

港灣報導



季刊 第89期

要 目

- ❖ 世界各港埠實踐綠色港口 (Greenport) 的具體作法
- ❖ 台灣七大商港之潮汐模擬
- ❖ 基隆港潮流流場之模擬
- ❖ 高雄港域波譜統計分析與颱風波浪推算
- ❖ 花蓮與高雄港極值波浪統計特性及設計波推算

中 華 民 國 100 年 6 月 出 版

港灣報導季刊

第 89 期

交通部運輸研究所

中華民國 100 年 6 月

港 灣 報 導 第 89 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、世界各港埠實踐綠色港口（Greenport）的具體作法 …1

宋柏均 基隆港業務組

二、台灣七大商港之潮汐模擬…………… 15

李兆芳 國立成功大學海洋科技與事務研究所 教授

劉正琪 國立成功大學臺南水工試驗所 副研究員

高政宏 國立成功大學水利及海洋工程學系 博士班研究生

三、基隆港潮流流場之模擬…………… 25

李兆芳 國立成功大學海洋科技與事務研究所 教授

劉正琪 國立成功大學臺南水工試驗所 副研究員

高政宏 國立成功大學水利及海洋工程學系 博士班研究生

四、高雄港域波譜統計分析與颱風波浪推算…………… 31

張憲國 國立交通大學土木工程學系 教授

何良勝 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 科長

劉勁成 國立交通大學土木工程學系 博士後研究

陳蔚瑋 國立交通大學土木工程學系 博士後研究

林受勳 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 研究員

翁瑞嘉 國立交通大學土木工程學系 碩士

五、花蓮與高雄港極值波浪統計特性及設計波推算…………… 43

張憲國 國立交通大學土木工程學系 教授

何良勝 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 科長

劉勁成 國立交通大學土木工程學系 博士後研究

陳蔚瑋 國立交通大學土木工程學系 博士後研究

江玟德 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 副研究員

翁瑞嘉 國立交通大學土木工程學系 碩士

世界各港埠實踐綠色港口（Greenport）的具體作法

宋柏均 基隆港業務組

摘要

港口的環境汙染問題導致港區本身與其周圍環境逐漸惡化，為了實踐全球化追求永續發展的港灣型態，「綠色港口」的營運模式，也將為未來海港邁向的新趨勢。故本文藉由蒐集相關文獻探討綠色航運發展現況，並參酌國外發展綠色生態港灣的營運

要求與管理型態，根據我口綠色港口（以基隆港為例）現行策略，提出更完善的整體改善計畫，以利後續研擬港區環境污染防治對策，以供未來相關權責單位在擬定商港環境污染防治相關政策之參考依據。

壹、前言

港口在經濟發展過程中的地位和功能，是隨著人們對港口功能的需求以及對社會經濟發展的貢獻，是不斷的擴展以及提升，於是逐步邁向「港埠功能多樣化」的營運模式，未來更將港區沿岸與沿岸都市作相互結合，以「港市合一」為趨勢發展，藉以共同促進港區與市區的共榮發展。

隨著經濟發展的規模愈趨擴大，港口對環境上的影響也更趨加深，故對於港區環境影響的要素而言，船舶的操作、港區內的各項營運、港埠沿岸都市等所產生之工業廢水、家庭汙水、工商廢氣、生活垃圾、粉塵等汙染問題，其對港區所衍生而成的環境汙染，卻嚴重影響港區的環境品質

與人體健康。環境與港口本是相互影響之榮辱共同體，卻因港口的日常作業、船舶營運、工商活動以及丟棄廢棄物等諸此行為，對港區與其周遭環境造成直接或間接的影響，這些行徑不僅改變了原本環境樣貌，也造成一定的汙染威脅，亦影響港區的整體規劃、運作型態與鄰近人民的生活品質。基於此，「港埠之環境保護」可謂當今全球各國備受重視、最為關切的議題之一。

在環保意識高漲下，除運輸工具的改革，各國的港口之營運者及政府等皆已展開行動，因此，本文將進行三個國外綠色港口之案例探討，以瞭解世界各港埠的進行及結果，將其發

展經驗與作法，深入掌握整體發展方向與重點，作為綠色港口具體作法之

建議。

貳、國際綠色港口發展現況

綠色航運持續在全球航運界熱燒，歐洲某大型港口推出船舶環境指數（ESI）計畫，2011年將以低港口費獎勵最潔淨的船舶，該計畫根據國際港口協會（IAPH）世界港口氣候行動計畫（World Ports Climate Action Plan）制定，歐洲大型港口利哈佛、不來梅、漢堡、安特衛普、阿姆斯特丹和鹿特丹將分別於今年起正式啟用。將對停泊上述港口之船舶進行評估，項目包括硫氧化物（SO_x）、氮氧化物（NO_x）、顆粒懸浮物（PM）、二氧化碳（CO₂）排放水準等因素，還將對實行提高效率的措施和良好做法如目前正在由聯合國國際海事組織（IMO）發展船舶效率管理計畫加分。計分從0至100之間，零排放船隻就會獲得100分。

歐美等西方發達國家在綠色港口建設方面已有很大進展，目前已有具

體行動計畫，我們以世界大型港口減碳行動計畫舉例說明如下

(一) 荷蘭鹿特丹港——里吉蒙地區空氣質量行動項目

（Rijnmond Regional Air Quality Action Program）

(二) 美國洛杉磯與長灘兩港——聖佩羅灣清潔空氣行動計畫

（San Pedro Bay Clean Air Action Plan，2008）

(三) 美國紐約與新澤西兩港——潔淨空氣措施和港口空氣管理計畫

（Clean Air Initiatives and Harbor Air Management Plan）

(四) 澳洲雪梨港——綠色港口指導方針（Green Port Guidelines，2006）

(五) 日本大阪港——環境友善港灣範例：大阪生態港

（Environmentally Friendly Port Model: Eco-port Osaka）

一、長堤港作法

美國長灘港（Port of Long Beach）於2005年率先制定的綠色港口政策（Green Port Policy），不僅提供許多國家作為參考典範之外，亦是一套具有積極性、全面性、且具整合協調功能的綠色環保措施，能有效藉此

減低港埠運作時對環境所產生的負面影響。

(一) 輪船減速計畫（Vessel Speed Reduction）

此計畫限制輪船在距離Point Fermin的20浬（nm）以內水域，需減速到

12海哩。實施後可使引擎燃料消耗的減少，預估每年共減少106,602噸的CO₂排放、3,615公噸的SO₂、1,182公噸NO₂、顆粒性物質367公噸。

(二)船舶使用低含硫量燃料 (Vessels switch to low-sulphur fuel) 船舶在距離San Pedro Bay港40哩的範圍內，船上的主要及輔助引擎必須使用低硫燃料或清潔柴油。目前正推動使用天然氣 (liquefied natural gas, LNG) 去替代柴油。

(三)清潔卡車計劃 (Clean Truck Program)

該計劃主要目標是在2012年成功減少卡車造成的空氣汙染80%。其計劃內容如下所示：

1. 將所有經常性和半經常性造訪港區的卡車，及到訪港口的所有的老舊卡車（1993年生產或更老的車型）進行更新換代，或將它們改裝昇級。
2. 港口當局重點是放在卡車必須改用替代性燃料或更清潔的汽油。
3. 兩個港口當局和南加州海岸空氣漂浮微塵管理當局 (South Coast Air Quality Management District, SCAQMD) 提議在最近5年內投資2億美元的費用，直接用於替代或改裝載重卡車（為車主提供資金用於取代或改裝些車輛的費用）。
4. 鼓勵措施，港口當局者給願意以新汰舊的車主予以獎勵，租賃合同中要求使用“清潔卡車”，開放一條綠色通道，讓清潔卡車更

快地通行，給不清潔的卡車懸掛標識物，以便限制它們進出港區，並且變更關稅及實行有利於清潔卡車的分級收費機制。

5. 為了加快推動使用環保卡車，其港口有財政援助計劃，其計劃包括租賃至擁有計劃、購買和改裝津貼、及報銷卡車回購計劃。因此，兩個港口皆開徵運貨費用，向每個標準貨櫃徵收35美元，從而獲得資金以支付更換現時卡車車隊的費用。並向每一個標準貨櫃收取15美元額外的基礎建設貨物費用 (Infrastructure Cargo Fee)，以幫助支付在港口範圍內需要維修、更換或改善的主要橋樑、鐵路和道路之費用。

6. 從2008年10月1日起逐步禁止1989年前的拖運卡車在港口運作。到了2012年，在港區運作的拖運卡車皆能符合2007年聯邦政府排放物標準。

(四)綠旗計劃 (Green Flag Program)

這是一項自願性措施，旨在鼓勵進入長堤港口的船舶，在加州海岸Point Fermin的20海哩範圍內，把船速減慢至12海哩。營運者若在12個月內有90%的時間是遵守這項措施，那些完全遵守這項措施的船舶則可在船上懸掛長堤潔淨港口旗幟，並提供優惠的碼頭費。在2007年底共有600艘船舶是完全遵守這措施。

(五)使用港區電力

此計劃要求遠航船隻在碼頭停泊時，必須關閉主要及輔助發電機，

而改用岸邊更清潔的輸電網（通過港區調節／控制的因定電源發電）。而對於那些不適合使用港區

電力的輪船，要求他們使用其他的替代性技術來減少停泊時的廢氣排放。

二、香港作法

香港在2008年6月1日正式生效《國際防止船舶造成污染公約》，明訂限制船舶使用燃料的含硫量及氮氧化物排放。香港海事處正積極研究制訂《商船（防止空氣污染）規例》，以便根據公約的規定，減少船隻排放空氣污染物到周圍環境之中，並與深圳及廣東省合作，推行「環保港口」政策。根據思匯政策研究所發表的Green Harbour Workshops（2008）及綠色港口（2008）研究報告中指出該港所實施的生態規劃如下：

- (一) 鼓勵運輸船舶、駁船、港口車輛和設備等皆採用低硫燃料，且研擬其他替代燃料，並遵循最佳減排標準。
- (二) 減少燃料消耗量，因此，必須減少不必要的港口運動、貨櫃堆積密度，並且減低港區內的汽車及船隻航行速度。
- (三) 建議新的郵輪碼頭須設有岸上電力供應設施，並建議電氣化設備應推動國際間標準化。

- (四) 指定某些區域為硫排放控制區，區內的硫排放量上限為1.5%。
- (五) 更換舊式發動機，安裝超過130kW的柴油發動機的船舶或在2000年1月1日前經過重大改裝的船舶，皆須遵守發動機排放氮氧化物的限制。
- (六) 更換舊卡車。在2007年4月，政府資助歐盟前期和歐盟I期的商業車輛車主將舊車輛更換至歐盟IV期車輛。
- (七) 檢驗跨境卡車的油缸。為了確保卡車司機有足夠的燃料做跨境行程，香港海關會抽樣檢查油缸。
- (八) 當技術員測試設備時，為非路面車輛安裝活性碳過濾器以收集排放物。
- (九) 安裝節能系統進而控制港口區域的燈光。
- (十) 安裝太陽能發電板把水加熱，每年可節省超過120,000kW電力。
- (十一) 擴大電氣化，碼頭當中70%的膠輪式台架起重機已轉用電能。
- (十二) 培訓環保的專業人員及培訓員工。

三、雪梨港作法

雪梨港埠公司所出版之綠色港口指導方針（Green Port Guidelines，2006）報告中提出現行港埠營運行為會對環境所產生的衝擊，並對雪梨港埠土地利用提出一些建議及策略和資訊，以追求港埠營運和環境保護取得平衡的發展。其中綠色港口指導方針定義出10個與港埠營運和設備有關的關鍵環境議題，如下所示：

- (一)選擇可回收物料：港埠應降低使用新原料的數量，盡量採用再生原物料或具環境材質的物料生產，使其物料對環境的衝擊和能源的耗用可以最小化。最後，並考量物料用盡後的情況，包含生產後的物料處理與分解情形。
- (二)廢棄物管理：港埠營運者應盡量減少廢棄物的產生，並鼓勵從事廢棄物回收行為，降低廢棄物送往垃圾掩埋場的數量。此外，在處理廢棄物時應確保具危險性的廢棄物能安全的儲存和處理，避免對港埠環境造成傷害。
- (三)節約水資源：應降低飲用水的耗用，做好水資源的管理與監督，避免任何水資源發生滲漏。此外，應在港區內最好汙水處理，並將這些以處理的汙水再次利用，以降低對於水資源的需求。
- (四)減少能源消耗：盡量減少能源的使用，致力於降低能源消耗和溫室氣體排放量。除了節流外，應在尋求其他再生能源來獲得所需能源，從可替代的能源中獲得能源，使用較

不會讓溫室情況惡化的燃料。尤其是要限制柴油引擎的使用。

- (五)使用大眾交通運輸：港埠營運者應鼓勵員工使用可替代的運輸方式，以降低無效率或個人汽車所產生的溫室氣體，如搭乘大眾運輸或推行共乘的概念。此外，並從現行營運中的車輛或設備中做改善，讓車輛或設備所產生的污染最小化，降低溫室氣體的排放量。
- (六)提升內部環境品質：提高室內空氣品質及優質的採光和聲學環境，以保障員工健康及提高生產力。
- (七)減少廢氣的排放量：減少溫室氣體的產生，保護臭氧層並降低全球暖化的潛在可能。此外，應注意氣體排放的地方，確保他們在遠離敏感的地方（住宅區或行政地區等人口密集處）排放。盡量減少惡臭氣體和噪音的產生。避免人員意外地皆處危險或有毒的物品。
- (八)水體質量：應做好防洪管理，降低遇到暴風雨時的尖峰流量，避免淹水情形發生。做好防洪管理不但能保護港灣避免淹水，還可以保護其他水體，防止地下水位發生改變。
- (九)有效運用港區土地：可以鼓勵廢棄土地重新利用與發展，如先前已發展或因遭受汙染的土地，經補救過後，在對人體和環境不會有傷害的前提下進行發展，提高土地的使用情形。
- (十)環境管理：提到應該與利益相關者保持良好的關係，並能及時應對各

種抱怨，且要提升居民及員工環境
持續發展的觀念。

參、世界各國獎勵和優惠措施

表1

獎勵	地方	規定/益處的摘要
歐盟清潔海洋獎 (EU Clean Marine Award)	歐盟	1.以環保形式經營航運業務、低排放設施。 2.榮譽和表揚；沒有金錢獎勵。
綠色獎項基金 (Green Award Foundation)	最先在荷蘭設立，但現已是一個獨立組織。	1.更嚴格的環保、技術和安全標準。 2.減免港口稅和收費。
港口費用回扣和其他優惠	芬蘭、挪威、德國、瑞典、洛杉磯港口和溫哥華	1.低排放/低船速。 2.減免港口稅項和收費。
排污交易和積分計劃	溫哥華和美國西岸正在考慮之中；英國	
綠旗計劃	長堤港口	1.在加州海岸20海里範圍內以12海里航行。 2.若90%遵守計劃規定，翌年可獲減免15%的船塢費用。 3.若完全遵守計劃規定，會獲准在船上懸掛「綠旗」做為獎勵。

肆、我國港口推行Greenport之策略——基隆港

「推動綠色港口——Green Port」的理念是目前航運發展的世界趨勢之一，除了有賴船公司在新船設計、航

速降低及使用低硫燃油等努力之外，在港埠管理當局而言，也必須責無旁貸的推行策略行動方案。

表2 基隆港推行綠色港口策略與行動方案

策略	行動方案
節能減碳愛地球	■ 碼頭岸電 ■ 電動機具 ■ OCR+RFID門哨 ■ 公文線上簽核
打造綠色環境	■ 無接縫轉乘 ■ 空中花園 ■ 綠建築 ■ 擴大植栽 ■ 密閉倉儲
引進綠能產業	■ 電動車龍頭進駐蘇澳港
資訊服務無所不在	■ 全面E化服務 ■ 港區無線網路

資料來源：蕭丁訓，2009

一、節能減碳愛地球

- (一) 碼頭岸電：推動以岸電供應維持滯港船舶動力，以減少鍋爐運轉所產生的二氧化碳排放、噪音製造與降低振動等效益。
- (二) 電動機具：在貨櫃裝卸機具方面，以往後線都是使用的跨載機都是柴油引擎，不僅消耗油料，又會產生空氣與噪音污染。現在不僅要求業者把跨載機改為電力驅動，同時把

跨載機換成門式機，讓作業效率更能夠提升。

- (三) OCR+RFID門哨：自動化辨識系統在效率上、資料正確性與二氧化碳減少排放等利基之外，亦可以節省傳統門哨配置的港警人力，同時也有提昇國際形象及港口競爭力的衍生效益。

二、打造綠色環境

- (一) 無接縫轉乘：未來新建的西岸旅客中心，規劃將鐵公路候車站，延伸到該旅客中心，並整合各種不同運具的時刻表，提供轉乘資訊，以達到無接縫的旅客轉乘服務。

- (二) 空中花園：現有東岸基港大樓屋頂，以及未來西岸新建的新海港大樓，闢建空中花園，以降低建築物內部溫度，並改善高空俯視該建築物的視覺效果。

- (三)綠建築：西岸新海港大樓、旅客中心，以及未來東岸旅客大樓與商業城，均以綠建築設計，亦即在基隆港鄰近市區的區域，營造多棟的綠建築，成為基隆市中心區綠建築的集中地。
- (四)擴大植栽：台北港臨港大道、行政大樓、散雜貨及貨櫃儲運中心內，

增設植栽。透過植栽減少大氣中的二氧化碳。

- (五)密閉倉儲：我們不僅鼓勵將煤炭的裝卸與儲轉作業自動化與「密閉化」，基港局要求「砂石」除了不漏地，也必須要使用「密閉式」的儲轉設備，這可能是全世界的創舉。

三、引進綠能產業

以蘇澳港為例，為了成為附有經濟效益的「加值型港口」，正一方面爭取將蘇澳港申設為自由貿易港區，

另一方面則鼓勵「必翔電動車公司」等綠能產業能夠進駐。

四、資訊無所不在

(一)全面E化服務

1. 事件管理自動化：整合港口研究中心的防救災系統，並將港區事件（如工安、意外等非預期事件），透過網路進行通報與管制，同時將港區CCTV予以整合在系統中，進行監看。
2. 擴大電子支付和電子發票運用：目前採用電子支付繳納費用的比率居各港之冠，未來更將擴大推

廣到租金、優先費用的繳納，以增加網路的使用，減少民眾洽公奔波。

- (二)港區無線網路：隨著網路需求的發展，無線網路技術目前也達到相對成熟的階段，計畫建置辦公場所、作業現場的無線漫遊網路，提供無拘束的網路環境，不僅契合現今電腦網路連線模式，符合使用習慣，而且可以提升整體服務形象。

伍、提出Greenport之整體改善計劃

綠色港口實踐對我國港口建設具有重要啟示，參考以上各國港埠作

法，實際情況，就推進綠色港口建設工作，提出以下整體計劃。

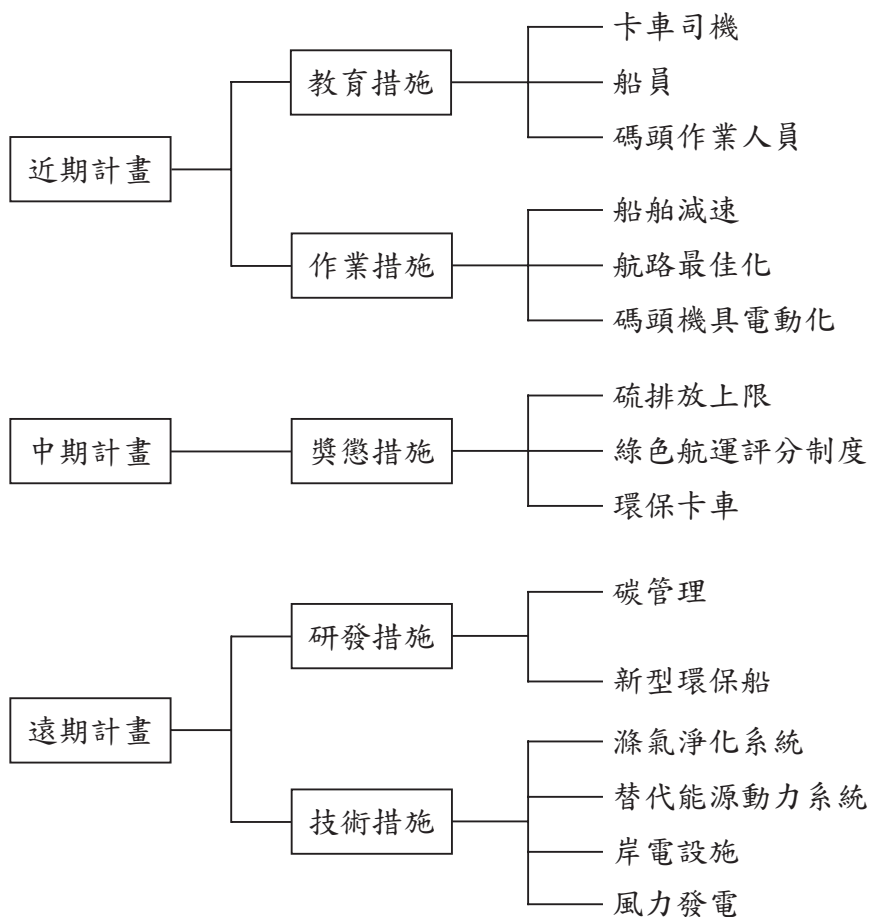


圖1 Greenport整體計劃

一、近期計畫

(一) 教育措施

1. 卡車司機

舉辦由政府資助的培訓計劃，使港口使用者掌握更多和更新的設備效益知識，這種培訓計劃尤其適用卡車業界。台灣的卡車業需要政府的協助才能提升其環保表現。卡車業界內大部分都是較小規模的營運者，可作環保用途的資金有限。他們願意採用一些可

以容易執行和成本低廉的環保措施。

2. 船員

加強教育宣導務必所有船員都確實明瞭，船舶可能造成的污染及防制措施，並提昇船員節能減碳意識與能力，致力於資源回收再利用，於日常作業中付諸實行以減少廢棄物產生。

3. 碼頭作業人員

現場人員平時在作業時應定期參加環保議題的教育訓練，並將節能減碳觀念融入於工作中，做到垃圾減量與提升作業效率減少能源消耗。

(二) 作業措施

1. 船舶進港減速（降低油耗及汙染）
當船舶進至港區時，應減速以降低油耗及汙染，例如萬海航運從2007年起參與美西長堤港自願性船舶減速計劃，亦即在靠近長堤港20海浬前就自動減速至12海浬以下，自2008年後的所有萬海營

運船舶皆全數達到標準，2009年更擴大參與40海浬前之自動減速計劃且成效卓著，因此建議其他航商在停泊港區前實施減速計畫。

2. 航路最佳化

運用船位監控及氣象導航服務技術，船舶採最佳航路及經濟航速航行等方式以減少耗油。

3. 碼頭機具電動化（電力取代柴油）
碼頭機具全面採用電力供能，取而代之柴油之使用，以降低空氣汙染。

二、中期計劃

(一) 獎懲措施

1. 訂定硫化物排放上限
在逐步降低船上硫化物排放方面，MARPOL附則VI修正案的主要變化是：首先全球硫化物排放上限從現在的4.50%降到2012年的3.50%。然後到2020年逐步降到0.50%，視2018年前完成的科學性評估而定。到2010年7月1日，硫排放控制區域的限制將從現在的1.50%降到1.00%，並於2015年降到0.10%，估計可減少NO_x 23%、PM_{2.5} 74%與SO_x 86%。因此為鼓勵船舶使用低硫柴油，港務局可減徵港口使用費，並且對使用高硫柴油的航商增加碳稅，如此港務局收費不會減少，也能提倡使用低硫燃油的

概念。

2. 建立綠色航商評分制度
建立綠色航商評分制度，計分從0至100之間，零排放船隻就會獲得100分，對於遵守環保港口措施的船隻收取較少港口費用以及提供優先泊位的優待。
3. 補貼業者採用環保卡車
據“天然氣週刊”報導，創建於1952年的未來資源（氣候公約）小組，研究了減少美國石油消耗的35種途徑，他們發現天然氣動力的重型卡車是最佳選擇。2010年8月，該小組發布了天然氣卡車對能源，溫室氣體和經濟的影響報告，公司還在進一步研究了“新國家能源政策”，對可以減少石油消耗和碳排放的35個政

策選項進行評估。這些政策當中包括多種石油稅，留言企業平均燃料經濟標準（CAFE）的，混合動力車輛補貼，碳排放稅，新型建築規範，核電站保證和可再生能源標準。

從性能價值比的角度上看，天然氣卡車是所評估的政策選項中最有效的。通過對首次購置成本，節約燃料，折舊率和替代石油等方面的估算，報告認為，天然氣卡車替換石油的成本大約

為每桶15美元。未來資源相信按此成本，推行天然氣卡車無需政府補貼或強制命令。報告顯示，到2030年，如果美國重型天然氣卡車的數量增加至550萬輛，那麼以1,860億美元的總成本，每天就可以替換掉220萬桶的石油消費。報告中應用雄心勃勃的漸進模型預計，2011年新銷售天然氣卡車在市場佔有率將達10%，2020年上升到100%。

三、遠期計畫

(一) 研發措施

1. 碳管理

企業想做到碳交易，必先從碳管理做起；想做好碳管理，必須將下列項目納入規劃中：

- (1) 選定溫室效應氣體排放基準年份
- (2) 發掘潛在的危機與商機
- (3) 審視公司現行能源政策及探索替代性能源實施可行性
- (4) 制定公司綠色採購政策及實施準則
- (5) 訂定公司廢棄物管理系統以達到3R（Reuse, Recycling & Recovery）目標，其中包含產品生命週期評估
- (6) 發展碳抵換（Carbon Offset）策略
- (7) 發展及推行碳減量政策
- (8) 持續性改善計畫及目標達成時

間表

在現今能源與環保議題中，是以「零排放，零掩埋」為最終目標。家所面臨的環境狀況前所未有的，不再只是單一國家所面臨的環境議題，跨國企業在全球化的過程中，將直接面對其對全球市場造成的能源與環保衝擊。在解決此衝擊的方法與以往最大的不同，是一種「用市場機制解決全球環境問題」（Market Solutions For Global Environmental Problems）的全新環保方式，其中以歐盟的WEEE、RoHS、EuP、REACH四大環保指令為代表！企業必須思考，除了遵守環保法規、生產綠色產品、符合環保檢測、製作產品綠色報告外，企業不應再處於被動或對抗的角度，而必須以一種商機與市場作

為驅動力去做環保，與市場中的綠色專家和夥伴合作，方能趨吉避凶，公司得以永續發展！

2. 新型環保船

荷蘭、比利時、德國與法國某些港口今年將依據國際港口協會（International Association of Ports and Harbours, IAPH）提出的自願性評估機制——船舶環境指數（Environmental Ship Index, ESI），作為港口費用折扣依據，提供低污染船舶港口費用折扣。ESI透過比對船舶氧化氮、氧化硫排放量與標準值的方式評估，並對呈報能效的船舶加分。目前，折扣細節尚未決定，但IAPH表示最環保的船舶至少能獲得5%的折價。該組織希望能將此ESI機制推廣至全球。

(二) 技術措施

1. 採用滌氣淨化系統

海水滌氣是通過海水過濾廢氣後，而減少船舶排放廢氣污染物，其原理是：所謂的排氣都抽入混合了海水的氣體淨化系統，進行滌氣，滌洗乾淨後的氣體再加熱，原有大部分有害的二氧化硫和其他污染物得以去除，淨化後的氣體排入空氣中。在此過程中，90%的二氧化硫、3-5%的氮氧化物和50%的粒狀物得以去除。技術支持者認為這措施不僅較轉用較環保的燃料更經濟，而且可更有效地減排二氧化硫。

2. 採用替代能源動力系統

法國的一家新創公司NG2目前在

市場上正推出它的PLUG（裝載及卸載的動力產生器）海岸動力系統，該系統是基於一種獨特的概念，它能與岸邊的連結器自己自動連接或分離，該公司宣稱這是個"按鈕即可操作的系統"。根據NG2的液化天然氣及運輸部門副總裁Damien Feger表示，PLUG將會是世界上第一個能提供數百萬瓦特以及高電壓的連接器，它可以提供貨櫃船6-8 MVA/6.6 kV的電力使用。

當船舶到達港口時，將會有系統設備將岸邊的連接器升高，系統所配備的電纜將會啟動一個三階段的連接器去銜接船邊的插座，以一艘船舶的運轉來看，整個PLUG的運轉過程可以在一分鐘內完成，而且不需要高電壓的電纜直接處理，以安全和成本觀點來看，這正好替以前系統的主要缺點找到解決方案。

3. 岸電設施供應船舶動力

將港內停泊輪船隻電力需求，改由岸上電力，目前高雄港六櫃碼頭規劃設計階段時，已融入節能環保理念，該計劃預定於2011、2013年分別完成二期興建，計有四座碼頭。未來安裝岸電設備後，提供陽明海運船舶岸電服務，可減少船舶泊岸時發電用燃油之消耗，並降低黑煙排放之空氣污染，以符合節能減碳與環保之要求，建議未來新建碼頭規劃設計時應全面採用岸電系統。

4. 風力發電

美國麻州政府展開前所未有的風力發電領航計畫，在所屬的辦公大樓樓頂，豎立起20座高約180公分的小型風車，希望能直接為建築提供所須電力。港務局官員評估，它們所產生的電力，一年就可以省下13,000塊美元的電

費，未來如果成效不錯的話，港務局還打算推廣到其他所屬機場和港口建築；因此我們建議在台北港防風林區搭建大型風車，一方面可以減少能源消耗，另一方面可以將參觀十三行博物館的人潮帶入台北港。

陸、結語

在能源危機和環境污染的新形勢下，綠色港口是港口發展的必經之路，也是解決港口在其發展過程中所遇到問題的關鍵。因此參考國外港口實際作法是比較可行的，從獎勵航商採用節能（能源管理、使用替代能源）與減碳（低硫燃料、船舶減速、岸電設施）與符合船舶環境指數（ESI），開罰硫化物排放超過標準

之業者，以雙管齊下的方式進行，雖然此作法暫時增加業者的營運成本，但為符合世界環保潮流，綠色港口不應該只是港口經營者（港務局）的本身努力就能成功的，更有賴多方努力才能有效推動，包括政府環保機關及國際組織（IMO），以及港口使用者（Stakeholders），如航商、物流業者等才能建立綠色生態港口。

參考文獻

一、論文期刊：

- (一) 林繼山、呂錦山、桑國忠（2009）
「永續發展態度、永續供應鏈與永續經營績效關聯性之研究-以台灣國際商港為例」
- (二) 顏思綺、林泰誠、蔡豐明（2010）
「我國生態港埠表現指標之建立與研究」，The study on the ecological ports' performance index
- (三) 張瀨之、王志敏、周梅菁（2011）
「全球供應鏈之海洋運輸碳足

跡評估」 Assessment of Global Supply Chain Carbon Footprint in Sea Transport Sector

- (四) 陳艾懃、鐘芳蔚（2011）「港口減碳與實施岸電系統之挑戰」
- (五) 郭芊汝、劉中平（2011）「建構台灣綠色商港之初探」

二、網路資料

- (一) 倡綠色歐洲港降港口費
- (二) 美長堤港港務局來台宣導「環保的長堤港」理念與成果

(三) 98.12.21十校聯盟_綠色港口

(四) 雪梨港綠色港口實踐及其對我國的
啟示

(五) 綠色港口：香港和深圳船舶及港口
相關的廢棄減排

(六) 682號公告02/10——燃料的硫磺含
量——義大利

(七) 從航商觀點看綠色航運的發展與挑
戰

台灣七大商港之潮汐模擬

李兆芳 國立成功大學海洋科技與事務研究所 教授
劉正琪 國立成功大學臺南水工試驗所 副研究員
高政宏 國立成功大學水利及海洋工程學系 博士班研究生

摘 要

本研究主要建立基隆港、臺北港、臺中港、安平港、高雄港、花蓮港及蘇澳港等七大商港計算潮汐之模式。數值模式採用水深積分水動力理論配合有限元素法之架構，有限元素網格則依各港口實際的港池形狀分別建置，模式所需的邊界條件則利用港

口附近潮位站的觀測資料進行調和分析後產生，模擬結果與觀測資料可得合理比較結果。比較各港水位、流速及流向等結果，除水位及流向部份與觀測資料大致吻合外，流速部分則有進一步改善空間，可待後續研究繼續修正。

一、前言

本研究主要目的為對七大商港，包括基隆港、臺北港、臺中港、安平港、高雄港、花蓮港、蘇澳港，進行(1)近岸潮汐水位和(2)流場之模擬。在計算方法上係先設定計算範圍與數值格網，然後依據港灣位置上下游潮位站觀測資料分析結果設定邊界條件，最後則是利用設定好的邊界條件與數值格網進行水位與流場的模擬。

比較計算出來的結果可得到以下的結論：(1)七大商港及其上下游觀測站資料的調和分析，經與原始觀測資料比較驗證其結果的正確性。(2)建立

完成七大商港的有限元素網格，配合調和分析的結果進行潮汐水位及流速的模擬。(3)各港的潮位模擬結果與觀測資料比較，顯示其結果相當一致。(4)在流向的部份，除臺中港、花蓮港與高雄港與觀測結果差距較大，最大誤差約介於30%至40%之間，其餘港口的模擬結果均與觀測資料相當接近。(5)流速的模擬結果與觀測值差距較大，除蘇澳港最大誤差約在15%左右外，其餘的港口最大誤差約介於25%至30%左右。

二、數值網格及邊界條件之建立

基隆港的格網係依據基隆港模擬範圍及水深分佈圖建立，先以人工方式在流場模擬範圍內建立三角形元素格網。之後，依初步建置之粗格網利用三角格網自動產生程式，配合水深條件產生基隆港水動力模式模擬水位及流場之數值計算格網，此格網稱之細格網或模式數值計算網格，如圖1所示，主要由1991個格點構成3,600個元素。

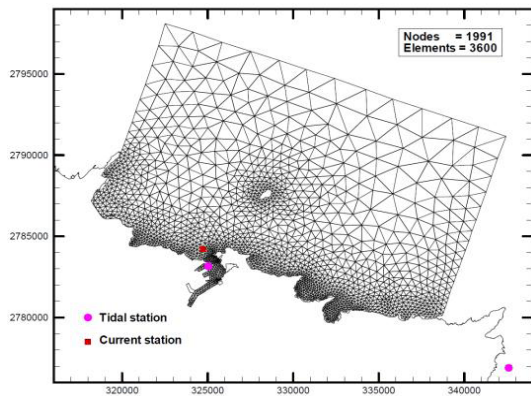


圖1 基隆港水動力模式之有限元素格網圖

圖2為七大商港及其周邊潮位站位置圖，由圖中可知，緊鄰基隆港左右兩側的潮位站為龍洞與麟山鼻。蒐集兩潮位站之潮位資料及海流觀測資料，選取 O_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 及 S_2 等五個主要分潮進行水位調和分析。依據分析結果建立基隆港東、西側鄰近潮位站龍洞及麟山鼻之潮汐水位資料之時序列圖，如圖3所示。



圖2 七大商港及其周邊潮位站位置圖

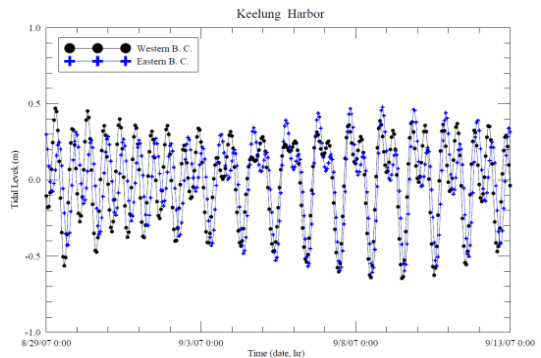


圖3 基隆港水動力模式之邊界條件時
序列圖

臺北港水動力模式數值計算格網產生方式同基隆港，如圖4所示，主要由1,871個格點構成3,396個元素所構成。由圖2知，麟山鼻與竹圍為緊鄰在台北港南北兩端的潮位站，蒐集兩站之潮位資料及海流觀測資料進行相關的資料分析。本研究選取MSF、 O_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 及 S_2 等六個分潮進行水位調和分析。利用分析結果建立數值

計算格網之南北側水位邊界條件。至於，外海平行海岸之開放邊界之水位條件則依直線距離之原則線性內差至各節點邊界上。

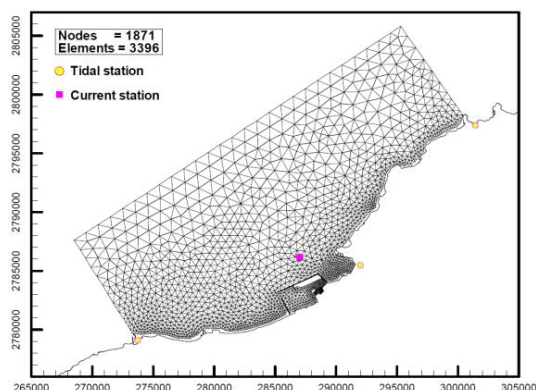


圖4 臺北港水動力模式之有限元素格網圖

臺中港水動力模式數值計算格網之建立，如前述，配合水深條件產生臺中港水動力模式模擬水位及流場之數值計算格網，如圖5所示，主要由3,993個節點及7,522個元素所構成。臺中港數值計算格網之開放邊界條件建立乃採用台中港潮位分析結果，選取 O_1 、 K_1 、 M_2 及 S_2 等四個主要分潮建立數值計算格網之開放邊界條件。

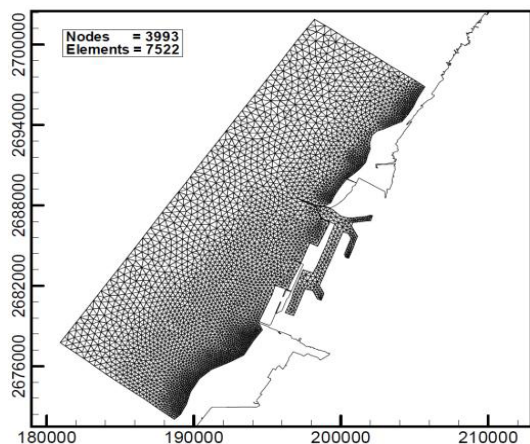


圖5 臺中港水動力模式之有限元素格網圖

安平港水動力模式所建立的數值計算格網如圖6所示，主要由4,092個節點及7,715個元素所構成的。利用永安及將軍兩潮位站的觀測資料，初步選取 O_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 及 S_2 等五個主要分潮進行調和分析，配合N方向之座標利用線性內差方式，推估安平港數值計算格網離岸開放邊界節點之各分潮之振幅及相位差，以建立開放邊界節點之水位邊界條件。

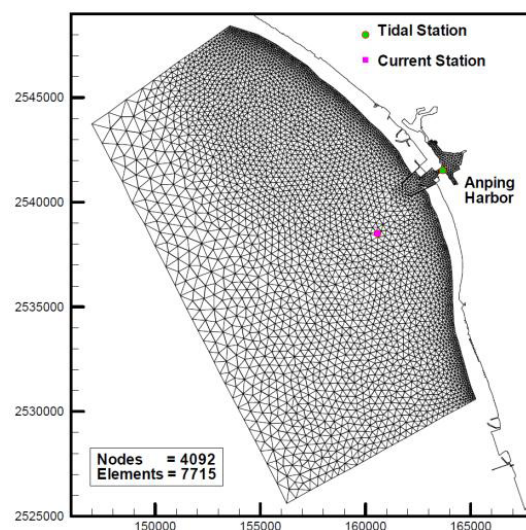


圖6 安平港水動力模式之有限元素格網圖

針對高雄港水動力模式模擬範圍建立之數值計算格網如圖7所示，主要由3,201個節點及5,917個元素所構成的。高雄港水動力模式數值計算格網之開放邊界條件之建立主要採用永安及東港兩潮位站的資料來進行。在水位調和分析過程中，本計畫選取 O_1 、 K_1 、 M_2 及 S_2 等四個主要分潮進行調和分析。

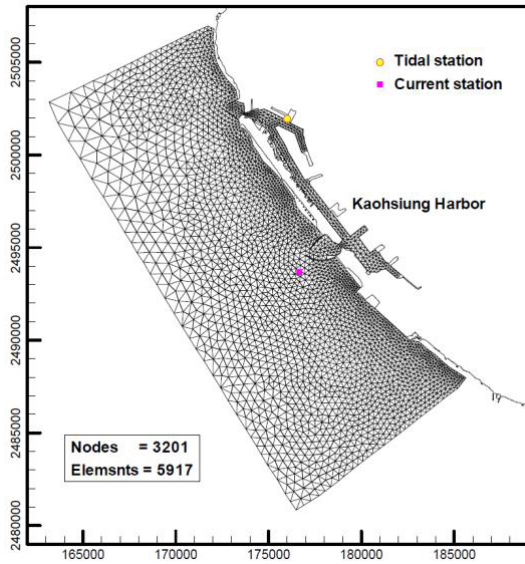


圖7 高雄港水動力模式之有限元素格網圖

建立花蓮港水動力模式數值計算網格，如圖8所示，圖中網格係由1,032個格點及1,789個三角元素所構成的。花蓮港水動力模式數值計算格網之開放邊界條件之建立乃依據花蓮港及其鄰近潮位站（蘇澳港及石梯漁港）之潮汐資料，在水位調和分析上，則選取 O_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 及 S_2 等五個分潮進行各測站水位調和分析。

蘇澳港水動力模式數值計算網格，如圖9所示，圖中網格係由1,479個格點及2,664個三角元素所構成的。在數值計算格網之開放邊界條件建立的部分，則採用梗枋及花蓮港之潮汐資料及蘇澳港海流觀測資料來進行，選取 O_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 及 S_2 等五個分潮進行水位調和分析並利用線性內插方式建立各開放邊界節點上之潮汐分潮之振幅及相位差為模式開放邊界之水位邊界條件。

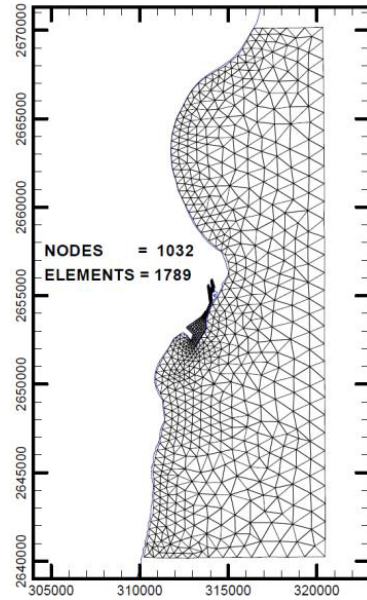


圖8 花蓮港水動力模式之有限元素格網圖

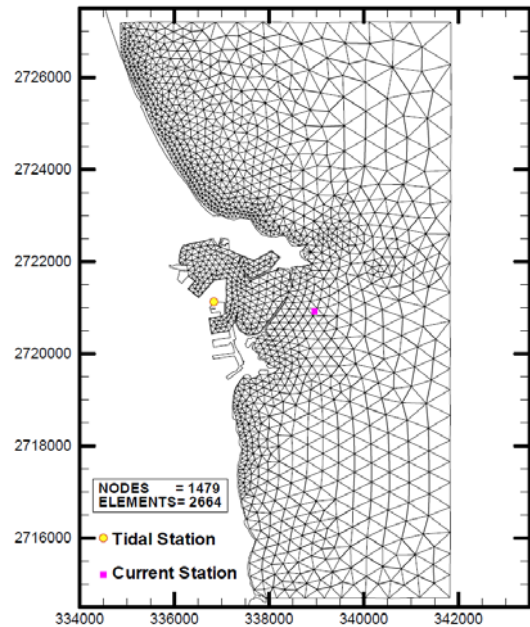


圖9 蘇澳港水動力模式之有限元素格網圖

三、結果與討論

基隆港水動力模式率定與驗證之模擬結果輸出時間，係由2007年8月29日零時起至2007年9月13日零時為止共計15日。圖10所示為基隆港潮位站附近之水位模擬時序列結果與潮位站水位調和分析結果（扣除平均水位值之結果）之比較，結果顯示水位模擬結果與潮位站水位調和分析結果大致上吻合，惟潮差變化模式模擬結果略小於潮位站水位調和分析結果，因此未來在邊界水位調整上可以略微修正東、西邊界上之振幅差因應。圖11與圖12所示分別模式在海流觀測點附近流速與流向變化模擬結果與海流觀測資料調和分析結果之比較，顯示模擬結果與海流觀測調和分析結果有顯著流速大小上的差異外，流向變化上大致上吻合，但時間相位上仍有約2小時之延遲。

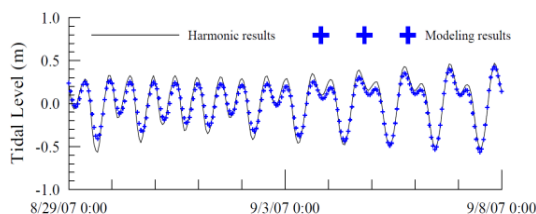


圖10 基隆港水位模擬結果與觀測值之比較

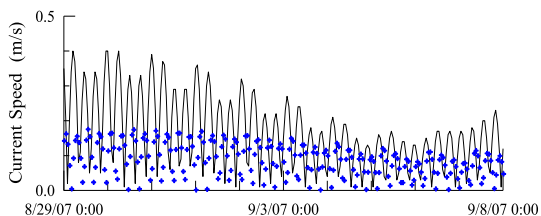


圖11 基隆港流速大小模擬結果與觀測值之比較

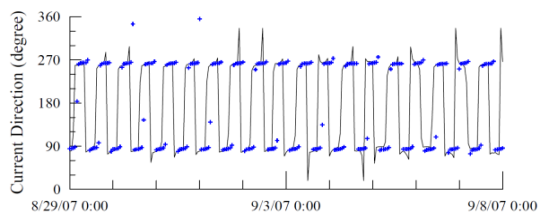


圖12 基隆港流向模擬結果與觀測值之比較

臺北港水動力模式模擬結果輸出時間，係由2006年9月3日12時起至2006年9月18日12時止共計15日。圖13所示為臺北港潮位站附近之水位模擬結果時序列與潮位站水位調和分析結果（扣除平均水位值之結果）之比較，結果顯示水位模擬結果與潮位站水位調和分析結果相當吻合。圖14與圖15所示分別臺北港水動力模式模擬海流觀測點附近之流速與流向變化情形與海流觀測資料調和分析結果之流速及流向之比較，結果顯示接近大潮時模式流速模擬結果與海流觀測資料調和分析結果有較大的偏差，流向變化模式模擬結果與觀測資料調和分析結果存在有一定的偏差。

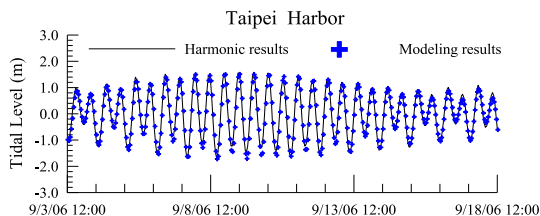


圖13 臺北港水位模擬結果與觀測值之比較

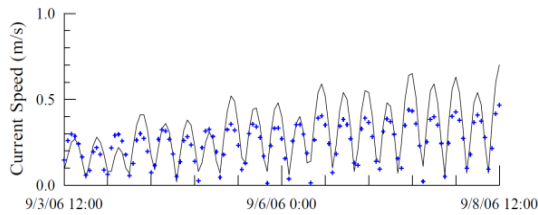


圖14 臺北港流速大小模擬結果與觀測值之比較

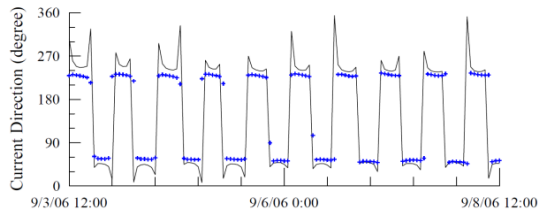


圖15 臺北港流向模擬結果與觀測值之比較

臺中港水動力模式模擬結果輸出時間，係由2006年6月16日12時起至2006年7月1日12時止共計15日。圖16所示為臺中港潮位站附近水位模擬結果之時序列與潮位站水位調和分析結果（扣除平均水位值之結果）之比較，結果顯示模式水位模擬結果與潮位站水位調和分析結果大致上吻合。圖17及圖18所示分別為臺中港海流測站附近節點之E-W方向與N-S方向流速大小模擬結果與海流觀測資料調和分析結果之比較，結果顯示臺中港水動力模式在海流觀測點附近之流況模擬與海流觀測資料調和分析結果有著顯著差異；其中之一臺中港海流觀測資料調和分析結果呈現出全日潮潮流型態，此為目前臺中港水動力模式邊界條件設定無法完全模擬呈現出來，其二模式模擬之E-W方向與N-S方向流速變化與臺中港海流觀測資料調和分析結果間有顯著之相位差。

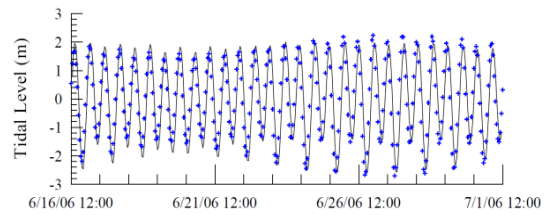


圖16 臺中港水位模擬結果與觀測值之比較

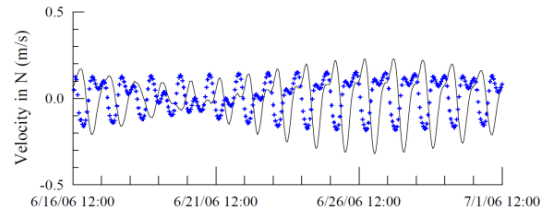


圖17 臺中港E-W方向流速模擬結果與觀測值之比較

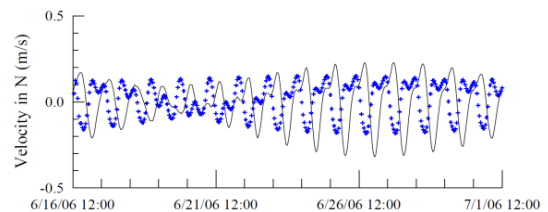


圖18 臺中港N-S方向流速模擬結果與觀測值之比較

安平港水動力模式模擬結果輸出時間自2006年2月15日零時起至2006年3月2日零時止共計15日。圖19所示為安平港潮位站附近水位模擬結果之時序列與安平港潮位站水位調和分析結果（扣除平均水位值之結果）之比較，結果顯示模式水位模擬結果與潮位站水位調和分析結果大致上吻合。圖20與圖21所示分別安平港水動力模式模擬海流觀測點附近之流速與流向變化情形與海流觀測資料調和分析結果之流速及流向之比較，顯示二者之間存在有些許之差異性。

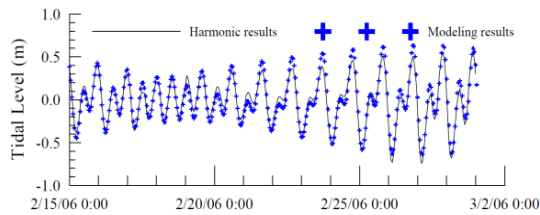


圖19 安平港水位模擬結果與觀測值之比較

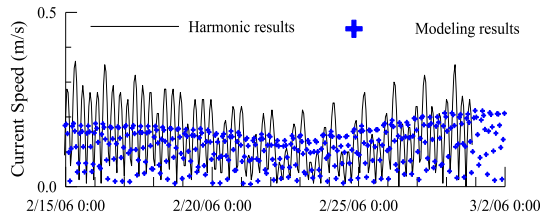


圖20 安平港流速大小模擬結果與觀測值之比較

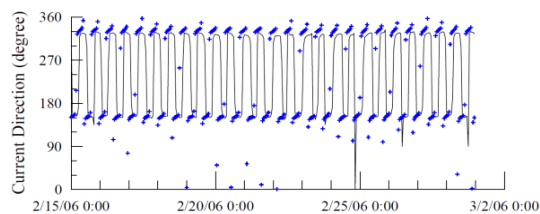


圖21 安平港流向模擬結果與觀測值之比較

高雄港水動力模式模擬結果輸出時間自2006年5月16日12時起至2006年5月31日12時止共計15日。圖22所示為高雄港潮位站附近水位模擬結果之時序列與高雄港潮位站水位調和分析結果（扣除平均水位值之結果）之比較，結果顯示高雄港水動力模式水位模擬結果與高雄港潮位站水位調和分析結果相當吻合。圖23及圖24所示分別高雄港海流測站附近節點之E-W方向與N-S方向流速大小模擬結果與海流觀測資料調和分析結果之比較，模擬結果顯在E-W方向流速大小上，模擬結果與觀測資料調和分析結果近似，但流速變化型態上則有出入。

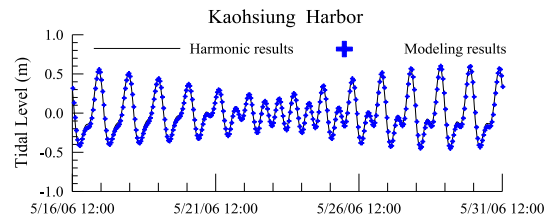


圖22 高雄港水位模擬結果與觀測值之比較

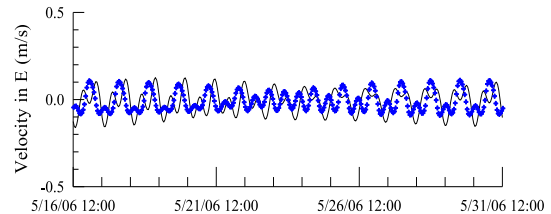


圖23 高雄港E-W方向流速模擬結果與觀測值之比較

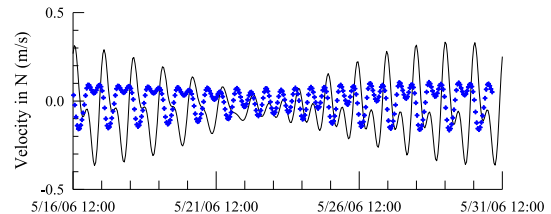


圖24 高雄港N-S方向流速模擬結果與觀測值之比較

花蓮港水動力模式模擬結果輸出時間自2006年6月6日12時起至2006年6月21日12時止共計15日。圖25所示為花蓮港潮位站附近水位模擬結果之時序列與花蓮港潮位站水位調和分析結果（扣除平均水位值之結果）之比較，結果顯示二者之間相當吻合。圖26及圖27所示分別花蓮港水動力模式模擬海流觀測點附近之流速與流向變化情形與海流觀測資料調和分析結果之流速及流向之比較，顯示流速大小變化上誤差頗大，流向間之差異相對地較小。

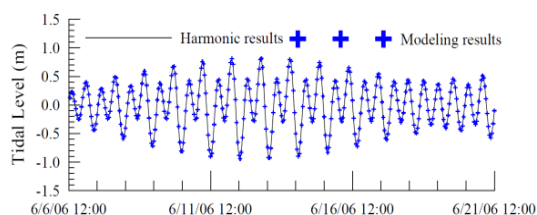


圖25 花蓮港水位模擬與觀測值之比較

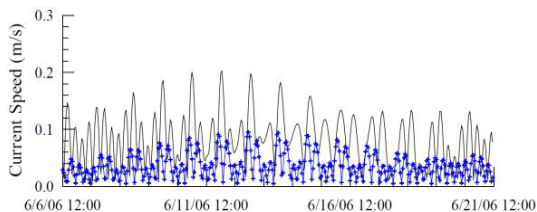


圖26 花蓮港流速大小模擬結果與觀測值之比較

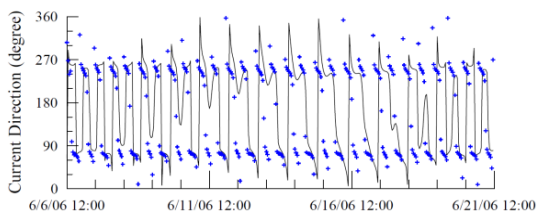


圖27 花蓮港流向模擬結果與觀測值之比較

蘇澳港水動力模式模擬結果輸出時間自2006年5月16日12時起至2006年5月31日12時止共計15日。圖27所示為蘇澳港潮位站附近水位模擬結果之時序列與蘇澳港潮位站水位調和分析結果（扣除平均水位值之結果）之比較，結果顯示二者相當吻合。圖28及圖29所示分別蘇澳港海流測站附近節

點之E-W方向與N-S方向流速大小模擬結果與蘇澳港海流觀測資料調和分析結果之比較，結果顯示在E-W方向流速比較上，模式模擬結果略大於E-W方向海流觀測資料之調和分析結果；結果顯示在N-S方向流速比較上，模式模擬結果與N-S方向海流觀測資料之調和分析結果近似。

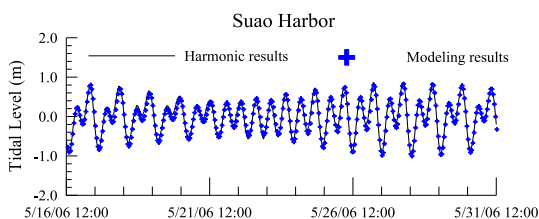


圖28 蘇澳港水位模擬結果與觀測值之比較

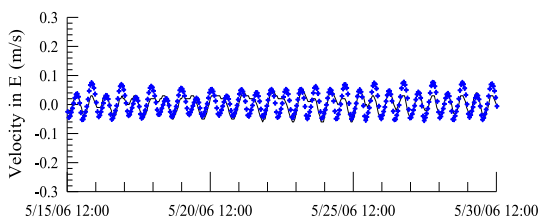


圖29 蘇澳港E-W方向流速模擬結果與觀測值之比較

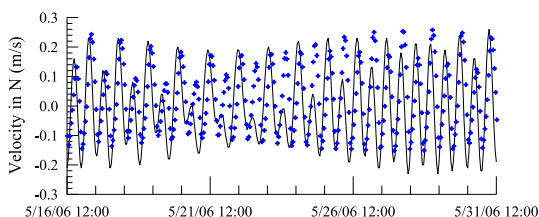


圖30 蘇澳港N-S方向流速模擬結果與觀測值之比較

四、結論

本研究主要針對基隆港等七大港口建立各港口近域水位及流場數值模擬，模擬各港口水位及流場變化情形。數值模式採用水深積分配合有限元素法進行流場的模擬。水位與流向

的模擬結果與觀測資料可得合理比較結果，在流速模擬的結果則與觀測資料有些差距，仍有後續研究持續改善空間。

參考文獻

1. 李兆芳、李忠潘、高瑞棋、劉正琪、黃煌輝（1988）中國石油公司液化天然氣接收站冷却水與殘氣擴散分佈研究報告，國立成功大學臺南水工試驗所，研究試驗報告，No. 105。
2. 陳怡發、劉正琪、黃煌輝（1989）臺灣電力公司核能三廠溫排水改善數值計算分析與水工模型試驗評估報告，國立成功大學臺南水工試驗所，研究試驗報告，No. 113。
3. 許明雄、黃文財、范崇文、高瑞棋、劉正琪、黃煌輝（1990）新竹地區污水下水道系統環境影響評估之海象現場調查，國立成功大學臺南水工試驗所，研究試驗報告，No. 120。
4. 劉景毅、劉正琪、許明雄、洪逸銘、黃煌輝、高瑞棋、高天韻、張鴻洋（1994）八里海洋放流管緊急排放之可行性研究，國立成功大學臺南水工試驗所，研究試驗報告，No. 142。
5. 劉景毅、劉正琪、黃煌輝（1995）澎湖島南岸烏坎海域之海流數值模擬與分析，國立成功大學水工試驗所，研究試驗報告，No. 170。
6. 劉景毅、劉正琪、陳怡發（1996）基隆新港海潮流數值模擬暨協和電廠溫排水改善之研究，國立成功大學水工試驗所，研究試驗報告，No. 178。
7. 李忠潘、陳陽益、薛憲文、林炤圭、劉正琪、張憲國、于嘉順、王兆璋（2006）近岸數值模擬系統之建立（III），交通部運輸研究所合作研究計畫報告。
8. 李忠潘、陳陽益、薛憲文、林炤圭、劉正琪、于嘉順、王兆璋（2008）近岸海象數值模擬及預警系統之建立（2/4），交通部運輸研究所合作研究計畫報告。
9. 李兆芳、劉正琪、高政宏、謝依潔、曾俊傑、丁嘉鴻、陳宜芝、王顥豪、王聖瀚、鄭宇君（2009）近岸海象數值模擬及預警系統之建立（3/4）——水動力部份，交通部運輸研究所研究報告。

10. Connor, J.J., and Wang, J.D. (1975)
Mathematical Modelling of Near

Coastal Circulation, Pentech Press.

基隆港潮流流場之模擬

李兆芳 國立成功大學海洋科技與事務研究所 教授
劉正琪 國立成功大學臺南水工試驗所 副研究員
高政宏 國立成功大學水利及海洋工程學系 博士班研究生

摘要

本研究主要探討基隆港東防波堤延伸前後對於基隆港港口附近流場的影響。數值模式採用水深積分配合有限元素法進行流場的模擬，有限元素網格則依東防波堤興建前後分別建置，模式所需的邊界條件則利用港口附近潮位站的觀測資料進行調和分析後產生。模擬結果與觀測資料可得合

理比較結果。比較東防波堤延伸段興建前後之影響，東西向流速有顯著減小，南北向流速有增大現象。由平面流場看出受到防波堤延伸段影響之水域，流向變化較為顯著，且流速普遍有減緩現象，西防波堤外側及堤頭附近流速略增。

一、前言

本研究主要目的為探討基隆港東防波堤延伸前後對基隆港港口附近流場的影響。對於近岸流場而言，潮流垂直方向變化之尺度相較地遠小於水平方向變化之尺度，因此採用淺水方程式或水深積分平均之二維連續及運動方程式足以描述近岸流場之變化。

本文之水動力模式採用有限元素法求解連續及運動方程式，配合邊界條件利用加權殘差方法將其方程式轉化成積分方程式，將所要計算之領域分割成許多元素，利用線性三角形元

素之形狀函數來描述計算領域中之函數變化，進而將積分方程式離散化，並簡化為聯立的數值方程組，藉以求解計算領域中所取元素節點上之函數值。計算所需的邊界條件乃利用基隆港港口附近潮位站觀測到資料進行調和分析後產生。

計算結果將先比較模擬結果與觀測分析結果以驗證模式的正確性，再利用基隆港東防波堤延伸前後的模擬結果，可以看出基隆港港口附近流場的變化。

二、基隆港模擬範圍與網格之建立

2.1 基隆港東防波堤簡介

基隆港東防堤舊況如圖1所示，為提高大型船舶進港操航安全，故將東防波堤往外海方向延伸200公尺，延伸完成的東防波堤如圖2所示。因應基隆港東防坡堤延伸工程已近完工，以及改善基隆港流場模擬結果之準確性。本研究除了修正基隆港水動力模式之港池配置外，同時計畫擴大基隆港水動力模式模擬範圍如圖3所示。圖中基隆港水動力模式之東西邊界分別位於臺北縣龍洞及麟山鼻附近，東西邊界距離約38公里，離岸方向邊界距離基隆港約35公里。

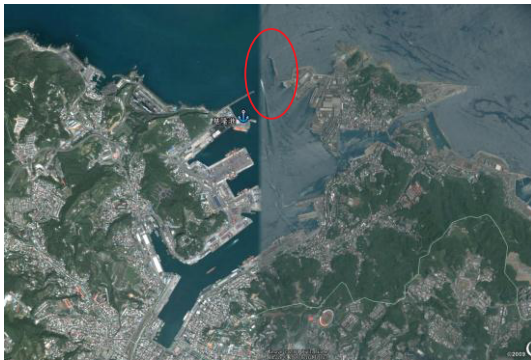


圖1 基隆港東防波堤舊況圖



圖2 基隆港延伸東防波堤完工圖

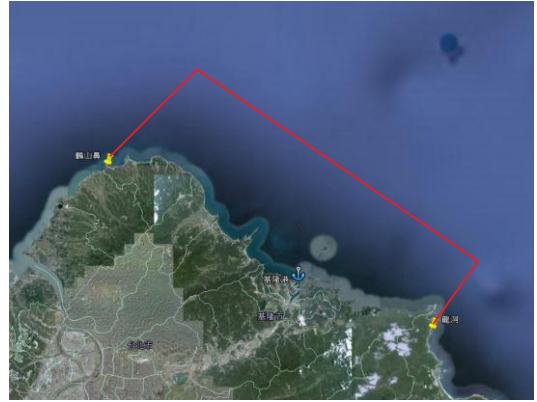


圖3 基隆港模擬範圍圖

2.2 數值網格及邊界條件之建立

針對基隆港舊有東防波堤在延伸200公尺後之數值計算網格如圖4所示。西起臺北縣石門鄉，東至臺北縣瑞芳鎮止，約為26公里，離岸方向則由近岸往外海延伸約40公里。主要由2,710個格點構成4,956個元素。其中基隆港東防波堤延長200公尺後港口附近三角形元素分布情形如圖5所示。此外，為瞭解基隆港東防波堤延伸工程興建前後流場之變化，另依基隆港舊港口外廓防波堤配置修正港口附近三角形元素分佈情形如圖6所示，舊港口外廓防波堤配置之有限元素計算網格計有3,370個三角形元素及1,837個節點。

為瞭解東防波堤延伸工程興建前、後，基隆港港口附近之流場變化情形，本研究分別針對東防波堤延伸工程興建前後建置其數值網格，東防波堤興建前的邊界條件採用與基隆港現況流場模擬相同之邊界條件，以模擬基隆港東防波堤延伸工程未興建前之流場變化。

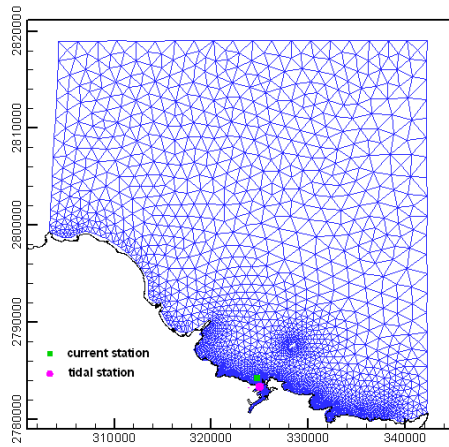


圖4 基隆港水動力模式之有限元素格網圖

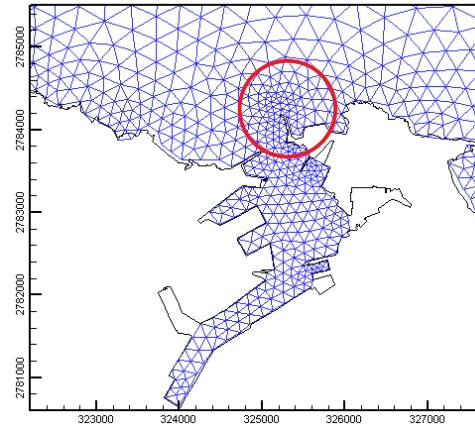


圖6 基隆港東防波堤延伸前元素格網圖

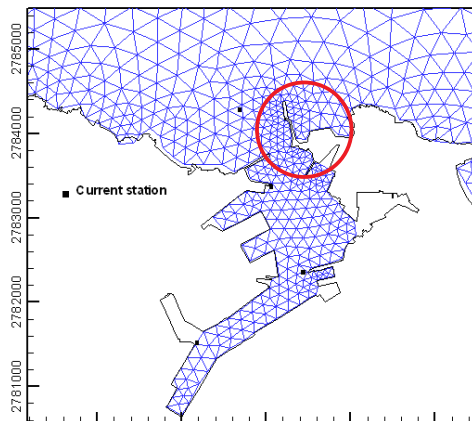


圖5 基隆港東防波堤延伸後元素格網圖

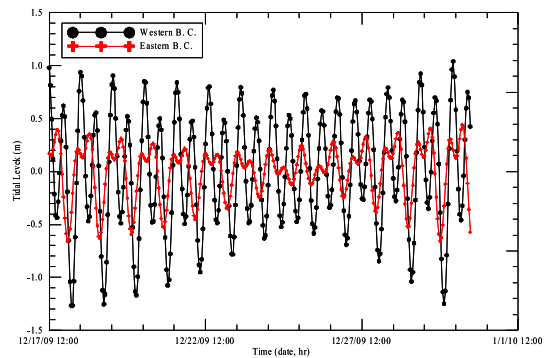


圖7 基隆港水動力模式東西潮位邊界條件之時序列圖

三、結果與討論

為驗證模式模擬結果之正確性，本研究選取2009年12月基隆港外海觀測點位水位及海流資料進行驗證。其中水位驗證採取模式模擬結果與觀測資料直接比較，流速驗證則先依據海流觀測資料選取 O_1 、 K_1 、 M_2 及 S_2 等四個主要分潮以調和分析方法分析天文潮流大小，再與模式潮流流速模擬結果比較。圖8所示為基隆港水動力模式模擬之水位及潮流速度與基隆港外海觀測點位觀測資料之天文潮位、潮流調和分析結果之比較，圖中實線代表模式模擬結果，圓點代表觀測資料或觀測資料分析結果。模式驗證結果顯示本計畫基隆港水動力修正模式水位模擬結果與外海觀測資料相當一致性，模式大小潮流速變化趨勢亦與潮流調和分析結果相吻合，惟模式流速變化之尖峰值發生時間與觀測資料調和分析結果約有1至2小時的時間差。

基隆港東防波堤興建前後流場比較漲潮與退潮時段分別如圖9及圖10所示，圖中藍色細向量及紅色粗向量線分別代表東防波堤延伸段興建前後流場。顯示凡受到防波堤延伸段影響之水域（如兩側遮蔽區及堤頭），流向變化較為顯著，流速普遍有減緩現象，西防波堤外側及堤頭附近流速略增。圖11所示為目前海流觀測點位上東防波堤延伸段興建前、後，潮流東西向及南北向速度之比較，顯示東防波堤延伸段興建後觀測點之東西向流速有顯著減小，南北向流速有增大現象（大潮期間較顯著）。

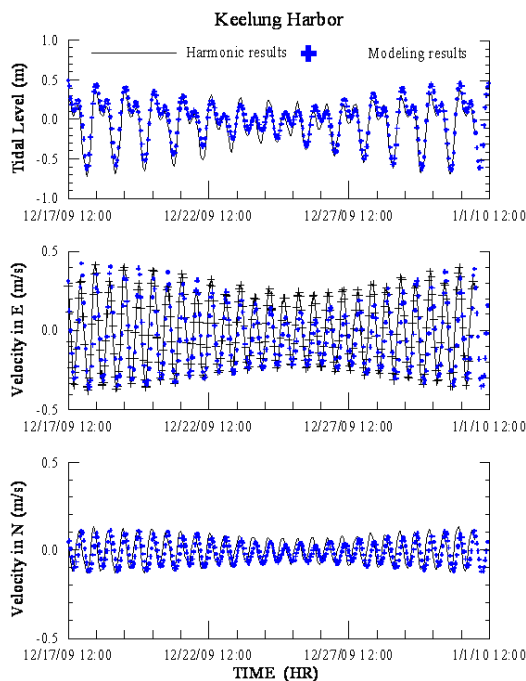


圖8 基隆港水動力模式水位、潮流模擬結果與觀測資料之天文潮位及潮流（ O_1 ， K_1 ， M_2 ， S_2 ）分析結果之比較

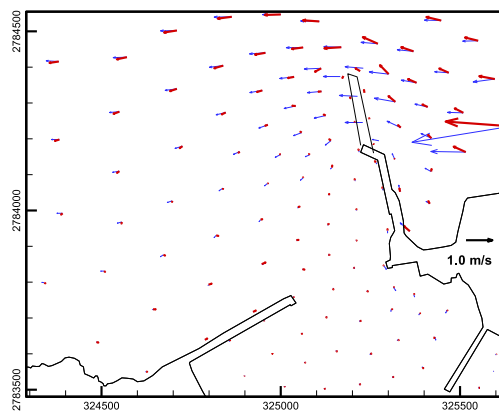


圖9 漲潮時段東防波堤興建前後流場比較圖

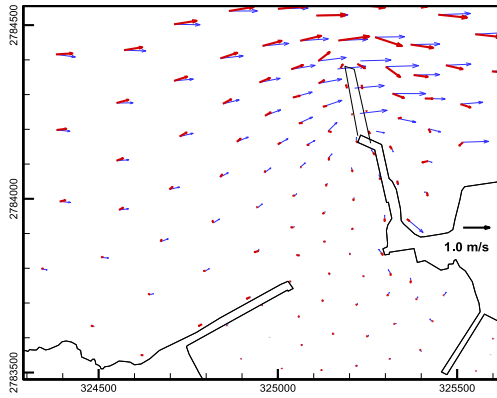


圖10 退潮時段東防波堤興建前後流場比較圖

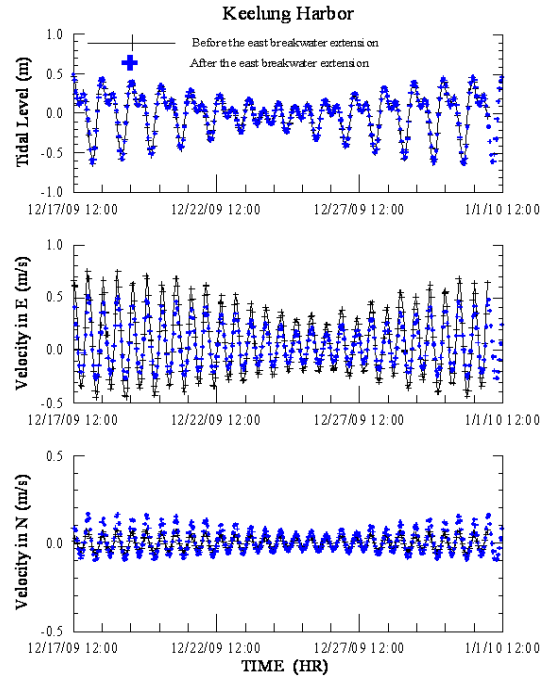


圖11 基隆港東防波堤延伸工程前、後之水位、流速模擬結果比較圖

四、結論

本研究主要探討基隆港東防波堤延伸前後對於基隆港港口附近流場的影響。數值模式採用平均水深積分配合有限元素法進行流場的模擬，模擬結果與觀測資料可得合理比較結果。比較東堤延伸前後的平面流場模擬結果，顯示凡受到東防波堤延伸段影響

之水域，流向變化較為顯著，流速普遍有減緩現象，西防波堤外側及堤頭附近流速略增。比較潮流東西向及南北向之速度，顯示東防波堤延伸段興建後觀測點之東西向流速有顯著減小，南北向流速有增大現象。

參考文獻

1. 李兆芳、李忠潘、高瑞棋、劉正琪、黃煌輝（1988）中國石油公司液化天然氣接收站冷却水與殘氣擴散分佈研究報告，國立成功大學臺南水工試驗所，研究試驗報告，No. 105。
2. 陳怡發、劉正琪、黃煌輝（1989）臺灣電力公司核能三廠溫排水改善數值計算分析與水工模型試驗評估報告，國立成功大學臺南水工試驗所，研究試驗報告，No. 113。
3. 許明雄、黃文財、范崇文、高瑞棋、劉正琪、黃煌輝（1990）新竹地區污水下水道系統環境影響評估之海象現場調查，國立成功大學臺南水工試驗所，研究試驗報告，No. 120。
4. 劉景毅、劉正琪、許明雄、洪逸銘、黃煌輝、高瑞棋、高天韻、張鴻洋（1994）八里海洋放流管緊急排放之可行性研究，國立成功大學臺南水工試驗所，研究試驗報告，No. 142。
5. 劉景毅、劉正琪、黃煌輝（1995）澎湖島南岸烏坎海域之海流數值模擬與分析，國立成功大學水工試驗所，研究試驗報告，No. 170。
6. 劉景毅、劉正琪、陳怡發（1996）基隆新港海潮流數值模擬暨協和電廠溫排水改善之研究，國立成功大學水工試驗所，研究試驗報告，No. 178。
7. 李忠潘、陳陽益、薛憲文、林炤圭、劉正琪、張憲國、于嘉順、王兆璋（2006）近岸數值模擬系統之建立（III），交通部運輸研究所合作研究計畫報告。
8. 李忠潘、陳陽益、薛憲文、林炤圭、劉正琪、于嘉順、王兆璋（2008）近岸海象數值模擬及預警系統之建立（2/4），交通部運輸研究所合作研究計畫報告。
9. 李兆芳、劉正琪、高政宏、謝依潔、曾俊傑、丁嘉鴻、陳宜芝、王顥豪、王聖瀚、鄭宇君（2009）近岸海象數值模擬及預警系統之建立（3/4）——水動力部份，交通部運輸研究所研究報告。
10. Connor, J.J., and Wang, J.D. (1975) Mathematical Modelling of Near Coastal Circulation, Pentech Press.

高雄港域波譜統計分析與颱風波浪推算

張憲國 國立交通大學土木工程學系 教授
何良勝 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 科長
劉勁成 國立交通大學土木工程學系 博士後研究
陳蔚璋 國立交通大學土木工程學系 博士後研究
林受勳 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 研究員
翁瑞嘉 國立交通大學土木工程學系 碩士

一、緒論

1.1 研究動機與目的

高雄港位於臺灣地區之西南海岸，現有第一及第二港口，港域幅員遼闊，腹地廣大，臨海有狹長沙洲屏障，港灣形勢渾然天成，地理條件優良。依據行政院民國90年核定「高雄港整體規劃及未來發展計畫」，及92年核定「台灣地區整體國際港埠發展規劃」之貨櫃運量預測結果，民國100年起高雄港將面臨貨櫃碼頭供給不足之壓力，且隨貨櫃船大型化之發展，未來為具競爭力之國際貨櫃港埠，勢須具備因應發展趨勢之能力。因此，為期提昇高雄港整體效能、發揮港埠機能之最大綜效與滿足未來發展之需求，高雄港務局已擬定多項具整合功

能之發展規劃計畫。為因應高雄港未來擴建工程及環評要求所需之自然條件，除必要進行外海現場調查工作，用以建置較長時期之海氣象觀測資料庫，可充分瞭解高雄港附近海域之海氣象特性，更應進行相關的學理研究，以提供高雄港附近海域之波浪與海流特性之參考依據。

本研究內容包括高雄港海域波譜分析、颱風波浪推算，主要為應用交通部運輸研究所港灣技術研究中心所觀測的波浪資料建立高雄港的地域性波譜。接著聯合數值模式及類神經網路分析技術，建立一套較精確的高雄港颱風波浪推算模式。

二、高雄港波譜統計特性分析

往昔現場波浪量測波浪多由水下壓力計測得波壓後再轉換成水面水位及其相對應波譜，但波浪之動壓隨水深快速減少，導致在水下壓力變小到

可能無法準確偵測，因此壓力式量測波浪一般認為會低估小波或短週期之波浪。交通部港研中心2009年在高雄以（AWAC）方向性潮波流儀，同時

量測各剖面層流速流向、回聲訊號強度（作資料優劣判斷），而波浪及水位利用壓力、波速及聲波波束直接量測方式。本研究主要乃藉此測量資料比較由壓力計壓力資料轉換成波譜及聲波直接測距之水位資料轉成波譜之差異。

2.1 資料來源與處理

本文使用之波浪水位資料由港研中心提供。測站位置在高雄港第1港口外海，使用儀器為挪威Nortek AWAC方向性潮波流儀。其量測原理為聲波都卜勒式，使用4個聲波探頭可測得逐時波浪、分層流向流速、水位值及壓力訊號之功能。此水位及壓力訊號每小時整點開始以2hz（0.5sec）之取樣頻率，測量長度為1024秒，即每筆資料共2,048點。本文為提升波譜之估算精度及波譜解析度，將每筆資料切割512點，重疊128個數據，再將5個小段資料得到之波譜取平均值。

港研中心自2009年6月29日起至12月4日，分3次施放，波浪資料收集共3,867筆，若資料訊號中含有突然跳動（impulse），或超大雜訊則不加以分析，此部分共有1,356筆，因此有效之資料為2,511筆占全數資料筆數約65%。

2.2 結果與討論

2.2.1 聲波水位之個別波特性

首先將初步分析有效之聲波水位資料計算出個別波 $H_{1/3}$ 與 $H_{1/10}$ 比較，如圖1所示，圖1中直線為 $H_{1/10}$ 與 $H_{1/3}$ 線性回歸所得。由圖2可知 $H_{1/3}$ 與 $H_{1/10}$ 極靠近於回歸之直線，顯示二者有相當高之關係，若此關係以直線及相關係數

$cc(x, y)$ 可表為

$$y(H_s) = ax(H_{1/3}) + b \dots\dots\dots (1)$$

及

$$cc(x, y) = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sqrt{\text{cov}(x, x) \text{cov}(y, y)}} \dots (2)$$

其中 $\text{cov}(x, y)$ 為 x 及 y 之共變異數（covariance）。 $H_{1/10}$ 與 $H_{1/3}$ 關係以式(1)及式(2)所得結果示如表1之第2至第4行。由表1之相關係數為0.9983非常高，顯示 $H_{1/3}$ 與 $H_{1/10}$ 有高關係。若欲知二者比值(μ)大小與 $H_{1/3}$ 之分布可見圖2，圖2中實線為比值之平均值($H_{1/10} / H_{1/3}$)，而虛線為95%信賴度下之範圍($\pm 1.96 \sigma$)。

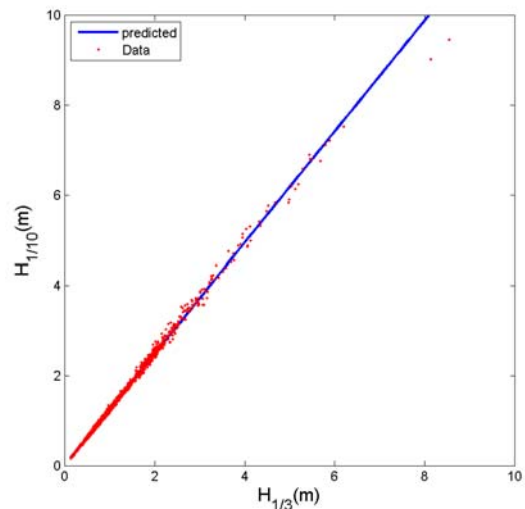


圖1 個別波 $H_{1/3}$ 與 $H_{1/10}$ 之比較

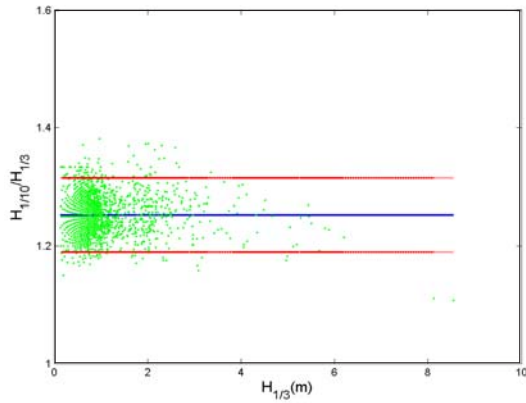


圖2 $H_{1/10} / H_{1/3}$ 在不同個別波 $H_{1/3}$ 之分布

表3中其平均值及標準偏差分別為，1.2518及0.0319顯示，此值與波高為Rayleigh分布之理論值1.27接近（見Goda，2000）。而由圖3之 $H_{1/10} / H_{1/3}$ 分布可知此比值與 $H_{1/3}$ 無關。若再將

$H_{1/10} / H_{1/3}$ 對譜寬參數(ν)之分布如圖4，圖4中回歸直線為實線而95%信賴度下之範圍為虛線。從圖4雖然看出 $H_{1/10} / H_{1/3}$ 與譜寬參數略呈正比，但其關係數為0.1554顯示二者關係不強。

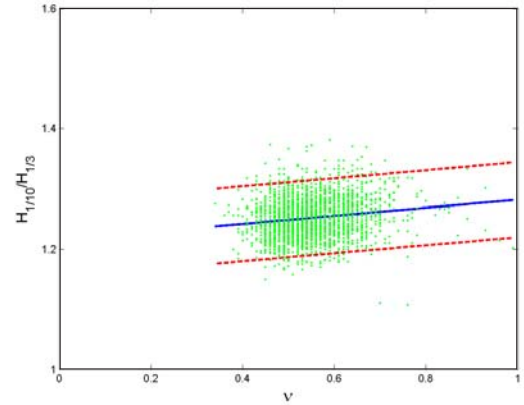


圖4 $H_{1/10} / H_{1/3}$ 與譜寬參數(ν)之關係

表1 選擇兩變數之線性回歸係數及其相關係數

變數y及x	A	b	cc	μ	σ
$H_{1/10}$ vs. $H_{1/3}$	1.234	0.015	0.998	-	-
$H_{1/10} / H_{1/3}$ vs. ν	0.066	1.215	0.155	1.251	0.031
$H_{\max}$ vs. $H_{1/3}$	1.520	0.095	0.986	-	-
$H_{\max} / H_{1/3}$ vs. ν	0.042	1.619	0.024	1.643	0.131
$H_{1/3}$ vs. ν	0.014	0.535	0.140	-	-
H_s vs. $H_{1/3}$	1.048	0.023	0.995	-	-
$H_s / H_{1/3}$ vs. ν	0.098	1.032	0.192	1.087	0.038
T_{01} vs. $\bar{T}$	0.939	0.348	0.984	-	-
$T_{01} / \bar{T}$ vs. ν	0.133	0.944	0.242	1.017	0.041
T_{02} vs. $\bar{T}$	0.815	0.337	0.979	-	-
$T_{02} / \bar{T}$ vs. ν	-0.254	1.031	-0.489	0.891	0.038
H_s^p vs. H_s	1.303	-0.354	0.870	-	-
H_s^p / H_s vs. ν	0.467	0.620	0.234	0.876	0.148
T_{p1}^p vs. T_{p1}	0.981	0.253	0.996	-	-
T_{p1}^p / T_{p1} vs. ν	-0.399	1.254	-0.216	1.035	0.138
T_{02}^p vs. T_{02}	0.577	3.788	0.712	-	-
T_{02}^p / T_{02} vs. ν	1.135	0.921	0.245	1.544	0.345

$H_{1/3}$ 與 $H_{\max}$ 之關係由表1之相關係數0.9868顯示， $H_{1/3}$ 與 $H_{\max}$ 有高關係，但此關係較 $H_{1/3}$ 與 $H_{1/10}$ 弱，此因 $H_{\max}$ 大小與波浪個數有關，一般較 $H_{1/10}$ 不為穩定值。 $H_{\max} / H_{1/3}$ 之 $\mu=1.6432$ ， $=0.1313$ 顯示， $H_{\max} / H_{1/3}$ 比值在1.3859-1.9005間。若波高為Rayleigh分布，由Longuet-Higgins (1952) 推導之 $H_{\max} / H_{1/3}$ 理論值為

$$\mu(H_{\max} / H_{1/3}) = \frac{\sqrt{\ln N}}{\sqrt{3} + 1.5\sqrt{\pi} \operatorname{erfc}(\sqrt{3})} \quad (3)$$

其中N為波浪個數， $\operatorname{erfc}(x)$ 為誤差餘函數。

以測量波浪平均週期為3-11sec，在1024sec內可能有 $N=93-340$ 個波，若代入式(3)則得平均 $H_{\max} / H_{1/3}$ 為1.51-1.71足見本研究所得之平均值接近於理論值。

將個別波 $H_{1/3}$ 與能譜所得示性波高 H_s 之比較如圖5所示，由表1相關係數達0.9953顯示 H_s 與 $H_{1/3}$ 有高相關，而斜率 $a=1.0483$ 接近於1顯示 H_s 與 $H_{1/3}$ 值相近，二者比值之平均值 $=1.087$ 大於1顯示一般 H_s 比 $H_{1/3}$ 大。標準偏差 $=0.0383$ 顯示，二者相差約3.8%。當波浪在深水且能譜為窄譜時，Cartwright and Long-Higgins (1956) 推導出其分布接近於為Rayleigh，且 $H_{1/3}=4.004\sqrt{m_0}=H_s$ (見Goda, 2000)。

由圖3及表1發現 $H_s / H_{1/3}$ 並非為1，可能原因是測點並非位於所謂之深水條件，另外是非為窄譜條件。Vandever et al. (2008) 探討不同地區波浪之 H_s 與 $H_{1/3}$ 之比值與譜寬參數之關係。當波浪為極窄譜時， $\nu \rightarrow 0$ ，由表1線性回歸公式之截距係數 $b=1.0328$

顯示，此與在深水且窄譜之理論值為1只差異3.28%，而且當譜寬參數愈大， $\nu \rightarrow 1$ ， $H_s / H_{1/3}$ 值愈大，此結論顯示當大波浪以個別波與相對應波譜所得代表性波浪相差越多，且 H_s 比 $H_{1/3}$ 大。當 $\nu=1$ 時，本研究所得 $H_s / H_{1/3}$ 值為1.1315，而接近於Vandever et al. (2008) 之值，其為1.177。

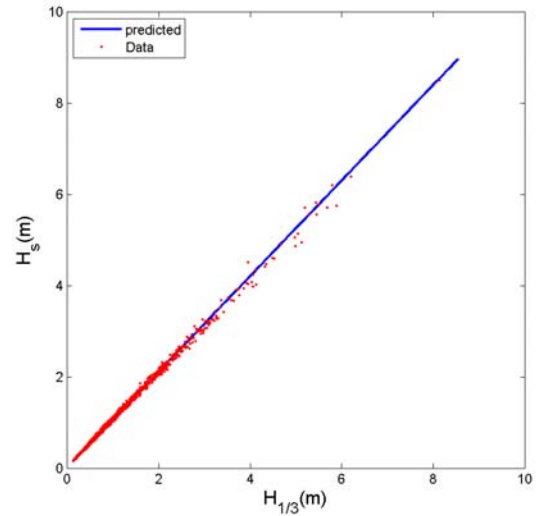


圖3 個別波 $H_{1/3}$ 與能譜所得示性波高(H_s)之比較

本研究所分析之2511筆水位訊號，其週期分布約在3-11sec間，個別波所得之平均週期與波譜所得 T_{01} 之比較如圖4所示。由圖4顯示 $\bar{T}$ 與 T_{01} 之關係密切，相關係數達0.9844，在短週期波時 $\bar{T}$ 與 T_{01} 接近，但在長週期時， $\bar{T}$ 高於 T_{01} ， $T_{01} / \bar{T}$ 之平均值與標準偏差分別為1.0179及0.0412，此顯示以 $\bar{T}$ 與 T_{01} 表示波浪之平均週期只有1.8%之差異。若考慮波浪頻寬，在窄譜時，由表3其之截距 $b=0.9445$ 顯示，與深水且窄譜之理論值1只有5.56%之差異，而且當譜寬參數愈大， $\nu \rightarrow 1$ ， $T_{01} / \bar{T}$ 值愈大，此結論顯示當大波浪以個別波

所得之 $\bar{T}$ 與相對應波譜所得 T_{01} 相差越多，且 T_{01} 比 $\bar{T}$ 大。當 $\nu=1$ 時，本文所得 $T_{01} / \bar{T}$ 值為1.0783。

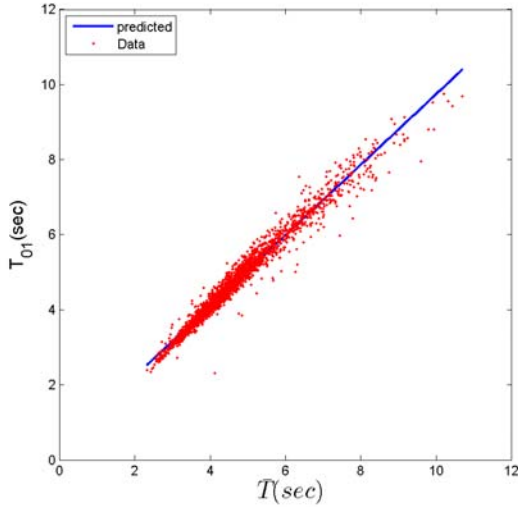


圖4 個別波 $\bar{T}$ 與能譜所得平均週期(T_{01})之比較

個別波平均週期 $\bar{T}$ 與波譜所得 T_{02} 之比較如圖5示。圖5顯示二者關係高，相關係數達0.9792，若與圖4比較可知 T_{01} 較接近於 $\bar{T}$ 。 $T_{02} / \bar{T}$ 之平均值與標準偏差分別為0.8916及0.0389，此顯示以 $\bar{T}$ 與 T_{02} 表示波浪之平均週期就有11.8%之差異。若考慮在深水且窄譜時，由表1中其截距 $b=1.0313$ 顯示， T_{02} 與 $\bar{T}$ 僅有3.13%之差異，但當寬譜($\nu \rightarrow 1$)， $T_{02} / \bar{T}$ 值卻愈小。依 T_{02} 定義之計算考慮頻率平方而 T_{01} 之計算僅考慮頻率一次方，所以高頻部分影響 T_{02} 遠比 T_{01} 大，所以在寬頻之狀況 T_{02} 結果偏離 $\bar{T}$ 比 T_{01} 大。

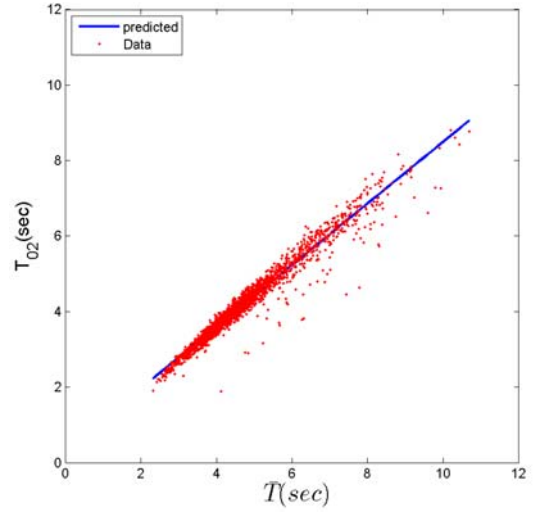


圖5 個別波 $\bar{T}$ 與能譜所得平均週期(T_{02})之比較

3.2.2 聲波與壓力資料之能譜比較

接著探討由壓力訊號所得波譜與聲波測水位所得波譜特性之比較，由壓力訊號所得波譜 H_s^p 與水位波譜所得 H_s 之比較如圖6所示。由圖6及表1之相關係數僅達0.8701顯示， H_s^p 與 H_s 關係不高。

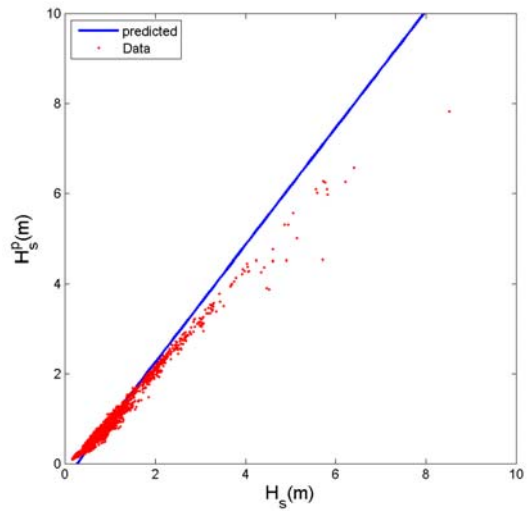


圖6 水位波譜 H_s 與壓力波譜 H_s^p 之比較

最後壓力訊號及聲波水位所得波譜最大值之主頻對應主週期 T_{p1}^p 與 T_{p1} 之比較。由圖7顯示 T_{p1}^p 與 T_{p1} 關係高，相關係數達0.9962，而回歸直線之斜率為0.9818接近於1，且當週期小於6sec時， T_{p1}^p 大於 T_{p1} ，當週期大於6sec時， T_{p1}^p 小於 T_{p1} 。表1中 T_{p1}^p / T_{p1} 之平均值與標準偏差分別為1.0351及0.1380，此說明以 T_{p1} 表示 T_{p1}^p 平均有3.5%相對誤差，但變異卻可達13.8%。若以6秒以下波浪而言，以壓力式訊號所得波譜主波浪週期與水位訊號所得波譜主波

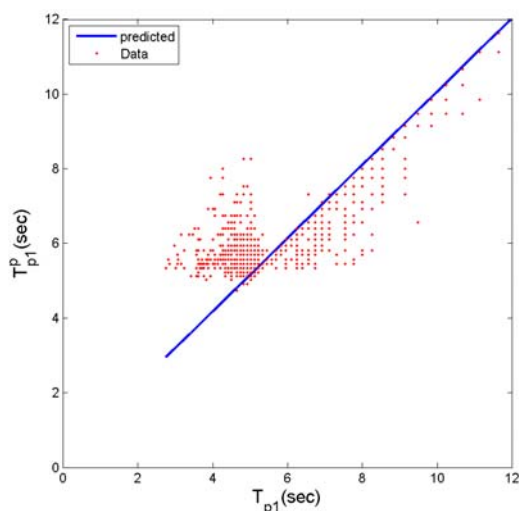


圖7 水位譜主頻 T_{p1} 與壓力譜 T_{p1}^p 之比較

浪週期；在95%信賴度之可能偏差至 $1.96 \times 0.138 \times 6 = 1.62\text{sec}$ ，而以 T_{p1}^p / T_{p1} 平均值大於1，可知以壓力式之訊號來估算波浪主波會比以水位訊號還要高，可達1.6sec，甚至更高。

由壓力訊號所得波譜之平均週期 T_{02}^p 與聲波水位所得波譜之平均週期 T_{02} 之比較如圖8所示。由圖8顯示平均週期 T_{02}^p 大於 T_{02} ，由表1顯示二者相關係數僅有0.7124。 T_{02}^p / T_{02} 大於1，而其平均值為1.55，可知平均週期 T_{02}^p 高估於 T_{02} 約50%。

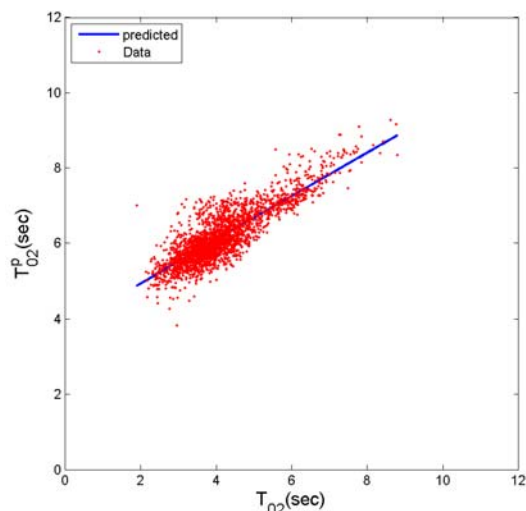


圖8 壓力訊號所得波譜之平均週期 T_{02}^p 與聲波水位所得波譜之平均週期 T_{02} 之比較

三、高雄港颱風波浪推算

3.1 湯（1970）和井島（1972）之颱風波浪推算方式

常見之半經驗颱風波浪推算模式 Breteschneider參數法（1958）、井島

（1972）之追蹤法、湯（1970）之移動風域數值推算法等。湯（1970）鑑於Wilson之方法只能推算深海風浪，不能直接推算海岸前之波浪狀況，故

綜合Wilson及Bretschneider等經驗公式，配合淺海中之風浪關係、海底摩擦之影響、湧浪之推算方式及碎波後波浪之計算，提出移動風域數值推算模式，而本研究使用之定點颱風波浪推算半經驗模式即是依據上述原理建立並加以改善而成。

3.2 MIKE 21 SW之颱風波浪推算方式

3.2.1 風浪模式

本研究採用DHI所研發之MIKE 21 SW模式進行颱風波浪之波場模擬，該模式係模擬波浪在各種外力作用下之波能變化，其求解之方程式為波浪作用力守恒方程式（Wave action conservation equation），此方程式為二維時變域之偏微分方程式。

3.2.2 風場模式

本研究將採用2種風場模式進行颱風波浪推算，2種風場模式分別為NCEP風場和RVM模型颱風模式，依照往昔研究成果顯示，NCEP風場為考慮海平面氣候變化而分析得之風場資料，對於季節風的模擬效果較佳，但NCEP風場資料之解析度過大，應用在颱風時則有低估的現象。RVM模型颱風模式（Rankin-Vortex Model）係以中心氣壓模擬颱風風場架構，但忽略了颱風移動受地形阻隔之影響，故應用RVM模型颱風模式進行台灣沿海地區之波浪推算，其推算結果將受到颱風移動路徑而有所影響。

3.2.3 數值模擬條件

1. 地形

本研究採用的地形資料主要利用（National Geophysical Data Center）發布之全球高程資料ETOPO2v2

（2006）。該地形資料範圍包含東經180°～西經180°、北緯89.967°～南緯90°，地形格網的解析精度為2'×2'（約為4×4公里），本研究採用非結構型三角格網方式計算，模擬範圍的邊界南約至北緯13°、北約至北緯31°、西約至東經111°、東約至東經135°，範圍涵蓋至大陸、台灣及菲律賓群島，共計1,173個節點、2,147個元素。為了於研究區獲得較高精度的模擬結果，鄰近臺灣海域之海岸線以較密的格網分佈，而離研究區較遠之外海則以較粗的格網分佈。圖9為研究範圍之水深分布圖，其乃利用前述NGDC ETOPO2v2全球高程資料內插而得，水深最深約達-7,300公尺。

2. 模式參數設定

本研究進行MIKE 21 SW模式颱風波浪推算所設定之相關參數在頻率領域方面，最小頻率採0.055Hz，並以1.1倍參數的指數型式分割成25個頻率帶，相當於週期1.85～18.18秒。在角度領域方面，以22.5°為1個角度單位，共計分割成16個方向角，計算時距以15分鐘進行計算。風浪能量消散機制則考量4個波波非線性交互作用、碎波效應、底床摩擦、白沫消散等物理機制。計算範圍的邊界條件共分成二種邊界形式，一為陸域邊界，其不考慮入射波浪的能量通量；另一為海域邊界，其考慮波浪通過此邊界時完全被吸收。

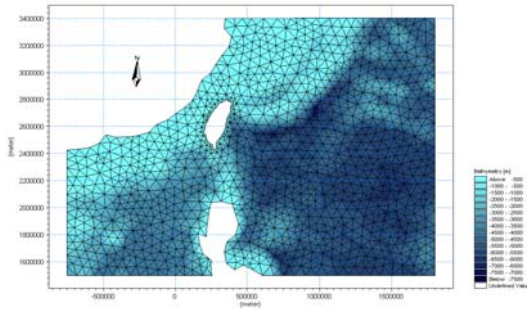


圖9 計算範圍水深分布圖

3.3 聯合MIKE 21 SW及類神經網路之 颱風波浪推算方式

3.3.1 類神經網路

類神經網路具備著一些優良的特性其中包括(1)高速的計算能力(2)自我學習能力(3)高容量的記憶力(4)容錯的能力。

3.3.2 類神經網路模式架構

本研究建構的類神經網路主要在修正MIKE 21 SW之颱風波浪推算結果，使其能更接近觀測值，考量NCEP風場及RVM模型颱風風場各有其優點，使用NCEP風場的颱風波浪推算結果在颱風尚未接近臺灣及颱風遠離臺灣時與觀測值較一致，而在颱風接近臺灣時則採用RVM模型颱風風場的颱風波浪推算結果與觀測值較一致，因此，本研究類神經網路的輸入層採用波浪觀測站位置之NCEP風場的V10、RVM模型颱風風場的V10、使用NCEP風場的颱風波浪推算結果 H_s 及使用RVM模型颱風風場的颱風波浪推算結果 H_s ，共4個神經元。隱藏層採用1層，神經元個數為9，轉移函數採用的正切雙彎曲函數。輸出層則為觀測值的 H_s ，神經元個數為1，轉移函數採用線性函數。由上述說明可知，本研究建立的類神經網路模式架

構整體概念如圖10所示。

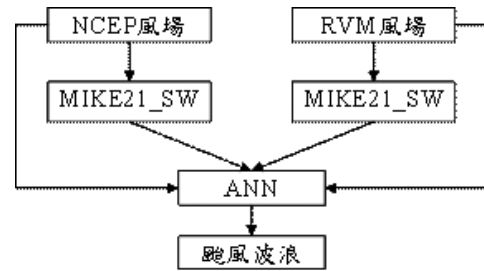


圖10 類神經網路模式架構整體概念

3.4 模式推算能力比較

3.4.1 颱風波浪資料分析

高雄港現場觀測站於2000年12月開始監測，原位於高雄市洲中洲污水處理廠附近海域，該測站於2005年8月移至高雄港第2港口附近水深-18m處，該測站經緯度為 $(22^{\circ}32'30"N, 120^{\circ}17'40"E)$ ，儀器則採用挪威NORTEK公司之剖面海流與表面波浪（波高、週期及波向）即時傳送監測系統（簡稱AWCP）。颱風氣象資料的來源取自中央氣象局及RSMC-Tokyo Center，颱風的名稱與發生時間採用RSMC-Tokyo Center發佈的資料為準，時間格式統一以臺灣時間表示。颱風氣象資料每6小時一筆，波浪資料為每1小時一筆，為配合波浪資料的時間間距將颱風氣象資料利用3次多項式內差技術，內差颱風氣象資料間距為1小時。依據中央氣象局公布2001年至2008年侵台颱風共有56場。類神經網路模式經過學習訓練的過程後，必須對模式學習訓練的結果進行檢核，以驗證模式的推算能力與品質，因此，本研究剔除未觀測到實測波浪及部分實測記錄較差的颱風，依照資料特性選取19場颱風作為類神經網路的學習資料，6場颱風作為測試資料，如表2所示。

表4 類神經網路學習及測試颱風波浪資料

	颱風資料 (2001-2008)	個數
學習資料	2008_Jangmi、2008_Hagupit、2008_Sinlaku、2008_Nuri、2007_Mitag、2007_Wipha、2005_Damrey、2005_Sanvu、2005_Haitang、2004_Nanmadol、2004_Aere、2004_Rananim、2004_Kompasu、2004_Conson、2003_Krovanh、2003_Morakot、2003_Imbudo、2001_Chebi、2001_Cimaron	19
測試資料	2008_Fungwong、2008_Kalmaegi、2007_Krosa、2005_Talim、2004_Mindulle、2002_Nakri	6

3.4.2 各模式推算結果

1. 示性波高的時序列比較

圖11為測試資料的6場颱風時序列比較圖，圖中實心圓點為觀測值，細實線為MIKE 21 SW採用NCEP風場的推算結果，粗實線為聯合MIKE 21 SW及類神經網路的推算結果，細虛線為湯（1970）和井島（1972）的推算結果，由圖中可知，湯（1970）和井島（1972）的推算模式有2場颱風無法推算，分別為2008_Kalmaegi和2002_Nakri，而其餘4場颱風的推算結果並無法完整描述颱風從生成至結束後的狀況。MIKE 21 SW採用NCEP風場與聯合MIKE 21 SW及類神經網路的推算結果在颱風尚未接近臺灣及遠離臺灣時，趨勢和觀測值非常一致，然在颱風接近臺灣時，聯合MIKE 21 SW及類神經網路的推算結果則較接近於觀測值。

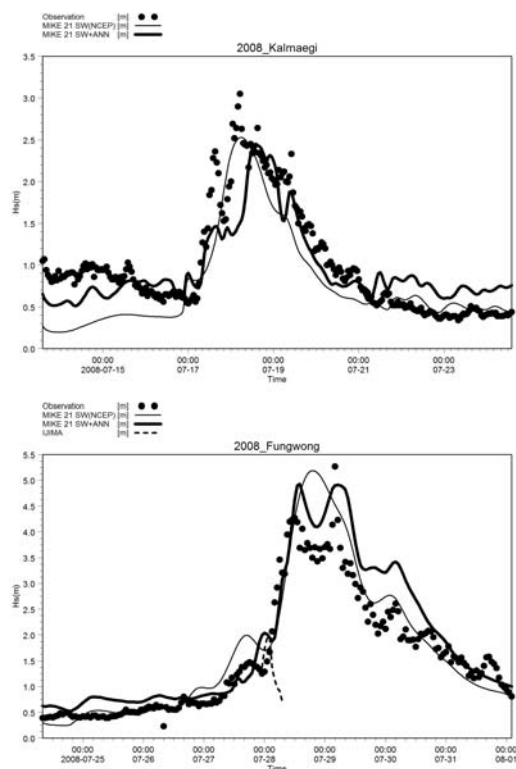


圖11 示性波高時序列比較

2. 示性波高的最大值比較

表3為各模式推算結果的比較，表中I、S及SA分別表示湯（1970）和井島（1972）、MIKE 21 SW使用NCEP風場與聯合MIKE 21 SW及類神經網路的颱風波浪推算方式。由相關係數的比較可知，MIKE 21 SW使用NCEP風場與聯合MIKE 21 SW及類神經網路的

推算結果與觀測值的相關性最高，相關係數皆高於0.7。由整場颱風RMSE的比較可知，聯合MIKE 21 SW及類神經網路的推算結果，RMSE介於0.34~0.53m之間，與觀測值的誤差最小。由颱風波浪最大波高誤差的比較可知，湯（1970）和井島（1972）、MIKE 21 SW使用NCEP風場、聯合MIKE 21 SW及類神經網路的推算結果中，最大波高平均誤差分別為2.14、0.69及0.36m，因此，聯合MIKE 21 SW及類神經網路的推算結果在最大波高部分的誤差最小。由最大波高發生時間誤差的比較可知，湯（1970）和井島（1972）、MIKE 21 SW使用

NCEP風場、聯合MIKE 21 SW及類神經網路的推算結果中，最大波高發生時間平均誤差分別為14、6及10小時，因此，MIKE 21 SW使用NCEP風場的推算結果在最大波高發生時間部分的誤差最小。綜合4個指標的比較可知，MIKE 21 SW使用NCEP風場和聯合MIKE 21 SW及類神經網路的颱風波浪推算方式皆可獲得不錯的推算成果，然因颱風波浪推算最後要進行設計波高的主要考慮為最大波高的誤差，故聯合MIKE 21 SW及類神經網路的颱風波浪推算方式可獲得最佳的推算結果。

表3 各模式推算結果比較

年份		2008		2007	2005	2004	2002
颱風名稱		鳳凰	卡玫基	柯羅莎	泰利	敏督利	娜克莉
觀測最大波高(m)		5.27	3.05	4.18	4.94	4.94	3.74
R	I	-0.86	-	0.57	0.78	0.06	-
	S	0.95	0.88	0.74	0.92	0.88	0.74
	SA	0.96	0.85	0.89	0.92	0.89	0.73
RMSE(m)	I	1.48	-	1.21	1.59	1.65	-
	S	0.48	0.38	0.82	0.53	0.52	0.53
	SA	0.53	0.34	0.43	0.50	0.46	0.44
$\Delta H_{s,p}(m)$	I	-3.30	-	-0.69	-1.51	-3.04	-
	S	-0.08	-0.52	0.51	-0.70	-1.09	-1.26
	SA	-0.34	-0.60	-0.04	0	-0.67	-0.50
$\Delta tp(hr)$	I	-26	-	-2	-3	-23	-
	S	-9	1	5	6	-6	11

四、結論

1. 能譜之示性波高 H_s 與個別波 $H_{1/3}$ 有極高關係，此二者比值可與譜寬參數(ν)線性表示之，且其值在 1.087 ± 0.038 。深水且窄譜時， $H_s / H_{1/3}$ 值為1.0328，當 $\nu=1$ 時，本研究所得 $H_s / H_{1/3}$ 為1.1315，接近於Vandever et al. (2008) 所得之1.177。
2. 個別波所得之平均週期 $\bar{T}$ 與波譜所得 T_{01} 之關係密切，相關係數達0.9844，在短週期波時 $\bar{T}$ 與 T_{01} 接近，但在長週期時， $\bar{T}$ 高於 T_{01} 。 $T_{01} / \bar{T}$ 之平均值與標準偏差分別為1.0179及0.0412。在窄譜時， $T_{01} / \bar{T}=0.9445$ ，當 $\nu=1$ 時，本文所得 $=1.0783$ 。
3. $\bar{T}$ 與 T_{02} 亦有高密切關係，相關係數達0.9792，但 T_{01} 較接近於 $\bar{T}$ 且與 $\bar{T}$ 關係高於 T_{02} 。 $T_{02} / \bar{T}$ 之平均值與標準偏差分別為0.8916及0.0389，以 $\bar{T}$ 與 T_{02} 表示波浪之平均週期就有11.8%之差異。在窄譜時， T_{02} 與 $\bar{T}$ 僅有3.13%之差異，但當寬譜時， $T_{02} / \bar{T}$ 值卻愈小，且偏離 $\bar{T}$ 比 T_{01} 大。
4. 水位波譜最大值之主週期 T_{p1} 與加權主週期 T_{p4} 之關係不高，相關係數僅達0.7331。 T_{p1} / T_{p4} 與波高及頻寬無明顯關係。
5. H_s^p 與 H_s 之相關係數僅達0.8701。 H_s^p / H_s 與波高及頻寬無明顯之關係，其平均值為0.8765， H_s^p / H_s 但在大波浪時， H_s^p / H_s 約在1.1。
6. T_{p1} 與 T_{p1}^p 之相關係數達0.9962。在波高1m以下 T_{p1}^p / T_{p1} 與波高無明顯之關係，但波高大於1m時， T_{p1}^p / T_{p1} 則與波高有明顯關係。以 T_{p1} 表示 T_{p1}^p 平均有3.5%相對誤差，但變異卻可達13.8%。若以6秒波浪而言，以壓力式訊號所得波譜主波浪週期與水位訊號所得波譜主波浪週期，95%信賴度之可能偏差1.62sec。
7. 由壓力所得能譜之平均週期 T_{02}^p 高估於以聲波所得能譜之平均週期 T_{02} 約50%， T_{02}^p / T_{02} 與 $H_{1/3}$ 及譜寬參數無明顯之關係。
8. 本研究採用3種颱風波浪推算方式分別為湯(1970)和井島(1972)、MIKE 21 SW與聯合MIKE 21 SW及類神經網路進行高雄港的颱風波浪推算，由各模式推算結果的比較可知，湯(1970)和井島(1972)的推算模式有2場颱風無法推算。由整場颱風RMSE的比較可知，聯合MIKE 21 SW及類神經網路的推算結果，RMSE介於0.34~0.53m之間，與觀測值的誤差最小。由颱風波浪最大波高誤差的比較可知，聯合MIKE 21 SW及類神經網路的推算結果，最大波高及其發生時間的平均誤差分別為0.36m和10小時。
9. 綜合相關係數、均方根誤差、颱風波浪最大波高誤差及最大波高發生時間誤差4個指標的比較可知，MIKE 21 SW使用NCEP風場和聯合MIKE 21 SW及類神經網路的颱風

風波浪推算方式皆可獲得不錯的推算成果，然因颱風波浪推算最後要進行設計波高的主要考慮為最大波高的誤差，故聯合MIKE 21 SW及類神經網路的颱風波浪推算方式可獲得最佳的推算結果。

參考文獻

1. 湯麟武，「淺灘海岸上波浪推算方法之研究」，成功大學土木水利學術彙刊，第1期，第105~164頁(1970)。
2. 井島武士，「台中港設計波浪計算報告書」，日本港灣顧問公司(1972)。
3. 郭一羽，「海岸工程學」，文山書局，第55~57頁(2002)。
4. Bretschneider, C.L., "Significant waves and wave spectrum," Ocean Industry Feb., pp. 40-46 (1968).
5. Cartright, D.E., and Longuet-Higgins, M.S., "The statistical distribution of the maxima of a random function," Proceedings of Royal Society London, Series A, Vol. 237, pp. 212-232 (1956).
6. Goda, Y., Random Seas and Design of Marine Structures, World Scientific, 443p (2000).
7. Longuet-Higgins, M.S., "The statistical distribution of the heights of sea waves," Journal of Marine Research, Series A, Vol. 237, pp. 212-232 (1952).
8. Vandever, J.P., Siegel, E.M., Brubaker, J.M., and Friedrichs, C.T., "Influence of spectral width on wave height parameter estimates in coastal environments," Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Vol. 134, pp. 187-194 (2008).
9. Wilson, B.W., "Graphical approach to the forecasting of waves in moving fetches," Technical Memorandum No. 73, Beach Erosion Board, Corps of Engineers, U.S. Army, pp. 1-31 (1955).

花蓮與高雄港極值波浪統計特性及設計波推算

張憲國	國立交通大學土木工程學系	教授
何良勝	交通部運輸研究所港灣技術研究中心	科長
劉勁成	國立交通大學土木工程學系	博士後研究
陳蔚璋	國立交通大學土木工程學系	博士後研究
江玟德	交通部運輸研究所港灣技術研究中心	副研究員
翁瑞嘉	國立交通大學土木工程學系	碩士

一、緒論

1.1 研究動機與目的

設計港灣或海岸結構物前，都會先決定設計波浪。設計波浪需由長期實測波浪資料或推算波浪資料來決定，對50年使用年限的港灣結構物的設計條件，需要利用相當長的波浪實測資料方能分析，但實際上可能常因現有記錄的時間長度不足，無法達成。此時，需要藉由統計方法，利用有限長度的資料，去推估重現期之波浪特性，此分析技巧稱為極值統計。在國內外設計港灣工程也有相當久之歷史，經驗也相當豐富。在國內往昔計算設計波浪之方法及流程大多參考美國工兵團之港灣手冊（Coastal engineering manual）（以前版本稱為海岸保護手冊），並無防波堤安全上之問題，顯見目前的設計方法及流程是安全無虞的，甚至有超過安全設計之可能，然而在學理上及操作上尚有幾個問題值得探討。

因台灣目前尚未有20年以上之實測波浪資料，或颱風波浪資料常因颱風大波之因素而遺失或不完整，因此無法以實測波浪資料來做極值統計。現多用波場模式來推算波高方法，而推算波浪資料之品質也會影響極值統計之極值推估，所以設計波浪決定會受模式推算颱風波高精度影響。在國內外設計港灣工程也有相當久之歷史，經驗也相當豐富。

另外在資料來源的部分，本研究以實測波浪資料為例進行極值統計分析，此外並以類神經颱風推算模式所推估的颱風波浪資料進行極值統計分析，以比較兩種颱風波浪推算方法在極值統計上的適用程度。本研究中所採用的類神經颱風波浪推算模式的應用與驗證見交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究報告『臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算之研究』。

二、極值波浪統計

2.1 極值統計資料

一般波浪資料的來源有兩種，包括現場的量測數據或波浪推算結果。極值統計所採用的資料，基本上須滿足獨立性、等質性及分布性等三項要求。所謂獨立性係指兩個事件的發生是不相關的。等質性為事件出現在空間或者時間上的統計特性是相當的。分布性是說資料數據大小滿足某種分布型態。極值分布之推定，首先必須將每年各場颱風最大值波高取出後，再將其排序，取出前3大波高值來作為極值分析之樣本。

2.2 極值分布函數

根據CEM (coastal engineering manual, 2002) 及往昔文獻建議長期波浪極值之適合機率分布函數為

1. 極值 I 型分布 (FT- I 型分布，又稱Gumbel分布)

$$f(x) = e^{-e^{-\frac{x-B}{A}}}, -\infty < x < \infty \dots\dots\dots (1a)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} e^{-\frac{x-B}{A}} e^{-e^{-\frac{x-B}{A}}} \dots\dots\dots (1b)$$

2. 通用極值分佈 (generalized extreme value, GEV)

$$F(x) = e^{-\left(1+k\frac{x-B}{A}\right)^{\frac{1}{k}}}, B - A/k \leq x < \infty \quad (2a)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} \left(1+k\frac{x-B}{A}\right)^{-\left(1+\frac{1}{k}\right)} e^{-\left(1+k\frac{x-B}{A}\right)^{\frac{1}{k}}} \quad (2b)$$

3. Weibull分佈

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k}, B \leq x < \infty \dots\dots (3a)$$

$$f(x) = \frac{k}{A} \left(\frac{x-B}{A}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k} \dots\dots\dots (3b)$$

4. 對數常態分佈 (log normal distribution)

$$F(x) = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf}\left(\frac{\ln x - B}{\sqrt{2}A}\right)\right) \quad 0 < x < \infty \quad (4a)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}Ax} e^{-\frac{(\ln x - B)^2}{2A^2}} \dots\dots\dots (4b)$$

其中 $\operatorname{erf}(x)$ 為誤差函數(error function)，其定義

式(1)至式(4)中， x 為樣本變數， $f(x)$ 為機率密度函數 (probability density function)， $F(x)$ 為累積機率函數 (cumulative probability function)， A 及 B 為描述機率密度函數形狀之參數， B 稱為位置參數 (location parameter) 與樣本平均值 (mean) 有關，而 A 值稱為尺度參數 (scale parameter) 與樣本標準偏差 (standard deviation) 有關， k 為形狀常數，決定機率函數之尖扁形狀。當式(2)之通用極值分布函數之 k 為正時，通用極值分布轉為極值II型分布，當通用極值分布函數之 k 為負時，通用極值分布轉為極值III型分布。

2.3 極值分布參數推定

當資料選取方法及極值分布函數決定後，極值分布中參數如何推定，有不同的方法。一般極值分布參數推定法，有力矩法 (method of moment, MOM)，最小二乘法 (least squared method, LSM)，最大概似法 (Maximum likelihood estimates, MLE)，加權機率力矩法 (probability

weighted moment, PWM) 等。其中，MOM法為最簡單之參數推定法，此乃利用位置參數與尺度參數分別與平均值與變異數之公式直接計算獲得，LSM及MLE為最常用之推定法。

2.3.1 MOM推定法

若已選出之分布函數後依統計可計算出其統計量，如平均值，標準偏差及眾數 (mode) 與函數內之參數有關，如表1所示。樣本無偏態推算值也可獲得平均值及標準偏差，依表1之統計量則可算出函數之參數。

表1 各極值分佈相關統計量之特性

分佈函數	眾數	平均值	標準偏差
Gumbel	B	$B + A\gamma$	$\pi A / \sqrt{6}$
GEV	$B + \frac{A}{k} \left[\left(\frac{k}{1+k} \right)^k - 1 \right]$	$B + \frac{A}{k} [\Gamma(1-k) - 1]$	$\frac{A}{k} [\Gamma(1-2k) - \Gamma^2(1-k)]^{1/2}$
Weibull分佈	$B + A \left(1 - \frac{1}{k} \right)^{1/k}, k > 1$	$B + A \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right)$	$A \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{k} \right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{k} \right) \right]^{1/2}$
Lognormal	e^{B-A^2}	$e^{\left(B + \frac{A^2}{2} \right)}$	$e^{\left(B + \frac{A^2}{2} \right)} (e^{A^2} - 1)^{1/2}$

表1中， $\Gamma(\cdot)$ 為Gamma函數， γ 為Euler數， $\gamma = 0.5772\cdots$ 。

2.3.2 MLE推定法

最大概似法乃選擇機率密度函數或對數機率密度函數為最大概似函數 (likelihood) 及對數最大概似函數 (log-likelihood)，以Gumbel分佈為例分別為

$$L(x; A, B) = \prod_{i=1}^n \frac{1}{A} e^{-\frac{x_i - B}{A} - e^{-\frac{x_i - B}{A}}} \cdots \cdots (5)$$

$$l(x; A, B) = \sum_{i=1}^n -\frac{x_i - B}{A} - e^{-\frac{x_i - B}{A}} - n \ln(A) \cdots \cdots (6)$$

其中 x_i 為樣本。值若資料符合於機率密度函數中適合參數時，最大概似函數則越大；反之，資料符合於機率密度函數中不適合參數時，最大概

似函數則越小。一般選用對數最大概似函數，將式(6)分別對參數偏微分等於零，則可找出最佳之參數讓樣本資料使最大概似函數為最大。最大概似法之原理可詳見Coles (2001)。

2.3.3 LSM推定法

LSM法需要先決定樣本之排序機率。當資料收集後，首先適當的劃位 (plotting position) 得到無偏態的排序資料之機率。Goda (2000) 提出不同極值分佈之劃位，當選取 N 個資料，首先將 N 個資料依大小順序排列，再計算第 m 順位之值的累積機率 F_m ，其計算公式如下

$$F_m = 1 - \frac{m - \alpha}{N + \beta}, m = 1, 2, \dots, N \quad \dots\dots (7)$$

α 及 β 值在不同分布函數其值不同如下表2所示 (Goda, 2000)。

表2 計算樣本順位機率之 α 及 β 值

分佈函數	α 值	β 值
Gumbel	0.44	0.12
GEV	$0.44 + 0.52/k$	$0.12 - 0.11/k$
Weibull	$0.20 + 0.27/\sqrt{k}$	$0.20 + 0.23/\sqrt{k}$
Lognormal	0.375	0.25

由上述可知，推算重現期值之精準與(1)樣本來源，(2)機率分布的函數，(3)參數推定方法等有關。

2.4 信賴檢定

2.4.1 MIR值檢定：

一般使用卡方檢定及相關係數檢定，檢定所選極值分布函數是否適用。Goda (2000) 提出以 $MIR = (1-r)/\Delta\bar{r}$ 相對相關係數殘差來檢定極值分布函數的合適性。其中 r 為樣本及排序機率下之推算值之相關係數， $\Delta\bar{r}$ 為平均相關係數殘差。MIR 值愈小，代表樣本較適合此極值分布。

各極值分布函數之排序機率下之推算值 x_m 如下公式

$$x_m = ay_m + b \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中之 A ， B 分別為推估出之參數， y_m 為各極值分布函數在機率 F_m 下之相關值，如下

$$\text{Gumbel} : y_m = -\ln(-\ln F_m) \quad \dots\dots (9a)$$

$$\text{GEV} : y_m = \frac{1}{k} [(-\ln F_m)^{-k} - 1] \quad (9b)$$

$$\text{Weibull} : y_m = [-\ln(1 - F_m)]^{1/k} \quad \dots (9c)$$

$$\text{Lognormal} : y_m = \text{inverf}(F_m) \quad \dots\dots (9d)$$

而 $\Delta\bar{r}$ 之計算依各極值分布函數 Goda (2000) 建議為

$$\Delta\bar{r} = e^{\bar{a} + \bar{b} \ln N + \bar{c} (\ln N)^2} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式(9)中 N 為樣本個數係數， $\bar{a}$ 、 $\bar{b}$ 及 $\bar{c}$ 值依不同分佈分別示如表3。

表3 相關係數殘差平均值公式之係數 $\bar{a}$ ， $\bar{b}$ 及 $\bar{c}$ 值

分佈函數	係數 $\bar{a}$	係數 $\bar{b}$	係數 $\bar{c}$
Gumbel	-2.310	-0.3122	-0.044
GEV ($k=2.5$)	-2.455	-0.1582	0
($k=4.33$)	-2.471	-0.1970	-0.007
($k=5.0$)	-2.463	-0.2241	-0.019
($k=10.0$)	-2.409	-0.2580	-0.033
Weibull ($k=0.75$)	-2.603	-0.1009	-0.047
($k=1.0$)	-2.355	-0.2612	-0.043
($k=1.4$)	-2.221	-0.3668	-0.044
($k=2.0$)	-2.047	-0.4767	-0.041
Lognormal	-2.094	-0.4343	-0.045

2.4.2 RMSE檢定：

因 MIR 值係與相關係數有關表示與推估各排序機率下之整體波高與樣本間之相關性程度，若計算出各排序機率下之波高與樣本之誤差有相似誤差，其 MIR 值就小，為整體評估各排序機率下之波高與樣本間之誤差，另外可以 RMSE 來當檢定標準。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x_m)^2} \quad \dots\dots\dots (11)$$

其中 x_m 為推估各排序機率下之波高。

2.4.3 ER檢定：

極值分析主要是推估各重現期之極值，當樣本數量多時，樣本最大值代表具有欲計算重現期之物理量，因

此本研究仿往昔學者比較樣本最大值之推估值與實測值之差異。ER定義如下

$$ER = |x_{MAX} - (x_{MAX})_m| \dots\dots\dots (12)$$

2.5 推估值之標準偏差

利用極值分析所推算出的各種限期之物理值，因為收集到的數據不可能完全符合選擇之分布函數，故所推算之結果必含有不確定性，亦即推算結果僅是機率上之平均值，其偏差量大小應要予以估算。

2.5.1 Goda (2000) 方法：

Gumbel分佈之估算值之標準偏差量為

$$\sigma(x_R) = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[1 + 0.885(y_R - \gamma) + 0.6687(y_R - \gamma)^2 \right]^{1/2} \sigma_x \dots (13)$$

式(13)中 σ_x 為樣本 x 之標準偏差， y_R 為重現期之基準化變量，即式(9)， x_R 為重現期之推算值。其他分佈並無簡易公式推定，合田和小舟(1989)提出以補助統計量的標準偏差 σ_z 乘以樣本 x 之標準偏差 σ_x ，當做推算偏差量

$$\sigma(x_R) = \sigma_x \cdot \sigma_z \dots\dots\dots (14)$$

Gumbel、GEV及Weibull分佈之標準偏差 σ_z 為：

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[1.0 + \hat{A}(y_R - c)^2 \right]^{1/2} \dots\dots (15)$$

而 $\hat{A}$ 值在Gumbel及Weibull分佈為：

$$\hat{A} = a_1 e^{a_2 N^{-1.3}} \dots\dots\dots (16a)$$

但GEV及FT-II之 $\hat{A}$ 值可表為

$$\hat{A} = a_1 e^{a_2 \left[\ln \left(\frac{N}{N_0} \right) \right]^2 - \kappa \left[\ln \left(\frac{1}{v_0} \right) \right]^2} \dots\dots\dots (16b)$$

式(15)至式(16)中之係數如表4所示

表4 重現期推算量之標準偏差公式中之係數

分佈函數	a_1	a_2	κ	c	N_0	v_0
Gumbel	0.64	9.0	0.93	0		
GEV (1/k=2.5)	1.27	0.12	0.24	0.3	23	1.34
(1/k=4.33)	1.23	0.09	0.36	0.2	25	0.66
(1/k=5.0)	1.34	0.07	0.41	0.1	35	0.45
(1/k=10.0)	1.48	0.06	0.47	0.0	60	0.34
Weibull (k=0.75)	1.65	11.4	-0.63	0.0		
(k=1.0)	1.92	11.4	0.00	0.3		
(k=1.4)	2.05	11.4	0.69	0.4		
(k=2.0)	2.24	11.4	1.34	0.5		

至於對數常態函數之 σ_z 則為：

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[1.2 + 0.65(y_R - 0.2)^{2.0} \right]^{1/2} (17)$$

2.5.2 MLE方法：

MLE推估估算值之標準偏差量時需先計算一個資訊矩陣(information matrix)，以Gumbel分佈為例其定義為

$$IE = \begin{bmatrix} -\frac{\partial^2 l}{\partial A^2} & -\frac{\partial^2 l}{\partial A \partial B} \\ -\frac{\partial^2 l}{\partial A \partial B} & -\frac{\partial^2 l}{\partial B^2} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (18)$$

變異與共變異矩陣V (variance-covariance matrix) 為資訊矩陣之反矩陣。而重現期之推估值可表為

$$x_R = B - A \ln(F_R) \dots\dots\dots (19)$$

其中 $F_R=1-1/T$ ， T 為重現期。因分佈

函數內參數之變化率則為

$$\nabla x_R = \left[\frac{\partial x_R}{\partial A}, \frac{\partial x_R}{\partial B} \right] = [-\ln F_R, 1] \quad (20)$$

估算值之變異數則為

$$Var(x_R) = \nabla x_R V (\nabla x_R)^T \dots\dots\dots (21)$$

將式(21)取開根號則為估算值之標準偏差量。此推導原理可詳見Coles (2001)。

三、波浪實測資料的重現期波高推算結果

由98年度交通部運輸研究所港灣技術研究中心之研究『臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算之研究(1/4)』計畫之執行經驗中得知，以MLE及LSM方法推估結果比較可靠，以二者所推估之各重現期之值也接近也相近，因此僅以MLE推估法於4種選擇極值分布所推估出此樣本之檢定標準。若選擇重現期為 $T=10、25、50$ 及 100 年4種。將各極值分布函數及獲得之推估參數以平均機率 $F=1/T$ 代入式(8)及式(9)後，即可獲

得各重現期下之波高。因為波高樣本有19年，一般較為可靠之推估重現期為資料之2-3倍長度，亦即38至57年，雖然本研究推估至100年的重現期波高主要是考慮到港灣工程一般使用之設計年限，以及比較其他資料長度不同之所造成推估重現期之值是否有所差異，以下利用花蓮港實測波浪資料進行推估之結果，表5為MLE推估4種極值分布的結果，而其機率密度分布與累積機率分布如圖1所示。

表5 以MLE推估花蓮港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.77	0.37	0.50	0.65
ER(m)		2.78	0.02	1.13	2.17
$x_R(m)$	10	11.04	10.07	10.56	10.84
	25	12.98	10.59	11.94	12.62
	50	14.42	10.83	12.86	13.92
	100	15.86	11.00	13.71	15.21
$\sigma_{mle}(m)$	10	1.07	0.38	0.89	1.11
	25	1.37	0.40	1.07	1.53
	50	1.61	0.49	1.19	1.87
	100	1.84	0.59	1.31	2.24

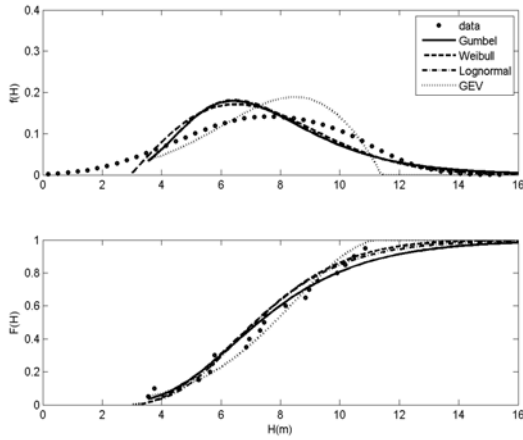


圖1 以MLE推估花蓮港波浪之機率密度函數及機率函數

由表5 x_R 顯示以MLE推估參數法計算4種極值分布之各重現期波高中，以Gumbel及Lognormal分布所計算出各重現期波高相近，而Weibull分布所計算出50年重現期波高約小於前二者約1.5m。針對推估各重現期波高之推算標準偏量來看，以式(65)方法計算Weibull分布所得較Lognormal及Gumbel分布為小。就以MLE推估Weibull極值分布而言，50年重現期之波高為12.86m，而推算標準偏量為1.19m，若假設推算標準偏量符合正常分布且考慮95%信賴度，則推算50年重現期之波高在 $12.86 \pm 1.96 \times 1.19m$ 間，即10.53-15.19m。

從圖1可知GEV分布之機率密度函數及累積機率函數描述此樣本極為吻合，但在波高大於11.2m之機率密度為零而累積機率為1，此因為所推估形狀參數為負值，依GEV分布理論，此時GEV分布會轉為極值III型，波高機率密度則需小於某值，若大於此值則機率密度為零，雖然GEV分布描述此樣本極為吻合，但推估高重現期則有

其限制。

由於高雄港波高樣本有9年，一般較為可靠之推估重現期為資料之2-3倍長度，亦即18至27年，雖然本研究推估至50年，甚至100年的重現期波高主要是考慮到港灣工程一般使用之設計年限，以及比較其他資料長度不同之所造成推估重現期之值是否有所差異，以下利用高雄港實測波浪資料進行推估。若由表6推估各分布樣本機率之波高與樣本之RMSE值顯示，Lognormal分布具有最小之RMSE，其為0.21m，而樣本最大值與推估值之誤差Gumbel分布為0.06m，是最小值。從圖2以機率密度分布與樣本吻合度顯示，四種分布的結果為極為接近。GEV及Gumbel分布有相近次小之RMSE值分別為0.22m及0.23m，而最大者為Weibull分布的0.25m。若推估重現期為 $T=10、25、50$ 及100年之各極值分布函數之波高(x_R)及其推算標準偏差(σ_{mle})顯示，整體而言，四種分布所計算出各重現期波高相近，以50年重現期而言差值約0.94m，而Gumbel及Lognormal分布計算結果較GEV及Weibull分布高。針對推算標準偏差(σ_{mle})來看，GEV分布是4種中有最小之 σ_{mle} ，其在0.5-1.2之間，其次為Weibull分布，最大者為Gumbel分布。整體而言，以GEV分布來推估各重現期之波高為較適合之分布。因此以GEV分布推算50年重現期之波高為8.16，標準偏量為0.94，若在95%信賴度下，此推算值應在 $8.16 \pm 1.96 \times 0.94m$ 之間，即6.32-10m。

表6 以MLE推估高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.23	0.22	0.25	0.21
ER(m)		0.06	0.25	0.41	0.18
$x_R(m)$	10	7.52	7.30	7.38	7.45
	25	8.43	7.83	8.03	8.17
	50	9.10	8.16	8.46	8.67
	100	9.77	8.44	8.86	9.14
$\sigma_{mle}(m)$	10	0.74	0.51	0.61	0.69
	25	0.95	0.72	0.74	0.90
	50	1.11	0.94	0.82	1.06
	100	1.28	1.20	0.90	1.23

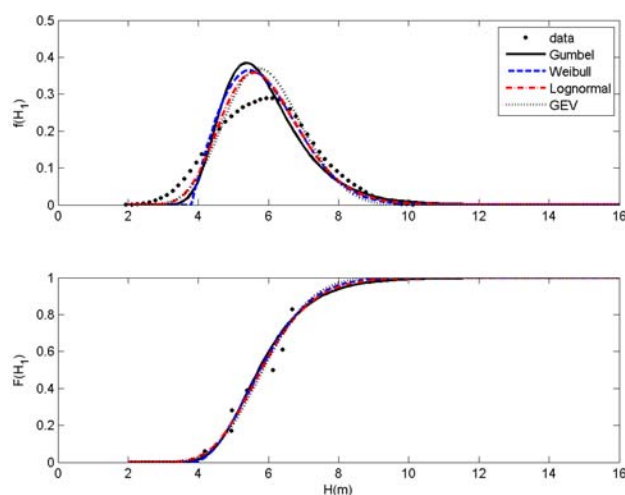


圖2 以MLE推估高雄港波浪之機率密度函數及機率函數

四、類神經颱風波浪推算波高的重現期波高推算結果

一般較為可靠之推估重現期為資料之2-3倍長度，有鑑於此本研究除了以往實測波浪資料作為極值波浪分析的樣本外，並提出以類神經颱風波浪模式的波浪推算結果作為分析樣本，以改善資料不足的狀況。表7採用類神經颱風波浪推算模式推算19年的

颱風波浪資料作為資料樣本所推估得的各重現期波高。 x_R 顯示以MLE推估參數法計算4種極值分布之各重現期波高中，以Weibull及Lognormal分布所計算出各重現期波高相近，而Weibull分布所計算出50年重現期波高約小於Lognormal約0.7m。針對推估各重現

期波高之推算標準偏量來看，Weibull分布所得較Lognormal及Gumbel分布為小。就以MLE推估Weibull極值分布而言，50年重現期之波高為 $12.05m$ ，而推算標準偏量為 $1.05m$ ，若假設推算標準偏量符合正常分布且考慮95%信賴度，則推算50年重現期之波高在 $12.05 \pm 1.96 \times 1.05m$ 間，即 $9.99-$

$14.11m$ 。從圖3可知GEV分布之機率密度函數及累積機率函數描述此樣本極為吻合，但在波高大於 $10.5m$ 之機率密度為零而累積機率為1，如上所述GEV再推估高重現期有期限至，故以花蓮港極值波浪來說不適合採用此法。

表7 以MLE推估花蓮港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.83	0.36	0.57	0.66
ER(m)		2.73	0.04	1.11	1.88
$x_R(m)$	10	10.57	9.53	10.04	10.26
	25	12.31	9.92	11.25	11.73
	50	13.61	10.09	12.05	12.79
	100	14.89	10.20	12.79	13.83
$\sigma_{mle}(m)$	10	0.96	0.29	0.78	0.92
	25	1.23	0.25	0.94	1.26
	50	1.44	0.27	1.05	1.52
	100	1.65	0.30	1.15	1.80

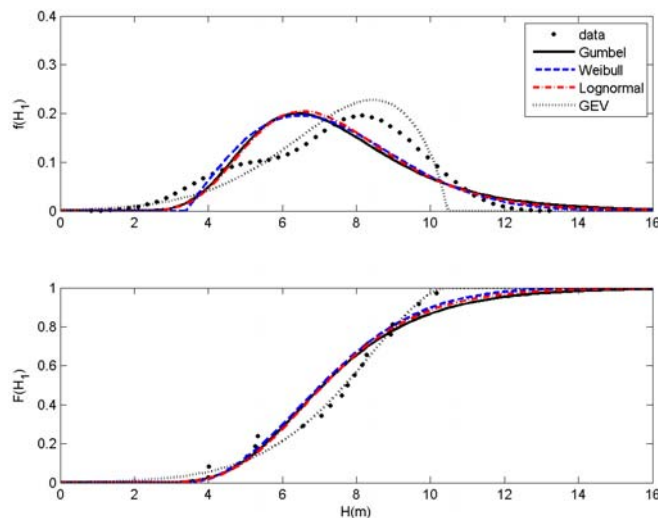


圖3 以MLE推估花蓮港波浪之機率密度函數及機率函數

由於高雄港實測波高樣本有9年，一般較為可靠之推估重現期為資料之2-3倍長度，亦即18至27年，但一般為提高港灣設計的安全性，本研究以類神經颱風波浪推算模式計算19年的颱風波浪資料已進行50年重現期的推估。由表8推估各分布樣本機率之波高與樣本之RMSE值顯示，GEV分布具有最小之RMSE，其為0.12m，而其樣本最大值與推估值之誤差為0.33m，亦是最小。從圖4以機率密度分布與樣本吻合度顯示，以GEV分布為最佳。其次Lognormal及Gumbel分布有相近次小之RMSE值分別為0.21m及0.17m，而最大者為Weibull分布。若推估重現期為 $T=10$ 、25、50及100年之各極

值分布函數之波高(x_R)及其推算標準偏差(σ_{mle})顯示，Gumbel及Lognormal分布所計算出各重現期波高相近，而Weibull分布之計算結果雖相差不大，但較前二者低，以50年重現期而言差值達約0.3m。針對推算標準偏差(σ_{mle})來看，Weibull分布亦是4種中有最小之 σ_{mle} ，其在0.17-0.28之間，其次為Gumbel及Lognormal分布，最大者為GEV分布。整體而言，以Weibull分布來推估各重現期之波高為較適合之分布。因此以Weibull分布推算50年重現期之波高為6.03，標準偏量為0.25，若在95%信賴度下，此推算值應在 $6.03 \pm 1.96 \times 0.25m$ 之間，即5.54-6.52m。

表8 以MLE推估高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.17	0.12	0.40	0.21
ER(m)		0.57	0.33	0.93	0.65
$x_R(m)$	10	5.58	5.65	5.55	5.65
	25	6.03	6.26	5.83	6.01
	50	6.36	6.77	6.03	6.26
	100	6.69	7.32	6.22	6.49
$\sigma_{mle}(m)$	10	0.25	0.36	0.17	0.24
	25	0.33	0.65	0.21	0.30
	50	0.39	1.00	0.25	0.35
	100	0.45	1.45	0.28	0.39

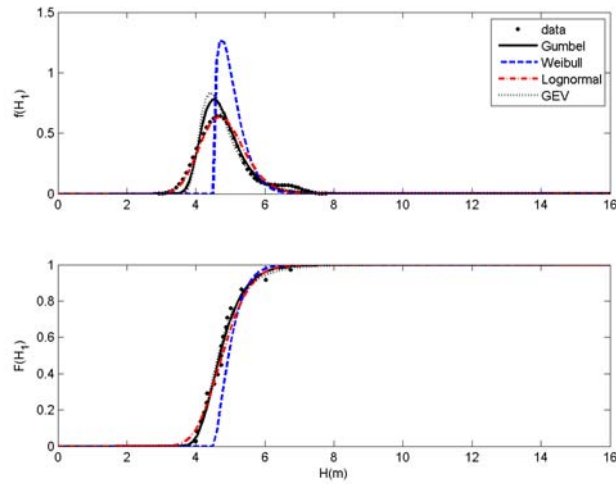


圖4 以MLE推估高雄港波浪之機率密度函數及機率函數

五、結論

本研究以4種極值分布方法於花蓮及高雄之年最大值之各重現期推估值，資料來源以實測及類神經波浪推算模式2種方法，其中檢定模式優劣指標以Goda（2000）所提之MIR、RMSE及最大極值之誤差三種，經由分析討論後本研究之重要結論如下

1. 以花蓮港實測19年之年最大值波高為樣本，以MLM推估Weibull分布，50年重現期波高為12.86m，若考慮95%信賴度之偏差量，則此值會在10.53-15.19m之間。
2. 以颱風波浪類神經推算模式計算花蓮港19年之每年最大值波高為樣本，此樣本平均約小於實測樣本，以Weibull分布來描述此樣本機率及推估各重現期波高亦是較合適的。以MLM推估Weibull分布之50年重現期波高為12.05m，若考慮95%信賴度，此值應落於9.96-

14.11m之間。

3. 高雄港僅有2001-2009年之9年實測數據，以實測之年最大值波高為樣本，以MLM推估GEV分布推算50年重現期之波高為8.16，標準偏量為0.94，若在95%信賴度下，此推算值應在6.32-10m。
4. 以颱風波浪類神經推算模式計算高雄港19年之每年最大值波高為樣本，此樣本平均約小於實測樣本，以Weibull分布來描述此樣本機率及推估各重現期波高亦是較合適的。以MLM推估Weibull分布之50年重現期波高為6.03m，若考慮95%信賴度，此值應落於5.54-6.52m之間。

本研究參考交通部運輸研究所『花蓮港防波堤沉箱安全評估之探討』報告書中所述原花蓮港50年重現期的設計波高約為12.6m，本計畫以實

測波浪資料推算為 $12.86m$ ，利用類神經模式的推算結果為 $12.05m$ 。另外參考交通部運輸研究所99年『高雄港防波堤構造物安全評估探討及維護管理資訊系統建置』報告書所述高雄港50年重現期的原設計波浪條件為 $6.0m$ ，

而本研究以實測波浪資料推算結果為 $8.16m$ ，利用類神經波浪推算模式的樣本進行極值分析推得 $6.03m$ 。在高雄港以9年實測波高推估的結果有較大的差異，提供相關單位作為參考。

參考文獻

1. 合田良實，「港灣構造物的耐波設計」，鹿島出版社（1990）
2. 郭一羽，「海岸工程學」，文山書局，第四章（2001）
3. 江玟德、張憲國、劉勁成、陳蔚璋、何良勝『臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算之研究（1/4）』，交通部運輸研究所（2010）
4. Coastal engineering manual (2002) “Hydro-dynamic analysis and design conditions,” Chapter 8.
5. Coles, S.G., (2001) “An Introduction to Statistical Modelling of Extreme Values”, Springer-Verlag, London.
6. Goda, Y., (2000) “Random Seas and Design of Maritime Structures”, In: Liu, P.L.-F. (Ed.), Advanced Series on Ocean Engineering, vol. 15. World Scientific, Singapore.
7. Van Vledder, G., Goda, Y., Hawkes, P., Mansard, E., Martin, M.J., Mathiesen, M., Peltier, E., Thompson, E., (1993) “Case studies of extreme wave analysis: a comparative analysis”, Proceedings of the Second International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis. ASCE, New York, pp. 978–992.
8. Weibull, W., (1951) “A statistical distribution function of wide application”, Journal of Applied Mechanics, Vol.18, pp.293.

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