

台灣颱風湧浪預報模式之研究

林文宗¹

梁乃匡²

國立台東大學自然科學教育系¹

國立台灣大學海洋研究所²

摘要

本文目的在討論湧浪逆風減衰效應以便修改梁湧浪預報模式，提升預報颱風波浪的精確性。Young and Sobey(1985)在水工實驗室得到逆風下波浪能通量公式係數項(Energy flux coefficient) $\mu = (0.7 \pm 0.2) \rho_a / \rho_w (ak)^2 (1 - W \cos \phi / C)^2$ ，式中 ρ_a 為空氣密度、 ρ_w 為海水密度、 ak 為波浪斜度(wave slope)、 W 為風速、 ϕ 為 W 之風向與波浪前進方向的夾角、 C 為波速，其式經積分轉換得到 $E = E_0 / [1 + (0.106 \pm 0.030) (H_0/L)^2 (1 - W \cos \phi / C)^2 (X/L)]$ ，式中 E 及 E_0 分別為逆風減衰之後及之前波能、 H_0 為減衰前波高、 X 為減衰距離、 L 為波長，由於 Young 減衰式係實驗室資料所得結果，經以 Topex 衛星遙測軌跡點位波高資料套合， μ 公式係數項以 -0.4 ± 0.1 結果最好。另外根據 Sverdrup 和 Munk 由 Jeffreys 遮蔽效應所發展波浪預報流程中一波長平均能量傳遞關係式，推導出另一逆風減衰效應式為 $E = E_0 \exp [-6.45 \times 10^{-5} (W \cos \phi / C - 1)^2 (X/L)]$ 。梁颱風湧浪模式經兩種逆風模式分別修正以及以 WAM 波譜模式等三種方式分別計算颱風湧浪，並與民國 81 至 85 年間 4 個颱風期間 Topex 衛星遙測到 6 組開放大洋中軌跡點位上波高資料比較，經逆風修正的梁颱風湧浪模式其推算結果都比 WAM 模式好。當颱風經過台灣附近區域時，岸邊港口測站推算湧浪波高時易受陸地遮蔽效應影響，筆者將改良湧浪模式加入陸地遮蔽效應後計算實際颱風路徑所形成的波浪，並以民國 83 至 89 年間 6 個颱風期間於成功、花蓮及東吉島實測共 6 組資料加以比較，基本上整體波高分佈趨勢及大小還算不錯。此改良梁湧浪模式可作為台灣地區湧浪預警系統之用。

一、前言

臺灣位於西北太平洋，亞洲大陸的東南隅，夏天常有颱風侵襲，它所形成颱風波浪對港口設施、海上運輸及沿海居民造成嚴重的威脅及破壞，對國家經濟發展產生一定的衝擊影響，因此研究颱風波浪，進一步預測颱風波浪，以達到事前預防，減少災損發生是海洋工程學者一項重要的工作。雖然颱風暴風圈內波浪是設計海岸結構物很重要的因素，但颱風暴風圈外湧浪因領先颱風暴風圈到達海岸地區，常對沒有警覺性的百姓造成生命財產的損失，因此如何作好湧浪預報也是一重要課題。本文嘗試使用兩種颱風波浪模式，包括第三代 WAM 波譜波浪模式(WAMDI Group, 1988)以及將梁湧浪模式(Liang, 1989, 1990)考慮逆風減衰效應加以改良，藉由最新科技 Topex 衛星(AVISO, 1992)遙測到開放大洋中大量軌跡點位上的波浪資料，對上述模式加以驗證比較，除此之外作者也針對湧浪由開放大洋傳至岸邊，可能受到陸地遮蔽影響因素納入考量，也以台灣岸邊實測資料加以驗證比較，開發適用於台灣的半經驗湧浪預報模式，作為海岸地區湧浪預警系統之用。

二、湧浪模式

Bretschneider(1976)根據 51 個颱風依 SMB 法發展出颱風波浪模式，此法曾經在台灣現場驗證過(梁及林, 1978)，但可惜的是 Bretschneider 颱風波浪法只計算颱風暴風圈內波浪，暴風圈外湧浪並非其注意焦點，因此梁(1989, 1990)首先提出湧浪預報法，其最主要是依據 Bretschneider 颱風波浪法計算之最大暴風半徑處代表波高，推算暴風圈外湧浪，梁及林(1995)、林及梁(1999, 2001)以及林及梁等 3 人(2000)都曾針對颱風波浪推算結果與 Topex 衛星點位遙測資料加以比較研究，有關湧浪預報模式如下：

湧浪週期

$$T = 1.06 T_R^* \dots \dots (1)$$

移動颱風 R7 之外距颱風中心 rr (單位 km)處湧浪波高 H_{swell} (單位 m)

$$H_{swell} = C' H_R^* \sqrt{R7 / rr} C_x \dots \dots (2)$$

式中 $C' = 0.41$ 為經驗常數(Lin and Liang, 2000、2001)

H_r 為移動颱風最大暴風半徑 R 處的波高

R_7 為颱風七級風暴風半徑(單位 Km)

C_x 為颱風接近或遠離浪占之堆積或消散效應係數

$$C_x = \left(\frac{T_d}{T_d - T_{lag1} + T_{lag2}} \right)^{1/2} \dots \dots \dots (3)$$

式中 T_0 為連續兩個颱風資料間隔時間(例如 3 或 6 小時)

T_{lag1} 及 T_{lag2} 為波浪由颱風中心 1 及 2 到觀測站之傳播時間(小時)

$$T_{lag1} = 0.278 \frac{rr1}{1.56T} \dots \dots \dots (4)$$

$$T_{lag2} = 0.278 \frac{rr2}{1.56T} \dots \dots \dots (5)$$

$rr1$ 及 $rr2$ 分別為颱風中心 1 及 2 到觀測站距離(單位 Km)

三、逆風減衰效應

過去經驗發現，颱風移動前進的左半側方向之波高推算值往往偏大，其原因是波浪由波源傳至測站過程中，在左半側部份風向與波浪傳播方向相反，即逆風，因此必須考慮因逆風所造成的減衰效應比較合理，Young and Sobey(1985)根據實驗室資料得到逆風風浪能通量係數 μ 如下：

$$\frac{dE}{dt} = \mu \sigma E \dots \dots \dots (6)$$

$$\mu = (-0.7 \pm 0.2) \frac{\rho_a}{\rho_w} (ak)^2 \left(1 - \frac{W \cos \phi}{C} \right)^2 \dots \dots \dots (7)$$

圖 1. 為順風及逆風下波浪能通量係數 μ 值圖。

$$\frac{dE}{dt} = C_g \frac{dE}{dx} = \sigma \mu E \dots \dots \dots (8)$$

將(6)(7)及(8)式整理積分可得(林文宗, 2002)

$$E = \frac{E_0}{\left[1 + (0.000022 \pm 0.000006) \left(1 - \frac{W \cos \phi}{C} \right)^2 \left(\frac{X}{T^6} E_0 \right) \right]} \dots \dots \dots (9)$$

E 及 E_0 分別為波浪減衰之後及之前波能。

X 為減衰距離(m)

T 為湧浪週期(s)

(9)式可轉換為另一型式

$$E = \frac{E_0}{\left[1 + (0.106 \pm 0.030) \left(\frac{H_a}{L} \right)^2 \left(1 - \frac{W \cos \phi}{C} \right)^2 \left(\frac{X}{L} \right) \right]} \dots \dots \dots (10)$$

$$C_{wind} = \frac{H}{H_0} \left(\frac{E}{E_0} \right)^{1/2} = \left[\frac{1}{1 + (0.106 \pm 0.030) \left(\frac{H_a}{L} \right)^2 \left(1 - \frac{W \cos \phi}{C} \right)^2 \left(\frac{X}{L} \right)} \right]^{1/2} \dots \dots \dots (11)$$

式中 C_{wind} 為逆風減衰係數

H 及 H_0 分別為波浪逆風減衰之後及之前代表波高

L 為波長

依據 Young and Sobey 文，順風及逆風機制不同，由於湧浪為單一長浪，波速大，波形單純，乃引用 Sverdrup 和 Munk(1947)根據古典 Jeffreys sheltering effect 應用於所發展出的代表波浪預報流程中，一波長單位時間(秒)平均能量傳遞，建立另一逆風減衰模式

...
...

$$R_I = \frac{\rho_a}{L} \int_0^L (W \cos \phi - C)^2 \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial t} dx \dots \dots \dots (12)$$

式中 s 為遮蔽係數

ρ_a 為空氣密度

W 為風速

ϕ 為 W 之風向與波浪前進方向的夾角

C 為波速

η 為水平波高(wave surface height)

L 為波長

一般波浪成長與否與波速有關，當風速大於波速時波浪成長，當風速與波速一致或風速小於波速時波浪不成長(Miles, 1967)。同樣觀點及方式，當 $\cos \phi$ 為負值時即為逆風風情況。

假設

$$\eta = a \cos(kx - \sigma t) \dots \dots \dots (13)$$

$$k = 2\pi / L \dots \dots (14)$$

$$\sigma = 2\pi / T \dots \dots (15)$$

(13)式代入(12)式經積分得(林文宗, 2002)

$$R_I = -\xi k \sigma (W \cos \varphi - C)^2 E \dots \dots (16)$$

其中

$$E = \frac{1}{2} \rho_w g a^2 \dots \dots (17)$$

ξ 為係數項

ρ_w 為海水密度

a 為波浪振幅

$$\frac{dE}{dt} = C_g \frac{dE}{dx} = -\xi k \sigma (W \cos \varphi - C)^2 E \dots \dots (18)$$

將(18)式積分得

$$E = E_0 \exp \left[-2\xi k^2 (W \cos \varphi - C)^2 X \right] \dots \dots (19)$$

$$E = E_0 \exp \left[-\zeta (W \cos \varphi - C)^2 X / T^4 \right] \dots \dots (20)$$

式中 ζ 為係數項, 由Topex 衛星遙測資料回歸出其平均值為0.017(Lin and Liang, 2000、2001), 標準偏差值為0.009。

E 及 E_0 分別為波浪減衰之後及之前波能密度。

X 為減衰距離(Km)

T 為湧浪週期(s)

如 X 單位為m則(20)式中 ζ 其值為 1.7×10^{-5}

(20)式可以另一種方式表示

$$E = E_0 \exp \left[-6.45 \times 10^{-5} \left(\frac{W \cos \varphi}{C} - 1 \right)^2 \left(\frac{X}{L} \right) \right] \dots \dots (21)$$

$$C_{swell} = \frac{H}{H_0} = \left(\frac{E}{E_0} \right)^{1/2} = \left[\exp \left[-6.45 \times 10^{-5} \left(\frac{W \cos \varphi}{C} - 1 \right)^2 \left(\frac{X}{L} \right) \right] \right]^{1/2} \dots \dots (22)$$

式中 C_{swell} 為逆風減衰係數

H 及 H_0 分別為波浪逆風減衰之後及之前代表波高

圖2.為(22)式在不同傳播距離(X/L)及風速對波速比($W \cos \varphi / C$)之逆風減衰係數值關係圖,表1.同為在不同傳播距離(X/L)及風速對波速比($W \cos \varphi / C$)之逆風減衰係數值計算統計表。

四、湧浪模式逆風效應改善與 Topex

衛星資料驗證

考慮逆風效應將原湧浪模式(2)式修改為

$$H_{swell} = C H_R^* \sqrt{R_I / r r C_x C_{swell}} \dots \dots (23)$$

式中 C_{swell} 為逆風減衰係數,其計算過程如下:針對每一Topex 衛星軌跡點位追判其波浪來源,波浪由波源至點位之傳播過程中,在波浪前進線上風場隨颱風位置變化而不斷改變,可應用H-R-V 颱風風場模式(林文宗,1995)計算波浪沿波向線每前進一小時(即每前進 X 距離處)之風場,再應用(11)及(22)式關係分段累算每一點位上波浪逆風減衰係數,圖3為TOPEX 衛星軌跡點位逆風減衰係數計算示意圖。

由於Young and Sobey係以水工實驗室實驗資料得到(7)式逆風減衰係數 μ 值公式,其係數項值在-0.5至-0.9之間(-0.7±0.2),此係數項值經筆者以Topex 衛星遙測點位波高資料以(11)及(23)式去套合(best fit),其結果如表2.所示,(7)式逆風減衰係數 μ 值公式其係數項值以-0.3至-0.5之間(-0.4±0.1)結果最佳。

為了比較起見,筆者以第三代WAM模式以及梁湧浪模式以Young & Sobey 逆風減衰模式及Jeffreys 逆風減衰模式分別修正推算颱風浪場,並與民國81年至85年間Topex 衛星遙測到4個颱風6組開放大洋軌跡連續點位上波高資料比較,表3為其湧浪波高值統計參數評價比較表,由表顯示梁湧浪模式以Young & Sobey 或Jeffreys 逆風減衰模式修正都較WAM模式好。

五、陸地遮蔽效應與岸邊測站資料驗

證

當颱風暴風圈與波浪觀測站之間存在陸地障礙邊界或颱風

暴風圈本身部份受陸地遮蔽時，在計算波高時陸地遮蔽效應必須加以考慮，Liang 及 Chien(1985)曾依據 Liang(1973)之元素波模式(Elementary Wave Model)理論，導出陸地遮蔽效應修正係數 C，其值為

$$C_l = \left(\frac{\int_{A'} U_{rs}^*{}^2 \cos^2 \beta^* dA' / r d}{\int_A U_{rs}^*{}^2 \cos^2 \beta^* dA / r d} \right)^{1/2} \dots \dots (24)$$

式中 A' 為颱風七級暴風圈風域未被遮蔽部份

A 為颱風七級暴風圈全風域

U_{rs}^* 為移動颱風距中心 r_0 處之元素波源實際風速

β^* 為元素波源處風向與該點至岸邊波浪測站連線之夾角

r_0 為元素波源至波浪測站之距離

筆者另取得了民國 83 年至 89 年 6 個颱風期間共 6 組岸邊或港口測站，包括花蓮、成功及東吉島等測站之波高實測資料，由於這 6 組資料都為近岸邊實測之時間序列波高資料，而 Topex 衛星則是在開放大洋中遙測到幾乎同時在衛星軌跡點位上(約幾分鐘之內即掃過上述圖中衛星軌跡點位)空間序列波高資料，基本上 Topex 衛星遙測的點位波高幾乎沒有因颱風受陸地遮蔽之影響，可以省略陸地遮蔽效應，但岸邊的觀測波高則不一樣，必須考慮當颱風接近岸邊測站或登陸或從旁經過因受陸地遮蔽的影響，圖 4b 至圖 9b 分別為考慮陸地遮蔽效應的梁湧浪模式以 Young & Sobey 及 Jeffreys 逆風減衰模式修正在上述岸邊港口測站之模式推算值與實測波高值比較圖，而圖 4a 至圖 9a 則為相應應於圖 4b 至圖 9b 之有關颱風路徑圖。圖 10 及圖 11 為統計前述 6 組岸邊港口測站實測湧浪值對梁湧浪模式以 Young & Sobey 及 Jeffreys 逆風減衰模式修正推算值所繪之湧浪波高(即當測站尚遠在颱風暴風圈之外但已先一步到達測站之波浪)散佈圖，同樣表 4. 為其統計參數評價表，結果顯示不錯，平均誤差分別為-0.05m 及-0.01m，均方根誤差 0.89m 及 0.84m，平均經緯誤差百分比 20.0% 及 18.8%，相關係數為 0.68 及 0.74，結果顯示，以 Young & Sobey 逆風減衰模式及 Jeffreys 逆風減衰模式修正所得結果差不多，以 Young & Sobey 逆風減衰模式結果減衰稍大一點，平均較 Jeffreys 逆風減衰模式大約 6.3%。

六、結論與建議

綜合上述驗證比較結果，得到以下主要的結論與建議：

- (一) Young & Sobey 逆風減衰模式經 Topex 衛星軌跡點位資料套合(best fit)為 $E=E_0/[1+0.061(H_0/L)^2(1-W\cos\varphi/C)^2(X/L)]$ ；Jeffreys 逆風減衰模式為 $E=E_0 \exp[-6.45 \times 10^{-5}(W\cos\varphi/C-1)^2(X/L)]$ ， E 及 E_0 分別為逆風減衰之後及之前波能， W 風速， φ 為 W 之風向與波浪前進方向的夾角， C 為波速， X 為減衰距離， L 為波

浪波長。上述兩種逆風減衰模式經推算與 Topex 衛星資料比對驗證，所差有限，趨勢一致，前者減衰較後者大，其值平均大約 6.3%。

- (二) 加入湧浪逆風效應後之改良梁湧浪模式，經由 Top 衛星遙測波高及台灣四周岸邊實測波高資料驗證，的確比原來梁湧浪模式改善。此改良之梁湧浪模式可作為台灣地區湧浪預警系統之用。
- (三) WAM 模式應用於颱風波浪，特別是暴風圈外湧浪計算時並不是很理想，還需進一步改進，將來有一天或可發展出一套針對颱風風速快速變化特性的波譜模式，唯現階段根據模式推算與衛星資料比較驗證結果，的確半經驗的梁湧浪模式是一個合理的選擇，其計算相對簡單，推算結果也還算合理。
- (四) 任何波浪模式都必須經得起實測資料的檢驗，國內從事波浪推算研究者最常感受到的問題就是台灣四周觀測資料不夠完整，觀測資料常斷斷續續而且品質並不是很穩定，究其原因海上觀測波浪困難重重，颱風來臨時大風大浪，儀器容易流失，特別是那些安裝於海底或海面的測波儀器，近年來台大海洋所王青教授發展雷達測波，如此可以避免上述問題發生，如能大規模在台灣四周觀測，對整個波浪研究是一大福音，波浪模式對於實際海域波浪應能有更合理的模擬及驗證比較。
- (五) 颱風波浪模式推算時，推算值與實測值常有時間位移(Time shift)問題，可能是流(例如黑潮等)與浪交互作用的關係或還有其他未知原因，這都值得將來進一步探討。

參考文獻

1. 林文宗, 1995: "H-R-V 模式颱風與歐非莉實測颱風之個案比較", 國立台東師範學院學報, 6 期, 頁 109-114。
2. 林文宗、梁乃匡, 1999: "颱風湧浪逆風之探討", 第二十一屆海洋工程研討會論文集, 頁 109-114。
3. 林文宗、梁乃匡及黃華興, 2000: "兩個颱風波浪推算模式與衛星資料的比較", 第二屆國際海洋大氣會議論文集編一海洋, 頁 178-182。
4. 林文宗、梁乃匡, 2001: "台灣颱風湧浪預警系統建議", 2001 海洋數值模式研討會論文集, 頁 1-1~1-19。
5. 林文宗, 2002: "台灣颱風湧浪預報模式之研究", 國立台灣大學海洋研究所博士論文。
6. 梁乃匡、林文宗, 1978: "薇拉颱風波浪實測與推算之比較", 第二屆海洋工程研討會論文集, 頁 23-27。
7. 梁乃匡、林文宗, 1995: "八十三年侵台颱風波浪推算研究", 第十七屆海洋工程研討會論文集, 頁 425-442。
8. AVISO, 1992: "AVISO User Handbook", merged TOPEX/POSEIDON products, AVI-NT-02-101-CN, Edition 2.1.
9. Bretschneider, C.L. and E.E. Tamage, 1976: "Hurricane wind and wave forecasting techniques",

Proceedings 15th International Coastal Engineering Conference, 202-237.

10. Liang, N.K., 1973: "Elementary Wave Model and the Definition of 'Fetch Area' in Wave Prediction", Acta Oceanographica Taiwanica, No.3.

11. Liang, N.K., C.C. Chien, 1985: "A Typhoon Swell Hindcasting Technique Modified by Land Sheltering Effect", Proceedings Air-Sea Interaction Workshop, Taipei, 299-311.

12. Liang, N.K., 1989: "A Revised Typhoon Swell Prediction Method", Harbour Technology, Vol. 4, 1-10.

13. Liang, N.K., 1990: "A Study on Typhoon Swell Height Prediction", Acta Oceanographica Taiwanica, Vol. 25, 77-86

14. Lin, W.C. and N.K. Liang, 2000: "A Study on Typhoon Swell Decay by an Adverse Wind", Acta Oceanographica Taiwanica, Vol. 38, 45-59.

15. Lin, W.C. and N.K. Liang, 2001: "A Proposed Alarm System for Typhoon Swell in Taiwan". Sixth APEC OMISAR Workshop on Ocean Models in Peijing

16. Miles, J.W., 1967: "On the Generation of Surface Waves by Shear Flows-Part 5". Journal of Fluid Mechanics, Vol. 30, 163-175.

17. Sverdrup, H.U. and W.H. Munk, 1947: "Wind, Sea and Swell: Theory of Relation for Forecasting", U.S. Navy Hydrographic Office Publication No.601, 44p

18. WAMDI Group, 1988: "The WAM model- A third generation ocean wave prediction model", J. of Physical Oceanography, Vol. 18, 1775-1810

19. Young, I.R. and R.J. Sobey, 1985: "Measurements of the Wind-wave Energy Flux in an Opposing Wind", Journal of Fluid Mechanics, Vol. 151, 427-442.

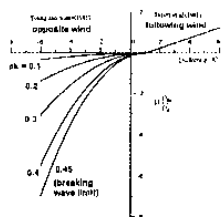


圖 1. 順風及逆風下波能通量係數 μ 值圖

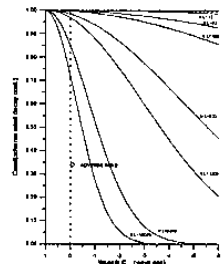


圖 2. 不同傳播距離 (X/L) 及風速對波速比 (U/C) 之逆風減衰係數值關係

圖

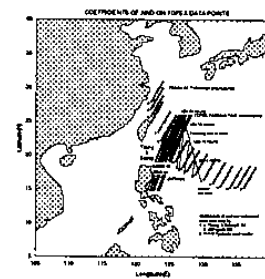


圖 3. TOPEX 衛星軌跡與站位逆風減衰係數計算示意圖

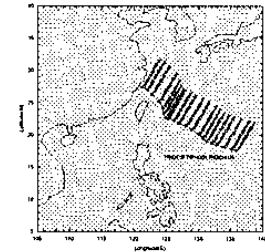


圖 4a 弗雷特(9415)颱風路徑圖

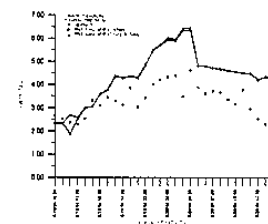


圖 4b 弗雷特颱風期間成功測站實測與 Bret-Liang(Jeffreys)及 Bret-Liang(Young & Sobey)模式波高值比較圖

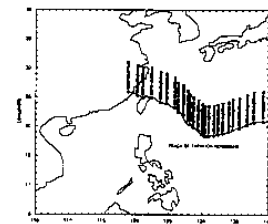


圖 5a 賀伯(9608)颱風路徑圖

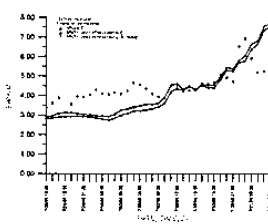


圖 5b 賀伯颱風期間花蓮測站實測與 Bret-Liang(Jeffreys)及 Bret-Liang(Young & Sobey)模式波高值比較圖

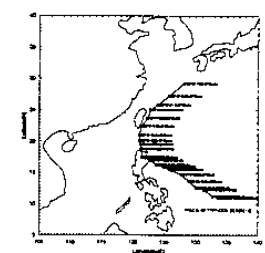


圖 6a 瑞伯(9810)颱風路徑圖

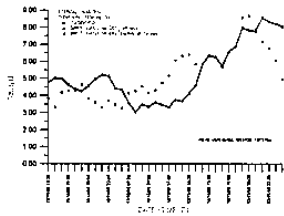


圖 6b 瑞伯颱風期間花蓮測站實測與 Bret-Liang (Jeffreys) 及 Bret-Liang (Young & Sobey) 模式波高值比較圖

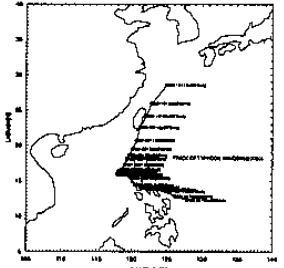


圖 7a 象神(0020)颱風路徑圖

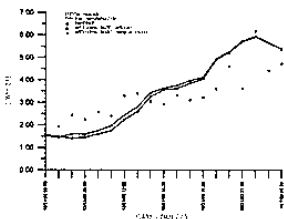


圖 7b 象神颱風期間花蓮測站實測與 Bret-Liang (Jeffreys) 及 Bret-Liang (Young & Sobey) 模式波高值比較圖

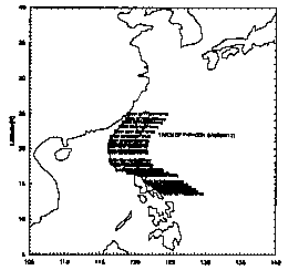


圖 8a 芭比絲(9812)颱風路徑圖

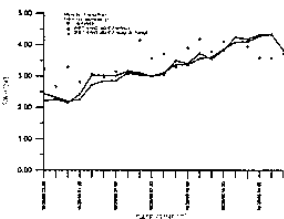


圖 8b 芭比絲颱風期間東吉島測站實測與 Bret-Liang (Jeffreys) 及 Bret-Liang (Young & Sobey) 模式波高值比較圖

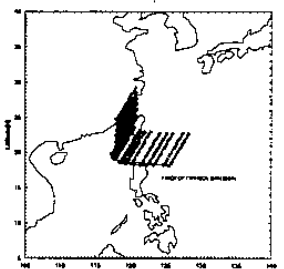


圖 9a 丹恩(9920)颱風路徑圖

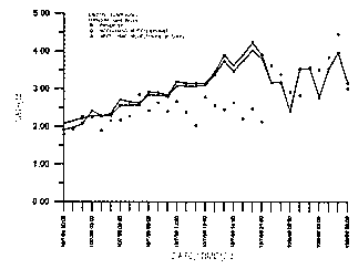


圖 9b 丹恩颱風期間東吉島測站實測與 Bret-Liang (Jeffreys) 及 Bret-Liang (Young & Sobey) 模式波高值比較圖

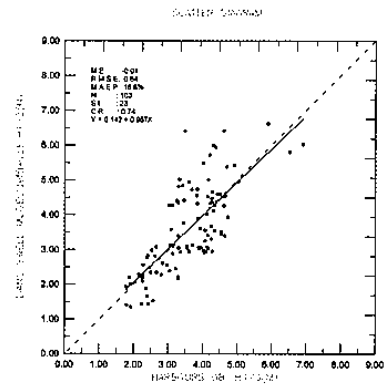


圖 10 岸邊港口實測值與梁勇良 (Jeffreys) 模式值之湧浪波高散佈圖 (6 組資料僅暴風圈外湧浪部份)

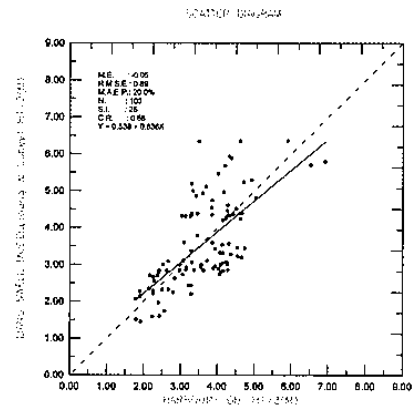


圖 11 岸邊港口實測值與梁勇良 (Young & Sobey) 模式值之湧浪波高散佈圖 (6 組資料僅暴風圈外湧浪部份)

表 1. 不同距離 (X/L) 及風速對波速比 (Wcos φ / C) 之逆風減衰係數計算統計表

Wcos φ / C	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
X/L								
5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99
10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98
50	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.96	0.94	0.92
100	1.00	1.00	0.99	0.97	0.95	0.92	0.89	0.85
500	1.00	0.98	0.94	0.87	0.77	0.67	0.56	0.45
1000	1.00	0.97	0.88	0.75	0.60	0.45	0.31	0.21
5000	1.00	0.85	0.53	0.23	0.08	0.02	0.00	0.00
10000	1.00	0.72	0.28	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00

表 2. Liang(Young & Sobey)模式值與 TOPEX 衛星測風數據之遙測值皮高統計參數評量表(五組 Topex 資料)

Young 逆風 減衰係數 (7)式 μ 之 係數項值	Young 逆風 減衰係數 (11)式 之係數項 值	ME	RMSE	MAEP (%)	SI	CR	N
-0.9	0.136	-0.26	1.99	30.9	40	0.76	134
-0.8	0.121	-0.22	1.97	30.0	39	0.76	134
-0.7	0.106	-0.17	1.94	29.0	39	0.76	134
-0.6	0.091	-0.13	1.92	28.0	38	0.76	134
-0.5	0.076	-0.07	1.90	27.2	38	0.76	134
-0.4	0.061	-0.02	1.88	26.3	38	0.76	134
-0.3	0.045	0.05	1.86	25.7	37	0.76	134
-0.2	0.030	0.12	1.85	25.6	37	0.76	134
-0.1	0.015	0.21	1.84	26.0	37	0.75	134

表 3. WAM 及梁勇良(Jeffreys)以及梁勇良(Young & Sobey)模式值與 TOPEX 衛星測風數據之遙測值皮高統計參數評量表(暴風圈外湧浪部份)

Parameter Model	MAEP (%)	ME	RMSE	SI	CR	N
WAM Model	42.8	-1.20	1.70	48	0.69	148
Liang Swell Model (Jeffreys)	19.8	-0.45	0.86	24	0.86	148
Liang Swell Model(Young & Sobey)	26.4	-0.96	1.24	35	0.83	148

表 4. 梁勇良(Jeffreys)及梁勇良(Young & Sobey)模式值與成功花蓮東吉島
實測湧浪皮高值統計參數評量表(6 組颱風期間實測資料僅暴風圈外湧浪部
份)

Parameter Model	MAEP (%)	ME	RMSE	SI	CR	N
Liang swell model(Jeffreys)	18.8	-0.01	0.84	23	0.74	103
Liang swell model(Young & Sobey)	20.0	-0.05	0.89	25	0.68	103

A Study on Typhoon Swell Model in Taiwan

Wen Chung Lin¹ and Nai Kuang Liang²

Department of Natural Science Education, National Taitung
University¹

Institute of Oceanography, National Taiwan University²

ABSTRACT

The purpose of this paper is to discuss the decay of typhoon swells confronting an adverse wind during wave propagation in order to revise the typhoon swell model. Young and Sobey(1985) got an wind-wave energy flux coefficient $\mu = (-0.7 \pm 0.2)(\rho_w / \rho_a)(ak)^2(1 - W \cos \phi / C)^2$ in an opposing wind in laboratory, then an equation for wave decay is derived. The equation is $E = E_0 \left[1 + 0.106(H_0/L)^2(1 - W \cos \phi / C)^2(X/L) \right]$, where E is the wave energy density after decay, E_0 is the wave energy density before decay, H_0 significant wave height before decay, W wind speed, ϕ angle between wave direction and wind direction, C wave celerity, X the decay distance and L the wave length. Using the Topex observed data in open ocean, we get the coefficient of μ is -0.4 ± 0.1 . According to Jeffreys' sheltering effect, an equation for wave decay induced by an adverse wind is also derived. The equation is $E = E_0 \exp \left[-6.45 \times 10^{-5} (W \cos \phi / C - 1)^2 (X/L) \right]$. Typhoon swell model is revised by these two equations of wave decay respectively. Swell heights of two revised typhoon swell models and WAM model are compared with observed data of satellite Topex in open ocean. We found that two revised typhoon swell models are all better than WAM model. When a typhoon passes through the vicinity of Taiwan, the land sheltering effect must be considered in the swell model for a coastal station. The hindcasted swell heights of two revised typhoon swell models considering with land sheltering effect are also compared with observed data in some harbours, It shows that two revised typhoon swell models with land sheltering effect are all reasonable, which can be applied to predict a typhoon swell outside the R7 area for use as a warning system around Taiwan.