

港灣報導季刊

第 75 期

交通部運輸研究所

中華民國 95 年 10 月

港灣報導第 75 期

刊期頻率：季刊

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：台北市 105 敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw

電 話：(02)23496789

總 編 輯：黃德治

編輯委員：邱永芳、李豐博、林昭坤、朱金元、何良勝、
簡仲璟、蘇青和、單誠基、馬維倫

出版年月：每年二、六、十月

創刊年月：中華民國七十七年二月一日

定 價：100 元

本次出刊：520 冊

印 刷 者：普林特印刷有限公司

GPN：2007700020

ISSN：1019-2603

目 錄

船舶對碼頭岸壁淘刷之探討 1

鍾英鳳 高雄港務局規劃科科長

地理資訊科學之介紹與港灣研究應用管理之探討 14

張智傑 中央研究院歷史語言研究所研究助理

台灣西海岸潮間帶及近岸之地形測量 24

洪志偉 詮華工程顧問有限公司海測部經理

鄧敬中 詮華工程顧問有限公司航測部副理

何良勝 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員兼科長

淺談生態型消波塊之發展類型 33

黃清和 建國科技大學土木工程系副教授兼主任

蔡立宏 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

陳昌生 台灣漁業及海洋技術顧問社工程部經理

林東廷 富台工程股份有限公司工程師

台中港區空氣懸浮微粒特性研究 39

溫志中 弘光科技大學環境工程系助理教授

方國權 弘光科技大學環境工程系教授

蔡立宏 交通部運輸研究所 研究員

船舶對碼頭岸壁淘刷之探討

鍾英鳳 高雄港務局規劃科科長

一、前言

在港灣活動之船舶有港勤船及商船等兩類，港勤船包括拖船、消防船、挖泥船、起重船、加油船、給水船、清潔船、駁船、帶解纜船等；貨船依其載運之種類可分為客船、客貨船、貨船；而貨船亦可依據承運貨物種類之不同又再分為雜貨船、散裝船、冷凍船、貨櫃船、木材船、液體貨船、車輛運輸船、笨重船、油輪等。每一種船舶都有其裝卸、操航之特性，且船舶之特性、種類、尺寸、引擎、操航方式，隨著時代之進步及運輸產業型態之演變而產生變化。相對的提供繫靠之港灣結構、設施亦將隨船舶變化而需有不同之構造予以回應，以求能夠達到效率、安全、經濟之營運目標。

在競爭激烈之航運市場中，為求提升船舶之運輸能力以爭取更多貨源，有效利用船舶以增加營運收入，同時降低造船、營運成本之考量下，商船有朝向大型化、高速化、專業化、自動化之趨勢（張，2005）。為因應此一趨勢，世界各港對於碼頭及航道紛紛採取新闢港區，或採舊有碼

頭、航道改建加深之策略以因應。然亦有部分港口基於目前碼頭營運繁忙或剛完成不久，水深需求差異不大，或是基於無預算等種種原因，無法立即改建加深，而採取利用操船技術、潮差或加強維護浚挖以降低餘裕水深等方式以因應。

在船舶方面，為達到高速化之需求，不僅裝卸作業時間短，同時對於船舶亦需達到行進快速，同時靠離碼頭之時間亦應予以縮短並降低拖船之使用，以節省時間及成本。因此船舶引擎之馬力越來越大，而船尾之螺旋槳直徑隨之變大。同時為快速、安全及減少拖船(tug)之使用，船舶亦開始於船艏、船艉裝設側向推進器(bow thrusters)，藉由推進器及尾部之螺旋槳來迅速移動船舶及改變方向，來進出港口與靠離碼頭。此一改變，造成為推動船舶螺旋槳及推進器轉動而產生之噴射水流速度、強度及影響範圍加大。當噴射水流衝擊至岸壁或海床，將造成岸壁或海床之淘刷，使結構基礎掏空且海床因噴射水流沖刷及沈積效應而使海床呈現高低起伏之地形，進而影響港埠結構及船舶航行安全。而所有船舶中，靠離

碼頭容易造成沖刷情形者，以渡輪 (ferry)、駛上駛下船(ro-ro vessel) 及貨櫃輪(container ship)最為常見。隨著船舶之大型化有關岸壁沖刷報導國外時有所聞；如 Bergh and Cederwall(1981)在調查瑞典18個港口中發現有16個港口有螺旋槳導致海床淘刷之情形。Quarrain (1994)指出英國有42%之海港受螺旋槳淘刷之影響；Bergh and Cederwall (1981)指出瑞典有25處碼頭結構因螺旋槳沖刷造成損壞。Chait (1987)發現南非之港口有許多沖刷損壞之情形。但在國內迄今上甚少見到對此一問題之探討。唯由高雄港之水深測量圖分析則見多處岸壁及船席淘深之現象，可見推進器及螺旋槳之噴射水流造成碼頭基礎、航道、迴船池之淘刷是屬世界各港口共同需面對之問題。

二、船舶大型化及對碼頭之影響

目前航運之趨勢，貨櫃運輸已漸成爲主流，世界各地貨櫃量年年均呈現成長之趨勢。同時在激烈之競爭

下，貨櫃運輸講求效率及成本，貨櫃船(Container vessels)亦因此朝向大型化及高速化。依據韓國「三星重工」表示，一艘9,000 TEUs級全貨櫃輪與同時使用二艘4,500TEUs級全貨櫃輪比較，其可節省運費約17.7%；因此世界各地航商均競相投資興建大型貨櫃輪以爭取營運之優勢。依據目前資料顯示，目前MSC已有9,178TEUs之貨櫃船加入營運；而Cosco亦已向現代重工(HHI)訂造8艘10,000TEUs級全貨櫃輪，吃水深達-14.5公尺，並預計於2007年參加營運；另亦有航商訂製13,000TEU之貨櫃輪，並預計於2009年交船。未來可能會有18,000TEUs，吃水深爲21M之貨櫃船出現。另依據Friedrich (2004)提出18,000TEUs未來吃水深爲-15.7M(如表1)。雖然未來大型貨櫃輪吃水深之發展趨勢，越來越深或是會止於一水深，各有不同之看法，但船舶大型化及吃水深將超過-14M是無庸置疑的。

表1：未來貨櫃船可能之型態

Capacity (TEU)	type	Source	L(m)	b(m)	T(m)	V(kts)	P(mw)
8,000	Single Screw	HDW(1996)	325.00	46.00	13.0	25.3	68.6
9,200	Single Screw	Samsung(2005)	321.00	45.60	15.0	25.0	68.6
10,000	Single Screw	HSVA	360.00	50.00	14.0	25.5	80.0
10,000	Single Screw	MARIN-Wartsila	349.00	49.00	14.0	25.0	80.0
12,000	Single Screw	MAN B&W	380.00	52.50	14.6	25.5(?)	85.8
12,000	Twin Screw	MAN B&W	380.00	52.50	14.6	25.5(?)	2*42.8
12,500	Twin Screw	BV/KV Hansen	378.00	54.20	14.5	?	2*40.0
18,000	Twin Screw	MAN B&W	450.00	60.00	15.7	25.5(?)	2*51.4

資料來源 Friedrich Mewis, Hilmar Klug (2004)

碼頭水深之決定應考量設計當時及未來將服務之船型所需吃水深，並依據設計規範之要求加上餘裕水深以訂出。依據交通部頒佈之港灣構造物設計基準-碼頭設計基準及說明，「碼頭之設計水深應依碼頭之計畫水深（船舶吃水深），考量碼頭之結構型式、現地之水深、地質條件、施工法、施工精度及碼頭沖淤之情形決定；通常設計水深為計畫水深與餘裕水深之和」。據此規定及該基準中參考表所示，許多碼頭設計水深通常比船舶吃水深再加上約百分之十之餘裕水深，以避免船舶運動產生俯仰、搖擺撞擊海床，及提供船席淤積及濬挖與測量之誤差等。例如目前設計水深 14M 之碼頭，其餘裕水深大約為 1.3M；即碼頭實際上是提供吃水深 12.7M 之船舶靠泊。

但在船舶大型化之潮流下，如果碼頭、航道無法及時改建加深，但又合乎船舶吃水深之需求，通常最經濟快速之因應對策為減少餘裕水深中之淤積量與測量誤差值；因其可簡單的藉由增加濬挖與測量之精度、頻率，或改進濬挖及測量之設備（如將測量儀器由單音束改為多音束等方式）來達成。但在作業繁忙之碼頭，濬挖及測量工作常因船席無法騰空而使工作無法執行，導致水深不足而無法達到航商需求，引起航商之不滿。另降低容許淤積量之結果將因淤積土沙厚度不大，導致濬挖效率不佳且成本非常高昂。如國內目前常見之挖泥船機-吸管式或抓斗式挖泥船均無法短期有效達到濬挖之需求。另又

因海上濬挖工作因受到潮汐、波浪等作用，其濬挖深度之精度將隨水深越深而誤差越大，很難控制到像陸上施工之標準。再者，港區水域內，漂沙量隨著波浪、海流而持續進入港內並沈積於航道與船席；故淤積厚度亦將視漂沙量之多寡而定，對於漂沙盛行之地區，漂沙產生之淤積量實不可忽視。

另基於效率及節省成本之因素下，船舶講求大型化、操航便利及快速性，因此船艏螺旋槳越來越大，船艏、艏裝設側向推進器已成目前船舶之標準配備。在餘裕水深減少之情形下，船舶之船尾螺旋槳及推進器距離海床之距離越來越近；尤其是在滿載且低潮位時更為接近。在此一情況下，船舶靠離碼頭動俾及使用艏、艏側向推進器時，因螺旋槳旋轉產生之噴射水流將造成海床淘刷與淤積之現象，使局部海床面呈現凹凸不平之情形。凸起淤積部分水深將可能比計畫水深淺，造成不符船舶停靠之需求；另船舶停靠及運動時所產生俯仰、搖擺、轉動等運動將有可能會使船舶發生觸底，造成船舶航行危險之疑慮。其次對於水深不足之部分，因其散佈之面積很小，厚度不大，對此局部且厚度不大之淤積地區進行濬挖將形成極大困難及挑戰。

凹下之部分，係因噴射水流淘刷海床所致，因結構設計時計算土壓力係假設土壤為一無限平面，當海平面變成凸凹不平時，土壓力分佈亦隨之改變。當噴射水流造成之淘刷坑洞範圍及深度延伸至岸壁及碼頭基礎

時，將導致被動土壓力降低，整體結構受力行爲亦隨之改變：當沖刷範圍及深度達一定規模時，結構之穩定性與安全係數均會降低，甚至導致港灣結構損壞，碼頭上方之機械設施（如貨櫃起重機）因碼頭面高程變化致受力不均而損壞，因而需停止營運以進行維修，使營運上造成重大之損失，且亦可能造成生命財產之傷害，形成勞安事件及影響港灣管理單位信譽。

另基於大型貨櫃船要求速度加快及船型設計之需要考量下，Friedrich（2004）指出未來超過10,000TEUs之貨櫃船，將可能以雙螺旋槳之型態出現。因雙螺旋槳產生之噴射水流之行爲將與目前單螺旋槳不同，對於碼頭基礎及船席之沖刷又將更形嚴重，對碼頭結構安全亦將會有另一種之挑戰。

三. 淘刷之形成及影響

碼頭岸壁前緣淘刷之形成必須先了解船舶靠離碼頭操船行爲。因碼頭防舷材設計有一定之吸收能量，當船舶靠碼頭時，爲避免速度太快撞損碼頭，通常在離碼頭一段距離（依海氣象條件、船型及其功能而定）處先打倒俾讓船舶慢慢停止前進，而後再利用船之惰性、拖船、繫纜之拉力或側向推進器來靠泊碼頭。當船離開碼頭開始航行前，亦先利用拖船、側向推進器使船離碼頭一段距離後再動俾使船向前行。此一靠、離碼頭動作在靠近碼頭時使用側向推進器，離碼頭一段距離則啓動船尾螺旋槳（stern screw）。目前大型貨櫃船爲

維護船舶靠離碼頭安全，節省拖船之使用費用與靠離之時間，裝設提供船舶轉動與平行移動之動力側向推進器（bow thruster）已屬基本設備；其安裝之位置在船艙或船艙之側面，槳之位置通常較船尾螺旋槳高且直徑較小，且在近碼頭處使用，故產生之噴射水流沖刷範圍主要係針對岸壁前緣基礎部分，通常範圍並不大，但日積月累及船舶靠泊位置之改變亦將可能造成大面積之掏深。另船舶停俾靠泊碼頭或啓動離開碼頭啓動船尾螺旋槳（stern screw），由於該螺旋槳直徑大、馬力強、轉速快，其產生之噴射水流速度亦高，其對海床產生沖刷範圍及深度大。而其沖刷之範圍與深度會隨螺旋槳之轉速、尺寸、離海床之距離、角度、作用時間長短等產生不同範圍、深度及坡度。

噴射水流作用於碼頭岸壁及基礎，將因碼頭型式產生不同之效應；依噴射水流作用在碼頭岸壁發展之情形，將碼頭之型式分爲封閉型及開放型兩種。封閉式碼頭，如版樁式、重力方塊、沈箱式等碼頭等，其具有實體之岸壁，噴射水流撞擊至岸壁，受到岸壁限制而轉向，將形成一股向上水流及一股向下水流；向下水流將掘削海床。開放式碼頭如棧橋式碼頭，因無實體之岸壁，噴射水流可自由發展不受到限制，除基樁部分外向下水流較少產生。

另對於船尾螺旋槳產生之噴射水流，依據 G.A.hamill, J.A. Mcgravy（1996）試驗發現螺旋槳後方有無舵、及角度不同，均將影響水

流發展之速度及方向。當有舵時槳中心線以下之噴射水流速度較大，且角度越大，上下之噴射水流速度差愈多。當有舵時，舵將穿過舵之水流速度切開為上下兩區，一股向上，另一股向下衝擊海床，造成海床之淘刷。

為保護碼頭岸壁前緣海床，避免遭受向下噴射水流沖刷之損壞，近年來新建之封閉式碼頭前緣海床通常會加防沖刷保護設施，但棧橋式碼頭則無。但沖刷之情形無論開放型或封閉型均有基礎淘刷之情形，並對結構造成一定安全之顧慮。以下就針對常見之碼頭型式來說明沖刷對結構之影響：

1. 沈箱式碼頭：沈箱式碼頭設計時需檢討滑動、傾倒及圓弧滑動及基礎之承载力。當船舶產生之噴射水流，衝擊至岸壁則產生向下之水流而產生基礎淘刷，或是直接衝擊至海床而產生淘刷之現象；該淘深會將岸壁前緣之基礎石料沖蝕，造成碼頭前緣刷深，或沈箱底部淘空之現象。當基礎刷深或底部淘空後，滑動、傾倒、圓弧滑動等安全係數將因集中作用力位置、力矩改變造成安全性降低。同時基礎承载力亦因此重新分配，造成偏心距加大。嚴重時甚至導致結構受力分佈改變使上部結構體發生損壞、設施損壞、變形及位移，導致作業之不安全之情形。
2. 方塊式碼頭：方塊式碼頭岸壁及基礎淘深之影響，在滑動、傾倒、圓弧滑動、基礎承载力之特性與沈箱式碼頭相同。其與沈箱式碼頭不同

在於方塊式碼頭係由混凝土方塊交錯堆疊而成，如局部方塊底部淘空，將因方塊底部懸空使方塊與方塊間接觸面及力之傳遞點改變，造成方塊移動，導致方塊間孔隙加大。當方塊孔隙加大，背填料將因波、潮汐漲退之作用流失，使碼頭後方岸肩下陷或出現坑洞，影響作業車機及人員之安全。當淘刷嚴重時，將會因方塊之抽離，導致碼頭之整體崩塌。高雄港曾有案例顯示 5M 水深之方塊式護岸，因刷深導致碼頭產生圓弧滑動破壞。另在 2005 年發現一座水深 6.5M 之油品碼頭前後兩端處，岸壁前緣發生淘刷之現象，其最刷深最深處達 3 公尺，已嚴重影響結構之穩定；後補拋直徑 20-50 公分之卵石約 930 立方以回填穩定碼頭。

3. 版樁式碼頭：版樁結構設計需檢討入土深度、版樁之容許應力、拉杆或高耐索應力等。版樁前緣遭到淘深，則鋼板樁入土深度變小，彎矩及拉力變大，導致版樁入土長度與斷面、拉桿或高耐索斷面、主錨樁距離及防蝕塊等不足，使碼頭安全係數降低或造成單一結構元件或整體損壞之現象。高雄港於 1990 年時發現兩座 14M 水深之貨櫃碼頭岸壁前緣長約 200 公尺有刷深之情形，其刷深最深處達 6M，幾已至鋼板樁之樁底，後採緊急拋石以填補刷深坑洞以維持碼頭之安全。
4. 棧橋式碼頭：棧橋式碼頭設計時須考量斜面之安定、擋土護岸之安定、基樁之入土深度、垂直力、水

平力及彎距。碼頭前緣遭受淘深會有護坡斜面滑動、基樁入土深度及斷面不足、水平側向力增加、擋土結構基礎滑動等情形。高雄港於中島區 44-48 號碼頭面版翻修時，就發現拋石護坡坡面之高度及斜坡部分因碼頭前緣水深超深產生局部向下滑動之情形。

四、高雄港碼頭淘刷分析

高雄港目前碼頭有 118 座，有港勤碼頭、軍用碼頭、客運碼頭、散雜貨碼頭，大宗散貨碼頭、貨櫃碼頭、油品碼頭及中鋼、中船、中油專用碼頭碼頭：水深由-4.5M 至-16M 皆有。結構形式為沈箱式、棧橋式及版樁式碼頭居多，其中版樁式碼頭最多。貨櫃碼頭部分分成五個貨櫃儲運中心，第一、二、三、五貨櫃儲運中心碼頭結構型式為封閉型之版樁式碼頭，第四貨櫃中心則為開放型之棧橋式碼頭。第一貨櫃中心水深為-10.5M，第二貨櫃中心為-12.5M 與-14.5M，第三、四貨櫃中心為-14M，第五貨櫃中心為-14M 與-15M。為確保碼頭結構之安全及船舶安全靠離碼頭，高雄港長期以來每年兩次進行船席及航道水深測量，並每年進行四次除中鋼、中船之外之 95 座營運碼頭岸壁前水深測量。岸壁前緣水深測量係每間隔 10M 以測深繩測一點，並每隔 3 個月測一次。另碼頭前船席測量沿碼頭法線每 10M 一點，垂直碼頭方向分別於岸壁前及離碼頭岸壁前 3、8、13、20、30、40、50、60、70 公尺處各測一點。

為了解碼頭岸壁與船席是否遭受船舶螺旋槳及推進器所產生噴射水流之淘刷情形，可藉由定期測量水深圖來判斷。唯利用該水深圖，應先考量碼頭水深會受到濬挖、測量容許誤差，淤積、與維護回填等影響，故應先設法將該等因素去除，以判斷是否海床面係純粹遭受到噴射水流之沖刷。基此對於沖刷之定義，先考量維護濬挖之水深之設計值及相關之誤差值。在高雄港維護濬挖水深依據契約約定為碼頭設計水深±50CM，加上容許濬挖與測量誤差為 30CM，即設計水深上下 80 公分均不應視為淘刷所造成。因此對於碼頭岸壁是否遭受到沖刷，依據上述之說明採取水深圖中連續二次以上數值均未產生大變化者，作為判讀之依據，且依據上述之說明，假設以測量水深圖中水深超過設計水深 1M 視為遭受沖刷，小於 1M 者則視為誤差及作業許可範圍內，不視為遭到淘刷來作分析。

本研究係採用 2005 年高雄港之水深測量圖，並查該段時間高雄港碼頭船席浚挖及補拋石時間與範圍，又與前一年水深圖比對，將濬挖、回填等影響因子排除。依據上述 1M 以上視為淘刷之標準判斷，在所調查之 95 座碼頭中，計有 59 座碼頭岸壁前緣海床有超深之現象，佔全體碼頭數之 62%。若以碼頭線長度來分析超深之範圍，則總長 21,927M 岸壁線中，水深超過設計水深 1M 者有 4,750M，佔總岸壁線長約 22%。

另為了解靠泊不同船型對碼頭淘刷之情形，將碼頭依使用形式予以

分類。將所有貨櫃碼頭歸為第一類碼頭，散雜貨、大宗貨、液貨、穀類等碼頭歸第二類，另軍用、專用(中鋼、中船、中油)、客輪等碼頭列為第三類；並利用測量水深圖將各碼頭岸壁前緣發現超深之位置及長度予以統計分析如下：

1. 第一類碼頭淘刷分析

第一類之貨櫃碼頭總數有 26 座碼頭，經檢視水深圖全數均有遭受到沖蝕之現象；另以碼頭岸線長分析，總長 7,809M 中岸壁前緣海床遭淘深之長度達 3,120M，佔總岸線之 40%。另各貨櫃中心碼頭岸壁前緣超深岸線長佔該各中心總長度之比例，第一、二、三、四、五貨櫃碼頭之比例依序為 27.1%：42.33%：51.3%：40.66%：37.21%；及淘深範圍比例中以第三貨櫃中心最為嚴重，第一貨櫃中心則相對較為輕微。再以各碼頭分析，各碼頭淘深範圍最廣者為 -12.5M 水深之貨櫃碼頭，其淘深範圍佔該碼頭岸線長之 94%；範圍最少者為水深 -10.5M 之貨櫃碼頭，其淘深範圍僅 4.9%。會造成差異如此大之原因，應與碼頭靠泊船舶型式、靠泊位置係變動或固定，及船舶吃水深是否已趨近碼頭設計水深所致；同時此一淘深之訊息亦可提供碼頭是否需要改建加深之訊息。

另以碼頭形式及前緣有無保護分析，第一貨櫃、第三貨櫃及第二貨櫃之 -12.5M 水深之二座未改建碼頭岸壁前緣並未設有保護設施；第二貨櫃水深 -14.5M 碼頭係近期改建者，碼頭前緣採用拋石保護；第四貨櫃為棧

橋式碼頭，岸壁前緣為拋石護坡基腳；第五貨櫃碼頭前緣採用異型塊保護。以淘深之最大深度來看，第一貨櫃最大淘刷深度為 2.4M，第二貨櫃在碼頭岸壁前未設保護之碼頭最大淘深深度達 4.1M，但有保護之碼頭僅為 1.5M，第三貨櫃淘深達 3.7M，第四貨櫃最大淘深深度為 2.7M，而第五貨櫃淘深深度為 1.8M。由以上數據可知，岸壁前緣未設有保護設施之碼頭遭受淘刷之範圍及深度均大於設有保護設施之碼頭，詳表 2 及圖 1 所示。由以上數據分析可知，碼頭前緣保護設施已發揮保護之功能。

2. 第二類碼頭淘刷分析

高雄港裝卸散雜貨及大宗貨之第二類碼頭共有 44 座碼頭，其中 19 座碼頭遭受淘深，佔第二類碼頭總數之 43%；另以淘深長度分析則總岸線長 8,921M，其中 810M 有淘深之現象，佔總長度之 9%。其中淘深岸壁範圍超過 40% 有 5 座碼頭，淘深範圍最廣之碼頭，其沖刷範圍達 55%，且深度亦達 2.6M，該碼頭係屬專門裝卸液貨之專用碼頭。前述五座淘深範圍較大之碼頭均屬封閉型碼頭，除一座為沈箱式碼頭外，其餘均為版樁式碼頭，且岸壁前均未設防沖刷設施。

再依其結構分析，沈箱及重力式碼頭岸壁前緣遭受淘深岸壁長度為該型式碼頭總長度之 15.18%，版樁式碼頭為 10.67%，而棧橋式碼頭僅為 3.9%，即棧橋式碼頭前緣淘深範圍最少。而淘深超過設計水深之最深水深，重力式碼頭為 2.4 M，版樁式為 2.6M，而棧橋式為 1.4M，詳表 2

及圖 2、3 所示。以此可見開放型岸壁前緣沖刷範圍及深度均較封閉型輕微。

3. 第三類碼頭淘刷分析

對於軍用、專用、客輪之第三類碼頭計有 25 座，其中 14 座遭淘深，佔第三類碼頭數之 56%；但以岸線長分析，總岸線長 5,197M，其中 820M 有淘深之現象，佔總岸線長之 16%；其中有三座淘深範圍超過 50%，最嚴重之淘深範圍達 96%。刷深最深深度為 4.8M，其碼頭設計水深為-11.8M；另有一座設計水深-9M 之碼頭其刷深達 4.5M，該二座均屬大宗貨碼頭，分別為裝卸液貨及水泥之碼頭。

再依結構型式分析，重力式碼頭沖刷範圍為 32.51%，版樁式碼頭沖刷範圍為 15.61%，棧橋式碼頭為 0。而其淘深超過設計水深之最深水深，重力式碼頭最深為 4.8M，版樁式碼頭為 3.3M，其碼頭前緣均未設有防沖刷設施。詳表 2 及圖 4 所示。

由以上之圖表分析之結果可知，高雄港有許多碼頭岸壁前緣有淘深之現象。以靠船類型來看，貨櫃碼頭前緣淘深情形最為嚴重；而且靠泊船舶吃水深較深之貨櫃碼頭淘深之情形更為普遍。其應是目前貨櫃船大型化及減少使用拖船而多使用船

艙、妮推器所造成之結果。對於散雜貨、大宗貨、液貨、穀類、專用碼頭等第二類及第三類碼頭，以大宗貨、液貨、油輪等淘刷較為嚴重，一般散雜貨傳發生淘刷之現象較少；而液貨船會有較大之淘刷現象除船舶大型化吃水較深外，亦可能因液貨船通常載有危險品或油品，其操行安全性要求較高之特性有關。

另以結構分析而言，開放型之棧橋式碼頭其淘刷之範圍及深度明顯較輕微，但屬封閉型之版樁或沈箱式碼頭，其淘深之範圍及深度均較開放型碼頭大，其應是噴射水流撞擊封閉型碼頭岸壁產生向下水流造成岸壁前基礎淘刷所形成；而開放型碼頭則可利用斜坡之拋石將水流分散及消能。尤其是側向推進器產生之水流，對開放型碼頭影響更小；但對封閉型碼頭岸壁如未保護，則岸壁基礎之淘深為不可避免之現象。又對於岸壁前設有防沖刷設施之碼頭，其淘深之範圍及深度均明顯較無保護設施之碼頭輕微，足見岸壁前緣之保護已發揮保護結構安全之功能，故未來碼頭岸壁前之防沖刷設施必需設置，方足以保護碼頭之安全。對部分前面有保護設施之碼頭，其仍發生淘刷之現象，係未來應注意探討之問題。

表 2：高雄港碼頭岸壁沖刷表

碼頭類別	碼頭數 (座)	有沖刷碼頭數 (座)	百分比	岸線長 (M)	沖刷岸線長 (M)	百分比
不區分	95	59	62%	21,927	4,750	22%
第一類碼頭	26	26	100%	7,809	3,120	40%
第二類碼頭	44	19	43%	8,921	810	9%
第三類碼頭	25	14	56%	5,197	820	16%

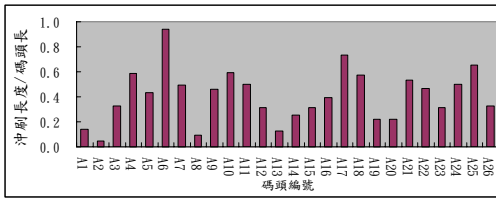


圖1：第一類碼頭岸壁淘刷百分比圖

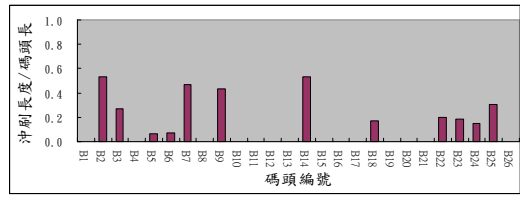


圖2：第二類碼頭岸壁淘刷百分比圖(1)

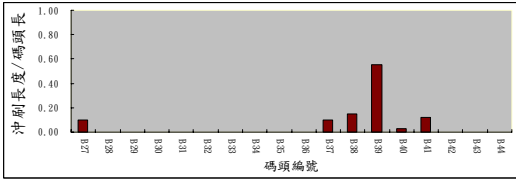
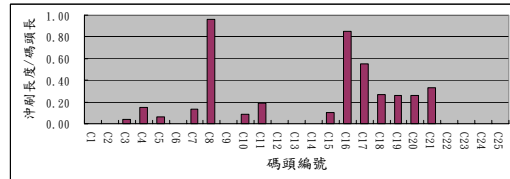


圖3：第二類碼頭岸壁淘刷百分比圖 (2)



(2) 圖4：第三類碼頭岸壁淘刷百分比圖

由測量水深圖顯示，碼頭岸壁前之水深會隨時間而變化，有部分地區會逐漸加深，部分會變淺。其主要係因船舶靠泊碼頭時，常隨船型而做不同之調派，而船舶側向推進器及尾舵之相對於碼頭之位置將隨之變動；故碼頭岸壁前之海床面將因噴射水流作用之位置、角度不同而隨時產生侵淤變化。在一固定地區可能本月呈現侵蝕，但下月又呈現淤積之現象，並使海床面凹凸不平，部分區域水深將因淤積造成水深不足，影響行船安全；造成港灣管理單位必須辦理維護濬挖或補拋石以維持行船安全與碼頭之安全。然基本上如海床為砂質沈泥，被噴射水流沖起之沙及沈泥結構十分鬆散；且突起之面積除非長久固定位置之遭受噴射水流之沖刷及淤積作用，其面積通常不大。基本上除非淤積高度甚高且範圍較大會造成航行安全顧慮外，其餘應不至於造成船舶航行之安全疑慮。但在以拋石作保護海床之封閉型碼頭、或坡腳及基

礎有石料之棧橋式碼頭，如果該等拋石被水流沖起，且堆置高度超過船舶吃水深將可能影響航行之安全。另以混凝土異型塊作為保護部分，噴射水流將由保護之邊緣逐步將底層之砂石沖洗至淘空，或是水流由異型塊間貫入逐步將異型塊底部之沙、石淘洗出來，造成異型塊基礎不平整而使其移位甚至翹起突出海床面，造成船底碰損之現象。

以下分別取將高雄港六座碼頭岸壁前船席遭受到沖刷較嚴重之區段予以繪圖分析。該六座碼頭中編號亦依據圖1~圖4中編號，編號C-17之碼頭為重力式水深-6.5M之油輪碼頭，其他五座則為貨櫃碼頭。該等貨櫃碼頭之結構型式，除編號A-25屬開放型之棧橋式碼頭外，其他均屬封閉型之版樁式碼頭；水深由A-4、A-8、A-11、A-25、A-12順序分別為-10.5M、-14.5M、-14M、-14M、-14M。另對於岸壁前緣之保護設施，編號C-17、A-4與A-11等三座碼頭岸壁前

並未設置保護措施。編號 A-8 之碼頭岸壁前緣設置寬 6.5 公尺厚 1 公尺之防沖刷設施，其最底層鋪設濾布，上面拋放 50-200KG 之卵、塊石所組成。編號 A-12 之碼頭岸壁前緣設置寬 5 公尺厚 1 公尺之防沖刷設施；其最底層鋪設濾布，其上放置後 34CM 厚直徑 10CM 以上之卵石，其上再放置 1.6M*1.6M 厚 0.66M 之混凝土異型方塊（重約 2 噸），另在鋼板樁與異型塊之間再堆置麻袋混凝土所組成。編號 A-25 之碼頭為棧橋式碼頭，其斜面為 1:2.25，基腳底寬 3M，以 100KG 以上之塊石鋪設厚度 1.5M，做為斜坡面之保護。

該六座碼頭岸壁前緣船席均產生淘深之現象，但淘刷位置及坑洞之形狀並不相同；其中編號 C-17、A-4 碼頭岸壁前緣刷深線類似，其刷深深度約 2M，但船席部分坑洞較不明顯；因其停靠之船舶係屬小型之油輪及貨櫃船。由坑洞之形狀及規模判斷，該坑洞應屬側向推進器所造成。編號 A-11 號碼頭前緣淘深之範圍達約 20M，深度大 2M，但船席其他部分並

未見淘深，判斷係屬側向推進器長期之作用所致。編號 A-8、A-12 碼頭其淘深斷面型式相近，碼頭結構均為版樁碼頭且岸壁前緣均有保護之碼頭，岸壁前緣之保護區域未刷深，但在保護區外之船席刷深範圍寬達 100M 以上，且深度達 5M，足見其屬巨大馬力之尾端螺旋槳所造成之噴射水流所造成，應非側向推進器所產生。另編號 A-25 號碼頭其為棧橋式碼頭，雖然岸壁前有 3M 寬之邊坡基腳保護，但是螺旋槳所造成之噴射水流已將由基腳外海床逐步將基腳完全掏蝕，將可能造成邊坡之滑動及後線擋土設施基礎下陷及滑動之現象。

由圖顯示高雄港防沖刷對於防止船艙、艙推進器所造成之沖刷有一定之成效，但局部地區亦有破壞之現象，因此防沖刷之保護措施及範圍有值得檢討之地方。另依據 Verhey et al(1987)對一些個案之研究，設置便宜但須經常維護之保護措施將比設置昂貴但日後不需維護者有效益。故將來如何設計經濟、耐久又不妨礙浚挖之防護措施係值得進一步研究。

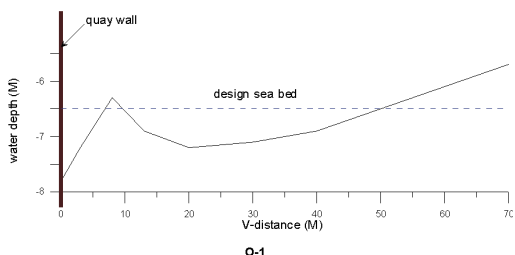


圖 5：C-17 碼頭船席淘深斷面圖

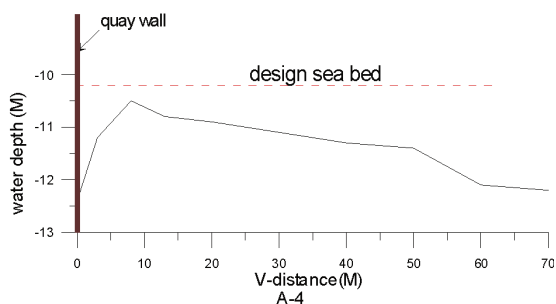


圖 6：A-4 碼頭船席淘深斷面圖

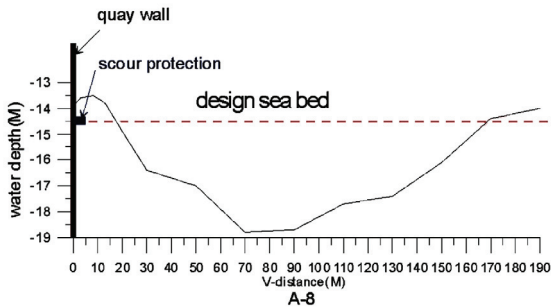


圖 7：A-8 碼頭船席淘深斷面圖

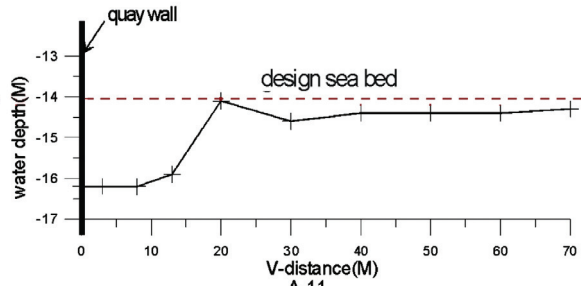


圖 8：A-11 碼頭船席淘深斷面圖

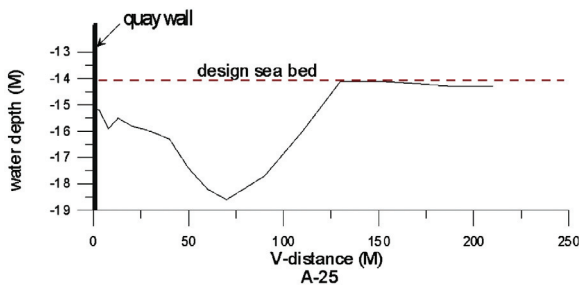


圖 9：A-25 碼頭船席淘深斷面圖

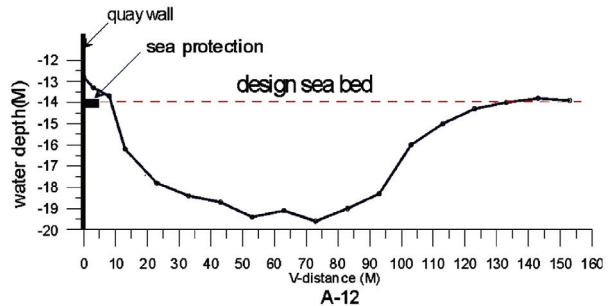


圖 10：A-12 碼頭船席淘深斷面圖

另編號 A-12 碼頭取其中長 200M 寬 70M 之船席區域，利用高雄港 94 年所測水深資料，以等深線表示如圖 11，由圖中可看出該段船席刷深及淤積之情形。由圖顯示船席刷深範圍（假設以超深 1.0M 估計，即水深 -15M 以下）超過一半區域，且刷深深度最深達 5M，可說是刷深極為嚴重。而淤積部分在 200M 長之碼頭岸壁邊緣之海床面，其中 140M 淤積高度超過 1M，嚴重影響貨櫃船靠泊。另觀察等深線發現刷深最深之位置約離岸壁 40M~50M 處，刷深之等深線碼頭岸壁線呈現 20~60 度之夾角，應是船舶在靠離碼頭時且非平行碼頭時動俾所造成。

對於此一刷深之狀況假設此處土壤摩擦角 $\psi = 30$ 度，牆面摩擦角 $\delta = 15$ 度，版樁入土深度 13M 來探討結

構之安全性。在無地震之情況下，由版樁底開始之被動土壓破壞線與海床面相交位置係距離版樁面在 34.4M 處；若取地震係數 $K=0.2$ (水面為 0.1)，則係在 38.9M 處。由圖 11 可看出在離岸壁 30 公尺處刷深超過 1M 之區域亦將近 1/2 以上，故其將造成被動土壓之減小，連帶使鋼板樁入土深度及斷面模數不足，造成該碼頭之安全性之降低可說是非常嚴重。

又將上述資料予以立體化 (如圖 12 所示)，由圖可看出海床面呈現劇烈之高低起伏之現象，且坡度相當陡。由圖 10 可看出離岸壁 40M 已刷深至 EL. -19M，即已刷深 5M，而碼頭岸壁邊之水深則僅為 12.8M，即淤淺 1.2M，該深坑之邊坡坡度已達 1:6.5。由圖可看出岸壁邊因設置保護措施並未有遭侵蝕之現象，但因螺旋

槳噴射水流將深坑的沙帶至岸壁邊造成淤積；同時掏蝕之深度遠低於保護措施，未來將逐步將保護措施破壞；此一結果造成碼頭結構安全係數之逐步降低同時亦影響船舶航行之安全。再加上噴射水流擾動海床之土壤造成土壤結構之改變，原本緊密之沙土層，將變成鬆散之土層，致使土壤內摩擦角降低，導致被動土壓力再次之降低，逐漸影響結構安全。

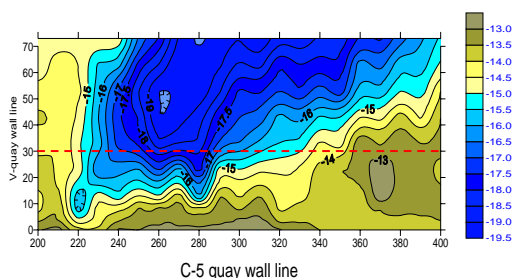


圖11：A-12碼頭船席水深等深線圖

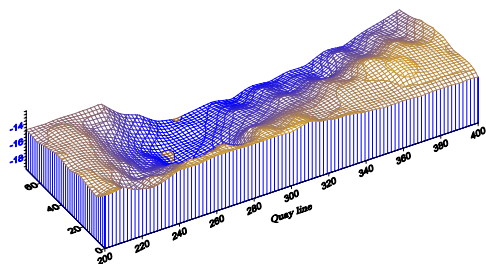


圖12：A-12碼頭立體海床面圖

五、結論與建議

1. 為提升船舶運輸能力、爭取更多貨源、有效利用船舶、增加營運收入，降低造船與營運成本之考量下，現代商船已朝向大型化、高速化，專業化、自動化趨勢；但同時也帶來碼頭岸壁及船席產生淘刷現象，使碼頭結構、船舶繫靠及操航之安全顧慮問題日趨嚴重。因此

規定船舶操航模式或是碼頭前緣設置保護措施為目前港灣營運重要議題。

2. 由高雄港淘深之現象分析來看，62%之碼頭有超深之現象，總岸壁線長之22%有淘深之現象，其中以貨櫃碼頭淘深之比例最多。另以結構型式而言，封閉型碼頭之淘刷程度較開放型嚴重；岸壁前緣未設置防沖刷保護之碼頭遭受淘刷之範圍及深度均大於有設置保護碼頭。因此對於靠泊貨櫃輪之封閉型之版樁與重力式碼頭，防沖刷保護措施係未來必要設置之設施。
3. 目前設計之保護措施並不能完全阻止淘深，未來防沖刷保護設施應考量經濟、船席浚挖、耐久性等方面考量。但需經常維護保護之措施，則在維護時將影響航商營運作業，且需經常性進行監測，以避免結構突然崩損。因此如何設計一種具有保護效果，但又具有耐久及經濟效益之保護措施係值得再深入探討之議題。
4. 保護設施之設置，雖可保護岸壁之安全，但是保護設施亦影響船席之浚挖作業，如何將保護措施上之淤積泥沙清除且不破壞保護措施，且又能夠短時間完成而不影響航商營運亦成為不可避免需克服之議題。
5. 保護海床之設計必須了解操船模式，所以對於船舶之靠泊位置、靠離碼頭方式、動俥之時機、螺槳之型式、大小與位置、引擎之輸出功率等資料，必須進行該等資料之調

查及研究分析，以得到港灣中船舶之種類及其操航特性，以設計最佳之海床防護設施。

六、參考資料

1. Bergh H. and Cederwall K..”Propeller erosion in harbours”, Bulletin TrITA-VBI-107, Hydraulics Laboratory, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. 1981.
2. Chait S., “Undermining of quay walls at South African ports due to the use of bow thrusters and other propeller units” PIANC bulletin NO. 58, PP 107-110.1987.
3. Friedrich Mewis, Hilmar Klug ,”The Challenge of Very Large Container Ships A Hydrodynamic View “9th Symposium on Practical Design of Ships and other Floating Structures, 2004 。 Luebeck-Travemuende, Germany© 2004 Schiffbau-technische Gesellschaft e.V.
4. G.A.hamill , J.A. Mcgravy , “Design for propeller action in harbor” ,Coastal engineering 1996 PP4451-4463.
5. Qurrain. R. M. M. “Influence of the sea and bed geometry on the hydrodynamics of the wash from a ship’s propeller”, Thesis submitted to the Queen’s University of Belfast for the Degree of Doctor of Philosophy. 1994.
6. Recommendationps of the Committee for Waterfront Structures Harbors and Waterways EAU, 1996 。
7. Verhey, H.J.,T.Blokland, M.P. Bogaerts, D. Volger, and R.W.L.van der Weijde,Experiences in the Netherlands with Quay Structures Subjected to Velocities Created by Bow Thrusters and Main Propellers of Mooring and Unmooring Ship, Bull, Permanent International Association of Navigation Congresses, Brussels, Belgium.(1987)
8. 張有恆：現代運輸學，華泰文化 2005 年。
9. 交通部頒佈之「港灣構造物設計基準-碼頭設計基準及說明」，民國 86 年。

地理資訊科學之介紹與港灣研究應用 管理之探討

張智傑 中央研究院歷史語言研究所研究助理

一、時空資訊平台-地理資訊科學

以往，地理資訊系統(Geographic Information System, 簡稱 GIS) 著重於軟硬體設計、系統功能開發以及基礎空間資訊格式規範化與資料產製，隨著相關空間技術的卓越發展以及各類空間資訊(向量式影像、網格式圖層資訊)的豐富性與多元化，使得自然科學、人文社會科學、乃至民間生活化應用，均大量運用 GIS，也因此發展出許多專業空間理論與分析方法，使得 GIS 儼然由地理資訊系統蛻變成爲地理資訊科學。



圖 1 GIS 的應用領域

GIS 一般指生產、加值、管理、分析、展現、分享各種空間資訊的概念與技術。廣義的解釋爲將真實的世界空間數位化後，加以有效管理、並利用其做出合理的決策等所有手段。由圖 1 即可整體性瞭解 GIS 的應用領域之廣以及其強大的功能性。

美國勞工部指出，以 GIS 爲核心的空間資訊科技與生物科技、奈米科技並列爲 21 世紀最具發展潛力的新興產業技術。在經濟產值方面，2002 年空間資訊科技 (geospatial technologies) 的產值爲 50 億美金，到了 2005，則呈幾何式成長至 300 億美金 (圖 2)。

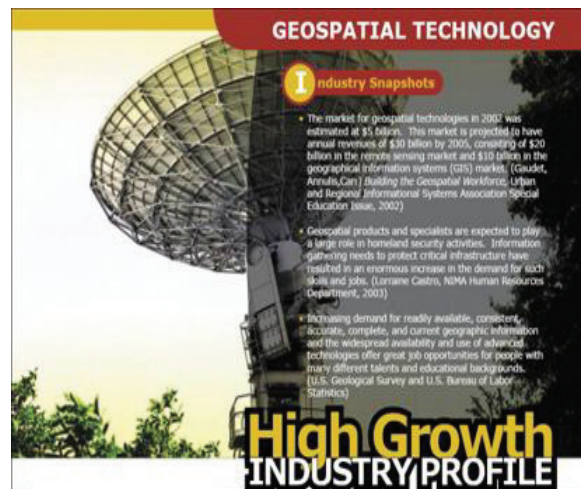


圖 2 空間資訊科技的快速成長
(圖片來源：www.esri.com)

我們（中央研究院 GIS 研究團隊）嘗試將傳統的 GIS，以拉長時間軸的概念，建構「時空資訊平台」。誠如其名，吾人需先構思時空資訊的構成要素—人、事、時、地、物，經過資訊的萃取與整合，歸納為時間（Time）、空間（Space）與內容（Content）三大部分。在資訊方面，時空資訊平台整合了文本資料、影像資料、地圖資料與數值資料等四大類資訊（圖 3）。整合了這些不同時期之文本、統計資料、歷史地圖與航照影像，以期打造出橫跨不同時期的 GIS 整合應用環境平台。

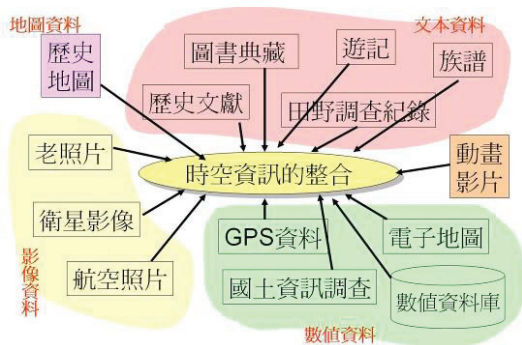


圖 3 時空資訊整合的資訊來源

二、中央研究院之空間資訊技術發展現況與豐富圖資

基於時空資訊平台嶄新的概念與想法，十餘年來，中央研究院 GIS 研究團隊致力於蒐集文本資料，影像資料，並不斷研發空間資訊處理技術（圖 4）。時至今日，仍持續蒐集並數位化文本資料與大量舊地圖、歷史航照，並具體建構出「中華文明時空基礎架構（CCTS）」、「台灣歷史文化地

圖平台（THCTS）」以及「數位地球平台（Google Earth）」等三個時空資訊平台之應用環境。

在空間資訊處理技術部分，除各類 GIS 相關工具的開發外，亦建構一完整田野調查模式，以協助各研究領域更便捷、精確地蒐集調查現地空間資訊。

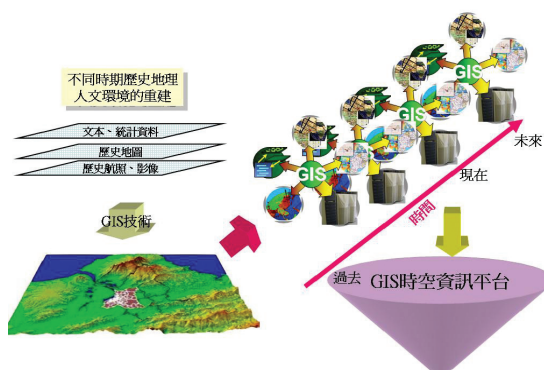


圖 4 時空資訊平台發展脈絡

（一）中華文明時空基礎架構

中華文明時空基礎架構以譚其驥所著「中國歷史地圖集」、1930 年代中國的「申報地圖」與當代「中國數字地圖（Arc China）」（1 : 1,000,000）套疊，構成上古至現代，縱深逾兩千年的歷史時空框架。此架構包含基本空間圖資、WebGIS 整合應用環境以及主題化的屬性資訊三大部分（圖 5）。基本空間圖資以譚其驥先生主編之「中國歷史地圖集」為主要的基礎，提供上古至清代，上下逾兩千年的中國歷代基本底圖，並輔之以持續整理蒐集之各類歷史地圖、遙測影像等基礎圖資。



圖 5 中華文明時空基礎架構資料內容
以這些有「時間深度」的歷史文本與自然環境變遷資料做基礎，使我們得以回顧兩千年，清晰且具體地呈現與瞭解中國歷代疆界變遷、首都變遷、重要文化遺址分佈乃至於黃河流域河道變化始末（圖 6）。

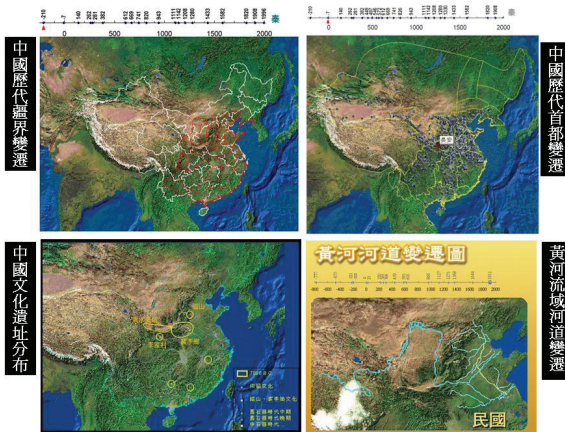


圖 6 CCTS 時空資訊之應用

(二) 台灣歷史文化地圖平台

台灣歷史文化地圖平台旨在建立數值化臺灣歷史與文化基本底圖架構，並以之發展成一個科技發展與人文研究整合的時空基礎平台。

架構上包含基本空間圖資、WebGIS 整合應用環境與專題化的屬性資訊等三大部分。基本空間圖資方面依臺灣歷史發展，分成荷蘭與西班牙時期、明鄭時期、清朝、日本殖民

統治時期與光復等。

1904 年發行的二萬分之一「臺灣堡圖」與 1920 年代的二萬五千分之一「臺灣地形圖」，作為相關歷史地圖回溯校正的基礎，是貫連所有不同時期基本底圖的核心。此外可再輔以近年發行的地形圖、像片基本圖，以及遙測影像等，作為現代的底圖。

在 WebGIS 整合應用環境方面，結合臺灣歷史文化地圖、臺灣研究網路化、臺灣地區航照管理系統、臺灣地區地名查詢系統、漢籍全文資料庫等重要研究成果，透過簡單易行的查詢介面做資料發掘 (data mining) 與應用，進而輔助深入研究工作的推展。專題化的屬性資訊，完成人口分佈、宗教信仰、學校教育、原住民與東臺灣等九大類（圖 7）。



圖 7 台灣歷史文化地圖平台資料內容
(三) 數位地球平台 (Google Earth)

世界搜尋引擎龍頭 Google 於 2005 年推出 3D 衛星影像導覽軟體 -Google Earth，免費提供全世界各地不同等級（影像解析度）之衛星影像瀏覽功能。如此龐大且免費的資源，對於一般大眾的使用動機而言，具有很大的誘因。

因此，本於空間資訊推廣與應用之初衷，中研院團隊亦選擇利用現有時空資料庫，透過網路與 Google Earth 做連結（圖 8），打造更具視覺效果也更個人化的時空資訊平台，以期加速空間知識認知與空間資訊的推廣與應用。

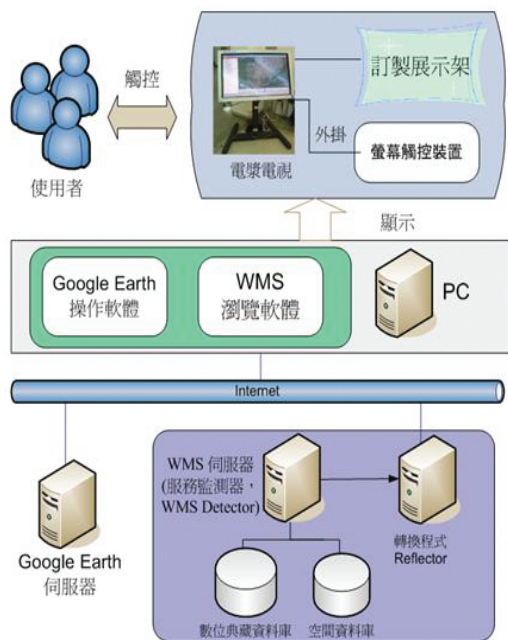


圖 8 時空資料庫與 Google Earth 之整合
(四)野外調查技術研發

透過整合各項現地調查必備工具，結合行動裝置（平版電腦、PDA）、全球定位系統（GPS）、錄音裝置、數位相機等硬體設備（圖 9），建構「行動式地理資訊系統（Mobile GIS）」，搭配各式輔助參考資料（如衛星影像、數值航空照片、統計資料等），能迅速、精準地執行現地調查作業，並蒐集研究資料。



圖 9 野外調查配備

Mobile GIS 具備「高精度空間定位能力」、「簡易、多元化操作平台」、「通訊功能完善」、「整合性空間資訊建置」、「調查機能性強」與「整合科技設備，擴充性高」等特性，不僅強化現地調查作業的功能，亦簡化調查作業模式。其中，值得一提的，在現地勘查作業的各項調查資料中，除資料的屬性填寫外，空間資訊（經緯度坐標）的紀錄是不可或缺的。透過數位相機與全球定位系統（GPS）的整合（圖 10），使得調查者可於拍攝照片的同時，即同時將坐標資訊寫入相片檔案（EXIF）中，省略後續資料處理時，再次處理相片空間資訊的步驟。



圖 10 數位相機與 GPS 之整合

三、地理資訊系統於港灣研究之課題應用

中央研究院研究團隊累積了十餘年豐富、多元化空間資訊及空間技術，在各領域眾多應用課題方面投注不少心力並獲得不錯之初步成果，其中不乏先導性研究，以下就數個港灣研究相關課題進行介紹。

(一) 台江內海人文與自然環境變遷

台灣四周環海，自古以來，聚落、都市發展離不開沿海區域，透過台灣歷史文化地圖的不同時間空間資訊，可進行人文發展與自然環境變化的初步探討。

由圖 11 可知道 17 世紀初期（鄭成功據台時期）台灣西南部的海岸線範圍，亦可發現當時幾個重要的城市如熱蘭遮城、普羅民遮城均依海岸線建造。

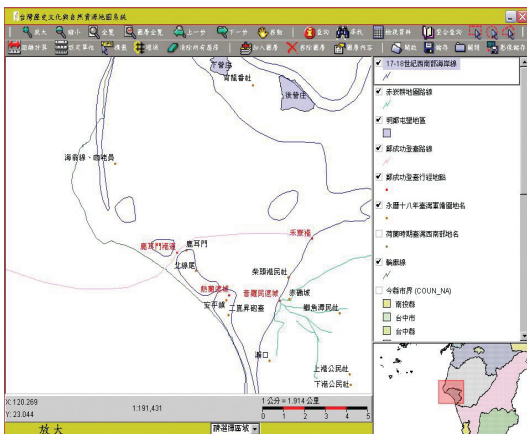


圖 11 鄭成功據台時期的台江內海

都市發展至 20 世紀，由圖 12 可印證「滄海化桑田」，不僅海岸線有顯著變化（西移），新增陸地區域的聚落亦呈蓬勃發展。日據時期的州（廳）、郡（市）、街（庄）界也依海岸線的自然分佈而劃設。



圖 12 20 世紀之台江內海

透過 1920 年代台灣地形圖的空間資訊萃取，可瞭解當時沿海聚落發展、海岸線變遷與土地利用（圖 13）的相關性。

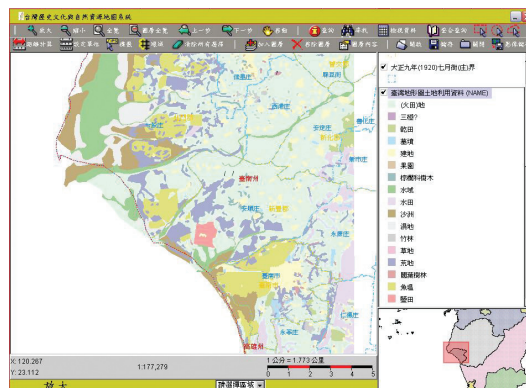


圖 13 1920 年代土地利用分佈圖

無論是 17 世紀的台江內海、經桑田化的 20 世紀海岸線，或是 1920 年代之土地利用分佈圖，均是經過現代空間技術洗禮的珍貴歷史資料，當套疊了 21 世紀的衛星影像（圖 14），彷彿令人們成了時空行者，可以清楚、具體地觀看近 400 年來台江內海的海岸線變化。對於人文科學研究者而言，這課題的效益是幫助他們進一步深入探討與瞭解人文發展與自然環境變遷的相關性；對自然科學的研究者而言，則是瞭解自然環境變化的優良案例。

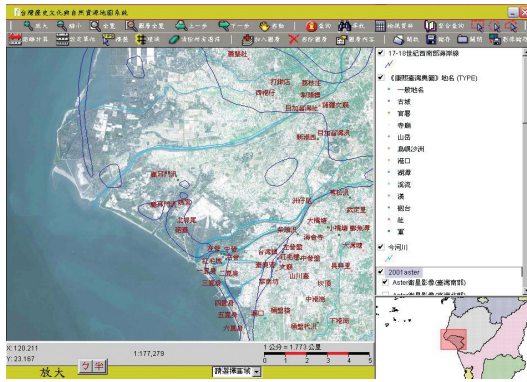


圖 14 17 世紀海岸線與 21 世紀
衛星影像的套疊

(二) 清代臺灣港口分布圖

台江內海的研究課題令我們瞭解，臺灣港口的發展與變遷，除了自然條件的影響外，在其間生息的人們更是決定性的主導因素。清領時期臺灣港口在全臺物貨、資訊與人口流動上，扮演了舉足輕重的角色。

林玉茹在《清代臺灣港口的空間結構》中，以港口等級大小的區分，尋找不同階段的主要港口，並描述以這些主要港口為中心，沿岸港口之間的互動關係。書中亦建置八幅手繪臺灣港口分佈圖。

此課題以八幅手繪臺灣港口分佈圖為本，運用 GIS 技術將其數位化與空間幾何校正，套疊上各時期行政區劃與海岸線變遷，將清代的港口等級分佈，分為 1683-1710 年、1711-1730 年、1731-1783 年、1784-1830 年、1831-1860 年、1861-1870 年以及 1871-1895 年等七個時期。加上以圓圈大小表現港口等級，更能清楚表現出清代臺灣港口在時間上與空間上的變化。如由圖 15 可看出 16 世紀末台南與高雄沿岸港口的分佈情形。

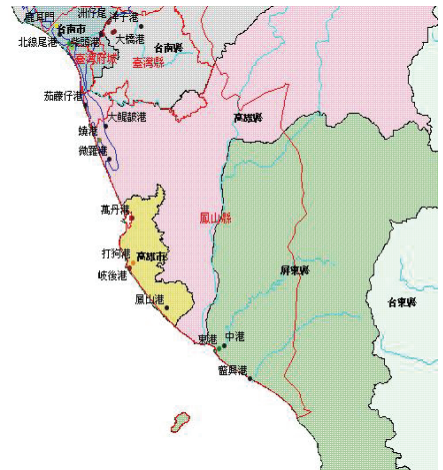


圖 15 1683-1710 年高雄市港口等級分佈
(三) 港灣船隻航運監控管理

遊歷了近 400 年時期的港灣與自然、人文變遷主題時空之旅後，回到現代的港口管理。

透過 GIS 與傳統雷達系統的整合，不僅可動態掌握船隻於港口附近海域航行狀態，亦可隨時與電子海圖套疊，除可降低海上事故發生，亦可連線至船隻管理資料庫，即時調閱船隻基本資料。發生緊急事故時，亦可就海圖、船隻航行資訊、天候狀況、救難單位資源分佈狀況等資訊綜合彙整，於第一時間規劃出最佳救援計畫。

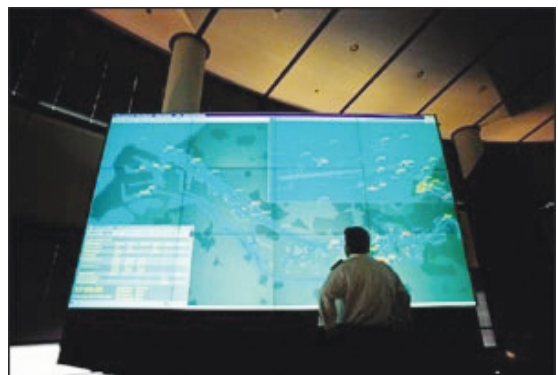


圖 16 透過電視牆，充分掌握船隻航行
資訊（圖片來源：www.esri.com）

(四) 自然環境資訊與海象資訊

現今無論是港口規劃設計、營運與維護運作，周圍相關自然環境資訊扮演重要角色，而海象資訊的即時動態掌握與歷史資料回顧分析亦不可或缺。現今此兩類資訊於國內並不缺乏，然衍生出的課題是如何讓這些空間資訊正確、快速、便利且兼顧安全性地加值、流通與廣泛利用。以下就此兩大類資訊作簡略的介紹：

1. 遙測影像資訊

目前台灣早期的老舊歷史航照影像資料，為 1940 至 1950 年代拍攝，保存於工研院能資所，影像原始資料為照片，以高解析之掃描器掃描後，轉換為數位影像。透過像片基本圖，選擇地表上主要道路之路口，或是尚未改變之地表物為控制點資料，進行幾何校正。圖 17 為經影像校正並完成鑲嵌之台北市影像，影像範圍向西延伸至淡水河出海口。

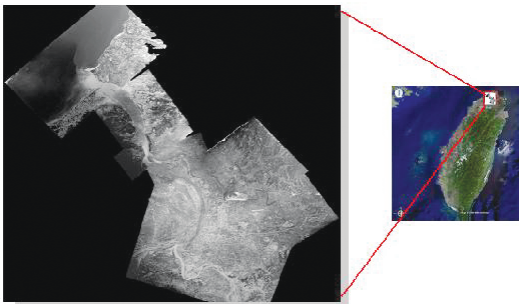


圖 17 台北市歷史航照鑲嵌

透過影像數位化處理與空間對位技術，不僅能同步相互比對與檢視不同的歷史底圖與歷史影像（圖 18），亦可對照歷史影像與現今不同解析度、時段之衛星影像（圖 19），以探討自然環境的變化。

此外，中央研究院研究團隊於

「中國近代歷史地圖與遙測影像資訊典藏計畫」中，不僅持續蒐集、數位化包含歷史地圖與遙測影像，共計超過百萬幅（地圖與遙測影像總和），成為國內最大的空間資訊典藏與服務中心，亦開發了「航照影像管理查詢系統」，提供以 Web 為介面，使用方便的檢索與應用機制。並更進一步與 Google Earth 結合，以提供更便利、更普及的航照檢索機制（圖 20）。

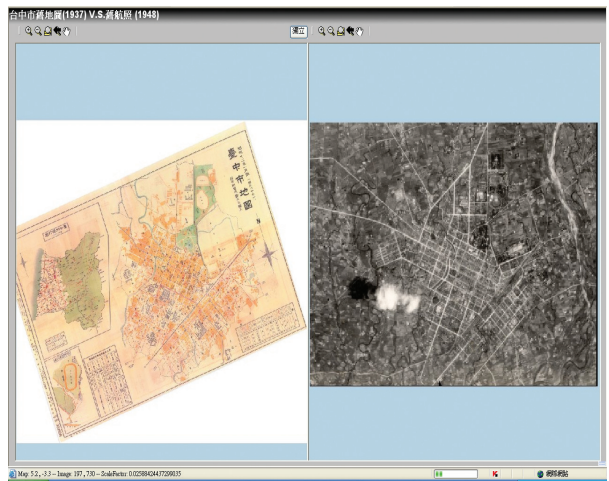


圖 18 台中市舊地圖（1937）與舊航照（1948）之對照檢視

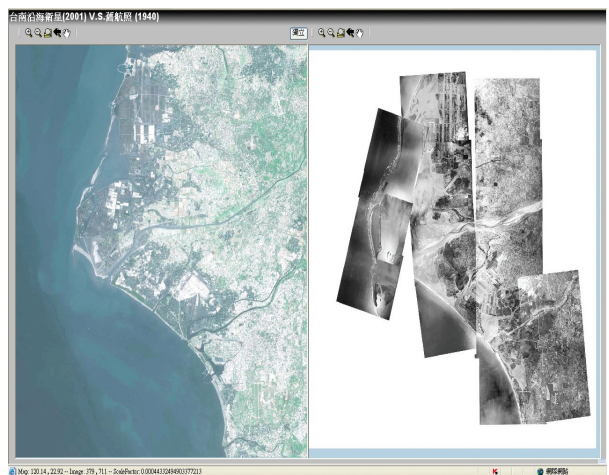


圖 19 台南沿海衛星影像（1991）與舊航照（1940）之對照檢視

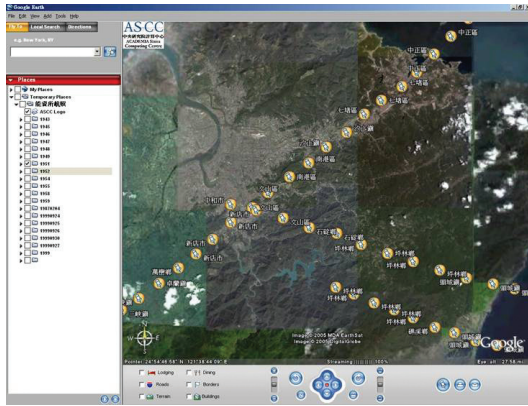


圖 20 於 Google Earth 檢索歷史航照

2. 地震資訊

地震資訊的掌握能有助於評估港灣公共設施、建築物的規劃、施工品質的控管以及維護管理。美國地質調查局 (USGS) 長年致力於地震監測，擁有全球即時動態與歷史地震資料，自 2005 年起，亦結合網路、GIS 與 Google Earth，提供快速線上檢索最新與歷史地震紀錄 (圖 21)。

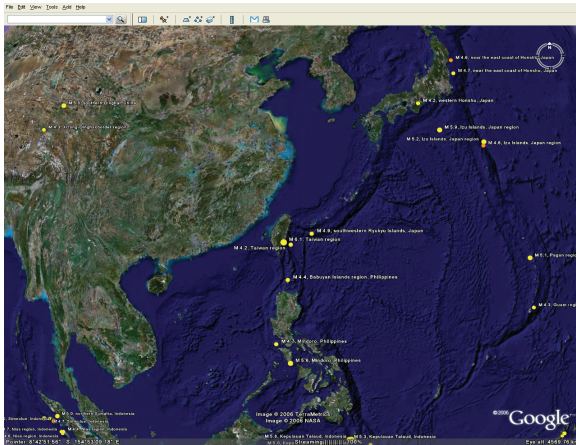


圖 21 全球動態地震點源分佈與強度資訊

3. 颱風資訊

天然災害如風災過後，管理單位最急迫的需求即是掌握災情，透過遙測資訊的判釋或實地勘查，經由 Google Earth 的立體呈現，並輔以高

解析度衛星影像或航照，可清晰地綜觀全局，支援行政決策 (圖 22)。

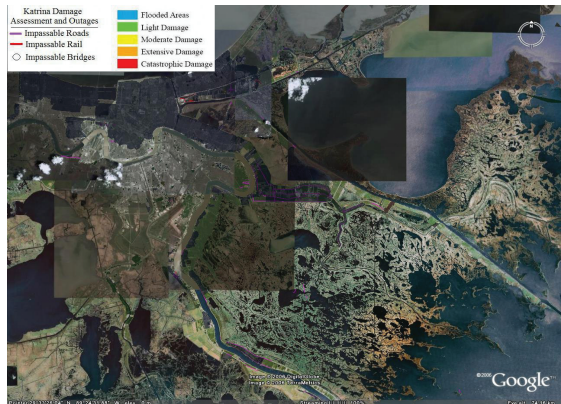


圖 22 katrina 造成公共設施破壞之分佈圖

美國國家颶風中心 (Tropical Prediction Center)，亦提供民眾以互動式方式查詢歷史颶風資料，並可即時於 Google Earth 上呈現。

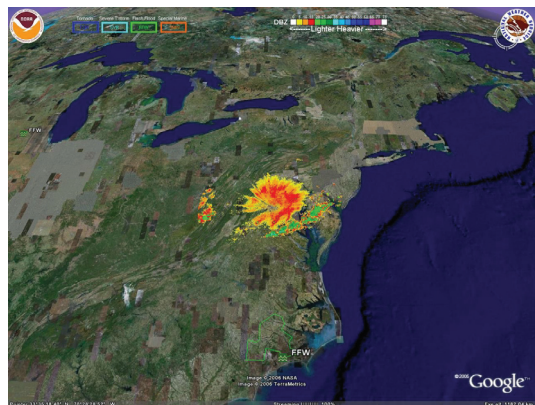


圖 23 美國歷史颶風資料 (區域性/全國性)

4. 海底地形資訊

港口規劃建造之初，除掌握沿海地質狀況外，沿近海域海底地形亦是重要的評估建造資訊。目前海底地形的測量技術成熟，多以船隻或 ROV (Remotely Operated Vehicle, 水下無人載具) 搭載聲納進行海底地形掃瞄作業，能精準快速地產製 3D

立體地形資料 (圖 24)，並透過 3D 虛擬展示，進行立體化概念呈現與展示。

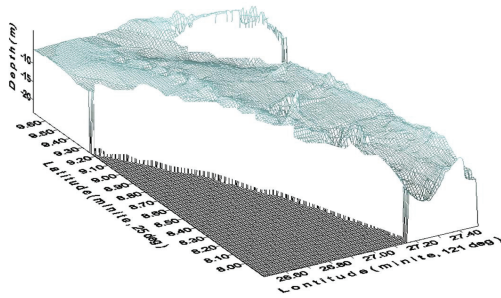


圖 24 淡水河 3D 地形圖

但對非專業人士而言，普遍受限於 3D 軟體操作技術與概念傳遞門檻，故地理資訊之流通，大部分仍侷限於中高階電腦使用者，難以推廣至中小年齡層教育單位與廣大社會群體中。

本研究課題首次使用 RP(Rapid Prototyping)快速原型技術產出之 3D 實體模型(Three-dimensional Solid Model) (圖 25)，可呈現比 2D 螢幕真實之展示與觀看效果，並可提供額外之觸覺感受。無論在展示、教育與概念推廣上，均能使地理資訊更具多元溝通能力。

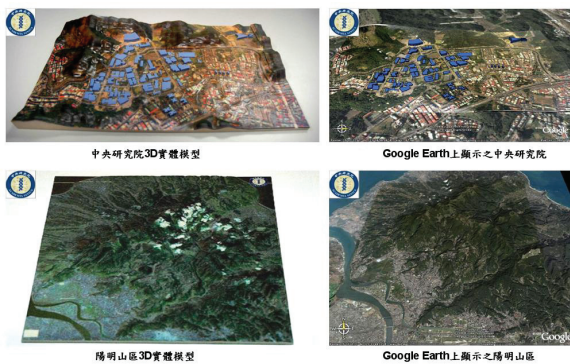


圖 25 RP 實體模型

此外，針對港灣規劃設計所需考量的各式工程問題，而設計的物理模

型實驗 (如水工實驗)，3D 實體模型亦能快速、精確地輔助實驗的進行。

充分掌握沿海陸地與水下地形資訊後，可進行各類海象異常 (如地震、颱風等) 時，附近區域水淹地形模擬推估，並可透過 Google Earth 使得推估結果可快速流通 (圖 26)。



圖 26 台北市 3 公尺淹水潛勢分佈圖

四、結論

本文介紹了 GIS 的新定義——地理資訊科學與新角色定位——時空資訊平台；透過介紹中央研究院豐富空間資訊典藏與空間技術發展，並佐以數個國內外研究課題的成果說明。

透過本文的閱讀，讀者們應能對 GIS 的廣泛應用性與前瞻性更加瞭解，此外，更期許能拓展傳統 GIS 思維，延展時間軸概念，如下列兩點所述，以時空資訊平台為媒介，促進科技與人文的整合。

(一) 以 GIS 技術為經、圖資為緯，打造時空資訊平台

透過建構時空資訊平台，提供一跨越古今的 GIS 應用環境，以不斷研發精進的 GIS 空間科技為經，以各類

歷史、現代圖像資料為緯，增進歷史性空間資料與現代的空間圖資進行套疊、時空對位時所的正確性與降低不確定性和誤差問題。在輔助港灣研究與管理、其他自然科學、人文社會科學等領域之基礎研究與課題應用，均能發揮良好成效。

(二)科技與人文之整合

歷史地圖與影像資料記錄了許多在人為開發過程中消失的地表景觀與人文地景。同時也保存了文本史料所沒有的重要的地理資訊如地名、行政邊界、水圳等等。

有了這些具有「空間資訊」的歷史資料，專業的工程技術從此能具體化加入「時間」概念的空間分析應用，輔以歷史文本資料、影像資料，增添歷史文化與人文內涵。

五、參考文獻

1. 中國文明之時空基礎架構
<http://cts.ascc.net>。
2. 中國近代歷史地圖與遙測影像資訊典藏計畫，
<http://gis.ascc.net/soda/main.html>。
3. 台灣歷史文化地圖，
<http://thcts.ascc.net/>。
4. 范毅軍，2006，走進時光隧道：GIS 與時空資訊的整合，中央研究院知識饗宴系列講座。
5. 莊永忠、張智傑、廖泮銘、范毅軍，2006，RP 快速原型技術於國家數位典藏成果之應用-以地理資訊為例，第五屆數位典藏技術研討會。
6. 張智傑、范毅軍、廖泮銘，2006，行動式地理資訊系統於調查方法上之應用，第六屆調查研究方法與應用國際學術研討會，頁 8。
7. 廖泮銘、范成棟、張志君、江正雄、林士哲，2006，第四屆數位地球國際研討會，頁 245-252。
8. Monitoring the Port of Rotterdam With GIS，<http://www.esri.com/news/arcnews/spring03articles/monitoring-the-port.html>。
9. Tropical Prediction Center，<http://www.srh.noaa.gov/ridge/kmzgenerator.php>。
10. USGS Earthquake Hazards Program，<http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/recenteqsw/catalogs/>。

台灣西海岸潮間帶及近岸之地形測量

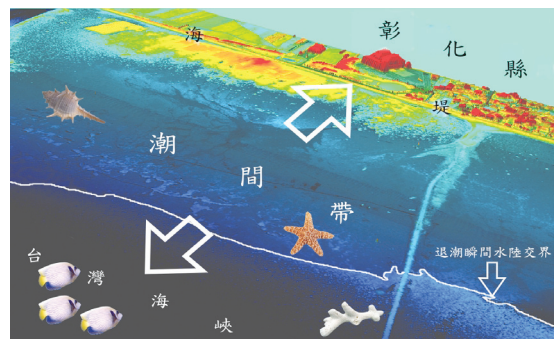
洪志偉 詮華工程顧問有限公司海測部經理
鄧敬中 詮華工程顧問有限公司航測部副理
何良勝 交通部運輸研究所港灣技術研究中心
研究員兼科長

一、前言

臺灣四面環海，海洋資源豐富適合經濟開發，海岸景觀秀麗適合觀光遊憩，依據行政院研究發展考核委員會編印之「海洋白皮書」之總體目標：「健全海洋事務法制、組織，強化海域管理與海洋建設；維繫海洋資源的永續利用，確保國家海洋權利與社會發展；加強海洋人文、教育宣導，奠定海洋意識基礎」。揭櫫臺灣為海洋國家，海洋領域業務將成為政府未來政策與施政重心之一。

台灣西部海岸非常平坦且潮位差非常大，屬於高潮差海岸，潮間帶區域面積大，但至今仍無實際之面積。潮間帶指的是海水漲潮到最高位（高潮線）和退潮時退至最低位（低潮線）之間，會曝露在空氣中的海岸部分。潮間帶的幅度，隨潮差的大小、地區及坡度而異，新竹南寮以南、彰化王功以北一帶的西部海岸，平均潮差約 3.5 公尺，其他各地一般潮差均在 2 公尺以下。潮間帶範圍因為傳統測量技術的限制，水深測量不

容易測到淺水地區，陸地測量則因無法在濕軟的退潮地區觀測，以致測量作業實施困難，因測量難度高，至今尚無完整的潮間帶基本地形圖資成果。



圖一、潮間帶範圍示意圖（此圖引用自土地測量局網頁）

本文提出之潮間帶及近岸之地形測量是以航空攝影測量與水深測量相互搭配的方式來作業。航空攝影測量的理論與技術已經相當成熟，過去採用底片掃描之影像來進行空中三角測量，但在潮間帶這種影像接近均調的區域，原本就不容易選取影像之連接點，再加上底片掃描後之影像雜訊（一般設定之掃描解析度為 14~21 μm ，若提升之 10 或 5 μm 影

像仍然會有雜訊的情形)，使得空中三角測量的成果不如一般陸地區域；若改以航測數位相機拍攝，其輻射解析度較佳、透鏡畸變差較小、不需底片真空吸附裝置等條件皆優於底片式相機。影像直接以數位方式記錄，不需要再經過底片沖洗及掃描，如此可得到較好空中三角測量成果，之後依循航空攝影測量作業流程，進行立體製圖。將水深測量與航空攝影測量之成果整合編輯後，即可獲得近岸之基本地形圖資。

在建立潮間帶及近岸基本地形資料後，對於海岸經濟開發、縣市行政區域劃分、採礦、養殖業、環境保護、生態保育、海底纜線鋪設、海洋博物館、海域觀光資源及提昇遊憩品質等整體海岸經濟開發有實質的助益。

二、儀器簡介

(一)、Intergraph DMC 航測數位相機

Intergraph 承襲了 Ziess 多年來的航測光學相機的技術及經驗，於 2002 年推出相幅式的航測數位相機 DMC (Digital Mapping Camera)，如圖二所示。國內於 2005 年 5 月由詮華工程顧問有限公司訂購，並於同年 11 月在台中進行安裝測試。行政院農委會林務局農林航空測量所也於 2006 年 7 月採購此款相機，其相關規格如表一所示。



圖二、Intergraph DMC 航測數位相機
DMC 由四個全色態 (Panchromatic) 鏡頭及四個多譜鏡 (Multispectral) 頭所組成。四個

表一、Intergraph DMC 規格表

Configuration	14K x 8K High Resolution Panchromatic and Multispectral
Field of view	69.3° cross track x 42° along track
Panchromatic resolution	7680 x 13824 pixels (final output image)
Raw PAN camera resolution	(each) = 7K x 4K
Lens system	4: x f = 120 mm / 1 :4.0
Multispectral number of channels	4 : RGB and Near- IR
Raw MS camera resolution	3072 x 2048 pixels
Composited image resolution	7680 x 13824 pixels (final output image)
Lens system	4: x f = 25 mm / 1 :4.0
Shutter and f-stop	Continuously variable 1/50 ~ 1/300 sec f/4 ~ f/22
On-board storage capacity	840GB (> 2200 images)
Radiometric resolution	8 or 12 bit (all camera)
Frame Rate	2.1 sec per image
Pixel size	12 microns x 12 microns

面陣式全色態 CCD 同時拍攝的四張互有重疊的影像，經數學轉換後拼接成一張虛擬的中心透視投影影像，如圖三所示。航測數位相機相較於傳統底片式之相機有下列優勢：

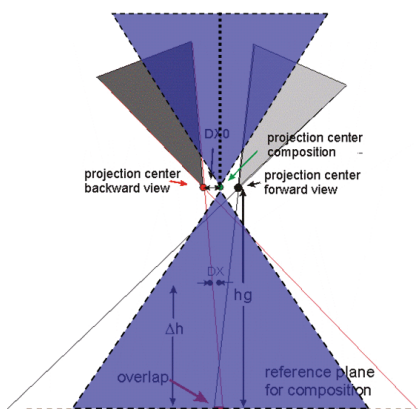
1. 更佳的影像品質：

- 沒有掃描底片的粒狀雜訊問題，如圖四、五所示。
- 輻射解析度為 12bit(色階 0~4095)，為一般 8bit 影像資訊(色階 0~255)的 16 倍，可拍攝時間較底片式相機長(天候限制較底片少)，如圖六所示。
- 影像以數位方式記錄，可避免因掃描影像、資料傳遞時的人為疏失及影像扭曲偏差。
- 資料後製過程，可藉著系統協助管控，達到製程自動化的目標，並減少人為的介入與錯誤(不需沖洗、掃描)。

2. 更高的幾何精度：

- 在提供高解析度影像同時，不因掃描而產生的影像收縮或變形，亦可避免粒狀雜訊產生。

Principle of virtual image composition



圖三、DMC 原始與虛擬影像之幾何關係示意圖



圖四、底片沖洗掃描後影像



圖五、與圖三相同解析度之 DMC 拍攝影像

- 可進行更精確的輻射校正。
- 不需底片真空吸附裝置，可避免因底片不平整所造成之影像變形。
- 透鏡畸變差較傳統相機小。

3. 多元的影像資訊：

- 可同時獲取全色態、RGB、Near-IR 等影像資料，如圖七、八、九所示。
- (二)、RESON SeaBat 8124 多音束測深機(含側掃聲納功能)

音束涵蓋範圍 120° ，約 3.4 倍水深之寬度，共有 80 個音束，每個音束大小為 $1.5^\circ * 1.5^\circ$ 。

測深可達 300m、解析度 1cm，精度符合國際海測組織 IHO 規範。

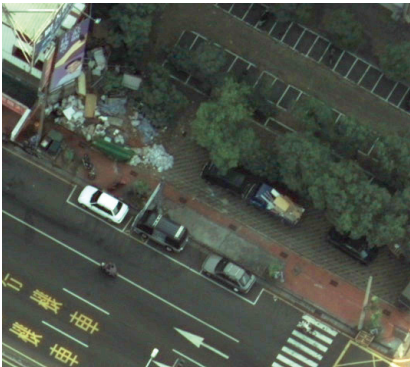
聲納頻率 200kHz，取樣頻率可達 40Hz，作業速度可達 12 節。



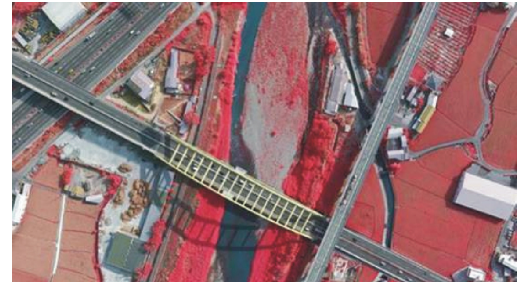
圖七、DMC RGB 影像



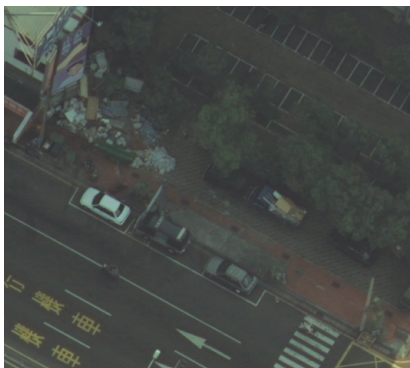
圖八、DMC 全色態影像



陰影區局部放大



圖九、DC Near-IR 影像



陰影區局部放大



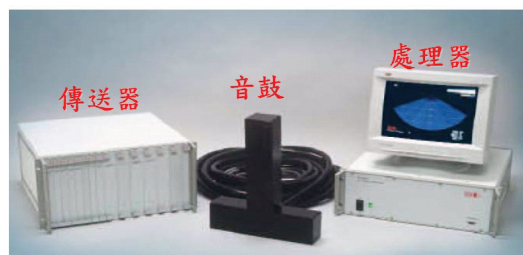
圖十、詮華一號測量工作船

側掃聲納功能可套疊多音束水深成果，即時偵搜特徵物及輔助底質辨識。

水深測量儀器配備：詮華一號測量工作船、多音束測深機、

圖六、DMC 數位相機拍攝影像範例

RTK&DGPS 衛星定位儀、運動姿態感測器、磁羅經、聲速剖面儀、驗潮儀。



圖十一、RESON SeaBat 8124 多音束測深機

三、作業方式

以航空攝影測量來進行近岸地形測製，最主要的原因是潮間帶範圍水深測量不容易測到，陸地測量則因無法在濕軟的退潮地區觀測。若要以航空攝影測量來測製潮間帶之地形圖，其作業流程如圖十二所示，其中有兩點必須特別注意的事項：

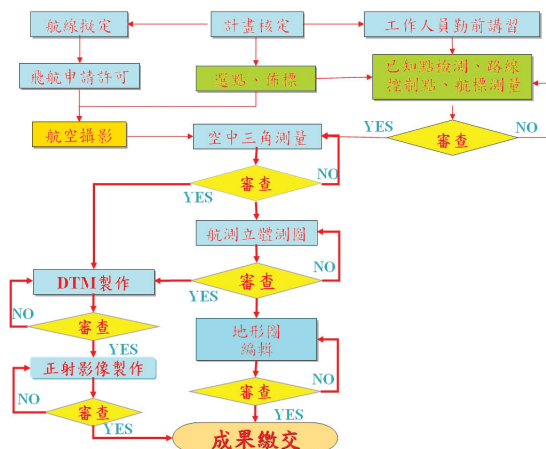
1. 航空標佈設

一般航空標佈設是以油漆標較理想，除了可以高反差方式呈現外，若非人為破壞，其保存時間也較久；但在潮間帶地區，為了承受海水漲退潮的沖刷，目前以沙袋標或架高之板標的方式佈設較可行，但保存時間則與海象氣候息息相關。

2. 航空攝影時間

通常航空攝影的時間都選在上午十時至下午二時之間，但有時為了搶天氣（有些山區十點後會起雲），會在這個時段以外的時間攝影。潮間帶的航空攝影一般會希望在最低潮位時拍攝，一來可獲取較大的潮間帶影像，二來空中三角測量所需的連接點區位也會較完整（若影像中水體佔

太多區域，會造成重疊影像間無法連接、計算）。從氣象局的潮汐預報資料可知，每個月僅有兩次低潮位時間可以進行航空攝影，若遇上天候不佳（雲層太低或起霧），則必須等候下一波潮水適合的時間，這是整個作業中最難掌握的一個環節。



圖十二、航空攝影測量作業流程圖



圖十三、油漆標



圖十四、沙袋標



圖十五、架高之板標

詮華工程顧問有限公司曾於今年 3 月 30、31 日下午五點左右（相機安裝於群鷹翔航空公司）及 5 月 26 日下午四點左右（相機安裝於大鵬航空公司），以 DMC 在彰化、雲林外海進行潮間帶 20 公分解析度之航空攝影，影像如圖十六、十七所示。以該



圖十六、堤防及潮間帶之 DMC 影像



圖十七、潮間帶 DMC 影像

批影像（共計 5 條航線，153 張影像，60% 前後重疊，30% 側向重疊）進行空中三角測量之量測與計算，所得到之觀測量平均量測中誤差為 $2.29 \mu\text{m}$ （相當於地面 4 公分）、平面中誤差為 0.050 cm、高程中誤差為 0.092 cm、多餘觀測數為 6130、觀測數量為 9961。

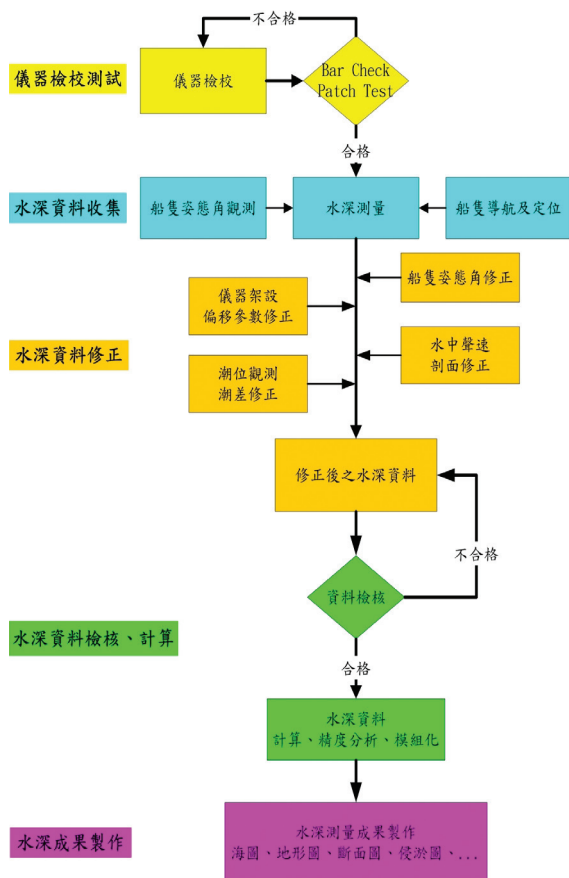
以 RESON SeaBat 8124 進行水深測量之作業流程如圖十八所示。其各個作業項目之敘述如下：

1. 船隻姿態角觀測

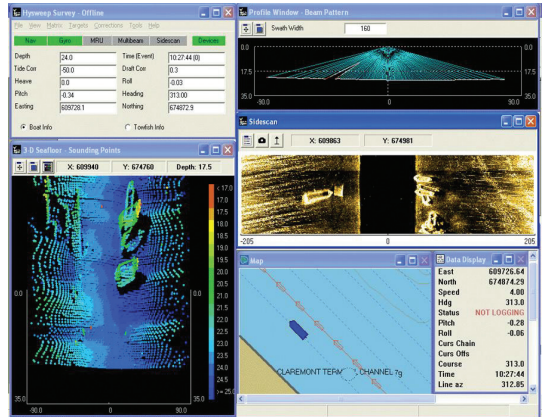
實施多音束水深測量時，配置船隻姿態感測器及磁羅經以記錄船隻的前後傾斜 (pitch)、左右搖擺 (roll)、船向 (yaw) 之角度及上下起伏之高度。

2. 船隻導航及定位

- 採用 DGPS 差分式全球衛星定位測量或 RTK 即時動態衛星定位測量，於陸上設一基站或接收廣播站訊號，配合海上移動站測定船隻位置，記錄測深時刻的位置坐標。
- 於水深測量作業前後在陸域上尋找二點以上的已知點作檢測，檢測成果需符合 2 公尺(95%信心區間)內之水平定位精度後方使用之。
- 以多音束測深儀施行水深測量時，特別是對於海域重點區域，搭配 RTK 定位方式，可大幅提昇平面定位精度及高程精度(RTK Tide)至公分等級，對於成果之精度及品質有顯著提昇。



圖十八、水深測量作業流程圖



圖十九、RESON SeaBat 8124 水深測量執行畫面

3. 水深測量精度

平面定位精度需高於2公尺(95%信賴區間)，高程精度需符合水深精度 = $\pm \sqrt{[a^2 + (b \times d)^2]}$ (95% 信賴區間)，其中 a=0.25 公尺(固定水深誤差)，b=0.0075(從屬水深誤差因子)，d (水深)。單音束水深測量測線若偏離規劃測線 30%則予以補測。

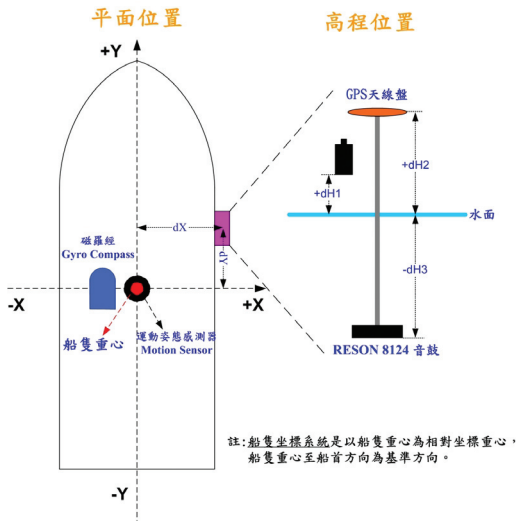
4. 儀器架設偏移修正

以船隻重心為相對坐標之中心，船隻重心至船首方向為基準方向，在安置測深系統的各項裝置時記錄並繪製各裝置的相對位置，其中包括：

- 音鼓吃水深:音鼓至水面距離。
- 音鼓平面位置:音鼓架設於船隻上的相對位置。
- 定位儀平面位置:定位儀架設於船隻上的相對位置。
- 定位儀高程:定位儀至水面距離。
- 船隻姿態感測器位置:姿態感測器架設於船上的相對位置。
- 多音束測深儀音鼓的安置角度。
- 儀器架設示意圖如圖十八所示，儀

器架設偏移量則另以表格記錄。

船隻坐標系統



圖二十、儀器架設示意圖

5. 潮位觀測

經評估測區範圍及地理環境後，應於適當地點設置驗潮站，驗潮站位置應注意不受退潮時水位乾涸而影響潮位量測。驗潮站之高程以直接水準往返觀測方式從一等水準點引測，往返觀測之閉合差不大於 $8\text{mm}\sqrt{K}$ 。潮位觀測每六分鐘記錄一次，潮位觀測之誤差維持在 5 公分以內，以人工驗潮方式檢核，並製作潮位記錄表、潮位曲線圖，記載潮位觀測時間、地點、天候狀況、驗潮站高程、驗潮儀設定參數等，以備查核。

6. 聲速量測

a. 在每日施行水深測量的作業範圍內，選取較深之位置作聲速量測，若於測量期間氣候變化遽烈導致水中溫差變化大，則再次量取水中聲速剖面；針對河口及電廠附近區域，因水溫及水中介質變化大，影響水中聲速甚鉅，會增加聲速量測

次數，以求正確測得水中聲速的變化，精確修正水深測量成果。

b. 使用之聲速儀包含直接量測式及鹽溫壓(CTD)式聲速儀，量測聲速之最小記錄單位皆可達 0.5 公尺/秒，記錄時視測區深度及聲速變化情況而定，取樣間隔由 0.5 公尺至 2 公尺間。

c. 聲速量測時製作聲速剖面記錄圖表，除記載聲速剖面值外，並記錄量測人員、時間、位置坐標及天候狀況等資訊。

7. 率定測試

多音束水深測量：在所有儀器安置完成後，實地至測區尋找適當地點作系統的疊合測試(patch test)，分別求取音鼓安置的前後傾斜(pitch)、左右傾斜(roll)、船向偏差(yaw)之角度及 GPS 的時間延遲量(GPS Latency)，經由多次的反覆測試與計算求取出最佳的率定值，以修正音鼓安置角度的偏差及 GPS 時間延遲的影響。

8. 水深測量作業記錄

記錄水深測量的作業日期、起迄時間、海象天候、風浪大小、作業人員、水深測量儀器、儀器架設偏移參數、引用的潮位資料、聲速資料、系統率定值及處理軟體等，並附船隻進出港證明，以便往後的資料查核。

9. 對於極近岸處之水深測量作業，事先利用潮位預報資料，選擇漲潮時間施測，除可加大水深測量涵蓋範圍且能與航空攝影測量施測範圍有所重疊、不致產生間隙，亦可交互比對兩者測量成果之品質。

10. 水深測量資料處理

- a. 單一測線初步篩除可疑的水深資料，如訊號品質不佳的水深值、異常的水深值及定位品質不佳的水深點。
- b. 加入各項修正資料，包含潮位資料、聲速剖面資料、儀器架設偏移參數、船隻姿態資料及率定資料等，需經檢核無誤後才加入水深資料的修正計算，可得到歸算後的水深資料。
- c. 整合同一測區的測深資料，利用資料間的相互重疊或交錯部分來比較其差值以剔除不符的水深點，並計算測量成果之精度是否符合水深測量規範。

量可在短時間內獲取大量的地面資訊，並以內業取代大部分的外業工作；多音束水深測量則可以較短的時間取得較多的水下地形資訊，兩者若可相互搭配相信將可加速建置完整之台灣近岸海域基本圖。

四、結論與建議

對於潮間帶及近岸之地形測量，有以下幾點之結論與建議：

1. 航測數位相機所拍攝之影像，在品質、精度及多元性上，都優於傳統底片掃描的方式，而且影像直接以數位方式儲存，不需要底片、藥水等耗材，不論是在人力或時間成本上都比傳統方式更具競爭力。
2. 因本次作業所需之低潮位時間只有早晨或傍晚符合需求，數位相機的高輻射解析度正好可以用於此時段，傳統底片拍攝經過沖洗及掃描後，影像的品質會大打折扣，原因並不是因為掃描解析度設定的問題，而是與底片曝光時的天候條件及沖洗過程等因素有關。
3. 不論是航空攝影測量或水深測量都與天候的好壞有關，航空攝影測

淺談生態型消波塊之發展類型

黃濟和 建國科技大學土木工程系副教授兼主任
蔡立宏 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員
陳昌生 台灣漁業及海洋技術顧問社工程部经理
林東廷 富台工程股份有限公司工程師

二次大戰後消波塊在海岸保護上扮演重要角色，隨著逐漸充斥破壞大自然環境，天然海岸漸為減少之際，於國際環境保護潮流下，消波塊之功能亦面臨調整之必要。

一、前言

消波塊由於製造便利、尺寸重量多元及優異消波特性等，被廣泛應用於海岸、港灣工程。因應環境保護與永續發展之時代趨勢，近年來兼具生態、景觀等機能之環境共生型消波塊(陳、林，2005)已在日本被相繼開發應用，且愈趨重要與普遍化，除降低對海岸環境之負面影響，並具有改善與創造海岸生態之機能。故本文針對日本生態型消波塊之發展類型概述如下，俾供國內港灣工程界之參考。

二、生態型消波塊之內涵

傳統消波塊主要具有減少入射波之波壓、反射、溯上、越波及保護結構物基礎等功能，而所謂「生態型消波塊」係藉由改良消波塊之形狀、外觀及材質等，使其在原有消波功能

外，兼具增殖海洋生物之機能。

三、增殖對象

由於消波塊具有類似岩礁功能，適於作為海洋生物著生之基質，常見海藻、珊瑚等動植物著生其上，成為魚介貝類棲息、隱蔽、產卵及育成場所(圖 1)。故消波塊表面經特殊設計與處理等改良，使其符合對象生物生長特性，將可收更佳生態效果。

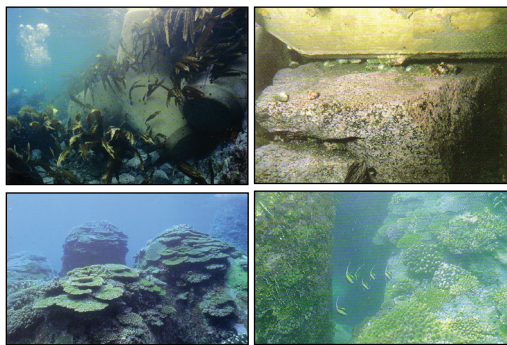


圖 1 常見消波塊生態例
一般而言，生態型消波塊如同人工魚礁、藻礁、產卵礁等生態礁機能，其增殖對象可廣泛針對海洋水產生物，然而就日本實際開發例觀之則以促進海藻生長為居多，以造成藻場進而形成豐富之生態系。

四、發展類型

鄰國日本近年來在促進海岸建設與環境和諧發展亦不遺餘力，其中在消波塊改善上已開發應用所謂之「環境共生型消波塊」，包括生態型、景觀型等機能。依據日本生態型消波塊之特性，歸納其發展類型大致如下(如圖 2、圖 3)。

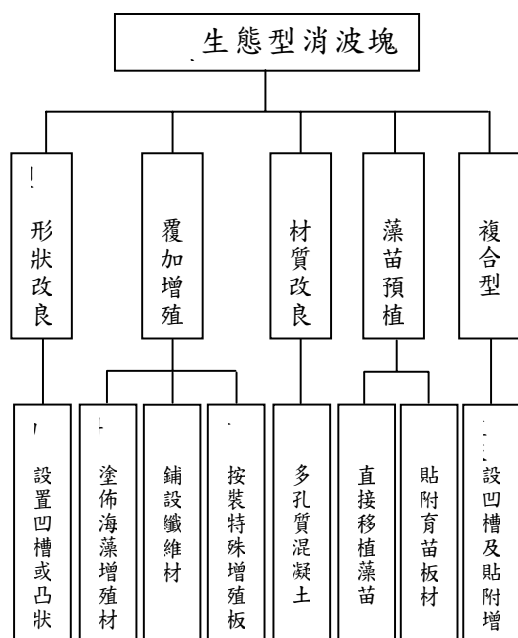


圖 2 日本生態型消波塊發展類型

(一) 形狀改良型

改良消波塊之外觀形狀，更適於海洋生物之棲息、著生及繁殖，常見手法係將消波塊表面設計成凹凸狀，如設置凹槽或突起物等，稱為「形狀改良型」(如圖 3-A~E)。

(二) 覆加增殖材型

於消波塊表面被覆易於海洋生物增殖之材料，稱為「覆加增殖材型」。主要設計方法有：

1. 塗佈海藻增殖材料

於消波塊表面塗佈海藻增殖材料，如硫酸一鐵液劑，可促進海藻之著生與繁茂，簡稱 a 型(如圖 3-F)。

2. 鋪設纖維材

消波塊澆置過程中，於模具內側鋪設促進海藻發育之不織布或纖維網，使混凝土澆製後於消波塊表面形成類似凹凸狀增加粗糙度，而易於海藻著生，簡稱 b 型(如圖 3-G)。

3. 按裝特殊增殖板材

於消波塊上貼附易於海洋生物著生及分解生長所需元素之特殊板材，如 FRP 板(如圖 3-H)、藻類增殖板(如圖 3-I)等，簡稱 c 型。



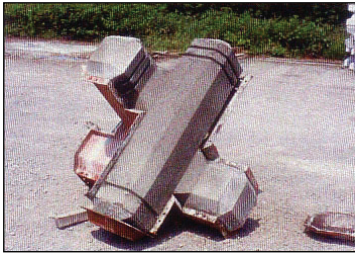
藻類增殖板(株式會社 TETRA 2)

(三) 材質改良型

改良消波塊澆置材料採用多孔質混凝土，其表面微小連續孔隙適合甲殼類、多毛類之生息，且具透水性可促進生態環境之調和，稱為「材質改良型」(如圖 3-J)。

(四) 藻苗預植型

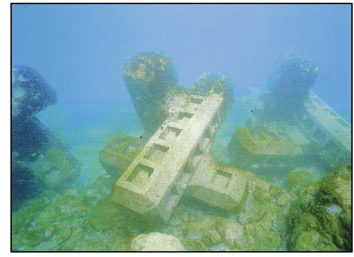
於缺乏母藻供給孢子之海域或為加速藻場形成，將藻苗預先植入或貼付於消波塊上，稱為「藻苗預植型」(如圖 3-K)。本型式常用方法包括：



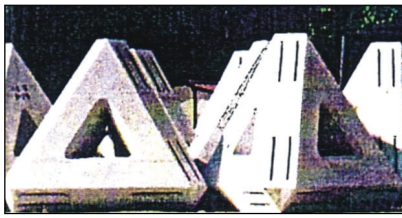
A. 形狀改良型例一
(株式會社 TETRA 1)



B. 形狀改良型例二
(株式會社 TETRA 1)



C. 形狀改良型例三
(德田廣等, 1991)



D. 形狀改良型例四
(漁港漁村建設技術研究所, 2001)



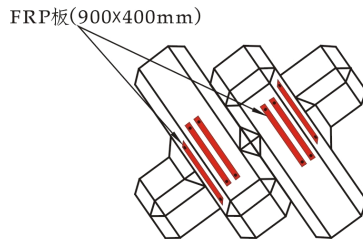
E. 形狀改良型例五
(<http://www.tetra.co.jp/>)(漁港漁村建設技術研究所, 2001)



F. 塗佈海藻增殖藥劑
(漁港漁村建設技術研究所, 2001)



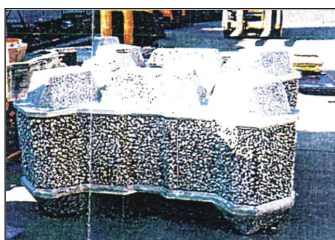
G. 鋪設不織布
(<http://www.pa.hrr.mlit.go.jp> (漁港漁村建設技術研究所, 2001))



H. 按裝 FRP 板



I. 按裝藻類增殖板
(株式會社 TETRA 2)



J. 多孔質混凝土
(漁港漁村建設技術研究所, 2001)



K. 預植藻苗
(漁港漁村建設技術研究所, 2001)



L. 設凹槽及藻類增殖板
(株式會社三柱)

圖 3 日本開發之生態型消波塊類型

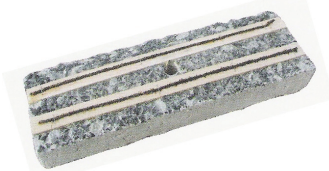
1. 藻苗直接移植於消波塊表面(如圖 4)



(<http://www.chugoku-np.co.jp/>)

圖 4 直接移植藻苗

2. 將培育有海藻種苗之特殊板材或不織布附於消波塊表面(圖 5)



(株式會社 TETRA 2)



(<http://www.toyo-suiken.co.jp/>)

圖 5 培育藻苗之增殖板及不織布

(五)複合型

上述附加消波塊生態機能之方式亦可綜合使用，稱為「複合型」，如於消波塊上設置凹槽(形狀改良型)及貼附特殊海藻增殖板(覆加增殖材 c 型)，如圖 3-L。

五、應用案例

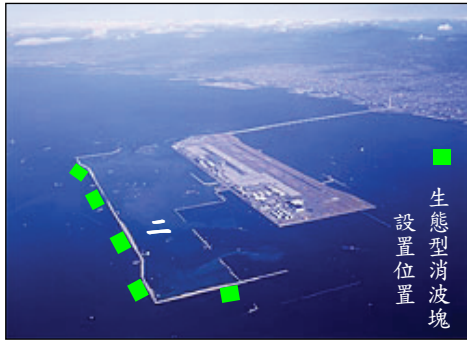
近年來日本海岸工程建設相當重視環境之和諧共生，謀求海岸環境之自然調和，其中應用生態型消波塊為手法之一。茲以關西國際機場、浜田漁港之建設案例說明如下：

(一)關西國際機場二期計畫護岸

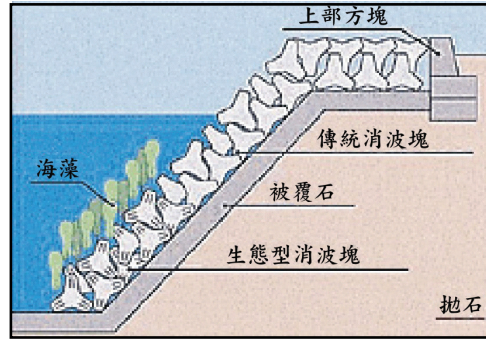
關西國際機場之圍堤造地開發考量與海岸環境之和諧，於第一期計畫護岸工程即設置藻礁培育藻場，形成魚介類生息及仔稚魚育成之場所。至第二期計畫護岸工程，除將前期所培育之 18 座藻礁移至本期護岸以提供及促進藻類孢子之著底，並採集繁茂之成熟藻移植於護岸上，此外於護岸中五處地點之潮上帶仍使用傳統消波塊，而在其潮下帶則搭配使用附有凹槽設計之生態型消波塊，以利藻類著生，如圖 6-A 所示。

(二)浜田漁港消波生態潛堤

浜田漁港位於島根縣西部，其周邊海岸屬縣立自然公園，於水深 10m 以淺以海藻最具優勢，亦是鮑魚、蝶螺之棲息地。基於維護當地景觀、親水、漁場等考量，其北防波堤及護岸設計採附加潛堤形式計長 480m，並於潛堤之基礎拋石上被覆設有寬 5~7cm、深 12cm 槽溝之生態型消波塊，如圖 6-B 所示。根據竣工後之追蹤調查結果顯示，該潛堤於施工後約 5 年已生長繁茂海藻，近似天然藻場狀態，且於生態型消波塊之槽溝內成為蝶螺稚貝之生息場所。



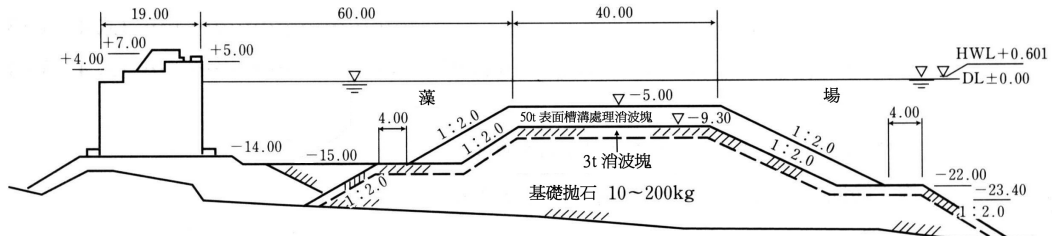
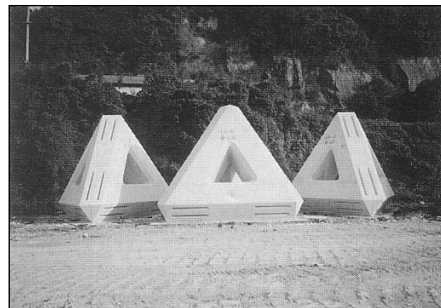
生態型消波塊
設置位置



A. 關西國際機場二期計畫護岸工程
(<http://www.tetra.co.jp/>)



(<http://www.gyokou-info.com/>)



B. 浜田漁港消波生態潛堤工程
(全國漁港協會，1997)

圖 6 日本生態型消波塊之應用案例

六、結語

保護地球環境資源之永續利用已是時代發展潮流，亦是吾人責無旁貸之責任。海岸建設攸關海岸環境之保全與變遷，對國土安全、海岸遊憩、景觀維護等影響甚鉅，重視工程開發與海岸環境之自然調和已愈趨重要。

消波塊於二次大戰後被大量應用至海岸工程上，具有其時代背景與價值。近年來在環境保護聲浪下，消波塊使用之合理性亦受到多方質疑，在尚無其他替代措施取代下，慎重檢討其利用之必要性與適當性實有需要，而對暫時無法避免仍需使用之情況，謀求改善消波塊遭人垢病之破壞生態景觀缺點應是可行對策。

國內近年來由於環境破壞所導致之災害問題已陸續出現，引起各界廣泛關注與重視，政府並於 89 年起大力推動各項公共建設採用生態工程設計，以維護自然環境之合理利用與永續發展。在海岸生態工程方面，生態型消波塊(海岸結構物)之研發已成爲重要課題之一，其目的並非創造另波海岸工程產業，而是要改善及降低現有建設方式對海岸環境之不良影響。鄰國日本近年來致力推動海岸建設與自然環境相調和，其中在生態型消波塊之開發技術已日趨成熟，應可提供國內之借鏡參考。未來參考日本等國外經驗，配合海岸指標生物之研究，發展適合本土環境之生態型消波塊，以符合國內實際需要，促進海岸環境之和諧。

謝 誌

本文承蒙芙蓉海洋開發株式會社之小林嘉昭部長及漁港漁場漁村技術研究所之加藤祥昭研究員提供寶貴資料，特致謝忱。

參考文獻

1. 陳昌生、林東廷，「淺談日本環境共生型消波塊之發展」，港灣報導第 70 期，第 31~34 頁，94 年 2 月。
2. 德田廣、川嶋昭二、大野正夫、小河久朗，海藻の生態と藻礁，株式會社綠書房，1991 年 9 月。
3. 財團法人漁港漁村建設技術研究所，「漁港構造物に藻場機能を付加するためのガイドブック作成業務委託報告書」，2000 年 3 月。
4. 社團法人全國漁港協會，工夫漁港構造物事例集，1997 年 12 月。
5. 株式會社テトラ(TETRA)1，「海・自然環境との調和を求めて」。
6. 株式會社テトラ(TETRA)2，「藻場造成技術」。
7. 株式會社三柱，「三柱ブロックと自然共生～藻場造成の創造～」。

台中港區空氣懸浮微粒特性研究

溫志中 弘光科技大學環境工程系助理教授

方國權 弘光科技大學環境工程系教授

蔡立宏 交通部運輸研究所 研究員

一、前言

空氣污染放射物可能對大都市附近的沿海地區和工業中心具有強大衝擊(Eisenreich et al., 1997; Scudlark et al., 1994)。人為所產生的空氣污染在亞洲過去的十年大大的增加，懸浮微粒在台灣變成一個嚴重的污染問題(Lee et al., 2001)。根據先前研究，微粒問題具潛在不利於健康的影響，因此控制或管理這些污染物具必要性。依 Fang et al.(2002)研究指出，空氣中任何一個總懸浮微粒(Total Suspended Particulate, TSP)或是微粒直徑小於 $10\mu\text{m}$ (PM_{10})以及更小於 $2.5\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$)均與健康有關。依粗微粒(直徑在 $\text{PM}_{2.5-10}$)和細微粒(直徑小於 $\text{PM}_{2.5}$)的來源和特性對健康的影響程度不同，細微粒不僅容易穿透進入肺臟，而且很可能增加呼吸道和突變等疾病。大氣氣象的特性影響浮微粒的濃度、成分和微粒大小，而大氣中的微量金屬是乾沉降污染物的重要成分。Holsen et al. (1992) 以及 Davidson et al. (1985) 在數個國

家的流行病學研究中指出，暴露於微粒環境下不利於健康。包括增加死亡率、呼吸的住院醫療、心血管疾病、呼吸症狀及肺功能降低。本研究目的利用台中港區環境中空氣微粒濃度以及金屬元素調查結果，以統計方法，分析其相關性以及提出迴歸方程式。

二、研究方法

(一)採樣地點及時間

本研究空氣微粒採樣地點為台灣中部之台中港區如圖 1 所示，採樣時間為 2004 年 3 月至 2005 年 1 月。台中港位於台灣中部的西海岸，北方邊界為大甲溪南岸，南方邊界是大肚溪北岸，東方邊界為臨海路，西方的邊界是台灣海峽。港口的長度是 12.5 公里，寬度 2.5 ~ 4.5 公里，面積是 3,760 平方公頃，港區陸地區域為 2,800 平方公頃，水域面積為 960 平方公頃。



圖 1. 台中港區採樣地點位置圖 (台中港西一碼頭之宏恕倉儲頂樓 3 樓)
(照片來源：台中港務局全球資訊網)
(二) 研究步驟

1. 乾沉降採樣方法

1.1 檢測方法

- (1) 利用乾沉降板，板上附有長 10cm，寬 8cm 之噴膠濾紙作為收集表面。有效之收集面積為 40.6cm^2 。
- (2) 尾端繫有風標，藉著風標之引導，乾沉降版會自由指向逆風方向。
- (3) 利用濾紙收集到之懸浮微粒質量，除以收集面積，在除以收集時間，即可得懸浮微粒之乾沉降通量。

1.2 儀器設備

乾沉降板係以聚氯乙烯(PVC)之材料製成，長 21.5cm，寬 7.6cm，厚 0.65cm，前端有尖銳之引導邊(角度小於 10 度)，尾端繫有風標，藉著風標之導引，乾沉降板會自由地指向逆風方向，板上附有長 10cm，寬 8cm 之濾紙作為收集表面。乾沉降板裝置在高 150cm 之鐵架上，鐵架最上端連接乾沉降板。乾沉降板中心有效暴露

之噴膠區域

1.3 濾紙

乾沉降板所使用之濾紙為投影片，長 10cm，寬 8cm。採樣時兩個採樣點皆放置三組乾沉降板，濾紙在採樣前先噴膠(Silicon)，完成後至於溫度為 $25\pm 5^\circ\text{C}$ ，溼度 $50\pm 5\%$ 之空間中使濾紙平衡 24 小時以上。將平衡 24 小時後之濾紙取出秤重後，至於乾淨之小型塑膠培養皿中備存等待採樣，採樣時將準備好之濾紙至於一片厚 0.03cm 塑膠墊片邊框下，用螺絲將塑膠墊片及濾紙固定在乾沉降板上。採樣後，將濾紙放回小型塑膠培養皿中帶回實驗室，置於與採樣前相同條件之溫、溼度環境中平衡 24 小時後，再予稱重。稱完重後立即進行分析前處理步驟。

2. 氣象資料收集

WatchDog 氣象站在採樣期間能提供風速、風向、溫度和濕度等資料。

3. 統計分析

本研究以微粒資料(TSP, $\text{PM}_{2.5-10}$ 和 $\text{PM}_{2.5}$)和氣象資料(溫度、相對溼度，風速和風向)進行統計分析。利用非參數(Spearman)相關分析探討金屬相關係數，以及微粒與氣象數據之相互關係，並利用 SPSS-10.0 進行迴歸相關分析。

三、結果與討論

(一) 氣象特性

本研究於 2004 年 3 月至 2005 年 1 月中包含 1 年 4 個不同季節，於台中港區進行採樣，採樣收集 40 組的

部份樣品。採樣分析結果如表 1 所示，表中採樣資料包括溫度(°C)、相對溼度(%)、風速及風向等。結果顯示平均溫度是 18.99°C，平均風速為 9.12 ms⁻¹，平均相對濕度為 82.17

%，採樣地區(台中港區)具有較高的溼度，優勢風向為 NNW。四季中以夏季平均溫度以及相對溼度較高，風速則以冬季較大。

表 1. 在 2004 年 3 月至 2005 年 1 月採樣期間不同粒徑之微粒濃度及氣象資料表

Season	Month	TSP ($\mu\text{g m}^{-3}$)	PM _{2.5} ($\mu\text{g m}^{-3}$)	PM _{2.5-10} ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Temperature (°C)	Relative humidity (%)	Wind speed (ms ⁻¹)	Wind Direction
Spring	March	186.55	54.79	39.03	16.50	86		
	April	171.25	52.89	38.26	19.10	83		
	May	160.63	44.79	34.10	21.70	84		
Summer	June	143.55	32.40	27.44	22.50	84		
	July	121.84	47.05	18.14	22.60	86		
	August	118.32	33.02	15.55	22.80	87		
Autumn	September	144.34	39.76	22.44	21.80	81		
	October	157.56	36.92	20.45	19.00	79		
	November	163.95	49.63	29.35	18.50	78		
Winter	December	173.75	52.31	39.93	15.60	77	9.7	NW
	January	175.61	46.02	38.22	13.50	78		
	February	170.43	42.56	35.42	14.32	76		
Average		157.31	44.35	29.86	18.99	82.17		
STD		21.98	7.94	9.13	3.18	4.03		

(二) 微粒濃度特性

由表 1 不同粒徑下各微粒平均濃度值 (TSP、PM_{2.5-10} 和 PM_{2.5}) 採樣分析結果顯示，總懸浮微粒濃度 TSP 年平均值為 157.31 $\mu\text{g m}^{-3}$ ，PM_{2.5-10} 和 PM_{2.5} 平均濃度值分別為 29.86 和 44.35 $\mu\text{g m}^{-3}$ 。在不同季節比較上，冬季的 TSP、PM_{2.5-10} 和 PM_{2.5} 有較高平均濃度。由於在春季採樣期間內有沙塵暴發生，故在春季亦有較高的濃度值發生。但整體而言，台中港區冬季仍然擁有較高的 TSP 平均濃度。另外，其春天分別與夏天、秋天及冬天的 TSP 微粒平均濃度比為 1.35、1.11 和 1，而春天分別與夏天、秋天和冬天的 PM_{2.5-10} 微粒平均濃度比為 1.82、1.54 和 1.08。此外，春天分別與夏天、秋天和冬天的 PM_{2.5} 微粒平均濃度比為 1.36、1.21 和 1.08。圖 2a、2b 顯示在 2004 年 3 月

至 2005 年 1 月期間在台中港區的 TSP 的季節性變化圖。圖 2a 顯示 TSP 濃度於 1 年期間的分佈變化趨勢如餘弦函數。最低和最高的 TSP 微粒濃度分別發生在 8 月 和 3 月。圖 2b 顯示 PM_{2.5} 濃度均高於 PM_{2.5-10}，其分佈趨勢亦類似餘弦函數。最低的 PM_{2.5} 發生在夏季的 8 月而最高的 PM_{2.5} 發生在春季的 3 月。最低和最高的 PM_{2.5-10} 微粒濃度亦分別發生在夏季的 8 月 和

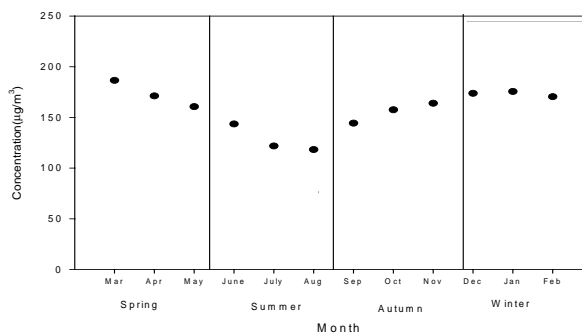


圖 2a. 台中港區不同時間的 TSP (●) 平均濃度分布

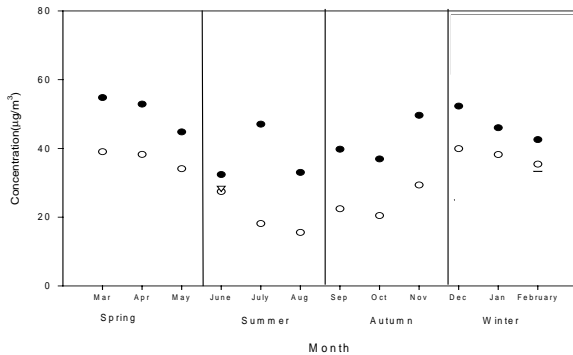


圖 2b. 台中港區不同時間的 $PM_{2.5-10}$ (●) 和 $PM_{2.5}$ (○) 平均濃度分布

(三) 金屬微粒濃度特性

圖 3 顯示，採樣期間金屬元素(鐵 Fe、鎂 Mg、鉛 Pb、鋅 Zn、鉻 Cr、錳 Mn 和銅 Cu) 不同粒徑微粒的平均濃度比較圖。圖中顯示上述金屬元素的不同粒徑微粒濃度大小依序為 $TSP > PM_{2.5-10} > PM_{2.5}$ 。三種粒徑微粒濃度以鐵及鎂差異較為明顯，採樣金屬元素中以鐵、鎂及鋅的 TSP 濃度較高，以錳和鉛的 TSP 濃度較低。所有採樣

金屬元素的 TSP 濃度以春季及冬季較高，相對夏季及秋季較低。 $PM_{2.5-10}$ 及 $PM_{2.5}$ 一年平均濃度大小依序為鐵、鎂、鋅、銅、鉻、錳及鉛。鐵及鎂元素的 $PM_{2.5-10}$ 濃度以春季濃度較高，其他金屬元素則 4 季變化不大。此外，各金屬元素 $PM_{2.5}$ 濃度在不同季節的變化差異不大。

(四) 金屬微粒間之相關性

表 2 為不同粒徑濃度(TSP、 $PM_{2.5-10}$ 和 $PM_{2.5}$)與各金屬之相關性分析結果。在 TSP 濃度部分，金屬元素鐵和鋅有較高的相關性($R^2=0.76$)。在粗微粒 $PM_{2.5-10}$ 部分，鐵與鎂、錳、銅之間有較高相關性($R^2=0.73-0.82$)。在細微粒 $PM_{2.5}$ 濃度方面，鐵和鎂有高相關性($R^2=0.73$)。以上顯示在粗微粒 $PM_{2.5-10}$ 與細微粒 $PM_{2.5}$ 比較上，鐵和鎂均有較高的相關性($R^2=0.73$)。

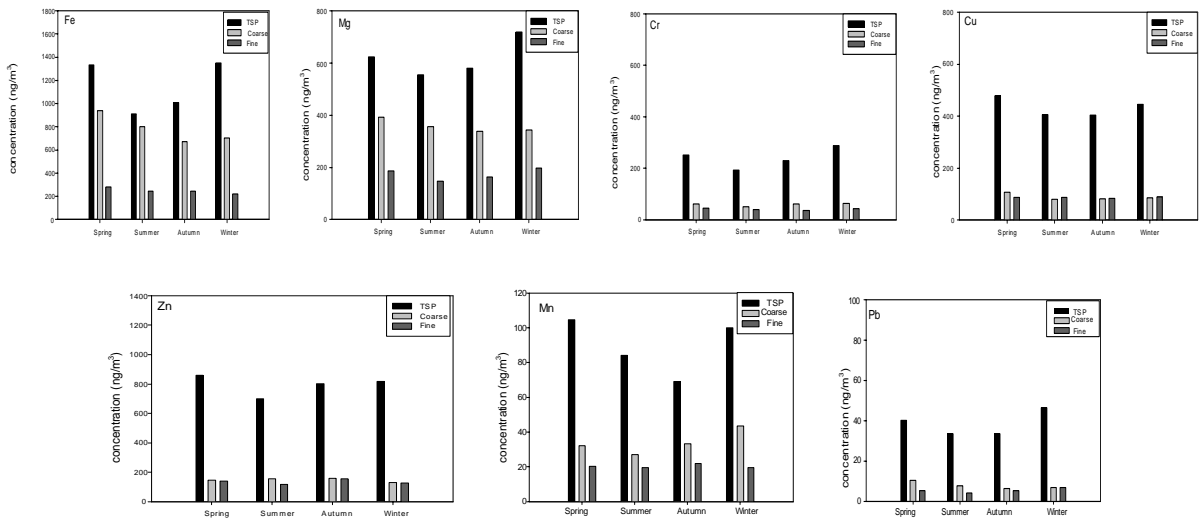


圖 3. 台中港區不同季節之不同微粒金屬元素平均濃度比較圖(鐵、鎂、鉻、銅、鋅、錳和鉛)

表 2. 台中港區不同微粒濃度之金屬元素間相關性比較表

TH-TSP							
Species	Fe	Mg	Pb	Zn	Cr	Mn	Cu
Fe	1.00						
Mg	0.30	1.00					
Pb	0.13	0.23	1.00				
Zn	0.76**	0.17	0.41	1.00			
Cr	0.31	0.32	0.25	0.33	1.00		
Mn	0.36	0.42	0.17	0.16	0.53	1.00	
Cu	0.30	0.37	0.04	0.47	0.13	0.34	1.00

TH-PM _{2.5-10}							
Species	Fe	Mg	Pb	Zn	Cr	Mn	Cu
Fe	1.00						
Mg	0.73**	1.00					
Pb	0.35	0.41	1.00				
Zn	0.58	0.35	0.32	1.00			
Cr	0.31	0.50	0.26	0.21	1.00		
Mn	0.76**	0.71	0.31	0.12	0.61	1.00	
Cu	0.82**	0.32	0.01	0.38	0.12	0.49	1.00

TH-PM _{2.5}							
Species	Fe	Mg	Pb	Zn	Cr	Mn	Cu
Fe	1.00						
Mg	0.73**	1.00					
Pb	0.64	0.33	1.00				
Zn	0.48	0.16	0.24	1.00			
Cr	0.25	0.69	0.36	0.31	1.00		
Mn	0.37	0.65	0.28	0.18	0.35	1.00	
Cu	0.26	0.32	0.14	0.51	0.18	0.37	1.00

** .在 0.01 水準相關性是顯著的(後面有**)

(五) 空氣微粒與氣象參數之相關性
 本研究利用 Spearman 作相關性分析,探討環境空氣微粒(TSP、PM_{2.5-10}和 PM_{2.5})與氣象資料間之相互關係。表 3 為微粒物質和氣象參數間的相關性比較表,表中顯示台中港區的 TSP 和 PM_{2.5-10} 微粒濃度與風速和溫度有較高的相關性(R²=0.755-0.881),而 PM_{2.5} 微粒濃度和氣象參數之間的相關係數較小,相關性不高。

表 3. 在台中港區採樣地點微粒濃度係數和氣象參數之相關係數

	TSP	PM _{2.5-10}	PM _{2.5}	Temperature	Relative humidity	Wind speed	Wind direction
TSP	1.0						
PM _{2.5-10}	0.930**	1.0					
PM _{2.5}	0.727**	0.713**	1.0				
Temperature	-0.881**	-0.755**	-0.462	1.0			
Relative humidity	-0.545	-0.527	-0.228	0.784**	1.0		
Wind speed	0.855**	0.872**	0.480	-0.658**	-0.386	1.0	
Wind direction	-0.021	0.075	-0.271	-0.014	0.090	-0.016	1.0

** .在 0.01 水準相關性是顯著的 (後面有**)

* .在 0.05 水準相關性是顯著的 (後面有*)

根據上述 spearman 相關性分析結果,以 TSP、PM_{2.5-10} 和 PM_{2.5} 與風速和溫度利用 SPSS-10 建立迴歸方程式。微粒濃度特性函數 F 可表示為

$$F = f(w \text{ ins } \phi \text{ e, } \alpha \text{ } \alpha \text{ m } \gamma \rho) \quad (1)$$

則 TSP、PM_{2.5-10} 和 PM_{2.5} 濃度之迴歸方程式可表示為

$$F = \alpha_1 + [\beta_1(w \text{ ins } \phi \text{ e } \rho + \beta_2(t \text{ e } m))] \text{pos}[\beta_3(\gamma_i/12) + \beta_4]^n \quad (2)$$

式 1 及式 2 中的 F 表示微粒濃度 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)，temp 表示溫度 ($^{\circ}\text{C}$)，wind speed 表示風速 (m/s)， γ_i 是一年的連續月份， α_1 、 β_1 、 β_2 、 β_3 和 n 為迴歸係數。式 (2) 為 TSP、 $\text{PM}_{2.5-10}$ 和 $\text{PM}_{2.5}$ 微粒濃度的預測方程式。迴歸係數 α_1 為微粒濃度平均數值，係數 β_1 (wind speed) 和 β_2 (temp) 為式 (2) 的次要變化量的振幅。式 (2) 中若扣除平均值後，顯示 TSP、 $\text{PM}_{2.5-10}$ 和

$\text{PM}_{2.5}$ 濃度隨不同風速、溫度和不同月份將呈現餘弦函數的變化趨勢。表 4 為迴歸分析的結果，表中顯示 TSP、 $\text{PM}_{2.5-10}$ 和 $\text{PM}_{2.5}$ 微粒濃度和氣象參數 (風速及溫度) 迴歸分析的相關係數 (R^2)，其範圍分別是 0.664 至 0.935，其中以 TSP、 $\text{PM}_{2.5-10}$ 的迴歸方程式相關係數達到 0.9 以上，具有高度的相關性。

表 4. 不同微粒濃度之迴歸係數

Regression Coefficients \ Particulate Size	α	β_1	β_2	β_3	β_4	n	R^2
TSP	177.87	-8.79	5.23	3.42	0.92	1	0.935
$\text{PM}_{2.5-10}$	17.02	0.27	1.34	3.21	-0.57	2	0.915
$\text{PM}_{2.5}$	37.52	0.77	0.45	4.13	-1.08	4	0.664

四、結論

台中港區採樣地點平均總懸浮微粒(TSP)、粗微粒($\text{PM}_{2.5-10}$)和細微粒($\text{PM}_{2.5}$)平均濃度分別為 157.31、29.86 和 44.35 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ，冬季的 TSP、 $\text{PM}_{2.5}$ 和 $\text{PM}_{2.5-10}$ 具有較高平均濃度。金屬元素(鐵 Fe、鎂 Mg、鉛 Pb、鋅 Zn、鉻 Cr、錳 Mn 和銅 Cu) 不同粒徑微粒濃度大小為 $\text{TSP} > \text{PM}_{2.5-10} > \text{PM}_{2.5}$ 。金屬元素的 TSP 濃度以春季及冬季較高，相對夏季及秋季較低。金屬元素鐵和鋅在 TSP 濃度中有較高的相關係數，而金屬元素鐵與鎂在粗微粒 $\text{PM}_{2.5-10}$ 和細微粒 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度中具有較高相關性。總懸浮微粒 TSP 和粗微粒 $\text{PM}_{2.5-10}$ 濃度與風速和溫度有較高的相關性，在一年間的週

期濃度變化中，可以餘弦函數的迴歸方程式描述其分佈的特性。

五、參考文獻

1. Davidson, C. I., Lindberg, S. E., Schmidt, J. A., Cartwright, L. G., Landis, L. R., 1985. Dry deposition of sulfate onto a surrogate surface. *Journal of Geophysical Research* 90, 2123-2130.
2. Eisenreich, S.J., Hornbuckle, K.C., Achman, D.R., 1997. Air-water exchange of semivolatile organic chemicals in the Great Lakes. In: Baker, J.E. (Ed.), *Atmospheric Deposition of Contaminants to the Great Lakes and Coastal Waters*. SETAC Press, Pensacola, Florida,

- 109–136.
3. El-Fadel M, Massoud M., 2000. Particulate matter in urban areas: health-based economic assessment. *J Sci Total Environ*; 257: 133–146.
 4. Fang, G.C., Chang, C.N., Wu, Y.S., Fu, P.P.C., Yang, C.J., Chen, C.D., Chang, S.C., 2002. Ambient suspended particulate matters and related chemical species study in central Taiwan, Taichung during 1998–2001. *Atmospheric Environment* 36, 1921-1928.
 5. Fang, G.C., Chang, C.N., Chang, S.Y., 2000. Dry Deposition of Metal Elements on Surrogate Surface in The Ambient Air of Central Taiwan. 62, 111-123, *Toxicological and Environmental Chemistry*.
 6. Holsen, T. M., Noll, K. E., 1992. Dry deposition of atmospheric particles: application of current models to ambient data. *Environmental Science and Technology* 26, 1802-1814.
 7. Lee, J.H., Kim, Y.P., Moon, K.C., Kim, H.K., Lee, C.B., 2001. Fine particle measurements at two background sites in Korea between 1996 and 1997. *Atmospheric Environment* 35, 635-643.
 8. Scudlark, J.R., Conko, K.M., Church, T.M., 1994. Atmospheric wet deposition of trace elements to Chesapeake Bay: Y. Gao, et al. / *Atmospheric Environment* 36, 1077–1086, 1085 CBAD study year 1 results. *Atmospheric Environment* 28 (8), 1487–1498.

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、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之計畫等的報告、論著或譯述。
2. 投稿者應保證所投稿件無侵害他人著作權情事，如有違反，願就侵害他人著作權情勢負損害賠償責任，並對中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）因此肇致之損害負賠償責任。
3. 來稿經本刊接受刊登後，作者應附具著作授權同意書，同意非專屬授權予本刊做下述利用：
 - (1) 以紙本或是數位方式出版。
 - (2) 進行數位化典藏、重製、透過網路公開傳輸、授權用戶下載、列印、瀏覽等資料庫銷售或提供服務之行為。
 - (3) 再授權國家圖書館或其他資料庫業者將本論文納入資料庫中提供服務。
 - (4) 為符合各資料庫之系統需求，並得進行格式之變更。
4. 作者應保證稿件為其所自行創作，有權為前項授權，且授權著作未侵害任何第三人之智慧財產權。
5. 稿件每篇以八頁（含圖）（4000~5000字）以內為原則，稿酬從優；請附磁片或 E-mail，並請加註身分證字號及戶籍地址（含鄰、里）。
6. 本刊每年刊行三期，分別於二月、六月、十月出版。如蒙惠稿請於每期出版前三十日寄交本刊。
7. 聯絡電話：(04)2658-7139 馬維倫
傳真電話：(04)2656-4415
E-mail：elisa@mail.ihmt.gov.tw
8. 歡迎賜稿，來稿請寄：
台中縣 435 梧棲鎮中橫十路 2 號
交通部運輸研究所港灣技術研究中心「港灣報導編輯委員會」收