

暴潮模式校驗與評估－以2009年颱風為例

余杏儒¹、江朕榮¹、于嘉順¹、滕春慈²、朱啟豪²
國立中山大學海洋環境及工程學系¹
中央氣象局海象測報中心²

摘要

臺灣海域每年受颱風侵襲，為了預防沿海地區與感潮河川的沿岸低窪地區因為水位的異常抬升所造成的財產損失，暴潮預報系統是相當重要的。本研究利用中央氣象局海象測報中心與國立中山大學合作開發的暴潮預報模式，以中央氣象局所發展的參數化風場作為暴潮模式的驅動因子，進行暴潮模擬與分析，進而瞭解風場對於模式的影響。

暴潮模式的準確度是以2009年共四個颱風期間的實測潮位來校驗，分別為6月的蓮花(Linfa)颱風、7月的莫拉菲(Molave)颱風、8月的莫拉克(Morakot)颱風和10月的芭瑪(Parma)颱風，利用暴潮模式推算的模擬結果與臺灣本島及離島沿海潮位站之水位實測資料進行時序比對，除了資料尺度上的要求外，並以誤差均方根與相關係數比較模式結果與觀測值之差異。模式計算結果與十一個測站的時序資料比對大致節合，但由於模式格點解析度僅為三分，無法精確描繪近岸之地形，致使台灣海峽內部之模擬結果較不理想。颱風侵台時間，因輸入模式的氣象因子，即參數化風場產生之風壓場過低，導致模式有低估的現象產生。未來可採用中央氣象局大氣模式的動態預報風壓場作為輸入的資料，將有助於暴潮模式模擬結果更精確，並應用在未來潮位預報及預警防災的使用上。

關鍵字：暴潮模式、颱風、暴潮

一、前言

臺灣四面環海，周圍海域地形複雜，每逢夏秋兩季，常遭受到颱風的侵襲。伴隨著颱風的低氣壓、強風、巨浪與豪雨等氣候因素，導致沿岸地區常發生水位異常上升之暴潮現象。因此，為了預防沿海地區與感潮河川的沿岸低窪地區因為水位的異常抬升所造成的財產損失，暴潮預報系統是相當重要的(Cheng *et al.*, 2003)。

暴潮預報模式常分為兩種。一為經驗法，意指將暴潮水位和海平面平均風速之關係，及暴潮水位與中心氣壓之關係兩者數值線性疊加，進而求得暴潮水位，但是此法並未將兩者非線性之關係納入考量。另一是理論法，其利用電腦快速計算的能力建立數值模式，並求出非線性方程式的近似解，但需要以大量的觀測資料作為模式驗證基礎。

關於暴潮模式，由德國海洋學家Hansen(1956)首先提出應用流體動力數值方法計算北海暴潮的變化情形。國內目前採用的暴潮預報模式，以劉尚孔(1983)所發展的模式最為完整，預報範圍為東經116.375度至東經122.75度，北緯21.375度至北緯26.75度，解析度為八分之一度，預報時數為未來36小時。另外，楊春生(1974)以發生於1971年的貝絲颱風為例，進行台灣北海岸的暴潮模擬；李賢文(1984)利用流體動力方程式推算台灣海峽沿岸的暴潮水

位，並以1963年的崔絲颱風與1969年的衛歐拉颱風為例進行模擬。隨著數值模式技術的發展，還有更多有關台灣海域的暴潮研究著作被發表，如邱銘達等人(2006)利用POM模式，針對台灣海域進行颱風暴潮推算，並分析不同的外在條件對颱風暴潮推算的影響程度。

由於氣候變遷的影響，颱風發生的頻率與強度均發生改變。歷年來，台灣海岸地區因颱風所產生的低氣壓和強風，發生沿海堤防潰堤或是暴潮溢淹等災害，如2005年的海棠颱風、2008年的卡玫基颱風與2009年的莫拉克颱風皆重創台灣各地區。因此，也有學者依據各測站之資料，觀察颱風經過之水位、風向、風壓等資料之變化情況，分析當地災害之原因。如侯和雄等人(1995)以1994年道格颱風產生的暴潮，探討龍洞遊艇港被破壞之緣由。龔誠山等人(1997)以1996年賀伯颱風侵台時期的資料，結合暴潮水動力模式與颱風模式進行模擬暴潮。徐月娟等人(1998)根據民國83年至86年間之侵臺颱風，提出主要影響西南海岸暴潮的五類颱風路徑。蔡瀚陞(2000)以淡水河口之測站資料，包含風向、風速、氣壓等，建立暴潮水位推算式。王啟竑等人(2009)利用倒傳遞類神經網路，並以當地暴潮偏差主要因子作為輸入參數，建立颱風暴潮偏差之預測模式。

本研究利用中央氣象局海象測報中心與國立中山大學合作開發的暴潮預報模式模擬2009年的潮位

變化，並以2009年四個颱風期間的實測潮位來校驗，分別為6月的蓮花(Linfa)颱風、7月的莫拉菲(Molave)颱風、8月的莫拉克(Morakot)颱風和10月的芭瑪(Parma)颱風。由於必須包含完整的颱風路徑，以便將颱風自形成所造成的影響納入考量，故模式範圍擴大至西北太平洋海域。其範圍為東經105度至東經150度，北緯15度至北緯42度(圖1)，模式解析度為三分的網格地形。同時，利用氣象局提供的參數化風場公式，以推算的風速及氣壓資料作為氣象輸入條件，將計算結果與氣象局提供之實測資料進行水位比對及分析。

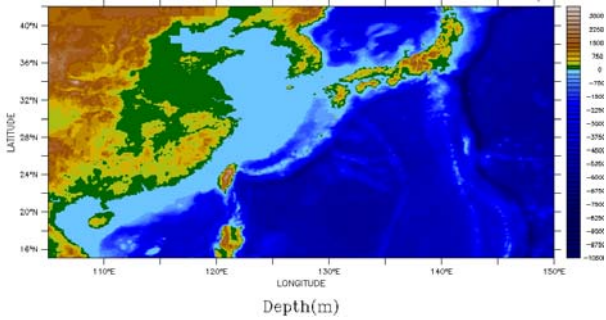


圖 1 暴潮模式模擬範圍

二、風暴潮模式

本文採用Yu(1993)所發展的潮流數值模式作為計算暴潮的水動力模式，此模式已經過長期的發展、修正及校驗(Yu *et al.*, 1994)，並於1998年成為比利時海岸管理單位作為航運安全及海岸保護的即時預報模式。

模式理論應用不可壓縮流體的基本水動力方程式，分別為動量方程式(momentum equation)與連續方程式(continuity equation)，分述如下：

動量方程式：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = f v - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -f u - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] \quad (3)$$

連續方程式：

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

由於三維的水動力模式在計算時間上相當耗時，又暴潮水位為海水表面重力波傳遞的現象，水層間的垂直循環並不會嚴重影響水位的計算，所以世界各國的暴潮預報模式仍以建置二維的水動力模式為主；由於垂直流速比水平流速小很多，因此可忽略不計，將水層間的流速積分後除以水深則可定義水深平均流速計算如下：

$$\bar{u} = \frac{1}{(h + \zeta)} \int_{-h}^{\zeta} u dz \quad \bar{v} = \frac{1}{(h + \zeta)} \int_{-h}^{\zeta} v dz$$

其中h為水深， ζ 為水位變化。

所以整個方程式可以改寫如下

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = f \bar{v} - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \alpha_x \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho(h + \zeta)} + \frac{\tau_{sx}}{\rho(h + \zeta)} \quad (4)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = -f \bar{u} - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \alpha_y \left(\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho(h + \zeta)} + \frac{\tau_{sy}}{\rho(h + \zeta)} \quad (5)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\bar{u}(h + \zeta)) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{v}(h + \zeta)) = 0 \quad (6)$$

底層摩擦產生之剪力可寫為

$$\tau_{bx} = \rho k \bar{u} \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}, \quad \tau_{by} = \rho k \bar{v} \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}$$

其中k為底床摩擦係數。

風於表層產生之剪力可寫為

$$\tau_{sx} = C_D \rho_a W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}, \quad \tau_{sy} = C_D \rho_a W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

表1為模式所示用的變數及參數。

本模式網格處理方式採用Arakawa-C網格分佈，即水位與流速交錯分佈。數值方法採用定格點有限差分法(Finite difference Scheme)，時間上的差分項則使用由Yu(1993)提出的改良式方向交錯式隱式法(Modified Alternating Direction Implicit scheme, MADI)，MADI scheme為ADI scheme (Dronker, 1969)改良而來，基本的計算方式為將一個時間網格分為兩部分，在第一部分計算時，東西向的動量與連續方程式使用隱式法計算，南北向的動量方程式則使用顯式法計算，第二部分則轉換為南北向的動量與連續方程式使用隱式法計算，東西向的動量方程式則使用顯式法計算。不但融合顯式法及隱式法的優點，可增加計算速度也可節省記憶體，同時又保存隱式法對穩定度不受影響的優點，適合用在水深變化很大的台灣海域。

表 1 風暴潮模式使用之變數及參數

v_t	垂直渦流(eddy)黏滯係數
ρ	水體密度(kg/m ³)
F	科氏力
G	重力加速度(m/s ²)
u、v、w	x、y 及 z 方向流速(m/s)
H	水深(m)
ζ	水位變化(m)
T	時間
p_a	大氣壓力(N/m ²)
τ_{bx}, τ_{by}	底床摩擦產生之剪力
τ_{sx}, τ_{sy}	風於表層產生之剪力
α_x, α_y	水平擴散係數
C_b	風驅係數
ρ_a	空氣密度(kg/m ³)
W_x, W_y	x 及 y 方向風速(m/s)
N	時間步
i, j	x 方向及 y 方向網格指標
adv_v	速度 v 之對流擴散項
adv_u	速度 u 之對流擴散項

三、潮汐資料分析

由中央氣象局提供2009年全年，每6分鐘一筆，共11個潮位站的水位資料。然而因人為、外在因素影響，或儀器故障、維護及更新等原因，出現不定期的斷續狀況，造成測站的潮位資料有缺失或錯誤的情形。各測站水位資料成功量測比例如表2。為避免後續分析偏差與錯誤，先根據合理性、連續性與過高或過低等原則進行潮位資料品管，進行剔除或補遺等動作，以利往後暴潮模式的比對與分析。

透過調和分析可將潮汐水位資料分解成數個不同振幅及週期的分潮。Pawlowicz *et al.*(2002)將Foreman(1978)調和分析程式碼改寫為MATLAB，並加入誤差估計(Error estimate)的計算，使得調和分析更易使用。根據美國國家海洋局(National Ocean Service, NOS)為水位與海流模式訂定之評估準則(skill assessment)(Zhang *et al.*, 2006)，水位資料時間的間隔最佳為每六分鐘一筆，長度至少要有六個月，進行的分析才具有代表性。在不同地區由於地形等因素影響，所以各個分潮在整個潮汐運動裡所佔的份量都各不相同，而各分潮對於潮位上的重要性表現在於分潮的振幅高低，也就是說振幅越大的分潮越能主導該區域天文潮的運動。

表 2 各測站水位資料成功量測比例

測站名稱	小琉球	富岡	花蓮	後壁湖
資料實有率	91.935%	99.190%	99.264%	76.418%
測站名稱	龍洞	麟山鼻	箔子寮	新竹
資料實有率	99.231%	98.313%	95.565%	96.807%
測站名稱	永安	綠島	澎湖	
資料實有率	98.983%	99.356%	97.616%	

本研究先以天文潮作為驅動，忽略風場及壓力場的影響，並進行1個月的模擬，使模式達穩定狀態(warm-up)。天文潮模式率定以一年的模擬結果，分析八個主要分潮， Q_1 、 O_1 、 K_1 、 P_1 、 N_2 、 M_2 、 S_2 及 K_2 ，先以模式推算得到的水位進行調和分析上述分潮的調和常數，即分潮振幅及相位角，將其重組後得到天文潮的水位，再與重組過後的實測資料互相做比對，根據兩者的均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)值調整相關參數，將模式修正為較符合臺灣周圍海域狀況的潮汐模式。

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{m,i} - x_{o,i})^2 / n} \quad (7)$$

$x_{m,i}$ ：模式結果， $x_{o,i}$ ：實測值

為評估模式的暴潮模擬能力，選定2009年四個颱風期間的暴潮預測作為案例；分別為6月的蓮花(Linfa)颱風、7月的莫拉菲(Molave)颱風、8月的莫拉克(Morakot)颱風和10月的芭瑪(Parma)颱風(各颱風路徑圖見圖2)，進而了解颱風對台灣沿岸水位造成的影響。藉由中央氣象局提供的參數化風場公式產生風壓場，將風壓場資料引入天文潮模式，推算各颱風對台灣沿岸的暴潮水位，依計算結果與氣象局提供之實測資料進行水位比對。

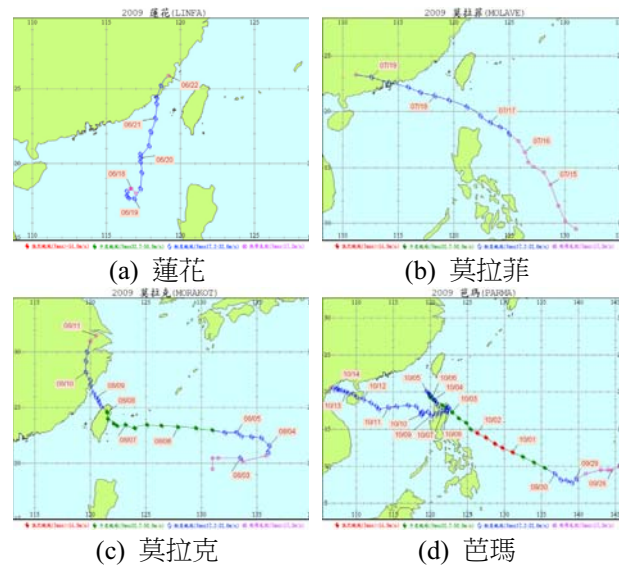


圖 2 2009年颱風路徑圖 (引自中央氣象局網頁)

四、模式結果與校驗

潮位受到天文潮的主導，故模式結果分為兩個部分討論，天文潮部分為模式初期建立時可提供模式驗證，而暴潮部分可由天文潮耦合風壓場後推算得知，模式結果將與實測資料進行比對。

(一) 天文潮模擬

進行一年純天文潮的模擬後，將模式結果與2009年11個潮位站之實測資料進行調和分析，比對各測站模式與實測潮位的分潮振幅及相位角，各測站調和常數比對見表3。各分潮振幅及相位角與實測值的差距皆不大，然模式東岸的結果較西岸佳，由於潮流自太平洋傳遞至台灣海峽內部時，受到地形大幅變化的影響及西海岸地形多為淺灘，測站又多位於港口內部，模式格點解析度僅為三分(約5.4公里)，無法精確描繪近岸之地形，致使台灣海峽內部之模擬結果較不理想，故造成誤差。表4為各潮位站模式與實測資料天文潮之均方根誤差，誤差平均在15公分以下，僅新竹測站誤差大於25公分以上。

表 3 各測站之調和常數比對 (A:振幅, G:相位角)

		小琉球	富岡	花蓮	後壁湖	龍洞
O1	A(model)	20.4	16.6	15.9	20.6	16.9
	A(obs)	17.6	15.9	14.2	19.9	16.2
	G(model)	232	197	194	224	198
	G(obs)	243	195	194	223	188
P1	A(model)	7.4	6.2	6.0	7.4	6.5
	A(obs)	6.2	5.9	5.2	7.5	6.7
	G(model)	269	225	221	259	227
	G(obs)	282	227	219	257	218
M2	A(model)	21.6	42.3	43.1	26.2	10.4
	A(obs)	22.2	43.9	44.2	26.5	21.9
	G(model)	210	168	166	196	228
	G(obs)	220	173	176	192	212
S2	A(model)	9.07	17.88	18.31	11.16	6.71
	A(obs)	7.51	18.35	19.77	11.85	10.71
	G(model)	227	198	197	218	225
	G(obs)	233	204	205	213	226
		箔子寮	新竹	永安	綠島	澎湖
O1	A(model)	23.3	22.2	20.4	16.1	23.4
	A(obs)	19.2	18.9	16.6	14.3	21.2
	G(model)	232	223	233	198	234
	G(obs)	237	219	237	199	238

P1	A(model)	8.8	8.5	7.4	6.0	8.8
	A(obs)	7.1	7.0	5.8	5.3	7.8
	G(model)	269	258	270	225	272
	G(obs)	275	251	270	223	274
M2	A(model)	102.1	158.2	22.9	42.1	77.2
	A(obs)	105.5	162.7	20.0	43.1	93.3
	G(model)	321	331	234	167	327
	G(obs)	317	318	242	171	324
S2	A(model)	24.03	42.72	8.17	17.85	17.04
	A(obs)	28.11	47.26	5.72	18.9	24.01
	G(model)	358	6	242	198	6
	G(obs)	4	2	251	204	14

表 4 各測站驗證天文潮之RMSE (單位：公分)

測站名稱	小琉球	富岡	花蓮	後壁湖
RMSE	17.17	4.54	6.55	5.14
測站名稱	龍洞	麟山鼻	箔子寮	新竹
RMSE	10.21	21.51	12.51	28.48
測站名稱	永安	綠島	澎湖	
RMSE	6.69	6.17	15.56	

(二) 風暴潮模擬

風暴潮模擬包含4個颱風期間(表5)，以蓮花颱風及莫拉克颱風為例說明。圖3分別為蓮花颱風及莫拉克颱風侵台當天的水位分佈狀況，配合圖2的颱風路徑圖可見水位受到伴隨颱風的低氣壓所引起的水位抬昇現象，尤其是台灣西部沿岸地區，若適逢大潮期間，低窪地區便有溢淹的可能性。

由模式結果可推知暴潮的分佈，亦可藉由實測水位資料，透過調和分析得知暴潮偏差的變化情況。圖4為台灣沿岸三個潮位站2009年之暴潮偏差時序分佈，位於西部的箔子寮測站在6月底至8月中旬，因蓮花、莫拉菲及莫拉克颱風侵台而有三段較明顯的暴潮偏差，最大暴潮偏差發生在8月初，約為1公尺。另外，位於東部的花蓮測站與富岡測站，則於莫拉克颱風侵台期間的暴潮偏差較明顯，亦約有1公尺的水位抬升。

圖 4 台灣沿岸三個測站2009年暴潮偏差

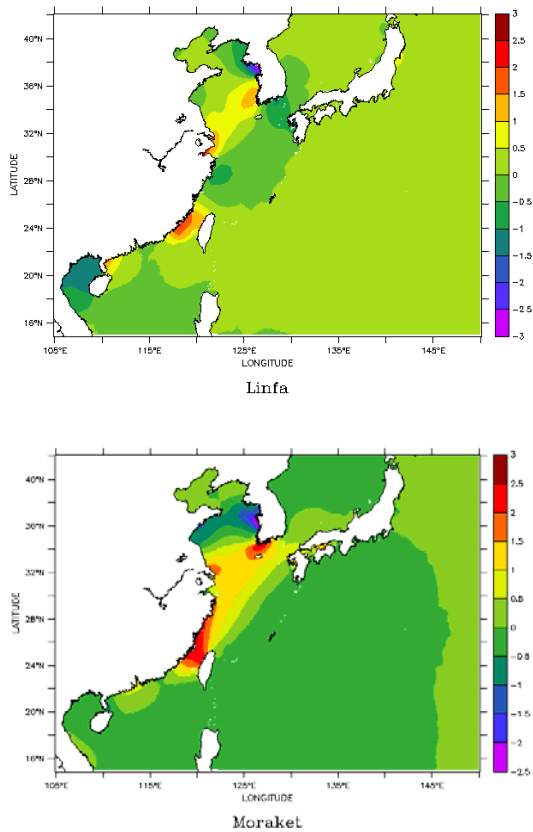


圖 3 蓮花颱風(上)和莫拉克颱風(下)侵台的水位分布

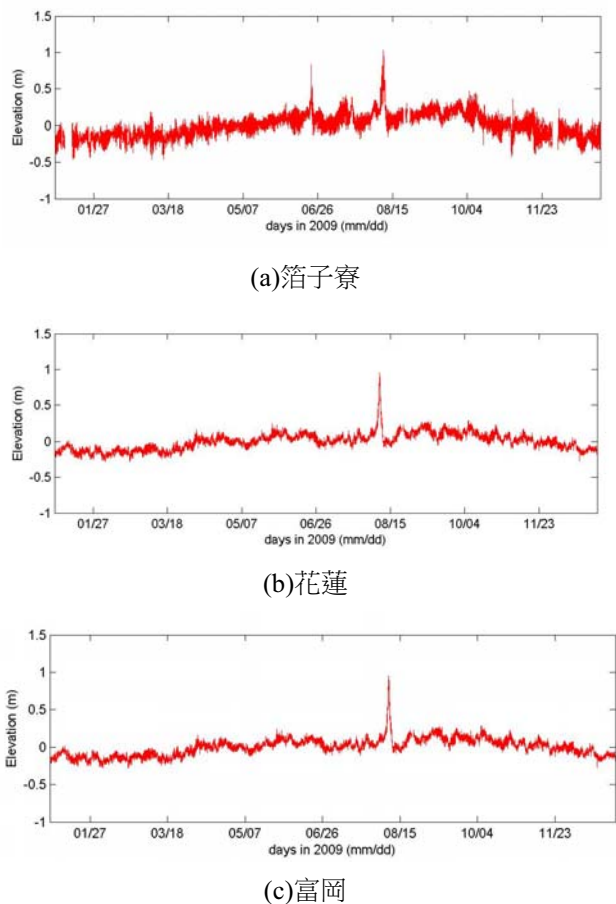


表 5 2009年中央氣象局發布警報之颱風
(引自中央氣象局網頁)

颱風名稱	侵台日期	海上發布警報期間	強度	近中心最大風速(m/s)
蓮花 (Linfa)	2009/06/21	06/19~06/22	輕度	28.0
莫拉菲 (Molave)	2009/07/17	07/16~07/18	輕度	28.0
莫拉克 (Morakot)	2009/08/08	08/05~08/10	中度	40.0
芭瑪 (Pama)	2009/10/05	10/03~10/06	中度	43.0

暴潮模式結果與實測資料時序比對，以相關係數 (R) 為基準進行比較。圖為蓮花颱風期間模式結果與台灣沿岸部分測站的水位時序比對，實線為模式結果，點為實測資料。圖5為不同颱風期間花蓮測站的水位聯合分布圖，橫軸為模式結果，縱軸為實測資料，從兩張圖可看出大致上符合，相關係數均有0.9以上，但模式有低估的情況。由於參數化風場中，輸入暴潮模式的氣壓場過低，且變化不大(見圖6)，因此造成此差異。

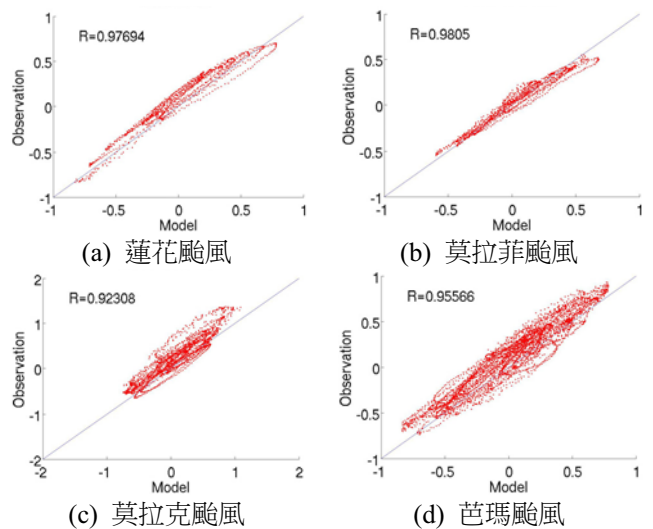


圖 5 不同颱風期間花蓮測站的水位聯合分布圖

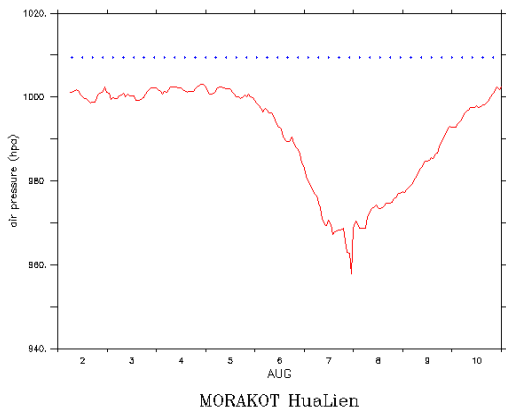


圖 6 莫拉克颱風期間花蓮測站氣壓場比較
(實線為實測值，虛線為輸入模式的氣壓值)

五、結論

藉由2009年全年天文潮及4個颱風期間模擬結果與11個測站的時序比對，模式結果與實測水位資料大致符合，除了在台灣海峽內部因地形變化而導致的誤差，未來若能採用網格解析度為1分的地形格點，模式結果將會因為地形解析度的增加而改善。

本文僅探討利用參數化風場產生的風壓場作為氣象因子的輸入，與實際的氣象資料有差異，未來亦可採用中央氣象局大氣模式的動態預報風壓場作為輸入的資料，將有助於暴潮模式模擬結果。

謝誌

本研究由中央氣象局海象中心99年度計畫「災害性天氣監測與預報作業建置計畫－改善海象預報作業99年度軟體委外開發設計案」提供相關資料與經費補助，特此致謝。

參考資料

1. 王啟竑, 于嘉順, 蔡清標, 2009: “類神經網路應用於颱風暴潮之預測”, 第31屆海洋工程研討會論文集, 615-620
2. 李賢文, 1984: “沿海窪地與海水堆升之研究(1)-台灣周圍海域颱風暴潮數值模式”, 行政院國家科學委員會防災科技研究報告73-01號.
3. 邱銘達, 高家俊, 馮智源, 江俊儒, 2006: “颱風暴潮數值推算準確度提升之研究”, 第28屆海洋工程研討會論文集, 253-258.
4. 侯和雄, 王玉懷, 陳森河, 1995: “颱風暴潮之討-龍洞案例”, 第17屆海洋工程研討會論文集, 351-355.
5. 徐月娟, 曾淑芬, 陳進益, 蔡恆雄, 1998: “台灣地區八十三年至八十六年颱風暴潮特性之初步

- 研究”, 交通部中央氣象局學報, 42卷, 3期, 230-247.
6. 楊春生, 1974: “台灣北岸暴潮推算之研究”, 台南水工試驗所土木水利學術彙刊, 49-63.
7. 劉孔尚, 1983: “中國海域三度空間數值模式”, 行政院科技顧問組印行.
8. 蔡瀚陞, 2000: “淡水河口颱風暴潮水位之研究”, 國立台灣大學土木工程學系研究所, 碩士論文.
9. 龔誠山, 蘇國旭, 楊慶宗, 1997: “颱風暴潮推算”, 中興工程顧問社.
10. Cheung K.F., A.C. Phadke, Y. Wei, R. Rojas, Y. J. -M. Douyere, C. D. Martino, S. H. Houston, P. L. -F. Liu, P. J. Lynett, N. Dodd, S. Liao and E. Nakazaki, 2003: “Modeling of storm-induced coastal flooding for emergency management”, *Ocean Engineering* 30, 1353-1386.
11. Dronkers, 1969: “Tidal computations in rivers, coastal areas and seas”, *J. of Hydraulics ASCE* 95, 44-77.
12. Foreman, M. G. G., 1978: “Manual for tidal analysis and prediction”, *Pacific Marine Science Report* 78-6, Institute of Ocean Science, Patricia Bay, Sidney, BC 57.
13. Hansen, W., 1956: “Theorie zur Errechnung des Wasserstands und der Stromungen in Randemeeren”, *Tellus* 8, 287-300.
14. Pawlowicz R., B. Beardsley, and S. Lentz, 2002: “Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE”, *Computer & geosciences* 28, 929-937.
15. Weare, T. J., 1976: “Finite element or finite difference methods for the two-dimensional shallow water equations?”, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 7(3), 351-357.
16. Yu, C.S., 1993: “Modelling shelf sea dynamics and estuarine circulations”, Ph.D. Thesis, Dept. of Civil Eng., K.U. Leuven.
17. Yu, C.S., Marcus, M. and Monbaliu, J., 1994: “Numerical modeling of storm surges along the Belgium coast”, In: *Computational Methods in Water Resouces X*, Peters et al. (eds), Water Science Technology Library, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1331-1338.
18. Zhang, A., Kurt W. Hess, Eugene Weij and Edwards Myers, 2006: “Implementation of model skill assessment software for water level and current in tidal regions”, NOAA Technical Report NOS CS 24.