

整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(2/4)

A study on the integration of Taiwan coastal and harbor's oceanographic modeling systems(2/4)

主管單位：交通部運輸研究所港灣技術研究中心¹

邱永芳¹ 蘇青和¹ 李俊穎¹ 陳明宗¹ 單誠基¹

Chiu,Yung-Fang Su,Ching-Ho Lee,Chun-Ying Chen,Ming-Chung Chen-Chi Shan

劉正琪² 李兆芳² 陳冠宇³ 李忠潘³

Liu,Cheng-Chi Lee,Jaw-Fang Chen,Guan-Yu Lee,Chung-Pan

國立成功大學² 國立中山大學³

摘要

本所為考量臺灣周遭水域的船舶與人員航行安全，以及水環境維護等，乃率先推動近岸/近海防救災相關海象預報系統，並配合已推動多年的海氣象觀測，協助建置港灣環境資訊室，提供相關海象觀測推算與預測的資料，讓港灣管理單位、國內外船舶業者及有關人員即時獲得港灣海氣象資訊與港灣水理資訊進而維護臺灣水域出港操航安全、提昇船席機動調配及港埠運作效率。但由於臺灣附近水域的地形與環境複雜，現階段仍有諸多影響因子值得並需要持續進行研究與改善。

本計畫目的為整合提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究，提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究，提昇海岸及港灣海嘯模擬技術，並探討港灣防波堤堤頭沖蝕特性及防制機制之研究。提供國內航運及國內各主要港口海域之風浪、暴潮、流場及海嘯等預警資訊，本年度在海象數值模擬作業化部份(波浪、潮流、海嘯)主要重心為精進臺中港及布袋港港區部份，並進行海岸及港灣堤頭附近海底地形侵蝕現況的分析，發展港灣堤頭侵蝕防制工法與改善建議方案。俾提供施政及工程單位之參酌，以達到港灣正常營運與海岸永續發展利用的目標。

關鍵詞：預警系統、風浪預報、流場預報、海嘯、防波堤堤頭、沖蝕

Abstract

Considering the safety of ships and individuals in nearby seawater around Taiwan and the protection of water environments, the first priority for HMTC is to promote the study of the "Taiwan Coastal Operational Modeling System". TaiCOMS is an abbreviation for the title. The long-term sea-monitoring data is combined with the oceanographic observation data through the "Harbor Environment Information Website System" to provide forecast data for harbor authorities and shipping company officials and some related engineers. However, the air atmosphere is very complicated in Taiwan's marine areas due to the topographical layout; there are many factors are supposed to be done further research and be modified at present stage. The objective of this project is to

integrate waves, tides and currents into a numerical modeling operation system and maintain the computer program "TaiCOMS". The major tasks include operation system program maintenance, data analysis, hardware and software update testing, in comparison with forecast data and observation data and the improvement of the operation system performance.

The objective of this project is to integrate the "Enhancement of Wave Simulation Technology on the Coastal and Harbor Areas ", " Enhancement of water and current simulation technology on coastal and harbor areas ", "Advance Tsunami Simulation Technology in the Coastal and Harbor Areas with Risk Analysis " and "Scouring Mechanism and Prevention Method for Breakwater Head ". Supplying waves, tides, currents and tsunamis' information to major harbors in Taiwan, analyzing breakwater head morphology change, and making effective prevention strategies and giving suggestions is what we want to do. Last, we provide references for port authorities and engineering units to maintain normal operation of harbors and to maintain sustainable development of the coastal areas.

Keywords : wave simulations, harmonic analysis, tidal modeling, tsunami early warning system, breakwater head, scouring

一、前言

本計畫為本所海岸及港灣災害防救研究分項計畫之一「整合臺灣海岸及港灣海象模擬技術之研究」研究計畫，擬以計畫執行期間，結合相關研究計畫，藉由國外的發展經驗，持續擴充建置一套適用於臺灣海域之近岸海象預報系統。本計畫以作業化方式整合海岸及港灣海域風浪、潮汐及海流模式、海嘯模式等並延伸進行海岸及港灣堤頭附近海底地形侵蝕現況的分析研究，發展港灣堤頭侵蝕防制工法與改善建議方案。俾提供施政及工程單位之參酌，以達到港灣正常營運與海岸永續發展利用的目標，本年度在海象數值模擬作業化部份(波浪、潮流、海嘯) 主要重心為精進臺中港及布袋港港區部份。所涵蓋子計畫主要工作目的如下：

1. 提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究:精進海岸及港灣地區之颱風波浪預警系統，提供環島藍色公路及港務局各港口航運安全之風浪預警資訊。
2. 提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究:精進海岸及港灣地區之颱風暴潮預警系統，提供海岸溢淹預警資訊。流場預警系統，迅速提供緊急海難、油污擴散港口航運安全之資訊。
3. 提昇海岸及港灣海嘯模擬技術與淹水潛勢分析:海岸及港灣地區海嘯影響範圍、淹水潛勢分析與預警系統，提供溢淹模型與風險評估。
4. 港灣防波堤堤頭沖蝕特性及防制機制之研究:探討主要港口防波堤堤頭附近海底地形侵蝕特性及防制機制，進行海岸及港灣堤頭附近海底地形侵蝕現況的量測與分析、數值模擬，俾提供施政及工程單位之參酌，以達到港灣正常營運與海岸永續發展利用的目標。

在前期研究中參考各國近海海象預報系統的發展狀況，已發展臺灣環島海象預報系統-TaiCOMS (Taiwan Coastal Operational Modeling System)，包括觀測網的架設、觀測資料即時監測、數值預報模式的建立、模式驗證及海氣象資料庫的整合等。目前 Taicoms 系統在本中心執行，並逐步配合本所『港灣環境資訊網』及航務實際需求展示相關數值成果，目前海象模擬作業化系統架構已調整成如圖 1 所示。

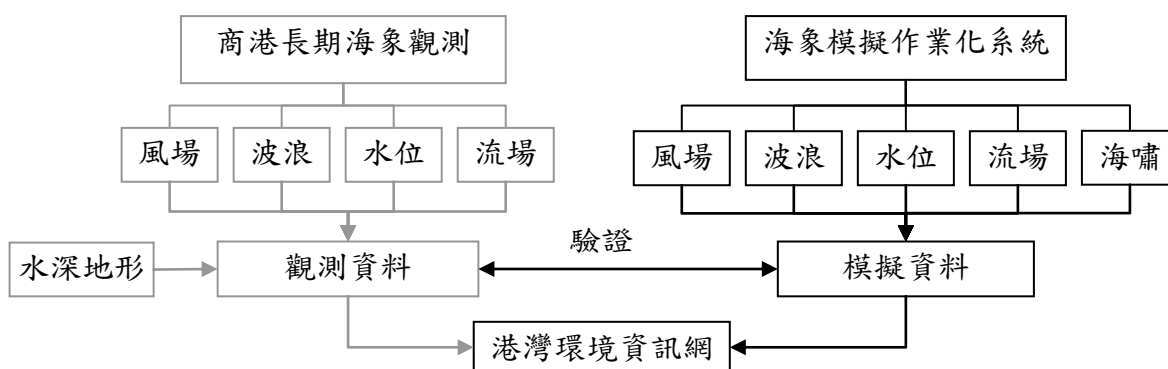


圖1、海象模擬作業化系統整體架構圖

二、風場及氣壓場模式

有關風場及氣壓場模式本計畫引用中央氣象局提供完成臺灣海域動態氣象預報模式預報即時全域海上風場。

採用中央氣象局 NFS 預報風場及風壓模式提供兩種不同尺度範圍之風場(如圖 3~4)，西太平洋預報風場(RC)範圍約為南緯 5 度至北緯 43 度，東經 78 度至東經 180 度，網格解析度為 45KM；中國海域預報風場(MC)範圍約為北緯 9 度至北緯 35 度，東經 110 度至東經 138 度，網格解析度為 15KM。圖 2 為中央氣象局當時衛星照片及 NFS 預報風場內插後 RC 及 MC 等氣壓風速預報風場向量圖，時間為 2012 年 8 月 26 日(天秤颱風侵臺期間)

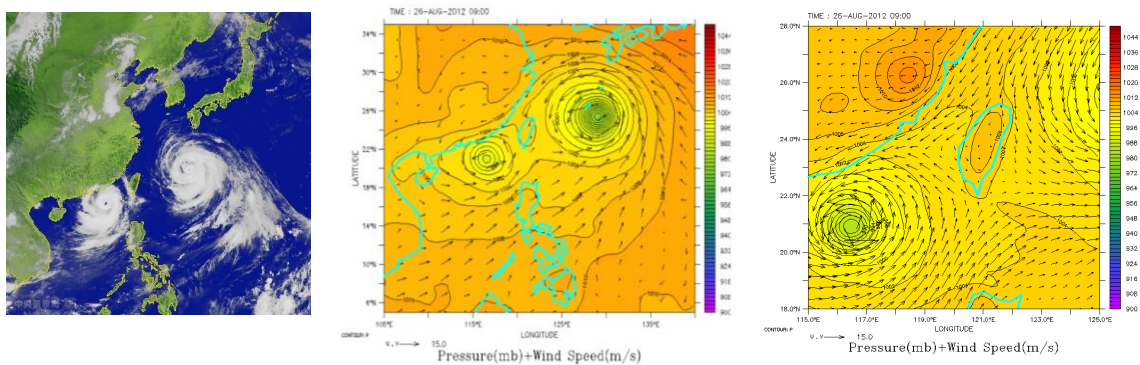


圖2、中央氣象局當時衛星照片及內插後RC及MC等氣壓風速預報風場向量圖

三、波浪模式建置

全域波浪模式大區域方面引用 WAM(Wave Model)及 SWAN(Simulating Waves Nearshore)兩種風浪模式，近岸波浪模式小區域方面引用拋物線型緩坡方程式發展波浪折、繞射模式(REF/DIF)以及橢圓型緩坡方程式(MSE)建立之兩種波浪模式，並配合建置大中小細等四種尺度的計算範圍。

3.1 全域風浪模式建置

遠域波浪推算：約以西太平洋海域為範圍，其目的是獲得較佳的近域波浪推算邊界參考輸入值，範圍可涵蓋各種侵台的颱風路徑。應用 WAM 的風浪推算模式，與中央氣象局每日預報之動態風場結合。其模擬範圍由北緯 10° 至 35° ，東經 110° 至 134° ，數值格網解析度為 $0.2^{\circ} \times 0.2^{\circ}$ (12 分網格)。

近域波浪推算：約以臺灣周圍海域為範圍，此部分模擬則可以提供近岸範圍模式的邊界條件，應用荷蘭 Delft 大學發展的 SWAN 近海風浪模式做為基礎並以適合臺灣海域的模式參數改善。近域波浪推算的輸入邊界條件自遠域浪推算結果中擷取近域波浪推算範圍的邊界，與中央氣象局每日預報之動態風場結合。其模擬範圍由北緯 21° 至 26° ，東經由 119° 至 123° ，數值計算格網解析度為 $0.04^{\circ} \times 0.04^{\circ}$ (2.4 分網格)。如圖 3 為本系統 2012 年 8 月 26 日 9 時(天秤颱風侵臺期間)平時作業化所產生之遠域及近域海象波高圖。

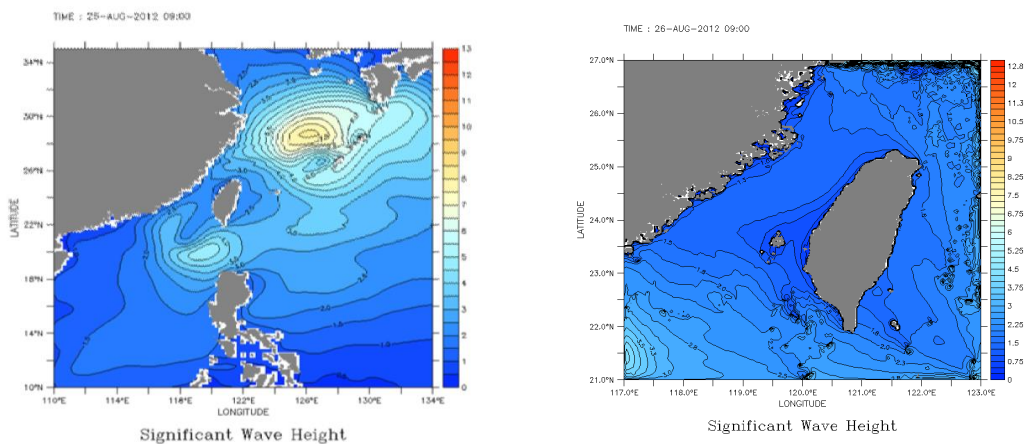


圖3、天秤颱風8月26日9時波高分布圖

3.2 近岸波浪模式

近岸波浪推算：約以港區周圍海域為範圍，應用 Kirby and Dalrymple (1983) 依據拋物線型緩坡方程式所發展的波浪折、繞射模式(REF/DIF)，此模式的輸入邊界條件係承接近域波浪推算的結果，並依據各個商港地區不同特性來規劃計算範圍。本年度以臺中港及布袋港為研究重心，配合最新水深及觀測資料調整其作業化模式，已完成作業化展示情形如圖 4 所示。

港域波浪推算：細尺度的近岸區域模式系統，所使用的模式是以橢圓型緩坡方程式為基礎的有限元素法數值模式(MSE)。本尺度模擬範圍的推算依據各商港地區不同特性來規劃計算範圍，但由於執行時間的考量另以資料庫概念發展成後續穩靜

度評估應用展示視窗系統，所含資料庫內包含不同波向及週期模擬波浪結果。如圖5所展示臺中港波浪模擬視窗畫面圖。

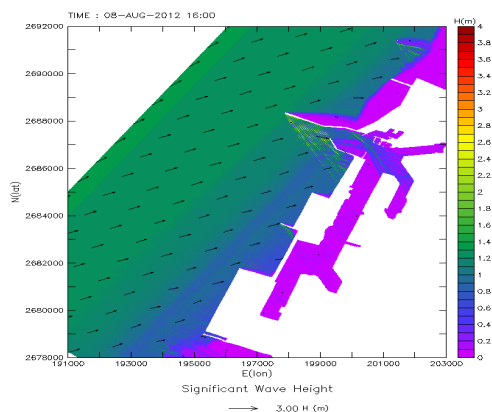


圖4、近岸波浪模式模擬臺中港近岸波浪模擬結果之波高分布與波向

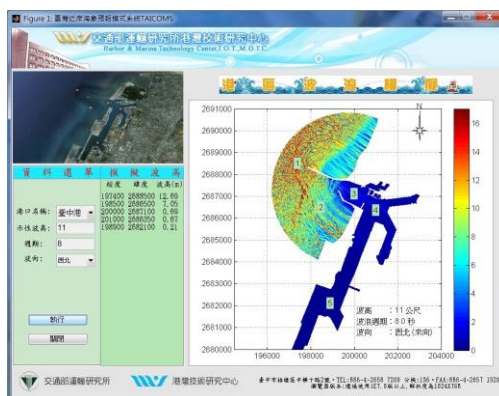


圖5、港域波浪模式於臺中港區波浪模擬展示視窗畫面圖

四、水動力模式建置

水動力模式系統共規劃三種尺度的範圍，包括西太平洋範圍(遠域)、臺灣周圍海域範圍(近域)、近岸港灣海域範圍，以期將臺灣海域可能所需預報的潮位、潮流、氣象潮位及海流等狀況包含在其中。以下分別就各推算範圍的相關資料進行說明

4.1 全域水動力模式

遠域水動力推算：約以西太平洋海域為範圍，主要應用歐盟發展的模式 COHERENS (COupled Hydrodynamical Ecological model for REgionAl Shelf seas)作為水位及海流的計算工具，並配合發展適合臺灣海域颱風作用的颱風模式及參數率定，與中央氣象局每日預報之動態風場結合，成為本土化應用之潮汐及風暴潮複合動力模式。本計畫大尺度模式又稱為西太平洋模式，其模擬範圍為北緯 15° 至 42° ，東經 105° 至 150° ，數值計算網格大小為 $10' \times 10'$ (10 分網格)。

近域水動力推算：約以臺灣周圍海域模式範圍，主要應用歐盟發展的模式 COHERENS 作為水位及海流的計算工具，並配合發展適合臺灣海域颱風作用的颱風模式及參數率定，與中央氣象局每日預報之動態風場結合，成為本土化應用之潮汐及風暴潮複合動力模式，臺灣環島二維水位及海流模式，此部分為水深平均流速，

主要驅動力為潮汐及風驅流，並無洋流的輸入。本計畫中尺度模式又稱為臺灣海域模式，其模擬範圍為北緯 21°至 26.5°，東經 116.5°至 125°，數值計算網格大小為 1'x1' (1 分網格)。下圖為線上模擬天秤颱風 2012 年 8 月 26 日 9 時動作業化所產生之西太平洋海域及台灣海域水位圖。

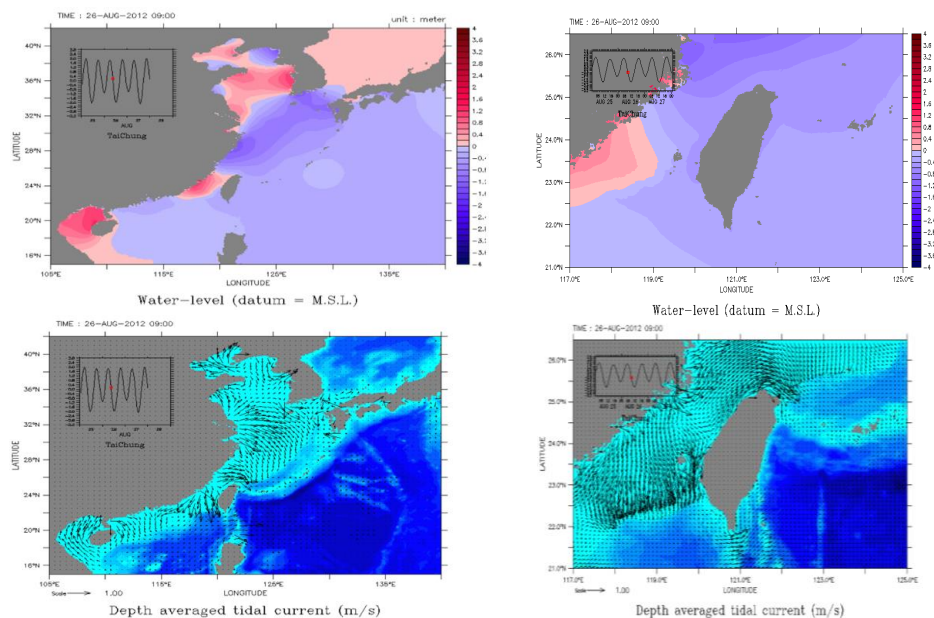


圖6、天秤颱風2012年8月26日9時水動力模式模擬海域水位及流場圖

4.2 近域水動力模式

近岸區域模式系統：約以港區周圍海域為模擬範圍，主要應用的各港區近岸水動力模式則採用二維有限元素水動力模式(fehdm)，並依據各個商港地區不同特性來規劃計算範圍，各港口模擬範圍之選取主要以各港口為中心，配合海岸線及地形水深變化進行規劃，離岸之開放邊界則儘量與海岸線平行。基於此，本計畫各港口水動力模式模擬範圍大小在沿岸方向約介於 20km~30km 之間，離岸距離在各港口約介於 10km~15km 之間。本年度以臺中港及布袋港為研究重心，結合風場配合最新水深及觀測資料調整其模式，展示情形如圖 7 所示。

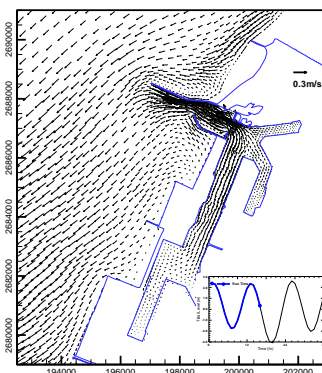


圖7a、臺中港區大潮退潮時段潮流流場模擬之流速向量圖

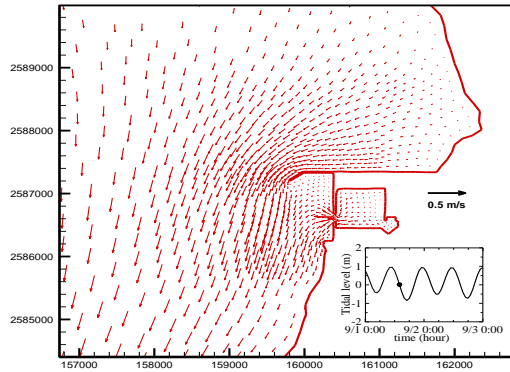


圖7b、布袋港區退潮時段流場模擬結果之流速向量圖

4.3 臺灣周圍海域暴潮模式之建置

本年度延伸發展將利用有限元素水動力模式配合模型颱風之建置或中央氣象局大氣模式(NFS)數值預報的風速及氣壓場資料，建置非結構網格以模擬颱風暴潮影響之中尺度臺灣周圍海域範圍暴潮模式，並選取本年度侵臺颱風如輕度颱風泰利(TALIM)、中度颱風蘇拉(SAOLA)及中度颱風天秤(TEMBIN)等進行颱風暴潮模擬工作，模擬結果如附圖 8。綜合颱風暴潮水位偏差模擬結果得知，當颱風在開闊海面上時近颱風中心暴潮水位偏差之等值線大致上呈現圓形狀分布，此與風場及氣壓場分布相近似；當颱風接近陸地時模式模擬結果之暴潮水位偏差分布情形，顯著受到大陸棚地形水深變淺之影響，此時暴潮水位偏差變化與風場及氣壓場分布之關聯性明顯地降低。

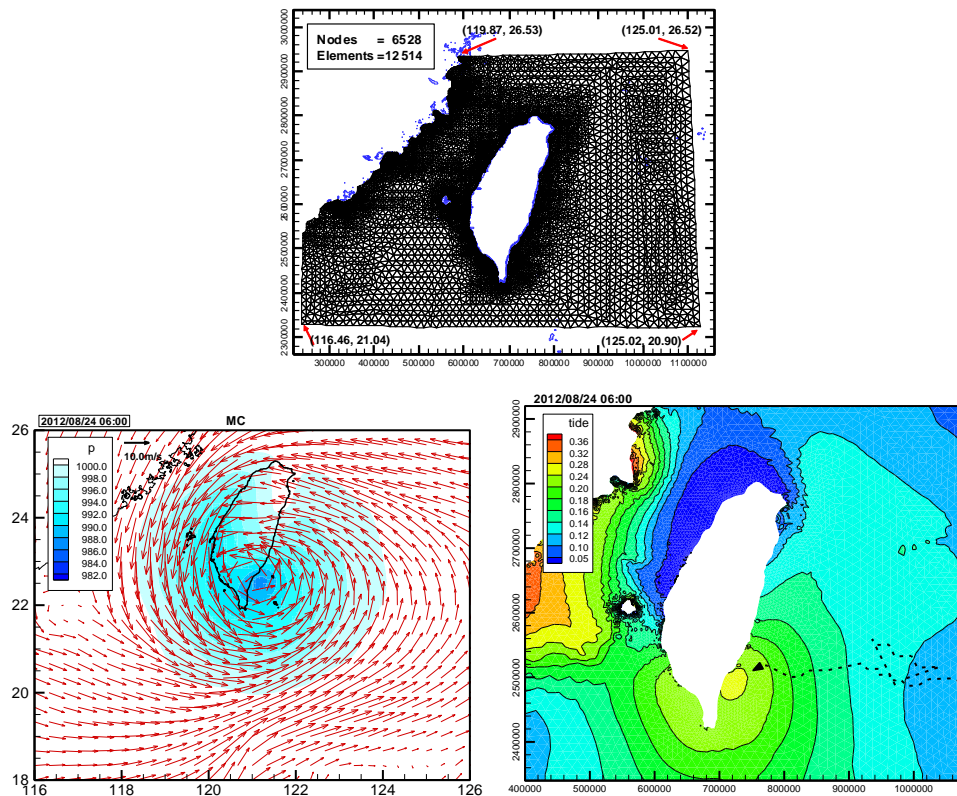


圖8、數值網格圖及天秤颱風8月24日6時臺灣周圍風壓場及海域暴潮偏差分布圖

五、海嘯模式建置及分析

鑑於近來太平洋區域發生多起重大之海嘯事件，且現今預報機制多依賴美、日等鄰國之資訊，為增進臺灣海嘯警報之可信度、減少假警報以及提供較充裕之預警時間及海嘯資訊，將近岸海嘯預警系統拓展至遠海域(整個太平洋海域)，強化應變海嘯風險之能力。但傳統海嘯模式模擬時間受網格解析度、海嘯源位置、模擬時間等因素影響，需要相當長之計算時間；本計畫發展系統應用格林函數之可逆性值，加速海嘯模擬之時間，以提供災防之參考依據，爭取海嘯侵襲時的警報時間。在取得海底地震相關參數後，一個點位(港口外海)推估海嘯波到達時間及水位時序分佈計算時間約在 20 秒內可完成。

精進臺中港域及布袋港域海嘯數值模式之格林函數，達到減少系統檔案大小並增進系統運算速度；並與港灣環境資料庫進行整合以達全自動化操作需求。所完成海嘯模擬預警即時地震資料擷取系統，並同步擷取日本防災科學技術研究所(NIED)、USGS 與 CWB 之即時地震資料庫。在網站當模擬港外波高大於等於 0.1 公尺或地震矩規模大於等於 7.0 時就於網頁呈現各港區海嘯相關訊息，港區位置圖及海嘯水位歷線圖之展示頁面如圖 9。

本研究另使用 COMCOT 模式模擬港灣受海嘯侵襲時溢淹情形，外海數值地形檔水深採取台灣大學海洋資料庫網格解析度 500 公尺之數值地形檔，配合內政部網格解析度 5 公尺之陸地數值地形檔，內插製作網格解析度為 5 公尺之臺中港、布袋港數值地形圖，以不同波高之鐘形波模擬海嘯波垂直岸線入射(0.5m、1m、2m、3m、4m、6m、12m)，模擬週期 20 分鐘海嘯波，如圖 10 臺中港及布袋港陸地受 1m 波高溢淹範圍圖。

計算結果為布袋港在未來 50 年間發生海嘯且溢淹之機率為 0.1%，100 年為 0.2%；臺中港未來 50 年間發生海嘯且溢淹之機率為 0.18%，100 年為 0.33%。分析結果遠小於基隆港及臺北港之風險值，主要是因為臺中港及布袋港現有之高程可抵擋大部分震源及地震矩規模所產生之波高；也就是暗示雖然部份震源雖對臺中及布袋港之外海產生較大之波高，但因為高程之影響不至於產生溢淹，故其風險值甚低。

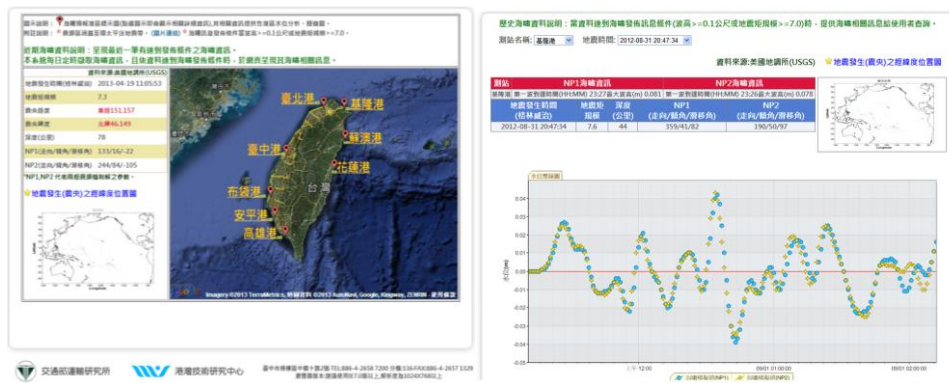


圖9、系統模擬展示頁面(港區位置圖及海嘯水位歷線圖)

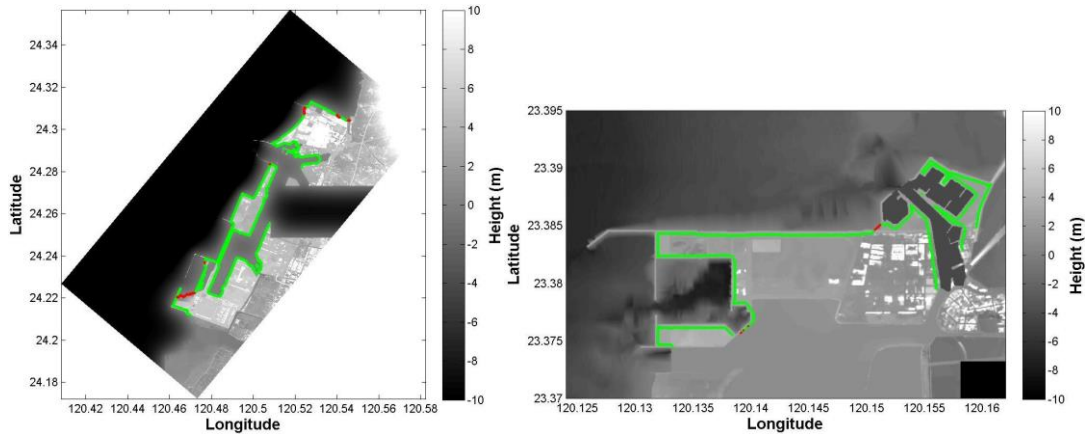


圖10、臺中港及布袋港陸地受1公尺波高溢淹範圍圖

六、臺中港及麥寮港港灣防波堤堤頭沖蝕特性分析

臺中港海域北防波堤堤頭附近地形，係以單音束測深系統進行水深測量。臺中港本年度測量北堤區域測得水深最淺約為 7.4 公尺，堤頭附近沖刷最深處水深約 39 公尺，等深線於堤身附近大致呈現垂直海堤方向分布，沖刷最深處位於堤頭向外海延伸方向約 140 公尺處。北堤堤外北側海域淤積現象明顯，堤內港域水深較深，海堤內外之海域地形高低差約可達 3 至 6 公尺。100 年與本次測量比較下，堤頭北側淤積最大量約 9.7 公尺，總淤積約 775,594 立方公尺，平均淤積高程約為 32 公分，如圖 11。

麥寮工業港西防波堤堤頭附近地形，係以多音束測深儀進行測量。西防波堤北側區域所測得水深最淺處約為 4 公尺，堤頭向外海西方延伸約 170 公尺處，測得水深最深處約 44 公尺。堤頭西方約 180 公尺處亦有明顯刷深洞，最深處約 37 公尺，如圖 12。等深線於堤身北側港域外大致呈現垂直海堤方向分布，堤身南側港域內則以平行海堤方向分布為主，堤頭附近則形成輻射狀之等深線分布。西防波堤北側海域淤積現象明顯，堤內港域水深則較深，防波堤內、外之海域地形高低差約可達 8 至 10 公尺。100 年與本次測量比較下，堤頭西南方明顯淤積，最大高度達 7 公尺，全測區總淤積約 465,058 立方公尺，平均淤積高程約為 34 公分

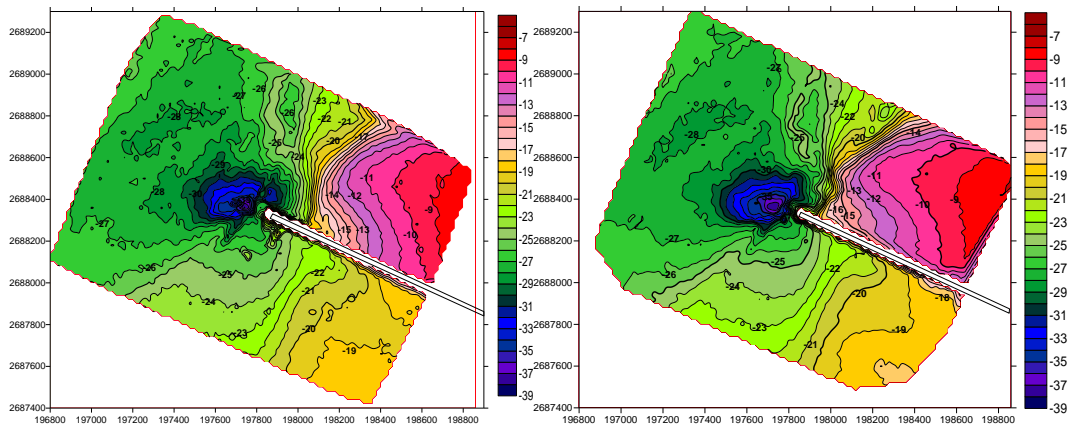


圖11、臺中港北防波堤堤頭100年及101年5月水深測量等深線水深色階圖

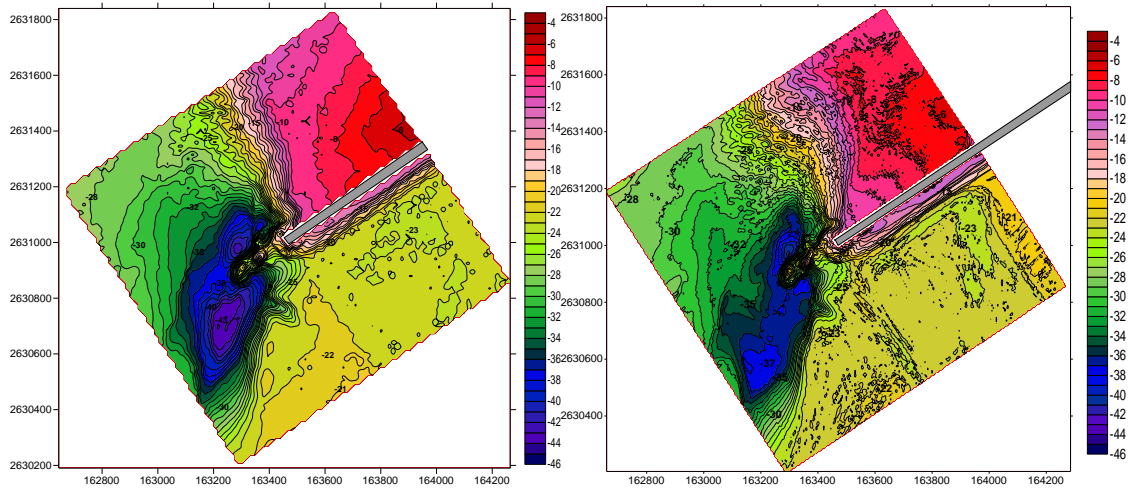


圖12、麥寮工業港西防波堤堤頭100年及101年5月水深測量等深線水深色階圖

台中港與麥寮港防波堤鄰近海域的地形侵淤狀態，隨著防波堤長度延伸、海潮流作用與上游河川砂源補注而有明顯的變化。依流全年海流統計結果臺中港和麥寮港的海流流速超過一節的發生機率各為 38.8%、36.6%，明顯大於台灣其他港口（波浪並無此現象），如附圖 13；而臺中港在 1、7 月份流速超過一節的發生機率更超過 50%，麥寮港則在 6~9 月發生機率均接近 40%。臺中港與麥寮港海域流況明顯大於臺灣其他港域（波浪並無此現象），致此二港區堤址水深雖達 20 公尺以上，仍然發生嚴重沖蝕現象，尤其堤頭之處更是明顯。防波堤堤頭附近之漲退潮流速與流向不對稱形成淨流，水流經堤頭後轉向造成速度梯度，此等現象均引起之漂砂不平衡，導致堤頭發生沖刷。

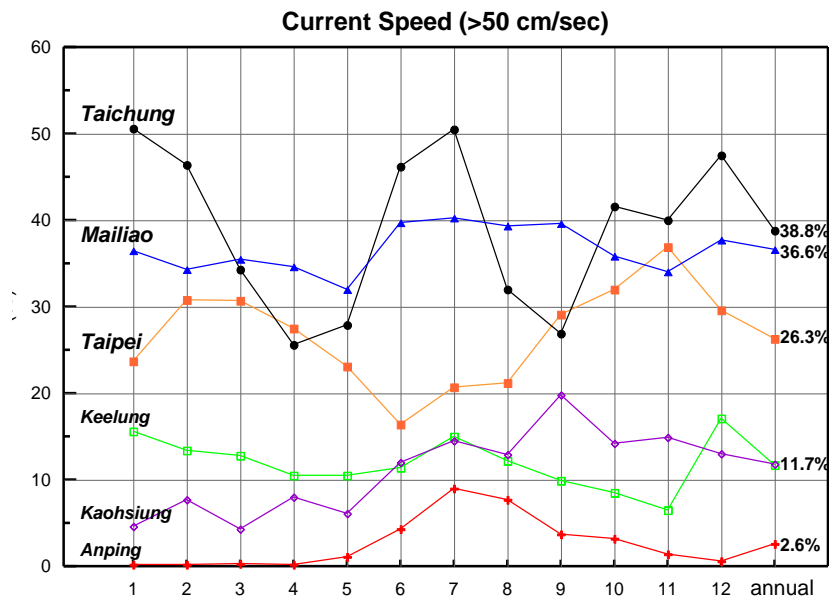


圖13、臺灣六大港海域歷年流速大於50cm/sec發生機率圖

由麥寮港現場流況與沖蝕分析得知，夏季主要流況向北，沖刷洞在堤頭北側，但堤頭南側為較深的水域(如航道)，無漂砂向北補注沖刷洞，以致沖蝕加劇。冬季主要流況向南，沖刷洞在堤頭南側形成，但堤頭北側有來自濁水溪口的沖積沙補注，南向漂砂會逐漸將北側沖刷洞回填。如此週而復始，形成季節性的循環現象。又根據當時麥寮港西防波堤施工紀錄，每年東北季風期必須停工5~7個月，當重新開工時都發現堤頭地形大幅刷深現象。興建初期堤頭沖刷已形成，因北側濁水溪口向南的淤沙仍不明顯，無法大量填入堤頭沖刷洞中。西防波堤延伸完成後，北側的淤沙逐漸明顯，在潮流優勢方向為冬季向南、夏季向北的情形下，就形成上述麥寮港西防波堤堤頭附近季節性的變化。此等現象反應出二處防波堤之堤頭沖蝕現象，研判可能是海潮流所致。

八、結論

配合本中心港灣環境資訊系統需求，計畫內協助建立海象模擬預報網頁，平時提供各港區(基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港、布袋港、澎湖)，包含風場、波浪、水位及流場等港口所需海象資訊，以供各港務局港口船舶交通航運安全及各相關單位參考使用，並初步評估有關臺中港與麥寮港防波堤堤頭鄰近海域的地形侵蝕狀態。本年度計畫主要研究成果

1. 本計畫在近海海象預報模擬系統的預報時間已能夠在完整取得中央氣象局提供風場及氣壓場預報後5小時之內完成大尺度及中尺度預報及已建置基隆港及臺北港小尺度模式。包括風場(氣壓)、波浪、水位及流場等數值模式建置及自動化預報系統作業。
2. 風場方面：計畫內不執行風場的預報模擬，平時及颱風期間主要引用中央氣象局NFS海上風場模式配合風浪及水動力模式需求內插後所產生的全域預報風場及氣壓場，並長期進行各港區風場(氣壓)預報模式作業化成果評估。
3. 波浪模式方面：維護評估已建置大尺度風浪模式、中尺度風浪模式等，建置臺中港及布袋港小尺度波浪模式作業化模組，發展細尺度港區波浪展示系統，並長期進行各港區波浪預報模式作業化成果評估。
4. 水位及海流模式方面：維護評估已建置大尺度及中尺度的全域環島作業化水動力模式，建置臺中港及布袋港小尺度模式作業化並長期進行各港區水位及海流預報模式作業化成果評估，並發展臺灣周圍海域暴潮模式。
5. 海嘯模式方面：完成建置海嘯預警作業系統，提供地震發生後各主要港區受海嘯波影響時間及可能之水位變化，完成臺中港及布袋港港以不同波高模擬海嘯波垂直入射後溢淹範圍圖。
6. 臺中港與麥寮港防波堤鄰近海域的地形侵蝕狀態，隨著防波堤長度延伸、海潮流作用與上游河川砂源補注而有明顯的變化。依據歷年相關地形資料與全年流速分析，反應出二處防波堤之堤頭沖蝕現象，經探討可能是海潮流所致。

參考文獻

1. 李兆芳、邱永芳、蘇青和等，2013，"提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究(2/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，民國 102 年 2 月。
2. 李忠潘、陳陽益、薛憲文等，2013，"港灣防波堤特性及防制機制之研究(2/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，民國 102 年 2 月。
3. 何良勝、蘇青和等，2013，"台灣主要港口海域長期性海象觀測及資料特性應用研究(4/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，民國 101 年 3 月。
4. 林廷燦、簡仲璟等，2013，"港灣環境資訊服務系統整合及建置(4/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，民國 102 年 2 月。
5. 邱永芳、蘇青和、李俊穎等，2012，"港灣海象模擬作業化之研究 (1/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，民國 101 年 3 月。
6. 邱永芳、蘇青和、李俊穎等，2012，"整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究 (1/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，民國 101 年 4 月。
7. 邱永芳、蘇青和、李俊穎等，2013，"整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究 (2/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，民國 102 年 3 月。
8. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和等，2013，"提昇海岸及港灣海嘯模擬技術之研究(2/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，民國 102 年 2 月。
9. 劉正琪、邱永芳、蘇青和等，2013，"提昇海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究(2/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，民國 102 年 2 月。
10. Booij, N., Holthuijsen, L. H. and Ris, R. C., "The "SWAN" wave model for shallow water," *Proc. 25th Int. Conf. Coastal Engng.*, Orlando, 668-676 (1996).
11. Chen, Guan-Yu、Chiu, Yung-Fang (2002)，" Building a Forecast System for Near-shore Disaster Prevention, Recovery, and Rescue in Taiwan—Plan of the Center of Harbor and Marine Technology "。第 24 屆海洋工程研討會專題講座論文集，105-110 頁。
12. Kirby, J. T. and Dalrymple R. A., 1983, The propagation of weakly nonlinear waves in the presence of varying depth and currents, *Proc. 20th Congress I.A.H.R.*, Moscow.
13. Lee, T.L., and D.S. Jeng, 2002. Application of artificial neural networks in tide forecasting, *Ocean Engineering*, Vol. 29, pp. 1003-1022.
14. WAMDI group, "The WAM model – a third generation ocean wave prediction model," *J. Phys. Oceanogr.*, 18, 1775-1810 (1988).
- Xu, Z.(2007), "The All-source Green's Function and its Applications to Tsunami," *Science of Tsunami Hazards*, 26(1), pp.59-69.
15. X. Wang and Liu, P. L.-F.(2007): Cornell Multigrid Coupled Tsunami model (COMCOT) User Manual, Cornell University.
16. Xu, Z.(2007), "The All-source Green's Function and its Applications to Tsunami," *Science of Tsunami Hazards*, 26(1), pp.59-69.