

# 台中港漂沙防治與新生地開發

主 持 人：張 金 機

協同主持人：邱 永 芳

簡 仲 環

何 良 勝

委託單位：交通部科技顧問室

受託單位：省政府交通處

港灣技術研究所

中 華 民 國 八 十 三 年 六 月

# 台中港漂沙防治與新生地開發

## 目 錄

- 一、前 言
- 二、海氣象資料蒐集與分析
- 三、漂沙量調查及分析
- 四、海岸地形預測模式
- 五、結 論

# 圖 目 錄

- 圖 2- 2 台中港風玫瑰圖
- 圖 2- 3 台中港1984年風玫瑰圖
- 圖 2- 4 台中港1985年風玫瑰圖
- 圖 2- 5 台中港1986年風玫瑰圖
- 圖 2- 6 台中港1987年風玫瑰圖
- 圖 2- 7 台中港1988年風玫瑰圖
- 圖 2- 8 台中港1989年風玫瑰圖
- 圖 2- 9 台中港1990年風玫瑰圖
- 圖 2-10 台中港1月份風玫瑰圖
- 圖 2-11 台中港2月份風玫瑰圖
- 圖 2-12 台中港3月份風玫瑰圖
- 圖 2-13 台中港4月份風玫瑰圖
- 圖 2-14 台中港5月份風玫瑰圖
- 圖 2-15 台中港6月份風玫瑰圖
- 圖 2-16 台中港7月份風玫瑰圖
- 圖 2-17 台中港8月份風玫瑰圖
- 圖 2-18 台中港9月份風玫瑰圖
- 圖 2-19 台中港10月份風玫瑰圖
- 圖 2-20 台中港11月份風玫瑰圖
- 圖 2-21 台中港12月份風玫瑰圖
- 圖 2-22 台中港夏季風能分佈圖
- 圖 2-23 台中港秋季風能分佈圖
- 圖 2-24 台中港冬季風能分佈圖
- 圖 2-25 台中港春季風能分佈圖
- 圖 2-26 台中港1月份風速持續發生率
- 圖 2-27 台中港2月份風速持續發生率
- 圖 2-28 台中港3月份風速持續發生率

- 圖 2-29 台中港4月份風速持續發生率
- 圖 2-30 台中港5月份風速持續發生率
- 圖 2-31 台中港6月份風速持續發生率
- 圖 2-32 台中港7月份風速持續發生率
- 圖 2-33 台中港8月份風速持續發生率
- 圖 2-34 台中港9月份風速持續發生率
- 圖 2-35 台中港10月份風速持續發生率
- 圖 2-36 台中港11月份風速持續發生率
- 圖 2-37 台中港12月份風速持續發生率
- 圖 2-38 侵台颱風路徑分類圖
- 圖 3-39 台中港潮差統計分佈圖
- 圖 3-40 台中港潮位能譜圖
- 圖 2-41 台中港夏季示性波高分佈
- 圖 2-42 台中港夏季示性週期分佈
- 圖 2-43 台中港冬季示性波高分佈
- 圖 2-44 台中港冬季示性週期分佈
- 圖 2-45 台中港示性波高分佈
- 圖 2-46 台中港示性週期分佈
- 圖 2-47 台中港示性波高與週期聯合分佈二維圖
- 圖 2-48 台中港示性波高與週期聯合分佈二維圖
- 圖 2-49 台中港夏季示性波高實測與理論分佈
- 圖 2-50 台中港夏季示性週期實測與理論分佈
- 圖 2-51 台中港冬季示性波高實測與理論分佈
- 圖 2-52 台中港冬季示性週期實測與理論分佈
- 圖 2-53 台中港示性波高實測與理論分佈
- 圖 2-54 台中港示性週期實測與理論分佈
- 圖 2-55 台中港夏季示性波高與週期之平均過繼時間
- 圖 2-56 台中港冬季示性波高與週期之平均過繼時間
- 圖 2-57 台中港示性波高與週期之平均過繼時間
- 圖 2-58 夏季風速與流速互相關函數圖
- 圖 2-59 冬季風速與流速互相關函數圖

- 圖 2-60 夏季潮位與流速互相關函數圖
- 圖 2-61 冬季潮位與流速互相關函數圖
- 圖 2-62 風向發生機率比較圖
- 圖 2-63 波向發生機率比較圖
- 圖 3-1 65年與69年之平面地形比較圖
- 圖 3-2 69年與75年之平面地形比較圖
- 圖 3-3 75年與79年之平面地形比較圖
- 圖 3-4 79年與82年之平面地形比較圖
- 圖 3-5 分區示意圖
- 圖 3-6 歷年堆積厚度比較圖
- 圖 3-7 歷年各區間堆積厚度比較圖
- 圖 3-8 座標示意圖
- 圖 3-9 每年等深控制線斜率比較圖
- 圖 3-10 每年等深控制線斜率比較圖
- 圖 3-11 每年等深控制線斜率比較圖
- 圖 3-12 每年等深控制線斜率比較圖
- 圖 3-13 歷年等深控制線前進距離累積圖
- 圖 3-14 歷年等深控制線前進距離累積圖
- 圖 3-15 歷年等深控制線前進距離累積圖
- 圖 3-16 歷年等深控制線前進距離累積圖
- 圖 3-17 歷年平均水深變化比較圖
- 圖 3-18 歷年平均水深變化比較圖
- 圖 3-19 歷年平均水深變化比較圖
- 圖 3-20 歷年平均水深變化比較圖
- 圖 3-21 歷年平均縱向坡度比較圖
- 圖 3-22 歷年平均縱向坡度比較圖
- 圖 3-23 歷年平均縱向坡度比較圖
- 圖 3-24 歷年平均縱向坡度比較圖
- 圖 3-25 縱向坡度示意圖
- 圖 3-26 地形圖
- 圖 3-27 地形圖

- 圖 3-28 地形圖
- 圖 3-29 地形圖
- 圖 3-30 地形圖
- 圖 3-31 地形圖
- 圖 3-32 地形圖
- 圖 3-33 地形圖
- 圖 3-34 地形圖
- 圖 3-35 地形圖
- 圖 4-1 計算區域示意圖
- 圖 4-2 向、離岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖
- 圖 4-3 向、離岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖
- 圖 4-4 向、離岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖
- 圖 4-5 向、離岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖
- 圖 4-6 向、離岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖
- 圖 4-7 向、離岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖
- 圖 4-8 沿岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖
- 圖 4-9 沿岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖
- 圖 4-10 沿岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖
- 圖 4-11 沿岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖
- 圖 4-12 沿岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖
- 圖 4-13 沿岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖
- 圖 4-14 時間各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖
- 圖 4-15 時間各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖
- 圖 4-16 時間各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖
- 圖 4-17 時間各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖
- 圖 4-18 時間各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖
- 圖 4-19 時間各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖
- 圖 4-20 各斷面預測值與實測值之偏差率比較圖
- 圖 4-21 断面5之預測值與實測值比較圖
- 圖 4-22 断面10之預測值與實測值比較圖
- 圖 4-23 断面15之預測值與實測值比較圖
- 圖 4-24 断面20之預測值與實測值比較圖

## 表 目 錄

- 表 2-1 台中港各風力測站說明
- 表 2-2 民國38年至民國81年颱風侵台各月次數
- 表 2-3 台中港月平均示性波高(單位：公尺)
- 表 2-4 台中港月平均示性週期(單位：秒)
- 表 2-5 台中港冬季(10、11、12、1月)示性波高發生率
- 表 2-6 台中港冬季(10、11、12、1月)示性週期發生率
- 表 2-7 台中港夏季(5、6、7、8月)示性波高發生率
- 表 2-8 台中港夏季(5、6、7、8月)示性週期發生率
- 表 2-9 台中港示性波尖銳度發生率
- 表 2-10 台中港波浪統計比值關係
- 表 2-11 台中港各復現期距之最大示性波高(Gumbel)
- 表 2-12 台中港各復現期距冬夏季之最大示性波高(Weibull)
- 表 2-13 台中港颱風波浪推算下各復現期距之最大示性波高
- 表 3-1 中港號歷年挖泥數量統計表(立方公尺)
- 表 4-1 各年度之修正Iribarren number
- 表 4-2 各種不同樣本長度之時間分配
- 表 4-3 向、離岸不同時段前五個特徵函數之偏差率
- 表 4-4 沿岸不同時段前五個特徵函數之偏差率
- 表 4-5 時間不同時段前五個特徵函數之偏差率

# 台中港漂沙防治與新生地開發

## 一、前言

台灣地形狹長，中央山脈縱貫南北，河川坡陡流急，每遇颱風暴雨將大量泥沙輸入河口，對海岸地形產生極大影響。西部海岸沙灘平緩，受颱風及冬季東北季風波浪侵襲，漂沙活動相當劇烈，台中港興建南、北防波堤破壞海岸漂沙平緩現象，造成北防波堤以北淤積，南防波堤以南沖刷現象。

台中港為國內第一個在平緩沙灘闢建的人工港，建港完成後防波堤防除充份發揮防波功能外，北防波堤亦能有效攔阻漂沙侵入航道，使漂沙堆積於淤沙區。根據水深測量資料分析顯示，北防波堤至大甲溪口間每年堆積量約四百萬立方公尺；南防波堤與大肚溪間則每年約侵蝕三百九十萬立方公尺。北防波堤與北防沙堤間每年約堆積一百一十萬立方公尺，15<sup>m</sup>及20<sup>m</sup>等深線每年平均外移二十餘公尺至三十公尺。

台中港過去為維護淤沙區平衡每年利用自航道式挖泥船自淤沙區挖泥約五十萬立方公尺，僅為堆積量三分之一，尚不能達到淤沙區平衡，致使等深線逐年往外海移。抽取淤沙填築新生地替代挖泥海拋不但可以解決淤沙、開發新生地創造財富，還可以減少污染改善環境。

本研究計畫預定以三年時間完成，第一年除重新整理台中港海象氣象資料外，並以往水深測量資料建檔，分析堆積與沖刷趨勢，計算波浪能量，建立沿岸沖淤與海象關係。謹就執行情形報告如后：

## 二、海氣象資料蒐集與分析

### (一) 引言

探討海岸漂沙的問題之前，首先對影響漂沙現象的自然外力需有充份瞭解。一般漂沙受海象如波浪、海流及潮汐變化等外力影響，但若由較廣義的海岸漂沙現象則因氣象外力如風力作用而移動之飛沙也將包括在內。此外如颱風所引起的暴風巨浪雖然作用時間較短，但仍然可能造成海岸地形的顯著改變，因此對海岸漂沙問題而言，颱風之影響也應加以考慮。本計畫依工作需求，分析台中港附近海域之上述海氣象資料，以供漂沙防治規劃之依據。至於新生地開發有關之自然及人文環境資料則將在後續計畫中進行蒐集與分析。

### (二) 海象資料分析

#### 1、風速與風向

台中港區附近之風力資料，至目前為止計有三個測站，四種記錄，其測站位置如圖2-1所示，各測站之儀器高、觀測期間及負責觀測單位詳如表2-1所列。

根據所蒐集之觀測資料顯示，以C測站之資料品質較佳，且該測站最靠近海岸，同時附近也無其他建築物阻隔，故其統計結果應能代表台中港區之風力特性，因此本計畫採用該站的風速、風向資料，分析如下：

#### (1) 本站，各年各月風速、風向分佈

本站全部資料的風玫瑰圖如圖 2-2，圖中顯示本站主要風向為東北及東北東。而個別年的結果如圖2-3至圖2-9；由這些圖比較可知本測站風場特性隨年稍有不同，如主要風向大致界於北北東與東北東之間，而在此方向區間其風速的分佈也有所不同，可見本站風場特性不是很穩定。而個別月的風玫瑰圖如

圖2-10 至圖2-21；由圖中可知1、2、3、11及12等月份的風向、風速分佈很相似，其風向主要集中於東北，且風速大部份分佈於5.5~20.7公尺/秒之間，是屬冬季強勁穩定之季風型態。6、7及8等月份的風向分佈較散亂，但有較明顯的西南風向出現，應屬夏季較不穩定之季風型態。

## (2) 各季風能分佈

本計畫將全年12個月區分為四季，分別是3及4月的春季；5、6、7及8月的夏季；9及10月的秋季；11、12、1及2月的冬季。本站各季的風能分佈如圖2-22至圖2-25。其中各方向風能是依下式計算。

$$E(n) = \sum_{i=1}^k [WS(n)_i \cdot \Delta t]^2 \quad n = 1, 2, \dots, 16 \quad (2-1)$$

上式中  $E(n)$  :  $n$  方向的風能( $n=1$ 表NNE;  $n=16$ 表N)

$WS(n)$  :  $n$  方向的風速

$\Delta t$  : 資料之時間間隔

由圖中發現夏季有較明顯的西南方向的風能存在，至於其他季別則風能主要分佈於東北及東北東。一般而言，由於受動量傳遞作用晝時(6-18時)的風能較夜時(0-6及18-24時)為大，尤其是夏季此情況更明顯。

## (3) 風速持續發生百分比

各月的風速持續發生百分比如圖2-26至圖2-37。圖中顯示1、2、3、10、11、12等月份有較大的百分比值，如1月份風速大於10公尺/秒，且持續發生18小時以上的百分比高達30%，可見本區冬季為穩定之強風盛吹期，至於屬於夏季的5、6、7及8等月份若同上述的風速持續發生條件則其百分比近於零。

## 2、颱風

台灣因地處太平洋西側，夏季常有颱風侵襲，據中央氣象局曾發佈颱風警報的資料統計自民國38年至民國81年間，計有189次颱風侵襲台灣地區，平均每年4.3次。其中以7、8及9月發生颱風侵台比率最高，三個月合計約佔73.6%，如表2-2。雖然台灣常受颱風侵襲，但由於受台灣中央山脈的阻隔而破壞其環流系統使其威力減弱，因此位於中央山脈西側的台中港受颱風侵襲的程度較小。不過如圖2-38中所示第五類路徑對台中港則有較大的影響（例如75年的韋恩颱風），而此種路徑共計15次，佔侵台颱風之7.8%，平均每年發生頻率只有0.34次。

## 3、潮汐

台中港自民國60年初工程局成立後，即安裝自動檢潮儀進行潮位觀測，至65年2月因儀器故障而中斷。民國70年由港灣技術研究所於台中港南內堤設置史蒂芬式A-71型自記式潮位儀一具。民國81年1月將設置地點遷至台中港4號碼頭貯木池旁，並汰換舊有儀器，改以美國製Handar Model 451A Pressure Sensor並配合VHF無線電傳輸系統，將潮位變化資料傳至本所接收站。台中港的潮汐資料（如上所述）曾有多次分析報告結果[1]、[2]、[3]，茲簡略說明如下：

(1) 以60年3月至65年2月的資料，分析統計後，各種潮位基準如下

最高高潮位(H. H. W. L) = 5.86m(60.9.23)

平均高潮位(M. H. W. L) = 4.58m

平均潮位 (M. W. L) = 2.72m

平均低潮位(M. L. W. L) = 0.88m

最低低潮位(L. L. W. L) = -0.26m(60.12.3)

平均潮差 (M. D. R) = 3.70m

(2) 以74年的資料分析統計後，各種潮位如下

平均高潮位(M. H. W. L) = 4.45m

平均潮位 (M. W. L) = 2.65m

平均低潮位(M. L. W. L) = 0.81m

(3) 以75年的資料分析統計後，各種潮位如下

平均高潮位(M. H. W. L) = 4.52m

平均潮位 (M. W. L) = 2.69m

平均低潮位(M. L. W. L) = 0.84m

(4) 以76年7月至78年12月的資料分析統計後，各種潮位基準如下

最高高潮位(H. H. W. L) = 5.86m(60.9.23)

平均高潮位(M. H. W. L) = 4.42m

平均潮位 (M. W. L) = 2.65m

平均低潮位(M. L. W. L) = 0.88m

最低低潮位(L. L. W. L) = -0.55m(76.1.12)

平均潮差 (M. D. R) = 3.54m

(5) 以77年1月至77年12月的資料分析統計後，各種潮位基準如下

平均潮位 (M. W. L) = 2.62m

最大潮差 (H. D. R) = 6.35m

最小潮差 (L. D. R) = 0.23m

平均潮差 (M. D. R) = 3.67m

由以上各時段的統計分析結果顯示各項潮位值大致相近。以民國77年的潮汐資料其潮差統計分佈如圖2-39；而其潮位能譜如圖2-

40, 圖中顯示台中港潮汐基本上以半日潮及全日潮為主, 其中半日潮能量較全日潮大。另外由於台灣海峽南北兩側潮水因地理效應而在海峽中部附近造成擁擠, 消退而使得位於台灣西海岸中部的台中港具有全省最大的潮差。

#### 4、波浪

台中港波浪觀測始於民國60年7月, 採用超音波波高計, 儀器安置於北堤外海水深19公尺處, 每隔2小時記錄20分鐘, 民國66年12月停止觀測。另外港灣技術研究所於民國78年8月至12月於北防波堤與北防沙堤間, 水深約25公尺處, 採用超音波波高計進行波浪觀測。茲以上述兩段期間的波浪資料共1萬8千餘筆進行下列統計分析。

##### (1) 月平均示性波高與週期

台中港各月份, 各觀測時的平均示性波高如表2-3。表中顯示各觀測時的示性波高平均值幾乎相同約(1.15~1.16公尺), 但各月份的示性波高平均值則有明顯不同, 以11月份的1.86公尺最大, 7月份的0.56公尺最小, 此和受冬季強勁的東北季風與夏季較微弱的西南季風有關。示性波高平均值大於1.6公尺的月份有10、11、12及1月, 屬冬季月份, 而小於0.7公尺的月份有5、6、7及8月屬夏季月份。本報告後文中有關波浪冬、夏季的區分即以上述月份為依據。各月、各觀測時的平均示性週期如表2-4。表中顯示10、11、12及1月的示性週期平均值較大(皆大於6.0秒)而6及7月較小(皆小於5.0秒)。同時參照表2-3及表2-4可發現波高值大者其週期值也相對較大, 符合大波高大週期, 小波高小週期的一般自然現象。

##### (2) 冬、夏季示性波高與週期發生率

台中港冬季示性波高與週期在各區間的發生百分率及累積百分率如表2-5及表2-6。由表2-5中顯示波高主要分佈於1.25~

2.5公尺，而大於3.0公尺者的發生率則小於 5%，表2-6中週期主要分佈於5.5~6.5秒，而大於8.0秒者的發生率則小於 6%，但大於14.0秒的發生率僅約 0.12%。表2-5與表2-6相比較可發現週期分佈較波高分佈集中。夏季的分析結果則顯示波高主要分佈於0.25公尺~0.75公尺，而大於1.25公尺者的發生率則小於8%如表2-7，週期主要分佈於4.0~6.0秒，而大於7.0秒者的發生率小於 7%，但大於14.0秒的發生率約佔1.06%較冬季為大如表2-8。

### (3) 示性波高與週期分佈

統計歷年示性波高及週期分別繪製夏季、冬季及全部資料的示性波高與週期分佈如圖2-41至圖2-46。由圖中可知夏季示性波高大部份集中於0.25至0.75公尺之間；示性週期主要集中於4.0至5.0秒。冬季示性波高大部份分佈於1.25至3.00公尺之間，其分佈不如夏季的集中；示性週期主要分佈於5.5至6.5秒之間。全部的示性波高分佈由於同時包含夏季與冬季資料故其分佈範圍較寬，不過主要還是分佈於0.25至0.75公尺之間；示性週期分佈範圍也有較寬廣的情形，而其主要分佈於4.0至6.25秒之間。全部示性波高及週期的聯合分佈平面與立體圖分別如圖2-47與圖2-48。圖2-47中所示計算點(圖中所示黑點)其示性波高週期所佔的百分比大於或等於所包含的等值線值，另外由此圖也可大略看出波浪尖銳度的分佈情形，今整理如表2-9，由此表中可知波浪尖銳度大致均勻分佈於0.005至0.035之間(合計87.89%)，其他區間所佔比例皆很小。根據示性波高的長期統計分佈，理論上為對數正規分佈如下

$$P(y) = \frac{1}{2\pi\sigma_y} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{y - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \quad (2-2)$$

上式中  $y = \log X$ ， $X$  代表示性波高(或示性週期)， $\mu_y$ 、 $\sigma_y$  分別代表  $y$  的平均值與標準偏差。以台中港示性波高、週期分佈與理論對數正規分佈的比較如圖2-49至圖2-54，圖中實曲線

表理論對數正規分佈。夏季示性波高的分佈非常吻合對數正規分佈，示性週期大致也有相同情形。但冬季示性波高的分佈與對數正規分佈則有差異，從圖中可明顯看出大波高出現概率較理論值為大，而小波高出現概率則較理論值為小，不過示性週期分佈仍然符合對數正規分佈。以全部資料而言，示性波高的分佈因受冬季偏差的影響與理論分佈稍有不同，而示性週期仍舊符合理論分佈。

#### (4) 示性波高與週期之平均過繼時間

對於船隻航運，海上施工工程時間表的擬訂，或海岸漂沙與地形變遷的研究等，波高或週期持續大於某一給定值的時間長短是吾人極欲獲知的海象資訊。Lawson 與 Abernethy[4]曾提出示性波高超過某一給定值 $H_c$ 的平均過繼時間  $D$ 可以下式代表

$$D = \alpha H_c^\beta \quad (2-3)$$

上式中  $D$  : 平均過繼時間(單位: 天)

$H_c$  : 給定參考值(單位: 公尺)

$\alpha$ 、 $\beta$  : 待定係數

本報告採用上述方法依夏季、冬季及全部資料分析台中港示性波高及週期的平均過繼時間，其結果分別如圖2-55至圖2-57。圖中黑直線段表一次迴歸結果，C.C.則表相關係數，百分比值表黑直線段區間波高或週期出現的百分比。由圖2-55中顯示週期小於7.0秒的資料點與迴歸結果非常一致，若考慮週期大於或等於6.0秒其連續發生的平均時間為6.7天；波高小於4.0公尺的資料點具有良好的一次迴歸關係，若考慮波高大於或等於2.0公尺其連續發生的平均時間僅為0.16天。由圖2-56發現迴歸結果也很好，若考慮週期大於或等於6.0秒其連續發生的平均時間為6.5天；若考慮波高大於或等於2.0公尺其連續發生的平均時

間則為1.27天。由此可見冬季持續發生大波高的時間遠較夏季為長，換句話說冬季持續惡劣海況的情形較夏季為多，而週期冬、夏季則無明顯差異。依全部資料而言考慮週期大於或等於6.0秒其連續發生的平均時間為7.2天；若考慮波高大於或等於2.0公尺其連續發生的平均時間為0.85天。

#### (5) 統計比值關係

一般現場觀測的波浪特性常以示性波高及示性週期作代表，然而在海岸或港灣工程的設計上有時為合理決定構造物的設計波高或拋石安定計算必須考慮到最大波( $H_{max}$ 、 $T_{max}$ )，最大1/10波( $H_{1/10}$ 、 $T_{1/10}$ )或平均波( $H_{mean}$ 、 $T_{mean}$ )。因此本節將各類波的統計比值整理如表2-10，表中所示為平均值±標準偏差。一般在深海或風浪的情況下[5]其比值如下

$$H_{max}/H_{1/3} = 0.707 \sqrt{2n(N)} \quad (2-4)$$

上式中N為波數，假設波浪週期平均為6.0秒，則以連續觀測20分鐘為依據，則可估計有200個波，依此以  $N=200$  代入(2-4)式中可得

$$\left. \begin{aligned} H_{max}/H_{1/3} &= 1.63 \\ H_{1/10}/H_{1/3} &= 1.27 \\ H_{mean}/H_{1/3} &= 0.625 \end{aligned} \right\} \quad (2-5)$$

另外，廣瀨宗一及橋本典明在日本田子的浦港波浪觀測統計結果如下[6]

$$\left. \begin{aligned} H_{max}/H_{1/3} &= 1.393 \pm 0.113 \\ H_{1/10}/H_{1/3} &= 1.221 \pm 0.046 \\ H_{mean}/H_{1/3} &= 0.639 \pm 0.023 \end{aligned} \right\} \quad (2-6)$$

此外中華顧問工程司也曾分析台中港的波浪[3]，經迴歸後得下

$$\left. \begin{aligned}
 &H_{1/10} = -0.02 + 1.28H_{1/3} \\
 \text{或} \\
 &(H_{1/10} + 0.02)/H_{1/3} = 1.28 \\
 &H_{\max} = -0.06 + 1.65H_{1/3} \\
 \text{或} \\
 &(H_{\max} + 0.06)/H_{1/3} = 1.65
 \end{aligned} \right\} \quad (2-7)$$

由以上可知本報告中台中港波浪的統計比值關係結果與他人研究結果大致上相近。

#### (6) 示性波高極端值

在極端值的統計分析上一般採用(i)Gumbel及(ii)Weibull的計算方法。在本報告採用Gumbel的方法求不同復現期距下的極端值波高，其計算方法與步驟簡述如下：

首先將台中港歷年的波浪觀測資料中選取 N個較大示性波高 $X_i$  ( $i=1, 2, \dots, N$ )，按由大至小順序排列，其中 $X_i$ 是最大值。

每一個波高 $X_i$ 所對應的發生或然率為

$$P(x_i) = P(x \leq x_i) = (N-i+1)/(N+1) \quad (2-8)$$

應用下二式

$$P = \exp [-\exp(-y)] \quad (2-9)$$

$$y = \ln [-\ln(p)] \quad (2-10)$$

其中 $y$ 稱為reduced variate。

Gumbel 的極端值理論證明所有在機率紙上的波高 $X_i$ 與 $y$ 應近似一直線關係即

$$X = X_0 + my \quad (2-11)$$

其中 $m_0$ 為模數 (mode);  $m$ 為直線斜率。以最小二乘方方法求此近似直線, 任一復現期距 $T$ 年所對應的 $y$ 值則可由下式求得

$$y = -\ln[-\ln(1-1/T)] \quad (2-12)$$

則極端值波高便可由(2-11)及(2-12)式求出。

在極端值的統計分析上如何由一序列的觀測資料中挑選出欲分析計算的資料是一項較困難的工作, 例如採用日最大值法、年最大值法、每暴風(颱風)期間最大值法或全體資料最大值法, 而不同的選取方法及選取資料個數其統計結果皆會有所差異。在本報告中考慮資料的方便性而採用全體資料最大值法, 其中選取資料個數 $N$ 的決定, 則以機率紙上 $X_i$ 與 $y$ 有最高相關係數值者為依據, 因此共選取43個超過4.0公尺的示性波高值作計算, 其中最大值 $X_1$ 為6.32公尺, 經由上述方法分析可得台中港各復現期距下的最大示性波高如表2-11。

參考中華顧問工程司的報告書[3], 以Weibull的方法計算台中港冬、夏季各復現期距的最大示性波高如表2-12。表中各復現期距下夏季的最大示性波高較冬季為大, 此乃因為夏季常有颱風發生, 而造成出現較大的最大示性波高值。為了比較上述兩表的結果, 茲將冬季與夏季的結果平均見表2-12最下一欄(註: 以平均值作處理在統計上無理論根據, 在此為簡便起見, 暫以此方法推估), 由此兩表中發現兩者的分析結果非常一致。另外參考港研所的報告書[7], 其利用歷年來侵台的颱風資料(1949~1982計34年, 120個颱風), 以三種數值方法(實用法、湯麟武法、井島法)推算颱風波浪後, 再以Gumbel及Weibull方法迴歸分析以求各復現期距下的最大示性波高值如表2-13。表中的最大示性波高值在各模式推算下皆比實測的分析結果大, 此可能原因有三點 (i)台中港位於海峽中部的台灣西岸, 颱風波浪易受陸地遮蔽影響, 而使得模式推算波高偏大(ii)表2-13中所分析的資料選取方法是由每一颱風期間最大的示性波高值中選取較大的30個作分析, (iii)颱風基本資料的誤差(尤其是

早期的資料)及模式推算誤差。因此台中港的設計波高以表 2-11及表2-12作參考較可靠。

## 5、海流

以往台中港的海流曾辦理多次觀測，但其觀測位置大部份位於台中港北防波堤堤頭附近，及北防波堤與北防沙堤間，其觀測期間的長短也不盡相同，由於使用自記式流速儀其資料無法如風、潮汐或波浪一樣可以擁有長期的連續記錄。因此對海流資料僅能作較短期的統計特性分析。本報告參考以往的研究報告資料 [8][9][10][11][12]綜合整理歸納出台中港附近海域的海流特性如下：

- (1) 台中港附近海域之海流成份大致可分為平均流(恒流)，風驅流(風吹流)，潮流及沿岸流(裂流)等四部份，其各成份大小或方向因季節變化與地理位置不同而有所差異。
- (2) 夏季西南季風期，台中港附近海域測得海流流速平均值約25公分/秒至35公分/秒，最常發生流向為東北；冬季東北季風期流速平均值同樣是25至35公分/秒，但最常發生流向為西南，可見本區海流流向受季節影響。由於夏季海流流速與風速的相關關係不明顯如圖2-58，表示此季節較微弱的西南季風所引致的風驅流成份不大，因此研判此區域存在著一東北向的恒流，流速約半節左右，其原因可能與黑潮支流有關。冬季由於強勁的東北季風吹襲，造成本區流向與風向近似一致的明顯風驅流存在。此可由冬季海流流速與風速的交相關函數如圖2-59得知，其最大相關函數值於延時2小時可達0.8(風場領先流場)。
- (3) 本區潮流主要成份為半日潮流及全日潮流，但半日潮流較全日潮流為大。依[10]的研究報告半日潮流振幅約10至14公分/秒，全日潮流振幅約7至12公分/秒。潮流與台中港內潮位相差約1至2小時，當潮位高於平均水位時，潮流流向西南；而當潮位低

於平均水位時，潮流流向東北。比較夏季與冬季流速與潮位的相關性分別如圖2-60及圖2-61，由圖中可發現夏季海流流速與潮位相關性較高，最大相關函數值可達 0.6，顯示夏季海流成份中潮流佔較大的比例，而冬季由於海流與潮位相關性不高，因此研判冬季海流成份中潮流所佔比例不大。

- (4) 沿岸流(裂流)主要發生於碎波帶以內，當高潮位時(碎波線往海岸方向移動)沿岸流影響區域亦往海岸方向退縮，當低潮位時(碎波線往外海方向移動)沿岸流影響區域亦往外海擴伸。此種沿岸流影響區域由於高、低潮位改變而產生向、離岸(on-off shore)方向變化的問題，在台中港具大潮差及平緩沙岸的情況下是不可忽視的，尤其是探討本區的海岸漂沙問題。

當沿岸流在受到與海岸近似垂直的人工結構物(如防波堤、突堤等)阻擋時，則會產生強制裂流(此與一般由於波浪在碎波帶內碎波所造成水量堆積而向外海流出的自然裂流不同)。此情況在台中港北防波堤堤頭常發生，根據以往的觀測資料，曾測得3節的流速，而當東北季風強勁時，在堤頭100公尺內推算可能發生4節以上的流速。由於堤端附近強勁的裂流流速會造成堤端附近的環流現象，此可能為台中港北防波堤堤頭附近海床發生凹洞的原因。目前北防波堤已延伸850公尺，新堤頭附近的海床目前為平坦，至於將來是否會發生凹洞，而危及新堤頭的安全則待進一步觀察。

## 6、風向與波向之關係

本研究係利用國科會『海岸空間利用』大型計劃於台中港北防沙堤外所設觀測樁上的波浪資料與風的資料，做進一步的分析。波向資料係由成功大學高家俊教授所提供，風的資料由中山大學曾若玄教授所提供。本次研究之資料從82年12月到83年4月，每4小時波浪與風同時記錄20分鐘之資料做為各分之基礎；由於電輸不良或...原因，有些資料無法同時皆取得，因此本研究在此段各季季節同期間僅取得122組，同時有波向及風向的現場量測資料。

圖2-62為風向分佈發生機率比較圖，圖中之橫軸表示方向，以順時針每隔22.5度為一區間共分16等分，其4表示北方，12表示西方，縱軸表示發生百分比。由圖中可明顯發現風向集中在NNW到NE之間，僅有7%的南風2-63為波向分佈發生機率比較圖，其表示方式與風向相同，由圖2-63亦可發現波向集中在WNW到N之間，亦有7%的南向波浪。其平均方向以下式來計算：

$$\bar{R} = \frac{\sum P_i r_i}{\sum P_i} \quad (2-13)$$

其中  $\bar{R}$  為平均波向

$r_i$  為第*i*分量之方向

$P_i$  為第*i*分量之發生機率

風向採用NNW到NE，波向採用WNW到N之資料，經由(2-13)式計算結果風的平均風向為北偏東6.5度，波之平均方向為西北偏北4.5度，因此風向與波向間平均偏差47.5度。

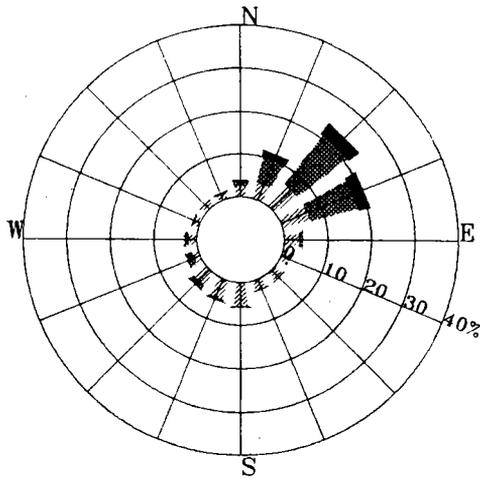
### (三) 結語

本章僅就台中港附近海域具影響漂沙的自然環境資料如風速與風向、颱風、潮汐、波浪及海流等作分析及說明，至於本區漂沙或飛沙量則限於經費未進行現場實地觀測。對於新生地開發所須的其他相關資料，則將於後續的計畫中進行蒐集與分析。

綜合而言台中港附近的海氣象特性可以簡略的概述為冬季東北季風強勁，風速可達20公尺/秒以上，是飛沙劇烈活動的時期；夏季西南季風則明顯較微弱，風向也較不穩定。颱風受中央山脈阻擋對台中港影響不大，以對台中港較有危害的颱風路徑而言，年發生頻率僅0.34次。潮汐主要為半日潮及全日潮，其潮差可達6公尺以上，是本區的潮汐特色。冬季的示性波高月平均值皆大於1.6公尺，夏季則皆小於0.7公尺，可見本區波浪與季風有密切關係。波浪尖銳度大部份分佈於0.005至0.035之間，冬季示性波高大於2.0公尺其連續

發生的平均時間高達1.27天,可見本區冬季浪況不佳。20年及100年復現期距的示性波高極端值分別為6公尺及6.75公尺左右。海流成份包含潮流、風驅流、恒流及沿岸裂流,夏季以潮流為主,高潮位時流向西南,低潮位時流向東北,平均流速約半節至1節。冬季以風驅流為主,流向大致與風向相近,平均流速約1節至2節。恒流流速約半節流向東北。沿岸裂流在港口防波堤堤頭附近明顯存在,當東北季風期堤頭附近的流速可高達4節以上。

冬季季節風期間(82年12月到83年4月),風的平均風向偏東6.5度,浪的平均波向為西北北4.5度。



STANDARD DEVIATION

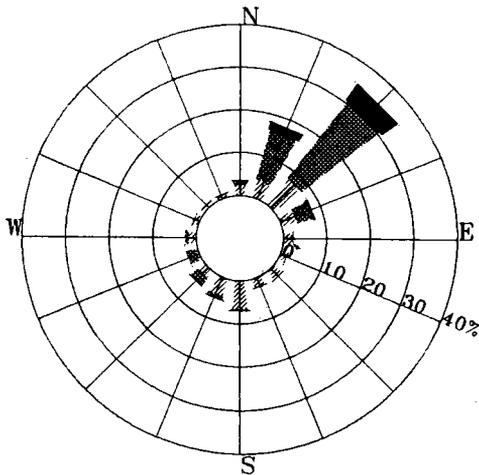
	0.0 - 5.4	5.5 - 13.8	13.9 - 20.7	20.8 - INFI
NNE	1.74	6.09	1.72	0.05
NE	1.33	5.07	1.16	0.05
ENE	2.93	7.40	1.88	0.35
E	1.09	0.71	0.12	0.03
ESE	0.47	0.36	0.02	0.00
SE	0.63	0.08	0.01	0.00
SSE	1.52	0.06	0.00	0.00
S	1.13	0.12	0.00	0.00
SSW	1.80	0.35	0.00	0.00
SW	1.67	0.59	0.00	0.00
WSW	0.84	0.30	0.01	0.00
W	0.53	0.68	0.00	0.00
WNW	0.27	0.19	0.00	0.00
NW	0.71	0.05	0.02	0.00
NNW	0.71	0.77	0.07	0.00
N	0.87	1.43	0.59	0.00

WIND SPEED RANGE (M/SEC)  
 0.0 - 5.4    5.5 - 13.8  
 13.9 - 20.7    20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR  
 DATE : 1984-1990

DATA NAME : TCYETO.DAT

圖 2-2 台中港風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

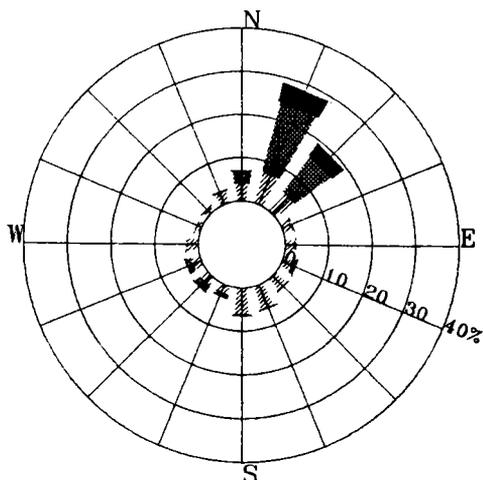
	0.0 - 5.4	5.5 - 13.8	13.9 - 20.7	20.8 - INFI
NNE	3.12	12.96	3.75	0.00
NE	4.69	17.66	6.37	0.12
ENE	3.15	6.60	1.65	0.27
E	1.38	0.05	0.00	0.00
ESE	1.29	0.00	0.00	0.00
SE	2.23	0.05	0.00	0.00
SSE	2.05	0.13	0.00	0.00
S	7.01	0.47	0.00	0.00
SSW	5.54	1.24	0.00	0.00
SW	2.12	3.12	0.00	0.00
WSW	0.63	3.84	0.04	0.00
W	1.77	1.55	0.00	0.00
WNW	1.24	0.22	0.00	0.00
NW	0.90	0.09	0.00	0.00
NNW	0.77	0.07	0.04	0.00
N	1.78	1.80	0.08	0.00

WIND SPEED RANGE (M/SEC)  
 0.0 - 5.4    5.5 - 13.8  
 13.9 - 20.7    20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR  
 DATE : 1984

DATA NAME : TC84TO.DAT

圖 2-3 台中港1984年風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

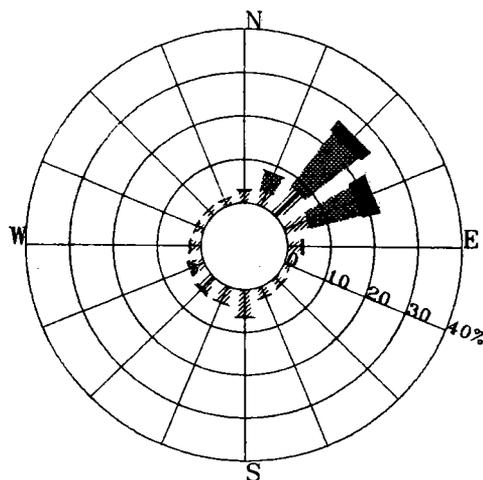
	0.0 - 5.4	5.5 - 13.8	13.9 - 20.7	20.8 - INFI
NNE	5.51	14.16	7.69	0.12
NE	3.43	13.57	4.89	0.04
ENE	1.42	0.44	0.00	0.04
E	1.42	0.91	0.00	0.00
ESE	1.86	3.21	0.23	0.05
SE	2.99	0.29	0.00	0.00
SSE	5.99	0.32	0.00	0.00
S	8.15	0.35	0.00	0.00
SSW	2.71	1.77	0.00	0.00
SW	2.56	3.26	0.04	0.00
WSW	2.86	3.05	0.00	0.00
W	3.13	0.37	0.00	0.00
WNW	1.29	0.10	0.00	0.00
NW	1.41	0.17	0.00	0.00
NNW	2.84	0.36	0.20	0.00
N	2.39	3.00	0.08	0.00

WIND SPEED RANGE (M/SEC)  
 0.0 - 5.4    5.5 - 13.8  
 13.9 - 20.7    20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR  
 DATE : 1985

DATA NAME : TC85TO.DAT

圖 2-4 台中港1985年風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

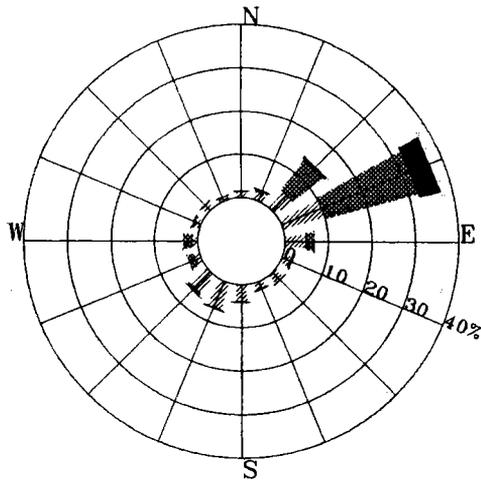
	0.0 - 5.4	5.5 - 13.8	13.9 - 20.7	20.8 - INFI
NNE	2.21	5.58	0.32	0.00
NE	5.16	18.50	4.78	0.37
ENE	3.64	16.89	8.26	1.95
E	2.03	1.06	0.09	0.11
ESE	0.58	0.13	0.00	0.00
SE	0.99	0.06	0.04	0.00
SSE	1.81	0.09	0.00	0.00
S	7.16	0.48	0.00	0.00
SSW	4.47	0.09	0.00	0.00
SW	4.10	1.22	0.00	0.00
WSW	2.46	3.02	0.00	0.00
W	2.39	1.64	0.00	0.00
WNW	2.01	0.82	0.00	0.00
NW	2.12	0.16	0.00	0.00
NNW	1.48	0.14	0.00	0.00
N	1.71	0.55	0.09	0.00

WIND SPEED RANGE (M/SEC)  
 0.0 - 5.4    5.5 - 13.8  
 13.9 - 20.7    20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR  
 DATE : 1986

DATA NAME : TC86TO.DAT

圖 2-5 台中港1986年風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

	0.0 - 5.4	5.5 - 13.8	13.9 - 20.7	20.8 - INFI
NNE	1.30	0.70	0.00	0.00
NE	1.76	5.96	1.13	0.00
ENE	4.99	13.19	6.89	1.76
E	3.55	2.90	0.16	0.31
ESE	2.87	0.93	0.00	0.00
SE	3.39	0.63	0.00	0.00
SSE	1.99	0.08	0.00	0.00
S	5.13	0.22	0.00	0.00
SSW	7.57	0.38	0.00	0.00
SW	5.09	0.82	0.00	0.00
WSW	1.38	2.44	0.00	0.00
W	1.28	3.49	0.00	0.00
WNW	1.55	1.16	0.00	0.00
NW	1.72	0.36	0.00	0.00
NNW	0.76	0.09	0.00	0.00
N	1.28	0.09	0.00	0.00

WIND SPEED RANGE (M/SEC)

0.0 - 5.4 5.5 - 13.8

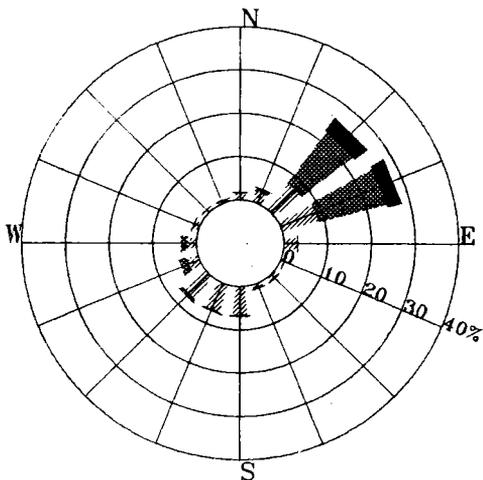
13.9 - 20.7 20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 1987

DATA NAME : TC87TO.DAT

圖 2-6 台中港1987年風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

	0.0 - 5.4	5.5 - 13.8	13.9 - 20.7	20.8 - INFI
NNE	1.82	0.90	0.00	0.00
NE	8.93	11.10	5.87	0.11
ENE	6.53	17.41	4.70	0.00
E	2.40	0.23	0.09	0.00
ESE	0.70	0.00	0.00	0.00
SE	0.94	0.00	0.00	0.00
SSE	1.50	0.00	0.00	0.00
S	8.91	0.13	0.00	0.00
SSW	6.52	0.48	0.00	0.00
SW	6.71	1.33	0.00	0.00
WSW	3.15	2.72	0.00	0.00
W	2.16	3.99	0.00	0.00
WNW	1.51	0.09	0.00	0.00
NW	1.05	0.00	0.00	0.00
NNW	0.72	0.05	0.00	0.00
N	1.27	0.20	0.00	0.00

WIND SPEED RANGE (M/SEC)

0.0 - 5.4 5.5 - 13.8

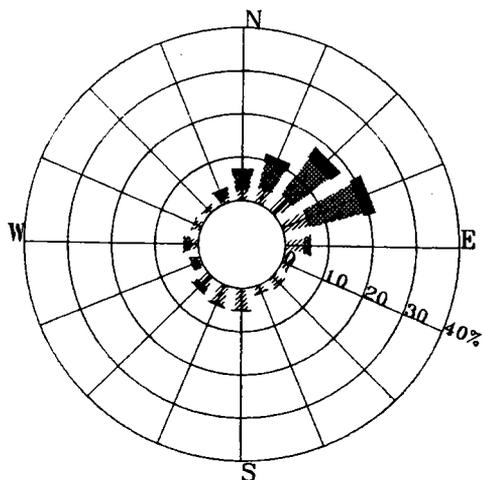
13.9 - 20.7 20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 1988

DATA NAME : TC88TO.DAT

圖 2-7 台中港1988年風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

	0.0 - 5.4	5.5 - 13.8	13.9 - 20.7	20.8 - INFI
NNE	2.79	10.33	5.60	0.30
NE	2.30	10.28	4.87	0.21
ENE	3.83	13.54	6.69	0.00
E	4.16	2.01	0.90	0.00
ESE	1.66	0.06	0.00	0.00
SE	1.68	0.08	0.05	0.00
SSE	1.36	0.25	0.00	0.00
S	5.06	0.31	0.00	0.00
SSW	4.70	0.53	0.00	0.00
SW	3.10	1.59	0.00	0.00
WSW	0.79	2.12	0.00	0.00
W	2.30	1.90	0.00	0.00
WNW	2.45	0.26	0.00	0.00
NW	1.19	0.12	0.16	0.00
NNW	0.93	4.83	0.42	0.00
N	1.51	7.61	3.98	0.00

WIND SPEED RANGE (M/SEC)

0.0 - 5.4    5.5 - 13.8

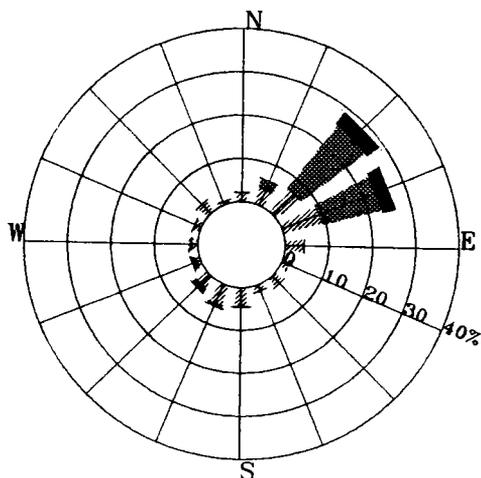
13.9 - 20.7    20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 1989

DATA NAME : TC89TO.DAT

圖 2-8 台中港1989年風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

	0.0 - 5.4	5.5 - 13.8	13.9 - 20.7	20.8 - INFI
NNE	2.48	1.80	0.00	0.00
NE	3.14	12.22	4.64	0.00
ENE	3.34	11.11	5.04	0.05
E	2.05	0.26	0.00	0.00
ESE	1.19	0.04	0.00	0.00
SE	1.72	0.00	0.00	0.00
SSE	0.99	0.16	0.00	0.00
S	3.35	0.23	0.00	0.00
SSW	5.19	1.60	0.00	0.00
SW	2.35	1.52	0.00	0.00
WSW	0.87	1.62	0.06	0.00
W	1.01	1.03	0.04	0.00
WNW	2.08	0.29	0.04	0.00
NW	3.75	0.16	0.00	0.00
NNW	0.82	0.11	0.00	0.00
N	1.11	0.19	0.00	0.00

WIND SPEED RANGE (M/SEC)

0.0 - 5.4    5.5 - 13.8

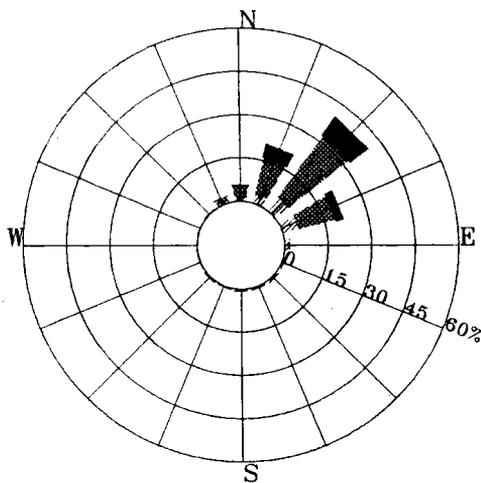
13.9 - 20.7    20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 1990

DATA NAME : TC90TO.DAT

圖 2-9 台中港1990年風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

	0.0 - 5.4	5.5 - 13.8	13.9 - 20.7	20.8 - INFI
NNE	2.33	14.08	8.04	0.31
NE	4.82	19.88	7.80	0.00
ENE	5.01	18.52	4.63	0.00
E	1.24	0.13	0.00	0.00
ESE	0.80	0.00	0.00	0.00
SE	1.11	0.00	0.00	0.00
SSE	0.49	0.00	0.00	0.00
S	0.80	0.05	0.00	0.00
SSW	0.55	0.00	0.00	0.00
SW	0.73	0.00	0.00	0.00
WSW	0.23	0.05	0.00	0.00
W	0.36	0.11	0.00	0.00
WNW	0.20	0.00	0.00	0.00
NW	0.34	0.15	0.00	0.00
NNW	0.98	4.33	0.51	0.00
N	1.11	7.05	1.83	0.00

WIND SPEED RANGE (M/SEC)

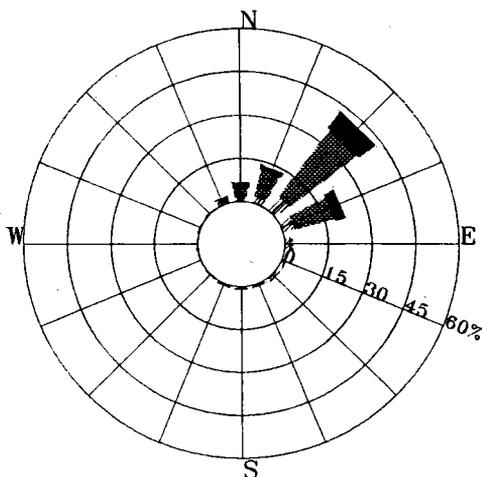
0.0 - 5.4    5.5 - 13.8  
 13.9 - 20.7    20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 01

DATA NAME : TC01TO.DAT

圖 2-10 台中港1月份風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

	0.0 - 5.4	5.5 - 13.8	13.9 - 20.7	20.8 - INFI
NNE	2.82	10.97	2.27	0.00
NE	4.29	16.74	5.67	0.00
ENE	4.12	15.23	5.36	0.36
E	2.57	2.84	0.00	0.00
ESE	0.98	0.75	0.00	0.00
SE	0.70	0.28	0.00	0.00
SSE	0.39	0.28	0.00	0.00
S	0.80	0.06	0.00	0.00
SSW	0.52	0.56	0.00	0.00
SW	0.42	0.17	0.00	0.00
WSW	0.28	0.06	0.00	0.00
W	0.40	0.06	0.00	0.00
WNW	0.34	0.11	0.00	0.00
NW	0.57	0.00	0.00	0.00
NNW	0.42	4.97	0.28	0.00
N	1.12	7.50	5.07	0.00

WIND SPEED RANGE (M/SEC)

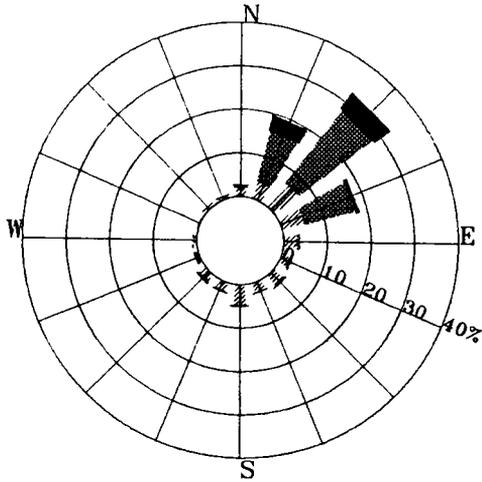
0.0 - 5.4    5.5 - 13.8  
 13.9 - 20.7    20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 02

DATA NAME : TC02TO.DAT

圖 2-11 台中港2月份風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

	0.0 - 5.4	5.5 - 13.8	13.9 - 20.7	20.8 - INFI
NNE	3.12	15.65	9.47	0.00
NE	4.38	12.23	3.50	0.00
ENE	2.75	15.17	1.73	0.00
E	3.72	1.58	0.00	0.00
ESE	3.78	1.04	0.00	0.00
SE	4.48	0.82	0.00	0.00
SSE	2.45	0.14	0.00	0.00
S	5.89	0.26	0.00	0.00
SSW	1.09	0.19	0.00	0.00
SW	1.39	0.63	0.00	0.00
WSW	0.38	0.62	0.00	0.00
W	0.72	0.25	0.00	0.00
WNW	0.42	0.00	0.00	0.00
NW	0.87	0.00	0.00	0.00
NNW	0.69	0.12	0.00	0.00
N	1.56	0.73	0.05	0.00

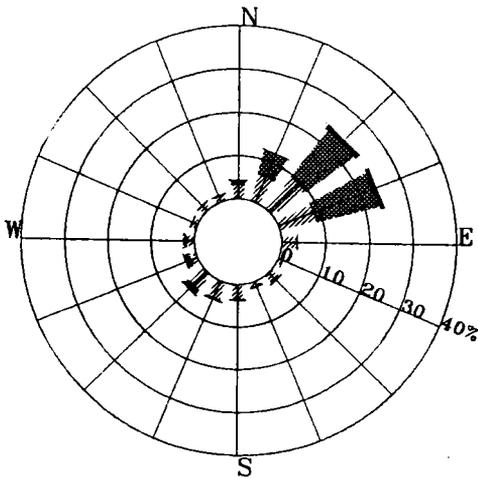
WIND SPEED RANGE (M/SEC)

0.0 - 5.4    5.5 - 13.8  
 13.9 - 20.7    20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR  
 DATE : 03

DATA NAME : TC03TO.DAT

圖 2-12 台中港3月份風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

	0.0 - 5.4	5.5 - 13.8	13.9 - 20.7	20.8 - INFI
NNE	6.85	8.92	0.34	0.00
NE	3.57	7.71	0.89	0.00
ENE	4.00	11.79	1.46	0.00
E	1.81	0.27	0.00	0.00
ESE	0.32	0.00	0.00	0.00
SE	1.44	0.28	0.00	0.00
SSE	0.81	0.21	0.00	0.00
S	2.22	0.17	0.00	0.00
SSW	2.15	0.38	0.00	0.00
SW	2.88	1.17	0.00	0.00
WSW	1.09	1.05	0.00	0.00
W	1.04	1.07	0.00	0.00
WNW	0.72	0.16	0.00	0.00
NW	0.59	0.13	0.06	0.00
NNW	1.70	0.44	0.00	0.00
N	2.71	2.05	0.00	0.00

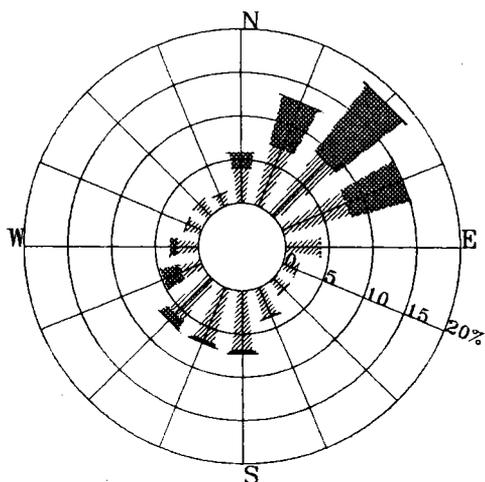
WIND SPEED RANGE (M/SEC)

0.0 - 5.4    5.5 - 13.8  
 13.9 - 20.7    20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR  
 DATE : 04

DATA NAME : TC04TO.DAT

圖 2-13 台中港4月份風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

	0.0 - 5.4	5.5 - 13.8	13.9 - 20.7	20.8 - INFI
NNE	3.52	5.57	0.00	0.00
NE	2.89	6.39	0.46	0.05
ENE	5.43	6.83	0.10	0.00
E	1.09	0.31	0.00	0.00
ESE	0.98	0.00	0.00	0.00
SE	0.62	0.11	0.00	0.00
SSE	3.41	0.42	0.00	0.00
S	4.81	0.60	0.00	0.00
SSW	3.67	0.61	0.00	0.00
SW	3.00	1.04	0.00	0.00
WSW	1.24	1.52	0.00	0.00
W	1.02	0.99	0.00	0.00
WNW	1.07	0.27	0.00	0.00
NW	1.21	0.07	0.00	0.00
NNW	1.12	0.20	0.00	0.00
N	2.18	3.53	0.00	0.00

WIND SPEED RANGE (M/SEC)

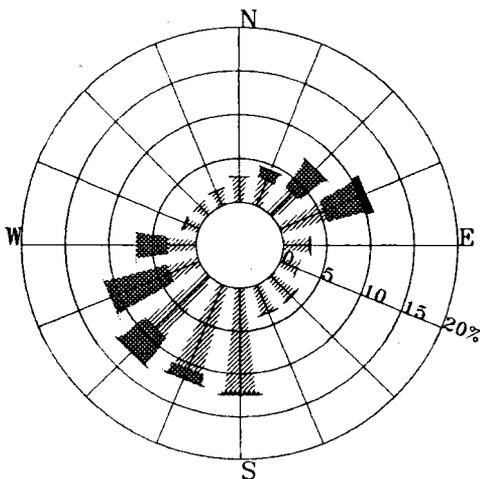
0.0 - 5.4    5.5 - 13.8  
 13.9 - 20.7    20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 05

DATA NAME : TC05TO.DAT

圖 2-14 台中港5月份風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

	0.0 - 5.4	5.5 - 13.8	13.9 - 20.7	20.8 - INFI
NNE	1.25	1.03	0.00	0.00
NE	2.32	3.79	0.37	0.00
ENE	4.45	6.14	2.21	0.00
E	0.91	0.41	0.12	0.00
ESE	1.17	0.00	0.00	0.00
SE	2.19	0.00	0.00	0.00
SSE	1.95	0.05	0.00	0.00
S	9.11	0.50	0.00	0.00
SSW	1.89	1.82	0.00	0.00
SW	4.47	1.54	0.00	0.00
WSW	3.10	2.38	0.05	0.00
W	2.19	4.34	0.05	0.00
WNW	1.51	0.31	0.05	0.00
NW	1.21	0.11	0.00	0.00
NNW	0.80	0.11	0.00	0.00
N	1.06	0.05	0.00	0.00

WIND SPEED RANGE (M/SEC)

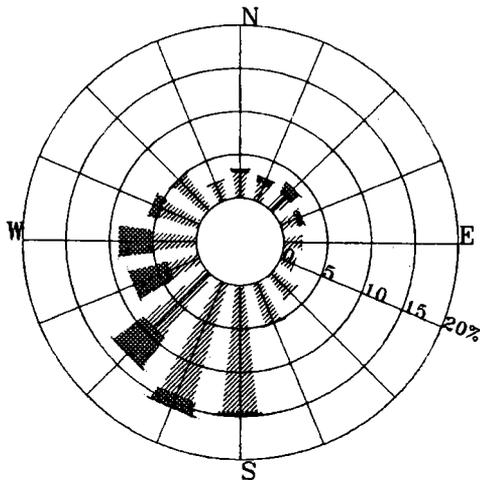
0.0 - 5.4    5.5 - 13.8  
 13.9 - 20.7    20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 06

DATA NAME : TC06TO.DAT

圖 2-15 台中港6月份風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

	0.0 - 5.4	5.5 - 13.8	13.9 - 20.7	20.8 - INFI
NNE	1.27	0.57	0.00	0.00
NE	1.52	1.74	0.13	0.00
ENE	1.16	0.94	0.06	0.00
E	1.03	0.06	0.00	0.00
ESE	0.85	0.00	0.00	0.00
SE	1.49	0.08	0.00	0.00
SSE	5.42	0.05	0.00	0.00
S	4.24	0.43	0.00	0.00
SSW	4.71	2.32	0.00	0.00
SW	4.14	4.17	0.05	0.00
WSW	2.38	3.82	0.00	0.00
W	1.62	2.96	0.00	0.00
WNW	2.34	1.58	0.00	0.00
NW	4.20	0.49	0.00	0.00
NNW	0.75	0.08	0.00	0.00
N	1.02	0.23	0.00	0.00

WIND SPEED RANGE (M/SEC)

0.0 - 5.4    5.5 - 13.8

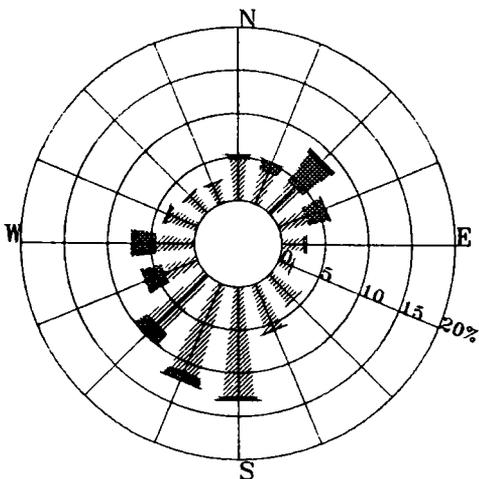
13.9 - 20.7    20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 07

DATA NAME : TC07TO.DAT

圖 2-16 台中港7月份風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

	0.0 - 5.4	5.5 - 13.8	13.9 - 20.7	20.8 - INFI
NNE	1.25	1.53	0.06	0.00
NE	2.01	4.11	0.79	0.06
ENE	2.42	4.37	0.56	0.13
E	1.17	0.74	0.13	0.00
ESE	0.95	0.18	0.00	0.00
SE	2.94	0.07	0.00	0.00
SSE	5.39	0.18	0.00	0.00
S	5.57	0.57	0.00	0.00
SSW	7.01	1.20	0.00	0.00
SW	4.83	1.41	0.00	0.00
WSW	3.33	2.19	0.06	0.00
W	3.35	3.86	0.00	0.00
WNW	0.94	0.33	0.00	0.00
NW	1.35	0.23	0.00	0.00
NNW	1.37	0.12	0.06	0.00
N	1.03	0.64	0.13	0.00

WIND SPEED RANGE (M/SEC)

0.0 - 5.4    5.5 - 13.8

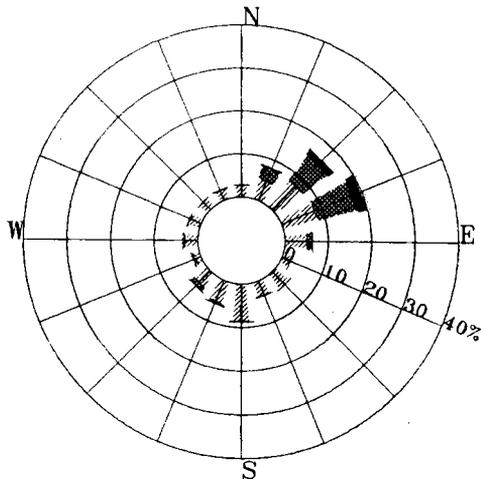
13.9 - 20.7    20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 08

DATA NAME : TC08TO.DAT

圖 2-17 台中港8月份風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

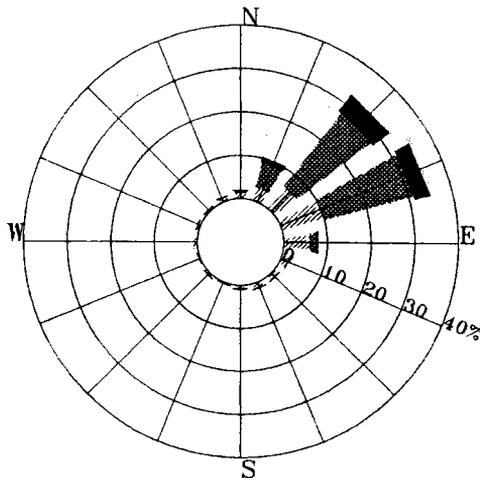
	0.0 - 5.4	5.5 - 13.8	13.9 - 20.7	20.8 - INFI
NNE	2.95	4.53	0.49	0.28
NE	4.90	4.46	3.07	0.52
ENE	3.21	12.82	2.99	2.56
E	1.18	2.82	0.14	0.14
ESE	1.40	0.06	0.00	0.00
SE	2.41	0.07	0.07	0.00
SSE	2.39	0.21	0.00	0.00
S	5.95	0.27	0.00	0.00
SSW	2.60	0.59	0.00	0.00
SW	1.67	1.66	0.00	0.00
WSW	0.94	0.93	0.06	0.00
W	1.77	0.86	0.00	0.00
WNW	1.37	0.35	0.00	0.00
NW	1.67	0.14	0.21	0.00
NNW	3.23	0.13	0.07	0.00
N	1.62	0.28	0.21	0.00

WIND SPEED RANGE (M/SEC)  
 0.0 - 5.4    5.5 - 13.8  
 13.9 - 20.7    20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR  
 DATE : 09

DATA NAME : TC09TO.DAT

圖 2-18 台中港9月份風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

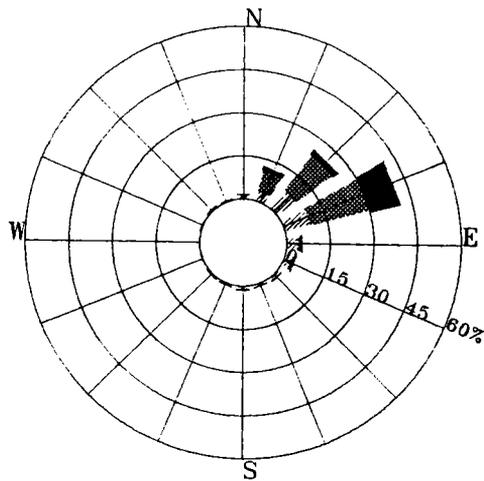
	0.0 - 5.4	5.5 - 13.8	13.9 - 20.7	20.8 - INFI
NNE	3.31	8.98	2.75	0.17
NE	4.58	12.35	5.30	0.16
ENE	5.98	17.96	3.29	1.72
E	3.54	1.88	1.28	0.00
ESE	0.77	0.08	0.00	0.00
SE	0.87	0.00	0.00	0.00
SSE	0.97	0.00	0.00	0.00
S	0.62	0.06	0.00	0.00
SSW	0.50	0.00	0.00	0.00
SW	0.64	0.00	0.00	0.00
WSW	0.40	0.00	0.00	0.00
W	0.85	0.00	0.00	0.00
WNW	0.86	0.00	0.00	0.00
NW	0.58	0.06	0.00	0.00
NNW	1.35	0.06	0.28	0.00
N	1.74	0.81	0.11	0.00

WIND SPEED RANGE (M/SEC)  
 0.0 - 5.4    5.5 - 13.8  
 13.9 - 20.7    20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR  
 DATE : 10

DATA NAME : TC10TO.DAT

圖 2-19 台中港10月份風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

	0.0 - 5.4	5.5 - 13.8	13.9 - 20.7	20.8 - INFI
NNE	2.91	12.80	3.49	0.00
NE	9.97	11.69	2.44	0.00
ENE	7.15	17.85	11.73	1.81
E	2.08	2.17	0.23	0.40
ESE	2.46	4.21	0.29	0.06
SE	1.18	0.00	0.05	0.00
SSE	0.95	0.00	0.00	0.00
S	1.19	0.06	0.00	0.00
SSW	0.60	0.00	0.00	0.00
SW	0.47	0.00	0.00	0.00
WSW	0.35	0.00	0.00	0.00
W	0.88	0.00	0.00	0.00
WNW	0.37	0.00	0.00	0.00
NW	1.10	0.06	0.00	0.00
NNW	0.43	0.00	0.00	0.00
N	0.80	0.52	0.00	0.00

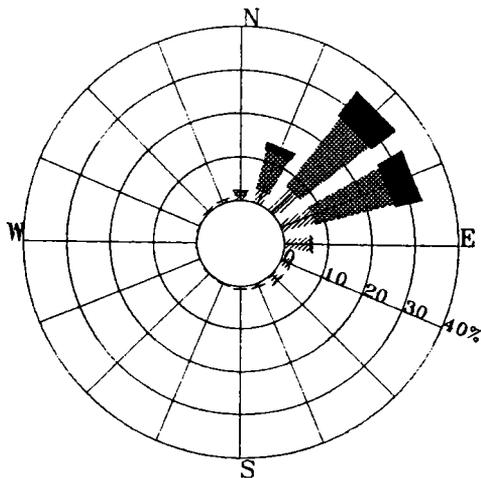
WIND SPEED RANGE (M/SEC)

0.0 - 5.4    5.5 - 13.8  
 13.9 - 20.7    20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR  
 DATE : 11

DATA NAME : TC11TO.DAT

圖 2-20 台中港11月份風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

	0.0 - 5.4	5.5 - 13.8	13.9 - 20.7	20.8 - INFI
NNE	3.28	16.58	4.16	0.00
NE	2.05	15.80	7.84	0.15
ENE	4.64	16.61	8.81	0.17
E	5.68	1.30	0.00	0.00
ESE	2.21	0.00	0.00	0.00
SE	2.06	0.00	0.00	0.00
SSE	0.75	0.00	0.00	0.00
S	0.75	0.00	0.00	0.00
SSW	0.29	0.00	0.00	0.00
SW	0.19	0.00	0.00	0.00
WSW	0.22	0.00	0.00	0.00
W	0.49	0.00	0.00	0.00
WNW	0.29	0.17	0.00	0.00
NW	0.52	0.09	0.00	0.00
NNW	0.40	0.06	0.00	0.00
N	0.68	2.59	0.11	0.00

WIND SPEED RANGE (M/SEC)

0.0 - 5.4    5.5 - 13.8  
 13.9 - 20.7    20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR  
 DATE : 12

DATA NAME : TC12TO.DAT

圖 2-21 台中港12月份風玫瑰圖

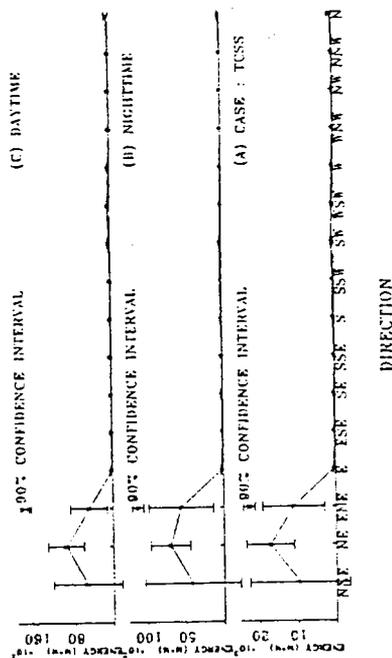


圖 2-22 台中港春季風能分佈圖

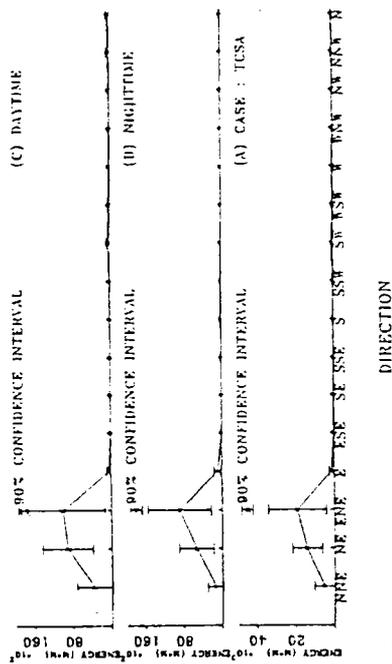


圖 2-24 台中港秋季風能分佈圖

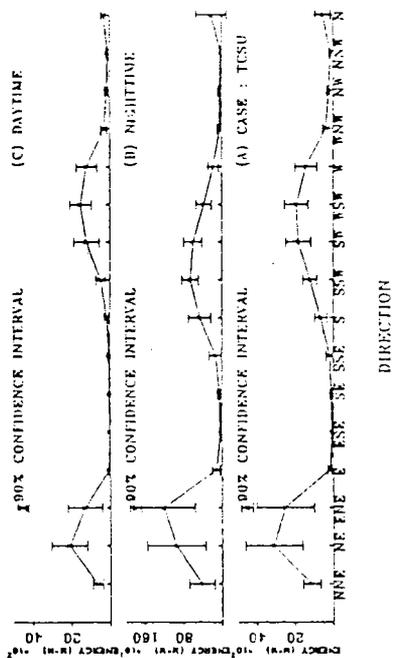


圖 2-23 台中港夏季風能分佈圖

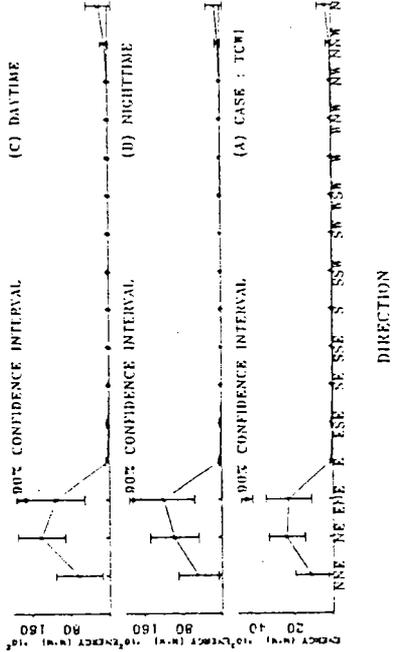


圖 2-25 台中港冬季風能分佈圖

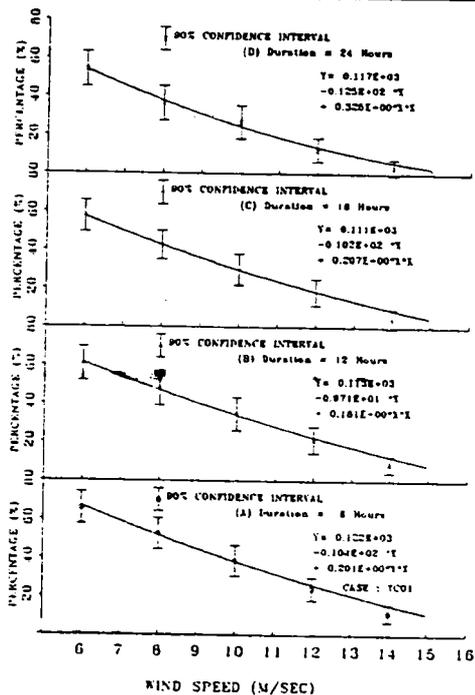


圖 2-26 台中港1月份風速持續發生率

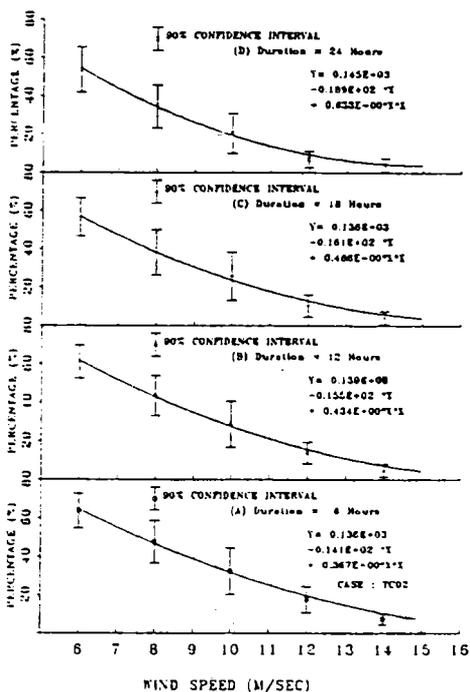


圖 2-27 台中港2月份風速持續發生率

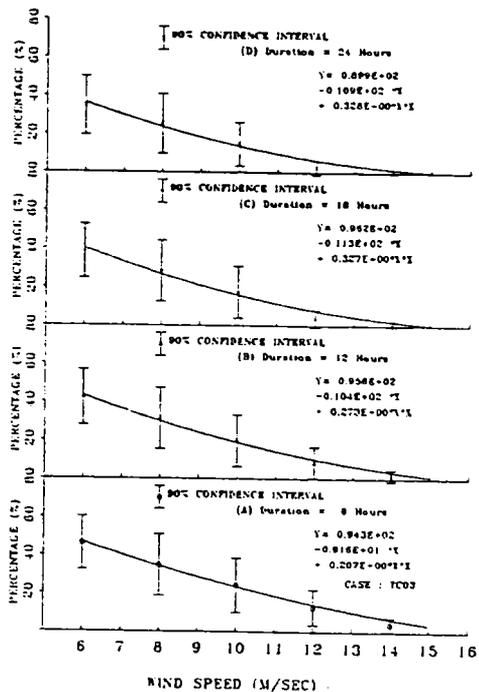


圖 2-28 台中港3月份風速持續發生率

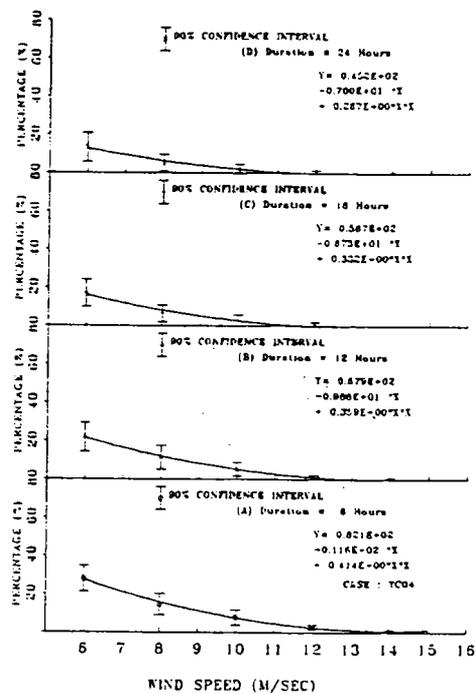


圖 2-29 台中港4月份風速持續發生率

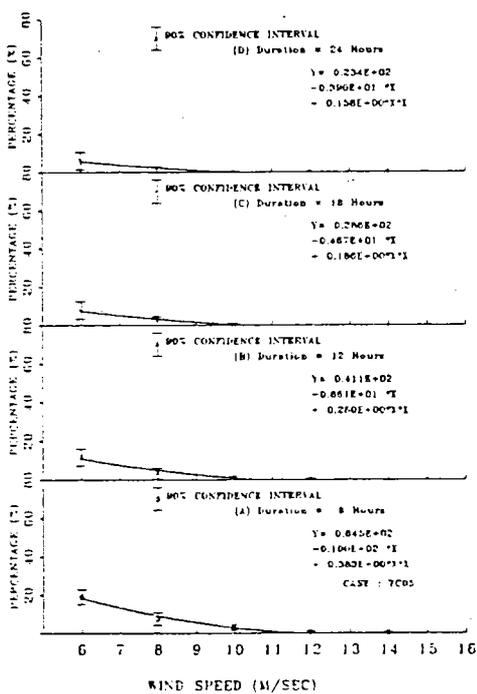


圖 2-30 台中港5月份風速持續發生率

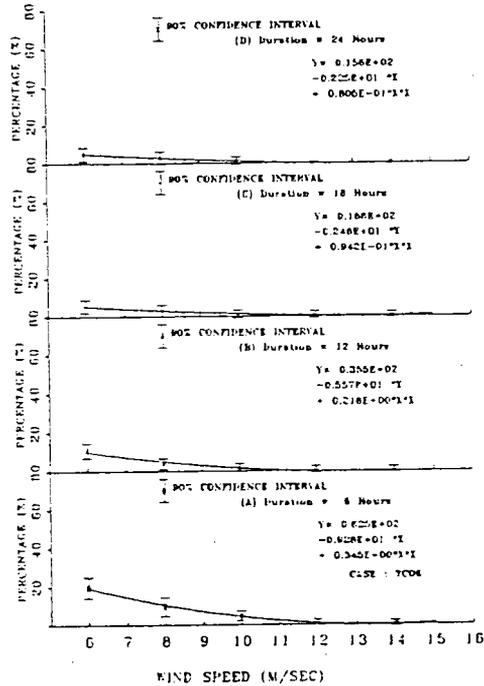


圖 2-31 台中港6月份風速持續發生率

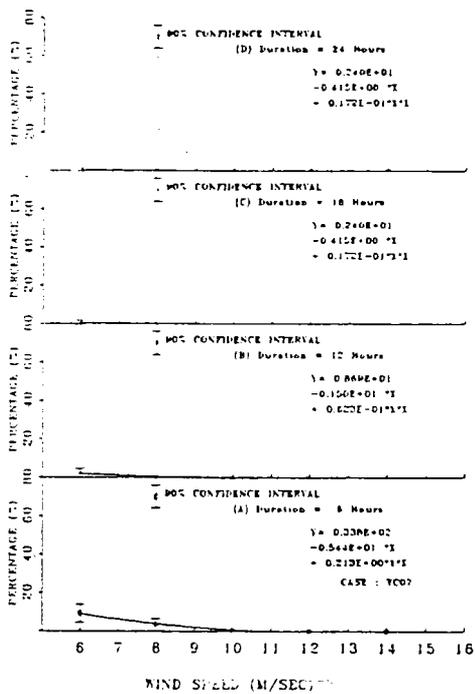


圖 2-32 台中港7月份風速持續發生率

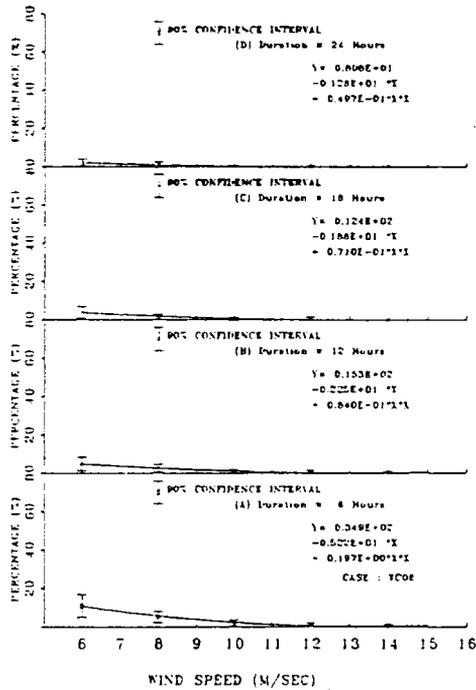


圖 2-33 台中港8月份風速持續發生率

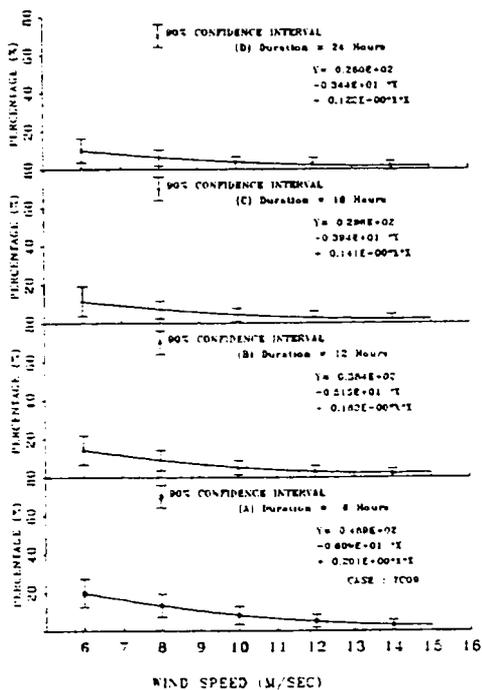


圖 2-34 台中港9月份風速持續發生率

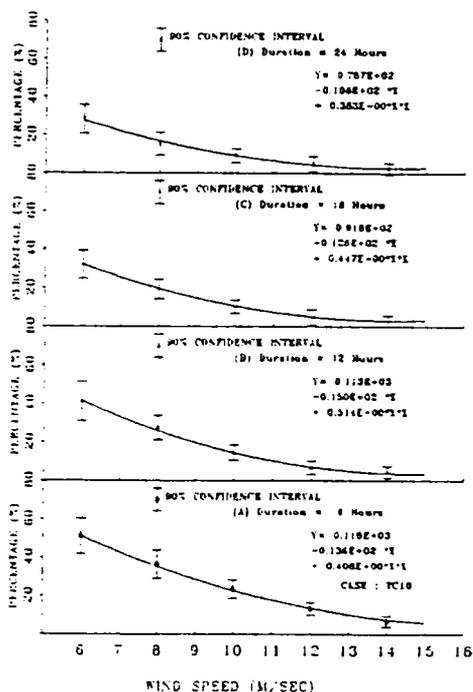


圖 2-35 台中港10月份風速持續發生率

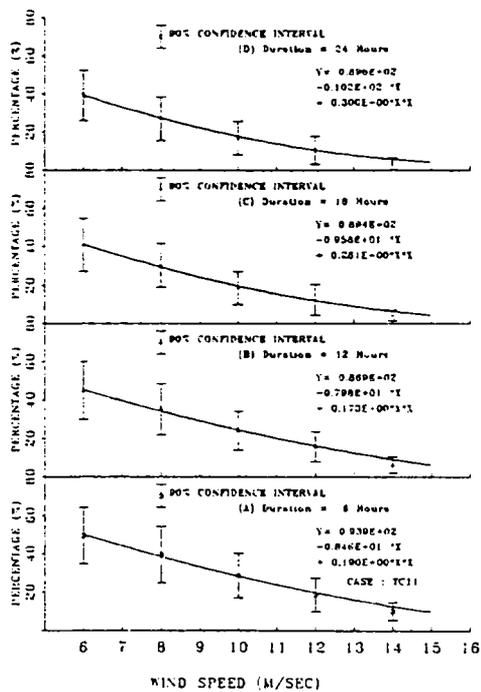


圖 2-36 台中港11月份風速持續發生率

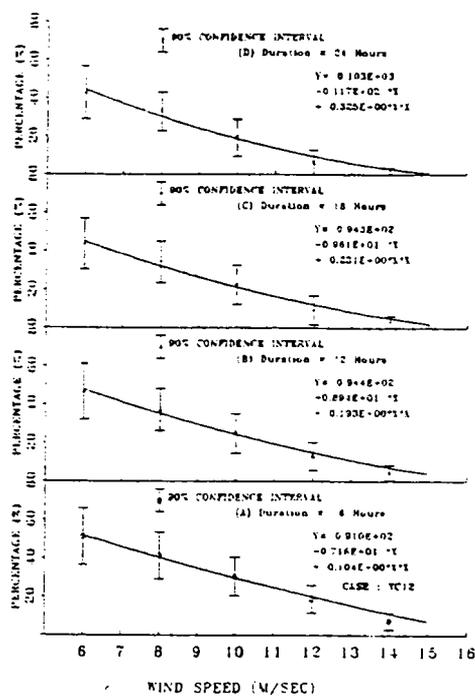


圖 2-37 台中港12月份風速持續發生率

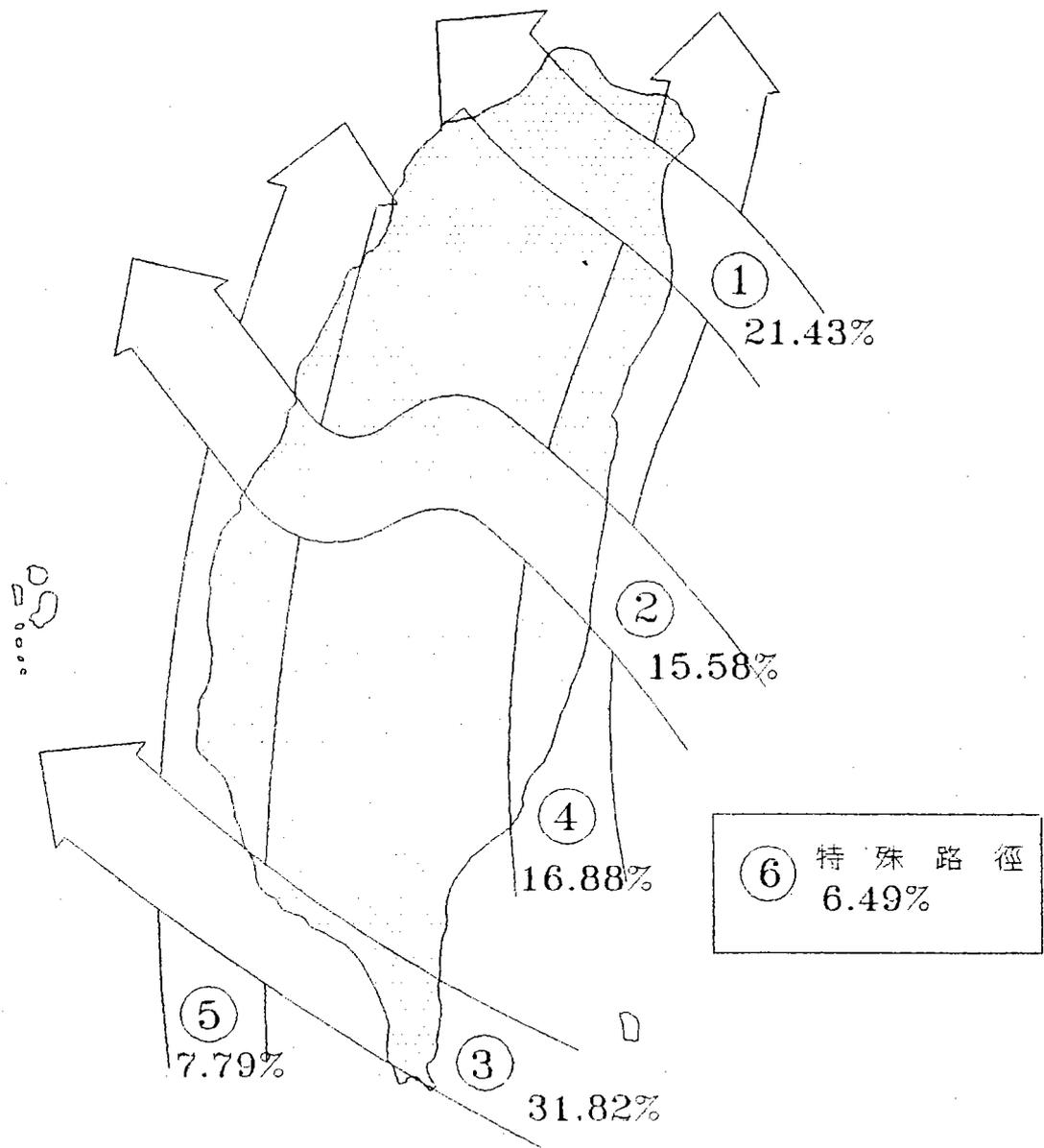


圖 2-38 侵台颱風路徑分類圖

TAI-CHUNG HARBOUR 120.29.28'E 24.17.38'N  
 1988/01/01/00:-1988/12/31/23: 8784(0105)

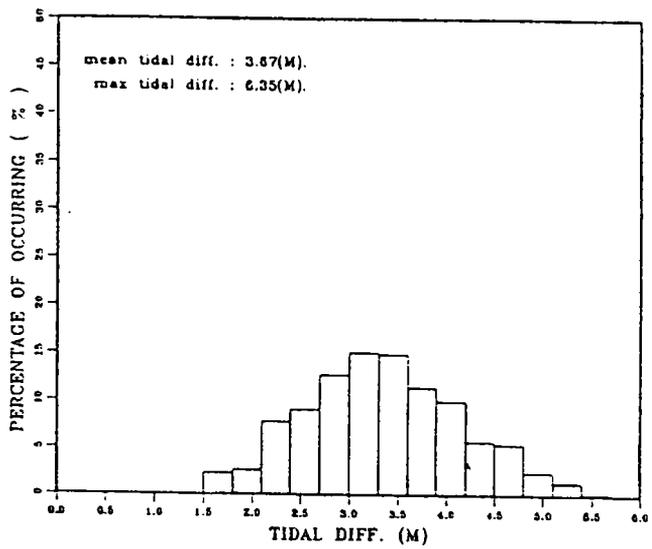


圖 3-39 台中港潮差統計分佈圖

TAI-CHUNG HARBOUR 120.29.28'E 24.17.38'N  
 1988/01/01/00:-1988/12/31/23: 2048(0000)

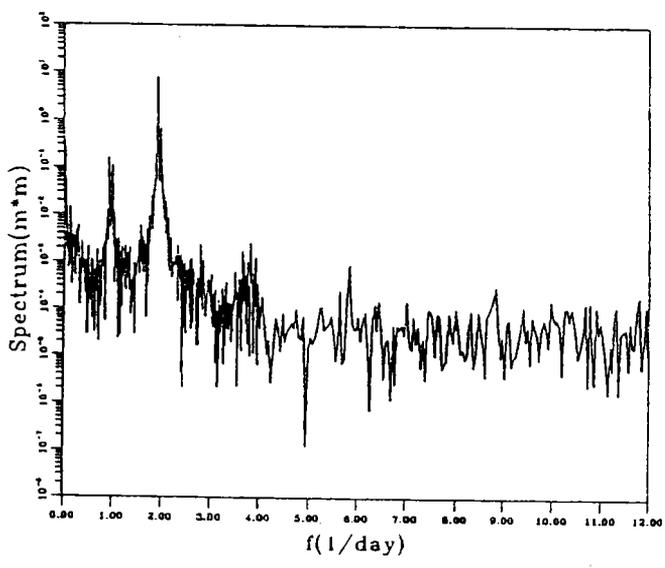


圖 3-40 台中港潮位能譜圖

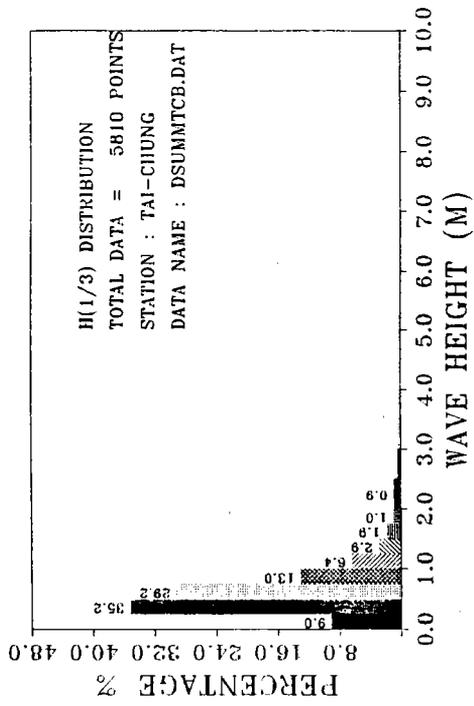


圖 2-41 台中港夏季示性波高分佈

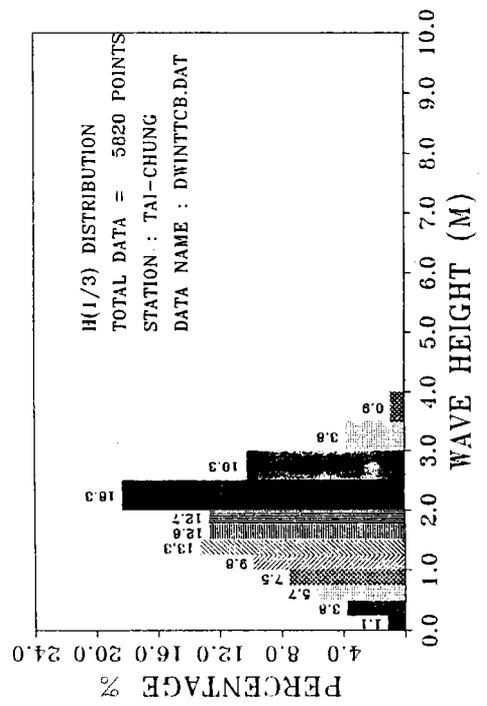


圖 2-43 台中港冬季示性波高分佈

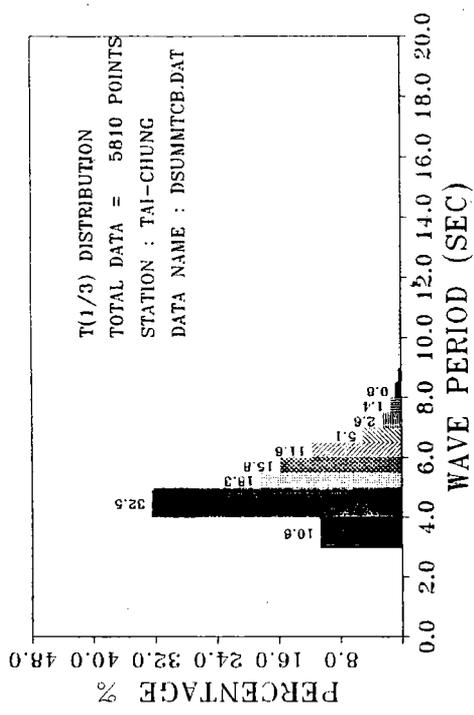


圖 2-42 台中港夏季示性週期分佈

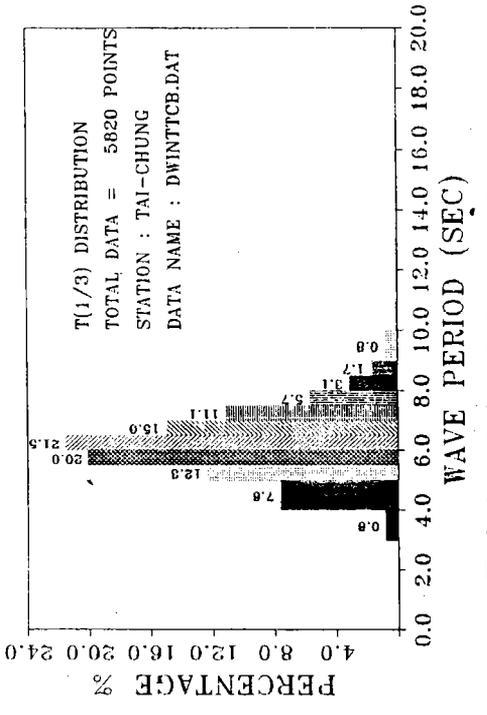


圖 2-44 台中港冬季示性週期分佈

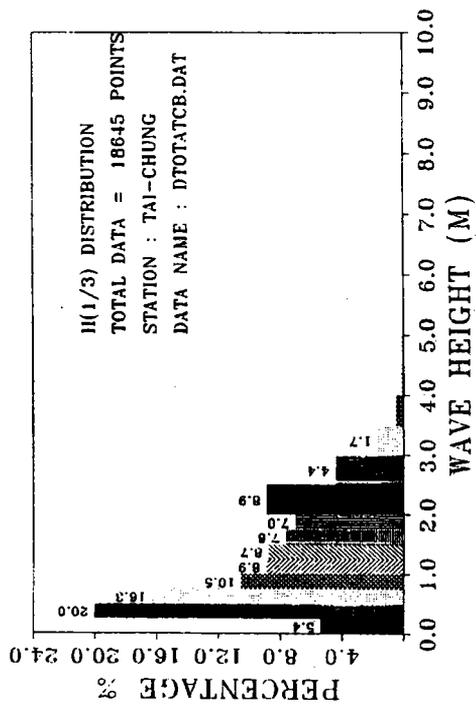


圖 2-45 台中港示性波高分布

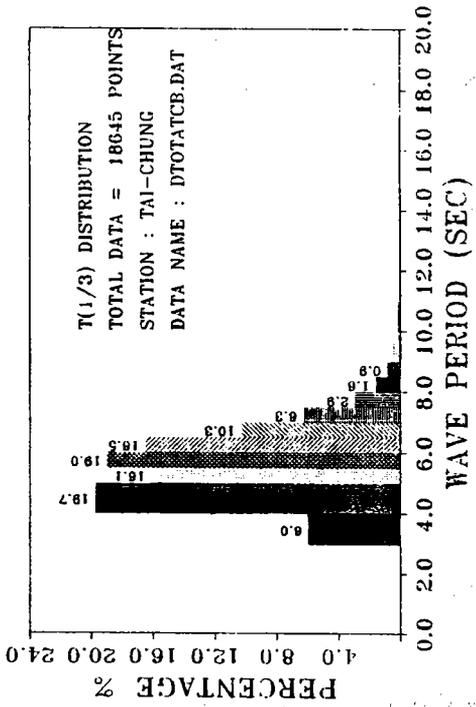


圖 2-46 台中港示性週期分佈

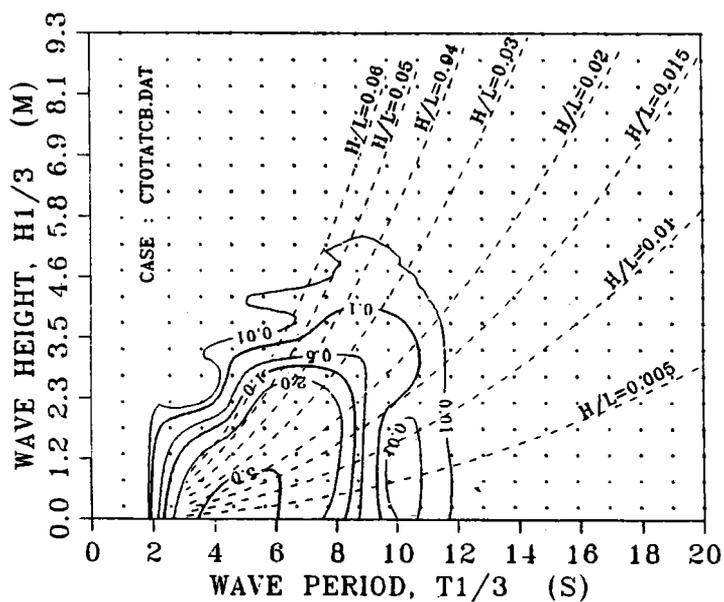


圖 2-47 台中港示性波高與週期聯合分佈二維圖

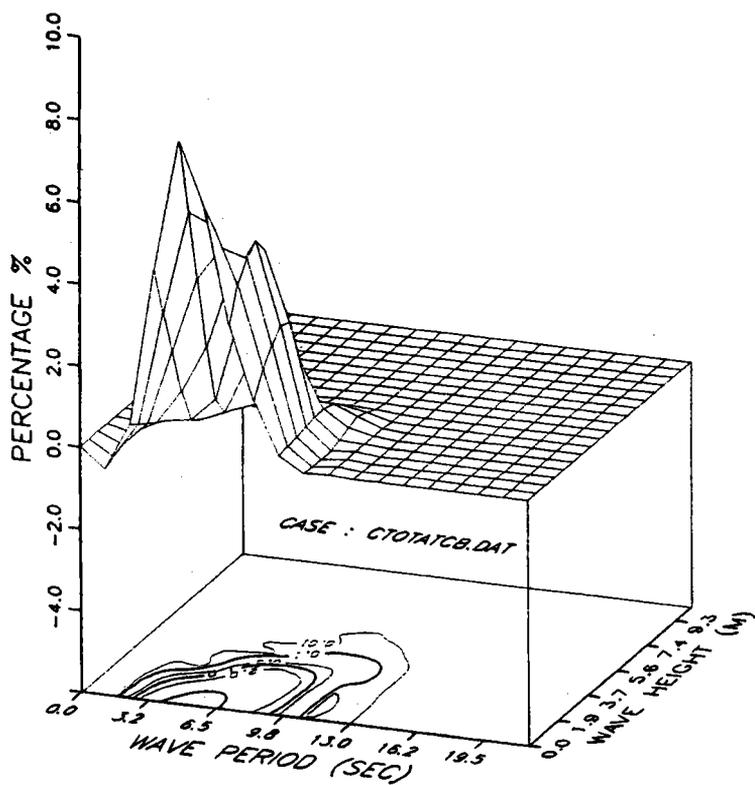


圖 2-48 台中港示性波高與週期聯合分佈二維圖

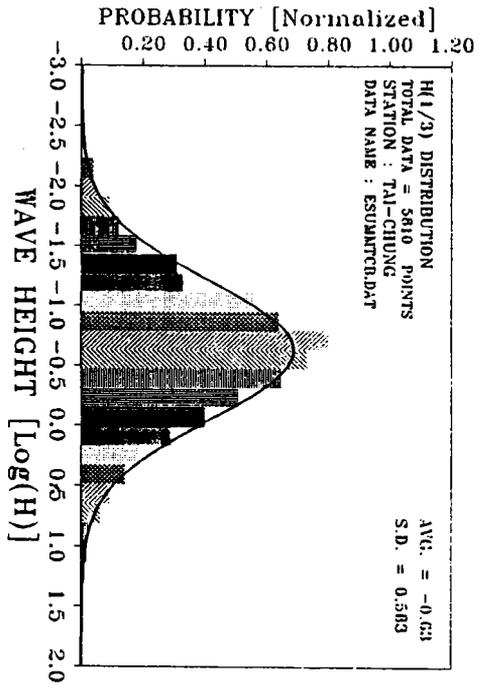


圖 2-49 台中港夏季示性波高實測與理論分佈

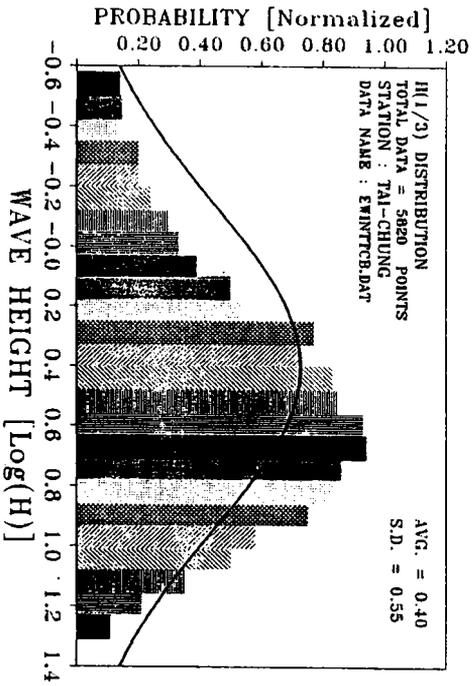


圖 2-51 台中港冬季示性波高實測與理論分佈

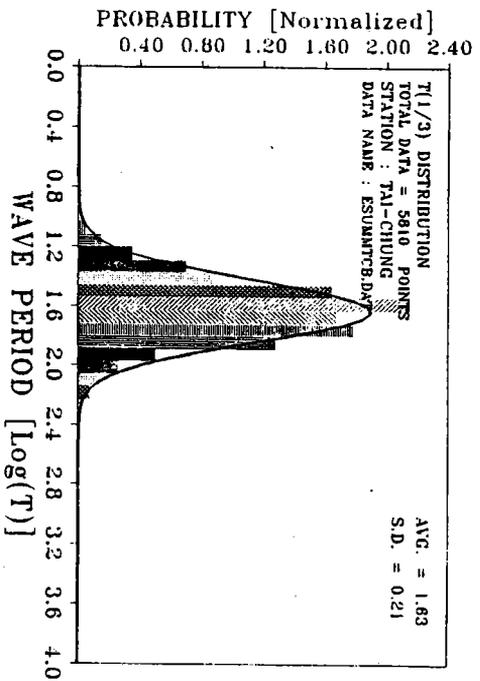


圖 2-50 台中港夏季示性週期實測與理論分佈

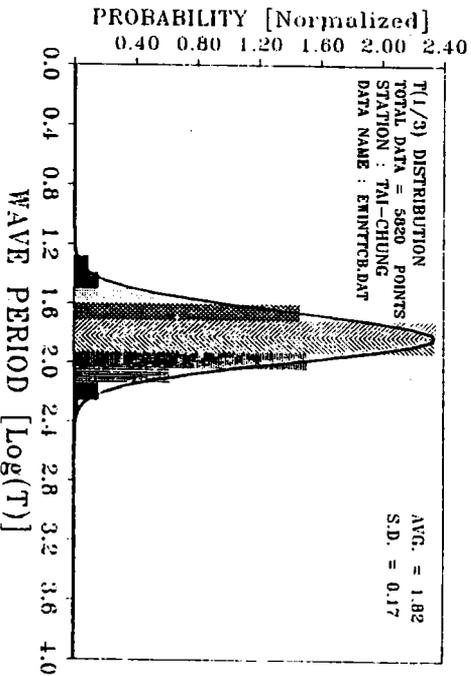


圖 2-52 台中港冬季示性週期實測與理論分佈

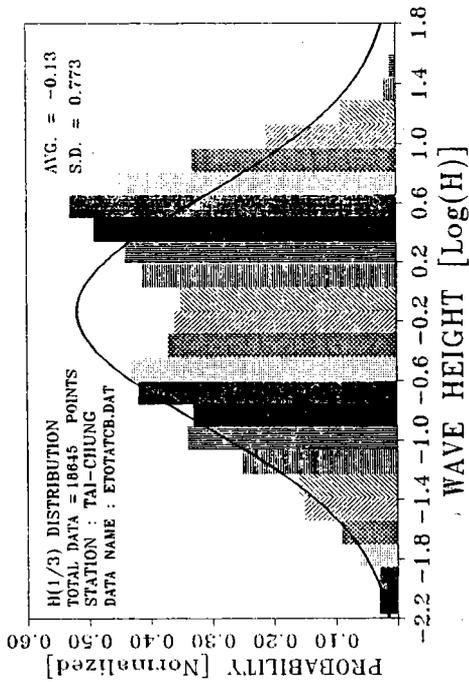


圖 2-53 台中港示性波高實測與理論分佈

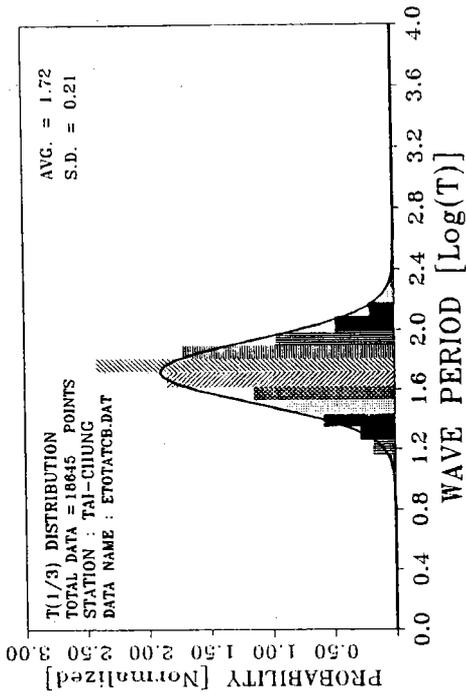


圖 2-54 台中港示性週期實測與理論分佈

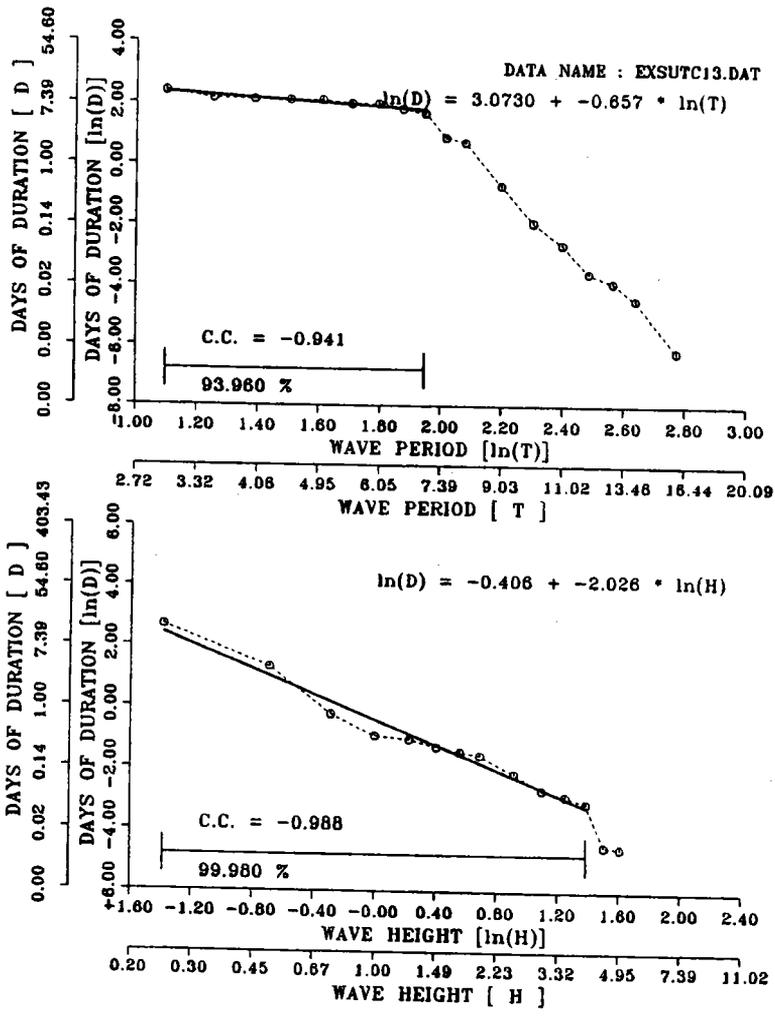


圖 2-55 台中港夏季示性波高與週期之平均過繼時間

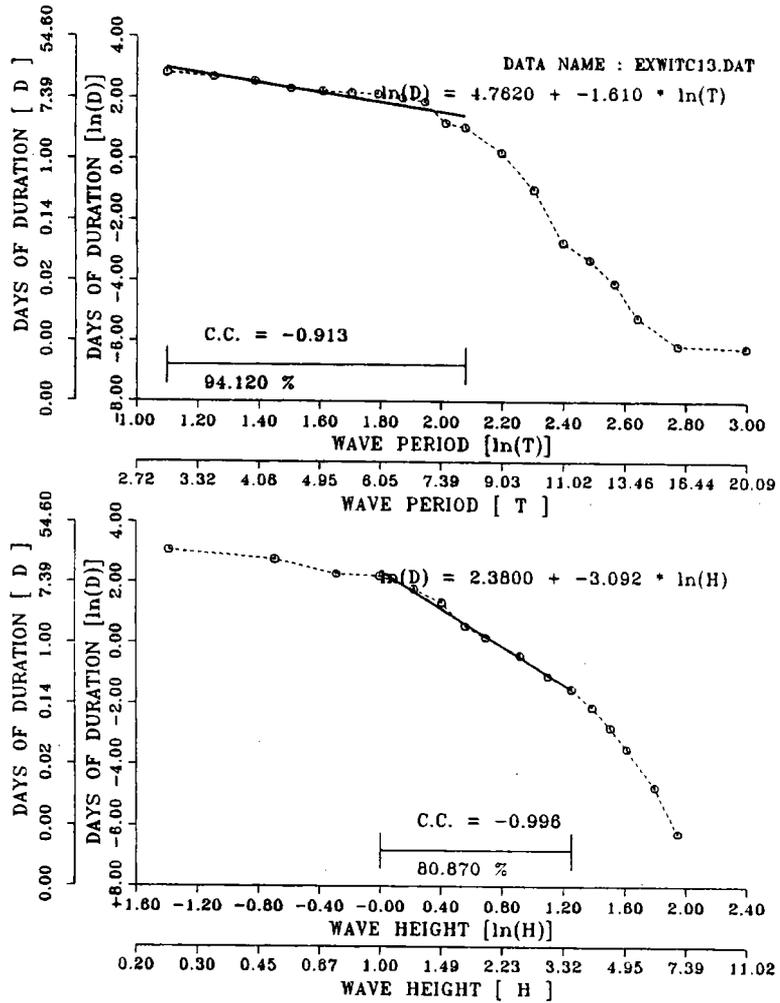


圖 2-56 台中港冬季示性波高與週期之平均過繼時間

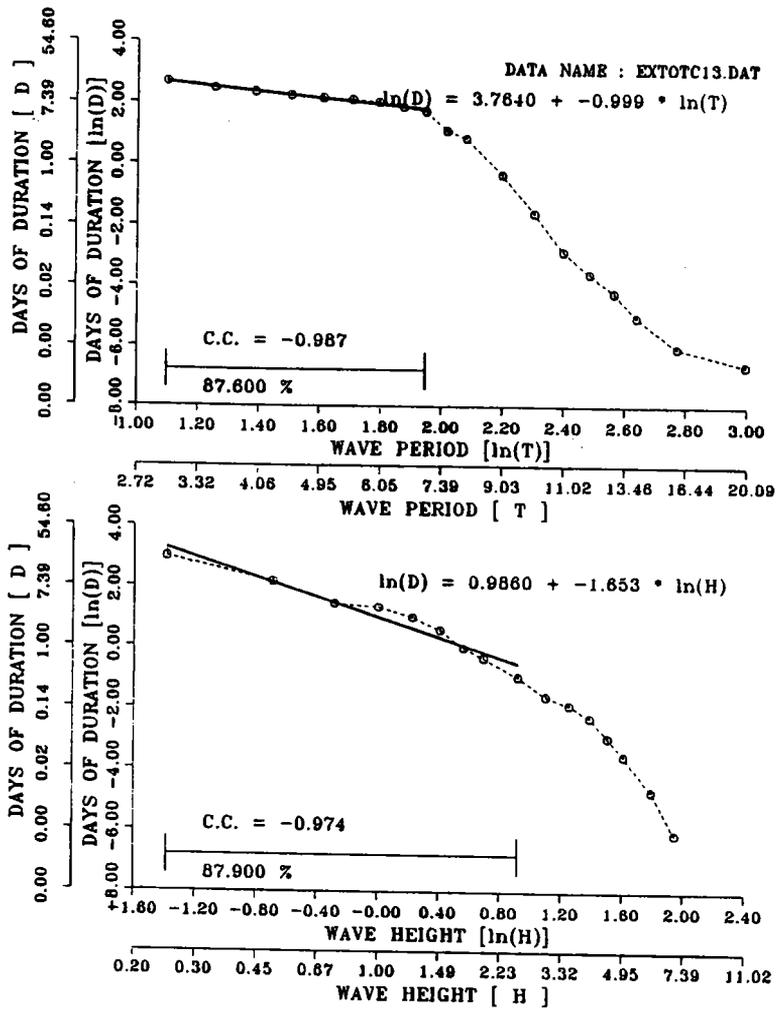


圖 2-57 台中港示性波高與週期之平均過繼時間

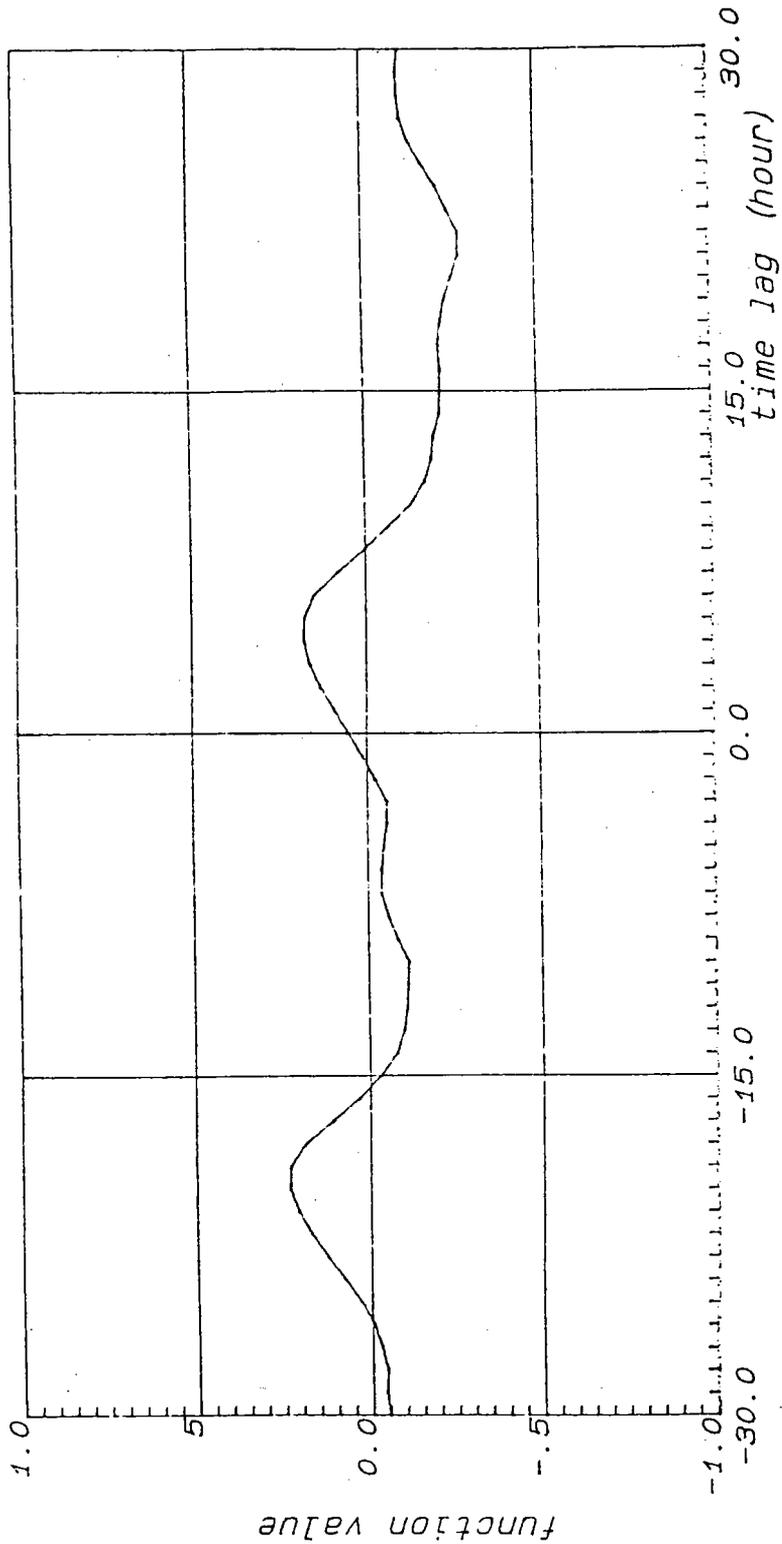
cross-correlation function of series X with series Y

X series: WIND SPEED at station:

Y series: CURRENT SPEED at station:

total no: 324

locate at: TAI-CHUNG HARBOUR



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

圖 2-58 夏季風速與流速互相關函數圖

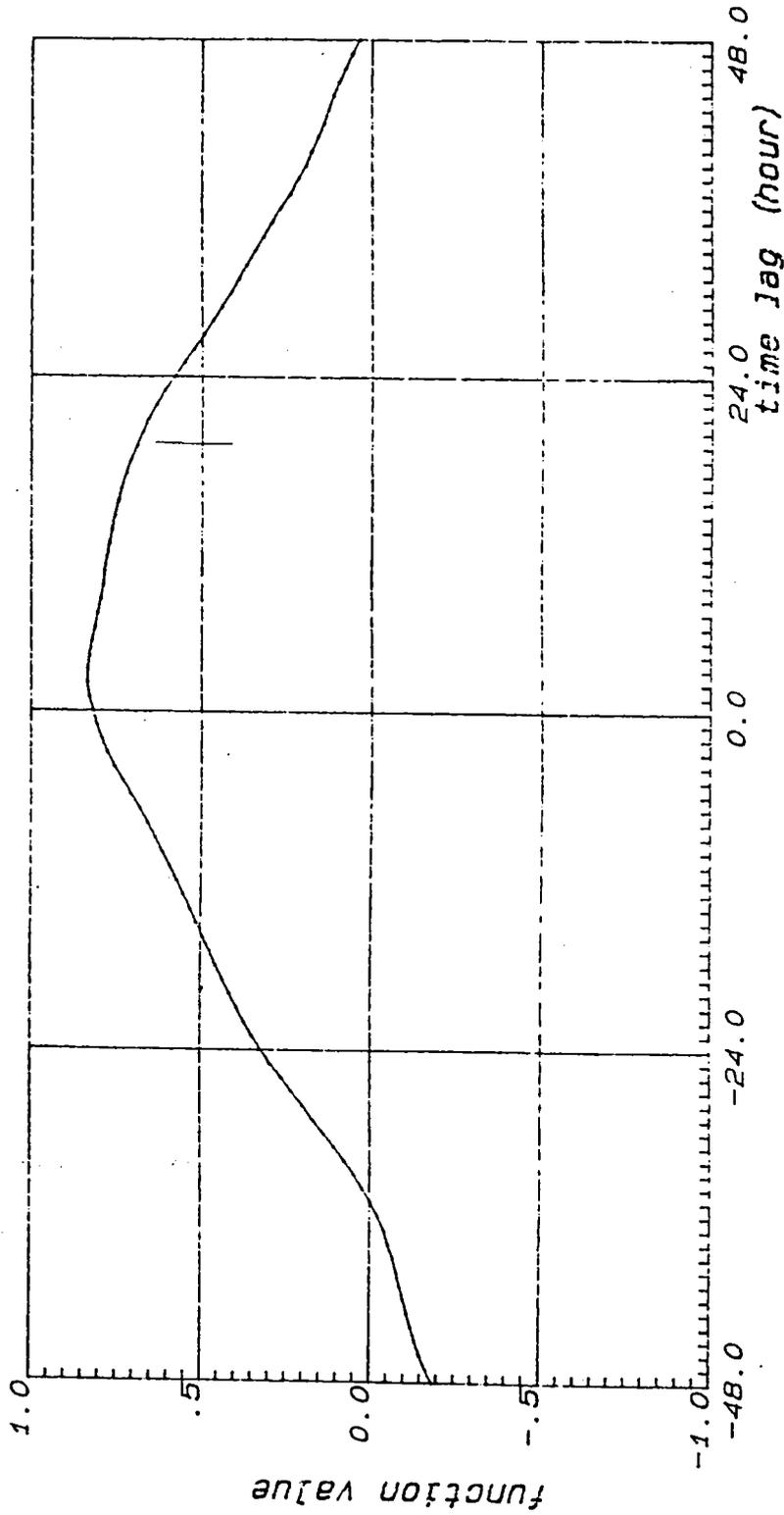
Cross-correlation function of series X with series Y

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 2-59 冬季風速與流速互相關函數圖

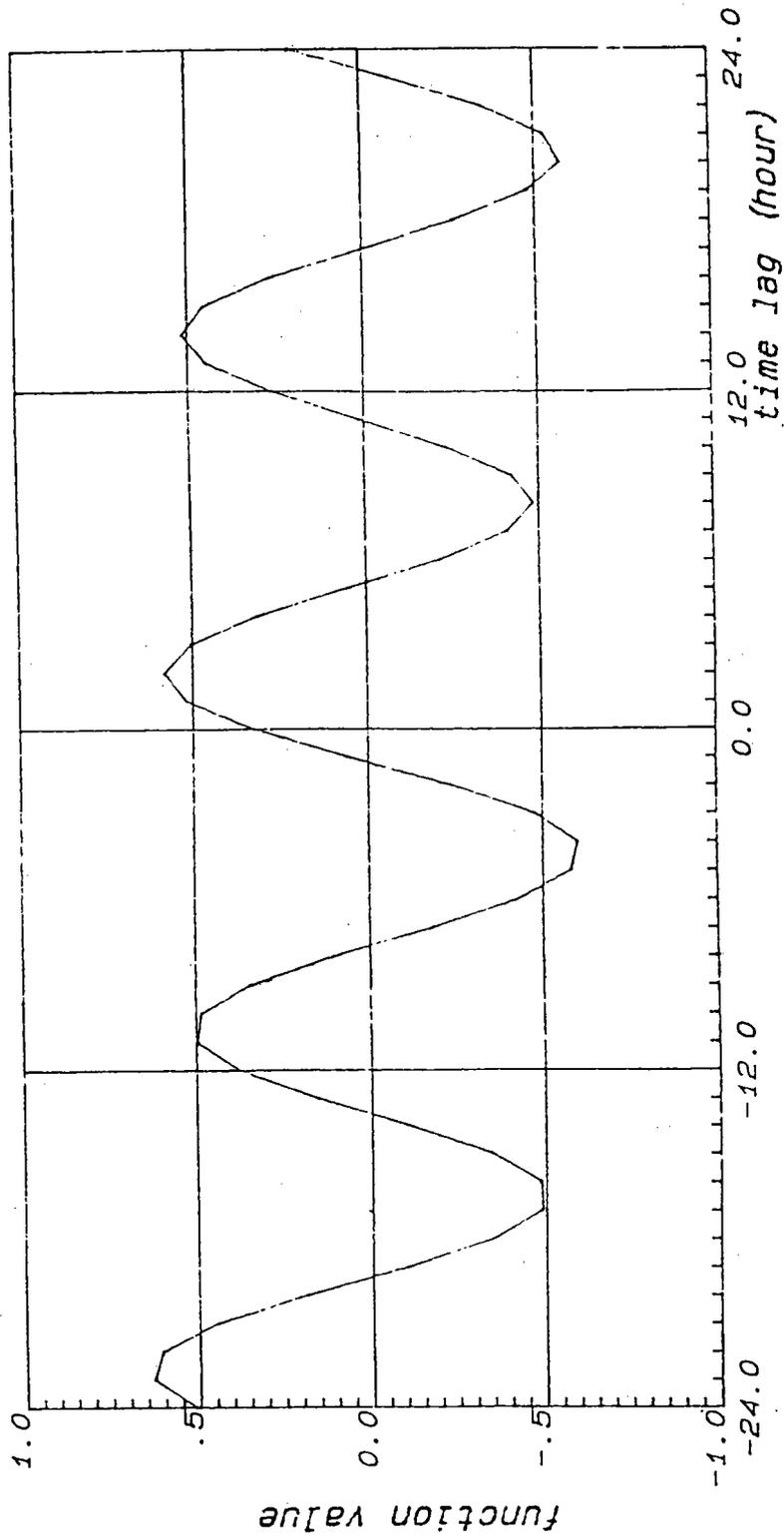
cross-correlation function of series X with series Y

X series: TIDE LEVEL at station:

Y series: CURRENT SPEED at station:

locate at: TAI-CHUNG HARBOUR

total no: 324



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

圖 2-60 夏季潮位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

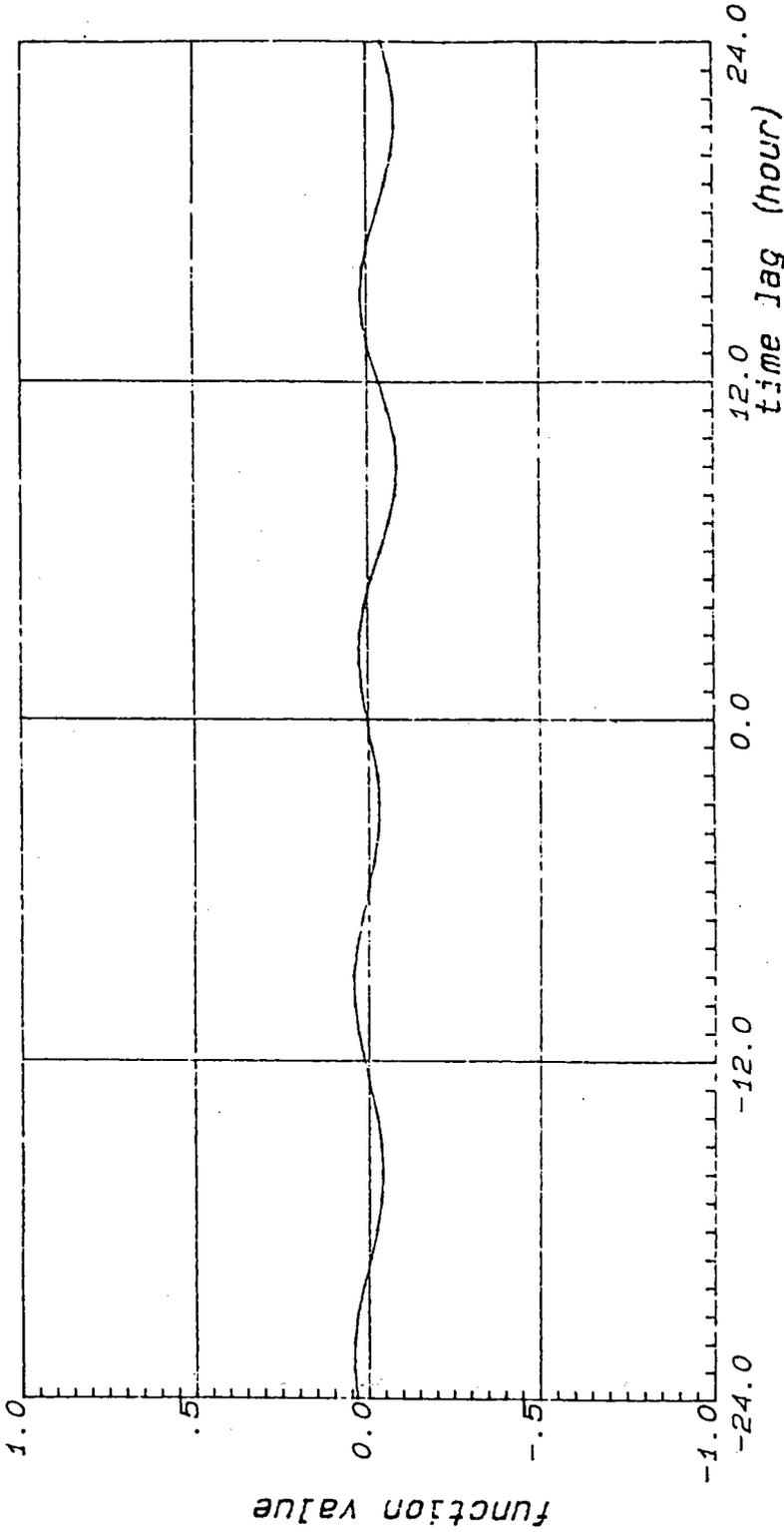


圖 2-61 冬季潮位與流速互相關函數圖

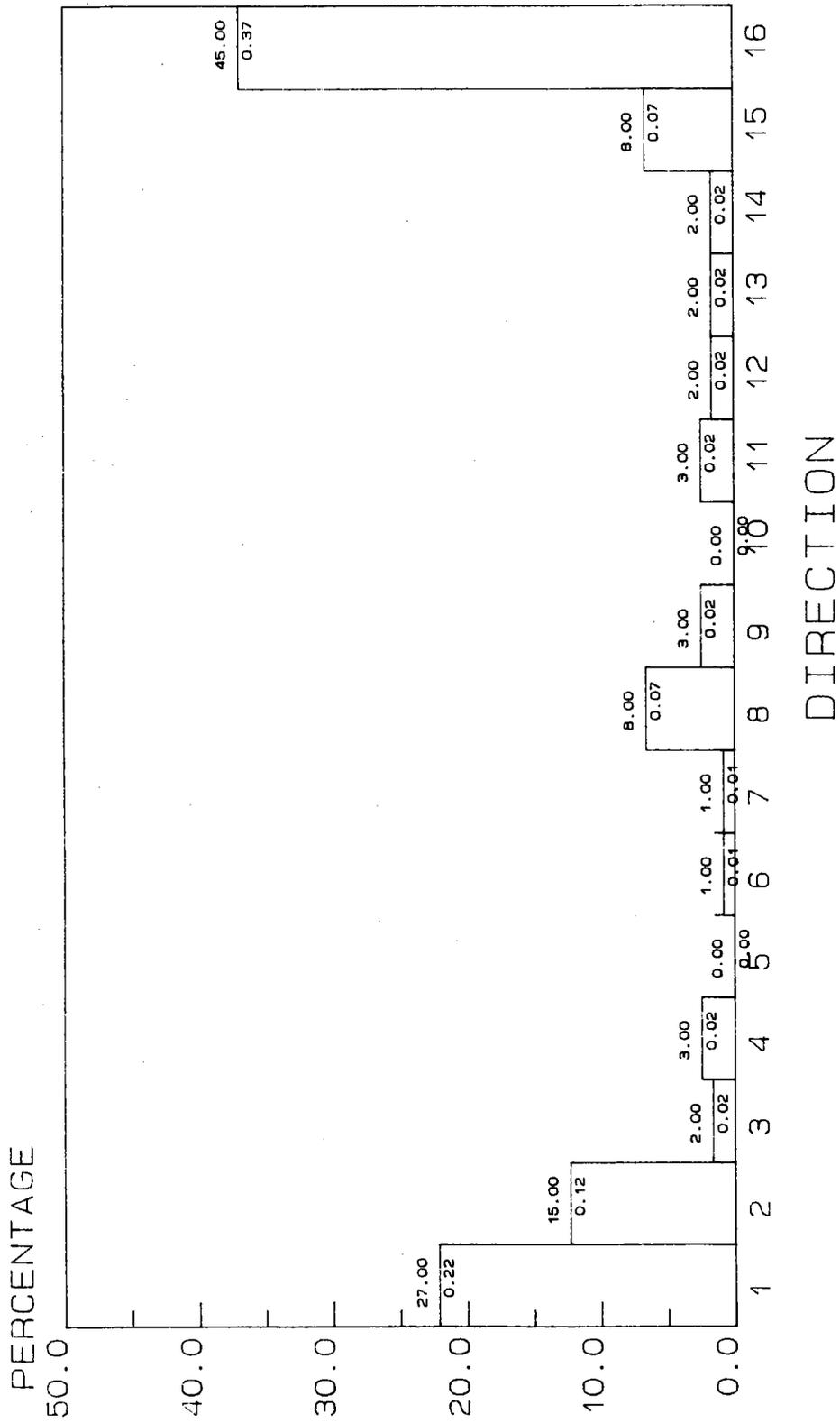


圖 2-62 風向發生機率比較圖

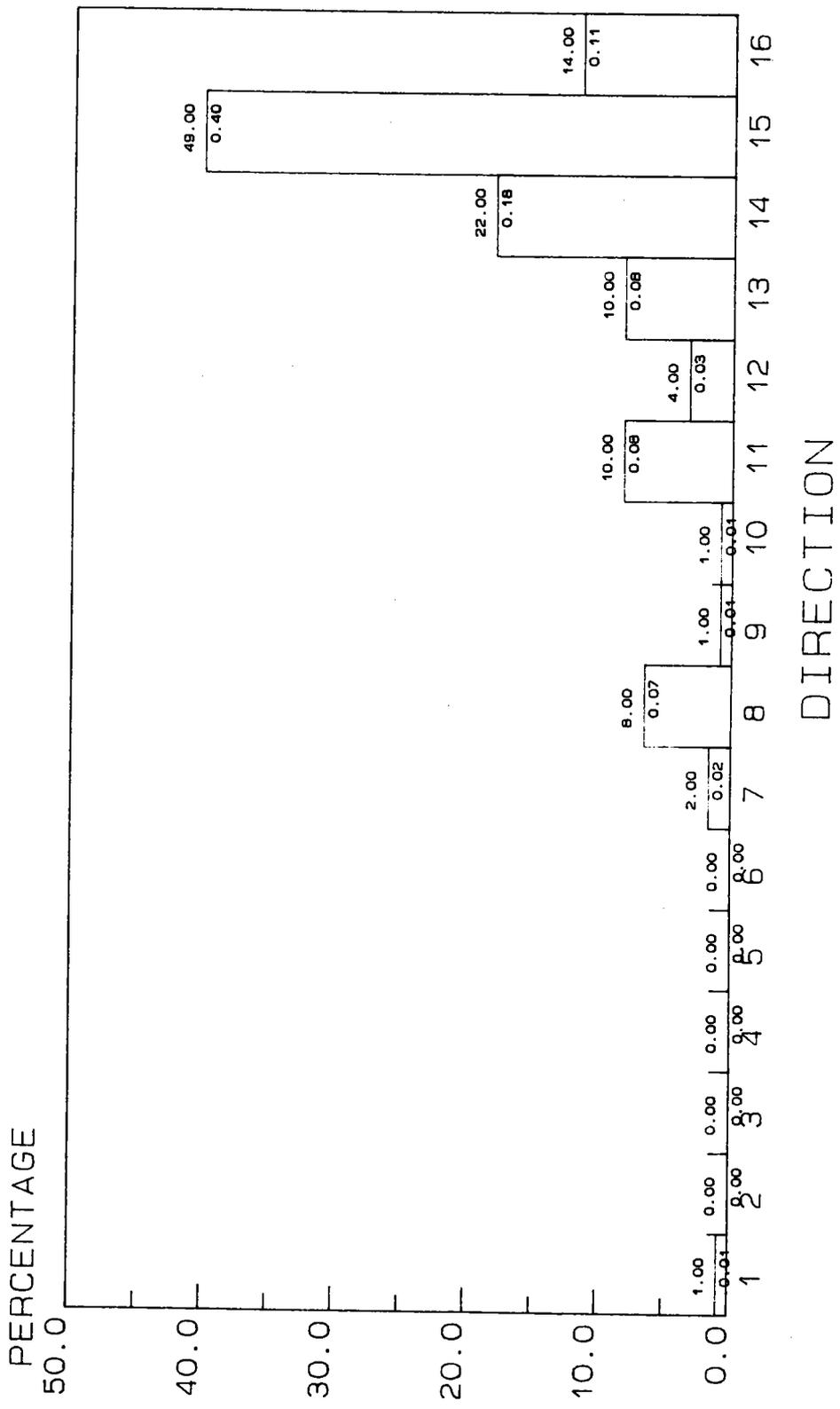


圖 2-63 波向發生機率比較圖

表 2-1 台中港各風力測站說明

測 站	儀器高(公尺)	觀 測 期 間	觀 測 單 位
A	24	1971.10--1981.12	台中港務局
	10	1973.03--1976.11	台中港務局
B	40	1977.01--迄今	氣象局梧棲觀測站
C	27	1984.01--迄今	港研所北堤觀測站

表 2-2 民國38年至民國81年颱風侵台各月次數

月 份	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10月	11月	12月	合 計
次 數	2	6	19	44	51	44	14	9	1	189
年平均次數	0.04	0.14	0.43	1.0	1.16	1.0	0.32	0.2	0.02	4.31
發生百分比(%)	1.1	3.2	10.1	23.3	27.0	23.3	7.4	4.8	0.5	100.0

表 2-3 台中港月平均示性波高(單位：公尺)

觀測月 觀測時	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	平均值
02	1.65	1.50	1.15	0.81	0.67	0.61	0.55	0.66	1.00	1.60	1.86	1.70	1.15
04	1.70	1.49	1.13	0.78	0.66	0.61	0.55	0.67	1.01	1.60	1.87	1.73	1.16
06	1.69	1.53	1.13	0.79	0.65	0.61	0.56	0.67	1.00	1.60	1.87	1.69	1.15
08	1.74	1.51	1.17	0.79	0.65	0.60	0.56	0.66	1.00	1.63	1.87	1.71	1.16
10	1.73	1.52	1.21	0.82	0.67	0.57	0.56	0.68	1.00	1.61	1.90	1.68	1.16
12	1.65	1.51	1.22	0.82	0.69	0.56	0.56	0.69	1.02	1.65	1.90	1.68	1.16
14	1.63	1.48	1.19	0.84	0.70	0.57	0.57	0.68	1.02	1.65	1.87	1.69	1.16
16	1.67	1.52	1.17	0.86	0.71	0.59	0.54	0.67	1.02	1.67	1.86	1.68	1.16
18	1.67	1.49	1.17	0.86	0.71	0.59	0.55	0.66	0.99	1.63	1.84	1.72	1.16
20	1.69	1.51	1.16	0.85	0.72	0.59	0.54	0.66	0.99	1.61	1.83	1.72	1.16
22	1.68	1.52	1.15	0.82	0.72	0.59	0.56	0.67	1.00	1.57	1.81	1.69	1.15
24	1.67	1.53	1.17	0.81	0.69	0.59	0.57	0.66	1.01	1.58	1.82	1.65	1.15
平均值	1.68	1.51	1.17	0.82	0.69	0.59	0.56	0.67	1.00	1.62	1.86	1.69	1.16
資料個數	1259	1325	1855	1576	1325	1084	1414	1990	2083	2067	1423	1197	18598

表 2-4 台中港月平均示性週期(單位：秒)

觀測月 觀測時	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	平均值
02	5.99	5.92	5.59	5.22	5.24	4.84	5.05	5.43	5.65	6.19	6.36	6.34	5.65
04	5.97	5.93	5.57	5.20	5.25	4.86	5.06	5.52	5.65	6.11	6.45	6.45	5.67
06	6.05	6.00	5.53	5.20	5.22	4.98	4.92	5.52	5.68	6.09	6.49	6.31	5.67
08	6.12	5.98	5.51	5.28	5.24	5.03	4.93	5.58	5.71	6.12	6.47	6.35	5.69
10	6.13	5.96	5.61	5.25	5.26	5.02	4.89	5.44	5.67	6.11	6.55	6.41	5.69
12	6.10	5.92	5.58	5.24	5.29	5.02	4.86	5.46	5.74	6.17	6.54	6.30	5.69
14	6.13	5.92	5.56	5.30	5.16	5.02	4.89	5.52	5.69	6.22	6.45	6.39	5.69
16	6.10	5.98	5.52	5.34	5.14	4.94	4.88	5.60	5.63	6.25	6.45	6.56	5.70
18	6.04	5.94	5.59	5.34	5.15	4.92	4.96	5.56	5.63	6.20	6.49	6.39	5.68
20	6.01	5.95	5.69	5.24	5.27	4.83	4.94	5.66	5.60	6.18	6.50	6.40	5.59
22	6.00	5.88	5.68	5.19	5.26	4.86	5.02	5.63	5.55	6.19	6.49	6.37	5.68
24	6.07	5.94	5.65	5.16	5.22	4.85	5.07	5.55	5.65	6.21	6.44	6.45	5.69
平均值	6.06	5.94	5.59	5.25	5.22	4.93	4.96	5.54	5.65	6.17	6.47	6.39	5.68
資料個數	1259	1325	1855	1576	1325	1084	1414	1990	2083	2067	1423	1197	18598

表 2-5 台中港冬季(10、11、12、1月)示性波高發生率

區間組別	波高區間(cm)	發生百分率(%)	累積百分率(%)
1	0 ~ 25	1.13	1.13
2	26 ~ 50	3.80	4.93
3	51 ~ 75	5.74	10.67
4	76 ~ 100	7.51	18.18
5	101 ~ 125	9.81	27.99
6	126 ~ 150	13.25	41.24
7	151 ~ 175	12.65	53.89
8	176 ~ 200	12.70	66.59
9	201 ~ 250	18.32	84.91
10	251 ~ 300	10.29	95.20
11	301 ~ 350	3.85	99.05
12	351 ~ 400	0.88	99.93
13	401 ~ 450	0.05	99.98
14	451 ~ 500	0.02	100.00

表 2-6 台中港冬季(10、11、12、1月)示性週期發生率

區間組別	週期區間(秒)	發生百分率(%)	累積百分率(%)
1	3.00 ~ 4.00	0.82	0.82
2	4.01 ~ 5.00	7.61	8.43
3	5.01 ~ 5.50	12.32	20.75
4	5.51 ~ 6.00	20.05	40.80
5	6.01 ~ 6.50	21.51	62.31
6	6.51 ~ 7.00	14.98	77.29
7	7.01 ~ 7.50	11.13	88.42
8	7.51 ~ 8.00	5.70	94.12
9	8.01 ~ 8.50	3.11	97.23
10	8.51 ~ 9.00	1.70	98.93
11	9.01 ~ 10.00	0.81	99.74
12	10.01 ~ 11.00	0.07	99.81
13	11.01 ~ 12.00	0.00	99.81
14	12.01 ~ 13.00	0.07	99.88
15	13.01 ~ 14.00	0.00	99.88
16	14.01 ~ 15.00	0.02	99.90
17	15.01 ~ 19.00	0.10	100.00

表 2-7 台中港夏季(5、6、7、8月)示性波高發生率

區間組別	波高區間(cm)	發生百分率(%)	累積百分率(%)
1	0 ~ 25	9.02	9.02
2	26 ~ 50	35.20	44.22
3	51 ~ 75	29.19	73.41
4	76 ~ 100	13.01	86.42
5	101 ~ 125	6.40	92.82
6	126 ~ 150	2.87	95.69
7	151 ~ 175	1.86	97.55
8	176 ~ 200	0.96	98.51
9	201 ~ 250	0.91	99.42
10	251 ~ 300	0.33	99.75
11	301 ~ 350	0.21	99.96
12	351 ~ 400	0.02	99.98
13	401 ~ 450	0.02	100.00

表 2-8 台中港夏季(5、6、7、8月)示性週期發生率

區間組別	週期區間 (秒)	發生百分率(%)	累積百分率(%)
1	3.00 ~ 4.00	10.62	10.62
2	4.01 ~ 5.00	32.51	43.13
3	5.01 ~ 5.50	18.33	61.46
4	5.51 ~ 6.00	15.78	77.24
5	6.01 ~ 6.50	11.64	88.88
6	6.51 ~ 7.00	5.08	93.96
7	7.01 ~ 7.50	2.58	96.54
8	7.51 ~ 8.00	1.41	97.95
9	8.01 ~ 9.00	0.36	98.31
10	9.01 ~ 10.00	0.36	98.67
11	10.01 ~ 11.00	0.14	98.81
12	11.01 ~ 12.00	0.03	98.84
13	12.01 ~ 13.00	0.02	98.86
14	13.01 ~ 14.00	0.08	98.94
15	14.01 ~ 15.00	0.07	99.01
16	15.01 ~ 19.00	0.99	100.00

表 2-9 台中港示性波尖銳度發生率

區間組別	尖銳度區間	發生百分率(%)	累積百分率(%)
1	0.0000 ~ 0.005	6.22	6.22
2	0.0051 ~ 0.010	15.85	22.07
3	0.0101 ~ 0.015	16.13	38.02
4	0.0151 ~ 0.020	15.32	53.52
5	0.0201 ~ 0.025	14.66	68.18
6	0.0251 ~ 0.030	15.28	83.46
7	0.0301 ~ 0.035	10.65	94.11
8	0.0351 ~ 0.040	4.15	98.26
9	0.0401 ~ 0.045	1.05	99.31
10	0.0451 ~ 0.050	0.42	99.73
11	0.0501 ~ 0.060	0.22	99.95
12	0.0601 ~ 0.070	0.04	99.99
13	0.0701 ~ 0.080	0.01	100.00

表 2-10 台中港波浪統計比值關係

比值類別 波高或週期	max/1/3	1/10/1/3	mean/1/3
H	1.61±0.38	1.24±0.08	0.68±0.05
T	1.31±0.54	1.01±0.14	0.91±0.14

表 2-11 台中港各復現期距之最大示性波高(Gumbel)

復現期距(年)	5	10	20	25	50	100
最大示性波高(公尺)	5.19	5.58	5.95	6.07	6.43	6.79

表 2-12 台中港各復現期距冬夏季之最大示性波高(Weibull)

復現期距(年)	5	10	20	25	50	100
冬季最大示性波高(公尺)	4.67	4.85	5.02	5.09	5.24	5.40
夏季最大示性波高(公尺)	5.84	6.34	6.85	7.02	7.53	8.05
平 均 值	5.26	5.59	5.94	6.06	6.39	6.73

表 2-13 台中港颱風波浪推算下各復現期距之最大示性波高

復現期距(年)	10		20		50		100	
極端值分析法 波浪推算法	Gumbel	Weibull	Gumbel	Weibull	Gumbel	Weibull	Gumbel	Weibull
實 用 法	7.43	7.88	8.28	8.66	9.37	9.69	10.20	10.45
湯 麟 武 法	8.89	9.58	9.81	10.45	11.00	11.57	11.89	12.41
井 島 法	8.15	8.94	9.21	9.94	10.58	11.24	11.61	12.19

### 三、漂沙量調查及分析

#### (一)引言

本研究著重於台中港北防波堤與北防沙堤間漂沙移動趨勢與侵淤量調查及資料建檔之主要原因係此區域內大甲溪排出之沙源受北防波堤之阻擋而產生堆積、等深線逐年的向外海移動，對於台中港航道之威脅以日遽增。因此為徹底瞭解此區域內沙量堆積趨勢、堆積速度及堆積量，本文利用台中港從民國62年到82年間每年一次的地形量測圖來做分析，祈望由現場資料之分析找出預測未來地形變化的趨勢，做為防治漂沙之參考，並提供漂沙數值計算之比較。

#### (二)地形變化趨勢之探討

採用民國62年到民國82年間之地形圖做為探討台中港北防波堤與北防沙堤間地形變化趨勢的基礎。將此時間分成四個變化較明顯的時段來比較說明，圖3-1表示民國65年到民國69年間之地形比較圖，由圖中7明顯發現，在此區域內從-5m到-20m等深線皆有緩慢向外移動之趨勢，而北防沙堤外側0m以及-5m等深線即呈大量外移之現象，而於北防波堤與北防沙堤間之0m等深線，靠近北防波堤呈堆積，靠近北防沙堤成侵蝕，此即表示北防沙堤阻擋沙源之功效僅在0m到-5m之間，而對-5m以上之等深線似乎影響很小。圖3-2表示民國69年到民國75年間之地形變化，由圖中得知在北防波堤及北防沙堤皆延長後，在此時段內北防波堤及北防沙堤間之-5m到-20m等深線很明顯的有外移現象。而北防沙堤對-5m到-0m之附近仍具有阻擋沙源移動之效果。圖3-3表示民國75年到民國79年間之地形變化圖，在此時段內，北防波堤的阻擋沙源的能力逐漸消失，-15m之等深線已移到堤頭附近，-20m等線深已超越堤頭，而在北防波堤附近仍有明顯的堆積現象，已經有沙源進入航道或下游的趨勢出現，同時北防沙堤內側在0m到-5m間有較大量的堆積，顯示沙源已超過此防沙堤而進入兩堤之間。圖3-4表示民國79年到民國82年間之地形比較圖，在此期間北防沙堤已延長並且在兩堤之間+3m以上築堤填沙，由圖中明顯

顯示-5m到-20m等深線皆有外移的現象，亦即延長後又開始發揮阻擋沙源之功效，但-20m等深亦有越過堤頭之趨勢。經由以上之分析，得知在近18年來，在北防波堤與北防沙堤之區域內，隨著時間而地形逐漸堆積而外移，北防波堤具有阻擋沙源之能力，但是無法達到永續之效果，北防沙堤僅能影響到-5m水深附近的地形變化，同時如無適當的方法來防止沙源南移，台中港之航道受淤應是時間之問題。

### (三) 淤沙區挖泥量之調查分析

依據台中港務局提供之中港號挖泥船從民國65年到民國83年之每年的挖泥數量統計表(如表3-1)得知，於北側淤沙區從民國66年到77年間挖泥量總計約607萬立方，每年平均22萬方到96萬立方之間，而從77年後沒有在此區域再挖泥。由於北側淤沙區內之挖泥地點集中區域無法確知，因此在本文各項分析即不考慮此區域之挖泥量。

### (四) 沙量之推算及分佈

考慮建堤後，推算區域內(北防波堤到北防沙堤間)之侵淤估算及探討沙量分佈，因此採用民國65年到民國82年間之地形變化資料做為分析之基礎。由於此區域內陸續有結構物之興建又飛沙亦是裸露水面之地形改變的主因之一，而且飛沙在估算上相當困難，本研究目前僅考慮沙源的走向及量，因此飛沙問題暫不加以考慮。故本所研究沙量之計算範圍採0m水深到-20m水深之間做為估算每年沙量變化的比較基礎，如圖3-5所示，在此區域以250公尺為一間隔共分成10個區間，總長2500公尺，總計算面積為365.5公頃。

圖3-6表示在整個計算區間內每年堆積量之變化圖，橫座標表示計算年度，縱座標表示每平方公尺上之沙量體積即平均堆積厚度。上面數據表示累積堆積厚度，下面數據表示每年度間堆積厚度之增

減量。此圖中之堆積厚度之比較係以民國65年為計算基準，由圖中可明顯發現民國67年到民國70年之間地形幾乎成平衡狀態，此時段係北防波堤及北防沙堤已完成，民國70年到民國72年之間堆積厚度突然增加約1.5公尺表示在此時段內大量的產生堆積，此可能係由於北防波堤已發揮其阻擋沙源的功能，而後民國72年到民國78年之間平均每年堆積厚度約增加10公分左右，顯示此時段內沙源堆積較為穩定，北防波堤除遮蔽效果外尚有阻擋沙源之功能，而至民國78年後，北防波堤之阻擋沙源的功能漸失，-20m等深線已超過堤頭，-15m等深線已逼近堤頭，因此民國78年到民國79年間此區域內之可阻擋沙源之構造物似乎已逐漸失去功能。於民國80年起又延長北防波堤，從3-6圖中亦可發現民國81年到民國82年間堆積厚度又有減小的趨勢，此係延長段又開始顯現其阻擋沙源的功能，但究竟經多長時段-15m等深線又會到達堤頭，此問題應事前加以詳估及防治。經由每年變化趨勢之討論得知假如沒有從其他方面來防患沙量堆積，而僅以防沙堤或防波堤來阻擋沙源的話，將無法達到預期的效果。

從北防波堤到防沙堤間之區域內，從民國65年到民國82年共17年間，沙之堆積厚度為494公分，平均每年約以30公分的厚度在增加，因此；此區域內推估每年不包括飛沙量在內，每年約有110萬立方公尺的沙堆積在此區域內。而這些沙源如何分佈在整個區內，圖3-7表示從北防波堤開始往北防沙堤以每間隔250公尺分割成10個區間（共長2500公尺）之每年堆積厚度比較圖，由圖中很明顯得知在區間1內之堆積厚度17年來增加8.23公尺為最多，其餘區間僅保持在4.2公尺到6.2公尺之間，而以區間5為最少，往區間5之二側平均增加。區間10（靠近北防沙堤），在民國65年到69年間成侵蝕狀態，70年以後逐漸堆積。

##### （五）地形變化之分析及預測

在北防波堤與北防沙堤之區域內選擇-5m到-20m，每隔5m一條等深線共4條等深線；做為分析地形走向變化趨勢的控制線。圖3-8為座標示意圖，橫座標取正東方向，縱座標取為正北方向，而原點取在漁港內位置如圖所示。由於在民國68年到民國80年間，北防波

堤與北防沙堤間之結構物已完成，因此選此期間之地形變化做為討論分析的基礎。以下將分別討論4條控制線，在民國68年到民國82年14年期間斜率變化，前進速度、水深變化、縱向坡度變化。

### 1. 控制線之斜率變化

採用62年到82年之地形圖，套入本文所設定之座標，將4條等深線之位置利用電腦而將其座標以數位板讀取並儲存於電腦內做為分析比較用。每條等深控制線經由繪出後發現其每年的斜率變化相近，因此使用北防波堤到北防沙堤間各等深線的位置座標並利用線性迴歸將其斜率求出。圖3-9到圖3-12分別表示各控制線每年之斜率變化。圖3-9表示-5m等深線之斜率變化比較圖。由圖中可發現其斜率變化分佈在0.6左右。而從民國68年以後逐漸變緩，民國74年以後再逐漸變陡。從民國68年到民國80年期間其斜率變化較大，此即表示-5m等深線受外界力量的影響較大，但斜率尚維持在0.55附近，其平均值為0.563。由圖3-10到圖3-12中可得知在民國68年到民國82年期間斜率變化很小，亦即外界條件如何變化，各等深控制線之斜率皆保持大致相同的狀態。其-10m等深線之平均斜率為0.700，-15m等深線之平均斜率為0.793，-20m等深線之平均斜率為0.717。由以上分析得知各等深控制線之斜率保持一致。

### 2. 控制線之前進速度

利用上節迴歸而得之方程式，取計算長度2.5公里之中點位置為比較位置，同時以民國62年之位置為參考值，分別求出每條等深控制線每年之平均位置，同時依水深繪置於圖3-13到圖3-16。依前節所述本節亦取民國68年到民國82年之資料來分析。圖3-13表示每年-5m等深線與民國62年比較之前進距離比較圖。由圖中發現由民國68年起即呈逐漸前進之趨勢到民國76年、77年而有後退之現象，而後又立即前進。利用民國68年到民國80年之前進距離做線性迴歸得到斜率為0.24，即每年平均前進24公尺，由圖3-14到圖3-16各圖中，亦有與圖3-13圖相似之現象，似乎在民國76年時皆有等深線後退的

情況發生，而其餘時段皆呈緩慢前進之趨勢。經由相同方法得-10m等深線平均每年前進33公尺，-25m等深線平均每年前進26公尺，-20m等深線平均每年前進29公尺。

### 3. 平均水深之探討

以平均低潮位為基準，計算水面到底床上之體積，同時求出底床對水面之投影面積，由水體積除以表面積，而得到平均水深。將整個計算區域分成0m到-5m等深線，-5m到-10m、-10m到-15m、-15m到-20m，四個區間來計算平均水深。圖3-17到圖3-20表示每年各區間之平均水深比較圖，由各圖中皆可發現除了0m到-5m之區間變化較大外，其餘各區間之每年平均水深相差很小。在0m到-5m區間內之平均水深為2.42公尺，-5m到-10m區間內之平均水深為7.2公尺，-10m到-15m區間內之平均水深為12.53公尺，-15m到-20m區間內之平均水深為17.73公尺。

### 4. 縱剖面坡度之變化分析

利用前節所求到之各區間之面積除以寬度而求出平均長度。再將前節所求得之平均水深除以平均寬度而得到平均坡度。圖3-21到圖3-24分別表示每年各區間之坡度變化圖，由各圖中可得知任何一個區間之坡度變化約為1%左右，變化可謂不大。將每個區間之每年的平均坡度，再做平均而求得在0m到-5m間之平均坡度為0.0036；-5m到-10m間之平均坡度為0.0274；-10m到-15m之平均坡度為0.0561；-15m到-20m之平均坡度為0.0571(如圖3-25所示)，由以上之各平均坡度之比較得知地形愈深其坡度愈大。

## (六) 地形預測

經由以上近20年之地形資料的分析研判，結果得知四條等深控制線無論在何種天候條件下，其統計的結果為

- (1) -5m 等深線斜度為0.563  
-10m 等深線斜度為0.700  
-15m 等深線斜度為0.793  
-20m 等深線斜度為0.717
- (2) -5m 等深線每年平均前進約24公尺  
-10m 等深線每年平均前進約33公尺  
-15m 等深線每年平均前進約26公尺  
-20m 等深線每年平均前進約29公尺
- (3) 0m 到 -5m 之平均水深為2.42公尺  
-5m 到 -10m 之平均水深為7.2公尺  
-10m 到 -15m 之平均水深為12.53公尺  
-15m 到 -20m 之平均水深為17.73公尺
- (4) 0m 到 -5m 之縱剖面平均坡度為0.0036  
-5m 到 -10m 之縱剖面平均坡度為0.0274  
-10m 到 -15m 之縱剖面平均坡度為0.0561  
-15m 到 -20m 之縱剖面平均坡度為0.0571

以上四組統計結果可做為往後對台中港北防波堤與北防沙堤間之地形預測之參考。

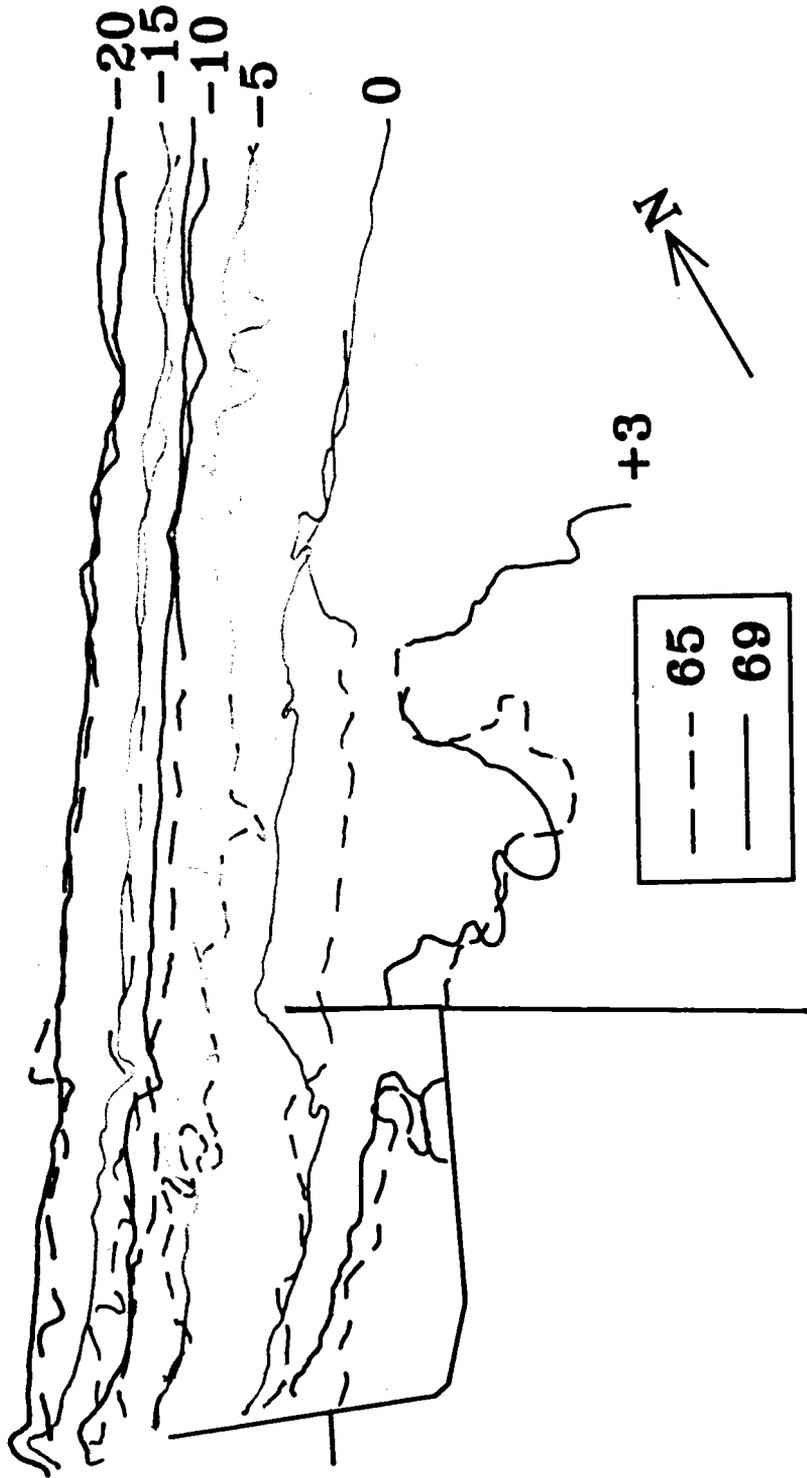


圖 3-1 65年與69年之平面地形比較圖

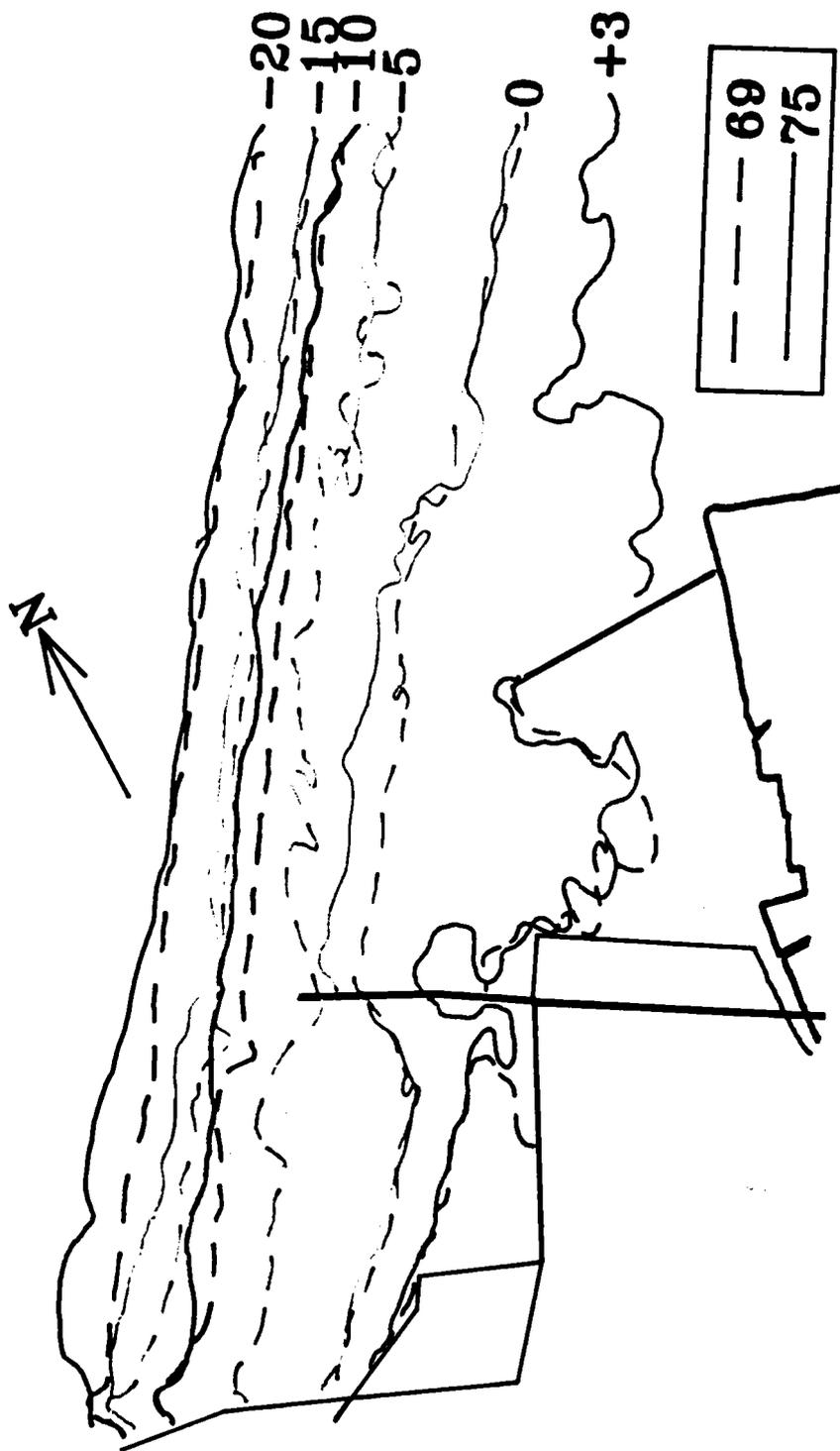


圖 3-2 69年與75年之平面地形比較圖

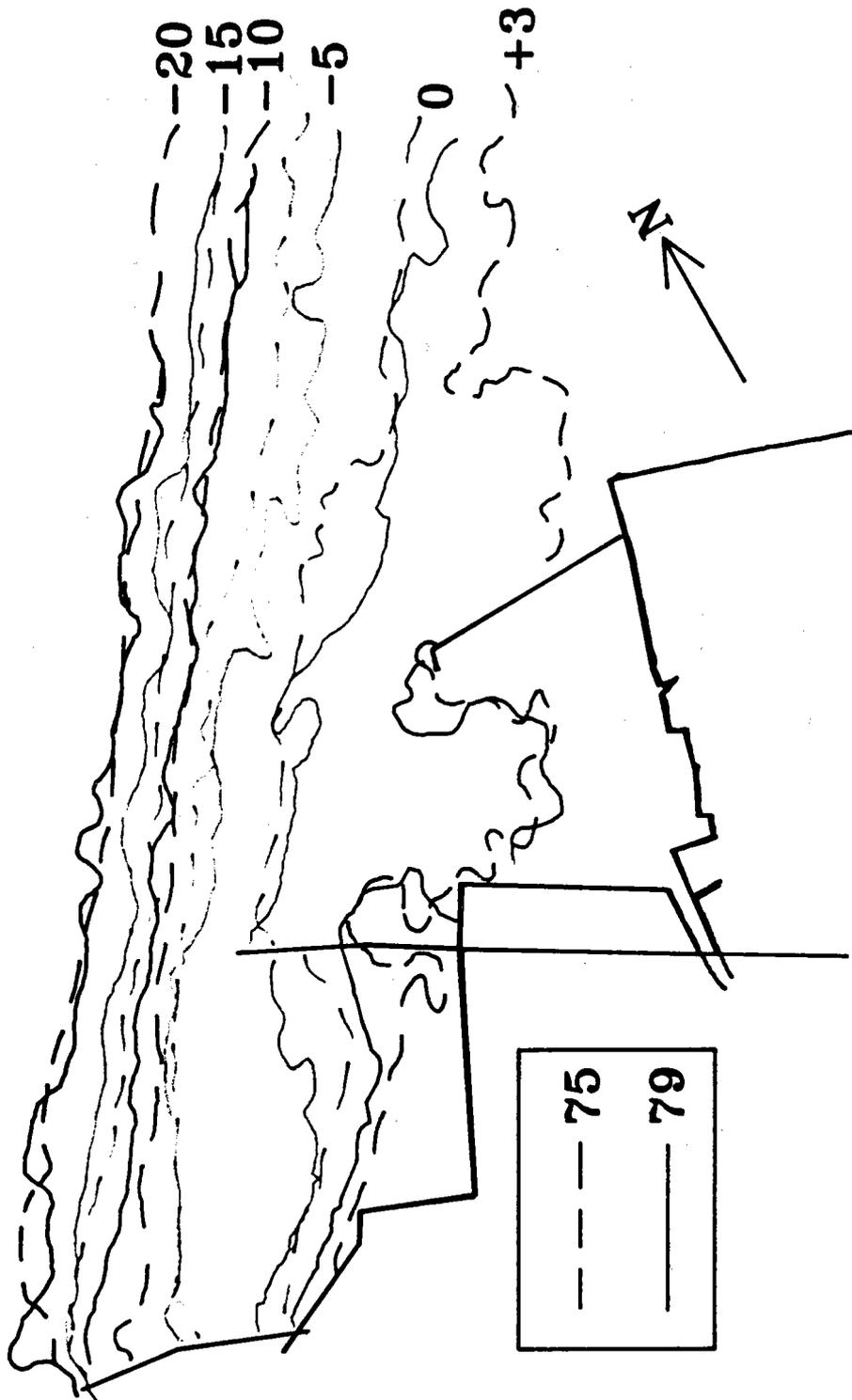


圖 3-3 75年與79年之平面地形比較圖

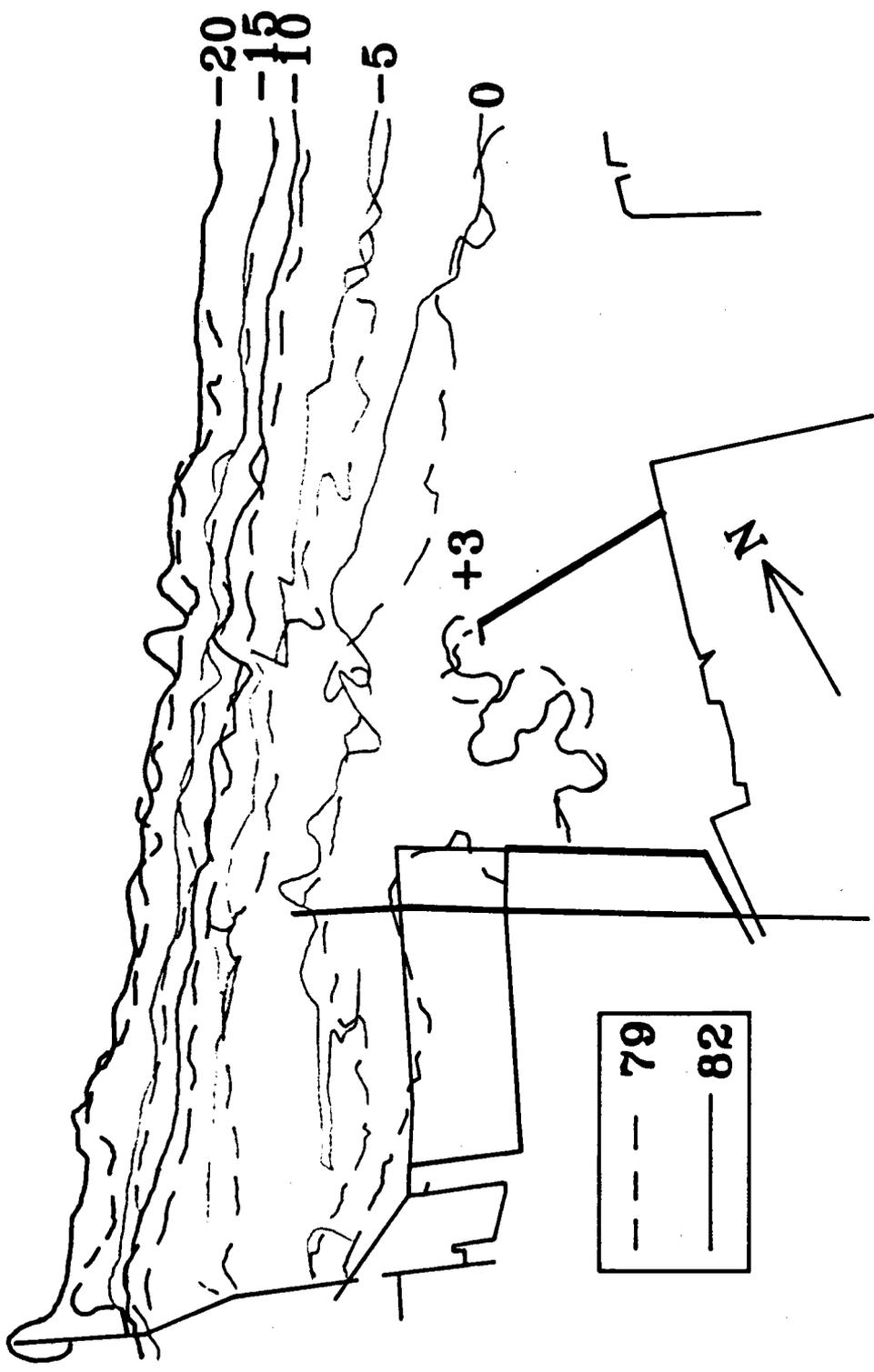


圖 3-4 79年與82年之平面地形比較圖

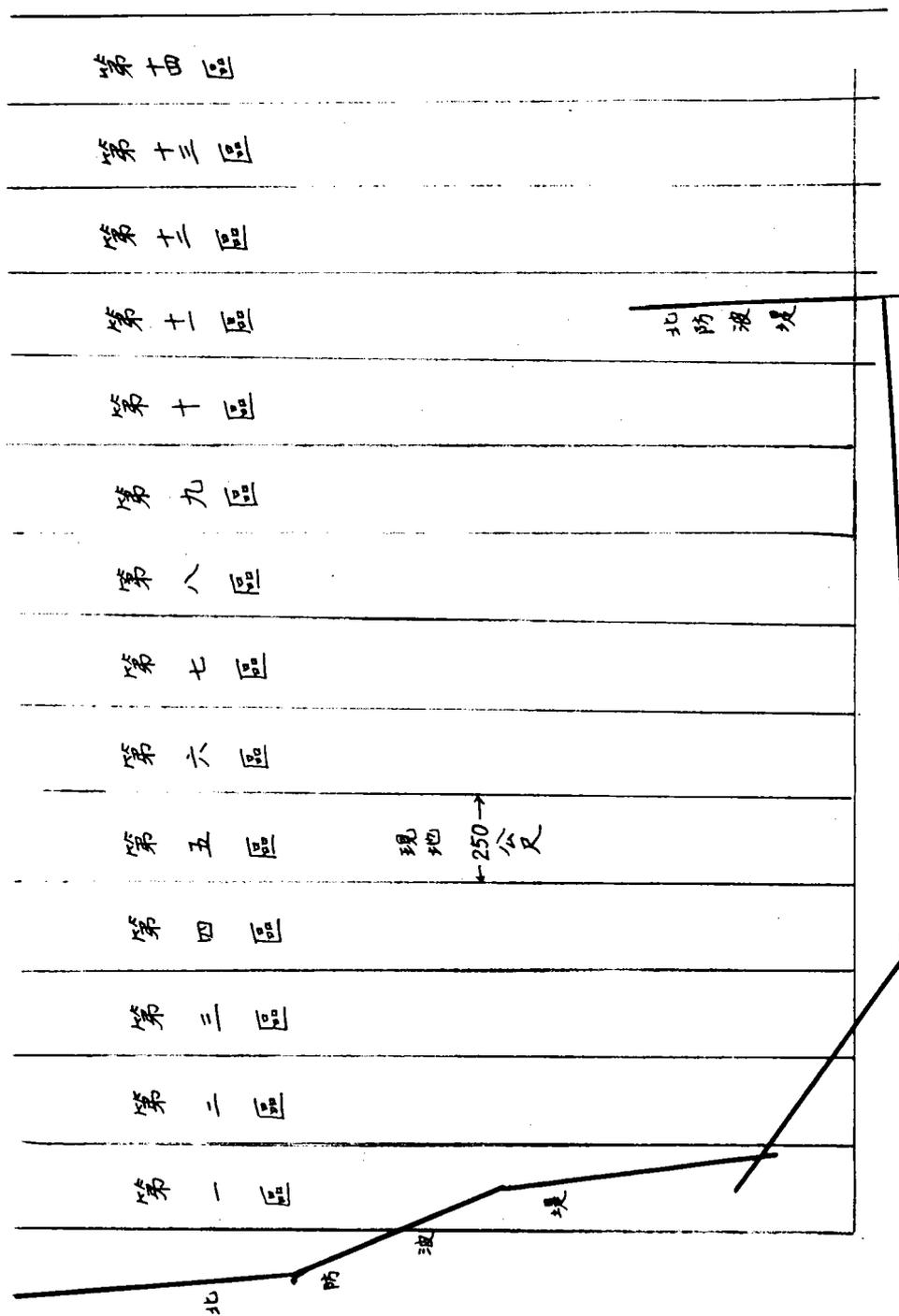


圖 3-5 分區示意圖

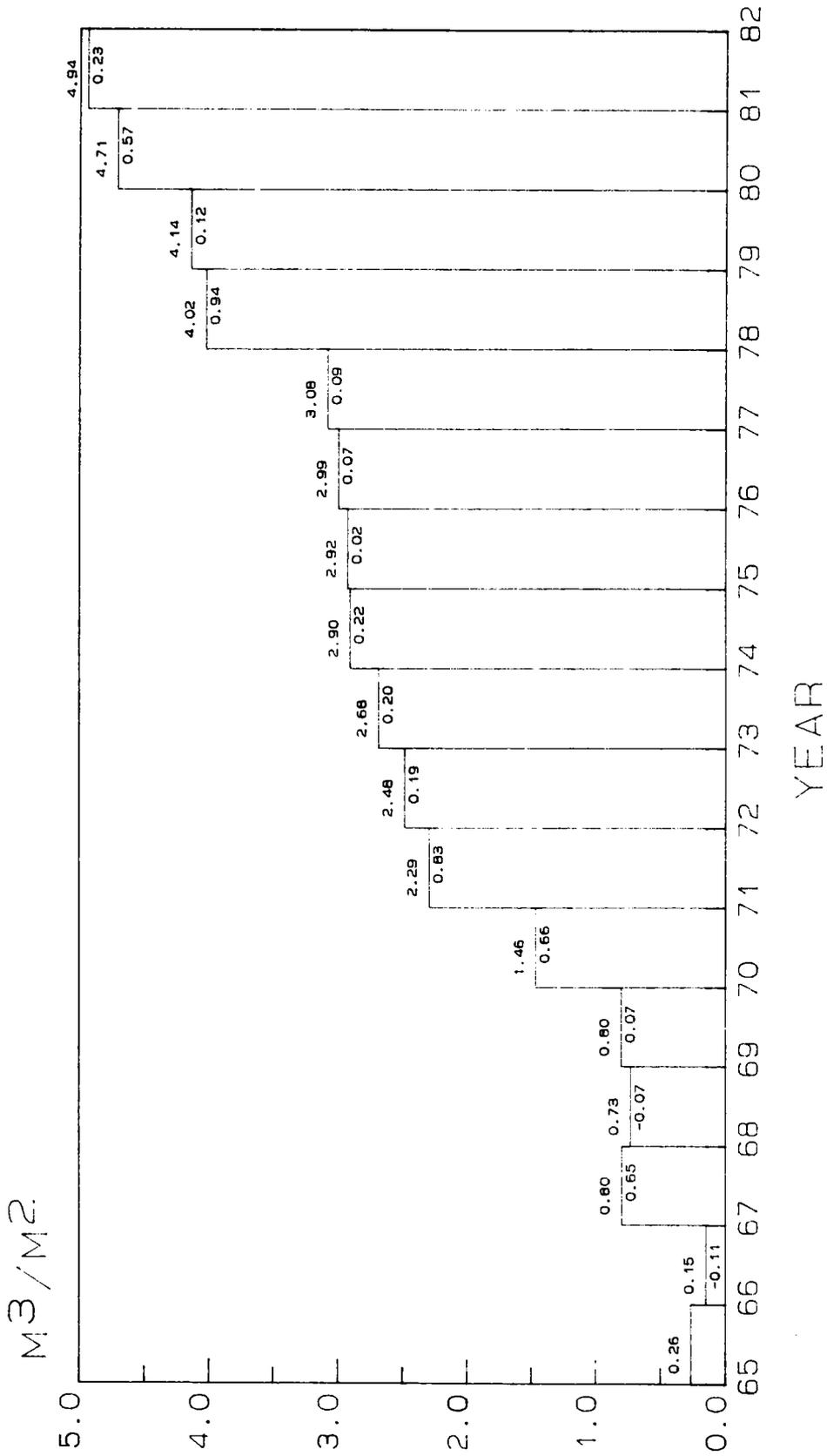


圖 3-6 歷年堆積厚度比較圖

M3/M2

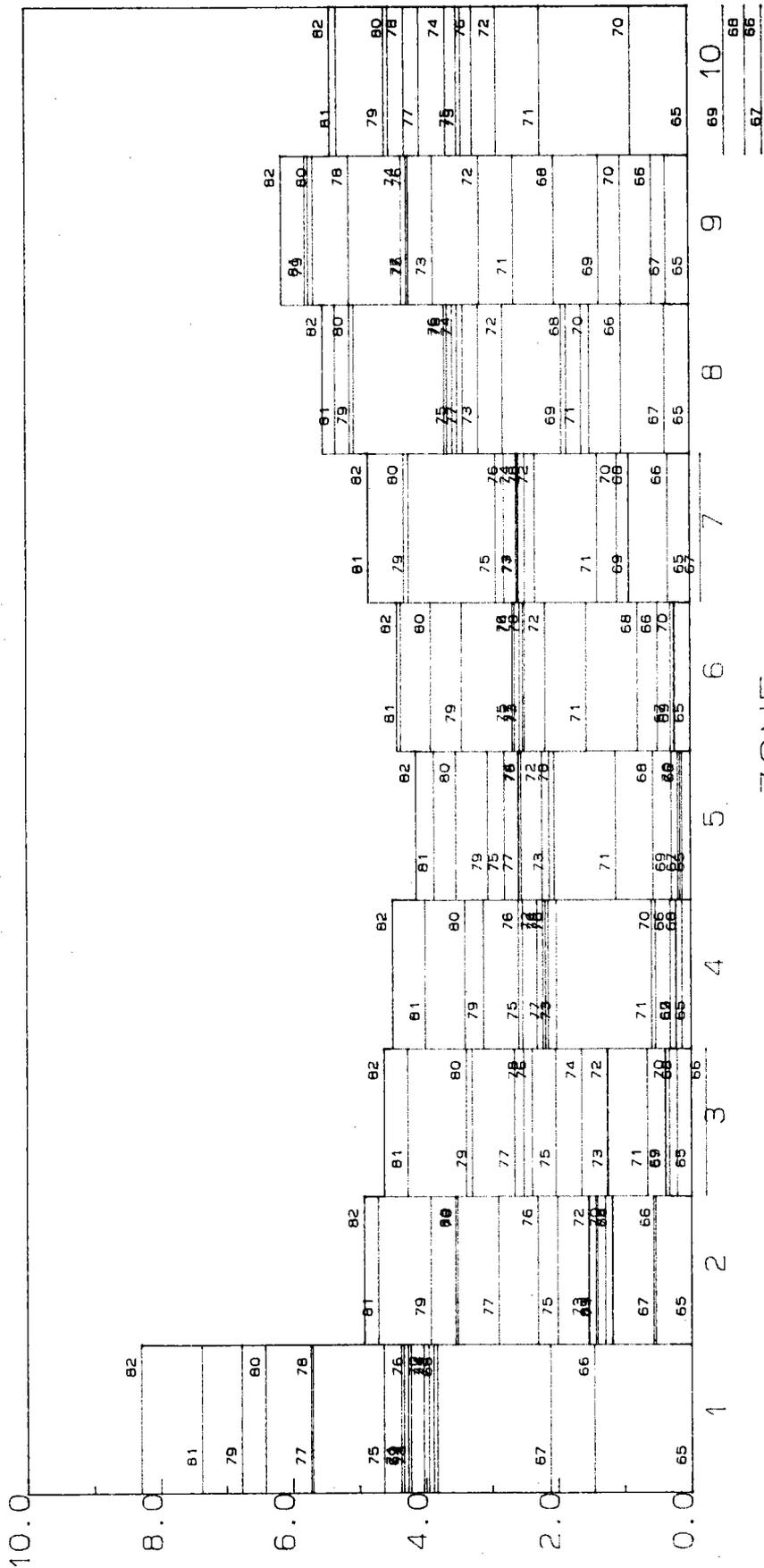


圖 3-7 歷年各區間堆積厚度比較圖

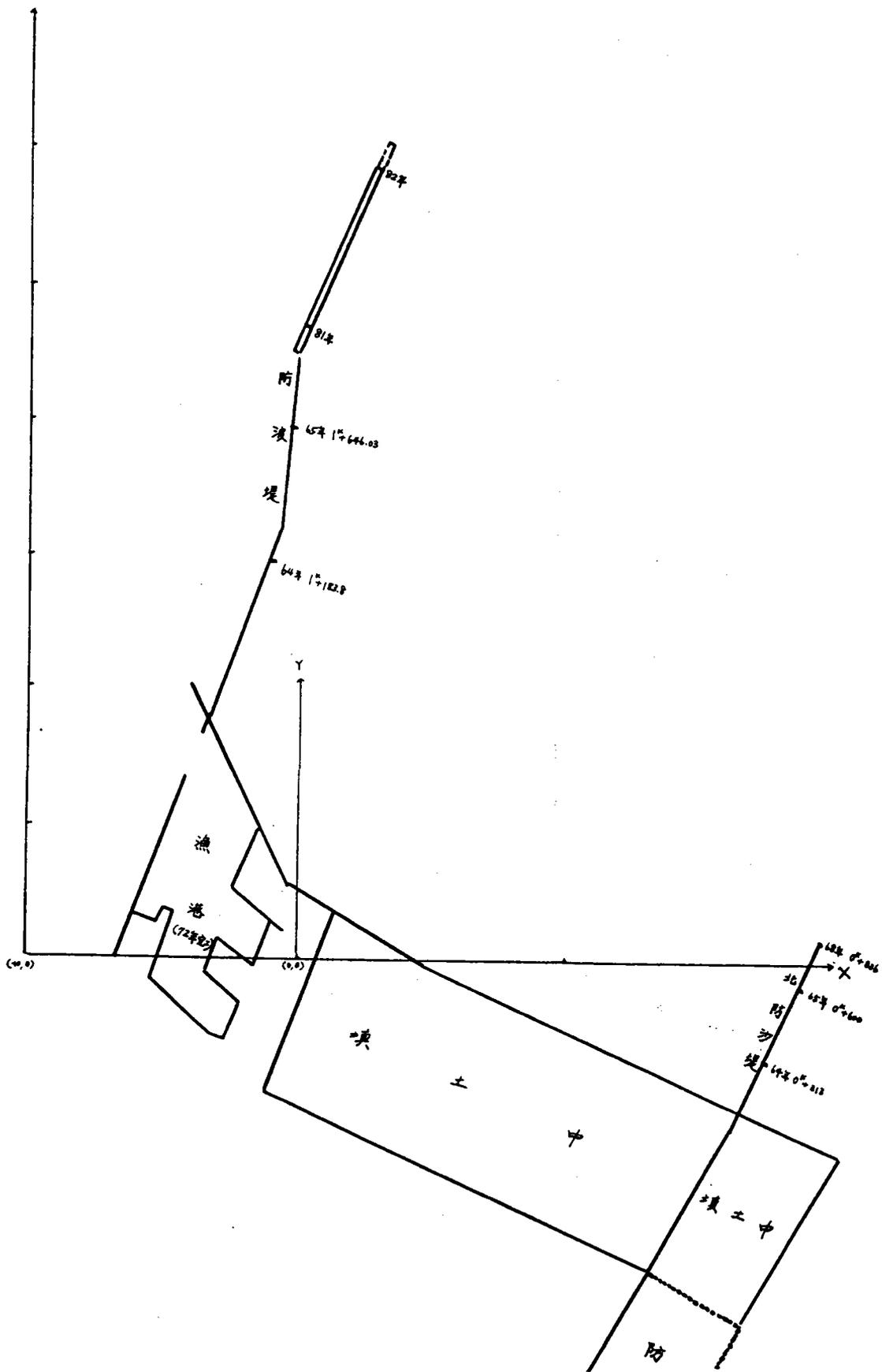


圖 3-8 座標示意圖

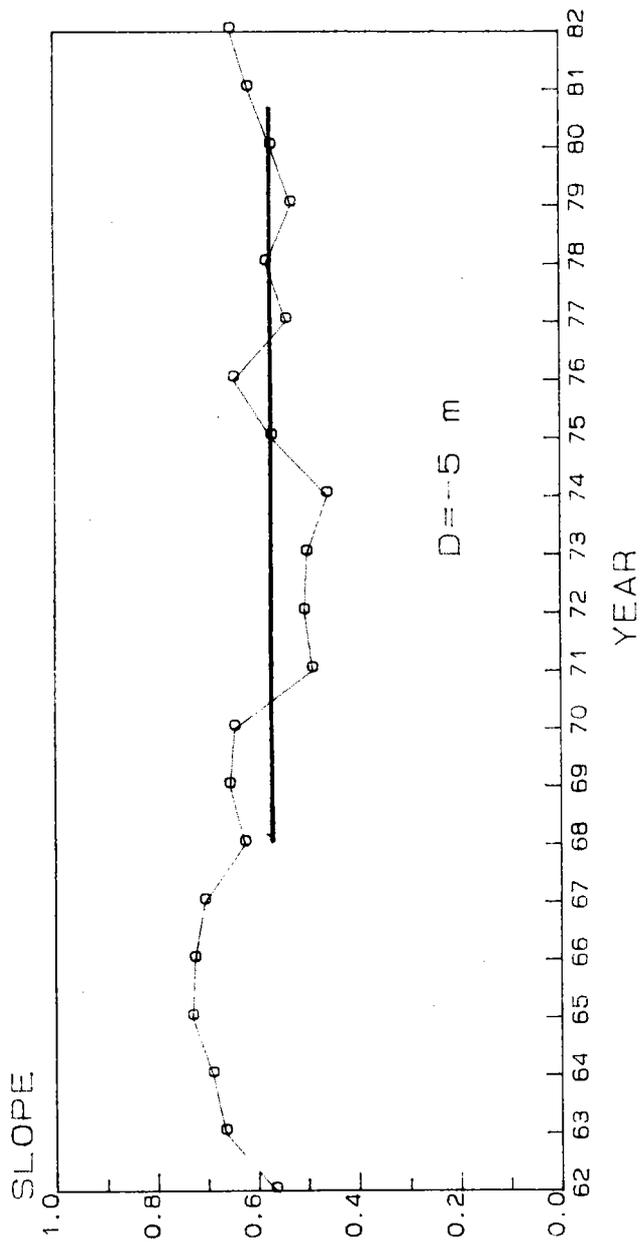


圖 3-9 每年等深控制線斜率比較圖

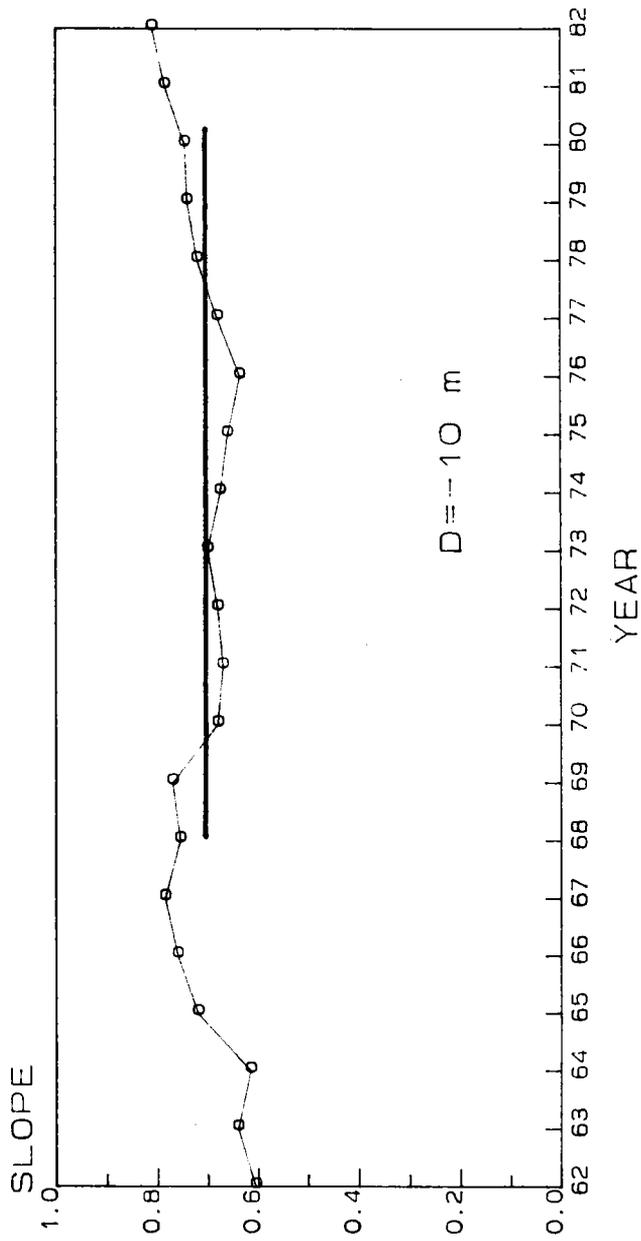


圖 3-10 每年等深控制線斜率比較圖

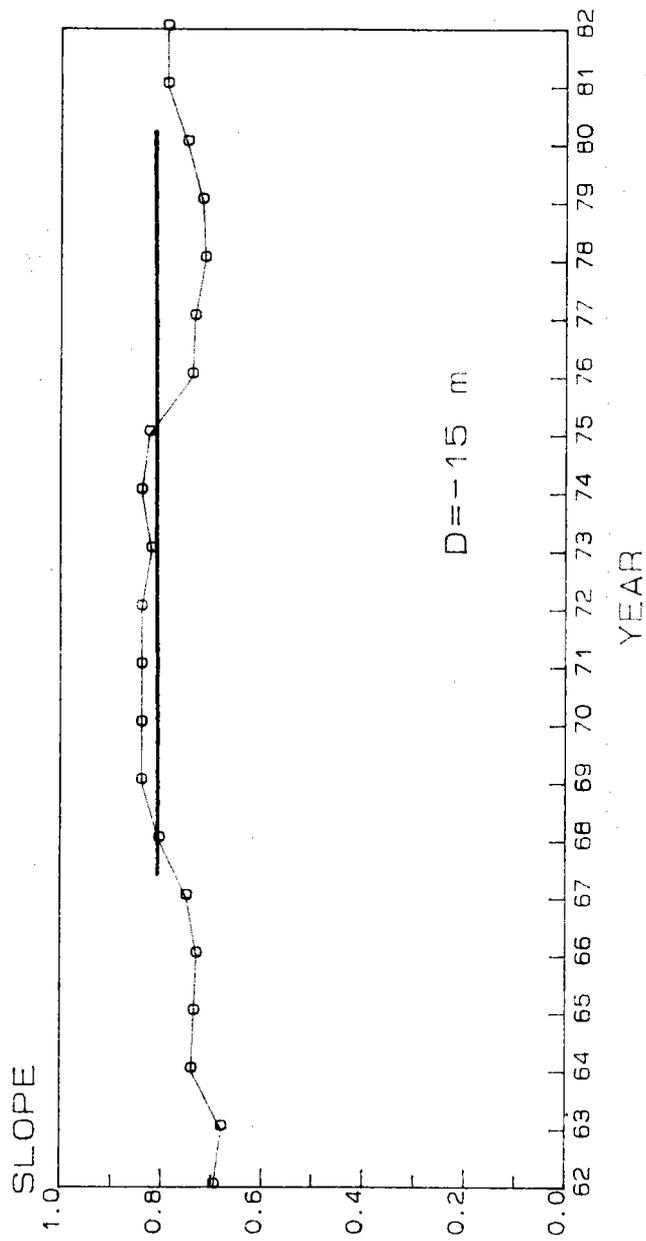


圖 3-11 每年等深控制線斜率比較圖

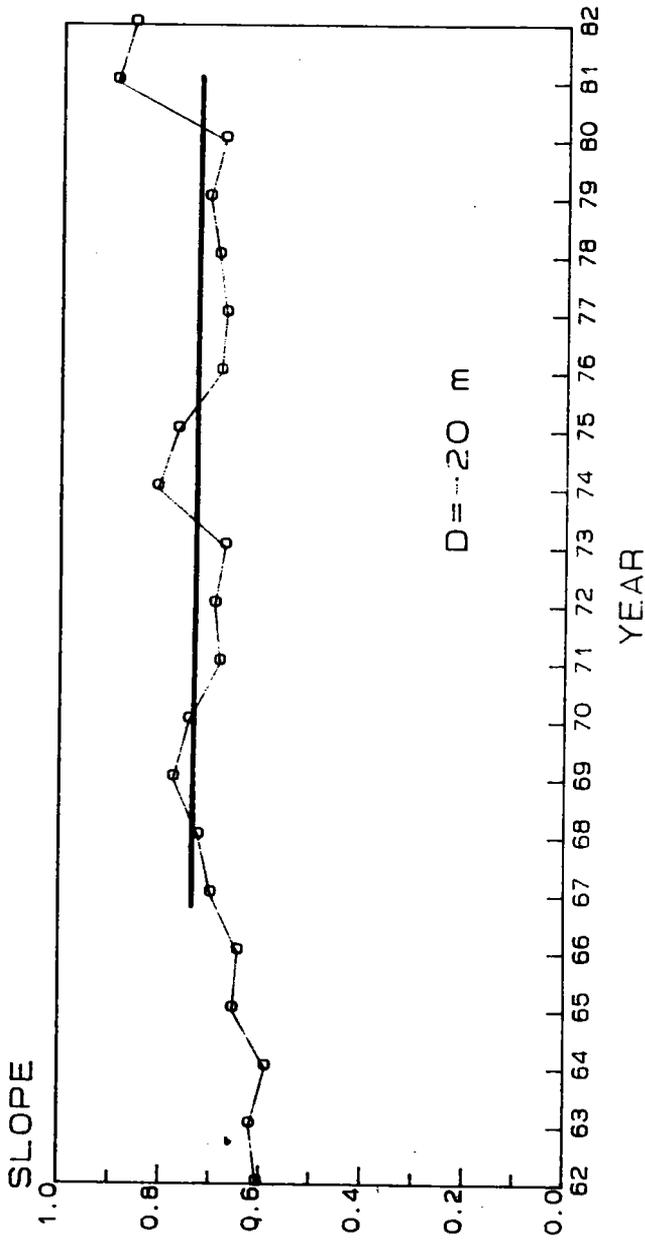


圖 3-12 每年等深控制線斜率比較圖

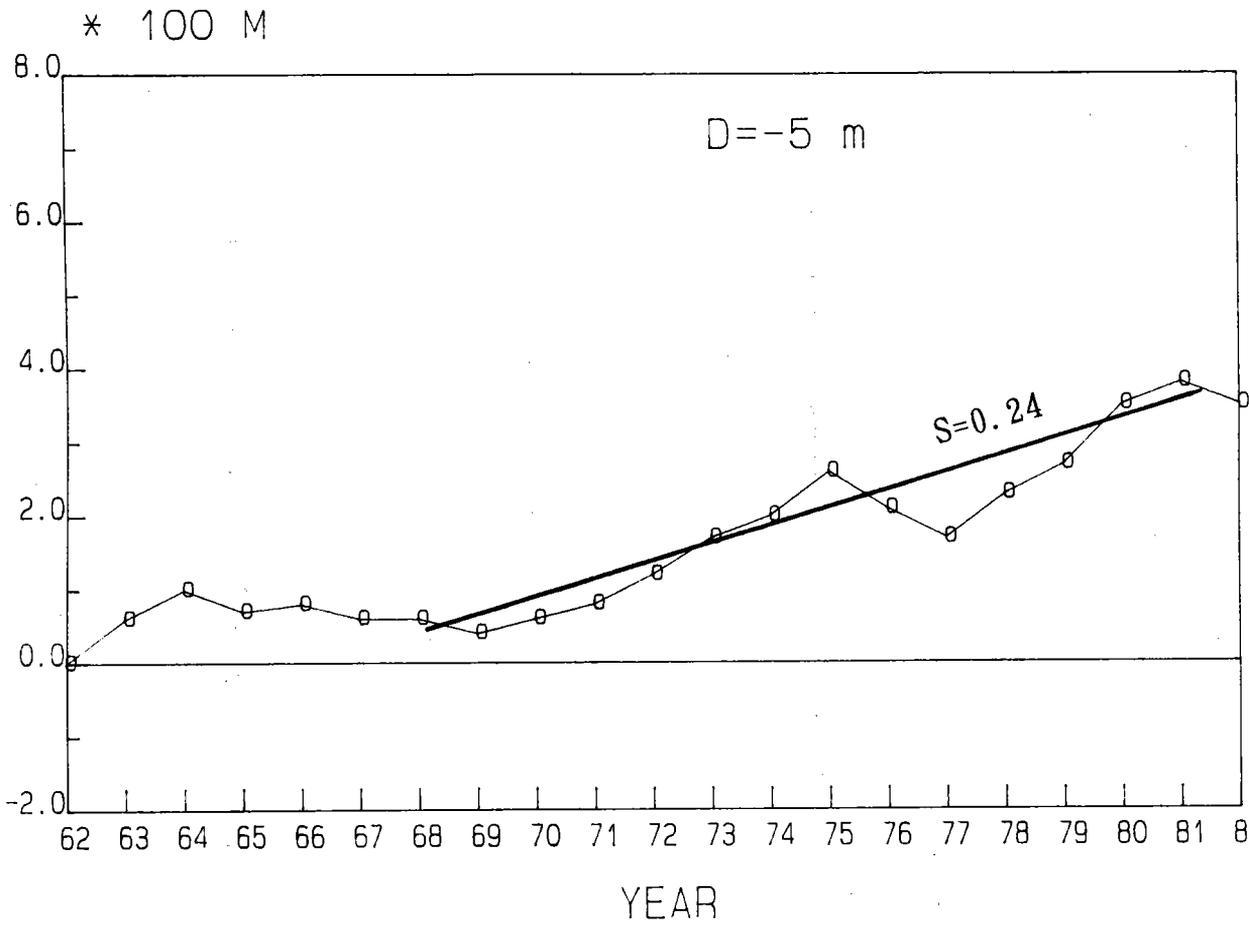


圖 3-13 歷年等深控制線前進距離累積圖

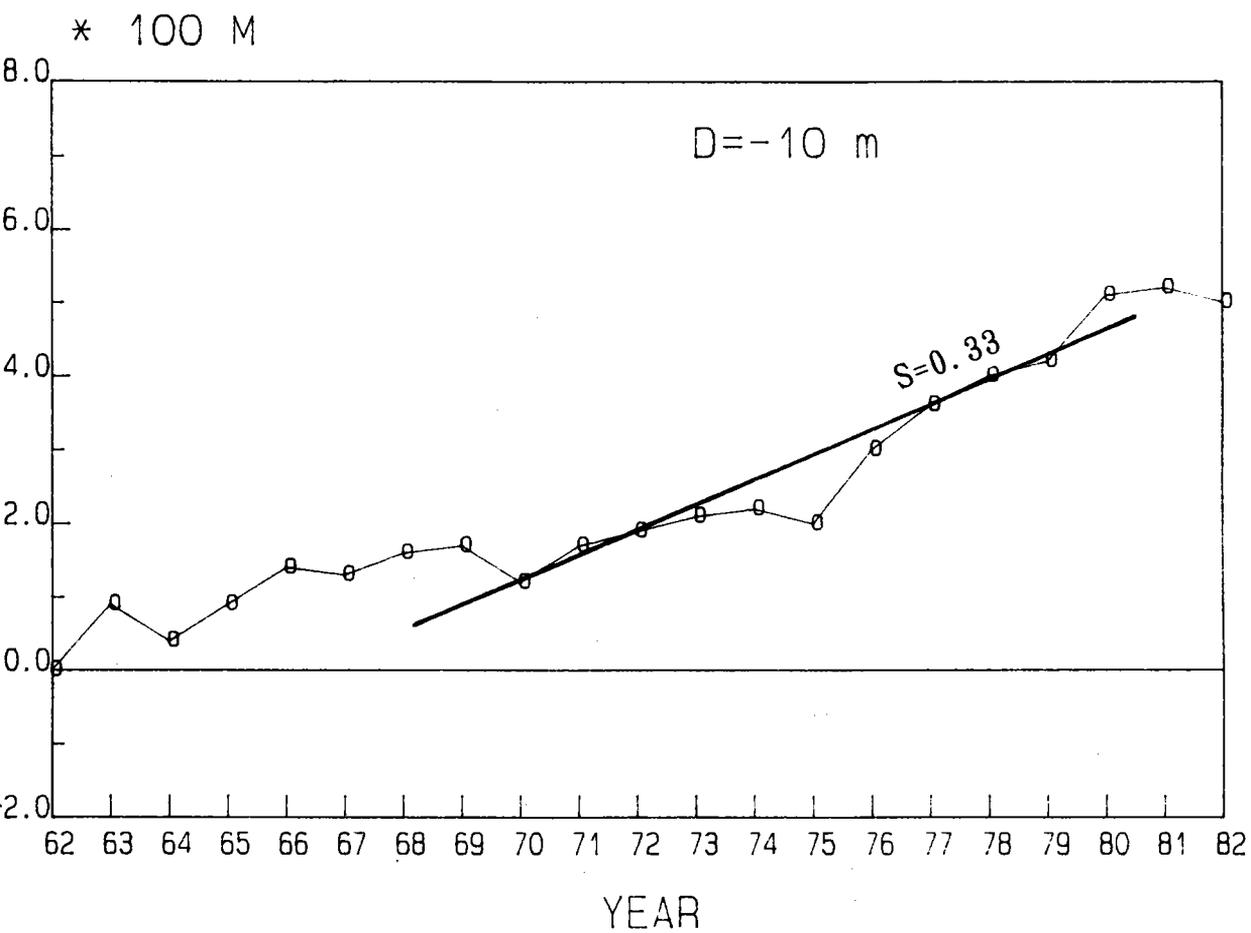


圖 3-14 歷年等深控制線前進距離累積圖

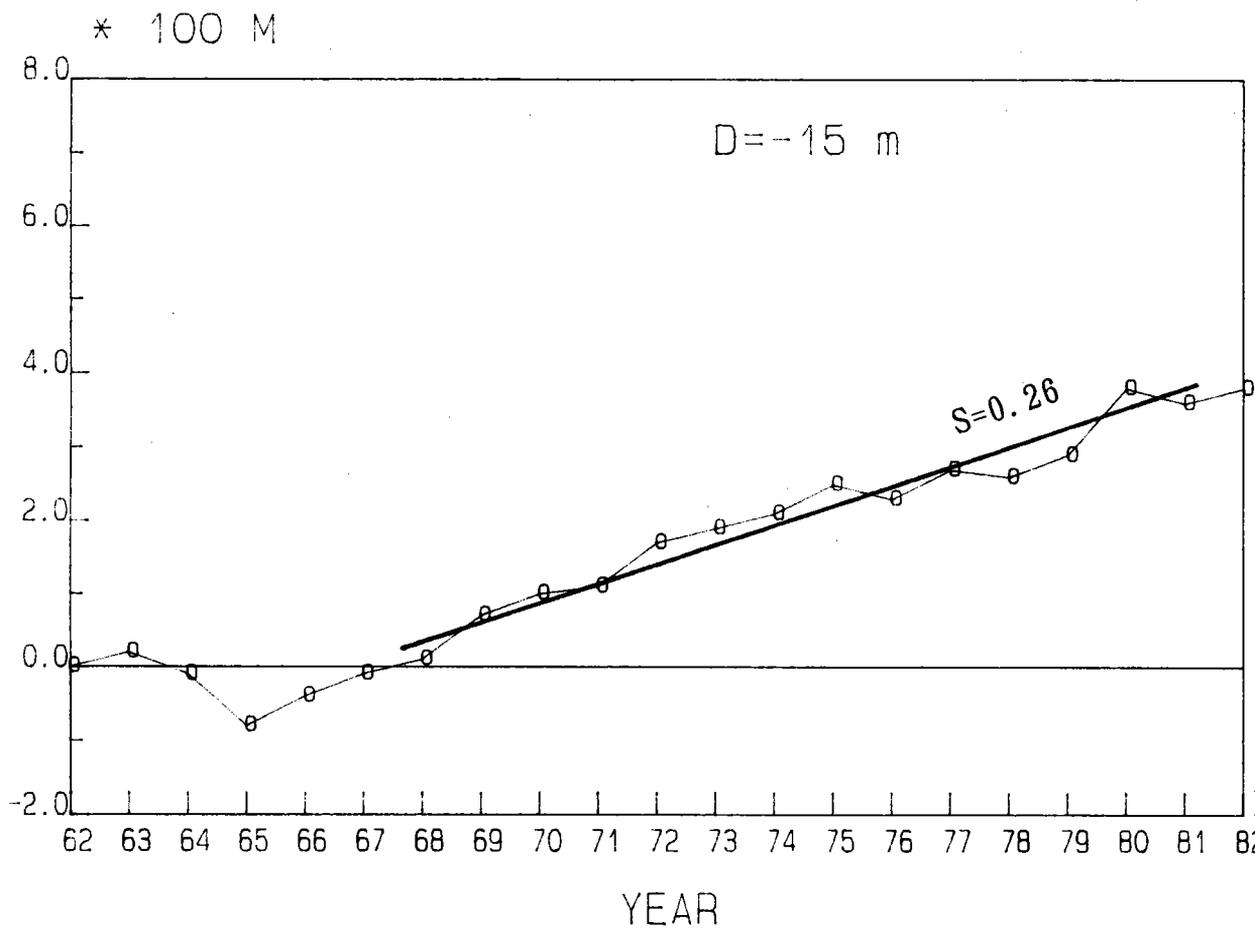


圖 3-15 歷年等深控制線前進距離累積圖

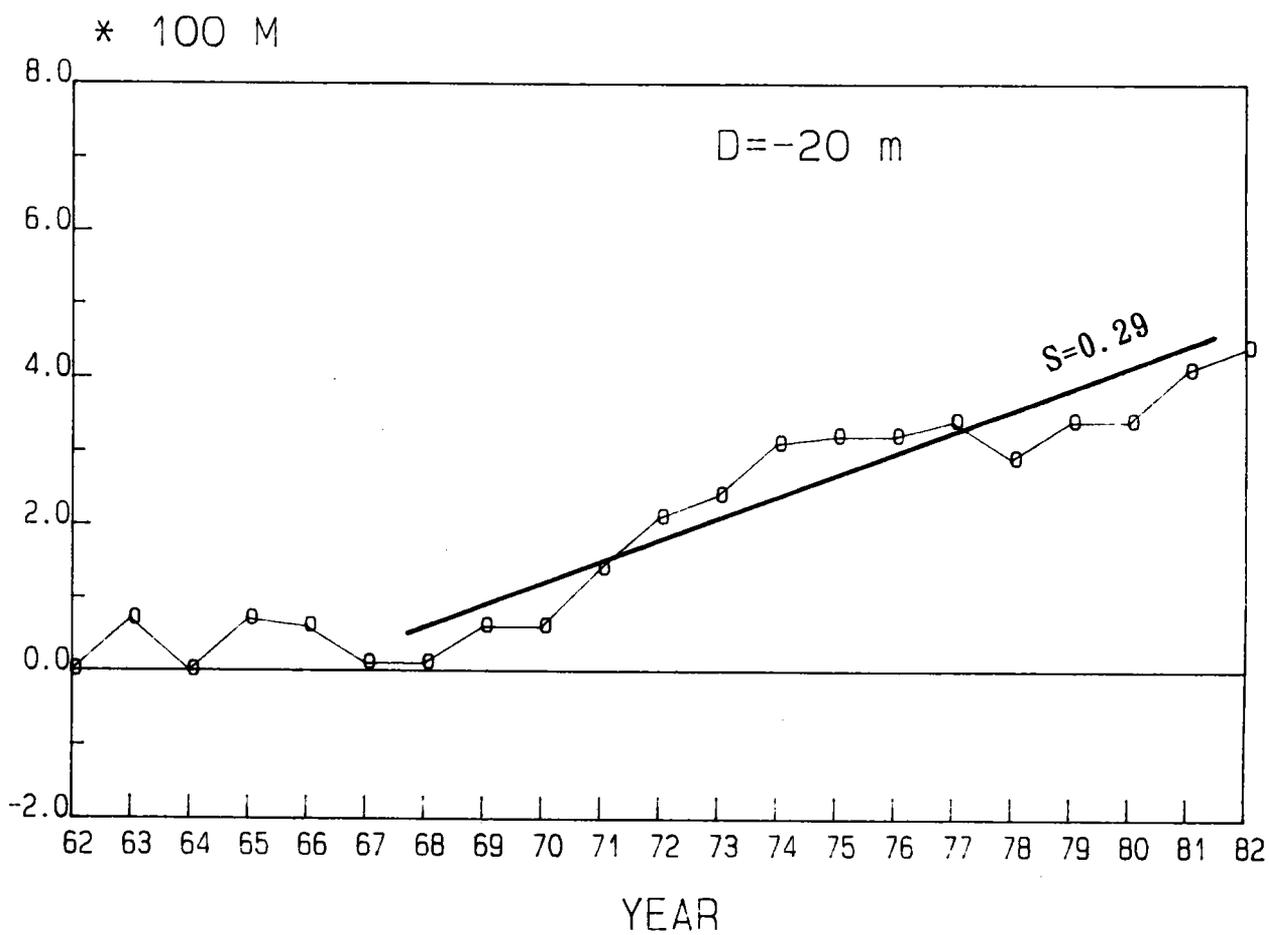


圖 3-16 歷年等深控制線前進距離累積圖

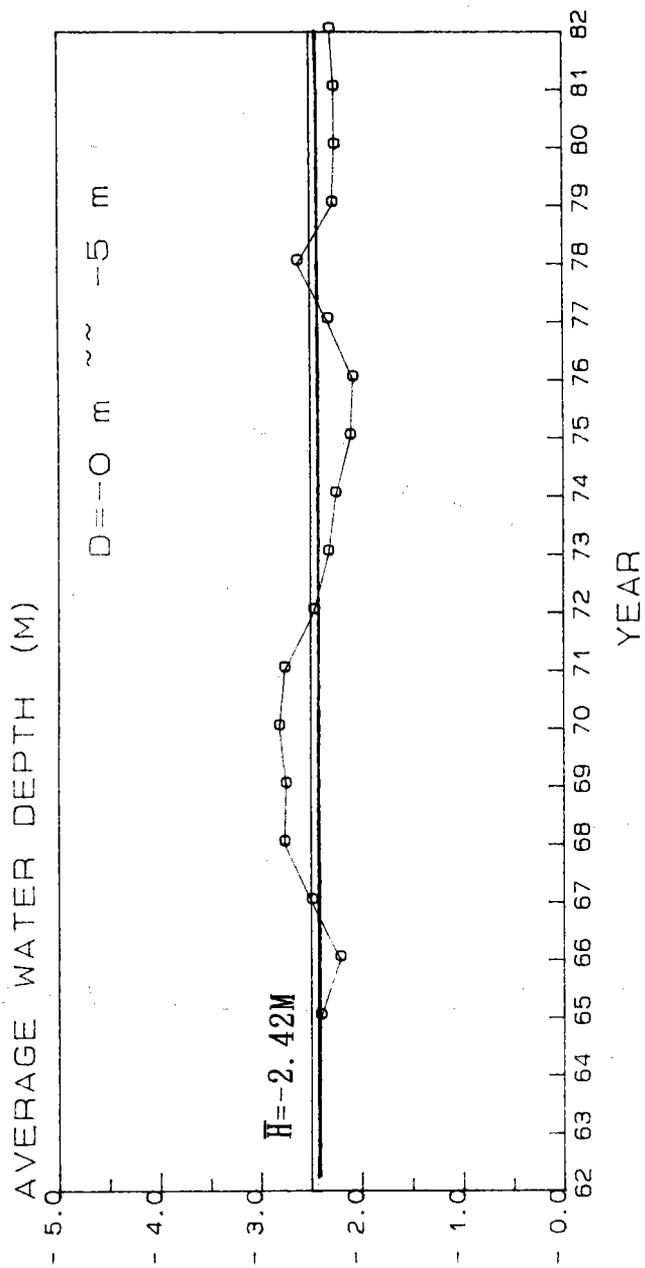


圖 3-17 歷年平均水深變化比較圖

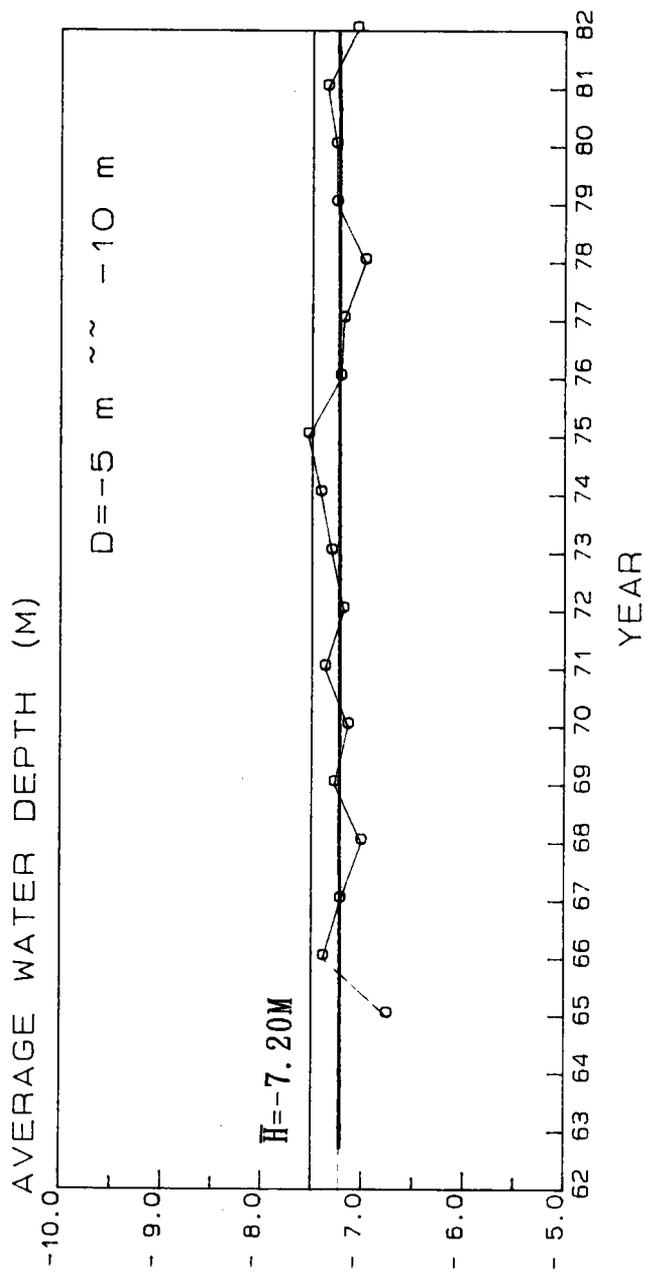


圖 3-18 歷年平均水深變化比較圖

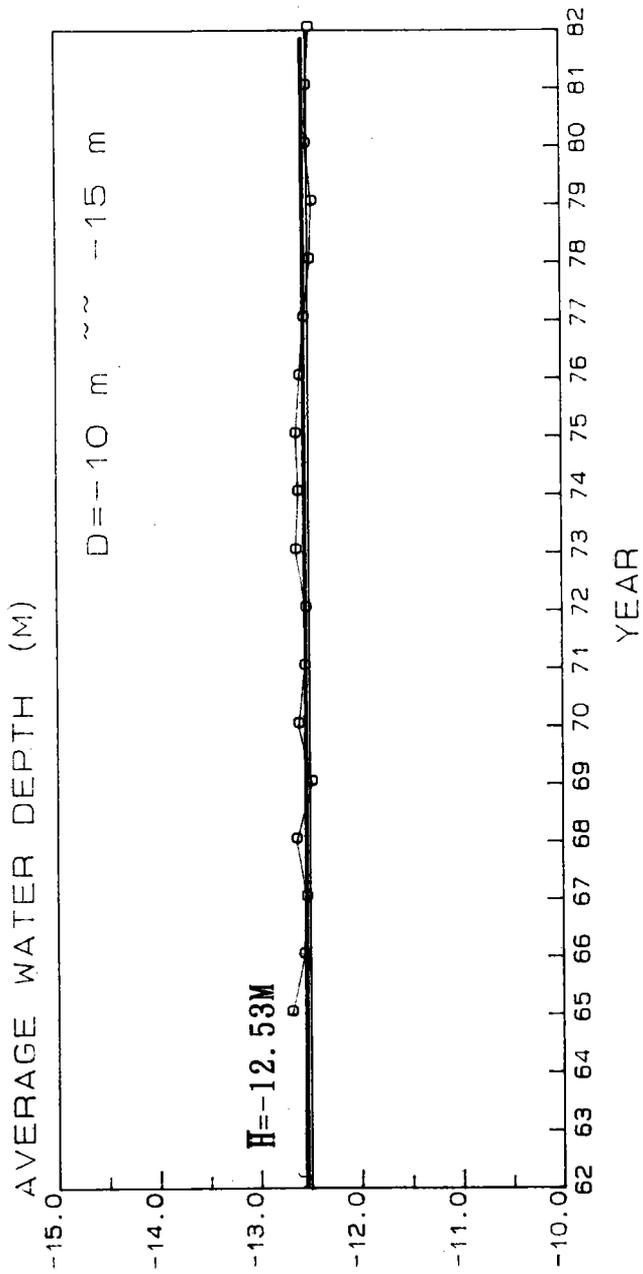


圖 3-19 歷年年平均水深變化比較圖

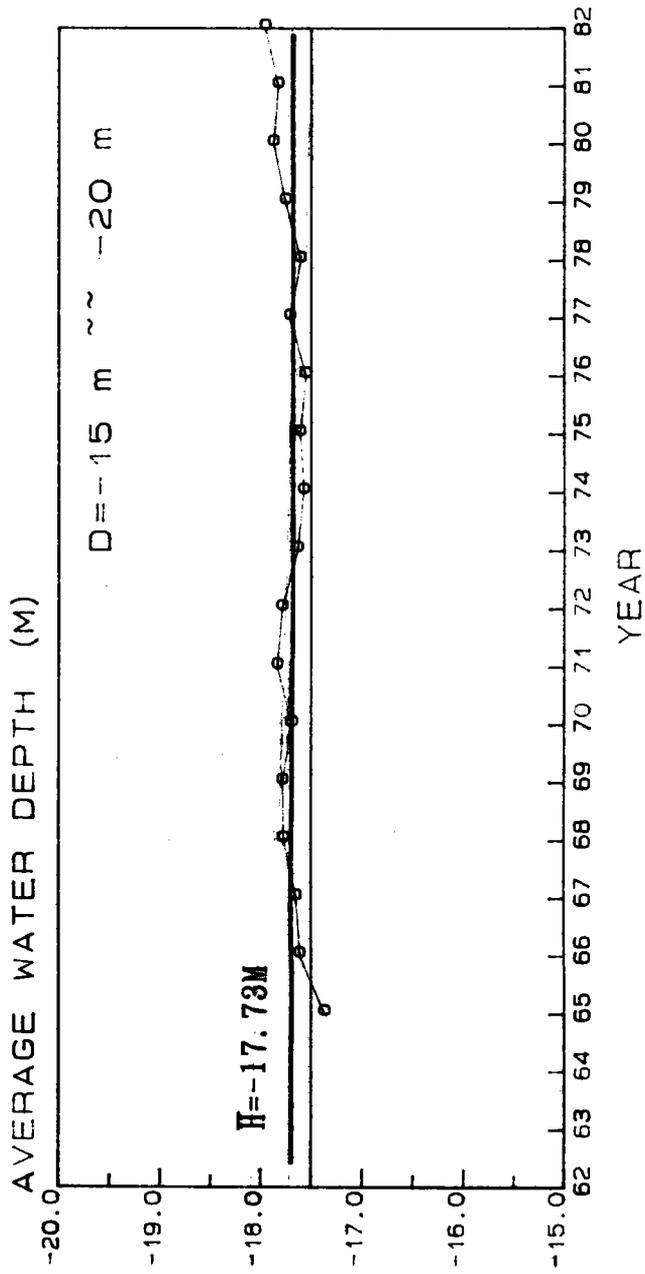


圖 3-20 歷年平均水深變化比較圖

圖 3-50 歷年平年水災發生率比較圖

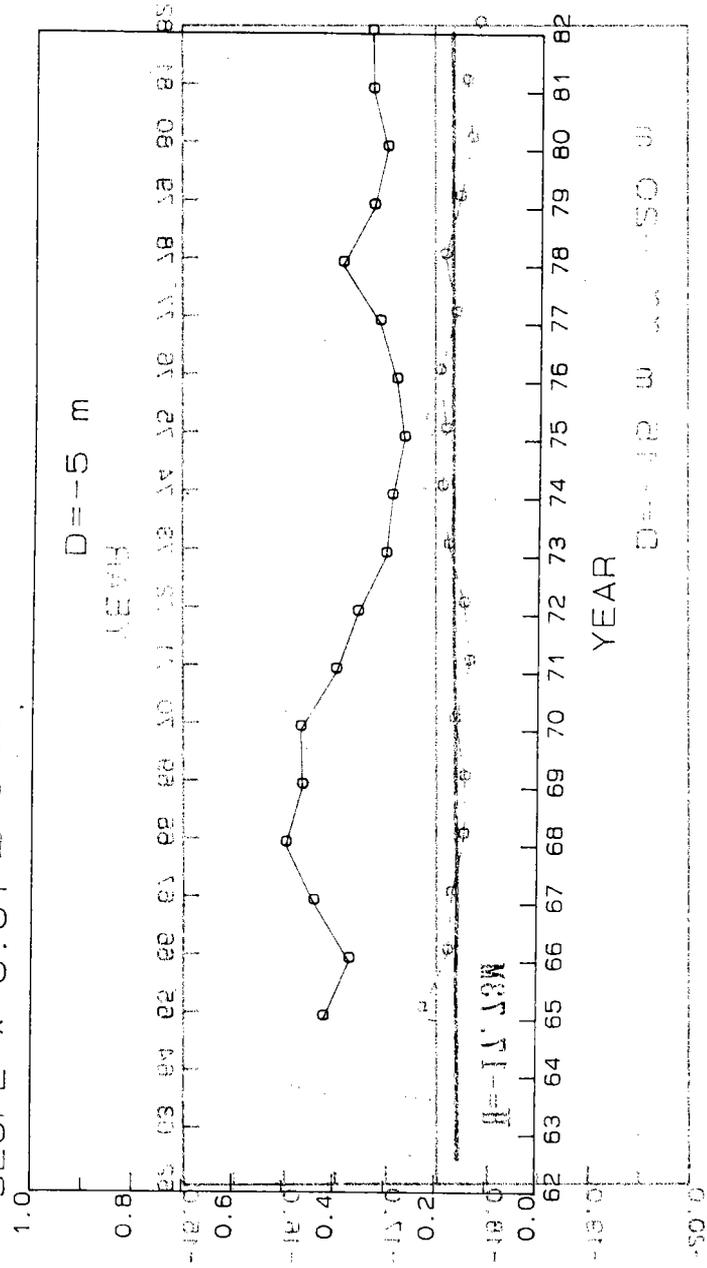


圖 3-21 歷年平均縱向坡度比較圖

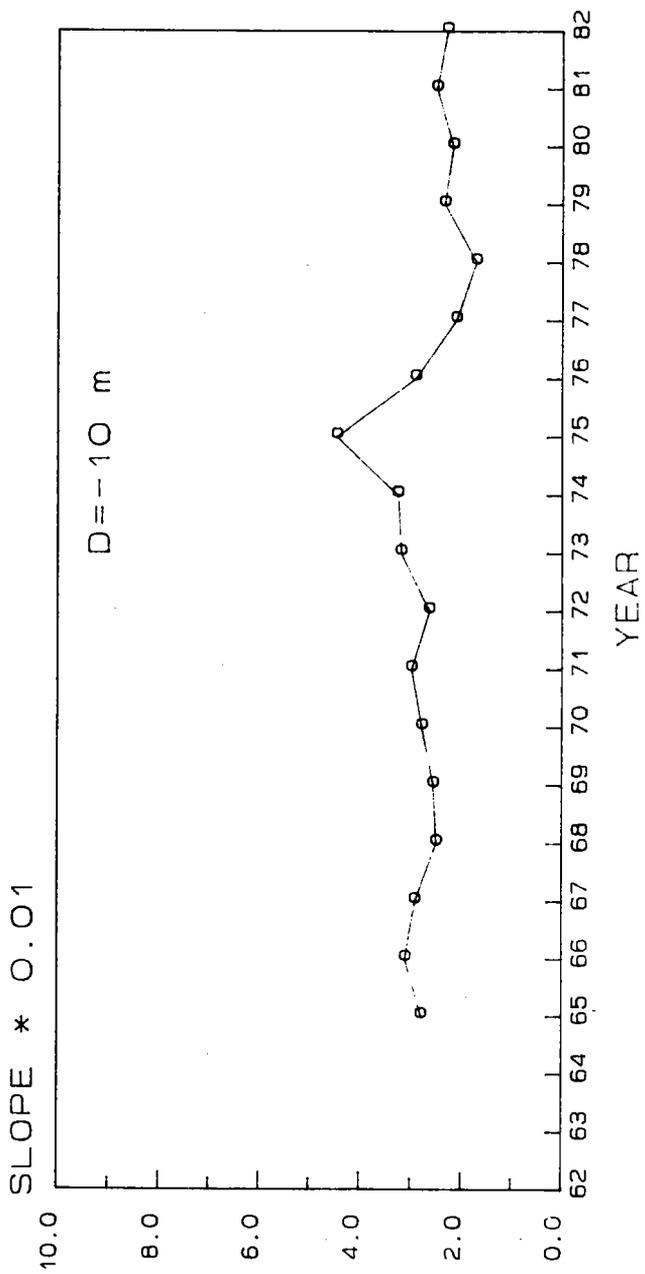


圖 3-22 歷年平均縱向坡度比較圖

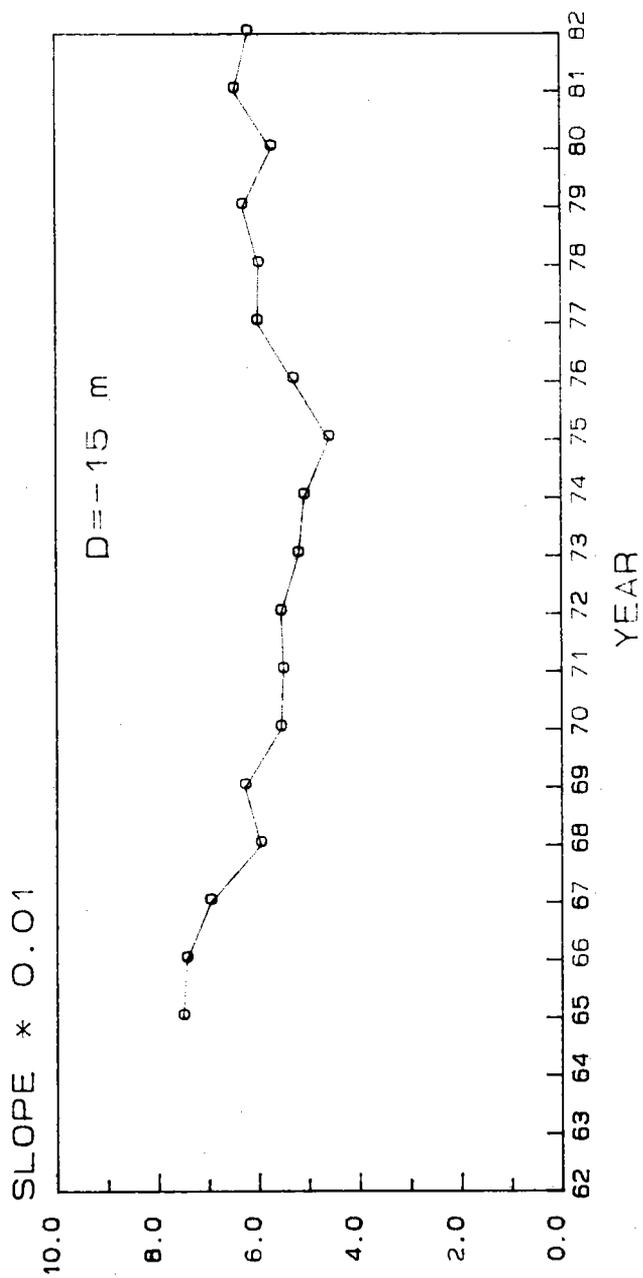


圖 3-23 歷年平均縱向坡向坡度比較圖

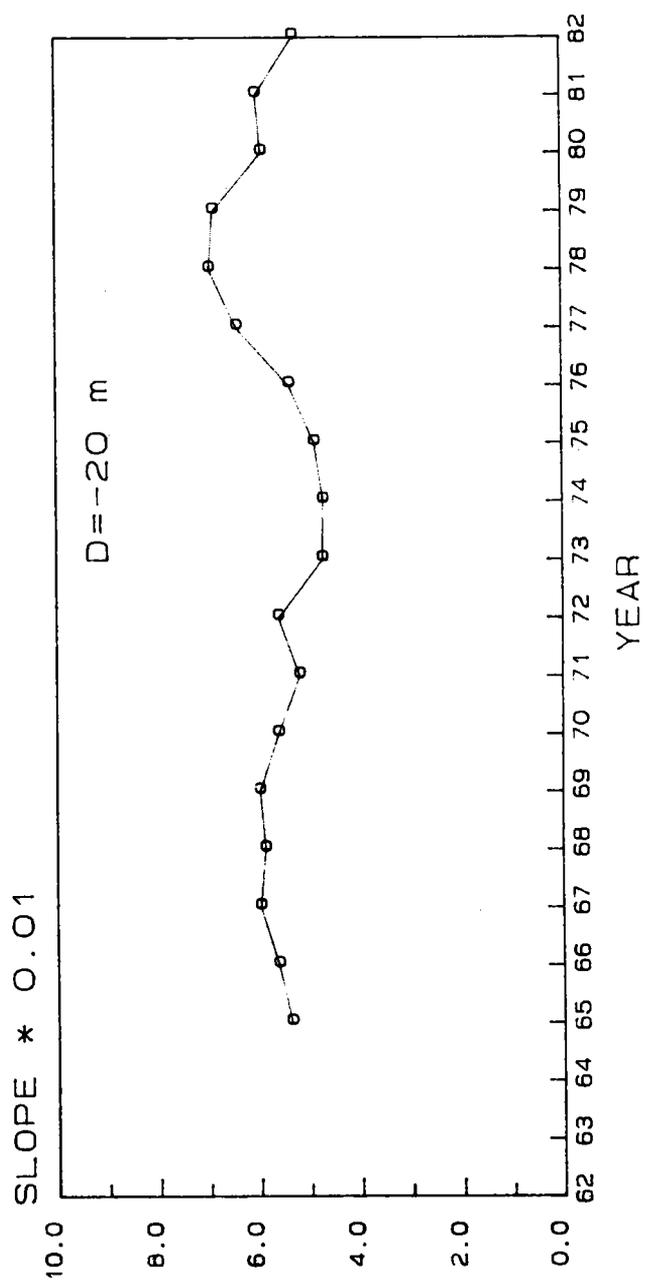


圖 3-24 歷年平均縱向坡度比較圖

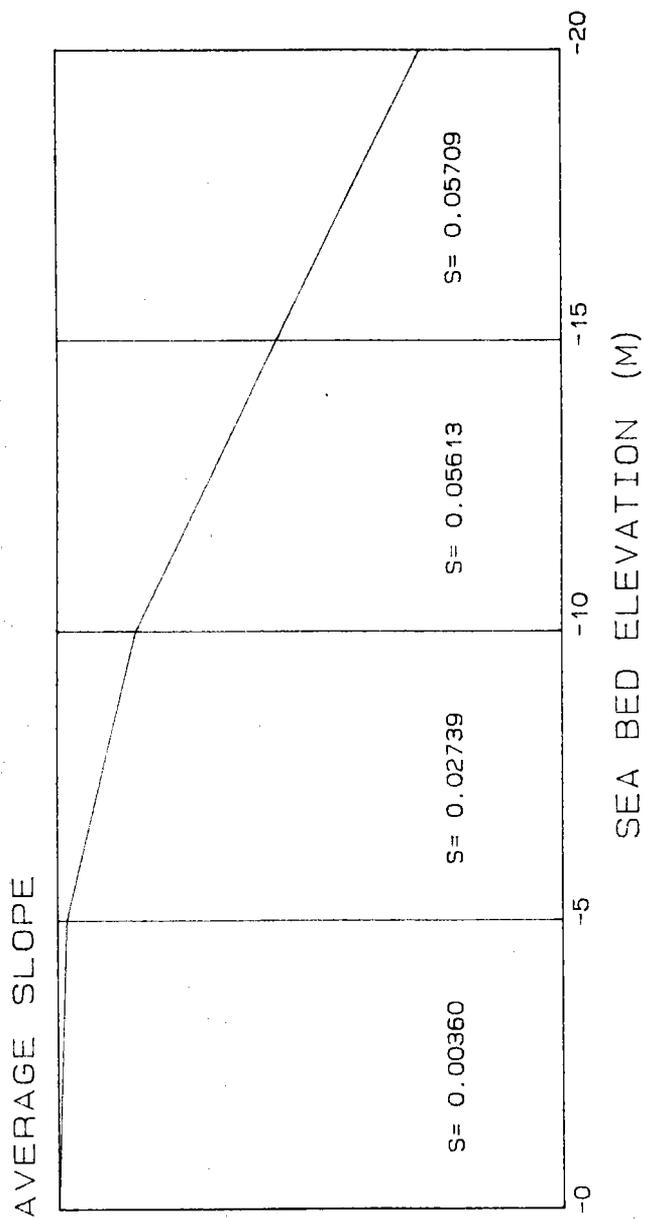


圖 3-25 縱向坡度示意圖

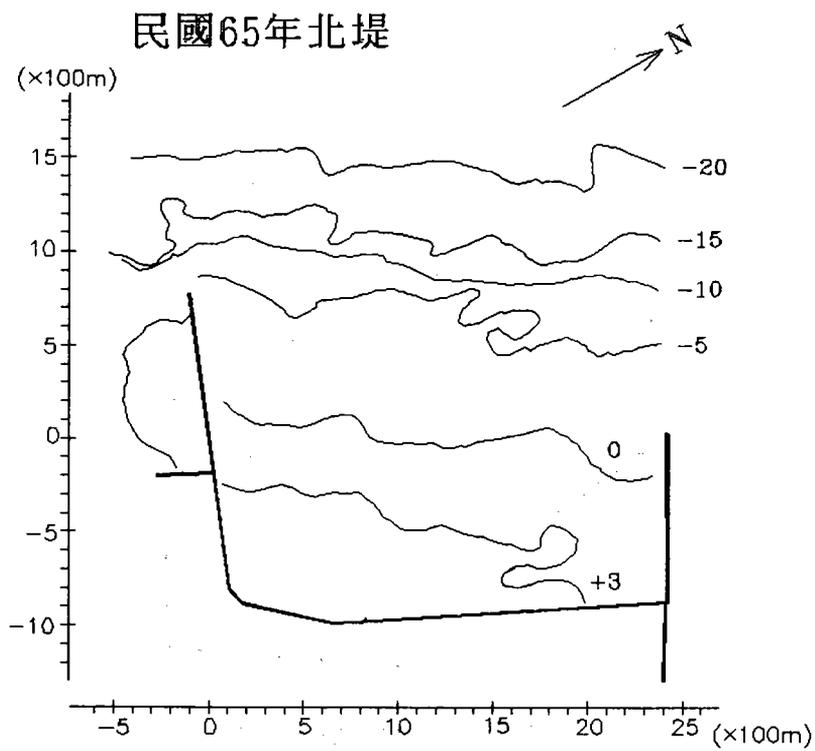
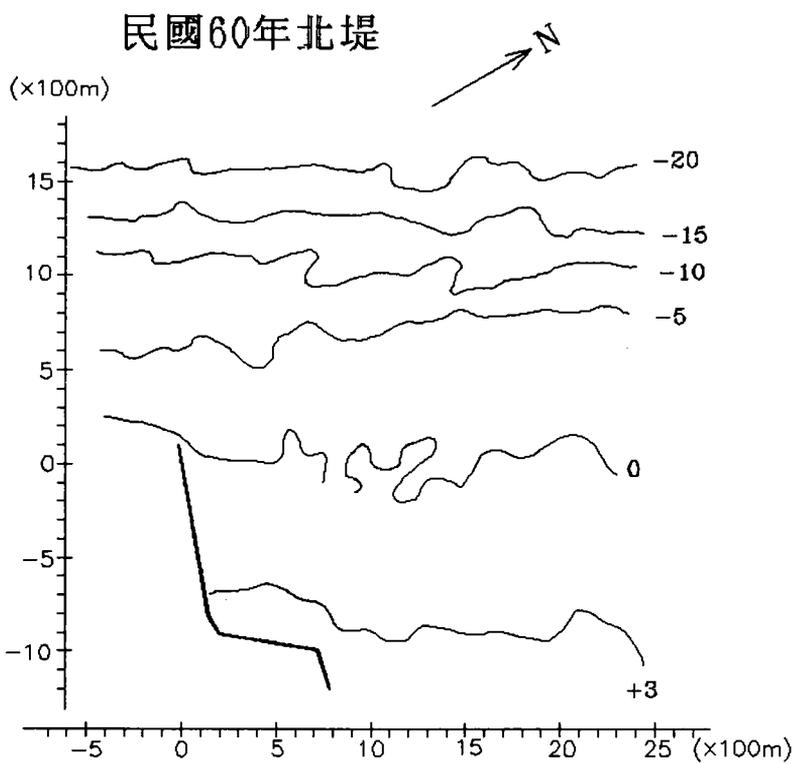


圖 3-26 地形圖

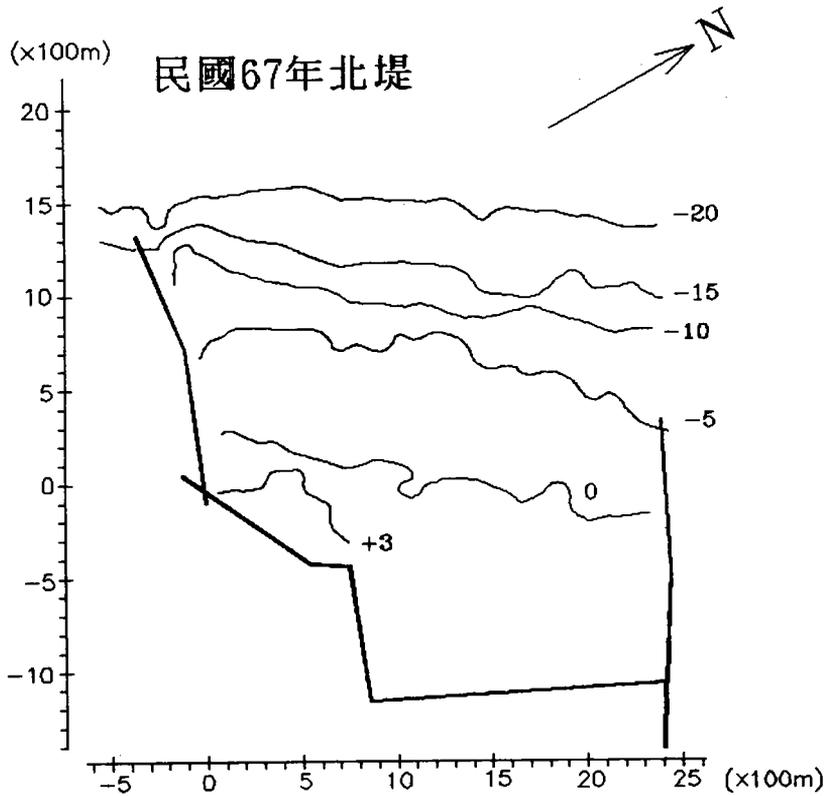
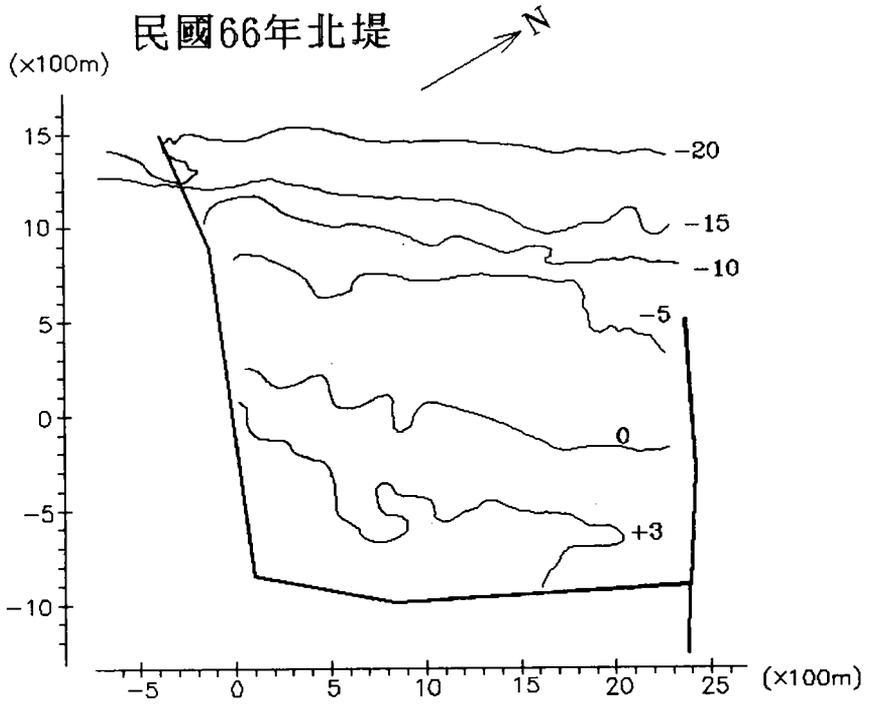


圖 3-27 地形圖

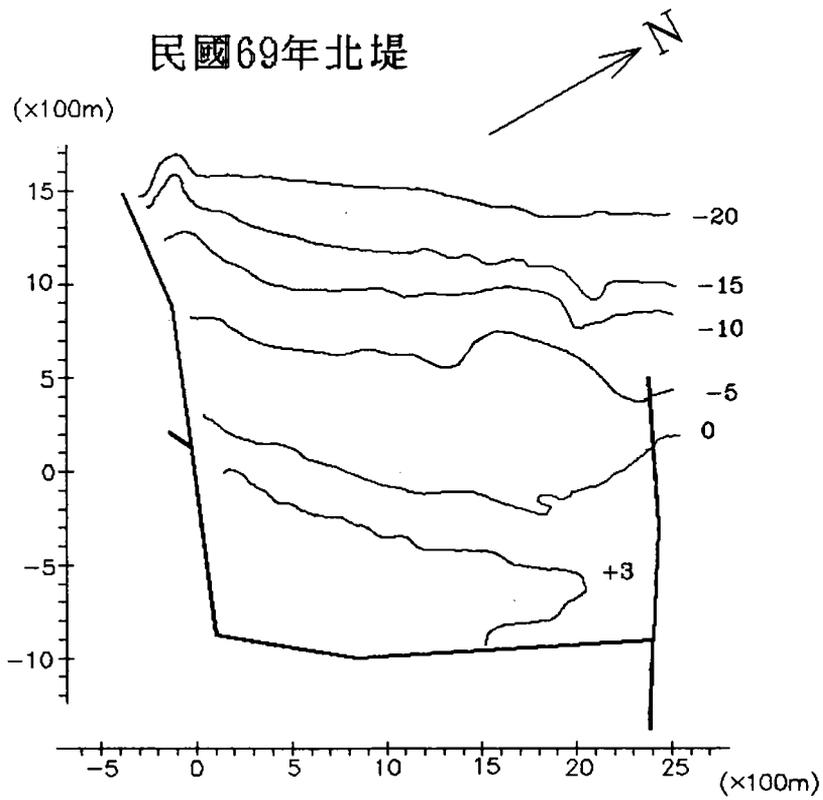
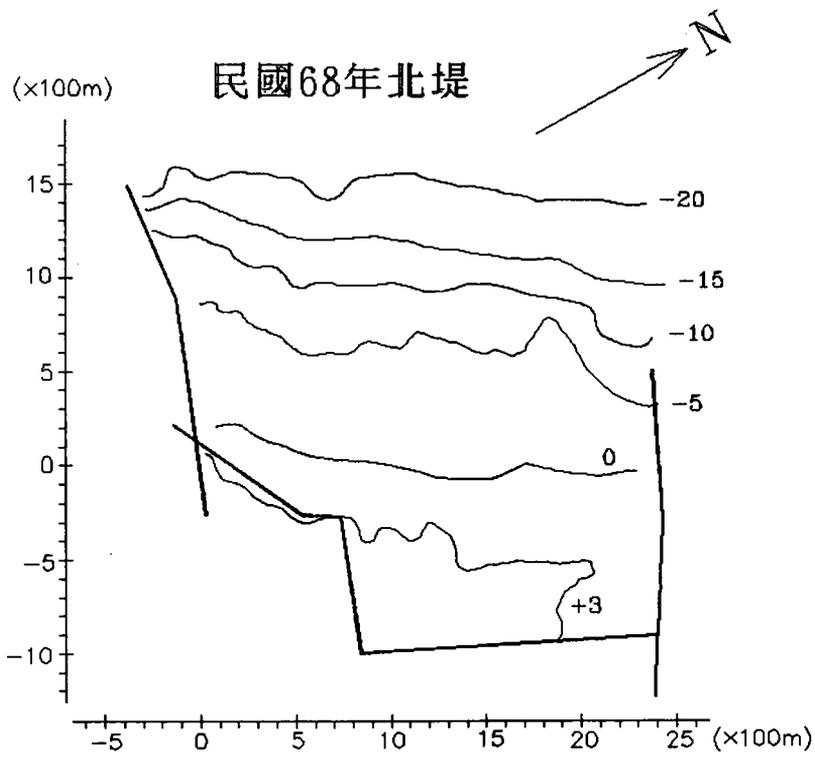


圖 3-28 地形圖

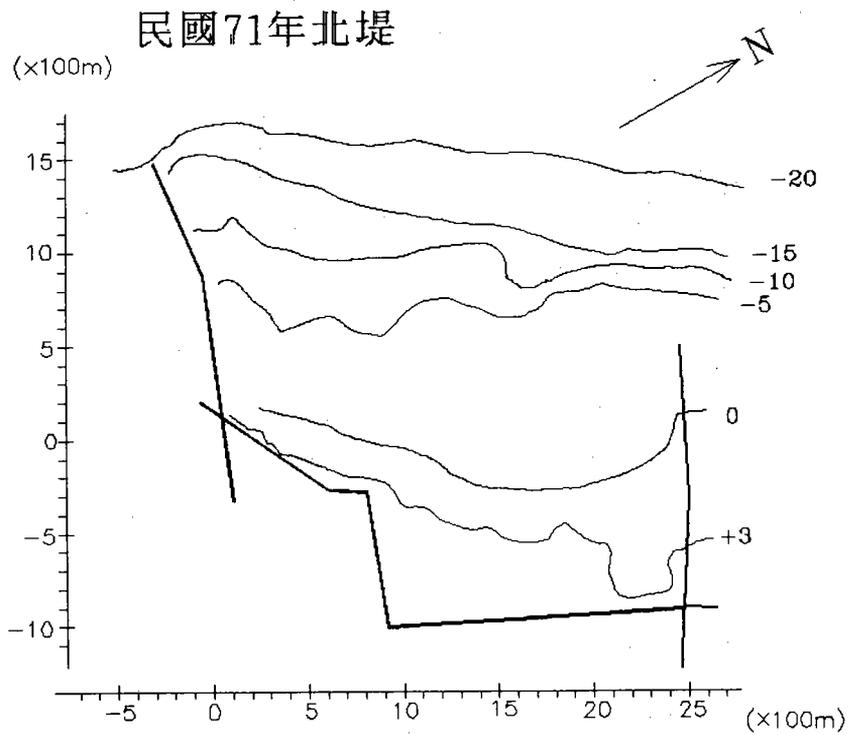
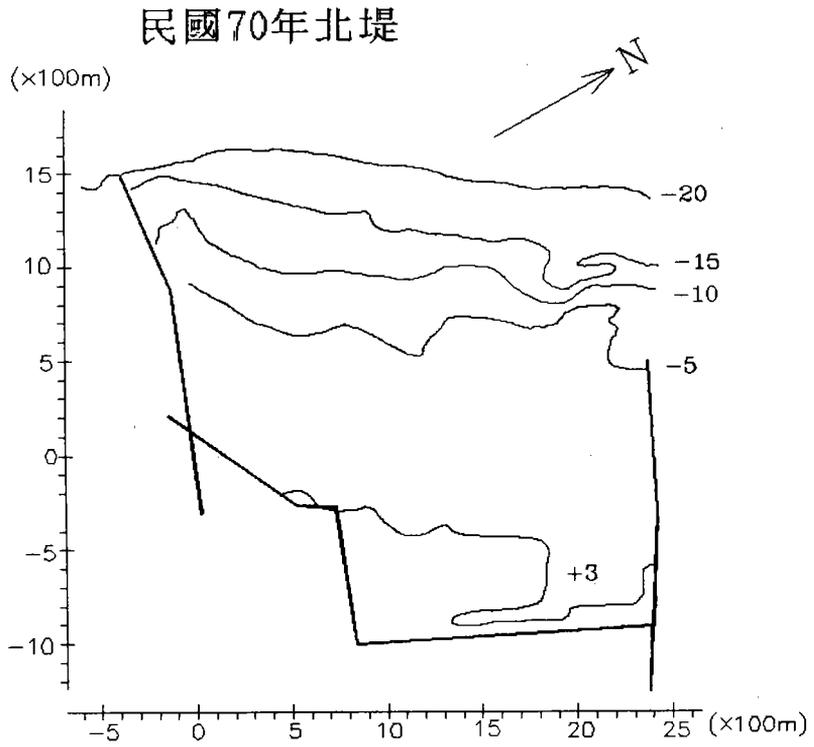


圖 3-29 地形圖

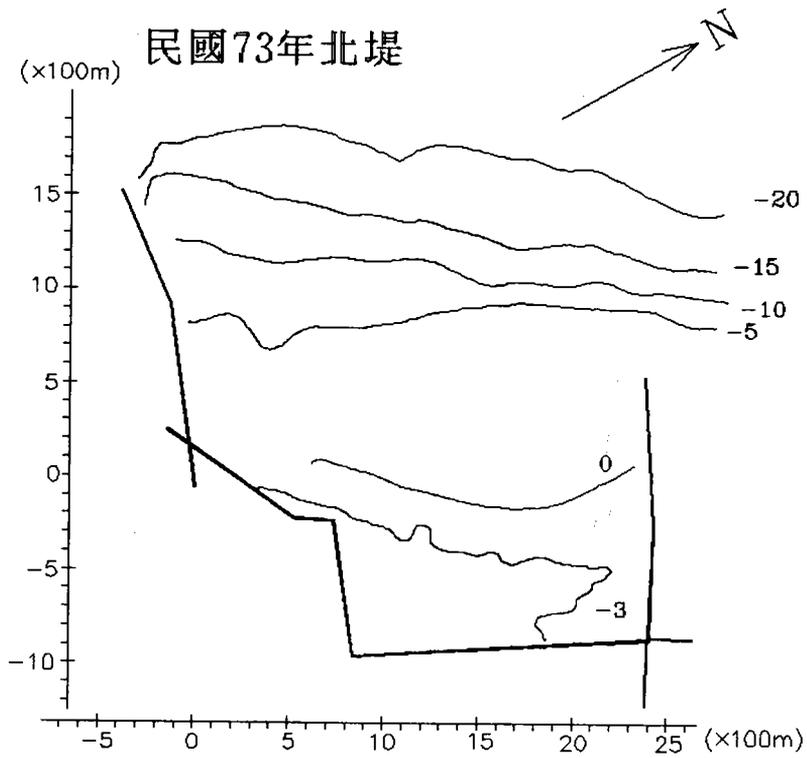
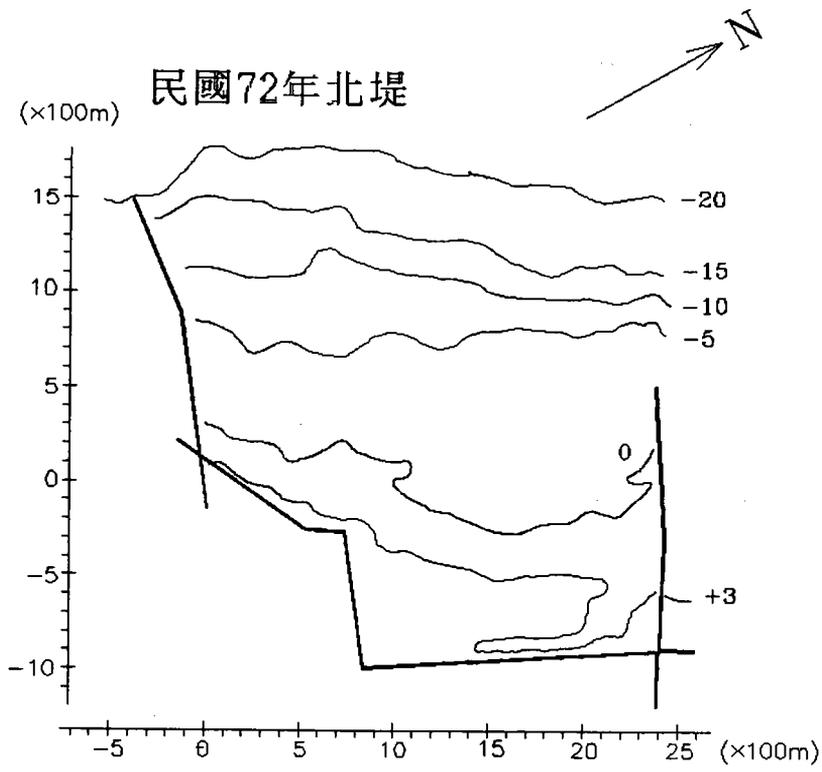
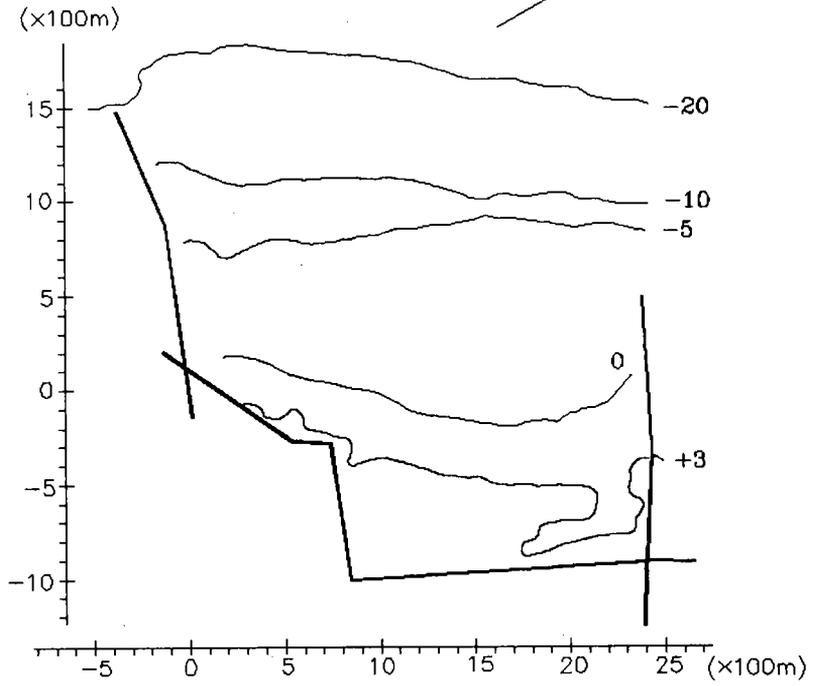


圖 3-30 地形圖

民國74年北堤



民國75年北堤

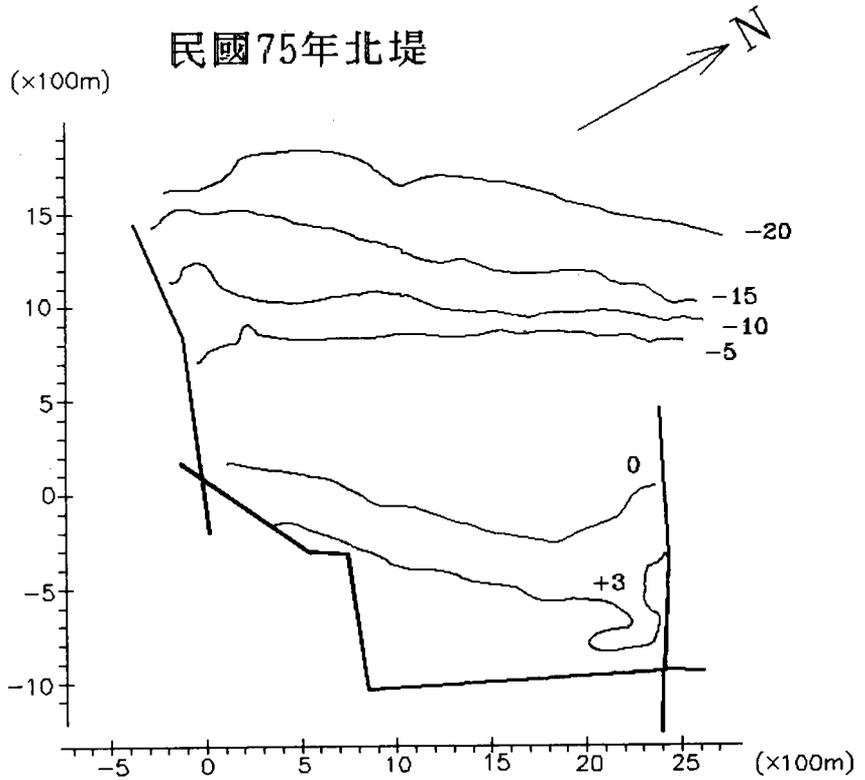
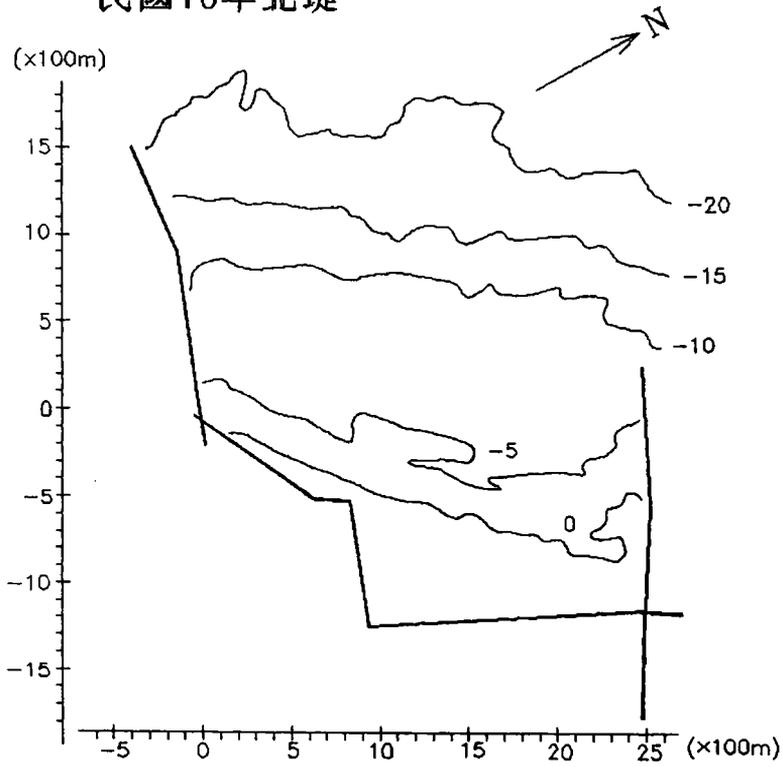


圖 3-31 地形圖

民國76年北堤



民國77年北堤

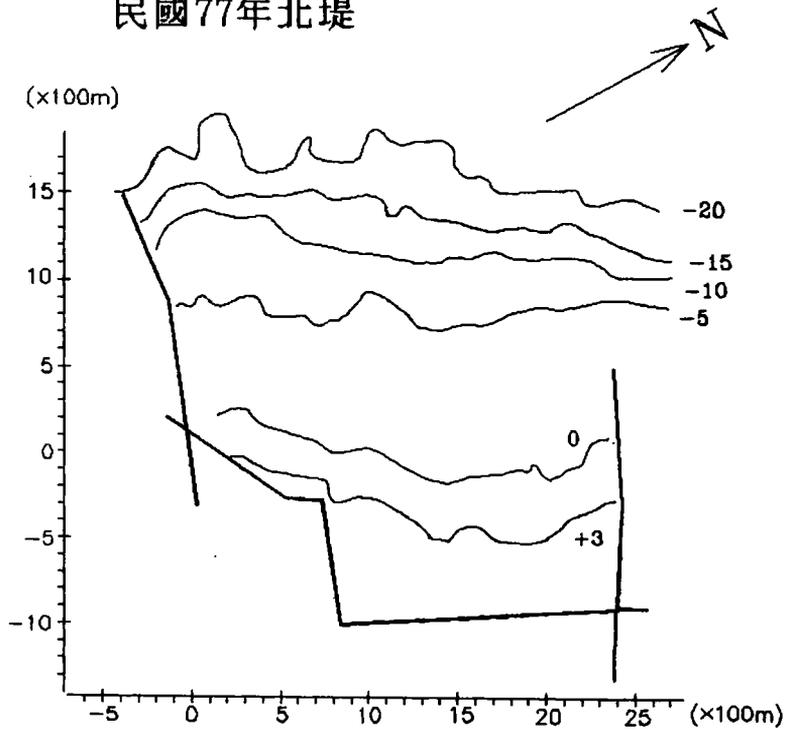


圖 3-32 地形圖

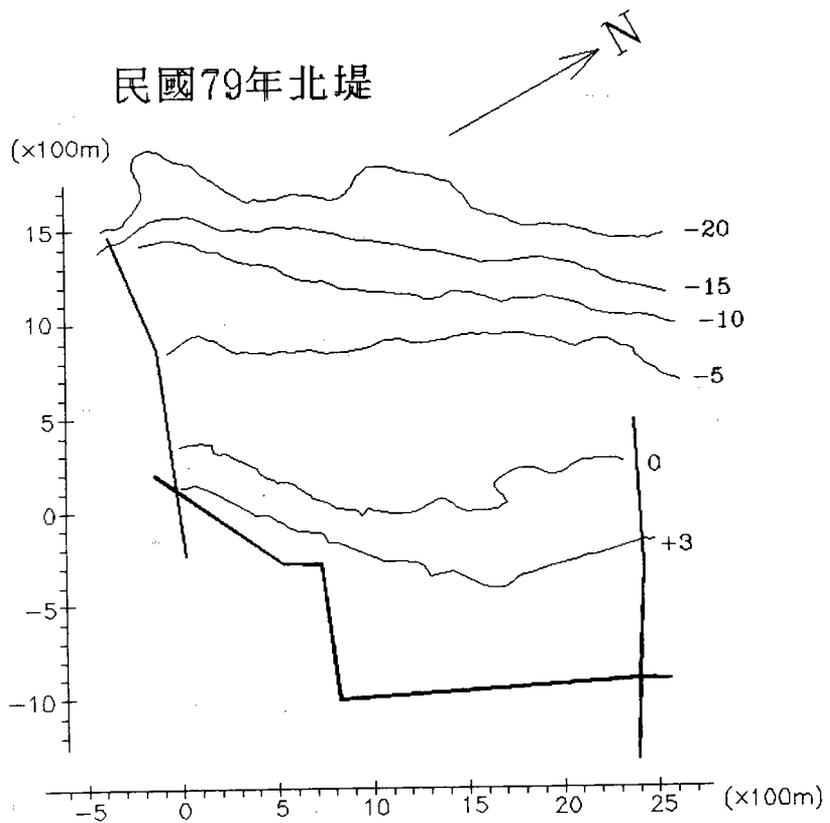
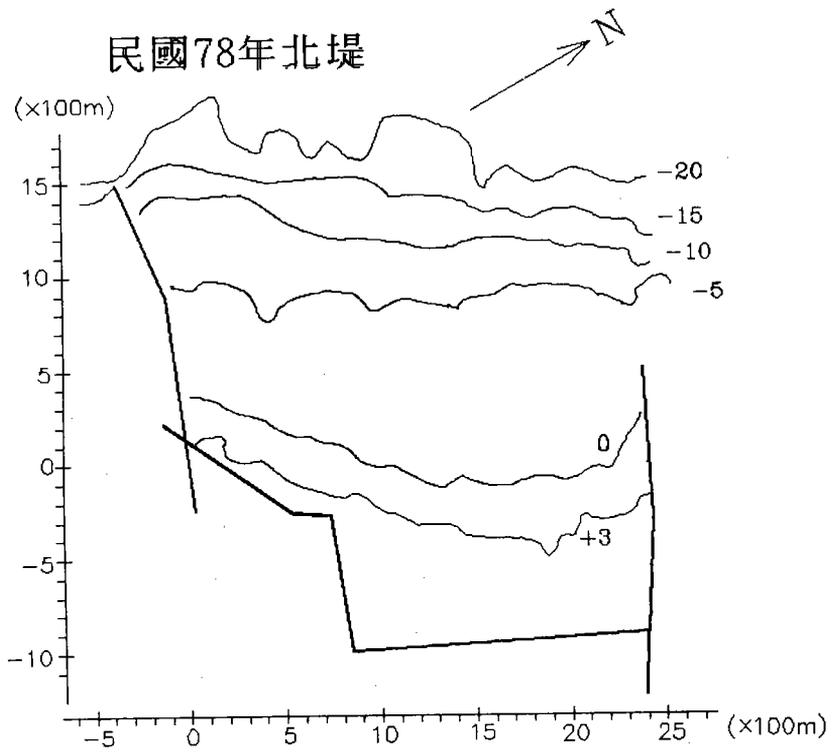


圖 3-33 地形圖

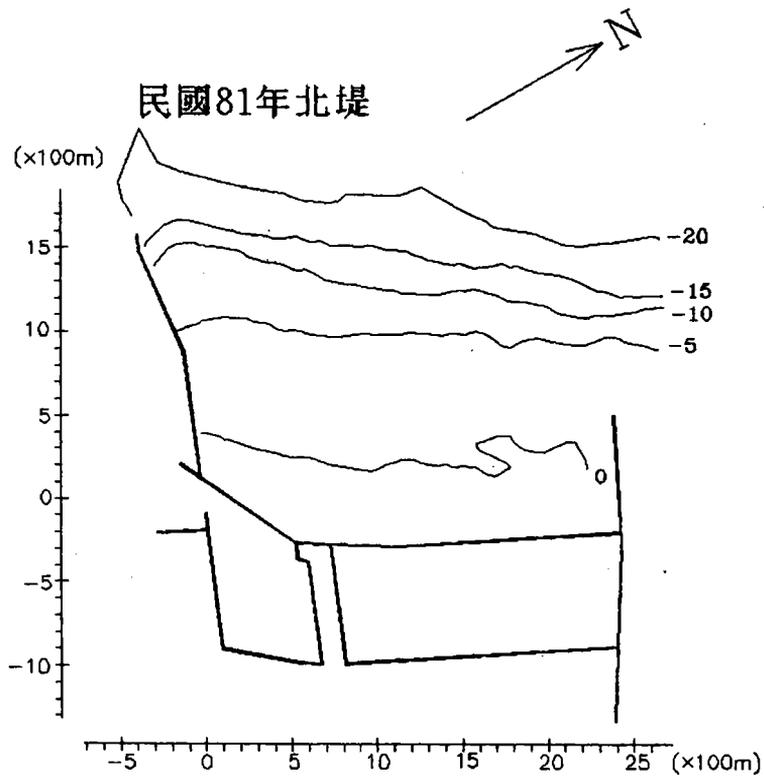
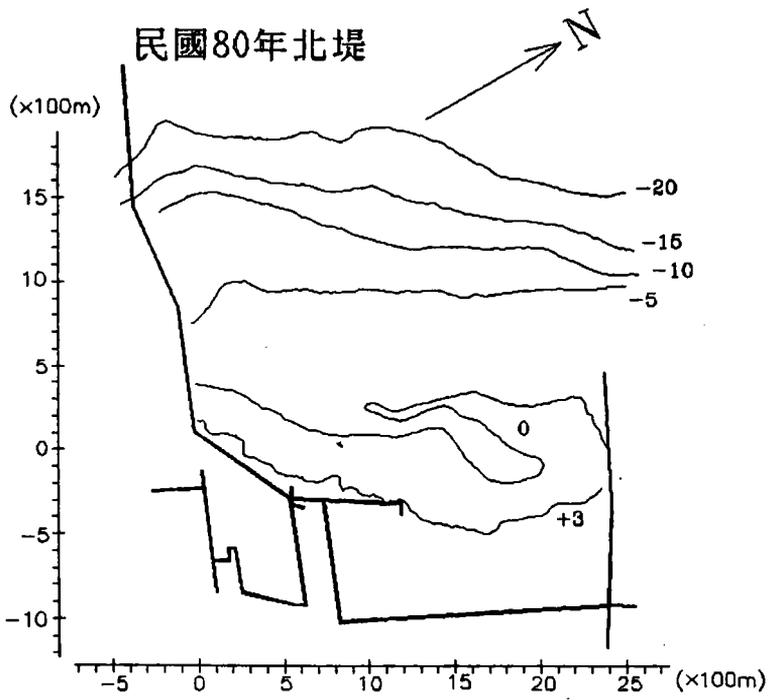


圖 3-34 地形圖

民國82年北堤

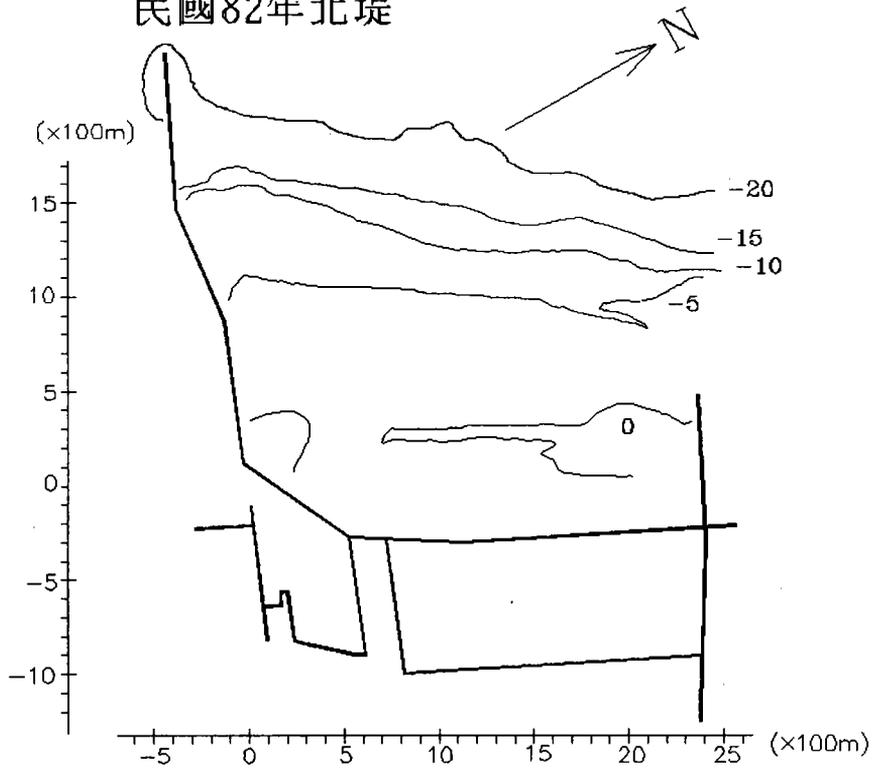


圖 3-35 地形圖

表3-1 中港號挖泥數量統計表(立方公尺)

挖泥區 挖泥量 期間	主 航 道	淤 沙 區	迴 船 池	小 計
65.1-65.12	349,480	0	89,600	439,080
66.1-66.12	54,500	234,250	312,000	600,750
67.1-67.12	55,250	409,650	286,940	751,840
68.1-68.12	292,745	455,100	294,200	1,042,045
69.1-69.12	70,200	557,300	314,100	941,600
70.1-70.12	155,520	652,150	407,050	1,214,720
71.1-71.12	576,300	274,850	201,120	1,052,270
72.1-72.12	196,150	381,500	233,320	810,970
73.1-73.06	149,600	169,800	6,550	325,950
73.7-74.06	0	700,740	193,500	894,240
74.7-75.06	304,900	551,740	0	856,640
75.7-76.06	0	963,800	0	963,800
76.7-77.06	493,200	493,400	0	986,600
77.7-78.06	269,830	223,700	0	493,530
78.7-79.06	347,800	0	0	347,800
79.7-80.06	405,040	0	0	405,040
80.7-81.06	504,240	0	0	504,240
81.7-82.06	449,330	0	35,490	484,820
82.7-83.06	256,780	0	144,030	400,810
合 計	4,930,865	6,067,980	2,517,900	13,516,745

## 四、海岸地形預測模式

本章部份係研究探討，利用二維經驗特徵函數法與波能量推算法，推算風浪等海氣象資料與沿岸漂沙的相關影響，並期建立海岸地形預測模式，推估未來海岸地形的變遷情況。

### 4-1 二維經驗特徵函數法

二維經驗特徵函數法係以垂直海岸方向變化之向、離岸特徵函數與沿岸方向有關之沿岸特徵函數等兩個函數描述整個海灘地形之變化，配合實測之地形資料分析海岸之漂沙活動性質。此模式最早由Hashimoto and Uda(1980)提出，而後經歐、許等人(1985、1986、1988、1990、1994)之擴展改進，建立一較簡便且更能推測較合理的海灘地形變化模式，本計畫即係引用彼等之預測模式，配合往昔之海岸地形與風浪等實測資料，推算台中港附近海岸地形之變遷。

#### 4-1-1 理論說明

實際海岸漂沙包括向、離岸及沿岸漂沙兩種，尤其在沿岸漂沙劇烈地區，若僅考慮向、離岸漂沙，則無法完整描述海灘地形變化特性，二維模式之建立有其必要性，特別是在結構物存在之情況。

在某一時刻下，實測地形為向、離岸漂沙及沿岸漂沙兩者綜合作用的結果，則類似一維理論，在某一時刻之海灘地形，可視為沿岸特徵函數及向、離岸特徵函數的線性組合：

$$h(x, y, t) = \sum_k e_k(x)e_k(y)c_k^*(t) \quad (4-1)$$

此處  $e_k(x)$ ：向、離岸空間特徵函數

$e_k(y)$ ：沿岸空間特徵函數

$c_k^*(t)$ ：時間特徵函數

欲求得向、離岸空間特徵函數，可由觀測地區每個斷面上第  $i$  點及第  $j$  點之相關性加以考慮， $i$  點及  $j$  點觀測之高程經由統計方法求得：

$$b_{ij} = \frac{1}{N_x N_y N_t} \sum_t \sum_y h(i, y, t) h(j, y, t) \quad (4-2)$$

式中  $b_{ij}$  為向、離岸相關係數， $N_y$  為斷面觀測個數，若每個斷面有  $N_x$  個觀測點，則由  $b_{ij}$  可組成一個  $(N_x \times N_x)$  之相關矩陣  $B$ 。

由矩陣方程式之轉換，相關矩陣  $B$  可求得  $N_x$  個特徵值及其對應之單位正交向、離岸空間特徵函數  $e_k(x)$ ：

$$B e_k(x) = \lambda_{kx} e_k(x) \quad (4-3)$$

$\lambda_{kx}$  為向、離岸空間特徵函數的特徵值。 $e_k(x)$  滿足克朗尼克函數：

$$\sum_x e_k(x) e_m(x) = \delta_{km} = \begin{cases} 1 & k = m \\ 0 & k \neq m \end{cases} \quad (4-4)$$

同理，沿岸空間特徵函數亦可經由統計方法利用下列處理方式求得

$$C_{ij} = \frac{1}{N_x N_y N_t} \sum_t \sum_x h(x, i, t) h(x, j, t) \quad (4-5)$$

$$C e_k(y) = \lambda_{ky} e_k(y) \quad (4-6)$$

$\lambda_{ky}$  為沿岸空間特徵函數之特徵值， $e_k(y)$  亦滿足克朗尼克函數，為一單位正交函數。

(4-1) 式兩邊同乘  $\sum_y \sum_x e_m(x) e_n(y)$ ，則可求出時間特徵函數如下

$$\begin{aligned}
& \sum_y \sum_x e_n(x) e_n(y) h_x(, y, t) \\
&= \sum_y \sum_x e_n(x) e_n(y) \sum_k e_k(x) e_k(y) c_k^*(t) \\
&= \sum_y e_n(y) e_k(y) c_k^*(t) \\
&= c_k^*(t)
\end{aligned} \tag{4-7}$$

為使時間特徵函數亦滿足克朗尼克函數的性質，令

$$c_k(t) = \frac{c_k^*(t)}{\sqrt{\sum_t c_k^*(t)^2}} = \frac{c_k^*(t)}{a_k} \tag{4-8}$$

$a_k$  為正交因子。根據(4-28)式，則(4-1)式可改寫為

$$h(x, y, t) = \sum_k a_k e_k(x) e_k(y) c_k(t) \tag{4-9}$$

經過以上的處理過程，則各函數均為單位正交函數，其推求過程如同前述的方法，每個函數均為相互獨立函數，且同時支配海灘地形的變化特性，此為二維模式的真正函義。

#### 4-1-2 預測模式之建立

利用統計方法預測某一系統的變化現象時，通常先求樣本的時間平均值(sample time average)，而由移去平均值之殘差(residue)在模式中運算。此一處理方式的優點為：

1. 視此系統的變化特性為一過程之平均(mean of the process)與某些紊亂變動量所描述。
2. 移去平均值之資料變數(data variables)在運算過程中的變化幅度較小，可避免造成較大的相對誤差。

3. 在經驗特徵函數法的應用上，可求得變動量較小之特徵函數，使預測結果更為精確。

推測未來底床斷面的變化現象，本文亦視其變化特性係由一個平均斷面函數及幾個變化型態所描述，而這些變化型態均為紊亂變動函數，則底床地形之高程變化表示如下：

$$h(x, y, t) = \bar{h}(x, y) + \sum_k a_k e_k(x) e_k(y) c_k(t) \quad (4-10)$$

式中  $h(x, y, t)$  : 底床底部高程

$\bar{h}(x, y)$  : 平均高程

$a_k$  : 二維正交因子(移去平均值)

$e_k(x)$  : 紊亂橫向空間特徵函數

$e_k(y)$  : 紊亂縱向空間特徵函數

$c_k(t)$  : 紊亂時間特徵函數

底床斷面高程移去平均值之殘差  $h'(x, y, t)$  為：

$$h'(x, y, t) = h(x, y, t) - \bar{h}(x, y) \quad (4-11)$$

各特徵函數即以河床斷面高程之殘差資料運用上節之方法求得。

(4-10)式中各變化型態是由  $e_k(x)$  及  $e_k(y)$  紊亂空間特徵函數及  $c_k(t)$  時間特徵函數所構成，其中空間特徵函數固定不變，而與  $c_k(t)$  之元素交乘後則代表每一空間變化成份隨不同時段之變動性質，由於斷面觀測之時段有限，致時間特徵函數  $c_k(t)$  亦為有限，故每一變化型態不能完全描述任意時段每一空間變化成份的變動特性。因此，為預測未來河床地形變化情形，須先推求下一時段之時間特徵函數方可達到目的。 $c_k(i)$  為  $i$  時刻時間特徵函數，欲推求下一個時段時間特徵函數  $c_k(i+1)$ ，本文基於二項因素之考慮，一為馬可夫過程(Markov process)(Sonu and James, 1973)<sup>[15]</sup>，一為外在因素為海氣象條件。

其簡單之線性方程式可表示如下：

$$\begin{aligned}
 C'_1(i+1) &= \bar{a}_{11}C'_1(i) + \bar{a}_{12}C'_2(i) + \dots + \bar{a}_{1n}C'_k(i) + \bar{a}_{1n+1}Q(i+1) \\
 C'_2(i+1) &= \bar{a}_{21}C'_1(i) + \bar{a}_{22}C'_2(i) + \dots + \bar{a}_{2n}C'_k(i) + \bar{a}_{2n+1}Q(i+1) \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 C'_k(i+1) &= \bar{a}_{n1}C'_1(i) + \bar{a}_{n2}C'_2(i) + \dots + \bar{a}_{nn}C'_k(i) + \bar{a}_{nn+1}Q(i+1)
 \end{aligned} \tag{4-12}$$

或以矩陣之型式表示為

$$\begin{pmatrix} C'_1(i+1) \\ C'_2(i+1) \\ \vdots \\ \vdots \\ C'_k(i+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{a}_{11} & \bar{a}_{12} & \dots & \bar{a}_{1n} & \bar{a}_{1n+1} \\ \bar{a}_{21} & \bar{a}_{22} & \dots & \bar{a}_{2n} & \bar{a}_{2n+1} \\ & & & & \\ & & & & \\ \bar{a}_{n1} & \bar{a}_{n2} & \dots & \bar{a}_{nn} & \bar{a}_{nn+1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C'_1(i) \\ C'_2(i) \\ \vdots \\ \vdots \\ C'_k(i) \\ Q(i+1) \end{pmatrix} \tag{4-13}$$

式中  $\bar{a}_{11}, \bar{a}_{12}, \dots, \bar{a}_{nn+1}$  為常數係數； $Q(i+1)$  為  $i$  至  $i+1$  時段之無因次之代表外力，(4-13) 式可以矩陣之通式表示：

$$P = \bar{A}D \tag{4-14}$$

其中  $P: n \times N$  階矩陣， $n$  為變化型態之個數， $N$  為選擇的時間次數。

$D: m \times N$  階矩陣， $m$  表資料變數之個數。

$A: n \times m$  階的係數矩陣。

應用最小二乘法原理，係數矩陣  $\bar{A}$  係由下式求得：

$$\bar{A} = C_{PD} C_{PD}^{-1} = (PD^T)(DD^T)^{-1} \tag{4-15}$$

式中 $C_{PD}$ 為矩陣 $P$ 與資料變數矩陣 $D$ 的互相關矩陣， $C_{DD}$ 為資料變數矩陣的自相關矩陣， $T$ 表矩陣之轉置(transpose matrix)。

預測模式之建立是以資料變數矩陣 $D$ 及矩陣 $P$ 之實測值以(4-15)式迴歸係數矩陣 $\bar{A}$ ，利用所得之係數矩陣 $\bar{A}$ ，再輸入原來的資料變數矩陣 $D$ 推估矩陣 $\hat{P}$ ，而與 $P$ 矩陣的實測值比較，並以 $S_H$ 檢定係數矩陣 $\bar{A}$ 之可信度(predicability)，其定義為：

$$S = 1 - \frac{E(P - \hat{P})(P - \hat{P})}{E(PP^T)} \quad (4-16)$$

其中 $E$ 表期望值。若 $S_H$ 越高，則表示所迴歸的係數矩陣越能顯現資料變數矩陣 $D$ 及 $P$ 矩陣的線性關係。其次選擇最高 $S_H$ 之係數矩陣 $\bar{A}$ 及另外的資料變數，推測下一時段 $P$ 矩陣之 $C'_k(i+1)$ 代回(4-10)式求得河床地形高程之推測結果，一般以 $S_F$ 驗證推測結果之優劣<sup>[4]</sup>，如以 $h(x, y, t)$ 及 $\hat{h}(x, y, t)$ 分別表示河床高程之實測及推測結果，則 $S_F$ 的定義為：

$$S_F = \frac{E[h(x, y, t) - \hat{h}(x, y, t)][h(x, y, t) - \hat{h}(x, y, t)]^T}{E[h(x, y, t)h(x, y, t)^T]} \quad (4-17)$$

(4-17)式表示推測與實測結果比較，若 $S_F$ 愈小，表示此預測模式推測結果的可靠度性愈高。

### 4-1-3 現場資料分析

#### 4-1-3-1 海灘斷面資料

本模式計算範圍由台中港北防波堤起到北防沙堤間共 2,500 公尺，每間隔 100 公尺做一斷面共 26 個斷面，而向離岸方向亦每隔 100 公尺取一點共取 26 個測點，因此，本模式計算點數共 26 × 26 點地形採用 68 年到 78 年間共 11 年地形（如圖 4-1 所示）。海底地形圖係由台中港務局提供。

#### 4-1-3-2 波浪資料

海洋波浪為不規則波，通常以代表波的方式去計算海灘地形變化的不規則特性，而代表波的計算一般係以等能量通率的觀念為基礎，代表性波浪之週期、波高、波向即可以下式來計算。

$$T_s = \frac{\sum T_i P_i}{P_t} \quad (4-18)$$

$$C_{gs} H_s^2 P_t = \sum_i C_{gi} H_i^2 P_i \quad (4-19)$$

$$H_s^2 C_{gs} \sin \theta_s \cos \theta_s P_t = \sum_i H_i^2 C_{gi} \sin \theta_i \cos \theta_i P_i \quad (4-20)$$

此處， $T_i$ 為第*i*個分量之週期， $P_i$ 為第*i*個分量發生的機率， $p_t$ 為機率和亦 $p_t=1$ ， $H_i$ 為第*i*個波分量的波高， $C_{gs}$ 為代表群波速度， $C_{gi}$ 為第*i*個分量的群波速度。外力控制參數以歐日和許提出之修正 *iribarren number* 來描述海岸過程和底床剖面變化，其定義如下：

$$\xi_e = \frac{\tan \beta}{\sqrt{H_o/L_o}} \cos \theta$$

此處， $H_o$ 為深海波高， $L_o$ 為深海波長， $\tan \beta$ 表示海灘斜度， $\theta$ 表示入射角度，假如入射方向垂直於海岸線 *iribarren number* 即可簡化為

$$\xi_o = \frac{\tan \beta}{\sqrt{H_o/L_o}}$$

由於台中港之海氣象觀測資料缺66年到78年之資料，因此本研究利用以往之波浪全年統計分佈的結果來推算代表此區域之 *iribarren number*，如表4-1所示。

表 4-1 每年之 Modified Iribarren numbers

年度	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
$\xi$	0.32	0.33	0.28	0.29	0.32	0.27	0.28	0.30	0.27	0.26	0.31

#### 4-1-4 二維模式穩定性分析

穩定性分析對於瞭解海岸地形變化是否趨於平衡甚為重要，且為預測海灘斷面變化不可或缺之步驟，從穩定性分析結果，可研判從事海灘地形變化推測時所需的取短樣本長度。

本文實測斷面分成七組不同的時間段，各組不同時間段代表不同的樣本長度，以檢核斷面資料的穩定性問題。各組不同的樣本長度的時間分配列於表4-2。

表 4-2 各種不同樣本長度之時間分配

組別	樣本長度	時間分配
1	5	68 ~ 72
2	6	68 ~ 73
3	7	68 ~ 74
4	8	68 ~ 75
5	9	68 ~ 76
6	10	68 ~ 77
7	11	68 ~ 78

表 4-3 向、離岸不時數前五個特徵函數之偏差率 $S_f$ (%)

組別	時間段	第一特徵值	第二特徵值	第三特徵值	第四特徵值	第五特徵值
A. 05	68~72	0.3324	1.8955	1.6397	0.0216	2.2593
A. 06	68~73	0.2072	0.5142	0.0339	0.0009	0.3409
A. 07	68~74	0.1029	0.0008	0.2790	0.3032	0.1389
A. 08	68~75	0.0503	0.0397	0.9223	1.7466	0.8223
A. 09	68~76	0.0222	0.0892	0.0013	2.1348	0.1389
A. 10	68~77	0.0037	0.0224	0.0400	0.4662	0.0002

表 4-4 沿岸不同時段前五個特徵函數之偏差率 $S_f$ (%)

組別	時間段	第一特徵值	第二特徵值	第三特徵值	第四特徵值	第五特徵值
A. 05	68~72	0.3224	7.1533	7.4899	15.2913	8.3363
A. 06	68~73	0.2000	3.4589	9.2609	9.2339	2.4552
A. 07	68~74	0.0975	1.2535	6.2500	4.6962	0.4476
A. 08	68~75	0.0471	0.6934	1.9984	2.1459	0.1937
A. 09	68~76	0.0206	0.1709	0.8709	0.8690	0.0000
A. 10	68~77	0.0034	0.0607	0.1521	0.0916	0.2790

表 4-5 時間不同時段前五個特徵函數之偏差率 $S_f$ (%)

組別	時間段	第一特徵值	第二特徵值	第三特徵值	第四特徵值	第五特徵值
A. 05	68~72	9.3994	4.4947	0.1829	40.4027	0.0422
A. 06	68~73	5.9923	3.0827	0.2904	35.0607	0.4591
A. 07	68~74	3.5927	2.0806	0.0312	21.9000	1.3333
A. 08	68~75	1.8914	0.9917	0.0705	7.2273	2.9928
A. 09	68~76	0.7871	0.4144	0.0029	6.1519	0.2911
A. 10	68~77	0.1901	0.0718	0.1910	4.1570	0.1645

每一組樣本長度所獲之特徵函數與11個時間段樣本長度比較，本文以偏差率 $S_f$ (歐等, 1985)檢定兩者之差異， $S_f$ 定義如下：

$$S_f = \frac{(\lambda_n - \lambda_n)^2}{\lambda_n^2} \times 100\% \quad (3-1)$$

$\lambda_n$ 為11個時段第 $n$ 個特徵函數的特徵值， $\lambda_n$ 則為一個樣本長所得之特徵值。若 $S_f$ 愈小，則表示某一個樣本長度之特徵函數愈接近11個時段之特徵函數。

表4-3到表4-5分別列出組不同時段向、離岸、沿岸方向時間之前五個特徵函數偏差率( $S$ , %)。由表4-3之結果顯示第一到第三向、離岸特徵函數之偏差量皆相當小而且穩定，當樣本長度之影響甚微，此即表示此區域之向、離岸方向是穩定變化。從表4-4看出第一沿岸特徵函數偏差量小而且平穩，同時第二及第三沿岸特徵函數值在樣本長度8個時段亦是相當小的偏差，穩定度相當好，表4-5表示時間特徵函

數，亦如空間特徵函數有相同的變化情況，亦在樣本長度如超過 8 時後即相當穩定，圖 4-2 到圖 4-19 分別為各時段之向、離岸特徵函數，沿岸特徵函數及時間特徵函數之比較圖，由圖中可分別發現除在向、離岸之第三特徵函數值有較明顯的差異外，其餘皆相當密合，此即表示此區域每年的地形變化趨勢相當穩定，本文第三章之現場資料的分析亦有相同的結論，經由以上的分析可得知所需最短之資料長度為 8 個時段，方能獲得可靠的推測結果。

#### 4-1-5 地形變化預測

本文採用二維特徵函數法來推測海岸地形的變化，經由模式的穩定性分析後得知，樣本如採 8 個時段即可獲得良好的預測，因此採用 68 年到 75 年間共 8 年的形資料來推算 78 年的地形，再與 78 年之實測地形比較。

圖 4-20 表示各個斷面之實測高程與預測高程間之偏差量比較圖，由圖中可明顯發現，其偏差量大約平均在千分之 1.5 間，而其中偏差量較大者為斷面 23，此斷面靠近北防沙堤，地形變化較不穩定，但其偏差量亦僅千分之 4。圖 4-21 到圖 4-24 分別表示斷面 5、10、15、20，4 個斷面之實測與預測地形比較圖，由各圖中可得知斷面 5 和斷面 10 預測值低於實測值表示堆積量比預測多。斷面 15 和斷面 20 之實測值與預測值即相當吻合。經由以上之分析得知二維特徵函數法應用於台中港北防波堤與北防沙堤間之堆積區域，有相當良好的預測效果，亦表示此區域堆積量每年成長很穩定。

#### 4-2 波能量推算法

由於波能量推算法，而要精確的波浪資料方能做推估，而且僅考慮沿岸通量與沿岸漂沙量之經驗關係，在前節本文已經運用二維特徵函數法來推海底地形變化，因此模式已具備向、離岸及沿岸的空間變化與時間變化，因此，在無法取得當時之波浪資料情況下，建議採用二維特徵函數法即可有效的描述此區域之地形變化特性。

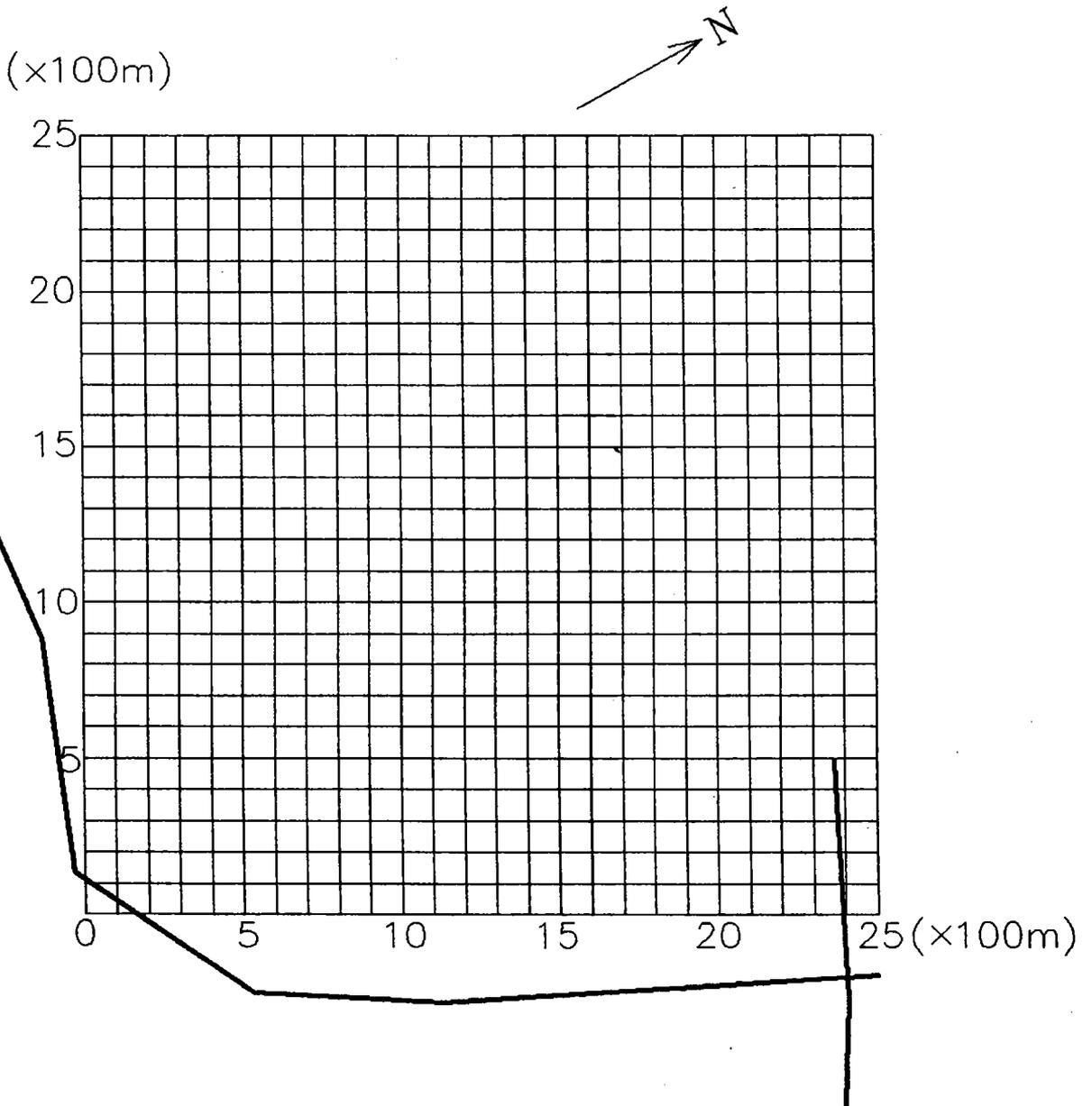


圖 4-1 計算區域示意圖

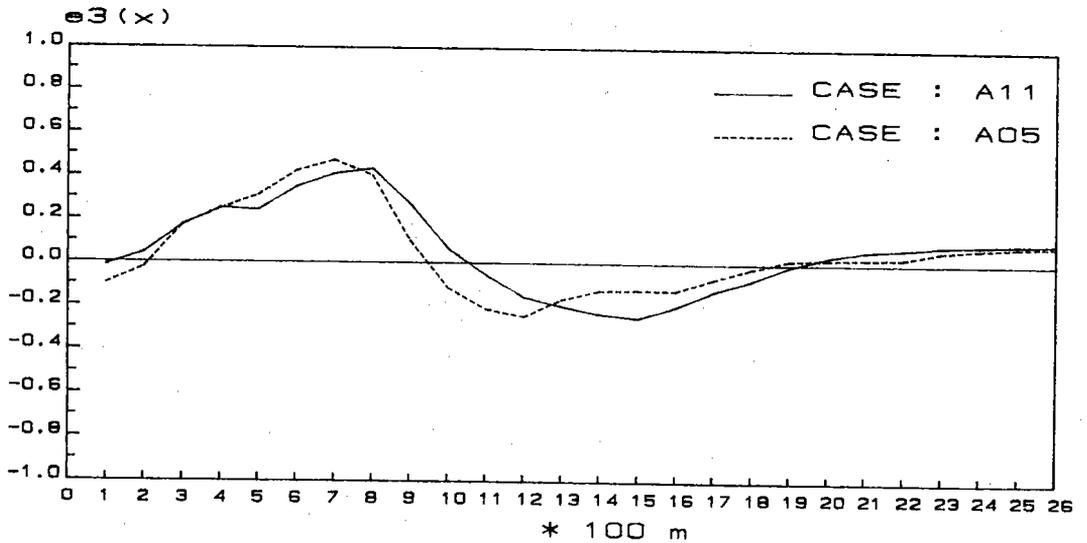
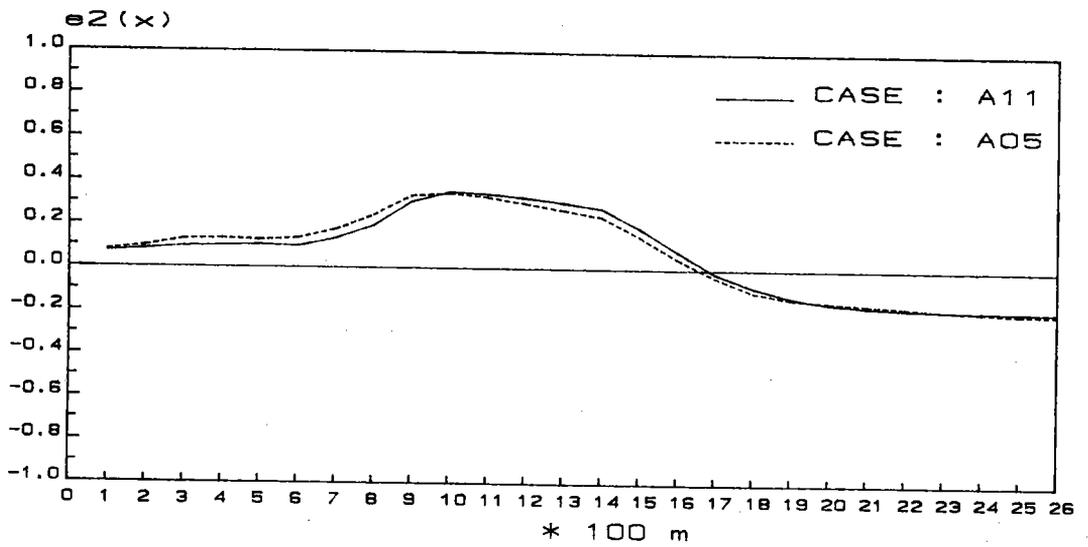
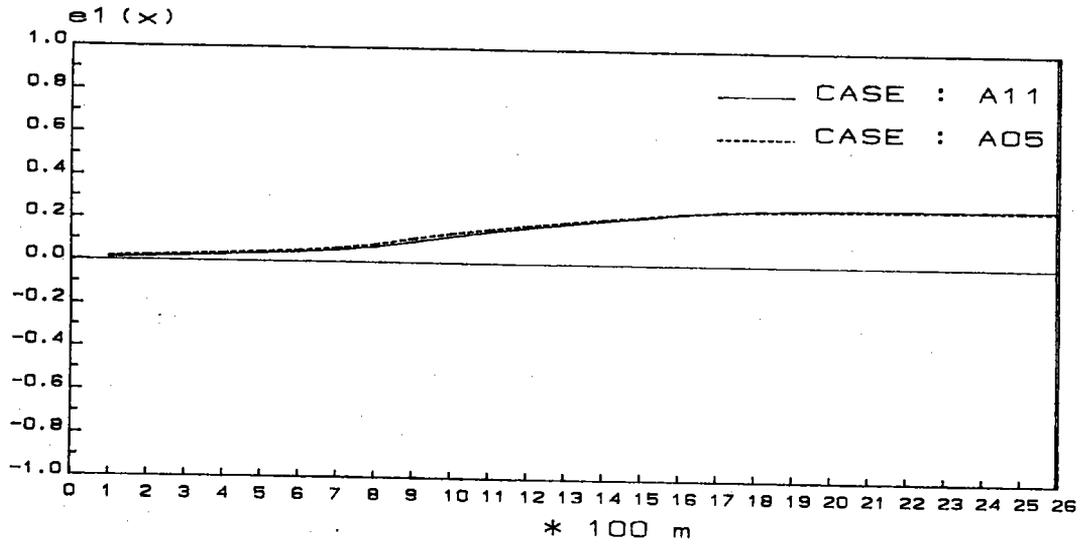


圖 4-2 向、離岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖

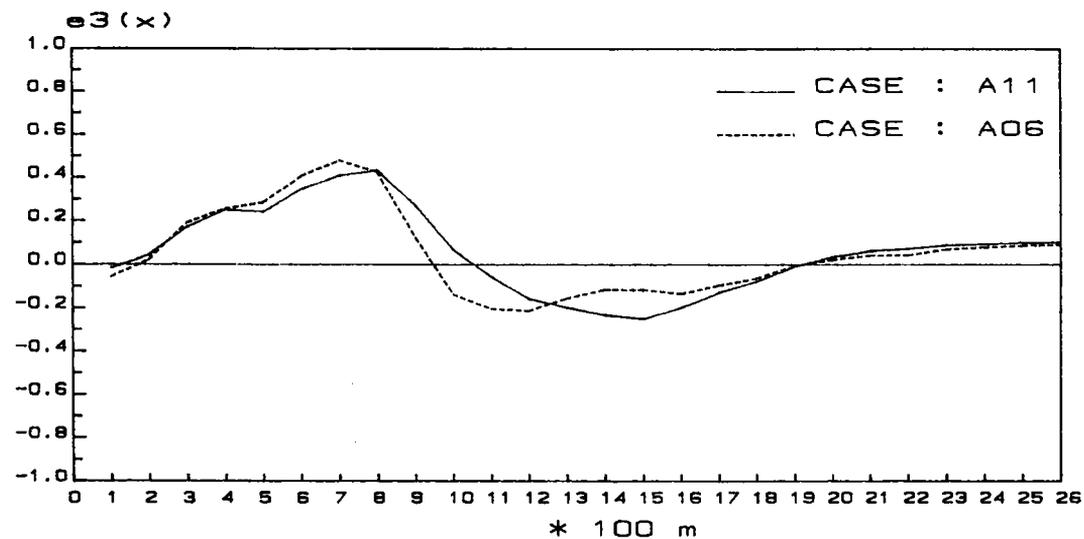
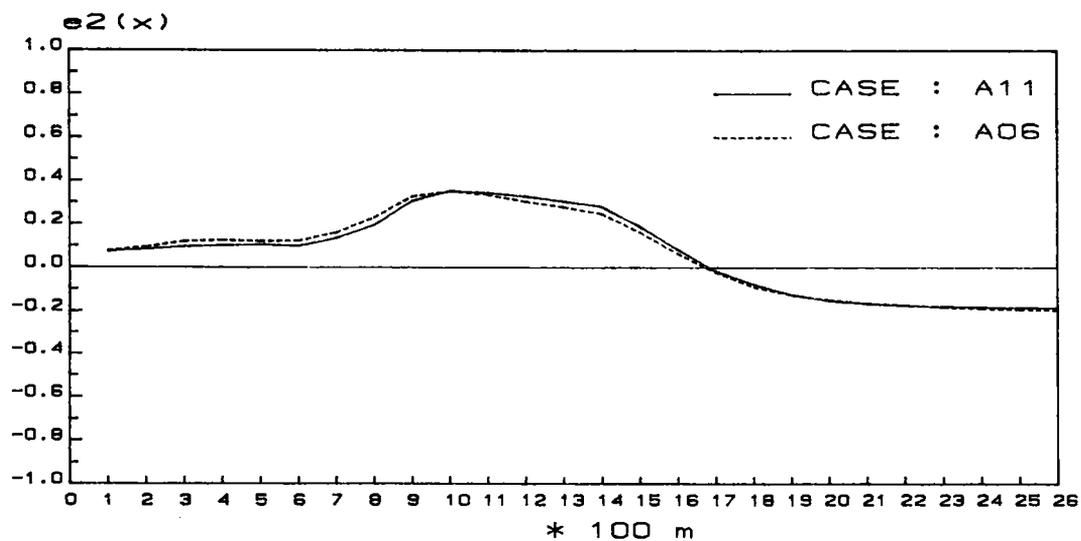
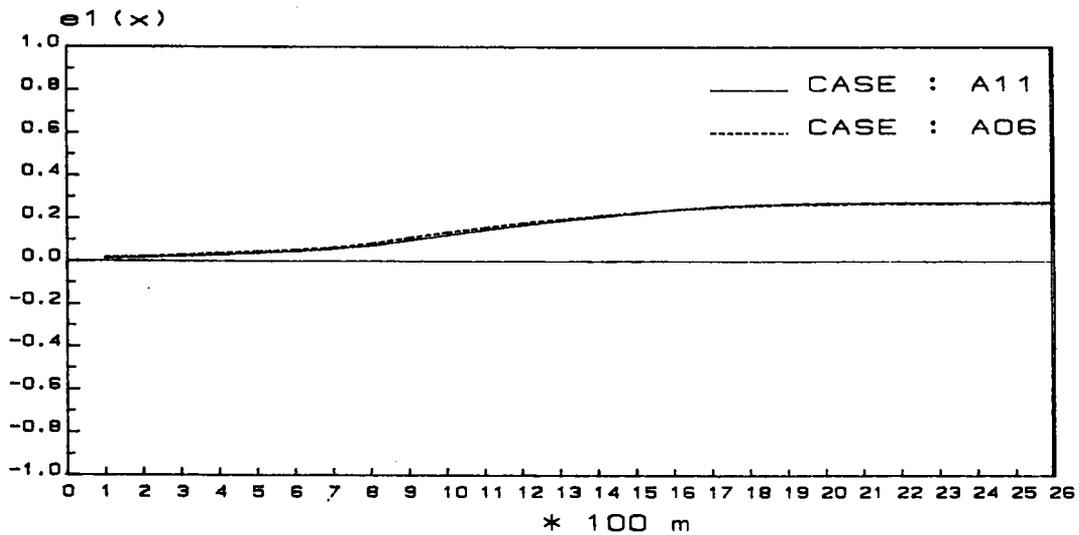


圖 4-3 向、離岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖

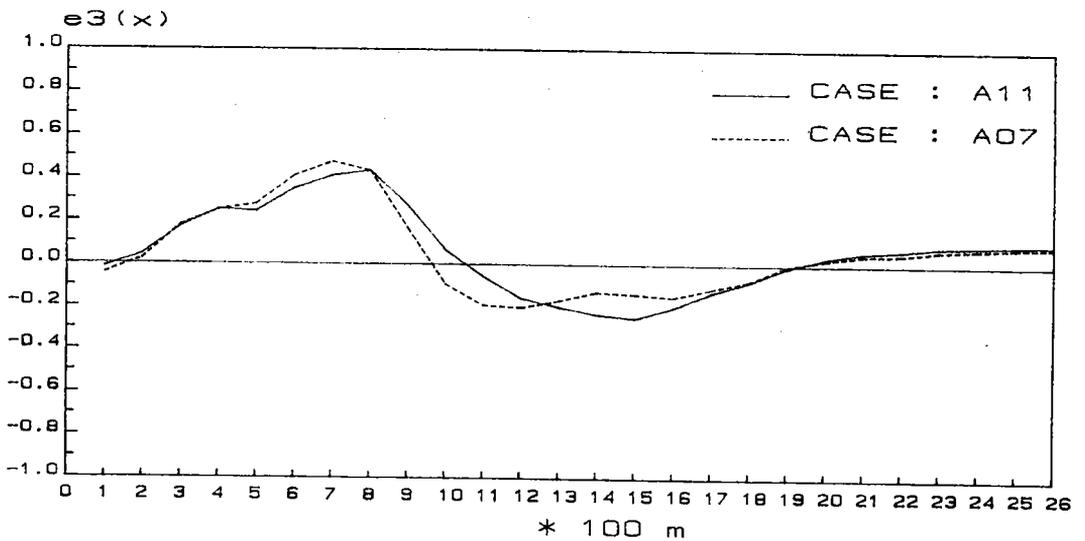
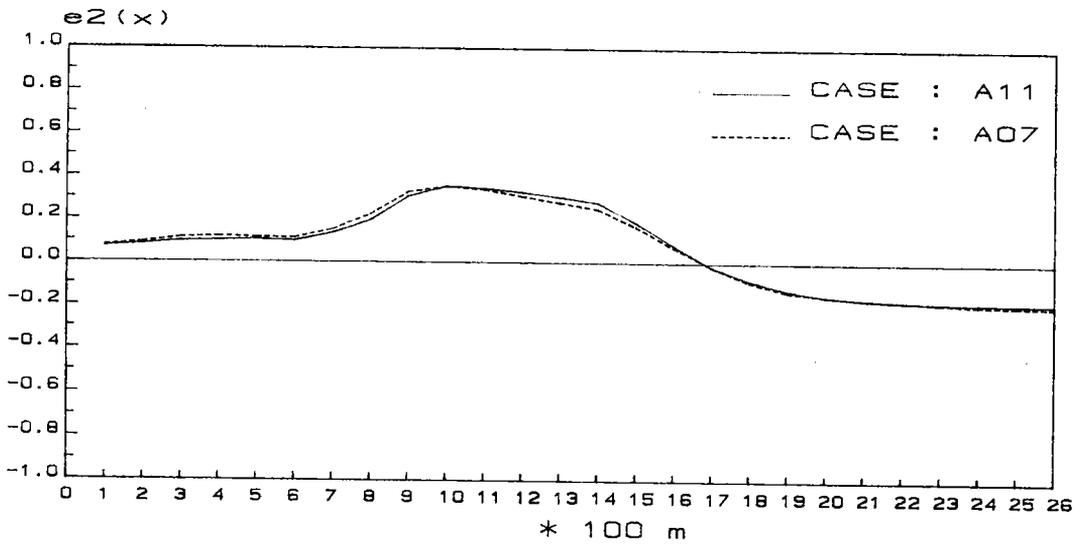
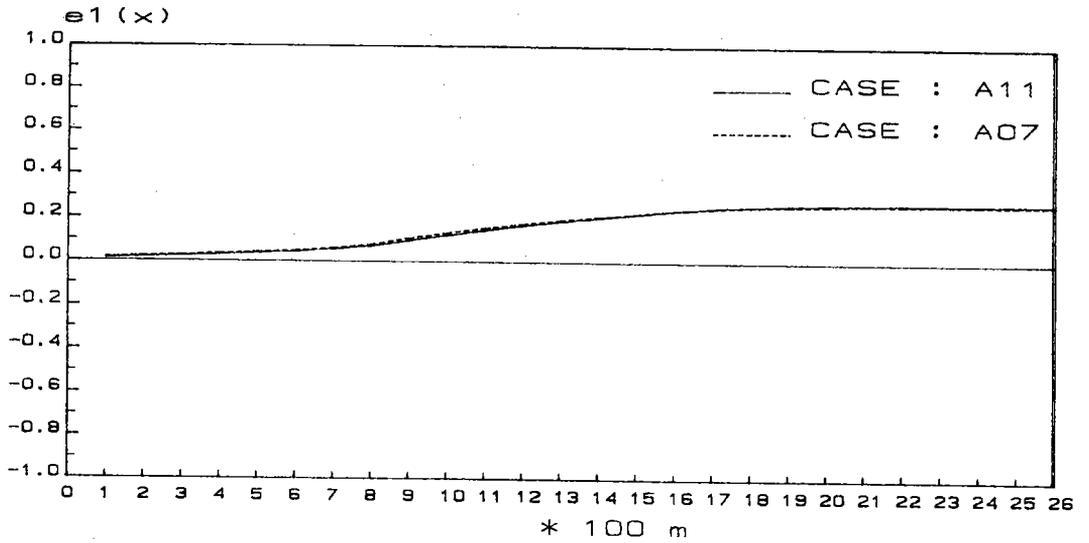


圖 4-4 向、離岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖

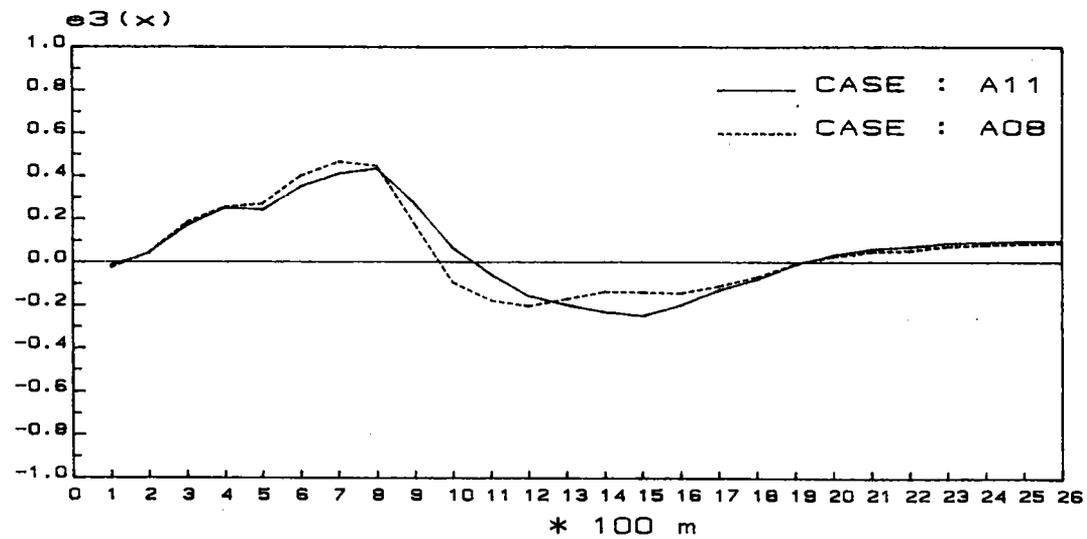
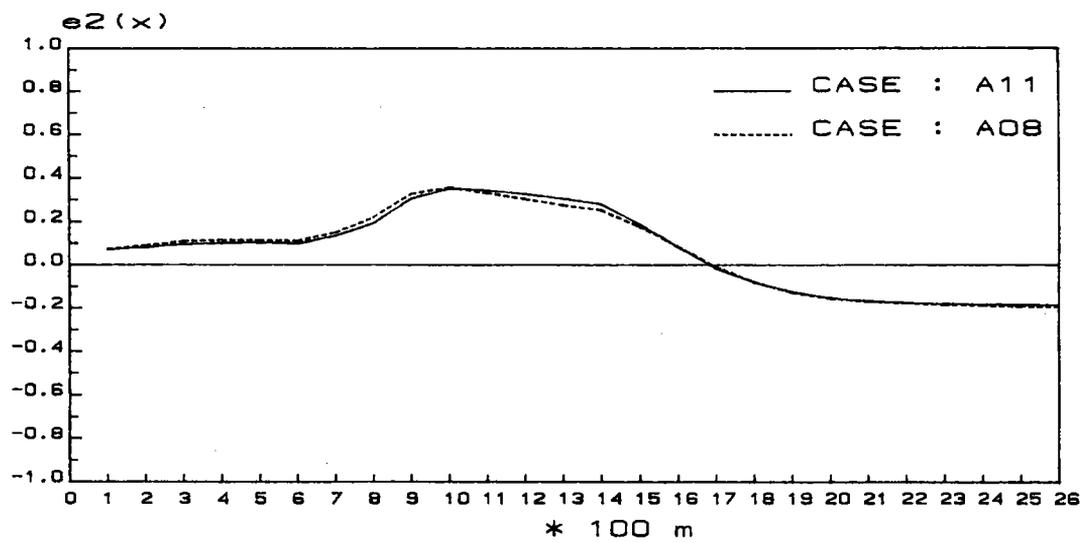
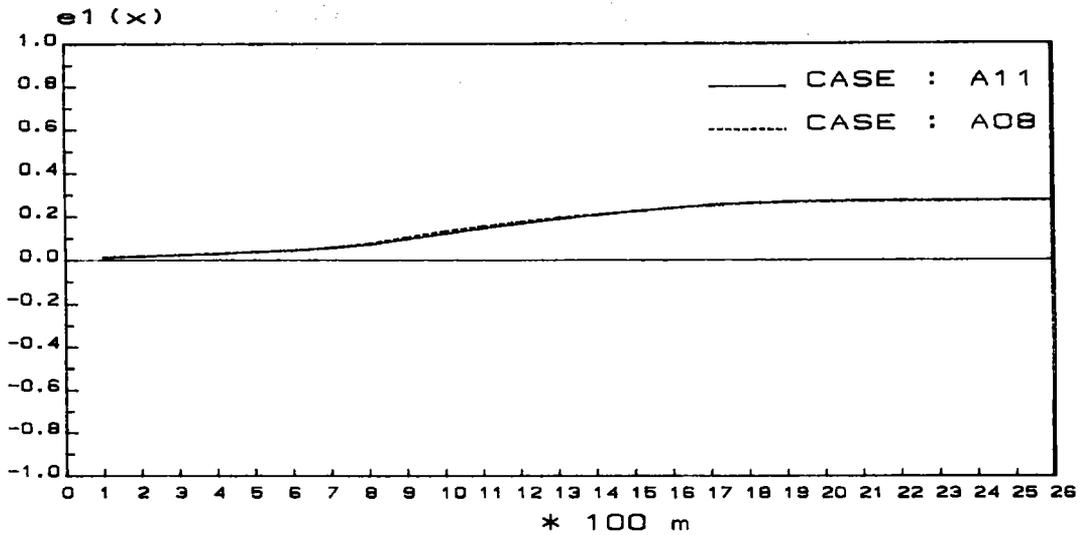


圖 4-5 向、離岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖

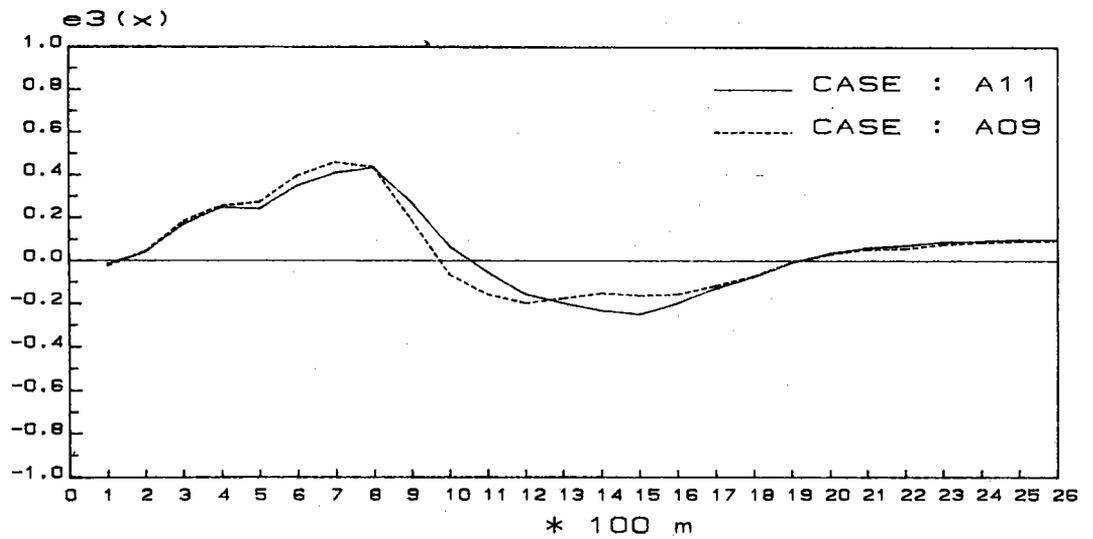
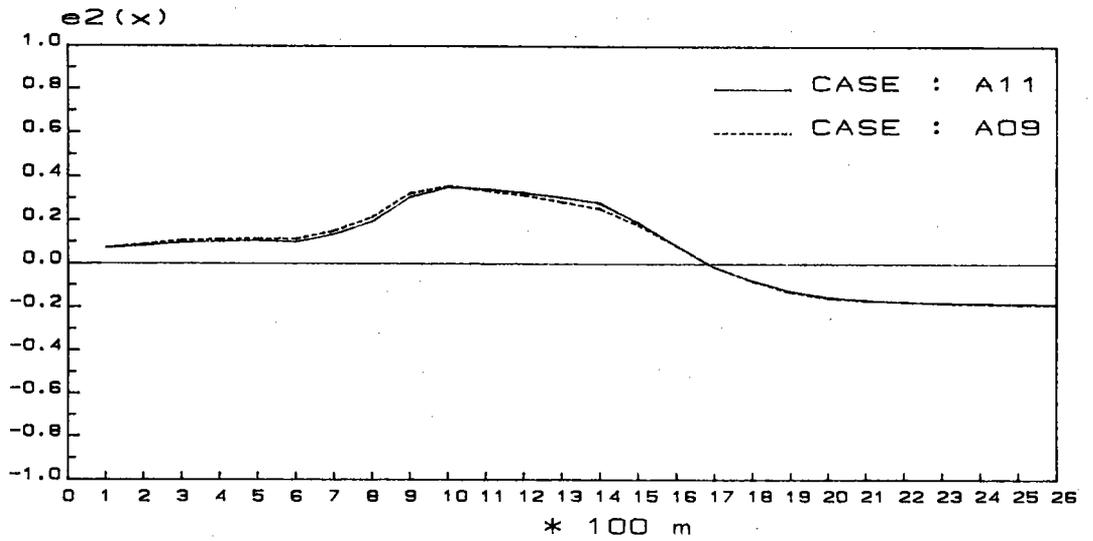
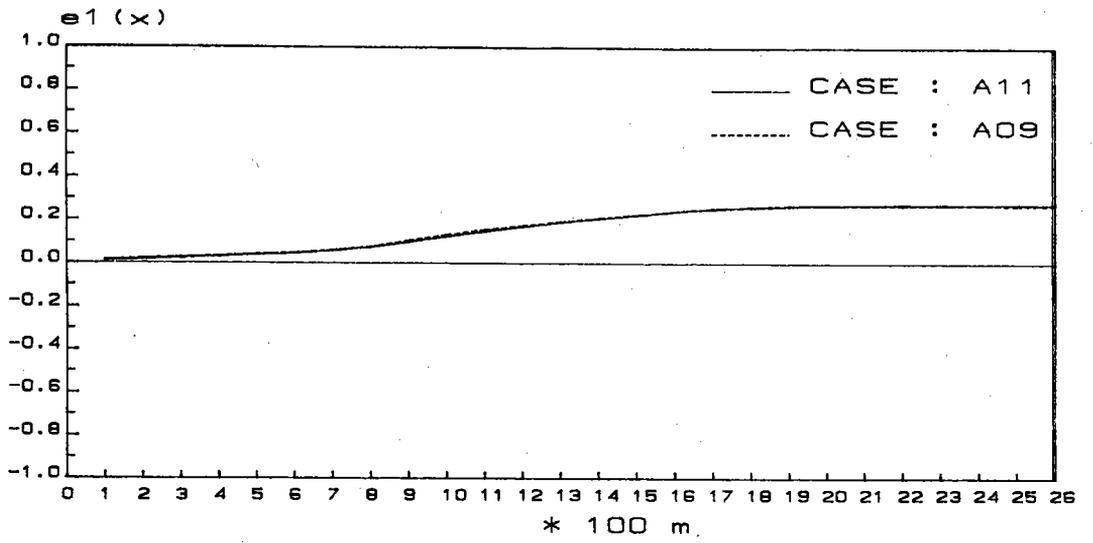


圖 4-6 向、離岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖

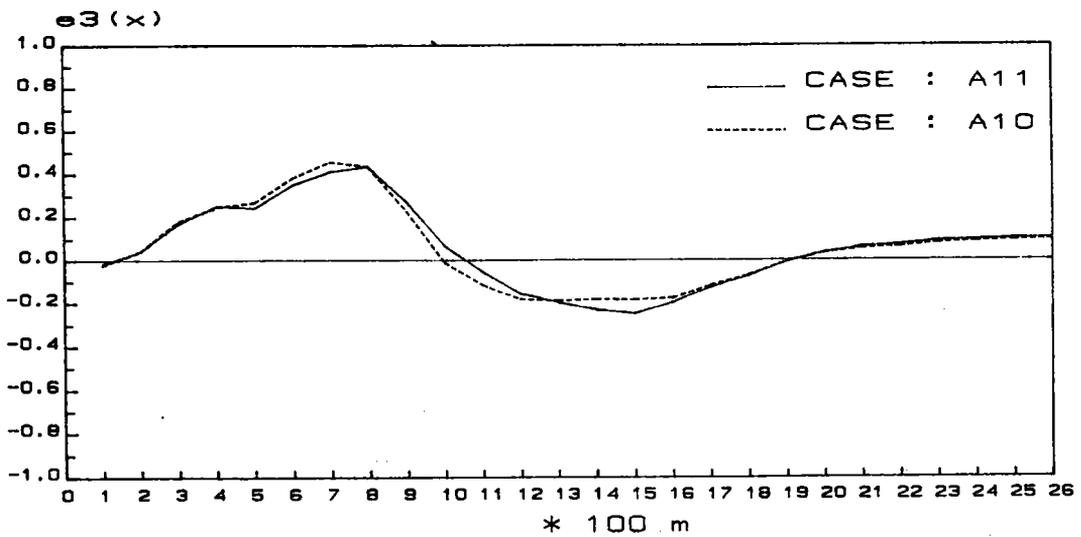
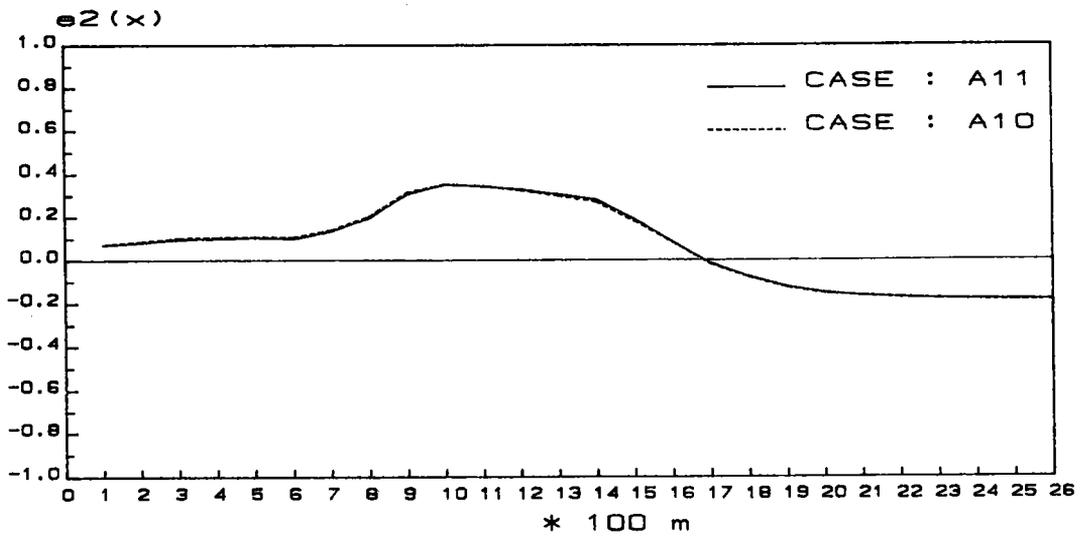
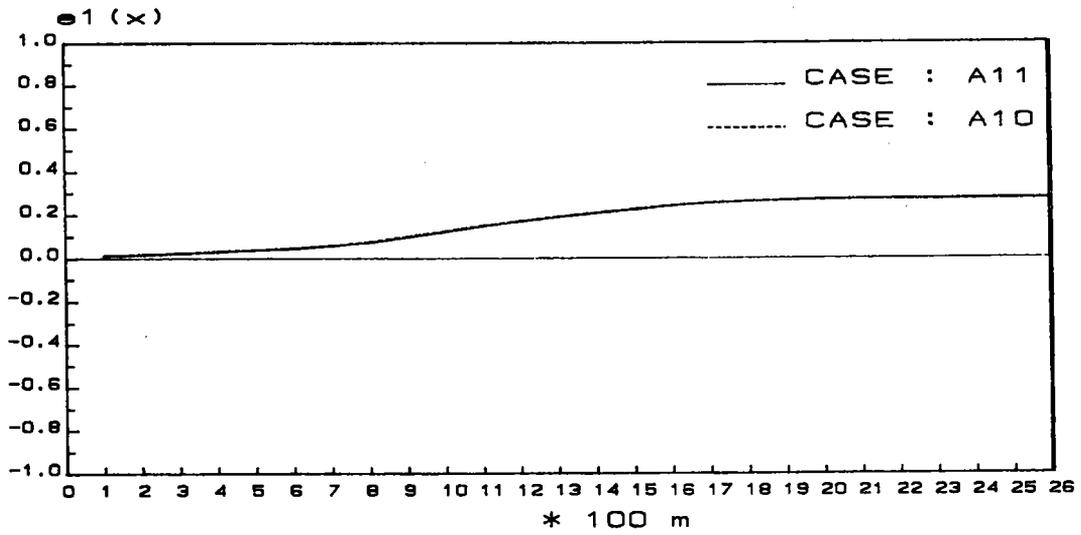


圖 4-7 向、離岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖

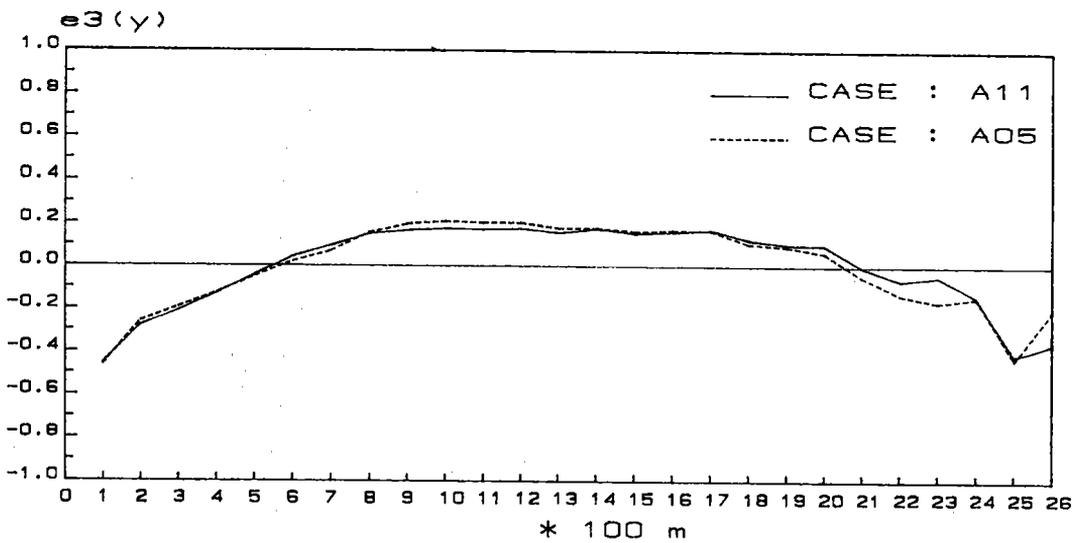
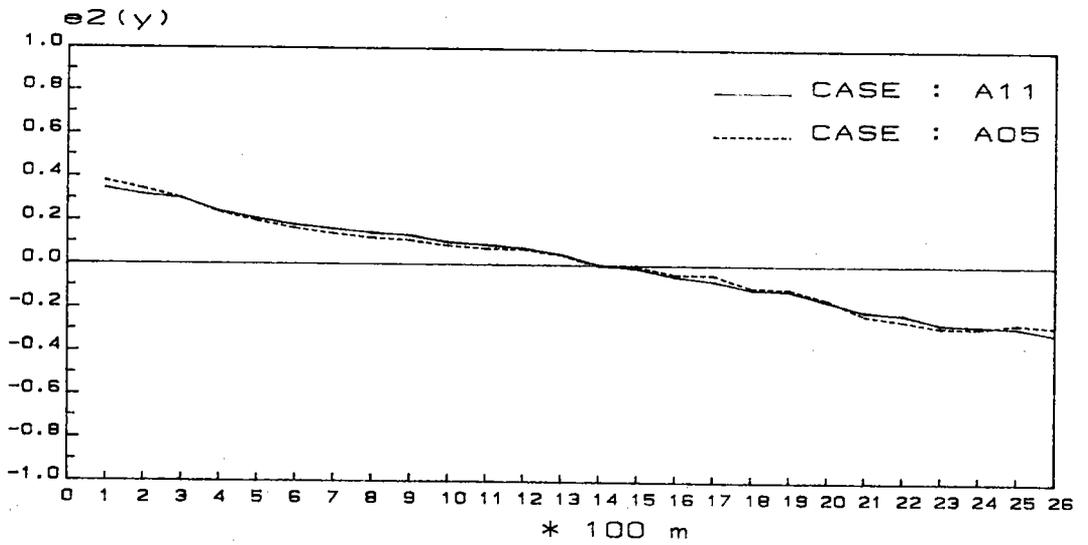
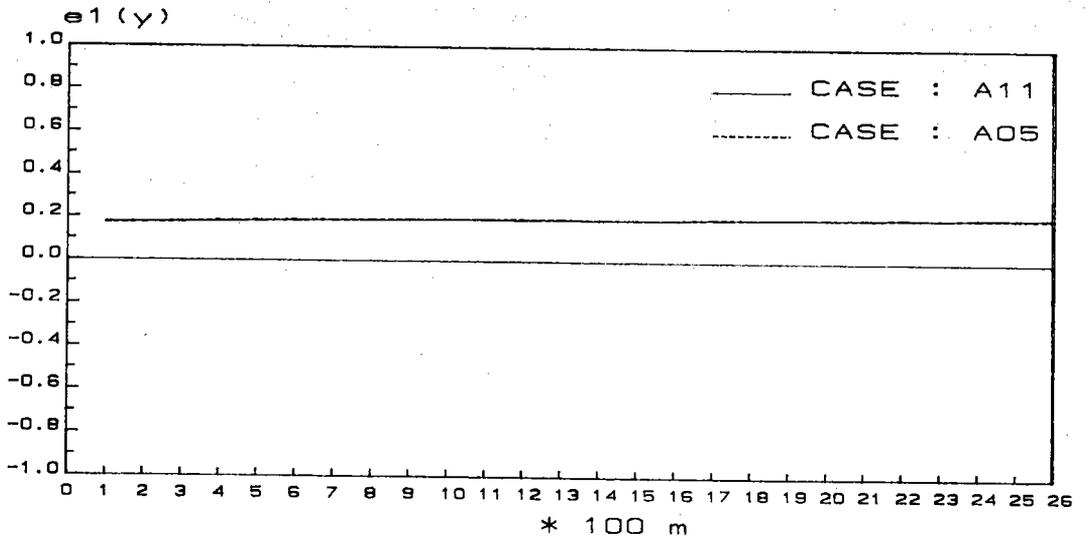


圖 4-8 沿岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖

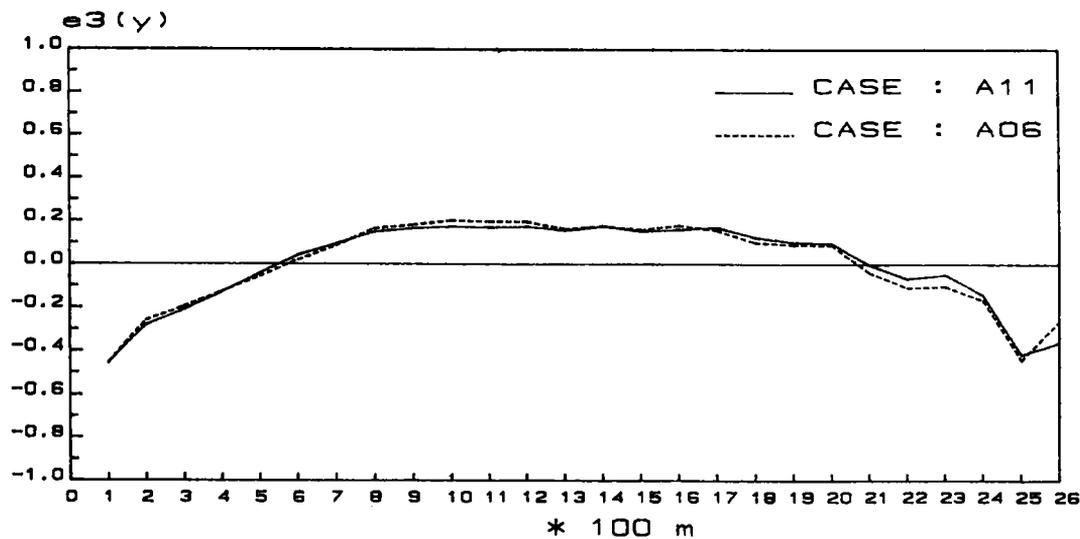
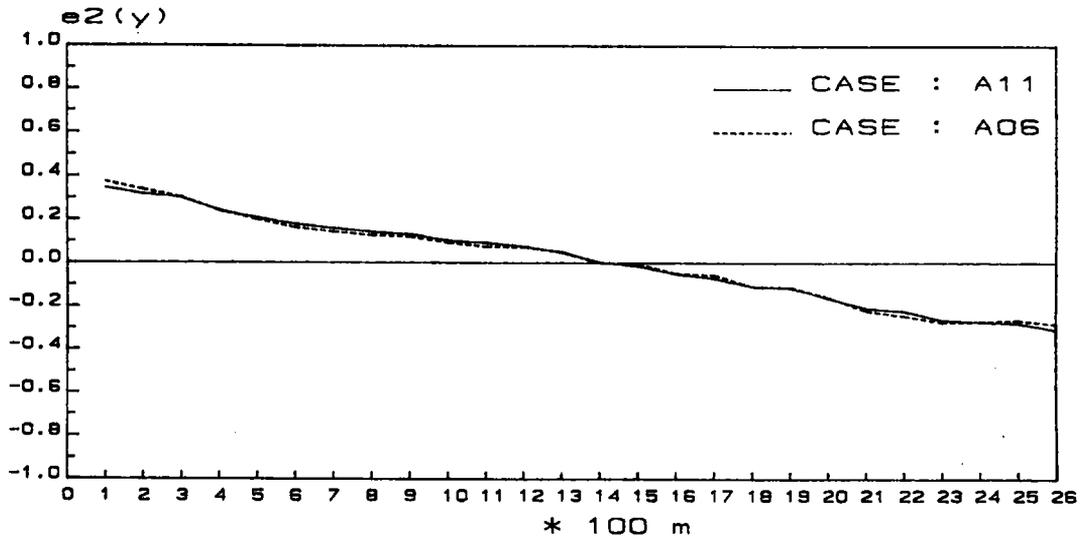
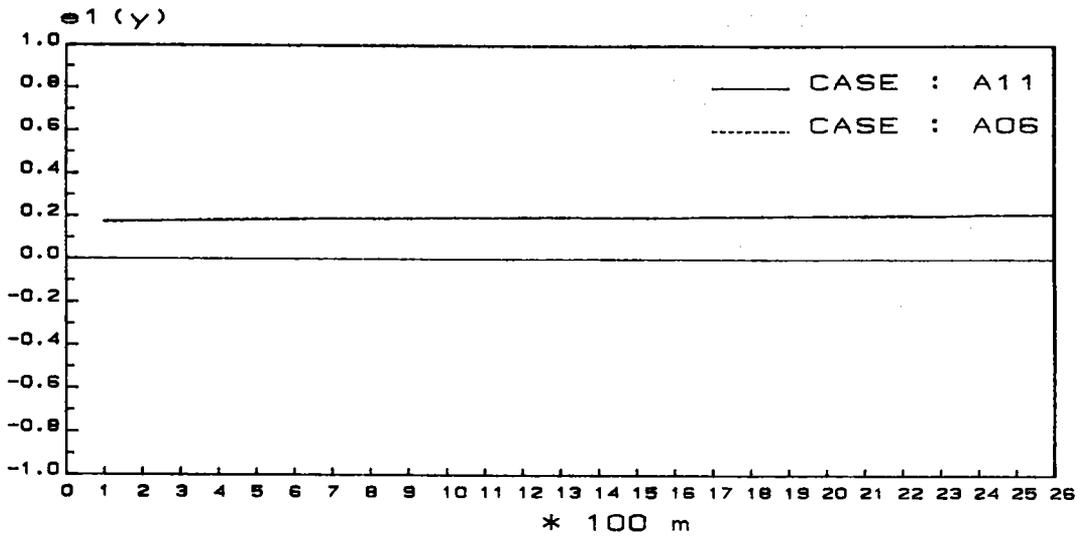


圖 4-9 沿岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖

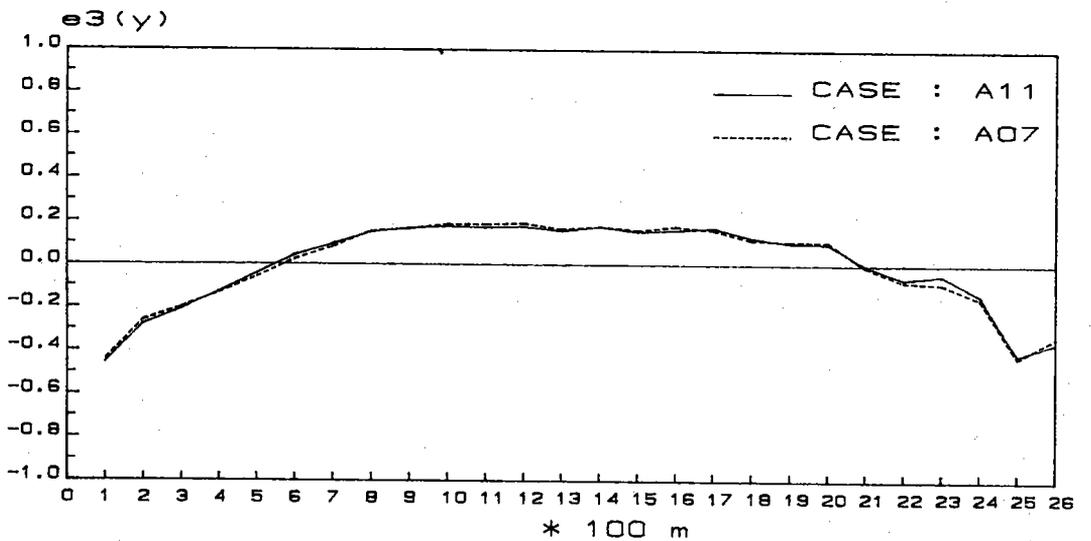
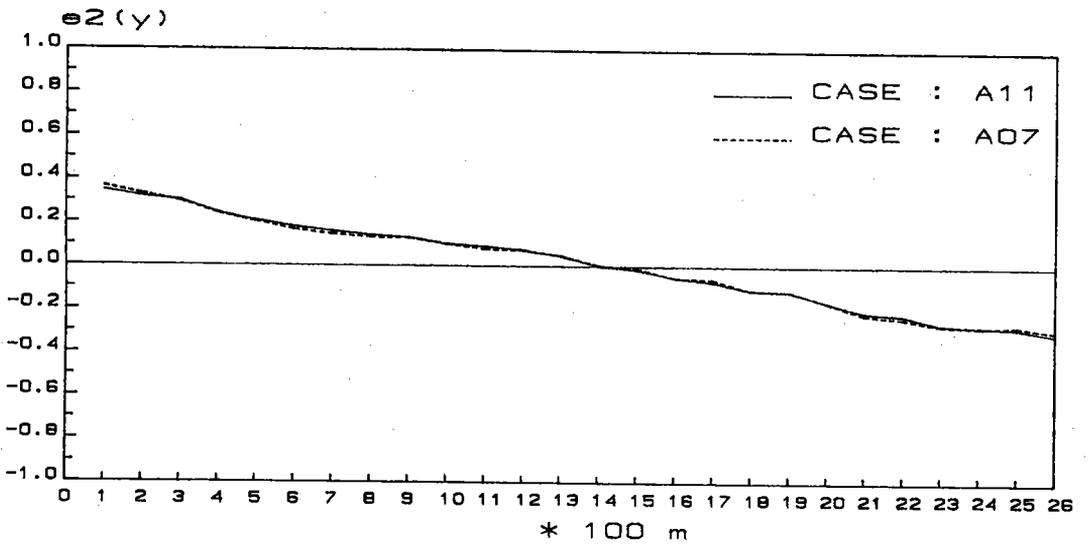
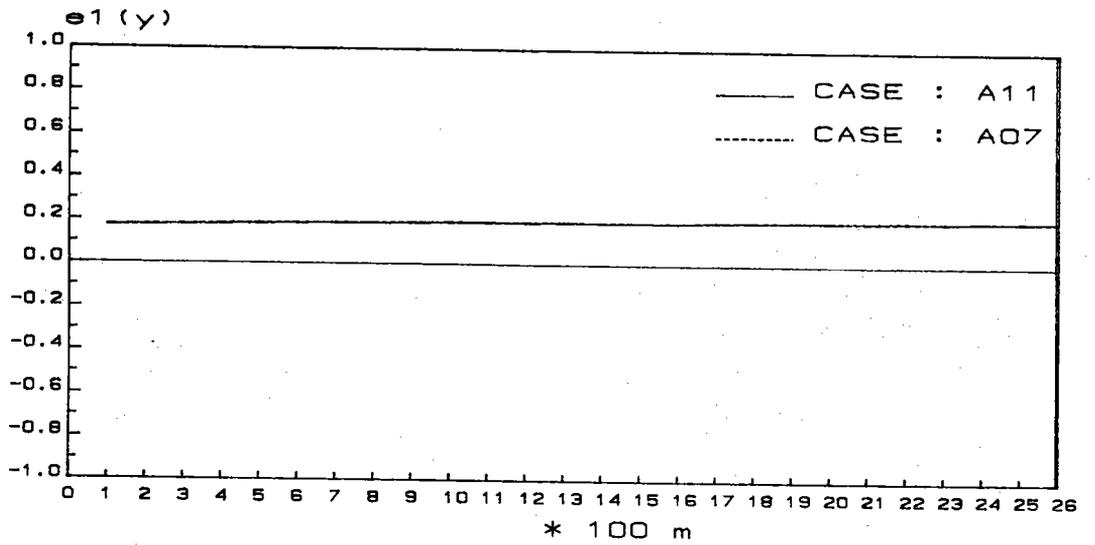


圖 4-10 沿岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖

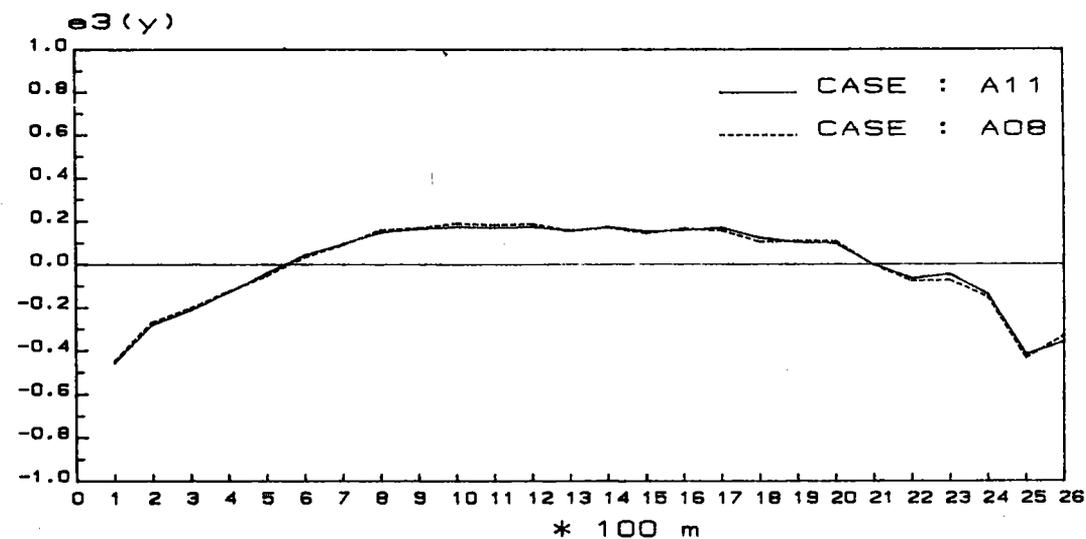
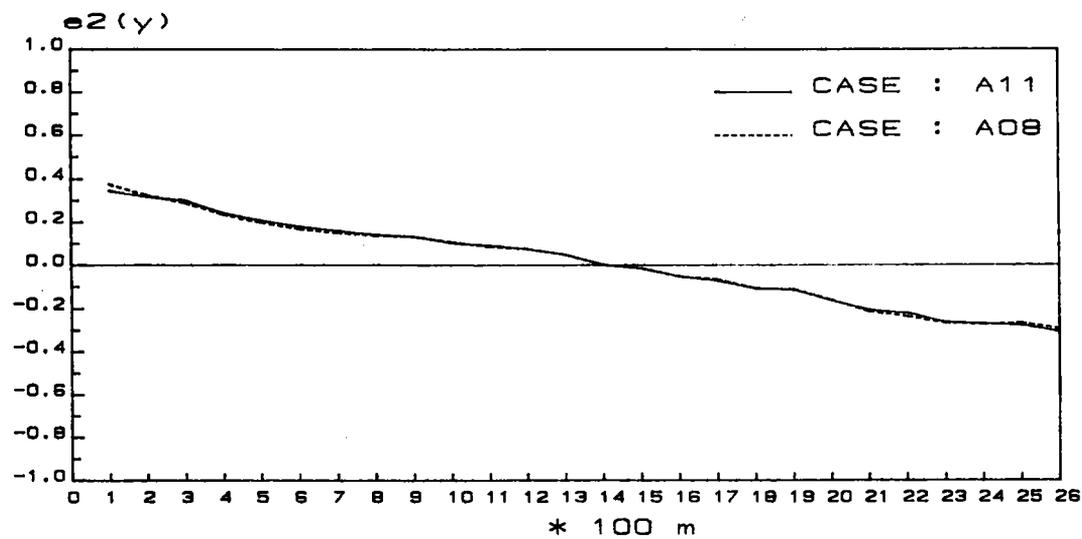
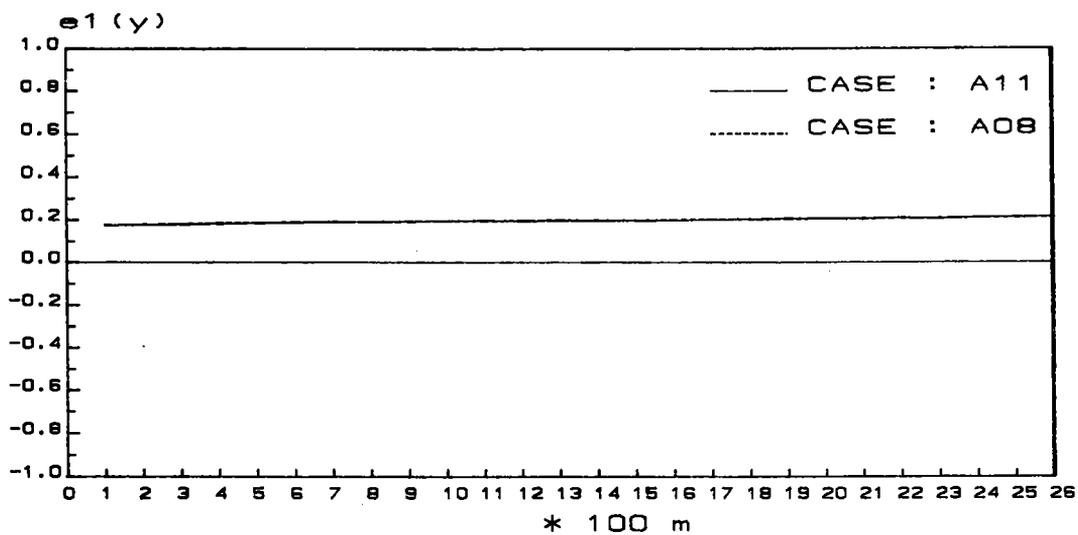


圖 4-11 沿岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖

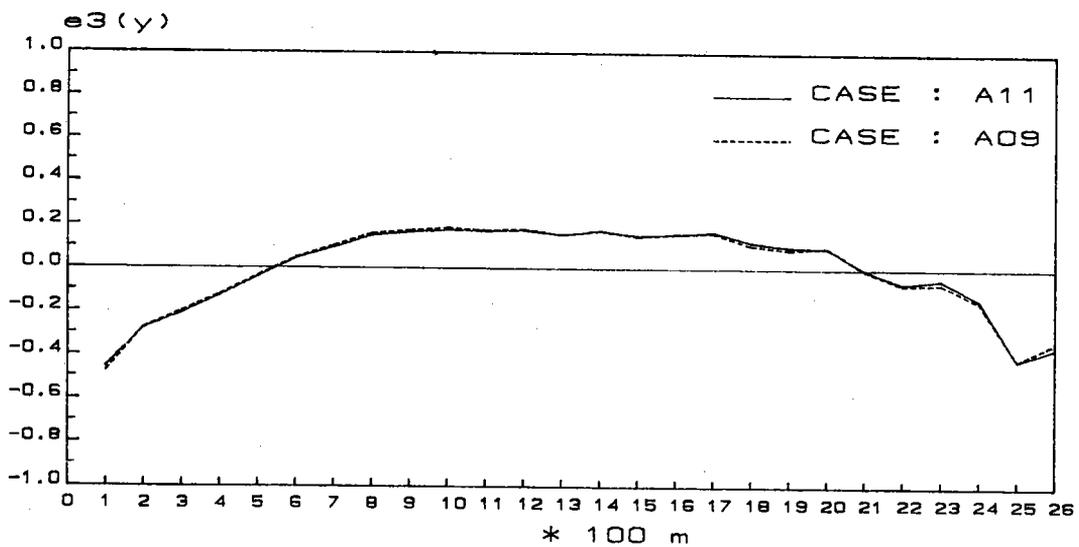
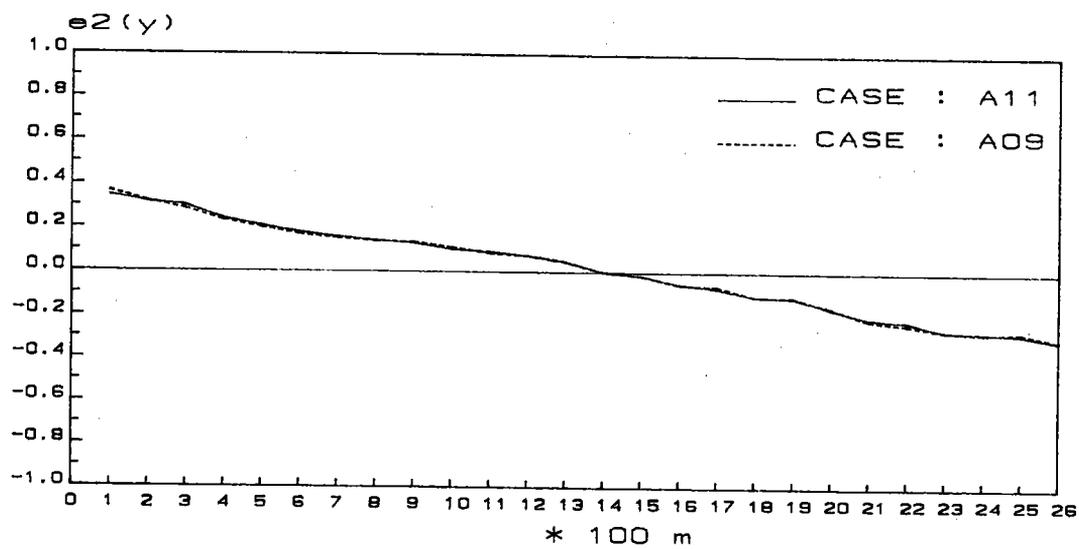
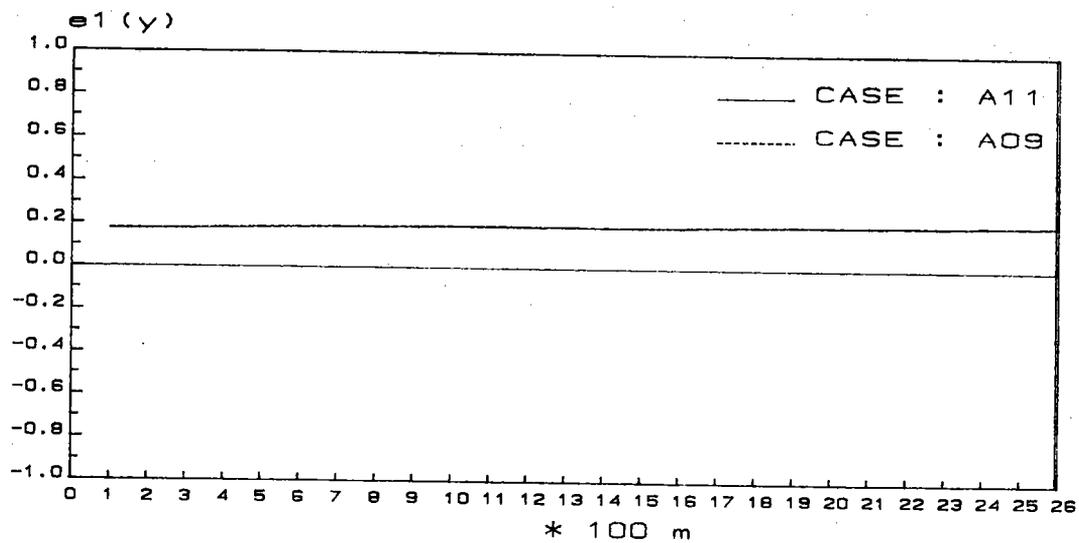


圖 4-12 沿岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖

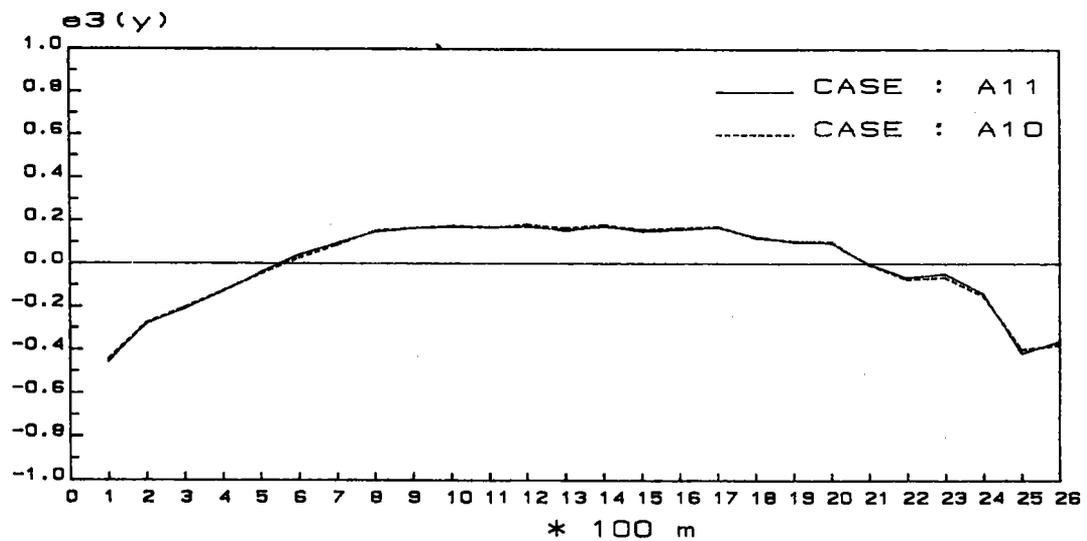
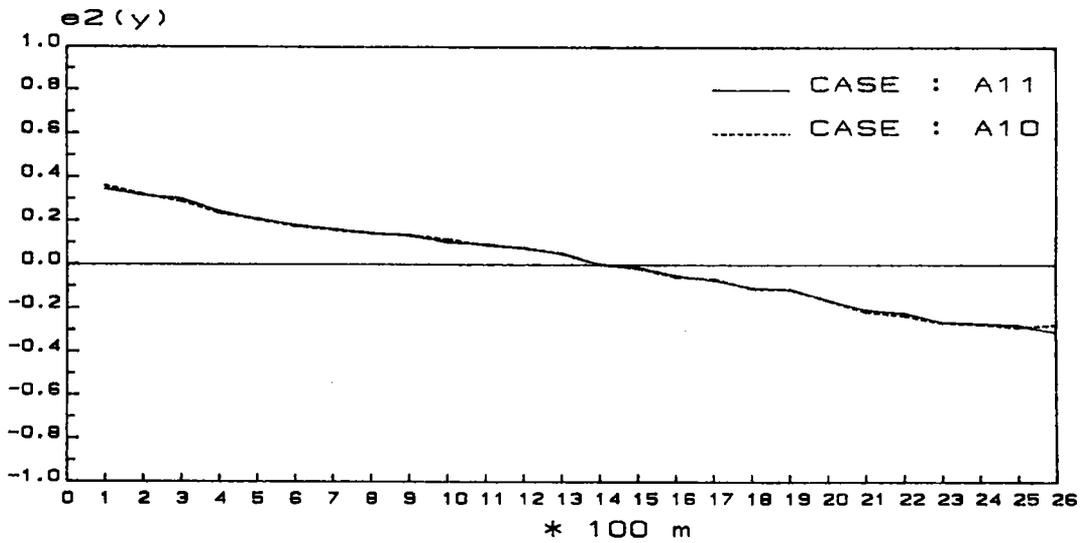
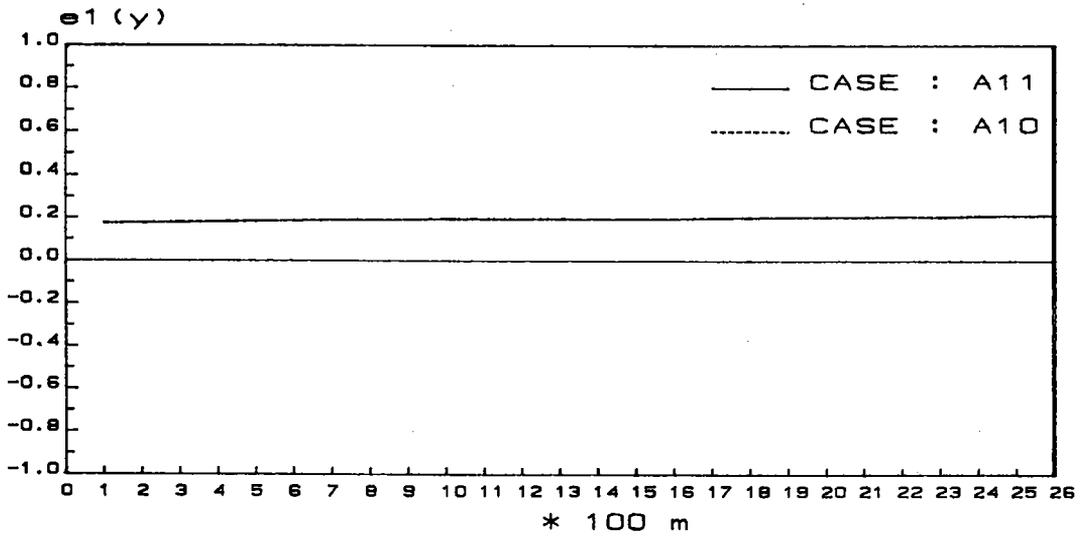


圖 4-13 沿岸各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖

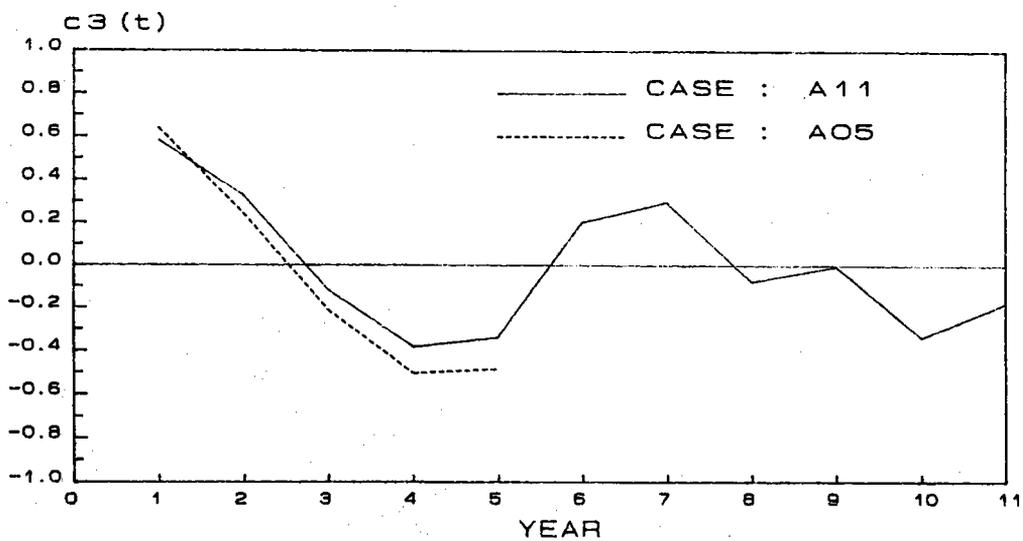
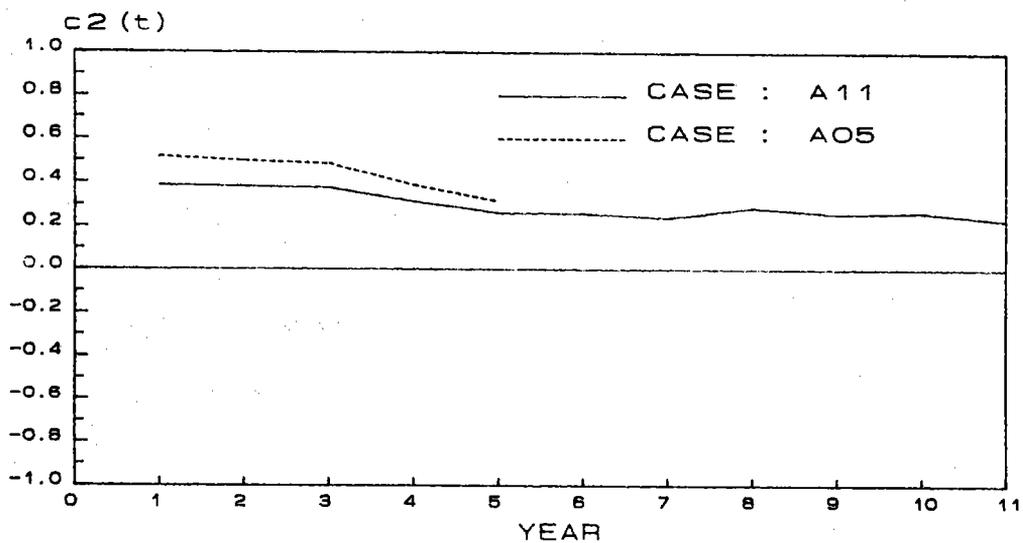
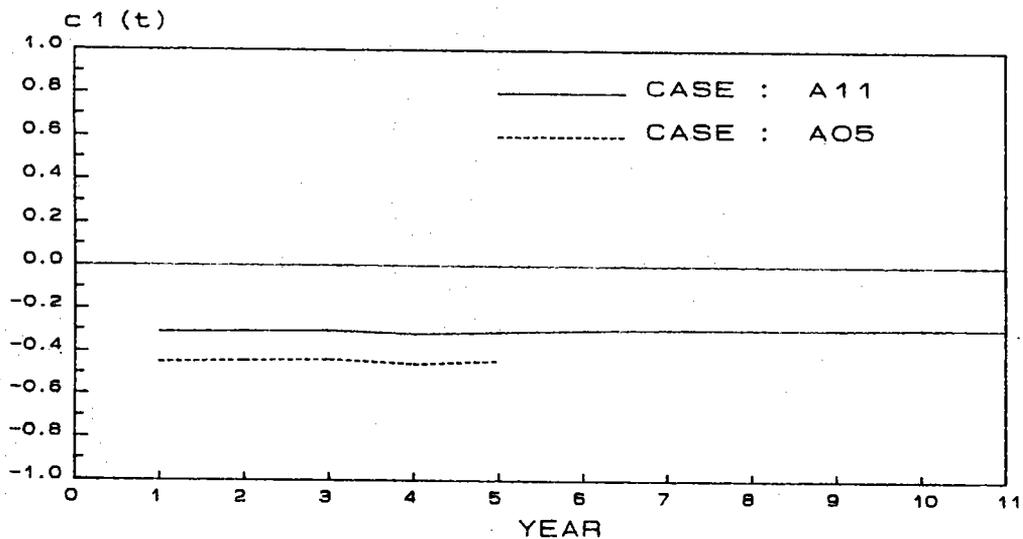


圖 4-14 時間各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖

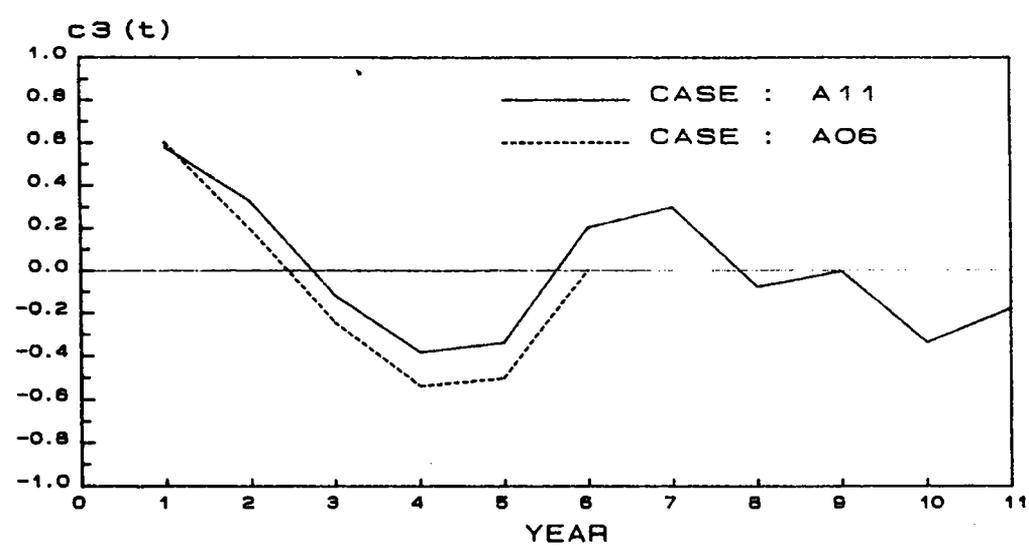
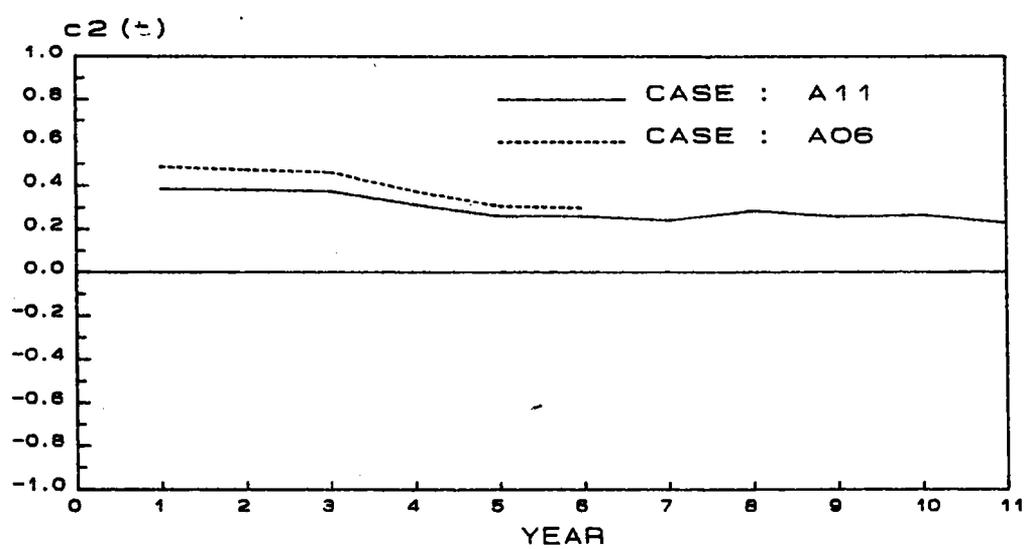
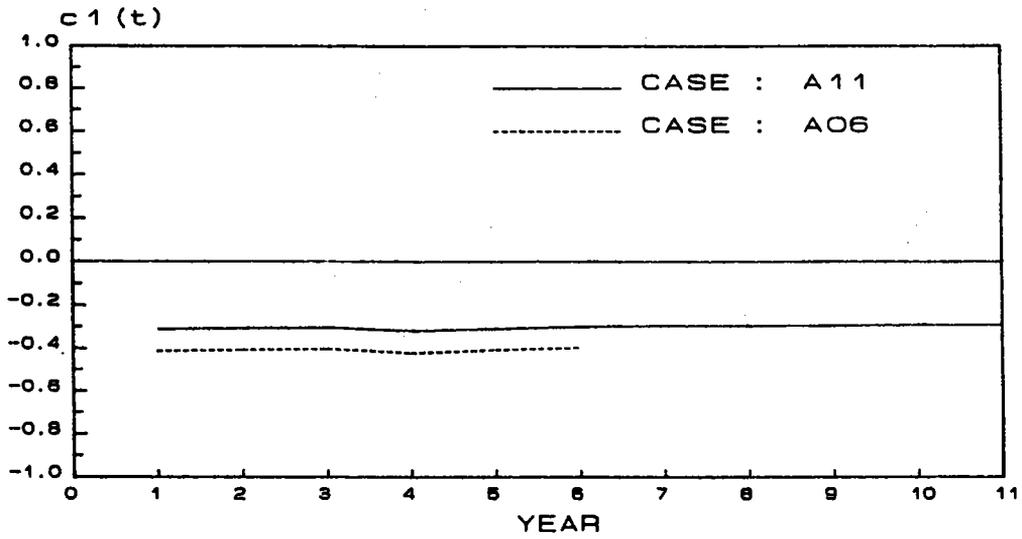


圖 4-15 時間各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖

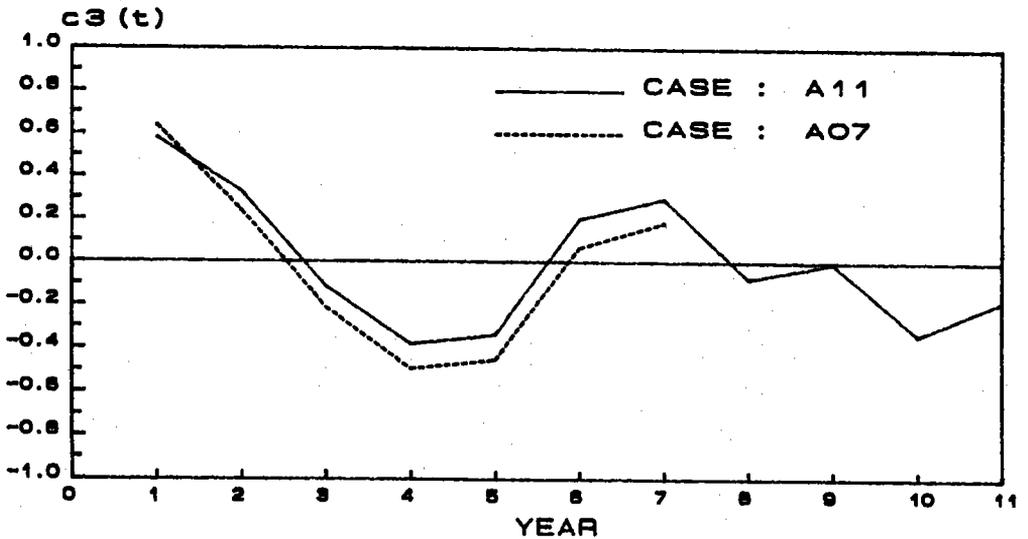
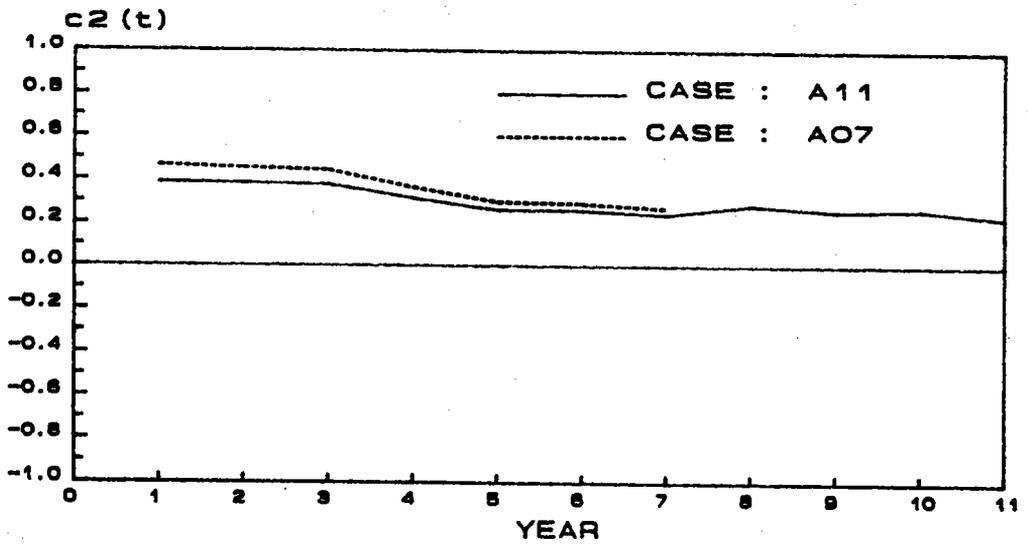
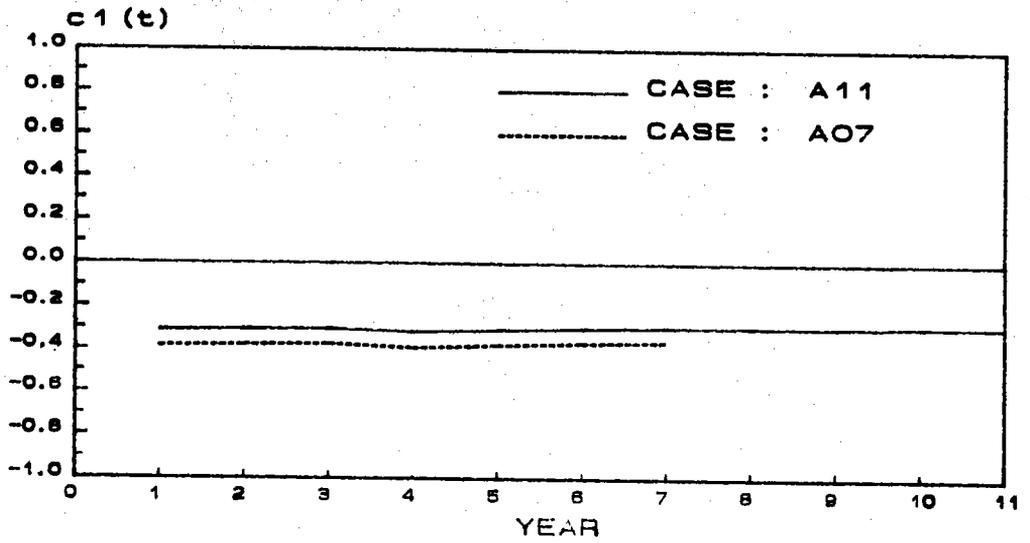


圖 4-16 時間各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖

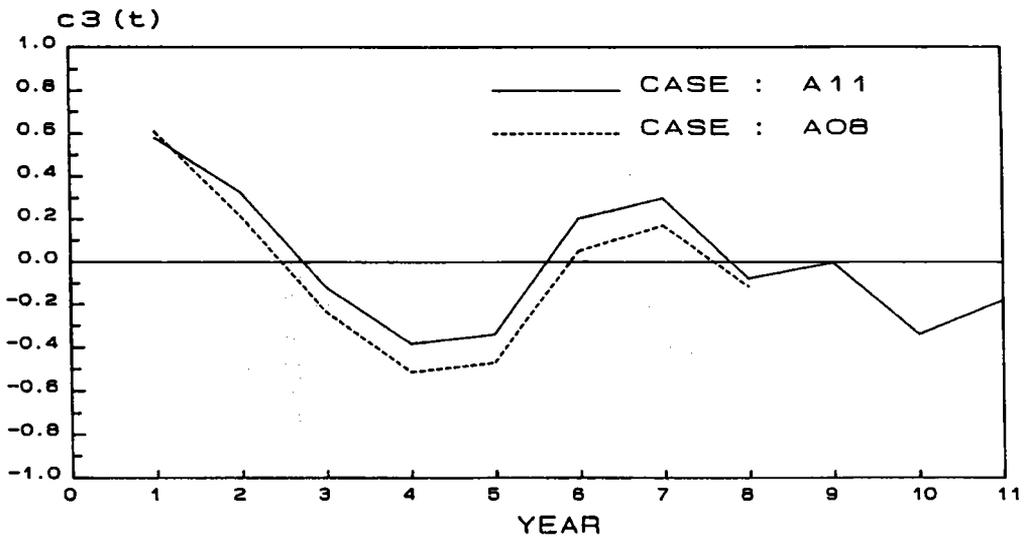
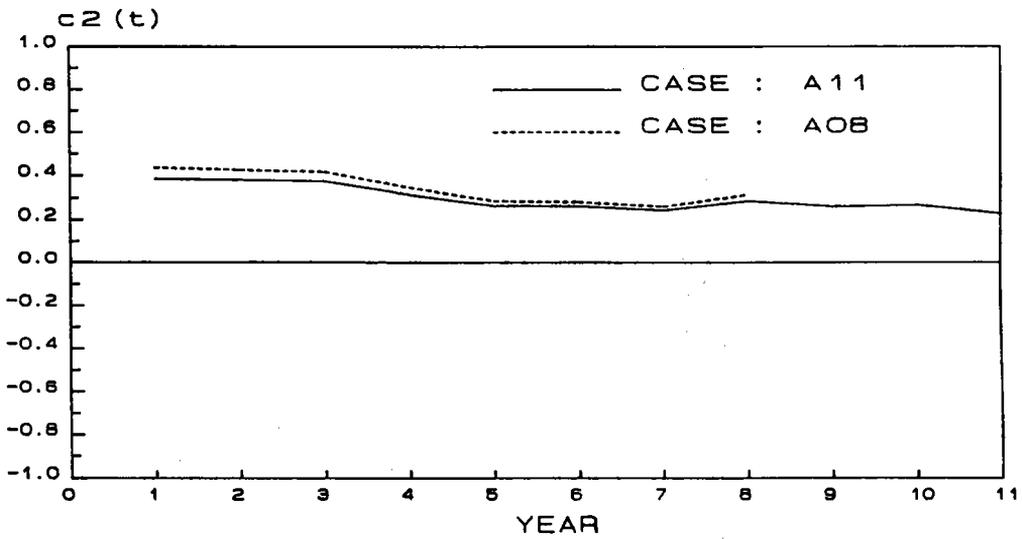
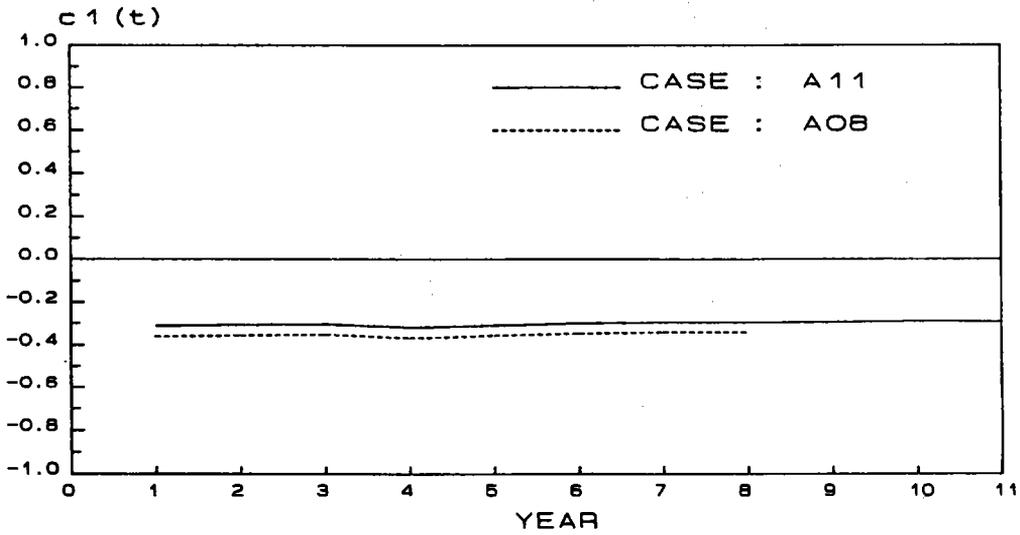


圖 4-17 時間各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖

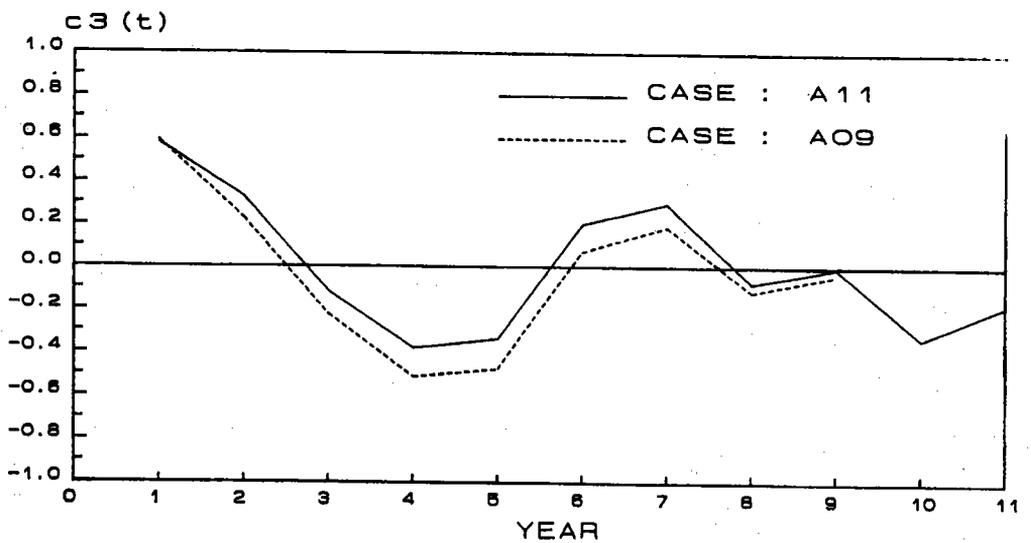
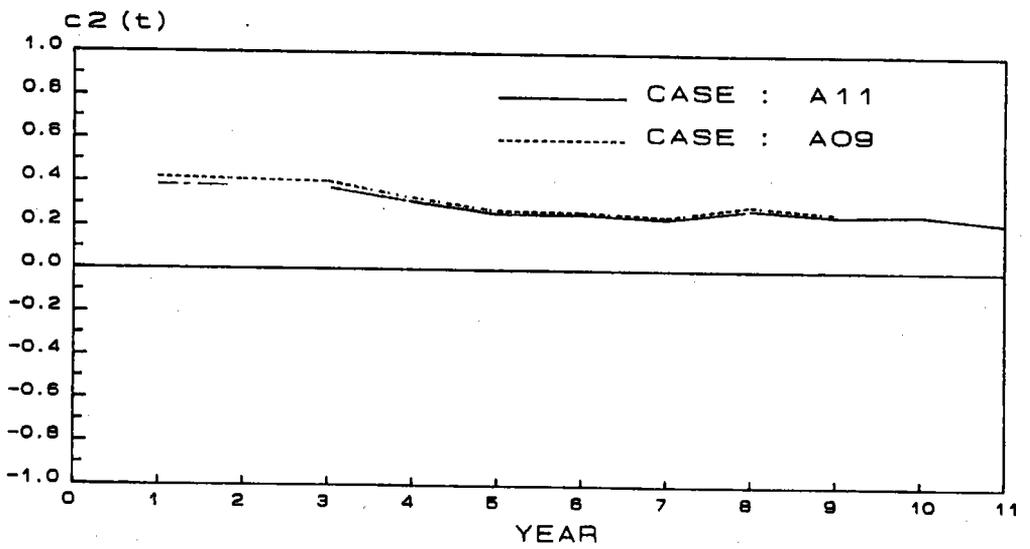
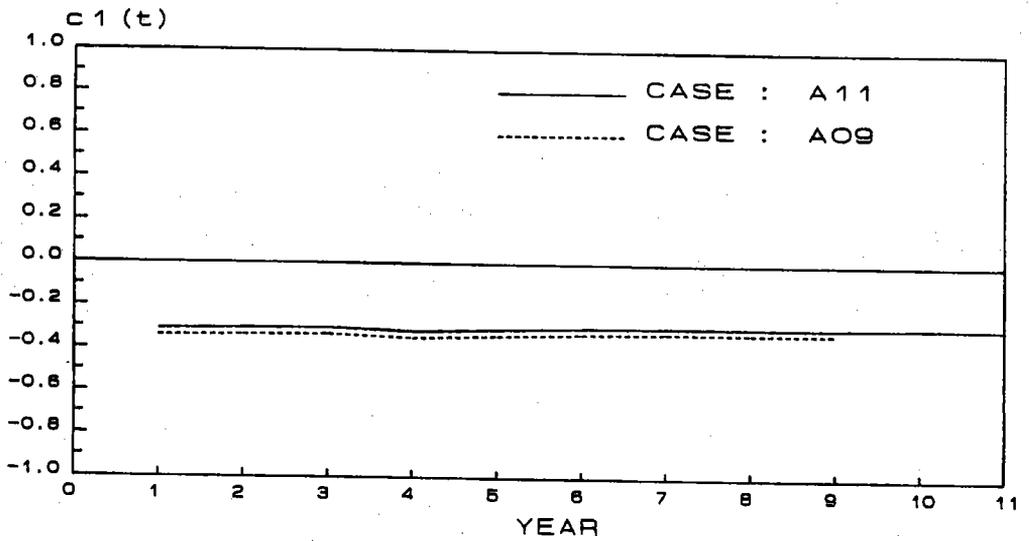


圖 4-18 時間各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖

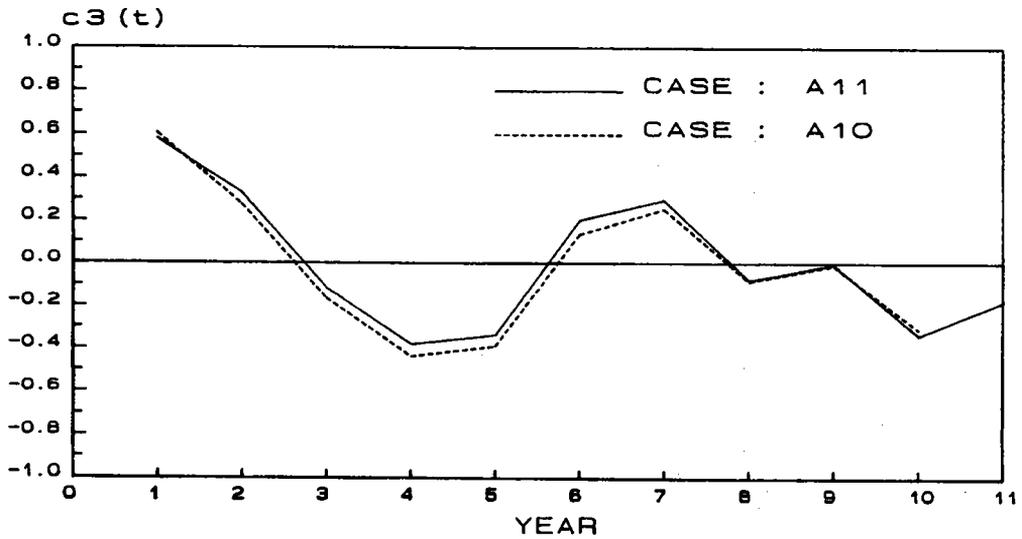
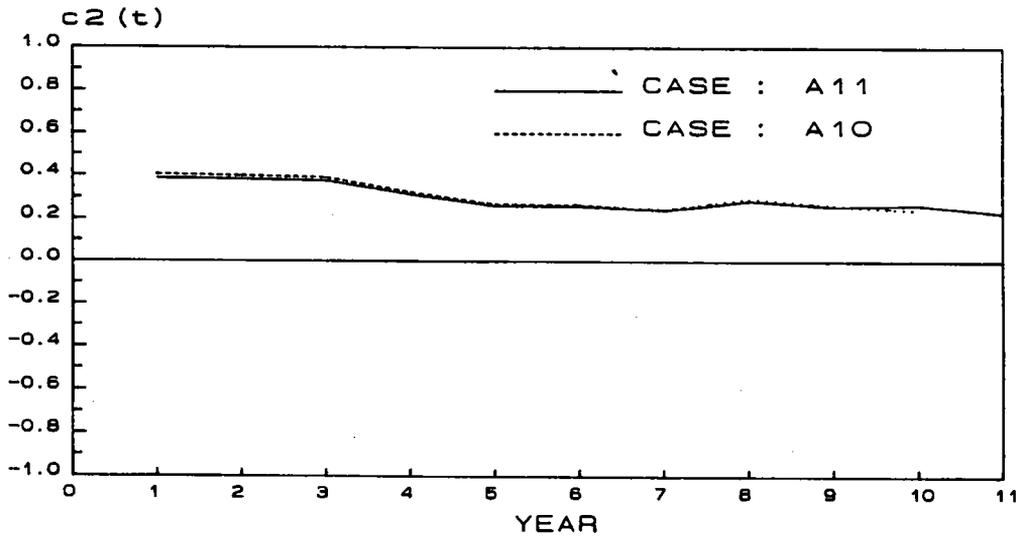
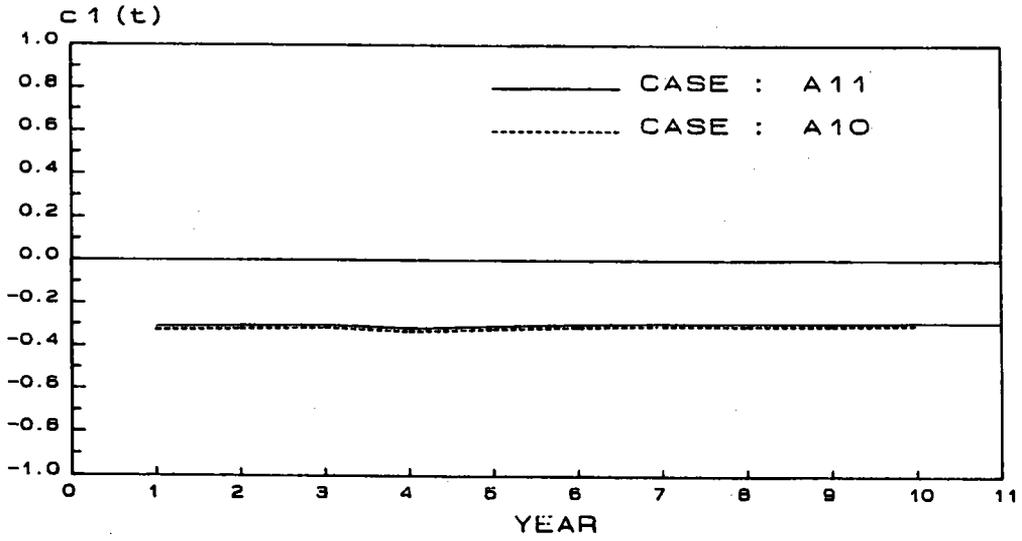


圖 4-19 時間各時段第一、第二、第三特徵函數比較圖

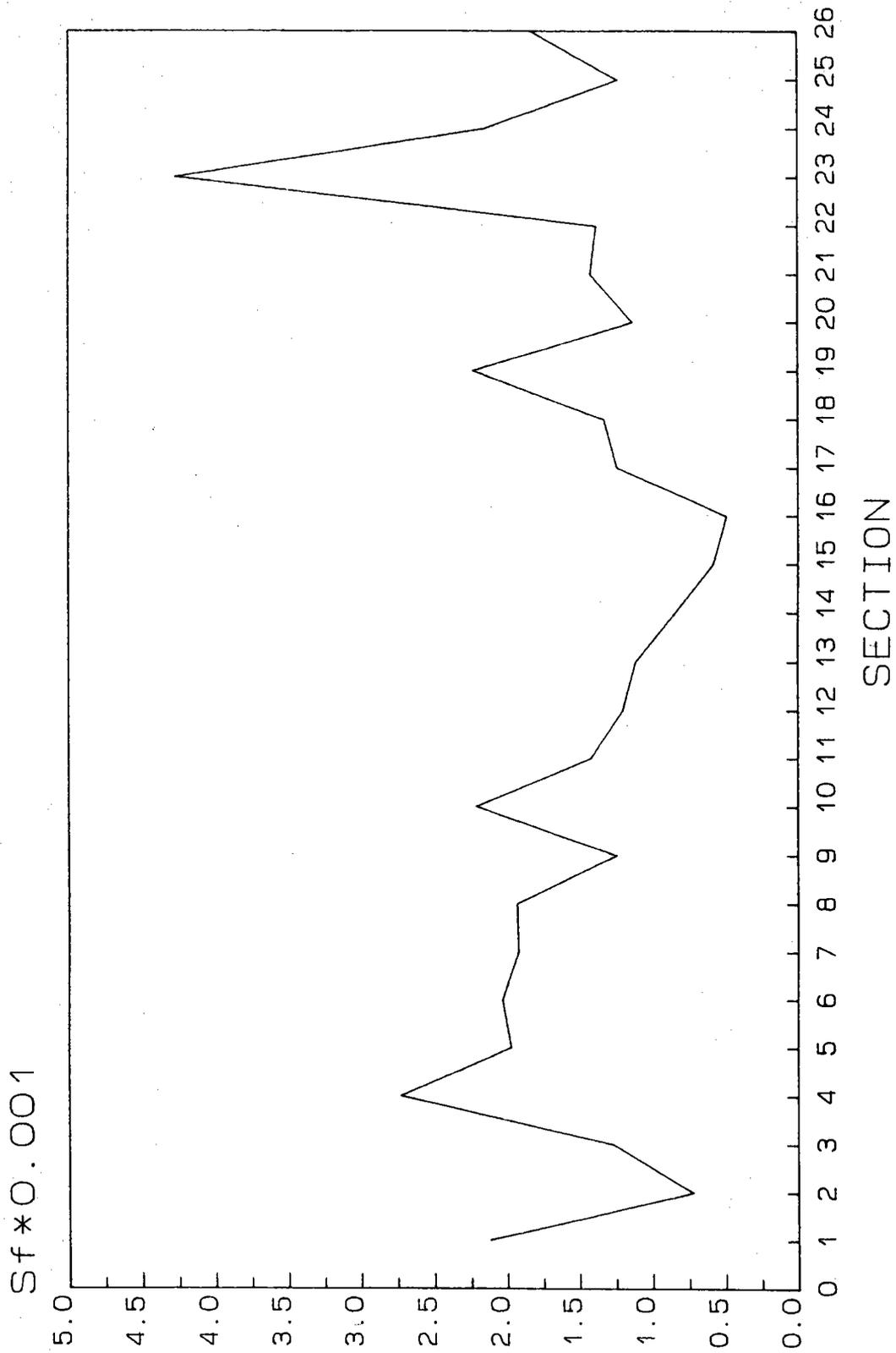


圖 4-20 各斷面預測值與實測值之偏差率比較圖

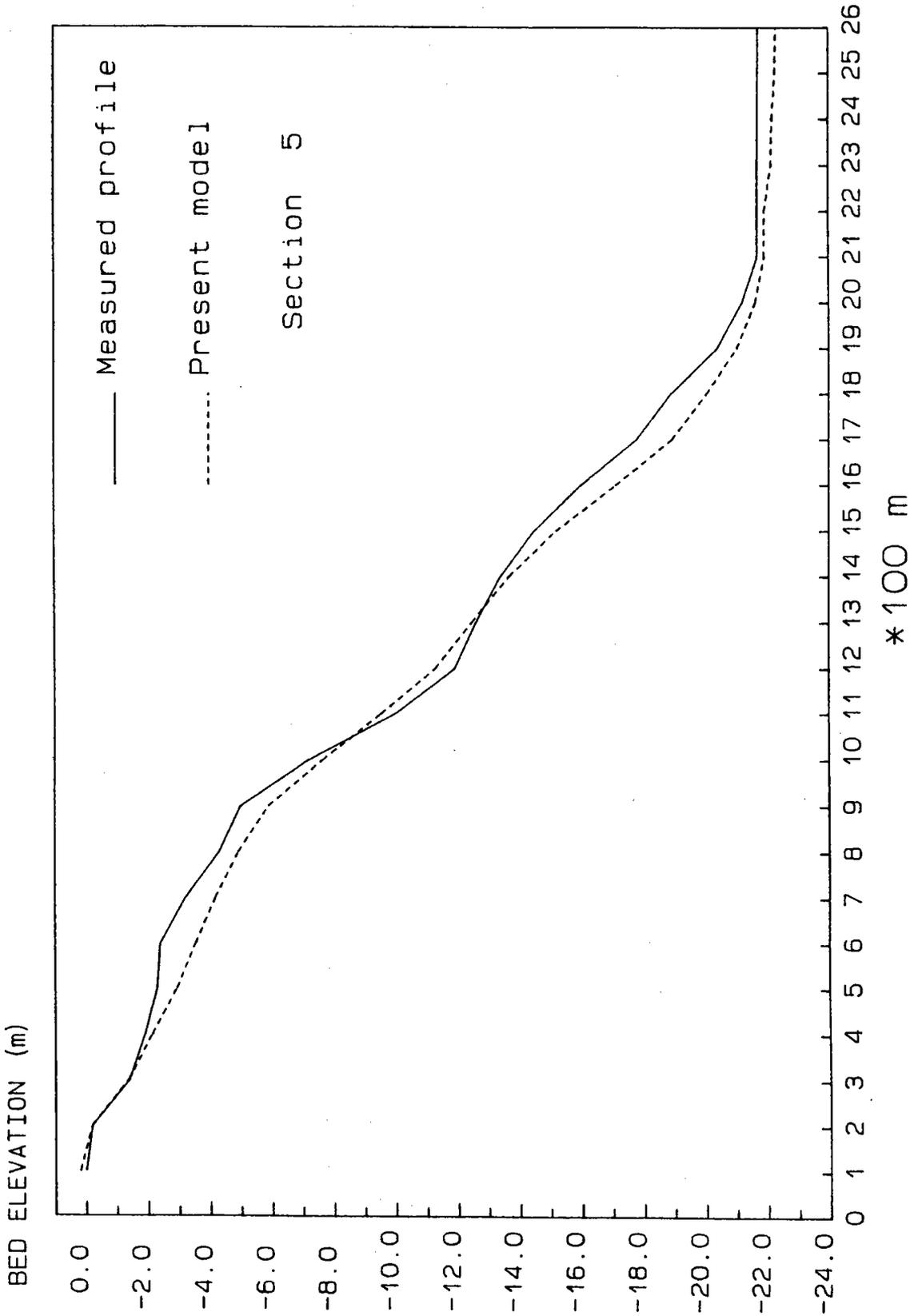


圖 4-21 断面5之預測值與實測值比較圖

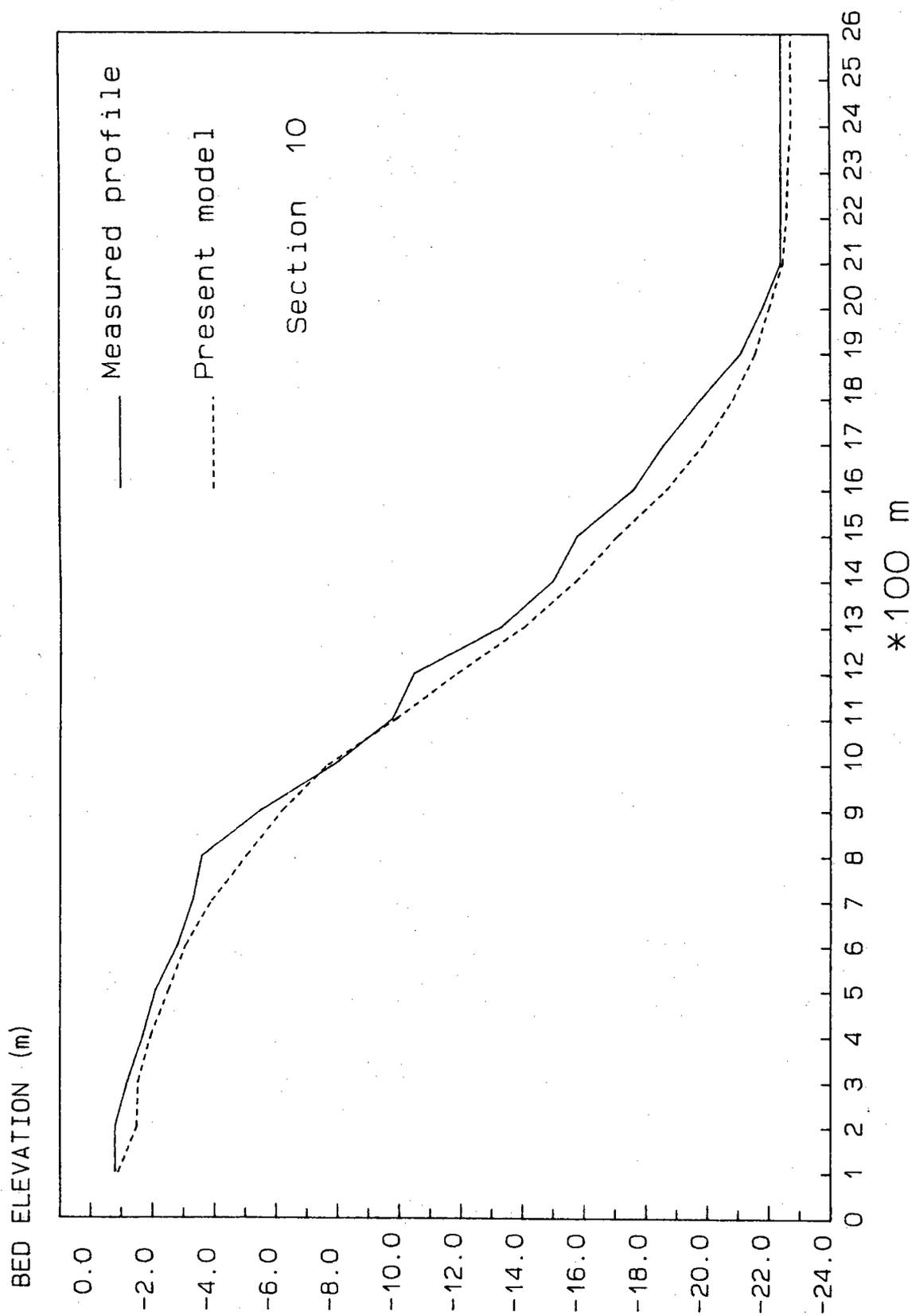


圖 4-22 断面10之預測值與實測值比較圖

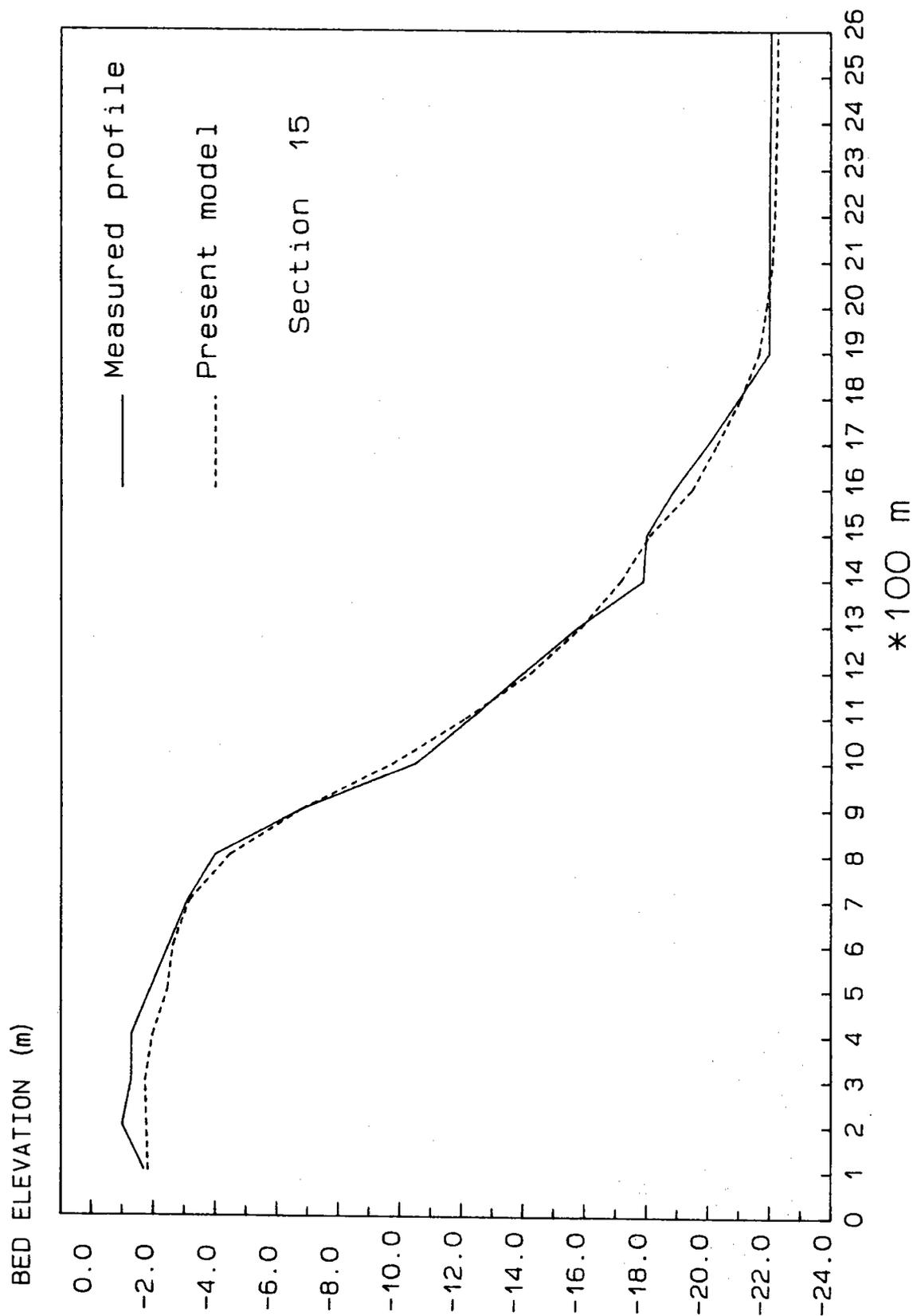


圖 4-23 断面15之預測值與實測值比較圖

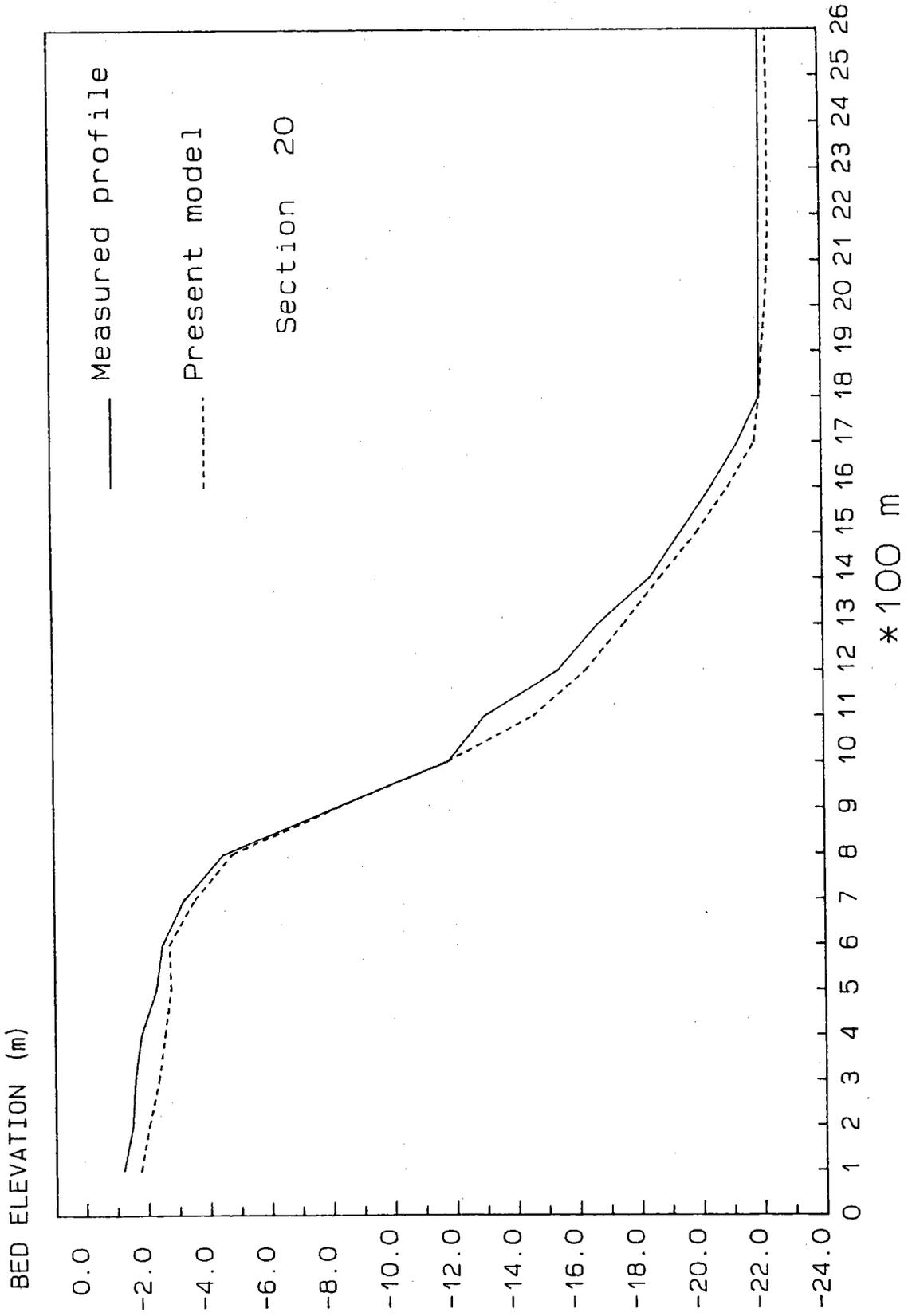


圖 4-24 断面20之預測值與實測值比較圖

## 五、結 論

本文經由海氣象之資料收集，現有地形測量圖等比較分析，再同時利用現有的基本量測資料，建立了二維經驗特徵函數，經由以上各章節的討論得到以下之結論：

一、台中港附近海域具影響漂沙的自然環境資料如風速與風向、颱風、潮汐、波浪及海流等作分析及說明，至於本區漂沙或飛沙量則限於經費未進行現場實地觀測。對於新生地開發所須的其他相關資料，則將於後續的計畫中進行蒐集與分析。

綜合而言台中港附近的海氣象特性可以簡略的概述為冬季東北季風強勁，風速可達20公尺/秒以上，是飛沙劇烈活動的時期；夏季西南季風則明顯較微弱，風向也較不穩定。颱風受中央山脈阻擋對台中港影響不大，以對台中港較有危害的颱風路徑而言，年發生頻率僅0.34次。潮汐主要為半日潮及全日潮，其潮差可達6公尺以上，是本區的潮汐特色。冬季的示性波高月平均值皆大於1.6公尺，夏季則皆小於0.7公尺，可見本區波浪與季風有密切關係。波浪尖銳度大部份分佈於0.005至0.035之間，冬季示性波高大於2.0公尺其連續發生的平均時間高達1.27天，可見本區冬季浪況不佳。20年及100年復現期距的示性波高極端值分別為6公尺及6.75公尺左右。海流成份包含潮流、風驅流、恒流及沿岸裂流，夏季以潮流為主，高潮位時流向西南，低潮位時流向東北，平均流速約半節至1節。冬季以風驅流為主，流向大致與風向相近，平均流速約1節至2節。恒流流速約半節流向東北。沿岸裂流在港口防波堤堤頭附近明顯存在，當東北季風期堤頭附近的流速可高達4節以上。在冬季季節風期間(82年12月到83年4月)，風的平均風向偏東6.5度，浪的平均波向為西北偏北4.5度。

二、經由以上近20年之地形資料的分析研判，結果得知四條等深控制線無論在何種天候條件下，其統計的結果為

(1) -5m 等深線斜度為0.563

-10m 等深線斜度為0.700

-15m 等深線斜度為0.793

-20m 等深線斜度為0.717

(2) -5m 等深線每年平均前進約24公尺

-10m 等深線每年平均前進約33公尺

-15m 等深線每年平均前進約26公尺

-20m 等深線每年平均前進約29公尺

(3) 0m 到 -5m 之平均水深為2.42公尺

-5m 到 -10m 之平均水深為7.2公尺

-10m 到 -15m 之平均水深為12.53公尺

-15m 到 -20m 之平均水深為17.73公尺

(4) 0m 到 -5m 之縱剖面平均坡度為0.0036

-5m 到 -10m 之縱剖面平均坡度為0.0274

-10m 到 -15m 之縱剖面平均坡度為0.0561

-15m 到 -20m 之縱剖面平均坡度為0.0571

以上四組統計結果可做為往後對台中港北防波堤與北防沙堤間之地形預測之參考。

三、二維特徵函數應用於台中港北防波堤與北防沙堤間堆積區域之預測效果相當良好，其由8年樣本長度即可準確的推測。由8年資料推測3年後之地形變化再與實測值比較，結果發現其偏差率在千分之2左右，同時由特徵值皆相當接近，可判定本區域之地形成長相當穩定，此與由現場資料分析結果相同。

## 參考文獻

1. "台灣四周海象、氣象調查研究(二)", 基本研究(三), 港灣技術研究所, 76.6。
2. "台灣各港口潮汐相關性與預報模式研究", 基本研究(十三), 港灣技術研究所, 81.6。
3. "台中港北側淤沙區漂飛沙整治規劃研究", 台中港務局, 81.10。
4. Lawson, N. V. & C. L. Abernethy, "Longterm wave statistics off Botany Bay", Proc, 2nd Aastralian Conf. on Coastal and Ocean Eng., PP.167-175, 1975。
5. "水文資料分析與電子計算機應用手冊", 台灣省水利局, 1982.8。
6. 瀨宗一及橋本典明, "田子の浦港における長周期波の特性", 海岸工學講演會論文集, 第30回, PP.163-167, 1983。
7. "台灣四周海岸波浪推算數值模式研究", 基本研究(二), 港灣技術研究所, 74.6。
8. "台中海岸流況調查研究", 基本研究(二), 港灣技術研究所, 72.6。
9. "台中港港口流況調查報告", 專刊第6號, 港灣技術研究所, 71.6。
10. "台灣四周海象、氣象調查研究(一)", 基本研究(二), 港灣技術研究所, 75.6。
11. "台中港港口流況調查研究", 第一部份: 流況調查, 專刊第50號, 港灣技術研究所, 77.6。
12. "沉箱式防波堤施工中海床沖刷防治研究(流況調查)", 專刊第76號, 港灣技術研究所, 81.5。

13. Hashimoto, H. and T. Uda., "Analysis of beach profile changes at Ajigura by empirical eigenfunction", Coastal Eng. in Japan, Vol. 22, PP. 47-57. 1979.
14. 歐善惠、王順寬、許泰文、廖學瑞, "二維海灘地形變化分析與預測" 第八屆海洋工程研討會, PP. 397-418, 1985。
15. Hsu, T.W., S.R. Liaw., S.K. Wang and S.H. Ou., "Two-dimensional empirical eigenfunction model for the analysis and prediction of beach profile change", Proc. 20th Intern. Conf., ASCE, PP. 1180-1195. 1986。
16. 歐善惠, "二維海灘地形變化分析與預測", 國科會 NSC 77-0410-E006, 1988。
17. 歐善惠, "海岸結構物附近地形變化分析與預測", 農委會 79 農建-7.1-林-25(6), 1990。
18. Hsu, T.W., S.H. Ou., and S.K. Wang., "On the prediction of beach changes by a new 2-D empirical eigentunction model", Coastal Eng. 1994。(已接受)。
19. 林柏青、蔡立宏、黃清和, "外傘頂洲沿岸波能及漂沙量之推算研究", 第十四屆海洋工程研討會, PP. 515-531, 1992。

台中港漂沙防治與新生地開發

編輯者：張金機、邱永芳、簡仲環、何良勝

發行者：張金機

發行所：台灣省政府交通處港灣技術研究所  
台中縣梧棲鎮臨海路83號  
電話：(04)6564216

承印者：建州企業公司  
電話：(04)6270966

本書印製 150 本，非賣品