

颱風暴潮數值推算準確度提升之研究

邱銘達¹ 高家俊² 馮智源³ 江俊儒³

¹ 國立成功大學水利及海洋工程學系博士班研究生

² 國立成功大學水利及海洋工程學系教授

³ 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士班研究生

摘要

本文利用 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。首先測試不同的風阻力計算參數對暴潮計算的影響，其中以 Smith and Banke(1975)的計算結果較佳。進一步討論包括推算暴潮時同時推算天文潮與否，以及使用 2 維或 3 維模式進行推算時對暴潮推算結果的影響。從分析結果中發現，在台灣海峽內使用 2 維與 3 維的計算模式，對於天文潮的影響可以產生的差異達 50 公分約為最大潮差的 12% 左右。進一步，暴潮與天文潮的交互作用對暴潮的影響最大約 4 公分，約為最大暴潮偏差的 6% 左右。

Study of the Numerical Storm Surge Prediction

Ming-Da Chiou Chia Chuen Kao Chung-Ju Chiang

ABSTRACT

In the present study, Princeton Ocean Model(POM) was adopted to simulate and analysis the characteristic of storm surge. We tested different drag coefficient parameters, which can be used to calculate the 10m wind velocity to the wind stress. The results of these tests show that the Smith and Banke (1975) is the best fit. Furthermore the surge-tide interactions and the 2d and 3d mode have been tested to quantitative the influence of the surge simulation. The results show that the 2D and 3D mode can lead the difference of tidal simulation about 50 cm. The max influence of surge-tide interaction are about 5 cm, which means about 7% of max surge high.

一、緒論

台灣位於大陸棚與太平洋之交會區域，因所在區位地理位置、地質條件及太平洋氣象條件之特殊性，故經常受地震及颱風兩主要災害性外力的作用。尤其海岸地區，颱風造成之海洋水動力現象（例如波浪與暴潮）往往在天文大潮時刻，對海岸地區之結構設施與生命財產造成最嚴重之破壞與溢淹威脅。颱風暴潮是由於颱風引起的氣壓與風場的變化，而產生水位異常變化的現象，包括因颱風中心之低氣壓所吸起的水位上

升，以及作用於水體表面之風剪應力所產生的水位上升。

國內學者對於暴潮的研究有楊(1974)應用線性模式模擬北台灣地區的暴潮水位；黃(1975)則以經驗公式推算花蓮港暴潮水位；魏(1976)則採用統計經驗法分析澎湖、高雄港、台西等地的暴潮特性。在 1970 年初期，國內的學者主要著重在於利用實測資料，配合統計方法來分析暴潮的特性，到 1970 年代末期，李(1979)以流體動力方程建立整個台灣海峽沿岸的暴潮數值模式，直到 1984 年完成台灣周圍海域颱風暴潮數值模式之建立；劉(1987)發展出三維颱風暴潮數

值預報模式，模式中並考慮到溫度及鹽度的變化，但是侷限於特定區域的模擬。

二、影響颱風暴潮推算的因子

2-1 風剪力與氣壓

氣象因子乃是產生暴潮的主要外力，主要包含風剪應力與颱風中心與外圍的氣壓差所造成梯度力。在深水海域中，由氣壓所引起的暴潮分量大致符合靜水壓公式($P = \rho gh$)，即氣壓降低一百帕，則水位上升約一公分。

在淺水區域，風剪力對暴潮的影響逐漸變的明顯，且其作用的物理機制複雜。目前由模式所計算的風剪力所產生的暴潮偏差分量的大小與風剪力 τ_u 的計算結果有顯著的關係(Bode etc. 1997)。 τ_u 的計算方式如(1)所示，

$$\tau_u = \rho_a C_D u |u| \quad (1)$$

其中 ρ_a 為空氣的密度而 C_D 是風阻力參數。 C_D 可透過 Smith and Banke 公式(2)計算:

$$C_D = 0.001 * (\alpha + \beta |V|) \quad (2)$$

其中 V 是風速， α 與 β 並非定值，然而 C_D 值的決定直接影響到風剪應力的計算，進而對於由風剪力所引起的暴潮偏差產生影響。表 1 列出幾位學者所採用的參數值。

表 1 各文獻所採用之計算風阻力系數之參數值

	α	β	R^2
Smith and Banke(1975)	0.63	0.065	0.87
Garratt(1977)	0.73	0.067	0.82
Smith(1980)	0.61	0.063	0.85
Wu(1980,1982)	0.80	0.065	0.84

2-2 天文潮與暴潮的交互作用

最大暴潮水位與天文大潮同時發生時，特別容易是起海岸溢淹、造成海岸災害。Prandle and Wolf (1978) 與 Heaps (1983)指出，如果忽略兩者的交互作用，僅單存的將二者所引起的分量線性疊加將可能導致暴潮預測的誤差發生。

由模式的控制方程來看二者的交互作用，主要來源為，底床摩擦力這一項。如同風剪力的計算方式，底床摩擦力與流速值相關，而水深會改

變底床摩擦係數。因此，由於風剪力所造成的流速與潮流流速相加，將使得底床摩擦力產生變化。同樣的天文潮產生的水位週期變化與暴潮偏差相加，亦會在水深較淺處改變底床摩擦力。

2-3 二維與三維

POM 模式在處理二維與三維的計算上的差別主要在於底床剪應力與紊流混合參數二項的計算上。將 POM 設定為二維計算模式時，此二項的計算將直接使用一個二次函數來表示。關於 POM 模式在使用三維計算模式的理論及差分計算方式可在其使用手冊中找到(POM UG, 2002)。

三、數值模式配置

暴潮是一種由強烈的大氣擾動及氣壓急遽變化所引起的異常顯著的水位變化現象，大致上可以區分為以下二類(王，2000)，一是由高氣壓天氣系統產生的氣旋所引發的暴潮，如中國大陸地區冬季常有寒潮從北方南下時的大風、冷鋒過境產生強烈的水位變化，稱作寒潮型暴潮；二是由低氣壓天氣型態下不穩定的風場和氣壓場所引發的暴潮。此種低氣壓天氣系統，在西北太平洋發生稱為颱風，主要受到颱風本身低氣壓與風速對海面上造成水位的變化，其中颱風中心低氣壓與環境的氣壓不同，形成壓力梯度，此壓力梯度造成水位的變化；風力對海面上造成拖曳力，此拖曳力帶動海面上的水位產生變化。由低氣壓天氣系統所造成的暴潮現象，又稱颱風型暴潮，本文針對颱風型暴潮進行分析與討論，所採用之數值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 Model(簡稱 POM)。

3-1 模式計算區域

模式計算之區域範圍繪於圖 1 中，介於東經 113 度到東經 129 度及北緯 18 度到北緯 30 度。在此模擬區域台灣東部地帶為太平洋海域，水深較深，平均深度約為 5000 公尺，西部介於中國大陸與台灣之間的台灣海峽為近岸地區，水深較淺，平均水深約在 80 公尺左右。地形資料取自 ETOPO2，網格間距為 2 分。本文依據中央氣象

局發布颱風警報單，當颱風中心位置在模式計算區域時，即開始進行暴潮水位的推算。模式在時間網格上的計算採用 mode splitting 方法，分為二維運算的外模（external mode）與三維運算的內模（internal mode），其積分時步長分別設定為 3 秒與 60 秒。

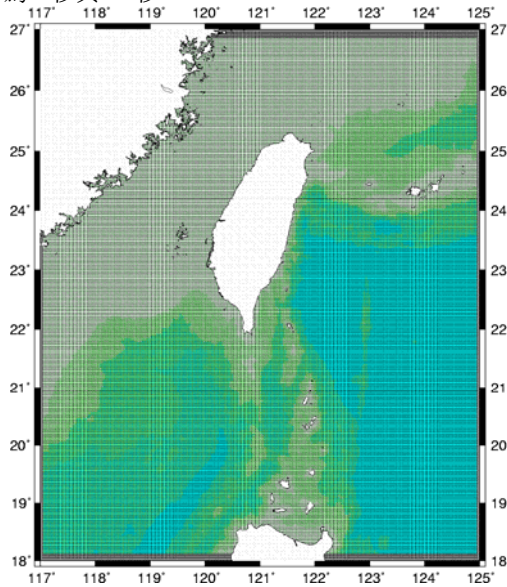


圖 1 模式計算區域網格圖

3-2 水位邊界條件

本文使用全球潮汐模式 OSU TPOEX/Poseidon global inverse model TPXO 7.0 (Egbert et al., 1994; Egbert et al., 2002) 做為側邊開邊界條件的輸入值，藉此做為模式的天文潮驅動力。一般處理的方法是先計算調和常數的振幅與相位，然後暴潮模式再透過該調和常數合成水位值。利用此一做法需要注意調和常數的相位基準時間與模式起始時間是否吻合。如果不吻合，必需在模式裏考慮二者的時間差或是改變調和分析的基準時間並重新計算調和常數的相位值。本文將全球潮汐模式 TPXO7.0 與 POM 結合，由 POM 直接呼叫全球潮汐模式進行邊界水位的計算，藉此避開相位基準時間的差異所造成的相位偏移問題。TPXO7.0 共包含 21 個分潮，分潮名稱列於表 2 中。本文採用八個主要的調和分潮 M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1 and Q1。

表 2 全球潮汐模式 TPXO7.0 採用之分潮名稱

M2	s2	K1	o1
n2	p1	K2	q1
2n2	mu2	nu2	l2
t2	j1	no1	oo1
rho1	mf	mm	ssa
m4			

3-3 颱風氣壓場及風場

在颱風期間，引發暴潮的主要成因為颱風中心低氣壓所產生的倒氣壓計效應以及風剪力對海面所造成的影響。所以，描述颱風所形成的氣壓場與風場是模式中主要的作用力來源。文中所採用的氣壓場為過去學者所提出的參數化圓形颱風氣壓經驗公式。風場則採用 Veno Takeo(1981) 提出的方法計算。

3-2-1 颱風氣壓場計算

台灣地區由於受到颱風氣壓與風的氣象變化，使得海面發生水位的升降。亦即颱風期間的氣壓場與風場是引發暴潮的主要外力來源，關於颱風氣壓分佈，本文採用 Jelesnianski(1965)等人提出不同的氣壓分佈形式，公式如式(3)

$$\begin{aligned} P &= P_0 + 0.25\Delta P(r/R_0)^2 & r \leq R_0 \\ P &= P_0 - 0.75\Delta P/(r/R_0) & r > R_0 \end{aligned} \quad (3)$$

式(3)中， $\Delta P = P_\infty - P_0$ ， P_∞ 是颱風外圍氣壓， P_0 是颱風中心氣壓， r 是計算點至颱風中心的距離， R_0 為最大暴風半徑，在此採用 Graham 和 Nunn(1959)之建議為式(4)

$$\begin{aligned} R_0 &= 28.52 \tanh[0.087(\phi - 28)] \\ &+ 12.22 / \exp[(1013 - P_0)/33.86] + 0.2V_f + 37.22 \end{aligned} \quad (4)$$

式(4)中， V_f 為颱風前進速度， ϕ 為緯度。

3-2-2 颱風風場計算

颱風的風場分佈由兩個部份組成，一是與颱風中心移動速度有關的風速；二是與颱風氣壓梯度有關的對稱梯度風速，由單位空氣質點繞颱風作圓周運動的離心力、壓力梯度力、科氏力的平衡來求出。

颱風基本風場採用 Veno Takeo(1981)的公式表示

$$\vec{V} = V_x \exp\left(-\frac{\pi|r-R|}{4R}\right)\vec{i} + V_y \exp\left(-\frac{\pi|r-R|}{4R}\right)\vec{j} \quad (5)$$

若將座標原點取在固定計算區域，則颱風風域中的風分佈取以下形式：

$$W_x = C_1 \exp\left(-\frac{\pi|r-R|}{4R}\right)V_x + C_2 \frac{f}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{4}{1.293} \cdot \frac{\Delta p}{rR_0} \cdot \frac{s^2}{f^2} \cdot 10^{-4}} - 1 \right) \times (x \sin \theta + y \cos \theta) \cdot 10^3 \quad (6)$$

$$W_y = C_1 \exp\left(-\frac{\pi|r-R|}{4R}\right)V_y + C_2 \frac{f}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{4}{1.293} \cdot \frac{\Delta p}{rR_0} \cdot \frac{s^2}{f^2} \cdot 10^{-4}} - 1 \right) \times (x \sin \theta - y \cos \theta) \cdot 10^3 \quad (7)$$

其中 $s = 1/(1+r/R_0)$ 、 V_x 、 V_y 為颱風移動速度在 x 、 y 方向的分量， C_1 和 C_2 是颱風特性參數， θ 取 20° 來進行計算。

四、結果討論

從文獻的整理中可知，風阻力係數與暴潮的計算結果正確與否有很大的關係。本文將表 1 的阻力係數帶入模式中實際計算，並與實測值比較，計算其相關性 (R^2)。其中以 Smith and Banke(1975)之結果最為理想，本文後續之案例均採用 Smith and Banke(1975)之結果。

為探討二維與三維模式對暴潮推算結果的影響以及天文潮與暴潮間的交互作用，設計了六組數值模式試驗，其配置如表 1 所示。表中，Case1 與 Case4 為天文潮的計算，其目的在於分別與 Case3 及 Case6 相減之後求得 Case3 與 Case6 的暴潮值。採用的颱風案例為 2004 年 10 月之納坦颱風，並選定竹圍、新竹與梗枋三個觀測站做為比對的對象。暴潮的計算結果與實測結果比對則繪於圖 2~圖 5 中。圖 6 所示則為 Case4 減去 Case1 的結果，藉以計算採用二維與三維模式的結果所產生的差異。由計算結果可以知道，採用三維模式計算暴潮，其暴潮的推算結果較採用二

維時理想，且產生的差異可達 12%。圖 7 所示為先將 Case6 的計算結果減掉 Case4 的計算結果以求得天文潮與暴潮的交互作用下所產生的暴潮，再將此結果減去 Case5 的計算結果以求得其與單純計算暴潮時的差異。由結果可知，天文潮與暴潮的交互作用對暴潮計算的影響最大雖然僅約 4 公分，約佔納坦颱風期間產生的最大暴潮偏差約 70 公分的 6%。從整體結果來看，採用三維的計算模式，並且於推算暴潮時同時計算天文潮，其模式的結果最佳。

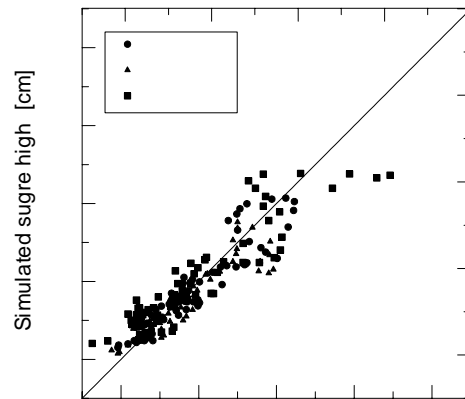


圖 2 模式(Case2)之暴潮計算結果與實測值比較

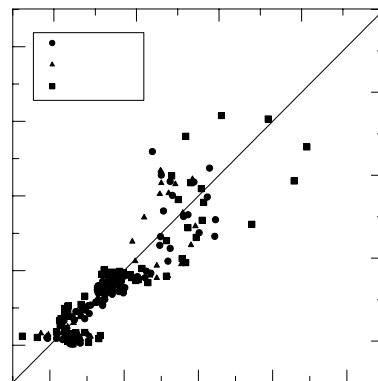


圖 3 模式(Case3)之暴潮計算結果與實測值比較

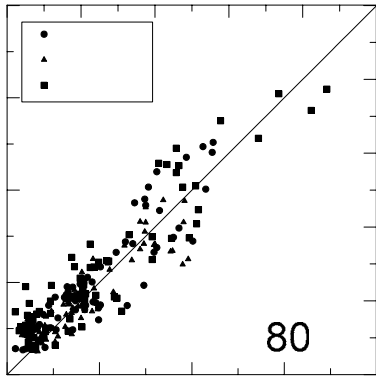


圖 4 模式(Case5)之暴潮計算結果與實測值比較

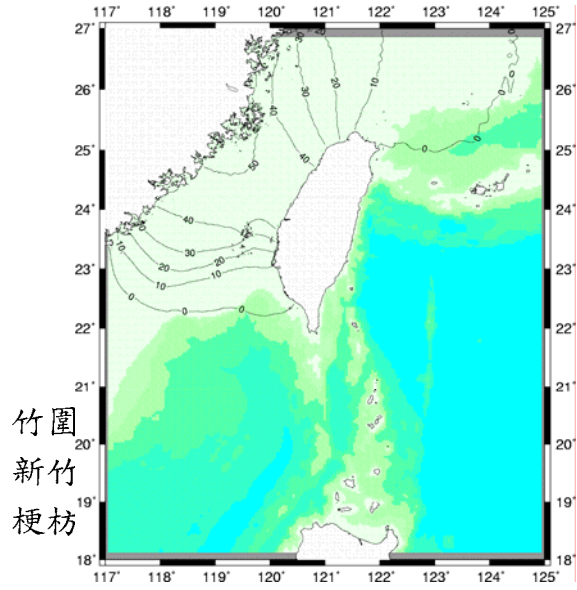


圖 6 2 維與 3 維計算結果差異圖(abs(Case4-Case1))

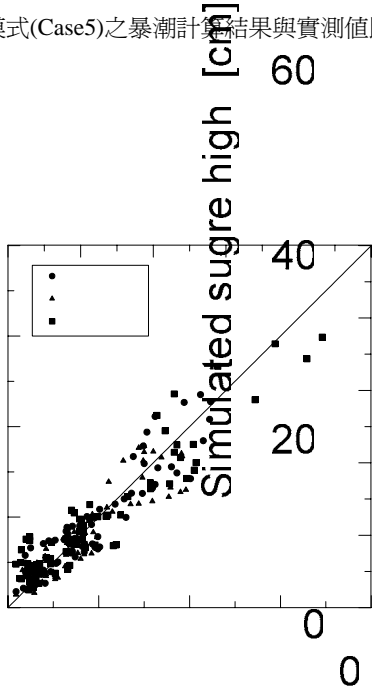


圖 5 模式(Case6)之暴潮計算結果與實測值比較

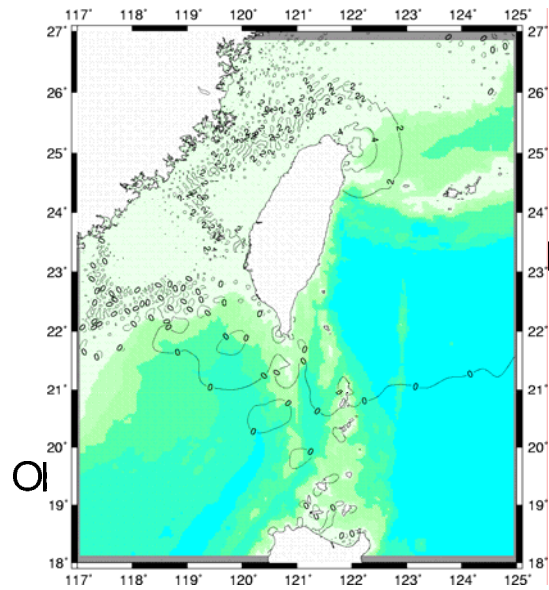


圖 7 天文潮與暴潮之交互作用對暴潮計算的影響

abs[(Case6-Case4)-Case5]

80

80

cm] 60

竹圍
新竹
梗枋

表 1 數值試驗控制條件列表

CASE	四側邊界	風與氣壓	維度
1	TPXO	無	二維
2	無	經驗式	二維
3	TPXO	經驗式	二維
4	TPXO	無	三維
5	無	經驗式	三維
6	TPXO	經驗式	三維

五、 結論

本文討論暴潮數值模式來探討颱風侵襲台灣時的暴潮特性，並對於氣壓與風剪應力兩種驅動力反應在暴潮水位中的效應做一討論。為了達成以上目標，本研究採用台灣環島潮位測站的資料進行分析與統計，並配合數值推算的結果，從實測水位資料整理颱風暴潮之定性結果，配合數值推算結果給予定量結果，來說明颱風暴潮的特性，本文研究成果歸納如下：

將全球潮汐模式與 POM 模式結合。

本文比較四位學者所提出的風阻力係數計算公式中的參數。其中以 Smith and Banke(1975)的計算結果最為理想。

從天文潮的計算結果來看，採用二維的計算模式與三維的計算模式所產生的差異與水深有關，水深愈淺其差異愈大，差異可達約 12%。

天文潮與暴潮的交互作用對暴潮的推算結果的影響較採用二維與三維所產生的影響來的小，佔最大暴潮偏差的約 6% 左右。

謝誌

本文係國科會專題研究計畫「資料同化應用於颱風暴潮數值預報之研究(3/3)」(計畫編號：NSC94-2611-E-006-001)之研究成果，承蒙國科會經費之贊助使本研究得以順利進行，謹致感謝之意。

參考文獻

1. Jelesnianski, C. P. (1972) "SPLASH (Special Program to List the Amplitudes of Surges from Hurricanes): I. Landfall Storms," *NOAA Technical Memorandum NWS TDL-46, National Oceanic*

and Atmospheric Administration, U. S. Department of Commerce.

2. Breaker, L. C., Burroughs, L. D. and Chao, Y. Y. (1993) "The Impact of Hurricane Andrew on the Near-Surface Marine Environment in the Bahamas and the Gulf Mexico," *Weather and Forecasting*, Vol. 9, pp. 542-556.
3. Blumberg, A. F. and Mellor, G. L. (1987) "A Description of a Three-dimensional Coastal Ocean Circulation Model," *Three-Dimensional Coastal Ocean Models*, Vol. 4, pp. 1-16.3.
4. Mellor, G. L., (2002) *Users Guide for a Three-Dimensional, Primitive Equation, Numerical Ocean Model (June 2004 version). Program in Atmospheric and Oceanic Sciences. Princeton University. 56pp.*
5. Lance Bode and Thomas A. Hardy (1997) "Progress and Recent Developments in Storm Surge Modeling," *Journal of Hydraulic Engineering*, April.
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，第 49-63 頁。
7. 魏靖松 (1976) 「暴潮統計分析及數值推算」，國立成功大學水利及海洋研究所碩士論文。
8. 李賢文 (1984) 「沿海窪地與海水推升之研究 (1)-台灣周圍海域颱風暴潮數值模式」，防災科技研究報告。
9. 劉肖孔 (1987) 「台灣海域颱風暴潮及氣象潮數值預報模式研究計畫」，第三階段成果報告，中央氣象局研究報告第 279 號。
10. 徐月娟、曾淑芬、陳進義、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」，交通部氣象局氣象學報 42 卷第 3 期，第 230-247 頁。
11. 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研究所碩士論文。
12. 鄭允翔 (2003) 「颱風暴潮與颱風特性關係之研究」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。