

通過巴士海峽颱風對臺灣南端波浪之關係

Wind Waves at Nan-Wan Bay Generated by Typhoons Passed through Bashi Channel

吳 清 吉

Ching-Chi Wu

ABSTRACT

The relation between track of typhoons and the height of waves against the coast is studied by solving equations numerically. Coastal waves caused by typhoons crossing the Bashi Channel has been taken as an example.

Waves produced by a typhoon moving in the direction of W, WNW, or NW and passing the area 55-165 km south of Kentin are higher than by a typhoon in other situation. Along the coast of Kentin, the waves produced by a typhoon moving in the direction of NW are higher than those produced by a typhoon in the direction of NNW and W. When the advancing speed of a typhoon is high (30km/hr), or low (10km/hr), the wave heights will decrease.

一、前 言

颱風在不同路徑下，對於某區域所引起之波浪不同，不一定中心通過該地區之路徑時，所引起之波浪為最大。本文試圖找出颱風在不同進行路徑及速度下，與該地區所發生波浪之關係。

臺灣之波浪觀測工作，雖已開始兩、三年，其資料集中於臺灣海峽北、中部。雖有颱風波浪之記錄，但引起海峽中波浪之颱風，均受地形影響，甚難以之判斷上述颱風路徑與波浪之關係。為減少颱風接近陸地時，其結構及路徑受到陸地地形影響，本文選擇通過巴士海峽之颱風，因該地區尚無實測資料，故以數值方法推算其在臺灣南端海岸（以墾丁為代表）所產生波浪之情況。該海岸面臨巴士海峽，其東為太平洋

，每年侵襲臺灣及其附近之颱風有22%經過本區或其南部海面，（中央研究院，1972）。由各種海岸工程之觀點而言，在太平洋西岸地區之重要波浪皆由颱風所引起（N. Sakamoto & T. Ijima, 1961）。本文之結果，可作該區域海岸工程建造之參考。

二、颱風風場之結構

颱風為發生於太平洋區之熱帶氣候，其生命史約為六天，短者僅數小時，而長者可達二星期之久。

（徐明同，1973）

如果以颱風中心為坐標原點，利用圓柱坐標（ r, λ, z ）， r 向外為正， λ 為反時鐘方向之角度， z 為向上之高度，則由 Eulerian 運動方程式：

$$\left. \begin{aligned} \frac{dv_r}{dt} - fv_\lambda - \frac{v_\lambda^2}{r} + \bar{f} w \cos\lambda &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{\rho} F_r \\ \frac{dv_\lambda}{dt} + fv_r + \frac{v_r v_\lambda}{r} - \bar{f} w \sin\lambda &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{r \partial \lambda} + \frac{1}{\rho} F_\lambda \\ \frac{dw}{dt} - \bar{f}(v_r \cos\lambda - v_\lambda \sin\lambda) &= -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{\rho} F_z \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1)$$

上式中 v_r, v_λ, w 各為軸向, 切線方向, 及垂直方向之速度。 $f=2\Omega \sin \phi$ 為水平科氏力參數, $\bar{f}=2\Omega \cos \phi$ 為垂直科氏力參數。 Ω 為地球自轉角速度, ϕ 為緯度, ρ 為空氣密度, g 為重力加速度。

如果取第一等級 (first order), 把颱風視為一穩定, 無摩擦且對軸對稱之渦旋運動, 則由 (2.1) 式可得:

$$\left. \begin{aligned} fv_\lambda + \frac{v_\lambda^2}{r} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} \\ -g &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.2)$$

(2.2) 式中第一式為梯度風方程式。

就實際之觀測顯示, 颱風內部為一 $r-v$ Vortex 即一點之風速 v 與半徑 r 之乘積不變, 即 $rv = \text{常數}$ 。但自颱風眼附近最大風速處與颱風中心間, 風速與半徑之關係為 $v/r = \text{常數}$, 即 Ramkin vortex (Y. H. Wei, S. L. Shieh, M. S. Lin 1971)。

由前 (2.2) 式所示, 在理想狀態下, 渦旋運動可由梯度風方程式表示。但當摩擦力出現時, 氣流會切過等壓線向低壓部分流動, 且當風場有移動時, 尚須考慮風場移動之影響。

如以 v_g 代表梯度風, 代替 (2.2) 式中 v^λ , 且採用日本氣象廳 (1965) 之颱風氣壓分布模式:

$$p = p_c + a \exp(-r^0/r) \dots\dots\dots (2.3)$$

式中 p : 距離颱風中心 r (km) 處之氣壓 (mb).

p_c : 颱風中心之氣壓 (mb)

a : 常數

r_0 : 颱風最大風速之半徑 (km)

則由 (2.2), (2.3) 兩式可得:

$$v_g = \sqrt{\frac{a}{\rho} \frac{r_0}{r} \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right) + r^2 \Omega^2 \sin^2 \phi} - r \Omega \sin \phi \dots\dots\dots (2.4)$$

假設在移動之颱風中, 海面之風速 \bar{w} 為由一個切過等壓線對軸對稱之風速 \bar{w}' 和風場移動速度 \bar{w}'' 所構成 (圖 2.1)。 \bar{w}' 之大小和梯度風 \bar{v}_g 的大小成正比, 且和 \bar{v}_g 成一夾角 γ , 而風場移動速度之大小和梯度風及颱風中心進行速度 \bar{v} 有關。

$$\bar{w}' = c_1 v_g \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\bar{w}'' = c_2 \frac{v}{(v_g)_{\max}} v_g \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\bar{w} = \bar{w}' + \bar{w}'' \dots\dots\dots (2.7)$$

上三式中 \bar{w}' 為 \bar{w} 之值, v, \bar{w}'', v_g 分別為 $\bar{v}, \bar{w}'', \bar{v}_g$ 之值。 c_1, c_2 為小於 1 之常數, 在臺灣地區, $c_1 = c_2 = 0.6$ (Tang, 1968)。

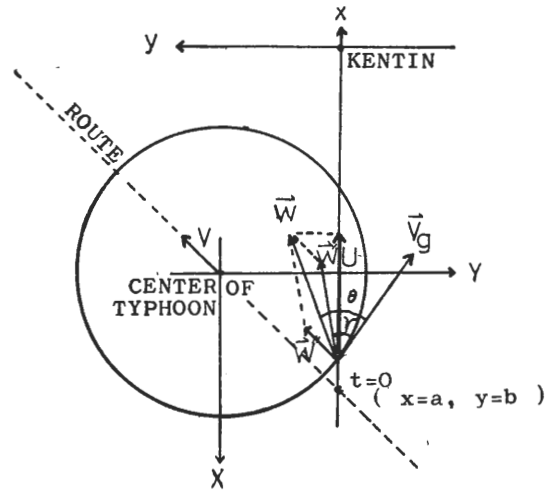


圖 2.1
Fig 2.1

根據中央研究院 (1972) 之統計, 由 1884 至 1970 八十七年間侵襲臺灣地區之颱風共 399 次。其出現月份由四月至十一月, 最常出現之月份為七、八、九, 三個月。其路徑可分為七大類, 以由臺灣南部及其附近海面通過者為最多, 可達 22%。

颱風通過臺灣地區時, 其中心進行速度, 平均大約在每小時 18 公里至 20 公里之間, 最大者曾達到每小時 45 公里, 最小者為每小時 4 公里, 中心最低氣壓, 最低者曾達到 890 mb。

三、颱風波浪之推算方法—數值計算方法

波浪之推算方法, 我們最熟悉的有代表波法 (S M. B. method) 及波譜法 (P. N. J. method)。前者是從代表波 (Significant wave) 的觀念來預測風浪和湧浪 (Swell); 後者是從波譜 (Wave spectra) 來預測風浪和湧浪。此外尚有 Darbyshire (1956, 1957) 等之方法。以上之方法如用於推算颱風波浪時, 因其風域移動甚快, 風向、風速之變化也很大, 故誤差甚大。在颱風波浪之推算, 可用經驗公式法如 Bretschneider (1957; 1973); 宇野木 (1957) 及坂本一井島一木村 (1961) 等之方法, 及 Wilson (1955; 1961) 之圖解法及數值方法, 但 Wilson 之方法僅能適用於深海區域。湯麟武博士 (1968; 1970) 綜合淺海風浪之關係, 海底摩擦之影響, 湧浪之推算以及碎波後, 波浪之計算法, 直接從氣象資料推算移動風域中, 波浪到達海岸前之情況, 可由電子計算機迅速處理。本文即採用此種方法推算

颶風波浪，其原理及方法簡述如下：

1. 深海之波浪——在深海時利用 Wilson(1955) 之近似公式：

$$\frac{gH}{U^2} = 0.26 \tanh \left[0.01 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/2} \right] \dots\dots (3.1)$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = 1.40 \tanh \left[0.0136 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/3} \right] \dots\dots (3.2)$$

在 $0.1 < \frac{gF}{U^2} < 10^6$ 之範圍內均可適用。

$$\frac{gH}{U^2} = 0.26 \tanh \left[0.578 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/4} \right] \tanh \left\{ \frac{0.01 (gF/U^2)^{1/2}}{\tanh[0.578(gD/U^2)^{3/4}]} \right\} \dots\dots (3.3)$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = 1.40 \tanh \left[0.520 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/8} \right] \tanh \left\{ \frac{0.0436 (gF/U^2)^{1/3}}{\tanh[0.520(gD/U^2)^{3/8}]} \right\} \dots\dots (3.4)$$

式中 D 為水深，當 $D \rightarrow \infty$ 時，則 (3.3), (3.4) 兩式和 Wilson 之深海波公式 (3.1), (3.2) 相同。

3. 已知一點推算下一點——在深水中，已知海面上一點 $X = X_n$, $t = t_n$ 時之波高 H_n ，週期 T_n ，羣速度 $G_n = \frac{gT_n}{4\pi}$ 及風速 U_n ，則順風方向 ΔX 距離

式中 H, T : 代表波高及週期 (註一) (significant wave heights and periods)

F : 吹風距離 (fetch length) (註二)

U : 吹風線 (fetch line) 上之風速

g : 重力加速度

2. 淺海之波浪——當波浪進入淺水區以後，採用湯氏 (1968) 之公式：

處，如 ΔX 甚小，則風速 U_n 可視為常數。在 $X_{n+1} = X_n + \Delta X$ 處之波高 H_{n+1} 及羣速度 G_{n+1} 可分別為下列二式：

$$H_{n+1} = H_n + \left(\frac{dH}{dX} \right)_n \Delta X \dots\dots (3.5)$$

$$G_{n+1} = G_n + \left(\frac{dG}{dX} \right)_n \Delta X \dots\dots (3.6)$$

在深海中 $\left(\frac{dH}{dX} \right)_n$, $\left(\frac{dG}{dX} \right)_n$ 可由 (3.1) 及 (3.2) 式得到，即：

$$\left(\frac{dH}{dX} \right)_n = \frac{3.846 \times 10^{-4} (0.26 + gH_n/U_n^2) (0.26 - gH_n/U_n^2)}{\ln(0.26 + gH_n/U_n^2) - \ln(0.26 - gH_n/U_n^2)} \dots\dots (3.7)$$

$$\left(\frac{dG}{dX} \right)_n = \frac{1.578 \times 10^{-4} g (0.7 + G_n/U_n) (0.7 - G_n/U_n)}{U_n \{ \ln(0.7 + G_n/U_n) - \ln(0.7 - G_n/U_n) \}^2} \dots\dots (3.8)$$

在淺水區中，波高計算方法，仍可仿 (3.5) 式計算，但 $\left(\frac{dH}{dX} \right)_n$ 須由 (3.3) 式計算

$$\left(\frac{dH}{dX} \right)_n = \frac{3.846 \times 10^{-4} (0.26\alpha + gH_n/U_n^2) (0.26\alpha - gH_n/U_n^2)}{\alpha^3 \{ \ln(0.26\alpha + gH_n/U_n^2) - \ln(0.26\alpha - gH_n/U_n^2) \}^2} \dots\dots (3.9)$$

式中 $\alpha = \tanh[0.578 (gD_n/U_n^2)^{3/4}]$

羣速度 G 在淺海中之性質與深海中不同，無法直接計算，可由羣速度和風速之比間接求出。

$$\frac{G}{U} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2KD}{\sinh 2KD} \right] \frac{gT}{2\pi U} \tanh(KD) \dots\dots (3.10)$$

K = 2π/L 為波數 (Wave number)

設 $S = 2\pi D/L_0$, $d = 2\pi D/L$, L_0 及 L 分別為深海波及在水深 D 處之波長。

$$\text{則 } S = 4\pi^2 D / gT^2 = \frac{gD/U^2}{(gT/2\pi U)^2} \dots\dots (3.11)$$

$$\frac{GT}{2\pi U} = \left(\frac{gD/U^2}{S} \right)^{1/2} \dots\dots (3.12)$$

而 $S = d \tanh d \dots\dots (3.13)$

將 S, d 代入 (3.10) 式則可得

$$Z = \frac{G}{U} \times \frac{1}{(gD/U^2)^{1/2}} = \frac{S - S^2 + d^2}{2dS^{1/2}} \dots\dots (3.14)$$

(3.14) 式之右邊可以用之函數表示出來，即

$$z = f(s) \dots\dots (3.15)$$

當 $S \rightarrow 0$ 時， $d^2 = S$, $Z = 1 - \frac{S}{Z} = 1$ 為長波；

當 $S \geq \pi$ 時， $d = S$ 為深水波，故 Z 可以作為指示波浪性質之數字，即 $S = \pi$ 為深水波與淺水波之界限。

當 $S = \pi$ 時， $Z = 1/2\sqrt{\pi} = 0.2821$ 。

$$\text{故 } \left. \begin{array}{l} Z < 0.2821 \quad \text{深水波} \\ 0.2821 \leq Z < 1 \quad \text{淺水波} \end{array} \right\} \dots\dots (3.16)$$

如果已知 S，則可推算出 Z，進而推算出羣速度及週期。已知在第 n 點之 $S = S_n$ 則第 n+1 點之 S 為：

$$S_{n+1} = S_n + \left(\frac{dS}{dX} \right)_n \Delta X \dots\dots (3.17)$$

由 (3.4) 及 (3.11) 式，可得

$$S = \left(\frac{gD}{U^2} \right) \left\{ 1.40 \tanh \left[0.520 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/8} \right] \tanh \left[\frac{0.0136 (gF/U^2)^{1/3}}{\tanh \{ 0.520 (gD/U^2)^{3/8} \}} \right] \right\}^{-2} \dots\dots\dots (3.18)$$

$$\left(\frac{dS}{dX} \right)_n = - \frac{1.578 \times 10^{-4} g S_n (1.40\mu + \nu) (1.40\mu - \nu)}{U_n^2 \nu \mu^4 \{ \ln(1.40\mu + \nu) - \ln(1.40\mu - \nu) \}^2} \dots\dots\dots (3.19)$$

式中 $\mu = \tanh \left[0.520 \left(\frac{gD_n}{U_n^2} \right)^{3/8} \right]$, $\nu = \sqrt{\frac{1}{S_n} \left(\frac{gD_n}{U_n^2} \right)}$

$$0.26 \leq gH/U^2 \dots\dots\dots (3.22)$$

$$0.7 \leq G/U \dots\dots\dots (3.23)$$

S_{n+1} 求出後由 (3.12) 式，可得到 T_{n+1}

$$T_{n+1} = 2\pi \sqrt{D_n/gS_{n+1}} \dots\dots\dots (3.20)$$

由 S_{n+1} 可得到 Z_{n+1} 然後

$$G_{n+1} = Z_{n+1} \sqrt{g D_n} \dots\dots\dots (3.21)$$

4. 由 (3.7), (3.8) 式可得在深海中，有下列情況，則波浪變成湧浪。

由 (3.9), (3.19) 兩式，在淺海中有下列情況，則波浪變成湧浪。

$$0.26\alpha \leq gH/U^2 \dots\dots\dots (3.24)$$

$$1.40\mu \leq \nu \dots\dots\dots (3.25)$$

當波浪變成湧浪時，則利用湯式 (1968) 及井島之公式

$$\frac{H_D}{H_F} = \left\{ \cosh \left\{ 0.66 \left(\frac{F}{H_F} \right)^{0.05} \left(\frac{A}{F} \right)^{0.25} \tanh \left[3.0 \left(\frac{A}{F} \right)^{0.30} \right] \right\} \right\}^{-1} \dots\dots\dots (3.26)$$

$$\frac{T_D}{T_F} = \left\{ \cos \left\{ 1.74 \left(\frac{2\pi F}{gT_F^2} \right)^{-0.05} \left(\frac{A}{F} \right)^{0.20} \tanh \left[1.02 \left(\frac{2\pi F}{gT^2} \right)^{-0.04} \left(\frac{A}{F} \right)^{0.32} \right] \right\} \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (3.27)$$

式中 H_D, T_D : 衰減後之波高，週期。

H_F, T_F : 為在吹風線上末端，開始衰減時之波高及週期。

A : 減衰距離

如果在淺水區域，則尚須考慮到摩擦之影響。

5. 吹風線上風速之決定——在圖 2.1 中，以吹風距離線為 x 軸，與之垂直之線為 y 軸。另以颱風中心為原點，取另一組坐標 (X, Y) 在時 t=0 時之颱風中心位置為 x=a, y=b, 則吹風線上之風速

$$U = W_x$$

$$\left. \begin{aligned} W_x &= w_x' + w_x'' \\ X &= x - v_x t - a \\ Y &= y - v_y t - b \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.28)$$

w_x, w_x', w_x'' 分別為 $\vec{w}, \vec{w}', \vec{w}''$ 在 x 方向之分量 v_x, v_y 為颱風中心在 x 及 y 方向之進行分速度。

$$U = w_x = 0.6 \left\{ -\frac{1}{r} \sin\theta (x - v_x t - a) + \cos\theta (-v_y t - b) + \frac{v_x}{(v_g)_{max}} \right\} v_g \dots\dots\dots (3.29)$$

式中 $r = (X^2 + Y^2)^{1/2} = [(x - v_x t - a)^2 + (v_y t + b)^2]^{1/2}$, θ 為 \vec{w} 與 \vec{v}_g 之夾角。

6. 起算點之決定——設當吹風線上風速達到 U_0 時開始推算，此時之點為 (x_0, t_0) ，一般 U_0 之值採用 5-10m/sec (Tang, 1970)。由 (3.29) 式，取 $U = U_0$ 。則

$$U = U_0 = -0.6(\Theta/r - v_x/(v_g)_{max})v_g \dots\dots\dots (3.30)$$

式中 $\Theta = \sin\theta(x_0 - v_x t_0 - a) + \cos\theta$

$$(-v_y t_0 - b) \dots\dots\dots (3.31)$$

(3.30) 式中之 v_g 為 r 之函數，故 (3.30) 式，可化為 $F(r, \Theta) = 0$ 之形式，其近似解為

$$r^2 + k_1 \Theta^2 + k_2 \Theta + k_3 = 0 \dots\dots\dots (3.32)$$

式中 k_1, k_2, k_3 是由圖解法得出之常數。再由 (3.29), (3.31) 及 (3.32)，則可得出 x_0, t_0 之二次方程式，其解之形式如下：

$$x_0 = c_1 t_0 + c_2 \pm (c_3 t_0^2 + c_4 t_0 + c_5)^{1/2}$$

c_1, c_2, c_3, c_4 及 c_5 為常數。

7. 水深之決定——從海圖或 Sounding map 可以決定水深之近似方程式

$$D = f'(x) + h \sin \frac{2\pi}{T'} (t + \epsilon)$$

式中 $f'(x)$: 沿着吹風線上之水深近似方程式

h : 潮位

T' : 潮汐週期

ϵ : 相位

四、實際之推算

1. 颱風模型之選擇——本文選用民國五十八年九月通過巴士海峽之衛歐拉 (Viola) 颱風，作為推算之模型。該颱風曾在南部及西南部海岸地區引起很大災害。茲將衛歐拉颱風侵襲時，臺灣附近各地氣壓列於下表 4.1。

表 4.1

單位：mb

觀測地點	恆春	高雄	蘭嶼	新港	臺東	臺南	澎湖	花蓮	臺中	新竹
氣壓	987.7	988.0	985.0	995.8	993.0	987.9	990.1	978.4	988.9	993.0

觀測時間：58年9月27日8時 颱風中心氣壓：900mb

由上表及 (2.3) 式，用最小二乘法，可以求出颱風之氣壓方程式：

$$P = 900 + 101 \exp\left(-\frac{39.7}{r}\right) \dots\dots\dots(4.1)$$

由 (4.1) 及 (2.4) 可得

$$v_g = 92.1 \sqrt{\frac{19.85}{r} \exp\left(-\frac{19.85}{r}\right) + 3.130 \times 10^{-7} r^2 - 0.054r} \dots\dots\dots(4.2)$$

為使運算方便起見，(4.2) 式之長度單位為 2 公里。

2. 颱風路徑及進行速度之選擇——本文選擇颱風進行之方向有三：(圖 4.1 實線為衛歐拉颱風之路徑，虛線為所選擇路徑，箭頭表示其進行方向)

a. 向西進行：選擇五條路徑，其編號分別為 A1, A2, A3, A4 及 A5。每條路線由推算點(墾丁)向南算起，各相差 55 公里。

d 向西北西進行：亦選擇五條路徑，其編號分別為 B1, B2, B3, B4 及 B5，其間隔與 a 情況相同。此方向為衛歐拉颱風在九月二十七日八時至十八時間實際進行方向。

c. 向西北進行：選擇三條路徑，其編號為 C2, C3 及 C4。

颱風中心進行速度選擇為 20 公里/小時，在 B3 之路徑上另外再假設兩種不同之進行速度——10 公里/小時及 30 公里/小時，其編號分別為 B'3 及 B''3。

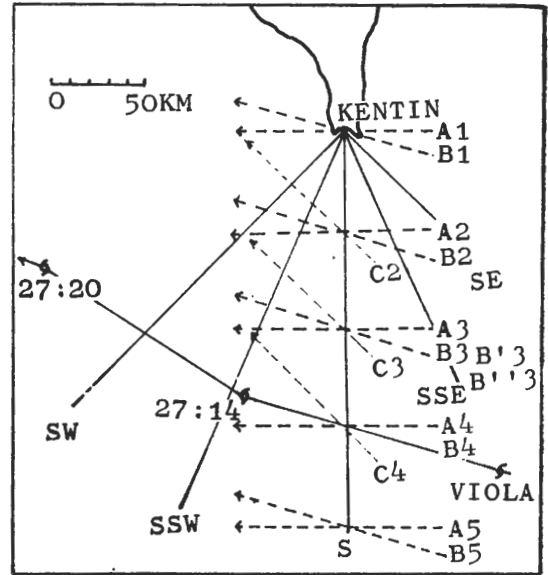


圖 4.1
Fig 4.1

以比較颱風中心在此路徑進行速度不同時之情況。

時間坐標之選擇，以颱風中心通過推算點南方時之時間為 t=0，在通過前之時間為負，通過後之時間為正，t=0 時颱風中心與推算點之距離為 R。時間之單位為 15 分以 τ 表示，即 1τ=15 分。推算之各種颱風情況，分別示於下表 4.2：

表 4.2

路徑	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B'3	B''3	C2	C3	C4
進行速度 (km/hr)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	10	30	20	20	20
進行方向	W	W	W	W	W	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	NW	NW	NW
R (km)	0	55	110	165	220	0	55	110	165	220	110	110	55	110	65

本文所推算到達南端海岸(以墾丁代表)之颱風波浪，其推算來向有 SW, SSW, S, SSE, SE 五個，其他方向，因陸地遮蔽之關係，而不予推算。圖 4.2a 至圖 4.2e 表示由海圖得到之水深和距離之關係圖。利用最小二乘法，可得到各方向之近似水深方程

式(不考慮潮位變化)如下：

a. SW 方向

$$x \geq -8 \text{ 時 } D = -3.65x^2 - 43.95x + 19.7$$

$$x < -8 \text{ 時 } D = 500$$

d. SSW 方向

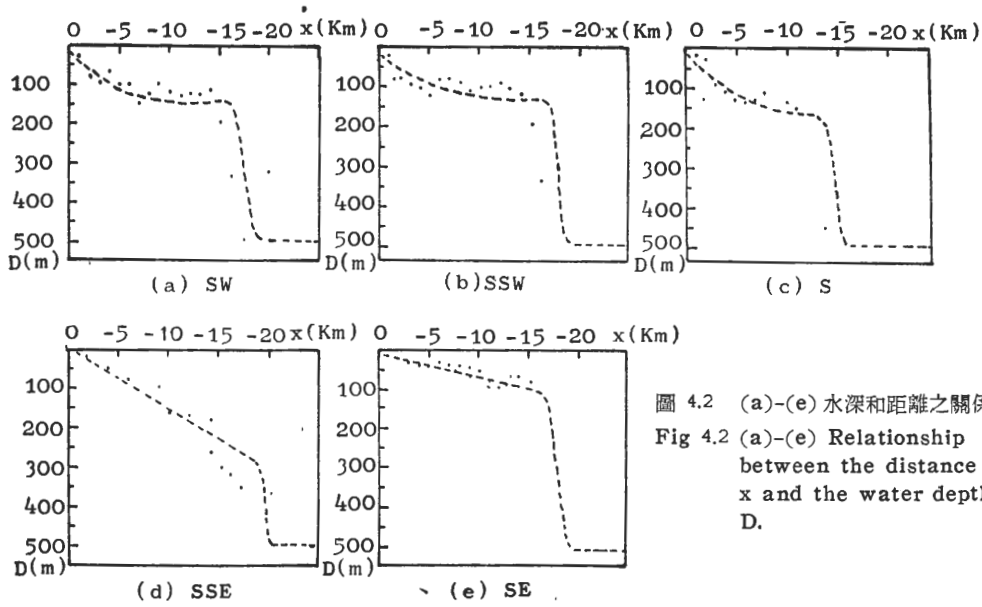


圖 4.2 (a)-(e) 水深和距離之關係
Fig 4.2 (a)-(e) Relationship between the distance x and the water depth D.

$x \geq -8.5$ 時 $D = -2.35x^2 - 32.05x + 20$
 $x < -8.5$ $D = 500$

$x \geq -8$ 時 $D = -11.25x + 2.75$
 $x < -8$ $D = 500$

c. S 方向

$x \geq -6.5$ 時 $D = -4.7x^2 - 52.1x + 12.6$
 $x < -6.5$ $D = 500$

d. SSE 方向

$x \geq -9.5$ 時 $D = -32.25x$
 $x < -9.5$ $D = 500$

e. SE 方向

以上各式之水深 D 單位為公尺，距離 x 之單位為 2 公里。吹風距離在 S 方向因受菲律賓之限制為 360 公里，在 SSE 方向，在 400 公里以後，亦因靠近菲律賓而受影響，其餘三個方向不受限制。

五、推算結果之比較討論

表 5.1 為由計算機所推算出來颱風在上節所述各

表 5.1

方向 路徑	SW		SSW		S		SSE		SE	
	波高 (m)	週期 (sec)	波高 (m)	週期 (sec)	波高 (m)	週期 (sec)	波高 (m)	週期 (sec)	波高 (m)	週期 (sec)
A1	3.92	11.17	5.39	9.98	6.00	10.47	6.33	8.69	5.69	9.56
A2	3.74	11.84	3.93	11.79	6.01	11.75	7.41	11.99	8.01	11.86
A3	2.81	12.92	3.53	12.43	4.21	12.06	6.62	12.77	8.08	13.79
A4	2.56	13.53	3.22	13.01	4.19	12.96	5.47	13.41	7.32	13.04
A5	2.37	14.07	2.93	13.32	3.82	13.47	4.90	13.81	5.78	15.21
B1	4.62	11.20	6.07	11.27	6.17	8.21	6.01	8.27	5.24	9.45
B2	3.79	11.87	5.36	11.54	7.38	12.03	8.17	9.76	9.04	12.50
B3	3.45	12.42	4.01	12.05	5.22	11.60	8.79	13.34	9.55	14.91
B4	3.30	13.36	3.76	12.64	5.26	13.20	6.37	14.41	9.06	14.82
B5	2.81	13.29	3.80	11.20	4.30	12.87	8.90	14.48	7.20	16.32
B'3	4.53	13.10	5.27	12.92	6.60	18.17	8.42	13.55	9.10	14.14
B''3	2.60	11.87	3.41	11.36	5.87	11.93	8.32	13.00	7.04	13.43
C2	3.74	11.91	7.15	7.67	8.00	9.26	11.54	10.79	11.02	16.50
C3	3.22	11.46	7.13	11.29	9.02	13.33	10.57	15.08	10.70	16.68
C4	4.35	12.34	10.64	15.63	5.65	11.44	7.98	13.35	10.39	15.93

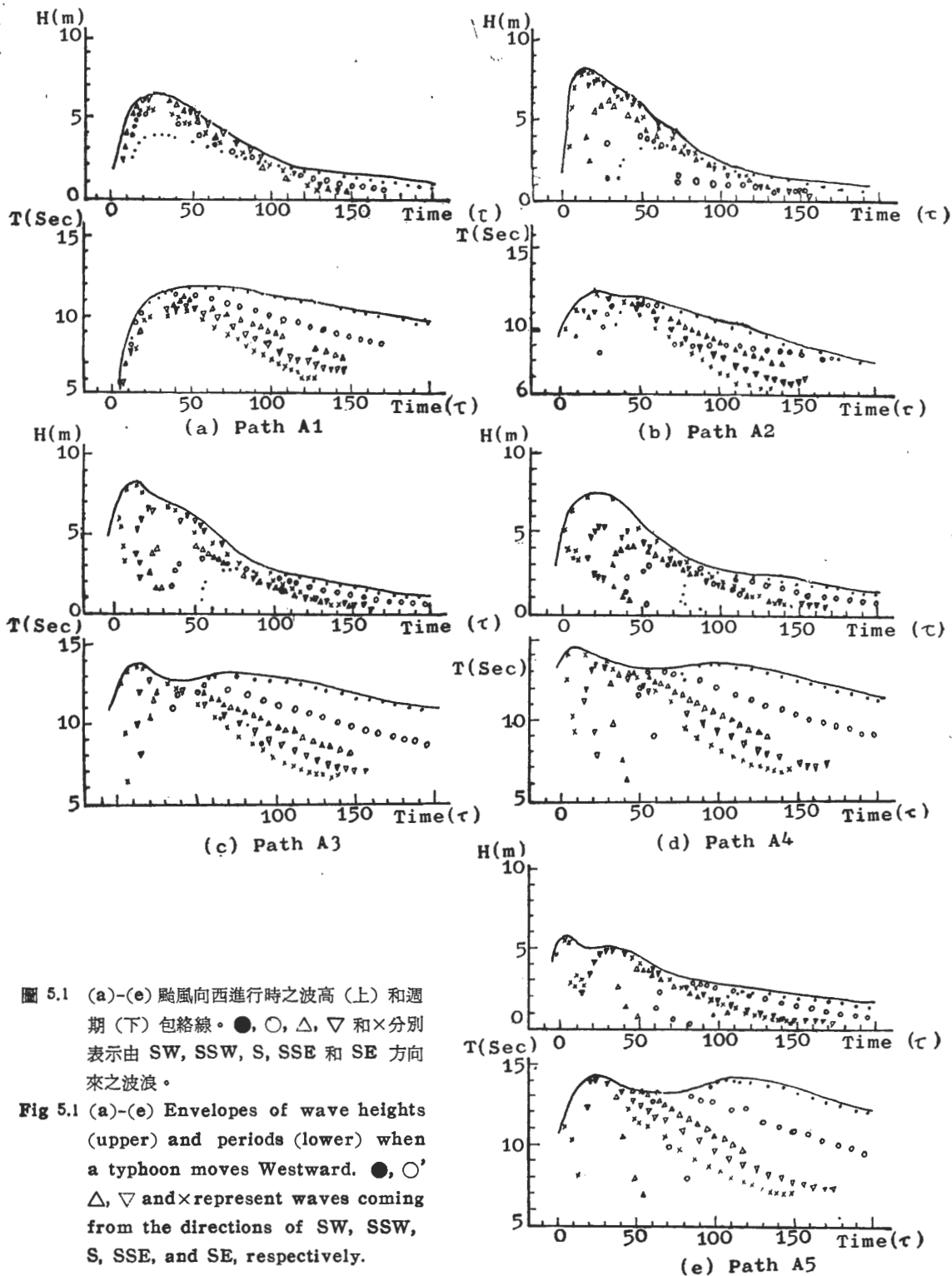


圖 5.1 (a)-(e) 颱風向西進行時之波高 (上) 和週期 (下) 包絡線。●, ○, △, ▽ 和 × 分別表示由 SW, SSW, S, SSE 和 SE 方向來之波浪。

Fig 5.1 (a)-(e) Envelopes of wave heights (upper) and periods (lower) when a typhoon moves Westward. ●, ○, △, ▽ and × represent waves coming from the directions of SW, SSW, S, SSE, and SE, respectively.

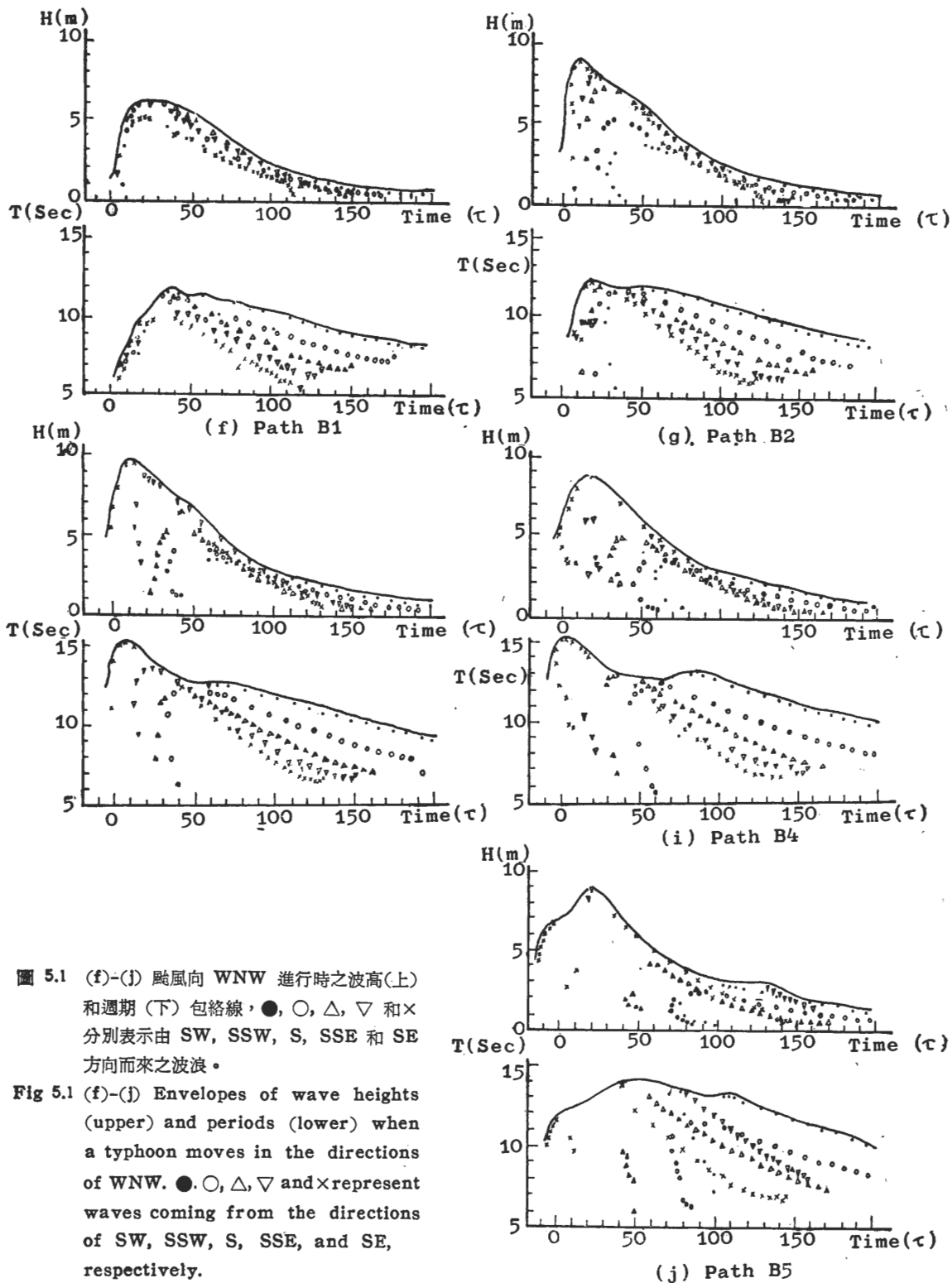


圖 5.1 (f)-(j) 颱風向 WNW 進行時之波高(上)和週期(下)包絡線, ●, ○, △, ▽ 和 × 分別表示由 SW, SSW, S, SSE 和 SE 方向而來之波浪。

Fig 5.1 (f)-(j) Envelopes of wave heights (upper) and periods (lower) when a typhoon moves in the directions of WNW. ●, ○, △, ▽ and × represent waves coming from the directions of SW, SSW, S, SSE, and SE, respectively.

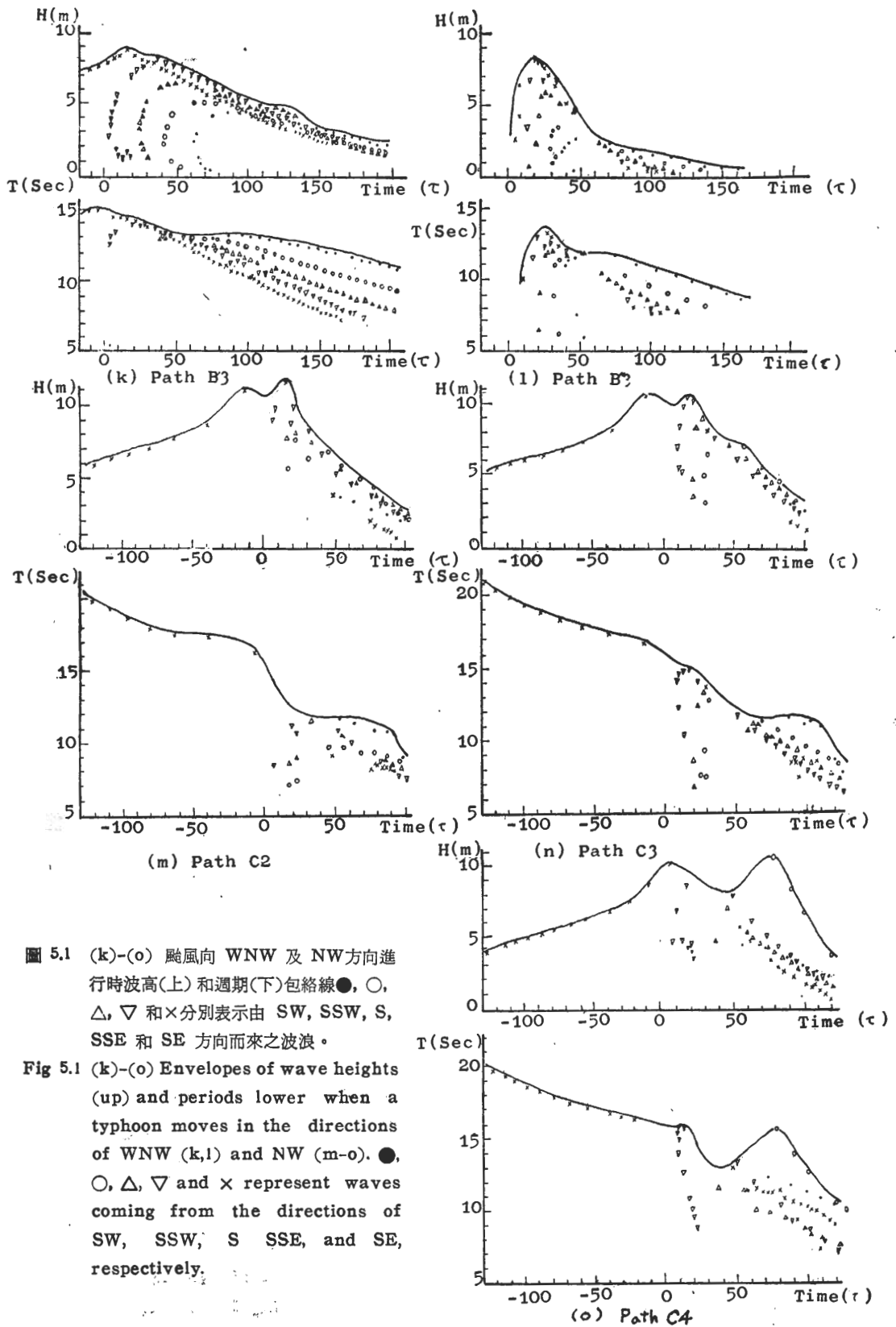


圖 5.1 (k)-(o) 颱風向 WNW 及 NW 方向進行時波高(上)和週期(下)包絡線●, ○, △, ▽ 和×分別表示由 SW, SSW, S, SSE 和 SE 方向而來之波浪。

Fig 5.1 (k)-(o) Envelopes of wave heights (up) and periods lower when a typhoon moves in the directions of WNW (k,l) and NW (m-o). ●, ○, △, ▽ and × represent waves coming from the directions of SW, SSW, S, SSE, and SE, respectively.

種不同路徑通過時，在推算點二十公尺水深處，各方向所引起波浪之最大代表波高，及其對應之週期。圖 5.1a 至圖 5.1o 為 20 公尺水深之波高和週期包絡線 (envelope)。黑點●，中空點○，三角點△，倒三角▽ 及 叉點×，分別表示由 SW, SSW, S, SSE 及 SE 方向而來之波浪。

由圖中可發現較大之波浪，多由東南及南南東方向而來。唯颱風在 C4 路徑之波高包絡線 (圖 5.1 o) 其第二次高峯之波浪，主要係由南南西方而來。向

西北進行之颱風，當其中心尚未通過推算地區之南方海面時，即有週期甚長之湧浪先行到達 (圖 5.1m, 5.1 n, 5.1 o)，其來向為東南與颱風路徑平行。向西及西北進行之颱風，在推算地區，因受地形之影響。因此和颱風同一進行方向之長週期湧浪無法到達推算地區。

1. 颱風中心在推算地區南方不同距離海面通過時，所引起波浪之比較——圖 5.2a, 5.2b 及 5.2c 分別為颱風向西，向西北西及西北進行時不同 R 值之波

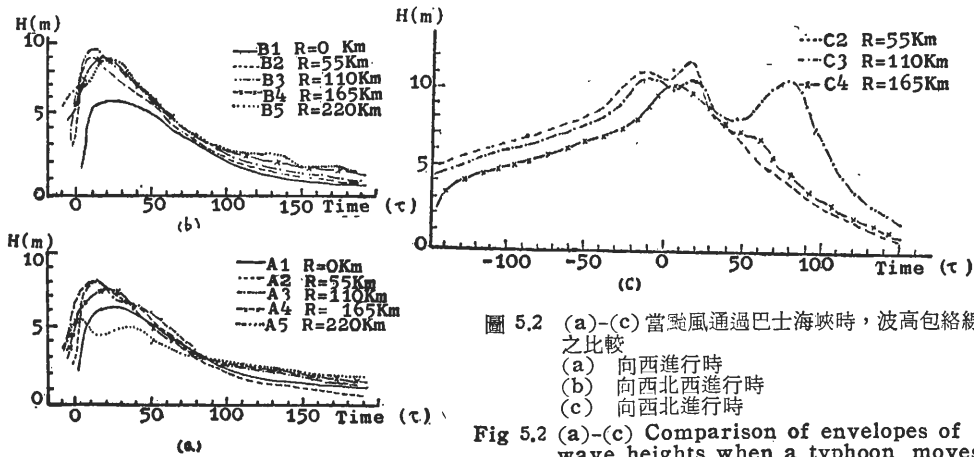


圖 5.2 (a)-(c) 當颱風通過巴士海峽時，波高包絡線之比較
 (a) 向西進行時
 (b) 向西北西進行時
 (c) 向西北進行時
 Fig 5.2 (a)-(c) Comparison of envelopes of wave heights when a typhoon moves across Bashi Channel
 (a) in W direction
 (b) in WNW
 (c) in NW

高包絡線之比較。圖 5.3a 表示 R 和最大波高 H_{max} 之關係，由圖中 (5.2, 5.3) 可發現，颱風中心通過推算地區 ($R=0$) 時，其波高包絡線較低，然後隨 R 值之增加而升高，然後再降低。當颱風中心在推算地區以南 55 至 165 公里海面通過時，其所引起在 20 公尺水深之波浪較大。

當颱風進行方向，由西偏轉向北之方向時，其最大波高有增大之趨勢。

圖 5.3b, 5.3c 及 5.3d 表示颱風向西，西北西，及西北進行時，在推算點 20 公尺水深處，各方向而來之最大波高和 R 值之關係。在颱風向西及西北西進行時，由 SW 及 SSW 方向而來之波浪，其最大波高均隨 R 值之增加而減少，由 S, SSE 及 SE 方向而來之波浪，其最大波高會隨 R 之增加而增加後再減少。惟當颱風向西北西進行時，在 B5 路徑 ($R=220$ km) 時，由 SSE 方向而來之最大波高，突有增加之現象。當颱風向西北進行時由 SW 及 SSW 而來之波浪

隨着 R 之增加反而有增加之趨勢。這些可能由於增

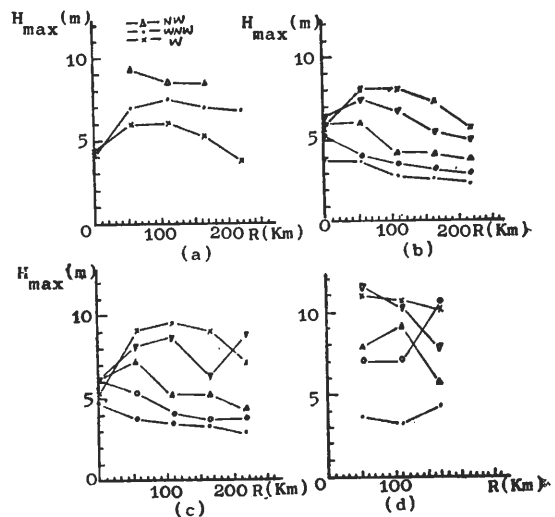


圖 5.3 (a)-(d)
 Fig 5.3 (a)-(d)

加之吹風歷時 (duration) 能和增加之吹風距離配合所致。

2. 颶風中心進行速度不同時之比較——圖 5.4 為颶風中心在 B3 路徑，但其進行速度不同時波高包絡線之比較，共有 10km/hr, 20km/hr, 30km/hr 三種速度。以 20km/hr 進行之颶風，其所產生之波浪波高較大，當進行速度增加或減少時，其最大波高都會減少。但是當進行速度減慢時，波浪衝擊時間較長，這是由於進行速度減慢，吹風歷時增加所致。

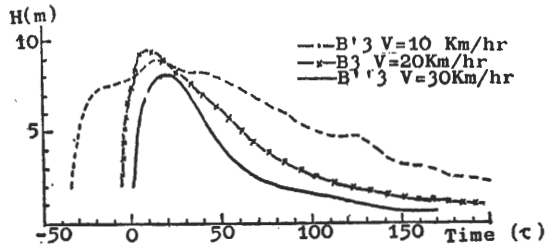


圖 5.4
Fig 5.4

當颶風進行速度快時，在某些吹風線上之風速 U 雖然較大，但其吹風歷時短；反之，當颶風進行速度慢時，其吹風歷時雖較長，但在吹風線上之風速較小，只有當風速和吹風歷時適當配合時，才能引起最大波浪，一般而言，颶風進行速度等於羣波波速時產生最大風浪。（郭金棟）

3. 波浪產生區域——圖 3. 5.5a 至 5.5o 為颶風通過巴士海峽時，衝擊臺灣南端海岸之波浪產生區域圖。圖中虛線箭號為颶風中心進行路徑，等值線表示在此區域內產生之波浪，其傳到推算地區前 20 公尺水深時之波高值。

在 A. B (向西及西北西) 兩條路徑時，最大波浪產生區域，皆在颶風進行路徑左側，隨着進行路徑之南移而南移，在 C (向西北) 路徑時，最大波浪產生區域有兩處一處仍然和 A. B 路徑相同，在進行路徑左側，另一處却在進行路徑右側後方 (距離太遠，圖中未標出)。

當颶風進行方向，速度不變時，路徑之南移，使

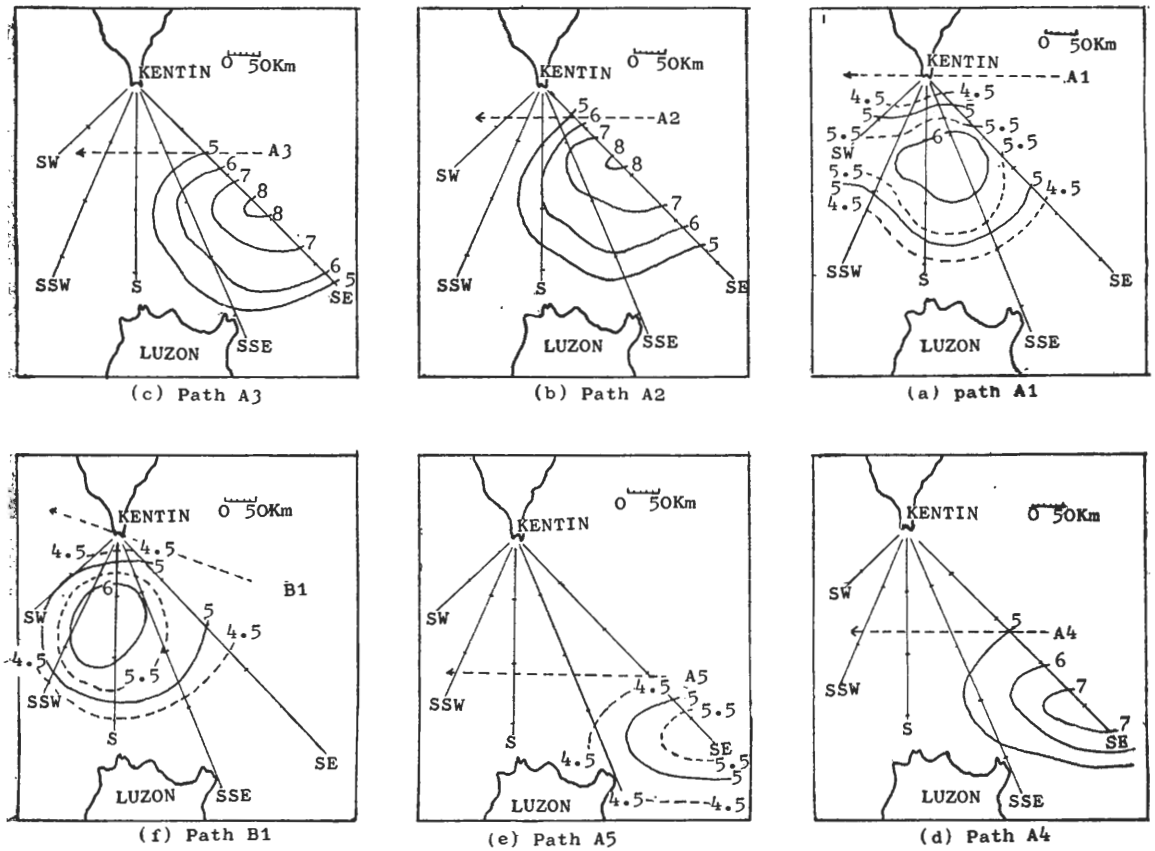


圖 5.5 (a)-(f)
Fig 5.5 (a)-(f)

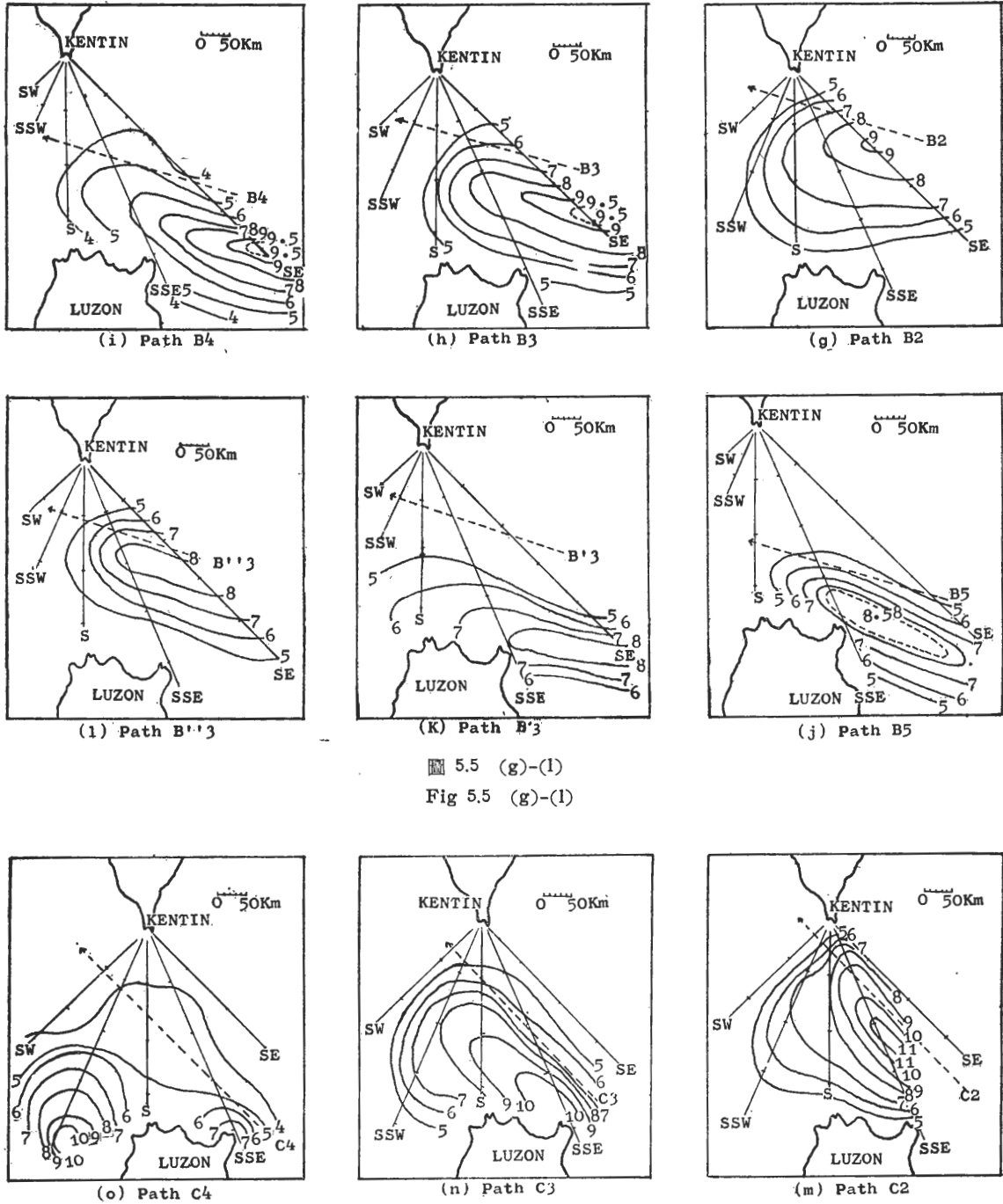


圖 5.5 (g)-(l)
Fig 5.5 (g)-(l)

圖 5.5 (a)-(o) 波浪產生區域，虛線表示颱風進行路徑
Fig 5.5 (a)-(o) Areas where waves are initiated. Tracks of typhoons are shown in dashed lines.

吹風距離加大，故其波高會增大；但路徑南移距離太大時，會使所產生之風浪，未到達推算點時，即離開風域，開始減衰，故在岸前之波高反而變小。當颱風

進行方向轉向西北西至西北時，會使吹風歷時增加，故其所引起之波浪波高變大。但再偏向北北西時，颱風受地形影響太大，本文未再加推算。

以上所得之結果，皆基於理論之推算，很難有實測值加以比較，惟日本港灣顧問公司(1972)以 Wave tracing method 推算臺中港波浪，並和一部分實測資料相比較地，亦得到一部份和本文相同之趨勢 i) 颱風經過臺中港以北時，可能較經過臺中港附近之路線時，產生較大波浪，惟颱風路線過於偏北時，則反而使臺中港附近之波浪變低。ii) 颱風進行速度減低時，波浪反而變小，與本文結果近似。

六、結論與檢討

1. 颱風在不受地形因素干擾之下，到達海岸之颱風所引起波浪，並非颱風中心正經過該海岸時為最大，而是由風速，吹風距離，及吹風歷時適當配合而形成最大波浪，已由數值計算之結果證實。

2. 通過巴士海峽向西至西北進行之颱風，中心通過距離臺灣南端海岸 55 至 165 公里海面時，其對南端海岸所引起之波較大。

3. 通過巴士海峽之颱風，其進行方向偏向北方時，對南端海岸所引起之波浪，較進行方向向西者為大。但向北北西進行時，颱風路徑已受菲律賓影響，其所引起之波浪，會受到影響。

4. 在路徑颱風 B3 中心進行速度中等時 (20km/hr)，其在南端海岸所引起之波浪，較進行速度增大 (30km/hr) 或減少 (10km/hr) 時為大。

5. 本文之方法，未考慮波浪在淺海之折射現象，逆風對波浪之影響和湧浪再變為風浪之情況。為須改進之點。如果颱風路徑不是直線則須分段推算。

過去該海岸無實測資料，本文完全用計算推得上述論，故今後尚希望用實測資料比較，修正上述數字，但根據本文之結論，凡向颱風西北進行，中心在上述海面時，南臺灣海岸可能有強大波浪侵襲應加警戒。

七、誌 謝

本文之完成，承湯師麟武之悉心指導，大氣科學系亢主任玉瑾之幫助，感激之餘，謹此略表謝忱。

註一、代表波高：一連續波形記錄中念出之波高。由大而小依序排列，全波數中較大 $1/3$ 個波，波高之平均值。

代表週期：代表波高對應之週期。

註二、吹風距離：產生風浪之區域稱為吹風區域或風域 (generating area, fetch)，風域之大小即為吹風距離。

References

1. Bretschneider, C. L. (1973): "Design Hurricane Waves for the Island of Oahu, Hawaii with special application to Sand Island Ocean Outfall System" Look Lab. /Hawaii, Vol. 3 No 2.
(1957) "Hurricane design waves practices" Proc. A. S. C. E. Vol. 33 No WW2.
2. Dargyshire, J. (1956): "An investigation into the generation of Waves when the Fetch of Wind is less than 100 miles", Quar. Jour. Roy. Met. Soc., Vol. 83.
(1957) "Attenuation of Swell in the North Atlantic Ocean", Quar. Jour. Roy. Met. Soc., Vol. 83.
3. Japanese Meteorological Agency and 4th Harbor Construction Bureau, (1965) "Calculation on the Extraordinary Tide of Kagoshima and Yatsushiro".
4. Sakamoto, N.; Ijima, T. (1961): "Wave Properties Caused by Typhoon along the Pacific Coast of Japan and its Estimation by Significant Wave Method", Port and Harbor Bureau, Japan.
5. Tang, F. L. W. (1970): "Researches on the Calculation of Waves on Long Shoaling Beaches", Journal of Civil & Hydraulic Engineering, Vol. 1, Tainan Hydraulic Laboratory.
6. Unaki, S. (宇野木草苗) (1957) "On the Ocean Wave due to Tropical Cyclones", Jour. Met. Soc. Japan Series 2, Vol. 35.
7. Wilson, B. W., (1955) "Graphical Approach to the Forecasting of Waves in Moving Fetchs", Tech. Memo. No.73, B. E. B.
(1961) "Deep Water Wave Generation by Moving Wind Systems", Proc. A. S. C. E. WW2.
8. 魏元恆、謝信良、林民生 (1971) 「颱風特性與臺灣雨量之研究」氣象學報 Vol. 17, No. 3. 中央氣象局。
9. 徐明同 (1973) 「從動力觀點剖析颱風」氣象學報 Vol. 19, No. 2. 中央氣象局。
10. 中央研究院物理研究所 (1972) 「1884年至1970年侵臺颱風路徑統計」。
11. 日本港灣顧問公司 (1972) 臺中港設計波浪報告書
12. 湯麟武 (1968) 「遠淺海岸における波の推算法に關する研究」學位論文。
13. 坂本信雄、井島武士、木村茂雄 (1961) 「太平洋岸の颱風による波の特性とその推定法」第8回海岸工學演講會講演集。
14. 郭金棟 海岸工程 中國水利工程學會編行。
作者通信處：臺灣大學大氣科學系