

港灣報導



季刊 第90期

要 目

- ❖ 應用GPS反射信號建立波高量測系統
- ❖ 透水混凝土鋪面設計導則之研究
- ❖ 台灣港務公司貨櫃運輸未來發展策略
——以鹿特丹港務公司為標竿學習的案例
- ❖ 臺中港北淤沙區防治對策方案研擬及灘線預測評估

中 華 民 國 100 年 10 月 出 版

港灣報導季刊

第 90 期

交通部運輸研究所

中華民國 100 年 10 月

港 灣 報 導 第 90 期

刊期頻率：季刊

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548臺北市敦化北路240號

網 址：www.ihmt.gov.tw

電 話：(04)26587176

總 編 輯：林志明

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

出版年月：每年2、6、10月

創刊年月：中華民國77年2月1日

定 價：100元

本次出刊：200冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

印 刷 者：承亞興企業有限公司

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組·電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485臺北市中山區松江路209號1F·電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042臺中市中山路6號·電話：(04)22260330

GPN：2007700020 ISSN：1019-2603

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

目 錄

一、應用GPS反射信號建立波高量測系統……………1

李兆芳 國立成功大學水利及海洋工程系 教授
曾清涼 國立成功大學地球科學研究所 兼任教授
徐博賢 嘉南藥理科技大學應用空間資訊系 副教授
沈立忠 國立成功大學地球科學研究所 博士

二、透水混凝土鋪面設計導則之研究…………… 14

李明君 朝陽科技大學營建工程系 教授
邱垂德 中華大學土木與工程資訊學系教授
黃怡碩 朝陽科技大學營建工程系助理教授
顏 聰 朝陽科技大學營建工程系特聘教授
張道光 交通部運輸研究所研究員

三、台灣港務公司貨櫃運輸未來發展策略

——以鹿特丹港務公司為標竿學習的案例 … 24

許碧倫 基隆港務局業務組企劃科

四、臺中港北淤沙區防治對策方案研擬及灘線預測評估… 46

溫志中 弘光科技大學環境與安全衛生工程系 副教授
張憲國 國立交通大學土木工程學系 教授
蔡立宏 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 研究員
劉勁成 國立交通大學土木工程學系 博士後研究員
陳蔚瑋 國立交通大學土木工程學系 博士後研究員

應用GPS反射信號建立波高量測系統

李兆芳 國立成功大學水利及海洋工程系 教授
曾清涼 國立成功大學地球科學研究所 兼任教授
徐博賢 嘉南藥理科技大學應用空間資訊系 副教授
沈立忠 國立成功大學地球科學研究所 博士

一、緣起

GPS導航與定位系統，不但具有全球性、全天候、連續的精密3-D導航定位能力，給測量及其它使用者提供了全天候、即時的位置及時間資訊，所能達到的精度較以往任何導航及測量方法更高。因此，發展全球定位系統（GPS）已成為美國導航技術現代化的最重要目標。由於GPS操作簡便、迅速，成果精確，其用途甚為廣泛，除軍事國防用途外，GPS更可用在民用航空、航海、車輛車隊控制、油源探測、大氣、地球科學等，特別是協助交通運輸、環境、生態、森林、地質等。

一般GPS均為接收直接訊號並用

於各種定位應用，其定位精度可達公分，甚至公厘等級。唯近幾年來，由於GPS反射訊號之擷取具極佳的機動性且可以提供大範圍、高頻率、近似即時性、長期觀測、低成本的遙測資訊，故分析GPS的反射訊號（Reflected GPS signal, R-GPS）用以遙測地表資訊的技術，逐漸受到重視。其中R-GPS用來輔助水面水位、海面高程變化的量測，將對河川、海岸監測、整治管理提供極佳的觀測數據。

本文將對全球定位系統（GPS）與RGPS之特性及其實際應用於波形偵測，做一深入探討。

二、全球定位系統（GPS）之特性與功能

“授時與測距導航系統／全球定位系統”（NAVigation Satellite using Time And Ranging / Global Positioning System，簡稱NAVSTAR/GPS）一般通稱為「全球定位系統，或GPS」，是一套利用衛星訊號測量距離、時間的導航系統，乃美國國防部為其三軍，不管在地面、空中，甚至太空，

均能獲得同一參考系統精確定位、測速與定時而建立之工具。該系統從本世紀70年代初開始設計、研製，歷經20餘年，於1993年全部佈設完成，1994年正式全功能運作。

（一）GPS之發展概述

全球定位系統的前身為美國海軍導航衛星系統（Navy Navigation

Satellite System，簡稱NNSS），或稱為TRANSIT，是美國在蘇聯第一顆人造衛星Sputnik於1957年十月成功發射後，急起直追，於1958年12月由約翰霍普金斯大學應用物理研究所成立TRANSIT發展小組積極開發，於1964年一月正式運作，運行之初，僅提供其軍方船艦導航定位使用，直到1967年七月才開放給民間，一年後，真正民間使用之接收儀才上市。整個系統之運作，直到1996年才結束，至此全世界導航定位工作，才完全由GPS取代。

NNSS定位之主要原理，係利用衛星與地球間相互運動的關係，當衛星發射電磁波經大氣層到達地球時，即產生都卜勒效應（Doppler Effect），再依此計算兩者間之距離，如果此時衛星位置已知，則衛星接收儀位置亦可計算導出。衛星軌道之計算，係依據三個位於美國本土、一個位於夏威夷之衛星追蹤站，追蹤衛星軌跡計算而得。軌道之坐標系統是全世界一致之WGS-72，因此，衛星接收儀觀測所得之坐標系統亦屬全球相同。

通常，此系統由5-7顆衛星組成，為圓形之極軌道，分佈如鳥籠狀（如圖1），軌道高1075公里，環繞地球一週約107分鐘，地表上平均約35-100分鐘可見一顆衛星，惟視觀測者緯度而定，在赤道附近時等待衛星時間較久，反之，在兩極則等待時間甚短。另外，衛星傳送150MHz與400MHz載波，其上並調制導航與時間信號，供使用者定位。

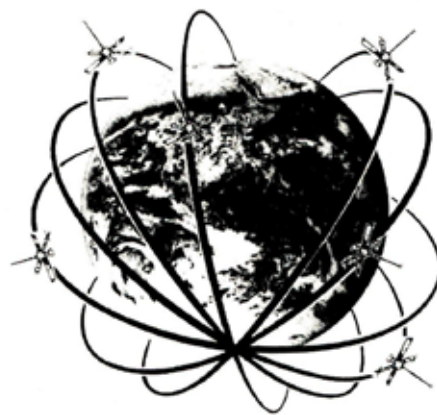


圖1 TRANSIT衛星之軌道

此系統設計之初，雖以全天候二十四小時皆可觀測與全球坐標系統一致為構想，惟因衛星數目太少、軌道分佈不理想，致使平均約35-100分鐘才可見一顆衛星，有時甚至達三個小時以上；另外，由於軌道太低，易受地球重力與大氣拖拉影響，致使軌道偏離，軌道位置精度不高；複因衛星必須一個接一個觀測，不能同時觀測多顆，致若欲達半公尺之相對精度，必須觀測達兩天以上，因此，在定位精度與速度上，均已無法滿足現今使用者之期望。

1963美國空軍為瞭解太空中之衛星系統如何作業，才能符合其導航之需求，而有所謂的621B計畫，1967年美國空軍開始尋求工業界在硬體上之支援；到了1972年，即曾以氣球攜帶信號發射器，模擬衛星傳訊至地面，進行定位工作，而且獲得50呎以上的精度。1973年此系統交由美國國防部接管，結合海軍開發的TIMATION（TIME And navigaTION）專案，擴大成為亦能提供民間測量定位之系統，合併後美國國防部將其改命名為

NAVSTAR/GPS。整個計畫共分成三個階段進行，第一個階段為所謂的觀念確認期，由1973年至1979年中期，主要工作為原型衛星（Block I）之研發；第二個階段為全方位發展與系統測試期，由1979年中期至1985年中期，主要工作為第二代衛星（Block II）之研發與原型衛星之部設、控制和功能測試。

第三個階段為進入量產期，由1985年中期至1989年底。

第一顆GPS原型衛星於1978年2月22日發射，接著至1985年底共先後部署了十一顆衛星，由第一個階段至第二階段初期，衛星分佈於傾角為 63° 之兩個軌道面，供測試之用，後因國防部預算遭裁減，整個計畫亦重新設計，決定衛星數目由24顆減為18顆（外加3顆備用衛星），另亦將三個

軌道面改為六個，軌道傾角為 55° ，不過修改後之衛星系統，並不如想像的理想，某些時段內的某些地區，衛星分佈之幾何強度不佳（此後又修正為21顆，外加3顆備用衛星）。第二代衛星共生產了28顆，整個系統本來計畫在第三階段起全部由太空梭部署，於1989年完畢，但因受到1986年太空梭挑戰者號爆炸事件影響，致使第二代衛星延至1989年二月才由泰坦（Delta II）衛星發射，整個計畫延至1994年三月第24顆衛星升空，才完成佈設；不過，若包含第一代衛星，則於1993年中，已初步完成24顆衛星之佈設。

綜合GPS衛星設計的發展，可分為Block I、Block II、Block II A、Block II R、Block II F五個階段，其發射概況如下表：

代別	衛星類型	衛星數量	發射時間	用途
第一代	Block I	11	1978~1985	測試用
第二代	Block II Block II A	28	1989~1994	正式工作
第三代	Block II R Block II F	12+8M 11	1997以後 2010.5.28	改進系統

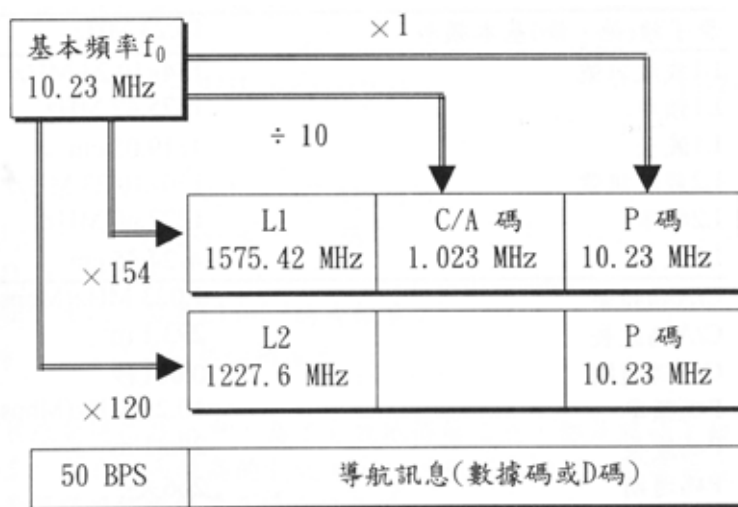
每一個GPS衛星可發射兩個L-band的電磁波來傳送各種訊息，L-band的電磁波為載波（Carrier Wave），以L1及L2表示之。Block II-F型衛星發射第三個L5-band的電磁波。每顆GPS衛星上面都設置有原子鐘，產生的基本頻率是10.23MHz，利用頻率綜合器產生所需要的頻率。以此基本頻率的不同倍數值所組成的虛擬隨

機噪雜訊（Pseudo Random Noise，簡稱PRN）。PRN有兩種，一種是C/A碼（Coarse/Acquisition Code），另一種是P碼（Precise Code）。並將之調制在L1及L2載波上，其中L1載波上調制C/A碼和P碼，L2載波上只調制P碼，但Block II R-M型衛星已調制L2C碼，而且增加軍用碼M-code。

載波上除了載有C/A碼及P碼

外還有衛星導航訊息（Navigation Message）。下圖為GPS衛星載波及調

制波示意圖，衛星訊號之基本資料如下圖所示。



GPS衛星訊號示意圖

圖2 GPS衛星載波及調制波示意圖

(二)GPS之特性

GPS衛星定位測量，係利用GPS衛星接收儀在地球表面上任何可對空通視之地點，接收GPS之衛星訊息，以計算接收儀坐標位置之快速測量方法。此法可應用于定位導航、各類測量、洲際聯測、及科學研究等方面。其定位之主要基本概念是假設由三個已知點的方向與距離，以三度空間（3-D）方式計算出自己本身的位置，至於距離的長短，則可由接收來自衛星信號的傳播延遲（Propagation Delay）來測定。

GPS衛星部署在離地球表面上約為二萬零二百公里上空的圓形軌道上，採用圓形軌道的目的，在於可增大地面可見範圍及增強全球均勻覆蓋。GPS衛星每十一小時五十八分即

能繞地球一周，在地球的任何角落，能隨時收到至少四顆以上衛星所傳送的電波，目前於台灣上空隨時可接收到七顆以上之衛星訊號，因此，吾人可藉此種電波的特性及衛星的位置，利用電腦算出自己的正確位置。

GPS的特點可綜合摘要描述如下：

1. 因衛星分佈均勻，可連續覆蓋全球地面，不會因為衛星運動，致使某些地區無衛星可用。由於GPS衛星的數目較多且分佈合理，所以地球上任何地點均可連續同步地觀測到至少4顆衛星以上。因而提供了全球、全天候連續地即時導航與定位。
2. 提供高精度之位置、速度與時間資訊。GPS可為各類使用者，連續地提供動態目標的3-D位置與速度，

以及時間等資訊。一般來說，目前單點即時定位精度可達3-8m，靜態相對定位精度可達0.1-0.01ppm，測速精度為0.1m/s，而測時精度約為數十億分之一秒（nanosecond）。隨著GPS測量技術和數據處理軟體的發展，其定位、測速和測時的精度將進一步提高。

3. 可近乎瞬間即時定位。利用GPS定位和測速，工作可在一秒至數秒鐘內便可完成，這對高動態使用者來說尤為重要。
4. 具抗干擾性與保密性。由於GPS採用了數字通訊的特殊編碼技術，即為虛擬隨機雜訊碼（Pseudo Random Noise, PRN）技術，因而GPS衛星所發送的信號，具有良好的抗擾性和保密性，惟此項特性正面臨挑戰，美軍亦正修改其信號結構，以增強其抗干擾性（Anti-jam）。
5. 衛星測量時，只需注意對衛星是否無遮蔽，觀測站之間則無須考慮是否通視。既要保持良好通視條件，又要考慮三角網的良好網形，這一直是傳統大地測量在作業方面的困難問題之一。GPS測量不要求觀測站之間相互通視，因而不再需要建立規標，此既可減少測量工作的經費和時間，同時也使點位的選擇變得更為靈活。但是，GPS測量雖然不要求觀測站之間相互通視，但必須保持觀測站上空開闊（淨空），以使接收GPS衛星的訊號不受干擾。
6. 雖然絕對精度在數十公尺間，即使使用精密星曆亦僅達數公尺，但相

對定位精度相當高，可達公分甚至公釐級。在小於50km的基線上，相對定位精度達 $1\sim 2\times 10^{-6}$ ，而在100-500km的基線上可達 $10^{-6}\sim 10^{-7}$ 。隨著觀測技術與數據處理方法的改善，可在大於1000km的距離上，相對定位精度達到或優於 10^{-8} 。

7. 觀測時間可依精度與基線長度決定，目前，完成一條基線的精密相對定位所需的時間，根據要求的精度不同而定，一般約為1-3小時。為了進一步縮短觀測時間，提高作業速度，對於快速定位方法的研究已受到廣泛的重視。近年來發展的短基線（例如不超過20km）快速相對定位法，其觀測時間僅需要數秒鐘。
8. 直接提供以地心為原點之三度空間坐標（3-D）。GPS測量時直接計算出精確3-D坐標，經轉換可得精確觀測站平面位置，亦可以精確測定觀測站的大地高程。此特點，不僅為研究大地水準面的形狀和確定地面點的高程開闢了新方法，同時也為航空攝影及導航中的應用，提供了重要的高程數據。
9. 儀器輕便，一般提供導航使用者輕便如手機，提供測量使用者亦僅數公斤，操作簡單。GPS測量的自動化程度，在觀測中操作員的主要任務只是安裝並開關儀器、量取儀器高及監視儀器工作狀態，而其他觀測工作如衛星的信號獲得、追蹤觀測等均由儀器自動完成。

三、RGPS之原理與特性

以GPS從事定位測量在信號處理時，通常會將多路徑效應（Multipath）或稱為反射信號，當作是雜訊，予以濾除，但根據Manandhar, et al. (2005) 強調，GPS反射訊號所隱含之資訊包括反射物體介質本身與來自於反射訊號特性之變化與反射物體特性，具密切關聯性。事實上，當信號從衛星發射時，屬右旋圓形偏極化波，當碰到物體反射後，即轉為左旋圓形偏極化波，因此若想要接收此兩類信號，則需裝置右旋與左旋天線。

近年來分析GPS反射訊號（Reflected GPS signal, R-GPS）去遙測地表資訊的技術逐漸受到重視，且由於RGPS具極佳的機動性且可以提供大範圍、高頻率、低成本的遙測資訊，依據相關論文文獻資料記錄、蒐集與分析，已成功的擷取來自地面與水面之微弱GPS反射訊號，並進行科學分析及應用之研究（Shen, et al, 2007）。

以GPS反射訊號解算水面高程模式可由圖3表示，透過入射角等於反射角等幾何關係，配合可以接收反射訊號的左旋天線收集反射訊號的資料，解算直接訊號右旋天線與反射訊號左旋天線坐標後，可以得到直接訊號坐標為 $(\text{Lon}, \text{Lat}, H)_{\text{RHCP}}$ 轉換成卡氏坐標 (X_d, Y_d, Z_d) ；同樣的在將反射訊號的左旋天線坐標 $(\text{Lon}, \text{Lat}, H)_{\text{LHCP}}$ 轉換成 (X_r, Y_r, Z_r) ，因為 $H_1 = H_2$ 可以知道接收

直接訊號的右旋天線到反射面的垂直距離，以及反射面到接收反射訊號的左旋天線垂直距離是相同的，所以天線離地面或海水面的反射面高度為

$$\Delta H = \frac{1}{2}(H_{\text{RHCP}} - H_{\text{LHCP}}) \cdots \cdots (1)$$

且海水面的高度坐標值為

$$H_{\text{surface}} = H_{\text{RHCP}} - \Delta H = H_{\text{LHCP}} + \Delta H \cdots (2)$$

其中

ΔH : 接收儀到反射面的高度

H_{RHCP} : 接收直接訊號的右旋天線高度坐標值

H_{LHCP} : 接收反射訊號的左旋天線高度坐標值

H_{surface} : 反射面高度坐標值

接收儀分別記錄右旋與左旋天線所接收到的GPS直接與反射訊號，其中包含了L1、L2、P1、P2等資料，至於解算GPS接收儀坐標反射信號之方式與直接訊號相同，亦即虛擬距離與載波相位測量，但是反射訊號非常微弱，在整個解算的過程中，先需搜尋4個或以上衛星之反射訊號虛擬距離解算接收儀坐標，接著處理相位觀測量，由於反射訊號微弱，使得L2接收困難，造成接收到的電離層與對流層延遲量大幅減少，但由於同一地點之電離層與對流層的延遲量，不管直接或反射訊號應該相同，因此在解算時若電離層與對流層延遲量異常，則可將右旋天線所接收到觀測量，作為解算左旋天線坐標之用。

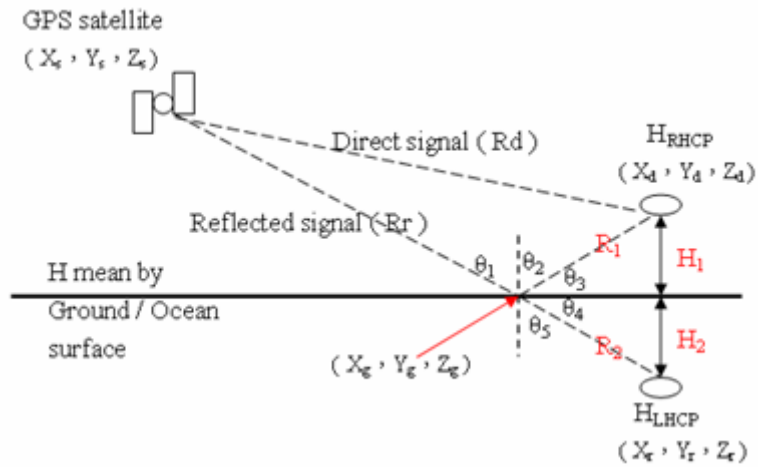


圖3 GPS反射訊號解算水面高程之幾何模式

四、RGPS之應用情形

近10年來，國際上有多位學者研究以RGPS應用於偵測海水表面高、水面流速、土壤及溼度等，現分述如下：

James L. Garrison與Stephen J.Katzberg (1997) 利用GPS衛星 L1_Band反射訊號偵測海水面高時發現，發現在鏡面反射的條件下，反射訊號結構與直接訊號相似，但唯有兩個部份不一樣：(1) 反射訊號隨機 (Randomly) 衰減，其衰減則依反射海水面的狀態而定。(2) 反射訊號電磁波形成反相的 (Reversed) 極化，也就是說GPS衛星訊號是右旋圓形偏極化波，將會顛倒成左旋圓形偏極化波。因此實驗時，將右旋圓形偏極化天線 (RHCP, Right Hand Circular Polarized) 設在航空器頂部接收GPS訊號，將左旋圓形偏極化天線 (LHCP, Left Hand Circular

Polarized) 設在航空器底部接收GPS反射訊號，測量海水面高並分析辨識海水與海岸線間邊界之分佈，並得到不錯之成果。

Martin-Neira, et al. (2001) 利用 RHCP (L1)與LHCP (1.2~1.5GHz) 天線結合MEM-500實驗模組與DA-500設備，在海邊之橋上進行水位觀測，其觀測量，由直接訊號與反射訊號之時間延遲值與反射角度、海面高度，形成幾何三角關係坐標，反射角度可低至 10° 、水面反射軌跡直徑為25-45公尺。以GPS反射訊號公式，將含有L1 C/A碼、C/N0觀測量積分，依反射路徑之實距來反推算海面高度，並獲得5個反射點位置及其海浪高度。Beyerle, et al. (2002) 利用美國NASA提供之特殊天線與接收儀，將CHAMP衛星反射訊號技術、GPS反射訊號追蹤與鎖定技術，結合美國GPS-1005接收

儀，以軟體設計方式，分析GPS反射訊號的相位觀測量。Manandhar, et al. (2005) 對GPS反射訊號的應用與分析，使軟體接收儀成為GPS反射訊號技術的新領域，GPS訊號I/Q之積分相關性技術，進一步處理C/A碼之直接與反射訊號觀測量，並從GPS之反射係數與地表地物介電係數，推導GPS反射訊號應用方向與地物識別理論公式。

Rivas and Martin-Neira (2006) 使用長7公尺之鋁管伸收桿安裝一組RHCP (L1)與一組LHCP(L1)天線，結合二套TurboRogue GPS接收儀實驗模組與SONY即時處理分析器設備，於橋樑上對海面海水位與海浪進行分析；另外在海面上放置浮漂 (buoy) GPS水位監測設備，接收之衛星如PRN 20衛星，其直接訊號與反射訊號關聯性積分結果，在時間延遲上有明顯差異，並產生周波脫落 (Cycle Slip)。以L1進行1,600秒之相位觀測，獲得之海面高程，可達到5公分精度。Helm, et al. (2006) 在海岸邊

架設GPS-1005接收儀，觀測位置之高度為250公尺；以GPS L1相位觀測其直接及反射訊號，進行海面之海流速度監控與海水面變化計算。接受儀所觀測GPS之直接與反射訊號，以OPENGPS軟體進行海面高度、海面海浪與水位等之計算，其中有3~4顆衛星之反射點軌跡距接收儀約2,400至5,800公尺。Michael, et al. (2007) 則使用GPS反射訊號，對地表濕土壤進行反射能力的分析，可識別地表農業地區之濕土壤成分與反射能力。Oleguer, et al. (2007) 以德國GPS-1005軟體技術結合美國之天線、儀器，開發CA碼之GOLD-RTR處理器，可即時遙測海面水位變化。

綜合上述說明GPS反射訊號應用與分析技術已進入國際合作、分工的階段，共同開發新產品與新技術，目的為使用成本較低之GPS遙感探測衛星取代部分SAR衛星之功能。本計畫實驗的技術，可提供作為取代海象雷達之功能，提供精確且穩定的遙測海面、海象關鍵技術應用。

五、中型水槽實驗過程與結果

首先，本研究在成功大學臺南水工實驗所斷面水槽內，先後進行前後兩次對波浪波形之測算，前一次為靜態水位測量，後一次為動態漸變水位，以驗證衛星接收儀及其軟硬體運作達到設計之目標，同時進行水面波浪之平均高程計算與應用衛星反射訊

號之反射點分析，以最小二乘法配合LAMBDA之演算，使量測高程精度提升至5公分，並與波高計記錄及水準尺水位量測進行比較。以驗證測量成果之精度。

本次實驗所使用之儀器簡述如下：

(一)大地測量型雙頻接收儀：SOKKIA L1/L2雙頻GPS接收儀，如圖4所示，型號為SOKKIA-2600，DL-4plus，FlexPak-G2L，OEM4-G2。



圖4 SOKKIA GPS雙頻接收儀

(二)右旋天線(RHCP，Right Hand Circular Polarization)：為Novatel廠，天線型號SK-600，作為接收GPS直接訊號之天線，如圖5所示。



圖5 RHCP天線

(三)左旋天線 (LHCP，Left Hand Circular Polarization)：為Novatel廠，天線型號H-601，作為接收GPS反射訊號之天線，如圖6所示。



圖6 LHCP天線

(四)作業時，天線、衛星接收儀等儀器與筆記型電腦之整合裝置如圖7所示。



圖7 R-GPS儀器系統架設圖

(五) 中型水槽進行靜水位與連續水位下降觀測實驗時之儀器架設與配置，如圖8所示。



圖8 RHCP/LHCP天線、水準尺在水工試驗所中型水槽之架設配置圖

在國立成功大學臺南水工試驗所之中型水槽，進行靜水位與連續水位下降觀測之實驗，其程序與結果分述如下：全部實驗過程為1小時，波高計以25Hz（0.04秒）記錄水位高，前一組採靜止水位實驗，取樣120秒共有3,000筆數據（ $25^{\text{筆}}/\text{秒} \times 120\text{秒}$ ）、水準尺為每1分鐘提供一筆水位讀尺記錄，與GPS以10 Hz觀測資料比較。後1組為水位穩定下降時之觀測數據，取樣3,600秒共有90,000筆數據（ $25^{\text{筆}}/\text{秒} \times 3,600\text{秒}$ ）。水準尺為每1分鐘提供

一筆水位讀尺記錄，用來與GPS以10 Hz觀測資料做比較。

(一) 靜態水位測量觀測結果比較分析

靜態水位測量觀測結果如圖9所示，RGPS反射點平均高程與波高計WH02水位量測值比較圖可以看出，由於反射點位置之大致相同，因為水面有風所造成水面小波之變化，這對計算會產生0.5~1.0公分之誤差。RGPS之量測水位值標準差為0.1公分、波高計水位量測值之標準差為0.2公分

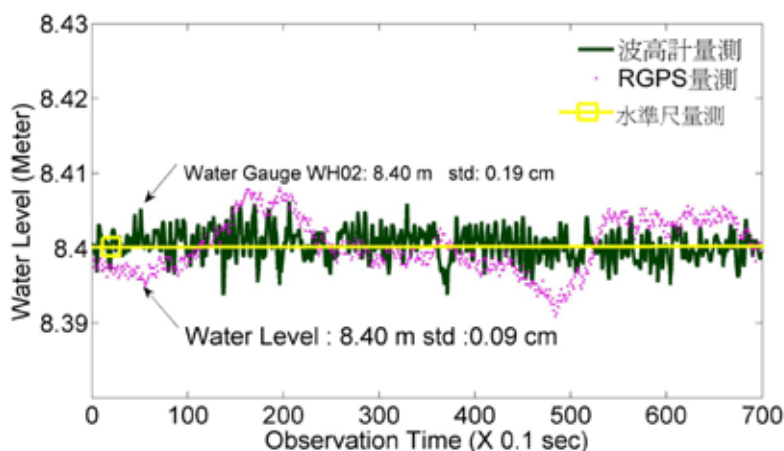


圖9 中型水槽靜態水位測量觀測，RGPS水位變化與HW02（10Hz）波高計水位量測值與標準差值比較圖

(二) 動態穩定漸變水位觀測結果比較分析

中型水槽動態穩定下降水位，以RGPS測量之反射點平均高程與波高計WH01水位量測值比較圖，如圖10所示，由圖中可以看出，RGPS之水位高程值與水準尺量測值誤差約為1.0公分、而波高計水位量測值與水準尺量測值之誤差1.8公分。

在1小時之實驗結果中，RGPS之水位高程值、波高計水位量測值與水

準尺量測值均下降30公分，誤差維持在0.5公分內。

由中型斷面水槽實驗之分析得知，其靜水位觀測結果，RGPS之量測值與水準尺誤差在1.0公分，而波高計水位量測值與水準尺量測值之誤差則在0.5公分。至於水位持續下降之觀測，RGPS之量測值、波高計水位量測值與水準尺量測值之趨勢則相當一致。

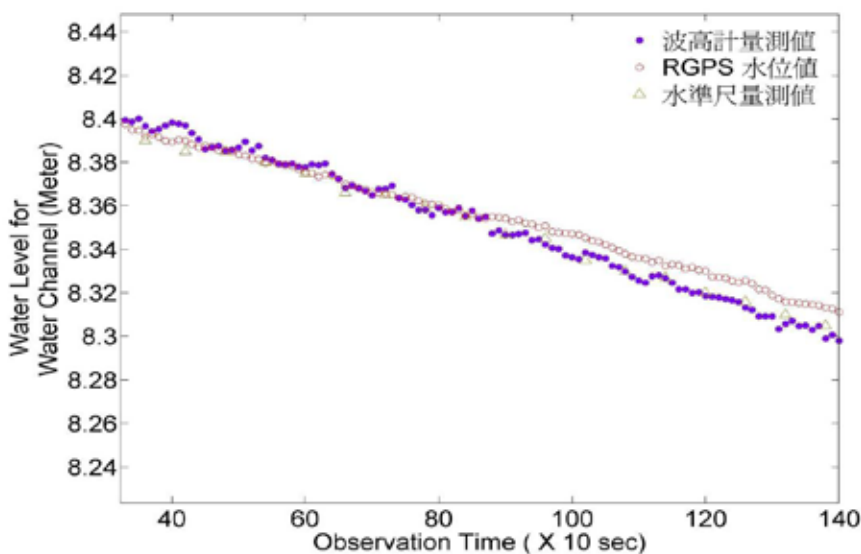


圖10 中型水槽動態水位穩定下降時，RGPS、水準尺與HW01（0.1Hz）波高計水位量測之水位變化值比較圖

六、結果與討論

本次雖然以RGPS技術，在斷面水槽上進行實驗，加上租用儀器等硬體設備之限制，但在中型斷面水槽進行靜止水面觀測，以及1小時連續下降水位30公分觀測，結果與波高計和水準尺之量測作比較，顯示有很大的一致

性，偏差在0.5~1.0公分。

由於衛星定位測量的便利性與精確性，本研究初步利用GPS直接訊號和反射訊號RGPS進行波浪水位觀測，所得結果在精確度和一致性上均顯示未來應用相當有潛力。

參考資料

1. Beyerle, G., K. Hocke, J. Wickert, T. Schmidt, and C. Reigber, "A GPS radio occultations with CHAMP: A radio holographic analysis of GPS signal propagation in the troposphere and surface reflections," *Journal of Geophysical Research*, Vol. 107, No. D24, 4802, doi:10.1029/2000JD001402, 2002.
2. Helm, A., U. Wetzell, W. Michajljow, G. Beyerle, C. Reigber, and M. Rothacher, "Natural hazard monitoring with L1 carrier phase delay observations of reflected GPS signals: The 2005 dam failure event of Merzbacher glacier lake," *Proceedings of ION GNSS*, 2006.
3. Joosten P., "Integer ambiguity estimation using LAMBDA (basic version) for MATLAB", MATLAB software supply, Mathematical Geodesy and Positioning Delft University of Technology, 19-MAY-1999.
4. Katzberg, S.J. and J.L. Garrison, "Utilizing GPS to Determine Ionospheric Delay over the Ocean," *NASA Technical Memorandum* 4750, December 1996.
5. Manandhar, D., R. Shibasaki, and H. Torioto, "Prototype software-based receiver for remote sensing using reflected GPS signals," *Proceedings of ION GNSS*, 2005.
6. Martin-Neira, M., M. Caparrini, J. Font-Rossello, S. Lannelongue, and C. Serra Vallmitjana, "The PARIS Concept: An experimental demonstration of sea surface altimetry using GPS reflected signals," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 39, No. 1, January 2001.
7. Michael, S. G., T. A. Scott and J. K. Stephen, "Terrain Moisture Classification Using GPS Surface-Reflected Signals," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 4, No. 1, January 2007.
8. Oleguer, N., C. Estel, G. Josep, and R. Antonio, "A GPS-reflections receiver that computes doppler/delay maps in real time," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 45, No.1, January 2007.
9. Rivas, M. B. and M. Martin-Neira, "Coherent GPS reflections from the sea surface," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol. 3, No. 1, January 2006.
10. Shen, L.C., C. L. Tsai, J.C. Juang, and C.L. Tseng, "Applications of an Integrated GPS Receiver for Reflected GPS Signals L1/L2

observation Techniques with Remote
Sensing Ocean Altimetry and Ground
Object Detection," Geoscience and

Remote Sensing Symposium, IEEE
International 4991- 4996, 2007.

透水混凝土鋪面設計導則之研究

李明君 朝陽科技大學營建工程系教授
邱垂德 中華大學土木與工程資訊學系教授
黃怡碩 朝陽科技大學營建工程系助理教授
顏 聰 朝陽科技大學營建工程系特聘教授
張道光 交通部運輸研究所研究員

一、前言

交通部運輸研究所為改善交通運輸行車安全和解決上述雨水資源流失、環境生態破壞及熱島效應日益擴張之問題，參考歐美各國及日本近年來所研究鋪設推廣的透水混凝土，於民國九十五年起，委託國內學術單位針對透水混凝土應用於交通工程進行試驗與研究，研究內容包括(1)國內外應用發展現況調查分析；(2)透水混凝土基本組合材料之調查分析；(3)實驗室配比研究及試體製作與試驗；(4)透水混凝土技術推廣應用之可行性評估；(5)建立透水混凝土之製程與試驗標準；(6)驗證透水混凝土之最適配

比；(7)停車場進行現地施作，以驗證透（排）水效果；(8)評估透水混凝土應用於交通工程設施之總類及適用性；(9)舉辦教育訓練課程。並於98年起，委託國內學術單位針對透水混凝土應用在港灣構造物設施與公路路面成效評估之研究，其第二年研究內容包括：(1)路面試鋪透水混凝土配比設計與試拌作業，(2)路面試鋪施工作業執行，(3)路面試鋪成效評估作業，(4)實驗室模擬海堤之波浪溯升現象，(5)研擬試鋪公路路面設計透水混凝土導則初稿^[1]。

二、透水混凝土與熱島效應回顧

目前國內以打造永續台灣為未來努力的目標，為解決水資源流失、環境生態破壞及熱島效應擴張，熱島效應產生的原因就是都會地區的形成與過度開發，大量的樹木被砍伐，綠地被剷平，成為高樓大廈與不透水鋪面，原本植物吸附二氧化碳與煙塵的

作用，因為綠蔽率的大幅降低，使得其功效變得微乎其微，大幅影響自然環境^[1,2]。根據研究顯示，1公頃樹木每年可以吸收67公噸灰塵，即使是同面積的草坪，也可以吸塵20公噸左右，但放眼今日國內大都會之中，如能有1公頃大的綠地，已經成為一種難

得而奢侈的景象^[3]。

都市綠地的稀有化，正代表著土壤含水量的喪失。本來是該彌補地下水的落雨，如今順著不透水瀝青路面流進排水系統，又排放出海，土地與地下水得不到應有的水分，更無法發揮調節氣候的功能。在多雨的台灣，水資源問題卻仍困擾著我們，過度開發造成的水土失調問題，值得深思熟慮^[2]。綠地以及其功能消退的同時，都會區車輛所排放的熱、建築空調所排放的熱、煙霧效應等等的加總，使得城市越來越熱。熱島效應的產生不分地區，對世界各大都會區均造成一定的影響，例如：空氣品質惡化、氣候不穩定，雷雨的比例增加（都市熱上升，造成冷空氣對流）、能源耗用增加、生活品質降低等等。對於雷雨的比例依據研究顯示過去45年來，台北地區受到「熱島效應」顯著增溫的影響，雷雨發生次數增加了70%，夏季雨量更遽增了80%^[3]。

解決熱島效應之道，主要在於降低人為排放的熱量，與加強自然環境的調節功能。在人為排放熱量的部份，主要可以採用能源管理、交通計畫、民生管制等方式執行，但是對於已成為既定模式的都市運作來說，推動這樣的計畫，有其一定困難性。人為排放的執行有所困難，重建綠色的都市就顯得更為重要，推行綠化工作與透水化的都市工程，是最主要的兩個方向。在都市綠化上，廣為植被樹木，提升綠蔽面積，降低路面的吸熱，並且吸附煙塵以及二氧化碳。在

透水化上，各類設施多加採用透水性的鋪面，使雨水回流地表；建築物等無法透水的設施，則可以使用雨水回收系統達成保持水分的目的^[3]。本文針對上述研擬本土化透水混凝土鋪面設計導則初稿，內容包括：(1) 前言，(2) 透水混凝土鋪面的結構設計，(3) 透水混凝土鋪面的水力特性設計，(4) 設計例。

透水混凝土是具有特殊性能的材料，與一般水泥混凝土或其它鋪面材料不太相同。透水混凝土的特性在近幾年才開始進行大規模的實驗與研究，其性質大致上容易量測與掌控。過去的一些實務經驗顯示，在合宜的路基土壤、適當的材料，搭配正確的施工方法而完成的透水混凝土鋪面，有不少服務達20至30年的案例。透水混凝土鋪面的設計原則與一般混凝土鋪面相同，需考慮路基土壤的承载力、預計承載的交通荷重、採用材料的性質、及服務性能與年限，從而求出需要的混凝土版厚及可能的基層材料。設計上，較為特別的是，除前述結構性能考量外，還要額外考慮透水混凝土鋪面的水力特性（hydraulic consideration），也就是該鋪面結構材料是否能符合設計者對暴雨侵襲時，期望能發揮「降低地表逕流」的效果^[4]。

資料顯示透水鋪面的失敗率較高，75%在二年內就失去作用；最近的資料則顯示，若以水混凝土做為透水鋪面的材料，則成功率較高^[4]。

三、透水混凝土鋪面設計導則之研擬

0-1 不宜設計透水鋪面的兩種場合：

1. 交通荷重大之部位：透水鋪面之結構不緻密，且底下土壤常處於飽和狀態，無法承受大荷重。
2. 有過多污染活動之地點（Storm water Hot Spots），如動植物批發場、汽機車回收場、加油場站、倉庫、工業場站、船埠、保養場、洗車場、油槽附近場站等，由於污染物可能沖入孔隙內造成阻塞，而使透水鋪面失去功能。

0-2 透水鋪面的選址原則：

1. 基地土壤的透水率需達1.3cm/hr。
2. 暫貯水碎石級配層的底面應為水平面，以使貯水可由整個面上滲入土壤中。
3. 基地位於工業區附近時，至少應距飲用井33公尺，比最高地下水位高0.6至1.5公尺。
4. 交通量為低至中等，住宅區內之小道或停車場較佳。

0-3 被動與主動降低逕流量：被動降低逕流的透水鋪面，係指單純用透水混凝土取代原不透水面；而主動降低逕流的透水鋪面，則為除此之外，還期待以所設計的透水鋪面，協助處理周遭不透水面排入的雨水。

(一) 透水混凝土鋪面的結構設計

透水混凝土鋪面的結構設計，可採用傳統的剛性路面設計法，例如工

程界常引用的AASHTO法及PCA法，這些方法的主要考量因子相同，包括路基土壤性質、基底層材料性質、水泥混凝土的性質、及交通荷重等。

1-1 路基與基底層材料性質：依照路基土壤的狀況不同，一般透水混凝土鋪面都會設計約15至30公分厚的透水性基底層。傳統剛性鋪面設計的路基與基底層材料，其強度參數是「路基土壤反力值（Modulus of Subgrade Reaction，k值）」；路基土壤之簡易類別與其概估的k值，如表1所示。除了路基土壤判定為黏土質時需另行考量外，基底層材料的最大粒徑為1英吋。按表1中土壤承载力之估算，基底層與路基土壤組合後的複合路基土壤反力值要求，一般建議150pci至175pci之間，且不必超過200pci。當路基土壤的承载力較高，若以砂質及礫石為主且沒有塑性土壤，則可不必設計基底層，直接在其上設計透水混凝土版即可。

1-2 黏土質高膨脹性路基土壤：遇到黏土質高膨脹性路基土壤時，應挖除改用粒徑較粗的砂質土壤，而且最好在其上再設計砂及開放級配粒料層，以提高承载力及基底層蓄水能力；另視土壤狀況，有時還需以工程織布阻絕碎石層與細質土壤。圖1為標準的透水混凝土鋪面斷面示意圖^[4]。

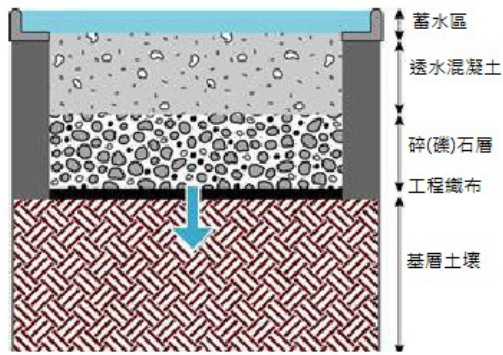


圖1 一般透水混凝土鋪面斷面^[4]

1-3 水泥混凝土的性能：主要指混凝土的抗彎強度。理論上，採用透水混凝土時可以比照引用，但因透水混凝土抗彎強度的試驗變異性大於一般水泥混凝土者，直接量測透水混凝土的抗彎強度做為設計依據，較難以代表工地實際狀況，建議引用混凝土抗壓強度與抗彎強度的關係，由量測所得透水混凝土抗壓強度，換算成抗彎強度（破裂模數）做為透水混凝土材料的強度代表值。不同配比的透水混凝土，在抗壓強度、破裂模數、單位重、空隙率等性質的差異可能很大，應對預定採用的透水混凝土特性有所瞭解，這些性質方可採用於鋪面結構設計上。

1-4 交通荷重：預計承載的交通荷重，可用標準軸重當量（ESAL）、平均日交通量（ADT）、或是平均日重車量（ADTT）表示。由於重車對透水鋪面的破壞性較大，估算預計承載的重車量相當重要；一般重要且交通頻繁的地區，不建議採用透水鋪面設計。

1-5 服務性（Serviceability）、路肩、路緣石及綴縫筋：若採用

AASHTO剛性路面設計法，其服務性的選用，可以比照一般混凝土鋪面；若設計有路肩或路緣石時，也可比照傳統方法，計入側向支撐的效果；至於溫縮縫的荷重傳遞效能，透水混凝土只依賴鋸縫後的粒料間契合力，而不使用綴縫筋，因此，不會有綴縫筋的效能。

1-6 最常採用的透水混凝土鋪面結構：一般透水混凝土鋪面只使用在輕交通量處，按AASHTO法設計之低交通量混凝土版，大都在5英吋至7英吋之間，而一般混凝土版停車場之厚度設計則以4英吋居多。有鑑於透水混凝土之強度較低，一般建議增厚50%，故一般透水混凝土停車場之版厚為6英吋（15公分）。若路基土壤為透水性高的砂質土壤，也可不設計碎石基底層，但因透水混凝土下的土壤常處於水飽和的狀態，碎石基底層將有提高承载力，減少凍融侵蝕的效果。最常用的基底層厚度為15至20公分。如圖2所示。



圖2 最常採用的透水混凝土斷面結構^[4]

(二) 透水混凝土鋪面的水力特性設計

2-1 設計透水鋪面時，大都只考慮局部區域而不考慮整個流域，也不必進行複雜的水文水理計算。透水鋪面的水力特性設計，主要是考量設計

雨型發生時，不可因透水混凝土的透水性不足，或是透水鋪面整體的蓄儲水量不足，而使表面逕流量高於設計值。

2-2 由於透水混凝土的透水率至少有0.2cm/s，即每小時可流過3600mm的雨量（已超過平均年雨量2500mm），因此，基底層或路基的透水性，很可能是透水鋪面能否具有需求透水性的關鍵。一般滲透係數超過1.3cm/hr（只要是砂質土壤皆可符合）者，都可符合使貯留在透水鋪面中的水滲入土壤中的目的，但透水性較低者，將使貯留時間較長，在設計上則要求透水鋪面設計之貯水量能在5天內滲入土中。

2-3 土壤依水力特性分類（Hydrologic Soil Group, HSG）時，可區分為HSG A（砂土、壤土質砂、砂質壤土）、HSG B（粉質壤土、壤土）、HSG C（砂質黏壤土）、及HSG D（黏土質壤土、粉質黏壤土、砂質黏土、粉質黏土、黏土）等四類，其透水率高低大小依序為HSG A>HSG B>HSG C>HSG D。若要作初步計算評估，可以參考表1數值。若要作初步計算評估，可以參考表2數值。

2-4 透水混凝土鋪面的透儲水能力：貯水量會受到透水鋪面有效孔隙比（effective porosity）的控制，設若孔隙比為15%，每1cm厚可貯水0.15cm；基層部分，若採用細料很少的碎礫石基層，有效孔隙比可高

達40%，而傳統的碎石級配料則可能只有20%。如圖3所示。

表1 土壤的水力特性分類及其透水率範圍^[4]

HSG	土壤紋理	透水率 (cm/hr)
A	砂土、壤土質砂 砂質壤土	>0.75
B	粉質壤土、壤土	0.38~0.75
C	砂質黏壤土	0.013~0.38
D	黏土質壤土 粉質黏壤土 砂質黏土 粉質黏土、黏土	<0.013

表2 進行初步計算評估採用的土壤透水率（cm/hr）^[4]

一般土壤分類	透水率
砂質土壤	1.3~2.5
粉土質土壤	0.3
黏土質土壤	0.03

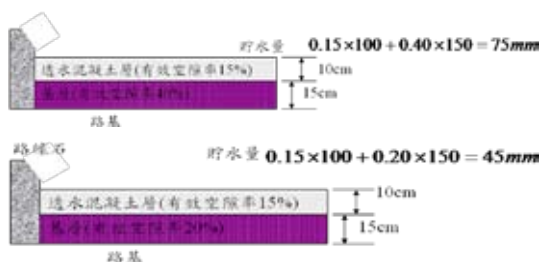


圖3 不同孔隙比基層對透水鋪面儲水量之影響示意圖^[4]

2-5 縱向坡度對儲水能力的影響：縱向坡度對儲水量的影響相當大，如圖4，以300公尺長的道路簡單計算，縱坡1%時，代表兩端高差為30公分，若透水層的厚度為15公分，則與縱坡為0%的狀況相比，

透水層的儲水能力驟降為水平狀態的25%。因此，在有坡度的路面適當長度，應設置底層排水，且為降低高速流動的水對底層的沖刷，應增加地工織物層保護。

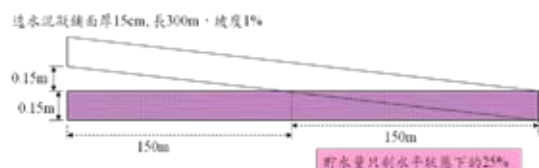


圖4 道路縱向坡度對透水層的儲水量之影響示意圖^[4]

2-6 縱坡提高儲水量的方法：透水鋪面不必設計路拱坡度，且最好擺設在平坦的地區，若有縱向坡度設計時，應以基底層級配墊出坡度或設置透水井、阻水溝等方式來提高儲水量，如圖5所示。

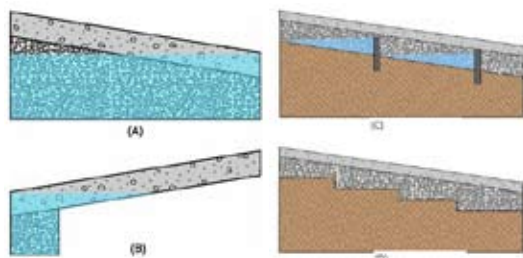


圖5 縱坡提高儲水量的方法示意圖
(A：碎石級配層墊高、B：設置集水井、C：設置阻水堤、及D：梯形級配)^[4]

2-7 路基土壤的入滲能力可以提高透水鋪面的儲水能力：暴雨期間降雨及附近的逕流會進入透水鋪面，而進入鋪面系統中的水，也同時經由路基土壤的入滲而流失。如圖6所示，若透水混凝土厚150mm，孔隙比為15%，約可儲存23mm的降雨，假設在某一時間點，該鋪面系統已經累積儲存了5mm的水量，

而在未來1小時內將有20mm的水透入，則如圖6(A)所示，若沒有任何水滲入路基土壤中，則會在表面上出現2mm的逕流；若是路基土壤的入滲率為每小時13mm，則如圖6(B)所示，只會有7mm的水透入，低於該鋪面系統的儲水量，不會產生表面逕流。雖然蒸發也有助於提高儲水量，並有適當的計算方法，但一般基於方便計算及不計蒸發較為保守，而將蒸發忽略。

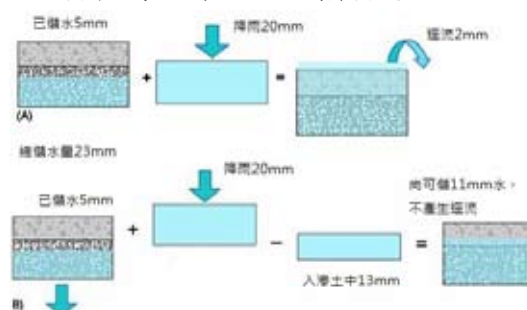


圖6 路基土壤的入滲能力可以提高透水鋪面的儲水能力示意圖^[4]

2-8 以「2年暴雨」為設計暴雨：雨愈大會產生愈大的表面逕流，暴雨本身也是一種動態的分佈，有不同的雨型、降雨強度、及不同的降雨持續時間。愈大的暴雨出現的頻率愈低，一般以暴雨的再現期表示暴雨量的大小。例如平均20年會出現一次的暴雨，稱為「20年暴雨」，「20年暴雨」一定大於「10年暴雨」。在暴雨排水系統設計時，常引用「10年暴雨」做為設計的依據。由於透水鋪面不是用來控制水患，一般用「2年暴雨」設計即可，不必以「10年暴雨」來設計。圖7為地區降雨資料整理所得的降雨強度——延時——頻率

(Intensity-Duration-Frequency, IDF) 曲線例，由2年頻率的曲線，即可查得設計透水鋪面所需的降雨強度（時雨量）及延時的數據。

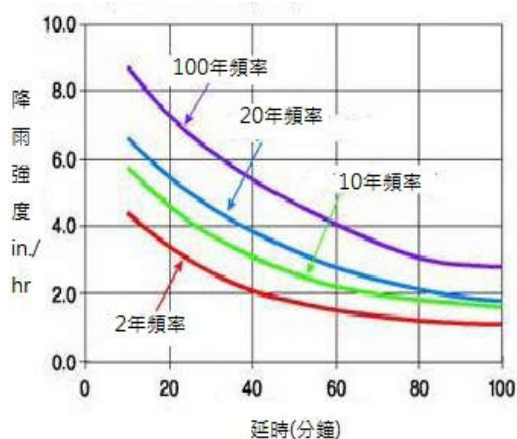


圖7 降雨強度—延時—頻率 (IDF) 曲線^[4]

2-9 估算表面逕流量的「曲線數法 (Curve Number Method)」：此法為自然資源保護服務 (Natural Resource Conservation Service, NRCS) 建議，以降雨量及滯洪面積的曲線數 (Curve Number, CN) 估算設計暴雨之24小時總逕流量 Q^* ，採用公式如下。

$$Q^* = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

其中

Q^* 為總逕流量 (mm)

P 為預估的總降雨量 (mm)

S 為土壤滯留水量 (mm)

S 計算方式為 $\dots\dots\dots$ 式(2)

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \times 25.4$$

CN 為基地的曲線數

2-10 採用NRCS的CN法時，一般以2年暴雨之24小時降雨量，做為主動式透水混凝土鋪面的儲水能力計算。由於流域滯洪池的設計是以10年暴雨的24小時降雨量做設計，2年暴雨的24小時降雨量代表滯洪池的一般服務雨量，以此種雨量設計的透水混凝土鋪面，大都要再整合入較大的流域系統，以10年暴雨的24小時降雨量做成效檢查。

2-11 雨型（時雨量分佈）的考量：設計2年暴雨的24小時雨量，為了考慮入滲土壤的水量，時雨量的分佈也很重要，有時可以依據地區降雨特性，分別考慮設計暴雨的最大時雨量、2小時最大雨量及6小時最大雨量等。

2-12 NRCS提供有不同土壤（例如HSG A至HSG D）上，不同被覆狀態下的CN值表供選用，當CN為100時，代表降下來的雨全部都成為逕流，由於再不透水的表面都會多少吸附一些水量，故一般CN最大不超過98。依土質之不同，一般沒有覆蓋面（75%以上長草）的CN值在39至80之間。

2-13 分析的面積依主動式透水鋪面設計或被動式透水鋪面設計而不同：主動式設計應該涵蓋建築物的覆蓋面、不透水面、不透水重車道、鄰近的自然覆蓋面如安全島及其它植栽面積等；被動式透水鋪面設計，只要考慮透水鋪面本身的面積，預多加入週緣的路

鏈石及裝飾面。

2-14 設計暴雨每一小時的降雨量及由鄰近不透水面流入的逕流量，扣除滲入透水鋪面下土壤的水量後，必需儲存在透水鋪面系統中。以設計雨型連續計算24小時，若累積的水量超出透水鋪面的儲水量，則產生逕流。透水鋪面底下土壤之入滲對逕流量的影響也是分析的重點，只要透水鋪面中儲有水，就會有水繼續滲入底下的土壤中，直到透水鋪面的水都滲出，也就是回復到透水鋪面該有的100%儲水能力；此一回復時間，為代表透水鋪面成效的重要指標。尤其是在基地土壤較差時，回復時間過長，是主動式透水鋪面的成效致命傷，一般希望回復時間少於5天。如果回復時間超過5天，就應該設計暴雨排水設施，在這種情形下，考量降雨初期水質的淨化效果，設計透水鋪面還是很重要。

2-15 採用CN法分析，至少要輸出兩項數據，亦即以mm為單位的總逕流量及以天為單位的回復時間。用分析的總面積，可以將總逕流計算為立方公尺

2-16 估算表面逕流的「合理化公式法（Rational Method）」：此法估算設計暴雨在延時15或30分鐘時的最大逕流量，採用公式為：

$$Q=CIA$$

Q ：最大逕流量（ m^3/sec ）

A ：考慮的流域面積（ m^2 ）

I ：關鍵時間點的降雨強度（ mm/hr ）

C ：逕流係數（依表面透水情形而變的0至1的小數），一般鋪面的 C 值為0.98。

2-17 逕流係數是流域內各類表面逕流係數的加權平均值：例如某一流域中，若45%面積的 C 值為0.60，15%面積的 C 值為0.95，40%面積的 C 值為0.75，該流域的平均 C 值為： $0.45 \times 0.60 + 0.15 \times 0.95 + 0.40 \times 0.75 = 0.71$

2-18 以「合理法」估算表面逕流時，透水混凝土依照其透水性質之差異， C 值在0.05至0.35之間，建議可用表3選用。

表3 透水混凝土之逕流係數^[4]

透水率（cm/hr）	逕流係數 C
≥ 2.5	0.05~0.10
1.3~2.5	0.10~0.20
0.3~1.3	0.20~0.35

(三) 設計例^[4]

本設計例考慮之打算開發基地，其不透水面包括建築面積及不透水路面共14,000平方公尺，其中，不透水路面主要是進出貨區、彎道、及聯外道路等重載鋪面區，打算以基地中開闢28,000平方公尺的透水混凝土停車場，來容納主建築之排水量，及基地區內安全島、植生坡地、及其它未開發區共19,000平方公尺的逕流量。預計採用的透水混凝土鋪面厚150mm，孔隙率為15%，基底層採用200mm厚的清碎石，夯實後的孔隙率有40%。設計的2年暴雨為100mm，10年暴雨則為150mm。

由於納入分析的總基地面積為61,000平方公尺，區內用可能的四種土質先用式1及式2計算開發前的逕流狀況如表4所示。

表4 設計例開發前的逕流狀況^[4]

狀況	HSG	CN	設計2年 暴雨量 100mm	設計10年 暴雨量 150mm
1	A	39	1.0	12
2	A	39	1.0	12
3	B	61	21	51.0
4	D	80	52	96.0

先假設所有停車場都是不透水面，依據開發基地內的土質狀況及開發的面積，先計算開發後的基地CN值，用不同土質開發面之面積加權平均求得，如表5所示。表5亦將這四種狀況的CN值，用式1及式2計算開發後的逕流量。由表5可知若沒有採用透水混凝土停車場，則逕流量會有相當明顯的增加。

表5 設計例開發後未設透水混凝土停車場之逕流量（mm）計算^[4]

狀況	HSG	CN	設計2年 暴雨量 100mm	設計10年 暴雨量 150mm
1	A	80	51	97
2	A	80	51	97
3	B	87	66	114
4	D	93	81	132

表6是依據不同的土壤狀況，估算的土壤入滲率，將滲入土壤中的水量加以計算，配以表7初估的鄰近區域的CN值，可以綜合計算得開發後且加入

透水混凝土停車場後之逕流量如表8所示。對照表2及表8可知，無論是以2年或是10年暴雨為設計基準，採用15公分透水混凝土，搭配20公分碎石底層的透水鋪面設計時，可有效地將開發的逕流量降回開發前的狀況，不會因開發案而大幅增加逕流量。

表6 設計例之土壤入滲量估計^[4]

狀況	土壤類別	HSG	土壤入滲率 (cm/hr)
1	砂質土	A	2.5
2	粉質砂土	A	1.3
3	砂質粉土	B	0.3
4	砂質黏土	D	0.03

表7 設計例中鄰近區域的CN值估算^[4]

狀況	HSG	開發後鄰近 景觀區之CN
1	A	49
2	A	49
3	B	69
4	D	84

表8 設計例中開發後且加入透水混凝土停車場後之逕流量計算^[4]

逕流量 (mm)		2年暴雨量 100mm		10年暴雨量 150mm	
狀況	土壤 入滲率 cm/hr	無底層	200mm 底層	無底層	200mm 底層
1	2.5	8	0	28	0
2	1.3	18	0	38	2.5
3	0.3	43	5	89	51
4	0.03	76	38	124	66

參考文獻

1. 李明君、顏聰、邱垂德、黃怡碩 (2010)，「透水混凝土應用在港灣構造物設施與公路路面成效評估之研究(2/2)」，交通部運輸研究所研究計畫期末報告。
2. 何明錦、林子平，「都市地區熱島效應退燒策略研究」，內政部建築研究所研究計畫成果報告，2008。
3. 林志棟，陳世晃，簡婉芸，王信越，「透水性鋪面於熱島效應上之成效」，第七屆鋪面材料再生學術研討會，建國科技大學，2006。
4. Leming, M. L., Malcom, H. R., and Tennis, P. D. (2007), Hydrologic Design of Pervious Concrete, EB303, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, USA.
5. 金文森，李明君，「綠色營建材料與熱島效應」，中國土木水利工程學會會刊，第三十八卷，第一期，第29-35頁，2011。

台灣港務公司貨櫃運輸未來發展策略 ——以鹿特丹港務公司為標竿學習的案例

許碧倫 基隆港務局業務組企劃科

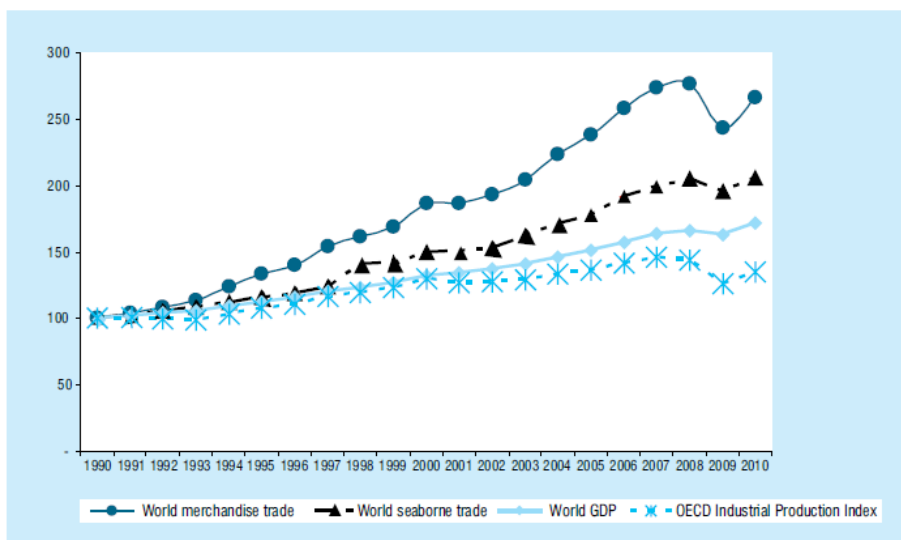
壹、前言

港務局將於2012年改制為港務公司。本研究自產業分析、強化港埠競爭力、成為區域樞紐港、及走向全球性場站經營者之路徑來探討港埠未來的發展方向。

過去20年間與貿易相關的成本如運輸、通信、關稅、非關稅等相關貿易障礙明顯地降低，先進科技的採用

與貿易政策的鬆綁帶來全球雙邊或多邊貿易量的增加。

海運貿易在全球貿易上扮演極重要的角色。海運貿易量自1990至2009年間呈現持續成長的趨勢，除2009年因全球金融海嘯造成貨物運輸量急劇減少。詳見下圖(一)。



圖(一) 全球商品貿易指數及全球海運貿易指數

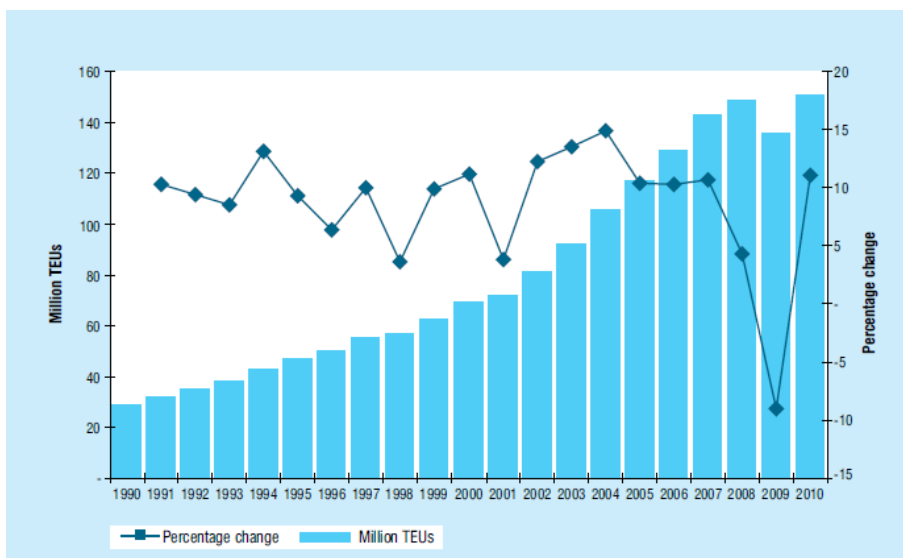
全球海運吞吐量每年成長9.3%，約為同期全球商品及服務貿易總額的1.6倍。海運貿易倍數的成長主要來自商品運輸的貨櫃化。由於貨櫃的易裝卸及運輸的優點讓傳統海運運輸由單

一的點對點（Point to Point）運送轉變為可拆解的運送流程，帶動海運航線的重新配置及運輸網路的重整，同時也使得貨物自港口運輸到內陸的流程簡易化，促成了海運貨櫃的快速成

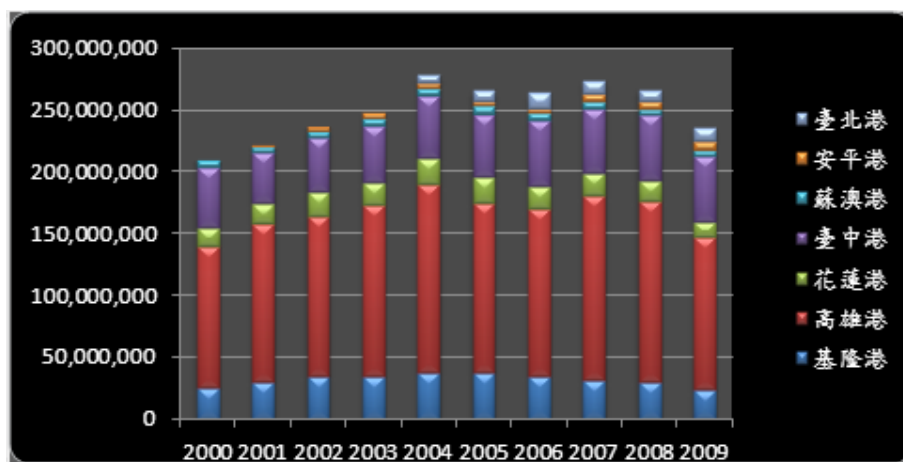
長。詳見圖(二)1990~2010全球海運貨櫃量。

然而相對於全球海運貨流的快速成長，整體台灣港埠的貨物吞吐量並

未有等量的成長。這也成為台灣港務公司成長的隱憂。詳見圖(三)台灣地區各港海運貨物運輸量。



圖(二) 1990~2010全球海運貨櫃量



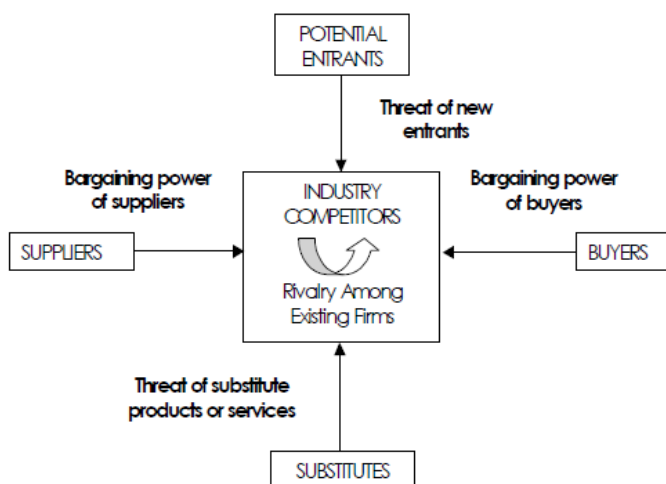
圖(三) 台灣地區各港海運貨物運輸量 (噸)

貳、產業分析

一個公司的競爭地位及獲利狀況和其產業具有密不可分的關係。一個高度競爭的產業會將產業帶向完全競爭將整體產業獲利拉低。產業分析為公司所面臨的經營環境的外部分析。產業環境的變動將使公司於市場地位同時變動。當產業的獲利向下時並不意味著在同一產業中的每一家公司獲利都會降低，而是公司必須透過其核

心競爭能力、商業模式及網絡讓自己獲取高於產業的利潤。

以下為根據哈佛大學教授Michael Porter產業競爭的五力分析來探討港埠業所面臨的經營環境。產業經營時面臨來自供應商、買方、替代品及潛在競爭者與現行產業內的競爭，這五方面的力量，如下圖(四)。



圖(四) 五力分析模型 (Michael Porter, 2009)

一、供應商 (SUPPLIERS)

身為海陸運輸交會的介面，對港埠經營者而言，主要供應商為具有貨物運輸需求的業者或為其提供服務的貨物運輸承攬業者。由於進出口港埠商品業者眾多，為其服務的貨物運輸承攬業者眾多且規模較小，相對而言，良好的港埠數目有限，若以數量相較，港埠經營者較具有優勢。然而

貨物裝卸量多寡其背後最主要的因素在於港埠腹地經濟的興盛與否，在經濟繁榮的腹地支撐下，即便是新成立的港埠其貨物裝卸量及產業相關都會在短時間內迅速發展。

世界生產製造版圖由歐美走向亞洲，在此同時東亞以出口為導向的經濟也改變了航商的佈局，由出口導向

所形塑出來的航線密集分佈於自日本東京往南至新加坡的走廊區域。亞洲經濟的快速發展也反映在港口的運輸

量，由快速崛起的中國大陸港口可以得到佐證。詳如下表1。

表1 2000、2006、2009年世界前十大港埠

Ranking	2000		2006		2009	
	Port	Country	Port	Country	Port	Country
1	Hong Kong	China	Singapore	Singapore	Singapore	Singapore
2	Singapore	Singapore	Hong Kong	China	Shanghai	China
3	Busan	South Korea	Shanghai	China	Hong Kong	China
4	Kaohsiung	Taiwan	Shenzhen	China	Shenzhen	China
5	Rotterdam	Netherlands	Busan	South Korea	Busan	South Korea
6	Shanghai	China	Kaohsiung	Taiwan	Guangzhou	China
7	Los Angeles	USA	Rotterdam	Netherlands	Dubai	UAE
8	Long Beach	USA	Dubai	UAE	Ningbo-Zhoushan	China
9	Hamburg	Germany	Hamburg	Germany	Qingdao	China
10	Antwerp	Belgium	Los Angeles	USA	Rotterdam	Netherlands

在東亞以出口為導向的經濟架構下，世界生產製造集中亞洲衍生出國際貿易間不均衡的架構。在實體貨流上，從亞洲運往美國的貨物是美國運到亞洲的3倍。貿易不均衡的情況同時也在歐亞航線上反映出來，只是情況

較為和緩。貿易的不均衡不僅反映在實體貨物流上，也反映在運費上。在亞洲－美國航線上，從亞洲出發到美國的航線所要支付的運費較美國出發到亞洲的航線昂貴。

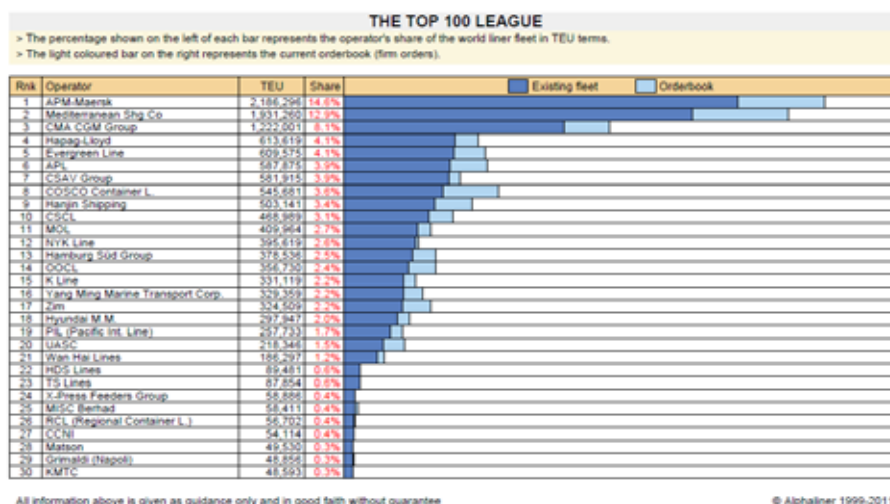
二、買方 (BUYERS)

根據2011年3月Alphaliner所發布的訊息，全球前10大航商的市場佔有率達到61.7%，詳如下圖(五)。這足以證明海運不僅為一全球化的市場，同時也是一由少數航商壟斷的市場。相對於港埠經營者僅能經營的區域內腹地，航商享有較高的談判優勢。而這一情況，在商品運輸貨櫃化後加劇。

商品運輸貨櫃化後，航商以拆解其運輸流程，將傳統點對點運輸轉變為鐘擺式服務 (Pendulum Service)。鐘擺式服務是在一海域上停泊一系列港口，通常包括一個在另一海域的跨洋港口，建構成一個環狀的航線。在歐亞航線上通常會佈置8至10條貨櫃輪，停泊8至12個港口。鐘擺式服務在選擇

停泊的港口上有很大的彈性，尤其當同一個海域裡有鄰近的港口相互競爭可視為同一聚落（cluster）時，例如北美東岸及西歐。這也代表著航商傾向略過某個港埠，選擇對其有利的港

口。即航商對於港埠營運效率不佳的港口或者對腹地連結有問題的港口可以選擇跳過而不停泊。航線的佈局最終反映了市場狀況的變動。



圖(五) 全球主要航商市場占有率

三、替代品（SUBSTITUTES）

由於港埠為海路運輸的一環，其替代品為陸運、空運、管道等。不同的運輸方式各有其優缺點，詳如下表2。與其他運輸方式比較，海運的優

點為運輸商品眾多、運輸地點廣泛、成本低廉、載運量高、可複合運輸。缺點則為運輸速度較慢。

表2 各種運輸方式的比較

運輸方式	運輸產品範圍	運送速度	方便性	運送成本	運輸量	複合運輸的能力
公路	非常廣泛	普通	高	普通	低	非常高
鐵路	廣泛	慢	普通	低	普通	非常高
空運	有限	快速	低	非常高	非常低	普通
海運	廣泛	非常慢	普通	非常低	海運	非常高
管線	非常有限	非常慢	低	低	非常高	非常低

(<http://www.knowthis.com/principles-of-marketing-tutorials/managing-product-movement/modes-of-transportation-comparison/>)

四、潛在競爭者 (POTENTIAL ENTRANTS)

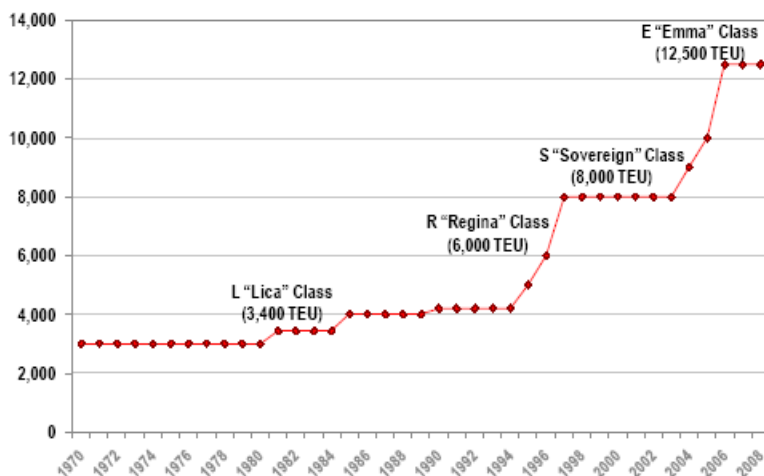
APM Terminals副總裁暨財務長Christian Moller Laursen於2010年10月表示全球2/3的貨櫃吞吐量位於在新興市場的港埠，在新興市場的場站經營上確實存在特殊機會，而這樣的投資也存在著相當的風險。在未來這幾十

年，由於新興市場經濟及人口的成長將促使運輸需求的增加，同時提高港埠設施的使用率及貨櫃處理量。因此現今港埠產業所面臨的潛在競爭者來自新興市場新成立或規劃將成立之新港埠。

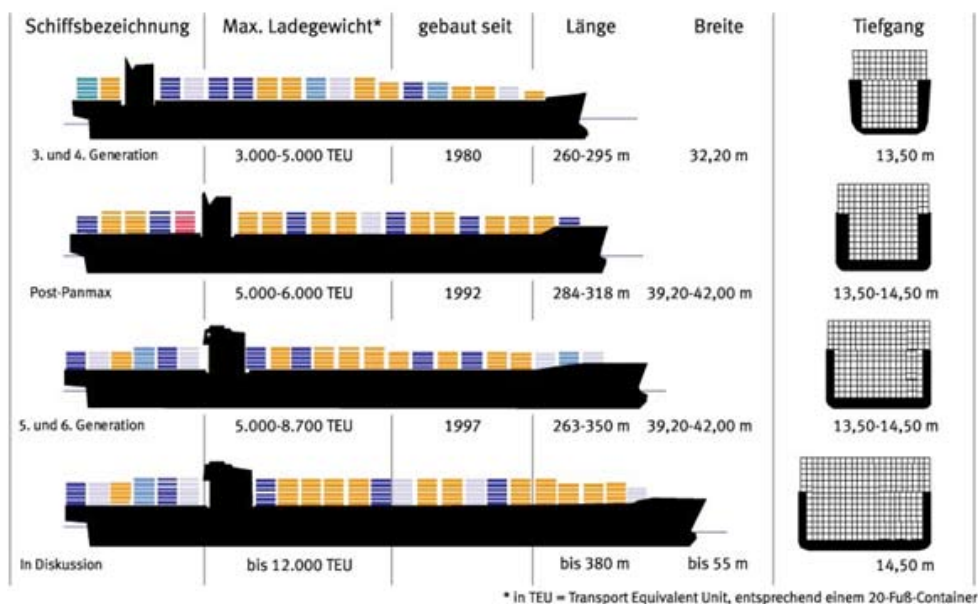
五、現有市場的競爭者

貨櫃的出現讓轉口櫃快速增加的同時，航商為集中貨物及節省運輸成本，將商品經由集貨船（feeder）自二線港口運送到樞紐港，由停泊於樞紐港的大型貨櫃輪運輸至其他主要港口，促成了中心輻輳系統的誕生。樞紐港成為海運市場主要參與者。

海運貨櫃化也代表貨櫃輪的大型化。超大型貨櫃的誕生並非一夕之間。從第一階段1990年貨櫃輪從4,000TEU跳到8,000TEU，突破了巴拿馬運河的限制。2000年以後貨櫃輪的大型化的第二階段，貨櫃輪自8,000TEU提昇到12,500TEU，詳見圖(六)及圖(七)。



圖(六) 1970~2008超大型貨櫃輪（百萬TEU）



Source: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/container-types.htm>

圖(七) 船舶大型化的發展

從航商的角度而言，超大型貨櫃輪的引進為規模經濟的採用及實現：在海運市場中貨櫃輪的體型及運輸量越大代表其越可達到規模經濟，即單位運輸成本的極小化。而從港埠經營者的觀點而言，港埠必須能提供足以停泊超大型貨櫃輪的碼頭及設施，同時也意謂著巨額的港埠設施投資。

目前國內各港能靠泊12,000TEU的碼頭僅有高雄港第6貨櫃中心的2座碼頭。因此，要讓台灣港埠成為樞紐港並吸引大型貨櫃輪仍有基本條件的限制。

台灣港務公司的主要競爭區域在東亞，因此於改制港務公司後，主要競爭對手為上海、香港、深圳、釜山、寧波、廣州、青島、廈門，詳如圖(八)。東亞各港之港埠條件詳如下表3，比較下表各港，以台灣港務公司

條件最佳之高雄港碼頭設計能量亦不及各競爭對手，為台灣港務公司未來發展上的隱憂。



圖(八) 船舶大型化的發展

兩岸直航後，兩岸區位相近的港口會產生競合效果。目前兩岸航線十分密集，運能遠大於運量，除了貨物進出口運輸外，尚有相當餘裕能量發展兩岸間貨櫃轉口及物流作業。大陸

地區商港成長快速，加上航商以貨物量及運輸需求為其航線安排之主要考量，對貨流及航線有強大磁吸作用。在全球化的時代，強化港埠競爭力成為一件刻不容緩的任務。

可以借鏡國際級港口的經驗來為台灣港務公司在海運市場立下競爭定位。以鹿特丹港為例，鹿特丹港和其它港口在於漢堡－利哈佛（Hamburg-Le Havre；HLH）區域，即西北歐腹地，競爭貨流，見圖(九)。鹿特丹港

在不同的市場區隔有不同的競爭對手；貨櫃運輸上，鹿特丹港的主要競爭對手為安特衛普港（Antwerp）及漢堡港（Hamburg）；煤的競爭對手為阿姆斯特丹港（Amsterdam）；而利哈佛（Le Havre）及威廉港（Wilhelmshaven）則是鹿特丹港在原油運輸上的主要對手。在化學品運輸市場上，其主要競爭對手為全世界。（Port of Rotterdam，2009）

表3 東亞各主要港口港埠設施比較表

貨櫃碼頭	新加坡	上海	香港	深圳	釜山
船席數	54	42	24	38	33
碼頭長度	16,000	13,611	7,694	16,342	10,573
水深 (m)	11-16	10.5-17.5	12-15.5	14-17	12.5-18
碼頭貨櫃場面積 (公頃)	600	1,095.6	279		490.46
碼頭設計能量 (萬TEU)	3,500	3,220	1,900	2,600	1,246
貨櫃碼頭	高雄	寧波－舟山	廣州	青島	廈門
船席數	23	25	23	22	23
碼頭長度	7,453	8,291	6,561	7,608	6,272
水深 (m)	10.5-15	13.5-17	4.5-14.5	13.5-20	10.6-17.5
碼頭貨櫃場面積 (公頃)	275		356.8		
碼頭設計能量 (萬TEU)	1,000	1,060	1,400	1,455	1,095

（交通部運研所，2010）



圖(九) 鹿特丹港的競爭區域

以Michael Porter之五力分析來看台灣港務公司所面對的航運產業環境，可以得到以下結論：

- (1) 供應商：台灣產業外移，貨物運輸需求減少，供應商有較高談判籌碼。
- (2) 買方：全球前10大航商之市佔率高達60%，為一寡占市場。航商可自由選擇停泊港口，航商享有談判優勢。
- (3) 替代品：不同的運輸方式各有其優缺點，無明確判斷準則。

(4) 潛在競爭者：規劃中之港埠或新成立之港埠眾多，對既有港埠形成龐大競爭壓力。

(5) 現有市場競爭者：台灣港務公司之港埠設施，在船舶大型化的趨勢下，相對於競爭者並不具有優勢，港埠市場競爭激烈。

整體而言，台灣港務公司所面臨航運產業環境競爭激烈，壓縮其營運獲利空間。台灣港務公司的現況為貨物裝卸量減少，原因來自以下幾點：

- (1) 台灣產業外移，
- (2) 港埠設備老舊，
- (3) 營運效率不佳，如下圖(十)。

參、強化港埠競爭力



圖(十) 台灣港埠現況——向右魚骨圖

一、台灣產業外移

1. 台灣工資/土地成本偏高

隨著全球產業分工的興起與大陸的改革開放，台灣產業因為本地工資

及土地成本偏高，紛紛將產業外移至中國大陸或東南亞，這也使得台灣港埠面臨貨源流失的窘境。

2. 廠商在大陸當地採購

由於產業間具有群聚的效應，在外移產業聚落尚未完全成形前，部分零組件仍在台採購。但近年來，外移大陸之產業於當地已形成完整供應鏈，廠商可於當地採購原料或相關零組件，這也使得港埠貨源流失更形雪上加霜。

3. 新興產業尚未成形

而目前台灣新興產業尚未成形，隨著台灣本地高科技產業日漸外移，

港埠沒有可替代之貨物運輸來源。未來高附加價值產品走向輕、薄、短、小、注重時效，較有利於空運。

4. 非主要貿易區參與者

而目前東南亞區域經濟體已然成形，而台灣仍非東協之會員國。廠商外銷至東南亞之商品無法享受到自由貿易區內種種關稅減免及優惠措施，對台灣商品外銷至東協各國是一大打擊。商品外銷運輸需求的減緩對港埠的經營實為不利因素。

二、港埠設備老舊

目前台灣港埠之設備多已超過其使用年限許久，甚至有使用年齡高達40年之機具。相對於目前海運市場之經營狀況，港埠設施應加以汰換更

新，例如以較新型的門式機取代傳統的跨載機以增加貨物裝卸效率，並減少機械故障率。

三、營運效率不佳

1. 無法處理大型貨櫃輪

在船舶大型化的趨勢下，未來貨櫃輪將以12,500TEU之船型為主力。目前台灣港埠之港區水深普遍不足，僅有高雄港第6貨櫃中心的2座碼頭，能容納12,000TEU左右之船隻，在船舶大型化的趨勢下屈居下風。

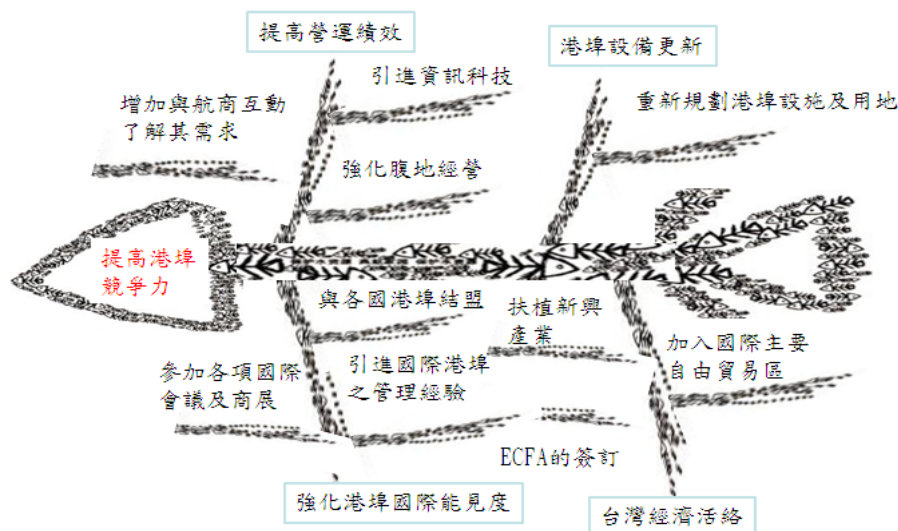
2. 倉儲空間不足

基隆港與高雄港為早年成立之港口，港區鄰近都會區，貨物倉儲空間不足。

3. 缺乏發展自由貿易區之用地

目前自由貿易區所需用地皆位於各港之港區範圍內。因發展自由貿易港區，進駐自由貿易區之廠商進行商品之簡易加工需一定之廠房及土地配合。由於港區內土地有限，成為自由貿易港區的推動所面臨的瓶頸。

針對目前台灣港所面對的困境，本報告提出以幾種可能解決的方案，(1)提高營運績效、(2)港埠設備更新、(3)強化港埠國際能見度、(4)台灣經濟活絡，詳如圖(士)。



圖(士) 未來願景——向左魚骨圖

四、提高營運績效

1. 增加與航商互動及了解其需求

航商是站在國際的角度去看待其營運，與航商密切地互動，了解其需求，不僅有助於港埠的經營，同時也能強化港埠於的國際競爭力。以鹿特丹港務公司的經驗為例，鹿特丹港務公司為了解其在世界物流供應鏈中應扮演何種角色，其和既有客戶及潛在客戶（包括產業界、船舶運送公司及貨主）維持密切的聯繫。（Port of Rotterdam，2009）

2. 強化腹地經營

由於腹地為商品貨物運輸需求的來源，因此積極地經營腹地，港埠可

快速掌握供應鏈物流的變化，了解全球產業脈動。

以鹿特丹港務公司為例，通常由鹿特丹港行銷協會來辦理拜訪腹地（歐洲大陸）的活動。除了傳統腹地城市如德國的杜伊斯堡（Duisburg）、多特蒙德（Dortmund）、曼海姆（Mannheim）、維也納（Vienna）也拜訪許多中歐及東歐的城市及鄉鎮如布達佩斯（Budapest）、布加勒斯（Bucharest）及康斯坦丁（Constantza）等。（Port of Rotterdam，2009）



圖(三) 鹿特丹港之腹地經營

由鹿特丹港之經驗可知，雖然其競爭市場定位為西北歐，但其對腹地

經營除原本西北區延伸至中歐及東歐，詳如圖(三)。



圖(三) 兩岸直航港埠

因此若台灣港務公司將其競爭市場定位為東亞，則應腹地應延伸至中國大陸東半部。可從目前已簽訂兩岸直航之港口之中國大陸港埠合作，為腹地延伸策略之第一步，如圖(三)。我國港埠和東亞地區各主要港埠競爭可能採取的策略為聯合中國大陸次級港埠，如太倉、虎門、大豐等。

3. 引進資訊科技

在有效提高台灣港埠之貨運量方面，首先為提高港埠之營運效率。透過資訊科技的引進以取代傳統人工作業，增加作業效率。

鹿特丹港務公司的資訊系統是單一、跨部門的資料庫，提供整體港埠營運資訊。這個集中化的管理模式能讓相關部門即時取得新公佈的資料與

訊息。

空間資訊管理系統為鹿特丹港務公司中央資訊系統的一部分。以鹿特丹港的空間資訊管理系統（Spatial Information system）為例，這套系統可以處理港埠內部的作業，包括港埠交通、出租碼頭管理、資產管理及目前正在進行的專案。時至今日，空間資訊管理系統管理超過200萬個物件。系統中的資料大部分是由港埠自行收集而來，包括港區水深、租賃契

約中承租區的邊界、環境資料及雷達資料。而由外部取得的資料包括地籍圖、空照圖及一般的地形圖。

由於資料集中化，讓使用者可以快速取得所需資訊，因此資訊使用需求快速成長。這也促使系統轉型為網頁化。系訊系統的最大挑戰在於如何將不同來源的資料以容易且清楚的方式整合，使得技術性及非技術性員工都能在不需取得特殊核准下，取得資訊。（www.erda.com）

五、港埠設備更新

1. 重新規劃港埠設施及用地

為符合目前台灣港埠營運及各港所在地之都市更新計劃作業，應重新規劃港埠設施及用地。透過整體規劃讓港區土地利用更有效率，亦可使港埠當地市容煥然一新。

以鹿特丹港Maasvlakte二期興建工程為例，在規劃其港埠設施時，主要是將鹿特丹港務公司之長期願景轉化為具體的計劃。這個願景是大多數的港埠使用者及經營者及政府機關所同意的。詳如圖(齒)港埠長期發展計劃。（Marc Evertse，2008）



Source : Dooms, M, Verbeke, A (2007)

圖(齒) 兩岸直航港埠

(1)運量的預估

長期而言，港埠應了解自己相對於競爭對手的優勢為何，並明確定位出自己的競爭優勢。而運量的預估能提供港埠發展的貨流預估及相關的經濟因子及港埠所扮演之角色。

(2)空間及聚落

倉儲空間及港區用地是港埠經濟發展過程上相當重要的因素。貨流未來的成長要能換算成所需的港區用地、進出船舶數、碼頭長度及迴船池寬度及深度。

在倉儲空間及港區用地換算流程上，聚落也要考慮進去。根據聚落的產業及物流活動來創造聚落內各公司綜效的極大化。

(3)腹地的連結

港埠是貨物運輸上很重要的節點。港埠的競爭力有很大一部分仰賴運輸連結的成本及品質。未來運量的預估及各種複合運輸模式都要換算為額外港埠設施需求。由於港區線外之

土地不為港務公司或港務局所管轄的範圍。因此，在港區發展上取得地方及中央政府的支持並協助取得相關港埠設施來強化腹地的連結是非常重要的。

(4)環境

將預估的運量換算為港埠設施的專案對環境勢必會造成衝擊。這樣的影響要在早期就被警示出來，因為環評流程是非常耗時的。一個永續的環境已成為港埠經營上相當重要的因素，也是港埠的競爭優勢之一。

(5)就業人數及附加價值

新的港埠設施會帶來新的就業機會及附加價值，在港埠設施計劃上也扮演著重要的角色。直接影響是指港務公司外實體貨流及組織流程所增加就業人數及附加價值。間接影響是指非港埠經濟體服務所增加的就業人數及附加價值。鹿特丹港的經驗顯示港區每增加1個就業機會，港區外會增加4個就業機會。（Marc Evertse，2008）

六、提高港埠之國際能見度

1. 參加國際會議及商展

由於海運為全球化產業，因此強化港埠於國際的能見度對於港埠的競爭力是有相當程度的幫助。參與各項國際會議及商展，對於港埠業務的拓展其商機的獲取是有幫助的。

除了港口自身核心能力的強化外，透過港埠的行銷活動增加台灣港務公司在全球物流業與供應鏈的能見度，亦具相當的重要性。以鹿特丹港

務公司的經驗為例，如同在鹿特丹辦公室接待國內外許多代表團並舉行簡報外，鹿特丹港務公司也經常性的和鹿特丹港行銷協會（Rotterdam Port Promotion Council；RPPC）一同參加國際性商展及會議，範圍包括產業、運輸及物流。以2009年為例，即參加了在巴西聖保羅的複合式聯運（Intermodal trade fair）貿易展及在慕尼黑舉辦的運輸展（Transport

Munchen)。(Port of Rotterdam, 2009)

鹿特丹港務公司會同商業代表團在2009年拜訪許多國家包括日本和中國。在日本訪問之旅主題為碳捕捉及儲存，在中國則是拜以出口到歐洲為主要的公司。同時在7個國家有派駐當地的代表（日本、中國、巴西、俄羅斯、美國、奧地利及匈牙利）。同時為能和客戶共同成長，鹿特丹港務公司在2009年舉辦8場與「鹿特丹港對話」的論談，在論談中港口的經營團隊發表了鹿特丹港的最新發展並和港區事業展開對話。(Port of Rotterdam, 2009)

2. 引進國際港埠之管理經驗

此外引進世界級港埠之經營管理手法，透過標竿學習來提昇港埠的營運績效，並可藉此機會與其他港埠達成策略聯盟以提高台灣港務公司的國際能見度。

以鹿特丹港和巴西港埠之合作為例，鹿特丹港務公司的目標在協助巴西港埠建立最新的綠色港埠及完整的

第三代港埠。其工作目標聚焦於：

- (1)對巴西港務當局的長期承諾;
- (2)提供董事會層級的顧問服務，同時可以此建立起夥伴關係。
- (3)根據地主港原則來管理港埠。
- (4)港埠的長期規劃。
- (5)吸引世界級的產業及經營者進駐。
- (6)港口海運的安全性。

但必須強調的是鹿特丹港務公司並不會介入港口碼頭的營運，如貨物的裝卸或海運的服務（領航、拖船）。

3. 與各國港埠結盟

與各國港埠結盟，不但可以提高台灣港埠於國際社會之能見度，亦可汲取各國港埠之經驗。同時由策略結盟引進國際港埠之管理經驗，透過標竿學習，來強化港埠運作的效率性，對台灣港務公司貨運量成長將有相當的助益。以鹿特丹港為例，其共有14個姐妹市（Sister city）、13個夥伴城市（Partner city）及4個姐妹港（Sister port）。

七、台灣經濟活絡

1. ECFA的簽訂與FTZ的發展

在後ECFA時代，許多台灣產業都因兩岸關稅的減免而獲益。ECFA與自由貿易港區的配合對於國際物流業者而言是具相當的吸引力。以台灣為跳板，作為進運大陸市場的第三流物流管道。而目前台灣港埠所面臨的難題在於沒有足夠的土地來發展自由貿易

港區，使得ECFA的簽訂未能達到預期的功效。

根據自由貿易港區設置管理條例、自由貿易港區申請設置辦法：自由貿易港區之定義為「經行政院核定於國際航空站、國際港口管制區域內；或毗鄰地區劃設管制範圍；或與國際航空站、國際港口管制區域間，

能運用科技設施進行周延之貨況追蹤系統，並經行政院核定設置管制區域進行國內外商務活動之區域。」因此若能運用資訊科技如貨物唯一追蹤號碼UCR（Unique Consignment Reference）、RFID及電子封條將自由貿易港區移至國際港口管制區域和國際航空站間，則可有效解決港區土地不足不利自由貿易港區發展之困境。但仍需評估此一方案之成本效益可行性。

2. 加入國際主要自由貿易區

加入國際自由貿易區對台灣這個高依賴外貿的經濟體具高度重要性。被隔離於自由貿易區之外，廠商外銷競爭力減弱，台灣經濟面臨衰退的危機，港埠失去運輸貨品之需求，勢必因此加速沒落。因此加入自由貿易區對台灣而言是刻不容緩的。

3. 扶植台灣新興產業

此外扶植台灣新興產業，除可刺激經濟發展外，亦能促進港埠經濟繁榮。

肆、成為區域樞紐港

隨著超大型貨櫃輪的引進，及鐘擺式服務的普及，海運的航線佈局走向一站購足的概念。透過港口與鐵路、公路及內陸水陸的策略性整合，達到港口集貨能力的極大化。航商可以選擇高腹地集貨力的港口安排航線，達到一站購足的效果及規模經濟，使單位運輸成本極小化。樞紐港成為港埠發展必然的趨勢及選擇。

當開發中國家的港口漸漸走向現代化，使航商在航線的安排更具有彈性，這使原來的扮演樞紐港的港口競爭壓力增大，同時代表著港埠經營者談判籌碼的流失。大部分的樞紐港為地主港，港埠經營者為避免流失重要客戶，會配合航商要求提供深水碼頭、更好的服務、更高的效率及聯外交通，如鐵路或公路。

一個成功的樞紐港通常具備以下要件：

- (1) 良好的地理位置，即接近世界主要航線。
- (2) 較短的滯港時間。
- (3) 具效率性及生產力的高品質服務。
- (4) 合理的收費
- (5) 能容納超大型貨櫃輪的停泊，深水碼頭及先進的設施
- (6) 良好的網路連結，可涵蓋鄰近提供集貨船（feeder）的港口。
- (7) 提供加值型物流的物流聚落的存在。
- (8) 先進資訊科技的採用。
- (9) 複合運輸的設施，可連結到鐵路、公路及航空的網路。
- (10) 當地市場可提供貨源

透過港口的特性分析來衡量及評估港口的定位及其優勢，做為朝向樞紐港的相關政策施行的優先順序考量。詳見表4

表4 港口特性分析

構面	要素	衡量指標
港口地理位置	- 到主要工業區的距離 - 到主要航路的距離 - 在全球航路的策略性位置	全球地理資訊
港口的基礎設施	- 船席數目 - 船席水深 - 橋式機的機型 - 港區範圍的大小	可容納最新型貨櫃船的要求
港埠的服務	- 貨物裝卸的速度 - 取貨及配送的服務 - 資訊的可取得性 - 可提供客製化服務 - 輔助性服務	- 以國際級港口為比較基準 - 對航商及貨運承攬業者進行問卷調查
港埠的定價及成本	- 貨物的計費 - 港埠設施的計費	以國際級港口為比較基準
貨運承攬業的服務	- 船舶停靠的頻率 - 運費	可參考一般公眾數據
腹地的連結性	- 複合運輸所需要的時間 - 複合運輸所需要的成本 - 通關的流程 - 貨物追蹤的服務	以國際級港口為比較基準
物流中心	- 在港區範圍內物流中心的數目 - 物流中心所提供的設施及服務範疇	- 參考統計數據 - 參考最近供應鏈管理對物流中心的要求
資訊架構	- 港區的溝通機制 - 與海關資訊的交換 - 與複合式運輸機構資訊的交換	參考最近供應鏈管理對物流中心的要求

(<http://www.unescap.org>)

伍、全球性場站經營者（GLOBAL TERMINAL OPERATOR）

除了樹立樞紐港的競爭優勢，基隆港亦可透過策略性轉投資介入全球碼頭的經營及水平整合來達到全球化的目標，從而成為全球供應鏈之一員。

海運是極度全球化的產業，隨著港埠的公司化，近年來，許多全球的港埠經營者，如杜拜世界DPW（Dubai）、新加坡港PSA

（Singapore）、香港和記黃埔HPH（HongKong）都積極的走向水平整合，即將其他全球主要港埠之碼頭納入其資產管理的範圍內。透過全球化的佈局，港口及碼頭及內陸運輸的整合，使得港埠經營者得以掌握全球供應鏈。而這在國際貿易上的重要性高於貨櫃運輸量，同時也協助港埠經營者掌握運輸的時效性及有靠性。以香

港和記黃埔為例，其營運涵蓋25國51個港口；杜拜世界則包括28國50個港口；而新加坡港則為16國28個港口。

若以場站經營者所處理的貨櫃總數計算，全球前10大場站經營者在2001年所處理的總貨櫃量為1.02億TEU，市佔率為41.5%。在2006年所處理的總貨櫃量為2.68億TEU，市佔率為60.9%。在2009年所處理的總貨

櫃量為3.05億TEU，市佔率為64.6%。以趨勢來看，場站經營者的市佔率逐年上升，產業朝向大型化及集中化。2009年全球前5大場站經營者分別為HPH、PSA、DP world、APM、PAM，詳見下表。市場新近的競爭者包括上海國際港務公司（SIPG）、Macquarie、ICTSI、KGL及RREEF。（Jean-Paul Rodrigue，2010）

表5 全球前10大場站經營者處理的貨櫃數

2001			2006			2009		
Operator	M TEU	%	Operator	M TEU	%	Operator	M TEU	%
HPH	29.3	11.80%	HPH	60.9	13.90%	HPH	64.2	13.60%
PSA	19.5	7.90%	APM	52.0	11.90%	APM	56.9	12.00%
APM	13.5	5.50%	PSA	47.4	10.70%	PSA	55.3	11.70%
P&O	10.0	4.00%	DP World	41.6	9.40%	DP World	45.2	9.50%
Eurogate	8.6	3.50%	Cosco	22.0	5.00%	Cosco	32.5	6.90%
DPA	4.7	1.90%	Eurogate	11.7	2.70%	MSC	16.4	3.50%
Evergreen	4.5	1.80%	Evergreen	9.4	2.10%	Eurogate	11.7	2.50%
Cosco	4.4	1.80%	SSA Marine	8.9	2.00%	Evergreen	8.6	1.80%
Hanjin	4.2	1.70%	MSC	7.6	1.70%	SSA Marine	7.7	1.60%
SSA Marine	4.0	1.60%	HHLA	6.6	1.50%	CMA-CGM	7.0	1.50%
Top-10	102.7	41.50%	Top-10	268.1	60.90%	Top-10	305.5	64.60%

Source : Notteboom,T and J-P Rodrigue(2010)," The Corporate Geography of Global Container Terminal Operators.

世界上大部分的港口都是以Landlord的概念經營，由於全球港埠管理走向公司化，使得私人資本得以投資於碼頭，促成碼頭經營者的崛起。場站經營業者透過投標及長期租約取得碼頭的經營權，在世界各地不同地點租用碼頭來達到水平整合及全球化的目的。碼頭經營者走向全球化的主要工具為特許權合約，即長期租約的簽訂，其內容包括建造、擴張及

維持和貨物相關之基礎建設及設備。場站經營者的擴張和製造業不同，它的難度在於碼頭經營權的取得、經營模式的複製、客戶群的鞏固、大量資金的取得以改善港埠設施。

全球場站經營者可分為三類

1. 裝卸業者（Stevedores）：本業為港埠者，視碼頭為利潤中心，透過複製其專業進入新市場並多角化其獲利來源，如PSA。

2. 航商 (Marine Shipping companies)：航商投資於碼頭用以支持其核心業務，視其為成本中心，目的在整合其船期班表，如Maersk。
3. 財務控股公司 (financial holdings)：許多財務公司如投資銀行、退休基金及主權基金視碼頭

為一項可投資獲利的資產，透過間接管理的方式取得資產所有權由原有場站經營者繼續經營碼頭，如Dubai World。不同背景的場站經營者所採取的擴張策略不同，詳如表6。(Jean-Paul Rodrigue, 2010)

表6 全球場站經營者之類別

港埠經營者	航商	財務控股公司
垂直整合	水平整合	投資組合多角化
港埠經營為心業務；貨櫃碼頭的投資目的在擴展營運及多角化	海運是其為主要業務；投資於貨櫃碼頭作為營運支援活動	財務資產管理為主要業務；投資貨櫃碼頭之目的在賺取投資利潤
透過直接投資達成擴張之目的	透過直接投資或母公司來達成擴張之目的	透過收購及合併及資產的重組來達到擴張之目的
PSA (政府持股) HHLA (政府持股) Eurogate (私人持股) HPH (私人持股) ICTSI (私人持股) SSA (私人持股)	APM (私人持股) COSCO (政府持股) MSC (私人持股) APL (私人持股) Hanjin (私人持股) Evergreen (私人持股)	DPW (主權基金) America (AIG, 私募基金) RREEF (德意志銀行, 私募基金) Macquarie Infrastructure (私募基金) Morgan Stanley Infrastructure (私募基金)

Source : Notteboom,T and J-P Rodrigue(2010), "The Corporate Geography of Global Container Terminal Operators.

以策略性的轉投資介入全球性場站經營者，不僅可以為港口留住既有貨源，同時開發新貨源，並獲取海運市場的知識，進而為港口的創新提供一個廣泛的基礎。以下以鹿特丹港務公司轉投資活動為例，可作為台灣港務公司從事相關活動時之參考。

對鹿特丹港務公司而言，選擇轉投資的考量因素如下：

1. 轉投資可強化核心業務。
2. 轉投資符合鹿特丹港務公司內部制定的投資報酬率。

3. 鹿特丹港務公司對轉投資事業可發揮充分之影響力。

截至2009年年底，鹿特丹港務公司轉投資金額總值為歐元1,800萬元（約台幣7.3億元），佔其總資產0.6%。鹿特丹港務公司總資產為歐元28萬元（約新台幣1,122億元）。根據2009年財報，鹿特丹港務公司之股東權益報酬率為10.18%。

在未來幾年內，鹿特丹港務公司期望能透過鹿特丹國際港務公司PORint (Port of Rotterdam

International) 轉投資一些國際港務管理公司，目的在透過這些轉投資公司和全球物流鏈連結，且能產生自鹿特丹港進出口的貨流。

轉投資想要達成之目的為

1. 提高鹿特丹港務公司在獲取市場知識的技能，擴展及強化鹿特丹港為世界級港口的形象。
2. 維持既有貨流：透過目前轉投資的活動來強化與現有客戶的商業連結及製造取得新客戶的機會。
3. 透過海外轉投資來增加收入的報酬率並強化鹿特丹港務公司的財務狀況。
4. 對創新投資提供一個更廣泛的基礎。

鹿特丹港務公司採用結構化的方式選定潛在的港口轉投資，透過港口分析模型 (Port Analysis Model) 來檢視特定港口是否具備足夠的吸引力讓鹿特丹港務公司投資。此外，鹿特丹港務公司也投入相當的心力在轉投資的風險分析、永續經營及公司治理上。(Port of Rotterdam, 2009)

在考量強化核心業務、符合公司

內部制定的投資報酬率及可對轉投資事業發揮充分之影響力，目前鹿特丹港務公司唯一的轉投資在阿曼：蘇哈爾工業港務公司 Sohar Industrial Port Company (SIPC) 及蘇哈爾工業管理公司 Sohar Industrial Development Company (SIDC)；蘇哈爾工業港務公司為一合資公司 (Joint Venture) 由阿曼政府與鹿特丹港務公司各持股一半。阿曼政府與鹿特丹港務公司於2002年簽定轉投資協定，內容包括2,100公頃港區及管理該港至2025年。在2009年歐元2,400萬元於蘇哈爾工業港，主要是為其主要客戶——巴西淡水河谷礦業公司 (Vale) 興建一座散貨碼頭。而這項轉投資的基礎在於鹿特丹港務公司和淡水河谷之長期合約，此一合約保障鹿特丹港務公司可處理至少3,000萬噸鐵礦砂。(Port of Rotterdam, 2009)

若採用購併模式介入全球性場站經營者，根據2005年以來的國際購併交易案，成交價格約為未計利息、稅項、折舊及攤銷前的利益，即EBITDA之15-25倍，詳如下表7。

表7 2005年以來的國際購併交易案

Date	Transection	Price paid for transaction compared to EBITDA
2005	DP World takes over CSX World Terminals	14 times
Early 2006	PSA cquires a 20% stake in HPH	17 times
Mid 2006	DP World acquires P&O Ports	19 times
Mid 2006	Goldman Sachs Consortium acquires ABP	14.5 times
End 2006	AIG acquires P&O Ports North America	24 times
Early 2007	Ontario Teachers' Pension Fund acquires OOL Terminals	23.5 times
Mid 2007	RREEF acquires Maher Terminals	25 times

Source : Notteboom,T and J-P Rodrigue(2010),” The Corporate Geography of Global Container Terminal Operators.

陸、結論

以Michael Porter之五力分析來看台灣港埠所面對的航運產業環境，可知台灣港埠所面臨航運產業環境競爭激烈，壓縮其營運獲利空間，詳如下表。

供應商	台灣產業外移，貨物運輸需求減少，供應商有較高談判籌碼
買方	全球前10大航商之市佔率高達60%，為一寡占市場。航商可自由選擇停泊港口，航商享有談判優勢。
替代品	不同的運輸方式各有其優缺點，無明確判斷準則。
潛在競爭者	規劃中之港埠或新成立之港埠眾多，對既有港埠形成龐大競爭壓力。
現有市場競爭者	基隆港及台灣港務公司之港埠設施，在船舶大型化的趨勢下，相對競爭者並不具有優勢，港埠市場競爭激烈。

在強化港埠競爭優勢上，可能採用的短中長期計劃如下表

	提高營運績效	港埠設備更新	提高國際能見度	台灣經濟活絡
短期計劃	• 增加與航商互動，並了解其需求 • 強化腹地經營	• 重新規劃港埠設施及用地	• 參加各項國際會議及商展，強化港埠行銷	• ECFA的簽訂與FTZ的發展
中期計劃	• 引進資訊科技	• 引進新型門式機及橋式機	• 引進國際港埠之管理經驗	• 加入國際主要自由貿易區
長期計劃			• 與國際各港結盟	• 扶植新興產業

可檢討航商對港埠之需求及成為具吸引力之樞紐港應具備的條件，並透過策略性轉投資走向全球場站經營者。

參考文獻

1. Jean-Paul Rodrigue(2010) , THE CORPORATE GEOGRAPHY OF GLOBAL CONTAINER TERMINAL OPERATORS
2. <http://www.knowthis.com/principles-of-marketing-tutorials/managing-product-movement/modes-of-transportation-comparison/>
3. http://www.unescap.org/ttdw/Publications/TFS_pubs/pub_2377/pub_2377_ch3.pdf
4. Port of Rotterdam 2009 annual report
5. Dooms,M, Verbeke, A. (2007) Integrating the Extended Gateway Concept in Long Term Strategic Seaport Planning: A European Case Study
6. Marc Evertse, (2008), Strategic Planning of Port Infrastructure
7. UNCTAD Port Marketing and the Challenge of the Third Generation Port, 1992
8. www.erdas.com ERDAS APOLLA: Facilitating Spatial Data Management at Port of Rotterdam
9. <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/container-types.htm>
10. <http://www.antiport.de/doku/gutachten/ulcs.pdf>

臺中港北淤沙區防治對策方案研擬及灘線預測評估

溫志中 弘光科技大學環境與安全衛生工程系 副教授
張憲國 國立交通大學土木工程學系 教授
蔡立宏 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 研究員
劉勁成 國立交通大學土木工程學系 博士後研究員
陳蔚璋 國立交通大學土木工程學系 博士後研究員

摘 要

本研究對於臺中港北淤沙區之防治對策評估，使用Kamphuis（2006）突堤灘線變化理論與GENESIS灘線預測模式進行岸線預測模擬。在平面侵淤特性方面，以Mike 21模組進行波場、流場與地形變遷之數值模擬。該海域二維水動力模組之計算，以MIKE 21之HD模組進行近岸流場模擬，並應用MIKE 21之SW模擬計算所

得波場及輻射應力之成果，作為流場計算之波浪條件及邊界條件。本研究最後以MIKE 21之ST模組模擬計算受局部海域之水動力與波浪引起之漂沙潛量（sediment transport capacity），將前述所得之波場、輻射應力及流場計算結果，作為模擬臺中港附近海域之近岸漂沙潛量，藉以評估不同防治對策下，漂沙防治之效益。

一、前言

近年來，臺中港北側淤沙速度加快，在北防波堤與北防沙堤間已形成廣大灘地，致飛沙現象較往年嚴重。由於北防波堤走向完全攔阻飛沙移動方向，下游側更為臺中港重要營運區，北淤沙區之飛沙無法依循自然規律往下游搬運，加上淤沙區灘地面積日益擴增，若不加以整治，未來飛沙堆積現象將更趨嚴重。臺中港北淤沙區現有之飛沙防護線正節節後退，一旦前線之林區及擋沙牆功能遭飛沙破壞，不僅遊憩專業區、電力專業區Ⅱ

將面臨無法開發，現有防風林區生態、景觀受到嚴重威脅外，臺中港航道、漁港水域更將重現受飛沙影響營運之窘境。

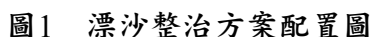
依據「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程可行性研究」（2007）指出北淤沙區飛沙現象源於漂沙淤積之裸露灘地，只要大甲溪持續供應輸沙，淤積灘地將持續擴展，臺中港務局追蹤淤積沙量級觀測地形之自然擴張，初估以約10年之時距分期辦理漂飛沙整治，故第二期整治工

1. 清除淤沙，減緩下游港外航道淤積速度。
2. 穩定淤沙灘地地形，以利設置整治設施。
3. 清除堆積之飛沙，改善陸域環境品質。
4. 削減裸露灘地，攔阻及抑制飛沙。

北淤沙區之飛沙問題源於漂沙淤積，而漂沙淤積問題亦影響航道水深之維持，因此整治漂沙根本之道在於解決漂沙問題。以臺中港之漂沙特性，可行性之整治方法包括：

北防沙堤為北淤沙區第一線攔沙堤，延長後可恢復攔沙功能，立即發揮攔蓄沙效果，提高北淤沙區儲沙能力，並將漂沙動線往外海方向推移，降低迴遶至港外航道之漂沙量。依30年來地形資料顯示之攔沙效果，北防沙堤延長300m後，可立即提高北淤沙區儲沙容量300萬方以上，而北防沙堤堤頭附近水深若淤淺，相對於疏浚整治，整治成本較低，且可藉自然力量形成土地，整治漂沙效果佳且具經濟性。其配置示意圖如圖1所示：

在北防波堤北側第一道轉折處，朝北方（約與該處漂沙動線垂直）設置1座長450m定沙突堤，以穩定灘地地形並兼具提高北淤沙區攔阻漂沙能力。



二、臺中港整治方案對漂沙特性之影響

圖2~圖4為臺中港於新建定沙突堤及延長攔沙堤配置下，總計算時間區段所求得之平均輸沙潛量，圖中平均輸沙潛量之主要傳輸方向用箭頭表示。由圖2整治方案興建定沙突堤及延長攔沙堤設置後，冬季季風漂沙潛量的比較可知，興建定沙突堤的設置將使其北側輸沙潛量增大，而使原本在該處的淤積可能轉為侵蝕。在興建定沙突堤和北防波堤堤頭間，由於漂沙潛量遞減，顯示該區將產生淤積。在北防波堤堤頭北側有一局部輸沙潛量減小區，表示該區將產生淤積。由圖3夏季季風漂沙潛量的比較可知，輸沙潛量分布的結果大致相同。由圖4新建定沙突堤及延長攔沙堤設置後，10年迴歸期颱風漂沙潛量的比較可知，在興建定沙突堤的堤頭輸沙潛量有些微的增大，顯示該處將產生侵蝕，而在堤後由於輸沙潛量的降低，因此將產生淤積的現象。

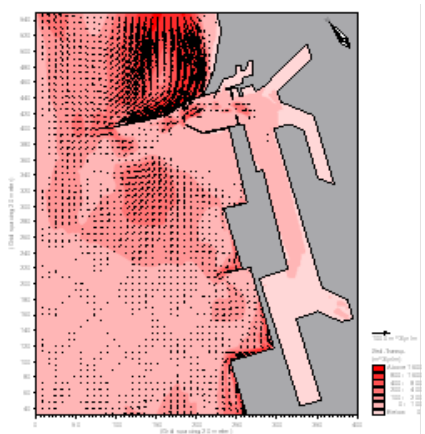


圖2 冬季季風作用下輸沙潛量分布圖
($H_s=2.1\text{m}$ ， $T_s=6.6\text{sec}$ ，入射波向N向)

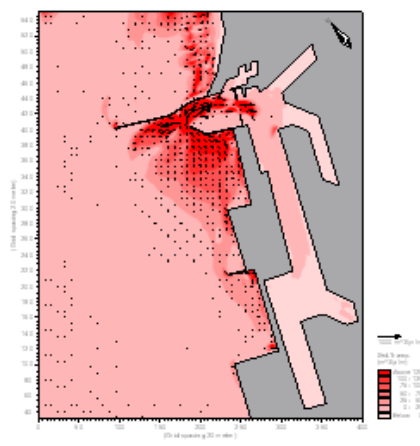


圖3 夏季季風作用下輸沙潛量分布圖
($H_s=0.9\text{m}$ ， $T_s=6.3\text{sec}$ ，入射波向W向)

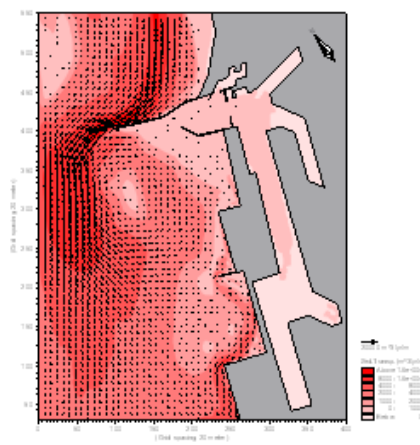


圖4 年迴歸期颱風作用下輸沙潛量分布圖
($H_s=5.5\text{m}$ ， $T_s=9.8\text{sec}$ ，入射波向N向)

三、整治方案之防治對策

對於整治方案之防治對策，本研究依據「近岸漂沙機制與防治研究（1/4）」與「近岸漂沙機制與防治研究（2/4）」以一維及二維正交特徵函數模式分析臺中港海岸變遷特性之結果，擬定整治方案之防治對策。對於整治方案興建後之海域有下列幾點特性：

1. 興建定沙突堤及延長攔沙堤的設置，將使北淤沙區近岸產生淤積，而在新建定沙突堤的堤頭將使原本該處的淤積轉為侵蝕，並在堤頭和北防波堤堤頭間產生淤積。
2. 興建定沙突堤的設置將使其北側輸沙潛量增大，
3. 經由GENESIS灘線模式與實測資料分析，北防波堤堤址處灘線變動趨緩，並無明顯淤積趨勢，北防沙

堤堤址處有淤積的現象發生。

依據上述漂沙特性與整治方向，本研究針對研擬三種防治方案進行初步評估。

- (一) 方案1 (case1：臺中港務局規畫方案，延長定沙突堤450公尺與北防沙堤300公尺)。
- (二) 方案2 (case2：基於方案1的基礎再延伸定沙突堤150公尺與北防沙堤300公尺)。
- (三) 方案3 (case3：基於方案1的基礎，再於北防波堤遠處流場劇烈變化處，興建一定沙突堤 450公尺)。

本研究對於方案1與方案2的評估，以一維灘線模式進行灘線淤積至堤頭時間進行評估。此外，受限於GENESIS模式的使用限制，方案3的佈置將以二維平面模式進行評估。

四、臺中港區北淤沙區防治對策評估

本研究由特徵函數法分析出之沿岸漂沙特性及臺中港務局規畫之定沙方案擬定防治方案，以突堤上游灘線變化之理論解析及GENESIS灘線模式來評估防治方案之成效，即評估建構定沙突堤後灘線淤積至堤頭之時間。

4.1 方案1評估

4.1.1 方案1突堤上游灘線變化之評估

海岸建構突堤後，上游之沿岸漂沙因突堤之阻隔而會淤積於上游處，隨時間之增加灘線會隨之往外海移

動，由漂沙之質量守恆原理，可推估灘線淤積至堤頭之時間為

$$t_{full} = \frac{\pi d_p S_e^2}{4Q \tan \alpha_0} \dots\dots\dots (1)$$

式中 S_e 代表突堤長度； d_p 為漂沙高度，即漂沙水深加上沙灘平台之高度； Q 為沿岸輸沙量； α_0 為初始灘線與沿岸座標之夾角，符號定義如圖5。突堤上游灘線變化之理論解析詳見 Kamphuis (2006)。

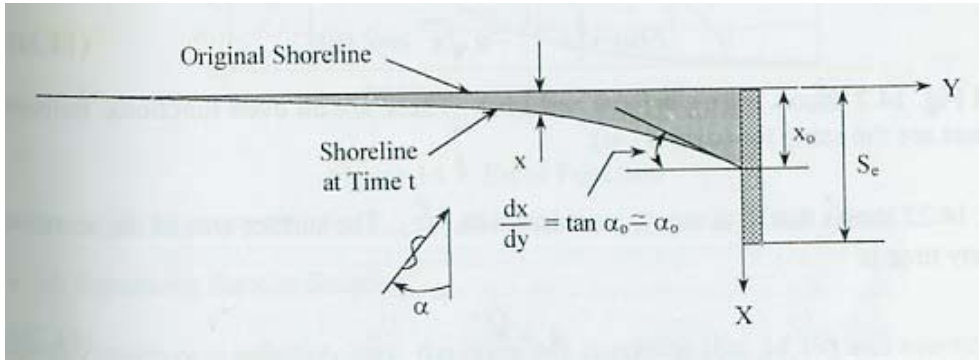


圖5 突堤上游灘線變化解析所使用之符號示意

本研究選擇2002、2005及2008年之灘線，在北防波堤往北以50m間距，取3點 (y_0, y_1) 來計算灘線在防波堤之夾角 (α_0) ，以數值微分之二點法，即割線法（secant method），其計算公式如下

$$\tan \alpha_0 = \frac{y_0 - y_1}{\Delta x} \dots\dots\dots (2)$$

由式(2)所得三年之 α_0 分別為 19.3° 、 17.6° 及 19.0° ，三者平均值為 18.06° 。在北防沙堤之灘線與北防坡堤者相似， α_0 夾角約為 19° 。

為考慮沿岸輸沙量變異性，北防波堤之沿岸輸沙量假設為 $Q=250$ 萬立方公尺，本研究另外計算 $Q=125$ 萬立方公尺。考慮臺中海域之潮差可達4m，因此「近岸漂沙機制與防治研究（2/4）」之漂沙界限（ $dp=4.05m$ ）加上潮差之半，可得 $dp=5.05$ 公尺。新建北防沙堤長為300m，由公式(1)在 $\alpha_0=19^\circ$ ， $Q=125$ 及250萬立方公尺狀況，計算灘線淤積至堤頭之時間分別為0.5及1.0年。

新建北防沙堤之堤頭在-3m等水深上，由漂沙界限（ $dp=4.05m$ ）可知初期還有漂沙流過新建北防沙堤至北

定沙突堤。若以長度比例估算 $(4.05-3.0)/4.05=0.26$ ，若時間久後，堤頭淤積到一個程度通過漂沙之比例自然增加，本研究假設透沙率為0.3、0.5及0.7三種狀況，因此以式(1)將灘線淤積至北定沙突堤堤頭之時間示如表1。表1之第二行為灘線淤積新建北防沙堤堤頭之時間，即為0.5或1.0年；第三行為灘線淤積新建北定沙突堤堤頭之時間；第四行為二者之和。

表1 以突堤上游灘線變化解析理論計算灘線淤積至堤頭之時間

$\alpha Q (\times 10^4 m^3/yr)$	$t1_{full}(yr)$	$t2_{full}(yr)$	$t_{full}(yr)$
250	0.5	1.2	1.7
0.7×250	0.5	1.6	2.1
0.5×250	0.5	2.2	2.7
0.3×250	0.5	3.8	4.3
125	1.0	2.2	3.2
0.7×125	1.0	3.2	4.2
0.5×125	1.0	4.6	5.6
0.3×125	1.0	7.6	8.6

由表1可知，假設沿岸輸沙量為 $Q=125$ 及250萬立方公尺與防沙堤透過率為0.3、0.5及0.7三種狀況下，新建北定沙突堤與新建北防沙堤間淤沙狀況，以灘線淤積至堤頭之時間在

1.7-8.6年之間，以平均防沙堤透過率為0.5狀況，所得結果為2.7及5.6年。

4.1.2 方案1 GENESIS灘線模擬評估

本研究以前一小節計算所擬定之防治對策，以GENESIS灘線預測模式進行模擬，探討方案1佈置條件下之灘線變化。以2002年灘線模擬至2010年灘線，接著加入方案1進行模擬，模擬時間為2010年至2015年，模擬方案之沿岸輸沙量於模式中將假設為 $\alpha Q=125$

萬立方公尺，模擬結果如圖6所示。經由GENESIS模式模擬結果顯示，在北防波堤橫向延伸450公尺後，灘線於北防波堤與北防砂堤間快速往前淤積，北防波堤堤體附近處之灘線淤積較為顯著，其淤積幅度約在200公尺左右，在靠近北防沙堤附近處，其淤積長度約為300公尺左右。於圖中顯示，北防沙堤之灘線已成長至堤頭附近處，防沙堤將失去攔阻沿岸漂沙之功效。

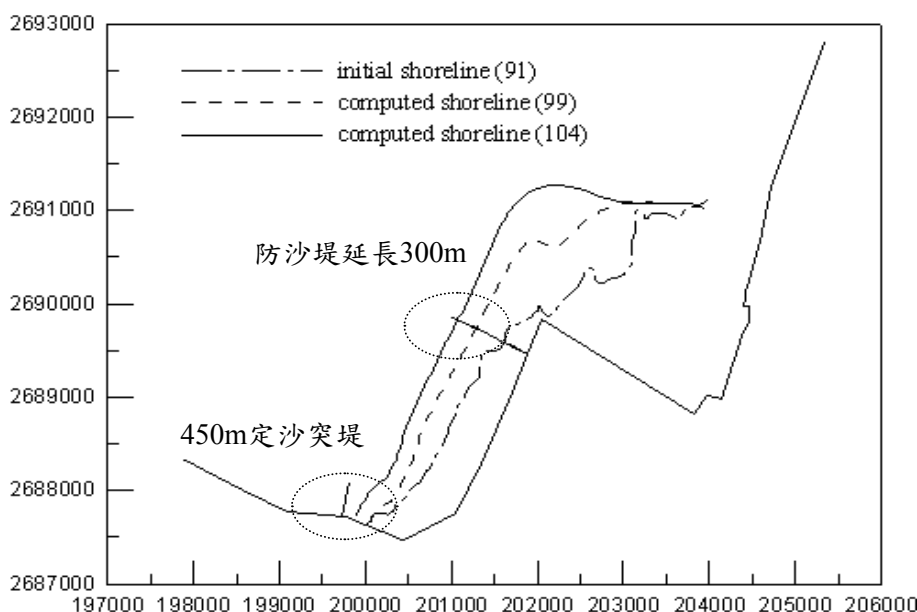


圖6 GENESIS灘線模式預測灘線與實測之比較（北防沙堤延伸和新建定沙突堤，2002年至2015年）

4.2 方案2延伸北防沙堤和延伸定沙突堤之評估

4.2.1 方案2延伸北防沙堤和延伸定沙突堤上游灘線變化之評估

本節對延伸北防沙堤延伸和定沙突堤上游灘線變化進行評估在。由表2可知，假設沿岸輸沙量為 $Q=125$

及250萬立方公尺與防沙堤透過率為0.3、0.5及0.7三種狀況下，在延伸北防沙突堤與新建北防沙堤間淤沙狀況，以灘線淤積至堤頭之時間為方案1所需時間再加上0.62-1.84年之間，以平均防沙堤透過率為0.5狀況，所得結果為3.44及7.11年。

表2 以突堤上游灘線變合理論計算灘線淤積至堤頭之時間

$\alpha Q (\times 10^4 \text{m}^3/\text{yr})$	$t1_{full}(\text{yr})$	$t2_{full}(\text{yr})$	$t_{full}(\text{yr})$
250	0.5	0.12	0.62
0.7×250	0.5	0.17	0.67
0.5×250	0.5	0.24	0.74
0.3×250	0.5	0.42	0.92
125	1.0	0.25	1.25
0.7×125	1.0	0.36	1.36
0.5×125	1.0	0.51	1.51
0.3×125	1.0	0.84	1.84

4.2.2 方案2延伸北防沙堤和延伸定沙突堤GENESIS灘線模擬評估

本研究以GENESIS灘線預測模式針對方案2進行模擬，探討方案2佈置條件下之灘線變化。以2002年灘線模

擬至2010年灘線，接著加入整治方案進行模擬，模擬時間為2010年至2015年，接著延續延伸北防沙堤300公尺和定沙突堤150公尺模擬至2020年。延伸後之沿岸輸沙量將假設為 $\alpha Q=125$ 萬立方公尺。其結果顯示，圖7中顯示，經由GENESIS模式模擬結果顯示，在定沙突堤再延伸後，灘線於北防波堤與北防沙堤間快速往前淤積，北防波堤堤體附近處之灘線淤積較為顯著，其淤積幅度約在100公尺左右，在靠近北防沙堤附近處，其淤積長度約為200公尺左右，北淤沙區淤沙面積較未延伸前有明顯的增長，達到穩定的淤沙效果。

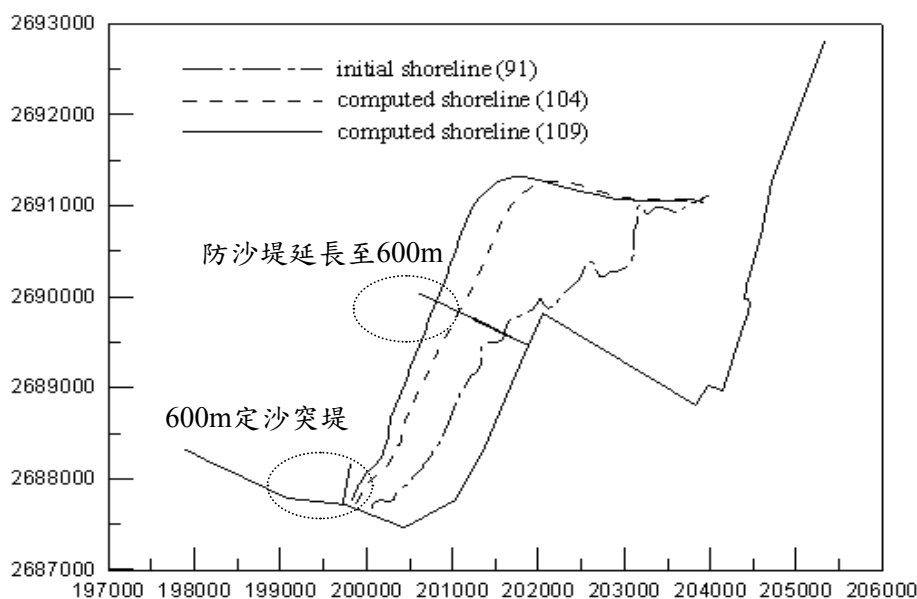


圖7 GENESIS灘線模式預測灘線與實測之比較（延伸北防砂堤延伸和新建定沙突堤，2002年至2020年）

4.3 方案3建議方案數值模擬

本研究進行方案1與方案3的平面數值模擬，方案配置如圖8和圖9所

示，圖8為方案1，圖9為本研究提出的方案，為滿足臺中港的防護目標，待方案1定沙的功能失效時，方案3於定

沙突堤北側再興建一定沙突堤450m，期能繼續將沿岸漂沙攔阻下來，避免漂沙進入臺中港區。



圖8 Case 1配置



圖9 Case 3配置

圖10和圖11是以2004年為起始地形，分別模擬方案1和方案3至2005年的地形侵淤變化，由圖10可知，方案1的淤積量集中在北防沙堤和新建定沙突堤之間，待該區域淤積量過多而無法再攔阻沿岸漂沙時，本研究建議於北側再興建一定沙突堤，興建後的侵淤量如圖11所示，由圖中可知，沿岸漂沙被攔阻在第2道定沙突堤前，顯示該突堤可繼續攔阻沿岸漂沙，避免該漂沙向南輸送至臺中港區。

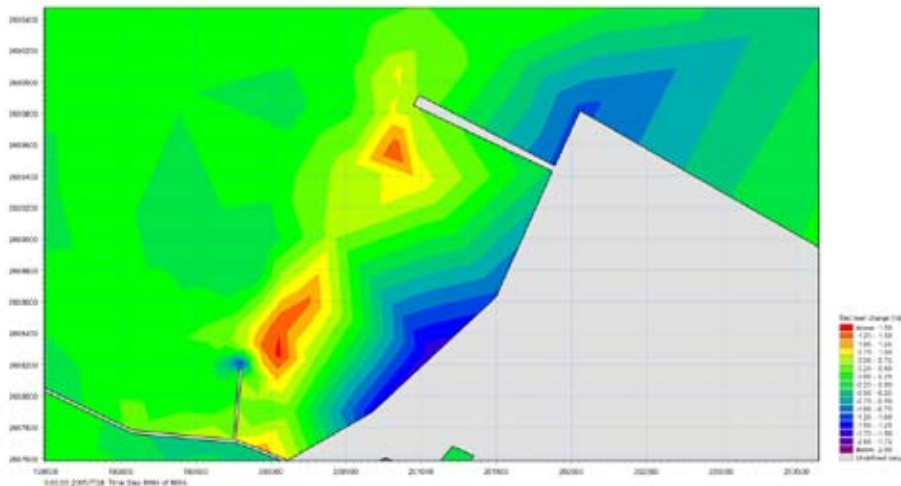


圖10 北淤沙區侵淤量 (Case 1)

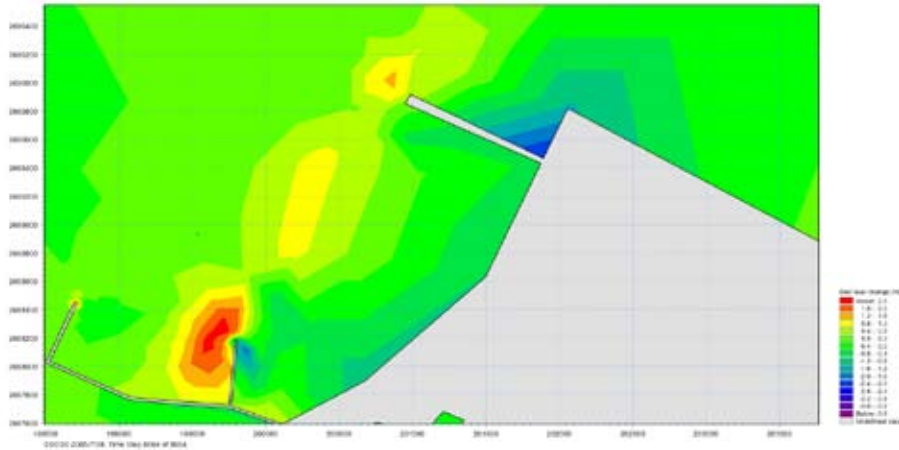


圖11 北淤沙區侵淤量 (Case 3)

圖12數值計算剖面位置示意圖，擷取北淤沙區之地形断面與堤頭附近水深断面。圖13~15為各方案Line 1~Line 3的剖面比較，各方案皆以2004年為起始地形模擬至2005年地形，圖中細實線為零方案的剖面、細虛線為方案1的剖面而粗實線為方案3的剖面，由圖12 Line 1的剖面可知，方案1於近岸附近較零方案（現況）有些微的淤積，而方案3與其他2個方案相比，於近岸附近則有大量的淤積。由圖13 Line 2的剖面可知，方案1於近岸附近較零方案已有大量的淤積，而方案3於近岸的淤積量則更大於方案1。由圖14 Line 3的剖面可知，零方案和方案1的剖面相當接近，方案3於港口附近為侵蝕而於北防波堤北側則為淤積。綜合上述結果顯示，本研究提出的方案2可將沿岸漂沙攔阻於北淤沙區，且由於降低漂沙向南的輸送量，因此會造成Line 3剖面於港區附近有些微的侵蝕，亦即達到臺中港避免漂沙進入港區的防護目標。



圖12 數值計算剖面位置示意圖

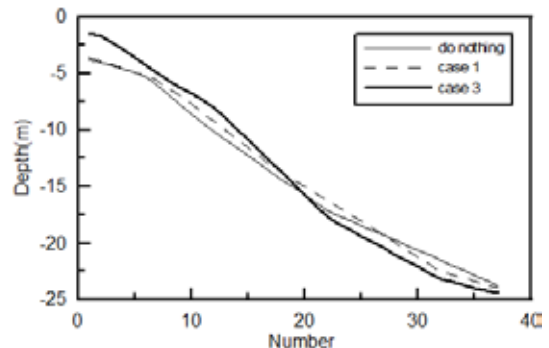


圖13 各方案Line 1剖面比較

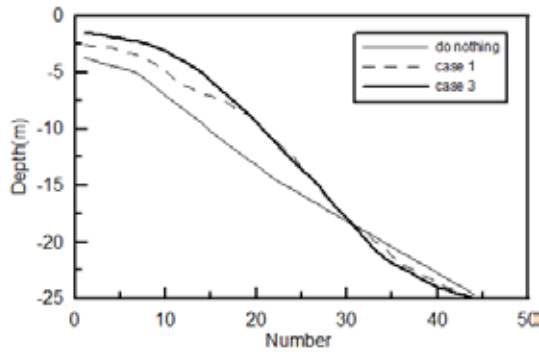


圖14 各方案Line 2剖面比較

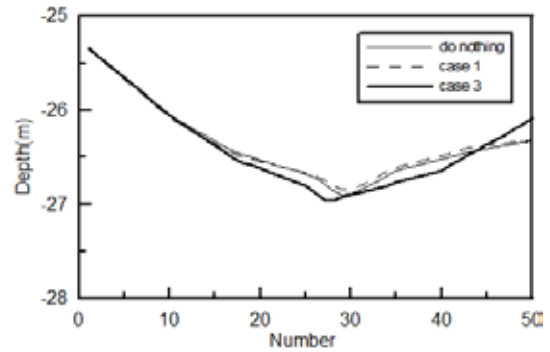


圖15 各方案Line 3剖面比較

五、結論

由於研究區域上游所供給的沙量無法準確的預知，本研究僅假設岸輸沙量為 $Q=125$ 及 250 萬立方公尺與防沙堤透過率為 0.3 、 0.5 及 0.7 等情況下進行模擬評估。方案1 (case1: 今年度正施作方案，延長定沙突堤450公尺與北防沙堤300公尺)。方案2 (case2: 基於方案1的基礎延伸定沙突堤至600公尺與北防沙堤至600公尺。方案3 (case3: 基於方案1的基礎，再於北防波堤遠處流場劇烈變化處，興建一定沙突堤450公尺)。各方案結果簡述如下：

方案1：假設沿岸輸沙量為 $Q=125$ 及 250 萬立方公尺與防沙堤透過率為 0.3 、 0.5 及 0.7 三種狀況下，在新建北定沙突堤與新建北防沙堤間淤沙

狀況，應用突堤上游灘線變化之理論推估灘線淤積至堤頭之時間在 1.7 - 8.6 年之間，以平均防沙堤透過率為 0.5 狀況，所得結果為 2.7 至 5.6 年。

方案2：在延伸北定沙突堤與新建北防沙堤間淤沙狀況，應用突堤上游灘線變化之理論推估灘線淤積至堤頭之時間為方案1所需時間再加上 0.62 - 1.84 年之間，以平均防沙堤透過率為 0.5 狀況，所得結果為 3.44 及 7.11 年。

方案3：透過平面及剖面結果的探討可知，本研究提出的方案3可將沿岸漂沙攔阻於北淤沙區，且由於降低漂沙向南的輸送量，因此會造成Line 3剖面於港區附近有些微的侵蝕，亦即達到臺中港避免漂沙進入港區的防護目標。

參考文獻

1. Gerald C. F. and Wheatley, P. O. (1996) "Applied numerical analysis", 6th ed. Addison Wesley.

2. Goda, Y. (1970) "A synthesis of breaker indices", Transactions of Japan Society of Civil Engineers, 2, 227–230
3. Hallermeier, R.J., (1983) "Sand Transport Limits in Coastal Structure Design," Proceedings Coastal Structures '83, ASCE, New York, pp. 70716.
4. Sunamura, T. and Horikawa, K. (1974) "Two-dimensional beach transformation due to waves", Proceedings of Fourteenth International Conference on Coastal Engineering, ASCE, 920–938.
5. 佐藤昭二、田中則男，1962，「水平床における波による砂移動について」，日本第9回海岸工學講演會論文集，95～100頁。
6. 臺中港務局，1985，「臺中港第一期工程完工報告」。
7. 交通部臺中港務局，2003，「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治暨生態保育研究」。
8. 交通部臺中港務局，2007，「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期工程可行性研究」。
9. 交通部運輸研究所，2010，「近岸漂沙機制與防治研究（1/4）」。
10. 交通部運輸研究所，2011，「近岸漂沙機制與防治研究（2/4）」。

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3期，分別於2月、6月、10月出版。如蒙惠稿請於每期出版前30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：
43542臺中縣梧棲鎮中橫十路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

ISSN 1019-2603



9 771019 260006

GPN 2007700020

定價 100 元