

## 行徑橫切台灣之颱風的波譜模型

黃宗群<sup>1</sup> 邱銘達<sup>2</sup> 莊士賢<sup>3</sup> 高家俊<sup>4</sup>

### 摘要

本文利用新竹及花蓮資料浮標之資料，分析第二型路徑之颱風，期建立一具有統計性及地域性之颱風波譜，除了能提供其他路徑颱風波譜研究之參考外，也可提供波浪模式中的計算元素及實驗中造波的輸入值。本文此次以 JONSWAP 譜及經修正有限水深影響後之 JONSWAP 譜來擬合實際譜形，求出 JONSWAP 譜的  $\gamma$  值分別為新竹的 1.315 及花蓮的 1.067；修正後之 JONSWAP 譜的  $\gamma$  值則分別求出為新竹 1.353 及花蓮 1.11。

### On the Wave Spectral Shapes of Typhoons across Taiwan

Tsung Chung Huang Ming Da Chiuo Laurence Z.H. Chung Chia Chuen Kao

### ABSTRACT

In order to establish a statistic and local spectrum of typhoons across Taiwan, the observational data from the buoys of Hsinchu and Hualien were used. In addition, the research of this kind path of typhoon spectrum can provide not only the reference for studies of typhoon spectral models with other paths, but the input for physical and numerical methods. The JONSWAP spectrum and the JONSWAP spectrum, which the effect of water depth is taken into consideration, are adopted to fit the field wave spectrum,  $\gamma$  of JONSWAP spectrum estimated from Hsinchu and Hualien are 1.315 and 1.067 respectively, and  $\gamma$  of JONSWAP spectrum with water depth effect are 1.353 in Hsinchu and 1.11 in Hualien.

### 一、前言

在台灣，颱風往往造成嚴重的天然災害，而根據統計，每年侵襲台灣的颱風平均為 3.54 次。在颱風侵襲前後，其強大風力所引起的波浪，較季節風引起的波浪為大，對海岸結構物、海岸地形變遷有著嚴重的影響，並不時造成海岸災害，對沿岸居民的生命財產安全造成極大的威脅。因此颱風波浪為海洋及海岸工程設計與施工時，不能忽視之破壞力量。颱風圈內風力極強，風速風向隨間空間快速變化，具有高度的非定常性及不均一性。此外，由於

颱風中心、吹風延時、風域大小隨時間變化，這些特性皆與一般風浪特性不同。由於其波浪成長機制與現象異於一般風浪，故呈現的波譜形狀自有所不同，本文期望藉由颱風波浪頻譜的探討，進一步瞭解颱風波浪特性。

在颱風波譜的前人研究中，梁（1985）首先提出颱風波浪模式波譜，假設：

$$m_0 = \frac{1}{8} H_{\frac{1}{2}}^2 \quad (1)$$

並由 JONSWAP 譜以及 Gaussian equation 來分別表示風浪波譜及湧浪譜，建立台灣海域颱風波浪波譜模式。

Whalen 和 Ochi (1978) 針對在美國觀測得的五個颱風波浪資料進行分析，結果發現當颱風接近測

1. 國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士班研究生
2. 國立成功大學水利及海洋工程研究所博士班研究生
3. 國立成功大學近海水文中心副主任
4. 國立成功大學水利及海洋工程研究所教授

站過程中，初始波譜型態多為雙峰，隨颱風距測站距離縮短，波譜則多呈現單峰的形狀。Whalen 和 Ochi 進一步擬合實際觀測資料與 JONSWAP 譜 (Hasselmann et al., 1973) 及六參數譜 (Ochi and Hubble, 1976)，結果顯示 JONSWAP 譜較適合描述單峰波譜，求得其  $\gamma$  值為 2.2。至於雙峰譜形的擬合則以六參數譜為佳。

此外，Ochi 和 Chiu (1982) 以美國佛羅裏達州沿岸三個測站的資料，分析了 David 颱風期間波浪高與颱風距測站遠近的關係，以及能譜的變化，探討包括颱風主頻、颱風成長階段及衰退階段的波譜差異，最後針對量測的近岸颱風波譜與 Pierson-Moscowitz 譜、JONSWAP 譜、Bretschneider 譜、六參數譜等進行比較，得到較佳的參數值來描述近岸颱風波譜。

Young(1999)則以澳洲西北部海岸的觀測資料，分析 16 個颱風。發現當颱風與測站的距離大於中心最大暴風半徑 8 倍時，獲得的大多為雙峰的波譜譜形，若距離小於 8 倍最大暴風半徑時，即便颱風風場快速改變以及波浪中同時包含了風、湧浪的成分，波譜資料所形成的波譜模型依然符合有限風域條件的風浪波譜形式。針對其資料計算出波譜高頻斜率  $n$  值，Young 得一平均值 -4.56，但由於資料散亂，通常  $n$  為 -4 或 -5 都可適用。此結果與 Liu (1989) 對有限風域求得的  $n$  值結果一致。另外，若以工程設計的目的來看，Donelan and Hui (1985) 建議從有限風域上所獲得的譜參數  $\alpha$  和  $\gamma$  等資料，較合理地趨近颱風波譜。

本文選取三個路徑相似 (第二型路徑) 的颱風，擬建立具有統計特性、地域特性 (適合台灣海域、地形) 的第二型路徑颱風波譜，除了能提供其他路徑颱風波譜研究之參考外，進一步藉由波譜分析配合其他相關研究，更加瞭解颱風的變化特性，作為工程上設計、規劃與施工的參考。

## 二、颱風期間海氣象觀測資料來源

本文颱風波浪觀測資料來源為中央氣象局委託成功大學近海水文中心建立的新竹及花蓮海氣象觀測站。觀測測站為直徑 2.5m 碟形資料浮標，每 2 小時觀測一次，一次 10 分鐘，取樣頻率 2Hz，以 1200 個數據為一樣本。觀測所得資料為加速度時序

列，經由自相關函數的 FFT 得到加速度譜，再由傳遞函數轉換得水位時序列，進而求得示性波高與平均週期。浮標資料如表 1 所示。

本文探討對象為自 1997 年至 2000 年期間中央氣象局發佈颱風警報，路徑橫切台灣 (第二型) 的颱風，實測資料範圍選自海上颱風警報發佈及解除的前後一天。所觀測得之颱風有 1997 年 8 月的 AMBER；1998 年的 OTTO 及 2000 年的 BILIS，三個颱風的路徑與基本資料分別如圖 1 及表 2 所示。可供本文分析的颱風資料在新竹測站為 131 筆，花蓮測站為 154 筆。

表 1 花蓮、新竹測站介紹

| 測站名稱   | 地理位置                             | 取樣時間/頻率      | 水深  |
|--------|----------------------------------|--------------|-----|
| 新竹資料浮標 | (120° 56'38" N;<br>24° 54'48" E) | 10 分鐘 / 2 Hz | 23m |
| 花蓮資料浮標 | (121° 38'52" N;<br>24° 2'7" E)   | 10 分鐘 / 2 Hz | 31m |

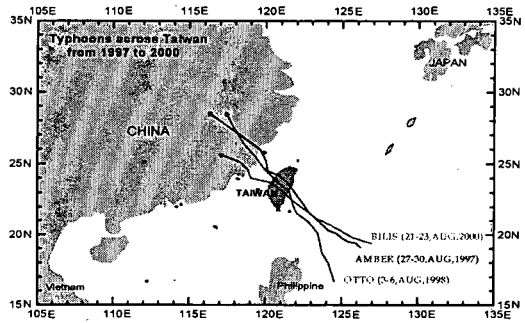


圖 1 1997~2000 年第二型颱風路徑圖

表 2 颱風之基本資料

| 颱風名稱    | AMBER      | OTTO         | BILIS      |
|---------|------------|--------------|------------|
| 侵台期間    | 27~30, Aug | 3~5, Aug     | 21~23, Aug |
| 最大強度    | 中度         | 輕度           | 強烈         |
| 中心最低氣壓  | 930(hPa)   | 968(hPa)     | 930(hPa)   |
| 近中心最大風速 | 48(m/sec)  | 30(m/sec)    | 53(m/sec)  |
| 七級風暴風半徑 | 250(km)    | 150(km)      | 300(km)    |
| 颱風移動速度  | 18(km/hr)  | 18~25(km/hr) | 22(km/hr)  |

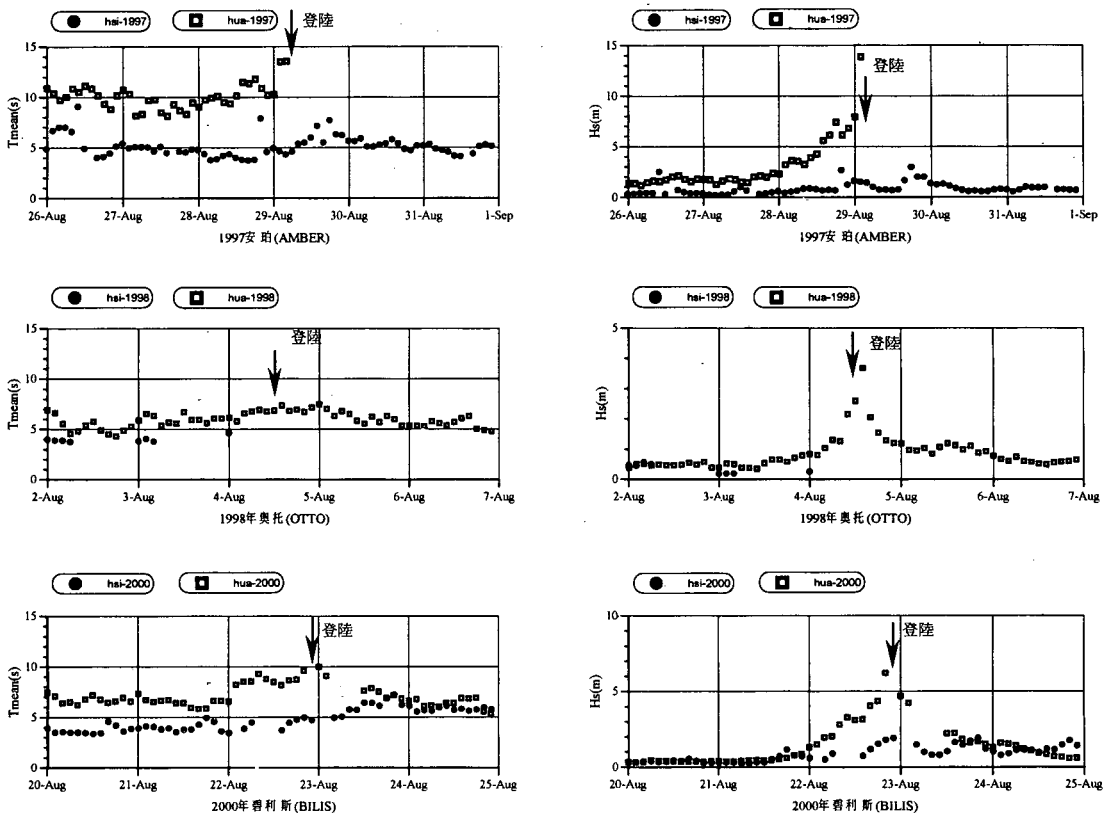


圖 2 示性波高與平均週期對時間的變化

上述三個颱風期間，新竹與花蓮測站觀測得到的示性波高與平均週期資料如圖 2 所示。

AMBER 颱風於 29 日 04 時左右在花蓮南方登陸後，繼續向西北進行，並於 29 日 10 時左右自台中北方出海進入台灣海峽。分析此期間海氣象觀測資料發現，花蓮浮標在 29 日 02 時測得示性波高最大達 14m，新竹浮標測得為 3m 左右。

OTTO 颱風於 4 日中午於台東成功登陸，向西北進行，橫切過中央山脈，於當日下午 6 時左右在台中梧棲附近出海。分析此期間海氣象觀測資料發現，花蓮浮標在 4 日 14 時測得示性波高達 4m 左右。

BILIS 颱風於 22 日晚間 22 時 30 分左右登陸，繼續向西北西進行，並於 23 日 03 時於雲林境內出海。分析此期間海氣象觀測資料發現，花蓮浮標在 22 日 22 時測得示性波高達 6m 左右，新竹浮標測得

為 2m 左右。綜合上述三案例，發現東岸的花蓮浮標示性波高 (Hs) 變化遠較新竹浮標所測得的資料大，颱風登陸前後尤其明顯；平均週期(Ts)也以湧浪成分為主要的花蓮測站較大，相信皆與地形的遮蔽效應有關，導致位處西岸的新竹浮標測得的波高與週期均較小。三個颱風中，最大波高發生在中度颱風 OTTO，而非強烈颱風 BILIS，亦值得注意。

### 三、波譜的估算

#### 3.1 譜模型的決定

海浪是一種複雜的隨機過程。自 50 年代初，Pierson 最先將 Rice 針對喧擾理論所建立的數學模式應用於海浪後，自此利用譜來描述隨機過程的海浪成為主要的研究途徑。至今已提出許多種描述海浪的譜模型，如 Pierson-Moscowitz 譜 (P-M 譜，單

參數譜)、JONSWAP 譜、Bretschneider 譜(二參數譜)、斯科特譜、六參數譜、Wallops 譜及 TMA 譜等。

本文所研究之颱風波浪,經分析 285 筆實測颱風波浪資料,發現僅 1%筆資料有明顯雙峰譜形,其餘的皆可視為單峰波譜。又測站位於水深中間性,考慮前人研究成果,最後選擇 JONSWAP 譜及經修正有限水深影響後之 JONSWAP 譜來作為颱風的波譜模型。

### 3.2 JONSWAP 譜

在 1968~1969 年間,由英、荷、美、德等國家的有關單位所進行的聯合北海波浪計畫,簡稱 JONSWAP。經由 13 個測站、五種不同觀測儀器、觀測斷面深入北海 160 公里測得之 2500 個譜尋得有限風距的風浪波譜模型如式 2:

$$S(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp\left[-1.25\left(\frac{f}{f_m}\right)^4\right] \gamma^{\exp\left[-(f-f_m)^2/2\sigma^2 f_m^2\right]} \quad (2)$$

式中  $\alpha$  --- 能量尺度參量

$\gamma$  --- 譜峰升高因數

$f_m$  --- 譜峰頻率

$\sigma$  --- 峰型參數,其中

$$\sigma \begin{cases} \sigma = \sigma_a = 0.07, & \text{當 } f \leq f_m \\ \sigma = \sigma_b = 0.09, & \text{當 } f > f_m \end{cases}$$

式(2)屬於有限吹送距離之風浪波譜。上式中  $\gamma$  即用來加重主頻附近的能量分佈,使波譜形狀變的更尖銳, $\gamma=1$  時就成為 P-M 譜, $\gamma$  變大波譜形狀就變得較為尖銳。其後經過進一步的研究發現,式(2)中的參數與無因次吹送距離有關,可近似為

$$\begin{aligned} \gamma &= 7.0(\bar{X})^{-0.143} \\ \alpha &= 0.0817(\bar{X})^{-0.286} \\ f_m &= 2.92\left(\frac{g}{U}\right)(\bar{X})^{-0.33} \end{aligned} \quad (3)$$

式中

$$\bar{X} = gX/U^2 \quad (4)$$

為無因次風區長度, $X$  為風區長度, $U$  為 10m 高度處的風速。

由於 JONSWAP 波譜有三個係數待估計,雖然三個參數彼此調整,可確切的描述譜形,但在擬合實際觀測之譜形時過程並不容易,所以本文改利用 JONSWAP 譜正規化後之通用型波譜,其波譜模型如式 5:

$$N(f) = \frac{S(f)f_m}{m_0} = z f^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4}f^{-4}\right) \gamma^{\exp\left[-\frac{(f-f_m)^2}{2\sigma^2}\right]} \quad (5)$$

式中  $z$  表正規化後之係數,其值如式 6 所示:

$$z = \left[ \int_0^\infty f^{-3} \exp\left(-\frac{5}{4}f^{-4}\right) \gamma^{\exp\left[-\frac{(f-f_m)^2}{2\sigma^2}\right]} df \right]^{-1} \quad (6)$$

$\tilde{f}$  表正規化頻率 ( $= f/f_m$ ),

$N(f)$  表將波譜能量正規化後之函數。

### 3.3 TMA 譜

海浪在傳入在淺水區後,受海底影響,波譜會產生變形,一個顯著的變化是高頻部分的坡度變的緩於  $f^{-5}$ 。Kitaigorodskii et al. (1975) 給出一通用的無因次函數  $\psi$  以表示水深  $h$  對波譜的影響:

$$\phi(2\pi f, h) = \begin{cases} 0.5\omega_h^2, & \omega_h < 1 \\ 1 - 0.52(2 - \omega_h)^2, & 1 \leq \omega_h \leq 2 \\ 1, & \omega_h > 2 \end{cases} \quad (7)$$

無因次量

$$\omega_h = 2\pi f \left(\frac{h}{g}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

根據他們的結果,在很淺水 ( $\omega_h < 1$ ) 中,風浪頻譜的高頻部分具有  $f^{-3}$  的形式。

Bouws et al. (1985) 利用實測資料證實了式(7)的適用性,建議了有限水深的風浪譜---TMA 譜:

$$S(f) = S_J(f)\phi(kh) \quad (9)$$

式中  $S_j(f)$  為 JONSWAP 譜； $\phi(kh)$  是描述譜平衡區的一個上界，可寫成式 (10)：

$$\phi(kh) = \frac{\tanh^3 kh}{(\tanh kh + kh - kh \tanh^2 kh)} \quad (10)$$

$$= \frac{\tanh^2 kh}{1 + 2kh / \sinh 2kh}$$

式中， $k$  為波數，在水深  $h$  處與頻率  $f$  滿足離散關係。

此譜表在深水產生後傳入淺水的波浪，基本上代表了成長階段的風浪。

而在固定水深的情形下（新竹 23m；花蓮 31m），可分別繪出一  $f \sim \phi(kh)$  之圖形，如圖 3：

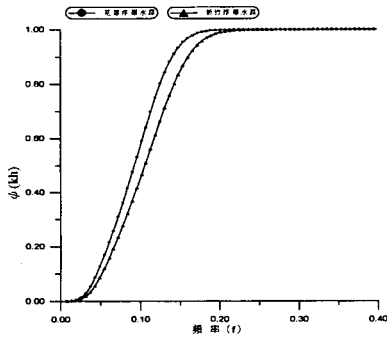


圖 3 新竹與花蓮測站  $f \sim \phi(kh)$  關係圖

依據上述譜型，在 JONSWAP 譜參數的推估上，首先正規化出新竹及花蓮測站所收集到三個颱風的波浪資料，再將此正規化之後的資料取平均，得到新竹及花蓮二測站個別的實測平均颱風波譜譜形。

理論的 JONSWAP 波譜與實際觀測到的波譜進一步比較，以最小標準偏差值所對應之  $\gamma$ 、 $z$  值視為所要求的颱風通用波譜。

當中標準偏差之計算為：

$$\epsilon = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [N(f_i) - N_{Real}(f_i)]^2}{n-1}} \quad (11)$$

又

$$n = [(f_{\max} - f_{\min}) / \Delta f] + 1 \quad (12)$$

式中  $N(f_i)$  表理論波譜能量正規化後之函數， $N_{Real}(f_i)$  表實際波譜能量正規化後之函數。

利用 TMA 波譜的概念，計算經修正有限水深影響後之 JONSWAP 波譜。在參數推估上，首先將實際測得的波譜能量分別除以新竹、花蓮測站之  $\phi(kh)$  函數，獲得一考慮水深條件後之深海波譜能量，接著以相同正規化 JONSWAP 波譜的方式與標準偏差，估算出  $z$ 、 $\epsilon$  與其對應的  $\gamma$  值，得經修正有限水深影響後之 JONSWAP 譜參數值。

#### 四、颱風期間波譜分析

依據前述之步驟，得到新竹測站之通用颱風 JONSWAP 波譜如式 13 所示， $\gamma$  值 1.315， $z$  為 4.622，計算所得之最小標準偏差 ( $\epsilon$ ) 為 0.094。譜形繪於圖 4。

$$N(f) = \frac{S(f)f_m}{m_0} = z f^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4}f^{-4}\right) \left[ \gamma \exp\left(-\frac{(f-f_p)^2}{2\sigma^2}\right) \right] \quad (13)$$

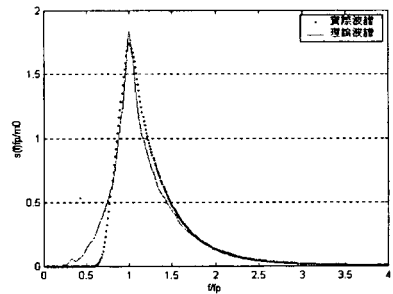


圖 4 新竹測站實際 JONSWAP 波譜與理論波譜比較

花蓮測站之通用颱風 JONSWAP 波譜參數  $\gamma$  值 1.067， $z$  為 4.914，計算所得之最小標準偏差 ( $\epsilon$ ) 為 0.114。譜形繪於圖 5。

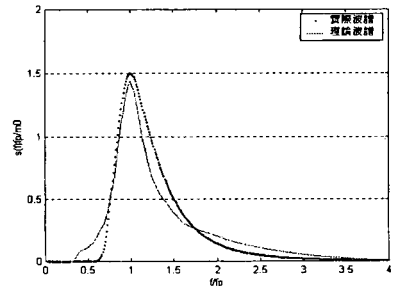


圖 5 花蓮測站實際 JONSWAP 波譜與理論波譜比較

新竹測站經修正有限水深影響後之 JONSWAP 波譜參數  $\gamma$  值 1.353,  $z$  為 4.581, 計算所得之最小標準偏差 ( $\epsilon$ ) 為 0.096。譜形則繪於圖 6。

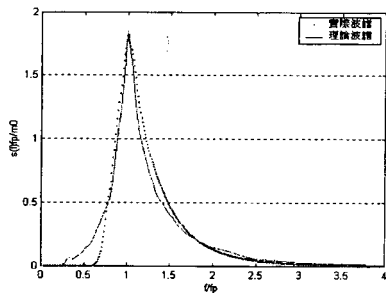


圖 6 新竹測站經修正有限水深影響後之實測 JONSWAP 波譜與理論波譜之比較

花蓮測站經修正有限水深影響後之 JONSWAP 波譜參數  $\gamma$  值 1.11,  $z$  為 4.859, 計算所得之最小標準偏差 ( $\epsilon$ ) 為 0.126。譜形則繪於圖 7。

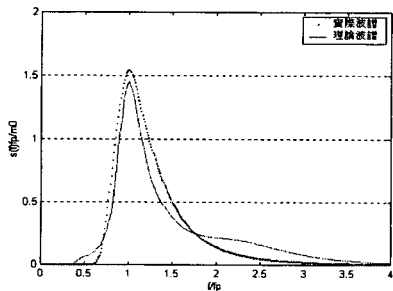


圖 7 花蓮測站經修正有限水深影響後之實測 JONSWAP 波譜與理論波譜之比較

新竹與花蓮測站水深分別為 31m 及 23m, 由實測能譜與經修正有限水深效應後之能譜比較如圖 8 所示, 以碧利斯颱風波浪為例, 波浪能量在考慮有限水深底床摩擦因素前後有明顯差異。

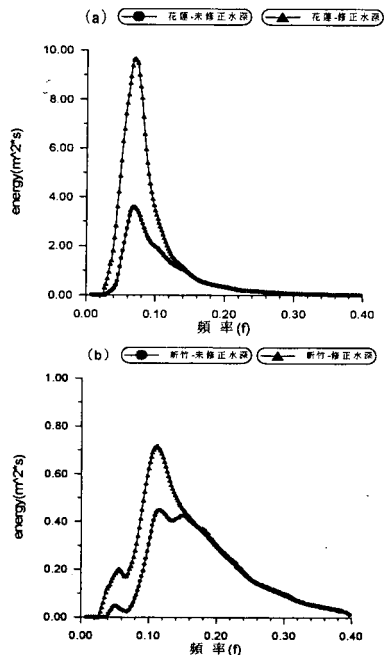


圖 8 (a) (b) 碧利斯颱風期間實際能譜與經修正有限水深效應後之能譜比較

在低頻時受有限水深影響較明顯, 由圖 8 可知, 碧利斯颱風在花蓮測站修正後的能量約為修正前的 2.1 倍, 因此外海深水區的波高約為實測的 1.45 倍; 新竹測站修正後的能量約為修正前的 1.33 倍, 外海深水區的波高約為實測的 1.15 倍, 所以在工程設計的考量上, 需注意到此現象。

修正有限水深影響後之 JONSWAP 譜可代表深海的入射颱風波浪特性, 因已將底床摩擦因素消去。從圖形上的比較來看, 考慮有限水深影響後之 JONSWAP 譜, 正規化後的能量值在兩測站中, 皆比 JONSWAP 譜來得大; 以標準偏差作為資料擬合優劣判斷標準, 新竹站測得之波譜較花蓮站在對 JONSWAP 譜之密合度為佳。不考慮水深效應的 JONSWAP 譜與經修正有限水深效應後的 JONSWAP 譜比較, 前者在兩測站的密合度較後者佳。

## 五、討論

本文針對颱風波浪資料進行擬合, 發現  $\gamma$  值分別為花蓮 1.067 及 1.11 與新竹的 1.315、1.353, 皆較前人擬合出的平均值 3.3 為小。Young (1997a) 經觀測、分析、計算後得  $\gamma$  平均值為 1.9, 針對  $\gamma$  值

偏小的現象，Young 提出可能是因為 local 風能輸入及非線性作用導致頻譜形狀形成較寬譜現象。

另外，為了找出觀測資料的海象特性是否與波譜參數有關，本文繪出波齡倒數與  $\gamma$  值的分佈圖。其中，波齡 (wave age,  $C_p / U_{10}$ ) 為判斷波浪成熟度的參數， $C_p$  為波速 (phase velocity)， $U_{10}$  為海面上 10m 的風速。結果如圖 9 所示，資料分佈散亂。若與 Young (1997a) 的分析作比較 (圖 10)，發現 Young 的結果亦為散亂分佈， $\gamma$  值與  $U_{10} / C_p$  無一明顯趨勢。圖中垂直線表  $U_{10} / C_p = 0.83$ ；水平線則表  $\gamma = 3.3$  之值；兩條虛線表一個標準偏差的範圍。

由圖 9 可發現花蓮資料幾乎落在成熟波的範圍內，西岸的新竹在資料分佈上有較多風浪成分。

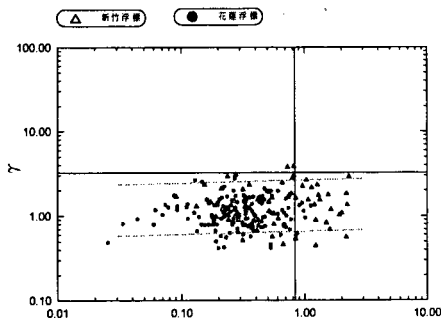


圖 9  $\gamma$  值對  $U_{10}/C_p$  之分佈圖

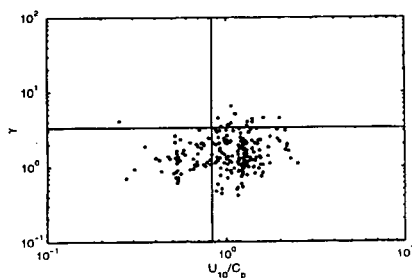


圖 10 Young(1999a)  $\gamma$  值對  $U_{10}/C_p$  之分佈圖

若將  $\gamma$  值與颱風距花蓮測站距離作比較，得到圖 11，發現 Amber 颱風  $\gamma$  值隨著颱風的接近先漸小再漸增；Otto 與 Bilis 颱風則呈現相反的趨勢。針對此部分，即使路徑同屬第二型，也無一致的趨勢。

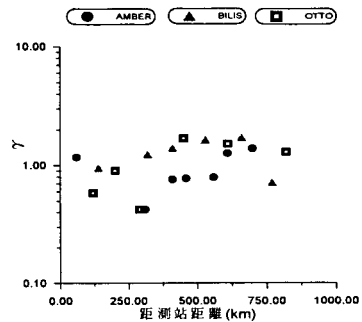


圖 11  $\gamma$  值與颱風距測站距離之關係

由碧利斯颱風在花蓮測站的週期變化如圖 2 所示，平均週期隨颱風的接近逐漸變長，最大平均週期發生在登陸時，達 10 秒。由頻譜分析結果 (圖 8) 卻發現颱風登陸期間，主頻降到 0.07Hz，也就是相應週期達 14 秒。平均週期  $T_{mean} = \sqrt{m_0/m_2}$ ，而  $m_0$ 、 $m_2$  受譜形的影響。由圖 9 及圖 11 所示， $\gamma$  值於颱風登陸期間無明顯的變化趨勢。在颱風期間，波譜峰度變的較扁平，譜形在低於或高於尖峰譜率的能量分佈與一般海況差異頗大，能量在高頻處分佈頻帶較為寬廣。由於颱風波譜之特殊性，僅用  $\gamma$  值描述不足以表達波譜能量，應將描述譜形的參數  $\sigma_a$  及  $\sigma_b$  一併納入考慮，同時做譜參數之擬合。

## 六、結論與建議

本文針對第二型路徑的三個颱風 (1997 年 8 月的 AMBER；1998 年的 OTTO 及 2000 年的 BILIS) 進行波譜研究，經分析與計算之後，可歸納得下列幾點結論與建議：

1. 針對第二型路徑颱風波譜，發現新竹測站在 JONSWAP 譜及考慮有限水深影響後之 JONSWAP 譜的擬合上，理論波譜圖形與實際資料的圖形趨勢相近；花蓮測站的實測值與理論值則有較大落差，推論其現象與花蓮測站的波浪以湧浪為主要成分有關。新竹測站計算 JONSWAP 譜與經修正有限水深影響後之 JONSWAP 譜之  $\gamma$  值分別為 1.315 與 1.353；花蓮測站計算 JONSWAP 譜與考慮有限水深影響後之 JONSWAP 譜之  $\gamma$  值分為 1.067 與 1.11。另外，經修正有限水深影響後之 JONSWAP 譜的譜形較 JONSWAP 譜尖銳。 $\gamma$  值大小皆大於 1，符合

實際資料中大多數為單峰譜形的現象，不若  $\gamma$  值小於 1 時易產生雙峰譜形。

2. 在描述颱風波譜時，因異於一般風浪，所以其特殊性僅用  $\gamma$  值描述應是不足的，應將描述譜形的參數  $\sigma_a$  及  $\sigma_b$  一併納入考慮，進行擬合。

3. 由圖 8 可知，颱風在修正後的深水區能量及波高較二測站實測得的值為大，因此在工程設計的考量上，需考慮到此現象所造成的影響。

4. 本文分析對象為第二型路徑之颱風，本次僅完成新竹、花蓮兩站具有統計性及地域性的颱風波譜分析結果，待逐年累積更多的現場觀測資料之後，即可進行其他路徑以及更多測站的分析，建立台灣地區完整的颱風波譜模式。

### 謝誌

感謝中央氣象局提供花蓮、新竹兩測站寶貴之實測資料，以供本文分析，並得以順利完成，在此致上誠摯的謝意。

### 七、參考文獻

1. 梁乃匡"颱風波浪譜的估計"(1985)，港灣技術第一期，1頁-6頁。
2. Bouws, E., and Günther, H., Rosenthal, W. and Vincent, C. L. (1985) "Similarity of the Wind Wave Spectrum in Finite Depth Water, 1. Spectral Form," *J. Geophys. Res.*, 90, pp.975-986.
3. Liu, P. C. (1989) "On the Slope of the Equilibrium Range in the frequency Spectrum of Wind Waves," *J. Geophys. Res.*, 94, pp.5017-5023.
4. Donelan, M. A. and W. H. Hui (1985) "Directional Spectra of Wind Generated Waves," *Philosophical Transactions of the Royal Society London A* 315, pp.509-562.
5. Hasselmann, K. et al., (1973) "Measurements of Wind-Wave Growth and Swell Decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)," *Dtsch. Hydrog. Z., Suppl. A*, 8, 12, pp. 95.
6. Kitaigorodskii, S. A., Krasitskii, V. P. and Zaslavskii, M. M. (1975) "On Phillips Theory of Equilibrium Range in the Spectra of Wind-Generated Gravity Waves," *J. Phys. Oceanogr.*, 5, pp.410-420.

7. Ochi, M. H. and E. N. Hubble (1976) "On Six-Parameter wave spectra," *Proc. 15<sup>th</sup> Int. Conf. Coastal Eng.*, 1, pp.301-328.
8. Ochi, M. H. and M. H. Chiu (1982) "Nearshore Wave Spectra Measured during Hurricane Dadid," *18<sup>th</sup> Internations Conference on Coast Engineering*, pp.77-86.
9. Whalen, J. E. and M. K. Ochi (1978) "Varibility of Wave Spectral Shapes Associated with Hurricanes," *10<sup>th</sup> Offshore Tech. Conf.*, pp.1515-1522.
10. Young, I. R. (1997) "Observations of the Spectra of Hurricane Generated Waves," *Ocean Engineering*, Vol.25, pp.261-276.1.
11. Young, I. R. (1999) Elsevier Science, U.K. *Wind Generated Ocean Waves*.