

整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(3/4)

A study on the integration of Taiwan coastal and harbor's oceanographic modeling systems(3/4)

主管單位：¹交通部運輸研究所港灣技術研究中心

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

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

²國立成功大學 ³國立中山大學

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，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。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) 主要重心為精進高雄港及安平港港區部份，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 marine meteorology simulation technology on coastal and harbor areas ", " Risk Analysis on Harbor Area and Bridges across Rivers ", " Supplying waves, tides, currents and tsunamis' information to major harbors in Taiwan 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. The objects of the project in this year are mainly on Kaohsiung Harbor and Anping Harbor. The related jobs include improving techniques of operative forecasting on wave, water level, current field, and tsunami models

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

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，持續擴充一套適用於臺灣海域之近岸海象預報系統，並同時整合港灣海氣象觀測及配合港灣環境資訊系統建置。本計畫目標是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。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，本年度在海氣象數值模擬作業化部份(波浪、潮流、海嘯) 主要重心為新納入中央氣象局風場與精進高雄港及安平港港區部份。所涵蓋子計畫主要工作目的如下：

1. 提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究：

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航港局及港務公司各港口航運安全之風浪預警資訊。考慮氣候變遷效應，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。

2. 海嘯對港區及跨河橋樑之影響風險評估研究：

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，建立跨河橋樑受海嘯影響數值模式，據提高港灣防災能力，及建立民眾自救知識與緊急逃生用。

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。

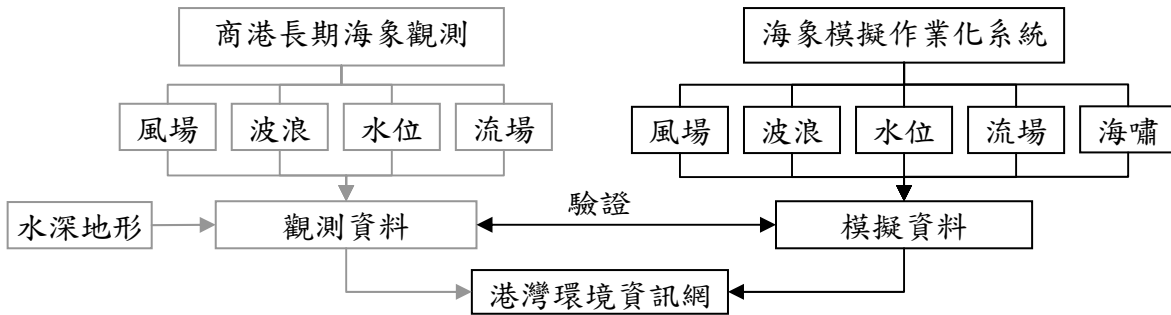


圖1、海象模擬作業化系統整體架構圖

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(Non- hydrostatical Forecast System)及 WRF(Weather Research and Forecasting model)預報風場及氣壓模式，計畫內使用提供 5 種不同尺度範圍之風場，西太平洋預報風場(NFS-RC、WRF-WA01)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(NFS-MC、WRF-WA02)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，臺灣周圍預報風場(WRF-WA03)範圍約為北緯 20 度至北緯 28 度，東經 117 度至東經 124 度，網格解析度為 5KM，。圖 2 為中央氣象局當時衛星照片及預報風場內差後等氣壓風速預報風場向量圖，時間為 2013 年 7 月 13 日(蘇力颱風侵臺期間)。

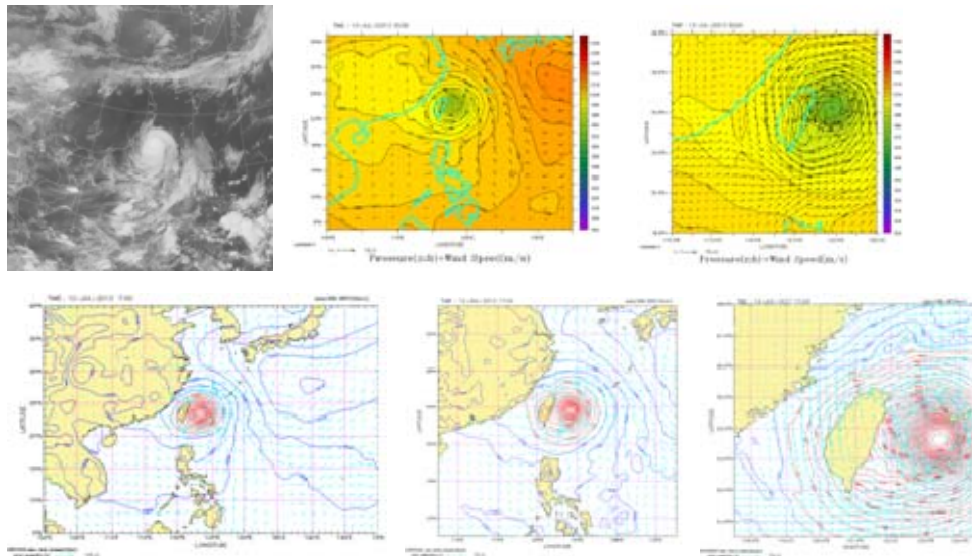


圖2、中央氣象局當時衛星照片及內插後NFS-RC、NFS-MC、WRF-WA01、WRF-WA02、WRF-WA03等氣壓風速預報風場向量圖

三、波浪模式建置與應用

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 27° ，東經由 117° 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 時間為 2013 年 7 月 13 日 3 時(蘇力颱風侵臺期間)平時作業化所產生之遠域及近域海象波高圖。

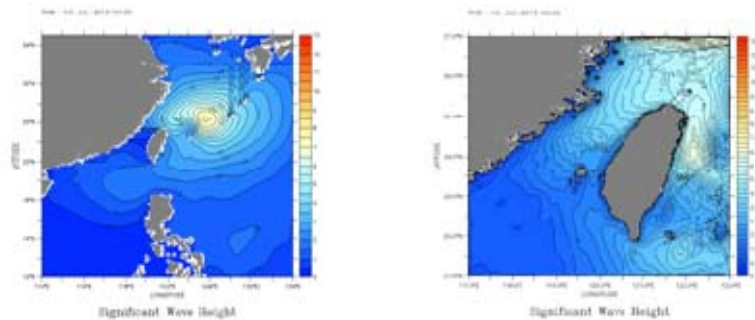


圖3、蘇力颱風7月13日3時波高分布圖

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。本年度以高雄港及安平港為研究重心，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。

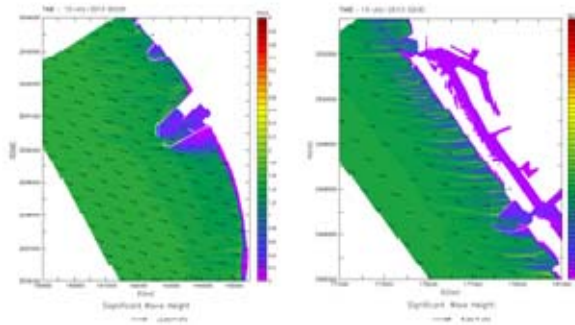


圖4、近岸波浪模式模擬安平港、高雄港近岸波浪模擬結果之波高分布與波向

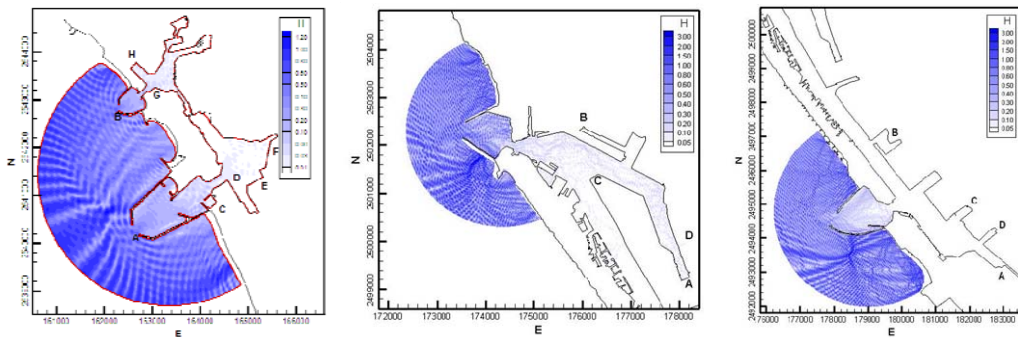


圖5、港域波浪模式於安平港、高雄港1港口及高雄港2港口波浪模擬展示視窗畫面圖

四、水動力模式建置與應用

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，與中央氣象局每日預報之動態風場結合，成為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：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，與中央氣象局每日預報之動態風場結合，成為臺灣環島二維水位及海流模式，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)。下圖為線上模擬蘇力颱風 2013 年 7 月 13 日 3 時動作業化所產生之西太平洋海域及台灣海域流場圖。

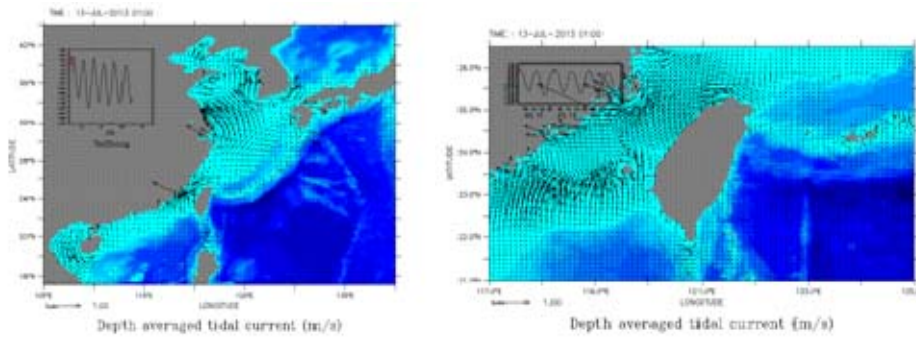


圖6、蘇力颱風2013年7月13日3時水動力模式模擬海域流場圖

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。本年度以高雄港及安平港為研究重心，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。

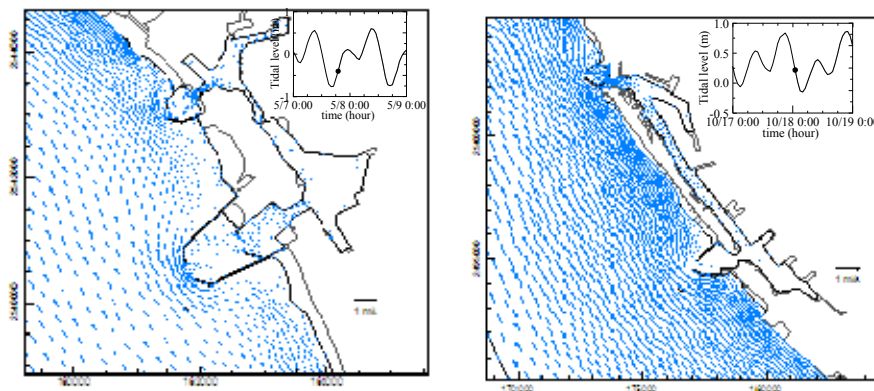


圖7、安平港及高雄港流場模擬結果之流速向量圖

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，進行颱風暴潮模擬工作，本計畫陸續完成 2012 年 1 月至 2013 年 12 月中尺度臺灣周圍海域天文潮水位模擬，並將每小時整點之模擬結果儲存成檔案，供本計畫後續有關數值模擬結果分析及應用之需。此外，本計畫選取時間 2012 年 8 月 2 日零時至 12 時之逐時模擬結果(相當於大潮期間)繪出等水位分布情形，由逐時等水位分布變化情形可顯示出天文潮潮波同時由臺灣本島南北兩端分別沿著西南及西北部海岸往臺灣海峽傳播之特性。

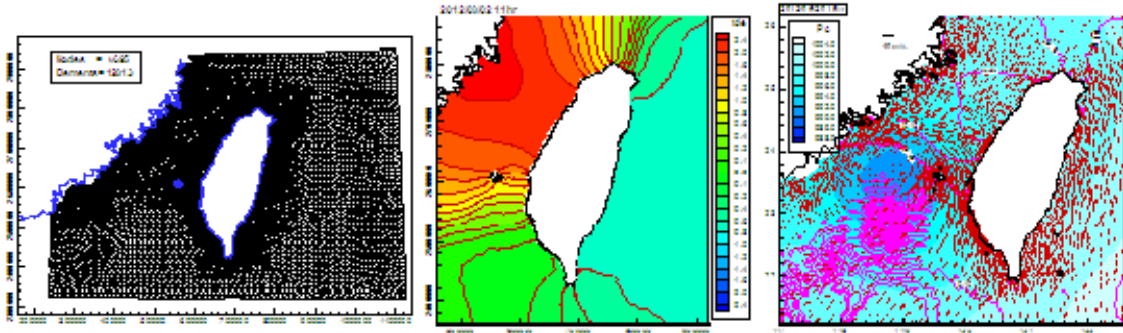


圖8、臺灣周圍數值網格圖、等水位分布圖、及海域暴潮偏差分布圖

五、海嘯模式建置與應用

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及提供較充裕之預警時間及海嘯資訊，已將近岸海嘯預警系統拓展至整個太平洋海域，強化應變海嘯風險能力。發展系統應用格林函數之可逆性值，可減少不必要嘯模擬之時間，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，8 個點位推估海嘯波到達時間及水位時序分佈計算時間約在 3 分鐘內完成。

本年度精進高雄港域及安平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，每 5 分鐘同步擷取日本防災科學技術研究所 Fnet(Full Range Seismograph Network of Japan)、美國國家地震資訊中心 USGS(U.S. Geological Survey)與中央研究院地科所臺灣地區寬頻地震觀測網(Broadband Array in Taiwan for Seismology (BATS))。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，配合內政部網格解析度 5 公尺數值地形檔，內插製作網格解析度為 5 公尺之安平港、高雄港數值地形圖，以不同波高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 安平港、高雄港陸地受 1m 波高溢淹範圍圖。安平港、高雄港海嘯風險評估，安平港在未來 50 年間發生海嘯且溢淹之機率為 9.84%，100 年為 19.43%；高雄港未來 50 年間發生海嘯且溢淹之機率為 0.55%，100 年為 1.09%。其分析結果安平港風險值高於高雄港，主要原因為安平港之地形近岸大多為沙洲為主；而高雄港現有高程可抵擋大部份震源及地震矩規模所產生之波高，不至於產生溢淹，故其風險值較低。

參考 Megawati et al. (2009)所建立之馬尼拉海溝的地震參數，第一波海嘯約 20 分鐘抵達高屏溪口，海嘯波沿高屏溪河道上溯約 9 公里遠，溯上高度最高水位有 3 公尺高，雙園大橋首當其衝；模擬潮汐為高潮位及低潮位兩種不同邊界之條件並對其溯上之水位無較大影響；當入射波高大於 3 公尺，其海嘯波才會沿高屏溪河道上

溯至雙園大橋，如圖 11 所示。

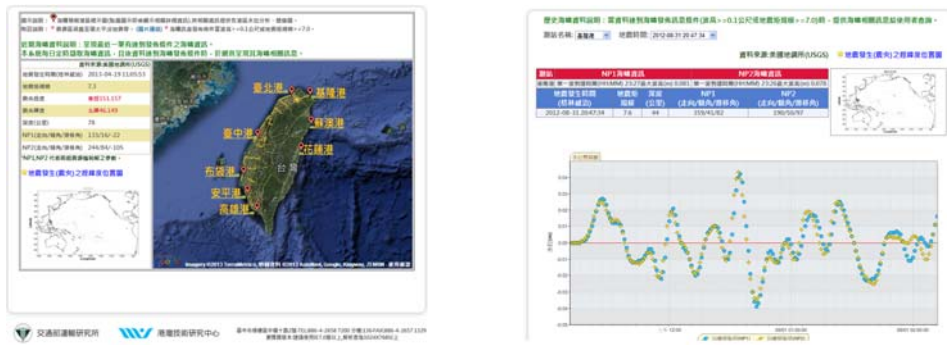


圖9、系統模擬展示頁面(港區位置圖及海嘯水位歷線圖)



圖10、安平港及高雄港陸地受1公尺波高溢淹範圍圖

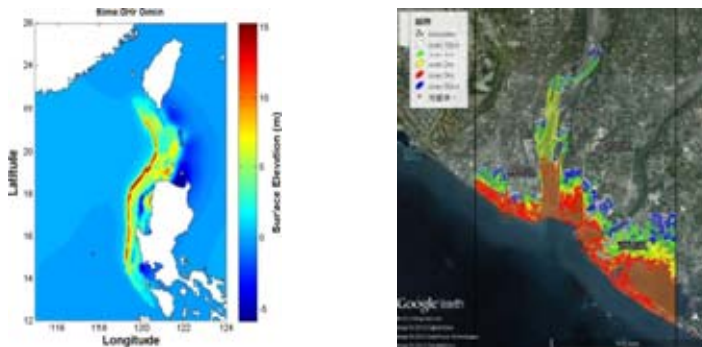


圖11、參考Megawati et al.之地震參數建立初始水位及結合Google Earth之溢淹圖

六、港灣環境資訊網海象模擬成果展示

港灣環境資訊網主要為本所彙整海象觀測資料及模擬資料，該系統主要利用網頁結合 Google Map 與網際網路之技術，結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。本計畫協助建立其海象模擬預報網頁，平時提供各港區、臺灣周圍海域及藍色公路，有關風場、波浪、水位及流場等海象資訊，與海嘯模擬資訊，其作業化成果已彙整展示於(<http://isohe.ihmt.gov.tw/>)，展示畫面如圖 12 所示。

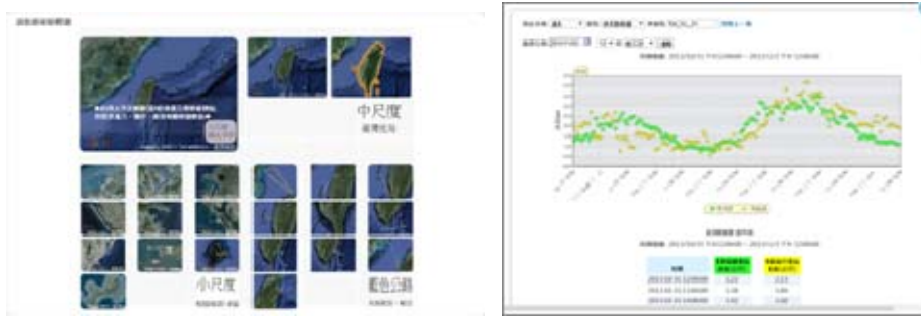


圖12、為臺灣環境資訊系統海象模擬網頁及所展示波高歷線圖

七、結論

配合本中心臺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，以供各港務單位港口船舶交通航運安全及各相關單位參考使用。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 3 小時之內完成大尺度及中尺度預報。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 風場模式並進行各港區風場(氣壓)預報模式年度及颱風期間作業化成果評估。今年度新增中央氣象局 WRF 風場並與中央氣象局介接，完成所需新一代風場作業化部分，將可提升現有系統預報密度及時效性。
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，及已完成建置基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、臺中港、臺北港小尺度波浪模式 (REFDIF) 作業化，並完成各港區年度及颱風期間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，及已完成建置高雄港及安平港小尺度水動力模式作業化，並完成各港區年度及颱風期間水位及海流預報模式作業化成果評估，另進行臺灣周圍海域模擬範圍的中尺度有限元素計算模組規劃建置。
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，完成高雄港及安平港以不同波高模擬海嘯波垂直入射後溢淹範圍圖。
6. 配合本所臺灣環境資訊系統需求，協助建立海象模擬預報網頁，平時提供各港區、臺灣周圍海域及藍色公路，有關風場、波浪、水位及流場等海象資訊，以供交通部航港局、臺灣港務公司港口及各相關單位參考使用。

參考文獻

1. 何良勝、蘇青和等，2011，"台灣主要港口海域長期性海象觀測及資料特性應用研究(2/4)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，基本研究報告，MOTC-IOT-99-H2DA001。
2. 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，MOTC-IOT-100-H3DB005c。
3. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和等，2012，"海嘯對港區及跨河橋梁之影響風險評估研究(1/2)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告，MOTC-IOT-102-H3DB005c。
4. 葉天降、馮欽賜、柳再明等，2012，中央氣象局數值天氣預報作業系統(二)預報模式概況。氣象學報，第48卷第4期69-95。
5. 劉正琪、李兆芳、邱永芳等，2013，"提昇海岸及港灣海域海象模擬技術之研究(1/2)"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，研究報告。
6. 劉俊志、陳冠宇，2008，"以逆向格林函數快速預報高雄港外海嘯高度"天氣分析與預報研討會，中央氣象局。
7. 簡仲璟、劉清松、林廷燦、劉益琪、林珂如等，2011，"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，MOTC-IOT-100-H3DB003a。
8. 曾相茂，「臺灣國際港口海氣象觀測技術及資料分析」，海氣象觀測資料應用暨港灣結構物安全檢測作業研討會論文集，1-1頁至1-27頁，2011年。
9. 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).
10. 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。
11. 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.
12. Lee, T.L., and D.S. Jeng, 2002. Application of artificial neural networks in tide forecasting, *Ocean Engineering*, Vol. 29, pp. 1003-1022.
13. Megawati, K., F. Shaw, K. Sieh, Z. H. Huang, T. R. Wu, Y. Lin, S. K. Tan and T. C. Pan (2009), "Tsunami hazard from the subduction megathrust of the South China Sea: Part I. Source characterization and the resulting tsunami". *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol.36, Issue 1, p.13 - 20. Elsevier
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.