

臺灣近岸海象作業化模擬與應用

蘇青和¹ 李兆芳² 邱永芳¹ 李俊穎¹ 陳明宗¹ 劉正琪³
港灣技術研究中心¹ 成功大學水利系² 成功大學水工試驗所³

摘要

港灣技術研究中心將海象觀測資料、海象模擬作業化系統與港灣環境資訊網整合成爲臺灣近岸海象預報系統(Taiwan Coastal Operational Modeling System, TaiCOMS)；本文主要著重於說明海象模擬作業化系統有關近岸波浪及水動力作業化模擬發展架構、模擬成果及其應用性。在波浪模擬方面，TaiCOMS建置了西太平洋範圍遠域風浪模組、臺灣周圍海域近域風浪模組及以主要商港爲主體的近岸小尺度波浪模組及港區細尺度波浪模組，其中遠域及近域風浪模組必須與中央氣象局天氣預報之風場結合達成作業化風浪模擬預測目的；在水位及流場模擬方面，TaiCOMS同樣也建置了西太平洋範圍遠域水動力模組、臺灣周圍海域近域水動力模組及以主要商港爲主體的近岸小尺度水動力模組，其中遠域及近域水動力模組亦能夠與中央氣象局天氣預報之風壓場結合達到作業化水位及流場模擬預測目的。在應用上，TaiCOMS將海象即時觀測資料及作業化模擬預測資料透過港灣環境資訊網提供各界(如港務分公司等)參考，並針對藍色公路提供沿線海象模擬資訊(如風、波、流等)，有助於海上交通之安全。

關鍵字：海象模擬作業化系統、波浪、水動力

一、前言

台灣四面環海，海洋資源豐富，爲確保臺灣近海各種遊憩、漁業活動及海上運輸之安全，交通部運輸研究所港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)乃於2003年起致力於臺灣近岸海象預報系統(Taiwan Coastal Operational Modeling System, TaiCOMS)之建置與研究，透過與學術或研究機構合作方式^[1~6]，建構出適用於臺灣周圍海域之海象數值模擬作業化系統，並以港灣及港口等可能發生海岸災害的地區爲對象，建置防災、救災與避災所需海象預警資訊。目前港研中心建構的近岸海象預報系統其組成包含了商港長期海象觀測網、海象模擬作業化系統及港灣環境資訊網等，其整體架構如圖1所示。圖中海象觀測網測得的觀測資料包括風力(風速、風向)、波浪(波高、週期及波向)、水位及海流流速、流向等現場資料，相關觀測資料不僅提供各港口即時海象觀測資訊供各界查詢，亦作爲系統海象模擬事後校驗及成果評估之依據；海象模擬作業化系統提供的數值模擬與預報資訊分別有風場、波浪、水位、流場及海嘯等項目；港灣環境資訊網相當於海象觀測及數值模擬間整合界面，透過該網站呈現海象觀測與數值模擬等資訊及相關之應用供各界查詢。

本文主要針對臺灣近岸海象預報系統(TaiCOMS)介紹海象模擬作業系統發展之架構、作業化模擬之流程、成果及其應用。

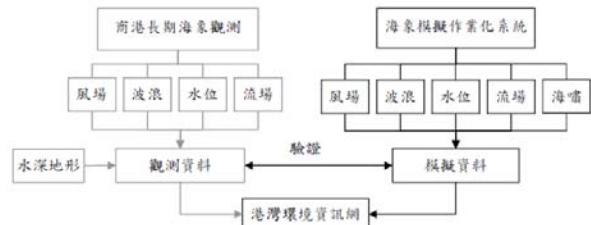


圖 1 近岸海象預報系統整體架構圖

二、海象模擬作業化系統之架構

因應各種海象特性及不同需求，港研中心建置的海象模擬作業化系統包含了多種及多尺度的預報模組，如圖2所示；圖中波浪模擬分爲大尺度西太平洋範圍模組(採用風浪模式WAM^[7])、中尺度臺灣周圍海域範圍模組(採用風浪模式SWAN^[8])、各商港區小尺度近岸波浪模組(採用拋物線型緩坡方程式有限差分波浪模式REF/DIF^[9])及各商港區細尺度港域波浪模組(採用橢圓型緩坡方程式有限元素波浪模式^[10])等；水位及流場模擬同樣分爲大尺度西太平洋範圍模組及中尺度臺灣周圍海域範圍模組(採用水動力模式COHERENS)、以及以各商港區爲對象之小尺度近岸模組(採用有限元素水動力模式^[11])。

同時，針對海象模擬所需之風場及氣壓場預報資料則透過合作方式取得中央氣象局天氣預報之風(壓)場資料(NFS或WRF)，並依預報資料之水平解析度(45KM、15KM、5KM)由作業系統分別處理成爲西太平洋45KM風(壓)場、中國海域15KM風(壓)場及臺灣海域5KM風(壓)場等。目前西太平洋風(壓)場規劃

為大尺度風浪及水動力模組之海表面邊界輸入條件，中國海域風(壓)場中尺度風浪及水動力模組之海表面邊界輸入條件。



圖 2 海象模擬作業化系統下相關模式架構圖

以下僅針對海象模擬作業化系統主要組成如風場處理、波浪模擬及水動力模擬等子系統，簡述其組織架構如下：

(一) 風場處理子系統

本海象模擬系統提供的風場及氣壓場預報資料自2014年5月起改採用中央氣象局WRF (Weather Research and Forecasting model)之M00模組風場資料作為系統海象預報之依據。

風場處理主要工作包括將已下載的氣象解碼及重組、內插產生系統相關海象模擬所需的各式風、壓場資料(西太平洋、中國海域及臺灣海域等)。

(二) 波浪模擬子系統

波浪模擬子系統架構主要依據數值計算網格模擬範圍及其解析度大小將波浪模擬分為遠域風浪、近域風浪、近岸波浪及港域波浪，分述如下：

1.遠域風浪模擬：以西太平洋海域為模擬範圍，如圖3所示，範圍含蓋北緯 10° 至 35° ，東經 110° 至 134° 之海域；數值計算網格為解析度12 分之地球弧形網格，故又稱為大尺度風浪模擬。遠域風浪模擬目的除了考量涵蓋各種侵臺的颱風路徑外，主要藉由遠域風浪模擬結果產生近域風浪模擬所需之開放邊界輸入條件。遠域風浪模擬採用的數值模式為海洋波浪預測模式WAM (WAve Modeling)為核心模式。

2.近域波浪模擬：以臺灣周圍海域為模擬範圍，如圖3所示，範圍含蓋北緯 21° 至 27° ，東經 117° 至 123°

之海域；其數值計算網格為解析度2.4 分之方格網格，故又稱為中尺度風浪模擬。近域波浪模擬採用的數值模式為荷蘭Delft大學所發展之近海風浪模式SWAN (Simulating WAves Nearshore)，並不斷地透過模擬與校驗程序，修正相關模式參數值使其更適合於臺灣周圍海域。近域波浪模擬之目的有二，(1)提供臺灣周圍海域較高解析度之風浪模擬與預測資訊，(2)提供近岸波浪場及港域波浪場模擬之入射波浪條件。

3.近岸波浪模擬：以基隆港等8個主要商港近岸海域為模擬範圍，如圖4所示，建置小尺度近岸區域波浪場模擬系統，模擬外海波浪向岸傳播過程產生的波高變化。近岸波浪模擬採用的數值模式為Kirbyand 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 1)，模式輸入的邊界條件採用系統近域風浪模擬預測之結果。

4.港域波浪模擬：以基隆港等8個主要商港港域為模擬範圍，建置細尺度港域波浪模擬系統，模擬外海波浪受到港灣構造之影響引起的港內波高變化。港域波浪模擬採用的數值模式為以橢圓型緩坡方程式為基礎的有限元素波浪模式。細尺度港域波浪模擬系統因模式執行時間的考量尚未納入系統作業化之執行流程，目前主要應用於颱風期間港內碼頭區波高變化之評估。

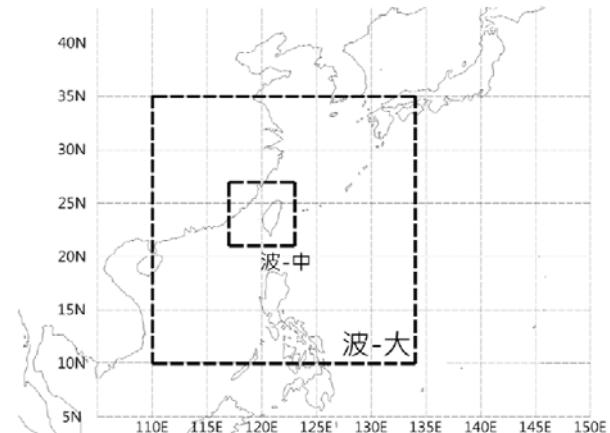


圖 3 遠域及近域風浪模擬範圍示意圖

(三) 水位及流場模擬子系統

水位及流場模擬子系統在架構上同樣依據數值計算網格之模擬範圍及其解析度大小分為遠域、近域及港區近岸水動力模擬，分述如下：

1.遠域水動力模擬：以西太平洋海域為範圍，如圖5所示，圖中“流-大”標示模擬範圍為北緯 15° 至 42° ，東經 105° 至 150° 之海域；數值計算網格為解析度10 分之方格網格，故又稱為大尺度水位及流場模擬。遠域水位及流場模擬採用的數值模式為由歐盟所發展的模式 COHERENS (COupled Hydrodynamical Ecological model for REgional Shelf seas)，配合發展

成適合臺灣海域颱風作用的颱風模式及參數率定，並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水動力模式。

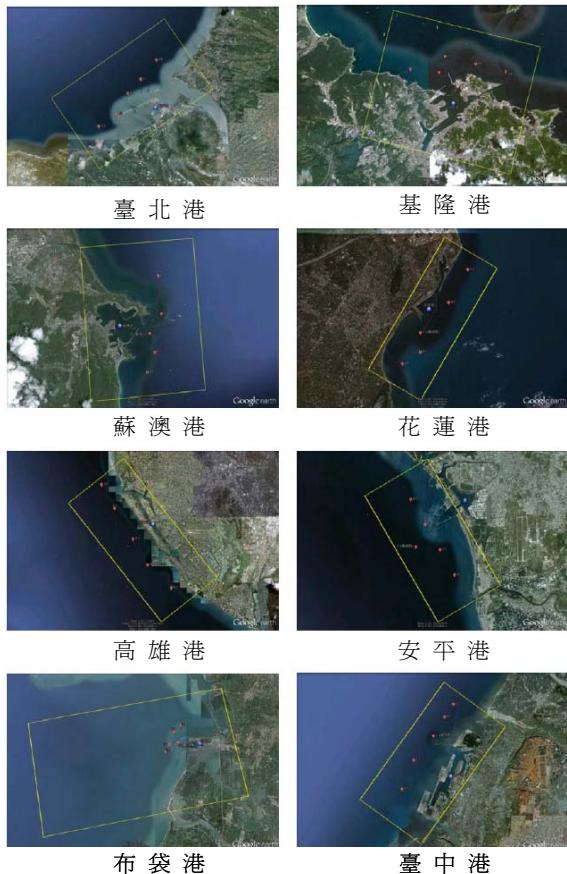


圖 4 港區近岸波浪模擬範圍示意圖

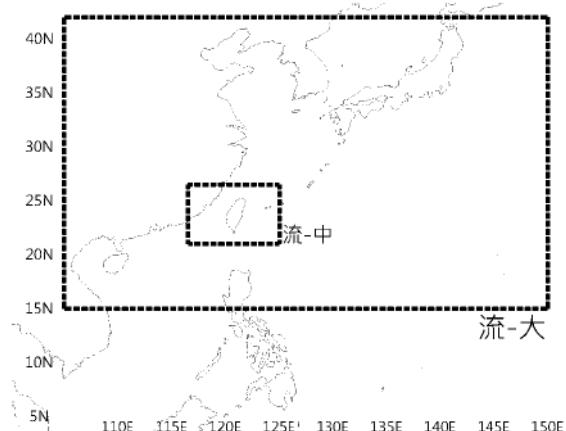


圖 5 遠域及近域水位、流場模擬範圍示意圖

2.近域水動力模擬：以臺灣周圍海域為模擬範圍，如圖5所示，含蓋北緯 21° 至 26.5° ，東經 116.5° 至 125° 之海域；數值計算格網採用解析度1分之方格網格，又稱為中尺度水位及流場模擬。近域水位及流場模擬採用的數值模式與前述遠域水動力模擬相同

的數值模式，同樣可與中央氣象局每日預報之動態風場結合，模擬臺灣周圍海域潮汐變化及風驅流。

3.港區近岸水動力模擬：以基隆港等8個主要商港之鄰近海域為模擬範圍，建置小尺度港區近岸區域水動力模擬系統，模擬及預測各港區鄰近海域及其港內水位及潮流流場之變化。近岸水動力模擬重點為港口及港內水域，因此數值模式採用水深積分平均之二維有限元素水動力模式(Finite Element Hydraulic Dynamic Model, FEHDM)，並配合海岸線及港口形狀建置非結構性三角形元素網格，如圖6所示。

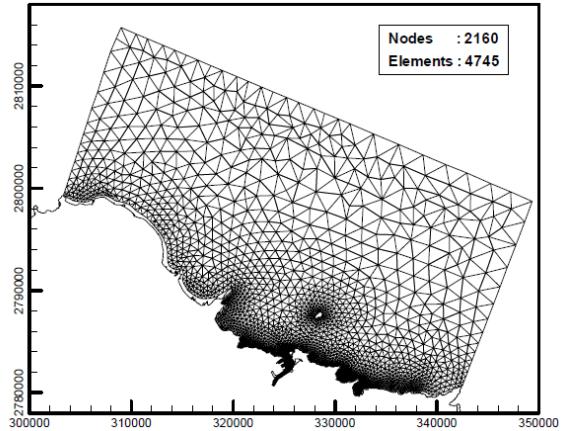


圖 6 基隆港水動力模組之模擬範圍及有限元素非結構性三角形元素格網分布圖

三、海象模擬作業化流程

海象模擬作業化系統自2006年起由港研中心維護運作至今，系統維運主要工作為確保系統每日執行海象模擬作業，並提供臺灣主要港區每日72小時(昨日、今日、明日)之模擬風場、波浪、水位及海流等資訊於港灣環境資訊網站供使用者參考。目前系統海象模擬每日作業化之流程，如圖7所示，依序分為風場後處作業流程、海象數值模擬作業流程、數值模資料整合及港灣環境資訊網展出等流程。

風場作業化流程除了配合中央氣象局每日0、6、12及18時數值預報風壓場資料(WRF)發布的時間起動下載資料程式外，基於於海象模擬預報之時效性考量，本系統採取彙整前兩日發布之預報風壓場資料方式，組合成系統72小時(昨日、今日、明日)海象模擬所需的氣象預報資料。風壓場預報資料擷取時段與組合方式，如圖8所示，此規劃將可預留氣象資料下載傳輸時間，以及減少因自氣象局下載資料過程發生部份資料短缺導致整體作業系統無法運作之困擾。

本系統海象模擬作業化流程設定於每日凌晨3時啓動，其中風場處理作業及遠、近域海象模擬整

體作業之時間流程，如圖9所示，即相關海象模擬結果可於每日上午7時展示於港灣環境資訊網。

本系統每日海象模擬時間長度為72小時(昨日、今日、明日)，其中前24小時代表海象模擬追算之結果，後48小時代表海象模擬預測推算之結果，如圖10所示。此模擬預測方式主要目的是提供24小時數值模擬結果(含追算及預測)與即時海象觀測比對資訊，以利評估當日海象模擬及預測結果之可信度。

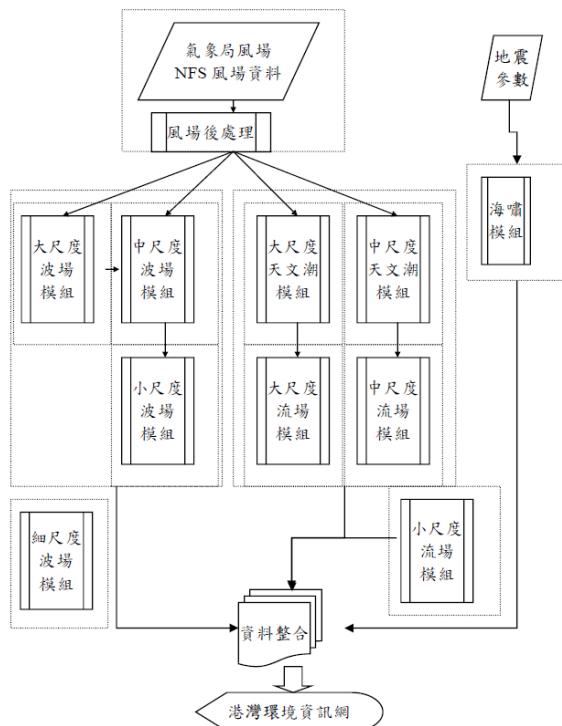


圖 7 海象模擬作業化系統作業化流程圖

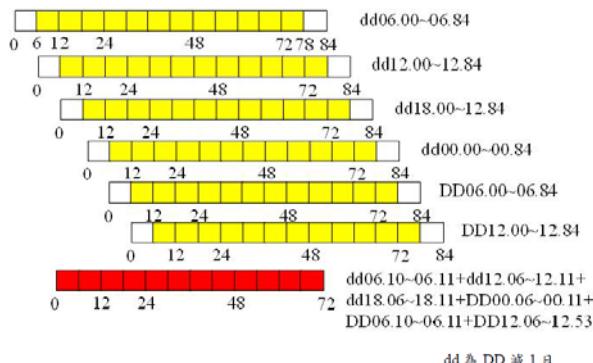


圖 8 海象模擬作業化系統產生組合風場之資料擷取時段與組合示意圖

四、海象模擬作業化成果評估

在海象模擬作業化成果評估分析上，目前作法主要分成兩個部份：其一屬於針對每日的作業化模擬資料彙整，以月為單位產出相關模擬資料報表，

其二對於颱風特殊事件另建置分析報表進行相評估。相關評估報表均放置於FTP網站提供計畫內參與人員下載評估及討論，並可瞭解臺灣環島主要港區近岸之風、波浪、潮、流的特性。

在整體成果評估方面目前所採用系統每日的作業化模擬之追算資料，及港研中心的各港逐時觀測資料製作成標準資料檔，進行風場、波場、水位及流場等評估作業，整體評估流程如圖11所示。於年度結束後將相關評估結果彙集成專冊，提供各界參考；以2014年度為例，將風力及波浪季評估報告及颱風期間評估報告成果彙集成專冊－2014年海象作業化預報成果(風力及波浪部份)；水位及海流季評估報告及颱風期間評估報告成果彙集成專冊－2014年海象流作業化預報成果(水位及海流部份)。

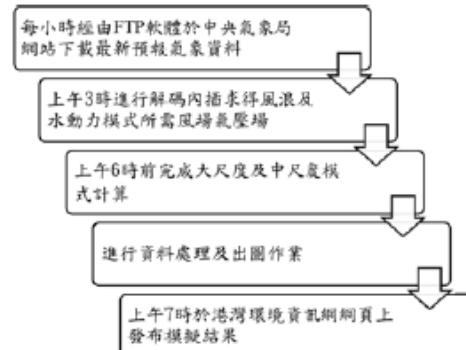


圖 9 海象模擬作業化系統遠、近域海象模擬作業時間流程圖

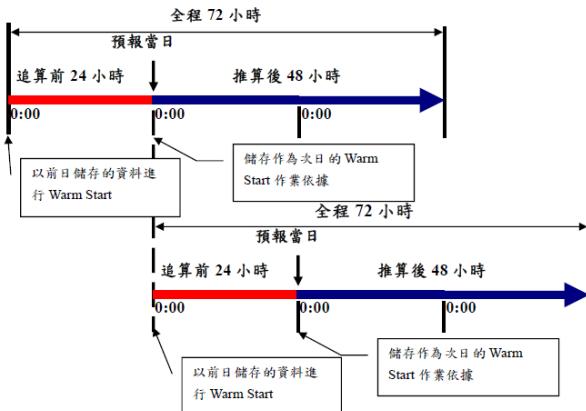


圖 10 海象作業化模擬之追算與推算時間示意圖

本文僅以2014年近域風浪模擬成果為例，摘要說明成果評估^[12]如下：

(一) 波浪模擬成果月評估

表1及表2所列分別為示性波高及譜峰週期各港口觀測值與模擬值間決定係數之逐月分析表，顯示各港示性波高之相關性，整體以基隆港、臺北港及臺中港為較佳，決定係數年平均值基隆港、臺北港及臺中港分別為0.75、0.77及0.76。譜峰週期相關性分析結果顯示以基隆港及臺中港相關性較佳，各月份

決定係數均為正相關，決定係數年平均值基隆港約為0.42，臺中港約為0.52。由於多數港口波浪觀測之譜峰週期與數值模擬預測值之相關性偏低，甚至出現負相關之分析結果，因此對於系統波浪作業化模擬結果，未來仍有進一步檢討與改善的空間。

表 1 示性波高各港觀測值與近域風浪預測值間決定係數逐月分析結果表

| 月 | 基隆港 | 蘇澳港 | 花蓮港 | 高雄港 | 安平港 | 布袋港 | 臺中港 | 臺北港 | 澎湖 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 12 | 0.86 | 0.37 | 0.56 | 0.55 | 0.64 | 0.66 | 0.84 | 0.87 | 0.73 |
| 1 | 0.88 | 0.65 | 0.79 | 0.52 | 0.65 | 0.81 | 0.89 | 0.87 | 0.79 |
| 2 | 0.90 | 0.70 | 0.78 | 0.52 | 0.52 | 0.73 | 0.87 | 0.91 | 0.75 |
| 3 | 0.81 | 0.54 | 0.64 | - | - | 0.77 | 0.51 | 0.89 | - |
| 4 | 0.64 | 0.61 | 0.67 | - | - | - | 0.66 | 0.51 | - |
| 5 | 0.87 | 0.73 | 0.75 | 0.49 | 0.63 | - | 0.76 | 0.80 | 0.80 |
| 6 | 0.69 | 0.56 | 0.54 | 0.65 | 0.50 | - | 0.75 | 0.76 | 0.64 |
| 7 | 0.79 | 0.63 | 0.79 | 0.72 | 0.73 | - | 0.88 | 0.86 | 0.77 |
| 8 | 0.50 | 0.55 | 0.72 | 0.91 | 0.87 | - | 0.42 | 0.59 | 0.84 |
| 9 | 0.66 | 0.69 | 0.70 | 0.88 | 0.85 | - | 0.81 | 0.67 | 0.80 |
| 10 | 0.66 | 0.59 | 0.67 | 0.67 | 0.78 | - | 0.91 | 0.73 | 0.77 |
| 11 | 0.78 | 0.40 | 0.63 | 0.57 | 0.49 | - | 0.85 | 0.76 | 0.66 |

(2013/12~2014/11)

表 2 譜峰週期各港觀測值與近域風浪預測值間決定係數逐月分析結果表

| 月 | 基隆港 | 蘇澳港 | 花蓮港 | 高雄港 | 安平港 | 布袋港 | 臺中港 | 臺北港 | 澎湖 |
|----|------|-------|-------|-------|-------|-----|------|-------|-------|
| 12 | 0.48 | 0.14 | 0.27 | -0.09 | -0.02 | - | 0.62 | -0.05 | - |
| 1 | 0.64 | 0.42 | 0.46 | 0.28 | 0.06 | - | 0.71 | - | - |
| 2 | 0.64 | 0.52 | 0.35 | 0.18 | 0.11 | - | 0.79 | - | - |
| 3 | 0.70 | 0.38 | 0.45 | 0.22 | 0.07 | - | 0.79 | 0.50 | - |
| 4 | 0.66 | 0.23 | - | 0.21 | 0.07 | - | 0.71 | 0.42 | - |
| 5 | 0.37 | 0.14 | - | 0.37 | 0.11 | - | 0.66 | 0.13 | - |
| 6 | 0.20 | -0.16 | -0.25 | - | 0.06 | - | 0.13 | 0.06 | 0.15 |
| 7 | 0.18 | 0.49 | 0.46 | - | 0.27 | - | 0.22 | 0.15 | 0.30 |
| 8 | 0.10 | 0.08 | -0.12 | - | 0.54 | - | 0.23 | 0.39 | 0.31 |
| 9 | 0.49 | 0.48 | 0.51 | - | 0.63 | - | 0.54 | 0.55 | 0.50 |
| 10 | 0.56 | 0.66 | 0.60 | - | 0.31 | - | 0.20 | 0.37 | -0.13 |
| 11 | 0.02 | 0.04 | -0.17 | - | 0.42 | - | 0.60 | -0.03 | 0.13 |

(2013/12~2014/11)

(二)颱風波浪模擬成果評估

2014年中央氣象局發布颱風警報計有3個，分別為輕度颱風哈吉貝(6月)、中度颱風麥德姆(7月)及輕度颱風鳳凰(9月)。颱風波浪模擬成果評估係以預測值與觀測值間之平均比值為之，如表3及表4所列；各港口示性波高平均比值多位於0.5至2.0之間，其中波高平均比值差異最大者發生於哈吉貝颱風期間，基隆港為2.1，安平港為0.47。波浪譜峰週期平均比值則位於0.7至1.3之間，反映出譜峰週期預測值略小於觀測值之現象。

表 3 颱風期間示性波高各港風浪預測值與觀測值間平均比值統計結果

| | 基隆港 | 蘇澳港 | 花蓮港 | 高雄港 | 安平港 | 布袋港 | 臺中港 | 臺北港 | 澎湖 |
|-----|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|
| 哈吉貝 | 2.1 | 1.23 | 1.33 | 0.73 | 0.47 | - | 0.94 | 1.37 | 0.88 |
| 麥德姆 | 1.32 | 0.83 | 1.21 | 1.04 | 0.93 | - | - | 1.40 | 1.54 |
| 鳳凰 | 0.95 | 0.76 | 0.88 | - | 0.90 | - | 0.57 | 0.71 | 1.41 |

註：比值 = 預報值 ÷ 觀測值

表 4 颱風期間譜峰週期各港風浪預測值與觀測值間平均比值統計結果

| | 基隆港 | 蘇澳港 | 花蓮港 | 高雄港 | 安平港 | 布袋港 | 臺中港 | 臺北港 | 澎湖 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 哈吉貝 | 1.3 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | - | 0.8 | 1.5 | 0.7 |
| 麥德姆 | 1.2 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.8 | - | - | 1.6 | 0.9 |
| 鳳凰 | 0.8 | 0.7 | 0.8 | - | 0.6 | - | 0.7 | 0.8 | 0.7 |

註：比值 = 預報值 ÷ 觀測值

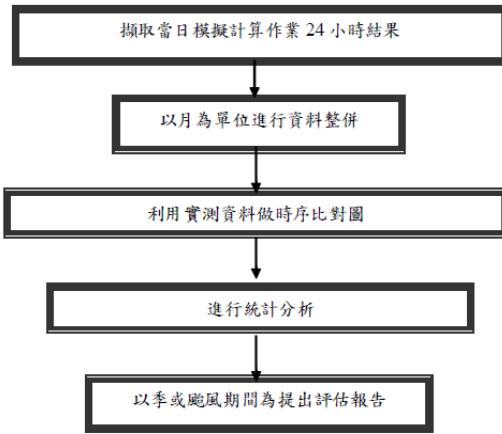


圖 11 海象模擬作業成果評估流程

五、海象模擬資訊之應用與發展

基於臺灣周遭水域的船舶與人員航行安全，以及水環境維護等考量，港研中心乃率先結合海象模擬資訊，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，建置港灣環境資訊網，提供相關海象觀測與預測的資料，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。此外，對於各種突發狀況，海象觀測與預測資料將可協助相關單位快速研擬緊急因應對策。

近年更將海象模擬資訊、船舶自動辨識系統資訊與藍色公路結合，提供海上航路之海氣象數值模擬資訊，包含風速、風向、波高以及波向等資訊；並於港灣環境資訊網建置藍色公路首頁，如圖12所示，供外界查詢相關資訊^[13]。

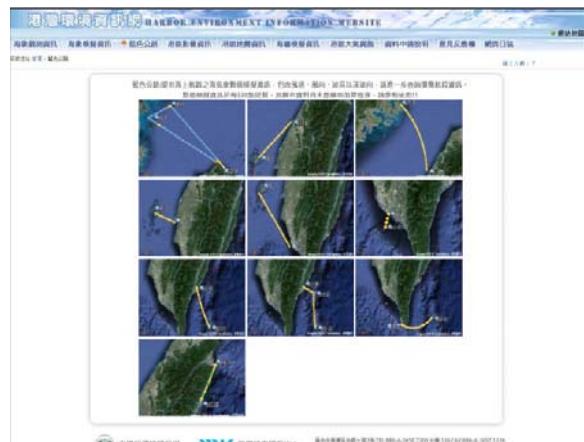


圖 12 港灣環境資訊網-藍色公路首頁

六、結論

由於臺灣附近水域的地形與環境複雜，現階段海象(波浪、水位及流場)模擬仍有諸多影響因子值得持續進行研究與改善。港研中心仍將持續發展臺灣近岸海象預報系統(TaiCOMS)，以期提供國內航運及國內各主要港口海域安全之風浪、暴潮、流場及海嘯等預警資訊，達到港灣正常營運與海岸永續發展利用的目標。

參考文獻

1. 李忠潘、陳陽益、邱永芳、許泰文、張憲國、薛憲文、王兆璋、劉景毅、于嘉順、蘇青和、陳冠宇、廖建明、劉正琪、錢維安、許友貞、余孟娟，規劃海象觀測網暴潮數值最佳網格化系統，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，中華民國93年3月。
2. 李忠潘、陳陽益、邱永芳、于嘉順、許泰文、王兆璋、張憲國、劉景毅、蘇青和、簡仲璟、薛憲文、廖建明、劉正琪、江朕榮、尤皓正、錢維安、許友貞、莊曜陽，近岸數值模擬系統之建立(I)，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，中華民國93年11月。
3. 李忠潘、陳陽益、于嘉順、王兆璋、薛憲文、張憲國、林炤圭、劉正琪、許泰文、莊曜陽，近岸數值模擬系統之建立(II)，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，中華民國94年11月。
4. 李忠潘、邱永芳、陳陽益、于嘉順、蘇青和、劉正琪、林炤圭、張憲國、王兆璋，近岸數值模擬系統之建立(III)，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-95-H3DB001，中華民國95年11月。
5. 李忠潘、陳陽益、邱永芳、蘇青和、劉正琪、于嘉順、林炤圭、張憲國、薛憲文、王兆璋、陳明宗、李俊穎，近岸海象數值模擬及預警系統之建立(1/4)，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-96-H3DB001，中華民國96年12月。
6. 邱永芳、蘇青和、李忠潘、劉正琪、于嘉順、陳陽益、林炤圭、江朕榮、李俊穎、陳明宗，近岸海象數值模擬及預警系統之建立(2/4)，交通部運輸研究所合作研究計畫報告，MOTC-IOT-97-H3DB001，中華民國98年3月。
7. WAMDI group, "The WAM model – a third generation ocean wave prediction model," J. Phys. Oceanogr., 18, 1775-1810, 1988.
8. Booij, N., Haagsma, J.G., Holthuijsen, L.H., Kieftenburg, A. T. M. M., Ris, R. C., van der Westhuysen, A. J. and Zijlema, M., SWAN Cycle III version 40.41 USER MANUAL, Delft University of Technology, 2004.
9. Kirby, J. T. and Dalrymple, R. A., "Combined Refraction/Diffraction model Ref/Dif 1 version 2.5 – Documentation and User's manual," Center of Applied Coastal Research, Department of Civil Engineering, University of Delaware, 1994.
10. 李兆芳、劉正琪、張憲國，港池振盪之數值模擬計算，海洋工程學刊，第一卷，第一期，1-22頁。中華民國90年。
11. 李兆芳、劉正琪、邱永芳、蘇青和、陳明宗、李俊穎、高政宏、林莉鳳，近岸海象數值模擬及預警系統之建立(3/4)－水動力部份，交通部運輸研究所研究報告，中華民國99年4月。
12. 邱永芳、蘇青和、李俊穎，港灣氣象數值模擬作業化之研究(2/2)，交通部運輸研究所研究報告，中華民國104年5月。
13. 邱永芳、蘇青和、李俊穎、李兆芳、劉正琪、陳冠宇，整合臺灣海岸及港灣氣地象模擬技術之研究(3/4)，交通部運輸研究所研究報告，2014年4月。

