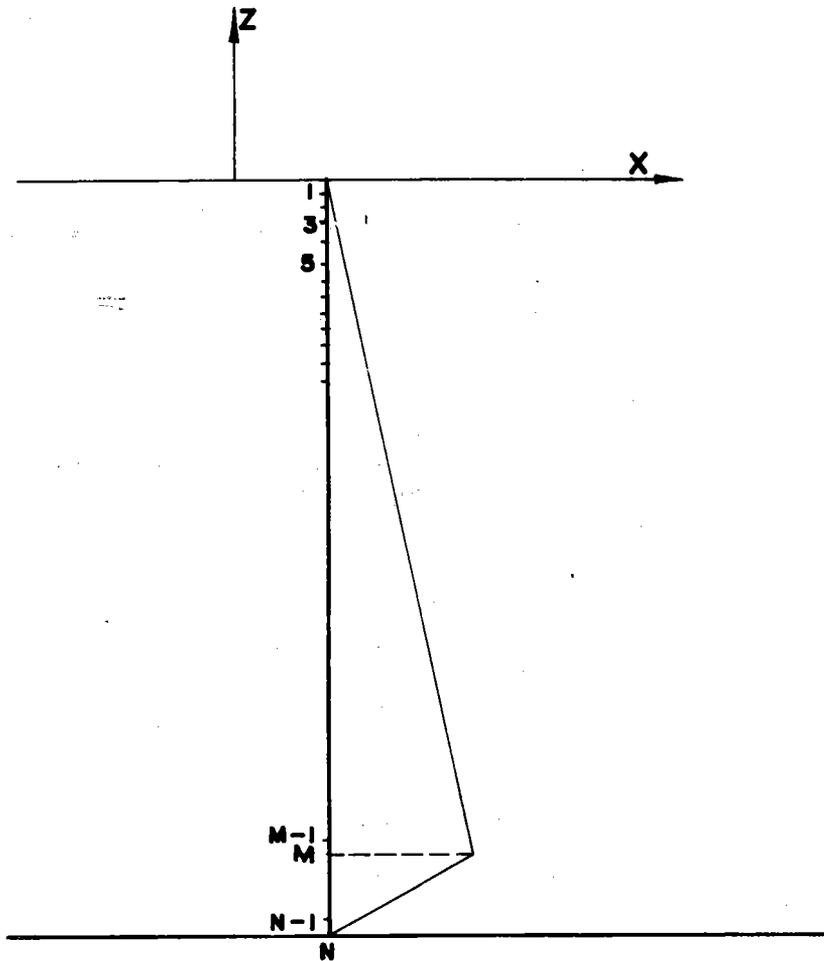
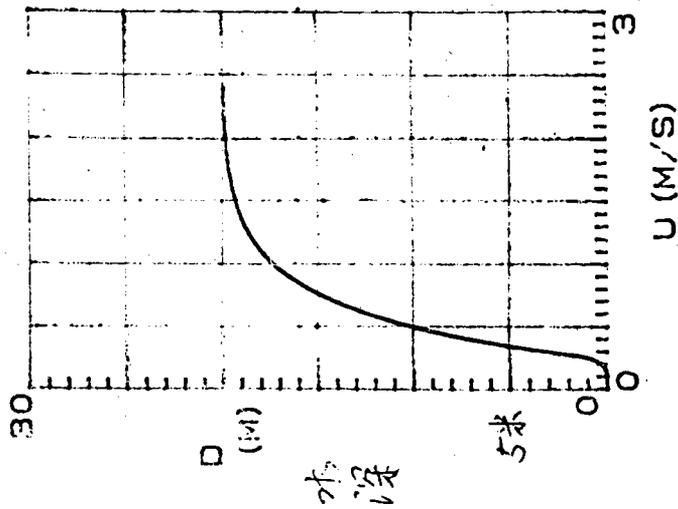


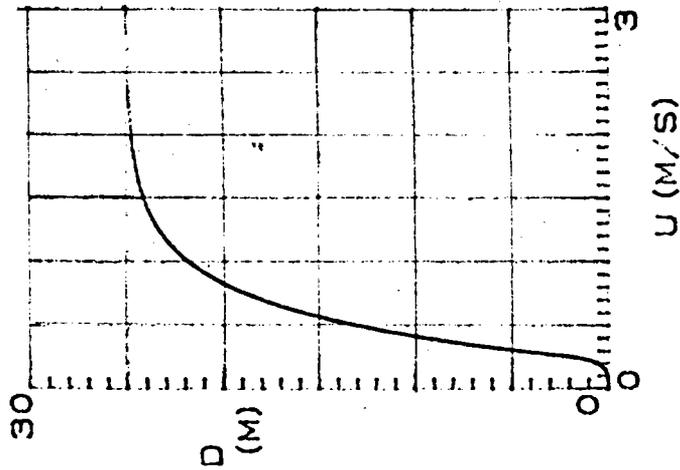
圖 4-3 風驅流剖面格子點圖

DRAIFT CURRENT PROFILE

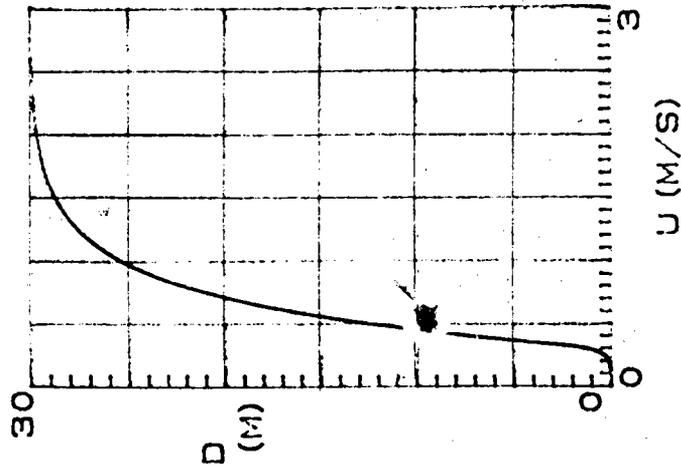
UW=10.0 D=20.0  
 CP=.03  
 U(1/3)=.6500  
 UM=.6147  
 UR=.0650



UW=10.0 D=25.0  
 CP=.03  
 U(1/3)=.6389  
 UM=.6008  
 UR=.0639



UW=10.0 D=30.0  
 CP=.03  
 U(1/3)=.7103  
 UM=.6726  
 UR=.0710

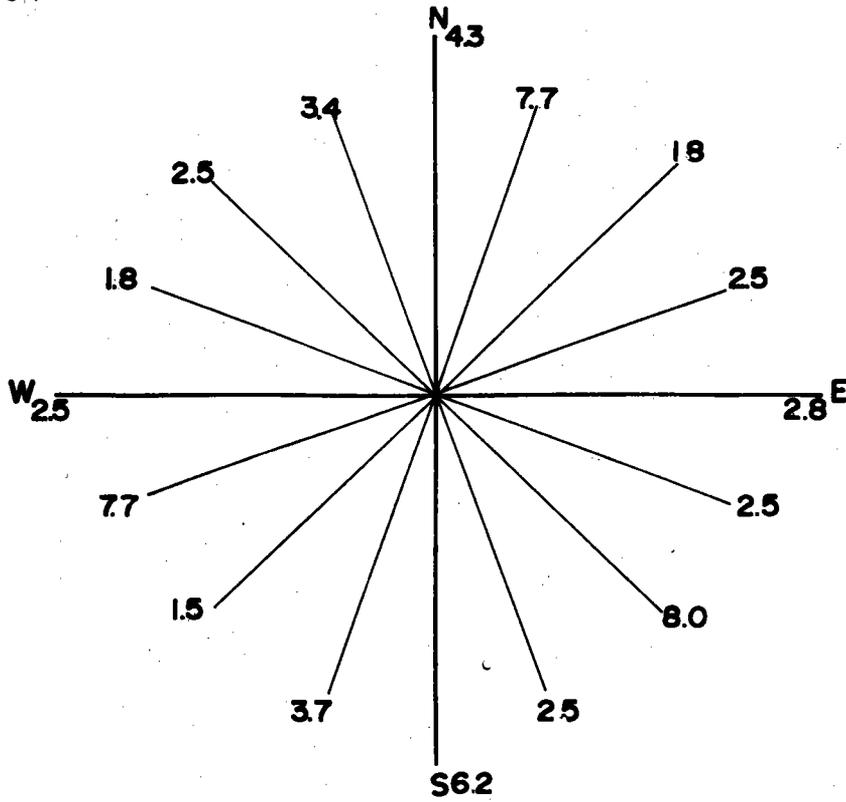


UM: MEAN VELOCITY UR: U(1/3) / UW UW: WIND VELOCITY

圖 4-4 風驅流剖面理論值圖

風向

平均風速 3.43 m/sec



流向

平均流速 28.84 cm/sec

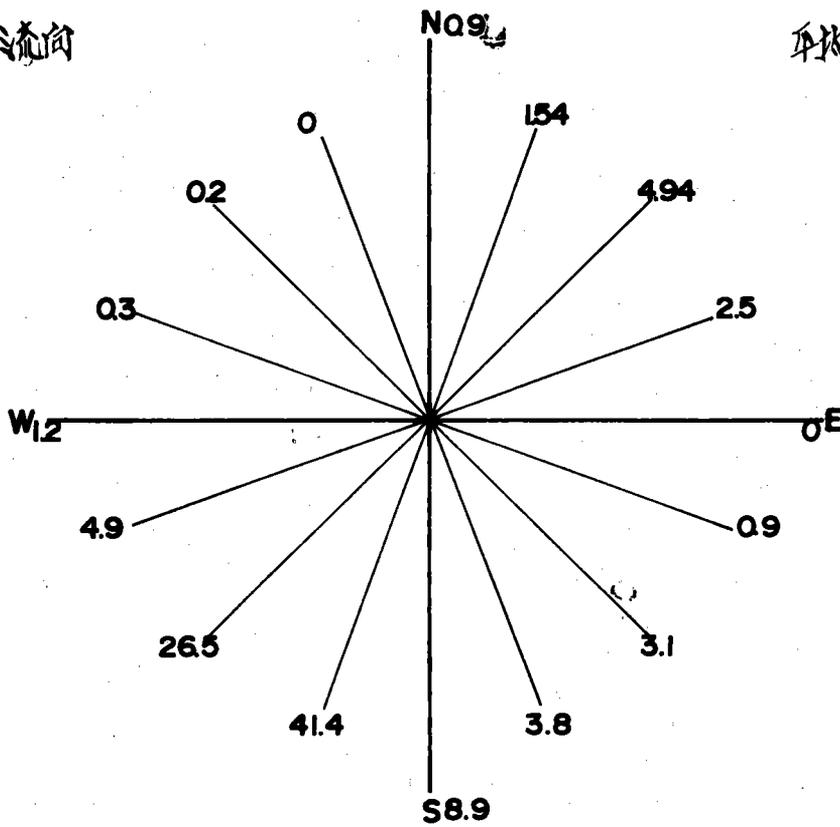
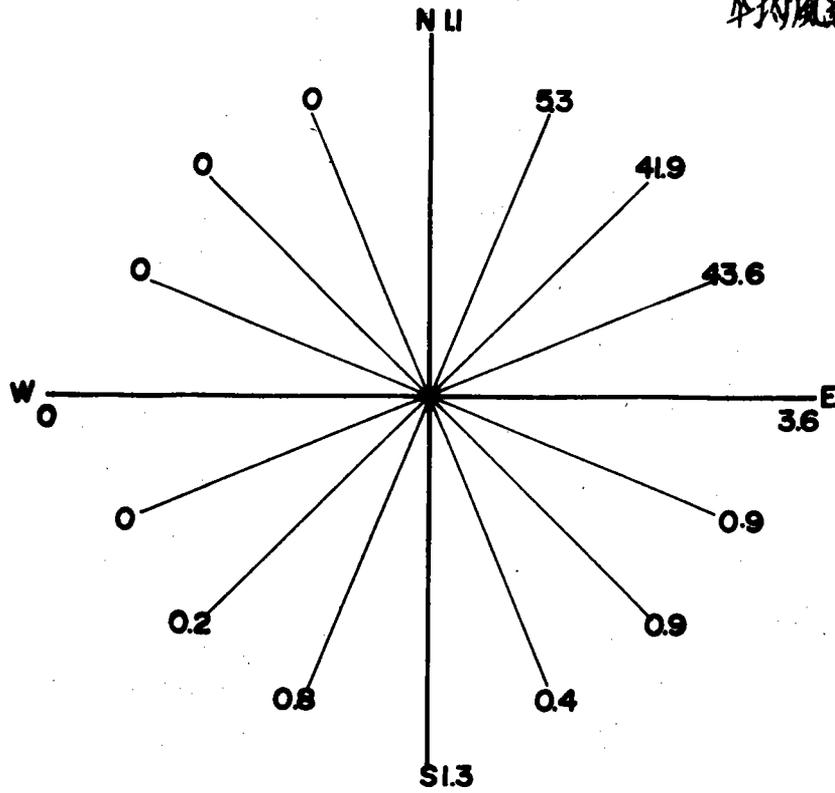


圖 5 - 1 夏季風向與流向的百分比分佈圖

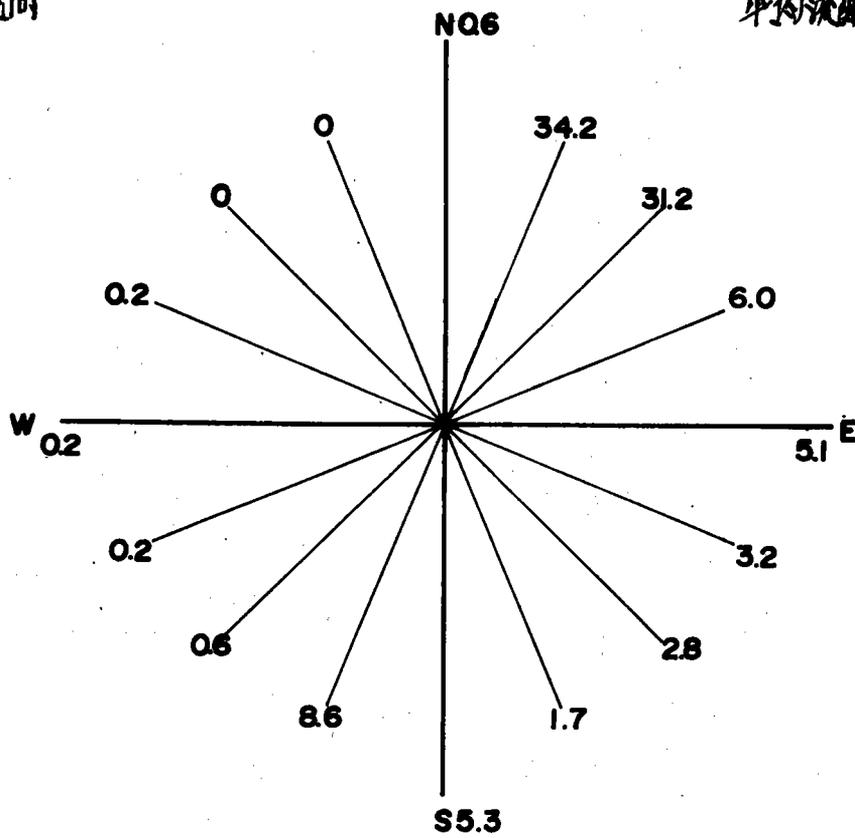
風向

平均風速 12.53 m/sec



流向

平均流速 54.61 cm/sec



5-2 冬季風向與流向的百分比分佈圖

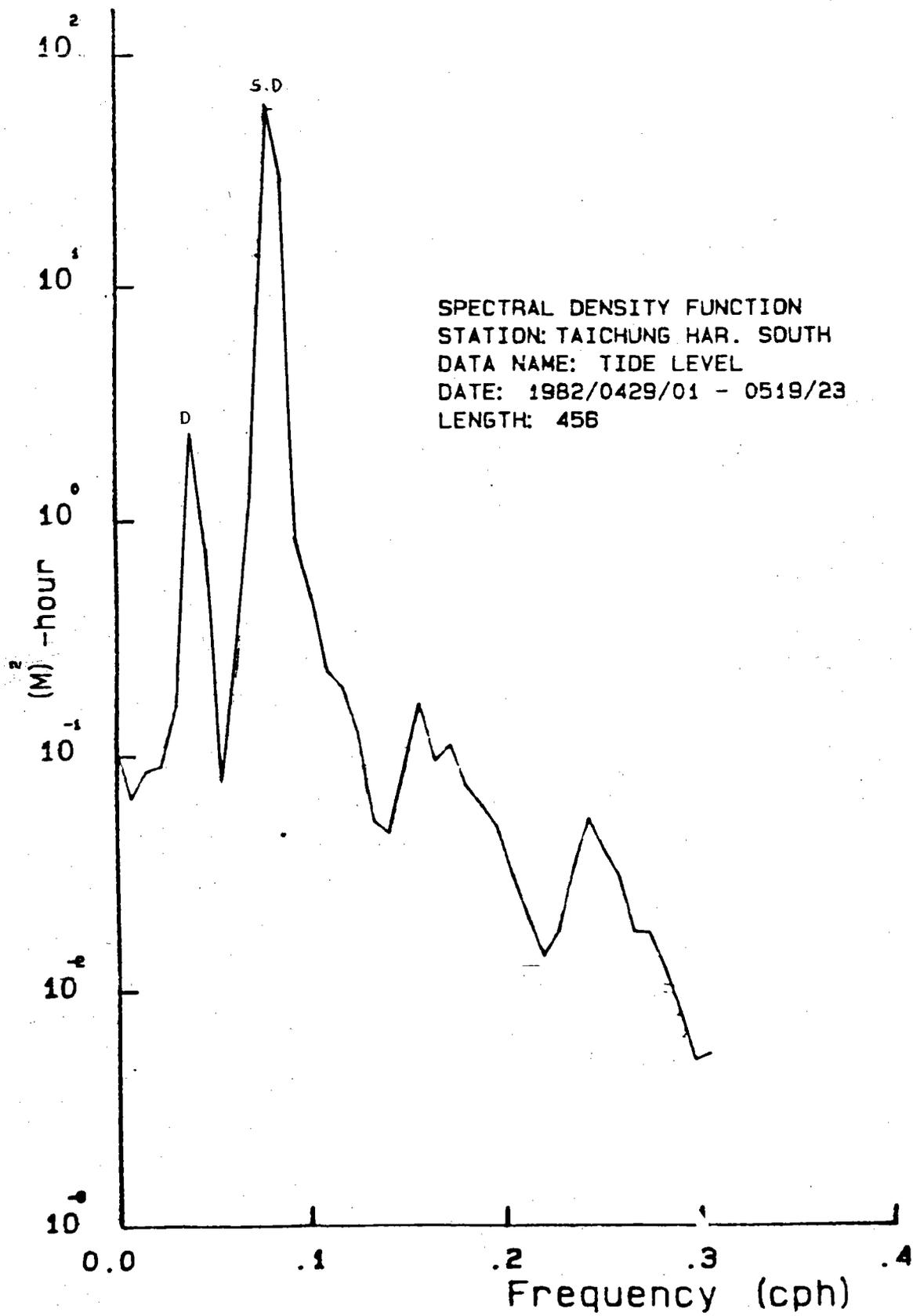


圖 5 - 3 潮汐能譜圖

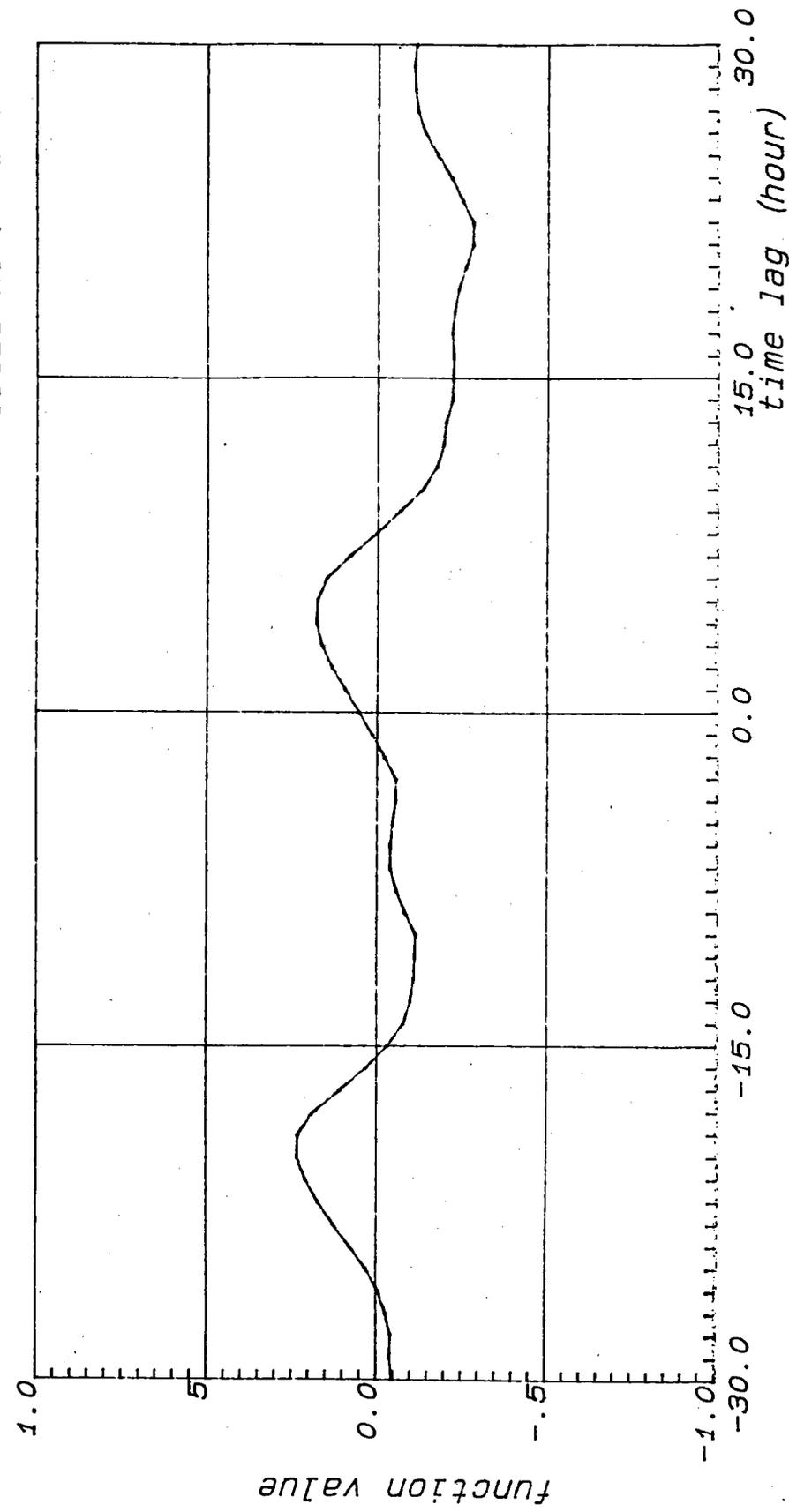
Cross-correlation function of series X with series Y

X series: WIND SPEED at station:

Y series: CURRENT SPEED at station:

locate at: TAI-CHUNG HARBOUR

total no: 324



the data duration: 1982/5/3-1982/5/17

圖 5-4 夏季風速與流速互相關函數圖

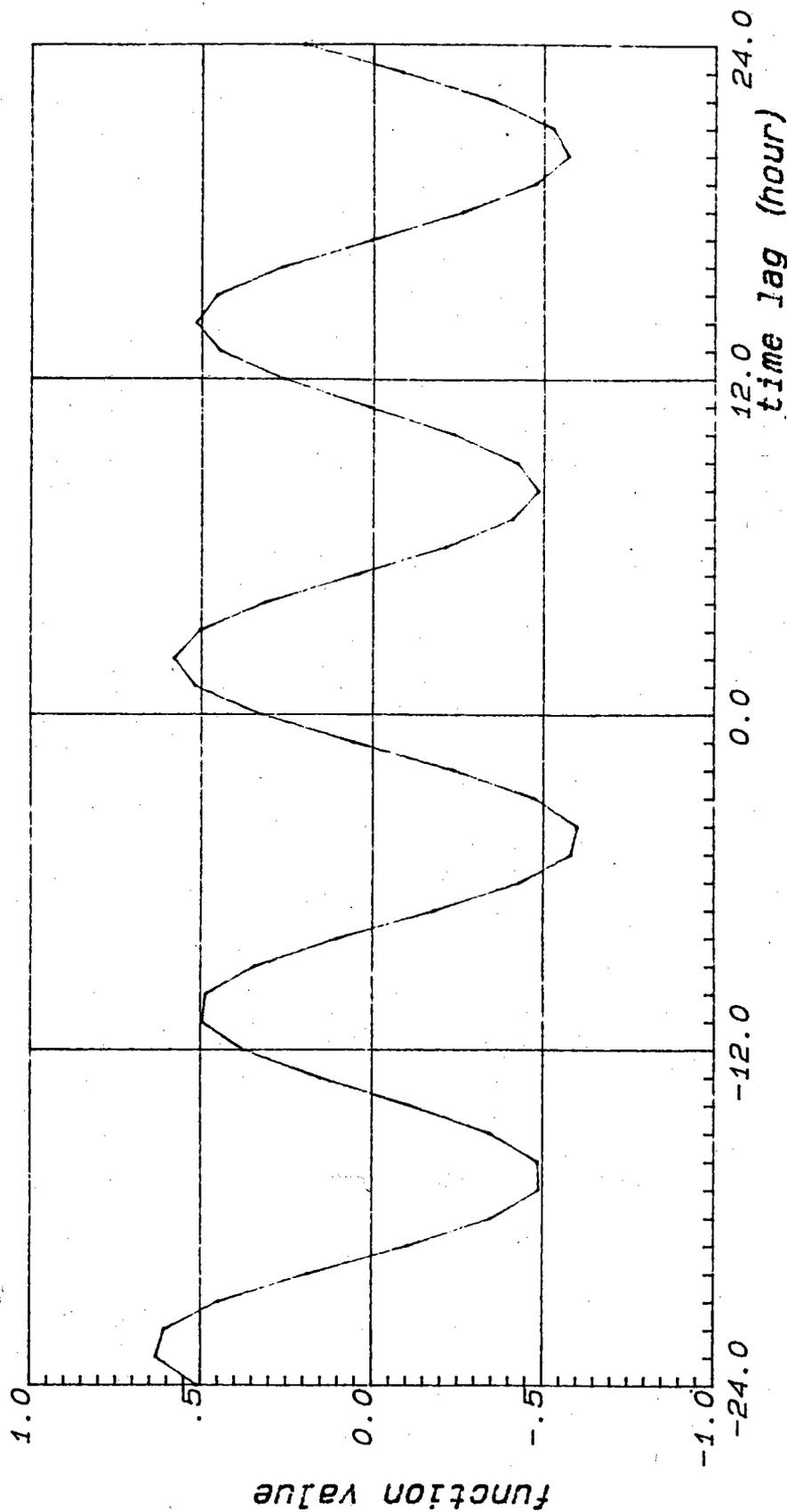
Cross-correlation function of series X with series Y

X series: TIDE LEVEL at station:

Y series: CURRENT SPEED at station:

locate at: TAI-CHUNG HARBOUR

total no: 324



the data duration: 1982/5/3-1982/5/17

圖 5-5 夏季潮位與流速互相關函數圖

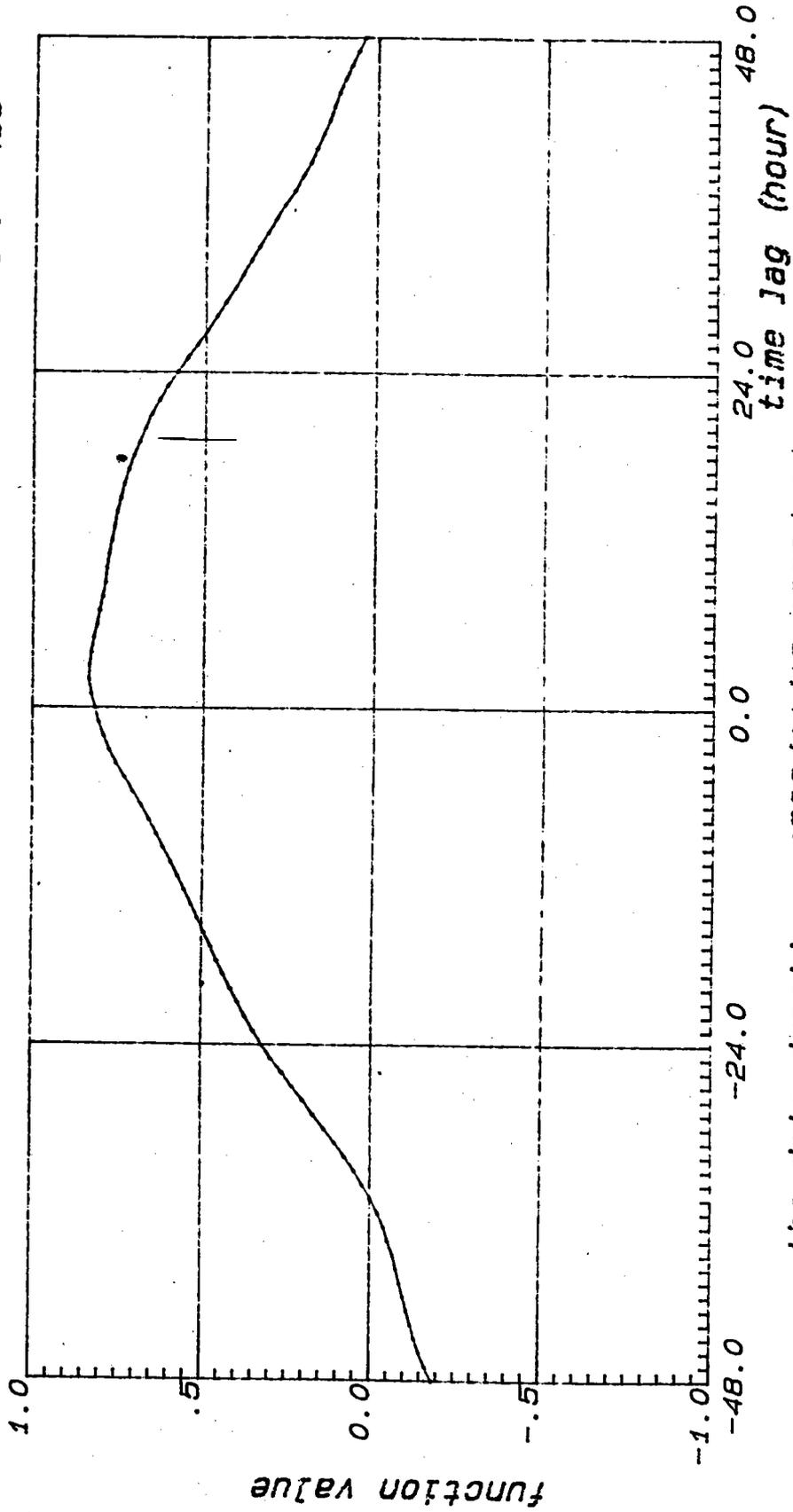
Cross-correlation function of series X with series Y

X series: WIND SPEED at station:

Y series: CURRENT SPEED at station:

locate at: TAI-CHUNG HARBOUR

total no: 468



the data duration: 1982/11/19-1982/12/9

圖 5-6 冬季風速與流速互相關函數圖

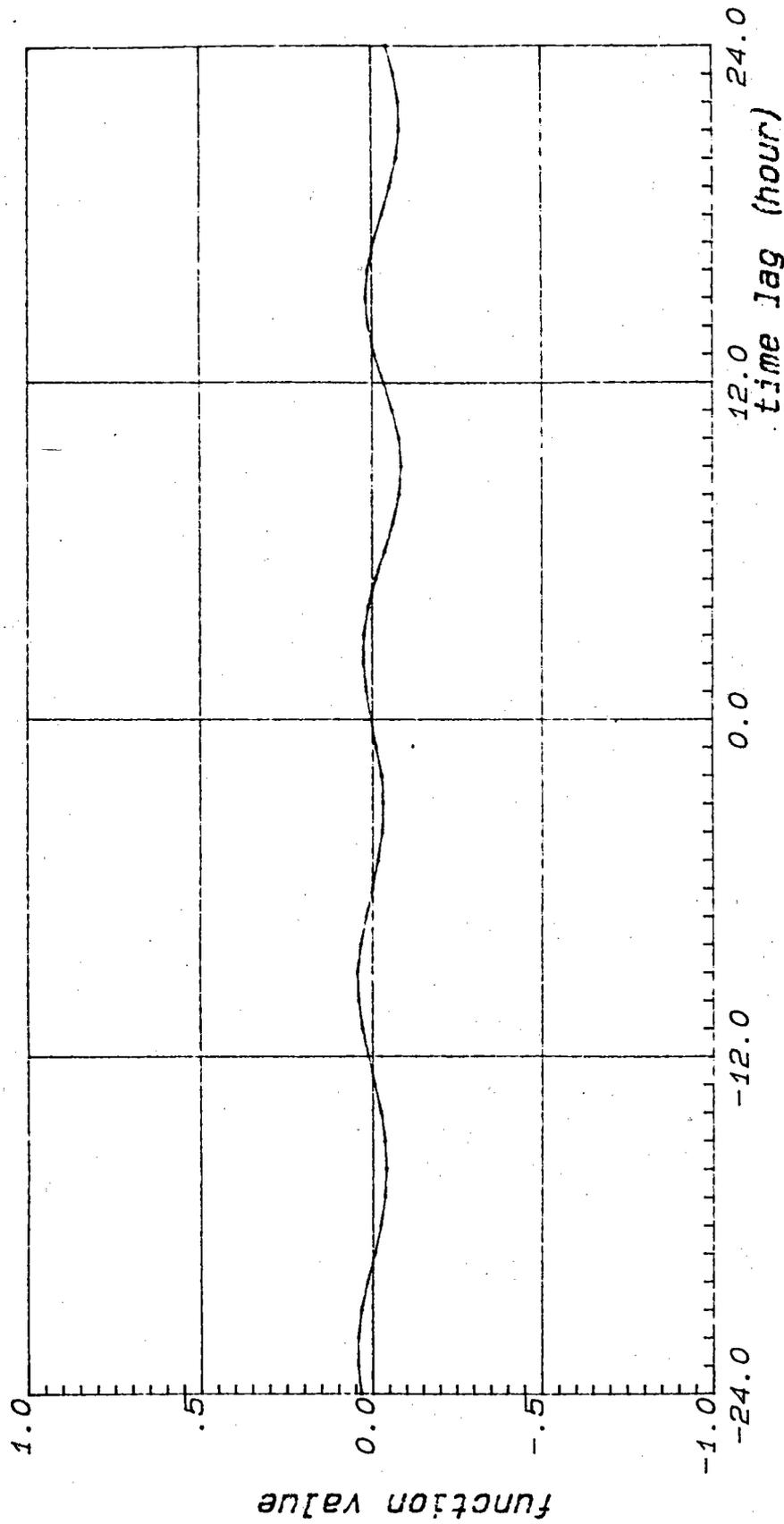
cross-correlation function of series X with series Y

X series: TIDE LEVEL at station:

Y series: CURRENT SPEED at station:

locate at: TAI-CHUNG HARBOUR

total no: 468



the data duration: 1982/11/19-1982/12/9

圖 5-7 冬季潮位與流速互相關函數圖

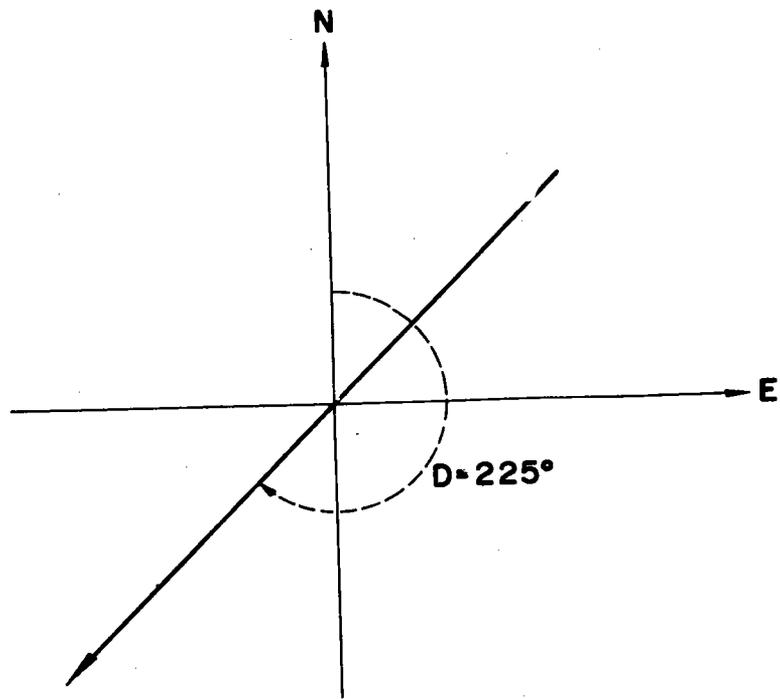


圖 5 - 8 風向角度定義圖

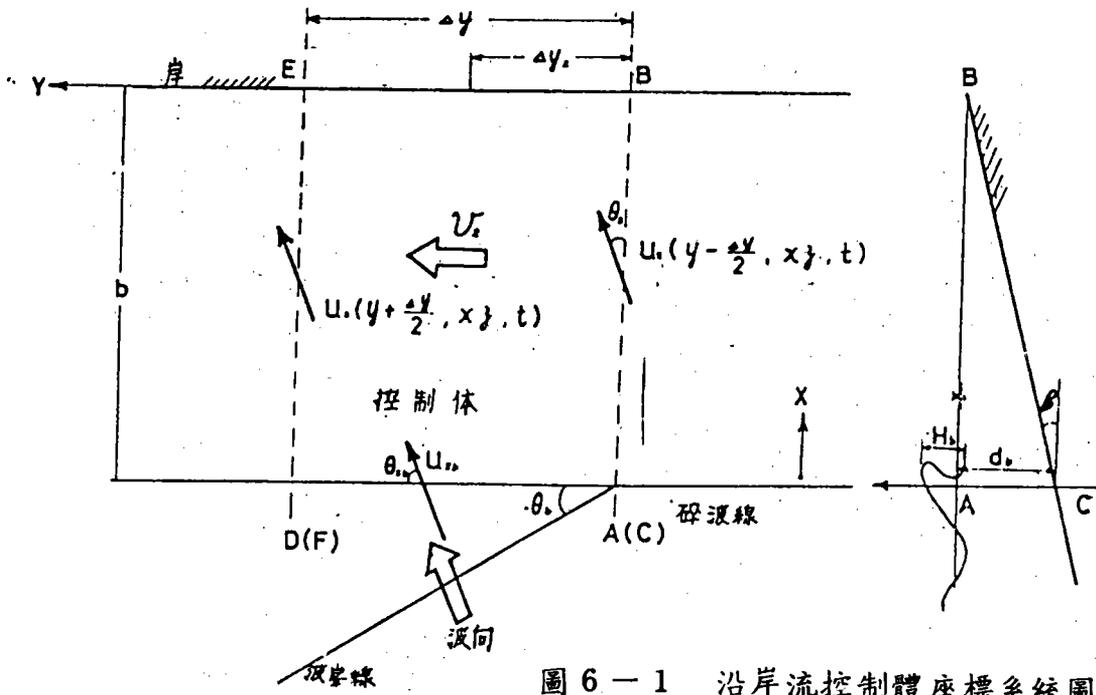


圖 6-1 沿岸流控制體座標系統圖

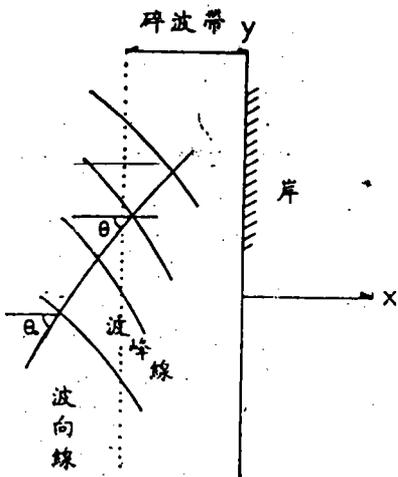


圖 6-2 入射波座標系統圖

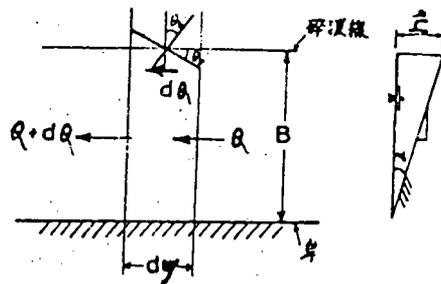


圖 6-3 沿岸流流量座標系統圖

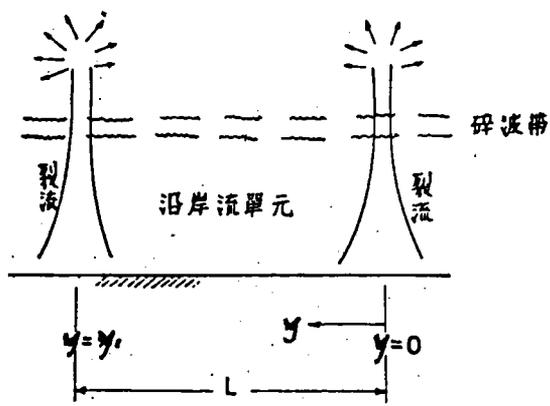


圖 6-4 沿岸流單元表示圖

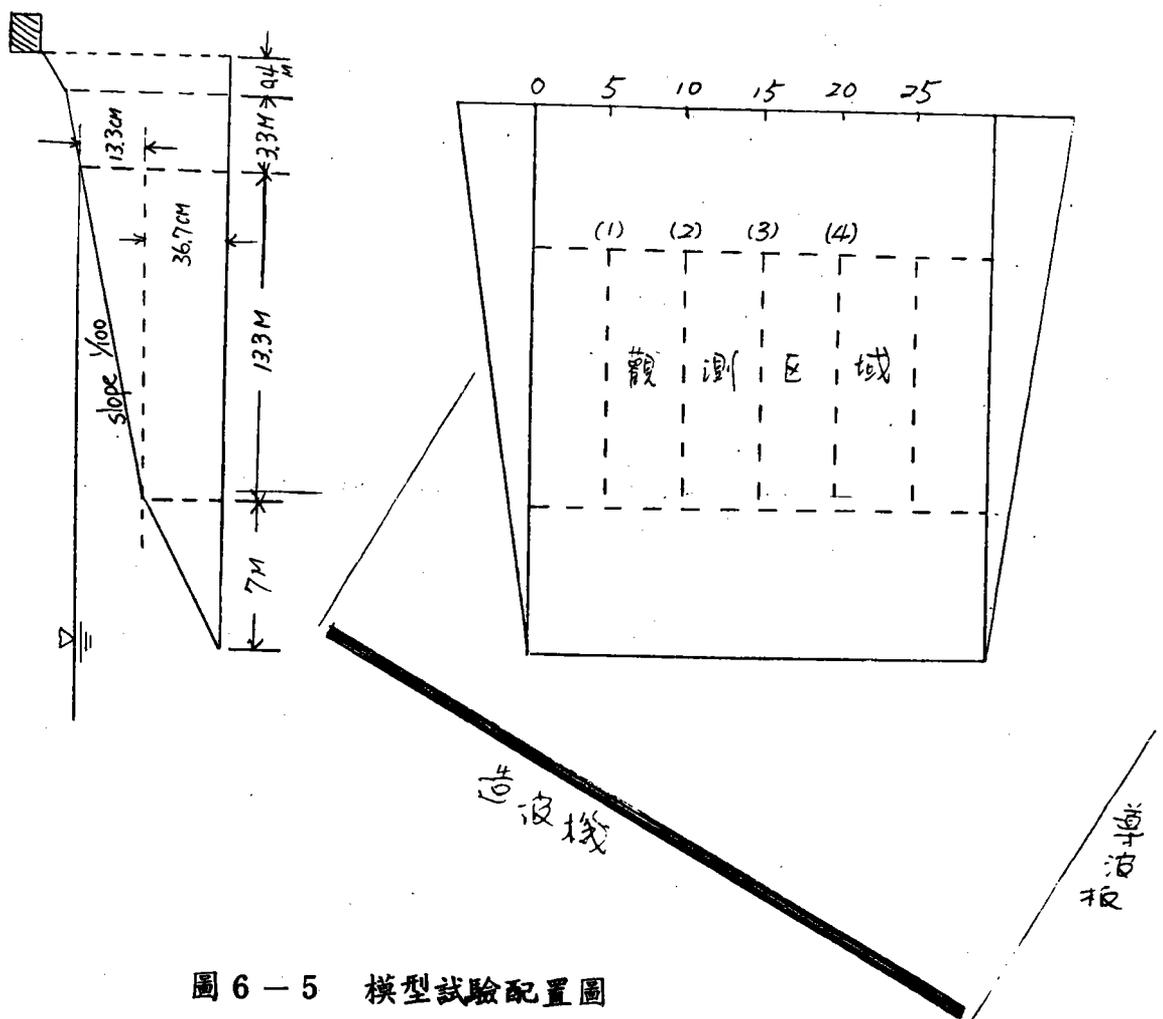


圖 6-5 模型試驗配置圖

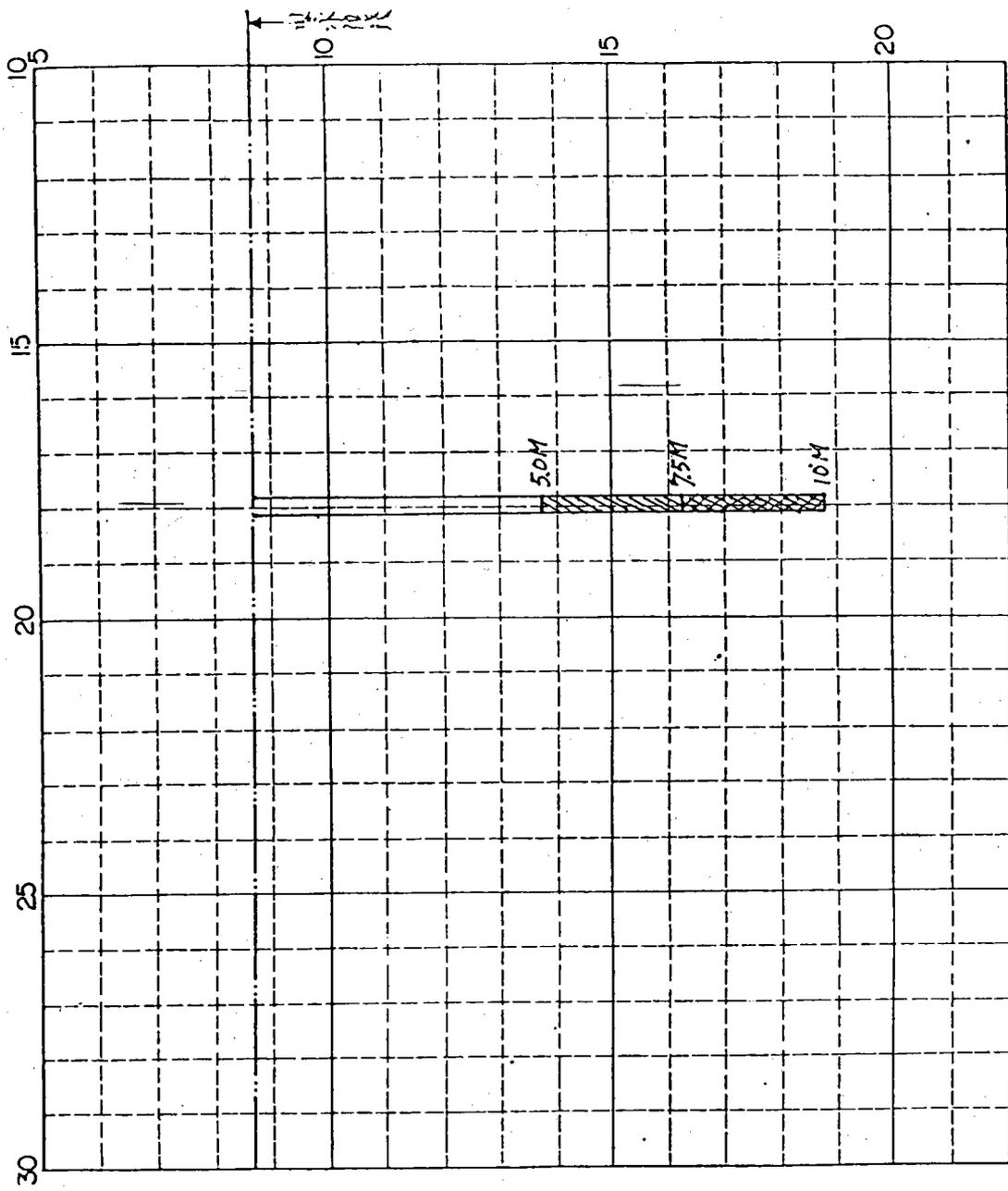


圖 6-6 模型試驗突堤佈置圖

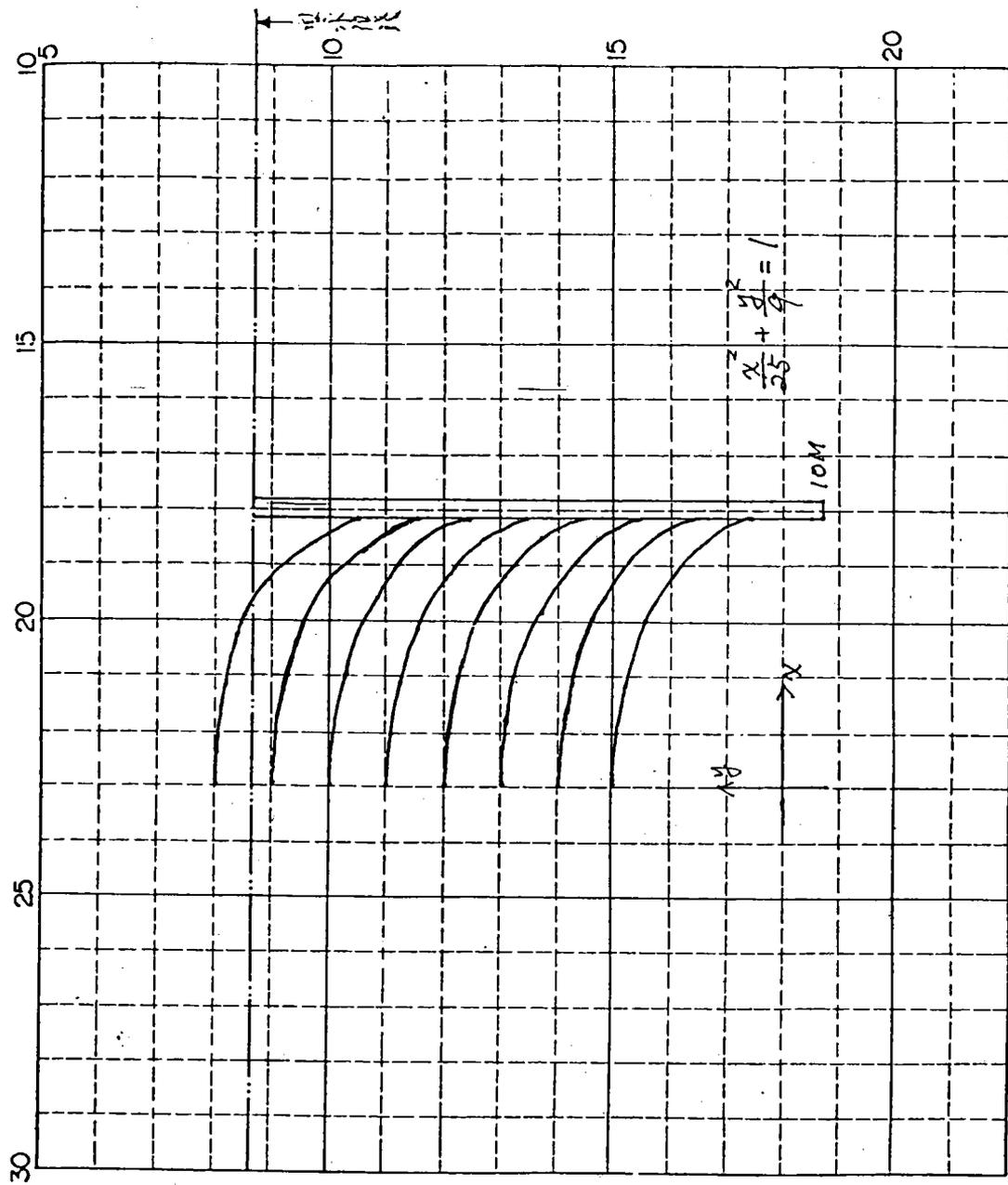


圖 6-7 橢圓地形圖

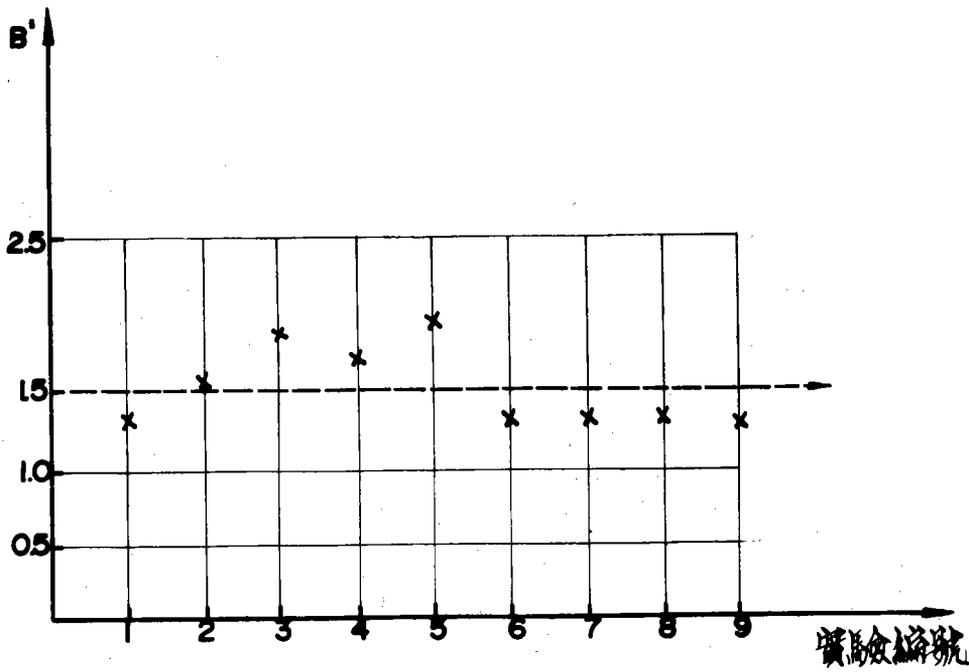


圖 6-8 常數 B' 分佈圖

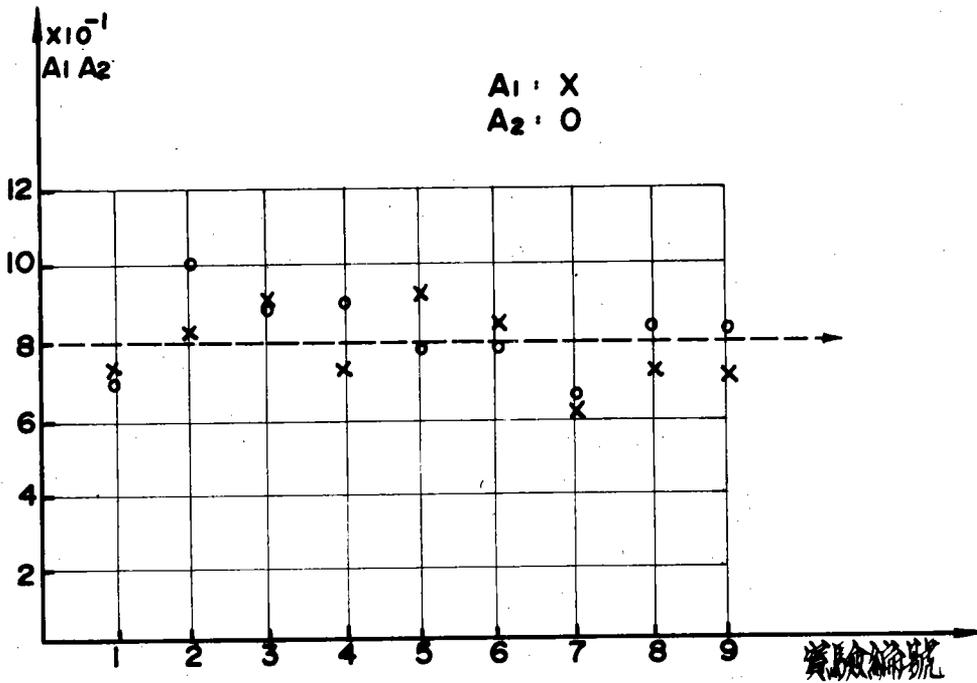
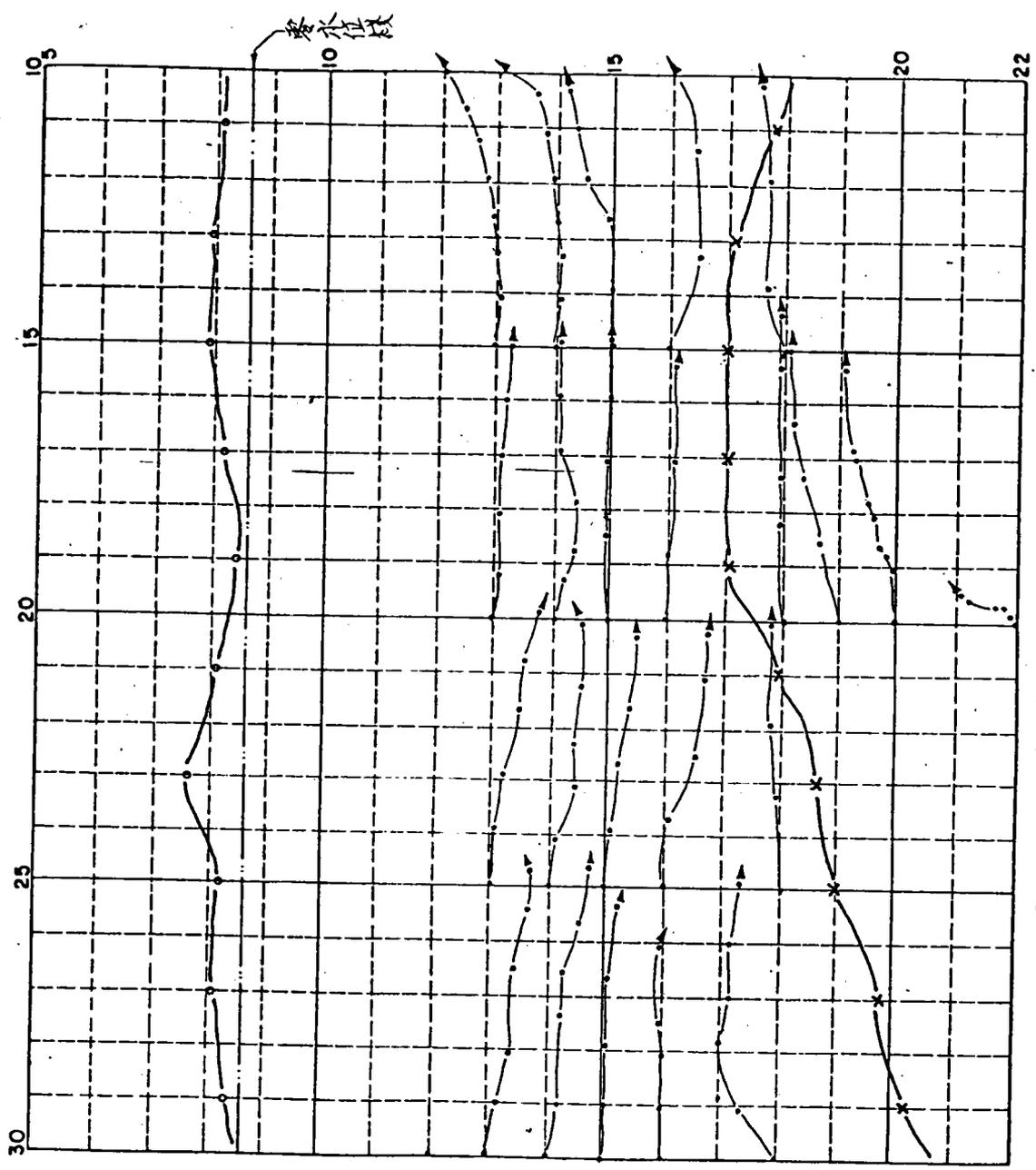


圖 6-9 常數  $A_1, A_2$  分佈圖



編號: 1-3  
 入射角: 60°  
 深海波高: 5.8 cm  
 週期: 1.0 sec  
 碎波波高: 7.7 cm  
 偏心距刻劃: 3  
 變速比刻劃: 1.0  
 NO: 1

O 潮上錢  
 X 碎波錢

日期: 72.4.12

圖 6-10 台中海岸流況模型試驗記錄紙

編號: 1-2  
 入射角:  $60^\circ$   
 深海波高: 4.6 cm  
 週期: 1.0 sec  
 碎波波高: 5.7 cm  
 偏心距刻劃: 2.5  
 變速比刻劃: 1.0

NO: 2

○ 湖上綫  
 × 碎波綫

日期: 72.4.28.

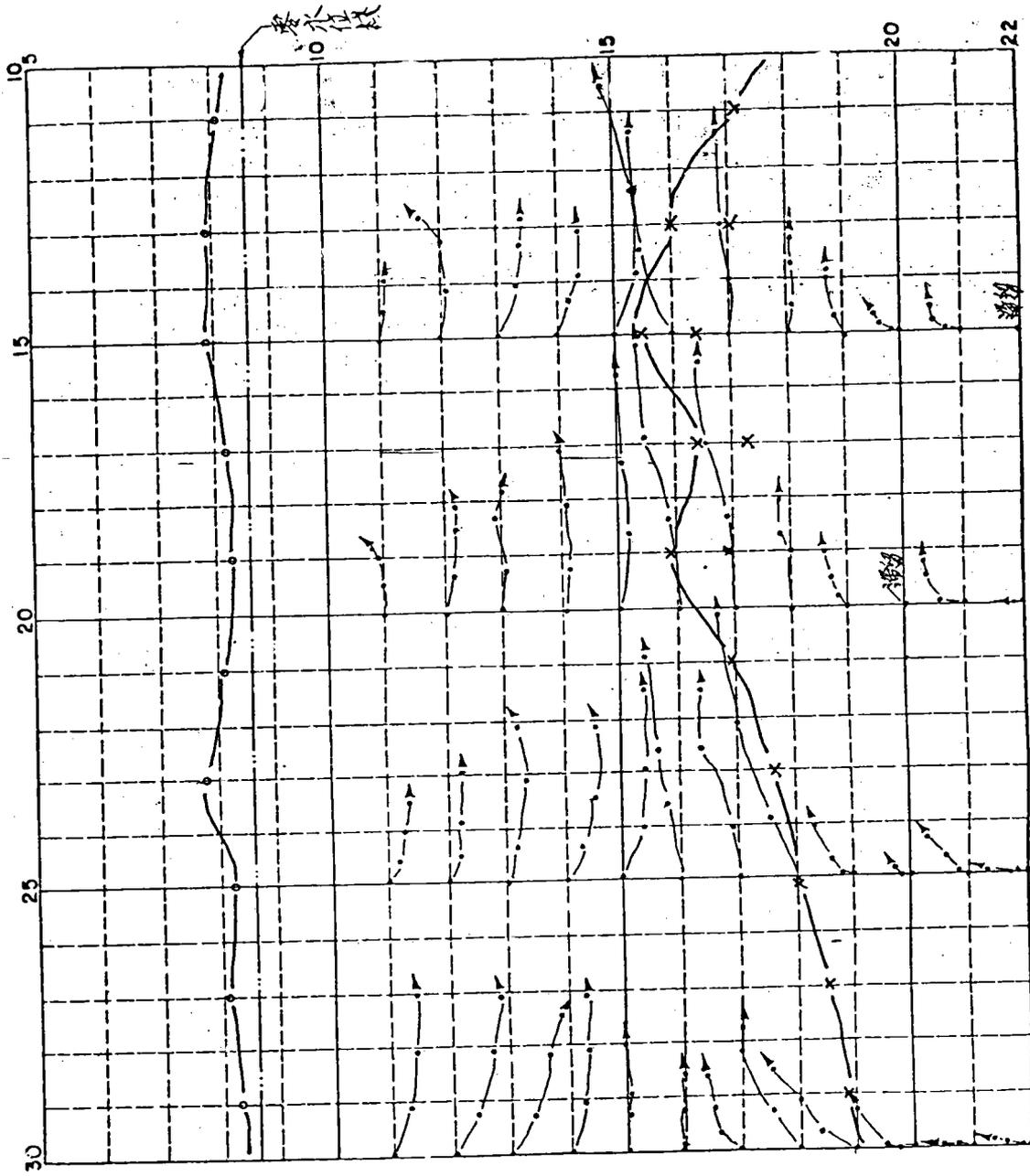


圖 6-11 台中海岸流況模型試驗記錄紙

編號: 1-3  
 入射角: 60°  
 深海波高: 3.6 cm  
 週期: 1.0  
 碎波波高: 4.8 cm  
 偏心距刻劃: 2.0  
 變速比刻劃: 1.0

NO: 3

○ 潮上綫  
 × 碎波綫

日期: 72.4.12.

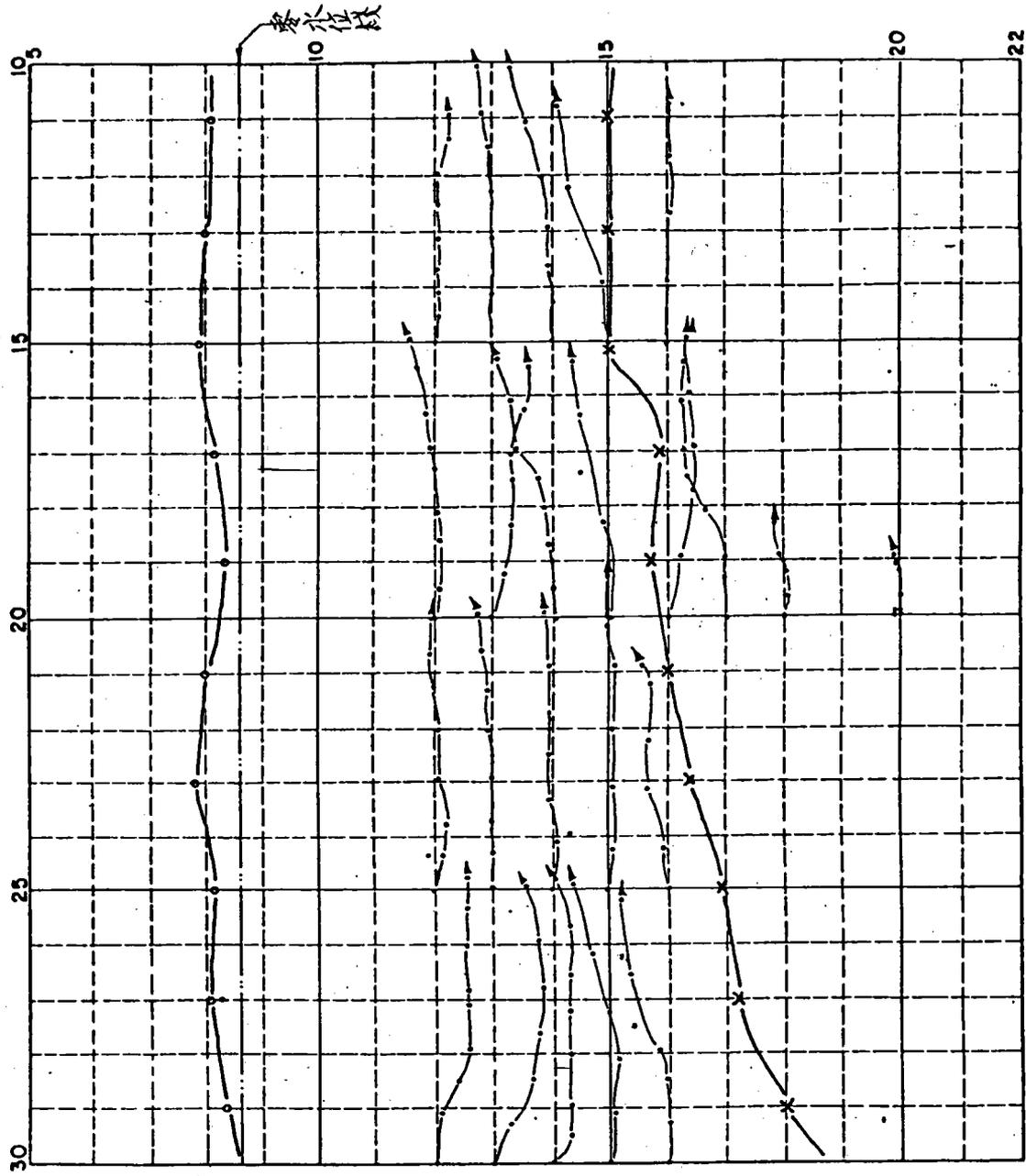
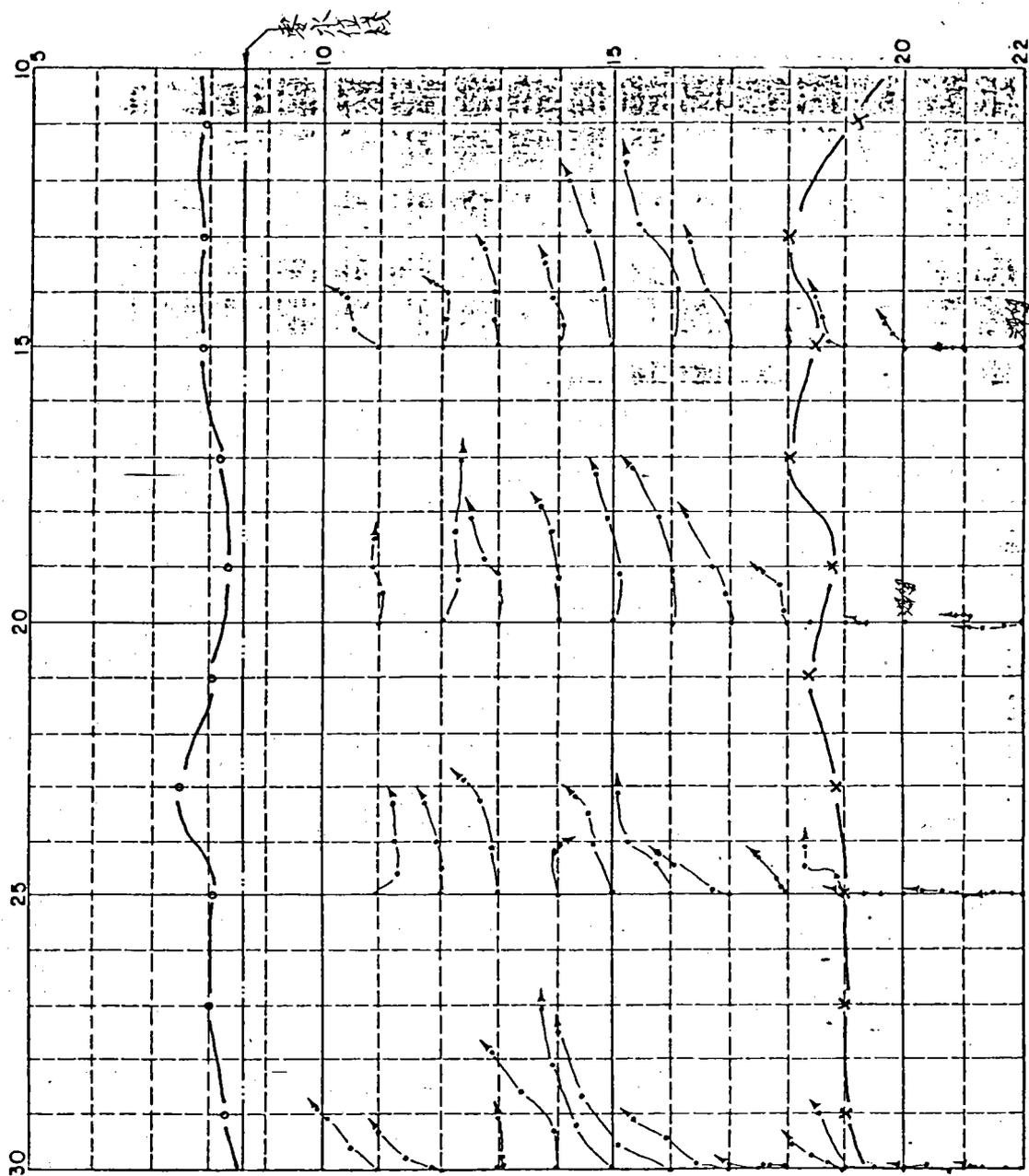


圖 6-12 台中海岸流況模型試驗記錄紙



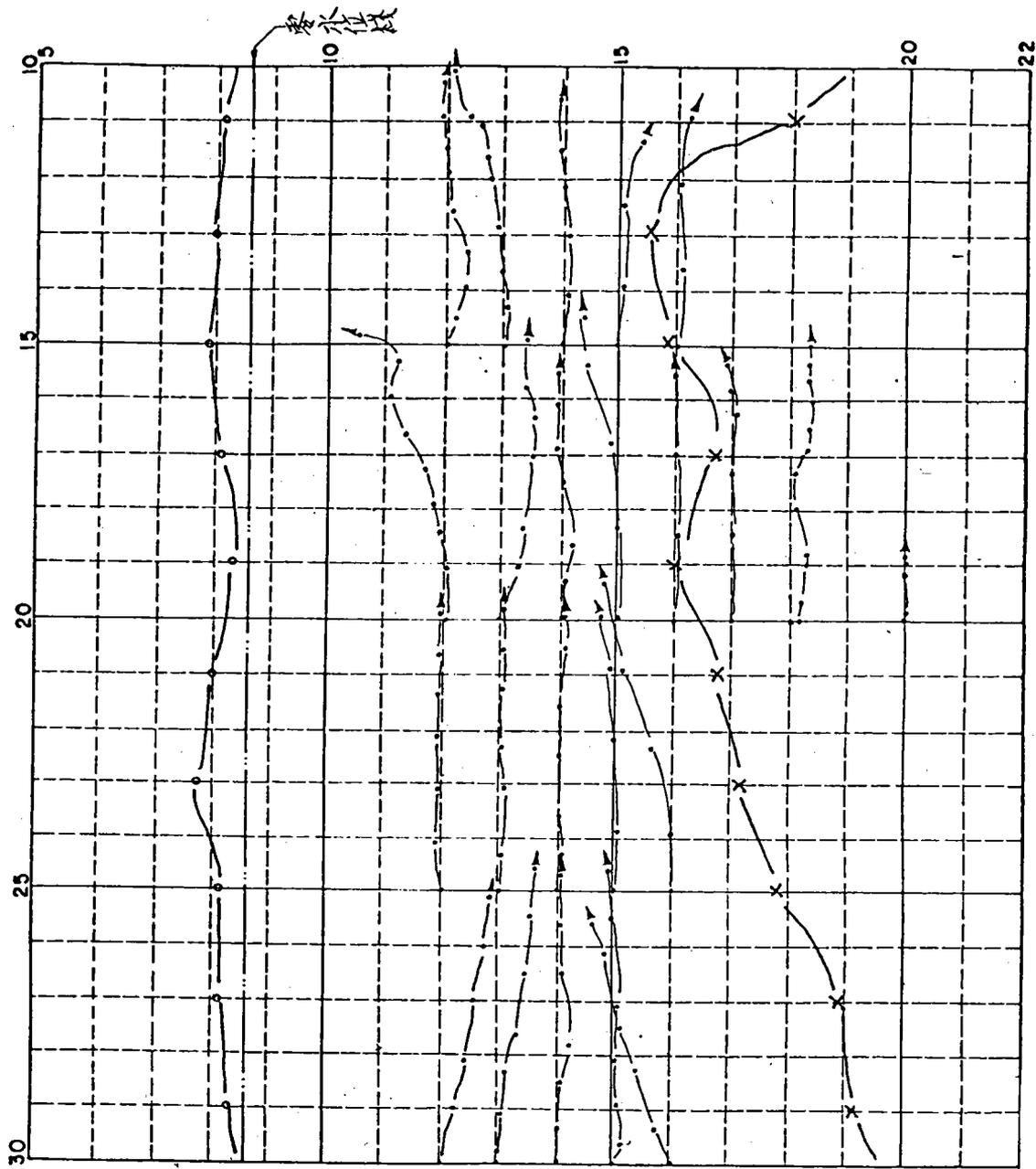
編號: 1-2  
 入射角:  $30^\circ$   
 深海波高: 4.8 cm  
 週期: 1.0 sec  
 碎波波高: 5.8 cm  
 偏心距刻劃: 2.5  
 變速比刻劃: 1.0

NO: 4

○ 湖上線  
 × 碎波線

日期: 72.4.29

圖 6-13 台中海岸流況模型試驗記錄紙



編號: 4-2  
 入射角:  $60^\circ$   
 深海波高: 4.0 cm  
 週期: 1.2 sec  
 碎波波高: 5.8 cm  
 偏心距刻劃: 3.0  
 變速比刻劃: 1.2

NO: 5

○ 湖上綫  
 × 碎波綫

日期: 72.4.14.

圖 6-14 台中海岸流況模型試驗記錄紙

編號: 4-3  
 入射角:  $60^\circ$   
 深海波高: 6.0 cm  
 週期: 1.2 sec  
 碎波波高: 7.3 cm  
 偏心距刻劃: 3.5  
 變速比刻劃: 1.2

NO: 6

○ 潮上綫  
 × 碎波綫

日期: 72.4.14.

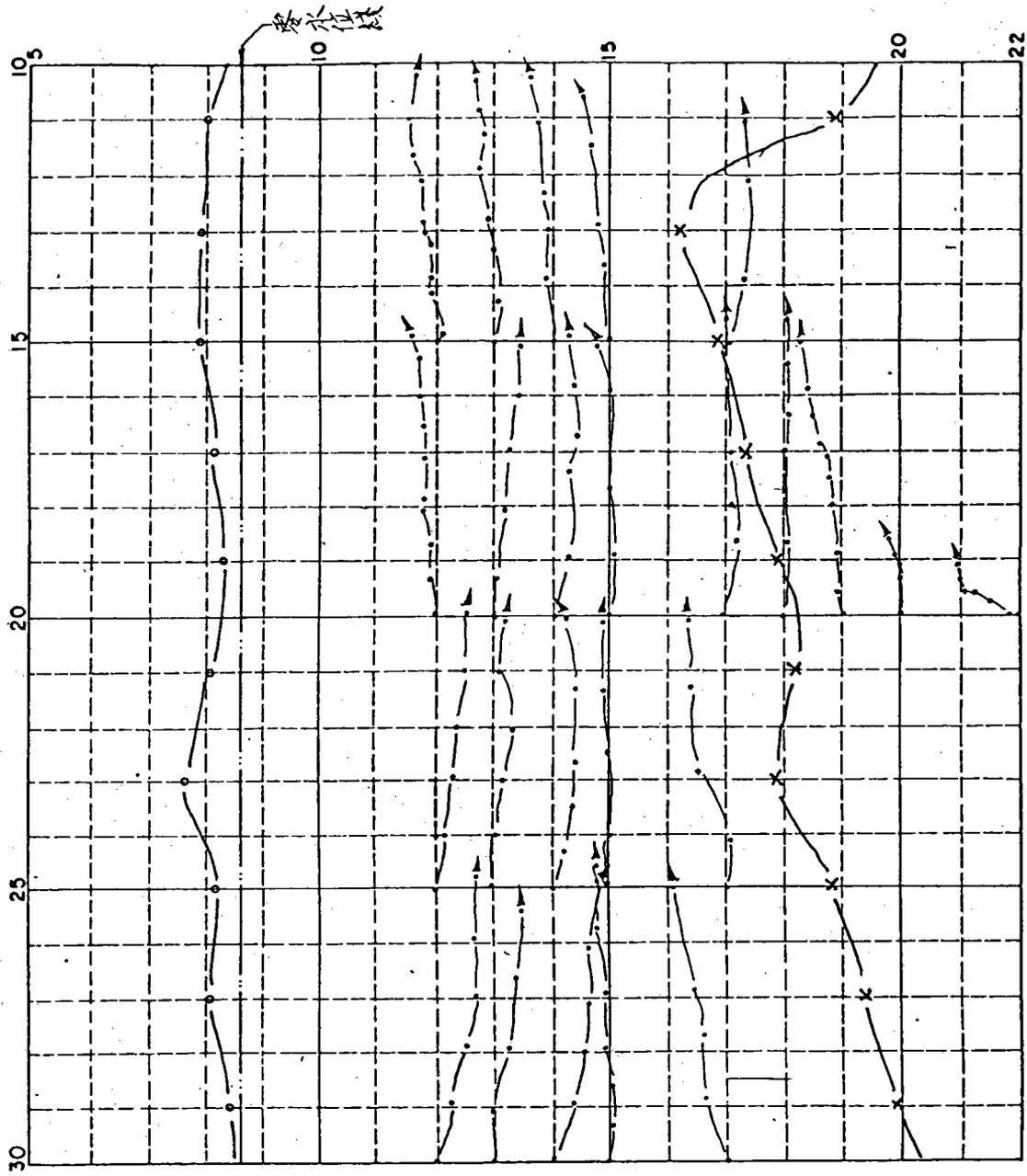
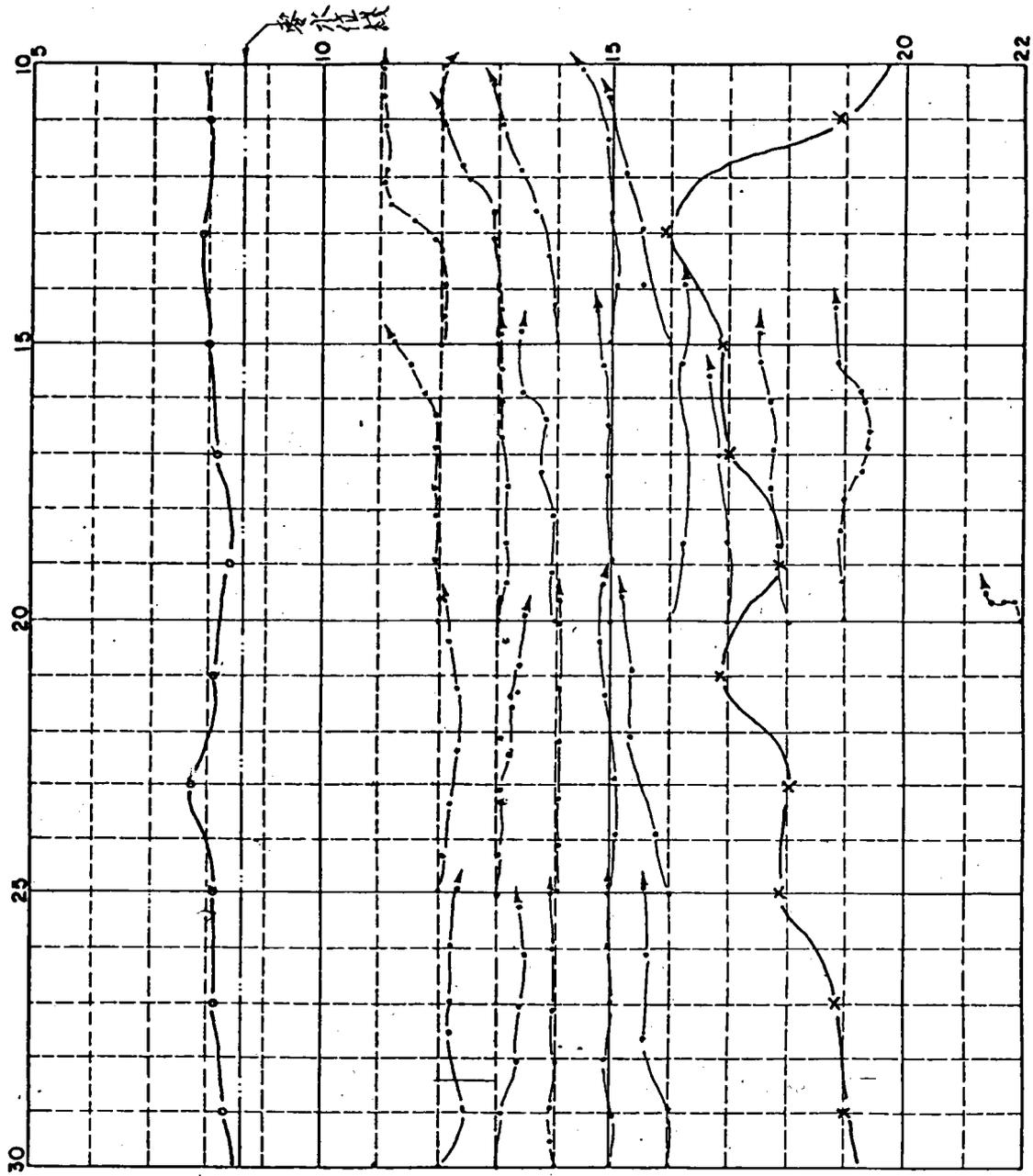


圖 6-15 台中海岸流況模型試驗記錄紙



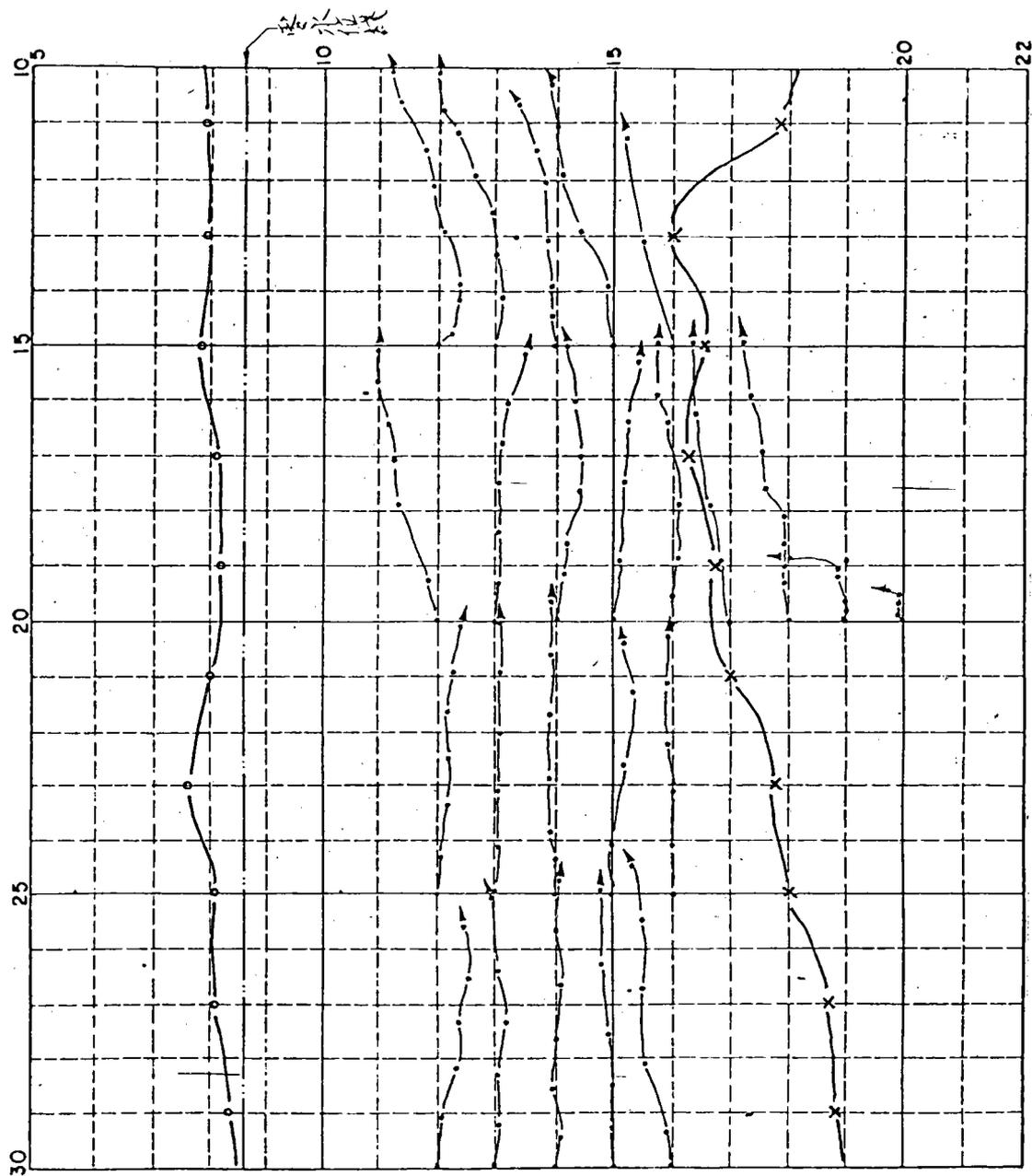
編號: 4-3  
 入射角:  $45^\circ$   
 深海波高: 6.1 cm  
 週期: 1.2 sec  
 碎波波高: 7.4 cm  
 偏心距刻劃: 3.5  
 變速比刻劃: 1.2

NO: 7

○ 潮上綫  
 × 碎波綫

日期: 72.4.14.

圖 6-16 台中海岸流沉模型試驗記錄紙



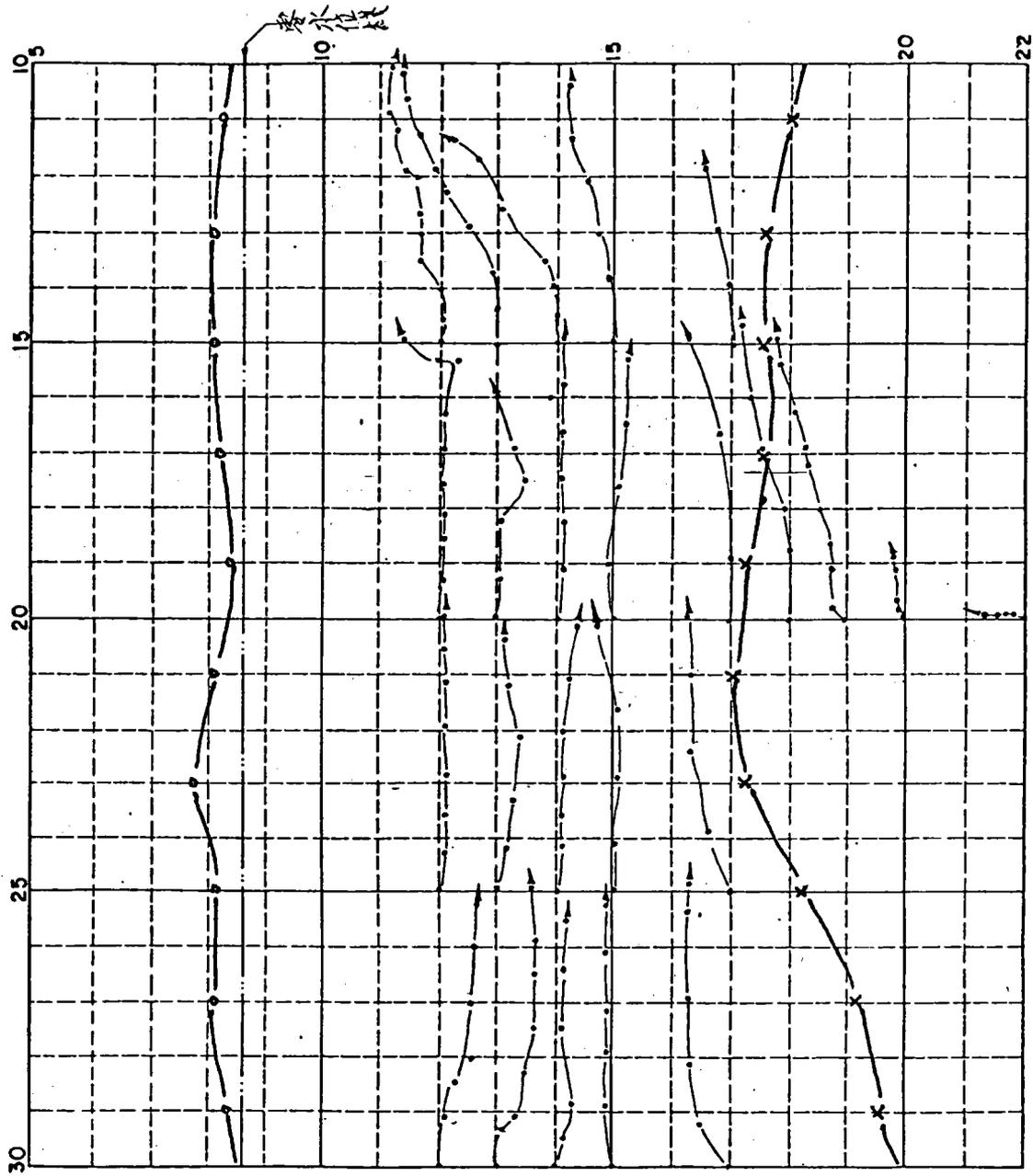
編號: 3-2  
 入射角: 60°  
 深海波高: 4.4 cm  
 週期: 0.8 sec  
 碎波波高: 5.8 cm  
 偏心距刻劃: 1.5  
 雙速比刻劃: 0.8

NO: 8

O 潮上綫  
 X 碎波綫

日期: 72.4.12.

圖 6-17 台中海岸流沉模型試驗記錄紙



編號: 3-1  
 入射角:  $45^\circ$   
 深海波高: 5.6 cm  
 週期: 0.8 sec  
 碎波波高: 6.5 cm  
 偏心距刻劃: 2.0  
 變速比刻劃: 0.8

NO: 9

○ 潮上綫:  
 × 碎波綫:  
 記錄者:  
 日期: 72.4.18.

圖 6-18 台中海岸流況模型試驗記錄紙

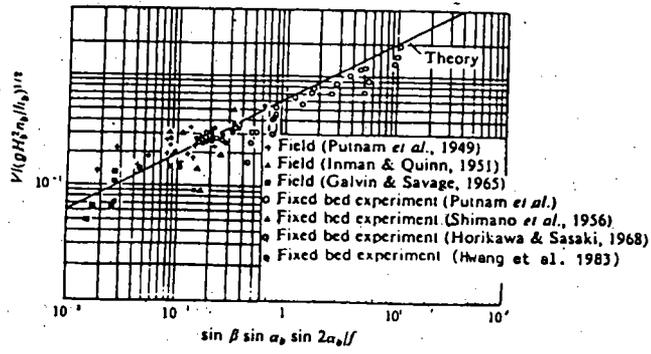


圖 6-19 沿岸流流速試驗值與理論值比較圖

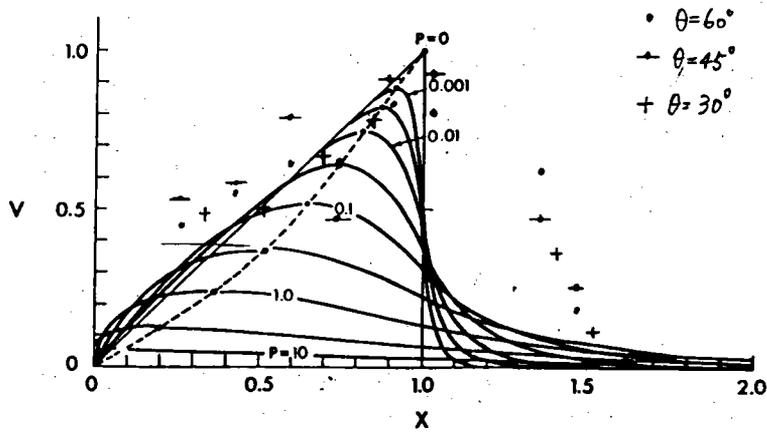


圖 6-20 無因次沿岸流流速分佈圖

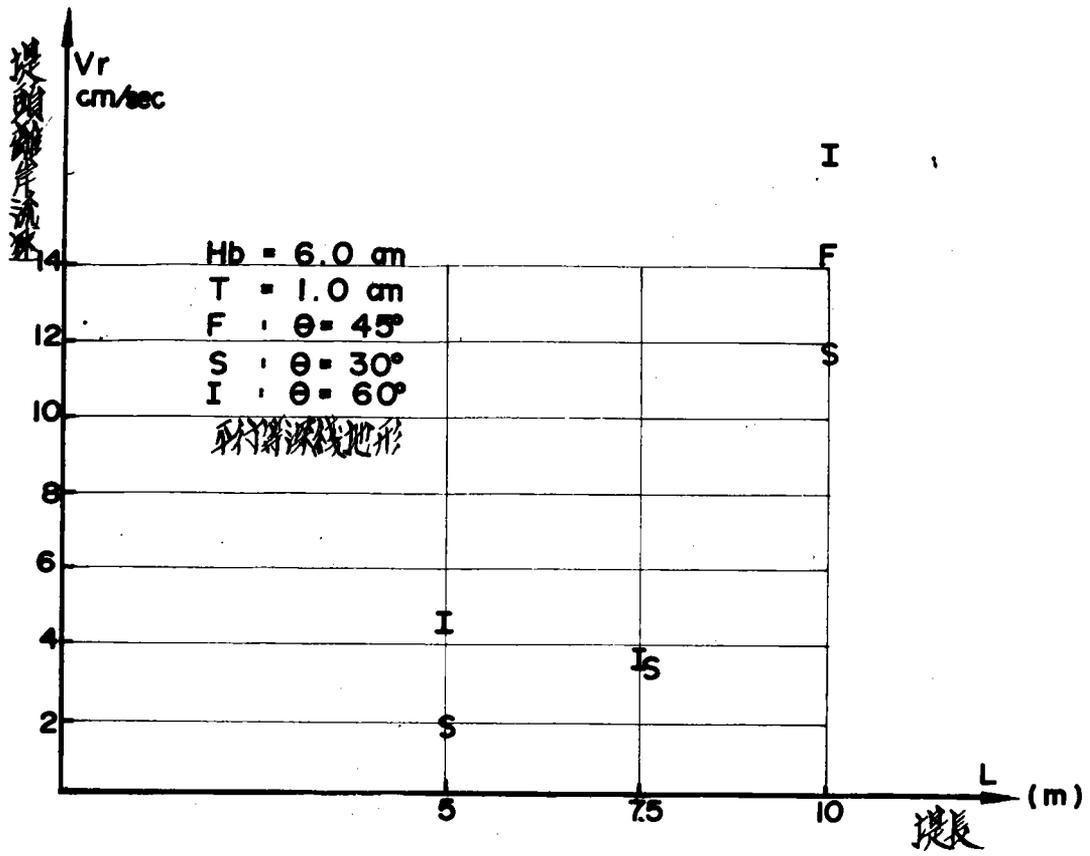


圖 6 - 21 堤頭離岸流流速試驗值

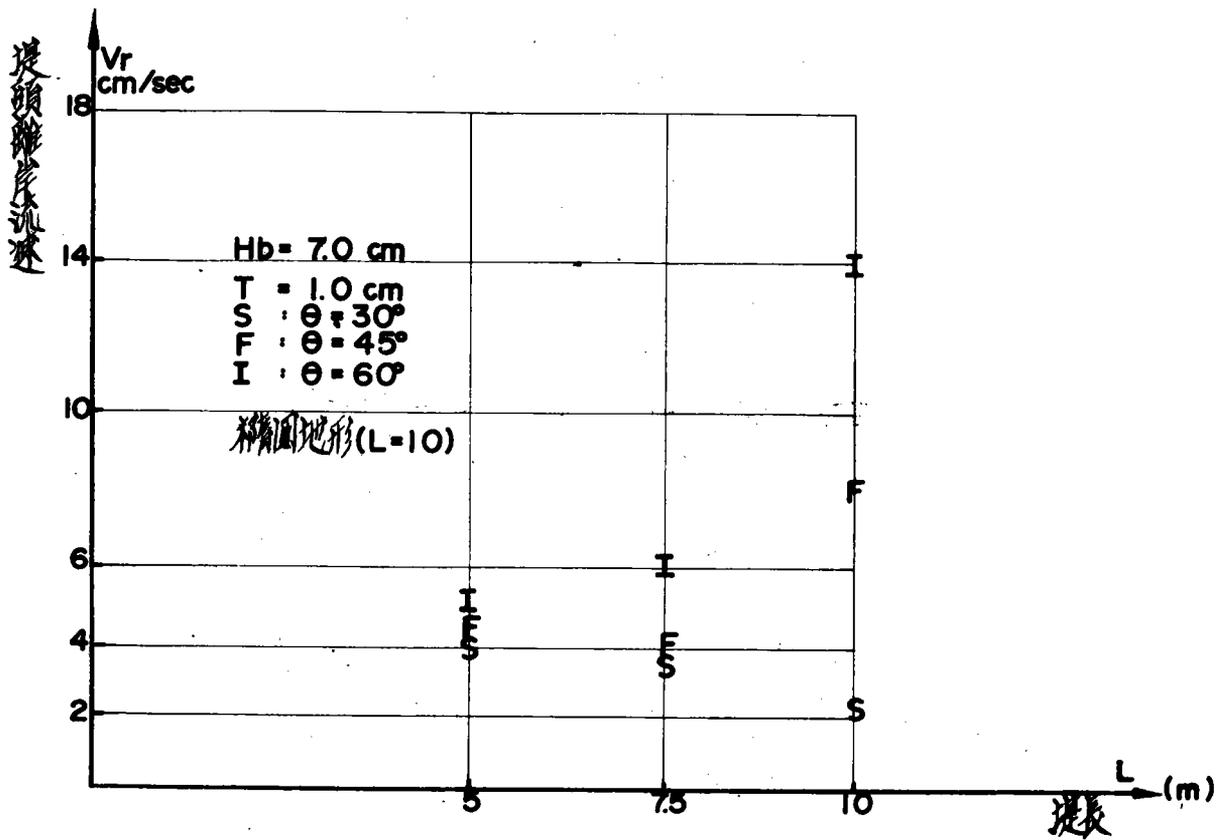


圖 6 - 22 堤頭離岸流流速試驗值

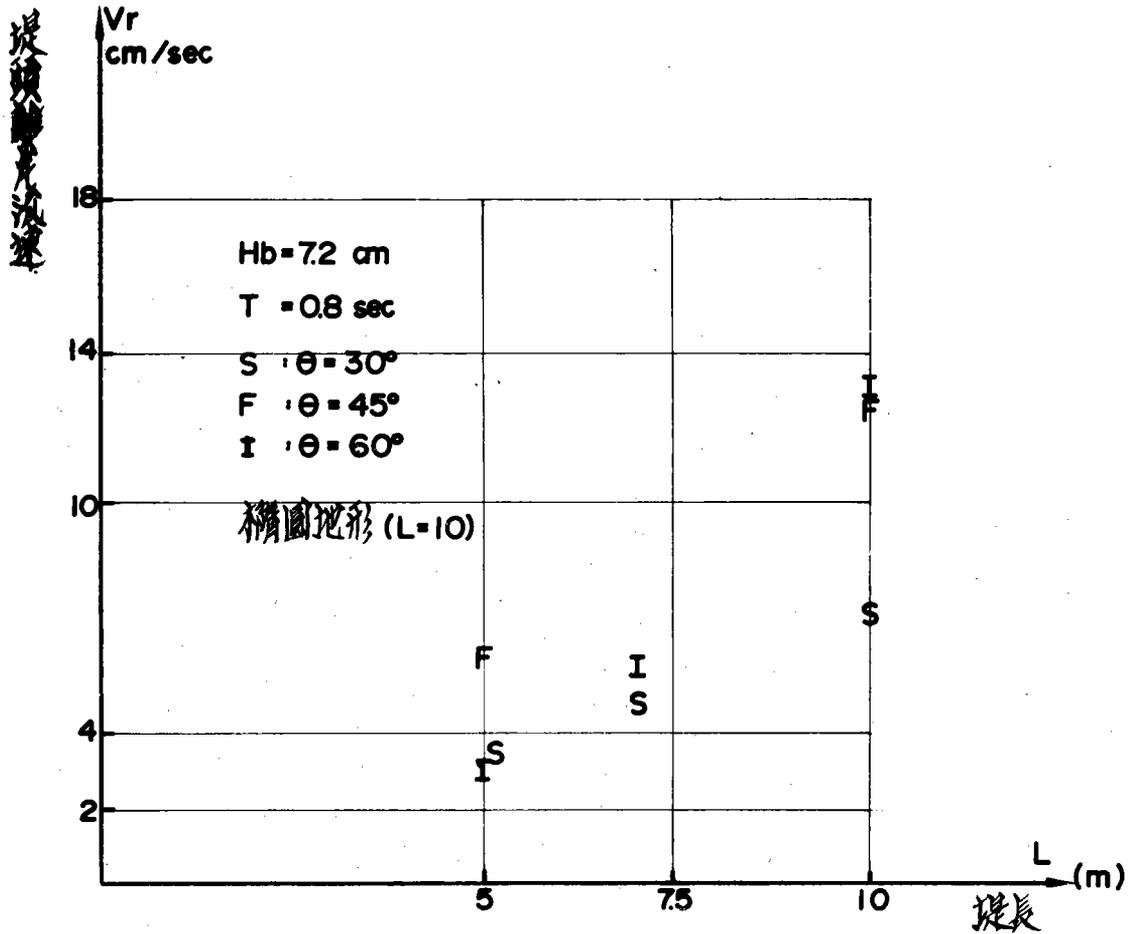


圖 6 - 23 堤頭離岸流流速試驗值

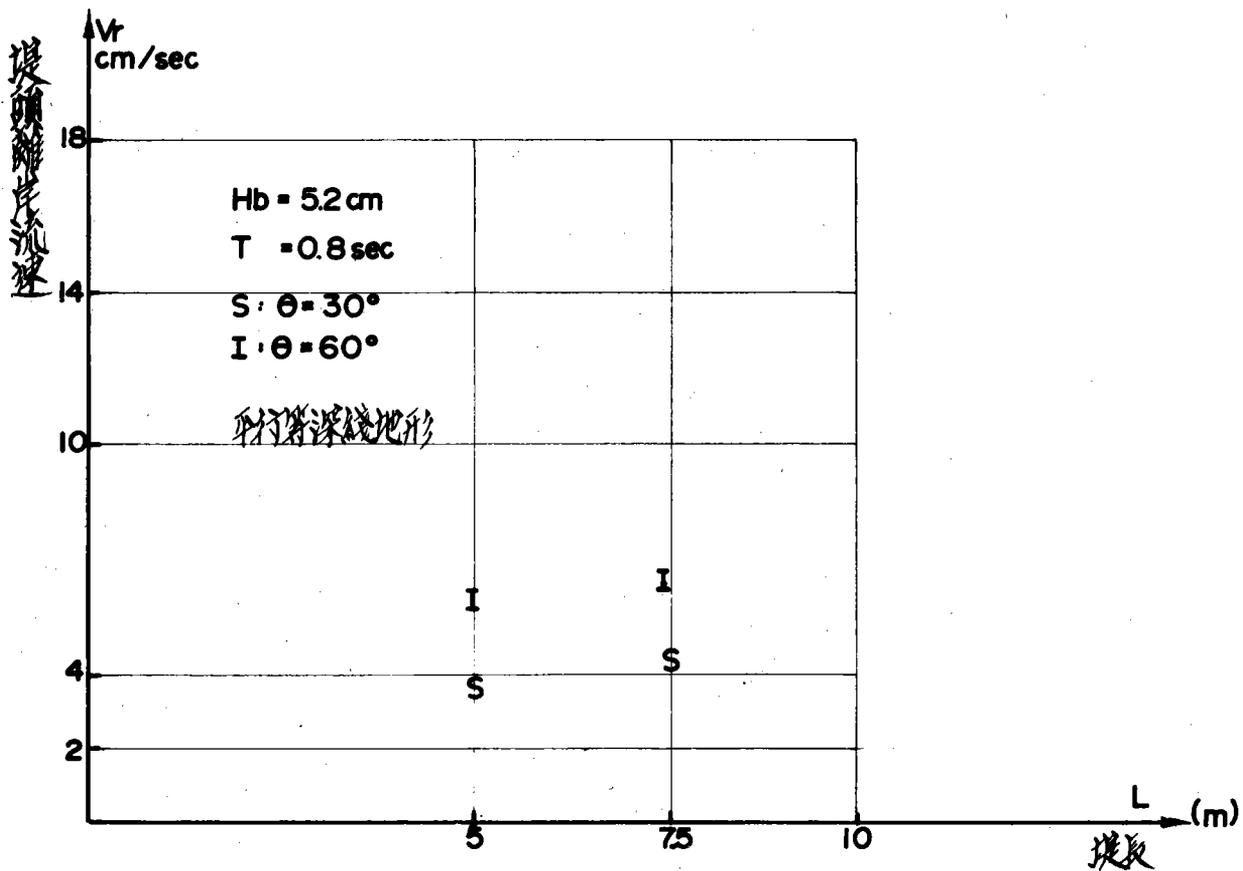


圖 6 - 24 堤頭離岸流流速試驗值

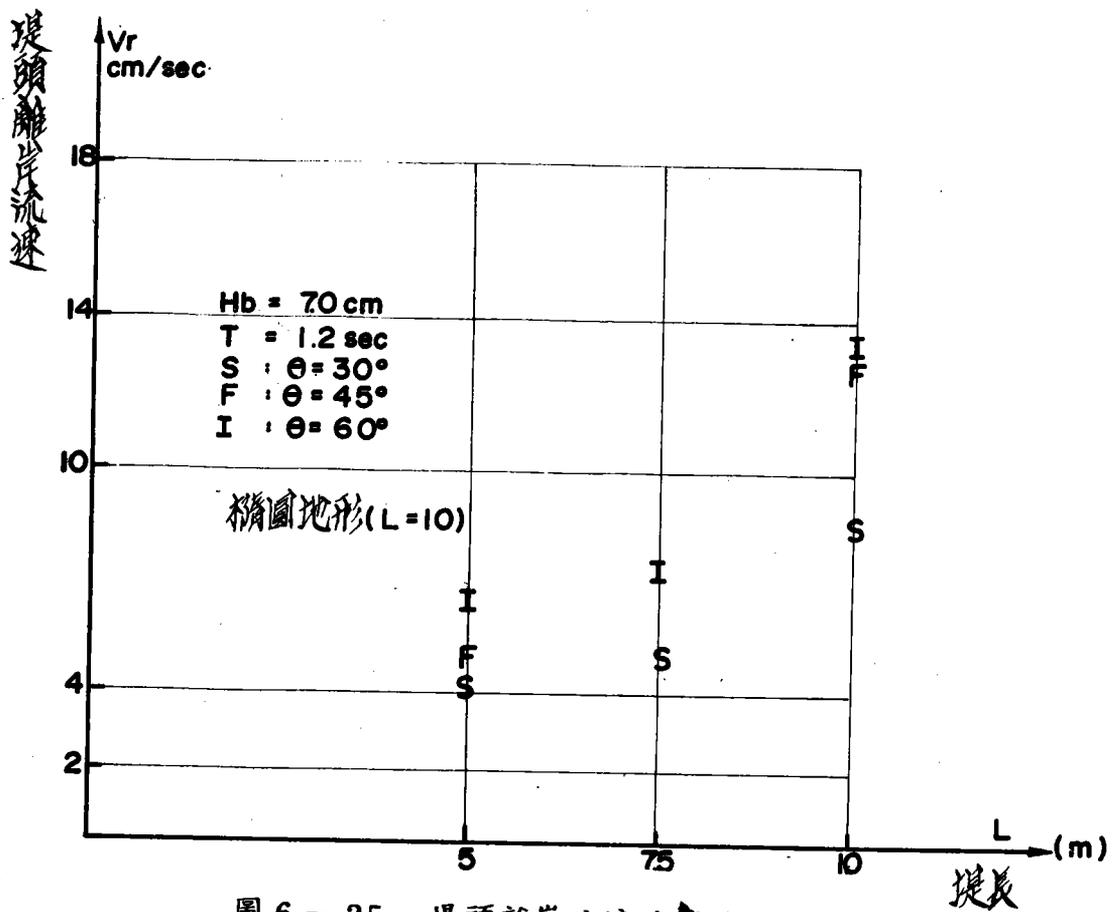
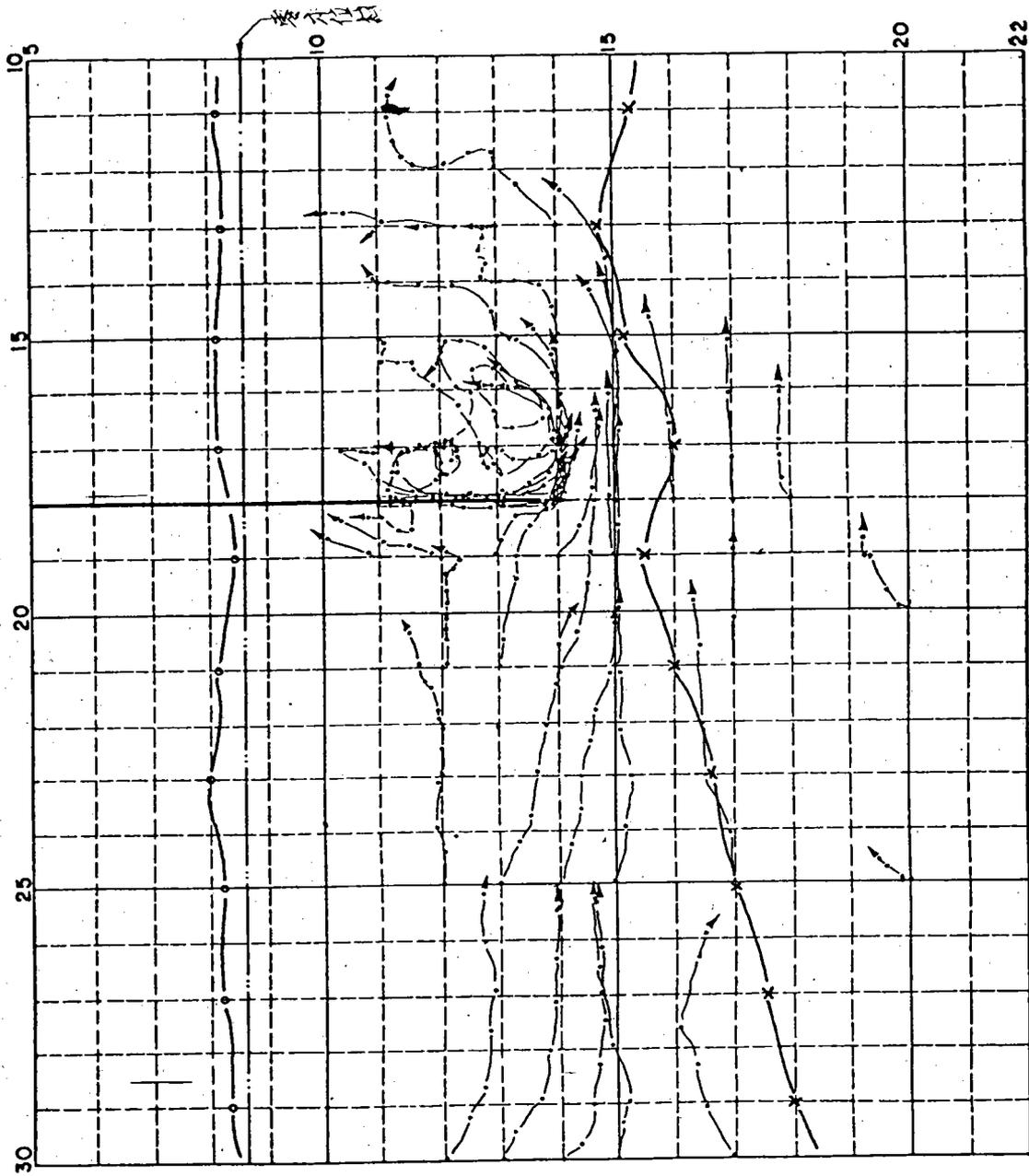
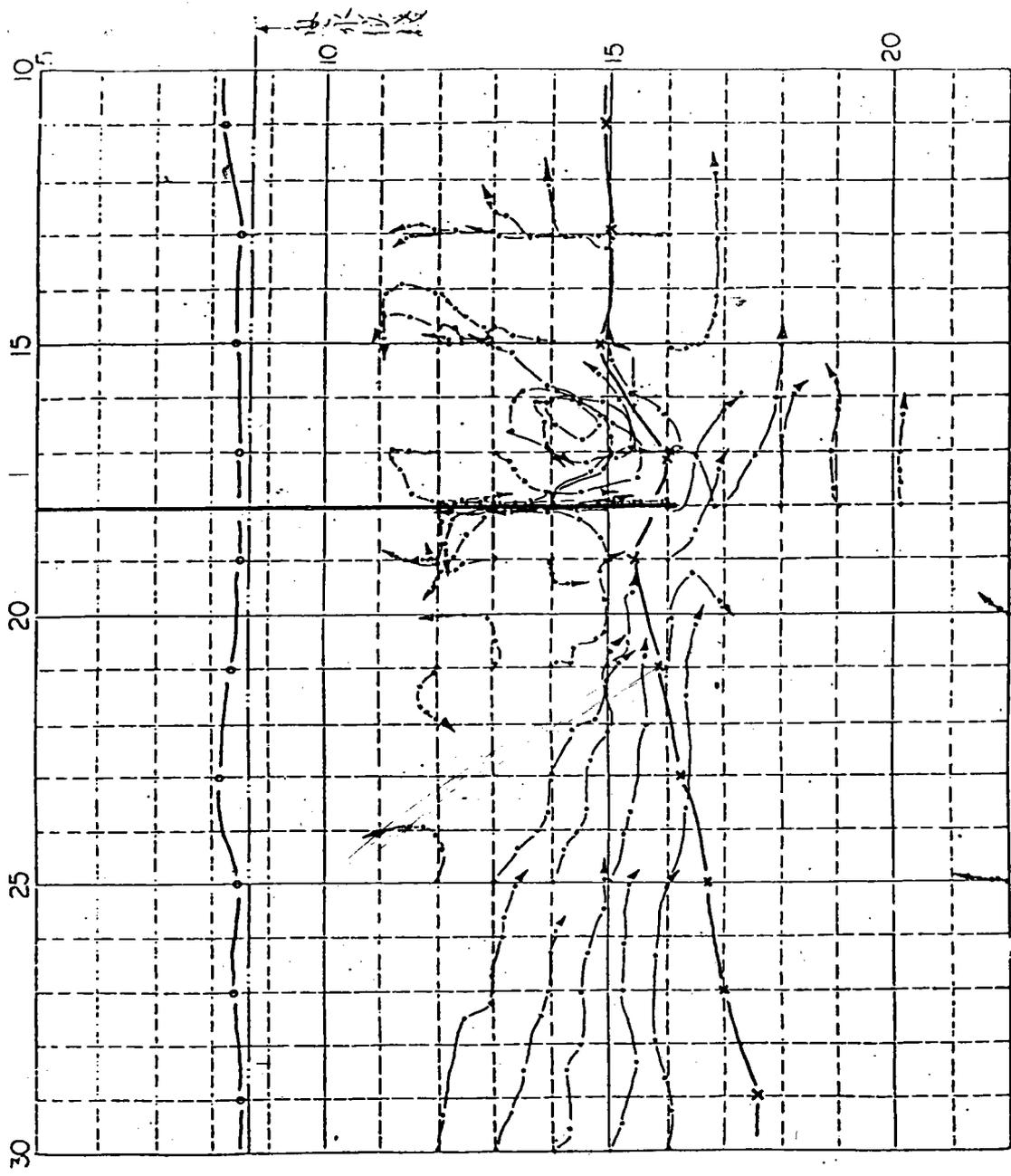


圖 6 - 25 堤頭離岸流流速試驗值



編號: 1-1  
 入射角:  $60^\circ$   
 深海波高: 3.8 cm  
 週期: 1.0 sec  
 碎波波高: 4.9 cm  
 偏心距刻劃: 2.0  
 雙速比刻劃: 1.0  
 堤頭: (18.13.7)  
 堤長: 5 cm  
 ○ 湖上綫:  
 × 碎波綫:  
 記錄者:  
 日期: 72. 4. 2

圖 6-26 台中海岸流況模型試驗記錄紙



編號：1-1  
 入射角：60°  
 深海波高：3.5 cm  
 週期：1.0 sec  
 碎波波高：4.4 cm  
 偏心距刻劃：2.0  
 變速比刻劃：1.0  
 堤頭：(18.16.2)  
 堤長：7.5 m

○ 湖上錢：  
 × 碎波錢：  
 記錄者：  
 日期：72. 3. 24

圖 6-27 台中海岸流況模型試驗記錄紙

編號: 1-1  
 入射角:  $30^\circ$   
 深海波高: 3.5 cm  
 週期: 1.0 sec  
 碎波波高: 4.4 cm  
 偏心距到劃: 2.0  
 雙速比到劃: 1.0  
 堤長: (18.16.2)  
 橋圓地形: 7.5 m  
 ○ 潮上綫:  
 × 碎波綫:  
 記錄者:  
 日期: 72. 3. 17

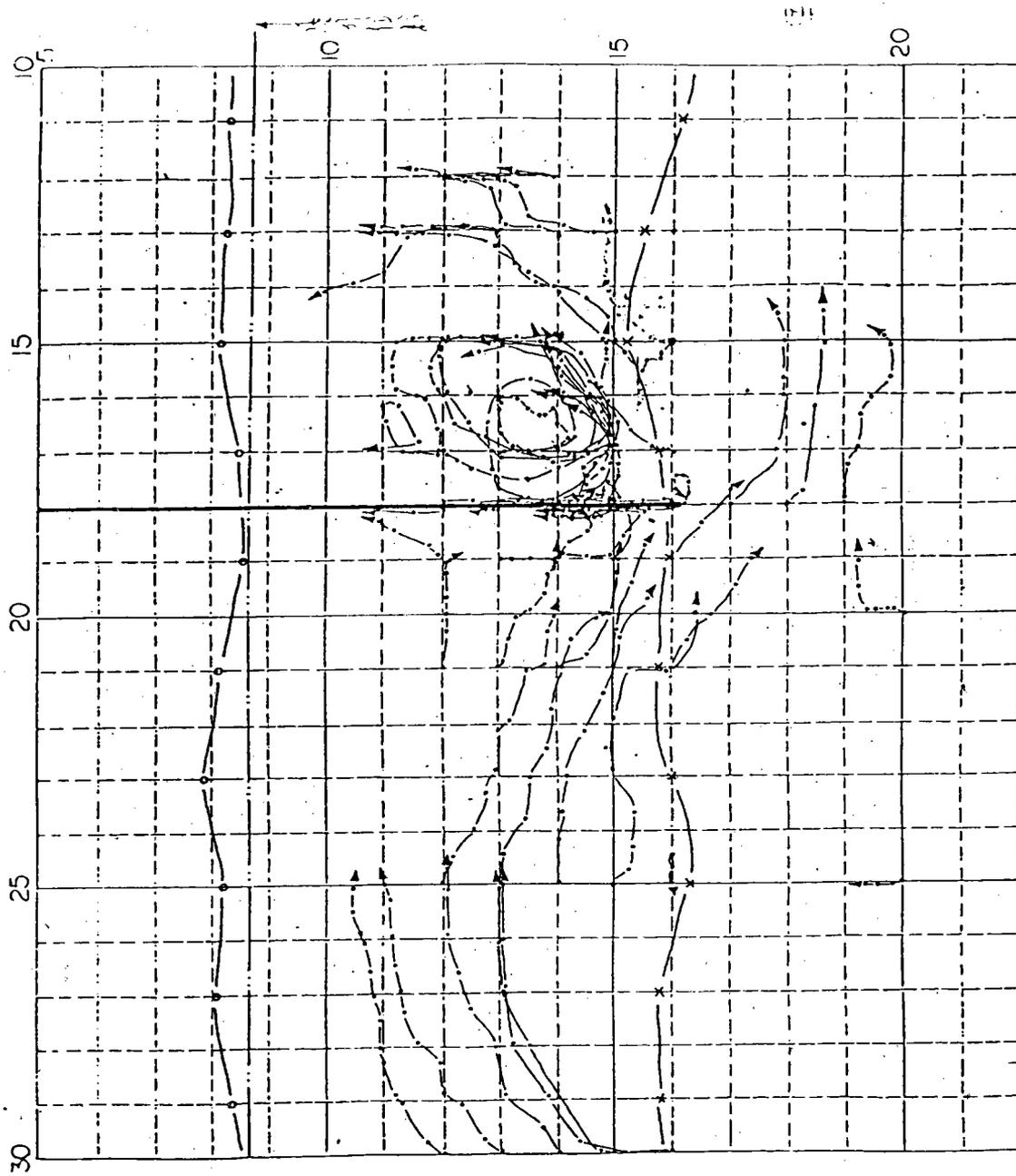
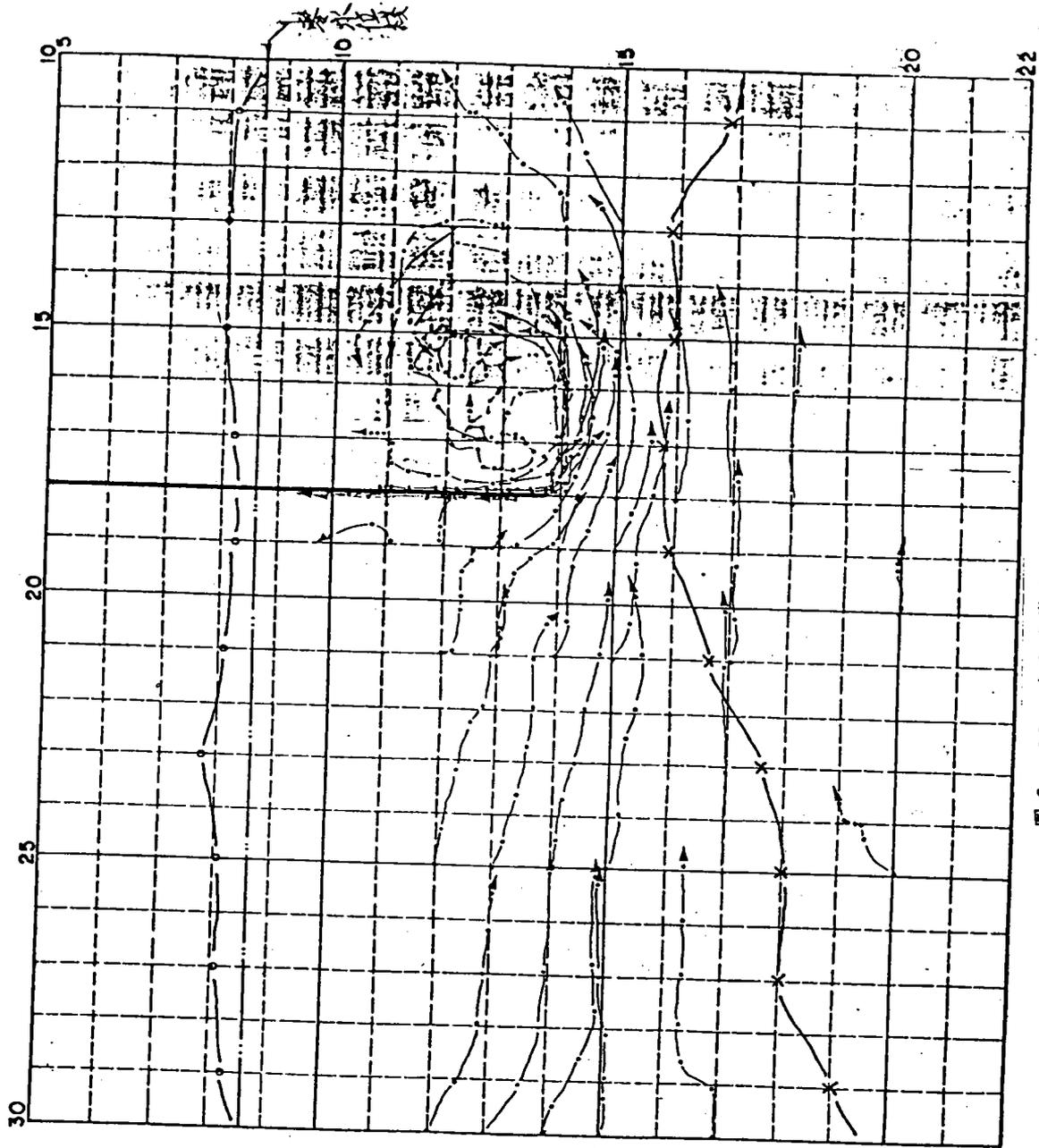


圖 6-28 台中海岸流沉模型試驗記錄紙



編號：1-2  
 入射角：60°  
 深海波高：4.8cm  
 週期：1.0 sec  
 碎波波高：5.7cm  
 偏心距刻劃：2.5  
 變速比刻劃：1.0

堤長：5m

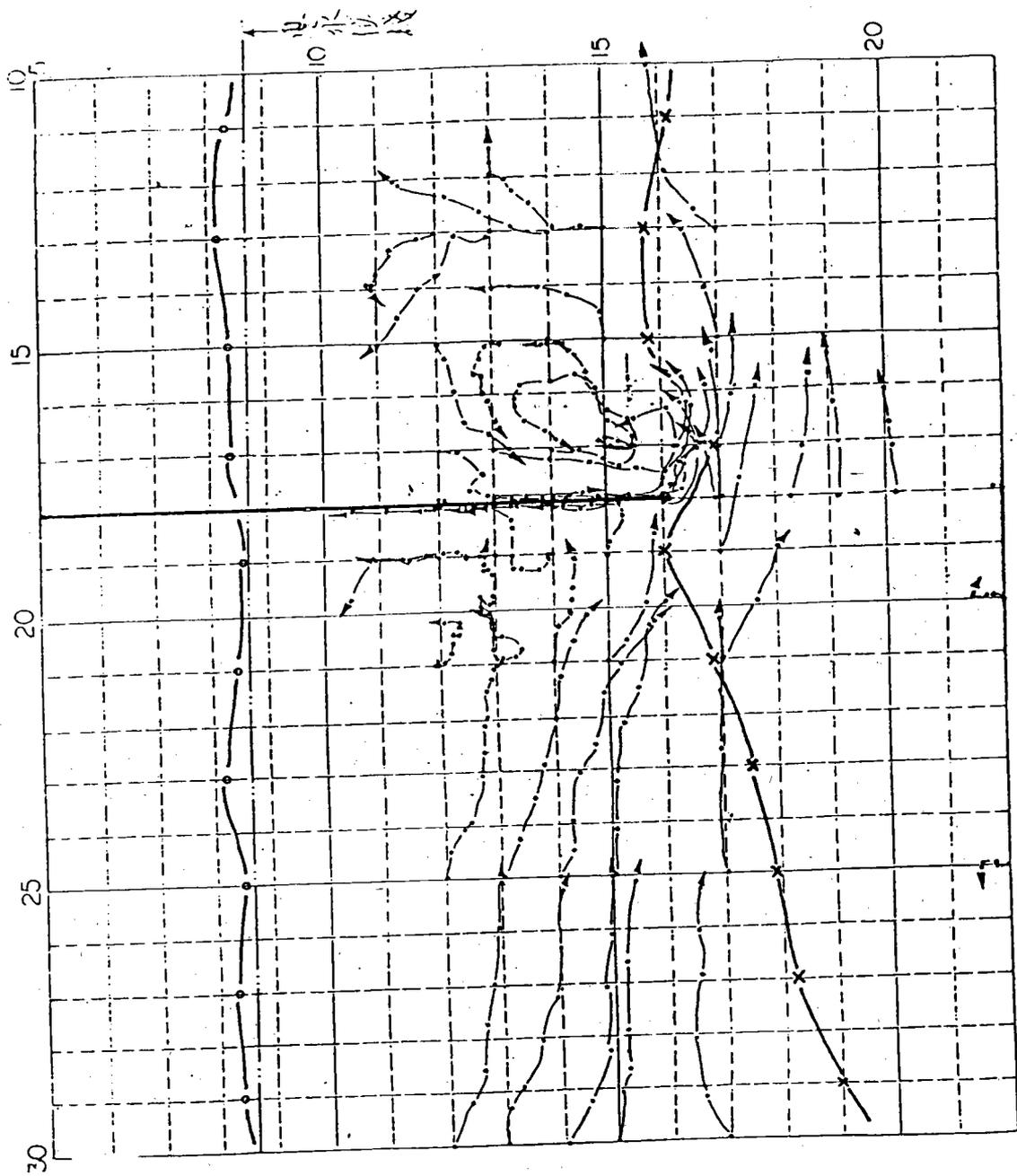
○ 湖上綫：

× 碎波綫：

記錄者：

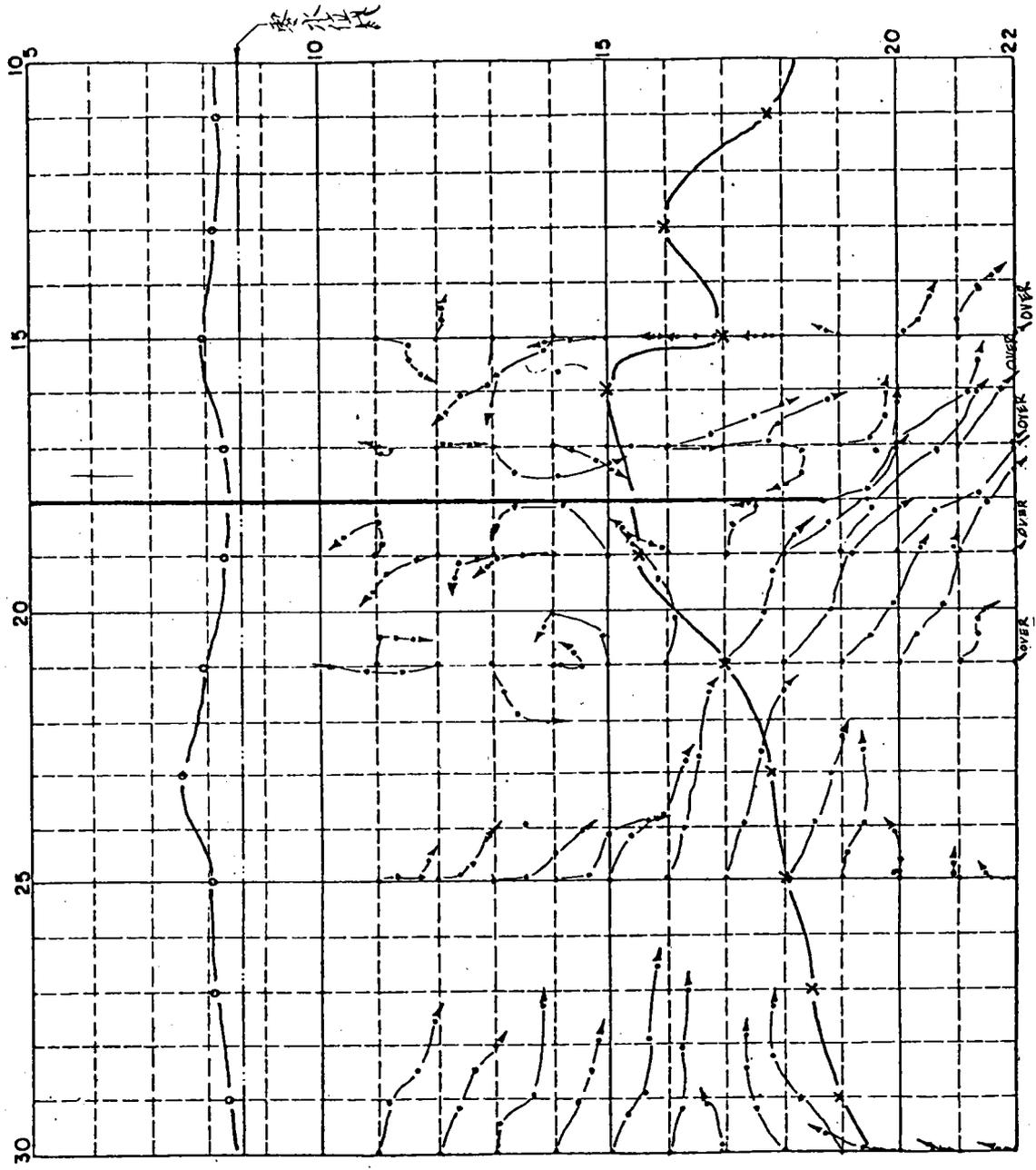
日期：72. 4. 4.

圖 6-29 台中海岸流況模型試驗記錄紙



編號: 1-2  
 入射角:  $60^\circ$   
 深海波高: 4.9 cm  
 週期: 1.0 sec  
 碎波波高: 6.1 cm  
 偏心距刻劃: 2.5  
 變速比刻劃: 1.0  
 堤頭: ( 18.16.2 )  
 堤長: 7.5 m  
 ○ 湖上綫:  
 × 碎波綫:  
 記錄者:  
 日期: 72. 3. 24

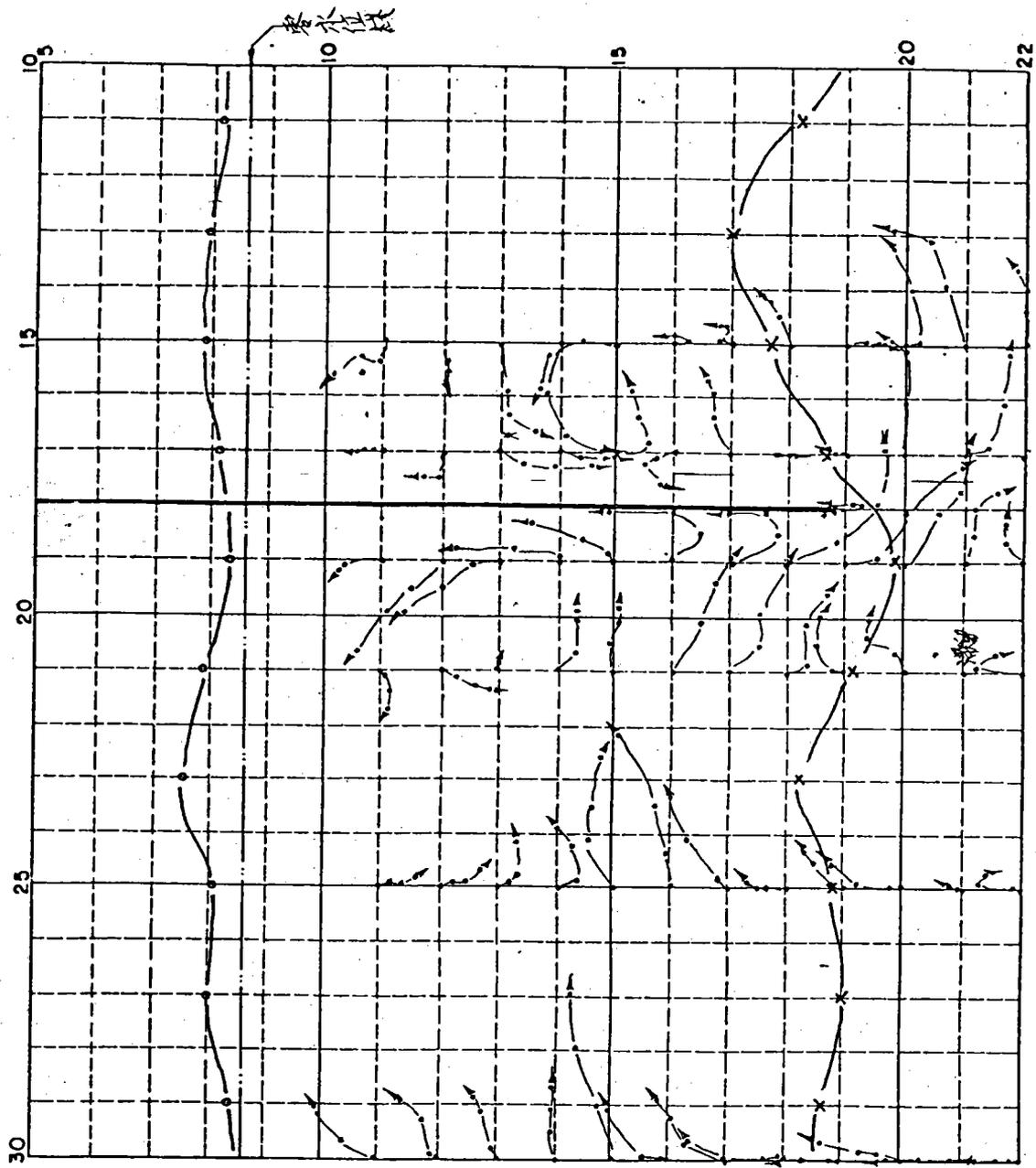
圖 6-30 台中海岸流況模型試驗記錄紙



號：1-2  
 入射角：60°  
 深海波高：4.5 cm  
 週期：1.0 sec  
 碎波波高：6.0 cm  
 偏心距刻劃：2.5  
 變速比刻劃：1.0  
 堤長：10 m

○ 湖上綫：  
 × 碎波綫：  
 記錄者：  
 日期：72. 4. 28

圖 6-31 台中海岸流沉模型試驗記錄紙



編號：1-2  
 入射角：30°  
 深海波高：4.8 cm  
 週期：1.0 sec  
 碎波波高：6.0 cm  
 偏心距刻劃：2.5  
 變速比刻劃：1.0  
 堤長：10 m  
 ○ 潮上線  
 × 碎波線  
 記錄者：  
 日期：72. 4. 29

圖 6-34 台中海岸流沉模型試驗記錄紙

編號：1-3  
 入射角：60°  
 深海波高：5.8 cm  
 週期：1.0 sec  
 碎波波高：7.0 cm  
 偏心距刻劃：3.0  
 雙速比刻劃：1.0

堤長：5 m

○ 湖上綫：  
 × 碎波綫：  
 記錄者：

日期：72. 4. 4

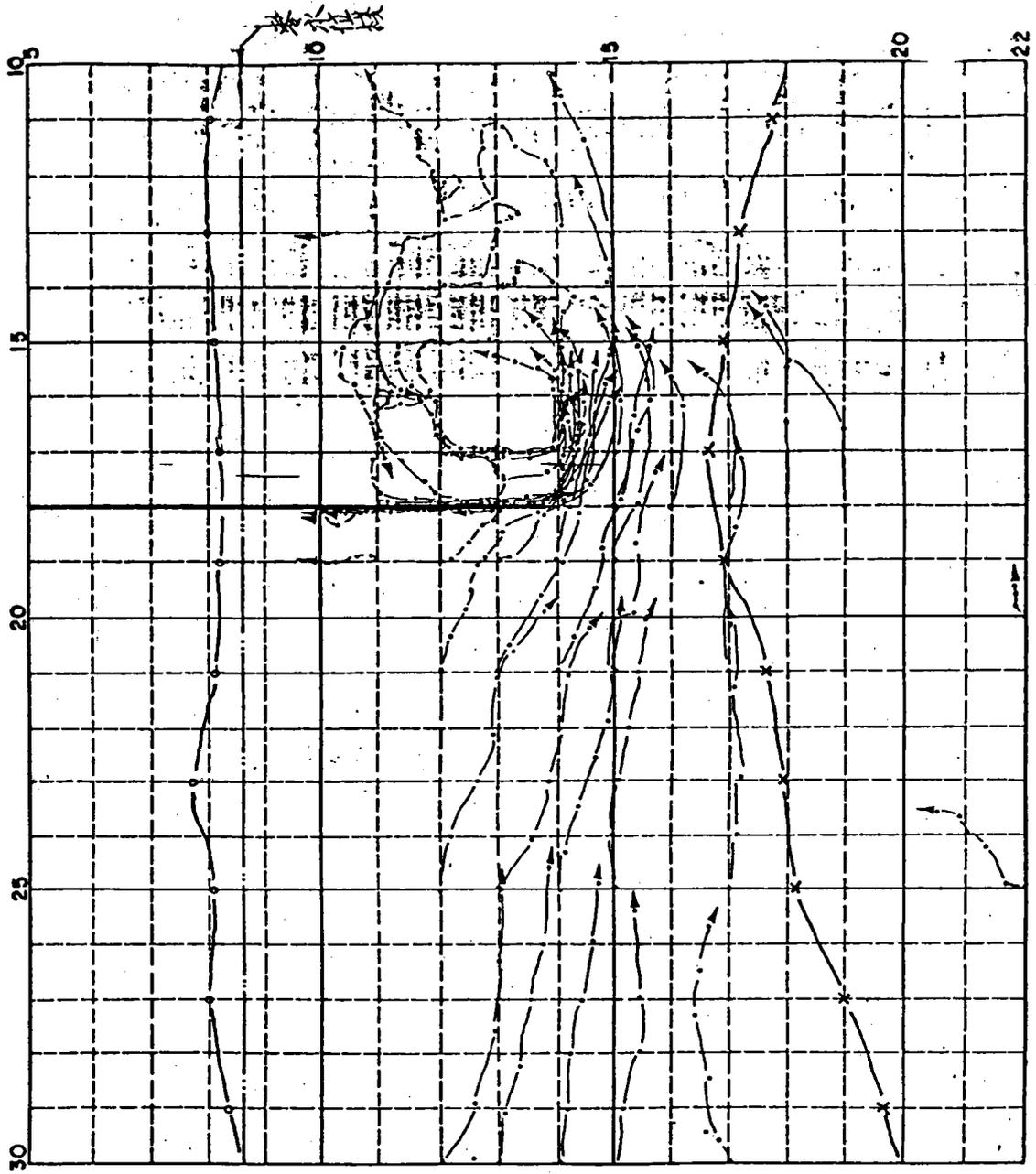


圖 6-35 台中海岸流況模型試驗記錄紙

編號: 1-3  
 入射角:  $45^\circ$   
 深海波高: 5.5 cm  
 週期: 1.0 sec  
 碎波波高: 6.4 cm  
 偏心距刻劃: 3.0  
 雙速比刻劃: 1.0

堤長: 5 m

○ 湖上線:  
 × 碎波綫:  
 記錄者:  
 日期: 72. 4. 19



圖 6-38 台中海岸流沉模試驗記錄紙

編號：1-3  
 入射角：45°  
 深海波高：6.0 cm  
 週期：1.0 sec  
 碎波波高：7.2 cm  
 偏心距刻劃：3.0  
 變速比刻劃：1.0  
 長：7.5 cm

○ 湖上綫：  
 × 碎波綫：  
 記錄者：  
 日期：72. 4. 20

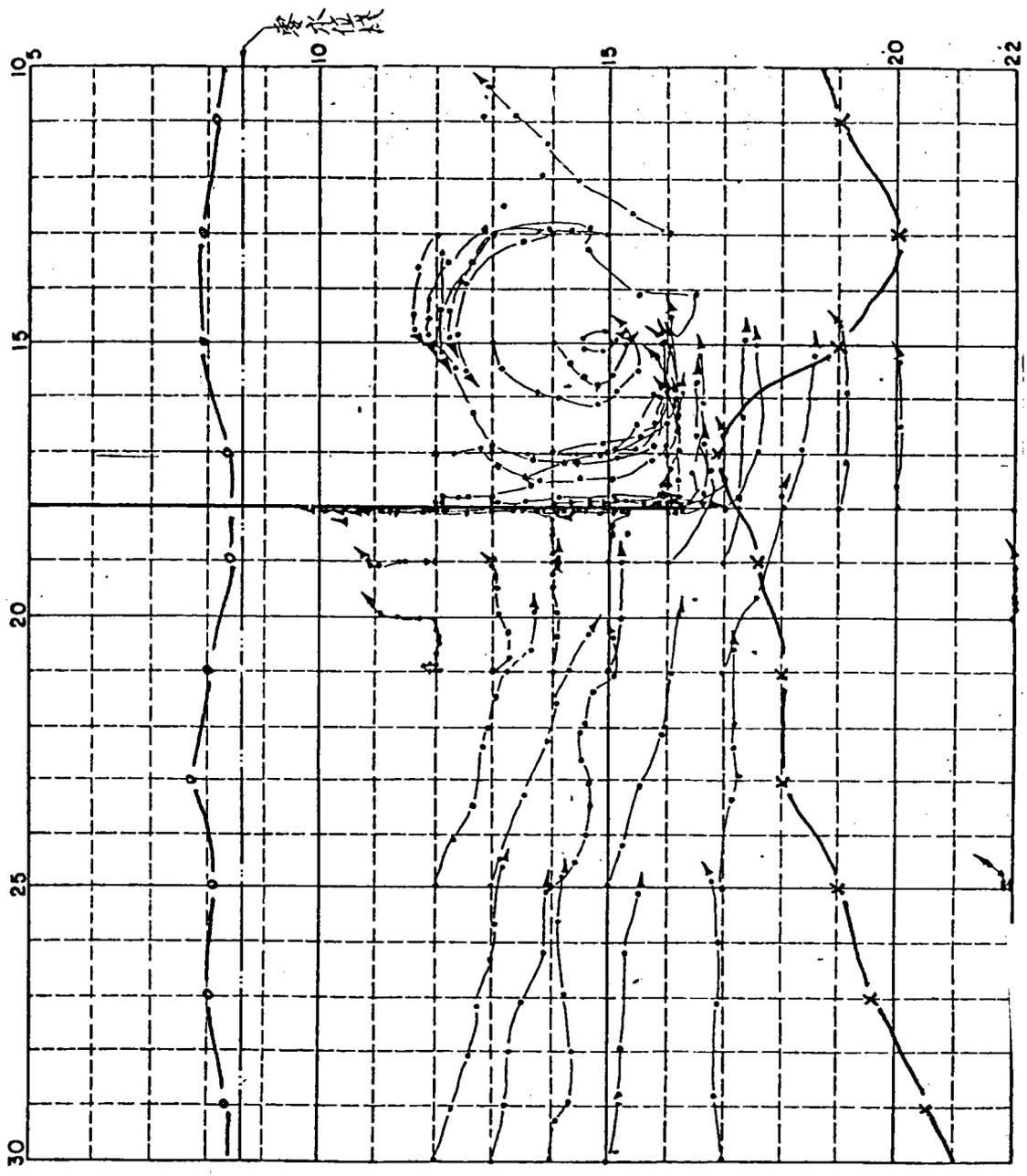
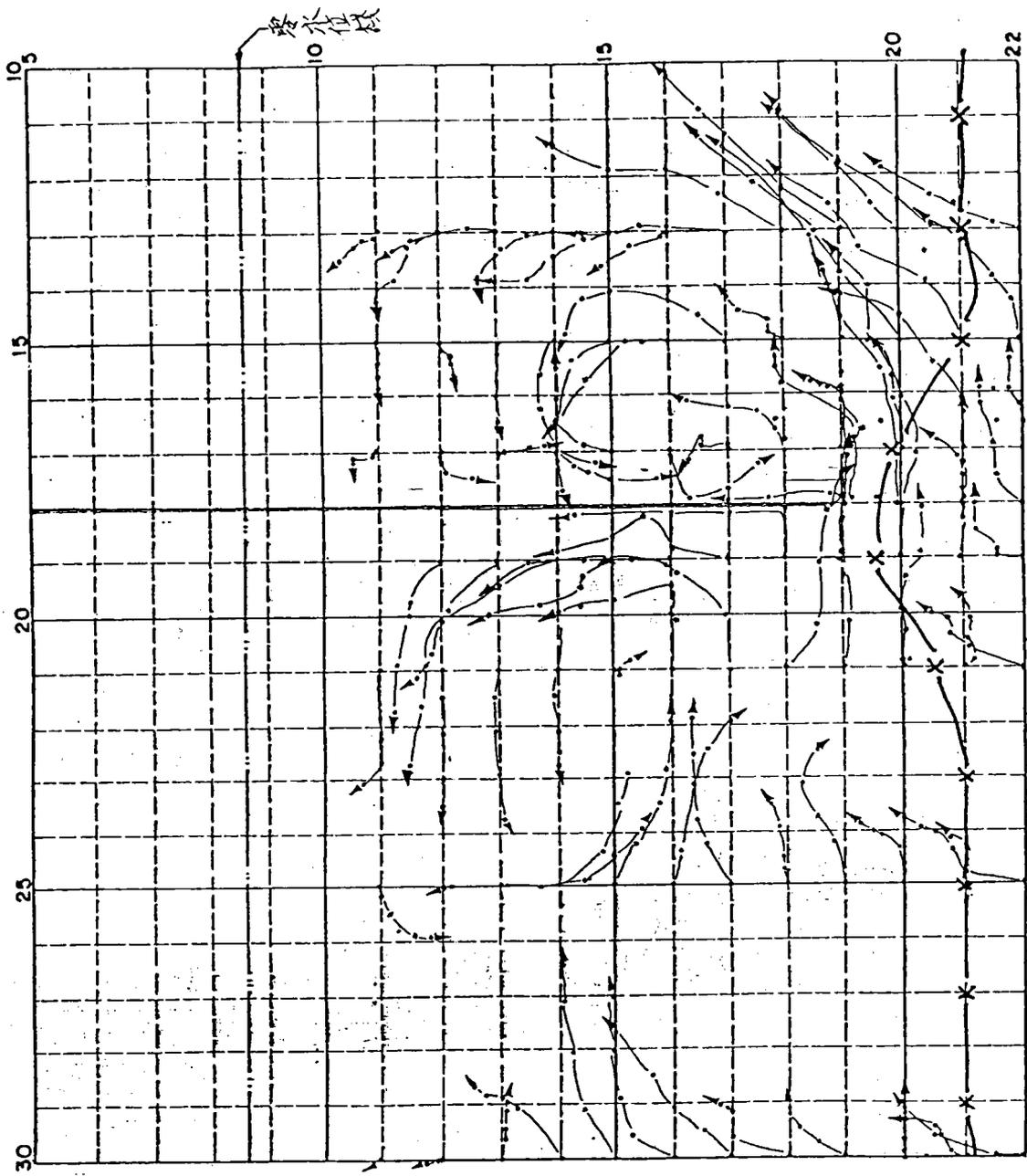
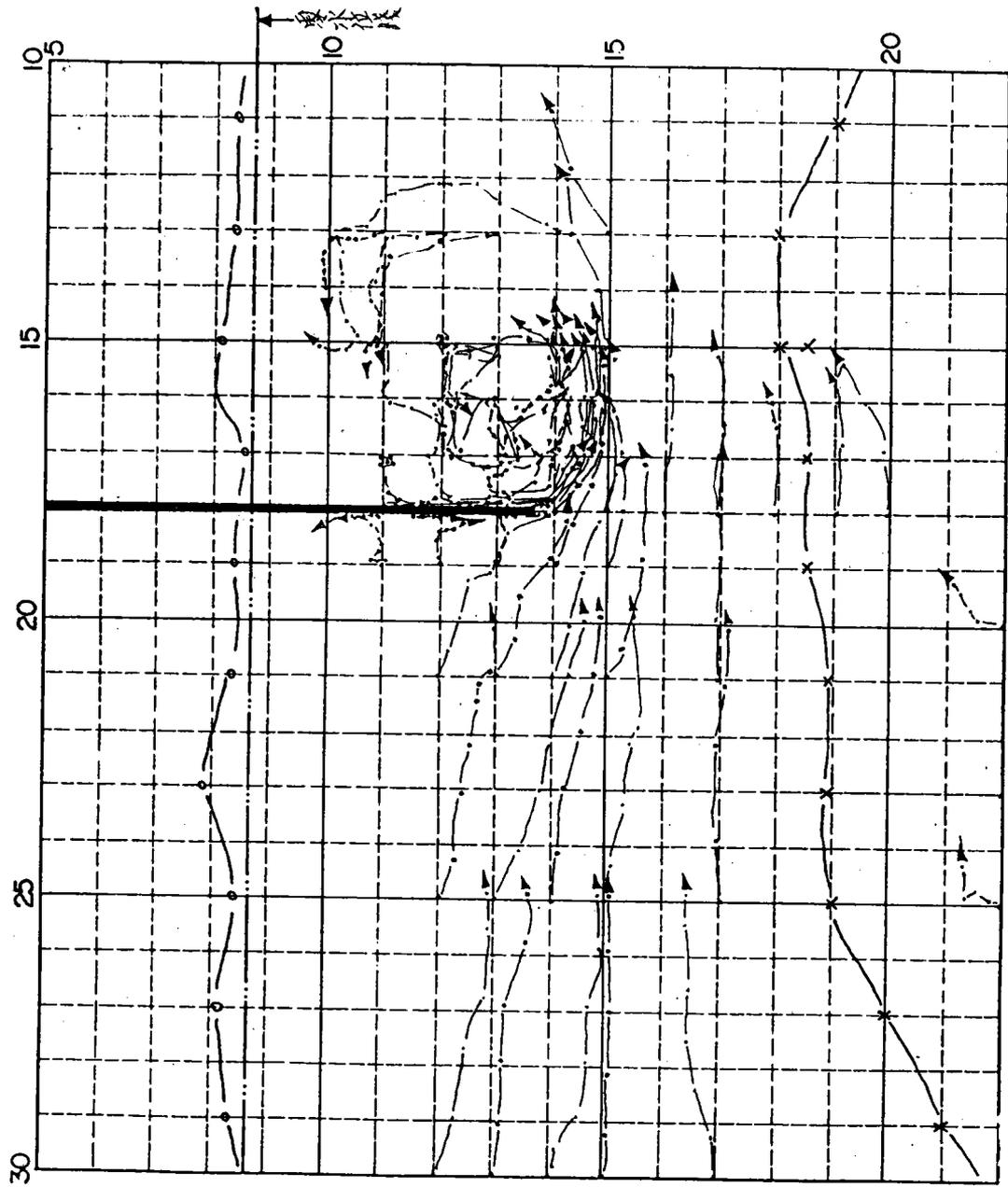


圖 6-39 台中海岸流沉模型試驗記錄紙



編號：1-3  
 入射角：30°  
 深海波高：6.1 cm  
 週期：1.0 sec  
 碎波波高：7.3 cm  
 偏心距刻劃：3.0  
 雙速比刻劃：1.0  
 堤長：10 m  
 橢圓地形：  
 ○ 湖上線  
 × 碎波綫  
 記錄者：  
 日期：72. 7. 5

圖 6-42 台中海岸沉流模型試驗記錄紙



編號：3-1  
 入射角：60°  
 深海波高：6.2 cm  
 週期：0.8 sec  
 碎波波高：7.3 cm  
 偏心距刻劃：2.0  
 雙遠比刻劃：0.8  
 堤頭長：5 m  
 ○ 潮上綫  
 × 碎波綫  
 記錄者：  
 日期：72.4.4

圖 6-43 台中海岸沉積模型試驗記錄紙

編號：3-1  
 入射角：45°  
 深海波高：5.8 cm  
 週期：0.8 sec  
 碎波波高：6.9 cm  
 偏心距刻劃：2.0  
 變速比刻劃：0.8  
 堤頭長：5 m

○ 湖上綫  
 × 碎波綫  
 記錄者：  
 日期：

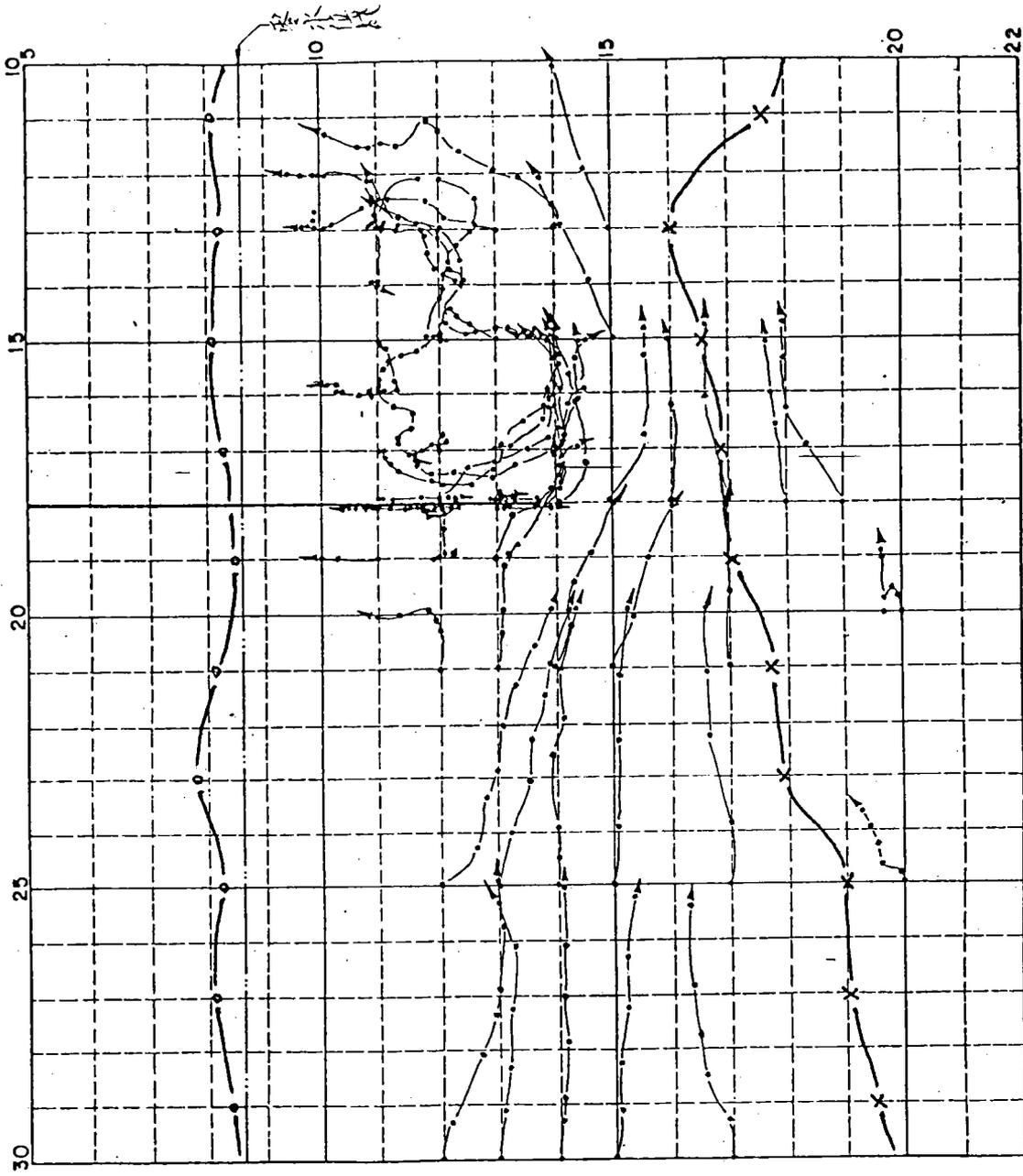
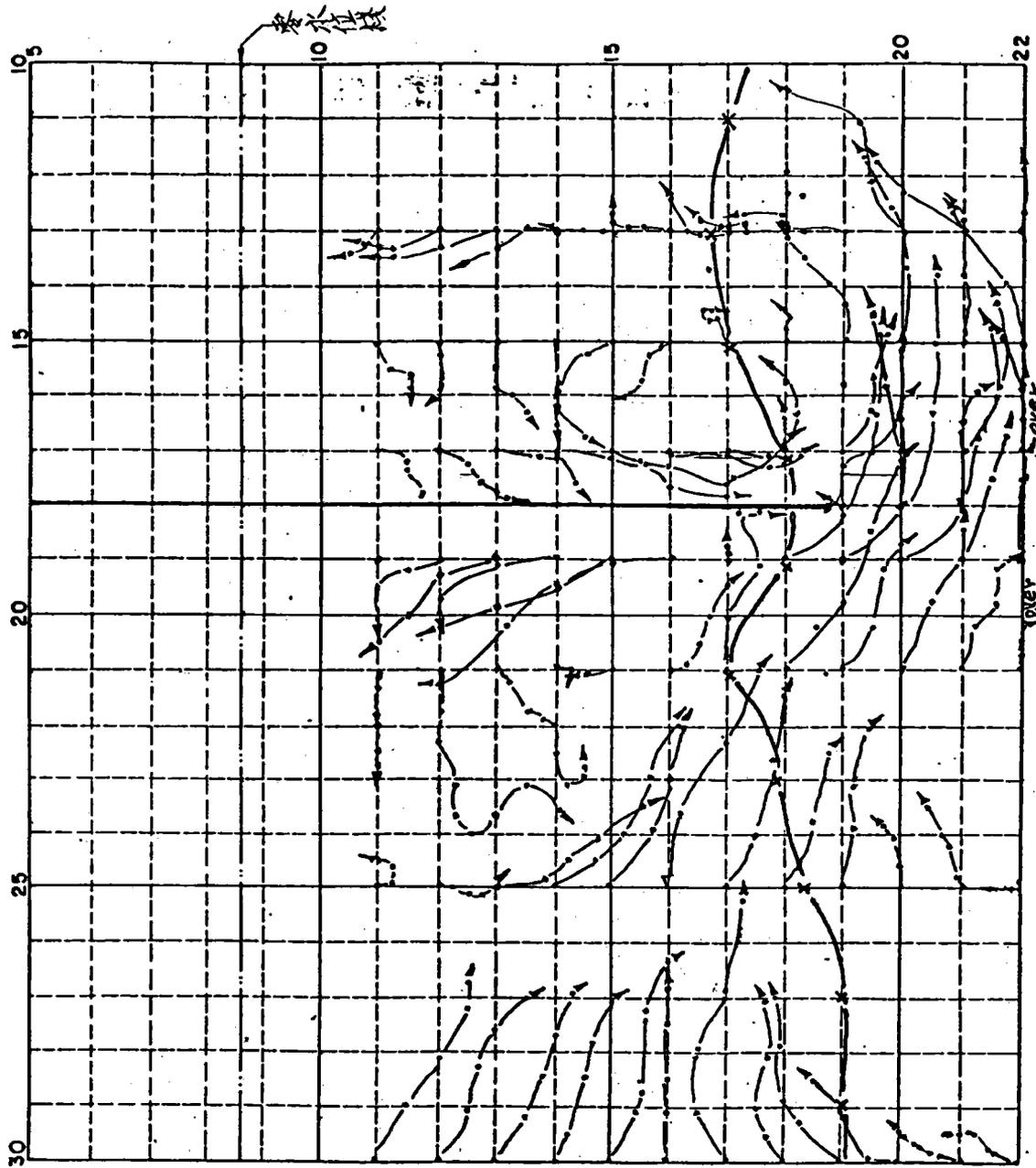
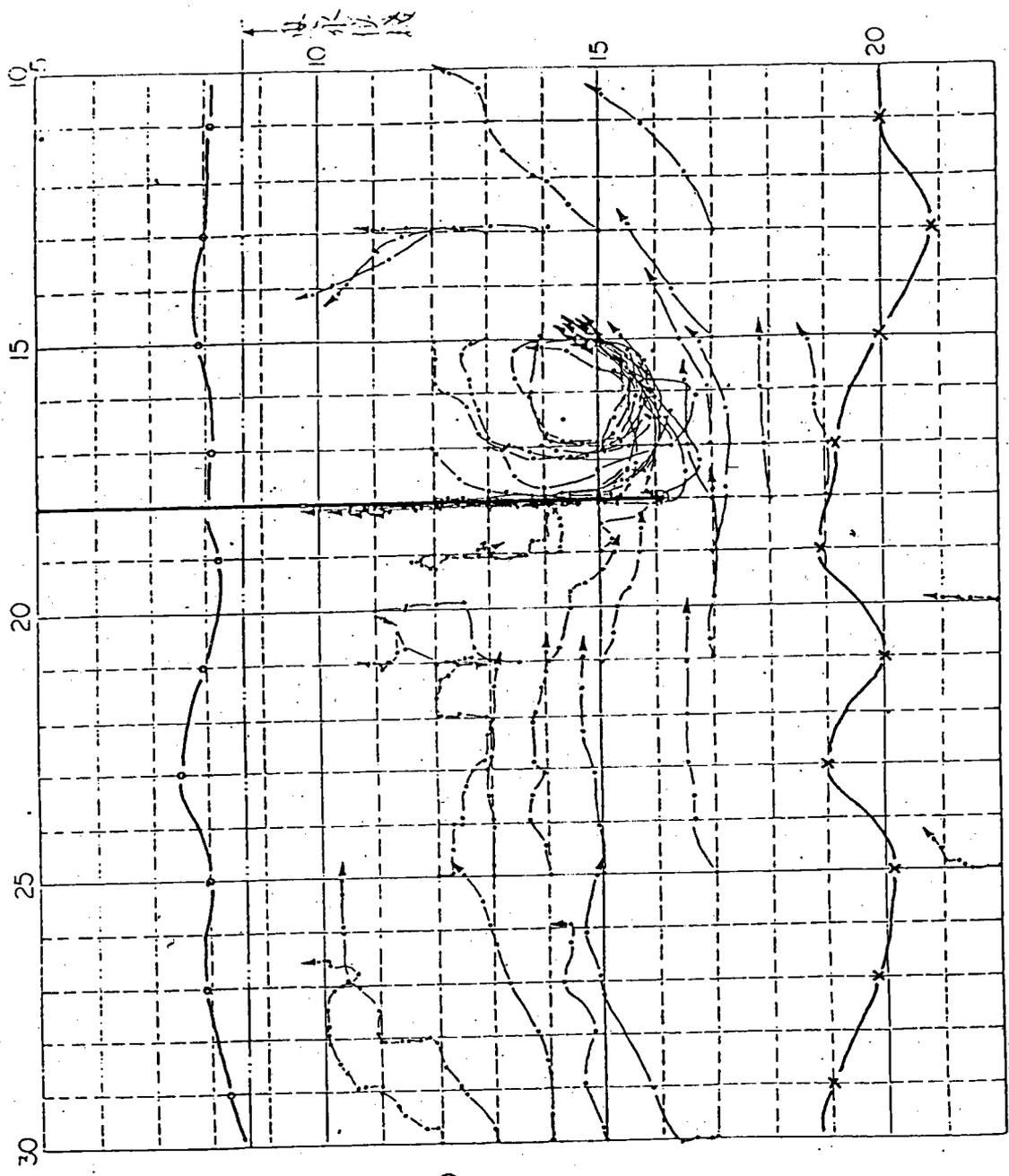


圖 6-46 台中海岸流況模型試驗記錄紙



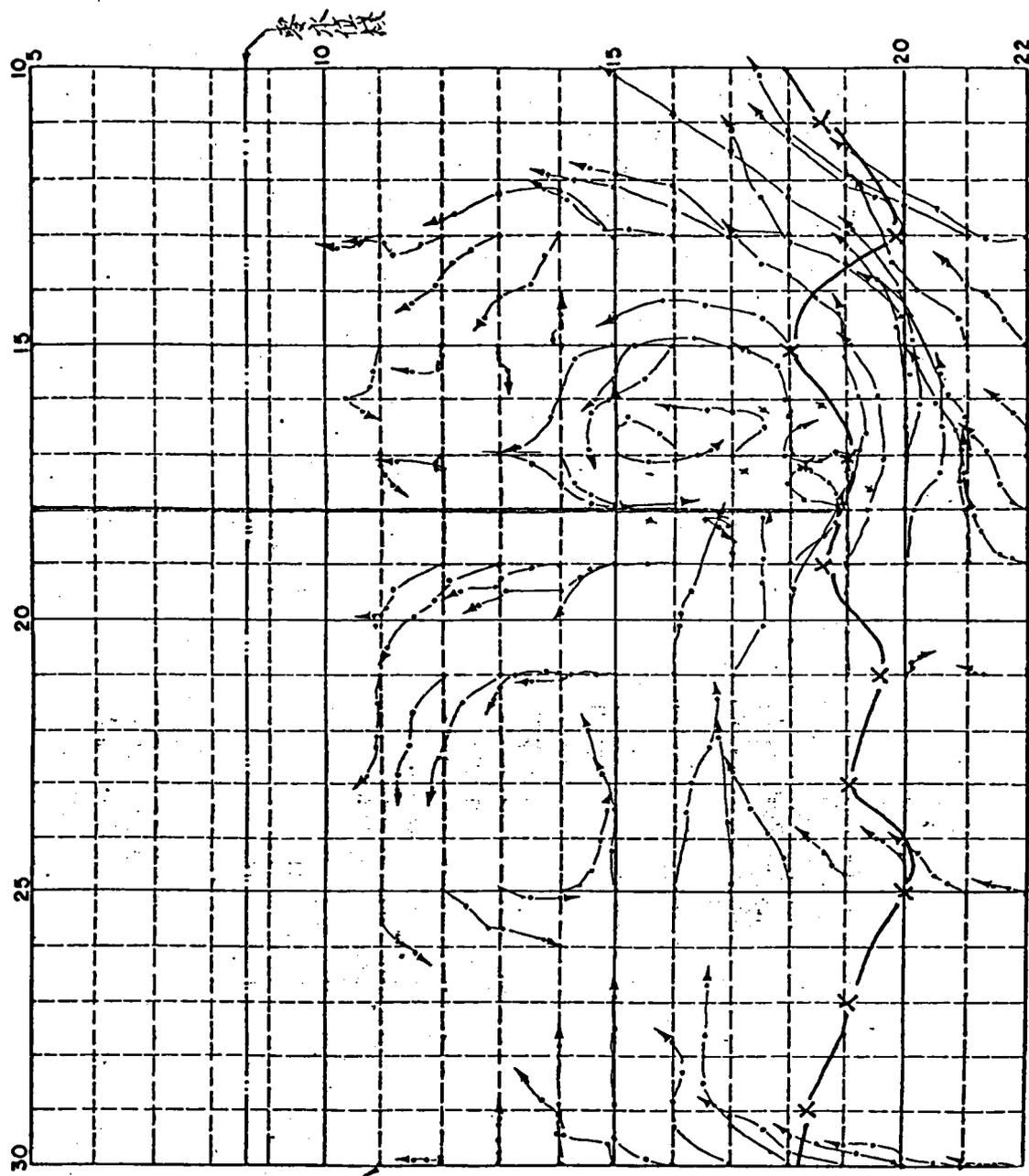
編號: 3-1  
 入射角:  $45^\circ$   
 深海波高: 5.8 cm  
 週期: 0.8 sec  
 碎波波高: 6.6 cm  
 偏心距刻劃: 2  
 變速比刻劃: 0.8  
 堤頭長: 10 m  
 堤長:  
 橢圓地形:  
 ○ 湖上綫:  
 × 碎波綫:  
 記錄者:  
 日期: 72. 6. 27

圖 6-47 台中海岸沉積模型試驗記錄紙



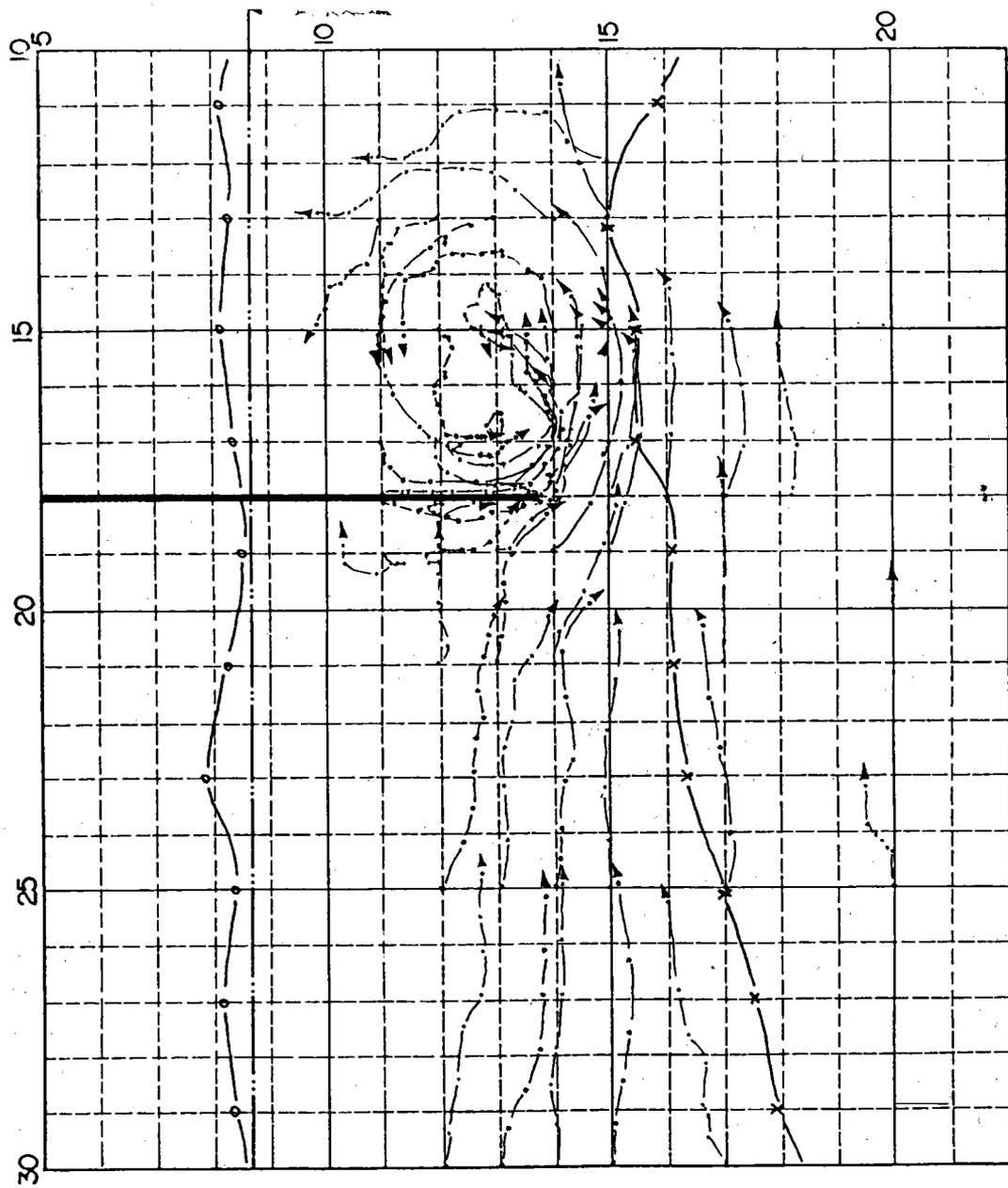
編號：3-1  
 入射角：30°  
 深海波高：6.3 cm  
 週期：0.8 sec  
 碎波波高：8.1 cm  
 偏心距刻劃：2  
 變速比刻劃：0.8  
 堤長：(18.16.2)  
 橢圓地形：7.5 m  
 ○ 潮上綫  
 × 碎波綫  
 記錄者：  
 日期：72. 3. 18

圖 6-48 台中海岸沉積槽型試驗記錄紙



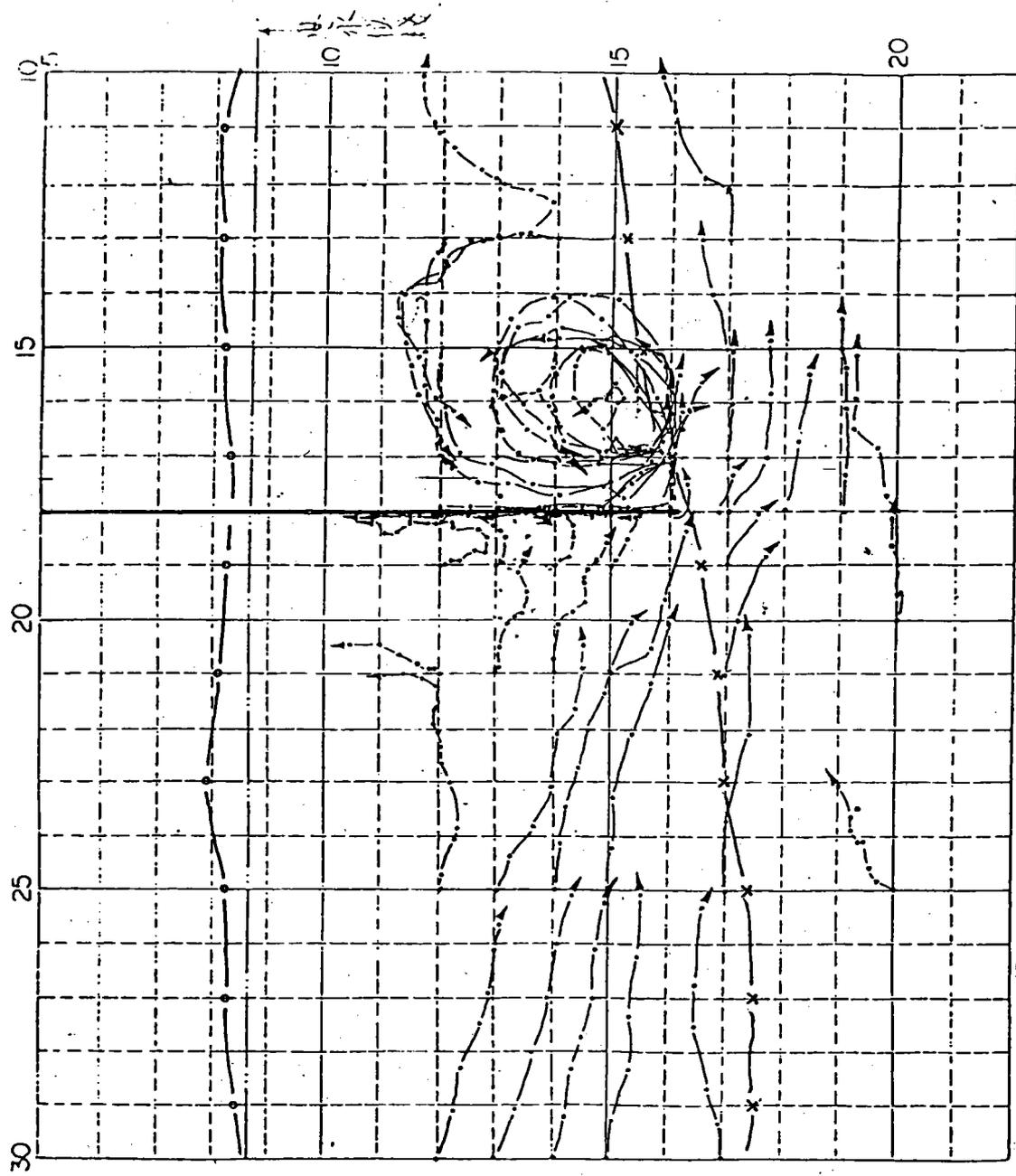
編號：3-1  
 入射角：30°  
 深海波高：6.2 cm  
 週期：0.8 sec  
 碎波波高：7.4 cm  
 偏心距刻劃：2.0  
 變速比刻劃：0.8  
 堤頭：長：10 m  
 ○ 湖上錢  
 × 碎波錢  
 記錄者：  
 日期：72.7.5

圖 6-49 台中海岸流況模型試驗記錄紙



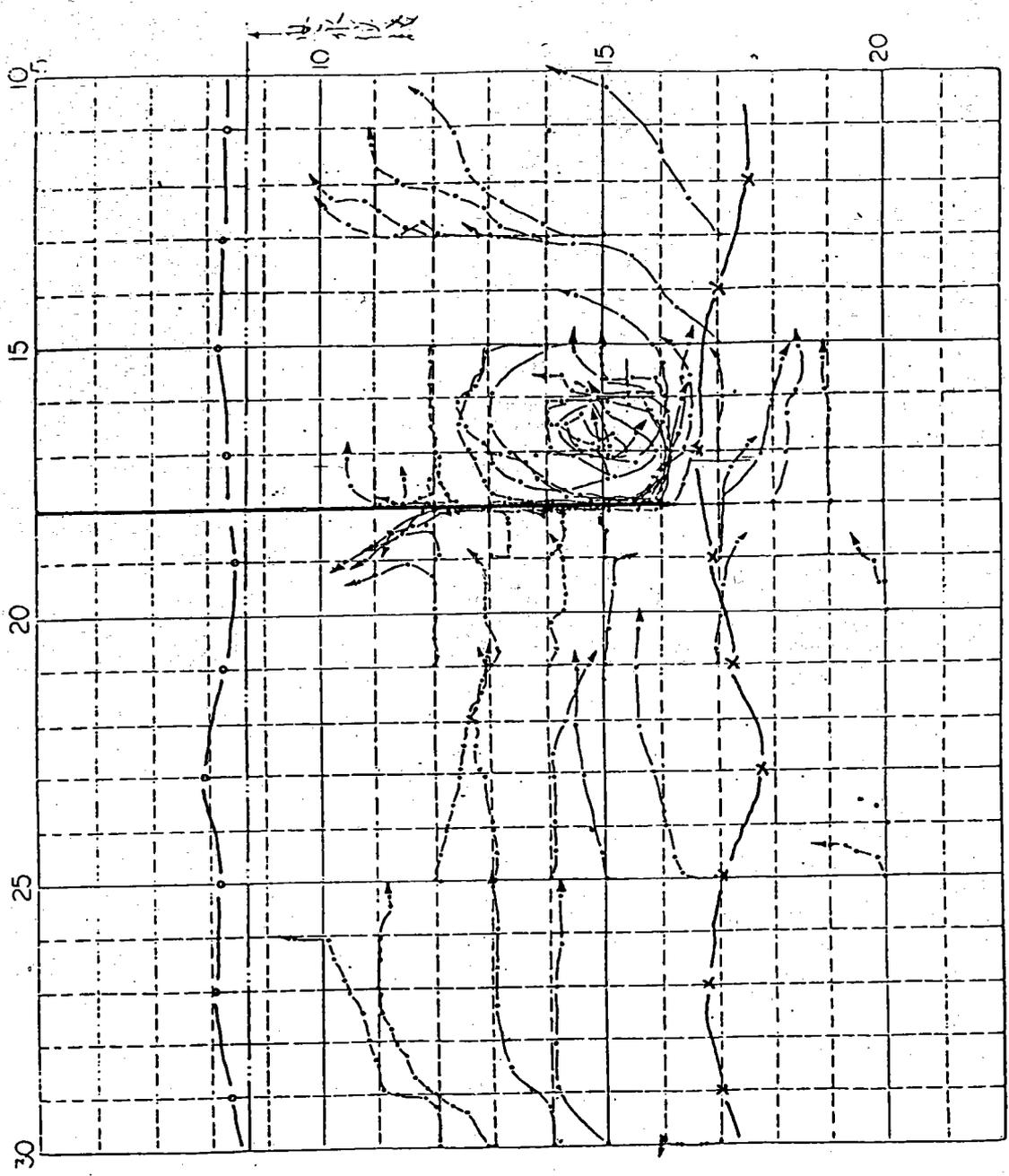
編 號：3-2  
 入 射 角：60°  
 深 海 波 高：4.0 cm  
 週 期：0.8 sec  
 碎 波 波 高：5.2 cm  
 偏 心 距 刻 劃：1.5  
 雙 速 比 刻 劃：0.8  
 堤 頭：  
 堤 長：5 m  
 構 圓 地 形：  
 ○ 湖 上 綫：  
 × 碎 波 綫：  
 記 錄 者：  
 日 期：72.4.11

圖 6-50 台中海岸流況模型試驗記錄紙



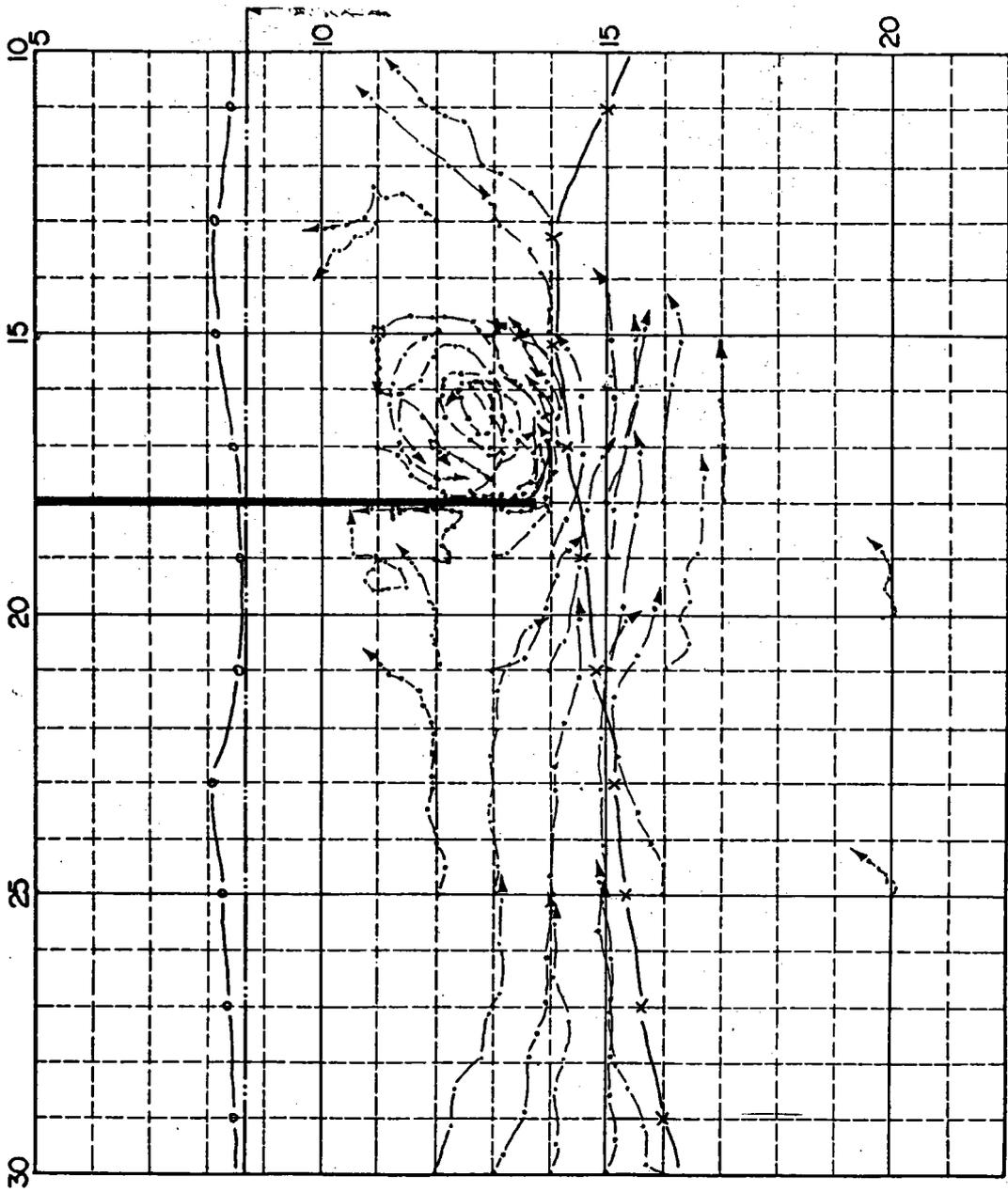
編號：3-2  
 入射角：60°  
 深海波高：3.8 cm  
 週期：0.8 sec  
 碎波波高：4.9 cm  
 偏心距刻劃：1.5  
 變速比刻劃：0.8  
 堤長：( 18.16.2 )  
 橢圓地形：7.5 m  
 ○ 湖上綫  
 × 碎波綫  
 記錄者：  
 日期：72. 3. 24

圖6-51 台中海岸流況模型試驗記錄紙



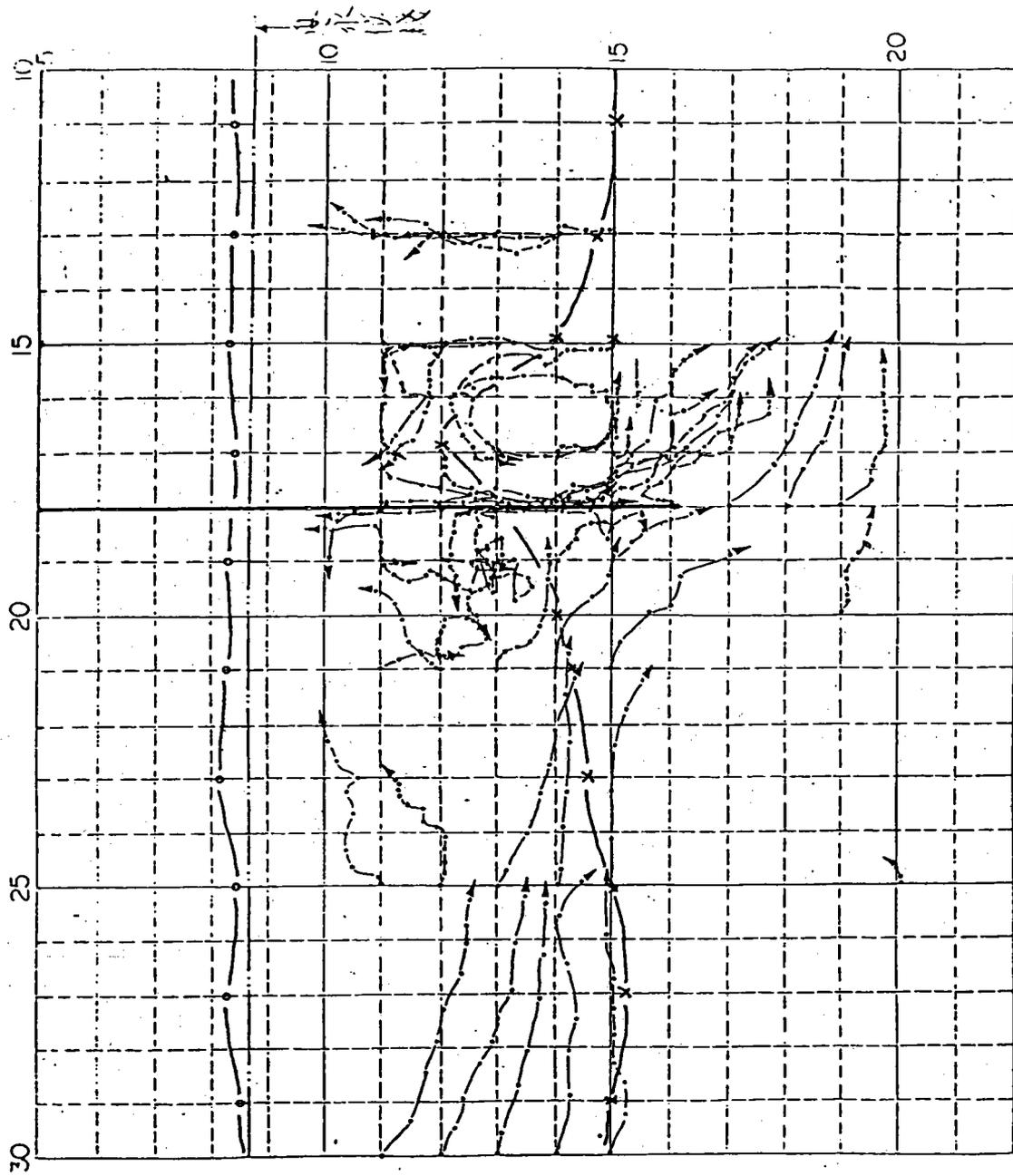
編 號：3-2  
 入 射 角：30°  
 深 海 波 高：3.8 cm  
 週 期：0.8 sec  
 碎 波 波 高：4.7 cm  
 偏 心 距 刻 劃：1.5  
 變 速 比 刻 劃：0.8  
 堤 頭：(18.16.2)  
 堤 長：7.5 m  
 ○ 湖 上 錢：  
 × 碎 波 錢：  
 記 錄 者：  
 日 期：72.3.18

圖 6-52 台中海岸流況模型試驗記錄紙



編 號：3-3  
 入 射 角：60°  
 深 海 波 高：2.8 cm  
 週 期：0.8 sec  
 碎 波 波 高：4.6 cm  
 偏 心 距 刻 劃：1.0  
 變 速 比 刻 劃：0.8  
 堤 頭：  
 堤 長：5 m  
 橢 圓 地 形：  
 ○ 溯 上 綫：  
 × 碎 波 綫：  
 記 錄 者：  
 日 期：72. 4. 11

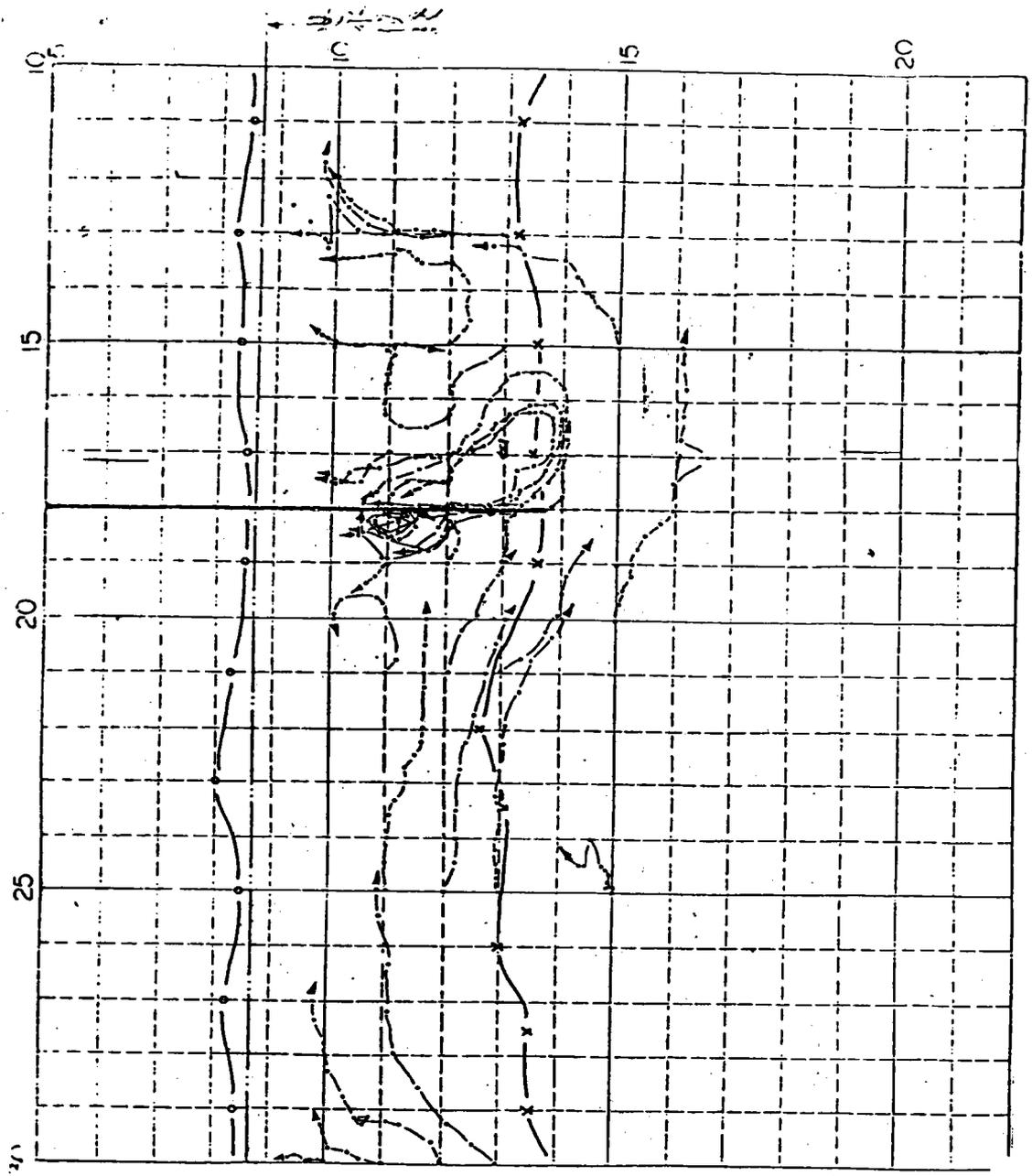
圖 6-53 台中海岸流沉模型試驗記錄紙



編號：3-3  
 入射角：60°  
 深海波高：1.8 cm  
 週期：0.8 sec  
 碎波波高：3.2 cm  
 偏心距刻劃：1.0  
 雙速比刻劃：0.8  
 堤頭：( 18.16.2 )  
 堤長：7.5 =

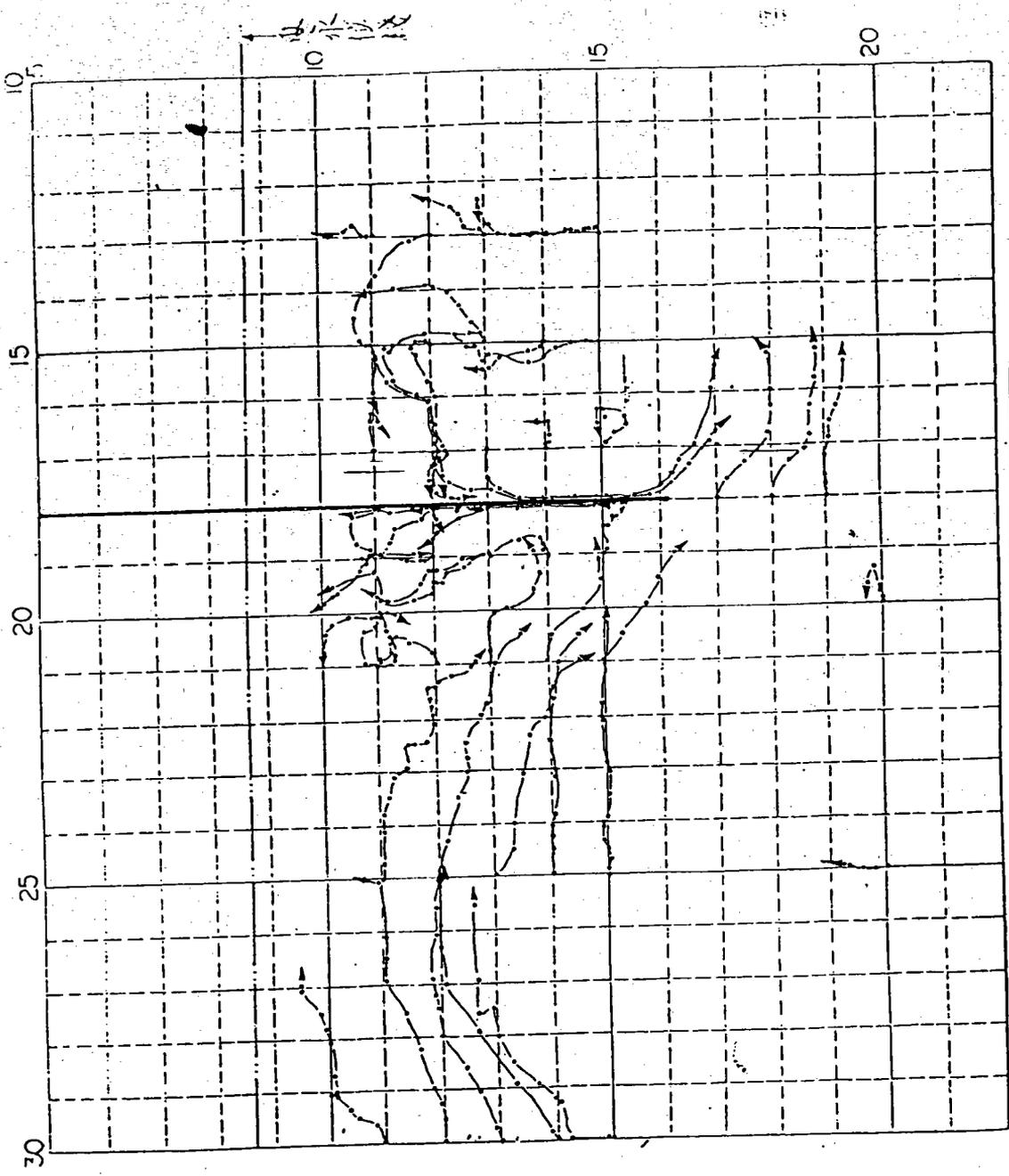
○ 湖上綫  
 × 碎波綫  
 記錄者：  
 日期：72. 3. 21

圖 6-54 台中海岸流況模型試驗記錄紙



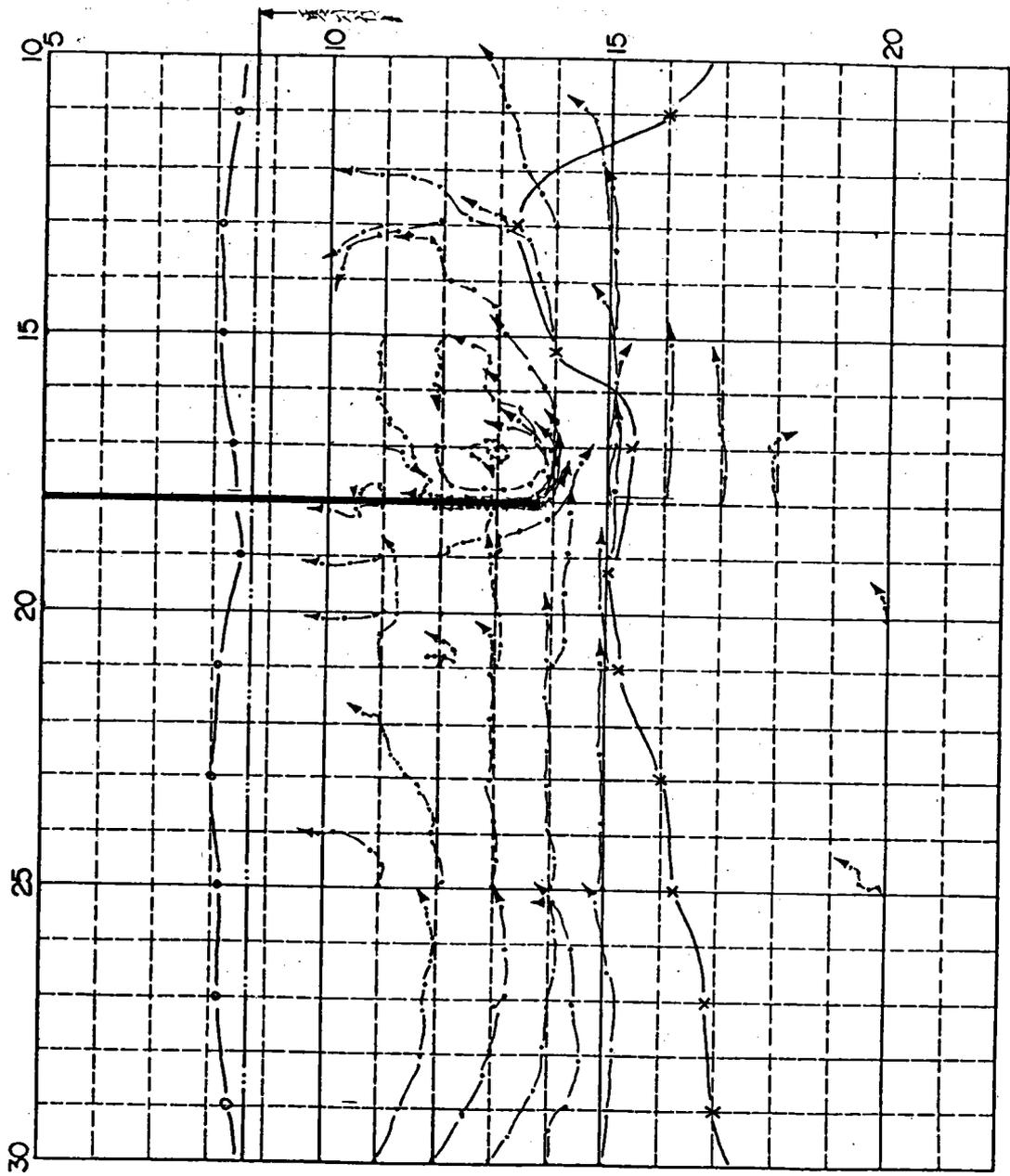
編號：3-3  
 入射角：30°  
 深海波高：1.0 cm  
 週期：0.8 sec  
 碎海波高：2.8 cm  
 偏心距刻劃：1.0  
 變速比刻劃：0.8  
 堤頭：( 18.13.7 )  
 堤長：5 m  
 橢圓地形：  
 ○ 湖上綫：  
 × 碎波綫：  
 記錄者：  
 日期：72. 3. 3

圖 6-55 台中海岸流沉模型試驗記錄紙



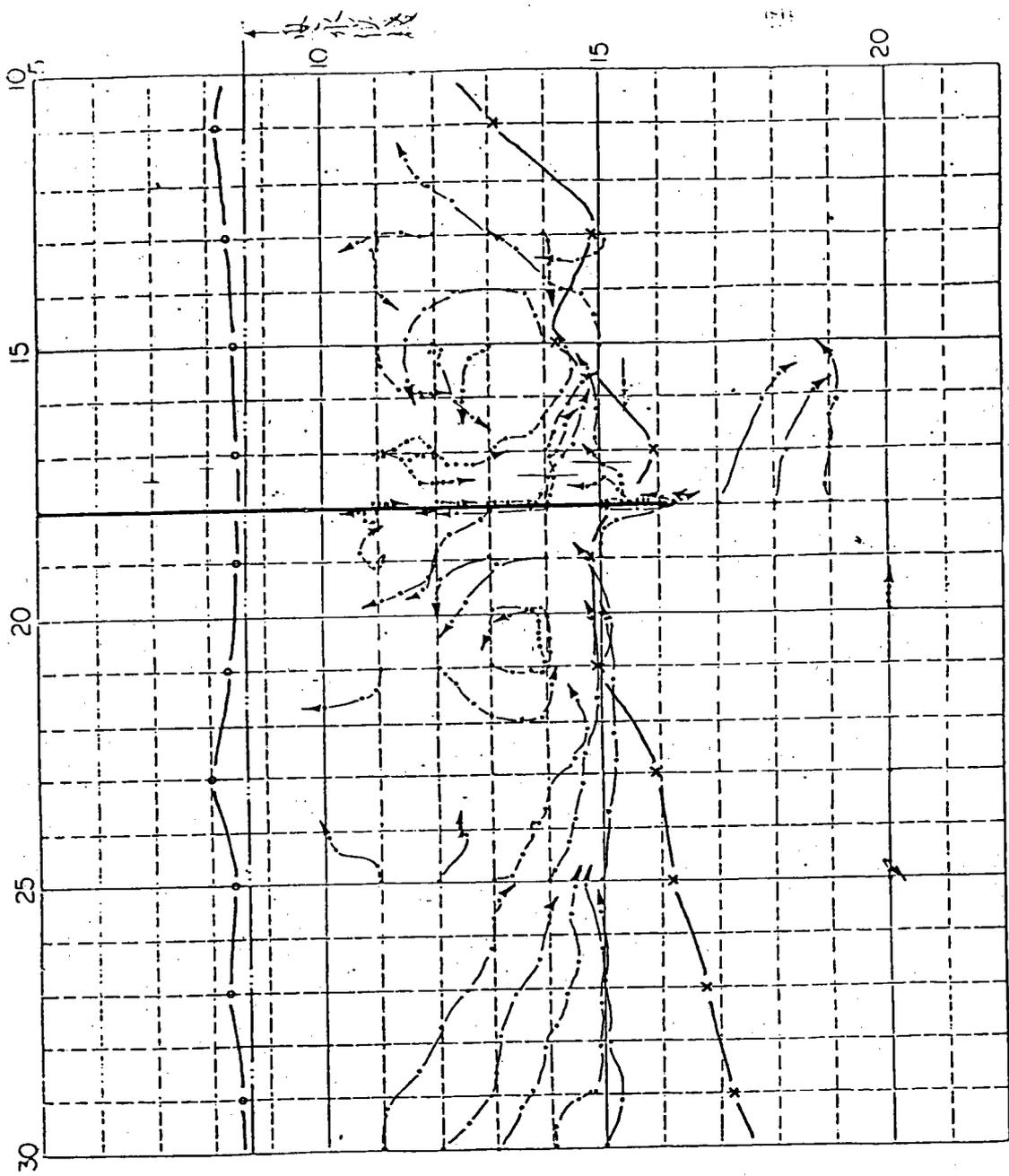
編號：3-3  
 入射角：30°  
 深海波高：1.8 cm  
 週期：0.8 sec  
 碎波波高：3.0 cm  
 偏心距刻劃：1.0  
 雙遠比刻劃：0.8  
 堤頭：( 18.16.2 )  
 堤長：7.5 m  
 ○ 潮上綫：  
 × 碎波綫：  
 記錄者：  
 日期：72. 3. 19

圖 6-56 台中海岸流況模型試驗記錄紙



編號：4-1  
 入射角：60°  
 深海波高：3.0 cm  
 週期：1.2 sec  
 碎波波高：4.3 cm  
 偏心距刻劃：2.5  
 變速比刻劃：1.2  
 堤頭：  
 堤長：5 m  
 橢圓地形：  
 ○ 潮上綫：  
 × 碎波綫：  
 記錄者：  
 日期：72. 4. 12

圖6-57 台中海岸流沉模型試驗記錄紙



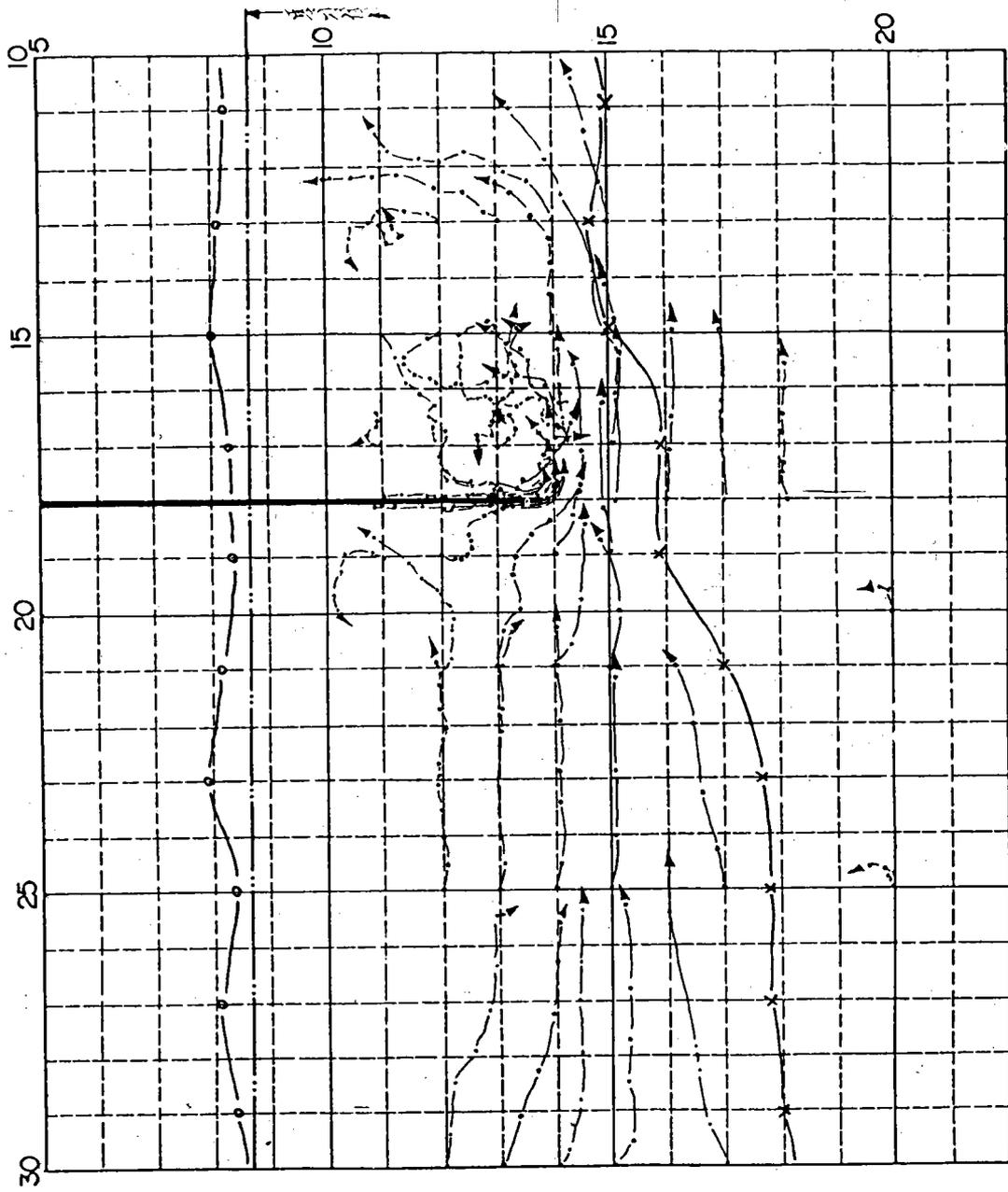
編號：4-1  
 入射角：60°  
 深海波高：3.2 cm  
 週期：1.2 sec  
 碎海波高：4.4 cm  
 偏心距刻劃：2.5  
 變速比刻劃：1.2  
 堤頭：( 18.16.2 )  
 堤長：7.5 m  
 ○ 湖上綫：  
 × 碎波綫：  
 記錄者：  
 日期：72. 3. 25

圖 6-58 台中海岸流況模型試驗記錄紙



編號: 4-1  
 入射角:  $30^\circ$   
 深海波高: 3.5 cm  
 週期: 1.2 sec  
 碎波波高: 4.3 cm  
 偏心距刻劃: 2.5  
 變速比刻劃: 1.2  
 堤頭: (18.16.2) over  
 堤長: 7.5 m  
 橢圓地形:  
 ○ 湖上綫:  
 × 碎波綫:  
 記錄者:  
 日期: 72. 3. 16

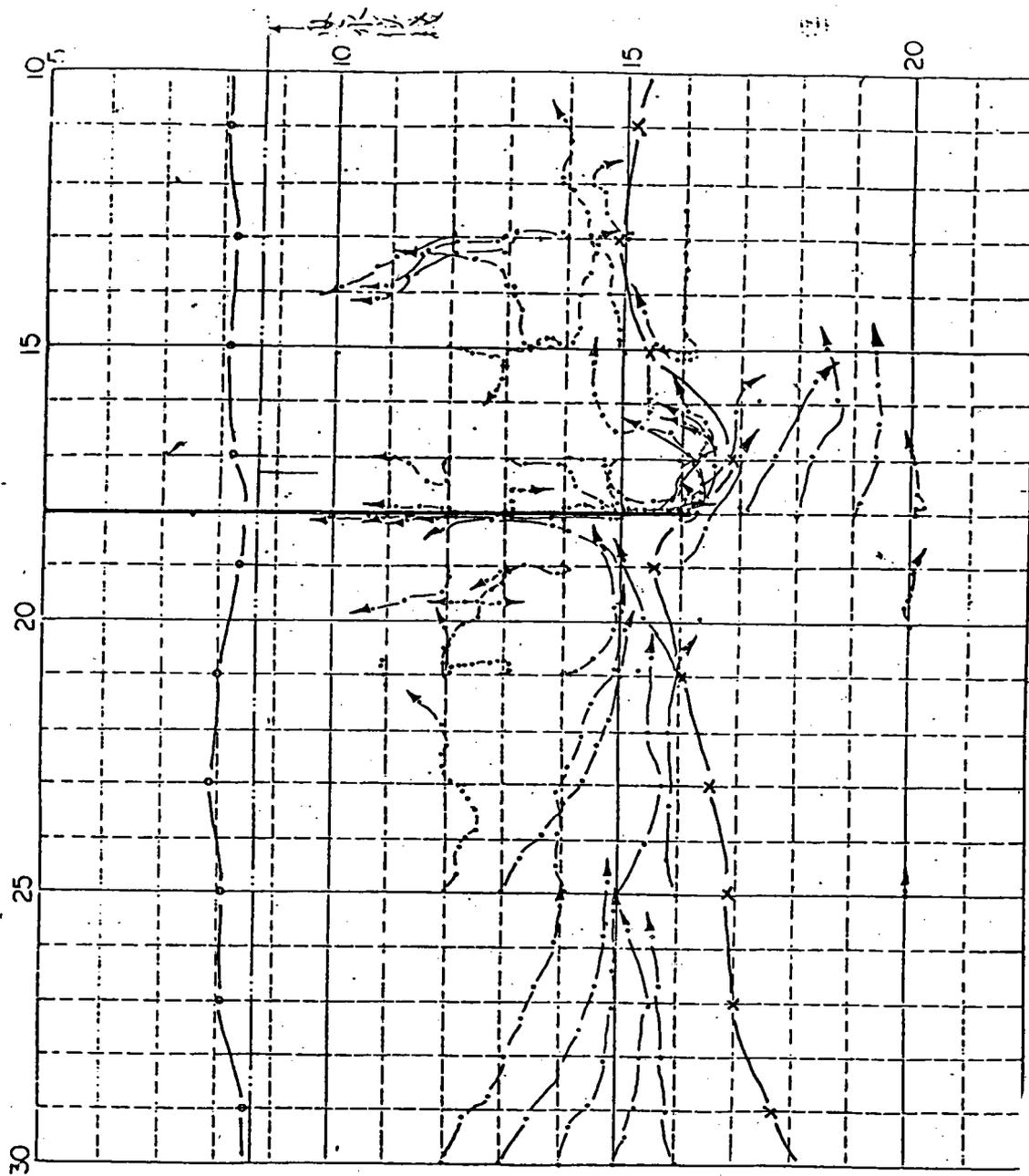
圖 6-59 台中海岸流況模型試驗記錄紙



編號：4-2  
 入射角：60°  
 深海波高：3.9 cm  
 週期：1.2 sec  
 碎波波高：5.7 cm  
 偏心距刻劃：3  
 變速比刻劃：1.2  
 堤長：5 m  
 堤頭：( 18.13.7 )

○ 湖上綫：  
 × 碎波綫：  
 記錄者：  
 日期：72. 3. 31

圖 6-60 台中海岸流況模型試驗記錄紙



編號：4-2  
 入射角：60°  
 深海波高：3.8 cm  
 週期：1.2 sec  
 碎波波高：4.7 cm  
 偏心距刻劃：3.0  
 變速比刻劃：1.2  
 堤長：7.5 m  
 ○ 湖上線：  
 × 碎波線：  
 記錄者：  
 日期：72. 3. 26

圖 6-61 台中海岸流沉模型試驗記錄紙

編號：4-3  
 入射角：45°  
 深海波高：5.6 cm  
 週期：1.2 sec  
 碎波波高：6.8 cm  
 偏心距刻劃：3.5  
 變速比刻劃：1.2  
 堤頭：( 18.13.7 )  
 堤長：5 m  
 橢圓地形：

○ 湖上錢：  
 × 碎波錢：  
 記錄者：  
 日期：72. 4. 9



圖 6-62 台中海岸流況模型試驗記錄紙

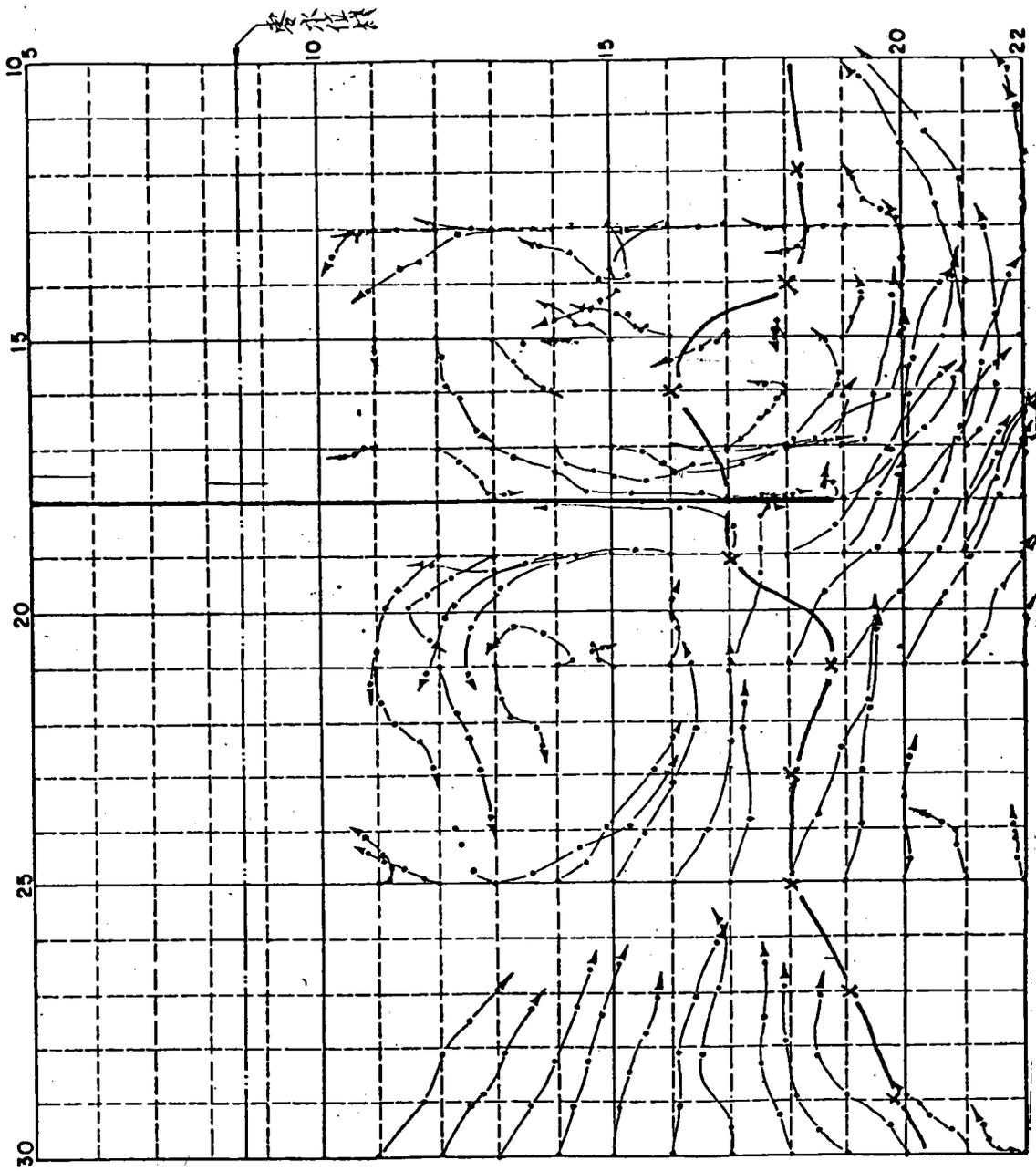
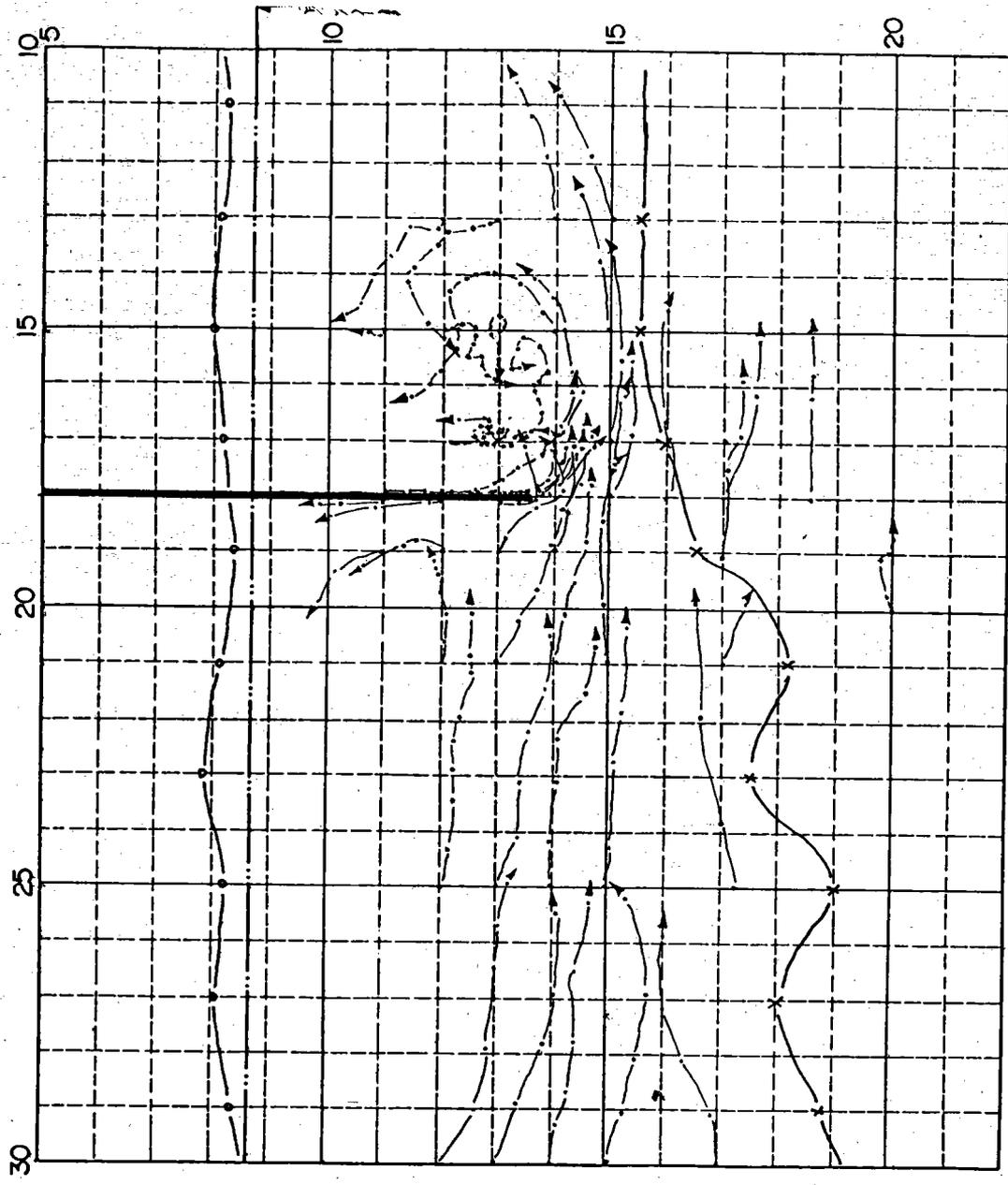


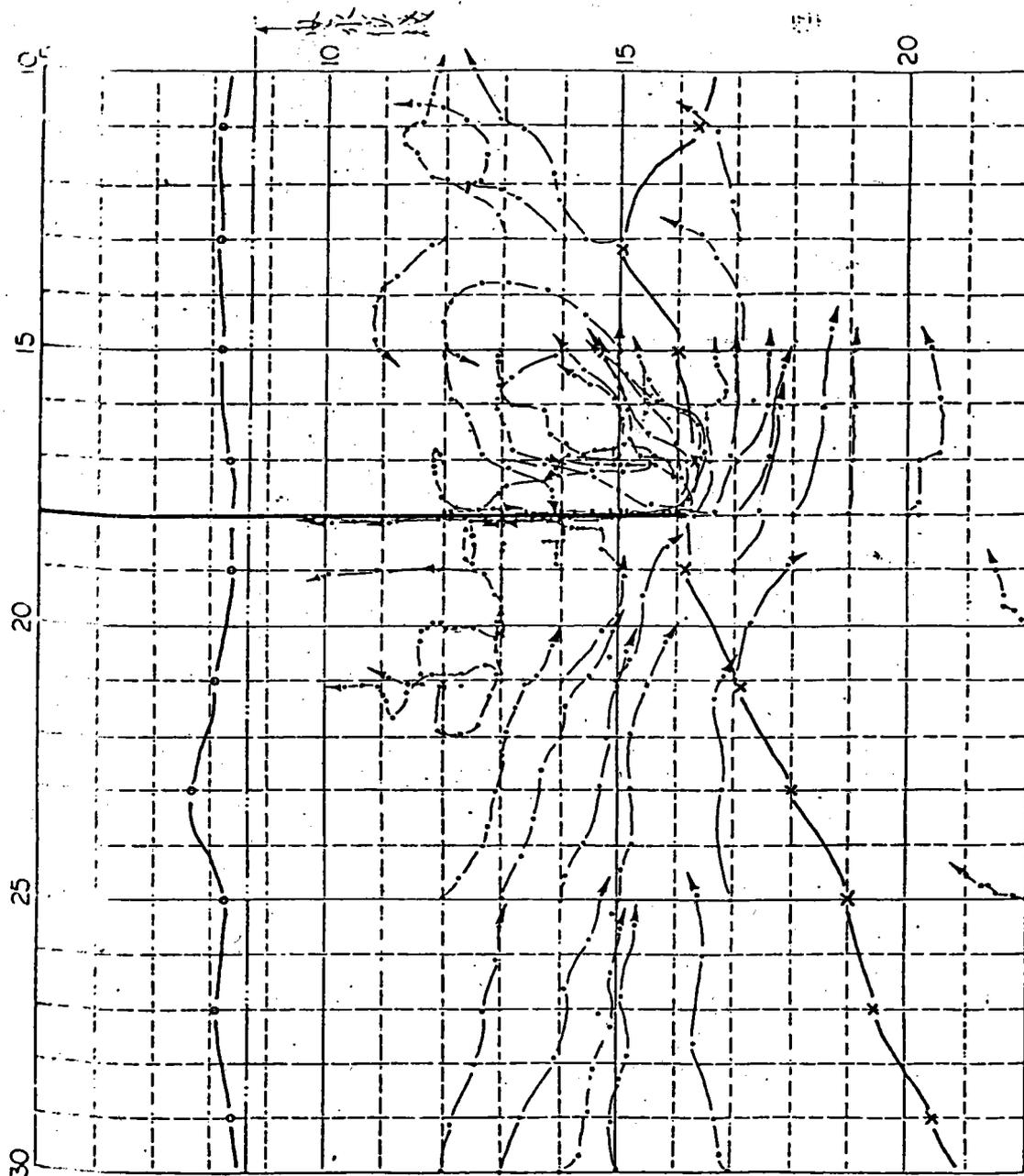
圖 6-63 台中海岸流沉模型試驗記錄紙

編 號：4-3  
 入 射 角：45°  
 深 海 波 高：6.0 cm  
 週 期：1.2 sec  
 碎 波 波 高：7.3 cm  
 偏 心 距 刻 劃：3.5  
 變 速 比 刻 劃：1.2  
 堤 長：10 m  
 精 圓 地 形：  
 ○ 潮 上 綫：  
 × 碎 波 綫：  
 記 錄 者：  
 日 期：72. 6. 28



編號：4-3  
 入射角：60°  
 深海波高：5.1 cm  
 週期：1.2 sec  
 碎波波高：7.2 cm  
 偏心距刻劃：3.5  
 雙速比刻劃：1.2  
 堤頭：長：5 m  
 ○ 湖上錢  
 × 碎波錢  
 記錄者：  
 日期：72. 3. 31

圖 6-64 台中海岸流沉模型試驗記錄紙



編號：4-3  
 入射角： $60^\circ$   
 深海波高：5.3 cm  
 週期：1.2 sec  
 碎波波高：7.2 cm  
 偏心距刻劃：3.5  
 雙速比刻劃：1.2  
 堤頭長：7.5 m  
 堤長：  
 橢圓地形：  
 ○ 溯上綫：  
 × 碎波綫：  
 記錄者：  
 日期：72. 3. 28

圖 6-65 台中海岸沉流模型試驗記錄紙

十二、附表

表 2-1 台中海岸附近海氣象觀測記錄情形

| 資<br>名      | 料<br>稱 | 測<br>名 | 站<br>稱 | 測<br>位 | 站<br>置 | 測站平均<br>水深(公尺) | 儀器平均<br>水深(公尺) | 記 錄 期 間                                    |                                       | 記 錄 情 形 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|----------------|--|---------------------------------------|---------|
|             |        |        |        |        |        |                |                | 冬  | 夏                                     |         |
| 海<br>流      |        | B      |        | 北堤右側   |        | 27             | 7              | 70.11.5.12-11.13.13<br>70.11.19.17-12.9.11 | 71.4.30.14-5.2.22<br>71.5.3.18-5.17.6 |         |
|             |        | C      |        | "      |        | 29             | 7              | 70.11.19.17-12.4.8                         | 71.4.29.14-5.13.10                    |         |
|             |        | D      |        | "      |        | 9              | 3              | 70.11.5.13-11.16.11                        |                                       |         |
|             |        | D1     |        | "      |        | 9              | 3              |  |                                       | 記錄不佳    |
|             |        | D2     |        | "      |        | 8              | 3              | 72.3.21.18-4.3.8                           |                                       |         |
|             |        | D3     |        | "      |        | 7.5            | 3              | 72.3.21.18-4.1.12                          |                                       |         |
|             |        | D4     |        | "      |        | 7              | 3              |  |                                       | 儀器失落    |
|             |        | N1     |        | "      |        | 11             | 3              |  | 71.5.5.11-5.5.15                      |         |
|             |        | N2     |        | "      |        | 20             | 4              |  | 71.5.5.11-5.5.16                      |         |
|             |        | N3     |        | "      |        | 26             | 4              |  | 71.5.5.12-5.5.16                      |         |
|             |        | S1     |        | 南堤左側   |        | 14             | 4              |  | 71.5.10.12-5.11.10                    |         |
|             |        | S2     |        | "      |        | 13             | 4              |  | 71.5.10.14-5.11.14                    |         |
|             |        | S3     |        | "      |        | 7.5            | 3              |  | 71.5.10.15-5.11.15                    |         |
|             |        | W1     |        | 南堤外海   |        | 50             | 5              |  | 71.8.20.10-8.21.11                    |         |
| 波<br>風<br>潮 |        | A      |        | 北堤外海   |        | 22             |                | 70.11.16-70.12.5                           |                                       |         |
|             |        | G      |        | 北堤右側   |        |                | 儀高24尺          | 70.11 - 72.8                               |                                       |         |
|             |        | T      |        | 南堤內側   |        |                |                | 70.11 - 72.8                               |                                       |         |

表 6-1 沿岸流試驗資料

| 編號 | $H_b \times 10^{-2}$ | $\theta$ | T   | $Q_1 \times 10^{-2}$ | $\Delta Q_1 \times 10^{-3}$ | $Q_2 \times 10^{-2}$ | $\Delta Q_2 \times 10^{-3}$ | $Q_3 \times 10^{-2}$ | D  | B'   | $\theta_{b1}$ | $\theta_{b2}$ | $A_1 \times 10^{-1}$ | $A_2 \times 10^{-1}$ |
|----|----------------------|----------|-----|----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|----|------|---------------|---------------|----------------------|----------------------|
| 1  | 7.7                  | 60°      | 1.0 | 6.73                 | 6.8                         | 7.41                 | 5.0                         | 7.91                 | 10 | 1.31 | 20°           | 16°           | 7.27                 | 6.8                  |
| 2  | 5.7                  | 60°      | 1.0 | 4.44                 | 8.0                         | 5.24                 | 8.0                         | 6.04                 | 10 | 1.58 | 35°           | 30°           | 8.12                 | 10.2                 |
| 3  | 4.8                  | 60°      | 1.0 | 3.76                 | 4.4                         | 4.20                 | 7.4                         | 4.94                 | 10 | 1.88 | 26°           | 40°           | 9.04                 | 8.84                 |
| 4  | 5.8                  | 30°      | 1.0 | 2.88                 | 7.25                        | 3.61                 | 7.0                         | 4.31                 | 10 | 1.70 | 50°           | 43°           | 7.23                 | 8.93                 |
| 5  | 5.8                  | 60°      | 1.2 | 4.49                 | 9.45                        | 5.44                 | 3.45                        | 5.78                 | 10 | 1.85 | 40°           | 20°           | 9.28                 | 7.81                 |
| 6  | 7.3                  | 60°      | 1.2 | 5.08                 | 5.85                        | 5.67                 | 5.5                         | 6.22                 | 10 | 1.32 | 20°           | 20°           | 8.36                 | 7.86                 |
| 7  | 7.4                  | 45°      | 1.2 | 4.96                 | 5.1                         | 5.47                 | 4.2                         | 5.89                 | 10 | 1.26 | 28°           | 22°           | 5.95                 | 6.44                 |
| 8  | 5.8                  | 60°      | 0.8 | 4.15                 | 3.65                        | 4.52                 | 3.75                        | 4.89                 | 9  | 1.30 | 16°           | 14°           | 7.0                  | 8.26                 |
| 9  | 6.5                  | 45°      | 0.8 | 4.66                 | 7.2                         | 5.38                 | 6.7                         | 6.05                 | 10 | 1.25 | 30°           | 25°           | 6.68                 | 8.27                 |

$H_b$  : 碎波波高 (m)

$\theta$  : 入射角度 (波峯線與海岸線夾角)

T : 入射波週期 (sec)

$Q_1, Q_2, Q_3$  : 斷面 1, 2, 3 流量 ( $m^3 / sec$ )

$\Delta Q_1, \Delta Q_2$  : 斷面 1, 2 流量增量 ( $m^3 / sec$ )

D : 斷面 1 處碎波寬度 (m)

$\theta_{b1}, \theta_{b2}$  : 斷面 1, 2 處碎波波峯線與海岸線夾角

表 6-2 沿岸流試驗波浪條件

| 實 驗 編 號 | 週 期 ( sec ) | 入 射 角 度     | 波 高 ( cm ) |
|---------|-------------|-------------|------------|
| 1 - 1   | 1.0         | 30° 45° 60° | 3.3        |
| 1 - 2   | 1.0         | "           | 4.8        |
| 1 - 3   | 1.0         | "           | 5.8        |
| 3 - 1   | 0.8         | "           | 6.0        |
| 3 - 2   | 0.8         | "           | 3.8        |
| 3 - 3   | 0.8         | "           | 1.6        |
| 4 - 1   | 1.2         | "           | 3.2        |
| 4 - 2   | 1.2         | "           | 4.2        |
| 4 - 3   | 1.2         | "           | 5.4        |

表 6-3-1 沿岸流流速試驗值與理論值表

| 入射角度 | 30° | NO. 4 | 碎波角度 | 碎波水深<br>(cm) | 碎波寬度<br>(m) | 總流量<br>$(\frac{m^3}{sec}) \times 10^{-2}$ | $V_{Lg}$ | $V_{LL}$ | $V_{LM}$ | $V_{LE}$ |
|------|-----|-------|------|--------------|-------------|---|----------|----------|----------|----------|
| 深海波高 | 5.8 | 斷面 1  | 25°  | 11           | 11          | 6.73                                      | 16.76    | 13.0     | 23.54    | 20.7     |
| 深海週期 | 1.0 | 斷面 2  | 20°  | 10           | 10          | 7.41                                      | 14.30    | 9.97     | 25.82    | 22.8     |
| 堤長   | 0   | 斷面 3  | 16°  | 9            | 9           | 7.91                                      | 12.12    | 7.62     | 27.60    | 24.34    |
| 碎波波高 | 7.7 | 斷面 4  | 16°  | 8            | 8           | 8.43                                      | 12.64    | 7.19     | 29.38    | 25.94    |
| 地形   | 平行等 | 平均誤差  |      |              |             |   | 36 %     | 54 %     | 13 %     |          |
|      | 深線  | 總平均誤差 |      |              |             |   | 28.5%    | 41.6%    | 12.4%    |          |

$V_{Lg}$  : Galvin 與 Eagleson 理論值 (cm/sec),  $V_{LL}$  : Longuet - Higgins 理論值 (cm/sec),

$V_{LM}$  : 質量輸送理論值 (cm/sec),  $V_{LE}$  : 試驗值 (cm/sec)

表 6-3-2

| 入射角度 | 60° | NO. 2 | 碎波角度 | 碎波水深<br>(c.m) | 碎波寬度<br>(m) | 總流量<br>$(\frac{m^3}{sec}) \times 10^{-2}$ | $V_{Lg}$ | $V_{LL}$ | $V_{LM}$ | $V_{LE}$ |
|------|-----|-------|------|---------------|-------------|---|----------|----------|----------|----------|
| 深海波高 | 4.6 | 斷面 1  | 45°  | 10            | 10          | 4.44                                      | 16.58    | 16.72    | 12.00    | 12.67    |
| 深海週期 | 1.0 | 斷面 2  | 35°  | 9             | 9           | 5.24                                      | 17.23    | 15.87    | 14.2     | 14.96    |
| 堤長   | 0   | 斷面 3  | 30°  | 7.5           | 7.5         | 6.04                                      | 16.5     | 12.63    | 16.03    | 17.24    |
| 碎波波高 | 5.7 | 斷面 4  | 28°  | 6.5           | 6.5         | 5.23                                      | 16.48    | 11.04    | 17.7     | 14.93    |
| 地形   | 平   | 平均誤差  |      |               |             |   | 17%      | 22%      | 6%       |          |

表 6-3-3

| 入射角度 | 60° | NO. 3 | 碎波角度 | 碎波水深<br>(c.m.) | 碎波寬度<br>(m) | 總流量<br>$(\frac{m^3}{sec}) \times 10^{-2}$ | $V_{Lg}$ | $V_{LL}$ | $V_{LM}$ | $V_{LE}$ |
|------|-----|-------|------|----------------|-------------|---|----------|----------|----------|----------|
| 深海波高 | 3.6 | 斷面 1  | 28°  | 9              | 9           | 3.76                                      | 12.33    | 12.98    | 11.9     | 15.04    |
| 深海週期 | 1.0 | 斷面 2  | 26°  | 8.5            | 8.5         | 4.20                                      | 11.86    | 11.78    | 13.4     | 16.8     |
| 堤長   | 0   | 斷面 3  | 40°  | 7.5            | 7.5         | 4.94                                      | 16.8     | 16.23    | 16.1     | 19.76    |
| 碎波波高 | 4.8 | 斷面 4  | 26°  | 6.5            | 6.5         | 5.0                                       | 13.07    | 10.3     | 17.62    | 20       |
| 地形   | 平   | 平均誤差  |      |                |             |   | 21%      | 20%      | 20%      |          |

表 6-3-4

| 入射角度 | 30° | NO. 4 | 碎波角度 | 碎波水深<br>( c m ) | 碎波寬度<br>( m ) | 總流量<br>$(\frac{m^3}{sec}) \times 10^{-2}$ | $V_{LG}$ | $V_{LL}$ | $V_{LM}$ | $V_{LE}$ |
|------|-----|-------|------|-----------------|---------------|---|----------|----------|----------|----------|
| 深海波高 | 4.8 | 斷面 1  | 56°  | 10              | 10            | 2.88                                      | 7.94     | 12.78    | 7.16     | 8.23     |
| 深海週期 | 1.0 | 斷面 2  | 50°  | 10              | 10            | 3.61                                      | 19.96    | 22.33    | 9.43     | 10.31    |
| 堤長   | 0   | 斷面 3  | 43°  | 9.5             | 9.5           | 4.31                                      | 19.32    | 19.38    | 11.20    | 12.31    |
| 碎波波高 | 5.8 | 斷面 4  | 32°  | 9.5             | 9.5           | 3.90                                      | 16.16    | 15.06    | 12.38    | 11.14    |
| 地形   | 平   | 平均誤差  |      |                 |               |   | 51 %     | 76 %     | 14.7 %   |          |
|      |     |       |      |                 |               |   |          |          |          |          |

表 6-3-5

| 入射角度 | 60° | NO. 5 | 碎波角度 | 碎波水深<br>(cm) | 碎波寬度<br>(m) | 總流量<br>$(\frac{m^3}{sec}) \times 10^{-2}$ | $V_{Lc}$ | $V_{LL}$ | $V_{LM}$ | $V_{LE}$ |
|------|-----|-------|------|--------------|-------------|---|----------|----------|----------|----------|
| 深海波高 | 4.0 | 斷面 1  | 42°  | 10           | 10          | 4.49                                      | 15.86    | 15.45    | 14.5     | 17.96    |
| 深海週期 | 1.2 | 斷面 2  | 40°  | 9.5          | 9.5         | 5.44                                      | 18.63    | 18.27    | 17.7     | 21.76    |
| 堤長   | 0   | 斷面 3  | 20°  | 8            | 8           | 5.78                                      | 11.69    | 8.92     | 19.1     | 23.12    |
| 碎波波高 | 5.8 | 斷面 4  | 20°  | 7.5          | 7.5         | 5.40                                      | 11.97    | 8.64     | 20.5     | 21.6     |
| 地形   | 平   | 平均誤差  |      |              |             |   | 25%      | 30%      | 10%      |          |
|      |     |       |      |              |             |   |          |          |          |          |

表 6-3-6

| 入射角度 | 60° | NO. 6 | 碎波角度 | 碎波水深<br>( c m ) | 碎波寬度<br>( m ) | 總流量<br>$(\frac{m^3}{sec}) \times 10^{-2}$ | $V_{Lg}$ | $V_{LL}$ | $V_{LM}$ | $V_{LE}$ |
|------|-----|-------|------|-----------------|---------------|---|----------|----------|----------|----------|
| 深海波高 | 6.0 | 斷面 1  | 26°  | 11              | 11            | 5.08                                      | 16.41    | 13.41    | 20.8     | 18.47    |
| 深海週期 | 1.2 | 斷面 2  | 20°  | 10.5            | 10.5          | 5.67                                      | 13.32    | 10.22    | 22.8     | 20.62    |
| 堤長   | 0   | 斷面 3  | 20°  | 9               | 9             | 6.22                                      | 14.1     | 9.46     | 24.8     | 20.62    |
| 碎波波高 | 7.3 | 斷面 4  | 20°  | 8.5             | 8.5           | 5.56                                      | 14.4     | 9.2      | 26.9     | 20.62    |
| 地形   | 平   | 平均誤差  |      |                 |               |   | 26%      | 44%      | 7%       |          |
|      |     |       |      |                 |               |   |          |          |          |          |

表 6-3-7

| 入射角度 | 45° | NO. 7 | 碎波角度 | 碎波水深<br>(cm) | 碎波寬度<br>(m) | 總流量<br>$(\frac{m^3}{sec}) \times 10^{-2}$ | $V_{LG}$ | $V_{LL}$ | $V_{LM}$ | $V_{LE}$ |
|------|-----|-------|------|--------------|-------------|---|----------|----------|----------|----------|
| 深海波高 | 6.1 | 斷面 1  | 30°  | 10           | 10          | 4.96                                      | 19.29    | 14.58    | 19.2     | 19.84    |
| 深海週期 | 1.2 | 斷面 2  | 28°  | 9.5          | 9.5         | 5.47                                      | 18.64    | 13.34    | 21.9     | 21.88    |
| 堤長   | 0   | 斷面 3  | 22°  | 8.5          | 8.5         | 5.89                                      | 15.87    | 10.07    | 24       | 23.56    |
| 碎波波高 | 7.4 | 斷面 4  | 19°  | 8.5          | 8.5         | 5.20                                      | 13.93    | 8.75     | 25.7     | 20.8     |
| 地形   | 平   | 平均誤差  |      |              |             |   | 16.7%    | 41%      | 5%       |          |

表 6-3-8

| 入射角度 | 60° | NO. 8 | 碎波角度 | 碎波水深<br>( c m ) | 碎波寬度<br>( m ) | 總流量<br>$(\frac{m^3}{sec}) \times 10^{-2}$ | $V_{Lg}$ | $V_{LL}$ | $V_{LM}$ | $V_{LE}$ |
|------|-----|-------|------|-----------------|---------------|---|----------|----------|----------|----------|
| 深海波高 | 4.4 | 斷面 1  | 20°  | 10              | 10            | 4.15                                      | 10.78    | 9.97     | 19.5     | 16.6     |
| 深海週期 | 0.8 | 斷面 2  | 16°  | 8.5             | 8.5           | 4.52                                      | 9.32     | 7.41     | 21.2     | 18.06    |
| 堤長   | 0   | 斷面 3  | 14°  | 8               | 8             | 4.89                                      | 8.4      | 6.31     | 22.6     | 19.56    |
| 碎波波高 | 5.8 | 斷面 4  | 14°  | 7.5             | 7.5           | 5.35                                      | 8.6      | 6.11     | 24       | 21.4     |
| 地形   | 平   | 平均誤差  |      |                 |               | 46.8%                                     |          | 56%      | 17%      |          |

表 6-3-9

| 入射角度 | 45° | NO. 9 | 碎波角度 | 碎波水深<br>(cm) | 碎波寬度<br>(m) | 總流量<br>$(\frac{m^3}{sec}) \times 10^{-2}$ | $V_{LG}$ | $V_{LL}$ | $V_{LM}$ | $V_{LE}$ |
|------|-----|-------|------|--------------|-------------|---|----------|----------|----------|----------|
| 深海波高 | 5.6 | 斷面 1  | 26°  | 11           | 11          | 4.66                                      | 14.61    | 13.41    | 20.2     | 16.24    |
| 深海週期 | 0.8 | 斷面 2  | 30°  | 10           | 10          | 5.38                                      | 16.95    | 14.58    | 23.3     | 19.56    |
| 堤長   | 0   | 斷面 3  | 25°  | 8            | 8           | 6.05                                      | 15.90    | 11.02    | 25.8     | 22.0     |
| 碎波波高 | 6.5 | 斷面 4  | 20°  | 8.5          | 8.5         | 4.14                                      | 12.81    | 9.19     | 27.8     | 15.05    |
| 地形   | 平   | 平均誤差  |      |              |             |   | 17%      | 31%      | 20%      |          |
|      |     |       |      |              |             |   |          |          |          |          |

表 6 - 4 下波區環流

| 地 形   | $H_b$ (cm) | L (m) | CL (m) | CS (m) | $\theta_a$ |
|-------|------------|-------|--------|--------|------------|
| 平行等深淺 | 6.0        | 5.0   | 5.5    | 4.0    | 90°        |
| "     | 6.0        | 7.5   | 6.5    | 4.5    | 28°        |
| "     | 5.0        | 5.0   | 5.0    | 4.2    | 75°        |
| "     | 5.0        | 7.5   | 5.5    | 4.2    | 17°        |
| "     | 4.2        | 5.0   | 4.5    | 3.0    | 45°        |
| "     | 4.2        | 7.5   | 4.0    | 3.0    | 18°        |
| 橢 圓   | 7.0        | 10.0  | 8.4    | 5.0    | 4-7°       |

表 6 - 5 上波區環流

| 地 形   | $H_b$ (cm) | L (m) | $\theta$  | CL (m) | CS (m) | $\theta_a$ |
|-------|------------|-------|-----------|--------|--------|------------|
| 平行等深淺 | 6.0        | 10    | 30°45°60° | 5.5    | 4.0    | 29.3       |
| 橢圓地形  | 7.0        | 10    | 60°       | 7.0    | 4.7    | 37.5       |
| "     | 7.0        | 10    | 45°       | 6.5    | 5.2    | 44.2       |
| "     | 7.0        | 10    | 30°       | 6.2    | 5.7    | 57.3       |

表 7-1 碎波實驗流況各項參數值

| case                           | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| T(s)                           | 1.905  | 1.818  | 1.739  | 1.667  | 1.600  | 1.538  | 1.481  | 1.429  | 1.333  | 1.250  | 1.00   |
| L <sub>0</sub> (cm)            | 566.13 | 515.60 | 471.76 | 433.51 | 399.36 | 369.01 | 342.16 | 318.56 | 271.19 | 243.75 | 156.00 |
| H <sub>0</sub> (cm)            | 6.2    | 6.3    | 6.1    | 6.2    | 6.3    | 6.8    | 7.0    | 6.7    | 8.5    | 8.2    | 8.5    |
| d <sub>b</sub> (cm)            | 9.30   | 9.10   | 9.30   | 9.30   | 9.30   | 9.50   | 9.60   | 9.80   | 11.30  | 11.65  | 12.40  |
| h(cm)                          | 17.30  | 16.30  | 17.40  | 16.60  | 16.60  | 16.80  | 16.10  | 16.40  | 19.40  | 18.90  | 19.40  |
| H <sub>b</sub> (cm)            | 9.60   | 8.60   | 9.60   | 8.80   | 8.90   | 9.10   | 8.40   | 8.70   | 10.40  | 9.40   | 9.60   |
| d <sub>b</sub> /H <sub>b</sub> | 0.969  | 1.058  | 0.969  | 1.057  | 1.045  | 1.044  | 1.143  | 1.126  | 1.087  | 1.239  | 1.292  |
| d <sub>b</sub> /H <sub>0</sub> | 1.434  | 1.429  | 1.508  | 1.484  | 1.476  | 1.397  | 1.371  | 1.463  | 1.329  | 1.421  | 1.459  |
| H <sub>0</sub> /L <sub>0</sub> | 0.011  | 0.012  | 0.013  | 0.014  | 0.016  | 0.018  | 0.021  | 0.021  | 0.031  | 0.034  | 0.055  |
| H <sub>b</sub> /H <sub>0</sub> | 1.548  | 1.365  | 1.574  | 1.419  | 1.413  | 1.338  | 1.200  | 1.299  | 1.224  | 1.146  | 1.129  |
| U <sub>b1</sub> (cm/s)         | 126.84 | 123.11 | 126.84 | 124.50 | 125.38 | 126.55 | 124.89 | 127.13 | 136.88 | 135.44 | 138.66 |
| U <sub>b2</sub> (cm/s)         | 131.07 | 128.71 | 125.67 | 125.34 | 124.91 | 126.68 | 127.12 | 124.00 | 134.16 | 130.51 | 131.22 |
| U <sub>b3</sub> (cm/s)         | 119.60 | 118.30 | 119.60 | 119.60 | 120.25 | 121.54 | 122.18 | 123.44 | 132.55 | 134.59 | 138.85 |
| $\bar{U}$ (cm/s)               | 49.91  | 46.63  | 50.15  | 60.42  | 48.43  | 50.90  | 53.26  | 51.51  | 49.29  | 59.87  | 41.92  |
| $\bar{U}/U_{b1}$               | 0.393  | 0.379  | 0.395  | 0.485  | 0.386  | 0.402  | 0.426  | 0.405  | 0.360  | 0.442  | 0.302  |
| $\bar{U}/U_{b2}$               | 0.381  | 0.362  | 0.399  | 0.482  | 0.388  | 0.402  | 0.419  | 0.415  | 0.367  | 0.459  | 0.319  |
| $\bar{U}/U_{b3}$               | 0.417  | 0.394  | 0.419  | 0.505  | 0.403  | 0.419  | 0.436  | 0.417  | 0.372  | 0.445  | 0.302  |
| h/H <sub>0</sub>               | 2.790  | 2.587  | 2.852  | 2.577  | 2.635  | 2.471  | 2.300  | 2.448  | 2.282  | 2.305  | 2.282  |

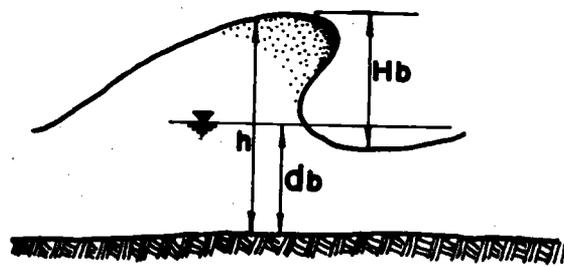


圖 7-1 碎波單位寬度之質量輸送表示圖

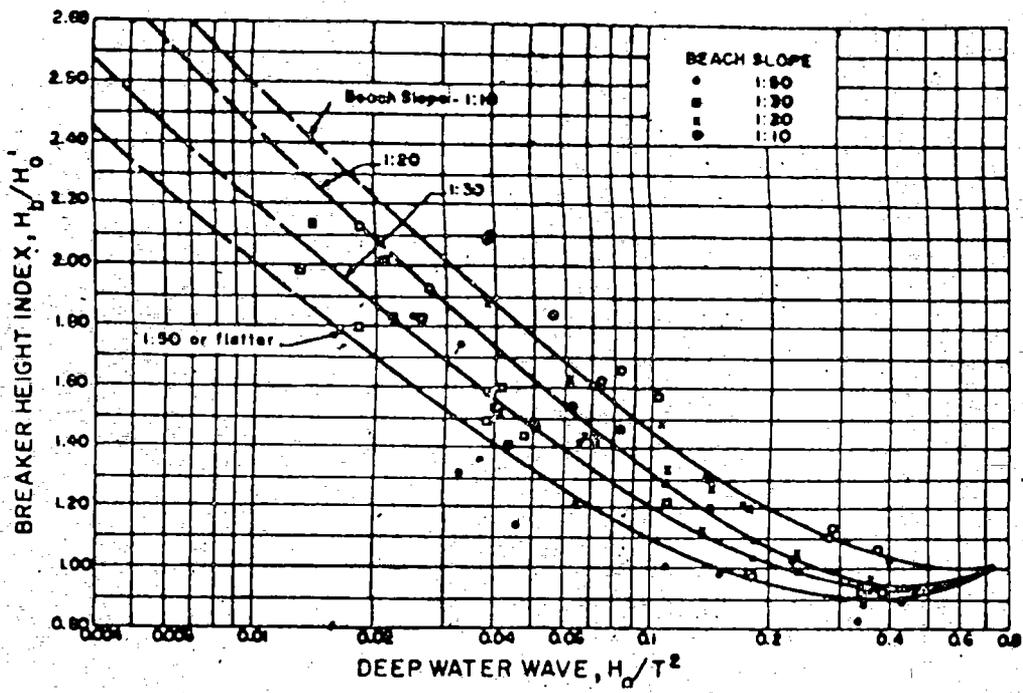


圖 7-2 碎波波高指數與  $H_0/T^2$  之關係 (Iverson)

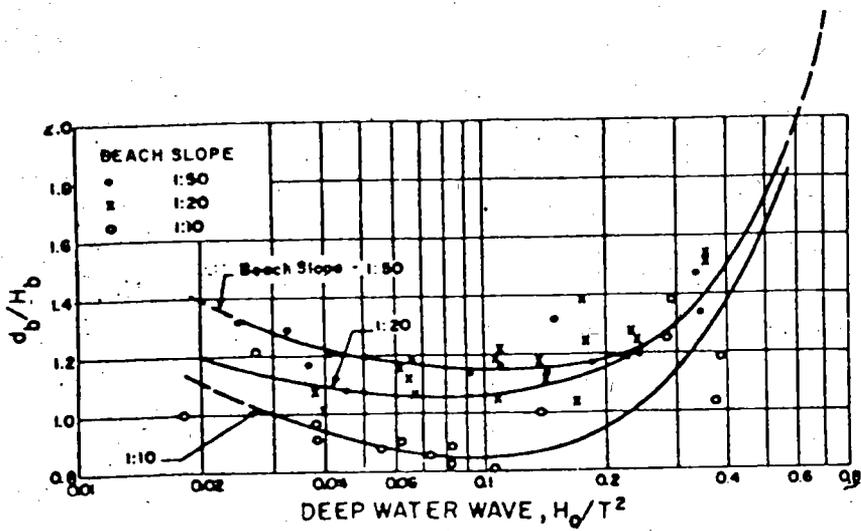


圖 7-3 碎波水深指數與  $H_0/T^2$  之關係 (Iverson)

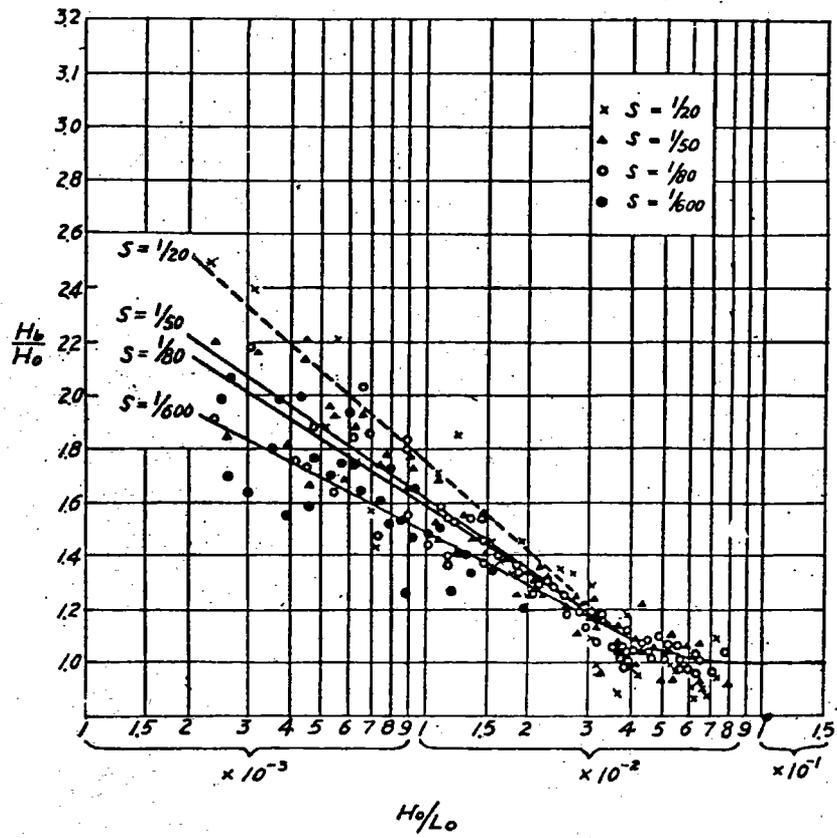


圖 7-4 碎波波高指數與  $H_0/L_0$  及  $s$  之關係 (Tang)

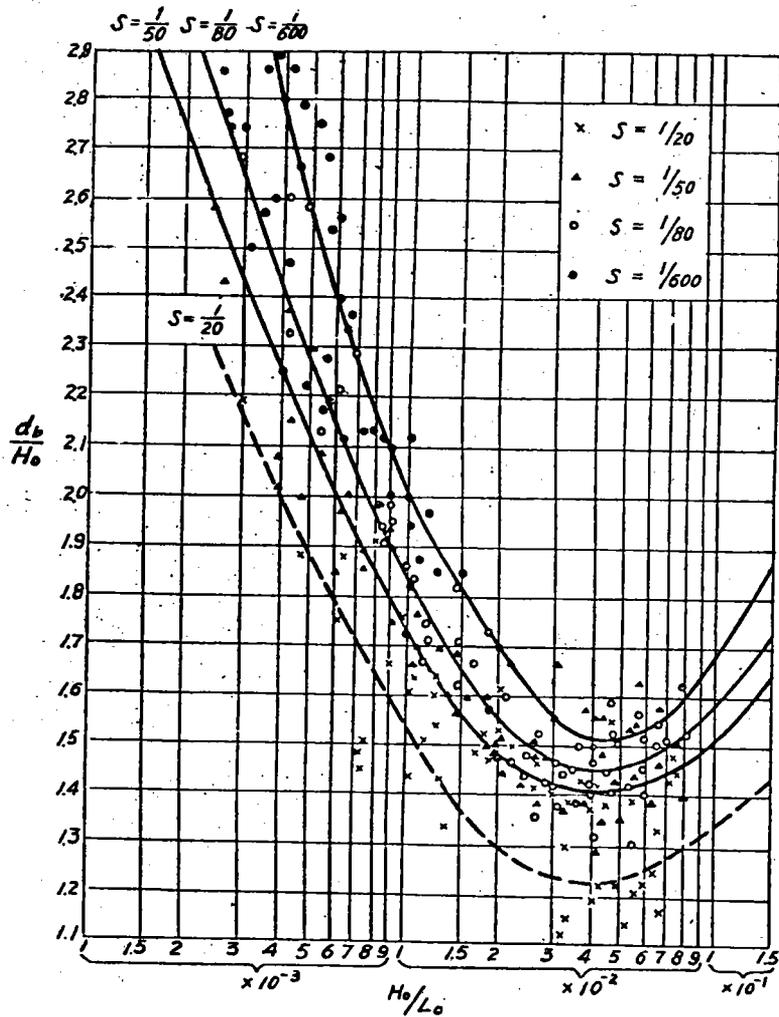


圖 7-5 碎波水深指數與  $H_0/L_0$  及  $s$  之關係 (Tang)

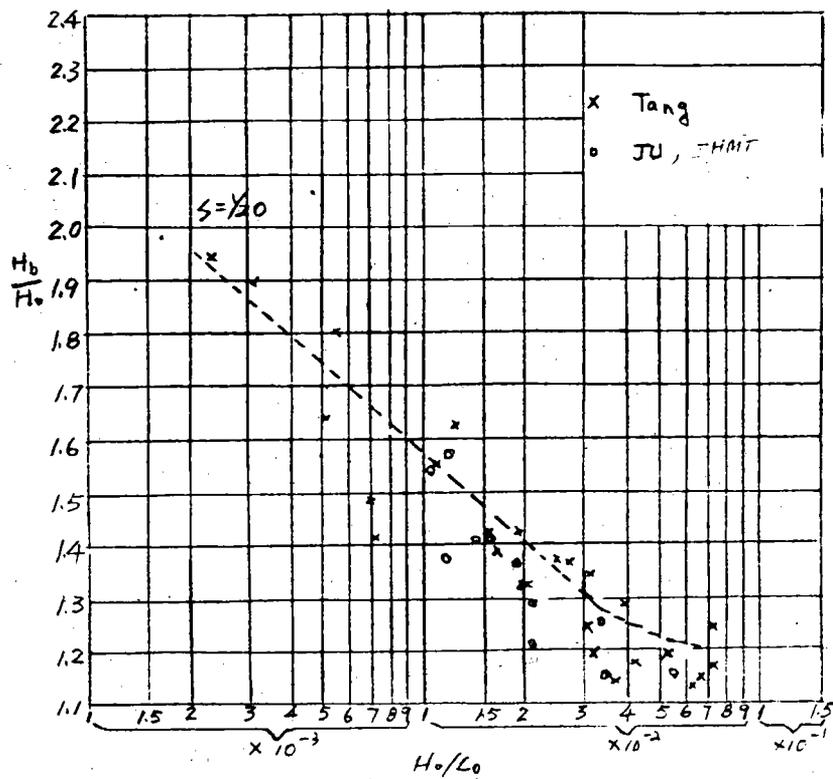


圖 7-6 碎波波高指數 ( $H_b/H_0$ ) 與  $H_0/L_0$  之關係 (IHMT)

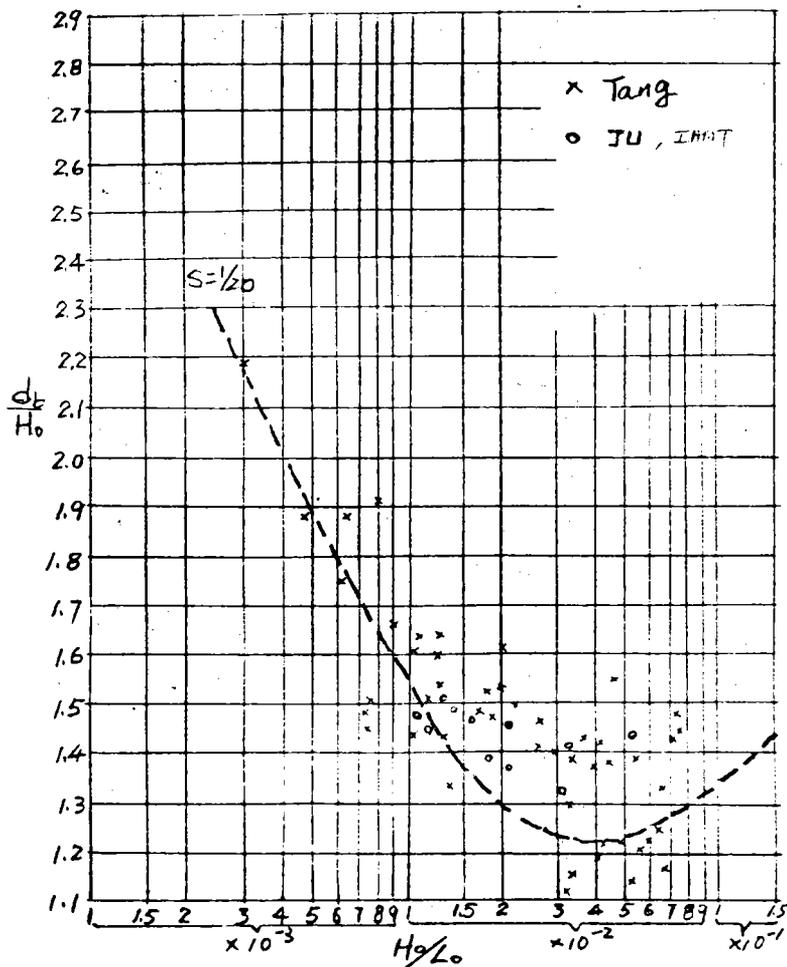


圖 7-7 碎波水深指數 ( $d_b/H_0$ ) 與  $H_0/L_0$  之關係 (IHMT)

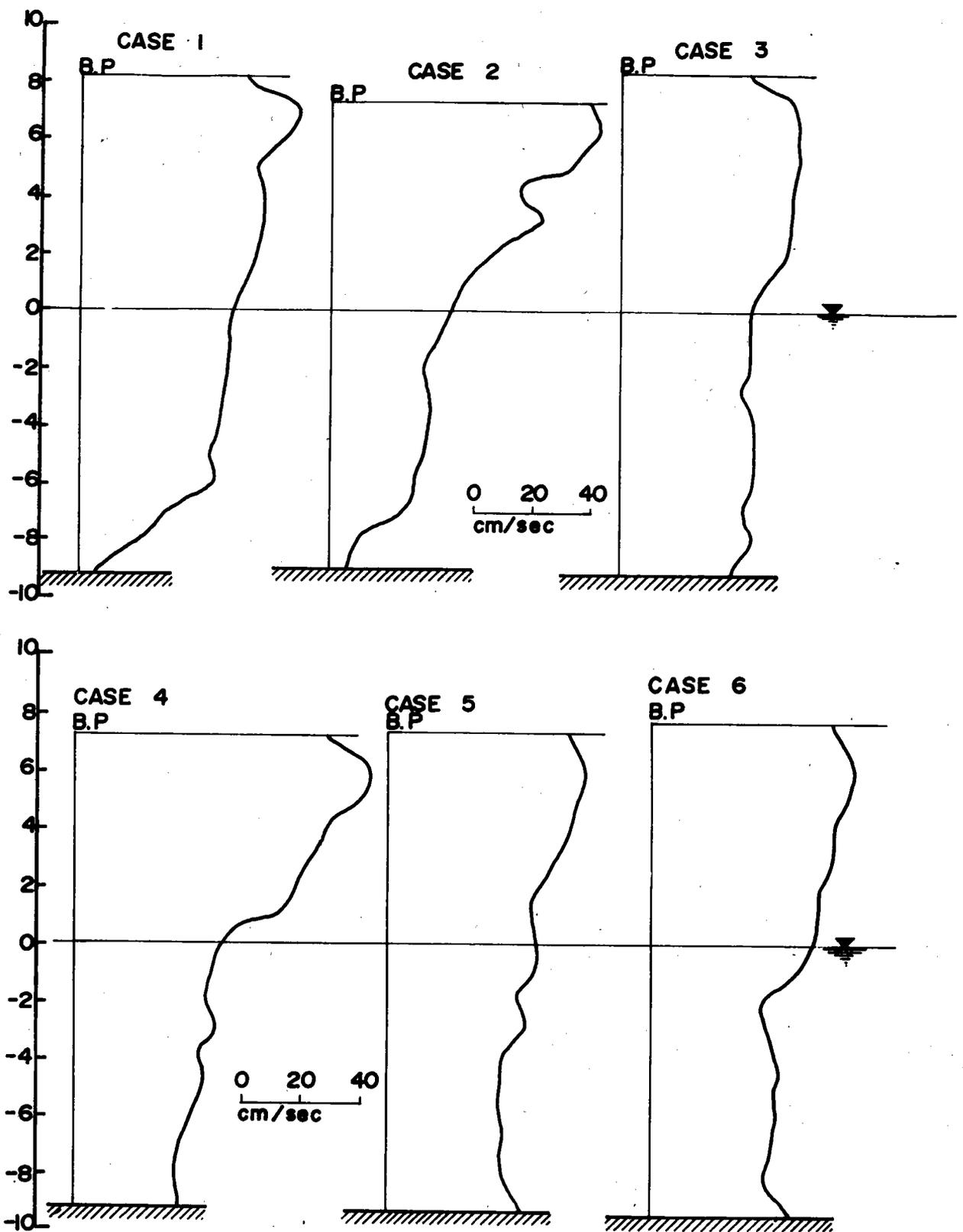
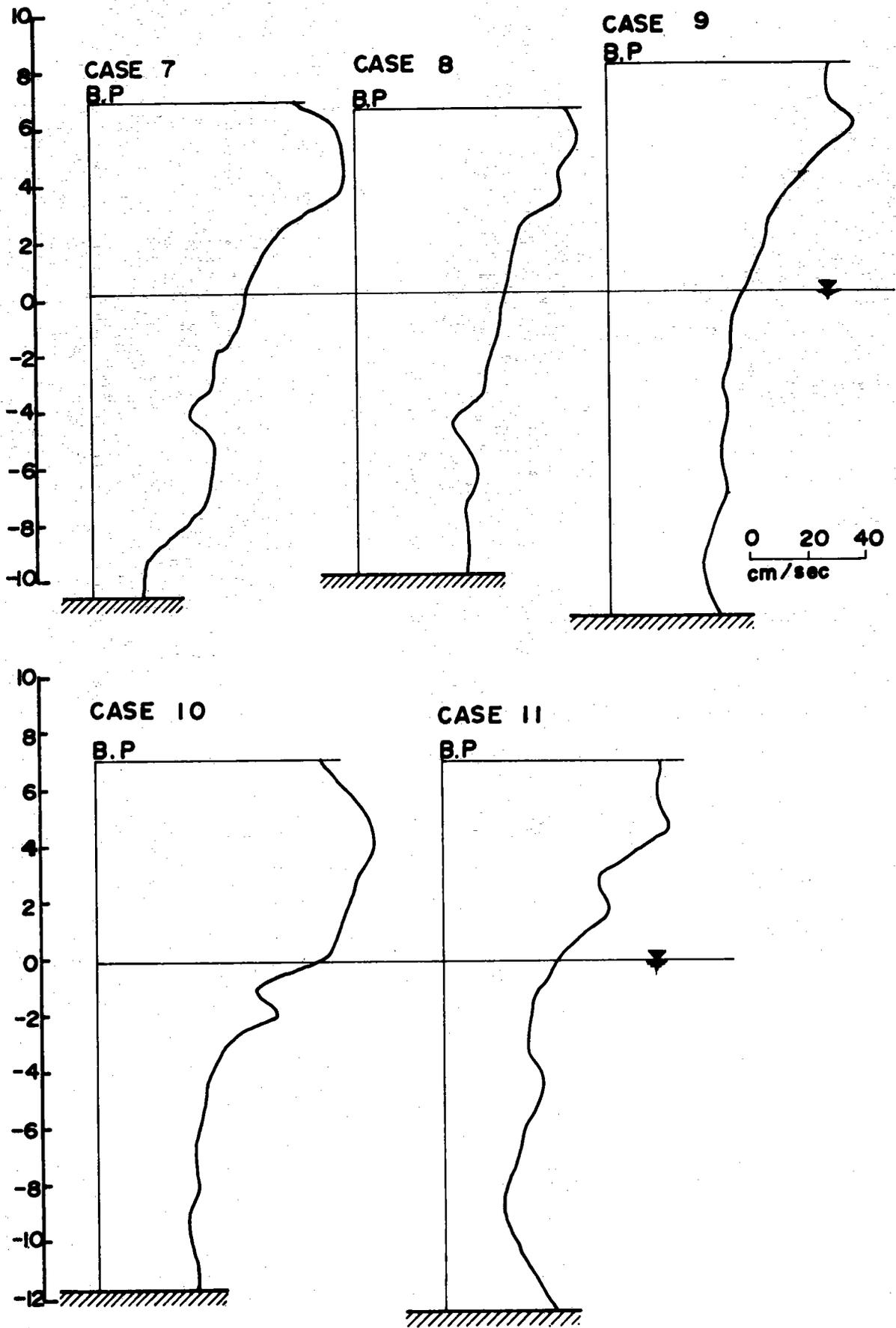


圖 7 - 8 碎波點之流速與水深關係



續圖 7-8 碎波點之流速與水深關係

十三、附錄

附 錄 (一)

風、波浪、海流及潮位概圖

交通成港灣技術研究所  
INSTITUTE OF HARBOR & MARINE TECHNOLOGY

計畫: Project

地點: 51° 0' N 121° 0' E

日期: Date

日期: 1981/1105/1110

日期: 1009 - 1014.7

日期: (10) 12 18 0° (11) 12 18 0° (12) 12 18 0° (13) 12 18 0° (14) 12 18 0°



3 或 10 分  
A (分)  
B (分)  
C (分)  
D (分)

Wave Height (M)  
10 4 2  
5 7 1  
Current Velocity (CM/SEC)

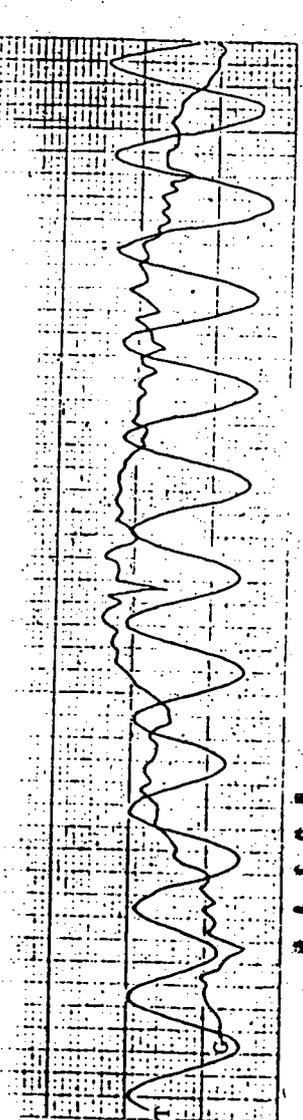
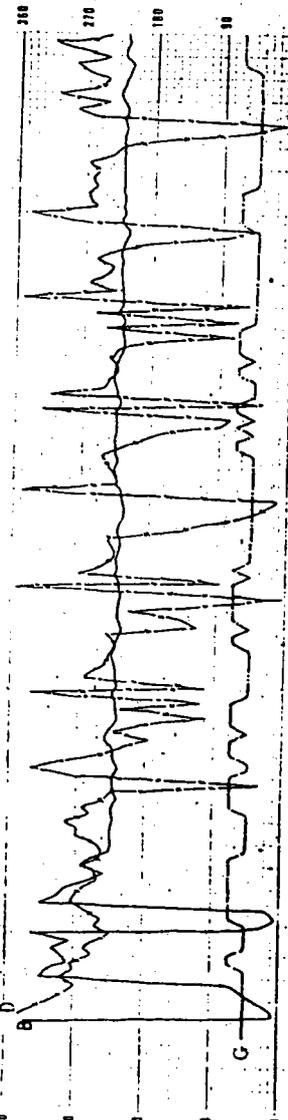
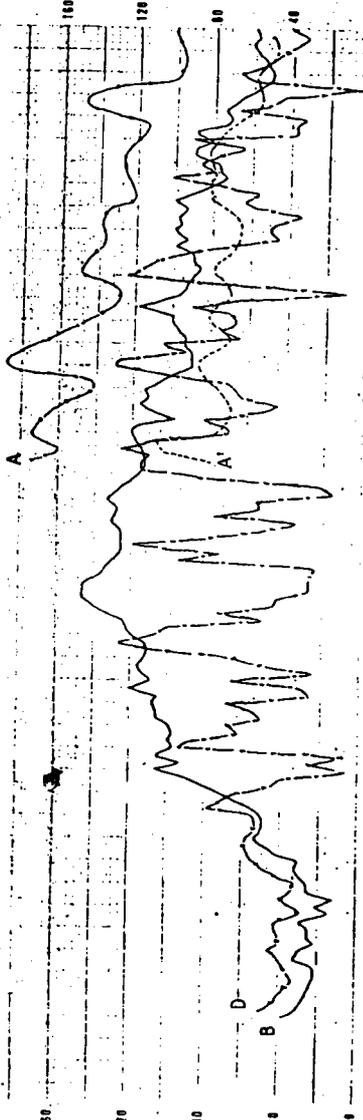
Wind direction (°) (分)  
Current direction (°) (分)  
Wind speed (M/SEC) (分)  
Tide (M) (分)

Temperature (°) (分)

風速  
風向  
B A A'

風速  
風向  
B G

風速  
風向  
T G

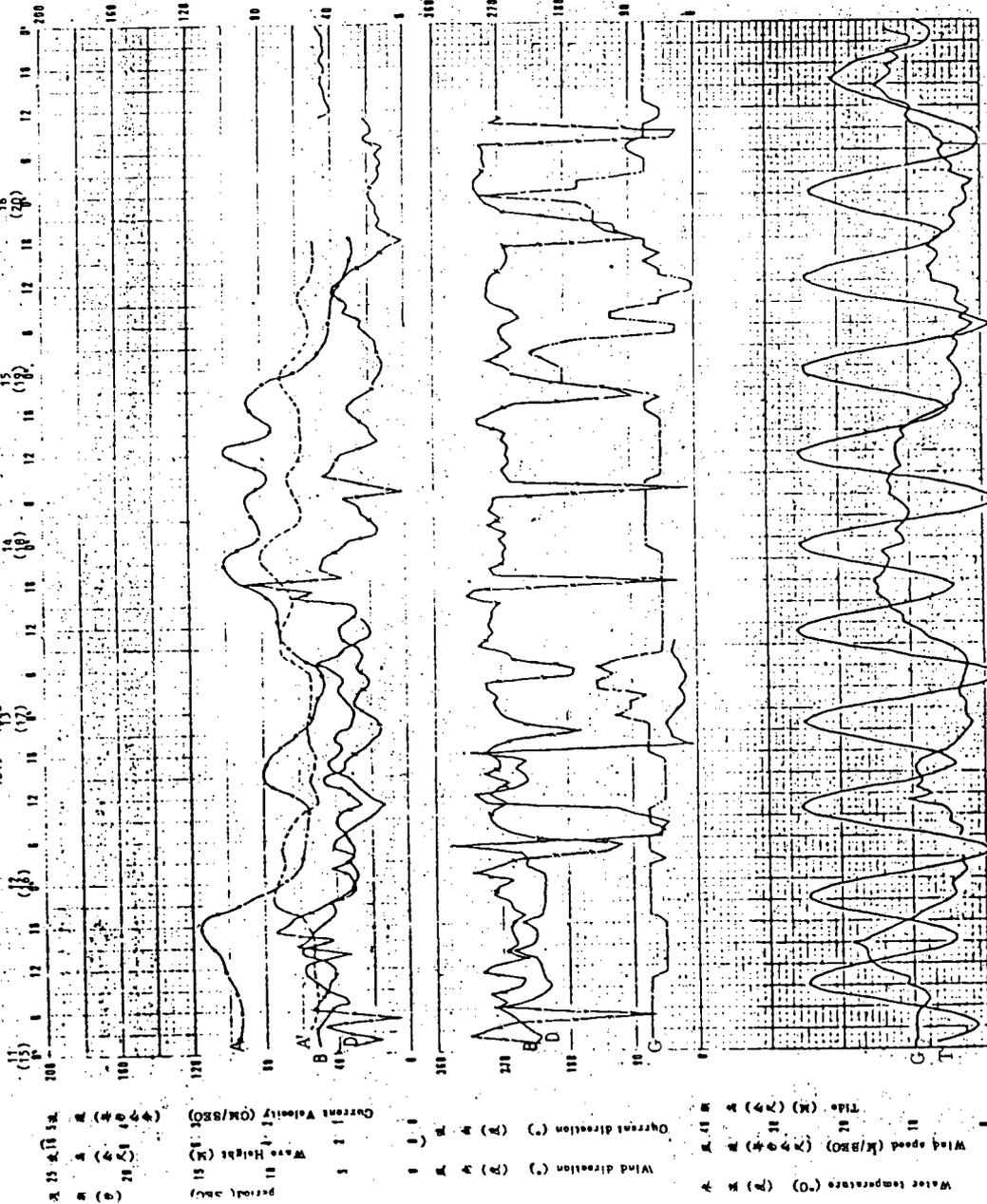


風、波浪、海流及潮位概圖

計畫: AAN E  
 日期: 1981 / 1111 - 1116

日期: 1015 - 1030

日期: 1015 - 1030



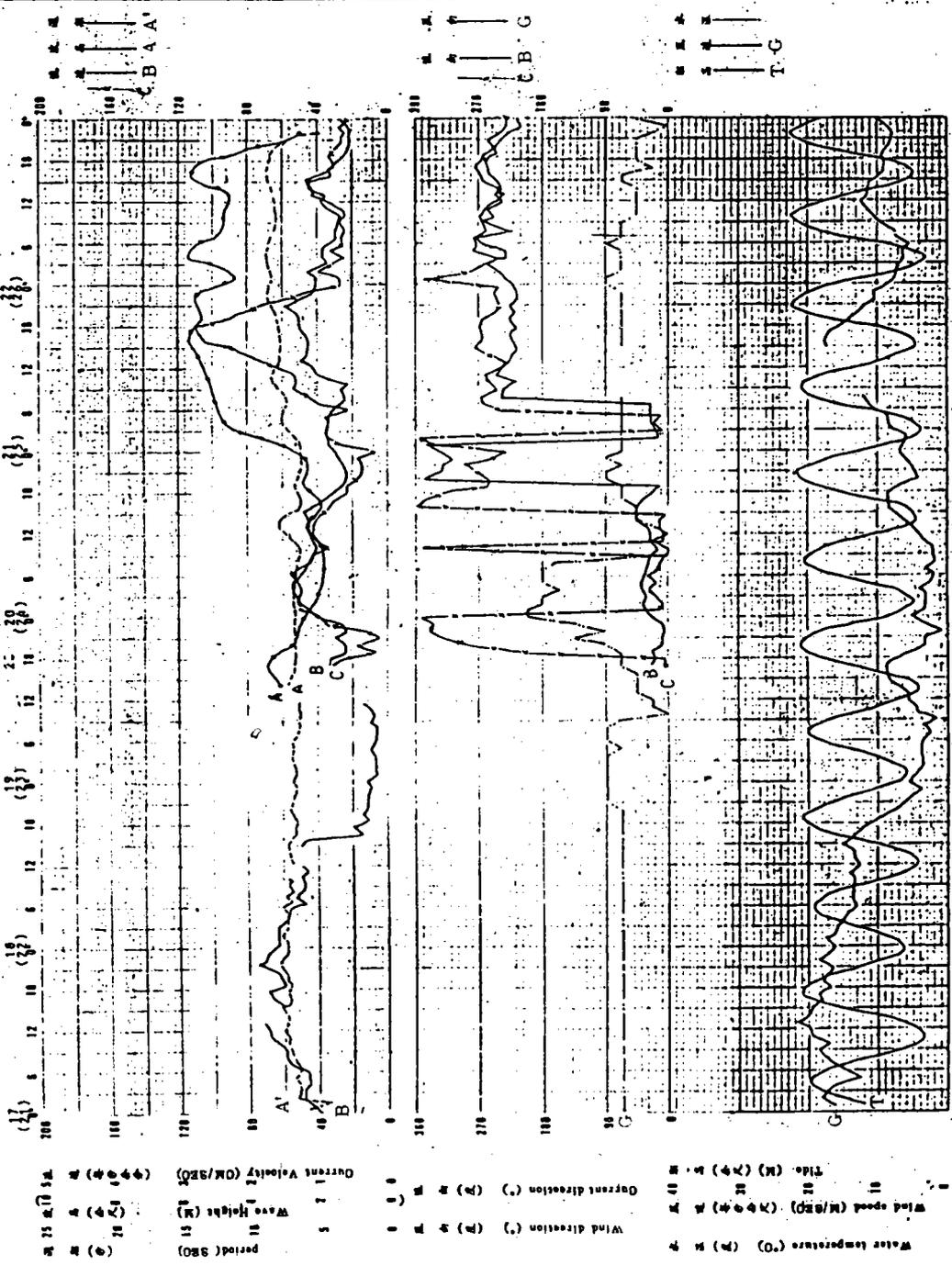
風、波浪、海流及潮位概圖

專案: 1981/1117/1122  
日期: 1021-1026

地點: 1021-1026  
日期: 1021-1026

日期: 1021-1026  
日期: 1021-1026

Project



風、波浪、海流及潮位概圖

交通成港海技研究所

INSTITUTE OF MARINE & MARINE TECHNOLOGY

計畫:  
Project

船名: ST. ANNE

日期: 1981/11/23/1128

日期: 1027 - 1103

日期: 11 (28) 12 (29) 12 (30)

地點:  
Date

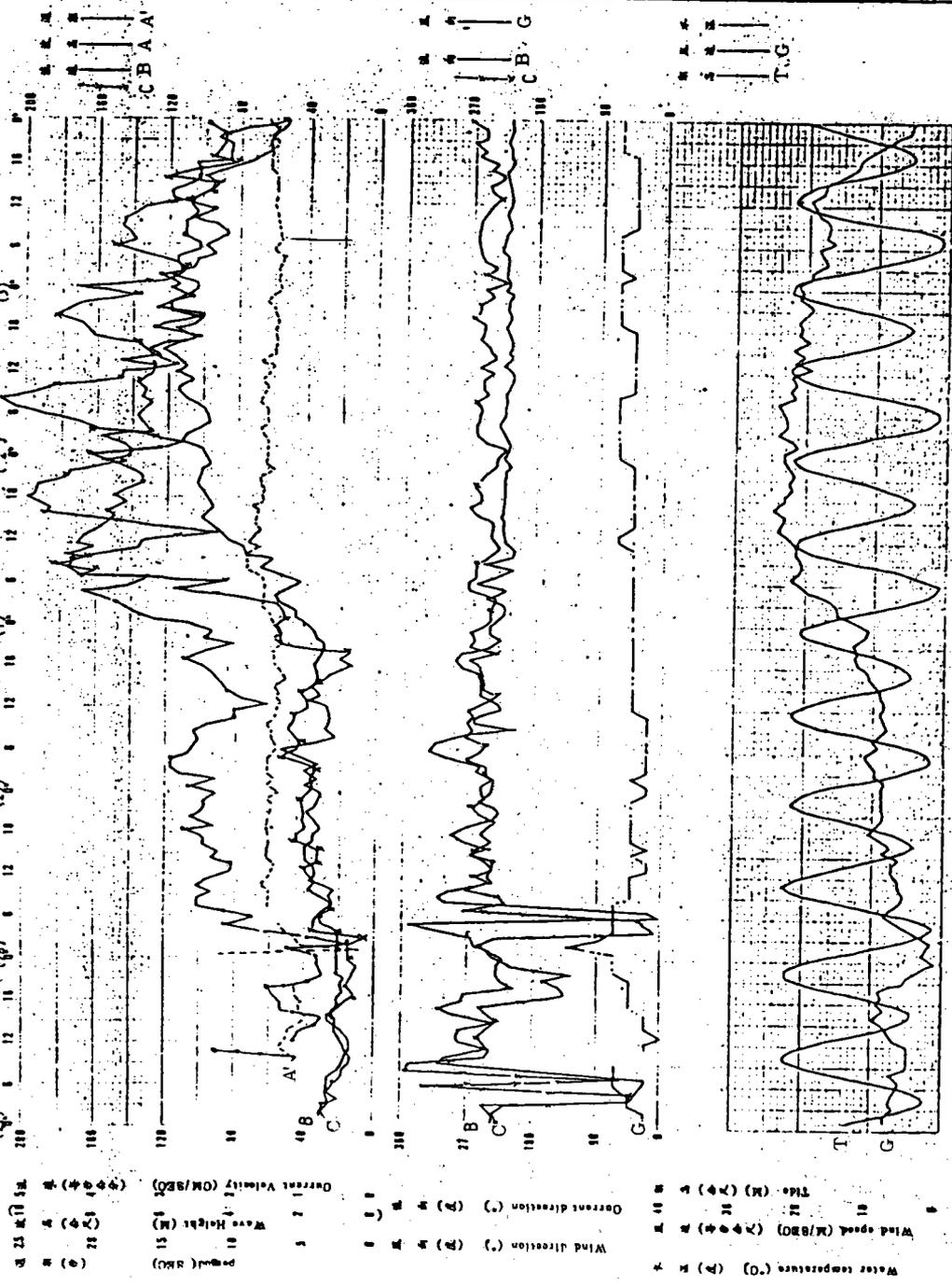
日期: 12 (27)

日期: 12 (28)

日期: 12 (29)

日期: 12 (30)

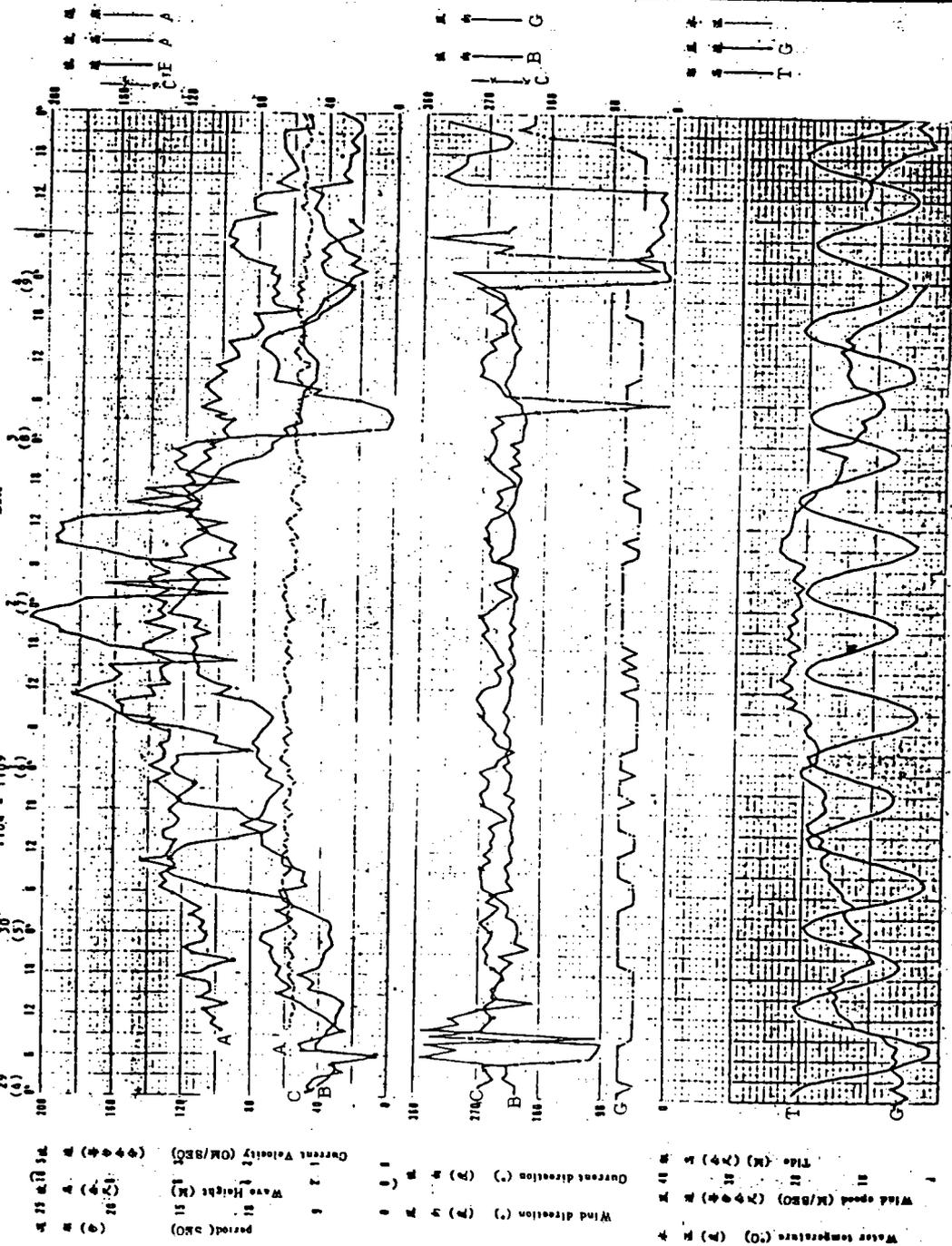
日期: 12 (31)



風、波浪、海流及潮位概圖

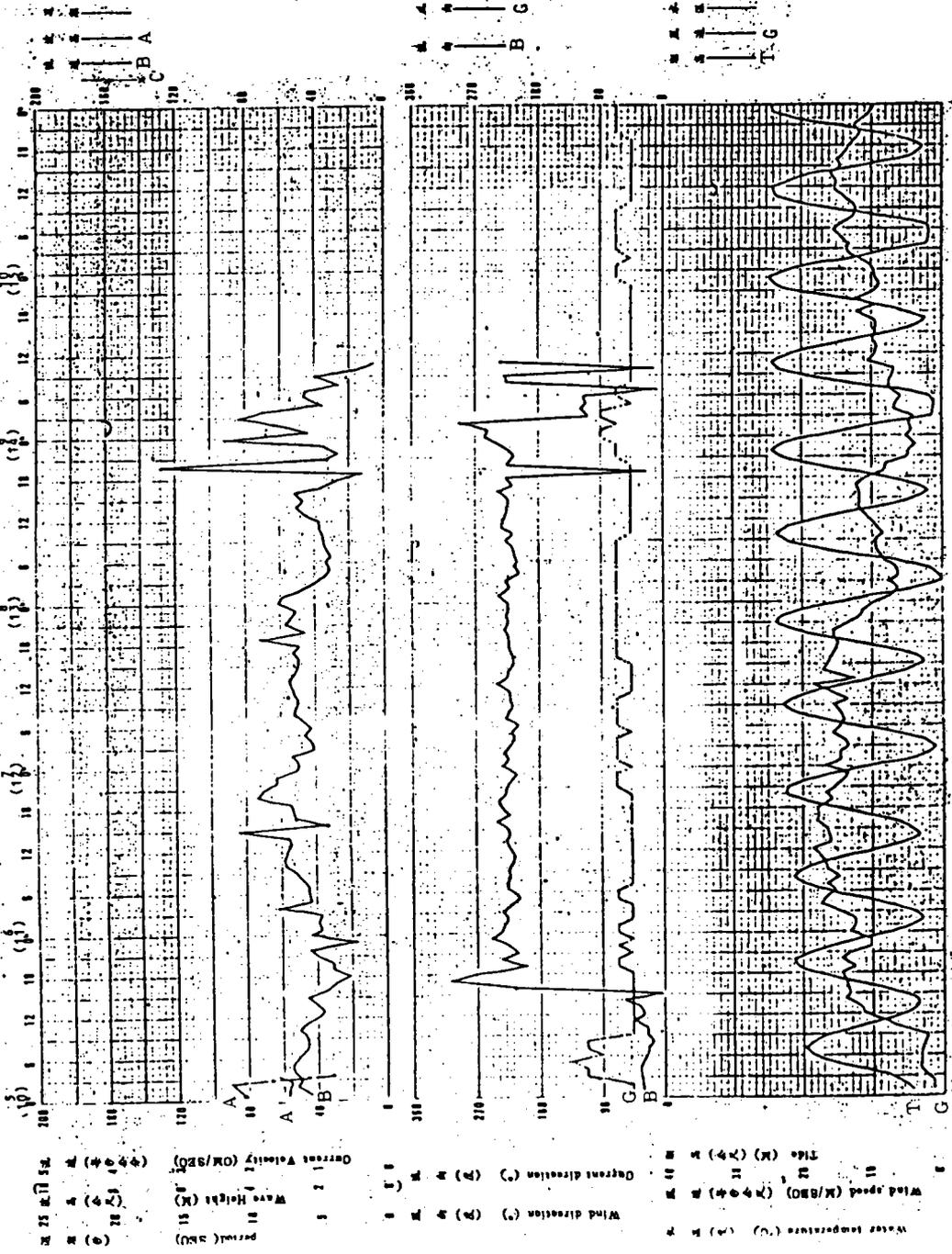
交通處港灣技術研究所  
INSTITUTE OF HARBOUR & MARINE TECHNOLOGY

Project: 5/ST/6 M. E.  
 Date: 1981/11/29/1204  
 Date: 1104 - 1109  
 Dept: 5/ST/6 M. E.  
 Date: 1104 - 1109



風、波浪、海流及潮位概圖

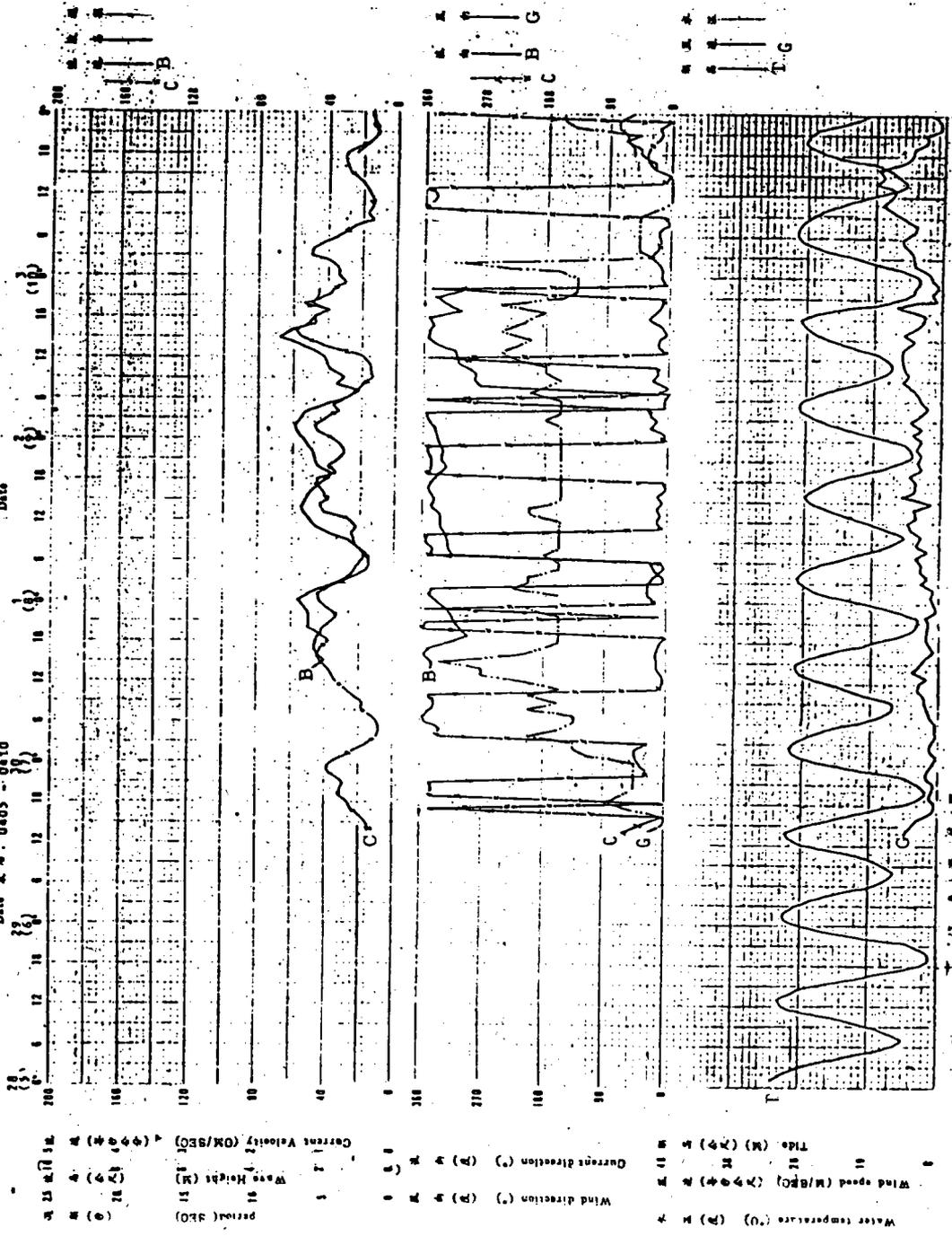
計畫: Project  
 日期: 1983/1205/1210  
 地點: 1110 - 1115  
 深度: 1110 (11)  
 日期: 1110 (11)



風、波浪、海流及潮位概圖

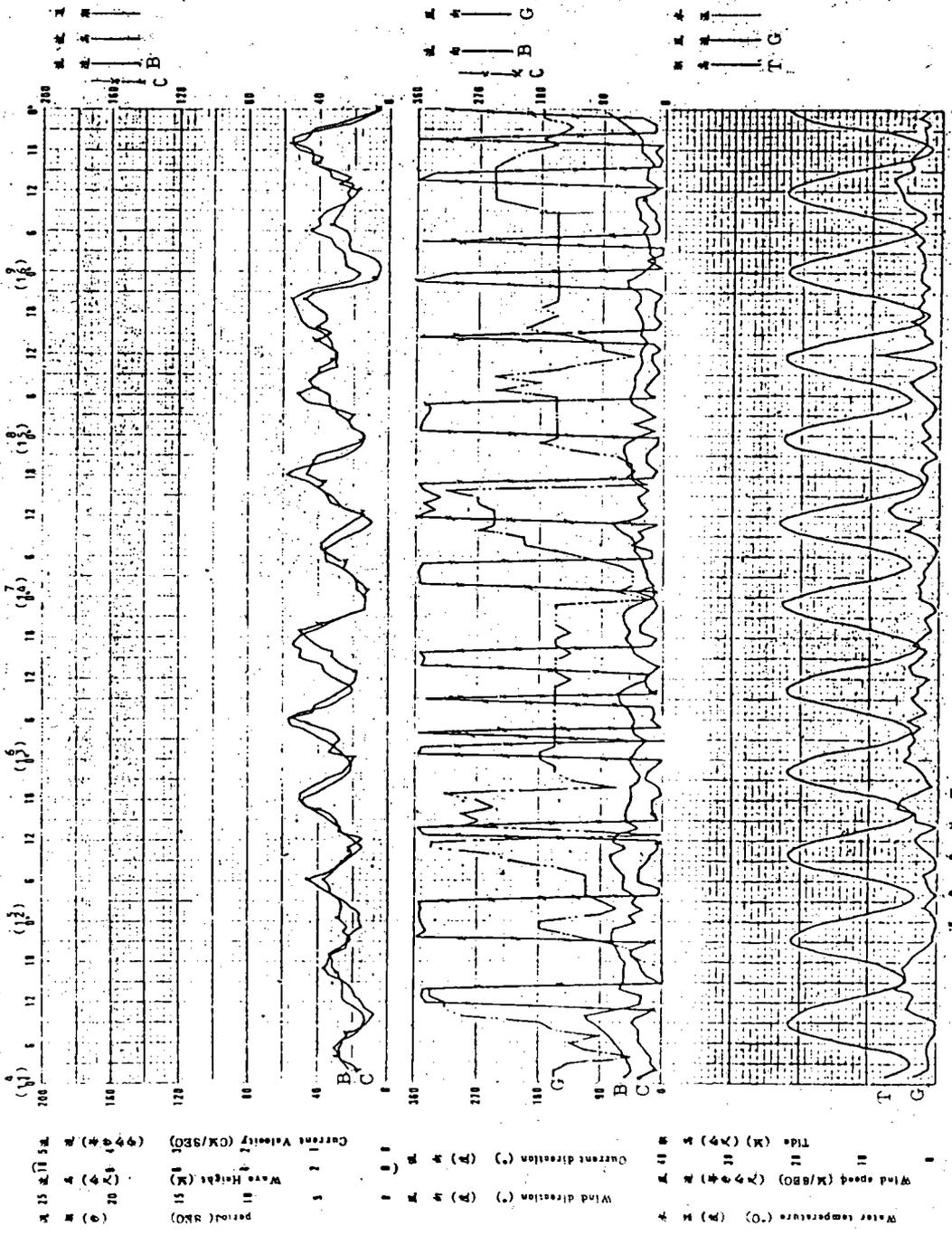
交通港灣技術研究所  
INSTITUTE OF HARBOR & MARINE TECHNOLOGY

計畫: Project  
地點: 基隆港  
日期: 1982/04/28/0503  
日期: 0405-0410



風、波浪、海流及潮位概圖

計畫: Project  
地點: 臺東: S, T, C, B, N, E  
日期: 1982/05/04/05/09  
日期: 0811-0816

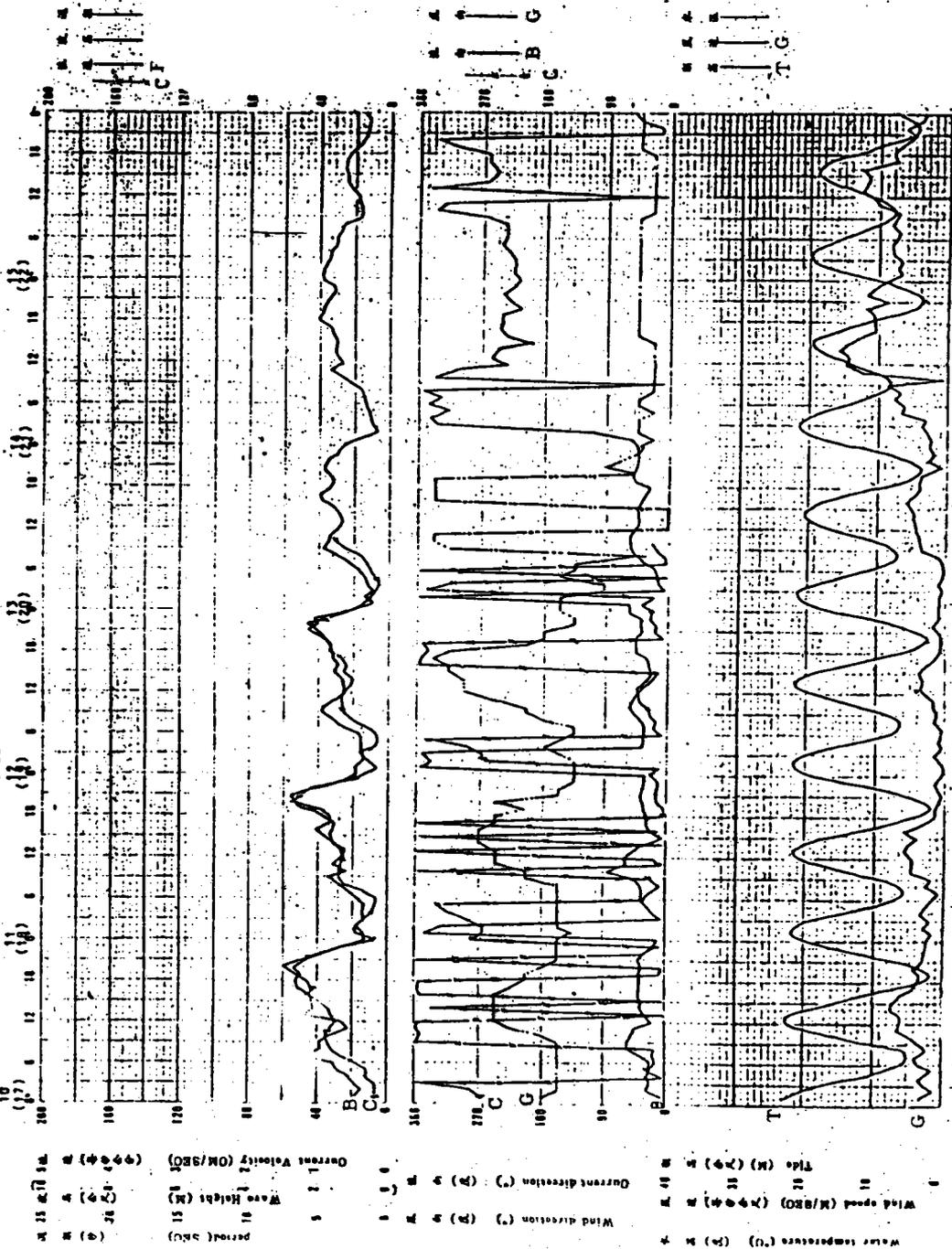


風、波浪、海流及潮位概圖

交通運輸研究所  
INSTITUTE OF MARINE & MARINE TECHNOLOGY

專案名稱: 1992/03/10/0315  
Data ID: 0417 - 0422  
日期: 1992/03/10 (10)  
地點: 基隆港 (10)  
儀器: S, C, N, E

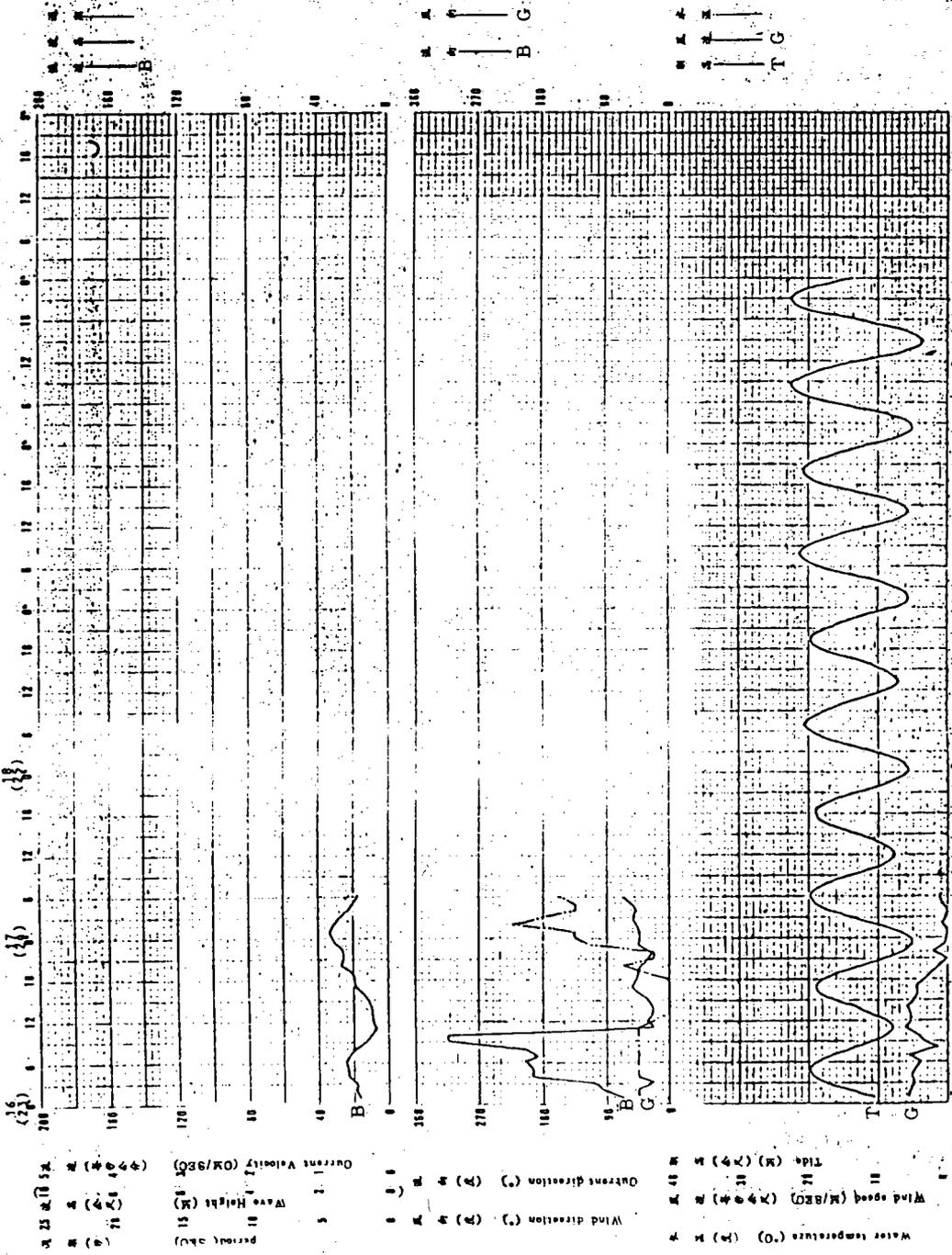
Project



風、波浪、海流及潮位概圖

專案: B N E  
日期: 1982/0516/0518  
地點: 0816-0818

Project  
Date: 1982/0516/0518  
Date: 0816-0818



風、波浪、海流及潮位概圖

交通處港灣技術研究所

INSTITUTE OF HARBOR & MARINE TECHNOLOGY

位置：台中港北防波堤外

日期：圖身：0321-0326 / 1983

Date 表身：0207-0212

3/22 3/23 3/24 3/25 3/26

3/21

水深 (公尺)

風向 (度)

風速 (M/SEC)

浪高 (M)

Period (SEC)

Current Velocity (CM/SEC)

Wind direction (°)

Wind speed (M/SEC)

Wave Height (M)

Period (SEC)

Current Velocity (CM/SEC)

Wind direction (°)

Wind speed (M/SEC)

Wave Height (M)

Period (SEC)

Current Velocity (CM/SEC)

Wind direction (°)

Wind speed (M/SEC)

Wave Height (M)

Period (SEC)

Current Velocity (CM/SEC)

Wind direction (°)

Wind speed (M/SEC)

Wave Height (M)

Period (SEC)

Current Velocity (CM/SEC)

Wind direction (°)

Wind speed (M/SEC)

Wave Height (M)

Period (SEC)

Current Velocity (CM/SEC)

Wind direction (°)

Wind speed (M/SEC)

Wave Height (M)

Period (SEC)

Current Velocity (CM/SEC)

水深 (公尺)

風向 (度)

風速 (M/SEC)

浪高 (M)

Period (SEC)

Current Velocity (CM/SEC)

Wind direction (°)

Wind speed (M/SEC)

Wave Height (M)

Period (SEC)

Current Velocity (CM/SEC)

Wind direction (°)

Wind speed (M/SEC)

Wave Height (M)

Period (SEC)

Current Velocity (CM/SEC)

Wind direction (°)

Wind speed (M/SEC)

Wave Height (M)

Period (SEC)

Current Velocity (CM/SEC)

Wind direction (°)

Wind speed (M/SEC)

Wave Height (M)

Period (SEC)

Current Velocity (CM/SEC)

Wind direction (°)

Wind speed (M/SEC)

Wave Height (M)

Period (SEC)

Current Velocity (CM/SEC)

Wind direction (°)

Wind speed (M/SEC)

Wave Height (M)

Period (SEC)

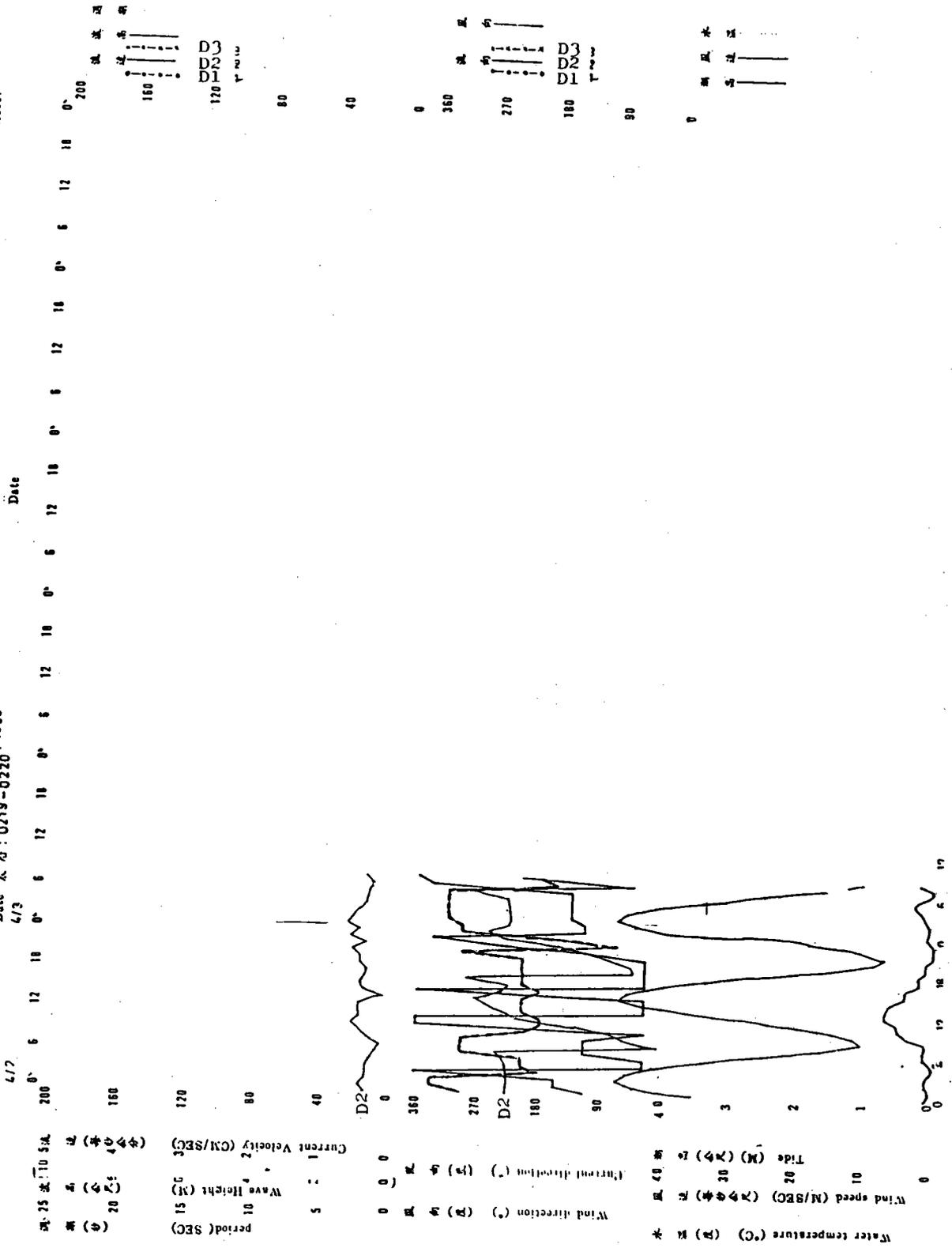
Current Velocity (CM/SEC)

風、波浪、海流及潮位概圖



位置：台中港北防波堤外

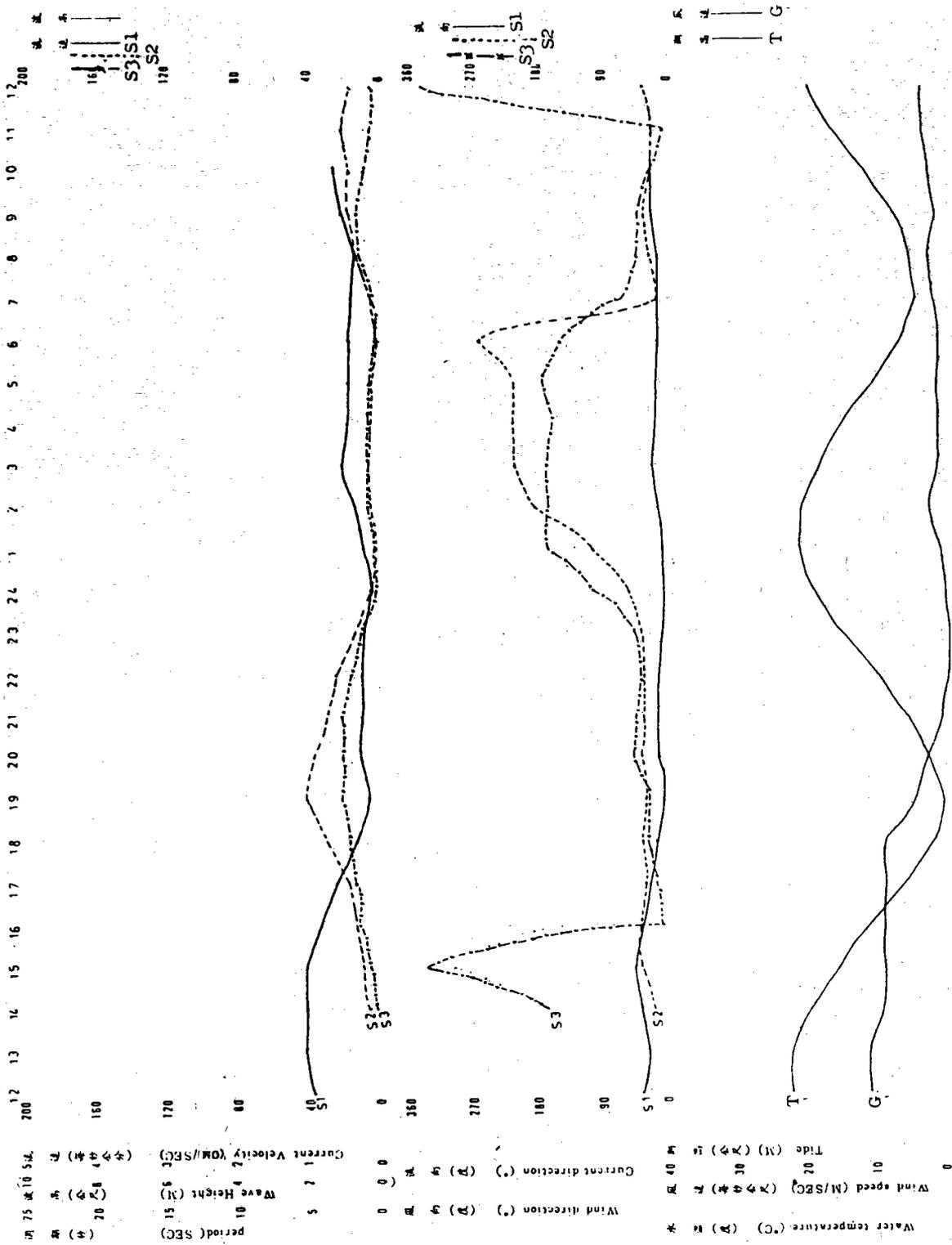
日期：西曆：0402-0403 / 1983  
Date 農曆：0319-0220 / 4/3



風、波浪、海流及潮位概圖

日期: 1984/03/10-03/11  
Date: 10-11

站名: 11  
Date: 10-11



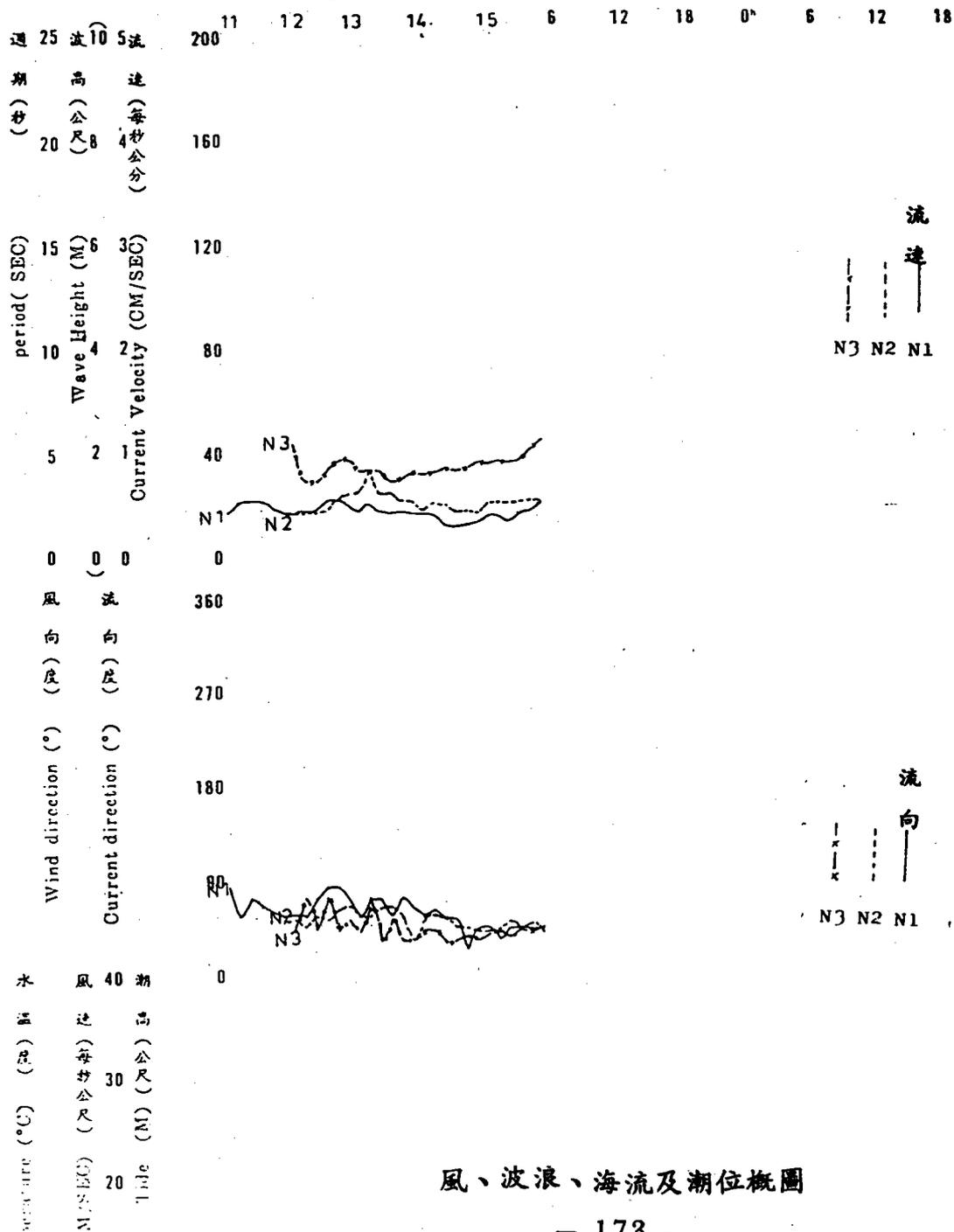
站名: 11

風、波浪、海流及潮位概圖

計畫:  
Project

位置: N 1  
N 2 N  
N 3

日期: 國曆: 1982/05/05  
Date 農曆:



風、波浪、海流及潮位概圖

交通處港灣技術研究所

INSTITUTE OF HARBOR & MARINE TECHNOLOGY

深度: 50M

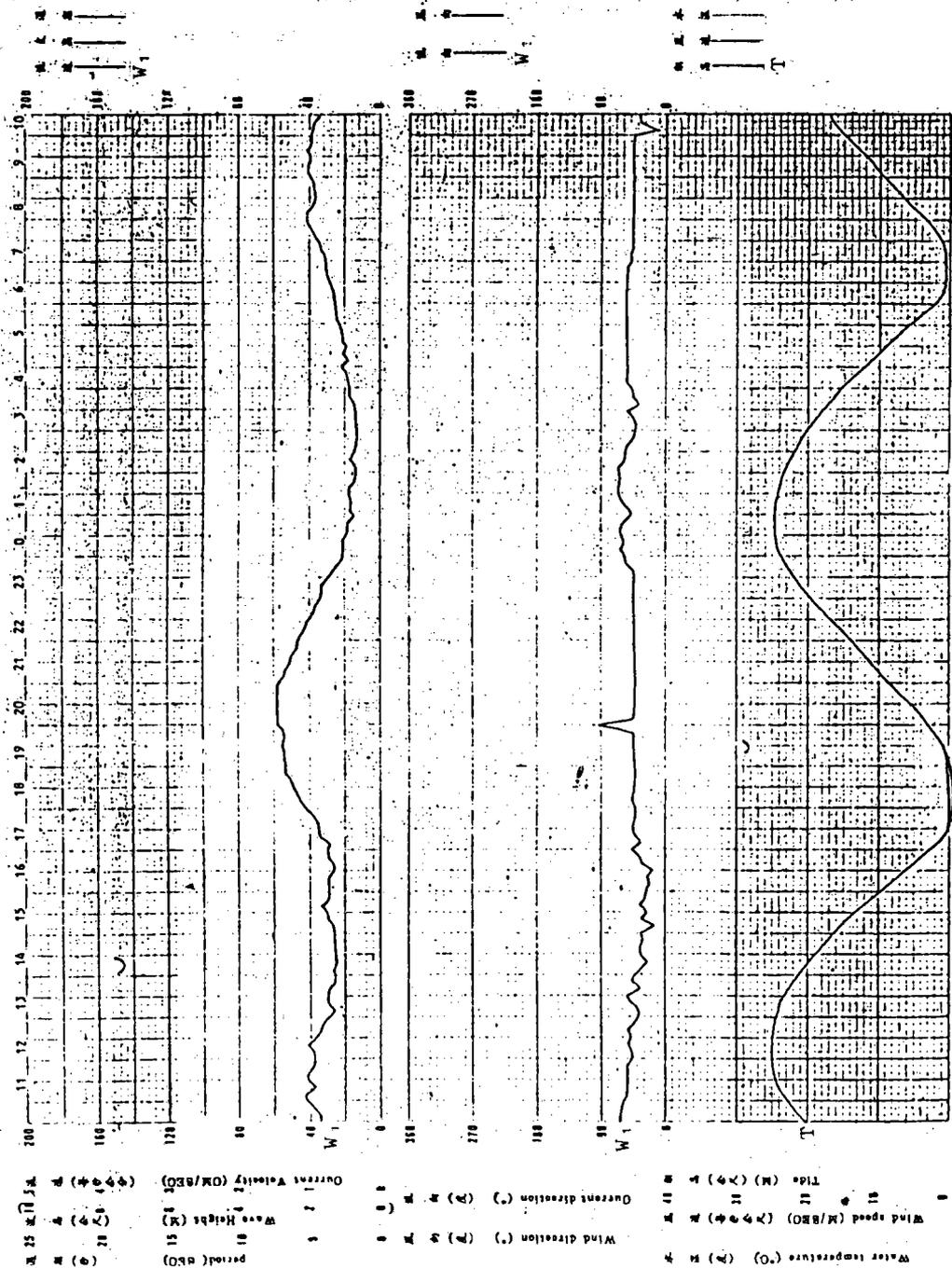
Date

位置: 20°17.3'N, 120°26.4'E

Date: 1982/0820/1030 - 0821/1020

Date: 0702 - 0703

Project



風、波浪、海流及潮位概圖

附 錄 (二)

海流向量行進圖

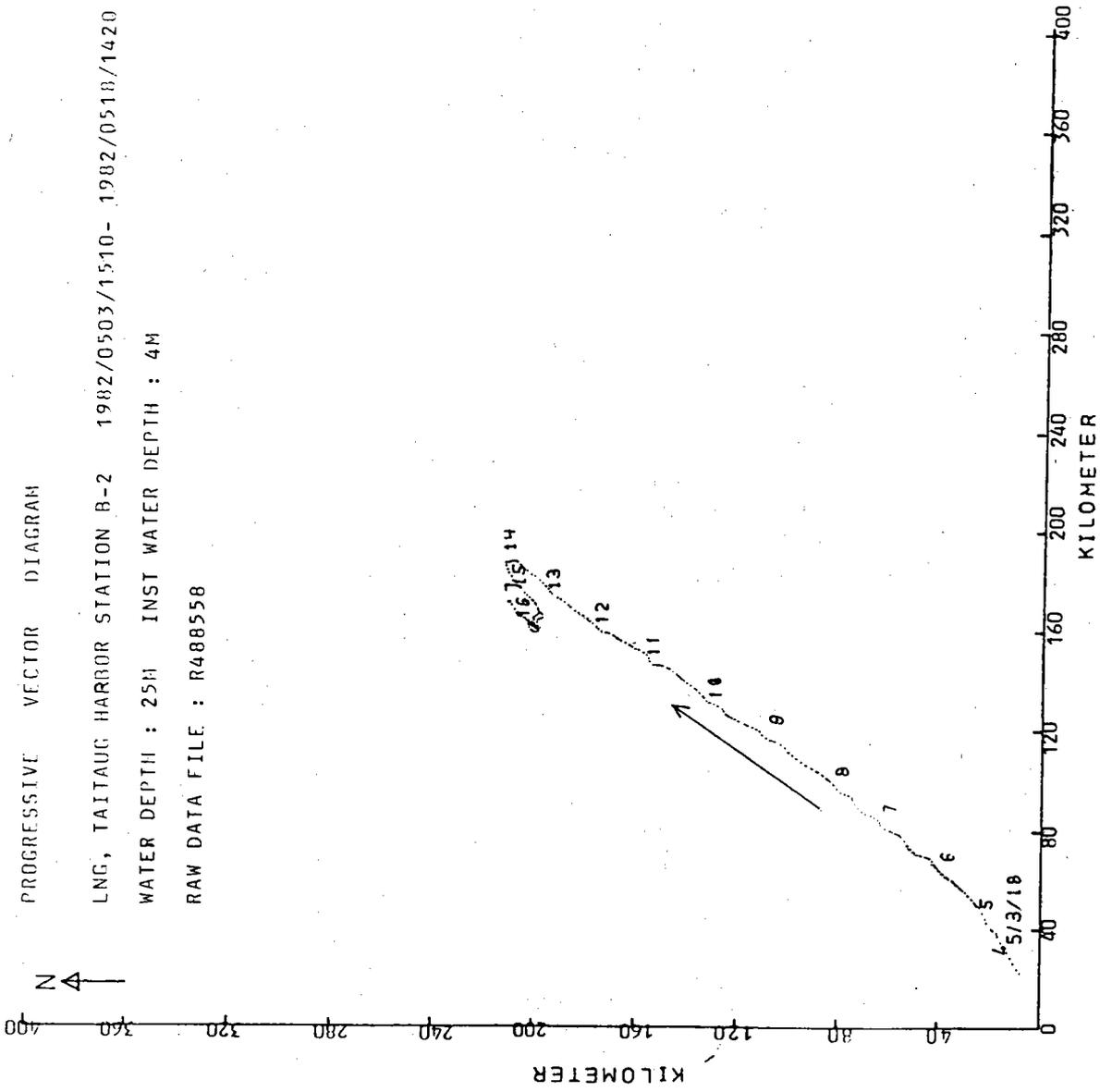


PROGRESSIVE VECTOR DIAGRAM

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

WATER DEPTH : 25M INST WATER DEPTH : 4M

RAW DATA FILE : R488558



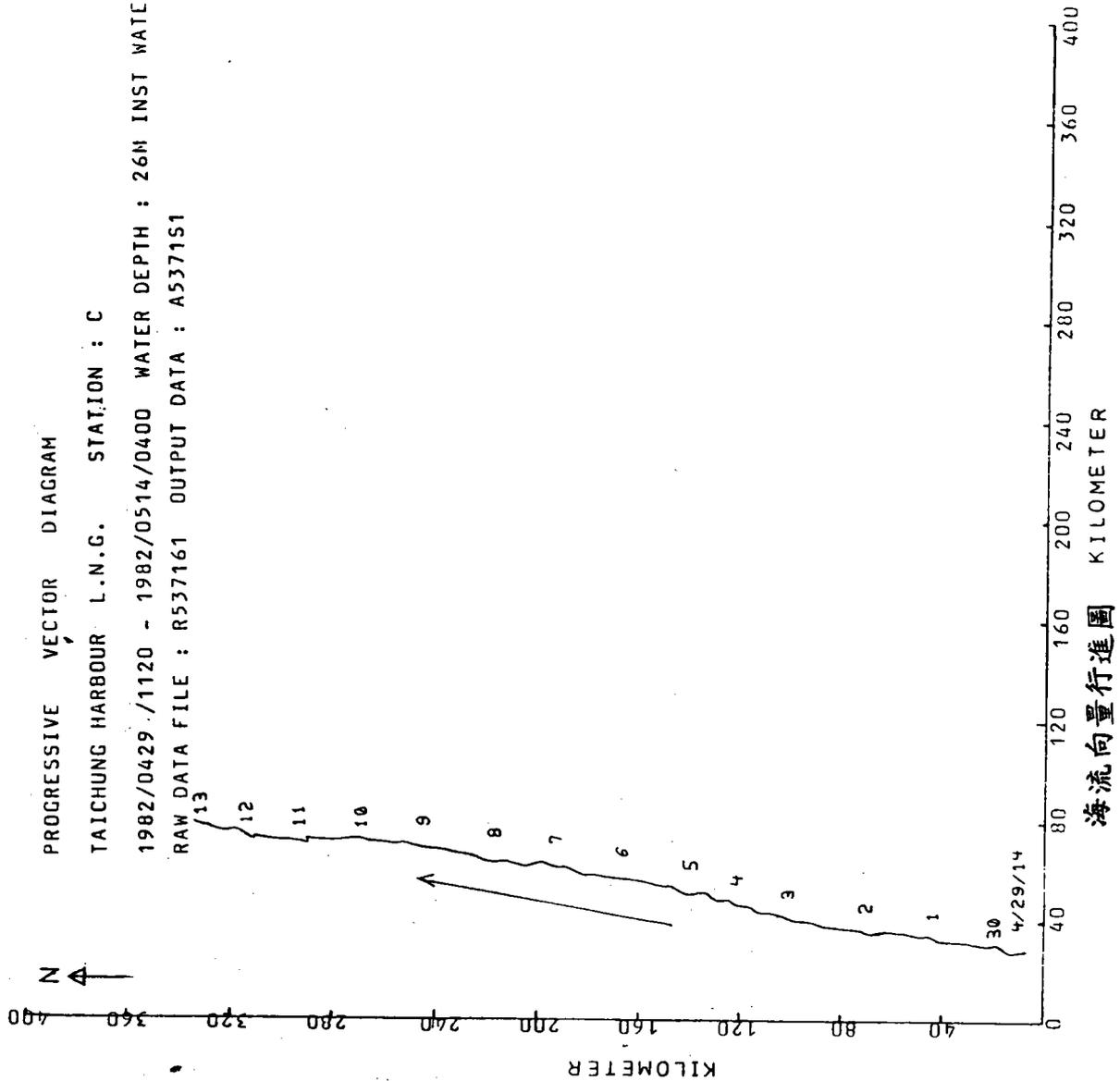
海流向量行進圖

PROGRESSIVE VECTOR DIAGRAM

TAICHUNG HARBOUR L.N.G. STATION : C

1982/0429 /1120 - 1982/0514/0400 WATER DEPTH : 26M INST WATER DEPTH : 5

RAW DATA FILE : R537161 OUTPUT DATA : A537151

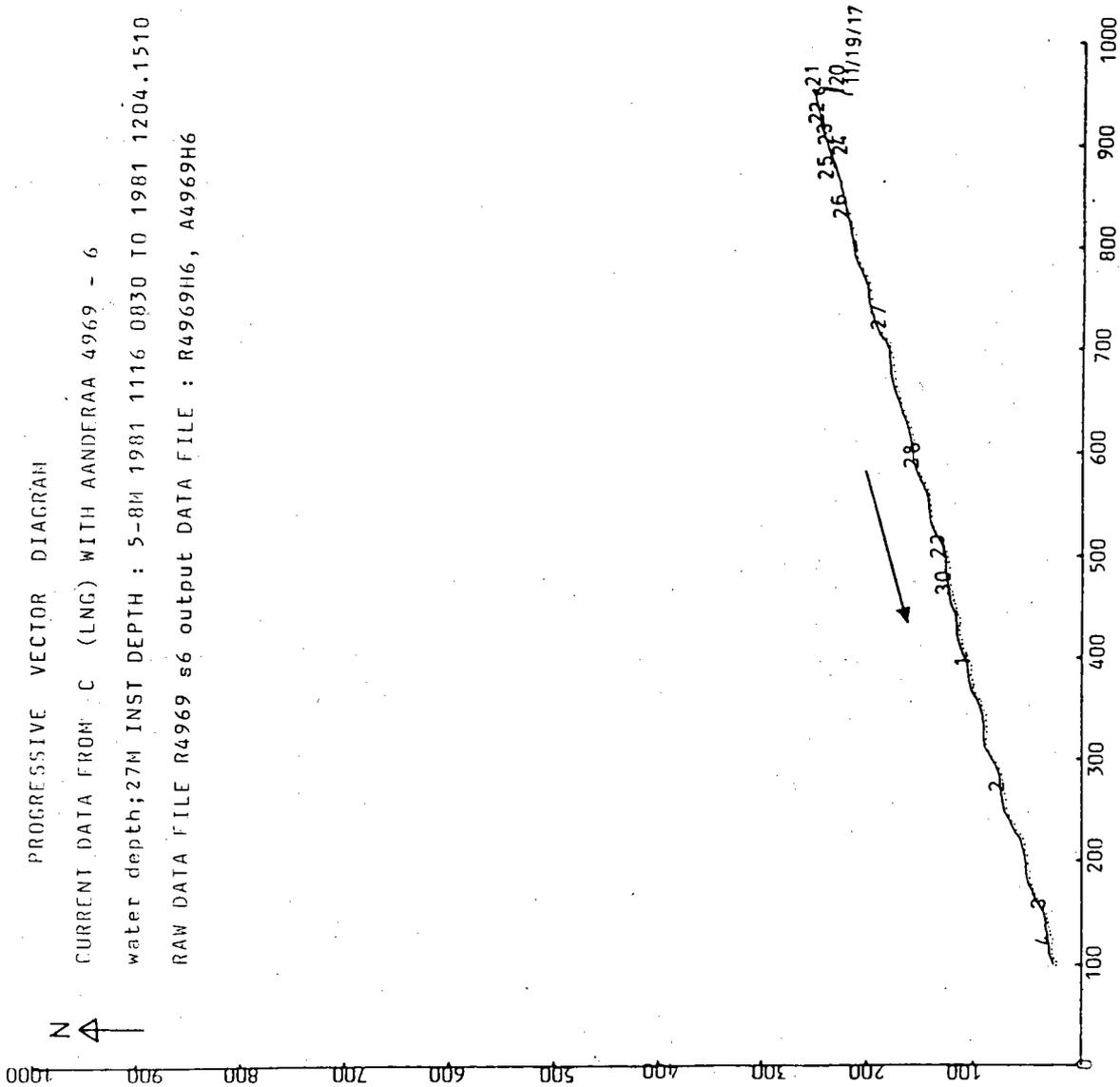


PROGRESSIVE VECTOR DIAGRAM

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

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

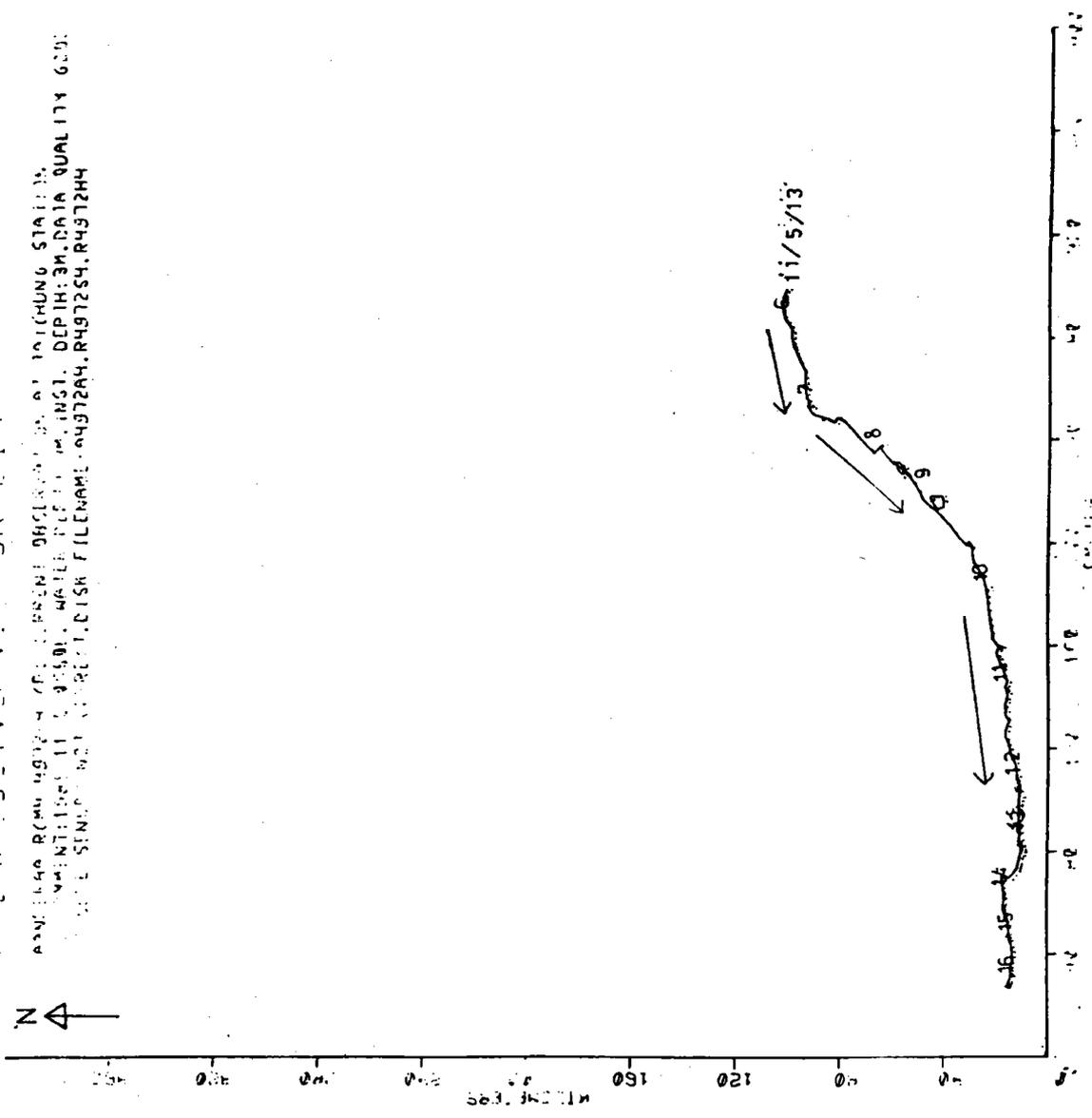
RAW DATA FILE R4969 s6 output DATA FILE : R4969H6, A4969H6



海流向量行進圖

PROGRESSIVE VECTOR CHART

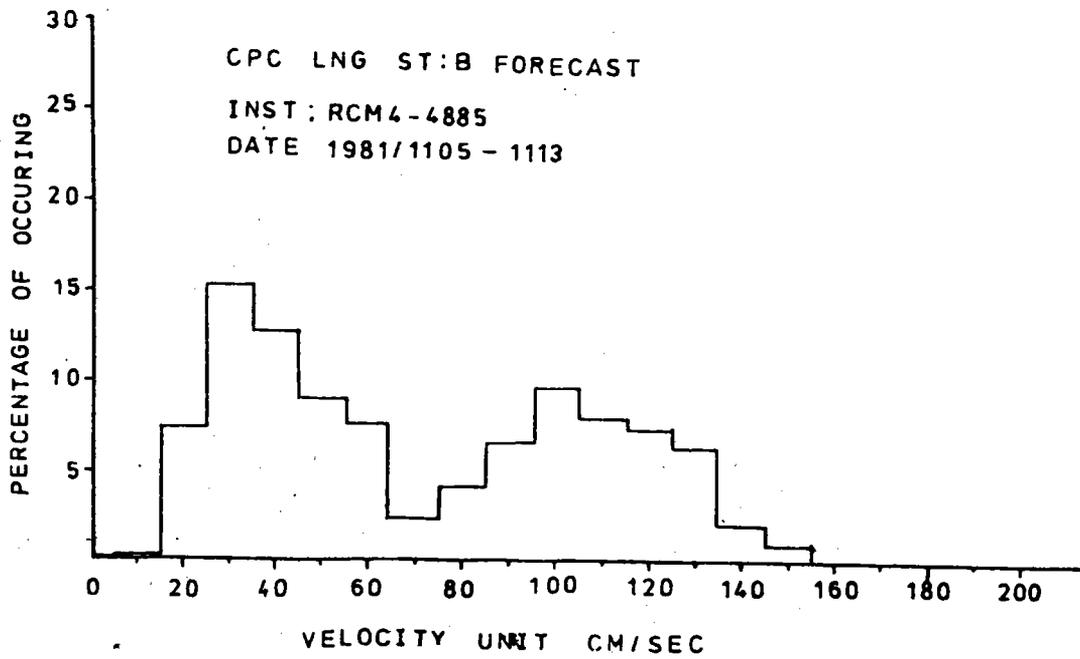
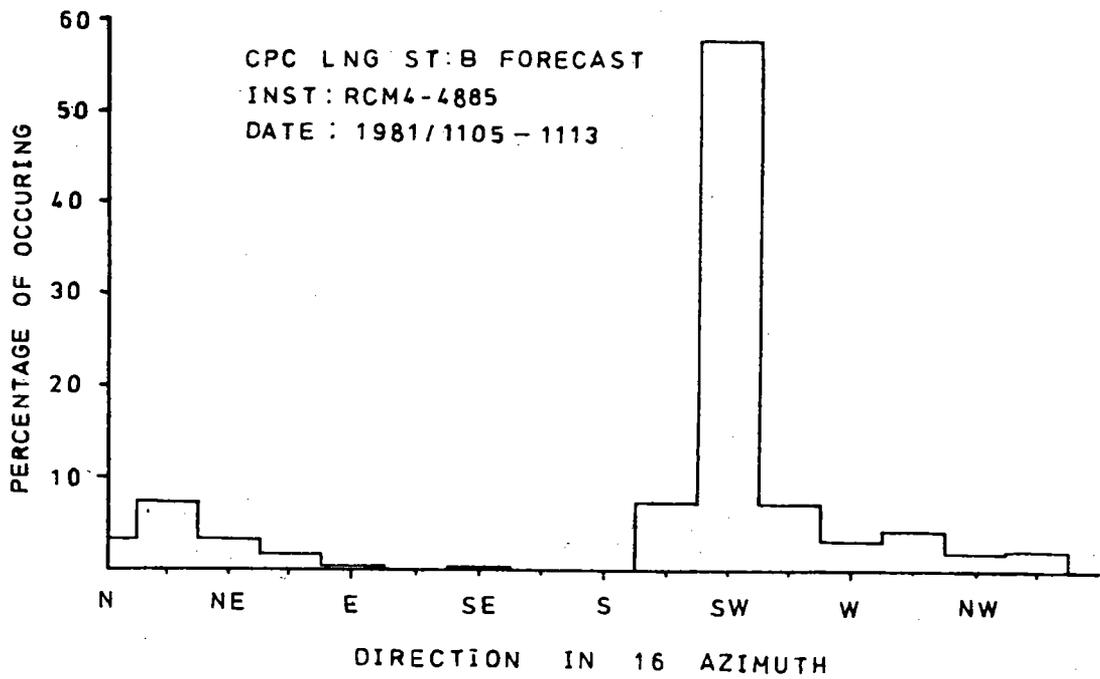
ASPECT NO. RCMN 49724 (P) CURRENT OBSERVATION AT TAICHUNG STATION.  
 ELEMENTS: 11 0 0000. WAVE PERIOD: 10.0. DEPTH: 3M. DATA QUALITY: 600.  
 FILE: SINGAPORE (P) FILENAME: 049724H.049725H.049726H



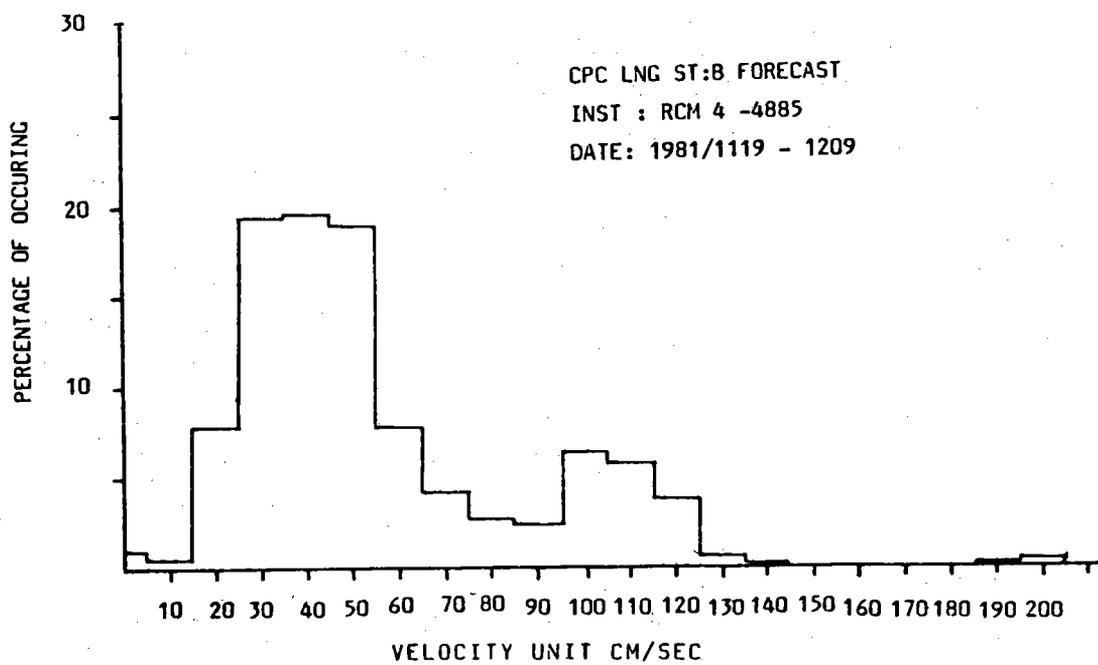
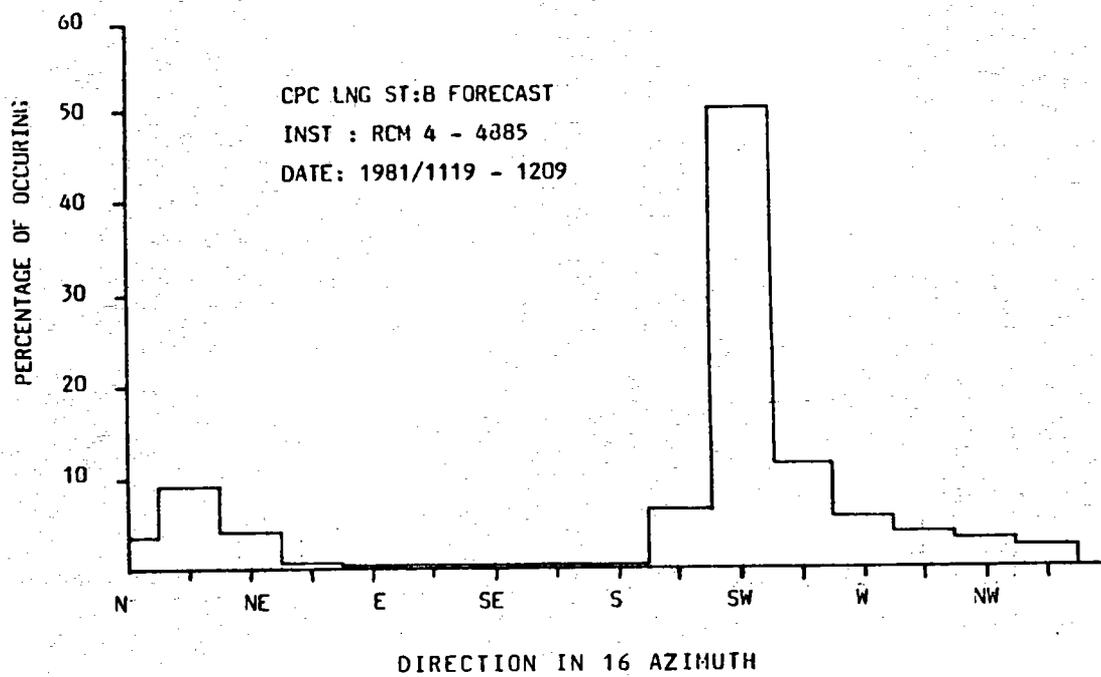
海流向量行進圖

附 錄 ( 三 )

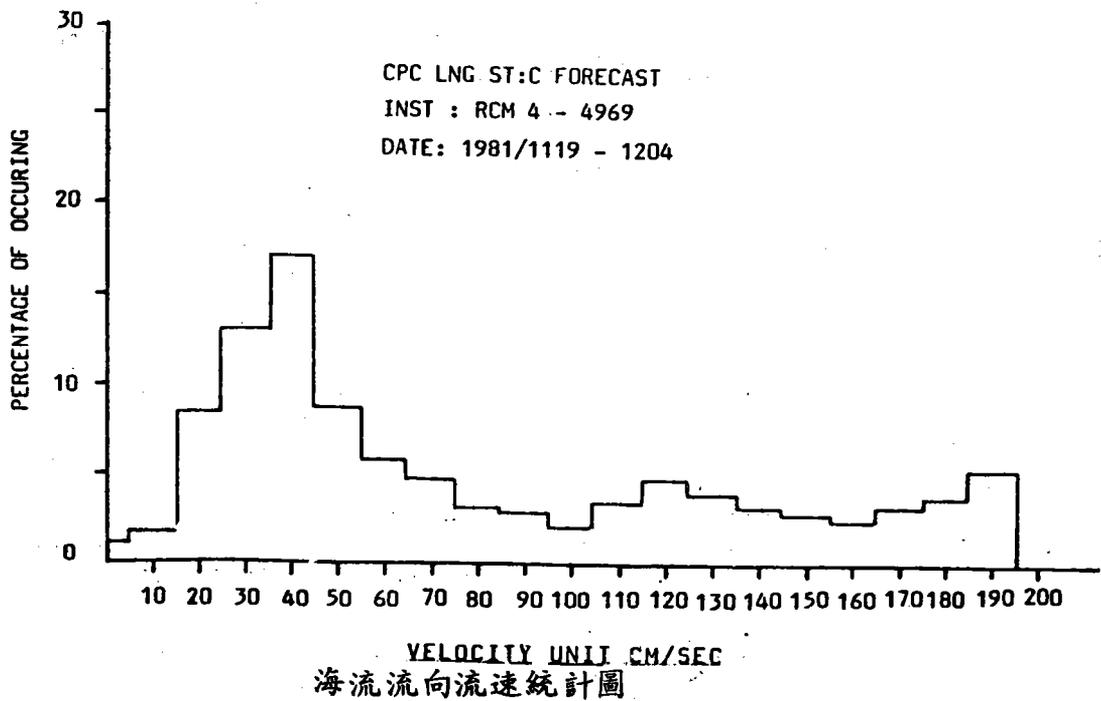
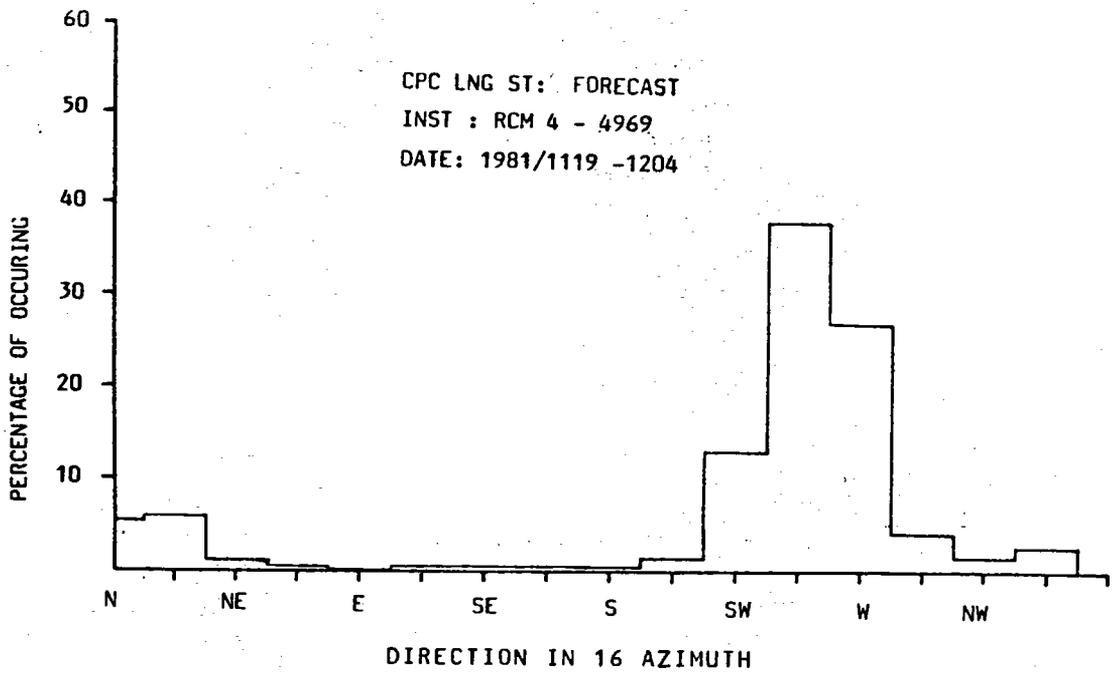
海流流向流速統計圖

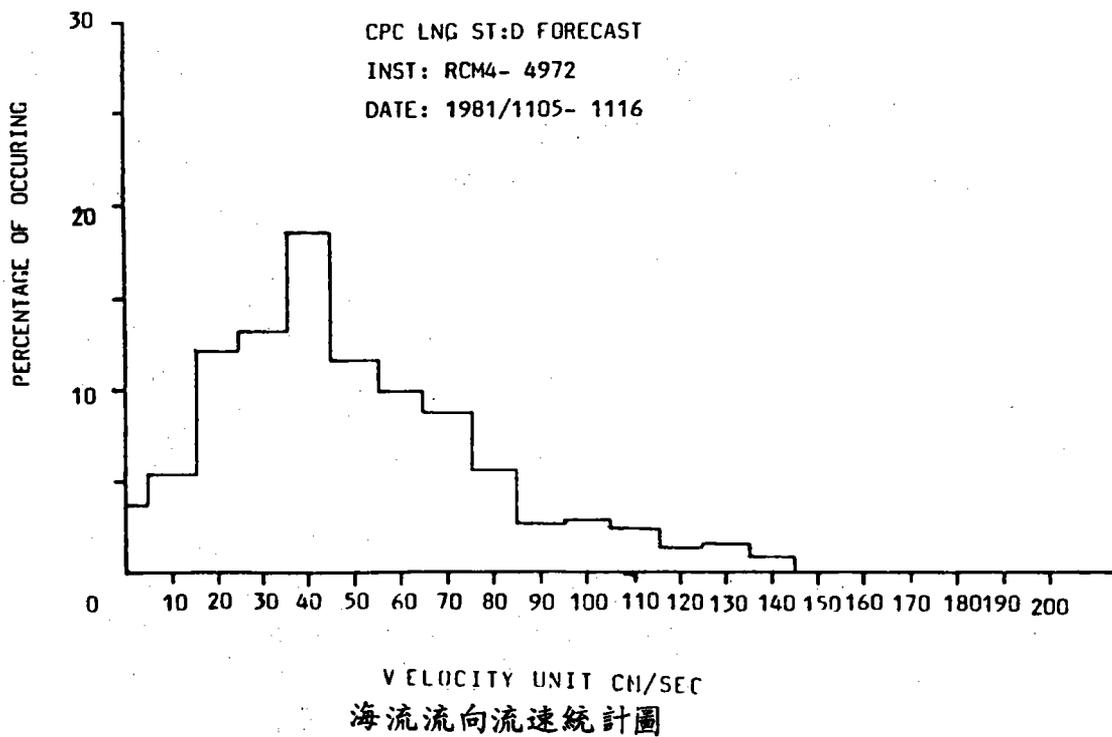
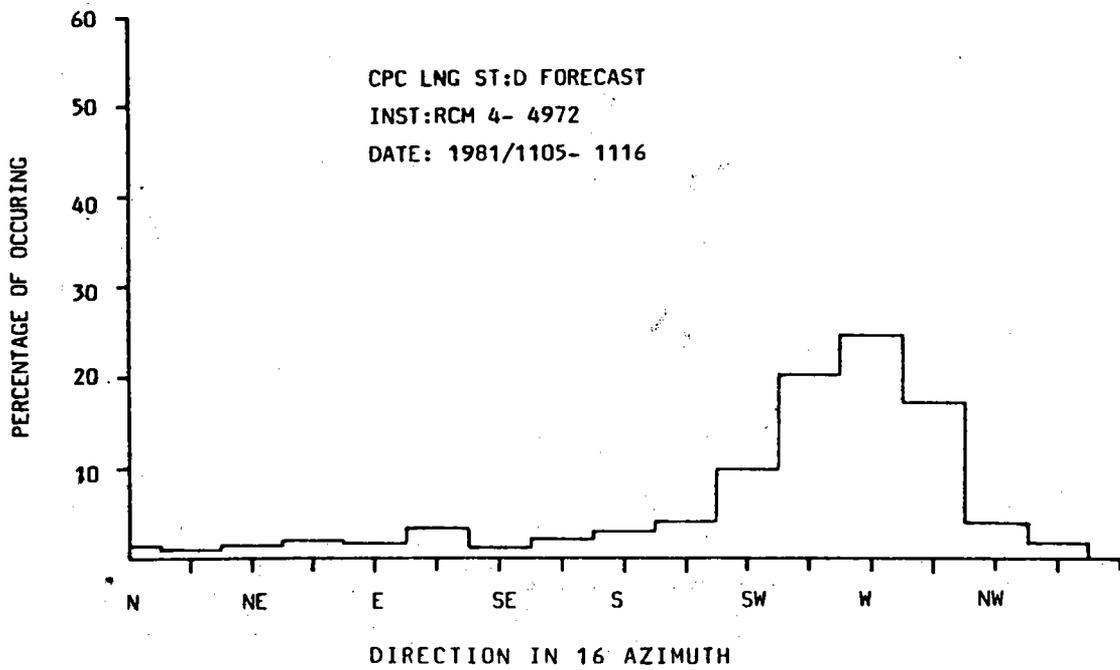


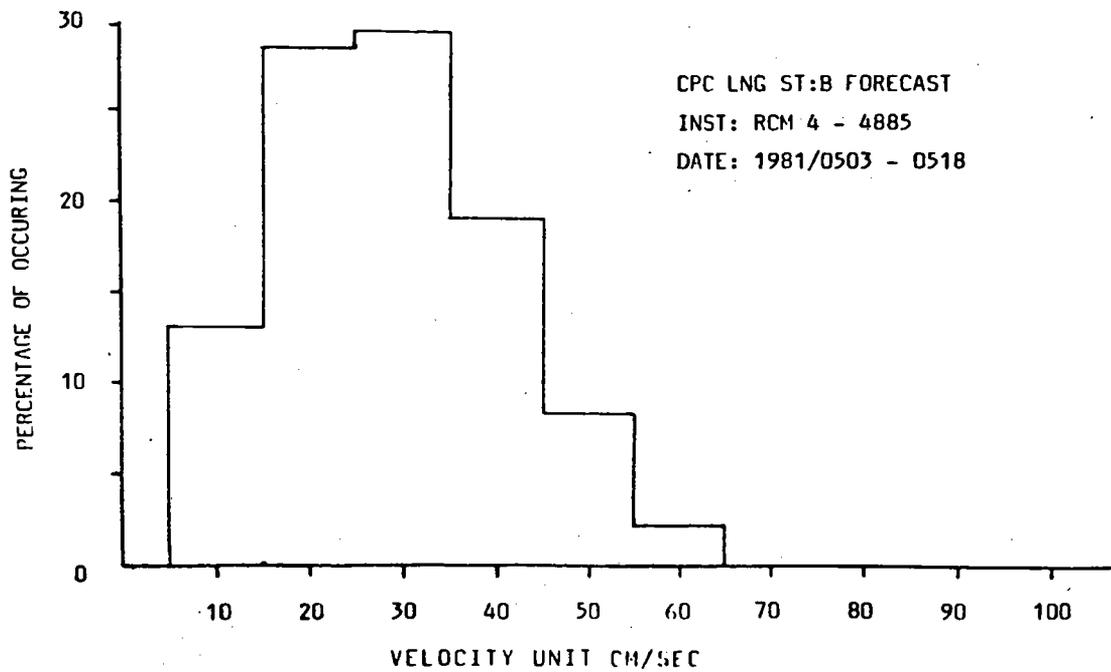
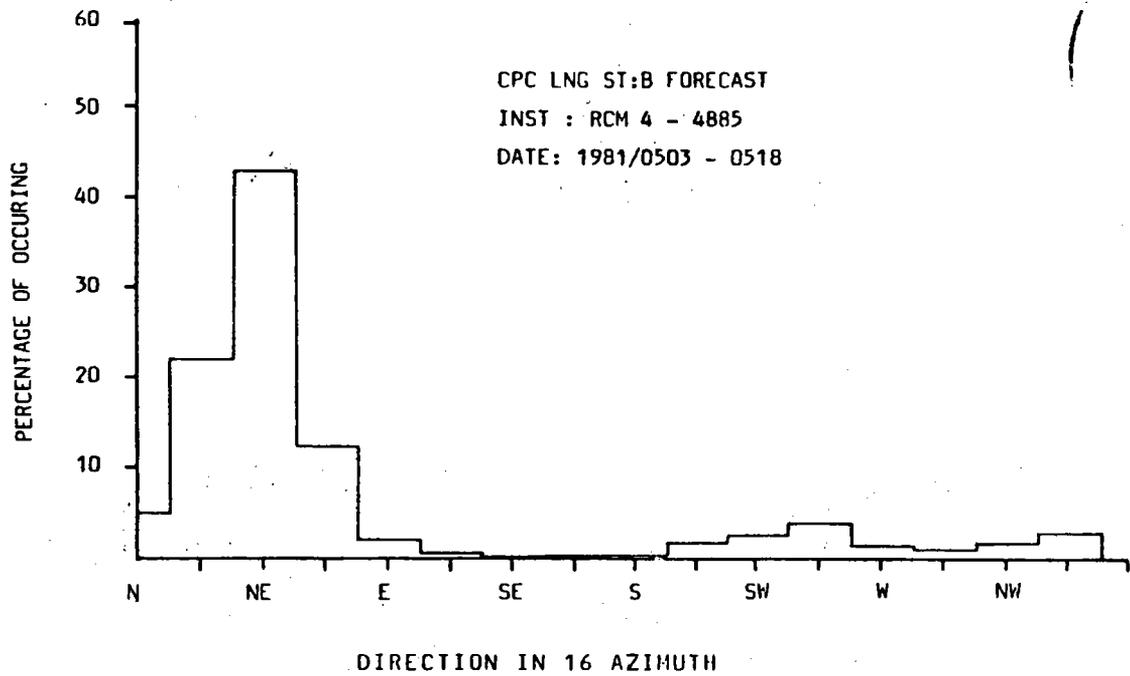
海流流向流速統計圖



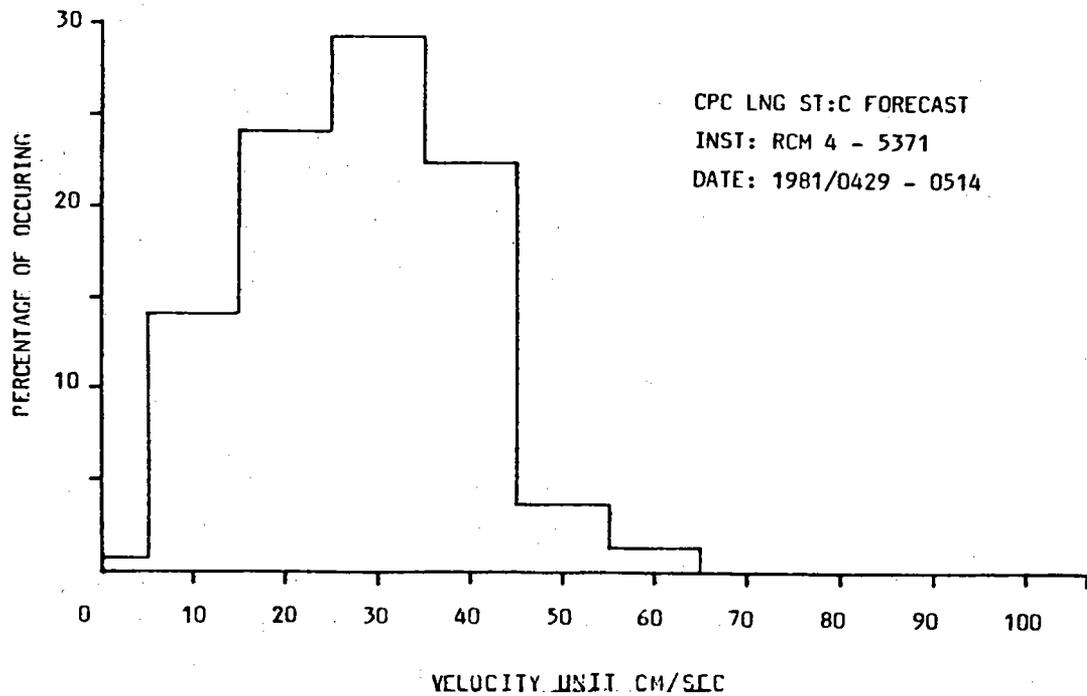
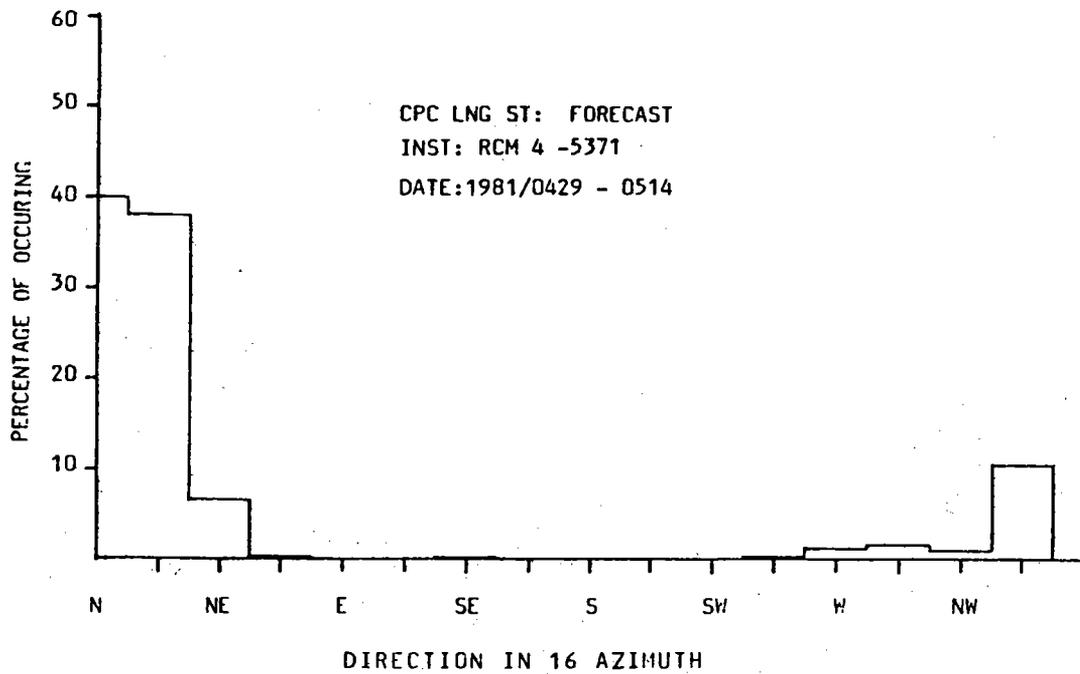
海流流向流速統計圖







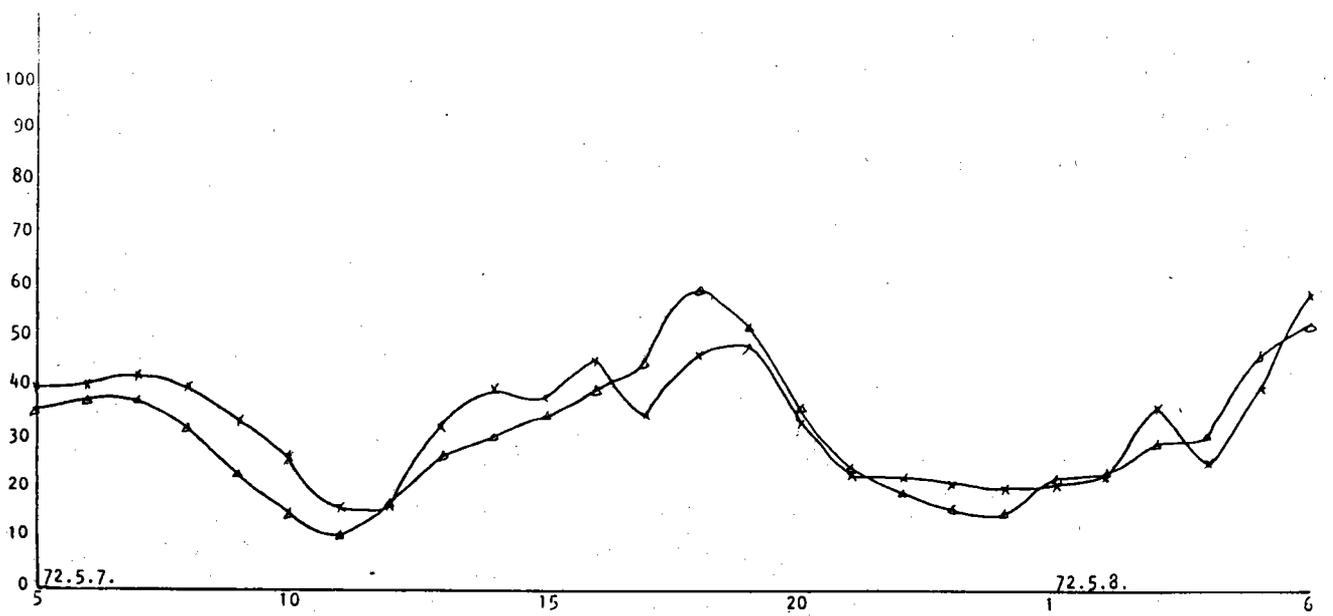
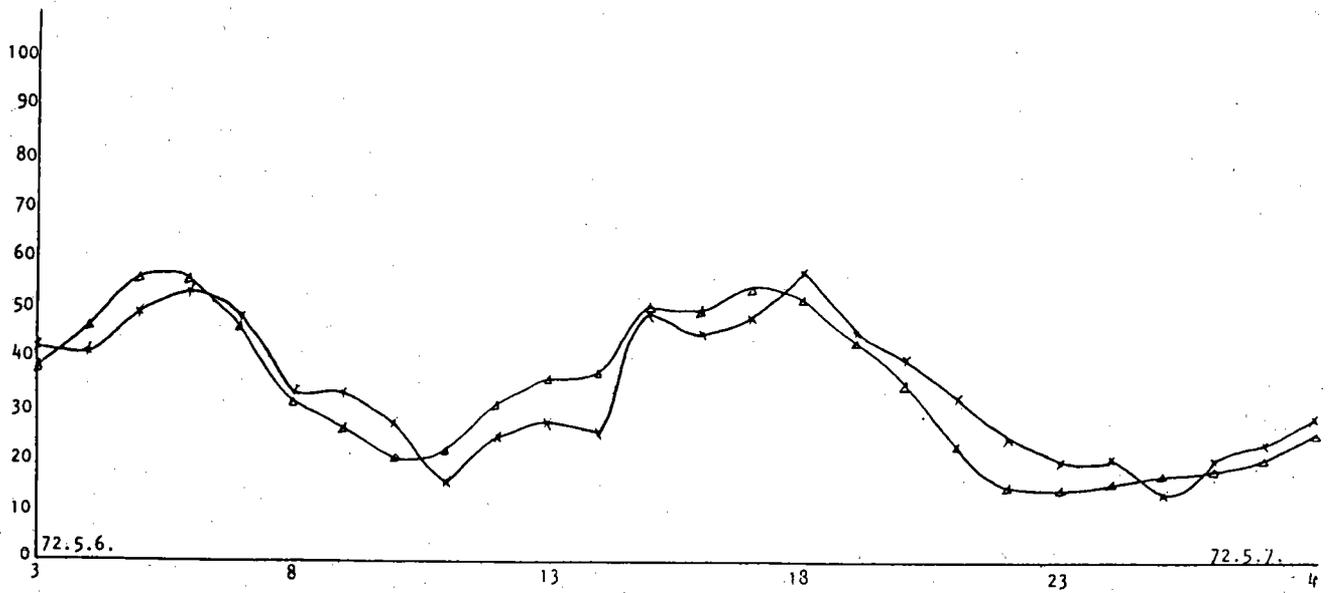
海流流向流速統計圖

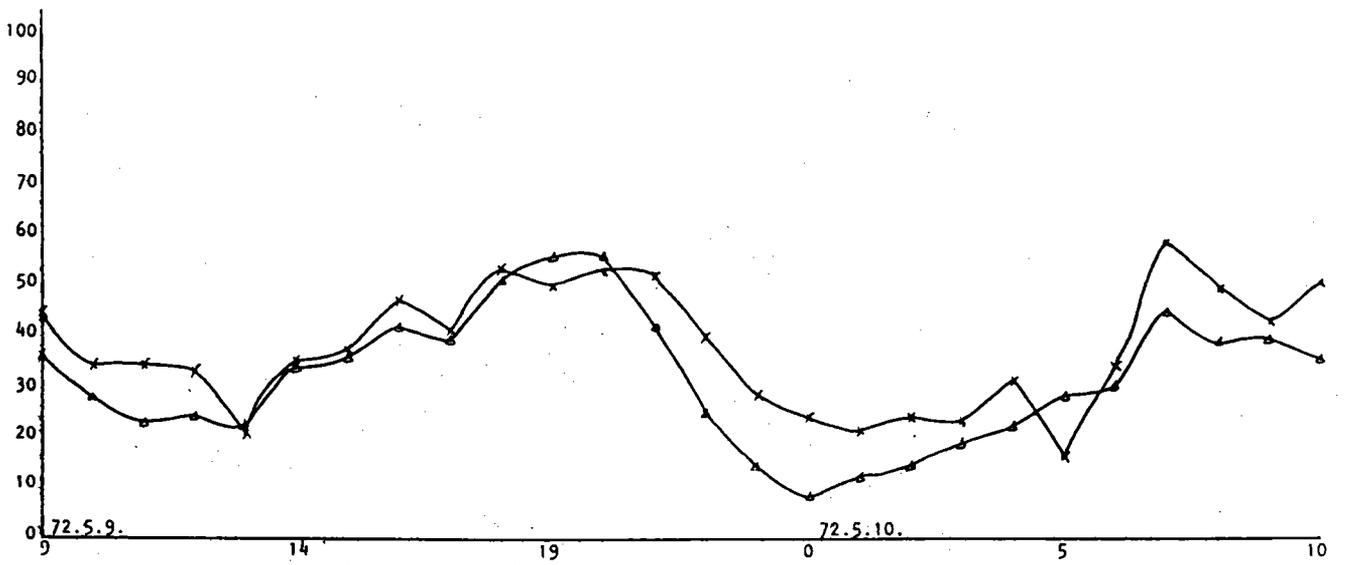
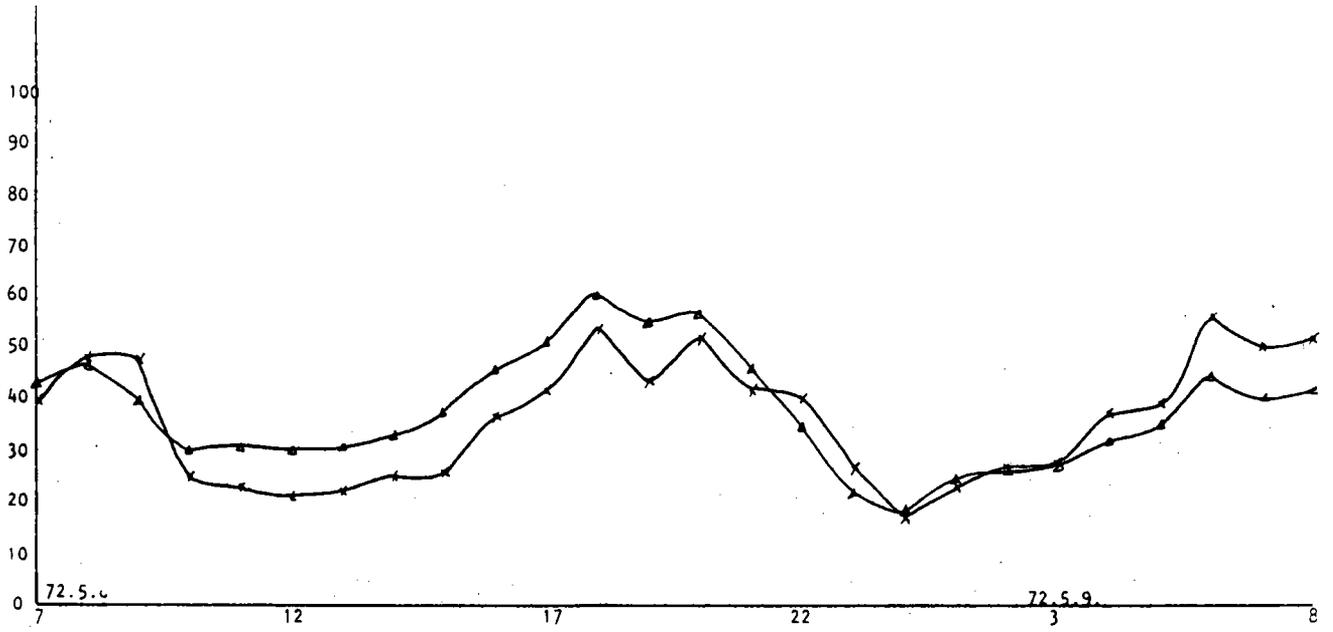


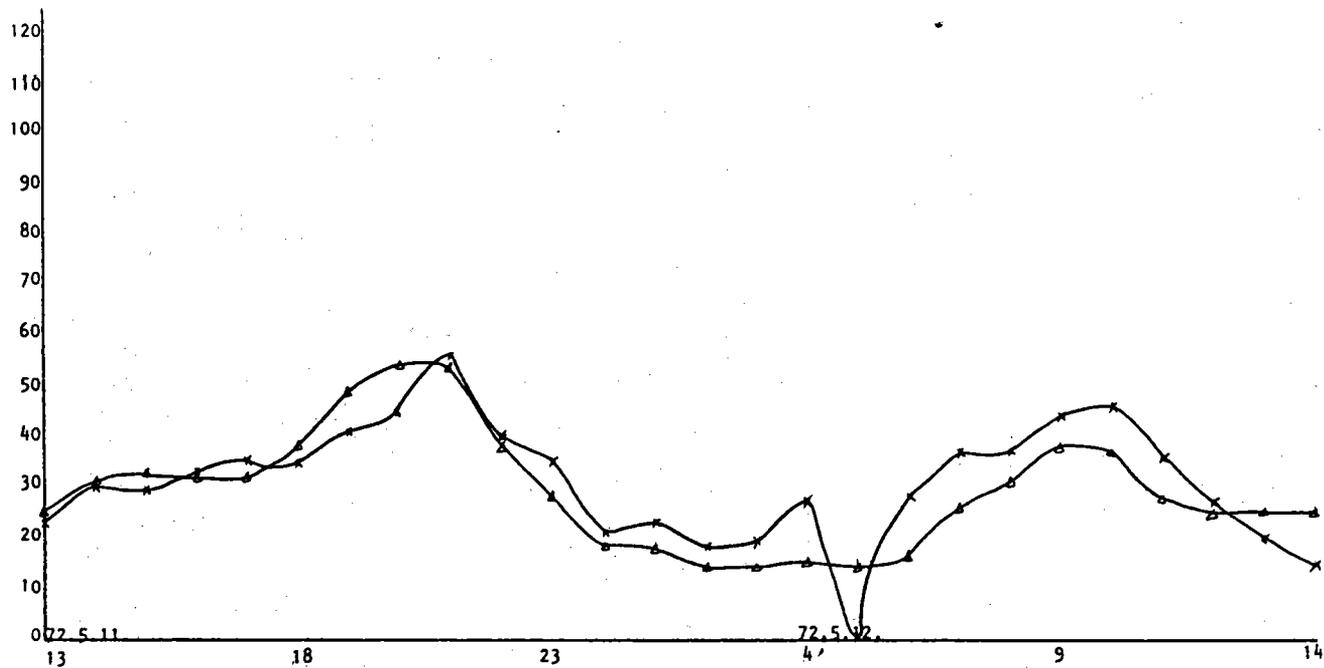
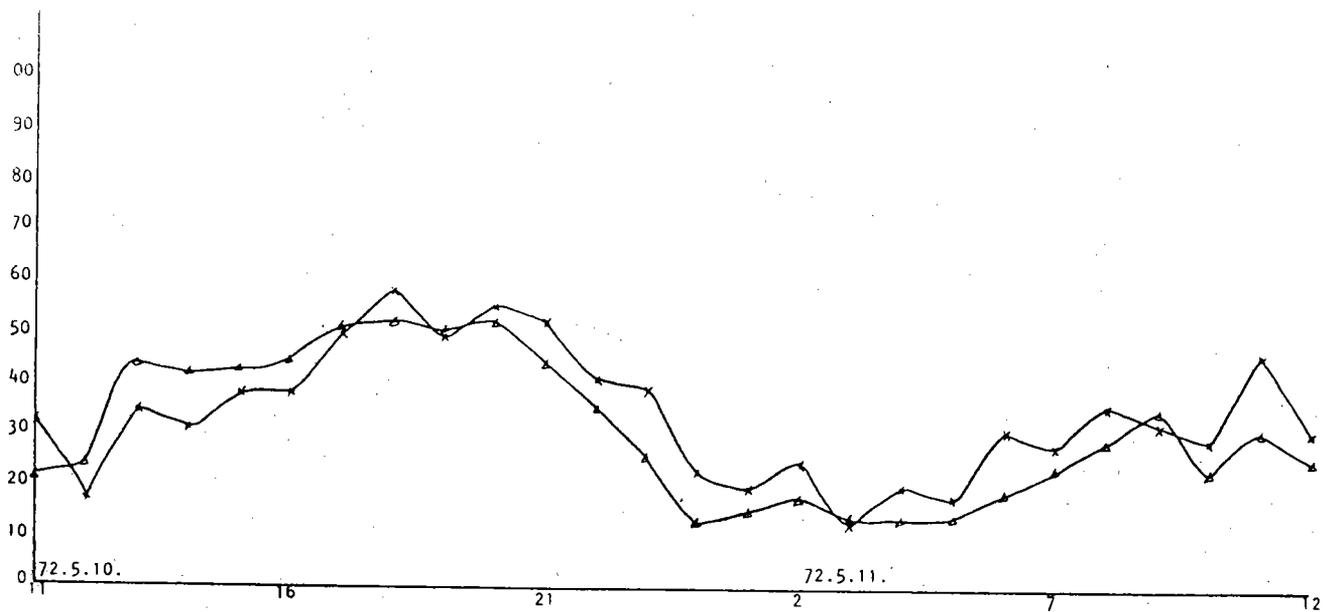
海流流向流速統計圖

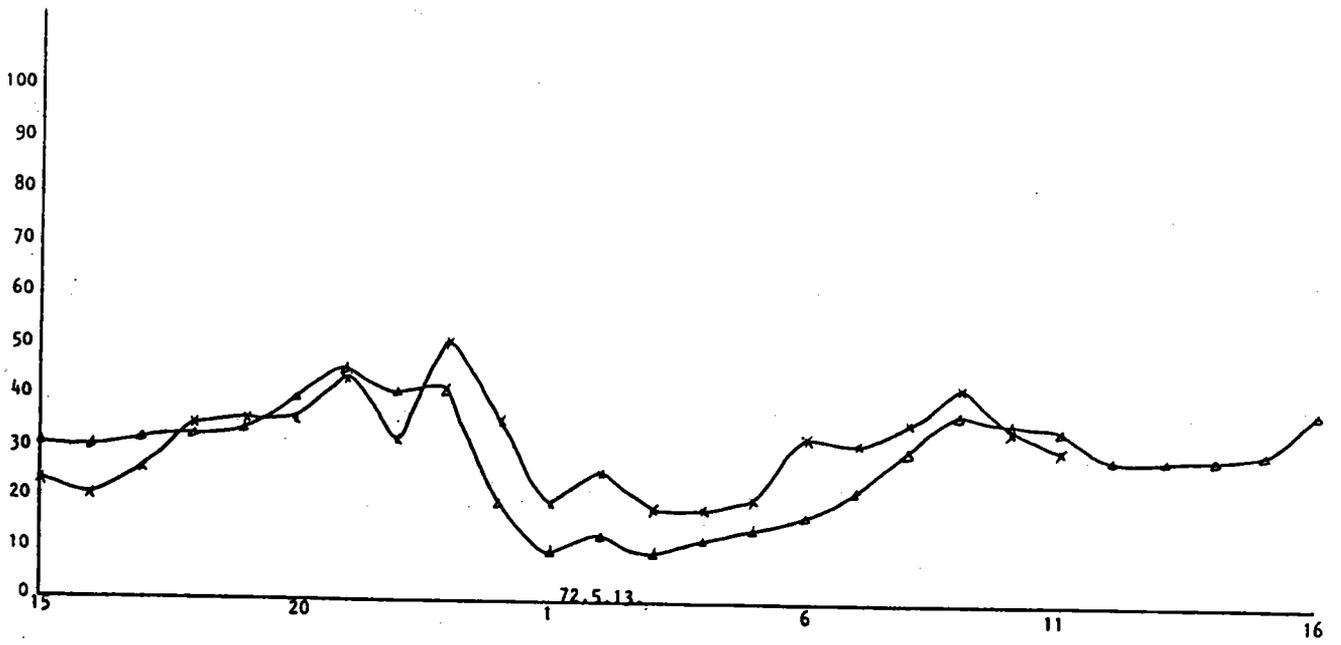
附 錄 (四)

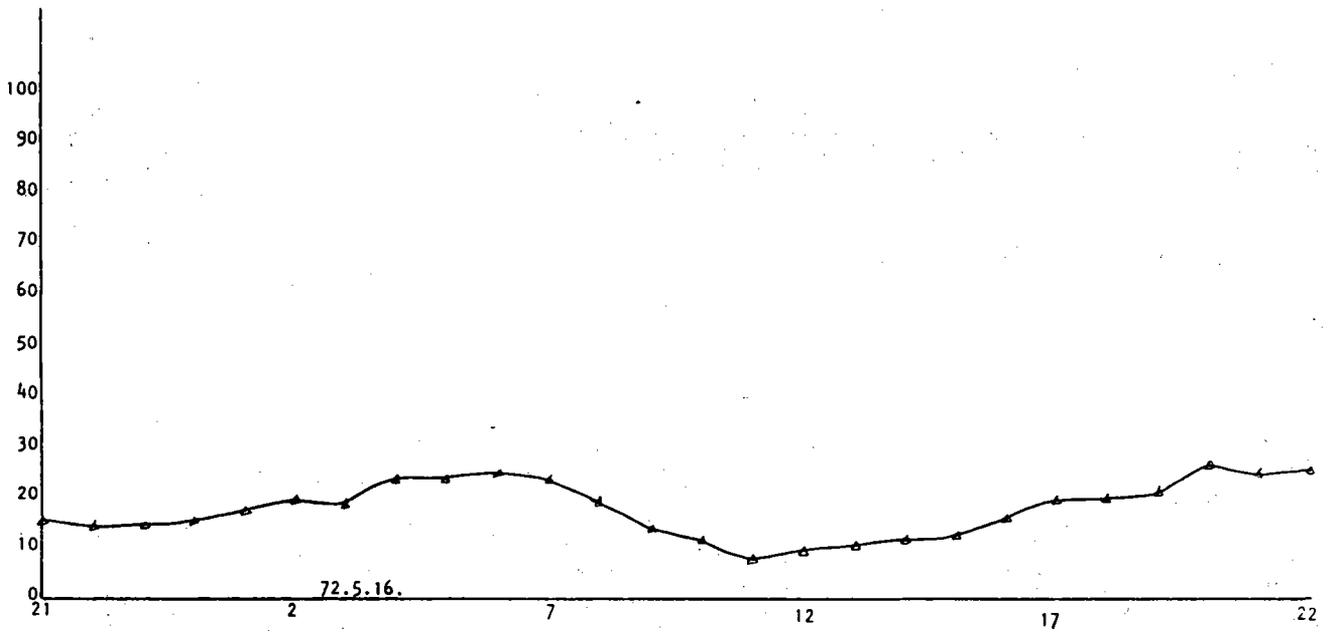
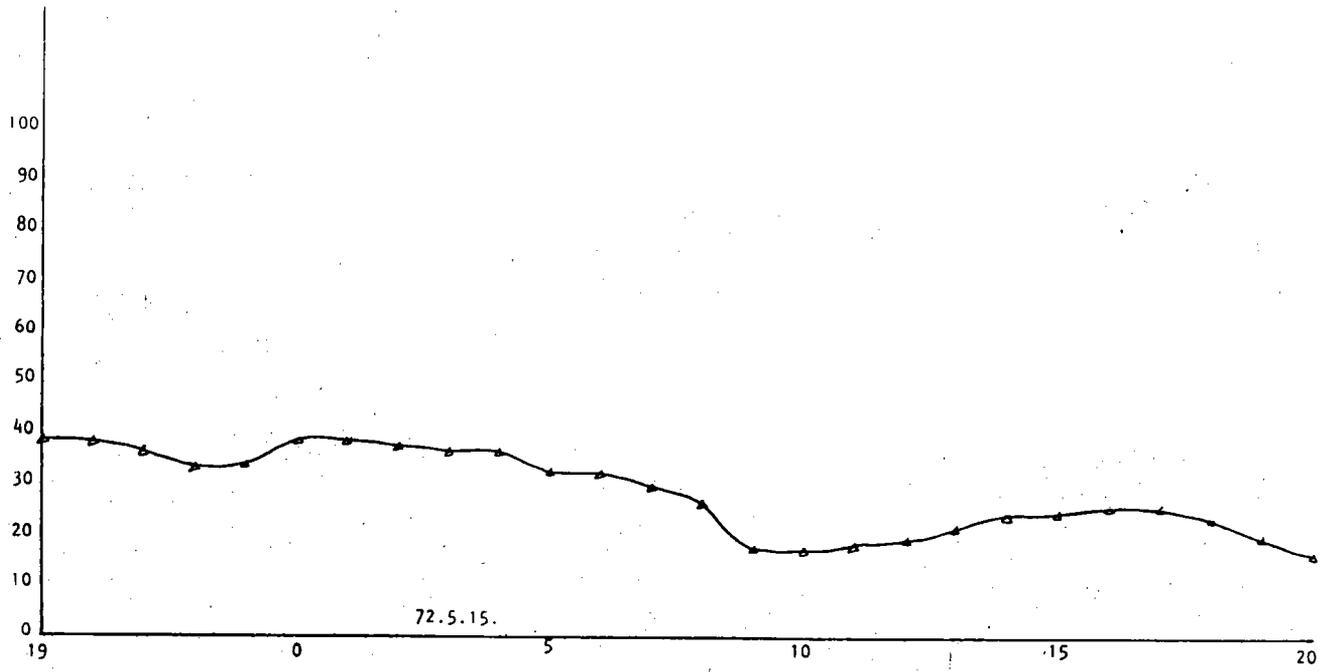
夏季階段海流流速實測值與預測值比較圖











附 錄 (五)

冬季階段海流流速實測值與預測值比較圖

