

要 目

- ❖ 台灣地區海岸災害防治之展望
- ❖ 港工材料海生物腐蝕研究
第二部份 碳鋼材料於高雄港區現場腐蝕試驗
- ❖ 台灣地區陸上貨運起迄現況之分析
- ❖ 近岸海域遙感探測應用與展望
- ❖ 兩岸境外航運中心航港發展之探討
- ❖ 迴歸分析預測變數的選取與檢定

中華民國八十七年元月出版

目 錄

一、台灣地區海岸災害防治之展望 ----- 1

郭金棟 國立成功大學水利及海洋工程系教授

二、港工材料海生物腐蝕研究

第二部份 碳鋼材料於高雄港區現場腐蝕試驗 ----- 8

李賢華 國立中山大學海洋環境系教授

羅俊雄 國立成功大學水工試驗所副研究員

饒 正 港研所副研究員兼港工組組長

林維明 港研所研究員

三、台灣地區陸上貨運起迄現況之分析 -----21

鄭樂堯 亞聯工程顧問公司規劃部經理

賴明堂 亞聯工程顧問公司規劃部組長

范聖堂 亞聯工程顧問公司規劃部規劃師

蔡瑞鉉 亞聯工程顧問公司規劃部規劃師

四、近岸海域遙感探測應用與展望 -----33

呂黎光 工研院能資所副研究員

五、兩岸境外航運中心航港發展之探討 -----47

馬維倫 港研所圖書室

六、迴歸分析預測變數的選取與檢定 -----50

賴瑞應 港研所助理

台灣地區海岸災害防治之展望

郭金棟 國立成功大學水利及海洋工程系教授

一、引言

16世紀葡萄牙船經過台灣，驚訝於其美麗稱之為Ila Formosa!，從西歐人早期所測繪之地圖不難察知西海岸砂洲密佈處處內海、潟湖遍佈於南部沿岸。不過三百餘年，由於荒山野溪攜帶大量泥砂沖積結果都變成濕地或陸化，台江內海今不復見，或成鹽田、漁塭或成農田，滄海桑田變化可謂神速，而點點砂崙也串連成離岸砂洲移向陸地，儼然形成保衛台灣海岸之屏障。但近數十年來由於山地保育、河川整治、水庫興建使砂源減少，不但海岸成長萎縮，若干海岸日漸後退，尤以近數年河川大量採砂及海岸開發之結果侵蝕更形嚴重。而經濟發展帶來污水與垃圾更嚴重破壞海岸環境，昔日密佈螃蟹、蛤蜊之海灘，今已形同砂漠不見生物。海灘亦逐漸消失，寬敞無垠之海灘已不復見，且垃圾成堆，海岸環境丕變之神速，不能不令人吁唏。所幸最近二、三年來大家已能重視環境，河口黑水溝稍漸清澈，海岸亂倒垃圾也較少見，但海岸卻因防災或開發

之需已被混凝土取代，引起環保團體之詬病。沿岸地帶本已低窪容易淹水極其脆弱，大量抽取地下水之結果導致嚴重地層下陷，溢淹已司空見慣，生命財產飽受威脅，關心海岸者情何以堪！海岸工程自引進台灣以來已歷四十年歲月，固然對社會不無貢獻，但亦難辭破壞海岸之責，深值反省。不論從防災或環境保護觀點看似乎已到了另一轉捩點，值得重新思考。今後在規劃設計上應溶入尊重自然、愛護環境之理念，創造更舒適美麗之環境。海岸防災固然應包括地震、風害、鹽害、地層下陷、淹水等等，但本文僅就海岸溢淹及侵蝕二項問題討論。

二、對海岸溢淹防災之展望

海岸地勢本即低窪平坦，易淹而難排，一旦暴雨內水溢淹則持久難退，倘有颱風來襲，暴雨再加暴潮大浪海水倒灌災情更加嚴重。中南部沿岸地層下陷地帶每逢大潮即有淹水之苦，暴風來襲時更難安寧。固然為防止溢淹災害可用河海堤

經濟發展使得增加防災設施之投資，非但無法完全遏止災害，且永遠無法趕上災害損失之上昇。

避兇趨吉遷地爲良乃人類本能長年之經驗，但因圖交通貿易與漁撈之便，往往不顧波浪與潮水危險瀕海而居。台灣土地資源缺乏，寸土寸金與海爭地極盡開發能事，而人口產業密集於沿岸地帶，一旦發生溢淹損失不貲。災害發生頻率或災害規模固可借防災設施減低，但災害損失之減少則有賴災害管理，即①加強防災組織②溢淹危險區土地使用及建築管理制度之加強③實施溢淹保險制度。溢淹之發生固有因人謀不臧所引起，但大部份肇因於與水爭地之結果。沿岸陸域之海水溢淹不外因暴潮海面異常上昇再加風浪，海水自河口、排水溝灌入或越過河堤、海堤或港灣碼頭流入低窪地所造成。有如河川行水區，可能發生溢淹危險之低窪地本不應利用，奈何因無知或明知而不顧危險加以利用，利用者心裡應有被溢淹之準備。也有原本安全卻因地層下陷而增加其危險性者，不論如何政府應有義務告知其危險性，使土地利用者依其對危險性之認知，於開發利用時預爲防範，選擇其利用形態及密度。對海岸溢淹言應採用下述對策：

(一)劃定溢淹危險區

即依據暴潮及暴浪之過去記錄及水理計算結果劃設10年、30年、50年及100年溢淹邊界線，標示於1

/5000地圖上，予以公佈爲高度、中度、低度危險區，使居住或在該範圍從事農、工、商業行爲者能居安思危瞭解其處境。先期危險區劃定時可能因海氣象、地形資料及技術不足難盡人意，但可於若干年後依據新資料加予修正調整。政府依危險程度釐訂保險費率及土地使用管制。

(二)實施危險區土地利用管理

一如氾濫平原管理，爲減輕海水溢淹災害損失應採取區域管制。考慮自然生態保育、土地資源、土地利用現況、社會及人民習性、損失等因素，對各級危險區之土地利用形態與密度予以規劃管理，各縣市應依其需要制定海岸溢淹管理計畫逐步實施。此種制度之實施可能非一朝一夕即可被接受，必需先擬訂概念性的架構計畫，借助各階層觀念之溝通、討論、評價與協調，先選擇危險區高而開發程度較低處開始實施再逐漸推廣。此種制度有如都市計畫之對於都市土地使用及發展予以事先規劃，使有限之土地資源獲得最佳之利用，最少之災害損失。不僅如此更需將生態保育、休閒與教育、社區發展、公共建設、經濟開發、海岸開發、海岸災害等等溶於一體，實施整體性海岸管理(ICZM)達到海岸地區之永續發展。

(三)後退線之設定

對於可能被波浪侵蝕或波浪直

接衝擊之地帶應劃定為特別危險區，後退線可由砂丘頂向陸側延伸30年侵蝕或自海堤內坡堤址起向陸延伸30m為界，自該線海側為範圍，禁止於該地區建築並對開發行為予以嚴格限制。後退線於未開發之砂丘地帶可酌予延伸其徑深，而已有密集聚落處可酌予縮小，但不低於現有海堤內側排水溝起算10m，於該區內房屋予以補償遷移，俾確保安全。

(四)加強防災設施

建設、補強或加高河海堤，阻止波浪直接越堤侵入，並於低窪地區暴潮可能侵入之河道、排水溝之河口興建防潮閘 (Tidal barrier) 防堵海潮自河口越堤或自排水路 (管) 侵入造成氾濫。對於社區溢淹則除加強排水路及大型排水幫浦設施外，對予建築亦應有適當之規範，鼓勵使用耐水防水建材、加高地基、架空壹樓或壹樓低密度使用等，減少災害損失。

(五)嚴重地層沉陷區之土地重劃

若干沿海土地高程已沉陷到平均高潮位以下之地區，防災設施已難發揮功能，即使無暴潮於經常大潮來襲時即淹水，其一般土地或農地使用價值極低，更不適宜居住。對於此種土地應如同都市重劃或農地重劃，由政府出資約以100~500公頃為單位做為重劃區，於其四周開挖渠道，以其土方填高開發區內土地至暴潮位以上，以免淹水 (如

圖-1)。填高之土地除供社區外，亦可規劃為公園、娛樂、農、工商業用地，開挖之渠道仍可供養殖及水上休閒之用。重劃後之土地除供公共用地者外，發還給土地提供者。(例如以100公頃為單位，於四周開挖100m寬、深7m之渠道，將此土方填高剩餘之64公頃土地，高程約可增高3.4m)，如此不但可使魚塭或易淹水地區之土地再發揮其功能亦可提高土地價值。挖填費用及公共設施由政府負擔減輕人民負擔。

(六)建立防災保險制度

一旦發生淹水災害，不論各種產業、生命財產必蒙受或輕或重之損失。過去此等災害損失多依賴政府補救或私人捐款賑災，但不論如何都不足彌補損失，故於溢淹危險區內之建築、產業應實施保險制度，除個人投保外亦由政府補助分擔。保險費率依危險區級數訂定，一旦發生災害即由保險金償還，政府並可透過保險補助加強土地使用及建築管理，降低危險潛能，同時亦可減輕納稅義務人災害救濟之負擔。溢淹災害保險制度美國已實施有年成績卓著值得引進。

(七)加強防災體制修訂防災法令

有關一般防災及溢淹之法令散見於我國各種法令中，鑑於其不完整不足於應付現代社會，政府亦於84年完成「災害防救法」草案，對於防災工作之落實與防災體系之健

全、防災業務之提升與應變均有所規定，但內容偏重於災害緊急應變而缺乏治本之災害預防對策，亦無財務計畫、減免稅與保險等紓困規範。雖有政府間防災組織但未將民間防災組織予以納入，不論防災組織、防災預警、災害對策及防災財務措施都需參考國外相關法令，應予以加強使之更臻完整。

三、對海灘侵蝕保護之展望

由於海水上升、河川砂源短缺、不當開發等等原因，台灣砂質海岸過去之堆積現象，普遍都有侵蝕現象，只有嚴重程度之差異而已。而為了遏止海水溢淹及侵蝕，除去岩石、珊瑚海岸及人口稀少偏僻地區以外，幾乎已被自六十年代以來所興建之海堤完全包圍。這些海堤固然對海岸禦潮防災發揮了極大之作用，但不可諱言的也阻絕了人民的通海權，阻擋了視覺破壞景緻，而引起若干爭議。最近由於花東公路之拓寬工程興建護岸破壞了海岸景緻，引起景觀及環境保護學者及團體之抗議，另因興建海堤或結構物導致海灘加速侵蝕更受物議。早期所興建的海堤宥於經費構造簡陋或因思考不周全並不十分理想。近20年來侵蝕防治方法及觀念亦有進步與改變，目前有些已老朽不堪或未能充分發揮防護功能，有待整建加固或加高。值此時期值得吾人反省檢討做為此後整建新建海岸保護工改進之借鏡。

過去我們都過份依賴以堅固硬

體結構物阻擋波浪能量，今日雖知應以柔性或消能性結構物吸收波能，但礙於其實用性與經濟性而不能普遍應用。例如在50年代即有空氣或水力防波堤之研究，用於取代混凝土防波堤，雖效果不如後者以及保養上之困難而未實現，但從海岸環境言也許是一種較佳之選擇。基於回應景觀及環境保護之要求，今後之海岸保護工法勢必以尊重海洋環境、吻合自然與景觀之工法做為思考之主軸。

海岸、海洋早已溶入於島國台灣人民生活之中，不僅討海捕魚賴以維生，三百餘年前即已充份利用沿岸濕地開闢鹽田魚塢從事生產。海岸不僅是現代國民運動與休閒活動主要場所，更是水產養殖、海運事業、發展經貿重要根據地。但我們竟霍然忘記海洋恩惠，不知珍惜任意利用破壞海洋環境，利用現代科技於海岸開發之同時不應忘記如何守護美麗的海岸，而在建設海岸保護設施之同時，希望亦能同時創造供一般大眾利用的水產養殖、運動休閒賞景、休息療養、生態教育等空間，而不僅限於海岸保護的單純目的而已。

台灣海岸雖僅有一千六百餘公里，但含蓋各種各色的海岸。就砂質海岸言，有中西部坡度1/1000以下之緩坡海岸，也有東坡度1/20以上之陡坡海岸。因海岸特性不同所應採用之保護工法自然也應因應其地形地質及波浪特性而有不同之選擇。除開目前採用之離岸堤、突堤

、海堤、養灘等方法之外，茲提出若干構想供參考，但這些構想還需深入研究。

(一)人工砂堆

中西部彰雲海岸前灘(潮間帶)遼闊達數公里，潮差大，平常前灘浪小，底床平坦粒徑細而緊密，潮溝甚為安定殊少移動，底床穩定，目前海岸均由混凝土或卵石海堤保護。若干地區因地層下陷以致暴潮時有越波產生，海堤需予以加高加固。除以該地砂土覆蓋於海堤外坡堤面外，可考慮於視界所不及(約數百公尺)處開挖溝洫1~2道並將其土方填高成砂堆，借海床起伏成為人工潛沒砂堆(submerge bar)(如圖-2)，迫使颱風高潮時波浪碎波而衰減。其形成可依理論及試驗決定。

(二)混合海堤(Hybrid seawall)

台中、苗栗、雲嘉一帶海灘坡度亦甚為平坦，坡度約在數百分之一，但底質砂質成份較高，海堤亦因地層下陷或老朽於賀伯颱風時受損或越波。海灘亦有輕度侵蝕，理應以養灘工法防治，但顧及砂源取得不易，為減少採砂僅於現有堤面加厚並放緩外坡坡度至約1/10，將混凝土堤埋藏於砂土下(如圖-3)，上層加厚之土砂不但可吸收波能，斷面大安全性增加，亦能吻合自然景觀；而下層海堤於萬一砂土被侵蝕殆盡時仍有保護作用，柔性與硬性兼顧之工法。南部已建離岸堤處

之海堤亦可採用此工法加以改變外觀。所需加厚之厚度可依海灘侵蝕機率決定。

(三)複列潛堤

東部及宜蘭海岸波能強而海岸坡度陡，又為景觀資源重鎮，對海岸景觀之維護更需較其他地區多加關注。這些地區；部份海灘僅有50m甚至僅有30m，而海灘陡急不足以使用人工養灘防止侵蝕，但如不使用消波塊等硬體保護工又難於克服強大波力，故唯有以潛堤方式消減波能而不損景觀。但於陡坡海岸建潛堤如於淺水建堤因離岸距離不足消坡效果不彰，如欲獲得充份之背後水域，必需興建於水深處工程費不貲。故可以二道潛堤以適當間距配置(如圖-4)，借共振及碎波消殺波能，如果能將波高予以減低至入射波之1/2~2/3，使之落於堆積型海灘之條件即可，並不期待形成繫陸洲或砂扇，能達到保護目的即可。如果考慮以堤間及堤內海岸供養殖之用，則其位置可酌予外移。

(四)滲透法

於砂灘上埋設水管抽水，或者於砂灘下埋設透水管，都可以增加波浪溯升之滲透流速而使溯升高降低回流速度減緩，因而減少侵蝕甚至於可促進砂灘之堆積，這種工法在丹麥、美國及日本都有實體及模型試驗研究證實其效果。但埋管法抽水不但費電，經久滲透係數降低，保養維修上不無困難，難耐久，

唯如能配合養殖用水則頗具價值。砂灘下埋設透水層（如卵石層、消波塊）較無上述缺點，但需開挖大片砂灘再埋設，施工期對砂灘破壞，恐亦難於大範圍侵蝕情況下應用。滲透量降低到多少、於何位置埋設最有效，有待進一步研究。

(五) 吻合環保消波塊之開發

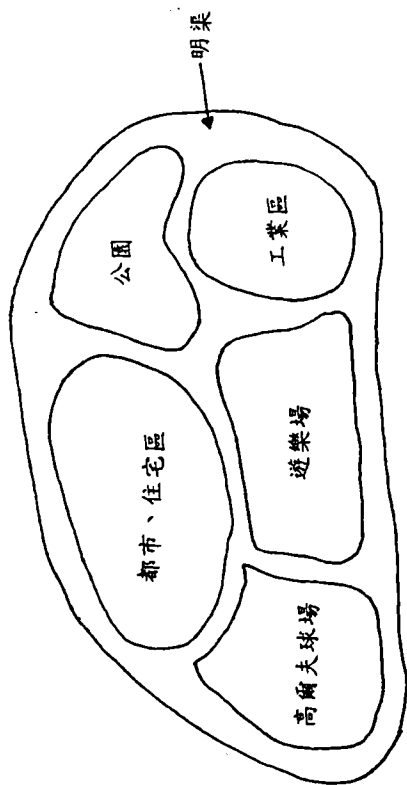
混凝土消波塊固然可以克服波力消殺波能，但堆積於海岸因其形狀嶙峋確實不甚雅觀，尤以施工不良表面粗糙亂拋者為然。在歐美等石料豐富之國家，多以天然石塊做海堤防波堤，對於海岸景觀之破壞並不明顯，許多觀光區之離岸堤或突堤都以石塊構築，遊客並不為忤。在還未開發新而不破壞海岸景觀之工法前，消波塊在短時間內恐難不能不使用。因此應設法開發既具有消能又能吻合環境具有美觀外型之消波塊，倘如配予優美之堤線應有助於景觀。

四、結語

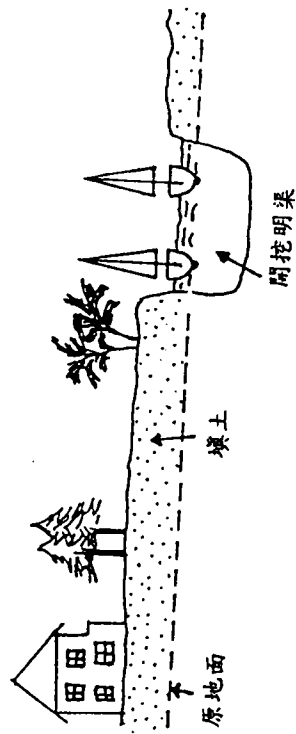
海岸溢淹災害軟體措施之重要性不亞於硬體設施，有待政府在管

理面之加強。地層下陷區欲期恢復不易，應從土地使用形態之改變或土地重劃切入。

海灘為天然消波體，碎波後未完全衰減之波浪，藉在海灘上之潮升、滲透而消失，倘無充份之海灘就無法防止波浪災害及侵蝕。颱風期之侵蝕乃自然循環之過程一部份，零對策，即不採取任何對策是上策，如欲以人工防止，也以盡量少改變原貌，維持足以消能之寬敞海灘為宜。海岸侵蝕治本之道在保持砂源平衡，如有充份之砂源供應，即使暴浪侵蝕之海灘在暴風後也會漸漸恢復，非則無論如何保護都難奏效。由過去經驗，我們已認識到消能優於反射，柔性勝於硬性，破壞自然不如尊重自然，高度開發必帶來自然反撲。坡地過度開發帶來的災情令人怵目驚心，也許海岸開發給人的衝擊不是那麼直接，但無疑的這些資源之消耗與損失可能給後代帶來無法彌補的環境。美歐國家的海岸工程早已自海岸開發進步到海岸保護與海岸管理，我們需要迎頭趕上。唯有愛海岸者才會尊重海岸，接受海洋的恩惠。



平面圖



立面圖

圖-1 沉陷區土地重劃構想圖

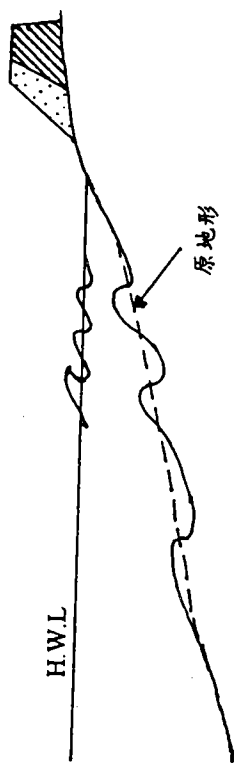


圖-2 人工砂堆法



圖-3 混合海樁法

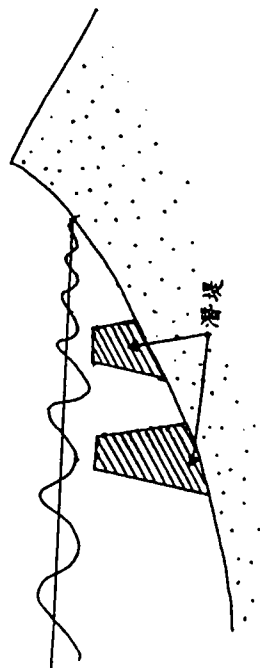


圖-4 複列樁堤法

港工材料海生物腐蝕研究

第二部分 碳鋼材料於高雄港區現場腐蝕試驗

李賢華 國立中山大學海洋環境系教授
羅俊雄 國立成功大學水工試驗所副研究員
饒正 港研所副研究員兼港工組組長
林維明 港研所研究員

一、前言

如前文所述，港工結構所使用的材料，除了石料之外，主要為鋼構材料及混凝土或鋼筋混凝土材料為主。其中鋼構材料如鋼板樁、鋼管樁及配合使用之拉緯鋼纜等各型鋼料，材質均以碳鋼為主。因此，碳鋼材料在海洋環境中之腐蝕更為重要，而造成碳鋼材料腐蝕的原因有許多，最主要的為電化學作用所形成的金屬銹損。電化學作用則是陽極的金屬材料失去電子，形成正離子為氧化反應；而海水中或水面之氧則吸收此負離子，形成氫氧離子是為陰極反應。然後該金屬離子與氫氧離子結合為氫氧化合物或氧化物，沈澱於原金屬表面是為銹損。碳鋼構材腐蝕後，主要的影響造成構材斷面縮小，性質改變，整體結構變化以至最終強度損失，無法承擔外力的作用。另一造成腐蝕的原因則為海洋生物的附著作用，此部分的影響則是多方面的：其一，

海生物附著將對構材造成局部性腐蝕，原因為附著之海生物或微生物，在其生長及新陳代謝過程中，會產生有機或無機酸性物質，以致改變金屬與水溶液界面溶氧量、PH值與部份有機或無機物質，造成氧差和濃度差異電池，形成局部腐蝕。另外，當海生物或微生物覆蓋下，在金屬與生物界面間產生厭氧環境，有利於厭氧性菌類如硫酸還原菌之存在，造成陰極去極化現象，加速金屬孔蝕作用。其二，海生物附著於構材上，將增加構材之重量，在結構受力時，其慣性載重將相對增大，再加上海生物附著後構材半徑加大，其所留滯的水量(Trapped Water)，亦將增加“外加質量”(Added Mass)之值。其三，海生物附著於構材上，將使構材表面之粗糙程度及表面積均增大，造成作用之拖曳力之增加。因此在力學分析上討論時，海生物附著之影響將是雙重的，也就是除了腐蝕造成斷面損失、強度降低之外，也將使得拖

曳力及慣性作用力增大，以致整體結構之安全因子亦相對降低，對耐久性、安全性之負面影響顯而易見。

本階段的研究中，探討的重點為碳鋼在自然海水中之腐蝕情形；至於前述生物附著後形成之荷載增加，力學特性改變及結構行為影響等，則將在其他相關研究中探討。而海洋生物於高雄港區之分佈、種類、附著狀況、與附著材質之關係、向背光面之生長影響等，均已在第一部分文章中詳細介紹過，因此本文將接續前文有關附著海生物之研究而以碳鋼之腐蝕探討之。

二、高雄港區碳鋼現場腐蝕實驗

本研究中針對高雄港不同地點、不同深度、不同材料試片規劃了一系列之碳鋼於港區內現場腐蝕實驗，其於港區內，位於#10、#14、#33、#51等四座碼頭附近，分別置放經特別設計之試片架及碳鋼試片，試片除一般未經防蝕處理者外，亦加上以鋁塊為犧牲陽極之防蝕處理者，各碼頭於高雄港之相關位置則如圖一所示。如同附著生物樣本試片必須作實驗室進一步的分析一般，該腐蝕試片除了於現場進行腐蝕電位量測之外，並攜回實驗室，進行進一步之腐蝕狀況、位置及腐蝕速率量測。其實施方式則簡單說明如下：

試片採樣後、試片表面腐蝕分析之處理步驟：

(1)採樣時於現場測量各試片之開路電位（腐蝕電位）並拍攝海生物附著與試片腐蝕之情況。

(2)於實驗室中除去海生物後，依據NACE Standard TM-01-69方法，以濃鹽酸+ 50g/lSnCl₂ + 20g/l SbCl₃ 溶液，在室溫下浸泡SS41 碳鋼試片，達到除銹效果，並稱重以量測其重量損失。

(3)鋁犧牲陽極，則利用 70 % NNO₃ 溶液，在室溫下浸泡2~3分鐘，除去其腐蝕產物後稱重，藉由重量損失來估算其腐蝕速率。

三、試片現場腐蝕試驗結果及討論

(一)腐蝕速率變化與水深之關係

圖二(a)~(f)分別為自由腐蝕之碳鋼試片在#10、#14、#33、#51號四個碼頭於各個採樣時間分析所得之腐蝕速率與水深之關係曲線，該腐蝕率為經由現場浸漬後之重量損失計算得出，根據腐蝕速率計算公式：

$$\text{mpy} = 534W/DAT$$

式中W=試片之重量損失(mg)，D=試片密度(7.87g/cm³)A=試片面積(136.4in²)，T=試片暴露時間(hr)。圖二(a)為浸漬時間為兩個月之腐蝕速率與水深之關係圖，圖二(b)為浸漬時間為四個月之腐蝕速率與水深之關係圖，圖二(c)為浸漬時間為七個月之腐蝕速率與水深之關係圖。圖二(d)、(e)及(f)則分別為浸漬十個月、十三個月及十六個

月後之試片腐蝕速率與水深之關係圖。其中各個點分別為將四座碼頭之腐蝕速率，而實線則為四座碼頭之分析結果平均後繪出之曲線。圖中顯示浸漬時間較短時，試片之平均腐蝕速率較大，浸漬時間較長時，試片之平均腐蝕速率則有緩和之跡象。如圖二(a)，(b)及(c)為七個月間各階段之腐蝕速率，其平均值大約都在 0.4mm/y 左右，依各個碼頭不同而有部份差異性，如#51碼頭在初期浸漬時間內，平均腐蝕速率最高達到 0.6mm/y 以上。腐蝕速率隨水深不同而變化之關係並不明顯，如圖二(a)浸漬兩個月之腐蝕速率，除在水深3m處之腐蝕速率稍高外，在水深0m及水深6m處之平均腐蝕速率幾乎相同。如圖二(b)浸漬四個月之腐蝕速率，則顯示出隨著在水深增加其平均腐蝕速率亦有增加現象。圖二(c)浸漬七個月之腐蝕速率，則顯示除在水深6m處之腐蝕速率稍高外，在水深0m及水深3m處之平均腐蝕速率則幾乎相同。如圖二(d)及(e)浸漬十個月及十三個月之腐蝕速率，除了平均值降低之外，亦有類似現象。圖二(f)浸漬十六個月之後，腐蝕速率明顯趨於緩和之外，則較顯示出與水深變化之相關性。

因此，由以上觀察中可知，腐蝕速率與水深變化之相關性，隨浸漬時間之長短而有所不同，與一般較長時間（如十年以上）之檢測結果——腐蝕速率與水深變化有相關性稍有出入，可見長期觀察之重要

。另外在此次試驗中，一般認為腐蝕速率較大的飛沫區，因海生物不易附著並未加以測試。

圖三(a)至(f)則為經陰極保護之試片，在四個相同碼頭現場浸漬之試驗結果，其浸漬時間如自由腐蝕之試片分別為兩個月、四個月、七個月、十個月、十三個月及十六個月。觀察此腐蝕速率與水深之關係圖發現，經陰極保護之試片，其在七個月內之腐蝕速率約在為 0.2mm/y ，以#10碼頭及#51碼頭試片之腐蝕較為嚴重，此現象與自由腐蝕試片之結果類似，而平均腐蝕速率最高接近 0.3mm/y 左右，但仍遠低於自由腐蝕試片之值。在較長期的浸漬之後，如圖三(d)至(f)，經陰極保護之試片腐蝕速率亦有降低趨勢，其平均腐蝕速率低於 0.1mm/y 。至於腐蝕速率與水深變化關係，於陰極保護試片中，亦不易觀察出；但以較長期的浸漬，如十個月以上之結果觀之，其腐蝕速率似乎隨水深增加而減低，此趨勢則與浸漬十六個月後自由腐蝕之結果相反，相信與加上之犧牲陽極腐蝕變化情形則有重要關係。但如前所述，腐蝕的現象需經長期觀察而得，短期的變化與長期的現象常有差異。

(二)腐蝕速率變化與浸漬時間之關係

自由腐蝕試片其腐蝕速率與浸漬時間之關係繪製如圖四所示，圖四(a)為在0m水深處之腐蝕速率，圖四(b)為在3m水深處之腐蝕速率

，圖四(c)則為在6m水深處之腐蝕速率。該腐蝕速率為累積四座碼頭、六次採樣之分析結果，其中各個點分別為四座碼頭，在採樣時間內分析得出之平均腐蝕速率，而實線則為將四座碼頭之分析結果平均後繪出之曲線。由圖中，三個不同水深中均可觀察出類似之腐蝕趨勢，從開始浸漬到約七個月期間，其平均腐蝕速率在0m及6m水深處均有緩慢增加現象，由約0.4mm/y增加到約0.5mm/y，3m水深處此一現象則較不顯著；而浸漬超過七個月後，其平均腐蝕速率則有急速下降情形，其值下降至略低於約0.3mm/y，至約十個月後，則呈現穩定狀態。

而經陰極保護之試片其腐蝕速率與浸漬時間之關係亦繪製如圖五所示，圖五(a)為在0m水深處之腐蝕速率，圖五(b)為在3m水深處之腐蝕速率，圖五(c)則為在6m水深處之腐蝕速率。經陰極保護之試片之腐蝕速率曲線與前述自由腐蝕試片之腐蝕速率比較，發現其趨勢頗為一致，除了平均腐蝕速率之值較低之外。經陰極保護之試片之腐蝕速率，於七個月之浸漬期間，其值為0.2mm/y或略低於0.2mm/y。而在浸漬超過七個月之後，其平均腐蝕速率則明顯降低至約0.1mm/y左右。各不同水深之腐蝕速率隨時間之變化趨勢均頗為相似。

(三)自由腐蝕與陰極保護試片之比較

圖六(a)、(b)及(c)則分別表

示自由腐蝕試片及經陰極防蝕處理試片，於高雄港區四座碼頭，三個水深經十六個月浸泡後，其累積之重量損失，以百分比表示之。其中可觀察出各個碼頭不同水深處，對於未經陰極防蝕處理試片自由腐蝕之差異性，以及經防蝕處理後其腐蝕之差異性。如圖六(a)0m水深處之腐蝕情形，顯示出自由腐蝕試片於#14及#51碼頭之腐蝕較為嚴重，圖六(b)3m水深處則以#10、#33及#51碼頭之腐蝕較為嚴重，而圖六(c)6m水深處則以#33及#51碼頭之腐蝕較為嚴重。相對於自由腐蝕試片，經陰極防蝕處理試片，其累積之腐蝕量則小得多，約僅及或小於自由腐蝕試片30%之腐蝕量。可見經陰極防蝕處理後，在目前之測試期間內(十六個月)，確能有效保護碳鋼試片。若以各個碼頭相互比較，經陰極防蝕處理試片之腐蝕差異則不明顯，其於不同水深處之腐蝕差異亦不明顯。

四、腐蝕影響之探討

影響腐蝕的因素很多，金屬所在水溶液的溶氧量與氯離子濃度是決定腐蝕速率的參數，即水溶液之溶氧及氯離子濃度愈高，金屬腐蝕的速率愈大。海水中的溶氧會隨海水溫度的升高，鹽度的增加，污染物的嚴重程度而降低，進而影響金屬的腐蝕。由於現場浸漬試驗試驗架的安放在港區內#10，#14，#33與#51號碼頭，而#10號碼頭之位置位於港區航道與仁愛河出口處，#

14 號碼頭緊鄰仁愛河口，#33 號碼頭位於十字渠口，#51 號碼頭位於前鎮河口與新舊港交會處之間；而高雄港海域之污染源主要為廢污水、船舶與港區作業、暴雨、逕流；而廢污水、暴雨與逕流可由河川、排水渠進入高雄港內，故仁愛河、十字渠、前鎮河承受上游之污染源，匯流入港，會使#10，#14，#33 與 #51 號碼頭附近海水的水質及溶氧產生變化。各碼頭海水之平均溶氧量隨採樣時間不同而有所變異，而此變異可能是造成金屬試片腐蝕速率在各碼頭不同的主要原因之一。

一般而言，相同深度，暴露的時間愈長，試片腐蝕速率愈有逐漸減緩的趨勢。這可能是由於試片在長期暴露後，腐蝕氧化所產生的腐蝕產物（氧化鐵）混合暴露環境水溶液中的泥垢，阻礙水中溶氧擴散至金屬表面；再加上海生物的附著與泥垢中可能存在的好氧性菌類，使金屬表面與水溶液界面間的溶氧降低，以致腐蝕減緩。但泥垢中厭氧性菌類的存在與金屬表面附著的海生物亦有機會改變金屬與水溶液界面間之PH值與部份有機、無機物質，造成腐蝕理論中最基本的氧差和濃度差異電池，進而產生局部腐蝕。

金屬表面附著的海生物，除可能造成金屬表面之局部性腐蝕之外，若從海生物於各個試片上之附著

生物量觀之（若物種相當且覆蓋面積相當時則代表覆蓋厚度之值），亦可能對表面平均腐蝕造成影響。如以自由腐蝕試片為例，0m水深處之腐蝕情形，於#14與#51碼頭之腐蝕較為嚴重，而此兩個碼頭之附著生物量位於0m水深處亦確實較高。以6m水深處之腐蝕情形觀之，則以#33及#51碼頭之腐蝕較為嚴重，而#33碼頭之附著生物量位於6m水深處亦為相對較大者。

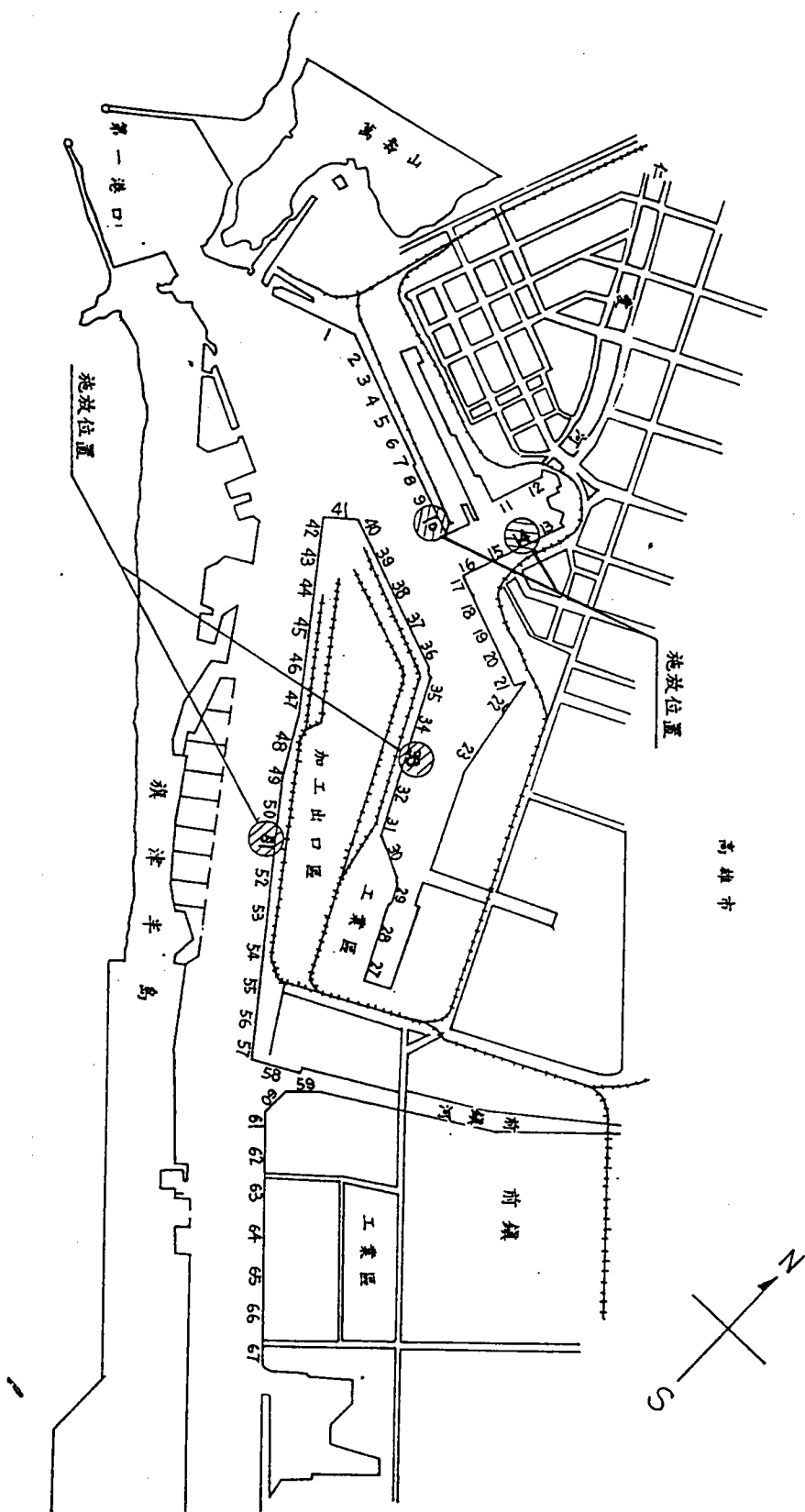
至於海生物附著造成之腐蝕影響，比重如何，如何影響等，則必須於實驗室中排除其他的影響因素之後，進一步確定其腐蝕造成機制，方能比較瞭解；但對於穿透性之孔蝕作用，其正面性之影響，可從藤壺附著位置之孔型腐蝕觀察出來。在有更進一步之試驗數據後，相信將能有更深入之答案。

五、謝 誌

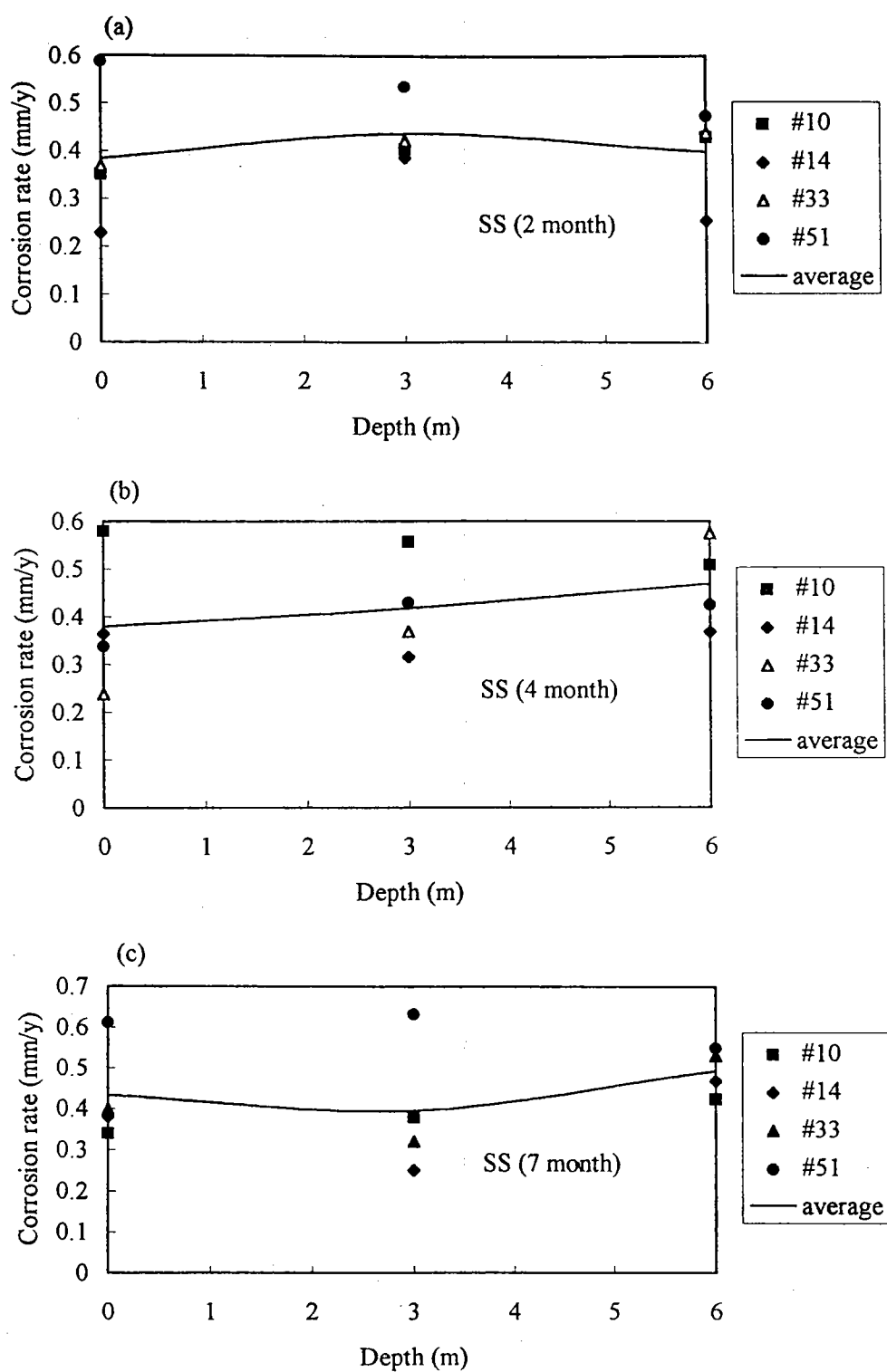
本研究之進行承省交通處港灣技術研究所之經費支持，港研所港工材料組全力配合，中山大學海洋環境系研究生余宗鴻、王佩文同學不眠不休的努力，及高雄港務局工務組組長楊義忠兄之幫忙，謹此致上最大謝意。

六、參考文獻

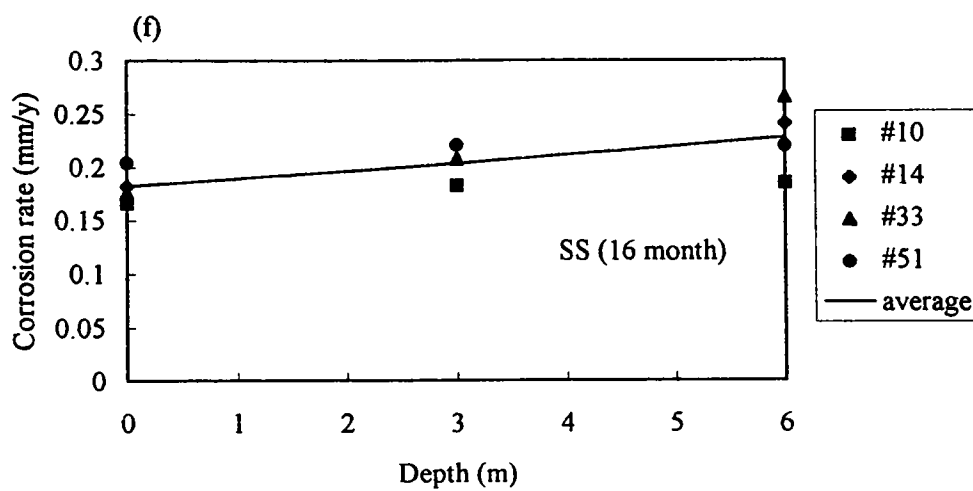
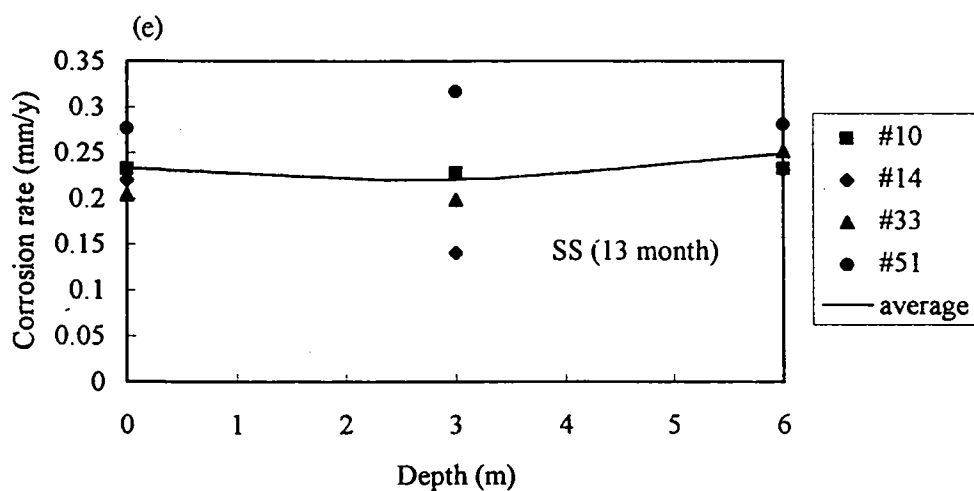
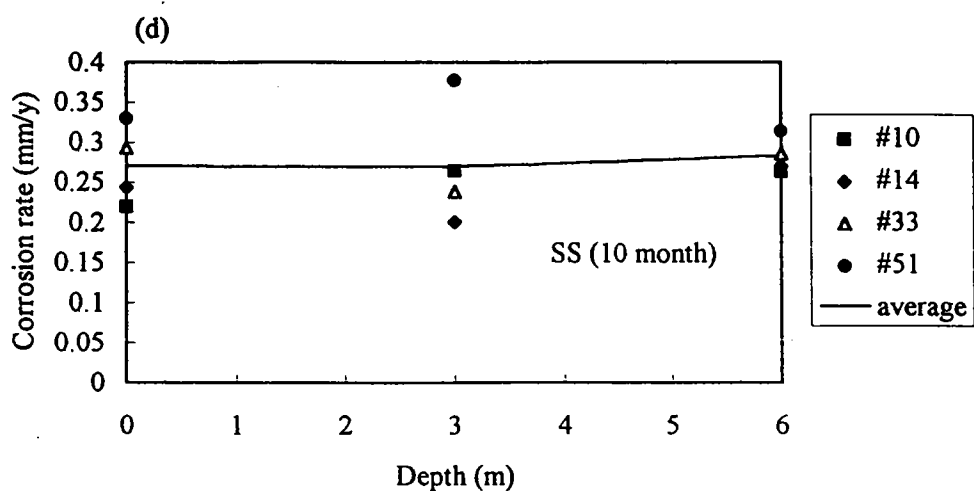
「高雄港港工結構材料海生物附著與對策研究計畫報告」，中山大學海洋環境系，1997年六月。



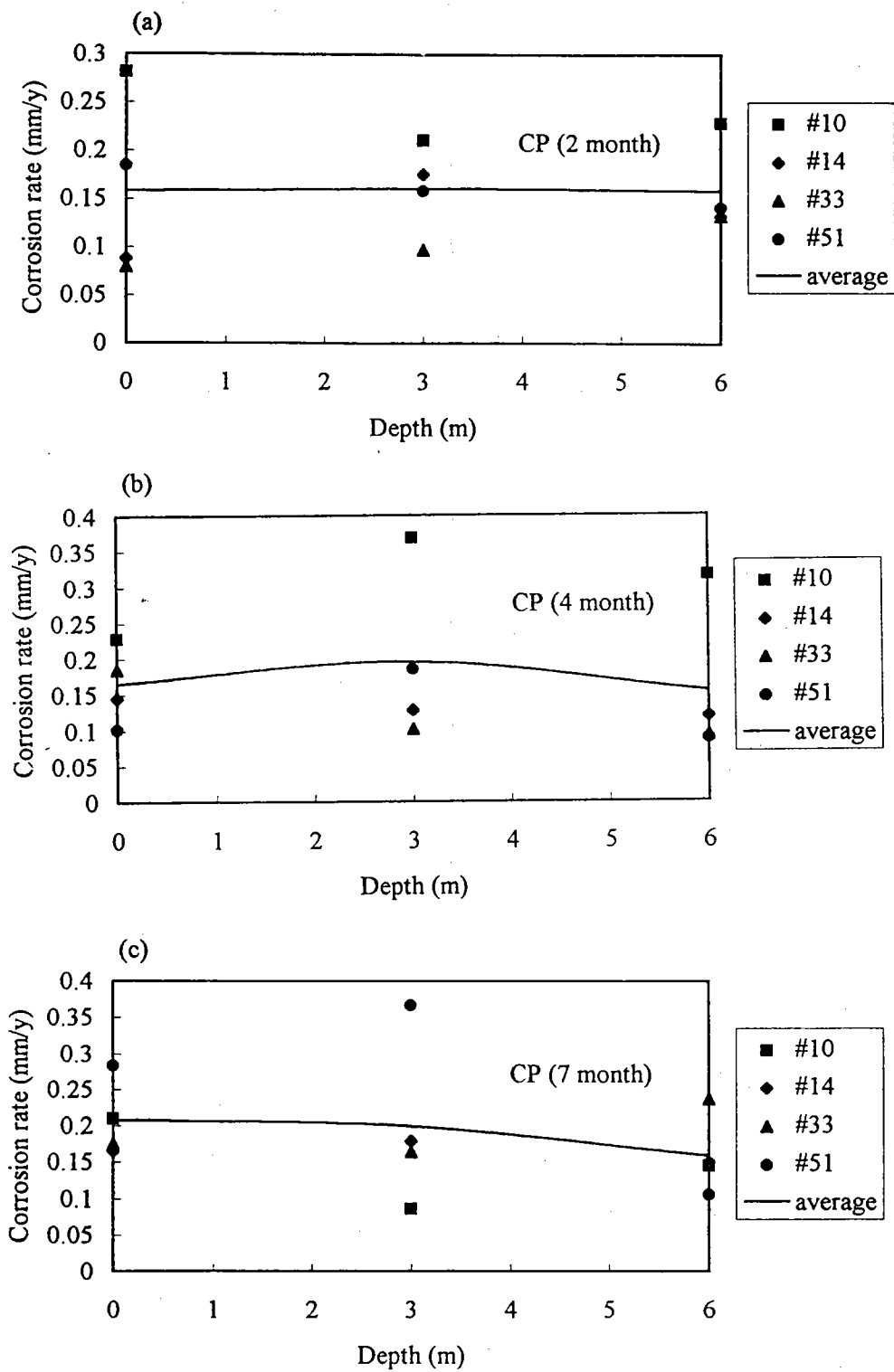
圖一．現場試片施放位置示意圖



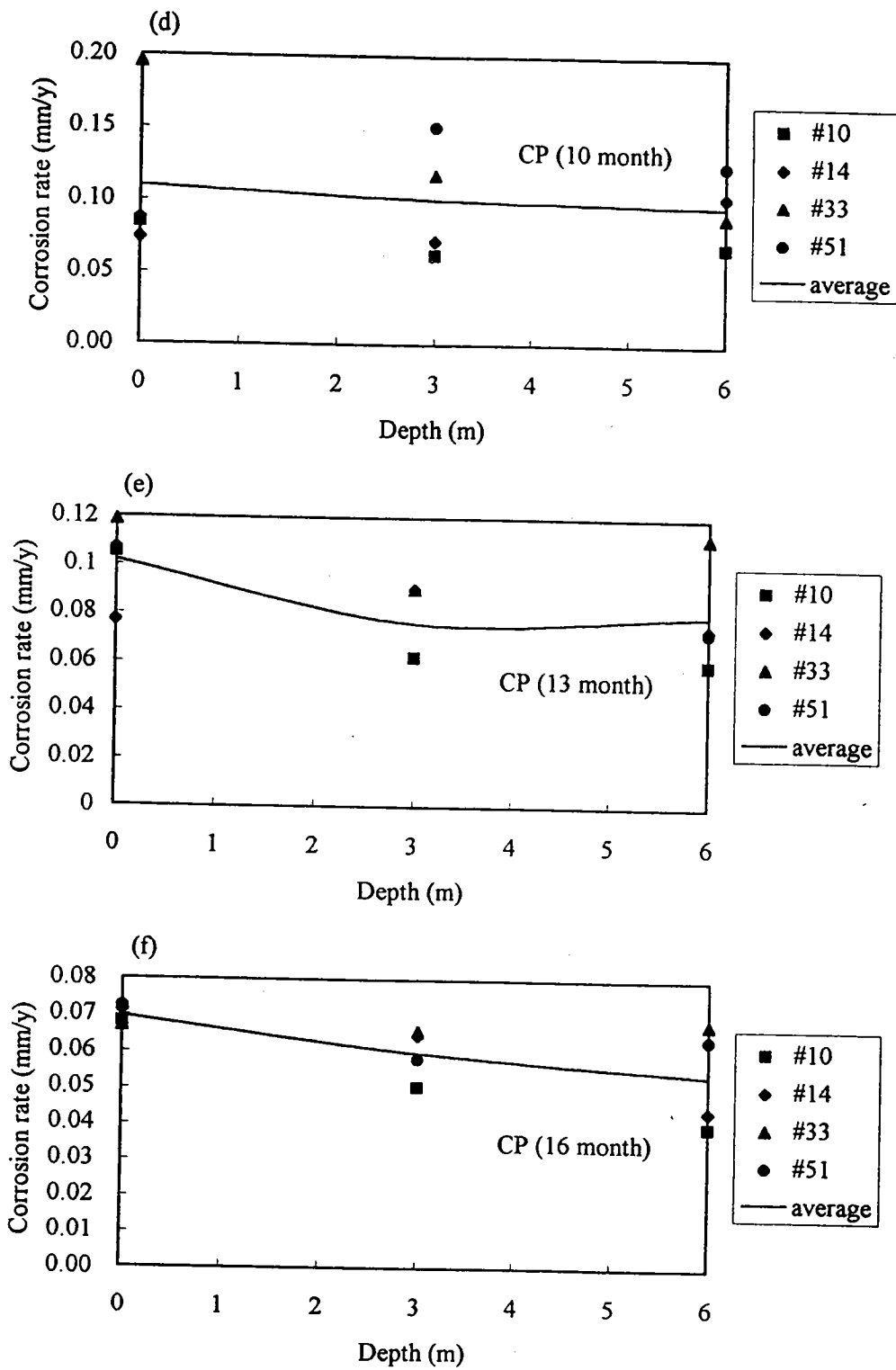
圖二. 自由腐蝕之碳鋼試片於高雄港區之腐蝕速率
與水深關係圖



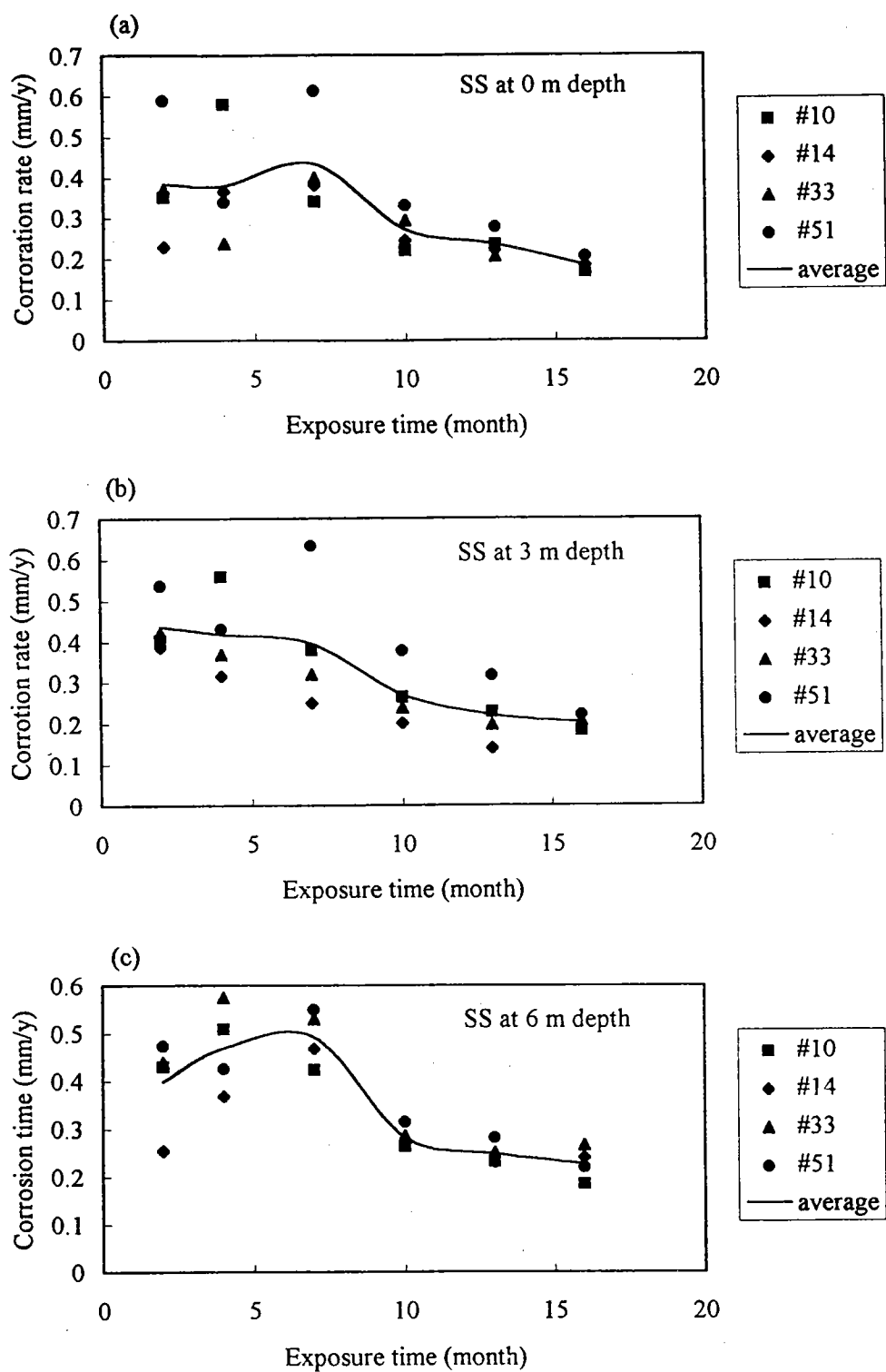
圖二(續)。自由腐蝕之碳鋼試片於高雄港區之腐蝕速率
與水深關係圖



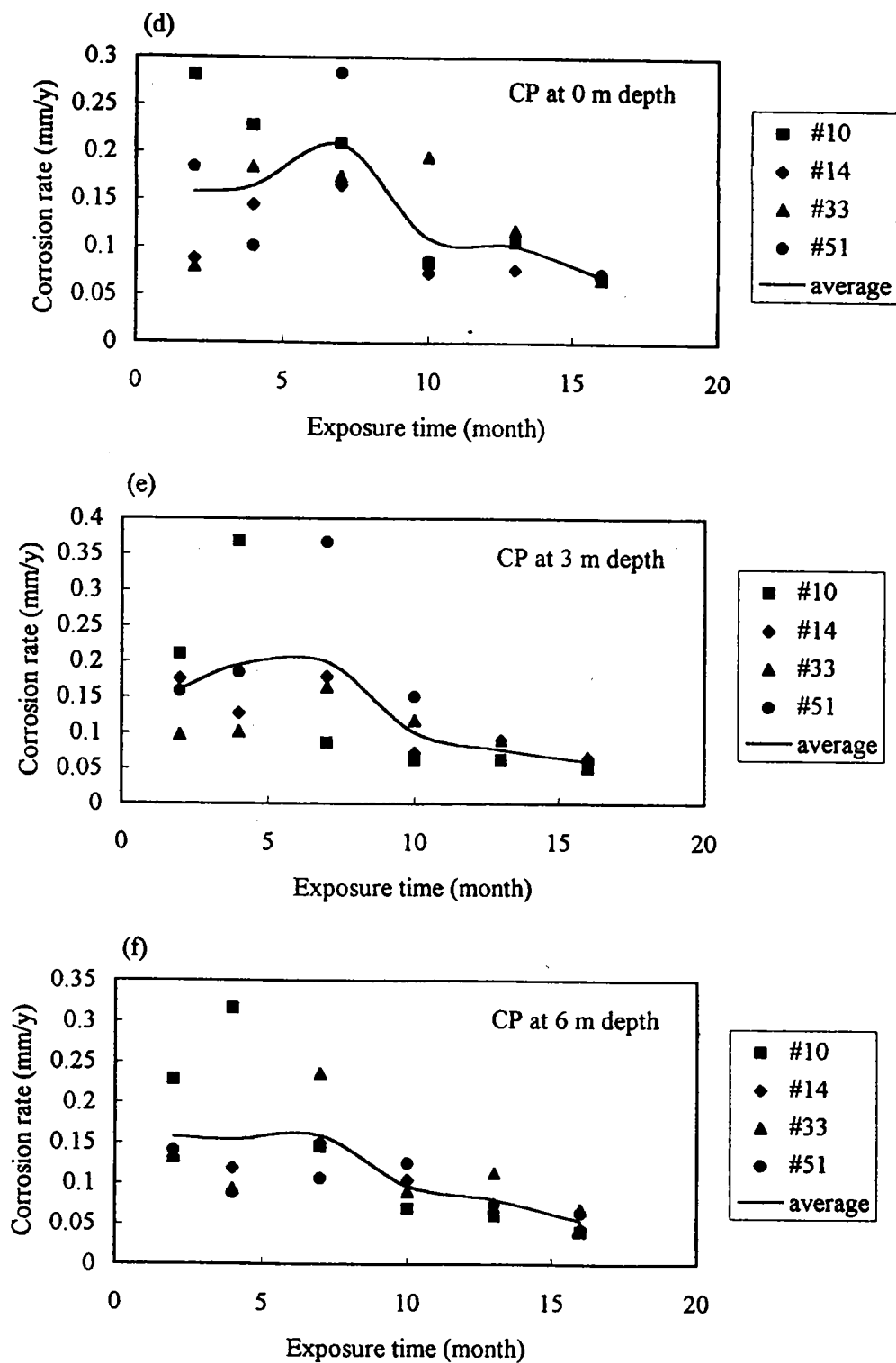
圖三. 陰極保護處理後之碳鋼試片於高雄港區之
腐蝕速率與水深關係圖



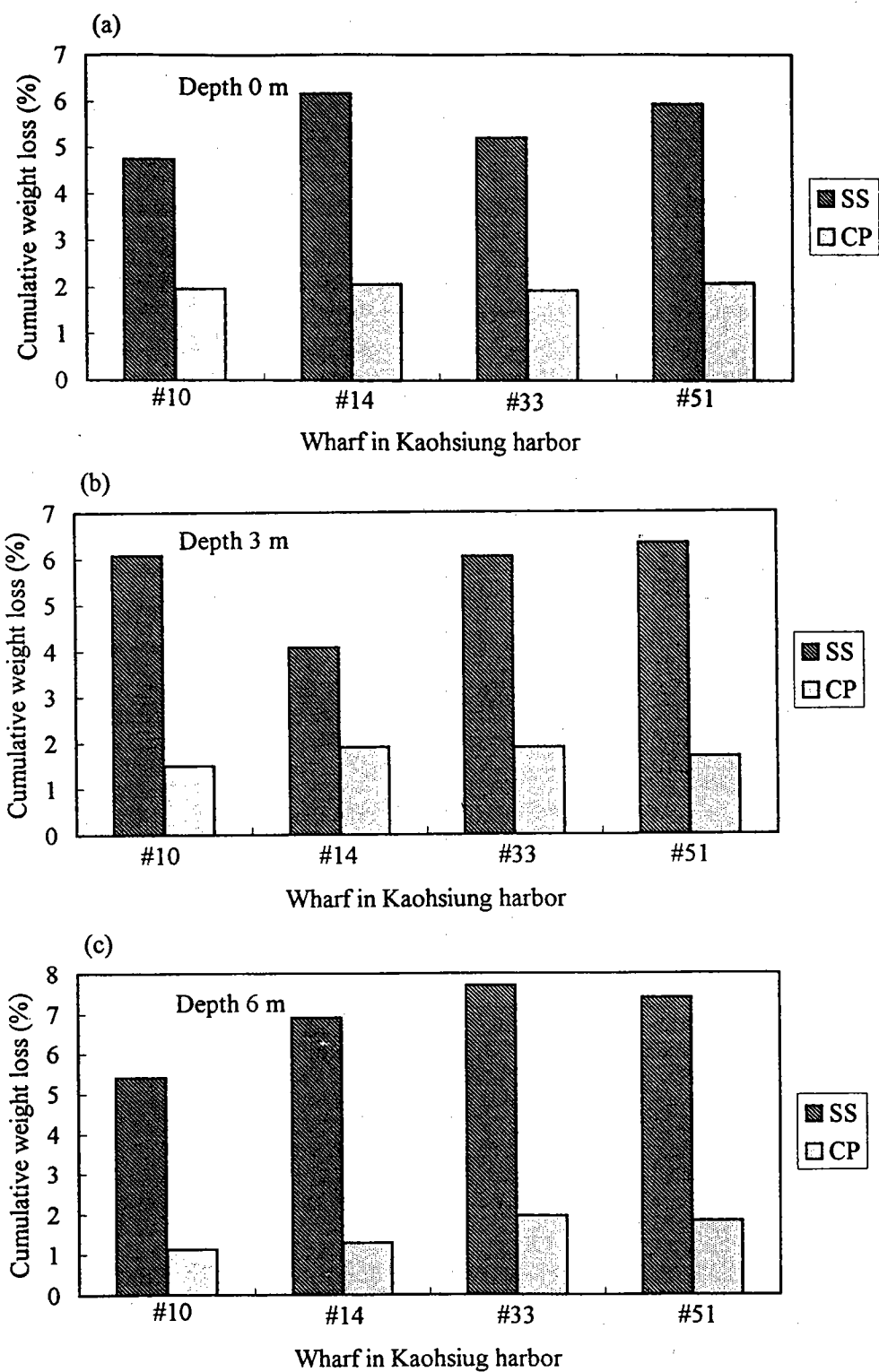
圖三(續)。陰極保護處理後之碳鋼試片於高雄港區之
腐蝕速率與水深關係圖



圖四. 自由腐蝕之碳鋼試片於高雄港區之
腐蝕速率變化與水深關係圖



圖五。陰極保護處理後之碳鋼試片於高雄港區之
腐蝕速率變化與水深關係圖



圖六。自由腐蝕及陰極保護試片於高雄港區浸漬 16 個月後之
腐蝕重量損失累積比較圖

台灣地區陸上貨運起迄現況之分析

鄭樂堯	亞聯工程顧問公司規劃部經理
賴明堂	亞聯工程顧問公司規劃部組長
范聖堂	亞聯工程顧問公司規劃部規劃師
蔡瑞鉉	亞聯工程顧問公司規劃部規劃師

一、前言

隨著台灣地區經濟成長快速，貨物運輸量也逐年隨之增加，其中尤以公路所承運之貨物量增加幅度最大。但在同時期間，因台灣地區公路里程與道路面積增加有限，且自用小汽車持有與使用快速成長，致公路路網壅塞情形日益嚴重。此外，為因應國家建設推動之需要，砂石、水泥等類別之貨物運輸勢將大為增加，然公路運輸中砂石車常因超載而破壞路面，且肇事率亦高；貨櫃車亦有類似的問題存在，均對整體社會及公路交通產生嚴重的影響。內陸貨物運輸除公路外，尚有鐵路運輸，其具有運量大、運距長及安全性的特性，但因近年來公、鐵路競爭條件之優劣與外在環境因素，導致公、鐵路間消長之演變

，鐵路貨運並無法有效分擔公路貨運，減緩公路貨運成長之壓力。因此，本文乃希望藉由公路及鐵路貨運起迄現況之分析，瞭解內陸整體貨運起迄狀況，進一步探討國家整體貨物運輸資源合理分配分析之依據。

二、陸上貨物運輸特性

台灣地區主要之內陸貨物運輸系統，依其使用之運具概可區分為公路貨運、鐵路貨運、環島海運及管道運輸等四大類，由於管道運輸之貨種特性較為明顯，且與其他貨物運具替代性低，因此不納入比較，而有關各貨物運輸系統特性比較如表1。本文則主要針對陸上貨物運輸之鐵路及公路貨物運輸特性加以比較探討，簡要說明如下：

表1 貨物運輸系統特性比較

貨運系統 特性	公 路 運 輸	鐵 路 運 輸	環 島 海 運
機 動 性	高	中	低
一 貫 性	高	中	低
簡 便 性	高	中	低
時 間 彈 性	高	中	低
損 壞 率	低	中	低
運 輸 費 用	低(高)	中(中)	高(低)
運 送 時 間	短	中	長
運 量	低	中	高
市 場 競 爭	高	低	中

註：()為長距離運送

1. 公路貨運

公路貨運之主要特性，首推其機動性高及及門服務等特性。公路貨運班次密集、時間彈性大且透過綿密的公路路網，使其能提供全面性的及門服務。而貨物裝卸手續簡便、包裝容易及投入資本較低等特性，都是公路貨運蓬勃發展之主因，而在使用限制方面，則有平均運量較小、市場競爭性大及易受外在交通環境影響等缺點。

在公路貨運之貨種屬性分析上，則以供需點分散、具時效性、高價值及少量短程等特性之貨物為主。

2. 鐵路貨運

鐵路貨運具專用路權、安全性及準點性高，列車容量較公路貨運大等特性，使其在陸上運輸之功能上，亦扮演著相當重要的角色。然由於受到軌道限制，及門性及機動性都不及公路貨運，且其貨物裝卸作業較為繁雜，運輸過程多項換車轉載作業，使得貨物時間彈性偏低而損壞率則略為增加。此外，鐵路投資成本高，市場具獨佔性，業者的經營理念與態度對於鐵路貨運之發展影響甚鉅。

而針對上述鐵路貨運的特性，分析適用鐵路運輸之貨物屬性將包括供需點集中、低單位價值及時間價值、大量與長程運輸之貨物。

三、鐵路貨運起迄分析

本文依據交通部運輸研究所「鐵路貨運發展趨勢及初步規劃」之貨物分類及民國85年鐵路統計年報之貨運資料將以水泥、石灰石、穀類、煤、砂石與貨櫃等六大貨種為分析重點，茲說明如下：

1. 主要貨種運量分析

依台鐵近年之貨物運量情形來看，水泥、石灰石、穀類、煤（含焦炭）、化學製品、貨櫃及砂石為運量最多之貨種，此七大類貨物即佔了約九成的貨運量。而考量台灣地區未來之運輸環境，其中水泥、石灰石、穀類和煤（含焦炭）等將仍是鐵路最主要的承運貨種。而在

砂石及貨櫃方面，在未來產業東移、東砂西運、以及海運轉運中心等政策之下，對鐵路貨運而言，亦為相當具有潛力的貨種；在化學製品的承運方面，目前以肥料佔最大比例，但其運量係呈逐年遞減的趨勢，而甲苯、氯乙烯、液氨等具揮發性或易燃性之危險物品，未來配合各主要都市進行鐵路立體化（地下化或高架化）工程後，將較不適合再以鐵路運送，其運量將可能再進一步的減少。

根據台鐵近3年主要承運貨種之運量概況整理如表2及圖1所示，茲說明如下：

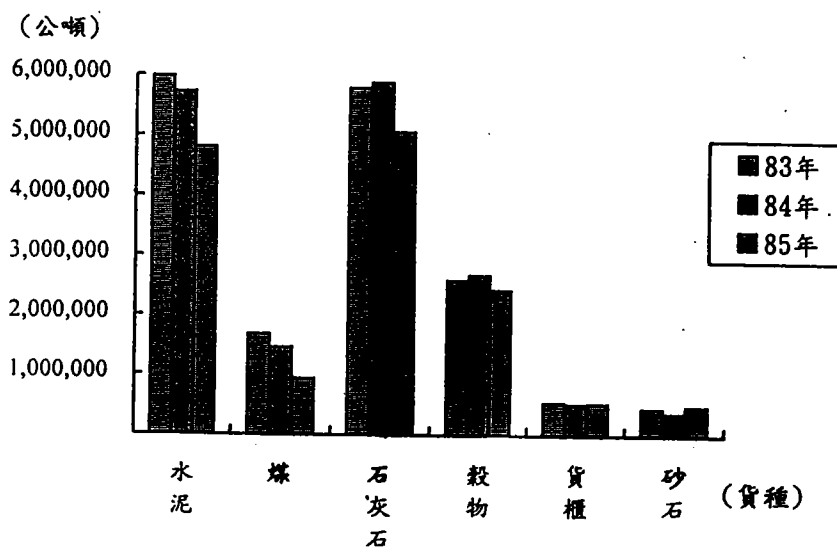


圖1 台鐵近三年主要貨種運量成長概況

表 2 台鐵近三年主要貨種運量概況

貨 種	83年	百分比	84年	百分比	85年	百分比
水 泥	5,981,585	31%	5,726,570	30%	4,812,865	29%
煤	1,685,035	9%	1,461,810	8%	936,550	6%
石灰石	5,790,757	30%	5,889,070	31%	5,068,860	31%
穀 物	2,592,575	13%	2,679,868	14%	2,432,640	15%
貨 櫃	544,368	3%	522,188	3%	533,667	3%
砂 石	448,169	2%	375,068	2%	486,216	3%
其 他	2,562,988	13%	2,555,573	13%	2,209,802	13%
合 計	19,605,477	100%	19,210,147	100%	16,480,600	100%

(1)民國85年時，台鐵之貨運量約1,648萬噸，其中以石灰石507萬噸最多，其次依序為水泥481萬噸，穀物243萬噸，煤(含焦炭)94萬噸，貨櫃53萬噸及砂石49萬噸，六者合計約佔台鐵貨運總量87%，與民國83年及84年所佔比例相同，顯示近年台鐵貨運量主要集中於六大貨種，且成長相當有限。

(2)在台鐵主要承運貨種中，水泥、煤之運量呈遞減趨勢，而石灰石及穀物將先增後減，貨櫃及砂石則趨於平穩現象。

2.主要貨種起迄運量分析

(1)水 泥

水泥之產生量以北部區域最多，其中以新竹生活圈之貨運產生量最大，而吸引量亦以北部區域為最大，其中以台北生活圈所吸引之貨運量最大，此乃因台北生活圈向來為水泥之主要消費地區。就起迄分

佈而言，以北部區域起運至北部區域者為最大，約達275萬噸，詳如表3所示。

(2)煤

煤之產生量主要為中部區域，其中以台中生活圈所起運之量最大，概因台電火力發電廠所需之燃煤係由台中港進口。而吸引量主要為北部區域，其中以台北生活圈為最大，此乃因林口電廠需大量燃煤，詳如表4所示。

(3)石灰石

石灰石之產生量以東部區域最大，其中以花蓮生活圈所產生之量最大，其次為新竹生活圈，而吸引量，以宜蘭生活圈最大，其次為新竹生活圈，此乃因水泥業大都選在石灰石產地設廠之故，詳如表5所示。

(4)穀 類

穀類之產生量以南部區域為最大，其次為中部區域，其中以高雄

生活圈為最大，台中生活圈次之。此乃因穀類大都由高雄港及台中港進口所致。而吸引量以南部區域為最大，主要因穀類製品加工廠主要聚集在台南生活圈。詳如表6所示。

(5)貨 櫃

貨櫃之產生量以南部區域為最大，其次為中部區域，其中以高雄生活圈為最大，吸引量亦以南部區域為最大，其中以台南生活圈為最大，詳如表7所示。

(6)砂石

砂石之產生量以東部區域為最大，其次為北部區域，其中以花蓮生活圈之產生量為最大，其次為宜蘭生活圈。而吸引量以北部區域為最大，詳如表8所示。

四、公路貨運起迄分析

在公路貨運起迄分析方面，根據民國84年交通部運輸研究所進行之『第三期台灣地區整體運輸系統規劃—整體運輸系統供需預測與分析』研究結果。

其中該報告主要係利用交通部統計處每年所出版之『汽車貨運調查報告』資料修正為基礎，由於台灣地區缺乏貨物統計資料來檢核汽車貨運調查之偏誤，因此，在公路貨運方面，乃利用汽車貨運調查之貨運特性，建立台灣本島及進出口貨之貨車起迄資料，再依據屏柵線交通量，修正台灣本島貨物之起迄分佈，在公路貨運貨物分類方面，則將汽車貨運調查資料之99種貨種

，依貨物特性將本島貨運區分為13類貨種，而進出口貨物分類則除13類貨物分類外，另加上貨櫃貨一項，成為14種貨物分類。為方便說明，另將上述13貨種再加以大分類合併成……等八大貨種，分別就其貨物運量及分佈等特性，依本島貨運及進出口貨運逐項分析討論。

1.主要運量分析

根據各貨種起迄資料得知，公路貨運之年總運量約為416百萬公噸／年，其中本島內陸貨物運輸量約為366.1百萬公噸／年，約佔總量的88%；進出口貨物則約為49.5百萬公噸／年，佔總量約12%。

若以公路運輸之貨物分佈而言，整理如表9所示，由表中可發現內陸運輸以北部區域為最高，其次為南部區域，且多集中在縣市內或相鄰縣市間之運量最高，平均運距不長。而在貨種比例方面，以礦產製品比例最高，約佔32%，其次依序為機械精密儀具、農林漁畜產品及化學材料製品等，所比例分別為21%、12%及10%，各貨種比例如圖2所示。在進出口貨物方面，進出口貨物總量皆以高雄港為最高，其分別佔台灣地區進出口總量之34%及48%。而各港口服務之進出口量分析方面，各港口以服務所在區域之貨物為主，而高雄港進出口貨物中約有530萬噸來自北部及中部區域，而這些貨物之公路運輸即為公路運輸系統之重要研究課題。在進出口貨種比例分析方面，仍以礦

產製品所佔比例為最高，約佔40%，其次依序要農林漁畜產品及精密儀器等，其分佈比例如圖3所示。

2. 各貨種起迄分析

(1) 農林漁畜產品

農林漁畜產品多以縣市内之貨運為主，其中台北、桃園、台中、台南、高雄及屏東等縣市之運量較大，若以區域運量而言，中、南部之農林漁畜產品較北部區域為高，詳如表10所示。

進出口公路貨運之農林漁畜產品則以高雄港運量較大，年進出口量約為360萬公噸。而其貨物來源主要為南部區域，約佔93%。

(2) 礦產製品

礦產製品佔公路貨運之比例最高，在內陸貨物運輸方面，以北縣市、桃園、台南及高雄等地運量較高，而這些地區亦為本島之重要工業重鎮之所在。

在進出口之運量分析方面，由於礦產製品等工業用燃料由於數量龐大且重，大多由鄰近需求區之港口輸入，以節省運輸成本，如北部區域由基隆港進口，中部則利用台中港，其進出口貨物運量分佈如表11所示。

(3) 食品

食品內陸貨運分佈主要以南、北兩大會區域所佔比例較高。而進出口食品主要基隆、台中及高雄港為主，東部為蘇澳及花蓮二港口之食品進出口量極低。詳如表12所示。

(4) 紡織成衣製品

紡織成衣製品之需求主要以北部之台北及桃園等縣市為主，約佔總量的50%，而最大的供應區域除台北縣市及桃園縣外，尚包括台中、彰化及台南等縣市。詳如表13所示。而進出口之紡織成衣製品，亦主要以西部之基隆、台中及高雄港做為貨物進出之港口。

(5) 木紙製品

木紙製品之內陸貨運需求以台北、桃園、台中、台南及高雄等都會區為高，約佔總運量之45%。在進出口方面，出口部份主要以台中港及高雄港為主；而進口方面，則除蘇澳港外，餘各港口之年進口總量皆在20萬公噸以上。詳如表14所示。

(6) 化學材料製品

化學材料製品需求主要集中於西部各縣市，東部區域之運量則相當的低。在進出口方面，出口以基隆港之出口量較高，年出口量約為80萬公噸；而進口則以台中港較大，年進口量約為98萬公噸。詳如表15所示。

(7) 機械精密儀具

機械精密儀具之內陸貨物需求以台北縣市最高，約佔總量的25%，其次依序為台中縣市、高雄縣市及桃園縣市，上述四個地區合計佔總量的62%。

在進出口方面，出口以高雄港的出口量較高，中部及南部區域之出口貨物皆以高雄港為主，而北部區域亦有77%之機械儀具由高雄港

出口；進口則以基隆及高雄港為主，其進口貨物分配比例較為接近。詳如表16所示。

(8)其他

其他貨物則因貨物屬性較不明顯，因此，其分佈型態亦較為特殊，不過，仍以北部區域之需求量較高，而東部區域所佔比例亦較上述貨種略有增加。在進出口方面，蘇澳港所佔比例則明顯增加許多，尤以進出部份佔總進口量之47%左右。詳如表17。

(9)貨櫃貨

進出口貨櫃貨分佈，目前僅西部之基隆、台中、高雄三個國際港有進出口貨櫃作業，在出口方面，高雄港的出口貨櫃量為147萬公噸最大，約佔55%，其次依序為基隆港、台中港；進口方面，仍以高雄港的貨櫃量最高，而基隆港之進口貨櫃量則略減於高雄港。詳如表18。

五、結語

經由上述鐵、公路貨運起迄之分析探討，可歸納為以下結論。

1. 現行有關公、鐵路之官方統計資料及相關研究報告之貨物分類皆不一致，欲進行整理分析相當不易，因此各相關資料之貨物分類必須透過界面模式加以整合，建立完整明確之貨物分類體系為研究貨物運輸之首要工作。

2. 現有相關之貨運起迄資料時貨物分類基礎不一致外，其本身之起迄資料因各單位發行之統計或調查資料，其計算基礎不同或來源之不同，往往有相當大之差距。

3. 欲準確掌握貨櫃貨之運量成長與分佈，各貨種之平均櫃重為不可或缺之重要依據，因此後續相關研究必須蒐集各貨種之平均櫃重資料，以利於預測分析與應用。

表3 鐵路水泥運輸起迄分佈(民國85年)

單位：公噸

起 \ 迄	北部區域	中部區域	南部區域	東部區域	合計
北部區域	2,747,850	116,518	34,592	135,782	3,034,743
中部區域	0	51	0	0	51
南部區域	0	224,793	56,300	0	281,092
東部區域	171,304	0	0	1,325,675	1,496,979
合計	2,919,155	341,362	90,892	1,461,456	4,812,865

表4 鐵路煤運輸起迄分佈(民國85年)

單位：公噸

起 \ 迄	北部區域	中部區域	南部區域	東部區域	合計
北部區域	132,769	0	0	29,971	162,740
中部區域	770,894	0	1,171	0	772,065
南部區域	0	0	0	0	0
東部區域	1,745	0	0	0	1,745
合計	905,408	0	1,171	29,971	936,550

表 5 鐵路石灰石運輸起迄分佈(民國85年)

單位：公噸

起 \ 迄	北部區域	中部區域	南部區域	東部區域	合 計
北部區域	1,087,277	14	0	0	1,087,290
中部區域	0	0	0	0	0
南部區域	0	0	0	0	0
東部區域	3,953,188	22,031	6,351	0	3,981,570
合 計	5,040,465	22,044	6,351	0	5,068,860

表 6 鐵路穀類運輸起迄分佈(民國85年)

單位：公噸

起 \ 迄	北部區域	中部區域	南部區域	東部區域	合 計
北部區域	234,079	25,068	2,648	728	262,523
中部區域	131,780	313,549	113,261	173	558,764
南部區域	8,698	21,418	1,574,248	448	1,604,812
東部區域	4,735	98	79	1,630	6,542
合 計	379,291	360,133	1,690,236	2,979	2,432,640

表 7 鐵路貨櫃運輸起迄分佈(民國85年)

單位：公噸

起 \ 迄	北部區域	中部區域	南部區域	東部區域	合 計
北部區域	54,594	1,826	625	23,693	80,738
中部區域	24,692	59,964	20,614	33	105,304
南部區域	15,310	434	300,817	0	316,561
東部區域	31,064	0	0	0	31,064
合 計	125,659	62,224	322,056	23,727	533,667

表 8 鐵路砂石運輸起迄分佈(民國85年)

單位：公噸

起 \ 迄	北部區域	中部區域	南部區域	東部區域	合 計
北部區域	45,902	5,123	17	96,446	147,487
中部區域	759	4,829	7,412	13,014	26,014
南部區域	0	0	0	0	0
東部區域	49,118	1,785	24,388	237,424	312,715
合 計	95,778	11,737	31,817	346,884	486,216

表9 台灣地區公路貨運貨物公佈概況(總量)

單位：公噸／年

	北部區域	中部區域	南部區域	東部區域	基隆港	台中港	高雄港	蘇澳港	花蓮港	總計
北部區域	128912436	7924191	5553237	1274903	1427533	85281	769768	402686	198528	146548563
中部區域	12674805	75620328	9457415	369940	370822	661284	942503	0	0	100097097
南部區域	7185290	10314065	81259520	1821831	157641	145123	2575469	0	0	103458939
東部區域	2774228	1041129	2196278	17770758	18108	0	242	867229	264278	24932250
基隆港	7676098	1306753	851524	15004	0	0	0	0	0	9849379
台中港	2879635	6083625	628214	0	0	0	0	0	0	9591474
高雄港	2172747	1457411	10101104	46172	0	0	0	0	0	13777434
蘇澳港	1095769	0	0	2121030	0	0	0	0	0	3216799
花蓮港	1643317	0	0	2518733	0	0	0	0	0	4162050
總計	167014325	103747502	110047292	25938371	1974104	891688	4287982	1269915	462806	415633985

表10 台灣地區公路貨運貨物公佈概況(農林漁畜)

單位：公噸／年

	北部區域	中部區域	南部區域	東部區域	基隆港	台中港	高雄港	蘇澳港	花蓮港	總計
北部區域	9402699	607900	192700	18100	0	18025	0	0	13098	10252522
中部區域	1898121	11805500	1911395	40900	338	102829	1239	0	0	15760322
南部區域	733000	2054537	11998238	112800	0	58496	336375	0	0	15293446
東部區域	231400	94800	331900	1755963	0	0	0	0	17436	2431499
基隆港	293690	762	1	0	0	0	0	0	0	294453
台中港	22761	2197771	2277	0	0	0	0	0	0	2222809
高雄港	98152	164674	3352000	0	0	0	0	0	0	3614826
蘇澳港	746877	0	0	994229	0	0	0	0	0	1741106
花蓮港	176619	0	0	235112	0	0	0	0	0	411731
總計	13603319	16925944	17788511	3157104	338	179350	337614	0	30534	52022714

表11 台灣地區公路貨運貨物公佈概況(礦產製品)

單位：公噸／年

	北部區域	中部區域	南部區域	東部區域	基隆港	台中港	高雄港	蘇澳港	花蓮港	總計
北部區域	43382287	1280563	1189816	721075	563	0	0	396536	105667	47076507
中部區域	3481409	21730080	2363367	153800	15	319651	0	0	0	28048322
南部區域	1037997	1788366	24874401	468800	10	0	566339	0	0	28735913
東部區域	1854515	697209	1302757	9900192	0	0	0	859042	140663	14754378
基隆港	4402978	794091	734221	270	0	0	0	0	0	5931560
台中港	1909854	1670134	204441	0	0	0	0	0	0	3784429
高雄港	1348373	323	2886510	0	0	0	0	0	0	4235206
蘇澳港	291408	0	0	1050279	0	0	0	0	0	1341687
花蓮港	777047	0	0	1365571	0	0	0	0	0	2142618
總計	58485868	27960766	33555513	13659987	588	319651	566339	1255578	246330	136050620

表12 台灣地區公路貨運貨物公佈概況(食品)

單位：公噸／年

	北部區域	中部區域	南部區域	東部區域	基隆港	台中港	高雄港	蘇澳港	花蓮港	總計
北部區域	10153922	810283	570508	79525	4321	0	844	0	0	11619403
中部區域	1140257	5637164	1053821	14993	376	5759	846	0	0	7853216
南部區域	1025252	1294688	9013166	144692	0	0	13055	0	0	11490853
東部區域	61717	19600	169583	941201	0	0	0	0	0	1192101
基隆港	8655	460	111	24	0	0	0	0	0	9250
台中港	211969	207643	392261	0	0	0	0	0	0	811873
高雄港	108676	178600	161813	42270	0	0	0	0	0	491359
蘇澳港	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
花蓮港	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
總計	12710448	8148438	11361263	1222705	4697	5759	14745	0	0	33468055

表13 台灣地區公路貨運貨物公佈概況(紡織成衣製品)

單位：公噸／年

	北部區域	中部區域	南部區域	東部區域	基隆港	台中港	高雄港	蘇澳港	花蓮港	總計
北部區域	5372100	1010400	329200	32300	1818	3931	3648	0	0	6753397
中部區域	796800	2144200	395900	4900	727	2545	1856	0	0	3346928
南部區域	453700	265200	1418400	6100	615	1055	11834	0	0	2156904
東部區域	22800	24000	8400	28700	0	0	0	0	0	83900
基隆港	3964	228	6	0	0	0	0	0	0	4198
台中港	0	269	0	0	0	0	0	0	0	269
高雄港	1053	39	1116	0	0	0	0	0	0	2208
蘇澳港	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
花蓮港	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
總計	6650417	3444336	2153022	72000	3160	7531	17338	0	0	12347804

表14 台灣地區公路貨運貨物公佈概況(木紙製品)

單位：公噸／年

	北部區域	中部區域	南部區域	東部區域	基隆港	台中港	高雄港	蘇澳港	花蓮港	總計
北部區域	9637300	691600	276500	176600	1203	0	651	0	0	10783854
中部區域	1126400	5932300	815900	36400	135	23976	13797	0	0	7948908
南部區域	527200	1120100	7197600	771200	0	0	26699	0	0	9642799
東部區域	369300	89100	170400	1042300	0	0	0	0	0	1671100
基隆港	74711	1281	0	0	0	0	0	0	0	75992
台中港	10727	522703	2856	0	0	0	0	0	0	536286
高雄港	245547	545499	631712	0	0	0	0	0	0	1422758
蘇澳港	10867	0	0	14466	0	0	0	0	0	25333
花蓮港	97758	0	0	130134	0	0	0	0	0	227892
總計	12099810	8902583	9094968	2171100	1338	23976	41147	0	0	32334922

表15 台灣地區公路貨運貨物公佈概況(化學材料製品)

單位：公噸／年

	北部區域	中部區域	南部區域	東部區域	基隆港	台中港	高雄港	蘇澳港	花蓮港	總計
北部區域	12857202	1337803	1422515	85036	435635	12822	12368	4458	79763	16247602
中部區域	1534162	7929121	1432684	46800	264518	9954	157	0	0	11217396
南部區域	1425756	1612828	7595707	70108	104016	68644	224991	0	0	11102050
東部區域	74244	71822	40000	755715	0	0	0	5934	106179	1053894
基隆港	368235	169142	89370	0	0	0	0	0	0	626747
台中港	14482	966847	0	0	0	0	0	0	0	981329
高雄港	1525	41859	648382	0	0	0	0	0	0	691766
蘇澳港	22400	0	0	29818	0	0	0	0	0	52218
花蓮港	261958	0	0	348712	0	0	0	0	0	610670
總計	16559964	12129422	11228658	1336189	804169	91420	237516	10392	185942	42583672

表16 台灣地區公路貨運貨物公佈概況(機械精密儀器)

單位：公噸／年

	北部區域	中部區域	南部區域	東部區域	基隆港	台中港	高雄港	蘇澳港	花蓮港	總計
北部區域	30167000	1790200	1502800	132500	80715	1191	274732	384	0	33949522
中部區域	2261000	16772500	1143000	33900	48617	37903	481610	0	0	20778530
南部區域	1876200	1946300	15187300	231600	29929	0	839812	0	0	20111141
東部區域	147100	35900	81300	1953400	4163	0	0	512	0	2222375
基隆港	1716224	284956	8532	0	0	0	0	0	0	2009712
台中港	694170	418798	12652	0	0	0	0	0	0	1125620
高雄港	176466	59622	2150176	82	0	0	0	0	0	2386346
蘇澳港	18636	0	0	24809	0	0	0	0	0	43445
花蓮港	329935	0	0	439204	0	0	0	0	0	769139
總計	37386731	21308276	20085760	2815495	163424	39094	1596154	896	0	83395830

表17 台灣地區公路貨運貨物公佈概況(其他)

單位：公噸／年

	北部區域	中部區域	南部區域	東部區域	基隆港	台中港	高雄港	蘇澳港	花蓮港	總計
北部區域	7939926	395442	69198	29767	15021	12	1315	1308	0	8451989
中部區域	436656	3669463	341348	38247	5706	2470	1081	0	0	4494971
南部區域	106185	232046	3974708	16531	1114	10	2234	0	0	4332828
東部區域	13152	8698	91938	1393287	9	0	0	1741	0	1508825
基隆港	1283	73	0	0	0	0	0	0	0	1356
台中港	874	16	5	0	0	0	0	0	0	895
高雄港	225	402	11853	0	0	0	0	0	0	12480
蘇澳港	5581	0	0	7429	0	0	0	0	0	13010
花蓮港	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
總計	8503882	4306140	4489050	1485261	21850	2492	4630	3049	0	18816354

表18 台灣地區公路貨運貨物公佈概況(貨櫃貨)

單位：公噸／年

	北部區域	中部區域	南部區域	東部區域	基隆港	台中港	高雄港	蘇澳港	花蓮港	總計
北部區域	0	0	0	2	888257	49300	476210	0	0	1413769
中部區域	0	0	0	0	50390	156197	441917	0	0	648504
南部區域	0	0	0	0	21957	16918	554130	0	0	593005
東部區域	0	0	0	0	13936	0	242	0	0	14178
基隆港	806358	55760	19283	14710	0	0	0	0	0	896111
台中港	14798	99444	13722	0	0	0	0	0	0	127964
高雄港	192730	466393	257542	3820	0	0	0	0	0	920485
蘇澳港	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
花蓮港	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
總計	1013886	621597	290547	18532	974540	222415	1472499	0	0	4614016

近岸海域遙感探測應用與展望

呂黎光 工研院能資所副研究員

摘 要

遙感探測(Remote Sensing, 簡稱遙測)經歷二十多年來不斷的測試與應用研究,已確實驗證遙測技術是資源探勘及環境監測的利器。近幾年來遙測技術在近岸海域上的應用,日益受國人重視,不論波浪、水深、油污、懸浮漂沙等多方面已投入研究與應用,開啓了國內近岸海域遙測探測的新紀元。遙測技術具備廣域覽要(Synoptic View),快速安全及不受地域限制,無遠弗屆的特質與優點,是其他傳統觀測技術所不及,也將是未來近岸海域工程研究與應用的一大輔助工具。衛星遙測影像解析度的提升,重複攝像時間的縮短;空載掃描時效的提升,以及岸上雷達測波系統的改善可資實地應用,在在有助遙測技術在近岸海域發揮其更高應用價值。

一、緣起

傳統海岸觀測方法採用定點佈放儀器,蒐集分析時間列序資料,獲取固定測點資訊,很難一窺海域

全貌。遙感探測方法則是從“面”的角度進行觀測,很容易取得全面性的資訊,尤其是近岸局部變化的現象,可一目了然,是近岸海域觀測的一大輔助利器。

本文將針對近岸海域重要的、可行的遙感探測技術,諸如海洋波場、近岸水深、油污及懸浮漂沙等參數的遙感監測,作一概要介紹,就其方法及目前應用階段、遭遇的問題,在此一併加以探討。

海洋波場遙測應用空間域波數能譜分析技巧,定量解析主要波浪系統的波長、波向,尤其是對廣域海面的解析,更有助波浪傳播機制的全面了解,諸如淺化折射、繞射、反射等現象。從SPOT可見光影像及ERS-1/2 SAR影像分析,到岸上雷達測波系統測試應用,優缺點何在,實際應用可能性如何,將一一敘述。

近岸水深遙測,常用的可見光波法在台灣並不見得管用,東岸水深過深,水中上升輻射微弱;西岸水污染嚴重,信號受干擾太大,此種自然環境上的障礙,導致採用可見光波法遙測台灣近岸水深可行性

大幅降低。倒是藉由波場分析，從水深與波場間的交互作用，推估近岸水深，成為台灣近岸水深遙測可行方法，值得進一步探討與應用。

油污染遙感監測除可見光和多光譜技術應用之外，紫外光、紅外光、微波及激光也都可用以遙測海面油污染。當前國內遭遇上的問題在於技術不夠成熟，遙測影像可遇不可期，航飛管制時效不佳，船舶雷達的偵測以及遙控飛機遙測照像或許是可行的方法。

懸浮漂沙方面的遙感監測可見光波段的應用，目前還是最重要和使用最廣泛的技術。理論模式基本上可建立水體反射率隨懸浮漂沙濃度變化的關係式，但實際應用仍需佐以現場調查數據迴歸統計求取回歸參數，透過此半理論半經驗模式才足以遙測分析懸浮漂沙。現場實測不易資料不足，都帶給遙測技術率定上嚴重衝擊。遙測技術在近岸海域的應用是有其存在的意義與價值，期盼高解度、高重複攝像遙測系統的實際應用，確實可以解決大半遙測應用上的困難，但學理與技術的研發與突破仍有待國人共同努力。

二、海洋波場遙測

海洋波場遙測方法常使用的有影像分析波場，以及岸上雷達測波系統的觀測。影像分析波場目前一般使用空載掃描影像、法國SPOT衛星影像以及SAR影像為主；岸上雷達測波系統兼具遙測特性，不直接

接觸海水，避開海上作業風險，又可取得時間列序資料，兩種方式都是遙測海洋波場可行方法。

2.1 遙測影像分析海洋波場

近年來因ALMAZ(獨立國協)，JERS-1(日本)及ERS-1(歐洲)等衛星陸續升空，海洋波場之微波遙感探測展開了另一新的研究領域。自從1978 SEASAT衛星發射後，不少研究利用SAR數位影像進行波浪觀測(Gonzales, 1979)(Atul, 1982)。此外，可見光波段如SPOT影像固然可以用來觀測海面波浪(Populus, 1991)(呂黎光等, 1993)，但因其易受雲層及水汽干擾，並且只能在白天進行觀測，受限較多；空載飛航受天候限制較大，飛航姿態，不易掌控，影像幾何校正比較困難。SAR屬於主動式雷達，可穿透雲層、水汽，不需太陽輻射源，日夜皆可進行觀測，對於取得天候不佳時，常常也是波浪較大時之海面波浪資料，甚至是颱風天的波場資訊尤其有利，可充份提供安全而經濟之航線的擬定、離岸資源調查以及海岸工程設計等方面所需的波場特性資料(例如波長、波向、波高等)。

茲僅就ERS-1 SAR影像分析海洋波場特性，作一說明，其一般性分析流程如圖一所示，實例應用說明如后。

選取一幅1993年11月26日涵蓋花蓮海域的ERS-1 SAR影像(圖二)進行波場遙測分析，SAR波浪影像分析結果，顯示於圖三中的二維波

數能譜，圖中顯示有一明顯的波浪系統位於 $(n_x, n_y) = (2, 5)$ ，其波向和波長經計算結果分別為 149 公尺；次要而不明顯的波浪系統，該系統能譜極大值之中心位置在 $(n_x, n_y) = (-2, 7)$ ，推算得此系統之波浪來向和 $-K_x$ 軸順鐘夾角 74.1° ，亦即波向為 87.0° （和正北順鐘夾角），波長計算得 110 公尺。此外，二維波數能譜經波向積分及波浪傳遞分散關係式轉換成無向性之頻率能譜。從圖四的頻率能譜中出現兩個主峰，對應頻率分別為 0.092Hz 及 0.113Hz 亦即週期分別為 10.87 秒及 8.85 秒。

研究經驗中以 ERS-1 SAR 資料分析波場資訊，由現場及遙測資料分析比對，發現波長在 60~150 公尺之間的波浪推算誤差為 3.5% 到 16% (4 公尺~10 公尺) 之間，波向誤差則在 8° 到 23° 以內，顯示以 ERS-1 SAR 進行波場觀測以獲取波浪特性(波長、波向)資訊可行性甚高。現場及遙測資料之頻率能譜比對結果其相關與一致性甚高，不僅主要波能分佈之頻率範圍相當接近，主頻位置亦甚為一致，同時，能譜形狀(變化曲線)相較，也十分吻合。若能取得更多 SAR 資料配合實測資料的驗證，則 SAR 頻率能譜能有好的率定(Calibration)，則可從目前的灰度值頻率能譜推算波高。如何提高其推算精確度，則有待進一步深入探討。

2.2 岸上雷達測波

以我們經驗，由衛星影像進行波場分佈觀測，確實可提供快速而廣域的波浪特性資訊，但工程業界實際所需長時間而具統計特性資料，卻很難由衛星影像上分析獲得，況且，目前衛星影像解析度不足，法國 SPOT 衛星或歐洲太空總署之 ERS-1 及 2 號衛星的 SAR（合成口徑雷達）影像都未能滿足所需，故無法在實際應用上派上用場。為突破時空限制及滿足實際應用較高解析度的需求，積極引進及研發岸上雷達測波系統，微波遙測海洋波場技術的建立與應用，可縮減海洋工程業界、學界在波浪觀測上時間、人力及經費的支出，可免除海上作業風險與儀器流失之虞，更可取得全天候、連續性資料，從面的探討海洋波場，得以輔助傳統觀測之不足，這將可提升其更高應用價值與產業效益。

雷達測波方法與原理

波動在週期性結構的介質中或沿著浪狀的介面傳遞時，會與介面的幾何形狀或介質的物理結構產生共振而導致被全反射，這種的反射現象被稱為布拉格反射 (Bragg Scattering)。1955 年 Crombie 對海面回波散射信號的能譜，作一初步探討，了解單純雷達波與海表面波交互作用的物理機制，確立 Bragg Scatter 效應，當入射波的波長為浪狀介面或邊界波長的兩倍時，就會產生第一階的布拉格反射。因此，當雷達的電波遭遇到水波時，只

要電波波長 λ 為水波波長 L 的兩倍時。近水面的雷達波就會被強烈的反射回來。岸上雷達測波系統就是根據此原理來收集海面的回音。為簡明起見，此原理描述於圖五(Applied Science & Engineering Research公司手稿，1994)中。

為解決海流與海浪方向的計算問題，我們需要兩組都卜勒頻率的數據，每一組係為一支接收天線的輸出。因此，岸上雷達測波系統用了兩組正交成 90° 的接收／發射天線。由此得到兩組正交的數據，依據布拉格反射原理，從而解出流速 V 及流向 θ ，與海浪方向波譜的有效波高 $H_{1/3}$ ，有效週期 $T_{1/3}$ ，及主要波向 $\theta_{1/3}$ （我們稱它為有效波向好了）。為簡明起見，我們將岸上雷達測波系統的測波向原理與其能譜的範圍，描述於圖六(Applied Science & Engineering Research公司手稿，1994)中。

ROSSAS雷達測波系統測試

八十五年度工研院能資所在農委會遙測小組經費資助下，推展岸上雷達測波系統之引進與研發工作，以美國Applied Science and Engineering Research公司提供一套簡便ROSSAS岸上雷達測波系統，進行水工模擬實驗，系統樣品配置K-band及X-band雷達頭，其功率分別為40mW與100mW，室內測試功率不宜過強，否則信號易受環境反射及多重反射干擾，簡便的岸上雷達測波系統樣品如圖七(Applied

Science & Engineering Research公司技術報告，1995)所示。85年5月28日～30日三天假台灣省交通處港灣技術研究所第二平面水槽進行岸上雷達測波系統樣品水工模擬測試(圖八)。岸上雷達測波系統以一組X-band系統樣品測波結果與電容式波高計及digital compass/rangefinder 觀測結果相互比對。週期誤差在2%～9.7%之間，示性波高誤差範圍在0.4%～14.8%；另外，在波向的比對上，發現誤差在 $2^\circ \sim 10^\circ$ 之間，証實ROSSAS在波浪觀測上，精確度甚高，值得推廣應用。

三、近岸水深遙測

近岸水深地形攸關海洋工程諸如港灣碼頭、防波堤等結構物之規劃設計，行船安全，污染擴散模擬與驗證，以及海岸侵淤或漂沙調查與追蹤都和水深息息相關。近岸水深量測通常採用船載回音測深儀(Echo sounder)方式實施，而近岸海域地形複雜，水淺多礁，致使傳統之船測方式實施緩慢，又有海上作業困難與風險。有鑑於實測水深工作繁複、遲緩而風險高，也不可能常常測量，因此，使用間接但快速的方法獲得水深資料，就成了我們努力目標。間接方法中遙感探測水深常利用感測器來接收反射或輻射電磁波訊號，據以分析水深資訊，但此法以可見光波段依不同水深有不同反射率原理測深，常受水質與海底底質差異干擾，很難獲得真

實水深資訊(呂等, 1994), 此外, 水深過深可見光波亦無法穿透水層直至海底, 測得水深。援此, 就台灣近岸而言, 東岸水深變化陡峻, 西岸水污染嚴重, 可見光波法並不適用於台灣近岸水深測量。遙感探測水深的另一個方法, 即利用波浪隨水深應變的訊息, 據以推算水深; 亦即波浪從外海傳遞至近岸, 其傳遞過程因地形變化效應, 水深漸淺, 波長變短, 藉由此波浪反應水深變化訊息以反推海底深度。由於波長計算自二維波數能譜分析, 故以此法推估近岸水深, 我們稱之為波譜法。

波譜法推估近岸水深(呂等, 1997), 避開可見光波法受水質及海底底質的影響, 尤適用於台灣近岸海域水深觀測。由於高解析飛航掃描資料因飛航掃描定位困難, 接圖不易, 常常欠缺外海深水區影像, 而且前國內可取得之最佳衛星影像為SPOT影像, 故常選用SPOT影像解析近岸水深。依據波浪傳遞過程, 頻率守恆原則, 再由分散關係推算海水深度; 解析水深過程, 為消除由波數能譜推算水深上的隨機誤差, 將海岸地區水深待估區所得水深數值, 再經移動平均, 以期提高其水深推算精度。此一方法計算水深變化時不需要假設等深線平行於海岸線, 適用範圍較廣。利用SPOT衛星影像解析近岸水深, 主要分成兩大步驟。第一步驟先進行波浪能譜分析; 第二步驟為水深解析, 藉由海面波浪波數能譜分析結果, 再

透過波浪傳遞分散關係式推估近岸水深, 其解析流程如圖一所示。另一方面, SPOT影像分析波譜推算水深結果, 為消弭水深推算過程中的隨機誤差, 採用適當遮罩進行一次等價(權重相同)移動平均, 以獲得較合理之水深數值。

實例研究中選用涵蓋台中港海域之SPOT3衛星影像資料, 依波浪能譜分析及水深解析, 以求取台中港近岸位於北防沙堤及北防波堤間之水深數值。選用SPOT 3影像(圖十), 攝像時間為1995年9月2日10:45, 當天10:00吹西北風, 風速4.2公尺/秒; 11:00轉吹西風, 風速4.6公尺/秒。波浪能譜分析及水深解析。結果, 深水區平均波長約74公尺, 主要波浪系統頻率分析結果為0.145Hz。近岸水深待估區8×8重疊陣列網格分別進行波浪能譜分析, 顯示波浪傳遞大致由西向東, 近岸處(右下角)波向漸向南偏折, 約略與海岸線垂直, 波長(上方數值)也因向岸地形抬升之故逐漸變短。水深解析計算8×8網格之水深, 各網格中心點平均水深, 水深變化由左上角的24公尺漸漸變淺至右下角處的3公尺左右; 其等深線(移動平均後)分佈如圖十一中虛線顯示, 等深線概約與海岸線平行。SPOT水深解析與1995年實測水深經潮位修正後比對(圖十二), 平均誤差落在14.14%, 最小誤差為0.5%, 最大誤差則高達50%; 經移動平均後, 網格水深最小誤差變化不大, 最大誤差降至29%, 平均誤差下

降為10%。顯示SPOT推估水深，大於15公尺則誤差亦將大為提高，移動平均後誤差也有明顯收斂下降的趨勢。

四、油污染遙感監測

遙感技術應用在海上油污染監測，始於1969年。該年，美國使用C-47運輸機，裝載兩部多波段可見光掃描儀，對加利福尼亞海上採油區井噴造成的海上油污區進行海面石油污染監測，對海上油膜及其擴散進行了跟蹤測量。這次航遙測油取得了很好的效果，得到了較高的評價。隨後，美國，以及日本、蘇聯、瑞典等國在這方面做了許多實驗研究工作，使海面油污的遙感監測技術得到了迅速的發展。現在，遙感器和計算機系統的發展，使遙感技術已經能對海面油膜的覆蓋範圍、油膜厚度、溢油數量和油污油種進行監視監測(林，1991)。

(1)可見光和多光譜可見光遙感

在可見光波段，水面油膜的反射率要比清淨海面的反射率大得多。應用可見光(0.4~0.7 μ m)波段的遙感器，如照相機和攝像機，能有效地利用這種反射率的差別，攝取海面油膜影像。

為提高可見光波段遙感器的分辨效率，可以用紅光波段來監測海面油膜，而用藍光波段來區分油膜、航跡和泥漿水羽流，以達到多波段可見光航空遙測油污的最佳效果。

(2)紫外遙感

油膜對紫外光的反射率比海水高1.2~1.8倍，有較好的亮度反差。因此，利用紫外波段電磁波，可以把海面薄油膜顯示出來。在此類遙感器得到的圖像中，油膜由於比海水有較大反射率而呈亮白色。由於紫外段電磁磁線射能力低，因此，紫外遙感器從空中可探測海面的距離(高度)大致在2000米以內。這樣，紫外遙感器用於高空航空遙感和衛星遙感方面就不適宜了。但是，雖有上述限制，紫外遙感器至今仍是航空遙感監測海面油膜(特別是薄油膜)的主要手段之一。

(3)紅外遙感海面油膜

紅外遙感技術是目前廣泛使用的海洋石油污染監測技術。任何黑體，只要它的體溫高於絕對零度，就會輻射出與表面溫度相關的熱輻射，包括紅外熱輻射。利用工作於紅外“窗口”波段的遙感器：紅外輻射計、紅外掃描儀、熱像儀等，均可測定海水和油膜的不同輻射能量，而獲得海面油膜的影像，從海面油膜的灰度等級可以確定油膜厚度等級，據此，可以算出油膜的厚度和分佈，推算出總溢油量。

(4)微波遙感海面油膜

微波波段電磁波波長較長(1mm~30cm)，具有很強的繞射透射能力，可以穿透雲、雨、霧。適用微波波段的被動式和主動式遙感器，

均有監測海面溢油的能力。

微波輻射計不僅能監測油膜的分布範圍和漂移擴散狀況，還可以觀測油膜厚度及其分布範圍，進而估算溢油數量。

在低海況時，雷達監測海面漂油效果不錯；在高海況時，油膜被海浪所破碎並攪於水中，此時測油效果較差。

(5) 激光螢光探測海面油膜與油種

激光螢光遙感技術，是目前唯一能探明海面油污油種種類的最接近實用的遙感探測方法。只要接收並測定海面油污的這些特徵光譜，就可以對油種進行別。激光遙感不僅能迅速描述海面石油污染的分佈，而且具有二維繪制能力。不管在白天黑夜或惡劣氣候條件下，都能有效地監測海面油污，數據準確可靠。

五、懸浮漂沙遙感監測

近岸海域，由於沿岸流、上升流、潮汐流等水動力的攪動影響，以及近岸懸沙來源豐富，特別在河口地區，河流攜帶大量懸浮泥沙入海，使其水體懸沙濁度較高。水中懸沙在重力和鹽析絮凝沉降等作用下，懸沙在水體能量降低時沉降迅速、使表層水體含沙量變化顯著。反映在遙感影像特徵上是灰度梯度（黑白片）或色階梯度（彩色或假彩色片）較大。不同含沙量、不同流速流向的濁水流水團構成了複雜的近岸河口流。水面懸沙流形成了

近岸河口水體動良好的示蹤劑。特別在河口海域，由於河口淡水的比重小於高鹽度的海水，含沙水體呈浮托層飄浮於海面。這層水體在風吹流作用下，運動方向易於隨風向而變。其前緣常呈羽狀態，形成頗具特色的海面懸沙羽狀流。這種羽狀流用一般傳統船測方法難於發現，只有用遙感方法才能觀察到。

近岸河口海域水體，在近海岸流場、河口徑流和潮汐流場複雜水動力的交互作用下，其流速流向不斷變化，處在連續動態變化之中。遙感具有大尺度快速同步的特點，所獲得的水體懸沙流影像，都是在幾秒至幾十秒，或更短的時間內瞬時間步掃描或攝像的。這種瞬時同步影像，對於研究海面懸沙的沉降和輸移，是非常直觀和有用的資料。由於微波可以穿透雲層，整幅圖像毫無雲的干擾，且水面、陸地圖像都非常清晰。它還能排除雲霧干擾，獲取清晰的水體懸沙流圖像。但這種 SAR 圖像少且難於得到，因此，可見光波段仍是當前海面懸沙遙感最重要和使用最廣泛的信息源。Landsat 陸地衛星的 MSS 4、5、6 波段，TM2、3、4 波段，NOAA 衛星 AVHRR 的 CH1 波段，以及航空、衛星的黑白、彩色和紅外影像，不僅廣泛地應用於目視和光電方式的海面懸沙流的定性和半定量解析，而且還能根據各種理論的和經驗的模式，用計算機計算處理，以獲得水體含沙量的定量信息，並已逐步投入到海面濁度遙感調查研究和近岸

工程、港口航道等實際應用中。

海面懸沙定量遙感探測，人們最初只根據衛星遙感懸沙資料作為水團運動的示蹤劑，定性地描述研究海域水流和水團的運移循環模式。然而，逐步通過間單而直接地將衛星遙感信息與地面同步測量資料之間的對比，發現水體中懸浮泥沙的含量與衛星接收到的水體后向散射幅射強度之間有良好的相關關係。

近些年來，國內外海面水體懸沙遙感定量研究工作中提出的一系列模式，主要就在於確定水體反射率同泥沙濁度兩者之間的函數關係。目前有二種形式：一是理論模式，通過光輻射在水中傳輸特性產生的效應與懸沙遙感數據建立相關關係；二是經驗模式，通過遙感數據與地面同步或準同步測量數據建立相關關係式。目前，國內外都有一些海面懸沙遙感的理論的和經驗的模式投入實際應用中。

六、綜評分析與展望

遙測技術應用於近岸海域功用廣泛，秉其廣域覽要，快速便捷的特質，未來發展深具莫大潛力。以上海洋波場與近岸水深遙測以及油污與懸浮漂沙遙感監測，僅就其原理與方法概述大端，至於遙測技術在這此方面的應用，目前技術水平如何，國人實際應用可能面對的問題，則有待進一步評析。

海洋波場遙測

SPOT影像是目前國內可獲得最佳解析度的衛星影像資料，從波浪影像分析波場特性，諸如波長、波向技術上是不成問題，但因SPOT影像屬可見光波段影像，易受雲層水汽干擾，不易取得陰雨天候下較大風浪海況的影像，據以分析獲致具代表性與設計波浪特性資訊。SAR雖可彌補SPOT影像的缺失，但對動態的波場，其成像機制至今依然未有效釐清，故仍未能確實掌握SAR影像的能譜特性，是以波高參數一直懸而未解。近年來有人著手干涉雷達的研究，試圖從干涉影像立體對的分析，高精確度的直接觀測波高，應用技術雖未成熟卻也成為今後研究的重要課題。另外，空載掃描影像其解析度雖然高於SPOT或ERS之SAR影像，但受可見光技術的限制，飛航穩定度和天候仍是它最大致命傷。衛星或空載遙測波場都是從“面”的角度進行瞬時觀測，不足以提供連續而長期性的波場特性資料。岸上測波系統的出現彌補了這方面的缺失，也避開海上作業困難與風險，既可滿足“全面”的觀測，又可長期連續觀測波場，惟目前技術仍不夠成熟，不可預知的環境干擾信號很難避免，真正商品化的系統仍未能廣為大家接受與應用。

近岸水深遙測

使用SPOT影像分析近岸波場推估水深，可以大致量化的計算出近岸海域水深數值，但影像本身解

析度的限制，就無法消除固有的不準度。另一方面近岸波場的隨機變量甚大，波場局部的變化不僅反應自水深的變化，局部的風吹效應，地形影響以及其他干擾因素，要能有效掌握才能降低推估水深的誤差。雖然重疊取樣分析及移動平均處理技巧，可以改善及提高空間推估的精密度與水深推估上的隨機誤差，但都不是最佳與有效提升水深推估精度上乘方法。日後研究除可獲取更佳解析度的影像分析之外，波場解析方法的精益求精，解析波場範圍越小，求解該區平均水深越具代表性。

油污遙感監測

環保意識的抬頭，船舶漏油及傾倒廢棄油料，造成海域、港灣海面的油污染，引發國人的高度重視，也刺激了遙感監測油污染的技術研發。油污遙感監測方法甚多，舉凡可見光與多光譜、紫外、紅外遙測、微波遙測以及激光螢光遙感探測，各有各技術的特長及限制。國內油污遙測技術研發，局限於可見光、多光譜、紅外及微波SAR影像的分析，衛星遙測攝像對油污事件偵測分析可遇不可求，欠缺機動與配合度，對事件很難提供及時有效的探測與貢獻；空載掃描機動性佳，但國內飛航管制嚴格，飛航掃描申請時效性不夠，往往容易痛失機先，油污迅速擴散更難追蹤清除。展望未來可行的方法可以遙控飛機攜帶攝像系統及GPS衛星定位系統，進行高解析度鳥瞰影像或照片的

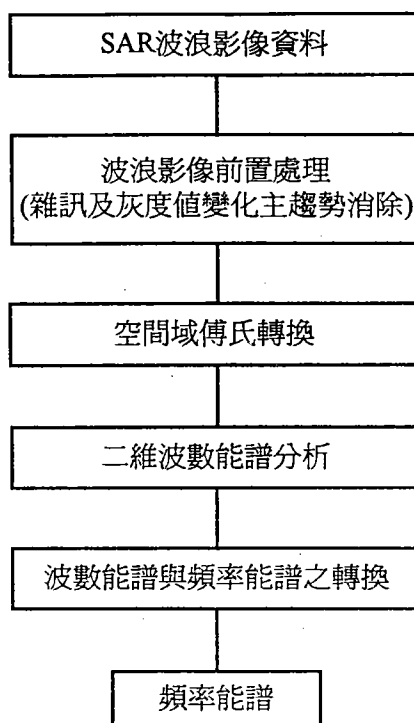
蒐集，船舶雷達也可發揮其機動性能，研發建立油污自動監測顯像系統，也不失為一可行方法，唯船舶雷達影像解析度仍需改善提升，以利精確定位判斷油污染範圍。

懸浮漂沙遙感監測

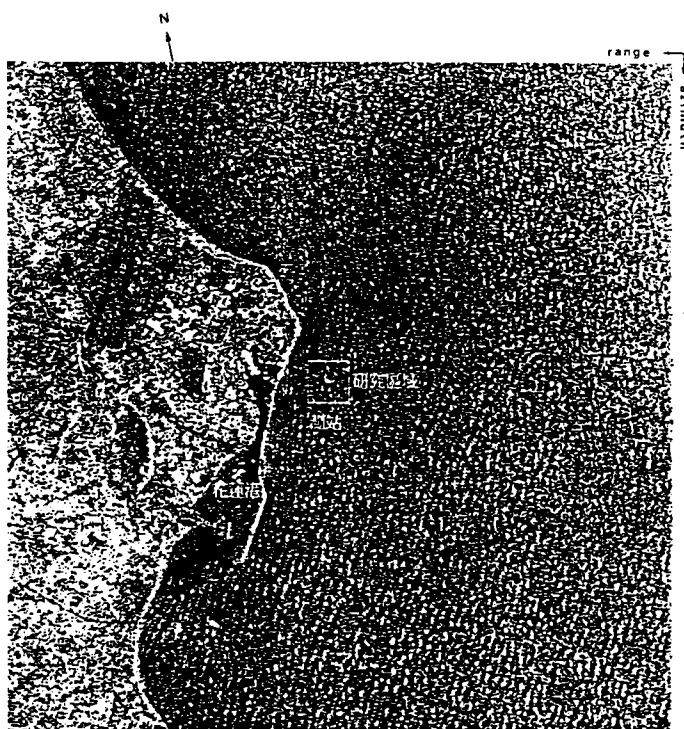
Landsat陸地衛星之MSS及TM影像和NOAA衛星AVHRR資料常用來分析懸浮漂沙，但解析度都過於粗略，SAR影像對懸浮漂沙有較佳解析效果，但目前國內可取得之SAR影像有限，歐洲ERS及加拿大Radsat衛星因其重複拍攝週期過長，不易掌握懸浮漂沙動態變化。懸浮漂沙遙感監測面臨的另一個技術問題，則在於理論模式關係函數複雜不易確定；經驗模式則需要大量足夠的現場及遙測資料，以資統計迴歸分析。這些都有賴國內投入更多人力、經費研發造就的。

七、結語

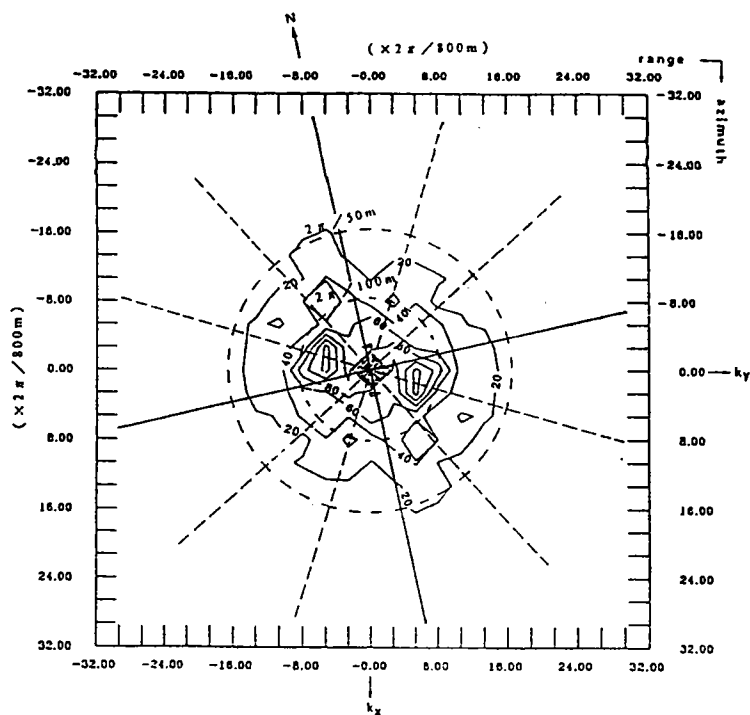
遙測技術應用於近岸海域探測，為海岸工程、科學研究與應用開啓嶄新一頁。從“面”的觀測剖析，與傳統固定“點”式的時間觀測，正可相輔相成，以窺海象全豹。近岸海域探測，遙測技術的應用不論在海洋波場探測，近岸水深解析，以至油污染與懸浮漂沙的監測，國內已都有一個好的開始：在此國內近岸海域遙測技術起步與日趨蓬勃發展之際，期盼更多人力、經費與時間的投入，促使近岸海域遙測技術更上層樓，看得更廣，測得更準，更快、更安全。



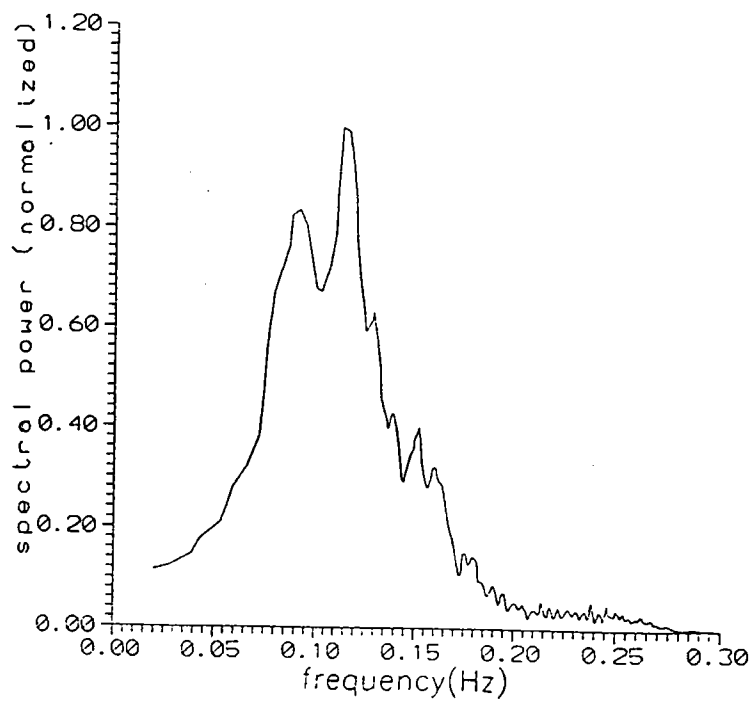
圖一、ERS-1 SAR波場分析流程



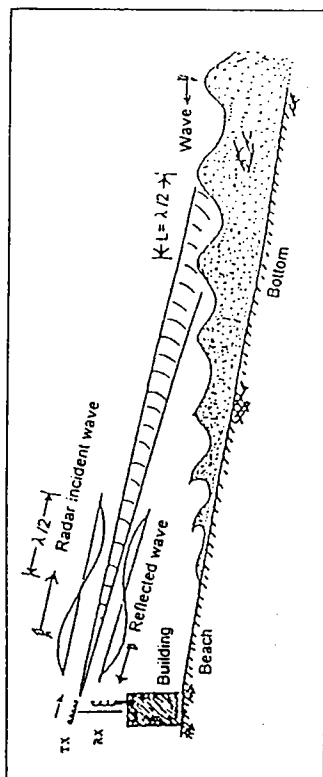
圖二、1993年11月26日ERS-1 SAR之花蓮海域子影像



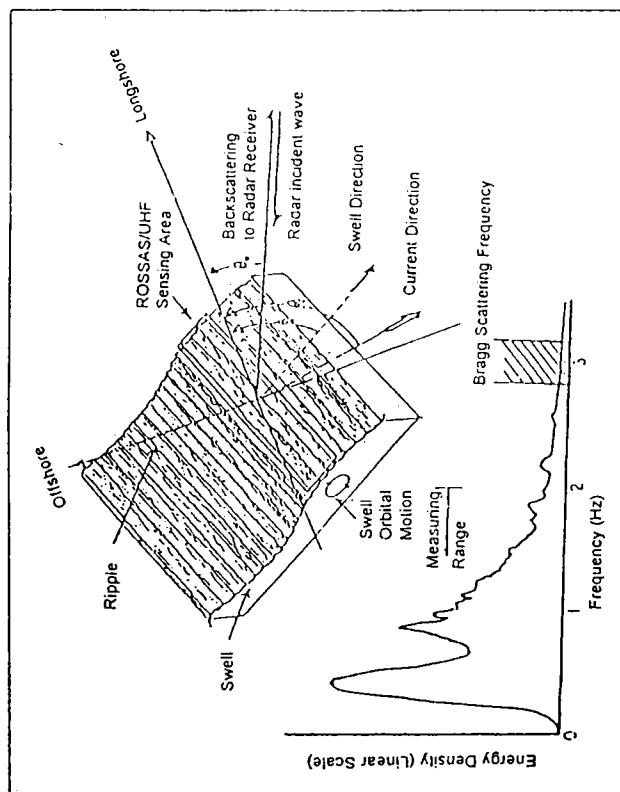
圖三、花蓮海域之SAR波數能譜等值圖
(虛線同心圓之內、外圈分別代表波長為100公尺及50公尺的位置)



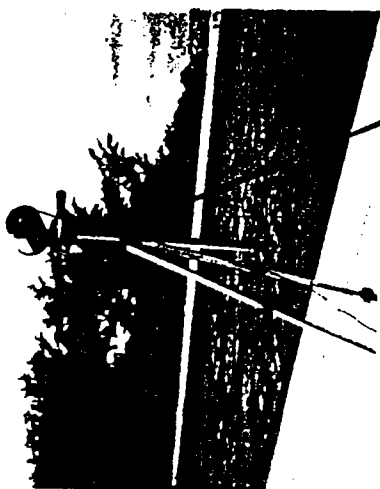
圖四、花蓮海域之SAR頻率能譜



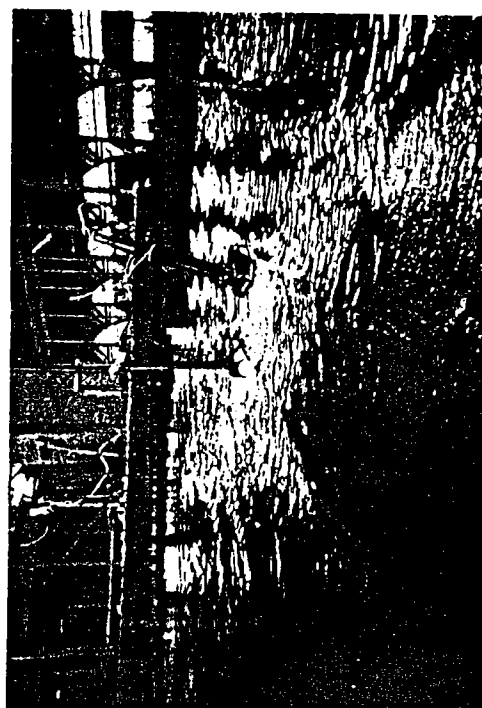
圖五、岸上雷達測波系統測波原理示意圖



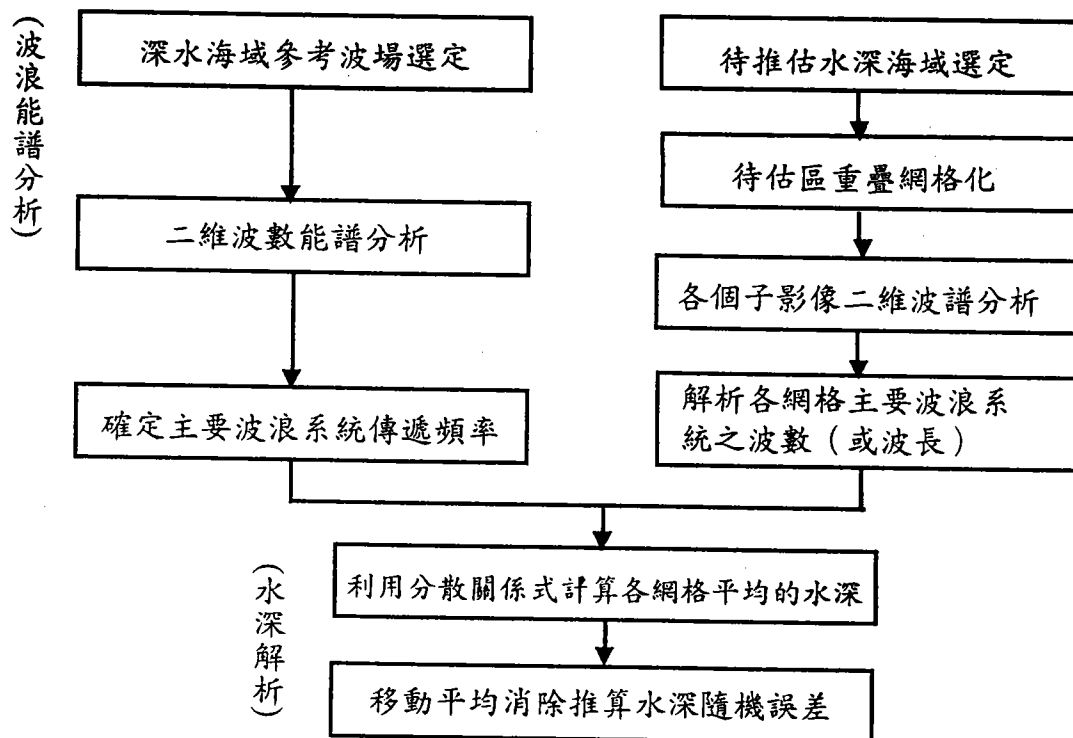
圖六、雷達測波原理與波譜



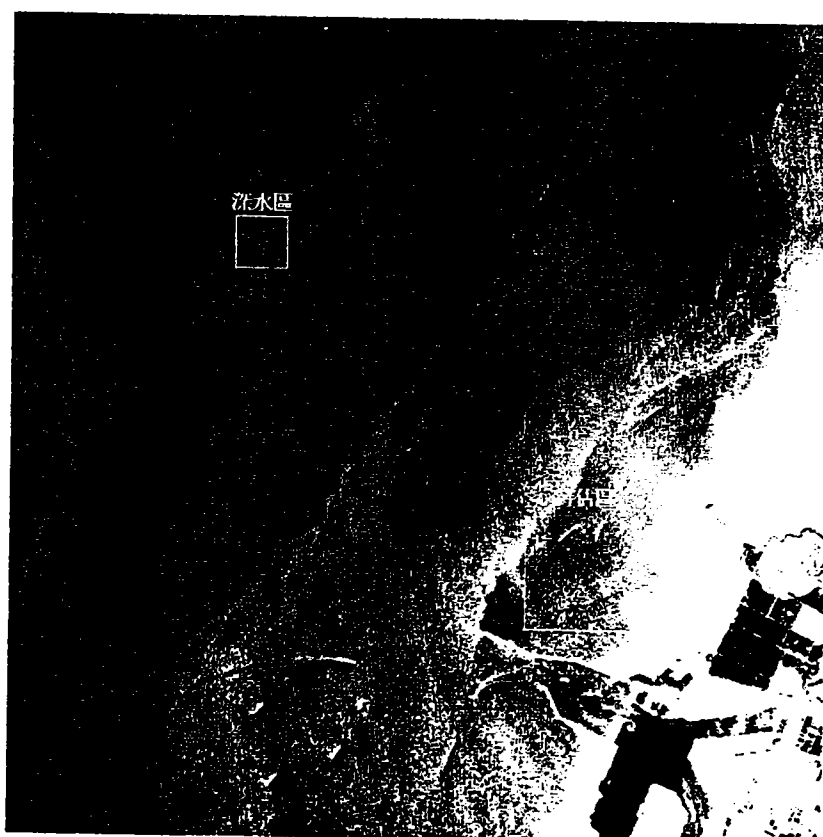
圖七、ROSSAS測波系統樣品



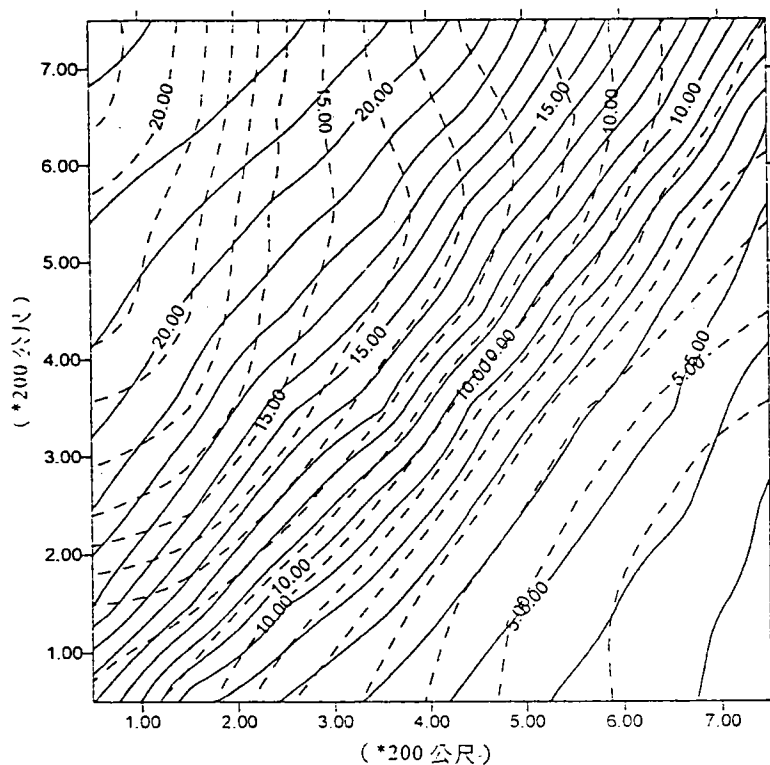
圖八、ROSSAS水工模擬測波實驗現況



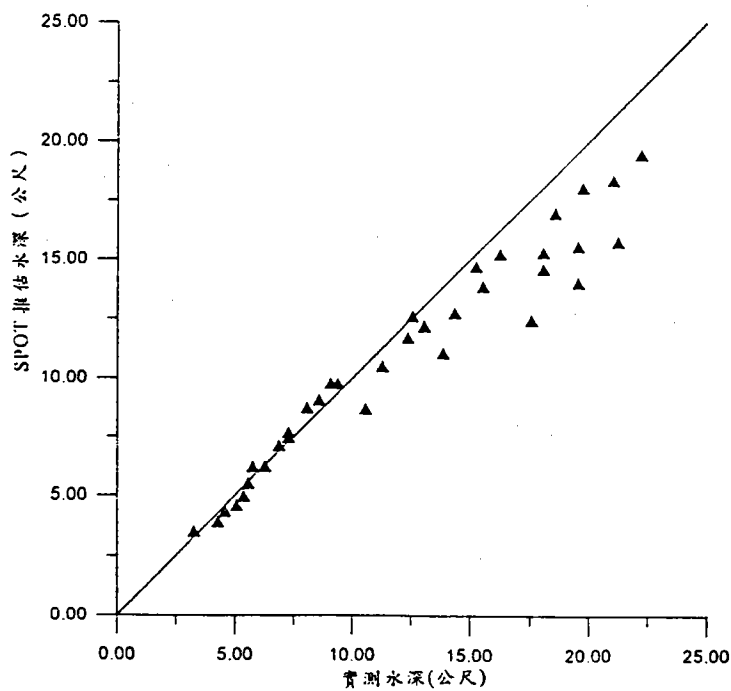
圖九、波譜法推估近岸水深解析流程



圖十、1995年9月2日 SPOT3 台中港海域波場影像



圖十一、SPOT 影像波譜分析待估區之等深線（經一次移動平均，虛線）與實測等深線（實線）（原點為待估區之左下角）



圖十二、1995 年待估區之實測水深與 SPOT 推估水深(一次移動平均後)比較

兩岸境外航運中心航港發展之探討

馬維倫 港研所圖書室

一、前言

本（八十六）年四月十九日，政府開始高雄港境外航運中心之運作，正式由雙方所營運之權宜籍船展開營運，台灣作為亞太海運中心之計畫終於開航。惟自開始運作以來，兩岸航商、高雄港務局、以及大陸廈門、福州兩港配合運作情形如何，則有待深入瞭解。本文蒐集報章雜誌相關於境外航運發展之報導，按先後順序加以整理，以供有興趣者參考。

二、境外航線是賠錢航線？

據九月在台舉辦之「高雄港—廈門港兩岸試點直航後航運業務研討會」，業者曾對境外航運營運大吐苦水，言明境外航線是賠錢航線。據海運業者表示，境外航運之開航雖促成兩岸航運向前邁進一步，但因我方限制境外航運貨載「不通關、不入境」，船舶僅能裝載大陸進出口第三地轉口貨，而不能載運兩岸間貨物，以致參與營運之業者都有貨源不足之感，並訴苦境外航運中心是賠錢航線。為解決此一問題，應邀來台訪問之福建省交通廳

長唐漢清在台表示，將對我方航商反應廈門、福州港埠裝卸費率偏高不利業者營運一事，立即檢討改進，他並指出，試點通航自今年四月開航迄今，雖然貨載呈倍數成長，但因我方「不通關、不入境」限制，以致參與營運之兩岸航商均有貨源不足之困擾，希望雙方加強交流、溝通，促使我方早日開放通關入境，才是增加貨源之根本解決辦法。而台灣航商則認為，福廈兩港因船席調度不是很順暢，有時貨運到了卻找不到船席，有時甚至因此趕不上母船，結果一延可能就是一星期，這樣的損失比運量少更多。其次則是大陸港口收費名目多，近洋航線最近幾個月幾乎已漲了兩成，這些都是急待解決的問題。業者更希望大陸方面准許除福建省外的其他地區貨載，也能經由廈門或福州兩港轉運，並早日開放「廣、大、上、青、天」等五大港口，以茲解決。

事實上，兩岸對於境外航線之營運績效其反應並不太一樣，中共「交通部」最近與其相關單位就兩岸定點通航實施成果檢討時，基於大陸航商經營我方境外航運中心業

務不具經濟效益，而不擬再增加試點口岸、船舶，以及不擬再接受其他航運公司參與業務之經營，果真如此，則對我方營造亞太航運中心之舉，將形成不利之影響。而高雄港務局經過與高雄關稅局等相關單位會商之後，在九月十日正式向中央提出擴大境外航運中心作業功能及範圍建議案；希望把港區內的散雜貨碼頭、加工區的倉儲轉運專區、以及高雄航空貨運站納入。高港認為境外航運中心自今年開辦以來，業務量佔全港轉運貨櫃量比例雖然不高，但數量已逐漸成長，未來有相當大的發展潛力，為因應市場需求並配合執行兩岸航運政策，有必要擴大境外航運中心的實施範圍及功能。

三、兩岸航運市場不宜缺席

在交通部委託台灣海峽兩岸航運協會進行的「台灣海峽兩岸通航問題與因應」專題研究中，針對國輪進行意見調查，34家公司當中有29家均認為兩岸航運為未來不容缺席的有利市場，其中有四家主張兩岸航線開放為國際航線較為有利，其餘主張應視為國內航線，或透過兩岸諮商，以避免國外參與，保障兩岸航商利益。對於大陸開放港口，航商認為最優先的三大港口依序為上海、天津與青島，排名順序與港口吞吐量相同，顯示航商以貨量為優先考量。對全面直航後擔心面臨的營運問題，航商最擔心的是大陸航商之營運成本低、兩岸進出口

櫃量不平衡、船噸過剩等三大項。對於目前境外航運業務，航商面臨的問題包括：不能兼載兩岸間貨物、船舶受限不便靈活調度、無法在大陸設立分支機構。在經營貨櫃定期航線部份，航商面臨的問題包括：大陸航線申請不易、集貨量有限且屬單向運輸、營運成本較大陸航商為高。為改善經營之困境，因此航商建議：境外航運部份，開放更多直航港口、航行境外船隻可經第三地兼運兩岸間貨物、簽訂兩岸海運營業所得稅互免協議。定期航線部份，建議允許三角或多港營運、兩岸協商約定經營家數及班次。

四、開放兩岸海運可望加快節奏

在蕭萬長出任行政院院長後，交通部邀集業界會商，認為未來新內閣對於開放兩岸航運會有積極行動，在大陸方面掌握主導權情況下，我方將加速開放腳步，並變更過去先等大陸有所回應才進行後續開放的做法。不過業界認為，兩岸通航最大之限制目前還是在我方政府，在國統綱領約束下，各項開放都很難符合經濟效益，不過業界認為此一形式短期內很難改變，因此還是要設法加速設立經貿特區，透過經貿特區之運作以解決兩岸往來貨載不通關、不入境問題。

五、兩岸通航最近將有所突破

台灣海峽兩岸航運協會董事會透露，兩岸海運問題在近期內將會

有所突破，雙方都會同意減少政治障礙，擴大開放兩岸航運。境外航運中心因為屬於特區性質，我方已考慮，如果中共能夠開放廈門、福州以外之港口，我方也可以解除不通關、不入境之限制，並將台中、基隆列入境外航運範圍。另外，估計兩岸通航問題也將正式搬上談判桌，我方已考慮比照台港海運談判模式，解決旗證問題，先讓兩岸不定期航線散裝貨輪開始對航。基本上，境外航運中心屬於一個特區，如果以該中心與對岸通航，還不是屬於全面通航，而目前境外航運中心營運順利，想要擴大為可以通關、入境，只是修法與決策的問題，因此只要政府一旦作成決策，很快就可以付諸實現，但是前提是要中共能夠開放廈門、福州以外港口。對於兩岸國輪的對航問題，全國船聯會也已經要求比照台港海運談判模式進行協商，兩岸預定在明年春天恢復的正式協商，估計大陸方面會提出通航問題，因此我方已有協商準備，並考慮開放不定期航線的散裝貨輪。因為散裝貨輪運送情況比較單純，都是單一貨主，而且由外輪經第三地運送的方式，增加貨主之負擔，兩岸航商都希望有所突破。

我方基本上還是採取漸進式的開放原則，但是開放腳步會加快，不過有關官員強調，前提還是要大陸方面能夠有善意回應，事情不可能一步到位，還是以務實為要。

六、交通部放寬境外航運中心集貨船航行方式

交通部為進一步提升境外航運中心功能，便利航商船舶調度及航線安排，於八十六年十月廿一日公告放寬目前限定以「集貨船」直接往返境外航運中心與大陸港口間的航行方式，亦即允許航行於境外航運中心與大陸港口間之船舶，得延遠至第三地港口。此項放寬措施將有助兩岸轉運業務擴大到東南亞、東北亞市場，航商船隊調度也將更為靈活。

七、結語

兩岸航運在今年四月終於跨出第一步，雙方權宜船可平等航行兩岸指定港口，然而平等並不代表互惠，由於政治力不當的干預民間正常經貿航運活動，易使人民的正當需求當做兩岸政治鬥爭的籌碼，在船舶日益大型化，貨載需求更迫切情況下，兩岸之間不能直接通航，航商不能藉由大陸之貨量以補足所需之承載率，已有許多國際大航商在成本之考量下部份靠泊高雄港之貨櫃航線轉移至大陸港口。這對於高雄港之成為海運轉運中心有極為不利之影響。因此，如何兼顧國家安全、航商營運、貨主成本以及港埠之發展下，積極協商出更務實之兩岸通航辦法，創造兩岸雙贏的環境，應該是兩岸急需解決之課題。（參考資料：台灣新生報航運版）

迴歸分析預測變數的選取與檢定

賴瑞應 港研所助理

一、前言

一般在做迴歸分析時，常會牽涉到很多預測變數對準則變數都有影響，於是初步考慮的預測變數就會很多，即使經過篩選後，有時也有十幾個甚至幾十個預測變數，這樣在資料收集、運作系統及模式解釋都很困難，如何精簡模式而又能使模式有很好的預測能力是一重大課題。本文將介紹以套裝軟體 SAS，來協助我們如何選取預測變數及如何檢定模式是否合適做一簡要說明。

二、預測變數的選取

如何選取預測變數？首先我們將所有對準則變數有影響的預測變數整理出來，若預測變數有N個，則所有預測變數組成的迴歸模式就有 $2^N - 1$ 個，我們從所有模式中找出擬合度高且符合殘差分析要求的最佳模式，則模式中的預測變數即為我們所要選取的預測變數。而如何判定迴歸模式擬合的好壞，一般常用下列三種數值來判斷：

1. 判定係數(R^2)要大

判定係數代表的是預測變數放入模式後，準則變數變異降低的比例，所以判定係數愈大愈好。當然將所有預測變數都放入模式時，判定係數會最大，但付出的代價是模式複雜且解釋困難，所以還要輔以下面所述的兩個數值來加以判斷。

2. 誤差均方和(Mean of Square Error簡寫為MSE)要小

當放入更多的變數時，則判定係數(R^2)增大，但相對的模式也複雜，也就是擬合之後誤差小，但參數個數p也增大，如何對此找到平衡點，統計上常用調整後的 R^2 (即 R_a^2)做判斷，其公式為：

$$R_a^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{n-1}{n-p}; \quad n \text{ 為樣本個數}$$

其中 p 為參數個數(含常數項), R_a^2 是對參數 p 做懲罰, p 愈大會愈對 R_a^2 不利, 除非由於 p 增大 R^2 也增加很大, 不然 p 增大時, R_a^2 也許不升反降, 也就是說 R^2 永遠會隨項數 p 而增大, 但 R_a^2 就不一定了, 事實上 R^2 與殘差平方和 (Sum of Squares Error 簡寫 SSE) 有關, 但 R_a^2 與 MSE 有關, R_a^2 與 MSE 的關係為:

$$\begin{aligned} R_a^2 &= 1 - (1 - R^2) \frac{n-1}{n-p} \\ &= 1 - \left(\frac{SSE}{SSTO} \right) \frac{n-1}{n-p} \\ &= 1 - \frac{n-1}{SSTO} \cdot \frac{SSE}{n-p} \\ &= 1 - \frac{n-1}{SSTO} \cdot MSE \end{aligned}$$

$$\text{其中 } SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

$$SSTO = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

因 $n-1$, $SSTO$ 為定數(與預測變數個數無關), 故 MSE 小, 則 R_a^2 就大。

3. C_p 值要小(或儘量接近 p , 其中 p 表參數個數), C_p 的定義為

$$C_p = \frac{SSE_p}{\hat{\sigma}^2} - (n - 2p)$$

$$\text{其中 } \hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-p}$$

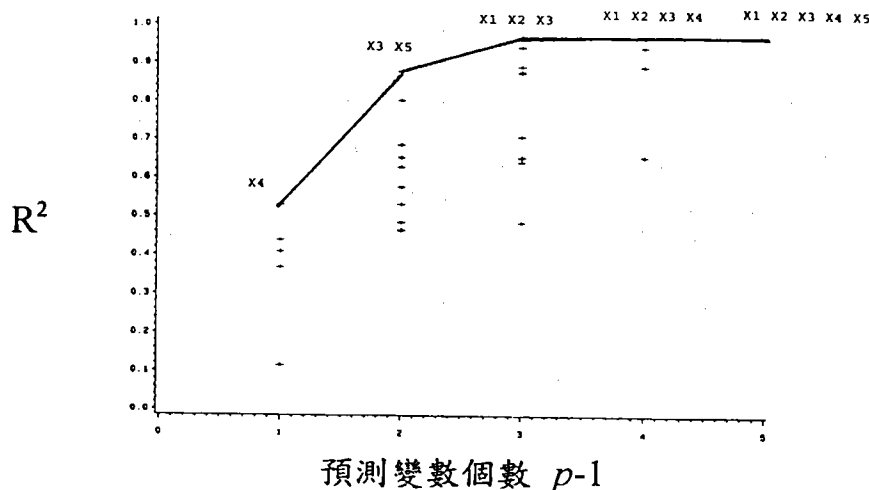
式中 $\hat{\sigma}^2$ 是全部預測變數都放在模式內的 σ^2 估計值, n 是觀察的樣本個數。當全部預測變數都放入模式時 $C_p = p$, C_p 值與 MSE 都是對預測變數的個數 $p-1$

做懲罰工作，在相同的SSE下，個數 p 愈大則MSE及 C_p 都變大，所不同的是MSE中 $n-p$ 是放在分母，而 C_p 中 $n-2p$ 是放在相減的部份。

下面我們簡單舉50位病人心臟手術後存活時間(Y)為例，說明預測變數如何選取。

序號	血塊 分數 X_1	體能 指標 X_2	肝功能 分 數 X_3	酸素檢 定分數 X_4	體重 X_5	手術後存 活 時 間 Y
1	63	67	95	69	70	2986
2	59	36	55	34	42	950
3	59	46	47	40	47	950
			.			
			.			
			.			
49	60	60	67	45	56	1947
50	65	83	55	55	89	2451

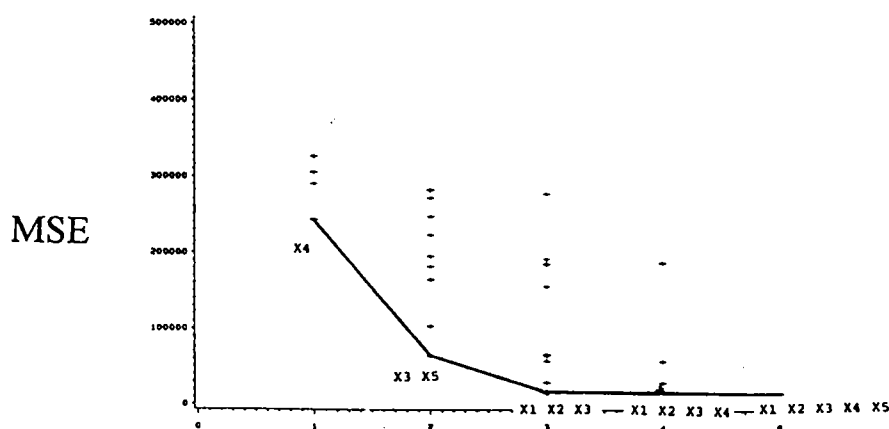
我們應用SAS中所提供的RSQUARE程序，跑出所有模式($2^5-1=31$)的 R^2 ，並由此可算出MSE及 C_p 。將所有 R^2 對 p 畫散佈圖，並將每一個 p 對應之最大 R^2 連成一線，如下圖：



手術存活時間所有迴歸式的 R^2

由圖上看出預測變數個數增加，則其對應最大的 R^2 也隨之增加， $p-1=3$ 到 $p-1=4$ 其 R^2 增加已很緩慢，因以 R^2 當判斷準則，此時建議取3個預測變數 X_1 ， X_2 ， X_3 其對應 R^2 最大。

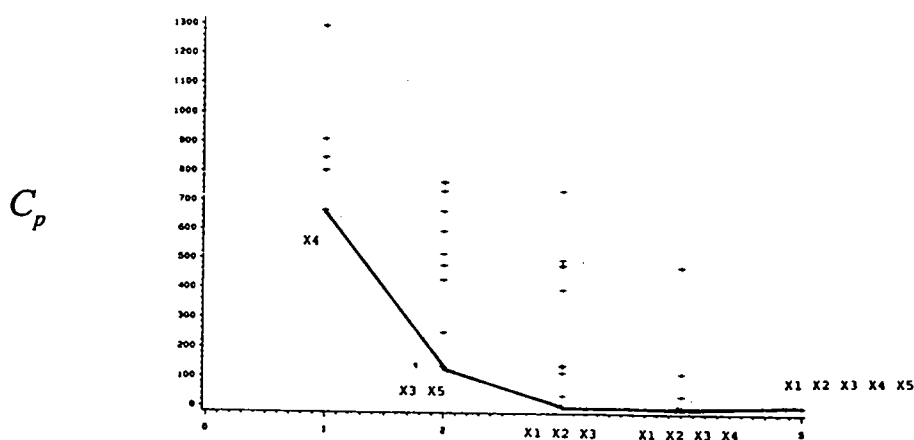
接著再將所有31個MSE對預測變數個數 p 畫散佈圖，並將每一種變數個數 $p-1$ 對應的MSE最小者連成一線，如下圖。



預測變數個數 $p-1$
手術存活時間所有迴歸式的MSE散佈圖

MSE的最小值連線不再像 R^2 有規則，也就是 p 增加時MSE不一定減小。本例中 $p-1=3$ 所對應的 $MSE=15876.16$ 是所有31個迴歸中最小者，故以MSE愈小愈好的判斷準則，建議採用預測變數仍為 X_1, X_2, X_3 。

最後探討 C_p 值的判斷準則，畫 C_p 值對 p 之散佈圖如下：



預測變數個數 $p-1$
手術存活時間所有迴歸式的 C_p 值散佈圖

各種 p 對應的 C_p 最小值也與MSE一樣，不一定隨 p 增加而減少，就此例而言，最佳的 C_p 也是選取3個預測變數 X_1, X_2, X_3 。一般而言，以 R^2 、MSE及 C_p 值

做判斷，所選到的最佳模式不一定相同，因此建議以 R^2 大當判斷準則時找出幾個 R^2 較大的模式，以MSE當判斷準則時，也找出幾個MSE較小的幾個模式，而以 C_p 值小做判斷，也找出幾個較小的模式，最後從這三組中找出共同者，做為最後預測變數的參考。

三、參數的檢定

預測變數選定後，我們將其組成的模式要做進一步的檢定，檢查此模式是否合適，模式合適與否的評估，除了做殘差分析外，尚須討論模式的簡化問題，我們考慮下列三種情形(1)只去除其中一個預測變數(可利用SAS參數估計表提供結果)、(2)同時去除幾個預測變數、(3)去掉所有預測變數(ANOVA表)，這三種情形都是做統計的檢定工作。

在做檢定前，本文針對t檢定與F檢定做一簡單的介紹。首先介紹t檢定，它是針對模式內單一預測變數做檢定，若t值在某一顯著水準(虛無假設誤差發生機率的上限)下，大於t分配表中所對應的值，則拒絕其虛無假設(H_0)，接受對立假設(H_1)，反之則接受虛無假設。其判斷式如下

$$\text{若 } t = \left| \frac{\hat{\beta}_i}{s(\hat{\beta}_i)} \right| > t_{n-p, \frac{\alpha}{2}} \text{ (查 } t \text{ 分配表得) 則拒絕虛無假設 } (H_0)$$

$$\text{其中 } \hat{\beta}_i = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) y_i}{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}$$

$$s(\hat{\beta}_i) = \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}{(n-p)}}$$

n ：樣本個數

p ：參數個數(含常數項)

α : 顯著水準

x_i : 預測變數

$\bar{x}$: 預測變數平均值

y_i : 準則變數實際值

$\hat{y}_i$: 準則變數預測值

而F檢定比起t檢定的功能強些，它不只可針對單一預測變數做檢定，也可針對模式內多個預測變數同時做檢定，其使用的方法其實就是變異數分析 (Analysis of Variance, ANOVA)，與t檢定步驟相同，若F值在某一顯著水準下，大於F分配表中所對應的值，則拒絕其虛無假設 (H_0)，接受對立假設 (H_1)，反之則接受虛無假設。其判斷式如下

$$\text{若 } F = \frac{\frac{SSR}{p-1}}{\frac{SSE}{n-p}} = \frac{MSR}{MSE} > F_{v_1, v_2, \alpha} \quad (\text{查 } F \text{ 分配表得})$$

則拒絕虛無假設 (H_0)

$$\text{其中 } SSR = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$$

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

n : 樣本個數

p : 參數個數 (含常數項)

y_i : 準則變數實際值

$\hat{y}_i$: 準則變數預測值

$\bar{y}$: 實際準則變數平均值

v_1 : SSR 自由度 ($= p - 1$)

v_2 : SSE 自由度 ($= n - p$)

α : 顯著水準

下面以研究房子坪數受收入、人口數及教育程度的影響為例，資料如下

序號	房子坪數	收入(千元)	人數	教育程度(年)
	Y	X ₁	X ₂	X ₃
1	32	660	2	10
2	34	780	2	14
3	52	1350	3	13
4	48	1110	4	6
5	44	840	4	8
6	42	1500	3	16
7	64	1680	6	14
8	36	1020	3	14
9	60	1800	5	8
10	40	1200	3	12

由SAS程式執行所得報表中，攫取ANOVA表及參數估計表如下：

(a)ANOVA表

Analysis of Variance				
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value
Model	3	950.16621	316.72207	19.112
Error	6	99.43379	16.57230	
Root MSE 4.07091 R-square 0.9053				
Dep Mean 45.20000 Adj R-sq 0.8579				

(b)參數估計表

Parameter Estimates				
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H ₀ : Parameter=0
INTERCEP	1	17.144250	7.10954388	2.411
X1	1	0.012925	0.00584664	2.211
X2	1	4.672170	1.81558182	2.576
X3	1	-0.325541	0.48814219	-0.667

由(b)參數估計表得迴歸方程式為：

$$Y = 17.144250 + 0.012925X_1 + 4.676217X_2 - 0.325541X_3$$

檢定步驟如下：

(1) 檢定全部三個預測變數是否對Y有預測能力，即檢定

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0 \text{ (虛無假設)}$$

$$H_1: \text{不是所有 } \beta_i \text{ 都等於 } 0 \text{ (對立假設)}$$

$$(\text{設 } \alpha = 0.1)$$

算出

$$F = \frac{MSR}{MSE} = \frac{316.7221}{16.5723} = 19.1115 > F_{3,6,0.1} = 3.29$$

表示這三個預測變數組合對Y預測有貢獻，但並不表示每一個預測變數都有預測能力。

(2) 檢定 X_2, X_3 已在模式內時 X_1 是否還需要放入模式，即檢定

$$H_0: \beta_1 = 0 \text{ (虛無假設)}$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0 \text{ (對立假設)}$$

$$(\text{設 } \alpha = 0.1)$$

由(b)參數估計表得

$$t = \left| \frac{\hat{\beta}_1}{s(\hat{\beta}_1)} \right| = \frac{0.0129}{0.0058} = 2.2241 > t_{6,0.05} = 1.943$$

故在 $\alpha=0.1$ 下，拒絕虛無假設(H_0)。表示當 X_2, X_3 已在模式中，則 X_1 仍應放入模式。

(3) 檢定 X_1, X_3 已在模式內時， X_2 是否還需要放入模式，即檢定

$$H_0: \beta_2 = 0 \text{ (虛無假設)}$$

$$H_1: \beta_2 \neq 0 \text{ (對立假設)}$$

$$(\text{設 } \alpha = 0.1)$$

由(b)參數估計表得

$$t = \left| \frac{\hat{\beta}_2}{s(\hat{\beta}_2)} \right| = \frac{4.6722}{1.8156} = 2.574 > t_{6,0.05} = 1.943$$

故在 $\alpha=0.1$ 下，拒絕虛無假設(H_0)。表示當 X_1, X_3 已在模式中，則 X_2 仍應放入模式。

(4)檢定 X_1, X_2 已在模式內時 X_3 是否還需要放入模式，即檢定

$H_0: \beta_3=0$ (虛無假設)

$H_1: \beta_3 \neq 0$ (對立假設)

(設 $\alpha = 0.1$)

由(b)參數估計表得

$$t = \left| \frac{\hat{\beta}_3}{s(\hat{\beta}_3)} \right| = \left| \frac{-0.3255}{0.4881} \right| = 0.6669 < t_{6,0.05} = 1.943$$

故在 $\alpha=0.1$ 下，接受虛無假設(H_0)。表示可以不將 X_3 放入模式中，不過去除 X_3 後需要重新跑Y對 X_1, X_2 的迴歸式，由SAS得最後之迴歸方程式為

$$Y = 13.4792 + 0.0110X_1 + 5.3139X_2$$

四、結語

經由前面的簡單介紹後，對於如何選取預測變數及對迴歸模式檢定有了初步概念，可以嘗試利用SAS統計軟體做一些簡易迴歸分析，並且可進一步利用所建立的模型做預測或控制。但在做預測或控制時，最常犯的錯誤為預測值不在收集資料所屬的範圍內，而妄加預測，造成嚴重的錯誤，如資料收集是從基隆港抽樣的，要應用到高雄港就不對；或是建立的模型是民國85年前的資料，要預測到民國86年，那就不一定會成功，除非我們假設“未來是過去的延伸”是對的。有了這些基本觀念後，加上不斷的練習增加經驗，相信迴歸分析就可駕輕就熟了。