

# 臺灣近岸防救災預警系統技術與作業化之研究

## Research on Technology and Operating of a Forecast System for Near-shore Disaster Prevention and Rescue forecast

主辦單位：交通部運輸研究所港灣技術研究中心

執行單位：交通部運輸研究所港灣技術研究中心

邱永芳 蘇青和 陳明宗 李俊穎

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

### 摘要

本計畫是依據近年國家科技發展計畫，在交通部有關促進海洋及海岸科技研發、建立良好海岸環境、減低海洋污染及海岸天然災害等目標，以擬建立一套適用於臺灣海域之近岸海域防救災預報系統。前幾個年度工作重點，為建置作業化臺灣近岸海象預報系統-TaiCOMS (Taiwan Coastal Operational Modeling System)，包括數值預報系統自動化的建立與現場觀測資料比對驗證。近年主要研究工作目標為近岸波潮流之模擬技術與污染控制之預警精度及作業化功能改進。模式發展方面，除風場及氣壓場預報模式，由氣象局提供即時資訊，各項本土化波浪模式、水位模式、流場模式、擴散模式及海嘯模式持續進行模式校驗。預報系統評估工作則以自動作業化方式進行全年推算，並取用現場觀測資料進行檢驗精度評估。未來研究目標希望在近海海象預報模擬系統的預報時間能夠在六小時內完成，並持續建置主要港口近岸及港域模式。

關鍵詞：波浪模式、水位模式、流場模式、擴散模式及海嘯模式

### Abstract

In order to protect human lives and properties coastal engineering measures had to taken for preventing disastrous such as dangers of attack from high waves, surges and coastal erosion. Therefore, to develop an integrated coastal ocean modeling system is urgently required. The major items of the works are on-line operations of the models of the 7 major harbor areas. The evaluations of the on-line operations are long-term simulations of the winds, waves, tides and tidal currents. In the future to establish storm surge forecast and flow forecast. Then to integrate these process models in Geographic Information System for predicting the marine meteorology surround Taiwan will be the major objective for the project. The project of this year includes two subprojects::(1)Localize modeling techniques on wave, tide, currents and dispersions. (2)Evaluation of the operations during this year's typhoon periods.

Keywords : Wind-wave forecast ; Storm surge forecast ; Flow forecast.

## 一、前言

近年在本所港灣技術研究中心的努力下已在臺灣五大商港去建立觀測站來觀測及紀錄波浪的資料，並藉解析的方法來重現波浪的產生情況，此法只適用於單點產生的波浪推算，難對整個臺灣海域全面的波浪情況掌握。

本所港灣技術研究中心長期為國內港灣建設、海岸開發及航運安全提供所需的資訊與服務，為保護和利用近岸海域，邁向 21 世紀的海洋國家，除近岸海域的使用外，應著重百姓生命財產的保護，以補往昔之不足。因此，近岸防救災系統的建立是在 21 世紀配合臺灣要邁向海洋國家最重要的施政項目之一。本研究擬以計畫執行期間，結合國內專家學者，藉由國外的發展經驗，擬建立一套適用於臺灣海域之近岸海域防救災預報系統。主要研究目的有以下幾項：

1. 建立本土化之風浪預報模式，提供環島藍色公路全年航行之風浪資訊需求。並建立區域性之風浪模式，提供港口航運安全所需之風浪預警資訊。
2. 建立本土化之水位預報模式，以整合臺灣環島海岸觀測水位資料，及數值模擬結果，迅速且精確的提供海岸溢淹之預警資訊。
3. 配合數值模式推算長期颱風波浪及暴潮水位，以檢討現有沿海防護設施的設計水位、設計波高標準，並做為海岸災害防護措施的依據。
4. 建立大域及區域性之流場模式，迅速的提供緊急海難、油污擴散、港口航運安全所需之流場預警資訊。
5. 建立近岸與港區包括油污及不同污染物擴散數值模式，以能迅速正確掌控海岸各種污染擴散現象，以提供救災必要之資訊。
6. 配合本所海情中心業務，建立近岸防救災預報系統，並採用地理資訊系統之人性化操作界面，以利各界之使用。

本計畫在上一期之研究期程已規劃完整的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，系統架構如圖 1 所示。相關預報數值模式架構如圖 2 所示。

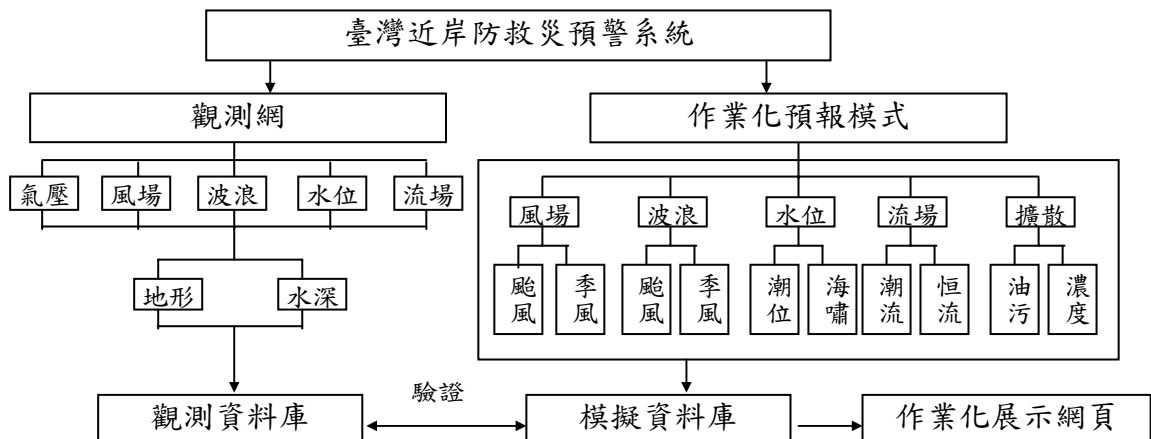


圖 1、臺灣近岸防救災預警系統架構圖

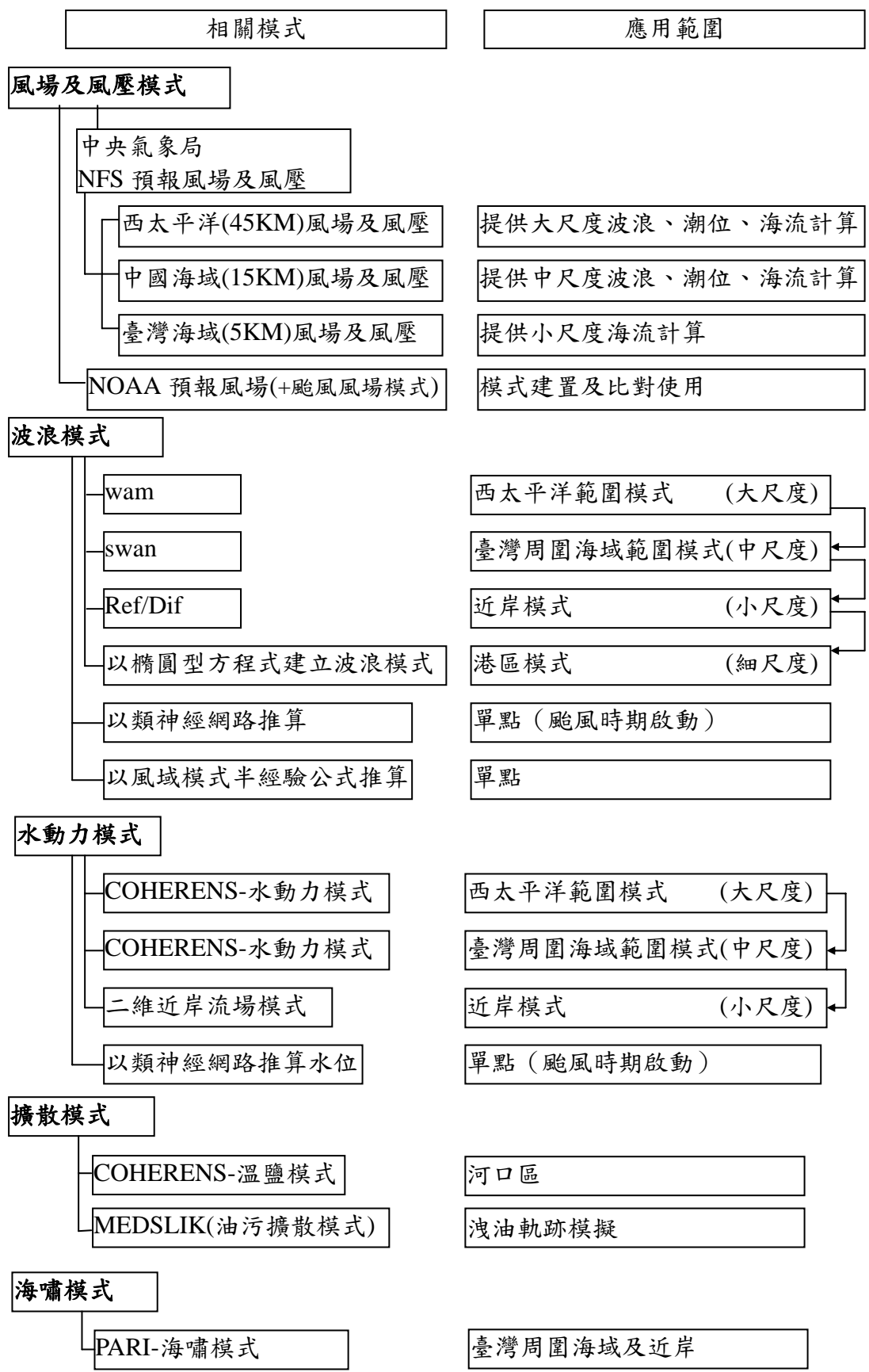


圖 2、TaiCOMS 系統下相關模式架構圖

模式系統的建置方面，上一期之研究期程波浪模式部份，已完成建立 WAN 模式、SWAN 模式、類神經網路颱風波浪模式、半經驗颱風波浪模式等 4 種風浪模式，波浪模式之大小網格最佳化及水深資料建立。並完成幾個港區附近海域之區域性近岸波浪模式，以期有更準確、更有效率的預報臺灣沿岸海域的風浪。水位模式方面；建置本土化之潮汐及風暴潮水位預報模式，以臺灣環島海岸觀測水位資料，校驗數值模擬結果。海流模式方面已建立二維及三維全域水動力模式，並完成二維流場模式之驗證。擴散模式則初步建立近岸與港區包括油污及不同污染物擴散數值模式，以期能迅速正確掌控海岸各種污染擴散現象。預報系統方面則建置防救災預報系統網站，在完整取得中央氣象局每日預報氣象資料，也完成臺灣近海海域模式即時現報作業系統測試。

本年度主要研究工作目標為近岸波潮流之模擬技術與污染控制之預警精度及作業化功能改進。模式發展方面，除風場及氣壓場預報模式，由氣象局同步提供即時資訊，各項本土化波浪模式、水位模式、流場模式、擴散模式及海嘯模式持續進行模式校驗。預報系統評估工作則以自動作業化方式進行全年推算，並取用現場觀測資料進行檢驗精度評估，而颱風期間列為評估重點。

其次海氣象觀測站之長期觀測分析與預報系統之整合，包括相關觀測資料蒐集分析、與氣象局及水利署等單位協調、各種模組整合計算結果比對等皆是重點工作。有關預報模式作業化成果評估，各種海氣象波浪模式精確度、計算速度改進及成果評估，皆以自動作業化方式進行全年逐日預報結果，並取用七個主要商港及氣象局現場觀測資料進行校驗及精度評估等工作，最後以環島近岸長期風場、波浪、水位及海流等模擬結果分析，以求得重要據點之海氣象特性。

未來研究目標希望在近海海象預報模擬系統的預報時間能夠在氣象局發佈氣象預報後三至六小時內完成。在配合本所海情中心建置計畫，建立近岸防救災預報網路查詢系統，隨時提供各相關單位參考，以提昇港埠營運效能，同時對於各種突發狀況，可以快速研擬緊急因應對策。

## 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。目前亦已透過國際合作取得 2001 年至 2002 年全年 NOAA 預報風場，作為計畫模式建置參考驗證使用。

NOAA 全球預報風場範圍為南緯 78 度至北緯 78 度，西經 180 度至東經 180 度，經度部份網格解析度為 1.25 度一格，緯度部分為一度一格，使用上仍需利用內插法求得所需要地區的風場。圖 3 為 NOAA 全球預報風場向量圖，時間為 2002 年 7 月 1 日 3 點。

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 4~6)，西太平洋預報風場範圍為南緯 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，以便得到更符合臺灣海域的風場狀況。圖 4 至圖 6 為中央氣象局 NFS 預報風場模式三種不同尺度範圍之預報風場向量圖，時間為 2004 年 12 月 1 日 0 點。

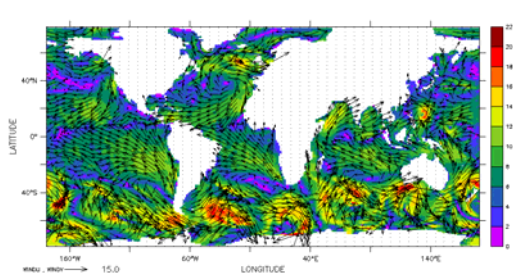


圖 3、NOAA 全球預報風場

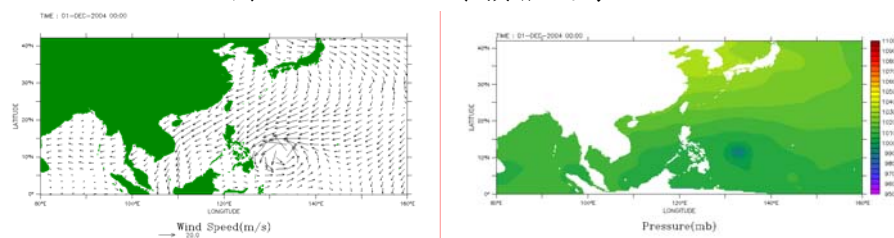


圖 4 中央氣象局 NFS 風場模式西太平洋(45KM)風場向量圖及等氣壓圖

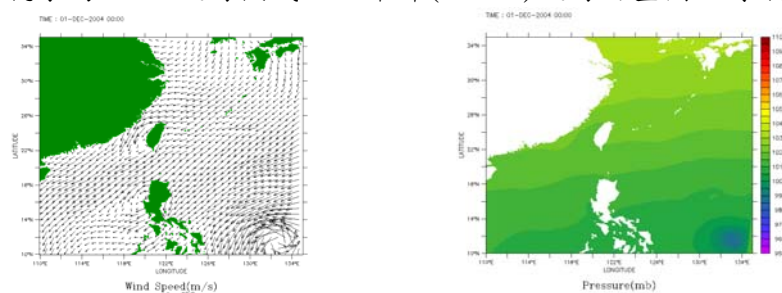


圖 5、中央氣象局 NFS 風場模式中國海域(15KM)風場向量圖及等氣壓圖

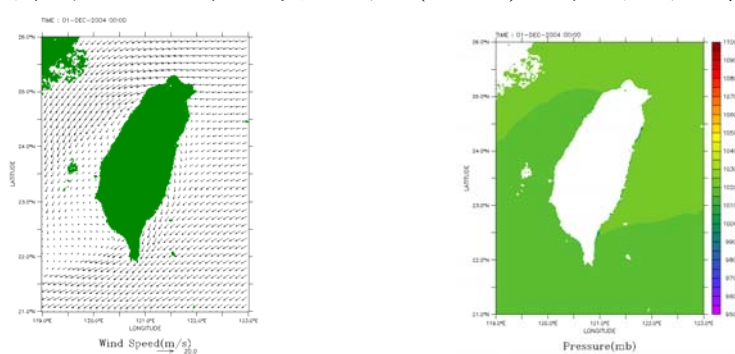


圖 6、中央氣象局 NFS 風場模式臺灣海域(5KM)風場向量圖及等氣壓圖

### 三、波浪模式

全域波浪模式大區域方面引用 WAM 及 SWAM 兩種風浪模式，小區域方面引用 REF/DIF 及以橢圓型緩坡方程式(MSE)建立之兩種波浪模式，並規劃大中小細等四種尺度的計算範圍，各模式架構可參考圖 2，期將台灣海域所有可能預報的波浪狀況包含在其中。

### 3.1 WAM 風浪模式

本系統所使用的全域風浪模式是經過 WAMDI Group (1988)在模式的物理過程和數值方法上加以改良後，適用遠域風浪預報的 WAM 模式(Wave Model)。WAM 模式所使用的基本控制方程式為波浪能量平衡方程式，此方程式能描述方向波譜在時間及空間上的變化過程。這些變化過程包括風傳遞到波浪的波能輸入條件、白沫效應、底床摩擦和波、波之非線性交互作用。下圖為本系統線上模擬聖帕颱風(20070818 01:00)海象波高、波向、週期圖。

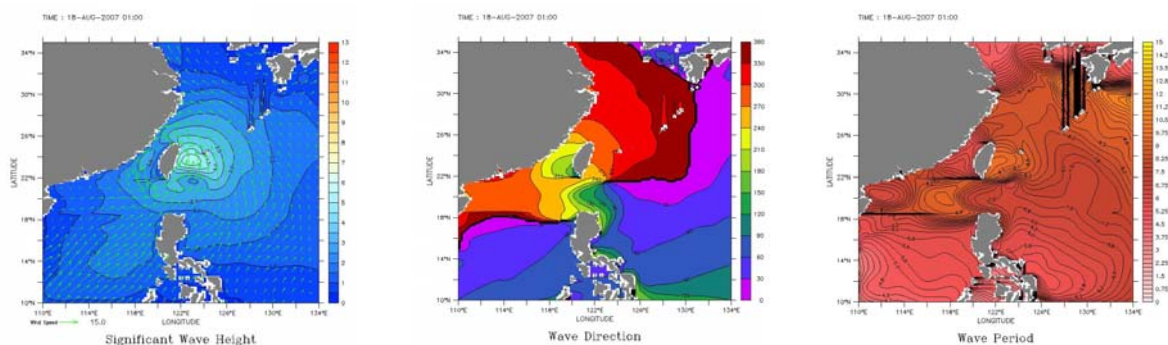


圖 8、2007 年聖帕颱風侵台時 wam 模擬波高、波向、週期圖

### 3.2 SWAN 風浪模式

臺灣周圍海域的波浪模式係引用由荷蘭 Delft 技術大學所發展的波浪模式 SWAN 模式(Simulating WAVE Nearshore, Booij et al., 1996)。SWAN 模式是一個利用風、海底底床及海流狀況以獲得在海岸地區、湖泊或河口附近水域的合理預估的波浪參數的波浪數值模式，這個數值模式基本上是依據波浪作用力平衡方程式或是沒有流作用下的能量平衡方程式，以及源流與沉流。下圖為本系統線上模擬聖帕颱風(20070818 01:00) 臺灣周圍海域海象波高、波向、週期圖。

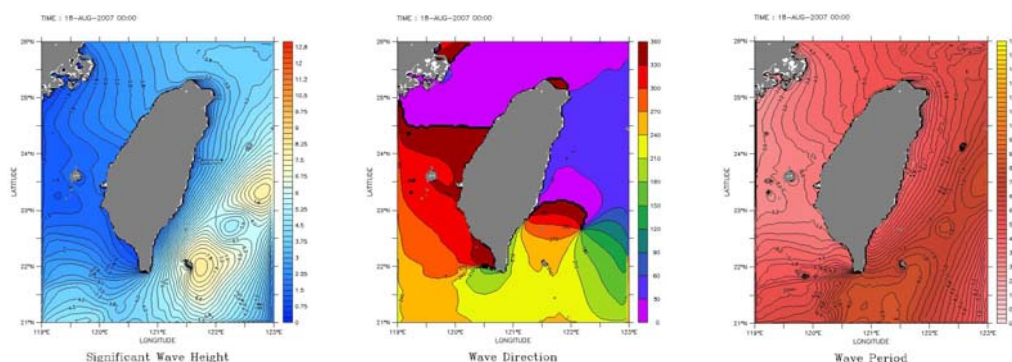


圖 9、2007 年聖帕颱風侵台時 swan 模擬波高、波向、週期圖

### 3.3 REF/DIF 近岸波浪模式

本模式為 Booij(1981)以 Lagrangian 方法並考慮波、流交互作用之影響發展出拋物線型緩坡方程式，在 Kirby and Dalrymple(1983)進一步考慮非線性之影響後提出修正型拋物線型緩坡方程式。Kirby(1986)進一步推導上述方程式使其適用於波浪大角度入射的情形，得到新的控制程式，故本模式(Ref/dif)計算時可有較

大數值計算網格以及運算速度快等優點。目前逐步應用於台中港、花蓮港、安平港等近岸區域，相關計算範圍及模擬測試以台中為例圖示如下：

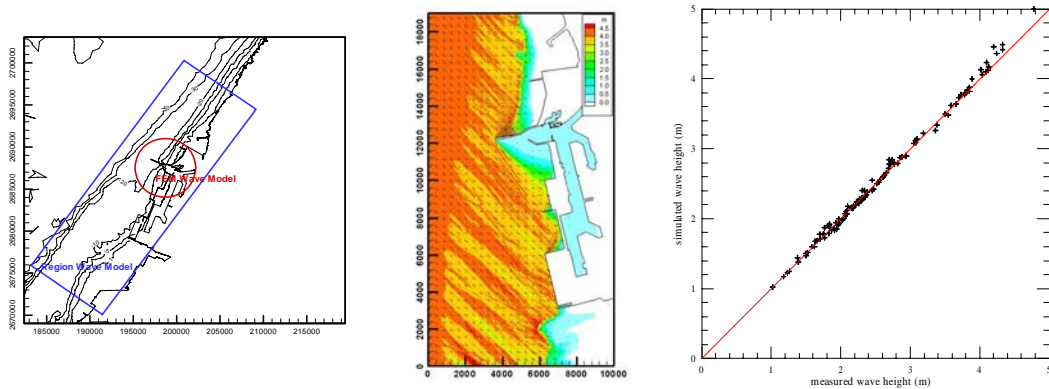


圖 10、REF/DIF 模式模擬台中港近岸海域範圍、波高平面分布圖、波高觀測值與模式推算值比對圖

### 3.4 橢圓型緩坡方程式(MSE)港區波浪模式

細域模式因受於港口或岸邊構造物等影響有較大反射波浪、繞射等問題，故沿用以橢圓型緩坡方程式(MSE)為基礎方式求解波浪場，較能正確地描述近岸因折射、淺化、繞射及反射共同效應的波浪變化，即可為近岸工程之規劃設計提供良好之參考。以台中港為例，目前模擬情形如下。

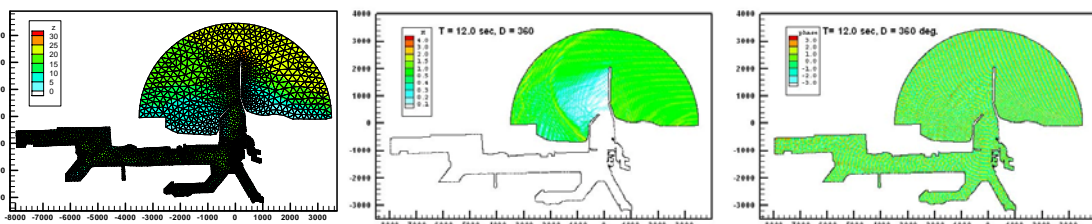


圖 11、MSE 模式台中港港區計算範圍網格圖、模擬波高分佈圖、相位分布圖

### 3.5 類神經網路颱風波浪模式

利用類神經網路模式良好的自我修正能力，並可藉由學習過程，修正模式內各個輸入參數與輸出值的關係，可避免經驗公式或數值計算模式複雜推算修正過程。本計畫對 2006 年颱風影響台灣的颱風事件作為模式推算驗證，下圖以 2006 年寶發及珊珊颱風期間花蓮港產生波高變化為例。在 2007 年颱風推算以花蓮與蘇澳為主，另收集 JTWC(Joint Typhoon Warning Center)實測資料進行模式分析。

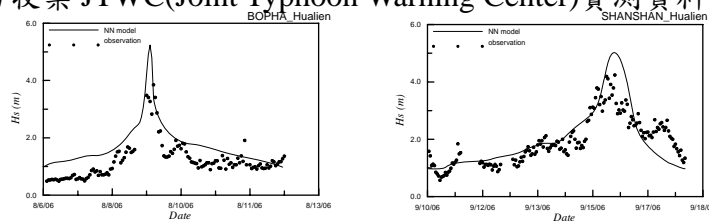


圖 12、寶發颱風及珊珊颱風期間之花蓮港波高變化圖。

### 3.6 風域推算半經驗颱風波浪模式

本計畫採用湯麟武(1970)之移動風域數值推算法為本計畫之風域推算半經驗模式系統。有關移動風域數值推算法之基本原理，在深海時根據 Wilson(1955)之方法推算深海風浪。當波浪進入淺水區後，淺海波浪風、浪、水深間採(湯麟武,1968)之關係式。本計畫針對 2003 年侵台颱風杜鵑及梵高進行颱風波浪推算結果顯示杜鵑颱風侵台期間，模式推算結果高雄港波浪最大示性波高約為 5.2m；梵高颱風侵台期間，模式推算結果台北港波浪最大示性波高約為 1.9m。

### 3.7 各類風浪模式比較

目前本計畫之數值模式波浪預報模式系統的架構，可大致上歸納幾個結論：

1. 全域波浪模式能展示與量測資料的趨勢性。全域計算模式，可以提供整個模式範圍內的預報資料(波高、波向)，因此應用範圍較廣，但執行費時並需要大量的觀測資料及技術進行校驗工作。但在預報作業上來說，全域模式是適用於線上操作的預報系統。
2. 類神經網路模式、風域推算之半經驗模式計算迅速，可以提供快速的預警訊息，適用於已經建立的預報點位，但受目前資料，並無法完整表現其預測的精度，主要受限於風場資料的不確定性及觀測資料的短缺所致。

## 四、水動力模式

水動力模式計算的項目包含即時水位計算及流場計算。目前許多國家發展的水位預報數值模式皆已朝向將氣象條件(風速、風向及大氣壓力)的影響直接與天文潮波整合進以全域水動力方程式直接計算，在模式中達成動態平衡，使風暴潮與天文潮的相互影響可以被完整的考慮。

### 4.1 水位模式

#### 4.1.1 全域水動力模式

本計畫使用歐盟發展的模式-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，採用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。本模式之水動力模組以三維動量方程式、連續方程式描述海水的運動，動量方程式並採用水靜力平衡(hydrostatic equilibrium)的假設而簡化為僅考慮水平方向之動力傳輸，但仍然維持垂直方向的渦動擴散在水平動力方程中的影響。下圖為即時模擬聖帕颱風(2007/08/18 01:00)西太平洋海域及台灣週邊海域水位圖。

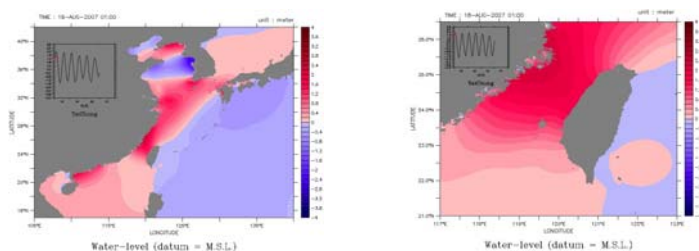


圖 13、2007 聖帕颱風水動力模式模擬西太平洋及臺灣週邊海域水位圖



### 4.1.2 定點類神經網路水位模式

應用類神經網路快速學習及可模擬複雜問題優點，整合天文潮位預測，及颱風暴潮模式進行颱風期間水位的預測。所模擬暴潮偏差結果以蘇澳港為例如下圖

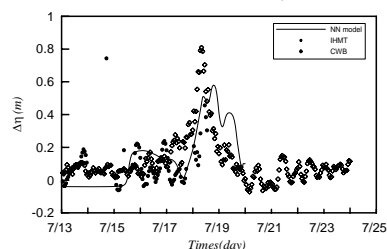


圖 14、海棠颱風時暴潮偏差與蘇澳港觀測值之比較

### 4.2 海流模式

二維海流模式原理參照水位模式，此部分流速為水深平均流速，主要驅動力為潮汐及風驅流，無洋流輸入。須待未來取得實測資料積極進行模式比對，可供未來擴散模式利用。圖 14 為聖帕颱風(2007/08/18 01:00)期間以本模式即時模擬西太平洋海域及台灣海域流速圖。

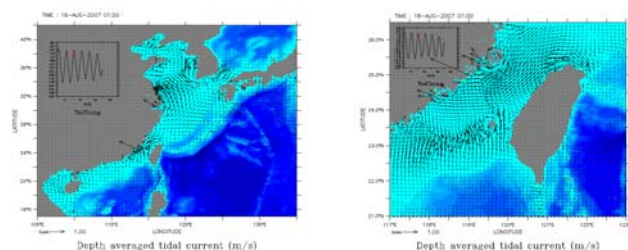


圖 14、2007 聖帕颱風水動力模式模擬西太平洋及臺灣週邊海域流場圖

### 4.3 近域水動力模式

本計畫建構之近岸水動力模式，以二維有限元素法建立近岸潮流模式。本年度目標為針對台中港及花蓮港兩個國際商港建立近岸區域潮流數值模擬系統，並引全域水位及流場模式預報結果為近岸區域模式之邊界條件或輸入條件，進行相關數值模擬工作。以台中港為例與台灣海域一分網格預報模式做單向嵌合。

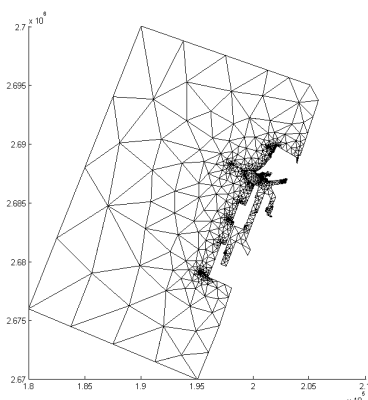


圖 15、台中港近岸模式網格範圍  
(1269 個節點及 1981 個計算元素)

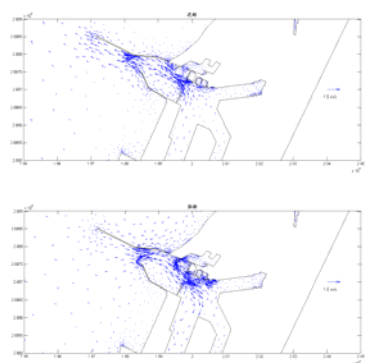


圖 16、2007 年 4 月台中港區於漲潮及退潮期間受風場驅動之流速分佈

## 五、擴散模式

### 5.1 河口溫鹽擴散模式

本計畫使用歐盟發展的模式-COHERENS 作為水位及海流的計算工具，並配合發展適合台灣海域颱風作用的颱風模式及參數率定，更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及海流模式。

### 5.2 台灣海域洩油軌跡預測模式

本計畫擬發展應用於海洋環境的洩油模式，並將洩油軌跡受潮汐、風場的作用及洩油傳輸機制納入本模式中，並引用 TaiCOMS 預報潮流資料做為流場的基本資料。以吉尼號洩油為例採用 CYCOFOS(Cyprus Coastal Ocean Forecasting and Observation System)中的 MEDSLIK 洩油模式來模擬吉尼號洩油油團的移動軌跡，並以國家太空中心 (NSPO) 所拍攝的衛星相片及 Google Earth 的衛星影像來做比對。相關照片及模擬圖如下圖所示。



圖 17、吉尼號事件照片、衛星影像、及模擬 35 小時後油團在豆腐峽上岸圖

## 六、海嘯模式

本計畫主要利用日本空港所 (PARI) 之海嘯暴潮模式，配合海底地形，但臺灣欠缺近海地區之海嘯紀錄足供驗證之用，僅有 95 年 12 月 26 日所發生的恆春地震可資驗證。

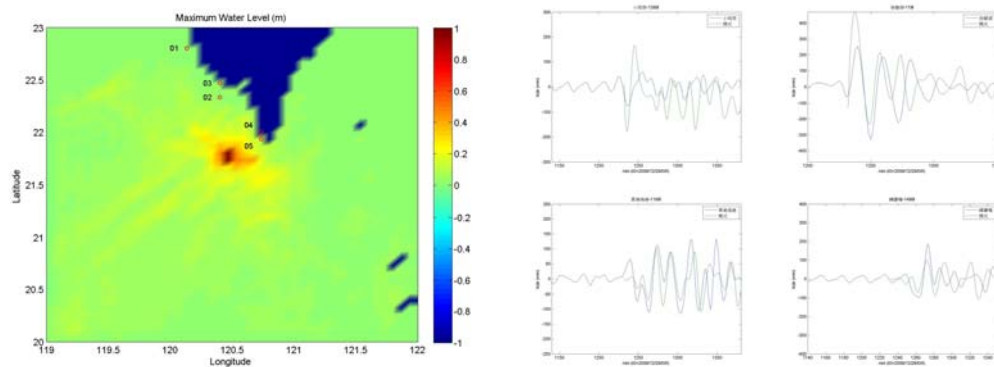


圖 18、恆春外海地震模擬最大波高圖及鄰近驗潮站模式與實測比對情形

## 七、作業化近岸海象預報系統

本計畫已取得中央氣象局每日預報氣象資料，計畫內涵蓋即時現報作業系統及模擬結果，目前現報作業模式有風壓模式、波浪模式、水位模式、流場模式等。

配合氣象風場及風壓預報資料，目前每次預報資料為三天，包含 24 小時現報（現報與即時觀測資料比對）及 48 小時預報（僅呈現模式結果），每日一次。

舉例說明即 6 月 27 日下午兩點發佈的 TaiCOMS 資料時間為 6 月 26 日 0 時至 6 月 29 日 0 時，此時會將 6 月 27 日 0 時計算結果存檔，做為 6 月 28 日的計算起始點 (warm start data)，如此便可以將每日的氣象條件引入模式作計算，如此推算出符合實際情況的波浪及水位結果。

## 八、結論與建議

1. 本年度針對風場(風速、風向)、氣壓場(氣壓)、波場(波高、週期及波向)、水位(天文潮位、暴潮位)、流場(流速、流向)、擴散(河口溫鹽及油污擴散)、海嘯等各項海象預報數值模式持續進行模式校驗。
2. 預報風場方面，由中央氣象局同步提供即時 NFS 預報風場資訊。氣壓場的部分也取得中央氣象局 NFS 即時預報氣壓場。
3. 預報模式方面，目前波浪、水位、流場等全域模式均已正式上線預報，其他單點模式(類神經網路模式及半經驗颱風波浪模式)自我修正能力相當好，且計算快速。
4. 近岸波浪場模擬方面，選取 REF/DIF 模式作為線上模擬作業化模式。而對港口及港內波浪模擬，則選取以橢圓型緩坡方程式之模式，並建立相關模式改善線上模擬作業化。
5. 在全域預報模式下構建近岸區域流場數值模式(有限元素法之水動力模式)，承接全域預報模式模擬結果(水位及流場)，模擬近岸海域流場。
6. 污染擴散模式建置，主要重點為河口溫鹽及油污擴散，溫鹽擴散模式建置方面，研究著重於鹽度的於河口分佈變化。油污擴散建置方面，擬發展應用於海洋環境的洩油模式，洩油軌跡模式則針對吉尼號洩油案例探討。
7. 海嘯數值模式，本計畫引進日本港灣空港研究所 (PARI) 所發展之模式，並具有基本操作能力；本年度主要工作為建立臺灣高雄近海之海嘯數值模式，並建立蒐集高雄周邊海域中的活動斷層資料並分析其特性。
8. 有關海氣象長期觀測分析與預報系統之整合，包括相關觀測資料蒐集分析、與氣象局及水利署等單位協調、各種模組整合計算結果比對等皆是重點工作。有關預報模式成果評估以自動作業化方式進行全年逐日預報結果，並取用商港及氣象局現場觀測資料進行校驗及精度評估等工作，最後以環島近岸長期風場、波浪、水位及海流等模擬結果分析，以求得重要據點之海氣象特性。
9. 現場海氣象即時觀測資料取得，以提供颱風的比對驗證，實測資料仍有中斷不穩定之現象，導致無法進行重要時刻之比對，無法對於預報模式的準確性做評估，這是未來仍須解決重點。

## 參考文獻

1. 井島武士 (1972), 台中港設計波浪計算報告書, 日本港灣顧問公司。
2. 李汴軍 (1997), 中央氣象局第二代波譜模式特性探討, 中華民國第十九屆海洋工程研討會論文集, 80-84 頁。
3. 邱永芳、蘇青和(2004), "近岸防救災預報系統之建立研究(1/5)", 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 基本研究報告 93-77-7110, MOTC-IOT-92-H3BA03。
4. 邱永芳、蘇青和、簡仲璟(2007), "近岸防救災預報系統之建立研究(4/5)", 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 基本研究報告 96-36-7255, MOTC-IOT-95-H3DA001。
5. 張憲國、曾彥吉吉(2001)"輸入天文潮汐改善類神經網路的潮汐預報能力之研究", 第二十三屆海洋工程研討會論文集, 97 頁-104 頁。
6. 蔡丁貴、莊文傑、蘇青和 (2002), 近海災害防救系統構想。第 24 屆海洋工程研討會專題講座論文集, 43-54 頁
7. 廖建明、歐善惠、許泰文、方介群、臧效義 (2002), 應用 SWAN 模式模擬台灣附近颱風波浪之特性, 中華民國第二十四屆海洋工程研討會論文集, 469-476 頁。
8. Booij, N., L.H. Holthuijsen and R.C. Ris (1996), "The SWAN Wave Model for Shallow Water," Proceedings of 24th International Conference on Coastal Engineering, ASCE, Orlando, Vol. 1, pp. 668-676.
9. 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。
10. Holland, G.J. (1980), "An Analytical Model of the Wind and Pressure Profiles in Hurricanes," Monthly Weather Review, No. 108, pp. 1212-1218.
11. Holthuijsen, L.H., N. Booij, R.C. Ris, J.H. Andorka Gal and J.C.M. de Jong (1997), "A Verification of the Third-Generation Wave Model SWAN along the Southern North Sea Coast," Proceedings 3rd International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, WAVES'97, ASCE, pp. 49-63.
12. Ou., S.H., J.M. Liao, T.W. Hsu and S.Y. Tzang (2002), "Simulating Typhoon Waves by SWAN wave model in Coastal Waters of Taiwan," Ocean Engineering, Vol. 29, pp. 947-971.
13. WAMDI Group (1988), "The WAM Model - A Third Generation Ocean Wave Prediction Model," Journal of Physical Oceanography, Vol. 18, pp. 1775-1810.