

港灣報導季刊

第 91 期

交通部運輸研究所

中華民國 101 年 2 月

港 灣 報 導 第 9 1 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：150 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

印 刷 者：悅翔數位印刷有限公司

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 F1•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

港灣地區防救災通報系統之探討……………1

林文釩 成大研究發展基金會 研究助理

曾文傑 交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員

黃敏郎 成大研究發展基金會 組長

謝明志 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 科長

長波抗浪型碼頭結構物的研發……………5

林招圭 國立台灣海洋大學河海工程學系

楊國誠 國立台灣海洋大學河海工程學系

李健鴻 國立台灣海洋大學河海工程學系

蔡金吉 交通部運輸研究所港灣技術研究中心

港灣環境資訊服務系統介紹……………14

林廷燦 台灣富士通(股)公司專案經理

簡仲璟 交通部運輸研究所港灣技術研究中心

臺灣重要商港海域海流模擬……………22

廖建明 財團法人國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心副研究員

莊文傑 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

許泰文 國立成功大學水利及海洋工程學系特聘教授

港灣地區防救災通報系統之探討

林文飢 成大研究發展基金會 研究助理

曾文傑 交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員

黃敏郎 成大研究發展基金會 組長

謝明志 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 科長

一、前言

民國 98 年莫拉克颱風，最大累積降雨量超過 3000 公厘，造成台灣南部災情慘重。當時災區對外聯繫與通訊中斷，災民無法利用市內電話與手機通話方式對外聯繫，但部分災民仍可透過手機的微弱訊號將災情對外傳遞，使後續對於救災對象與物資需求得以精確掌握，快速進行災害搶救作業。

災害發生後，災情通報之精度與頻率為掌握災情現況與救災成效之關鍵因素。但災害發生時，利用現有市內電話與手機通報方式，無法精準的描述災害位置、狀況、影響範圍等救災重要資訊，因此造成救災資源調度失常與無法精準救災的缺憾，尤其在劇烈天候環境下，對於災情傳遞更為一嚴峻挑戰。

就目前國內各港區之災害防救作業，皆依據交通部相關規定進行，在災情通報部分大多採用室內電話、手機通話與簡訊、無線電等方式進行災情之口述與文字描述，如此對於災害發生之位置、規模、與現況無法精準的描述與傳遞，如此可能會降低救災效率，因此本研究以國內基隆港、台北港、蘇澳港、台中港與高雄港等港灣地區之災情通報流程為研究對象，建構多元化災情通報系統，提供港務局防災業務單位即時掌握災害之時、空特性，做為救災決策參考，進而提升救災之精度，以達降低

災害之目的。

二、相關研究

於災情傳遞相關研究方面，Palen(2007)[1]提出在災害發後的緊急處理及應變階段具有照相功能可傳送簡訊與多媒體簡訊的手機，可讓資訊以點對點的方式快速傳送。而 98 月 8 日之莫拉克颱風造成南部重災區交通、通訊、水電中斷，部分災民仍可使用手機簡訊方式對外傳送災況與需求訊息。因此在災中應變階段，手機簡訊可扮演災情傳遞之重要角色。Wang(2004)[2]架構一多媒體行動裝置之災情緊急應變資訊系統，提供消防隊等公共安全單位所使用，此系統結合多項基礎服務包括多媒體資訊接收處理、地理資訊系統服務與資料管理等，提供相關人員緊急應變所需的服務。

國內方面，臺北市政府捷運工程局曾利用多媒體簡訊服務經由影像、語音技術與整體管理資訊系統之結合，更簡便迅速的忠實反映事故現場狀況[3]。而高雄港務局亦以進入簡訊緊急通報系統網頁發送多媒體簡訊方式，進行港區內災情通報[4]。其中，多媒體簡訊服務[5]應用於港灣地區之災情傳遞，亦為一新的嘗試。

三、研究方法

以往的災情通報方式通以室內電

話及行動電話為主，往往人、事、時、地、物等資訊無法透過室內電話及行動電話中完全的被描述出來。若採用多方位災情通報方式，如多媒體簡訊、自動語音電話、網路自動傳真，配合手持裝置(PDA、平板電腦)或 3G 手機的使用，達到災情可經由多個管道傳遞的方式。

本研究以開放原碼地理資訊系統 MapGuide Open Source 為系統平台，依據國內基隆港、台北港、蘇澳港、台中港與高雄港等港灣地區之災情通報流程，開發具多媒體簡訊、3G 手機上網、語音電話、網路傳真、Google KML 災情資訊檔下載等多元災情通報功能，提供更完整的通報管道（圖 1），期望能在侷限之通訊條件下提升港灣地區災情通報之精度。

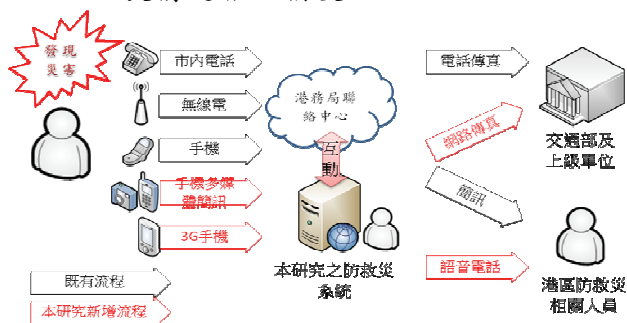


圖 1 港灣地區多方位災情通報流程圖

四、研究結果與討論

4.1 系統功能設計

本系統的功能規劃共有二個部份(如圖 2)，分別為「災中應變流程」和「輔助功能」。災中應變流程為執行災害應變之功能流程，依據功能之重要性進行配置，包括「新增災害」、「災情通報」、「災情更新」與「新聞稿列印」。

輔助功能為應變作業中可供資料查詢參考之功能，包括「防救災資源查詢」、「紀錄查詢」與「地圖顯示」。

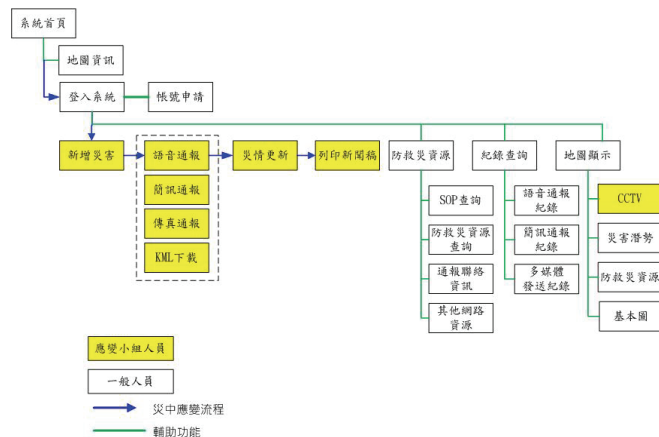


圖 2 港灣地區防救災資料庫系統功能架構

「系統首頁」(圖 3a)設計以地圖方式顯示港埠地區之即時災害狀況(災害類型與最新處置現況)。使用 MapGuide Open Source 軟體，無需下載任何元件即可瀏覽地圖資訊，可於未登錄系統狀況下了解即時港區之災害狀況。於首頁輸入帳號密碼後即可進入系統功能畫面。

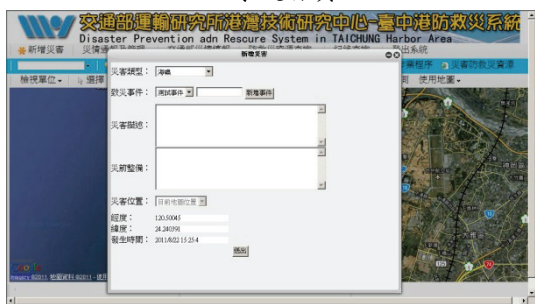
系統功能畫面之「新增災害」功能(圖 3b)，可透過空間位置點選或輸入坐標方式，並選擇相對應的災害事件、類型、描述、坐標及時間，於地圖畫面標示新增的災害位置及災害資訊。

而「災情通報及管理」功能方面，災情通報方式包含「語音通報」、「傳真通報」、「簡訊通報」，災情管理功能包含「災情更新」、「多媒體簡訊即時災況」、「即時災情 KML 下載」與「列印新聞稿」。「災情通報及管理」為本系統之主要功能，方便港務人員透過網頁管理災情現況，具有提供災害發現者透過手機傳回現場災情照片的多媒體簡訊即時訊息(圖 3c)的能力。

「紀錄查詢」功能包括各類通報歷程之管理作業(圖 3d)，包括「語音通報紀錄查詢」、「簡訊通報紀錄查詢」、「多媒體發送紀錄查詢」與「災害事件紀錄查詢」等三項功能。



a 系統首頁



b 新增災害



c 多媒體簡訊即時訊息接收及轉發送



d 災害通報紀錄

圖 3 港灣地區防救災資料庫系統功能畫面

以下就本研究開發之多元災情通報功能進行細部說明。

4.2 即時災情資訊下載

本系統為因應交通部之災情 KML

(Keyhole Markup Language) 彙整需求設計「即時災情資訊下載」功能。KML 為鎖孔標記語言，是一種 XML 語法與檔案格式，由 Google 公司設計公布之標記語言檔案格式，可用於塑模與儲存諸如點、線、圖像、多角形與模型等地理特定以顯示在「Google 地球」、「Google 地圖」與其他應用程式上。因此透過本系統功能可將本系統即時災情資訊轉換成 KML 格式可供港務局人員進行下載(圖 4)，並提報至交通部，以縮短災情通報時程，提升災情傳遞效率。KML 檔案中除空間位置與災情描述資訊外，另包括多媒體簡訊傳送至系統之即時災情照片。此設計同時提升的災情描述之深度與廣度，讓災情處置人員可了解更多現地資訊，更能提升救災決策之精度。



圖 4 KML 即時災情資訊下載

4.3 語音通報

「語音通報」功能可將災害資訊由文字轉成語音電話傳送出去(圖 5)，受話對象不限於手機或市內電話，通報範圍較為廣泛，同時因為無文字數量之限制，因此災害之資訊描述優於簡訊通報方式。本功能同時設計因應不同災害選定不同受話群組，可達特定災害由特定權責單位人員接收的目標，提升災情傳遞之精度。



圖 5 語音通報系統畫面

4.4 多媒體簡訊通報

「多媒體簡訊通報」功能可接收由手機傳送的多媒體簡訊，提供圖文描述之災情通報資訊（圖 6）。考量災害發生第一時間，現場人員傳遞災情的管道有限，除傳統電話、無線電等通報方式，個人手機為每人隨身常有之裝置，大部分市售手機均有提供攝像與多媒體簡訊發送功能，因此本系統設計透過手機發送多媒體簡訊，傳送災害現場即時影像至系統，於災害發生時透過影像初步了解災情狀況，並將記錄災情之多媒體災情簡訊轉發送至指定的聯絡人群組。



圖 6 多媒體簡訊通報系統畫面

參考文獻

1. LEYSIA PALEN, STARR ROXANNE HILTZ AND SOPHIA B. LIU , 2007, ONLINE FORUMS SUPPORTING GRASSROOTS PARTICIPATION in Emergency

Preparedness and Response. COMMUNICATIONS OF THE ACM, March 2007/Vol. 50, No. 3.

2. Zhou Wang, Andreas Meissner, Jan Grimmer, Stefanie Richter, 2004, A Mobile 5 Multimedia Emergency Response Information System for Public Safety Organizations. The Second International Conference on Advances in Mobile Multimedia (MoMM2004).
3. <http://www.dgbas.gov.tw/public/Data/6361418371.pdf>
4. <http://163.29.117.218/>
5. KML 說明文件
http://earth.google.com/intl/zh-TW/userguide/v4/ug_kml.html

長波抗浪型碼頭結構物的研發

林昭圭 國立台灣海洋大學河海工程學系
楊國誠 國立台灣海洋大學河海工程學系
李健鴻 國立台灣海洋大學河海工程學系
蔡金吉 交通部運輸研究所港灣技術研究中心

摘要

長波抗浪型碼頭結構物的研發，其構想是利用內建與碼頭的有限長度與高度的斜坡，促使入射波浪發生溯升及越波以消減反射波能，降低港內反射浪的能量及引發港內振盪的機會。藉由設計多種型式進行相關的水工模型試驗與數值模擬，並考量實際工程規劃設計的步驟與要求，同時亦參考國內外相關的文獻，目前已確定內建斜坡的坡度、出水高度、表面粗糙度，以及後方消波室的大小等都會影響到該新型碼頭的消波能力。在水工模型試驗中，也進行造波水槽的改裝，藉以達到測試長週期波作用下消能效果評估的目標。

一、前言

臺灣由於位處於大陸棚的邊緣，西部海岸以水深約在 100 公尺以內的台灣海峽與大陸連接；東部則面臨陡峻的太平洋水域，近岸有花東海盆；東北側水域有琉球島弧、沖繩海槽與和平海盆；東南側有呂宋島弧及北呂宋海槽；南側有恆春海脊及馬里亞那海溝；西南側則有許多峽谷。由於水深地形相當地複雜且變化劇烈，連帶著也影響到附近的海氣象變化，以及海岸設施所遭受的不同外力型式。例如，臺灣東部海底坡度陡峭，且是颱風波浪必經之地，此區域之港灣構造物經常受到長浪的侵襲，因

此該區所設置的港灣構造物幾乎全為重力式大型結構物，然而從以往至今，臺灣東部的港灣結構物常有因颱風波浪作用而導致破壞的事例，顯示以現有規範所設計之重力式結構物仍不足以抵擋在此環境下之颱風波浪，有必要考慮其他型式設施或消能方式以降低長浪之作用力；而在臺灣西部則是海底平坦且多沙岸，加上臺灣中央山脈之阻擋，颱風期間之波力不似對東部的影響大，但伴隨的則為海洋環境問題。而長久以來，不管結構物設施之功能或用途，我國的港灣結構物皆以永久性設施為主要考量，其考量當然是為了應付多變且多惡劣海象的海洋環境，並受制於國內的年度預算中編列維護費的高困難性，多以資本門屬性的營建設備費的方式，尋求一勞永逸的方法，建造所謂「堅固耐久型」的萬年結構物。但是此種方式對於某些臨時性或季節性的海岸空間使用，其不僅可能造成投資過當，對於後續的維護費用也是一大負擔，此外也很容易被不瞭解海岸災害嚴重性的人們誤認為是破壞海岸景觀及環境的元凶。就發展僅數十年的海岸工程技術與理論的發展歷程來看，從單純是抗浪禦潮到如今的注重環境保護與協調性，確實目前所興築與開發的海岸工程，存在著可檢討的空間。

依臺灣地區之環境特性與功能屬性分類，港灣結構物所需要的功能大致

可分為長波抗浪型區域(主要功能以保護港灣結構物減少受長波作用的影響為主)、功能目的使用型或臨時性設施型(以環境保護功能或短期性特殊使用目的功能為主)及環境保護型區域(兼顧港灣結構物及環境之復育功能)等三大類型。

二、長波抗浪型碼頭的設計概念

水力式消能斜坡碼頭結構物之特性研究構想主要是利用港灣結構物的形狀與緩衝區，促成多種型式的水理運動間的交互作用，並形成阻尼，除了消耗入射波的能量外，也將降低反射波的發生機會，以達到消滅港內長波能量的功能。也就是藉由內設的斜坡，令入射的波浪沿斜坡溯上，除可由表面的粗糙度及孔隙率消滅波能，也促使發生越波，以降低溯降水流二次造波的機會，如此可以減低反射波的發生。而越波後的水體則利用後設的消波室消滅其震盪能量，其後藉由多孔隙介質由碼頭的下部結構排水。

圖 1 是本研究的初步研究構想，主要的設計理念是考量港內的波動並非一成不變，除了在天文潮位下的常時波浪以外，還需要考量颱風波浪在最高之高潮位加上暴潮位的水面上作用的情形。因此，在建構此一模型是初步構想是利用下部的多孔隙結構物來削減常時波浪的能量，而利用碼頭的內建斜坡來促使長週期波浪發生碎波溯上以及越波至後方的消波室，使溯升的水體不再直接回溯至堤前水面造成反射波。以下各節將針對不同階段測試進行說明。

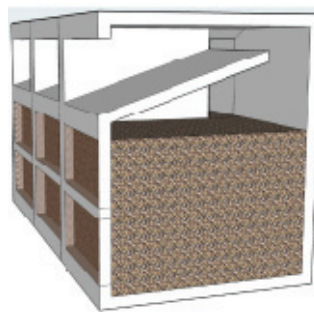


圖 1 內建斜坡式消能結構物的構想

三、水工模型試驗

3.1 常時波浪的水工模型試驗(初期測試)

為了瞭解內建斜坡式消能結構物各項機構的功能，本研究以逐步試驗並檢討改善所發現問題的方式，先後進行下列水工模型試驗，分別說明如下：

- (1) 空水槽試驗：在空水槽以等水深進行造波試驗，主要為瞭解斷面造波水槽的造波特性與造波能力，以及檢討為量測反射率而設置的波高計的適當位置，量測的資料並作為後續試驗的對照組資料。
- (2) 方案一：如圖 2(a)所示的布置，為內建斜坡式消能結構物的基本構造。其構想是利用一內建的斜坡促使進入碼頭面下方的波浪沿斜坡溯上，但隨即落入後設的消能室，而減少溯降造波的比例。
- (3) 方案二：如圖 2(b)所示，考慮前方開孔部的比例，將其減少 50%。為了加強消波室的排水功能，乃減少前方開孔，以期越波落入消波室的水體能利用內外的水位差向外排出，藉以降低消波室水位的抬升量。
- (4) 方案三：如圖 2(c)所示，考量增加消波室的排水功能，以方案二為基礎，在後方開孔排水。其目的同樣是為了讓越波落入消波室的水體能利用內外的水位差向外排出，以減少消波室水位的抬升量。

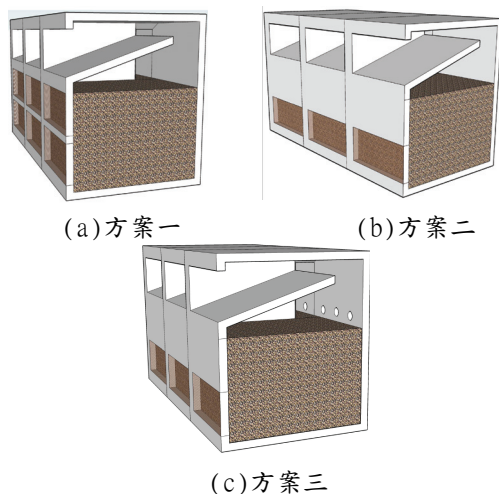


圖 2 內建斜坡式消能結構物的三種方案

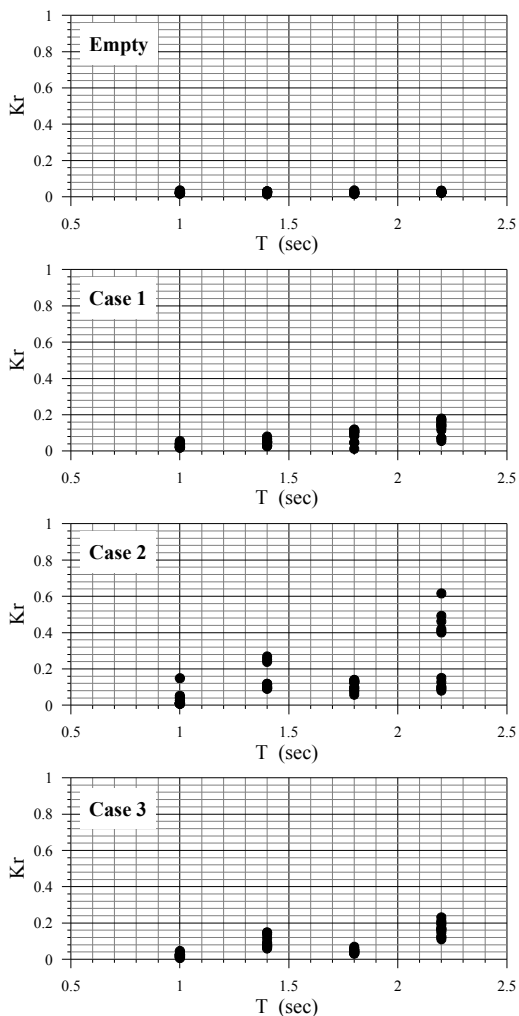


圖 3 常時波浪水工模型試驗的反射率分佈

所有的試驗是以 1/25 的比例縮尺，在海洋大學海洋工程館的小斷面水槽 (50 公尺長、80 公分寬) 中進行水工模型試驗 (造波水深 37 公分，造波週期分別為 1.0、1.4、1.8 及 2.2 秒，造波波高 1 至 4 公分，各條件重複 3 次)。設置的波高計除了一支量測入射波以外，另設置三支波高計量測反射率，波高計的設置距離主要係參考 Goda 兩點法求反射率的建議。圖 3 顯示最佳配對波高計所測得的反射率。

從試驗的結果可以看到，三種配置都能夠得到很好的消波效果，所有測試條件所產生的反射率多在 0.25 以下，顯示利用斜坡越波的方式降低堤面的反射率，以及削減溯上水流的溯下造波是有效的。不過從試驗中也發現消波室的排水問題明顯影響到其消波功能，如圖 4 所示，原設計的構想是藉由內建斜坡促使波浪溯上越波不致產生溯下造波，降低波浪反射率，而越波後的殘流水體則藉由內外的水位差將多餘水體自下部多孔隙拋石體以水流排出結構物，並藉以擾動入射波運動。但從試驗中發現，下部多孔隙壁體也會使得波壓及水粒子運動透入結構體，而產生由下向上的水流，造成消波室的水位抬升，以及蕩漾，並進行影響到波浪的溯上越波，甚至產生逆向溯下水流。不過此一現象當在增加後側局部排水時則有改善情形。後續的改善必須設法解決溯上越波後的排水情形，以免造成消波室內的水體堆積。增加內建斜坡的消能功能 (例如增加粗糙度) 或透水功能 (例如增加透水性)，以及增加側向排水或後側排水應可明顯改善消波室內水體堆積的問題，並提高其消波功能。

由於本項試驗主要在確認及驗證研究的方向，並瞭解此類防波堤的消波

機制，大致由下列幾項：(1)越波排水的方式；(2) 斜坡的透水性；(3)斜坡的坡度；(4)堤內拋石的孔隙率與透水性；及(5)暴潮水位與不同波高等進行研討。

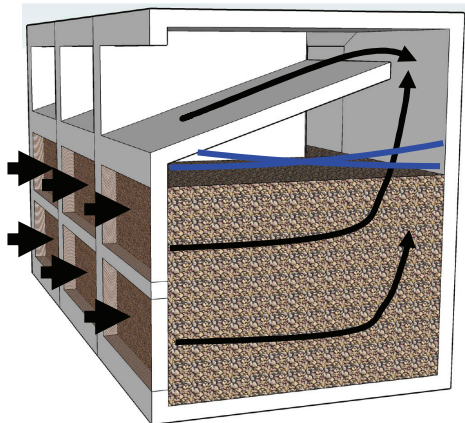


圖 4 消能結構物的波動與水流現象

表 1 大型斷面造波水槽規格

項目	規格說明
水槽位置	國立臺灣海洋大學河海工程學系海洋工程綜合試驗館
水槽總長	100m
水槽寬度	3m
水槽高度	3m
造波機型式	活塞式
造波動力系統	ISEYA 株式會社
造波控制系統	加拿大水工試驗所研發之 NDAC 造波控制系統
造波形式	規則波、不規則波
造波頻率範圍	0.125Hz~1.25Hz (0.8sec-8.0sec)
最大造波波高	30cm
試驗最佳水深	1.5m

3.2 長週期波浪的水工模型試驗

為了瞭解水力式消能斜坡碼頭結構物在長週期波作用下的表現，本研究進行了有關長週期波的水工模型試驗。相關細節分述如下：

(1) 斷面水槽之選定

由於水工模型試驗的規劃設計會受到斷面水槽的尺寸、造波機造波能力

與模型縮尺的限制，而本研究的主要目標是長波抗浪型消能結構物的開發研究。為了滿足長週期造波的要求，本研究乃採用國立臺灣海洋大學河海工程學系海洋工程綜合試驗館之大型斷面水槽進行試驗，該水槽的相關基本規格如表 1 所示

(2) 模型縮尺之選定

考慮大型斷面水槽造波機所能造出之最大週期波浪條件，以模擬長週期波浪作用於結構物的影響，並參考 Froude 相似率定義，選用之水工模型斷面試驗模型縮尺為 1/36 (即長度縮尺為 1/36、時間縮尺 1/6)。

(3) 試驗條件選定

由於規劃的碼頭結構所造成的水理現象複雜，較易評估的是碼頭前面的反射率，依目前的討論，影響結構物前反射率的參數如下：

$$Kr: f(h, T, L, H, \tan \theta, n, \mu, D, \epsilon) \quad (1)$$

其中， h 為水深； T 為週期； L 為波長； H 為波高； $\tan \theta$ 為斜坡的坡度； n 為斜坡的粗糙度； μ 為斜坡的滲透性； $D = D_b / D_a$ 為縱深比； D_a 為碼頭(包含斜坡與孔隙室)的縱深； D_b 為消波室的縱深； ϵ 為碼頭下部結構的拋石孔隙率。

本試驗將主要針對最基本的參數(斜坡坡度與縱深比)進行討論，也就是考慮光滑不透水斜坡表面、固定水深、波高及孔隙率，改變週期、斜坡坡度與縱深比三項參數，來探討相互影響之關係，以瞭解模型配置的特性是否能發揮消波效果。對於不同斜坡表面性質，如粗糙度、透水性等則在後續研究中探討。

(4) 試驗模型配置之選定

由於消能斜坡是否能促成入射波浪越波及其越波量的大小，對堤前的波

浪反射率有很大的影響，以及後方中空消波室的縱深對越波後所造成的水位上升與振盪的影響，本模型試驗配置藉由改變斜坡坡度 $\tan \theta = 1/2$ 、 $1/4$ 和 $1/8$ (分別以 S1/2、S1/4 及 S1/8 表示)，及縱深比 $D = 1$ 、 2 和 3 (分別以 D1、D2 及 D3 表示)。將坡度與縱深比進行 9 種不同的試驗配置。其中，也規畫了空水槽的試驗，以瞭解在指定造波條件下，空水槽的波動情形，作為後續的比對。各配置的多孔隙消波室中都使用相同之塊石，其孔隙率為 0.35，而其靠水側(前方)為完全開放，後方靠岸側則為 50% 開放，其目的為了使後方水體可以藉由下方排水至前方，維持水位堆積不致過高，以提升消波室容納越波水量與消能的能力。圖 5 為模型配置的示意圖。

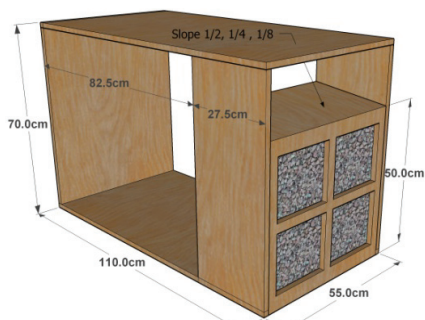


圖 5 長波抗浪型模型的尺寸

(5) 試驗結果分析

將原始資料數據擷取波浪作用穩定段，再利用 Goda 兩點法分析反射率，由於波高計規劃設置三支，故於三次試驗中皆有三種波高計配對之反射率，包含 No.2-No.3、No.3-No.4 和 No.2-No.4。圖 6 至 9 分別為空水槽、D1、D2 及 D3 的不同斜坡配置所得之反射率與週期之分布圖。各圖之圖說中的代號如 1-2 3 代表第一次試驗中利用波高計 2 與波高計 3 的量測資料計算所得的反射率，其餘依此類推。各圖中除

了將波高計反射率配對繪出結果並將其各週期之九次試驗配對以最小二乘法求其近似曲線。

從圖 6 中的各造波條件的資料集中情形可以發現空水槽部分的試驗波形相當穩定，即使是造波週期為 7 或 8 秒，三次的試驗結果相當一致。但由於造波水槽的後方設置有消波設施，而且波浪在 1:33 的斜坡上可能發生碎波、溯升/溯降、越波，以及底床摩擦損失，因此圖 6 中可以看到不同週期波浪在斜坡上的不同行為。

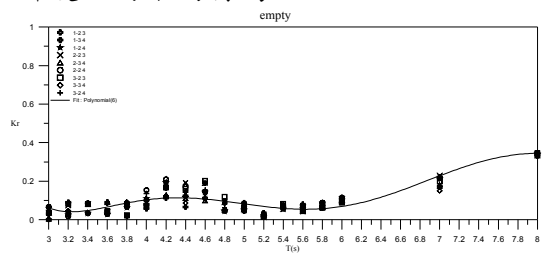
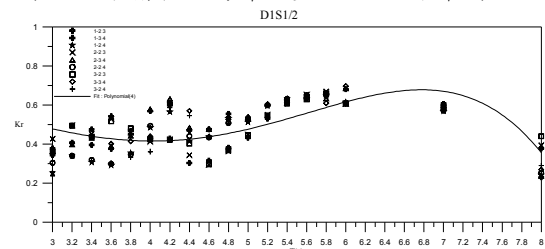
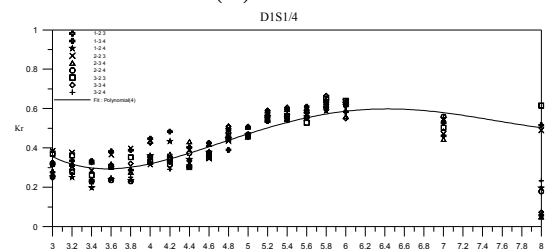


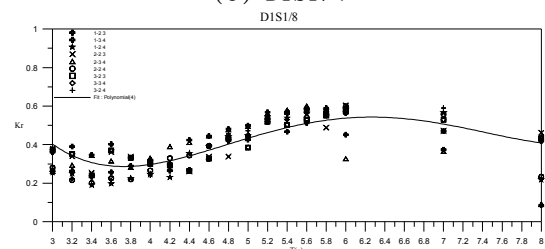
圖 6 空水槽各波高計配置之 Kr-T 分布圖



(a) D1S1/2

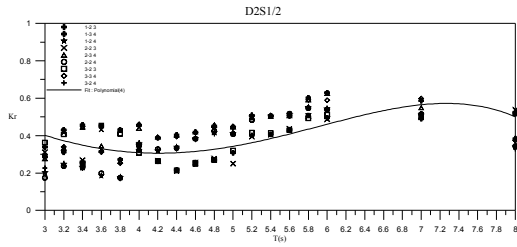


(b) D1S1/4

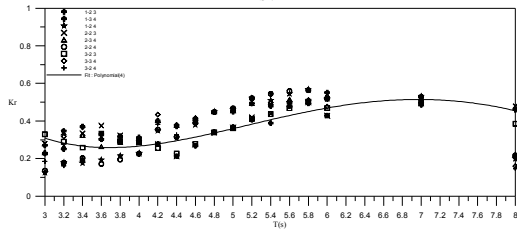


(c) D1S1/8

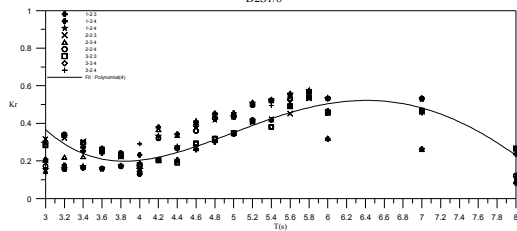
圖 7 D1 各配置之 Kr-T 分布圖



(a) D2S1/2

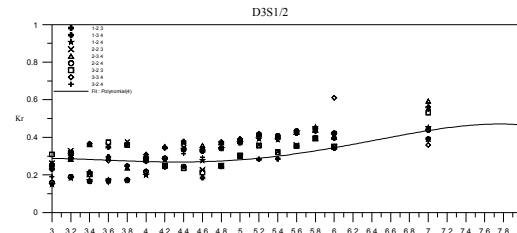


(b) D2S1/4

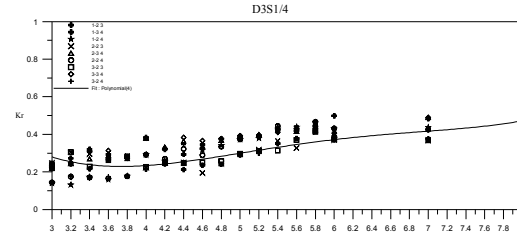


(c) D2S1/8

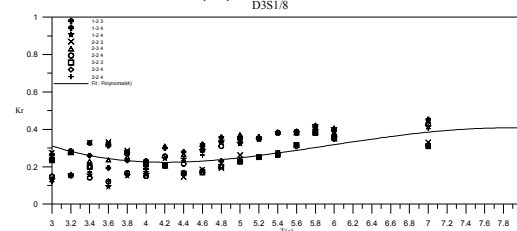
圖 8 D2 各配置之 Kr-T 分布圖



(a) D3S1/2



(b) D3S1/4



(c) D3S1/8

圖 9 D3 各配置之 Kr-T 分布圖

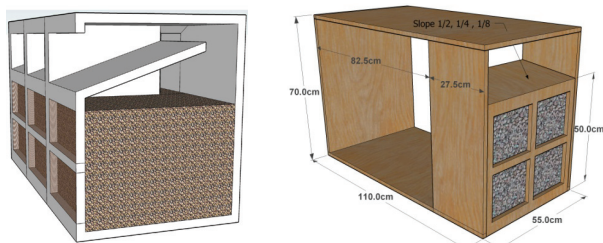
在圖 7 至圖 9 中各配置之水工模型試驗結果中顯示各個造波週期試驗條件中所得到的 9 組反射率結果差距在 0.1 內，顯示三支波高計的設置位置尚稱妥當。而在短週期部分會有較大的反射率差距，主要原因應為原設置斜坡構想是要使波浪溯上後越波以達到削減波浪之結果，但當波浪溯升能量較低時作用於斜坡坡度較高的配置時會無法越過斜坡，故在溯下後順著斜坡流下之水流會對前方的造成擾動對於反射率的計算造成較大的誤差。此種情形在實際的波浪場中，由於具有各種不同的週期成分，屬於不可避免的情形，但在實用上則應該要考慮至少要讓出現較多的波動週期要能夠發生越波消能的效果。

綜合比較固定三種坡度的斜坡試驗改變縱深比 D1-D3 所得之結果，發現其整體反射率皆隨縱深比之增加而降低，只有在坡度 1:8 週期 3.4s 至 4.4s 間縱深比 D2 反射率低於縱深比 D3，大致上當固定斜坡坡度時以縱深比 D3 為最佳配置

四、有關內建斜坡消能式碼頭的設計參數的初步討論

除了一般的碼頭設計標準過程外，新型碼頭需要考慮如何促使波浪在斜坡上發生碎波/溯升，而後發生越波。因此，適當的內建斜坡的坡度與設置高度，以及斜坡的長度都影響到消能的效果。而就實際上港灣內部水位及波浪的特性，水位的部分需要考慮到當地的天文潮位及暴潮位，波浪的部分則需要考慮到該港灣的季風波浪與颱風波浪的特性。雖然一般的認知中，會將長週期波浪歸屬於颱風波浪，但實際上從花蓮港的波浪觀測發現長週期波動始終存

在。因此，在波浪的組合上可以分為兩種類型：季風波浪加上大潮，與颱風波浪加上大潮與暴潮位，內建斜坡消能式碼頭的設計應要能同時提供削減此兩種波動能量的功能。從港灣規劃的觀點來看，一般商港內的波高應小於 50cm，在不發生長週期的共振情況下，長週期入射波浪的波高亦應小於此值。所以在此情況下，我們可以合理地假設港內波高以 1m 為設計條件。再者，由於港內的水深變化不會太大，我們也假設波浪沒有折射淺化的效應。本節主要以如圖 10 的兩種型式為主。型式一的下部結構完全拋石，它可以提供碼頭結構有足夠的重量，但是消波室的空間較小，可能容易滿水。型式二的拋石區僅止於前端部分，後端完全保留為消波室，如此可以讓較多的空間讓水體在此處振盪，但是可能要檢討其結構體重心由偏向前端的顧慮，適當的型式可能需要進一步的水工模型試驗配合實際的水位與波浪變化方能確認。此兩種型式的構想都是利用下部多孔隙介質削減較小的常時波浪，而利用斜坡來消滅颱風時期的港內長週期波動成分。



(a) 型式一 (b) 型式二
圖 10 內建斜坡消能式碼頭基本雛形

如上面所述，除了參考一般碼頭的設計準則外，還需要決定本消能式碼頭的內建斜坡部分的相關參數，包含：

(1) 設置水位：斜坡的設置起點應該介於平均水位及暴潮位之間，其起始位置應能考慮長週期波動不致受到

直立部分的阻擋而發生大比例的反射。

(2) 斜坡的出水高度：為了能讓大部分的溯升波浪發生越波，經過實驗比較後發現出水高度為 1 倍入射波高的優於 1.5 倍入射波高的消能效果。所以此處以溯升高度為 1 倍及 0.5 倍港內波高進行比較，也就是 R/H_o 為 1 或 0.5。

(3) 斜坡坡度：如以美國陸軍工兵團海岸工程手冊所建議的波浪溯上公式如式 (2)(Hunt, 1959) 及式 (3)(Mase, 1989) 所示

$$\frac{R}{H_o} = \xi_o \quad \text{for } 0.1 < \xi_o < 2.3 \quad (2)$$

$$\frac{R_{mean}}{H_o} = 0.88 \xi_o^{0.69} \quad (3)$$

試算不同底床坡度(1/3~1/30)及不同波形尖銳度(H_o/L_o)的結果如表 2 及表 3 所示。表 2 及表 3 中橫列為不同的底床坡度，縱欄為不同的波形尖銳度，表中底色為綠色的是 $R/H_o \geq 1.0$ 的波浪條件，表示該條件的波動可以越過 1 倍波高的高度，同樣地，底色為土黃色的是 $0.5 \leq R/H_o \leq 1.0$ 的波浪條件，表示該條件的波動可以越過 0.5 倍波高的高度。如以暴潮水位設置在斜坡的中央位置的話，其出水高度為 1 倍波高，則水下部份的高度也將是 1 倍波高，在假設港內最大波高為 1m 的前提下，斜坡的垂直高度應該為 2m，由於碼頭的縱深有一限度，如果取自 1/10 的坡度的話，斜坡的水平長度就需要 20m。因此可假設內建斜坡的坡度應大於 1/10。為在考量工程施作量時，建議以大於 1/6 為原則。實驗資料顯示 1/4 坡度的消波情形與 1/8 相差不遠。

表 2 依據 Hunt (1959) 波浪溯上高度公式之試算表

R/Ho		Bottom Slope										
		1/30	1/25	1/20	1/15	1/10	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4
0.0050	0.4714	0.5657	0.7071	0.9428	1.4142	1.5713	1.7678	2.0203	2.3570	2.8284	3.5355	4.7146
0.0100	0.3333	0.4000	0.5000	0.6667	1.0000	1.1111	1.2500	1.4286	1.6667	2.0000	2.5000	3.3333
0.0150	0.2732	0.3266	0.4082	0.5443	0.8165	0.9072	1.0206	1.1664	1.3608	1.6330	2.0412	2.7217
0.0200	0.2357	0.2828	0.3539	0.4714	0.7071	0.7857	0.8839	1.0102	1.1785	1.4142	1.7678	2.3570
0.0250	0.2108	0.2530	0.3162	0.4216	0.6325	0.7027	0.7906	0.9035	1.0541	1.2648	1.5811	2.1082
0.0300	0.1925	0.2309	0.2887	0.3849	0.5774	0.6415	0.7217	0.8348	0.9823	1.1547	1.4434	1.9243
0.0350	0.1782	0.2138	0.2673	0.3563	0.5345	0.5938	0.6682	0.7656	0.8909	1.0690	1.3363	1.7817
0.0400	0.1667	0.2000	0.2500	0.3333	0.5000	0.5556	0.6250	0.7143	0.8333	1.0000	1.2500	1.6667
0.0450	0.1571	0.1886	0.2357	0.3143	0.4714	0.5238	0.5893	0.6734	0.7857	0.9428	1.1785	1.5713
0.0500	0.1491	0.1789	0.2236	0.2981	0.4472	0.4969	0.5590	0.6389	0.7454	0.8944	1.1180	1.4907
0.0550	0.1421	0.1706	0.2132	0.2843	0.4264	0.4738	0.5330	0.6091	0.7107	0.8528	1.0660	1.4213
0.0600	0.1361	0.1633	0.2041	0.2722	0.4082	0.4536	0.5103	0.5832	0.6804	0.8165	1.0206	1.3608

表 3 依據 Mase (1989) 波浪溯上高度公式之試算表

Rmean/Ho		Bottom Slope										
		1/30	1/25	1/20	1/15	1/10	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4
0.0050	0.5238	0.5940	0.6928	0.8458	1.1177	1.2028	1.3038	1.4296	1.5901	1.8032	2.1034	2.5652
0.0100	0.4124	0.4676	0.5455	0.6657	0.8900	0.9464	1.0265	1.1256	1.2519	1.4397	1.6560	2.0196
0.0150	0.3585	0.4066	0.4743	0.5784	0.7651	0.8228	0.8925	0.9786	1.0884	1.2444	1.4398	1.7560
0.0200	0.3246	0.3682	0.4295	0.5238	0.6928	0.7451	0.8082	0.8862	0.9856	1.1177	1.3038	1.5901
0.0250	0.3006	0.3409	0.3976	0.4849	0.6415	0.6899	0.7483	0.8205	0.9126	1.0249	1.2072	1.4722
0.0300	0.2823	0.3201	0.3734	0.4554	0.6024	0.6478	0.7027	0.7705	0.8599	0.9718	1.1336	1.3825
0.0350	0.2678	0.3035	0.3541	0.4318	0.5712	0.6143	0.6666	0.7306	0.8126	0.9215	1.0749	1.3109
0.0400	0.2558	0.2899	0.3381	0.4124	0.5455	0.5866	0.6365	0.6977	0.7798	0.8808	1.0265	1.2519
0.0450	0.2454	0.2783	0.3246	0.3959	0.5238	0.5632	0.6108	0.6699	0.7451	0.8450	0.9856	1.2028
0.0500	0.2367	0.2684	0.3131	0.3818	0.5021	0.5431	0.5891	0.6460	0.7185	0.8148	0.9504	1.1591
0.0550	0.2296	0.2597	0.3029	0.3694	0.4887	0.5258	0.5701	0.6251	0.6952	0.7884	0.9197	1.1216
0.0600	0.2222	0.2520	0.2940	0.3585	0.4743	0.5100	0.5532	0.6066	0.6747	0.7651	0.8925	1.0884

如果依據歐盟 EuroTop 的建議以下式計算

$$\frac{R_{u2\%}}{H_{m0}} = 1.65 \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \xi_{m-1,0} \quad (4a)$$

而其最大值為

$$\left(\frac{R_{u2\%}}{H_{m0}} \right)_{\max} = \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \left(4.0 - \frac{1.5}{\sqrt{\xi_{m-1,0}}} \right) \quad (4b)$$

並假設 γ_b 、 γ_f 及 γ_β 均為 1 不做折減則目前所討論的斜坡坡度及波形尖銳度範圍均符合 EuroTop 所建議 $0.5 < \gamma_b \xi_{m-1,0} \leq 8 \sim 10$ 的範圍內其溯升高度的試算結果如表 4 所示，從表中可以發現光滑底床的溯升高度較大。由於本研究室想要處成溯升越波，因此上節所建議之坡度仍然有效。

(4) 斜坡表面粗糙度：從目前的試驗結果發現，斜坡表面設置粗糙度不一定對削減波能有好處，因為它雖然可以削減溯升波能，但同時也會降低溯升高度，而減少越波的機會。

然而目前所進行的試驗數目僅能當作一預備試驗，尚無法做任何定論。

表 4 光滑平直斜坡之波浪溯升高度試算表 (EuroTop)

Rmax/Ho		Bottom Slope										
		1/30	1/25	1/20	1/15	1/10	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4
0.0050	1.8153	2.0056	2.2162	2.4552	2.7387	2.8034	2.8718	2.9447	3.0230	3.1081	3.2023	3.3091
0.0100	1.4019	1.6283	1.8787	2.1629	2.5000	2.5770	2.6584	2.7456	2.8381	2.9359	3.0513	3.1784
0.0150	1.1248	1.3753	1.6524	1.9669	2.3400	2.4257	2.5152	2.6111	2.7142	2.8262	2.9501	3.0908
0.0200	0.9102	1.1795	1.4773	1.8153	2.2162	2.3077	2.4045	2.5076	2.6183	2.7387	2.8718	3.0230
0.0250	0.7531	1.0177	1.3326	1.6899	2.1138	2.2106	2.3130	2.4219	2.5390	2.6663	2.8071	2.9699
0.0300	0.5807	0.8787	1.2082	1.5822	2.0259	2.1272	2.2343	2.3483	2.4709	2.6041	2.7515	2.9187
0.0350	0.4464	0.7560	1.0985	1.4872	1.9483	2.0536	2.1649	2.2834	2.4108	2.5492	2.7024	2.8763
0.0400	0.3258	0.6459	1.0000	1.4019	1.8787	1.9875	2.1026	2.2252	2.3568	2.5000	2.6584	2.8381
0.0450	0.2160	0.5457	0.9102	1.3043	1.8153	1.9274	2.0459	2.1721	2.3077	2.4552	2.6183	2.8034
0.0500	0.1150	0.4535	0.8279	1.2529	1.7570	1.8721	1.9938	2.1234	2.2626	2.4139	2.5814	2.7714
0.0550	0.0213	0.3679	0.7514	1.1866	1.7029	1.8308	1.9454	2.0781	2.2207	2.3757	2.5472	2.7418
0.0600	0.0662	0.2881	0.6804	1.248	1.6524	1.7728	1.9002	2.0358	2.1815	2.3400	2.5152	2.7142

- (5) 斜坡的孔隙率與透水性：斜坡採用多孔隙介質，以提供透水性時，雖然可以讓溯升水流因滲漏而消能，但也可能增加斜坡下方水流反像出水的問題，惟此種現象究係減少斜坡表面摩擦力，促使波浪更容易越波；抑或阻滯溯升水流，引發回流造波提高反射率，就目前的資料尚難判斷。
- (6) 後方消波室：消波室愈大愈能容納越波水量，減少水體從斜坡回溯造波。
- (7) 排水問題：由於消波室所容納的水體如果能順利排出的話，才能有較大的空間容納更多的越波水量。但是由於入射波浪的作用，直接排水可能會因為波力的推擠而發生困難，目前除了可以利用側向碼頭的聯繫將水疏散到其他結構物外，應可採用波浪水粒子運動較小的下方排水方式處理。

五、結論與建議

消能式碼頭的內建斜坡的坡度應該在 1/6 以上，出水高度宜在 0.5 至 1.0 倍的港內平均波高之間，如此可以有效地促使波浪在斜坡上溯上並越波，並有

效地降低水體溯降所產生的反射波。斜坡坡度過大或者是出水高度過高都可能讓波浪在斜坡上直接溯降而產生反射波浪，降低結構物的消能效果。斜坡表面的粗糙度不一定對消減波能有幫助，其原因是由於港內波高一般都不太大，粗糙物質對其所產生的摩擦損失並不多，但卻可能使得波浪因粗糙元素而不溯升越波並直接發生溯降反射，降低其消能效果。消波室的水位可能因為越波水量受到入射波的作用不易向外排出而造成堆積，有效地降低消波室的水位高度可以避免消波室內的水體震盪，甚至逆向造波。從工程的觀點來看，後方排水的可行性並不高，但利用碼頭結構物的內部連通，使水體能由側向流竄並從入射波能較弱之處排出；或者在碼頭下方水粒子運動較弱的深度設置排水管亦為一可行的方式。

參考文獻

1. 林焯圭、岳景雲、翁文凱、楊國誠 (2009) “消能式結構物特性之研究(1/4)”，交通部運輸研究所合作研究計畫。
2. 林焯圭、岳景雲、翁文凱、楊國誠、陳文俊(2010) “消能式結構物特性之研究(2/4)”，交通部運輸研究所合作研究計畫。
3. 林焯圭、岳景雲、翁文凱、楊國誠、陳文俊(2011) “消能式結構物特性之研究(3/4)”，交通部運輸研究所合作研究計畫

港灣環境資訊服務系統介紹

林廷燦 台灣富士通(股)公司專案經理

簡仲璟 交通部運輸研究所港灣技術研究中心

摘要

隨著經濟發展海上運輸交通日益繁忙，海上航行安全也日漸受到重視，因此，利用 IT 技術將臺灣各港口之海氣象現場觀測即時資料與數值模式計算預報資訊加以系統整合以建置港灣環境資訊系統，提供港埠管理單位、全國災害防救中心及中央主管機關查詢，並且透過資訊網路即時提供給港灣管理單位、國內外船舶業者及有關人員查詢，是一項應積極提升海上航行安全之工作。

其主要的應用功能系統計有海象觀測資訊、海象模擬資訊、港區影像系統、港區地震系統、海嘯模擬資訊及港埠基本資料等。以網頁整合 Google Map 查詢、展示相關之資訊，相關資訊包含現場觀測之港區附近海域海象觀測資訊以及數值預報子系統等之資料；提供臺灣環島海域不同尺度之數值計算結果，包括數位資料、資料數據表、資料歷線圖、平面等值動畫圖、平面向量動畫圖及各類統計表、統計圖等之應用。

一、港灣環境資訊系統架構與功能

港灣環境資訊系統主要為提供港灣技術研究中心於各港口所佈建之海氣象觀測儀器所觀測回傳之觀測資料進行展示與相關應用，該系統主要利用網頁結合 Google Map 與網際網路之技術，是一套整合空間與屬性資訊以提供

分析、展示、儲存、管理及之應用支援系統。它不但可以進行多元化的資料展示，亦可以充分提供管理單位多方面的資訊，以作為港區防災政策研擬之參考依據，並提供管理者更綜觀的港埠發展管理規劃參考；該系統可分區為海氣象資料接收模組、海氣象資料統計圖表模組、海氣象資料異常自動化作業模組、港灣環境資訊展示模組及系統管理模組等五大功能，概略說明如下：

1.1 系統架構

港灣環境資訊系統採用多階層架構規劃，以提昇系統效率及穩定性。依據目前港灣環境資訊系統硬體規劃架構，可區分現場觀測儀器、海情中心應用系統主機群及使用者三大部分。

現場觀測儀器主要負責觀測各種海氣象觀測資料，如風、潮汐、波浪、海流及溫度等即時資料以及提供 CCTV 港區即時影像等，目前港灣環境資訊系統與海氣象觀測資料之間以 Intranet 進行 SQL DB replication 方式接收資料，港灣環境資訊系統的資料接收模組於接收到資料後進行資料品管加值處理儲存於海氣象資料庫中，並且提供近岸數值模擬系統模式演算應用，以獲得 72 小時海氣象數值模擬預報資訊。於即時影像部分則透過 GSN VPN 進行各即時影像系統連接以提供港區域即時影像。以上之系統架構如圖 1 所示。

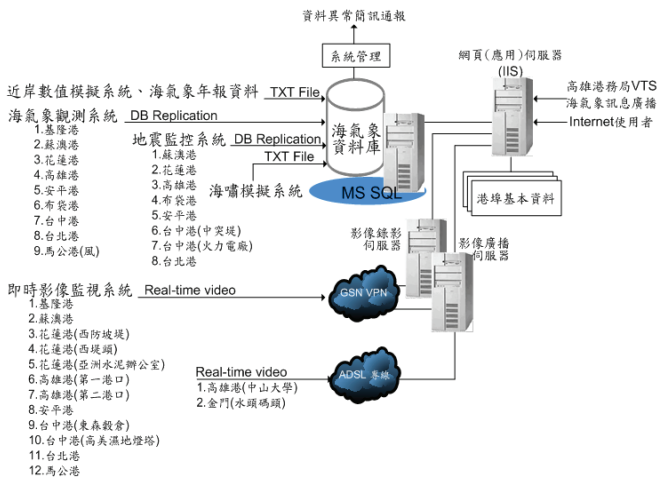


圖 1 港灣環境資訊系統架構

港灣環境資訊應用系統的核心分別為海氣象資料接收模組、資料統計圖表模組、資料異常自動作業模組、資訊展示模組及系統管理模組，共同完成功能後建構完成港灣環境資訊網如圖 2 所示。



圖2港灣環境資訊網首頁
(<http://isohe.ihmt.gov.tw>)

港灣環境資訊網共區分為一般版、PDA版及無障礙空間網頁版三大類。於一般版共區分為海象觀測資訊、海象模擬資訊、港區影像系統、港區地震系統、海嘯模擬資訊、港埠基本資料及資料申請說明等共計 7 項子系統，網頁功能架構如圖 3。

港灣環境資訊網
(<http://isohe.ihmt.gov.tw>)

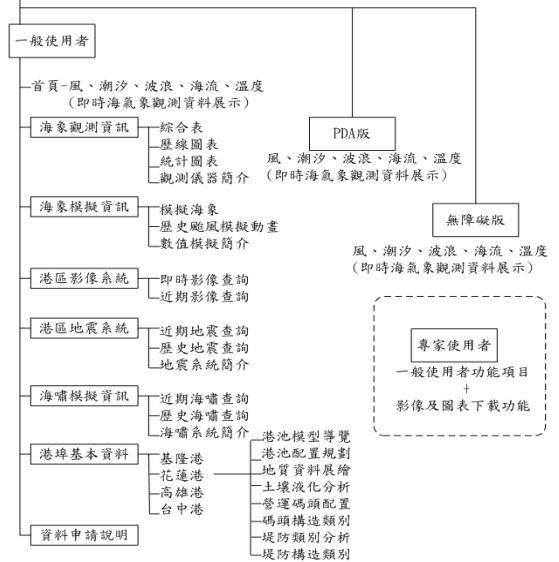


圖 3 港灣環境資訊網頁系統功能架構圖

1.2 海氣象資料接收模組

港灣環境資訊網主要是透過海氣象資料接收模組收集建立海情資料庫維護，並且以自動化系統持續彙整現場觀測之港區附近海域海氣象觀測資料，包括風力、潮位、波浪、潮流及溫度等資料。

資料收及模組是透過資料庫同步機制(SQL DB Replication)定時將觀測即時資料同步到暫存資料庫中；並於系統管理預先設定異常資料上下限值，於資料庫同步時啟動資料品管模組程式及匯入模組程式(如圖 4 所示)排除異常資料後，將暫存資料庫中合理資料匯入正式資料庫。

ID	測量時間	測站名稱	潮位	潮位基準值	潮位調整值	警備碼
	2010-09-28 07:00:00	102	151	1.25	0.260	0
	2010-09-28 07:00:00	101	27.31	1.914	-1.541	0
	2010-09-28 07:00:00	100	140	2.791	-1.391	0
	2010-09-28 07:00:00	102	151	1.25	0.260	0
	2010-09-28 07:00:00	101	27.31	1.914	-1.541	0
	2010-09-28 07:00:00	100	140	2.791	-1.391	0
	2010-09-28 07:00:00	102	151	1.25	0.260	0
	2010-09-28 07:00:00	101	27.31	1.914	-1.541	0
	2010-09-28 07:00:00	100	140	2.791	-1.391	0
5612060	2010-09-28 07:00:00	9	1.65	0	1.650	0
5612059	2010-09-28 07:00:00	6	2.91	0	2.910	0
5612058	2010-09-28 07:00:00	5	0.69	2.887	-2.197	0
5612057	2010-09-28 07:00:00	4	5.81	0.575	5.235	0
5612056	2010-09-28 07:00:00	3	1.23	0.947	0.283	0
5612055	2010-09-28 07:00:00	2	1.69	1.602	0.088	0
5612054	2010-09-28 07:00:00	1	0.81	0.93	-0.120	0
	2010-09-28 07:00:00	102	151	1.25	0.260	0
	2010-09-28 07:00:00	101	27.31	1.914	-1.541	0

圖4資料品管作業畫面(潮汐)

目前港灣環境資訊網所提供之海氣象即時觀測資料因儀器種類及傳輸方式不同與於臺北港、澎湖港、布袋港及安平港海氣象資料監測狀況如表 1 所示：

表1臺北港、澎湖港、布袋港及安平港資料監測狀況表

港口/觀測項目	資料監測間距
潮汐	1min
海流	1hr
波浪	1hr
水溫	1min
風力	10min

其餘基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港及臺中港之各項資料皆為每 1 小時 1 筆資料。

1.3 海氣象資料統計圖表模組

港灣環境資訊網共區分為一般使用者、專家使用者及 PDA 版等三種使用者，於專家使用者部分經過申請後除一般使用者權限外，另外增加統計圖表查詢分析功能；相關之統計圖表查詢可依圖表類型、海氣象資料類型、統計使用欄位及範圍進行查詢，以圖表的方式顯示資料如圖 5 所示。

1.4 海氣象資料異常自動化作業模組

資料收集模組透過資料庫同步機制(SQL DB Replication)定時將觀測即時資料同步到暫存資料庫中；並於系統管理預先設定異常資料上下限值，於資料庫同步時啟動資料品管模組程式及匯入模組程式排除異常資料後，將暫存資料庫中合理資料匯入正式資料庫。

港灣環境資訊系統除進行上、下限值品管之外，亦透過資料品管作業預警值設定，品管檢測超出警戒值之資料，利用系統自動進行異常之簡訊、E-mail 訊息通報。E-mail 訊息及簡訊相關傳送資料如圖 6 所示。

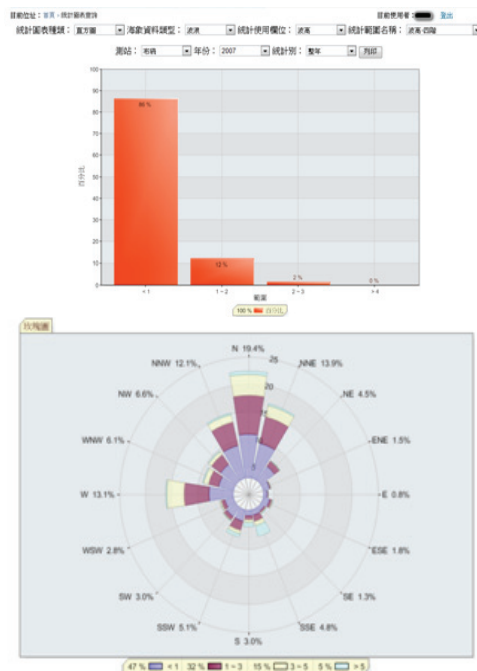


圖5海氣象統計圖表

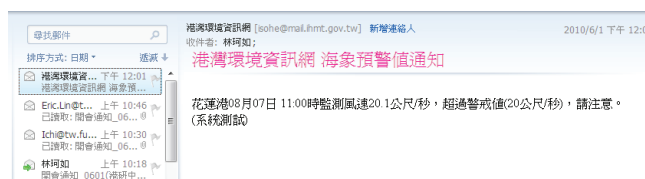


圖6海氣象預警 E-mail 及簡訊發送畫面

1.5 港灣環境資訊網展示模組

港灣環境資訊系統於網頁展示部分共區分為海象觀測資訊、海象模擬資

訊、港區影像系統、港區地震系統、海嘯模擬資訊、港埠基本資料等功能項目。

1.5.1 海象觀測資訊

海氣象即時觀測資料以臺灣地圖展現各港口之最近一筆海氣象即時觀測資料，例如潮汐資訊依照各港口顯示目前資料庫最後一筆時間的資料，其中包含時間、相對潮位高度等，當最後時間無資料時即顯示“目前無資料”，相關之畫面如圖 7 港灣環境資訊網所示。



圖 7 港灣環境資訊網

海氣象觀測功能模組共區分為：

綜合表：整合所有港區之海氣象即時觀測/模擬資料、即時影像以及歷線圖表查詢、測站位置說明於同一畫面展示，如圖 8 所示。

測站	時間	潮高(公尺)	潮向(度)	浪高(公尺)	感潮(%)	湧向(度)	湧速(公尺/秒)	未測(%)	感潮	湧向	湧速	感潮
高雄港	2013-01-04 16:00	4.78	374.4	0.51	1.78	7.7	21.7		感潮	湧向	湧速	感潮
	2013-01-03 16:00	4.46	36.5	0.71	1.76	7.7	45.7		感潮	湧向	湧速	感潮
	2013-01-02 16:00	4.45	154.3	0.73	1.77	7.7	42.3		感潮	湧向	湧速	感潮
基隆港	2013-01-04 16:00	4.77	314.4	0.68	0.71	4.2	117.9		感潮	湧向	湧速	感潮
	2013-01-03 16:00	8.27	337.7	-0.31	1.66	4.8	8.8		感潮	湧向	湧速	感潮
	2013-01-02 16:00	7.18	473.1	1.86	0.62	1.58	7.7	11.3				
安南港	2013-01-04 16:00	8.17	6.7	0.84	0.12	0.76	4.2	121.4		感潮	湧向	湧速
	2013-01-03 16:00	10.43	27.4	0.88	0.57	1.58	4.8	27.5		感潮	湧向	湧速
	2013-01-02 16:00	6.25	28.9	1.11	0.76	1.58	4.2	51.1		感潮	湧向	湧速
台北港	2013-01-04 16:00	8.28	32.3	2.25	1.96	5.7	8.8		感潮	湧向	湧速	感潮
	2013-01-03 16:00	6.25	28.9	1.11	0.76	1.58	4.2	51.1		感潮	湧向	湧速
	2013-01-02 16:00	6.25	28.9	1.11	0.76	1.58	4.2	51.1		感潮	湧向	湧速

圖 8 海氣象觀測/綜合表

歷線圖表：依港口/海氣象歷線圖種類/日期/資料筆數等條件查詢相關資訊，如圖 9 所示。



圖 9 海氣象觀測/歷線圖表

統計圖表：目前系統提供 2006~2010 年的資料，繪製成玫瑰圖/直方圖以及統計數據資料表，使用者可依海氣象項目/港口作查詢觀看，透過申請流程審核通過後即可列印統計圖表，如圖 10 所示

年份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
2010年												
2009年												
2008年												
2007年												
2006年												



圖 10 海氣象觀測/統計圖表

儀器簡介：依港口查詢相關觀測儀器資訊，如圖 11 所示。

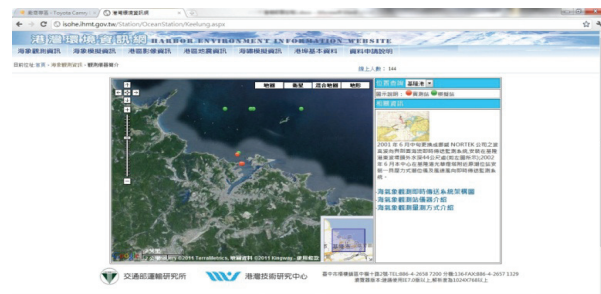


圖 11 海氣象觀測/觀測儀器簡介

1.5.2海象模擬資訊

海象模擬資訊功能模組共區分為：模擬海象：套疊觀測及模擬資料歷線圖表、圖形動畫，並且依模擬尺度範圍(大、中以及小尺度)規劃區分做呈現查詢，如圖 12 所示。

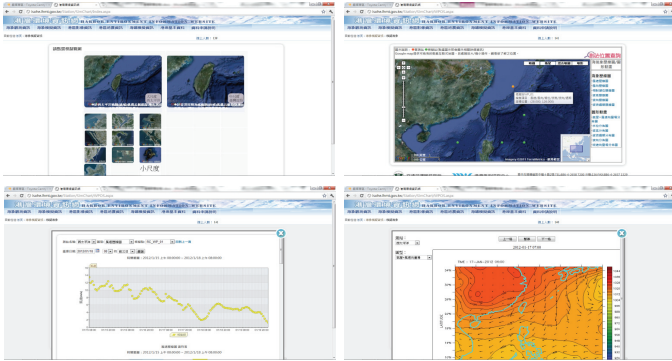


圖 12 海象模擬資訊/模擬海象

歷史颱風模擬動畫：依網格/年度/颱風名稱/圖型動畫種類交叉查詢颱風期間的圖型動畫供使用者瀏覽，如圖 13 所示。

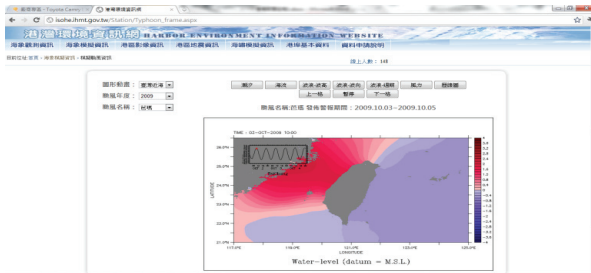


圖 13 海象模擬資訊/歷史颱風模擬動畫

數值模擬簡介：提供數值模擬系統之相關說明介紹，如圖 14 所示。



圖 14 海象模擬資訊/歷史颱風模擬動畫

1.5.3港區影像系統

港區影像系統功能模組共區分為：即時影像查詢：依據安裝位置點選取要瀏覽的港口即時影像，並以 Google map 展示其港口地理位置，並且約略標示安裝位置座標以及同時嵌入即時影像供使用者觀看，如圖 15 所示。



圖 15 港區影像系統/即時影像查詢

近期影像查詢：提供使用者可線上瀏覽前三日的錄影檔，錄影檔格式為 1 小時 1 筆。透過申請審核通過後可下載錄影檔，如圖 16 所示。



圖 16 港區影像系統/近期影像查詢

1.5.4港區地震系統

港區地震系統功能模組共區分為：近期地震查詢：以 Google map 標示設置地震儀器的港區，透過點選各港區的圖示，顯示目前最近一筆的地震資訊，如圖 17 所示。

歷史地震查詢：依港口/地震發生時間查詢相關資訊，如圖 18 所示。

地震系統簡介：提供地震系統之相關說明介紹，如圖 19 所示。



圖17港區地震系統/近期地震查詢

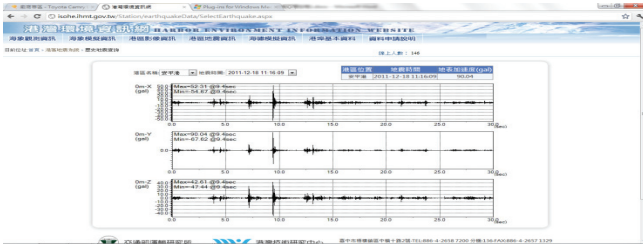


圖18港區地震系統/近期地震查詢



圖19港區地震系統/地震系統簡介

1.5.5 海嘯模擬資訊

海嘯模擬資訊系統功能模組共區分為：

近期海嘯查詢：於 GoogleMap 標示基隆、臺北、臺中、安平、布袋、高雄、蘇澳及花蓮位置，提供引起海嘯發生之地震的相關資訊以及海嘯到達臺灣各港區的相關預警訊息，如圖 20 所示。

歷史海嘯查詢：依港口/地震發生時間查詢引發海嘯之地震發生時間、芮式規模、深度以及計算海嘯模擬水位資料之兩組機制解參數(NP1, NP2)與相關的水位歷線圖表，如圖 21 所示。

海嘯系統簡介:提供海嘯系統之相關說明介紹，如圖 22 所示。



圖20海嘯模擬資訊/近期海嘯查詢

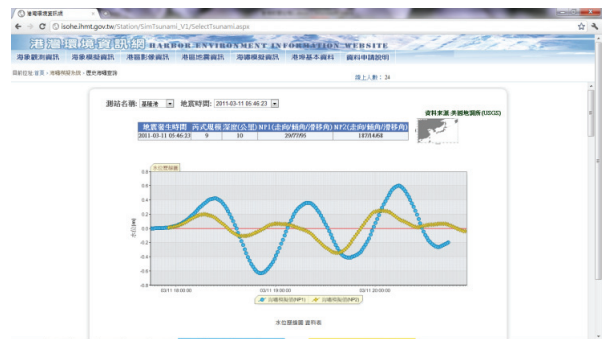


圖21海嘯模擬資訊/歷史海嘯查詢

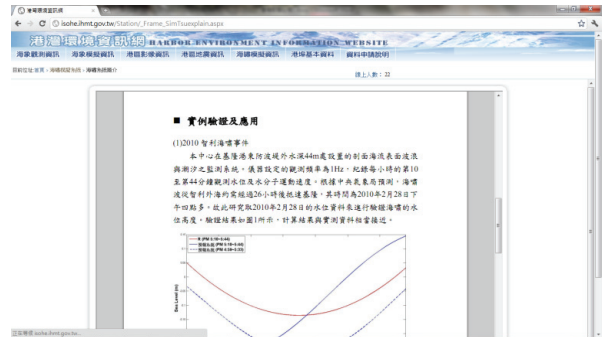


圖22海嘯模擬資訊/海嘯系統簡介

1.5.6 港埠基本資料

港埠基本資料依各港口提供港灣技術研究中心所調查彙整之港池模型導覽、港區配置規劃、地質資料展繪、土壤液化分析、營運碼頭配置、碼頭構造類別、堤防類別分佈、堤防構造類別之相關資訊，如圖 23 所示。



圖23港埠基本資料/花蓮港

1.6 港灣環境資訊網系統管理模組

系統管理者可透過管理介面調整系統參數達到操作一致性，如圖 24 所示。



圖24系統管理介面

二、海氣象觀測資料之應用與創新

港灣技術研究中心的海氣象資料觀測與收集，經品管與數值模擬計算等，已可進一步提供港灣水理實際案例應用，配合高雄港務局之 VTS 海氣象即時資訊廣播之需求進行資料提供之介面應用設計與開發；目前已完成可由高雄港務局自動透過網頁系統讀取港灣技術研究中心所提供之海氣象資料觀測；並已完成實際系統連線測試。網頁語法查詢可以取得最近的 72 筆(72 小時)的資料如圖 25 查詢結果資料輸出畫面所示輸入以基隆港(編號 1)的波浪資料(Wave)為範例：

<http://isohe.ihmt.gov.tw/AISDataProvider.ashx?station=4&type=Wave>

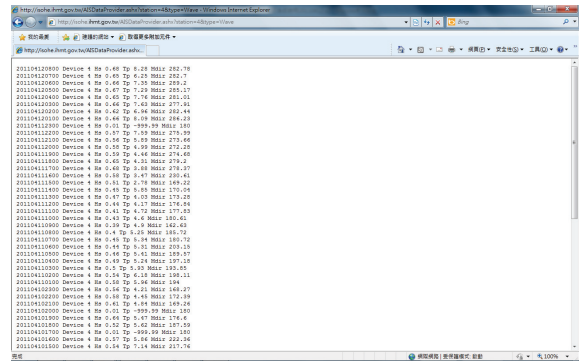


圖25查詢結果資料輸出畫面(Hs:波高、Tp:週期、Mdir:波向)

高雄港務局並且透過本資料提供介面進一步應用港灣技術研究中心所提供之海氣象-海流方向資料，以 GUI 畫面標示流速、流向資料，提供進港船舶判別擺放船梯左、右錨參考之依據如圖 26 所示)，提高港區引水人上下船之安全。



圖26高雄港流速、流向標示圖

三、港灣環境資訊系統後續發展期待

3.1 海氣象觀測資料品管與通訊、網路系統穩定性如何提昇

資料品管亦是所觀測之數據必需合乎儀器規格或其物理特性，觀測值在時間及空間上的變化假設是連續的，前後時間所量測資料的變化應落在合理的範圍內，否則需視為可疑資料以及不同資料項目間如風與波浪具有關聯性

，此三個論點於品管理論中稱之為資料的合理性、連續性與關聯性。

目前所港灣環境資訊網所完成之海氣象即時觀測資料之品管僅止於上、下限值品管，於資料品管的精度提升上，品管資料連續性之探討有其必要性，有關資料品管應列入所觀測之數據必需合乎儀器規格或其物理特性之要求，並且透過資料連續性檢驗配合觀測值之上、下限質品管控制，以提高港灣環境資訊網海氣象觀測資料品管的精確度。

於資料通訊、網路系統方面目前已利用公眾網路將現場觀測資料回傳，並整合至港灣環境資訊系統中，惟因各項傳輸設備間所涉及之軟、硬體設備相當多，如遇相當惡劣環境時恐將面對停電、斷訊與機器損毀之問題，宜考量防災應變之需求異地備援進行第二異地備援與主機代管事宜，未來仍將持續吸收科技新知以尋求更穩定之傳輸方式。

3.2 海氣象資訊系統如何朝預警方向發展

目前港灣環境資訊系統所接收之各種海氣象現場觀測儀器，大都在各港區建置一套(點)，於平時確可觀測掌握各港口之海氣象現象，但因海洋環境易受天候影響如遇颱風之時儀器遭驚人破壞，故俟待其修復正確量測所耗多時，所能剩能進行海氣象觀測應變時間已所剩不多，為此，各項觀測儀器在後續計畫進行時應以多套安裝備援方式持續觀測海氣象之各種現象為目的，並且透過數值模擬系統資訊提供事前港區海氣象災害的提前應變反應之時間，再透過即時廣播系統並請防救災人員再次緊急應變處理，應為港灣環境資訊系統可採行之海氣象預警系統方向。

臺灣重要商港海域海流模擬

廖建明 財團法人國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心
副研究員

莊文傑 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

許泰文 國立成功大學水利及海洋工程學系特聘教授

摘要

本文針對台灣鄰近海域特殊的海峽與陸架坡地形，透過美國普林斯頓大學海洋模式(Princeton Ocean Model, POM)，建置台灣海域洋流模擬系統，針對基隆、台北、台中、高雄、安平、花蓮及蘇澳等商港海域利用實測數據進行模式驗證。而於各商港海域特性分析方面，高雄港受到高屏峽谷地形影響與洋流、潮流互相交互作用，造成此處海域流動現象複雜。而基隆港海域退潮時段受到野柳龜頭山阻擋退潮海流，在基隆港外海海域形成一順時針渦流，而基隆港外廓防波堤亦形成此處海流偏東北-西南走向之主要原因。於台中港海域海流特性方面，受夏季黑潮分支影響下外海流速強勁，不論漲退潮段皆持續向北，而冬季於小潮時段時若東北季風強勁，導致近岸處有沿著海岸線向南流動之明顯現象，且受北防坡堤之阻擋影響，導致堤頭附近海域流速偏向西南西。

一、前言

臺灣位於東亞大陸棚架緣上，強勁的黑潮全年皆由南而北流經東部近岸海域，在冬季季風期更有中國沿岸流由北而南沿流經臺灣海峽。除此之外，基於臺灣海峽的水深地形所引致的半日

型潮波共振效應，在臺灣海峽的南北兩端開口，常年有潮波的無潮點存在。因此，導致潮流的流速普遍甚強勁，洋流與強勁潮流的交互影響結果，甚至導致部分近岸海域的海流特性產生異常的特殊變化，如在高雄港外海即可測得漲潮流向向南而退潮流向向北的特殊海流特性。如此可見，為補充既有地球環境科技監測體系的完整，針對臺灣鄰近海域特殊的海峽與陸架坡地形與地理環境，達成政府對於海洋國家的政策目標，有必要針對大尺度潮流與洋流進行綜合研究，探討洋流對潮流等近岸水動力特性之相關影響。

美國普林斯頓大學海洋模式的發展，早期是由於Blumberg and Mellor (1983)在大西洋南方海灣作的一連串預測的數值模擬，利用一組時變三維動量方程式結合 σ 座標、Mellor and Yamada (1982)紊流閉合模式(turbulence closure model)。直到1987年Blumberg和Mellor再整理模式之後命名為Princeton Ocean Model，簡稱POM模式。數值模式的目的是在於可提供模擬所預測的詳細的資料，如Ezer and Mellor (1997)第一次將 σ 座標模式應用在大西洋海域水理特性的數值模擬，藉由模式計算獲得基本的海洋循環特性。

對於台灣附近洋流的研究，盧、吳

(2005)曾利用 POM 針對台灣周邊海域水文及洋流特性做過一系列的研究。而 Hsin et al. (2008)利用 POM 模式建置東亞邊緣海模式，討論 1982 至 2005 年間的黑潮變化。發現黑潮流經台灣東岸時，在近岸區域可延伸至 300 公尺水深，在離岸區域可達 600 公尺深度，在某些區域甚至可達 1000 公尺深度，而黑潮於台灣東岸之平均流量約為 $32.7 \pm 4.4 \text{ Sv}$ ($1 \text{ Sv} = 1 \text{ Sverdrup} = 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$)。而 Wu et al. (2007)利用高解析度 POM 模式模擬台灣海峽之洋流變化，發現夏季黑潮支流直接越過彰雲隆起，冬季由於東北季風的影響中國沿岸流阻擋海峽中向北流的流動，於彰雲隆起北側形成一逆時針渦流。而潮流模擬方面，葉(2002)利用 POM 模式為建立適合模擬台灣海域之潮汐模式，找尋該模式最佳化參數，以完成一套台灣海域作業化潮汐預報模式。莊和江(2006)透過二維非線性水動力模式的應用，建構台灣海域高解析與準確性之同潮圖。

本文利用美國普林斯頓大學海洋模式(Princeton Ocean Model, POM)為基礎，建構台灣環島海域三維海潮流場，透過巢狀方式模擬針對台灣近岸海域建立高解析度數值格網，利用平行計算與正交曲線格網等技巧增加計算效率與可擴充性，使用臺灣各重要港口外之實測海流與水位資料進行模式驗證，改善模式合理性與模擬精度，透過模擬結果分析洋流與潮流成分變動特性與綜合效應，並解析各重要港口海域海流特性。

二、POM 數值模式

POM 模式能描述三維的海洋變化物理現象。為了簡化方程式，POM 模式採用了兩個假設，第一個假設為流體為不可壓縮，第二個假設則是引用包氏近

似(Boussinesq approximation)，因此卡式座標下的質量守恆和動量守恆方程式表示如下：

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} - fV = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial U}{\partial z} \right) + F_u \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + W \frac{\partial V}{\partial z} + fU = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial V}{\partial z} \right) + F_v \quad (3)$$

因為水深方向流速(W)的大小比起水平方向的海流(U, V)尺度小了許多，故可以把水深方向的動量方程式化簡為靜水壓方程式來代替。 K_M 為動量垂直渦旋混合擴散係數。溫度、鹽度的守恆方程式為：

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + U \frac{\partial \theta}{\partial x} + V \frac{\partial \theta}{\partial y} + W \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + F_\theta \quad (4)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + U \frac{\partial S}{\partial x} + V \frac{\partial S}{\partial y} + W \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_S \quad (5)$$

其中 θ 表示溫度， S 為鹽度， K_H 為熱能和鹽度的垂直渦旋混合擴散係數(vertical eddy viscosity diffusivity of turbulent of heat and salt)， F_θ 為水平方向由溫度擴散產生之側向混合力， F_S 為水平方向由鹽度擴散產生之側向混合力。渦旋混合擴散係數 K_M 、 K_H 利用 Mellor and Yamada (1982)所發展的二階紊流模式來計算。在數值技巧方面，水平網格可利用正交曲線網格，提高解析度並增加計算效率。而 POM 模式採用分割技巧，利用水深積分將三維方程式轉換成二維模式，將模式分成二維模式來模擬快速變動的慣性重力波，而三維模式來模擬緩慢變化的內部波動或熱動力變化等，可以有效率的解決三維模式模擬速度較慢的缺陷

，關於模式詳細內容可參考 Mellor (2003)。

三、海潮流模式建置

3.1 海氣象資料收集

本文收集 NCEP/NCAR 分析風場資料(NCEP/NCAR Reanalysis 1)，其資料為模式運算後資料同化之分析場結果，資料時間範圍自 1948 年起之日平均值，空間格網為 T62，解析度約為 2.0 度，資料範圍涵蓋全球。而海溫資料為 NOAA Optimum Interpolation (OI) SST 之海面溫度資料之週平均值，空間解析度為 1.0 度，資料涵蓋全球。關於海洋鹽度與溫度，則採用 NODC (National Oceanographic Data Center) 的 WOA 2005 (World Ocean Atlas) 海洋水文資料庫，水平空間解析度為 1.0 度，垂直方向共有 33 層，其資料範圍涵蓋全球。上述海氣象資料經由資料處理程式內插至 POM 模式格網上，做為 POM 模式模擬時海氣象邊界外力與起始溫鹽度。為了驗證本文所建置之模式合理性，故收集港研中心於五大商港外海之海潮流觀測資料作為模式驗證與校驗參數的基礎。

3.2 海流模式設定

而洋流邊界條件由廖等人(2011)所建置之台灣海域洋流模式所提供，該模式利用三層巢狀計算逐步縮小計算範圍提高台灣海域洋流模擬的解析度。第一層格網為全球 POM 洋流模式，計算領域南至南極洲，北至北緯 70 度，東西邊界互相連接為一週期性邊界，格網解析度為 $1/4 = 0.25$ 度；第二層則縮小範圍至西北太平洋，計算領域為東經 105~175 度、南緯 15 度至北緯 45 度，格網包括赤道南北附近海域，格網

解析度為 $1/10 = 0.1$ 度約為 10 公里；第三層則為台灣附近海域，格網範圍為東經 116~126 度、北緯 15~29 度，格網包含呂宋島，而格網間距為 $1/32 = 0.03125$ 度約為 3.5 公里。圖 1、圖 2 及圖 3 分別為全球(G1)、西北太平洋(N2)、台灣海域(T3)之計算領域地形水深圖，其地形水深採用 ETOPO1 地形水深資料庫，其解析度為 $1/60$ 度，而模式格網設定亦如表 1 中所示。在洋流模式邊界條件方面，海面溫度採 NOAA OI SST 的週平均資料庫，其資料範圍為 1981 年 1 月至今，空間解析度為 1 度，海面風場與氣壓資料為 NCEP/NCAR Reanalysis 1 的 6 小時一筆之大氣資料庫，其資料範圍為 1948 年至今。模式鹽度與溫度起始資料以 WOA05 海洋資料庫的年平均氣候值。關於模式設定，全球模式之起始時間為 1986 年 1 月 1 日 0 時，模擬至 2010 年 12 月 31 日，而西北太平洋與台灣海域模式由於計算範圍較小，故所需冷啟動之穩定時間較短，其模式起始時間為 2008 年 1 月 1 日至 2010 年 12 月 31 日，而巢狀格網相互連接邊界資料更新頻率為日平均值。

由於本文目的為近岸海域海流模擬，其所建置之模式必須考慮天文潮汐為近岸海域之重要影響因素，故利用邊界條件處理方式來模擬台灣海域洋流與潮流同時存在之流況。其利用台灣海域洋流模式(T3 模式)為基礎，採用 OTPS (OSU Tidal Prediction Software, <http://volkov.oce.orst.edu/tides/global.html>)來建立天文潮位邊界，並以上述之全球天文潮汐模式之水位輸出結果做為驅動天文潮推算所需的動力邊界條件，配合西北太平洋海域模式(N2 模式)所輸出之海流流速與水位，將潮汐與洋流模式之水位兩者相加後，並考慮

遠域之潮汐流速影響分量很小，以洋流模式結果做為流速主要成分，提供台灣海域模式所需的水位與流速邊界條件進行模擬。

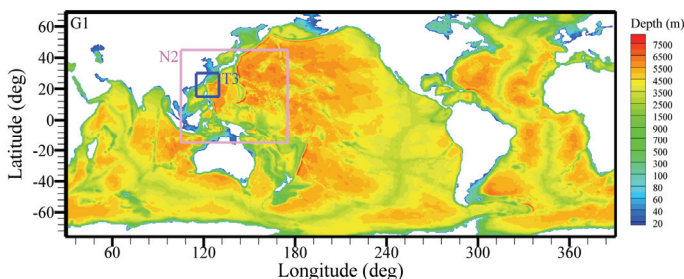


圖 1 全球洋流模式計算領域地形水深圖

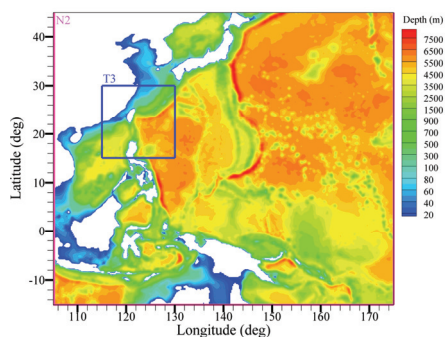


圖 2 西北太平洋模式格網範圍與地形水深圖

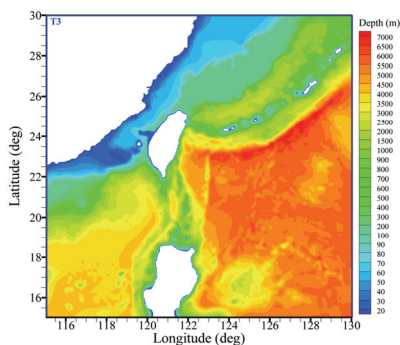


圖 3 台灣海域模式格網範圍與地形水深圖

表 1 巢狀格網之範圍與計算條件

模式	模式範圍	格網點數	解析度	計算時距(dte)	計算時距(dti)	緩衝區格點數
G1	180°E~180°W 70°N~75°S	1443x553x26	1/4 ⁰	30 sec	1800 sec	0
N2	105°E~175°E 15°S~45°N	700x600x21	1/10 ⁰	10 sec	600 sec	10
T3	116°E~126°E 16°N~30°N	320x448x21	1/32 ⁰	3 sec	180 sec	10

3.3 近岸海流模式設定

為了解各商港海域解析海流特性之目標，故增加四組近岸海域格網，而為了解決計算機容量與計算時間限制，採用 MPI 平行化方式執行 POM 模式，並採用正交曲線格網來局部加密商港海域之格網數量，使港口附近之格網間距可達 100 公尺解析度，讓其可表現港灣結構物或其港外局部地形特性對於海流變動所產生的影響。圖 4 分別表示台灣近岸海域(T-NS)模式之台灣西南部(T-SW)、台灣中西部(T-W)、台灣北部(T-N)及台灣東部(T-E)之格網與地形水深分佈，為方便敘述故上述格網又統稱為台灣近岸海域(T-NS)模式。其中 T-SW 格網所涵蓋安平與高雄港範圍海域；T-W 格網涵蓋台中港海域；T-N 格網涵蓋台北港與基隆港海域；T-E 格網範圍涵蓋花蓮港與蘇澳港之台灣東部海域。而近岸海域格網之地形水深採用國科會海洋學門之地形水深資料庫 (Liu 等人, 1998)，其解析度為 500 公尺，其計算格網間距小於水深資料庫格網間距區域採內插方式，由於無取得更精細之近岸水深資料，故港灣結構位置處採用人工修正，使其格網與地形水深可表現結構物所產生之流動特性。而上述近岸海域模式(T-NS)之格網設定如表 2 中所示。關於邊界條件方面，海面溫度與風場採用與洋流模式所使用的一致，由於上層 T3 模式已考慮洋流與潮流綜合效應，故由 T3 模式所給定之巢狀邊界資料亦包含兩者綜合效應。考慮潮流變動特性，巢狀邊界更新時間間距為 1 小時，關於模式計算時間為 2008/12/01 00:00 至 2010/12/31 23:00。

表 2 近岸海域格網(T-NS)之範圍與計算條件

T-NS 模式	模式涵 蓋商港	格網點數	解析度	計算時 距(dtc)	計算時 距(dti)
T-W	台中港	359x100x21	1000 ~130m	0.5 sec	15 sec
T-SW	高雄港 安平港	297x110x21	1050 ~130m	0.5 sec	15 sec
T-N	台北港 基隆港	278x80x21	1000 ~90m	0.5 sec	15 sec
T-E	蘇澳港 花蓮港	201x442x21	1000m	1.0 sec	30 sec

3.4 近岸海域模式驗證

為驗證近岸海域格網模擬之合理性，亦利用台灣海洋科技研究中心於高屏峽谷內所施放之錨定串列所量測海流資料進行驗證，該錨定串列主要為收集沉積物實驗，為了解沉積物與海流關係，在水深 690 公尺處布置一組 NORTEK 三維流速儀量測海流，該錨定串列儀器佈置圖如圖 5 中所示。本次量測時間為 2009/04/16 16:00 至 2009/05/18 15:00，海流量測時間間距為 10 分鐘，其位置於東經 120 度 16.392 分、北緯 22 度 21.156 分，如圖 6 紅色三角點所示。圖 7 為錨定串列於水深 690 公尺處所量測之東西、南北流速與模式模擬結果之比較圖，圖中亦有模擬結果之水位時序列變化圖。由圖中可知，東西與南北向流速變化趨勢具有合理之一致性，其流向為東北-西南向與高屏峽谷走向一致，且流速大小尺度亦有一致性。由圖 8 不同深度之東西、南北分量流速比較圖中可看出，模擬結果可合理的表現與實測值一致的流向與流速，由圖中藍色點亦可看出，模式可合理的表現高屏峽谷內之流向為沿著峽谷方向，而表面流向為沿著海岸線西北-東南走向。

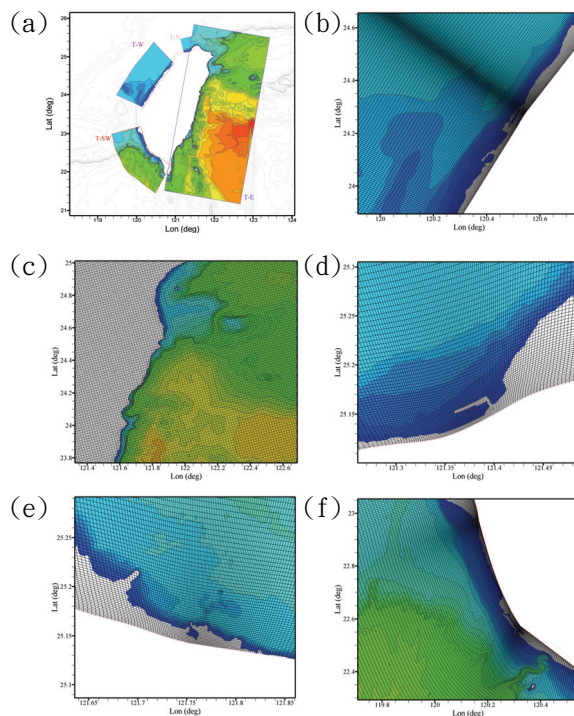


圖 4 台灣近岸海域巢狀格網與地形水深圖 (a)T-NS 格網範圍；(b)T-W 格網局部放大圖；(c)T-E 格網局部放大圖；(d)T-N 格網局部放大圖 1；(e)T-N 格網局部放大圖 2；(f)T-SW 格網局部放大圖

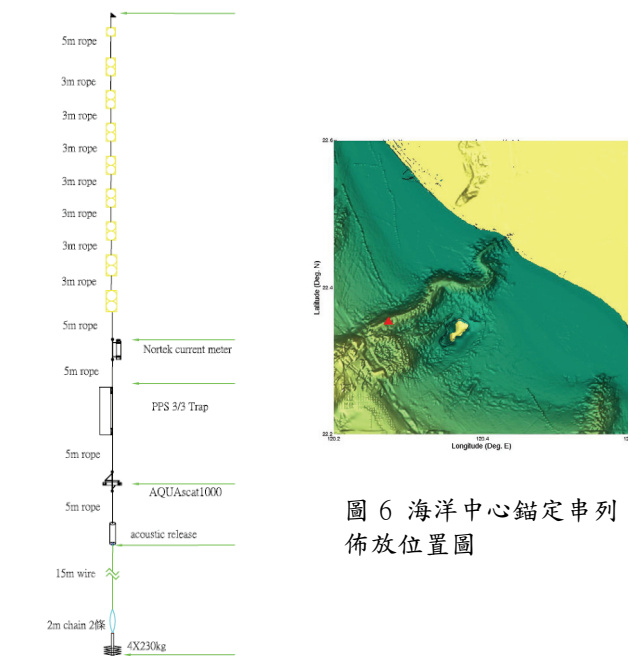


圖 6 海洋中心錨定串列佈放位置圖

圖 5 海洋中心錨定串列觀測儀器佈置圖

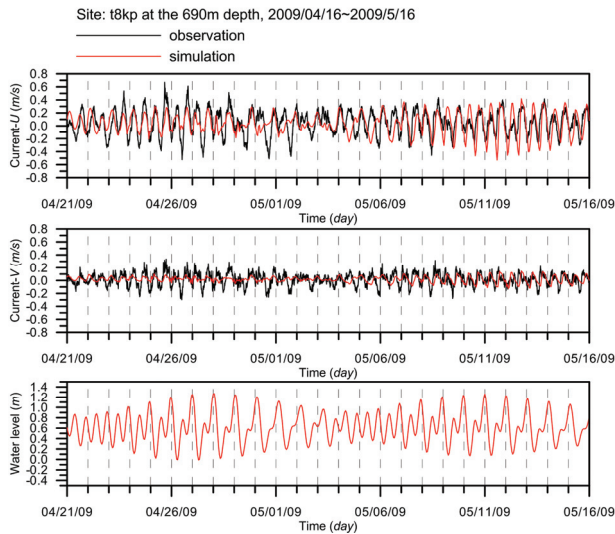


圖 7 高屏峽谷錨定串列之觀測海流與模擬結果比較圖

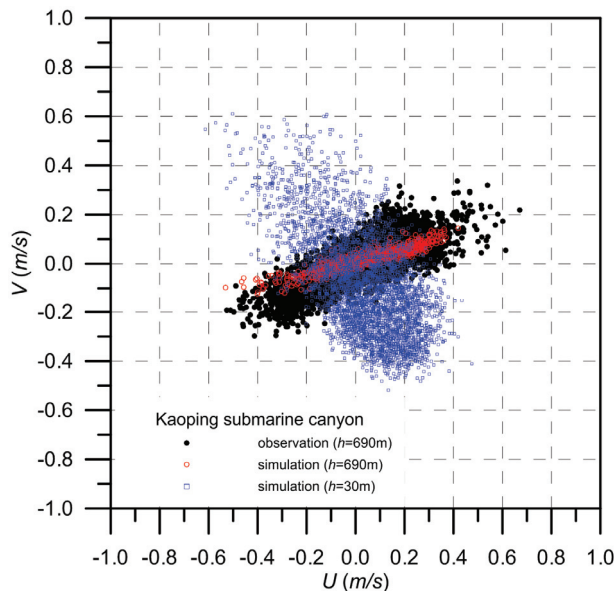


圖 8 高屏峽谷處不同深度之東西、南北分量流速比較圖

四、各重要商港海域模擬結果與討論

4.1 台灣西南海域(安平港、高雄港)

圖 9 與圖 10 分別為安平、高雄港實測資料(圖中黑點)與模式推算結果(圖中紅點)之東西、南北流速分量比較

圖，圖中為台灣近岸海域 T-NS 巢狀模式所推算結果。由圖中流速比較中可知近岸海域 T-NS 巢狀格網推算與實測值不論月份皆具有合理一致性。圖 11 為台灣近岸海域格網(T-NS)中之西南海域模式(T-SW)於 2010 年 7 月之安平港與圖 12 為 2010 年 6 月之高雄港海域觀測值與模擬結果比較圖，圖中由上至下分別為流速、流向、東西向之流速與實測值 24 小時平均流速、南北向之流速與實測值 24 小時平均流速、潮位及風速時序列圖，圖中黑色實線為觀測值，其觀測時間間隔為 1 小時，紅色實線為模擬結果，模式值輸出時間亦為 1 小時，綠色實線為實測值 24 小時平均流速。由流速、流向、東西與南北分量流速及潮位之比較中可看出模擬結果與實測值具有合理之一致性，表示三維洋流與潮流綜合效應之台灣西南海域模式可合理的模擬安平港海域之海流變化趨勢。

圖 13 為高雄港海域海流分佈圖，圖中由上至下分別為表面海流速、100 公尺深處之海流、高雄港潮位及高雄港流向。由圖中可看出，離岸較遠處之海流皆固定為東南流向，此應為黑潮分支進入台灣西南海域之海流分支，觀察近岸海域海流流向，呈現潮汐變動之往復運動。圖中為高雄海域之小潮退潮段，於高潮時刻時高雄港港外流速向北，直至低潮時刻流向轉向南流動(完整逐時分佈圖於本文未列出，請參考廖等人(2011)報告)，而觀察 100 公尺深度之海流分佈，外海處之海流皆沿著地形向北流動進入高屏峽谷，而水位於低潮時高屏溪河口之流向轉向北，其與高雄港港外流向向南有明顯之差異。如上節所述，於台灣西南海域高屏峽谷內之潮流流動現象皆沿著峽谷方向流動，其與表

面潮流沿著海岸線流動有明顯差異，地形效應、洋流與潮流交互作用造成西南海域海流流動現象複雜之因素。

4.2 台灣東部海域(花蓮港、蘇澳港)

圖 14 與圖 15 分別為花蓮、蘇澳港實測資料(圖中黑點)與模式推算結果(圖中紅點)之東西、南北流速分量比較圖，圖中為台灣近岸海域 T-NS 巢狀模式所推算結果。由於這兩商港位於台灣東岸，實測資料黑點之東西、南北分佈呈一圓形，表示漲退潮之主流向並不明顯。圖 16 為台灣東部海域海流分布圖，觀察圖中海流分布，近岸處為海流速度明顯偏小，外海黑潮流速強勁，而在宜蘭至花蓮一帶海岸呈現一返流(counter current)，綜合實測資料，此處海域應於大潮之漲潮時段流速向南退潮向北，而小潮時段由於潮流成分較小，故導致小潮時段受到黑潮主流外側返流的影響有持續偏向西南流動之現象。

4.3 台灣北部海域(基隆港、台北港)

圖 17 與圖 18 分別為基隆、台北港實測資料(圖中黑點)與模式推算結果(圖中紅點)之東西、南北流速分量比較圖，圖中為台灣近岸海域 T-NS 巢狀模式所推算結果，由圖中流速比較中可知近岸海域 T-NS 巢狀格網推算與實測值不論月份皆具有合理一致性。圖 19 分別為基隆港與台北港之表面海流分布圖，圖中時間為 2009/07/01 16:00，其為漲潮轉退潮段之海流分布狀況，由圖中可明顯看出，退潮時段基隆港外海受到野柳龜頭山阻擋退潮海流，在萬里一帶海域形成依順時針渦流，而基隆港外位於渦流邊緣恰好與外海東南退潮流向相反，呈西南走向，此外於海岸突出之基隆嶼亦形成此處海流偏東北-

西南走向之主要原因。

4.4 台灣西部海域(台中港)

圖 20 為台中港實測資料(圖中黑點)與模式推算結果(圖中紅點)之東西、南北流速分量比較圖，圖中為台灣近岸海域 T-NS 巢狀模式所推算結果。由圖中流速比較中可知近岸海域 T-NS 巢狀格網推算與實測值不論月份皆具有合理一致性，而台中港冬季出現明顯西南向流動。圖 21 與圖 22 分別為台中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於 2009 年 7 月(夏季)與 2010 年 1 月(冬季)之海流、潮位與風速比較圖。由現有資料看出，其與上述台灣其餘測站明顯最大不同處是其東西、南北流速之 24 小時平均值呈現有明顯變動趨勢，其他測站之 24 小時平均淨流速則是非常接近於零，可推論為其他測站應仍受到潮流主導呈現往復現象。但台中港測站之 24 小時平均流速變化趨勢應與季節有關，夏季平均有向北流動趨勢，南北向之 24 小時平均流速約介於 0.4~0.6 m/sec 之間，表示應受到洋流影響導致觀測值內出現恆流現象，其應與夏季黑潮支流於台灣海峽內流速較強有相關性。但在冬季如於小潮時段且風速強勁時刻有持續向南之情況出現，由於台中海域一帶冬季季風風速強勁，在小潮時刻潮流流動力量較小導致風速較強時可驅動此處海域流動現象。由圖中模式結果與實測值之比較可看出，模式模擬結果可合理的模擬此一現象，表示海流模擬模式在台灣西部海域考慮洋流與潮流綜合效應趨勢是有所必要的。圖 23 與圖 24 分別代表台中港海域夏季與冬季之代表海流分布圖，由夏季海流分布圖可看出，外海流速強勁，黑潮分支繞過雲彰隆起向北流動，於台中海域再度接近近岸處，由圖中北側流速不論漲退潮段

皆持續向北可證。而冬季海面流速明顯變小，此一時段由於東北季風強勁，導致近岸處有沿著海岸線向南流動之明顯現象，且由於台中港北防坡堤之阻擋影響，導致堤頭附近海域流速偏向西南西，其與圖 20 之海流東西、南北分量流速分布圖於冬季時刻有偏向西南西之趨勢一致。

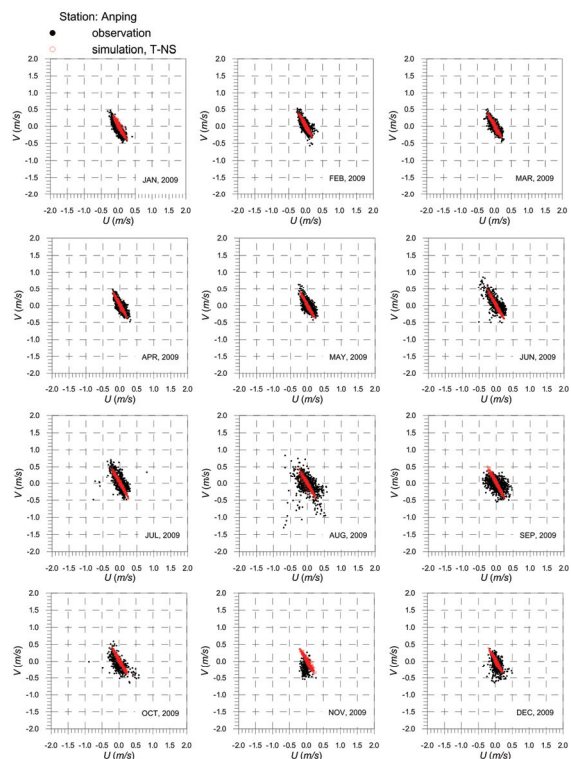


圖 9 安平港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

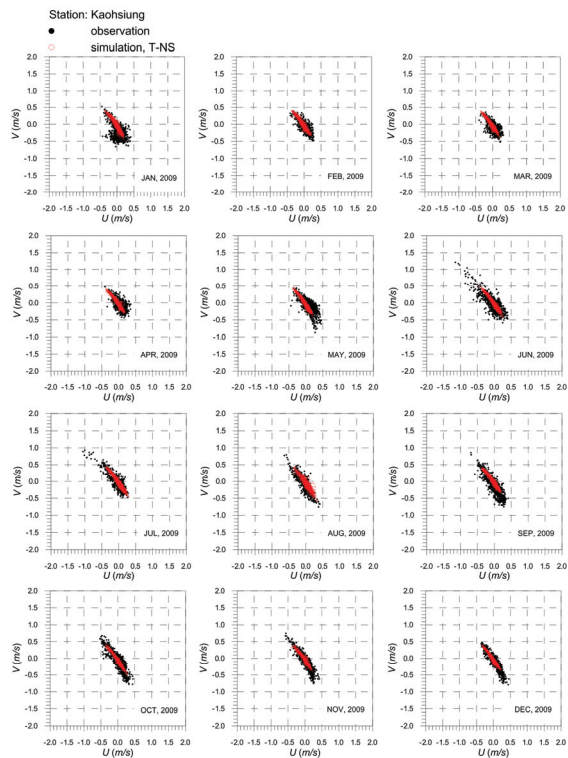


圖 10 高雄港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

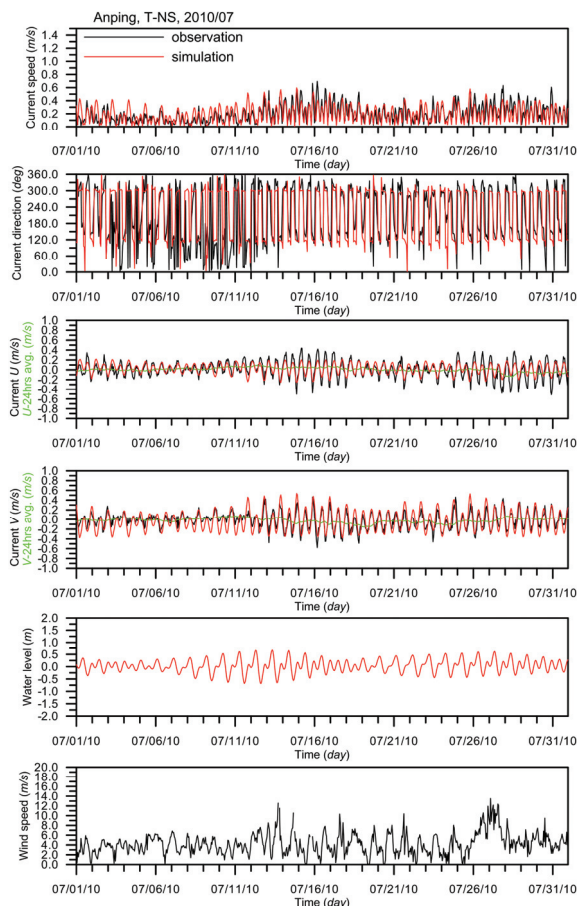


圖 11 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖 (2010 年 7 月份)

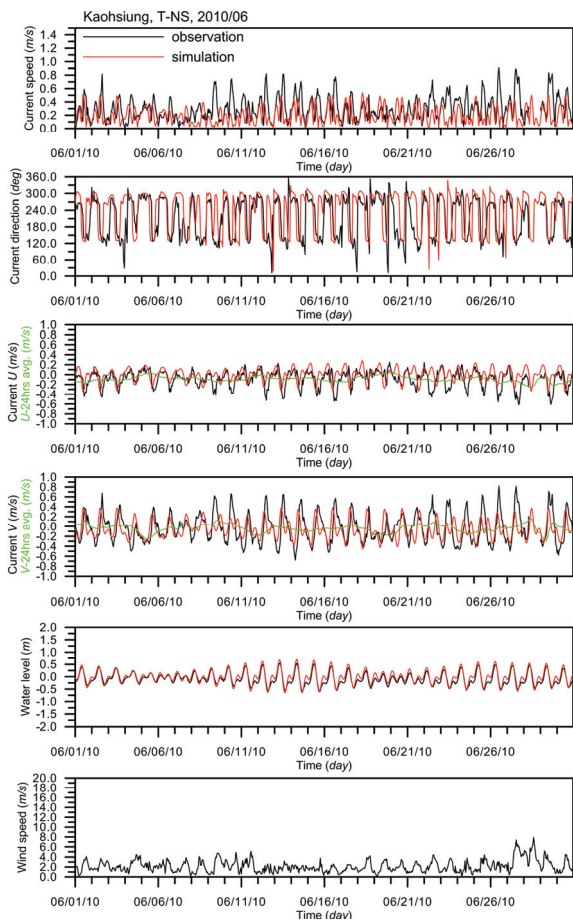


圖 12 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 6 月份)

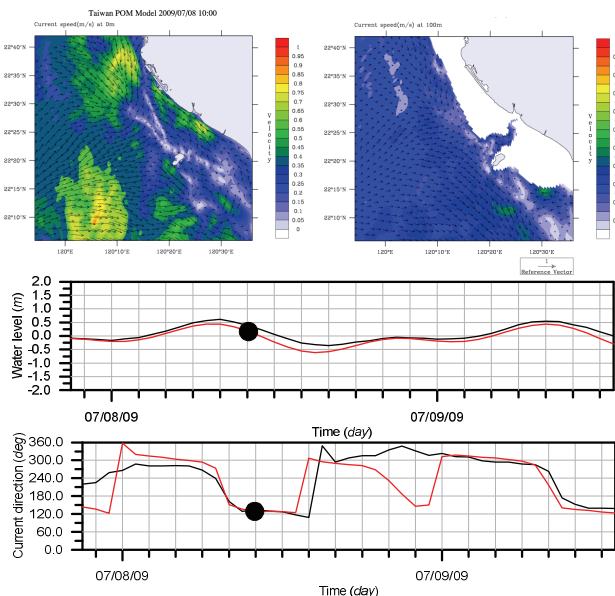


圖 13 高雄港海域海流分佈圖(紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/08 10:00)

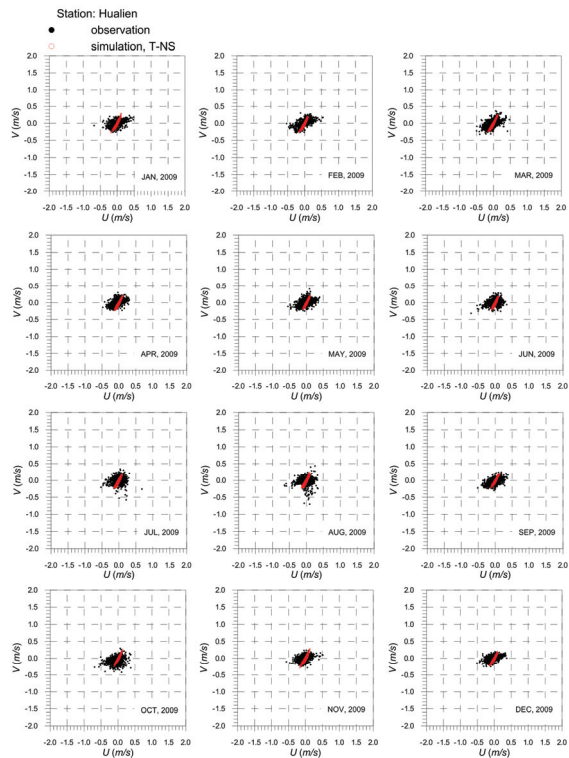


圖 14 花蓮港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

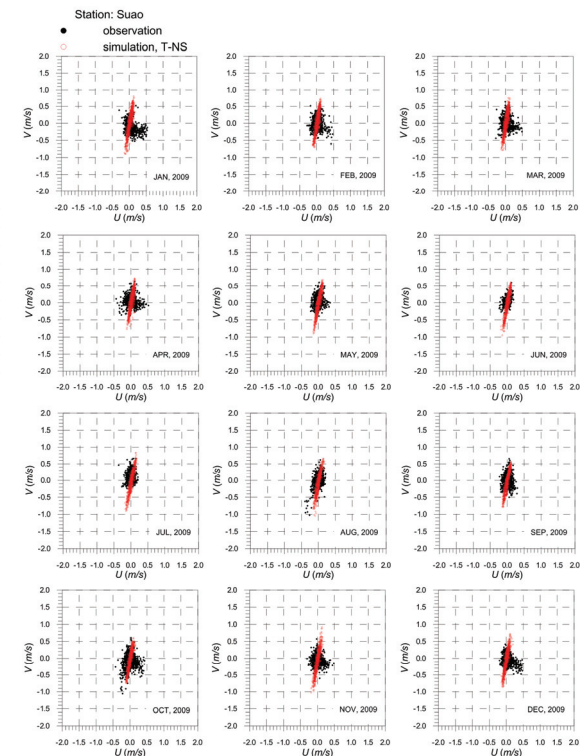


圖 15 蘇澳港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

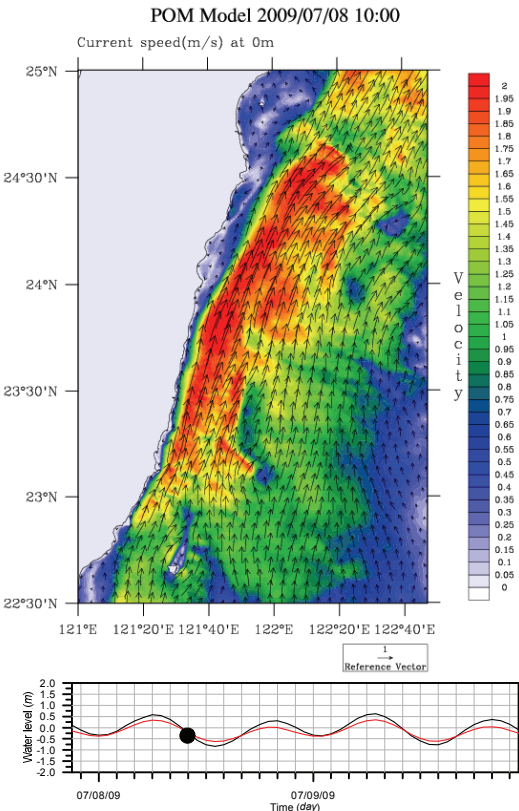


圖 16 台灣東部海域海流分布圖(紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/08 10:00)

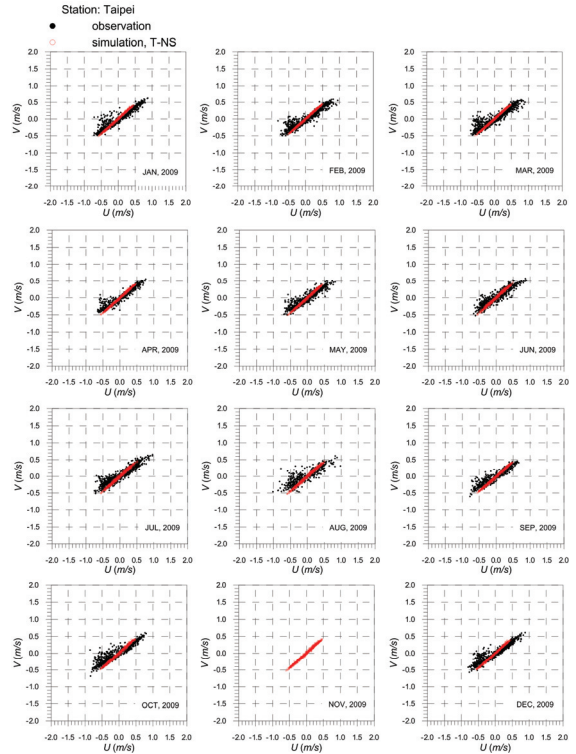


圖 18 台北港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

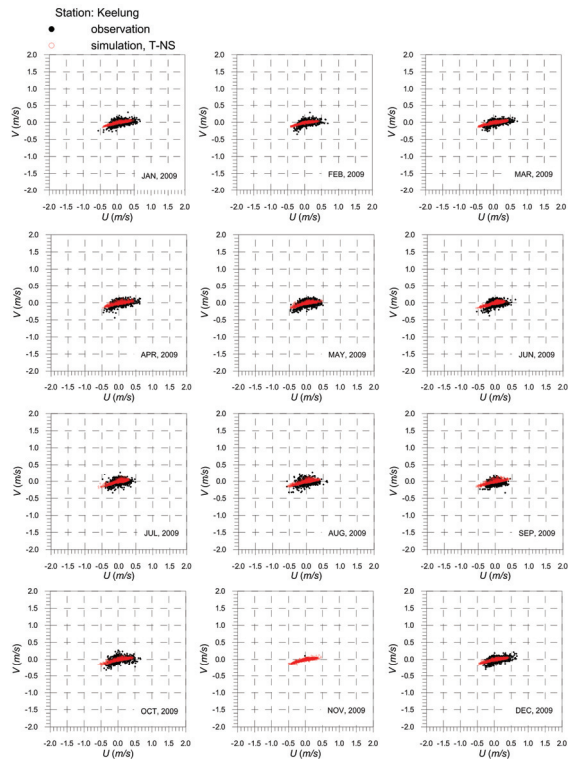


圖 17 基隆港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

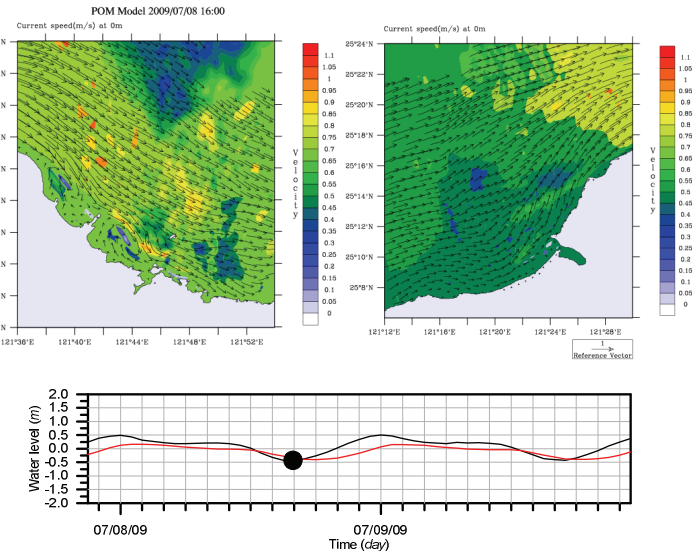


圖 19 基隆港與台北港表面海流分布圖(紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/01 16:00)

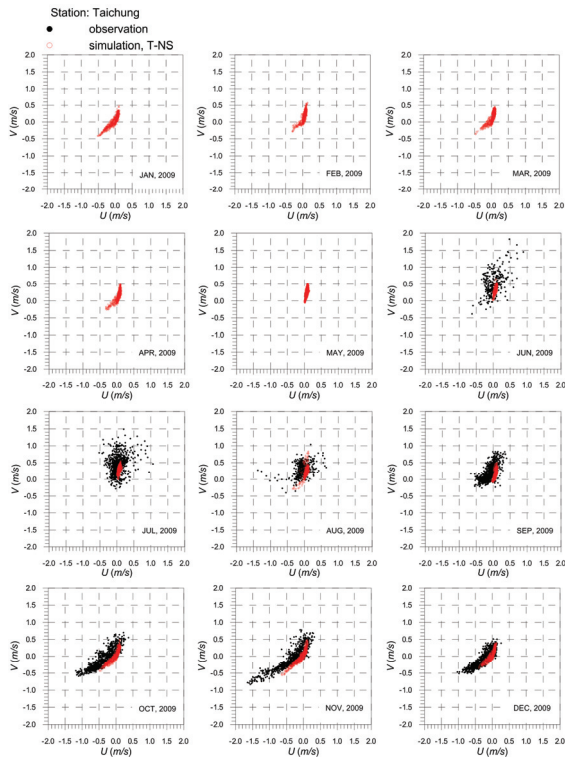


圖 20 台中港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

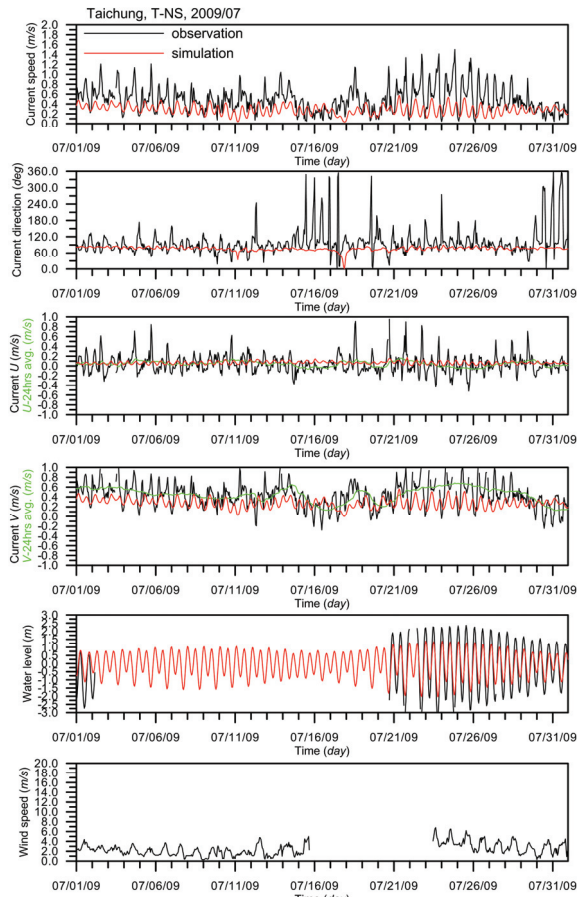


圖 21 台中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 7 月份)

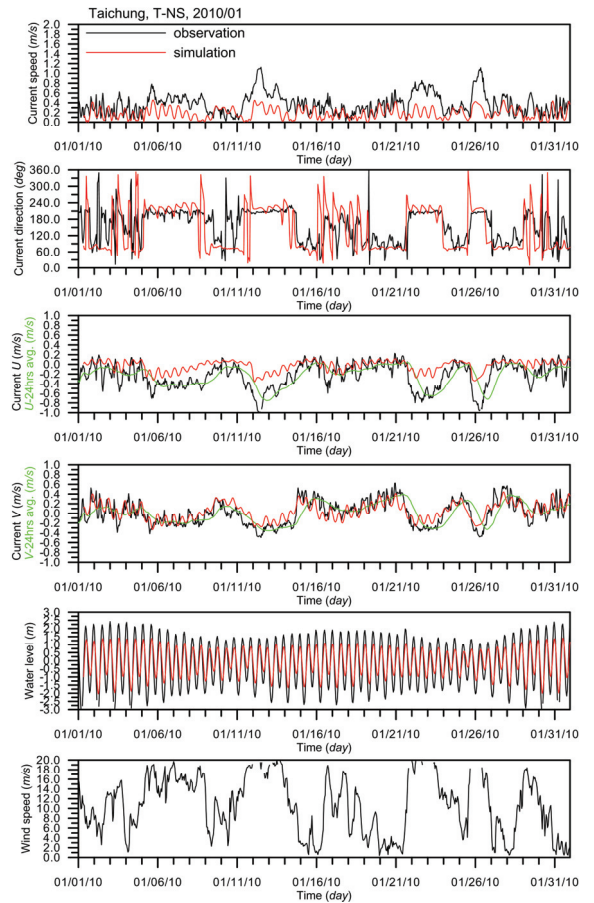


圖 22 台中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 1 月份)

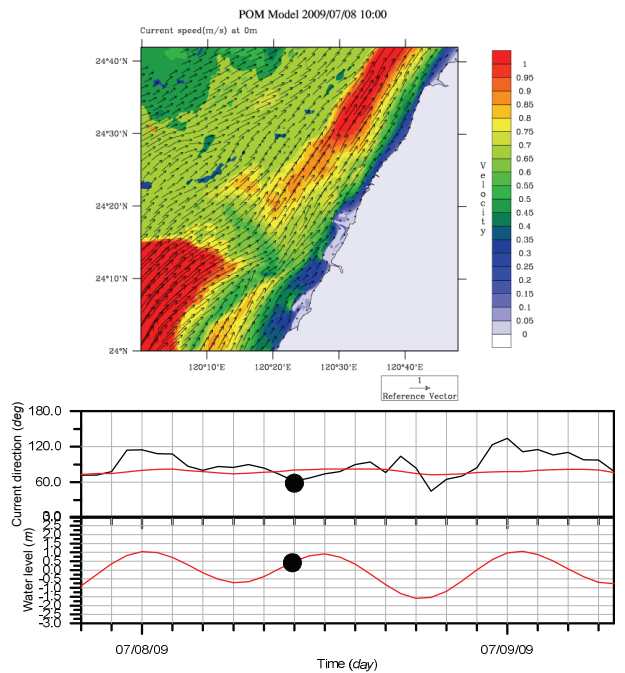


圖 23 台中港海域海流分布圖(夏季; 紅線為模式值, 黑線為實測值, 黑點為時刻為 2009/07/08 10:00)

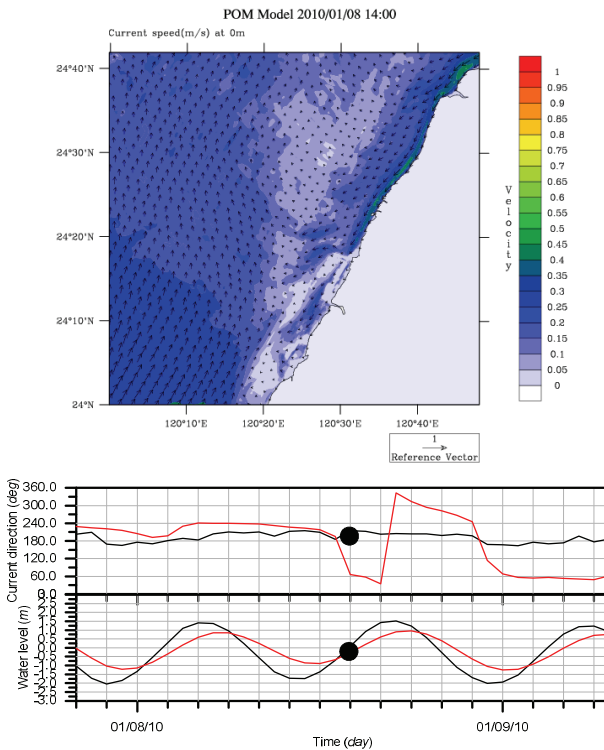


圖 24 台中港海域海流分布圖(冬季；紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2010/01/08 14:00)

五、結論

本文針對台灣鄰近海域特殊的海峽與陸架坡地形，透過美國普林斯頓大學海洋模式(Princeton Ocean Model, POM)，建置台灣海域洋流模擬系統，針對基隆、台北、台中、高雄、安平、花蓮及蘇澳等商港海域，建構足以描述各商港海域海流變動特性之三維流場，分析洋流與潮流成分變動特性與綜合效應，並利用實測數據進行模式驗證，改善模式合理性與模擬精度。

由模擬結果分析可知，近岸海域格網可合理呈現各商港海域局部地形所產生的海流特性，於高雄港外海台灣西南海域高屏峽谷內之潮流流動現象皆沿著峽谷方向流動，其與表面潮流沿著海岸線流動有明顯差異，地形效應、洋流與潮流交互作用造成西南海域海流

流動現象複雜之因素。於基隆港海域海流特性方面，退潮時段基隆港外海受到野柳龜頭山阻擋退潮海流，在萬里一帶海域形成依順時針渦流，而基隆港外位於渦流邊緣恰好與外海東南退潮流向相反，呈西南走向，此外於海岸突出之基隆嶼亦形成此處海流偏東北-西南走向之主要原因。於台灣東部花蓮與蘇澳港海域海流特性方面，近岸處海流速度明顯偏小，甚至在宜蘭至花蓮一帶海岸呈現一返流區，綜合實測資料，此處海域應於大潮之漲潮時段流速向南退潮向北，而小潮時段由於潮流成分較小。於台中港海域海流特性方面，夏季台中港外海流速強勁，黑潮分支繞過雲彰隆起向北流動，於台中海域再度接近近岸處，不論漲退潮段皆持續向北。而冬季海面流速明顯變小，於小潮時段時若東北季風強勁，導致近岸處有沿著海岸線向南流動之明顯現象，且由於台中港北防坡堤之阻擋影響，導致堤頭附近海域流速偏向西南西。

謝誌

本論文係交通部運輸研究所港研中心專題研究計畫「臺灣各國際商港海域綜合洋流與潮流效應之海流數值模擬 MOTC-IOT-100-H3DB004a」之研究成果，承蒙港研中心經費之補助，謹致謝忱。

參考文獻

1. 葉姍霈 (2002)，台灣海域高解析度潮汐模式之建立—敏感度試驗，國立成功大學水利暨海洋工程學研究所碩士論文。
2. 盧鴻復、吳朝榮 (2005)「臺灣周邊海域水文及洋流特徵」，海洋技術季刊，第 14 卷，第 4 期，第 12-18 頁。

3. 莊文傑、江中權 (2006) 「台灣四周海域旋轉潮坡系統之同潮圖」，第二十八屆海洋工程研討會論文集，第 325-330 頁。
4. 廖建明、莊文傑、許泰文、楊文昌 (2011)，臺灣東部海域洋流模擬及深層海水水溫水質月季變動特性探討，交通部運輸研究所報告，400 頁。
5. Amante, C. and Eakins, B. W. (2009) ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis, NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19 pp.
6. Blumberg, A. F. and Mellor, G. L. (1983) "Diagnostic and Prognostic Numerical Circulation Studies of the South Atlantic Bight," J. Geophys. Res., Vol. 88, pp. 4579-4592.
7. Ezer, T. and Mellor, G. L. (1997) "Simulations of the Atlantic Ocean with a Free Surface Sigma Coordinate Ocean Model," J. Geophys. Res., Vol. 102, pp. 15647-15657.
8. Hsin, Y.-C., Wu, C.-R. and Shaw, P.-T. (2008) "Spatial and Temporal Variations of the Kuroshio East of Taiwan, 1982-2005: A Numerical Study," J. Geophys. Res., Vol. 113, C04002.
9. Mellor, G. L. (2003) Users guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model, Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, Princeton University, Princeton.
10. Mellor, G. L. and Yamada, T. (1982) "Development of a Turbulence Closure Model for Geophysical Fluid Problems," Rev. Geophys. Space Phys., Vol. 20, pp. 851-875.
11. Wu, C.-R., Chao, S.-Y. and Hsu, C. (2007) "Transient, Seasonal and Interannual Variability of the Taiwan Strait Current," J. Oceanogr., Vol. 63, pp. 821-833
12. Liu, C. S., S. Y. Liu, S. E. Lallemand, N. Lunderg and D. Reed (1998) "Digital elevation model offshore Taiwan and its tectonic implications," TAO, Vol. 9, No. 4, PP. 705-738.

港 灣 報 導 徵 稿 簡 訊

1. 本刊為提供國內港灣工程界同仁交換工作經驗與心得之園地，歡迎工程、學術界之同仁提供港灣工程相關之工程動態、實務、工程新聞、技術新知、地工技術、工程材料、營運規劃及其他有關之工程簡介或推動中之計畫等的報告、論著或譯述。
2. 投稿者應保證所投稿件無侵害他人著作權情事，如有違反，願就侵害他人著作權情勢負損害賠償責任，並對中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）因此肇致之損害負賠償責任。
3. 來稿經本刊接受刊登後，作者應附具著作授權同意書，同意非專屬授權予本刊做下述利用：
 - (1) 以紙本或是數位方式出版。
 - (2) 進行數位化典藏、重製、透過網路公開傳輸、授權用戶下載、列印、瀏覽等資料庫銷售或提供服務之行為。
 - (3) 再授權國家圖書館或其他資料庫業者將本論文納入資料庫中提供服務。
 - (4) 為符合各資料庫之系統需求，並得進行格式之變更。
4. 作者應保證稿件為其所自行創作，有權為前項授權，且授權著作未侵害任何第三人之智慧財產權。
5. 稿件每篇以八頁（含圖）（4000~5000字）以內為原則，稿酬從優；請附磁片或 E-mail，並請加註身分證字號及戶籍地址（含鄰、里）。
6. 本刊每年刊行三期，分別於二月、六月、十月出版。如蒙惠稿請於每期出版前三十日寄交本刊。
7. 聯絡電話：(04)2658-7139 馬維倫
傳真電話：(04)2656-4415

E-mail：elisa@mail.ihmt.gov.tw

8. 歡迎賜稿，來稿請寄：
台中縣 435 梧棲鎮中橫十路 2 號
交通部運輸研究所港灣技術研究中心「港灣報導編輯委員會」收