

淡水河河口受颱風暴潮影響水位之預報研究

蔡瀚陞¹ 陳明仁²

摘要

本研究先作淡水河河口站之天文潮位調和分析，建立天文潮位預測模式，推算過去歷史颱風下淡水河河口站之暴潮影響水位（surge deviation）。再經由控制方程式之因次分析，推得暴潮影響水位與氣壓、風速及風向關係之推算式。本研究並建立颱風模式，以颱風位置、颱風移動速度與方向、颱風中心氣壓與風速、颱風影響範圍資料，推算淡水氣象站（河口站附近）之氣壓、風速及風向。最後以過去氣象單位之颱風動態資料，作為原始預測資料，綜合上述之天文潮預測、颱風模式及暴潮推算式，並以即時實測潮位作回饋演算，以預報未來 1~6 小時之潮位。

Study of Typhoon Surge Deviation Forecasting on the Mouth of Tanshui River

Han-sheng Tsai¹, Ming-jen Chen²

一、前言

台灣地處亞熱帶且四周環海，屬於西太平洋海島型氣候國家，每年夏秋兩季期間平均有 3 至 4 個颱風侵襲台灣，是造成台灣沿海地區發生暴潮的主要原因。台灣受颱風侵襲，伴隨低壓、強風、豪雨及巨浪，在海岸地區造成異常水位之堆升，這些因颱風引起之異常水位稱為颱風暴潮，其暴潮位之大小與颱風路徑（徐月娟等，1998）、暴風圈大小及強度有關。當颱風過境，由於颱風中心附近之低氣壓造成海水位上升。又颱風附近強風吹襲，造成迎風面海水的堆積，常使海岸地區海水位抬升，產生大浪進入近岸，近岸碎波帶急遽湧升。暴潮位與天文潮位之差值稱為「暴潮影響水位」（surge deviation），示意如圖 1。

二、目的

台灣由於河川短且坡度陡，洪水預警的時間通常只有幾小時，淡水河流域具有的一些不利於防範暴潮之條件，如盆地低窪、感潮、河流於台北橋及關渡附近出口狹隘、過去遭遇累積地層下陷影響、坡陡流急以及人口密集等，加上颱風每年侵台頻繁，常有洪患。近十幾年來，翡翠水庫、基隆河截彎取直以及大台北防洪工程雖已陸續完工，但自民國 85 年起至今之賀伯、溫妮、瑞伯及芭比絲颱風均造成洪患，防洪工作仍輕忽不得。淡水河為感潮河川，颱風期間之淡水河河口受到颱風暴潮影響在所難免，而若其與天文潮之大潮在時間上一致，將造成相當程度之暴潮位，不可不預為探討暴潮特性及其影響。目前台灣尚無颱風期間運用於現場之即時暴潮預報模式，本研究以民國 79 年 9 月~民國 87 年 12 月水利處

淡水河河口站之逐時實測潮位，以年為單位進行調和分析，再與實測潮位之差值求出暴潮影響水位作為模擬之基準。從暴潮的基本方程式—Navier-Stokes 方程式以無因次分析及級次分析的方法推導出適用於淡水河口之暴潮影響水位推算式。另以颱風動態資料代入颱風模式推估淡水氣象站在颱風期間之氣壓、風速、風向值，由暴潮影響水位推算式預報未來 1~6 小時暴潮影響水位，再根據河口站潮位實測值作回饋演算修正，推估淡水河河口在颱風期間之暴潮位。

三、颱風中心路徑分類

氣象局徐月娟（1998）曾將民國 83 年至民國 86 年間颱風暴潮對台灣地區的造成影響的颱風路徑作分類，共 11 條路徑。本文由上述路徑選出三條對淡水河口口的暴潮影響水位影響較大的三條路徑如圖 2，分如下：

- 1.B 路徑：西行颱風中心行經台灣北部海面（俗稱的西北颱）。
- 2.D 路徑：西行颱風中心登陸台灣北部陸地。
- 3.G 路徑：北行颱風中心行經台灣東部海面。

不同路徑的颱風，由於受到中央山脈的地形影響的不同，與颱風行進速度的不同，所以對淡水河口口的暴潮影響水位的時間影響歷程也不一樣。

四、潮位資料補遺與天文潮位預測

4.1 潮位資料補遺

由於河口站各年份資料大部分均有遺缺，本研究將先以河口站民國 80、82 及 83 年之三年完整資料，各自

¹ 國立台灣大學土木工程學系研究生

² 國立台灣大學水工試驗所技士

作該年之調和分析，並據以補齊河口站其餘民國 81、84~87 年中所遺缺之水位。

以河口站當年資料(若有遺缺則以前述補遺之資料代入)作調和分析後預測當年當年逐時天文潮水位，為了求得更準確的天文潮位，並濾掉颱風期間的水位資料，改以預測的水位資料代替，其與當年資料之均方根誤差在 11 cm 以內。

檢定模擬結果的優劣，以均方根誤差 ERR_{rms} 作為評定之標準，定義為天文潮模擬水位與實測天文潮水位所得差值得平方累積後除以其個數減一，表示如下式：

$$ERR_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (H_{for} - H_{obs})^2}{N-1}} \quad (1)$$

式中， H_{for} 及 H_{obs} 分別表示天文潮位演算未來 t 時刻 ($t=1 \sim N$) 的天文潮位與實測潮位； i 為時間指標； N 為演算至 t 時刻之時數。

4.2 天文潮位預測

利用民國 80 年 1 月至民國 87 年 12 月共八年的水利處河口站的潮位資料，資料遺缺者，已利用預測天文潮的方式加以補遺，並將受到颱風影響的水位資料濾除，進行 60 個分潮位的調和分析得出淡水站各個分潮位的振幅與相位角，其中四個最主要的分潮為 M_2 、 S_2 、 N_2 及 O_1 ，其振幅分別為 104.6 cm、28.8 cm、20.1 cm 及 16.4 cm，其潮位約為 169.9 cm，與柳、許等 (1998) 對河口站進行調和分析之結果， M_2 、 S_2 、 N_2 及 O_1 ，其振幅分別為 104.97 cm、27.76 cm、20.94 cm 及 16.21 cm，與本文所演算結果相近。本文將民國 80 年至 87 年潮位資料進行調和分析後，與實際潮位比較，其均方根誤差平均約為 12 cm。

再利用天文潮式 (2) 可推求未來時刻之天文潮位

$$y(t) = A_0 + \sum_{i=1}^r H_i \cos(w_i t - \varepsilon_i) \quad (2)$$

式中， A_0 ：代表平均水位； H_i ：各分潮 i 振幅(未知)； ε_i ：各分潮之相位角(未知)； w_i ：各分潮之角頻率(已知)。

五、暴潮推算式之模擬驗證

利用 Navier - Stokes 方程式與連續方程式經由化簡得出暴潮影響水位的推算式

$$\Delta\zeta = \frac{\Delta p}{\rho_w g \left[1 - \frac{C_d^2}{gh} \right]} + \frac{\tau_s - \tau_b}{\rho_w g h} F \quad (3)$$

其中 $\Delta\zeta$ 為暴潮影響水位； Δp 為正常大氣壓探 (1,013.2 mb) 與測站氣壓的差值； τ_s 為海面風剪應力； τ_b 為底床剪應力； ρ_w 為海水密度； g 為重力加速度； h

為水深； F 為風吹距離 (fetch length) 本研究採 175 km。

底床剪應力如非水深很淺，底床剪應力可忽略，海面摩擦力 τ_s 可改寫為 (4) 式

$$\tau_s = C_d \rho_a |U_{10}| U_{10} \quad (4)$$

其中 C_d 為拖曳係數，本文採用 Smith and Banke (1975) 所採公式作演算，其式如下：

$$10^3 C_d = 0.63 + 0.066 U_{10}$$

$$(2.5 \text{ms}^{-1} < U_{10} < 21 \text{ms}^{-1}) \quad (5)$$

考慮風向岸推升作用，則可將 (3) 式改寫成下列 (6) 式：

$$\Delta\zeta = \frac{\Delta p}{\rho_w g \left[1 - \frac{C_d^2}{gh} \right]} + \frac{C_d \rho_a F}{\rho_w g h} U_{10}^2 \cos \theta \quad (6)$$

其中 U_{10} 為淡水氣象站風速經換算海平面以上 10 公尺的風速； C_d 為拖曳係數； ρ_a 為空氣密度； C_d 為颱風前進速度； θ 為風向與海岸線得法線向量的交角。

將原始方程式 Navier - Stokes 方程式進行無因次分析，決定出對暴潮影響水位有影響的參數，分析結果選出測站當地之氣壓、風速與風向，再加上颱風前進速度與淡水河口站附近海域水深與風吹距離 (fetch length) 等 6 項主要參數，其中颱風前進速度與颱風路徑有關，颱風若行經測站時，颱風前進速度與波的行進方向同向時，由式 (6) 看來，若波速與颱風前進的速度相同時，所造成的暴潮影響水位將趨近無限大，不過事實上自然界並不會發生，因為颱風前進速度瞬時萬變，加上摩擦損失存在；而颱風的行進方向則會對暴潮影響水位有加成的效用。

六、颱風模式

Jelesianski (1965) 考慮颱風為一定常 (stationary) 的狀態，將颱風當作是一個圓形的氣旋進行模擬，中心風速成為對稱分布，在距離中心 R 處為眼牆所在，也是颱風的最大風速所在，分析颱風所產生的風速以及氣壓分布。

1. 風速的分布：

根據模式，我們可以假定距離颱風中心距離為 r 的風速 W ，為

$$W = W_R \left(\frac{r}{R} \right)^{3/2}, \quad 0 \leq r \leq R \quad (7)$$

$$W = W_R \left(\frac{R}{r} \right)^{1/2}, \quad r > R \quad (8)$$

2. 氣壓的分布：

假設在無摩擦力損失的情況之下，Jelesnianski (1965) 假設科氏力的影響不計，考慮地衡風與氣壓梯度的平衡關係如式 (9)。

$$\frac{1}{\rho_a} \frac{\partial P_a}{\partial r} = \frac{v_{gr}^2}{r} \quad (9)$$

由尺度分析來看，科氏力與離心力大小等級相近的，所以式 (9) 的平衡關係式不應忽略科氏力的影響，將 Jelesnianski 颱風模式的氣壓場式改寫為：

$$\frac{1}{\rho_a} \frac{\partial P_a}{\partial r} = \frac{v_{gr}^2}{r} + f v_{gr} \quad (10)$$

再將上兩式積分得出一組新的氣壓分布

$$P_a = \frac{1}{3} \rho_a \left(\frac{W_R}{c} \right)^2 \left(\frac{r}{R} \right)^3 + \frac{2}{5} \rho_a f \frac{W_R}{c} r^{2.5} + P_0, \quad 0 < r \leq R \quad (11)$$

$$P_a = -\rho_a \left(\frac{W_R}{c} \right)^2 \frac{R}{r} + 2 \rho_a f \frac{W_R}{c} R^{0.5} r^{0.5} + P_{\infty} - const, \quad r > R \quad (12)$$

七、預報模式之建立

採用測站歷史氣象資料推算暴潮影響水位，屬於事後的模擬。若颱風接近時，再以當地的測站資料計算來作為預警的依據，時效上恐有不及之虞。

本模式結合天文潮位預測、颱風模式、暴潮影響水位預報與回饋演算修正四個主要的部分，其演算的流程圖如圖 3 所示。本模式利用民國 80 年至 87 年河口站水位資料為基礎，經由調和分析求得淡水河河口站 60 個分潮位之振幅與相位角，再代入式 (2) 可推估颱風時期河口站之天文潮位，再結合颱風模式與暴潮推算式 (5)，推估河口站之暴潮影響水位，將兩水位值相加求出颱風時期河口站之暴潮位。本研究選定弗雷特颱風 (路徑 B)、賀伯颱風 (路徑 D) 及席斯颱風 (路徑 G) 3 場颱風進行模擬演算，圖 4~圖 12 為颱風模式所模擬 3 場颱風的氣壓、風速及風向結果。圖 13~圖 15 是利用颱風模式直接模擬淡水氣象站之氣壓、風速與風向再代入暴潮推算式所模擬的結果，與實測值之比較，由於模式假設條件之限制，推估結果與實際值有偏差存在，所以必須再與實際值作修正，以增進模式的準確度。模式所預報之的暴潮位再以河口站即時之時刻水位資料作修正，如式 (13)。

預報模式於 (t-1) 時刻所預報 t 時刻之暴潮影響水位，在 t 時刻已屆時，此預報水位與 t 時刻實測水位差值為觀測誤差、參數估計不正確等影響，可以用回饋演算方式作修正，以消除累積誤差，回饋演算如式 (13)

$$(h_{for})_{t,t+i} = (h_{for})_{t,t+i} + \left[(h_{obs})_t - (h_{for})_{t-1,t} \right]$$

$$\text{for } i=1 \sim 6 \quad (13)$$

式中，h 表示河口站潮位，下標 for 及 obs 表示預報及實測，上標 ' 表示修正值，下標 t,t+i 表示 t 時刻預報 t+i 時刻，下標 t-1,t 表示時刻 t-1 預報 t 時刻，下標 t 表示 t 時刻。經回饋演算處理後之弗雷特颱風、賀伯颱風及席斯颱風的結果如圖 16、圖 17 及圖 18 所示。由圖可知，以淡水河河口站的所獲得的即時實測水位，作預報之回饋演算，將可提高暴潮影響水位的預報結果。

八、計算結果與討論

本研究之颱風模式模擬風場結果，風速的模擬皆有高估的情況發生，原因為風場模式並未考慮地形屏蔽之因素，所以颱風的風速分布完全以定常性的分布。風場的模擬結果好壞依路徑分類為路徑 B 優於路徑 G 優於路徑 D，原因是地形阻擋的程度的多寡，路徑 B 由於颱風行進過程，沒有受到地形的阻隔，模擬結果應與實測值相近，而路徑 G 在颱風中心接近測站前，受到中央山脈的屏蔽結果，使得風場模擬在前半段出現了高估的現象，而路徑 D 颱風，由於颱風受到中央山脈的阻擋，而強度急遽下降，故模擬結果在颱風皆呈現高估的情況。風向的模擬方面，模擬結果與實測風向趨勢一致。

由上述討論結果顯示，若在颱風自由過山的情況，本研究之颱風模式如果要準確的模擬颱風下淡水測站的氣壓與風速，未來應該加入地形因素的考慮。由於預報之暴潮位係根據預測之颱風位置而作計算，而本研究颱風模式所採用的颱風行進路徑，係颱風發生過後，中央氣象局利用衛星與雷達回波重新定位所得的颱風中心位置，因此實際運用於即時事件時，必須取得即時之實測颱風中心位置進行回饋演算修正。

九、結論

1. 以颱風路徑對照淡水河河口站暴潮影響水位，經分析資料顯示颱風中心未登陸台灣情形下，河口站的最大暴潮影響水位發生時間約為颱風中心最接近測站的時間，因為颱風中心接近時之氣壓低而風速大所致。因此以颱風前進速度，配合天文潮預測潮位與大潮發生時間與潮位，可以作為潮位水情之初步判斷。
2. 本研究根據颱風氣象及動態資料，在颱風還未到達測站時，利用颱風模式先行推估淡水氣象站的氣壓、風速與風向，氣壓在加入柯氏力的影響之後，所模擬的結果有改善，但是風速的模擬方面，颱風模式假設模擬狀態是定常性 (stationary) 之下，並未考慮地形屏蔽的影響，以至於風速模擬結果略為高估。
3. 為了降低颱風模式推估淡水氣象站氣壓、風速與風向的誤差，以及颱風路徑預報不確定性造成預報潮位之誤差，預報之淡水河河口潮位，應以即時實測之潮位資料作為回饋演算修正依據，以提昇預報準確度。
4. 本研究已建立淡水河河口站之暴潮位預報模式，將來應再以最新之颱風期間資料作為模式參數之檢定驗證。

參考文獻

- 王 俊、馬亞平, 1970。台灣地區暴潮現象之研究(第一報)。第四屆海洋工程研討會論文集。
- 顏沛華、李友平, 1993。應用於海岸工程短期潮汐預測之研究, 中華民國第十五屆海洋工程研討會論文集。
- 龔誠山等, 1997。颱風暴潮推算。
- 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。交通部氣象局氣象學報 42 卷第 3 期, pp.230-247。
- 柳文成、許銘熙、郭義雄、郭振泰, 「感潮河川潮位調和分析之探討」, 八十七年度農業工程研討會, 台北市, 民國 87 年, pp.149-155。
- Bretschneider, C. L., 1976. Storm Surge, Advances in Hydro-science. Volume 4.
- D.T.Purg, 1987. Tide, Surge and Mean Sea-Level.
- Jelesnianski, C. P., 1965. A numerical calculation of storm tides induced by a tropical storm impinging on a continental shelf. Monthly Weather Rev., vol.93, pp.343-358
- S.Jonathan Siah, 1997. Applications of Hydrodynamic Models in Taiwan: A Simulation Case Study for Tapeng Bay., 'Proceeding of the First Workshop on Ocean Models for the APEC Region, Taipei.

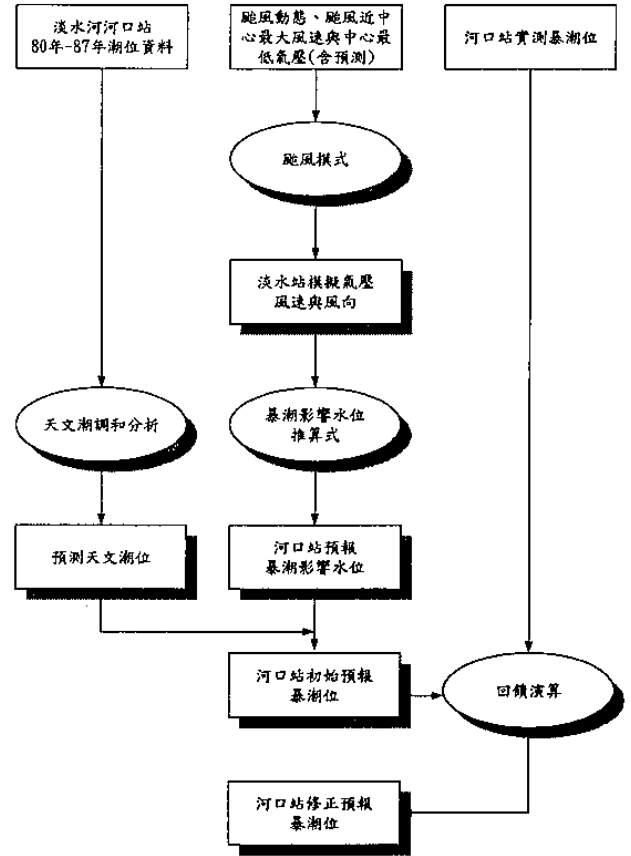


圖 3 颱風暴潮預報模式演算流程圖

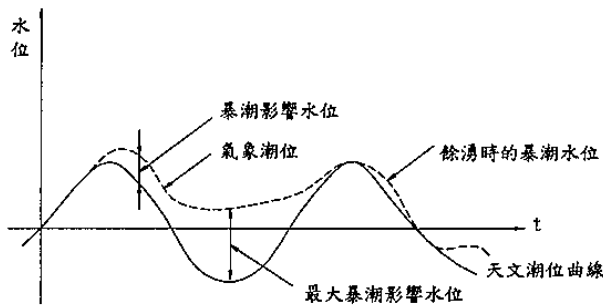


圖 1 暴潮影響水位示意圖

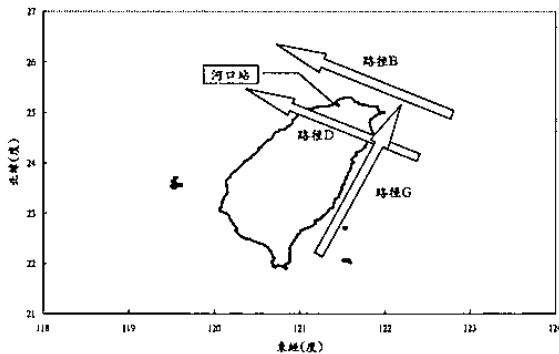


圖 2 對淡水河口暴潮影響水位有較大影響的颱風路徑

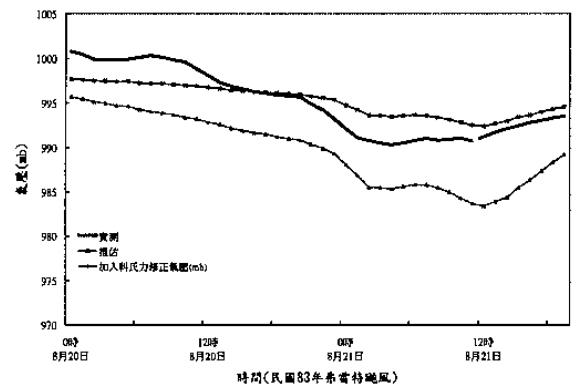


圖 4 颱風模式模擬弗雷特颱風淡水氣象站氣壓比較

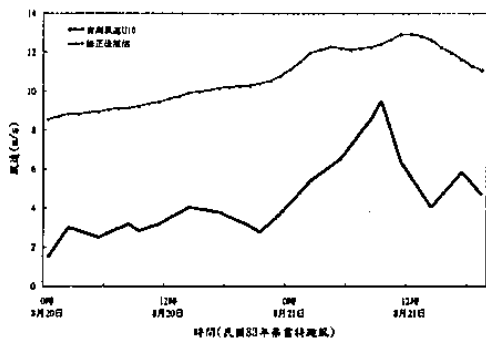


圖 5 颱風模式模擬弗雷特颱風淡水氣象站風速比較

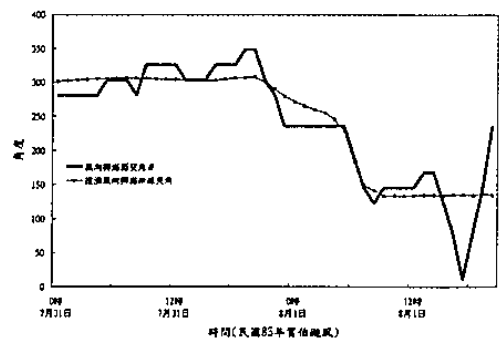


圖 9 颱風模式模擬賀伯颱風淡水氣象站風向比較

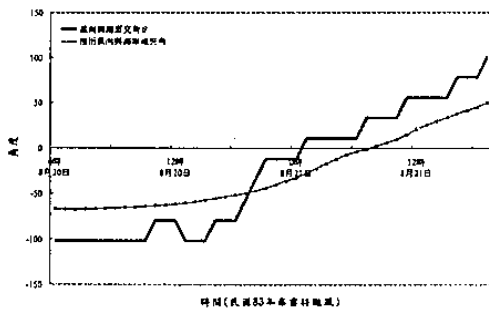


圖 6 颱風模式模擬弗雷特颱風淡水氣象站風向比較

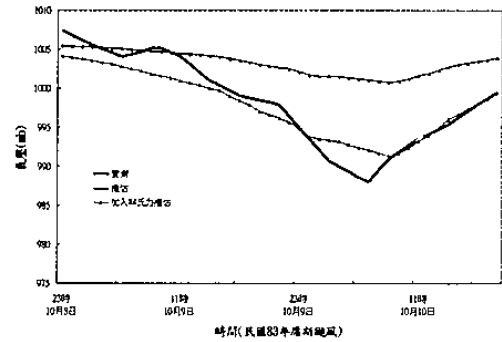


圖 10 颱風模式模擬席斯颱風淡水氣象站氣壓比較

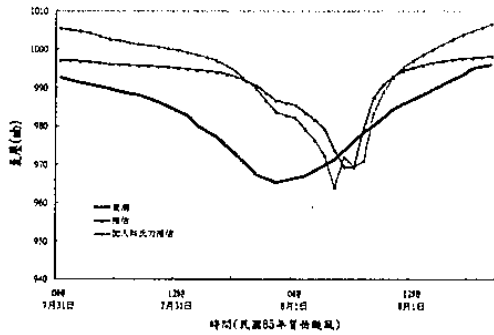


圖 7 颱風模式模擬賀伯颱風淡水氣象站氣壓比較

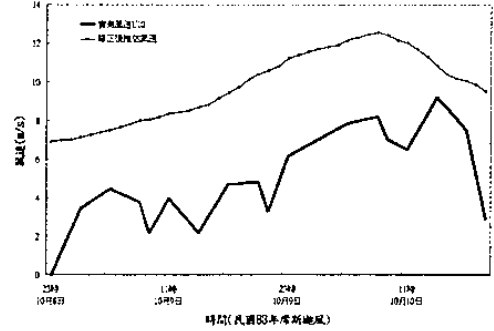


圖 11 颱風模式模擬席斯颱風淡水氣象站風速比較

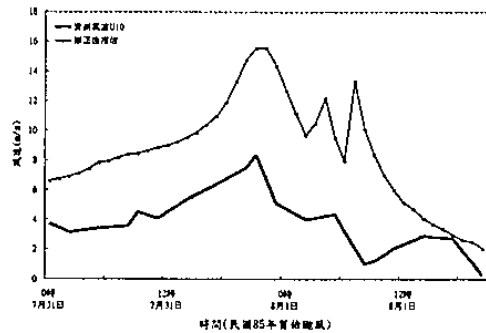


圖 8 颱風模式模擬賀伯颱風淡水氣象站風速比較

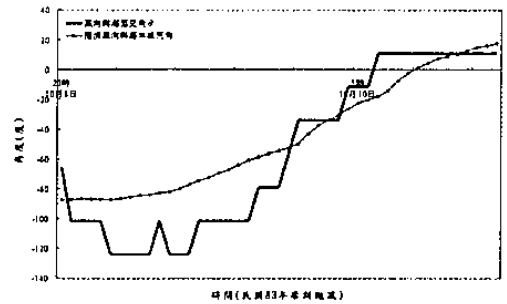


圖 12 颱風模式模擬席斯颱風淡水氣象站風向比較

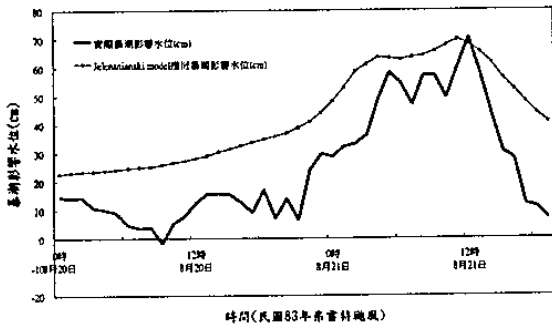


圖 13 模擬弗雷特颱風淡水河河口站暴潮影響水位

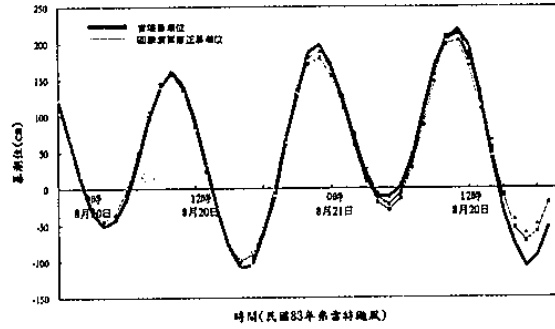


圖 16 預報弗雷特颱風淡水河河口站暴潮位

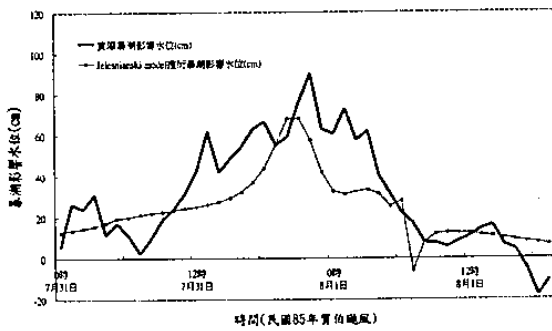


圖 14 模擬賀伯颱風淡水河河口站暴潮影響水位

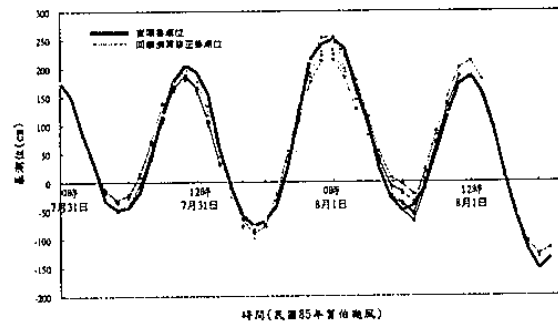


圖 17 預報賀伯颱風淡水河河口站暴潮位

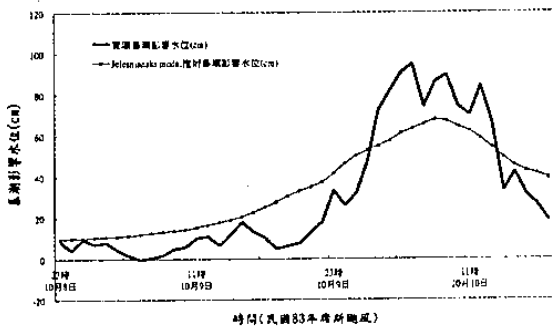


圖 15 模擬席斯颱風淡水河河口站暴潮影響水位

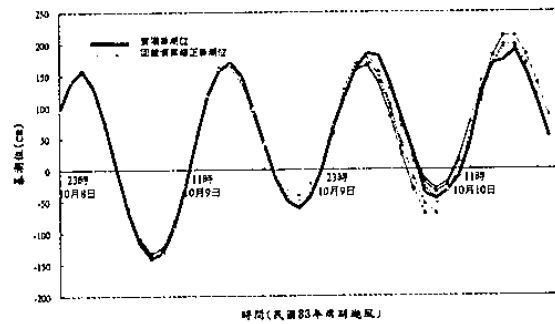


圖 18 預報席斯颱風淡水河河口站暴潮位