

陽明山附近環境風場舒適度之模擬

Environmental Wind Field of Comfortable Simulation Around Yang Ming Shan

國立台灣大學
生物環境系統工程學系
碩士

蘇炯龍
Chiung-Lung Su

國立台灣大學
生物環境系統工程學系
博士後研究

詹建生
Jian-Sheng Zhan

國立台灣大學
生物環境系統工程學系
教授

譚義績
Yih-Chi Tan

摘 要

在台灣地區，由於地形變化複雜，近地面層之風場形態受到局部地區地形很大的影響。本研究使用 CALMET 氣象模式，以地面測站的地表溫度、低層風速，配合探空氣球資料，內插至網格點，採用隨地形起伏的座標系統，以連續方程式為控制方程式，對地形的運動效應、坡向流、遮蔽效應做適當的修正，調整風場，以反應在地形影響下的風場結構。

陽明山為台灣北部地區一處人潮眾多的遊覽勝地，近地面處的之風場可能會影響到行人的舒適性與安全性。本研究對 1997 年 8 月 18 日所發生的溫妮颱風，及 1997 年 8 月 29 日的安珀颱風兩個個案作環境風場絕對評估法分析，選擇颱風為案例分析是因為颱風為強風之狀態，強風對人類活動之影響較大，才會出現不舒適的情況。最後以一個理想的垂直風速剖面（250m 高之風速為 10m/s）計算陽明山附近各景點 16 個風向強風發生的機率，作為將來生物在此活動以及風工程設計上之參考。

關鍵詞：微氣候，環境風場，舒適度。

ABSTRACT

In Taiwan, complex terrain is an important factor contributing to surface layer wind field. In this research, the CALMET Meteorological Model is adopted with the surface data, including the surface temperature, wind speed in the surface layer, and upper air data to interpolate to the grid point. The terrain following coordinate system coupled with the continuity equation as the governing equation to adjust the wind field for the kinematic effects of terrain, slope flows, and blocking effects, and thus to reflect the structure of the

terrain-affect wind field.

Yang Ming Shan is a famous scenic place in northern Taiwan. The wind field in the surface layer may affect the comfort and safety of pedestrians. In this research, The environmental wind field of Typhoon WINNIE, on August 18,1997 and Typhoon AMBER, on August 29,1997 were analyzed. Typhoons cause gust and wind turbulence, and therefore affect human activities. Finally, The probability of gust for scenic places around Yang Ming Shan is calculated, in order to provide references for biological activities and the design of wind engineering.

Keywords: Aquatic ecosystem model, Reservoir water quality simulation, Sensitivity analysis, Eutrophication, Risk assessment, Dynamic modeling.

一、前言

近年來，台灣工商業發展迅速，城市裡各種型態之商業大樓、人們居住之大廈林立，放眼望去高樓大廈琳瑯滿目，在地小人稠的台灣地區，人們活動空間愈趨狹隘，生活品質及居家環境之舒適度均會受外在環境改變而影響。台灣北部地區，地形起伏，河谷縱橫，可謂是錯綜複雜。在這種複雜的地形表面，將對大氣運動產生不可忽視的影響。總而言之，在地形複雜的地區，影響大氣系統之因素中，地形效應扮演著舉足輕重的角色，尤其在大氣邊界層範圍內更為重要。台灣地區雖然平均每 73km² 有一個測站，在電腦在模擬小尺度區域時，有時若只內插測站資料將無法有效反應地形的效應。陽明山是台北地區的水土保持重點地區，因為它不僅具有涵養水源、節制洪流、避免水土流失，而且保障了下游地區居民生命與財產的安全；陽明山亦是大台北地區的肺臟，而且也提供新鮮的空氣，不僅過濾污染空氣，阻絕噪音，防杜了喧囂吵雜。陽明山亦是大台北居民，疏解身心最佳場所，每逢例假日，民眾蜂擁地進入此大自然園地，享受優美的景觀與豐富自然資源；這些都是陽明山帶來大台北地區乃至於全台灣地區之貢獻。1997-1998 年因林肯大郡災害對陽明山週邊影響廣泛，對人類居住環境及生物的影響相當大。本研究利用 CALMET 氣象模式來模擬該年陽明山附近之環境風場，期

望了解複雜地形的近地層風場分佈，對附近人類活動舒適度之影響，藉此探討附近居住環境之舒適度，以提供人們選擇居住環境以及休憩地點之參考，及風力工程設計上之應用。

二、研究方法與步驟

一般環境風場的評估基準可分為三種(丁育群、朱佳仁, 2000)。第一種為相對評估法：相對評估法是計算建築物周遭各測點之風速與一個基準風速之比值，藉此來判斷環境風場受建築物或地形影響的程度及風速的變化。第二種為絕對評估法：此法乃是依據人體對於舒適、不舒適或危險等不同感受所對應的風速值進行比較，藉以判斷行人可容許的風速。第三種則是百分率評估法：此評估法乃是依據風洞實驗或數值模式預測得到之各測點之風場結果，配合基地之風速、風向資料來計算強風發生的機率，來判斷各測點受建築物或是地形影響的程度。

本研究採用 CALMET 氣象模式模擬出陽明山附近之環境風場，模擬結果經過與實測資料之驗證比對，驗證此模式在陽明山地區之適用性，進而對 1997-1998 期間發生的颱風案例對陽明山附近之環境風場作舒適度分析。進行本研究前，首先蒐集陽明山附近地區之地面氣象測站以及板橋探空氣球之氣象資料，將所有地面測站之氣象資料整理成一個模式所需的輸入檔格式，高空資料亦是。其次利用太空衛星遙測之台灣北部地

區數值高程模式資料，其解析度為 40m×40m，也就是說每四十公尺取一高程記錄，再配合台灣省地政處於民國八十三年度所做的土地利用現況分類，將研究區域內之土地利用型態以及地形整理成爲模式所需之地形檔格式。以上均屬於模式之前處理的部分。接著將地面資料檔（十個觀測站）、高空資料檔（一個探空氣球）以及地形資料檔作爲 CALMET 模式之輸入檔，調整包括溫度場、地面測站以及高空測站之影響半徑；地面測站與高空測站對每一層風場之影響權重等各項參數，進行風場之模擬。然後將模式模擬風場之風速與測站實測資料之風速做比較，驗證模式之適用性。最後以 1997 年 8 月 18 日溫妮颱風及 1997 年 8 月 29 日安珀颱風兩個案作風場分析，以了解風受地形影響後對附近人類活動舒適度之影響。其研究流程如圖 1 所示。

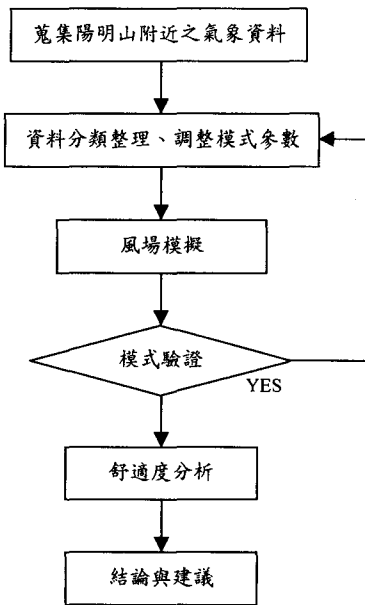


圖 1 研究流程圖

三、模式理論

CALMET 模式使用的網格系統爲：可分爲 NZ 層，每一層有 NX 乘 NY 個水平網格單位。圖 2 展示其中一層 7×4 的網格。所謂的網格點是指在每個網格單位垂直面與水平面的中間。「cell face」是指兩個相鄰網格點的水平或垂直面。在 CALMET 裡，水平風速(u 和 v)是定義在每個網格點，垂直風速(w)是定義在垂直的 cell face。網格點的實際空間位置是以參考座標(XORIGKM, YORIGKM)來決定，其西南角的網格單位爲(1,1)。因此，網格點(1,1)的位置是落於(XORFIKM + DGRIDKM/2, YORIGKM+DGRIDKM/2)，其中 DGRIDKM 是網格的邊長。CALMET 模式在一個隨地形起伏的垂直座標系統爲：

$$Z = z - h_t \dots\dots\dots(1)$$

其中 Z：隨地形起伏的垂直座標(m)

z：垂直座標(m)

h_t：地形高度(m)

垂直速度，W，在隨地形起伏座標系統定義爲

$$W = w - u \frac{\partial h_t}{\partial x} - v \frac{\partial h_t}{\partial y} \dots\dots\dots(2)$$

其中 W：自然的垂直風速(m/s)（直角座標）

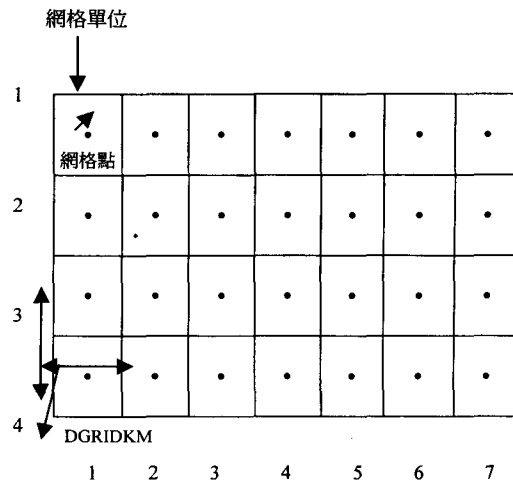


圖 2 7×4 的 CALMET 水平網格系統，圖中 (XORIGKM, YORIGKM)爲原點，(·)爲網格點位置

u,v：水平風速(m/s)

CALMET 診斷風場模式使用兩個步驟的方法來計算風場。在第一階段，初始預測的風場由下面因素來做修正：

(1)地形的運動效應

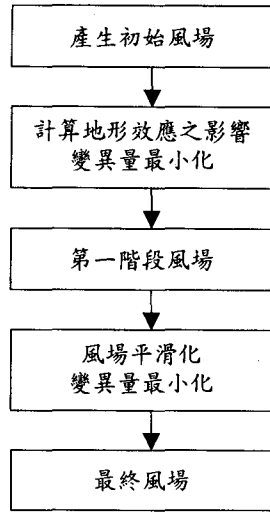


圖 3 風場模擬流程圖

- (2)坡向流
- (3)遮蔽效應
- (4)三維的變異最小化

四、運動效應

$$w = (V \cdot \nabla h_t) \exp(-kz) \dots\dots\dots(3)$$

其中 V : 地區的平均風速向量
 h_t : 地形高度
 k : 指數遞減的穩定係數
 z : 垂直座標

指數的衰退係數隨著大氣穩定度增加而增加。

$$k = \frac{N}{|V|} \dots\dots\dots(4)$$

$$N = \left[\left(\frac{g}{\theta} \right) \frac{d\theta}{dz} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(5)$$

其中 N : 浮力頻率(1/s)
 θ : 位溫(degK)
 g : 重力加速度(m/s²)
 V : 範圍內的平均風速

五、坡向流

CALMET 使用一些經驗的方程式去估計在

複雜地形坡向流之大小，其流域方向是假設適應形勢的。坡向流的向量加入到初始風場中為了產生一個被修正的初始風場。

$$u'_1 = u_1 + u_s \dots\dots\dots(6)$$

$$v'_1 = v_1 + v_s \dots\dots\dots(7)$$

其中 (u_1, v_1) : 在為考慮坡向流效應前的第一階段風場之風速

(u_s, v_s) : 坡向流之風速

(u'_1, v'_1) : 在考慮坡向流影響後的第一階段風場之風速

假設為穩定流，深度一定，地形坡度為常數，忽略科氏力影響和繞流分量。坡向流流速可以表示成：

$$S = S_e \left[1 - \exp\left(-\frac{x}{L_e}\right) \right]^{1/2} \dots\dots\dots(8)$$

$$S_e = \left[hg \left(\frac{\Delta\theta}{\theta} \right) \sin\alpha / (C_D + K) \right]^{1/2} \dots\dots\dots(9)$$

$$L_e = \frac{h}{(C_D + K)} \dots\dots\dots(10)$$

其中 S_e : 平衡狀態坡向流流速

L_e : 一個平衡的長度尺度

X : 到山頂的距離

$\Delta\theta$: 位溫差

θ : 環境的位溫

C_D : 表面阻力係數

H : 坡向流深度

α : 地形與水平面的夾角

K : 在坡向流頂端的捲增係數

G : 重力加速度(9.8m/s²)

平衡速度， S_e ，是代表坡向流速之上限。 L_e 則為坡向流流速達平衡流速之 80% 的距離。在 X 較小時，流速加速度之產生是取決於浮力。

六、遮蔽效應

依據(Allwine and Whiteman, 1985)提出風在地形上的流動的遮蔽效應是由密差福祿數來判斷：

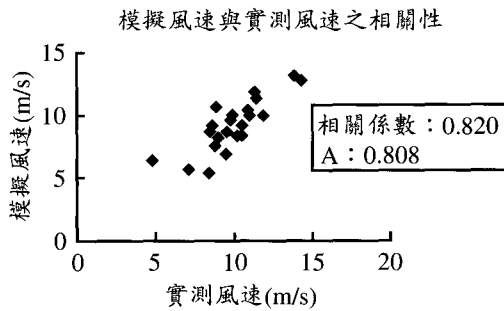
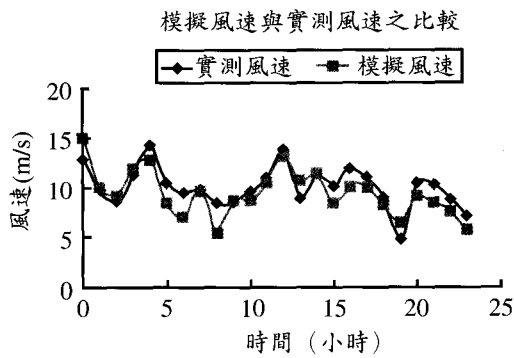


圖 4 陽明山所轄區內十個氣象站中除去大坪氣象站後其餘九個氣象站之模擬分析該站風速與實際量測之比較及相關係數
日期：1997 年 8 月 18 日 0 時至 24 時。
風速計高度：10 公尺。
站高：355 公尺。

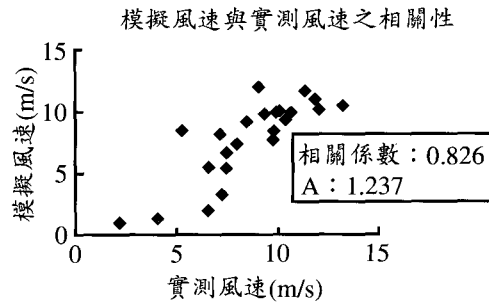
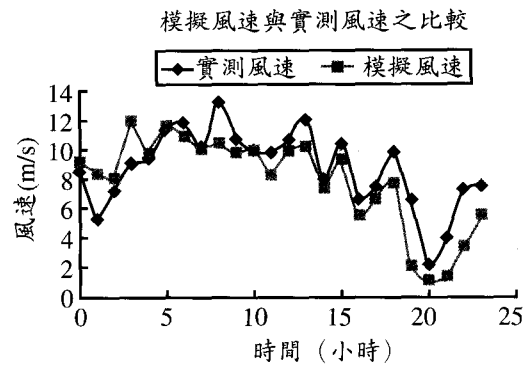


圖 5 陽明山所轄區內十個氣象站中除去基隆氣象站後其餘九個氣象站之模擬分析該站風速與實際量測之比較及相關係數
日期：1997 年 8 月 29 日 0 時至 24 時。
風速計高度：34.6 公尺。
站高：26.713 公尺。

$$F_r = \frac{V}{N\Delta h_t} \dots\dots\dots(11)$$

$$\Delta h_t = (h_{\max})_{ij} - (z)_{ijk} \dots\dots\dots(12)$$

其中 F_r : 密差福祿數
 V : 網格點的風速(m/s)
 N : Brunt-Väisälä frequency
 Δh_t : 有效的障礙高度
 $(h_{\max})_{ij}$: 在網格點(i,j)的影響半徑範圍內地
 形高度最高的網格
 $(z)_{ijk}$: 在地面上網格點(i,j)的第 k 層高度
 每一個網格點的福祿數均個別計算, 如果福
 祿數小於臨界福祿數, 而且網格點的風是向上爬
 升的, 則風向就被修正為沿著地形之切線方向,
 風速則不改變。如果福祿數大於臨界福祿數, 就

不對風的流向做任何修正。

最終風場之模擬

第二個階段特徵風場產生的過程是將觀測站的資料引入第一階段的網格風場中。第二階段的步驟由四個子階段組成：

- (1)內插地面測站資料
- (2)平滑化(smoothing)
- (3)O'Brien 垂直速度修正 (本研究未採用)
- (4)變異最小化

七、內插地面測站資料

把觀測站的資料依距離平方反比的權重比例加入到第一階段模擬過程產生的初始風場中。

$$(u, v)'_2 = \frac{\frac{(u, v)_1}{R^2} + \sum_k \frac{(u_{obs}, v_{obs})_k}{R_k^2}}{\frac{1}{R^2} + \sum_k \frac{1}{R_k^2}} \dots\dots\dots(13)$$

其中 $(u_{obs}, v_{obs})_k$ ：在測站 K 的觀測風速

$(u, v)_1$ ：在某一特定網格點的第一階段風場的風速

$(u, v)'_2$ ：初始的最終風場風速

R_k ：測站 K 到網格點距離

R ：對初始風場的權重參數

如果測站離特定網格點的距離超過最大影響半徑，則觀測值將不被用來內插。

地面風速的垂直外差

本模式使用相似理論把每個測站的地面風速外插至較高的每一層中。如果地面測站是非常靠近探空氣球的話，那麼此測站的資料就不被外插。

模式中用來計算風速剖面的相似理論方程式：

$$U(Z) = U(Z_1) \frac{\left[\ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right) - \psi_M\left(\frac{Z}{L}\right) \right]}{\left[\ln\left(\frac{Z_1}{Z_0}\right) - \psi_M\left(\frac{Z_1}{L}\right) \right]} \dots\dots\dots(14)$$

其中 $U(Z)$ ：中心層的風速

$U(Z_1)$ ：風力計高度的風速

Z_0 ：粗糙長度

Z_1 ：風力計高度

ψ_M ：穩定性函數

L ：莫里荷夫長度

$$L = \frac{TU_*}{\left(\frac{gQ}{\rho C_p} \right)} \dots\dots\dots(15)$$

$$U_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \dots\dots\dots(16)$$

不安定情況下的穩定性函數：

$$\psi_M = 2 \ln\left(\frac{1+x}{2}\right) + \ln\left(\frac{1+x^2}{2}\right) - 2 \tan^{-1}(x) + \pi/2 \dots\dots\dots(17)$$

$$x = \left(1 - 16Z/L\right)^{1/4} \dots\dots\dots(18)$$

安定情況下的穩定性函數：

$$\psi_M = -17 \left[1 - \exp\left(-0.29Z/L\right) \right] \dots\dots\dots(19)$$

八、平滑化

為了避免風場的不連續，加入 step 1 wind field 中的觀測站資料必須要平滑化。CALMET 所使用的平滑化公式為：

$$(u_{i,j})''_2 = 0.5u_{i,j} + 0.125[u_{i-1,j} + u_{i+1,j} + u_{i,j-1} + u_{i,j+1}] \dots\dots\dots(20)$$

其中 $(u_{i,j})''_2$ ：在網格點(i,j)平滑化後之風速

$(u_{i,j})$ ：在網格點(i,j)平滑化前之風速

九、計算垂直速度

CALMET 提供兩種選擇來計算垂直速度。第一種方法是直接由不可壓縮的質量守恆方程式求得：

$$\frac{du''}{dx} + \frac{dv''}{dy} + \frac{dw_1}{dz} = 0$$

其中 w_1 ：隨地形變化座標中的垂直速度

u'', v'' ：平滑化後之水平風速

第二種方法是假設模擬地域中最高點之風速為 0，再依與水平風速大小一致的比例重新修正新的垂直速度場。

$$w_2(z) = w_1(z) - \left(\frac{z}{z_{top}} \right) w_1(z=z_{top}) \dots\dots\dots(21)$$

十、變異最小化過程

這個步驟是在每一個網格固定的垂直速度場反覆地對水平風速(u, v)做修正。

$$\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} < \epsilon \dots\dots\dots(22)$$

其中 u, v ：水平風速

w ：垂直風速

ϵ ：最大允許的變異

在 CALMET 中，水平風速是定義在每一個網格點。垂直風速是定義在網格單位的表面(cell face)。因此，

$$D_{ijk} = \frac{w_{i,j,k+\frac{1}{2}} - w_{i,j,k-\frac{1}{2}}}{z_{k+\frac{1}{2}} - z_{k-\frac{1}{2}}} + \frac{u_{i+1,j,k} - u_{i-1,j,k}}{2\Delta x} + \frac{u_{i,j+1,k} - u_{i,j-1,k}}{2\Delta y} \quad \dots(23)$$

其中 Δx 和 Δy 分別為 x 方向和 y 方向的網格大小，對每一個網格來說，為了要使變異為 0，周圍單位的 u 和 v 風速被修正為：

$$(u_{new})_{i+1,j,k} = u_{i+1,j,k} + u_{adj} \quad \dots(24)$$

$$(u_{new})_{i-1,j,k} = u_{i-1,j,k} - u_{adj} \quad \dots(25)$$

$$(v_{new})_{i,j+1,k} = v_{i,j+1,k} + v_{adj} \quad \dots(26)$$

$$(v_{new})_{i,j-1,k} = v_{i,j-1,k} - v_{adj} \quad \dots(27)$$

其中修正速度 (u_{adj}, v_{adj}) 為：

$$u_{adj} = \frac{-D_{ijk}\Delta x}{2} \quad \dots(28)$$

$$v_{adj} = \frac{-D_{ijk}\Delta y}{2} \quad \dots(29)$$

十一、模式驗證

其中大坪、五指山、富貴角、三和、金山等五個測站無風速計高度之資料，故假設風速計高度為離地面 10 公尺高處。

本研究應用 CALMET 氣象模式模擬陽明山附近之風場，使用淡水、鞍部、台北、竹子湖、基隆、大坪、五指山、富貴角、三和以及金山共 10 個地面測站之逐時風速、風向資料。驗證方式為拿走其中一觀測站之實測資料，將模式模擬出之風場的風向、風速值與該測站實測之風向、風速值做比對，並計算模擬風速與實測風速相關係數，比較風速隨時間變化之趨勢是否相吻合。其相關係數之公式為：

$$\rho_{X,Y} = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_X \times \sigma_Y} \quad \dots(30)$$

其中： $-1 \leq \rho \leq 1$ ，且

$$Cov(X,Y) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_j - \mu_x)(y_j - \mu_y) \quad \dots(31)$$

$\rho = -1$ 時表示完全逆相關，意即表示兩組資料變化的趨勢是完全相反的； $\rho = 0$ 時表示兩組資料間不相關， $\rho = 1$ 時表示完全正相關，意即兩組資料之變化趨勢是一致的。

結果發現模擬風速與實測風速之相關係數介於 0.617 (鞍部站) ~ 0.879 (富貴角站) 之間，模擬風速與實測風速差之標準差最小為大坪站 0.808，最大為鞍部站 3.546。顯示 CALMET 氣象模式之模擬結果與實際風場風速分佈之比較有好有壞，但大致上風速隨時間的變化趨勢是一致的，可證明此模式模擬結果之正確性。圖 4-1 到圖 4-9 為 1997 年 8 月 18 日溫妮颱風肆虐台灣重創汐止林肯大郡時，本研究中除台北站 (無實測資料) 外九個氣象站之模擬風速與實測風速之比較及其相關性。其中 A 表示實測風速與模擬風速差值絕對值之標準差，其關係是如下所示：

若 p 表示實測風速值， q 表示模擬風速值，則

$$r = |p - q| \quad \dots(32)$$

$$A = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (r - \bar{r})^2}{n}} \quad \dots(33)$$

其中 \bar{r} 表示 r 之平均值， n 為樣本數。

由 A 值的大小我們可以看出模擬風速與實測風速間之差距大小， A 值越小表示模擬速越接近實測風速，由圖表中可看出當 A 值大於 2 時，則模擬風速與實測風速之差距就屬於偏大的結果。

十二、陽明山附近風場舒適度分析

(一) 絕對評估法

此法主要是依人體對於舒適、不舒適、以及危險等不同之感受所對應的風速值進行比較，藉

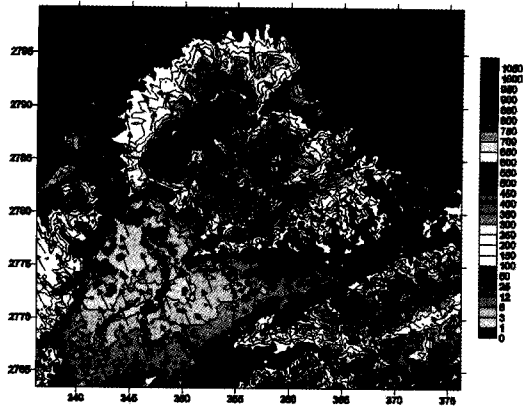


圖 6 溫妮颱風當天第三小時之風場圖

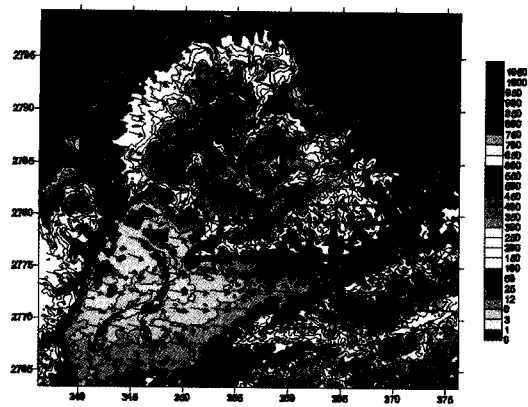


圖 8 安珀颱風當天第六小時之風場圖

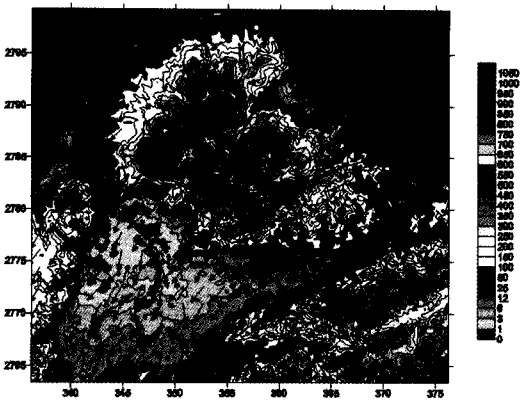


圖 7 溫妮颱風當天第二十四小時之風場圖

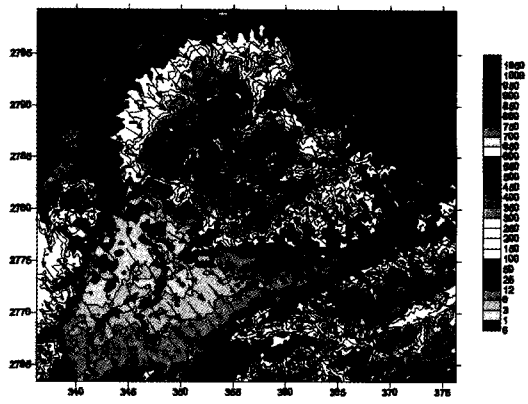


圖 9 安珀颱風當天第二十四小時之風場圖

以判斷行人可容許之風速。本研究中採用 Penwarden (1973)所提出之舒適性等級作為評估之標準。當平均風速小於 5m/s，環境風場是舒適的；當平均風速大於 5m/s 時，人們會開始感到不舒適；當平均風速大於 10m/s 時，會令人覺得十分不舒適；當平均風速大於 20m/s 時，則會危及到行人的安全。

(二) 百分率評估法

此評估法乃是利用風洞試驗或是數值模擬得各測點的流場結果，配合實地之風向、風速記錄資料來計算強風發生之機率，用以判斷各測點受地形地物影響的程度。本研究採用丁育群、朱佳仁(2000)所建議，將鞍部及竹子湖之風向、風速發生的機率以韋伯分佈來描述：

$$P(>U) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{U}{U_i}\right)^{a_i}\right] \dots\dots\dots (34)$$

$$i=1,2,3,\dots,16$$

其中 $P(>U)$ 為風速大於 U 值之累積機率函數， a_i 為機率函數之形狀因子(shape factor)， U_i 為機率函數之尺度因子(scale factor)， $i=1,2,\dots,16$ 代表各個風向(間隔 22.5°)。

本研究中就中央氣象局位於陽明山上之二個測站來做風速分析，表 5-1、5-2 為各風向之發生機率與韋伯機率函數之參數，表中靜風(calm)表示風速小於 0.3m/s，風標不動的情況。各風速出現的頻率即可用來評估環境風場的舒適性與安全性。作為未來於該地點開發遊樂區、興建房屋或是風力發電等風力工程評估上之參考。

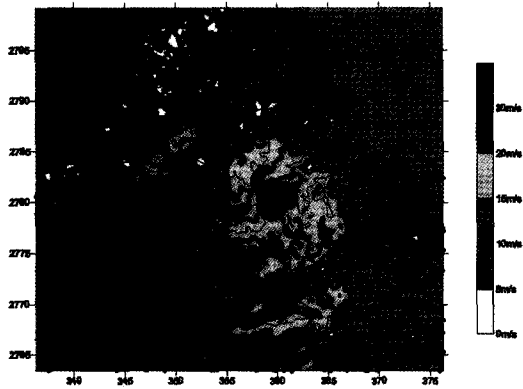


圖 10 溫妮颱風當天第一小時舒適度分佈圖

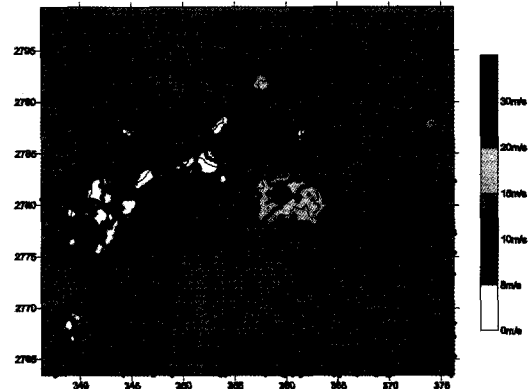


圖 12 安珀颱風當天第六小時舒適度分佈圖

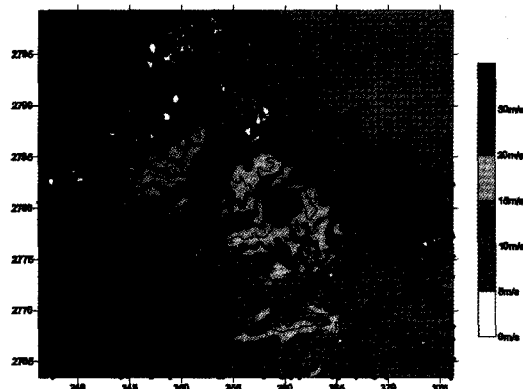


圖 11 溫妮颱風當天第二小時舒適度分佈圖

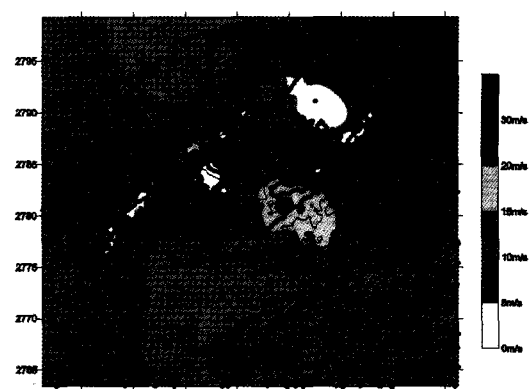


圖 13 安珀颱風當天第七小時舒適度分佈圖

表 1 本研究範圍內 10 個地面氣象站

測站	海拔高度(m)	風速計高度(m)	東經	北緯
淡水	19.0	12.2	121°26'24"	25°09'56"
鞍部	825.8	7.3	121°31'13"	25°11'11"
台北	5.3	34.9	121°30'24"	25°02'23"
竹子湖	607.1	11.03	121°32'11"	25°09'54"
基隆	26.7	34.6	121°43'56"	25°08'05"
大坪	355	10.0	121°38'29"	25°10'20"
五指山	685	10.0	121°36'22"	25°08'19"
富貴角	30	10.0	121°33'26"	25°15'56"
三和	200	10.0	121°35'09"	25°14'12"
金山	135	10.0	121°38'08"	25°13'31"

表 2 陽明山附近各景點之陣風風速

\tilde{U}/U_{1000} (%) (溫妮颱風)

位置	\tilde{U} (m/s)	U_{1000} (m/s)	\tilde{U}/U_{1000} (%)	風向
陽明公園	17.50	33.99	51.49	南
靈泉寺	27.62	31.09	88.84	南
七星山	22.15	33.99	65.16	南
大屯山自然公園	25.74	33.99	75.72	南
竹子湖	24.42	33.99	71.84	南
冷水坑	24.45	31.09	78.63	南
擎天崗	23.37	33.83	69.08	南

陽明山上中央氣象局鞍部(站號#46691)過去 39 年(1961-1999)以及竹子湖(站號#46693)過去 30 年(1970-1999)逐時風速、風向資料進行分

析,鞍部氣象站位於北緯 25°11',東經 121°31',海拔高度 827.1 公尺,風速計距當地地面 7.3 公尺。竹子湖氣象站位於北緯 25°09',東經 121°32',海拔高度 607.6 公尺,風速計距當地地

表 3 陽明山附近各景點之陣風風速

 \tilde{U}/U_{1000} (%) (安珀颱風)

位置	\tilde{U} (m/s)	U_{1000} (m/s)	\tilde{U}/U_{1000} (%)	風向
陽明公園	18.47	15.73	117.46	西北西
靈泉寺	22.89	15.29	149.71	西北
七星山	20.67	15.73	131.46	西北西
大屯山自然公園	17.16	15.72	109.11	西北西
竹子湖	19.82	15.72	126.06	西北西
冷水坑	18.24	15.29	119.30	西北西
擎天崗	18.75	15.29	122.64	西北

面 11.03 公尺。中央氣象局所提供的逐時風速資料為各小時的最後 10 分鐘之平均風速，風向則分為 16 個方位(北北東、東北、東北東、東...)。茲將鞍部站歷年逐時風速資料分為 43 個等級，其中風速小於 0.3m/s (靜風) 屬於 0.00m/s 這一個等級；風速大於 0.3m/s 小於 1m/s 則屬於 1.00m/s 這一個等級；如果風速大於 1m/s 小於 1.5m/s 則也是歸類於 1.00m/s，若大於或等於 1.5m/s 小於 2m/s 則歸類於 2.00m/s，其他依此類推。經統計分析可求得各風向、風速發生頻率。表 5-3 為鞍部全年各風向的風速累加分佈百分比，可以看出風速小於 5m/s 占大部分(70.25%)，而風速大於 10m/s 的機率並不大(2.95%)。表 5-4 為竹子湖全年各風向的風速分佈百分比，可以看出風速小於 5m/s 占大部分(84.04%)，而風速大於 10m/s 的機率極小(0.84%)。兩個表中之最後一欄為每個風向該風速發生之迴歸週期(Overall Return Period)，將 1 除以大於該風速之機率再除以一年的時間(365*24 小時)所求得，意即該風速多少年才會發生一次。

此外，中央氣象局之逐時風速、風向資料中，有些同一筆資料中有風向資料但缺風速資料者，則本研究不採用該筆資料；若是同一筆資料中有風速資料但缺風向紀錄，則以均勻分配的方式將風速資料分配到 16 個風向資料中，意即第一筆有風速紀錄且風速小於 0.3m/s，而無風向紀錄之資料，我們將其風速歸類於第一個風向之風速資料，第二筆有風速紀錄無風向紀錄之資料則將此風速紀錄歸類於第二個風向之資料，依此類

表 4 陽明山附近各景點之環境舒適性等級

舒適性等級	坐定	站立	行走	不舒適		危險
風速(m/s)	≤4.7	≤6.9	≤8.9	>8.9		≥24.4
發生頻率	≥80	≥80	≥80	>20		每年三次
測點	%	%	%	%	舒適性等級	安全性等級
陽明公園	49	77	84	16	行走	合格
靈泉寺	70	82	93	7	站立	合格
七星山	67	83	89	11	站立	合格
大屯山公園	62	82	86	14	站立	合格
竹子湖	71	85	91	9	站立	合格
冷水坑	70	87	91	9	站立	合格
擎天崗	76	84	93	7	站立	合格

推，第 16 筆有風速紀錄而無風向紀錄之資料則將該風速歸類於第 16 個風向之風速紀錄，然後再回到第一個風向，反覆分配。而且將其中不合理之風速資料予以過濾，如果風速資料與前一筆資料差之絕對值大於 15m/s，且該筆風速紀錄大於 40m/s 的話，則本研究該筆資料亦不採用，因為平均風速大於 40m/s 的機率很小(除非是颱風)，但亦不可能會有突然間一個這樣大的逐時平均風速，與前一時段相差 15m/s 以上，這樣的情形極有可能是量測誤差，或可能是該筆資料誤記，所以本研究將此類不合理之風速資料亦予以排除。

本研究舒適度之評估，進場風速採板橋測站上空第八層之模擬風速，因為實場風向每一個時間都會有不同，所以採用離地面較高不易受地形影響處之風向，才能減小風向因受地形影響而改變的程度。選擇板橋測站則是因為板橋地形較平坦，而且探空氣球在此施放，到第八層高度(1000 公尺)時，不會與板橋地面站之水平距離相差太遠，所以以板橋為參考風速、風向之基準點最為合適。溫妮颱風登陸當天之舒適度分析(絕對評估法)如圖 5-13 到 5-17 所示；安珀颱風登陸當天之舒適度分析(絕對評估法)如圖 5-18 到 5-21 所示。結果發現溫妮颱風當天第一小時風速最大出現在靈泉寺(大坪氣象站西南方約 800 公

尺)附近超過 20m/s，影響半徑約 2 公里；第二小時則在靈泉寺及七星山出現最大風速，風速亦超過 20m/s，屬於危及行人安全等級，影響半徑與第一小時同樣約 2 公里；第四小時靈泉寺附近依然持續有大風之現象，超過 20m/s 風速之影響半徑縮小為約 1 公里，另外大坪、礮山等地方風速介於 15m/s 到 20m/s 之間，亦會讓人覺得非常不舒適，七星山、馬槽則為另一處風速較大之地方，風速介於 15m/s 到 20m/s 之間；第十二小時靈泉寺風速還是最大，但減弱為 15m/s 到 20m/s 之間，影響半徑也較小，約為 500 公尺。安珀颱風當天第四小時最大風速還是出現在靈泉寺，風速大於 20m/s，影響半徑只有 200 公尺，另外基隆、石門附近亦有較大風速 (10m/s 到 15m/s) 出現之情形；第六小時在靈泉寺附近有最大風速 (15m/s 到 20m/s)；第七小時最大風速出現在靈泉寺與七星山以及陽明山國家公園附近，風速同樣約為 15m/s 到 20m/s。兩個案例幾乎都在靈泉寺附近產生超過 20m/s 之風速，因為附近地形有峽谷，風經過峽谷會有縮流效應，使風速有加成的效果，所以在此處會有特別大的強風出現。表 5-5 及表 5-6 分別為溫妮颱風及安珀颱風兩個案當天陽明山附近各景點之最大陣風風速與板橋測站 1000 公尺處風速之百分比及主要風向。

由表中可以看出溫妮颱風時在靈泉寺及大屯山自然公園兩處，風向為南風的狀況下風速較大，且陣風風速大部份超過 20m/s，會對行人造成危險或傷害。；安珀颱風時陽明山附近各景點在風向為西北西的狀況下風速較大 (陣風風速比 $\tilde{U}/U_{1000} > 100\%$)，其中以靈泉寺及七星山之陣風風速較大 (超過 20m/s)，一樣會對行人造成危險或傷害。表 5-7 為陽明山附近各景點之環境舒適性等級，除陽明公園屬於行走的等級外，其餘各景點之舒適性皆屬於站立等級，因此不至於會影響附近來往遊人之安全。本研究在舒適性的評估中 (百分率評估法) 假設一個理想的風速剖面，邊界層高度 250 公尺，風速為 10m/s，16 個風向之風速為假設之理想風速吹過本研究區域內之地形，算出 16 個風向在此理想剖面風速下

之發生機率，並以指數率 $\left(\frac{U(z)}{U_g}\right) = \left(\frac{z}{\delta}\right)^\alpha$ ， $\alpha=0.15$

計算得竹子湖氣象站高之風速；且假設地面溫度為 300°K，溫度遞減率為每增加 1000 公尺下降 9.8°C，其計算公式為：站高溫度=地面溫度-站高×溫度遞減率。然後在配合竹子湖氣象站全年各風向的風速累加分佈百分比 (表 5-6)，計算出舒適性等級 (如表 5-7)。

表 5-1 和表 5-2 韋伯機率分佈參數之計算採用動差法計算，其計算公式如下：

$$U = A_i \times \Gamma(1 + U_i) \dots\dots\dots(35)$$

$$\sigma^2 = A_i^2 \times \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{U_i}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{U_i}\right) \right] \dots\dots\dots(36)$$

十三、結論與建議

- (1)由絕對評估法對舒適度的分析中發現，兩個個案風速超過 20m/s 的地方均出現在靈泉寺 (大坪氣象站西南方約 800 公尺處) 附近，因為附近地形有一東北西南向之狹長通道，而兩旁之山亦較高 (約 500 公尺)，所以風經過此一峽谷會有所謂的縮流效應，使風速產生加成的效果，所以在此處常會有較大的風速產生。
- (2)本研究模擬的結果與實測風速資料之比較，溫妮颱風之個案其模擬風速與實測風速之相關性介於 0.617~0.880 之間，A 值 (模擬風速與實測風速差值之標準差) 介於 0.808~3.788 之間；安珀颱風之個案模擬風速與實測風速之相關性介於 0.739~0.936 之間，A 值介於 0.844~3.648 之間，由 A 值的大小可以判別模擬風速與實測風速之逼近程度，圖上可看出模擬風速與實測風速之變化趨勢大部份趨於一致。
- (3)鞍部及竹子湖氣象站位於陽明山上地勢較高，程式模擬易受地形的影響，且此二個氣象站之風速計高度分別為 7.3 公尺與 11.03 公尺，均略低些，故模擬風速與實測風速相較，高估或低估之偏差較其他測站為大。

- (4)本研究經舒適度評估，發現陽明山附近風場於颱風（溫妮、安珀）狀態下，迎風面大部份地區風速介於10m/s到15m/s之間，會令人覺得十分不舒適，背風面因受地形影響風速減弱，大部份介於5m/s到10m/s之間，而靈泉寺附近由於地形狹隘，所以風速特別大。
- (5)鞍部氣象站以發生南風的機率為最高(20.77%)，其次為北風(13.27%)，平均風速則以東南風的3.60m/s為最高；竹子湖最常發生之風向為東北風(29.87%)，其次為靜風(16.39%)，平均風速則以東北風向的2.31m/s為最大。
- (6)溫妮颱風及安珀颱風時，陽明山附近各景點最大陣風與板橋上空1000公尺處之參考風速百分比如表2及表3所示，溫妮颱風當天靈泉寺與大屯山自然公園兩處陣風風速較大（超過20m/s）；而安珀颱風當天陽明山附近各景點 $\tilde{U}/U_{1,000}$ 皆超過100%，顯示當天陽明山附近風速明顯較大，且非常不舒適。
- (7)陽明山附近各景點之環境舒適性等級，除陽明公園屬於行走的等級外，其餘各景點之舒適性皆屬於站立等級，因此不至於會影響附近來往遊人之安，而且各景點發生風速大於8.9m/s之機率皆小於20%，因此應不致於造成不安全的情況。
- (8)建議未來可以增加氣象測站之密度，以能夠獲得更多的地面氣象資料，使得風場的建立更加準確。
- (9)本研究所選取的網格解析度為280m×280m，所以對於一棵樹或是一棟建築物這種小範圍之局部影響無法估算，未來可增加模式網格解析度，以能夠對細部地形變化而造成的風場擾動作出更好的模擬。
- (10)未來可以加入溫度及雨量分佈情形，探討

風場、溫度及雨量相互的影響，並分析其舒適情況。

參考文獻

1. Durgin, F.H. (1997), "Pedestrian level wind criteria using the equivalent average", *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn.*, Vol. 36, pp.817-828.
2. Emil Simiu, Robert H. Scanlan, *Wind effects on structures : fundamentals and applications to design*, New York : John Wiley, pp. 516-548.
3. Liu, H., (1991), *WIND Marcel*.
4. Miller C.A., (1998), "Guidelines for the calculation of wind speed-ups in complex terrain", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 74-76, pp. 189-197.
5. Penwarden A.D., (1973), *Acceptable Wind Speeds in owns*, *Build. Sci.* Vol. 8, pp. 259-267.
6. Roland B. stull, (1988) *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*, Kluwer Academic Publishers.
7. William R. Goodin, (1979), "An Objective Analysis Technique for Constructing Three-Dimensional Urban-Scale Wind Fields", *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 19, pp. 98-108.
8. 交通部中央氣象局, (2000), 「專用氣象觀測站基本資料」。
9. 丁育群、朱佳仁, (2000), 「高層建築物風場環境評估準則研議」, 內政部建築研究所研究計畫成果報告。

收稿日期：民國91年11月07日

修正日期：民國92年01月02日

接受日期：民國92年01月06日