

# 颱風最大暴雨量及最大風速之推算

An Estimate of the Typhoon's Extreme Rainfall Amount and Wind Speed

劉 廣 英

易 安 成

Koung Ying Liu

YIH AN-CHERNG

In the first part of this report we introduced a Typhoon model which can be used to calculate the Typhoons' rainfall amount. The model was first used by Wang et al in an estimate of PMP. Then, in the second part Gumbel's asymptotic distribution, type 1, was used to estimate the extreme daily rainfall of Taipei's water shed, and the extreme wind speed of Hsin-chu, both during the Typhoon period and for a return period of 100 years. The results may be very useful for engineering design.

對該方法將做較詳細的介紹。

## 一、前言

颱風的主要危害來自風與雨，因而在工程設計上必須考量成品壽命內可能出現之極端最大風雨。譬如說設計一座水庫必須先考慮集水區在水庫壽命內的最大可能暴雨量；架設一段輸電線就該把可用年代內所可能出現的最大暴風列為設計因子。以上所說的考量是雙方面的；即在工程本身與經濟效益上相互比較，以取得最佳的設計。本文之目的即在介紹推定極端值的方法，並以台北市松山之降水資料，與新竹地區風的資料，來推測北部地區可能出現之颱風最大降水與最大風速。在雨量方面，本文並介紹「翡翠谷壩址最大可能暴雨量研究」（王、劉等，1977）所使用的方法，並在文中引用其部分結果，而在風速方面亦引用部分已處理好之統計資料（劉、曾、孫等，1981）。至於對未來某一復現期（return period）可能出現之極端值則採用 Gumbel（1958）的變數極端值或然率分佈（probability distributions）法推算之。使用此方法預測氣象因子極端值者在外國很多，但國內氣象界則尚未見有正式報告發表，僅有曲克恭先生曾用以推測翡翠谷降水之百年極端值，筆者等（劉、曾、孫等，1981）曾用以推算新竹外海氣象與海象因子的極端值，惜均未便公開，因而本文

## 二、颱風最大可能暴雨量之推算

根據（王、劉等，1977）半理論經驗式，颱風降水量主要包括環流雨及地形雨兩部分，前者不考慮地形效用，僅考慮颱風環流之輻合對流所導致之降水，是以由水汽守恒（Conservation）可知：在距颱風中心  $r_1$  及  $r_2$  ( $r_2 > r_1$ ) 二同心圓間之平均降水率 ( $P_r$ ) 為

$$P_r = 2 M \frac{r_2 u_2 - r_1 u_1}{r_2^2 - r_1^2} \text{-----}(1)$$

式中

$$M = -\frac{1}{g} \int_{P_0}^{P_1} q d p \text{-----}(2)$$

$q$  = 濕空氣之比濕

$g$  = 重力加速度

$P$  = 氣壓； $P_0$  為濕空氣底部氣壓， $P_1$  則為頂部氣壓。

$U$  = 指向颱風中心之合風速，1 及 2 則系與  $r$  相配合。其與觀測風速 ( $V$ ) 之關係為  $U = V \cos \theta$  -----(3)

$\theta \cong 70^\circ$ ，為風向與觀測點至颱風中心連線間的夾角。

公式(3)中的風速V可使用

VR^a = 常數 (4)

關係式求之，其中驗證值 a ≈ 0.6

至於地形雨 (Pt) 部分則係考慮抬升作用所增加的雨量。根據1935年Fulks所發展之公式知

Pt = Σ Pi

Pi = - (0.622 / RT) (de/dz + eq/RT) Vz ΔZ (5)

上式中R為氣體常數，Z為高度，ΔZ為空氣層厚度，Vz為平均垂直速度，T為溫度，e為水氣壓而de/dz則為空氣層內水氣壓隨高度之變率。以上各變數之值均可由實際探空資料中取得。在實際計算中，我們係視大氣之水汽集中在400mb以下，並將此濕氣層分為850mb以下，850mb至700mb，700mb至550mb，550mb以上等四層計算。又根據分析桃園探空得知，850-700及700-550mb兩層可視同飽和層，因而計算中亦可僅考慮此二層(吳，1980)。至於775mb及625mb處之垂直速度則可以

Vz = V · ∇h (6)

求之。其中∇h為地形之有效坡度。由於地形雨就是考量∇h所引起的對流雨，所以濕氣層的選定除以分析觀測資料為依據外亦應考慮濕氣層厚度與∇h間的配合，以免影響計算結果。

根據以上所介紹的方程式可分別求得颱風的環流雨與地形雨，其計算步驟如下：

- (一)根據各種資料訂定各個颱風之最佳路徑。
(二)利用颱風眼半徑及最大風速，或暴風半徑及風速，求公式(4)中的常數，並由而繪出各颱風之風速與半徑之關係圖。
(三)依據颱風時，適當測站之探空資料及公式(2)求M；計算中以定差和代替積分，即M = -

1/Z Σ qi Δp。計算層數(i)視q的垂

直分布而定，一般可僅計算1000-900mb一層(本文採用此種計算)或1000-900mb及900-800mb兩層(吳，1980)

- (四)計算風速U；如只計算1000-900mb一層則可以地面風速代替該層平均風速；如尚要計算900-800mb一層則以850mb的風速代替本層之平均風速，如850mb風速缺資料

可用V850mb = 0.52V1000mb 吳，1980)求得。

(五)利用公式(5)求Pt。在此一步驟中相關地區之地形及其有效坡度極重要，需有充分之瞭解，而後根據風向方可由式(6)求得Vz。

(六)由於計算地形雨時，風速及地形有效坡度均取略值，所得結果需經調整，即根據計算所得之各颱風雨量與實際雨量之關係求出個別颱風之調整係數Ai，Ai = (實際雨量 - 環流雨量) / 地形雨量，而後以最小誤差(Least error)法求出一可通用之調整係數A。翡翠谷之調整係數為37.8%。

表1 颱風雨量計算實例

Table 1. Examples of computation.

Table with columns: 颱風名稱, 日期, 時間, 環流雨量, (1)與(2)之差, 地形雨量, 調整係數, 平均風向, 平均風速, 平均坡度, 計算雨量. Rows include typhoons like 艾爾西, 貝絲, 貝蒂, 英勞西.

根據以上步驟我們(王、劉等，1977)計算了葛樂禮等六個颱風實例，其結果如表1。由表可見，調整係數各個颱風都有相當變化，這當然不能用於預估計算上去，所以要用最小誤差法求一通用值，本個案中此值為37.8%。根據表1並引用此調整係數後計算求得之，以上六颱風的最大日雨量與實際雨量如表2。利用此模式並代入設定之最大颱風風速、半徑，及合理之颱風移動路徑及速度後可求得可能之最大暴雨量。當以最大風速150kts、半徑420哩，移速5kts代入此模式，並設定此颱風自東南向西北經過彭佳嶼海時，翡翠谷之可能最大日雨量可達1429m.m。(王、劉等，1977)

三、颱風最大風速

颱風侵襲時一地可能發生之最大風速受1.颱風本身之最大風速；2.距颱風中心距離；3.颱風移向與移速

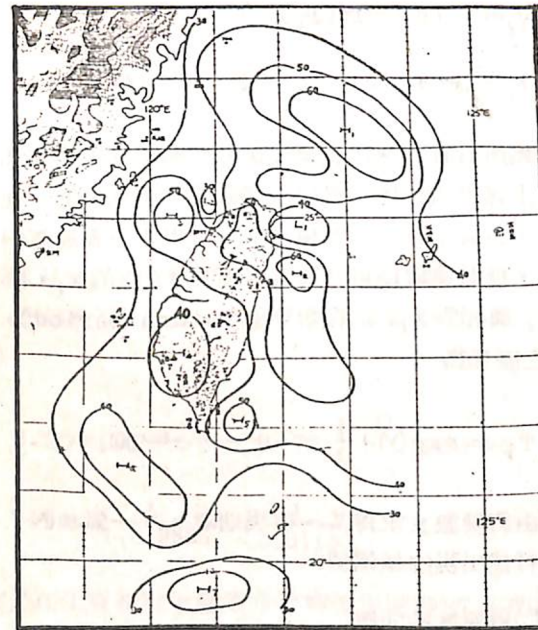
表2 葛樂禮等颱風最大計算日雨量與實際觀測值之比較

Table 2. The comparison between computed and observed daily rainfall of Typhoons.

Table with columns: 順序, 日期, 颱風名稱, 計算量, 觀測量. Rows include typhoons like 葛樂禮, 艾爾西, 貝絲, 貝蒂, 英勞西.

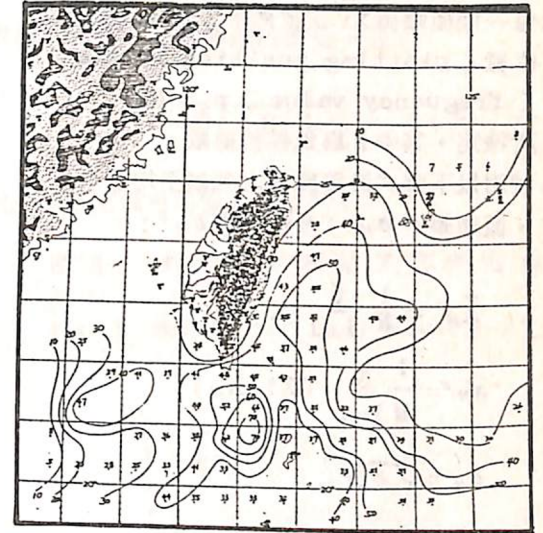
圖1 新竹最大陣風客觀預測圖

Fig. 1 The objective forecasting diagram shows the maximum gust wind speed of Hsin-Chu when Typhoon center is closed to the Taiwan area (the isoline represent % of wind speed.)



；及4.當地地形等四項因素影響。如果不考慮最後一項影響，任一颱風下某地可能出現之最大風速，可由其風速與半徑(公式4)之關係，及該地與颱風中心之距離求得；如果有明顯之地形效用，如本省，則最好且方便的方法是由氣候統計中去找答案。附圖1及2分別為西進強烈颱風經過本省及近海地區時，以及近海颱風與寒潮環流共伴下，颱風中心位置與新竹出現之最大風速百分比分布圖(林，1971及1972)。由圖可見，當颱風中心位在1.東北部外海；2.花蓮外海；3.台東外海；4.巴

圖2 新竹最大陣風客觀預測圖(寒潮) Fig. 2 The objective forecasting diagram shows the maximum gust wind speed at Hsin-Chu under Typhoon and cold surge influences. (same as Fig. 1)



士海峽西部；及5.南部等地區時，新竹可能出現之風速最大，可達中心最大風速之40~70%。根據此種風力分布圖我們可以求得任一颱風通過大風區時新竹可能出現之最大風速，是以計算風速極端值時可用由此法所求得之最大風速。

四、極端值之推算：

(一)理論及計算步驟：

在工程設計上，安全與費用常是互斥的條件，因而在設計之初就必須先考量經濟效益與安全的配合問題，也就是要瞭解在結構設計使用年限內，可能影響安全之各種因素的極端值(extreme value)，以及可允許之危險程度(Permissible risk of failure)。在本文中所要預測的是某一時期內颱風暴雨量及大風風速究竟可達到多大？此問題可利用氣候資料由頻率分析(frequency analysis)，即或然率分布(probability distribution)計算解決之，Gumbel(1958)是第一個在氣象上使用此方法的人。根據他的方法，估計極端值的計算步驟如下：

- 1.在氣候值中選取想要推算最大值之氣象因素(雨量、風速)，在一定期間(specific interval)內的最大值。極端值的推算通常是以年為時間單位，所以我們要選取的是

每年之最大日雨量(推算日雨量極端值)及最大風速(推算極端風速)。

2. 將選出之雨量及風速按大至小順序排列, 並以 i 代表序號。

3. 每一個極端值 Xi 在或然率分布圖中的座標位置 (plotting position) 由其頻率值 (frequency value)  $p_i = (N-i)/N$  所決定, 其中 N 為氣候值總數。

4. 利用以下諸式計算變數之氣候平均值 ( $\bar{X}_N$ ), 標準差 ( $\delta_N$ ) 及變異數  $\delta_N^2$ :

$$\bar{X}_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

$$\delta_N^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}_N)^2$$

$$\delta_N = \sqrt{\delta_N^2}$$

5. 利用以下定義求約變數 (reduced variate) y:

$$y = S (X - X_0) \text{----- (7)}$$

式中 S 為斜率 (slope),  $X_0$  為分佈模數 (mode of distribution)。y 與頻率值 P 之關係為

$$y = -\ln(-\ln(p)) \text{----- (8)}$$

6. 計算斜率 S 及模數  $X_0$  :

$$S = E(\delta_N) / \delta_N$$

$$X_0 = \bar{X}_N - E(y_N) / S$$

式中  $E(\delta_N)$  為 N 個值之期望 (expected) 的標準差, 亦即預期之離散值 (value of the dispersion of N values), 而  $E(y_N)$  則為預期之約數的值。

7.  $E(\delta_N)$  與  $E(y_N)$  均為氣候值總數(N)的函數, 當  $N \rightarrow \infty$  時

$$E(\delta_N) = E(\delta) = \pi / \sqrt{6}$$

$$E(y_N) = E(y) = 0.5772 \text{ (Euler's number)}$$

8. 將以上諸值代入公式(7)即得出該組極端值之分布曲線

$$X = X_0 + my, \quad m = 1/S \\ = \bar{X}_N + \delta_N(\sqrt{6}/\pi)(y - 0.5772) \text{----- (9)}$$

以上所求得的是經過理想化的一條曲線, 此曲線在理論上會通過各個極端值, 實際上, 各個極端值使其分布狀況適於用上述方法求得, 亦呈相當程度的離散 (dispersion), 即分散在式(9)所代表之平均曲線的附近 (如離散太大, 則顯示此方法不適用), 所以在實際計算中我們使用的一組方程式包括:

$$P_i = (N - i) / N$$

及由公式(8)及(9)演變而得之  $X_i$  及  $Y_i$ , 即

$$Y_i = -\ln(-\ln(P_i))$$

$$X_i = \bar{X}_N + \delta_N(\sqrt{6}/\pi)(Y_i - 0.5772)$$

而此處所計算出來之  $y_i$  及  $X_i$  值填在座標圖上後, 如適用上述方法, 應可繪出一條公式(9)所代表的一條斜線, 也就是說每一個極端值都可填在一張或然率圖上, 而其連線則可外推求得任意  $y_i$  時的  $x_i$ , 而此  $y_i$  與相對  $X_i$  之復現期 (return period)  $Tr$  之關係為

$$Tr = \exp(y) + \frac{1}{2} \text{----- (10)}$$

即可由約變數 y 求得某一復現期時, 某一氣象因子 X 之可能出現的極端值。

### (二) 冒險度的問題

由以上分析所求得之復現期是指任一氣象因子出現大於或等於某一極端值之平均間隔 (average interval), 所以該極端值可在任何一年中出現。根據復現期的理論分布狀況可知 (Linsley, et al 1958), 平均 100 年出現一次之極端值有 25% 的機會在 29 年時發生, 這也就是說, 在工程設計上要想有 75% 的保險程度, 所完成的工程不會在 29 年內遭到某一因素之極端值的損害, 就要攷量該因素平均 100 年才出現一次的極端值。這一事實說明在工程設計上攷量冒險度與費用而取其輕是

表 3 設計年限內特定之冒險程度下所需之復現期

Table 3. Return periods required for specified risk of occurrence within project life.

設計年限 所 需 復 現 期	1	10	20	50	100
0.01	100	910	2440	5260	9100
0.10	10	95	238	460	940
0.25	4	35	87	175	345
0.50	2	15	37	72	145
0.75	1.3	8	18	37	72
0.99	1.05	2.7	6	11	22

必須的。附表 3 是工程設計年限內, 不同程度的冒險條件下的復現期。此表是由 (Linsley, et al, 1958)。

$$Tr = \frac{1}{1-p}$$

公式計算出來的。式中 P 為該現象不發生的或然率, 亦即該現象在 N 年內發生的或然率為

$$J = 1 - P^n$$

譬如說可允許之危險程度 (permissible risk of error) 為 25%, 希望之使用年限(N)為 25 年, 則得

$$0.25 = 1 - P^{25} \Rightarrow p = (0.75)^{1/25} = 0.9885$$

$$\therefore Tr = \frac{1}{1-0.9885} = \frac{1}{0.0115} = 87 \text{ 年}$$

也就是在工程設計上應考慮平均復現期為 87 年的極端值。

### (三) 可信度的問題

利用上述平均曲線推算某一復現期的極端值必須考慮兩項可信度 (confidence) 的問題, 其一是平均曲線是否能代表所使用的氣候極端值? 亦即各極端值是否都落在該曲線附近? 另外一個是曲線斜率的問題, 因為即使滿足上一要求, 如斜率有了變化, 所推得之極端值就會不同, 且為復現期愈長所得結果的誤差愈大, 所以斜率必須可信, 所推之極端值方有效。

以上兩種可信賴範圍, (confidence band) 第一種可由 (Bretshneider, 1970)

$$\Delta X = \pm [f(P) / S \sqrt{N}] n$$

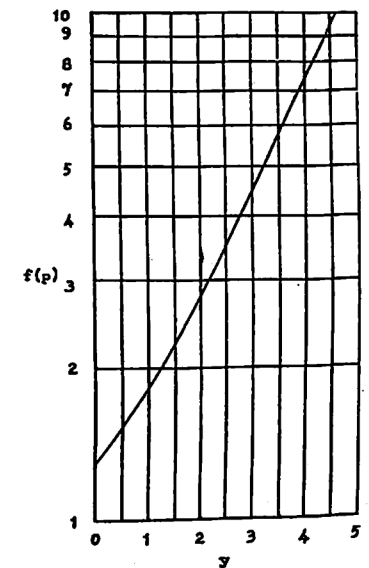
求得。式中 n 為標準差的數目, 而

$$f(P) = \sqrt{(1/P)-1} / (-\ln(P)) \text{---(11)}$$

此一函數之值可由圖 3 中求得。

圖 3 f(P) 與約變差 y 之關係圖

Fig. 3 Function of f(p) versus y.



如果  $\Delta x$  落於一個標準差範圍內, 該平均曲線可充分代表氣候資料, 則外推有效亦即外推結果可信; 如多落於 3 個標準差外, 則資料離散太廣, 外推無效亦即外推結果不可信。

第二種可信範圍可由 (Bretshneider, 1970)

$$\Delta X_i = f_i(n) / S \text{----- (12)}$$

求得。式中 i 為序號, 實際運算中只有  $i = 1$  (即資料中最大的一個, 也就是極端值) 有用, 此時  $f_1(1) = 1.14, f_1(2) = 3.07$ 。

(四) 計算實例:

以上方法可用以推算某一復現期(如 100 年)之可

表四 颱風影響下推算極端風速之數據  
Table 4

Numerical data for the computation of Typhoon's extreme wind Speed

Table with 4 columns: Rank, Typhoon Name, Date, and Wind Speed. It lists 22 typhoon events and their corresponding wind speeds, along with average and standard deviation values.

能最大風速,最大某一時間之暴雨量(PMP),或最大流量(PME),此處僅以新竹測站風速為代表,做一實際的計算,以期對前面的敘述有所補充,並推算一下該地在颱風影響下百年復現期之可能最大平均風及陣風風速。

附表4是民國48年至69年共22年中,新竹地區歷年出現之最大恒常風及陣風風速(每年各取一最大值),表中並列舉了颱風的名稱及最大風速出現之日期,以及計算某一復現期(100年)極端值所需之數據。Gumbel認為引用20年或以上的資料,他的方法所得的結果較佳,因為此時d及Y的期望值與N→∞時相差很少。

根據表4中恒常風及陣風兩組資料,可分別繪成或然率分布圖,如圖4及圖5,並可外延求得百年復現期的恒常風及陣風的可能最大風速,其值分別為90及122kts。此一結果告訴我們,如欲在新竹地區建立一可使用25年至30年之工程(如輸電線鐵塔),當可允許之危險度為0.25時,其可承受之最大風速應為122kts。同理,由表3可知,如果設計年限為一百年,可允許之危險度為0.10,

圖4 新竹測站百年復現期之平均風速極端值

Fig. 4 The probability extreme mean wind speed for return period =100 yrs.

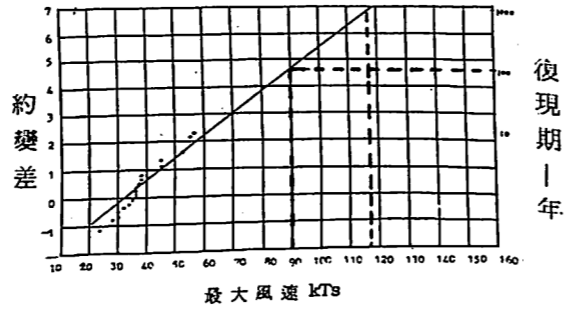
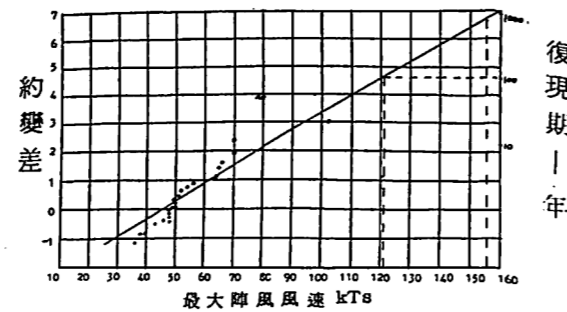


圖5 新竹測站百年復現期之最大陣風極端值

Fig. 5 The probability extreme gust wind speed for return period = 100 yrs.



則需考量復現期為940年之極端值,其相對之y值約為6.8。由圖4及5我們可以求得上述條件下,新竹可能出現之最大恒常風速約為117kts而最大陣風則約為155kts。按圖1的最大百分比為60%計,則需有一中心最大風速約為260kts之超級颱風經過基隆外海,新竹才會發生此種強風。根據歷史記錄知,過去發生過的颱風最大中心風速為225kts,是1954的Ida颱風所創,由而可知,預測新竹地區百年內可能出現之最大陣風為155kts是相當保險的了。

如果我們討論所求得之極端值的可信度,則由公式(2)求得, n=1(一個標準差;68.3%可信賴)時新竹百年復現期之恒常風速為100kts,陣風風速為132kts; n=2(兩個標準差,95.5%可信賴)時則分別為115kts及155kts。此一

結果與考量危險度者相同。

以上是根據新竹觀測風,利用前面介紹的方法所推算出來的,新竹當地在颱風影響下百年復現期之可能最大恒常風及陣風風速。使用同一方法亦可推算颱風最大日暴雨量。表5、6是台北集水區民國48至69年共22年中颱風時的日雨量年最大值,按大小次序(前10名)的排列表,由此項之資料採用

表5 颱風侵襲影響下台北集水區最大日雨量次序表

Table 5. Highest ranking values of daily rainfall of Taipei water shed under the Typhoon influences.

Table with 5 columns: Rank, Date, Typhoon Name, Rainfall (mm), and Remarks. Lists the top 10 highest ranking daily rainfall events in Taipei.

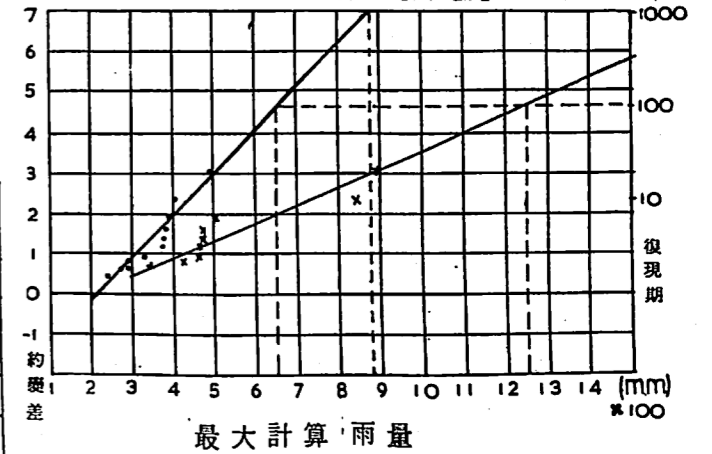
表6 颱風侵襲影響下台北集水區最大三日累積雨量次序表

Table 6. Highest ranking values of the 3-day rainfall of Taipei water shed under the Typhoon influences.

Table with 5 columns: Rank, Date, Typhoon Name, 3-day Total Rainfall (mm), and Remarks. Lists the top 10 highest ranking 3-day cumulative rainfall events in Taipei.

圖6 颱風侵襲影響下台北集水區百年復現期之最大可能一日及三日累積雨量

Fig. 6 The probability extreme daily and 3-day rainfall amounts of Taipei water shed under the Typhoon influences.



95.5%可信度條件下所推算出來的同一復現期的台北集水區的百年可能最大三日雨量為1850mm;最大可能日雨量為890mm。此一結果較利用颱風模式求得者為小。

此一方法亦可推算風力所引起之最大可能波高、最大流量等極端值,且結果甚佳,此處為節省篇幅均不再列舉。

五、結語與建議:

氣象因素影響人生就如同水對魚之影響,而其對工程設計及農、漁、林、牧、交通等各方面的影響更是歷歷可數,本文雖僅介紹了颱風最大暴雨量及最大風速的計算與預估,已可證明此種極端值計算的重要性,筆者希望(一)今後各界人士應與氣象從業人員共同努力探討各自有關的氣象問題,以減低投資上的浪費或可能遭受之損害;(二)氣象從業人員應主動配合各行各業的需求研究或引入新方法,將本地地區性的氣象問題研究清楚,以備諮詢提供服務;(三)為了使氣象科技在自己的國土上生根,各界對氣象及有關問題不應僅以求諸國外專家為足,而應支助國內學者及專業人員從事研究或引入新方法。總之,自己的工作與發展還是以靠自己最好,願我們協力同心,一齊努力吧。

## 六、致謝

筆者要感謝曲教授克恭及王技正時鼎的指教，與石油公司海域石油探勘處，中興工程顧問社二單位的協助，使我能接觸到此類問題，而在撰寫本文中承孫摩西、曾若玄二先生的協助，沈哇及白光亮二同志代為處理部分資料，亦功不可沒，特此一併致謝。

## 參 考 資 料

王時鼎、劉廣英、曲克恭、林則銘、黃中成、謝維權，1977：翡翠谷壩址最大可能暴雨量研究。研究報告13號，空軍氣象聯隊氣象中心承辦，中興工程顧問社委託。

林則銘，1971：侵襲台灣颱風風力研究。研究報告004及005號。空軍氣象聯隊氣象中心。

吳宗堯，1980：曾文水庫集水區降水特性分析及颱風降水預報之研究。研究報告53號，中央氣象局。

劉廣英、曾若玄、孫摩西，1981：新竹外海風浪研究，研究報告20號，空軍氣象聯隊氣象中心承辦，中國石油公司海域石油探勘處委託。

Gumbel, E. J., 1958: Statistics of Extremes.  
New York: Columbia Univ Press.

Linsley, et al, 1958: Hydrology for engineers.  
Mc Graw-Hill  
Book Company, Inc, New York.

Bretshneider, 19: Topics in Ocean Engineering.