

海岸溢淹災害預警系統之建立

曾鈞敏¹ 董東璟² 廖建明³ 葉姍霈⁴ 李汴軍⁵ 高家俊⁶

摘要

海岸災害預警與防救目前為經濟部水利署職掌之一。水利署為了掌握台灣環島海岸水位狀況，整合環島近海水文觀測網、波浪與暴潮數值預測模式、歷史海岸災害紀錄與現場監視影像等，搭配資訊軟體與資料庫系統建置了一套「海岸水情系統」，該系統主要功能是預測未來三小時環島海岸水位狀況，若是可能出現溢堤的可能性時則水利署可進行必要的決策下達，此系統之特色是作業化的運作，即是從風場輸入、觀測結果輸入、數值模式運算等均由主控程式自動執行，此系統之計算結果目前已實際在水利署颱風期間防救災緊急應變小組運作應用。

一、前言

台灣地小人稠且四面環海，西部接近廣域之大陸棚，東部有深海海洋流經，孕育各種豐富的海岸資源，本島及離島之海岸總長達一千餘公里，沿海地區濕地面積廣大，生態資源豐富。隨著社會環境變遷與工商業之發展，陸地資源逐漸被使用枯竭，民眾的活動範圍漸漸趨近於海岸地帶，再加上解嚴之後，海岸地區更是民眾遊憩活動主要之場所。海岸地區為海域與陸域交接之區域，涵蓋海、陸生態系統特性，且具有高度經濟開發潛力，然而海岸土地具有動態性，在風、波浪、潮汐、海流等自然因素長期作用下，海岸地形變遷長年進行。再加上台灣位處西北太平洋颱風路徑之要衝，每逢夏秋之際，常遭颱風或熱帶性低氣壓帶來狂風暴雨之侵襲，導致低窪地區發生暴潮溢淹、海水倒灌、海堤破壞、海岸設施坍塌、海岸砂石流失等海岸災害，如再加上洪水自上游傾流而下，更加抬高水位，加重沿岸低窪地區的災情，嚴重威脅著人民生命與財產安全。若能有一套完善、實用、性能優越的防災預警機制，在災害可能發生前提出警告，將可減少災害發生時所付出代價的成本與時間。災害之防治是為世界各國所重視之課題，聯合國宣佈公元1990至2000年為「國際防災十年」，期使各國能利用

現有之科技知識提昇防救災之技術水準，並藉由技術協助、技術移轉、示範計畫、教育訓練及成效評鑑等措施發展適合各國之災害評估、預測及救災之方法。故如何有系統地推動整合性的防救災相關工作，以預防及降低災害所可能造成之生命財產的的損失，可說是台灣政府目前的首要工作之一。

近年來海岸地區遭受颱風侵襲嚴重破壞之事件(如海堤破壞、海水溢淹)屢屢發生，西南沿海地區由於養殖業發達，地下水超抽情況嚴重，造成地盤下陷達1公尺以上，如嘉義東石、屏東東港、林邊一帶，若天文大潮與颱風暴潮同時發生，使得水位異常堆升讓原有之海堤高度不敷使用，造成海水倒灌。若再加上台灣西南海岸坡度平緩，同時強烈的向岸風所產生的風揚水位、颱風波浪，更是雪上加霜，使得低窪的西南沿海積水達數日難以消退。而在台灣東部與東北角海岸地區，由於無良好遮蔽而直接暴露於太平洋颱風侵襲作用範圍，受颱風波浪與暴潮之合成作用遠較台灣其餘海岸地區激烈，如本(94)年十月龍王颱風期間，花蓮新城鄉海堤受巨浪侵襲，損毀150公尺，吉安鄉仁仁海堤則損毀200餘公尺。根據經濟部水利署所發布的水利統計資訊顯示，民國九十年~九十四年第二季約四年半期間，全台各縣市海堤總計損壞或受損約8公里(包含海堤、離岸堤、海岸保護工與防潮閘門)，平均每年損壞約1.8公里，總修復經費約需3.8億，造成堤後淹水的損失與社會成本更難以估計。

1 經濟部水利署水文技術組一科科长
2 國立成功大學近海水文中心博士後研究員
3 國立成功大學水利及海洋工程學系博士後研究員
4 國立成功大學近海水文中心研究助理
5 華梵大學環境與防災設計學系副教授
6 國立成功大學水利及海洋工程學系教授

有鑑於整體環境之發展及社會各界對災害問題的關心，政府歷年來投入相當多的人力與財力於防救災科技之研究及其業務之推動，中央政府在1994年頒布「災害防救方案」，繼而成立「中央防災會報」，以建立由中央至地方之防救災體系，目前只要中央氣象局一發佈颱風警報，行政院在消防署下則開設中央災害應變中心，其下各部會亦成立緊急應變小組，並派員進駐中央應變中心。災害管理包括四個階段（1）減災：主要透過政策來管理、掌控人文因素及實質環境，以期能夠降低天然力帶來的破壞。例如透過土地使用管制，將災害敏感區限制開發；（2）預警：提供災害來臨前的準備；（3）應變：災害來臨後的因應措施。例如救災指揮系統建立與運作、緊急疏散計畫及緊急醫療網的運作等；（4）復健：災害後恢復至（甚至更好）災害前的措施。

為了推動防災減災工作，相關政府部門積極推動諸項研究計畫，包含環境的監測、預測、災害模擬模式、防災減災的工法、災害潛勢調查與分析、災害對社經人文之影響等，對於問題的掌握與策略的研擬其實已經到達一定的水準。經濟部水利署負責海岸災害防救業務，多年以來，推動建立環島近海水文站網基本站建置並與中央氣象局取得連線，並推動波潮流數值模式等相關研究，這當中每個研究計畫均有相當豐富的成果，然而較可惜的是沒有真正落實到政府單位防救災相關政策上，使得寶貴的防災研究成果未能發揮一定的效果。本研究之目的即是在此背景下提出一個整合的架構，期能將「現場監測」、「模式預測」、「歷史經驗」、「資料分析」等訊息，透過「資訊操作介面」使其從學術研究領域慢慢轉移到應用系統，協助政府從事海岸災害的監測與預警，讓相關決策加入學理分析的依據。

二、海岸水情系統架構

海岸災害的範疇很廣，包含海岸侵蝕、海岸溢淹、海堤破壞、海水倒灌等，其中與人民最直接相關的就是海岸的溢淹問題，因此前述水利署所建置的「海岸水情系統」主要就是針對海岸水位進行監測並提出預警，預測未來數小時內海岸水位是否會受到惡劣環境如颱風之影響而發生高過海堤高度的情形。海岸災害的預警必須進行多方面的考量，包含對環境現況的掌握、災害可能發生的規模、危害區域範圍的界

定等等，無法憑藉單一的想法進行，必須有充足的資訊提供、考量多方因子的影響來進行多方且交叉性的分析判斷，其中環境監測是減災工程的基本措施，透過環境監測提供觀測數據與資訊，進而進行示警與預報，因此海岸災害預警系統需有長期且即時正確的海象資料作為基礎，同時配合作業化的預警模式、地理資訊系統展示功能等始能克盡全功，故本研究中所建構之海岸水位監測預警系統共包括了“現場監測子系統”、“數值預測模式子系統”、“海岸災害資料庫”以及“監控展示子系統”等，其系統架構如圖1所示，各子系統說明如下：

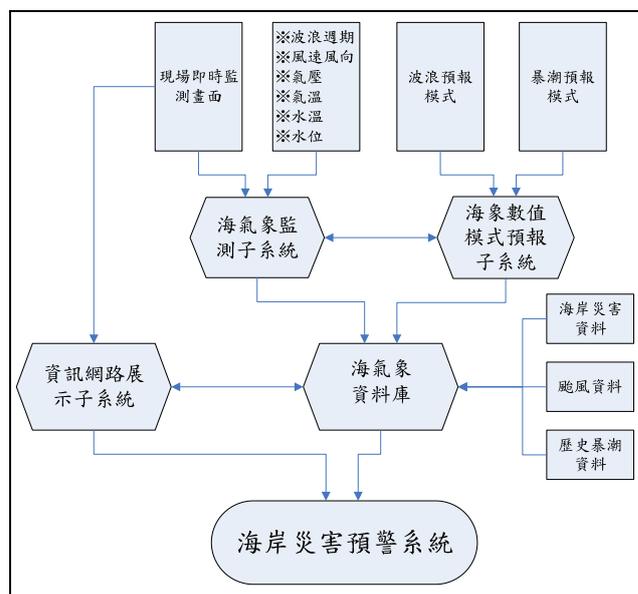


圖1 海岸水情系統架構圖

（一）現場監測子系統

對於海岸災害減災機制，首要工作在於現場海況的監測。近數十年來，國內各類海岸災害管理單位均依其執掌需求建立不同目標、不同作業系統、不同觀測時距之海洋環境監測系統，例如交通部中央氣象局為滿足其海象報之目的設置海氣象觀測網、經濟部水利署執行禦潮防災作業於近岸地區建置近海水文觀測網等。為能充分利用國內各單位之觀測能量，海岸水情系統共匯集包含水利署、中央氣象局、河川局、水利規劃試驗所等單位測站的資料，做為海岸水情系統的現場監測資料來源。目前海岸水情系統共包含有九座海氣象資料浮標站、十座岸邊氣象站、十五座潮位站的資料，測站分佈如圖2所示。

前述各單位測站之觀測資料包含有波高、週期、風速、風向、氣壓、氣溫、水溫、水位等。各測站、各項觀測項目定時傳送至原訂之資料庫，如中央氣象局的資料庫或水利署的資料庫，海岸水情系統再透過中控程式擷取最新資料展示於系統中。

決策者對於冷冰冰的數據有時難以得知其含意，本研究搭配水利署其它計畫在海邊設置即時影像監視系統，目前設置點包含高雄縣蚵仔寮海岸、嘉義縣塭港海岸、台東縣富岡海岸等地，透過無線網路傳輸技術，將現場影像傳送回辦公室，如圖3所示，再匯入海岸水情系統，使得非海岸或海洋研究領域之決策者對於所觀測之浪高、週期、水位等訊息有另外輔助的影像可供參考。



圖2 海岸水情系統中納入之海氣象觀測站分佈圖



圖3 現場即時影像監控畫面—本例為高雄蚵仔寮海岸即時影像，圖中顯示可以提供遠端遙控鏡頭拉伸、轉動、錄影之功能

(二) 數值預測模式子系統

現場監測數據可以掌握目前狀況，但要推測未來情形，則可以利用數值預測模式，數值模式同時可以預測整個面的現象。由於本文所提之海岸水情系統之研究對象為海岸水位，在颱風期間，海岸水位主要受暴潮偏差與波浪所主導，過高的海岸水位即使沒有造成越堤產生淹水災害也會對海岸結構物造成影響，因此，若能事先瞭解海象未來變動情形，將可提早進行相關預防措施以減少災害所造成的損失。

本文將海岸水位假設為天文潮、暴潮、潮升與波揚大小的總和，然颱風期間因颱風強烈的風勢，往往造成大浪直撲堤防或越過堤防，因此實際作業時，若僅以上述定義來計算海岸水位時，其量值往往小於颱風期間的實際海象狀態，故從實務的角度來看，最大可能海岸水位得加計海岸入射波高的二分之一。由海岸災害預警系統在研發過程中，會基於系統作業穩定、快速、準確等要求而修改部分預報模式之程式，故本研究採用國外原始碼公開、已作業化運作及國內學者自行研發且可提供原始碼之數值預報模式。在此條件下之本研究所建立之海岸災害預警系統中天文潮值乃採用Blumberg & Mellor(1978)所發展出的三維海洋數值模式POM模式來推估、颱風暴潮值是採用許泰文教授(1999)發展之暴潮模式來推估、波浪模式則是採用Ou and Hsu et al. (2002)所改良過之SWAN模式來計算，其正確性將說明於下節。

(三) 海岸災害資料庫

自然界的現象有時並不容易由數學所完全模擬，有時根據經驗所得到的資訊反而更具有參考價值。藉由歷史上曾發生過的案例，調查當時的背景、海岸災害、以及當時的海氣象條件、暴潮偏差等資訊，建立連結，在颱風警報發佈後，藉由預測路徑、強度等資訊，根據所預先建立好的資料庫，可以查詢得過去歷史上類似颱風曾造成之海岸災害情況，提供在數值預測模式外的另一種參考資料。

為能提供充足資訊予海岸災害預警作業時參考使用，本研究利用MySQL資料庫軟體建置一套海象資料庫，此資料庫具備整合Internet/Intranet功能、充分的擴充性、彈性的相容性以及優良的安全管制系統等優點。目前資料庫儲存有環島海氣象觀測站之基本資料、歷史海岸災害資料、歷史颱風資訊、全省海堤資料、歷史颱風暴潮資料，同時每小時定期匯入各觀

測站之即時觀測資料與海氣象預報結果，未來可視海岸災害預警系統操作人員需求，擴充資料庫內容，以提供充足資訊協助決策者進行多方且交叉性的分析判斷，以獲得最佳的防救災決策方案。

(四) 監控展示子系統

海氣象變化具有高度的區域特性，故對災害的監測、預警進行有效的監視，必須有一個完善、實用、性能優越的資訊展示系統，故本研究所建置之海岸災害預警系統的目的之一為提供使用者快速、可靠而完整的資料展示系統，乃採用近年來快速發展的地理資訊系統，提供實測資料與模式推算結果、空間與屬性資訊的等展示，將海岸水位推估資料、實測的海氣象資料、歷年的颱風災害、颱風動態路徑以及各地堤防資訊等，整合展示於網際網路系統上，並藉由人性化的使用者操作介面，提供使用者進行相關資訊查詢的功能，以協助颱風期間海岸災害預警之參考。

本研究所建立之水利署海岸水情系統如圖4所示。在展示介面中間畫面的台灣地圖是依水利署各河川局管轄區劃分十個區塊。台灣沿岸顯示的是透過海象監測子系統所獲得之即時觀測資料，觀測資料類分為波高、風速、氣溫、氣壓、水溫與水位等六項觀測項目，系統設定每10秒鐘變更觀測項目之展示，亦可手動點選任一觀測項目，觀看環島狀況。點選任一河川局後，即進入監測系統第二畫面，此畫面可觀看河川局之相關資訊，包含預測水位圖、空照圖、堤高資料資訊等。在畫面左右兩邊之列表是顯示由海象數值模式系統所推算14個地區之預測水位，可從預測時間之下拉式選單，選擇不同時刻之預測值。同時主畫面下方顯示歷史上那個颱風與當時侵台颱風有類似條件，並曾造成何種災害，列於該處提供決策者另一個參考。



圖4 因應海岸溢淹災害監測與預警所建置之海岸水情系統主畫面

三、海岸水位之推估

根據前述，本研究將海岸水位定義為天文潮、暴潮偏差、溯升(wave run-up)與波揚(wave setup)之線性合成，如(1)式，並將加上浪高二分之一之水位定義為最大可能海岸水位，如(2)式，本研究主要以數值模式從事浪高、天文潮、暴潮之推估，除此，對於暴潮偏差，本文另建立統計預測模式，作為備援模式。

$$\text{海岸水位} = \text{天文潮} + \text{暴潮偏差} + \text{波揚} + \text{溯升} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{最大可能海岸水位} = & \text{天文潮} + \text{暴潮偏差} + \text{波揚} \\ & + \text{溯升} + \text{波高}/2 \end{aligned} \quad (2)$$

(一) 天文潮位計算

本研究採用之天文潮潮模式為美國普林斯頓大學由George L. Mellor與Alan Blumberg (1977) 發展的三維非線性海洋模式 Princeton Ocean Mode (POM)。計算範圍為東經99-130度、北緯2-41度，網格大小為1/8度，設定東經130度為開邊界。POM基本方程式為質量守恆與動量守恆方程式，採用Philip(1957)所創立之 σ 座標系統將方程式自卡式座標系統轉換至 σ 座標系統

本研究考慮四個主要分潮(O1、K1、M2、S2)與科氏力作用，利用調和分析法計算各觀測站的天文潮位。模擬2000年的潮位變化，並與實測站觀測結果比對(張等人，2003)，實測資料與模擬值之振幅百分比誤差約在1.2%~13.8%，平均方根誤差值O1分潮為0.0324m、K1分潮為0.0468m、M2分潮為0.0464 m、S2分潮則為0.104m，顯示POM模式的模擬結果良好。

(二) 暴潮模式

本暴潮模式計算範圍為從中國大陸沿海至東經 140 度、北緯 10-45 度，以有限元素法切割格點，元素最短約為 1.8 公里、最長約為 40 公里。利用歷年統計之颱風中心氣壓值，選擇適合之極值分佈法，推算重現期之颱風中心氣壓，依此氣壓模擬颱風路徑，進而推算颱風警報期間之潮位偏差值。

假設水深方向之壓力分佈是流體靜壓力，且將動量方程式及連續方程式由海底至水面積分，雷諾應力與黏滯效應之尺度較其它分量為小故忽略之，如此可得水深積分型式之 x 、 y 方向動量與連續方程式如下：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(h+\eta)u}{\partial x} + \frac{\partial(h+\eta)v}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + fv - \tau_{bx} + \tau_{wx} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (4)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} - fu - \tau_{by} + \tau_{wy} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (5)$$

式中 x 、 y 為卡式座標軸； u 、 v 為流體質點在 x 、 y 軸方向上之平均流速； η 為暴潮偏差； h 為水深； p 為壓力； g 為重力加速度； f 為科氏力係數； ω 為地球旋轉角速度。此模式對於歷年暴潮偏差的驗證結果相當良好。

(三) 波浪模式

本研究以荷蘭Delft大學發展之公開化波浪模式 SWAN (Simulating Wave Nearshore) 模式為基礎，使用經Ou et al. (2002)所修改成有限元素法之SWAN模式推算台灣附近海域的波浪，計算範圍圍東經 110-140 度、北緯 15-35 度，網格大小為 0.2 度。SWAN 模式所用之控制方程式為求解二維之簡化波浪作用力平衡方程式 (action balance equation)，如下式

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} C_x N + \frac{\partial}{\partial y} C_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} C_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} C_\theta N = \frac{S_{total}}{\sigma} \quad (6)$$

上式左側之第一項為運動波譜密度函數之時變項，第二與第三項為傳導項，第四與第五項分別表示由於地形與洋流所造成的波浪頻率位移與折射效應， $N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta) / \sigma$ 為波浪作用力密度波譜 (action density spectrum)， $E(\sigma, \theta)$ 為能量密度波譜 (energy density spectrum)， σ 與 θ 分別表示成份波之頻率與角度， $S_{total}(\sigma, \theta)$ 表示波浪傳遞時可能發生之波浪能量成長、消散及非線性交互作用等物理現象之源函數。在波浪成長與消散之源函數項中，SWAN 模式提供了許多選擇，包括風浪線性成長項、風浪指數成長項、白沫消散項、四個波波非線性交互作用項、底床摩擦項、三個波波交互作用項、碎波消耗項等。

波浪模式在海岸水位的預測上扮演重要的角色，因為波浪模式預測浪高、週期，包含波浪引起的波揚、溯升等均與入射波浪條件有關。波浪模式執行結果經與現場實際數據驗證發現變異頗大，即有相當良好之驗證結果，如圖5，也有預測結果不佳的案例，如圖6，根據甚多的執行結果顯示，波浪模式的分析結果與測站位置、颱風路徑均有關，表1顯示2004年各颱風期間波浪的預測結果，其中RMSE為無因次的均方根誤差，從表1基本上可以得知，颱風期間東部

海域的浪高較容易被準確預測，如圖7顯示在敏督利颱風期間，對於東北角龍洞海域的浪高預測準確相關係數高達0.86。然而波浪模式對於西部海域的海況，尤其颱風過後引進西南氣流的案例，預測結果往往不近人意。模式預測結果不夠準確的原因很多，除了前述提到的來自於模式的不確定性(如對於敏督利颱風與海馬颱風後引進的西南氣流造成台灣南部與西部海域之風浪成長現象並沒有正確預測)或數值運算方法的誤差之外，輸入條件(如風場)的準確性不足也是其中的原因之一。

在進行颱風波浪模擬時，雖颱風中心距離台灣海域尚遠，但颱風所引起的波浪向外傳遞形成湧浪，可傳遞極遠的距離且能量不消散，因此波浪模擬時其計算的範圍需夠大才可模擬此種現象。但近岸地區複雜的地形與多變的海岸線需要較小的網格配置才能準確描述，使近岸推算處的波浪能達到較高精度。然計算區域大且網格精度高往往拉長模式演算時間，因此為了同時滿足高準確度與節省計算時間，本文乃應用網格嵌套方式進行波浪推估。網格嵌套是指在大尺度計算海域粗網格的基礎上，將局部重點研究區域用較細的網格嵌套加密。

在波浪模式的網格配置區分成三層，分別為代表遠域之大型區域(東經110度至134度，北緯10度到35度)、台灣本島的附近海域的中型區域(東經119度到123度，北緯21度至26度)及特定之小型區域。大型區域採用ETOPO5資料庫的水深資料、中型區域與小型區域則採用國家海洋科學研究中心之水深資料庫的水深值。中型與小型波浪推算是以適用於近海較小範圍之SWAN模式進行模擬，利用巢狀格網方式將大範圍WAM模式計算結果，利用內插方式獲得較小範圍之計算邊界條件。遠域模式採用的格網大小為 $\Delta x = \Delta y = 0.2^\circ$ ，最小與最大頻率解析度分別為0.05 Hz和1.0 Hz，採指數遞增分佈共25個頻率帶，方向波譜之解析度則採用 $\Delta\theta = 15^\circ$ ，計算時間間隔為 $\Delta t = 5$ 分鐘。而中型區域計算區域雖較遠域區域小，但其包含水深變化較為劇烈的近岸地區，因此所採用的網格解析度相對要求較高，但卻需注意不能耗費太多的演算時間，本計畫中型模式採用0.04度的網格作為模式運算的網格解析度。

表1 模式預測結果與現場實測值之比對結果

	北部海域 (代表測站： 龍洞)	東部海域 (代表測站： 花蓮)	南部海域 (代表測站： 鵝鑾鼻)	西部海域 (代表測站： 七股)
第一型 (艾莉、 蘭寧)	R=0.85 RMSE10.2%	R=0.90 RMSE10.1%	R=0.64 RMSE15.1%	R=0.69 RMSE16.4%
第四型 (敏督利)	R=0.86 RMSE8.1%	R=0.66 RMSE14.2%	R=0.64 RMSE21.4%	R=0.71 RMSE29.4%
第五型 (康伯斯)	R=0.85 RMSE9.6%	R=0.61 RMSE12.1%	R=0.69 RMSE13.6%	R=0.57 RMSE41.4%
第六型 (海馬)	R=0.80 RMSE13.2%	R=0.57 RMSE12.3%	R=0.58 RMSE16.6%	R=0.34 RMSE56.8%

說明：R表相關係數；RMSE表均方根誤差。

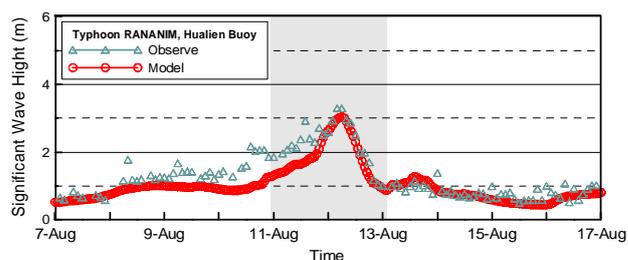


圖5 2004年蘭寧颱風期間，模式波高值與觀測值在東部海域(花蓮)比對結果

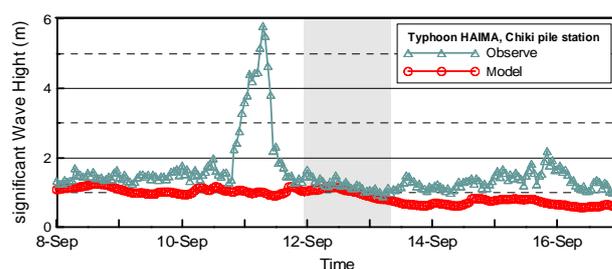


圖6 2004年海馬颱風期間，模式波高值與觀測值在西部海域(七股)比對結果

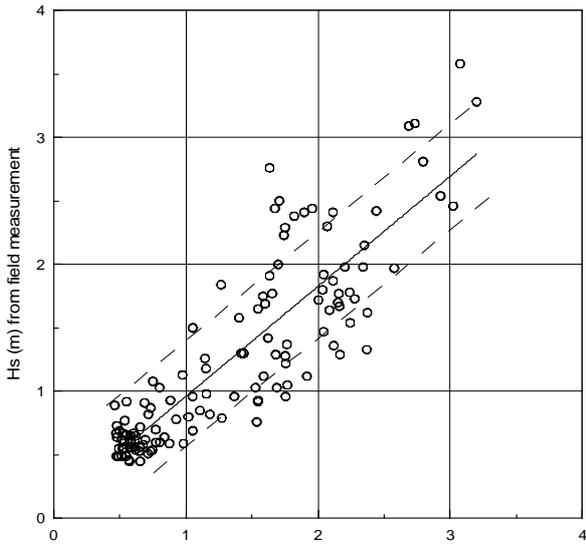


圖7 良好之模式預測值與觀測值比對結果

(敏督利颱風期間，龍洞測站，相關係數0.86)

(四) 暴潮統計推估模式

本推估統計模式是利用過去颱風侵台個案，建立颱風到各潮位站距離與暴潮偏差之統計推估經驗模式。此項工作是依據颱風的路徑、強度與各地暴潮分佈作相關性統計分析，得到一經驗法則，預估颱風過境時可能發生之暴潮大小。其關係為

$$y = y_0 + A \cdot \exp^{-B \cdot X} \quad (7)$$

其中 y_0 、 A 、 B 為回歸係數， y 為暴潮偏差， X 為颱風至測站距離。統計推估模式結果與實測暴潮偏差趨勢之驗證比對結果，可發現推估結果在颱風抵達前略為高估，颱風接近時則趨於一致(張等人，2003)，在無其它更有效方法外，仍可應用於暴潮偏差預測。

四、海岸水位預測作業化過程

因應防救災作業的急迫性，本文所建立之海岸水情系統必須完全達到作業化(operational)。作業化運作乃需滿足穩定、迅速且準確的要求，因此對於可能影響模式計算的因子需進行最佳的設定。表2為波浪模式測試時間表，由表中可知，計算時間與格網數目有密切關係，隨著格網數增加計算時間也快速增加，模式的運算時間也必須在可接受的範圍內。

本文研究承蒙中央氣象局提供大氣模式資料，包含海面風場與氣壓資料，其每天利用FTP網路傳輸程式下載至數值模式主機上，透過預處理程式轉換成SWAN風浪模式與暴潮模式所需之輸入格式進行風

浪與暴潮模擬。圖8為計算流程與時間預估圖，若以接收大氣與颱風資料之後，預測預測開始後六小時之波浪與暴潮，如圖中所示，波浪模式若以遠域、中型、小型與最細化波揚格網之順序計算，共需44.5分鐘，暴潮模式則需7.2分鐘，若預估在作業化環境下，其他作業時間約為10分鐘，則需花費1小時左右時間完成近岸50公尺解析度之波浪模擬與1.6公里解析度之暴潮模擬。上述估計時間以單一特定區域海域格網所需，若需較多特定區域高解析度波浪與暴潮推算，在不減少格網解析度下，需要較多電腦同時進行計算，方可滿足作業化需求。在模式執行平台上，在研究階段考量成本、模式執行效率與後續維護等作業化要素，現所使用的平台為Linux (Mandrake 10.0套件)。

表2 波浪模式測試時間表

計算範圍	遠域	中型	小型(安平)
網格解析度(度)	0.2	0.04	0.005
網格數目	126*121	101*126	61*61
計算時距 Δt (分鐘)	5	10	5
計算時間與實際時間之比率(分鐘/小時)	2.1	1.7	1.4

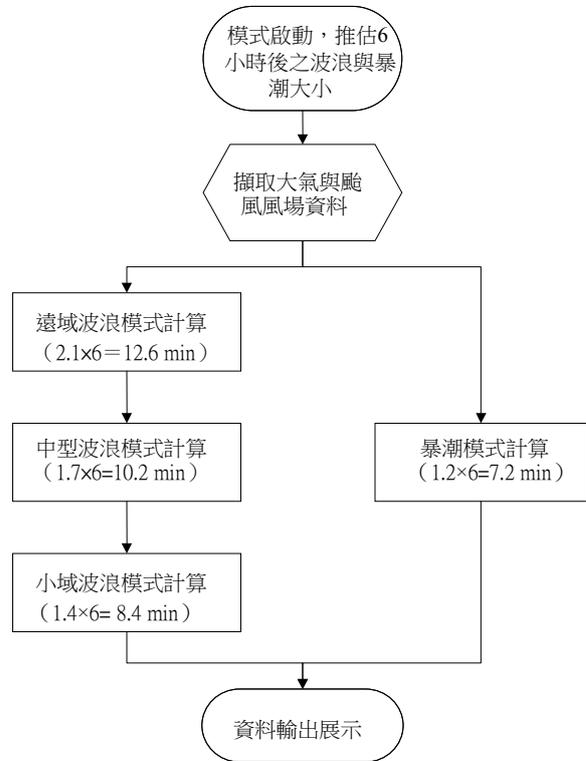


圖8 計算流程與所需時間預計圖

由中央氣象局所接收之資料，在中原標準時間0時與12時可獲得相對應日期之格林威治時間0時與12時之分析場與其24小時後之預測場，其資料間隔為1小時。目前可取得MC與HC模式之大氣資料，利用格網解析度與範圍相近之便，以WAM模式與暴潮模式範圍符合MC模式，而SWAN模式之範圍符合HC模式，由於大氣模式之格網座標為Lambert投影法，與波浪與暴潮模式所使用的球面直角座標有所不同，且格網位置有差異，故需利用內插方式轉換出模式所需的風場與氣壓資料以進行計算。

波浪模式中大範圍的WAM模式是由WAMDI Group所發表，本文所使用的是WAM cycle 4版本，本文使用到格網處理模組PREPROC、初始值給定模組PRESET、風浪計算模組CHIEF與後處理模組PGRID等。而在SWAN 模式方面，本文所使用的SWAN模式是最新版本的SWAN cycle III Version 40.31版。由於WAM與SWAN模式皆使用Fortran 90程式語言所發展，為了配合計畫執行做些許修改後，利用標準Fortran 90程式語言編譯成相關程式執行檔，以利計畫執行。圖9為WAM、SWAN風浪模式與暴潮模式操作流程圖，如圖所示，由中央氣象局所提供的風場資料經由預處理程式轉換至模式所需之風場與氣壓格式之後，配合水深資料，首先進行WAM模式之PREPROC與PRESET模組，設定模式格網與起始值，之後進行主程式CHIEF之風浪模擬，由CHIEF模組所輸出之CBO邊界檔即可做為SWAN模式之邊界輸入檔，而MAP檔可利用PGRID模組輸出WAM模式之結果。而暴潮模式則使用預先設定之有限元素法格網，配合HC大氣模式資料內插至有限元素法網格格點上，進行模擬，之後輸出暴潮偏差等資料。之後透過後中控程式，將計算結果匯入海岸水情系統從事計算與展示的功能。

除了數值模式外，包含現場監測數據、影像、風場輸入、結果輸出等作業之時間過程詳如表3所示，在一個以防災為需求的系統中，其中任何一段均有不可中斷之壓力存在，因此，通常會備有另一條通道，本文即是使用前述的統計方法來候補，在數值模式未能盡其功之時，統計推估方法得以派上用場。

表3 海岸水情系統作業化流程表

時間		海象監測子系統	海象預報模式子系統	海象資料庫
時	分			
t				
	5	從觀測站回傳最新觀測資料	擷取未來三小時模式計算結果	平時作業
	15	進行資料品管作業		
	20	將觀測資料傳送至網路展示系統	至氣象局擷取最新颱風路徑資料	
	30		利用現場資料修正數值模式推算結果	
	35		計算海岸水位與繪圖	
	40		傳送海岸水位推估時至網路展示系統	
1	30		擷取氣象局未來24小時風場資料	
	40		完成風場資料處理作業	
3	40		完成未來24小時波浪、暴潮推算	
每12小時重複乙次				

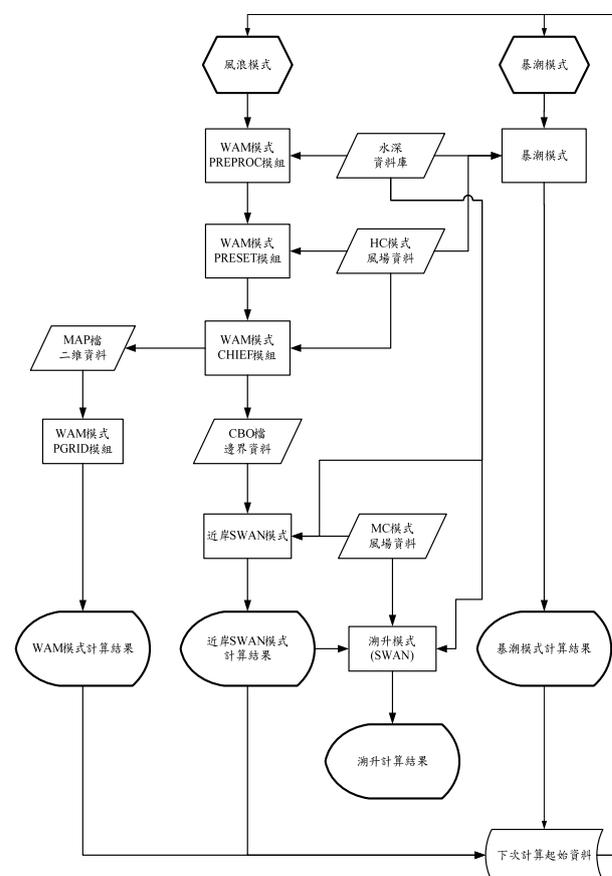


圖9 風浪與暴潮模式作業化流程圖

五、結 論

環島海岸水文現場監測站網已經略見雛形，數值預測模式亦已開發一段時日，如何從學理研究轉換至實務應用常常需要很長的時間，雖然相較於歐美日各國動輒十數年的經驗累積，我國實際將觀測數據與數值預測模式應用在海岸災害防治的經驗可說是相當短淺，然而任何研究不可能在學校或實驗室待到完美無瑕始能上陣，必須透過實際操作，累積經驗，修正改善以提昇預測準確性。海岸水情系統即是在這種背景下由經濟部水利署支持研發，雖然仍有不足之處，但整體雛形架構已經具備，對於颱風期間環島海岸水位的變化趨勢已經可以初步掌握，未來除了一方面在水利署長期操作下持續改進外，在學理上，朝向風場預測準確性提高與模式和實測值資料同化的研究將是有可能提昇預測準確性的方向。

致 謝

本論文承蒙水利署「台灣沿海潮位站網分類評估與海岸災害決策系統建置」計畫經費補助，研究成果為整體工作團隊共同成果，需感謝非常多的工作伙伴，尤其是水利署水文技術組洪銘堅組長與綜合企畫組張國強副組長的長期支持與鼓勵，成功大學水利系許泰文教授在數值模式研究上的協助，高雄海洋科技大學張國棟教授在海岸災害資料庫建立上的協助，於此特別致上作者最大的敬意與謝意。

參考文獻

- Hasselmann, K., T.P. Barnett, E. Bouws, H. Carlson, D.E. Cartwright, K. Enke, J.A. Ewing, H. Gienapp, D.E. Hasselmann, P. Kruseman, A. Meerburg, P. Müller, D.J. Olbers, K. Richter, W. Sell and H. Walden, 1973, "Measurements of Wind-wave Growth and Swell Decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)," *Dtsch. Hydrogr. Z. Suppl.*, 12, A8
- Holland, G.J., "An analytical model of the wind and pressure profiles in hurricanes, 1980, " *Monthly Weather Review*, No. 108, pp. 1212-1218
- Kawahara, M., S. Nakazawa, S. Ohmori, and Tagaki, T., 1980, "Two-step explicit finite element method for storm surge propagation analysis," *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 15, pp. 1129-1148
- Cavaleri, L. and P. Malanotte-Rizzoli, 1981, "Wind Wave Prediction in Shallow Water Theory and Applications," *Journal of Geophysical Research*, Vol. 86, No. C11, pp. 10961-10973
- Kawahara, M., H. Hirano, K. Tsubota, and K. Inagaki, 1982, "Selective lumping finite element method for shallow water flow," *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 2, pp. 89-112
- Hasselmann, S. and K. Hasselmann, J.H. Allender and T.P. Barnett, 1985, "Computations and Parameterizations of the Linear Energy Transfer in a Gravity Wave Spectrum. Part II : Parameterizations of the Nonlinear Transfer for Application in Wave Models," *Journal of Physical Oceanography*, Vol. 15, No. 11, pp. 1378-1391
- Blumberg, A.F., and G.L.Mellor, 1987, "A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model", *Three-Dimensional Coastal Ocean Models*, Vol. 4, pp.1-16
- Kantha, L.H., 1995, "Barotropic tides in the global ocean from a nonlinear tidal model assimilating altimetric tide, part I model description and results", <http://www.cast.msstate.edu/Tide2D>
- Ou, S.-H., T.-W. Hsu, S.-Y. Tzang and J.-M. Liau (2002), Simulating typhoon waves by SWAN wave model in coastal waters of Taiwan, *Ocean Engineering*, Vol. 29, 947-971.
- 水利署網站(<http://www.wra.gov.tw>)，水利統計-公務統計報表，標題：天然災害禦潮(海堤)受損情形。
- 謝信良、王時鼎、鄭明典、葉天降,1998, "百年(1897-1996)侵台颱風之統計分析及應用", 中央氣象局
- 王玉懷,1999, "TSNOW現場觀測資料報告", 台灣海峽海況即時預報模式計畫(TSNOW)研討會論文集, pp16-21
- 許泰文、李兆鑫、廖建明,1999, "以有限元素法推估台灣東北海岸之暴潮偏差", 中國土木水利工程學刊,第11卷,第4期,pp849-857
- 廖建明、歐善惠、許泰文、方介群、臧效義, 2003, "應用SWAN模式模擬台灣附近颱風波浪之特性", 第二十四屆海洋工程研討會, pp469-476
- 水利署, "台灣沿海潮位站網分類評估與海岸災害決策系統建立(1/4)-(4/4)" 研究報告, 台北, 民國九十一年~九十四年。
- 張國強, 李汴軍, 莊士賢, 郭純伶, 陳沛宏, 董東璟, 2003, 颱風期間海岸水位監測系統之建置, 第二十五屆海岸工程研討會。