

# 雲嘉海岸保育及開發研討會

## 目 錄

1. 雲林海域開發相關調查研究 ..... 1-1  
黃煌輝 臺南水工所所長
  
2. 嘉南沿海沙洲島的變遷分析  
—— 利用多時衛星影像及航照 ..... 2-1  
吳啓南 工研院能資所
  
3. 外傘頂洲侵蝕調查與雲嘉海岸開發研究 ..... 3-1  
張金機 港灣技術研究所所長
  
4. 臺灣西部海岸資源的經理及展望 ..... 4-1  
黃金山 水利局總工程司

# 雲林海域開發相關調查研究

黃煌輝

## 一、前言

雲林縣西海岸位在濁水溪南岸，北港溪北側間之大片淺灘海域，而濁水溪之河川輸砂由於受到經年自北向南之優勢波浪與沿岸水流運動傳輸（請參閱國立成功大學台南水工試驗所第 128 號研究報告），因此雲林濱海地區逐漸形成淤積性海岸，甚至形成許多沙洲，其中最著名的外傘頂洲即位在雲林嘉義交界之海域。由於此海域除了有活躍的漂沙活動現象外，其波浪水流亦屬特殊，因此頗受海岸工程學者的注目而引發研究的興趣，另據海洋生物，漁業學者的研究，雲林濱海地區之淺灘營養鹽豐富，是淺海漁業資源滋生地區，因此亦格外受到海洋生物學者的重視。因此，不論本海域日後是否有其他的開發行為，純就學術或工程的觀點實有加以研究探討的必要，然而以往國內產、官界並不重視海洋科技之研發，雖經學、研界同仁大聲疾呼，亦不得要領，縱使國科會曾在大型防災研究計劃推動時，亦僅提供部份經費從事濁水溪河口附近相關之研究，其他則由縣政府為因應局部性之開發工程而委託之短暫性研究，因而造成本海域相關之各項水文、海氣象以及海域環境條件資料之匱乏，實為學、研及工程界眾所週知之事實。

---

國立成功大學水利及海洋工程所教授

國立成功大學台南水工試驗所所長

近十年來，台灣地區經濟快速成長，國民所得大幅提高，環保意識亦隨之高漲，境內高污染性之工廠，不論國營事業單位或民間私人企業，已漸不容於百姓，而且土地需求殷切，在諸多條件之交互影響下，許多企業公司已逐漸往國外遷移或往大陸投資，此等演變可能危及台灣地區之經濟產業結構，甚而動搖境內民生、經貿、國防工業之基礎，不可不審慎檢討、因應，在此微妙的時機上，政府乃大力推動濱海工業區之開發，其中包括彰濱工業區整體開發，六輕麥寮工業區，雲林離島工業區，以及台南市之安南科學園區，甚至台南縣的七股工業區等等。然而任何重大開發過程之際勢必或多或少會造成環境生態之影響衝擊，有鑑於此，行政院環保署乃要求各負責開發單位事前必需進行環境影響評估以因應開發過程中或營運操作後各種可能對於環境衝擊影響。在此情況下，國內各事業單位及工程單位亦遵循環境影響評估之規定辦理，期使在經濟成長與環境保護間能尋求平衡運作之空間，也藉此提昇國內環保意識。

雲林縣濱海地區已由行政院頒訂作為離島式基礎工業區，在此不論此項開發行為之決策過程正確與否，然純就環境開發保護的觀點而言，經濟部工業局及經濟部科技顧問室均已十分重視本區域之環境背景資料建立，以及相關工程技術之研究，本文乃針對本區域開發各相關之調查研究項目與內容分別說明之。

## 二、調查研究項目與內容

任何重大工程開發前之調查研究項目一般可概分為三大類，即(1)自然環境現場調查研究，(2)社經、人文調查研究，(3)相關工程調查、規劃及分析。由於本文討論之對象主要針對環境與工程，因此(2)項乃不列入探討，今就依(1)(3)兩項逐一說明如后。

(一)自然環境現場調查研究：自然環境包括海象、氣象、地象，水質與生態五大類。

其中海象之調查研究項目及內容分別為：

### 1. 波浪調查研究：

旨在實測該海域之波浪資料，即波高、週期與波向，從而分析波浪特性如 $H_{max}$ 、 $T_{max}$ 、 $H_{1/10}$ 、 $T_{1/10}$ 、 $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ 及 $H_{mean}$ 、 $T_{mean}$ 。當然能擷取颱風過境時之波浪資料對於實際工程之設計波浪更有幫助，然而因颱風波浪不易測得，實為可遇不可求。有關是項調查至少應包含東北季風波浪及夏季季風波浪兩大時段。

### 2. 海潮流流況調查研究：

海岸工程規劃設計，，漂沙活動現象，海域污染擴散傳輸等等均與海潮流運動特性息息相關，從事海潮流流況調查必需包含定點海潮流實測及漂流浮標追蹤調查，即 Eulerian 及 Lagrangian 兩種測定方法相互配合，期能掌握該海域之流速、流向與整體之流況特性。根據海潮流實測資料經由傅立葉分析 (Fourier analysis)，即可界分該海域之潮流、海流分量及其運動特性。欲能掌握海潮流之變化，一年至少應按四季分別進行實測調查，而每次施測時間至少應超過15日以上。而相對的漂流浮標追蹤調查即應配合定點實測同時進行至少12小時之追蹤 (根據Hwung et al(1984)之研究台灣西部海域之潮汐在將軍以北，淡水以南為半日潮主宰)，同時應在不同水深，例如水深 5、10、15公尺分別同時進行觀測，以瞭解整個雲林西部海域之流況。

### 3. 沿岸流之調查：

所謂沿岸流 (longshore current) 乃係波浪碎波後產生沿著岸線區域內之水流運動現象，由於河口排放之污染物或沿岸

丟棄廢物均在此區域內傳輸，另外，沙質底床海域則在此有活躍之漂沙活動，因此沿岸流調查亦為不可缺少之項目，然在潮間帶寬廣的海岸，從事是項調查研究不但困難而且十分危險，必須十分的謹慎。由於沿岸流係隨波浪運動方向與特性而改變，因此在雲林濱海地區之沿岸流調查研究亦可隨風浪之變化而分為秋冬季之東北季風與春夏季之季風兩大型態施測之。

至於氣象環境調查項目則有風向、風速、降雨量、蒸發量、日照量、濕度、氣溫等等，除了作為基本環境背景資料外，亦可供工程規劃、設計之參考。而調查觀測之型式則採自記式，其觀測時距為逐日逐時記錄方式。當然對於雲林濱海地區涵蓋內陸範圍，目前之空氣品質背景資料調查亦可包含在本項內，並應考慮背景污染源調查以及氣象條件觀測分析，以提供進行空氣污染評估作業所需之參考資料，而測定項目至少應包括一氧化碳、二氧化硫、二氧化氮、臭氧以及粒狀物 (TSP/PM10) 等等。

有關地象調查研究方面實應涵蓋陸域及海域兩方面，陸域之地象調查即為地質結構特性之瞭解，由於在濱海地區以有許多沙洲淺灘，甚至於已行成海埔新生地，日後亦可能在此區域內圍堤填築而供產業使用，將來大規模開發利用時，必定會因建築結構，機械設備之載重致使地盤產生下陷現象。因此在研究階段中即應瞭解此區域內之地質結構及地盤壓縮特性以防止地盤下陷所引起之災害與損失。針對此項調查研究之項目實應包含 (a)地質鑽探及土壤特性、力學特性試驗，(b)地下水位觀測及分析，(c)地盤下陷觀測及分析。至於海域方面之地象調查首應從事大規模之地形水深實測，藉此瞭解本區域內甚至附近海域之地形變化，從而得悉沖淤狀況，當然地形水深變化係隨季節性之波浪、水流特性而改變，然台灣西部海域之海象可歸結為秋冬型與春夏型兩大類，因此地形水深之實測宜在此兩類型海象結束後各

進行一次（即一年必需兩次），同時亦應從事漂沙調查研究，其項目乃包括海底底質取樣調查，由海底底質之物理性質（即粒徑分析、比重分析、礦物成份分析）除可瞭解海象外力與底質關係外，更能研判海底沉積物之主要來源，另外懸浮底質捕沙調查亦可藉以探知測點底質受波浪水流外力作用後之運動狀況，以供推估漂沙方向，質量輸送等等所需之資料。

對於水質調查研究亦應考慮陸域水質及海域水質之調查研究，由於雲林縣濱海地區位於濁水溪與北港溪間，此區域內計有施厝寮溪，新虎尾溪，有才寮排水，馬公厝排水，舊虎尾溪，牛挑灣溪，尖山排水路，萬松排水路等 10 條主要排水及溪流，目前陸上之污染物均直接排入河溪中而有嚴重之污染狀況，為建立濱海地區開發前之水質背景資料，宜應將目前內陸河川排水之水質納入調查研究項目，以作為日後可能有公害糾紛時之參考。而海域之水質調查研究除可作為背景資料外，亦可提供該區域開發完成，進行營運操作後污水排放處理時對該海域涵容能力 (assimilative capacity) 之重要參考。至於測定項目則應符合行政院環保署之規定即應分別調查水體之水溫、PH 值、溶氧、生化需氧量、酚類、硝酸、鹽、氮氮、懸浮固體物、油脂、磷酸鹽、重金屬（銅、鋅、鉛、鎘、鎳、六價鉻）、汞、大腸菌及化學需氧量等等，而調查施測之頻率，不論陸域或海域之水質宜按四季分別進行。

至於生態調查研究方面亦應包含陸域生態、海域生態，甚至漁業及養殖業之環境資料建立。其中陸域生態之主要工作為動物生態及植物生態之調查，動物生態調查之種類則包括鳥類、哺乳類、爬蟲類、兩生類及昆蟲類，而其調查內容包括種類鑑定、分布範圍、棲息地類型、相對族群大小及季節性變化等，而植物生態調查則包括區內植物之種類，相對豐富度、分布、季節性變化及演替階段等等。對於海域

生態則植物性浮游生物採樣調查分析、動物性浮游生物調查及底棲生物之採樣調查，以瞭解該海域生態之分布型態與季節變化。

## (二) 相關工程技術之研究

如上所述，重大工程開發之初除了應十分注重環境背景資料之建立外，對於開發過程中，甚至營運操作後可能對環境之衝擊影響亦應在此階段詳加研究，以提供減輕影響衝擊之對策，並提供工程規劃設計之參考，一般行政官僚體系時常認為投入巨資建立背景資料或相關研究為一種浪費的行為，殊不知，由於有此系統性的調查，研究提供設計之參考，可能節省之工程經費或減少日後不良的環境影響不止數十或數百倍，希望國內之產、官、學、研各界都能重視此事，有關濱海地區規劃開發前之相關工程技術研究可包括下列數項：

### 1. 河川輸砂及河口地形變化之數值模擬：

濁水溪與北港溪為本海域最主要之兩條河川，由歷年來海岸地形之變遷可瞭解濁水溪與北港溪之輸砂對此海岸地形有相當重要之影響。鑑於濁水溪是雲林縣海埔新生地砂源之主要來源之一，因此假若此濱海岸線開發後濁水溪之輸砂運動特性及其對鄰近海岸地形必有所影響。甚至在此海域南側之外傘頂洲亦可能產生變化，而增加附近海岸工程保護上之困難，因此可先由環境背景資料藉數值模擬以分析其變化現象，甚至可再深入研究尋找因應對策。

### 2. 沿海地區排水能力模擬：

在雲林西海岸區域內之地表排水系統除濁水溪及北港溪外大致上可分為12個排水系統，其總流域面積達 556平方公里，幾乎涵蓋雲林縣所有入海之排水系統，其中以牛排灣溪為全區最大排水，然區內較大之排水系統多兼有灌溉及排水兩大功能

，然而本區域之部份排水渠道或水工結構物年久失修，渠道淤積致使區內排水功能不良，況且近年又有嚴重地盤下陷（養殖業之超抽地下水）導致颱風暴雨時發生海水倒灌，沿海鄉鎮農地流失，財物損失不貲。在本區域內之排水問題尚未改善前，而欲從事濱海地區開發，實應謹慎考慮之，以免日後衍生責任不清之抗爭事情，為能徹底瞭解濱海淺灘開發後對本區域排水之影響，是項研究工作實應深入探討，除了依現況分析目前之排水能力外，並應模擬濱海淺灘開發後對沿海地區排水能力的影響以及可能的淹水範圍。

### 3. 堤防防洪風險率之調查分析：

堤防包括海堤及河岸兩大類，前者旨在保護開發區域內遭受颱風暴雨來襲時之安全，後者則在保護內陸地區以免海水倒灌，因此為能確實達此目標，因此必先針對各種降雨頻率之洪水及不同復現期距 (return period) 之颱風暴潮進行分析，以計算不同高度之堤防之防洪或防災風險率。藉本項之研究結合 (b) 項之數值模擬分析當能更確實地考慮區內防洪、排水之問題。

### 4. 污染擴散水理水質模式之建立與應用：

雲林濱海沿岸開發後必引入各種產業及大量人口，隨之而引起的乃是家庭污水及工業廢水之大幅增加，對於如何處理消化及排水此等污水實應事前掌握之，由於根據前述之環境背景資料之建立，對於本區域內之邊界條件 (boundary conditions)，即地形水深、潮汐、海潮流、風力、風向等等資料均能有效地掌握，甚至本區域內海潮流之擴散能力亦可由實測之海潮流推估之，同時由海域水質調查資料亦能瞭解海域之涵容能力。然為能使開發完成營運時污水排水不致影響海域生態環境，必

需藉數值模擬分析之方法尋找其最佳之排放方式與排放水質之控制。然而本項模擬分析乃包含水理模式(hydraulic modeling)及水質模式(water quality modeling) 兩類相互結合，對於排放水體之水質控制，即如何能達到滿意之稀釋(dilution)則需從事近域模式之分析(near field model)，對於污染物之擴散傳輸及對大區域之生態環境之影響則需藉助於遠域模式(far field model) 之模擬，以確實做好環境保護之工作。

#### 5. 颱風波浪與暴潮推算：

台灣地處亞熱帶，四面環海，每年夏、秋兩季時遭北太平洋上熱帶低氣壓發展而形成之颱風侵襲，危害甚巨，而且每當颱風過境氣壓降低，風力大增，致使海水面上昇，若遇高潮時段即易形成暴潮，同時在強風大浪的衝擊下海岸結構物備受威脅，因此在海岸附近重大工程設計之前必需詳細推算可能遭遇之颱風波浪以及暴潮水位，以提供從事海岸結構物設計高度，強度之參考。

### 三、結論

雲林縣濱海地區已被列為離島基礎工業區間之位置，在此並不討論政策決定之正確性，而完全針對學術、工程技術、環境背景資料建立之層面作大觀性之說明，在此條件下，經濟部工業局能在學術研究單位及工程顧問公司之規劃下每年投入巨資從事系統性之監測調查、研究，此等作法已說明環境保護之觀念已漸為技術官僚體系所接受，不論雲林濱海工業區應在何時開發，或者開發之規模較為適當，就此系統性之調查背景資料以及相關的專題研究都是負責且深具前瞻性的

作法，同時也對雲林地區民眾與環境有正面之意義。在今日人類共同面臨經濟發展與環境保護的選擇下，也惟有仰賴相互之考慮，共同的配合，人類才得以持續的滿足經濟成長也同時能兼顧整個環境資源的維護。讓你、我、他一起冷靜的來深思吧！

#### 四、參考資料

- (1)H.H. Hwung, L.L. Tsai, C.C. Wu (1986) " Studies on the correlation of tidal elevation changes along the western coastline of Taiwan 20th Coastal Engineering Conference, A.S.C.E. Vol.1, PP.293~305。
- (2)彰化濱海工業區整體開發規劃調查研究，國立成功大學台南水工試驗所第 128 號研究試驗報告，81 年 2 月。
- (3)雲林縣離島式基礎工業區整體開發規劃調查分析研究計畫書，國立成功大學台南水工試驗所，80 年 12 月。

# 嘉南沿海沙洲島的變遷分析 —利用多時衛星影像及航照

## Change Analysis of the Offshore bars Along the S-W Coast of Taiwan Using Remotely Sensed Data

吳啓南\*、李元熹\*\*

### 摘要

五個時間衛星數位影像及四個年份航空照片，分別被用於分析外傘頂洲及嘉南沿海九個沙洲島的變遷。最早的衛星影像獲於民國73年，最早的航照攝於民國36年。結果顯示，除已陸化的海汕洲較為穩定外，其餘沙洲皆有內移、南進的侵蝕後退現象。其中尤以外傘頂洲的變化最為劇烈，其露出浮洲面積正不斷衰減，整體並往東南陸地方向移動，南段的漂移速率為北段的兩倍，約介於每年 100米及50米之間。其餘沙洲以馬沙溝至七股外海的青山港洲及網子寮洲遭受侵蝕現象最為嚴重，此區海岸宜加強海堤防護。好美里洲從形成、成長以迄陸化的過程最快；頂頭額洲及新浮崙洲因承受曾文溪鉅量輸沙，在過去40年間不斷成長，並即將因內移而陸化。沙洲變遷影響海岸國土資源消長，爲了未來本區海岸的規劃利用，應結合各項技術，繼續監測研究其變化。

### 壹、沙洲的形成與演變

沙洲爲泥沙在沿海堆積形成的堤狀地形，露出水面的叫做離岸沙洲 (Off-shore bar)、濱外沙洲或沙洲島 (Barrier island)，漁民則俗稱其爲浮洲或海汕；不露出水面的則叫做潛沙洲 (Submarine bar)。

---

工業技術研究院能源與資源研究所

\*研究員

工業技術研究院能源與資源研究所

\*\*技術員

沙洲通常在河川出海口的附近海岸外形成，換言之，河川帶來的泥沙堆積為沙洲形成的主因；部份沙源則來自海岸被侵蝕後所搬運過者，主要的侵蝕營力為波浪、沿岸流及潮流。這些河川及海岸侵蝕所造成的漂沙在水流平緩處沉積後，慢慢堆積形成潛沙洲，其間受到當地優勢流況的影響，往河口外海岸的一側擴張、拉長，如彰化以南至嘉義、台南沿海的沙洲都有往南延伸的傾向。若河川供應的泥沙繼續不斷，則潛沙洲終於成長至露出水面，形成沙洲島，此時風力的侵蝕、搬運作用，亦會使浮洲慢慢移動，尤其是風速較強、吹風期較長之季風影像更大，如台灣西南海岸外沙洲的南移傾向，受東北季風及其造成的沿岸流影響甚大。

沙洲島形成過程中，其與海岸之間的淺水域叫做潟湖，海水藉著潮流口與潟湖互相溝通；潟湖因潮流所帶來之泥沙淤積漸漸變淺後，湖面愈來愈小，等到潮流口堵塞後，就變成沼澤地或潮埔地，並漸變為陸地。此時該沙洲島即陸化，變作新的海岸；尤其是有人為因素加進來時，如築堤、圍海、填土，將沙洲與陸地間之淺海域開闢為鹽田、漁塭、旱田等海埔地，則沙洲陸化過程更快。今之台南沿海的四草湖、安平、三鯤鯓及四鯤鯓一帶海岸，在明朝時期即為古沙洲位置，現都已陸化；此外，八掌溪與急水溪之間的海汕洲，其東側之潮埔地亦在民國46年時開發為魚塭，與陸地相連。

沙洲島與陸地相連變作新的海岸後，若河川輸沙仍然源源不斷，則旺盛的堆積作用仍可繼續在海岸外進行，形成新的沙洲；依此過程循環，海岸乃不斷往外堆積成長。反之，假若沙源供應不足，則風、波浪、沿岸流及潮流的侵蝕、搬運作用，將使已形成的沙洲島慢慢萎縮變小，往海岸侵蝕後退，目前嘉南沿海大部份的沙洲都有這個趨勢，尤其是外傘頂洲。

## 貳、嘉南沿海的沙洲島

台灣河流多往西流且河流短促，發源於中央山脈崇山峻嶺之間的河川所挾帶的鉅量泥沙很快就被沖蝕出海，在沿海堆積，因此自古以來雲林、嘉義及台南外海就沙洲羅列。如圖一為十七世紀荷蘭人佔據台灣南部時所使用地圖，雖然其繪圖年代不詳且當時製圖技術不若今日精確，但在定性上我們仍可看出雲、嘉、南一帶有許多沙洲，當時的安平古堡（熱遮蘭城）即建立在沙洲上，而台南沿海的沙洲現在都已與陸地相連；古人說：滄海變作桑田，台南沿海的變化即為明證。

古代河川水利及整治不若今日發達，因此西部平原上的河川在大洪水來臨時經常改道，其所帶出海的泥沙也在沿海不同地方沉積。比如本省輸砂量最大的濁水溪在文獻記載上，從清朝至民國間即有過幾次河道改變。濁水溪下游的流路在康熙以至光緒年間，主流有由南向北移動現象；濁水溪最初以北港溪及西螺溪為主流，光緒24年（1898年）草嶺潭崩潰後則以麥嶼厝溪及西螺溪為主流；雲林的新虎尾溪也是在草嶺潭崩潰時洪水氾濫形成的。當濁水溪由北港溪出海時，大量的泥沙已經形成統汕洲及外傘頂洲，今日統汕洲則已南移與外傘頂洲合併。

民國元年時的日據時代，日人實施濁水溪的治導計畫，濁水溪被導流從西螺溪入海，北港溪乃自成水系，其輸沙量因此銳減，旺盛的堆積作用從此不在其河口附近海域進行，因此外傘頂洲乃有侵蝕後退並且南移的趨勢（吳等，1990及1991）。

圖二為嘉南海岸1984年5月9日美國陸地衛星（Landsat）MSS感測器第4/5/7波段的假色組合影像，範圍北從雲林口湖，南至台南七股。圖中可見沿海羅列之沙洲包括全台灣最大的沙洲島—外傘頂洲，此時露出之部份僅剩四塊，其他包括東石港洲、白水湖洲、新北門港洲（好美里洲）、海汕洲（已經陸化）、王爺港洲、青山港洲、網子寮洲及頂頭額洲等，此外在曾文溪口北岸的曾文海埔地外有一新浮崙洲，圖中並未出現。這些沙洲的存在與沿海河川的輸沙有關，由北往南的河川包括北港溪、朴子溪、八掌溪、急水溪、將軍溪及曾文溪等。圖二與圖一的古地圖比較大致可見沿海的沙洲分佈及河道皆已有劇烈的變化。

現存的沙洲可能是古沙洲陸地化後的再生沙洲，即海岸已往西擴張後，在新海岸外形成新的沙洲；部份則可能是古代殘存的沙洲。古代由於入海砂源不斷，尤以濁水溪、北港溪及曾文溪輸砂量貢獻最大，因此這種海岸地形的演進及循環作用在明、清時即達最高峰，台南區海岸每年平均以28.9公尺速度向外擴張（張，1979）。近代以來由於河川人工的治理、平原的開發、水庫的興建及水土保持工作的進步等因素，使漂沙來源減少，加上風力、沿岸流及波浪的侵蝕與搬運，以致影響海岸地形之消長，如目前布袋海岸及外傘頂洲已有受侵蝕、後退現象（張，1979；郭，1983；侯，1985）。因此在旺盛的堆積作用漸減後，沙洲海岸漸形成侵蝕海岸，世界上主要的沙洲島最後都有這個往陸地移動、後退的傾向（Reading，1982）。

爲了瞭解這些沙洲島在過去數十年來的變化，工研院能資所曾經利用多時遙測資料，即不同時間的衛星影像及航空照片來作分析、比較，研究其變遷狀況及趨勢，本文即爲研究結果的概要說明。台灣因爲土地資源有限，唯有與海爭地、開發海埔地，規劃爲工業區、遊憩區、漁塭或建地等不同用途，或者爲了兼顧沿海自然生態環境，而需厲行保護措施；目前從中央到地方政府都有開發利用或保護嘉南海岸的構想，因此研究瞭解此區海岸的變遷當有助於規劃時的參考。

## 參、遙測資料應用於環境變遷分析

遙測技術 (Remote Sensing) 是利用載台 (Platform)，如衛星或飛機，所攜帶的感測器 (Sensor) 來接收、記錄地表反射、輻射光譜，製成一張影像，並據以分析、判釋地表現況資訊的一門新技術。遙測資料的型式包括數位式及類比式，前者如多波段的衛星影像，需要用電腦來分析、處理，後者如航空照片，需要用立體觀測鏡來分析、判釋。由於遙測載台居高臨下，因此其優點是在短時間內就能獲得廣大地區的資料，而非點狀的資料，此特性對瞭解區域性的環境問題助益甚大。

由於遙測資料記錄保留了攝像或掃描當時的地表現況，因此利用多時 (Multi-temporal) 及多光譜 (Multispectral) 影像，除可分析各攝像當時的土地利用／覆蓋外，經過比較分析我們尚可進行變遷偵測 (Change detection)，研究不同期間地表產生之變化如海岸、沙洲的變遷 (吳等，1990及1991)。因此不同時間獲得之黑白航空照片及衛星影像乃被用來分析嘉南洲潟海岸之變遷，定性上瞭解沙洲變化的趨勢，定量上則估算漂移之距離及沙洲面積。

## 肆、遙測資料的處理、分析與判釋

### 4.1 本研究採用的遙測資料

採用的資料包括多光譜衛星影像及黑白航空照片，前者包括陸地衛星M

SS及TM感測器影像及法國SPOT衛星影像資料。採用遙測資料種類時考慮的兩個因素是(1)地面的解像力 (Ground resolution)大小：資料的解像力需細至能反映出變遷現象；(2)資料間隔時間的長短：資料間隔時間愈長，愈能反映出長期的變化量，並據以得到較正確的年平均變化量（吳、李、彭，1992）。

表一列出本研究採用的五個日期衛星影像及四個年份航空照片的資料特性。相對來說衛星影像的解像力較航照粗，因此被用於外傘頂洲的變遷分析，因其漂移的變化量較大，航照則被用在沿海其他沙洲的變遷分析。表中最早的衛星影像獲於民國62年，最早的航照攝於民國36年。

表一、採用遙測資料之日期及特性表

	感測器	日期	解像力	涵蓋面積	分析方式
航空照片 (類比式)	航照相機 (黑白航空片)	1947/1948	<25 公分 視航高而定	約3×3 平方公里	立體鏡判釋
		1973/1974			
		1985/1986			
		1990			
衛星影像 (數位式)	Landsat/MSS (4 波段)	1973/01/30	80 米	約185×172 平方公里	電腦影像 處理
		1984/05/09			
	Landsat/TM (7 波段)	1988/11/28	30 米		
SPOT/HRV (XS: 3 波段)	1986/09/28	20 米	約60×60 平方公里		
	1990/05/29				

潮汐的漲落影響沙洲變遷分析的解釋，因此衛星掃描時間對應的潮位亦經查出以供參考，五個對應之塭港驗潮站潮位分別為 0.3米、0.12米、-0.17米、-0.74米及0.32米。至於施行航照時，每條航線之攝像日期及時間因涵蓋較長，無法列出其每張航照對應之潮位以供參考。

## 4.2 衛星影像的處理與分析

衛星影像的電腦處理牽涉專門技術，可參考Moik(1980)及吳等(1990)文獻。本文僅簡述各項處理在本研究目的。

### (1) 對比加強 (Contrast enhancement)

目的在將各個時間嘉南海岸的衛星影像調整對比，使偏暗的影像變得明暗均勻，用於初步的影像判釋分析；大的沙洲變化現象或新增之人工結構物，在比較不同時間影像後即可分辨出來。另外目的是用來供選取地面控制點以作幾何校正之參考。

### (2) 幾何校正 (Geometric correction)

目的在將不同時間的衛星影像投影轉換到相同的地圖參考座標上後，才能作後續的變遷偵測 (Change detection)。

### (3) 分類分析 (Classification)

目的在利用自動或半自動的數理統計方法，將不同的海岸土地利用／覆蓋型態區別出來，其結果可用來分析海岸、沙洲及潛沙洲之位置、大小及面積等。

### (4) 變遷偵測

目的在從兩張幾何校正後的影像之間，分辨出沙洲的變化，如沙洲是否新生、加長、變小或漂移。

## 4.3 航空照片的判釋與分析

航照判釋原則上是利用立體鏡 (Stereoscope)，根據視差 (Parallax) 原理來進行立體觀測，分析海岸地區之土地利用／覆蓋型態 (Land use and Land Cover)。本研究參考世界通用之美國地質調查所 (USGS) 之第二級分類標準 (Anderson, 1976)，此外考慮研究區海岸之特性，將土地利用／覆蓋型態分為道路、河流、堤防、鹽田、魚池、農作、工廠、建地、草地、林地、紅樹林、墓地、沙洲、淺灘及海埔新生地等15類。其中後三者為本文探討之重點。

表一中各個年代之航照判釋完畢後，再利用立體轉繪儀 (Zoom Transfer

Scope) 投影轉繪至 1/25,000 地形圖為底之透明片上，並針對每種分類型態轉印上不同圖案，如此完成各個年代之土地利用／覆蓋圖。這些圖可用來作初步的定性分析沙洲海岸當時之狀況。變遷偵測分析乃利用兩個不同年代之土地利用／覆蓋圖，進一步作重疊分析後完成；圖中前後期間未發生變化之分類型態以英文字母代表，產生變化之區域則轉印上後期分類型態之圖案，如此變遷及未變遷之海岸地區一目了然。

## 伍、外傘頂洲的變遷分析

外傘頂洲為本省最大沙洲島，範圍長達 20 公里、寬介於 1~3 公里，以東北—西南走向從雲林金湖海邊延伸出海，與陸地之間隔著潮流口。外傘頂洲南端離東石達 12 公里，該端另有一因地形效應形成之沙嘴 (Sand spit)，與沙洲主體垂直伸入東側內海，長約 4 公里，寬約 300 米，此內海甚淺，為全省最大之蚵仔養殖區。外傘頂洲在 1926 年地圖上已標識其存在，其北邊原有統汕洲，後者後來南移相併，1954 年地圖上已不標明 (石，1980)。

### 5.1 外傘頂洲的衰減

圖三至圖七分別為外傘頂區 1973 MSS、1984 MSS、1986 SPOT、1988 TM 及 1990 SPOT 假色組合像。圖中外傘頂洲露出部份及潛沙洲部份涇渭分明，圖三及圖四中分別用紅線及綠線框出高潮位時仍露出的沙洲及潛沙洲範圍，圖五至圖七因比例尺較大，露出部份及水下部份不說自明。五個攝像時間前三者正值退潮中，後二者正值漲潮中。

比較五個時間序列外傘頂洲影像，可見此洲包括潛沙洲之長度大致維持 20 公里，其南端垂直延伸入東側瀉湖之沙嘴依然存在，但整體之外形結構卻有顯著變化，其露出面積亦逐漸衰減。

由於受西側外海波浪之衝擊，外傘頂洲露出部份永遠在其西側，1973 年時露出部份連綿 11.5 公里長，最寬處在其南方，達 1.2 公里。1984 年時，露出部份已因侵蝕作用斷裂為四塊，長度及面積皆縮小，由圖八之分類影像計算，面積僅剩 205 公頃，包括潛沙洲的面積則為 2821 公頃。1986 年時僅剩兩塊露出，面積僅剩 120 公頃，較長一塊在沙洲南邊，長 3 公里、寬 350 米，

較小一塊位於鰲鼓農場西方3公里處，長850米，此時潮位已接近平均海平面，整個潛沙洲之分佈清晰可見。1988年影像攝像時間時之潮位為五者中最低者，此時露出部份仍維持兩塊，但南邊那塊已斷續不接，並往南端尖滅，北邊那塊已縮小變窄，至1990年時北邊那塊已被侵蝕殆盡，南邊那塊已變狹長並被沖斷成三小塊，面積僅餘28公頃，此時很多潮溝已由外往內侵入沙洲各處，其發展結果是將整個沙洲支解終而潰滅。民國79年9月雲林縣府測量結果顯示，浮出水面之部份只有12公頃，範圍最長700米，最寬280米。

沙洲被侵蝕掉後變成漂沙，部份隨沿岸流南帶，部份被波浪帶入東側瀉湖，使瀉湖有變淺趨勢；換言之過去數十年來外傘頂洲已漸被侵蝕、攤平，散佈在該區東側海域，再加上沿海河流，主要是北港溪帶出之泥沙沉積，因此該區海域未來具有圍堤填海造陸之潛力。

## 5.2 外傘頂洲的漂移

沙洲之漂移現象可由圖九至圖十一來分析。圖九為1973年及1984年MSS第5波段幾何校正及對比加強後重疊影像，1973年用藍色及綠色展示(Display)，1984年用紅色展示；因此1973年沙洲位置在圖中呈現青色，1984年則呈現紅色；圖中1984年沙洲露出及水下部份分別以白線及黃線框出。結果顯示從1973年至1984年間，外傘頂洲整體往東南方移動，北邊漂移量較南邊小，因南邊伸入外海，遭受之侵蝕營力作用較大；利用電腦游標(Cursor)分析顯示，南邊最大漂移量達1.2公里，平均每年110米；北段之總漂移量也有500米，平均每年45米。

圖十為1973年MSS 5及1986年SPOT XS2重疊影像，兩者已經過幾何校正並重建為50米×50米影像。分析結果顯示，在13年間之漂移量介於0.6公里(北段)至1.4公里(南段)，平均年漂移量介於44米至103米。

圖十一則為1986及1990年SPOT影像第1波段直接以不變之地物，如鰲鼓堤防及東石海埔地堤防為準套疊而成者。圖中顯示之相對漂移量介於240米(北段)至420米(南段)之間，年平均漂移量介於65米至115米。但其最南端則已往東側瀉湖偏折達700米，顯然此處遭受侵蝕營力最大，因此原露出部份已快消失。

綜合五張影像的時間序列來判斷，外傘頂洲已面臨四分五裂之階段，在

沙源無法充分供應之下，而侵蝕營力卻無時或止，因此其分崩離析之日當為期不遠。未來數年之內，原連接外傘頂洲南端之沙嘴(Sand spit) 將漸與沙洲本體分離，而沙洲露出水面部份亦將被侵蝕殆盡，步上其北方海豐島沙洲的後塵(吳、彭、蕭，1991)，終將完全淪為潛沙洲。

沙洲島之往海外堆積成長或往陸地侵蝕後退，與沙源供應、地層下陷及海平面升降等三因素有關，造成外傘頂洲的侵蝕後退現象之主因則為沙源不足(吳、李、彭，1992)。

## 陸、沿海沙洲島的變遷(朴子溪口至曾文溪口)

朴子溪口以南至曾文溪口的沙洲包括東石港洲、白水湖洲、新北門港洲(好美里洲)、海汕洲、王爺港洲、青山港洲、網子寮洲、頂頭額洲及新浮崙洲等，由此往南現已無沙洲存在，圖一古地圖中之台南沿岸沙洲皆已陸化。

以上這些沙洲在表一所列年代間之變化可參考文獻(1)及(2)，以下僅就民國36年至79年間之變化摘要簡述。圖十二至十四則為民國36/37、79年及此兩個年份之間之土地利用/覆蓋圖及變遷圖。

東石港洲及白水湖洲在民國37年時尚為潛沙洲，其浮出年代不詳，但成長迅速。民國62年時白水湖洲長度大於2.5公里，至民國75年時長達2.5公里，民國37年至79年的42年間往南漂移1.5公里。

新北門港洲(好美里洲)在民國37年時尚無踪跡，但民國62年時已成形，其生成年代當更早。此洲南、北兩端都有延伸趨勢，62年至79年間北端更增長1.5公里。由於好美區海埔地的開發，此沙洲已陸化，並經劃定為自然保護區。沙洲南段79年時已斷離，其右側為新塭區海埔地計畫區。新北門港洲從堆積成長、潮埔地形成以迄陸化的演化過程為本區海岸最快速者。

介於八掌溪口與急水溪口間的海汕洲，在民國37年時尚為濱外沙洲，民國46年時已因海埔地魚塢的開發而陸化。此洲為本區最穩定者，但其西側有擴張跡象，尤其是八掌溪口的北段往外增長現象更明顯。海汕洲北端與新北門港洲南端的增長現象，其砂源當來自八掌溪的輸砂供應。

北門以迄七股沿海的王爺港洲、青山港洲、網子寮洲都有劇烈的侵蝕後退現象，除了內移外，並有南進趨勢；其中尤以馬沙溝至七股外海的青山港

洲及網子寮洲侵蝕最嚴重。

王爺港洲雖從民國36年來就有後退現象，但民國63年以後至79年，除西側稍受侵蝕外，其寬度大致維持穩定，急水溪口附近的北端而且增長；63年時其南方斷離的沙洲至79年時已消失，但北段的南端卻又加長 700米。

青山港洲原為七股鹽場最佳屏障，民國36年時分為三塊，東側尚有寬廣淺灘。至63年時已連接成條，其內側則開發為七股一、二區鹽場；此時沙洲已有侵蝕跡象，變得細長。至74年時則往南延伸與網子寮洲連接，鹽場外部份已快消失。民國79年時此洲除突出將軍溪口的北端外，其餘已全部消失。從此海浪直接沖擊鹽場堤防，不再有屏障，宜加強海堤保護。

網子寮洲以中央沙丘的防風林帶為軸，南北兩段漸往內偏折；其寬度亦在縮小之中，北端已漸往北方尖滅，南端則有南延伸趨勢，並有一分裂沙洲往南漂移靠近頂頭額洲。預測未來此洲會在防風林帶兩端斷裂，分成三塊漸侵蝕後退。

頂頭額洲及新浮崙洲在民國36年時，位於曾文溪口北邊，承受鉅量的輸砂而不斷堆積成長，並有內移趨勢。至民國五〇年代，曾文海埔地在頂頭額洲東側圍堤開發後，頂頭額洲南移速度趨緩，新浮崙洲則仍快速增長。民國62年至79年間，新浮崙洲已以北端為軸，逆時鐘旋轉20度，往曾文溪口內移 900米，並增長為 4.8公里，此洲即將成為曾文溪口的北端陸化。曾文溪口河道南岸從民國36年至79年間南進 1 公里，北岸亦因新浮崙洲的來靠而西進 500米。曾文海埔地南方的曾文溪口北岸已有七股海堤的興建，但堤外佔據河床的魚塭寬達 1.1公里，南岸堤防外亦有魚塭開闢影響河川輸洪，應予取締。

綜上所論，本區所有沙洲除已陸化的海汕洲較穩定外，其餘沙洲皆有往陸內移及南進趨勢，因此沿岸流主要流向應為由北往南。北端位於溪口的青山港洲、王爺港洲，因近處有砂源供應，該處尚能維持平衡，但其他部份則侵蝕嚴重。新北門港洲則仍有往北延伸趨勢。沙洲在侵蝕後退過程中，其內側瀉湖則漸堆積成長，至形成潮埔地後，則適於開發為海埔地，至此沙洲陸化後，海岸國土則西進擴張矣，現今台南安平、四鯤鯓沿海即依此過程演化為陸地者。

## 柒、結論

五個時間之衛星數位影像及四個年份之航空照片，分別被用於外傘頂洲及朴子溪口至曾文溪口沿海九個沙洲島的變遷分析。

結果顯示外傘頂洲正遭受到劇烈的侵蝕後退現象，露出高潮位以上的沙洲面積亦急劇減少，整體並往東南方陸地方向移動，其南段漂移量遠大於北段，但其包括潛沙洲範圍總長度大致維持20公里，寬度在3公里之內。

沙洲露出之浮洲在其面海的西側，1973年時連綿11.5公里，最南邊寬達1.2公里，規模龐大；1984年時已斷裂成四塊，面積205公頃，包括潛沙洲範圍為2821公頃；1986年時僅剩兩塊露出，面積120公頃；1988年時維持兩塊，但南邊較大塊已漸往南尖滅；1990年時僅剩南端有三小塊沙洲殘存，面積只有28公頃，此時整個沙洲本體已漸被許多潮溝侵蝕切割，即將解體。

1973至1984年漂移量介於500米（北段）至1.2公里（南段），平均每年45~110米；1973至1986年間之年平均漂移量則介於44~103米；1986至1990年間之年平均漂移量介於65~115米。

預測未來外傘頂洲北段及南段仍將繼續以平均每年約50及105米速率往東南移動，數年內將被侵蝕殆盡，完全淪為潛沙洲，步上其北方雲林海岸外海豐島沙洲後塵。

根據民國36年至79年航照判釋分析結果顯示，朴子溪口至曾文溪口沿海的九個沙洲除已陸化的海汕洲較為穩定外，40餘年間所有沙洲都有內移及南進趨勢，顯然此區海岸的沿岸流優勢流向是由北往南。

東石港洲、白水湖洲及好美里洲在民國37年時皆尚無縱跡可循，但堆積成長迅速，75年後白水湖洲長度維持2.5公里，62年時好美里洲長約3.6公里，79年時則南北皆延長至6公里。好美里洲北段已在民國66至68年間開發為海埔地，其從潛沙洲、浮洲、潮埔地形成以迄陸化的演化過程為本區海岸最快速者，沙源當來自附近的八掌溪。

民國36年以來，北門以南至七股沿海的王爺港洲、青山港洲及網子寮洲都有較劇烈侵蝕後退現象，尤以馬沙溝至七股外海的後兩者最嚴重，此區海岸宜加強海堤保護。

頂頭額洲及新浮崙洲從36年以來，即因承受曾文溪鉅量輸砂而不斷成長，並有內移及南進趨勢，尤以河口附近的新浮崙洲的成長、南進及內移速度較快，79年時已長達 4.8公里，即將成為曾文溪口的北岸而陸化。曾文溪口河道南岸在43年間已南移 1 公里，北岸亦將因新浮崙洲的夾靠而西進 500米。

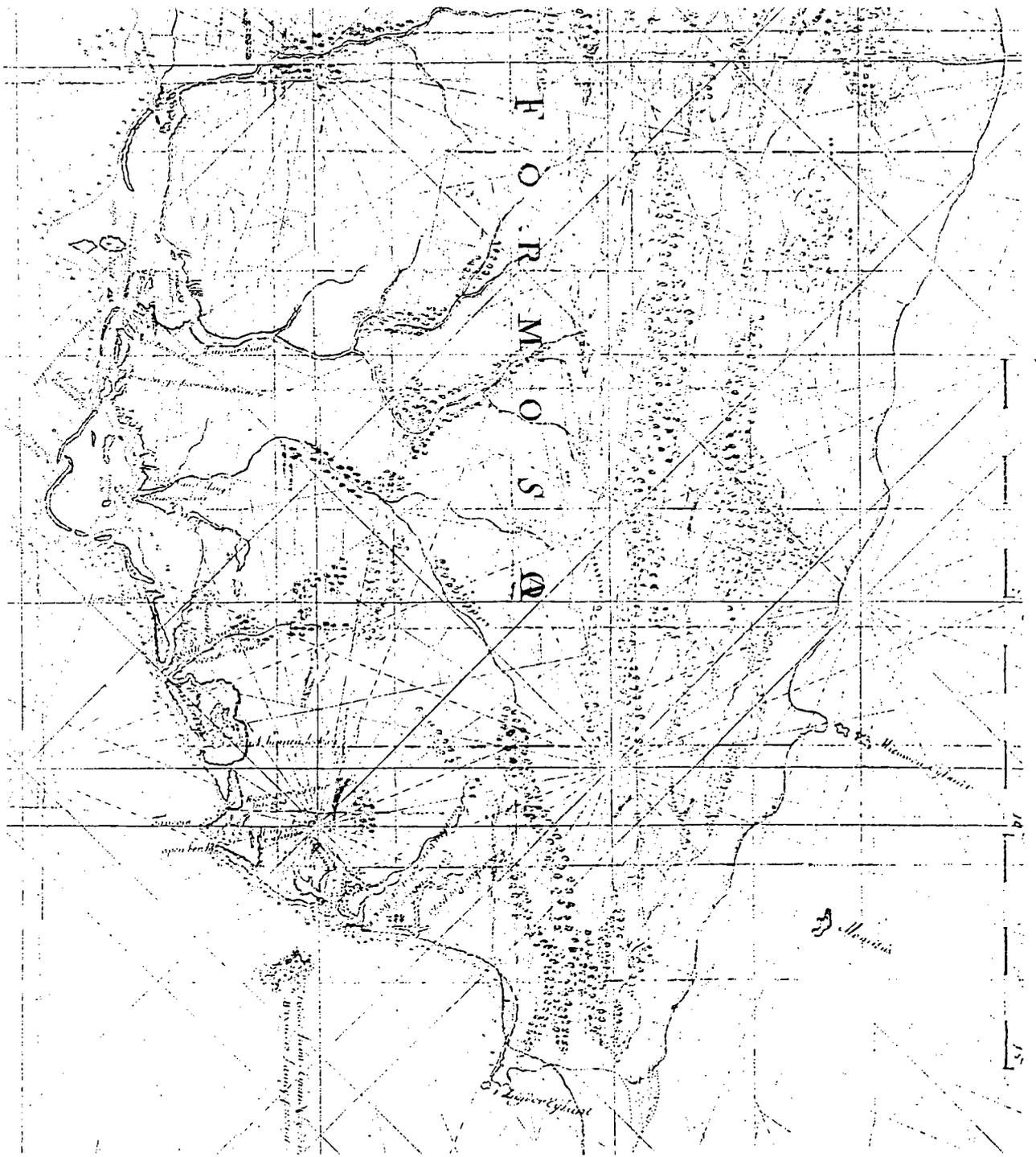
由本研究遙測資料分析結果顯示近代嘉南海岸有過劇烈的變化，影響本區海岸國土資源的消長及海岸土地規劃利用；其未來變化仍需我們繼續密切注意，並應結合各種技術作長期的觀測與研究。

## 捌、參考文獻

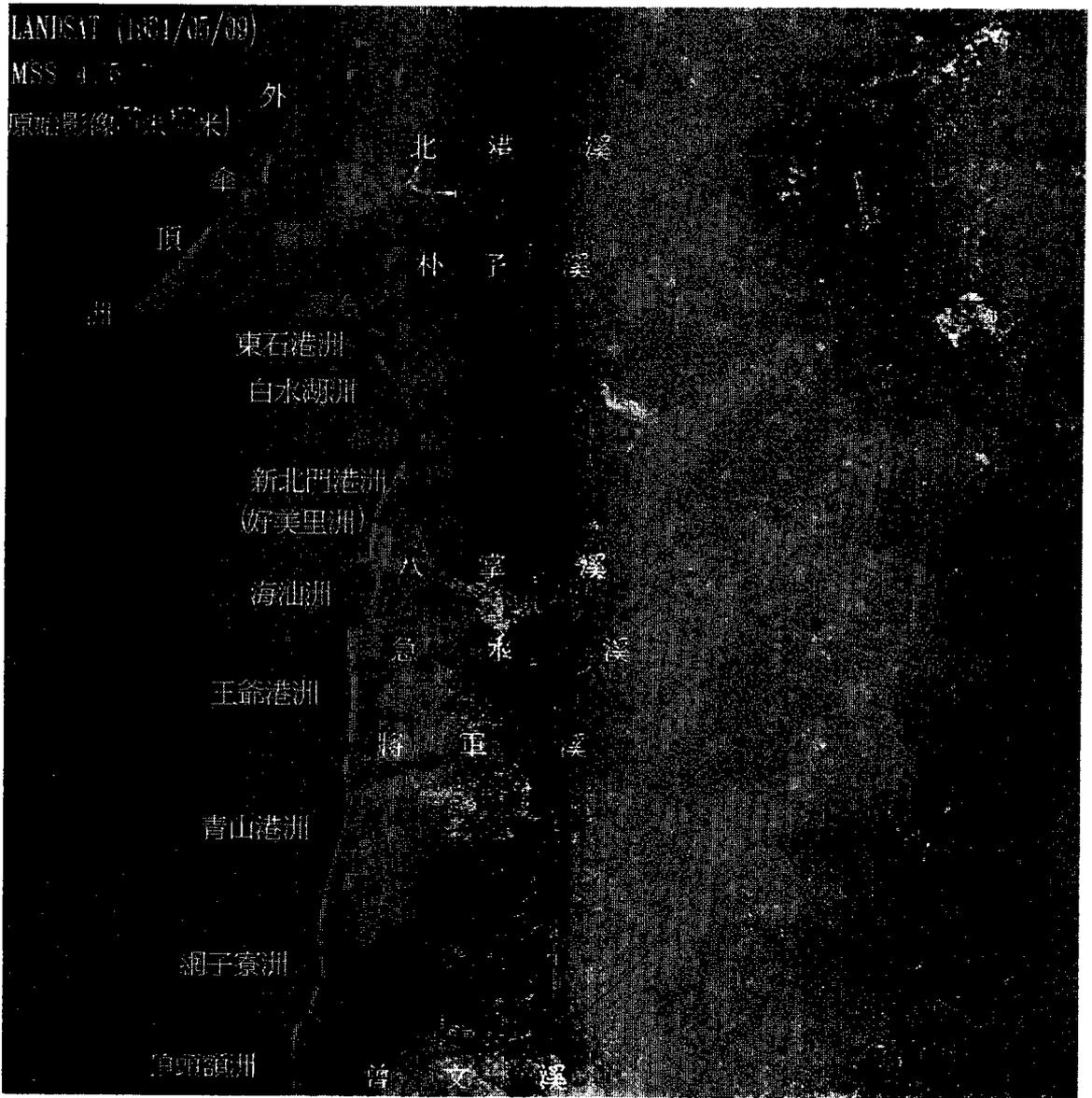
1. 吳啓南、彭焱祥、蕭國鑫、李元炎、鄭文哲（1990）：嘉南地區海岸變遷研究(一)，工研院能資所，第80-R030 報告，81頁。
2. 吳啓南、彭焱祥、蕭國鑫（1991）：外傘頂洲的變遷分析，遙測探測，第十五期，第1~26頁。
3. 吳啓南、彭焱祥、蕭國鑫、李元炎（1991）：嘉南地區海岸變遷研究(二)，工研院能資所，第06-3-81-0039號報告，101頁。
4. 吳啓南、李元炎、彭焱祥（1992）：遙測應用於外傘頂洲的變遷分析，第14屆海洋工程研討會論文集，第484~497頁。
5. 石再添（1979）：台灣西南部嘉南洲瀉海岸的地形及其演變，師大地理學報，第五期，第11~36頁。
6. 石再添（1980）：台灣西部海岸線的演變及海埔地的開發，師大地理學報，第六期，第1~29頁。
7. 張邵曾（1979）：台灣西海岸中南部海岸地形變遷、漂洲動態與海岸工程的未來，文化大學海洋彙刊， #22， pp.57~72。
8. 郭金棟、黃正欣（1983）：台南北門綜合港開發初步規劃報告，成大水利及海洋工程所。
9. 侯和雄、皇甫敬嘉、陳春榮（1985）：布袋港址波浪能量與漂沙量之分析研究，第八屆海洋工程研討會論文集，1985，pp.419~439。
10. Anderson, J.R., Hardy E.E., Roach J.T. and Witmer R.E. (1976), A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote

Sensor Data, USGS Professional Paper 964.

11. Christine Vertente, 許雪姬及吳密察 (1991) : 先民的足跡—古地圖話台灣滄桑史 (中英文對照), 南天書局。
12. Moik, J.G. (1980), Digital Processing of Remotely Sensed Images, NASA.
13. Reading, H.G. (1982), Sedimentary Environments and facies, CH.7., Whitefriars Press Ltd., Tonbridge, England.



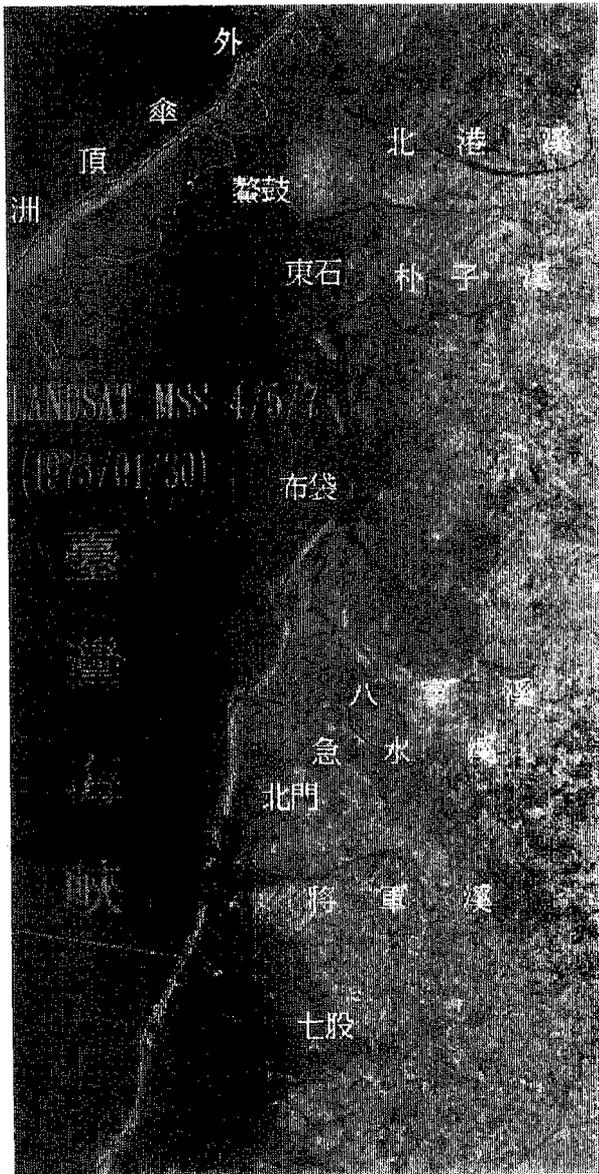
圖一、十七世紀南台灣古地圖，嘉南海岸沙洲羅列  
(取材自先民的足跡，南天書局)



圖二、嘉南沿海陸地衛星假色組合像 (MSS 4/5/7)

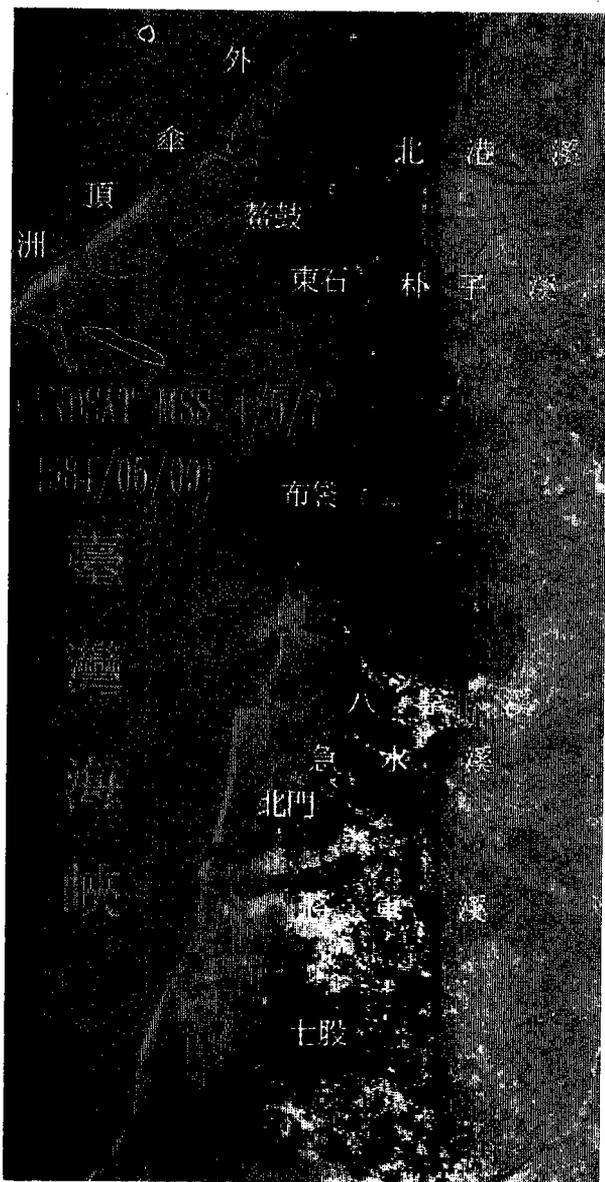
時間：1984/05/09

未經幾何校正



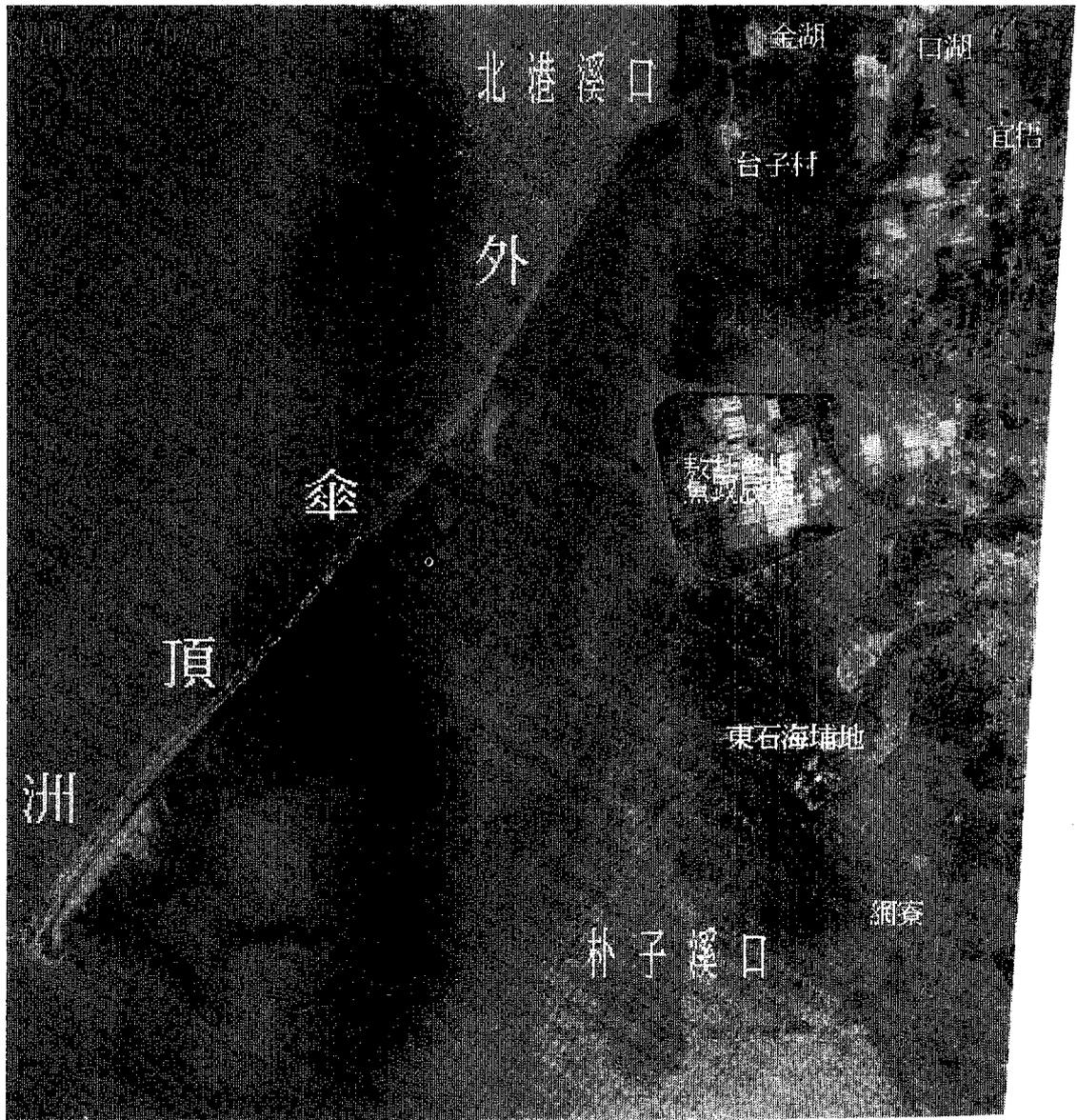
圖三、嘉南沿海幾何校正後 MSS 4/5/7 影像

時間：1973/01/30，潮位 0.3 米



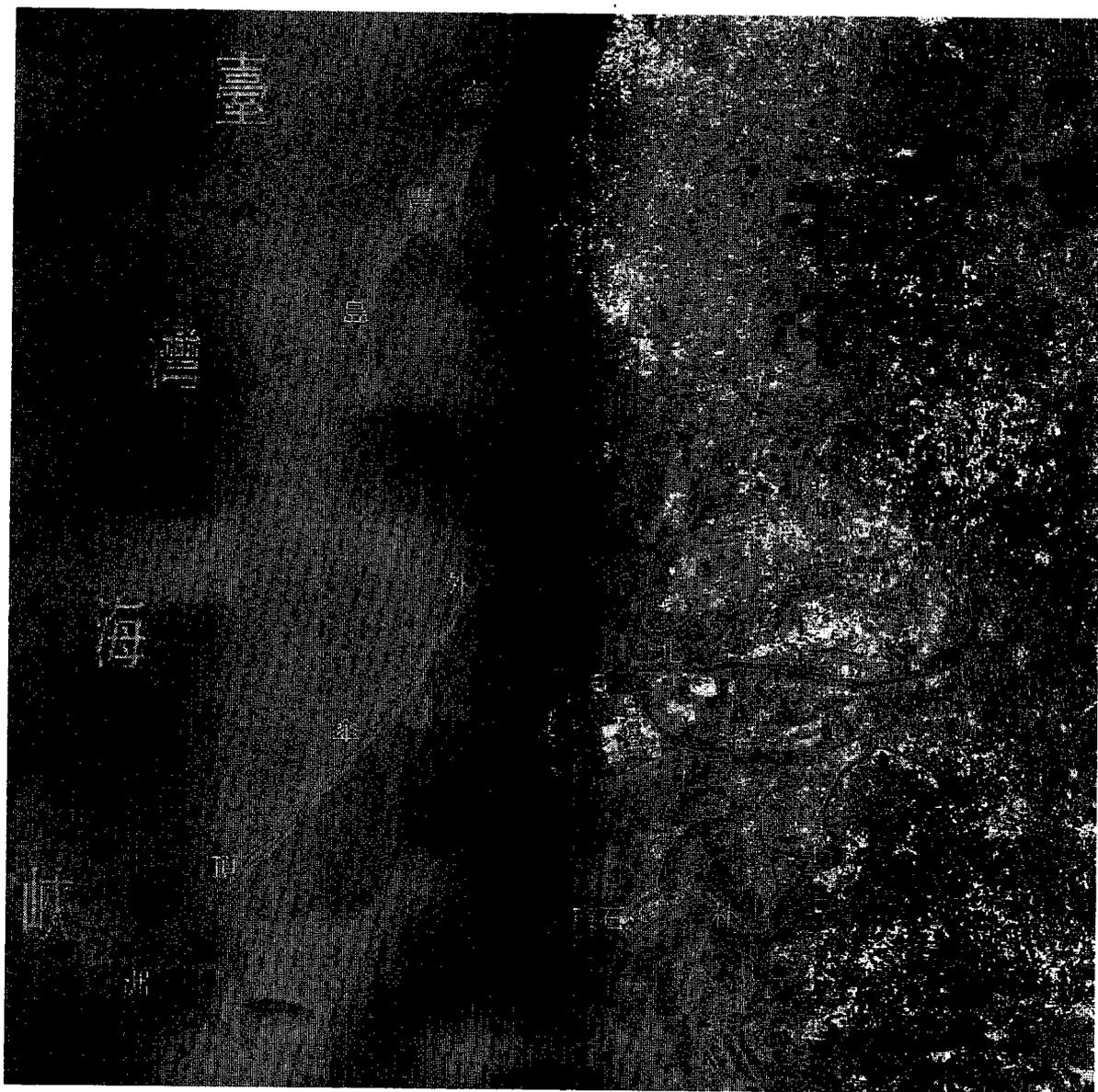
圖四、嘉南沿海幾何校正後 MSS 4/5/7 影像

時間：1984/05/09，潮位 0.12 米



圖五、外傘頂洲 SPOT XS 1/2/3 假色組合像

時間：1986/09/28，潮位 -0.10 米



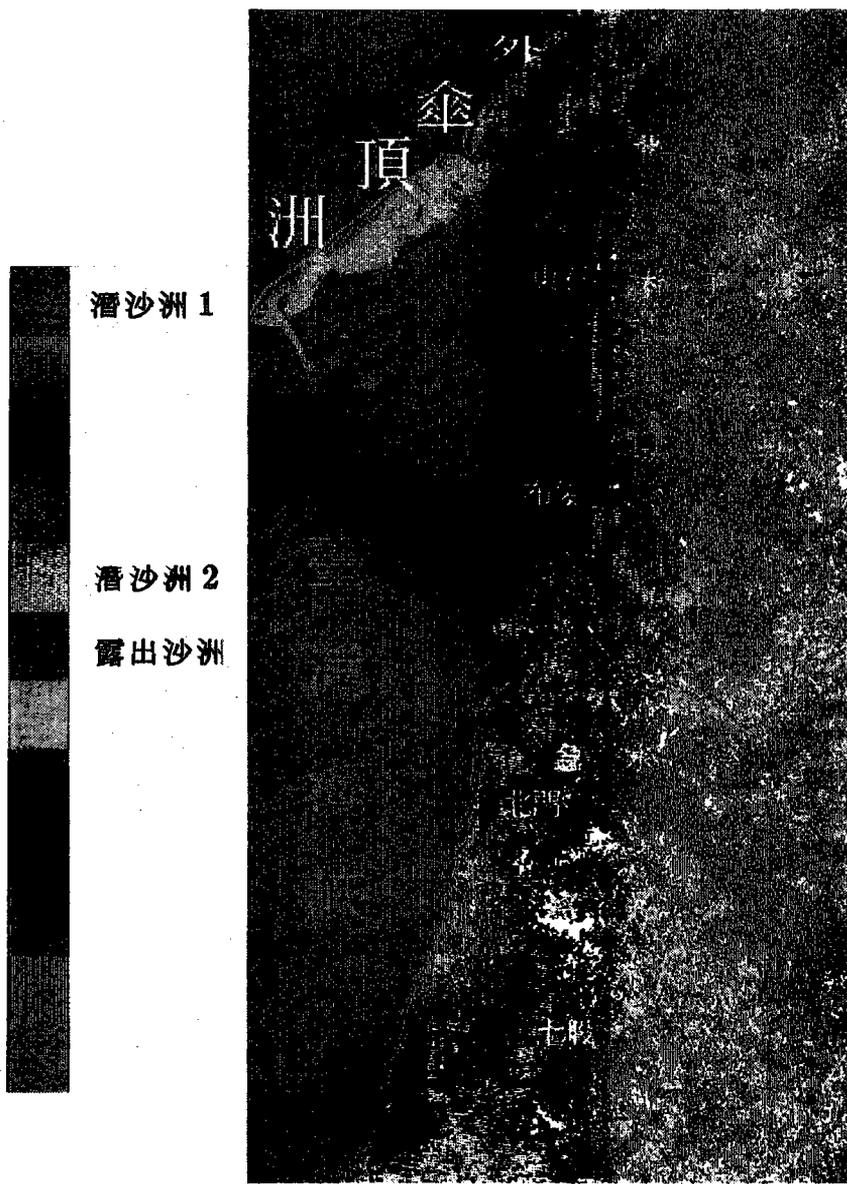
圖六、外傘頂洲 TM 2/3/4 假色組合像

時間：1988/11/28，潮位 -0.47 米



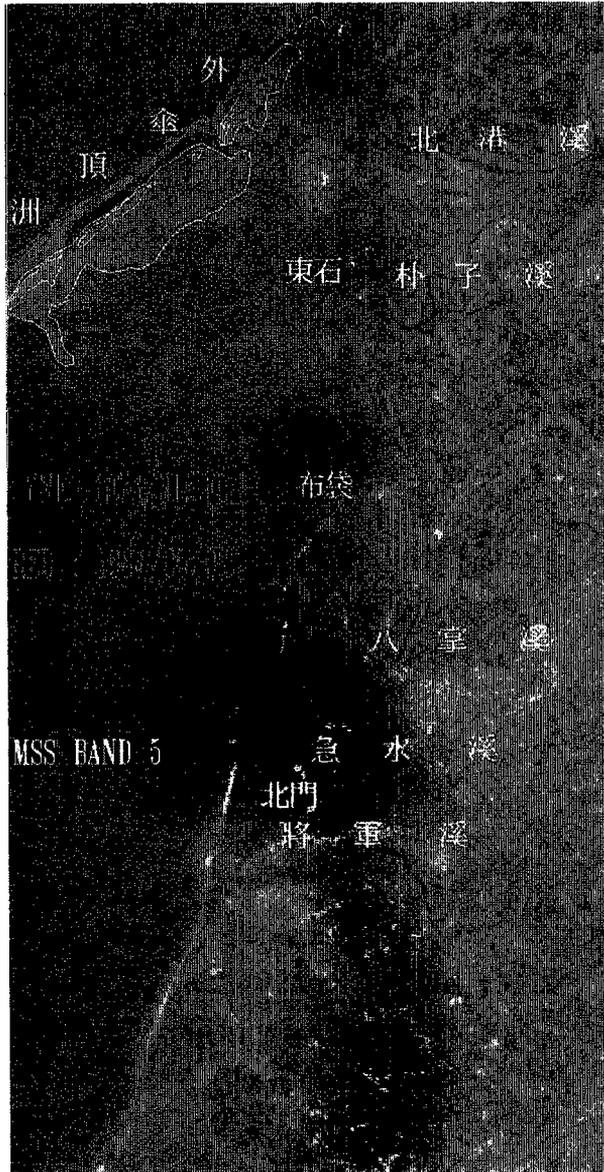
圖七、外傘頂洲 SPOT XS 1/2/3 假色組合像

時間：1990/05/29，潮位 0.32 米

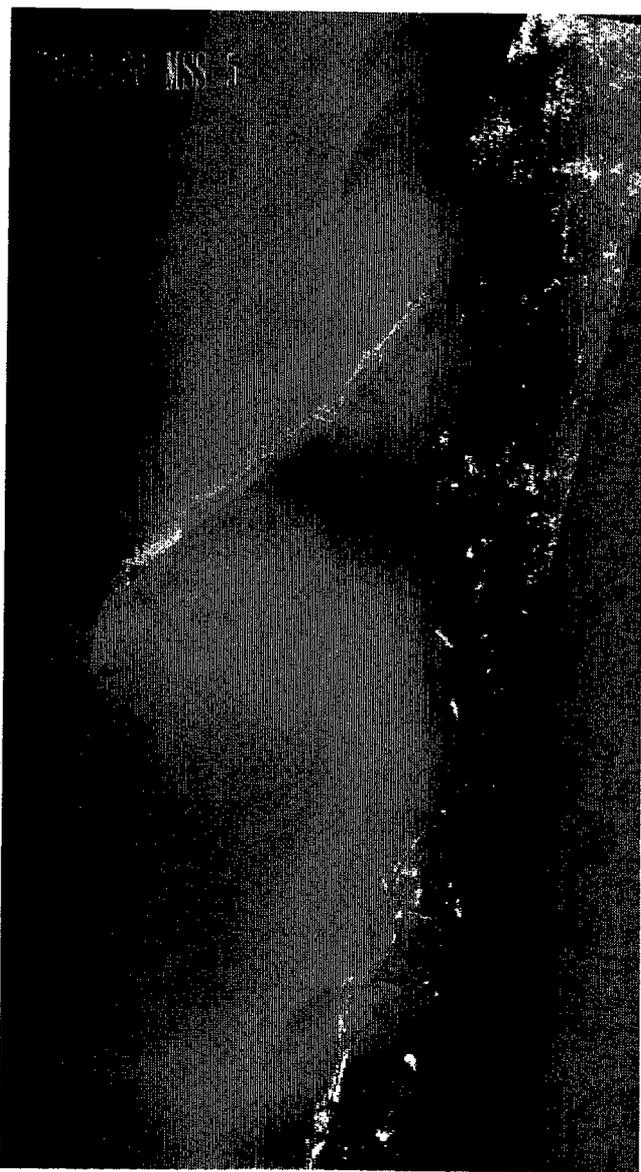


圖八、嘉南沿海陸地衛星分類影像 (1984/05/09)

採用MSS 4/5/6/7 波段非監督式分類法

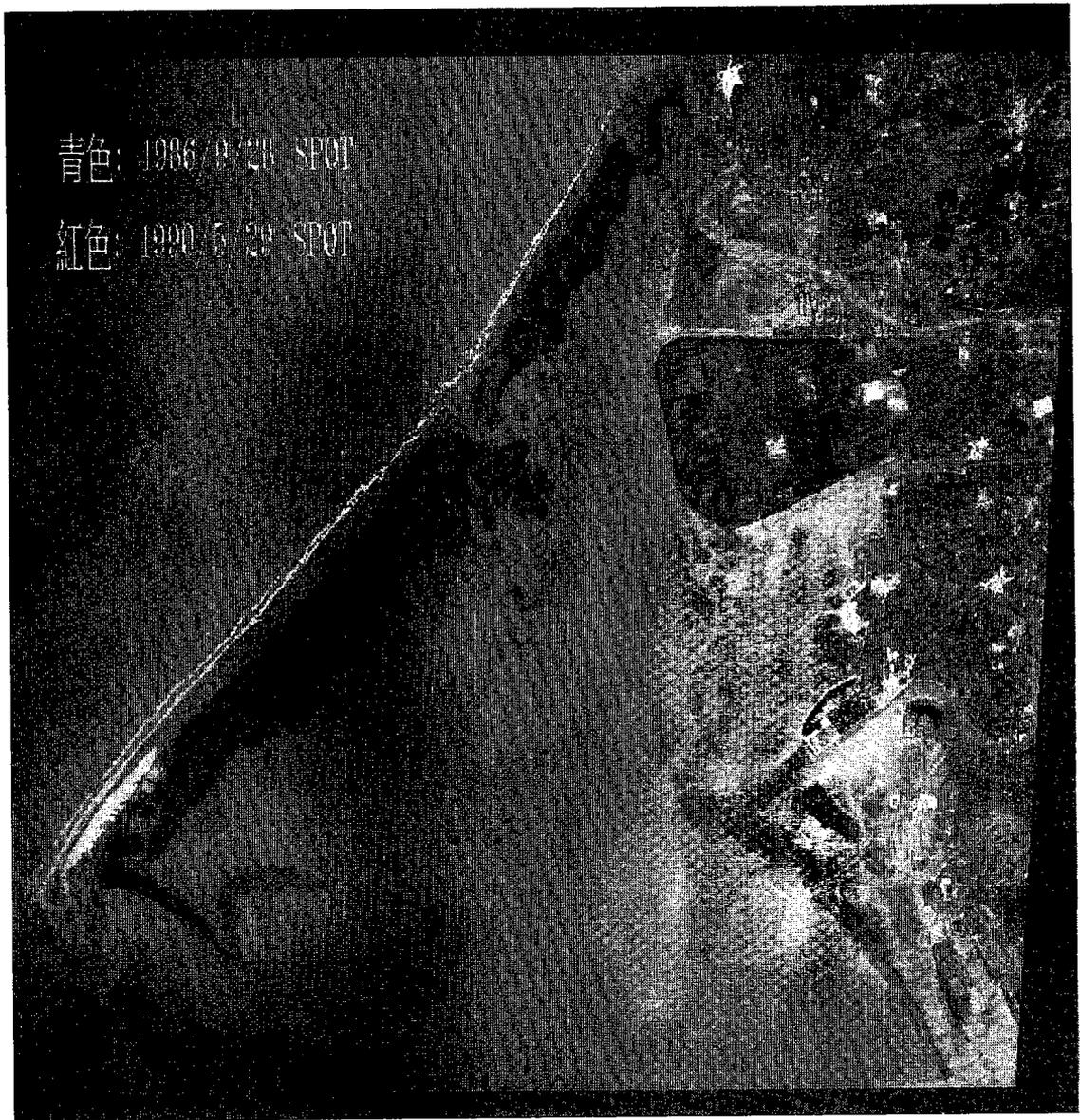


圖九、嘉南沿海數位重疊 MSS 5 影像  
1973 (藍+綠) , 1984 (紅)



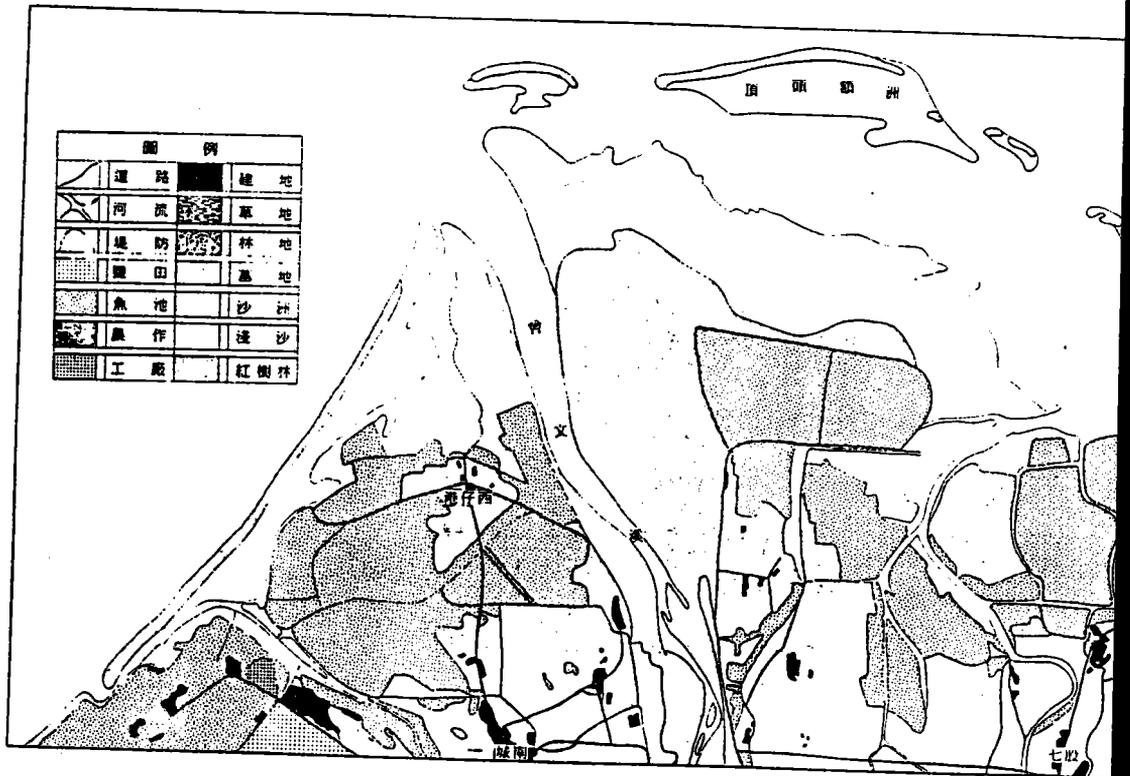
圖十、嘉南沿海數位重疊影像

1973 MSS 5 (藍+綠) , 1986 XS2 (紅)



圖十一、外傘頂洲數位重疊影像

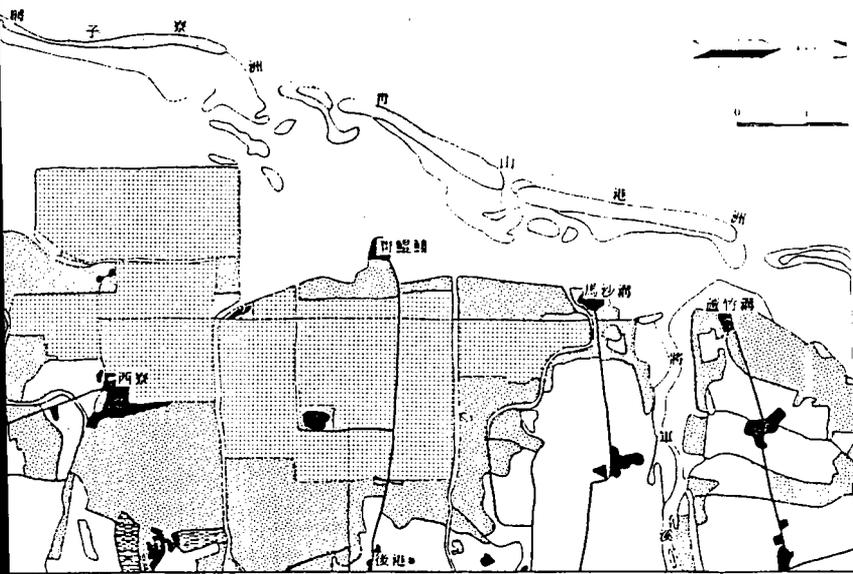
1986/09/28 SPOT XS1 及 1990/05/29 SPOT XS1 重疊假色組合像  
1986 XS1 (藍+綠) + 1990 XS1 (紅)



圖十二、民國36/37年八掌溪口至曾文溪口土地利用／覆蓋圖

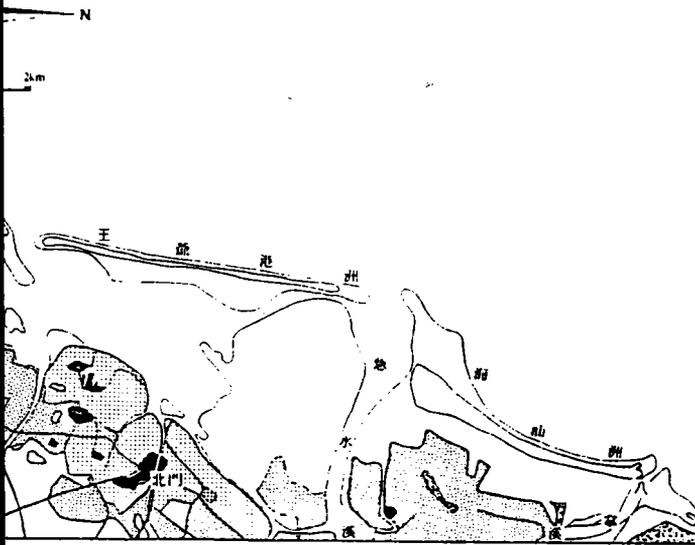
# 嘉南沿海土地利月

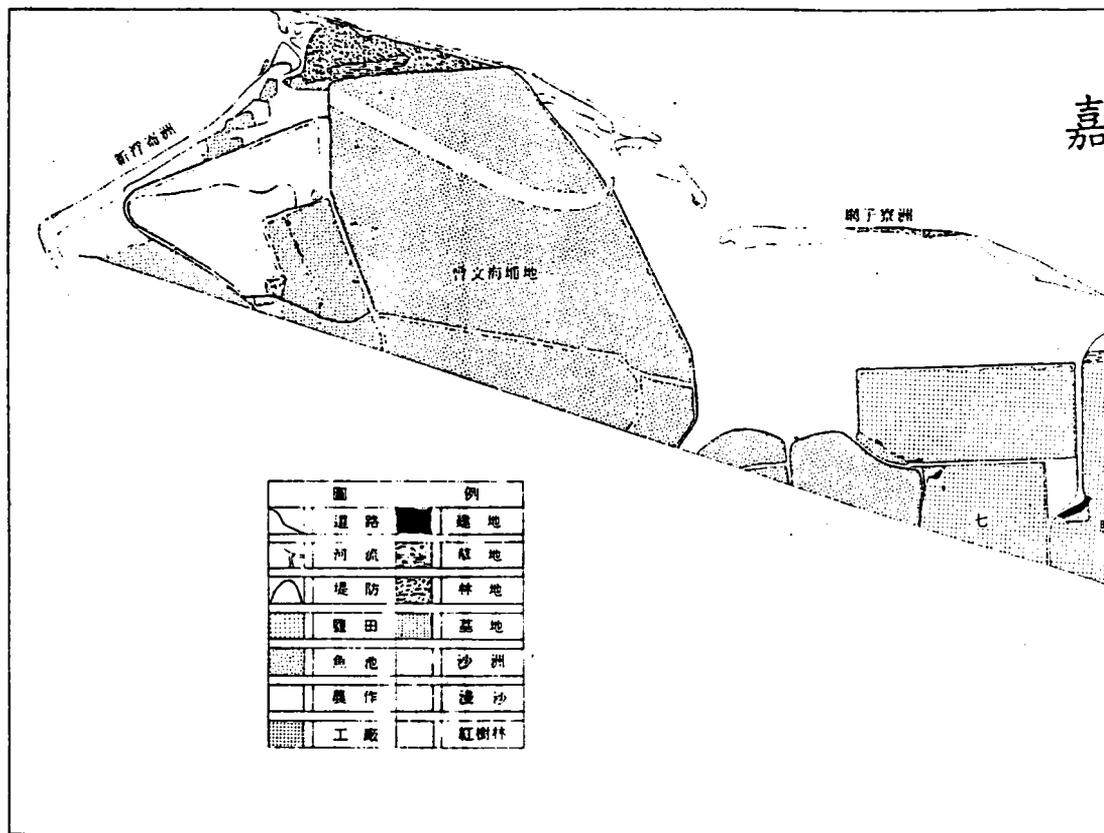
(根據36、37年航照：八掌)



# 用 / 覆盖圖

( 溪口—曾文溪口 )

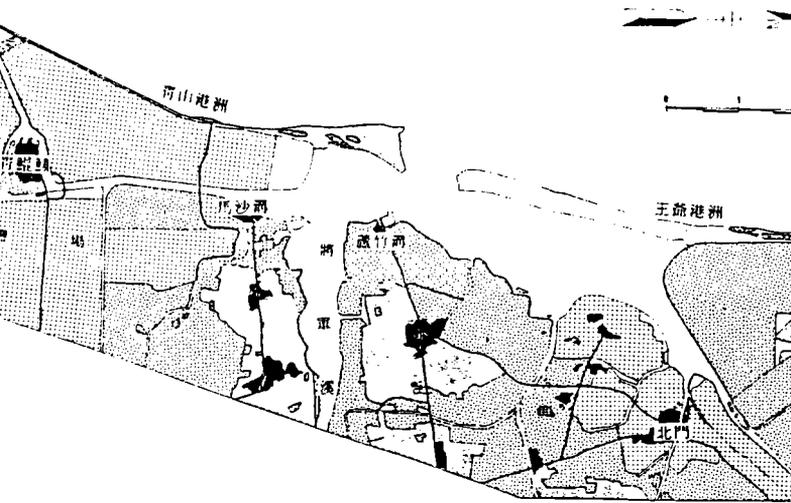


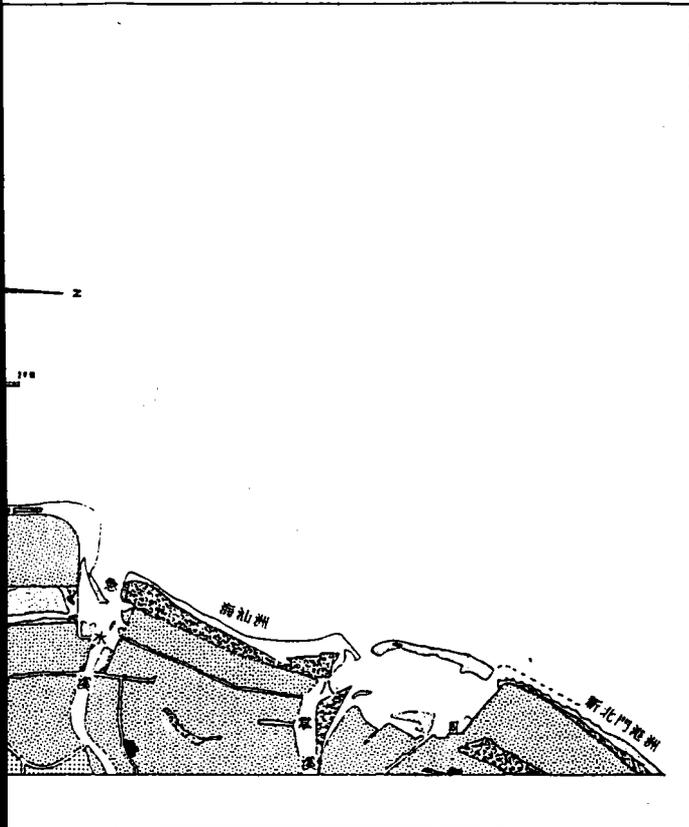


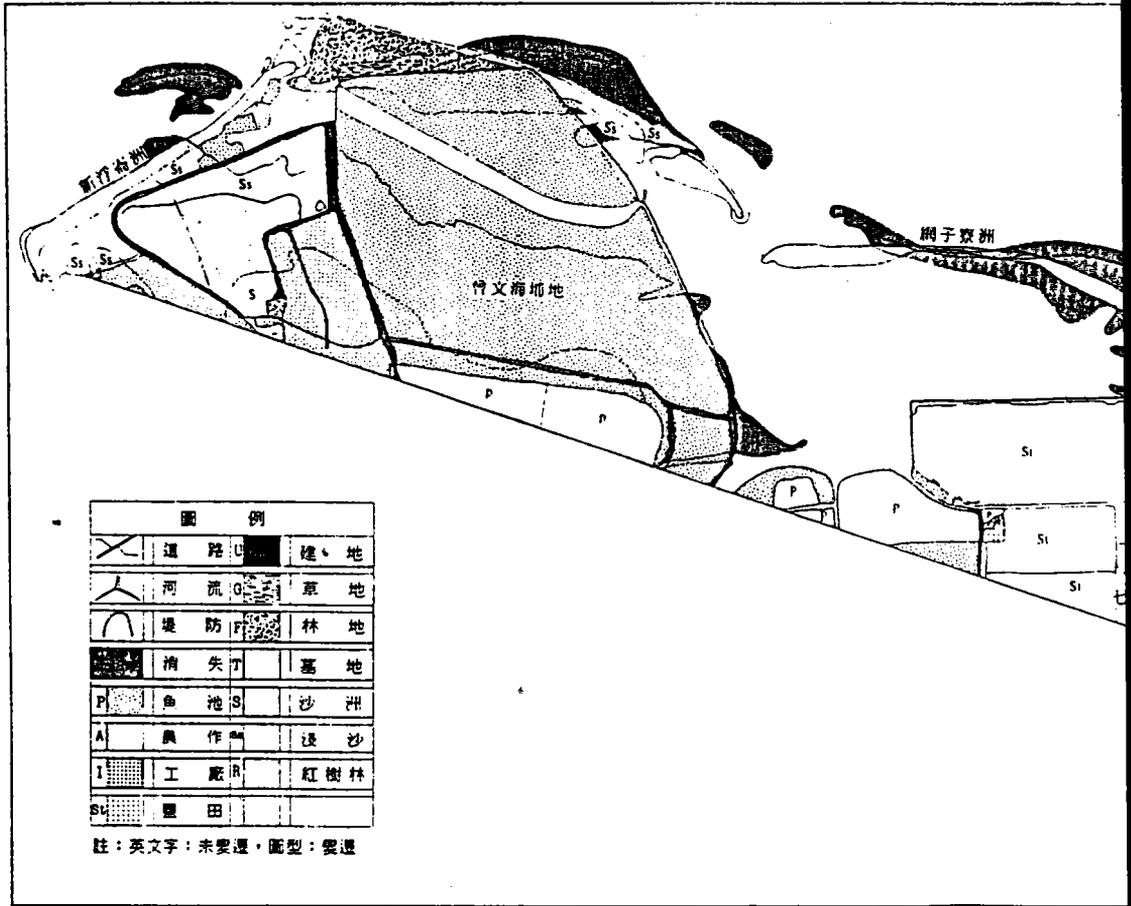
圖十三、民國79年八掌溪口至曾文溪口土地利用／覆蓋圖

# 沿海土地利用／覆蓋圖

根據70年航照：(八掌溪口—曾文溪口)





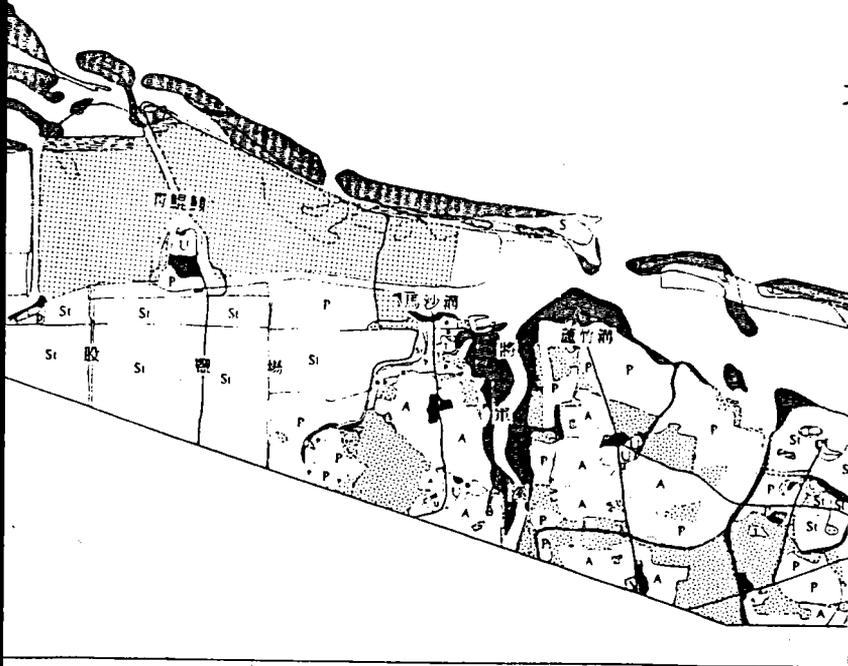


圖十四、民國36/37年與79年間八掌溪口至曾文溪口

土地利用／覆蓋變遷圖

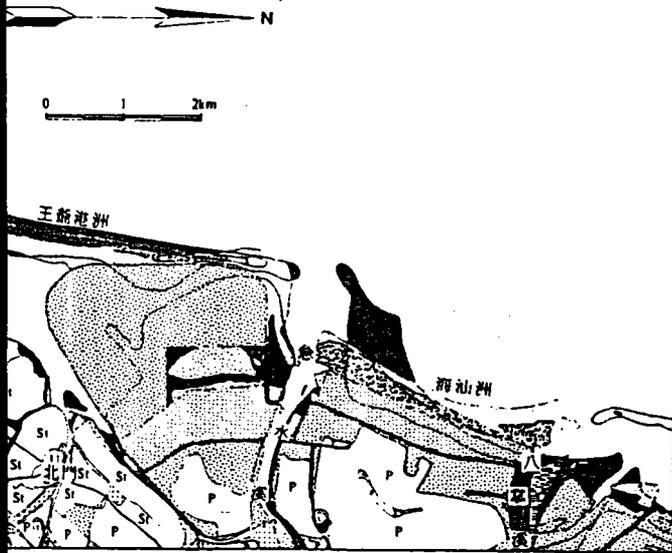
# 嘉南沿海土地利用／覆

(根據36、37／79年航照：八掌溪口—曾)



# 蓋變遷圖

(曾文溪口)



# 外傘頂洲侵蝕調查與雲嘉海岸開發研究

張金機

## 一、前言

臺灣四周環海，海岸線總長達 1140 多公里，臺灣西部雲林、嘉義海岸北起濁水溪口南至八掌溪口，受濁水溪、虎尾溪、北港溪、朴子溪及八掌溪等河川挾帶大量泥沙排入河口，再由波浪與沿岸流作用造成沿岸沙洲林立。根據水利局海埔地開發及沿岸漁港所蒐集資料顯示，過去每年颱風季節河川攜帶大量泥沙補注西部海岸尚能維持平衡；近年來因河川上游集水區整治發揮功能，河川輸沙量顯著減少，雲、嘉海岸呈現侵蝕現象。雲林外海海豐島消失後，雲林與嘉義交界向西南延伸長達 20 公里沙洲，目前除外傘頂洲外，其餘統仙洲、箔子寮汕等在高潮時大都潛沉在水面下。外傘頂洲外緣灘線正逐年向內侵蝕。根據往昔研究顯示，外傘頂洲推估沖刷量差異極大。為了解外傘頂洲沖刷特性，港灣技術研究所自 79 年起編列預算每年辦理水深測量一次，利用實測地形資料計算每年沖刷量，作為雲嘉海岸規劃依據。

為配合經濟發展需求，政府積極推動海岸開發建設，在雲林海岸規劃離島式基礎工業區，濁水溪口南側計畫設立台塑六輕。大規模填海造陸，興建防波堤、港灣，勢必造成鄰近地區負面沖擊，加速外傘頂洲消失，增加海岸保護費用，是一個值得深入研究探討問題。針對雲嘉海岸特性，本研究提出開發理念與構想，提供有關單位參考。

---

港灣技術研究所所長

## 二、雲嘉地區風浪特性

雲嘉海岸天候條件與台中港極為相似，冬季受大陸冷高壓影響，東北季風盛吹；夏季除颱風侵襲前後出現強風外，平時風力較弱。茲將實測風速、波浪與推算波浪能量介紹如下。

### (一)風速

民國79年全年實測風速、風向統計結果如圖 2-1，風向主要為 NNE, N 及 NNW, 約佔 59%，風速小於 5 m/s, 約佔 35.5%，大於 12.5m/s 佔 9.4%。冬季風速風向統計結果如圖 2-2，風向集中於 NNE, N 及 NNW, 佔 82.6%，風速小於 5 m/s 佔 29.6%，大於 12.5 m/s 佔 11.5%。夏季統計結果如圖 2-3，偏北風向所佔比例減為 35.4%，偏南風向約佔 47%，出現較大風速概率明顯降低。

### (二)波浪

本所79年10月開始在雲林嘉義離岸約 8公里，水深約13公尺處設立波浪觀測站，記錄外海波浪。冬季與夏季波高與週期聯合概率分佈如圖 2-4及圖 2-5。冬季時波高集中分佈於 0.5 m 至 1.5 m 間約佔 74.6%，週期集中分佈於 4 sec 至 7 sec 間，佔 88.5%，夏季波高偏小，0.5 m 以下佔 70.2%，1.0m 以下所佔概率高達 94.7%，週期則分散於 3 sec 至 7 sec 間，佔 76.5%。假設外海波高 1公尺以下，且延續 3小時以上，方能從事海上旅遊活動，則冬季大部份時間均不適合海上活動；夏季除颱風過境前後，均可從事海上活動。

### (三)風速與波浪相關特性

由於海上波浪觀測遠較陸上風速量測困難，經常耗費大量人力與經費，而得不到連續可靠之資料，尤其越珍貴的資料越難取得；因此，在應用上往往利用相對應時間風速與波浪觀測資料，

建立風速與波浪相關特性。雲嘉外海示性波高  $H_{1/3}$  (m)，與外傘頂洲風速  $V$  (m/s) 之交相關係數達 0.801，迴歸關係為

$$H_{1/3} = 0.12 + 0.124 V + 0.001 V^2$$

#### (四) 作用於外傘頂洲之波浪能量

波浪侵襲海岸，為帶動沿岸漂沙最主要外力；因此，分析波浪能量分佈特性，可以進一步了解海岸變遷過程。波浪能量計算方法係根據前述波高與風速關係式，利用實測風速資料求得波高、週期；假設深海波向與風向一致，以數值方法計算折射，及碎波點沿岸波浪能量。由70年至80年外傘頂洲實測風速資料計算作用於外傘頂洲沿岸波浪能量分佈如圖 2-6。西南向波浪能量遠較東北向為大。

### 三、外傘頂洲地形變遷與沖刷量推估

昔日濁水溪未治理前，挾帶大量泥沙由北港溪排入海中，形成一系列長達 20 公里離岸沙洲；由北而南分別為統仙洲、箔子寮汕及外傘頂洲。沙洲外緣灘線以北港溪為中點，呈弓狀凸出，如圖 3-1。民國元年日本人實施濁水溪整治計畫，林內一、二號堤防完成後，北港溪由濁水溪截斷自成水系，排沙量大減；沙洲在強風巨浪雙重作用下，逐年被侵蝕，其中以北港溪口變化幅度最大，自民國 9年至68年共計侵蝕約 4公里，沙洲向西南延伸達 5公里，沙洲外緣灘線呈凹狀向內彎曲，如圖 3-1。根據海圖資料顯示，民國36年以前灘線平均每年後退約30公尺，36年至51年間平均每年後退達 180公尺；51年至71年間平均每年後退約40公尺。外傘頂洲高程由原來約10公尺降低至目前約 2公尺，沙洲上防風林已全部消失。工研院能資所吳啓南等(1990, 1991) 利用衛星遙測資料及航空照片分析外傘頂洲灘線變遷獲得下列結果。民國62年至75年間沙洲南、北兩端年平均後退量分別為 44 及 103公尺；75年至79年間南、北兩端分別位移 240及 420公尺，每年平均 65及 115公尺。

由以上雲嘉海岸地形變遷分析顯示，外傘頂洲屬於侵蝕海岸，每年侵蝕量究竟多少？因缺乏可靠之海岸測量圖，利用各種方法推估數量相差極大；謹提供以下侵蝕量推估作為參考。

- (一)民國70年水利局「嘉義海埔地規劃報告」，根據民國 9年與 68年間地形變化，估計嘉義沿岸沙洲每年流失土方約 1,000萬立方公尺。
- (二)民國74年水利局委託台大土木研究所林銘崇教授辦理「嘉義外傘頂洲地形變化研究」，考慮波浪及沿岸流輸沙理論，利用數值模擬外傘頂洲地形變化，求得沿岸輸沙量為每年 190萬立方公尺。
- (三)民國74年嘉義縣政府委託台大造船研究所侯和雄教授辦理「布袋港址波浪分析與漂沙量研究」，利用63年及69年地形圖計算外傘頂洲上、下游土方變動量，求得虎尾溪至朴子溪間每年平均沖刷量約為 3,200萬立方公尺。

綜合上述外傘頂洲沖刷量推估研究結果顯示，因採用不同資料，使用差別推算方法，且未清楚界定研究範圍，所求得沖刷量差異極大。

為了解外傘頂洲沖刷特性，本所自79年起編列預算辦理「外傘頂洲沖淤調查研究」，除利用現場實測水深圖，計算外傘頂洲外緣沖刷數量外，並蒐集風速觀測資料，配合波浪、海流調查分析風、浪相關特性，求得沿岸波浪能量分佈，建立海灘地形變遷數值模式。

地形與水深測量於每年八月至十月辦理，截至目前已完成79、80及81三年測量圖，外傘頂洲海岸水深變化如圖 3-2。根據測量圖利用網格法計算79年與80年土方量，求得外傘頂洲長10公里，水深 4公尺以內，每年沖刷量約為 80萬立方公尺；水深 20公尺以內，每年土沙流失約 600萬立方公尺；海岸灘線平均向內陸移約 70公尺。

#### 四、外傘頂洲重要性

雲嘉海岸因漁業養殖超抽地下水，造成地層下陷，使海堤高度不足。水利局第五工程處所蒐集海堤資料顯示，雲林縣四湖、口湖及嘉義縣東石等鄉鎮現有三萬公尺海堤高程介於2.7至3.4公尺間，低於設計水位，甚至部份堤防嚴重損壞，急待修補。

每年夏期颱風過境受低氣壓與強烈西南氣流雙重作用，海水暴漲，造成雲嘉沿海鄉鎮海水倒灌現象。外傘頂洲與統仙洲等組成一系列離岸沙洲，位於雲、嘉外海成為海岸天然屏障。每當颱風侵襲，沙洲使入侵風浪發生碎波消耗大部份能量，減少作用於海堤波力。因此雲嘉沿岸水患均僅止於海水倒灌，淹水而已，而未發生急流或洶湧波濤現象。如果有朝一日，外傘頂洲被侵蝕而消失，雲嘉海岸堤防將直接受外海波浪侵襲，其所造成水患嚴重性將非今日淹水所能想像。因此，規劃開發雲嘉海岸地區，必先設法保護外海沙洲。

#### 五、雲嘉海岸開發

根據調查研究結果顯示，雲嘉海岸為一不穩定沙洲海岸，局部性海岸開發將會破壞海岸平衡，對鄰近區域造成嚴重衝擊。本文謹就海岸特性，開發基本理念，配合當地環境提出開發構想。

##### (一)海岸特性

根據波浪能量分析結果顯示，雲嘉海岸漂沙優勢方向係由北向南。波浪與沿岸流所產生之南向漂沙量主要依賴濁水溪排沙補注。近年來由於集水溪上游整治發揮功能，河川排沙量逐年減少，然而帶動雲嘉海岸漂沙主要外力——波浪能量仍大致維持不變，

因此造成海岸沖刷現象。外傘頂洲南端為雲嘉海岸最下游，該處海底坡度變陡，水深急劇增加，形成深溝，容納大量南移漂沙亦無現形。換言之，對漂沙而言該區為無底洞。

## (二)開發基本理念

雲嘉海岸既屬侵蝕海岸，在上游濁水溪口南側規劃興建台塑六輕及台西離島式基礎工業區兩項計畫，大量填築新生地建造海堤、防波堤，勢必阻斷沿岸輸沙，減少下游沙源補注，加速統仙洲與外傘頂洲沖刷，危及海岸堤防安全。相反的，若能先著手下游外傘頂洲開發，除可以防止大量沿岸輸沙陷入外傘頂洲南端深溝外，並可借新生地填築，防波堤與海堤興建發揮攔沙功能，除可以減低後續開發費用外，尚可避免造成海堤沖刷。

## (三)開發構想

了解雲嘉海岸特性與開發基本理念；規劃時，應以保護外傘頂洲等離岸沙洲為首要策略，否則沙洲消失，外海風浪將直接威脅海岸，而造成極嚴重之損失。謹就當地環境並配合國家經建需求提出下列開發構想。

### 1. 規劃開發為海上遊憩區

統仙洲、箔子寮汕與外傘頂洲連成一系列離岸沙洲，沙洲與海岸間因潮流形成寬闊且極為平靜之天然潮溝；潮溝中間水道為漁船航道，兩側則為蚵田。建議規劃開發為海上遊憩區，整理蚵田，建築海上高腳屋，選擇適當水域發展海上風帆、划船等。此外，並可與澎湖結合成為一海上旅遊環帶。

## 2. 興建海岸淡水湖

雲嘉沿海鄉鎮，因發展漁業養殖超抽地下水，造成地下水鹹化，地層下陷，每當颱風侵襲發生海水倒灌；究其根本原因，仍是缺乏養殖水源。建議配合新生地開發，圍築海岸湖泊，儲存淡水，供應臨近地區養殖、工業及民生用水。

## 3. 填築新生地

雲嘉海岸潮間帶灘地廣闊，配合海岸保護，淡水湖泊興建，可以浚挖低地填築新生地，提供作為工業、住宅及海邊遊憩所需用地。

## 六、結語

- (一)受地球溫室效應影響，平均海水面逐年上升，根據聯合國調查團估計至西元 2100年止合理估計海水面將上升 66公分。雲嘉沿海地區由於超抽地下水，造成地層下陷，一正一負將使未來水患更趨嚴重。設法養護海岸沙洲以減輕水患是刻不容緩。
- (二)根據調查結果顯示，雲嘉海岸為一不穩定沙洲海岸，任何開發計畫前必需以整體區域作審慎研究評估，以避免對鄰近地區造成負面影響。
- (三)雲嘉海岸為侵蝕海岸；原則上侵蝕海岸應避免從上游雲林台西先開發，如此將使下游泥沙補注減少，加速外傘頂洲沖刷。
- (四)就雲嘉海岸特性，配合當地環境及經建發展需求，雲嘉海岸適合開發為海上休閒區，興建海岸湖泊，填築新生地。

## 七、參考文獻

1. 林銘崇，莊文傑 1985，外傘頂洲地形變遷之研究，土木水利季刊第十二卷第三期 P.23~39.
2. 林銘崇，李文錫 1981，海岸水庫鹽度擴散之研究，台大土木工程研究所水利組研究報告，水利 7003.
3. 林銘崇，何貽倚 1981，嘉義外傘頂洲地形變化研究，台大土木工程研究所水利組研究報告，水利 7002.
4. 水利局 1984，濁水溪綜合治理及其相關問題，水利局規劃總隊。
5. 邱永芳等 1985，海埔新生地開發之研究，台灣省財政廳建設基金審查小組研究報告。
6. 港研所 1989，台灣四周海象氣象調查研究(四)，交通處港研所基本研究報告。
7. 曾相茂 1989，外傘頂洲附近海域冬季波浪與風之特性，第十一屆海洋工程研討會論文。
8. C.K. Chang, 1990, The Preliminary Management Study of Wai-Sand-Ting Chou. Sino-Dutch Technical Workshop.
9. 僑龍顧問公司 1989，外傘頂洲東石附近海埔新生地開發可行性初步研究報告。
10. 港研所 1991, 1992, 台灣西海岸沖淤調查研究(一)(二)。
11. 中興、泰興顧問公司, 1991, 雲林縣離島式基礎工業區開發可行性評估先期規劃。



1980/01-1990/03 & 1990/10-1990/12

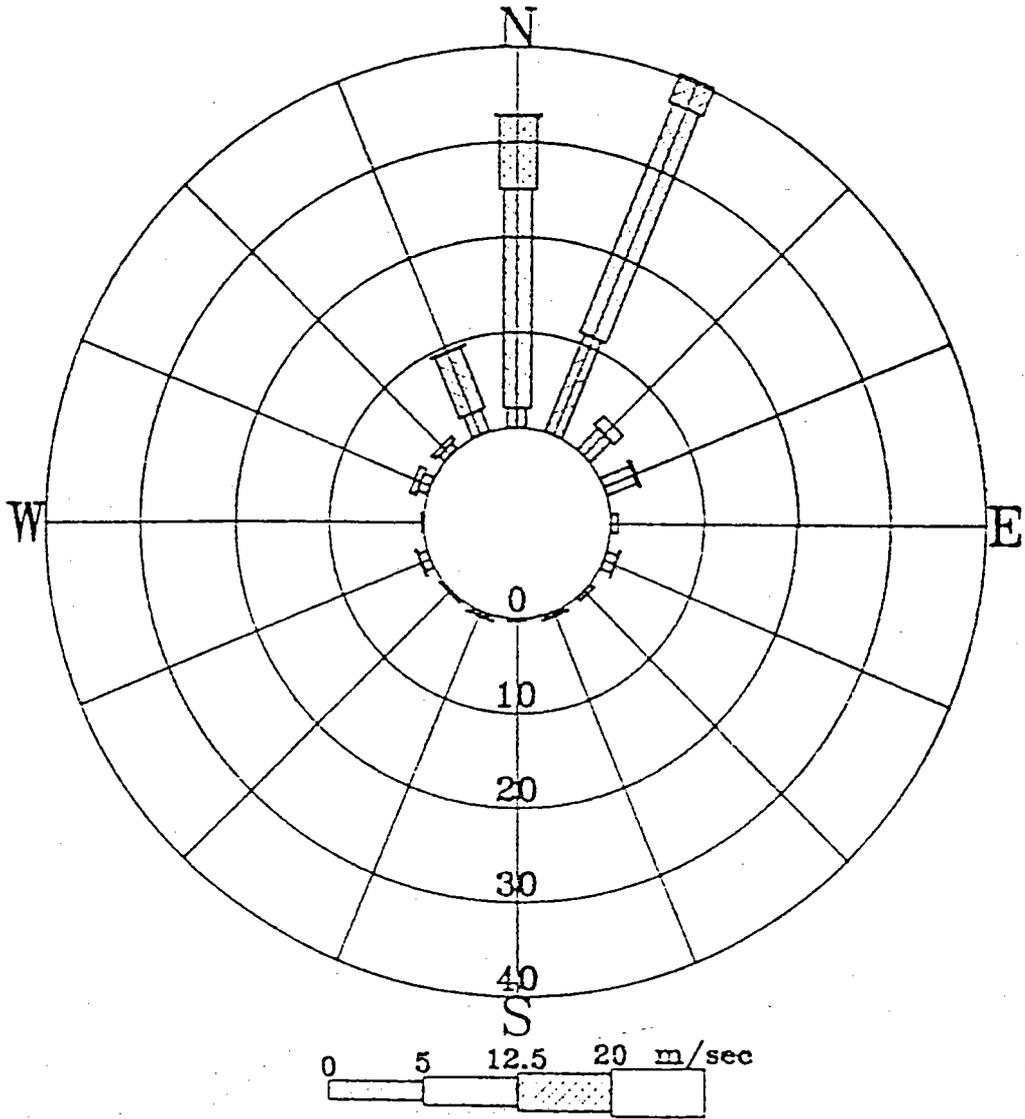


圖 2-2 外傘頂洲冬季風速風向統計圖

1990/04 - 1990/09

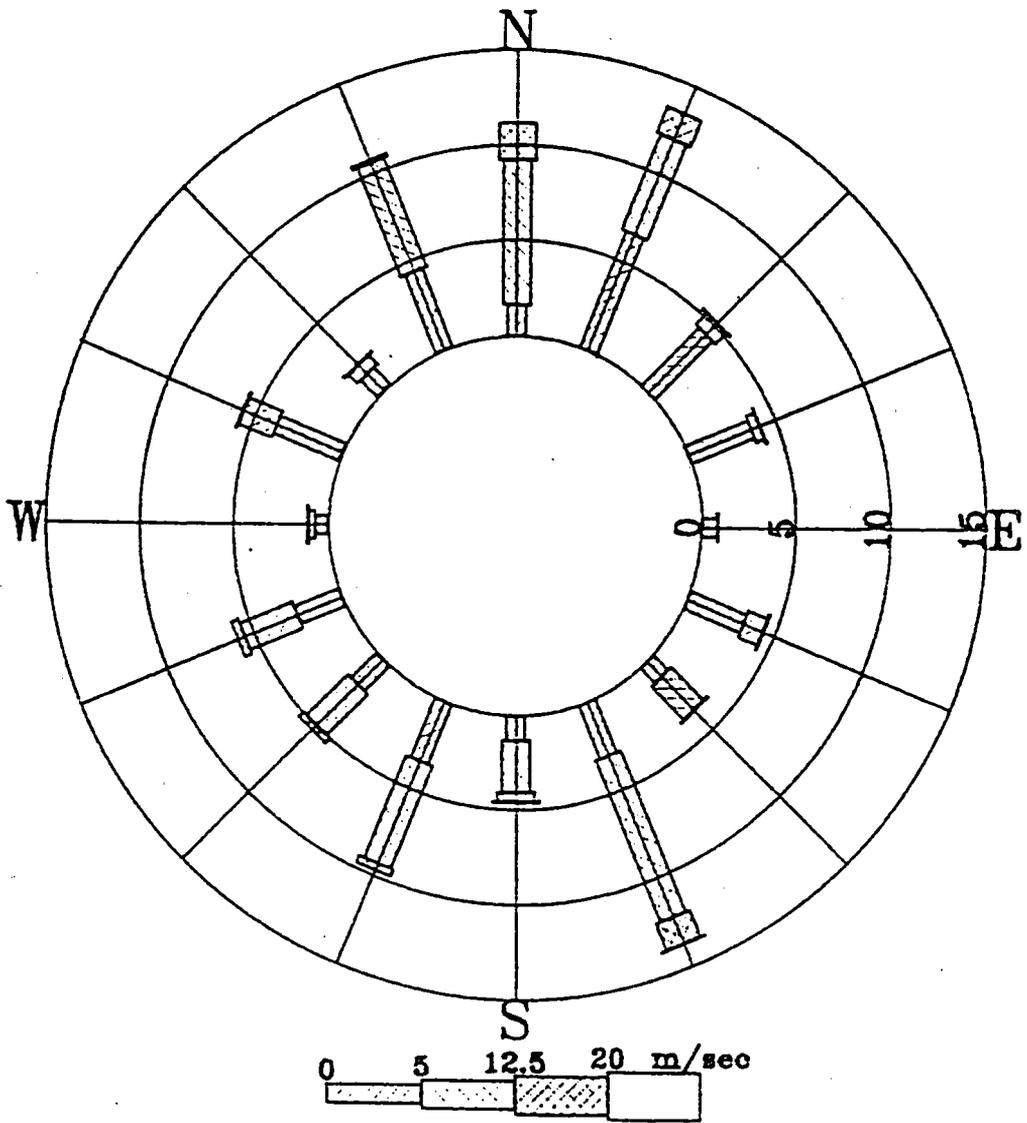


圖 2-3 外傘頂湖夏季風速風向統計圖

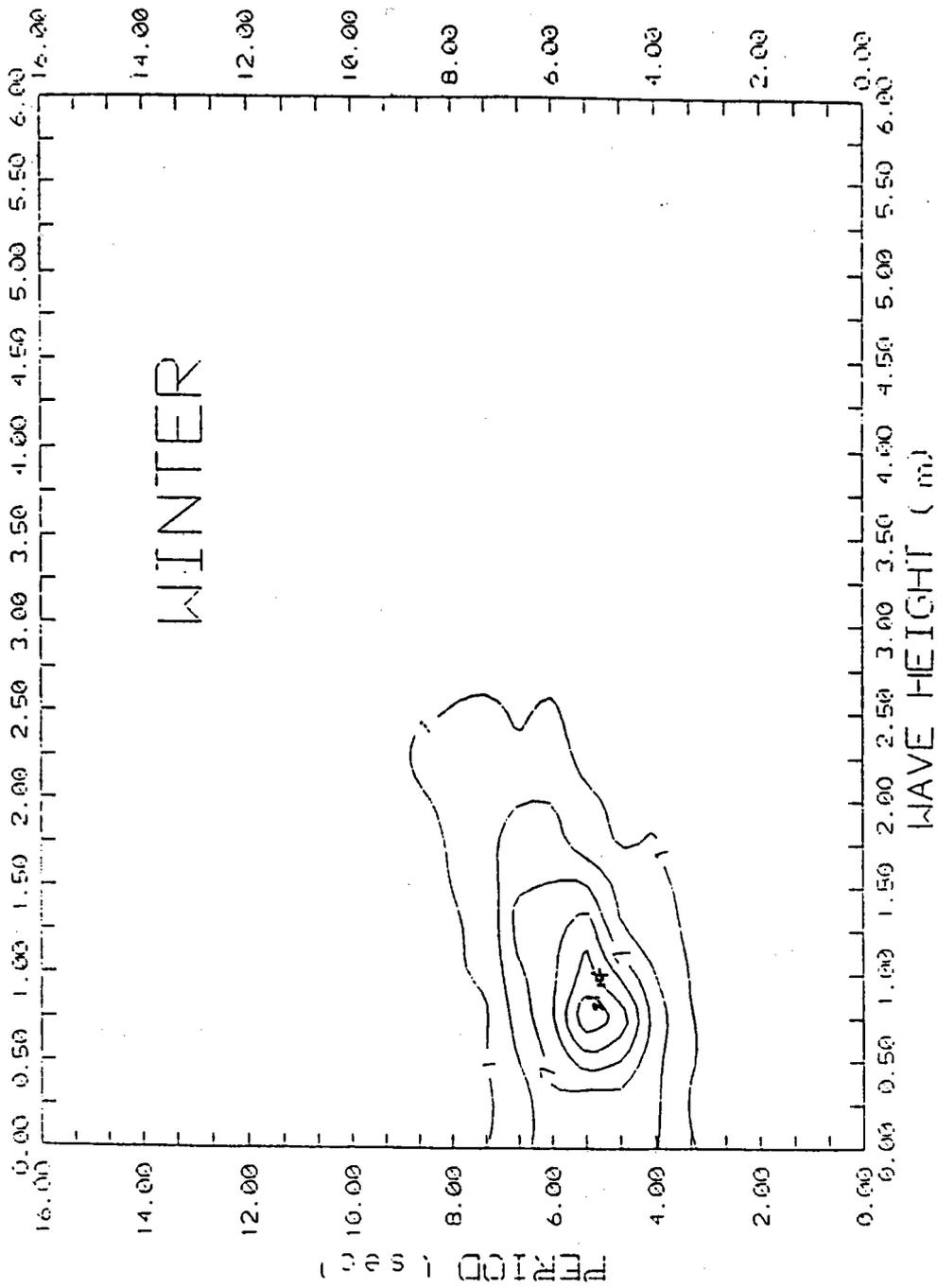


圖 2-4 外傘頂洲冬季波高、週期聯合概率分佈

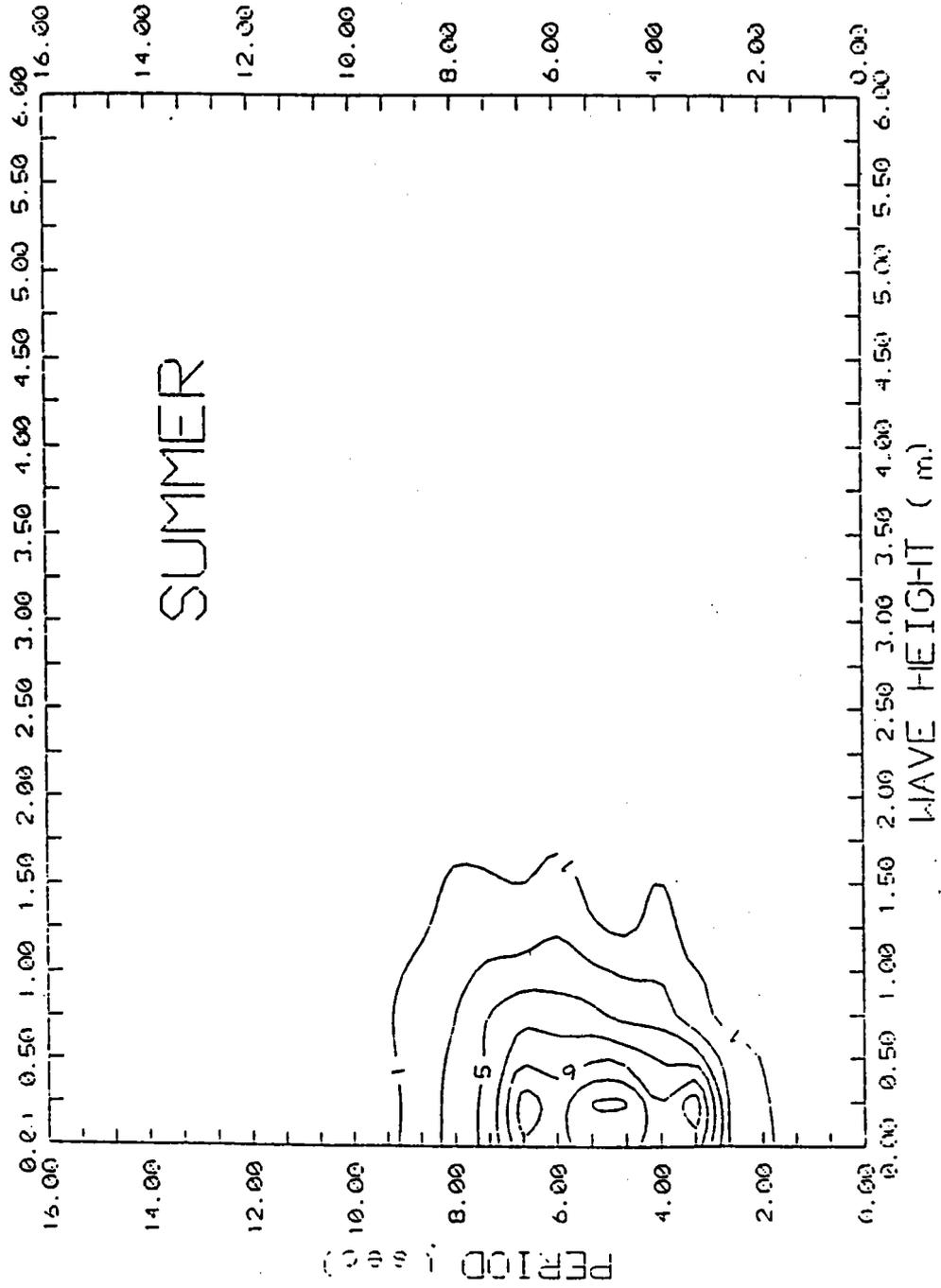


圖 2-5 外傘頂洲夏季波高、週期聯合概率分佈

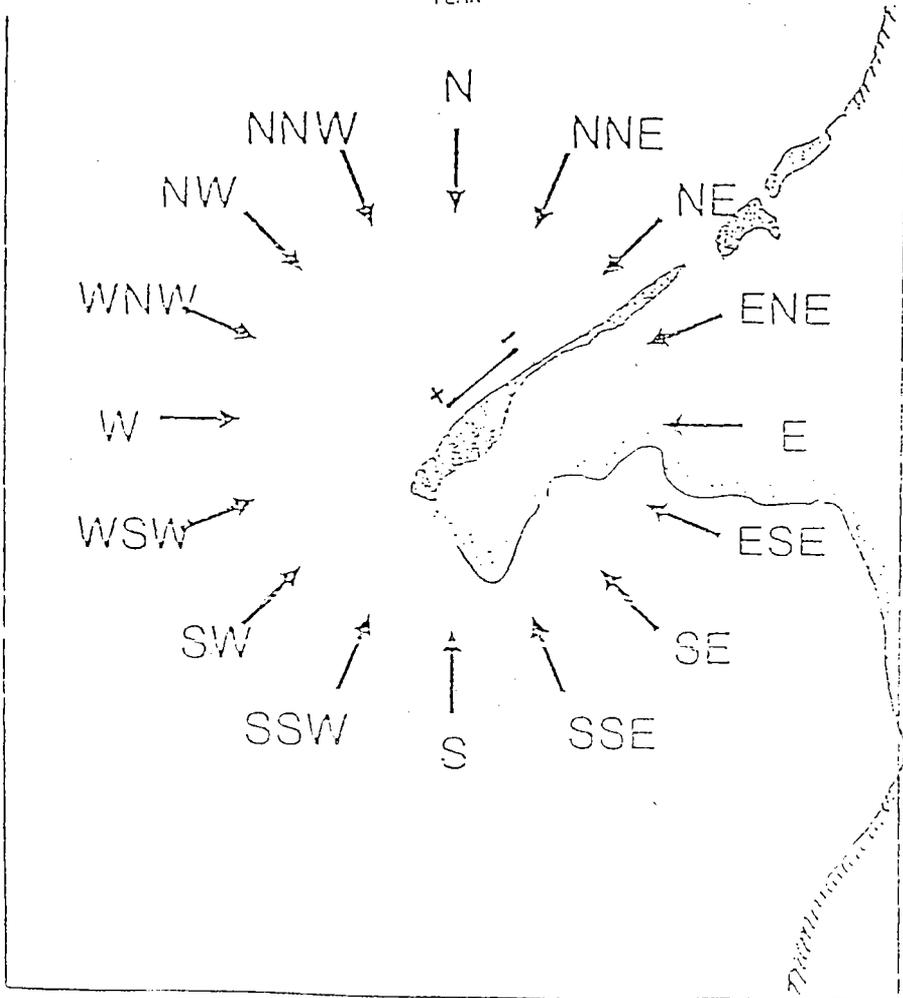
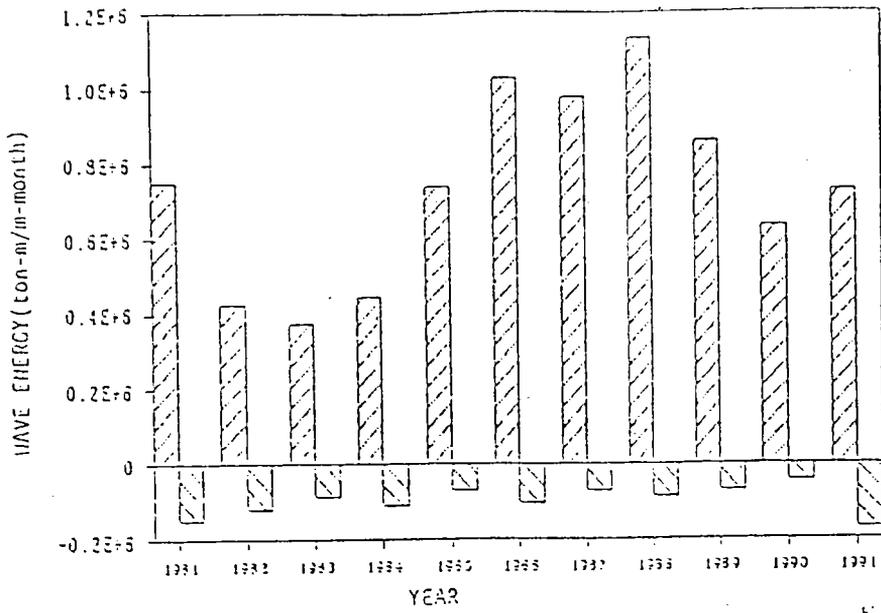


圖 2-6 外傘頂洲波浪能量統計圖

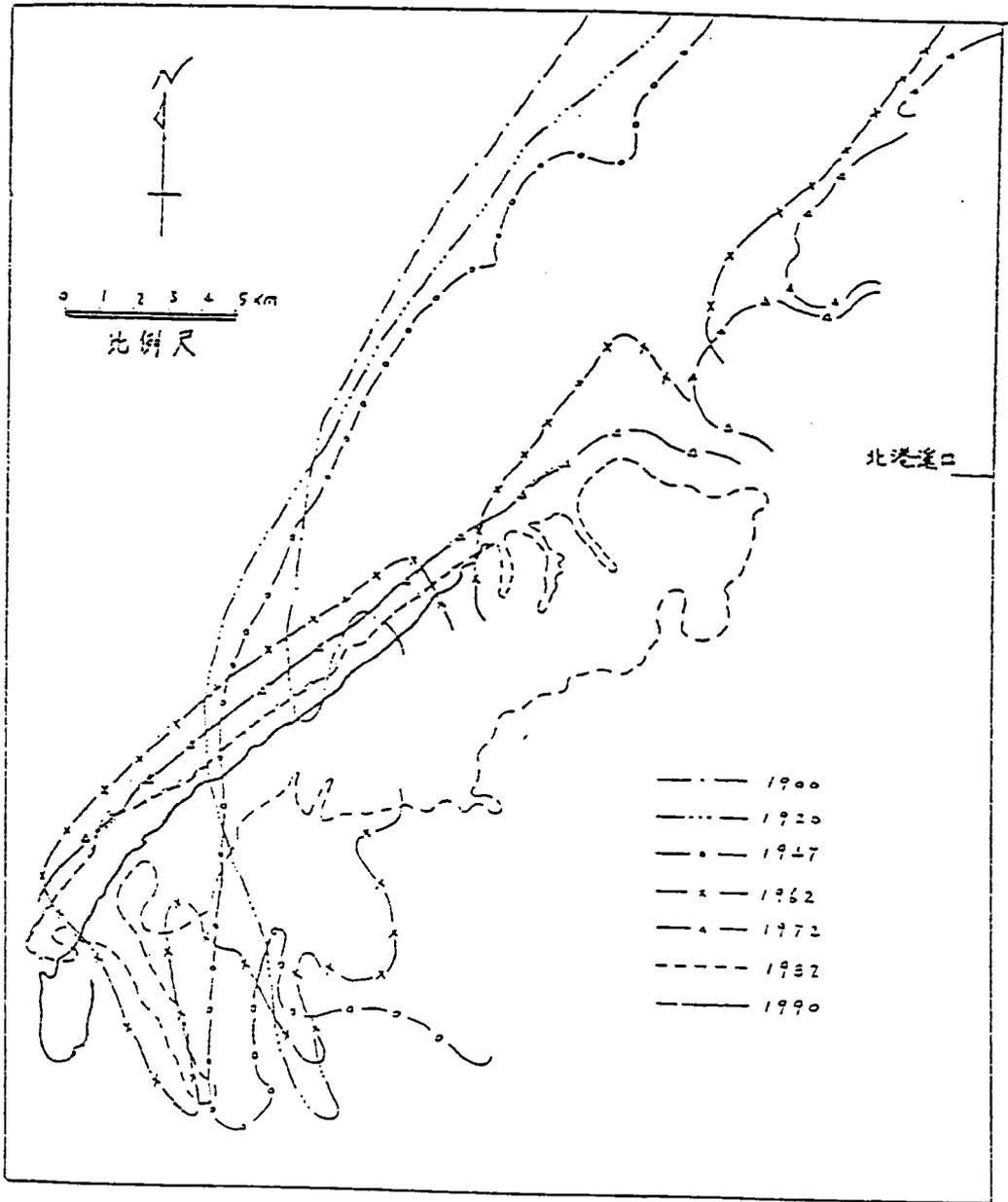
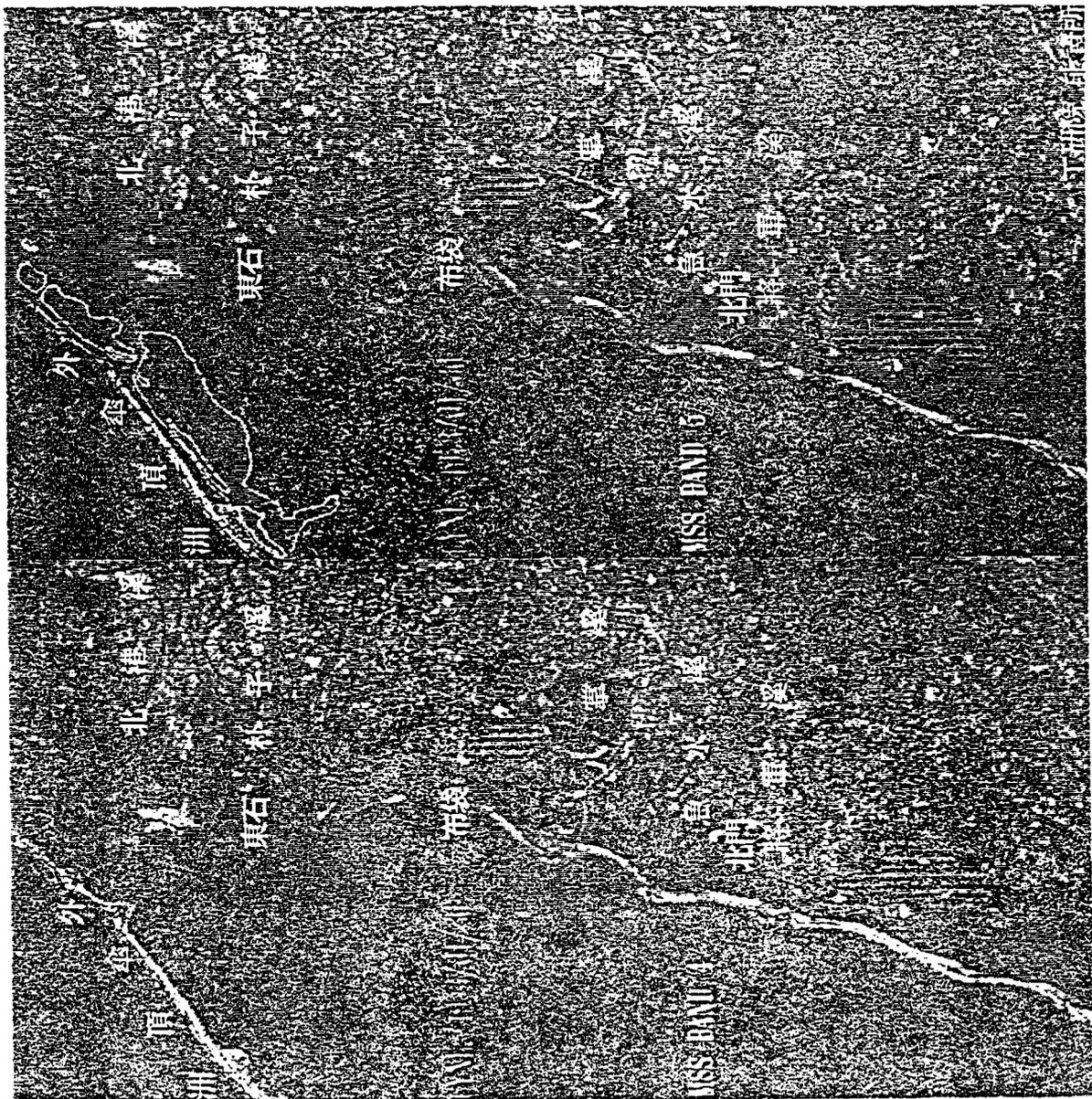


圖 3-1 外傘頂洲海域歷年海岸線變化比較



照片 1



Band 1

青色: 1986/9/28 SPOT

+

紅色: 1990/5/20 SPOT

工研院 能資所

張考乙

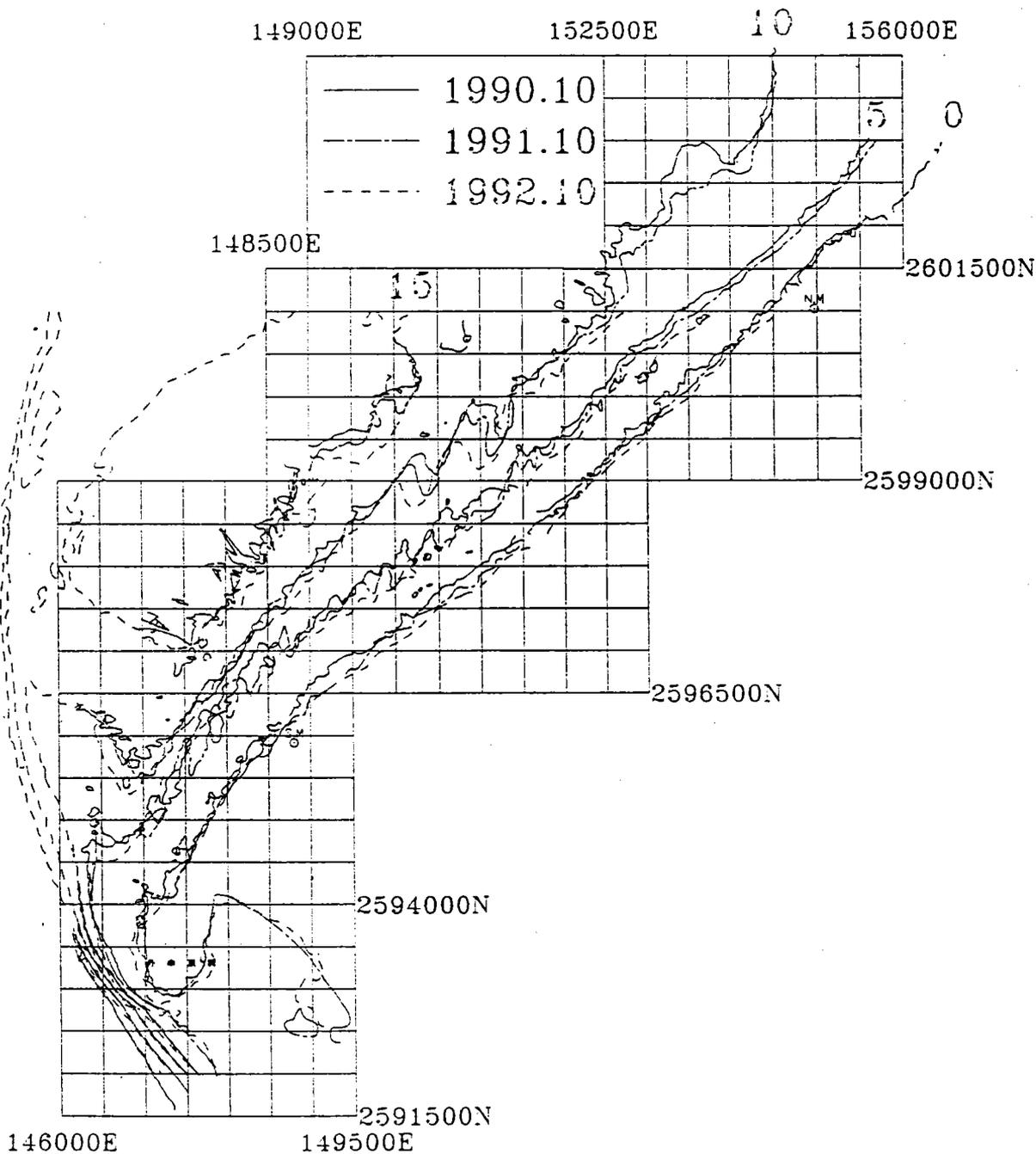


圖 3-2 外傘頂洲近三年水深測量圖



# 台灣西部海岸資源的經理及展望

THE COASTAL RESOURCES MANAGEMENT AND ITS

PERSPECTIVE OF WESTERN TAIWAN

1.

黃金山 HWANG, Jing-San

## 摘 要

海岸是一種自然資源，必須在開發利用及資源保育兩方面均予以妥為規劃，求取其自然的平衡。本文簡介台灣西海岸在過去的變遷，其自然的演變趨勢，過去及現在吾人對其開發及利用的情形以及開發後的追蹤及研究。對於目前集中於討論西海岸開發利用的課題並提出若干評估及檢討，展望今後吾人應如何面對寶貴的台灣西海岸資源，使吾人的開發利用不致於傷害到海岸資源的自然平衡。

## ABSTRAT

The coastal zone is one kind of natural resouces which requires special attention during its planning study for development and conservation. This paper describes the evolution of western coastal zone of Taiwan, the spontaneity, current and past development, and the monitoring study of post-utilization. The current development of some large scale reclamation projects is discussed and evaluated to formulate the perspective of our management in an equilibrium of coastal resources by avoiding the adverse effects.

Key words: Coastal zone, Resources Management,

Sustainable Development, Equilibrium Coastal Morphology.

## 壹、緒 論

世界上許多國家都已經以寶貴的資源看待其海岸地帶，在保育及利用時，要求特別予以關心。在台灣吾人過去在海岸地帶的主要活動包括有港灣的開闢利用，近岸的養殖，海埔地的開發利用以及施設海堤以防浪禦潮。最近由內政部劃定有自然保護區以及交通部觀光局所劃定的海岸特定區等。基本上，我國對於海岸地帶還未能以資源經營的眼光及態度來對待我們的寶貴海岸資源，一般還是以目的事業的著眼點，偏重在海岸地帶的利用。

海岸資源的經營必須開發與保育並重。吾人在從事海岸資源的經營，首先必須完全瞭解吾人所要面對的海岸；其自然特性，包括過去的演變，現況以及今後的可能變遷。不但世界上各國的海岸特性互異，即使像小小的台灣，沿海各部分的海岸性質也不同。本文探討最近的將來可能會有大量開發活動的西海岸地區，從其自然特性，檢討今後開發活動可能會為西海岸帶來何種衝擊，以海岸穩定及資源永續利用的觀點評估其展望，對於海岸工法也原則性的加以檢討，拋磚引玉，願今後吾人能有妥善經營西海岸資源的共織。

## 貳、台灣海岸特性

台灣的海岸線，基本上因受歐亞板塊及菲律賓海板塊擠壓的作用，仍持續上昇之中。依照週圍環境地質資料研判，其上昇率估計約在一百年18公分上下（1，2）。

一般而言，台灣北端及南端的海岸線，因係岩岸，並有珊瑚礁的存在，相對的，以短期的數十年時間衡量，尚稱穩定。但東部海岸則因面臨著廣大深淵的太平洋，更因靠近板塊被擠壓帶附近，海床坡度甚陡，一直處在被侵蝕，退縮的狀態。西部海岸如以長期千百年的地質及陸地演化過程而言，係處在上昇及延伸的狀態之下。當然短期因地下水的不當利用所造成的地盤下陷係另外的問題，不為本文討論的內容。

西海岸的近況，如以最近吾人在此地區活動增加的 200年歷史紀錄檢討，並以濁水溪河口附近的變遷加以分析研判，一年向西的延伸速率大概不少於20公尺。其延伸的主要貢獻來自長期的板塊擠壓所造成陸昇以及泥沙下輸在淺海的堆積。如以影響的程度而言，依過去的紀錄所稱百年18公分，在吾人有限的數十年生命之中，很難覺察其延伸或上昇的痕跡。倒是由於泥沙的堆積所造成的貢獻，吾人時時可以看到它的消長。

以濁水溪為例子，其集水面積為 3,155 km<sup>2</sup>，僅次於高屏溪，為本省第二大的流域。一年估計約有3,000萬立方公尺的泥沙由上游集水區沖蝕，經由洪水逕流攜帶下送。估計約10~20%的粗顆粒泥沙，會沿溪沈積，或隨灌溉水進入渠道，被送到農田之外，其餘均輸送入海（3）。造成估計一年在西海岸，由包括濁水溪在內的西部各重要河川輸出泥沙所造就的陸地約在 200公頃左右。

檢討在台灣沿岸淺海地帶，因泥砂入海後造陸的成果，吾人可以發現，海岸線的向外移動，除受陸地上下輸的泥沙產量影響之外，海床的深度，坡度以及洋流的性質均能左右。西海岸曾文溪口以南，雖然有高屏溪大量泥沙的入海，但一直為侵蝕性海岸，恐與至為接近高屏溪口的深海溝（Submarine canyon）有關。北部南崁溪以北，淡水河口也無顯著堆積性扇狀地或三角洲恐亦為相同原因所造成。因此，西海岸的泥沙堆積造陸運動，仍以濁水溪口為中心，南迄曾文溪口，北至烏溪河口之間最為明顯。烏溪河口以北至頭前溪口之間雖然有局部的堆積，但規模已很小。

### 參、近代西海岸的變遷

先民早期到達台灣，其活動的範圍均集中在海岸線一帶，然後才逐漸向內陸發展。因此吾人由早日先民的活動重鎮，可概略的瞭解到當時海岸狀況。如台南，在台南市現存的赤崁樓至安平古堡之間，當時，尚屬潟湖及沙洲交互的狀態，而今均已變成陸地。鹿港的媽祖，據說興建當時也正面臨海水，而今去海已四、五公里。可見西海岸以彰化至台南之間，由於海床平淺，又有重要泥沙輸入河床，因此，陸地的演進向西至為明顯。

有系統的西海岸變遷紀錄可追溯到民國九年（1903）日本海軍水路部所做測量紀錄。之後於民國十四年（1925）日本陸地測量部再刊地形圖，民國三十八年（1949）聯勤測量處再行勘製，民國六十二及六十九年兩次，台灣省土資會測量，於民國七十一年（1982）台灣省水利局再行航測共有六次資料。

如以濁水溪河口為代表加以分析，於1903年到1982年之間，低潮線西移了將近1.6公里，其主要原因即是泥沙的堆積，前後共計79年間，平均一年外移20公尺。不過短期因洋流的運移變化，其消長仍很明顯，詳如圖一。不過以1903年到1982年間的海岸變遷而言，除烏溪河口至朴子溪口間尚發現局部像濁水溪河口的堆積，很大部分的低潮線均有退縮的現象。近代吾人在陸地的各種活動，如興建水庫、加強集水區經營防止沖蝕、河川砂石的大量外移等均對海岸線後退有很大的影響。今後各種陸地上之人類活動均必須對整體環境影響有充分的評估及追蹤，俾利妥謀因應。圖一為濁水溪河口以北至烏溪河口之變遷狀況，圖二則為雲林海岸低潮線之變遷。為比較近代各時期之低潮線變遷。表一為中北部崎頂至大甲溪，表二為彰化表三為雲林，表四為南區自北港溪口至曾文溪河口各年代之變遷比較。提供參考瞭解各不同年代，不同海岸之演變（4, 5, 6）。

由表一至表四之消長分析資料可知，台灣西部海岸，如以低潮線之進退檢討，苗栗縣秋茂園以北至崎頂，在民國21年至72年間，多少均後退。最多在中港溪口達到850公尺。彰化海岸則互有消長，靠近濁水溪口及烏溪口增長的多，中段鹿港至王功則明顯的後退。其中員林大排出口後退最多，達2.25公里。雲林海岸則伸長的多，僅新虎尾溪口及北港溪口有明顯的後退。其中尤以北港溪口自1900~1980年

之間，低潮線後退達 5.88 公里為最多。其原因為濁水溪於民國初年整治，兩岸興建堤防之後，由北港溪口出海之泥沙大量減少為主因。南區，自北港溪口以南，除東石附近因外傘頂州的南移，顯示增長及曾文溪口略有增長外，其餘海岸均後退。其中特別值得注意者，1962 到 1981 年間，曾文溪口已經開始後退達 1.3 公里，是否因係於曾文水庫完成，泥沙減少的影響，有賴於今後加強追縱研究。

#### 肆、海岸資源經理的準則

本文自標題開始，一直以資源的觀念稱呼及對待我們台灣的西海岸。因此，如何以資源經理的觀念來處理台灣西海岸的問題，很值得吾人深思及探討。世界上大部分的國家，一直到 1960 年代的中葉，尚以偏廢的土地來看待他們廣大的海岸地帶，頂多係以開發邊際土地的態度，將海埔地開發為農業使用，主要做為水稻種植之用。台灣也不例外，初期的海埔地開發均為農業或養殖的目的，農作物以水稻及甘蔗為主；養殖則以虱目魚及吳郭魚佔多數。其他海岸地帶的活動；包括為海運所需之港口使用，為漁撈所需之漁港，為淺海養殖之經營以及遊憩活動之海水浴場及其他觀光活動等。以上各類的活動，均必須以維持海岸地帶的地形學 (Morphology) 的平衡及生態學 (Ecology) 的平衡為原則。

以資源的眼光看待海岸地帶，吾人可以將其區分為珊瑚礁、紅樹林生態體系、海灘系統、河口及潟湖、海草床等五類。不過本文的討論偏重在地形學的範疇，如珊瑚礁、海灘、河口及潟湖等的變遷，穩定以及開發利用後，如何能兼顧其地形學的平衡 (morphological equilibrium)。海岸地帶開發利用活動，依其標的又可以區分為農業、漁業、林業、能源、交通、市鎮利用及工業等七類。過去台灣的海岸開發利用，集中在農漁業，但今後恐怕會轉移到市鎮利用及工業方面。其中市鎮利用並包括休閒及遊憩在內。至於交通則為傳統的利用項目，但今後濱海公路、機場等可能也會在海岸地帶插上一腳。本文的重點仍然在探討今後的可能開發活動會對海岸地形學的穩定平衡造成什麼樣的影響，以及應如何才可以減輕其負面的影響。

## 4 - 1 海岸資源保育的基本準則

所謂保育 (Conservation) , 很簡單的講 ; 就是妥善的、聰明的使用資源。換言之, 也就是不浪費資源。因此, 對於海岸的任何利用活動, 均必須進行完善的規劃; 其基本的考慮如下: (1) 任何海岸地帶的開發活動, 在核淮之前必須考慮其對海岸資源包括珊瑚礁、紅樹林生態系、海灘系統、河口及潟湖及海草床等的沖擊。(2) 每一資源單位均必須視為整體海岸資源體系的一部分, 掌握其相互間的影響。

以上五種資源體系, 以海灘、河口及潟湖與地形學的平衡關係較大, 分別加以說明 (7) 。

### 4 - 1 - 1 海灘、養灘以及其永續利用

海灘係由陸地上下輸的泥沙, 在海岸堆積, 並經潮浪運動的作用, 塑造成一種未固定形狀的沙灘。其作用不但可供吾人熟悉的海水浴場, 並是保護海岸線的一種最自然的消浪體系。不論做為浴場或護岸用的灘線, 吾人均應預期其永續存在。不過人類總是不智的在利用海岸資源; 如將海沙取走, 做為建材、礦源或其他的使用, 或將海灘開發為農漁生產設施, 破壞了它的自然平衡, 或在海灘某處開發港口, 改變了泥沙運動的進出途徑, 使海灘失去了平衡。因此, 任何在海灘的活動, 均必須依照下述準則考慮, 以維持海灘的永存。

1. 在任何改變海灘行為之前, 均必須對其特性加以瞭解, 如有開發活動, 其地點的規劃必須妥善分析保證其為一明智的決定。
2. 開發前應設定回淤線。
3. 如興建大港、長防波堤等阻擋泥沙運動之結構物, 應考慮足夠泥沙旁通道的設置, 或漸變地形的修正。
4. 在處理海灘侵蝕問題時, 最好能以軟性的養灘工法替代硬性的海堤及護岸。
5. 儘量維持海岸突出的前線沙洲。
6. 禁止海灘採砂, 以免影響可貴的沙灘之自然功能。

7. 如於某次大颱風之後，海灘有重大的改變，不必驚慌，應讓海灘的自然循環回補其泥沙。

如有必要，人工養灘 (Artificial Beach Nourishment) 也可以考慮採用，以加強海灘的永存 (Perpetuation) 一般常用以及過去曾經使用的方法，設計時的基準略述如次：

有關人工養灘，在1952年雷爾 (Hall) 就曾歸納了一些方法以及設計時應考慮的基準，之後陸續有不斷的研究報告。茲以1980年史帝夫及柯斯特 (Stive & Koster) 的研究結果為例，對其形式、設計、借料、執行、績效以及成本略加說明。目前在台灣的海灘，尚少從事人工養灘的投資。

### 1. 人工養灘的形式

- (1) 沿海灘直接堆砂，縱向於海濱，
- (2) 橫斷海濱方向堆放；在灘上、近岸、離岸等，
- (3) 定期加沙，或持續養灘，
- (4) 對於侵蝕性海岸以人工養灘加以穩定，延伸或維護海灘，
- (5) 特殊工法，如整灘
- (6) 併同構造工法，如突堤及離岸堤等

### 2. 設計

- (1) 目前可用的沿岸漂沙及侵蝕之定量計算方法，正確性均尚不足，
- (2) 在美國所發展堆沙模式，可應用於借土養灘的情況，但與利用當地的砂源不同，
- (3) 設計灘頂一般採用平均高潮位，灘坡大小與材料粒徑之大小有關，料徑越粗，坡度可較陡。

### 3. 借料

- (1) 可能的料源為離岸的較深海域，
- (2) 應考慮養灘的標的，決定借料來源及性質。

4. 績效：尚在檢討之中，尤其完成後之損失。

5. 成本：尚難評估。

目前在台灣的海岸穩定，除有特定使用標的者，如商港、漁港、能源專用進口港、公路等由各事業單位養護外，其餘均由台灣省負責。在過去以採用結構工法居多，今後應多以軟性的養灘工法配合，以求海灘的永存可用（8）

#### 4-1-2 河口及潟湖

嚴格而言，台灣的西海岸至為平直，除了雲嘉海岸北自台西南迄布袋一段，略有潟湖（Lagoon）形態之，各河口及其左右所形成的海灣潟湖並不發達。若干河口更會因漂沙而有河口閉塞的問題。河口為由陸地經水流運送大量泥沙，營養分以及污染進入大海的門戶。在海口附近，由於營養豐富，容易形成為特別的生態體系，容易繁殖像紅樹林等的生態系統。又為淺海各種漁產；如魚類或貝類的繁殖棲息地。也是近海魚產最豐富的地區。本文並不探討生態方面的平衡，而將重點集中於地形學的平衡。因此對於河口的基本原則應該在維持其排洪機能的正常。若干河口地帶有零星分布的紅樹林，於從事河口治理時，以不破壞其生態體系為原則。

略具規模的潟湖為統仙洲至外傘頂洲與海岸間的淺水區域，其水深均在2~3公尺，滿潮時也不超過5公尺。過去及目前這些地區均為淺海養殖活動頻繁的地區。但今後恐難免因為土地開發利用而遭到改變。統仙洲及外傘頂洲均為陸地下輸泥沙時堆積的沙洲，為海岸穩定平衡的第一道防線，不過其本身卻尚在漂移的狀態，難以穩定。如在本地區進行大規模的土地開發行為，沿岸泥沙移動的動態即完全改變，應可先加以模擬評估其可能之傾向。

就地形學的平衡而言，不論是從事於海堤的修改以防潮防浪，或從事於海埔地的開發以利用海岸土地，對於海岸地區的泥沙移動之動態平衡應慎重考慮。於興建設施或圍墾土地時，相關的生態體系；如紅樹林、河口及潟湖等淺海水產棲息地之維護，均應面面俱到，以免破壞寶貴的海岸資源。

#### 4-2 海岸開發的經理準則

海岸地區的開發利用雖然可以區分為農業使用、漁業生產、林產、能源、交通、市鎮利用及工業等各項；但台灣的西海岸，過去雖以農漁業佔大宗從事於海埔地的開發利用，但今後恐怕會集中到交通、市鎮利用及工業等方面。台灣西海岸地帶

的能源有限，今後在能源方面與海岸有關的活動，可能為從國外進口的能源原料的港埠需求及台灣海峽北部油氣生產的登陸等。至於林業，一般在海岸地帶的林業指的是紅樹林，但在台灣西海岸，適合於紅樹林生態體系發展的棲息地並不多，也難有規模。只有將現存者儘量予以保護，不加破壞即可。以下針對交通，市鎮活動以及工業發展等三方面分別加以評估檢討。

#### 4 - 2 - 1 交通

傳統的海岸交通活動為港口及其相關的海陸運輸。在台灣西海岸，重要的商港有高雄及台中兩大港口，其他尚有磺溪漁港、淡水港、南寮漁港、梧棲漁港、泊子寮漁港、東石漁港、布袋港、安平港及東港等做為海岸漁撈活動基地的港口。最近興達港附近為進口煤及天然氣興建了能源進口的專用港。除港口的活動外，今後興建濱海公路，有若干路段正在考慮侵入海岸地區，其填土或高架可能也會對海岸地帶有所影響，遠程的為興建機場，可能必須大量的填土利用海埔地，也會造成對海岸地區的沖擊。

就海岸地形學的平衡而言，最怕的沖擊就是改變沿岸泥沙的動態平衡，長的向海突出構造，如防波堤及碼頭；均會阻斷了沿岸泥沙來往通道，也改變向岸潮浪攜帶泥沙的形態。因此常因長形突出物的興建而影響其左右海岸的平衡。最近的明顯例子為興達港液化天然氣進口專用港的興建，造成兩側海岸的侵蝕，以及花蓮港防波堤的延長而造成南濱海岸的侵蝕等。

以下試就吾人在海岸地帶從事此類活動時應考慮的基本原則提議如下，以求海岸資源的平衡，並供吾人永續使用。

(1) 海岸為由海洋進入內陸必經之處。因此，為方便交通所需之建設勢所難免。在建設此類硬體設施時，對於因此所造成對環境之沖擊應特別重視，慎重評估，並妥謀對策以儘量減輕對環境不良之影響。

(2) 就海岸地形學平衡之觀點而言，由於硬體設施興建之後所造成對沿岸泥沙動態平衡之改變可能為最嚴重之問題。設施規劃設計時，應完全瞭解目標地帶泥沙收支之數量，進出來源及去向。在計畫地點興建設施後，對於泥沙來源的途徑不能阻斷，也不能因為設施興建之後，開闢新的泥沙去路，或加速泥沙的移出。

(3) 如果在規劃設計的佈置上，確實無法做到上述第二點的要求；那麼就必須確實評估設施後，對週圍地形的影響。儘量以緩衝帶將設施與原地形相接，以消除其影響。此種緩衝帶之開闢及設施之經費，也應列為開發利用成本之一，以免衝擊發生後，無法找到財源善後。

(4) 交通設施，不論是港灣、公路、鐵路或橋梁等之興建，均應防止對週圍海域水質及生態系統造成不良影響。特別是廢污之排除處理及港灣經常維護所必須之疏浚 (Dredging) 操作對週圍水質及生態系統之影響最大，應特別妥善處理。

#### 4 - 2 - 2 市鎮活動及工業發展

不論是市鎮活動或工業發展，均係海岸邊際土地的開發利用。過去在台灣的海埔地開發目的均偏重在農業及養殖漁業的利用標的，目前已逐漸轉移到市鎮發展及工業土地的開發。嘉義縣的布袋海埔地為一個很好的市鎮發展成功的例子。目前布袋第二期正在進行，雖將目標定為遊憩，但遊憩也是市鎮活動的一種。新竹香山，以及今後的彰濱及雲嘉離島工業區，均將是市鎮活動及工業發展。不過遠程的看，工業的發展利用仍應予以限制；如台灣地區的人口以民國 125年的 2,500萬為其極限，制定台灣地區工業發展的極限之後，爾後海岸地帶可能以發展遊憩活動為主，機場公路等也有向此地區需求的可能。以下的一些基本準則似可於進行此類活動時加以考慮或妥善處理。

(1) 海岸潮間帶土地的成長，均係歸功於陸地上逕流所帶入海岸地區泥沙的堆積，長年累積收支盈餘的結果。因此海埔地的利用應順應著所謂潮間土地 (Tidal land) 的自然成長率 (Spontaneity)。

(2) 截至目前為止，幾乎所有土地開發利用單位均僅考量土地利用標的的需求，並未衡量海岸土地本身的自然成長條件。如果土地開發利用係在自然泥沙堆積成長的範圍內時，土地開發所需面臨海洋之海岸保護工程之投資及維護將最容易而經濟有效。

(3) 台灣西海岸土地之自然延伸及成長率，以過去長期的平均而言約在 200 ~500 公頃之間變動。決定成長速率快慢之因素為進入海岸地帶泥沙的消長以及海岸地帶吾人各種活動所造成對泥沙收支之干擾及影響。

(4) 為有效掌握海岸資源的管理，應確實追縱，觀測海岸地帶之生物及非生物體系之各種資料，以供經營管理者做為決策之參考。

(5) 不論任何標的的海埔土地開發利用，均為土地的延伸，因此也造成了陸地河川排水出口的外移，應妥善予以處理，否則一定會造成對陸地排洪及排水之不良影響。

(6) 雖然生態體系 (ecosystem) 及生物系統 (bioticsystem) 並非本文討論之重點，但台灣西海岸之開發利用，對於近海漁業，特別是近岸養殖業應特別加以妥善的安排及轉移。對於各河口及排水出口，如淡水河口、通霄、東石及南部若干零星之紅樹林生態系統也應妥為維護或適當移植。

#### 伍、海岸經理的展望及經常應辦工作

台灣的土地價格越來越貴，對土地的需求又越來越殷切。雖然以經營農業的眼光衡量投資購買土地，從事於生產農業已無利可圖，但因交通的建設發達之後，台灣西部如同一個大都市，任何地方的土地，其彈性使用度越來越高。舉例來說，依土地有關法規的規定，一個在都市從事工商等活動，年近六十或屆齡退休者，在鄉間可以購買0.5~1.0公頃的農地，除依興建農舍的規定，可以興建一棟理想的住宅之外，其他的空地可以做為休閒農業如園藝、蔬菜、花卉或養魚等，其總的投資，經計算之後如不貴於都市之公寓房屋，農地之價格必定水漲船高。農地價格上昇之後，海岸邊際土地開發之競爭力必然增強。今後由於加速國際化，國際機場成長之速率將迅速加快，尤其機場之噪音必須設法遠離都市城鎮，在海埔地興建機場之可能性也會提高，更造成海埔地開發之前景看好。

海岸地帶 (Coastal zone) 是一種資源，應以資源能永續發展及永續利用 (Sustainable development and sustainable use) 之觀念經營海岸地帶。基於此種觀念，下述工作必須經常處理。

### 1. 目標：非生物部分 (abiotic part)

達到海岸地形平衡 (equilibrium of coastal morphology)

### 2. 工作項目：

- (1) 影響決定海灘地形輸砂量之主宰海流 (dominant flow) 的觀測及瞭解。
- (2) 影響海岸平衡之主要潮流 (tide dominant) 的觀測及瞭解。
- (3) 決定海岸動態地形 (morphodynamics) 的主宰波浪 (wave dominant) 的觀測及瞭解。
- (4) 由陸地進入海岸的洪水及排水之水文性質，包括水量之時空分布及攜帶泥沙之量及質之分布之分析瞭解。
- (5) 陸地上土地利用前景研判 (Scenario formulation) 以評估其爾後對海岸地帶之長期影響 (9、10)。

### 3. 執行：

理論上海岸資源應有一專責機構，負責整合上述的各項研究工作，並在各不同標的間，協調平衡開發利用及資源保育。內政部目前正在進行海岸法的立法作業，並分別在研訂「海埔地開發管理辦法」，「海埔地開發許可審議規範」以及「海埔地開發工程設計準則」希望在研議這些法規時，能充分掌握瞭解台灣海岸的特性，參酌各先進國家海岸地帶以資源永續發展利用的觀念，妥善立法。立法後必須執行，如何妥善分工，分別執行，適當整合，才能達到目標。

目前台灣省水利局，基於本身職責，以有限人力物力，將重點集中在海岸地形學穩定平衡，並在未有任何事業性海岸地帶從事於防潮及防浪工作。海岸保護工程，在過去均偏重在硬性設施，今後將追縱各設施海岸的反應變化，儘量增加軟性之養灘工法，以達到海岸地形平衡為目的。

## 陸、結論及建議

經由本文之檢討分析，吾人可知台灣西海岸由於地殼的持續上昇及泥沙的堆積，基本上爲一延伸性的海岸。但是近年來因爲陸地上土地使用形態的改變，可能大量影響進入海岸地帶的泥沙總量，在泥沙收支上，由以往的盈餘轉變爲虧損。更因海岸地帶各標的在不顧慮地形平衡的原則下，大量開發利用海岸地區，今後海岸地區之地形學平衡實在深值憂慮。因此，吾人經理台灣西海岸應依下述原則研議。

一、任何海岸地帶的人類活動均應兼顧保育及利用平衡之原則，使海岸資源能永續爲吾人發展利用。

二、以地形平衡之觀點而言，西海岸之土地開發利用，最好能限制在其自然成長的速率之間，以免違背自然，事倍功半。並應自泥沙趨積之尾端開始依序開發。

三、依過去的資料分析；長期而言，每年西部海岸約有200~500公頃之成長，但近年來已有若干地段之海岸後退，必須加強觀測，隨時調整自然成長率。

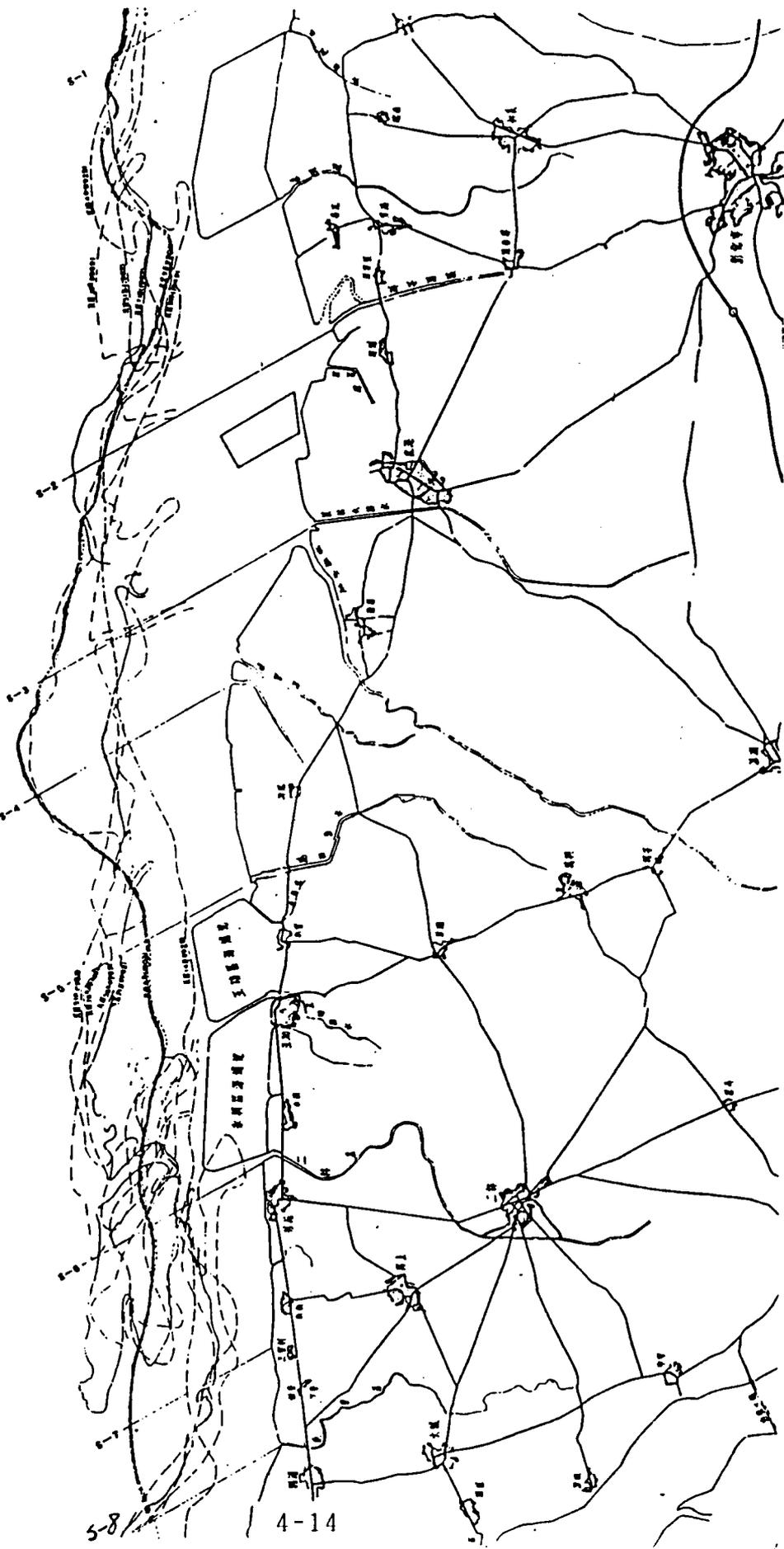
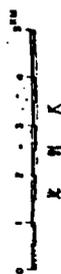
四、檢討過去保護海岸之硬性工法，似有若干海岸難以維持其海灘，養灘或以軟性工法保護灘岸應積極研究，分段試做，繼續追縱改進。

五、海岸基本資料；不論海象、洋流、潮浪以及泥沙移動之資料均不足，應加強觀測分析及研究。

六、目前除利用海岸者外，以研究爲目的之海岸資料處理單位尚需加強；不論人力及物力均應予以強化，以利有效經理海岸資源。

七、立法及機構功能之整合及界定爲有效經理海岸之必備條件，建請有關機關予以重視。

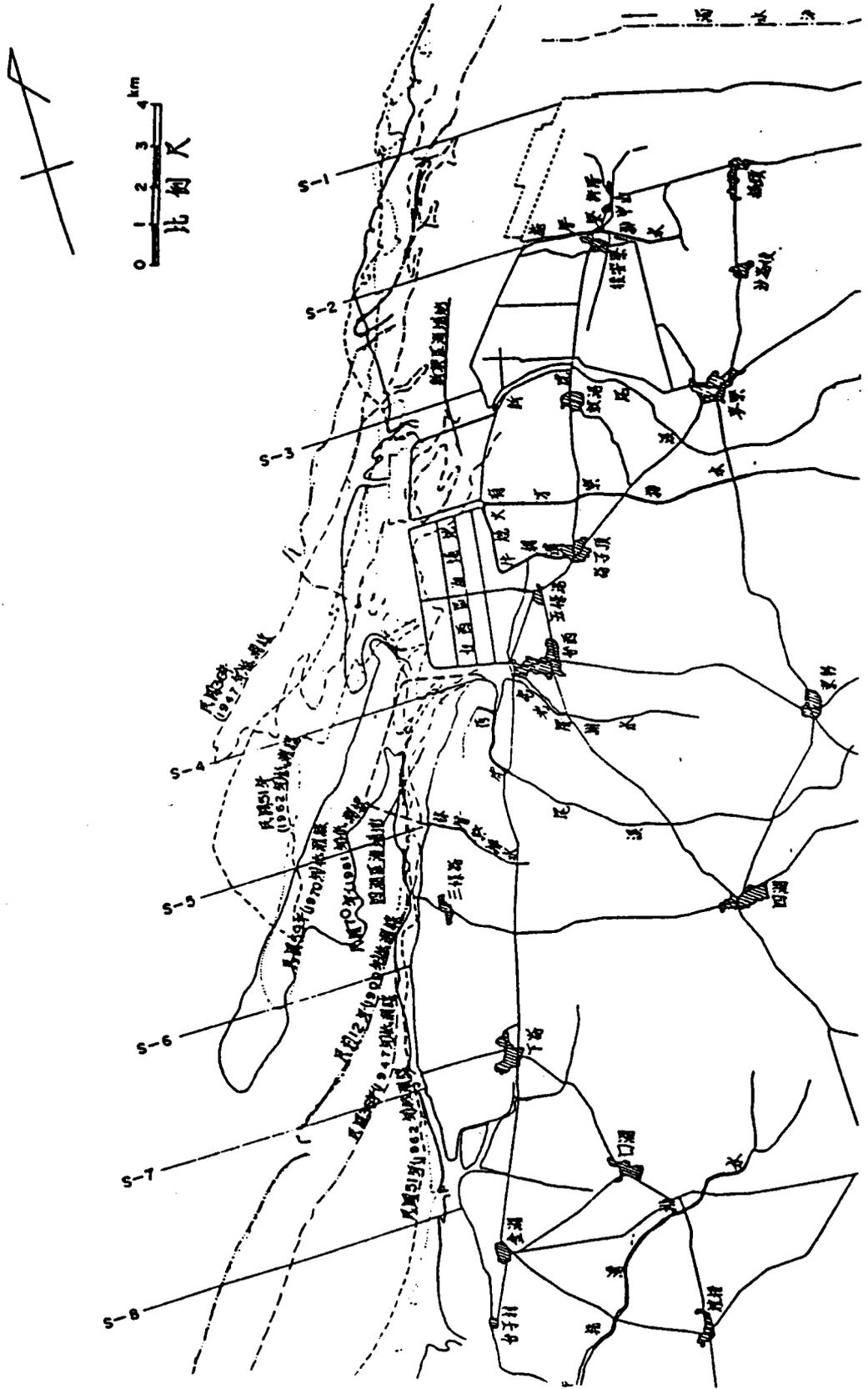
圖一 彰化海岸低潮線變遷比較圖



5-8

4-14

圖二 雲林海岸低潮線變遷比較圖



中北區海埔地低潮線變遷比較表

表一

單位：公尺

斷面 年代	崎頂①		海埔②		中港溪③		外埔④		海清宮⑤		白沙屯⑥		秋茂園⑦		番仔寮⑧		船頭埔⑨		大甲溪⑩	
	灘地 寬度	消長 幅度	灘地 寬度	消長 幅度	灘地 寬度	消長 幅度	灘地 寬度	消長 幅度	灘地 寬度	消長 幅度	灘地 寬度	消長 幅度	灘地 寬度	消長 幅度	灘地 寬度	消長 幅度	灘地 寬度	消長 幅度	灘地 寬度	消長 幅度
民國 21年	920		300		1,950		450		780		450		630		880		650		1,180	
民國 38年	800	-120	300	0	1,750	-200	280	-170	580	-200	300	-100	520	-110	620	-260	650	0	1,180	0
民國 51年	600	-200	200	-100	500	1,250	680	+400	250	-330	250	-50	350	-170	900	+280	250	-400	1,350	+170
民國 72年	600	0	300	+100	1,100	+600	420	-260	400	+150	350	+100	280	-70	1,000	+100	220	-30	1,050	-300
計		-320		0		-850		-30		-380		-50		-350		+120		-430		-130
附註	<p>(1)進退數係與上一年代之比較。                      (2)⊖表示後退，⊕表示伸展。                      (3)平均消長幅度 242 m。</p>																			

表二 彰化海埔地消長情形比較表

單位：km

年 代	S-1		S-2		S-3		S-4		S-5		S-6		S-7		S-8	
	海 灘 度	消 長 度														
1903	5.60		6.73		8.05		5.72		3.15		3.22		4.10		3.72	
1925	5.40	- 0.20	6.67	- 0.06	6.00	- 2.05	3.00	- 2.72	2.05	- 1.10	2.20	- 1.02	2.47	- 1.63	1.97	- 1.75
1949	5.15	- 0.25	6.83	- 0.13	7.68	+ 1.68	5.63	+ 3.16	4.52	+ 2.47	3.42	+ 1.22	1.05	- 1.42	3.98	+ 2.02
1962	4.95	- 0.20	5.87	- 0.04	5.17	- 2.51	3.38	- 2.25	5.10	+ 0.58	4.32	+ 0.90	1.95	+ 0.90	4.70	+ 0.72
1969	4.85	- 0.10	5.80	- 0.07	6.48	+ 1.31	3.18	- 0.20	4.20	- 0.90	3.75	- 0.57	1.80	- 0.15	4.28	- 0.42
1982	5.82	+ 0.97	7.65	+ 1.75	5.50	- 0.98	3.72	+ 0.54	3.94	- 0.26	4.75	+ 1.00	1.65	- 0.15	4.75	+ 0.57
合 計		+ 0.20		+ 1.45		- 2.25		- 1.47		- 0.79		+ 1.53		- 2.45		+ 1.14

單位：Km

表三 雲林海埔地消長情形比較表

年 代	S-1		S-2		S-3		S-4		S-5		S-6		S-7		S-8	
	海寬 灘度	消長 幅度														
1900	3.35		3.45		4.15		2.00		0.55		0.75		3.75		6.30	
1947	3.85	+0.05	2.88	-0.57	3.30	-0.85	6.90	+4.90	0.40	-0.15	0.40	-0.35	1.25	-2.50	4.50	-1.80
1962	4.70	+0.75	4.65	+1.77	2.60	-0.70	6.15	-0.75	6.10	+5.70	0.15	-0.25	0.30	-0.95	1.20	-3.30
1970	4.65	-0.05	3.80	-0.85	2.80	+0.20	4.50	-1.65	3.75	-2.35	0	-0.15	0.20	-0.10	0.85	-0.35
1980	4.25	-0.40	4.48	+0.68	2.50	-0.30	3.10	-1.40	3.40	-0.75	4.65	+4.65	0.25	+0.05	0.42	-0.43
合計		+0.80		+1.03		-1.65		+1.10		+2.45		+3.90		-3.55		-5.88

表四 南區海埔地消長情形比較表

單位：km

年代	北港溪口		東石村西方		八掌溪口		北門西方		將軍溪口		青鯤鯓西方		下山村西方		曾文溪口	
	海寬 灘度	消長 幅度														
1903	12.7		1.6		1.9		1.7		1.8		1.3		5.0		3.4	
1952	12.3	-0.4	13.1	+11.5	1.4	-0.5	1.4	-0.3	1.4	-0.4	1.1	-0.2	4.7	-0.3	1.6	+1.8
1962	9.1	-3.2	15.0	+1.9	0.4	-1.0	0.6	-0.8	1.2	-0.2	0.6	-0.5	3.8	-0.9	1.6	+3.2
1981	6.9	-2.2	15.2	+0.2	0.7	+0.3	0.5	-0.1	1.1	-0.1	0.2	-0.4	3.6	-0.2	0.3	-1.3
合計		-5.8		+13.6		-1.2		-1.2		-0.7		-1.1		-1.4		+3.7

## 柒、參考文獻

- (1) 經濟部：「台灣地質概論，台灣地質圖說明書」民國六十四年十二月出版。
- (2) Hwang, Jing-san: "A Review Study of Tidal Land Reclamation Along the Western Coast of Taiwan", 第八屆海洋工程研討會論文集PP.527~540, 民國七十四年十月。
- (3) 台灣省水利局規劃總隊：「濁水溪綜合治理及其相關問題」民國七十三年三月。
- (4) 台灣省水利局規劃總隊：「台灣南區海埔地調查規劃報告」，第四章海岸變遷PP.59~62民國七十六年六月。
- (5) 台灣省水利局規劃總隊：「台灣中區海埔地調查規劃報告」第五章海岸變遷PP.75~79民國七十七年六月。
- (6) 台灣省水利局規劃總隊：「台灣中北區海埔地調查規劃報告」第三章海岸變遷PP.48~51民國七十八年六月。
- (7) Snedaker I Getter: " Coastal Resources Management Guidelines " , Prepared by Research Planning Institute, Inc. Columbia, South Carolina, January 1985.
- (8) delft hydraulics laboratory: " Artificial Beach Nourishment " , Annexs, November 1986.
- (9) delft hydraulics: " International Seminar on Coastal Zone Management " , Sept 10,~Oct 18 , 1991 Delft, The Netherlands.
- (10) Haecon N.V, Consulting Engineering, Ghent: " Sediment Management : A New Concept for Cost-effective Maintenance Dredging of Ports and Access-Channels" Nov.12-16 1990 Belgium.

# 花蓮港現存問題及未來發展之探討研討會

## 目 錄

1. 花蓮港現存問題之探討 ..... 1-1~1-28  
張金機 港灣技術研究所 所長  
曾相茂 港灣技術研究所 副研究員
2. 花蓮海岸結構物附近地形變化之分析與預測 ..... 2-1~2-52  
歐善惠 國立成功大學水利及海洋研究所 教授
3. 花蓮港港池共振現象之探討 ..... 3-1~3-29  
陳國嶺 中華港埠技術顧問社 總經理  
卓 健 中華港埠技術顧問社 經理
4. 花蓮港為和平水泥專業區提供服務之探討 ..... 4-1~4-5  
許硯蓀 中華顧問工程司港灣部 經理

# 花蓮港現存問題之探討

張金機 曾相茂

## 一、前言

花蓮港四期擴建後，擁有二十五座碼頭，可以算是具有相當規模的國際港口。但因腹地有限，運量始終無法突破 600 萬噸；未來若能落實產業東移，及東砂北運政策，當可發揮港埠功能。

花蓮港除營運不理想外，因地形陡峭，且受太平洋惡劣海象直接威脅，還存有下列問題：

1. 美崙溪口淤積及南濱海岸沖刷。
2. 舊東堤混凝土老化，堤基淘空。
3. 颱風湧浪侵襲，港池不穩靜，船舶不能碇靠作業。

本文除簡單介紹美崙溪口淤積及南濱海岸沖刷與舊東堤混凝土老化現象初步調查結果外，針對港池穩靜問題加以探討，希望拋磚引玉，讓更多港灣及海岸工程專家、學者共同參與研提最佳解決方案。

## 二、美崙溪口淤積及南濱海岸沖刷

花蓮港四期擴建，防波堤佈置如圖 1。因興建西防波堤，使美崙溪口受偏東南向波浪侵襲時，在溪口產生環流現象，造成河川排砂堆積於河口或經由港口漂進港池，日積月累阻塞河川排水，影響船隻進出港口。

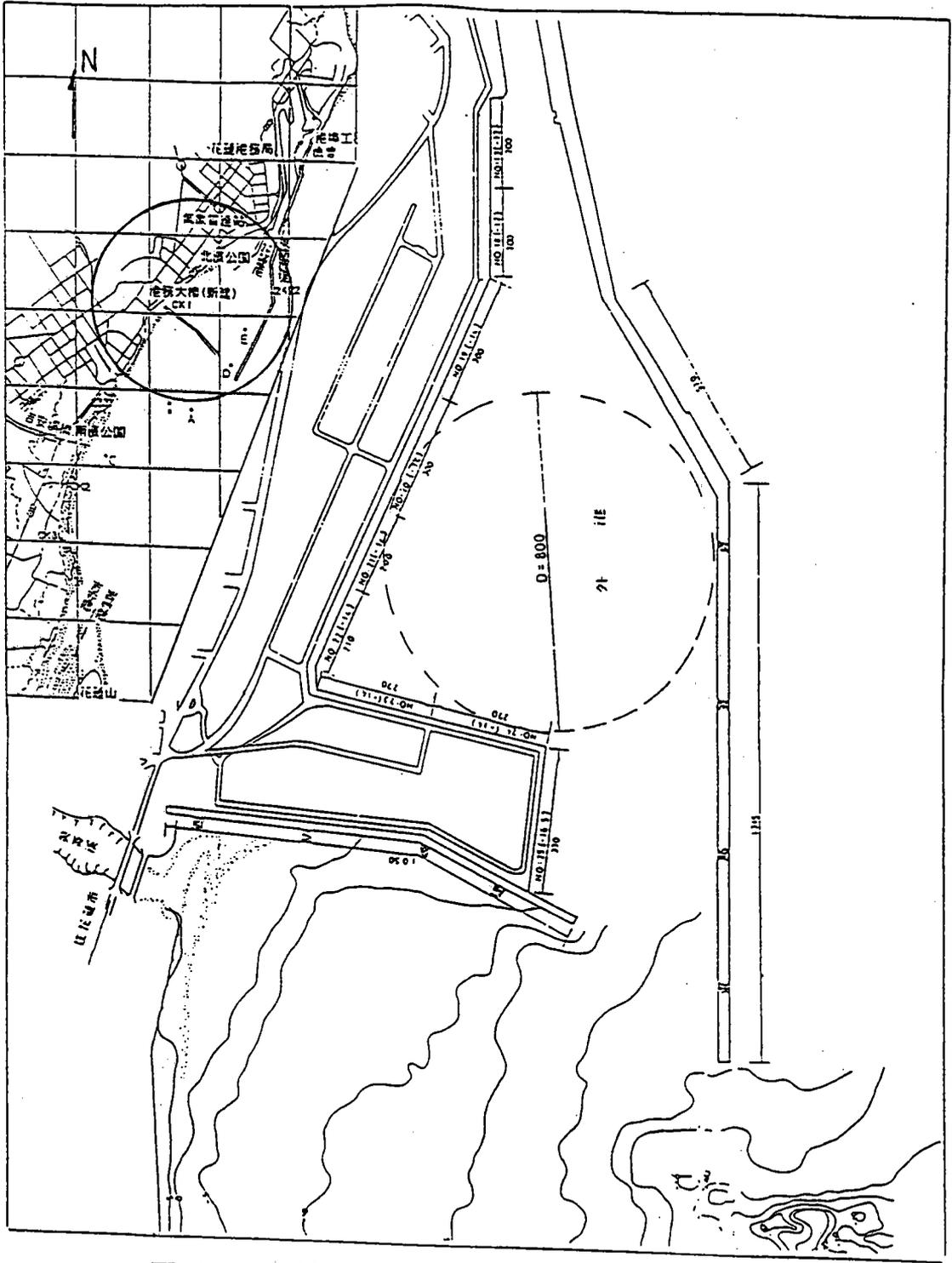


圖 1. 花蓮港四期擴建防波堤佈置

美崙溪口位於海岸與西防波堤交角處，每當颱風過境時，低氣壓及強風造成暴潮(註)，因受西防波堤阻斷，水位湧升加大，增加美崙溪排水困難。若為改善花蓮港不穩靜現象，再延長東防波堤，則環流規模可能加大，河口淤積加劇，暴潮水位再增加。

註：氣象變化所引起之海水位上升稱為氣象潮、暴潮或異常潮位，主要成因為氣壓降及強風剪力。一般公式為

$$\xi_{\max} = \frac{0.991\Delta P}{1 - \frac{V^2}{gd}} + C \frac{U \cos^2 \theta}{d} F$$

其中  $\xi_{\max}$  : 暴潮位 (cm)

$\Delta P$  : 氣壓降 (mb)

$d$  : 水深 (m)

$V$  : 颱風前進速度 (m/s)

$U$  : 風速 (m/s)

$F$  : 吹風距離 (km)

$\theta$  : 風向與海岸法線夾角，東、西堤完成後河口形成海灣地形， $\theta$  接近  $0^\circ$ 。

$C$  : 係數，因地形而異，平直海岸最小，海灣最大。

根據水利局調查資料顯示，花蓮港東防波堤興建前，南濱海岸並無明顯沖刷現象；但東防波堤擴建延長後，美崙溪口至自由街口呈現淤積現象，而南濱海岸則呈現沖刷現象。花蓮港附近海岸坡度陡峻，漂沙底質移動較易掉落深海，沿岸輸沙量較少。據此研判美崙溪口淤積雖可能減少南濱海岸沙源補助，但並非造成嚴重侵蝕之直接因素；而東防波堤興建後，受東北向波浪侵襲時，堤頭波浪集中作用於南濱海岸，可能是造成南濱海岸灘線後退之主因。

### 三、舊東堤混凝土老化，堤基淘空

花蓮港舊東堤長1330公尺，民國28年完工至今已五十餘年，混凝土呈現老化現象，受巨浪侵襲造成龜裂，堤心石料流失，嚴重區段堤身下陷。

花蓮港務局因經費籌措困難，無法作整體性維修；每年只能編列少許費用局部拋放消波塊。根據現場觀測顯示，局部拋放消波塊，導致波浪能量集中，造成鄰近堤基更大沖擊。建議編列預算全面性徹底整修。

### 四、颱風湧浪侵襲，港池不穩靜，船舶不能碇靠作業

花蓮港港池水域狹長，外港成單調漏斗形，碼頭配置如圖 2，週邊缺乏消波岸壁，碼頭緊臨外堤，受偏南向颱風波浪，尤其長週期湧浪侵襲時，造成能量集中，波高由外向內增大現象。港池穩靜度不佳，船舶碇靠困難，甚至斷纜或出港避風浪。茲就近海颱風與遠洋颱風波浪對花蓮港的影響分別探討如后。

#### (一)近海颱風波浪侵襲

七十九年 6月22日中度颱風歐菲莉直接侵襲花蓮港，行進路徑如圖 3。6月23日 13:00 在花蓮港南方 17公里處登陸，本所在登陸前一小時(12:00)測得最大波高為 20.5m，週期 16.02sec；示性波高 13.9m，週期 14.11sec。

根據花蓮港報告，6月22日在港船舶三艘，因颱風向北北西前進直衝花蓮港，對港池穩靜構成極大威脅。22日上午防颱會議建議在港船隻儘早出港避風浪。茲將颱風侵襲期間船隻動態情形整理如表 1。

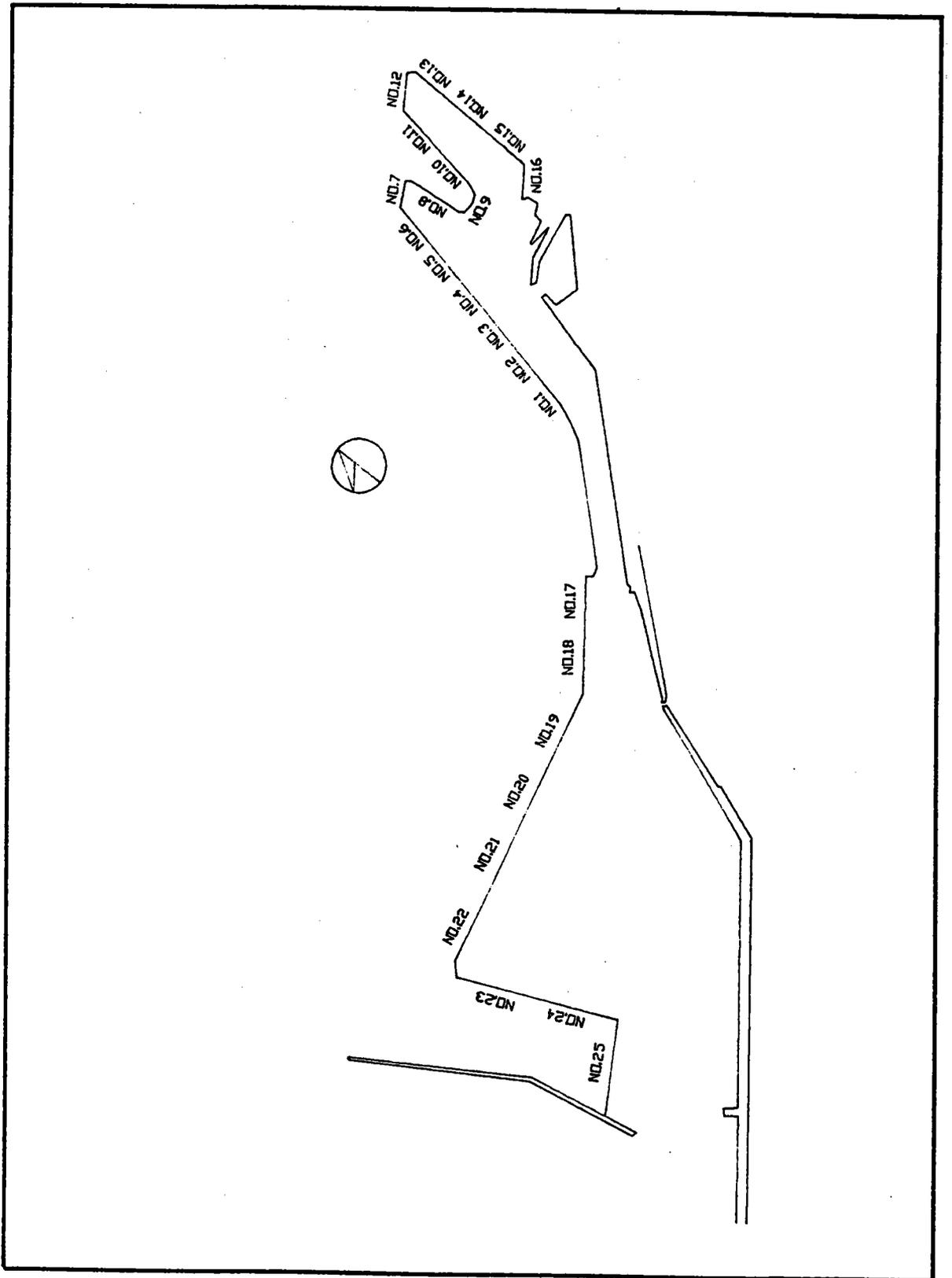
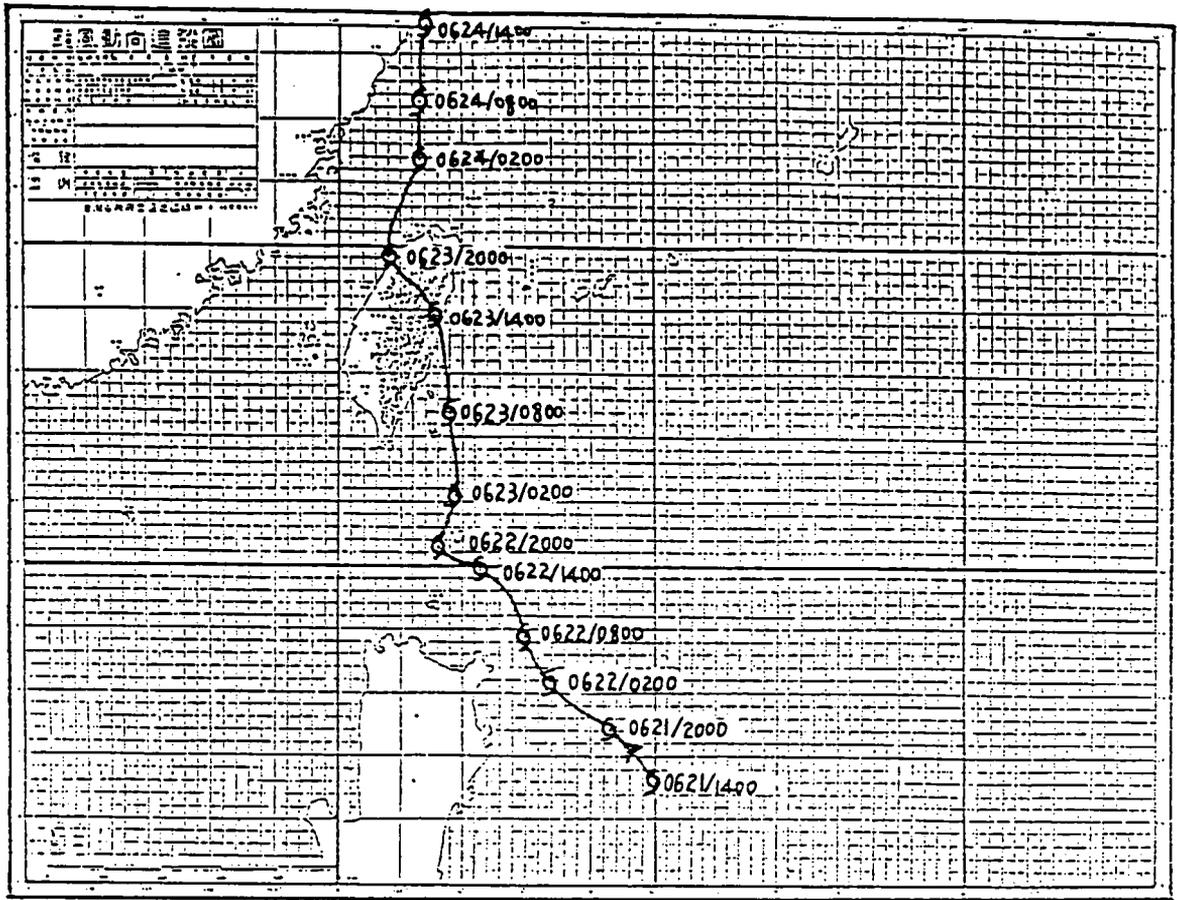


圖 2. 花蓮港四期擴建港池佈置



年 月	大甲 經心 緯度	其甲 經心 緯度	風 速 節 數	風 向 節 數	風 速 節 數	風 向 節 數
0621 1400	33	980	16.8 125.0	200	100	
0621 2000	35	975	17.4 124.3	200	100	
0622 0200	35	975	13.2 123.4	200	100	
0622 0800	38	970	18.9 123.0	200	100	
0622 1400	38	970	20.0 122.3	200	100	
0622 2000	38	970	20.3 121.3	200	100	
0623 0200	38	970	21.1 121.6	200	100	
0623 0800	38	968	22.4 121.8	200	100	
0623 1400	33	975	23.9 121.5	200	30	
0623 2000	28	985	24.8 120.8	180	50	
0624 0200	25	988	26.4 121.2	120	30	

年 月	大甲 經心 緯度	其甲 經心 緯度	風 速 節 數	風 向 節 數	風 速 節 數	風 向 節 數
0224 0800	25	988	27.3 121.3	120	30	
0224 1400	25	983	29.0 121.4	120	30	

圖 3. 79 年第 2 號颱風歐菲利 (OFELIA) 之路徑圖

表 1. 歐菲莉颱風花蓮港船舶動態

時間	船名	碼頭	概 述	備 註
22日 9:00	亞泥一號	# 10	進港靠泊	
13:32			出港避風浪	
13:33	麥司克西 巴洛克輪	# 19	出港避風浪	
23日 11:20	茱莉安娜 輪	# 15	三組護舷損毀，斷纜 無法碇靠	
15:25		外港池中 間下錨  # 20	流錨撞上 #20碼頭砂 石輸送架，並損毀二 組護舷 就地靠泊，船員全體 上岸拒絕上船	
22日 18:05	CAHAYA	港外錨地	港外錨地下錨避風浪	路過東海岸並 非要進花蓮港
23日 13:00			流錨向南漂流	
13:20			南濱海岸擱淺並被打 成兩段	

由六月22日前歐菲莉颱風路徑研判，颱風所造成偏南向湧浪對花蓮港將直接構成威脅。當6月21日14:00，颱風中心在北緯 16.6°，東經 125°時，距花蓮港約 850公里處所生成湧浪估計在 22小時後，亦即22日 12:00 以後，威脅花蓮港。雖然 22日中午前花蓮氣象平

靜，颱風中心尚在南南東方 500公里以外海面上，但根據本所在外海所測得波浪延時資料如圖 4，顯示在 22日上午 8:00示性波高已經超過 4m，週期大於 11sec；波高隨著颱風中心逐漸接近而快速成長，中午過後波高已接近 6m，週期約 12sec。亞泥一號及麥司克西巴洛克輪分別在 13:30 左右出港避風浪。颱風登陸前數小時，示性波高均在 13m左右，週期達 13sec以上，此仍造成茱莉安娜輪斷纜及港內流錨並撞毀護舷等災難；港外 CAHAYA 輪直接受十級以上強風及 13m以上巨浪侵襲產生流錨擱淺及船身斷裂現象。

六月21日至23日波浪能譜如圖 5，當 21日 0:00至 23日 9:00 颱風中心未到達前，海面以湧浪成份為主，波譜成單峰型，高頻能量密度以  $f^{-5}$  至  $f^{-4}$  ( $f$ 為頻率) 之比例急劇減衰，此種現象符合 Pierson-Moskowitz, JONSWAP 及 Bretschneider 等人所建議成熟波譜型態，但當颱風中心移至花蓮港東南方約 30公里時，波譜形狀顯示除原有湧浪成份處，亦受當地強風吹送影響，高頻(短週期)波能成份顯著增大，此時最大波高達 20.5m，週期 16.02sec。

## (二) 遠洋颱風波浪侵襲

花蓮港除受近海颱風直接侵襲外，發生在菲律賓東方海面遠洋颱風亦可能威脅本港。八十一年十一月在菲律賓東方海面發生艾爾西、漢特及蓋伊三個颱風，其中心約在花蓮港東南方 800公里以上，氣象局未發佈海上颱風警報，但花蓮港卻受湧浪侵襲，船隻無法碇靠港內碼頭，甚至發生斷纜現象。

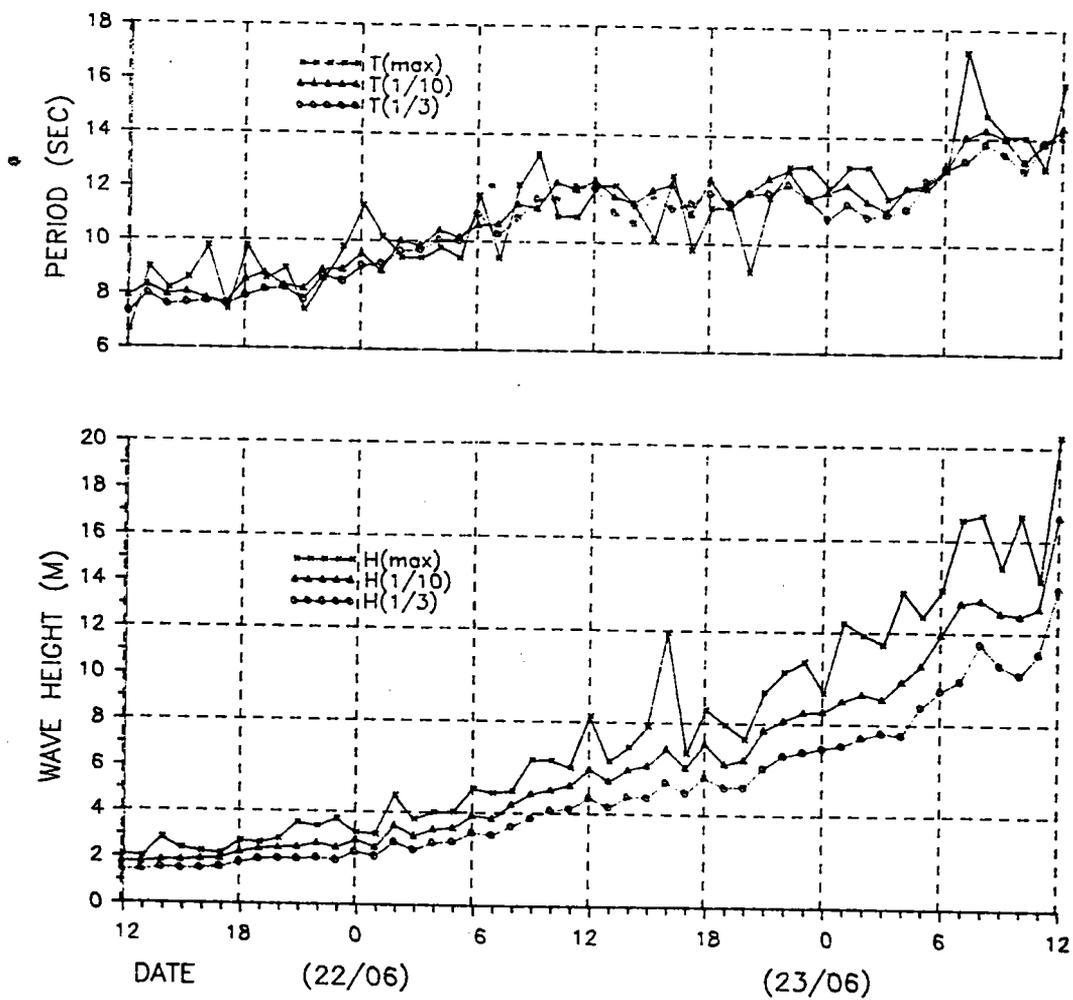


圖 4. 歐菲莉颱風花蓮港外海波浪延時變化

WAVE DATA OF HAW-LIAN 9006210000.256

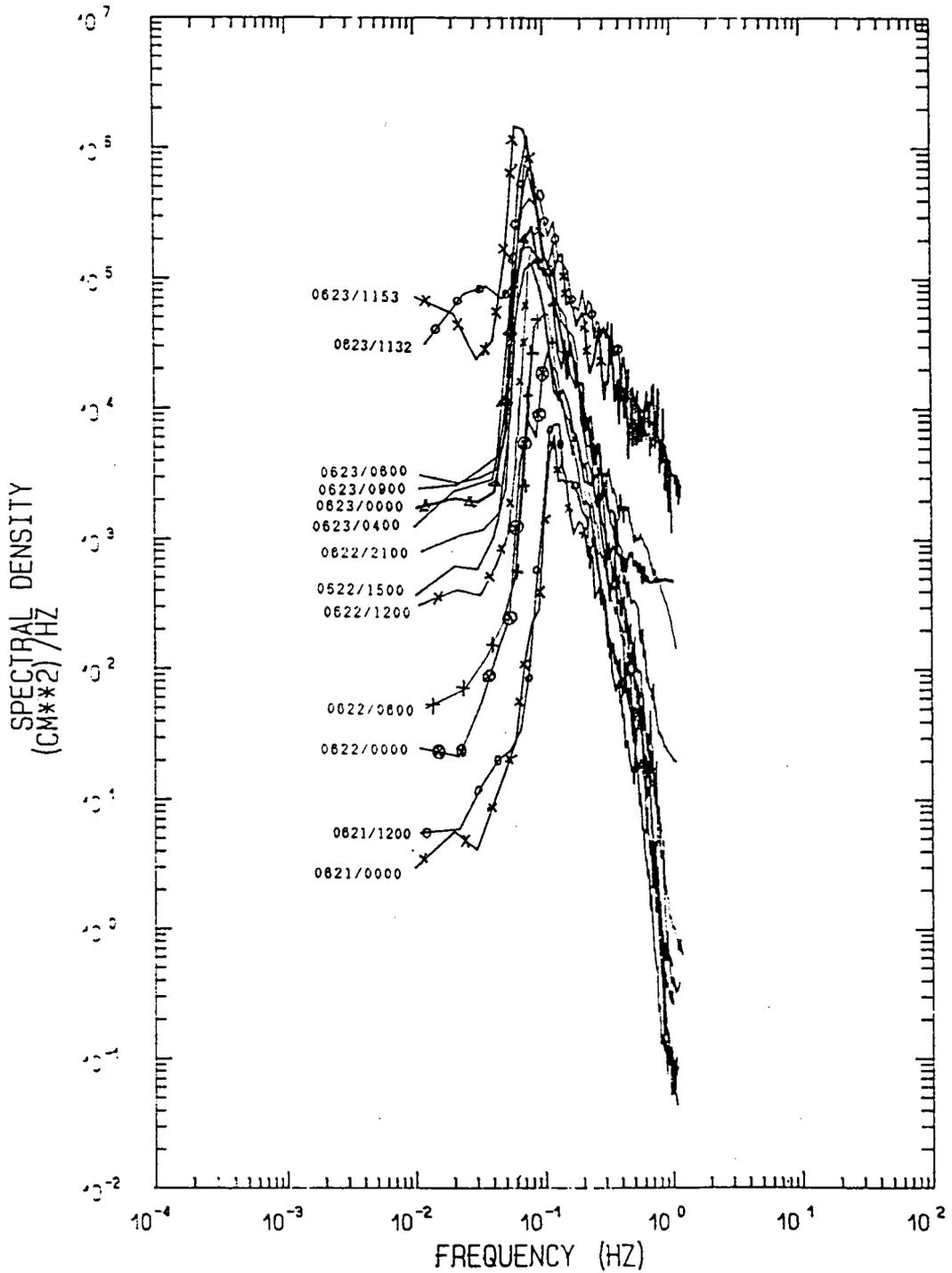


圖 5. 歐菲莉颱風波浪能譜比較

## 1. 艾爾西颱風

根據花蓮港務局報告，十一月六日上午船舶進出及裝卸作業一切正常；中午以後港內波浪增大，進而造成斷纜等事故，茲整理如下表 2。

表 2. 艾爾西颱風花蓮港船舶動態

時間	船名	碼頭	概 述	備 註
6日				
13:51	先鋒號	# 17	無法卸貨，移泊 #4	港池內僅拖船、漁船及吃水較淺之駁船未斷纜
18:37	德洋輪	# 8	無法裝砂石，斷纜，拖船頂靠無效	
20:38			出港錨泊避風浪	
18:49	莎莉輪	# 20	斷纜	
19:12			出港錨泊避風浪	
20:18	先鋒號	# 4	斷纜，出港錨泊避風浪	
20:52	安運輸	# 19	斷纜	
23:35			出港錨泊避風浪	
7日				
00:00			7日至8日 0:00 港池內未碇泊任何商船	

## 2. 漢特颱風

氣象報告，台灣地區十一月二十日受強烈冷鋒及大陸冷氣團南下影響，氣溫下降，東北季風增強，台灣海峽北部平均風力八至九級；二十一日風力減弱，平均風力減為七至八級。漢特颱風增強為強烈颱風，距本省約在 1800 公里以外。二十九艘船進港裝卸貨物，其中四艘靠泊內港均能順利進行裝卸作業，而碇靠外港五艘船則受颱風湧浪影響，整理如表 3。

表 3. 漢特颱風花蓮港船舶動態

時間	船名	碼頭	概 述	備 註
20日				
15:00	白興和輪	# 19	搖晃太大，無法作業	
15:57		# 4	移泊內港 #4碼頭繼續裝卸	
15:00	海商星輪	# 20	完成裝卸，拖船頂住避免斷纜	
13:00	聯合野心輪	# 25	搖晃無法作業	
19:00			斷纜	
19:25			出港錨泊	
	亞泥三號	# 18	正常裝卸	
	瑪格麗特輪	# 17	正常裝卸	
21日				
10:50	聯合野心輪	# 20	靠泊，13:00 裝卸	

### 3. 蓋伊颱風

根據中央氣象局二十六日4:30 氣象報告，高氣壓 1047mb 在蒙古向南移動，時速 20公里，台灣地區二十六及二十七兩日受強烈冷氣團影響，台灣海峽北部平均風力八至九級，最大陣風十級，台灣附近海面平均風力七至八級，最大陣風九級。強烈颱風蓋伊中心氣壓 950mb，在北緯 18.1°，東經 132.6°，頂測向西北西移動，距本省約 900公里外。二十六日港內停泊三艘商船，受颱風影響情形整理如表 4。

表 4. 蓋伊颱風花蓮港船舶動態

時間	船名	碼頭	概 述	備 註
26日				
04:00	亞泥三號	# 10	正常裝卸水泥	
	新豐輪	# 11	等待移泊 #10碼頭裝水泥，斷纜碰及亞泥三號船首	
10:00	聯合野心輪	# 20	搖晃劇烈無法卸煤	
13:50			申請拖船頂住	
14:30			搖晃加劇，無法碇靠，出港錨泊	
28日				
15:12		# 20	再進港靠泊，但仍無法卸煤	
30日				
10:00			湧浪轉弱，開始卸煤	

花蓮港在八十一年十一月份受三次遠洋颱風湧浪侵襲。根據港務局報告各次颱風造成港池不穩靜，船隻不能作業，甚至無法碇靠時間整理如表 5。

表 5. 八十年十一月花蓮港受三次遠洋颱風影響時間

颱風名稱	影響時間		概 述
	開 始	終 止	
艾爾西	11.06, 12:00	11.07, 20:00	1. 影響時間約 1.5天。 2. 11.06, 23:35安運輸出港後港內即無商船，終止時間係港務局判斷。
漢 特	11.20, 15:00	11.21, 13:00	1. 影響時間約 1天。 2. 11.21, 10:51 進港靠泊，13:00 開始裝卸。
蓋 伊	11.26, 04:00	11.30, 10:00	1. 影響時間約 4天。 2. 11.28, 15:12 進港靠泊，11.30, 10:00 裝卸。

艾爾西、漢特及蓋伊三次颱風中心路徑如圖 6。根據颱風中心位置及氣象局提供中心氣壓等資料，粗略推算湧浪抵達花蓮外海之波高及週期如表 6。

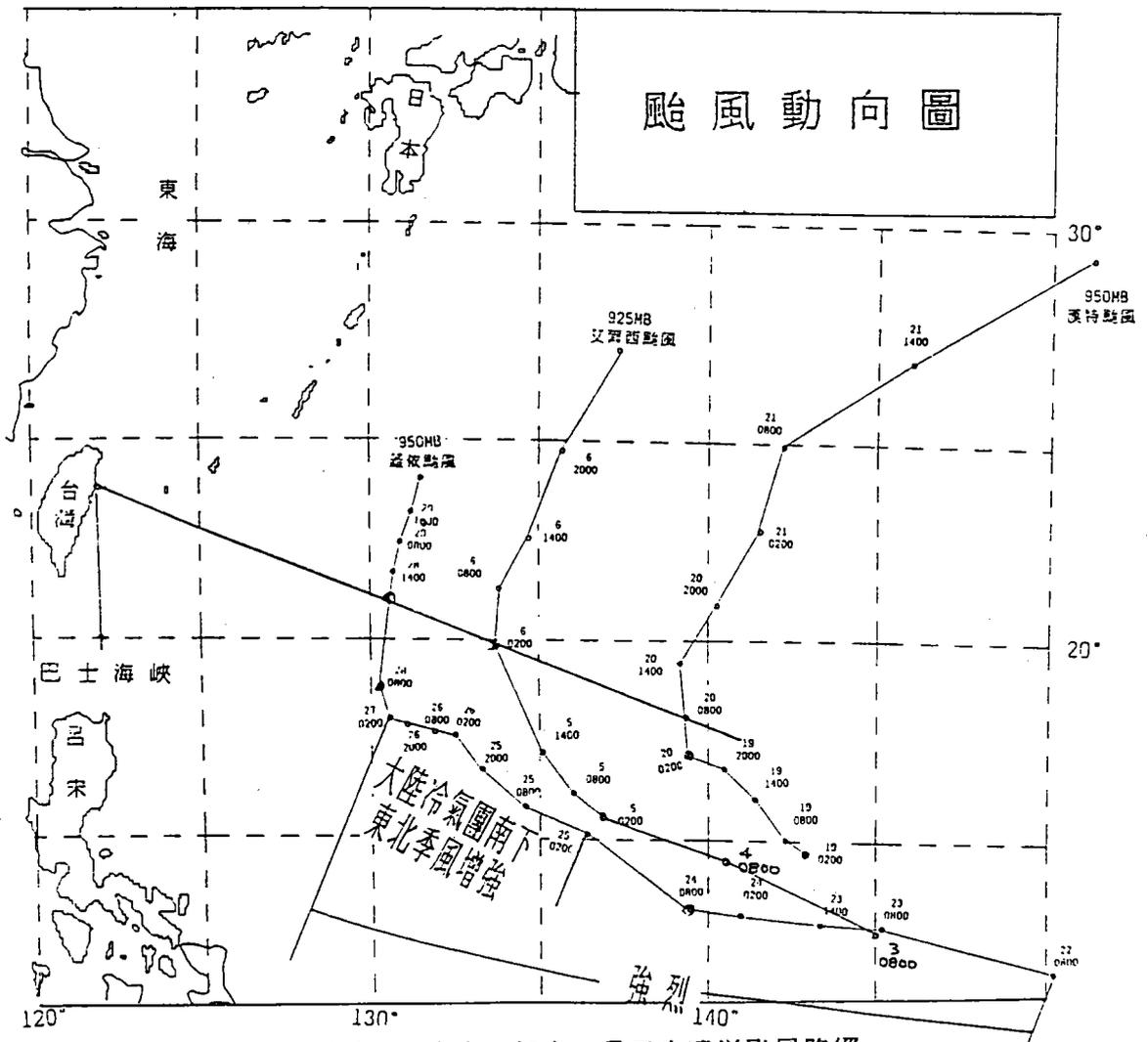


圖 6. 八十一年十一月三次遠洋颱風路徑

表 6. 八十一年十一月間三次颱風湧浪推算結果

颱風名稱	日期	時間	波高(m)	週期(sec)	備註
艾爾西	5	08:00	1.47	19.5	
		20:00	1.25	20.1	
	6	08:00	1.65	21.0	
		20:00	1.89	20.7	
	7	08:00	1.50	21.0	
		20:00	1.50	21.0	
漢特	19	08:00	0.71	15.3	
		20:00	0.79	17.0	
	20	08:00	1.59	18.7	
		20:00	1.19	19.1	
	21	08:00	1.07	18.9	
		20:00	0.87	18.4	
蓋伊	25	08:00	1.49	15.5	
		20:00	1.60	17.7	
	26	08:00	1.60	16.9	
		20:00	1.61	17.3	
	27	08:00	1.49	16.7	
		20:00	1.55	16.7	
	28	08:00	1.56	16.2	

比照推算所得最大湧浪推達時間與花蓮港發生不能碇靠時間大致相符。湧浪由颱風中心位置發生後其能量傳送速度為週期之函數，根據推算之湧浪週期估算能量傳送速度分別為艾爾西 56km/hr，漢特 54km/hr 及蓋伊 49km/hr。由颱風路徑研判可能威脅花蓮港之中心位置，計算湧浪抵達時間如表 7。

表 7. 八十一年十一月三次颱風中心位置湧浪抵達花蓮港時間

颱風名稱	發生時間		中心位置	距離 (km)	湧浪速度 (km/hr)	傳播時間 (hr)	抵達時間		備註
	日	時					日	時	
艾爾西	5	02:00	16.0°N 137.0°E	1800	56	32	6	10:00	
	6	02:00	20.5°N 133.6°E	1300	56	23	7	01:00	
漢特	19	02:00	15.5°N 143.0°E	2400	54	44	20	22:00	
	20	08:00	18.8°N 139.3°E	1900	54	35	21	19:00	
蓋伊	24	08:00	13.8°N 139.5°E	2200	49	45	26	05:00	
	28	12:00	21.0°N 130.5°E	1000	46	22	29	10:00	

艾爾西颱風湧浪威脅花蓮港期間觀測波浪延時變化如圖 7；部份時段波浪能譜如圖 8。茲將波浪特性、港池穩靜及船隻碇靠與作業情形整理如表 8。

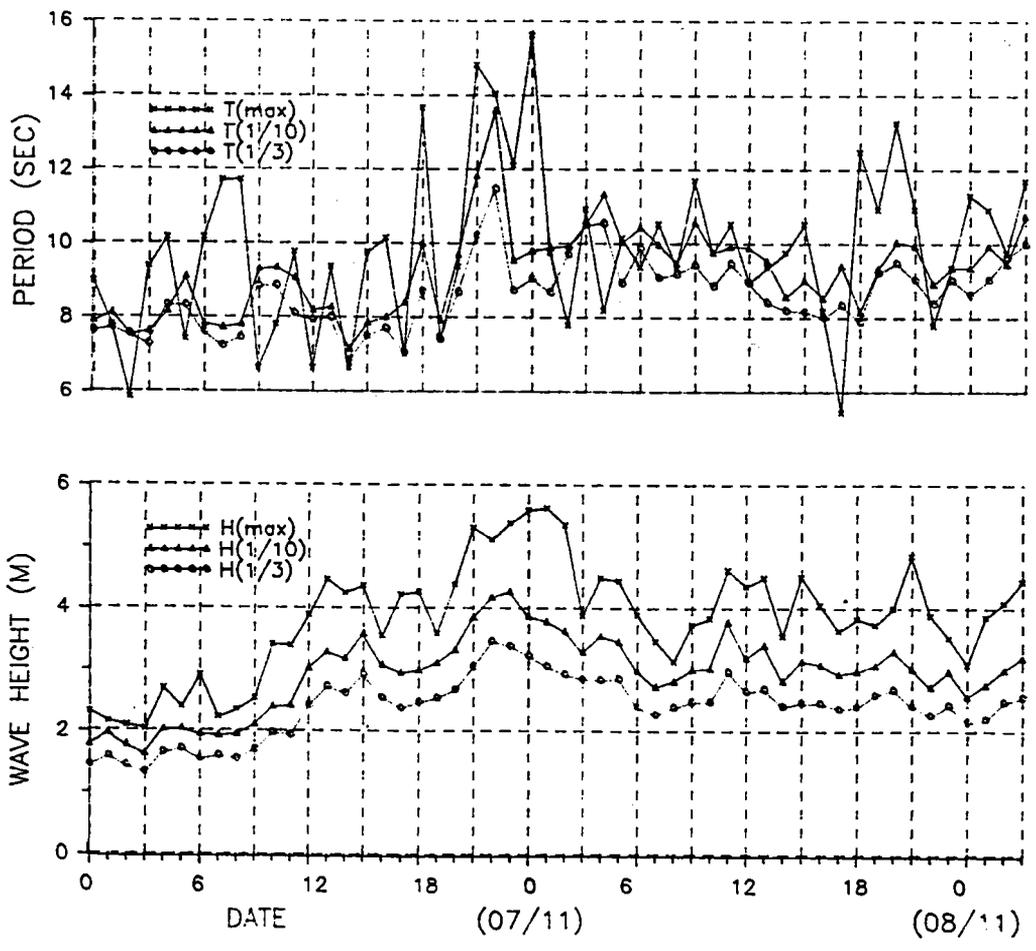
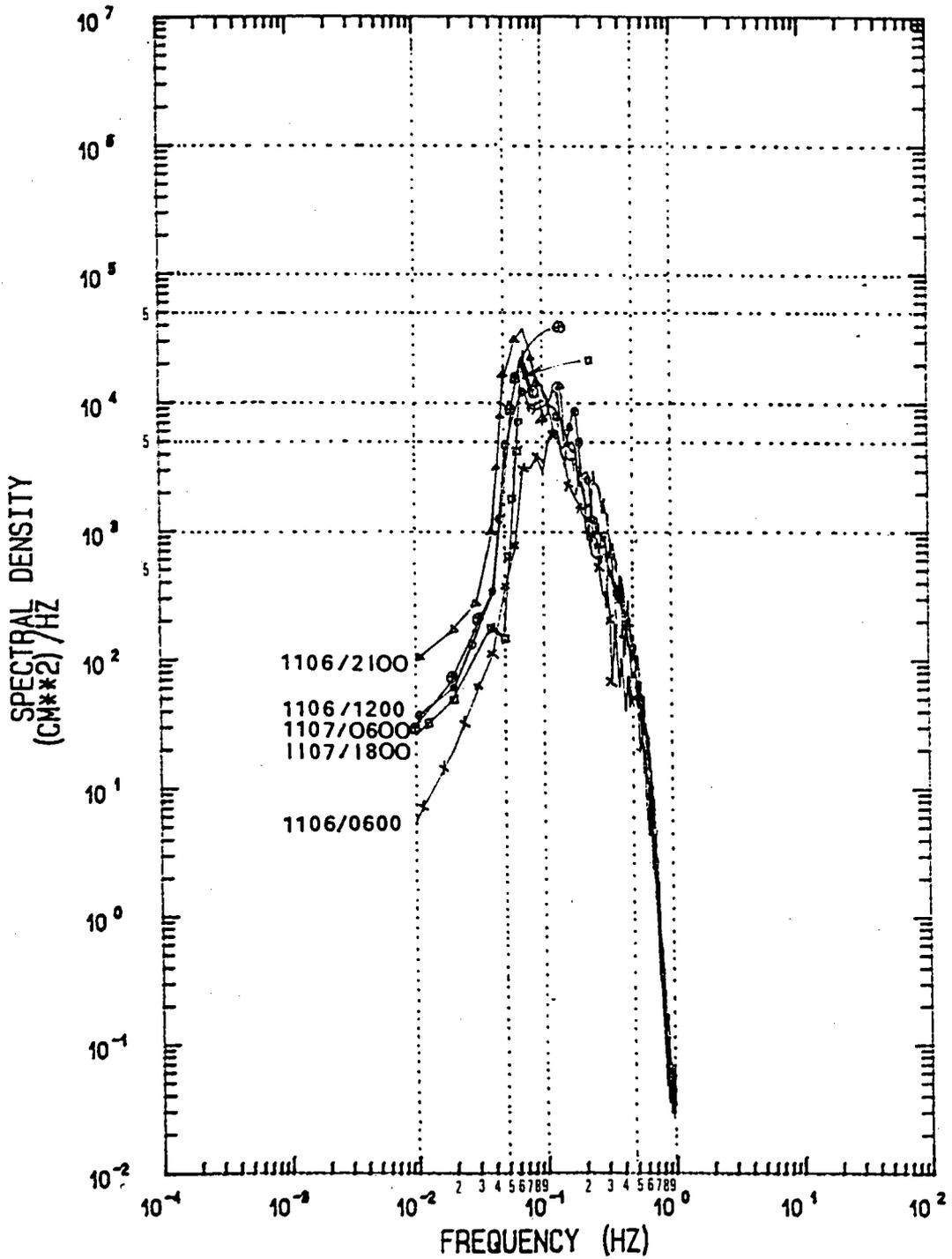


圖 7. 艾爾西颱風花蓮港外海波浪延時變化

wave data of haw-lian 1992.1108.0800



花蓮港測站81年11月6日至7日

圖 8. 艾爾西颱風波浪能譜比較

表 8. 艾爾西颱風威脅花蓮港期間湧浪對港池穩靜影響

日期	時間	波浪特性	波譜特性	港池穩靜情形	備註
6	6:00	波高1.54 <sup>m</sup> 週期7.62 <sup>s</sup> <sup>ec</sup>	波譜呈雙峰現象， 短週期能量大於長 週期能量，顯示當 地生成之季節風浪 大於來自遠洋之湧 浪	港內平靜，船 隻正常作業	靠泊 #17碼頭 船隻在 13:51 無法作業
	12:00	波高增為2.42 <sup>m</sup> 週期7.93 <sup>s</sup> <sup>ec</sup>	呈雙峰現象，長週 期波浪能量已超過 短週期能量	港內波浪增大 ，但仍可卸貨	
	18:00	波高2.84 <sup>m</sup> 週期8.73 <sup>s</sup> <sup>ec</sup>	長週期波浪能量增 加	靠#4碼頭船隻 斷纜現象	
	21:00	波高3.05 <sup>m</sup> 週期10.23 <sup>s</sup> <sup>ec</sup>	長週期波浪能量增 加	斷纜現象	
7	6:00	波高減為2.4 <sup>m</sup> 週期9.9 <sup>s</sup> <sup>ec</sup>	長週期能量為主， 密度減小	港池內除吃水 較小之拖船、 駁船及漁船外 未有商船碇靠	颱風中心北移 ，湧浪波向未 對港口造成直 接侵襲
	18:00	波高維持2.41 <sup>m</sup> 週期7.91 <sup>s</sup> <sup>ec</sup>	波譜與6:00類似		

波浪觀測資料顯示，11月6日20時 波高為 2.68m，而此時推算來自颱風之湧浪高為 1.89m，研判颱風在此刻對港內穩靜造成最大威脅。7日6時以後雖然湧浪高仍1.5m，波譜以長週期能量為主，紀錄波高在2.4m左右，但因颱風中心北移，波向對港口威脅逐漸減低。

漢特颱風花蓮外海波浪延時變化如圖 9，波譜比較如圖10。威脅花蓮港期間波浪、波譜特性及港池穩靜、船舶碇靠與作業情形歸納如表 9。

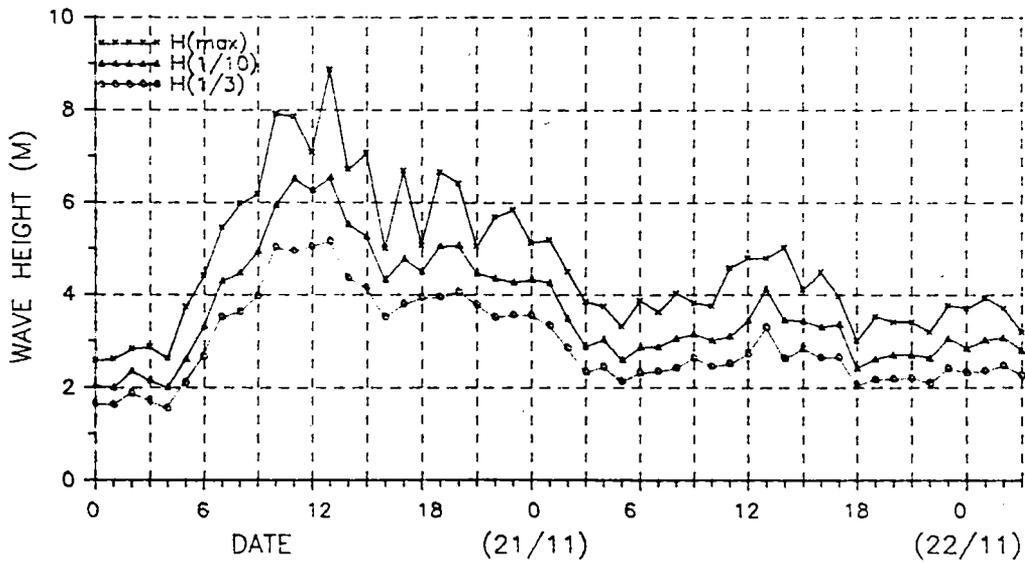
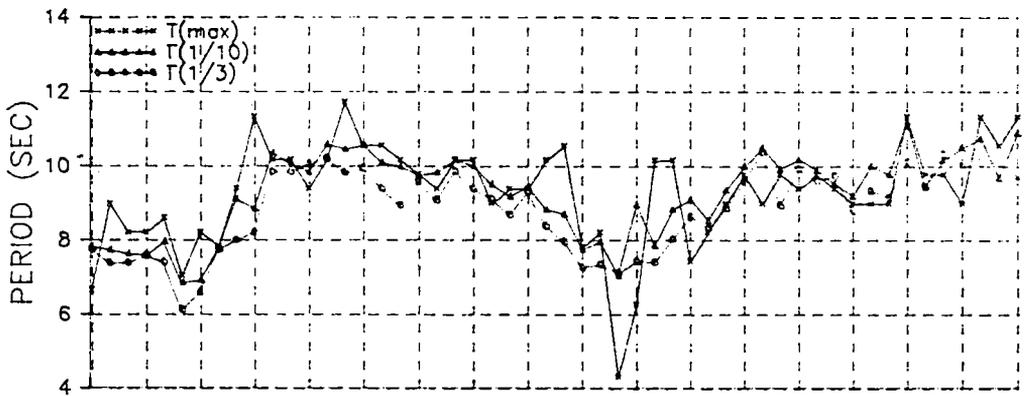
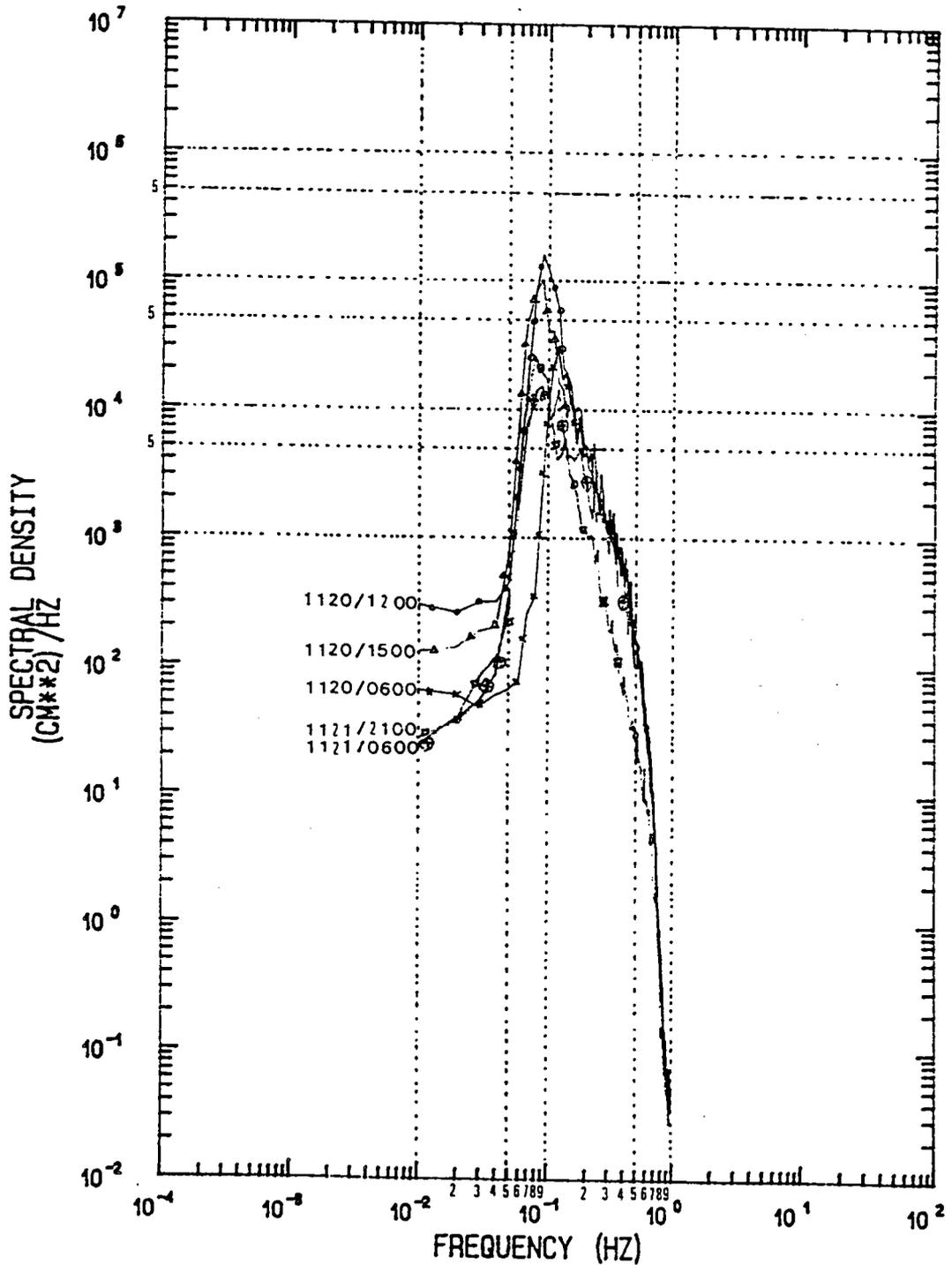


圖 9. 漢特颱風花蓮港外海波浪延時變化

wave data of haw-lian 1992.1120.0600



花蓮港測站81年11月20日至21日

圖 10. 漢特颱風波浪能譜比較

表 9. 漢特颱風威脅花蓮港期間湧浪對港池穩靜影響

日期	時間	波浪特性	波譜特性	港池穩靜情形	備註
20	6:00	波高2.67 <sup>m</sup> ,週期6.58 <sup>s</sup> ,波浪快速成長趨勢	單峰型波譜,尖峰週期小於10 <sup>s</sup> ,主要成份為強烈冷氣團所造成東北季風浪	港內船隻碇靠及作業未受影響	
	12:00	波高增至5.04 <sup>m</sup> ,週期達10.03 <sup>s</sup> 到 12:29波高再增為5.4 <sup>m</sup>	波譜成單峰型,尖峰週期約為11 <sup>s</sup>	港外波浪雖大,但主要成份為東北季風,波浪波向對港口未直接威脅,作業未受影響	緊臨港口 #25碼頭在 13:00無法作業
	15:00	波高減為4.15 <sup>m</sup> ,週期9.92 <sup>s</sup>	單峰波譜,尖峰週期約為11 <sup>s</sup>	#19 碼頭碇靠船隻無法作業,15:57移泊#4繼續裝卸;碇靠 #20碼頭船隻利用拖船頂住避免斷纜	靠 #25碼頭船隻在 17:00斷纜,但靠 #17及 #18兩碼頭船隻正常裝卸作業
21	6:00	波高2.31 <sup>m</sup> ,週期7.42 <sup>s</sup>	呈雙峰波譜,長週期能量稍微大於短週期能量	未有船隻災難發生	颱風中心偏北移動,波浪未直接對港口造成影響
	21:00	波高2.2 <sup>m</sup> ,週期10.12 <sup>s</sup>	呈雙峰,長週期能量顯著增大	10:50 船隻進港靠泊 #20 正常裝卸	

由圖 9波浪延時變化顯示,在20日13時左右,波高超過 5.1m,週期大於 10<sup>s</sup>,但此時港內除 #25碼頭因緊臨港口受堤頭繞射直接影響波高較大,不能裝卸外,其餘各碼頭均能正常作業。當季節風減弱,波高減小,長週期波浪能量增加,波向來自颱風中心,港池開始受威脅而呈現不穩靜現象。由表 6湧浪計算結果顯示,20日 18:00至 21日 8:00間湧浪最大;表 7湧浪到達花蓮港之時間計算顯示,19日 2:00颱風中心在 15.5°N, 143.0°E 所造成之湧浪,約在 20日 22:00抵達花蓮外海。20日 2:00颱風中心北移港口受湧浪威脅減輕。

蓋伊颱風威脅花蓮港波浪延時變化如圖 11,波譜比較如圖 12。受波浪影響港池不穩靜,影響船隻碇靠及裝卸作業情形如表 10。

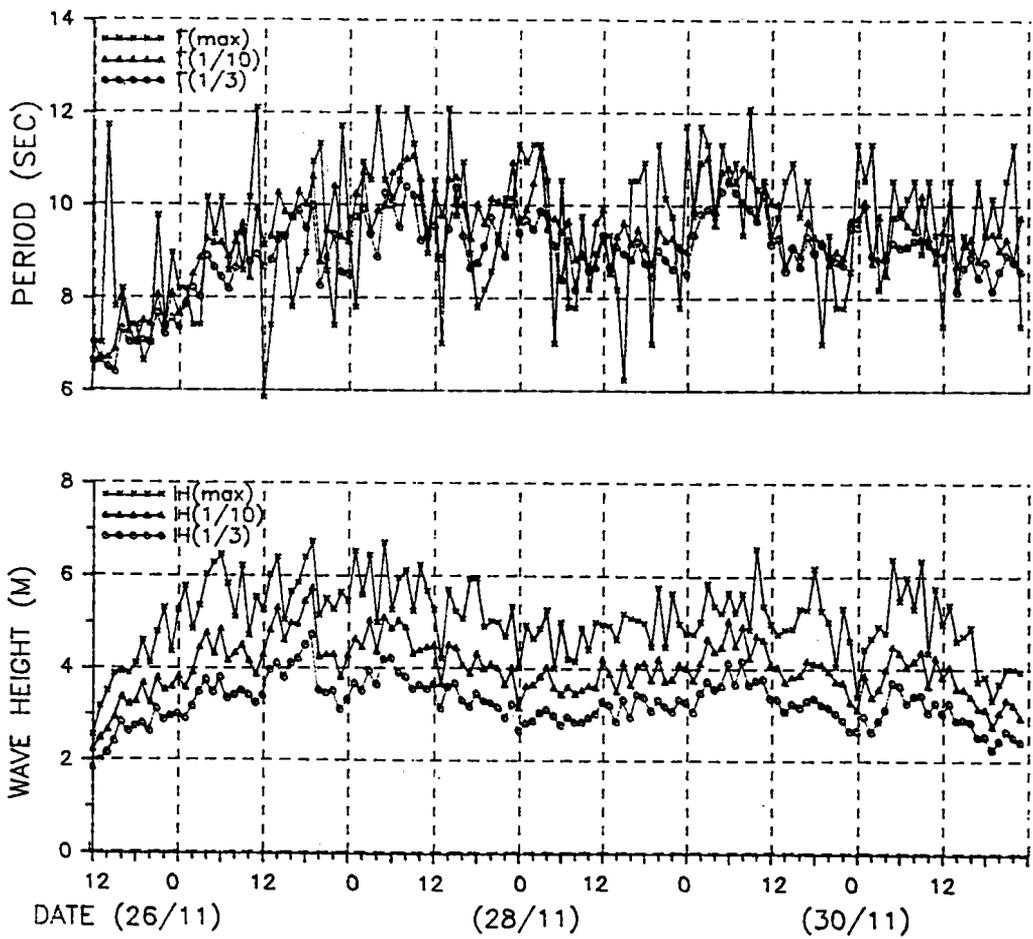
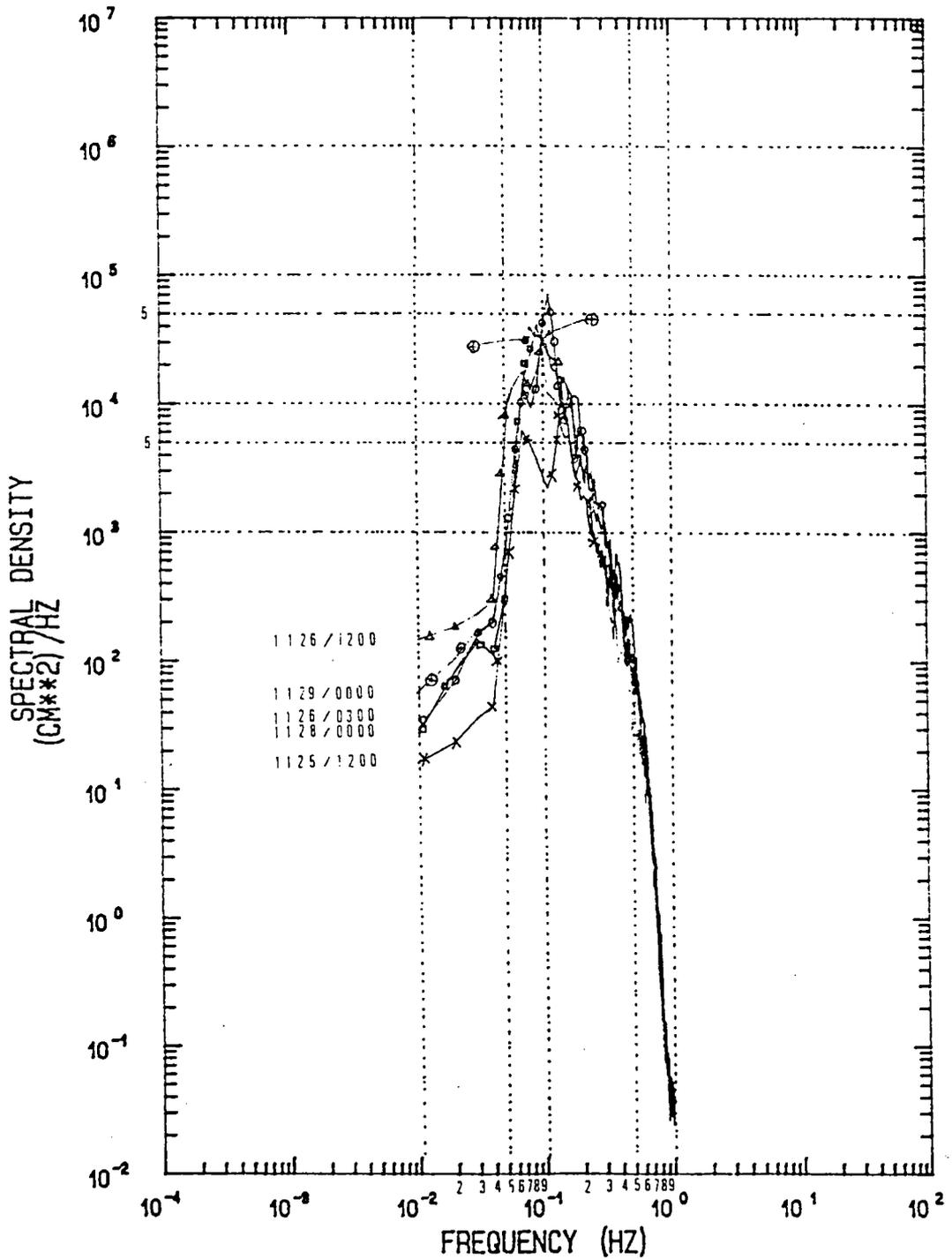


圖 11. 蓋伊颱風花蓮港外海波浪延時變化

wave data of haw-lian 1992.1128.0800



花蓮港測站81年11月25日至29日

圖12 蓋伊颱風波浪能譜比較

表 10. 蓋伊颱風威脅花蓮港期間湧浪對港池穩靜影響

日期	時間	波浪特性	波譜特性	港池穩靜情形	備註
25	12:00	波高1.82 <sup>m</sup> 週期6.64 <sup>sec</sup>	呈現明顯雙峰現象，受強烈冷氣團南下影響，當地生成短週期季風波浪能量大於長週期湧浪能量	正常裝卸	
26	3:00 18:00 21:00 12:00	波高增為3.49 <sup>m</sup> 週期8.02 <sup>sec</sup> 波高2.84 <sup>m</sup> 週期8.73 <sup>sec</sup> 波高3.05 <sup>m</sup> 週期10.23 <sup>sec</sup> 波高3.41 <sup>m</sup> 週期8.68 <sup>sec</sup>	雙峰型波譜仍然明顯，受冷氣團南下影響，東北季風增強，短週期波浪能量快速增加，颱風接近長週期湧浪亦增大 長週期波能再增大，短週期波能減小	4:00 停泊在 #11 碼頭船隻斷纜  外港池船隻無法靠泊，14:30 出港錨泊	
27	6:00	波高4.23 <sup>m</sup> 週期10.02 <sup>sec</sup>	波譜為單峰型，尖峰週期約11 <sup>sec</sup>	港內已無商船碇靠	
28	0:00 15:00	波高2.66 <sup>m</sup> 週期9.42 <sup>sec</sup> 波高3.34 <sup>m</sup> 週期8.92 <sup>sec</sup>	單峰型波譜		
29	0:00	波高3.28 <sup>m</sup> 週期8.53 <sup>sec</sup>	單峰型波譜，尖峰週期約13 <sup>sec</sup>	商船進港靠泊於 #20碼頭	
30	10:00	波高2.67 <sup>m</sup> 週期9.54 <sup>sec</sup>		開始裝卸	

根據湧浪推算，本次遠洋颱風發生前期 25日8:00 (表6) 湧浪開始威脅花蓮港。但因強烈冷氣團南下，延遲颱風湧浪威脅時間。從 24日至 26日期間，蓋伊颱風中心移動方向為西北西，且曾一度滯留，使花蓮港受威脅，港池不穩靜時間達四天之久。27日2:00颱風中心向北進行， 29日以後花蓮外海雖測得波高超過 3m，尖峰週期達  $13^{\text{s}}$ ，但因波向偏東，對港口未造成直接影響，船隻得以靠泊。

### (三) 威脅花蓮港之颱風

根據上述近海與遠洋颱風對花蓮港之影響分析結果，初步研判，當近海颱風中心位於花蓮港東南方與南方之間，且朝花蓮港前進，對港池穩靜造成直接威脅；其程度則決定於颱風規模、中心前進速度等因素。

遠洋颱風發生在菲律賓東方海面，中心位置介於花蓮港南方與東南東方間，所產生之湧浪均可能對港池造成負面影響。颱風規模、中心距離及前進路徑與速度決定影響程度之主要因素；其中尤以颱風強度及暴風範圍最具影響力。當颱風中心移至花蓮東南東方位線以北所造成湧浪，受東防波堤遮蔽，對港池穩靜影響大幅減低。

### 五、研究解決港池不穩靜之步驟

分析颱風威脅花蓮港造成不能作業 (Down time operation)，包括不能裝卸、碇靠及疏散，期間所測得波浪能譜顯示，長週期能量佔相當顯著成份。因此，研判長週期湧浪可能是影響港池穩靜最關鍵性因素。如果能設法消殺長週期波浪能量，則颱風對港池造成威脅將可迎刃而解。本所將以下列步驟，尋求解決方案。

### (一)現場波浪觀測：

同時量測港外、港內波浪，並考紀錄時間延長，以分析低頻率波浪能量。比較港內、外波浪能譜，了解防波堤對各種不同週期波浪所能產生之遮蔽效果。

### (二)數值模擬：

模擬外海波浪進入港內各種水理現象，並利用現場觀測資料加以驗證，使港內、外原型波浪特性在數值模型上重現。利用所建立之正確數值模型，計算各種不同改進佈置遮蔽效果，以尋求最佳方案。

### (三)水工模型試驗：

根據數值模擬結果，選擇可行佈置，辦理模型試驗加以檢核。

## 六、結語

台灣東部海岸地形陡峭，缺乏理想之築港空間：由於東海岸每年均受不同路徑之颱風侵襲，海面波向及波浪特性隨颱風中心位置進行方向及颱風規模而改變。因此，不論如何佈置港口方向，均可能遭受颱風波浪直接沖擊，花蓮如此，東海岸其他地點建港亦復如此。為避免投資浪費，尋求最佳投資效果，規劃時應將各種方案不能作業時間所造成營運損失(含補償)併入效益評估：

港灣 (Harbor) 係指具有天然或人工屏障，寬闊且足夠水深與穩靜水域供船隻碇靠；而港埠 (Port) 則利用港灣提供碼頭、倉棧、裝卸、維修、補給及交通等設施作為貨物與旅客水陸運輸樞紐。花蓮港 (Port of Hwa-lian) 雖具有港埠功能，但是每年夏季常遭受颱風湧浪威脅，造成港池不穩靜，船隻不能碇靠、裝卸，甚至發生斷纜、損毀碼頭設施或需往海外疏散。為推行產業東移，東砂北運與東西部均衡發展等既定政策，有必要徹底解決花蓮港現存各種問題，期望港灣及海岸界學者、專家共同參與研究、指導。

## 七、參考資料

1. 張金機、曾相茂等，台灣四周海象氣象調查研究(五)，79研(三)，港灣技術研究所，79.6.30。
2. 林維明、饒正等，花蓮港舊東堤堤身灌漿加固修護方法之可行性研究，港研所專刊63號，79.9.30。
3. 歐陽餘慶、邱永芳，花蓮港舊東防波堤外側潛堤穩定性及效用斷面模型試驗，港研所專刊39號，76.9。
4. 許泰文、歐善惠等，花蓮港東防波堤擴建前後地形變化研究，第十三屆海洋工程研討會論文集，P441~456，80.11。
5. 財團法人港埠服務社，花蓮港東防波堤延長工程規劃簡報。
6. 花蓮港務局提供颱風期間港內船舶動態資料。

# 花蓮海岸結構物附近地形變化之 分析與預測

歐善惠

國立成功大學水利及海洋工程研究所教授

## 中文摘要

本文根據水利局實測斷面資料，分析花蓮海岸東防波堤擴建前後海岸線變遷漂沙量之演變及灘距歷時變化。文中同時利用二維經驗特徵函數法預測未建東防波堤海灘斷面變化，所獲結果與東防波堤擴建之後實測斷面比較，探討東防波堤擴建後對本段海岸之影響性。由海岸線歷年變遷之分析結果顯示，在東防波堤未擴建前，北濱海岸隨著西防波堤之佈置呈現後退現象，而其餘各段海岸則尚稱穩定。東防波堤擴建後，自由街口以北海岸由侵蝕情況變為淤積，灘線明顯伸長，自由街排水口以南海岸則呈現沖刷狀態，尤以南濱段最為劇烈，堤前沙灘幾已消失殆盡。而海岸漂沙量之歷時變化，係以自由街排水口為臨界點，東防波堤擴建後，以北海岸有逐年增加趨勢，以南海岸則漸次減少。

歷年灘距變化之分析結果顯示，東防波堤擴建前後灘距之變化相當明顯，擴建前自由街以北海岸之灘距為負值，擴建後則灘線伸長，灘距增加為正值，愈北端愈明顯；自由街口以南，南海岸之灘距在擴建前正負互現，灘距為正的現象較為明顯，但變化幅度不大，而擴建後則灘距有大幅度的後退現象。

根據二維經驗特徵函數法之預測結果得知，在無防波堤存在之情況，自由街排水口以北之海岸，所預測之海灘斷面高程較東防波堤構築後之實際高程為低，而以南之海岸則呈現相反之趨勢，顯示東防波堤之擴建，已改變本段海岸原有的漂沙特性，使海灘侵淤之變化性質隨之改變。

## ABSTRACT

Beach profile data at Hwalien coast measured every two months for three years are used to investigate the beach topographical changes after the construction of eastern breakwater of Hwalien harbor. Shoreline changes and sediment transport rate are analyzed to evaluate the effect of the eastern breakwater on beach process.

A new 2-D empirical eigenfunction model is employed to predict the beach profile changes with and without the eastern breakwater. The result is compared with the field data observed after the completion of eastern breakwater. It is shown that the construction of eastern breakwater has primary influence on the coastal changes. Heavy beach erosion is found in the Nanbien area due to a shortage of beach sediment supplied to the shore.

# 一、緒論

## 1-1 研究目的

在沙質海岸興建人工結構物，將改變漂沙運移特性，使原有的海灘地貌隨之變化。以花蓮海岸為例，由於東防波堤之延長，截斷沿岸漂沙之運移，使美崙溪口至自由街排水口(見圖1-1)海灘呈現淤積現象，但東防波堤端之繞射與海潮迴流，致使南濱海堤前灘發生侵蝕，並威脅南濱公園之安定，需速謀對策，以維護本段海岸及南濱公園之安全。

現場調查為研究海灘地形變化的方法之一，現場觀測資料為各種影響因素綜合變化之結果，其變化過程紛紜無序，而非模型試驗及數值模擬所盡能描述者，水利局自民國69年開始，已於花蓮海岸加強海灘斷面變化觀測，迄今所施測之海灘斷面已相當可觀，在學術及工程上甚具參考價值<sup>(1)</sup><sup>(2)</sup>，然觀測之海灘斷面變化極不規則，一般難以直觀方式瞭解其變化原因或推測未來變化情形，如何根據這些實測資料，應用學理方法就雜亂無序的變化現象予以分析，並作合理的預測，為一值得研究的問題。

本計畫以花蓮海岸地形變化為主要研究對象，以實測之海灘斷面資料，利用數學構成統計模式，分析花蓮海岸東防波堤或有關結構物構築前後之漂沙機構演變，海岸線變遷及海灘地形變化過程，並預測未來可能的變化情形。由所獲得之成果可提供水利局日後海岸保護對策之參考。

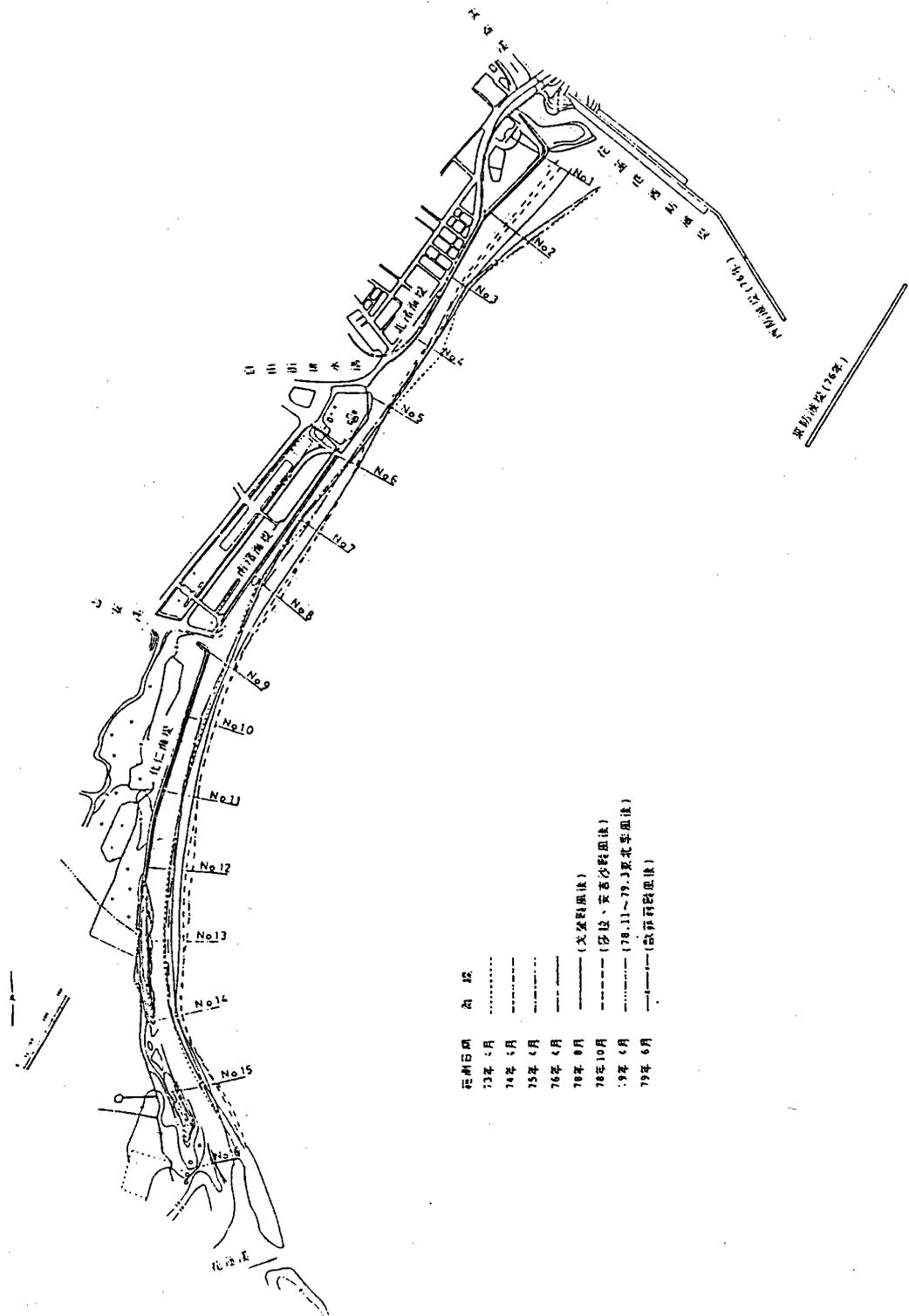


圖 1-1 : 花蓮海岸地理位置與海岸線歷年之變遷

## 1-2 花蓮海岸自然及人文概況

### 1-2-1 自然概況

花蓮海岸除花蓮溪口以北有部分沙質海岸外，其餘多屬陡峭之斷層海岸，均緊接在陡峻之山崖下，海岸線受太平洋波浪之侵襲而呈侵蝕狀態。自和平溪口至花蓮溪口段，呈東北～西南走向，約與中央山脈平行。其中，和平溪及立霧溪，由於河川比降甚大，河水將塊石攜下堆積於河口，不易為波力帶動，以致河口附近形成三角洲，而使海岸線形成弧型極美之凸出圓滑曲線。另外，尚有美崙鼻及花蓮溪口兩個凸出點，故形成三段呈內凹弧狀之海岸。自花蓮溪口以南轉為略偏南南西之平直海岸，其走向約與海岸山脈平行。

花蓮海岸平原均呈三角形，係在更新世時上升，形成斷層後，再受海浪侵襲而變成如今之狀態。全段平直海岸線，係在花東海岸大斷層作用造成花東縱谷時同時形成者。由於斷層作用及海浪侵襲，到處形成高聳之海崖。

在花蓮海岸常有海坪之存在，其上常可見海浪侵蝕造成之谷道，亦常為河川流水切割成方形石塊。本段海岸岸線相當平直，由於更新世時不等量上升，造成梯田狀地形。由今昔海岸線比較及浮升之珊瑚礁隨處可見之窄而深之峽道觀之，本段海岸仍繼續上升中，但已達到早期之成熟狀態，故無法形成平原地區。

### 1-2-2 人文概況

花蓮沿海平原狹小，僅局部分布於太平洋海濱十幾公里寬及各河川入海處之三角洲。本地交通不甚發達，資源未盡開發，一般言之，社會經濟狀況較西部地區為差。但花蓮海岸具有極為深厚之觀光潛力，惟尚待加以整體規劃，並全力開發利用。由於本區平地少，人民都

聚居於沿海少數平原及三角洲，一遇颶洪，極易感受潮浪威脅。為平衡發展本區經濟，對本區沿海易受潮浪侵襲之村落，自宜急速提出防護對策以資保護。

### 1-3 本文組織

本文共分五章，第一章為緒論；第二章為實測資料整理與分析，包含海岸線變遷過程、各實測斷面之季節性變化及其漂沙量之歷時變化；第三章簡介二維經驗特徵函數理論，並應用二維經驗特徵函數法解析本段海岸之變化特性；第四章探討東防波堤擴建前後海岸地形之變化，文中引用二維經驗特徵函數法之預測模式及分析灘距之歷時變化，分別研究東防波堤構築後之影響情形；第五章則為本文之結論與建議。

## 二、實測資料整理與分析

### 2-1 海岸線變遷

根據早期海圖比對及老一輩人士之口述得知，花蓮南、北濱海岸在半世紀前有沙灘寬達300~400m以上，而在民國43年興建海堤時仍有100~200m之灘存在，當時海堤前側尚有甚多房屋地基、海岸碉堡等遺跡存在。

由水利局民國70~71年實測資料分析發現<sup>(3)</sup>，介於美崙溪口至吉安溪口間之海岸，地形變化相當劇烈；北濱海堤段之灘線隨著花蓮港西防波堤之擴建，呈現後退現象。其餘各海岸則隨季節變換而發生局部性之變化，惟其沖淤幅度有限，大致在20~30m之間。

依水利局民國73~76年之實測資料分析結果得知，因花蓮港東防波堤之延長，介於美崙溪口與自由排水口之海岸，海灘侵蝕情況逐漸減輕，灘線有伸長之跡象，愈接近美崙溪口此種跡象愈為明顯。然自由街排水口以南之南濱段海岸，灘線呈現明顯的後退現象。吉安溪口至化仁海堤尾端之海岸，灘距隨季節波浪改變，東北季風吹襲時，灘距明顯縮短，夏季西南季風盛行時，灘距卻又伸長。化仁海堤以南之海岸，其變化情形與化仁北段相反，呈現冬淤夏刷之情況。

再依水利局民國77年以後的觀測資料分析化發現，自由街排水口以北海岸呈現淤積現象，且愈近北端淤積愈多，至美崙溪口處，灘線已伸長200餘公尺。自由街排水口以南海岸則為沖刷狀態，尤以南濱段受侵蝕之情況最為嚴重，堤前沙灘幾已消失殆盡。圖1-1為本段海岸線之歷年變遷，圖中海岸線之變遷過程已如上述。

如前所述，在沙質海灘興建人工結構，將改變漂沙運移特性，使原有的海灘地貌隨之改變。從以上分析可知，花蓮海岸由於東、西防波堤之擴建，已使海灘侵蝕性質發生明顯的變化現象，其漂沙機構如何改變，將於下文中作進一步之探討。

## 2-2 斷面資料整理

水利局自民國69年11月起，於花蓮海岸實施海灘斷面觀測，北自美崙溪口，南至花蓮溪口，全長4公里，共設置16個觀測斷面，每個斷面相距約250公尺，各斷面位置如圖1-1及表2-1所示。由於人力、經費及設備的限制，觀測時著重海岸線位置的變化及岸線以上高程的變化情形，而水位以下之海灘斷面高程則較少觀測，且民國72年因故停測，民國76年6月至78年8月東防波堤延長時期亦無斷面資料。本文選用自民國73年6月至76年6月，每隔2個月之海灘斷面資料來解析海灘地形變化特性。另外根據這些資料，利用經驗特徵函數法預測78年8月的海灘地形，並與實測資料比較，以瞭解花蓮港東防波堤延長後，對花蓮海岸所造成的影響。

表2-1 花蓮海岸各觀測斷面位置

海 岸 範 圍	斷 面 編 號
美崙溪口 - 自由街排水口	NO.1~NO.5
自由街排水口 - 南濱海堤尾	NO.6~NO.9
南濱海堤尾 - 化仁海堤尾	NO.10~NO.12
化仁海堤尾 - 花蓮溪口	NO.13~NO.16

## 2-3 季節性平均斷面之比較

根據花蓮海岸自73年6月至76年6月之實測資料，分析夏、冬季海岸地形之平均斷面以瞭解本段海岸之季節性變化。計算結果，如圖2-1至圖2-16所示。圖2-1至圖2-16分別表示斷面編號1至16之結果，圖中水平軸為海堤基樁原點向海側之距離，而垂直軸為高程。由於每個斷面施測之最遠離不同，所以圖2-1至圖2-16之水平高程，在圖中以實線表示；冬季斷面則為10月至翌年之4月之斷面平均高程，圖中以虛線表示。

由圖中之結果，發現夏季平均斷面與冬季平均斷面之高程相差不大，而且二者之斷面型態不明顯隸屬於侵蝕海灘或者淤積海灘。此蓋因現場資料大部分為零水位上之海灘，此部分除因含能量較高之颱風波浪作用外，一般受季節性波浪作用而改變則較少。

## 2-4 各斷面漂沙量之歷時變化

本節將探討本段海岸各斷面漂沙量之歷時變化。將二個不同時期測量的斷面高程差乘以水平距離，可得此斷面在比時間段間斷面是侵蝕或淤積，若再將連續時間段所得結果累加，則可累計斷面侵淤歷線圖。圖2-17d 圖2-32為南濱海岸16個斷面，各時段的斷面侵淤歷線及累計侵淤歷線圖。各圖之橫座標為時間段，每個時間段為2個月，若相鄰實測資料時間相隔2個月以上，則由內插法計算出兩個月的高程。縱座標為斷面侵淤量，單位為立方公尺/公尺( $m^3/m$ )。圖中虛線為各時段之侵淤歷線，實線為累計之歷線圖。例如圖2-17，橫座標73.6表示在編號No.1斷面，測量時間為73年6月及8月之兩個斷面高程差乘以水平距離所得淤積量約為 $8m^3/m$ ，而第二座點為73.8，表示73年8月至10月之淤積量，此時間之淤積量約 $8m^3/m$ ，故累計之淤積量則

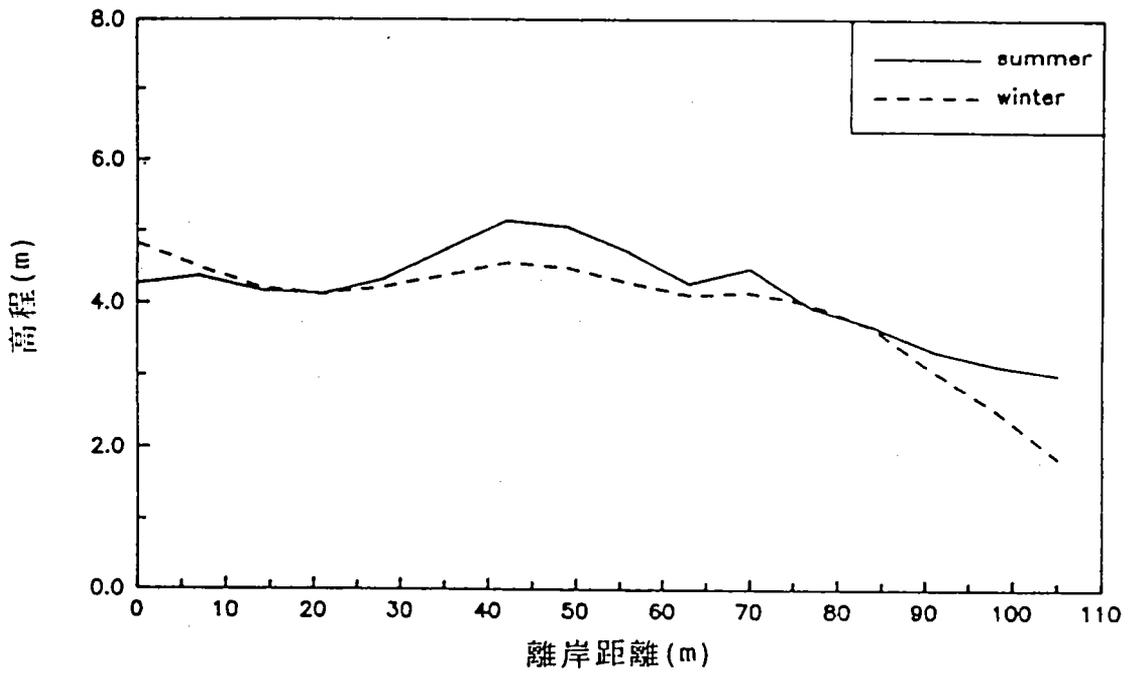


圖2-1 : No.1觀測斷面季節性變化

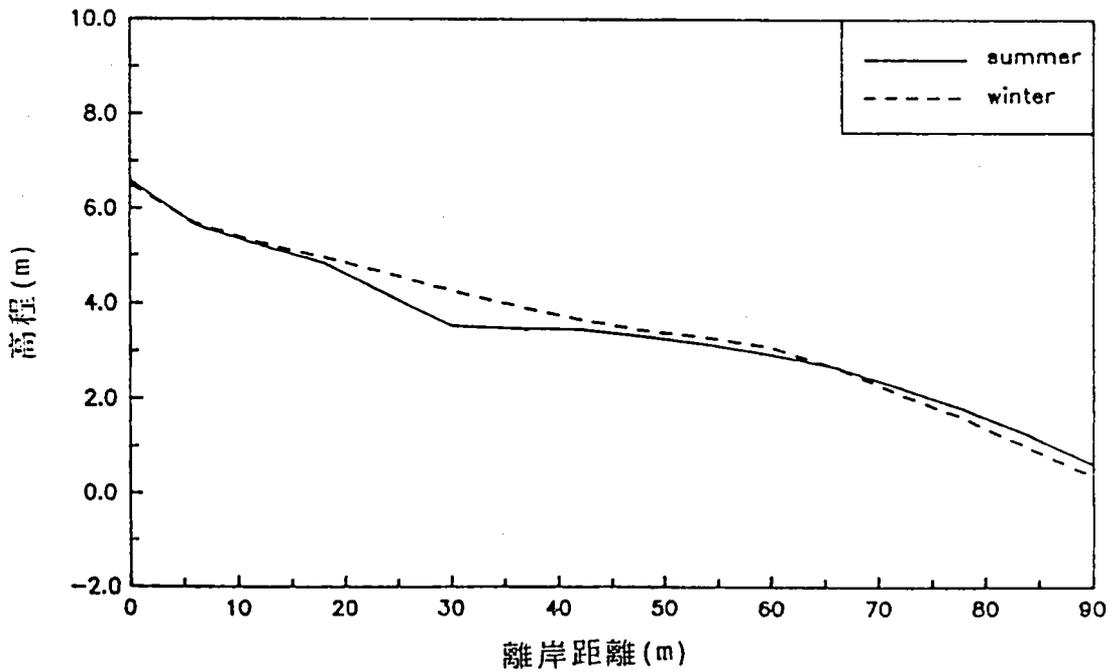


圖2-2 : No.2觀測斷面季節性變化

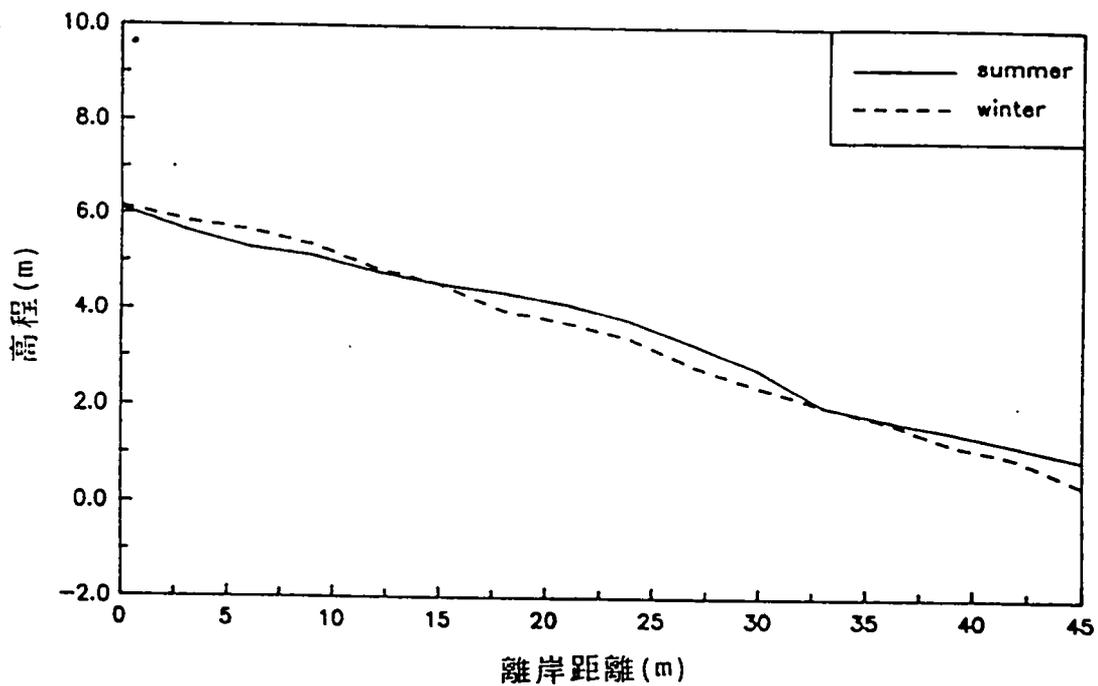


圖 2-3 : No.3 觀測斷面季節性變化

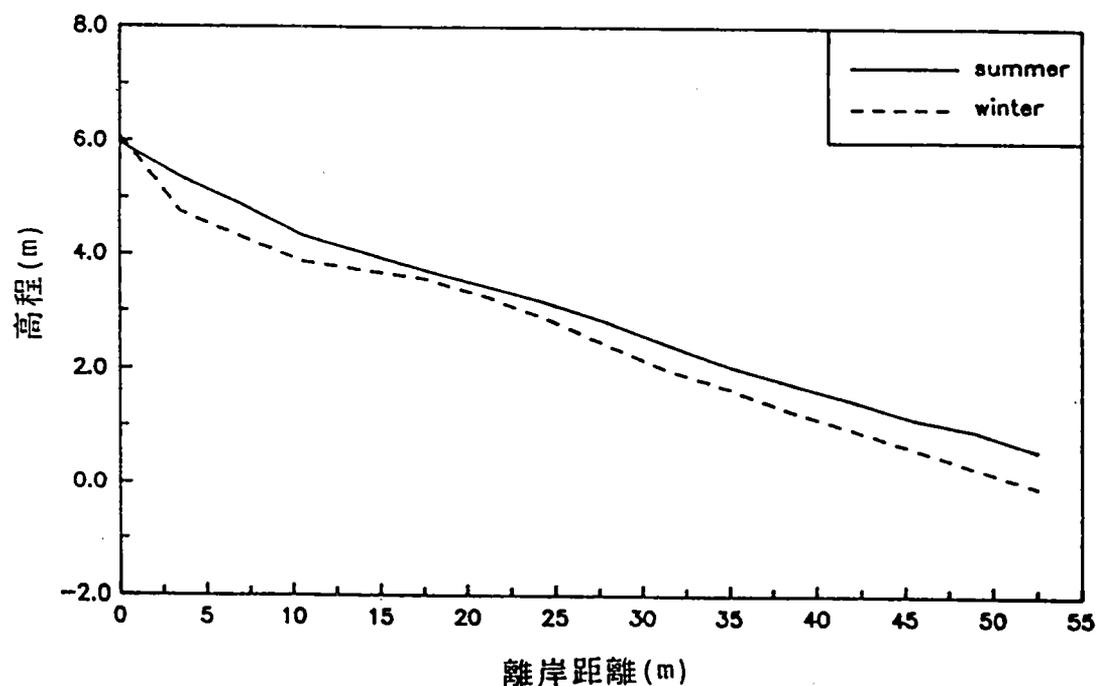


圖 2-4 : No.4 觀測斷面季節性變化

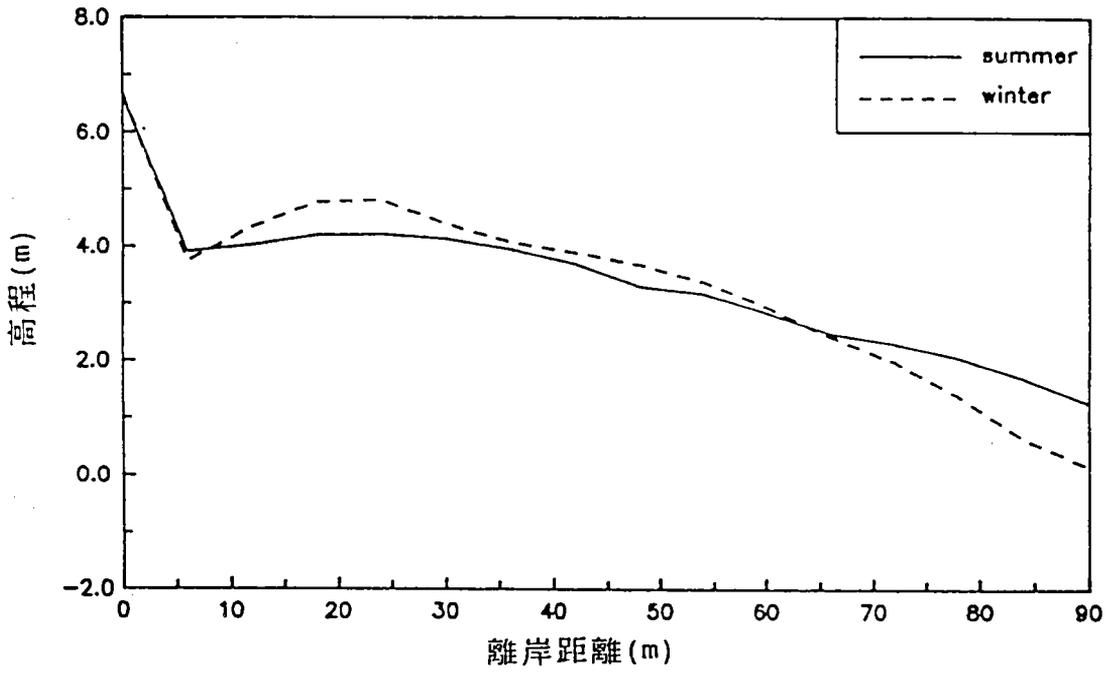


圖 2-5 : No.5 觀測斷面季節性變化

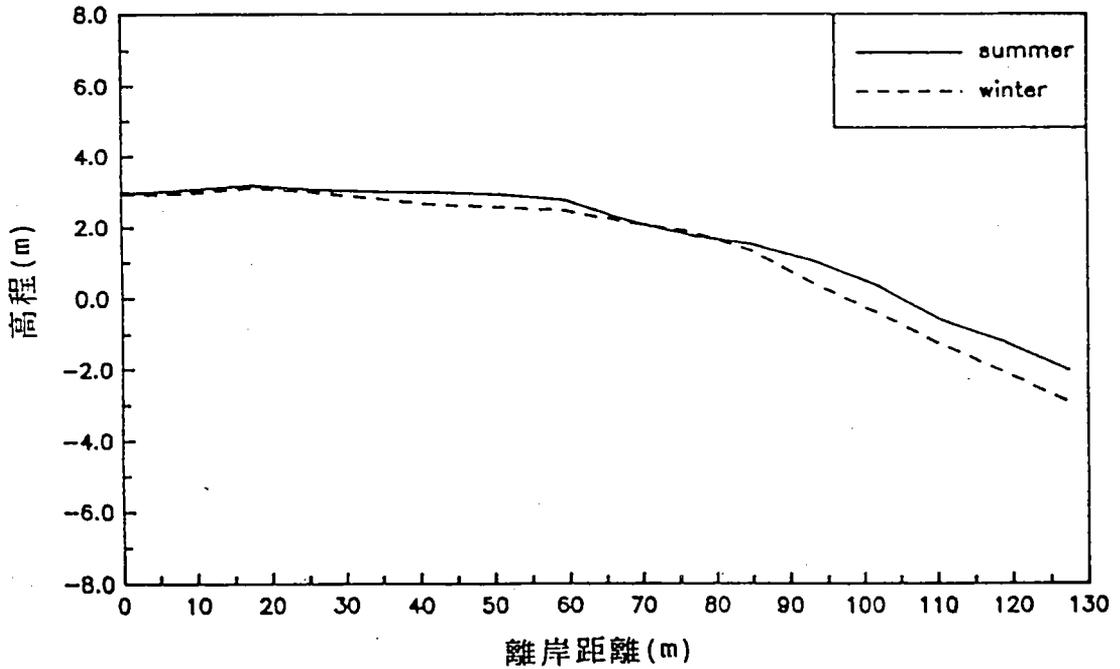


圖 2-6 : No.6 觀測斷面季節性變化

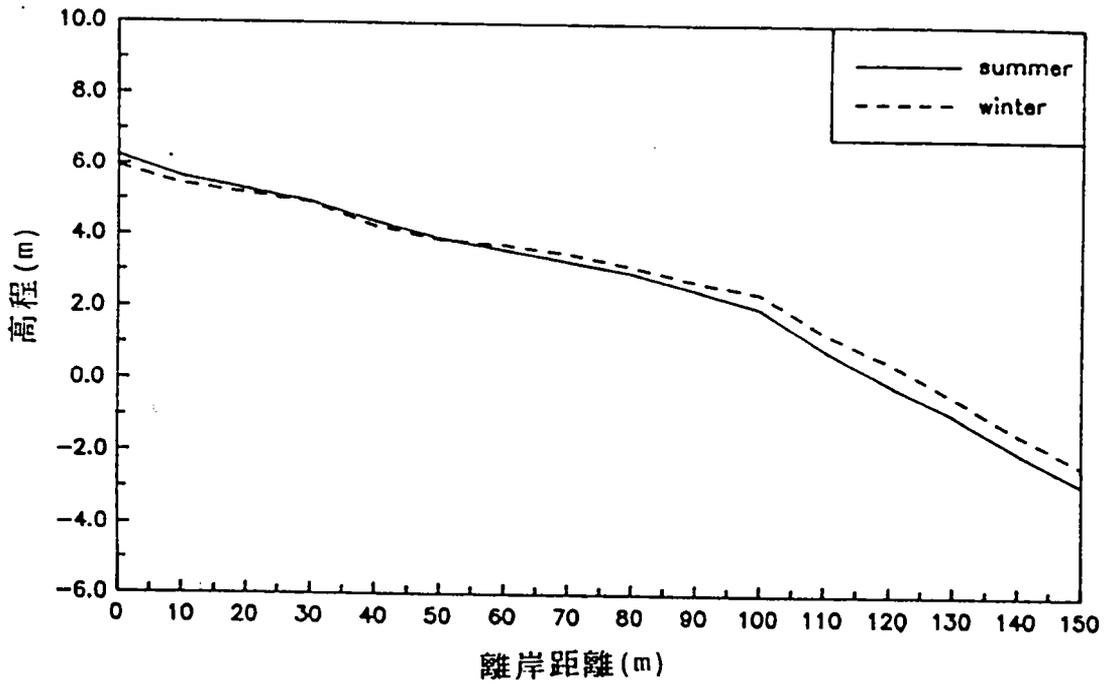


圖 2-7 : No. 7 觀測斷面季節性變化

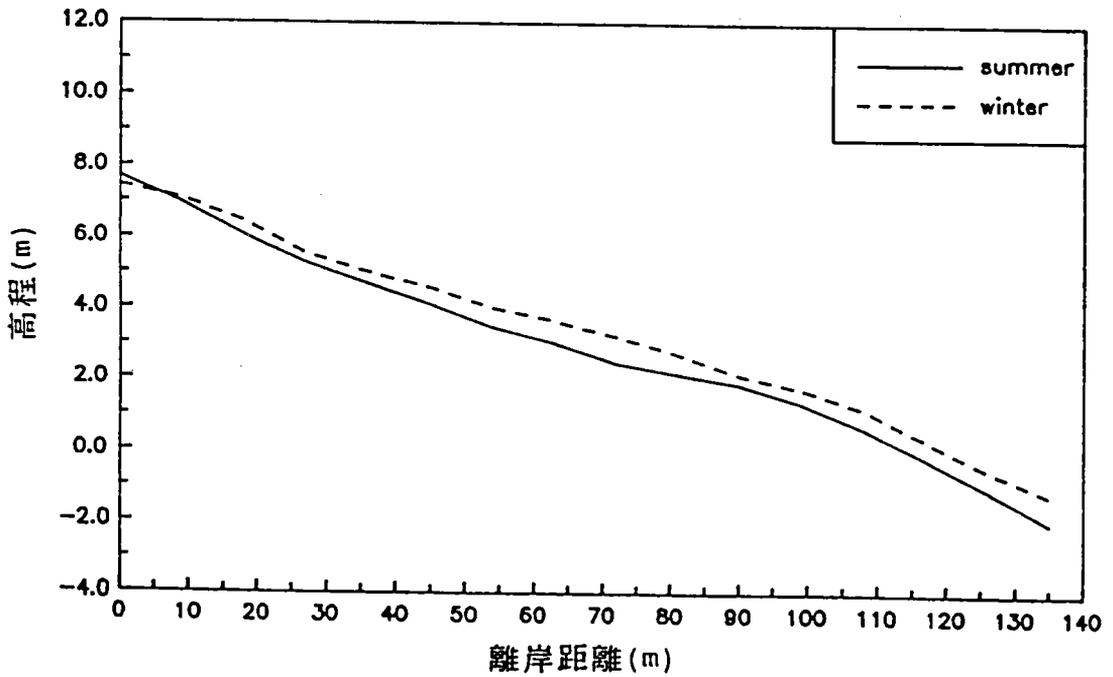


圖 2-8 : No. 8 觀測斷面季節性變化

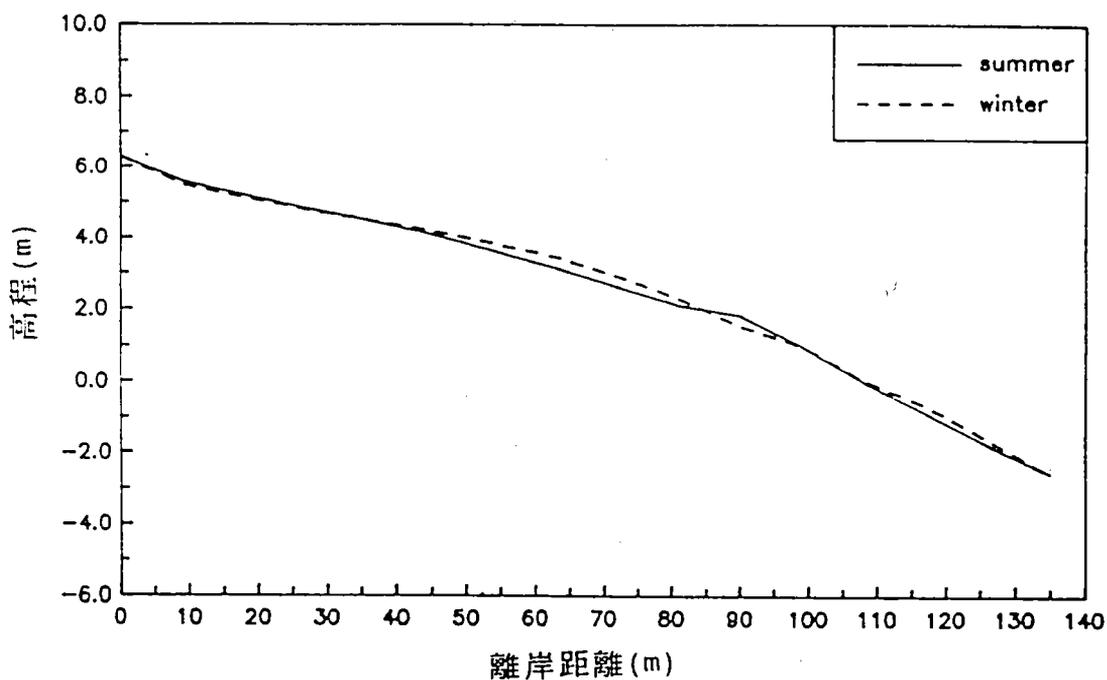


圖 2-9 : No.9 觀測斷面季節性變化

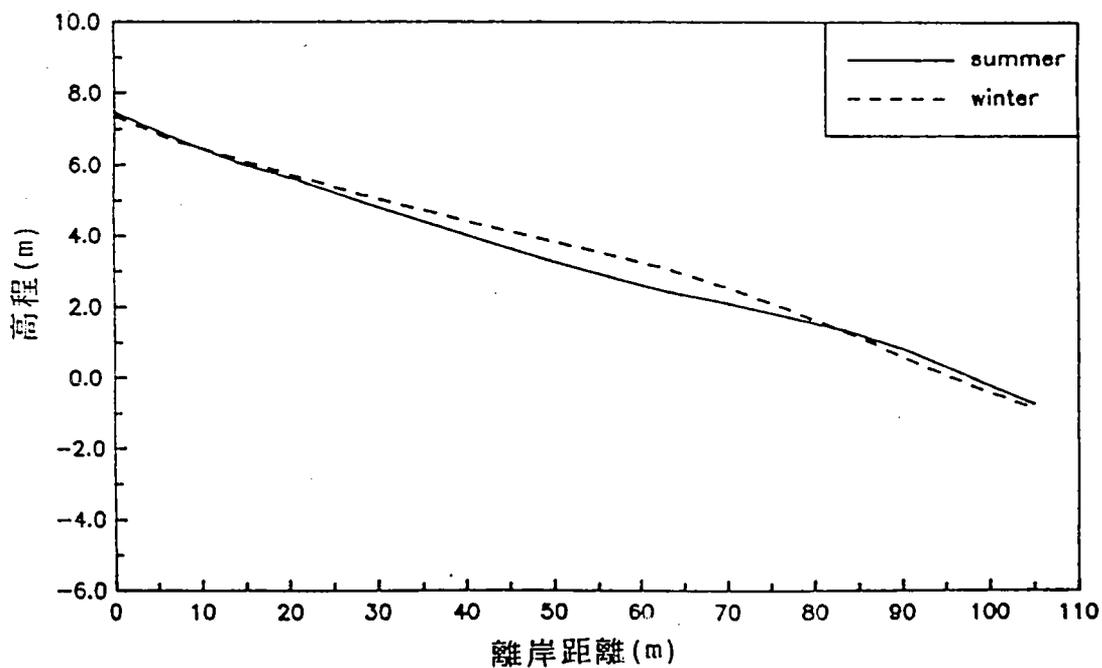


圖 2-10 : No.10 觀測斷面季節性變化

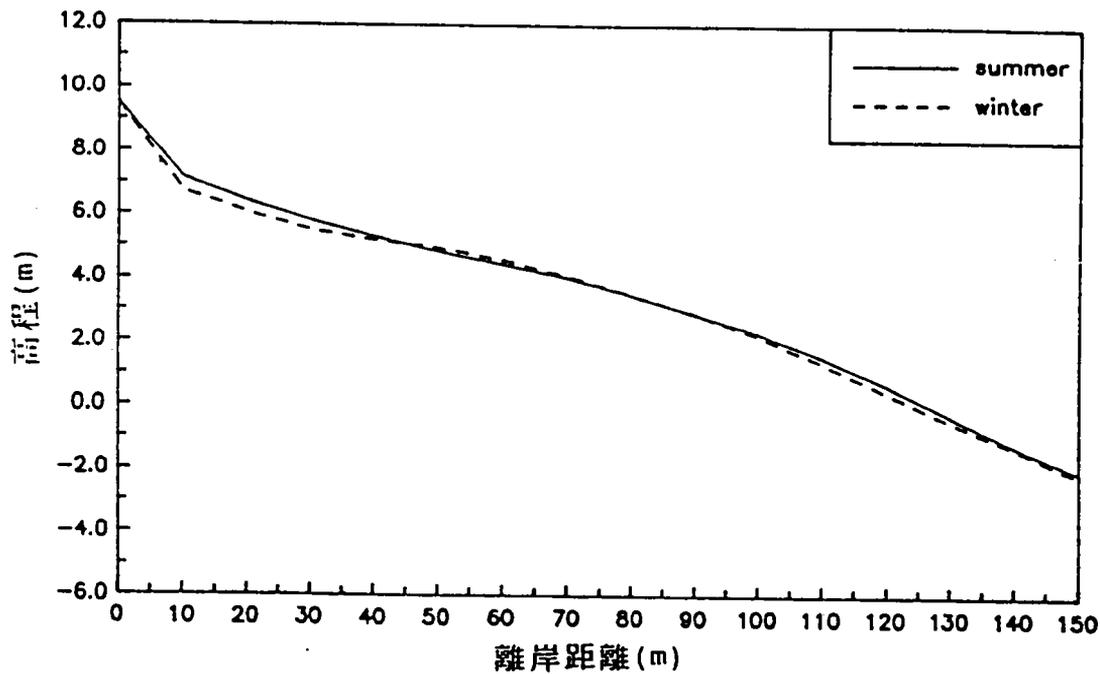


圖 2-11： No.11 觀測斷面季節性變化

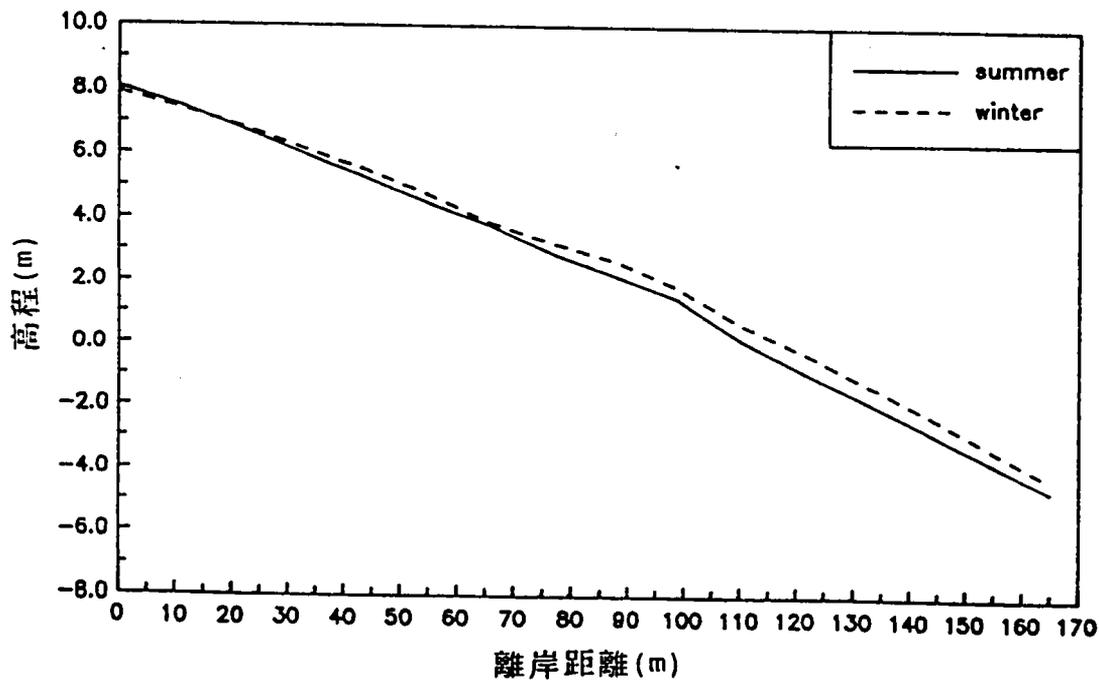


圖 2-12： No.12 觀測斷面季節性變化

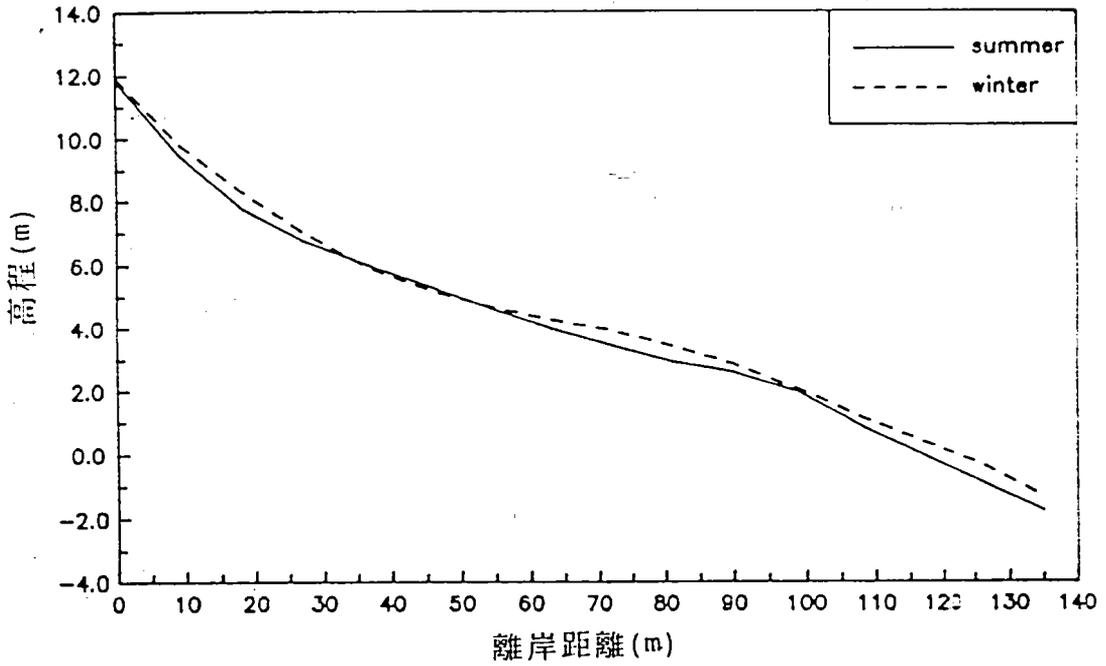


圖2-13： No.13 觀測斷面季節性變化

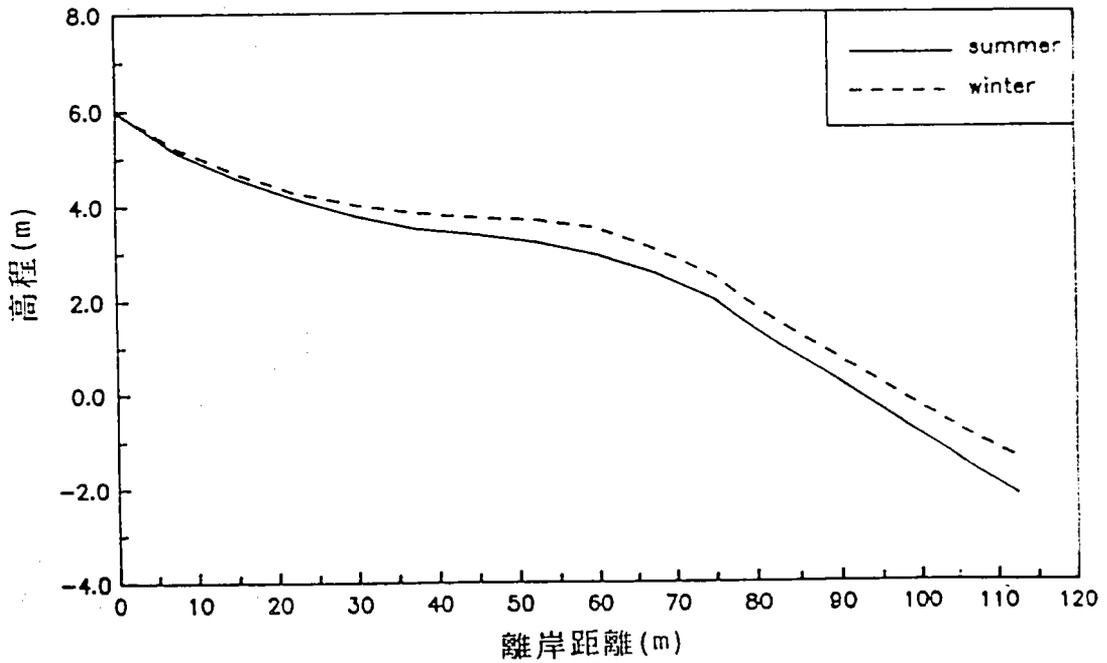


圖2-14： No.14 觀測斷面季節性變化

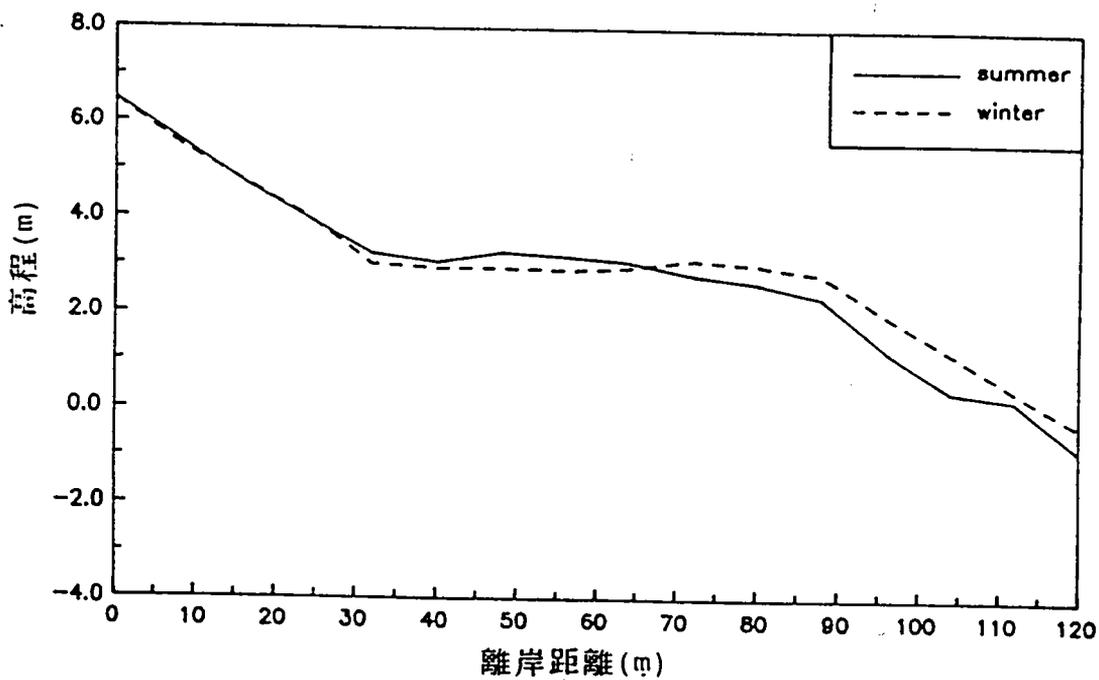


圖 2-15： No.15 觀測斷面季節性變化

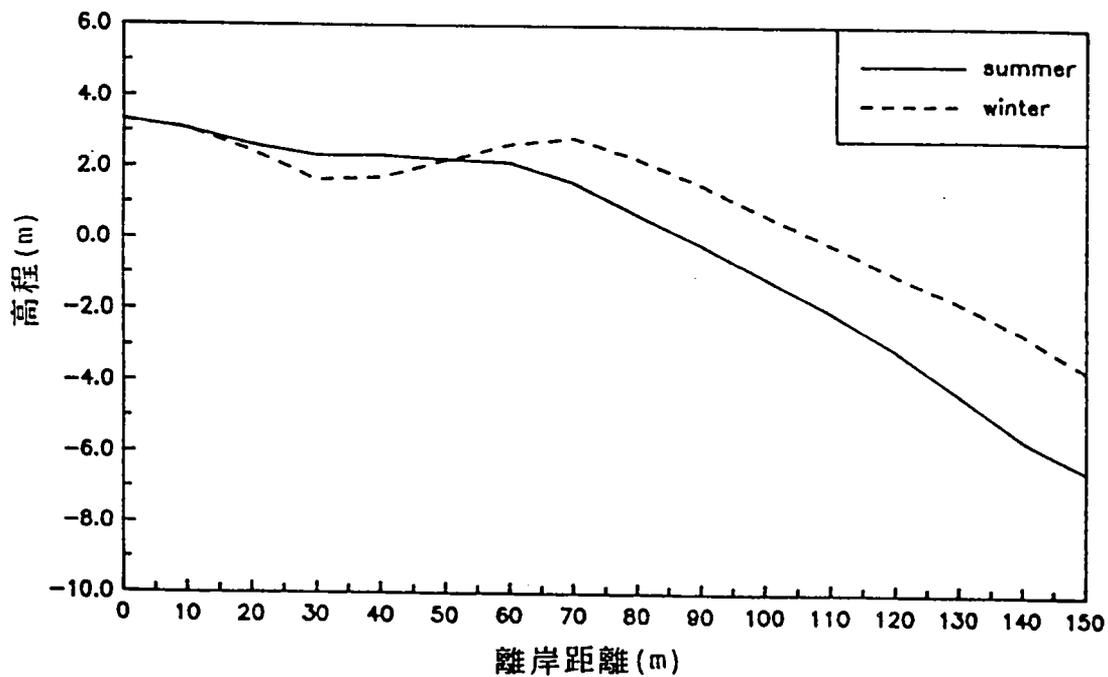


圖 2-16： No.16 觀測斷面季節性變化

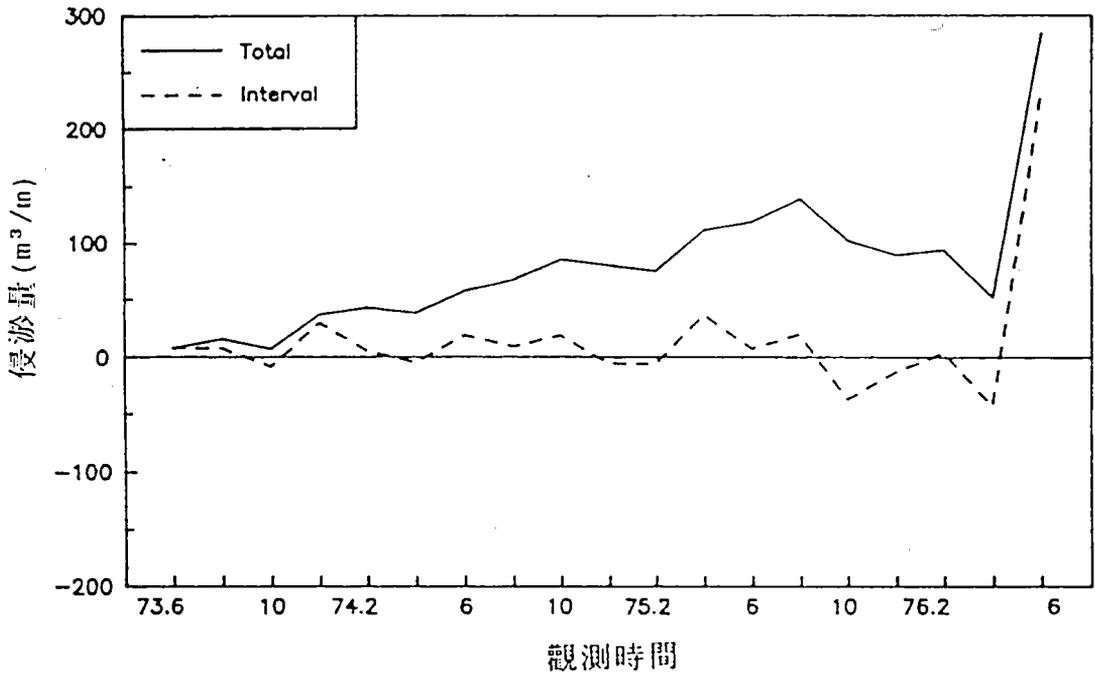


圖 2-17： No.1 觀測斷面漂沙量之歷時變化

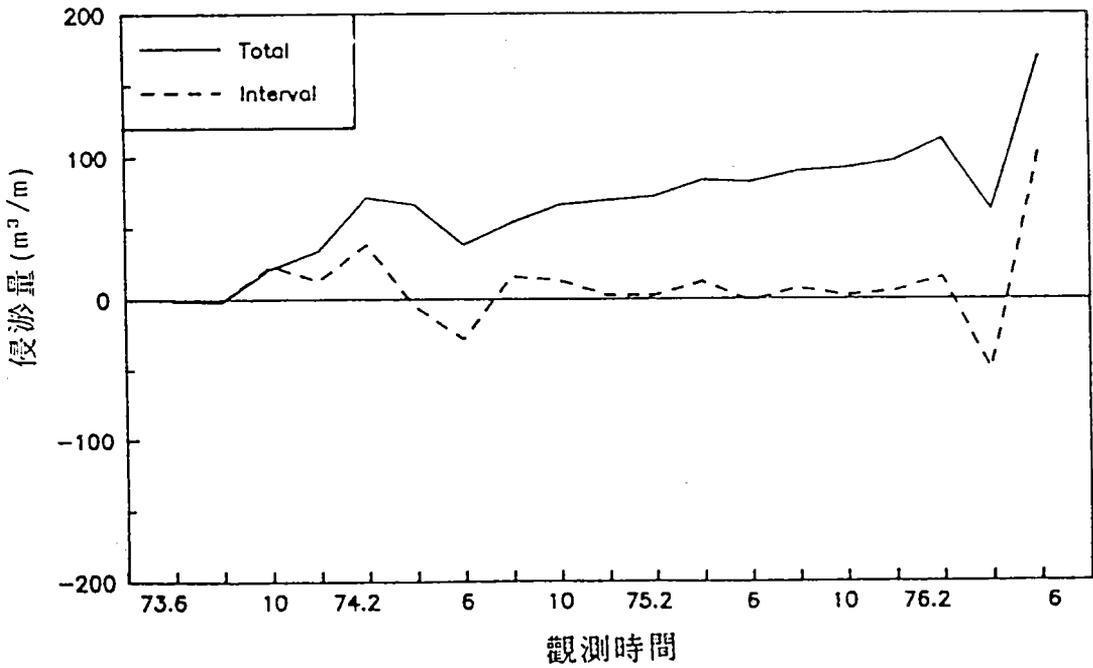


圖 2-18： No.2 觀測斷面漂沙量之歷時變化

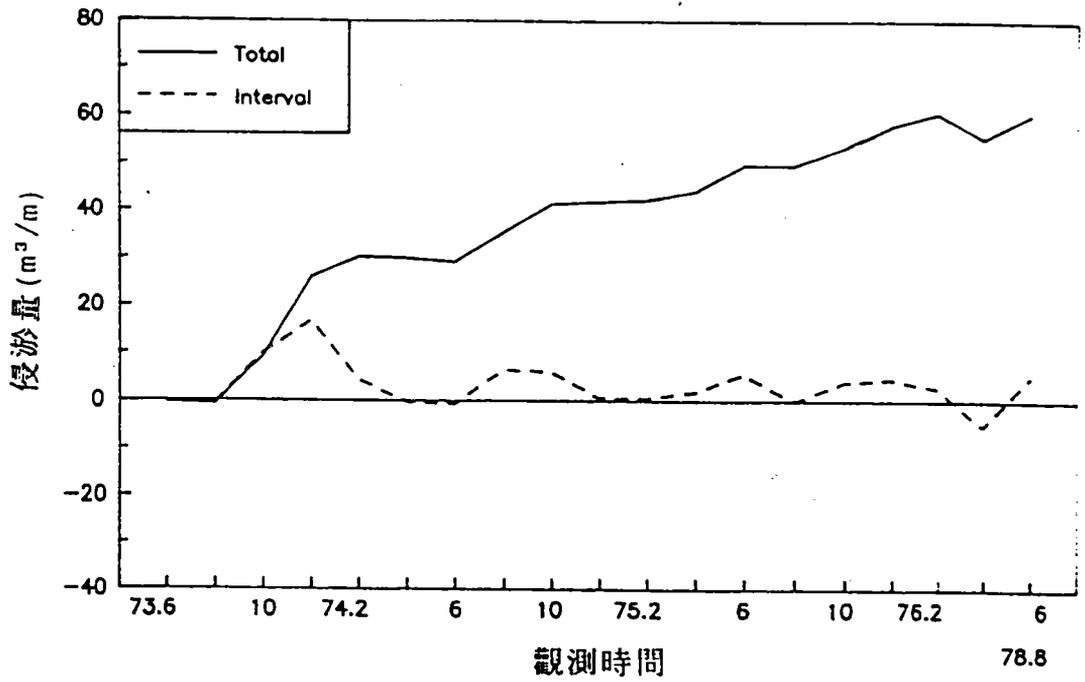


圖 2-19： No.3 觀測斷面漂沙量之歷時變化

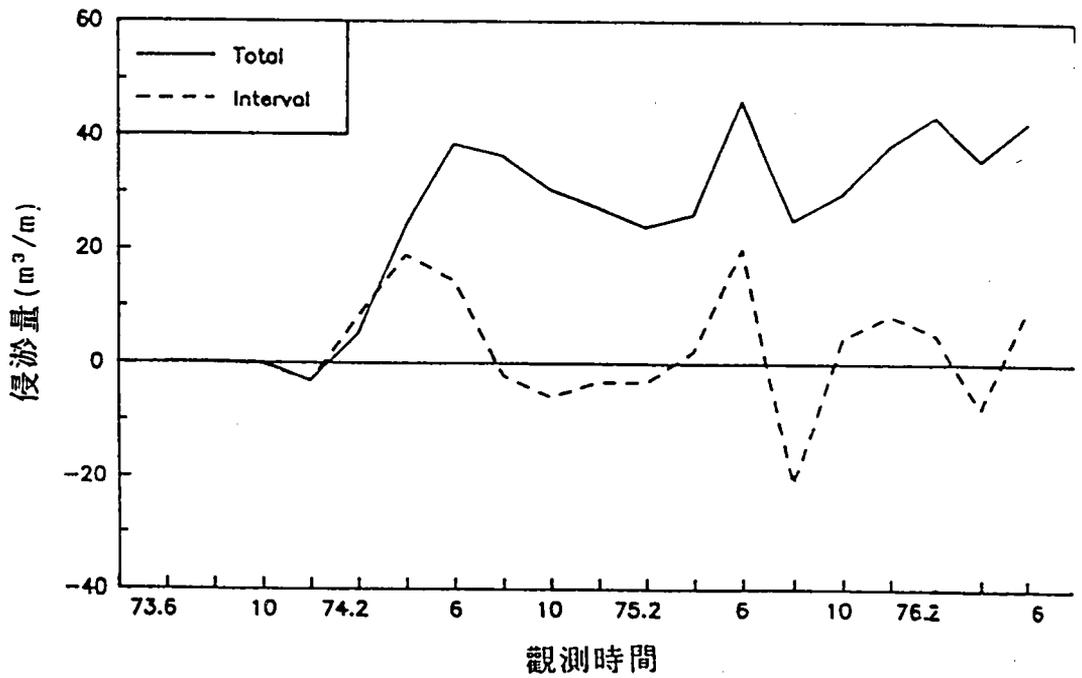


圖 2-20： No.4 觀測斷面漂沙量之歷時變化

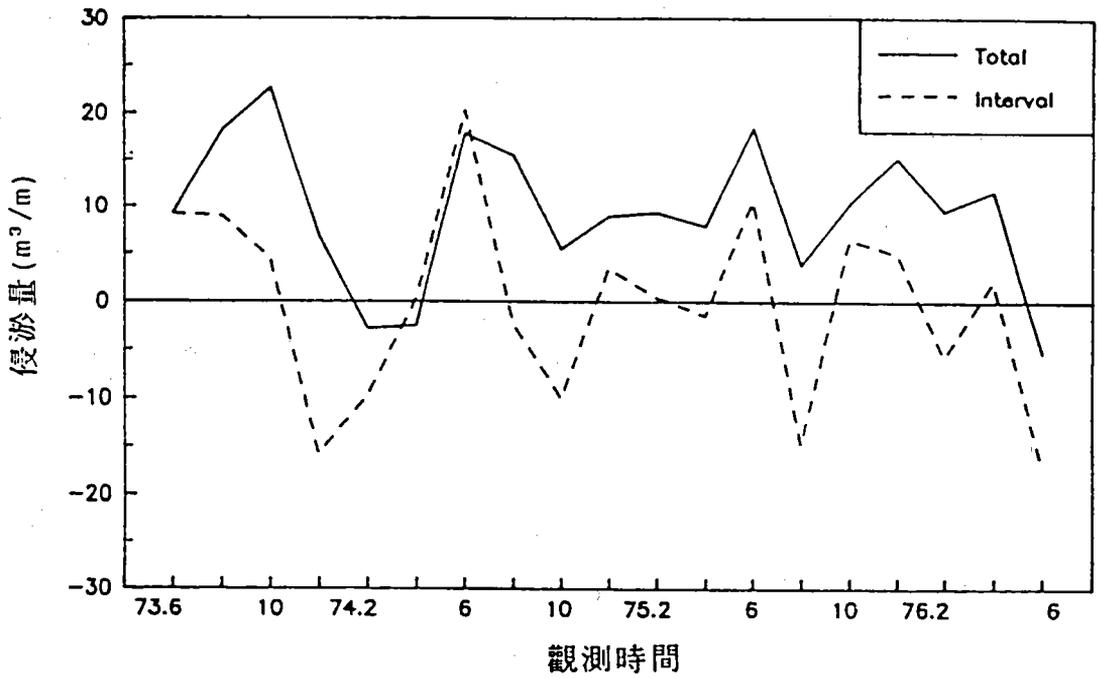


圖 2-21： No.5 觀測斷面漂沙量之歷時變化

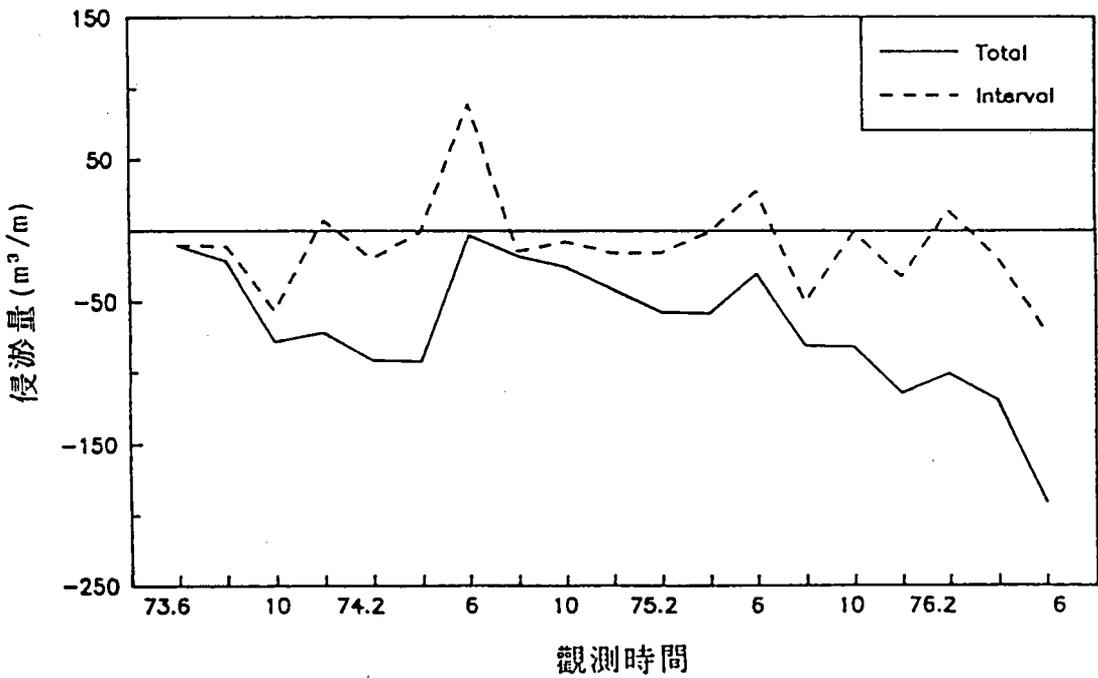


圖 2-22： No.6 觀測斷面漂沙量之歷時變化

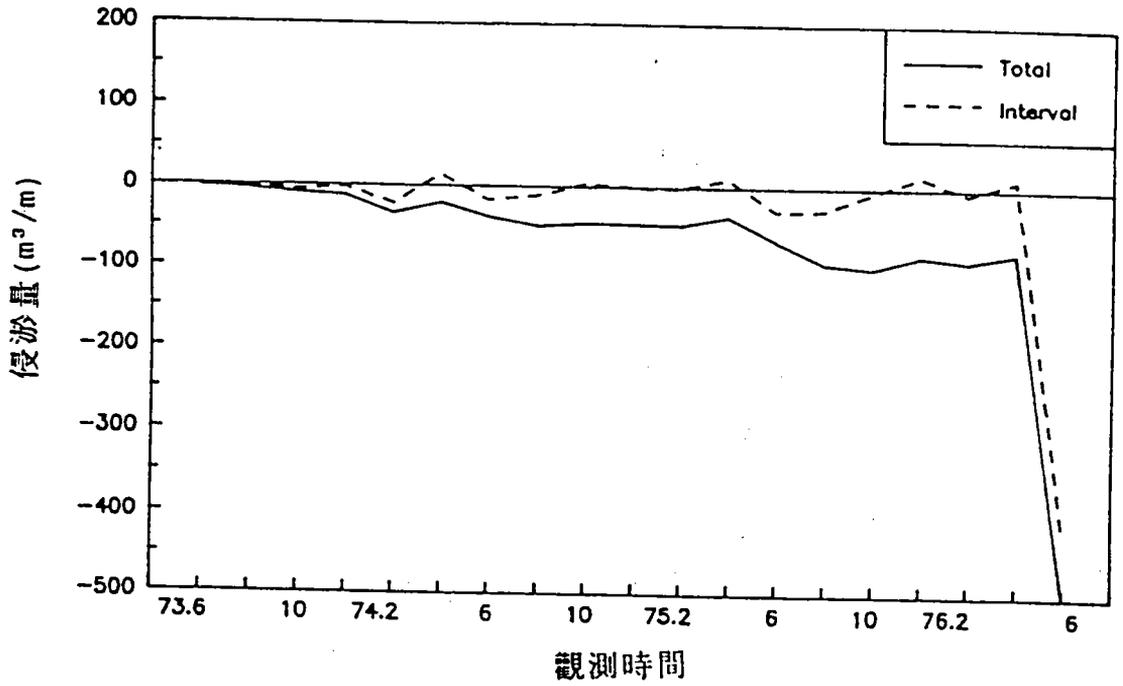


圖 2-23： No.7 觀測斷面漂沙量之歷時變化

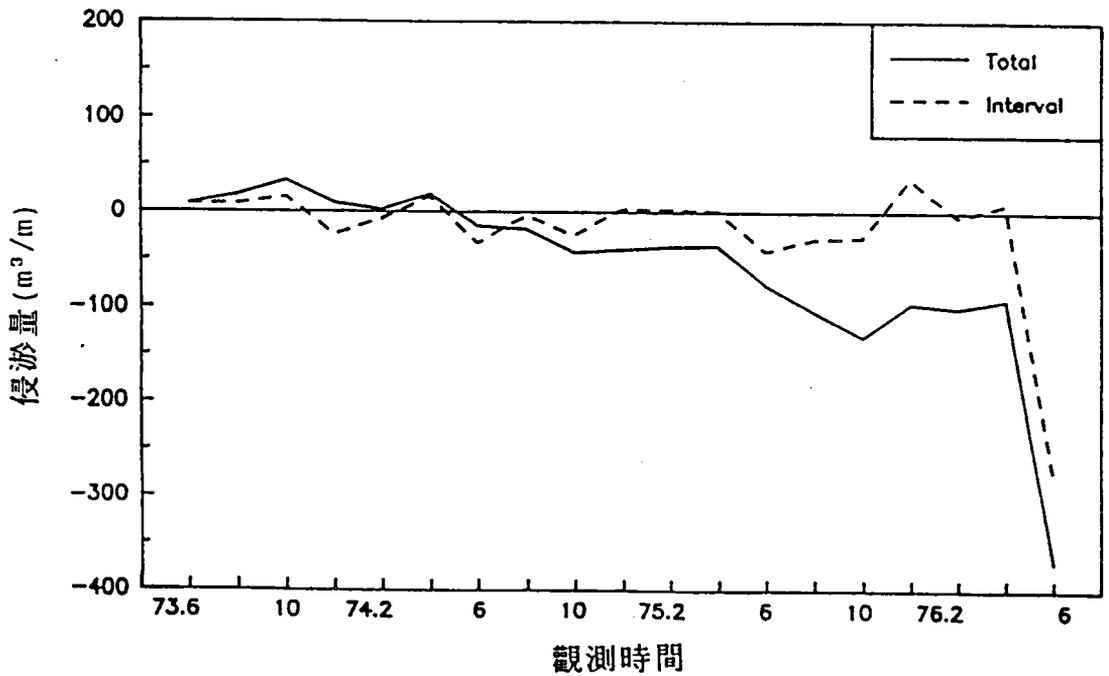


圖 2-24： No.8 觀測斷面漂沙量之歷時變化

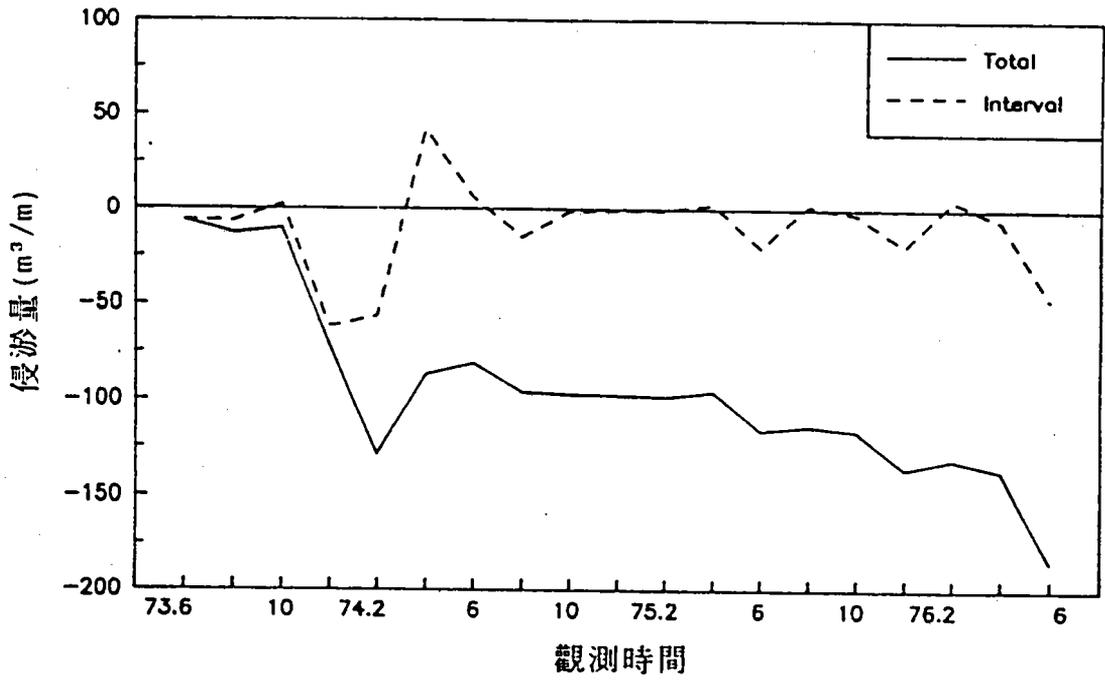


圖 2-25： No.9 觀測斷面漂沙量之歷時變化

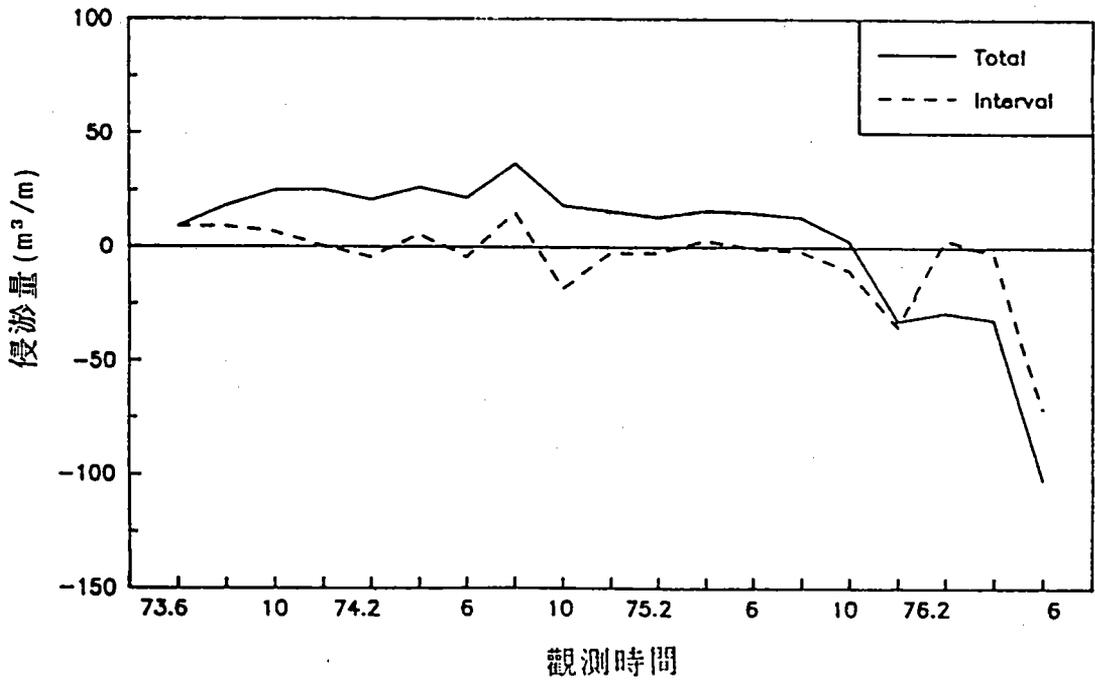


圖 2-26： No.10 觀測斷面漂沙量之歷時變化

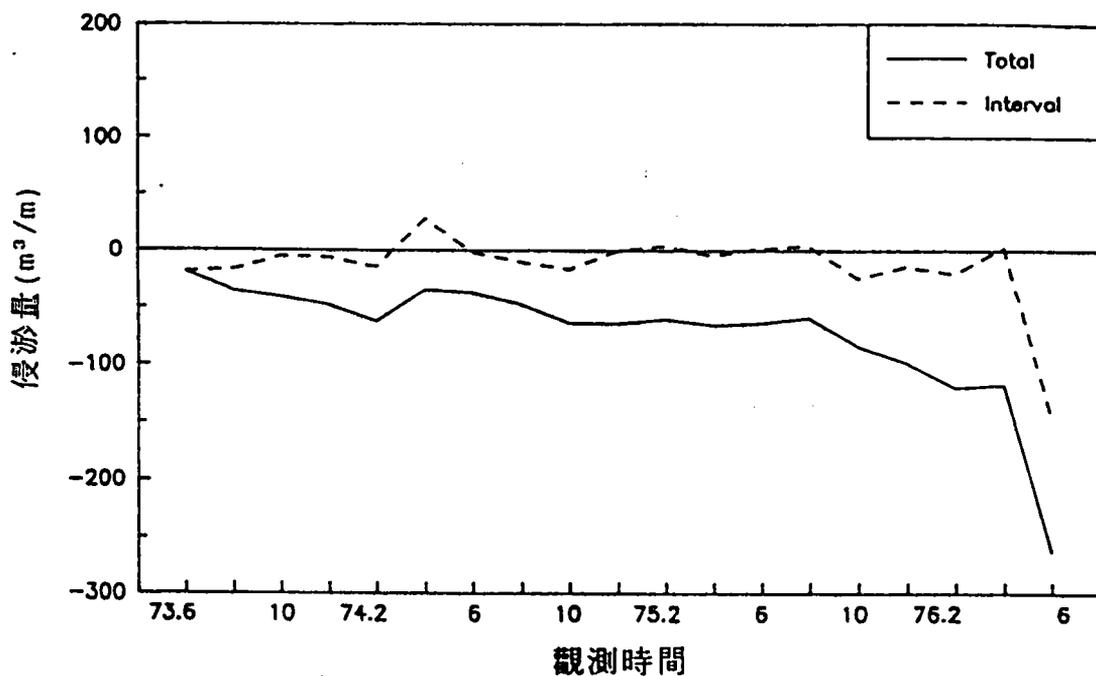


圖2-27： No.11 觀測斷面漂沙量之歷時變化

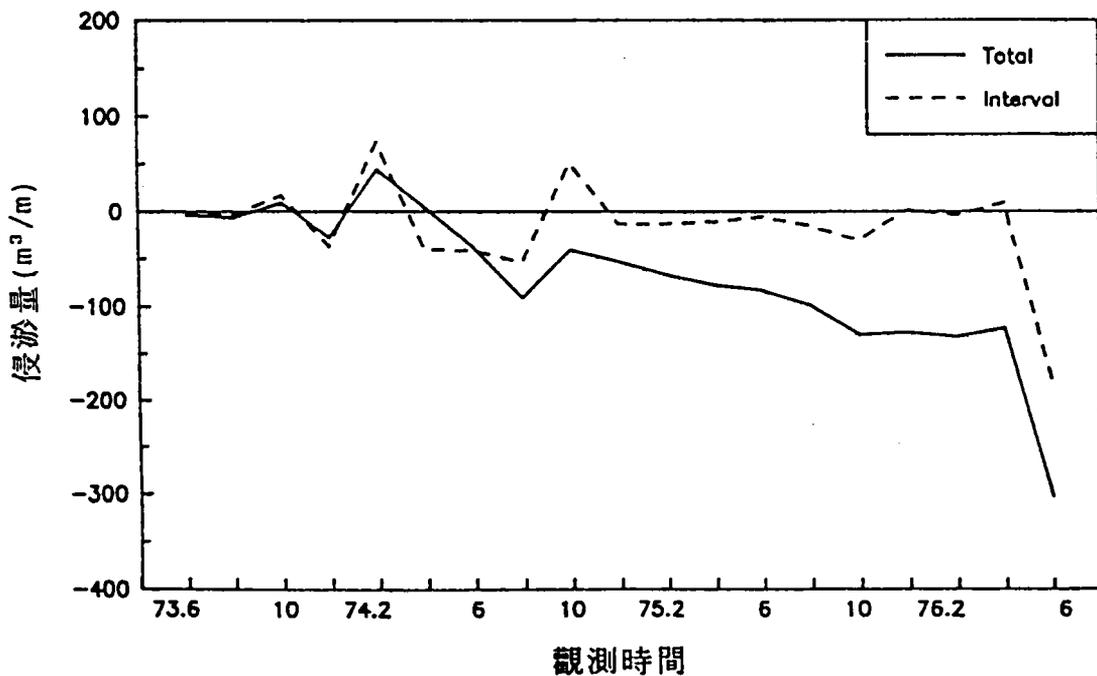


圖2-28： No.12 觀測斷面漂沙量之歷時變化

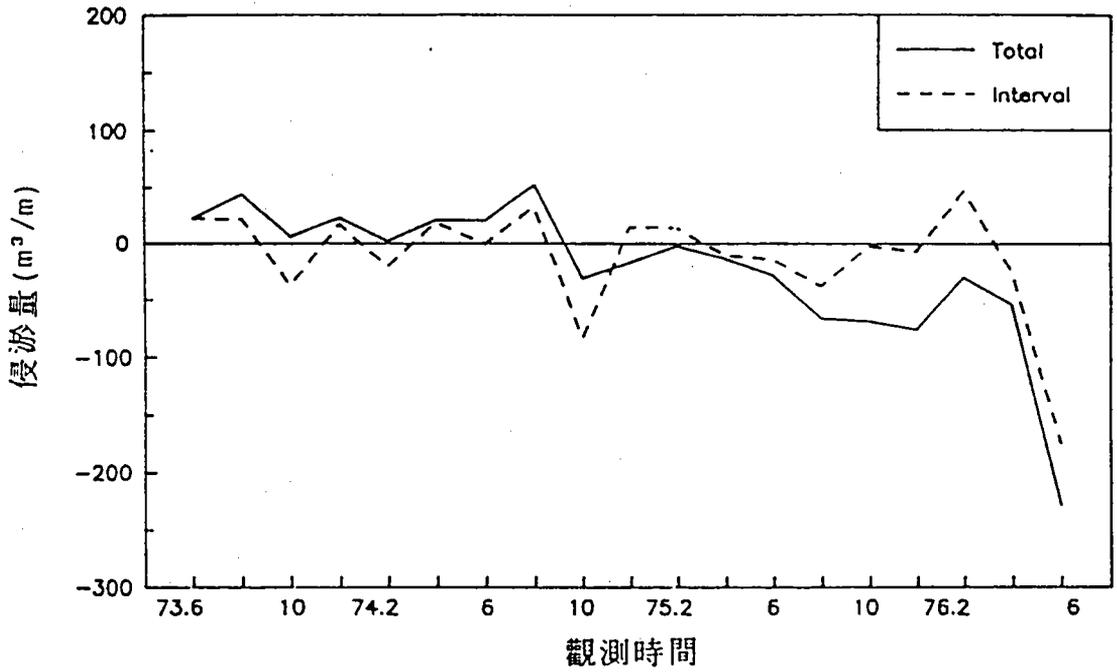


圖 2-29： No.13 觀測斷面漂沙量之歷時變化

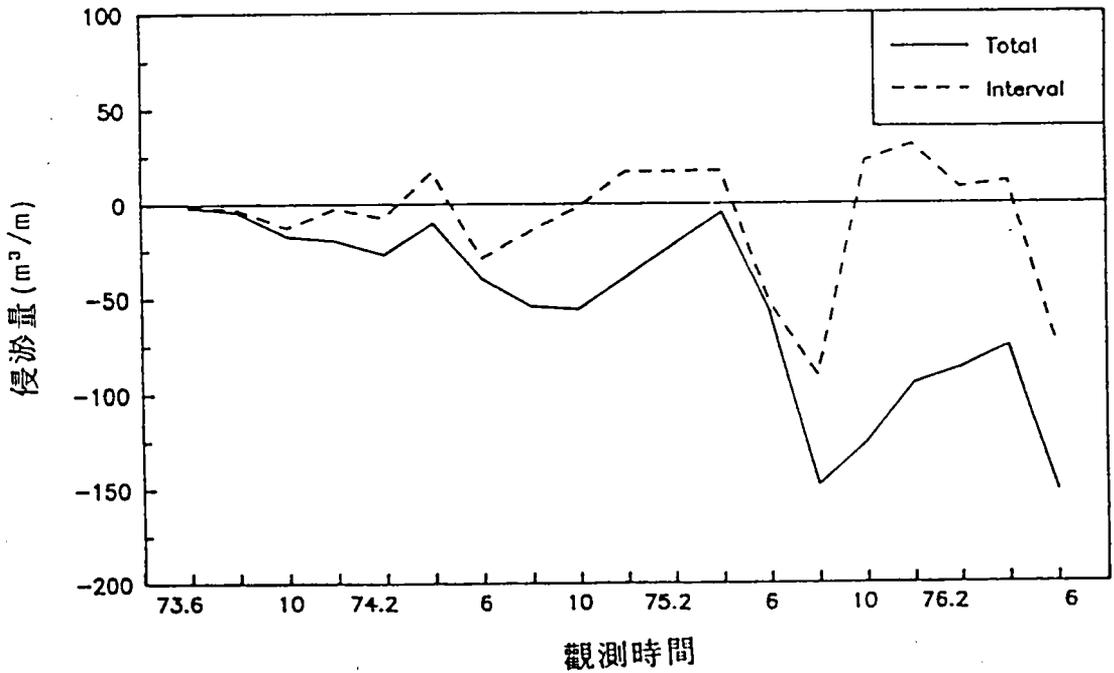


圖 2-30： No.14 觀測斷面漂沙量之歷時變化

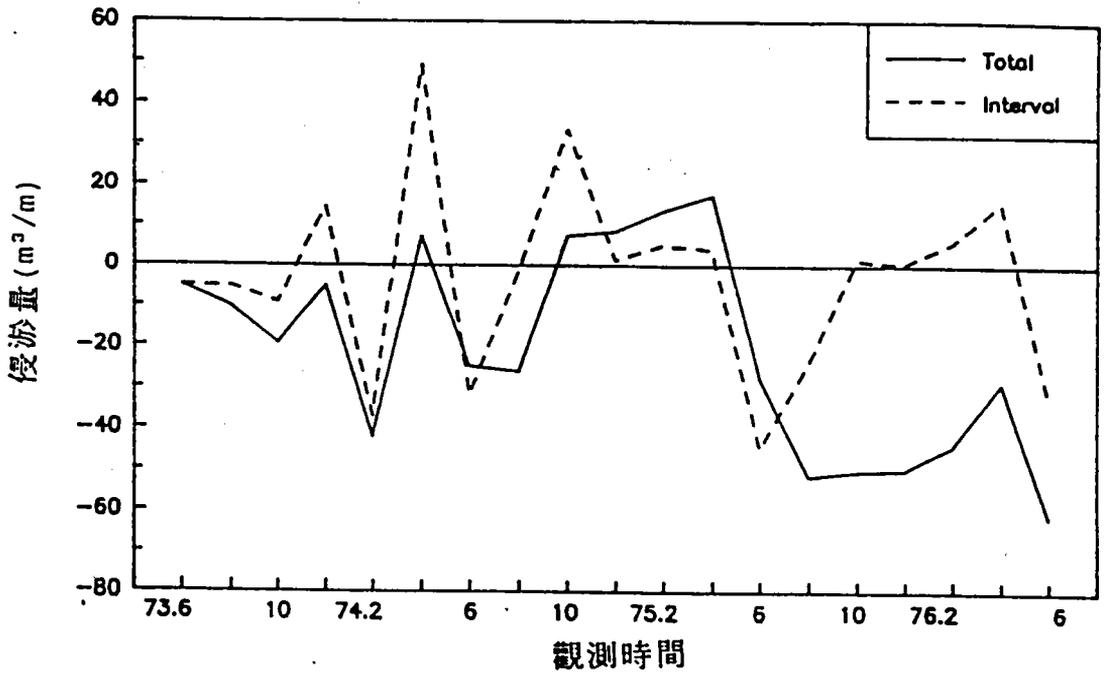


圖 2-31： No.15 觀測斷面漂沙量之歷時變化

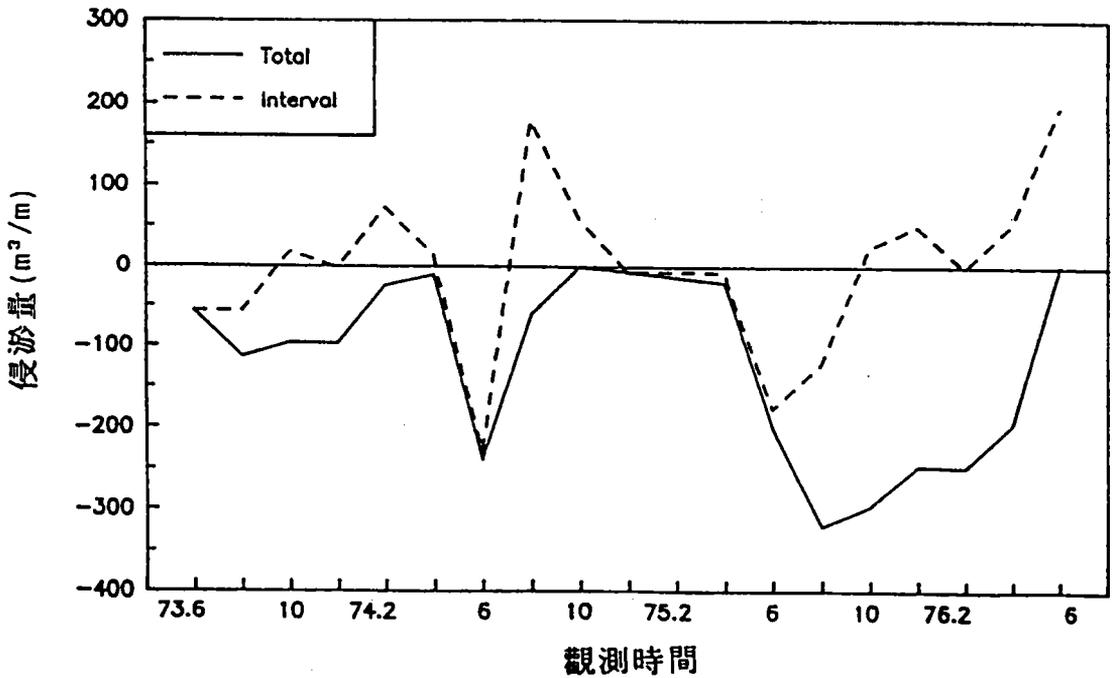


圖 2-32： No.16 觀測斷面漂沙量之歷時變化

為 $16\text{m}^3/\text{m}$ ，若累計侵淤歷線增加代表此時段之斷面是淤積，若累計歷線減少則在此時段之斷面反而侵蝕。累計歷線若較陡，表示侵蝕或淤積較為迅速。

從圖2-17全圖2-21可知此 5個斷面逐漸淤積，即在自由街排水溝附近為臨界點，以北之斷面為淤積斷面，以南之斷面為侵蝕斷面。斷面No.1之淤積程度較高，而斷面No.5之淤積程度較低。

### 三、二維經驗特徵函數法應用

#### 3-1 基本理論

在某一時刻下，實測之海灘地形為向、離岸漂沙及沿岸漂沙兩者綜合作用的結果，此類似一維理論，在某一時刻之海灘地形，可視為沿岸地形特徵函數及向、離岸特徵函數的線性組合<sup>(4)(5)</sup>：

$$h(x, y, t) = \sum e_k(x) e_k(y) c_k^*(t) \quad (3-1)$$

此處

$h(x, y, t)$ ：斷面施測高程

$e_k(x)$ ：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

$t$ ：時間

$x$ ：向、離岸方向座標

$y$ ：沿岸方向座標

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  $j$  點之觀測高程經由統計方法求得其相關性為：

$$b_{ij} = \frac{1}{N_x N_y N_t} \sum_t \sum_y h(i, y, t) h(j, y, t) \quad (3-2)$$

式中  $b_{ij}$  為向、離岸相關係數， $N_x$  為各斷面之觀測點數， $N_y$  為觀測斷面個數， $N_t$  為觀測斷面之次數，若每個斷面有  $N_x$  個觀測點，則  $b_{ij}$  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  $e_k(x)$ ：

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

式中  $\lambda_{kx}$  為向、離空間特徵函數之特徵值， $e_k(x)$  滿足克朗尼克數函數：

$$\sum_x e_k(x) e_m(x) = \delta_{km} = \begin{cases} 1, & k = m \\ 0, & k \neq m \end{cases} \quad (3-4)$$

同理，沿岸空間特徵函數  $e_k(y)$  亦可經由統計方法利用下列處理方法求得：

$$c_{ij} = \frac{1}{N_x N_y N_t} \sum_t \sum_x h(x, i, t) h(x, j, t) \quad (3-5)$$

$$C e_k(y) = \lambda_{ky} e_k(y) \quad (3-6)$$

其中  $\lambda_{ky}$  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。(3-1)式兩邊同乘  $\sum \sum e_m(x) e_n(y)$ ，並應用單位正交函數之特性，則可求得時間特徵函數：

$$c_k^*(t) = \sum_y \sum_x e_m(x) e_n(y) h(x, y, t) \quad (3-7)$$

使時間特徵函數亦滿足克朗尼克函數的性質，令

$$c_k(t) = \frac{c_k^*(t)}{[\sum c_k^*(t)^2]^{1/2}} = \frac{c_k^*(t)}{a_k} \quad (3-8)$$

$a_k$  為正交因子。根據(3-8)式則(3-1)式可改寫為

$$h(x, y, t) = \sum_k a_k e_k(x) e_k(y) c_k(t) \quad (3-9)$$

經由以上的處理過程，則各特徵函數均為單位正交函數，每個函數均為相互獨立的函數，且同時支配海灘地形的變化，此為二維模式的真正涵義。

推測未來海灘地形變化情形，本文視其變化特性係由一平均值及幾個變化型態所描述，而這些變化型態均為紊亂變動量，則海灘地形之高程變化表示如下：

$$h(x, y, t) = \bar{h}(x, y) + \sum_k a_k' e_k(x) e_k'(y) c_k'(t) \quad (3-10)$$

$\bar{h}(x, y)$  為平均高程。各特徵函數即以海灘斷面高程之殘差運用上節之方法求得。

海灘地形變化過程中，各變化型態是由紊亂空間特徵函數及時間特徵函數所組成，海灘地形即表示每一空間變化分量隨不同時段之時間特徵函數變動的結果，故欲求得未來海灘地形，須先求得下一時段之時間特徵函數方可達到目的。若  $c_n'(i)$  為  $i$  時刻之時間特徵函數，則欲求得下一個時刻之時間特徵函數  $c_n'(i+1)$  係基於二項考慮因素：一為馬可夫過程 (Markov process)，另一為外在因素 (forcing parameter)，即  $c_n'(i+1)$  係由  $c_n'(i)$  及外在因素所決定，其關係如下：

$$\begin{aligned} c_1'(i+1) &= \bar{a}_{11}c_1'(i) + \bar{a}_{12}c_2'(i) + \dots + \bar{a}_{1n}c_n'(i) + \bar{a}_{1(n+1)}F(i+1) \\ c_2'(i+1) &= \bar{a}_{21}c_1'(i) + \bar{a}_{22}c_2'(i) + \dots + \bar{a}_{2n}c_n'(i) + \bar{a}_{2(n+1)}F(i+1) \\ &\vdots \\ c_n'(i+1) &= \bar{a}_{n1}c_1'(i) + \bar{a}_{n2}c_2'(i) + \dots + \bar{a}_{nn}c_n'(i) + \bar{a}_{n(n+1)}F(i+1) \end{aligned} \quad (3-11a)$$

或

$$\begin{pmatrix} c_1'(i+1) \\ c_2'(i+1) \\ \vdots \\ c_n'(i+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{a}_{11} & \bar{a}_{12} & \dots & \bar{a}_{1n} & \bar{a}_{1(n+1)} \\ \bar{a}_{21} & \bar{a}_{22} & \dots & \bar{a}_{2n} & \bar{a}_{2(n+1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \bar{a}_{n1} & \bar{a}_{n2} & \dots & \bar{a}_{nn} & \bar{a}_{n(n+1)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1'(i) \\ c_2'(i) \\ \vdots \\ c_1'(i) \\ F(i+1) \end{pmatrix} \quad (3-11b)$$

式中  $\bar{a}_{1,1} \sim \bar{a}_{n(n,1)}$  為常數係數， $F(i+1)$  為下一時刻之外在因素，其決定方式將於下章說明。(3-11)式可以矩陣之通式表示為：

$$P = \bar{A} D \quad (3-12)$$

應用最小二乘法，係數矩陣  $\bar{A}$  可由下式求得：

$$\bar{A} = C_{pd} C_{dd}^{-1} = (P \times D^t) (D \times D^t)^{-1} \quad (3-13)$$

預測模式之建立是以實測之資料，變數矩陣  $D$  及矩陣  $P$  應用 (3-13) 式迴歸係數矩陣  $\bar{A}$ ，利用所得之係數矩陣，再輸入原來之變數矩陣  $D$  推估矩陣  $P$ ，而與實測之矩陣  $P$  比較，並以  $S_h$  檢驗係數矩陣之可信度，其定義為：

$$S_h = 1 - \frac{E(P-P)(P-P)^t}{E(P P)^t} \quad (3-14)$$

$E$  表示某一物理量之平均值。若  $S_h$  愈高，表示所迴歸之係數矩陣愈能表現海灘地形之特性，再以最佳的  $S_h$  所對應之係數矩陣  $\bar{A}$  及另外的資料變數，推測下一時刻之  $P$  矩陣，再由  $P$  矩陣之  $c_n'(i+1)$  代入 (3-10) 式求得海灘地形高程預測之結果，一般以偏差率  $S_f$  檢驗預測結果之優劣，其定義為：

$$S_f = \frac{E[h(x, y, t) - \hat{h}(x, y, t)][h(x, y, t) - \hat{h}(x, y, t)]^t}{E[h(x, y, t)][h(x, y, t)]^t} \quad (3-16)$$

式中  $h(x, y, t)$  及  $\hat{h}(x, y, t)$  分別為實測與預測的海灘高程。若  $S_f$  愈低，則表示模式的預測能力愈佳。

### 3-2 二維經驗特徵函數法之應用

由水利局實測之斷面資料，以斷面測量基樁為基準， $x$ 為與海岸線垂直之水平座標以向海為正； $y$ 表示平行海岸線之座標； $z$ 為與海灘斷面高程一致之垂直座標， $h(i, y, t)$ 即表示 $t$ 時刻時 $y$ 斷面上觀測點 $i$ 所測得的高程，本文座標系統如圖 3-1所示。由於水利局所提供的資料限於海岸線以上，水位以下之海灘斷面缺乏實測資料可作為依據，故本文僅解析零米線以上海灘斷面的變化情形；然而各斷面基樁與岸線距離並非一致，且某些斷面之基樁，距離海浪溯升(run-up)之最高點亦有相當長的距離，若將此段無變化之地形納入計算，僅增加計算時間而無具體意義，故考慮計算時間及兼顧海灘地形變化特性，將這些斷面之溯升最高點當做斷面之基準點，每個斷面各取16點，作為經驗特徵函收法解析海灘地形變化特性之資料。各斷面觀測點之間距如表 3-1。

表 3-1 各觀測斷面觀測點間距

斷面編號	間距(m)	斷面編號	間距(m)
NO.1	7.0	NO.9	9.0
NO.2	6.0	NO.10	7.0
NO.3	3.0	NO.11	10.0
NO.4	3.5	NO.12	11.0
NO.5	6.0	NO.13	9.0
NO.6	8.5	NO.14	7.5
NO.7	10.0	NO.15	8.0
NO.8	9.0	NO.16	10.0

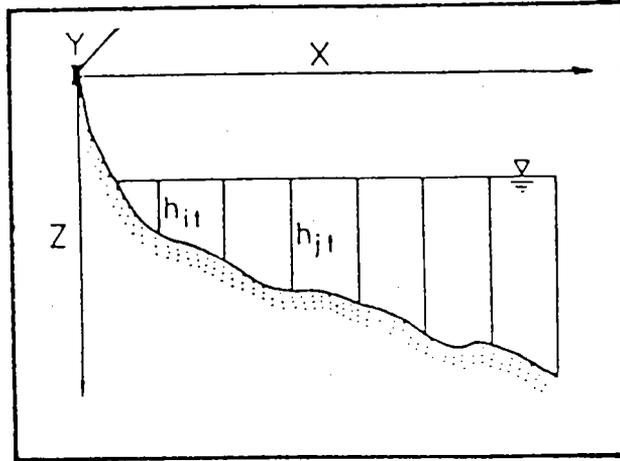


圖 3-1 : 本文座標示意圖

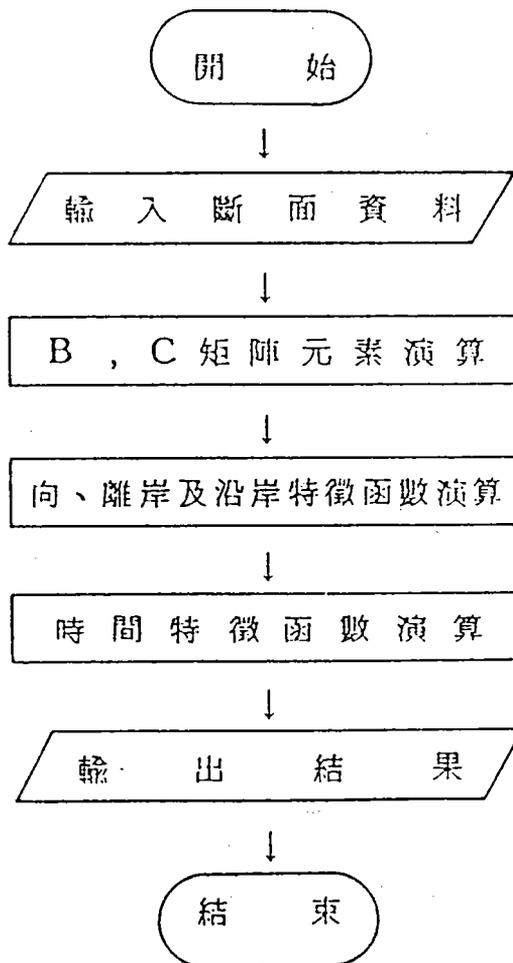


圖 3-2 : 經驗特徵函數法演算流程圖

將各斷面高程輸入，經由統計方法產生各特徵函數，即構成海灘地形的各種變化型態，依據這些變化型態來解析海灘地形之變化特性。經驗特徵函數法演算流程示於圖 3-2。

### 3-3 特徵函數之解析

經驗特徵函數法將海灘地形描述成各種不同的變化型態，每一個變化型態代表空間變化成分在不同時間的變化性質，瞭解這些變化性質，即能瞭解海灘地形變化特性。將花蓮海岸 19 個時段的斷面資料，經由經驗特徵函數法解析後，所得之向、離岸、沿岸空間特徵函數及時間特徵函數，分別示於圖 3-3 至圖 3-5。圖中實線表示第一變化分量；虛線為第二變化型的特徵函數；第三變化型態的特徵函數則以點實線表示。

向、離岸特徵函數代表整個海岸地區斷面上的變化性質。圖 3-3 中，向、離岸特徵函數的第一個變化分量  $e_1(x)$  因不隨時間而變，可稱其為平均斷面函數 (mean profile function)，從圖中可以看出，第一個變化分量僅末端 15、16 兩點呈現負值此本文所取資料符合，表示經驗特徵函數法頗能表現海灘地形變化特性；以往學者指出，向、離岸特徵函數第二個變化分量  $e_2(x)$  為沙洲—平台函數 (bar-berm function)，第三變化型態  $e_3(x)$  為台梯函數 (terrace function)，而這些繁亂變化型態卻會隨不同地區而表現出不同的特性，從圖 3-3 中可以發覺，花蓮海岸第二向、離岸空間特徵函數  $e_2(x)$  並無明顯特性，反而第三變化分量  $e_3(x)$  有季節性的沙洲呈現，此點與時間特徵函數  $c_3(t)$  頗能吻合。沿岸特徵函數描述海岸地形在沿岸方向的變化情形，以往學者指出，沿岸空間特徵函數與海岸線及地形之等深線有密切關係，而從圖 3-4 中可以看出，三個沿岸特徵函數均變化紛紜，此

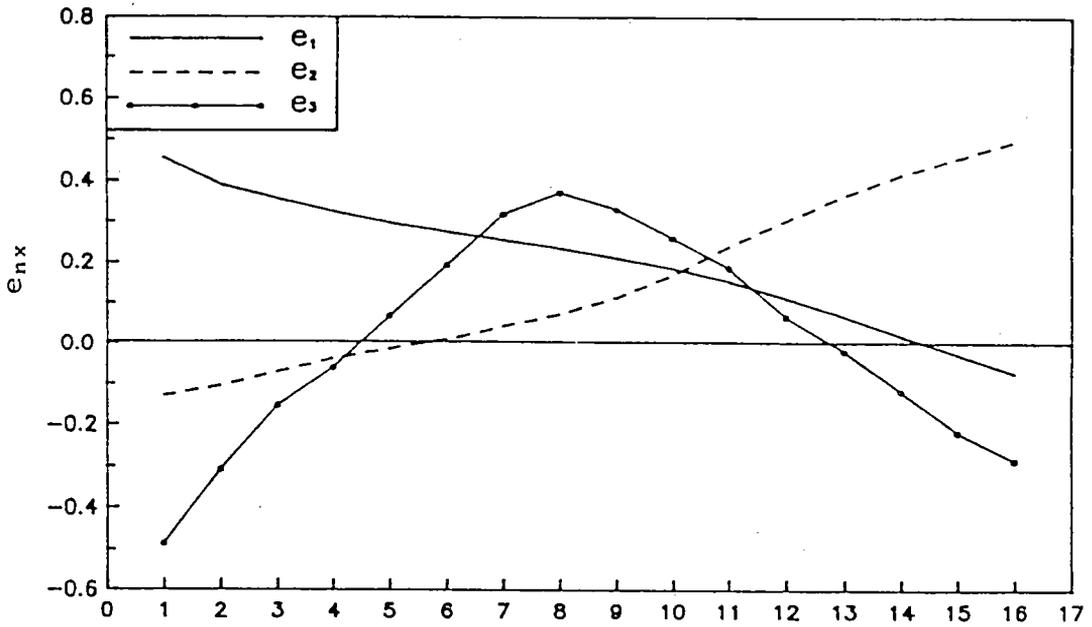


圖 3-3 : 向、離岸空間特徵函數

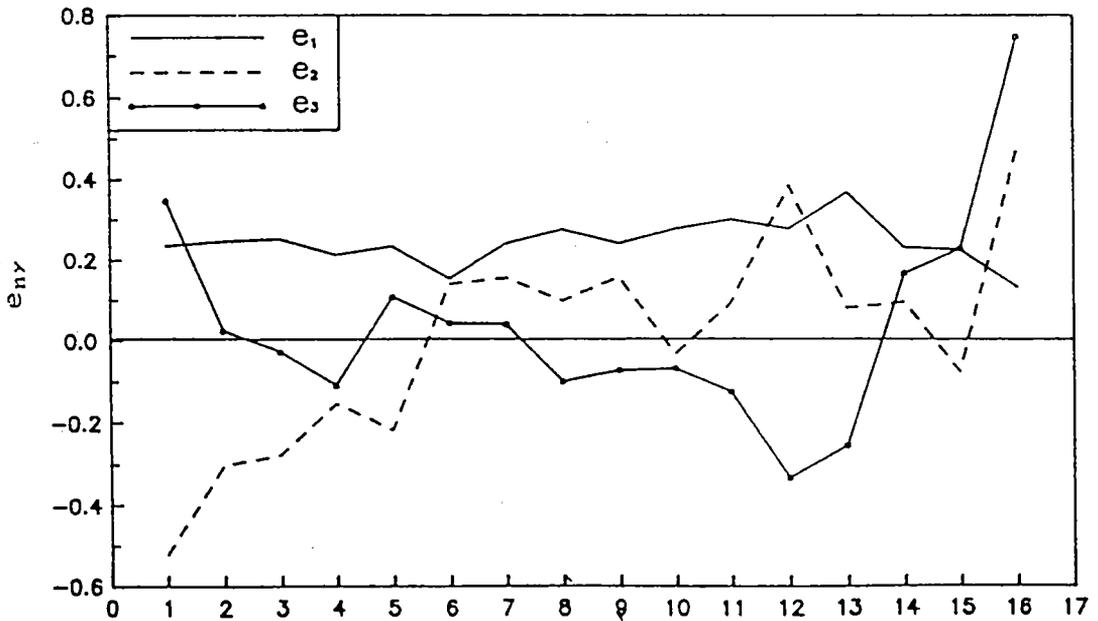


圖 3-4 : 沿岸空間特徵函數

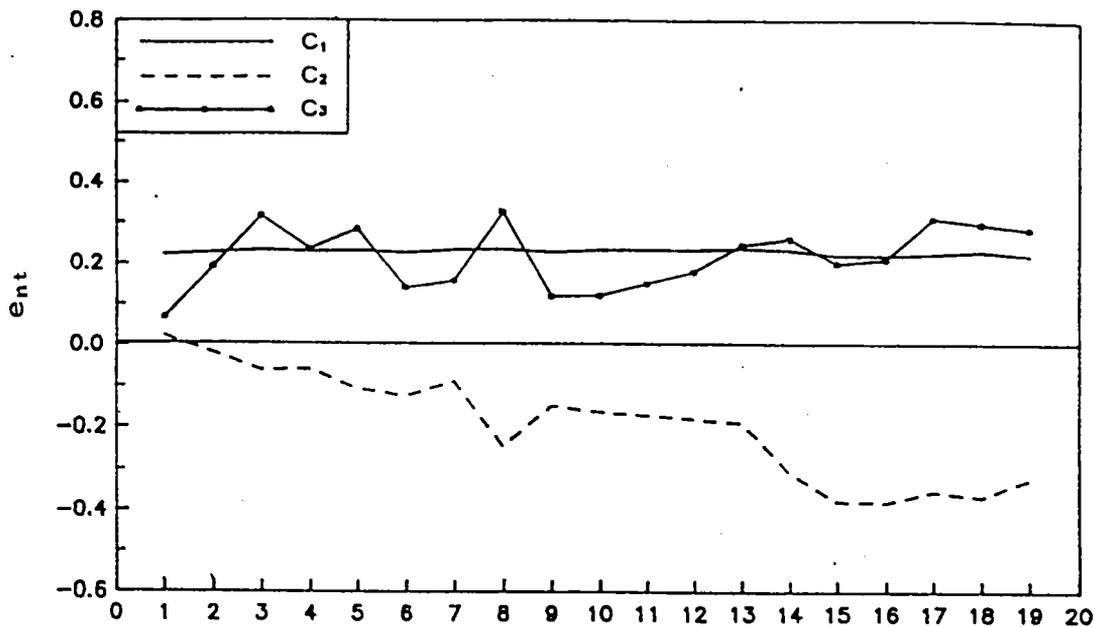


圖 3-5 : 時間特徵函數

可能由於本文所取資料為陸上高程，且各斷面基準點位置及觀測點所取間距不一致所造成的結果。時間特徵函數描述海灘地形隨不同時間的變化情形，在圖3-5中，時間特徵函數的第一個分量 $c_1(t)$ 幾乎為定值，代表第一變化型態不隨時間的改變而有所變化，即表示第一變化型態為平均函數；以往研究指出，時間特徵函數第二變化分量 $c_2(t)$ 能描述海灘地形季節性的變化，然而本文所用的斷面資料係於零米線以上，而本段海岸南濱區的海岸線根據實測資料顯示，有逐年向陸上移動的趨勢，而北濱海岸則呈現相反趨勢，故第二變化分量 $c_2(t)$ 呈一定的走勢，而無季節性的變化，倒是第三變化分量 $c_3(t)$ 於每年2月及8月約略有折返的現象，反而呈現季節性的變化。

### 3-4 預測模式之驗證

本文以二維經驗特徵函數法預測未來海灘地形變化，將蓮海岸前16小時段的斷面資料，預測第19個時段(76年6月)各斷面之變化，並與實測斷面比較，以驗證預測模式之適用情形。

本文以No.7及No.8斷面為例，說明本模式預測之能力。圖3-6和3-7分別為兩斷面的預測與實測結果之比較圖，從圖中之結果看出，本文之預測結果與實測斷面之高程頗為吻合，證明二維經驗特徵函數法在本段海岸有不錯的預測能力，且能掌握二維海灘地形變化之特性。

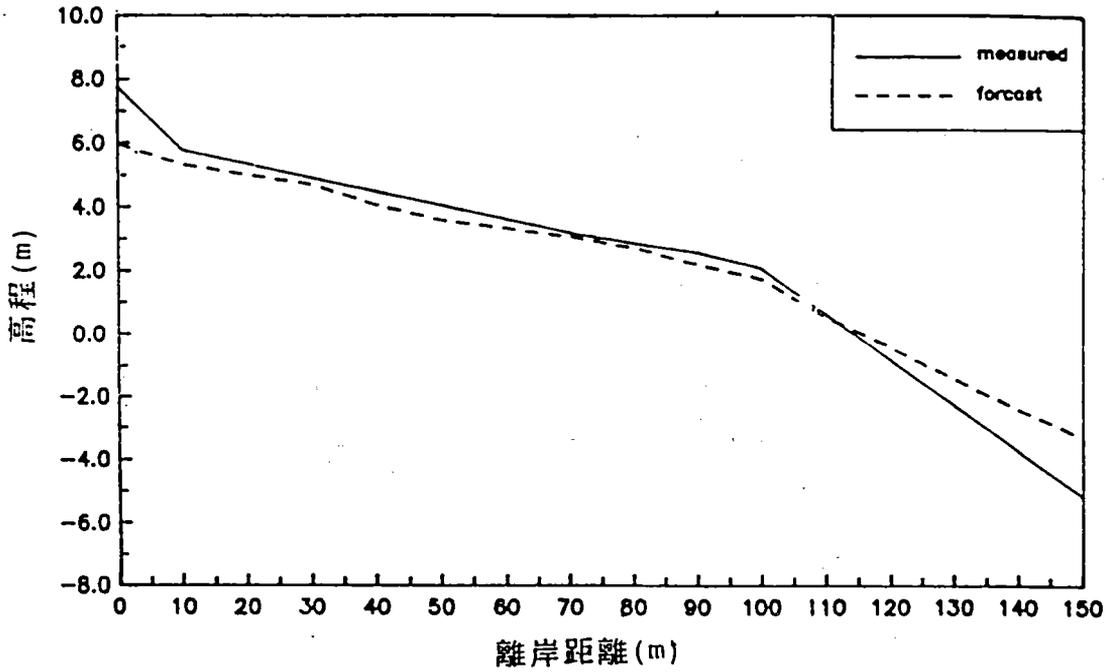


圖 3-6 : 預測模式之驗證 (No.7 断面)

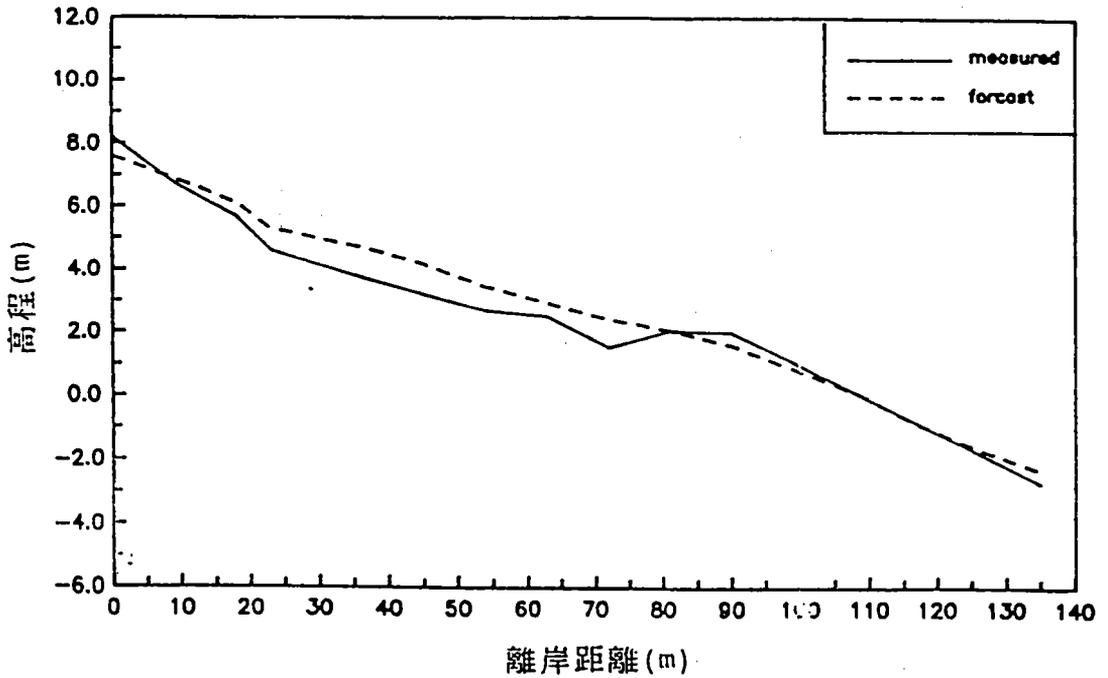


圖 3-7 : 預測模式之驗證 (No.8 断面)

## 四、花蓮港東防波堤擴建前後對地形變化之探討

### 4-1 二維經驗特徵函數法預測模式之應用

將民國73年6月至76年6月19個時段之實測斷面資料，在無東防波堤存在之情況，進行分析並預測78年6月之地形變化，並與實測資料比較，以解析東防波堤擴建後對本段海岸之影響。

圖4-1至圖4-16為16個斷面實測與預測斷面高程之比較情形，圖中實測值由實線表示，預測值則以虛線表示，而實測值之水平線部份表示海堤堤頂。由於本模式係用來預測無東防波堤興建時，未來可能之海灘斷面變化。因此，如果預測結果實線在虛線之上，代表此斷面可能因為東防波堤之影響而導致淤積；反之，若實線在虛線之下，則因東防波堤構築而造成侵蝕。

從圖4-1至4-6中明顯看出，在自由街排水口以北之範圍，因花蓮港東防波堤完工後，有比較明顯的淤積現象，而自由街排水溝以南之斷面則呈現侵蝕狀態(圖4-7至圖4-15)。由預測結果看來，東防波堤擴建後對本段海岸侵淤特性之影響已獲證實。至於圖4-16中之16斷面，可能離東防波堤較遠，受其影響較小，且再加上花蓮溪之排沙，而導致實測高程大於預測高程。

### 4-2 東防波堤擴建前後灘距變化之比較

圖4-17~圖4-20則根據水利局歷年灘距變遷之統計，以民國75

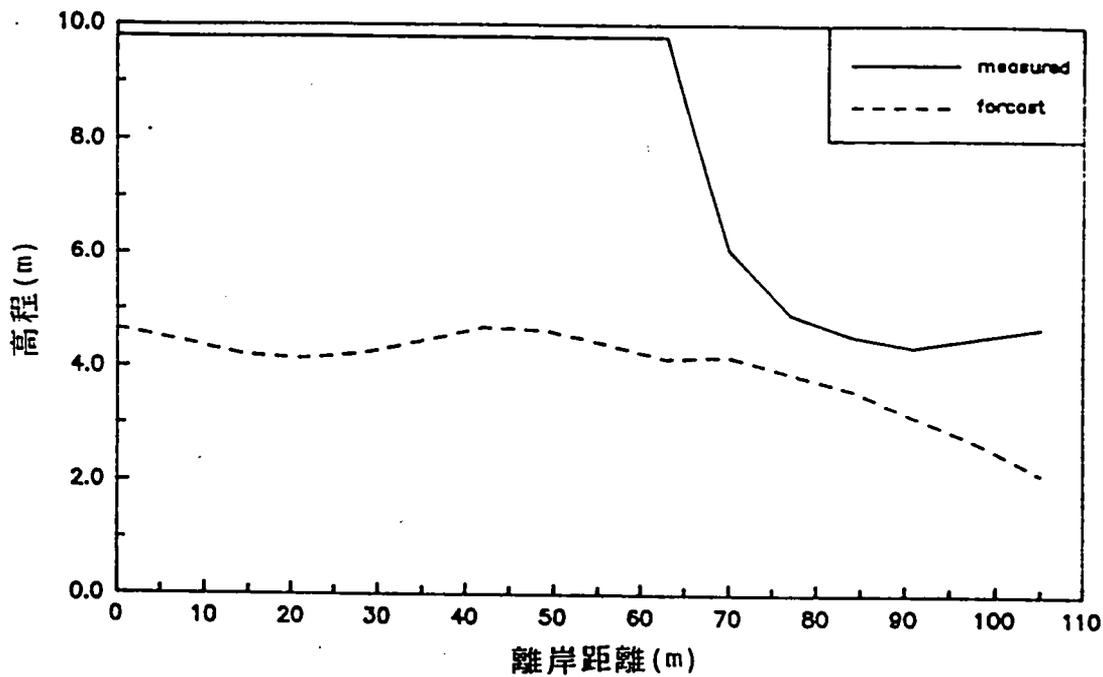


圖 4-1 : No.1 断面實測與預測高程之比較

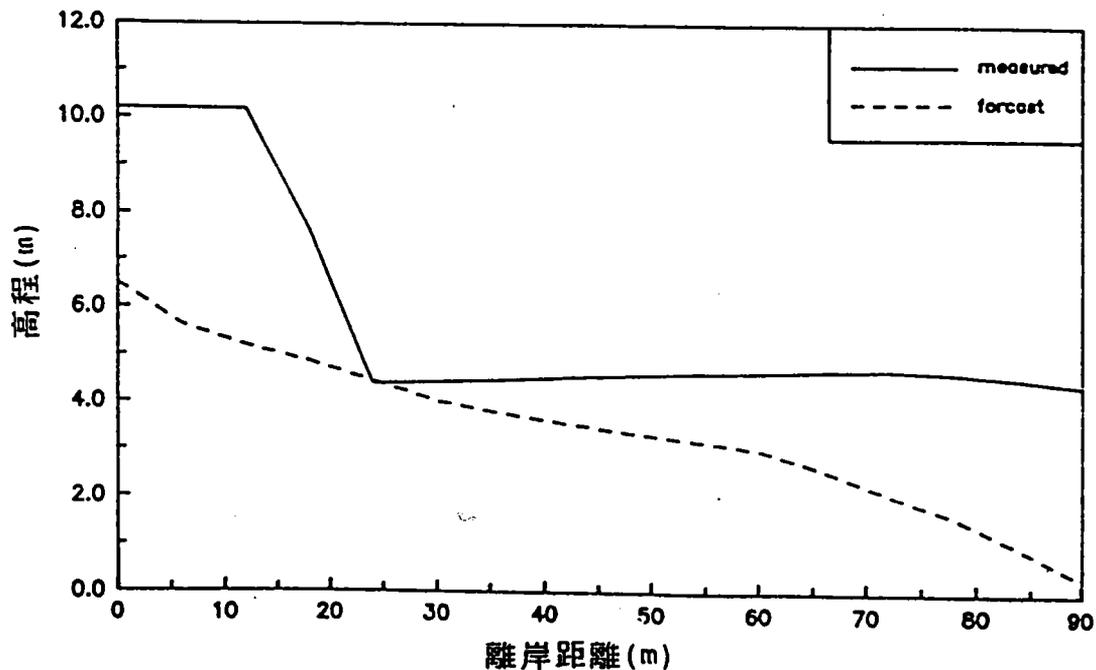


圖 4-2 : No.2 断面實測與預測高程之比較

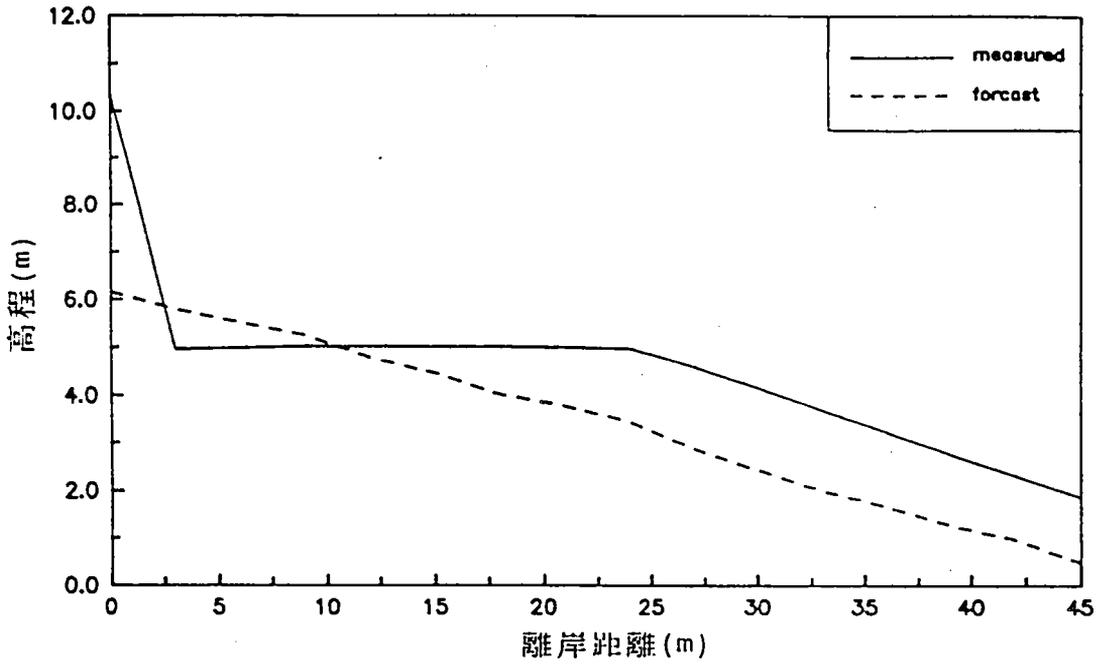


圖 4-3 : No.3斷面實測與預測高程之比較

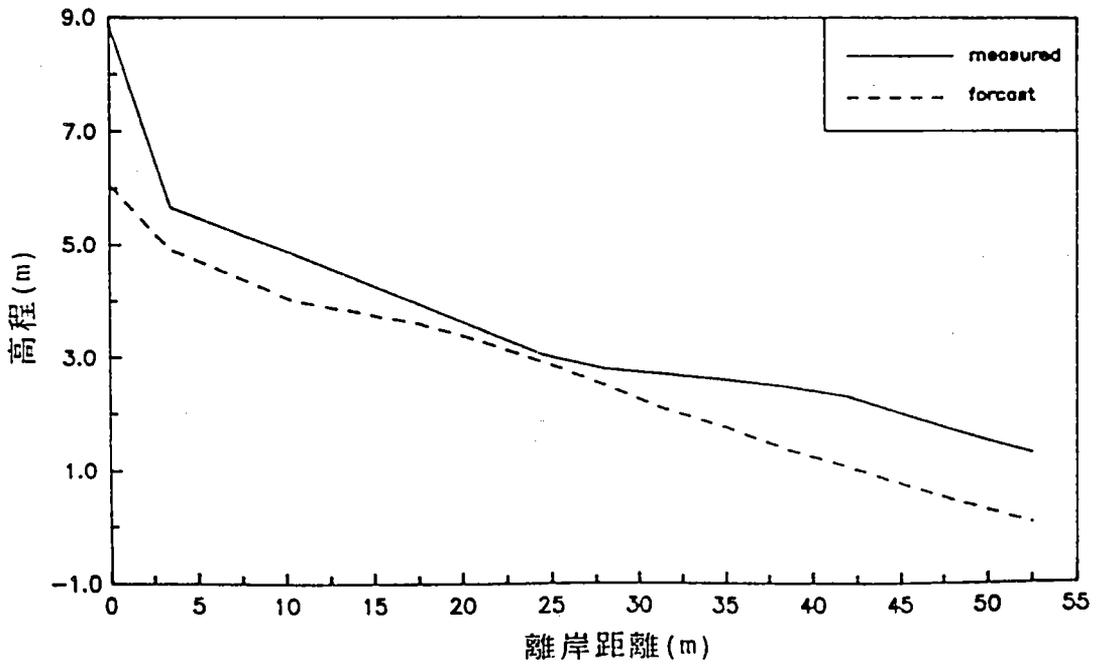


圖 4-4 : No.4斷面實測與預測高程之比較

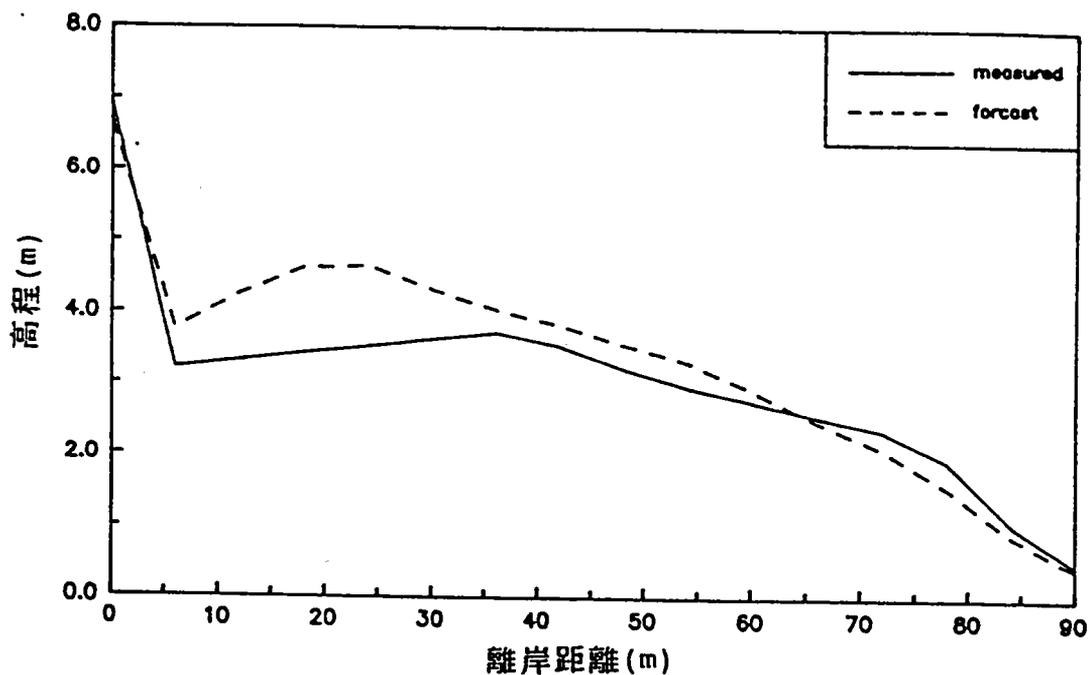


圖 4-5 : No.5断面實測與預測高程之比較

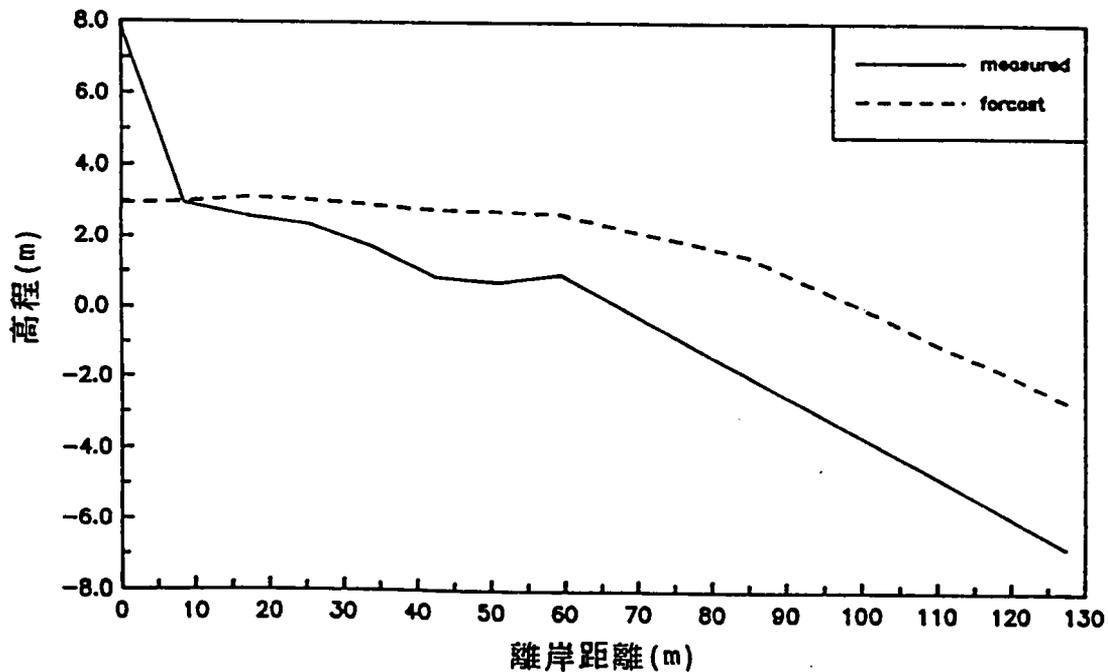


圖 4-6 : No.6断面實測與預測高程之比較

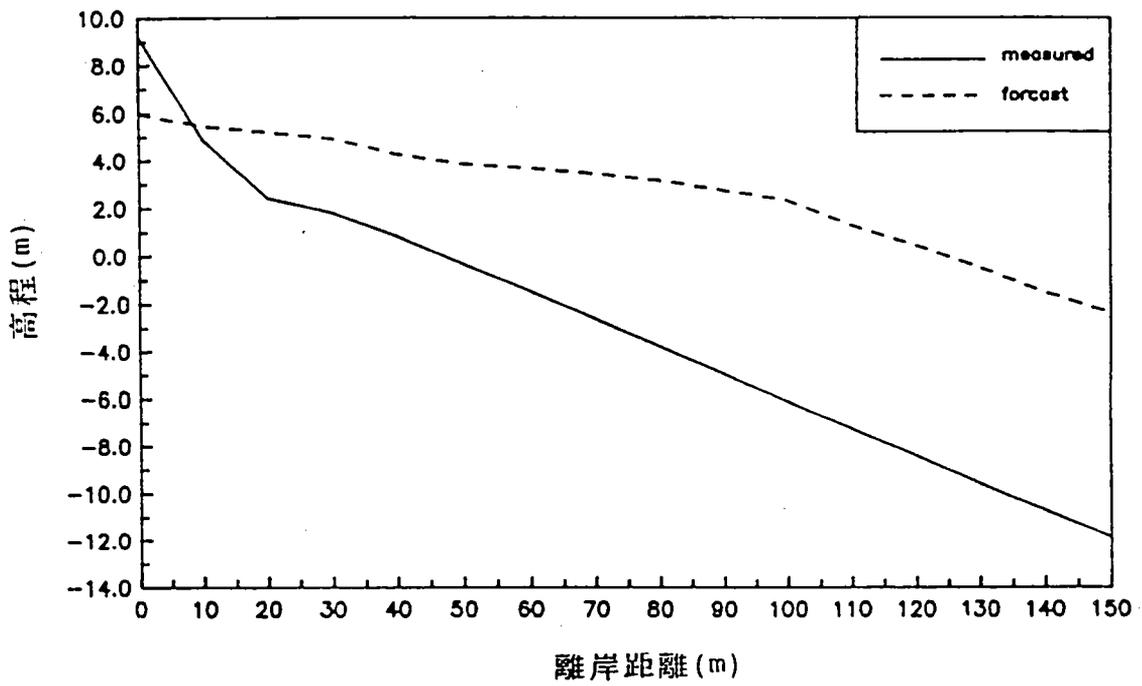


圖 4-7 : No.7斷面實測與預測高程之比較

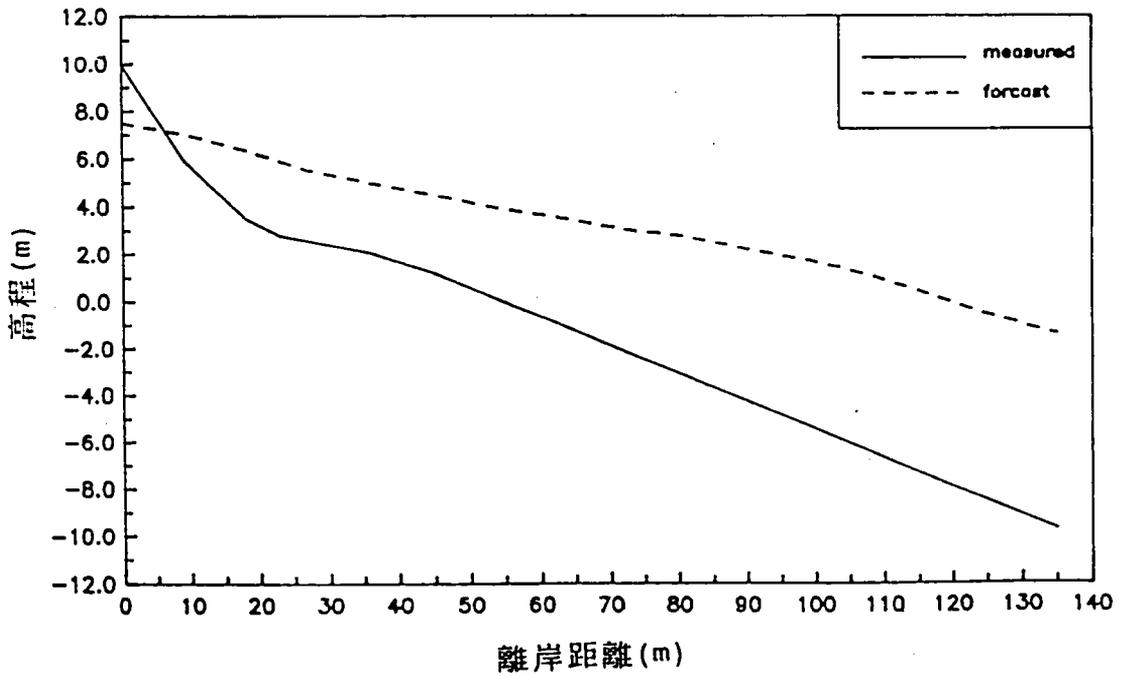


圖 4-8 : No.8斷面實測與預測高程之比較

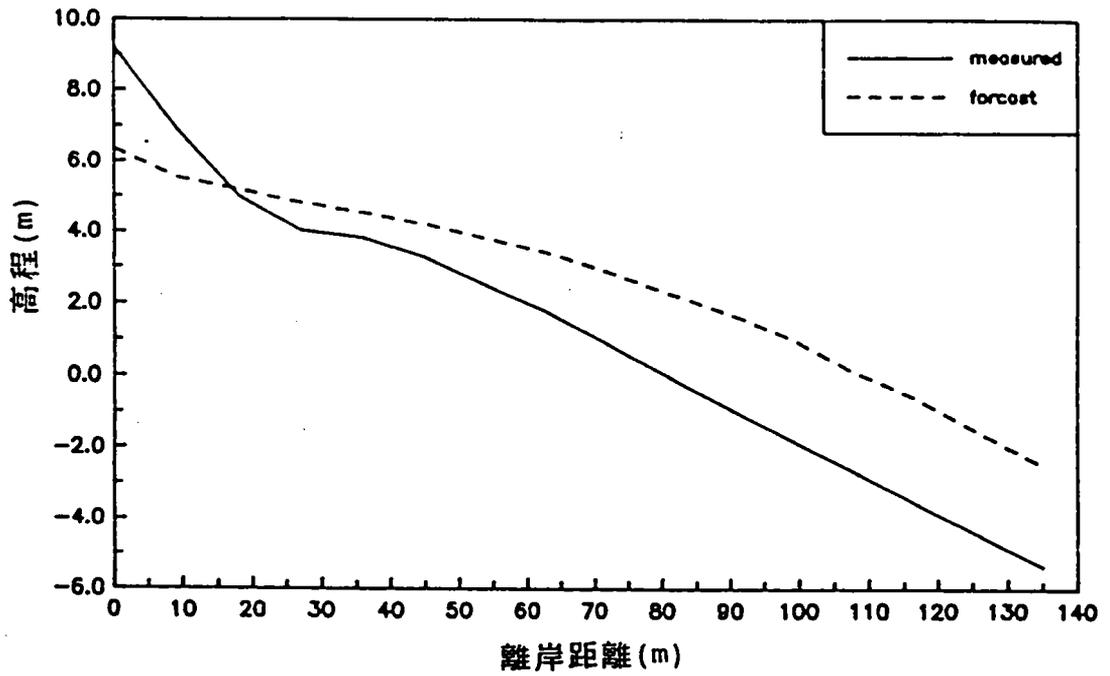


圖 4-9 : No.9 断面實測與預測高程之比較

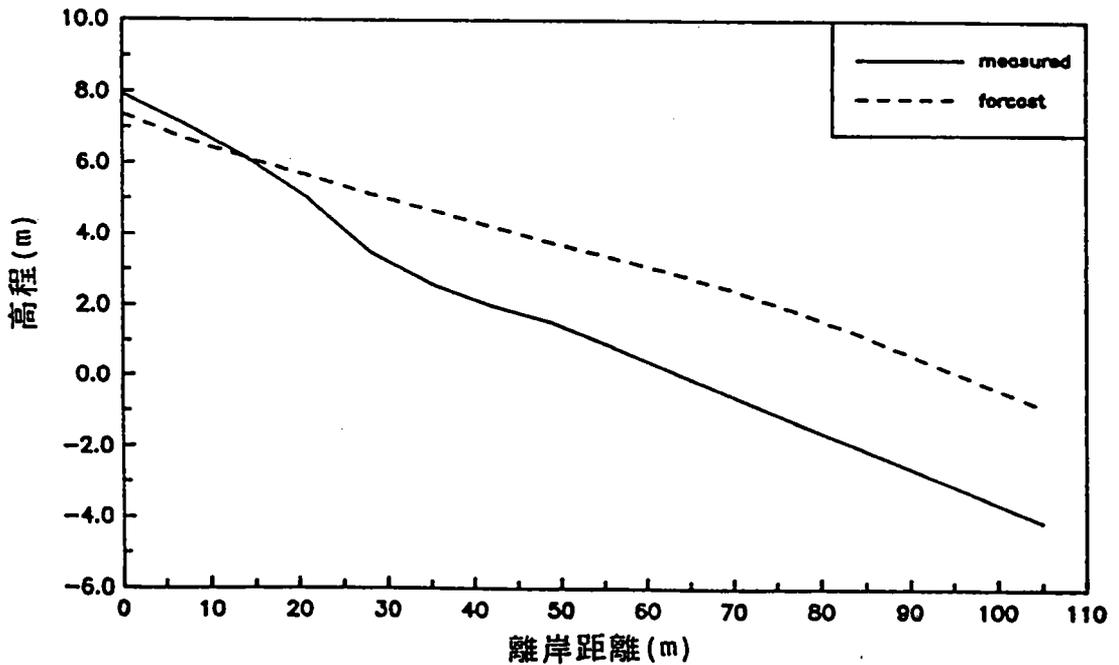


圖 4-10 : No.10 断面實測與預測高程之比較

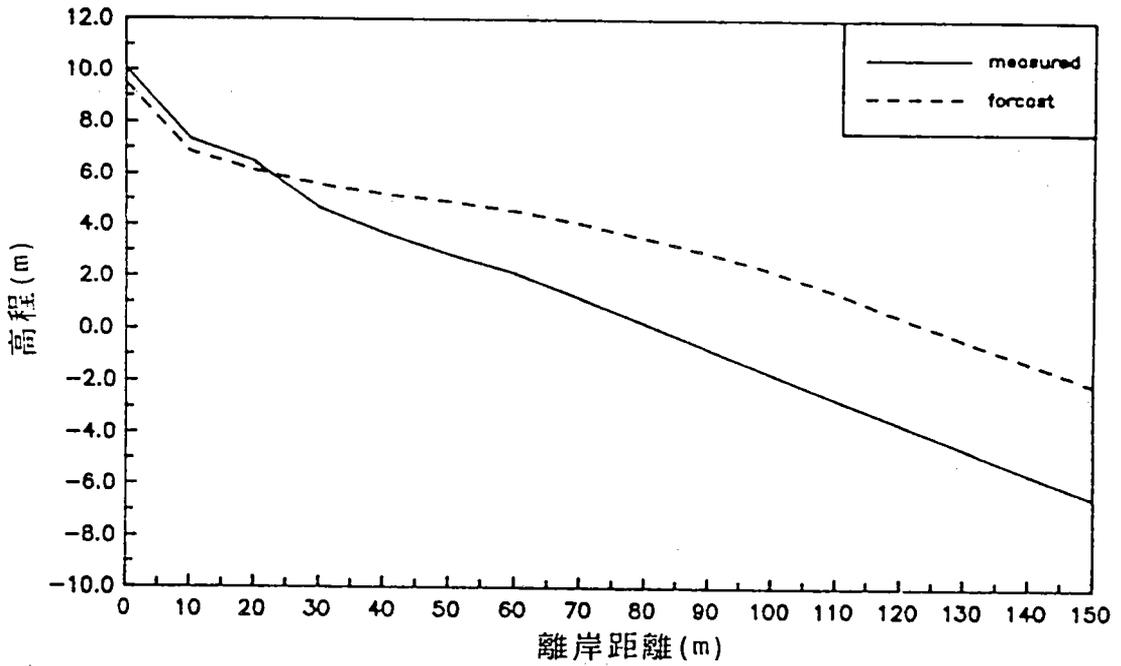


圖 4-11 : No.11 断面實測與預測高程之比較

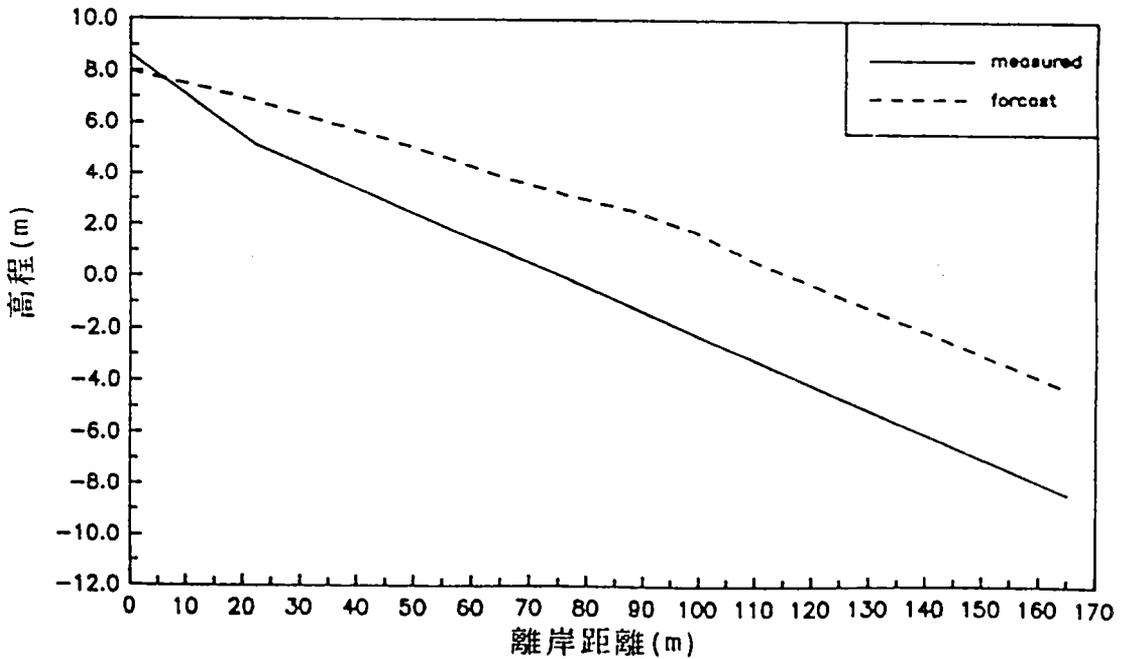


圖 4-12 : No.12 断面實測與預測高程之比較

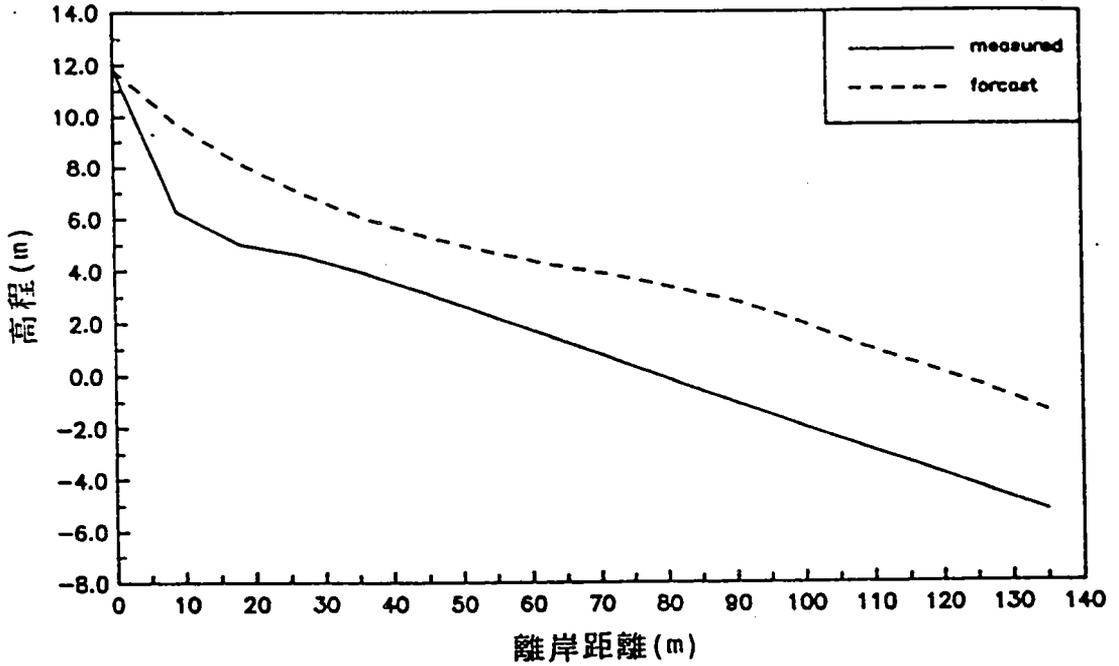


圖 4-13： No.13 断面實測與預測高程之比較

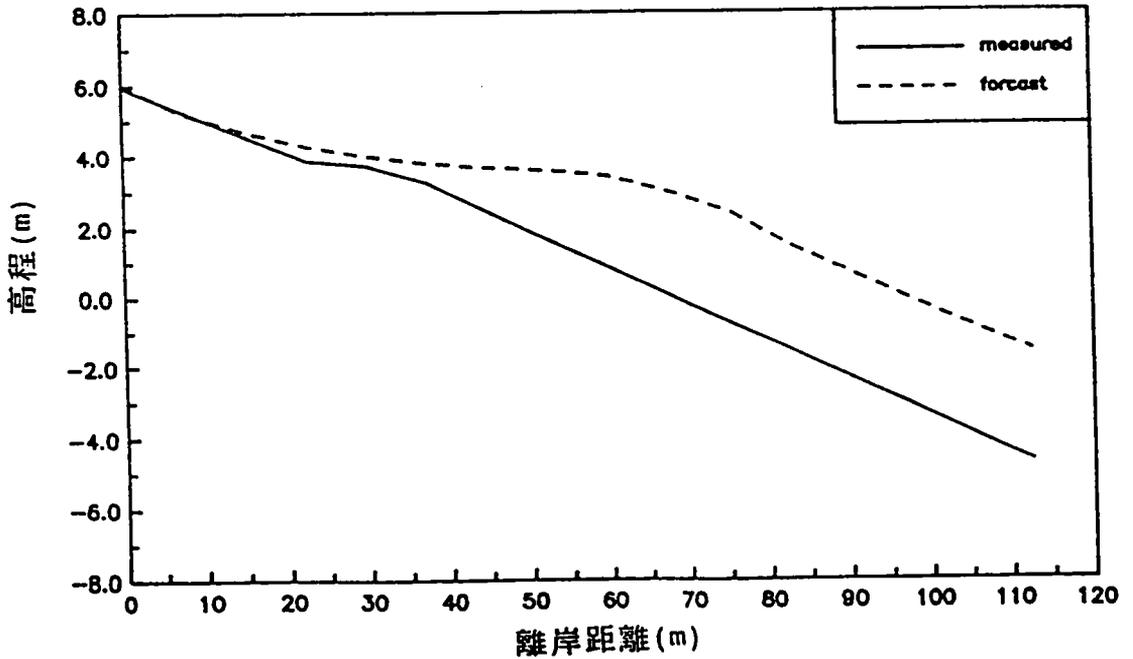


圖 4-14： No.14 断面實測與預測高程之比較

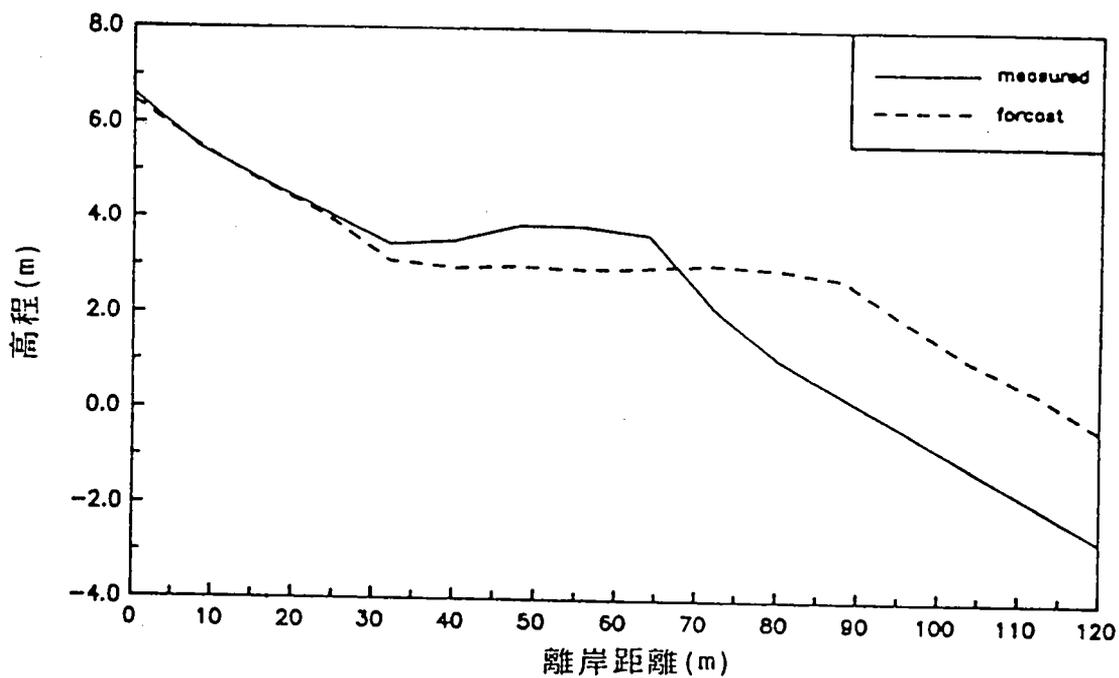


圖 4-15： No.15 斷面實測與預測高程之比較

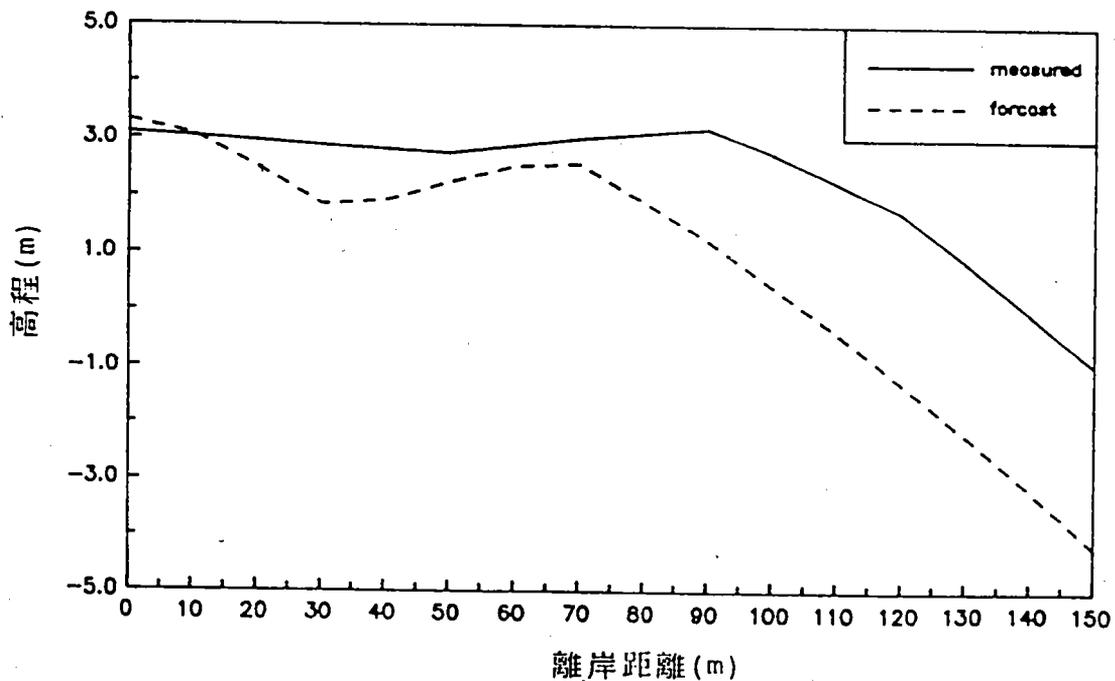


圖 4-16： No.16 斷面實測與預測高程之比較

年4月為基準期，繪出各施測時間之灘距與基準期之比較值，從圖中看出，北濱段海岸(No.1~No.6斷面)由早期侵蝕變為淤積的現象相當明顯，而南濱段海岸至花達溪海岸則呈相反的趨勢。

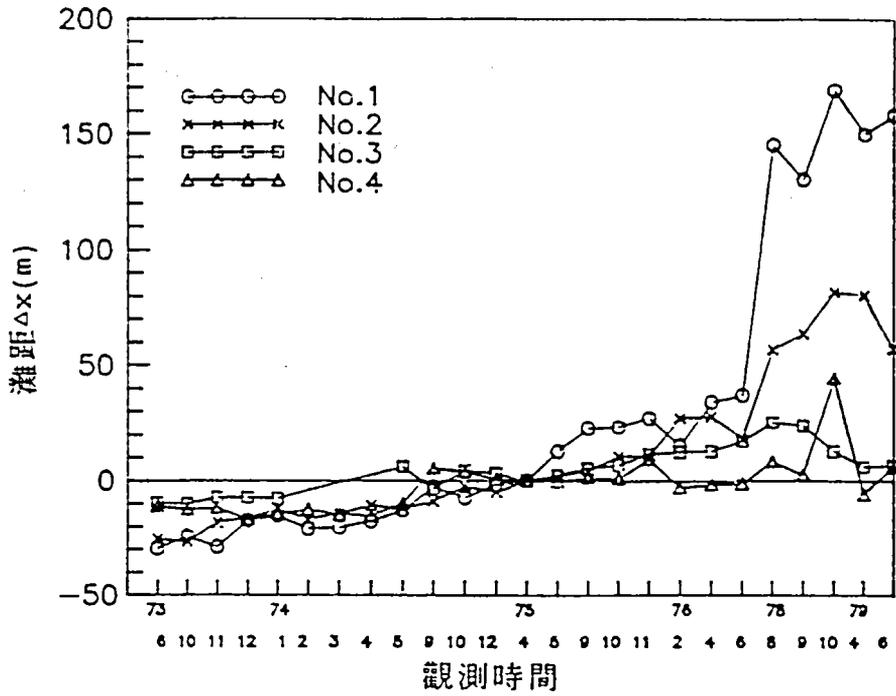


圖 4-17：花蓮海岸歷年灘距之變遷 (No.1~No.4)

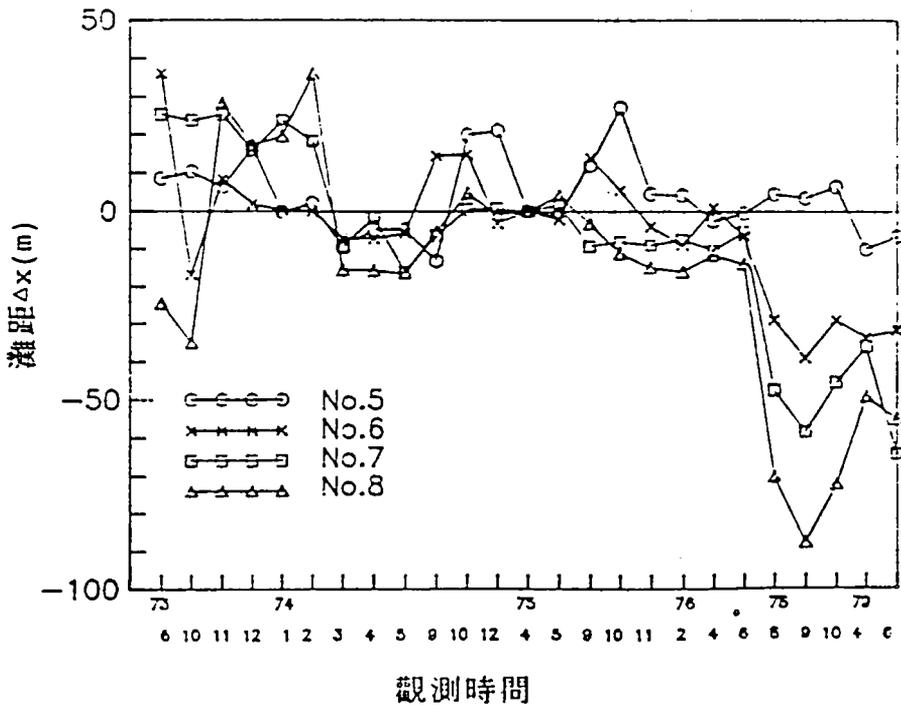


圖 4-18：花蓮海岸歷年灘距之變遷 (No.5~No.8)

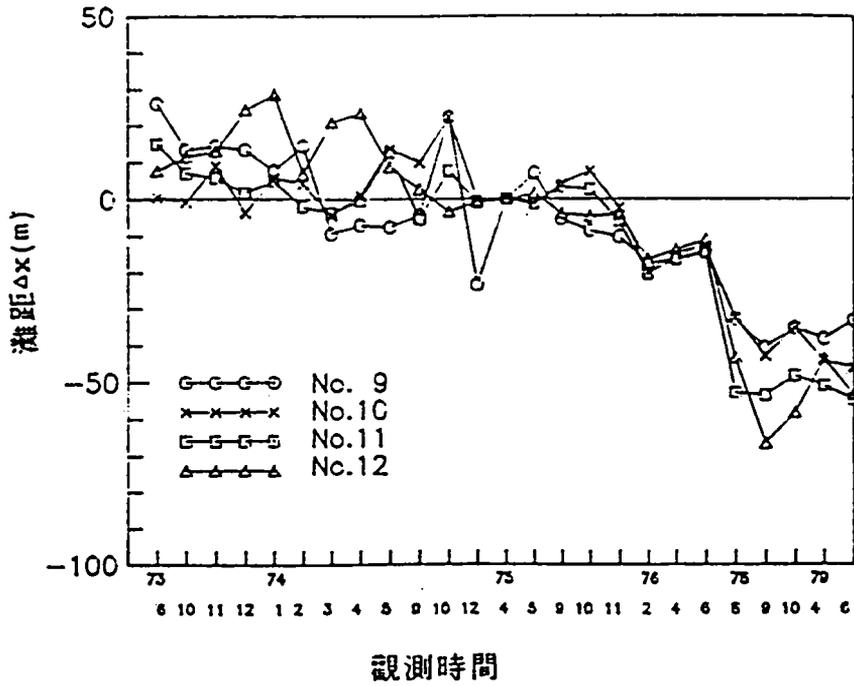


圖 4-19: 花蓮海岸歷年灘距之變遷(No.9~No.12)

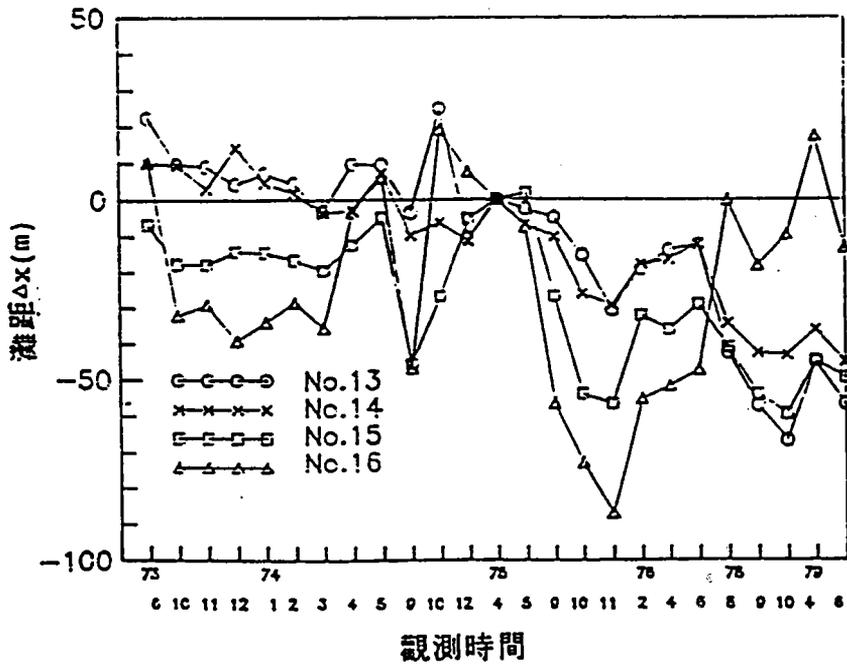


圖 4-20: 花蓮海岸歷年灘距之變遷(No.13~No.16)

## 五、結論與建議

### 5-1 結論

本文根據水利局實測斷面資料，分析花蓮海岸東防波堤擴建前後漂沙機構之演變，海岸線變遷及海灘地形變化過程，並預測未來可能的變化情形，所獲結論如下：

1. 由海岸線歷年變遷之分析結果顯示，在防波堤未擴建前，北防濱海岸隨著西防波堤之佈置呈現侵蝕現象，而其餘各段海岸則尚稱穩定。東防波堤擴建後，自由街口以北海岸由侵蝕情況轉為淤積，灘線明顯伸長，自由街排水口以南海岸則呈現沖刷狀態，尤其南濱段最為劇烈，堤前沙灘幾已消失殆盡。

2. 本段海岸夏季平均斷面與冬季平均斷面之高程差相差不大，二者斷面型式屬於侵蝕或淤積斷面並不明顯，其原因可能為現場資料大部份為零水位以上之海灘，此部份除含能量較高之颱風波浪外，受季節性波浪作用而改變則較少。

3. 本段海岸漂沙量之歷時變化，係以自由街排水口為臨界點，以北之海岸則有逐年增加之趨勢，以南之海岸則漸次減少。

4. 根據二維經驗特徵函數法之預測結果得知，在無防波堤存在之情況，自由街排水口以北之海岸，所預測之海灘斷面高程較東防波堤構築後之實際高程為低，而以南之海岸則呈現相反之趨勢，顯示東防波堤之擴建，已改變本段海岸原有的漂沙特性，使海灘侵淤之變化性質隨之改變。

5. 歷年灘距變化之分析結果顯示，東防波堤擴建前後灘距之變化相當明顯，擴建前自由街以北海岸之灘距為負值，擴建後則灘線伸長，灘距增加為正值，愈北端愈明顯；自由街口以南，南海岸之灘距在擴建前正負互現，灘距為正的現象較為明顯，但變化幅度不大，而擴

建後則灘距有大幅度的後退現象。

## 5-2 建議

1. 本文僅就實測之海岸地形與斷面資料，分析並預測本段海岸之變化特性，因波浪為造成海岸地形變化的主要外力，由於東防波堤之擴建，波浪將於堤端產生折繞射現象，故建議再由東防波堤存在時，探討建堤前後波場、流場與漂沙場之變化，其整體波、流及漂沙之分析結果將更具說服力。

2. 由本文分析結果顯示，在沙質海岸興建人工結構物，使本段海岸原有的海灘發生明顯變化，尤以南濱海岸之侵蝕現象最為嚴重，故在興建結構物前，一定要詳加規畫研究，不可冒然從事，以免重蹈覆轍。

3. 在海岸防護觀念上，須慎重考慮防護優先順序。目前南濱段海岸應儘快設法使其穩定，水利局目前在灘線位置佈置淺灘堤，暫能遏止侵蝕繼續發生，但其缺點則因在灘線消浪，在颱風波浪作用下，堤體容易破壞而失去防護功能。本段海岸長遠的防護對策應作整體性之規劃，至於可能之規劃方案則應詳加研究評估，從中選擇最佳之防護對策，以維護百姓生命財產之安全。

## 參考文獻

1. 台灣省水利局第九工程處：花蓮海岸地形觀測研究計畫報告，七十六年度省庫76.08002.93-57(2)計畫，民國七十六年八月。
2. 台灣省水利局第九工程處：花蓮市沿海地形觀測報告，民國七十八年。
3. 台灣省水利局：花蓮南濱段海堤災害檢討報告，民國七十八年。
4. 歐善惠：二維海灘地形變化分析與預測，國科會NSC77-0410-E006-34，成功大學水利及海洋工程研究所，民國七十七年。
5. 歐善惠：海岸結構物附近地形變化與預測，農委會 79農建 -7.1-林-25 (6)，民國七十九年。

# 花蓮港共振現象之探討

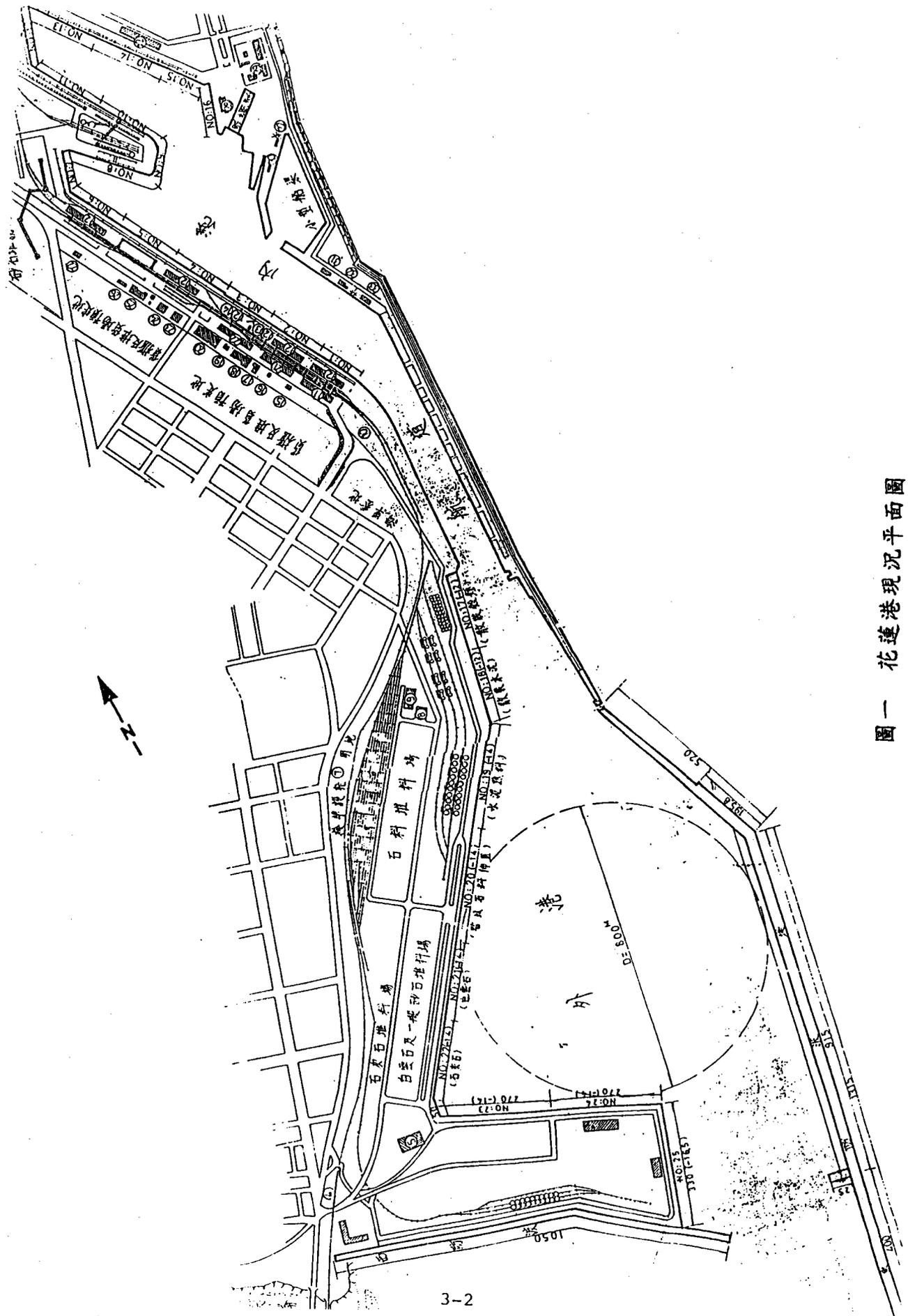
中華港埠技術顧問社 總經理 — 陳國鎮  
經理 — 卓健

## 一、前言

花蓮港歷經四期擴建後共25座碼頭，碼頭水深從-7M~-16.5M，碼頭總長度為4,713M。其中1~16號碼頭位於內港區，17~25號碼頭位於外港區，為第四期擴建時所建造，為期抑制港區波浪共振現象第四期擴建工程之碼頭皆改為消波式之碼頭岸壁。

花蓮港濱臨太平洋，冬季受東北季風影響，夏季颱風波浪以ENE~ESE較大，故港口航道方向朝SSW。又因地形之限制，港形配置較為特殊，其平面詳如圖一。其南北向長度約3,800公尺，東西向最寬處為港口開口外約1,300公尺，外港區最寬約950M，內港港區內約600公尺，最狹處位於聯接內外港區間之中央航道其寬約100公尺。由於港形呈葫蘆狀且內港水域十分狹小，碼頭岸壁皆為直立岸壁，再加上外港消波設施功效有限，內港區內無任何消波設施，致每遇颱風，SSE及SE向波浪進入外港區，再經由喇叭狀之內港航道進入內港航區，由於波能集中且無法消減波能，波浪任意反射而造成波浪共振之現象。

雖然歷年來花蓮港不曾扮演一個避風港的角色，每遇颱風侵襲，港內船隻多少總有災損，港務當局一宜採用鼓勵船隻在颱風來襲前離港，以免造成更大損失的權宜措施。但因此使得航商成本增加，對花蓮港的聲譽亦有負面的影響，本文將就花蓮港之過去、現在之狀況探討此共振現象之成因以及未來的改善方法提供建議。



圖一 花蓬港現況平面圖

## 二、花蓮港歷年擴建與共振現象之關連

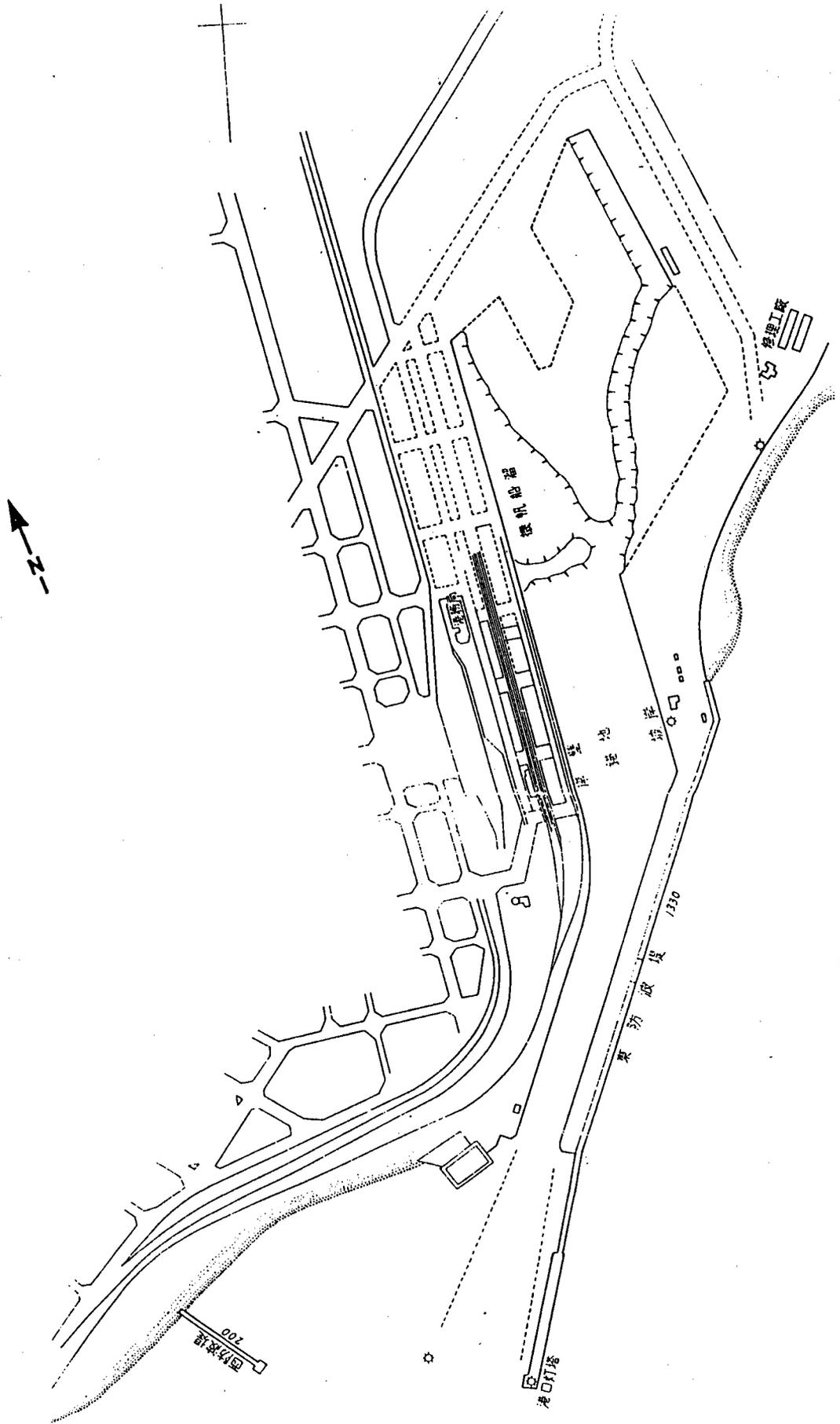
花蓮港民國36年之平面配置如圖二，航道（現內港航道）水面寬約80M，底面淨寬約50M，西側岸壁為漿砌卵石護岸，港內僅有碼頭410M長，（即目前之1~3號碼頭）港內除碼頭前之水域深6~7M外，其餘廣大區域為淺灘及低地。

港口外航道西側為天然礫石灘，以其形勢觀之當時應無所謂共振現象，一來能由航道進入港內之波能有限，二來港內有足夠的空間，讓波能消散。

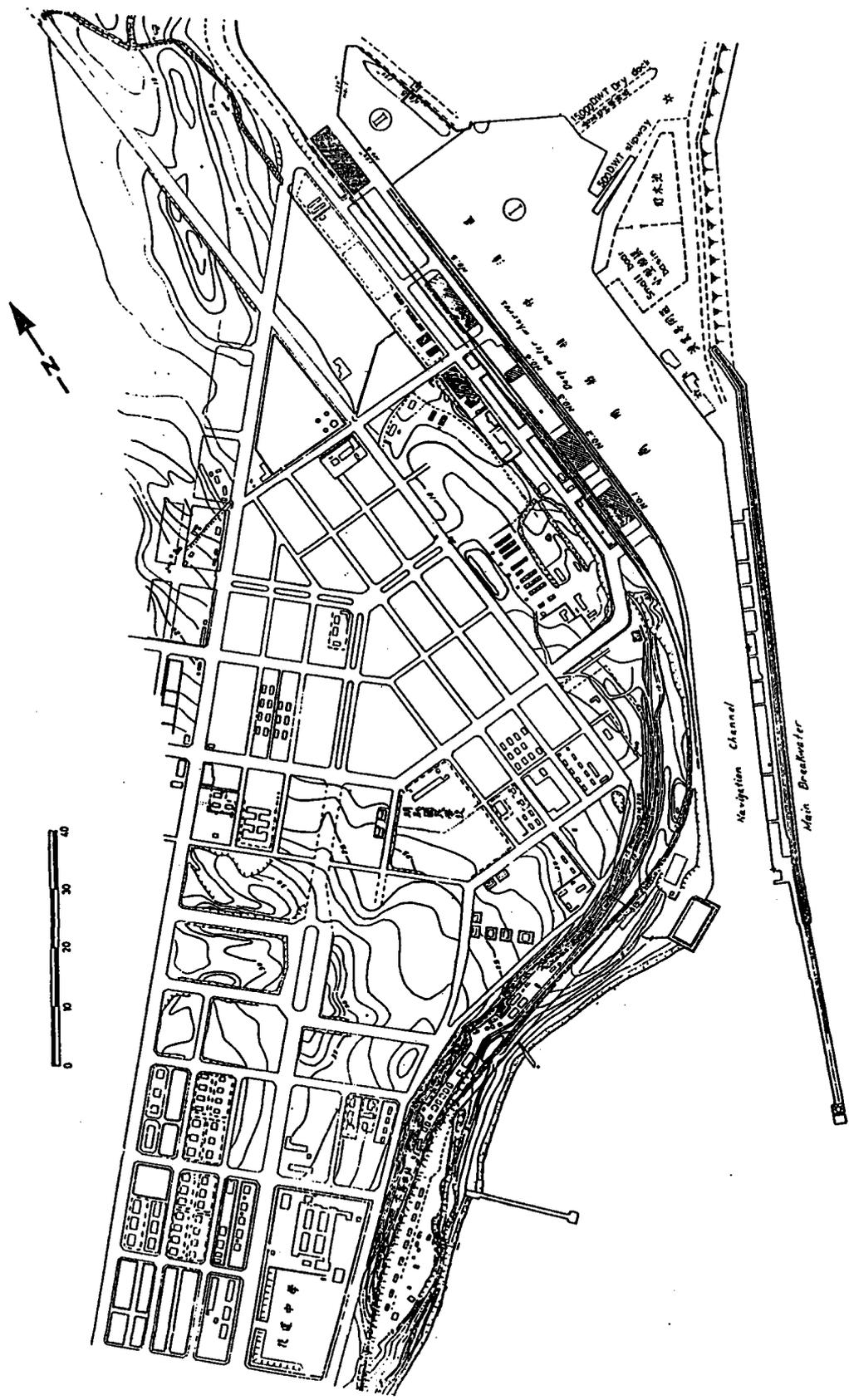
民國60年花蓮港第一期擴建之平面配置如圖三，增加碼頭長度320M，第二期擴建增加6~8號碼頭、小型船渠，並以鋼板樁岸壁取代漿砌卵石護岸加寬航道至目前之狀況。港內之淺灘隨碼頭之增加而減少，颱風來襲造成港內船隻斷纜，流錨則時有所聞，顯示共振現象已存在。

第三期擴建完成後，內港除現有沉箱渠渠門附近仍為漿砌卵石護岸外，餘均為無消波設施之直立式碼頭，波能進入港區後幾已無處消散。每遇颱風，在港船隻將錨鍊細於防颶柱上，幾乎已成為標準之防颶措施，然錨鍊被拉斷之狀況亦曾發生，當亦為共振使然。

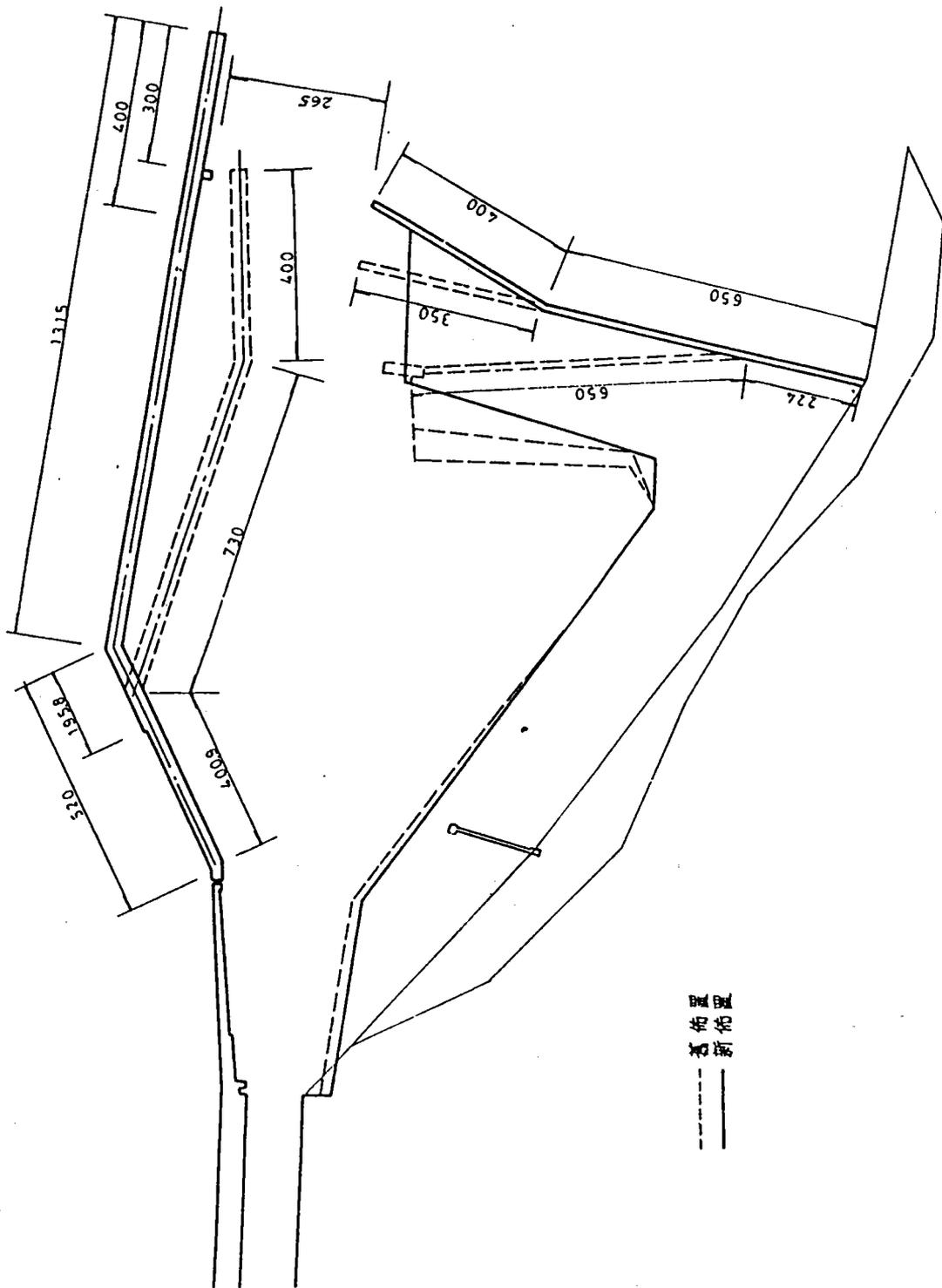
花蓮港第四期擴建東防波堤延長1,835M，航道方向較舊有航道方向更為偏西，且外港各碼頭及部份東防波堤港側均有消波設施，故原以為港內水域共振問題可獲解決，然由於欲擴大外港迴船池，並增設十萬噸級碼頭，兩度變更外廓堤防佈置（詳圖四），導致東防波堤長度不足以對港內遮蔽效果欠佳，且港口寬度已增大為265M左右，SSE向之波浪可直接進入外港區，非但使外港水域動盪嚴重，且外港消波設施不足以將長週期波浪之能量消除，波浪經反射，折射後順著喇叭形的岸壁順著內港航道進入內港水



圖二 花蓮港民國三十六年狀況圖



圖三 花蓮港民國六十年狀況圖



圖四 花蓮港第四期擴建工程新舊佈置

域，使之依然振盪嚴重，曾多次於颱風期觀察內港船隻的動態，發現其水平移動的距離，往往大於其上下振動的幅度，顯示長週期波所產生的共振，的確是內港船舶無法安全靠泊的主因。

### 三、東防波堤延長對共振現象之改善

本社於民國七十九年二月承辦「花蓮港東防波堤延長工程規劃」案時，曾提出四種延長方案，分述如下：

A 方案：沿現有東防波堤加長800M，舊有內突堤拆除並前移，以增加港口寬度及阻攔東堤港側沿堤波之效能。其配置如圖五所示。

B 方案：由堤頭向內轉10度，堤線長度為700M，此外舊有突堤拆除並前移。其配置如圖六所示。

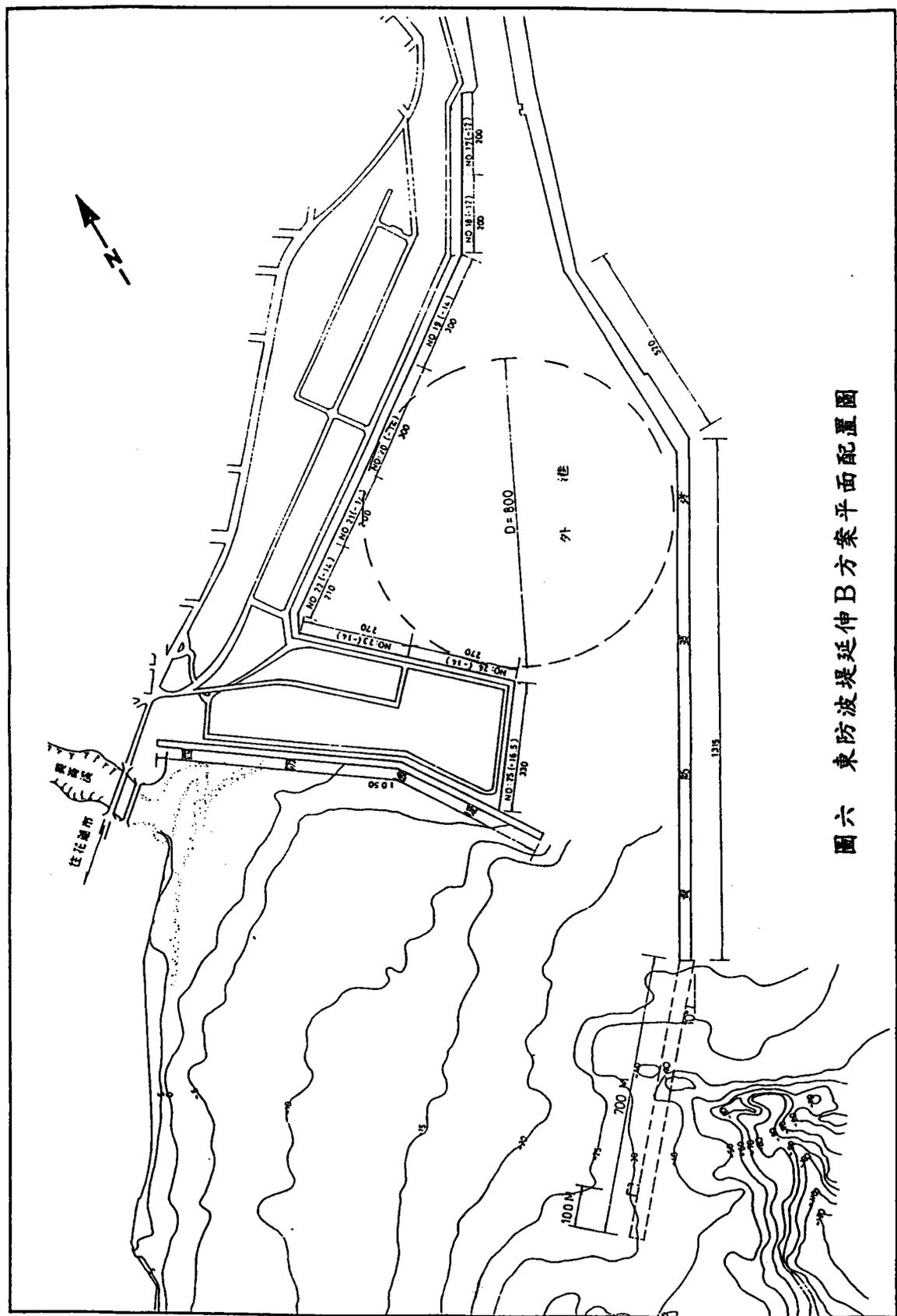
C 方案：由堤頭處向內偏轉10度，堤線先配置250M後再轉回原堤線之方向上，配置堤線550M，總長度仍為800M。此外舊有突堤拆除並前移。其配置如圖七所示。

D 方案：同方案B之配置，但堤線長度為500M。此外，舊有突堤拆除並前移。其配置如圖八所示。

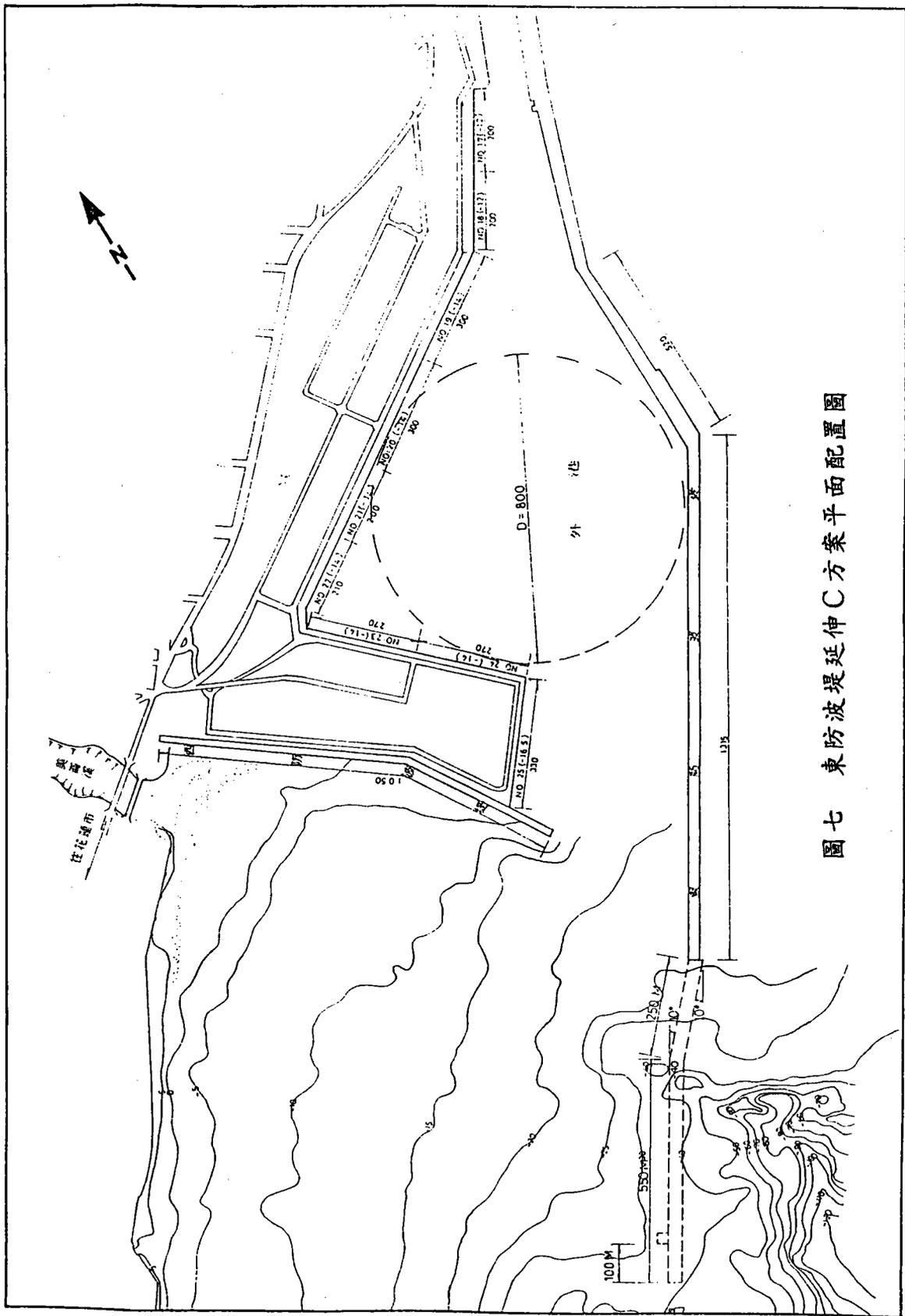
期望以延長防波堤減少波能之入港，達到穩靜港池水域之目的。經以SE、ESE、SSE三方向分別以週期從6SEC至98SEC之波浪對現況及A、B、C、D等方案五種配置進行共振數值計算，其結果分析如下：

1. 五種配置分別受週期大於20秒以上的長波作用時，基於長波的特性，波向對港內的水面振動影響無所差異。

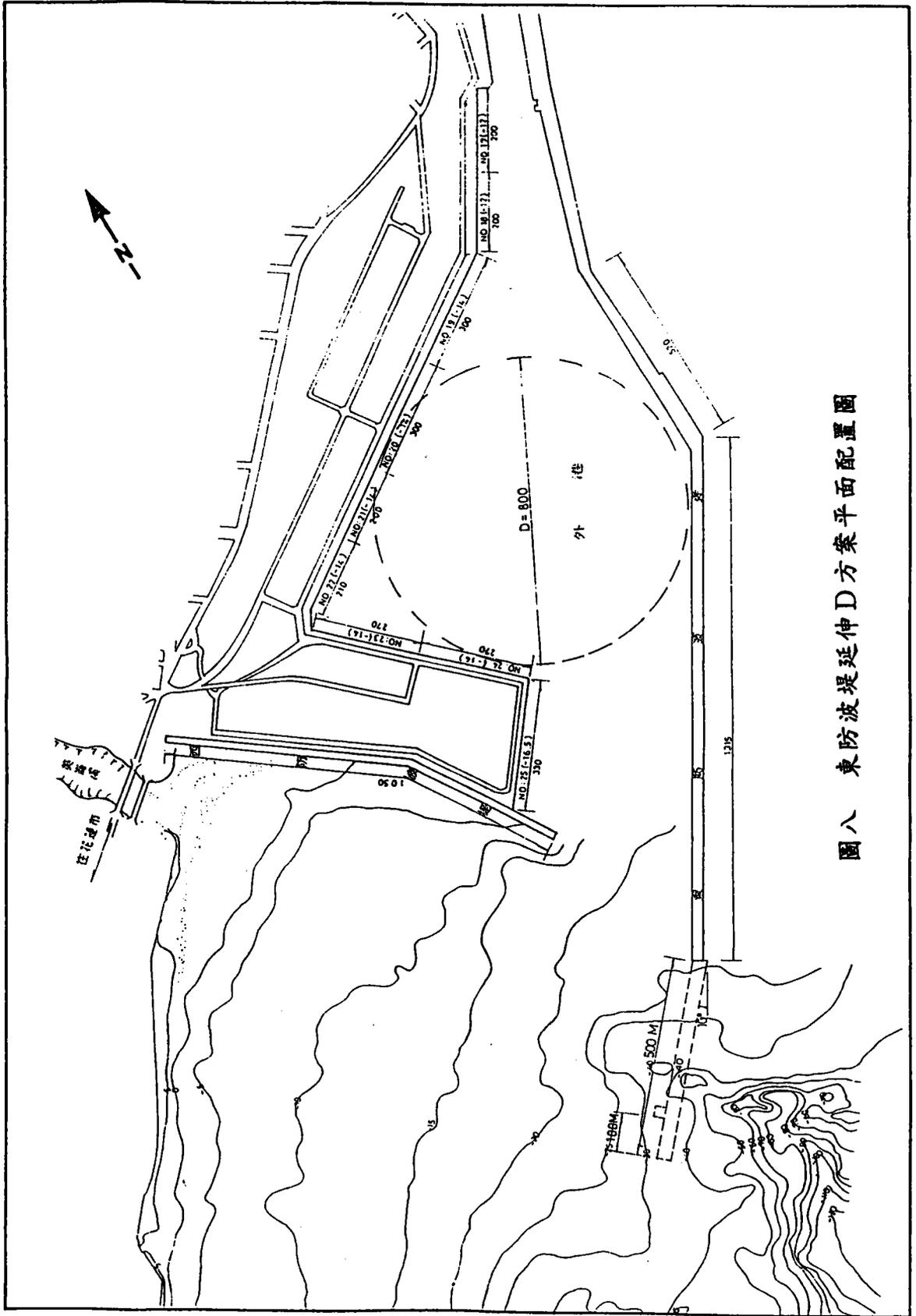




圖六 東防波堤延伸B方案平面配置圖



圖七 東防波堤延伸C方案平面配置圖



圖八 東防波堤延伸D方案平面配置圖

2. 五種配置受週期小於20秒的波浪作用時，在外港區可明顯的看出南南東的波浪作用時，各處的波高比值較其他兩個波向入射時為大，東南波向次之，東南東波向最小，但在內港區，波向的不同對水面振動影響不大。
3. 當週期介於10 sec~20 sec間之 SSE向颱風波浪作用時，現況各碼頭之波高比值如下：

No. 25 碼頭：0.4~0.5  
No. 19~No. 24 碼頭：0.3~0.4  
No. 17~No. 18 碼頭：0.1~0.25  
航道入口處：0.15~0.25  
航道末端處：0.10~0.20  
No. 1~No. 2 碼頭：0.10~0.15  
No. 3~No. 6 碼頭：0.10~0.18  
No. 7~No. 8 碼頭：0.10~0.15  
No. 10~No. 11 碼頭：0.03~0.10  
No. 12~No. 13 碼頭：0.03~0.08  
No. 14~No. 16 碼頭：0.03~0.10

依上述無因次波高比值知，當10m以上颱風波浪來襲時，內港區因波浪振盪結果，即可能出現1M以上之波高，對於內港區之安全靠泊影響十分巨大。

4. A、B、C、D四種方案，經數值計算結果其港區各碼頭位置之波高比值如下：

#### (1)外港區

對20秒以下的波浪而言A、B、C三方案的改善效果相差不大，其中A、B二案效果大致相同，D案

之效果最差。此外C案乃是最佳之方案，可使外港區之波高比值降至現況的一半左右。對週期20秒以上的波長，A，B，D案只能改善一成左右，而C案可改善二成半左右，使波高比值降至0.6左右。

## (2) 中央航道附近

針對20 sec以下之波浪，各方案中以C方案為最佳，其入口處波高比值約0.05~0.20；末端處其波高比值約0.05~0.15。

## (3) 內港區

針對20sec以下之波浪，各方案中以C方案為最佳，其在No. 1~No.2碼頭附近波高比值約在0.1以下；在No.3~No.8碼頭附近波高比值降至0.05左右；而在No.10~No.16碼頭附近其波高比值皆在0.1以下。

由以上結果可確知東防波堤延長因遮蔽區加大，各方案大都可以降低港區內之波高比值，而其中乃以C方案為改善效果最佳之配置方案。

## 四、港內改善配置對共振之影響

根據前述研究結果，採用C方案時，對週期在10秒以下的經常波浪，內港各處的波高比值均在0.1以下，外港各處則在0.2以下，即經常波浪來襲時，港內的靜穩度應無問題。10~20秒的波浪作用時，內港各處的波高比值均在0.1~0.2間，外港各處則在0.2~0.4間。20秒以上的波長來襲時，外港各處的波高比值約在0.5~0.6間，內港的3~8號碼頭附近的波高比值為0.2，對長波的遮蔽已有成效。然在內港的10~16號碼頭附近卻發現更不穩靜水面

振動現象。即波能有集中至此區的可能，同時在內航道末端，即1、2號碼頭附近亦有波能集中的可能。

基此，針對花蓮港既有設施下須再考量輔以各種可能之改善措施，期能使港區內得更靜穩之水域。

由於目前內港區碼頭皆為直立式岸壁，當波浪作用時幾為全反射（反射率=1），致波能於內港區無法消散，使內港區水域動盪不安。依據理論分析，若降低反射率可使共振現象有減幅作用，為改善內港區水域盪漾現象，本社針對花蓮港現況提出幾種可能之改善措施：

## 1. 碼頭岸壁改建為消波式

在內港區現有碼頭岸壁前拋石整平，吊放基礎方塊及消波塊體，再築鋪碼頭面，此法可不必破壞原有碼頭結構，施工容易，對附近碼頭的作業影響較小。且因消波空間大，消能效果較好。且會增加碼頭面縱深及壁體厚度，對該碼頭作業及結構安全較佳。

另由於7、12號碼頭位於內港區最內端，波浪作用大部分為垂直方向直接衝擊岸壁，若將此碼頭廢除，改為1:10斜坡式消波岸壁，則可減少此區域內波浪的反射量。

## 2. 小型船渠改建

### (1) 拆除南堤

將原有小型船渠入口處南岸突堤挖除，使渠內水域與內港水域相接，減少渠內波浪之反射率。

## (2) 小型船渠碼頭改建消波式

將現有碼頭前新設消波式碼頭岸壁以消滅自內港湧入之波能，增加水域之平穩。

## (3) 小型船渠北角改建消波灘

此北角碼頭成一銳角，致使波能集中於此，可將原來之直立岸壁改建一斜1:6之緩坡以達消能之目的。所使用之消波塊可待東防波堤延長後自西防波堤海側吊用。

## 3. 舊東堤港側增設消波設施

### (1) 設置小型突堤兩座

於舊東堤1K+050及1K+150兩處港側以10T鼎塊（待東防波堤延長後，自西防波堤海側吊用）構築小型突堤，以攔截沿東堤港側進入內港的波能，並降低該處之反射率，增加靜波能力。

### (2) 開挖消波凹槽

於舊東堤0K+200~0K+900段港側開挖凹槽，降低岸壁反射率，耗減進入內港之波能。

## 4. 改變內港形狀沿海岸線興建海堤，拆除舊東堤至航道末端並浚深海床。

### (1) 拆除漁港北角碼頭至中央航道之海堤

挖除上述海堤，且予以浚深海底，並可增加水域

面積，增加水域之平穩，已拆除之漁市場等部分，可遷建於新海堤上。

## (2) 在舊堤外水深-5公尺處興建海堤

海堤由修理工廠處之道路向外延伸約 250 公尺，於水深-5公尺處和舊堤平行興建海堤長750公尺，再和內港航道末端之東堤相接長約 300 公尺。其佈置如圖九中虛線所示。

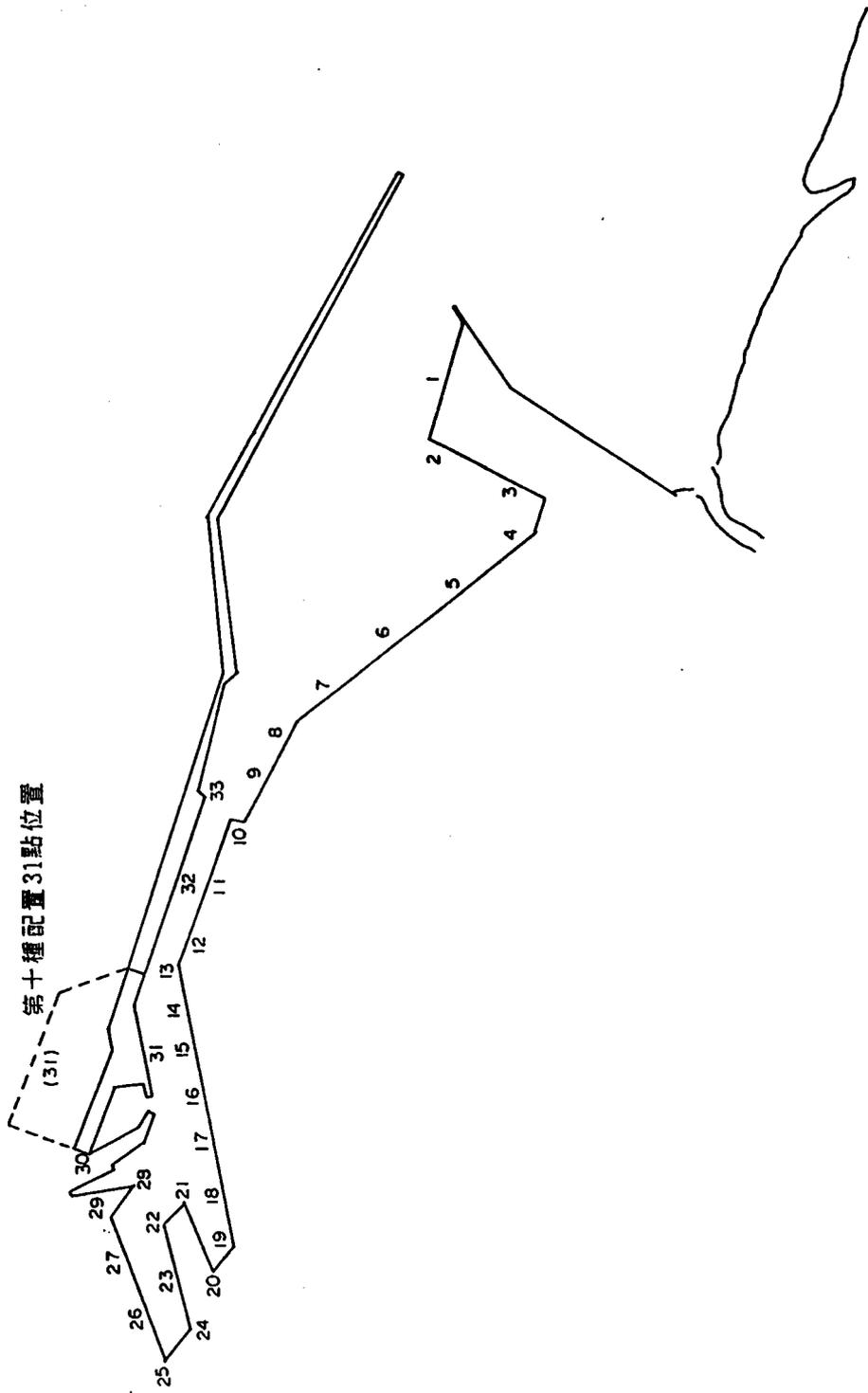
依據前述各種可能之改善措施，本社乃提出如表一之對策，除以原方案（東堤未延伸前）港內九種之改善對策外，前述東堤延伸之C方案再輔以十種不同之改善對策，合計共19種配置予以比較各方案之改善程度，以了解何種配置條件對港區之共振現象有最佳之遮蔽效果，其分析條件如下：

波向：南南東（以共振現象最明顯之波浪入射方向）。  
週期：6 秒~98 秒。  
潮位：+2.55M。

數值分析測點配置共設置33個採樣點，其配置如圖九，並可同時參考表二之測點配置對照表。

經數值分析之後，在各種不同改善措施之配置條件下，東堤未延伸前（現況）與延伸C方案中各位置計算點之波高比值，依週期 6 秒、14 秒、22 秒、42 秒、66 秒、98 秒為代表繪成圖。

圖十~圖二十一，為第一及第九種配置之波高比值對照圖。再將港區內各計算點區分為外港區、內港區、航道區、小型船渠區與沉箱渠區等，以6 秒、14 秒、22 秒三種不同週期之計算例，則在各種相同改善措施之配置下，延伸C方案與東堤未延伸比較下之波高比值，得知在各種相對應之改善措施下，以C方案各種改善措施較未延伸之各種改善措施為佳。



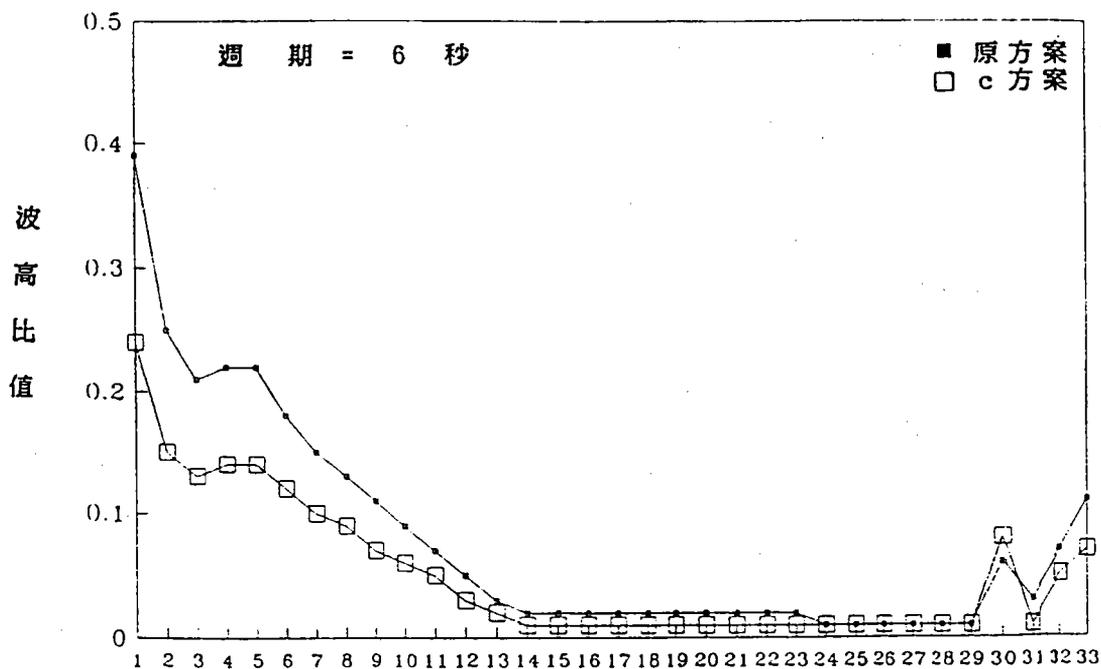
圖九 數值分析測點配置圖

表一 原方案與C方案配置條件詳述表

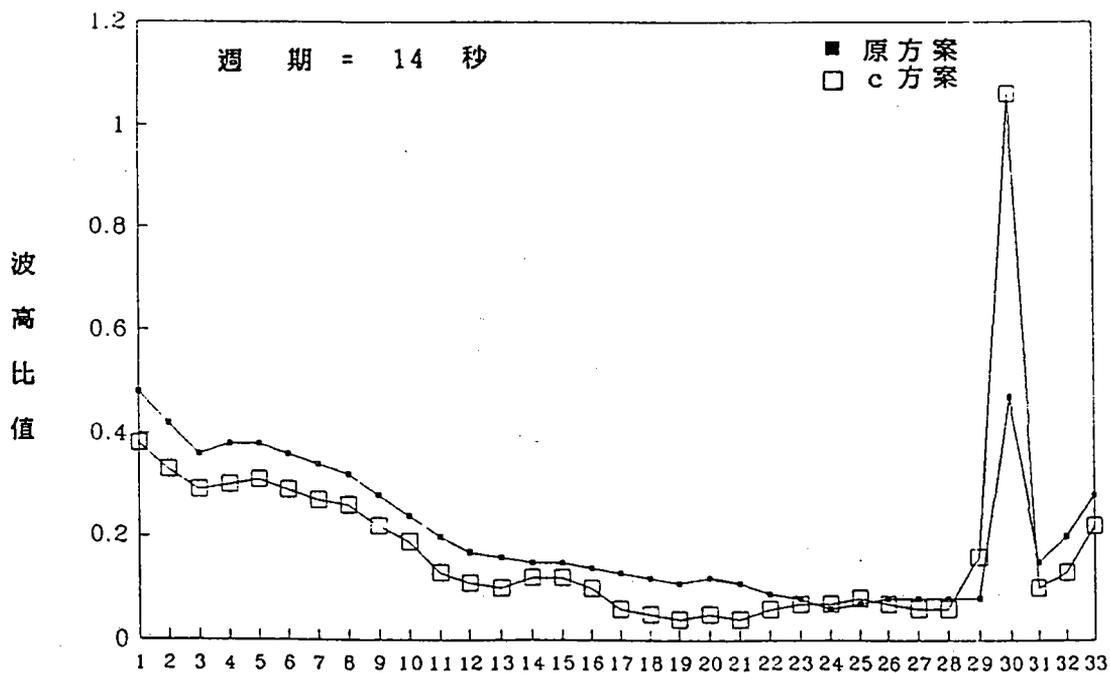
案別 項目	東防波堤維持現況	C 方 案
第一種配置	港區內維持現狀。	港區內維持現狀。
第二種配置	13號至16號碼頭。 反射率為0.8。	13號至16號碼頭。 反射率為0.8。
第三種配置	12號至16號碼頭。 反射率為0.8。	12號至16號碼頭。 反射率為0.8。
第四種配置	10號至16號碼頭。 反射率為0.8。	10號至16號碼頭。 反射率為0.8。
第五種配置	13號至16號碼頭及小型船渠 反射率為0.8。	13號至16號碼頭及小型船渠 反射率為0.8。
第六種配置	拆小型船渠南堤，且沉箱渠 至小型船渠反射率為0.8。	拆小型船渠南堤，且沉箱渠 至小型船渠反射率為0.8。
第七種配置	拆小型船渠南堤，且13號至 16號碼頭至小型船渠反射率 為0.8。	拆小型船渠南堤，且13號至 16號碼頭至小型船渠反射率 為0.8。
第八種配置	東防波堤內一半，反射率改 為0.8，沉箱渠至小型船渠 反射率為0.8。	東防波堤內一半，反射率改 為0.8，沉箱渠至小型船渠 反射率為0.8。
第九種配置	拆小型船渠南堤，部份東堤 加消波，13號至16號碼頭至 小型船渠反射率為0.8。	拆小型船渠南堤，部份東堤 加消波，13號至16號碼頭至 小型船渠反射率為0.8。
第十種配置	——	拆除舊有東堤至內港航道末 端，並改變內港形狀沿海岸 線興建海堤。

表 二 數值分析測點配置對照表

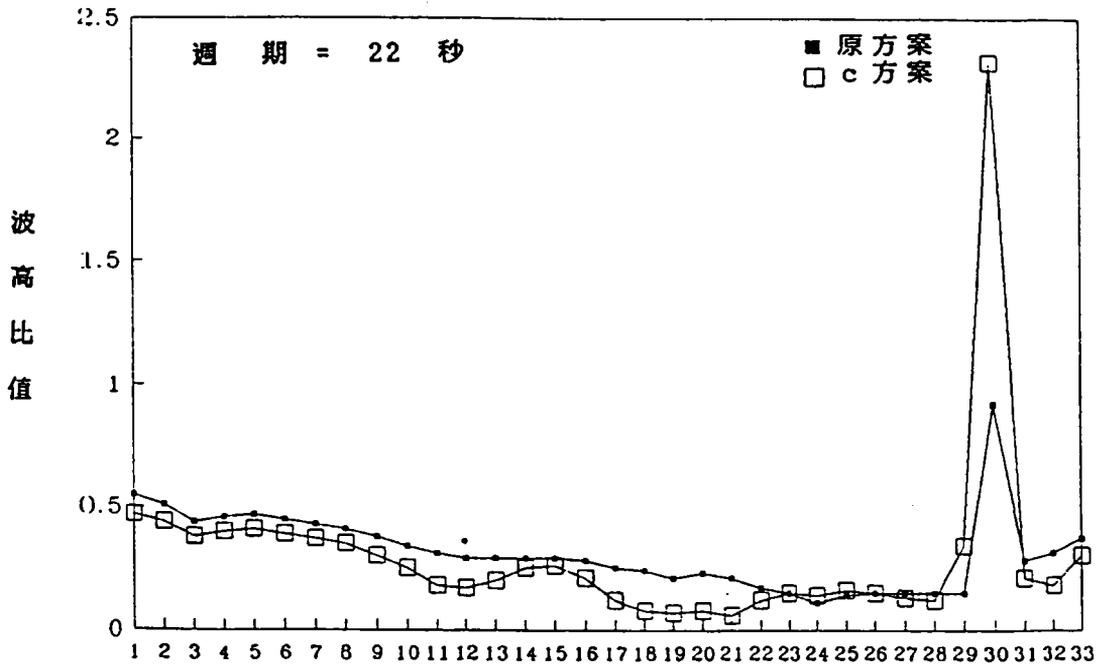
	位 置 名 稱	測 點 配 置 點
外 港 區	25 號，24 號，23 號碼頭	1 ， 2 ， 3
	22 號，21 號碼頭	4 ， 5
	20 號，19 號碼頭	6 ， 7
	18 號，17 號碼頭	8 ， 9
內 港 區	1 號，2 號，3 號，4 號碼頭	13 ， 14 ， 15 ， 16
	5 號，6 號，7 號，8 號碼頭	17 ， 18 ， 19 ， 20
	9 號，10 號，11 號，12 號碼頭	21 ， 22 ， 23 ， 24
	13 號，14 號，15 號，16 號碼頭	25 ， 26 ， 27 ， 28
航 道 區	西側航道	10 ， 11 ， 12
	東側航道	31 ， 32 ， 33
漁 港 區	小型船渠北角	30
沉 箱 渠 區	沉 箱 渠	29



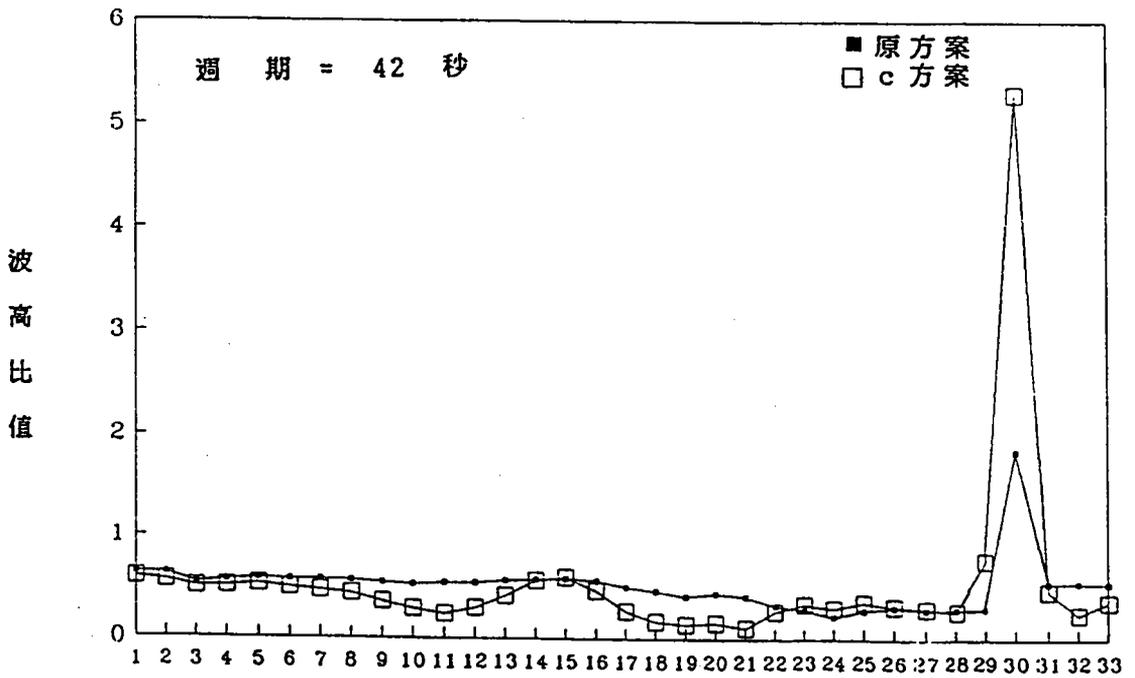
圖十 SSE 向、T=6 SEC 波浪入射第一種配置時波高比值對照圖



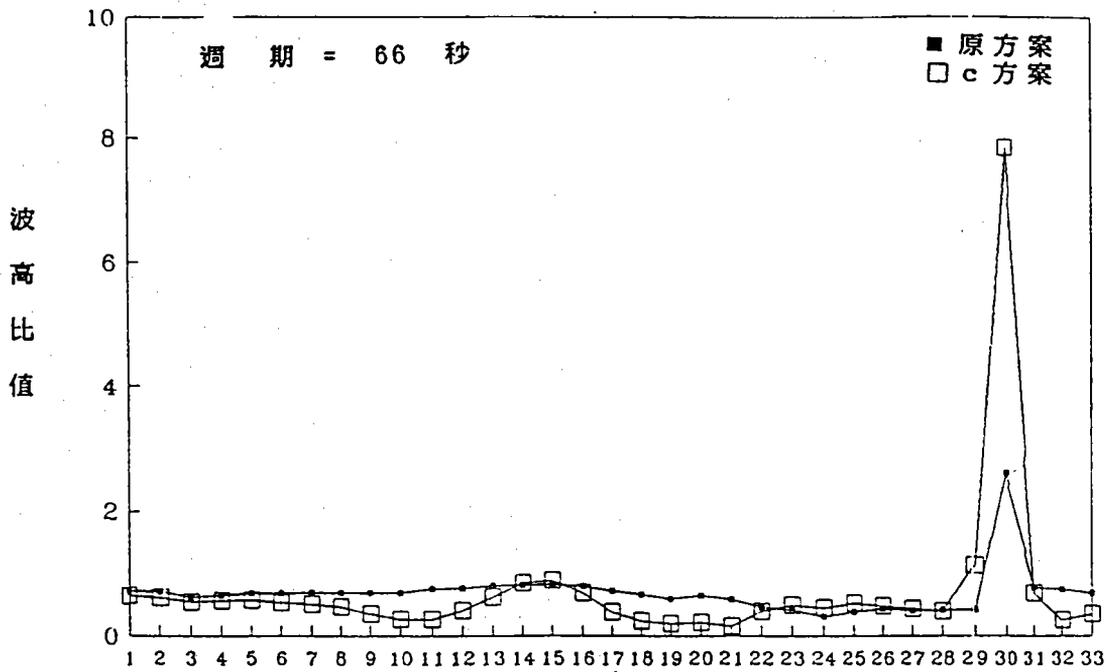
圖十一 SSE 向、T=14 SEC 波浪入射第一種配置時波高比值對照圖



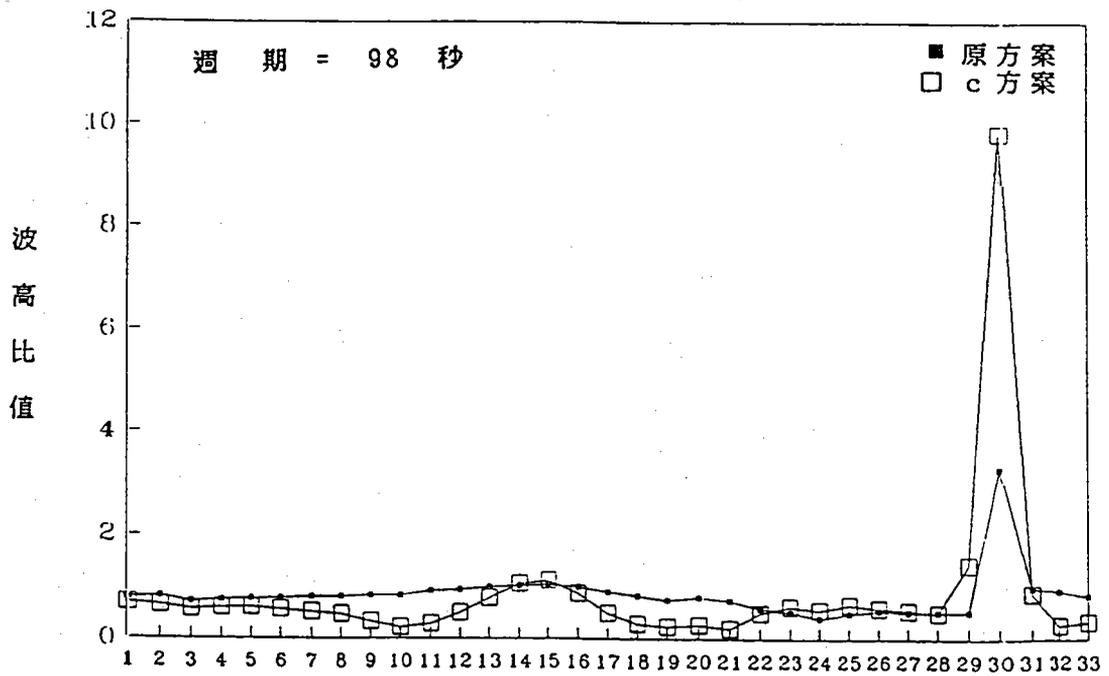
圖十二 SSE 向、T=22 SEC 波浪入射第一種配置時波高比值對照圖



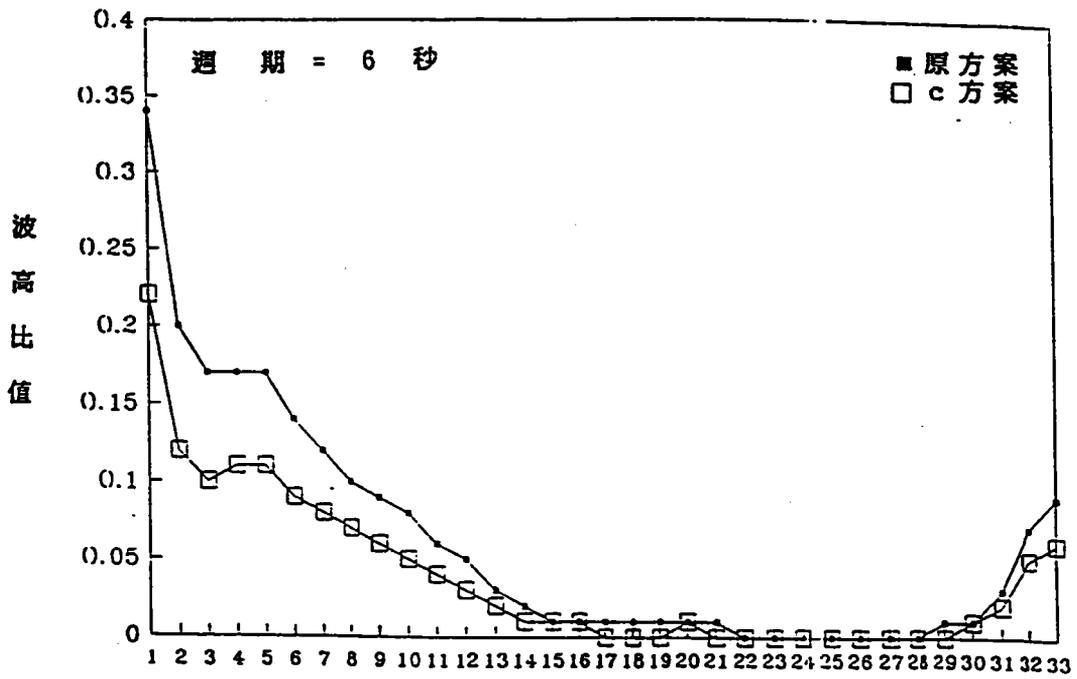
圖十三 SSE 向、T=42 SEC 波浪入射第一種配置時波高比值對照圖



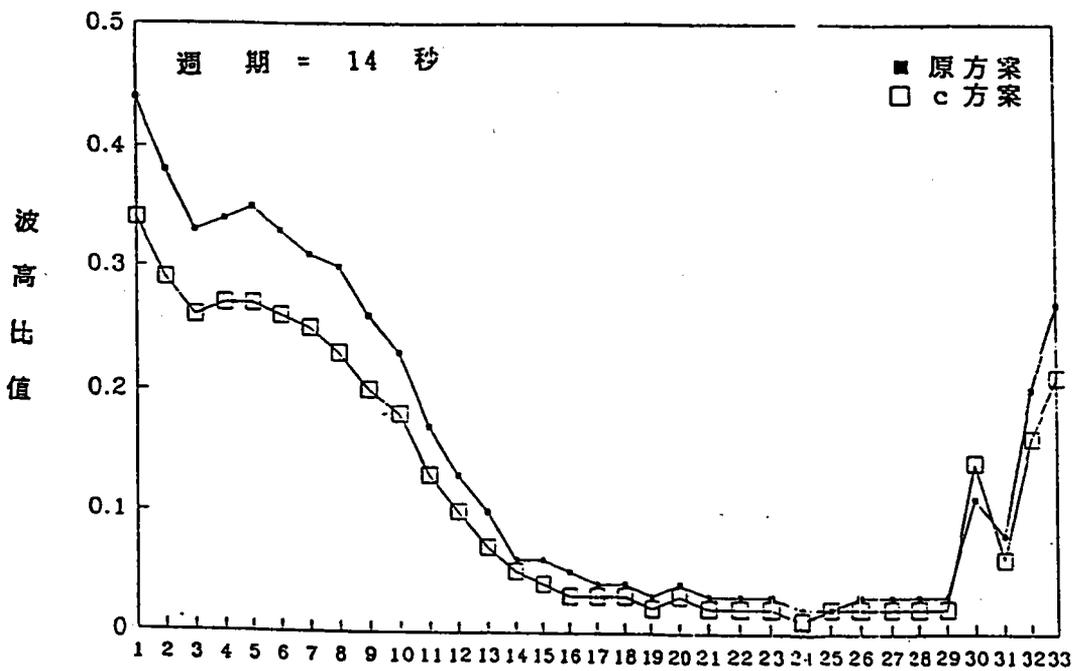
圖十四 SSE 向、T=66 SEC 波浪入射第一種配置時波高比值對照圖



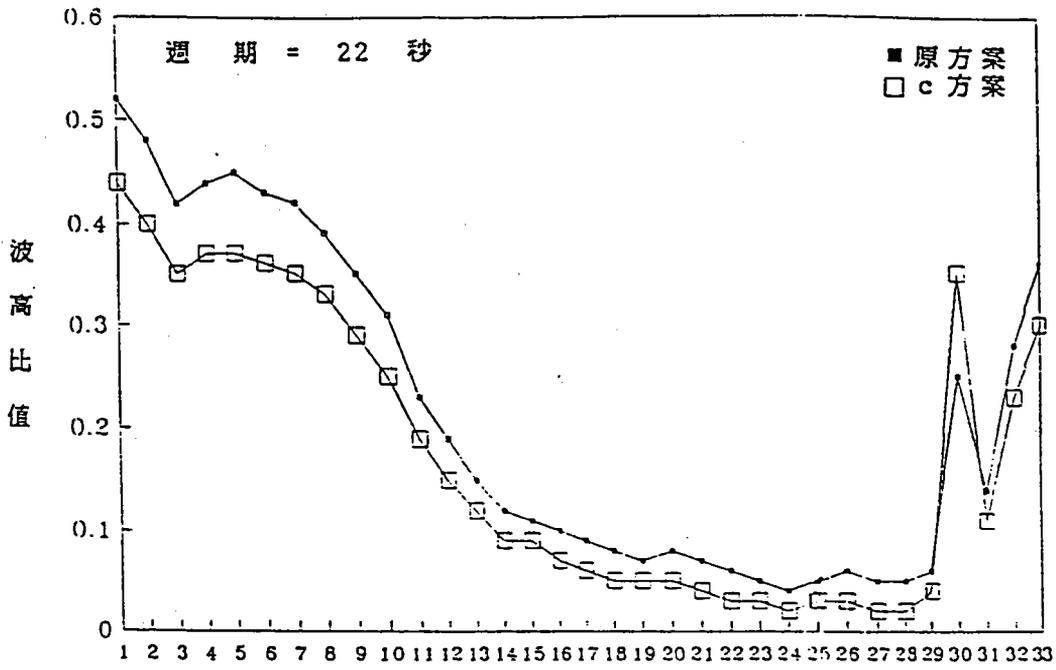
圖十五 SSE 向、T=98 SEC 波浪入射第一種配置時波高比值對照圖



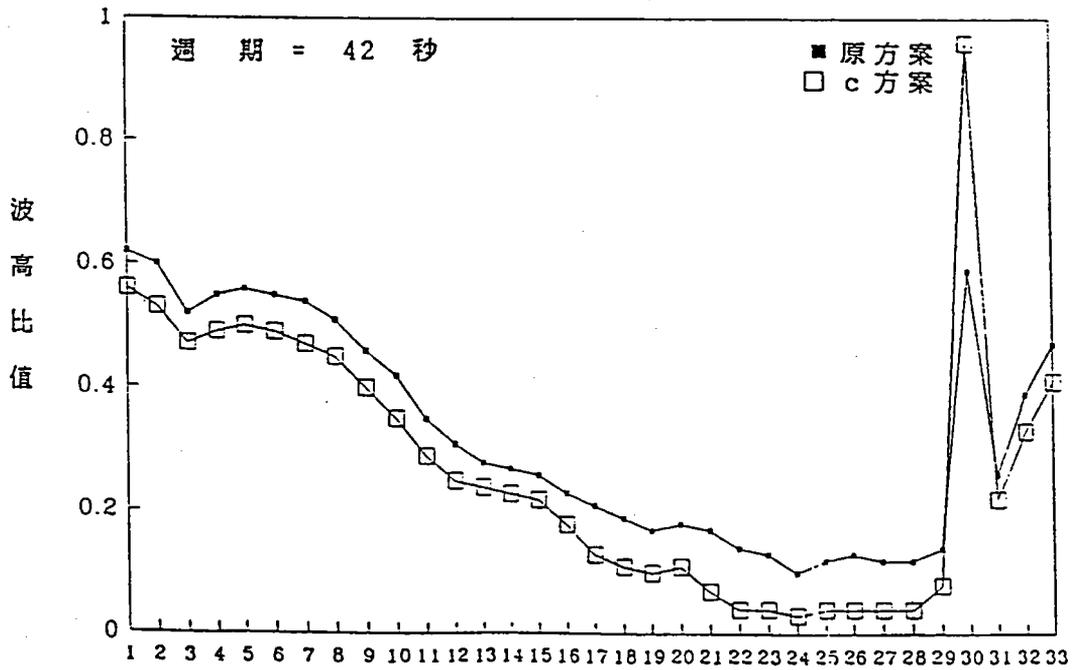
圖十六 SSE 向、T=6 SEC 波浪入射第九種配置時波高比值對照圖



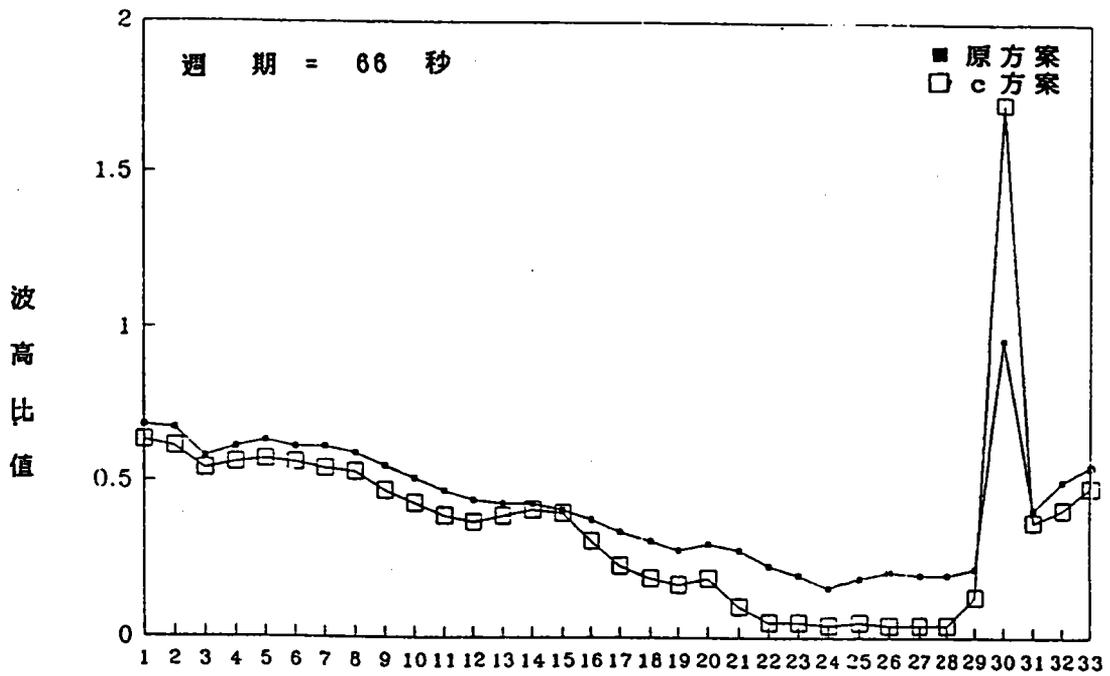
圖十七 SSE 向、T=14 SEC 波浪入射第九種配置時波高比值對照圖



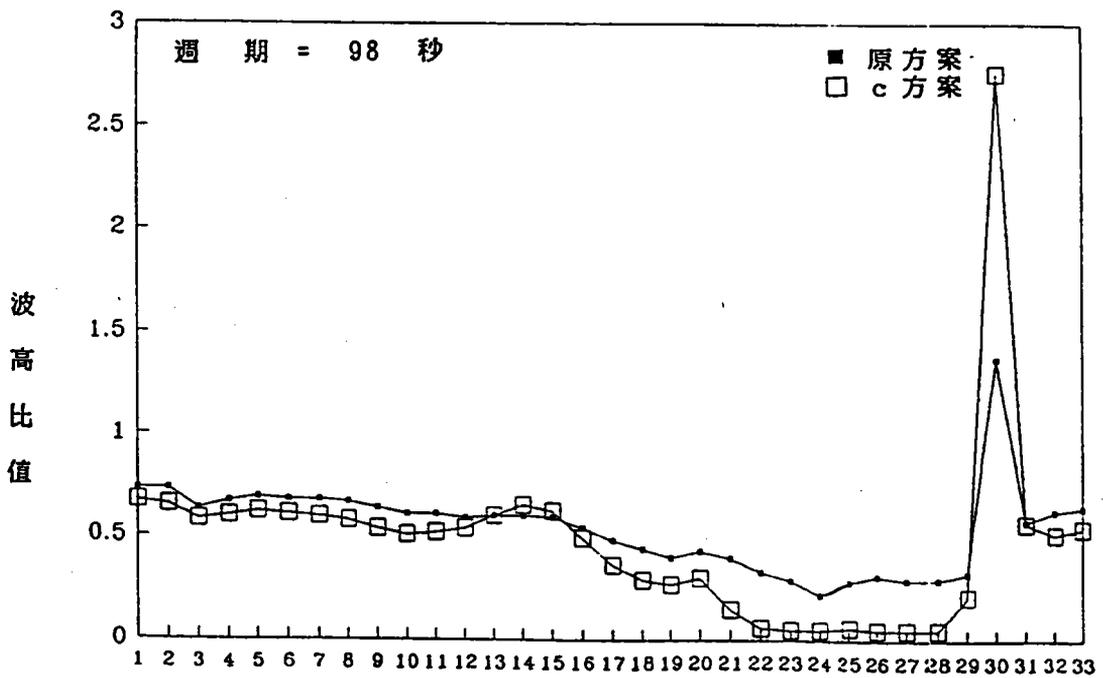
圖十八 SSE 向、T=22 SEC 波浪入射第九種配置時波高比值對照圖



圖十九 SSE 向、T=42 SEC 波浪入射第九種配置時波高比值對照圖



圖二十 SSE 向、T=66 SEC 波浪入射第九種配置時波高比值對照圖



圖二十一 SSE 向、T=98 SEC 波浪入射第九種配置時波高比值對照圖

此外，為探討東防波堤延伸C方案中各種不同之改善措施對港區內之水面振動改善情形，以東堤未延伸（現況）無任何改善措施為基準，經計算比較後各種不同改善措施之成果。

上述計算中以第九種配置（即小型船渠南堤拆除，部份東防波堤加設消波設施，13~16號碼頭與小型船渠碼頭改為消波式碼頭）為最佳之改善措施方案，其次為第八種配置。為進一步了解配置中那些措施有較明顯之正面效果，再將各方案的配置和結果加以比對；發現小型船渠之反射率降低（方案二與方案五之差異），可使內港及小型船渠水域大幅改善，舊東堤港側增設消波設施（方案七與方案九之差異）和小型船渠南堤的拆除（方案五與方案七之差異）則對大部份港池水域有大小不等的改善功能詳見表三，且共同設置時，其消除共振之功效已接近第九種配置。

表三 有效共振消除措施波高比值折減（增加）表

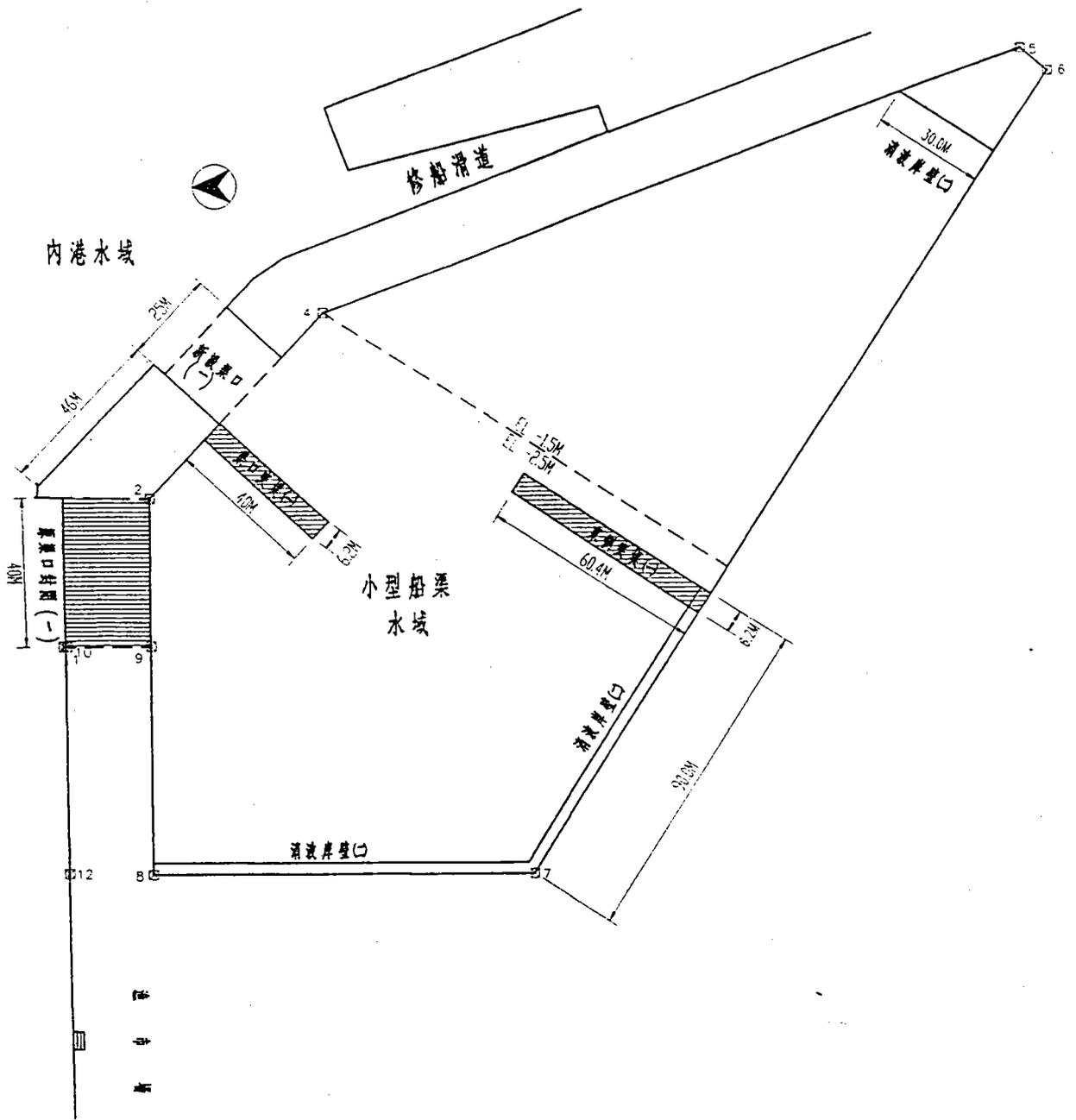
波波週期	14 秒						22 秒						備 註	
	區域 措施	外 港	內 港	航 道		小型 船渠	沉 箱 渠	外 港	內 港	航 道		小型 船渠		沉 箱 渠
				西側	東側					西側	東側			
東防波堤 C方案延 建	-20 %	-33 %	-30 %	-30 %	+84 %	+1 %	-14 %	-29 %	-37 %	-28 %	+108 %	+11 %		
降低小型 船渠反射 率	+1 %	-24 %	+18 %	+5 %	-127 %	-51 %	+3 %	-46 %	+10 %	-16 %	-171 %	-83 %	方案二與 方案五之 差異	
小型船渠 南堤拆除	0 %	0 %	-3 %	-10 %	-2 %	-5 %	-2 %	-1 %	-2 %	+10 %	-3 %	-7 %	方案五與 方案七之 差異	
舊東堤港 側增建消 波設施	-9 %	-2 %	-8 %	-8 %	-2 %	-2 %	-7 %	-1 %	-8 %	-7 %	-3 %	-1 %	方案七與 方案九之 差異	
合 計	-28 %	-69 %	-23 %	-43 %	-47 %	-57 %	-20 %	-77 %	-37 %	-41 %	-69 %	-80 %		

## 五、進一步之探討與改善

由先前之研究可知，花蓮港東防波堤依C方案延長，再輔以降低小型船渠的反射率，拆除小型船渠南堤及增建消波設施於舊東堤港側，可使該港水域共振問題獲得大幅改善。唯目前花蓮港小型船渠正在改建，其平面如圖二十二。其對港內水域共振的影響，應做進一步之探討。此外在舊東堤港側增建消波設施，因為遷就現有防波堤構造，所能產生的效果必竟有限，而花蓮港舊東堤早已超過使用年限，除定期維修外，還不時發生災損，尚須投入年維修費。因此，另一改善港池共振較大幅度之及較有效果之方案為拆除舊東堤，新建東堤，亦即將舊東堤間海側擴建如圖二十三，配置水深平均在-5M至-10M之間，可拓寬原有約100公尺左右之狹窄水道，改善因束水作用，波能集中而產生之不良後果，水道寬度可增加至3倍以上，新東堤亦以消波式或以三明治結構以收波能消散之效果，如以經濟之考量，可配置適當水深位置，並進一步研究，以達最佳化之設計，致於目前漁港之改建，可併同規劃配置。

## 六、結語

花蓮港由於開發利用過程，並受地形影響，歷經四期擴建，配合現代化之需求與發展，繼有研擬發展計畫，惟因舊港池之港形不利於港池之穩定，遇有颱風或長浪，則易發生共振現象，本文就其現象及改善對策，俾供參考，並建議進一步研究及探討。



圖二十二 花蓮漁港小型船渠第一、二期改善工程平面圖



# 花蓮港爲和平水泥專業區提供服務之探討

許硯蓀 中華顧問工程司港灣部 經理

## 一、前言

政府爲促進區域經濟均衡發展，近年來積極推動產業東移政策，期使東部發展遲緩地區，藉天然資源之開發利用，吸引相關產業東遷，以平衡東西部之經濟發展。

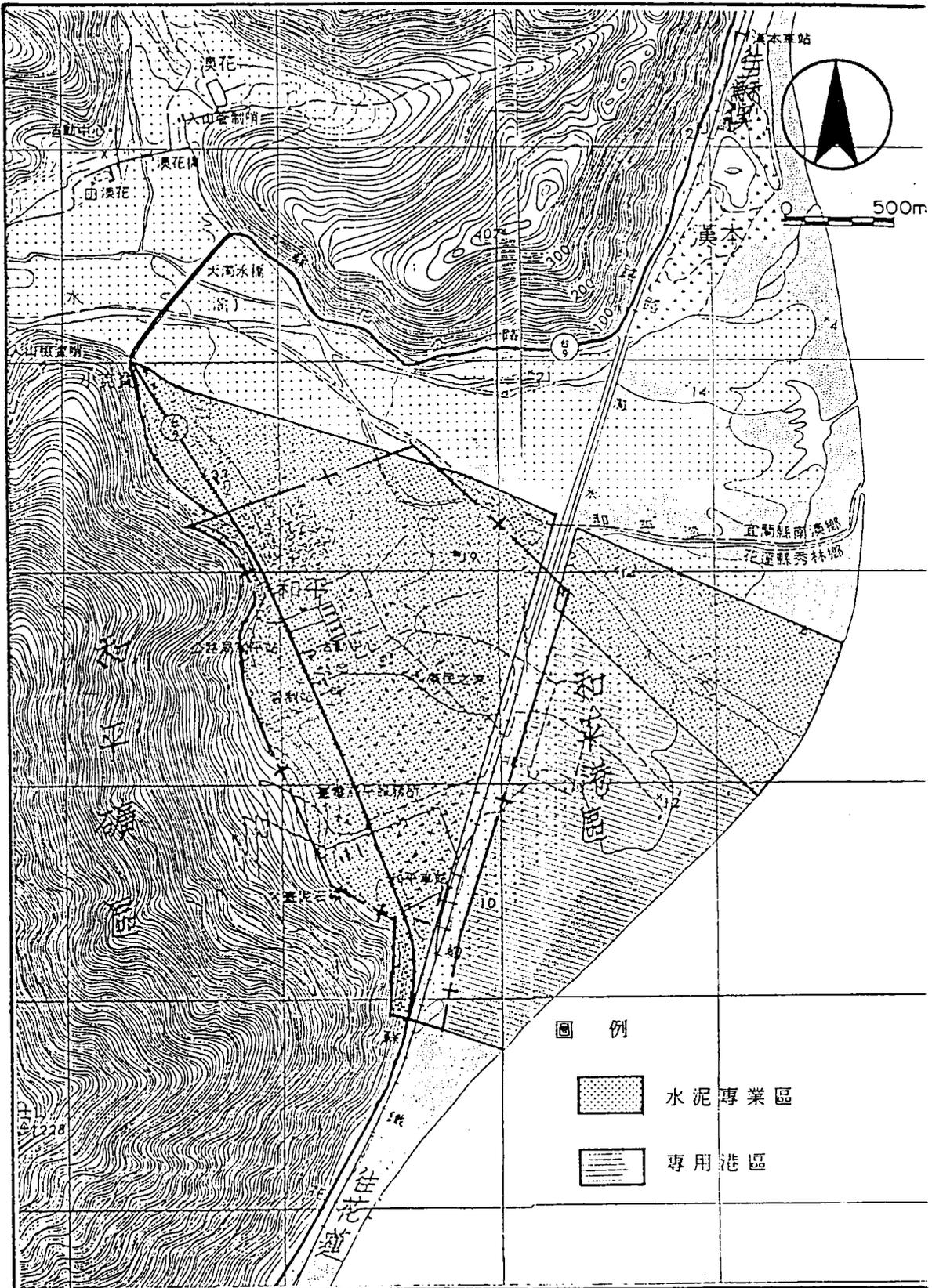
台灣地區水泥廠主要集中於西部，而其中高雄地區之石灰石礦權，於民國81年起陸續到期，預計於民國86年將全部結束，本地區水泥產量約佔台灣地區產量之一半，其礦權結束，對水泥工業將造成重大衝擊，嚴重影響水泥來源。而台灣東部蘊藏有豐富石灰石礦可作爲未來水泥生產來源主力地區。因此，經濟部乃於民國73年經評估和平、三棧、南華、志學、佳民及池南等地區後選定以和平爲設置水泥專業最佳地點，並已列入國家建設六年計畫之林。

## 二、水泥專業區簡介

和平水泥專業區位於花蓮縣秀林鄉和平村，位置詳圖一所示。本水泥專業區可分爲二個部份，一爲水泥廠區，面積爲307公頃，另一爲專用港區，面積爲145公頃，未來預計可容納8~10家水泥廠，每個水泥廠年產量爲100~300萬噸，預計整個專業區年產1300萬噸水泥。

本專業區開發特色爲純由民間業者投資，而廠區與港區之開發模式爲：

1. 本專業區內之水泥廠區及社區由土地開發單位負責籌措資金開發，並由土地出售價款收回開發費用。
2. 專用港之開發則由民間自行投資開發，並於港口進出貨物之收費回收建港及維護成本。



圖一 和平水泥專業區及專用港位置圖

### 三、專業區進出貨物及輸運途徑說明

未來進出和平水泥專業區之貨物為專業區所生產之1300萬噸水泥成品，生產水泥所需之燃副料360萬噸及800萬噸石灰石由和仁運至和平（部份設廠業者其礦權在和仁地區），總計因和平水泥專業區開發後，進出和平地區之貨物量將達每年2400萬噸。

和平位於花蓮縣與宜蘭縣交界，南北各距花蓮及蘇澳各約50餘公里，將來和平水泥專業區生產之水泥，主要供內銷運往西部，可行之運輸方式係利用海運運至西部現有港口，再分銷各地，而東部現有花蓮及蘇澳兩港，使用花、蘇兩港除需有港埠設施配合外，其他陸運尚需配合加以改善。

### 四、和平水泥專業區使用花蓮港之可行性

花蓮港四期擴建後可提供運量3000萬噸，而目前其運量僅達600餘萬噸，其剩餘運量可吞吐和平水泥專業區生產之水泥成品及燃副料，若和平水泥專業區進出使用花蓮港，可避免花蓮港四期擴建投資浪費，惟和平距花蓮52公里，茲將陸運之可行性分析如下：

#### 1. 在鐵路運輸方面：

目前北迴鐵路之路線使用率由和平至蘇澳間為138.9%，和平至花蓮間為89.7%，以此運能而言，不能滿足專業區之運輸需求，因此皆寄望於北迴鐵路雙軌化之實施，北迴鐵路雙軌化工程預定於民國81年至87年實施，根據鐵路局「北迴鐵路雙軌化可行性研究」報告，北迴鐵路雙軌化後至民國100年能提供之貨運量約1千萬噸，目前北迴鐵路之貨運量約3佰萬噸（台泥蘇澳廠擴建後，預估運量達5佰萬噸），若加上貨運之自然成長，至民國100年北迴鐵路能提供和平專業區之貨運量所剩無幾，且鐵路運輸係以客運為主，當客運成長時，貨運自然被取代，因此，以和平水泥專業區之產量（成品及燃副料1900萬

噸)，若要利用鐵路運輸，則必需再建專線（此專線僅能供和平水泥專業區使用，對繁榮地方助益不大），此專線之建造成本須由何者負擔（初估其建造成本遠超過建港成本）？三軌計畫何時能實現（目前只有西部部份地區有三軌鐵路），等等皆為問題，況且和平水泥專用港由水泥業者投資興建。

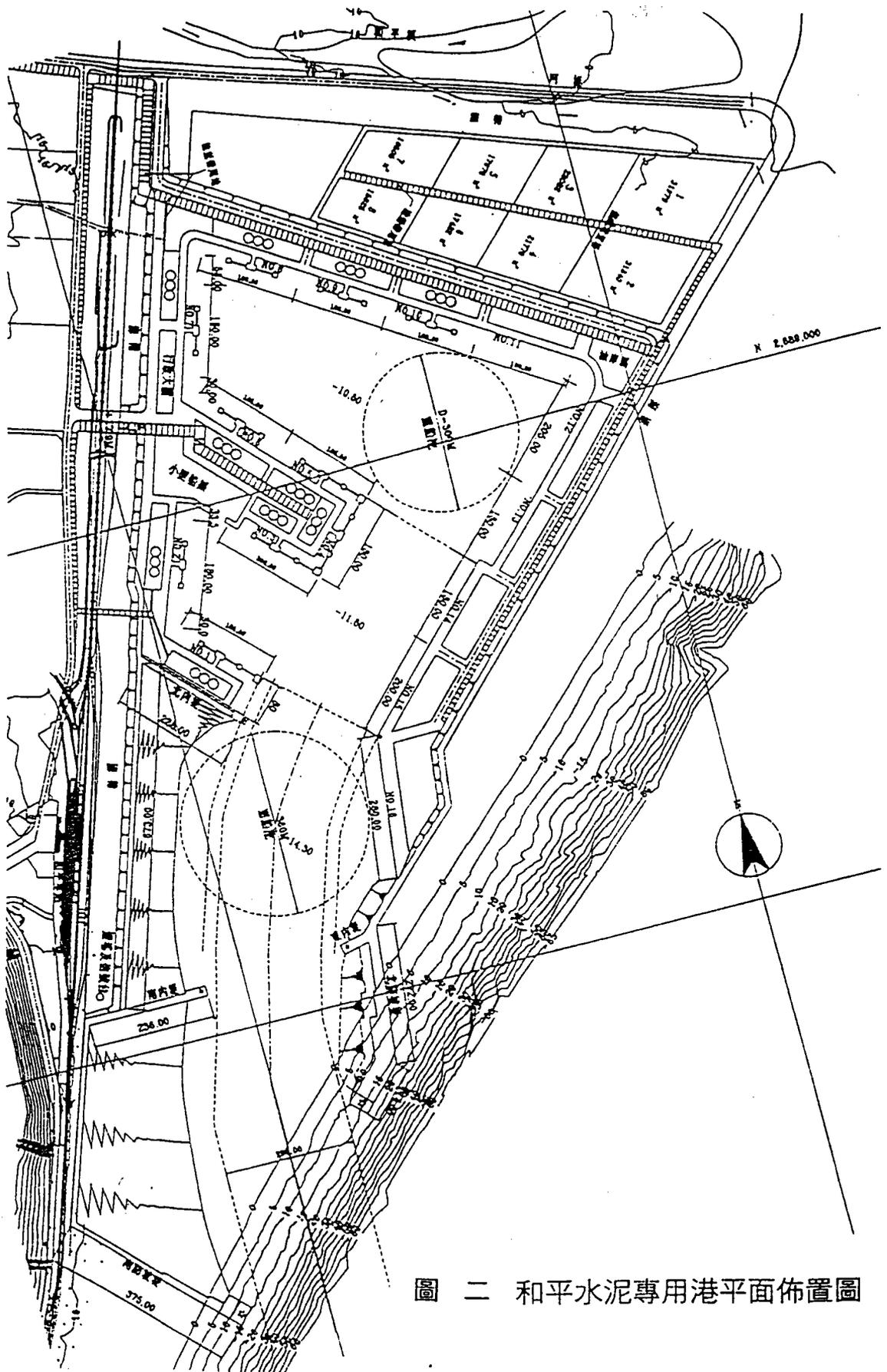
由和平至花蓮間鐵路尚距52公里，且以目前之運費水準而言，由和平運一噸水泥至花蓮港，其鐵路運費加上運輸列車之折舊及人事費用其成本將達120元，再加上花蓮港之費率約20元，則每噸水泥由和平運至花蓮再運抵西部各港須增加140元之運費，而由和平直接以船運運至西部各港，則收管理費45~75元之間（管理費之差距視其貸款比例而定，詳中華開發公司「和平水泥專業工業區工業專用港投資開發計畫」），而海運由和平及花蓮港之差異不大，則每年以1900萬噸之運量而言，運費節省將高達12億至18億之間，且鐵路之運費，可能隨物價指數波動而調整，而和平港之管理費則在其營運期間費率不變，此差異不可不加以考量。

## 2. 在公路運輸方面

假設水泥運輸卡車每車次可載運24噸，燃副料每車次25噸，每年以330天計算，估計每日蘇花公路上增加水泥運輸卡車3,086車次，燃副料1,010車次，總計增加4,090車次，折算成小客車當量為20,480PCU，以行車速度60km/hr設計，而再增加四車道（容量為30,000PCU）方可容納此運輸量，姑不論公路之建造費用遠大於建港費用，純就運費之角度而言，由和平至花蓮公路費率為每延噸公里4.47元（根據79年汽車貨運調查報告），因此每噸水泥需負擔約250元之運費。

## 3. 綜合分析

基於上述之考量，和平水泥專業區對外之運輸系統以在和平建水泥專用港為較佳方案，和平水泥專用港規劃平面佈置詳圖二所示。



圖二 和平水泥專用港平面佈置圖