

MOTC-IOT-IHMT-HD8903

八十九年度港灣技術研究中心 基本研究計畫成果論文集

編輯：出版小組

交通部
運輸研究所

港灣技術研究中心

中華民國八十九年十二月

目 錄

研 1	台灣地區港埠等待模式之驗證研究.....	單誠基	1-1
研 2	台灣地區整體港埠發展再檢討之研究.....	王慶福	2-1
研 3	台灣地區國際港附近海域海氣象現場調查分析研究	曾相茂、簡仲璟、蘇青和	3-1
研 4	屏東林邊海岸沖淤調查研究(IV).....	黃清和、蔡立宏、陳明宗、吳基	4-1
研 5	台灣港灣及海岸數位圖像資料庫建立之研究.....	邱永芳	5-1
研 6	花蓮港港內和港外長波數值模式研究.....	徐進華	6-1
研 7	台灣東部港灣波浪預警系統之應用研究.....	何良勝、邱永芳	7-1
研 8	風場、波場及流場暨其於結構體影響下之波譜型及子波型共關 頻振現象研究.....	李勇榮	8-1
研 9	淡水港海域海岸地形變遷研究.....	洪憲忠、邱永芳、林柏青、蔡金吉	9-1
研 10	地工織物在海岸與港灣工程之應用研究.....	李豐博	10-1
研 11	安平港地震監測與港灣資料查詢系統.....	賴聖耀、李延恭、陳志芳	11-1
	台中港港區三維地理資訊建構系統.....	謝明志、賴聖耀、陳志芳	11-11
	港灣 GIS 系統 - 台中港海氣地象資料分析及查詢.....	蘇青和	11-19
研 12	利用電阻錐調查台灣港區土壤工程性質之研究.....	陳圭璋	12-1
研 13	港灣環境下高性能結構體之性質研究(三).....	饒 正	13-1
研 14	現有結構物之安全評估及維護研究(四) 電化學處理對混凝土性質變化之探討.....	陳桂清	14-1
研 15	非線性波浪推算數值模式研究 台灣東部波浪特性分析.....	簡仲璟、陳明宗	15-1
	非線性波場推算模組 Mike21 BW 之探討.....	蘇青和、陳冠宇	15-13
	Harbor Oscillations Induced by Nonlinear Transient Waves	Philip L-F. Liu、Ting-Kuei Tsay、Ching-Ho Su	15-23
研 16	台灣四周海域海流數值模擬研究.....	莊文傑、江中權	16-1

台灣地區港埠等待模式之驗證研究

單誠基¹

執行單位：規劃設計組

政府出版品統一編號：009254890112

計劃編號：MOTC - IOT - IHMT - DA8901

全程期間：88/07/01~89/12/31

執行期間：88/07/01~89/12/31

摘 要

等待理論是唯一以數學方法求得碼頭目前設施使用狀況。如船席使用率、船舶等待時間等。等待理論中三大要素：1. 船舶到達時間間隔機率分配 2. 接受服務時間機率分配 3. 船席數，要經統計檢定才能確定等待模式。等待模式是等待理論的實踐。

本研究分為三大部份：1. 等待理論的說明。2. 耳郎公式與卡方與 K-S 統計檢定適合度方法比較。3. 以基隆、台中、高雄各港之 88、87 年船舶動態資料為準以 K-S 方法作檢定。

一、前言

1.1 研究緣起與目的

國際海運的規劃首重港埠運量分析與預測及各港埠之能量估計。運量分析與預測主要在依過去資料進行系統化分析，進而對於未來可能運量需求予以預測。港埠能量估計主要在計算已知設施資源與營運方式下所能完成之運輸能量估算，運用系統模擬或數學理論法以瞭解不同方案下系統狀況。

¹ 港灣技術研究中心副研究員

系統模擬是實際作業的重現，對港埠作業的流程實務及限制均要模仿。實際撰寫程式時細部複雜，同時需要資料量大蒐集不易。目前都以數學理論法為之。過去機率理論及目前等待理論是唯一遵守法則。等待模式建立要經過統計學的檢定手續。過去文獻報告，貨櫃船到達時間間隔分配與服務時間分配符合(M/M/S)或(M/E2/S)模式，日後大多報告就以此為範例，很少再作統計檢定。

現在貨櫃運輸營運上有出租碼頭、港務局自營碼頭，制度上有優先靠泊，航商手段上有結盟互租艙位等不同。等待模式是否改變值得探討。至於其他貨種船舶文獻上鮮有討論。本次研究就是從等待理論到模式檢定作一完整介紹，並以台灣地區西部國際商港為例，各貨種船舶到達時間間隔機率分配與服務時間機率分配作統計驗證。

1.2 研究範圍與內容

本計畫探討台灣地區港埠等待模式之驗證，以台灣西部國際商港基隆、台中、高雄為主要。等待模式中之主要因素為到達時間間隔分配、接受服務時間分配、船席數。要先擬定三要件定義，才能要求港務局提供相關資料。到達時間為船舶到達外海報到時間；接受服務時間過去文獻都以離開碼頭時間 - 靠泊碼頭時間，這樣產生二個疑惑(進出港航行時間與移泊船的影響)，避免疑惑本研究以接受服務時間就是在港時間也就是船舶出港時間 - 船舶進港時間；船席數是有確定用途的碼頭數量。如谷類碼頭後線有谷倉，水泥碼頭後線有水泥圓倉...以此類推，這樣每座船席只有單一用途，用途不明就變成雜貨碼頭。

1.2.1 工作內容

- 1.本研究首先至各港務局蒐集 87 年之船舶動態資料檔。
- 2.就全港之船舶動態資料中分離出各類船舶之動態資料。
- 3.就各類船舶之動態資料中，分離出專用船席船舶之到港服務情形。
- 4.利用 K-S 之檢定，分析上述資料之統計機率分配特性。

5. 建立標準化程序 - 從資料取得、分析整個過程有一定步驟，並檢定完成。再蒐集 88 年之船舶動態資料檔，重新分析一次，其結果與 87 年比較。
6. 將港務局提供資料分成原始檔與整理過 Excel 檔，公布在本中心 FTP 伺服器上，網址為 ftp://sumou.ihmt.gov.tw，anonymous user logged in 供研究者參考。

1.3 研究步驟

本研究主要工作為就是分析船舶動態資料，該項資料無法自各港務局出版之統計年報、要覽等取得，必須從各港資訊室取得。各港資料紀錄的格式不同，台中港資訊網路是 PC 組成，船舶動態資料是 DOS 版以 dbase 資料庫型式記錄；高雄港與基隆港分別為 VAX 和 IBM 主機型式，記錄格式是連續性固定位置。高雄港願意提供全部船舶動態資料 HMF 檔及貨櫃裝卸撮綜資料 efc 檔與非貨櫃裝卸撮綜資料 eff 檔。基隆港只提供所要求的資料。

1.3.1 到達時間設定

基隆港資料有船舶實際到達外海時間與預計到達時間；台中港船舶動態資料有到達時間；但高港只有下錨時間與起錨時間。

本研究以下列方法進行：

1. 下錨時間為到達時間，沒有下錨時間以進港時間取代。
2. 各港資料中日期、時間記錄格式不同，為統一格式，全部轉換成 Excel 軟體使用標準時間(年/月/日 時:分)格式。
3. 注意船舶有無移泊情形。
4. 船席數量依船席位置、水深、長度或特別意義，再配合船舶種類來決定。

1.4 國內為何只有數位學者完成檢定工作？

國內顧問公司受委託研究出版報告中有關港埠能量部份對等待模式都強調

要先檢定船舶到達時間間隔分配與接受服務時間分配才能決定等待模式。但往往故意忽略這部份，可能原因有四：

- 1.原始資料不易獲得，委託研究時間很短，資料獲得費時，時間上不易控制。
- 2.原始資料得到後要分析檢定，如果用卡方檢定，使用人工作業，作業時間拉長。
- 3.手邊沒有參考書籍可用，如 *Queuing Tables and Graphs*。檢定結果如果不是(M/M/S)模式應用上就有困難。
- 4.如果不是任何一種等待模式，如何處理。

所以檢定工作只有寥寥數位學者及運輸研究所完成。

二、等待理論

2.1 等待理論

等待理論以研究電話線路交換及等待問題上。以離散性(discrete)數學導衍生出來，廣泛應用有等待現象之各行各業。國內銀行櫃台為最典型之等待例子。抽到號碼牌進入等待線，然後依號碼接受服務後離去。港埠船舶到港、等待、裝卸和出港也有同樣效果。等待理論導引出各種等待模式(Queuing model)去解釋各種等待現象，最主要構成因素有：

- 1.船舶到港時間間隔分配
- 2.船舶接受服務時間分配
- 3.船席數

2.2 等待系統

港灣應用方面使用多線性服務模式。本系統之多線服務係指多個服務者，而依然只有一條等待線或等待線之計算係各個服務者綜合計算，並非各個服務

者各形成一條獨立之等待線，其定義如圖 3.1。

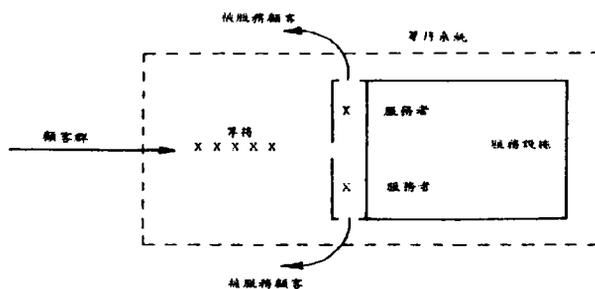


圖 2.1 典型等待系統

2.3 等待系統之表示方法

一個港埠等待系統之結構，可由下列四個不同特性來描述

(a/b/c): FCFS

a: 表示前後兩艘船到達時間間隔之分配

b: 表示被服務之時間分配

c: 表示提供服務者數量

FCFS: 表示先到先服務

其次，我們常以下述符號來表示 a 與 b 分配之特性:

M: 到達時間間隔或被服務之機率分配為負指數函數

E α : 到達時間間隔或服務時間之機率分配為 Erlang (耳郎)函數，其中 α 為形狀參數(正整數)，當 $\alpha=1$ 時耳郎函數簡化成負指數函數

D: 到達時間間隔分配與服務時間分配為定值

2.3.1 等待系統變數代表意義與數學關係

λ : 單位時間平均到達率

$\frac{1}{\lambda}$: 到達之平均時間間隔

L : 系統中之個數

Lq : 等候線之個數

μ : 單位時間平均服務率

$\frac{1}{\mu}$: 平均服務時間

Wq : 等待被服務之時間

W : 在整個等待系統中所停留之時間

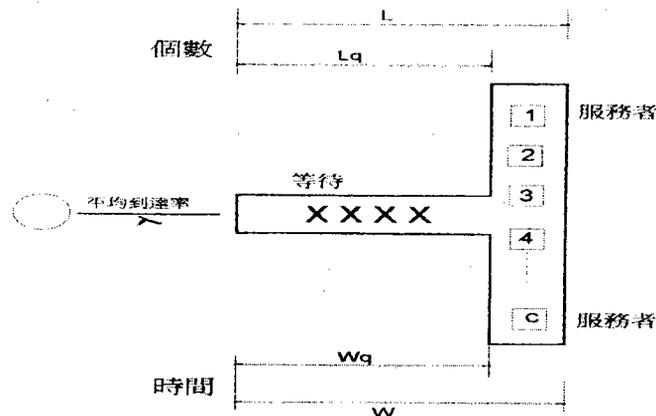


圖 2.2 等待系統中變數代表意義

變數之間數學關係為:

$$L = Lq + \frac{\lambda}{\mu} = Lq + c\rho$$

$$Wq = \frac{Lq}{\lambda}$$

$$W = Wq + \frac{1}{\mu} = \frac{Lq}{\lambda} + \frac{1}{\mu}$$

2.4 “Queueing Tables and Graphs” 記載等待模式

前章提到使用等待模式必須有參考書籍為依據，因為統計檢定後決定等待模式，後續工作是從船席使用率決定等待長度 Lq 。

首先在(M/M/S)模式下求 Lq 要使用下列三個公式分別為：

$$\phi = \frac{\lambda}{\mu} ; \quad \phi: \text{需求密度}$$

$$P_0 = \left(\sum_{n=0}^{s-1} \frac{\phi^n}{n!} + \frac{\phi^s}{s!} \cdot \frac{s}{s-\phi} \right)^{-1} ; \quad s: \text{船席數}$$

$$Lq = \frac{\phi^s \cdot \lambda \cdot \mu}{(s-1)(s\mu - \lambda)^2} \cdot P_0$$

三、統計檢定

3.1 Kolmogorov – Smirnov 檢定法

Kolmogorov – Smirnov 檢定法簡稱 K-S 檢定法，可用於作適合度檢定此法的步驟：

1. 計算理論分配各階段的累加機率 $F(x)$
2. 計算實際分配各階段的累加機率 $S(x)$
3. 計算各階段理論分配與實際分配累加機率之差的絕對值 $|F(x) - S(x)|$ 。
4. 找出 K-S 檢定的統計量 $D = \max |F(x) - S(x)|$ 。
5. 查 K-S 檢定附表，由樣本大小 n 顯著水準 α ，找出臨界值 $D_{\alpha/2}$ 。當 $D > D_{\alpha/2}$ 時，則拒絕 H_0 。

3.2 K-S 檢定法的理論基礎

如實際分配不適合母數已知的理論分配或母體分配，則 $F(x)$ 與 $S(x)$ 相去甚遠，故當 D 大時，應拒絕 H_0 ，表示實際分配與母數已知的理論分配或母體分配不配合。

3.3 K-S 檢定法異於卡方檢定法有下列四項：

1. K-S 檢定法以機率或相對次數為依據，進行檢定工作可除去檢定效率受樣本大小 n 的影響。
2. 不必要求理論次數需大於等於 2 或 5，故不必將分組資料合併，為它保持原有資料的面貌。
3. 在小樣本的情況下，卡方檢定法不能使用，K-S 檢定法仍然適用。
4. K-S 檢定法的檢定法的使用必須要求母體已知或母數已知，而卡方檢定法可以統計計量估計母數，而進行檢定。

3.4 求理論分配各階段累加機率 $F(x)$

上述卡方檢定與 K-S 檢定比較，很明顯 K-S 法較適合等待模式檢定工作。接下來決定 $F(x)$ 值。從第二章知道 Erlang (耳郎) 機率分配公式包括負指數函數，為了一勞永逸，本研究使用耳郎公式作理論分配機率函數

1. 機率函數 $f(x)$ $f(x) = \frac{\mu}{(\alpha-1)!} (\mu x)^{\alpha-1} e^{-\mu x} \quad x > 0, \alpha > 0, \mu > 0$

α : 形狀參數

2. 累加機率 $F(x)$ $F(x) = 1 - e^{-\mu x} \sum_{i=0}^{\alpha-1} \frac{(\mu x)^i}{i!} \quad x > 0, \alpha: \text{正整數}$

3. 期待值 $= \frac{\alpha}{\mu}$

4. 變異數 $= \frac{\alpha}{\mu^2}$

四、台中港 88 年各類船舶等待模式驗證

4.1 88 年貨櫃船

1. 公用碼頭#9、#10、#11 三座。到達時間間隔分配為負指數分配；服務時間分配為耳郎分配，形狀參數為 6。等待模式為(M/E6/3)。
2. 萬海航運#31 碼頭，到達時間間隔分配為負指數分配；服務時間分配為耳郎分配，形狀參數為 5。等待模式為(M/E5/1)。
3. 立榮海運#32、#33 兩座碼頭，到達時間間隔分配為負指數分配；服務時間分配為耳郎分配，形狀參數為 6。等待模式為(M/E6/2)。

4.2 88 年油船

1. 西碼頭區 W1~W4 四座營運碼頭，這區屬有危險性化學品，移泊船有 100 艘次之多，到達時間間隔為負指數分配；服務時間分配為耳郎分配，形狀參數為 2。等待模式為(M/E2/4)。
2. 2 號與 4 號碼頭，食品加工用管道貨，移泊船有 60 艘次，到達時間間隔分配為負指數分配；服務時間分配接近負指數分配。等待模式接近(M/M/2)。

4.3 88 年雜貨船

1. 5A、8A、12-15、22-26 共 11 座，移泊船有 38 艘次，汽車船、礦砂船都可能來泊靠，使用情形複雜。到達時間間隔為負指數分配；服務時間分配為耳郎分配，形狀參數為 2。等待模式為(M/E2/11)。
2. 5、6、7、8 四座碼頭，到達時間間隔為負指數分配；服務時間分配為負指數分配。等待模式為(M/M/4)。

4.4 88 年散貨船

1. 29、30 碼頭。此兩座碼頭位於中突堤轉彎處，面對主航道波浪進港後首當其衝，所以泊靠船舶較少。到達時間間隔為負指數分配；服務時間也是負指數分配。等待模式為(M/M/2)。

2. 水泥船屬散裝貨，但有專用碼頭，4A、27、28 三座後線有多座水泥圓倉，到達時間間隔為耳郎分配，形狀參數為 2；服務時間分配為耳郎分配，形狀參數為 3。等待模式為(E2/E3/3)。

4.5 88 年煤碼頭

101、102 為台電煤碼頭。港務局規定夜間不准煤船進出。到達時間間隔為負指數分配；服務時間分配為耳郎分配，形狀參數為 13。等待模式為(M2/E13/2)。

4.6 88 年谷類船

1、3 二座碼頭，後線有大型谷倉，這是專用碼頭，沒有他船泊靠。由於 921 地震後輸送設施損壞停止使用。到達時間間隔為負指數分配；服務時間分配為耳郎分配，形狀參數為 3。等待模式為(M/E3/2)。

五、結 論

1. 各船種到達時間間隔與服務時間同時通過 K-S 統計驗證，成立等待模式。一般而言，等待模式沒有固定。
2. 服務時間以在港時間定義，除去移泊船更能符合等待理論基本精神。
3. 到達時間間隔機率分配符合負指數函數，也就是耳郎函數，形狀參數為 1，到達船舶愈多，通過驗證機會愈大。
4. 服務時間機率分配變化情形較多。
5. 船期安排愈精準，到達時間間隔分配較難滿足機率分配。
6. 從資料取得整理，K-S 檢定作到模組化，需要決定的是提供服務碼頭有那些。
7. 基隆貨櫃碼頭雖沒有出租，但優先靠泊制度、後線出租等措施，意義上限定航商使用。

8. 高雄港、台中港、基隆港港區廣大，雜貨船靠泊應會選擇條件相同鄰近碼頭使用。

台灣地區整體國際港埠發展再檢討之研究

王慶福¹

執行單位：規劃設計組
政府出版品統一編號：009254890192
計劃編號：MOTC - IOT - IHMT - DB8902
全程期間：88/07/01~89/12/31
執行期間：88/07/01~89/12/31

摘 要

『台灣地區整體國際港埠發展再檢討研究』主要係針對近幾年來之港埠周遭環境變化，檢討台灣地區整體國際港埠所應有之發展方向及定位，在檢討之過程中可知，由於有『台灣地區整體國際港埠發展規劃』為依據，各港在經營管理方面有一很大之進展，同時由內外環境之分析可知，近幾年來變化很大，為因應今後之發展，建立一『現代化、國際化之港灣』，今後整體港埠發展目標將朝促進港埠現代化、提昇港埠功能、強化港際整合來發展，同時，在各港之發展定位上，配合今後發展遊憩休閒，所以導入了此種功能；鑑於整體規劃每五年重新檢討，所以在運量預測上儘可能簡化預測模式，以提供作為近中程執行計劃之依據，遠程運量則提供作為發展趨勢之探討。

一、前言

『台灣地區整體國際港埠發展規劃』係為配合亞太營運中心計劃之海運轉運中心，所進行整體國際商港第一階段之整體規劃，以作為各國際商港進行整體規劃之上位計劃，因此係以整體之觀點，經由檢討亞太地區海運及港埠市場之發展，研擬台灣地區港埠發展策略及各港發展定位及功能，以使有限之港埠資源能發揮最大之效果；本案經行政院經建會委員會議審議後，各港即依所擬發展策略

¹ 臺灣技術研究中心研究員兼組長

進行整體規劃及未來發展計劃，並依商港法規定陳報核定；由於經建會委員會審議有『本案規劃應視經濟發展、國際情勢、國家政策及實際需要等適時檢討修正，每五年至少應通盤檢討一次』之結論，而『台灣地區整體國際港埠發展規劃』係本中心於民國八十四年所辦理，迄今已近五年，在國際海運情勢及國內社經環境之改變下，台灣地區國際港埠之發展目標及策略以及各港之功能定位等，是否應加以調整等，均有加以重新檢討之必要，基此，本研究將經由通盤檢討過去之發展成效，以及近年之環境變化，研提未來發展目標及策略，以作為各港進行整體規劃之依據。

二、內外部環境綜合分析

2.1 內部環境之歸納分析

1. 台灣地區海運發展

民國 88 年台灣進出港貨物吞吐量總計 20,109 萬噸(M.T)，其中進港貨物，佔總吞吐量之 76.7%，出港貨物佔總吞吐量之 23.3%。而進出港貨運量主要係由高雄港來承擔(佔 55.06%)，次為台中港(佔 23.1%)，再次為基隆港(佔 12.17%)、花蓮港(佔 6.94%)及蘇澳港(佔 2.73%)，可見高雄港在台灣地區國際商港中地位之重要性，而基隆港所佔比率卻日益衰退。

民國 88 年台灣各港貨櫃裝卸量總計 976 萬 TEU，其中進口櫃佔 29.3%，出口櫃方面佔 30.5%，轉口櫃佔 40.2%。就整體而言；進出口所佔比例逐漸減少，轉口量佔全部貨櫃量之比例逐漸提高，其中以高雄港最多，由此可見轉口的確是高雄港的重要業務，同時也因為轉口的利基成就了高雄港為世界第三大貨櫃港之地位，而長久以來一直扮演台灣第二大轉口港地位的基隆港，自民國 86 年起，由於台中港採出租碼頭策略，開始被台中港超越，這樣的現象可以視為港際競爭的結果。

2. 港埠發展現況

台灣地區現有基隆、台中、高雄及花蓮四大國際商港擔負對外貿易之主要據點，此外，蘇澳、台北、安平等三輔助港，則分擔國際港之部份功能，近幾年所完成之設施如下：

- (1)基隆港自民國 87 年 7 月起實施『外港航道迴船池拓寬及濬深計劃』
- (2)高雄港完成第五貨櫃中心的興建及出租作業。
- (3)台中港完成西 3、西 4、33、34、35、99 等碼頭的興建，同時已與民間業者簽約合作興建西 5、西 6 化學品碼頭。
- (4)台中港 177 公頃倉儲轉運專區土地完成委託經濟部加工出口區經營管理。
- (5)台北港完成第一期工程，第二期工程正積極進行中，預定第二期工程完成將有 7 席貨櫃碼頭加入營運。
- (6)布袋國內商港完成第一期工程，正式開放營運。
- (7)台塑麥寮港開放營運。
- (8)台泥和平港完工開放營運。

3. 經營管理

近幾年來所完成之改革頗具成效，計完成：

- (1)碼頭工人僱傭制度合理化
- (2)開放民營裝卸承攬業
- (3)通過 ISO 9002 的品質認證。
- (4)實施彈性費率
- (5)1999 年 7 月各國際商港改隸交通部
- (6)基隆港建立專戶經理人制度，遴選年輕、高學歷、具服務熱忱之員工擔任專戶經理人，提供單一窗口的服務。
- (7)高雄港對於出租貨櫃碼頭同意可增加共同使用人，承租碼頭者可擁有自己的裝卸設備或價購高雄港務局機具等裝卸設備。
- (8)獎勵民間投資港埠設施
- (9)成立境外航運中心
- (10)各港配合通關自動化，與關貿網路(Trade VAN)連線，扮演貨主、航商與關稅局之橋梁，提供資訊的查詢與傳輸。

4. 過去 5 年各國際商港執行整體港埠發展策略之成效值得肯定

2.2 外部環境歸納分析

1. 海運發展趨勢

- (1) 貨櫃船持續大型化
- (2) 航線軸心化
- (3) 航商多角化發展
- (4) 海運聯盟重組與合作盛行

2. 經貿發展分析

- (1) 隨著近年台商在亞洲新興工業國家投資熱絡，帶動與當地的雙邊貿易，對亞太市場的依賴日益提高。
- (2) 近年來出口成長主要仰賴重化工業產品，主要因電子產品、資訊與通信產品、光學器材及機械等增加較為顯著，帶動重化工業產品出口的擴增。
- (3) 進口貨品結構為(1)農工原料、(2)資本設備、(3)消費品；資本設備進口的增加主要係資訊與通信產品、機械及光學器材進口的擴增。
- (4) 近年我對大陸之出口比重大約佔我總出口的 16% 左右，為僅次於美國、香港的第三大出口市場，自大陸進口金額則大約僅佔我進口總額的 3% 左右，我自大陸輸入持續擴增係因國內製造業生產活絡，而兩岸產業分工形態逐漸形成，且我持續擴大開放大陸地區物品進口項目與簡化程序所致。
- (5) 加入 WTO，我國必將面對要求開放市場的衝擊，故須及早進行必要的產業結構調整，使資源能作更有效率之配置，以強化我國國際競爭力。
- (6) 亞洲金融危機後東亞各國經濟已由谷底回升

3. 亞太及大陸地區港埠發展

- (1) 1997 年香港回歸大陸，香港的自由化與國際化面臨考驗。

- (2)中國大陸實施「政企分開」政策，相繼有香港和記黃埔公司投資上海港、鹽田港、廈門港，提升了大陸港口競爭力。
- (3)物流(Logistics)，為亞太地區各港所重視，是各港在爭取成為海運中心時均極力爭取之業務。
- (4)亞太地區貨櫃運輸將持續成長，因此亞太各港均相繼投資深水貨櫃碼頭，以確保本身的競爭力。
- (5)香港仍是台灣地區港埠最大競爭者，7~10 年後假設上海港長江航道整治成功，上海港將亦是台灣地區港埠未來潛在的競爭者。
- (6)自由化、民營化為港埠經營管理之趨勢。

三、整體國際港埠之優勢、劣勢、機會、威脅

1. 優勢分析

- (1)台灣地區港埠位處亞太地區的中央，地理區位優越。
- (2)台灣經濟雄厚，進出口貿易量大，貨源充裕。
- (3)港埠運輸成本約為香港的一半，競爭力高。
- (4)台灣擁有三個主要貨櫃港，定期航線密集，有利轉口業務發展。
- (5)高雄港為世界第三大貨櫃裝卸港，港域遼闊，氣候良好，航道迴船水域充足，可供第四代貨櫃船全天候彎靠。同時貨櫃營運基地充足，後線關聯產業發展快速。
- (6)高雄港、台中港港區外圍地緣平坦遼闊，鄰近工業區，可搭配運用之土地充裕，有利於發展加工出口、倉儲轉運、經貿園區，以提高附加價值。
- (7)高雄港、台中港貨櫃碼頭出租專用為主，租金採固定年租金方式，承租航商隨使用率的提高，可降低單位運輸成本，易達到經濟規模。
- (8)裝卸作業民營化、碼頭工人僱傭問題的解決，航商普遍給予極大肯定，因此更鞏固台灣成為東亞地區轉運中心之地位。

2. 弱勢分析

- (1)海關作業相較香港、新加坡港繁複，致使整個貨櫃作業流程延長。
- (2)港埠作業資訊化、自動化程度較香港、新加坡港落後。
- (3)自由化、國際化亦較香港、新加坡港低。
- (4)現行法規跟不上時代的腳步，無法即時反映市場的需求。
- (5)引進民間資金投入港埠建設之程度，遠較香港、上海港低。
- (6)行政效率不及香港、新加坡港高。
- (7)政府財政困難，目前各港已有經費不足的問題，將影響到各港的建設。

3. 機會分析

- (1)海峽兩岸若全面直航，則大陸福建、浙江乃至於江蘇等以北省份之貨櫃如以台灣為中轉港，以航運經濟觀點而言，將可吸引大量華中、華南乃至原由香港轉運之貨源。
- (2)政府積極推動台灣成為亞太營運中心，進行港埠各項軟、硬體建設，增強對外競爭能力。
- (3)財政部已頒佈「物流中心貨物通關辦法」，目前在港區設立國際物流中心已有法可循，將可提昇轉口貨物的附加價值，而吸引航商將基地設在台灣。
- (4)「獎勵民間參與交通建設投資條例」、「促進民間參與公共建設法」已完成立法，有利吸引民間資金投入港埠建設與經營。
- (5)加工出口區正進行轉型為倉儲轉運專區，即是第二代的加工出口區，其結合製造、研發、設計、組合、發貨等功能。因此隨著加工出口區的轉型將有機會為港埠帶來更多的貨源。

4. 威脅分析

- (1)因產業的升級，產品朝向「短、小、輕、薄」發展，加上國內廠商外移直接影響出口貨櫃量。
- (2)亞太地區新興工業國家，紛紛搶建港埠，以爭取營運中心發展之機會，在貨源有限之下，必然形成競爭局面。

- (3)上海港貨櫃成長快速，目前已進行長江航道浚深(預計 7~10 年完成)，雖短期將不會對台灣港埠構成威脅，但在中長期後以上海港擁有廣大長江的經濟腹地，加上積極的吸引外資投入，將會對台灣構成威脅。
- (4)目前海峽兩岸尚無法全面通航，大陸華南、華中貨物無法藉由台灣轉運，對於台灣要成為轉運中心是一種威脅。
- (5)中共對我實施軍事演習，影響到台灣經濟安定性。

四、整體港埠發展使命與願景

1.使命(Mission)

不斷創新，追求卓越，推動自由化、民營化，塑造新世紀新港埠。

2.願景(Vision)

提高服務品質，降低服務成本，為提昇國際競爭力，厚植堅實基礎；發展全球運籌中心，營造有利條件。

3.整體港埠發展目標

(1)港埠功能

運輸功能：起迄港→轉口港→整合型物流港

生產功能：工業專業區→倉儲轉運區

生活功能：親水空間→休閒遊憩

(2)發展目標

以作為『現代化、國際化之港灣』來發展，因此整體港埠發展目標建議如下：

- ①因應時代需求，促進港埠現代化
- ②改善港埠環境，提昇港埠功能
- ③資源有效利用，強化港際整合

五、整體港埠發展策略

1. 因應船舶大型化，規劃大型貨櫃中心
2. 強化耐震碼頭，更新老舊設施
3. 擴大境外航運中心之功能，帶動海運轉運中心及全球運籌管理中心之發展。
4. 順應港埠功能多樣化，提供居民親水空間。
5. 構建完善海運系統，加強港際整合，促進港埠資源有效利用。
6. 落實整體國際港埠發展計畫，各港按核定之事項逐步推動各項建設，發揮多港一體之整體發展，以因應國際競爭。
7. 擴大航港電子資料交換系統(Port EDI)範圍，整合與航港業務相關(包括港埠、航商、貨主、海關、金融等)之網路系統，以達便捷資訊網路之目標。
8. 港勤業務進行民營化、引水服務市場加速自由化，以營造優質之港埠投資經營環境。

六、各國際商港發展定位

1. 基隆港

- (1)承擔北部區域貨源之主要國際商港。
- (2)海運轉運中心輔助港—高價值貨物進出口港。
- (3)以貨櫃為主、散貨為輔之港口。
- (4)環島航運之主要樞紐港。
- (5)結合觀光、親水性之港口。
- (6)兩岸直航港口。

2. 台中港

- (1)環島航運中心主要據點。
- (2)大宗散貨之進口港。
- (3)中部貨櫃進出口港。

- (4)海運轉運中心之輔助港。
- (5)區域性加工再出口及物流之後勤網路中心。
- (6)兩岸航運主要進出口港。
- (7)結合觀光、親水性之港口。

3. 高雄港

- (1)全國性綜合國際商港。
- (2)海運轉運中心—遠洋航線轉運中心。
- (3)兩岸直航港口，以服務大陸地區之轉口貨櫃。
- (4)結合海運轉運中心、商業特區與港埠資訊設備，發展成為高附加價值營運特區。
- (5)結合觀光、親水性之港口。

4. 花蓮港

- (1)台灣東部主要國際港。
- (2)環島航運之主要據點。
- (3)台灣東部水泥、礦石之主要出口港。
- (4)結合觀光、親水性之港口。

5. 蘇澳港

- (1)基隆港之輔助港。
- (2)承擔宜蘭地區貨物之裝卸港。

6. 台北港

- (1)基隆港之輔助港。
- (2)北部地區遠洋貨櫃主航線之作業基地。
- (3)北部地區大宗散貨(油品、水泥、砂石等)之主要進口及儲運中心。

(4)環島航運之主要港埠。

(5)港灣物流中心。

7.安平港

(1)高雄港之輔助港。

(2)分擔南部地區散雜貨運量之裝卸港。

柒、運量預測

民國 95 年								
貨物別\港埠別		基隆港	台中港	高雄港	花蓮港	蘇澳港	台北港	
散 雜 貨	進 出 口	穀類	38.48	404.41	416.11	0.00	0.00	0.00
		化學液散	55.20	180.14	296.73	0.00	22.93	0.00
		油品	125.65	61.62	33.19	2.00	0.55	0.00
		水泥	2.59	205.32	28.52	0.00	3.57	0.00
		煤	148.66	1,784.42	1,440.99	77.16	120.77	0.00
		原油	0.00	0.00	23.37	0.00	0.00	0.00
		金屬砂礦	90.82	3.51	1,193.68	8.30	3.68	0.00
		一般散雜貨	667.49	796.14	1,732.67	264.30	168.40	0
	國 內 航 線	水泥	180.00	511.00	391.00	626.00	466.00	224.00
		砂石	240.00	-	56.00	560.00	-	264.00
		油品	130.06	358.40	675.12	40.33	51.29	-
		煤	-	-	510.00	-	-	-
		礦石	-	-	150.00	150.00	-	-
		一般雜貨	28.22	8.95	90.97	28.16	-	-
散雜貨合計		1,707.16	4,313.91	7,038.34	1,756.25	837.19	488.00	
貨 櫃 貨	進出口	198.00	102.00	402.00	0.00	0.00	72.00	
	轉口	21.61	33.35	529.05	0.00	0.00	0.00	
	貨櫃貨合計	219.61	135.35	931.05	0.00	0.00	72.00	

民國 100 年								
貨物別\港埠別		基隆港	台中港	高雄港	花蓮港	蘇澳港	台北港	
散 雜 貨	進 出 口	穀類	21.64	454.79	467.94	0.00	0.00	21.64
		化學液散	27.60	180.14	296.73	0.00	22.93	27.60
		油品	62.82	61.62	33.19	2.00	0.55	62.82
		水泥	1.29	205.32	28.52	0.00	3.57	1.29
		煤	78.51	1,884.83	1,522.07	81.50	127.57	78.51
		原油	0.00	0.00	22.69	0.00	0.00	0.00
		金屬砂礦	60.05	4.65	1,578.42	10.98	4.86	60.05
		一般散雜貨	360.92	907.95	2,093.09	427.90	252.22	360.92
	國內航線	水泥	180	527	403	624	466	257
		砂石	240	-	64	640	-	336
		油品	130	358	678	40	51	-
		煤	-	-	510	-	-	-
		礦石	-	-	150	150	-	-
一般雜貨		32	10	107	32	-	-	
散雜貨合計		1,194.79	4,594.95	7,954.11	2,008.35	929.00	1,205.84	
貨 櫃 貨	進出口	198.00	116.00	401.00	0.00	0.00	161.00	
	轉口	23.00	35.49	563.03	0.00	0.00	58.48	
	貨櫃貨合計	221.00	151.49	964.03	0.00	0.00	219.48	

民國 110 年								
貨物別\港埠別		基隆港	台中港	高雄港	花蓮港	蘇澳港	台北港	
散 雜 貨	進 出 口	穀類	24.57	516.46	531.40	0.00	0.00	24.57
		化學液散	27.60	180.14	296.73	0.00	22.93	27.60
		油品	62.82	61.62	33.19	2.00	0.55	62.82
		水泥	1.29	205.32	28.52	0.00	3.57	1.29
		煤	87.59	2,102.64	1,697.96	90.91	142.31	87.59
		原油	0.00	0.00	23.95	0.00	0.00	0.00
		金屬砂礦	75.87	5.87	1,994.37	13.87	6.15	75.87
		一般散雜貨	401.15	1,000.82	2,287.53	450.44	267.92	401.15
	國 內 航 線	水泥	180	548	419	621	126	297
		砂石	240	-	80	800	-	480
		油品	130	358	683	40	51	-
		煤	-	-	510	-	-	-
		礦石	-	-	150	150	-	-
一般雜貨		38	13	130	37	-	-	
散雜貨合計		1,269.09	4,991.85	8,865.73	2,206.02	620.72	1,457.89	
貨 櫃 貨	進出口	198.00	142.00	493.00	0.00	0.00	243.00	
	轉口	28.95	44.67	708.76	0.00	0.00	73.62	
	貨櫃貨合計	226.95	186.67	1,201.76	0.00	0.00	316.62	

捌、建議

1. 因應工業專用港開發之對策

- (1) 工業專用港回歸交通部主管，納入全國整體港埠規劃
- (2) 落實工業港專用目的
- (3) 市場區隔，避開貨源重疊
- (4) 延伸腹地、開拓新市場
- (5) 策略聯盟

2. 因應港際整合提昇國內港功能

(1) 國內航運整體發展面臨之課題

- a. 船舶船齡老舊及使用率不高
- b. 國內航運船舶船型偏小而營運深受天候之影響
- c. 國內商港分擔國內航線貨物之運量有限

(2) 發展方向

- a. 國內商港為環島航運之據點、離島航線之主要輸出港，未來發展應考量區域產業特性，以滿足其腹地範圍運量需求為發展方向。
- b. 離島地區現有國內商港應配合今後國民旅遊休憩之需要發展觀光，並提昇港灣層次作為可直接與國外往來之輔助港，以利離島港埠之發展。

3. 運量預測應作為經常性之工作，並應指定專責單位從事經常性之港埠運量分析，以使各港能掌握最新狀態，並有助於今後預測品質之提昇。

4. 港埠功能之多樣化、精質化將是今後港灣發展之趨勢，為因應此種發展所相對應之相關法規亦應配合修正，以利今後計劃之推動及執行。

台灣地區國際港附近海域海氣象現場調查分析研究

曾相茂¹ 簡仲環² 蘇青和³

執行單位：海岸工程組、數學模式組
政府出版品統一編號：009254890241
計劃編號：MOTC - IOT - IHMT - DA8903
全程期間：88/07/01~89/12/31
執行期間：88/07/01~89/12/31

摘 要

自民國七十五年開始，本中心即著手進行台灣五個國際港附近海域長期性海氣象資料之蒐集、觀測、整理及分析歸納，冀求得到台灣四周各劃分代表性域的海氣象整體特性。十餘來已獲致頗佳的成果並提供港灣工程界及學者、專家參考的依據。近年來隨著資訊網路的發展，資訊的傳遞變得快速、精確，為此本中心於八十八年七月起研擬“台灣地區國際港附近海域海氣象現場調查分析研究”為期五年之第一年計畫。主要工作內容仍依計畫目標持續進行。

本計畫為第一工作年度，在本年度中主要工作項目除了延續以往的海氣象觀測與儀器維護保持連續觀測及資料蒐集、整理外。另外針對已建立之資料即時回報系統與網際網路(或區域網路)的連結進行初步的規劃及先導型系統的測試。未來對於各測站的即時觀測資料可不必侷限於本中心海象觀測中央接收站才能查詢，而可以在其他合適的地點透過網際網路即時掌握各測站的觀測資訊，例如各國際港口之船舶交通管理單位或航運交通單位等。

除上述工作外，本年度 1.針對中央氣象局與本中心同時段在花蓮港海域所量測之波浪資料進行比較作一檢驗，同時對花蓮海域之颱風特性進行探討。

¹ 港灣技術研究中心海工組副研究員

² 港灣技術研究中心數模組組長

³ 港灣技術研究中心數模組研究員

2.群波的現象早已在海洋及海岸工程受到重視，然而群波也與瘋狗浪有關，但瘋狗浪實在很不容易量測到，本文針對基隆港 1998 年 9 月 12 日楊妮颱風過境時本中心與海洋大學同時量測之實測資料加以分析，多少可解開瘋狗浪之謎。3.採用五個國際港及水利處提供之長期潮汐資料經統計分析、能譜分析及調合分析以求得這兩年台灣五個國際港暨全省重要漁港之暴潮偏差。

一、海氣象資料蒐集與資料庫建置

海氣象資料包括波浪、海流、潮位、風為主，這些項目觀測的範圍龐大，各單位需求也不相同，加上海上調查經費昂貴、作業風險性高。海象的觀測業務與船舶之航行安全有著密切關係，但是現今當地居民、漁民、環保人士....等等對其價值觀念的不同，對於海上外業工作常常造成相當大的困擾。五個國際港之海象觀測應是屬於長期的監測，理應由本中心負責五個國際港海氣象觀測，以長期目標之遠景做有系統規劃及建立，並透過資訊網路提供國內外船舶業者與港務管理單位有關人員查詢。

二、五個國際港現場觀測調查概述

本省五個國際港到 2001 年 12 月底前均將陸續建立起波浪、海流、潮位及風之觀測站，目前由本中心與基隆港務局測量隊、基隆港務局蘇澳分局前測量隊、花蓮港務局工務組設計課、高雄港務局測量隊及台中港務局工務組等單位合作負責觀測站資料的收集、整理及儀器的維護。(詳請參閱 89--基本研究三)

三、颱風基本資料分析與特性

本研究報告涵蓋本年度 1999 年 7 月至 2000 年 12 月計畫期間之各颱風來襲時所量測得之所有海象資料，就初步調查資料及分析結果提出初步之研究，以供做進一步的探討分析。

1.1 山姆(SAM)颱風

山姆颱風最大強度是輕度，花蓮港附近海面因受到陸地遮蔽保護的影響，花蓮、基隆兩港之所量測到之波浪變化如下表

波浪資料 觀測站	H_{max} (公尺)	T_{max} (秒)	$H_{1/10x}$ (公尺)	$T_{1/10x}$ (秒)	$H_{1/3}$ (公尺)	$T_{1/3}$ (秒)	H_{meax} (公尺)	T_{meax} (秒)	Dir (°)
基隆港 (8月21日21時)	1.97	6.14	1.39	5.24	1.12	5.27	0.74	4.58	
花蓮港 (8月21日01時)	5.68	10.4	4.27	10.2	3.29	10.0	20.0	8.3	

2. 丹恩颱風

花蓮、蘇澳港量測到之波浪其逐時變化如下表。

表 3.2 1999 年第三號丹恩颱風各觀測站波浪資料表

波浪資料 觀測站	H_{max} (公尺)	T_{max} (秒)	$H_{1/10x}$ (公尺)	$T_{1/10x}$ (秒)	$H_{1/3}$ (公尺)	$T_{1/3}$ (秒)	H_{meax} (公尺)	T_{meax} (秒)	Dir (°)
蘇澳港 (10月6日3時)	5.52	12.50	4.78	11.12	3.67	10.79	2.37	8.70	
花蓮港 (8月21日01時)	3.38	7.40	5.65	7.80	2.12	7.80	1.36	6.60	
台中港 (10月8日10時)					3.23	8.33			293.31

3 啟德(KAI-TAK)颱風

其最大強度為中度颱風，蘇澳港與台中港所量測到之波浪如下表。

表 3.3 2000 年第一號啟德颱風各觀測站波浪資料表

波浪資料 觀測站	H_{max} (公尺)	T_{max} (秒)	$H_{1/10x}$ (公尺)	$T_{1/10x}$ (秒)	$H_{1/3}$ (公尺)	$T_{1/3}$ (秒)	H_{meax} (公尺)	T_{meax} (秒)	Dir (°)
蘇澳港 (7月6日5時)	5.89	12.50	4.69	11.88	3.79	11.37	2.48	9.29	
台中港 (7月6日12時)					3.38	9.09			216.83

4. 碧利斯(BILIS)颱風

由輕度轉成中度再轉成強烈，威力驚人橫掃台灣，並造成花蓮港東防波堤胸牆破損。蘇澳港與花蓮港所量測到之波浪如下表。

表 3.4 2000 年第二號碧利斯颱風各觀測站波浪資料表

波浪資料 觀測站	H_{max} (公尺)	T_{max} (秒)	$H_{1/10x}$ (公尺)	$T_{1/10x}$ (秒)	$H_{1/3}$ (公尺)	$T_{1/3}$ (秒)	H_{meax} (公尺)	T_{meax} (秒)	Dir (°)
蘇澳港 (8月22日19時)	10.62	14.06	8.07	12.26	6.28	11.40	3.99	9.11	
花蓮港 (8月22日20時)	12.20	17.00	10.17	13.50	8.48	13.50	5.49	11.00	
台中港 (月 日 時)	8月18日台中港北防波堤開始延長整平拋石工程，因此撤消波浪觀測站。								

5. 巴比倫(PRAPIROON)颱風

在台灣附近轉為輕度颱風且未登陸，蘇澳港所量測到之波浪如下表。

表 3.5 2000 年第三號巴比倫颱風各觀測站波浪資料表

波浪資料 觀測站	H_{max} (公尺)	T_{max} (秒)	$H_{1/10x}$ (公尺)	$T_{1/10x}$ (秒)	$H_{1/3}$ (公尺)	$T_{1/3}$ (秒)	H_{meax} (公尺)	T_{meax} (秒)	Dir (°)
蘇澳港 (8月29日17時)	3.87	10.94	3.22	10.21	2.57	9.89	1.60	7.73	

6. 寶發(BOPHA)颱風

這個颱風的結構因高低層雲係相互拉扯，而變得鬆散。蘇澳港與花蓮港所量測到之波浪如下表。

表 3.6 2000 年第四號寶發颱風各觀測站波浪資料表

波浪資料 觀測站	H_{max} (公尺)	T_{max} (秒)	$H_{1/10x}$ (公尺)	$T_{1/10x}$ (秒)	$H_{1/3}$ (公尺)	$T_{1/3}$ (秒)	H_{meax} (公尺)	T_{meax} (秒)	Dir (°)
蘇澳港 (9月9日10時)	5.27	11.33	4.09	11.13	3.26	11.10	2.10	9.87	
花蓮港 (9月10日06時)					2.71	10.00			25.73

7. 雅吉(YAGI)颱風

其蘇澳港、花蓮港量測到的波浪如下表。

表 3.7 2000 年第五號雅吉颱風各觀測站波浪資料表

波浪資料 觀測站	H_{max} (公尺)	T_{max} (秒)	$H_{1/10x}$ (公尺)	$T_{1/10x}$ (秒)	$H_{1/3}$ (公尺)	$T_{1/3}$ (秒)	H_{meax} (公尺)	T_{meax} (秒)	Dir (°)
蘇澳港 (10月25日21時)	4.94	10.55	3.72	10.52	2.98	10.41	1.89	8.75	
花蓮港 (10月25日11時)					2.24	9.09			35.42

8. 象神(XANGSANE)颱風

象神其行徑與氣勢來勢凶凶，威力實足，是一個典型紮實的秋颱，。花蓮港、蘇澳港量測的波浪資料如下表。

表 3.8 2000 年第六號象神颱風各觀測站波浪資料表

波浪資料 觀測站	H_{max} (公尺)	T_{max} (秒)	$H_{1/10x}$ (公尺)	$T_{1/10x}$ (秒)	$H_{1/3}$ (公尺)	$T_{1/3}$ (秒)	H_{meax} (公尺)	T_{meax} (秒)	Dir (°)
蘇澳港 (10月21日1時)	3.14	8.20	2.11	8.12	1.60	7.83	1.00	6.34	
花蓮港 (11月01日6時)					6.07	12.50			167.60

9. 貝碧佳(BERINCA)颱風

花蓮港量測到的波浪如下表。

表 3.9 2000 年第七號貝碧佳颱風各觀測站波浪資料表

波浪資料 觀測站	H_{max} (公尺)	T_{max} (秒)	$H_{1/10x}$ (公尺)	$T_{1/10x}$ (秒)	$H_{1/3}$ (公尺)	$T_{1/3}$ (秒)	H_{meax} (公尺)	T_{meax} (秒)	Dir (°)
花蓮港 (11月5日21時)					1.86	9.09			46.12

四、花蓮港颱風波浪比較

本次研究主要是比較花蓮海域本中心 (ST.2 測站) 與中央氣象局 (七星潭測站) 兩波浪測站之觀測值，由波高及週期之逐時資料，顯示兩測站的颱風波浪有相似之逐時變化趨勢，此表示兩測站對於颱風波浪的逐時演變情形，在定性上是有相似的描述結果。不過兩測站間的波高與週期觀測值大小並不相同，大致上而言，七星潭測站的觀測值較小，此表示兩測站對於颱風波浪的觀測值大小，在定量上有所差異。由 1997 至 2000 年計 17 個颱風波浪統計結果發現，七星潭測站波高約為 ST.2 測站之 0.741 倍，而週期則為 0.775 倍。兩測站雖然同在海港

海域，且使用相同型式之波浪儀（浮球式），但初步認為因測站之週遭環境或波浪儀錨碇方式不同，而有如上所述觀測值大小的差異。對於花蓮海域波浪，兩測站之觀測值反應實際情況的真實度與準確性需進一步探討。海氣象現場調查除資料的蒐集豐富、連續完整是努力的目標外，資料本身的準確性同樣不可忽略。然而海氣象現場觀測工作經常受外在環境影響發生挫敗，尤其是颱風侵襲期間之惡劣天候，除此，有時甚至遭受人為破壞，損失慘重。因此，研發觀測新技術、提昇儀器安全性也是未來海氣象現場調查的工作重點。假如在同一海域能同時設置多點測站，除對資料獲得的穩定性有幫助外，在數值模式計算所需之邊界條件資料提供上也有相當助益。

五、基隆港附近海域群波與瘋狗浪特性分析

群波的現象早已在海洋及海岸工程受到重視，如外海航行的船舶的翻覆往往與群波有關，於港外拋錨裝卸原油時船舶之穩定性也會受群波的影響，而群波亦影響到海岸結構物及消波塊的穩定性及波浪的上溯(run-up)高度，港池也可能因群波而有共振產生。然而以上之波浪資料似乎意味著群波也與瘋狗浪有關，不過這只是單一個直接證據顯示瘋狗浪與群波之關係，證據雖然有點弱，但是若再考慮群波之成因倒也不會令人對這關係覺得新奇。海上的波浪是由許多不同週期、波高與方向的浪組成，在深水波的範圍內，長週期的浪之前進速度比短週期的波速快，當週期相近的波浪互相重疊就會形成群波，而波峰與波峰合成(同相)之處就會產生較大的浪。其實波浪紀錄中若有特別高的波浪出現的話，該紀錄的平均連長通常是比較長，而且該大浪很少是以單一大浪形式出現，反而是會在一群較大浪之出現。瘋狗浪顯然是因為有特別高的浪長驅直入到岸上，因此瘋狗浪的出現自然會與群波有關。另外若仔細看報紙上有關瘋狗浪事件的報導，其往往會說"忽然有二陣大浪打過來"，這也多少反應出目擊者看到群波的進來。其實有經驗的釣魚人若看到大浪開始連續2-3個一起進來，他們會感到危險而離開海邊。

因瘋狗浪實在很不容易觀測到，直到現在只有本文報告的一筆事故發生時近岸資料。因此實在還需要更多的資料來補強群波與瘋狗浪的關係，為此就需要在瘋狗浪事件經常發生的地點，如基隆港東防波堤附近海域本中心波浪觀測站及八斗漁港防波堤國立海洋大學波浪觀測站作全時波浪測量，另因為現有的資料，對於群波到達防波堤或礁石前到底是何種機制使其水面抬昇而上溯還不很清楚，很有可能因為群波進來而產生近乎規則波之反射，而使堤前之波高有前後加成作用。為了更了解這些大浪在堤前之變化，堤前波浪影像的觀測也須同時配合進行，努力的方向。

六、潮汐及暴潮

本研究計畫採用之研究方法主要蒐集台灣四周重要五個國際港及由水利處觀測潮汐資料較為完整之七個漁港長期觀測資料，經資料繪圖、統計分析、能譜分析，及調和分析，探討台灣附近海域之潮汐變化現象，最後建立各港之調合常數，以求得這兩年台灣五個國際港、全省之重要魚港之暴潮偏差。蒐集之資料中品質良莠不齊，除部分已經進一步的較驗、整理、分析，品質較確定外，甚多外來之資料，皆需從新再進一步整理、分析、修補。配合實測資料繪圖、統計分析、能譜分析、調和分析等一連串分析、反覆檢查資料品質良劣，方不致誤導分析之結果。潮位資料中少數人為輸入異常，位相的不正常移動、暴潮偏差、短暫資料中斷等錯誤，皆可由反覆調和分析之結果做資料補遺。

6.1 統計分析

1. 從北部基隆港年平均潮差 0.63 米，中部台中港、芳苑港及王功港年平均潮差分別 3.66 米、3.10 米及 3.66 米為最大，往南溫港、將軍港、高雄港、蟳廣嘴年平均潮差分別為 1.55 米、0.96 米、0.57 米及 0.74 米，越往南有越小之趨勢。台中港、芳苑及王功港年最大潮差分別為 5.40 米、4.95 米及 4.49 米，基隆港年最大潮差 1.32 米，溫港、將軍港、蟳廣嘴年最大潮差分別為 2.25 米、1.70 米及 2.07 米，高雄港年最大潮差 1.16 米為最小。
2. 東部海岸濱臨太平洋，蘇澳港年平均潮差 0.55 米，花蓮港季平均潮差 0.51 米，二者相近，梗仿港年平均潮差 0.85 米，富岡港年平均潮差 0.95 米，二者也相近。花蓮港季最大潮差 0.97 米，蘇澳港年最大潮差 1.28 米，梗仿港年最大潮差 1.80 米，富岡港年最大潮差 1.96 米。

6.2 能譜分析

1. 基隆港之月能譜圖顯示主要分潮成份為半日潮及全日潮，平均值顯示全日潮之成份略較半日潮為大，全日潮分量約 0.24 米，半日潮分量約 0.21 米。
2. 台中港、芳苑及王功港之月能譜圖顯示主要分潮成份為半日潮，其次為全日潮，平均值顯示半日潮之成份遠較全日潮為大，台中港半日潮分量約

1.85 米，全日潮分量約 0.40 米，王功港半日潮分量約 1.70 米，全日潮分量約 0.30 米，芳苑港 半日潮分量約 1.40 米，全日潮分量約 0.30 米。

3. 溫港、將軍港、高雄港及蟬廣嘴之能譜圖，顯示主要分潮成份為半日潮及全日潮，平均值顯示溫港半日潮之成份較全日潮為大，半日潮分量約 0.7 米，全日潮分量約 0.2 米；將軍港半日潮之成份略較全日潮為大，半日潮分量約 0.4 米，全日潮分量約 0.2 米；高雄港全日潮之成份也略較半日潮為大，全日潮分量約 0.2 米，半日潮分量約 0.2 米，蟬廣嘴港全日潮之成份略較半日潮為大，半日潮分量約 0.2 米，全日潮分量約 0.3 米。
4. 東部蘇澳港、花蓮港、富岡港及梗仿港之月能譜圖顯示主要分潮成份為半日潮及全日潮，平均值顯示半日潮之成份略較全日潮為大。蘇澳港半日潮分量約 0.22 米，全日潮分量約 0.17 米，同樣花蓮港半日潮分量約 0.45 米，全日潮分量約 0.23 米。富岡港半日潮分量約 0.5 米，全日潮分量約 0.2 米。同樣梗仿港半日潮分量約 0.4 米，全日潮分量約 0.2 米。
5. 由各測站之能譜圖顯示主要分潮成份為半日潮及全日潮，除台中、芳苑及王功港半日潮之成份遠較全日潮為大，其它各港半日潮與全日潮之成份差異不大，一般半日潮成份略較全日潮為大。
6. 各測站其它週期成份相對偏小，也可能存在相對極值，但其真正成份不易辨識，欲得詳細分量需使用調和分析求得。
7. 能譜大小表示對應頻率(週期)分潮振幅之大小，辨定能譜圖中各分潮成份大小，可協助調和分析分潮之選取。

6.3 結論

根據上節調和分析步驟，我們選取五個國際港及七個漁港口之現場實測潮位資料做調和分析，各測站選取之 39 個分潮振幅，遲角計算值則為各港口前 10 個較大分量之分潮振幅分佈圖。幾個測站自身預報值與實測值之比較。由此些比較，我們可歸納以下一些重要特性。(詳請參閱 89 基本研究三)。

為進一步觀察暴潮之偏差，將針對本年度(89 年)幾個颱風，推算在各港造成之暴潮偏差量。89 年 7 月 8 日至 7 月 9 日中度颱風啟德通過台灣東北角。基隆港及花蓮港從預值與實測之比較，明顯看出存在約拾幾公分之暴潮偏差。

七、即時傳送剖面海流表面波高波向及潮汐監測系統 AWCP 簡介

7.1 前言

海象之實際觀測數據是研究海洋科學與海岸工程的最基本資料，通常之觀測項目有波浪、海流、潮位、水溫、鹽度及濁度等等，為了能取得這些資料的完整及長期連續記錄，最佳方法是將這些不同項目彙整成單一的監測系統，在此原則下本中心將剖面海流、波浪之波高波向、潮位及水溫之感應器組合在一起形成此一系統。

7.2 儀器功能

海流剖面測量模式可以依照使用在不同的水深即自海床上之儀器到水表面來設定量測的間距。波浪的量測是波高精度在每 0.5 秒間隔內分別量測所得速度 U、V、W 向量與壓力量測得到的資料作整合而得到波高、波向的資料，全部的 RAWDATA 將以 Real-Time 的型式傳送並亦儲存於記錄器中，波高、波向的統計分析與波譜分析資料會在軟體中產生而顯示在個人電腦中。壓力感應器也可以當作潮位感應器使用，精確度達到 0.25%。

7.3 監測與資料處理之軟體

可分(1)前監測檔案—WAVEPRO(2)中資料處理檔案—PROF2ADP(3)後資料處理檔案—EXPLOREADP 三種。

7.3.1 前監測檔案：

WAVEPRO 為即時資料收集程式，一旦系統起動後就可以開始使用 WAVEPRO 進行即時資料收集，以規劃並執行一自主式的佈放，AWCP 感應器的訊號、執行都卜勒計算以算出剖面速度、波高、波向與壓力以及利用串接埠感應器內部記錄器輸出與輸入資料，亦即接收站與水中感應器間是雙向的串接通訊，並用 RS422 支援長 3,000 公尺之海底電纜傳訊資料與供應電源。

7.3.2 中資料處理檔案

即時傳回接收站的資料通過前處理儲存之資料可經中處理之，PROF2ADP

軟體轉換為二進位的 ADP 檔。

7.3.3 後資料處理檔案

經過中資料處理後的資料再經由 EXPLOREADP 軟體可將資料以圖像顯示之使用者介面由目錄列(Menu Bar)、工具列(Tool Bar)、狀態列(Status Bar)以及各別分開的統計資料畫面所組成。

7.3.4 遠端遙控

AWCP 之特點是在資料上有一套完整的程式，該程式在 Windows—NT 或 Windows--95、98、2000 環境下都可執行，可有效的處理即時傳回之記錄資料，並作成各種圖表。且有操作簡便、易學、易懂之特性。在資料處理過程中採用交談方式進行，使用者在固定格式內輸入所需參數，即可依照螢幕上之指示完成資料處理的整個流程。

7.4 結語

整合型海象觀測監測系統是海洋現場觀測取得資料之新式儀器，本 AWCP 型是很具代表性的一種多功能海象觀測儀器，其觀測包含波高、波向剖面的海流、潮位及水溫等，因屬於整合型儀器，在現場安裝操作上可得到事半功倍之效率，更重要的是多種參數在同地點做長期連續的記錄，在研究上可將資料互相印証，而增加資料上可靠度，對其學術研究上可提供更多的佐証。

參考文獻

1. Sorensen, R. M., (1993) **Surface Wave Mechanics : for Coastal and Ocean Engineers**, John Wiley & Sons, Inc., New York, pp.284.
2. Ochi, M. K., (1998) **Ocean Waves, The Stochastic Approach**, Cambridge University Press, Cambridge, UK , pp.319 .
3. Jackson, O. B., J. A. Amft and D. A. Lee(1989): Wind stress and heat fluxes observed during winter and spring 1986. J. Geophys. Res., 94, C8,10686-10698.

屏東林邊海岸沖淤調查研究 (IV)

黃清和¹ 蔡立宏² 陳明宗³ 吳基³

執行單位：海岸工程組

政府出版品統一編號：009254890201

計劃編號：MOTC - IOT - IHMT - HA8904

全程期間：85/07/01~89/12/31

執行期間：88/07/01~89/12/31

摘 要

本研究為一長達四年之現場沖淤調查研究中程計畫，第一年工作主要就台灣海岸侵蝕現況、海岸侵蝕原因、海岸侵蝕防治工作以及侵蝕防治研究計畫推動策略作完整之先期探討，第二年及第三年研究計畫則選擇海岸線日漸消失之屏東林邊侵蝕海岸分別進行海象監測以及海岸沖淤調查研究，今年(第四年)則繼續選擇林邊海岸再進行監測計畫，整個計劃到 89 年 12 月底結束。研究成果可作為日後屏東大鵬灣開發該處海岸以及其他侵蝕海岸研擬保護措施之參考。

一、研究目的

台灣本島四面環海，陸地資源有限，過去為配合經濟發展需要，政府及人民相競於海岸地區圍堤築港、闢墾海埔新生地、養殖漁塭等工程措施，以提高民生經濟發展，然當時之開發過程均未詳細評估工程開發後對當地生態環境及海岸安定問題可能造成之影響，以致在高度開發之後造成本省多處海岸產生嚴重之侵蝕現象，自北往南如基隆新港、淡海新市鎮、台北港(原淡水國內商港)、觀音工業區及專用港、新竹漁港、新竹海埔地、香山區開發、通霄電廠及通霄南區開發、台中港、大肚溪口之垃圾掩埋場、彰濱工業區、王功海埔地、六輕

1. 港灣技術研究中心 研究員兼組長

2. 港灣技術研究中心 助理研究員

3. 港灣技術研究中心 副研究員

及雲林離島工業區、鰲鼓海埔地、台南縣之中心漁港、濱南工業區、安平港、興達電廠至永安 LNG 接收站、南星廢棄物掩埋場、高雄紅毛港、東港深水漁港等大大小小之工業區，商漁港工程之進行，無一不是移山填海造陸工程，致使得本省林口海岸、台中港外海、雲嘉外海、高雄彌陀海岸、屏東林邊海岸等均是海岸線遭受嚴重侵蝕，沙灘多處流失，更甚者已危及當地居民之生命財產安全，對社會經濟發展亦造成嚴重威脅。

為保護國土及確保人民生命財產，政府雖興建五百餘公里之海堤，暫時遏止了大部份海岸淹水災害，但海岸侵蝕非但未見消弭，最近更因河川輸砂之減少與地層下陷反使侵蝕益趨嚴重。海岸侵蝕問題已非某局部地域性問題而成為全省不分東西岸普遍性之問題。

鑑於問題之嚴重性與普遍性，本中心(原港灣技術研究所)仍釐訂一為期四年之現場沖淤調查研究。第一年工作主要就台灣海岸侵蝕現況、海岸侵蝕原因、海岸侵蝕防治工作以及侵蝕防治研究計畫推動策略作完整之先期探討，第二年及第三年研究計畫則選擇海岸線日漸消失之屏東林邊侵蝕海岸分別進行海象監測以及海岸沖淤研究調查，今年(第四年)為最後一年乃繼續在屏東林邊侵蝕海岸進行海氣象及地形監測工作，研究成果將可提供屏東大鵬灣風景開發管理處作為該處海岸開發以及其他侵蝕海岸研擬保護措施之參考。

二、研究方法與步驟

2.1 屏東林邊海岸地形沖淤調查

延續第二年、第三年在屏東林邊海岸地形監測資料以及本年度八十九年三月與八十九年十月等兩次林邊海岸地形觀測資料，作當地水深線變化分析、海岸沖淤積變化分析以及斷面分析比較。

2.2 屏東林邊海域海象資料分析

本年度因限於經費，僅收集 88 年 6 月 25 日~7 月 15 日以及 88 年 8 月 21 日~9 月 9 日等二個觀測期間波浪與海流資料並加以作統計分析。

2.3 建立海流數值模式

本年度根據現場海流實測資料並配合高雄港務局以及水利處尋廣嘴潮位

資料完成模式驗證工作，並構建完成適合該區海域之海流數值模式。

三、重要成果效益

3.1 海象調查分析結果

3.1.1 海流資料分析

本年度共有二段海流資料，時間分別是民國 88 年 6 月 25 日~8 月 2 日以及 8 月 21 日~9 月 9 日，於 88 年 8 月 21 日~9 月 9 日期間僅作上層海流觀測。

資料分析結果顯示，第一次觀測(1999 年 6 月 25 日~7 月 15 日)下層流速最大值約為 73cm/sec，平均流速在 20~30cm/sec 左右，第二次觀測(1999 年 8 月 21 日~9 月 9 日)之上層流速最大值為 44cm/sec，平均流速在 20cm/sec 左右，均較第二、第三年度同時段觀測期間平均流速 15cm/sec 為大；流向則與上年度同時段觀測期間之海流流向分佈相似，多集中在 SSE~SE 以及 NNW~NW 二個主要方向，亦即是在平行海岸的方向作週期性之往復變化，垂直岸之流速分量與平行岸分量相較其值甚低。二次海流觀測期間其流速與流向聯合機率分佈及統計，結果顯示，兩次觀測結果顯示其差異性不大，上層最大流速分別為 68.14cm/sec 與 44.34cm/sec；下層最大流速為 73.18cm/sec，同時段觀測期間下層最大流速較上層最大流速為大；下層最小流速則同為 1.50cm/sec。為瞭解本海域之水團長期之運動趨勢，將流速向量之時間序列頭尾相接，進行海流行進向量圖(PVD 圖)分析。分析結果顯示：本年度第一次在民國 88 年 6 月下旬至 7 月下旬之上、下層水流均是往 NW~NNW 方向移動，平均移動速度分別為 1.9 公里/天與 2.3 公里/天，下層海流平均流動速度稍快。到 8 月下旬~9 月上旬間，則上層水流則往 SE 方向移動，移動速度為 2.5 公里/天。

3.1.2 波浪資料分析

本年度波浪資料僅收集到 88 年 6 月 24 日~7 月 30 日、其觀測資料分析結果顯示：這段觀測期間除在 88 年 7 月 25 日~7 月 30 日間，測得 H_{max} 約 7m， T_{max} 約為 12 秒， $H_{1/3}$ 約為 4.5m， $T_{1/3}$ 約為 11.5 秒外，其餘觀測時間 H_{max} 均在 2m 以下， $H_{1/3}$ 均在 1.5m 以下，而相對應週期則分別為 8 秒左右。而根據氣象局在 7 月 25 日~7 月 30 日期間並未發佈颱風資料，但本中心在蘇澳港這段期

間，同樣測得 H_{max} 約為 5m 左右，波高亦均較其他時間為大，惟一取得的資料是來 <http://w.w.w.weather.unisys.com/hurricane/> 提供有關西太平洋季風及熱帶性氣壓資料，在 7 月 25 日~27 日發佈之 NEIL 熱帶性季風，最大風速為 40m/sec，以及在 7 月 25 日~26 日發佈之熱帶性低氣壓，最大風速為 25m/sec。

3.2 屏東林邊海岸沖淤調查

本研究除收集原水利局第七工程處七十七年~八十一年度，在屏東縣海岸地形觀測計畫報告中，將有關該區海域每年春、秋兩次自± 0 公尺灘線到負 10 公尺水深海底地形資料整理；建檔外，並根據本研究分別於 85 年 10 月(大區域測量)、86 年 5 月(小區域測量)、86 年 10 月(大區域測量)以及 87 年 5 月(大區域測量)與 10 月、88 年 5 月以及本年度 89 年 3 月與 10 月在屏東林邊進行地形測量成果，作等深線變化分析、斷面分析以及土方量侵淤變化分析等工作，謹將分析結果敘述如后：

3.2.1 等水深線變化分析

根據屏東林邊海岸等水深線±0 公尺、負 5 公尺以及負 10 公尺歷年水深變化比較圖；若以民國 77 年 11 月所測地形圖為研判基準，則分析結果顯示到民國 78 年 11 月即經過一年後，高屏溪口南側與東港溪口北側間，其±0 公尺灘線向外移動有淤積趨勢，水深負 5 公尺與負 10 公尺等水深線近高屏溪口處則有內移呈侵蝕狀，近東港溪口處該兩等深線則無明顯變化；惟到民國 80 年 5 月則±0 公尺、負 5 公尺以及負 10 公尺等水深線則明顯內移均呈侵蝕。

圖 1 為本研究在 85 年 10 月、86 年 10 月、87 年 5 月、87 年 10 月、88 年 5 月、89 年 3 月及 10 月等歷次比較圖，各種不同等水深線變化分析結果顯示，-5m 等水深線除在嘉南大橋與崎鋒村南側有向內陸凹進呈現侵蝕現象外，沿屏東林邊海岸則無明顯變化；-10m 與-15m 等深線自東溪口以南至下寮間則無顯著變化，惟自下寮以南至士文溪間，等深線則向外移動呈淤積現象；-20m 等深線自東港溪口至林邊溪口間則呈淤積現象，水深線外移，林邊溪口至下寮間則呈侵淤互現，下寮以南則等深線明顯外移呈淤積趨勢；-25m 等深線在該段海域間則呈侵淤互現；歷次-30m 等深線與 85 年 10 月地形比較則侵淤互現呈穩定趨勢。

3.2.2 斷面變化分析

為進一步了解該區海域水深地形變化，根據第七工程處提供民國 77 年 11 月、78 年 5 月、78 年 11 月、79 年 5 月、79 年 11 月、80 年 5 月以及本計畫 85 年 10 月、86 年 10 月與 87 年 5 月 87 年 10 月、88 年 5 月、89 年 3 月以及 89 年 10 月等所測水深地形，選擇八個斷面作進一步分析。圖 2 為各選取斷面位置示意圖

故整體而言，屏東林邊附近海域，除高屏溪與東港溪間水域外，自東港溪以南到士文溪以北間海域，在距岸邊約 200 公尺~300 公尺普遍存在有沿岸沙洲。沙洲頂部高程約在水深-4 公尺處，且根據 85 年 10 月、86 年 10 月、87 年 10 月、88 年 5 月以及 89 年 3 月與 10 月等七次地形測量結果顯示，目前沙洲均有向岸邊移動趨勢，靠近岸邊底床坡度目前平均約在 1/20~1/30 間。

3.2.3 土方量侵淤變化分析

為進一步瞭解屏東林邊海域土方量侵淤近況，本研究特將該海域分為 5 個區域加以探討，各分區範圍示意圖如圖 3 中所示，並考慮自± 0 公尺灘線到水深-5 公尺處以及水深-5 公尺到-10 公尺範圍分別計算其海底地形侵淤狀況，表 1 與表 2 分別為本計畫整理自民國 77 年 11 月、78 年 5 月、78 年 11 月、79 年 5 月、79 年 11 月、80 年 5 月、85 年 10 月、86 年 10 月以及 87 年 5 月、87 年 10 月、88 年 5 月、89 年 3 月以及 89 年 10 月等水深地形圖，計算屏東林邊海域各分區，考慮± 0 公尺灘線到-5 公尺水深以及-5 公尺~-10 公尺間海域歷年土方量表；而表 3 及表 4 則為各分區歷年侵淤量表。

整體而言，屏東林邊海域北起高屏溪口南到北勢寮間約 21 公里範圍水域，考慮自± 0 公尺灘線到-10 公尺水深間，根據資料分析結果顯示，自民國 77 年 11 月以來係呈逐年侵蝕狀況，惟自民國 85 年 10 月以後到民國 87 年 5 月則開始呈現淤積，從表 1、表 2 統計在該海域約 1000 多萬平方公尺範圍，自民國 77 年 11 月到民國 85 年 10 月在八年期間全區共被帶走 925 萬土方量，平均每年 115.6 萬方侵蝕量，約每年每平方公尺平均被刷深 11 公分，但自民國 85 年 10 月到民國 87 年 5 月止約一年半期間第(2)~第(5)區共回淤 212 萬立方，即平均一年約 140 萬方，即每平方公尺回淤 13.5 公分。而民國 87 年 10 月以及民國 88 年 5 月地形監測結果顯示，± 0m~-5m 水深間，共計帶走 30 萬方，惟-5m~-10m 水深間，全區土方量則無明顯變化，故在 87 年 5 月到 88

年 5 月間， $\pm 0\text{m} \sim -5\text{m}$ 水深間，全區平均每平方公尺約被刷深 2 公分，而本年度地形監測結果顯示，全區在民國 88 年 5 月到 89 年 10 月期間，在 $\pm 0\text{m} \sim -5\text{m}$ 間約淤積 16 萬方，而 $-5\text{m} \sim -10\text{m}$ 水深間在這一年半期間則淤積 100 萬方，故累計自 $\pm 0\text{m} \sim -10\text{m}$ 間，共淤積 116 萬方，這種全面性淤積現象，通常有違常理，很可能是民國 89 年 10 月這次之水深測量，在潮位修正時可能有錯誤所致，有待進一步再行檢測，惟考量自民國 77 年 11 月以來至今共 22 年期間，全區在 $\pm 0\text{m} \sim -5\text{m}$ 水深間，土方量共被帶走約 250 萬方，平均被刷深 89 公分；在 $-5\text{m} \sim -10\text{m}$ 水深間，則被侵蝕 306 萬方，平均被刷深 51 公分。

四、海流數值模式

本研究除依台灣省水利處等以往監測成果以及本研究計畫，四年全面地形測量成果，進行冬季、夏季各測量斷面比較與各分區逐年之侵淤積量，藉以研判該區段淤積變化之趨勢及原因外，並且利用 DHI 已發展成熟之 MIKE 21-HD 海流數值模式，配合該地監測相關資料作為模式參數率定依據，建立一適合該區海域特性之海流數值模式。

4.1 水動力模式之建立

本研究選用之計算模式為丹麥水利研究所研發之 MIKE 21-HD 水動力計算模式。MIKE 21-HD 模式能夠考量波浪作用力、潮汐水位變化、風、大氣壓力、地球自轉柯氏力及海底底床摩擦等因素，並可模擬海水位變化及潮流流況。同時就河川流量型態之流源(Source)或如蒸發損失型態之流陷(Sink)，此模式亦可加以考慮。在研究區域之海水位變化及海潮流流況係以時變性之二維方格網系統加以計算解析。

4.2 模擬時間

為了模擬水動力學環境的模式特性，在季節風氣候區內數值模擬必須能反映季節的改變，為了這個理由，執行了一個期間為 1997 年 11 月的東北季節風和期間為 1997 年 7 月的西南季節風數值模擬。

4.3 水動力模式模擬結果

以中潮位系統(MSL)為基礎，在北和南邊界上一個常數值被加入到時間序

列，經由修正後與海域地形資料相關水位才一致。在北和南邊界的水位變化如圖 4 及圖 5 所示。水動力模式模擬的結果乃為證明 MIKE 21 HD 模式可以再現沿著屏東林邊模式區域之流場特性。在模擬期間，水動力模式所產生之結果繪於圖 6 及圖 7。圖中代表本中心在屏東林邊海域所測量的流速和流向及同樣位置所計算得來的流速和流向。圖 8 及圖 9 是選擇較有代表性的計算流型態，以大區域模式來計算 1997 年 11 月 2 日到 3 日之漲退潮結果。

五、 結論及建議

1. 依枋寮漁港潮位資料，屏東林邊、枋寮一帶之潮位以中潮系統表示為：

最高暴潮位	+2.14 M
最高高潮位 (H. H. W. L.)	+1.17 M
大潮平均高潮位 (H. W. O. S. T.)	+0.71 M
平均潮位 (M. W. L.)	+0.28 M
大潮平均低潮位 (L. W. O. S. T.)	-0.10 M
最低低潮位 (L. L. W. L.)	-0.35 M

2. 本地區之海流，除每年夏季 6 月~8 月中旬因台灣海峽之黑潮洋流較強，無論漲退潮均由東南向西北流動外，其餘時間漲潮時由南南東流向北北西，退潮則相反。
3. 本研究海流現場觀測資料分析結果顯示，在 88 年 6 月 25 日~7 月 15 日期間，下層流速最大值為 73cm/sec，平均流速在 20 ~30cm/sec 左右；而在 88 年 8 月 21 日~9 月 9 日觀測期間，則上層流速最大值為 44cm/sec，平均流速在 20cm/sec 左右，均較第二、第三年度同時段觀測期間平均流速 15cm/sec 為大；流向則與上年度同時段觀測期間之海流流向分佈相似，流向則多集中在 SSE~SE 以及 NNW~NW 二個主方向，即在平行海岸方向作週期性往復變化，且分析結果顯示，垂直岸之流速分量遠較平行岸流速分量其數值為小。
4. 本海域水團長期之運動趨勢，在民國 88 年 6 月下旬至 7 月上、下層水流均往 NW~NNW 方向移動，平均移動速度為 1.9 公里/天與 2.3 公里/天，下層水流平均移動速度較快；到 8 月下旬~9 月上旬，則上層水流是往 SE 方向移動，速度為 2.5 公里/天。
5. 在 88 年 6 月 24 日~7 月 30 日這段觀測期間，除了在 88 年 7 月下旬，測得 $H_{\max} = 7\text{m}$ ， $T_{\max} = 12\text{sec}$ ， $H_{1/3} = 4.5\text{m}$ 以及 $T_{1/3} = 11.5\text{sec}$ 外，其餘在這段觀測

期間，其 H_{max} 均在 2m 以下， $H_{1/3}$ 均在 1.5m 以下，而相對週期則分別為 8 秒左右。

6. 根據原水利局第七工程處歷年地形監測以及本研究近年現場地形監測比較，由沿岸各突堤與河口兩端之沖淤灘線變化及海灘底質分佈之特性，可推斷屏東林邊海岸漂沙因受冬夏不同季節風浪之作用而有不同方向之移動；大體上冬季沿岸漂沙由北往南，夏季則反向；惟此段海岸沿岸漂沙之常年優勢方向係由東南向西北移動。觀測資料同時顯示垂直海岸之漂沙活動亦相當劇烈，冬季期間沿岸沙洲外移；夏季則相反，而由測量成果比較，此種垂直海岸之漂沙移動量可能遠超過沿岸移動之漂沙。
7. 根據原水利局第七工程處所提供近年水深圖以及本所在該地區所作地形監測分析結果顯示，屏東林邊海岸自民國 77 年以來，除在民國 78 年外到民國 85 年 10 月止係逐年侵蝕，尤以大鵬灣入口處以南，崎峰村水利村到下寮一帶最為嚴重，斷面分析結果顯示該區海域在距岸邊約 200 公尺~300 公尺普遍有沿沙洲存在，沙洲頂部高程約在水深 -4 公尺處，靠岸邊底床坡度正由民國 77 年時之 1/60~1/70 演變成目前之 1/15~1/20；而根據 86 年 10 月以及 87 年 5 月、87 年 10 月、88 年 5 月、89 年 3 月以及 89 年 10 月等地形斷面分析顯示，近年來沿岸沙洲有向岸邊接近趨勢。
8. 屏東林邊海域北起高屏溪口南到士文溪口間長約 21 公里範圍水域內，若考慮自 ± 0 公尺灘線到 -10 公尺水深間，根據地形圖資料分析結果顯示，自民國 77 年 11 月以來，則係呈逐年侵蝕趨勢，估算在該海域約 1000 多萬平方公尺範圍到民國 85 年 10 月在八年期間全區共被帶走 925 萬土方量，平均每年有 115.6 萬方侵蝕量，約每年每平方公尺被刷深 11 公分，但自民國 85 年 10 月到民國 87 年 5 月止約一年半期間在第(2)區~第(5)區共回淤 212 萬立方，即平均一年約 140 萬方，平均每平方公尺回淤 13.5 公分。而根據 87 年 10 月以及 88 年 5 月兩次地形監結果顯示，該區水域在民國 87 年 5 月到 10 月，歷經楊妮及瑞伯兩個颱風後，自 $\pm 0m \sim 10m$ 水深間共被帶走約 387 萬方土方量，平均每平方公尺被刷深 40 公分左右，爾後歷經約半年之東北季風期間到 88 年 5 月方逐漸回淤，若與 87 年 5 月地形比較， $\pm 0m \sim -5m$ 水深仍呈侵蝕共被帶走約 31 萬方土方量，平均每平方公尺被刷深 8 公分，而 $-5m \sim -10m$ 水深間則又回淤到原地形，土方量無顯著變化。而本年度地形監測結果顯示，全區在民國 88 年 5 月到 89 年 10 月期間，在 $\pm 0m \sim -5m$ 間約淤積 16 萬方，而 $-5m \sim -10m$ 水深間在這一年半期間則淤積 100 萬方，故累計自 $\pm 0m \sim -10m$ 間，共淤積 116 萬方，這種全面性淤積現象，通常有違常理，很可能是民國 89 年 10 月這次之水深測量，在潮位修正時可能有錯誤所致，有待進一步再行檢

測，惟考量自民國 77 年 11 月以來至今共 22 年期間，全區在± 0m~-5m 水深間，土方量共被帶走約 250 萬方，平均被刷深 89 公分；在-5m~-10m 水深間，則被侵蝕 306 萬方，平均被刷深 51 公分。

9. 丹麥水利研究所研究之 MIKE 21-HD 海流數值模式，可適當地被用來模擬屏東林邊海域海流運動趨勢。

參 考 資 料

- 【1】 台灣省水利局(民國 67 年)，南部海岸地形調查研究報告。
- 【2】 張金機、黃清和(民國 70 年)，屏東大鵬灣漂沙模型試驗研究報告。
- 【3】 郭金棟(民國 79 年)，台灣海岸地形變化及其未來之開發利用研究報告，港研中心專刊。
- 【4】 台灣省水利局(民國 77 年-81 年)，屏東縣海岸地形觀測研究報告。
- 【5】 黃清和、蔡立宏等(民國 82 年)，台灣西海岸沖淤調查研究(三)，港研中心基本研究報告。
- 【6】 台灣省水利局(民國 84 年)，屏東縣沿海地區地盤下陷檢測計畫報告。
- 【7】 黃清和、蔡立宏等(民國 86 年)，屏東林邊沖淤調查研究(I)，港研中心基本研究報告。
- 【8】 宇泰工程顧問有限公司(民國 87 年)，屏東縣政府枋寮遊艇港碼頭規劃研究報告。
- 【9】 黃清和、蔡立宏等(民國 87 年)，屏東林邊沖淤調查研究(II)，港研中心基本研究報告。
- 【10】 黃清和、蔡立宏等(民國 88 年)，屏東林邊沖淤調查研究(III)，港研中心基本研究報告。
- 【11】 黃清和、蘇青和、陳明宗等(民國 88 年)，台北港漂沙調查及海氣象與海岸地形變遷監測計畫，港研中心專刊。
- 【12】 [http://weather .Unisys .com/hurricane/w-pacific/1999/index .html](http://weather.Unisys.com/hurricane/w-pacific/1999/index.html)

表 1 屏東林邊海域各分區(0 公尺~5 公尺水深)歷年土方量表

(單位：拾萬方)

土 方 日 期	分 區 量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	總和 (2)~(5)
各區面積 (10^4 m^2)		19.4	99.5	94.8	62.5	23.7	280.5
77.11		-4.26	-39.54	-37.43	-24.12	-9.61	-110.70
78.05		-4.34	-41.06	-42.72	-25.75	-9.37	-118.90
78.11		-3.78	-37.58	-40.82	-23.85	-9.04	-112.29
79.05		-4.28	-38.29	-43.82	-24.21	-9.37	-115.69
79.11		-5.56	-40.80	-44.81	-26.53	-9.40	-121.54
80.05		-5.14	-40.09	-46.21	-29.63	-9.36	-125.29
85.10		-7.49	-46.32	-44.79	-30.02	-14.26	-135.39
86.10		—	-46.36	-44.81	-29.36	-13.89	-134.42
87.05		—	-46.03	-42.70	-27.60	-13.99	-130.32
87.10		—	-49.84	-47.09	-30.93	-14.53	-142.39
88.05		—	-48.86	-42.69	-28.93	-13.73	-134.21
89.03		—	-45.99	-46.14	-33.83	-14.03	-139.99
89.10		—	-44.59	-44.16	-33.46	-13.58	-135.79

表 2 屏東林邊海域各分區(-5 公尺~-10 公尺水深)歷年土方量表

(單位：拾萬方)

土 方 日 期	分 區 量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	總和 (2)~(5)
各區面積 (10^4 m^2)		0.36	137.5	134.3	169.5	152.6	593.9
77.11		-0.24	-106.9	-97.0	-119.2	-113.7	-436.8
78.05		-0.20	-106.6	-102.6	-127.8	-113.6	-450.6
78.11		-0.22	-103.6	-99.1	-126.7	-109.1	-438.5
79.05		-0.22	-103.8	-102.5	-127.9	-112.0	-446.2
79.11		-0.25	-107.1	-103.7	-132.6	-111.8	-455.2
80.05		-0.24	-107.9	-103.2	-132.4	-114.5	-458.0
85.10		-0.19	-123.5	-111.2	-125.3	-127.2	-487.2
86.10		—	-122.7	-111.1	-126.1	-124.8	-484.7
87.05		—	-122.9	-107.6	-120.0	-124.8	-475.3
87.10		—	-127.1	-113.4	-129.2	-128.9	-498.6
88.05		—	-121.6	-108.7	-125.6	-121.5	-477.4
89.03		—	-122.1	-108.9	-120.9	-122.1	-474.0
89.10		—	-121.1	-108.4	-118.9	-119.0	-467.4

表 3 屏東林邊海域各分區(0 公尺~-5 公尺水深)歷年侵淤量表

(單位：拾萬方)

土 方 日 期	分 區 量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	總和 (2)-(5)	平均 侵淤量(m) (2)-(5)
77.11~78.05		-0.08	-1.55	-5.29	-1.63	0.24	-8.23	-0.29
78.05~78.11		0.56	3.48	1.89	1.90	0.33	7.60	0.27
78.11~79.05		-0.50	-0.71	-3.00	-0.36	-0.33	-4.4	-0.16
79.05~79.11		-1.28	-2.51	-0.99	-2.32	-0.03	-5.85	-0.21
79.11~80.05		0.42	0.71	-1.40	-3.10	0.05	-3.74	-0.13
80.05~85.10		-2.35	-6.23	1.42	-0.39	-4.90	-10.10	-0.36
85.10~86.10		—	-0.04	-0.02	0.66	0.37	0.97	0.03
86.10~87.05		—	0.33	2.11	1.76	-0.10	4.10	0.15
87.05~87.10		—	-3.81	-4.39	-3.33	-0.54	-12.07	-0.43
87.10~88.05		—	0.98	4.40	2.00	0.80	8.18	0.29
88.05~89.03		—	2.87	-3.45	-4.90	-0.30	-5.78	-0.20
89.03~89.10		—	1.40	1.98	0.37	0.45	4.20	0.15
總和 (77.11~89.10)			-5.08	-6.74	-11.10	-3.96	-25.12	-0.89
平均侵淤量(m) (77.11~89.10)			-0.51	-0.71	-1.78	-1.67	-0.89	

表 4 屏東林邊海域各分區(-5 公尺~-10 公尺水深)歷年侵淤量表

(單位：拾萬方)

土 方 日 期	分 區 量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	總和 (2)-(5)	平均 侵淤量(m) (2)-(5)
77.11~78.05		0.04	0.30	-5.65	-8.60	0.10	-13.85	-0.23
78.05~78.11		-0.02	3.00	3.54	1.10	4.50	12.14	0.20
78.11~79.05		0.00	-0.20	-3.44	-1.20	-2.90	-7.74	-0.13
79.05~79.11		-0.03	-3.30	-1.20	-4.70	0.20	-9.00	-0.15
79.11~80.05		0.01	-0.80	0.50	0.20	-2.70	-2.8	-0.05
80.05~85.10		0.05	-15.60	-8.00	7.10	-12.70	-29.2	-0.49
85.10~86.10		—	0.80	0.10	-0.80	2.40	2.5	0.04
86.10~87.05		—	-0.20	3.50	6.10	0.00	9.4	0.16
87.05~87.10		—	-4.20	-5.80	-9.20	-4.10	-23.3	-0.39
87.10~88.05		—	5.50	4.70	3.60	7.40	21.2	0.36
88.05~89.03		—	-0.50	-0.20	4.70	-0.60	3.4	0.06
89.03~89.10		—	1.00	0.50	2.00	3.10	6.6	0.11
總和 (77.11~89.10)			-14.20	-11.45	0.3	-5.3	-30.65	-0.51
平均侵淤量(m) (77.11~89.10)			-10.33	-0.85	0.18	-0.35	-0.51	

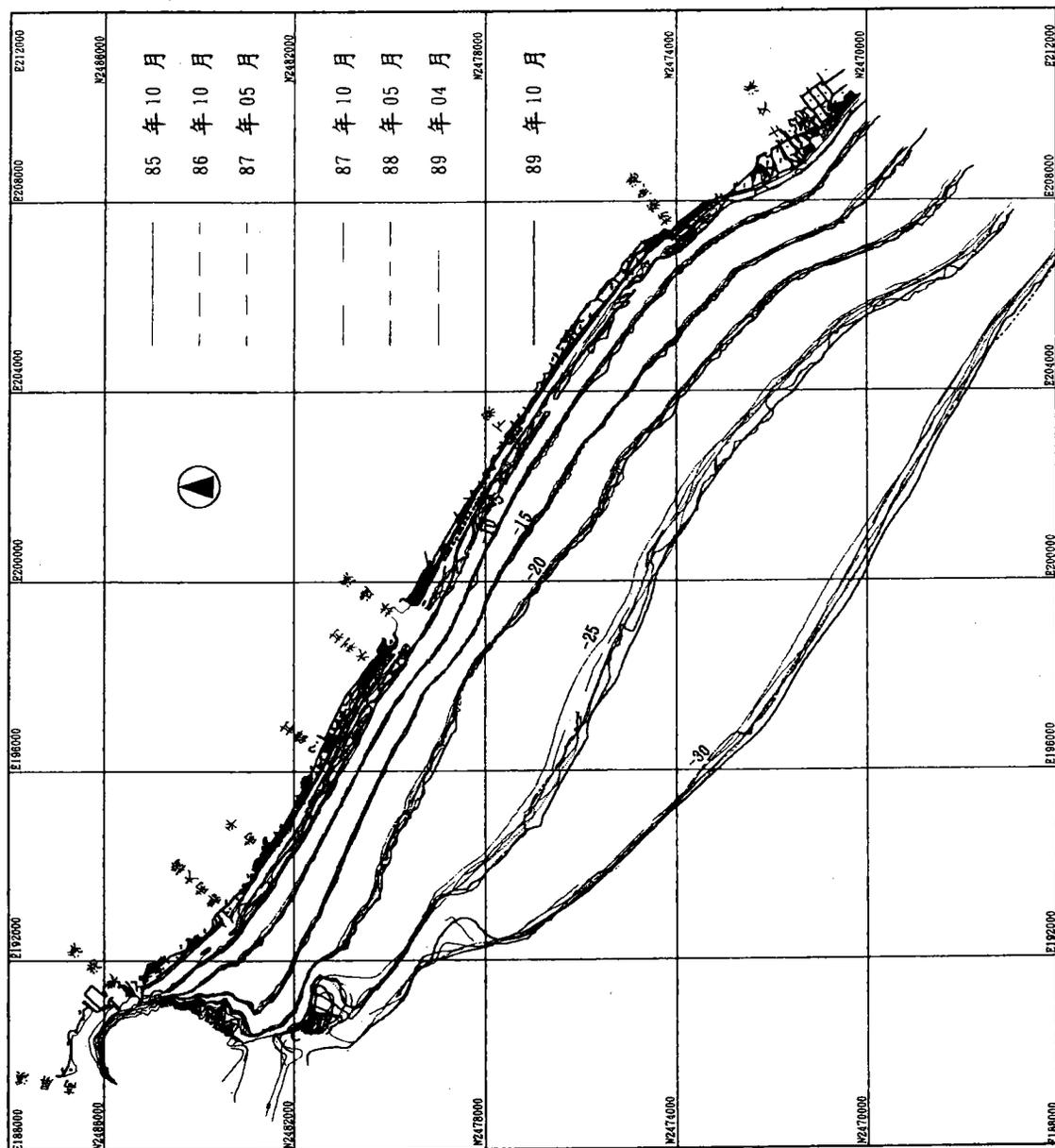


圖 1 屏東林邊海域歷年等水深線變化圖

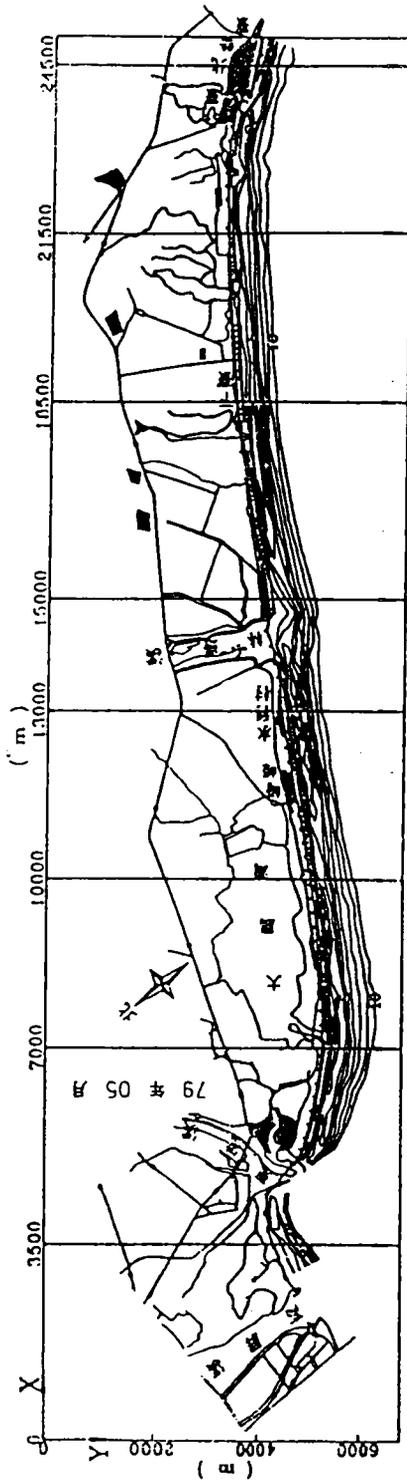


圖 2 屏東林邊海域斷面位置示意圖

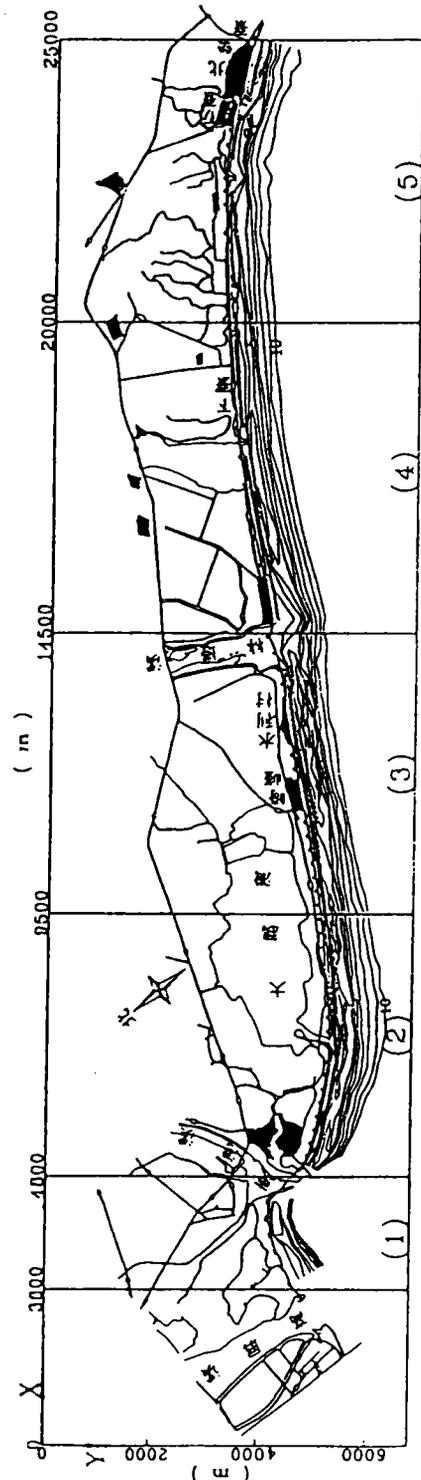


圖 3 屏東林邊海域各分區範圍示意圖

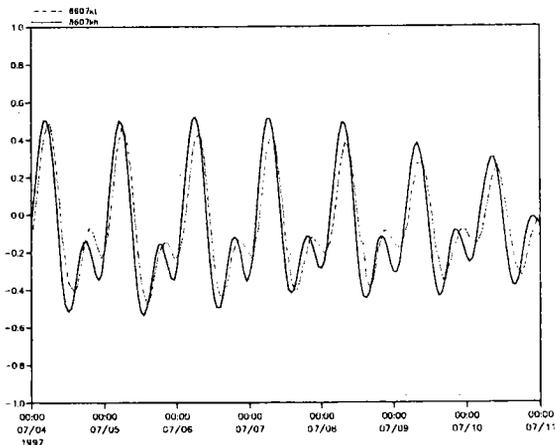


圖4 1997年7月南北邊界潮汐變化圖

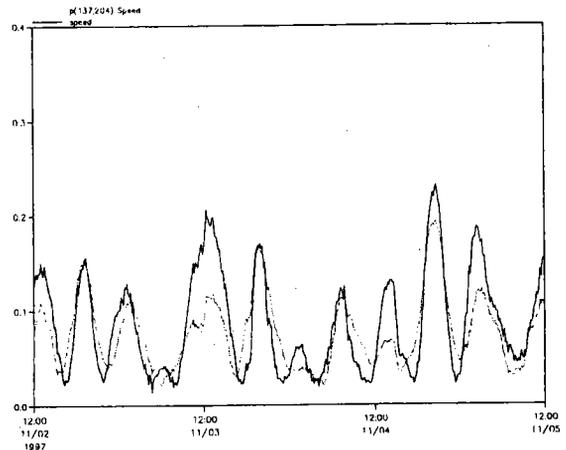


圖6 1997年11月現場流速及模式計算值比較圖(虛線表計算值)

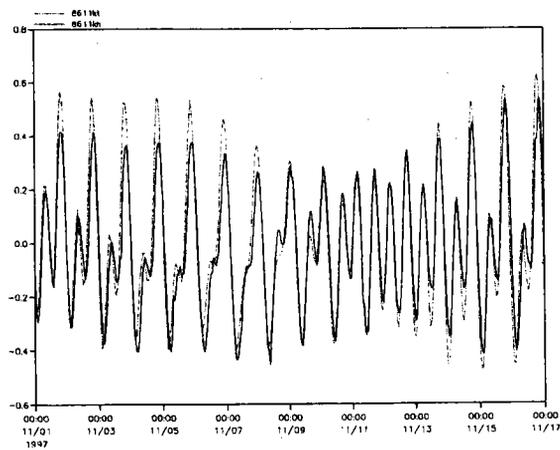


圖5 1997年11月南北邊界潮汐變化圖

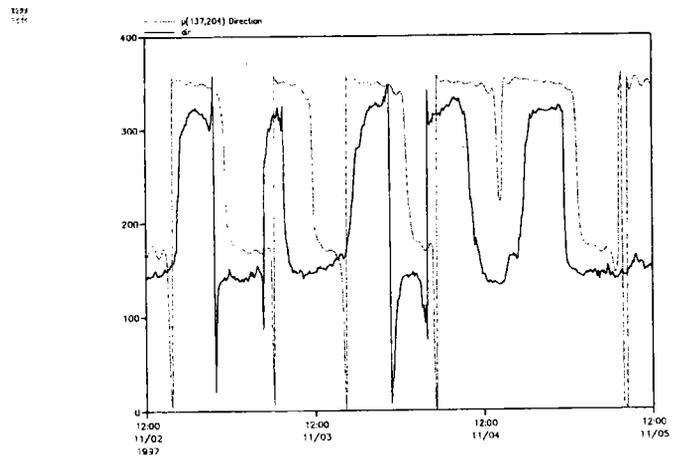


圖7 1997年11月現場流向及模式計算值比較圖(虛線表計算值)

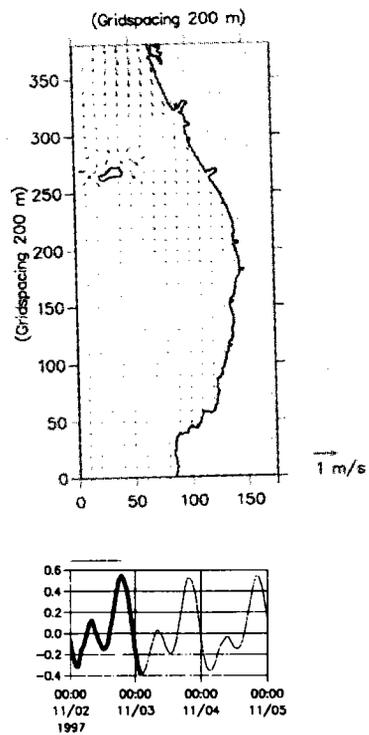
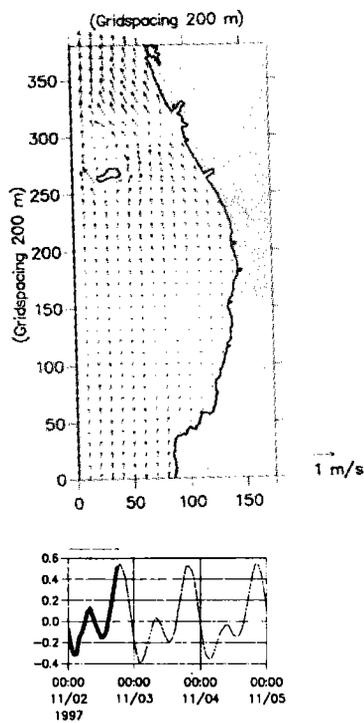
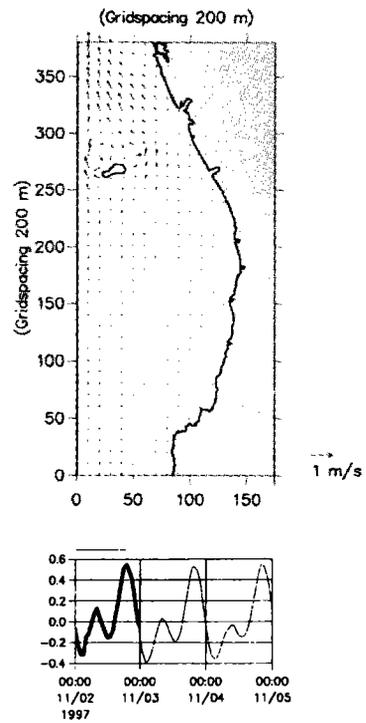
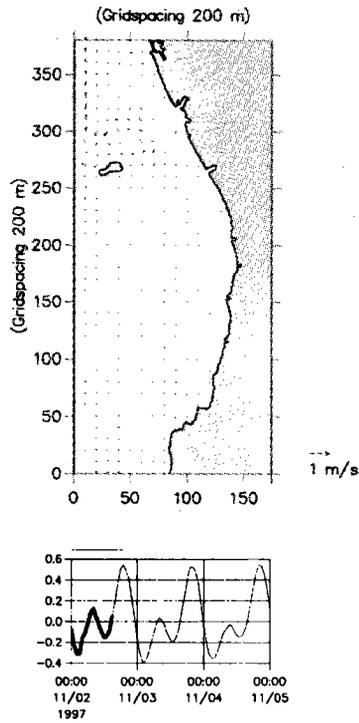


圖8 漲潮時之流況

圖9 退潮時之流況

臺灣港灣及海岸數位圖像資料庫建立之研究

邱永芳¹

執行單位：海岸工程組

政府出版品統一編號：009254890211

計劃編號：MOTC - IOT - IHMT - CA8905

全程期間：88/07/01~89/12/31

執行期間：88/07/01~89/12/31

摘 要

本研究主要以 IKONOS 衛星影像來建立台灣八大港口及其鄰近海岸之地形基本數位圖像資料，同時以 GIS 系統對數位圖像資料做儲存管理與應用。本研究為台灣首度利用高解析遙測影像建構台灣地區港灣及海岸數位圖像資料庫，替代傳統人工或航照之海岸調查方式，可即時或快速的掌握大範圍之動態變化，除可滿足精度之需求外，並具有較佳經濟之效益。

一、前言

海岸地帶為海陸交互作用地區，對於國家而言，具有下列之重要性：

1. 海運成本低廉，易於引入海水、排放廢水，故為港埠、工業、能源等土地利用之重心。
2. 具有富於變化之海蝕、海積及珊瑚礁地形景觀，故深具觀光旅遊及學術研究之價值。
3. 由於陸地河川夾帶之營養鹽，充分陽光照射提供之能源，及海水作用激起之海底沉積營養物質之循環利用，可形成海洋牧場、從事天然養殖，故具有極

¹港灣技術研究中心研究員兼組長

大之經濟效能。

4. 日愈擴增之海埔新生地，提供可資利用之廣大土地。

但海岸資源亦具有脆弱性與敏感性，一經破壞，甚難恢復，不但降低其利用價值與經濟效益，更且產生環境災害，危害人民生命財產、造成社會問題。在兼顧土地開發與資源保育之原則下，須就海岸生態特性與開發利用等方面，對濱海陸地及近海水域之水土資源，作整體之規劃及評估，依使用分區特性作妥善之管理，才能對海岸地區之土地及資源，有最佳及永續之保護、經營與利用。

遙測技術之發展已超過二十年，利用空照之方式的確提供了調查之方便性與實用性，惟照相作業之繁瑣及成本之高昂則是不爭之缺點。衛星遙測多年來由於受限於影像解析度之不足，一直未能在細部調查上扮演實用之角色，但是，這一年來由於衛星遙測技術之飛躍發展，攝像解析度大幅提高至一公尺以內，使得其實用性亦隨之大幅提升，顯然在未來將在調查工作上扮演極為重要的工具，本研究即嘗試引入高解析度衛星遙測影像來建構台灣地區港灣及海岸數位圖像資料庫，同時建置地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)管理模式，進行圖像資料之儲存、管理、分析與應用。以期對港灣及海岸之海岸調查、規劃管理及即時掌握大範圍之動態變化，為海岸保護與永續經營提供一有效之系統工具。

二、遙感探測技術之發展

1999 年 9 月 24 日，在美國丹佛市范登堡空軍基地 (Vandenberg Air Force Base)，太空圖像公司 (Space Imaging, Inc.) 首次成功發射了全球第一顆高解析度商業衛星 IKONOS-2，並於同年 10 月 12 日公布第一張由太空攝得的照片，其最高 0.82 公尺之解析度可媲美美國軍方間諜衛星的水準。由此，解決了以往遙測影像低解析度之問題，加上明年初即將陸續發射之若干具有 1m 解析度之衛星，如 QuickBird, EarthWatch 等，已可肯定高解析度遙測時代已然來臨。依其所公佈之模擬測試資料顯示，IKONOS-2 衛星在無地面控制點，僅利用載具方位參數的情況下，可獲得平面 12 m、高程 10 m 之定位精度，若使用地面控制點資料則有平面 2 m、高程 3 m 以上之定位精度，可製作約 1/5000 比例尺之地圖，由此看來，IKONOS 衛星影像在製圖之應用潛力上，較之目前最常用之 SPOT 衛星影像已獲得具體的提升。而衛星遙測技術應用之最大之特點在於能在短時間週期內快速且重覆的獲取所需之影像資料，較之航空攝影方式其成本則可大幅度的降低，這在諸多的大範圍的應用上將成為一個重要且即時之工具。表 1 為現有的製圖衛星，表 2 則為計畫中的高解析光學遙測衛星系統。

表 1. 現有製圖衛星之比較表

系統	國家或組織	發射時間	掃瞄寬度	解析度	立體模式
SPOT1-4	SpotImage	1986/90/98	60	10(Pan)	異軌
IRS 1C/D	ISRO	1995/1997	70	5.8(Pan)	異軌
KFA-1000	RKK	Resours-F1	66~105	5.0	單像/立體
KVR-1000	RKK	太空站	22	5.0	單像/立體
KVR-3000	RKK	太空站	5	0.5	單像/立體
MOMS02-P	DLK	1996	37	6.0	同軌
ADEOS	NASDA	1997	80	8(Pan)	異軌
IKONOS/2	Space Image	1999	11.3	0.82	同軌

表 2. 計畫中的光學遙測衛星系統比較表

系統	公司	發射時間	掃瞄寬度	解析度	立體模式
Quickbird	EarthWatch	2000	22	0.82	同軌
Orbview 3	Orbimage	2000	8	1.0	同軌
Orbview 4	Orbimage	2000	8	0.5	同軌
Eros B	West Indian Space	2000	13.5	1.3	同軌
Spot 5	Spotimage	2001	60	5	同軌

三、IKONOS 衛星影像之成像性質

3.1 軌道幾何

IKONOS 衛星為一太陽同步(Sun-Synchronous)衛星，平均飛行高度約為 681 km，飛行速度每秒 6.79 km，每 98.3 分鐘繞地球一圈。

3.2 空間解析力(Spatial Resolution)：

衛星平均飛行高度約為 681 km，焦距為 10 m，故當衛星在目標正上方時，地面解析力可達 0.82 m，多光譜態可達 3.27 m，此時掃瞄寬度約為 11 km，當感

應器傾斜至約 26 度時，地面解析力降為 1m，此時掃瞄寬度約為 13 km。

3.3 時間解析力(Time Resolution)

以緯度 40 度時為例，每 2.9 天可重覆通過同一個地區之正上方，並攝得 1 m 解析度之影像，但衛星上之感測器也可分別向左右旋轉，故最快只要 1.5 天即可重覆攝像，但解析度僅有 1.5 m。

3.4 輻射解析力(Radiometric Resolution)

IKONOS 衛星可感測之波段如下：

全色態(Panchromatic)：0.45-0.90 μm

多光譜態(Multispectral)：

0.45-0.52 μm (Blue) 0.52-0.60 μm (Green)

0.63-0.69 μm (Red) 0.76-0.90 μm (Near IR)

(多光譜態與 Landsat 4&5 TM 波段相同)

3.5 IKONOS 與 SPOT 衛星影像之比較

表 3. IKONOS 衛星與國內常用的 SPOT 衛星在成像特性方面的比較

	IKONOS	SPOT
焦距/m	10	1.082
衛星高度/km	681	832
成像方式	推掃式(push-broom)	推掃式(push-broom)
獲得立體對方式	同軌道或跨軌道 (IN & Cross Track)	跨軌道 (Cross Track)
線性陣列感測器(CCD)/line	3	1
每排 CCD 之像元數/pixel	XS : 3454 PAN : 13816	XS : 3000 PAN : 6000
感測器間最大夾角/deg	同軌道：？ 跨軌道：？	跨軌道：54
每張影像掃瞄時間/sec	未公佈	9.012
掃瞄寬度/km	13	60

像元大小/ μm	XS : 48 PAN : 12	XS : 26 PAN : 13
空間解析力/m (Space Resolution)	XS : 4 PAN : 1	XS : 20 PAN : 10
時間解析力/day (Time Resolution)	1m:2.9 1.5m:1.5	2.5
輻射解析力/ μm (Radiometric Resolution)	PAN:0.45-0.90 XS: 0.45-0.52 0.63-0.69	PAN:0.51-0.73 XS: 0.51-0.59 0.76-0.90 0.79-0.89
衛星軌道種類	太陽同步 (Sun-Synchronous)	太陽同步 (Sun-Synchronous)
衛星軌道與赤道交角	98.1°	98.77°
衛星通過赤道時間	10:30 a.m.	10:30 a.m.
衛星軌道週期/min	98	101.46
飛行速度 km/sec	6.79	6.67

四、遙測影像在海岸與海洋之調查與應用

4.1 海岸帶地貌判讀

1. 岸海底深度的判讀。
2. 峽深槽的判讀。
3. 構造陡坎和 underwater 海蝕臺的判讀。
4. 水下溺谷和 underwater 河槽的判讀。
5. 岸泥沙流的判讀。
6. 岸類型及特徵的判讀。

4.2 海灘資源調查

4.3 海洋狀況遙感測定

1. 海溫遙感測定
2. 海洋水深遙感測定
3. 海洋水色遙感測定
4. 海冰遙感測定
5. 海洋鹽度遙感測定
6. 洋濁度遙感測定
7. 流遙感測定

4.4 海洋生物資源遙感調查

4.5 海洋遙感監測

1. 海洋污染的遙感監測
2. 河口及海岸懸浮泥沙監測
3. 海岸、海灘監測
4. 海洋氣象監測預報

五、遙測影像之幾何糾正

遙測影像中各點間不同程度之幾何變形主要是在成像過程中，受到透視投影、攝影軸傾斜、大氣折光、地球曲率及地形起伏等因素的影響產生像點移位，致使像幅中各像點間之比例尺不一。因此，有必要實施幾何糾正處理，否則無法作為地圖使用。

5.1 平坦地形之幾何校正

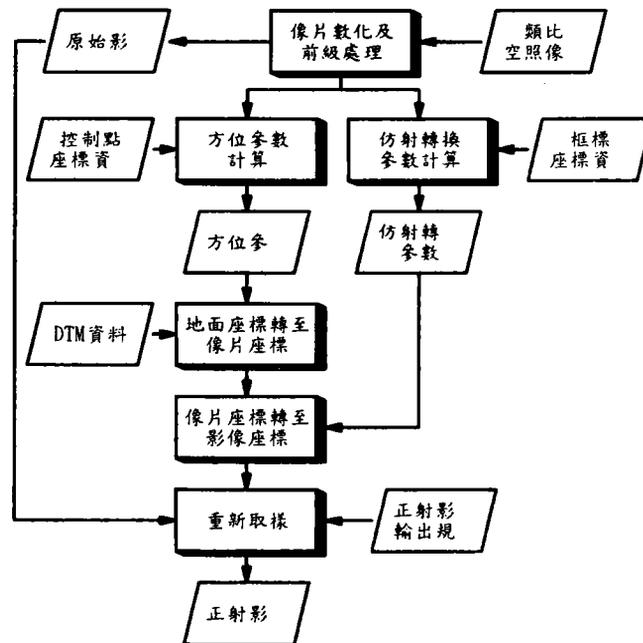
就本研究獲取的 Ikonos 衛星影像是屬於 Geo-Product 等級的影像，已經過標準幾何改正，也就是利用軌道參數及投影方法將原始影像糾正至 WGS84 橢球面上，並以 UTM 的平面投影座標表示。因港口地屬平坦，故進行與台灣慣用的 TWD67 TM2 座標系統套合，可直接採用平面坐標系之轉換即可。

5.2 起伏地形之幾何校正

地形起伏因素僅造成的像點移位最為主要而顯著，而且具有隨機性質，難以有效利用整體性的數學函數來處理。必須考慮採取嚴密之正射糾正程序來處理。

確定像空間與物空間之轉換關係。主要有兩種型式：一為直接法(Direct Method)，即由影像座標系來直接求定其地面座標系之相應位置。另一種型式則為間接法(Indirect Method)，是先確定地面座標點後，再以逆轉換推求其相應之原影像座標，並重新取樣而得。

5.3 正射糾正程序



六、台灣各港灣及鄰近海岸影像資料庫之建立

本工作將針對台灣目前主要港灣—包括基隆港、淡水港、蘇澳港、台中港、高雄港、花蓮港、安平港與左營港等八個港灣及鄰近海岸，以高解析之數值影

像建構影像及向量圖像資料，並以地理資訊系統型式，建置資料儲存、管理、查詢及應用系統，以利港灣及岸線資料庫建立及變遷之分析。

6.1 工作內容

6.1.1 高解析度數值彩色影像購置：

針對台灣八大港口—基隆、淡水、蘇澳、台中、高雄、花蓮、安平與左營等港口為中心，岸線至少 20km 長，含內陸至少 2km 以上，海域 1km 以上(合計像幅寬度 5km × 長度 20km 以上) 範圍，購置像元地面解析度 1 公尺以內(含)之高解析度數值彩色影像，影像中含雲量不得高於 10%。

6.1.2 實測潮汐資料：

購置前述影像攝像時間之實測潮汐資料，資料必須包含攝像時間前後各 24 小時。

6.1.3 地面控制點測量：

影像範圍地面控制測量，每個港口至少需 10 個以上控制點，且點位必須於影像陸地範圍內均勻分佈，每個點位之點位平面精度要求至少 10 公分以內，高程精度要求至少 15 公分以內，

6.1.4 影像正射化糾正：

數值正射影像糾正，利用地面控制點，採用光束法(共線條件式)推求影像之方位參數，檢核點位精度(中誤差)應在 1 個像元以內。

6.1.5 影像鑲嵌：

糾正後影像進行鑲嵌處理，將每個港口影像資料作成連續性圖像資料並消除相鄰影像之色調差異。

6.1.6 向量資料粹取：

港灣設施及岸線之向量資料粹取，描繪之向量資料以 AutoCAD R14 版以上 DXF 或 GIS 圖檔格式儲存。粹取向量資料應包括岸線、港灣設施、主要道路、重要建務物、河川、鐵路、重要路名及港口之燈標等。

6.1.7 潮灘地質屬性資料之調查及記錄。

6.1.8 港口彩色圖像輸出：

6.2 圖像管理及查詢之地理資訊系統設計：

使用 GIS 工具(如 MAP X 或 Map Object)開發應用系統，系統中應包括：

6.2.1 基本資料：

1. 港口之數值影像資料
2. 港灣設施及岸線等之向量資料
3. 相關潮汐資料
4. 控制點資料
5. 潮灘地質屬性資料

6.2.2 系統功能：

1. 圖像資料管理模組
2. 圖像資料查詢模組
3. 影像及向量圖形之套疊模組
4. 圖像之三維顯示、旋轉、縮放功能模組
5. 潮灘高程資料之計算
6. 潮灘面積之計算
7. 岸線長度之量測與計算

8. 變遷分析功能 (有同一地區不同時段影像時)

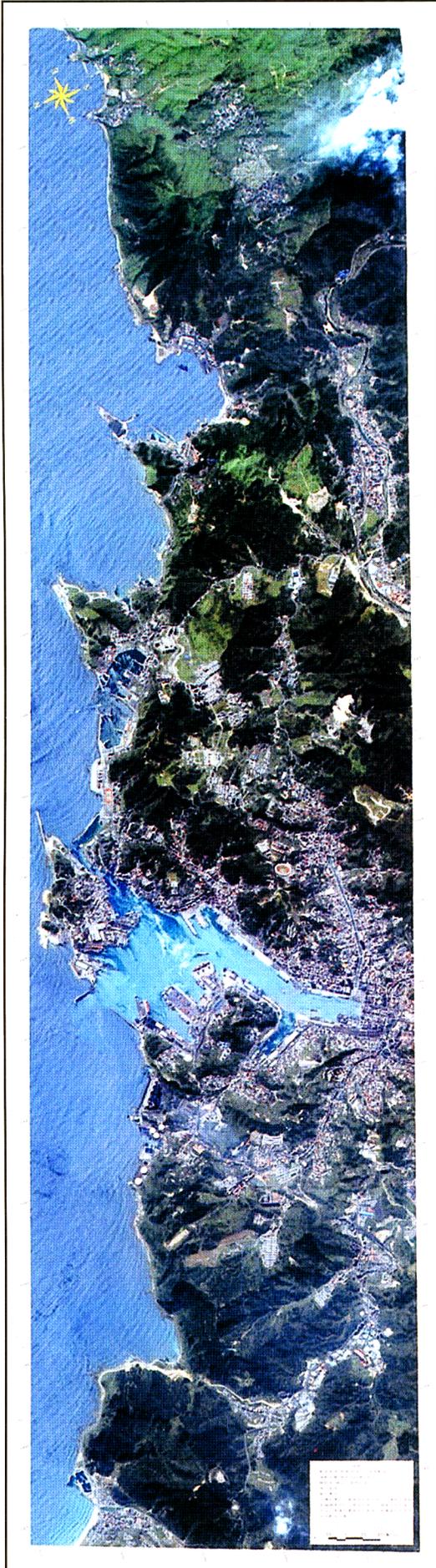
七、結 論

1. 首度利用高解析遙測影像，建構台灣地區港灣及海岸數位圖像資料庫，替代傳統人工或航照之海岸調查方式，可即時或快速的掌握大範圍之動態變化，除可滿足精度之需求外，並具有較佳經濟之效益。
2. 地理資訊系統管理模式，進行圖像資料之儲存、管理、分析與應用。以期對港灣及海岸之海岸調查、規劃管理及即時掌握大範圍之動態變化，為海岸保護與永續經營提供一有效之系統分析工具。
3. 功能未來可擴增其加值應用，諸如潮灘高程資料之計算、潮灘面積之計算、岸線長度之量測與計算及多時段影像之變遷分析，配合資料庫系統之持續建置，逐漸形成一有關海岸帶岸灘動態監測、潮灘高程、影像判讀製圖之研究系統工具。

參考文獻

1. Gerlach, F., 2000, Characteristics of Space Imaging's One-Meter Resolution Satellite Imagery Products, Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.33, Part B1, Amsterdam, Netheland.
2. Gonzalez, R.A. (1998). Horizontal Accuracy Assessment of the New Generation of High-resolution Satellite Imagery for Mapping Purposes. M.S. Thesis, Graduate Program of Geodetic Science and Surveying, The Ohio State University, July 1998,
3. Parker, J. (1997). **The Advantages of In-Track Stereo Acquisition from High-Resolution Earth Resources Satellites.** *Proceedings of ACSM/ASPRS Annual convention & Exposition*, Seattle, WA, Vol.3, pp.276-282.
4. Wewel, F. (1996). Determination of Conjugate Points of Stereoscopic Three Line Scanner Data of Mars'96 Mission. Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol.XXXI, Part B3. Vienna, PP.936-939.
5. 仇肇悅等, 1998, 遙感應用技術, 武漢測繪科技大學出版社。

基隆港 2000 年 10 月 10 日 衛星影像圖



淡水港 2000 年 10 月 10 日 衛星影像圖



台灣東部港灣波浪預警系統之應用研究

何良勝¹ 邱永芳²

執行單位：海岸工程組

政府出版品統一編號：00925480221

計劃編號：MOTC - IOT - IHMT - CB8907

全程期間：88/07/01~89/12/31

執行期間：88/07/01~89/12/31

摘 要

本研究主要探討台灣東部花蓮與蘇澳兩港域港內、外波浪的動態特性，港外之波浪動態係以統計經驗迴歸分析與應用類神經網路方法，配合中央氣象局的颱風動態資料和本中心現場量測的波浪資料，分別求取對應的颱風波浪推算模式。港內的波浪動態部份，則係於花蓮與蘇澳兩港內設置量測系統，用以觀測分析港內的波浪變化情況。

一、前言

台灣處於太平洋之西，屬於颱風最易形成區域(北緯 10 度~15 度之間)之行經路徑上，常面臨颱風的威脅。由於颱風所形成的波浪具有較長週期及較大波高，波浪能量即較平時之季節風波浪強，相對於沿岸地形或海岸結構物易造成較強烈的侵蝕與災害，尤其是台灣東部地區於每年夏秋之際必受颱風侵襲之苦。花蓮、蘇澳兩港位於台灣東部海岸，當颱風來襲時，除受較大波浪之苦外，有時仍須防止碇靠船隻斷纜之危而離港避難。因此，有必要研究探討台灣東部海域波浪推算，同時建立一套即時性的波浪預警系統，以提供船隻碇泊及離港疏散之用。

二、港外颱風波浪推算

¹ 港灣技術研究中心研究員

² 港灣技術研究中心組長

本節內容主要是利用中央氣象局和本中心長期於台灣東部海域進行的波浪觀測資料，分別以傳統式的多變數統計分析及類神經網路方式的推算方法，建立一套適合台灣東部海域的颱風波浪推算及預測模式，有關推算分析過程與結果如下列詳述。

2.1 波浪資料

波浪觀測資料為本中心長期對花蓮港附近海域波浪進行的觀測及紀錄，78年12月至88年10月，使用浮球式波浪儀，記錄波浪時間為每小時20分，原始波浪資料之取樣頻率為1.28Hz。第一測點之位置編號ST.1，其測點經緯度為(N23°58'45", E121°37'46")。自82年3月以後將觀測位置移至第二測點位置編號ST.2，其經緯度為(N23°59'57", E121°38'19")。測量波浪儀器使用Datawell公司出品之浮球方向波浪儀(directional waverider)，每小時記錄34分，原始資料的取樣頻率為1Hz。

2.2 多變數之颱風波浪推算模式

本研究中應用於經驗統計迴歸分析之基本式，分別選用楊(1997)之非線性推算式

$$H_s = c + a(\Delta P) \left(\frac{1}{1 + b \times D/R_7} \right) (1 - A_s) \quad (1)$$

$$T_s = c + a \left(\frac{\Delta P}{g} \right)^{1/2} \left(\frac{1}{1 + b \times D/R_7} \right) \quad (2)$$

與線性推算式

$$H_s = c + a \times \Delta P + b \times V_f + d \times D + e \times R_7 + g \times A_s \quad (3)$$

$$T_s = c + a \times \Delta P + b \times V_f + d \times D + e \times R_7 + g \times A_s \quad (4)$$

上述式中之 a、b、c、d、e、g 為迴歸待定係數。上述推算模式之迴歸分析的結果，就線性推算式而言，如圖 1 與圖 2 所示。

綜合整體結果顯示，測站一的波浪特性推算結果與實測資料的相關性較測站二為低，波浪示性週期的推算值與實測資料的相關係數較示性波高為高。

2.3 類神經網路之颱風波浪推算模式

2.3.1 類神經網路之架構

由於波浪資料與颱風氣象資料的時間序列上前一時刻與後一時刻的相關性極高，因此本研究將類神經網路架構分成兩個方向進行分析及研究，第一種架構為串聯型類神經架構，如圖 3；另一種為串並聯型類神經架構，如圖 4，詳細的組織架構方式將在以下說明：

1. 串聯型類神經架構

串聯型的類神經網路函數可由下列兩個公式表示：

$$H_{netb\ 1/3} = f\{[W_3]_{(1 \times 8)} \cdot f\{[W_2]_{(8 \times 8)} \cdot f\{[W_1]_{(8 \times 16)} \cdot [I]_{(8 \times 1)} - [\theta_1]_{(8 \times 1)}\} - [\theta_2]_{(8 \times 1)}\} - [\theta_3]_{(1 \times 1)}\} \quad (5)$$

$$H'_{p1/3} = f\{[W_2]_{(1 \times 2)} \cdot f\{[W_{11}]_{(2 \times 1)} \cdot H_{netb\ 1/3}^{(t)} + [W_{12}]_{(2 \times 1)} \cdot H_{netb\ 1/3}^{(t-1)} - [\theta_1]_{(2 \times 1)}\} - [\theta_2]_{(1 \times 1)}\} \quad (6)$$

2. 串並聯型類神經架構

串並聯型的類神經網路函數可表示為：

$$H_{netb1/3} = f\{[W_2]_{(8 \times 8)} \cdot f\{[W_1]_{(8 \times 16)} \cdot [I']_{(8 \times 1)} - [\theta_1]_{(8 \times 1)}\} - [\theta_2]_{(8 \times 1)}\} + f\left\{ f\{[W_{22}]_{(8 \times 8)} \cdot f\{[W_{21}]_{(8 \times 16)} \cdot [I']_{(8 \times 1)} - [\theta_{21}]_{(8 \times 1)}\} - [\theta_{22}]_{(8 \times 1)}\} + f\{[W_{32}]_{(8 \times 8)} \cdot f\{[W_{31}]_{(8 \times 16)} \cdot [I'^{t-1}]_{(8 \times 1)} - [\theta_{31}]_{(8 \times 1)}\} - [\theta_{32}]_{(8 \times 1)}\} \right\} \quad (7)$$

$$H'_{p1/3} = f\{[W_2]_{(1 \times 2)} \cdot f\{[W_{11}]_{(2 \times 1)} \cdot H_{netb\ 1/3}^{(t)} + [W_{12}]_{(2 \times 1)} \cdot H_{p1/3}^{(t-1)} - [\theta_1]_{(2 \times 1)}\} - [\theta_2]_{(1 \times 1)}\} \quad (8)$$

2.3.2 模式之推算結果

1. 串聯型類神經架構

串聯型的分析結果如圖 5 及圖 6 所示，經由計算 $H_{m1/3}$ 、 $H_{p1/3}$ 其相關係數 R^2 為 0.971，而 $T_{m1/3}$ 與 $T_{p1/3}$ 的相關係數 R^2 為 0.937 推算值大多均勻分佈在斜率為 1 的附近。這個結果表示波浪推算模式在有限資料的訓練學習下，具有良好的波浪推算能力。

2. 串並聯型類神經架構

串並聯型的分析結果如圖 7 及圖 8 所示，經由計算 $H_{m1/3}$ 、 $H_{p1/3}$ 其相關係數 R^2 為 0.975，而 $T_{m1/3}$ 與 $T_{p1/3}$ 的相關係數 R^2 為 0.94 推算值大多均勻分佈在斜率為 1 的附近。這個結果發現 $H_{m1/3}$ 、 $H_{p1/3}$ 相關係數與 $T_{m1/3}$ 與 $T_{p1/3}$ 的相關係數都略高於串聯型類神經架構的結果，但是推算值分佈在斜率 1 的附近較不集中。

2.3.3 精簡模式

本研究更進一步經由靈敏度分析及嘗試法簡化推算模式的架構，為同時保有精確度及結構簡單的目標，此一階段採用串聯式類神經網路作為推算模式的主體，所以類神經第一部份的架構簡化為倒傳遞類神經網路第一層隱藏層將採用 14 個神經元；第二層隱藏層將採用 7 個神經元，之後為一個輸出端，這樣的結果將減少學習時間提升學習效率。

圖 9 為波高的推算值與量測值的關係 R^2 為 0.997，圖 10 為週期的推算值與量測值的關係 R^2 為 0.998，由以上的結果發現只要颱風規模以及路徑類似颱風波浪就能有相當好的推算結果，另外由於波浪週期的變化程度相較於波高單純的多，所以模擬及推算的結果也較好。

三、港內波浪量測

本研究針對港內設計一套容量式波高計的波高直接量測系統並以無線電輸

及個人電腦直接接收以記錄資料系統，同時輔以壓力式波高計來探討波高與波壓在多重入反射下的轉換關係。

3.1 理論架構

波高與波壓間的轉換關係，最直接簡易是利用線性理論來計算，如下式：

$$\eta_p = k_p \eta \quad (9)$$

另以經驗公式來描述波高與波壓間之關係，如 Chin & Kuo(1994)，其經驗式表示如下：

$$\frac{P}{H} = \exp\left(-0.905 \frac{\omega^2 Z}{g} - 0.027\right) \quad (10)$$

3.2 現地觀測結果

本研究分別在花蓮港內共按裝 8 個壓力式波高計，在蘇澳港內共按裝 9 個壓力式波高計，同時量測整個花蓮港內八個區域之波高分佈。蘇澳港從 89 年 7 月 1 日觀測到 89 年 9 月 4 日期間正好經過畢利斯颱風和巴比倫颱風之侵襲，花蓮港從 89 年 9 月 6 日至 89 年 10 月 11 日。

蘇澳港夏季季風期所量測結果，港內波高平均波高約在 10 公分到 20 公分之間，週期約在 3 秒到 4 秒之間，有義波高約在 20 公分到 30 公分之間，週期約在 4 秒左右，最大波高約在 40 公分左右，週期約在 4 秒到 5 秒。

花蓮港之量測結果，其平均波高約在 10 公分到 20 公分之間，週期約在 3 秒左右，有義波高約在 20 公分到 30 公分之間，週期 3 秒到 4 秒之間，最大波高約在 40 公分到 50 公分之間，週期約在 4 秒到 5 秒之間。

在觀測期間內僅有蘇澳港在 8 月量測到二個侵台颱風之港內波高分佈資料。畢利斯颱風進入台灣時蘇澳港在 8 月 22 日 23 時量測到港內最大波浪為港口處波高 15.65 公尺，週期 13.8 秒；內港航道入口處波高 4.93 公尺，週期 11 秒；儲木池入口前波高 6.69 公尺，週期 7.3 秒；此處週期變短可能係因碎波堤反射影響，由此三處可發現波浪入港後能量集中在檢疫錨地直接作用在南外堤港側交角

處，而造成交角處之塊石與消波塊被波浪衝擊而推置在沉箱上。

89 年 8 月 30 日經過台灣之巴比倫颱風相形就比畢利斯颱風小很多，僅在外港水域波高較大，內港波浪較小，週期約在 7 秒到 9 秒之間，顯然的週期較畢利斯颱風小，波高僅在港入口處為有義波高 1.83 公尺，最大波高為 2.45 公尺，其各區波高與週期分佈圖如圖 9、圖 10 和表 1 所示。

四、結論

綜合前節之分析陳述，本文可歸納以下幾點結論：

1. 就統計經驗迴歸與類神經網路兩種推算模式的分析結果比較，由於類神經網路具有較高的學習與容錯的能力，以及高速的計算能力，其模式的預測精度較統計經驗迴歸者為高。
2. 於類神經網路推算模式中，串並聯類神經與串聯類神經結構最大的差別，在於對輸入的氣象資料進行時間序列相關性的連結，採用這種模擬方式較符合真實的物理環境。
3. 類神經網路建立的颱風波浪推算模式，可以隨著新的颱風資料繼續學習及調整，以因應海域內某些影響波浪的因子，例如海域內地形變化或海岸結構物的興建。
4. 畢利斯颱風登陸時間為 89 年 8 月 22 日 23 時，蘇澳港港口附近量測之最大波高為 15.56 公尺，港內水域亦達 6 公尺以上。亦即波浪入港後，能量集中在檢疫錨地直接作用在南外堤港側交角處，而造成交角處之塊石與消波塊被波浪衝擊而堆置在沉箱上，此現象為歷年罕見。蘇澳港各水域在畢利斯颱風侵襲時之波高分布。

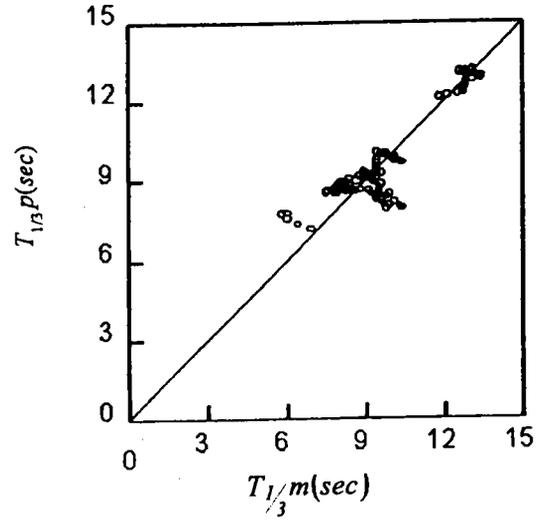
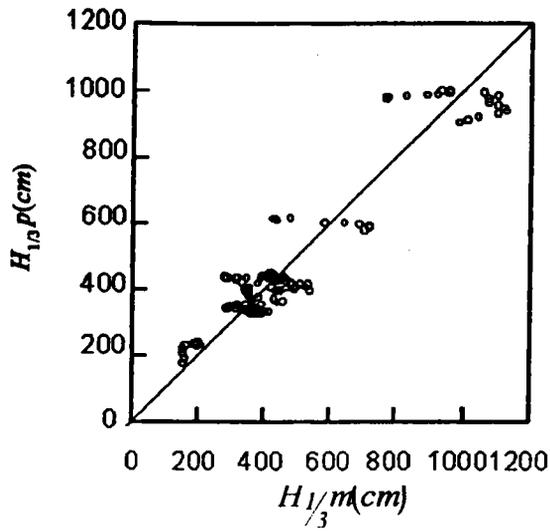


圖 1 測站 1 風浪示性波高線性推算值與實測值之比較

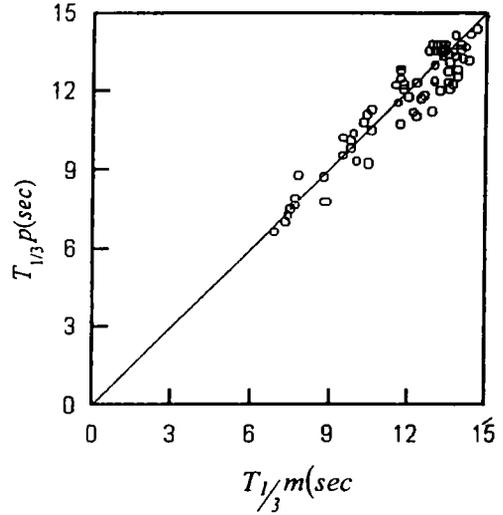
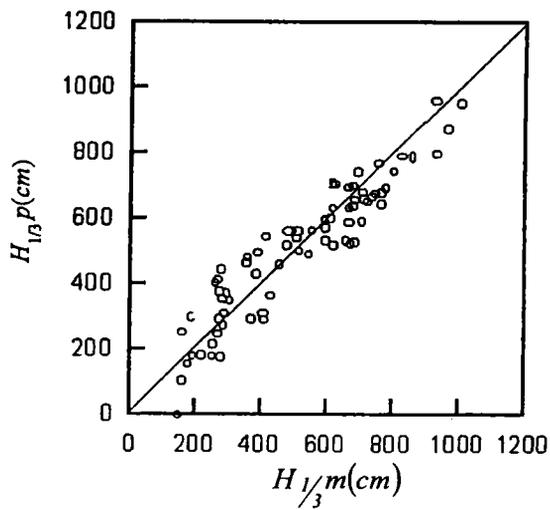


圖 2 測站 2 風浪示性波高線性推算值與實測值之比較

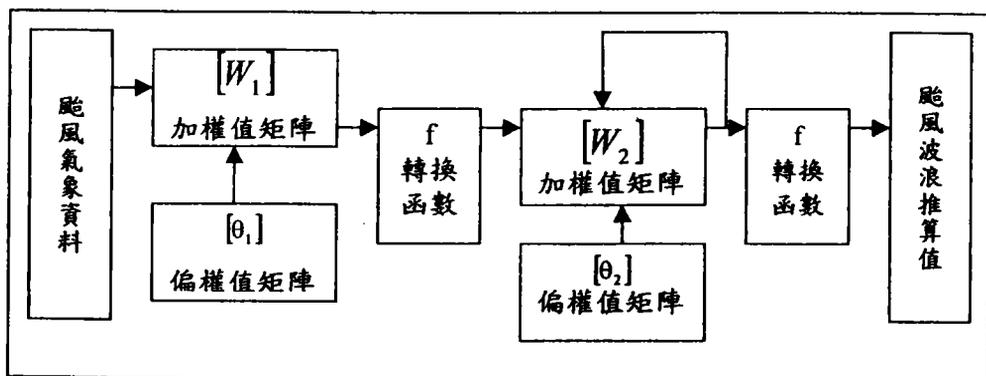


圖 3 串聯型類神經架構

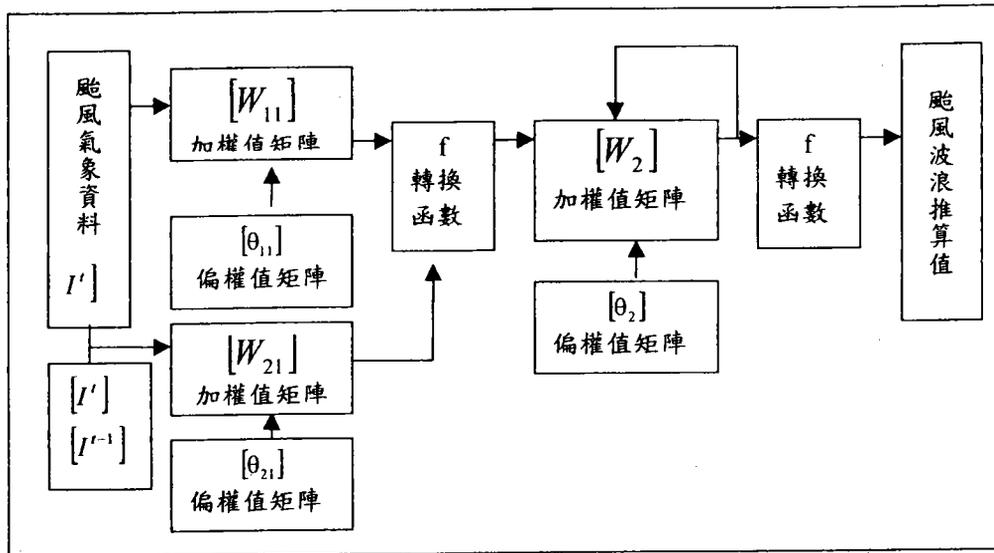


圖 4 串並聯型類神經架構

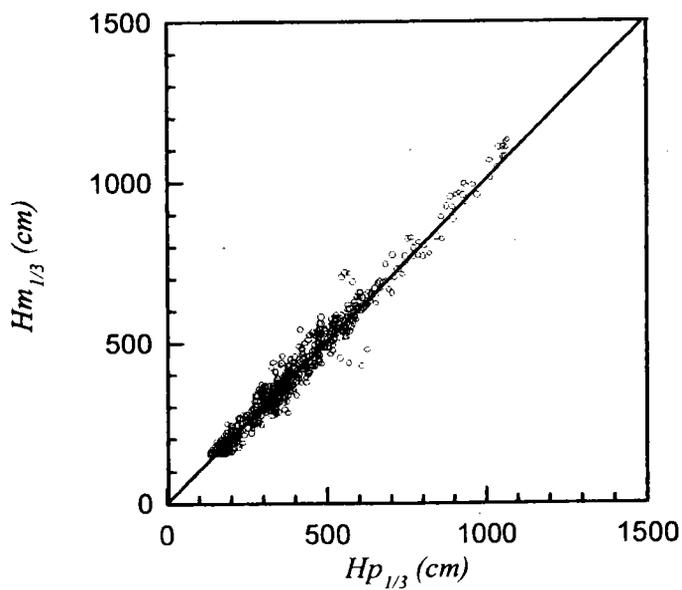


圖 5 串聯型之波高推算與觀測值的關係比較圖

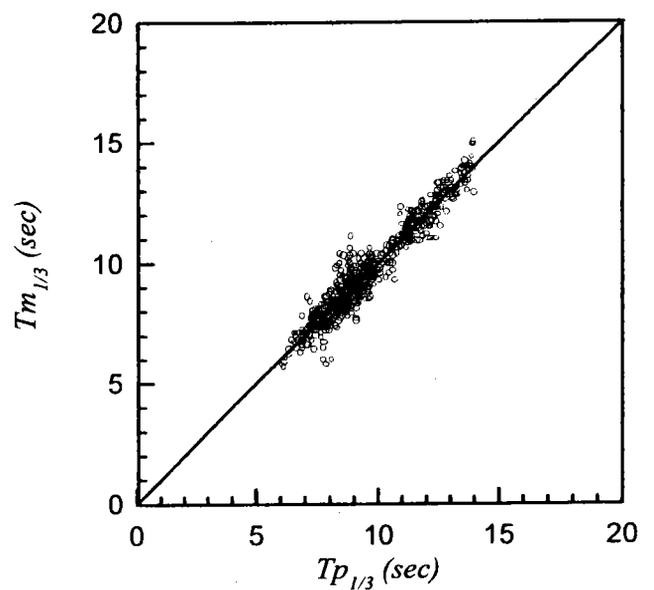


圖 6 串聯型之週期推算與觀測值的關係比較圖

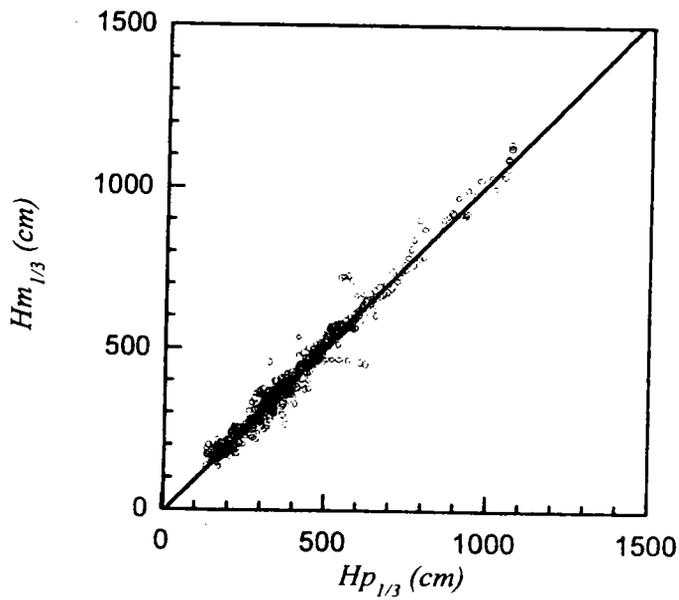


圖 7 串並聯型之波高推算與觀測值的關係比較圖

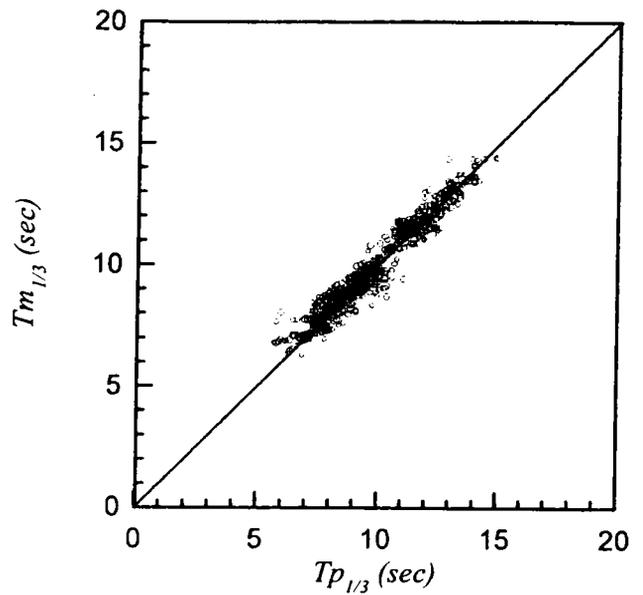


圖 8 串並聯型之週期推算與觀測值的關係比較圖

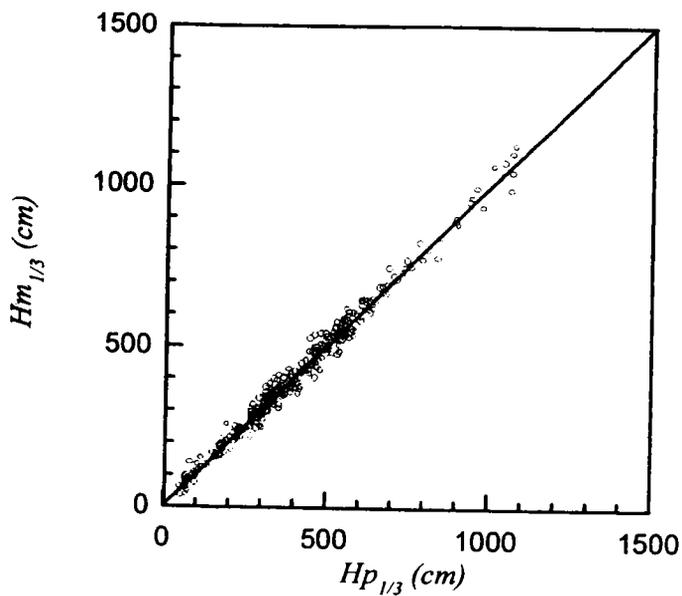


圖 9 精簡模式之波高推算與觀測值的關係比較圖

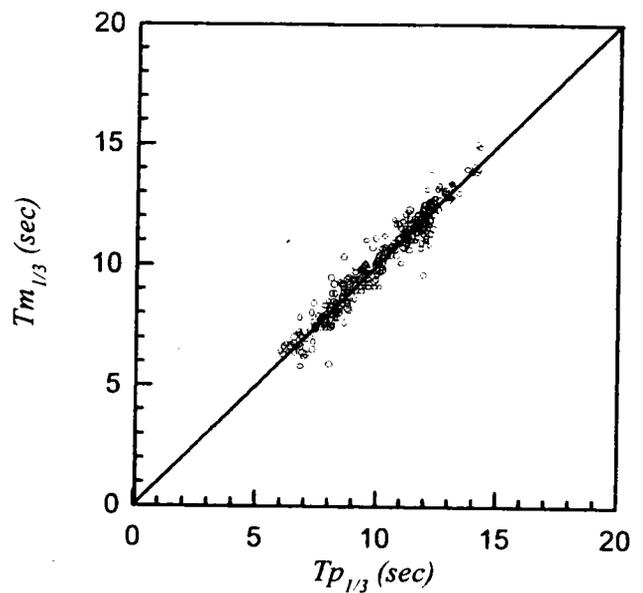
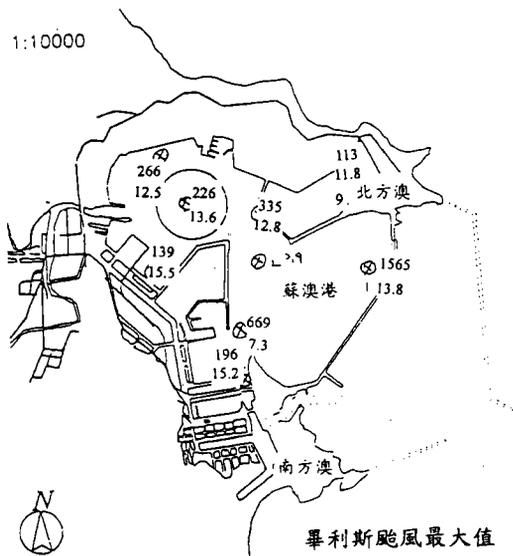
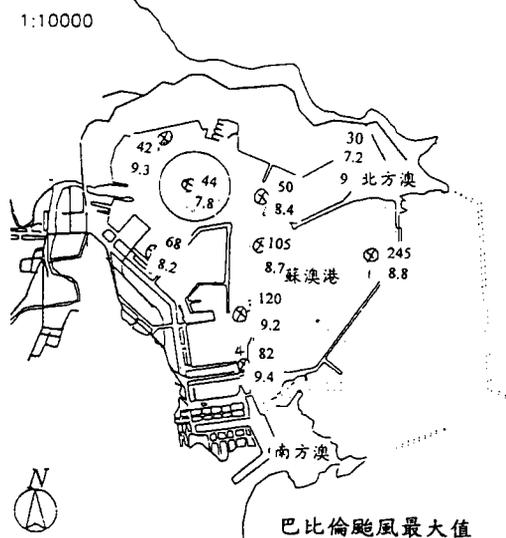


圖 10 精簡模式之週期推算與觀測值的關係比較圖



畢利斯颱風最大值



巴比倫颱風最大值

圖 11 蘇澳港畢利斯颱風波浪最大值分佈圖 圖 12 蘇澳港巴比倫颱風波浪最大值分佈圖

表 1 蘇澳港颱風觀測結果比較表

畢 時 間		1	2	3	4	5	6	7	8	9
利 8	$H_{1/3}$	844	319	324	125	71	193	156	159	69
	$T_{1/3}$	12.4	11.4	8.2	11.5	10.8	13.4	11.4	11.8	14.4
斯 22	H_{max}	1565	493	669	196	139	335	226	266	113
	T_{max}	13.5	11	7.3	15.2	15.5	12.8	13.6	12.5	11.8

巴 時 間		1	2	3	4	5	6	7	8	9
比 8	$H_{1/3}$	183	79	76	36	30	30	26	29.3	21
	$T_{1/3}$	9.2	9.8	9.0	7.1	7.0	6.4	6.6	7.6	6.3
倫 30	H_{max}	245	105	120	82	68	50	44	42	30
	T_{max}	8.8	8.7	9.2	8.4	8.2	8.4	7.8	9.3	7.2

Wave Characterizations Using Wavelet and Spectral Coherences

Yueon-Ron Lee*

Abstract

Based on an optimum wavelet function basis as explored in several previous studies (Lee and Wu 1996a, b, 1997), the wavelet coherence is shown to yield far much better results than does the spectral coherence. Moreover, the wavelet approach is also shown to be much more economic in the amount of data needed for processing. Through the studies of either wave-current or current-current coherences for both wind waves and Stokes waves, we illuminate many interesting physics related to water waves of wave tank experiments. Specifically, the topics covered here are: theoretical backgrounds and their inherent implications for both approaches; effects of analyzing data length; the identification of micro features related to the natural frequency of a wave tank; the stage of wind wave development; innate physics and features of instability of Stokes waves; the shift non-invariant property of basis functions; coherence features for non-concurrent or displaced measurements; the different uses of complex and real wavelet coherences.

子波型與波譜型共關頻振特性比較研究

李勇榮

執行單位：海岸工程組
政府出版品統一編號：009254890340
計劃編號：MOTC-IOT-IHMT-CA8908
全程期間：88/07/01~89/12/30
執行期間：88/07/01~89/12/30

摘 要

經由對試驗水槽所取得之水波相關訊號加以探討其波與流或流與流共關頻振行為，我們一方面驗證了先前相關於水波用途上之最適化函基研究的合理性與有用性，一方面則顯示此處共關頻振分析結果的代表性與正確性實乃其來有自、勿庸置疑。再者此處比較子波型與波譜型共關頻振之不同表現與特性。結果顯示，無論是物理行為解說或是資料分析所需數據量，子波共關頻振之表現均遠遠優於波譜型共關頻振。具體而言，此處包含的探討子題為：兩種不同方法其理論背景與內涵本質之物理義意；資料分析長度需求；由巨觀訊號取得微觀之水槽自然頻率及其多模特性；風波成長階段判別；一些物理現象之表徵、如側頻不穩現象與史脫克波特徵；訊號移位變易效應探討；非同步或易位量測之影響；虛數與實數子波之不同表徵與用途。

*Associate Researcher, Institute of Harbor and Marine Technology

1 Introduction

1.1 An optimum wavelet function basis

Lee and Wu (1996a), using various entropy statistics of transform coefficients, tested among a relatively complete set of discrete Riesz wavelet function bases, as well as Fourier basis, and found the best basis for water wave simulations to be the cardinal *B*-spline semi-orthogonal wavelet as given by Chui (1992a, b, c).

In a subsequent paper (Lee and Wu 1996b) they linked the identified discrete Riesz basis to its continuous wavelet transform counterpart related to the modulated Gaussian wavelet and further elaborated on the adaptation of time-frequency windows for better physical implications.

Here it is noted that the present study, together with the previous two, on one hand, should justify more than adequately the finding of the optimum bases; on the other hand, should vindicate to an ample extent the various characterizations to be presented subsequently.

1.2 Scopes and objectives

Based on the identified optimum function basis, here we calculate the wavelet wave-current or current-current coherences under various wind and Stokes wave conditions in an experimental water tank, and their results are compared with those of spectral coherences. Due to independent nature of individual subject matters, the contents are arranged in the following separate units:

1. The theoretical backgrounds for both wavelet and spectral coherences — the intimacy between the application formulae and their analytic forms will be stated, and individual advantages or shortcomings will be outlined;
2. Effects of data length on the analyses of coherence and the physical significance thus established;
3. The identification of the natural frequency of an oval tank — the extraction of a micro feature in an overwhelmingly macro energy field;
4. Levels of coherence and the stages of wind wave development;
5. Better innate physics — the Stokes wave views and water wave instability;
6. Phase effects — better shift non-invariant property;
7. Non-concurrent or displaced measurements for both wind and Stokes wave-current fields;
8. Coherences based on complex or real function basis and their different uses;
9. Concluding remarks — summary of factors that lead to the different performances of the two approaches.

2 Theoretical Backgrounds

2.1 Introduction

Coherence stands for mutual relation; it manifests an intimacy ranging from a complete clone to a total stranger. For a multi-scale, multi-factor coupling system the levels of coherence among different target quantities represent the degrees of mutual interaction. By studying variations of coherences under different experimental setups or different input parameters it is possible to identify the evolutions of different scales and to isolate key influencing factors as well as the effects thus associated.

We note first that, compared with Fourier coherence approach, wavelet coherences are able to provide far much better information that is not only unambiguous in outcome descriptions but also economical in data amount needed. Various topics to be shown later will illustrate all of these. Moreover, in two additional studies by the author, effects of non-stationary or local transient variations were stressed and uncertainties arising from Fourier spectra were further elaborated through Hilbert transform's viewpoint (Greenberg 1988; Cohen 1995; Lee 1997; Lee and Wu 2000). Herein, additional evidences of the drawbacks imposing upon the Fourier basis functions due to these effects will show up when comparing performances of spectral coherences with those of wavelet coherences.

2.2 Spectral coherence

The cross correlation function of two functions $g(t)$ and $h(t)$ is the following inner product $c(t)$

$$c(t) = \langle g(t + \tau), h(\tau) \rangle, \quad (1)$$

where τ is a dummy variable. The correlation coefficient function of $c(t)$ is $r_s(t)$,

$$r_s(t) = \frac{c(t)}{\|g(t)\| \|h(t)\|}. \quad (2)$$

For real $g(t)$ and $h(t)$, its Fourier transform is

$$\frac{\widehat{c(t)}}{\|g(t)\| \|h(t)\|} = \frac{G(\omega) \overline{H(\omega)}}{\|G(\omega)\| \|H(\omega)\|}. \quad (3)$$

The artifacts to be introduced in the spectral coherence are associated with the form of expected values and the introduction of a normalization as given by

$$R_s^2(\omega) = \frac{|\mathbf{E}[G(\omega) \overline{H(\omega)}]|^2}{(\mathbf{E}[|G(\omega)|^2] \mathbf{E}[|H(\omega)|^2])^{1/2}}, \quad (4)$$

where the symbol \mathbf{E} stands for taking expected value. Since expected values take no action without introducing one more dimension, this equation is identically unity for all frequencies if each data

sequence is not segmented and arranged in an array with one additional dimension. The process of this segmentation is completely similar to that commonly implemented in calculating the power spectrum; its purpose is to reduce the uncertainty or standard deviation of the spectrum. There is no doubt that inherent properties of the discrete Fourier analysis impose similar limitations to the conclusiveness of spectral coherences.

2.3 Wavelet coherence

As to the wavelet coherence, the derivation is even more direct and simpler, along with fewer artifacts.

The wavelet resolution of identity of two functions is

$$\langle g, h \rangle = \frac{1}{c_\psi} \int_0^\infty \frac{1}{a^2} \int_{-\infty}^\infty \langle g, \psi_{a,b} \rangle \overline{\langle h, \psi_{a,b} \rangle} db da, \quad (5)$$

in which c_ψ is a constant and $\psi_{a,b}$ is a wavelet with scale a and translation step b . For a fixed scale a

$$\langle g_a, h_a \rangle = \frac{1}{c_\psi} \frac{1}{a^2} \int_{-\infty}^\infty \langle g, \psi_{a,b} \rangle \overline{\langle h, \psi_{a,b} \rangle} db. \quad (6)$$

Here the integration with respect to the translation parameter b is physically, as well as intuitively, similar to the operation of taking an expected value by summing up the elements in the population space. It is therefore quite straightforward to define the wavelet coherence as the natural extension of the normalized equation of resolution of identity:

$$R_w^2(a) = \frac{|\mathbf{E}_b[\langle g, \psi_{a,b} \rangle \overline{\langle h, \psi_{a,b} \rangle}]|^2}{(\mathbf{E}_b[|\langle g, \psi_{a,b} \rangle|^2] \mathbf{E}_b[|\langle h, \psi_{a,b} \rangle|^2])^{1/2}}, \quad (7)$$

where the subscript b in \mathbf{E}_b stands for taking average with respect to the translation parameter.

It is clear that the wavelet coherence has a more direct linkage to its analytical counterpart than does the spectral coherence.

Unlike the spectral coherence, there is no need to segment the data. The expected values can be obtained in a sense of summing up the results of a simple convolution through a proper imaging and a sign change of the functions and variables involved. Therefore, the population size of the sample space of wavelet coefficients is generally two or three orders of magnitude larger than that for spectral coherence. That is to say, for almost any practical data acquisition scheme and any specific scale, the amount of available coefficients is generally not a concern for the wavelet scheme.

It is also noted here that there are quite fundamental differences between the present approach based on Equation 7 and the one adopted in Liu's (1994) paper in which there is no concern for the expected values (and, therefore, it should suffer from the various symptoms related to non-stationary effects).

Again, we note that the basis functions and the associated analyzing scheme used are based

on the identified optimum basis.

3 Experiments

The experiments were carried out in an oval tank equipped with wind blowing facilities and a mountable mechanical wave generator. Figure 1 shows the layout. The main configurations involve:

- Rain was modeled by a two-meter long artificial rain simulator.
- A differential pressure transducer was connected to two bottom holes of the tank locating at the upstream and downstream wave gauges that are situated ahead and behind the raining section.
- Aqueous flows at several depths in two cross sections along the tank (cf. Figure 1) were measured with a laser Doppler velocimeter (LDV).
- Both wind waves and Stokes waves are adopted. Major wind speeds are 6.0 and 5.1 m sec⁻¹. Stokes waves with wave steepness values of both a relatively small magnitude of 0.06 and a relatively high magnitude of 0.30 were mechanically generated.
- In anticipating the difficulties in distinguishing differences incurred by the change of experimental conditions as well as by the short raining section, a highly automated and specially optimized PC-based real time system for both experiments and data analysis was developed using the Asyst programming language. All calibrations, environmental and instrumental noise detections, real-time monitoring, experimental runs, on-site near real-time data analyses, and all major post processing were done with such a system to ensure maximum controls.

4 Data Length Requirements for the Two Approaches

4.1 Coherences using different analyzing data lengths

Both wind-wave (relatively non-stationary from the spectral viewpoint, but stationary from the zero-up-crossing statistics viewpoint) and Stokes wave (stationary) cases will be used to study the coherent features in the coupling systems.

The wavelet wave-current coherences using three different analyzing data lengths of 1024, 2048, and 4096 points are shown in figure 2. It is seen that various corresponding curves are in extremely good proximities.

It is quite remarkable that the wavelet coherence curves for the non-stationary (either from the Fourier spectrum or the zero-crossing statistics viewpoint) wind-wave cases of 1024-point data length are in quite consistent shapes with those using longer data lengths.

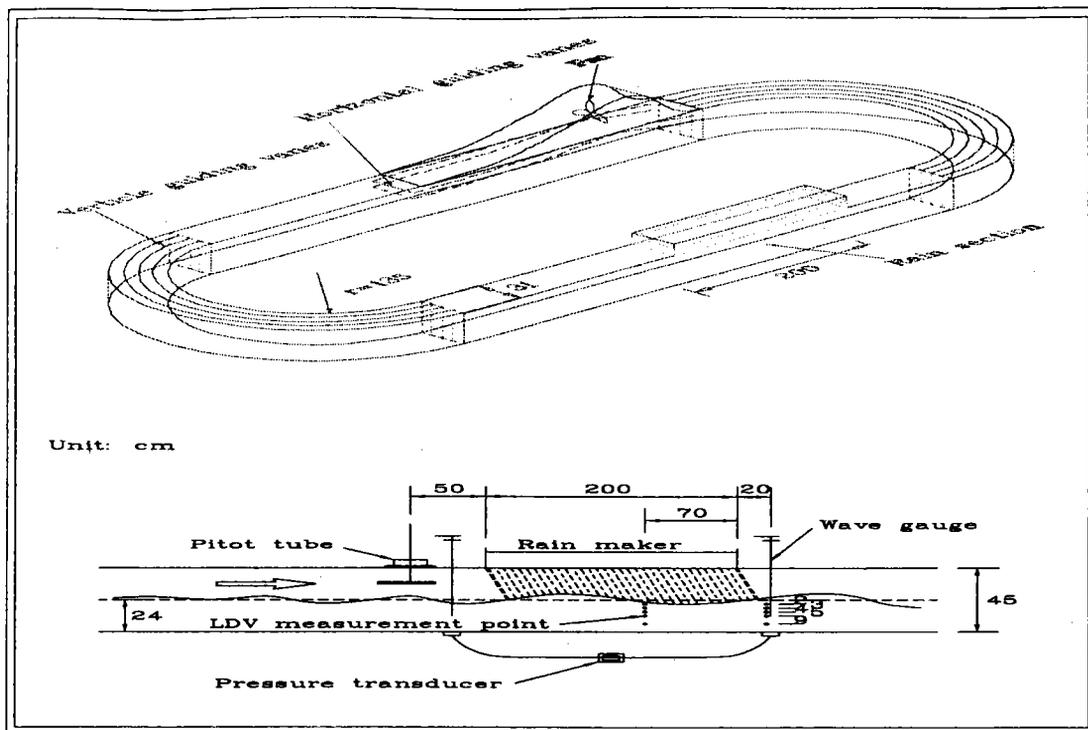


Figure 1: Schematic layout of experiment

The corresponding spectral coherences using three different analyzing data lengths of 1024, 2048, and 4096-point are shown in figure 3. It is seen that little or no proximity exists among various corresponding curves; there are always sharp rises and falls here and there, and detail trends can hardly ever be told.

It is also interesting to note that the spectral coherence curves are seen to approximate the wavelet coherence ones when an extremely long data length is used. Figure 4 shows the spectral coherences using a data length of 9126-point under two spectral segmentation lengths of 256- and 1024-point. Although extremely lengthy data may possibly render somewhat compatible tendencies with those of wavelet, the prices are certainly too costly. And in some cases, a few aspects can barely be derived as will be given subsequently.

4.2 Informative implications

Additionally, we have the following significant implications from the previous figures:

1. Life span of waves — Life spans of component waves are shorter than any analyzing data length used. That is to say, the support lengths of basis functions are long enough.
2. Stationarity — From the standpoint of the identified wavelet basis, the wave and current fields are reasonably stationary for all data lengths employed.

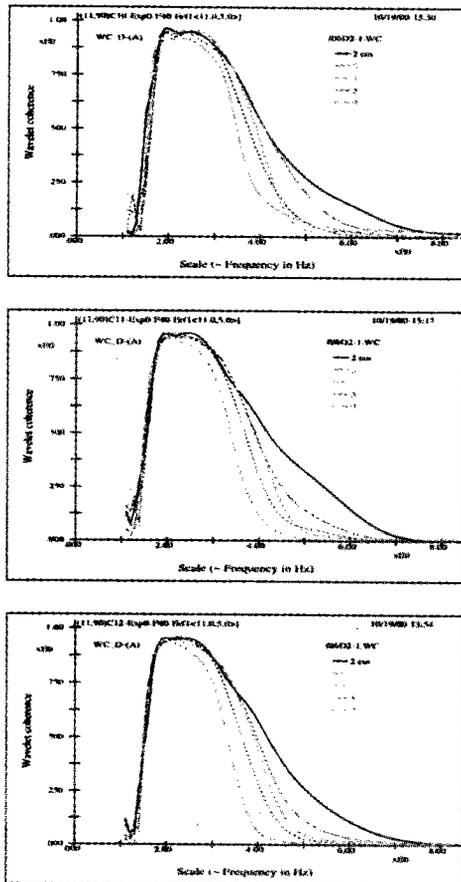


Figure 2: The wavelet coherences using three different data lengths: 1024 (top), 2048 (middle), and 4096-point (bottom). Here the coherence is between wave and aqueous flow at each individual depth as labeled in the figures. It is seen that various corresponding curves are in extremely good proximities.

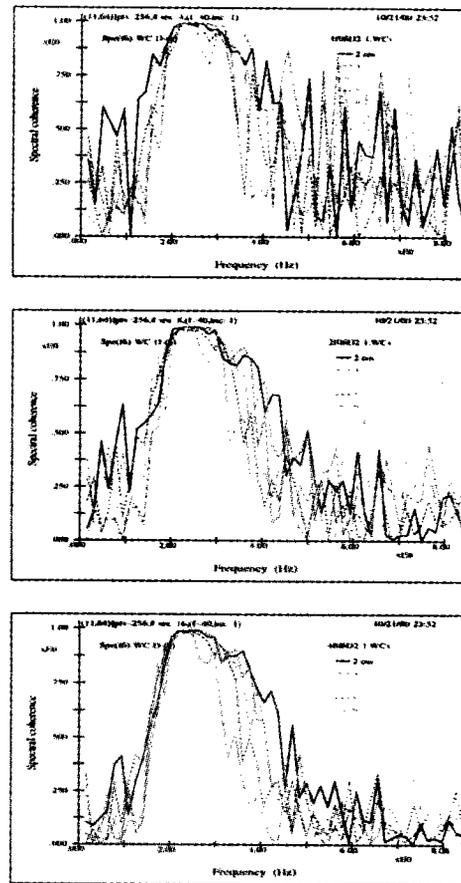


Figure 3: The spectral coherences using three different data lengths: 1024 (top), 2048 (middle), and 4096-point (bottom). The coherence is between wave and aqueous flow at each individual depth as labeled in the figures. It is seen that little or no proximity exists among various corresponding curves.

3. Usefulness of redundancy — The information content of redundancy quickly saturates, i.e., not much further information can be obtained when lengthening the data length.
4. Length requirements — Combining the three above statements, we see that there is really no need, at least for the present purposes, to acquire lengthy data when the wavelet approach is adopted; this is certainly not the case for spectral approach.
5. Water wave regularity — Judging from the fact that the function bases of wavelet and Fourier coherences are different, but they yield somewhat similar coherence curves, we regard that our water waves are still relatively quite “regular” when compared with other wavelet basis functions (Daubechies 1988, 1992; Mallat 1989, 1992, 1998; Coifman et al. 1992a, b, c; Meyer 1992, Press et al. 1992; Massopust 1994).

6. Transient effects and phase ambiguity — The poor performance of spectral coherences is reflected by the rapid variation of the coherent curves as well as the extremely low improvement when the data length is increased.

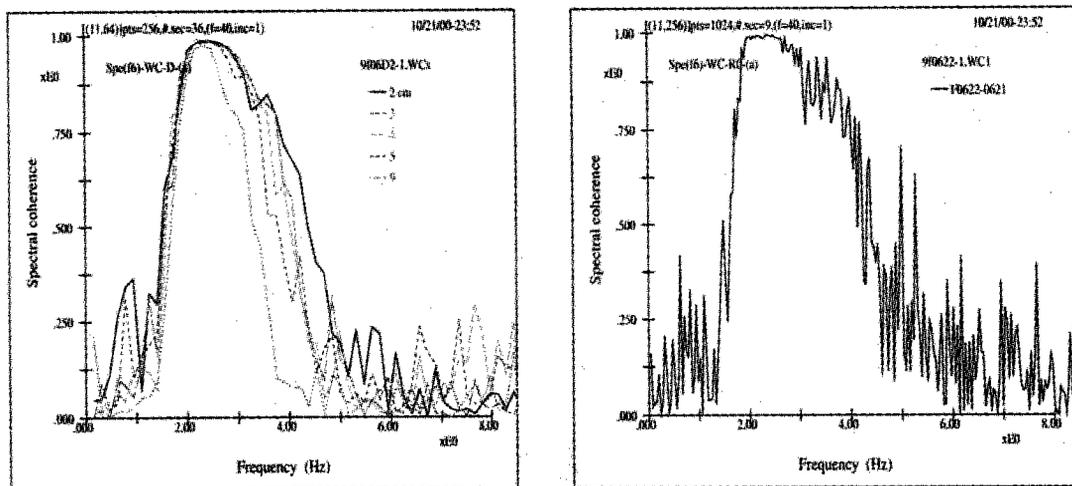


Figure 4: The spectral coherences using a data length of 9126-point with different spectral segmentation lengths. Here the segmentation lengths of 256 (left) and 1024 (right) points are used, and the coherence is between wave and aqueous flow at each individual depth as labeled in the figures. It is seen that spectral results using extremely lengthy data may possibly match that of wavelet, but the tactics might be too costly.

5 The Natural Frequency of the Wind Wave Tank

In this section we will see that wavelet coherence approach is able to identify a micro feature of tiny energy content that is otherwise invisible. This is illustrated through the extraction of the natural frequency of the wind wave tank using a single measuring pair from the wave-current field.

Figure 5 shows the wave-current coherences for currents measured at two individual depths, and the frequency range is from almost zero to 2.0 Hz. The existence of the somewhat regularly repeated bumps at the lower end of the coherence curve has its own physical significance associated with the natural frequency of the tank. We note that the irregularity for the left-most bump is caused by the long life span of the natural frequency, such that the support lengths of wavelet basis functions are unable to cover the whole span. And therefore edge effects are introduced.

The remarkable truth here is: Not only the wavelet coherence is able to extract a component signal of relatively tiny energy content (less than 1/10,000 of that of the primary wave), but also it is able to identify the harmonic feature of the embedded micro signal.

Figure 6 show the raw wave signal used to derive the above natural frequency. It is quite certain that the natural frequency as well as its features can hardly ever be perceived with any other numerical tool.

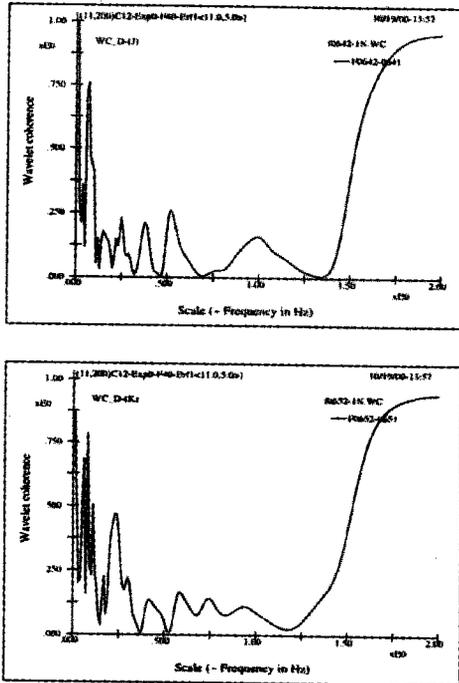


Figure 5: The feature of the somewhat regularly repeated bumps at the lower end of the coherence curve has its own physical significance associated with the natural frequency of the tank. It is quite remarkable that wavelet coherence is able to extract component (or embedded) signal of energy content of less than 1/10,000 of that of the primary wave and even to tell its harmonic feature.

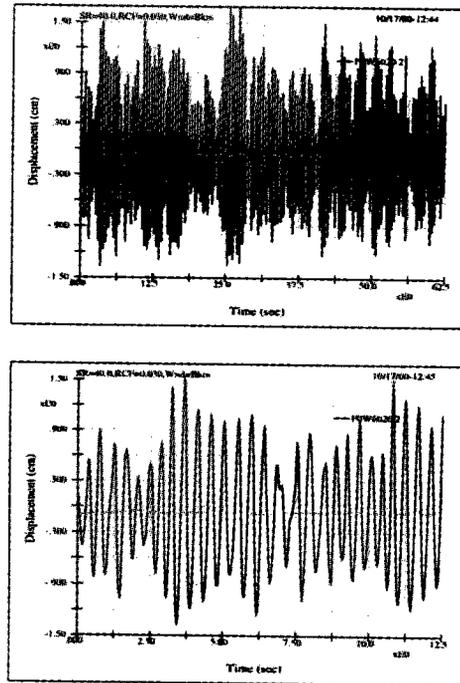


Figure 6: The raw wind wave signal that is used to derive the natural frequency – the micro feature can hardly ever be told.

6 Coherences and the Stage of Wind Wave Development

Coherence is a normalized value, within a coherence curve, higher coherences are associated with components of relatively higher energy content. Here we will see that wavelet coherence is able to differentiate small features and also show that the wavelet coherence levels are able to indicate the relative maturity of interaction among different coherent curves. In this regard, the spectral coherence is generally only capable of showing mediocre tendency for a single coherent curve. Figure 7 shows wave-current coherences for current measurement depths at 2 and 5 cm and wind speeds of 6.1, 5.1 and 4.0 m s⁻¹. It can be seen that the levels of coherence show the individual stages of wind wave developments.

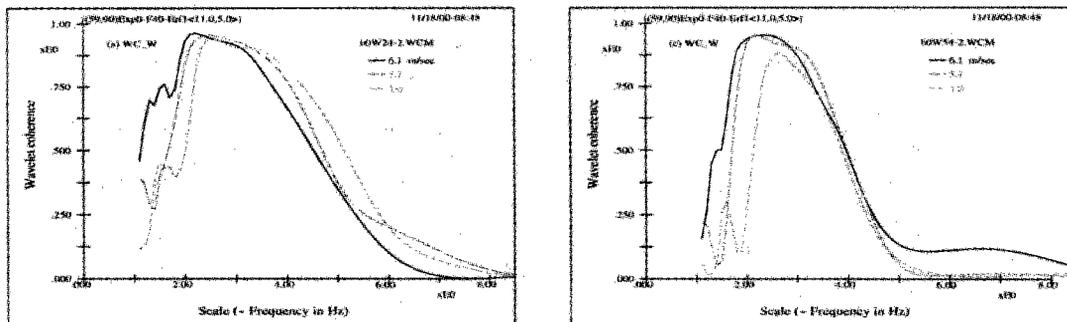


Figure 7: Higher coherence is associated with relatively higher energy content – the wavelet coherence is able to indicate the maturity of wind waves. Here wave-current coherences at depths 2 cm (left) and 5 cm (right) for three different wind speeds as labeled in the figures show the individual stages of wind wave development.

7 Coherence and the Instability of Water Wave

In this section we study the coherence features of Stokes waves with different wave steepness and show that wavelet coherence features are able to indicate phenomena related to water wave instability.

The wavelet wave-current coherences for two Stokes waves of wave steepness of 0.06 and 0.30 are shown in figure 8, and the corresponding spectral coherences are shown in figure 9.

For the low wave slope of 0.06 the coherence levels for the fundamental harmonic bands are close to unity for all depths and the curves are also near to each other; for the second peak (second harmonic), due to shorter wave length and higher local wave slope, the peak values are lower and the curves are not as close as what the first peak shows. Nevertheless, both peaks generally indicate features of low instability.

For the high wave slope of 0.30 the coherence levels for individual curves are seen to departed substantially from each other; moreover, it is seen that their coherence levels are reduced when compared with those of small wave steepness and that the deeper the depth the lower the coherence. Here the reasonable explanation is the downward expansion as well as the localized effects of low frequency band

8 Phase Effect on Wavelet Coherence

Up until now all the coherences deal with surface waves and current flows in the gravitational direction. And the wave and current are measured at almost the same location. The basic water wave kinematics tells that there is a $\frac{\pi}{2}$ difference between the phases of surface displacement and water particle velocity in the gravitational direction, i.e., if the surface displacement $\eta \sim \cos \theta$, then the current speed $w \sim \sin \theta \sim \cos(\theta - \frac{\pi}{2})$. Therefore it warrants for us to check whether there

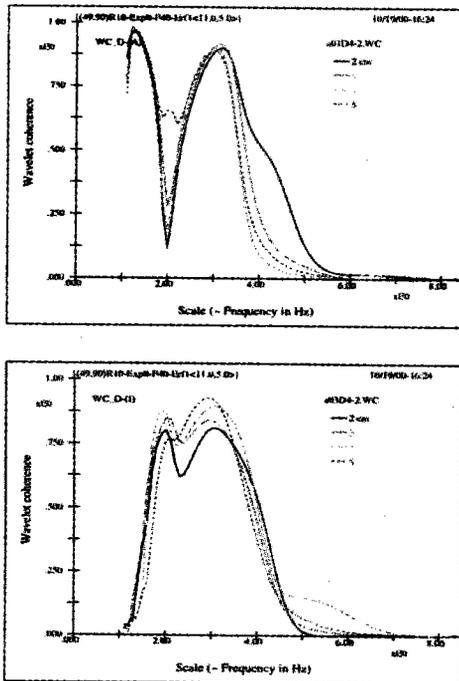


Figure 8: The wavelet wave-current coherences for Stokes waves with wave steepness values of 0.06 (top) and 0.30 (bottom) — The wavelet coherences are seen to indicate the different instability features of different wave slopes, either from the level of coherence or from the variation of coherences with different depths.

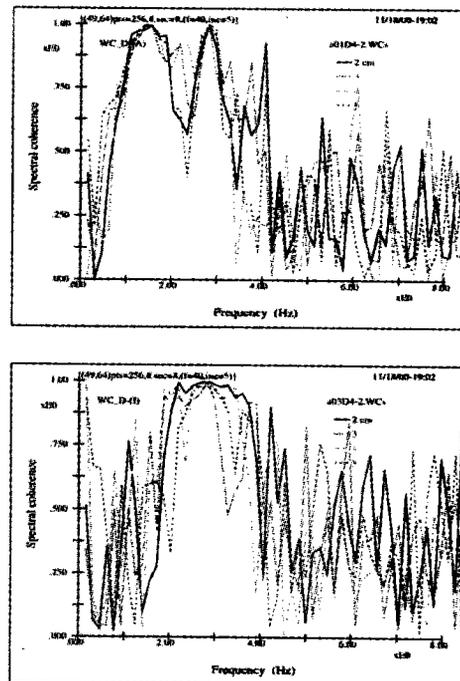


Figure 9: The spectral wave-current coherences for Stokes waves with wave steepness values of 0.06 (top) and 0.30 (bottom) — It is hard to infer any instability related features.

is improvement in the wavelet wave-current coherence by further fine tune one of the inner product projections. To make such an adjustment both the carrier and the modulator of the Gaussian type wavelet need to be shifted; For all scales the phase of the carrier can easily be shifted to the left by simply making the $\frac{\pi}{2}$ adjustment, but the shift of the modulator must be calculated based on individual scale (α , or carrier frequency).

Figure 10 shows wavelet wave-current coherences with and without such a phase adjustment for the current speed. Obviously, the curves with or without the adjustment are almost identical, and this further indicates that the present wavelet coherence suffers from phase effects in a lesser degree than spectral coherence does. That is to say, adverse effects due to shift-non-invariant property are reduced for the used wavelet.

9 Non-Concurrent or Displaced Measurements

In the last section the topic is about phase; in this section what will be studied is also about phase. But here we concern the effects of uncontrollable phase shifts that are associated with

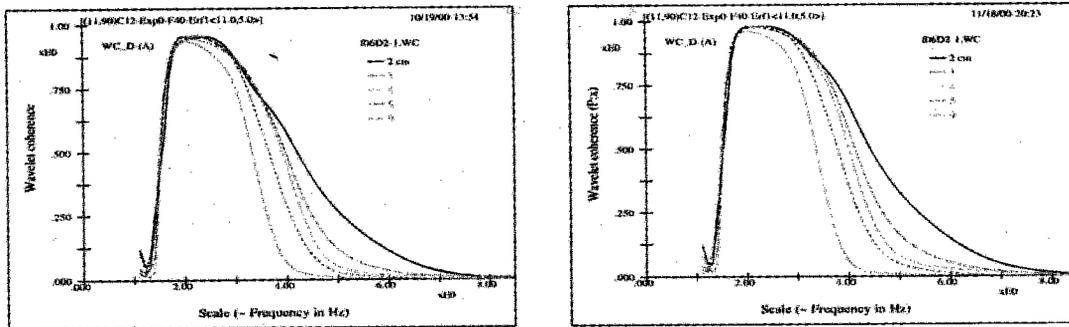


Figure 10: The wavelet wave-current coherences with (left) and without (right) the $\frac{\pi}{2}$ phase adjustment between surface wave and the vertical component of water flow — The two figures are almost identical. The indication is that the wavelet coherence suffers from phase effects in a much lesser degree than does the spectral coherence, i.e., the used wavelet approach has a better shift-non-invariant property.

measurements done either non-concurrently or at two somewhat distantly spaced locations.

Figure 11 shows both the wavelet and spectral coherences for non-concurrent measurements for a Stokes wave with a low wave slope of 0.06. The top and bottom sub-figures are respectively without and with the input of rain. From the wavelet coherence curves, it is clearly seen that this external input of rain has lowered the current-current coherence. And this is reasonable since for this low wave steepness the original current fields should be relatively regular; therefore, an external disturbance reduces the coherences.

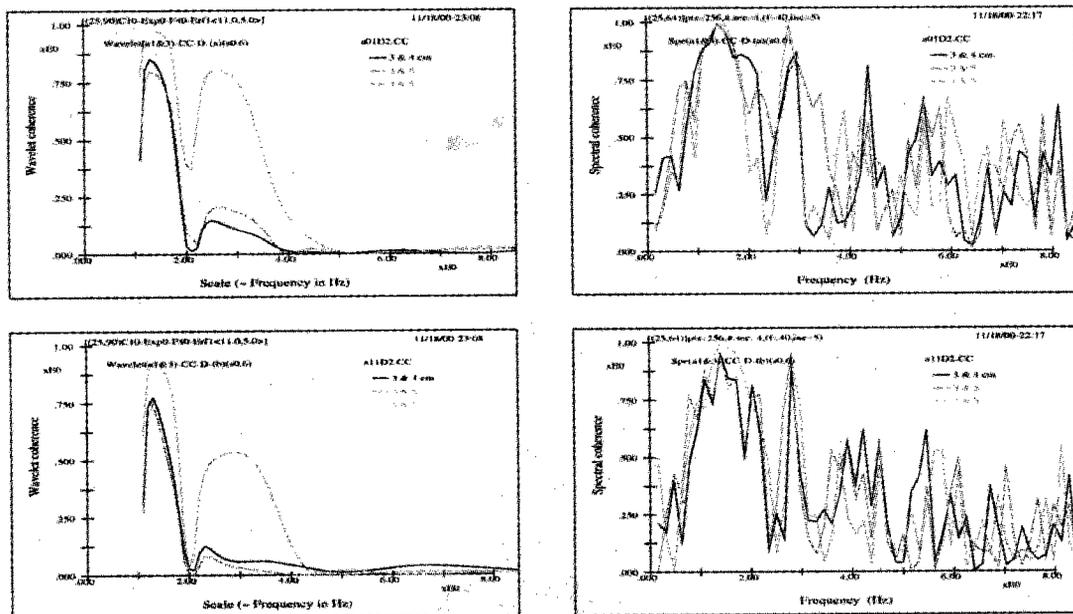


Figure 11: The wavelet (right) and spectral (left) coherences between current and current measured at different depths as labeled in the figures for cases of non-concurrent measurements for a Stokes wave with a small wave steepness of 0.06 — Here a Stokes wave of a low wave slope of 0.06 and without (top) and with (bottom) the influence of rain are shown.

Figure 12 shows both the wavelet and spectral coherences for non-concurrent measurements for a Stokes wave with a high wave slope of 0.30. The top and bottom sub-figures also show respectively cases without and with the input of rain. Here the interesting point for the wavelet coherence curves is the significant rises of the coherence curves around the carrier frequency of 3 Hz. Without rain, due to the high instability of wave steepness of 0.30, the coherences are seen to be extremely low (below 0.2). But, when there is the action of rain, the impacts of rain drops neutralize the non-linearity and cause the reduction of randomness; henceforth the significant rises of coherences.

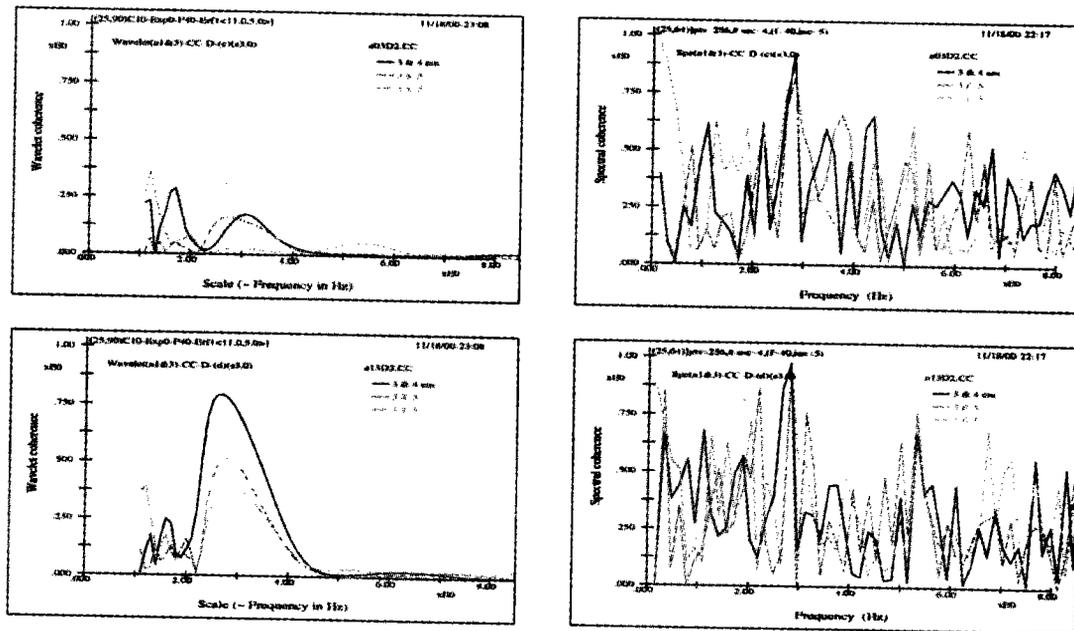


Figure 12: The wavelet (right) and spectral (left) coherences between current and current measured at different depths as labeled in the figures for cases of non-concurrent measurements for a Stokes wave with a large wave steepness of 0.30 — The sub-figures are without (top) and with (bottom) the influence of rain. Here the effects of the external input factor (i.e., the rain), as identified by the wavelet coherences, on the instability manifests the interaction mechanism of a wind, wave and rain coupling system.

10 Complex and Real Coherences

The continuous wavelet adopted here is a complex wavelet, and which is a natural extension of the identified optimum discrete wavelet, i.e., the semi-orthogonal cardinal spline wavelet. As we also know the optimum discrete Riesz wavelet is real, it therefore warrants for us to have a look at the coherences by using a function which is the real part of the complex modulated Gaussian wavelet and which, incidentally, is almost identical to the identified semi-orthogonal cardinal spline wavelet. The point of the statement is: even though the equation of resolution of identity (equation 5) requires that the function ψ be a wavelet, the use of such a real part function, though analytically being not a strict wavelet, should still satisfy its uses.

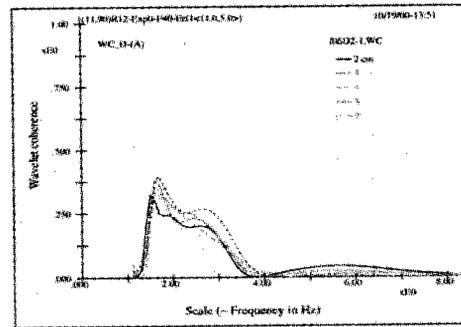
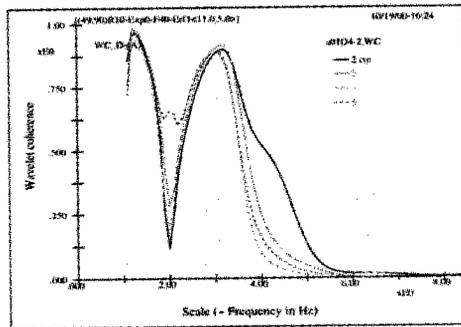
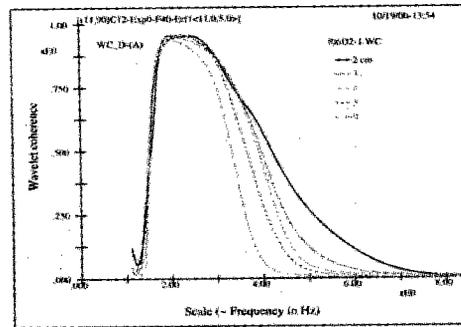
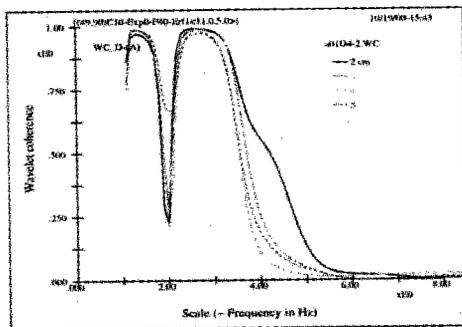


Figure 13: The complex (top) and real (bottom) wavelet wave-current coherences for aqueous flows measured at individual depths for the Stokes wave cases of a small wave steepness value of 0.06.

Figure 14: The complex (top) and real (bottom) wavelet wave-current coherences at individual depths for wind wave cases. It is seen that the real part wavelet coherences are significantly lower than the complex wavelet coherences.

Figure 13 shows the complex and real wavelet wave-current coherences at individual depths for the Stokes wave cases of 0.06 wave steepness. Figure 14 shows the complex and real wavelet wave-current coherences at individual depths for the wind wave cases under 6.0 m s^{-1} wind.

Overall, we conclude that the real wavelet coherence may also provide informative features for those conditions that are somewhat less transient or relatively more stationary. In other words, the real wavelet coherences may sometimes serve as an index of instability or indicator of unstable effects or the degree of randomness. Again, these functions cannot be facilitated by spectral coherences.

11 Summary

We first outlined the main contents of two previous studies that laid the foundation for the successful applications of the present wavelet coherences. We then illustrated theoretical backgrounds for both spectral and wavelet coherences and discussed the different intimacy between their application formulae and the exact analytic forms. Finally, all the rightfulness was vindicated by various informative topics. Results clearly show that the present wavelet coherence approach is far su-

rior than that of the spectral coherence — either in extracting various features associated with multi-scale phenomena or in manifesting various water wave physics.

Finally, let us summarize the properties that are inherent in the two methodologies and that cause the much differentiable performances between the two.

- Spectral coherence — Forever-live waves do not tune to intimate physics; Limited number of coefficients (orthonormal); Poor scale resolution (matching problem); No control of frequency range (wasteful); Serious ambiguity and phase noise; No adaption for better physics; More numerical noise; More artificial inputs;
- Wavelet coherence — A more natural description using life-expectancy waves; Much more abundant coefficients (residual); Unlimited scale resolution; Focusing on scale range of interest (efficient); Time-scale window adaptations for better physics; Fewer numerical noise; Associated with an optimal function basis; Both real and complex wavelets can be used; ... Additional properties in contrast to those of spectral coherences, such as, having a formulation that is more closely related to background theory, no need of raw data segmentation, etc.

References

- [1] Chui, C. K. *An Introduction to Wavelets*. Academic Press, Inc., San Diego, California, USA, 1992.
- [2] Chui, C.K. . *Wavelets: A Tutorial in Theory and Applications*. Academic Press, Inc., San Diego, California, USA, 1992.
- [3] Chui, C.K. On cardinal spline-wavelets. In M. B. Ruskai, G. Beylkin, R. Coifman, I. Daubechies, S. Mallat, Y. Meyer, and L. Raphael, editor, *Wavelets and Their Applications*, pages 439–452. Jones and Bartlett Publishers, Boston, New York, USA, 1992.
- [4] Cohen, L. *Time-Frequency Analysis*. Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1995.
- [5] Coifman, R., Y. Meyer, and M.V. Wickerhauser. Size properties of wavelet packets. In M. B. Ruskai, G. Beylkin, R. Coifman, I. Daubechies, S. Mallat, Y. Meyer, and L. Raphael, editor, *Wavelets and Their Applications*, pages 453–470. Jones and Bartlett Publishers, Boston, New York, USA, 1992.
- [6] Coifman, R., Y. Meyer, and M.V. Wickerhauser. Wavelet analysis and signal processing. In M. B. Ruskai, G. Beylkin, R. Coifman, I. Daubechies, S. Mallat, Y. Meyer, and L. Raphael, editor, *Wavelets and Their Applications*, pages 153–178. Jones and Bartlett Publishers, Boston, New York, USA, 1992.

- [7] Daubechies, I. Orthonormal bases of compactly support wavelets. *Communications on Pure and Applied Mathematics*, 41:909-996, 1988.
- [8] Daubechies, I. *Ten Lectures on Wavelets*. SIAM, Philadelphia, USA, 1992.
- [9] Greenberg, M.D. *Advanced Engineering Mathematics*. Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1988.
- [10] Lee, Y.R., and J. Wu. Continuous wavelet transform using a locally adapted time-frequency window. In *Proc. 18th Conf. on Coastal Engineering in Taiwan*, pages 95-106, 1996.
- [11] Lee, Y.R., and J. Wu. Wavelet and wavelet packet best basis for laboratory water waves. In *Proc. 18th Conf. On Coastal Engineering in Taiwan*, pages 83-94, 1996.
- [12] Lee, Y.R., and J. Wu. Time-frequency features and side band instability. In *Proc. 19th Conf. On Coastal Engineering in Taiwan*, pages 32-39, 1997.
- [13] Lee, Y.R., and J. Wu. Fourier perspectives of rain's effects on surface waves. *Proc. 22th Conf. on Coastal Engineering in Taiwan*, pages 59-66, 2000.
- [14] Liu, P. Wavelet spectrum analysis and ocean wind waves. In E.F. Georgiou, editor, *Wavelets in Geophysics*, pages 151-166. Academic Press, Inc., San Diego, California, USA, 1994.
- [15] Mallat, S. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. *IEEE Tran. on Pattern Anal. and Mach. Intel.*, 11:674-693, 1989.
- [16] Mallat, S. *A Wavelet Tour of Signal Processing*. Academic Press, Inc., San Diego, California, USA, 1998.
- [17] Mallat, S., and S. Zhong. Wavelet transform maxima and multiscale edges. In M. B. Ruskai, G. Beylkin, R. Coifman, I. Daubechies, S. Mallat, Y. Meyer, and L. Raphael, editor, *Wavelets and Their Applications*, pages 67-104. Jones and Bartlett Publishers, Boston, New York, USA, 1992.
- [18] Massopust, P.R. *Fractal Runctions, Fractal Surfaces, and Wavelets*. Academic Press, Inc., San Diego, California, USA, 1994.
- [19] Meyer, Y. *Wavelets and operators*. Cambridge University Press, New York, USA, 1992.
- [20] Press, W. H., S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling and B. P. Flennery. *Numerical Recipes in Fortran*. Cambridge University Press, New York, USA, second edition, 1992.

An unabridged report in PDF format is available for download from our web server.

© Voice & Fax: 886-4-6564216 ext. 417
✉ Email: yorlee@cc4.hinet.net (李勇榮)

淡水港海域海岸地形變遷研究

洪憲忠¹ 邱永芳² 林柏青³ 蔡金吉⁴

執行單位：海岸工程組

政府出版品統一編號：009254890172

計劃編號：MOTC - IOT - IHMT - CA8909

全程期間：88/07/01~89/12/31

執行期間：88/07/01~89/12/31

摘 要

淡水河口外南岸八里、林口間海岸係屬沙岸地質，基隆港務局自台北港第一期工程奉准實施後，即對該海岸進行監測調查。

台北港位於淡水河口南岸，該地區因常年受波浪侵襲，致海岸逐年侵蝕，為確實掌握建港對週遭環境之影響。顧問公司及學術單位曾針對該地區海岸地形變遷進行研究。但據初步研究成果顯示，因漂沙力學機構極為複雜，至今仍無法完全了解，不管是以數值模擬或水工試驗，都只能粗略定性探討。

該港目前正積極建港中，為進一步了解並掌握該地區海岸地形變遷特性，本計畫針對民國 85 年~民國 88 年四年間交通部運輸研究所港灣技術

¹港灣技術研究中心副研究員

²港灣技術研究中心海工組組長

³港灣技術研究中心助理研究員

⁴港灣技術研究中心研究助理

研究中心接受基隆港務局委託於該海域現場監測之水深地形測量結果，進行綜合等深線及平均水深比較分析、分區沖淤積數量計算，站在現場監測分析之角度探討沖淤積變化的趨勢及原因。

一、現場監測作業

1.1 相關監測計畫

本研究涵蓋基隆港務局委託交通部運輸研究所港灣技術研究中心民國八十五年及民國八十六年「淡水國內商港漂沙調查暨海氣象與海岸地形變遷監測計畫」之第一、二年計畫^{[1][2]}、民國八十七年「淡水外廓防波堤興建海岸地形及海象監測」計畫^[3]及民國八十八年「八里、林口海岸漂沙調查及海氣象與地形變遷四年監測計畫」^[4]第一年計畫之水深地形資料。

水深地形測量時間各為 85/05、85/10、86/05、86/10、87/07、87/10、88/05、88/10 等。

1.2 海氣象條件^[5]

1.2.1 風統計結果

台北港海域除了夏季為西風、南風或西南風之外，其他各季主要受到東北東風或東北風之吹襲。小於 10 m/s 之風速，佔大部份，約 85 %。最大風速為 24.82 m/s，相對風向為 141 度。

1.2.2 波浪統計結果

台北港海域大部份示性波高皆小於 100 cm，約佔 66 %。大部份波浪

週期介於 4 sec~8 sec 之間，約佔 88 %。波浪主要來自 N 方向及 NNE 方向，約佔 65 %。最大波高、相對週期各為 992.1cm、9.2sec。

1.2.3 海流統計結果

台北港海域觀測樁附近水深-5M 處大部份海流流速皆小於 80 cm/s，約佔 96 %。海流主要為潮流，進行 ENE 及 WSW 方向、NE 及 SW 方向之往復運動，約佔 74 %。最大流速為 119.9 cm/s，相對流向 238 度。

1.3 水深測量現場作業

工程規劃設計及環境影響評估所須之水深地形測量頻率通常為每年兩次，春、秋各一次。然而製作海圖所須之水深地形測量頻率通常為每十年左右一次。基隆港務局委託港灣技術研究中心於台北港海域監測之水深地形測量係供工程規劃設計及環境影響評估之用，因此測量頻率為每年兩次，春、秋各一次。測量所用載具主要為漁船，較淺地區則用船筏。自民國八十七年起均採取 DGPS 衛星定位系統配合數位測深儀於作業船上擷取座標位置及水深資料，定位精度誤差小於 5 公尺。測量時則配合 Heave compensator 施測修正水深地形資料。

測量範圍為淡水河口北岸(關渡橋以北)至林口發電廠南端，長約十五公里，水深測量至負二十五公尺處，距岸約五公里，如圖 1 所示。

1.4 海岸底質取樣資料分析

海岸底質取樣時間為 87 年 5 月及 87 年 11 月兩次，取樣結果顯示淡水河口處多砂質顆粒，粒徑較粗，而河口以南較遠處則多泥質粉土且顆粒較細。由底床質分析可知，來自淡水河之懸浮質有由淡水河口逐漸向河口南北方向較遠處漸次沈澱之現象。

二、資料處理分析

台北港海域水深地形測量資料之分區，如圖 2 所示。台北港海域由淡水河口北岸至林口發電廠南端共分 28 區(第 1 區至第 28 區)而淡水河地區由淡水河河口往上游關渡橋方向共分 22 區(第 29 區至第 50 區)。

等深線分 0m, -5m, -10m, -15m, -20m 等 5 條加以比較。

各年各分區內相鄰等深線間之體積除以其相對海底面積定義為各分區內等深線間之平均水深。而各分區之平均水深定義為各年各分區內之體積(至等深線-20m 處)除以其相對海底面積。民國 85 年~88 年台北港海域及淡水河地區各分區內等深線間平均水深變化，以 85 年 5 月平均水深為比較基準，例如以 85 年 5 月平均水深減去 86 年 5 月相對之平均水深，即為 86 年 5 月平均水深變化，若結果為 '+' 表淤積；若為 '-' 表侵蝕，餘依此類推。因以 85 年 5 月平均水深為基準，故 85 年 5 月平均水深變化全為 0。

民國 85 年~88 年台北港海域及淡水河地區不同分區及全區內沖淤積數量變化，也以 85 年 5 月沖淤積數量為比較基準，侵蝕或淤積比照平均水深加以定義。

三、結論

因漂沙力學機構極為複雜，台北港海域海岸地形變遷雖經顧問公司及學術單位研究，但據初步成果顯示，至今仍無法完全了解，不管是以數值模擬或水工試驗，都只能粗略定性探討。本計畫以現場監測之角度，綜合以上現場資料分析，與 85 年 5 月相較，可得台北港 85 年 - 88 年四年來海岸地形變遷有以下統計特性。

1. 整體而言，台北港海域等深線並沒有很大的變化。

2. 淡水河河口外及偏南之台北港海域大體保持淤積，此應與淡水河之輸沙有關，但整體而言，沒有逐年惡化現象。台北港南提附近，除了 87 年 7 月等深線-5m 至-10m 間出現約 2m 沖刷外其他時間平均水深與 85 年 5 月相近，無多大變化。
3. 台北港海域分區最大侵蝕發生在 88 年 5 月淡水河河口北岸之第 3 分區，平均侵蝕 2.01m；分區最大淤積發生在 88 年 5 月淡水河河口外之第 5 分區，平均淤積 2.74m。台北港海域全區最大侵蝕發生在 87 年 7 月，平均全區侵蝕 0.18m；全區最大淤積發生在 88 年 10 月，平均全區淤積 0.08m。
4. 台北港海域各分區最大侵蝕量發生在 88 年 5 月之第 12 分區，侵蝕 191.56 萬方；分區最大淤積量發生在 86 年 10 月之第 23 分區，淤積 367.60 萬方。台北港海域全區最大侵蝕量發生在 87 年 7 月，全區共侵蝕 758.20 萬方；全區最大淤積量發生在 85 年 10 月，全區共淤積 634.56 萬方。經比照颱風發生與台北港全區海域侵淤總量之關係，就台北港全區海域侵淤總量而言，與前一年相比，颱風造成台北港全區海域淤積，無颱風時則有侵蝕現象。究其原因主要應是颱風時淡水河流量、輸砂量大增所致，其次可能是颱風時之大浪提前碎波將測量區域外(尤其淡水河河口以北海岸)之砂推向測量區域內；無颱風時，部份測量區域內之砂又逐漸回到測量區域外。經過數年之沖淤及颱風之侵襲，88 年 10 月與 85 年 5 月相較只淤積 91.23 萬方而已，幾乎回到 85 年 5 月之情況。
5. 淡水河分區最大侵蝕發生在 88 年 5 月之第 32 分區，平均侵蝕 1.49m；分區最大淤積發生在 87 年 10 月之第 46 分區，平均淤積 2.68m。淡水河全區最大侵蝕發生在 88 年 5 月，平均全區侵蝕 0.41m；全區最大淤積發生在 88 年 10 月，平均全區淤積 0.54m。
6. 淡水河地區分區最大侵蝕量發生在 88 年 5 月之第 48 分區，侵蝕 36.81 萬方；分區最大淤積量發生在 87 年 10 月之第 46 分區，淤積 65.69 萬方。淡水河全區最大侵蝕量發生在 88 年 5 月，全區共侵蝕 205.38 萬方；全區最大淤積量發生在 88 年 10 月，全區共淤積 271.22 萬方。

7. 淡水河為直接注入台北港海域之大型河川，故應為台北港海域主要輸砂來源之一。由底床質分析可知，來自淡水河之懸浮質有由淡水河口逐漸向河口南北方向較遠處漸次沈澱之現象。經以測點流速作為斷面平均流速估計，乾季時淡水河河川淨流量約為 400~500 立方公尺每秒，當上游集水區降雨時可能上升至 800 立方公尺每秒，而雨量豐沛時河川淨流量可暴增至 2000 立方公尺每秒以上。

本計畫雖已綜合統計得出一些有心探討台北港海域海岸地形變遷之學者、專家及業者想知道的現場資料，但由於時間及資料有限，若欲充分了解台北港海域海岸地形變遷之確實原因，仍需進一步共同努力。

參考文獻

- [1] 黃清和、洪憲忠、吳基、徐如娟(1997), 淡水國內商港漂砂調查及海、氣象與地形變遷監測計畫(第一年), 台灣省政府交通處港灣技術研究所。
- [2] 蘇青和、吳基、洪憲忠(1998), 淡水國內商港漂砂調查及海、氣象與地形變遷監測計畫(第二年), 台灣省政府交通處港灣技術研究所。
- [3] 邱永芳、洪憲忠、吳基、徐如娟、魏震(1999), 淡水港外廓防波堤興建海岸地形及海象監測, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心專刊 169 號。
- [4] 邱永芳、洪憲忠、吳基、徐如娟、魏震(2000), 八里、林口海岸漂沙調查及海氣象與地形變遷四年監測計畫, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心。
- [5] 洪憲忠、吳基、邱永芳、徐如娟、魏震、陳義寬, 85 年~88 年八里、林口海域海氣象統計特性研究, 第 22 屆海洋工程研討會論文集, 35 頁-40 頁。

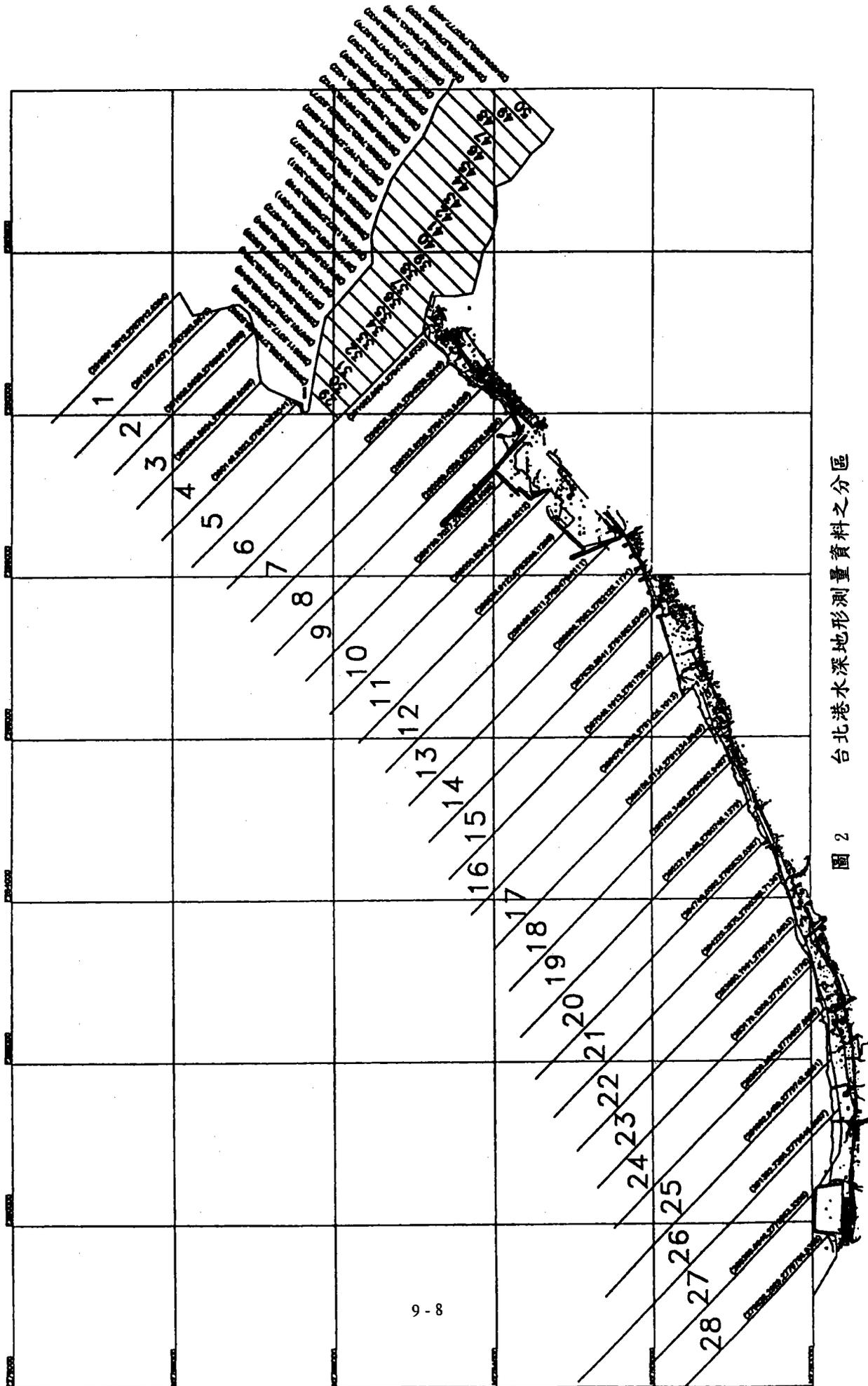


圖 2 台北港水深地形測量資料之分區

土工織物在海岸與港灣工程之應用研究

李豐博¹ 蘇吉立²

執行單位：中心本部
政府出版品統一編號：009254890162
計劃編號：MOTC - IOT - IHMT - GA8910
全程期間：87/07/01~89/12/31
執行期間：87/07/01~89/12/31

摘 要

海岸與港灣結構物如防波堤、海堤、護岸等，在長期之波浪作用下，發生邊坡、堤基與堤趾之沖蝕淘空，導致主體之沉陷，傾側與破壞；碼頭方面，殘留水位之變化而致背填土流失，引起碼頭面之陷空，危及碼頭設施與機能等等，在海岸與港灣工程上為常見之損害，而在規劃設計與施工階段採取適當措施以為防範，應是重要課題。

土工織物為具有透水性之高分子聚合物，提供過濾、排水、加勁、抗沖刷與分隔等功能，這些功能即為海岸與港灣結構損害防範之機制。目前土工織物在國內海岸與港灣工程上應用尚屬局部，且其在設計與施工上仍無一套技術準則可循，因此有待加強研究統合與推廣。

本計畫探討土工織物在國內海岸與港灣工程之應用現況，土工織物在海岸與港灣構物應用之機理，以及調查與評估國內主要土工織物之工程性能，並研擬土工織物在設計與選材規範，作為其在海岸與港灣工程上應用之準則。

一、前言

土工織物 (Geotextiles) 為土工合成材 (Geosynthetics) 家族之一，其家

¹港灣技術研究中心研究員

²港灣技術研究中心助理研究員

族包括：土工織物、土工格網 (Geogrids)、土工流網 (Geonets)、土工止水膜 (Geomembranes)、土工粘土襯布 (Geosynthetic clay liners)、土工管線 (Geopipes)、土工複合材 (Geocomposites)、土工泡棉 (Geofoams) 等。土工合成材為由高分子聚合物 (Polymer) 所製造而成之新興土木營建材料，其形狀多為扁平平面構造，其因多與基礎、土壤、岩石或其他大地工程相關材料合併使用，因而稱之為土工合成材。近一、二十年來，由於科技之進步，土工合成材之發展甚為快速，目前已廣泛應用於大地工程、水利工程、公路工程、環保工程及其他土石、地下水相關之工程中。

土工織物應用於大地相關工程近一、二十年來，其使用量以線性速率快速成長，其成長速率如此快速之其主要原因在於土工織物能有效解決工程之難題，提供最佳之解決方案；並且土工織物價廉物美、質輕、工作性佳。於歐美國家，基於設計、施工及良好工程品質之需求，甚且訂定法規，要求於特定工程必須採用土工織物並規定其需求性質，例如美國各州公路及交通官員協會 (AASHTO) 訂定之土工織物應用於各種道路及其邊坡加勁、水土保持、排水等規範。

在海岸與港灣工程上，海岸與港灣結構物如防波堤、海堤、護岸等，在長期之波浪作用下，發生邊坡、堤基與堤趾之沖蝕淘空，導致主體之沉陷，傾側與破壞；碼頭方面，殘留水位之變化而致背填土流失，引起碼頭面之淘陷，危及碼頭設施與機能等等，在海岸與港灣工程上為常見之損害，而在規劃設計與施工階段採取適當措施以為防範，應是重要課題。

土工織物為具有透水性之高分子材料，提供過濾、排水、加勁、抗沖刷與分隔等功能，這些功能亦即為海岸與港灣結構損害防範之機制。目前，土工織物在國內海岸與港灣工程上應用尚屬局部，且其在設計與施工上仍無一套技術準則可循，因此有待加強研究統合與推廣。

本計畫探討土工織物在國內海岸與港灣工程之應用現況，土工織物在海岸與港灣結構物應用之機理，以及調查與評估國內主要土工織物之工程性能，並研擬土工織物在設計與選材之規範，作為其在海岸與港灣工程上應用之準則。

二、土工織物材料研討

土工織物之發展源自紡織工業，而非來自傳統工程材料工業，因此，有關闡述土工織物之成分材料、製造與特性等相關名詞，一般土木工程師較不熟稔，事實上，土工織物之工程特性受其成分材料 (聚合物)、製造方法等之影響甚大。

2.1 聚合物

聚合物又稱高分子物質，是由小而簡單之化合物稱為單體 (Monomer)，經由

聚合反應而生成之高分子量物質。

土工織物所使用之合成聚合物主要包括下列數種：

聚乙烯(Polyethylene，簡稱 PE)

聚丙烯(Polypropylene，簡稱 PP)

聚酯(Polyester，簡稱 PET)

聚醯胺(Polyamide，簡稱 PA)，俗稱尼龍(Nylon)

土工織物多由同一種合成聚合物製造而成，其中以聚丙烯(PP)及聚酯(PET)為最常用之高分子材料。

上列土工織物所使用之合成聚合物均為熱可塑性的(Thermoplastic)，熱可塑性聚合物可重複地受熱、溶化、模壓成各種形狀之成品，相對的，熱固性聚合物(Thermoset polymer)只能受熱模造一次，再次之加熱將導致聚合物劣化與焦化。

土工織物常用之聚合物各有其不同特性與優劣點，任一聚合物皆非所有應用之最佳者，聚合物之選擇需考慮經濟性與能符合特定應用需求者。

2.2 織造方法

織物構造對土工織物性質之影響較之聚合物來得重要。織物織造係指聚合物製成纖維(Filament)，再經集合與粘結而成為織物之方法。目前土工織物織造方法可分為三大類：

1. 織布(Woven)

(1) 單纖維(Monofilament)

(2) 多纖維(Multifilament)

(3) 帶狀纖維(Slit film)

2. 不織布(Nonwoven)

(1) 針軋(Needle punched)

(2) 熱粘(Heat bonded)

(3) 膠粘(Resin bonded)

3. 針織布(Knitted)

單織法不易織造成高強度之織布，大多數作為土工用途之單織織布多具中高強度，主要用途作為濾層之用，如拋石下濾層。多織織布通常作為加勁用途。在加勁功能上，通常施加於織布之應力，兩垂直方向大小不同，因此，多織織布多

數為異向性的。帶織織布通常具有中高強度與高模數，主要用途作為分隔層。通常帶狀纖維不予粘合，易於裂開，因而改變孔隙特性，因此帶織織布不適用為濾層。整體而言，織布具有中高至甚高強度與中高模數，破壞時應變量較低，孔隙結構較為簡單。

不織布係纖維以散漫方式或某一方式堆積織造而成，不若織布具有簡單之固定樣式。大體而言，不織布較便宜，其強度低至中等，破壞時伸長率中至高。不織布廣泛應用為濾層與分隔層，作為加勁用途較少。不織布之特性決於纖維之性質、纖維之幾何關係及粘合方法。

三、土工織物性質與測試

3.1 土工織物之性質

土工織物之重要性質列如表 3.1 所示中同時顯示土工織物之性質受纖維與織造方法影響之程度，並以 0~3 四個等級表示之。表 3.1 可作為土工織物選材之參考。

3.2 常用地工織物試驗法

土工織物源自紡織工業，因此部分土工織物性質試驗法仍沿襲紡織物試驗法。為使土工織物能實際有效地應用在土木相關營建工程上，國內曾數度修訂相關試驗規範，民國 86 年起在中央標準局主導下更重新編訂，目前已完成部分 CNS 規範編訂工作。

由於土工織物在國內之應用較之歐美日等先進國家為晚，因此有關土工織物試驗法大多參用歐美日所制定之規範，包括 ASTM、DIN、BS 及 JIS 等，其中以美國材料與試驗協會(ASTM)之試驗規範為國內制定 CNS 規範之主要參考版本。

3.3 國內土工織物產製與品質概況

土工織物在國內之應用有織布及不織布兩類。織布部分，國內多仰賴進口；至於不織布部分，除部分自國外進口外，國內亦自行產製。國內從事不織布相關產品之生產廠商不下 100 家，惟大部分產品以作為民生用途為主，作為工程使用之土工織物，由於國內市場規模仍小，生產廠商僅 5~6 家。

表 3.1 土工織物性質及其影響因素

性 質	影 響 因 素	
	聚合物纖維	織造方法
1.一般性質		
(1)比重	3	0
(2)厚度	1	3
(3)吸水性	1	3
(4)均勻性	0	3
(5)等向性	0	3
2.力學性質		
(1)抗拉強度	2	3
(2)破壞時伸長率	2	3
(3)應力應變關係	2	3
(4)潛變	3	2
(5)疲勞	?	3
(6)撕裂強度	1	3
(7)穿裂強度	1	3
(8)破裂強度	2	3
(9)磨損強度	2	3
(10)摩擦力	1	2
3.水力性質		
(1)正向透水率	0	3
(2)橫向透水率	0	3
(3)過濾能力	0	3
(4)阻塞與遮蔽抵抗力	?	3
4.耐久性性質		
(1)熱穩定性	3	1
(2)生物穩定性	3	1
(3)化學穩定性	3	1
(4)紫外光穩定性	3	1

註：(1)比較基準：織物之單位面積重相同

(2)等級說明：3-影響甚大，2-有影響，1-略有影響，0-沒有影響，

?-不知

國內土工不織布之產製多集中在針軋不織布，生產熱熔不織布之廠商有 1 家。使用之不織布原料主要為聚酯纖維(PET)與聚丙烯纖維(PP)，國內聚酯纖維略較其他聚合物纖維便宜，原料取得較易，因此不織布原料以 PET 為大宗。

一般而言，國內產製之土工織物品質多以符合 CNS 11228 所訂規範為目標，為應實際工程應用上之需求，亦產製規格較 CNS 11228 規範嚴格之產品。

四、土工織物在海岸與港灣工程之應用

4.1 土工織物之功能與機制

探討土工織物使用之功能與機制，有助了解與掌握其在海岸及港灣工程上之應用。土工織物之功能，大致可分成下列數種：

- 過濾(Filtration)
- 排水(Drainage)
- 分隔(Separation)
- 加勁(Reinforcement)
- 沖蝕控制(Erosion control)

1. 過濾

過濾功能係以土工織物分隔土石，在保留土壤顆粒前提下，允許水自由通過土工織物。在此情況下，土工織物需不致因土壤顆粒進入其孔隙內而發生阻塞現象(Clogging)，並且不致因土壤顆粒停留在孔隙外表而發生遮蔽現象(Blinding)。

2. 排水

排水功能係水可在土工織物之結構平面內流動、匯集。土工織物之排水功能與前述過濾功能相同，土工織物需能保持土壤顆粒不致發生不當之流失，並且具有相當之透水性。

3. 分隔

分隔功能係以土工織物分隔不同材料，作為材料之分離層，可使被分隔材料之整體性與功能保持不變，甚或改善。

4. 加勁

加勁功能係以地工織物置放於土壤間，形成加勁土壤結構，增加土壤之強度。地工織物對土壤加勁之機制有三：

- (1) 薄膜加勁(Membrance reinforcement)：土體在垂直荷重下，在任一平面產生之張壓力，由放置該平面之地工織物吸收承受。
- (2) 剪力加勁(Shear reinforcement)：地工織物與土壤間之附著力及摩擦力效應。
- (3) 錨定加勁(Anchorage reinforcement)：地工織物與土壤顆粒間之互鎖錨定效應。

5. 沖蝕控制

沖蝕控制功能係將地工織物鋪設在土壤與其保護系統之間，以防止沖刷造成土壤流失，同時防止土壤內孔隙水壓上揚造成土壤強度減低與不穩定，是過濾功能之應用。

4.2 國內海岸與港灣工程之應用

綜合地工織物在國內各主要港灣工程之應用情形，彙整如表 4.1 可歸納下列數項：

(1) 地工織物應用目的與工程範圍

地工織物以作為濾層與分隔/加勁使用之為主，其工程應用範圍尚不廣泛，主要應用範圍在於：

作為濾層：

鋪設於各式碼頭、拋石堤等工程背後回填石料與回填砂之間作為濾層，取代傳統級配濾料，以防止背填砂土滲失。

分隔/加勁：

鋪設於防波堤、海堤等工程之堤底，分隔基礎石料與海床土壤，以改善海床土壤之支承能力，防止堤基石料發生不當陷失與淘蝕。

沖蝕控制：

局部鋪設於船席護床工程，以防止停泊船隻引致之海床土壤之淘蝕與沖失。

(2) 地工織物材料規範

地工織物多使用不織布，其材料規範多參採 CNS 11228 A2183 土木工程非織物之規定制定，但各工程間所訂之品質與性能要求規格不一，其中需符合

Type II、III 或 IV 規格者均有之。近年制定之性能規格則有提升現象。至於性能要求項目除 CNS 1128 所訂項目外，部分工程規範另訂單位重一項，但穿裂強度、破裂強度及正向透水率等均未制定。

(3) 土工織物設計標準

目前土工織物之選用與設計仍無一套標準可供遵循，各工程土工織物之選用與規格制定多是產品導向的，各項性能規格如何訂定並無依據與標準，失之因循盲從。事實上，各工程對土工織物之性能需求應不相同，因此其規格之制定應是設計導向的，而這項設計標準尚有待建立。

五、土工織物之設計與選用

5.1 設計方法

土工織物工程應用之設計方法有二：(1) 功能設計法 (Design by function) 及 (2) 規範設計法 (Design by specification)。功能設計法係依據特定工程之工程環境、土壤特性與工程設計需求等分析，決定該工程應用所需之土工織物之功能性質，據以選用符合該功能性質之土工織物，亦即土工織物之選用是設計導向的。規範設計法係依據工程或研究機構經長期之理論研究與實地驗證土工織物之行為而制定之工程應用規範，相關工程土工織物之選用即遵循該規範。

土工織物在海岸與港灣工程之應用上，可依據周邊環境因素、土壤性質與設計需求等評估所需功能性質，就個別功能所擬利用土工織物之允許性質與現地工程設計之需求性質相比較據以設計選用，亦即功能設計。但在多數工程實務上，由於土工織物為涵蓋高分子材料與紡織專業領域之土工材料，一般工程師對其材料性質與力學特性等尚不能確實掌握，因此土工織物之設計與選用仍多以參採既有之土工織物工程應用規範為主，亦即規範設計。

目前國內之土工織物工程應用規範多以參採 CNS 11228 規範（如表 3.3）為主，惟該規範僅為土工織物（不織布）材料性能規範，作為工程應用之規範設計尚有所不足。美國 AASHTO M288-96 規範係考量土工織物不同之應用功能與工程環境所制訂之土工織物工程應用規範，值得參採。

5.2 建議規範

本節即以 AASHTO M288-96 規範為藍本，綜合 CNS 11228 規範，擬定土工織物在國內海岸與港灣工程應用之建議規範，包括：

(1) 土工織物過濾/排水需求規範 (如表 5.1) : 提供濾層使用。

(2) 土工織物沖蝕控制/加勁需求規範 (如表 5.2) : 提供基礎加勁與沖蝕控制。

在上述之建議規範中, 下列數項說明:

(1) 強度性質增列縫合強度、穿裂強度及破裂強度三項, 抓式強度及撕裂強度仍沿用 CNS 11228 規範之類別標準。

(2) 水力性質增列視孔徑一項; 正向透水率取代 CNS11228 規範之透水係數。

(3) 耐紫外線性仍沿用 CNS 11228 規範。

表 5.7 土工織物 (不織布) 過濾/排水需求規範 (建議值)

項目	單位	試驗方法	需求最低值		
			現地土壤細粒含量		
			<15%	15~50%	>50%
抗拉強度	kgf	ASTM D4632	80 (CNS 11228 Type II)		
		CNS 13843			
縫合強度	kgf	ASTM D4633	72		
		CNS 8150			
撕裂強度	kgf	ASTM D4533	35 (CNS 11228 Type II)		
		CNS 13299			
穿裂強度	kgf	ASTM D4833	35		
		CNS 14263			
破裂強度	kgf/cm ²	ASTM D3786	18		
		CNS 5613			
正向透水率	sec ⁻¹	ASTM D4491	0.5	0.2	0.1
		CNS 13298			
視孔徑	mm	ASTM D4751	0.43 (max)	0.25 (max)	0.22 (max)
		CNS 14262			
耐紫外線性		CNS 9024	外觀無變化, 抗拉強度不得低於原規定之 90%		

		紫外線碳弧燈連續照射 200 小時	
--	--	----------------------	--

表 5.2 土工織物（不織布）沖蝕控制/加勁需求規範（建議值）

項目	單位	試驗方法	需求最低值		
			現地土壤細粒含量		
			<15%	15~50%	>50%
抗拉強度	kgf	ASTM D4632	120 (CNS 11228 Type II)		
		CNS 13843			
縫合強度	kgf	ASTM D4633	108		
		CNS 8150			
撕裂強度	kgf	ASTM D4533	45 (CNS 11228 Type II)		
		CNS 13299			
穿裂強度	kgf	ASTM D4833	45		
		CNS 14263			
破裂強度	kgf/cm ²	ASTM D3786	23		
		CNS 5613			
正向透水率	sec ⁻¹	ASTM D4491	0.7	0.2	0.1
		CNS 13298			
視孔徑	mm	ASTM D4751	0.43 (max)	0.25 (max)	0.22 (max)
		CNS 14262			
耐紫外線性		CNS 9024	外觀無變化，抗拉強度不得低於原 規定之 90%		
		紫外線碳弧燈連續照射 200 小時			

六、結論與建議

1. 土工織物具有過濾、排水、加勁、分隔與沖蝕控制等功能，其為海岸與港灣結構損害防範之機制，目前土工織物在國內海岸與港灣工程上應用尚屬局部，在材料設計與選用上仍無技術準則可循，需要加強研究統合與推廣。
2. 國內產製之土工織物以針軋不織布為主，使用之不織布原料多為聚脂纖維，其品質多以符合 CNS 11228 規範為目標，較高品質之產品亦可產製以應工程需要。
3. 土工織物在國內各主要港灣工程之應用以作為濾層與基礎分隔與加勁為主，其應用範圍主要鋪設於各式碼頭、拋石堤等工程背後回填石料與回填砂之間作為濾層，取代傳統級配濾料，以防止背填砂石滲失；及鋪設於防波堤、海堤等工程之堤底，分隔基礎石料與海床土壤，以改善海床土壤之支承能力，防止堤基石料發生不當陷失與淘蝕。沖蝕控制功能尚待加強發揮應用。
4. 結合 AASHTO M288-96 規範與 CNS 11228 規範，研擬土工織物在海岸與港灣工程上不同應用功能之材料規範（如表 5.1—表 5.2），提供土工織物選用之準則。

參考文獻

- [1] 胡寶麟（民國 88 年）從 AASHTO M288-96 規範談土工織物之設計與應用，土工技術，第 71 期，第 13-28 頁。
- [2] 吳朝賢（民國 79 年），土工織物過濾功能之應用考量，土工技術，第 32 期，第 41-55 頁。
- [3] 中國國家標準（1999），經濟部標準檢驗局。
- [4] ASTM（1998）Annual Book of ASTM Standards，vol.04.09.
- [5] Koerner，R.M.（1998），Design with Geosynthetics，4th ed.，Prentice Hall，New Jersey.
- [6] Ingold，T.S. & Miller，K.S.（1988），Geotextiles Handbook，Thomas Telford，London.
- [7] Gerard P.T.M. Van Santvoort（1994），Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering，A.A. Balkema，Rotterdam，Netherlands.

表 4.1 國內主要港灣土工織物（不織布）材料規範一覽表

項 目	淡 水 港		花 蓮 港 第四期擴建碼頭	高 雄 港 第五貨櫃中心	安 平 港		台 中 港	
	北防波堤	南防波堤			防波堤堤背	防波堤堤底	新建棧橋碼頭	南填方區圍堤
材 質	PP、PE 或 PET	同 左	PET	鋼管樁碼頭	PP	PP、PE 或 PET	同 左	同 左
織 法	針軋法	同 左	同 左	同 左	針軋法	針軋法	針軋或熱溶	同 左
抗拉強度（抓式法）	>120kg	>250kg	>120kg	縱向>80kg 橫向>65kg	>80kg	>40-70KN/m*	>160kg	>250kg
破損時伸長率（抓式法）	40-100%	40-100%	50-102%	>60%	40-100%	10-100%	40-100%	40-100%
撕 裂 強 度	>50kg	>80kg	>30kg	>25kg	>35kg	-	>55kg	>80kg
破 裂 強 度	-	-	>25	-	-	-	-	-
單 位 重 量	<450g/m ²	<600g/m ²	<400±40g/m ²	-	-	-	<400g/m ²	<600g/m ²
收 縮 率	-	-	<5%	<5%	-	-	-	-
透 水 係 數	>0.05cm/sce	同 左	-	-	>0.01cm/sec	同 左	同 左	同 左
厚 度	-	-	-	3-3.5mm	-	-	-	-
耐 紫 外 線 性	-	-	-	-	強度損失<10%	同 左	同 左	同 左
應用年度（民國）一年	81	86	76	-	78	87	87	88

備註：*標記表寬幅強度

安平港地震監測與港灣資料查詢系統

賴聖耀¹ 李延恭² 陳志芳³

執行單位：大地工程組

政府出版品統一編號：

計劃編號：MOTC - IOT - IHMT - GA8911-1

全程期間：88/07/01~89/12/31

執行期間：88/07/01~89/12/31

摘 要

台灣恰處於太平洋地震帶西環，地震相當頻繁。在強烈地震作用下，港灣地區沖積砂土層與海埔新生地極有可能發生液化而導致港灣設施破壞。

本計畫於安平港埋設地表型、埋入型地震儀與動態孔隙水壓計，探討地震發生時，震波傳遞至各土層不同深度時之特性，及對於軟弱沖積土層之放大效應，並可監測地震動態水壓即時變化。

此外，對於軟弱之沖積或抽砂填土產生之沉陷，本中心曾於各港區埋設 1 至 2 組 200m 深之分層沉陷井，藉著以上監測系統所擷取之寶貴資料，將可以作為港灣構造物設計之參考。

一、前言

由於台灣西海岸各港區之地質多屬疏鬆軟弱之沖積土層，且厚度多達 150m 以上，而地震來襲時，其剪力波從震源深處向上經地面覆蓋土層，傳達至地面結構物，震波的反射、折射效應，經過軟弱的覆土層，其振幅通常有放大作用，根據墨西哥強烈地震記錄顯示，地表之振幅與岩盤之比值高達四倍，因此本年度擬先於安平港進行分層之地震監測，以探討地震在港區之放大效應，作為安平港區液化危險度分析及港灣設施耐震設計之參考。

¹ 港灣技術研究中心副研究員兼組長

² 港灣技術研究中心研究員

³ 港灣技術研究中心助理

二、分層地震監測系統之建立

2.1 地震監測井設立概述

本監測計劃選擇位於安平港區港埠大樓旁之新港橋下(如圖 2-1)適當位置安裝地震及動態孔隙水壓監測儀器，本系統共計有 8 孔，分別為水壓計 3 孔，其安裝水壓計深度為 3M、6M、10M、15M、20M、30M 等 6 支，地震計埋入孔深度為 10M、20M、100M、288M 及地表等 5 孔共安裝 4 組埋入式地震計及一部地表型地震儀後，藉由電纜線組合一起延長到觀測房以自動記錄方式將資料記錄保存在電腦，其儀器架構流程及儀器埋設剖面如圖 2-2、2-3 所示，其內容概述如下：

(1) 電子式水壓計

電子式水壓計觀測井 3 孔，其深度為 6M、15M、30M，並在每一孔內裝 2 只水壓計分別為 3M、6M、10M、15M、20M、30M 共 6 支，主要是量測地下水的壓力，並與地震計配合可以測得地震來時的地下水位變化，以求得地震時土壤液化的變化情形。所有電子式水壓計經由配管接到觀測房的集錄器上。

(2) 埋入式地震計孔

本工程共有 4 孔埋入式地震計，分別為 10M、20M、100M、288M 埋入式地震計主要是監測地震波在不同層的化以 Cable 傳到觀測房，用自動記錄的方式將資料收集，再由電腦讀取提供研究者作分析。本工程採用 SAMTAC-700 集錄系統，為一先進數位化自動記錄器，可記錄於 IC 卡上，可取回分析，也可經電腦連線傳輸，或直接到集錄器的螢幕上觀看波形。

(3) 獨立式地震計及記錄器

本工程在安平港及台中港各安裝一套獨立式地震計，主要用於地震時監測地表的波動及強度，並提供與埋入式地震計做比較，並配備 GPS 做自動校時的功能。

安平港安裝位置圖

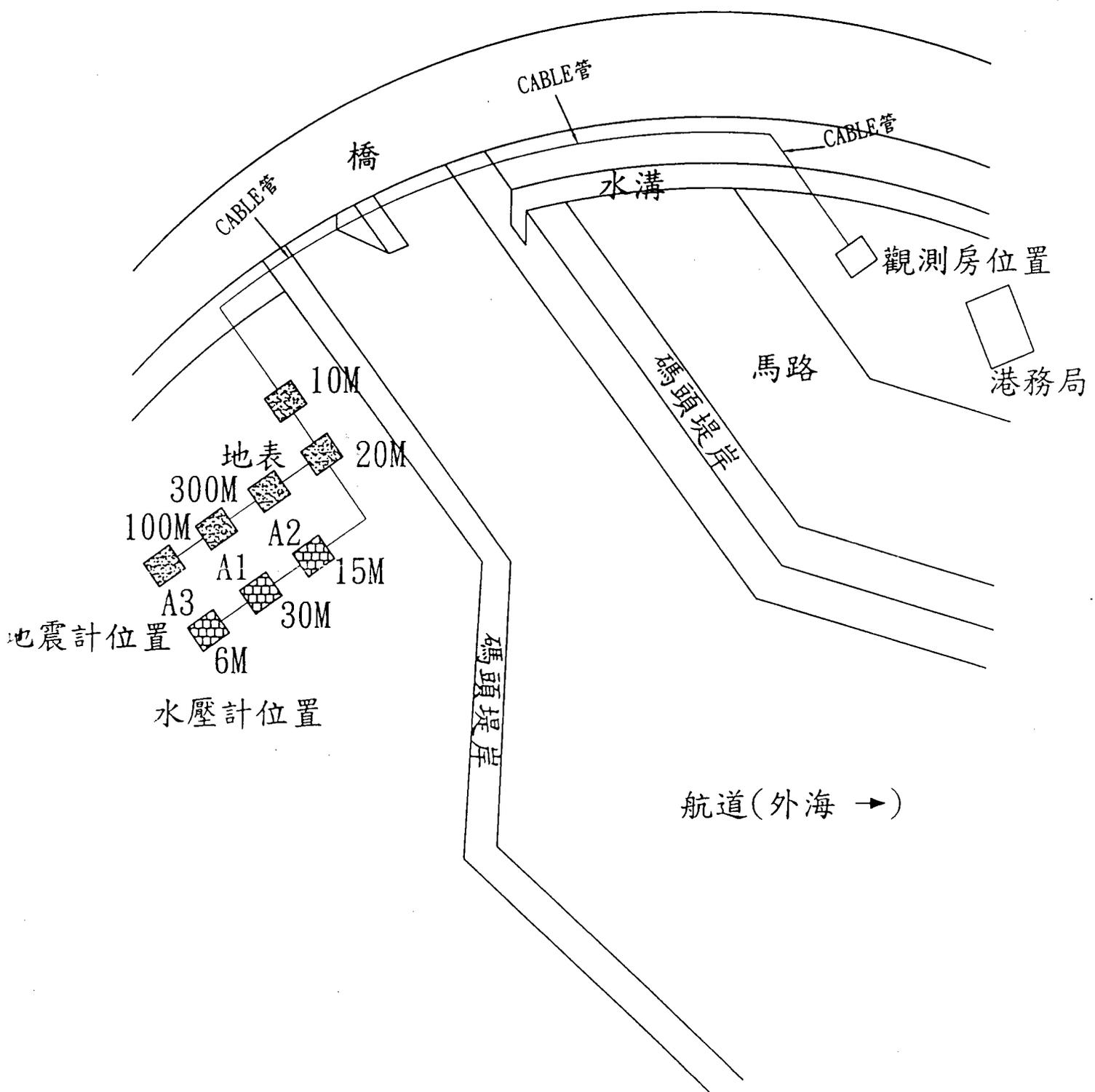


圖2-1 安平港安裝地震儀器位置圖

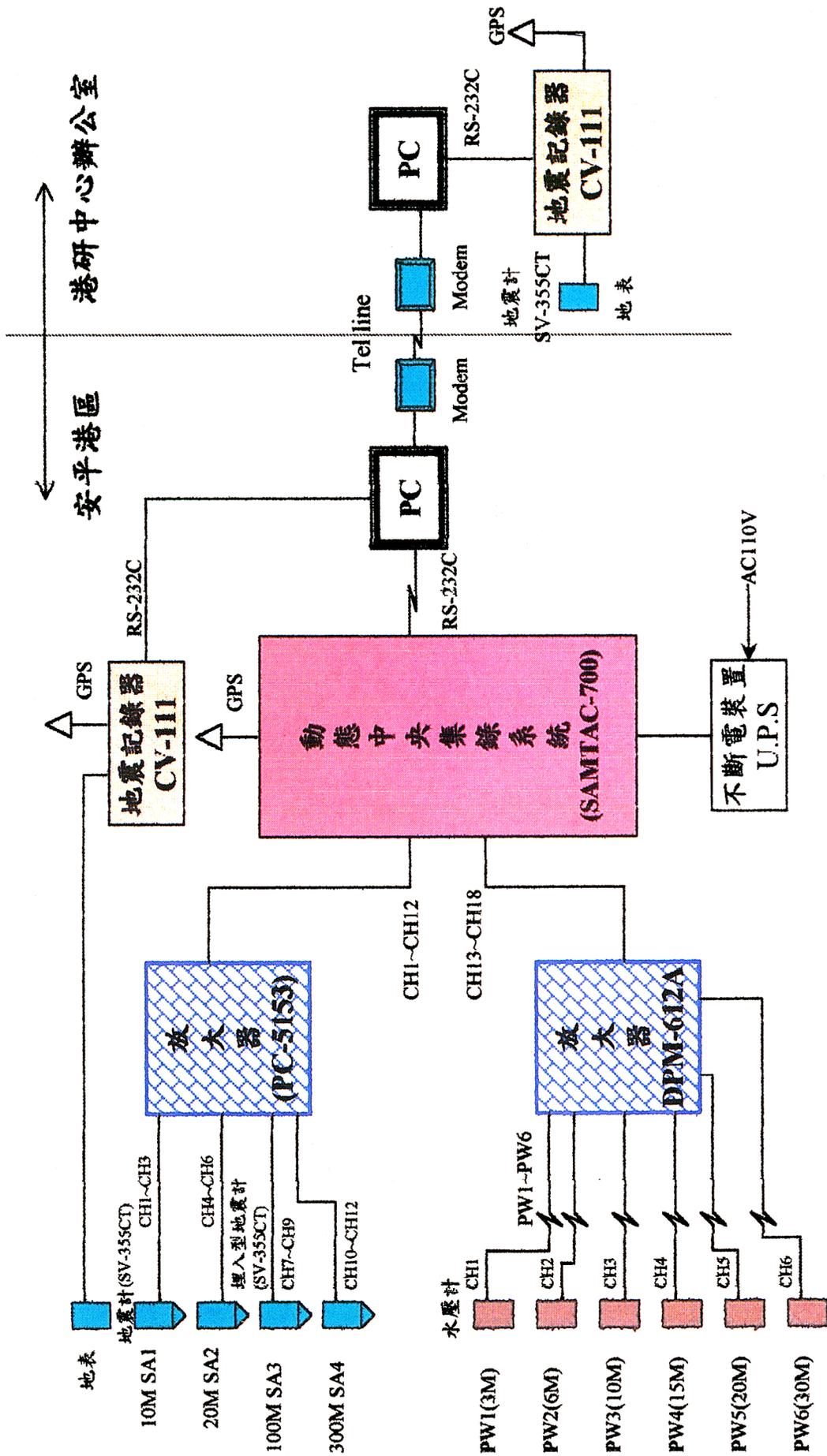


圖2-2 地震監測系統流程圖

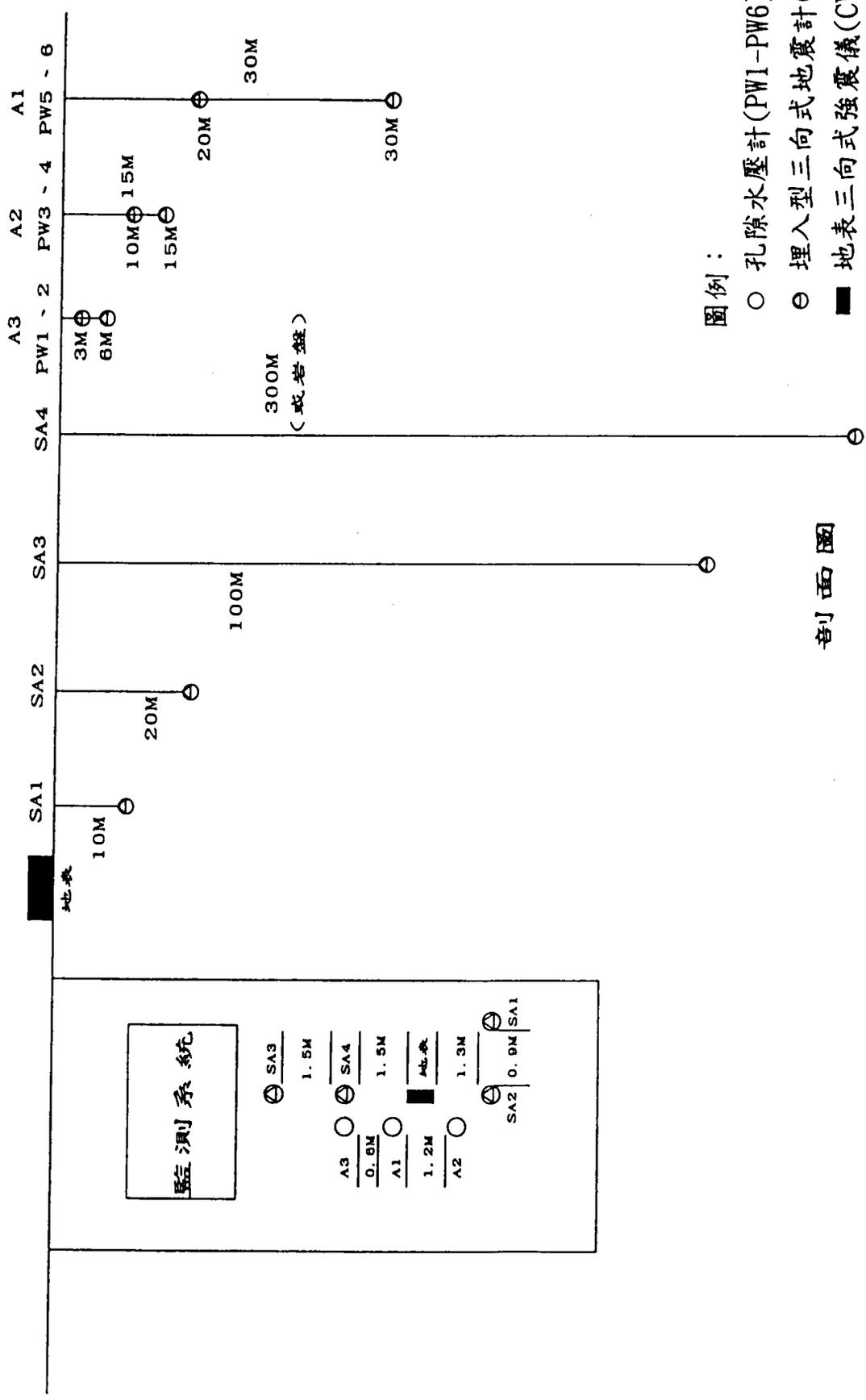


圖2-3 地震及動態水壓監測儀器剖面圖

2.2 監測井之地質分析

根據安平港地震監測站 300M 鑽探及鑿井資料如圖 2-4 所示：在深度 300 公尺之土層狀況，大致而言，約可分為 20 個次層，分別簡述如下：

- 1.灰色沉泥質細砂(SM)：分佈在地表下深 0~7.5m，SPT-N 值為 9~15 之間，表土層有 1.5m 之灰黑色細砂質沉泥夾粗砂或小礫石。
- 2.灰色粉土(ML)：分佈於地表下 7.5m~11.0m，其 N 值為 2，屬軟弱土層。
- 3.灰色沉泥質細砂(SM)：約分佈於地表下 11.0m~50.0m，N 值自 7~26 之間，於 16.0m~16.8m 深夾少量粘土，其 N 值為 4。
- 4.粘土層(CL)：分佈於地表下 50.0m~56.1m，厚約 6 公尺之粘土層。
- 5.粘土夾砂土層(CL+SM)：分佈於地表下 56.1m~78.0m。
- 6.砂土層(SM)：分佈於地表下 78.0m~87.6m。
- 7.粘土層(CL)：分佈於地表下 87.6m~96.9m 處，厚約 9 公尺之粘土層。
- 8.砂土層(SM)：分佈於地表下 96.9m~105.0m。
- 9.粘土層(CL)：分佈於地表下 105.0m~118.5m。
- 10.砂土夾粘土 (SM+CL)：分佈於地表下 118.5m~141.0m。
- 11.粘土層(CL)：分佈於地表下 141.0m~159.0m。
- 12.砂土層(SM)：分佈於地表下 159.0m~177.0m。
- 13.粘土夾砂土層(CL+SM)：分佈於地表下 177.0m~189.0m。
- 14.砂土層(SM)：分佈於地表下 189.0m~206.1m。
- 15.粘土夾砂土層(CL+SM)：分佈於地表下 206.1m~211.5m。
- 16.粘土層(SM)：分佈於地表下 211.5m~274.5m。
- 17.砂土層(SM)：分佈於地表下 274.5m~276.3m。
- 18.粘土層(SM)：分佈於地表下 276.3m~292.5m。

地層柱狀圖

埋入型地震計

水壓量測計

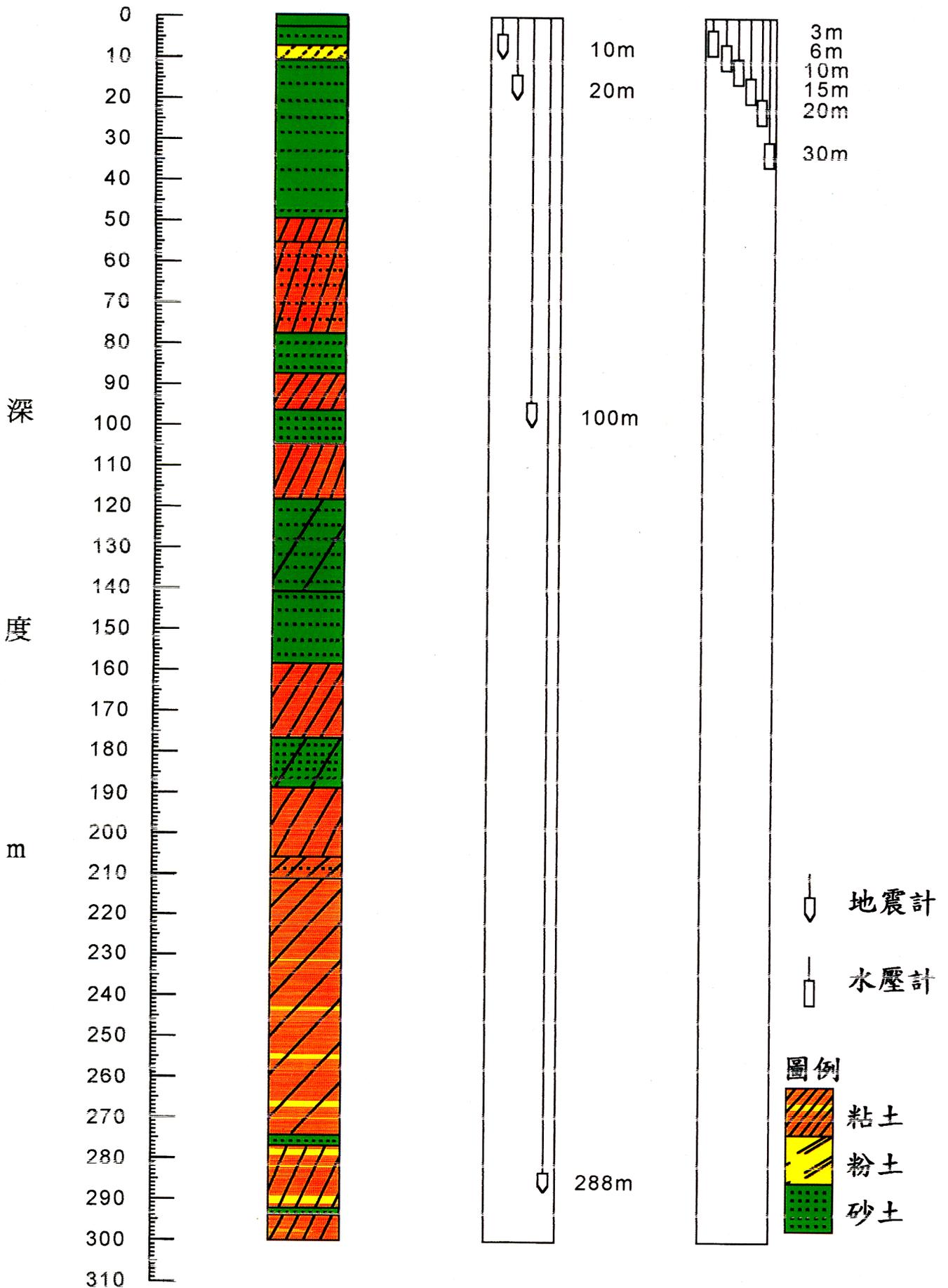


圖2-4 安平港地震及動態水壓觀測站地層鑿井柱狀圖(300公尺)

19.砂土層(SM)：分佈於地表下 292.5m~294.0m。

20.粘土層(SM)：分佈於地表下 294.0m~300.0m。

三、921 地震台中港 1-4A 碼頭之穩定性分析

921 大地震台中港區 4000 多公頃中，僅有 1 至 4A 號碼頭 7 公頃多受損較為嚴重，該沉箱碼頭因為地震外移 0.5 至 1.7 公尺，碼頭後線作業區及道路發生崩裂、噴砂、凹洞或隆起現象，緊鄰沉箱碼頭之倉儲棧房地基淘空，機具傾斜，距離較遠的倉儲亦受波及導致糖蜜和化學品外漏、油管和污水等管線塌陷破裂，損失較大。由於 1 至 4A 號碼頭地區為抽砂回填區，無地質資料，故本中心於震災後即對現地地質補充調查，並進行液化危害度及碼頭穩定性等分析，希望對災損原因進行研判，以提供台中港區碼頭設計及維修的參考。

台中港 1 至 4A 號碼頭皆屬沉箱重力式碼頭，如圖 3-1，在受到地震力時，不但構造物本身有慣性力，背填土會引致動態土壓力及動態水壓力，若背填土壤發生液化，亦會產生液化之側壓力，造成港灣構造物更加不穩定，本章分別以 921 台中港 1~3 號碼頭未液化、液化、部份液化之抗滑動之穩定性加以分析探討，其分析結果如表 3-1 所示：

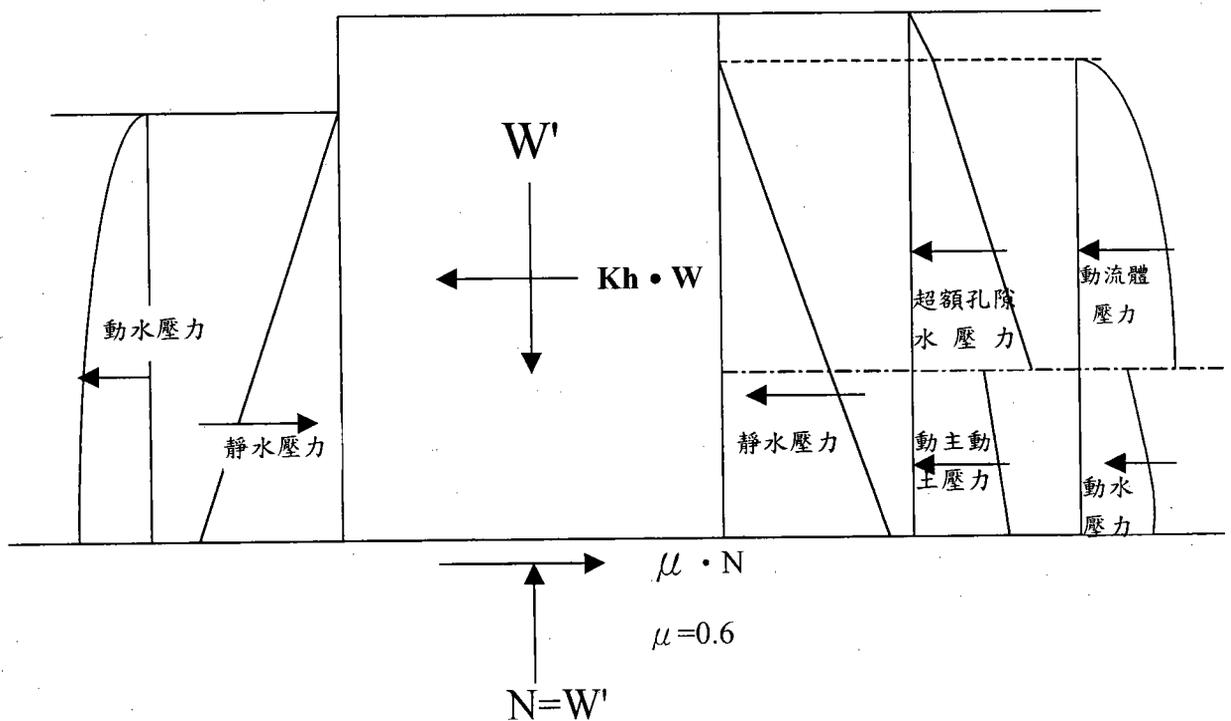


圖 3-1 背填土壤部份液化之沉箱式碼頭受力示意圖

表 3-1 921 台中港 1~3 號碼頭抗滑動之穩定性分析

	未液化	全部液化		部分液化 (地表下 2.8~14m 液化)	
地震力係數 K_h	0.163	0.163		0.163	
考慮背填卵石	是	否	是	否	是
抗摩擦力 (t/m)	269.41	269.41	430	269.41	348.44
慣性力	124.87	124.87	199.85	124.87	161.67
殘留水壓力	23.48	23.48	23.48	23.48	23.48
動態土壓力 + 陸側動水壓力	112.06	3.13	3.13	49.24	49.24
海側動水壓力	21.10	21.10	21.10	21.10	21.10
液化之動流體壓力	0	51.14	51.14	23.42	23.42
液化之超額孔隙水 壓力	0	217.14	217.14	119.17	119.17
抗滑動安全係數	0.96 (日本 1999 年基準) 1.03 (原基準)	0.61	0.83	0.75	0.87

※動態土壓力公式中是否已含陸側動水壓力仍有爭議？

四、結論與建議

1. 由安平港地震引致之沉陷分析結果顯示，安平港有三處之土質較為疏鬆，極易因地震而造成較大之沉陷災害，其分別位於(1)舊碼頭區之第 3、4 號碼頭，(2)新碼頭區之 8、9 號碼頭，(3)未建碼頭區之 20、21 號碼頭。
2. 港灣構造物如防波堤、碼頭、海堤等，在受到地震力時，不但構造物本身有慣性力，背填土會引致動態土壓力及動態水壓力，若背填土壤發生液化，亦會產生液化之側壓力，造成港灣構造物更加不穩定；由 921 台中港 1~3 號碼頭抗滑動之穩定性分析顯示，碼頭向海側移動 0.5 至 1.7 公尺之原因，除了地震引致沉箱之慣性力外，可能是背填土部份

之液化超額孔隙水壓力及液化時之動流體壓力所造成。液化超額孔隙水壓力約為未液化主動土壓力之1.7倍。

參考文獻

- [1].黃富國 (1996) , 土壤液化之危害度分析, 台灣大學土木系博士論文。
- [2].港灣研究中心(1999), 台中港1~4A碼頭921地震液化災損初步調查研究, 港灣研究中心專刊172號。
- [3].港灣研究中心(1999), 港灣地區地層下陷監測研究(II), 安平港地層下陷監測與資料查詢系統之研究。
- [4].鄭世楠等人(1999), 台灣十大災害地震圖集, 交通部中央氣象局,CWB-9-1999-002-9。
- [5].Idriss, I. M. (1990). **Response of Soft Soil Sites during Earthquakes**, *Proceedings, H Bolton Seed Memorial Symposium*, J. Michael Duncan (ed.) Vol.2, pp. 273-289. [25].Ishihara, K., Shimizu., and Yamada,Y., **Pore Water Pressure Measured in Sand Deposits During an Earthquake**, *Soils and Foundations* , Vol. 21, No.4 (1981).
- [6].Ishihara, K., Anazawa,Y., and Kuwano, J., **Pore Water Pressure and Ground Motions Monitored During the 1985 Chiba-Ibaragi Earthquake**, *Soils and Foundations*, Vol. 27, No.3 (1987).
- [7].Ishihara, K., **Measurement of Insitu Pore Water Pressure During Earthquake**, *Proc. Intl. Conf. On Recent Advances in Earthquake Engineering and Soil Dynamics* , Missouri, Vol. No.1 (1981).

台中港港區三維地理資訊建構系統

謝明志¹ 賴聖耀² 陳志芳³

執行單位：大地工程組

政府出版品統一編號：009254890182

計劃編號：MOTC - IOT - IHMT - GA8911-2

全程期間：88/07/01~89/12/31

執行期間：88/07/01~89/12/31

摘 要

大凡建築工程之規劃設計，皆以搜集環境特性資料為第一要務；而大型的港灣工程，其橫跨之區域動輒數公里以上，區域內的地質及海氣象資料之獲得，乃為最基本之規劃依據。若有完整的港區工程基本資料庫，則港灣建設在工程規劃階段，將可以節省龐大的經費、時間與人力。本計畫利用 MicroStation 系統軟體，搭配 Geographics 地理資訊模組，規劃查詢架構，繪製台中港港池三維模型，製作港區導覽動畫，建置設計及地質資料查詢，編寫查詢程式並將成果資料製成網頁。另在 MapInfo 系統上，增補台中港碼頭斷面資料及新建堤防設計資料。往後將擴建其它港區相關資料，期使系統內容更加完整。

一、前 言

由於電腦科技的快速發展，資料傳輸、資料記憶及運算速率等效能不斷地被提升，原本在個人電腦或工作站上所發展的地理資訊系統，也逐漸推出上網供需的新產品，而原先以二維圖形展示的空間資料或查詢成果，也開始以三維模型來提供更近真實的空間視景。但地理資訊系統不管是在網路查詢的發展或是立體視

¹ 港灣技術研究中心副研究員

² 港灣技術研究中心副研究員兼組長

³ 港灣技術研究中心助理

景的發展，目前都受限於硬體條件的不足：前者因既有的網路線頻寬難以擴充，須以新線鋪設，工程浩大；後者因一般的個人電腦，無法快速展示須大量記憶及運算的三維圖檔。但權衡這兩項發展，參照個人電腦這幾年來的進步神速，發覺後者比前者，應更容易突破困境，因此本計劃乃決定朝三維系統的方向發展，並選擇台中港區，以動畫模擬方式來建置港區虛擬實境導覽模式。另將台中港原有碼頭断面、地質、自然條件等資料加以彙整，增補近兩年新建碼頭及鑽探調查等資料，並結合海象調查統計、數值推算等結果，將查詢架構及資料庫內容再予擴充，盼望所建置之資料庫內容，能涵括更多有用資訊，得以將此查詢系統，提供各港務單位及主管機構來使用。

二、系統建置

2.1 開發工具

依據系統建置目標以及所需具備之基本需求，本研究使用的地理資訊系統 (Geographic Information System, 簡稱 GIS) 應用軟體，係採用 Bentley 公司所發展的 MicroStation 系統軟體，搭配 Geographics 地理資訊模組，本研究以此來作為資料處理之主要工具。

2.2 系統建置工作

本系統之建置，自資料收集彙整，查詢架構規劃，至系統建置完成，共可分十七個工作項目，即 1. 資料收集，2. 軟體評選，3. 系統採購，4. 港區影像錄製，5. 查詢架構規劃，6. 資料轉檔聯結，7. 主次模組學習，8. 系統語言學習，9. 港池三維模型繪製，10. 港區三維動畫製作，11. 地質資料製作處理，12. 海象資料製作處理，13. 數值資料製作處理，14. 程式編寫，15. 網站資料製作，16. 系統測試維護，17. 報告撰寫等。

2.3 系統查詢架構

港區三維地理資訊系統之建置，為一中程計畫，所規劃為建置台灣五個國際商港的查詢系統。今年為計畫的第一年，設定需完成系統軟體評選採購、確立查詢架構並擇一港區(即台中港)建置系統內容，是故本期計畫只建置台中港，目前系統查詢架構如圖 2-1 所示。

三、系統查詢操作

本系統提供中文下拉式選單及圖形點選等方式，來讓使用者進行各項資料之查詢。當啟動 MicroStation GeoGraphic 地理資訊系統時，同時選擇開啟 D:\Harbor\Tc\Dgn\目錄下的 Taiwan.dgn 檔，系統即進入查詢主畫面。主畫面為一台灣全島地圖，圖上標示台灣各主要國際商港位置，此時於圖上點選台中港，可進行台中港之相關資料查詢。為查詢之便利，本系統於 Geographics 模組選單之外，另設計四個新的主選單，提供使用者進行各項資料之查詢使用。此四個新設計的主選單，按照排列順序名稱個各自為：

- (1)港埠規劃
- (2)鑽孔資料
- (3)碼頭設計及調查
- (4)海地氣象資料

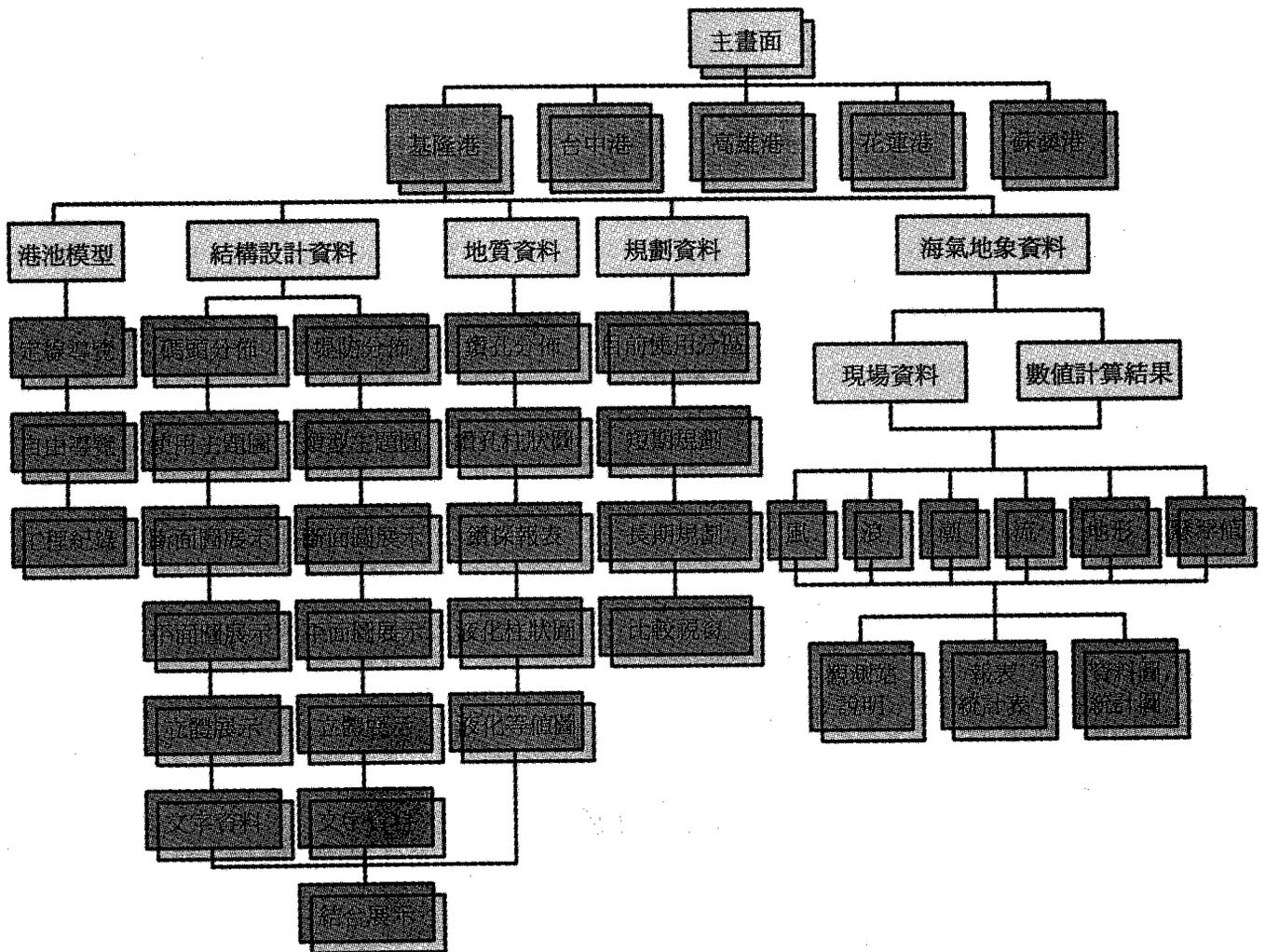


圖 2-1 系統查詢架構

每個主選單下又另設數個次選單，各選單之功能分別介紹如下：

1. 港埠規劃選單

港埠規劃選單中包含港區規劃、導覽、對照圖、景觀模擬，並包括切換港區、回工作主檔以及離開系統等功能。說明如下：

(1) 港區定線導覽

開啟交談框，選擇已設定路徑之港區 AVI 動畫並播放導覽。

(2) 港區自由導覽

預設開啟視窗 2 立體視窗。可在港區中自由以滑鼠或鍵盤自由前進，同視景

控制之”飛行模擬”，預設值鍵盤方向鍵前後為前進後退，左右為旋轉角度。開啟自由導覽前，應先設定視角與工作視窗（通常為視窗 2）可以配合使用上彩模式作即時導覽。

2.鑽孔資料

鑽孔資料選單包含鑽孔位置圖、資料報表，二維及三維柱狀圖及液化機率分析等功能，說明如下：

(1)鑽孔位置圖：顯示、關閉或重置鑽孔位置

(2)二維地質柱狀圖

①單孔或多孔展繪

開啟鑽孔位置，點選單孔或多孔繪點，

所點選之孔號會顯示在點選鑽孔視窗上

，如圖 3-1 所示。按執行鈕，則柱狀圖

即展繪在視窗 1 內，如圖 3-2 所示。 圖 3-1

點選鑽孔顯示視窗

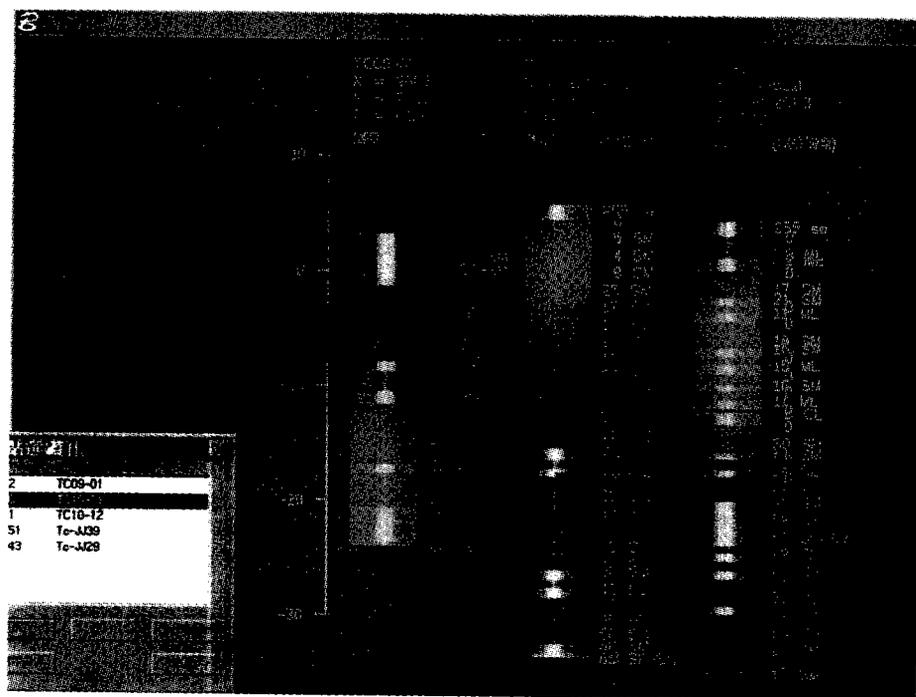
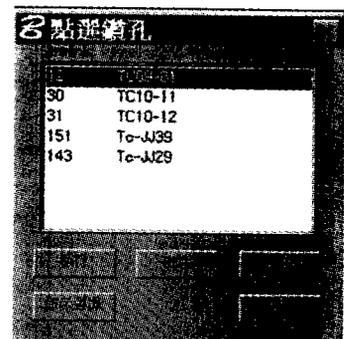


圖 3-2 鑽孔柱狀圖展示視窗

(3)三維地質柱狀圖：①全區展示②全區關閉

(4)鑽孔液化機率柱狀圖

①單孔或多孔展繪：開啟鑽孔位置，點選單孔或多孔繪點

3.碼頭設計與調查

碼頭設計與調查選單包括碼頭位置圖，型態主題圖、資料查詢及設計圖等展示功能，各功能說明如下：

(1) 碼頭位置圖：開啟、關閉碼頭位置圖

(2) 碼頭型態主題圖：開啟、關閉碼頭主題圖

(3) 查詢碼頭資料：點選碼頭查詢碼頭各項資料，查詢視窗如圖 3-3 所示。

(4) 碼頭平面圖：開啟點選碼頭，並載入碼頭相關平面設計圖，或予關閉

mark	
name	2
編號	chung1
岸程	8.2
動向	0.0
岸距	250.0
岸深	13.0
碼頭年月	8602
面積	139295000.0
用途類別	貨棧
設計型式	沉箱

查詢視窗包含以下按鈕：
查詢(Q)、輸入(I)、更新(U)、刪除(D)、清除(C)
第一頁(F)、前一頁(B)、下一頁(N)、最後一頁(L)
使用(O)、轉檔(T)、清除(E)、貼紙(L)
☑ 執行開關圖層(S)

圖 3-3 碼頭資料查詢視窗

四、結論與建議

1.系統後續建議工作：

本研究規劃系統查詢架構，建置台中港三維模型及導覽系統，後續將在此基礎上建置基、高、花、蘇等港資料。

2.提供規劃設計及災害防治基本資料：

本研究利用桌上型地理資訊系統，建置成一套資料查詢管理系統，除了規劃預算階段可獲得省時、省力、省錢等效益外，亦能達到災害防治的目的。將來並可依據這些資料來發展其它工程應用，以做為規劃設計及災害防治上的基本資料。

參考文獻

- [1] 謝明志、單誠基、賴聖耀、李延恭(1997)，地理資訊系統在港灣工程資料查詢展示之應用,第十九屆海洋工程研討會。
- [2] 謝明志、賴聖耀、李豐博、陳志芳(1998)，地理資訊系統在地層下陷與土壤液化之應用研究-以布袋港為例 ,1998 年中華地理資訊協會學術研討會。
- [3] 謝明志、單誠基 (1998)，台灣五大港區碼頭地質資料查詢展示系統簡介,港灣報導 No.45。
- [4] 賴聖耀、謝明志 (1999)，港灣地區地層下陷監測研究(II)- 安平港地層下陷監測與資料查詢系統之研究，港灣技術研究中心。
- [5] 港灣研究中心(1999)，台中港 1~4A 碼頭 921 地震液化災損初步調查研究，港灣研究中心專刊 172 號。
- [6] 施保旭(1997)「地理資訊系統」儒林圖書公司。
- [7] 李咸亨、謝浩明(1988)“大地工程地質資料庫系統及台北市區建檔研究”，內政部營建署。
- [8] 謝明志、李延恭(1996)“台灣各港區土層分佈資料微電腦建檔及土壤動態性質分析研究”，港灣技術研究所 85-研(五)研究報告。
- [9] Shan,C.C., Hsieh,M.J., Chu,C.Y.(1998)' GIS Approach on Kaohsiung Port Facilities Management', 1998 International Conference on Shipping Development & Port Management, March, Kaohsiung, Taiwan.

- [10] Liao,S.S.C., D.Veneziano, and R.V.Whitman (1988) , Regression Models for Evaluating Liquefaction Probability ,J. of Geot. Engr., ASCE, Vol.114, No.4, pp.389-411.
- [11] Seed,H.B., K.Yokimatsu, L.F.Harder ,and R.M. Chung(1985) , Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluation , J. of Geot. Engr., ASCE, Vol.111, No.12, pp. 1425~1445.
- [12]Christion, J. T., and Swiger, W. F. (1975), "Statistics of Liquefaction and SPT Results," Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASEC, Vol. 101, No. GT11, pp. 1135-1150.

港灣 GIS 系統-台中港海氣地象資料分析及查詢

蘇青和¹

執行單位：數學模式組

政府出版品統一編號：009254890182

計劃編號：MOTC - IOT - IHMT - GA8911-3

全程期間：88/07/01~89/12/31

執行期間：88/07/01~89/12/31

摘 要

本計畫主要配合本中心建立之港灣 GIS 系統，而建立之海氣地象資料分析及查詢系統，系統包括現場觀測及數值計算之潮汐、海流、風、波浪、地形、懸浮質等 6 項，歷年蒐集之資料。本年度主要之分析對象為台中港現場觀測資料，其中潮汐 1 個測站約有 29 年資料(民國 60~88 年)，其他風、波浪、海流則在民國 82~86 間各計有 3~4 個測站之觀測資料。經分析後之代表性資料圖、月報表、統計圖或統計表，將透過資訊網路提供港務局或相關研究單位查詢及使用。

一、前言

台灣四周環海，開發海洋資源、發展航運、從事港灣建設及徹底瞭解港灣設施改善之依據等均需長期可靠之海象、氣象資料作為依據。目前政府為落實台灣成為亞太營運中心之目標，行政院研考會正推動「政府機關電子資料流通」之業務，藉此將五個國際港之海氣象資料以靜態及動態方式透過資訊網路提供國內船舶業者及有關人員查詢，提供國內外各種方便的資訊服務。且隨著港埠業務之增加及船舶交通管理系統之建立，五個國際港之長期即時觀測網站建立

¹ 港灣技術研究中心研究員

甚為重要，如何將五個國際港之海氣象資料以靜態及動態方式透過資訊網路提供國內船舶業者及有關人員查詢，提供國內外各種方便的資訊服務，及各機關間的資訊交換則為重要目標。

十幾年來本所在台灣地區幾個國際港，進行海氣地象等資料觀測站建立長期觀測，以期獲得較長期的海氣象資料。目前搜集歷年之海氣地象等資料已甚為豐碩，但歷年分析之結果，如統計圖及統計表皆甚為分散，港務局或相關研究單位及顧問公司查詢或引用時，不甚方便。近幾年來，地理資訊系統(GIS)的發展，在資料庫的設計、查詢功能之擴充、技術的應用多有極大的進步，因此本所近年也加緊於港灣 GIS 系統之建立。本計畫將配合本所整體 GIS 系統，建立海氣地象之資料分析及查詢系統，最後將歷年海氣象資料以靜態及動態方式透過資訊網路提供國內船舶業者及有關人員查詢，提供國內外各種方便的資訊服務。其次限於長期即時觀測需投入龐大之經費及人力物力，一般現場觀測點無法做到全面性，因此為彌補觀測資料站有限局部之限制，也增加數值模式全港區之海象推算結果，以提供較全面性完整之海氣地象資訊。

二、海氣地象資料分析及查詢系統

2.1 系統內容

海氣地象資料蒐集、處理、分析及應用流程圖如附圖 2-1，現場觀測首先在欲觀測的地區選定適當的觀測位置，並安置相關的觀測儀器，觀測資料的讀取及處理則為首要並較繁雜的工作，因為資料品質良莠不齊，儀器故障、外力破壞、人為登錄的誤判，皆可能造成資料處理的困擾。

資料經分析後將產生資料檔、資料圖、報表、統計表及統計圖等有用的資料或資訊。資料檔將鍵入資料庫系統，方便以後查詢及引用。配合相關研究計畫，資料圖表或統計圖表也提供研究報告、本中心的年報印製、光碟製作。重要資訊更提供數值計算、模型試驗及規劃設計等使用。

目前海氣象資料分析結果，依使用對象不同分三類，第一類為即時結果展示，配合觀測儀器及資訊傳遞日新月異，在重要的港口可由現場觀測的重要資訊：如波場（波高、週期及波向）、流場（流速、流向）、風場（風速、風向）等

透過網路，提供港務局船隻進港或工程施工的依據。

第二類為年報：將當年觀測的各類資料圖表製作詳細的年報及光碟片，此部份的圖表，將包括詳細的逐時記錄資料，為日、月、季等不同時間之統計圖及統計表。年報將建立在本中心 GIS 系統，可透過網路查詢及引用。

第三類為各港代表性結果，將歷年來的資料經分析後，取曲型代表性之結果建立在本中心 GIS 系統，此部份主要內容為各港長期典型之波、流、風、潮等一般特性，提供對象為規畫設計或一般民眾查詢。

海氣地象資料目前包括的項目有：潮汐、海流、風、波浪、地形及懸浮質等 6 項。函蓋之港口則主要為基隆、台中、高雄、花蓮及蘇澳等五個國際港，及目前本中心正進行相關研究之台北港、安平港、布袋港、澎湖鎖港等幾個國內商港。一般海流、波浪、潮汐、風、懸浮質皆為點的觀測（測點）、水深則為區域性的量測（測區）。海氣象資料特性皆與時間相關，如風、波、流等與季節（夏冬）皆有相同，潮位也與日及月的變化有關。因此時間也是海氣象資料特性考慮重要因子。為了輔助現場觀測資料因點的局部份及資料期間常過短的不足，本系統另增加部份數值模擬的結果，以提供較全面性、完整性的資訊。

2.2 系統流程

各港海氣地象資料圖表查詢系統流程圖，如附圖 2-2，包括現場觀測及數值模擬兩種，項目則有風、波、潮汐、海流、地形及懸浮質等 6 項，查詢內容除重要的統計圖或統計表，各觀測站或觀測區，皆有測站(區)位置、儀器安置、記錄期間等說明。數值模擬部份也有模擬之背景資料、邊界資料、模擬期間等說明。現場分析結果主要為單點、靜態的，但數值模擬則是全面動態的變化圖。

2.3 系統語言

查詢系統分兩部份，第一部份主要建立在 Micro Station 系統上。程式語言使用系統支援之 Basic 語言設計。另一部份主要建立在本中心網站上，使用 Java 及 C++ 為程式設計語言，詳細表單查詢請參閱本中心 GIS 系統使用手冊。

系統處理之圖或表之檔案格式為 pdf 檔、ps 檔或 FLC 動態檔。其次有關海氣

地象資料檔、表檔、圖檔及說明檔名稱說明如下：

1. 資料圖及表檔名(例如 V872TC80.PS)之定義說明如下：

(1) 第 1 個為資料類別代碼

T：潮汐。C：潮流。W：風。V：波浪。D：地形。S：懸浮質

(2) 第 2 及第 3 個代表西元年，例如 87 代表 1987 年之資料。但 44 代表歷年之資料。

(3) 第 4 個代表月份或季節或整年，0 代表整年資料，1~9 分別代表 1 月至 9 月，A~C 分別代表 10 月至 12 月 (A=10, B=11, C=12)，I, J, K, L 分別代表 I=1 月~3 月，J=4 月~6 月，K=7 月~9 月，L=10 月~12 月等 4 季，W 代表冬季(W=12 月~2 月)，N 代表春季(N=3 月~5 月)，S 代表夏季(S=6 月~8 月)，F 代表秋季(F=9 月~11 月)。

(4) 第 5 個及第 6 個為港口代碼：

TC：台中港。KH：高雄港。KL：基隆港。SA：蘇澳港。HL：花蓮港。

TP：台北港。AP：安平港。

(5) 第 7 個代表測站名稱，例如 8 代表台中港測站 8。

(6) 第 8 個為表號或圖號

表號：1~9，A~H(17 個)。圖號：I~Z(18 個)。

(7) 附加檔名定義為：

現場觀測之檔名為 PS 檔或 PDF 檔。

數值計算之檔名為 FLC 檔或 AVI 檔。

2. 觀測站說明檔(例如 INVTC80.PDF)：

第 1 個固定為 I。

第 2 個代表現場觀測(M)或數值結果(N)。

第 3 個代表資料類別代碼。V 為波浪。

第 4 及第 5 個代表港口代碼。TC 為台中港。

第 6 個代表測站名稱。8 為測站編號。

第 7 個為序號。0 為按月,X 為按次。

3.所有資料檔皆放置於 GIS 目錄下 TC 子目錄下之 6 個子目錄 T(潮汐),C(海流),W(風),V(浪),D(地形),S(懸浮質)之下。

4.資料檔名(例如 V872TC80.1HE)之定義說明如下：

(1) 第 1 至 7 個與圖表定義相同。

(2) 第 8 個代表日,0 代表整月資料,1-9 分別代表 1 日至 9 日開使觀測,A~V 分別代表 10 日至 31 日開使觀測(A=10,F=15,K=20,P=25,U=30)。

(3) 附加檔名定義:可自行定義,舉例說明如下。

1HE: 一小時之資料檔。

1ME: 一分鐘之資料檔。

6ME: 六分鐘之資料檔。

1HM: 一小時平均之資料。

V*.1HL: 一小時之波浪水位檔資料。

三、台中港海氣地象資料分析結果

本年度主要分析台中港的項目包括潮汐、海流、風及波浪等四項。分述如下：

3.1 潮汐分析

台中港潮汐測站 8 位置如附圖 3-1,蒐集的資料為民國 60 年至今 88 年約有 29 年之資料,其資料記錄期間統計表,計有 308 個月,有潮汐月報表,潮汐月資料圖,潮波波高及週期統計表,潮汐月能譜圖,潮汐分潮振幅及週期統計表等。

3.2 海流分析

台中港海流觀測在民國 83 年之 86 年間計有 4 個觀測站(測站 1、2、2N、4 等,其位置如附圖 3-1)其觀測期間統計約有四年。有海流月報表,海流月資料圖,海流流速及流向聯合分佈表,海流重要海流統計量統計表,海流玫瑰圖,海流橢圓圖,海流向量行進圖(PVD),海流能譜圖等。

3.3 風資料分析

台中港風觀測在民國 82 年至 86 年間計有 4 個測站(測站 3、7、B、W)其位置如附圖 3-1,其觀測期間統計約五年。有風月報表,風月資料圖,風速及風向聯合分析表,重要風統計量統計表,風玫瑰圖等。

3.4 波浪資料分析

台中港波浪觀測在民國 83~86 年間計有 3 個測站(測站 1、2、4),其位置如附圖 3-1,其觀測期間統計約四年。有波浪月報表,波浪月資料圖,波高及週期聯合分佈表,重要波浪統計量統計表,波高及週期統計方塊圖。

四、 結論與建議

1. 本計畫主要配合本中心建立之港灣 GIS 系統,以建立海氣地象資料分析及查詢系統,系統包括現場觀測及數值計算之潮汐、海流、風、波浪、地形、懸浮質等 6 項,歷年蒐集之資料。
2. 查詢系統分兩部份,第一部份主要建立在 Micro Station 系統上。程式語言使用系統支援之 Basic 語言設計。另一部份主要建立在本中心網站上,使用 Java 及 C++ 為程式設計語言。
3. 本年度主要之分析對象為台中港現場觀測資料,其中潮汐 1 個測站約有 29 年資料(民國 60~88 年),其他風、波浪、海流則在民國 82~86 間各計有 3~4 個測站之觀測資料。經分析後之代表性資料圖、月報表、

統計圖或統計表，將透過資訊網路提供港務局或相關研究單位查詢及使用。

4. 未來將針對基隆、高雄、花蓮及蘇澳等期他四個國際港，及目前本中心正進行相關研究之台北港、安平港、布袋港、澎湖鎖港等幾個國內商港進行分析，其次數值模擬之部分也是未來研究重點。

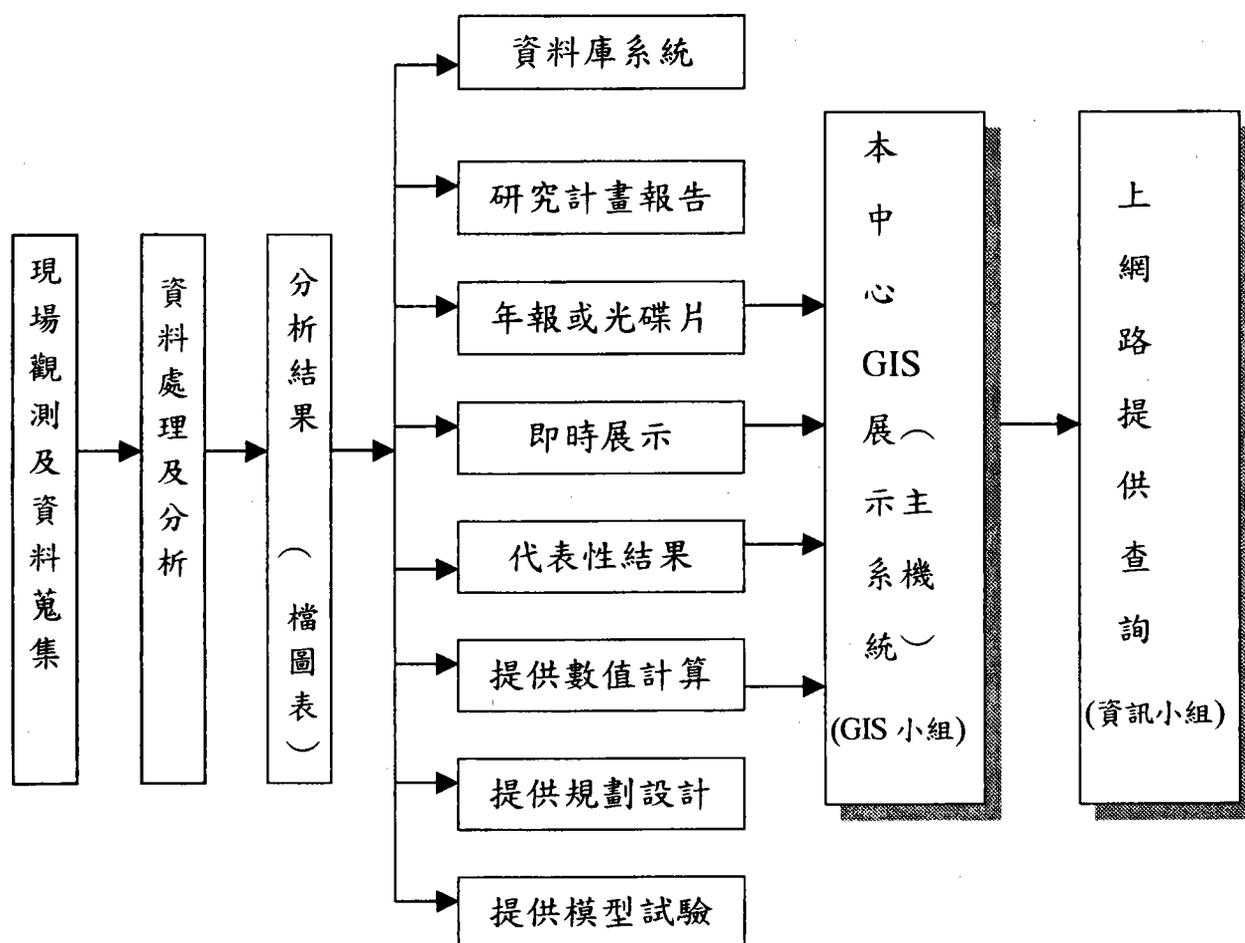
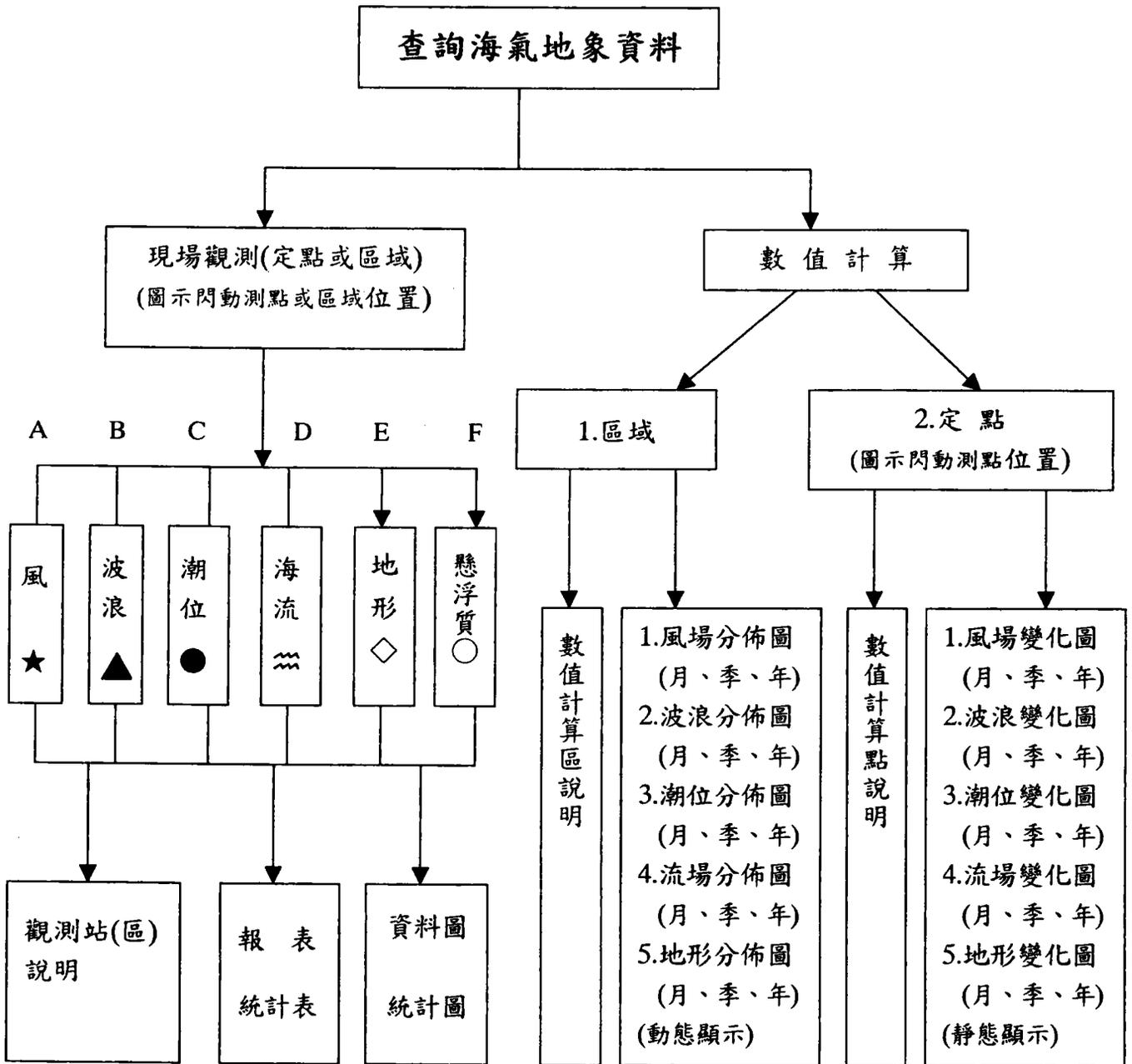


圖 2.1 海氣地象資料蒐集、處理、分析及應用流程圖



(詳如下圖)

圖 2-2 各港海氣地象資料圖表查詢系統流程圖

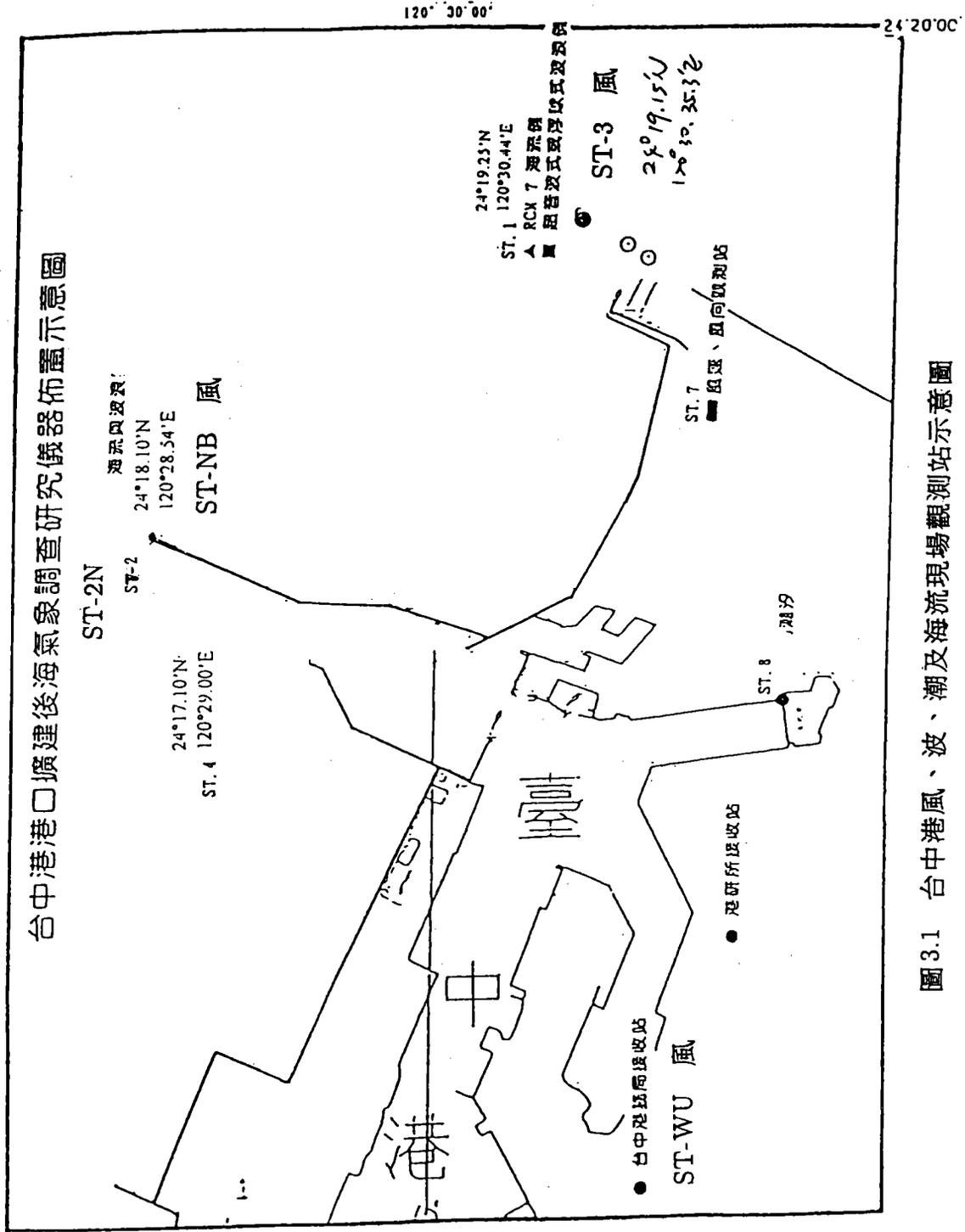


圖 3.1 台中港風、波、潮及海流現場觀測站示意圖

利用電阻錐調查台灣港區土壤工程性質之研究

陳圭璋¹

執行單位：大地工程組

政府出版品統一編號：

計劃編號：MOTC - IOT - IHMT - GA8912

全程期間：88/07/01~89/12/31

執行期間：88/07/01~89/12/31

摘 要

本研究分別於台中港區及布袋港區進行試驗，台中港西碼頭區過去位於海中，是以水力回填而成之海埔新生地，目前四周仍是海，各試孔其上面土層導電係數均甚低。一般在 9 米以下之土層其導電係數便逐漸增大，而在 16-24 米間導電係數達最高值，布袋港區與台中港之西碼頭區雖同屬海埔新生地，但土層斷面之導電係數與台中港區完全不同，於台中港區深度 26 米以下之土層，其導電係數均降至 20ms/m 左右，土層不再含有鹽分，但布袋港區土層深度就算高達 40 米，其導電係數仍維持 200~500ms/m 以上，中間深度土層之導電係數其值高達 1500~2000ms/m 以上，亦較台中港區為高，此等現象主要是超抽地下水引起海水入侵所致。

一、前言

荷式錐貫入試驗經過去數十年之研究發展與改進，目前常用之水壓錐已成為探測土壤工程性質之極佳工具，其所能量測之錐頭阻力、摩擦阻力、動態孔隙水壓、動態波速等工程性質能據以研判土壤種類、土層分佈、液化潛能分析，並應用於各種大地工程之設計分析。於過去之十多年間，許多學者專家為增加貫入試驗之測試功能，於水壓錐頭後段增加量測土壤電阻係數之設備，該種量測錐頭我

¹港灣技術研究中心副研究員

們稱之為電阻錐，該錐頭除可量測前述各種工程性質外，亦可藉由所量測之土壤電阻係數研判土壤之組構特性及土壤孔隙水是否遭受外來之污染。

一般砂土顆粒本身並無法導電，但充滿於其中之孔隙水，則因含有游離之陰陽離子，使土壤內產生電傳導。影響土壤電阻係數之因素有土壤顆粒之種類，排列情況及其內含之孔隙流體等。土壤電阻係數與土壤孔隙水電阻係數之比我們稱之為構造因子，過去經多位學者研究顯示構造因子受砂土顆粒形狀，顆粒長軸方位，接觸點法向量之方位，孔隙比、膠結及飽和度之影響。

先前本中心曾於室內以不同方法製作之土壤試體量測土壤之電阻係數並探討土壤構造因子與孔隙率及相對密度之關係，於本研究則計畫於台灣港區多種不同地層結構下，以電阻錐進行現地試驗來探討電阻錐於工程上之應用，尤其針對試驗分析結果之土壤構造因子，建立與錐頭阻力，摩擦阻力比，SPT-N 值及孔隙率等之關係式，俾提供工程上由電阻錐試驗結果快速研判試驗土層之各種工程特性。

二、研究方法

2.1 於港區進行現地電阻錐試驗

本研究計畫於台中港、布袋港及安平港等地區進行現地電阻錐試驗，根據其所獲致地下土層導電係數之數值，可用以初步研判土層是否遭到外來污染源之污染，為確認污染源之種類及污染之程度，須再以採取地下水樣品之 BAT 取樣設備採取試樣送至化學試驗室進行地下水之定性與定量分析。

2.2 建立土壤結構因子與 CPT 阻力參數之相關性

過去國內探討土壤構造因子與組構特性之關係，多限於室內以不同製作方法之試體及以室內量取土壤電阻係數之設備為之，現地採取代表性之土樣是一種困難且費錢之工作，因此以電阻錐現地量取土壤之電阻係數將可解決前述之問題，本研究除以電阻錐進行現地試驗，並以 BAT 之水樣採取設備採取土壤孔隙水，採取之水樣於室內進行電阻量測及各種化學成份之分析。根據試驗分析之構造因子再與現地試驗結果之錐頭阻力、摩擦阻力比建立關係式。

2.3 建立土壤結構因子與孔隙率之相關性

於電阻錐試驗地點附近進行標準貫入試驗，以現地試驗之 N 值及室內試驗分析之孔隙率建立與土壤構造因子之相關性。

三、電阻錐試驗之原理與儀器構造

3.1 土壤之統體電阻係數(Bulk Resistivity)

欲量測土壤之電阻係數(Resistivity)，應先決定土壤之電阻(Resistance)，該土壤電阻是對置於其內之一對電極板(Electrode)，通以一電流 I 後，量測兩電極板間之電壓 V(Voltage)，再根據 $R=V/I$ 之關係式，求取土壤之電阻 R。前述求取之土壤電阻並非是一種具唯一性(Unique)之參數，而是隨所量度物質斷面積及長度之不同而改變，土壤之電阻係數 ρ 應依下式求取之。

$$\rho = (A/l) \cdot R = (\text{導電係數})^{-1}$$

式中

ρ : 電阻係數, ohm-m

A : 斷面積, m^2

l : 長度, m

R : 電阻, ohm

前述土壤電阻係數與電阻間之關係式通常以 $\rho = K \cdot R$ 取代之，式中常數 K 與電極板之幾何形狀(Geometry)有關。

3.2 土壤及其內含孔隙流體兩者電阻係數之關係

土壤之電阻係數隨土壤顆粒種類、排列情況及其內含孔隙流體之不同而改變。土壤內產生電傳導(electrode conduction)之主要機制為水溶液內因電解傳導(electrolytic conduction)引致之電荷傳送，該種情形亦即在電場作用下所產生之離子移動現象。一般言之，水溶液內若存有較多之離子，則該水溶液之電阻係數將愈小而傳導係數(conductivity)愈大，另一影響傳導係數之因素為主宰水溶液黏滯性之溫度，溫度愈高傳導係數愈大。受到污染之土壤為一多相系統，其內含有土壤顆粒，水溶性流體(aqueous phase liquid, APL)，非水溶性流體(Non aqueous phase liquid, NAPL)及氣體等四種成份組成，土壤之電阻係數便是在前述四種成份相互作用下所得之總電阻係數，欲了解一土壤其電阻係數之改變到底是因何種成份改變所造成，並非易事。為研究方便通常以混合律(mixing laws)

來說明傳導介質(medium)之電阻係數，此處我們以混合律中最簡單之 Archie's 公式(formula)來說明，該公式假設土壤之統體電阻係數為孔隙流體電阻係數與土壤孔隙幾何形狀之函數，土壤電阻係數與孔隙流體電阻係數之關係式可以下式表之

$$F = \rho_b / \rho_f = a \cdot n^m$$

式中

F: 構造因子(formation factor)

ρ_b : 土壤之統體電阻係數, ohm-m

ρ_f : 孔隙流體之電阻係數, ohm-m

a, m: 常數(因土壤種類而異)

n: 土壤之孔隙率(Porosity)

對非固結性土壤，常數 $a=1$ ，而常數 m 則依土壤種類而異，砂土其 m 值約為 1.5，黏土之 m 值則介於 1.8 與 3.0 之間，雖然 Archies 公式將土壤電阻係數與孔隙流體電阻係數之關係過度簡化將影響其準確性，但當孔隙流體之電阻係數不大且土壤內僅含有少量黏土礦物成份時 Archies 公式仍具有相當高之準確度。前述之構造因子由於並未將土壤所含黏土礦物成份之影響加以考慮，通常將該種構造因子稱之為視構造因子(Apparent formation factor)，欲正確估測孔隙流體之電阻係數，構造因子之準確性是非常重要的。

3.3 電阻錐之構造

UBC 所研製之電阻錐(Resitivity cone)為將探測一般工程性質之水壓錐後面加上電阻量測單元所組成，如圖 3.3.1 所示。電阻錐之量測過程有兩種電的傳導模式產生，其一是流經孔隙流體之電解傳導，另一是流經兩金屬電極鈹之歐姆傳導，這種電傳導之發生均係由於氧化還原反應。因此我們知道由兩電極鈹所量取之電阻將是孔隙流體內離子流動及將電荷由電解液移至電極鈹之阻抗兩者之函數，根據前述理論我們可知欲設計一良好之電阻量度單元應考慮(1)電極鈹之個數與磁化頻率及(2)電極鈹之幾何構造等兩個因素。

於一具有二電極鈹之量度單元通一直接電流後，由於氧化還原反應並未產生逆向反應，因之電極鈹處將產生電化學反應，以致於電極鈹處將有離子生成，此種離子持續生成之現象被稱為極化現象，此種極化現象將使量測之電阻發生改變，此種極化現象之影響於直流電且低磁化頻率時非常重要。

具有四個電極板組成之電極板陣列，若僅利用內側之電極板來量測電阻係數，將可減少極化現象之影響，該現象是由於流經四電極板之電流很小，因之沒有離子於電極板處生成，通常具四電極板之電阻量度單元就是在極低磁化頻率下操作亦不致造成極化現象。UBC 電阻錐具有四個電極板，但其內側及外側兩組電極板可同時用來量度土壤之電阻係數，但為避免外側電極板極化現象之產生，控制其磁化頻率維持 1000HZ。較短之電極板間距可偵測出較薄之土層，但於均勻土層若能使用較大間距之電極板，將可因電場貫入較深之不擾動土層，而使所量得電阻係數之準確性提高。

四、現地電阻錐試驗

4.1 台中港區電阻錐試驗

因台中港區遼闊且限於時間與經費，僅選擇西碼頭、加工出口區與關聯工業區污水處理場等三個地區進行試驗，西碼頭區之試驗位置如圖 4.1.1 所示，試孔 WH01~WH07 連成之測線為南北走向大致與位在其東面之海岸平行，而測線與海岸之距離大約為 100 公尺，WH01 距南邊之海岸約 15 公尺，各孔之間距約 100~120 公尺，另外 WH08~WH09 兩個試孔之連線為垂直於海岸。至於加工出口區之試孔位置如圖 4.1.2 所示，試孔 SH01~SH05 之連線是垂直於西海岸，各孔之間距約 100 公尺，並依序逐漸向海岸靠近，試孔 SH06 與 SH03 兩者距中二路之距離相差不多，但 SH06 位在一廢棄之垃圾掩埋場旁，試孔 SH07 之位置不在圖面上，而是在臨海路東邊約 1.5 公里，位在西濱公路關聯交流道上。關聯工業區污水處理場則是位在台中港區之最南端大肚溪口北岸邊，試孔 WTP1 與 WTP2 之連線為南北向兩者相距約 40 公尺。

4.2 布袋港區電阻錐試驗

布袋港區電阻錐試驗計進行 7 個試孔，其試孔位置如圖 4.2.1 所示，其中 PD01~PD05 及 PD09 位在商港碼頭區附近，各試孔距海堤均不遠。PD06 位在商港區北邊之住宅區內，四周距海較遠，商港區與緊臨之住宅區均為將海填築形成之海埔新生地，另外 PD07 及 PD08 兩個試孔則位在布袋鎮之市街上，該區本來就是陸地，但布袋地區地勢低窪，常有海水倒灌之現象，附近設立有很多養殖魚塢，並有超抽地下水之情形。

五、電阻錐試驗結果與討論

5.1 海水與淡水之交界面

依據 Ghyben-Herzberg 之原理，在靜態平衡下，海水和淡水交界面(interface)是從地下水零水位線附近向陸測深處楔入豐水層之中，圖 5.1.1 為理論上海岸地區海水和淡水交界面之示意圖，因此沿海豐水層地下水之超抽使地下水位降至海平面以下，常有海水入侵(Seawater intrusion)之虞。然而海水是否入侵，還必須考量豐水層之結構才能確認。豐水層於海底若為開放而與海水相通，可能發生海水入侵，反之若屬封閉的，則無入侵之途徑。從沈積機制和水文地質分層結構，學者推斷各豐水層尖滅並封閉於阻水層之中，唯一可能造成阻水層缺口之海底山谷亦即俗稱之黑水溝則遠在台灣西海岸線以西數十公里以外。除了最上層之豐水層因接近地表，或有可能局部封閉不佳以外，豐水層二、三均應屬封閉狀態，海水入侵不易。

5.2 台中港區試驗結果

5.2.1 西碼頭區

台中港西碼頭區過去位於海中，是以水力回填而成之海埔新生地，目前四周仍是海，本區電阻錐試驗結果如圖 5.2.1 及圖 5.2.2，顯示試孔 WH01~WH05 中除 WH01 因靠海較近於深度 6-12 米處，土壤導電係數 K 值高達 1000ms/m 外，其餘各試孔其上面土層雖然是由海砂回填而成，但經多年雨水之沖洗，其所含鹽分被洗淨而導電係數均甚低。另一現象是說明海水淡水交界面之影響，於距海較遠之試孔其導電係數變大之土層深度亦較深，各試孔一般在 9 米以下之土層其導電係數便逐漸增大，而在 16-24 米間導電係數達最高值，試孔 WH01~WH07 均顯示約在 26 米以下之土層其導電係數均甚小，亦即該土層如同表面之土層不再受海水之影響而含有鹽分。

試孔 WH08 之試驗結果較怪異，上面有一層約 21 米厚導電係數很小之土層，接著導電係數才增大，但於深度 30 米試驗停止前導電係數並未如同其它試孔降至未含鹽分之情況，該反常現象仍須採取地下水樣作進一步之探討。

5.2.2 台中港加工出口區

本試驗區計有 7 個試孔，除 SH07 位於西濱公路關聯交流道外，其它均位於加工出口區內，試驗結果如圖 5.2.3，現就各試孔之結果說明如下。

- (1) 試孔 SH01 位於臨海路西邊 5 米，距西海岸甚遠，地層因不受海水之影響，故除表面數米受附近水力回填流入之海水影響，而具有較高之導電係數外，整個土層斷面之導電係數均甚低。
- (2) 試孔 SH02 位於中二路東邊約 5 米，基本上與 SH01 具有相同情況，因其位在 SH01 西邊 120 米，受西向水力回填水流之影響較多，上面導電係數高之土層較 SH01 為厚，但土層在 15 米以下其導電係數均甚小，顯示土壤未含有鹽分。
- (3) 試孔 SH03 位於中二路西邊 30 米，試驗結果較怪異，在深度 15 米以下之土層與其它各試孔一樣導電係數變為很小，但到深度 20 米時導電係數又增為 500ms/m，直到 26 米深時才再降低，此種怪現象仍待深入探討其原因。
- (4) SH04 及 SH05 依序逐漸靠近海岸，因受海水交界面之影響，具有鹽分土層之深度逐漸變深，導電係數也增大超過 1000ms/m。
- (5) SH06 位於廢棄之垃圾掩埋場邊，其試驗結果顯示上層 3 米土層導電係數較 SH03 為高，此係受下雨時垃圾場流出之污水影響，在深度 20 米處有一 2 米厚之土層，其導電係數高達 500ms/m，此等怪現象與試孔 SH03 之情況相似。
- (6) 試孔 SH07 位在西濱公路交流道上，距海岸甚遠完全不受海水影響，試驗結果顯示除面層數米厚之土層受附近住宅區排放之污水影響，使導電係數較高為 60-70ms/m 外，其餘土層之導電係數大致為 20ms/m 以下。

5.2.3 關聯工業區污水處理場

本試驗區位於大肚溪口，距海堤僅數十公尺，兩個試孔相距約 40 公尺，該區並非由水力回填而成之海埔新生地，試驗結果顯示該區受高潮海水倒灌之影響，在深度 22-24 米以下之土層含鹽分很小，其導電係數降至 30-40ms/m 以下。

5.3 布袋港區試驗結果

整個布袋商港區完全是由海填築而成之海埔新生地，本區計進行 9 個試孔，其試驗結果如圖 5.3.1 及圖 5.3.2，位於商港碼頭區附近之試孔 PD01~PD05，因距海均甚近故除上面 2~4 米之土層其導電係數很小外，試驗深度內之土層均受海水侵入之影響，而有較高之導電係數。布袋港區與台中港之西碼頭區雖同屬海埔新生地，但土層斷面之導電係數與台中港區完全不同，於台中港區深度 26 米以下之土層，其導電係數均降至 20ms/m 左右，土層不再含有鹽分，但布袋港區土層深度就算高達 40 米，其導電係數仍維持 200~500ms/m 以上，中間深度土層之導電係數其值高達 1500~2000ms/m 以上，亦較台中港區為高，此等現象主要是超抽地下水引起海水入侵所致。試孔 PD06 因位於整個海埔新生地之中間四周距海較遠，土層在深度 30 米時導電係數降至 100ms/m 以下，土層僅含少量鹽分。試孔 PD07 與 PD08 位於布袋鎮之市街上，其試驗結果剖面圖並未顯示如商港碼頭區試孔之情況在上面有數米厚之土層其導電係數很小，此市街地區表層土壤之導電係數便高達 250~500ms/m，主要原因為該等區域地勢低排水不良且偶遭海水倒灌，深度 30 米之土層其導電係數並未下降仍高達 1000~1500ms/m，可知該等地區海水入侵情況嚴重。

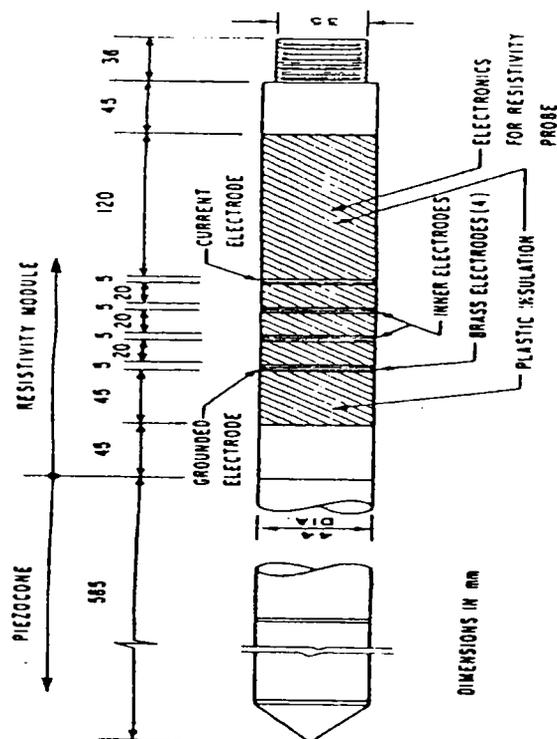


圖 3.3.1 電阻錐結構示意圖

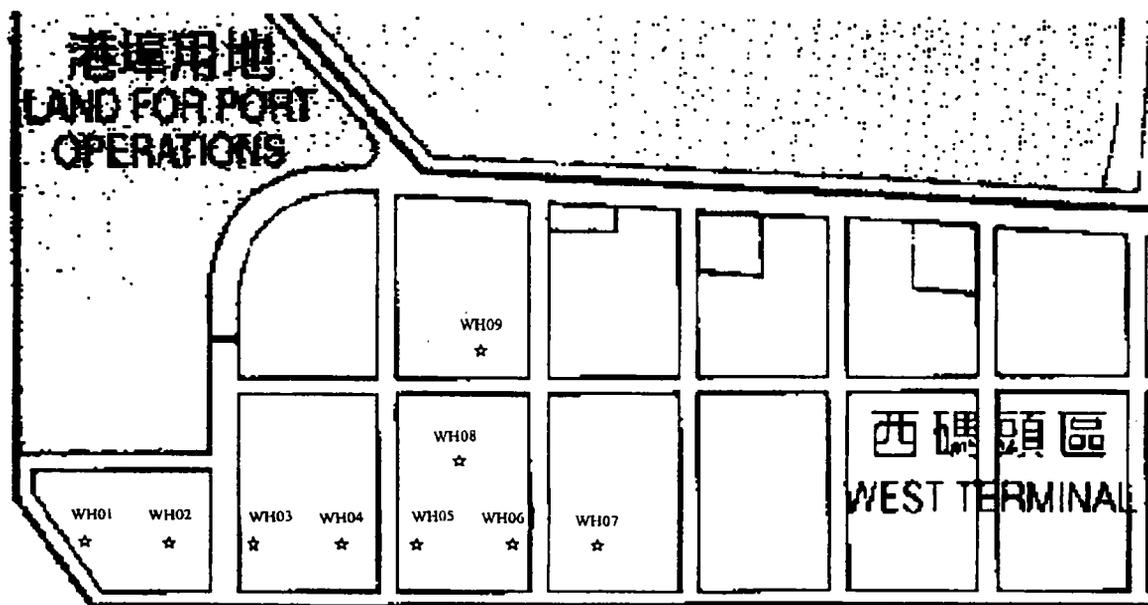


圖 4.1.1 台中港西碼頭區試孔位置詳圖

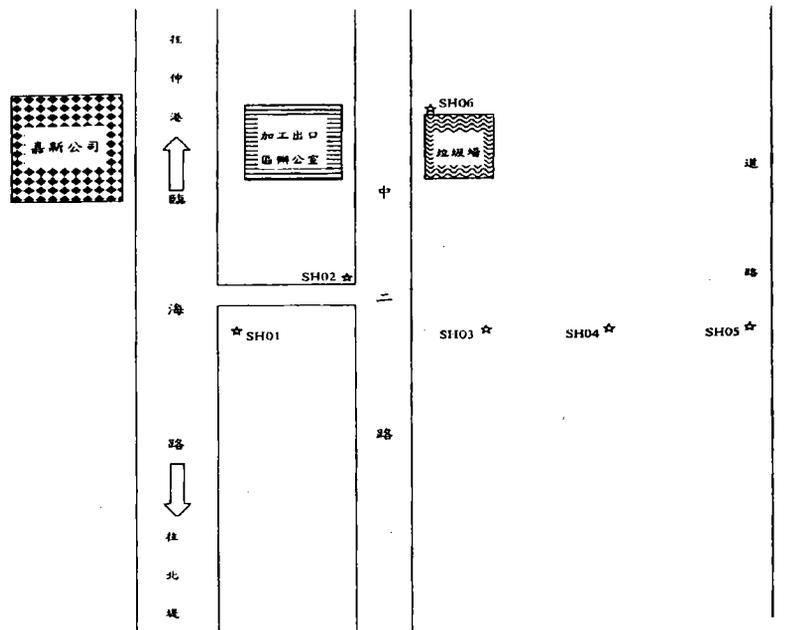


圖 4.1.2 台中港加工出口區試孔位置圖

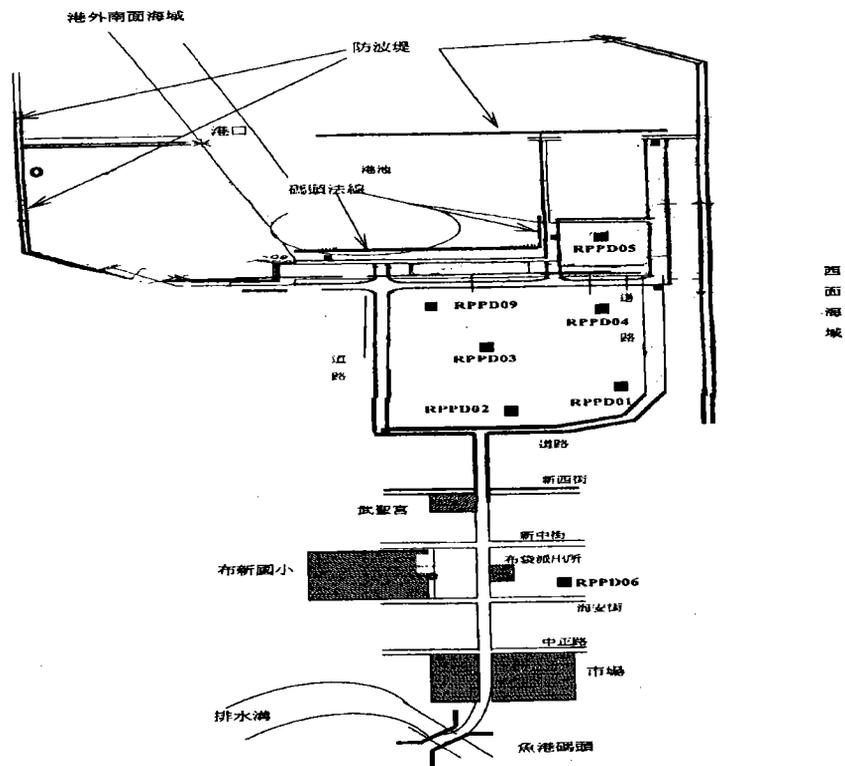


圖 4.2.1 布袋港碼頭區試孔位置圖

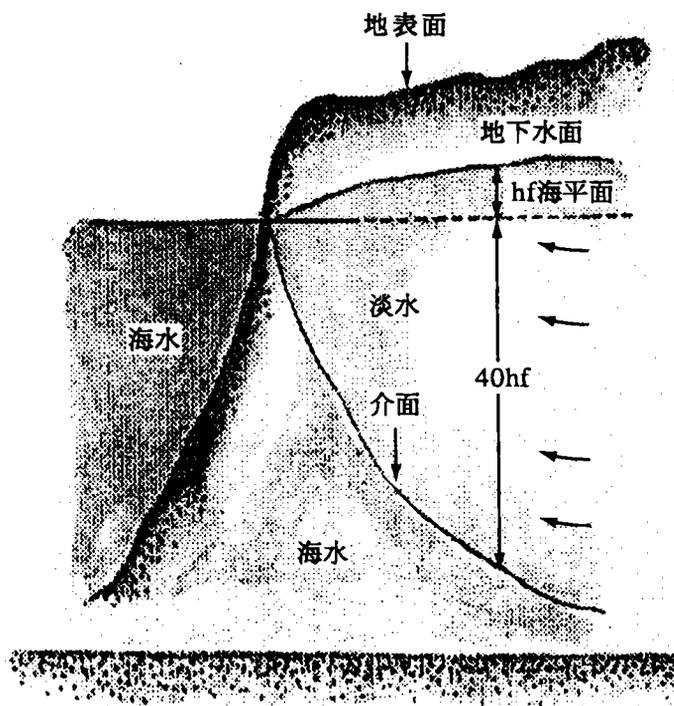


圖 5.1.1 海岸地區海水淡水界面示意圖

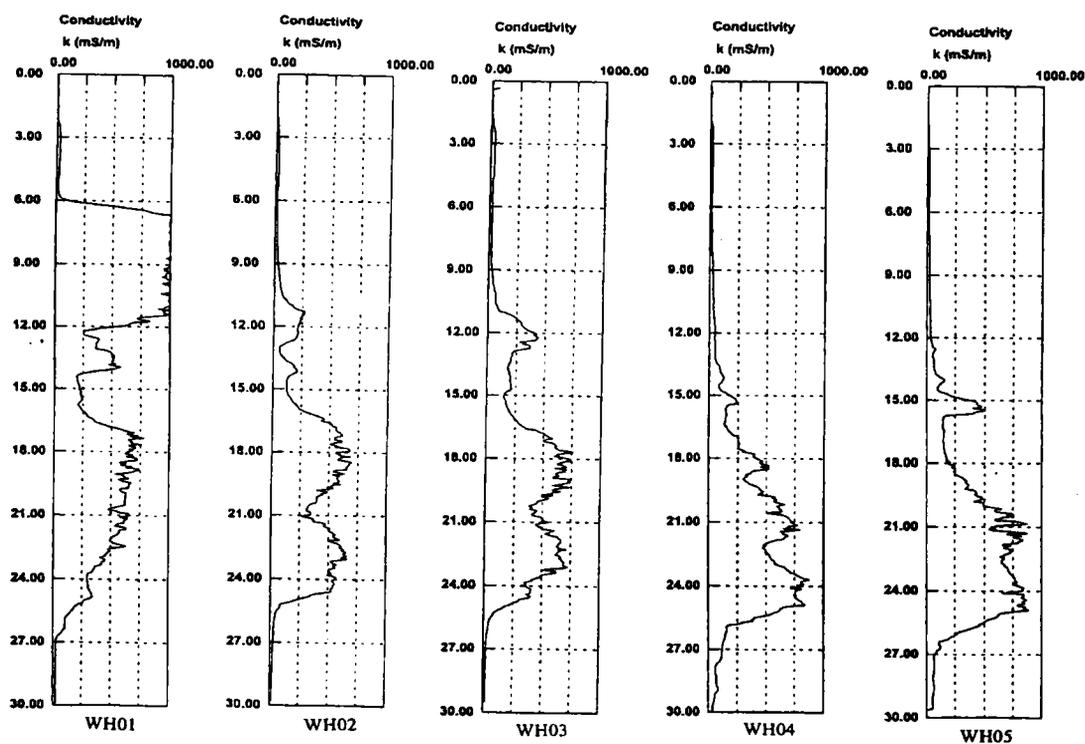


圖 5.2.1 台中港西碼頭區電阻錐試驗結果(1)

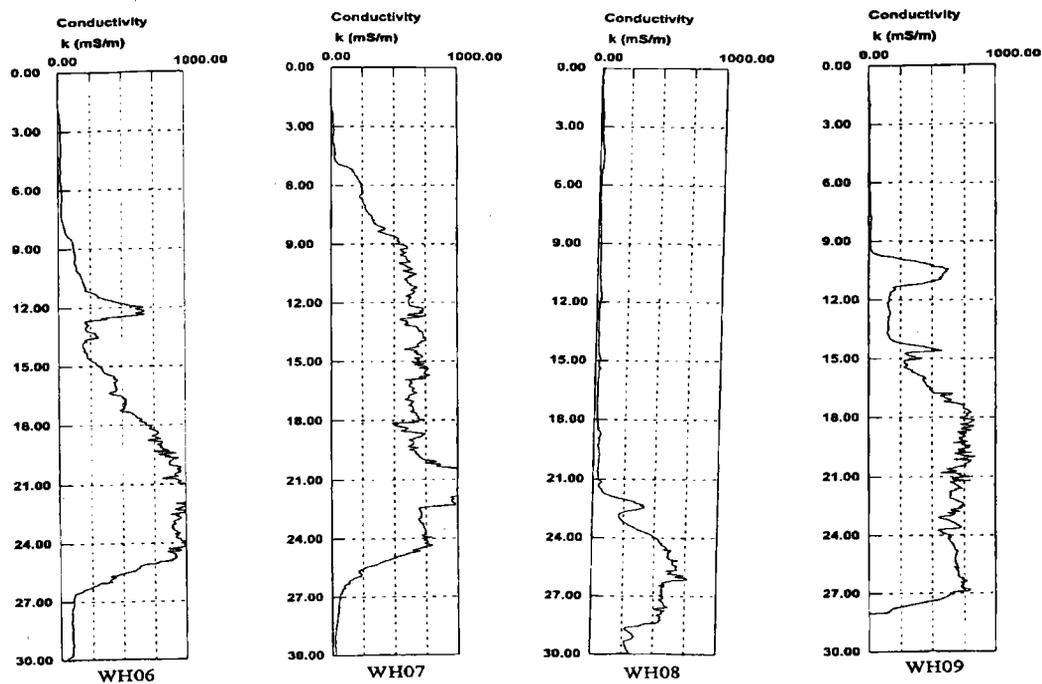


圖 5.2.2 台中港西碼頭區電阻錐試驗結果(2)

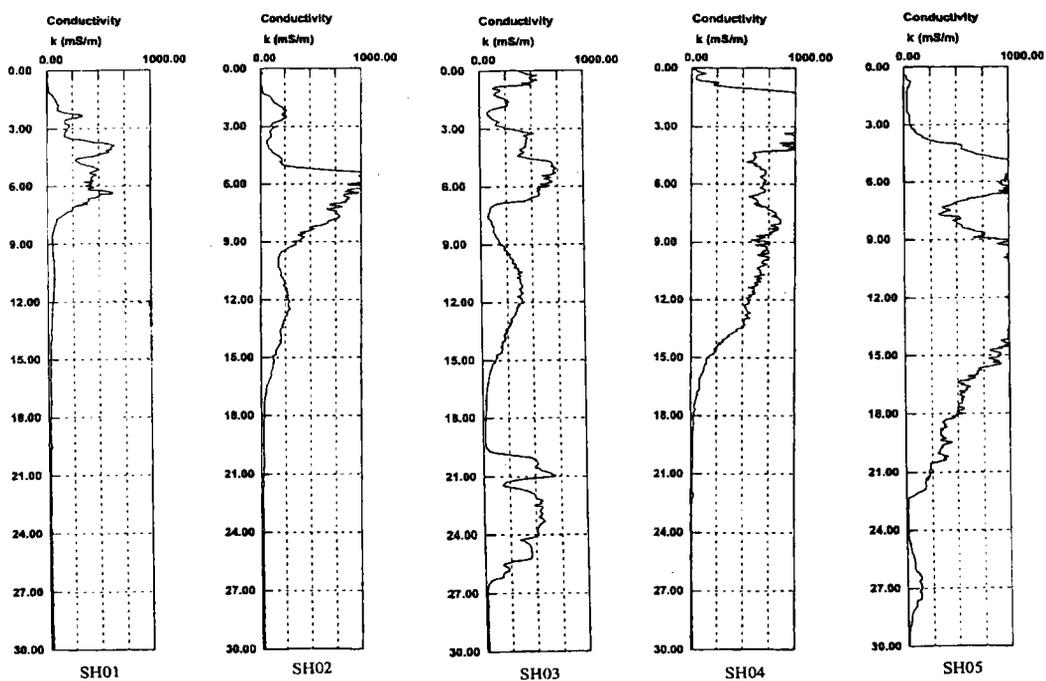


圖 5.2.3 台中港加工出口區電阻錐試驗結果

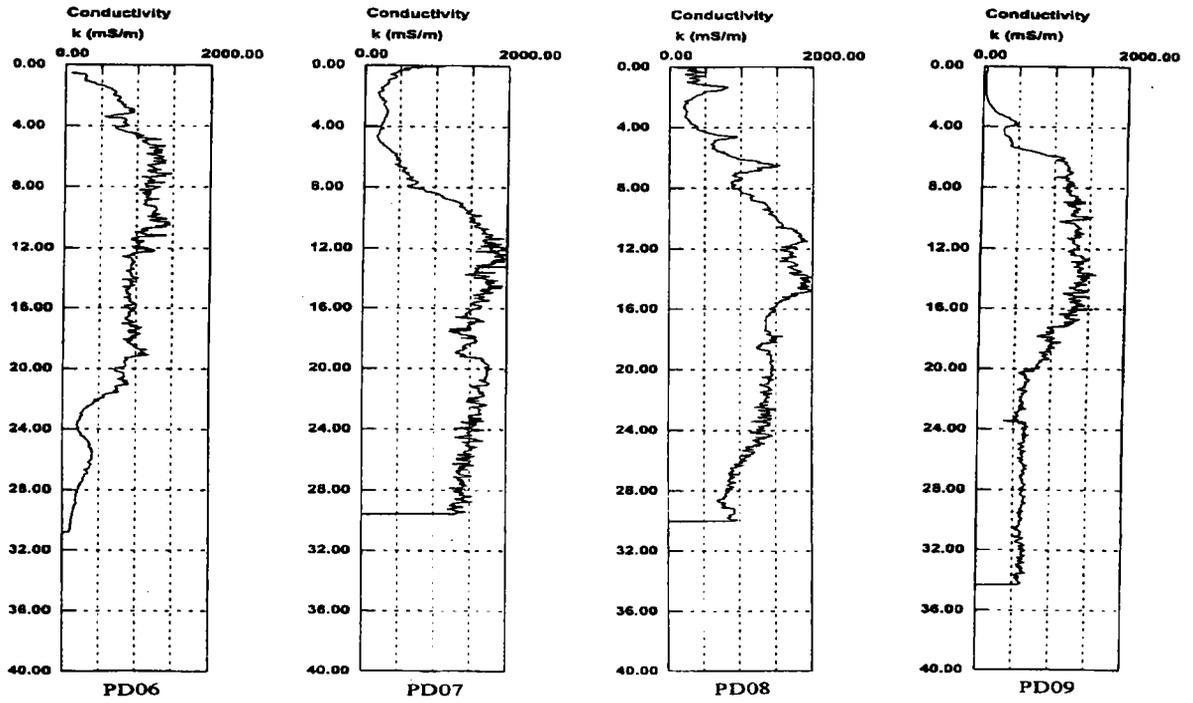


圖 5.3.1 布袋港區電阻錐試驗結果(1)

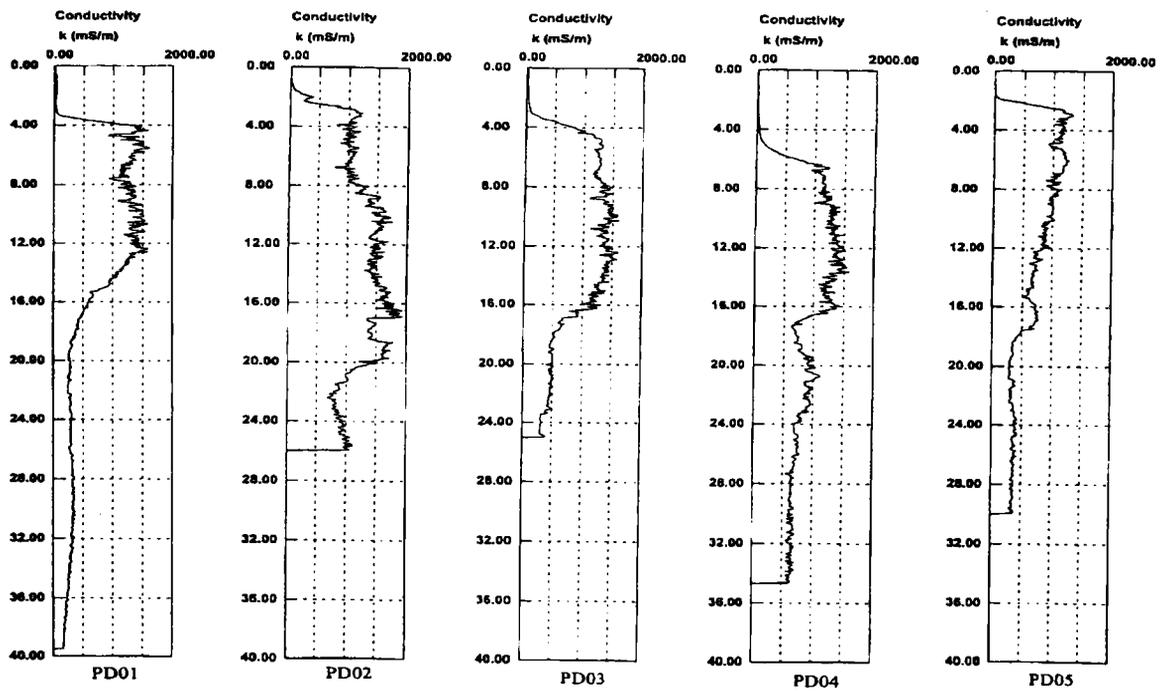


圖 5.3.2 布袋港區電阻錐試驗結果(2)

港灣環境下高性能混凝土結構體之性質研究 (三)

饒 正¹ 陳桂清² 張道光³

執行單位：港工材料組
政府出版品統一編號：009254890330
計劃編號：MOTC - IOT - IHMT - MA8913
全程期間：86/07/01~89/12/31
執行期間：88/07/01~89/12/31

摘 要

本研究係探討高性能混凝土在海洋環境下之物理、化學及力學性質之行為，並評估中長期 HPC 之耐久性能。計劃之初，首先設計國內一般需求之中、低強度之 HPC，於拌製過程中進行混凝土漿體之坍度、坍流度之量測，並製作標準圓柱試體，進行後續各項基本性質分析。為長期觀測其耐久性，於戶外製作大尺寸之鋼筋混凝土試驗牆，牆內埋置有各種偵測元件，監測項目包括有電阻、溫度、濕度及鋼筋腐蝕電位、電流等長期性之變化。

一、前言

1.1 研究動機與目的

高性能混凝土(High Performance Concrete, HPC)為當今世界各國混凝土工程界重要的研發與應用課題，因其具有高流動性與高品質之特性。其高流動性可使混凝土施工具有不需搗實，可自動澆置與減少施工噪音優點；廣泛的自流特性能減少混凝土之輸配及可流通至狹窄之鋼筋間距中或斷面上，達到充分填充效果，在施工階段亦可發現其具有減少骨材析離與泌水現象之優越性，且在硬固後保有高品質之耐久性，由於這些優點，更能取代傳統之混凝土，確保結構物在惡劣環境下有較長的耐久性。

¹港灣技術研究中心副研究員

²港灣技術研究中心副研究員兼港工材料組組長

³港灣技術研究中心助理

高性能混凝土兼具安全性、耐久性、工作性、經濟性及環保性等優越的工程材料特性。未來在土木工程上勢必扮演著非常重要的角色。基於為提昇港灣工程混凝土科技的研發與應用水準，需徹底瞭解此種新材料所製作之結構體在港灣環境下所具有之耐久性特性，以利推廣應用。

本研究應用添加飛灰、爐石等波索蘭材料與強塑劑之本土化材料，配製高性能混凝土。拌製過程量測其坍度、坍流度等新拌性質，在海洋環境下 HPC 硬固後之強度、電阻係數、滲透能力及鋼筋腐蝕速率、電位等之防蝕性能之檢測，綜合評估中長期 HPC 之耐久性，期能提昇混凝土之工程品質。

1.2 研究方法

1. 進行 HPC 之試拌及量測其坍度、坍流度及強度等發展特性。
2. 選用較佳之 HPC 配比，製作試體與鋼筋混凝土試驗牆，並在試驗牆內埋設多種感應器以進行相關試驗，後進行海水曝露試驗。
3. 在適當的齡期下，取出試體進行各項物理性、化學性及力學性質之測試。
4. 量測混凝土電阻、滲透及鋼筋腐蝕速率。
5. 評估 HPC 中長期之耐久性能。

二、研究內容與方法

本研究之主要目的在探討港灣環境下高性能凝土結構體之性質。在本研究中採用具本土性材料之高性能混凝土配比，其設計強度分別 3000 psi(210kgf/cm²)，4000 psi(280kgf/cm²)，5000 psi(350kgf/cm²) (試驗組)，此配比係經試拌再調整且符合 HPC 性質之要求，配比確定後製作一系列之圓柱試體及試驗牆(內排鋼筋及 Sensor)，在經過適當的養護後，進行海水乾濕循環之曝露試驗，由於為了與大氣環境下試體之比較，於是選用一組 4000 psi 之 HPC 進行大氣曝露試驗。當試體在一定齡期下進行及量測 HPC 之各項性質。同時選用一組 4000 psi(280kgf/cm²) 普通混凝土(控制組)製作試體，進行類似 HPC 之試驗，以比較與 HPC 間之差異，其試驗流程如圖 1 所示。

三、結果與討論

3.1 工作性 (坍度與坍流度)

新拌混凝土的性質是影響選擇混凝土澆置振動及修飾方法與機械設備的重要因素，同時工作性的表現對日後硬固混凝土引響甚大，因此 HPC 之工作性最好能使混凝土成塑性態或是液態狀，而使混凝土能輕易的填充至模版的各角落。一般對工作性的要求是以坍度及坍流度為依據，因此兩者之要求分別為 $250 \pm 20\text{mm}$ 及 500mm 以上。當坍度及坍流度較小時則其流送阻力將受減，因此為使混凝土施工順利，一般均要求坍度及坍流度要大為施工原則，在本研究中各種配比均以能達到上述坍度及坍流度標準為目標，且控制用水量在 200kg/m^3 以內。由此結果可發現 HPC 之坍度及坍流度均能符合要求，且這些數據是預拌車經過 1 個小時行程後到達港研中心試驗室之測試結果。因此對於現場施工可以相當符合施工上的要求。

然而在控制組方面，一般混凝土的坍度與坍流度顯然就低很多，從照片 1 及照片 2 就可比較出同是 4000psi 設計強度的混凝土，HPC 就有較佳的工作性，分析原因乃是本研究之 OPC 配比採用美國混凝土學會(ACI)要求的最低坍度標準當作設計坍度，由於此法常會導致混凝土施工困難，其工作性相對的就會不佳。而在高性能混凝土方面由於有添加波索蘭材料，其顆粒粒徑小又是呈玻璃球狀，故可使工作性改善，同時又有強塑劑的作用可延緩初凝時間，防止坍度損失，所以工作性較佳。

3.2 硬固混凝土基本性質

3.2.1 強度發展

本研究之各種不同配比之高性能混凝土其 28 天抗壓強度皆可達到設計之要求，且隨齡期持續成長，如圖 2~5 所示，實驗結果可歸納成下列各點：

1. 本研究之各組高性能混凝土其抗壓強度在齡期 1.5 年後仍持續成長，此乃因添加飛灰爐石等材料與水泥水化物產生波索蘭反應，使 HPC 結構更加緻密，而提升晚期強度。在控制組之 OPC 則於齡期 90 天後已趨於緩和。
2. 本次的 HPC 配比其水膠比 (W/B) 均低於 0.4，且水灰比 (W/C) 也大於 0.42，均符合高性能混凝土之要求。在強度發展上，W/B 越低其強度發展亦高。
3. 從圖 2,4,5 之強度發展發現，HPC 有一趨勢即在養生室環境 > 海水曝露環境 > 大氣環境下，分析原因可能 HPC 有添加波索蘭材料可以降低氫氧化鈣及鋁酸三鈣之含量，且因增加水密性可提高對硫酸鹽之侵蝕，故使強度大於曝露在大氣下之

HPC。

3.2.2 超音波波速變化

超音波波速測定，係藉由超音波脈動之傳遞以非破壞之方式量測，由其傳遞速度之變化，可瞭解混凝土之均勻性及組織之緻密性。

從圖 6~圖 9 可發現，一般抗壓強度高的混凝土，其超音波速也會相對的提高，由測試資料顯示高性能混凝土的波速隨著齡期與抗壓強度而增高，推究為強度高的試體，其內部的孔隙及裂縫少，密度相對的增加，故波速也會增快。同時也發現其波速發展與抗壓強度有相同之趨勢。

3.2.3 電滲量

表 1 為電滲量試驗之結果，表中各配比之高性能混凝土其電流量均小於 1000 庫侖，如以 ASTM C1202 電量規定解讀 HPC 之氯離子滲透性非常低，由於電滲量為另一種耐久性指標，因此低電滲量之 HPC 具有很好的耐久性效果。

3.2.4 透水係數

從圖 10 顯示各配比之 HPC 滲透係數隨齡期增加呈減少趨勢，而 OPC 之滲透係數則比較大，分析原因可能為 HPC 有添加波索蘭材料，使混凝土更緻密，水密性也增加，故其滲透性降低。

3.3 試驗牆試驗

3.3.1 鋼筋腐蝕現況解析

圖 11 為不同條件之高性能混凝土與一般混凝土試體使用不同參考電極所測得之鋼筋腐蝕電位分佈情形。使用不同參考電極所測得之鋼筋腐蝕電位值似有明顯差距，事實上如換算以標準氫電極為基準零值電位時，則他們的電位值都應是一致的。因此圖 11 中各小圖內之用 MnO_2 與 $AgCl$ 電極所測得的電位值差距應介於 $-100mV$ ~ $-150mV$ 之間，顯然此兩種參考電極品質相當穩定，恰可相互對照校正。另一電位值為使用 Gecore 儀器之探頭（屬於 $Cu/CuSO_4$ 電極）量測亦當做參考比較用。基本上 HPC 與 OPC 試體內之鋼筋，在試驗牆灌製後至水泥漿體大部

份完成水化硬固階段(初期 0~30 天之間), 電位變化最為激烈, 推就原因主要受到漿體內水分消長的影響, 爾後隨著水泥漿體持續水化完全, 漿體的穩定性與鹼性環境的上升, 鋼筋之電位趨於穩定(介於-100mV~-200mV, 以 Cu/CuSO₄ 電極量測), 亦即鋼筋處於鈍化狀態。圖 11(a)(d)小圖中鋼筋腐蝕電位在試體曝露 1.5 年期間已趨於穩定, 電位值約為-100mV (對 Cu/CuSO₄ 電極), 但是由鋼筋之保護層厚度有 7.0cm, 試驗牆曝露於大氣之時間尚短, 應持續監測之。

3.3.2 Anode Ladder System 之量測

1. 腐蝕電位分析

圖 12 為以埋置於 HPC 及 OPC 試驗牆內之偵測元件(Anode Ladder System) 所量測到不同保護層厚度處之陽極(Anode Ladder System 之鋼筋)對陰極電位與時間之變化趨勢。整體上, 圖 12 與圖 11 之分佈趨勢相似, 僅採用之參考電極不同而已。圖 12 明顯表現出在各種試驗牆灌製後 30 天內鋼筋腐蝕變化較為激烈且受到保護層厚度之影響, 但是在 100 天齡期後鋼筋之腐蝕電位都趨於平穩且保護層厚度對其影響已不大。基本上 HPC 與 OPC 試驗牆內之鋼筋電位變化並無很大差異, 保護層厚度之影響亦不大與預期的發展略有差別, 探究原因或許試驗牆之齡期僅 1 年半左右, 內部鋼筋尚處於腐蝕萌芽階段, 尚未形成促進腐蝕作用, 如持續長期觀測後則內部之電位變化鋼筋應有明顯差異。

2. 腐蝕電流分析

圖 13 為以 HPC 及 OPC 試驗牆內之偵測元件, 所測得之各陽極對陰極之電流與時間之關係。鋼筋腐蝕電流之分佈一致, 理論上應與腐蝕電位分佈。事實上圖 13 之變化確實與圖 11 圖 12 之變化趨勢相似。由於量測時間僅為 1 年半, 尚無法有效測得實際之腐蝕電流, 應按齡期每年量測乙次, 長期持續觀測之。

3. 電阻之量測

混凝土電阻係數在腐蝕觀念中, 可用來評估腐蝕電流通過混凝土介面的一種能力指標, 例如電阻係數高表示電荷不易通過混凝土介面, 電阻係數低則電荷較易流通, 對混凝土內鋼筋腐蝕威脅性高。此外, 電阻係數亦可作為混凝土品質鑑定方法之一。

電阻係數受到許多因素的影響，諸如混凝土內部鹽份含量、孔隙溶液之成份、濕度、含水量、成熟度等等。在前述的結果分析顯示，電化學去鹽過程中，已證實混凝土試體內部之組成(成份)、含量、結構已發生劇烈變化。因此，電阻之變化或許可顯示混凝土目前之腐蝕環境狀態。

圖 14 為 HPC 與 OPC 試驗牆內偵測元件所量測之混凝土電阻變化情形。圖中 HPC 試驗牆之電阻均高於 OPC 試驗牆，以強度 4000psi 之試驗牆（如圖中之小圖(b)(c)(d)）為例分析，HPC 試驗牆之每一深度之電阻均比 OPC 試驗牆（分圖(c)(d)）高出約有 50% 左右，分圖(c)(d)同為相同材質曝露條件不同之試驗牆，兩者電阻係數差異很小。圖 14 中亦顯示各試驗牆混凝土漿體在初期階段(齡期 150 天左右)，其電阻係數與時間均呈直線關係，於 200 至 300 天之時，電阻係數達到最高點，爾後反轉呈下降走勢，長期間後應趨於平穩狀況。又試驗牆之保護層厚度亦影響電阻係數之大小，主要原因乃是愈接近表面之漿體受到外界干擾因子較多(例如水分子、Cl⁻等滲入)，其電阻係數較小，保護層愈厚(試驗牆愈接近中心處)，則電阻係數相對為高。

四、結論與建議

1. 高性能混凝土之工作性非常良好，坍度(大於 26 cm)及坍流度(大於 50 cm)均能符合一般 HPC 之要求，澆置時無須搗實與振動，若能應用在港灣工程上將可提高施工品質。
2. 各組高性能混凝土其抗壓強度在齡期 1.5 年後仍持續成長，此乃因添加飛灰、爐石等材料與水泥水化物產生波索蘭反應，致使 HPC 結構更加緻密，且提升晚期強度，相對的也增加其耐久性。
3. 一般抗壓強度高的混凝土，其超音波波速也會相對較高，初步數據顯示，高性能混凝土的波速隨著齡期之增加與抗壓強度之增加而增高。
4. 本試驗之高性能混凝土其電滲量均小於 ASTM C1202 電量規定值 (1000 庫侖)，顯示氯離子滲透性非常低，同時在透水試驗上，也發現 HPC 之滲透係數比 OPC 小很多。
5. 在試驗牆之鋼筋腐蝕電位方面，以不同電極量測其鋼筋電位均隨齡期增加而降低，由於試驗牆曝露大氣中僅一年半且保護層厚度有 7 公分，對鋼筋有保護作用，因此更需要長時間去觀測變化。
6. 在 Anode Ladder System 之量測結果顯示，內部陽極之腐蝕電位與電流之變化

- 趨勢相似，由於量測之時間僅為 1 年半，尚需持續長期觀測。
7. 耐久性之研究需較長期之量測其相關參數，由試驗室試體量測結果顯示 HPC 之耐久性較 OPC 佳，現場之曝露試驗齡期較短，本研究將持續量測試驗牆內鋼筋之腐蝕電位、腐蝕電流等數據，作為 HPC 之耐久性之評估。
 8. 本中心近來之研究顯示基隆港、花蓮港之鋼筋混凝土結構體，有明顯鹼質與粒料反應之情形，HPC 之應用是否可抑制此種反應之發生，有待進一步探討。
 9. 本研究需作長期之曝露試驗來印證其在港灣環境下耐久性，再參考目前各港區鋼筋混凝土結構物之現況及維修情形作經濟性之評估。
 10. 長期監測系統之使用有其必要性，本研究所使用之系統其耐用期限、靈敏度、準確度…，需作評估。

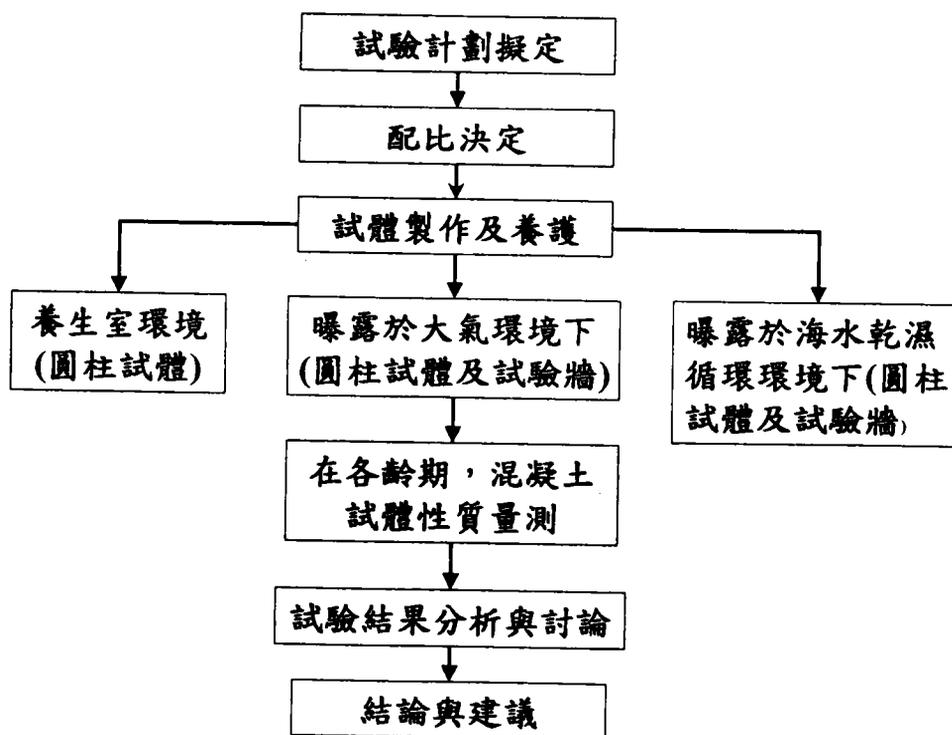
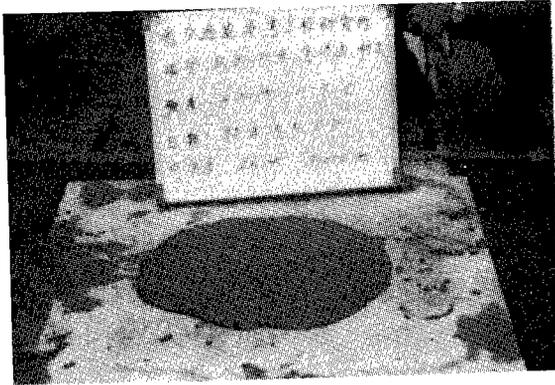
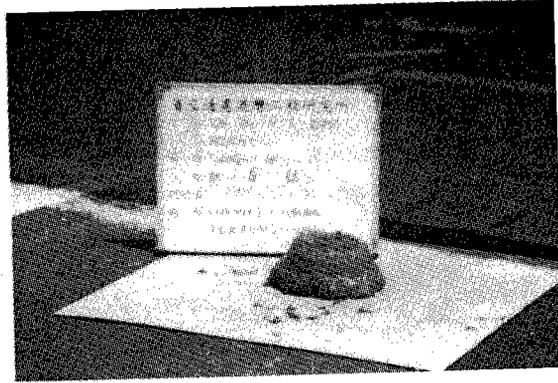


圖 1 研究計畫流程



照片 1 HPC-4000psi(280kgf/cm²)之
 坍度及坍流度



照片 2 OPC-4000psi(280kgf/cm²)之
 坍度及坍流度

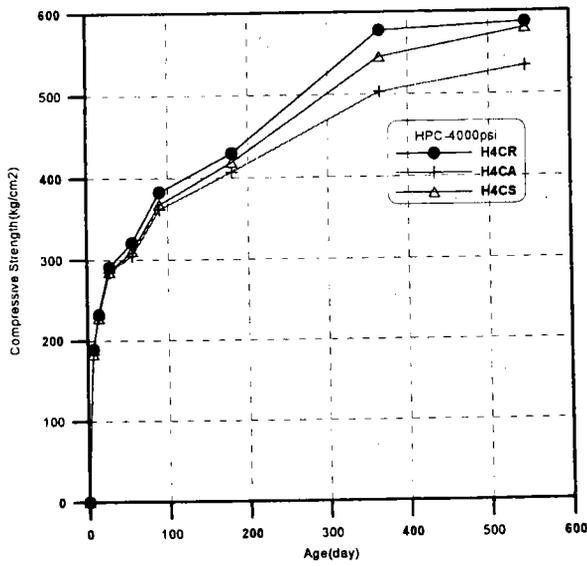


圖 2 HPC-4000psi(280kg/cm²)之強度發展

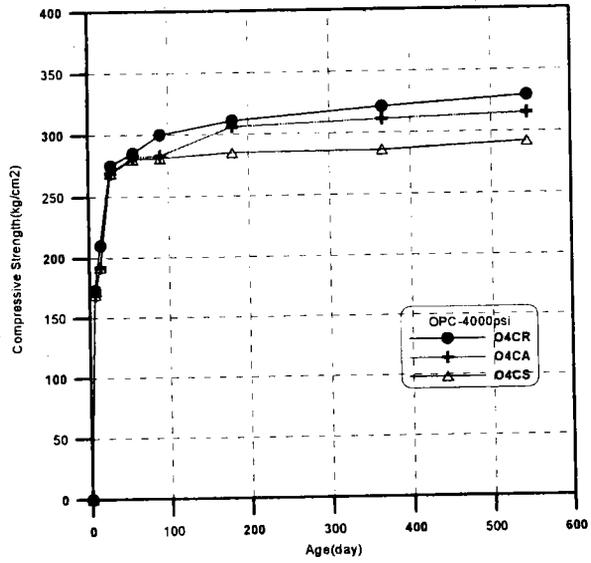


圖 3 OPC-4000psi(280kg/cm²)之強度發展

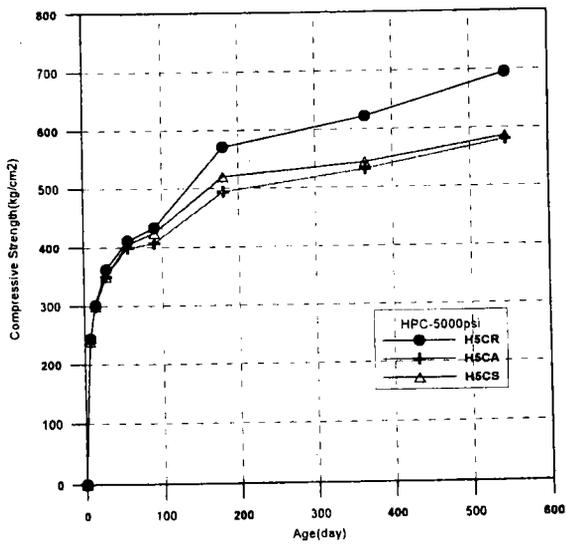


圖 4 HPC-5000psi(350kg/cm²)之強度發展

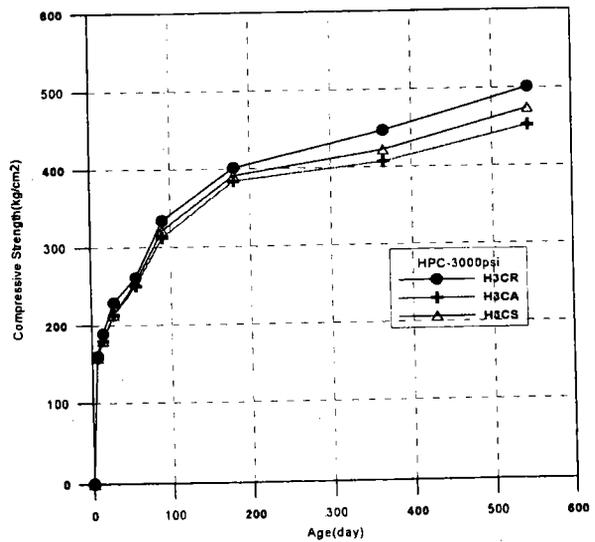


圖 5 HPC-3000psi(210kg/cm²)之強度發展

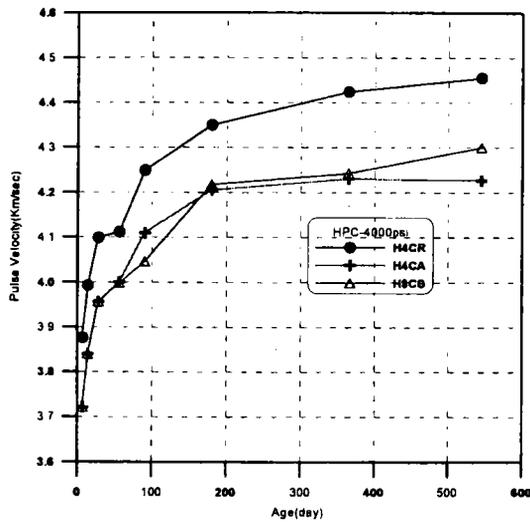


圖 6 HPC-4000psi 之超音波速與齡期關係圖

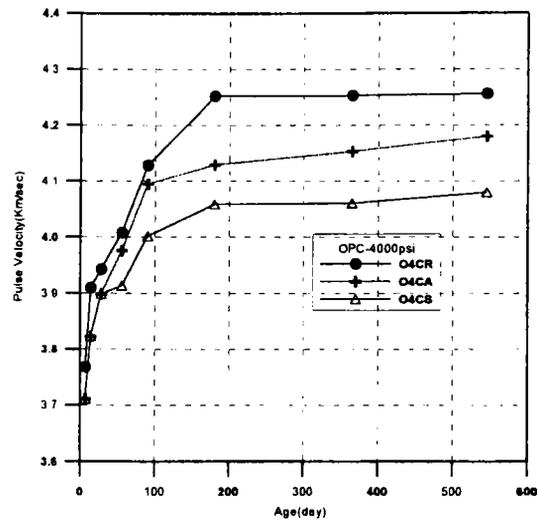


圖 7 OPC-4000psi 之超音波速與齡期關係圖

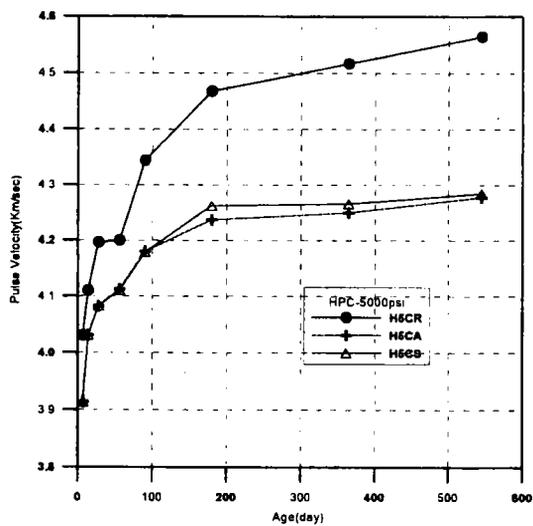


圖 8 HPC-5000psi 之超音波速與齡期關係圖

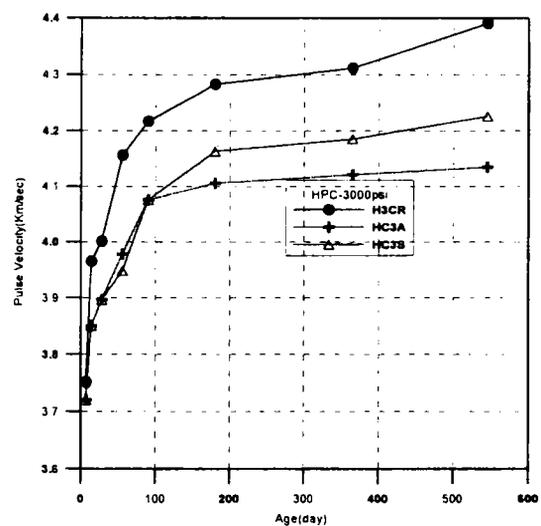


圖 9 HPC-3000psi 之超音波速與齡期關係圖

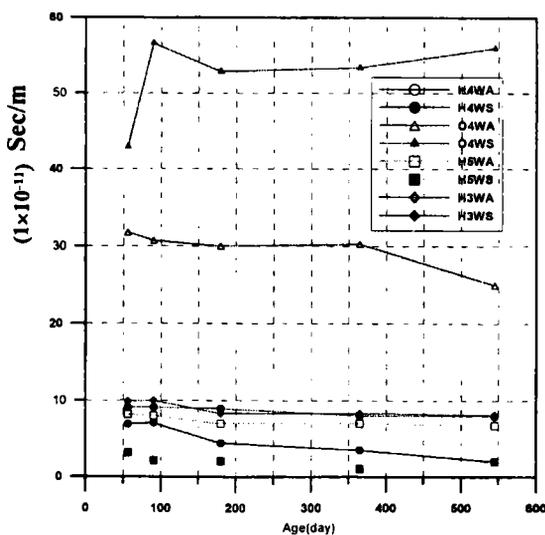


圖 10 各配比之滲透係數與齡期之關係圖

表 1 電滲試驗

環境 \ 配比	4000psi (HPC)	4000psi (OPC)	5000psi (HPC)	3000psi (HPC)
Air	460 庫倫	1813 庫倫	421 庫倫	899 庫倫
Sea	807 庫倫	1933 庫倫	756 庫倫	536 庫倫

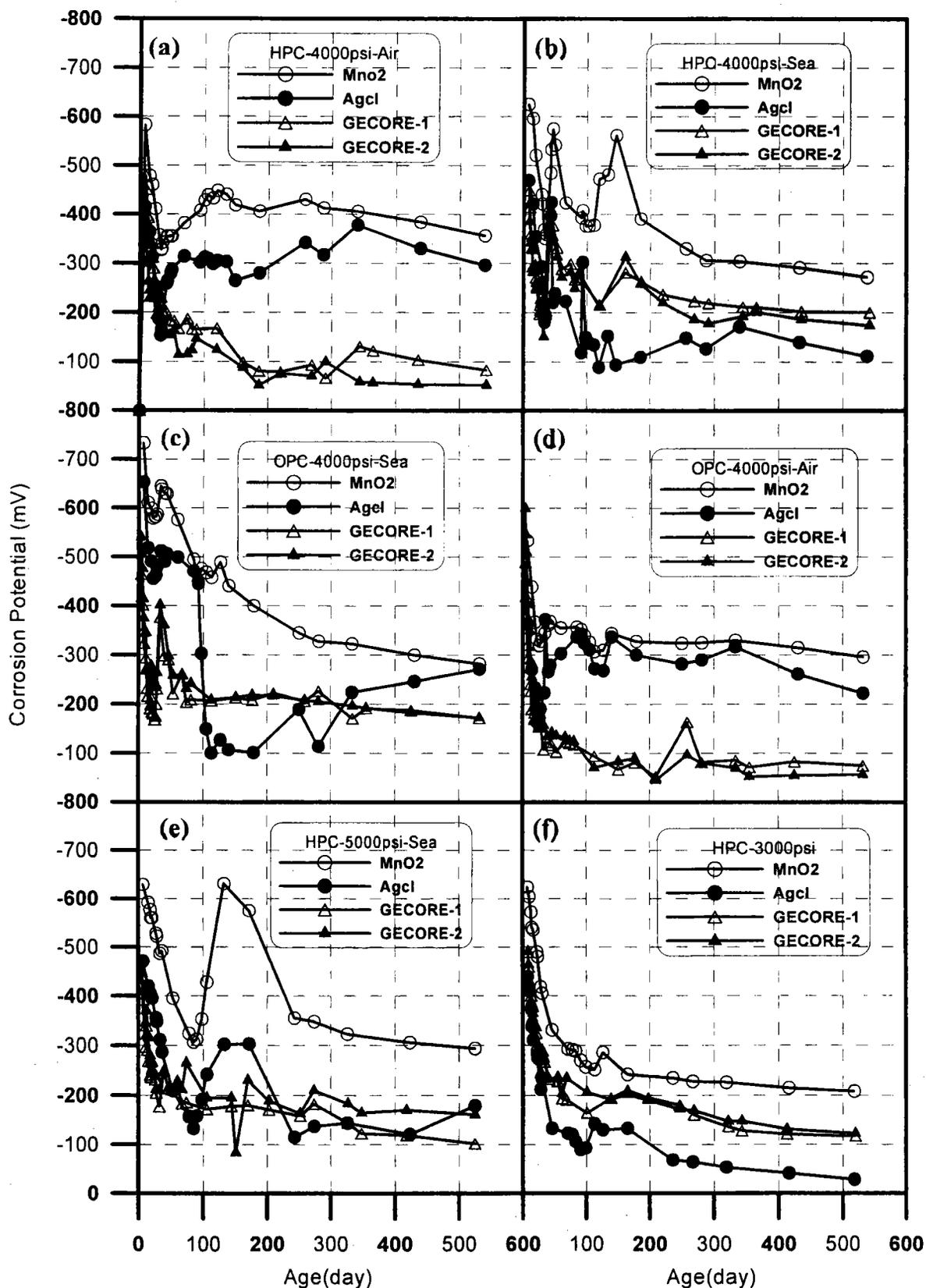


圖 11 各配比鋼筋混凝土試驗牆之腐蝕電位與齡期關係圖

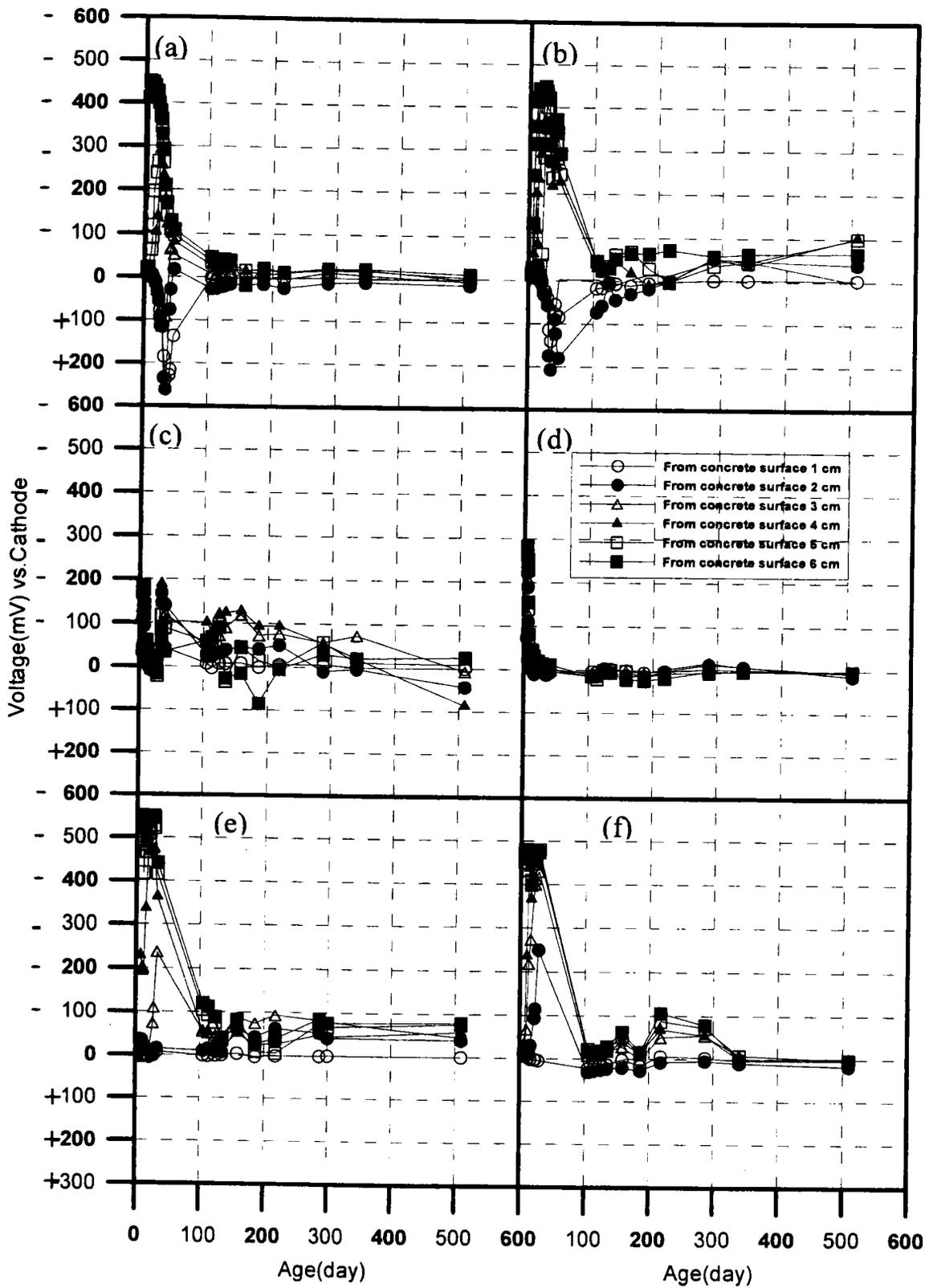


圖 12 各配比混凝土內 Ladder System 各陽極對陰極之電位
 與齡期關係圖

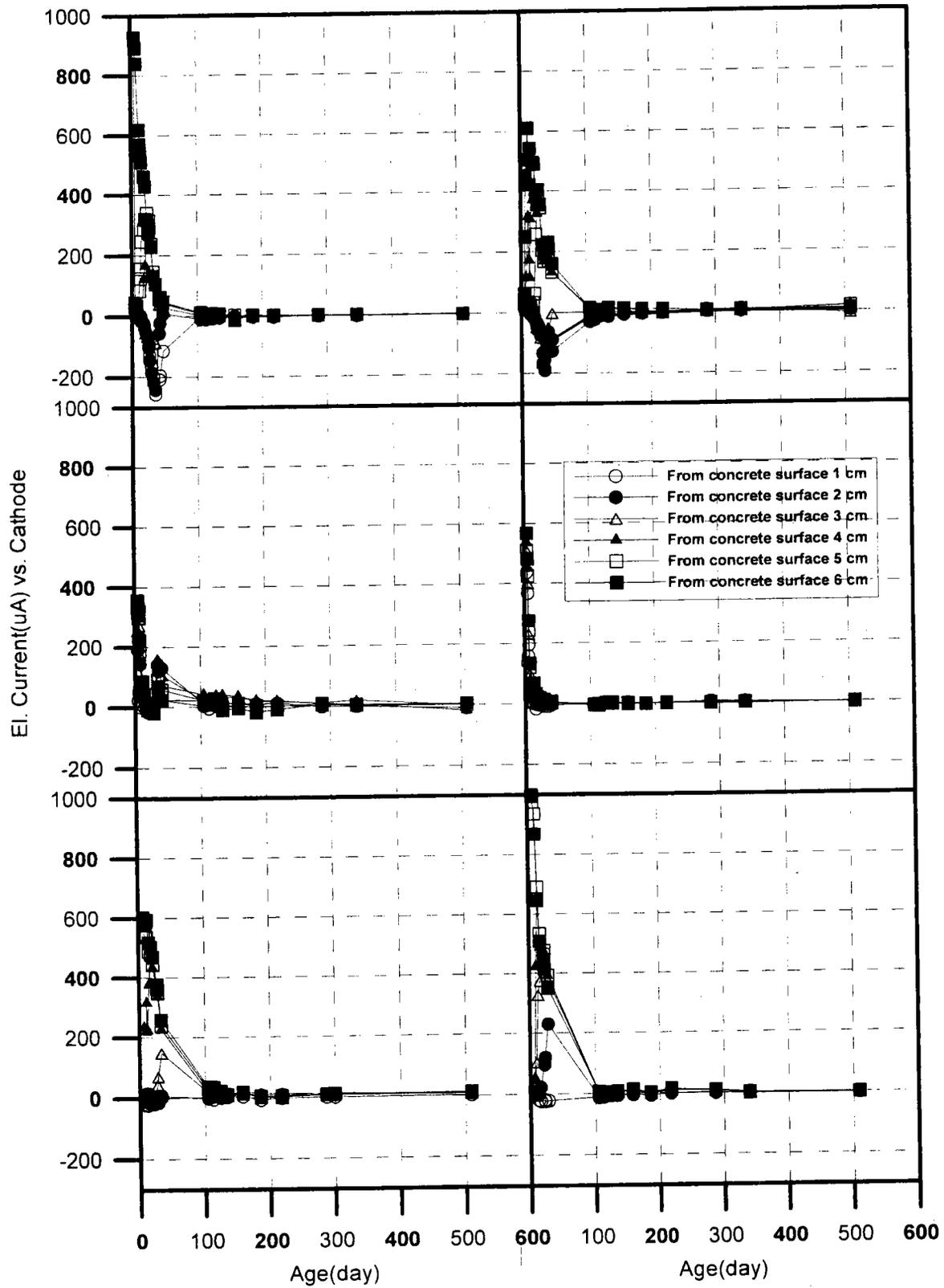


圖 13 各配比混凝土內 Ladder System 各陽極對陰極之電流與齡期關係圖

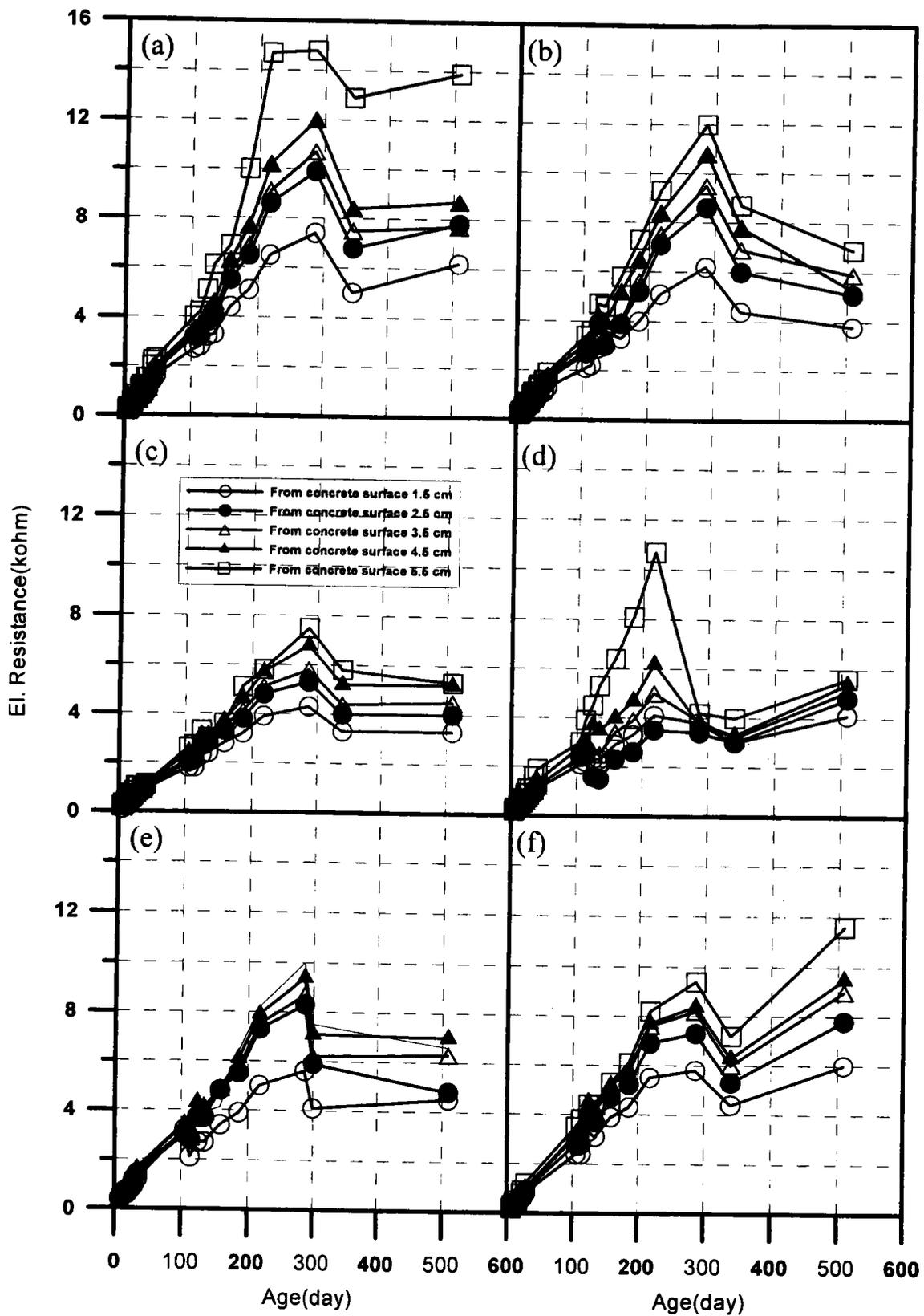


圖 14 各配比混凝土內 Ladder System 各陽極對陰極之電阻與齡期關係圖

現有結構物之安全評估及維護研究(四)

電化學處理對混凝土性質變化之探討

陳桂清¹

執行單位：港工材料組

政府出版品統一編號：009254890271

計劃編號：MOTC - IOT - IHMT - MB8914

全程期間：88/07/01~89/12/31

執行期間：88/07/01~89/12/31

摘 要

利用電化學方法去除混凝土中氯離子之技術，已證實對鹽害 R.C. 結構物，為一簡單、有效且可行之維修方法，同時可恢復鋼筋附近漿體之鹼性環境。雖然，此法已有多年商業化的歷史，但在實務應用上仍然有些限制，以及不甚瞭解之其它效應存在。例如在經電化學處理後，除了達成去除試體內之氯離子外，混凝土漿體性質的改變、內部鋼筋腐蝕狀態之變化，以及影響去鹽成效的諸多變因等等。近年來已有多位專家學者發現，混凝土基材在受外加電力場的作用下，可能會產生一些負面的作用。因此對可能造成之影響，有待進一步深入的探討與了解。

一、前 言

在正常環境下混凝土當水泥水化硬固後，內部漿體之化性、組成或孔隙結構等各方面均處於一平衡狀態。電化學去鹽處理過程中，由於外加電流的穿透，引進之電力場作用，混凝土材料在此強制之外(電)力作用下，漿體內部可能造成一定程度之影響，致使孔隙溶液中之各種離子，因電荷相吸(斥)效應及毛細作用，

¹港灣技術研究中心副研究員兼港工材料組組長

可能會發生激烈之解離、游動、相斥、重新分佈或排列等現象，這種離子傳送的機制會局部改變原來離子濃度的平衡關係，因而誘發混凝土可能產生之化學反應及固相的解離，使混凝土漿體發生變化，諸如水化產物 C-S-H 膠體的分解、氫氧化鈣之溶出或其它物質的溶出或結合，改變了混凝土原來之結合模式，因此電化學的處理可能會造成混凝土漿體某種程度的劣化，最後引發加速鋼筋的腐蝕作用，對可能發生之影響，近年來已有多位專家學者發現，混凝土基材在受外加電力場的作用下，可能會產生一些負面的作用。因此對可能造成之影響，有待進一步深入的探討與了解。

二、試驗規畫

2.1 試驗材料

水泥：台灣水泥公司之波特蘭 I 型水泥。

粒料：大甲溪砂石，粗骨材最大粒徑 20 mm。

鋼筋：一般省產 #3 號之竹節鋼筋(直徑為 10 mm)。

氯化鈉：台灣製鹽總廠生產之一般食用細鹽。

電解質溶液：0.1M NaOH 溶液。

輔助電極：鈦金屬網，當做為陰、陽極材料用。

2.2 試體製作

試體配比設計如表 1 所示，氯化鈉添加量為 3%(佔水泥用量重)，相當於每立方公尺混凝土中 Cl⁻之含量為 6.86 kg。試體尺寸為 30 cm x 30 cm x 10 cm 之正方體。試體內埋置之鋼筋，於澆置前預先加以焊接成「田」字型的鋼筋網，並焊有一導線自鋼筋表面接出試體模外，鋼筋保護層厚度為 4 公分(縱向)，其配置如圖 1 所示。澆置時在混凝土試體上端表面埋置一方型的塑膠片，俟混凝土硬化後圍成一蓄水空間做為儲存抑制劑之陰極槽。試體澆置完成後隔天進行拆模作業，將試體置於 100 % 相對溼度的水霧養治室中養治 28 天後，取出試體開始進行相關試驗。

2.3 試驗裝置

試驗裝置如圖 2 所示，圖中壓克力槽內充滿電解質溶液，槽內之鈦網(緊貼於混凝土試體底面下)為陽極，接至電源供應器之「+」端。試體上端圍槽內注滿電解質溶液，槽內之鈦網則為陰極連接於直流電源供應器之「-」端，整個系統即可形成一電化學導電迴路。或將試體內之鋼筋視為陰極，連接於直流電源供應器之「-」端，亦可形成一電化學導電迴路。

2.4 試驗組合

電化學反應過程中，陰、陽極槽內之電解質溶液為 0.1 M NaOH，通電電流密度分別為 1、3、6、9A/m²，通電時間分別為 1 至 36 天不等。

2.5 試驗方法

將試體預置於圖 2 之試驗裝置系統下，依不同的試驗條件進行通電處理之。試體在經過電化學通電處理後，混凝土品質是否受到影響，必需加以深入瞭解並做適當的因應，以避免產生負面作用。非破壞性檢測之相關試驗，恰可提供一迅速便捷的初步判斷的方法。下面簡述相關非破壞性檢測項目；

1. 試錘試驗
2. 貫入針試驗
3. 超音波脈波速度試驗
4. 電阻係數量測試驗
5. 鑽心取樣與分析；檢測混凝土漿體內之 Cl⁻、NO₂⁻、SO₄⁻²、Na⁺、Ca⁺² 以及 K⁺ 等離子濃度分析。
6. 陽極槽內電解液分析；通電期間定期量測 Cl⁻、NO₂⁻、SO₄⁻²、Na⁺、Ca⁺²、K⁺ 等離子之濃度變化。
7. pH 值量測；量測混凝土漿體之 pH 值變化。此外，亦對陽極電解液進行 pH 值的量測，以了解陽極槽內電解液在經過電化學處理過程後，其 pH 值降低的情形。

三、結果與討論

3.1 滲出物

混凝土試體經過電化學通電處理之後，除了電流密度為 1 A/m^2 的試體外，浸漬於陽極槽內之試體底表面均有白色生成物產生。這種生成物的生成量，會隨著通電電流密度的增大以及通電時間的增長而愈為顯著，經 X-光線繞射分析鑑定後，主要成份為碳酸鈣(CaCO_3)。由於原始陽極槽內電解液中並無 Ca^{+2} 的存在，顯然這些生成物中的 Ca^{+2} 應是混凝土受通電處理(電力場)的作用下，內部孔隙溶液中之 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 被解離析出 Ca^{+2} 後，再與空氣中之 CO_2 接觸最後生成 CaCO_3 。若 Ca^{+2} 自混凝土內被大量析出時，將導致混凝土漿體的孔隙增大、強度減弱，對混凝土的耐久性或有影響。

3.2 孔隙溶液變化

孔隙溶液中之陰、陽離子在電力場作用下，因電荷相吸(斥)效應及毛細作用，可能會發生激烈之解離、游動、相斥、重新分佈或排列等現象，改變了原有之平衡或結合模式的狀態。

1. 陰離子濃度分佈

(1) Cl^- 濃度分佈

由於受到同電荷相斥之作用，在鋼筋附近(深度 5 cm 處)的 Cl^- 被排斥，往試體底表面外之陽極方向游動，因此在鋼筋附近之 Cl^- 濃度下降相當明顯，且隨著通電電流密度的增高其濃度降低的幅度更大。以 9 A/m^2 及 1 A/m^2 電流密度為例，於深度 5~10 cm 內之 Cl^- 濃度由原來的 6.86 kg/m^3 分別下降至 1.3 kg/m^3 及 4.0 kg/m^3 。而在試體上半區域(深度 0~5 cm 範圍)，由於此區域並非電荷流動之有效路徑，去除 Cl^- 之效應則不彰。

(2) SO_4^{+2} 濃度分佈

電化學去鹽過程中漿體內之 SO_4^{+2} 濃度之變化，相對較為穩定，顯然電力作用並未影響硫酸鹽類的結合模式。探究原因可能是水泥中原含有約 5% 之石膏(gypsum, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)，在水泥水化過程中，石膏幾乎全部與鋁酸三鈣(tricalcium aluminate, C_3A)完全反應，生成鈣鉞石(ettringite)之水化

產物。鈣鈣石水化產物為一穩定之化合物，在通電過程中僅部份受到破壞或解離成 SO_4^{-2} 。 SO_4^{-2} 為具二價之負電荷相對於 Cl^- 為具一價負電荷時，較不具活潑性與導電性，且 SO_4^{-2} 之分子重量較 Cl^- 重，在擴散作用時分子量與擴散速率恰呈反比，因此 SO_4^{-2} 較不易被排斥而驅離，所以其濃度之分佈相對較穩定。

2. 陽離子濃度分佈

各電流密度下，在鋼筋附近(深度 5cm 處)之 Na^+ 濃度，均有明顯增加的趨勢，尤其在高電流密度下更顯突出。 Na^+ 濃度增加可提升鋼筋附近漿體之鹼性環境，致使鋼筋表層更易再形成鈍化狀態。另一方面， Ca^{+2} 的濃度變化則較不一致。對於較高電流密度(9、6 A/m^2)下的試體而言，其 Ca^{+2} 的濃度曲線與 Na^+ 之濃度曲線卻呈現相反的分佈趨勢，特別在鋼筋的附近 Ca^{+2} 的濃度相對偏低。這是由於孔隙溶液中，當 Na^+ 的濃度增高時，可能會抑制漿體中 Ca^{+2} 的溶出。所以在鋼筋附近的 Na^+ 相對較高時， Ca^{+2} 的濃度則遭到抑制。至於低電流密度(3、1 A/m^2)下的試體，其 Ca^{+2} 的濃度並未因電化學的作用而產生特殊的變化。 K^+ 原本在水泥中含量很少，在分析中並未檢測出，對整體孔隙溶液之化性影響甚微。

3. 孔隙溶液 pH 值變化

孔隙溶液中 pH 值可用來表示混凝土鹼性環境變化狀況，對混凝土品質現況之判定與鋼筋是否易於發生腐蝕影響至鉅。在各組試體中鋼筋附近因受電化學處理後，其 pH 值相對均較其它深度層為高，顯然鋼筋附近有 OH^- 產生，加上 Na^+ 在鋼筋附近的濃度有增加的趨勢，致使鋼筋附近鹼性升高。上述現象印證了電化學反應程序中陰離子往陽極方向游動、陽離子往陰極方向游動之互動關係。

3.3 孔隙結構變化

1. 上部漿體之孔隙

試體上半區域之漿體，由於並非直接受到電力(場)作用之範圍，因此漿體內部之微觀結構受到電力衝擊理應較小或無影響。本部位內混凝土漿體，經過電化學處理 18 天後，其漿體孔隙情形為，大毛細孔隙約 2~4%，中毛細孔隙約 7~8%，膠體孔隙約 6~8%。與未通電之試體孔隙比較，差異很小，顯然電流密度對孔隙

分佈之影響並不顯著。

2. 鋼筋附近漿體之孔隙

經過電化學處理 18 天後，試體內部鋼筋附近之混凝土漿體之孔隙含量分析結果顯示，以毛細孔隙所佔的比例最大，且隨著通電電流密度的增大有增加的趨勢，分別約佔 18~20% 不等。比未經電化學處理之試體之毛細孔隙量約高出 10~12%，其中以大毛細孔隙量之增加幅度最明顯，從 1.2%(未經電化學處理之試體)分別增加至 6~12% 不等，中毛細孔隙之比例則變化較小僅約增加 3% 左右。膠體孔隙的比例僅佔 3~6% 之間，隨著通電電流密度的增大呈遞減的趨勢。

3. 底部漿體之孔隙分佈

由於混凝土部份範圍浸泡於陽極電解液中，同時受到電化學的作用以及陽極槽內電解液酸化侵蝕的影響，因此試體底部漿體之膠體孔隙含量分別約為 7~10% 之間，明顯比鋼筋附近者高出 1~2 倍。但是，大毛細孔隙的含量則顯著減少，中毛細孔隙之含量變化與鋼筋附近相近，整體的孔隙率仍較鋼筋附近者為低。

綜觀分析孔隙結構之明顯差異，推估原因乃是鋼筋附近的混凝土漿體，在進行電化學處理時，鋼筋本身會產生高熱以及氫氣等現象，導致混凝土漿體受熱膨脹，致使孔隙結構產生明顯的變化。不過僅對鄰近鋼筋之混凝土漿體產生較大的影響，對於遠離該區域或不直接受到電力作用之漿體，混凝土孔隙結構之變化並不顯著。

3.4 X-光線繞射分析(XRD)

試體分別在 9、6、3、1 A/m² 之電流密度下通電 18 天後，各試體頂部(深度為 0~1cm 之間)、鋼筋附近以及底部(深度為 9~10cm 之間)之混凝土漿體，經 X-光線繞射分析顯示，頂部漿體之 Ca(OH)₂ 含量變化不大，且通電電流密度大小對其含量消長影響有限，主要原因乃是此部份之混凝土漿體，並非處於電荷(力)移動路徑之內，因此電化學通電處理對其影響有限或毫無作用。在鋼筋附近的 Ca(OH)₂ 含量則較試體其它部位為高，且隨電流密度之增加而增加，顯然試體經過電化學處理時，於鋼筋附近有 Ca(OH)₂ 反應物不斷地生成累積，其主要是來自混凝土內漿體之孔隙溶液中之 Ca²⁺ 被解離析出後，與陰極(鋼筋)附近因電化學反應所解離之 OH⁻ 結合而成。上述之現象與孔隙溶液之 pH 變化結果恰可相互印

證。而與陽極電解液接觸的試體底部，漿體內原有之 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含量，則受到陽極電解液的酸化與滲入而逐漸地被溶解析出，所以各圖中之 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 波峰值(可表示含量之多寡)，相對其它部位時均呈較小的趨勢。

3.5 電阻係數之變化

混凝土電阻係數在腐蝕觀念中，可用來評估腐蝕電流通過混凝土介面的一種能力指標，例如電阻係數高表示電荷不易通過混凝土介面，電阻係數低則表示電荷較易移動，對混凝土內鋼筋腐蝕威脅性高。此外，電阻係數亦可作為混凝土品質鑑定方法之一。

在未進行電化學去鹽處理前，混凝土電阻係數值較低約介於 $10\sim 12\text{ k}\Omega\text{-cm}$ 之間，爾後隨著施加不等通電時間處理後，電阻係數值分別逐漸遞增至 $26\sim 28$ 與 $17\sim 21\text{ k}\Omega\text{-cm}$ 。經 24 天之通電處理後，最終混凝土的電阻係數分別約增加 $120\sim 140$ 與 $70\sim 100\%$ 。電阻係數的提高意謂混凝土內孔隙溶液中具導電性之游動離子含量已減少，另一方面可能一些較微小之孔隙路徑界面，已被孔隙溶液中解離析出之較小離子給填塞，阻礙了離子電荷的流通。上述現象大幅改善了鋼筋附近之腐蝕環境，對提升鋼筋混凝土之耐久性助益甚大。

3.6 其它非破壞性檢測之分析

上述混凝土性質之變化，大都屬於化性以及漿體微觀結構變化，基本物理性質除了電阻係數變化，可直接對鋼筋腐蝕之狀態及混凝土品質之現況提供評估外，其它物性變化可藉由非破壞性檢測得之，其結果可輔助了解電化學處理後，是否對混凝土之品質產生變化，部份試體經非破壞性檢測結果如下。

1. 試錘試驗

各試體強度約介於為 $270\sim 320\text{ kg/cm}^2$ 之間與控制組試體(未通電處理)之抗壓強度 294 kg/cm^2 相近。顯示通電後並未損壞混凝土材質品質。

2. 超音波脈波速率變化

試體進行電化學通電處理前，各試體之超音波脈動速率約為 $3.8\sim 4.3\text{ km/s}$ 。試體經電化學處理完成後，超音波脈動速率有略為下降現象(分別下降 $0.04\sim 0.8$

km/s 不等)。依據脈波速率與品質之關係表解析，顯示電化學處理後混凝土品質變化微小，仍屬於良好品質範圍。

3. 貫入試驗

試體通電處理後，貫入之深度約為 2.30~3.00mm 之間，對照於表面強度換算約為 280~300kg/cm²。此結果與抗壓試驗結果相近，顯然，混凝土品質尚無明顯變化。

3.7 陽極槽內電解質溶液之變化分析

電化學反應過程中，電解質溶液為溝通陰、陽兩極間電荷傳遞之橋樑，以形成一封閉性導電迴路，電化學反應才得以進行。電解質溶液之濃度、組成、化性等變化，會影響電化學反應之進行與效率。試驗前，陽極槽內之電解質為 0.1 M 之 NaOH 溶液(相當於 Na⁺ 之濃度為 2300 ppm)外，並無其它離子存在，電解質溶液之 pH 值約為 11 左右。

1. 陰離子濃度變化

陽極槽內電解質溶液中之 Cl⁻ 之濃度變化，除了在 1 A/m² 之低電流密度下，隨通電時間之增加而遞增外，其它在較高電流密度下並未隨時間的增長而濃度增高，相反地都在通電初期即呈現出濃度的高峰期。上述所得 Cl⁻ 之溶出量與電流密度之關係，顯然與漿體內 Cl⁻ 之去除量隨電流密度之增加而遞增之趨勢，恰呈相反結果。上述不一致結果經詳細分析，主要原因乃是與陽極槽內之電解質溶液隨通電時間之增加呈快速酸化有關。因為，從孔隙溶液被驅出之 Cl⁻ 在進入陽極槽內電解液時以 Cl₂ 形態產生，而 NaOH 電解質在酸性環境下能與 Cl₂ 發生化學反應，消耗了大量的 Cl⁻。

此外在 9、6A/m² 等較高電流密度下，漿體內之硫酸鹽類較快被解離成 SO₄⁻² 而驅入陽極槽內，1 A/m² 電流密度下顯然沒有 SO₄⁻² 被驅入電解液中。整體而言，電解液中 SO₄⁻² 變化趨勢與混凝土中之 Ca⁺² 的濃度變化曲線類似，亦即當 Ca⁺² 自混凝土中析出時 SO₄⁻² 亦同時溶出，顯然兩者的溶出呈現相同的趨勢關係。由此亦可以證明前述有關陽極電解液會隨著通電作用的進行而產生質變的推論，且其變質的速率明顯與電流密度有關。

2. 陽離子濃度變化

不同電流密度下通電 18 天後，陽極電解液內 Na^+ 濃度均隨通電時間的增加而呈現遞減的趨勢，其遞減的速率隨著電流密度的增加而遞增。以 9、6 A/m^2 兩組為例，分別在通電 4 天與 6 天後，槽內 Na^+ 的濃度即趨近於零，而相對於電流密度為 1 A/m^2 之試驗組，在經過 18 天的通電過程後，其 Na^+ 濃度尚有 1500 ppm，顯然在低電流密度下其遞減的速度較為緩和。上述現象，顯示在高電流密度下，較易將陽極槽內之 Na^+ 驅入混凝土內。

此外，將試體停電後靜置兩天(第 18 至 20 天間)，再抽取陽極槽內之電解液做離子濃度分析，溶液中的 Na^+ 濃度再度升高。初步判斷，電解液中 Na^+ 之消失，主要是在進行通電處理時，受到陽極電荷的驅趕而進入混凝土中，並往鋼筋附近移動。一旦通電停止，被驅趕進混凝土中的 Na^+ ，因局部區域濃度差效應作用，將會再度溶出而游離進入電解質溶液中。

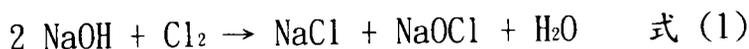
至於電解液中的 Ca^{+2} ，則依不同的電流密度，在不等的通電時間後開始出現，其濃度隨通電時間之增長而逐漸增加。各試驗組中 Ca^{+2} 出現的時間，與溶液中 Na^+ 消失的時間相當接近，亦即 Na^+ 的消失，很可能有幫助 Ca^{+2} 被解離的作用。由於電解液原始並無 Ca^{+2} 的成份，而唯一可能產生 Ca^{+2} 的來源，即是從混凝土中解離而來。因此，當電解液中 Na^+ 消失時，將導致混凝土內之 Ca^{+2} 隨之被析出。如 Ca^{+2} 大量的被析出，對於混凝土而言將可能產生強度下降、孔隙增加、滲透性上升等不利影響。此外，陽極槽電解液中並無 K^+ 被檢測出來，主要原因乃原混凝土材料內鉀化合物含量極少。

從上述觀察中發現，陽極電解液內的 Na^+ 逐漸減少，而 Ca^{+2} 則逐漸析出，表示在通電處理之後，電解液之化學成份已發生變化，勢必會影響到整個通電的成效。在通電電流密度越高下，其電解液變質的速度越快，對通電效果的影響自然也越大。若對照過去除鹽的試驗結果，發現各試驗組 Cl^- 的去除速率，亦隨著通電時間的遞增而日趨緩和，其中尤以高電流密度的試驗組最顯著，上述之現象應該都與陽極槽內電解液的化學成份變化有關。

3. 電解質溶液之 pH 值變化

陽極槽內電解溶液 pH 值降低的速率與通電電流密度成正比，換言之，電流密度越高者，其電解液 pH 值下降的速率也越快。電流密度為 9、6、3 A/m^2 時，

相對通電時間分別在 2、4 與 9 天後，其電解液 pH 值均已下降至 3.5 附近。其酸化的時間與 Na⁺自電解液中消失的時間以及 Ca⁺²與 SO₄⁻²自混凝土漿體內開始溶出的時間恰巧相當接近。陽極槽內電解液酸化的原因，與原電解液中 Na⁺的消失有關，而電解液的酸化，也進一步地導致試體底部混凝土中之 Ca⁺²以及 SO₄⁻²的解離。隨著電解液的酸化，電解質溶液中 Cl⁻的濃度也隨之降低，推究其原因乃是 NaOH 溶液與陽極槽內所產生的氯氣發生化學作用，並產生次氯酸鈉(NaOCl)之反應，其化學反應式如下：



上式中之 NaCl 與 NaOCl 均屬於易溶性之化合物。當電解液之鹼性夠高時(pH 值大於 10)，上述的反應得以進行，且溶液中的 Cl⁻濃度將會隨通電時間的增加而遞增，如電流密度為 1 A/m²的試驗組。反之，由於次氯酸根具有強酸性，因此會使得溶液的 pH 值隨著通電時間的增長而逐漸降低。一旦電解液之鹼性降低至無法維持上述反應時，則反應產生的氯氣將無法獲得吸收，而直接釋放於空氣中。同時式(1)左端反應物之濃度降低，所以有可能產生逆向的反應，而讓溶液中的氯離子濃度降低，因而產生如電流密度分別為 9、6 與 3 A/m²的試驗組，其 Cl⁻濃度不升反降的情形。

電流密度為 9、6 與 3 A/m²的試驗組中，其 pH 下降的極限值約為 3.5 左右。之所以會有一個下限值，一方面是電解液中的 Na⁺已經全部消失，另一方面具有酸性的 NaOCl 也不再產生，電解質溶液之化性維持一定，因此 pH 值不致再產生變化。

雖然以較高的電流密度處理，可以在短期內獲得較大的去鹽效果，但可能要承擔較大的操作風險。例如電解液迅速酸化，有害的氯氣無法獲得吸收而直接溢散於操作場所。電解液的酸化，同時也會加速混凝土中鈣離子與硫酸根離子等成份解離進入電解液的速率。

3.8 處理系統電壓之穩定性

不同電流密度下，去鹽系統供應電壓之變化情形，以電流密度 1、3 A/m²的試驗組，其通電 18 天內的工作電壓值相對地比較穩定，而電流密度 6、9 A/m²的試驗組，則供應電壓有隨時間增長而遞增的趨勢。上述現象，若干文獻曾推測其混凝土的電阻值可能已經產生變化。不過由前述的分析來看，電流密度 9、6 A/m²的試驗組，其電解質溶液本身的性質均已經產生質變。相對地 1 A/m²試驗

組，其陽極電解液性質尚屬穩定，而其工作的電壓變化，也處於穩定的狀態。所以工作電壓的上升，應該與試驗時陽極電解液的質變有關係。

四、結 論

1. 對受鹽害侵襲之 R.C. 結構物之修護，電化學處理是一簡單、有效且可行性高之維修技術。
2. 在低通電電流密度下，電化學處理對混凝土品質之影響很小。
3. 陽極槽電解液於通電過程中，會逐漸產生酸化、質變的情形，致使氯氣無法獲得吸收而洩出於電解槽外，降低了電化學反應的活性，可能造成去鹽速率趨緩。
4. 電化學處理後，混凝土內鋼筋附近之漿體，鹼性環境有上升之趨勢。
5. 電化學處理後之 R.C. 結構物，於鋼筋附近之混凝土的總孔隙率以及毛細孔隙率均明顯增加，且毛細孔隙率隨電流密度增大呈遞增的趨勢，其它部位漿體之孔隙率之變化則不顯著。

參 考 文 獻

1. P. K. Mehta(1986) **Concrete-Structure, Properties and Materials**, pp. 151-154, Prentice-Hall, Inc., N. J..
2. S. Mindess and J. F. Young(1981) **Concrete**, Prentice-Hall, Inc., N. J., 1981.
3. P. K. Mehta(1991)**Concrete in the Marine Environment**, Elsevier Applied Science, London, U. K..
4. J. P. Broomfield(1997) **Corrosion of Steel in Concrete**, 1st ed., E & FN SPON, London, U. K..
5. J. H. Bungey and S. G. Millard(1996) **Testing of Concrete in Structures**, 3rd ed., Blackie Academic & Professional, Chapman & Hall.
6. L. K. Berthagen and F. Karlsson(1993) "Repair and Durability Actions of Swedish Concrete Structures by Means of C.P.- System, Removing of Chlorides by EMF, Moisture Reduction and Impregnation- Case Reports and System Evaluation," Corrosion 93, Paper No. 340, The NACE Annual Conference and Corrosion Show.
7. J. E. Bennett and T. J. Schue(1990) "Electrochemical Chloride Removal from Concrete: A SHRP Contract Status Report," The NACE Annual Conference and Corrosion Show, Paper No. 316, Las Vegas, Nevada, U.S.A..

8. N. R. Buenfeld and J. P. Broomfield(1994) "Effect of Chloride Removal on Rebar Bond Strength and Concrete Properties ", **Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete, Vol. 2**, Edited By N. Swamy, Shoffield Academic Press, pp. 1438-1450.
9. A. Gerdes and F. H. Wittmann(1992) "Electrochemical Degradation of Cementitious Materials", 9th International Congress on the Chemistry of Cement, pp. 409-415.
10. W. Morris, E. I. Moreno and A. A. Sagues(1996)"Practical Evaluation of Resistivity of Concrete in Test Cylinders Using a Wenner Array Probe", *Cement and Concrete Research, Vol. 26, No. 12*, pp. 1779-1787.
11. S. Chatterji and M. Kawamura(1992) "Electrical Double Layer, Ion Transport and Reactions in Hardened Cement Paste", *Cement and Concrete Research, Vol. 22*, pp. 774-782.
12. S. Chatterji(1994) "Transportation of Ions through Cement Based Materials. Part I Fundamental Equations and Basic Measurement Techniques", *Cement and Concrete Research, Vol. 24, No. 5*, pp. 907-912.
13. G. Batis, A. Aidini, P. Carydis(1994) "The Synergism of Old-New Reinforcement Steel during Rehabilitation of Concrete Structures Due to Corrosion of the Steel Reinforcement", **Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete, Vol. 2**, Edited by N. Swamy, Shoffield Academic Press.
14. D. C. Pocock(1994) "Societies, Standards and Working Parties-The Present Position in Concrete Repair and Cathodic Protection ", **Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete, Vol. 2**, Edited By N. Swamy, Shoffield Academic Press.
16. M. Taguchi(1992) "On the Specific Effect of Ions on the Rate of Alkali-Silica Reaction", *Cement and Concrete Research, Vol. 22*, pp. 609-611.
17. O. E. Gjorv(1994)"Important Test for Durability of Reinforced Concrete", **ACI SP-144**, pp. 545-574.
18. 李 釗, 許書王, 陳桂清(1996)「由破裂之消波塊探討鹼骨材反應」, 港灣報導 No. 35, pp. 30-40, 台灣省政府交通處港灣技術研究所。
19. 李 釗(1998)「花蓮港港區混凝土結構物鹼質與粒料反應之分析研究」, 台灣省政府交通處港灣技術研究所, 委託研究計劃期末報告。

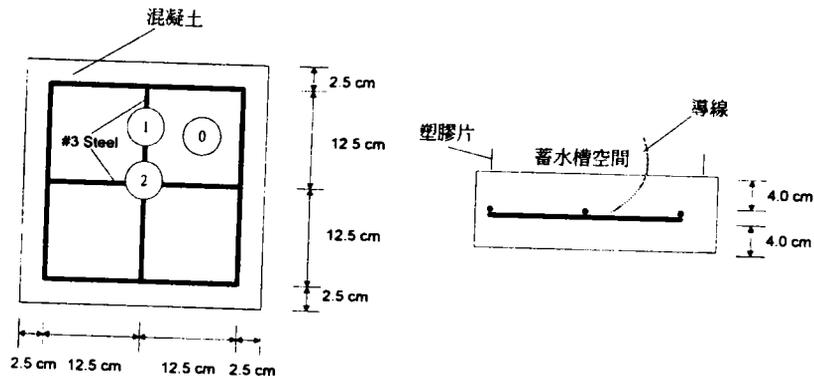


圖 1 試體內鋼筋配置圖

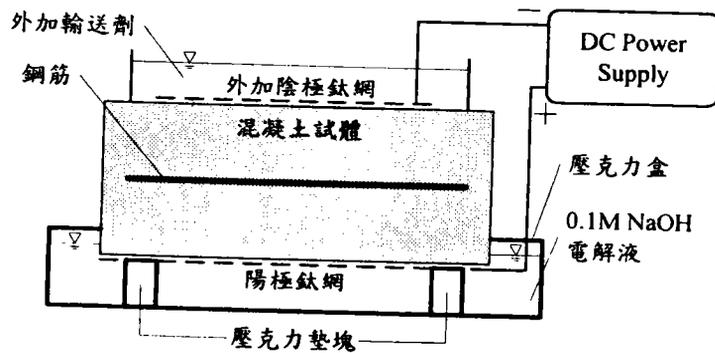


圖 2 電化學處理之試驗裝置

表 1 試體配合設計比

設計強度(kg/cm ²)	280	水泥用量(kg/m ³)	380
水灰比(W/C)	0.53	混凝土單位重(kg/m ³)	2309
設計坍度(cm)	10	骨材最大粒徑(cm)	2.0
水泥：細骨材：粗骨材 = 1：2.1：2.5			

台灣東部波浪特性分析

簡仲璟¹ 陳明宗²

執行單位：數學模式組

政府出版品統一編號：009254890281

計畫編號：MOTC-IOT-IHMT-NB8915-1

全程期間：88/07/01~89/12/31

執行期間：88/07/01~89/12/31

摘 要

本計畫主要在探討台灣東部經常發生之颱風波浪特性，藉此瞭解與一般季風波浪的差異。由本次七個颱風最新實測波浪資料分析顯示，颱風波浪之波高、週期之逐時變化趨勢與颱風行進路徑、暴風強度的大小與穩定性、移動速度、生命期及陸地遮蔽效應影響有關。波高週期交相關係數及頻寬參數之逐時變化趨勢與逐時週期相當一致。颱風雖然有不同的路徑、強度及移動速度，但其波浪頻譜高頻區斜率大致與 Pierson-Moskowitz 波譜高頻區斜率為-5 相近約-4.54，此顯示颱風波浪頻譜之高頻區斜率不受颱風影響。

一、前言

近年來，經常發生港灣結構物受到颱風波浪的侵襲，而造成損壞的情形。例如民國 83 年提姆颱風與道格颱風造成花蓮港舊東堤洶空、蘇澳港及龍洞遊艇港防波堤嚴重受損；民國 86 年琥珀颱風造成花蓮港東防波堤胸牆受損；民國 89 年碧利斯颱風造成花蓮及蘇澳港防波堤再次受損。此外颱風發生期間，花蓮港港內泊靠船隻，由於港池不穩靜造成斷纜現象，而必須至

¹ 臺灣技術研究中心研究員兼組長

² 臺灣技術研究中心副研究員

港外避難，影響港埠正常營運作業。因此有關颱風波浪的本質與特性，應深入加以研究，這是本年度計畫的工作重點之一。

此外根據以往初步研究結果顯示，花蓮港港內波譜的低頻區〔週期約 100 秒左右〕能量，早在颱風到達花蓮港前或港外波高達到最大之前就已明顯增大，此也驗證了花蓮港的泊靠船隻，常在颱風未到達前就必須到港外去避難之事實。低頻區的能量在颱風未到達之前多久就開始增大，而當颱風離去之後又需多久其能量才能消散降低，由於關係到花蓮港颱風波浪預警系統的建立，因此也是本計畫後續欲探討的課題。

本計畫的研究成果對於海岸結構物的設計及颱風波浪理論與預報的發展有所助益，同時對於颱風波浪的演變趨勢能有更進一步的瞭解，以作為發展颱風波浪預警系統的參考。

二、資料蒐集與整理

2.1 颱風資料蒐集

為探討颱風波浪的特性，需先瞭解颱風的變化過程。本研究利用中央氣象局所提供之颱風動態資料，作為波浪分析時之背景資料。另外考量某些遠洋颱風由於對台灣陸地沒有明顯威脅，因此中央氣象局並未發布警報，但其湧浪對花蓮海域波浪仍有影響，對於這些颱風則參考國外網站 <http://weather.unisys.com> 所提供之颱風相關資料。此外另蒐集 GMS-5 氣象衛星所觀測之颱風衛星雲圖，如圖 2-1 及圖 2-2，由衛星雲圖可以初步瞭解颱風的位置、強度及規模結構，以作為颱風波浪分析時之輔助背景資料。颱風路徑圖如圖 2-3~圖 2-4。

2.2 颱風波浪蒐集與整理

本中心歷年來持續進行之基本研究「台灣四周海氣象調查研究」，自民國 79 年起於花蓮港建立波浪長期測站，期間也曾多次測得寶貴之颱風波浪資料，累計目前為止約有 50 餘個颱風。該測站 (ST.1) 位原先位於花蓮港新東防波堤外海測，水深 30 公尺，測站經緯度為 $23^{\circ}58'45''N$, $121^{\circ}37'46''E$ ，由於考量東防波堤可能造成反射而使量測波高偏大，故於 83 年 7 月北移至舊東防波堤外海測，水深 25 公尺之新位置至今 (ST.2)，測站經緯度為

23°59'50"N, 121°38'49"E。波浪儀屬浮球式，為荷蘭 Datawell 公司製造之浮球式方向型波浪儀，搭載波浪儀之浮標其錨碇方式是以具伸長性之高張力橡膠索錨碇，以確保浮標隨波浪起伏時之運動能準確反應出波浪週期。

由於颱風波浪資料眾多，某些在以往報告中也曾分析過，因此，在本次研究中將針對 1997 與 1998 年所蒐集之最新颱風波浪資料進行分析。

三、逐時波高與週期分析

本次分析之共計有 1997 年之蘿西(Rosie)、帝娜(Tina)、溫妮(Winnie)、安珀(Amber)及卡絲(Cass)，1998 年之奧托(Otto)、楊妮(Yanni)、瑞伯(Zeb)及巴比絲(Babs)等 9 個颱風波浪，其中卡絲及巴比絲颱風，因其路徑對花蓮海域波浪影響不大，故不予考慮。為方便說明起見，本文僅以安珀及瑞伯颱風作代表性說明，其逐時波高與週期變化分別點繪於圖 3-1 與圖 3-2，其他颱風之分析結果，則另請參考本計畫之專刊報告，同時以下所稱波高及週期分別指示性波高與示性週期。

由圖 3-1 及圖 2-3 配合參照，可看出 1997 年 8 月之安珀是一侵台強烈颱風，颱風中心位置約於 29 日凌晨由花蓮港登陸，其行進路徑為由菲律賓東方海上以持續西北方向逼近台灣，於 30 日凌晨進入大陸。由於此強烈颱風直接侵襲台灣，因此浪大風強，造成不小的傷亡與財物損失(花蓮港防波堤胸牆受損)。由圖 3-4 顯示波高由 25 日凌晨約 1 公尺，持續增大至 28 日深夜已超過 8 公尺，同時週期也由 8 秒持續增大至 12 秒左右，29 日凌晨波浪儀受損流失，觀測記錄中斷。波高及週期之逐時變化趨勢呈現穩定持續增大的情形，主要是安珀颱風的侵台行進路徑、移動速度、暴風強度非常穩定且行進方向維持不變直對準花蓮港而來。由於可見，颱風的侵台行進路徑、移動速度、暴風強度對波高逐時變化趨勢有所影響。

根據圖 3-2 所示之 1998 年 10 月瑞伯颱風波高及週期逐時演變，同時配合該颱風路徑圖 2-4，發現瑞伯颱風由強度規模及變化檢視是一個由強烈轉中度再轉輕度之颱風；由移動路徑檢視則颱風中心位置，由菲律賓東方外海約東經 140° 北緯 10° 處向西轉西北前進，並於 10 月 14 日清晨颱風中心登陸呂宋島，於 15 日清晨離開呂宋島轉向北行，由於受陸地影響轉為中度颱風且移動速度變快，由巴士海峽北行，然後沿台灣東部近岸海面繼續北行，約於 16 日清晨颱風中心位置已在花蓮港外海約 50 公里處，然後轉向東北朝

日本而去。由圖 3-2 中顯示，颱風發生期間，波高逐時變化有三個波高尖峰約分別發生於 14 日 12 時波高約 6 公尺、16 日 02 時波高約 8 公尺及 17 日 10 時波高約 4 公尺，週期也有相同情形。由波高、週期逐時變化圖對照瑞伯颱風的路徑如圖 2-4，可發現第一個波高尖峰是瑞伯颱風於菲律賓東方外海（登陸呂宋島前）造成之颱風湧浪傳遞至花蓮海域測站所引起，隨後由於颱風登陸呂宋島，故受陸地影響，有效吹風區域面積減小，海面獲得造浪能量相對減少，因此波高逐漸降低。當颱風離開呂宋島後，陸地影響減弱、有效吹風區域面積增大，海面獲得造浪能量也相對增加，因此波高又逐漸增大，且當颱風中心位置最接近花蓮港海域時波高最大，緊接隨著颱風轉為輕度及遠離測站，波高又逐漸變小，此為第二個波高尖峰。由此可見第一及第二波高尖峰的形成，主要是因為颱風登陸呂宋島，受陸地影響所致。換言之，若颱風沒有登陸且未受陸地遮蔽影響而強度不變，則此兩個波高尖峰將連成一個更大波高的尖峰。至於 17 日 10 時之第三個波高尖峰出現的原因，無法由瑞伯颱風的減弱及遠離而得到合理解釋。不過，經查發現巴比絲（Babs）颱風於 10 月 14 日於菲律賓東方海面形成，向西行進其強度由輕度轉中度再轉強烈，登陸呂宋島後則逐漸轉為輕度颱風，行進方向也轉向北，並由台灣海峽北上。因此，第三個波高尖峰發生原因很可能是巴比絲颱風所造成之颱風湧浪所致。

由以上分析比較發現颱風波浪逐時變化型態與颱風路徑、強度規模變化、移動速度、生命期及陸地遮蔽效應有密切關係。

四、波高、週期相關分析

上一節已針對颱風波浪逐時變化趨勢隨颱風動態的影響作一說明，本節將探討波高、週期之各自相關及其相互間之交相關，藉此進一步瞭解颱風波浪的特性。

4.1 波高週期交相關分析

波高週期交相關係數如下式

$$\gamma_{HT} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (H_i - \bar{H})(T_i - \bar{T}) / \sigma_H \sigma_T$$

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (H_i - \bar{H})^2}, \quad \sigma_T = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (T_i - \bar{T})^2}$$

式中 \bar{H} 表平均波高， \bar{T} 表平均週期

根據 Goda 以往的相關研究指出波高小的波浪其波高週期交相關係數值較大，反之，波高大的波浪其波高週期交相關係數值較小，且波高週期交相關係數與波譜的頻寬參數成正比。颱風之波高週期交相關係數逐時變化與相對應同一時間之波高及週期繪製如圖 3-1~圖 3-2。由圖中顯示波高週期交相關係數之逐時演變趨勢與週期非常相似，此表兩者間有密切關係，換言之，波高週期交相關係數值隨週期增大或減小作相似的變化，而與波高無關。因此波高週期交相關係數值在長週期波浪時較大，反之，在短週期波浪時則較小。一般波高大時週期也長（波高小時週期短），故本研究中之波高週期交相關係數值在大波高時較大，小波高時則較小，此與 Goda 的結果相反，原因仍有待進一步探討。

4.2 波高自相關分析

波高自相關函數如下式

$$\gamma_{HH}(n) = \frac{1}{M-n} \sum_{i=1}^{M-n} (H_i - \bar{H})(H_{i+n} - \bar{H}) / \sigma_H^2$$

在本研究中是以上式之 n 值取 1 時之函數值，當作波高自相關係數，而此表示一序列波高中前後兩波高間之相關性。根據 Rye (1974;1982)，Arhan & Earaty (1978)，Su et al (1982) 之相關研究指出若波浪屬風浪性質則波高自相關係數接近 0.3，此外根據 Kimura (1980) 之理論示性波高（或平均波高）之平均波連長隨波高自相關係數增加而增大，尤其是在較大的波高自相關係數時，平均波連長增大趨勢更明顯。一般也認為波連長與異常波高（如瘋狗浪）出現機率有關，因此波高自相關係數值較大時，出現異常波高的機會也較大。颱風之波高自相關係數逐時變化與相對應同一時間之波高及週期繪製如圖 3-1~圖 3-2。由圖中顯示波高自相關係數之逐時演變趨勢與波高或週期皆無明顯關係存在。值得注意的是，當波高較大時波高自相關係數值不一定也較大，因此異常波高也不一定只出現在大波高發生的時候，反而是長週期時異常波高發生機會較大。

4.3 週期自相關分析

週期自相關函數如下式

$$\gamma_{TT}(n) = \frac{1}{M-n} \sum_{i=1}^{M-n} (T_i - \bar{T})(T_{i+n} - \bar{T}) / \sigma_T^2$$

在本研究中是以上式之 n 值取 1 時之函數值，當作週期自相關係數，而此表示一序列波高中前後兩週期間之相關性。颱風之週期自相關係數逐時變化與相對應同一時間之波高及週期繪製如圖 3-1~圖 3-2。由圖中顯示週期自相關係數之逐時演變趨勢與波高或週期皆無明顯關係存在，此情況與波高自相關係數相同。

五、波譜分析

對於波浪之能量結構組成，一般可藉由波譜分析所得之各頻率成份波能量大小獲得瞭解，並且也可由波譜形狀的變化得知各成份波間其能量的轉移情形。因此本節對颱風波浪之逐時波譜進行分析，並將逐時波譜形狀參數與相對應同一時間之波高及週期繪製如圖 5-1~圖 5-2。在本次研究中共取三種波譜形狀參數進行探討比較，各波譜形狀參數之定義分別如下：

頻寬參數 (band-width parameter)

$$\beta = \sqrt{1 - \frac{m_2^2}{m_0 m_4}}$$

窄度參數 (narrowness)

$$\alpha = \sqrt{\frac{m_0 m_2}{m_1^2} - 1}$$

峰度參數 (peakness)

$$P = \frac{2}{m_0^2} \int_0^{\infty} f[S(f)]^2 df$$

其中 m_n 表頻譜 n 次動差如下

$$m_n = \int_0^{\infty} f^n [S(f)] df \quad n = 0, 1, 2, 3, 4$$

式中 $S(f)$ 表波浪能譜， f 表頻率

頻寬參數表頻率分佈範圍大小的參數，其值介於 0~1 之間，值愈大表頻率分佈範圍愈大。窄度參數表頻率分佈的集中程度，若其值小時表成份波能量集中於平均頻率附近，故波譜形狀窄高，反之，若其值大時表成份波能量分散，故波譜形狀寬闊，因此頻寬與窄度參數皆能描述波譜的形狀。不過 Rye(1976)指出波譜高頻率部份，由於割棄(cut-off)的限界對高階動差如 m_4 影響極大，因此頻寬參數值變動性較大，而窄度參數因包含的動差比較低階，故較為穩定。Longuet-Higgins(1975)曾計算此兩者的關係，發現窄度參數約為頻寬參數之一半。Goda(1976)認為頻寬及窄度參數不能顯現波譜之尖峰形狀，因此另定義峰度參數如上，一般風浪峰度參數值約 2 左右，峰度參數值愈大表湧浪成份愈大，故此參數除能描述波譜之尖峰形狀外與大波高的連續發生率也有關係。

由圖 5-1~圖 5-2 所示，頻寬參數值大致介於 0.65~0.95 之間，且其逐時演變趨勢與週期十分相似，此與前節所述之波高週期交相關係數有相同情況，Mitsuyasu, Hisashi(1976)觀測日本附近外海波浪所得之結果，發現波高週期交相關係數值愈大，頻寬參數值也愈大，因此兩者之逐時演變趨勢皆與週期相似也就不足為奇。窄度參數同樣參照圖 5-1~圖 5-2，發現其逐時演變趨勢與週期之相似性不如頻寬參數，且其變化的穩定性也不如頻寬參數，此與前述之窄度參數因包含的動差比較低階，故較為穩定的結果不相符合。峰度參數同樣參照圖 5-1~圖 5-2，發現其逐時演變趨勢與週期之相似性不如頻寬參數，且其變化的穩定性也同樣不如頻寬參數，除少數外其值大致介於 2.0~6.0 之間，Goda(1983)於哥斯達黎加所測之純粹湧浪其峰度參數值約在 4.0~8.0 之間，可見花蓮港之颱風波浪中仍含有湧浪成份。

三種波譜形狀參數間之關係依全部颱風(7 個颱風)綜合繪製如圖 5-3。由圖 5-3 中顯示頻寬參數與窄度參數間之相關性較佳，且成正比關係，此由兩參數皆是衡量波譜形狀的寬度或窄度而言，這種關係的存在是合理。不過 Longuet-Higgins(1975)曾指出窄度參數約為頻寬參數之一半，與本次分析結果不是很吻合如圖 5-3，圖中顯示在參數值較小時，窄度參數可大略視為頻寬參數之 50%，但在參數值較大時，窄度參數則為頻寬參數之 80%。

Phillips(1958)最早認為波譜高頻區斜率與頻率的-5 次方成正比，不過在 1985 年更正為-4 次方。在本研究中颱風波浪之波譜如圖 5-4~圖 5-5 所示，圖中各條波譜線是依颱風路徑圖中之標示時間對照繪出。由圖發現波譜高頻區斜率大致維持-4.54，此與 Phillips 的研究結果相吻合，事實上也與 Pierson-Moskowitz 波譜高頻區斜率為-5 相近。另外要強調的是，颱風雖然有不同的路徑、強度及移動速度，但其波浪頻譜高頻區斜率大致相同，即颱風波浪頻譜之高頻區斜率不受颱風種類或型式之影響。進一步而言，波譜高頻區斜率-4.54 是否為花蓮港海域所特有？在後續研究將分析更多的颱風波浪資料，同時也對季風波浪的波譜形狀作比較，以明瞭花蓮港海域波譜高頻區之斜率。由不同時間之波譜形狀比較發現，高、低頻區之波浪能量隨波高增大而增加，但高頻區能量約可增大十倍，而低頻區能量則可能增大百倍以上。在波浪能量增大的過程中波譜主頻率有往低頻移動的現象，Goda(1983)於哥斯達黎加所測之純粹湧浪其分析結果顯示，主頻率的移動與湧浪之傳播距離有關，在後續的本研究中也將對此作進一步的探討。

六、結論及建議

本研究主要在探討颱風波浪的特性，其初步結論及建議如下：

1. 由颱風波浪之時序列資料分析發現，波高、週期之逐時變化趨勢與颱風行進路徑、暴風強度的大小與穩定性、移動速度、生命期及陸地遮蔽效應影響有關。
2. 波浪相關係數分析結果顯示，波高週期交相關係數之逐時變化趨勢與逐時週期相當一致，此顯示兩者關係密切，但與逐時波高則無明顯關係。而波高及週期自相關係數之逐時變化趨勢與逐時波高或週期較不一致。
3. 由颱風波浪之波譜形狀分析發現，頻寬參數之逐時變化趨勢和波高週期交相關係數一樣皆與逐時週期變化一致，此與以往研究的結果相符合。而窄度及峰度參數之逐時變化趨勢與逐時波高或週期則較不一致。
4. 波譜形狀參數間之關係，以頻寬與窄度相關性較佳，近似正比關係。不過以往相關研究曾指出窄度參數約為頻寬參數之一半，與本次分析結果不是很吻合，尤其當參數值較大時。其餘波譜形狀參數間則無明顯關係存在。
5. 颱風雖然有不同的路徑、強度及移動速度，但其波浪頻譜高頻區斜率大致與 Pierson-Moskowitz 波譜高頻區斜率為-5 相近約-4.54，此顯示颱風波

致與 Pierson-Moskowitz 波譜高頻區斜率為-5 相近約-4.54，此顯示颱風波浪頻譜之高頻區斜率不受颱風影響。進一步而言，波譜高頻區斜率-4.54 是否為花蓮港海域所特有？在後續研究將分析更多的颱風波浪資料，同時也對季風波浪的波譜形狀作比較，以明瞭花蓮港海域波譜高頻區之斜率。

參考文獻

1. 簡仲璟、曾相茂(1999)，「花蓮港颱風波浪特性研究」，第 21 屆海洋工程研討會論文集，PP.55~PP.62。
2. 簡仲璟、曾相茂(1998)，「台灣海域海氣象現場調查與即時回報系統建立之應用研究」，港灣技術研究所 87 研(三)。程研討會論文集，PP.55~PP.62。
3. 曾相茂、簡仲璟(1999)，「台灣海域海氣象現場調查與網路系統建立之應用研究」，港灣技術研究所 87(三)。
4. Yoshimi Goda(1983) : Analysis of Wave Grouping and Spectra of Long-traveled Swell, Port and Harbour Research Institute, Vol.22, No.1。
5. Rye, H.(1982): Ocean wave groups, Dept. Marine Tech., Norwegian Inst. Technology, Rept. UR-82-18., 214P。
6. Kimura, A.(1980): Statistical properties of random wave groups, Proc. 17th Int. Conf. Coastal Eng. Sydney, PP.2955-2973。
7. Su., M. Y., Bergin, M.Y., and Bales. S.L.(1982): Characteristics of wave groups in storm seas, Proc. Ocean Structural Dynamics Symp. 82. Oregon State Univ., Corvallis, Oregon.

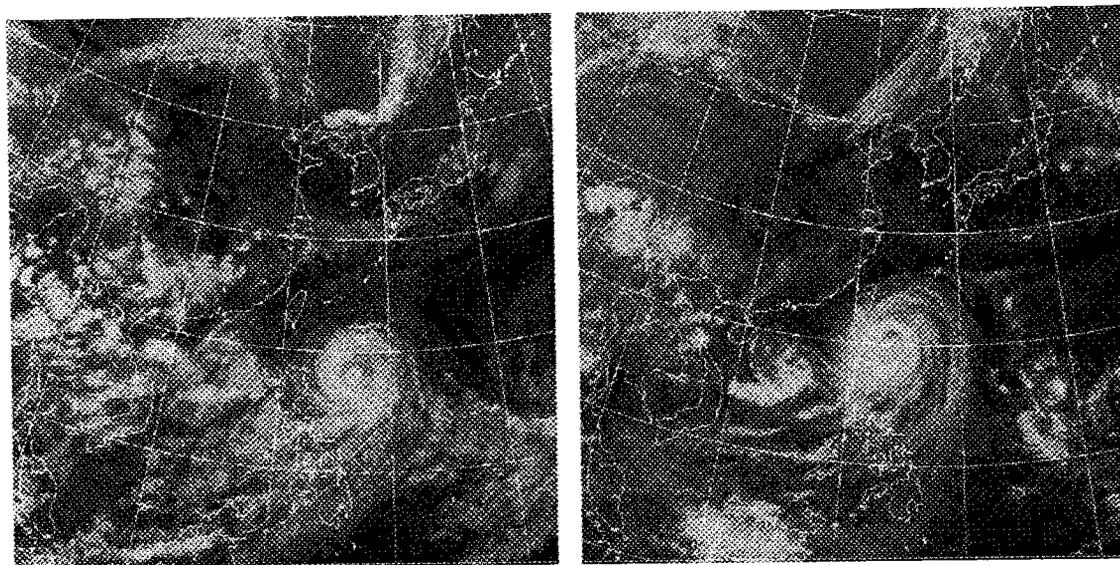


圖 2-1 安珀颱風衛星雲圖 (1997/08/26 12:00) 圖 2-2 安珀颱風衛星雲圖 (1997/08/28 00:00)

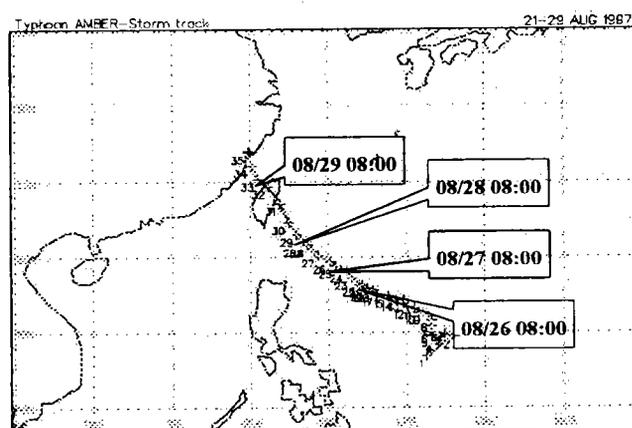


圖 2-3 安珀颱風路徑圖

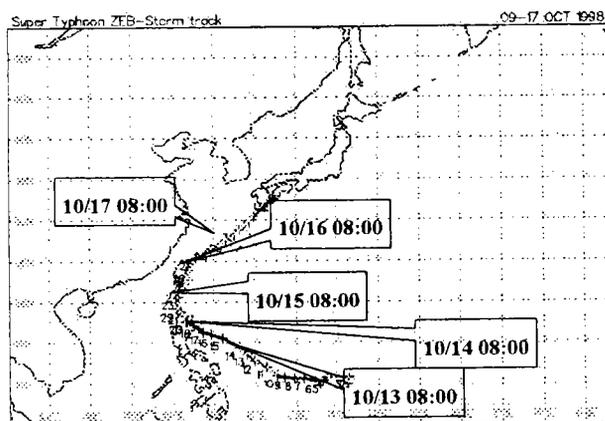


圖 2-4 瑞伯颱風路徑圖

Hwa-Lien Harbor (ST.2) Typhoon Name : AMBER (1997/08)

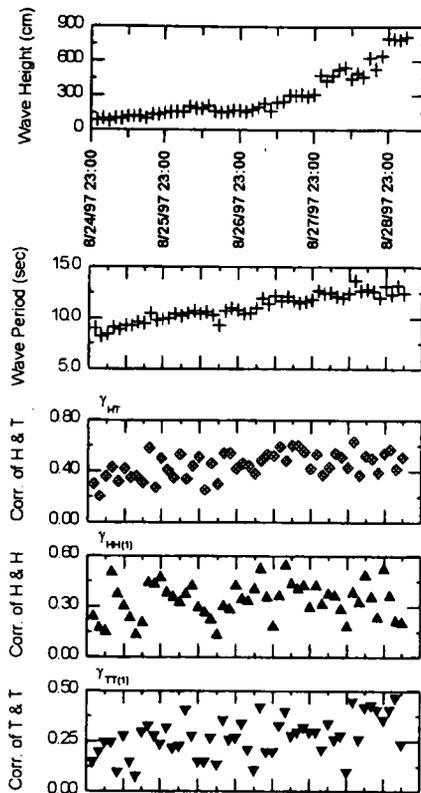


圖 3-1 安珀颱風波高、週期及相關係數時序列分佈

Hwa-Lien Harbor (ST.2) Typhoon Name : ZEB (1998/10)

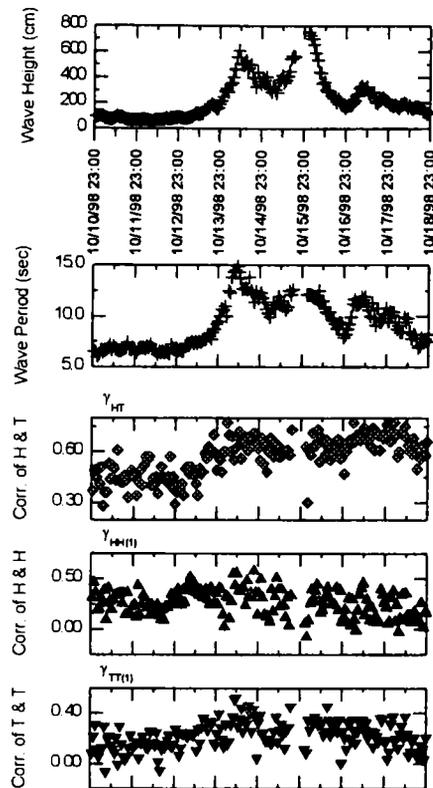


圖 3-2 瑞伯颱風波高、週期及相關係數時序列分佈

Hwa-Lien Harbor (ST.2) Typhoon Name : AMBER (1997/08)

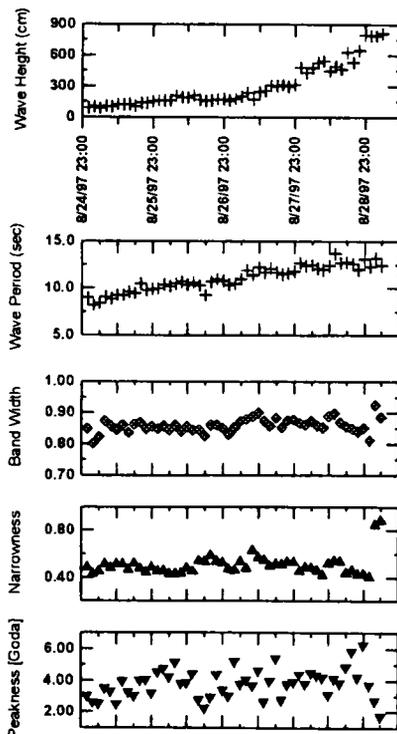


圖 5-1 安珀颱風波高、週期及波譜參數時序列分佈

Hwa-Lien Harbor (ST.2) Typhoon Name : ZEB (1998/10)

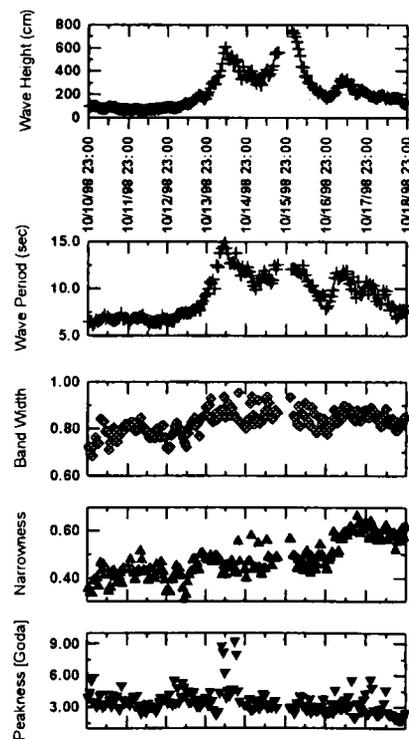


圖 5-2 瑞伯颱風波高、週期及波譜參數時序列分佈

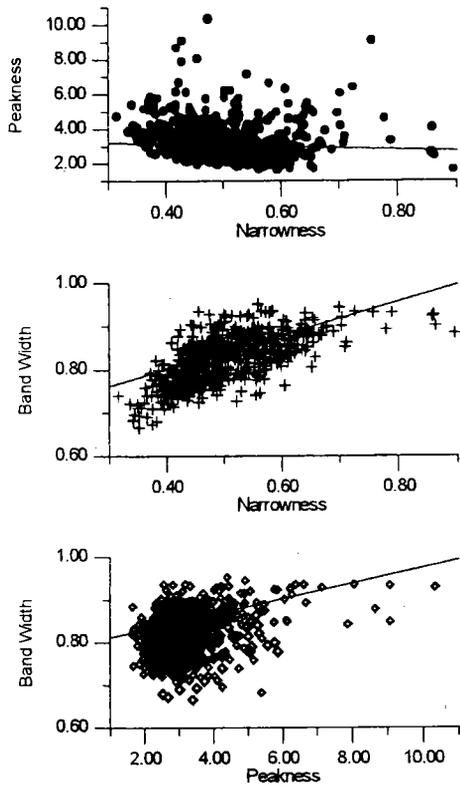


圖 5-3 全體七個颱風波譜參數間之相關分佈

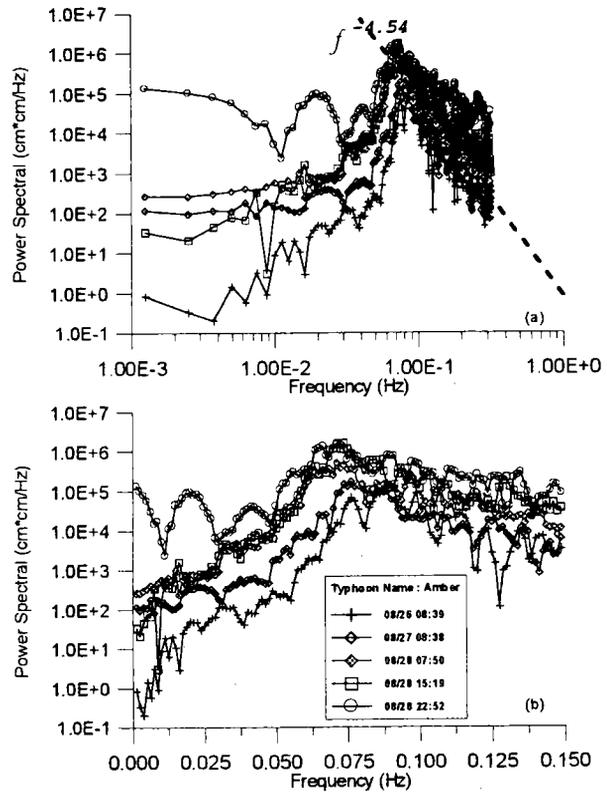


圖 5-4 安珀颱風不同時刻波浪之波譜圖

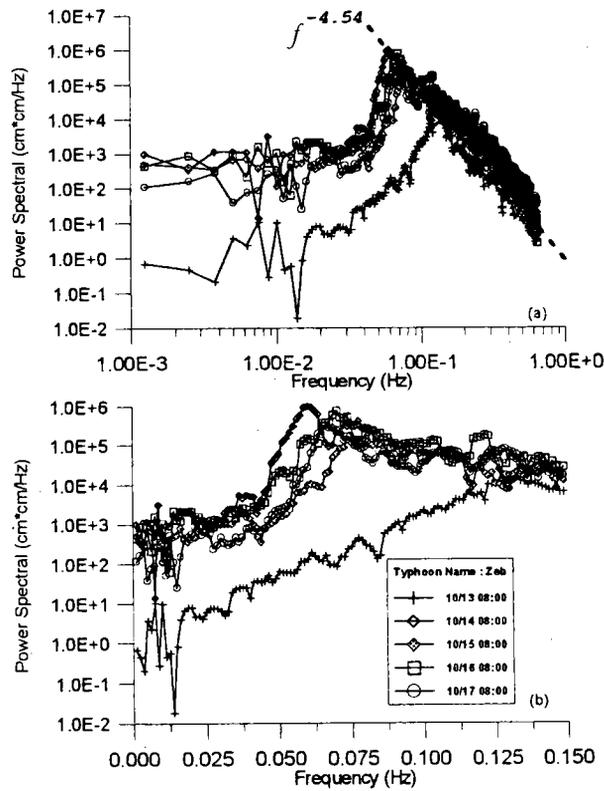


圖 5-5 瑞伯颱風不同時刻波浪之波譜圖

非線性波場推算模組 Mike21 BW 之探討

蘇青和¹ 陳冠宇²

執行單位：數學模式組
政府出版品統一編號：009254890281
計劃編號：MOTC - IOT - IHMT - NB8915-2
全程期間：88/07/01~89/12/31
執行期間：88/07/01~89/12/31

摘 要

本計畫擬探討本所由丹麥水工試驗所(DHI)引進之有限差分法非線性波浪模式：MIKE 21 BW 模組。本模組其主要應用範圍為模擬計算海域之波場變化，一般可應用於計算水深較淺、非線性效應較強及結構物複雜之近岸地區及港區。BW 模組基本方程式為 Boussinesq 方程式，除已考慮繞射、折射(淺化)效應若固體邊界考慮為完全反射體或部份透過、部份反射，則可納入波浪反射、部分反射、部份透射之效應。因此 BW 模組主要應用於探討結構物複雜波浪繞射，及多次反射現象明顯之港區。BW 模組之功能包括不規則波推算、繞射、折射、淺化、反射、部份反射、部份透射、底床摩擦等項目，本模式甚為適合推算港池共振現象。但不包括波與波交互作用、波與流交互作用、風力作用及碎波等效應。本文首先以兩個簡例說明 BW 模組之操作及模組計算過程，其次為進一步比較非線性模組 BW 與線性模組 EMS 之推算操作與實際應用之差異，引用兩個簡例及以台中港實例作比較。

一、前言

有關港池之水波數值推算問題，Miles 及 Mumk (1961)探討矩形港池開口連

¹港灣技術中心研究員

²港灣技術中心助理研究員

接外海，同時考慮由港口傳至外海之幅射效應，應用積分方程方法解析，其理論上可解任意形狀之港池，但積分方程以 Green's 函數表示，而 Green's 函數對不規則形狀港池甚難決定，其應用範圍僅討論矩形港池問題。其解析結果提出港池開口縮小反使港內共振情形加劇之港口矛盾論(Harbour paradox)。Ippen 及 Goda(1963)以富利葉轉換法及變數分離法分別處理矩形港池外海與港內之水位解，至於在港口處做二解之連續交接條件，其理論並與小型矩形港池模型試驗結果比較甚為吻合。林及王(1982)引用 Ippen 及 Goda(1963)之方法探討矩形港池共振問題，並考慮堤頭的摩擦損失及港口處的水流因收縮及擴張作用而引起的水頭損失，由理論與實驗證明 Miles 及 Munk(1961) 提出之港口矛盾論，在某些情形並不成立。

一般數學解析方法所能得到之共振正確解(exact solution)局限於某些特殊之港池，如矩形或圓形港池，但在探討港池共振現象，因港池形狀不規則，近岸通常有結構物存在，波浪繞射為一重要現象；如果地形又複雜變化，折射效亦為考慮因素之一。而海底摩擦效應、邊界透水性、堤頭之水頭能量損失及碎波之能量損失皆增加解析之複雜性，因此使用數值方法，以求解波場為必要之途徑。

在等水深或水深變化不明顯之港池或海域，考慮線性規則波浪條件，波浪繞射現象可以引用荷姆茲方程式(Helmholtz equation)描述。邊界元素法將二維區域問題，利用低維之邊界元素求解，對複雜之港池或海岸線，處理甚為方便。Hwang 及 Tuck (1970)、Ho 及 Bomze (1975)、Lee (1969, 1971)、Lee 及 Raichlen (1971, 1972)、Chwang et al.(1990)等引用邊界元素法(boundary element method)或稱積分方程法(integral equation method)，在利用 Weber 解，由荷姆茲方程式求得積分方程式，將邊界分割為有限個邊界元素，因而化積分方程式為一矩陣方程式以求得解。

在地形變化不劇烈，即地形緩慢變化之海域或港池，Berkhoff(1972)提出緩坡方程式(mild-slope equation)，並引用有限元素法求解波浪之折繞射共同效應，在外海邊界上則以邊界元素法處理。Chen 及 Mei (1974)，Chen (1986) 發展一混合元素法(hybrid finite element method)，分別求解淺水波方程式及緩坡方程式。其作法為邊界內以一般有限元素法運算，而其港口外圍邊界則以解析解形式展開。Tsay 及 Liu(1983)、Tsay et al. (1989)、林及謝(1985)、林及許 (1985)、歐等(1990)與蘇(1993)使用與 Chen 及 Mei (1974)類似原理，以求解緩坡方程式。

Chen (1986)、Tsay et al. (1989)之數值模式則包括海底摩擦效應及岸壁部份反射邊界及碎波之能量消散效應。歐等(1990)及蘇(1993)之數值模式則考慮港池為多孔消波岸壁之透水性岸壁。

波浪從深海區進入近海淺水區，因地形或結構物之影響，波向及波高皆將改變，如何推算其能量分佈變化為一重要工作。早期計算近海波場之折射及淺化現象，一般引用波向線理論(wave ray theory)，波向線理論為假設波能沿著波向線進行，波向線可能因地形變化改變，因此波向線間之距離可能改變，但能量為守恆，波向線間距減小，表示波高增大，但波向線理論上不能相交，因為相交點之距離為零，波高無限大為不合理，因此波向線理論無法包容波浪繞射現象。Booij(1981), Lozano and Liu(1980)及 Radder(1979)，等學者引用拋物線解析法(parabolic approximation)以解析包括折射及繞射現象之波場，在引用拋物線方程式(parabolic wave equation)，改進波向線理論不能容納波向線相交之現象其理論較完整的納入繞射效應，Liu(1986), Liu(1989)，Liu et al (1980)等則納入海底摩擦，碎波和波流交互等效應，更完整的描述實際波場變化。Liu and Tsay(1985)，Tsay and Liu(1982)，Tsay et al (1989)等則針對近岸地區之不規則地形及區域，引用曲線座標系統(curvilinear coordinate system)，並以數值方法計算貼壁座標系統(boundary-fitted curvilinear coordinate)，將不規則地區轉換為長方形網格系統。原有之拋物線方程式經座標轉換新座標再以差分原理，化為差分方程式。此種方法將可解決區域不規則形狀時之數值網格切割困擾。

有關線性波場推算數值模式，現有的模式包括本所合作研究之邊界元素法模式(Model WH21)、有限元素法模式(Model WE21)、有限差分法模式(Model WP21)、及由丹麥水工試驗所(DHI)引進之有限差分法模式四個模組: MIKE 21 OSW, NSW, PMS, EMS 等。線式模式已甚為完整，而且部份模組經引用於國內部份港口計算甚為良好。但從花蓮港及蘇澳港之現場觀測颱風波浪顯示因東部海岸特殊地形效應、非線性效應產生之振盪現象甚為重要，線性模式並不明很完整描述物理機制。因此本年度之重點工作為自丹麥水工試驗所(DHI)引進非線性波場推算模組 Mike21 BW，並進行理論及操作之學習及應用。以下將針對 BW 模組做一較完整之介紹、並列舉例子做使用說明。至以應用於推算花蓮港之港池不穩定現象則是未來研究之重要目標。

二、波浪一般特性

2.1 波浪之淺化

假設近岸海域為等坡度且等水線與海岸線(y 軸)平行，若線性波自外海垂直進入海岸地區，則波浪波高及波速產生之變化稱淺化現象(shoaling)。因為等深線平行海岸，所以波向不變，且週期不變。若不考慮底床摩擦或碎波現象，則波浪之能量通不因水深改變維持一定值，淺化係數(shoaling coefficient)，一般在深水區 $n=1/2$ ，在淺化水區 $n=1$ ，而波速在深水區較淺水區為大，波長在深水區也較淺水區為長，因此淺化係數可能大於 1，這表示波浪剛進入淺水區時波高變大，但再進入較淺水區因淺化因子 n 增大(趨近於 1)，波高可能再減小。

2.2 波浪之破碎

若不考慮碎波，則波浪之淺化係數在水深甚淺處趨向無窮大，但這與實際現場不符合。因此波浪由深水進入淺水區將因尖銳度之增大而產生碎波現象，根據 Miche, Danel and Hamada 所提出之淺水波鄰界尖銳度為

$$(H/L)_{\max} = 0.142 \tanh kh.$$

碎波因海底地形，流速強弱，入射波波形不同，碎波之外觀不同而分為崩波型碎波(spilling breaker)，捲波型碎波(plunging breaker)及湧波型碎波(surging breaker)三種。

2.3 波浪之折射

波浪由深水區進入淺水區，因波速受水深影響，較淺處波速進行較慢，如波浪進行方向與等深線斜交時，波峰線因此產生彎曲現象，稱為折射。與波峰線正交之曲線群稱波向線，波向線之切線方向即代表波浪進行方向。假設等水線與海岸線平行，則滿足 Snell 定律。若地形甚不規則，則滿足波數守恆。等深線如約略與海岸線平行，當波浪斜向進入淺水區，波向線會慢慢變成與海岸線垂直。根據能量守恆原理，當波浪斜向進入海岸時，若不考慮底床摩擦或碎波現象，則兩波向線間之能量不變。

2.4 波浪之繞射

波浪遭遇防波堤，在堤後水域，仍有部份波浪存在，此為繞射(Diffraction)現象，一般同樣可以依光波繞射原理解析，防波堤對波浪之遮蔽(Sheltering)效果，繞射後之波高與入射波高比值稱為繞射係數 K_d (Diffraction coefficient)，繞射後之波向線同樣產生彎曲現象，一般以等繞射係數及波向線描述繞射現象。波浪遭遇防波堤，在堤前部份波浪反射(稱為反射波)，入射波與反射波因加合作用產生重複波，對防波堤近造成甚大影響。波浪由直角或斜向投射向防波堤之狀況，可按光波反射原理解析，反射角與入射角相等，入射波高與反射波高之比值稱為反射係數 R (Reflected coefficient)反射係數介於 0 於 1 之間，而與防堤材料及波速有關，防波堤消波效果愈佳，反射係數愈小。

2.5 非線性波浪

近岸波浪受水深逐漸變淺的影響而產生非線性的效應，波形的不對稱變形更加劇烈明顯，線性波理論與實際波浪特性差異加大，非線性效應變的更加重要而不可忽略。

學理上相對振幅(波高與水深比值)不能視作微小量，尖銳度(波高與波長比值)也較大時，二階項均不能視為高次微小量而忽略，即理論解析之邊界條件包括非線性項，此種波浪稱非線性波或稱有限振幅波。

波浪在淺水地區，除非波高甚小，一般海岸工程問題，如碎波波高，近岸結構物(防波堤、海堤)之波壓推算，皆應以非線性波理論作基礎。而非線性波與線性波之波形最大差異，即可能波峰與波谷不對稱，也可能左右不對稱。非線性波因研究方法不同，其結果也有些差異，如以波形曲線代表之方程式分類可三角函數波(即通稱 Stokes 波)，橢圓函數波(在淺水地區則為孤立波)，雙曲線函數波，餘擺線波等。波形也可直解利用理論解析方法，或由數值計算方法直接求得波形，如 Dean(1974)之流數波浪理論，Cokelet(1977)之級數展開法，Rienecher 和 Fenton(1981)之富立葉近似法等，解析過程中所有條件皆可保留波形，不需利用展開處理或假設條件，因此可適用各種波浪條件及水深條件。

線性波與非線性波理論適用範圍，學理甚多，但並未有一明確簡易的公式表示。根據 Wilson(1962)引用甚多為實驗結果，與參數 U_r 為標準，概略劃分如

下

$Ur < 0.01$: 適用線性波(小振幅波)。

$0.01 < Ur < 1$: 適用 Stoke's 波。

$1 < Ur < 10$: 適用橢圓函數波。

$10 < Ur < 40$: 適用孤立波理論。

橢圓函數波，理論上在水深較大處，可視為小振幅線性波，在水深極淺處即成為孤立波，雙曲線函數波，實際上則為橢圓函數波之近似解。非線性波如在地形及結構物較複雜之地區，則必需使用數值方法方可求得實際波場。

三、非線性波場推算模組 Mike21 BW

DHI MIKE 21 Wave Module BW 為丹麥水工研究所(Danish Hydraulic Institute)發展之非線性波浪計算模式。其主要功能為模擬計算外海、近岸海域或港區之波場變化。一般可應用於計算海洋、近岸、港口及湖泊等區域之波浪變化。MIKE 21 Linear Wave Module BW 主要方程式、數值方法及例子說明，將介紹如后：

3.1 基本理論

MIKE 21 BW 基本方程式舊版為傳統 Boussinesq 方程式，僅適用於淺水地區，深水地區則不適合，傳統 Boussinesq 方程式其最大相對水深限制不大於 $h/L=0.22$ 。新版 BW 模組引用新型式之 Boussinesq 方程式其最大相對水深可達 $h/L=0.5$ 。BW 模組之數值方法主要引用 AD 有限差分法(finite difference schence)。數值模式計算結果之可靠性與準確性，除受計算模式解析方法及控制方程式建立之假設所限制外，相關邊界條件之設定及參數之使用亦有密切的關係，本究相關之網格大小、時間間格、各種參數及邊界條件設定說明如下：

(1) 網格大小及時間間格

計算模式中由於水位變化、流量為時間變量，因此在使用有限差分法求解之過程中，網格之大小尺度必須滿足每一波長至少 8 至 10 個分割點。另對於流體計算穩定性相關之 Courant Number (Cr) 之限制亦必須滿足。 Cr 係用來描述一單位計算時距內，計算訊息傳播影響之格點，計算區域內必須小於 1，數值計算方易趨於穩定，否則將導致發散。除以上計算格距及時距之限

制外，計算範圍之人為邊界尚必須離計算區域有效結構物邊界至少 4 至 6 倍波長之距離，藉以減小人為邊界對計算結果之影響。

(2) 底床摩擦

底床摩擦為促使波浪失去部分能量之致因，能量失去量之大小隨波浪行進距離、波高及波浪週期增加而增大，但隨水深之變深而遞減。

(3) 反射邊界設定

港池岸壁、結構物或海岸反射邊界，可依據結構物反射率之大小，透過線性摩擦係數之轉換而設定(參考 BW 使用手冊)，依美國工程兵團海岸保護手冊之資料，對於不透水之光滑海岸，反射係數一般設為 0.8，對於粗糙之斜坡海灘及透水性之結構物，反射係數一般在 0.3 至 0.6 間。

(4) 吸收邊界設定

吸收邊界，可依據港池特性及模擬區域需要而設置，藉以減小不必要及人為邊界導致之反射影響。

(5) 導波板邊界設定

類似試驗室模型實驗狀況，可依據港池特性及模擬區域需要而設置不透水之導波板邊界，藉以減小波能之流失。

(6) 造波邊界設定

造波邊界，可依據計算範圍配合上述二類邊界之設定選定造波位置及方向，入射波可為不規則波。

(7) 水位或流量邊界設定

在水位或流量邊界，可依據實測輸入隨時間變化之水位變化或流量資料。

3.2 模組說明

BW 模組除已考慮繞射、折射(淺化)效應,若固體邊界考慮為完全反射體或部份透過、部份反射,則可納入波浪反射、部分反射、部份透射之效應。因此 BW 模組主要應用於探討結構物複雜波浪繞射,及多次反射現象明顯之港區。BW 模組之功能包括不規則波推算、繞射、折射、淺化、反射、部份反射、部份透射、底床摩擦等項目,本模式甚為適合推算港池共振現象。但不包括波與波交互作用、波與流交互作用、風力作用及碎波等效應。

根據以上控制方程式之描述，在模式計算中只要設定適當之計算範圍，給

定欲模擬計算之波浪波高與週期，再配合必要邊界條件及相關參數之設定，則港口遮蔽效應與港內靜穩度即可計算求得。

3.3 例子說明

第一個例子考慮長 350 米，寬 55 米，水深 10 米之長斷面水槽，水槽南北兩側為完全不透水壁，水槽東邊為一吸收良好之消波區，數值計算消波區以 7 層吸收層處理。假設波高 2 米、週期 8 秒之規則波由西側進入水槽(以 Type 0 資料檔方式輸入)，計算網格大小為 5 米× 5 米，網格點為 71× 11 點，計算時間間格為 0.5 秒，計算時間合計 180 秒，由 0 至 360 計 361 個時段。本例子不考慮底床摩擦、渦流黏滯係數及碎波等效應。因東側為良好吸波邊界，因此等波高圖顯示水槽不同斷面之波高皆相等，水位圖則將波峰及波谷展示甚為明顯，估計波長約為 70 米。若使用富利葉級數法求解 Boussinesq 方程式之理論波長約為 71.4 米，餘擺線波理論計算之波長約為 69.4 米，三者皆甚為相近。

第二例子探討波浪通過長 600 米，寬 100 米之離岸堤後之繞射波場分佈情形，計算範圍東西長 1200 米，南北寬 700 米，計算網格長 10 米，計 121× 71 點，離岸堤長 600 米、寬 100 米，在數值計算為(60, 0), (120, 0), (120, 11) (60, 11) 等四點圍成長方形之範圍。計算區東側及北側分別置放消波層，西側則置放類似導波板之反全反射邊界。假設波高 1 米，週期 8 秒，波長約為 100 米(約為網格長 10 倍)之波浪由南側作用於離岸堤。計算時間間格取 0.25 秒(每週期共有 32 點)，模擬時間長為 200 秒，計有 800 個時段。從結果圖可明顯看出等繞射係數及相位變化皆甚為合理。

四、線性模組 EMS 與非線性模組 BW 之比較

MIKE 21 BW 基本方程式為 Boussinesq 方程式，而 MIKE 21 EMS 基本方程式為橢圓型態緩坡方程式(the elliptic mild slope equation)。EMS 模組基本上除已考慮繞射、折射(淺化)效應，若固體邊界考慮為完全反射體或部份透過、部份反射，則可納入波浪反射、部分反射、部份透射之效應。因此 EMS 模組主要應用於探討結構物複雜波浪繞射，及多次反射現象明顯之港區。EMS 模組之功能包括繞射、折射、淺化、反射、部份反射、部份透射、碎波、底床摩擦等項目，本模式甚為適合推算港池共振現象。但本模組僅考慮規則波之計算，不包括不

規則波推算，而波與波交互作用、波與流交互作用及風力作用等效應也未納入考慮。

BW 模組計算之波場為隨時間變化之水位，邊界條件為隨時間改變之水位變化，因此可推算不規則波之情形，但線性波 EMS 模組為與時間無關 (time independ) 之模組，邊界條件僅能給規則波之波高及週期，計算之波場僅有波高及週期，波場表示僅代表等波高大小分佈及相位變化分佈，無法顯示不同時段之真正水位變化，也無法顯示波浪成長過程之水位歷線變化。以 EMS 模組推算例一達到穩定狀態之等波高分佈圖，在水深 10 米，週期 8 秒之線性波理論計算波長約為 70.8 米，與 BW 模組計算結果甚為相近。

其次考慮一南北向長 120 米，東西向寬 30 米之單開口矩形港池，假設其港口附近海岸線為平直向東西兩側無限延伸，海岸線為完全反射體。且計算海域為等水深，水深為 12 米。根據蘇(1998)之數值計算顯示第一個共振週期發生在 $T=55.47$ 秒處，假設入射波高為 0.5 米，週期為 55.47 秒，以 EMS 模組求得之等波高分佈圖，最大波高發生在港池底端相對波高計算值約 4.6，顯然有明顯的共振發生。如果假設入射波高為 0.2 米，週期為 55.47 秒，利用 BW 模組求得在 $t=39$ 秒、 $t=42$ 秒、 $t=45$ 秒等時段之等水位分佈圖同樣最大波高發生在港池底端，相對波高計算值為 3.7，也明顯有共振發生，但共振放大率略小。

最後以台中港實例計算，比較 EMS 模組與 BW 模組之結果。EMS 模組之計算先選定入射波波向，然後將計算區做適當之座標旋轉或平移，而使造波線與計算區之四個邊界之一平行。造波條件需給定造波位置、波高及週期等，因此 EMS 基本上只能算規則波，而無法進行不規則之推算。實際應用吸收邊界、導波板及部份反射邊界之設定，對波高之大小影響也甚重要。其次底床摩擦及碎波條件之設定在淺水地區之計算也需納入，才能滿足部份波能之消散條件。BW 模組同樣波高，週期，波向 WSW 作用於台中港。BW 模組為時間變化之模組，造波線之輸入為每個時段之不同水位值，因此甚為適合推算不規則波之波場。BW 模組其他邊界條件設定與 EMS 模組甚為相似，但其中部份反射邊界之波能消散計算理論不同，而且目前 BW 模組尚未能考慮碎波之條件，在較大之波高且又較淺之水深處，常會有數值發散之現象。

在工程應用計算方面，探討不規則波之港池遮蔽及港池穩靜現象，應引用 BW 模組，但探討較簡易港池共振現象 EMS 模組，則有其簡易及方便性，但如有非線性效應明顯之港池共振現象，則應引用 BW 模組推算較佳。

五、結論及建議

1. 模組基本方程式為 Boussinesq 方程式，已考慮繞射、折射(淺化)效應，若固體邊界考慮為完全反射體或部份透過、部份反射，可納入波浪反射、部分反射、部份透射之效應。因此 BW 模組主要應用於探討結構物複雜波浪繞射，多次反射現象明顯之港區。
2. 模組之功能包括不規則波推算、繞射、折射、淺化、反射、部份反射、部份透射、底床摩擦等項目，本模式甚為適合推算港池共振現象。但不包括波與波交互作用、波與流交互作用、風力作用及碎波等效應。
3. MIKE 21 EMS 基本方程式為橢圓型態緩坡方程式程，本上除已考慮繞射、折射(淺化)效應，若固體邊界考慮為完全反射體或部份透過、部份反射，則可納入波浪反射、部分反射、部份透射之效應。因此 EMS 模組主要應用於探討結構物複雜波浪繞射，多次反射現象明顯之港區。EMS 模組之功能包括繞射、折射、淺化、反射、部份反射、部份透射、碎波、底床摩擦等項目，EMS 模式甚為適合推算港池共振現象。但 EMS 模組僅考慮規則波之計算，不包括不規則波推算，而波與波交互作用、波與流交互作用及風力作用等效應也未納入考慮。
4. 以斷面水槽進行波及波浪作用於離岸堤後之波浪繞射現象等兩個簡例說明 BW 模組之操作及模組計算過程。其次為進一步比較非線性模組 BW 與線性模組 EMS 之推算操作與實際應用之差異，引用兩個簡例及以台中港實例作比較。
5. 工程應用計算方面，探討不規則波之港池遮蔽及港池穩靜現象，應引用 BW 模組，但探討較簡易港池共振現象 EMS 模組，則有其簡易及方便性，但如有非線性效應明顯之港池共振現象，則應引用 BW 模組推算較佳。

Harbor Oscillations Induced by Nonlinear Transient Waves

Philip L.-F. Liu¹, Ting_Kuei Tsay² and Ching-Ho Su³

執行單位：數學模式組

政府出版品統一編號：009254890281

計劃編號：MOTC - IOT - IHMT - DB8915-3

全程期間：88/07/01~89/12/31

執行期間：88/07/01~89/12/31

ABSTRACT

In this report a brief literature review is given first to summarize the background and research approaches of the project. The need for developing a finite element model for computing harbor oscillations induced by nonlinear transient waves is firmly established. Vertically integrated two-dimensional continuity and momentum equations, describing weakly nonlinear and weakly dispersive waves, are the basis of the new finite element model. The governing equations are rearranged in such a way that it is suitable for the application of Galerkin finite element method. The present model uses linear triangular and rectangular elements and linear shape functions. To remove the third spatial derivative terms in the governing equations, an auxiliary variable is introduced. The advantage of this arrangement over other previous work is discussed in terms of computational cost and the treatment of boundary conditions. For spatial integration the Galerkin weighted residual method is used. For time integration an implicit predictor-corrector iterative scheme is employed. Several different kinds of boundary conditions, including the perfect reflecting boundary, the absorbing boundary (sponge layer) and the incident wave boundary, are implemented. Numerical results are obtained for various examples.

¹ School of Civil and Environmental Engineering Hollister Hall Cornell University

² Department of Civil Engineering National Taiwan University

³ Mathematical Modelling Division Institute of Harbor & Marine Technology

1. Introduction

Harbor resonance is the phenomenon of trapping and amplification of wave energy inside a semi-enclosed water body, such as a harbor or a bay. If wave motions inside a harbor are forced at one or more of natural frequencies of the harbor, which depend on the harbor configuration, the amplitudes of harbor oscillations will become rather large. These large amplitude oscillations could create unacceptable vessel movements and excessive mooring forces leading to the breaking of mooring lines. In designing a new harbor or modifying an existing harbor, it is essential to have a good understanding of the natural frequencies of the harbor and the possible sources of forcing for harbor resonance. Moreover, a model, either numerical or physical model, should be used to examine the temporal and spatial variations of wave amplitudes inside the proposed harbor under design wave conditions. Typical resonant periods for a harbor or a moored vessel are of the order of magnitude of several minutes. Therefore, harbor resonance at this frequency range is not caused directly by wind waves since wind wave periods are of the order of magnitude of several seconds. Other possible sources of resonance forcing include tsunamis, atmospheric pressure disturbances, locally generated infragravity waves, and free infragravity waves generated at and radiated from distant shores. Tsunamis and atmospheric pressure disturbances have been shown convincingly in previous studies as possible causes for harbor resonance (e.g., Carrier et al. 1971). However, they alone cannot account for the resonance problems existing in many harbors around the world.

During last year's research effort, based on the strongly nonlinear and weakly dispersive equations, an one-dimensional finite element model has been developed to calculate the transient, nonlinear wave propagation (Woo and Liu, 2000). The finite element model is based on the Petrov-Galerkin weighted residual method, in which the linear shape function and the cubic spline weighting function have been employed. The model has been successfully applied to several problems, including the shoaling of solitary wave, interactions of two solitons and the scattering of a nonlinear wave train by a submerged bar. This year's research effort has been focused on the development of a two-dimensional model. Various approaches have been investigated. First, we have considered the possibility of extension of the Petrov-Galerkin method used in the one-dimensional problem. It is straightforward to extend the Petrov-Galerkin FEM to a two-dimensional domain with non-uniform structured quadrilateral grids (Gardner and Gardner 1995). However, applying this method to unstructured grids needs careful consideration. Although it is possible to extend the Petrov-Galerkin approach to a two-dimensional domain with unstructured grids (Alfeld et al. 1987; Sabin 1997), the computational costs for mapping the C1 type

weighting function over a unstructured mesh will be quite expensive. It is concluded that the Petrov-Galerkin weighted residual method is not practical for two-dimensional problems, which, in general, require a unstructured finite element mesh. Instead, a Galerkin finite element is to be developed. With this approach, linear triangular or rectangular elements with linear shape functions are employed. Although one auxiliary variable must be introduced so as to deal with the third spatial derivative terms in the governing equations, the resulting algorithm is still more computationally efficient than the Petrov-Galerkin weighted residual method.

In this report, the two-dimensional governing equations are derived first. Some of the details of derivations are given for completeness. In section 3, based on the Galerkin method, the spatial discretization and the time integration scheme are discussed. Particularly, the choice of the auxiliary functions is also discussed. The input data file for the numerical model is presented in section 4. In section 5, several numerical examples are given, which demonstrate the accuracy of the proposed numerical scheme. In the appendix, the detailed information for the mass matrix, forcing vector and boundary vector for the matrix equation are presented.

2. Basic Equations for the Numerical Model

The objective of the research project is to develop a two-dimensional finite element model for computing transient, nonlinear harbor oscillations. The theoretical foundation of the proposed new model is based on the strongly nonlinear and weakly dispersive wave equations that can be applied in both intermediate and shallow water (e.g., Liu 1994, Wei et al. 1995). A brief derivation of these governing equations is given as follows.

The objective of this derivation is to reduce the original three-dimensional problem to a two-dimensional problem on the x-y (horizontal) plane. To achieve this goal, one needs to find the distribution of the velocity potential in the vertical z-direction. These equations are suitable for modeling finite amplitude waves with weakly dispersive effects. By improving the linear dispersion characteristics of these equations with an appropriate choice of z value, these equations can be used in the intermediate depth (e.g., Nwogu 1993, Chen and Liu 1995). For instance, Chen and Liu (1995) suggested that the best value for z should be approximately $-0.52 h$.

3. Numerical Schemes

The major effort of proposed research is to develop an efficient and accurate finite element model to solve the governing equations with a variable depth and an irregular domain. The proper choice of spatial approximation scheme and time integration scheme will be discussed carefully and will be the main focus of attention for the present research.

3.1 Spatial Approximation Schemes

3.1.1 Galerkin finite element method

For the development of the Galerkin finite element method, the weighted residuals of the governing equations are required to be zero, i.e., equations are multiplied by a weighting function $W(x,y)$ and integrated over the spatial domain. Then the weak form of the governing equations is constructed by performing integration by parts and introducing integrals on the boundary.

3.1.2 Element and shape function

For spatial approximation in two-dimensional finite element method, the computational domain is partitioned into a set of non-overlapping elements. Linear three-node triangular and four-node rectangular elements are used in this work. A triangular element is known to be very suitable for approximating any arbitrary boundary shape and domain. A 'node' is defined at the vertices of the triangles and there are total 'ND' number of nodes in the domain. The Lagrange interpolation function is chosen to be a shape function, with the property at each node.

3.2 Time integration scheme

The time integration scheme should be accurate enough so that the truncation errors would not produce any non-physical dispersion or dissipation. In this section, we shall describe the Adams-Bashforth-Moulton predictor-corrector scheme to integrate equations. This scheme is one of widely used time integration schemes. The basic idea of the procedure is described as follows. First, based on the solution from the current time step, an initial guess for the solution of the governing equation at the next time step is made (predictor stage).

The predicted solution is inserted into the right-hand-side of the governing equation to find the updated - or "corrected" - solution (corrector stage). The updated solution is

inserted back into the right-hand side of the governing equation to find another "updated" solution. This procedure is repeated until the difference between two successive updated solutions is smaller than error tolerance (Lapidus and Seinfeld 1971).

Specifically, in the present model the third-order Adams-Bashforth scheme is employed for the predictor step.

3.3 Boundary conditions

Applying an appropriate boundary condition is necessary to obtain proper numerical solutions in a finite computational domain. We shall discuss three types of boundary conditions in this section: (1) impermeable reflective wall boundary condition, (2) wave maker (or incident) boundary condition, and (3) absorbing (or outgoing) boundary condition.

3.3.1 Reflective wall boundary condition

Here, an attempt is made to implement an reflective wall boundary condition in a mathematically and physically consistent manner. The physical boundary condition at the rigid impermeable wall is that no fluid should pass through the wall, i.e. no-flux boundary condition. To satisfy no-flux boundary condition in the depth-integrated equation system, the depth-averaged horizontal velocity normal to the wall should always be zero.

It is noted that the integrand in the boundary integral in equation is identical to that of boundary integral in the weak form of the continuity equation multiplied by the weighting function W . With the same argument shown before, the integrand multiplied by weighting function W can be shown to be zero. Since the integrand is identically zero, the boundary integral of the weak form for the continuity equation vanishes. Therefore, there is no additional work need to be done for the treatment of the boundary condition for the free surface at solid walls.

Let us consider the application of the no-flux boundary condition to the momentum equations. As we mentioned before, the physical boundary condition imposes a constraint on the normal velocity at the wall. When the normal velocity is specified at a boundary node, the momentum equation in the tangential direction is solved for the tangential velocity at the node.

Finally, let us discuss the boundary condition for the auxiliary variable. Usually when an auxiliary variable is introduced in order to reduce the higher order spatial derivative, a new boundary condition for the additional variable is needed. In the present work, however, there is no need for introducing additional boundary condition for the new variable. The

boundary integral does not exist in the weak form of the auxiliary variable since the integration by parts is not performed. The effect on the boundary caused by the auxiliary variable acts on the determination of normal velocity in a physically consistent way. In other words we do not introduce any non-physical constraint at the boundary.

3.3.2 Wave maker boundary condition

It is important to implement the incident wave boundary condition into the numerical model, since steady state solutions are frequently required for practical problems. With a proper choice of incident and outgoing wave boundary conditions, steady state solutions can be obtained in the time domain model. The following procedure is used to implement the incident wave boundary condition in the present FEM with the implicit time integration scheme.

At the incident wave boundary the time series of elevation, velocity are known. Since the nodal value at the boundary is known, it is regarded as an essential boundary condition.

We should remark here that imposing two adjacent Dirichlet conditions is similar to specifying a first spatial derivative at the boundary. This may lead to difficulties for nonlinear wave input, similar to that encountered from imposing solution and its derivative at a single point. However, by increasing the number of nodes where the Dirichlet conditions is applied, we can increase, in principle, the accuracy of spatial derivative at the boundary.

3.3.2 Absorbing boundary condition

In order to perform practical computations, it is inevitable to restrict the size of the computational domain and apply a radiation boundary condition, which allows waves to propagate out of the domain, at the radiation boundary. It is important to minimize the non-physical reflection at this boundary. Here, a sponge layer boundary condition is adopted near the boundary to absorb all wave energy arriving at the boundary from within the fluid domain. In Domain some indicates the impermeable wall boundary locating at the end of the sponge layer and the others denotes the starting position of the sponge layer.

The width of the sponge layer is usually chosen to be two or three times the wave length.

3.4 Discussion on the choice of auxiliary variable

The choice of an auxiliary variable plays an important role in constructing the finite element model since it affects the treatment of boundary condition and the time integration

procedure. In the present approach the choice of an auxiliary variable P is guided by three factors.

First, the computational cost should not be high. If P or Walkley and Berzins' (1999) new variable were to be used, two additional unknowns would have been introduced into the system so that at each time step we need to solve five equations for 5 ND unknowns. In the present work, four equations are solved for 4ND unknowns. The second factor is the possibility of extension to fully nonlinear and weakly dispersive wave equations. It is straightforward for our choice but it is not for Walkley and Berzins' (1999). Finally, introducing the new variable should not complicate the treatment of boundary condition or require the inclusion of any non-physical conditions on the boundary. As we mentioned before, the present choice does not require any additional treatment on the boundary.

4. Numerical Results

In present numerical simulations two different types of finite element mesh are used. One is the structured three node triangular element and the other is the structured four node rectangular element.

4.1 Solitary wave propagation over constant depth

The small amplitude solitary wave can propagate over a long distance without changing shape. The present numerical scheme is first tested for this case. To avoid potential complications caused by the boundary conditions, the theoretical surface profile and the corresponding velocity field for a solitary wave are used as the initial conditions. The approximate solitary wave solution of Nwogu's (1993) extended Boussinesq equations was derived by Wei and Kirby (1995).

4.2 Solitary wave shoaling on slopes

Numerical simulations for the shoaling of a non-breaking solitary wave over plane slope are performed. Through this analysis, the nonlinear portion of the present numerical model can be examined. The test case chosen here is the same as the one studied by Wei et al. (1995).

4.3 Propagation of deep water wave

A numerical experiment is performed to evaluate the ability of simulating the propagation of periodic waves in deep water. The sinusoidal wave with wavelength 2 m, wave height 0.1 m is given as an initial condition over the constant water depth of 1 m. It is

shows the spatial profiles of the propagating waves at different instances. The vertical line denotes the location of a wave crest at different time according to the exact phase speed calculated from the linear dispersion relationship. The phase speed of the present model agrees very well with the exact phase speed.

4.4 Applications of the boundary conditions

The incident wave boundary and the perfect reflecting wall boundary condition are implemented in a simple wave tank. To check the accuracy of the reflected wall boundary condition, a solitary wave is set free to propagate between two perfectly reflecting walls. Wave maker boundary condition is applied at the left hand side and a sponge layer is used as an energy absorbing device on the right hand side boundary. The sinusoidal wave of amplitude 0.023m, wave period 1 sec wave is generated over constant water depth of 0.45m.

4.5 Wave evolution in a rectangular basin

The two-dimensional model involves mixed derivative terms with respect to x and y which do not appear in the one-dimensional model. To verify the correctness of the numerical model implementation, wave propagation in a square basin is studied and numerical results are compared with analytic solutions.

By simulating this test case, we are able to check the stability of the numerical model associated with boundary condition. It is interesting to see how the corner boundary respond to the higher harmonic waves which is generated as time goes on. We ran the model until simulation time reaches 30 minute, which correspond to 36000 time step. The maximum iteration number was 5, indicating that the present model is stable. The axisymmetry is shown clearly, which implies the obliquely incident wave as well as normally incident wave to the wall are treated properly in the numerical model. This symmetry can be an efficient way to check the possible coding error for the 2-dimensional model. Also, we checked the conservative property of mass and energy. It is founded that there is no loss or gain of mass and energy.

4.6 Wave propagation over an elliptic shoal

We apply the 2D FEM model for the wave propagation over a shoal. The experiment conducted by Berkhoff et al. (1982) has been used by many researchers for verifying the accuracy of their numerical models. The conventional Boussinesq equation model cannot be applied to this case since the relatively deep water wave condition is used ($kh=1.9$).

5. Concluding Remarks

In this progress report, a new two-dimensional finite element method is formulated for the extended Boussinesq equations describing weakly nonlinear and weakly dispersive waves. The choice of the auxiliary variable for the treatment of the third order spatial variables in the governing equations is decided with the consideration of computational cost, boundary treatment and the possibility of extension to include higher order nonlinear terms. Several different types of boundary conditions have been considered, including the perfect reflecting boundary, total absorbing boundary (sponge layer) and the incident wave boundary condition. Several numerical examples have been presented and good agreements between present numerical results and existing analytical and other numerical solutions are obtained. Future work will be forced on the treatment of other types of boundary conditions, such as the partially reflective boundary, and different dissipative mechanism. The future investigations will also be focused on the harbor oscillations with different geometry.

台灣四周海域海流數值模擬研究

莊文傑¹ 江中權²

執行單位：數學模式組

政府出版品統一編號：009254890291

計畫編號：MOTC-IOT-IHMT-NA8916

全程期間：88/07/01~93/12/31

執行期間：88/07/01~89/12/31

摘 要

本研究為五年期研究計畫之第一年，研究重點主要係在探討並模擬計算台灣環島四周海域之水位與海流特性。於本研究中，為提供於台灣環島近岸海域進行潮汐相關水動力模擬時所需之開放海域邊界條件，更為詳細探討台灣環島海域潮汐所呈現特殊時空分佈之影響機制(mechanism)，因此，本研究將首先收集、整理台灣環島海域整體之地形與水深資料，並依據過去之實測潮汐資料與相關研究結果做一綜合性之分析，藉以探討潮汐波動與水深地形之關聯性(莊文傑, 2000^[1]；莊文傑、江中權, 2000^[2])。其次，使用二維水動力計算模式(DHI, 1994)^[3]，於包括東海、南海、太平洋及台灣海峽之整體計算海域下，透過時序性潮波水動力之模擬計算結果，以闡釋潮波在台灣環島海域所呈現之動力(dynamic)及運動(kinematic)特性。最後，依據淺水長波理論推導得之含科氏力(Coriolis force)效應緩波方程式(Mild-slope equation) (莊文傑, 2000^[1]；Tsay, 1991^[4])，使用有限元素法，應用局部輻射邊界條件(local radiation boundary condition) (陳柏旭、蔡丁貴, 1990)^[5]，重新建置單頻波(monochromatic wave)計算模式，藉以針對潮波之個別分潮(constituents)特性進行探討，並驗證台灣環島、台灣海峽及中國大陸沿岸總體地形、水深對潮波分潮特性之影響，同時，確認造成台灣環島沿岸潮汐呈現特殊時空分佈特性之重要機制。至於，台灣環島開放海域邊界條件之提供，可自本研究二維水動力計算所得之時序性模擬計算結果中直接萃取，或由單頻波計算模式所得之分潮驗證結果，藉其計算振幅及相位遲角，再以潮汐預報方式間接求得(Juang et al., 2000^[6]；Tsay et al., 2000^[7])。

¹ 港灣技術研究中心研究員

² 港灣技術研究中心助理研究員

一、導論

1.1 研究緣起

台灣四面環海，進行近岸海域相關之水動力(hydrodynamic)模擬計算，常須面對開放海域之邊界條件無從據以決定之困擾。往昔，在水深約 20 米之近岸海域內，雖政府相關部門與機構曾進行各項海象特性之現場觀測，但對潮汐與潮流之相關水動力模擬計算而言，現場之觀測範圍相對於長波長之潮汐波動仍屬局部性的。因此，其對計算模擬所需之邊界條件基本上仍甚難充分滿足。此外，應用海岸線上或近岸區域之邊界資料外差處理開放海域側之邊界條件，將造成對象(interested)海域水動力模擬計算結果之驗證誤差，甚至無法準確。由以往之數值計算經驗可知，充分且準確地掌握台灣環島海域之水動力特性是甚為必要的。

1.2 研究目的與方法

本研究主要在探討並模擬計算台灣四周近岸海域潮位與海流特性之變化機制，其次，再將研究成果應用於台灣東西海岸及國內五大國際商港海域之局部海象特性探討。全程研究執行期間預定為五年，第一年以台灣四周近岸海域總體之水位及海流數值模擬計算、檢核為重點；配合第一年之研究成果，第二年起之研究將分別以國內五大國際商港區近岸海域海流模擬為應用；初步之規劃第二年係以高雄港及台灣西岸南部海域為對象，第三年以基隆港及其鄰近之台灣北部海域為優先；第四年以台灣東部海域之蘇澳港與花蓮港海域為目標；台中港及台灣西岸中部海域則一併於第五年執行。主要之研究目標為

1. 完成台灣環島四周近岸海域整體潮位與海流數值計算模式之評選。
2. 建置台灣環島四周近岸海域數位化大範圍之計算地形與水深。
3. 提供台灣環島海側之潮位與海流邊界條件，俾利於近岸海域進行相關水動力模擬計算之應用，補充實測資料之不足。
4. 釐清台灣海峽中段海域潮差特別大之原因係潮波交會與非線性交互作用結果之推論。

主要之研究重點為

1. 確立台灣環島四周近岸海域潮位與海流數值計算模式之計算範圍。
2. 潮位與海流數值計算模式初始及邊界條件資料之蒐集與建立。
3. 台灣環島四周近岸海域之潮位與海流數值模擬計算。
4. 數值模式及數值模擬計算結果之檢核及驗證。

5. 台灣近岸海域潮位與海流特性變化機制之探討。
6. 成果整理、展示及出版。

二、台灣環島之水深地形與潮汐

台灣四面環海，北瀕東海；東對西太平洋；南接南海且隔巴士海峽與菲律賓相鄰接；西隔台灣海峽與中國大陸相望，環島四周海域水深地形如圖 1 及圖 2 所示。從圖 1 配合圖 2 觀察可知，台灣位於亞洲大陸棚架(continental shelf)邊緣上，大陸棚架邊緣除了於台灣之東北與西南部海岸延伸外，台灣東部海岸甚且為大陸棚架邊緣之一部分。對照圖 2，由台灣東北部海域開始，沿著台灣東部海岸往南以順時針方向繞行台灣四周海域，於台灣東北部海岸之鹽寮外海有一東海大陸斜坡(East China Sea Slope)存在；在宜蘭外海，存在一沖繩海槽(Okinawa Trough)；於蘇澳外海，蘇澳海脊(Su-Ao Ridge)聯接日本之宮古與石垣島；於台灣東部海岸之蘇澳、花蓮至台東富岡間海域上，緊接西太平洋海域，離岸 50 公里外，水深最深處可達 5,000 米以上；在台東富岡南側有蘭嶼海脊(Lan-Yu Ridge)與菲律賓群島相接；在台灣東南部海域上，另有一台東海槽(Tai-Tung Trugh)與台灣東北部之沖繩海槽相對應；在台東海槽西側即進入台灣南部海域，於該海域上，在恒春後壁湖南側外海存在有一恒春海脊(Heng-Chun Ridge)。



圖 1 台灣環島四周海域水深地形



圖 2 台灣環島四周海域水深地形

在台灣海峽之南側海域，亦即在台灣西南部海域內，於高雄外海存在有一高屏斜坡(Kao-Ping Slope)，在該斜坡上，由南而北水深可自 3,000 米變化至 80 米，斜坡之槽谷最北端更可深入至雲林與澎湖間海域。台灣海峽位於亞洲大陸棚架內，其中，除澎湖群島羅列其內以外，在接近海峽南端開口處，尚存在一台灣淺灘(Taiwan Bank)，其平均水深甚淺，普遍均在 30 米以下。台灣東北與西南部海岸外之大陸棚架邊緣恰約構成台灣海峽之南北端界線，因此，台灣海峽為可視為具東北—西南走向之狹長型水道，總長度約達 600 公里，最窄寬度約僅 150 公里，平均水深不及 80 米。

至於台灣環島海域之水深地形剖面，依據圖 1 及圖 2，於台灣環島離岸約 50 公里之距離上，萃取其剖面水深地形，並將環繞台灣本島之萃取地形剖面經直線展開後可得如圖 3 (莊文傑, 2000)^[1]。於圖 3 中，台灣環島之主要潮汐測站亦已依其相對於台東蘭嶼(LY)測

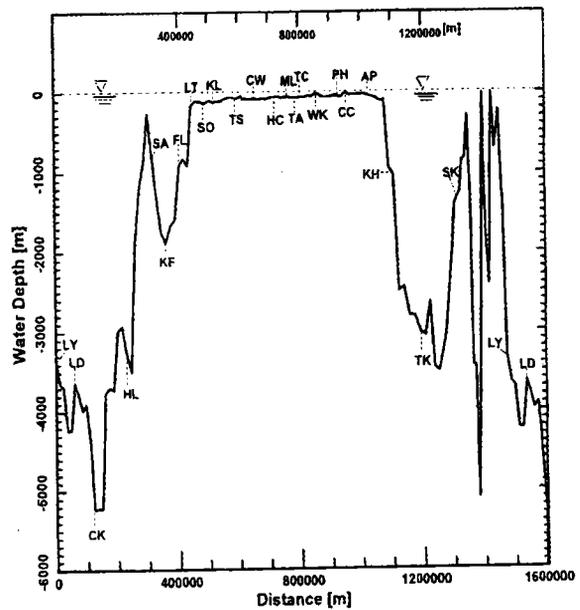


圖 3 台灣環島海域之水深地形剖面

站之地理距離完整地標示。仔細觀察圖 3 所示之台灣環島海域水深地形剖面可知，由蘭嶼開始經成功(CK)、花蓮(HL)到蘇澳(SA)，其剖面地形水深大多深於 4,000 米；而在蘇澳外海，因蘇澳海脊(Su-Ao Ridge)之存在，部分水深淺於 1,000 米；在蘇澳、梗枋(KF)及福隆(FL)之間，因沖繩海槽(Okinawa Trough)之存在，最大水深約達 2,000 米。從台灣東北角之龍峒(LT)開始，由圖對照可清楚看出，龍峒已明顯跨越過了大陸棚架，自龍峒沿著台灣西部海岸以逆時鐘方向南下，直至台灣南部海岸之安平(AP)與高雄(KH)間，水深實際並無太大之變化，平均皆在 100 米內，而此段平坦之地形，其長度約為 650 公里，其中，新竹(HC)、苗栗(ML)、大安(TA)及台中(TC)適巧約座落於此平坦地形之中段，因此，台灣海峽之有效影響長度相對於大陸棚架概略地可以 650 公里為代表；自安平往南至東港(TK)，其相對位置實際為高屏斜坡(Kao-Ping Slope)之所在，平均坡度約達 3/100，通過台灣最南端之蟬廣嘴(SK)回至蘭嶼，其間因恒春海脊(Heng-Chun Ridge)、台東海槽(Tai-Tung Trough)及蘭嶼海脊(Lan-Yu Ridge)之存在，因此水深又呈現複雜之變化。僅管如此，於圖 3 中若忽略各處海脊與海槽之地形，則台灣海峽與台灣西海岸在大陸棚架上之代表地形實際上將可視為一形狀頗為規則之矩形陸架(Shelf)，其總長度約 650 公里；平均水深約 80 米；陸架外之水深約 4,000 米。

三、台灣環島之潮汐測站與調和分析

台灣環島及中國大陸沿岸之潮汐測站分佈如圖 4。觀察圖 4 可知，台灣環島沿岸之潮汐測站分佈已極綿密，但部分離岸島嶼之測站設置尚待加強。其中，金門、馬祖、東引、烏坵、東沙及南沙等測站，我國海軍海測局雖有設站觀測，但由於資料之限制性，因此，台灣離岸島嶼潮汐測站之資料常無法取得並加以應用。至於中國大陸沿岸之潮汐測站，其分佈密度明顯不足，此因於長久以來，限於海峽兩岸之研究資訊阻隔，故近年來中國大陸所增設之潮汐測站因此無從掌握，加以中國大陸沿岸多大型河口與灣澳，在文獻(英國皇家海軍潮汐表)內刊載之測站

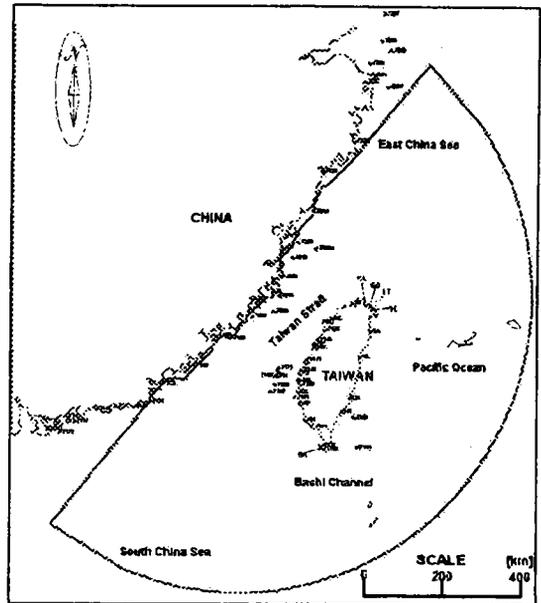


圖 4 台灣環島及中國大陸沿岸之潮汐測站分佈

中，本研究於過濾不適合代表中國大陸沿岸特性之潮汐測站後，於中國大陸沿岸北自長江口，南至香港，總共僅能選列 31 個測站。

潮汐特性使用調和分析法之原理，其主要在將不同地點實測所得之週期性(periodic)潮位記錄，視其為由有限個各自具單一週期並作簡諧(harmonic)運動之潮汐分潮(constituents)所組成，其後再依最小平方誤差(least-square error)理論計算各不同地點潮汐分潮之振幅(amplitude)與相位遲角(phase-lag)，並據以描述潮汐之特性。

整理台灣環島及中國大陸沿岸潮汐主要分潮之調和常數(振幅與相位遲角)分佈可分別得如圖 5 及圖 6 (Lin et al., 2000a; b)^[8, 9]所示。於圖 5 及圖 6 中，值得注意的是，在台灣環島沿岸之調和分析常數，雖然其資料部分為國內自行實測、分析之結果，部分取自英國皇海軍潮汐表所刊列，但其在相同測站或鄰近測站所得之結果皆頗能相互匹配，而且資料之一致性亦頗為良好。故而在圖 6 中有關中國大陸沿岸之調和分析結果，其調和常數雖完全引用自英國皇家海軍潮汐表，但經圖 5 之比對與驗證，可得其調和常數之品質與準確性應是可確認無疑地。

為深入地探討大陸棚架地形因素與台灣本島陸地尺寸及其幾何形狀對台灣環島海域潮汐特性之影響，檢視圖 5 可明顯看出，在台灣環島沿岸，全日型分潮： K_1 、 O_1 及 P_1 之分潮振幅大小是頗為均勻且無變化的，即使在高雄、安平及鹽寮、龍峒等陸架緣海域上，分潮振幅大小亦無明顯之變化。但半日型分潮： M_2 、 S_2 及 N_2 等則完全呈現了陸架地形之影響。其中，最明顯的影響可由半日型分潮在鹽寮至基隆及在高雄至蟬廣嘴測站一帶，分潮振幅皆相對地呈現最小值證實。除此

之外，台中測站約座落在陸架之中段位置上，其半日型分潮之振幅相對地則呈現為最大值。就半日型分潮之振幅放大倍率而言，台中相對於高雄對 M_2 為 10.17； S_2 為 7.36； N_2 為 6.88，台中相對於深澳(SO)對 M_2 為 9.82； S_2 為 7.04； N_2 為 6.17。可見在特定陸架之地形效應影響下，不僅特定分潮之振幅放大倍率甚為可觀，單純就放大率之分佈而言，其亦有對陸架兩端約略呈對稱之特性。此外，檢視台灣環島沿岸分潮相位遲角(phase-lags)分佈圖可知，台灣西部海岸潮汐之滿潮時分佈型態實際與半日型各主要分潮之相位遲角分佈型態極其近似，且亦約略呈對稱分佈之特性。

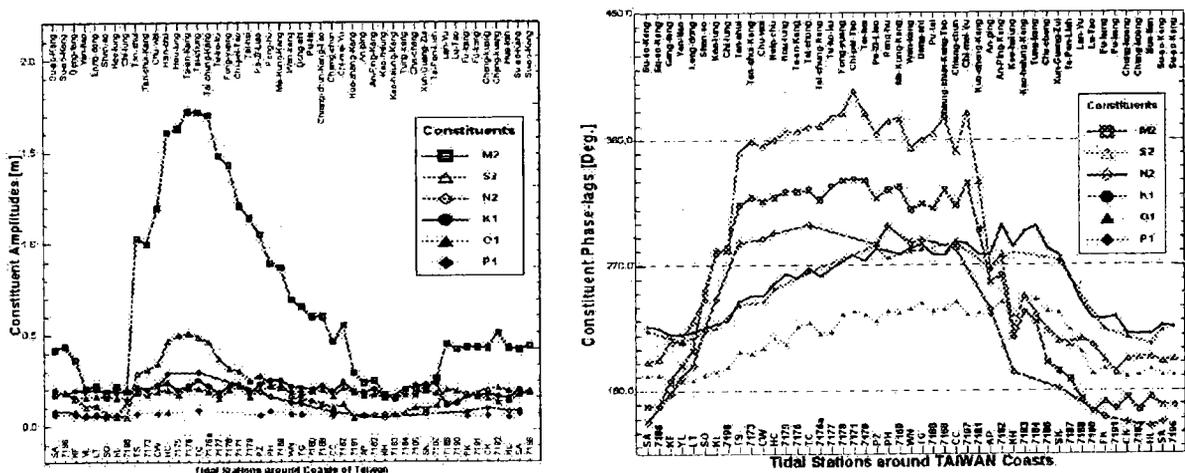


圖 5 台灣環島潮汐測站資料之調和常數(左：振幅；右：相位遲角)分佈

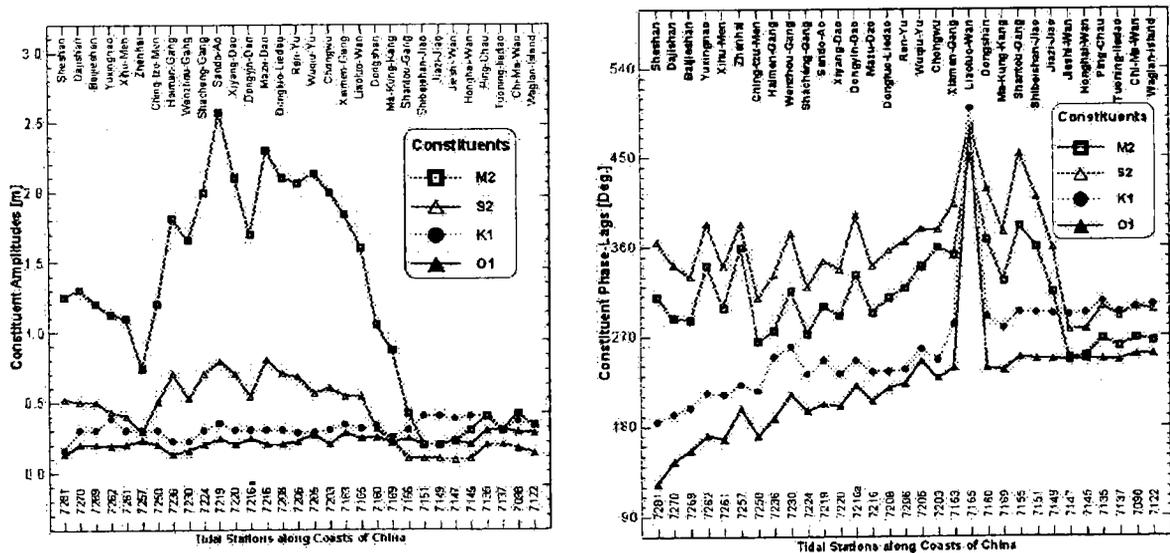


圖 6 中國大陸沿岸潮汐測站資料之調和常數(左：振幅；右：相位遲角)分佈

在中國大陸沿岸方面，由於中國大陸沿岸整體海岸線皆座落於亞洲大陸棚架內緣(如圖 1)，因此以調和分析結果檢視大陸沿岸之潮汐特性，其陸架之影響性

應以全大陸棚架為著眼。依據圖 4 所示之中國大陸沿岸各主要分潮之振幅分佈可清楚看出，在中國大陸沿岸海域，從長江口以至香港沿岸，其全日分潮之振幅大小頗為均勻且一致。但半日分潮之振幅則特別顯著且具明顯之起伏變化，其中，半日型分潮之最大振幅與潮差係出現在 Sando Ao 沿海，而較小之分潮振幅在北端發生於 Zhenhai(7257)；在南端則發生在 Jiazi-Jiao(7149)附近海域。Sando Ao 相對於 Jiazi-Jiao 之分潮振幅放大率對 M_2 為 12.85；對 S_2 仍約達 7.90。再檢視中國大陸沿岸各主要分潮之相位遲角分佈可知，整體上，半日分潮之相位遲角分佈與台灣環島沿岸相似，亦有約略呈現南北對稱之分佈趨勢。只是，在中國大陸沿岸潮汐測站間之半日分潮相位遲角變化率已不如台灣南北兩端海岸所呈現之劇烈變化明顯。

根據以上之分析與討論，對於台灣環島及中國大陸沿岸之潮汐，概要之特性可分別綜合如下：

1. 從宏觀角度著眼，亞洲大陸棚架地形與台灣本島之形狀大小對台灣海峽之潮汐特性具有甚為重要之影響地位。
2. 亞洲大陸棚架緣之存在與其地形長度主控著台灣環島海域潮汐特性之呈現與變化，同樣地，中國大陸沿岸之潮汐特性也受其影響。
3. 在台灣海峽內，即使潮汐特性受亞洲大陸棚架地形所主宰，但全日型主要潮汐分潮之各項潮汐特性並未明顯受其影響。相對地，半日型主要潮汐分潮則完全呈現出大陸棚架地形之效應。
4. 台灣海峽內潮汐所展現之各項特性，可由半日型主要潮汐分潮，如： M_2 、 S_2 及 N_2 等之分潮調和分析常數呈現其代表特性。

四、台灣環島海域海流之水動力模擬

顧名思義，水動力模擬主要係在應用流體水動力理論，以數值模擬計算方式，探討流體之運動(kinematic)與動力(dynamic)特性。在台灣環島海域內，以往

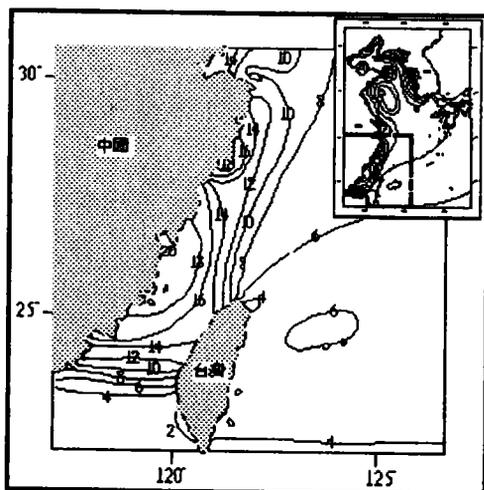


圖 7 台灣環島實測潮汐之潮差分佈(單位：英尺)

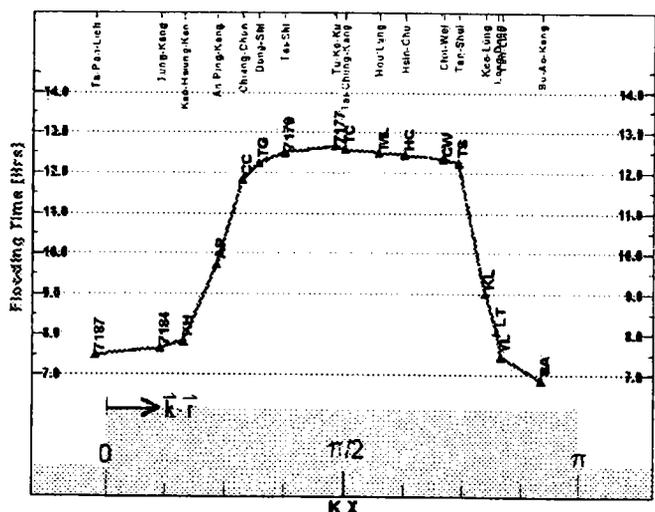


圖 8 台灣環島 1997/6/23 潮汐預報之滿潮時分佈

僅能根據台灣環島潮差與潮時等之實測潮汐特性以研判潮波之運動特性。唯真實之潮波運動特性，實際理論上是應對時空的變化通盤加以考量的。

台灣環島潮汐之實測潮差與預報滿潮時分佈分別如圖 7 及圖 8(Lin et al., 2000a; b)^[8, 9]所示。針對圖 8 之預報滿潮時分佈特性，由於過去一般之研究皆以滿潮時之先後差異判定潮波之運動方向，因此，將產生潮波於台灣海峽中部海域交會之錯覺。而實際上，若忽視圖 7 之實測潮差分佈特性，潮時將僅可用以詮釋局部海域潮位之起伏振盪現象而已(莊文傑, 2000)^[11]。學理上，真實潮波之運動方向應取潮波相位函數之空間梯度表示，如此潮波之運動方向方不致誤判。鑑此，為能清楚洞悉台灣環島海域之潮波運動特性，並整體地考量時間、地形、水深、底床摩擦與渦度效應等之影響，本研究因此引用丹麥水力研究所(DHI: Danish Hydraulic Institute)研發完成之 MIKE21 HD 水動力計算模式，配合韓國、日本、菲律賓及中國大陸等地部分潮汐測站之迴報(Hindcast)資料據以設定邊界條件，進而針對台灣環島海域進行潮汐與潮流數值模擬計算，相關之數值模擬計算結果分別如圖 9、圖 10 及圖 11 所示。經使用台灣環島部分潮汐測站之實測或迴報(Hindcast)資料驗證後，相關數值結果即進一步用以探討台灣環島潮汐與潮流之運動與動力特性。

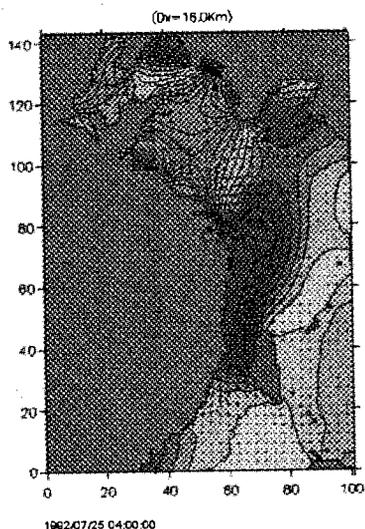


圖 9 台灣環島水動力模擬計算之海域範圍與潮汐振幅分佈

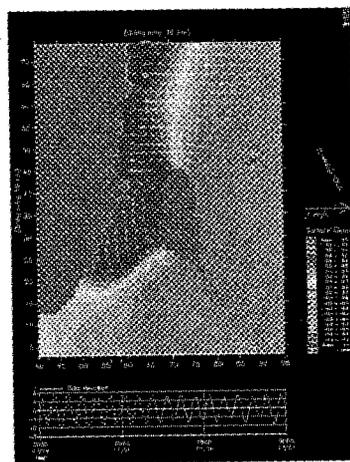


圖 10 台灣環島海域台中港高潮位時計算之潮波振幅與潮流分佈

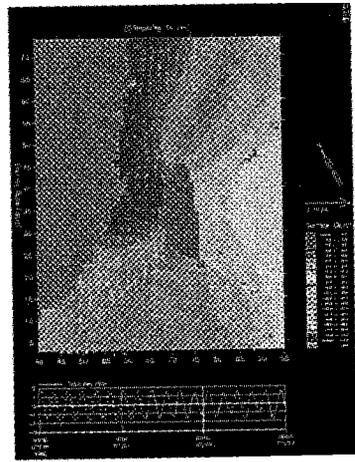


圖 10 台灣環島海域台中港低潮位時計算之潮波振幅與潮流分佈

關於台灣海峽內潮波之運動方向，依據數值模擬計算結果可知，由於潮波在台灣海峽裏呈現振盪之漲退現象，因此若依據等潮位線或滿潮之潮時判斷潮波整體之運動方向極易引致潮波在台灣海峽中部海域匯聚或分離之錯覺。為明確釐清此點，由連續性的潮波運動逐時圖觀察可得，台灣海峽中段水域漲退潮之潮波實際係順中國大陸海岸線單一地由北而南逆時針環繞台灣本島單向運動傳遞。潮波之最大或最低潮位始終保持在中國大陸東部海岸線上，當此單一方向行進之潮波抵達台灣海峽中段海域時，因海峽寬度之限制與陸架地形水深及長度之影響而使

潮波整體之波動，於台灣海峽南、北兩端海域形成形如部分重複駐波波節點(node)及在中段形成如部分重複駐波波腹(anti-node)之振盪波形，如圖 10 及圖 11 所示。

關於台灣海峽內潮流之動力特性，依據數值模擬計算結果可知，不論在台灣海峽之北、中、南水域，最大之潮流流速一般發生於當台中港之潮位為平潮位時。在台灣海峽北端海域，潮流流向隨潮位高低而作逆時鐘方向旋轉之變化，在漲潮期間，最大流速約保持為正西方向；在退潮期間，最大流速約保持為正東方向。在台灣海峽中部海域，其最大及最小流速之變化較不規則，潮流流向隨潮位高低亦作逆時鐘方向旋轉之變化，唯漲潮時段最大流速約為正北方向，退潮時段則轉變為正南方向。在台灣海峽南端海域，潮流流向隨潮位高低作順時鐘方向旋轉之變化，漲潮時段內，最大流速為正北向，退潮時段內，最大流速為正南向。

整體而論，當台中港海域之潮位在漲潮時段，則由低潮位開始，台灣海峽南、北兩端之潮流將分別從陸架緣端外開始流向台灣海峽中部水域，各陸架緣端內流向海峽中段水域之潮流速度於台中港區潮位漲至平潮時刻時達到最大，並於台中港區潮位達到高潮時刻時減到最小，其後，當台中港潮位處於退潮時段，由高潮時刻至平潮位期間，台灣海峽南、北兩端之潮流分別以順時鐘及逆時鐘旋轉方向，潮流轉而自陸架上流向陸架外。流出之潮流速度於台中港水位為平潮位時再次達到最大，而後，隨著台中港區水位逐漸接近低潮位而流出之速度才漸減小。接著再回復至台中港潮位處於漲潮期間之流況，如此週而復始。

五、台灣環島海域潮波特性之有限元素法解析

依據含地轉效應與水深影響因子之頻率領域(frequency-domain)週期性波動緩坡方程式(mild-slope equation) (蔡丁貴，1991^[4]；莊文傑，2000^[1])：

$$\nabla \cdot (PG\nabla\eta) + k^2 PG\eta = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中，P、G 及 k^2 分別定義為 $P = \frac{\sigma}{\lambda}$ ； $G = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2\lambda h}{\sinh 2\lambda h} \right) P$ ； $k^2 = \lambda^2 \left(1 - \frac{f^2}{\sigma^2} \right)$ ， $\sigma = \frac{2\pi}{T}$

表具週期 T 之單頻波動之角頻率； $f = 2\Omega \sin \phi$ 為科氏(Coriolis)地轉參數； $\lambda = \frac{2\pi}{L}$

表具波長 L 之波動之本質(intrinsic)週波數，且 $\sigma^2 = g\lambda \tan \lambda h$ ； g 表重力加速度； η 為單頻波波動 $\zeta(x, y, t)$ 之波動振幅，且 $\zeta = \eta e^{-i\sigma t}$ 。假設波動 η 係線性地由入射波動 η^i 與散射波動(scattering waves) η^s 所組成，亦即

$$\eta = \eta^i + \eta^s \quad \dots\dots\dots (2)$$

則因波動引致之 x 及 y 向之流速 u 及 v ，可簡單地直接以下列方程式表示：

$$u = \frac{gf}{\sigma^2 - f^2} \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{ig\sigma}{\sigma^2 - f^2} \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$v = -\frac{gf}{\sigma^2 - f^2} \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{ig\sigma}{\sigma^2 - f^2} \frac{\partial \eta}{\partial y} \quad \dots\dots\dots (4)$$

選定台灣環島含括中國大陸沿岸複雜海岸地形之計算海域如圖 11，對於不規則之海岸線，應用 $U_n = 0$ 之無滲透性邊界條件， $U_n = \vec{V} \cdot \vec{n}$ ； $\vec{V} = (u, v)$ ，即

$$\frac{\partial \eta}{\partial n} = \frac{f}{f \sin(\theta_n - \theta) + i\sigma \cos(\theta_n - \theta)} \frac{1}{r} \frac{\partial \eta}{\partial \theta} \quad \dots\dots\dots (6)$$

在開放海域邊界上，採用無反射性之局部輻射條件(local radiation condition) (陳柏旭、蔡丁貴, 1990)^[5]，即令散射波(scattering wave) η^s 滿足

$$\frac{\partial \eta^s}{\partial r} - ik\eta^s = 0 \quad \dots\dots\dots (7)$$

且令台灣環島海域之單一特定分潮入射潮波 η^i 為

$$\eta^i = A_0 e^{ik_0 r \cos(\theta - \theta^i)} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中， A_0 表特定單一分潮入射潮波之振幅； θ^i 為潮波自深海入射計算海域其與正 x 軸之逆時針向交角； k_0 為入射分潮潮波在深海處之週波數； r 與 θ 分別為計算海域內特定之極座標位置。進一步使用線性等參數三角形元素，應用葛勒金(Galerkin)有限元素法以建立數值模式。因此，台灣環島附近海域各主要分潮潮波之運動與動力特性即可透過下列線性勁性矩陣(stiffness matrix)方式直接模擬計算並解析：

$$[K] \{\eta\} = \{Q\} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中， $[K]$ 為一非對稱性矩陣。依據式(9)，只要單一分潮潮波之入射角 θ^i 給定，則可使用一般矩陣運算之高斯消去法(Gauss elimination method)將波動變量 $\{\eta\}$ 順利求解。值得注意的是，由於矩陣 $[K]$ 與 $\{Q\}$ 中之元素值皆為複數(complex)型態，因此，矩陣向量 $\{\eta\}$ 經求解後，波動振幅 η 亦是複數(complex)，故而計算領域 Θ 內，各三角元素節點(node)上之波動振幅，可進一步透過尤拉公式(Euler formula)之應用並以其振幅(amplitude)及相位角(phase angle)表示。而後，全計算領域單一分潮潮波之等振幅(iso-amplitude; co-range)及等相位(equi-phase; co-tidal)分佈圖即可據以求得並繪出。

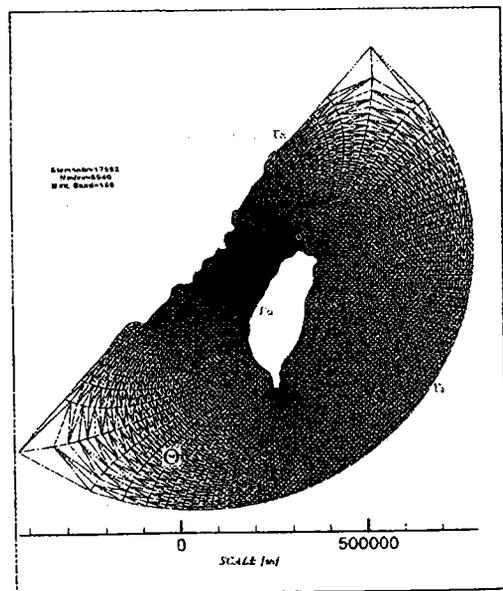


圖 11 台灣環島有限元素法之計算海域與三角形元素網格

經率定台灣環島海域半日型各主要分潮潮波之等振幅及等相位角後，深海潮波入射角(θ')定為 90 度，深海分潮潮波之週波數(k)採用開放海域邊界上之平均水深(\bar{h})為 3,058 米計算。在含括科氏力效應下，台灣環島海域半日型潮波 M_2 分潮之等振幅及等相位角計算結果分別如圖 12 及圖 13 所示。

由圖 12 之計算振幅分佈圖可看出，在台灣海峽中段海域內，中國大陸沿岸之 M_2 分潮計算振幅明顯地較台灣西部海岸大。而且在台灣環島沿岸上，台灣西部海岸之計算振幅亦明顯地大於東部海岸，其放大倍率約為 3.5 倍。相對台灣東北及西南海岸之最小計算振幅而言，其放大倍率約分別達到 8.0 及 5.5 倍。計算振幅之特殊放大特性遠非潮波交會及相關淺化(shoaling)理論所能詮釋。以計算振幅之兩倍代表潮差，則計算振幅之總體分佈特性將與圖 7 所示之東亞地區平均最大半月潮差分佈特性相似。 M_2 分潮之計算潮差將充分展現台灣南、北兩端海域之潮差皆小而中西部海域潮差卻甚大之近似對稱特性。鑑於此特性，順時鐘方向由南而北沿著台灣西海岸，配合圖 13 觀察圖 12，很明顯地可看出，台灣西海岸實際上係由一部分重複駐波(partially standing wave)波形所環繞，而且此駐波之波腹(anti-node)即呈現在台灣中西部接近苗栗、台中一帶之海域；而其波節點(node)則分別呈現在台灣東北部海岸之龍洞至基隆外海與台灣西南部海岸之安平、高雄外海一帶。將計算駐波之節點位置與大陸棚架地形對照，由對照結果可看出，駐波之波節點實際皆約座落在大陸棚架邊緣端上。將此地形與分潮波動之特殊關係與協振盪波(co-oscillation wave)之理論特性(莊文傑, 2000)^[1]相驗證，由驗證結果不僅可確認上述之部分重複駐波波形，更可確認台灣海峽中段水域潮差特別大之原因係緣於協振盪波引起之共振現象(莊文傑, 2000)^[1]。而引起共振現象之狹長矩形渠道之特性長度即約為上述兩節點在台灣海峽南北縱剖面相隔之距離，其距離依圖 12 下方之距離比例尺量度，約為 620 公里左右。恰亦與台灣海峽環繞台灣西海岸之陸架長度(約 650 公里)一致。可見，台灣海峽之陸架地形、水深及特殊之幾何形狀與長、寬尺寸對半日型分潮潮波特性和影響性。

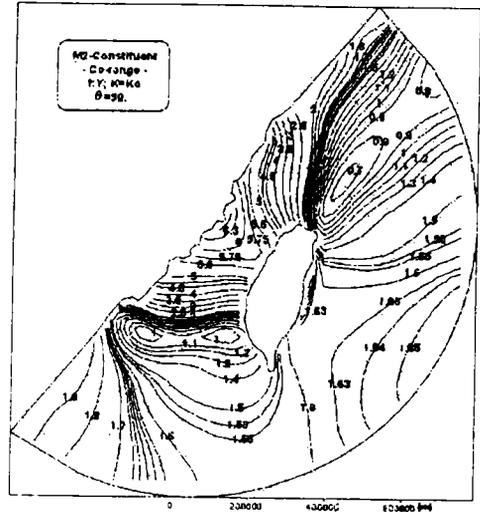


圖 12 台灣環島海域半日型潮波 M_2 分潮之等振幅分佈

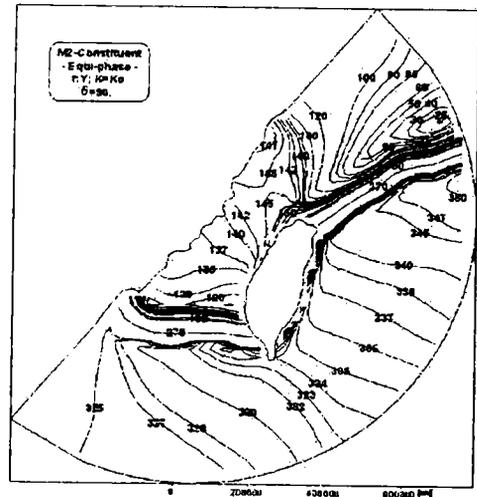


圖 13 台灣環島海域半日型潮波 M_2 分潮之等相位角分佈

對於 M_2 分潮之計算相位角分佈，由圖 13 觀察可看出，在台灣西南部海岸，自蟬廣嘴至安平海域一帶，由於部分重複駐波波節點存在該區段海域上，故其相位角之變化在該區段海域中即約達 200 度左右，換算相當之潮時可約達 6.5 小時以上，將此潮時特性與圖 8 對照比較可知，本計算所得之潮時特性與實際之滿潮時預報結果是相吻合地。類似地潮時變化特性尚可於台灣東北部海域自蘇澳至富貴角外海一帶海域發現。在該區段海域上，相位角約有 160 度之變化，換算相當之潮時可約達 5 小時以上。可見，對台灣中西部海域約具對稱性的之駐波節點，其所呈現之潮時變化亦是約略具對稱性的。此外，由於相位角在駐波節點附近海域通常具急劇變化之特性，故使得潮時在該海域內因而亦呈現大幅度之消耗與延遲(delay)。在圖 13，另一值得注意的現象是，若以計算相位之空間分佈梯度表示分潮波動之傳遞(propagation)方向，則由圖中可明顯地看出，即使深海分潮潮波之入射角為 90 度(由南而北)，但潮波在台灣海峽水域內將確實會由台灣南、北兩端分別進入台灣海峽水域，並於桃園至馬祖、東引連線海域上交會，此現象與傳統上依據潮汐實測資料所作之潮波交會(interference)推論一致，只是交會海域不在台灣海峽中段水域而已。儘管如此，在台灣環島近岸海域， M_2 分潮潮波之計算相位角分佈仍是由 0° 至 360° 近乎完美地以順時鐘方向環繞台灣本島陸地而變化。亦即在台灣環島近岸海域， M_2 分潮潮波係以順時鐘方向環繞台灣本島海岸而運行。此現象依據 Longuet-Higgins (1969)^[10]之理論，可證實 M_2 分潮潮波在台灣環島近岸海域係展現出長週期波動被地形捕陷(trapped)之自然現象。

為探討半日型分潮潮波振幅在台灣海峽中段海域台中港驗潮站之特殊增幅現象，並為驗證半日型分潮潮波之共振(resonance)理論(莊文傑, 2000^[1]; Lin et al., 2000a^[8])，因此，再透過限元素法計算模式，於台灣環島沿岸之不同驗潮站上，針對不同分潮之潮波進行振幅增幅率計算。計算結果如圖 14 所示。觀察圖 14 可知，在台灣環島沿岸，當分潮潮波之週期接近 14.0 小時，則台灣西海岸之分潮潮波振幅增幅率皆普遍達到當地之最大值。其中，最大之振幅增幅率仍發生於台中驗潮站，最高之增幅率達到 16.219。可見，在台灣海峽之特殊陸架地形、水深與海峽幾何形狀及長、寬尺寸之顯著影響下，當分潮潮波之週期接近 14 小時，半日型分潮潮波確實會因協振盪機制而展現共振現象。

台灣環島海域各主要分潮之等振幅及等相位角計算求得後，可依據式(3)及式(4)再對台灣環島海域之分潮流橢圓進行計算。於考量科氏力效應下，台灣環島海

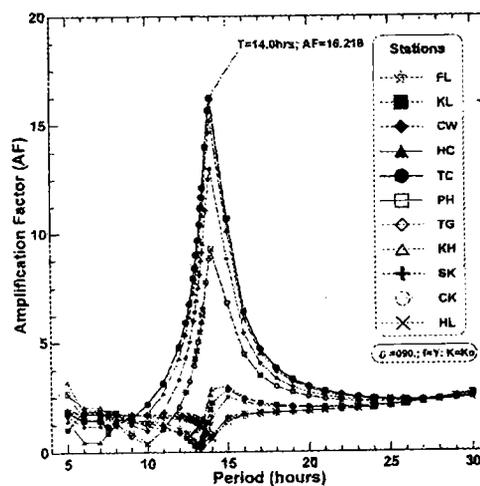


圖 14 台灣環島海域不同驗潮站之分潮潮波振幅增幅率曲線

域半日型 M_2 分潮之分潮流橢圓最大流速分佈圖如圖 15 所示。觀察圖 15 可知，半日型 M_2 分潮之分潮流橢圓其在台灣西南部海域係以順時針方向旋轉；在台灣西北部海域則以逆時針方向旋轉。與大陸棚架地形對照，半日型 M_2 分潮之分潮流橢圓之最大流速於台灣環島海域之大陸棚架地形外，其流速一般皆甚小；在大陸棚架地形內， M_2 分潮流橢圓之最大流速則有明顯之強弱變化，且最大流速之方向對台灣海峽呈對稱型態。最強之流速分別存在於臺灣西北部之淡水海域與臺灣西南部之嘉義、澎湖海域。而且澎湖海域之 M_2 分潮流最大流速稍強於淡水海域。較大分潮流之流速普遍約達二節(knot)或約為 1 m/s 。較弱之 M_2 分潮流橢圓之最大流速則存在於臺灣海峽中段之台中港與烏坵聯線一帶海域。配合圖 12 及圖 13 所示之計算振幅及相位角分佈圖觀察圖 15，由觀察結果亦可知，存在於臺灣西北部、西南部海域之較大流速及臺灣海峽中段之較小流速，實際與臺灣海峽內之部分重複駐波振盪型態有甚為密切之關聯性。定性上，將圖 15 所示之分潮流橢圓最大流速及旋轉特性與劉肖孔(1983)^[11]及詹森等(1999)^[12]計算所得之結果相對照，由對照、比較之結果可知，於臺灣海峽內，整體而論， M_2 分潮流橢圓呈現之特性實際上與潮流橢圓是相一致地。

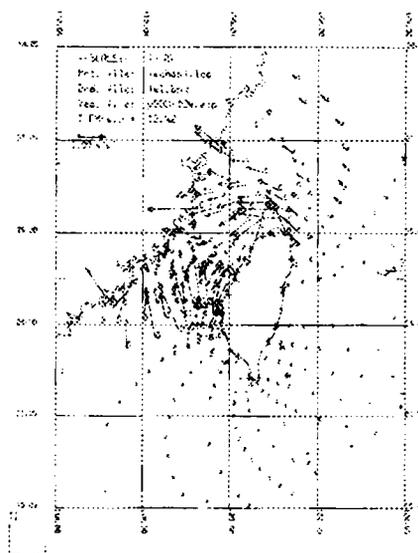


圖 15 台灣環島海域半日型 M_2 分潮之分潮流橢圓

六、結論及建議

本研究依據海軍測量局出版之海圖自行建置台灣環島海域之數位化水深地形，蒐集、整理台灣環島及中國大陸沿岸潮汐之調和分析資料，選用丹麥水力研究所之 MIKE21 HD 水動力數值模式，調整修改國立台灣大學蔡丁貴教授提供之分潮潮波有限元素計算模式，經對台灣環島四周海域之海流進行研究並作計算驗證後，綜合可得結論及建議如下：

1. 台灣海峽中段水域內，半日型主要潮汐分潮之振幅放大率甚為顯著，因此，台灣海峽水域內潮汐所展現之潮差與潮時整體特性，可藉由半日型主要潮汐分潮如： S_2 、 M_2 及 N_2 等之調和分析常數完全代表呈現。此外，在台灣海峽狹長之幾何形狀及特殊長、寬尺寸與陸架地形、水深綜合影響下，依據莊文傑(2000)^[11]採用半日型分潮潮波雙向入射之理論解析結果可證實，當陸架之代表長度(650 公里)約達半日型分潮潮波波長之一半(約 620 公里)時，陸架地形上之潮汐波動將有理論之潮波協振盪共振現象發生，且陸架上之波動係以

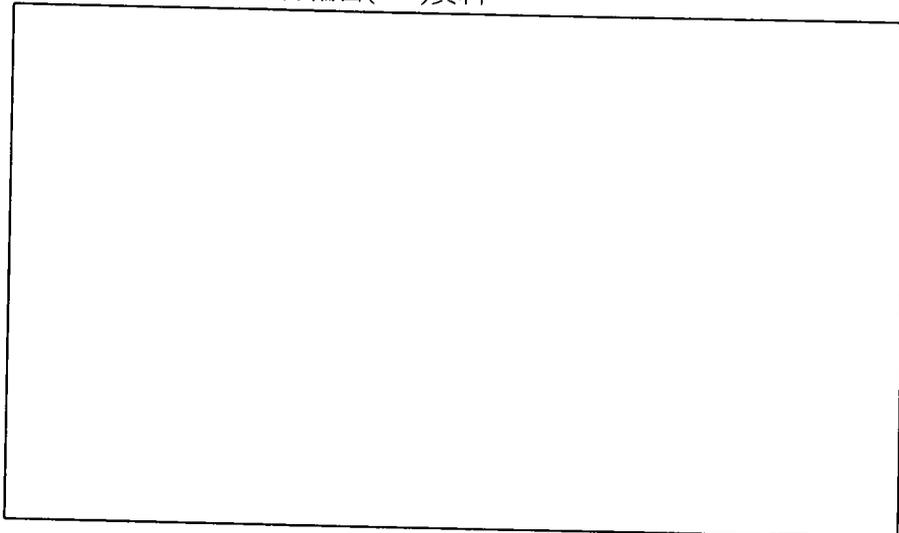
部分重複駐波之波形呈現。也因此造成台灣海峽南、北端海域潮差較小，而中部海域潮差卻特別大之特殊潮汐振盪現象。

2. 經由時變性二維水動力模擬計算結果可清楚地確認，於台灣環島海域，整體潮波之運動方向係以逆時針方向單向環繞台灣本島陸地而行進傳遞。另依據二維水動力潮流流速計算結果亦可得知，在台灣東部海域及台灣海峽中段水域內，潮流流速皆甚小；但在台灣海峽南、北兩端水域，或於大陸棚架內緣，潮流流速皆甚大，尤其，當台中港驗潮站之潮位在乎潮時刻，台灣海峽南、北兩端海域之潮流將呈現當地海域之最大流速。除此之外，台中港海域之潮位尚與台灣海峽南、北兩端海域之潮流流向關係密切，當台中港潮位處於漲潮時刻，則海峽南、北兩端海域之潮流將分別向海峽中段水域流入；反之，由海峽中段分別向海峽南、北兩端水域流出。且隨台中港潮位之漲落，在台灣海峽南、北兩端海域之潮流係分別以順時鐘及逆時鐘方向逐時改變流向。
3. 使用地轉緩坡方程式，應用有限元素法，再結合開放海域局部輻射條件之應用，可有效、準確地計算分潮潮波在台灣環島海域之振幅及相位遲角空間分佈。同時，亦可確認半日型分潮潮波在台灣海峽之南、北縱剖面方向具有部分重複駐波之波動振盪型態，且可清楚地驗證部分重複駐波之波腹點約座落於台灣西岸中部海域，波節點分別座落於台灣東北部及西南部之大陸棚架端緣附近。故造成台灣西岸中部海域潮差大而台灣東北及西南部海域潮差小。此外，潮波在台灣海峽之東、西橫斷面方向則顯現澎卡芮波(Poincare' wave)之振盪型態，因此，造成中國大陸沿岸之潮差普遍大於台灣西海岸。
4. 地轉緩坡有限元素計算模式除可計算台灣環島全平面海域之潮汐調和分析常數外，亦可準確有效地計算台灣環島全平面海域之分潮流橢圓之最大、最小流速與方向。於考量地球自轉之科氏力效應下，尚可準確有效地計算分潮流橢圓之旋轉方向。
5. 為台灣環島海域數值模擬計算之需要，迫切地建議政府應詳細地規劃、辦理台灣環島海域水深及海岸地形調查與量測，並收集台灣相鄰海域之水深與相關之海岸地形資料，藉以建置一標準水深地形資料庫供相關研究參照使用。除此之外，本研究已可將台灣環島海域之潮汐與海流加以計算模擬，但模擬計算後，並無充分且足夠之準確實測資料可供驗證比較。因此，本研究亦誠摯地呼籲政府相關部門與單位，在有限的人力、物力及財力下，可參照本研究相關之數值模擬計算結果，於海象特性明顯呈現特殊性與具差異性之海域(如台灣海峽中段部分重複駐波之波腹點水域及台灣之東北及西南部海岸外之波節點存在水域)作重點調查與量測，俾使總體國家資源得以樽節，海域環境得以掌握，政府效能得以展現，研究水準得以提昇。

參考文獻

- [1] 莊文傑 (2000), 台灣海峽潮波協振盪之研究. 國立台灣大學造船及海洋工程學研究所博士論文, 284 pp.
- [2] 莊文傑、江中權 (2000), 臺灣海峽兩岸之潮汐特性. 第十一屆水利工程研討會論文集, 臺灣大學, 1:15~21.
- [3] DHI (1994), **User guide and reference manual of MIKE 21-coastal hydraulics and oceanography hydrodynamic module**. Danish Hydraulic Institute.
- [4] Tsay, T.K. (1991), Linear surface waves over rotating fluids. *J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 117(2): 156-171.
- [5] 陳柏旭、蔡丁貴 (1990), 局部輻射邊界條件在水波數值模式上之應用. 中華民國第十二屆海洋工程研討會論文集, 1-18.
- [6] Juang, W.J., T.K. Tsay and M.C. Lin (2000), Tidal predictions using a frequency-domain model. *Proc.-Ocean 2nd Int. Ocean and Atmosphere Conf., COAA-2000, Taipei*, 235~240.
- [7] Tsay, T.K., W.J. Juang and M.C. Lin (2000), Tidal predictions around Taiwan. *Proc. 4th Workshop on Ocean Models for the APEC Region (WOM-4)*, OMISAR, APEC, Tainan, pp.12-1~20.
- [8] Lin, M.C., Juang, W.J. and T.K. Tsay (2000a): Anomalous amplification of semidiurnal tides along the western coast of Taiwan. *Ocean Engineering*, to appear.
- [9] Lin, M.C., Juang, W.J. and T.K. Tsay (2000b): Applications of the mild-slope equation to tidal computation in the Taiwan Strait. *J. Oceanography*, 56(6): 625-642.
- [10] Louguet-Higgins, M.S. (1969), On the trapping of long-period waves round islands. *J. Fluid Mech.*, 37(4): 773-784.
- [11] 劉肖孔 (1983), 中國海域三度空間數值模式. 行政院科技顧問組. 156 pp.
- [12] 詹森、邱朝聰、連榮慧 (1999), 海科中心台灣海峽海況即時預報模式第二年--潮汐、潮流數值模擬結果之驗證. 台灣海峽海況即時預報模式計畫(TSNOW)研討會論文摘要集. 國家海洋科學研究中心, 22-33.

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料



八十九年度港灣技術研究中心基本研究計畫成果論文集

編者：單誠基、馬維倫

出版機關：交通部運輸研究所港灣技術研究中心

地址：台中縣梧棲鎮中橫十路二號

網址：www.ihmt.gov.tw

電話：(04)6564216

出版年月：中華民國八十九年十二月

印刷者：高源印刷股份有限公司

電話：台中市大河街 53 號

地址：(04)23115697

版(刷)次冊數：初版一刷 250 冊

工本費：500

展售處：

交通部運輸研究所港灣技術研究中心 電話：(04)6564216

ISBN：957-02-7609-6

GPN：009254890310