

導報灣港



季刊 No. 47

要目

❖ 省政不打烊・施政不中斷

——趙主席守博就職致辭全文

❖ 走過海岸四十年

❖ 衛星影像在海流特性之驗證應用

❖ 簡介丹麥海事研究所

❖ 環氧樹脂塗裝鋼筋之施工特性

❖ 布袋港海埔地填土之沉陷分析

❖ 電化學去鹽法之探討

中華民國八十八年元月出版

台灣省政府交通處台灣技術研究所

省政不打烊・施政不中斷

——趙主席守博就職致辭全文

今天，守博以及江副主席、全體省府委員暨陳秘書長就職，承蒙 院長親自前來主持佈達並監誓，各位貴賓、長輩、鄉親和同仁蒞臨觀禮、鼓勵，內心至感榮幸。謹此表達最誠摯的感謝之意。

「臺灣省政府功能業務與組織調整暫行條例」於今天正式生效施行。省政府功能業務與組織的調整，是我們啓動國家整體政府再造工程的第一步，是政府再造工程的火車頭。任務充滿挑戰也具有關鍵性的影響。總統與院長將主持此一工程的重責大任，交付給我，首先我要感謝 總統和 院長對我的期許、厚愛和信賴。我一定全力以赴。我更誠懇盼望所有省府同仁，大家開誠佈公、精誠團結、攜手同心一起來完成此一具有深刻歷史意義的使命，大家共同來充當並做好推動政府再造、強化行政效能和提升國家競爭力的參與者、見證者和貢獻者。

從今天開始，臺灣省政府的功能、地位和組織，進入了一個新的階段，在此省府改制重新出發的新舊交替時刻，我特別要對光復以來所有在歷任省主席領導下為省政建設奉獻過心力的先進和同仁們，表達我無限的欽佩；他們的辛勞、努力和貢獻是締造臺灣奇蹟、成就現在中華民國進步繁榮的重要動力。而過去近五年多來，省政府在宋省長的帶領下積極推動各項建設的優異表現，我也要表示個人的敬意。

精省政策是國家的一項重大創新和改革，它的發動和決定，靠的是大刀闊斧的魄力與決心；現在要具體落實此一重大的改革，則應憑藉小針密縫的耐力和細心。因此，我將以臨深履薄的心情，來面對我的新任務。今後，省政的推動和省府功能業務與組織的調整，我將多聽取省府同仁的意見和心聲，多與行政院相關部會及考試院協調溝通，也多尊重縣市地方的看法。務期以平和漸進的方法，順利達成 李總統所提示的「提高政府行政效率、創造人民更大福祉」的政府再造的終極目標。

在此，我要重申維護省府員工同仁權益的堅定立場。李總統、連副總統及蕭院長都一再表示，在精省作業中，要盡一切力量來確保省府同仁合法、合理的工作權益。我將秉持此一原則，並依據「臺灣省政府功能業務與組織調整暫行條例」有關保障員工權益的規定，來推動精省的工作。省府同仁是國家寶貴的行政人力資源，一定會受到應有的珍惜和重視，在未來省府組織、功能業務調整的過程中，也一定會獲得妥適的安置和運用。我深信，經

過調整之後，大家繼續在工作崗位上努力奉獻，一定可以在個人事業的發展上，峰迴路轉、柳暗花明，再創亮麗的第二春。

從今天開始，政府再造的列車，就要在省府正式啟動，從今天起的省府，就像是一部要重新自我改造，而同時又必須繼續向前開動行駛的車輛。因此，應該繼續推動的省政建設，一定不可中斷。省府所有既定的施政方針和預算，尤其是涉及人民福祉和安全的施政，我都要和省府同仁按原定計劃時程推動，更要配合行政院「政府再造」、「經濟振興及升級」及「社會重建」的三大施政主軸，結合地方，在行政院的領導下，共同為邁向國家全面現代化而努力、奮鬥。

民國六十五年，我以一個三十出頭的青年，受到當時省主席 謝東閔先生的拔擢，進入省政府服務，一直到七十六年方始離開到中央。我的青春歲月可以說是大多是在省府度過的。對於省政府的一人一事、一草一木，我都懷有深厚的感情。這次奉派再回省府服務，能夠與老朋友、老同事再度共事，自然感到欣慰。不過，許多當年一起為省政工作打拼奮鬥的同事、朋友，有的已不在人間、有的則已退休。而我也已逾知天命之年，不再是當時最年輕的廳處長了，再想到我此次所擔負的任務性質和它的嚴肅性、重要性，此刻我內心真是百感交集。我衷心懇求 院長、中央相關部會首長和同仁、各位地方首長、各位鄉親、友好、長輩、先進，特別是全體省府工作同仁，今後多給我指導、支持，讓我及省府同仁可以共同合作，完成我們所擔負的使命和任務。

最後，敬祝大家新年快樂、萬事如意，謝謝。

走過海岸四十年

郭金棟 國立成功大學教授

一、與海岸結緣

很幸運的因為年齡稍長，故得以趕上海岸工程這門學科發軔不久在台灣開始萌芽的列車。時值湯麟武教授任職於基隆港務局台中港施工所主任兼成大土木系講師，委託成大土木系辦理台中港水工模型試驗，47年我初返學校當助教有幸參與這項工作，自試驗水槽及水池施工開始就參與試驗工作。這項試驗由戴英本教授主持，在其指導下本校與台中港派來的人員共同做有潮差的安定斷面試驗，以玻璃紙貼在水槽側面定時描繪斷面變化。不久（48年）日本港灣研究所井島武士博士（後轉任九州大學教授）與高橋智晴技師應邀來成大指導試驗，我因略諳日語擔任翻譯，初涉這門學問一無所知，心虛之餘拼命瀏覽文獻，因緣際會與海岸工程結緣。當時台灣貧窮落後，相關資訊鳳毛麟角，一本美國工兵團的報告複印照片奉如珍寶，能有日文翻譯的美國海岸工程研究報告更如獲至寶。此時期除一些工程案例之外論文多屬於波浪理論與實驗的比較以及碎

波的問題。這時台灣為解決人口與糧食的壓力以及安頓退伍軍人推動海埔地開墾事業，先則由台大金城教授主持新竹海埔地開發由黃彩芳工程師協助，繼之成立台灣省海埔地開發委員會（後來改稱土地資源委員會）開發塢埔、王功、曾文、台西等處海埔地做為農牧漁業用。海埔地的圍堤是參考日本圍墾海堤採用1:6卵石堤，堤線設於+1.0m等深線。為決定堤高得做潮升試驗，乃以改變水位及堤坡以霓虹燈管測定潮升高，得到很完整的資料。因為台灣西海岸坡度平緩所以我就利用水槽空擋以1/80坡度做為海岸坡度試驗碎波。經過這些磨練使得我有機會吸收海岸工程的知識，訓練自己能獨當一面從試驗籌劃到資料分析寫報告等等。這時（49年）科學發展委員會成立（國科會前身）開始獎助研究，我以助教身份申請竟獲獎助每月400元，對生活不無幫忙（當時薪水僅五百餘元台幣約為十二美元）。

民國五十二年很幸運的獲得國科會獎助留職留薪赴日進修二年，進入日本東京大學大學院（相當於

我國研究所)土木科，拜日本水理學泰斗本間仁(Homma Masashi)教授為師，並由堀川清司(Horikawa Kiyoshi)副教授共同指導，並請井島博士做身份保證人(外國人住日均需由日人保證)。平常除上課之外，每週六下午研究室研究生再加些校外有志一同舉行「輪講」即是我們的專題討論，相互研讀重要論文或書本，透過這種討論發現新問題並吸收新知識，對日後的研究幫助不少。我的碩士論文是「碎波後波形變化之研究」(如圖-1)，事實上我在台灣就已做完緩坡的試驗，在日本補了陡坡及水平底試驗和做些理論上的詮釋，這時Hinz的Turbulence乙書給我不少啓示。

民國五十四年底回國後執教之餘，為配合七股鹽田開發時常與助教揆立體照相波浪觀測儀坐竹筏至馬沙溝砂洲觀測波浪，同時利用水槽著手淺海風浪的實驗，這時第一代電腦出現不久正好做此波浪能譜的計算。當時波形是用筆式示波儀記錄後由內人帶鄰居二人讀數記錄於電腦程序表格紙上，再送交電腦室打卡計算，一能譜曲線約30cm紙盒一箱，等一星期才有結果頗費工程，非今日即時計算所可想像，科學進步之神速可見一斑。

民國五十七年又獲得第二次出國進修機會(國科會第二次獎助出國進修第一人)，便以淺海風浪做為研究題目探討波譜特性(如圖-2、3)、有義波發達以及統計特性，想出以條件分佈修正 Longest-

Higgins的Rayleigh分佈的方法。不久Goda提出更合理之模式解釋淺海風浪波高統計比，Thorton & Guza (1984)推舉為四大模式之一(如圖-4)。公費留學只給一年，多留半年後不得不回國，以後利用寒暑假來回於日台間，於六十一年完成學位。這中間曾遇中美與中日斷交差一點就留在日本執教。有關淺海風浪的研究成果於63年獲得徐氏基金會科學獎。

從Sverdrup-Munk研究海洋波浪至今已歷半世紀，我們從對海洋波浪一無所知至今天能預報全球海浪，先人貢獻不少但未明之處仍多，似乎也沒有比L-H更好的波浪統計模式出現，風浪的非線性成長與碎波能損也還沒有很合宜的解釋，有待後進繼續研究之處還不少。

二、參與海堤建設到海灘保護

六十年代的台灣提倡客廳即工廠，家家努力手工業加工爭取外匯，經濟略有起色但民生仍然凋敝，被驅出聯合國風雨飄搖，再加颱風肆虐災害連連人心惶惶，61年行政院推動加速農村建設計畫積極修建海堤保護沿海漁村，應水利局海堤規劃總隊長許時雄之邀到海岸各地勘查。此時雲林縣沿海排水極為不良經年浸水衛生甚差，再加海邊路小非吉普車無法行進，環境惡劣正如鄭豐喜的「汪洋中的一條船」書中所寫，農民吃的是爛蕃薯，住的是竹厝，豬鴨在村裡與人一齊生活

的農村。當時塭豐海堤興建次年即發生嚴重越波，後因欲加高經測量才發現地層下陷，這時鰻魚及草蝦養殖業正迅速在南部沿海發展，成為外匯主要來源之一。當時已發現抽地下導致地層下陷，我們雖提出一些建議可惜政府沒有魄力實施，坐視事態擴大到中西部沿海迄今束手無策，成為西南部沿海淹水災害之主因。

在六十年以前台灣的海堤除海埔地圍堤之外，僅有枋寮、紅毛港及蚵子寮三處建有混凝土反波式海堤（如圖-5），總長不過三、四百米；在中西部沿海多屬紅磚串成外坡或粘土堤簡陋不堪，每遇颱風大浪即潰堤，所幸海邊作物經濟價值不高，潰堤損失不大。六十年代設計的海堤都是漿砌卵石堤僅能禦潮不克防浪，今日視之仍屬簡陋不合海岸保護之原則，但以當時經濟條件已屬不易，而當時除上述三處之外尚無海灘侵蝕問題，海堤堤址都離灘線相當距離，不料二十餘年後建在陸地的碉堡已盡沒入海中，海堤前的砂灘亦多已消失不見了。由於侵蝕日漸嚴重，台灣的經濟也顯著改善有餘力興建其他型式的保護工，65年八里興建了四座拋石突堤，75年以後慢慢出現了消波堤、離岸堤和突堤等。由於參與海堤整建工作使得我後來做了些有關溯升、越波的統計特性以及有關離岸堤與突堤防侵功能的試驗研究。從實驗和現場觀察離岸堤以及突堤興建後的海灘變化不難了解，這種工法都

會完全或部份阻擋沿岸漂砂（如圖-6），而使其鄰近海岸發生變化，只不過是把病轉移到他處，如何調整這些堤長、堤距、開口寬？應阻擋多少漂砂才合理？考驗個人的智慧頗難定奪，更非一般所想像堤一做便了，似乎已盡了海岸保護的責任了，後續的如何不影響整體的海岸安定才難呢？而國外最近已以統計手法決定海堤設計函數，惜台灣卻還停留在決定性階段有待迎頭趕上，無可避免的來日必需以柔性工法代替硬性工法。

如各位讀者所知海灘不但有消能防災與淨化水質的作用，在生態及海洋景觀上都有存在的意義。不論台灣海岸侵蝕的原因是來自自然或人為，海灘寬度普遍消失是不爭的事實，不能不採取有效的對策。這些防止侵蝕的方法如建設硬性的海堤、護岸、離岸堤及突堤等都難免不損及海岸景觀而為若干人士詬病，值得我們設法改革研究替代方案。養灘固然是方法之一但在東部海岸有其實際的困難條件存在，人工灘恐不易保存。潛堤也許是方法之一，但在陡坡海岸離岸距離不足之處，也許需二道潛堤用以消浪並防止海灘流失（如圖-7），如此再配合養灘也許可達到保護的目的。如果非得用離岸堤或突堤等在造形及景觀上亦有改進之餘地，工程師已經必需與景觀專家與生態專家合作的時代了。

局部性海岸侵蝕固然可以保護工防治，但台灣海岸已面臨全面性

海岸侵蝕，惟有從流域土砂管理謀求整體海岸輸砂平衡才是治本之道。

三、漁港建設不比商港容易

民國六十二年應羅雲平老師之邀，借調中興大學土木系服務即得榮工處齊寶錚主任之支援興建一座水池，舉行沉箱由海灘拖進海中之模型試驗，另由台中港章家築處長委託做台中港波浪預測方法。這時常與漁業局及漁技社主管到各地考察漁港，來回於東、西部海岸共思漁港改善之策。在經費有限下防波堤僅能延伸至水深於2、3公尺之情況下，要興建穩靜又不淤塞的漁港在技術上要比大商港難的多。台東成功漁港（舊名新港）是早在日本時代就有的東部唯一漁港，平常泊船無虞，但遇颱風反需駛出避走花蓮或加路蘭港（現名富岡港43年實習時來此）或逃到最裡面的港池，以木板當閘門封池擋浪，經水工試驗以二座十公尺長FC沉箱放置於舊防波堤頭後獲得顯著改善，不數年漁船擁擠港池面積不足乃於北側挖土擴建因應。石梯漁港亦因規模小且在絕壁之下，波浪一來港內波浪反射增幅漁船必需迴避，乃建議改變港口位置延長防波堤後穩靜度改善，以後陸續擴大而具今日規模。東港漁港以鮑魚輸出日本聞名，但泊地狹窄擁擠不堪又苦無腹地乃建議另闢碼頭於東港溪岸提供小琉球客輪碼頭，今日思之對水流不無阻礙深感罪過。當時雲林縣苦無漁

港，地方提出興建箔子寮漁港之議，但大家都說漂砂無法克服持不樂觀意見，我認為外海砂洲可使內側波浪減衰，且底質粘土成份甚高底床結實不易被波浪驅動，輸砂以懸移質為主，以理論計算印證港口維持應不難幸而押中，以後箔子寮漁港擴建再三成為西海岸主要漁港之一。將軍漁港及青山漁港都以將軍溪口為共同航道時常被河口砂洲阻塞，為維持航路先後做了二道導流堤卻依然不能解決，因那時王爺汕洲內之潮流退潮時攜帶多量輸砂淤積於潮口，復因將軍溪輸砂交互作用潮口甚不安定漁船常常觸底傾覆。為一勞永逸計我建議移至青山砂洲上，並向七股鹽場爭取撥用土地另闢完整之新港即今日之中心漁港，惜建港工程已歷八年尚未完成啓用。大武漁港乃38年為安置大陳撤退漁民由時任高雄港總工程師閻振興校長所選定，興建不久即港口淤塞防波堤為兇浪破壞。鑒於台東海岸自卑南溪以南至春半島無港可避風，且附近外海有湧升流蘊藏有豐富之魚場確有興建漁港必要，經二次修建卻依然為東海岸豐富的漂砂所困與颱風破壞。感於地方熱忱乃做試驗協助建港，卻因防波堤長度不足以完全遏阻漂砂，一次颱風漂砂竟因越波同時被帶入港池的砂淤積，克正再度試驗希望找出解決方案克服漂砂。阻止漂砂不難只要把防波堤再延長必能克服，但勢必引起下游南側海岸之嚴重侵蝕，理應盡量縮短防波堤長或另以土砂側

渡才是克服港口淤積又不致於引起下游侵蝕的方法。

台灣的漁港由日治時代的個位數發展至今日已有 229 處多如停車場，的確給漁民提供了方便與安全，但因數量過多反而功能無法普遍提升。早年受限於經費工程品質不良且年代已久材料老化，許多漁港已老朽殘破不堪亟待改善。近年來因經濟發展與社會的變遷漁獲減少使得漁港必需轉型與海洋休憩與觀光相結合。漁港的存在無非在提升漁民生活，今後更需與漁村建設配合改善漁村環境才能提升漁民福祉與生活品質。

四、七十年代海岸工程蓬勃發展

六十年代以前台灣從事海岸工程研究者寥寥可數，更無技術交流之場合，乃不自量力的與二三好友於六十五年創辦海岸工程研討會於劍潭舉行，那時僅有 18 篇論文發表內容膚淺但參加者踴躍逾百人，辦理二屆之後由海洋工程研討會接手。64 年土木水利工程師學會理事長由嚴孝章先生擔任先後成立各種專門委員會，理事會通過我擔任海岸工程主任委員並由嚴理事長召見告知，盧衍祺教授等亦再三鼓勵出任，但我以不能違背學術倫理應先徵求前輩意願後才敢出任謙辭。六十六年因略有表現，學會頒發工程獎章誠乃個人殊榮。

六十年代末留學國外的後起之秀先後回國服務分散於各大學執教

，海岸工程蓬勃發展人才輩出，現在論文集早已超過百篇了。七十年也曾與顏清連、王燦汶教授等談論舉辦水利工程論文研討會之可行性，但大家都卻步不前，乃毅然自告奮勇由我開鑼，如成功以後有人接辦最好，不然就由成大繼續籌辦，所幸第一屆參加者非常踴躍逾百餘人，第二屆就由台大接棒以後陸續由各校接辦延續至今。學術研討會不論於促進學術交流與增進同好私誼上都是甚具意義的活動。台灣研究海岸工程的學者在四十年來由零增加到近百位，研究群頗為堅強優秀，研究領域亦普及於各相關層面，今後盼望能更百尺竿頭深入研究各項海岸工程問題，乃至海岸管理問題，研究時能時時以回饋鄉土為念，更進而創造新理論新觀念發揮於國際。

五、漂砂與海岸線變遷

波浪只是作用於海岸的最主要外力，這些外力作用於結構物及海床所產生的相互作用衍生現象之量測與解釋就複雜不容易。就以波浪引起的輸砂而言，目前都仿照定量流做解釋，而輸砂量的量測技術一直難於有效突破，不論在實驗室與現場都未能正確把握。捕砂儀器設計不當當然無法捕捉正確輸砂量，設置不當亦能使捕砂量產生明顯的不同，以至量測值產生極大的散亂，我們不難從輸砂函數圖上看到常有十位數的差異值出現。量測不易準確之外，另一困難為淺水及碎波

帶內之流速公式與實際流速差異問題，爲了方便起見通常以線性淺水波流速表示，但實際上非但非線性強烈亦有回流及邊界層存在，所以表示水流強度之無因次函數所代表之意義就極爲曖昧。也許以追蹤劑量測輸砂運動可避免捕砂器所遇到的一些問題，但以放射性同位素（RI）或螢光砂量測砂粒移動速度及分佈仍然不易掌握其移動狀態。砂粒移動在波浪反復作用下，每次移動距離及砂粒湮埋到低層再或不再出現於表層等機率問題，並非我們想像中簡單（如圖-8），就以含量移動言也頗難定出濃度移動速度，在速度、濃度與厚度不易掌握下輸砂量計算就難正確。

民國七十八年接到了行政院科技顧問小組的委託計畫，使得我很幸運的有機會研究台灣海岸線的變遷，去從事海岸考古的工作。17世紀荷蘭人測量台灣海岸所留下來的地圖和清朝的山水畫式的地圖雖然很寶貴，但這些地圖因比例尺太小或只限於局部海岸，對台灣整個海岸變遷無助益，但對台南附近局部海岸變化極有價值。明治37年（1904）由台灣總督府測繪出版之1/25,000台灣堡圖可說是高精度最早的一份台灣地形圖，雖難免有些導線測量引起的誤差。此後於大正、昭和時代陸續有加測修訂，再加光復後歷次出版的地形圖以及航照圖就成爲比較海岸線變化數位化的基本圖。很遺憾的是這些地形圖可能基於軍事機密高雄縣市及屏東部

份地區的地形圖遺失，雖也曾到日本國會圖書館及拜託友人找均未尋獲。此後又由陳文俊副教授協助利用衛星遙測補充近數年的資料，雖在解析度及潮位校正之限制在精度上不無不盡滿意之處，但大體已了解到台灣海岸由成長漸走入衰退的過程，不得不感嘆沿岸砂洲浮沉移動變化之迅速（如圖-9）與海岸侵蝕之嚴重性，從直昇機上鳥瞰到處海堤、離岸堤及突堤圍繞海岸，真是怵目驚心。

過去從事研究只見樹不見林，只在芝麻小事上打轉，在參與許多校外會議後慢慢感受學者的無力感與學識基礎之淺薄。小問題之解決固然有賴學者專精之學識與研究尋求答案，但大問題之解決則必需仰賴政府正確之施政方針，如何去引導政府擬訂具有先驅性而正確的政策，比做理論分析與實驗可能更重要。最近幾年得到若干委託研究計畫，如水資源科技發展規劃、海岸溢淹防災研究、海岸開發環評方法及海岸地區之永續發展計畫等，讓我能有機會吸收較廣泛的知識，從較宏觀的思考整體性問題，更深感到自己知識之不足與思維的淺薄。

六、與大地和平共處重塑美麗的海岸

阿里山上的林木如果在日治時代沒有被砍伐而保存下來，她的風景與森林資源不知比今日美麗多少？五十年前爲了換取外匯充實公庫砍盡伐絕了台灣森林，二十年來又

爲了賺錢濫墾山坡地，導致水災、土石流與山崩頻發，輿論都強烈呼籲制止濫墾山坡地加強水土保持。學森林的從砍伐森林的經驗學習到保育與經營工作的重要性，不僅不再開發森林克正全力投入森林復育與保護工作中。台灣的海岸正如同五十年前的森林一樣面臨大規模開發的命運，學海岸者也積極幫忙大規模海岸濫開發供大企業之用。小規模合理謹慎的海岸開發與開發回饋(mitigation)正如同森林經營的小規模伐栽與復植，對海岸衝擊較小或許可恢復。我們需要海岸，但卻破壞海岸摧毀海岸，忘了海岸在防災、生態、景觀上的重要性，忽略了海岸保護工作，難道是我們學海岸者的無知與短視？或者是開發的誘惑太大？研究科技的目的在提高人類活動的效率、改善生活環境提升社會福祉，如果我們的成果被用於不利的方向恐非我們研究的初衷。我們應有智慧的經營利用海岸，而不是使海灘隨海岸利用而消失

！我們應尊重自然環境，學習與自然共存共榮，依循海岸的自然循環規律重新思考順應自然的理念與方法，研究相關的技術創造理想的海岸環境，相信大家的努力下必能爲台灣海岸建立新貌，重現美麗的福爾摩沙。

致 謝

四十年來由於許多師長與長輩的提掖，水利、土木界先進及朋友的協助與愛護，賜給我許多學習的機會，得能參與各項海岸與水利工程相關工作，獲得許多寶貴的經驗，在那海岸管制森嚴的時代就有機會到各地海岸走動，由實地觀察了解實際現象，思考問題之根源，研究發生機制試驗應對之方法，使得學能致用，深感比任何人都幸福與榮幸。蹉跎四十年未盡努力善用時光一無所成，而歲月不與已屆鞠躬下台之齡。謹懷無限感激與感恩之心走向明日，但願仍有機會繼續走另外四十年我所關懷的台灣海岸。

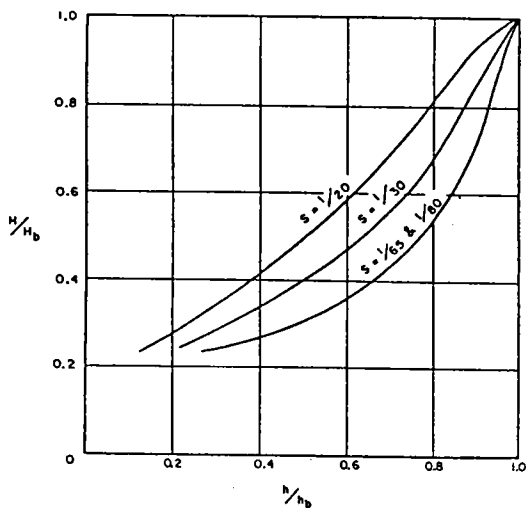
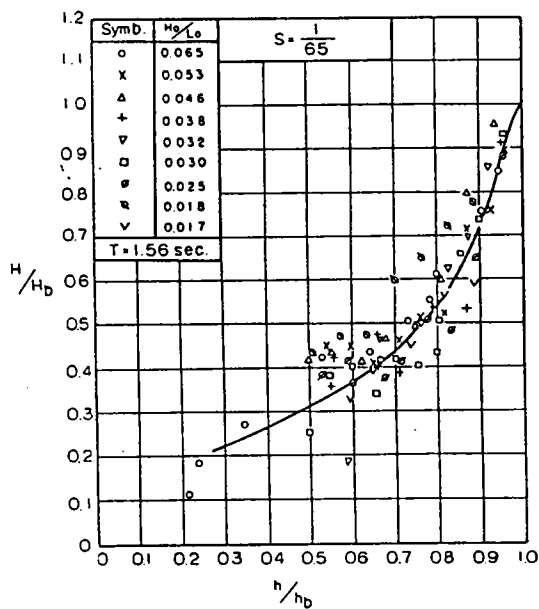


圖-1 碎波後波高變化

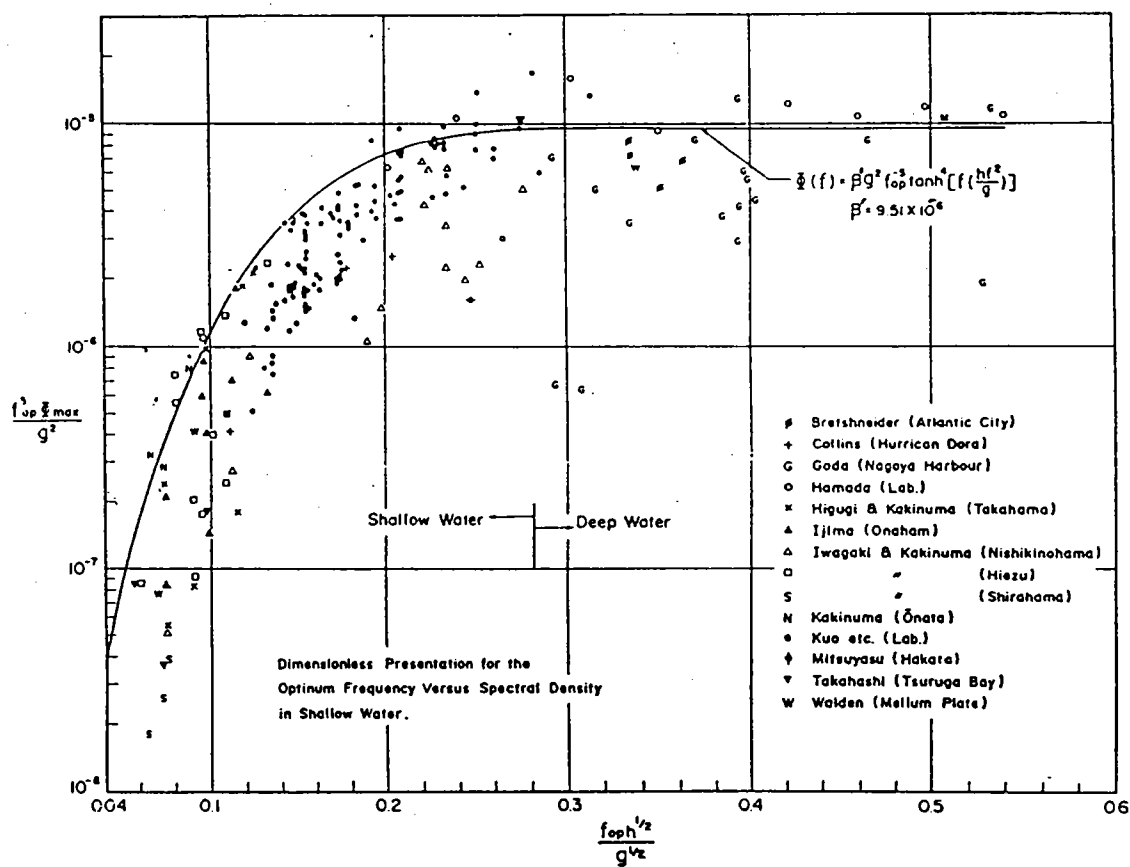


圖-2 淺海波譜主頻能量

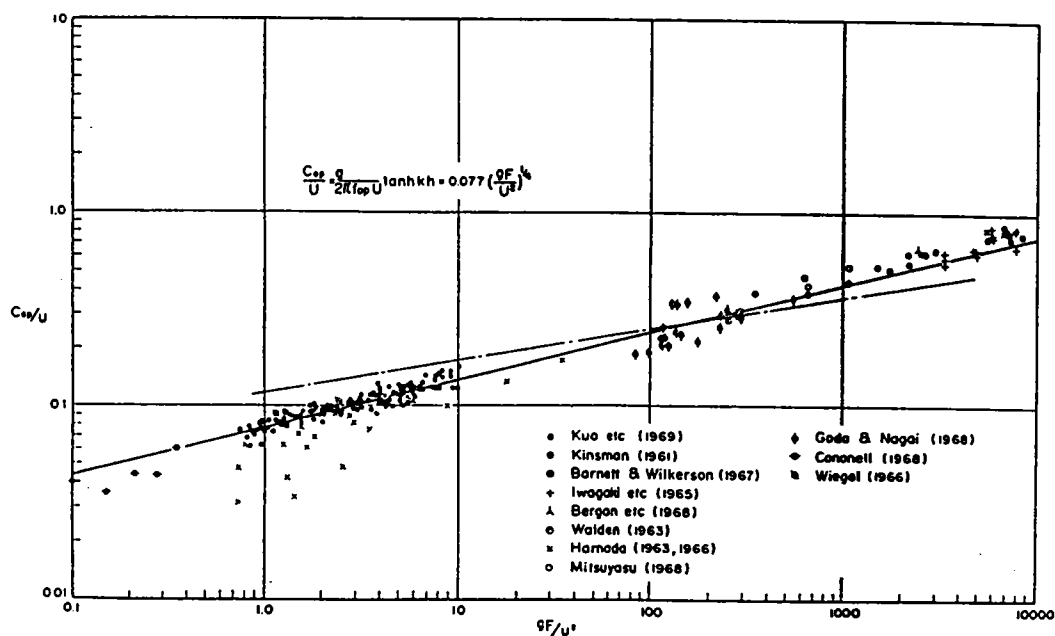


圖-3 主頻與風域關係

AUTHOR	DISTRIBUTION	SHOALING	BREAKER CRITERIA
COLLINS (1970)		LINEAR	$\frac{H_b}{H_d} = 0.76 \beta^{1/2} (H_d/L_d)^{-1/4}$ (AFTER LEMENHAUTE AND KOH, 1967)
BATTJES (1972)		LINEAR	$H_b = \frac{0.88}{k} \tanh \left(\frac{\gamma}{0.88} kh \right)$
KUO and KUO (1974)		LINEAR	$H_b = 0.63h$
GODA (1975)		NONLINEAR (SHUTO, 1974)	$\frac{H_b}{H_d} = A \frac{L_d}{H_d} \left\{ 1 - \exp \left[-1.5 \frac{h}{H_d} \frac{H_d}{L_d} (1 + \kappa \tan^p \beta) \right] \right\}$ (AFTER GODA, 1975)

圖-4 淺海波高分佈模式

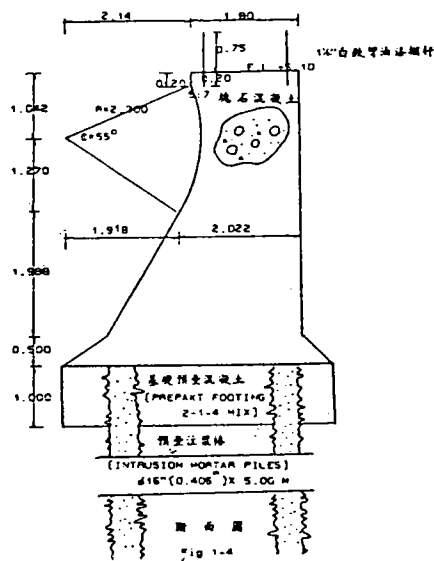
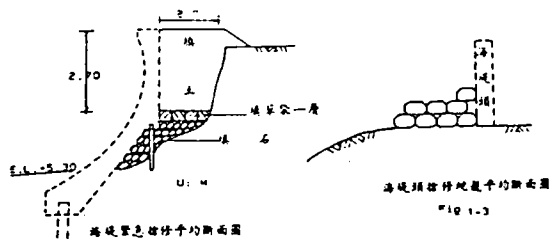
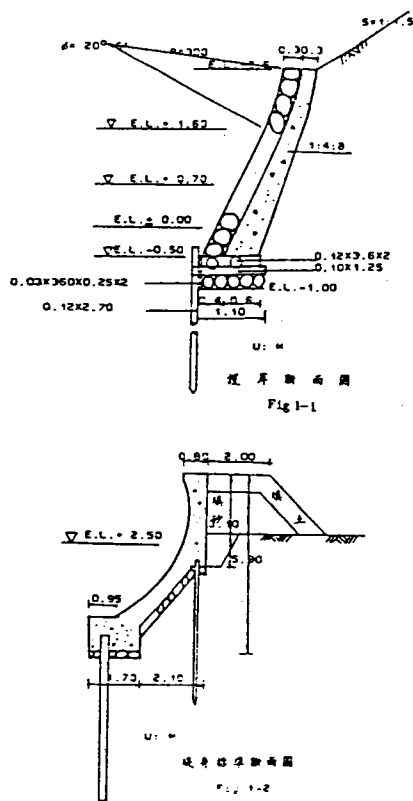


圖-5 蚵子寮海堤

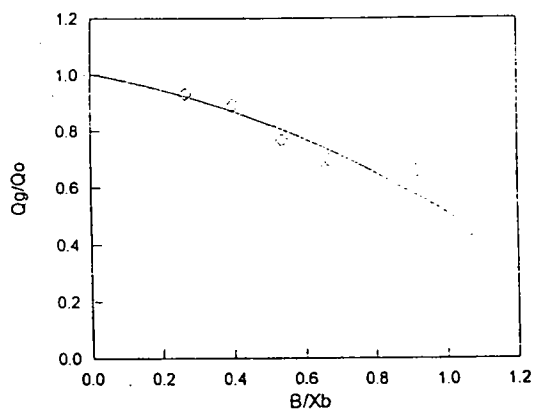


圖-6 突堤阻砂率與堤長關係

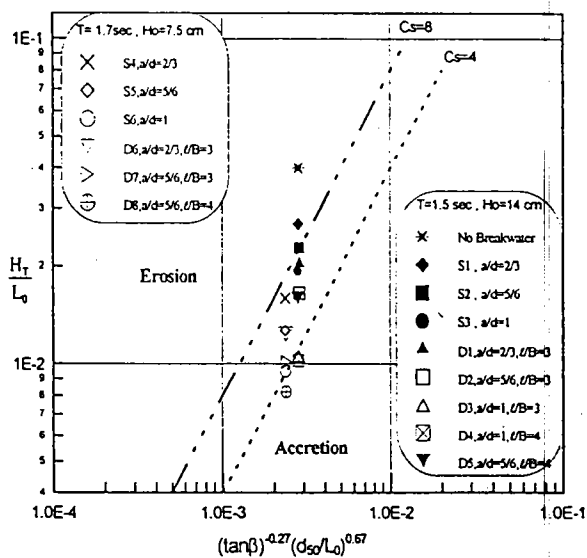


圖-7 單、雙潛堤對海灘侵淤之影響

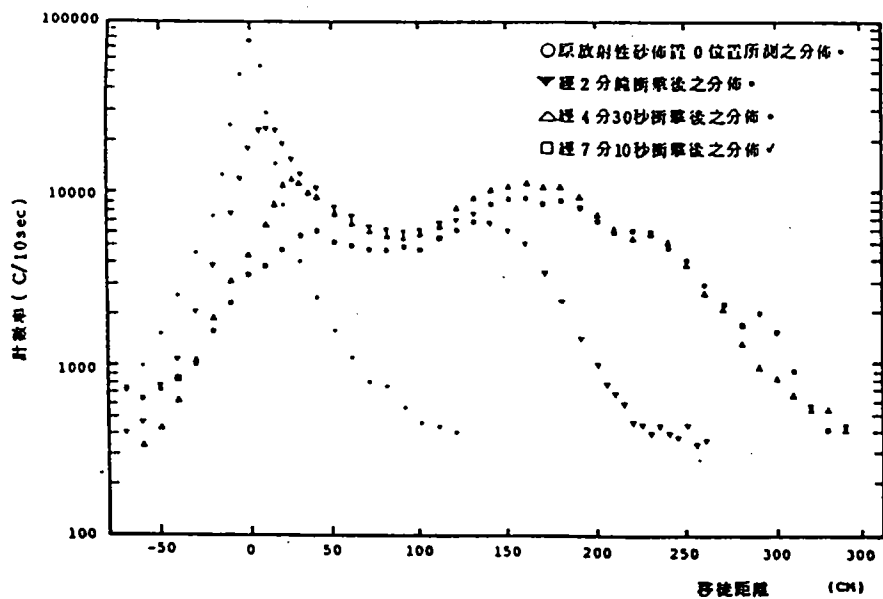


圖-8 放射性砂經造浪後分佈情形

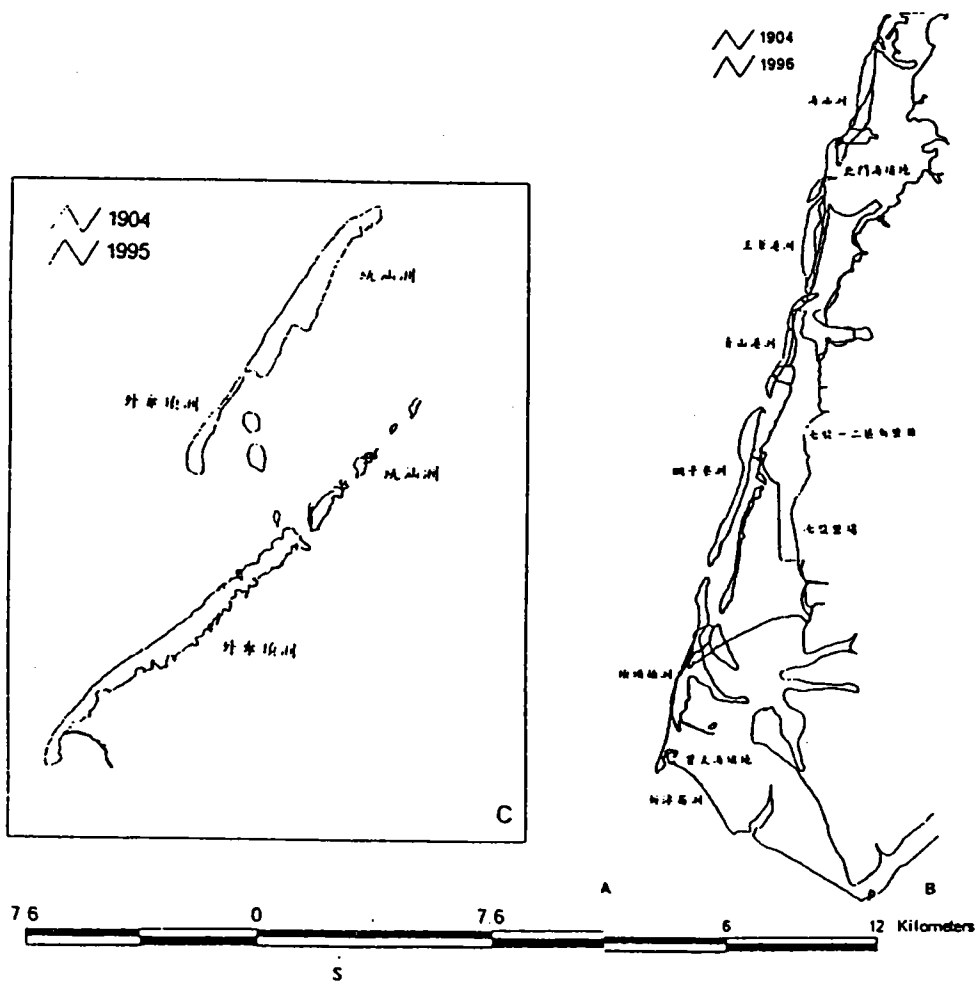


圖-9 西海岸砂洲變遷

衛星影像在海流特性之驗證應用

莊文傑 港研所數模組研究員

摘要

從衛星影像直接分析近岸海域之海流特性，至目前為止尚有待各方面解析判讀技術之克服。本研究針對台中港區海域，間接地以海流數值模擬計算結果，配合衛星影像之水色差異以達成影像判讀與海流計算流場檢核之目的。應用研究上，衛星影像可提供近岸海流之定性資訊，而海流數值模擬計算結果經衛星影像提供之全面性定性資料比對檢核後，則可提供較明確且定量之海流資訊。

一、引言

近岸海流為從事海岸工程所必須掌握之基本海象資料之一，其不僅在海岸防護及污染防治上扮演重要的角色，更與船舶進出口港之操航安全關係密切。為能充分瞭解近岸海流之特性，進行現場觀測並搭配數值模擬計算是必須的。只是，現場觀測所得之資料，受人力、物力與其他海氣象條件限制，其常是局部且片段地，對於需求全面、持續性資料以檢核準確性之數值模式

而言，實測資料在全面、定性方面提供之資訊仍嫌不足。近年來，遙測相關之技術已在國內蓬勃發展，在特定海域上並有大量全面性海象衛星影像可供應用。本研究因此針對台中港區，將海象衛星影像與數值模擬計算相結合，藉其彼此之相關性，一方面可認證判讀海象衛星影像所顯示之定性海流資訊，另一方面更可進一步檢核數值模擬計算成果在定量上之準確性。

二、台中港海域海流之觀測

針對台中港海域之海流觀測，較有系統之現場調查開始於民國70年7月(梁、張，1983)，其後連續六年陸續有港灣技術研究所(張等，1988)及台灣大學海洋研究所等機構皆曾在台中港海域從事過海流之實際觀測。依據中華顧問工程司(1988)統計結果，民國76年以前國內各單位針對台中港海域進行海流觀測之位置分布及觀測期間綜合如圖1所示，由圖1可清楚看出，早期設置之觀測點位置普遍集中於台中港港口以北海域，且同一觀測期間對應之觀測點甚少超過三點以上。

因此，中華顧問工程司(1998)在當時根據海流實測資料僅能局部性且片段地描繪台中港港口海域之海流型態如圖2所示。及至民國83年台中港港口段完成北外防波堤再延長850公尺之擴建工程，同期，台中港務局並委託港灣技術研究所進行港域三個點位(如圖3)同期間之海流觀測(曾、吳，1994)唯其重點集中於防波堤延長後港口流速之變化評估，對於台中港港口海域之海流型態確認仍無法有效地全面性加以掌握。

三、海流模擬計算

針對台中港海域進行之海流數值模擬計算，以往主要之目的大多係為滿足港口各階段擴建工程之操船模擬需求。中華顧問工程司(1988，1992)為台中港北外防堤再延長850公尺之擴建工程規畫需要，即曾委託荷蘭PRC工程顧問公司辦理台中港海域在固定強風作用下之港口海流模擬計算，其中20m/s風速作用下之港口計算海流型態如圖4所示。民國83年，台中港務局完成北外防波堤延長850公尺工程，但迫於運量需求與船舶大型化趨勢，于民國84年，復委託港灣技術研究所評估3000TEU級大型貨櫃輪進泊台中港之可行性並進行操船模擬(莊、陳，1995)。港灣技術研究所為操船模擬海象環境條件設定之需要，乃配合並應用台中港港域實測海氣象資料再進行海流數值模擬計算，海流數值模擬計算經實測

資料檢核後，部分之計算結果如圖5與圖6所示。圖5與圖6分別為台中港海域風速在20m/s、外加波浪影響下，港口接近滿潮位之計算海流型態，圖7至圖10則為其相對應之浮粒追蹤(Tracing of Floating Points)計算模擬結果。由圖5與圖6觀察可知，台中港港口在接近滿潮時，港口附近之海流流向大多由北而南，且會在北外防波堤南側形成規模大小不等、強弱不一之環流流場。另配合圖7與圖8觀察可得，在環流流場外圍，由於近岸海流流速與流向之綜合影響與阻隔，近岸海流之海流型態實際上其與非近岸海流是有明顯區別的。而此種計算所得之海流型態上的差異，單憑有限測點與範圍之實測資料是無法完全充分加以驗證、檢視的。

四、台中港海域之衛星影像

為驗證台中港港口附近之近岸海流型態與規模，因此自SPOT衛星影像中挑選台中港海域其在北外防波堤延伸850公尺工程完成前後之海域影像(莊、吳1996；呂、吳，1996)，分別如圖11、圖12與圖13所示。由各衛星影像觀察比較可知，在台中港港口附近海域，由於外廓防波堤配置之差異及大安溪與大甲溪河川洪枯流量之影響，致使台中港域之衛星影像其在港口附近之水色差異型態亦不相同。而水色差異與型態的變化，在衛星影像上所代表之意義雖有待藉相關海域海象資料以進一步確認，但對照比較

圖7至圖10，則可無疑問地判釋台中港港口附近之水色差異與型態，應係代表不同潮位與海氣象條件造成之近岸海流流場，只是單憑衛星影像尚無法量化海流之大小與方向而已(潘，1993；蕭，1993；鄭、吳，1998)。

五、衛星影像與海流模擬計算之關聯

對海岸工程師而言，觀察圖11至圖13之海域SPOT衛星影像，正恰如醫師觀察人體之X照片一樣。海岸工程師必須依據海域實測之海象資訊或藉助數值計算資料方可進一步確認衛星影像上其顯示黑黑白白、紅紅綠綠之影像意義。為此，針對圖11之台中港延伸北外防波堤850公尺前之衛星影像而論，將其與圖二依實測海流資料描繪所得之定量海流分布圖相對照，由對照結果可知，衛星影像在北外防波堤以北區域之偏白色影像其實際即在定性顯示近岸海流之規模、強度與方向，而在港口稍南側海域之偏黑色影像實際應代表此海域應有明顯環流流場存在，且為逆時針方向旋轉，因唯有如此，方足以自港口以西海域引入色澤偏黑色之水體，以致形成港口稍南側之偏黑色影像團塊。再針對圖11中台中港之北填方區附近海域觀察，由於本區海域存在一似三角形偏白色影像，故可再依水理特性研判，此區域應為逆時針環流與向南海流之分離海域，只可惜實測海流資料由於局部特性之限

制，因此對於衛星影像全面性判釋所須之認證資訊並無法完全提供。

台中港北外防波堤延長850公尺工程完工後，台中港港口附近海域之衛星影像可清楚以圖12及圖13代表。對照圖5至圖10經數值模擬所得之海流流場圖及以浮粒追蹤模擬計算所得之浮粒軌跡圖，綜合對照比較可知，在台中港港口海域之衛星影像上，衛星影像偏白色之影像實際即代表近岸海流之影響範圍與代表海流之強度及方向，在定量探討上，其可由圖5或圖6之計算結果完全表示，而圖7至圖10，在定性研究上，則與圖12及圖13相互呼應。尤其在港口以西、北外防波堤以南之港口附近海域，逆時針方向旋轉之環流流場清晰可見，但因北外防波堤堤身延伸長度甚長，海流因結構物束縮影響而造成環流規模增大且流向偏向西南，因此圖12及圖13中之環流並未有如圖11所顯示之引入離岸水體現象。另一值得注意的現象是由於北外防波堤之延長，促使港口附近環流與向南海流原在北填方區以北海域分離之位置明顯地向南推移，且在現有之南填方區海域外，海流流向有離岸且向西流動之現象。依據此結果，因此亦可大膽地研判，台中港之南填方區外圍海域，其海岸沖淤變化應甚明顯且應加強防護。

六、結論與建議

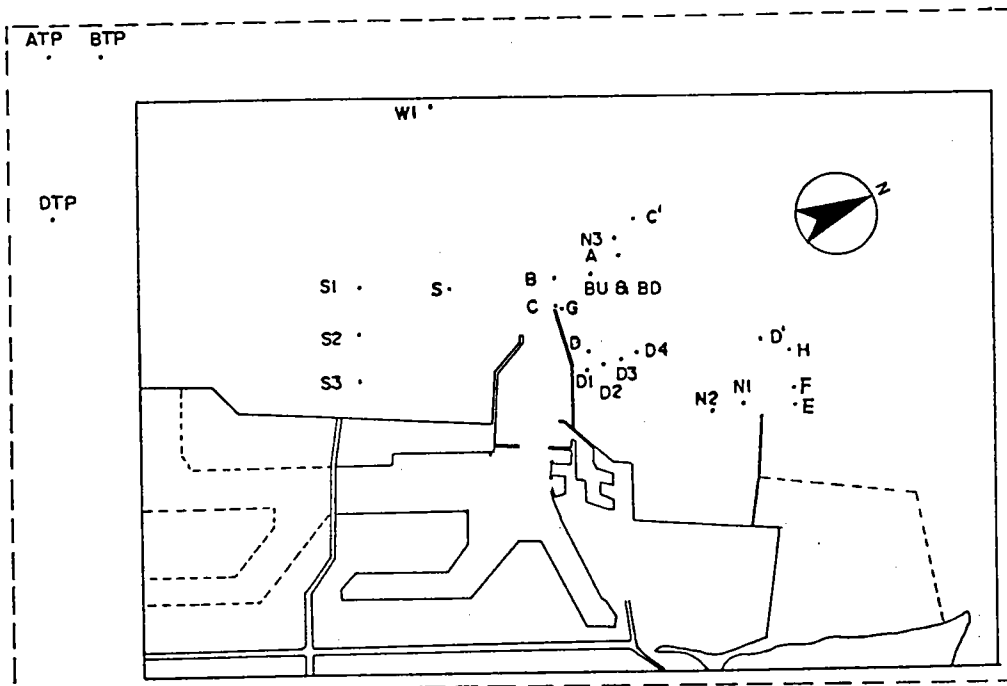
將台中港海域SPOT衛星影像與海流數值模擬結果相關聯、對照

後，經比較結果綜合可得結論如下：

1. SPOT 衛星影像可清楚地顯示近岸海域之海流型態與變化。
2. 衛星影像顯示之海流特性，其型態、規模、大小與方向，可定性上全面充分地用以檢核數值模擬計算之真確性。
3. 數值模擬計算結果可有效地提供衛星影像判釋所須之驗證資訊。
4. 對於海流之研究課題，應用衛星影像可先獲得海流之定性資料，而應用數值式模擬計算，在衛星影像之配合及輔助下，則可在定性與定量上完全掌握海流之變化特性。
5. 為正確判釋且充分應用衛星影像，衛星影像之拍攝日期、時間、比例尺及參考座標宜做更詳細之登載，俾利其他海氣象條件之追蹤與查證。

參考文獻

1. 梁乃匡、張金機(1983)"台中海岸流況調查研究"，港灣技術研究所，72研(二)。
2. 張金機、蘇青和、簡仲璟(1988)"台中港港口流速調查研究"，港灣技術研究所，專刊第50號。
3. 中華顧問工程司(1988)"台中港港口擴建計畫評估研究"，中華顧問工程司。
4. 中華顧問工程司(1992)"台中港第二階段發展計畫評估研究"，中華顧問工程司。
5. 潘國樑(1993)"遙測技術導論"，工業技術研究院能源與資源研究所，遙測技術在國建工程與環境上之應用講習會論文集，1頁~22頁。
6. 蕭國鑫(1993)"衛星遙測技術之發展"，工業技術研究院能源與資源研究所，遙測技術在國建工程與環境上之應用講習會論文集，23頁~47頁。
7. 莊文傑、陳明宗(1995)"台中港港口段航道設置減風設施可行性研究"，港灣技術研究所，專刊第148號。
8. 曾相茂、吳基(1995)"台灣海域海氣象調查之研究"，港灣技術研究所，84-研(二)。
9. 莊甲子、吳基(1996)"衛星遙測在台中港海岸變遷偵測之應用研究"，港灣技術研究所，85-研(四)-2。
10. 呂黎光、吳啓南(1996)"台中港海域遙測資料之蒐集與分析"，工業技術研究院能源與資源研究所，06-3-85-0198。
11. 鄭文哲、吳啓南(1998)"衛星遙測需求及應用調查研究"，工業技術研究院能源與資源研究所，06-3-87-W007。



計畫名稱	觀測單位	測站代號	測站水深	儀器水深	觀測時間	
中油 LNG	港研所	B	27	7	70.11. 5.12-11.13.13 70.11.19.17-12. 9.11 71. 4.30.14- 5. 2.22 71. 5. 3.18- 5.17. 6 70.11.19.17-12. 4. 8 71. 4.29.14- 5.13.10 70.11. 5.13-11.16.11	
計 畫		C	29	7		
		D	9	3		
港研所	港研所	D2	8	3	72. 3.21.18- 4. 3. 8	
基本研究		D3	7.5	3	72. 3.21.18- 4. 1.12	
		N1	11	3	71. 5. 5.11- 5. 5.15	
		N2	20	4	71. 5. 5.11- 5. 5.16	
		N3	26	4	71. 5. 5.12- 5. 5.16	
		S1	14	4	71. 5.10.12- 5.11.10	
		S2	13	4	71. 5.10.14- 5.11.14	
		S3	7.5	3	71. 5.10.15- 5.11.15	
	V1	50	5	71. 8.20.10- 8.21.11		
台中火力	台 大	Atp	20	10	73. 8.26.14-10. 8.10	
			20	15	73. 8.25.14- 9.18.10	
		Btp	20	10	73. 8.26.14- 9.18.10	
		Dtp	10	10	73. 9.18.15-10. 9.10	
台中港口	港研所	BU	20	4	75. 1.16.15- 2.25.14 75. 3. 7.13- 4. 3.13 75. 4. 4.13- 4.23.11 75.12. 2.11- 1. 6. 2 75. 1.16.15- 2.25.14 75. 3. 7.13- 4. 3.13 75. 4. 4.13- 4.23.11 75. 3.11.11- 4. 2. 1 75. 1.29.14- 3. 6.16 75. 3. 8.10- 4. 3.12 75. 4. 8.12- 4.23.13 74.12.27.13- 1.18.11 75. 1. 3.12- 1. 5.23 75. 4. 8.13- 4.23.12 76. 3. 6.12- 3.24.11 76. 3. 5.12- 3.24. 9	
BD		20	18			
C'		22	4			
D'		18	4			
E		4	2			
F		8				
S		15	4			
G		25	4			
H		17	4			
擴建評估						

圖 1 台中港往昔之海象調查點位置及期間

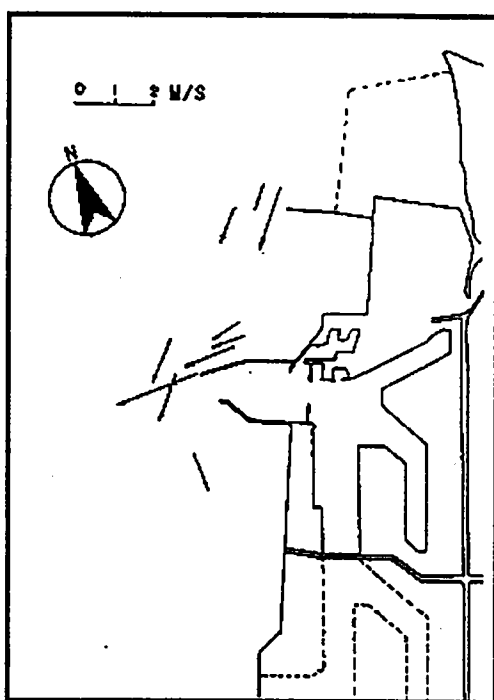


圖 2 台中港冬季主要實測流況分布圖

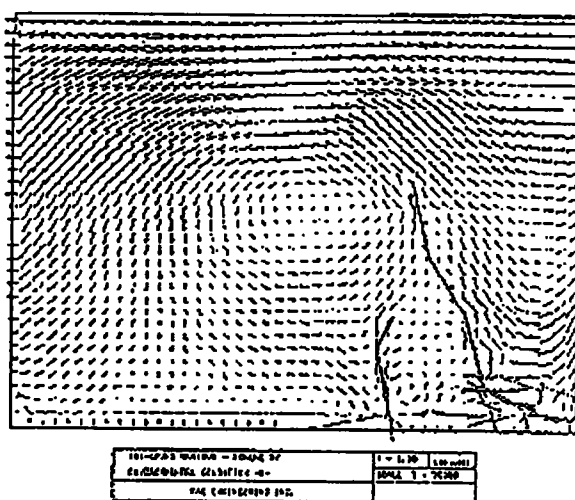


圖 4 台中港港口擴建海流計算結果

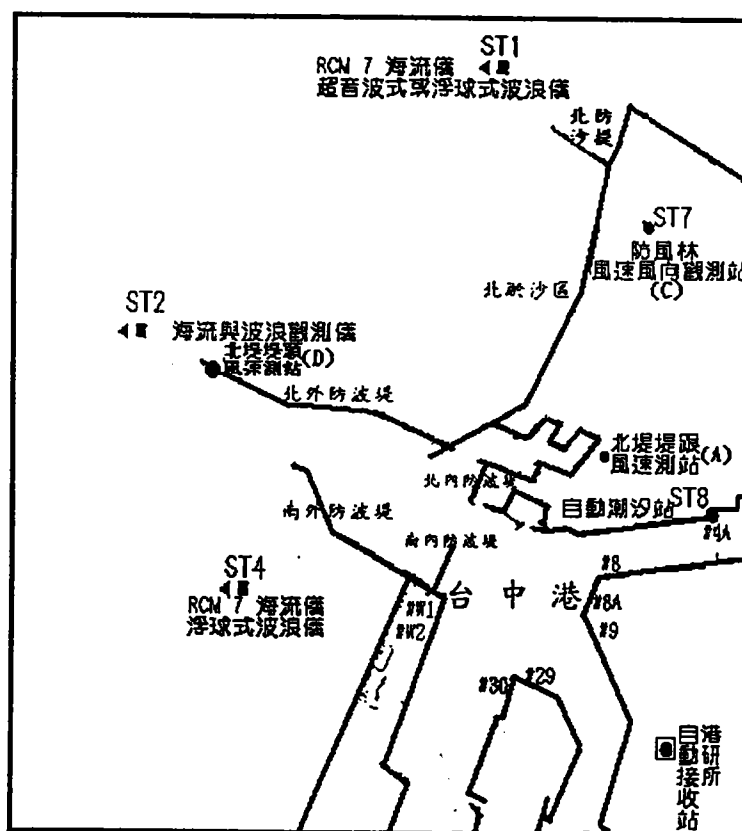


圖 3 台中港擴建後海氣象調查儀器布置圖

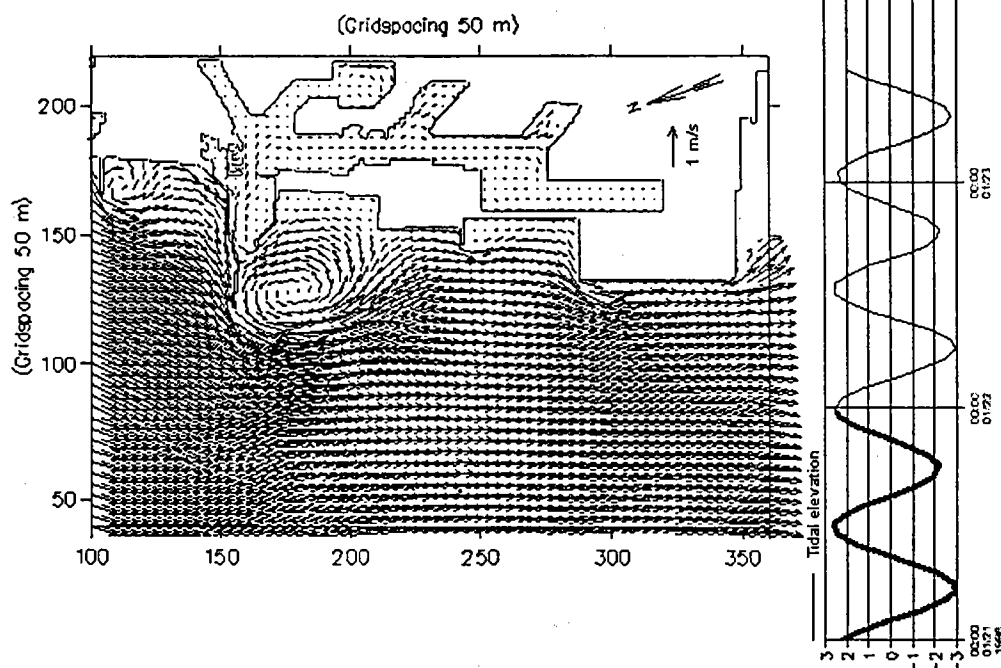


圖 5 台中港港口接近滿潮之計算海流流況

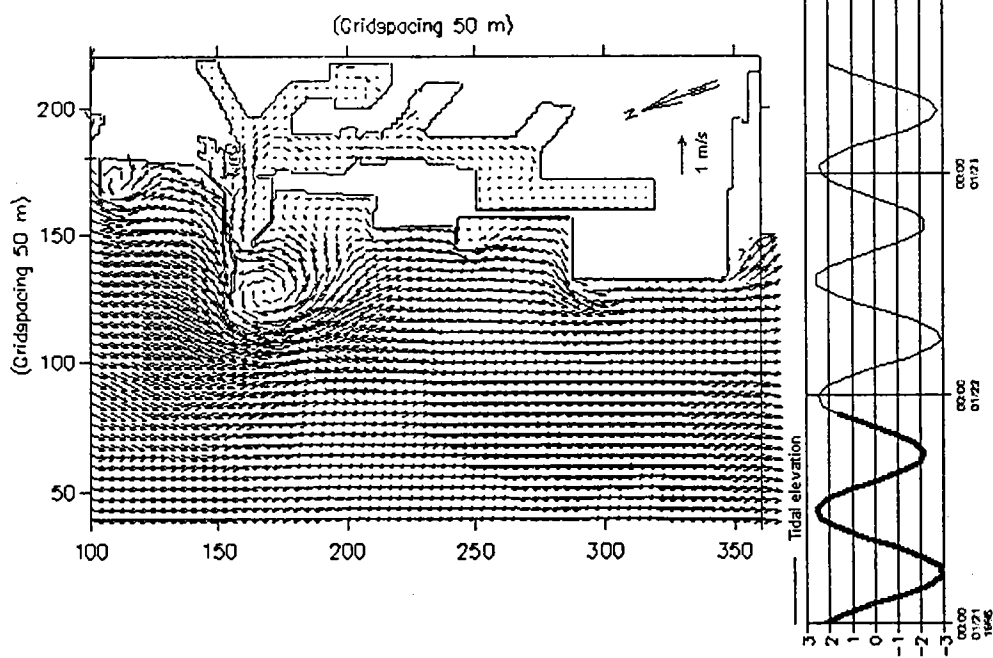


圖 6 台中港港口滿潮之計算海流流況

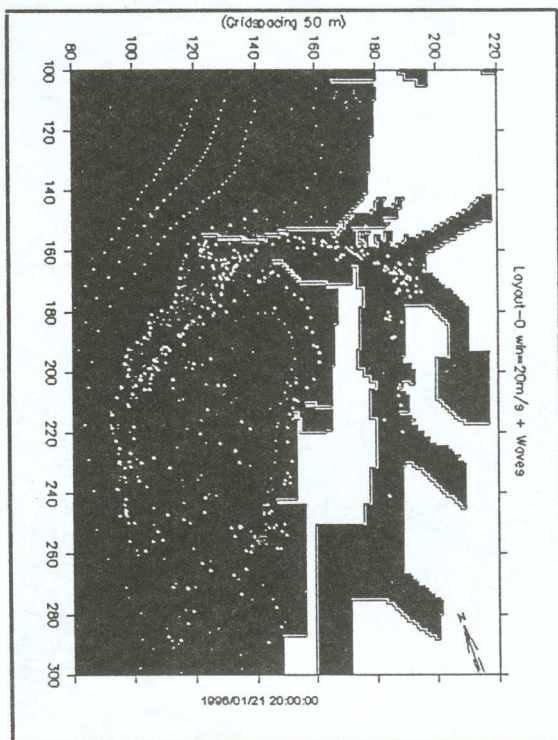


圖 7 台中港港口滿潮前之計算海流
流況浮粒追蹤

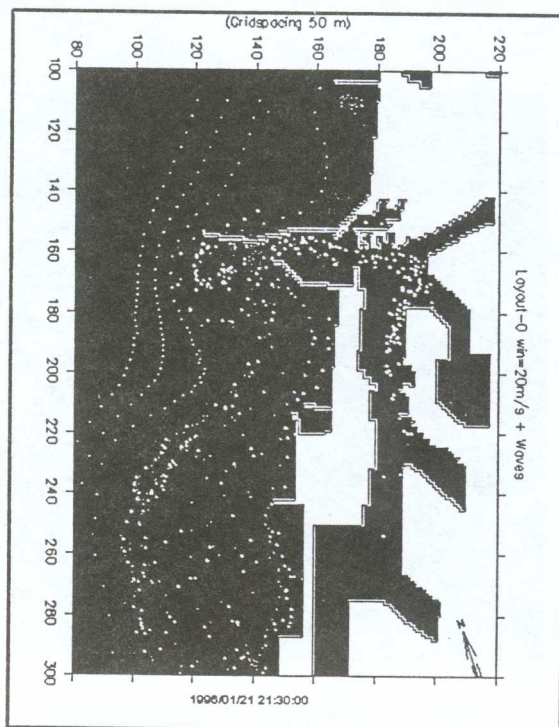


圖 8 台中港港口滿潮前之計算海流
流況浮粒追蹤

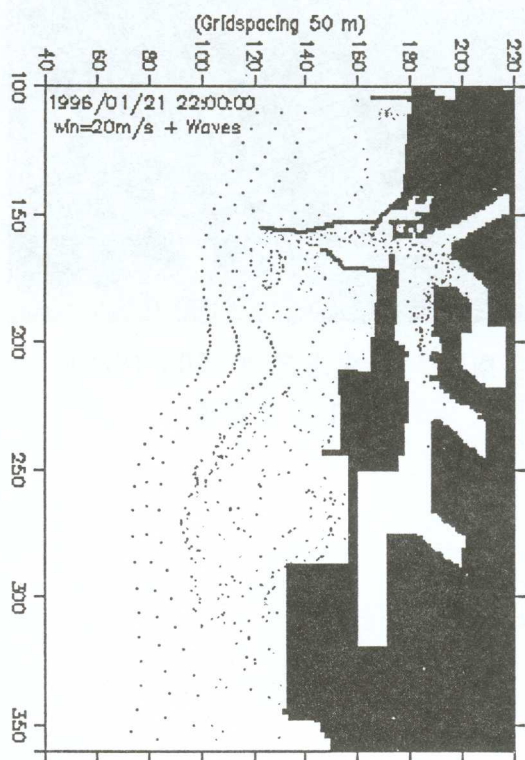


圖 9 台中港港口接近滿潮之計算海流
流況浮粒追蹤

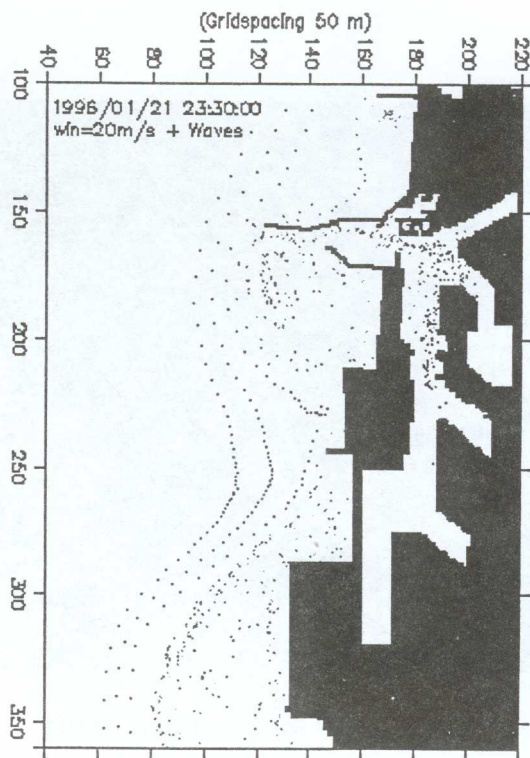


圖 10 台中港港口滿潮之計算海流
流況浮粒追蹤



圖 11 台中港港口 1992/04/04
SPOT 衛星影像



圖 12 台中港港口 1995/10/31
SPOT 衛星影像

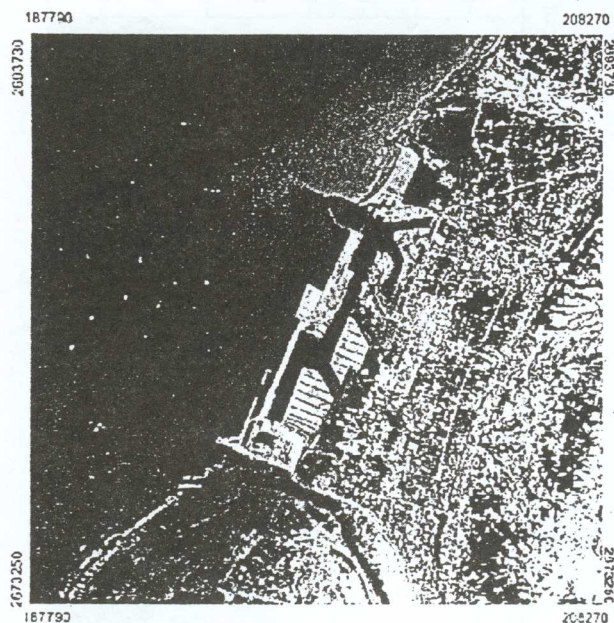


圖 13 台中港港口 1994/03/04
SPOT 衛星影像

簡介丹麥海事研究所

陳明宗 港研所數學模式組副研究員

丹麥是個美麗的小國家，從踏進機場開始，就可感受到其人民的親切和勤奮。而其科技結合工藝的創作，處處可見於日常生活中，更是其一大特色。

丹麥海事研究所（以下簡稱DMI）位於哥本哈根的林格比（Lyngby）小鎮郊區。四週環繞著田園和牧場，其門前就是一條標示著小雛菊的觀賞道路，真可算得上是研究人員的理想工作環境。DMI是一個獨立自主非營利的技術服務機構，提供流體動力、空氣動力、船舶、離岸及海事結構物等工業技術研究及顧問服務，成立於一九五九年，將近有四十年的歷史。

主要的研究設備計有

- (1)五部結合科學和工藝的多船型操船模擬系統，並使用同樣的一套由DMI自行研發的水動力軟體來驅動。其視覺系統係採用Kongsberg Norcontrol型式，其中並有一部是360度視角的即時(Real time)操船模擬系統。
- (2)一座240公尺長，8公尺寬，5.5公尺深的試驗水槽，利用一部強力的造波機來執行相關的水動力

或流力試驗。

- (3)一座25公尺×8公尺的淺水槽，可進行各項操航係數之觀測。
- (4)三座風洞試驗室，其中包括一座14公尺寬的三維風洞試驗室。

DMI以其優秀的人才和技術，提供了超過40個國家的技術顧問服務。

其主要業務如下：

- (1)海事教育及訓練：DMI與所有的丹麥航海學校技術合作，對於實習生提供了模擬船隻的操控課程，先導訓練課程的開發包括船員管理、危機及緊急處理、災害防治、離岸鑽探的模擬……等等。
- (2)航行操控的模擬：最佳港口配置的決定、引水人員的訓練和評估、航海人員及操作員對於船隻操作及各種人為因素之訓練、操船及離岸操作之策略評估、航行分析，及即時操船模擬軟體的研發。
- (3)船舶設計與動力測試：對於船隻的推進、安全性、操航及適航性，作實船測試及計算；並評估損害的穩定性。
- (4)海洋工程：對於離岸之浮動性或

固定性設施、錨錠系統護岸及拖船研究其移動性、受力和風險度。

- (5)風力工程：對於建築物及橋樑、船隻和離岸結構物相對於風的能量、負載、流場和氣候等變化，進行觀測。
- (6)CAD/CAM：提供造船界各項服務。
- (7)技術性資訊支援：提供船舶之決策支援系統及各種航行計劃之訂定。

此行前往DMI，最主要的任務就是配合台中港第二期擴建規劃工作參與即時操船模擬。謹將在DMI數日的工作心得及所見所聞，整理說明如后：

(1)操船模擬人員：

DMI實際參與本次即時操船模擬人員，計有Jorgen船長，Keld船長以及軟體工程師Frank。兩位資深船長自身的航海經驗都相當的豐富，對於模擬機的操控更是駕輕就熟。一位船長主觀性較強，常主動提供操船時之建議，另一位則是配合性高，能同時獲得兩種不同類型船長的配合，對於整個操船模擬的客觀性相當有幫助。

(2)操船模擬機：

本次即時操船最難得的就是DMI同時提供本所兩座最新式的操船模擬機室來執行操船模擬，其中就包括了該座最新式360度視角的模擬機室。不過由於此次操船模擬

並不須要使用到全部的視角，因此實際的視野仍只顯現出大約210度的視角景窗，若要觀測兩側及後側的景物時，則可隨時利用備用螢幕來切換監視，非常方便。

兩座模擬機室完成的期間大概只有兩年左右，無論是操控儀器或是附屬設備都可說是相當的新式和進步。無論是定速裝置、前後車、手轉舵或搖桿舵的切換，各種儀表的顯示，都相當的齊全，而且大部份的設備都設計成單體模組，對於儀器的更新和汰換也非常方便。

在投影視窗上，由於軟體設計的進步，已可達360度的全視野景窗。不過由於要將影像投射到視牆上仍須利用投影機，投影機亮度的不足，便會影響操船模擬時的整個視窗環境。特別是像在360度模擬機室時，由於整個機室較大，投影的距離較長；因此投射出來的影像就稍嫌暗淡了些。近年來投影機的功能越來越強，亮度也越來越高，且價格也越低廉；相信更換高亮度的投影機就能改善視野較差的缺點。

唯一比較可惜的就是幾座操船模擬機室都未能裝置類似油壓或機械傳動的設備來控制整個模擬機室的上、下、左、右移動，以模擬即時操船時，船艙隨著波浪前進時的上下起伏。在這一方面海洋大學利用油壓裝置來操控模擬機室的上下移動，就顯得較有臨場感。當然利用油壓或機械來產生大型結構物的上下或左右位移，是須要相當大型

的驅控設備，牽涉到大筆的經費和未來可觀的維護費。

(3)相關軟體及設備

由於整套操船模擬軟體都是由DMI自行研發，因此在軟體的修改上或更新上對於DMI來說都不是問題。投影畫面的軟體經由建立，分割再重組整個視窗影像後透過投影機來顯像，整體來說已算得上相當逼真。不過若與現今3D影像之水準相比，仍欠缺流暢感和逼真度。由於其軟體係利用PC來執行，如今PC執行速度的突飛猛進，記憶裝置的量化和便宜化，相信更換更高速的機種後，配合其優秀的軟體人

才和更新的軟體資源，未來的影像水準一定更有可看性。至於前述未能實際移動整個模擬機室的缺點，DMI已另行開發一套系統，透過影像螢幕的上下左右移動來造成視覺上的相對移動。理論上位移是相對的，如此的改進確可彌補實際移動之不足。在本次操航中，DMI也抽空展現了該項更新軟體；不過由於其仍屬測試版，仍未能實際更新整個模擬系統，但這已是令人相當期待了。

不經一事不長一智，每個人或是每個單位都會有其長處和缺點，善用別人的優點來改進自己的缺點應該是大家共勉之。

環氧樹脂塗裝鋼筋之施工特性

林東廷 台灣漁業技術顧問社副工程師

一、前言

品質良好之鋼筋混凝土，鋼筋受到高鹼性保護作用，其鈍化性氧化膜不易受到侵蝕，因此鋼筋發生腐蝕之機率極少，惟實際上鋼筋混凝土自設計、施工至使用等過程，由於氯離子含量、含水量、混凝土材料、施工作業、裂縫等劣化要因之影響，造成鋼筋腐蝕或潛在腐蝕發生之機率，而降低使用壽命，尤以海洋環境下之鋼筋混凝土受到鹽份之侵蝕，易造成混凝土剝落破裂及鋼筋腐蝕。一般鋼筋混凝土之防蝕常採取提昇混凝土品質、混凝土表面防蝕處理及鋼筋之防蝕等策略，其中鋼筋之防蝕包括被覆防蝕、電氣防蝕及耐鹽性鋼筋等方法，如鍍鋅鋼筋、環氧樹脂塗裝鋼筋等，即屬被覆防蝕之一種，亦為已實用化之鋼筋防蝕法。

環氧樹脂塗裝鋼筋 (Epoxy-Coated Reinforcing Steel Bars) 屬防蝕鋼筋之一種，最初由美國於1970年左右開始進行研究，日本則約自1980年起，一般係將環氧樹脂粉體以靜電噴著之方式，熱融附著

於鋼筋表面，使其具有防蝕能力。茲將環氧樹脂塗裝鋼筋之施工特性，包括檢驗及施工作業等分述如后。

二、檢驗項目與標準

環氧樹脂塗裝鋼筋 (以下簡稱防蝕鋼筋) 對生產材料之要求，其鋼筋須符合CNS 560或JIS G3112等相關規範之要求，篩選表面、形狀及品質合於塗裝之優良素材，而環氧樹脂粉體塗料之品質須符合日本土木工程協會或ASTM等相關規範之要求，包括外觀、粘著性、衝擊強度、抗磨損性、硬度、抗蝕性、抗化學性等檢驗。鋼筋經環氧樹脂塗裝後，其品質須符合日本土木工程協會或ASTM A775、ASTM D3963、BS7295 Part 1等相關規範之要求，主要檢驗項目與標準 (茲以日本土木工程協會規範為例) 如下：

(一)外觀檢查(Appearance)

防蝕鋼筋之塗裝層薄膜須均勻，不得有下垂、隆起及夾雜其它雜物等情形。

(二)塗裝層針孔數(Holiday)

在1,000伏特電壓偵測下，6號(D19)以下鋼筋之針孔數須每公尺少於5個，而7號(D22)以上鋼筋之針孔數須每公尺少於8個。此項要求一般係採出廠時之檢驗數據，而非現場抽檢結果。

(三)塗裝層厚度(Thickness)

防蝕鋼筋之塗裝層厚度須在 $200 \pm 50 \mu\text{m}$ (即 $0.15 \sim 0.25\text{mm}$)，而超出此範圍之次數須小於10%。

(四)抗衝擊性(Impact Resistance)

於 $30\text{Kg} \cdot \text{cm}$ 之衝擊強度試驗下，被試驗之防蝕鋼筋須有80%以上之塗裝層不得有洞孔現象。

(五)彎曲性(Bendability)

於 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 及 $5 \pm 1^\circ\text{C}$ 之試驗溫度下，防蝕鋼筋經彎曲試驗，其塗裝層產生破裂、剝落等情形之發生次數不得大於20%。

(六)握裹強度(Bond Strength)

防蝕鋼筋經握裹強度試驗，其強度須大於一般鋼筋(未經防蝕處理)握裹強度之80%以上。

(七)抗鹼性(Alkali Resistance)

防蝕鋼筋經抗鹼性試驗，其塗裝層不得有軟化、膨脹、突出及剝落等現象。

(八)抗蝕性(Corrosion Resistance)

防蝕鋼筋經抗蝕性試驗，被腐蝕之面積不得大於1%。由於國內環氧樹脂塗裝鋼筋之製造尚處萌芽階段，工程上所需防蝕鋼筋大多仰賴國外進口，國內實驗機構雖有試驗技術與能力，惟限於試驗耗時且費用高，工程採購單位對於防蝕鋼筋之點收，大多依據供應商所提供原製造產品證明及製造國公信機構出具之檢驗合格證明為憑。隨著環氧樹脂塗裝鋼筋之應用，未來國內制定相關規範及建立試驗機構，將有助於工程材料之開發及工程水準之提昇。

三、施工注意事項

使用環氧樹脂塗裝鋼筋之鋼筋混凝土，在施工態度上應較一般鋼筋混凝土作業謹慎，其施工亦較為繁複，以避免塗裝層受損或變質，影響防蝕效果。施工時須注意事項如下：

(一)搬運與儲存

1. 防蝕鋼筋被吊起時，須使用較柔軟之尼龍吊索或加用橡膠等緩衝材料在鋼製吊索表面，採二或三點吊起方式，並不應強力撞擊或落下。避免使用堆高機等粗糙之運搬，或鋼製吊索直接觸及防蝕鋼筋等作業。
2. 搬運防蝕鋼筋時須以適當方法保護，如加設緩衝材料，以免塗裝層受損，並慎防鋼筋倒塌及碰撞等情形發生。
3. 防蝕鋼筋儲存時須置於陰涼處並

加以覆蓋，防止雨淋及太陽直接照射（防蝕鋼筋經紫外線長期照射會影響塗裝層品質，降低其彎曲性及抗衝擊性），堆置時應墊加保護材料並避免堆置太高，以免受壓太重致塗裝層受損。

(二) 施工前檢查

防蝕鋼筋施工前須仔細檢查塗裝層是否有損傷，如有受損應以適當方法修補。

(三) 裁切與彎曲加工

1. 防蝕鋼筋裁切時應於裁切機上進行，鋼筋與機架接觸處應加保護材料，並避免使用瓦斯吹氣管裁剪鋼筋，以免損傷塗裝層及樹脂燃燒產生有毒氣體不益人體健康。
2. 防蝕鋼筋彎曲時，須使用樹脂滾輪或於一般鋼製滾輪等配件上加裝橡膠或樹脂等緩衝材料，以保護塗裝層，且周圍氣溫須大於5℃，以防止塗裝層龜裂。
3. 裁切之切口及其它因加工所造成塗裝層之破損須立即修補，避免鋼筋生銹後才修補。

(四) 排 紮

1. 防蝕鋼筋排紮時須輕放且堅實紮牢定位，避免相互碰撞摩擦而損傷塗裝層，捆紮鐵線考量耐蝕性，須使用塑膠披覆之鐵線，採十字形綁紮方式。
2. 防蝕鋼筋之搭接與錨錠長度須按設計圖說規定（依無塗裝鋼筋與

混凝土之80%握裹力計算）。

3. 如需使用瓦斯壓接或熔接之接合方式，須先行除去防蝕鋼筋塗裝層後再行接合，施工時並避免火花噴濺落於其它塗裝層上，接合後即刻進行補修塗裝。
4. 防蝕鋼筋排紮完成後須仔細全面檢查，一旦發現塗裝層受損立即修補之。

(五) 模板組立

1. 維持模板面與防蝕鋼筋定距之隔條應不具腐蝕性且不會損傷塗裝層材料者，同時隔條須經防蝕處理或本身具有抗蝕能力者。
2. 模板之繫桿及其它永久留存於混凝土內之鐵件須作防腐處理。

(六) 混凝土澆注

1. 澆注混凝土時須小心進行，避免防蝕鋼筋之塗裝層受損。
2. 使用內振動器搗實混凝土，須於內振動器塗刷氨基甲酸乙脂（Urethane）或外覆甲方認可之緩衝材料，以防振動時造成塗裝層之損傷（內振動器與防蝕鋼筋接觸約10秒，塗裝層即易受損）。
3. 清除施工縫中之混凝土乳沫時須小心處理，避免損傷塗裝層。
4. 施工縫中之外露鋼筋如有附著砂漿或混凝土時，須於硬化前以水沖或抹布擦拭乾淨，不可以鐵刷或其它硬物清除。

(七) 塗裝層之修補

1. 防蝕鋼筋因搬運、儲存、裁切、

彎曲、加工、排紮、組模、澆注混凝土或其它原因而造成塗裝層之損傷，須及時修補之（註：依日本土木工程協會規範，塗裝層損傷面積超過 $10 \sim 15\text{mm}^2$ 須予修補）。

2. 塗裝層修補前須澈底將鋼筋切口及受損部份之 垢、油污、受損塗裝層及其它雜質等清除乾淨，再行修補。
3. 塗裝層修補時，將主劑與硬化劑（主要由環氧樹脂、顏料及養護劑等三種成份組成）依一定比例混合而成之修補塗料，以筆刷塗刷或噴槍噴敷，於塗料未乾前應防止碰觸及雨淋。
4. 在某些情況下，使用修補塗料以外之其它比較容易施工或有效防蝕材料時（如熱熔、熱收縮或防蝕膠帶等），須經甲方同意後方可使用。

四、結 語

國內所使用環氧樹脂塗裝鋼筋大多由國外進口，其價格較一般鋼筋昂貴，由於防蝕鋼筋容易受外在因素影響而損傷，於施工過程須謹慎作業，避免損傷塗裝層，影響防蝕效果，而枉費採用防蝕鋼筋之立意。國內在此相關施工經驗已愈來愈豐富，如台東縣三仙台跨海橋、台中火力發電廠、澎湖跨海大橋、台北市捷運木柵線、麥寮工業港等，均可提供後續工程之參考。未來待制定環氧樹脂塗裝鋼筋之相關規範及建立試驗機構，將有助於國內

工程材料之開發及工程水準之提昇。

筆者所知有限，僅就所彙集相關資料及工作上心得與國內工程界交流，疏漏之處尚祈諸先進不吝指正。

誌 謝

本文承蒙岩井股份有限公司莊世仲先生提供寶貴意見，特致謝忱。

參考文獻

1. 台灣省交通處港灣技術研究所：「海洋環境下工程品質與施工技術研討會論文集」，84年4月。
2. 橫江：「鋼筋混凝土結構體的鹽害對策—環氧樹脂塗裝鋼筋」，鋼筋混凝土結構物防蝕技術研討會論文集，pp.319~331，78年10月。
3. 安治川鐵工建設株式會社：「AG環氧樹脂塗裝鋼筋」。
4. 中華顧問工程司：「麥寮工業區專用港碼頭新建工程施工說明書（一）」，84年3月。
5. 日本土木工程協會：「Recommendation for design and construction of concrete structures using epoxy-coated reinforcing steel bars.」。
6. 日本土木工程協會：「Standard specification for epoxy-coated reinforcing steel bars.」。
7. ASTM A775-81：「Standard specification for epoxy-coated reinforcing steel bars.」。

布袋港海埔地填土之沉陷分析

賴聖耀 港研所大地工程組副研究員

一、前言

台灣西海岸海埔新生地之面積達數萬公頃，近年來由於社會經濟快速發展及土地資源之廣泛利用，有許多工業區及重大工程設施正在規劃與興建。這些重大工程基地，多由抽砂填造而成，例如台中火力發電廠址，其抽砂填土厚度有4公尺多、高雄永安液化天然氣專用接收站之抽砂填土厚度高達10餘公尺、彰化濱海工業區填土厚度有4公尺多、雲林離島工業區填土厚度4~15公尺、高雄大林埔南星計劃填土厚度6~16公尺，另西海岸之台中港、布袋港、安平港等各港區之港埠用地，亦多由抽砂填土造地而成，這些工程之填土面積皆有數十至數百公頃，由於填土造地皆為大規模且為大區域性，對地層將產生加載作用，地表面之受力將傳遞應力至深層之土層，土層中應力增加之結果將使土層壓縮而成沉陷。

布袋港位於本省西南部嘉義縣境內，布袋鎮以西濱海地區，面臨台灣海峽，如圖1所示，北及西北側海域有統仙洲、箔子寮汕及外傘

頂洲所構成之峽長沙洲，形成天然屏障，在兩沙洲軸線以東之內灘地，除環繞周邊之潮溝兩側低窪地被用於牡蠣養殖外，中央部較高灘地已開發完成海埔新生地約126公頃。

布袋港除商港區之港灣設施由抽砂填土而成外，在商港區與魚港區之間有兩期之海埔地，第一期海埔地有66公頃，第二期海埔地有60公頃，如圖2所示。第二期海埔地為最近幾年才填造完成，由於靠近商港區，亦有可能成為商港區之附屬用地，因此其填土荷重所造成之沉陷行為亦有必要瞭解。

由圖2可知，第二期海埔地成梯字形，其回填寬度約為660m，長邊為1020m，短邊為790m，目前高程約為3.166m，而未填土前高程約為-0.5m，因此其填土高度約為3.666m。

本文分別就填土荷重之地層分析、應力分析、沉陷量分析以及沉陷速率分析，來探討海埔地填土之沉陷行為。

二、地層分析

布袋港在深度200公尺之土層，根據現場鑽探資料如圖3所示，約可分為24個次層，如表1所示，其各個層次土層之沉陷特性參數 $Cc \epsilon$ 值、 $C \nu$ 值，說明如下：其中影響沉陷量之壓縮係數 $Cc \epsilon$ 值 ($Cc \epsilon = Cc/(1+e_0)$) 參考表1及壓密試驗結果，布袋港土壤之壓縮係數 $Cc \epsilon$ 值，大致上介於表2之中間值，即純淨砂(SP)之 $Cc \epsilon$ 值為0.025，沉泥質砂(SM)之 $Cc \epsilon$ 值為0.028，沉泥(ML)之 $Cc \epsilon$ 值為0.075，沉泥至粘土(CL-ML)之 $Cc \epsilon$ 值為0.1，粘土(CL)之 $Cc \epsilon$ 值為0.2，砂土層夾薄粘土(SM+CL)或粘土層夾薄細砂(CL+SM)，則以其含量百分比估算其 $Cc \epsilon$ 值。而影響沉陷速率之壓密係數 $C \nu$ 值，亦隨各種土壤而有所區別，粘土(CL)之 $C \nu$ 值約為4~10 $m^2/year$ ，沉泥至粘土(CL-ML)之 $C \nu$ 值為8~12 $m^2/year$ ，沉泥(ML)之 $C \nu$ 值約為12~20 $m^2/year$ ，沉泥質砂(SM)之 $C \nu$ 值約為25~40 $m^2/year$ ，淨砂(SP)之 $C \nu$ 值約為30~60 $m^2/year$ ，各土層之土壤分類、深度、厚度、 $Cc \epsilon$ 值、 $C \nu$ 值及排水路徑方向數亦如表1所示。

三、應力分析

Boussineq 1885年發展一套數學式來決定因表面上之點荷重下任何一點之應力，使用其公式之積分技巧，可得位於撓性矩形載重面積角隅下已知點之垂直應力，如式(1)：

$$\Delta P = \int_{y=0}^L \int_{x=0}^B \frac{3q_0(dx dy)Z^3}{2\pi(x^2+y^2+z^2)^{5/2}} = q_0 I \dots\dots\dots(1)$$

式中， ΔP 為應力增量， I 為影響因素，如圖4所示，圖中 $m=B/Z$ ， $n=L/Z$

茲計算布袋港海埔地第二期填土區中點O，土層第8層次，目前深度為48.7~75.3m之沉泥至粘土層(CL-ML)應力增量，以說明應力增量之計算方法。茲將梯形之填土區分為矩形及三角形兩填土區分別計算。

(1) 矩形填土區

$$\begin{aligned} Z &= (48.7+75.3)/2 - 3.666 \\ &= 58.334m \\ B &= 660/2 = 330m \\ L &= 790/2 = 395m \\ q_0 &= 0.2 \times 3.166 + (0.2 - 0.1) \\ &\quad \times 0.5 = 0.6832 \text{ kg/cm}^2 \\ m &= B/Z = 330/58.334 = 5.657 \\ n &= L/Z = 395/58.334 = 6.771 \\ \text{查圖4得 } I_1 &= I_2 = I_3 = I_4 = 0.244 \\ \Delta P_1 &= q_0 \times (I_1 + I_2 + I_3 + I_4) \\ &= 0.6668 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

(2) 三角形填土區對O點粘土層之應力增量

以積分公式得
 $\Delta P_2 = 0.0144 \text{ Kg/cm}^2$
 $\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 = 0.6812 \text{ Kg/cm}^2$
 依照(1)(2)步驟可計算填土區其他點各個層次土層之應力增量，茲將矩形填土區AB剖面200m深之應

力增量繪成應力增量等值線色階圖，如圖5所示。由圖5可知，同一深度之應力增量，在填土區中點最大，然後漸遞減至填土邊緣。

四、沉陷量分析

茲以填土區中點O，土層第8層次，深度48.7~75.3m(CL-ML)之沉陷量分析，說明沉陷量之計算方式

$$S = H \times \frac{C_c}{1 + e_0} \times \log \frac{\sigma'_0 + \Delta P}{\sigma'_0}$$

$$S = H \times C_c \epsilon \times \log \frac{\sigma'_0 + \Delta P}{\sigma'_0}$$

$H = 26.65\text{m}$ ， $C_c \epsilon$ 值參考表1第5列， $C_c \epsilon = 0.1$

$$\sigma'_0 = \gamma' \times Z = (0.2 - 0.1) \times 58.334 = 5.8334 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Rightarrow S = 26.65 \times 0.1 \times$$

$$\log \frac{5.8334 + 0.6812}{5.8334}$$

$$= 0.1278\text{m}$$

$$= 12.78\text{cm}$$

其他層次之土層應力增量及沉陷量計算方法同上，各層次之沉陷量如表3所示。其總沉陷量為70.41公分。

依據上述方法亦可計算填土區各點之總沉陷量，而非填土區受附近填土荷重而引致之沉陷，亦可計算而得，圖6為填土區及附近三角形非填土區各點之總沉陷量，將其繪成沉陷等值線色階圖及立體沉陷圖，其分別如圖7、8所示，由圖6

、7、8顯示：填土區之沉陷量較非填土區沉陷量大；由填土區之沉陷分析顯示：填土區之中點沉陷量最大，然後沉陷量漸遞減至填土邊緣；由非填土區之沉陷分析顯示，距離填土區愈近，沉陷量愈大，距離填土區愈遠，其沉陷量愈小。

五、沉陷速率

由於海埔地之利用，須視沉陷較穩定後才可使用，以免產生過大之差異沉陷，致使上部之構造物及相關設施損壞或喪失功能，因此海埔地填土產生沉陷之沉陷速率分析亦很重要。

圖9為布袋港第二期海埔地填土3.666m之沉陷歷時曲線，由圖7顯示：於填土完成後之初期，其沉陷速率較大，然後漸緩，而由於布袋港之地質土壤含粘土、沉泥量相當高，而粘土之沉陷速率較慢，由圖9顯示，雖然歷時10年，其沉陷仍未完成，其沉陷量為60公分，為總沉陷量(70.41cm)之85%，因此布袋港海埔地填土產生之沉陷，若欲完全穩定，可能須30~40年。另此海埔地填土至今約有5年，沉陷量為55公分，約為總沉陷之78%，往後5年即填土後5至10年，其沉陷速率由圖9顯示，每年約有1公分之沉陷。

六、結 論

由上述之沉陷分析結果顯示：布袋港第二期海埔地抽砂填土厚度3.666公尺可能引致之最大沉陷量

70.41公分，而由於布袋港地質土壤含黏土、沉泥量相當高，因此海埔地填土產生之沉陷，若欲完全達穩定狀態須達30~40年。唯在填土完成後之初期，沉陷速率較大，然後漸緩，布袋港第二期海埔地填土完

成至今約有五年，沉陷量已達55公分，約為總沉陷之78%，另餘15公分多之沉陷於往後30多年間漸漸完成。茲將上述沉陷分析之結果，提供海埔地往後開發利用時之參考。

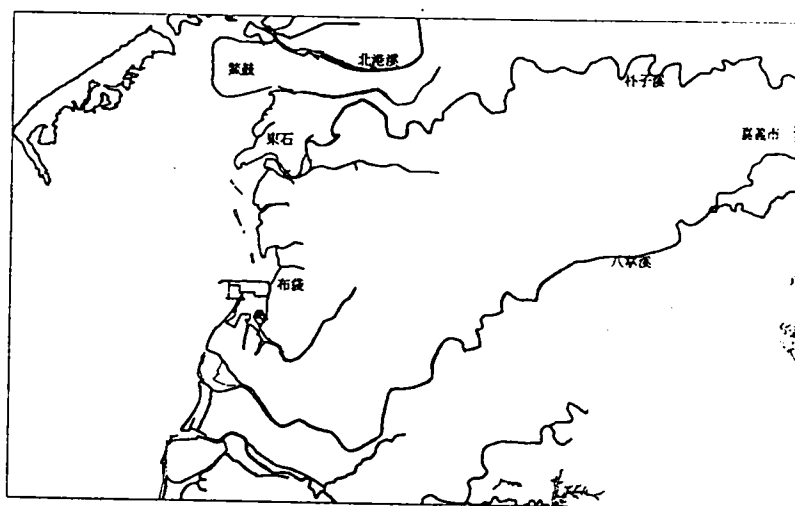


圖 1 布袋港地理位置

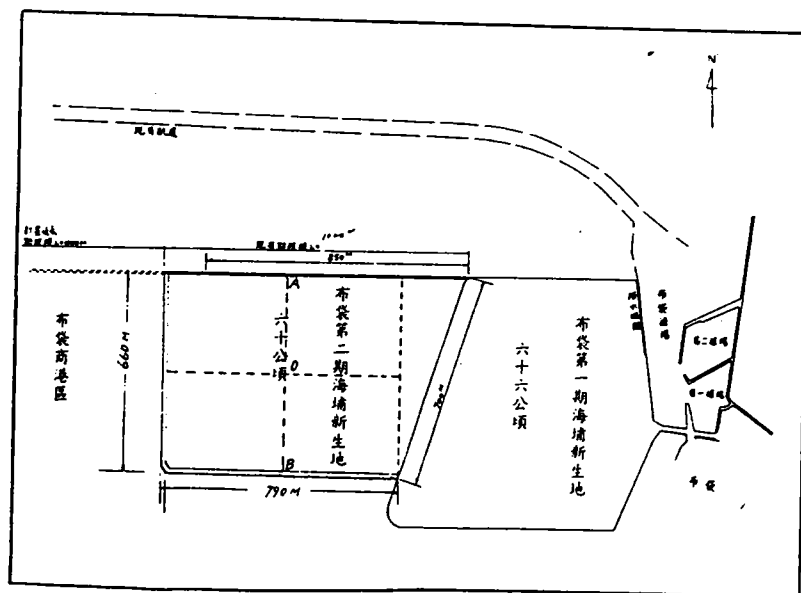


圖 2 布袋港第二期海埔地平面圖

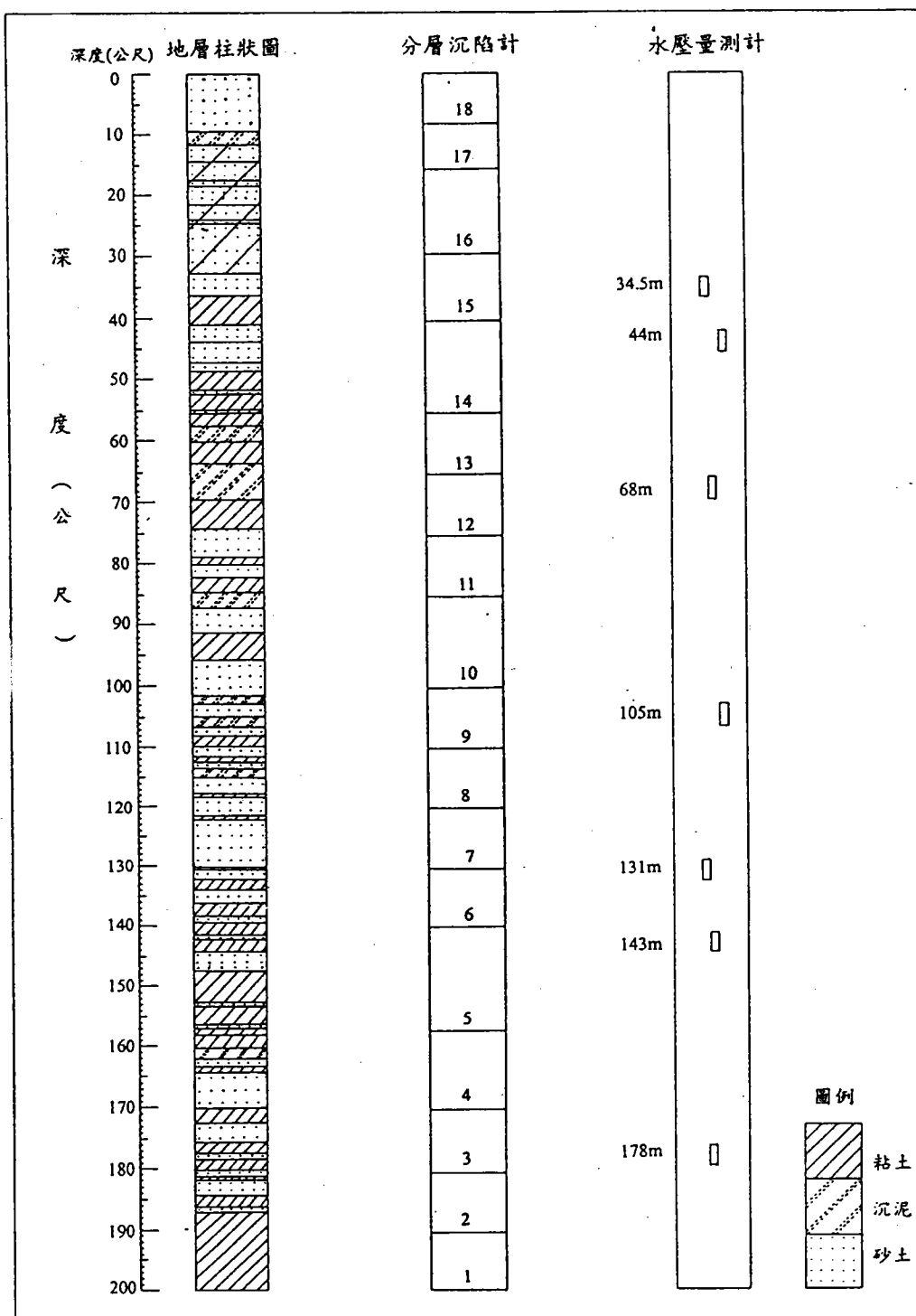


圖 3 布袋港第二期海埔地地層柱狀圖

表 1 布袋港地層各層次之沉陷特性參數

層次	土層分類	土層深度 (m)	厚度 (m)	壓縮係數 $C_c \epsilon$	回彈係數 $C_r \epsilon$	壓密係數 $C_v(m^2/year)$	排水路徑 方向數
1	SP	0-9.5	9.5	0.025	0.0025	40	2
2	ML	9.5-11.6	2.1	0.075	0.015	15	2
3	SP	11.6-14.1	2.5	0.025	0.0025	40	2
4	SM+CL	14.1-32.8	18.7	0.05	0.01	25	2
5	SM	32.8-36.5	3.7	0.028	0.0028	30	2
6	CL-ML	36.5-41.1	4.6	0.1	0.02	10	2
7	SM	-41.1-48.7	7.6	0.028	0.0028	30	2
8	CL-ML	48.7-75.3	26.65	0.1	0.02	10	2
9	SM+CL	75.3-82.4	7.1	0.055	0.011	25	2
10	CL	82.4-84.75	2.35	0.2	0.04	8	1
11	ML	84.75-87.2	2.45	0.075	0.015	15	1
12	SM	87.2-91.15	3.95	0.028	0.0028	30	1
13	CL	91.15-95.8	4.65	0.2	0.04	6	2
14	SM	95.8-108.2	12.4	0.028	0.0028	30	2
15	CL+SM	108.2-115.2	7	0.075	0.015	15	2
16	SM	115.2-132.2	17	0.028	0.0028	30	2
17	CL+SM	132.2-139.3	7.1	0.1	0.02	12	1
18	CL+SM	139.3-147.35	8.05	0.129	0.0258	6	1
19	CL	147.35-157	9.65	0.2	0.04	6	1
20	ML	157-164.35	7.35	0.075	0.015	15	2
21	SM+CL	164.35-170.15	5.8	0.035	0.007	30	2
22	CL	170.15-172.5	2.35	0.02	0.04	6	2
23	SM	172.5-175.8	3.3	0.028	0.0028	30	2
24	CL	175.8-200	24.2	0.15	0.03	6	1

表 2 各種土壤之壓縮係數 $C_c \epsilon$ 值

土 壤 分 類	$C_c \epsilon$ 值 範 圍
砂	0.005~0.05
粉 土	0.05~0.1
粘 土	0.1~0.3
泥炭土	0.2~0.8

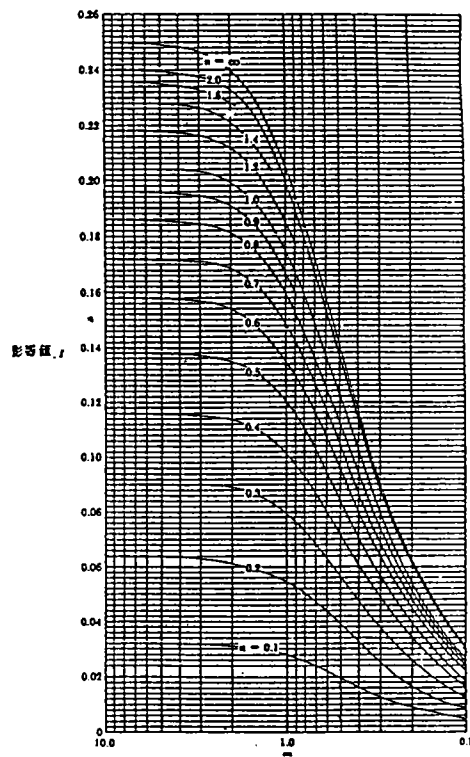


圖 4 應力影響值與 m 、 n 之變化

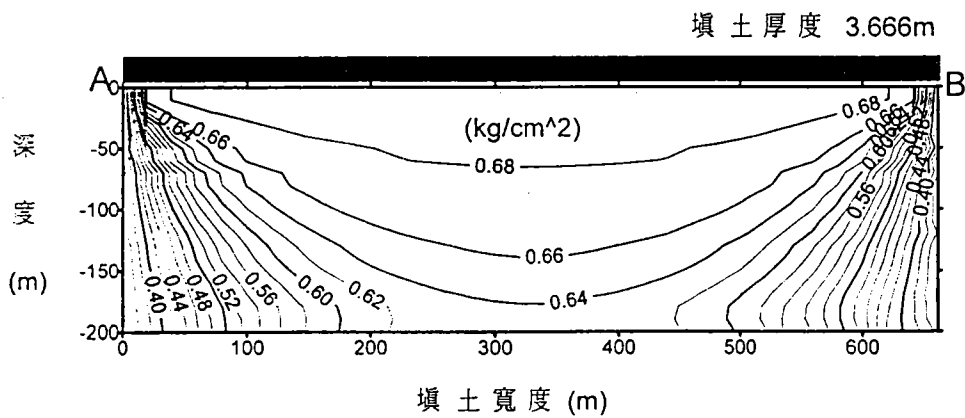


圖 5 布袋港第二期海埔地填土3.666m之應力增量等值線圖

表3 布袋港填土3.666m引致地層各層次之沉陷分析表

層次	土層分類	土層深度 (m)	厚度 (m)	壓縮係數 $C_c \varepsilon = C_c / (1 + e_0)$	有效應力 (kg/cm ²)	應力增量 (kg/cm ²)	沉陷量 (cm)
1	SP	0-9.5	9.5	0.025	0.2667	0.6832	-8.0459
2	ML	9.5-11.6	2.1	0.075	0.6884	0.6832	-4.7153
3	SP	11.6-14.1	2.5	0.025	0.9148	0.6832	-1.5095
4	SM+CL	14.1-32.8	18.7	0.05	1.9784	0.6831	-12.0443
5	SM	32.8-36.5	3.7	0.028	3.0984	0.6829	-0.8962
6	CL-ML	36.5-41.1	4.6	0.1	3.5134	0.6828	-3.5477
7	SM	41.1-48.7	7.6	0.028	4.1234	0.6825	-1.4155
8	CL-ML	48.7-75.3	26.65	0.1	5.8334	0.6812	-12.7829
9	SM+CL	75.3-82.4	7.1	0.055	7.5184	0.679	-1.4664
10	CL	82.4-84.75	2.35	0.2	7.9909	0.6782	-1.6628
11	ML	84.75-87.2	2.45	0.075	8.2309	0.6778	-0.6315
12	SM	87.2-91.15	3.95	0.028	8.5509	0.6771	-0.3661
13	CL	91.15-95.8	4.65	0.2	8.9809	0.6762	-2.9321
14	SM	95.8-108.2	12.4	0.028	9.8334	0.6742	-0.9999
15	CL+SM	108.2-115.2	7	0.075	10.8034	0.6715	-1.3748
16	SM	115.2-132.2	17	0.028	11.3034	0.6699	-1.1902
17	CL+SM	132.2-139.3	7.1	0.1	13.2084	0.6629	-1.5099
18	CL+SM	139.3-147.35	8.05	0.129	13.9659	0.6596	-2.0814
19	CL	147.35-157	9.65	0.2	14.8509	0.6555	-3.6204
20	ML	157-164.35	7.35	0.075	15.7009	0.6512	-0.9729
21	SM+CL	164.35-170.15	5.8	0.035	16.3584	0.6477	-0.3423
22	CL	170.15-172.5	2.35	0.02	16.7659	0.6454	-0.771
23	SM	172.5-175.8	3.3	0.028	17.0484	0.6438	-0.1859
24	CL	175.8-200	24.2	0.15	18.4234	0.6354	-5.3457
總沉陷量					70.41cm		

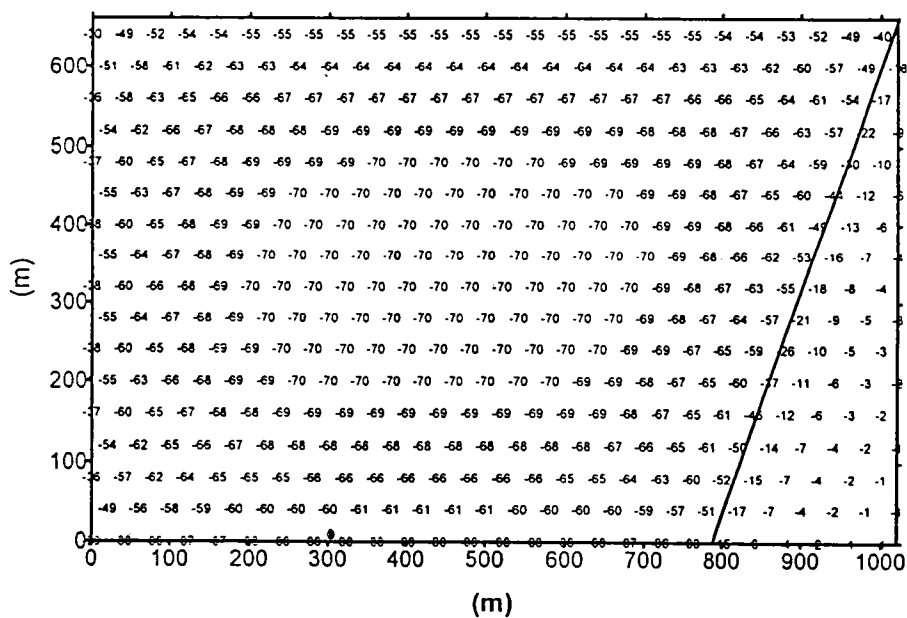


圖 6 布袋港第二期海埔地填土3.666m之沉陷分析結果

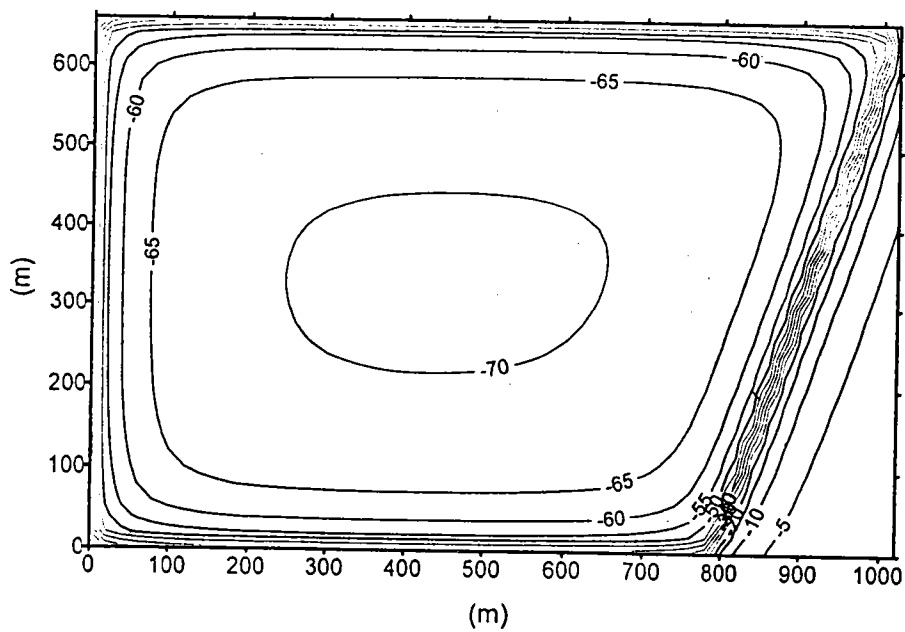


圖 7 布袋港第二期海埔地填土3.666m之沉陷等值線圖

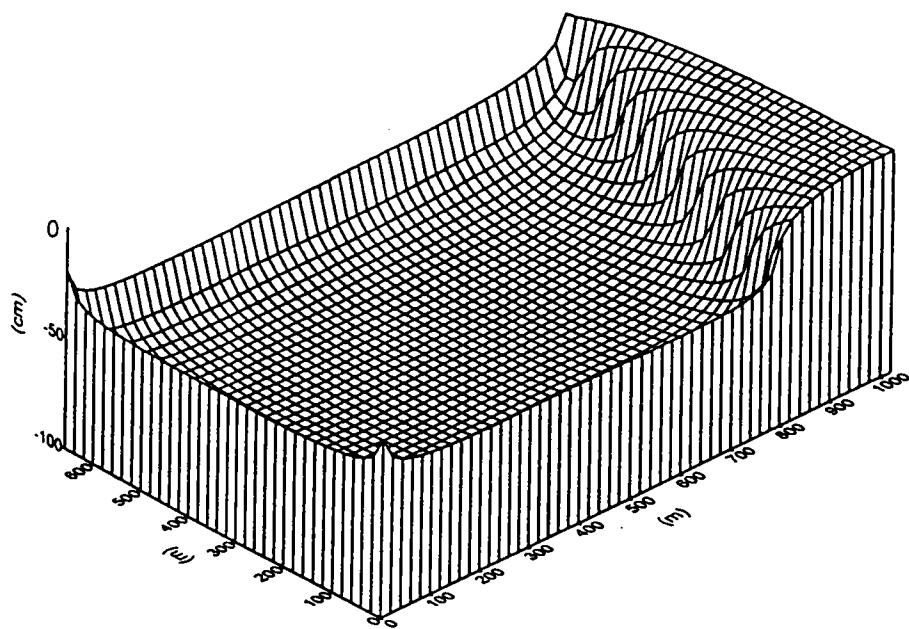


圖 8 布袋港第二期海埔地填土3.666m之立體沉陷圖

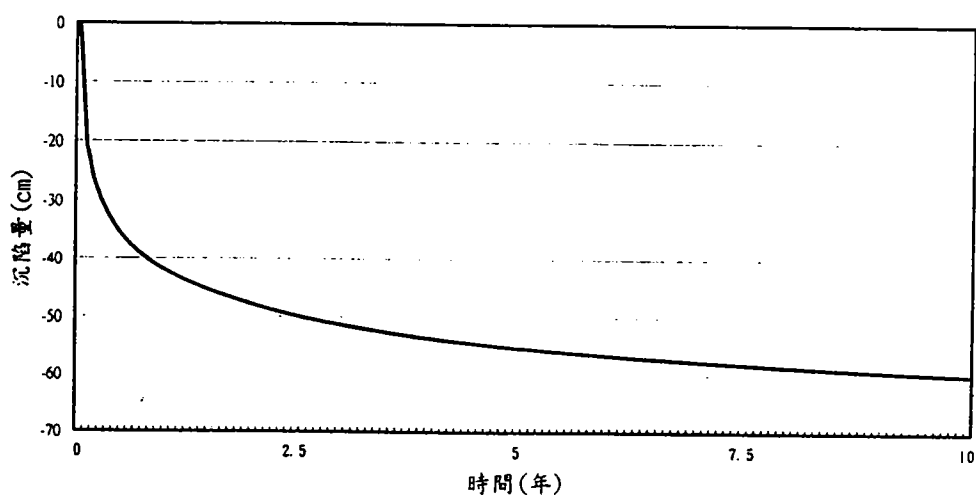


圖 9 布袋港第二期海埔地填土3.666m之沉陷歷時曲線

電化學去鹽法之探討

柯正龍 港研所港工材料組助理研究員

一、前言

氯離子誘發鋼筋發生腐蝕生鏽，導致R.C.結構物損壞崩塌，是一般公認的事實。在某些觀點上，鋼筋的腐蝕生鏽是評估結構物的耐久性及使（適）用性之重要指標之一。因此，如何減少或去除混凝土內之氯離子，是降低或防止鋼筋繼續發生腐蝕生鏽的可行方式。近年來，相關研究文獻顯示，電化學去鹽處理對遭受氯鹽侵襲結構物之腐蝕改善及防治效應有正面的評價。雖然維修防治處理技術可行，成效可期，但在實務應用上，仍有一些未知的附加效應存在，有待深入分析探討。鑑於篇幅，本文僅簡述一些可能影響去鹽成效之因素。

二、氯離子對鋼筋混凝土品質之影響

（一）鋼筋混凝土中鋼筋之腐蝕

一般而言，在正常情況下，鋼筋在高鹼性環境（pH介於12至13）之混凝土內是不易發生腐蝕的，主要原因乃是鋼筋表面生成一層鈍態

氧化膜（ $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ）的保護作用。影響鋼筋混凝土內鋼筋腐蝕的原因有下列幾項：

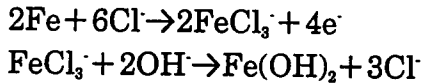
1. 混凝土pH值
2. 氯離子含量
3. 含水量
4. 溶氧量
5. 混凝土材料的性質
6. 鋼筋品質及其受力特性
7. 混凝土施工作業
8. 工人的技術
9. 鋼筋混凝土的裂縫影響

混凝土中典型的鋼筋腐蝕機理如圖一所示，氯離子濃度與混凝土pH值對鋼筋腐蝕之影響關係如圖二所示。

（二） Cl^- 對鋼筋腐蝕之作用

混凝土為一具多孔隙的材料，在高的孔隙率（i.e.滲透性高）或有裂縫產生的條件下，有害物質易於侵入，將會造成鋼筋的腐蝕。幾乎所有的研究學者都認為在鋼材的腐蝕反應過程中， Cl^- 是扮演一個重要的催化作用。當 Cl^- 過量時， Cl^- 會破壞鐵材表層之鈍態氧化膜，並造成金屬離子的溶解（出）。依據Uhlig

(1)的觀點， Cl^- 會與鐵生成不穩定之 FeCl_3 (錯合物)， FeCl_3 能再與 OH^- 發生反應生成 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 。其化學反應如下：



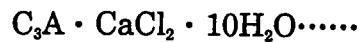
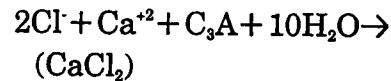
上述反應過程中， OH^- 的消耗降低了混凝土之 pH 值，釋出的 Cl^- 繼續附著侵入於鐵材次表層 (Substrate) 中，致使鈍態氧化膜持續被破壞，造成更有利於鋼材腐蝕循環的環境。

(三) Cl^- 對混凝土品質之侵蝕機理及其存在型態

1. Cl^- 對混凝土品質之侵蝕機理

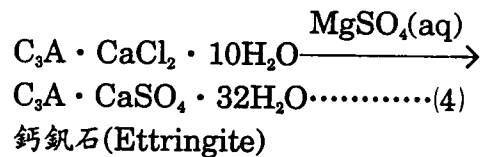
氯離子除了對 R.C. 結構物中之鋼筋會造成腐蝕外， Cl^- 之侵入亦會致使混凝土材料在水化硬化過程中，發生水泥水化物膠體結構上的變化，致使硬固混凝土體積發生極大的變化。

一般學者熟知，當水泥水化產物 C-S-H 膠體與 Cl^- 接觸時會形成高溶解性的氯化鈣 (CaCl_2)，而使原來具緻密性之 C-S-H 膠體溶出，變為多孔性的網狀結構，增加了水泥漿體的毛細孔體積。由於滲透性的增加，使得海水中之鎂離子 (Mg^{+2}) 更易侵入混凝土內，取代 C-S-H 膠體中之鈣，而變成不具膠結性的 M-S-H，造成混凝土強度損失。同時當氯化鈣與水泥中之鋁酸三鈣 (C_3A) 反應時，會生成氯化鋁酸鈣；其反應式如下：



Chloraluminite (氯化鋁酸鈣)

氯化鋁酸鈣在含有硫酸鹽類的環境下會發生化學反應生成鈣矽石 (Ettringite)，致使混凝土體積膨脹，導致結構物龜裂降低耐久性。其反應過程如下：



2. 混凝土中氯離子的存在型態

混凝土中所含之氯離子並非全部都能影響結構物的腐蝕。同時氯離子在超過規定含量時，才會對鋼筋發生腐蝕作用。通常混凝土內之氯離子以下列三種形式存在硬固混凝土內：

(1) 化學性結合型之 Cl^-

此類型之 Cl^- 主要是拌合材料中之 Cl^- 與水泥中之 C_3A 發生化學反應，形成難溶性之 C_3A 水化物，此水化物即為所謂之 Friedel 氏鹽 ($\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)，以固態化學結合方式存在於硬固混凝土內。

(2) 物理吸附性之 Cl^-

Cl^- 與水泥中之 C_3S 成份發生物理性吸附作用，而附著於化學性結合固化體之表面。此種 Cl^- 由於受到表面吸附作用力的束縛， Cl^- 被固定於 Friedel 晶體周圍，不易發生游離。

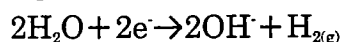
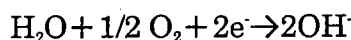
(3)自由型(游離態)之Cl⁻

此種Cl⁻存在於混凝土中孔隙溶液中，不受束縛，能自由游動於混凝土孔隙溶液中。因此，當此種自由型之Cl⁻接觸鋼筋表面時，極易發生腐蝕行為，故對鋼筋之腐蝕威脅最大。

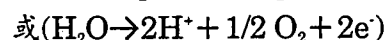
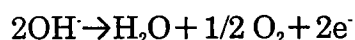
三、電化學去鹽法原理

電化學去鹽原理簡單說乃是依電荷相吸（斥）觀念，外加一直流電源之電力場於混凝土內之鋼筋（視為陰極）與混凝土表面外之輔助陽極間，將電源負端接於陰極（鋼筋），正端接於混凝土表面外之輔助陽極網，即可把鋼筋附近之氯離子驅除，使氯離子游向混凝土表面上（外）之輔助陽極，以達到降低混凝土內部或孔隙溶液中之氯離子濃度，最後致使鋼筋不再受氯離子之侵蝕。整個去鹽模式如圖三所示，所涉及之電化學反應程序與混凝土內離子移動行為如下：

(一)陰極部份（鋼筋附近）



(二)陽極部份（混凝土表面外之輔助陽極；例如：鈦網等）



(三)混凝土內部

陰離子(OH⁻及Cl⁻)從鋼筋處附

近向混凝土外面的輔助電極游動而陽離子(Na⁺、K⁺、Ca⁺、H⁺)從表面外之陽極處游向陰極(鋼筋)。

四、影響去鹽成效的因素

(一)通電時間

去鹽效率會隨著通電時間之增加呈遞增的趨勢。在較低的通電量下，低的電流密度有較佳的去除效果。相對的，在較高的通電量下，去鹽的效果就沒有明顯的差異。其原因可能是混凝土在剛開始進行電化學處理的1~2天的時間內，整個系統仍處於一個相對不穩定的狀態。大約2天後，電流值會漸趨穩定。通電時間對氯離子移除效果之影響如圖四所示。

(二)電流密度

在同一通電時間下，電流密度較大時，混凝土內殘存的氯離子量相對較少。如以同一通電量（電流密度×通電時間）而言，電流密度越高者，其通電的時間則可縮短，但就整體去鹽效應評估下，應選擇適當的通電組合，才不致造成負面效應。圖五為通電量對氯離子移除效果之關係。

(三)氯離子污染的形式

混凝土中結合性的氯離子佔所有氯離子很大的比例，例如氯化鋁酸鈣其對混凝土性質的影響是非常重要的。氯化鋁酸鈣和水泥中的C₃A含量的多寡、混凝土pH值和氯離

子型態、數量有關。應用電化學去鹽法處理時，在通電的初期階段，游離性氯離子會迅速被移除，爾後電流密度會發生降低的現象，推究其原因可能是殘餘的氯離子多為結合性的關係，移除比較困難。此時可先將電源關閉一段時間，在停置時間內，由於不安定的氯化鋁酸鈣增加，使得濃度低的游離性氯離子在高的鹼性環境下發生消散作用，部分結合性氯離子會被釋出，此時再重新打開電源時，可再次得到去鹽的效果。氯離子如為游離性的，則去鹽所需的時間可大幅縮短。

(四)鹽份種類(NaCl or CaCl_2)

一般混凝土中氯離子主要來源為做為緩凝劑的氯化鈣(CaCl_2)和除冰鹽或海水污染的氯化鈉(NaCl)；一般而言 CaCl_2 較 NaCl 解離的速率為慢，故電化學去鹽時，污染源為氯化鈉的結構物所需時間較短。

(五)去除鹽量之多寡及其分佈狀況

去鹽法的效果與混凝土中氯離子的濃度有關，濃度越高者理論上是越有利於游離性氯離子的移動，自然也就比較容易被去除。圖六為氯離子初始含量與去除效果之關係。文獻指出，通電一段時間以後，在鋼筋附近的氯離子含量為最低，如圖七所示。又深度小處之氯離子比深度大處者較迅速被移除，如圖八所示。

(六)混凝土品質（如水灰比，水泥

含量等）

混凝土品質會影響其內部孔隙大小，孔隙大小關係孔隙溶液的進出難易；品質良好的混凝土內部孔隙小，外界腐蝕因子不易侵入，因此如內部有大量的氯離子存在，去鹽處理時相對較不易所需時間較長。

(七)溫度

去鹽法在電力場的作用下，電壓會因溫度改變而有差異。電壓隨著溫度增加有遞減的趨勢，因電流大小會隨著電壓改變，且電解溶液亦會因溫度改變其影響解離能力，故溫度亦影響去鹽的成效，如圖九、圖十所示。

(八)水泥種類

水泥種類與氯離子結合的能力有密切關係，在氯離子含量為1%時，結合性的氯離子與水泥結合的能力，依次為爐石水泥、飛灰水泥、普通水泥、矽灰水泥。

(九)鋼筋的數量及深度

鋼筋的數量是影響去鹽效率的主要因子之一，單位面積的鋼筋的數量越多，去鹽的效果較好，如圖十一所示。但鋼筋的密度如太密或是採上下雙層排列時，由於各鋼筋的電位相近，在雙層間之區域內的去鹽效果不佳。由於鋼筋的電位相同，氯離子移除路徑會受到一些限制，未若一根鋼筋通過的區域，氯

離子可以向四面八方驅趕。固然電化學反應的進行，有其方向性，但在鋼筋附近，依舊會受到鋼筋電位相同所產生的牽制作用所影響。

五、電化學去鹽法可能產生的負面效應

由於外加電流的穿透，引進之電力場作用，混凝土元件或許可能因長期暴露於此一電力場的作用下，致使混凝土孔隙溶液中之各種離子，因電荷相吸(斥)效應及毛細管作用，發生激烈之游動，重新分佈，這種離子傳送的機理(Transport mechanism)會局部降低原來離子濃度的平衡關係，因而誘發了混凝土可能產生的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……或其他物質之溶出與結合，改變了混凝土原來的結合模式，因此電化學處理或有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。下列為可能產生之負面效應：

(一)產生裂縫

在電力場的作用下，混凝土漿體之氫氧化鈣的破壞溶解以及孔隙溶液內之陽離子如 Ca^{+2} 、 Na^+ 、 K^+ 等可能溶出，同時向混凝土內之陰極(鋼筋)方向移動而陽極附近之 Cl^- 則可能從鋼筋表面或附近向混凝土表面外之輔助陽極網移出。造成上述離子做重新排列組合主要與通過混凝土之電流密度有關，通過電流

密度如超過 $1\text{A}/\text{m}^2$ 之混凝土表面積(相當於 $1-5\text{A}/\text{m}^2$ 之鋼筋表面積)時，可能造成混凝土微裂縫之生成與持續發展擴大。圖十二所示為採用高電流密度去鹽處理後鑽心試體發生裂縫的情形。

(二)產生氫氣對高應力鋼筋造成氫脆現象

在鋼筋表面由於腐蝕反應或陰極極化產生之氫氣，進入鋼筋內部會造成氫脆。鋼鐵的晶格中嵌入氫原子，並不一定會造成損害，普通情形均會失去延性，但僅在外加應力相當大，或殘留應力條件下，才會發生破裂。

(三)造成鹼骨材反應

波特蘭水泥水化過程中所釋出之鹼金屬離子、 OH^- 離子，和具有活性的骨材(含有矽化物)能發生鹼質與粒料反應(簡稱鹼骨材反應)，生成的鹼矽膠體反應物在吸水後膨脹，造成混凝土的破裂，起泡爆裂，結構變形，強度損失或嚴重到破壞整個結構物。去鹽過程中，鋼筋附近：(陰極部份)會形成氫氧根離子(OH^-)聚集，雖然可以增加鋼筋周遭的pH值，但如控制不當，有可能與附近含有充足水分的環境作用，造成鹼骨材反應。

(四)降低鋼筋握裹力

外加直流電源的通過混凝土介質，致使鋼筋與混凝土結合力受到影響，所引起對鋼筋與混凝土界面

之可能變化目前仍有爭議。結合強度的量測是用拉拔 (Pull out) 試驗，在光滑的鋼筋表面由於受到電化學處理而顯示出握裹力的變化，當通過電荷初期，握裹力有降低的現象，而後電荷繼續增加，顯然初期的降低是暫時性的。電流密度為 1 A/m^2 時應無握裹力降低的現象，至於電流密度甚大時其影響則值得探討。一般而言在正常混凝土下如無氯離子存在時，經電化學處理後，其鋼筋之握裹力並無顯著的變化，但有氯離子存在之環境下則有明顯的變化。由於電化學處理技術將引用於結構體修補系統下，因此握裹力的變化比原來設計為低時，結構體可能會有安全上的顧慮，因此對鋼筋握裹力的影響，必須加以注意重視。

六、結 論

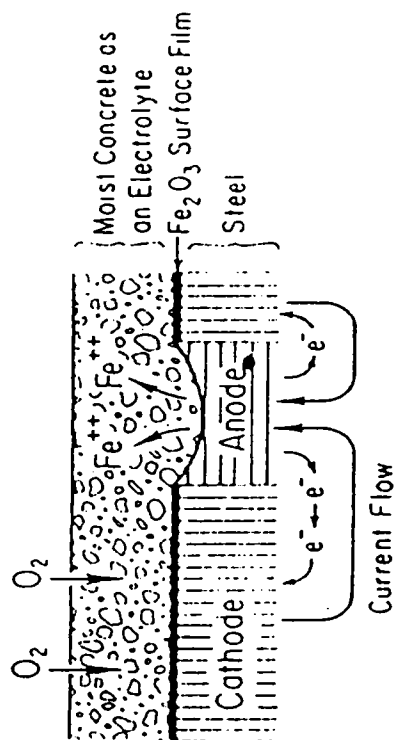
電化學去鹽法係應用電化學技術，將已受氯化物污染的鋼筋混凝土結構物中，將氯離子除去，以防止鋼筋持續腐蝕。去鹽工法是一簡單、有效且可行性高之非破壞性的修護方法，不但可在短時間內完成維修的工作，更可大量減低結構物修復的成本。但尚有一些未知的效應存在，可能影響混凝土品質，有必要深入研究了解。

七、參考文獻

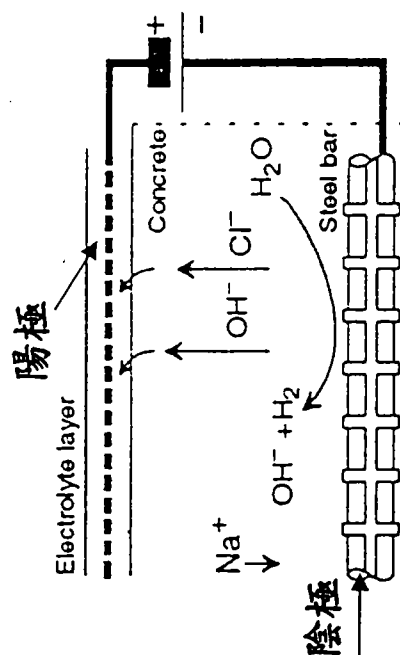
1. 李釗，「海洋環境對鋼筋混凝土侵蝕的反應機理」，鋼筋混凝土結構物防蝕技術研討會論文集，交通處港灣技術研究所，1989年。
2. D.Kennedy & J.B.Miller, "Review of Chloride Extraction and Realkalisation of Reinforced Concrete".
3. A.K. Suryavanshi, J.D. Scantlebury & S.B. Lyon, "The Binding of Chloride Ions by Sulphate Resistant Portland Cement", Cement and Concrete Research, Vol.25, No 3, pp. 581-592, 1995.
4. P.F. McGrath & R.D. Hooton, "Influence of Voltage on Chloride Diffusion Coefficient From Chloride Migration Tests", Cement and Concrete Research, Vol.26, No 8, pp.1239-1244, 1996.
5. J. Tritthart, K.Pettersson and B. Sorensen, "Electrochemical Removal of Chloride From Hardened Cement Paste".
6. Z. Xu and R. D. Hooton, "Migration of Alkali Ions In Mortar Due To Several Mechanisms", Cement and Concrete Research, Vol.23, pp. 951-961, 1993.
7. S. Chatterji, "Simultaneous Chloride Removal And Realkalization Of Old Concrete Structures", Cement and Concrete Research, ol.24, No.6, pp. 1051-1054, 1994.
8. B. Elsener and H. Bohni, "

- Electrochemical Chloride Removal Field Test", Corrosion And Corrosion Protection Of Steel In Concrete, Vol.2, Edited By Narayan Swamy, Shoffield Academic Press, 1994.
9. Rob B. Polder, Robert Walker, Christopher L. Page, "Electrochemical Chloride Removal Tests Of Concrete Cores From A Coastal Structure", Corrosion And Corrosion Protection Of Steel In Concrete, Vol.2, Edited By Narayan Swamy, Shof-field Academic Press, 1994.
10. Shoji Amasaki, "Influence of Carbonation on Properties of Concrete ", Transactions of the Japan Concrete Institute vol.6 , 1984 .
11. J.E. Bennett, T.J. Schue, "Electrochemical Chloride Removal From Concrete : A SHRP Contract Status Report", Bally's Hotel, Las Vegas, Nevada, 1990.
12. K. Ishibashi, M. Ashida & M. Handa , , "Chloride Removal From Concrete by Means of Electrochemical Treatment".

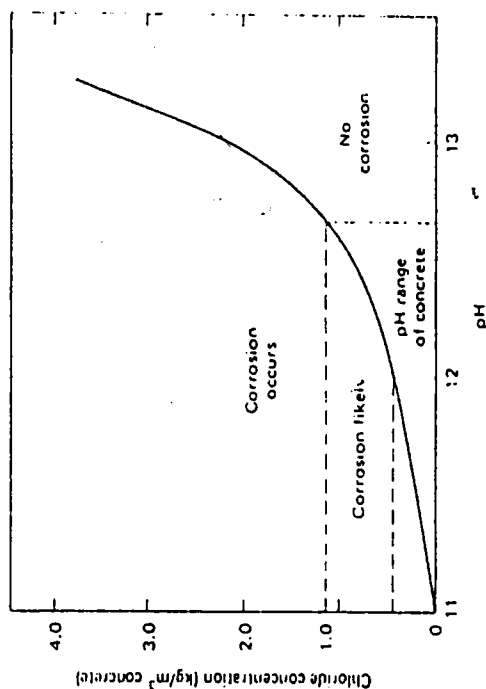
Cathode Process Anode Process
 $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ $Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e^-$



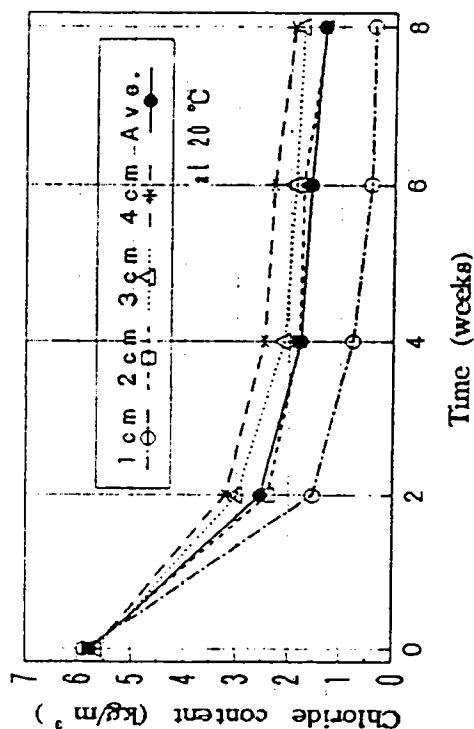
圖一 混凝土中鋼筋腐蝕機理示意圖



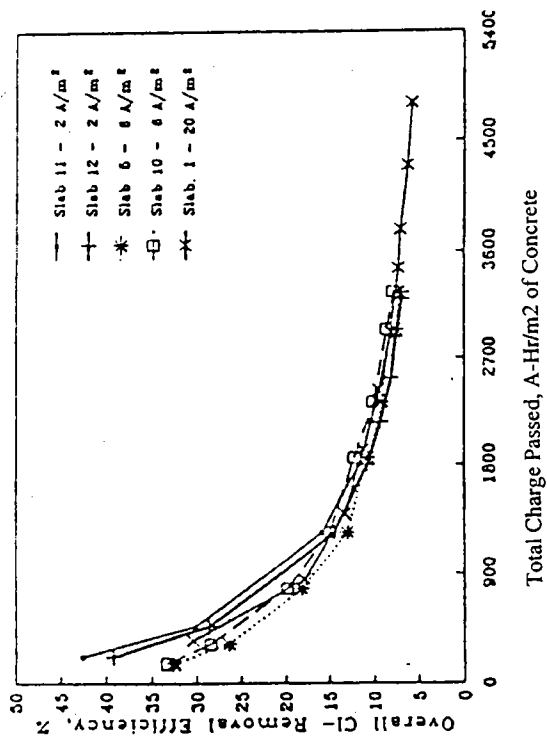
圖三 電化學去鹽法示意圖



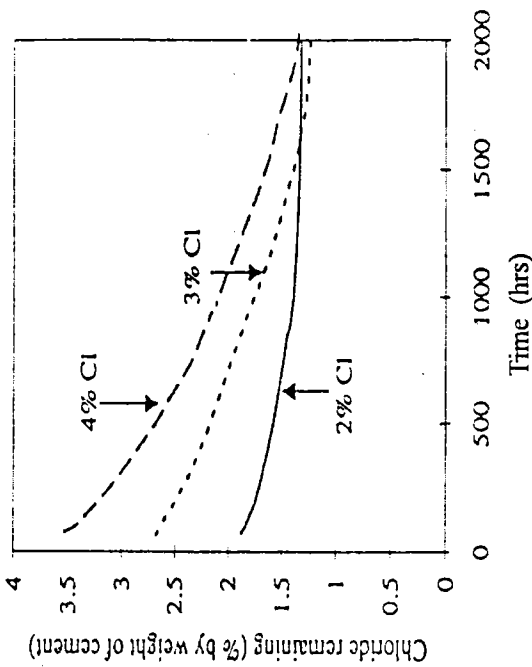
圖二 氯離子濃度與混凝土pH值對鋼筋腐蝕之影響



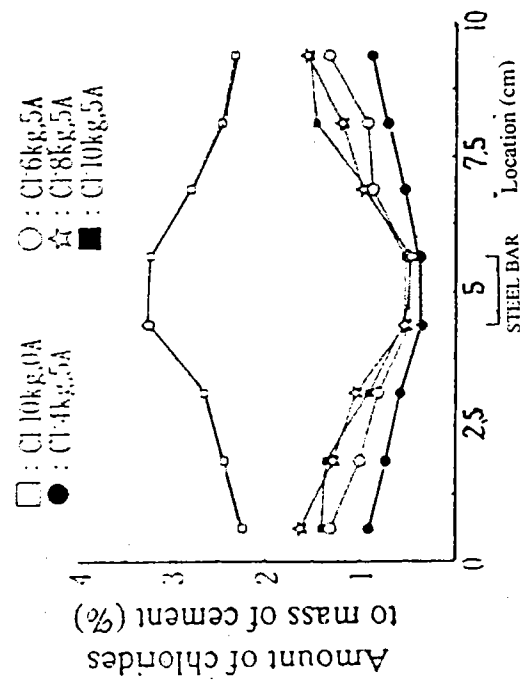
圖四 通電時間對氯離子移除效果之影響



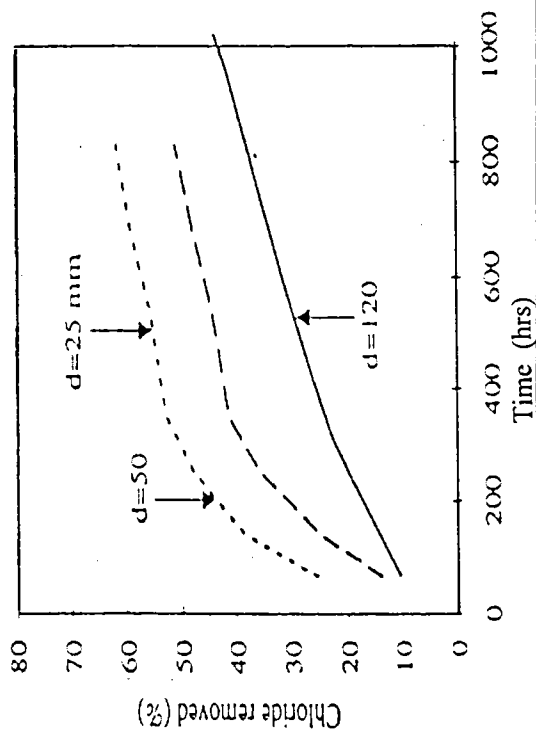
圖五 通電量對氯離子移除效果之影響



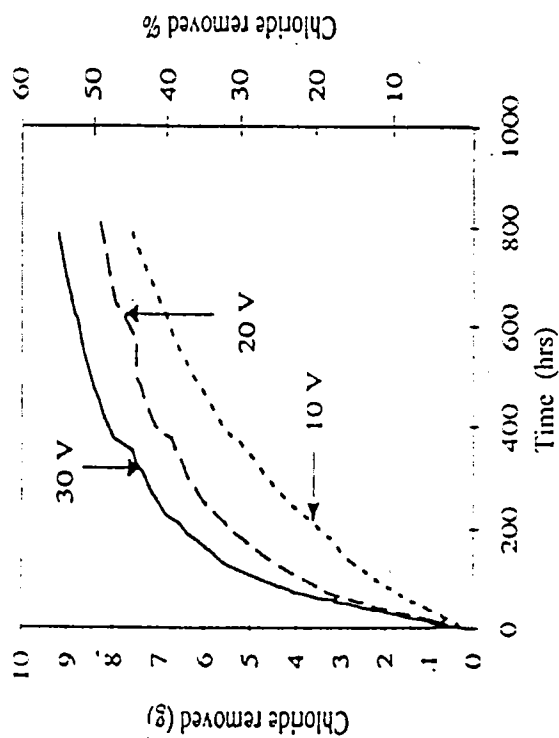
圖六 氯離子初始含量與移除效果之影響



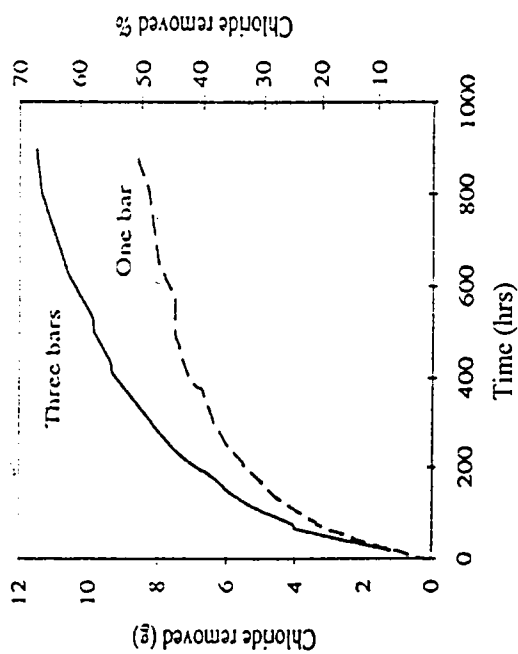
圖七 去鹽處理後鋼筋附近之氯離子含量



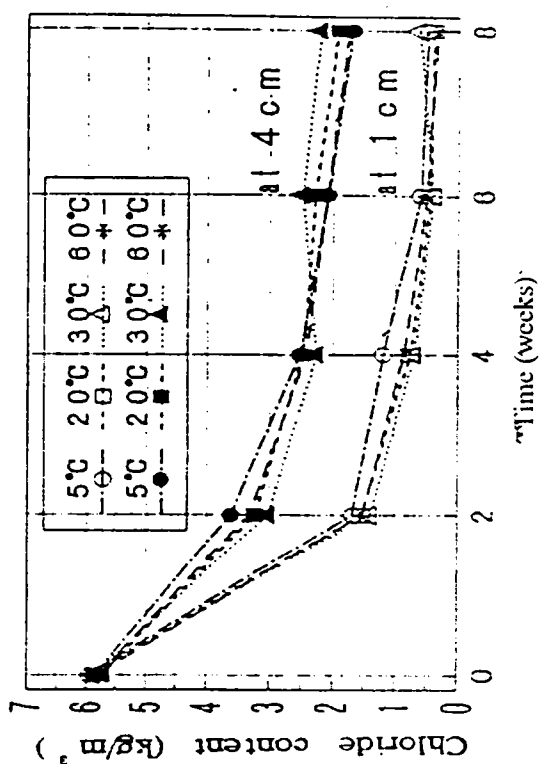
圖八 不同深度之氯離子移除效果



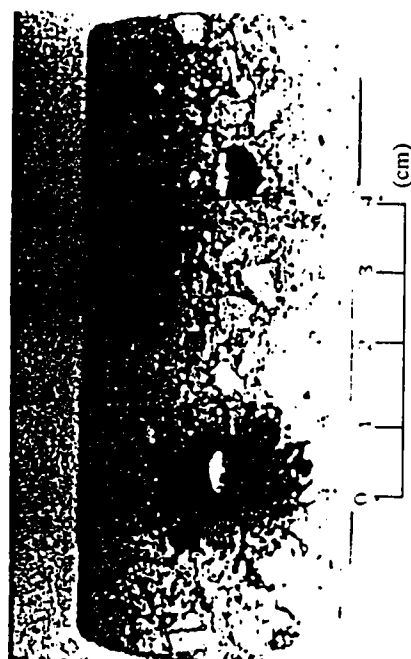
圖九 不同電壓對氯離子移除效果之影響



圖十一 鋼筋數量對氯離子移除效果之影響



圖十 溫度對氯離子移除效果之影響



圖十二 以高壓電處理後之鑽心試體裂縫情形

「港灣報導」徵稿簡訊

1. 本刊為提供國內港灣工程界同仁交換工作經驗與心得之園地，歡迎工程、學術界之同仁提供港灣工程相關之工程動態或實務、工程新聞、技術新知、地工技術、工程材料、營運規劃及其他有關之工程簡介或推動中計畫等之報導，論著或譯述。
2. 來稿請用稿紙繕寫清晰，註明標點，以利計算稿酬。如有插圖，請用白紙黑繪。
3. 來稿每篇以八頁（含圖）以內為原則，稿酬從優。
4. 本刊每年刊行四期，分別於一月、四月、七月、十月出版。如蒙惠稿請於每期出版前三十日寄交本刊。
5. 連絡電話：(04) 6564216 轉 209
傳真號碼：(04) 6571329 錢爾潔小姐
6. 歡迎賜稿，來稿請寄『台中縣梧棲鎮 43501 港灣技術研究所
港灣報導編輯委員會 收』

行政院新聞局出版事業登記證局版台誌字
第陸貳伍貳號

中華郵政中台字第〇五六二號登記雜誌

中華民國七十七年二月一日創刊（季刊）

發行所：港灣技術研究所

發行人：張金機

總編輯：莊甲子

編輯委員：邱永芳、朱金元、李豐博

饒正、簡仲璟、錢爾潔

所 址：台中縣梧棲鎮臨海路83號

電 話：(〇四)六五六四二一六~九

F A X：(〇四)六五七一三二九

印 刷 者：總領電腦打字印刷行

印刷廠址：台中市尚德街 136 號 8 F 之 3

電 話：(04) 2016822