

# 整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究

## A study on the integration of Taiwan coastal and harbor's oceanographic modeling systems

主管單位：交通部運輸研究所港灣技術研究中心<sup>1</sup>

邱永芳<sup>1</sup> 蘇青和<sup>1</sup> 李俊穎<sup>1</sup> 陳明宗<sup>1</sup> 單誠基<sup>1</sup>

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

劉正琪<sup>2</sup> 李兆芳<sup>2</sup> 陳冠宇<sup>3</sup> 李忠潘<sup>3</sup>

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

國立成功大學<sup>2</sup> 國立中山大學<sup>3</sup>

### 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，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 HMTTC 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氣地象模擬技術之研究」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。因此本計畫為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) 主要重心為精進臺北港及基隆港港區部份。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，據以作民眾防災自救知識及緊急逃生用。

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、數值模擬及工模型試，並提供港灣堤頭侵蝕防制工法，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。

5. 港灣海象模擬作業化之研究：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；以作業化方式進行本年度各港預報與實測資料處理分析及成果評估；整體作業化系統軟硬體環境的改善及維護。

在先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』及實務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。

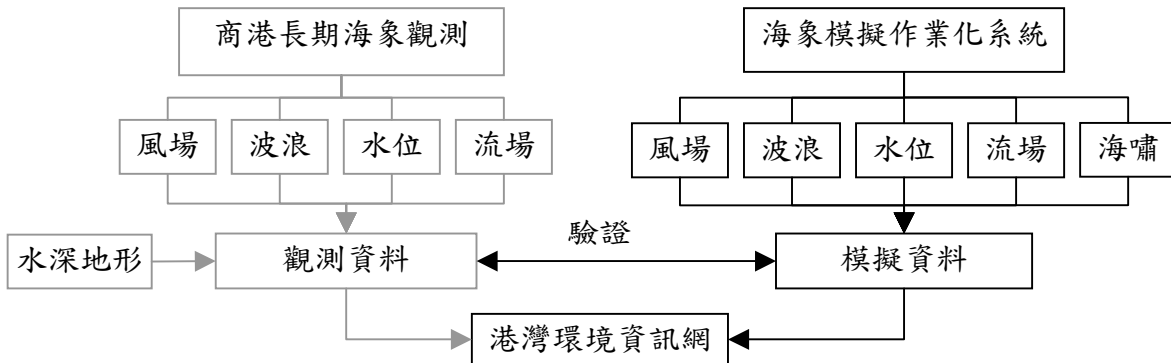


圖 1、海象模擬作業化系統整體架構圖

## 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。

中央氣象局 NFS 預報風場及風壓模式提供三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；臺灣海域預報風場(HC)範圍為北緯 20 度至北緯 26 度，東經 119 度至東經 123 度，網格解析度為 5KM。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 2011 年 8 月 28 日(南瑪都颱風侵臺期間)

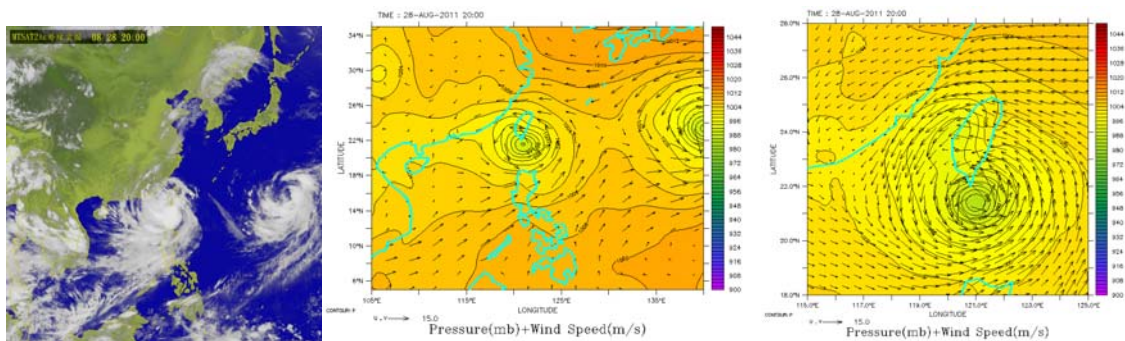


圖 2、中央氣象局當時衛星照片及內插後 RC 及 MC 等氣壓風速預報風場向量圖

### 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：以西太平洋海域為範圍，屬於大尺度的推算，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  $10^{\circ}$  至  $35^{\circ}$ ，東經  $110^{\circ}$  至  $134^{\circ}$ ，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：以臺灣周圍海域模式範圍，屬於中尺度的推算，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  $21^{\circ}$  至  $26^{\circ}$ ，東經由  $119^{\circ}$  至  $123^{\circ}$ ，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 為本系統南瑪都颱風 8 月 28 日 20 時動作業化所產生之海象波高圖。

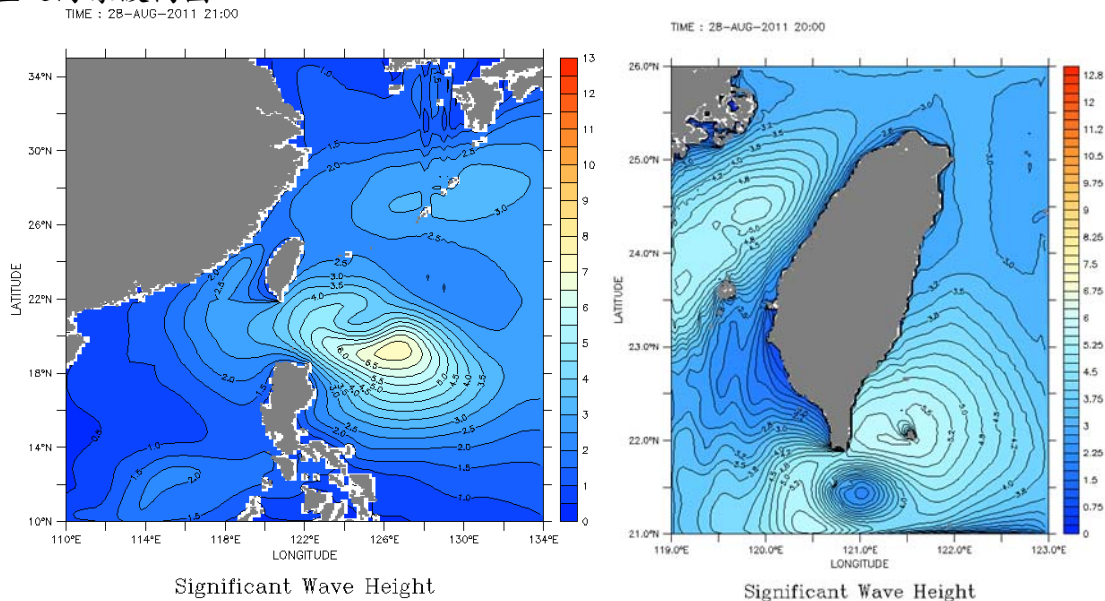


圖 3、南瑪都颱風 8 月 28 日 20 時波高分佈圖

#### 3.2 近岸波浪模式

近岸波浪推算：小尺度的近岸區域模式系統，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。本年度以臺北港及基隆港為研究重心，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。如圖 5 所展示基隆港波浪模擬視窗畫面圖。

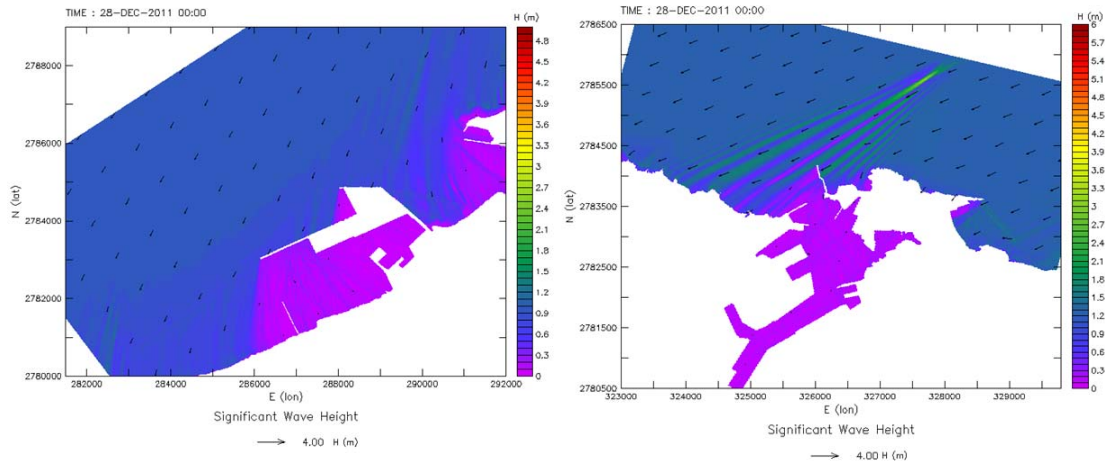


圖 4、REF/DIF 模式模擬國內各港近岸波浪模擬結果之波高分布與波向

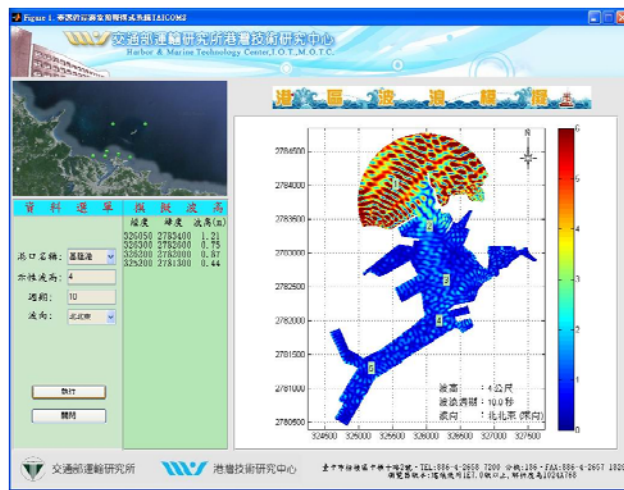


圖 5、細尺度基隆港波浪模擬視窗畫面圖

#### 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：以西太平洋海域為範圍，屬於大尺度的推算。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'×10' (10 分網格)。

近域水動力推算：以臺灣周圍海域模式範圍，屬於中尺度的推算，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'×1' (1 分網格)。下圖為線上模擬南瑪都颱風 8 月 28 日 20 時自動作業化所產生之西太平洋海域及台灣海域水位圖。

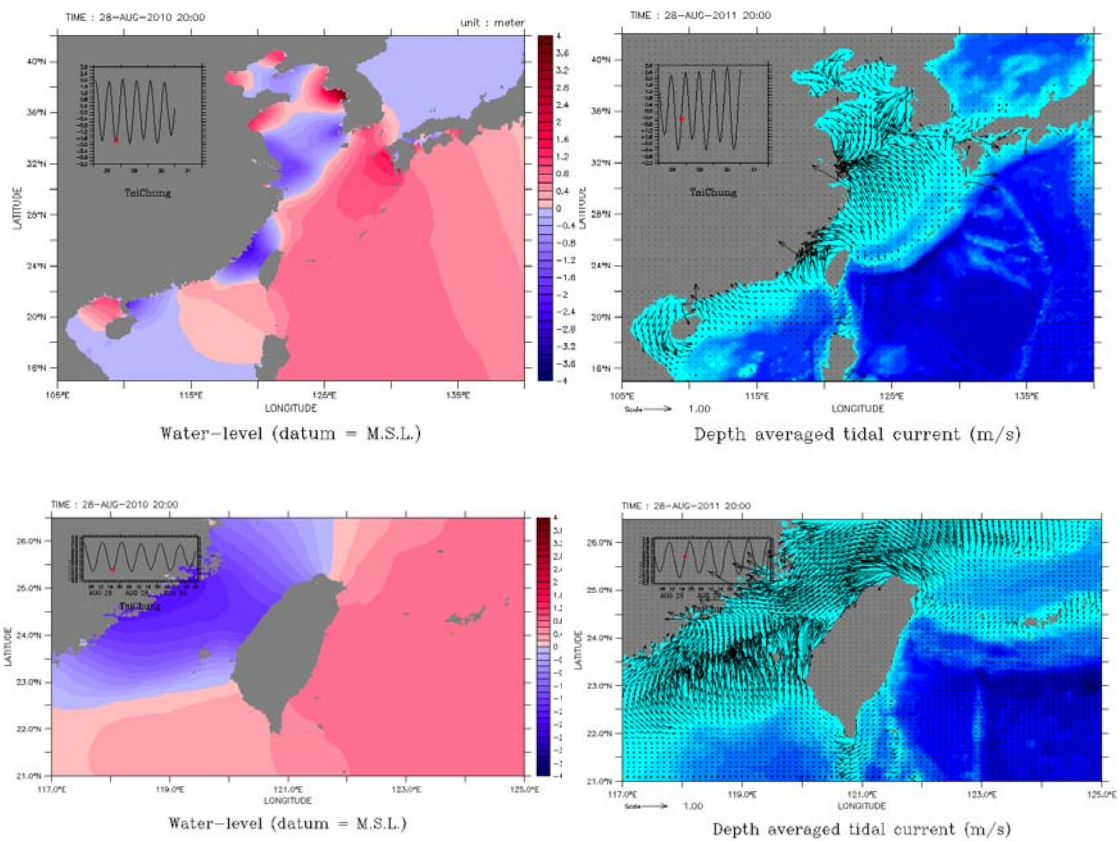


圖 6、南瑪都颱風 8 月 28 日 20 時水動力模式模擬海域水位及流場圖

## 4.2 近域水動力模式

小尺度的近岸區域模式系統，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。本年度以臺北港及基隆港為研究重心，結合內插後港外預報風場，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 7 所示。

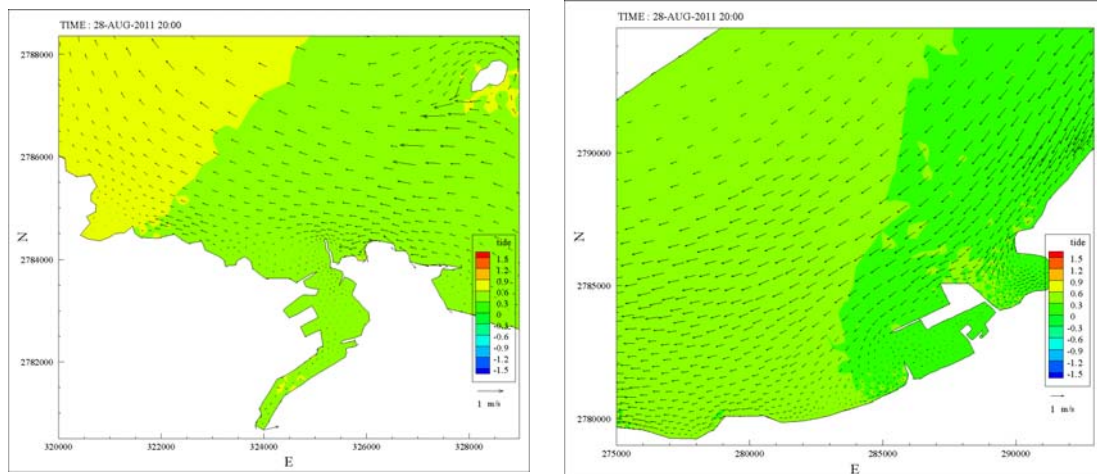


圖 7、南瑪都颱風 8 月 28 日 20 時基隆港及台北港流速流向分布圖

## 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。圖 8 以本系統及日本 311 地震參數計算蘇澳港之海嘯波到達時間及水位時序分佈，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。

本年度計畫精進基隆港域及台北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。完成海嘯模擬預警即時地震資料擷取系統，並增加日本防災科學技術研究所(NIED)所提供之 F-net 即時地震資料庫，以供與 USGS 與 CWB 資料庫結果比較。

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 公尺之台北港、基隆港數值地形圖，以不同波高之孤立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 9 臺北港及基隆港陸地受 4m 波高溢淹範圍圖。

海嘯資訊作業化部分目前已透過港灣環境資訊網提供各港(基隆、臺北、臺中、安平、布袋、高雄、蘇澳以及花蓮)，當地震發生後主動擷取 USGS 相關網頁地震的相關詳細參數，並立即提供震央位置圖以及海嘯抵達臺灣各港區時間及模擬水位高度等供使用者查詢。

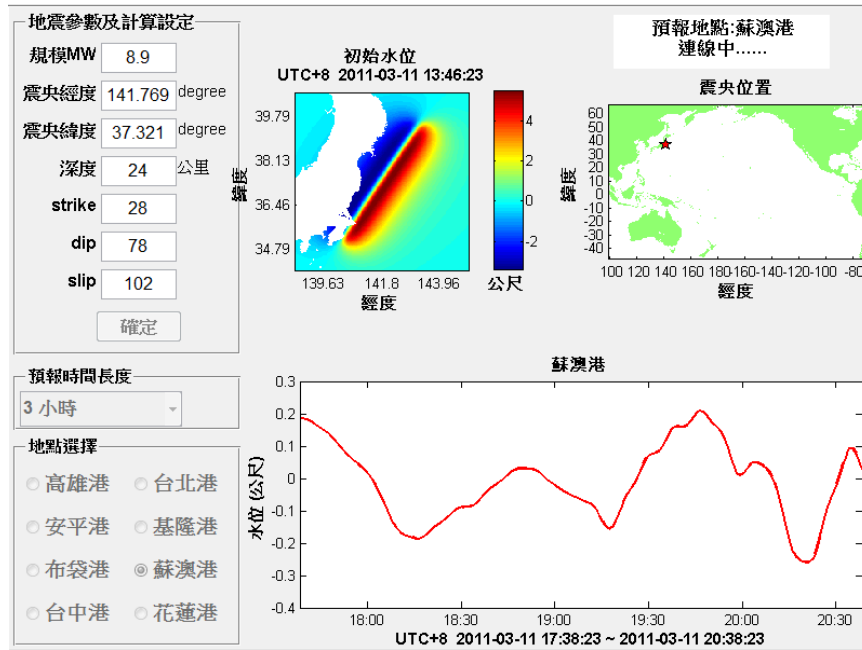


圖 8、以本系統及日本 311 地震參數計算蘇澳港之海嘯波到達時間及水位時序分佈

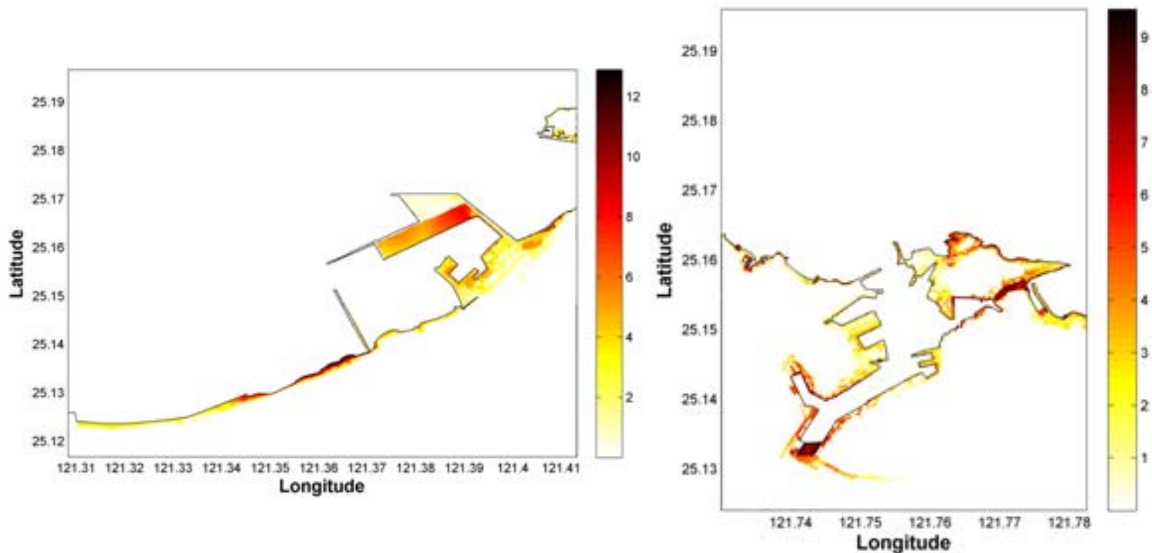


圖 9、臺北港及基隆港陸地受 4m 波高溢淹範圍圖

## 六、臺中港及麥寮港港灣防波堤堤頭沖蝕特性分析

波浪或海流通過海中結構物時，會在結構物臨近底床造成沖蝕，導致結構的破壞甚或傾倒，計畫內針對臺中港及麥寮港防波堤堤頭沖蝕現象，進行相關研究。其中臺中港自民國 86 年開始 -25m 沖刷洞的沖刷截面積與沖刷體積逐年加大，侵蝕量至民國 90 年時到達最大；民國 90 年至 94 年期間，沖刷洞的沖刷截面積與沖刷體積逐年減小，亦即沖刷洞又逐漸回淤。然而民國 95 年時，沖刷洞又發生嚴重侵蝕現象。麥寮港自民國 90 年開始 -35m 沖刷洞的沖刷截面積與沖刷體積逐年加大，侵蝕量至民國 96 年時到達最大；民國 96 年至 99 年期間，沖刷洞的沖刷截面積與沖刷體積逐



年減小，沖刷洞逐漸回淤。圖 10 及圖 11 為 100 年度計畫內於臺中港及麥寮港堤頭現場觀測水深圖。臺中港部分堤頭掏刷區域在正對堤頭往外海方向約 140m 處，掏刷最深約 -38m。麥寮工業港部分掏刷最深處位於堤頭向外海西南方延伸約 400m 處；堤頭西方約 180m 處亦有刷深現象，最深處約 -42m。

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。臺中港與麥寮港海域流況明顯大於台灣其他港域（波浪並無此現象），致此二港區堤址水深雖達-20m 以上，仍然發生嚴重沖蝕現象，尤其堤頭之處更是明顯。此現象反應出二處防波堤之堤頭沖蝕現象，經初步探討可能是潮流所致。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。

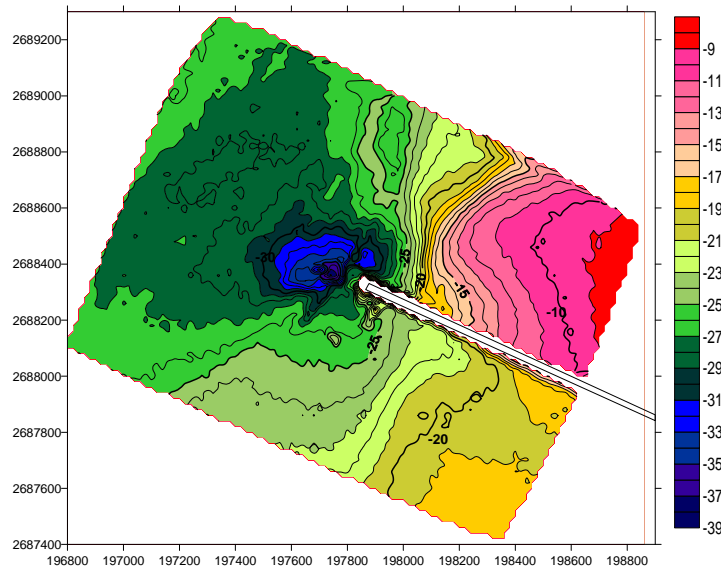


圖 10、臺中港北防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖

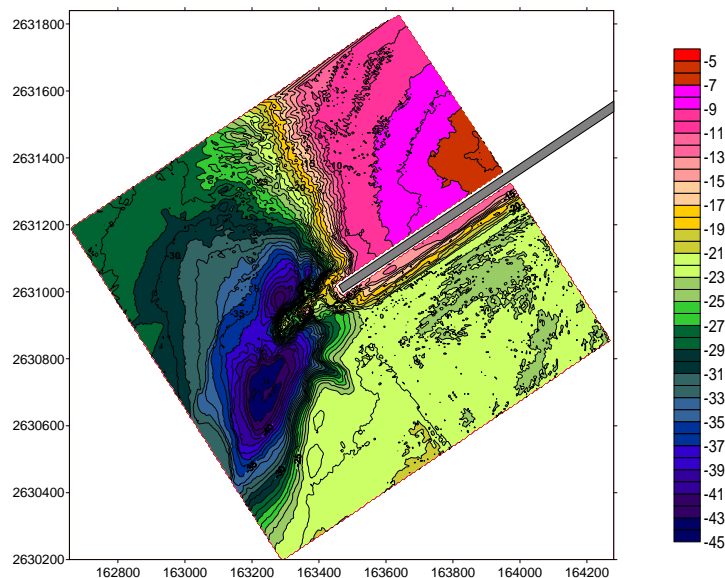


圖 11、麥寮工業港西防波堤堤頭水深測量等深線水深色階圖

## 八、結論與建議

### 8.1 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，完成建置基隆港及臺北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，完成建置基隆港及臺北港小尺度波浪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。

5. 海嘯模式方面：本所以前期發展海嘯速算系統在日本 311 海嘯期間提供災防中心(NCDR)海嘯在臺灣各大港口的的水位變化，得到相當好的即時預報成果。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，完成臺北港及基隆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。臺中港與麥寮港海域流況明顯大於台灣其他港域(波浪並無此現象)，反應出二處防波堤之堤頭沖蝕現象，經初步探討可能是潮流所致。

### 8.2 建議

本年度在海象港區尺度數值作業化部份(波浪、潮流、海嘯) 主要重心為精進臺北港及基隆港部份，於後續計畫年度將擴大至臺灣各國際商港。

## 參考文獻

1. 李兆芳、劉正琪、邱永芳、蘇青和等， 2012， "提升海岸及港灣海域波浪模擬技術之研究(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 3 月。

2. 李兆芳、劉正琪、邱永芳、蘇青和等，2012，"提昇海岸及港灣海域水位與海流模擬技術之研究(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3月。
3. 李忠潘、陳陽益、薛憲文、曾以帆、邱永芳、蘇青和、李俊穎等，2012，"港灣防波堤特性及防制機制之研究(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。
4. 何良勝、蘇青和等，2012，"台灣主要港口海域長期性海象觀測及資料特性應用研究(3/4)"，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。
5. 林廷燦、曾惠君、簡仲璟等，2012，"港灣環境資訊服務系統整合及建置(3/4)"，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，"港灣海象作業化之研究(1/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，基本研究報告，MOTC-IOT-100-H3DA005e。
7. 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3月。
8. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和等，2012，"提升海岸及港灣海嘯模擬技術與淹水潛勢分析(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。
9. 蔡立宏、徐如娟(2011)，「臺灣近岸港域地形變遷與環境調查研究(2/4)」，交通部運輸研究所主辦，中華民國100年1月。
10. Battjes, J. A. and Janssen, J. P. F. M., "Energy loss and set-up due to breaking of random waves," Proc. 16th Int. Conf. Coastal engineering, ASCE, 569-587 (1978).
11. Booij, N., 1981, Gravity waves on water with non-uniform depth and current, Department of Civil Engineering, Delft University of Technique, Delft, The Netherlands, Report No. 81-1.
12. 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).
13. Booij, N., Holthuijsen, L. H. and Haagsma, IJ. G., "Comparing the second generation HISWA wave model with the third-generation SWAN wave model," 5th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Melbourne, Florida, 215-222 (1998).
14. 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。
15. Kirby, J. T., 1986, Higher-order approximations in the parabolic equation method for water waves, Journal of Geophysical Research, Vol. 91, No. C1, pp. 933-952.
16. Lee, T.L., and D.S. Jeng, 2002. Application of artificial neural networks in tide forecasting, Ocean Engineering, Vol. 29, pp. 1003-1022.

17. Loomis, H.G. (1979), "Tsunami prediction using the reciprocal property of Green's functions," *Mar. Geod.*, 2(1), pp.27-39.
18. 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.