

內政部建築研究所



研究計畫成果報告

## 高層建築物風場環境評估準則研議

計畫主持人：丁副所長育群

共同主持人：朱教授佳仁

研究單位：內政部建築研究所

計畫編號：MOIS 892030

執行期程：八十九年七月至八十八年九月

中華民國八十八年九月三十日

# 內政部建築研究所研究計畫成果報告

## 高層建築物風場環境評估準則研議

計畫主持人：丁副所長育群

共同主持人：朱教授佳仁

研究人員：林碧亮 曾明性

研究助理：蘇美双 高昇敬

研究單位：內政部建築研究所

計畫編號：MOIS 892030

執行期程：八十九年七月至八十八年九月

**ARCHITECTURE & BUILDING RESEARCH  
INSTITUTE  
MINISTRY OF INTERIOR  
RESEARCH PROJECT REPORT**

**Evaluation Criteria of Pedestrian Level Wind  
around High-Rise Buildings**

BY

Yuh-Chyurn Ding

Chia R. Chu

September 30, 1999

## 誌 謝

本研究計畫進行期間舉辦之期初、期中及期末審查會議及一次專家諮詢會議，承蒙許多學者、專家及政府相關單位代表提供寶貴意見，特此申謝。

# 摘 要

**關鍵詞：高層建築物、行人風場、風洞試驗、計算流體動力學**

建築物周遭接近地面處之風場可能會影響到行人的舒適性與安全性，擾人或不安全的行人風場會直接影響到建築物的使用與其周遭區域的規劃，因此有關風場環境的評估與改善措施，已成為大型建築規劃設計時必須加以考慮的要項之一。

國內一直缺乏環境風場的評估標準，使得國內的建築業者無所是從。這主要是因為建築物周遭的環境風場是十分複雜的現象，若要針對某個建築物在其興建之前，評估其環境風場，必須考量建築物的幾何外型、周遭建築物的相關位置、當地的氣象資料與區域的使用規劃，往往無通則可循。且風場的預測方法往往會影響到評估之結果。

本研究便是針對適用於台灣都市使用分區和氣候條件的環境風場提出一個評估標準，並建議風場預測的方式如風洞實驗、數值模擬和風速機率函數應遵循事項，期望能建立一個客觀的環境風場評估標準和正確的風場預測方式，以減少都市開發對環境生態所造成的衝擊，並為台灣創造一個健康舒適的居住環境。

# ABSTRACT

Keywords: High-rise Building、 Pedestrian level wind、 Wind tunnel testing、 Computation Fluid Dynamics

The purpose of this research is to study the evaluation criteria regarding to the pedestrian level wind (P.L.W.) around high rise buildings. Based on the wind comfort criteria of foreign countries, a criterion suitable for Taiwan environment is suggested. The essentially parts of the evaluation criteria are included in the report : (1) Buildings should be evaluated; (2) wind comfort criteria; (3) Prediction method of wind field. Both the wind tunnel study and numerical simulation can be used to predict the wind environment around a proposed building. The method and procedure of wind tunnel experiment and numerical simulation are critically appraised. Furthermore, the probability cumulative functions for wind speed distribution of 25 meteorology stations in Taiwan are found.

# 目 次

## 第一章 緒論

- 第一節 計劃緣起.....1-1
- 第二節 研究目的.....1-2

## 第二章 環境風場

- 第一節 地表風場特性.....2-1
- 第二節 建築物的影響.....2-9

## 第三章 評估方式

- 第一節 風場評估方法.....3-1
- 第二節 評估步驟.....3-4

## 第四章 環境風場標準

- 第一節 國外標準.....4-1
- 第二節 國內標準.....4-17

## 第五章 風洞試驗

- 第一節 實驗設備.....5-1
- 第二節 實驗條件.....5-4
- 第三節 量測方法.....5-16
- 第四節 實驗應注意事項.....5-21

## 第六章 數值模擬

- 第一節 控制方程式.....6-1
- 第二節 紊流模式.....6-4
- 第三節 邊界條件.....6-10

## 第七章 風速機率

- 第一節 機率函數.....7-1

第二節 台灣地區的風速資料.....	7-3
<b>第八章 改善措施</b>	
第一節 修改建築物的設計 .....	8-1
第二節 設置防風設施.....	8-3
<b>第九章 評估範例</b>	
第一節 評估流程.....	9-1
第二節 案例說明.....	9-3
<b>第十章 結論與建議</b>	
第一節 環境風場標準.....	10-1
第二節 風場預測方式.....	10-2
第三節 諮詢單位.....	10-5
第四節 建議.....	10-6



# 表 目 錄

表 2.1	地況分類與指律指數 $\alpha$ 值之關係.....	2-2
表 2.2	地表粗糙長度及零風面位移.....	2-3
表 2.3	蒲福風級表.....	2-8
表 4.1	西安大略大學風洞實驗室的行人風準則.....	4-10
表 4.2	美國學者 Simiu & Scanlan 的行人風評估標準.....	4-13
表 4.3	加拿大 RWDI 公司的行人風評估標準.....	4-14
表 4.4	各國所使用之評估標準.....	4-16
表 4.5	各國環境風場舒適性標準之特性參數.....	4-18
表 4.6	住宅區及風害敏感地區之評估標準.....	4-19
表 4.7	商業區及工業區的評估標準.....	4-20
表 7.1	中央氣象局所屬地面氣象站.....	7-7
表 7.2	台北市風速機率密度函數之參數值.....	7-11
表 7.3	K-S (Kolmogorov-Smirnov) 檢定的臨界值 $D_n$ .....	7-12
表 7.4	台北市風速資料之 K-S 檢定結果.....	7-13
表 7.5	台北市各風向之韋伯機率分佈參數.....	7-14
表 7.6	淡水各風向之韋伯機率分佈參數.....	7-15
表 7.7	基隆各風向之韋伯機率分佈參數.....	7-16
表 7.8	新竹各風向之韋伯機率分佈參數.....	7-17
表 7.9	宜蘭各風向之韋伯機率分佈參數.....	7-18
表 7.10	蘇澳各風向之韋伯機率分佈參數.....	7-19
表 7.11	台中各風向之韋伯機率分佈參數.....	7-20
表 7.12	梧棲各風向之韋伯機率分佈參數.....	7-21
表 7.13	花蓮各風向之韋伯機率分佈參數.....	7-22
表 7.14	日月潭各風向之韋伯機率分佈參數.....	7-23
表 7.15	澎湖各風向之韋伯機率分佈參數.....	7-24

表 7.16	嘉義各風向之韋伯機率分佈參數 .....	7-25
表 7.17	台東各風向之韋伯機率分佈參數 .....	7-26
表 7.18	高雄各風向之韋伯機率分佈參數 .....	7-27
表 7.19	恆春各風向之韋伯機率分佈參數 .....	7-28
表 9.1	台北市各月份平均風速、最大風速及主要風向 .....	9-11
表 9.2	台北市各風向之 Weibull 機率分佈參數 .....	9-17
表 9.3	台北市全年各風向的風速分佈百分比 .....	9-18
表 9.4	台北市春季各風向的風速分佈百分比 .....	9-19
表 9.5	台北市夏季各風向的風速分佈百分比 .....	9-20
表 9.6	台北市秋季各風向的風速分佈百分比 .....	9-21
表 9.7	台北市冬季各風向的風速分佈百分比 .....	9-22
表 9.8	大樓周遭各測點之陣風風速 $\tilde{U}/U_8$ (%) .....	9-24
表 9.9	大樓周遭各測點之陣風風速 $\tilde{U}/U_8$ (%) .....	9-26
表 9.10	各測點之風環境舒適性等級 .....	9-28

# 圖 目 錄

圖 2.1	不同地況之風速分佈 .....	2-7
圖 2.2	下切氣流之示意圖 .....	2-9
圖 2.3	建築物尾流示意圖 .....	2-10
圖 2.4	穿堂風之示意圖 .....	2-10
圖 2.5	建築物角隅強風之示意圖 .....	2-11
圖 2.6	角隅渦漩發生處 .....	2-11
圖 2.7	遮蔽效應之示意圖 .....	2-12
圖 2.8	金字塔效應之示意圖 .....	2-12
圖 2.9	縮流效應之示意圖 .....	2-13
圖 2.10	渠化效應之示意圖 .....	2-14
圖 3.1	環境風場的評估步驟 .....	3-5
圖 4.1	蒲福 1 級風 .....	4-2
圖 4.2	蒲福 2 級風 .....	4-3
圖 4.3	蒲福 3 級風 .....	4-4
圖 4.4	蒲福 4 級風 .....	4-5
圖 4.5	蒲福 5 級風 .....	4-6
圖 4.6	蒲福 6 級風 .....	4-7
圖 4.7	蒲福 7 級風 .....	4-8
圖 4.8	可供長時間停留的露天咖啡座 .....	4-11
圖 4.9	快步行走時所感受到的風場 .....	4-12
圖 4.10	舒適性與安全性之風速機率圖 .....	4-19
圖 5.1	閉路循環式風洞之立體構造圖 .....	5-11
圖 5.2	開放、吸入式風洞之立體構造圖 .....	5-12
圖 5.3	中央大學大型風洞之上視圖及側視圖 .....	5-13
圖 5.4	中央大學大型環境風洞之影像圖 .....	5-14

圖 5.5	風洞中邊界層流發展示意圖 .....	5-15
圖 5.6	紅外線顯像法 .....	5-18
圖 5.7	風蝕法 .....	5-19
圖 5.8	油膜法 .....	5-20
圖 5.9	地表風速計 .....	5-21
圖 6.1	計算範圍之示意圖 .....	6-13
圖 6.2	邊界條件之示意圖 .....	6-14
圖 7.1	中央氣象局風速測站位置圖 .....	7-8
圖 7.2	中央氣象局風向圖 .....	7-9
圖 7.3	台北市東風的風速累積機率分佈圖 .....	7-10
圖 8.1	中空式建築物對環境風場的影響 .....	8-5
圖 8.2	建築物基座對下切氣流的影響 .....	8-6
圖 8.3	騎樓式建築物對行人風場的影響 .....	8-7
圖 8.4	建築物表面粗糙度對下切氣流的影響 .....	8-7
圖 8.5	底層挑空式建築物對風場的影響 .....	8-8
圖 8.6	防風柵網、圍籬對風場的影響 .....	8-9
圖 8.7	植栽對風場的影響 .....	8-10
圖 8.8	灌木與喬木搭配對風場環境之影響 .....	8-11
圖 8.9	棚架、雨披對風場的影響 .....	8-12
圖 9.1	台北市各月份之平均風速分佈圖 .....	9-12
圖 9.2	台北市不分風向之風速分佈百分比圖 .....	9-13
圖 9.3	台北市全年與各季之風花圖 .....	9-14
圖 9.4	風洞中試驗段之平均風速及紊流強度分佈圖 .....	9-15
圖 9.5	風洞實驗模型之影像圖 .....	9-15
圖 9.6	量測點之位置圖 .....	9-16

# 第一章 緒論

## 第一節 計畫緣起

隨著經濟的迅速發展、人口的增加，台灣各地都市化的現象愈形顯著。在都市有限的土地上，建築的高層化、高密度化已無法避免。因此建築物與都市微氣候間的互動、環境風場、熱島效應、空氣污染擴散等問題已逐漸成為不容忽視的課題。為了減少都市開發對環境生態所造成的衝擊，並期望創造一個健康舒適的居住環境，以加強建築物與周遭環境的親和性，敷地生態環境的相關科技有必要做一些本土化的研究。

環境風場為敷地生態環境中重要的一項，環境風場一般是指建築物周遭，會影響到行人的風場（Pedestrian level wind），在英國與美國都曾發生行人被建築物周遭的強風吹襲跌倒而受傷的案例，在國內則有台北市台電大樓周遭的掀裙風。擾人或不安全的行人風場會直接影響到建築物的使用與其周遭區域的規劃，因此有關風場環境的評估與改善措施，已成為大型建築規劃設計時必須加以考慮的要項之一。

國內環保署民國 86 年 12 月 31 日發佈之「開發行為環境影響評估作業準則」第二十二條規定：『開發行為中超過七十公尺以上之高層結構體，其可能產生之風場、日照、電波及空氣污染物擴散之干擾等負面影響，應予預測及評估，並提出因應對策；必要時應進行相關之模擬分析或試驗』。第四十二條規定：『規劃高樓建築時，應重視其品質與景觀之整體性，並評估高樓建築對周遭環境所產生之風場、日照、電波、交通、停車或帷幕牆反光以及室內停車場廢氣排放等負面影響』。台北市綜合設計公共開放

空間設置及管理維護要點：『建築高度超過六十公尺，應對其建築物之量體及配置對公共開放空間的微氣候等之影響進行檢討』。

以上的規範皆有明文規定應做環境風場評估的建築物規模，但並未詳述環境風場的評估標準，使得國內的建築業者、審議的學者及官員往往無所適從。這是因為都會地區的行人風場是許多因素交互影響而成的複雜氣流運動，影響參數包括有建築物幾何外形、鄰近之建築物的相關位置、基地的氣象狀況（風速、風向）等，其流場屬於非穩定紊流流場。若要針對某個建築物在其興建之前，評估其環境風場，必須考量以上的影響參數及建築物周遭區域的使用規劃，並無通則可循。且風場的預測方法往往會影響到評估之結果。譬如：風洞實驗所使用之量測儀器、縮尺模型或數值模擬所使用的數值程式、計算格網等等都可能影響所得之風速。因此有必要做深入的研究，以建立一個客觀的評估標準與評估方式，以供都市開發與建築業者依循或參考之用。

## 第二節 研究目的

本研究的目的包括下列三項：

- 一、 整理國外現有的環境風場之評估標準，並建立適合國人及國內都市使用分類的風場評估標準。
- 二、 研究大型建築物對其周遭風場的影響，以確實訂出建築物周遭需做風場評估的範圍與位置。

三、訂定風場預測方式（風洞實驗、數值模擬）進行時應遵循事項，以建立正確客觀的預測方式。

研究期間並召開一次專家會議，參與人員包括有建築、都市計畫環境工程、風工程及氣象等專長的專家學者，對本計畫的實用性與完整性提出許多的建議，會議記錄詳見附錄三。

本研究內容共分為九章，主要章節內容簡述如下：

第一章為緒論，說明研究的背景、研究目的及本報告之大綱。

第二章介紹環境風場的相關文獻，包括地表風場特性、建築物的影響均予以簡述說明。

第三章主要敘述環境風場的評估方式及預測方式。

第四章列舉各國的風場評估標準，並建議我國可採用的評估標準。

第五章為風洞實驗所需的實驗設備、量測儀器、實驗方法及條件的介紹。

第六章說明以數值模擬預測環境風場時需要注意的事項。

第七章簡介風速機率的相關理論及台灣各地的風速資料分析之結果。

第八章列舉環境風場的改善方式，以供建築業者的參考。

第九章說明評估流程，並列舉一個環境風場的評估範例，藉以說明環境風場評估的流程及應注意事項。

第十章為結論與建議，對本報告的內容做綜合歸納整理及未來相關研究的建議，並列舉國內環境風場評估可供諮詢的單位。

## 第二章 環境風場

### 第一節 地表風速特性

環境風場一般是指離地面 1.5 ~ 2.0 公尺高度，行人撐傘或戴帽高度的風場，又稱為行人風場(Pedestrian Level Wind)，為大氣邊界層流的一部份，亦屬於微氣候(Micro-Meteorology)的範圍。都會地區的環境風場會受許多因素的影響，影響參數包括有基地的氣象狀況（風速、風向）、建築物的幾何外形、鄰近之建築物的相關位置等，其流場屬於非穩定紊流流場。

一般而言，地表附近的風速會隨高度的增加而遞增，其風速的垂向分佈與地表上的地物、地況有關，如圖2.1所示。都會地區高樓林立，對氣流而言，阻礙空氣流動的地表粗糙度較大，而邊界層厚度亦較大。而平坦的沿海地區，地表粗糙度較小，邊界層厚度亦較小。工程上常用指數律或對數律來描述風速之垂向分佈。

指數律(power law distribution)

$$\frac{U(z)}{U_{\delta}} = \left(\frac{z}{\delta}\right)^{\alpha}$$

其中 $\alpha$ 為指數， $\delta$ 為梯度高度(邊界層厚度)， $U(z)$ 為高度 $z$ 處之平均風速， $U_{\delta}$ 為梯度風速(邊界層外之風速)。梯度風速會因氣象狀況隨時在變，但梯度高度與指數則視地況而定。依據國內外的建築物風力規範[文獻8, 14]所建議之地況分類，地況可依建築物所在位置的地表特性分為以下四類：



表2.1 地況分類與指律指數 $\alpha$ 值之關係

地況分類	地況特性	指數 值	$\delta$ (m)	I (%)
地況A	大城市之市中心區	0.35	460	25 ~ 50
地況 B	郊區、小市鎮	0.25	400	20 ~ 30
地況C	開闊之平原	0.15	275	15 ~ 20
地況D	地勢平坦之海岸地區	0.11	215	10 ~ 15

(1)地況A：

大城市之市中心區，至少有50%的建築物高度大於20公尺者，建築物的迎風面的前方至少有800公尺或建築物高度10倍的範圍（兩者取較大值）係屬此種條件下，方可使用地況A。

(2)地況B：

市郊、小市鎮或有許多高度介於10 - 20公尺建築物散佈其間的地區，建築物的迎風面的前方至少有500公尺或建築物高度10倍的範圍（兩者取較大值）係屬此種條件下，方可使用地況B。

(3)地況C：

地勢平坦開闊之地面、草原或地面散佈的障礙物高度皆小於10公尺的地區。

(4)地況D：

平坦無障礙物之海岸地區或湖岸地區，風係由水面方向吹過來，距海岸線500公尺或建築物高度10倍的範圍（兩者取較大值）係屬此種條

件下，方適用此種地況。

表2.1列舉四種地況的指數 $\alpha$ ，梯度高度 $\delta$ 、紊流強度 $I_u$ 。由此表可看出地況愈粗糙，指數和梯度高度愈大。中性大氣邊界層之平均風速剖面可以對數律表示：

$$\frac{U(z)}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{z - d_0}{z_0}$$

式中 $u_*$ 為剪力速度， $z_0$ 為地表粗糙長度， $d_0$ 為零風面位移。零風面位移代表接近地表處，風速受地表地物的局部效應影響，可能有風速等於零的現象發生。因此必須將風速起算的高度提高。平坦地形中，零風面位移 $d_0 = 0$ 。地表愈粗糙，零風面位移愈大，如表2.2所示。

表2.2 地表粗糙長度及零風面位移

地況分類	地表粗糙長度 $z_0$ (cm)	零風面位移值 $d_0$ (cm)
沙地	0.01 ~ 0.1	0
海面	0.0003 ~ 0.5	0
雪面	0.1 ~ 0.6	0
草原	1 ~ 10	0
郊區	20 ~ 45	5 ~ 10
大城市	60 ~ 80	15 ~ 25

在氣象上，常以高出空曠地面十公尺處之平均風速將風力加以分級，此種分類稱為蒲福（Beaufort）風級，如表 2.3 所示。一般來說，七級風之風力已經可以造成災害，當陣風達十級以上時（風速超過 25 m/s），鐵

路局的列車會停止行駛。行政院人事行政局停止上班上課的標準為「平均風力可達 7 級以上或陣風可達 11 級以上時，即達全面停止上班及上課；但平均風力可達 6 級以上或陣風可達 10 級以上時高級中學以下學生可先行停止上課。」，可見風力對一般民眾日常生活的影響。

風速為風的速度，即在單位時間內風的行程。世界氣象組織規定其單位為每秒公尺（m/s），但目前亦有以每小時哩（knot）計算者；其關係為

$$1.0 \text{ m/s} = 1.9424 \text{ knots}$$

根據蒲福風級估計風速時，須注意各該目標物是否受障礙物之影響。蒲福風級與風速之關係為：

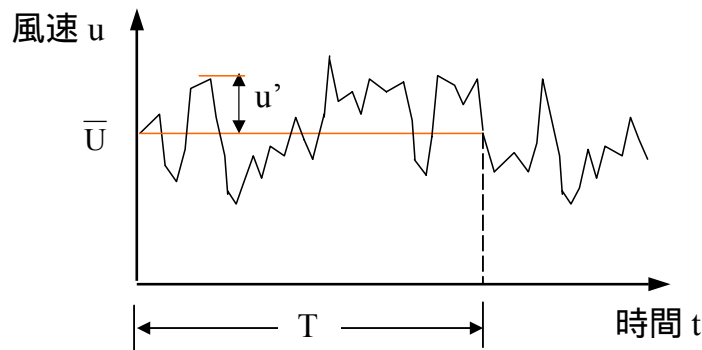
$$V = 0.836 B^{3/2}$$

V 為風速（m/s） B 為蒲福風級。

因風有陣性，故風速不能保持長時間而不變。我國中央氣象局係根據世界氣象組織規定，採用 10 分鐘之平均速度，即觀測時間正時之前 10 分鐘內之平均風速。（美國 JTWC 及我國空軍氣象單位採 1 分鐘平均值，中國大陸氣象單位採 2 分鐘平均值，日本氣象廳係採用 10 分鐘之平均值。）我國中央氣象局係根據世界氣象組織規定，採用 10 分鐘之平均值。

依據我國中央氣象局的定義：瞬間風速為在某一短暫時間（約 5 至 20 秒間，依儀器構造及性能而不同）內之風速。瞬間風速與當時平均風速之比，隨風速大小及變動周期而改變，必要時可以 1.5 ~ 1.7 倍加以估計。陣風的定義為 10 分鐘平均風速與在此 10 分鐘內所出現之最大瞬間風

速之差，如大於 5.0 m/s 時，即為有陣風現象。平均風速與最大瞬間風速之差在 5.0 ~ 10 m/s 者稱為小陣風，在 10 m/s 以上者稱為大陣風。



在同一位置，風速變動的劇烈程度可以均方根速度(Root Mean Square velocity)表示

$$U_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [u(t_i) - \bar{U}]^2}$$

其中  $T = N\Delta t$  為取樣時間(Sampling duration)， $\Delta t$  為取樣時距， $N$  為取樣總數(Sampling no.)， $f = 1/\Delta t$  為取樣頻率(Sampling freq.)。均方根速度愈大，代表紊流速度變化愈劇烈。另外可用紊流強度(Turbulence Intensity)代表紊流速度變化劇烈的程度

$$I_u = \frac{U_{\text{rms}}}{U} \times 100\%$$

譬如層流之均方根速度十分小 ( $I_u < 1.0\%$ )，表示速度不會隨時間劇烈變化。近地層中紊流速度的均方根值與地表粗糙度及大氣穩定度有關。在 2 ~ 30 公尺範圍內，縱向紊流強度

都市地區：  $20\% \leq I_u \leq 35\%$

市郊地區：  $10\% \leq I_u \leq 20\%$

在中性及穩定的大氣狀態下，均方根速度與剪力速度成正比關係 (Panofsky and Dutton, 1984)：

$$U_{\text{rms}} = 2.4u_*, \quad V_{\text{rms}} = 1.9u_*, \quad W_{\text{rms}} = 1.25u_*$$

紊流流速頻譜顯示紊流擾動速度在頻率上的分佈，俄國學者科莫葛洛夫(Kolmogorov, 1941)推論在高雷諾數、均質、等向性的紊流流場中，紊流動能由大渦流傳遞給小渦流的過程中，若某一個渦流之尺度不受邊界條件(大渦流)亦不受流體之黏滯係數(小渦流)的影響，僅與動能消散率有關，此範圍稱之為慣性次階(inertial subrange)，其速度頻譜具有-5/3斜率。依據 Kaimal and Finnigan (1994)整理現場實驗的結果，建議開闊地區之縱向、橫向及垂向的紊流流速頻譜分別為

(A) 縱向流速頻譜

$$S_u(f) = \frac{102n}{f(1+33n)^{5/3}} u_*^2$$

式中  $f$  為頻率， $n = fz/U$  為無因次頻率， $z$  為高度， $U$  為縱向流速。

(B) 橫向流速頻譜

$$S_v(f) = \frac{17n}{f(1+9.5n)^{5/3}} u_*^2$$

(C) 垂向流速頻譜

$$S_w(f) = \frac{2.1n}{f(1+5.3n)^{5/3}} u_*^2$$

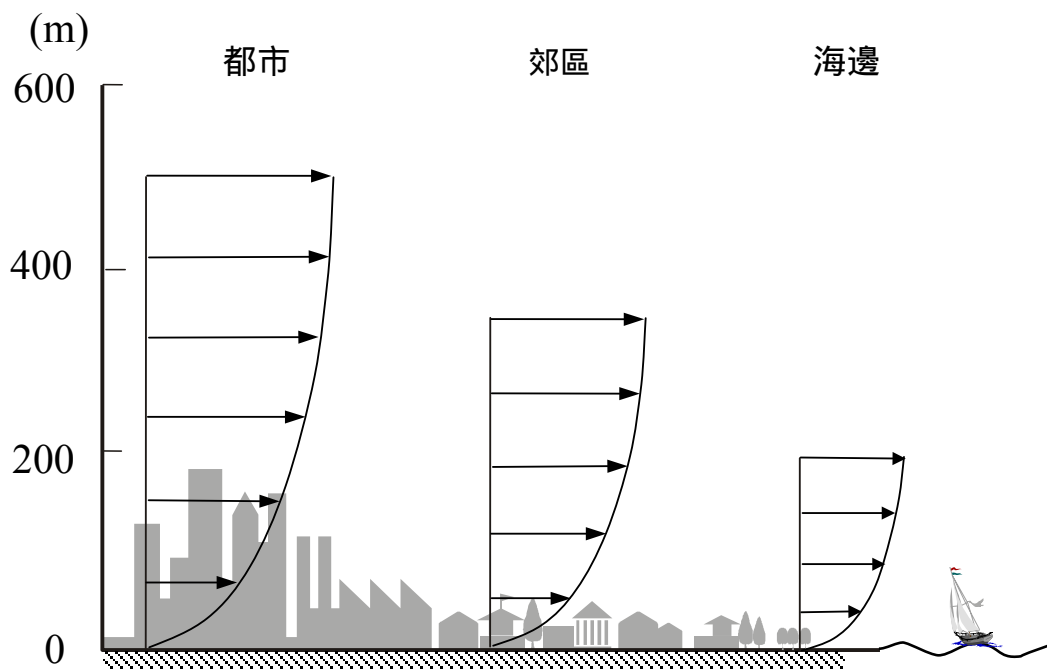


圖2.1 不同地況之風速分佈

表 2.3 蒲福風級表

蒲福風級	名稱	風速 (m/s)	風級說明 (陸地情形)
0	無風	0 ~ 0.2	炊煙直上，風標不動
1	軟風	0.3 ~ 1.5	無明顯感覺
2	輕風	1.6 ~ 3.3	風拂面，樹葉有聲
3	微風	3.4 ~ 5.4	樹葉及小枝動搖，頭髮被吹動
4	和風	5.5 ~ 7.9	地面揚塵，紙片飛舞，小樹幹搖動
5	清風	8.0 ~ 10.7	有葉之小樹搖擺，水面有小波
6	強風	10.8 ~ 13.8	大樹枝搖動，電線呼呼有聲，舉傘困難
7	疾風	13.9 ~ 17.1	全樹搖動，迎風步行有阻力
8	大風	17.2 ~ 20.7	小枝吹折，行人不易前行
9	烈風	20.8 ~ 24.4	煙囪屋瓦等將被吹毀，行人易被陣風吹倒
10	狂風	24.5 ~ 28.4	陸上不常見，見則拔樹倒屋

## 第二節 建築物的影響

行人風場是許多因素交互影響而成的複雜氣流運動，影響參數包括風速、風向攻角、建築物幾何外形、鄰近之建築物等，其流場屬於非穩定紊流流場。本節將就建築物周邊氣流的特性做定性描述：

1. 迎風面渦漩(upstream vortex)：當風遇到高層建築物時，部份氣流會由建築物上方與兩側加速地繞過去，部份氣流沿建築物的迎風面向下切，在建築物的前方形成渦漩，此種下切氣流又稱為掀裙風。建築物的迎風面愈寬愈大，下切氣流愈強。

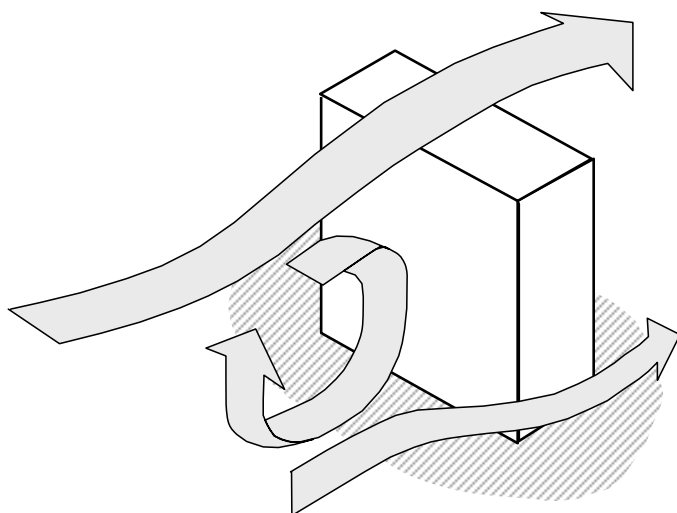


圖 2.2 下切氣流之示意圖

2. 建築物尾流(building wake)：當風遇到建築物時，會在建築物的背風面(leeward side)會形成一流場紊亂的尾流區。因尾流區之壓力低於大氣壓力，故越過建築物上方的氣流會受到背風面之負壓力的吸引，向下及向建築物後方流動，形成一個氣流迴旋的流場。其尾流區的流場特性



會受到建築物的幾何外型、風向角和周遭建築物的影響。

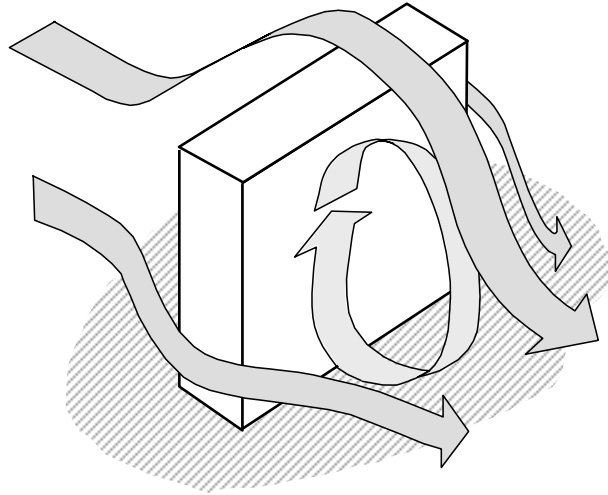


圖 2.3 建築物尾流之示意圖

3. 穿堂風(through flow)：建築物迎風面與背風面之間有氣壓差，以致當有前後貫通的通道或開口打開時，大樓內的通道會形成氣流的快速流動，此現象稱之為穿堂風，會對進出大樓及經過出入口的行人構成不舒適的情形。

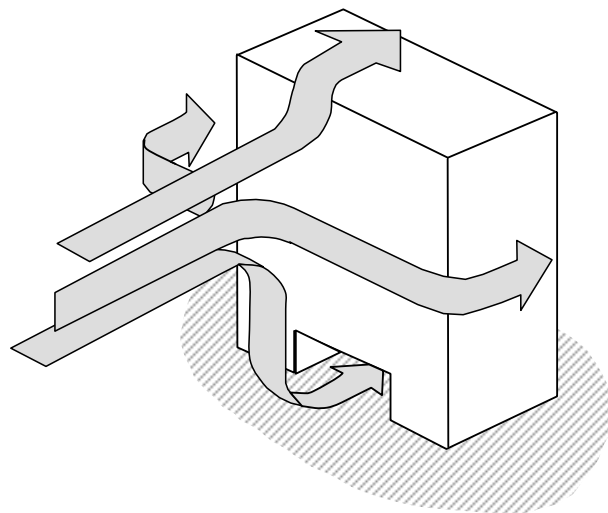


圖 2.4 穿堂風之示意圖

4. 角隅強風(corner flow)：當氣流要由建築物兩側繞過去時，流體會有加速的現象。同時在角隅處，會產生渦漩分流現象，造成建築物角隅兩側有較強的風速。建築物角隅的細部設計與幾何形狀會影響到此處的風場。譬如矩形的建築物，渦漩會發生在角隅處；但圓弧形的建築物，渦漩分離點則與表面粗糙度有關。

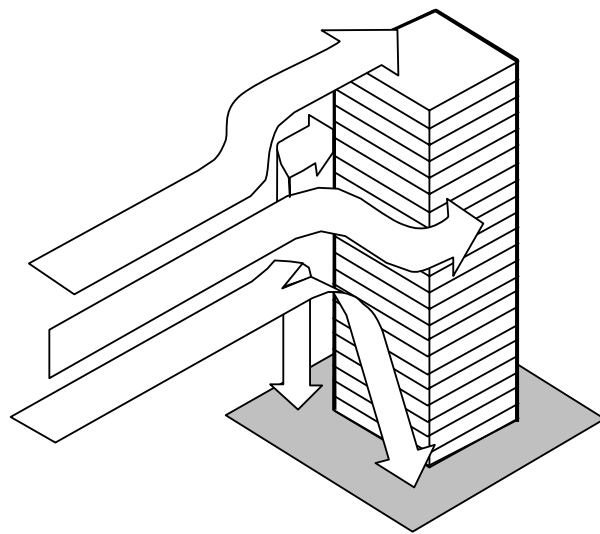


圖 2.5 建築物角隅強風之示意圖

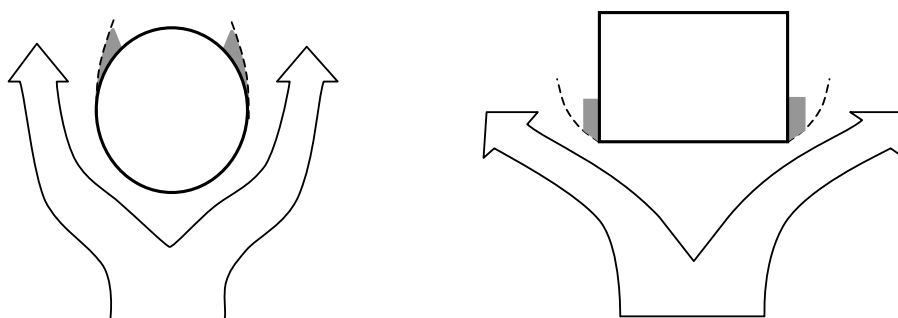


圖 2.6 角隅渦漩發生處

5. 遮蔽效應(shelter effect)：近似高度與規模的建築群比鄰而立時，對於迎面而來的氣流產生類似阻牆的遮蔽作用，迫使氣流由建築群的上方越過及側邊繞過。反之，若高層建築物的前方為低矮建築物，則兩建築物之間會有極強的渦流發生。

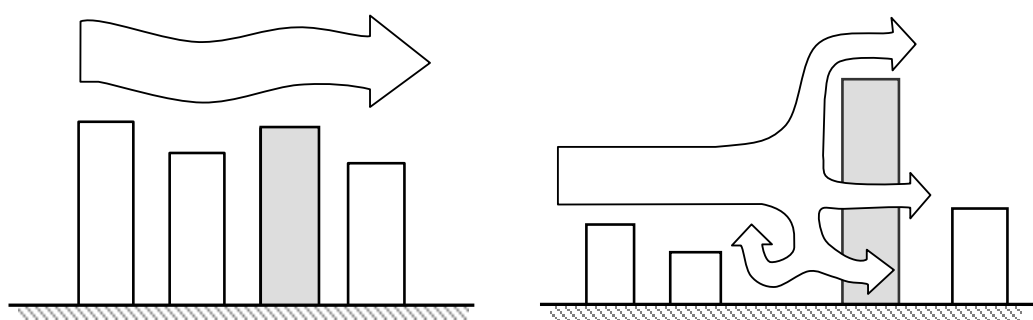


圖 2.7 遮蔽效應之示意圖

6. 金字塔效應(pyramid effect):對於逐漸上升且退縮的建築或建築群，建築物頂部分離剪力層受到漸次升高的邊界影響，匯聚成一股向上湧昇的氣流。在金字塔效應的影響下，下切氣流與角隅強風會較弱。

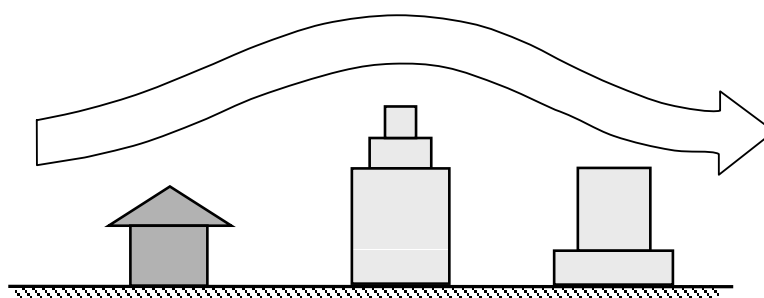


圖 2.8 金字塔效應之示意圖

7. 縮流效應(venturi effect)：當風由一寬廣之區域吹進狹窄的街道時，由於流通斷面積減小，氣流會有加速的現象，形成高風速區出現。氣流加速的現象會隨著建築物之間距離的增大而明顯減低。

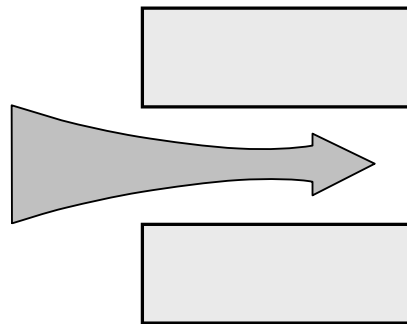
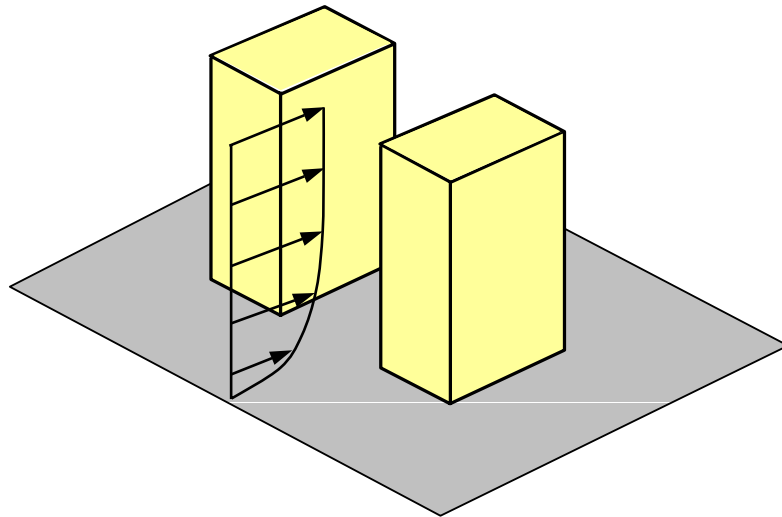


圖 2.9 縮流效應之示意圖

8. 渠化效應(channel effect)：都會區中沿街兩側建築物多具有較平整的立面且相互庇鄰，對於運行期間的氣流而言，猶如渠道之兩壁，一般稱

之為街谷(street canyon) , 此現象會驅使接近地面的氣流脫離原來的風向而沿街谷的走向流動。

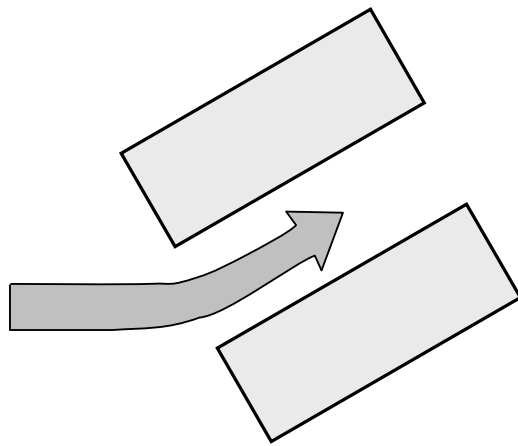


圖 2.10 渠化效應之示意圖

由以上的描述可知,都會地區建築物周遭的行人風場是十分複雜的現象。若要針對某個建築物評估其對行人風場的影響,必須考量當地的氣象資料、建築物的幾何外型、周遭建築物的相關位置與周遭區域的使用規劃,並無通則可循。而目前較為實際可行的評估方法仍是以製作建築物及其周遭建築物的縮尺模型,配合基地的風速、風向資料在風洞中模擬其流況才能做較為完整的風場評估。

## 第三章 評估方式

### 第一節 風場評估方式

建築物環境風場的評估，乃依據風洞實驗或數值模擬預測之結果來評估計畫建築物興建後環境風場的變化，其評估方式依所引用之評估基準可分為：相對評估法、絕對評估法和風速發生百分率評估法三種。以下分述之：

#### 一、相對評估法

相對評估法乃計算建築物周遭各測點之風速與一個基準風速之比值，再以此比值來判斷環境風場受建築物影響的程度及風速變動的情形。而採用不同之基準風速，相對評估法又可分為：

##### (1) 以興建前之風速為基準風速：

現場量測計畫建築物興建前各測點風速資料，分別與興建後各測點之預測風速對應比較，瞭解建築物興建後環境風場受影響的程度。此風速比可以下式表示：

$$\text{風速比} = \frac{\text{建築物興建後之風速}}{\text{建築物興建前之風速}}$$

此種興建前後的「風速比」評估方式，只能表示風速增減的程度。譬如風速比接近 1.0 時，表示該點不受建築物的影響；小於 1.0 時表示興建後風速會減低；大於 1.0 時則代表興建後會變大。但此種風速比值無法說明各測點實際風速的強弱。

(2) 以不受計畫建築物影響地點之風速為比較基準，選擇基準點之參考風速又可分為：

- a. 建築物基地附近不受地形地物影響之風速，譬如附近之氣象觀測站或空曠地區之平均風速。
- b. 以指數法則計算之大氣境界層高度之平均風速。
- c. 高層建築物屋頂上之風速。

選擇基準點時，必須考慮其平均風速之高低，若基準風速太低時，則風速比值會變大，導致各測點的風速差距會更為明顯。反之，當基準點風速較高時，其各測點之風速差距相對變小。可取兩高低不同之基準風速進行對照比較，以評估整體風場之變化。

(3) 各風向之「陣風風速比」：

陣風風速比的評估乃在計算各測點之最大瞬間風速與平均風速的比值，來判斷各測點受建築物影響的特性。

## 二、絕對評估法

絕對評估法主要依人體對於舒適、不舒適或危險等不同感受所對應之風速值與預測所得之風速進行比較，藉以判斷行人可容許的風速，故此評估法又稱『容許風速評估法』。但由於人體受強風影響的敏感度涉及不同生活背景、年齡大小、性別、所進行的活動場等因子的考慮，很難定出廣泛適用於不同情況的評估基準。一般而言，當風速  $V < 3 \text{ m/s}$ ，環境風場是十分宜人的；當風速  $V > 5 \text{ m/s}$ ，會令人覺得有點不舒適；當風速  $V >$

10 m/s，會令人覺得十分不舒適；當風速  $V > 20$  m/s，則可能會危及到行人的安全。

### 三、百分率評估法

此評估法依風洞實驗或數值模式預測得各測點之流場結果配合基地之風向、風速記錄資料來計算強風發生機率，用以判斷各測點受建築物影響的程度。若各風向之風速發生機率分佈近似韋伯函數，可依下式計算風向為  $i$  時，風速之機率累積分佈函數：

$$P_i(\geq U) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{U}{U_i}\right)^{a_i}\right]$$

其中  $a_i$  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)， $i$  代表 1 至 16 的風向。因此，風速超過  $U$  值的總發生機率為

$$P(\geq U) = \sum_{i=1}^{16} d_i \left\{ 1 - \exp\left[-\left(\frac{U}{U_i}\right)^{a_i}\right] \right\}$$

其中  $d_i$  為各風向的發生機率。各地之風速、風向的機率參數  $a_i$ 、 $U_i$ 、 $d_i$  可由基地附近氣象站(譬如中央氣象局所屬之氣象站)之長期風速觀測資料統計迴歸求得。再藉由風洞實驗或數值模擬所量測得之風場資料，配合上式便可計算各測點之風速超過百分率。此評估法由於同時考慮環境風場的三個基本特性(風速、風向及發生頻率)，故較前述二種評估方法更能實際反應環境風場受影響的程度，此法亦為目前環境風場評估最常用之評估



方法。

## 第二節 評估步驟

高層建築物環境風場的評估步驟如圖 3.1 所示，首先依據主建築物的設計圖和周遭建築物的配置預測將來主建築物興建之後建築物周遭各測點的風速，再依據氣象局所提供的建築物基地風速、風向發生機率預估建築物周遭各級風速的發生機率。若強風發生的機率超過舒適性或安全性的等級，則表示該建築物的環境風場不合格，必須加以改善。在建築業者提出改善措施後，再一次地來預測和評估建築物周遭各級風速的發生機率，直到建築物周遭各測點皆合格為止。

由於環境風場的預測方法往往會影響到評估之結果，因此必須對風場預測方法做深入的瞭解，以建立一個客觀的預測方式。風場預測方法包括現場量測、風洞實驗與數值模式。以現場量測來獲得風場資料是最具說服力的評估方式，但需要做長時間的觀測，才能對強風發生的機率有正確之評估。且現場量測無法於建築物興建之前準確預測建築物對風場的影響，故較少採用。本研究僅探討利用風洞實驗與數值模式之預測方式。

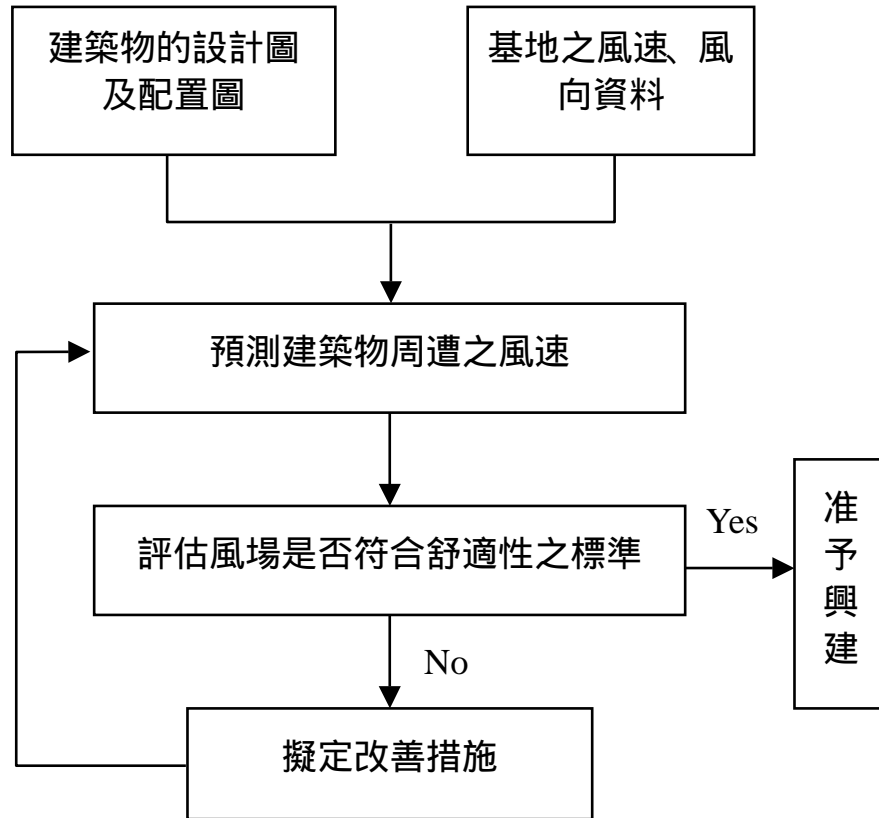


圖 3.1 環境風場的評估步驟

## 第四章 環境風場標準

國外許多先進國家及大都市皆有其環境風場的評估標準，以供都市開發與建築業者依循之用。國內的規範有明文規定應做環境風場評估的建築物規模，但並未訂定環境風場的評估標準，使得國內的建築業者、審議的學者及官員往往無所是從。本計畫整理國外現有的環境風場之評估標準，並建議一套適合國人及國內都市使用分類的風場評估標準。

### 第一節 國外標準

在評估環境風場是否舒適或安全主要考慮：人體受風感受、高風速出現的機率、陣風風速及評估區域的使用特性。

#### 一、人體受風感受：

Melbourn 與 Joubert 於 1971 年依據澳洲墨爾本市內三棟高層建築物周邊風環境的實地調查，當陣風風速（瞬間風速）達 20m/s 以上時，會使人體失去平衡，當陣風風速達 23m/s 以上時有將人吹走之虞。依據 Hunt et al. (1976)在風洞中對人體受風之舒適性試驗，可發現一般人在風速低於 6 m/s 時，風並不會影響到行人的活動；當風速超過 9 m/s 時，行人的活動會受到影響；當風速超過 15 m/s 時，行走會發生困難；當風速超過 20 m/s 時，行走會發生危險。



圖 4.1 蒲福 1 級風



圖 4.2 蒲福 2 級風



圖 4.3 蒲福 3 級風



圖 4.4 蒲福 4 級風



圖 4.5 蒲福 5 級風





圖 4.6 蒲福 6 級風



圖 4.7 蒲福 7 級風

## 二、風速發生機率：

環境風場必須考慮各級風速發生的機率，若高風速的狀況常常發生，令人覺得無法容忍，則可稱為擾人的環境風場；但若高風速發生的機率並不大時，僅颱風時會發生，則其環境風場尚可容忍。至於發生機率高於何者謂太頻繁，機率低於何者謂尚可接受，則因人而定。Penwarden (1973) 的現場調查發現當強風出現機率超過10%時，行人會感受到困擾；當強風出現機率超過20%時，行人會要求對風場提出改善措施。

## 三、陣風風速：

風速變動量的大小(紊流強度)亦會影響到人體受風吹襲時的感受，若風速忽強忽弱，行人亦會產生不舒適的感覺。而陣風風速 $\tilde{U}$

$$\tilde{U} = \bar{U} + kU_{\text{rms}}$$

其中 $\bar{U}$ 為平均風速， $k$ 為陣風因子， $k$ 值介於1.0~3.5之間[文獻14]， $U_{\text{rms}}$ 為均方根速度

$$U_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [u(t_i) - \bar{U}]^2}$$

均方根速度愈大，代表紊流速度變化愈劇烈。另外可用紊流強度(Turbulence Intensity)代表紊流速度變化劇烈的程度

$$I_u = \frac{\sigma_u}{\bar{U}} \times 100\%$$

譬如層流之均方根速度十分小( $I_u < 1.0\%$ )，表示速度不會隨時間劇烈

變化。大氣邊界層中紊流強度與地表粗糙度有關，都市地區地表附近的紊流強度約為20 ~ 35 %。若紊流強度太大，行人亦會產生不舒適的感覺。

#### 四、區域的規劃使用

行人於室外所進行的活動，諸如步行、站立或坐定等，亦會影響到人體受風吹襲時的感受，譬如行人在步行時可忍受較強的風速，但坐定時則不希望有強風出現。加拿大的西安大略大學(University of Western Ontario) 的風洞實驗室建議將活動分類為(1)長時間停留；(2)短時間停留；(3)慢步行走；(4)快步行走。在評估時要視各區域的使用性質不同，選擇適當的標準。譬如規劃露天餐廳時，風場條件需要滿足“長時間停留”標準，若是公園、開放廣場只需要滿足“短時間停留”的風場環境即可。其所建議之各區域的風速標準及最大發生頻率可參見表4.1。

表 4.1 西安大略大學風洞實驗室的行人風準則

活動	適用之區域	可容忍	相對舒適性	
			不舒適	危險
長時間停留	室外餐廳	5.0 m/s	7.0 m/s	20 m/s
短時間停留	公園、廣場	7.0 m/s	9.5 m/s	20 m/s
慢步行走	公園	9.5 m/s	12.5 m/s	20 m/s
快步行走	人行道	12.5 m/s	16.0 m/s	20 m/s
發生頻率		小於 1 次/週	小於 1 次/月	小於 1 次/年



圖 4.8 可供長時間停留的露天咖啡座



圖 4.9 快步行走時所感受到的風場

若考量到區域的使用性質，美國學者Simiu & Scanlan (1996)建議在不同區域，最大風速發生之頻率應有不同的標準。

表 4.2 美國學者 Simiu & Scanlan 的行人風評估標準

分類	區域	風速限度	發生頻率
1	公園、廣場	6 m/sec	1000 小時/年
2	人行步道、出入口	12 m/sec	50 小時/年
3	全部區域	20 m/sec	5 小時/年
4	全部區域	25 m/sec	小於 1 小時/年

加拿大RWDI公司建議評估標準，舒適性等級分成坐定(長時間停留)、站立(短時間停留)、行走及不舒適四個等級：

- (1)坐定：若陣風風速小於4.7 m/s的發生機率大於80%，則坐定時可感受舒適的風場環境，該區域可長時間停留，可做為露天餐廳或室外休憩處。
- (2)站立：指陣風風速介於 4.7 ~ 6.9 m/s的狀況，這種風速可使地面揚塵，紙片飛舞。這類風速若發生於大樓入口處、公車站或短暫停留的區域並不會造成行人太大的困擾。
- (3)行走：指陣風風速介於 6.9 ~ 8.9 m/s的範圍，這類風速可吹動頭髮或寬鬆的衣服，因為正在活動的行人一般較能接受稍微高一些的風速，故這一風速範圍可發生在行人道、廣場或公園等行人活動區。

(4)不舒適：指陣風風速大於 8.9 m/s (約為五級風) 的發生機率大於20%，這種狀況下可使逆風行走的行人感受到阻力，舉傘覺得有困難。一般認為這一範圍的風速對行人的活動是有妨礙的或不舒適的。

表4.3 加拿大RWDI公司的行人風評估標準

	等 級	瞬間最大陣風	發生機率底限
舒 適 性	坐 定	4.7 m/s	80%
	站 立	6.9 m/s	80%
	行 走	8.9 m/s	80%
	不 舒 適	> 8.9 m/s	20%
安 全 性	有 影 響	> 24.4 m/s	> 3 次/年
	無 影 響	< 24.4 m/s	3 次/年

若陣風風速 > 24.4 m/s (十級風) 的發生機率大於3次/年，則更可能會影響到行人的安全。一般而言，若某一風速範圍的發生機率大於80%，則對相應的行人活動（坐定、站立、行走）其風環境是可以接受的；反之，若其風速範圍的發生機率低於80%，則所得舒適性等級與相應區域的實際用途不符，有可能需要考慮修改建築物之設計、改善風環境或更改使用目的。

此外，國外許多國家及大都市皆有其環境風場的評估標準，如英國學者 Lawson & Penwarden (1975)，加拿大學者 Isyumov & Davenport



(1975)，英國學者 Hunt et al. (1976)，澳洲學者 Melbourne (1978)，美國波士頓都市發展局 Boston Redevelopment Authority (1981)，日本學者 Murakami et al. (1986)及美國舊金山市政府(1989)所採用的標準皆列於表 4.4，其評估基準多半依據蒲福之風力等級為基礎加以修正而定出的標準。

## 五、風場評估點：

風場評估點位置可分為近地面之測點與非近地之測點：

### (1)近地面之評估點：

評估點位於離地面 1.5 ~ 2.0 m 高處，主要考慮對地面行人的影響。

- a. 基地四周的人行道、建築物的出入口。
- b. 主建築物的迎風面、背風面及角隅。
- c. 基地附近的街道及窄巷。
- d. 基地四周易受風害影響的區域，譬如學校、公園、露天座椅、公車站、醫院、療養院及幼兒遊戲設施等。

### (2)非近地之評估點：

- a. 主建築物的陽台、露台或其他設施的頂部。
- b. 主建築物透空或開口之處。
- c. 基地四周高層建築物的陽台、露台或其他設施的頂部。
- d. 主建築物周遭之木造建築物或大型看板等易受強風影響之構造物。

表 4.4 各國所使用之評估標準

評估標準	使用目的	風速	範圍 (m/s)	發生機率底限
Lawson & Penwarden (1975)	長時間停留	$\bar{U}$	3.4	< 4.0 %
	站立	$\bar{U}$	5.5	< 4.0 %
	行走	$\bar{U}$	8.0	< 4.0 %
	不舒適	$\bar{U}$	13.9	> 2.0 %
Isyumov & Davenport (1975)	長時間停留	$\bar{U}$	> 3.6	< 1.5 %
	短時間停留	$\bar{U}$	> 5.3	< 1.5 %
	行走	$\bar{U}$	> 9.8	< 1.5 %
	危險	$\bar{U}$	> 15.1	> 0.02 %
Hunt et al. (1976)	長時間停留	$\bar{U} + 3U_{rms}$	> 6	< 10 %
	公園、廣場	$\bar{U} + 3U_{rms}$	> 9	< 10 %
	不舒適	$\bar{U}$	> 9	> 1 %
Melbourne (1978)	長時間停留	$\bar{U} + 3.5U_{rms}$	> 10	< 0.075 %
	短時間停留	$\bar{U} + 3.5U_{rms}$	> 13	< 0.075 %
	行走	$\bar{U} + 3.5U_{rms}$	> 16	< 0.075 %
	危險	$\bar{U} + 3.5U_{rms}$	> 23	> 0.075 %
Boston (1981)	舒適	$\bar{U} + 1.5U_{rms}$	> 13.9	< 1.0 %
	不舒適	$\bar{U} + 1.5U_{rms}$	> 13.9	> 1.0 %
Murakami et al. (1986)	露天餐廳	$\bar{U} + 2.5U_{rms}$	> 10	< 10 %
	公園	$\bar{U} + 2.5U_{rms}$	> 10	< 22 %
	人行道	$\bar{U} + 2.5U_{rms}$	> 10	< 35 %
	危險	$\bar{U} + 2.5U_{rms}$	> 20	> 1.5 %
San Francisco (1989)	坐定	$\bar{U} + 2.7U_{rms}$	> 3.1	< 10 %
	行走	$\bar{U} + 2.7U_{rms}$	> 4.9	< 10 %
	危險	$\bar{U}$	> 12	> 0.011 %

## 第二節 國內標準

因為國內的氣候條件、國人體格及都市使用分區的不同，國外的環境風場標準並不一定適用於台灣。譬如在寒帶地區，強風會帶走一部份人體的體溫，造成行人極為不舒適的狀況，此現象稱為寒風效應(Wind Chill Effect)。但在台灣亞熱帶的氣溫下，此現象應不至於發生。因此有必要擬定一套適用於國內的環境風場評估標準。

依據中央氣象局的風速資料可計算得台灣地區各級風速的發生機率，以台北市為例：風速低於5 m/s之機率約為80%，風速低於10 m/s之機率約為99.9%，風速高於17 m/s之狀況應皆為颱風所造成。至於濱海地區，如梧棲、澎湖等地，發生強風之機率則高於內陸地區，因此環境風場評估時應考慮地區之效應。

在訂定風場規範時，可將各級風速之發生機率視為一個萊利分佈(Rayleigh Distribution)，累積機率函數為

$$F(U) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{U}{b}\right)^2\right]$$

上式中b值為特性參數，本研究將Lawson & Penwarden (1975)，Isyumov & Davenport (1975)，Hunt et al. (1976)，Melbourne (1978)，Murakami et al. (1986)及美國舊金山市政府(1989)所採用的評估標準中的機率和風速值代入萊利分佈，利用等效風速的觀念便可求出其所採用之b值，如表4.5所示。再將相同使用目的之b值加以平均，即可得到一個新的特性參數值。本研究所得之舒適性等級上限(宜人)：b = 3.8；及不舒適等級上限(擾人)：b = 5.0。最後再將b值代入機率函數便可得新標準所對應之風速機率，如圖4.10所示。

表4.5 各國環境風場舒適性標準之特性參數

參考文獻	Type	風速 (m/s)	E.A. (m/s)	機率(%)	b(m/s)	b(E.A.)
I&D 75	平均風速	9.8	8.9	1.5	4.78	4.34
L&P 75	平均風速	8	7.3	4	4.46	4.04
HUN 76	陣風(k=3)	9	5.1	10	5.93	3.36
MEL 78	陣風(k=3.5)	16	8.5	0.075	5.96	3.18
MUR 86	陣風(k=2.5)	10	6.0	35	9.76	5.90
S.F. 89	陣風(k=2.7)	4.9	2.9	10	3.23	1.90
平均						3.8
I&D 75	平均風速	15.1	13.7	0.02	5.17	4.69
L&P 75	平均風速	13.9	12.6	2	7.03	6.37
HUN 76	平均風速	9	8.2	1	4.2	3.81
MEL 78	陣風(k=3.5)	23	12.3	0.075	8.6	4.59
BOS 81	陣風(k=1.5)	13.9	9.7	1	6.5	4.53
MUR 86	陣風(k=2.5)	20	12.1	1.5	9.76	5.9
平均						5.0

國內環境風場的標準可依都市使用分區，諸如住宅區、商業區與工業區，而有不同的標準。因為住宅區為一般民眾居休息的地方，可容許的強風發生機率應較低，另外風害敏感地區，常有老弱殘障人士出沒處，譬如學校、公園、露天座椅、公車站、醫院、療養院及幼兒遊戲設施等，可容許的強風發生機率亦應較低。商業區為上班、購物之處，發生強風的機率則可以稍微放寬。至於國內住商混合使用的區域，環境風場的標準應採用住宅區之標準。

因此本研究建議住宅區及風害敏感地區（譬如學校、公園、露天座椅、公車站、醫院、療養院及幼兒遊戲設施等有老弱殘障人士常出沒之處）的環境風場標準如表4.6所示：

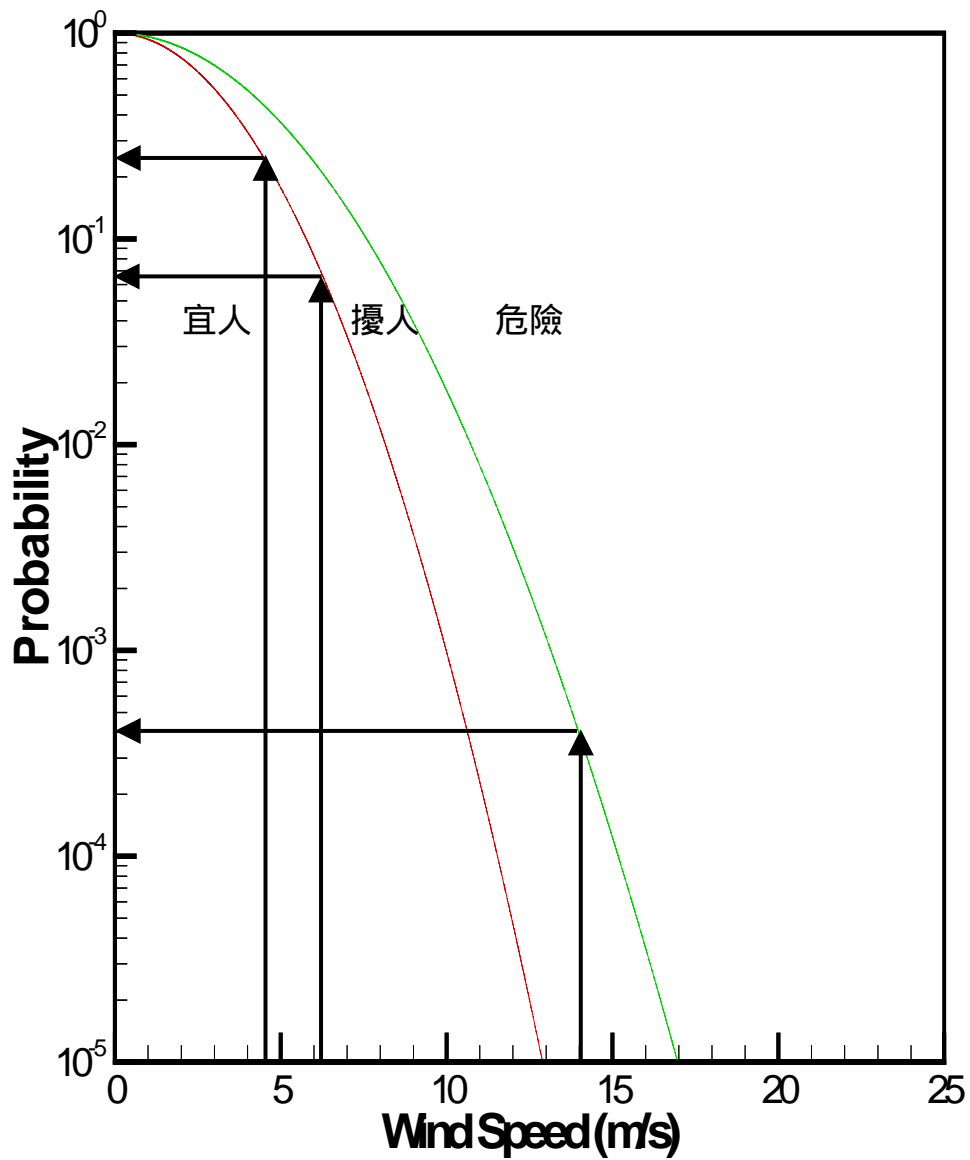


圖4.10 舒適性與安全性之風速機率圖

風速標準係指離地面2.0 m高處之陣風風速 $\tilde{U}$

$$\tilde{U} = \bar{U} + kU_{\text{rms}}$$

式中 $\bar{U}$ 為平均風速， $U_{\text{rms}}$ 為風速之均方根， $k$ 為陣風因子，建議採用 $k = 3.0$ 。依照中央氣象局之定義：平均風速之平均時間為10分鐘。本研究將之陣風風速 $\tilde{U}$ 設為8 m/sec(蒲福4級風以下)，擾人風場設為11m/sec(蒲福5~6級風)，危險風場設為超過25m/sec(蒲福9級風以上)。將陣風風速轉換為等效風速後(將陣風風速除以1.765)，對應圖4.10之機率函數，即可得到發生頻率上限(下限)值。

表4.6 住宅區及風害敏感地區之評估標準

分類	等級	陣風風速	發生頻率	機率
1	宜人	> 8 m/sec	< 每月 180 小時	< 25 %
2	擾人	> 11 m/sec	> 每月 50 小時	> 7 %
3	危險	> 25 m/sec	> 每年 3 小時	> 0.03 %

- (1)宜人：若陣風風速大於8.0 m/s的發生機率小於25 %，則行人可感受舒適的風場環境，該區域可作為停留等待區或室外休憩處。
- (2)擾人：指陣風風速大於11.0 m/s的發生機率大於7%，這種風速可使大樹搖晃、電線呼呼有聲、舉傘困難。這類風速若發生於大樓四周行人出沒處，則可能造成行人的困擾。

(3)危險：陣風風速大於25.0 m/s時會造成行人被陣風吹倒，路樹、木造建築物可能會被吹壞，若其發生機率大於每年3次（3小時），定義為危險等級。

依據區域使用目的之不同，可利用一重要因子，將住宅區之標準換算成為商業區及工業區的環境風場標準，如表 4.7 所示，舒適性標準（宜人及擾人）較住宅區略微寬鬆，但危險性標準則相同。

表4.7 商業區及工業區的評估標準

分類	等級	陣風風速	發生頻率	Prob.
1	宜人	> 8 m/sec	< 每月 225 小時	< 31.25 %
2	擾人	> 11 m/sec	> 每月 72 小時	> 10 %
3	危險	> 25 m/sec	> 每年 3 小時	> 0.03 %

## 第五章 風洞試驗

因為風洞實驗的控制性佳，可重複性高，故可用來預測複雜流場所可能發生的流況。譬如建築物、植栽等地物及山坡、山谷等地形皆可以利用幾何相似的模型置於風洞中，再以流速量測儀器量測建築物周遭區域的風速，十分經濟可行。且一些研究也指出風洞實驗之結果與現場長期的觀測有相同的趨勢[文獻15]，故風洞實驗是預測環境風場最常用的方法。以下描述環境風場實驗所需之設備、量測方式及實驗條件。

### 第一節 實驗設備

#### 一、風洞種類：

風洞有二種基本類型：(1)閉路循環式與(2)開放式。閉路循環式風洞如圖5.1所示，其優點為不受外界風場的影響，能量效率高，適於模擬溫度分層或低紊流強度之流場。但其缺點為佔地較大，造價昂貴，且易產生二次流，風扇運轉所產生的熱能不易排出，會造成風洞內溫度逐漸升高，或擴散實驗之追蹤劑的濃度會累積而造成背景濃度逐漸升高等問題。

開放式風洞依其送風方式又可分為兩種基本類型：吹送式及吸入式。吹送式(Blowing type)風洞之設計較簡單，風扇自外界吸入空氣後，經由整流段吹入風洞之試驗段。但其缺點為試驗段之風場易受外界風場及風扇所產生之螺旋渦流的影響，容易形成風速分佈的不均勻性。吸入式(Suction type)風洞將外界空氣吸入後，經整流段、收縮段，由風扇口排



出。此類風洞試驗段的氣密性(air-tight)的要求較高，但試驗段風速的均勻性及穩定性較吹送式風洞來得好，故許多研究風力工程問題的大氣邊界層風洞皆屬吸入式風洞。

## 二、風洞構造：

風洞主要構造部份可分為整流段、收縮段、試驗段及動力段，圖5.2便是一個開放吸入式風洞的立體構造圖，圖5.3為風洞的上視與側視圖。其設計分別說明如下：

### 1. 整流段：

自然界風場極不穩定，所以在進入收縮段前必須加裝整流段，以使氣流趨於穩定，即增加速度均勻性，將流場擾動減至最少。一般而言，風洞之進口整流段包括有蜂巢管(honey cone)與整流細網(screen)等裝置。蜂巢管是由許多塑膠圓管整排列而成，其目的在減小氣流流動方向上的擾動和渦漩，即可將渦流再切割成更小之渦流，減少氣流的靜壓擾動及橫向擾動，使其為低紊流強度之流況，增進氣流的均勻和穩定性。蜂巢管之後便是整流網，整流網的功能是將通過蜂巢管的渦流在切成更小的渦流，使流場的紊流強度降低到最小，亦可使得收縮段較不易產生分離(separation)現象。一般來說，網目越細整流越好，但相對的能量耗損也越大。

### 2. 收縮段：

收縮段的目的是在於藉通風斷面的縮小，使得通過之氣流加速。較小的收縮段需要較大的風扇馬力，且容易產生分離現象。然而若將收縮段增大，則整流段亦需要按比例增大，收縮段長度亦需要加長，工程造價與所佔的空間也就需要增加。風洞之收縮段大多為多項式曲線相接而成，良好的收縮段可進一步的抑制紊流擾動，並造成試驗段內近似成均勻的流場。

### 3. 動力段：

動力段包括收縮管、風扇及出口擴散管。收縮管由長方形之試驗段轉變為圓形之風扇進口，風扇直徑應與試驗段尺寸相近，風扇葉片的角度最好可以調整以微調風速。風扇以馬達驅動，最高風速最好可達20 m/s以上，風扇馬達之馬力應以最高風速來設計。為了避免馬達及風扇轉動而引致的振動會影響試驗品質，動力段宜具有一獨立地基，且動力段與試驗段接縫處應以軟性帆布相連，以防止振動的傳遞。出口擴散管形狀多為圓形之喇叭口。

### 4. 試驗段：

風洞的試驗段(test section)為模型進行測試之處，試驗段的尺寸與模型的縮尺有密切的關係。風洞實驗中若模型之阻塞比（模型之迎風面積與風洞斷面積之比值）過大時，氣流會因通風斷面的縮小會產生加速現象，故風速之量測結果可能會導致誤差。一般而言，模型之阻塞比應小於5%，若阻塞比大於10%，應調整風洞試驗段之屋頂的高度，或對實驗結果做適當的修正[文獻15]。因此採用較大尺寸的模型時，試驗段之斷面亦需很大，但這會增加整個風洞的尺寸、所需馬力

和造價。反之，若採用較小的模型，風洞試驗段不需太大，但製作小而精準的模型則十分困難。

試驗段之上壁應可調整其高度，以便於調整風洞中的壓力梯度。在試驗段內有實驗轉盤，轉盤可輕易地旋轉以改變對模型之有效風向。試驗段入口至轉盤圓心之距離可用於邊界層之發展。試驗段內部可設置三度空間活動之天車，由風洞外遙控風速探針之位置。另外於試驗段上壁可設置照明設備，可在左右側壁及上壁設置大型透明窗，以便於試驗者直接觀測風洞中流況。

因為地表附近的大氣邊界層往往較一般結構物高出許多，為使建築物之模型尺寸在合理範圍內，風洞中之邊界層厚度亦須相當大。且風洞之試驗段需要相當長，以供邊界層的發展出夠厚的邊界層。依據 Cermak (1984)之建議：風洞試驗段的長度應介於 $10 \sim 20\delta$ ，高度應大於 $2\delta$ ，寬度應在 $2 \sim 4\delta$ ， $\delta$ 為邊界層厚度。譬如都會地區的大氣邊界層厚度約為400 m，若以1/400的比例縮尺製作模型，則風洞中的邊界層厚度為1.0 m，亦即試驗段的長度起碼要有10 ~ 20 m，高度必須大於2.0 m，寬度約為2.0 ~ 4.0 m。

## 第二節 實驗條件

依據流體力學的原理，風洞內模擬之流場與實際流場須滿足下列相似性要求：

一、幾何相似性：

## 1. 模型和真實建築物各方向之比例縮尺必須相同

$$\frac{H_m}{H_p} = \frac{B_m}{B_p} = \frac{W_m}{W_p}$$

其中H、B、W分別代表建築物的高度、長度和寬度，下標p和m分別代表實體(Prototype)和模型(Model)，而 $L_r = H_m/H_p$ 可稱為模型的縮尺比。

建築物的幾何外形、相鄰地形、地物的配置皆可能會影響建築物周遭的風場，因此實體建築物周遭的植栽、圍籬或棚架，和建築物表面的凹凸狀況，譬如陽台、屋頂的突出物等，皆須按模型的縮尺比例，正確精準地製作，以確保模擬風場的正確性。

模型的縮尺比例不宜太大及太小，太大的模型需要大斷面之風洞，太小的模型則製作不易，建築物風洞試驗的縮尺比最好在1/200~1/600 [文獻15]。譬如建築物的實際高度 $H_p = 200$  m，寬度 $W_p = 50$  m，以1/400的比例縮尺製作模型，則模型的高度 $H_m = 0.5$  m，寬度 $W_m = 0.125$  m，為避免模型之阻塞比小於5%，風洞試驗段的斷面積必須大於 $1.25$  m<sup>2</sup>。

## 2. 建築物模型的高度必須與邊界層厚度成一定的比例

$$\left(\frac{H}{\delta}\right)_m = \left(\frac{H}{\delta}\right)_p$$

其中 $\delta$ 為邊界層的厚度，譬如大氣邊界層的厚度 $\delta_p = 400$  m，建築物的高度 $H_p = 200$  m，若以1/400的比例縮尺製作模型，則模型的高度

$H_m = 0.5 \text{ m}$ ，風洞中邊界層的厚度  $\delta_m = 1.0 \text{ m}$ 。

### 3. 建築物模型的高度必須與地表粗糙長度成一定的比例

$$\left(\frac{H}{z_o}\right)_m = \left(\frac{H}{z_o}\right)_p$$

其中  $z_o$  為地表粗糙長度，譬如市郊的地表粗糙長度  $z_{op} = 40 \text{ cm}$ ，建築物的高度  $H_p = 200 \text{ m}$ ，以1/400的比例縮尺製作模型，則風洞中的粗糙長度  $z_{om} = 1.0 \text{ mm}$ 。

### 4. 建築物模型的高度必須與紊流的長度尺度成一定的比例

$$\left(\frac{H}{L_t}\right)_m = \left(\frac{H}{L_t}\right)_p$$

其中  $L_t$  為紊流的積分尺度(Integral length scale)，邊界層流中的積分尺度約為  $L_t = 0.3 \delta$ 。

### 5. 模型的範圍

因建築物周遭的風場與建築物的幾何外形、相鄰地形、地物的配置皆有密切的關係[文獻5]。本研究依據風洞實驗結果建議：模型範圍以主建築物高度3~5倍半徑範圍內所有之建築物、街道、地形及地物皆須包括在內。且因為行人風場會受到實際高度高於0.5公尺植物的影響，故植栽計畫內所有預定種植的灌木與喬木亦需要以模型種植於正確的位置。

建築研究所之研究報告「*高層建築之風洞試驗及準則*」(1992)建議以建物斷面積之方根之8倍為範圍。舉例而言，一棟高100 m，寬度

50 m的建築物，迎風面積之方根之8倍為560 m，若縮尺比為1/200，則模型半徑為2.8 m，亦即風洞寬度至少需要5.6 m以上，較不合理。但若以建物高度3倍為半徑，若縮尺比為1/200，則模型半徑為1.5 m，風洞寬度僅需要3.0 m，較接近一般建築物試驗用風洞之尺寸。

## 6. 圓弧形建築物

圓形物體角隅渦流的分離點位置與物體表面粗糙度及雷諾數有密切的關係，平滑表面之分離點於物體前方發生，尾流區會較大；粗糙表面易發展成為紊流邊界層，當雷諾數大於一個臨界值時，分離現象於物體後方發生，尾流區較小。表面愈粗糙的物體，臨界雷諾數愈小。若建築物的整體或一部份為圓弧形設計，建築物模型的表面粗糙度必須遵守

$$\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)_m = \left(\frac{\varepsilon}{D}\right)_p$$

式中  $\varepsilon$  為物體表面粗糙長度，D為圓弧的直徑。

二、 運動相似性：要求風洞實驗之速度與實際流場成一定的比例。

### 1. 速度比例：

風洞實驗之風速  $U_m$  與現場風速  $U_p$  的關係為

$$\left(\frac{U}{U_\delta}\right)_p = \left(\frac{U}{U_\delta}\right)_m$$

式中 $U_\delta$ 為邊界層外之風速。環境風場之風洞實驗所採用之風速 $U_\delta$ 大約介於8 ~ 15 m/s之間。

## 2. 黏性次層

地表附近有黏性次層(viscous sublayer)

$$z = 10 \frac{\nu}{u_*}$$

式中 $u_*$ 為剪力速度。若在風洞實驗中，黏性次層的厚度大於行人風場之高度，則所量測得之地表風速因受到流體黏滯性的影響，便無法滿足紊流流場的相似性。譬如建築物的縮尺比例為1/500，行人風場的實際高度為1.5 m ~ 2.0 m，則風洞實驗需量測離地表3.0 m ~ 4.0 mm高度處之風速，若此高度小於黏性次層的厚度，則此處之風速無法正確地反應出現場的紊流流速。

三、動力相似性：要求風洞實驗之雷諾數、羅士比數、理察生數與實際流場相同。

### 1. 雷諾數相似

雷諾數(Reynolds no.)的定義為

$$Re = \frac{UL}{\nu}$$

式中 $L$ 為流場之特徵長度， $U$ 為流場之特徵速度， $\nu$ 為空氣之運動黏滯係數。雷諾數代表慣性力和黏滯力之比，雷諾數小時，黏滯力大於慣性力，流場中的擾動會因黏滯力而衰減，流速穩定，流況為層流；反

之，若雷諾數較大時，流場較不穩定，擾動容易增強，形成亂流。

大氣邊界層之特徵雷諾數高達 $10^7 \sim 10^8$ 以上，表示流況屬於亂流，且慣性力遠大於黏滯力。但要求風洞內之雷諾數與實際情況相同幾無可能，所幸紊流在高雷諾數具有雷諾數相似性之特徵，亦即當雷諾數超過某臨界值時，紊流結構之特徵不受雷諾數大小的影響。由實驗結果顯示，當雷諾數大於 $10^4$ 時，非流線形物體所受的阻力係數及紊流流場不再受雷諾數的影響[文獻15]。

一般在評估建築物周遭風場時，建築物實體的高度約為100 ~ 200公尺，如果模型之比例縮尺為1/200 ~ 1/500，風速的縮尺為1/2 ~ 1/3，亦即模型之高度約為0.3 m，風洞內風速約為10 m/s，則風洞內模型的雷諾數約為 $10^5$ ，超過臨界雷諾數 $10^4$ 。換句話說，當風洞內的特徵雷諾數超過臨界雷諾數，風洞內的風場應能合理地模擬實際建築物周遭之風場。

## 2. 羅士比數相似：

羅士比數(Rossby no.)的定義為

$$Ro = \frac{U}{\Omega L}$$

式中 $\Omega = 7.29 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 為地球自轉之角速度，L為水平距離。羅士比數Ro代表地球自轉之科氏力對氣流的影響。高層建築物所影響之風場環境約為高樓周遭L = 1000 m的範圍，若風速之數量級為10 m/s，羅士比數Ro為140。這表示環境風場的問題中，科氏力遠小於慣性力，科氏力的效應可予以忽略。



### 3. 理察生數相似：

理察生數(Richardson no.)的定義為

$$Ri = \frac{g\Delta\rho L_o}{\rho U_o^2}$$

式中 $\Delta\rho$ 為空氣的密度差異， $g$ 為重力加速度。理察生數 $Ri$ 代表空氣密度差異對大氣邊界層流的影響，理察生數愈大，浮力效應愈重要。因為環境風場所考量的是強風狀況下地形或建築結構物與氣流之交互作用，其理察生數 $Ri$ 趨近於零，屬於中性的大氣穩定狀態，故此類的風洞實驗並不需要特殊的加溫設備。

## 四、初始條件相似性：

模型實驗之初始條件的相似性要求風洞中迫近流場(approaching flow)與實際流況相似，且迫近流場之邊壁必須滿足完全粗糙(completely rough)的條件

$$\frac{u_* z_o}{\nu} \geq 25$$

其中 $u_*$ 為剪力速度， $z_o$ 為地表粗糙長度， $\nu$ 為空氣的運動黏滯係數。而流況相似又可分為平均風速相似與紊流流況相似，大氣邊界層流之平均風速剖面可用指數律或對數律來模擬，紊流流況相似則要求迫近流場的紊流速度、雷諾應力及紊流頻譜與實際流場相似。此外，風洞試驗段之壓力梯度應接近零。

為達到平均風速與紊流流況的近似大氣邊界層流，一般的風洞都在試驗段進口處設置阻牆(Barrier)或三角錐形(Spire)之渦流產生器及

試驗段地面設置適當的表面粗糙元(Roughness elements)，再加以足夠的試驗段長度，便可發展出一穩定、平衡的邊界層流所具有的平均風速剖面與紊流特性。阻牆、渦流產生器及粗糙元的配置可以試誤法反覆調整自到符合該地區之風場特性為止。

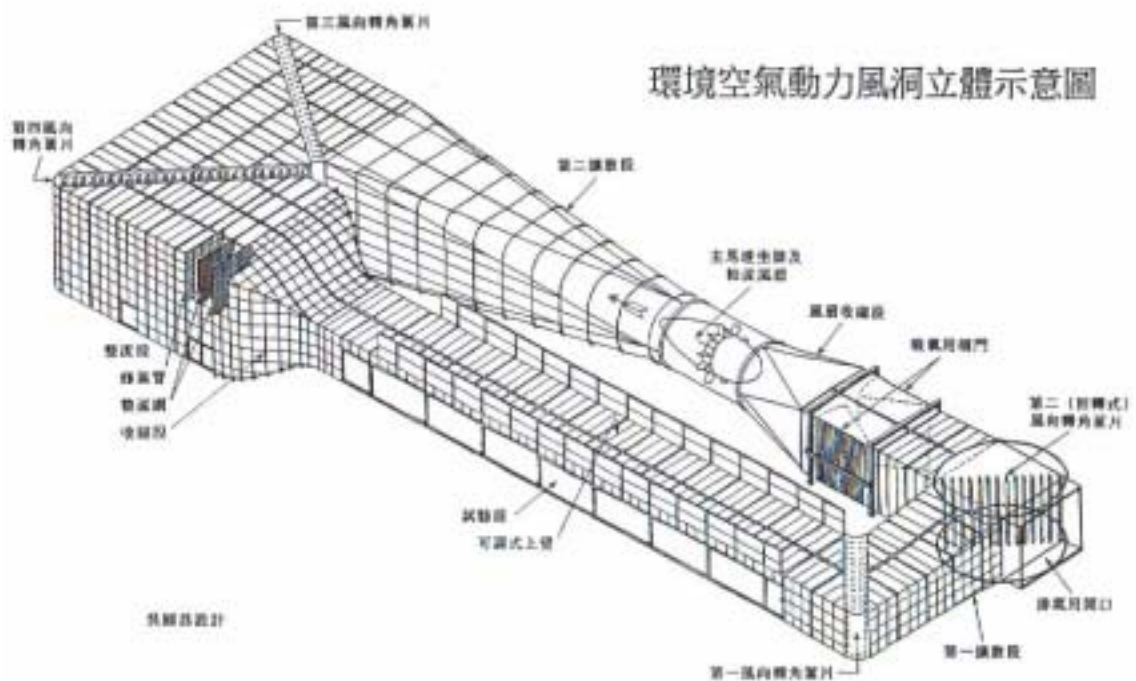


圖 5.1 閉路循環式風洞之立體構造圖

No. 說明	No. 說明
1. 保護網	7. 試驗轉盤
2. 蜂巢管	8. 可調式屋頂
3. 整流網	9. 安全網
4. 整流收縮段	10. 收縮段
5. 收縮段	11. 軸流風扇
6. 試驗段	12. 擴散管

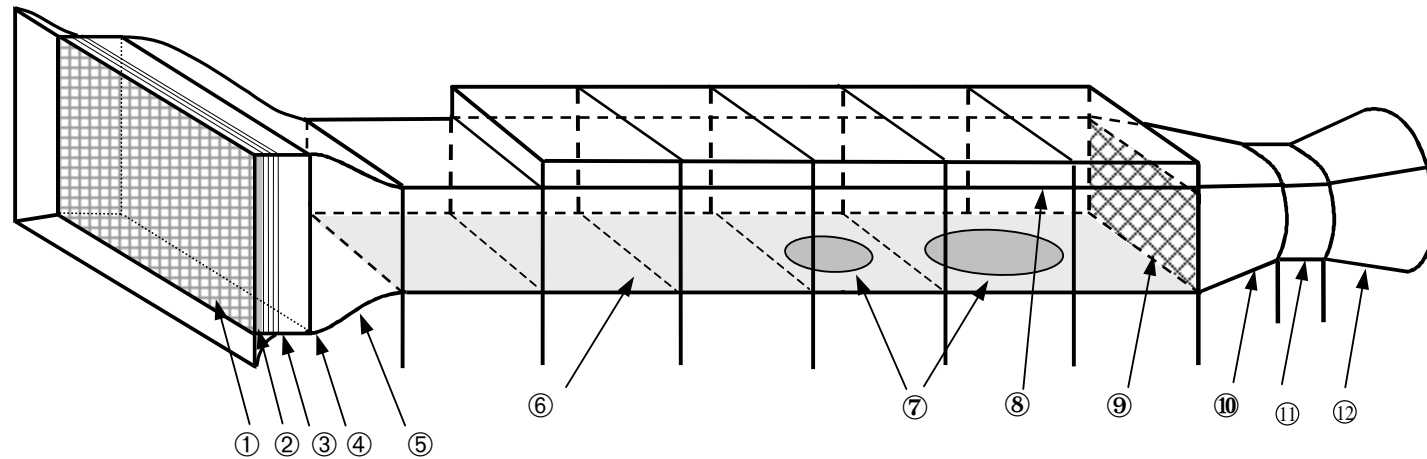
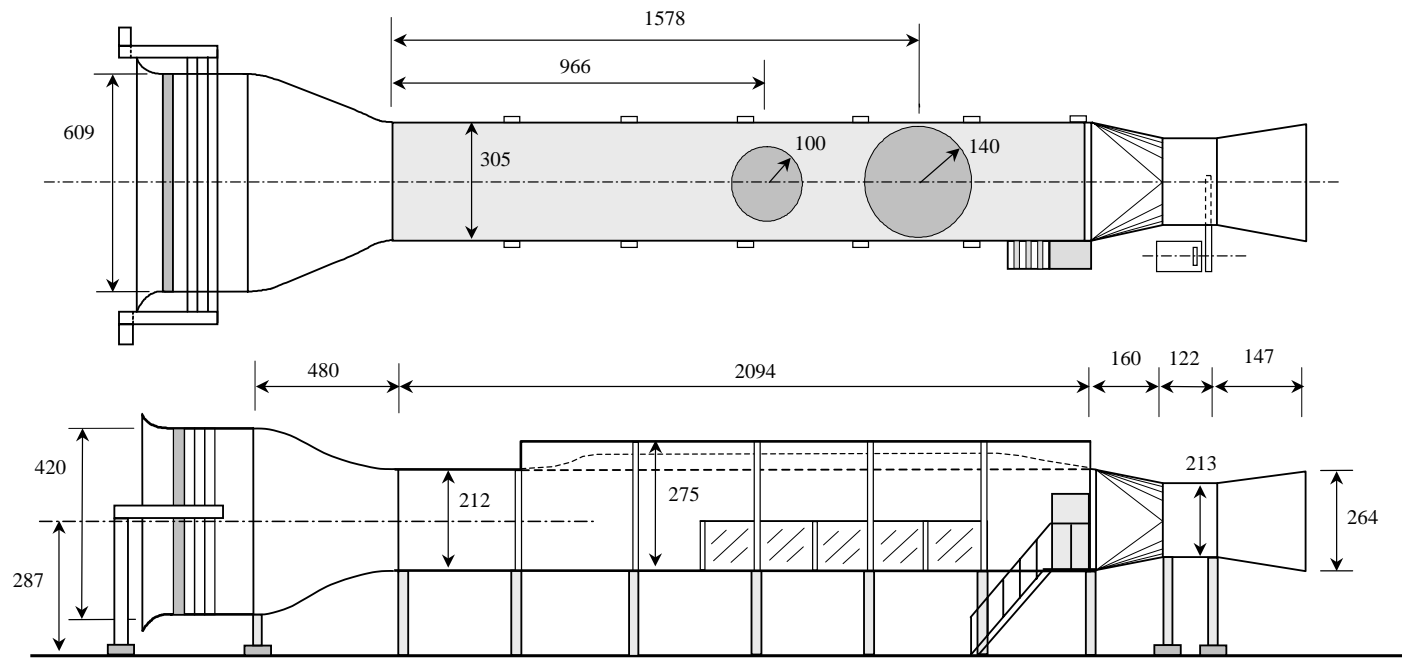


圖5.2 開放、吸入式風洞之立體構造圖



單位：cm

圖 5.3 中央大學大型風洞之上視圖及側視圖



圖 5.4 中央大學大型環境風洞之影像圖

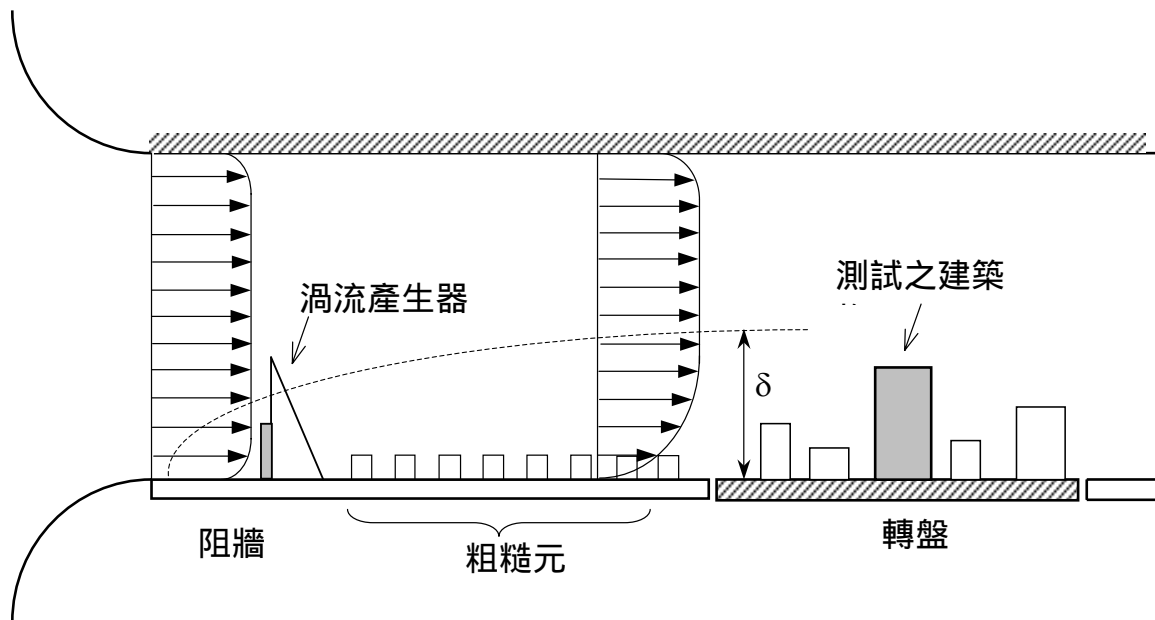


圖 5.5 風洞中邊界層流發展示意圖

### 第三節 量測方法

風洞中地表處風場量測方法包括有：(1)風速探針法；(2)紅外線顯像法；(3)風蝕法；(4)油膜法；(5)地表風速計。以下分述之：

#### (1) 風速探針法

風洞中常用之風速探針包括有皮托管(Pitot tube)與熱線流速儀(Thermal Anemometer)，皮托管乃利用壓力差異換算平均風速，但皮托管的缺點為無法量測逆向流與紊流流速。熱線流速儀可以用來量測紊流風場中紊流擾動速度，為使用於紊流速度量測最廣泛悠久之儀器。熱線流速儀之探針依其材料可分為熱絲(Hot wire)與熱膜(Hot film)探針，其原理乃利用電流通過金屬探針會導致探針發熱，而風速會降低探針之溫度，因而改變探針之電阻，電阻之改變可由惠斯敦電橋來量測。實驗前先找出風速與探針輸出電壓的校正關係，實驗中便可以電子儀器來量測與記錄紊流流速之變化。但其缺點為探針極為脆弱，且維修費用昂貴。

#### (2) 紅外線顯像法(Infrared Thermography)

紅外線顯像法如圖 5.6 所示，以熱水管加熱風洞地板，當風通過地面時會將部份的熱量帶走，風速愈大帶走的熱量愈多。因此可在風洞的頂部設置一紅外線照相機感應地表溫度之分佈，再換算成地表風速之分佈。其優點為可快速且全域地瞭解風速的分佈，但缺點為紅外線照相機價錢昂貴，且無法量測紊流流速。紅外線顯像法的實驗細節可參見 Wu & Stathopoulos (1997)。

#### (3)風蝕法(Wind Erosion Technique)

風蝕法在實驗進行之前，均勻地在模型四周撒上木屑或細砂，然後再逐次增加風速，因高速的氣流會將木屑吹散，而木屑匯集之處便為低風速區，如此便可判不同區域的風速強弱。且可在模型四周插上風標顯示風向之變化，如圖 5.7 所示，但風蝕法的缺點為無法量化高風速區之風速 (Livesey et al., 1990)。

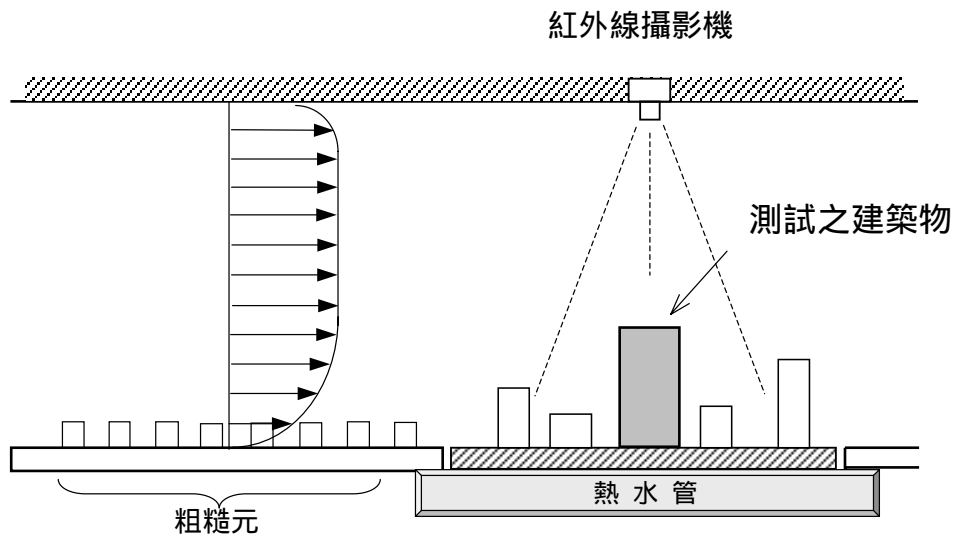
#### (4) 油膜法

油膜法類似風蝕法乃定性地觀察地表流場的方法，在建築物四周的地面上均勻地塗抹調配好之油料（二氧化鈦粉末 20 %、油酸 10 %、機油 20 %、煤油 50 %），在啟動風洞之後，強風會吹動地面上油膜，可藉油膜的流動觀察地表流線的變化，如圖 5.8 所示。

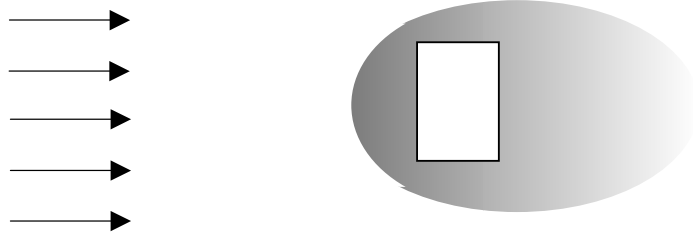
#### (5) 地表風速計

地表風速計為加拿大學者 Irwin (1981)所發明之地表風速的量測設備，故又稱為 Irwin Probe。如圖 5.8 所示，地表風速計利用凸出地面之靜壓管壓力與地面壓力之差異來換算風速。靜壓管凸出地面的高度為 0.5 cm，經縮尺比 1/300 ~ 1/400 放大之後約為行人風場之高度(1.5 m ~ 2.0 m)。地表風速計若配合電子式壓力掃描計可同時量測許多測點之風速。其優點為堅固耐用且造價低廉，故風洞實驗多採用地表風速計來量測地表風速。





側視圖



上視圖

圖 5.6 紅外線顯像法

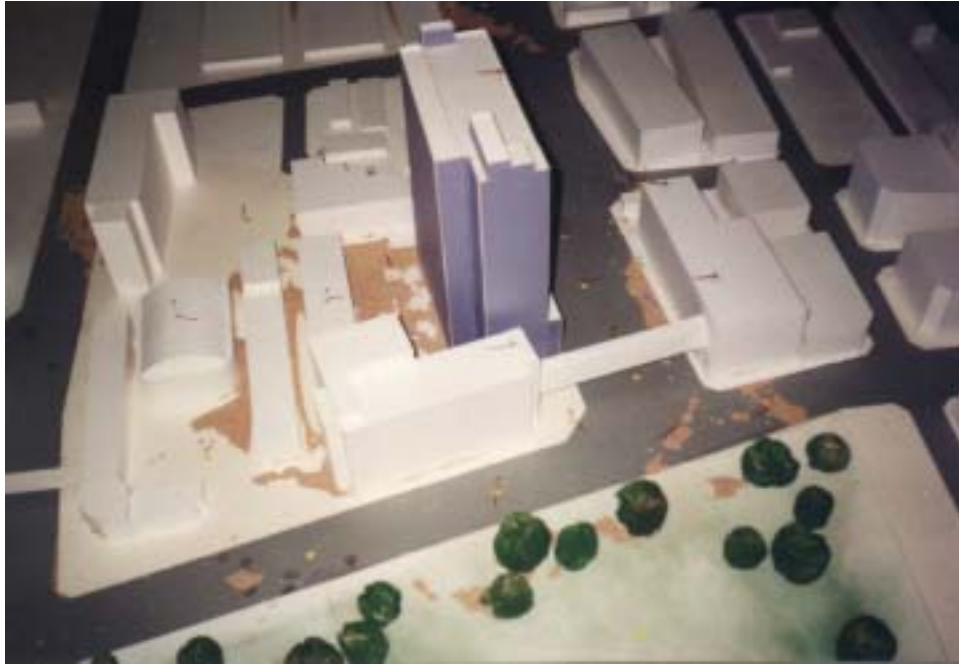


圖 5.7 風蝕法

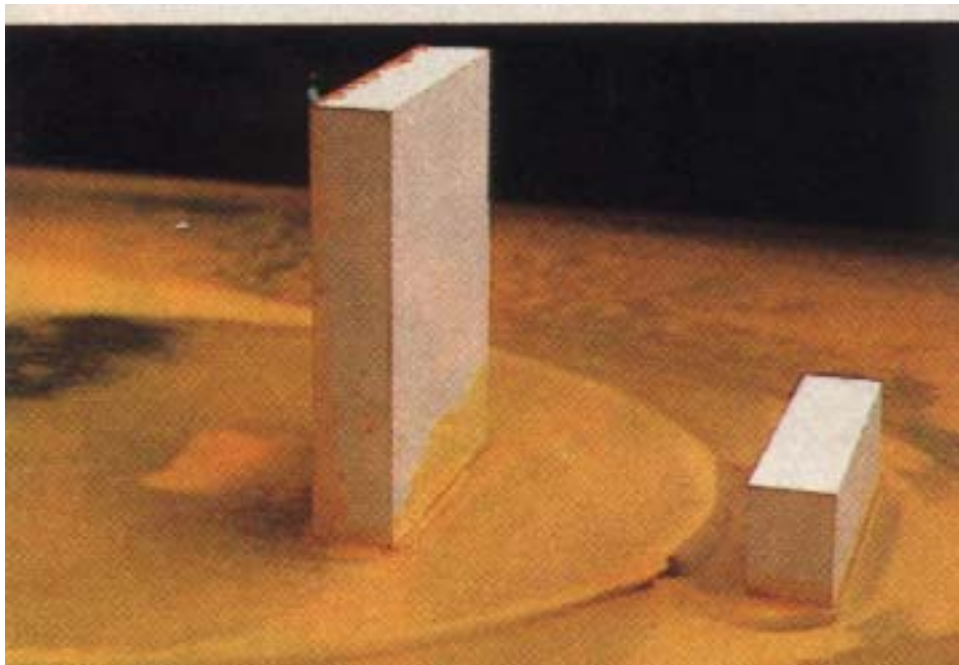


圖 5.8 油膜法

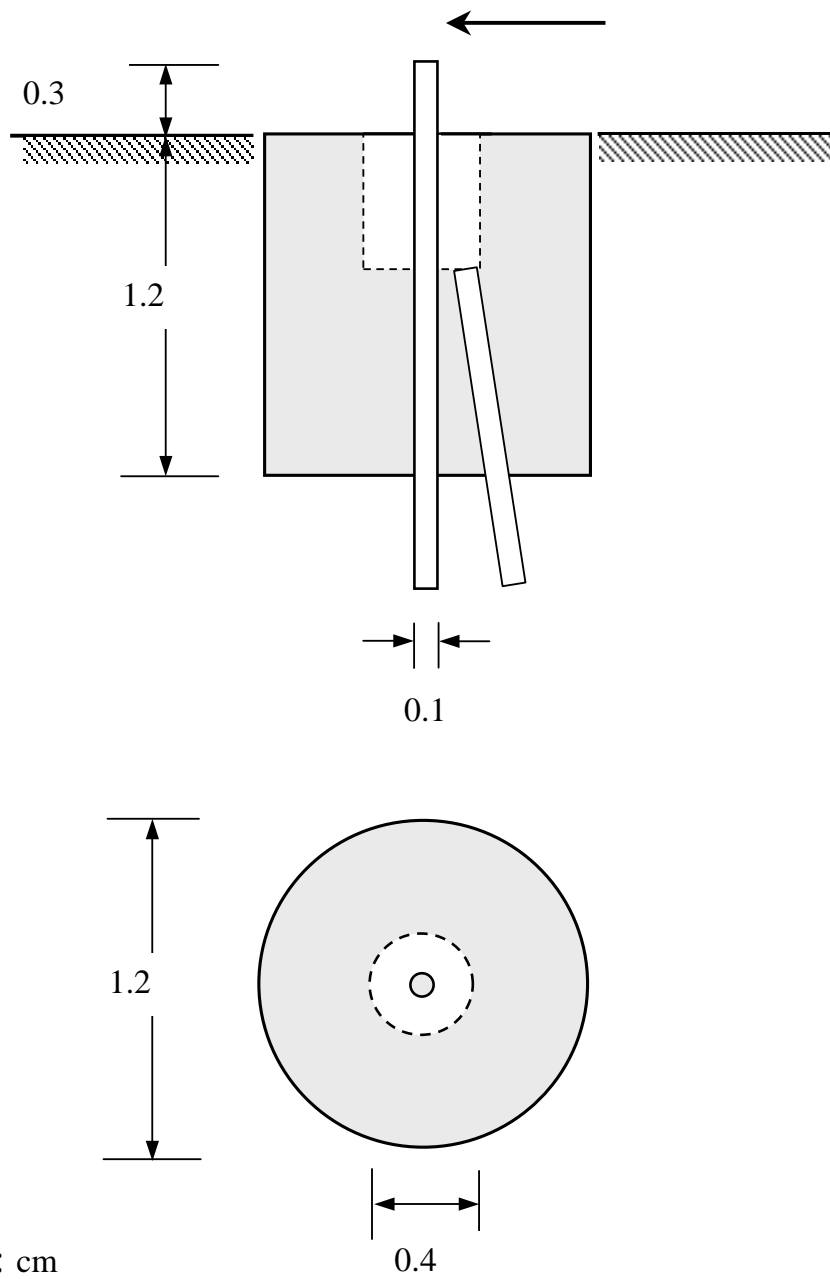


圖 5.9 地表風速計

## 第四節 實驗應注意事項

### 一、量測點的選取

環境風場受到影響的區域與建築物的高度、寬度、幾何形狀有關，大約為 3~5 倍建築物高度的半徑範圍。風洞實驗若不能全域地量測受影響區域內所有位置的風速，必須選擇重要的位置來量測風速。量測點應選擇在基地四周可能發生強風之處及行人常出沒的地方，可藉煙流觀察及學理來判斷。量測點數目視基地大小而定，大多介於 20 ~ 40 點。量測位置可分為近地面之測點與非近地之測點：

#### (1)近地面之測點：

量測點位於離地面 1.5 ~ 2.0 m 高處，主要考慮對地面行人的影響。

- a. 基地四周的人行道、建築物的出入口及停車場出入口。
- b. 主建築物的迎風面、背風面、角隅及特殊突出處。
- c. 基地附近的街道及窄巷，可能發生強風之處。
- d. 基地四周易受風害影響的區域，有老弱殘障人士出沒處，譬如學校、公園、露天座椅、公車站、醫院、療養院及幼兒遊戲設施等。

#### (2)非近地之測點：

- a. 主建築物的陽台、露台或其他設施的頂部。
- b. 主建築物透空或開口之處。
- c. 基地四周高層建築物的陽台、露台或其他設施之頂部。
- d. 主建築物周遭之木造建築物或大型看板等易受強風影響之構造物。

## 二、試驗風速的決定

試驗風速的取決於雷諾數必須

$$Re = \frac{U_o H}{\nu} > 10^4$$

其中 $U_o$ 為風洞中自由流之流速， $H$ 為主建築物的高度， $\nu$ 為空氣的運動黏滯係數。譬如風洞內自由流之流速 $U_o = 8.20 \text{ m/s}$ ，邊界層之厚度 $\delta = 2.0 \text{ m}$ ，因此風洞內邊界層流的特徵雷諾數為 $Re_\delta = U_o \delta / \nu = 1.0 \times 10^6$ 。若主建築物模型之高度 $H = 0.35 \text{ cm}$ ，建築物周遭流場之局部雷諾數為 $Re_H = U_o H / \nu = 1.8 \times 10^5$ ，皆必須超過臨界雷諾數 $10^4$ ，方能忠實地模擬出大氣之流況及建築物周遭的流場。

## 三、量測時間的選取

模型和現場時間之比例必須遵守

$$\left( \frac{H}{U \cdot t} \right)_m = \left( \frac{H}{U \cdot t} \right)_p$$

其中 $H$ 為建築物的高度， $t$ 為時間，下標 $p$ 和 $m$ 分別代表實體(Prototype)和模型(Model)。因此試驗時紊流速度量測時的取樣頻率

$$\frac{f_m}{f_p} = \frac{\frac{1}{t_m}}{\frac{1}{t_p}} = \frac{H_p}{H_m} \cdot \frac{U_m}{U_p}$$

量測儀器之取樣頻率則依儀器構造及性能而有所不同，因此在選擇量測儀器時必須注意是否能量測快速變化的紊流流速。

#### 四、其他應注意事項：

1. 風洞模型之縮尺比例應在  $1/200$  ~  $1/600$ ，太小的模型不易製作，且地表的黏性次層會影響到風洞實驗的正確性。
2. 風洞模型應包含以主建築物為圓心，3 倍主建築物高度為半徑範圍內所有的地形、地物及植物等。
3. 模型迎風面積與風洞斷面積的比值不得超過 5% ，以避免氣流加速現象的發生。若阻塞比大於 10% ，應做適當的修正。
4. 風洞中的迫近流必須滿足平均風速與紊流流況的相似。
5. 風洞實驗時，必須針對 16 個風向（北北東、東北、東北東、東、東南東、東南、南南東、南、南南西、西南、西南西、西、西北西、西北、北北西、北）分別進行實驗，以配合中央氣象局之氣象站的風向資料。
6. 風速量測儀器應可量測紊流及逆向流之流速。
7. 風洞實驗之結果必須進行誤差分析。

## 第六章 數值模擬

近年來高速電腦及數值模式有很大進步，一些邊界條件簡單的流場皆可用計算流體動力學(Computational Fluid Dynamics, CFD)的方式加以模擬。但因為建築物周遭的風場屬於三維、非穩態的紊流流場，且流場的邊界條件極為複雜，輸入邊界條件的工作十分繁複，又因為所需的計算量極大，即使現有的高速電腦仍然需要很長的計算時間。故目前的數值模式應用於實際建築物周遭環境風場的計算仍在試驗階段(Yuan and Soong, 1990)，以下僅介紹數值模式的理論依據及一些工程常用的數值模式。

### 第一節 控制方程式

依據流體力學的原理，風場的控制方程式為連續方程式與那維爾-史托克方程式(Navier-Stokes equation)：

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (6.1)$$

$$\frac{DU}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + 2\Omega V \sin \phi - 2\Omega W \cos \phi + \nu \nabla^2 U \quad (6.2)$$

$$\frac{DV}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} - 2\Omega U \sin \phi + \nu \nabla^2 V \quad (6.3)$$

$$\frac{DW}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} - \frac{\Delta \rho}{\rho} g + 2\Omega U \cos \phi + \nu \nabla^2 W \quad (6.4)$$

上式中 $U$ 、 $V$ 和 $W$ 分為縱向 $x$ 、側向 $y$ 及垂直 $z$ 方向的流速， $\nabla^2$ 為拉普拉斯運算元(Laplacian operator)

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

運算元

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + U \frac{\partial}{\partial x} + V \frac{\partial}{\partial y} + W \frac{\partial}{\partial z}$$

為實質導數， $P$ 為大氣壓力， $\nu$ 為空氣之運動黏滯係數， $\Delta\rho g/\rho$ 為空氣因密度差異所受到的浮力加速度， $g$ 為重力加速度。 $\Omega = 7.29 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 為地球自轉之角速度， $\phi$ 為流體所在之緯度。因為科式力與密度差異對環境風場之影響可予以忽略，故那維爾-史托克方程式可簡化為

$$\frac{DU}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \nabla^2 U \quad (6.5)$$

$$\frac{DV}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \nabla^2 V \quad (6.6)$$

$$\frac{DW}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \nabla^2 W \quad (6.7)$$

因為大氣邊界層流大多處於紊流狀態下，任何時間之瞬時速度可分為時間平均速度與擾動速度

$$U = \bar{U} + u'$$

$$V = \bar{V} + v'$$

$$W = \bar{W} + w'$$



式中“ $\bar{\quad}$ ”表示時間平均值， $\prime$  為偏離時間平均值的擾動值。根據此法可將(6.1) ~ (6.7)式修改為適用於紊流流場之雷諾平均方程式：

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{W}}{\partial z} = 0 \quad (6.8)$$

$$\frac{D\bar{U}}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{u'u'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial y} - \frac{\partial \overline{u'w'}}{\partial z} \quad (6.9)$$

$$\frac{D\bar{V}}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial y} - \frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{v'v'}}{\partial y} - \frac{\partial \overline{v'w'}}{\partial z} \quad (6.10)$$

$$\frac{D\bar{W}}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial z} - \frac{\partial \overline{u'w'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{v'w'}}{\partial y} - \frac{\partial \overline{w'w'}}{\partial z} \quad (6.11)$$

式(6.8) ~ (6.11)稱為時間平均紊流模式(Time Averaged Turbulence Model)，但未知數 $\bar{U}$ ， $\bar{V}$ ， $\bar{W}$ ， $\bar{p}$ ， $\overline{u'v'}$ ， $\overline{u'w'}$ ， $\overline{v'w'}$ ， $\overline{u'^2}$ ， $\overline{v'^2}$ ， $\overline{w'^2}$ 的數目較控制方程式的數目多，因此無法由上式直接求解整個速度場與濃度場，故必須建構計算紊流通量的模式，此問題稱之為紊流的閉合問題(Closure Problem)。式(6.9) ~ (6.11)中 $\overline{u'v'}$ ， $\overline{u'w'}$ ， $\overline{v'w'}$ ， $\overline{u'^2}$ ， $\overline{v'^2}$ ， $\overline{w'^2}$ 為紊流動量通量，紊流動量通量與流體性質無關，與紊流流況及流場之邊界條件息息相關，且會隨時間、位置而變化。工程應用上常以特定的紊流模式來計算流場之紊流通量。

## 第二節 紊流模式

由於受限於電腦的容量及速度，現今的電腦仍無法直接計算紊流流場中所有大大小小的漩渦，故大多數的紊流計算模式係將流場中漩渦所造成的動量與質量通量，以特定之等效黏滯係數(Effective Viscosity)表示，再據以求取流場之時間平均值。布西內斯克(Boussinesq, 1877)建議可令紊流通量與速度梯度成正比

$$-\overline{u'_i u'_j} = \nu_{ij} \frac{d\overline{U}_i}{dx_j}$$

其中  $\nu_{ij}$  (或  $\nu_T$ ) 稱為紊流黏滯係數(Turbulent viscosity)或渦動黏滯係數(Eddy viscosity)，因次為  $[L^2/T]$ ，下標  $i, j = 1, 2, 3$  代表速度的方向。故動量方程式可表示為

$$\frac{D}{Dt} \overline{U}_i = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \overline{P}}{\partial x_i} - \delta_{i3} g + \nu \frac{\partial^2 \overline{U}_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \nu_{ij} \frac{\partial \overline{U}_i}{\partial x_j} \right)$$

一般而言，紊流傳輸的速率遠大於層流中的傳輸速率 ( $\nu_T \gg \nu$ )，因此上式可簡化為

$$\frac{D}{Dt} \overline{U}_i = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \overline{P}}{\partial x_i} - \delta_{i3} g + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \nu_{ij} \frac{\partial \overline{U}_i}{\partial x_j} \right)$$

工程計算中常用的紊流模式包括有混合長度模式(Mixing length model)、 $k - \varepsilon$  模式、雷諾應力模式(Reynolds stress model)及大渦流模式(Large Eddy Simulation)。以下分述之：

### (1) 混合長度模式

1925 年，普郎特(Prandtl)建議紊流流場中，動量的傳輸皆是由渦流所造成的，故紊流黏滯係數

$$\nu_T \sim u' \times \ell$$

$u'$  為渦流的速度尺度， $\ell$  為渦流的長度尺度。而渦流速度  $u'$  與速度梯度有關

$$u' = \ell \left| \frac{dU}{dz} \right|$$

$\ell$  又可稱為混合長度(mixing length)，紊流中水平動量（剪應力）的傳輸主要是靠紊流黏滯係數，故

$$\tau = -\rho \overline{u'w'} = \rho \nu_T \frac{dU}{dz}$$

此模式符合物理概念，且因次相符，但缺點是混合長度不易決定。

## (2) $k - \varepsilon$ 模式

紊流場中，傳輸速率應與紊流強度成正比，而紊流強度為紊流動能  $k$  及動能消散率  $\varepsilon$  的函數，故紊流黏滯係數可定為

$$\nu_T = c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

其中  $c_\mu$  為模式常數，亦即紊流動能愈大，動能消散率愈小，紊流強度愈大，紊流黏滯係數愈大。

$$k = \frac{1}{2} \left( \overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2} \right)$$

若紊流流場為等向性紊流

$$k = \frac{3}{2} \overline{u'^2} \qquad \varepsilon = 15 \nu \left( \frac{dU}{dx} \right)^2$$

連續、動量方程式加上紊流動能及動能消散率的控制方程式

$$\frac{\partial \overline{U}_i}{\partial x_i} = 0$$

$$\frac{D\overline{U}_i}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \nu_T \nabla^2 \overline{U}_i$$

$$\frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\nu_t}{c_\kappa} \cdot \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + \nu_T \left( \frac{\partial \overline{U}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{U}_j}{\partial x_i} \right) \cdot \frac{\partial \overline{U}_i}{\partial x_j} - \varepsilon$$

$$\frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\nu_t}{c_\varepsilon} \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + c_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} \nu_T \left( \frac{\partial \overline{U}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{U}_j}{\partial x_i} \right) \cdot \frac{\partial \overline{U}_i}{\partial x_j} - c_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k}$$

三維流場中此模式有 6 個控制方程式，6 個未知數（3 個  $\overline{U}_i$ ， $\overline{P}$ ， $k$ ， $\varepsilon$ ）。

模式中常數  $c_\mu = 0.09$ ， $c_{1\varepsilon} = 1.44$ ， $c_{2\varepsilon} = 1.92$ ， $c_\kappa = 1.0$ ， $c_\varepsilon = 1.3$  皆是模式計算結果與實驗數據驗證而得。

$k - \varepsilon$  模式可用於計算非均質性紊流，但其缺點為不適用於非等向性紊流。譬如十分靠近邊壁處，垂直於邊壁之紊流速度受到抑制而變小，水平方向上之紊流速度較不受影響，屬於非等向性紊流。故  $k - \varepsilon$  模式在計算邊界層流時，邊壁處多使用邊牆函數(wall function)，此種方式稱之為兩層模式(Two layer model)。 $k - \varepsilon$  模式的另一個缺點為動能消散率 $\varepsilon$ 與大尺度渦流有關，而與最小渦流無關，這與紊流能量消散之理論不符。

### (3) 渦流黏滯係數模式

紊流場中，流速與渦流黏滯係數會互相影響，因此可將渦流黏滯係數視為可以在空間中傳遞、變化的物理量，故流場的控制方程式為

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho_r} \frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \nu_T \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right]$$

$$\frac{\partial \nu_T}{\partial t} + U_j \frac{\partial \nu_T}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \nu_T \frac{\partial \nu_T}{\partial x_j} \right] + P_v - c_2 \nu_T |s| - c_4 \frac{\nu_T^2}{L_v^2}$$

其中 $|s|$ 為速度梯度

$$|s|^2 = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial U_j}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) \left( \frac{\partial U_j}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right)$$

其中 $L_p^2 \nabla^2 P_v - P_v = c_3 |\nabla \nu_T|^2 - |s| \nu_T$

$$L_p^2 = c_p^2 \min \left[ L_v^2, \max(\nu_t, c_1^2 \nu) / |s| \right]$$

$L_p$ 為與壓力相關之長度尺度，其中 $L_v$ 為紊流積分長度尺度

$$L_v^2 = \frac{|s|^2}{|\nabla s|^2} + c_m \frac{|\nabla \nu_t|^2}{|s|^2}$$

模式係數 $c_2 = 0.85$ ， $c_3 = 1.73$ ， $c_4 = 0.2$ ， $c_\ell = 3.3$ ， $c_p = 1.2$ ， $c_m = 2.0$ ， $\kappa = 0.40$  (von Karman constant)。Durbin et al. (1994)使用這個模式計算二維渠道流和邊界層流，Chu and Soong (1996) 修改這個模式計算層變流，並與實驗結果比較，皆有很好的結果。

#### (4) 雷諾應力模式(Reynolds stress model)

將雷諾分離法推展到高階項，可得

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_i} &= 0 \\ \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial t} + \bar{U}_j \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\overline{u'_i u'_j}) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 \bar{U}_i}{\partial x_j \partial x_j} \\ \frac{D}{D} \overline{u'_i u'_j} &= -\frac{\partial}{\partial x_k} (\overline{u'_k u'_i u'_j}) - \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial}{\partial x_i} \overline{u'_j p'} + \frac{\partial}{\partial x_j} \overline{u'_i p'} \right) \\ &\quad - \overline{u'_i u'_k} \frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_k} - \overline{u'_j u'_k} \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_k} - 2\nu \frac{\partial u'_j}{\partial x_k} \frac{\partial u'_i}{\partial x_k} + \frac{p'}{\rho} \left( \frac{\partial u'_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u'_j}{\partial x_i} \right) \end{aligned}$$

三維流場中此模式有 10 個控制方程式，10 個未知數( 3 個  $\bar{U}_i$ ，1 個  $\bar{P}$ ，6 個  $\overline{u'_i u'_j}$ )，可計算非均質性、非等向性紊流場，特別是雷諾應力及紊流動能的生成、擴散和消散。但此模式的缺點是過於複雜，且必須建構計算高階項  $(\overline{u'_k u'_i u'_j})$ 、 $(\overline{u'_j p'})$ ， $(\overline{u'_i p'})$  的模式，模式中有許多模式常數亦需實驗資料予以驗證。

#### (5) 大渦流模式(Large Eddy Simulation)

大渦流模擬(LES)係介於直接數值模擬(DNS)與時間平均化紊流模式之間，將小於網格尺寸之旋渦或紊流以次網格紊流模式表示之，以直接解析流場中較大的漩渦。氣象學家運用這種方法進行大氣的模擬，已有多歷史。大渦流模式中的剪應力項  $\tau_{ij}$  應包含黏性剪應力  $(\tau_{ij})_l$  及紊流剪應力

$(\tau_{ij})_t$ ：

$$\tau_{ij} = (\tau_{ij})_l + (\tau_{ij})_t$$

在黏性剪應力方面

$$\tau_{xx} = -p + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x}$$

$$\tau_{yy} = -p + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y}$$

$$\tau_{xy} = \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)$$

至於在紊流剪應力處理上，可採用次網格紊流模式(Subgrid scale model)，亦即，較網格為小的漩渦以簡化模型代表，僅計算較時間平均流場和大漩渦所造成的擾動流速。紊流剪應力可以表示為：

$$(\tau_{ij})_t = \frac{1}{3} \rho \delta_{ij} \overline{u'_k u'_k} - \overline{\rho u'_i u'_j} = \rho v_t \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right)$$

其中  $\delta_{ij}$  為 Kronecker delta 運算子，當  $i = j$  時， $\delta_{ij} = 1$ ，如果  $i \neq j$  時， $\delta_{ij} = 0$ ；“ $\bar{\quad}$ ”表示控制體積內的平均值， $\overline{u'_i u'_j}$  為紊流剪應力分量， $v_t$  為次網格的紊流黏滯係數，定義為

$$v_t = (C \nabla_s)^2 (2S_{ij} S_{ij})^{1/2}$$

而式中的  $\nabla_s$  是能直接計算之最小漩渦尺寸， $S_{ij}$  是剪應變率：

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$

式中  $C$  為次網格模式常數，一般介於 0.1 0.5 之間。大渦流模式在邊壁

處亦需使用邊牆函數，Van Driest (1956)建議

$$C = C_s [1 - \exp(-z^+ / 26)]$$

其中  $z^+ = zu_* / \nu$ ； $z$  為網格中心至網格邊牆之距離； $u_*$  是剪力速度， $C$  為待定之模式參數。

大渦流模擬可用於預測大部份工程問題中所遇到的流場，而且計算結果較不受次網格模式之選取，使得其可信度及泛用性皆大幅提升。大渦流模擬流體動力計算之研究在世界上方興未艾並廣受注目，在可見的未來將成為主流。

### 第三節 邊界條件

上述的模式都需將流場以格網 (grid) 切割，配合正確的邊界條件，以數值方法(譬如有限差分、有限元素或有限容積法)，求取連續方程式及動量方程式的數值解，如此便可預測流場中任意一位置的時間平均流速。但若使用不正確的紊流模式，所預測之流場可能會有很大的誤差。故在使用紊流模式預測建築物的環境風場之前，必須以三維流場的實驗數據來驗證模式的正確性。

數值模式的邊界條件可分為：

(1) 上游邊界條件(Upstream boundary)：

在主建築物上游 5 倍建築物高度處之迫近流必須滿足平均風速與紊流流況相似於現場流況的條件。



(2) 固體邊界條件(Solid boundary)：

$$u = v = w = 0$$

在地面、建築物表面等邊界處必須滿足不滑動(No slip)及無流體穿透的條件。

(3) 滑動邊界條件(Full slip)：

$$\frac{\partial u}{\partial z} = v = w = 0$$

計算領域的兩側邊界及上邊界必須滿足垂向速度梯度為零(速度不再改變)，且側向及垂向速度為零的條件。

(4) 紐曼邊界條件(Neumann boundary)：

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial w}{\partial x} = 0$$

在計算領域的下游邊界必須滿足水平向速度梯度為零(速度不再改變)的條件。一般而言，在建築物下游 10 倍建築物高度處方滿足此條件。

因建築物周遭的風場與建築物的幾何形狀、相鄰地形、地物的配置皆有密切的關係，故必須將需評估之主建築物，及周遭 3 倍建築物高度為半徑範圍內所有的地形、地物格網化(discretized)後再輸入給數值模式，如圖 6.1 所示。但輸入邊界條件的工作十分繁複，且因為行人風場會受到植栽的影響，故開發計畫中所有預定種植的灌木與喬木亦需要以模型放置於正確的位置。但植物的外形、透風性極難以數值模式的邊界條件來表示。

若針對一個建築物，以三維的紊流模式來預測建築物周遭的風場，

所使用的模式參數、雷諾數、邊界條件及計算格網的大小等條件皆可能會影響計算之結果，因此必須對計算時所採用的計算方法與條件有深入的探討，建立正確客觀的風場預測。以下為數值模擬時應注意事項：

1. 因為建築物周遭的流場為三維、非穩態的紊流，所使用的數值模式應可計算三維、非穩態的紊流流場。
2. 所使用的數值模式應先與風洞實驗的結果比對以驗證模式的正確性，數值模擬之結果誤差範圍必須在 5% 以內。
3. 數值模式計算範圍的高度需達邊界層厚度（梯度高度），計算範圍的上游距離主建築物應至少 5 倍主建築物的高度，計算範圍的下游離主建築物應至少 10 倍主建築物的高度，以確保計算結果不受計算範圍的影響。
4. 主建築物周遭 3 倍高度半徑範圍內所有的地形、地物及植物皆需以邊界條件輸入模式中。
5. 數值模式所使用的格網應能計算離地面 1.5 ~ 2.0 m 高度之風速，且必須對不同的計算格網進行測試，直至不同的計算格網結果之差異在 5% 以內。
6. 數值模式的迫近流必須滿足平均風速與紊流流況的相似。
7. 數值模式的雷諾數  $Re = U_0 H / \nu > 10^4$ ，其中  $U_0$  為風洞中自由流之流速， $H$  為主建築物的高度， $\nu$  為空氣的運動黏滯係數。
8. 數值模擬時，必須針對 16 個風向（北北東、東北、東北東、東...）分別進行模擬，以配合中央氣象局之氣象站的風向資料。

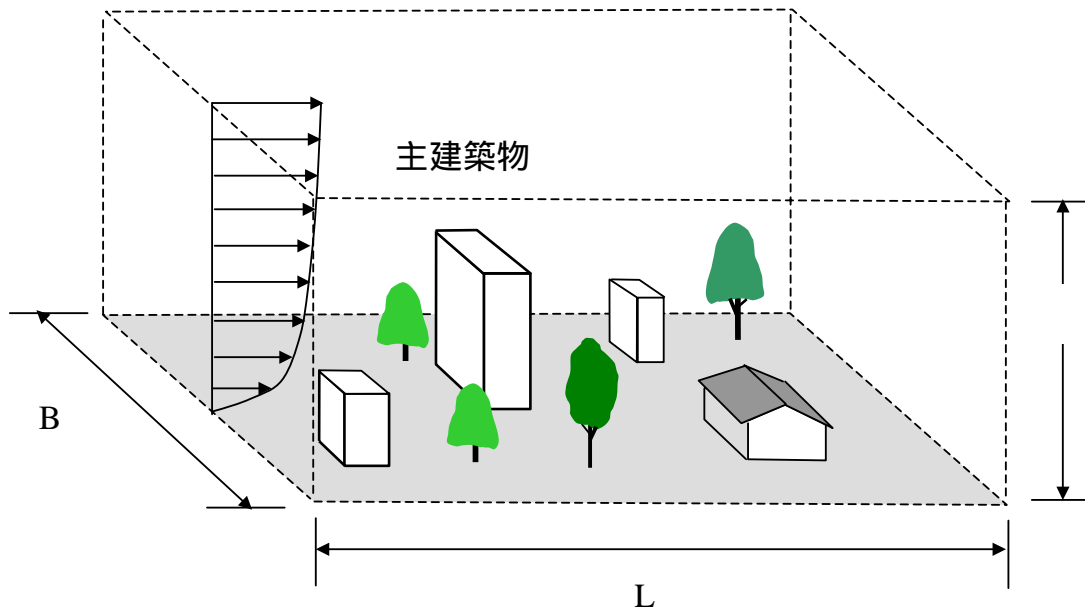


圖 6.1 計算範圍之示意圖

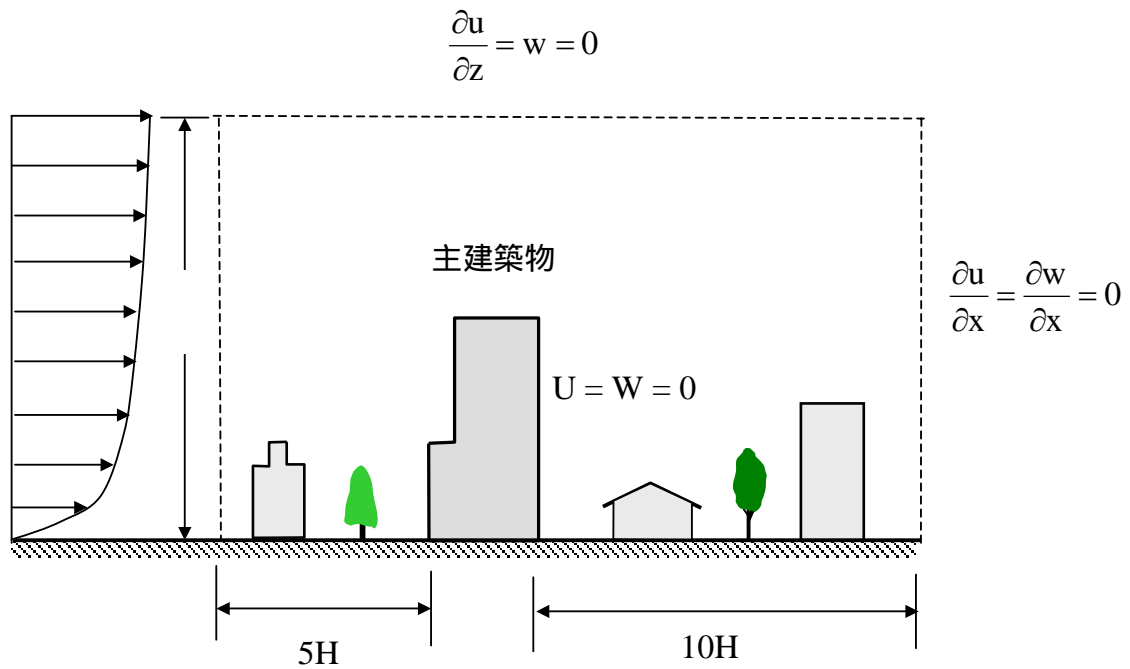


圖 6.2 邊界條件之示意圖

## 第七章 風速機率

環境風場評估時，必須配合當地的氣象資料，才能預測建築物興建之後的風場，但所使用之風速、風向資料量的多寡及何種風速機率函數可能皆會影響到評估之結果，因此必須訂定一個適用於風場評估之風速機率函數。

### 第一節 機率函數

風速之或然率分佈情形，一般常使用型 I 極值分佈、型 II 極值分佈、韋伯(Weibull)分佈、萊利(Rayleigh)分佈來描述。以下分述之：

(1) 型 I 極值分佈(Type I Extreme Value Distribution)：

型 I 極值分佈又稱為甘保(Gumbel)分佈，其機率密度函數 (P.D.F) 為

$$f(U) = a \exp\{-a(U - b) - \exp[-a(U - b)]\}$$

累積機率函數 (C.D.F) 為

$$F(U) = \exp\{-\exp[-a(U - b)]\}$$

式中  $U$  為風速資料， $a$  和  $b$  為機率函數之參數，其值與資料的特性有關。資料  $U$  的平均  $\bar{U}$  及標準差  $\sigma$  便與  $a$ 、 $b$  有關

$$\bar{U} = \frac{0.577}{a} + b$$

$$\sigma^2 = \frac{1.645}{a^2}$$

(2) 型 II 極值分佈(Type II Extreme Value Distribution) :

機率密度函數為

$$f(U) = \left(\frac{a}{b}\right) \left(\frac{b}{U}\right)^{a+1} \exp\left[-\left(\frac{b}{U}\right)^a\right]$$

累積機率函數 :

$$F(U) = \exp\left[-\left(\frac{b}{U}\right)^a\right]$$

(3) 韋伯分佈(Weibull Distribution) :

機率密度函數 :

$$f(U) = \left(\frac{a}{b}\right) \left(\frac{U}{b}\right)^{a-1} \exp\left[-\left(\frac{U}{b}\right)^a\right]$$

累積機率函數 :

$$F(U) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{U}{b}\right)^a\right]$$

機率參數  $a$ 、 $b$  與資料的平均  $\bar{U}$  及標準差  $\sigma$  有關

$$\bar{U} = b \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{a}\right)$$

$$\sigma^2 = b^2 \cdot \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{a}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{a}\right) \right]$$

式中  $\Gamma$  為加瑪函數，韋伯機率函數常用於風力發電計算之用。

(4) 萊利分佈(Rayleigh Distribution)：

其機率密度函數為：

$$f(U) = \left(\frac{2U}{b^2}\right) \exp\left[-\left(\frac{U}{b}\right)^2\right]$$

累積機率函數：

$$F(U) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{U}{b}\right)^2\right]$$

其中  $b = \frac{2\bar{U}}{\sqrt{\pi}}$ ，萊利機率函數的優點為模式參數只有一個。

## 第二節 台灣地區的風速資料

中央氣象局在台灣地區設有26個地面氣象測站，有長時間完整的逐時風速、風向資料記錄，各測站資料如表7.1所示，各測站的位置標示於圖7.1。各測站的風速計高度皆不相同，可利用指數律

$$\frac{U(z)}{U_{\delta}} = \left(\frac{z}{\delta}\right)^{\alpha}$$

將氣象局的風速換算成距離地表1.5 m高度處之風速。

利用中央氣象局的風速、風向資料進行分析，但因各測站設立的年份不一，本研究分析的風速資料為1960年至1999年的風場資料。中央氣象局的逐時風速資料為各小時的最後10分鐘之平均風速，風向的劃分則

分為十六個方位(北北東、東北、東北東、東... )，如圖7.2所示。經統計分析可求得各風向、風速的發生機率。

本研究中先以台北市為例，將台北市1960年至1999年的各風向之風速資料分別以型極值分佈、型極值分佈、韋伯分佈、萊利分佈進行分析。圖7.3為風向為東風的狀況下，各級風速的發生機率與上述四種機率函數的比較。表7.2為台北市各風向機率函數中的參數值，參數值可以最大概似法(Maximum Likelihood Method)或將機率函數線性化之後再以最小平方法(Least Square Method)求取，表7.2之參數值皆採用最小平方法求得。

計算機率函數所使用之風速資料量的多寡會影響到機率函數之參數值，風速資料不應只取過去一年或數年做為計算基準，資料的樣本空間太小時，所得的統計參數可能不具代表性，依據本研究之結果，建議風速資料至少須有20年之逐時的風速、風向記錄。

為了檢定實際觀測值之機率分佈與理論機率函數之間的密合程度，本研究採用K-S (Kolmogorov-Smirnov) 檢定來探討上述四種機率分佈的密合程度，以決定最佳之機率函數。K-S檢定是比較檢定所得的累積機率與所假設的理論累積分佈函數，首先將樣本數為n的資料由小至大排列為 $x_1, x_2, \dots, x_n$ ，可由樣本值得到階梯式的累積機率曲線：

$$S_n(x_k) = \frac{k}{n}$$

再由階梯式累積機率曲線 $S_n(x_k)$ 與理論累積機率密度函數 $F(x)$ 所產生的最大誤差，來檢定理論模式與觀測資料間的差異情況，假設所產生的最大

誤差為  $D_n$  :

$$D_n = \max |F(x) - S_n(x)|$$

而 K-S 檢定就是要比較在某一顯著水準 (Significance level) 之下, 由上式所得的最大觀測誤差  $D_n$  與臨界值  $D_n^\alpha$ , 其定義為:

$$P(D_n \leq D_n^\alpha) = 1 - \alpha$$

其中各種不同的  $n$  值, 在不同的  $\alpha$  值下之  $D_n^\alpha$  值, 可查表 7.3。

如果最大觀測誤差  $D_n$  小於臨界值  $D_n^\alpha$ , 則在有效水準  $\alpha$  下, 接受所假設的機率分佈型式; 反之, 所假設之機率分佈型式不符合實測值。表 7.4 為各機率函數之  $D_n$  值, 由此表可看出在顯著水準  $\alpha = 5\%$  與  $\alpha = 1\%$  的情況下, 韋伯機率函數之  $D_n$  值最小, 亦即韋伯機率函數最適於描述台北市各風向的風速機率分佈。在前人的研究中, 亦顯示韋伯機率函數可用於風力發電計算之用。這是因為環境風場如同風力發電, 不能只計算強風發生之機率, 亦必須考量日常狀況時, 低風速發生之機率。

因此本研究建議將風速、風向發生機率以韋伯分佈來描述

$$P(> U) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{U}{U_i} \right)^{a_i} \right] \quad i = 1, 2, \dots, 16$$

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  $22.5^\circ$ )。本研究選取中央氣象局的 26 個地面氣象測站中有可能興建高層建築物的 15 個測站進行風速資料分析, 表 7.5 - 7.19 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  $0.3 \text{ m/s}$ ,



風標不動的狀況。如基地附近有機場對該地風速、風向有長時間的計錄，亦可以相同的方法進行機率分析。

表7.1 中央氣象局所屬地面氣象站

測 站	站 號	創立年份	風速計高度(m)	東 經	北 緯
台北	46692	1896	33.0	121°30' 21"	25° 02'21"
竹子湖	46693	1937	11.03	121° 32'11"	25° 09'54"
鞍部	46691	1937	7.40	121° 31'13"	25° 11'11"
淡水	46690	1942	12.20	121° 26'24"	25° 09'56"
基隆	46694	1946	34.60	121° 43'56"	25° 08'05"
新竹	46757	1938	13.20	120° 58'11"	24° 48'08"
台中	46749	1896	17.10	120° 40'33"	24° 08'51"
梧棲	46777	1976	33.20	120° 30'54"	24° 15'31"
日月潭	46765	1941	8.00	120° 53'60"	23° 52'59"
嘉義	46748	1968	14.50	120° 25'28"	23° 29'52"
阿里山	46753	1933	15.10	120° 48'18"	23° 30'37"
玉山	46755	1943	9.20	120° 57'06"	23° 29'22"
台南	46741	1897	36.60	120° 11'49"	22° 59'43"
高雄	46744	1931	14.00	120° 18'29"	22° 34'04"
恆春	46759	1896	14.30	120° 44'17"	22° 00'20"
宜蘭	46708	1935	14.80	121° 44'53"	24° 45'56"
蘇澳	46706	1981	34.00	121° 51'52"	24° 36'06"
花蓮	46699	1910	10.00	121° 36'18"	23° 58'37"
台東	46766	1901	11.40	121° 08'48"	22° 45'15"
成功	46761	1940	12.80	121° 21'55"	23° 05'57"
大武	46754	1940	12.70	120° 53'45"	22° 21'28"
蘭嶼	46762	1941	12.50	121° 33'02"	22° 02'19"
澎湖	46735	1896	14.60	119° 33'19"	23° 34'02"
彭佳嶼	46695	1909	7.20	122° 04'17"	25° 37'46"
東吉島	46730	1962	8.80	119° 39'35"	23° 15'32"

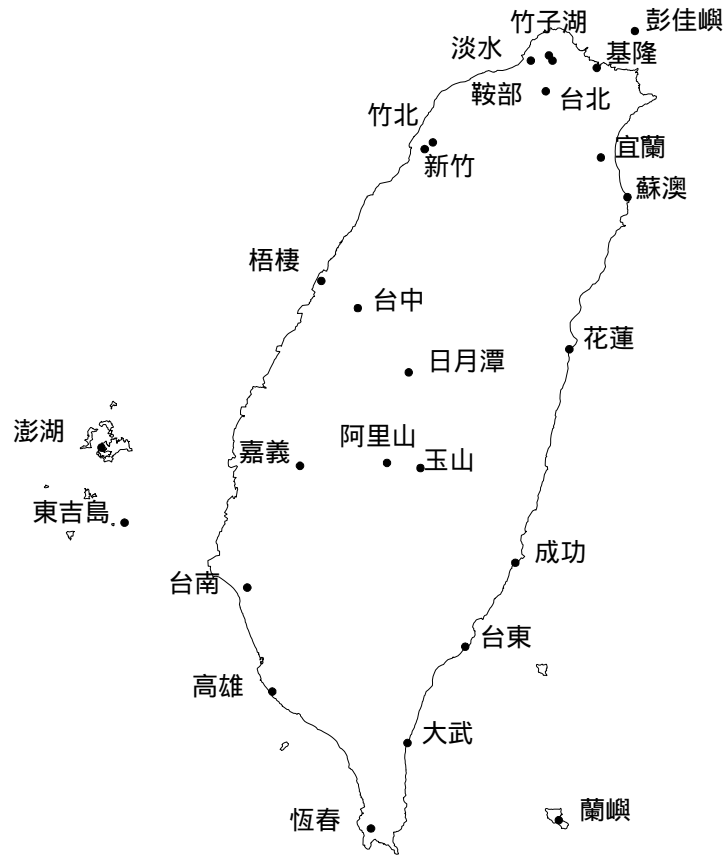


圖 7.1 中央氣象局風速測站位置圖

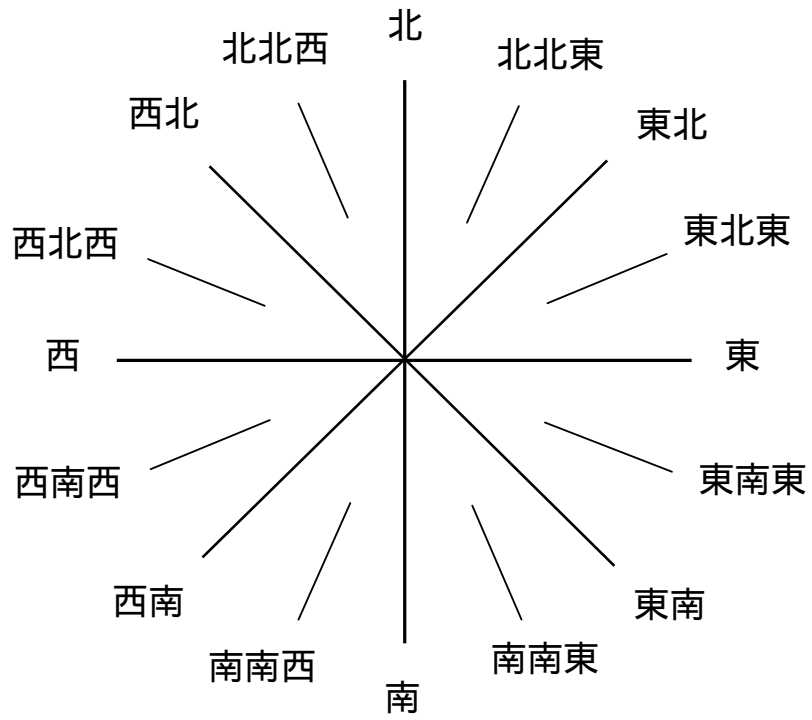


圖 7.2 中央氣象局風向圖

### 東風

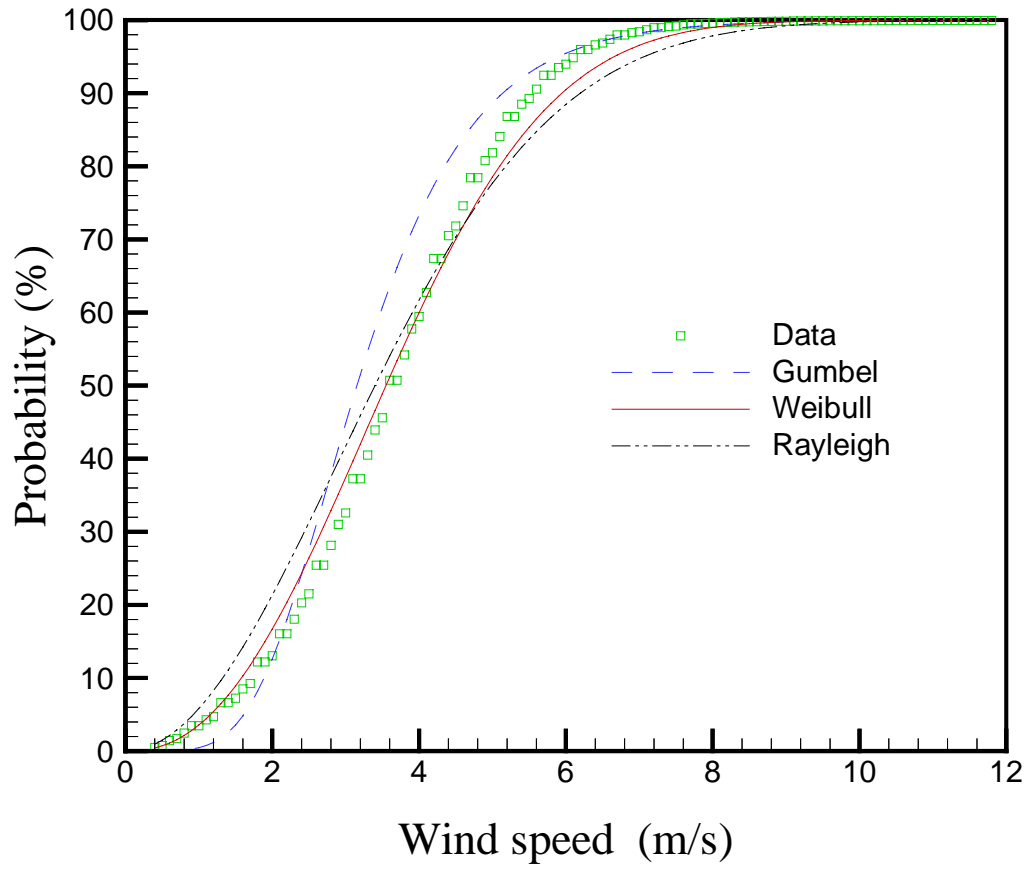


圖 7.3 台北市東風的風速累積機率分佈圖

表 7.2 台北市風速機率密度函數之參數值

風向	極值I型		極值II型		Weibull		Rayleigh
	a	b	a	b	a	b	b
NNE	0.830	2.072	3.008	1.692	1.686	3.120	3.104
NE	0.961	2.889	3.233	2.037	2.108	3.988	4.153
ENE	1.010	3.288	4.040	2.296	2.548	4.738	4.762
E	0.945	2.762	3.664	2.052	2.327	4.155	4.083
ESE	0.864	2.240	3.219	1.780	1.811	3.329	3.288
SE	0.985	1.078	3.267	1.240	1.415	1.960	1.864
SSE	1.297	0.940	4.013	1.159	1.659	1.852	1.718
S	1.448	0.998	3.926	1.100	1.722	1.766	1.650
SSW	1.360	0.781	3.345	0.967	1.550	1.535	1.444
SW	0.803	0.518	2.706	1.081	1.239	1.756	1.707
WSW	0.755	1.785	2.785	1.559	1.380	2.668	2.691
W	0.832	1.690	2.881	1.506	1.559	2.701	2.642
WNW	0.835	1.396	3.226	1.493	1.672	2.744	2.563
NW	1.084	1.665	3.296	1.443	1.924	2.669	2.588
NNW	1.271	1.753	3.311	1.408	2.023	2.561	2.536
N	1.004	1.439	2.904	1.314	1.670	2.362	2.291

表 7.3 K-S ( Kolmogorov-Smirnov ) 檢定的臨界值  $D_n$

n \	0.20	0.10	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.30	0.34	0.40
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.20	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.20	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
>50	$1.07/\sqrt{n}$	$1.22/\sqrt{n}$	$1.36/\sqrt{n}$	$1.63/\sqrt{n}$

表 7.4 台北市風速資料之 K-S 檢定結果

風向	樣本數	= 5 %	= 1 %	TypeI	TypeII	Weibull	Rayleigh	接受 = 5 %	接受 = 1 %
NNE	105	0.13	0.16	0.117	0.258	0.027	0.071	I,W,R	I,W,R
NE	102	0.13	0.16	0.181	0.403	0.084	0.059	W,R	W,R
ENE	124	0.12	0.15	0.182	0.529	0.067	0.122	W	W,R
E	115	0.13	0.15	0.194	0.454	0.053	0.100	W,R	W,R
ESE	109	0.13	0.16	0.129	0.291	0.026	0.048	I,W,R	I,W,R
SE	92	0.14	0.17	0.104	0.248	0.098	0.122	I,W,R	I,W,R
SSE	82	0.15	0.18	0.084	0.205	0.094	0.046	I,W,R	I,W,R
S	70	0.16	0.19	0.219	0.195	0.084	0.048	W,R	W,R
SSW	61	0.17	0.21	0.156	0.158	0.102	0.085	I,II,W,R	I,II,W,R
SW	90	0.14	0.17	0.300	0.189	0.098	0.151	W	W,R
WSW	109	0.13	0.16	0.087	0.222	0.071	0.173	I,W	I,W
W	98	0.14	0.16	0.075	0.191	0.060	0.119	I,W,R	I,W,R
WNW	107	0.13	0.16	0.182	0.239	0.071	0.047	W,R	W,R
NW	82	0.15	0.18	0.064	0.310	0.044	0.045	I,W,R	I,W,R
NNW	70	0.16	0.19	0.220	0.318	0.042	0.050	W,R	W,R
N	77	0.15	0.19	0.043	0.213	0.048	0.082	I,W,R	I,W,R
平均值				0.146	0.276	0.067	0.085		



表 7.5 台北市各風向之韋伯機率分佈參數

風向	發生機率 (%)	平均風速 (m/s)	$A_i$	$U_i$ (m/s)
北北東	1.28	2.58	1.66	2.97
北東	2.64	3.35	1.87	3.97
東北東	18.73	4.39	2.51	5.10
東	23.25	4.17	2.40	4.99
東南東	12.05	3.62	1.97	4.29
南東	3.57	1.84	1.37	2.51
南南東	6.24	1.42	1.78	2.03
南	5.71	1.32	2.10	1.80
南南西	3.06	1.19	2.08	1.73
南西	2.93	1.43	1.57	2.03
西南西	3.13	2.32	1.55	2.90
西	3.92	2.56	1.54	2.97
西北西	3.46	2.47	1.82	2.94
北西	3.31	2.53	2.18	3.08
北北西	2.98	2.79	1.99	3.20
北	1.59	2.34	1.71	2.69
靜風	2.15	-	-	-

表 7.6 淡水各風向之韋伯機率分佈參數

風向	發生機率 (%)	平均風速 (m/s)	$A_i$	$U_i$ (m/s)
北北東	7.73	3.15	2.27	3.75
北東	18.98	3.51	2.15	4.17
東北東	6.75	2.97	1.82	3.56
東	4.65	2.03	1.24	2.42
東南東	4.75	3.30	1.36	3.74
南東	14.01	3.38	1.54	3.99
南南東	8.25	2.40	1.70	3.25
南	5.97	2.26	1.77	2.75
南南西	1.37	1.79	1.78	2.29
南西	1.67	2.10	1.56	2.46
西南西	1.57	2.48	1.58	2.92
西	5.35	2.61	1.75	3.42
西北西	5.67	2.64	1.90	3.30
北西	3.64	2.37	2.10	2.98
北北西	2.04	2.32	2.10	2.79
北	3.91	2.63	1.82	3.21
靜風	3.67	-	-	-

表 7.7 基隆各風向之韋伯機率分佈參數

風向	發生機率 (%)	平均風速 (m/s)	$A_i$	$U_i$ (m/s)
北北東	12.86	4.41	2.11	5.04
北東	19.07	4.16	2.30	4.91
東北東	11.21	3.58	2.02	4.26
東	6.05	2.82	2.07	3.62
東南東	2.90	2.84	1.89	3.43
南東	2.96	2.85	1.45	3.29
南南東	3.72	2.33	1.61	3.08
南	7.50	2.07	1.80	2.80
南南西	6.86	2.34	1.64	2.91
南西	6.29	2.48	1.83	3.48
西南西	2.56	2.18	1.61	3.15
西	1.36	1.68	1.29	2.01
西北西	0.66	1.69	1.91	2.26
北西	1.27	2.54	1.84	3.21
北北西	2.71	3.38	1.66	3.87
北	9.34	4.58	2.00	5.34
靜風	2.67	-	-	-

表 7.8 新竹各風向之韋伯機率分佈參數

風向	發生機率 (%)	平均風速 (m/s)	$A_i$	$U_i$ (m/s)
北北東	11.18	3.12	2.20	3.70
北東	31.00	3.81	2.33	4.54
東北東	8.04	2.51	1.77	3.03
東	7.09	1.67	1.83	2.10
東南東	2.47	1.40	2.20	1.90
南東	1.23	1.17	1.50	1.46
南南東	1.00	1.15	2.13	1.61
南	2.13	1.40	1.75	2.01
南南西	2.41	2.11	1.48	2.48
南西	6.72	3.71	1.95	4.19
西南西	4.85	4.07	2.09	4.51
西	3.65	3.08	2.08	3.52
西北西	1.69	2.38	2.15	2.76
北西	2.41	2.15	2.28	2.65
北北西	2.67	2.15	2.08	2.54
北	4.55	2.08	1.93	2.47
靜風	6.90	-	-	-

表 7.9 宜蘭各風向之韋伯機率分佈參數

風向	發生機率 (%)	平均風速 (m/s)	$A_i$	$U_i$ (m/s)
北北東	7.76	2.44	1.90	3.42
北東	9.81	2.48	1.67	3.03
東北東	7.95	2.32	1.80	2.85
東	6.58	2.16	1.89	2.82
東南東	3.32	2.69	1.47	3.17
南東	1.64	2.28	1.25	2.59
南南東	0.92	1.39	1.71	1.86
南	1.99	1.12	1.86	1.65
南南西	3.91	1.35	2.12	1.89
南西	8.53	1.32	2.34	1.84
西南西	8.49	1.12	1.94	1.67
西	8.86	1.08	1.98	1.62
西北西	5.05	1.29	1.96	2.06
北西	3.47	1.55	1.15	1.81
北北西	2.80	1.87	1.65	2.49
北	5.60	2.17	1.88	2.80
靜風	13.34	-	-	-

表 7.10 蘇澳各風向之韋伯機率分佈參數

風向	發生機率 (%)	平均風速 (m/s)	$A_i$	$U_i$ (m/s)
北北東	4.33	3.17	2.04	3.73
北東	3.62	2.86	2.15	3.37
東北東	3.61	3.10	2.07	3.65
東	5.34	2.65	1.79	3.45
東南東	3.43	2.93	1.85	3.80
南東	4.69	3.96	2.23	4.49
南南東	6.60	4.36	2.36	4.95
南	4.60	3.52	1.94	4.38
南南西	1.33	1.99	1.72	2.45
南西	4.70	1.67	2.27	2.26
西南西	15.23	2.12	2.19	2.71
西	19.91	2.63	2.27	3.23
西北西	8.50	2.85	2.25	3.31
北西	4.68	2.68	2.22	3.16
北北西	2.22	2.49	1.92	2.94
北	4.08	2.87	1.89	3.37
靜風	3.12	-	-	-

表 7.11 台中各風向之韋伯機率分佈參數

風向	發生機率 (%)	平均風速 (m/s)	$A_i$	$U_i$ (m/s)
北北東	6.36	2.08	1.90	2.73
北東	1.79	1.06	1.92	1.53
東北東	2.11	0.87	2.32	1.49
東	4.10	0.81	1.68	1.26
東南東	1.75	0.69	1.32	0.77
南東	2.67	0.80	1.85	1.28
南南東	2.86	1.03	1.96	1.57
南	6.07	1.58	1.55	1.93
南南西	4.70	1.88	1.90	2.27
南西	4.78	1.92	2.11	2.54
西南西	4.11	2.12	2.00	2.46
西	3.91	2.01	1.89	2.38
西北西	1.87	1.97	1.88	2.28
北西	3.87	1.95	1.89	2.27
北北西	10.27	2.24	1.84	2.77
北	30.36	2.63	2.00	3.52
靜風	8.44	-	-	-

表 7.12 梧棲各風向之韋伯機率分佈參數

風向	發生機率 (%)	平均風速 (m/s)	$A_i$	$U_i$ (m/s)
北北東	26.54	7.13	2.26	8.24
北東	17.32	6.09	1.98	7.07
東北東	2.22	2.41	1.76	3.11
東	1.29	1.41	1.87	1.90
東南東	1.13	1.58	1.72	2.05
南東	5.20	2.47	2.04	2.99
南南東	7.54	2.90	2.01	3.51
南	5.27	3.41	1.95	4.03
南南西	2.48	3.76	1.94	4.38
南西	2.45	4.30	1.77	4.84
西南西	2.33	5.02	1.89	5.45
西	2.84	3.64	2.03	4.21
西北西	1.40	2.80	2.20	3.30
北西	1.98	3.04	2.08	3.53
北北西	3.30	4.03	2.14	4.83
北	15.47	6.84	2.23	7.68
靜風	1.24	-	-	-



表 7.13 花蓮各風向之韋伯機率分佈參數

風向	發生機率 (%)	平均風速 (m/s)	$A_i$	$U_i$ (m/s)
北北東	10.37	3.66	1.96	4.43
北東	12.92	4.54	2.32	5.39
東北東	3.80	3.11	2.01	3.83
東	3.62	2.41	2.08	3.02
東南東	2.43	2.06	2.28	2.53
南東	3.30	2.28	2.19	3.09
南南東	4.56	3.13	2.06	3.87
南	4.05	3.33	1.93	4.10
南南西	2.72	2.23	1.95	3.01
南西	10.94	2.09	2.41	2.79
西南西	14.18	1.95	2.35	2.68
西	7.29	1.42	1.84	1.79
西北西	3.46	1.23	1.88	1.53
北西	4.41	1.24	1.82	1.56
北北西	3.96	1.40	2.21	1.95
北	5.36	1.94	1.94	2.69
靜風	2.62	-	-	-

表 7.14 日月潭各風向之韋伯機率分佈參數

風向	發生機率 (%)	平均風速 (m/s)	$A_i$	$U_i$ (m/s)
北北東	3.56	1.19	2.35	1.69
北東	4.38	1.25	2.08	1.75
東北東	3.22	1.33	1.73	1.63
東	4.91	1.41	1.59	1.74
東南東	2.61	1.50	1.57	1.79
南東	3.81	1.55	1.54	1.89
南南東	3.57	1.73	1.68	2.07
南	8.31	1.82	2.05	2.37
南南西	5.80	1.81	1.82	2.19
南西	6.53	1.64	1.80	2.21
西南西	4.59	1.44	1.27	1.77
西	10.19	1.28	2.32	1.96
西北西	5.63	1.14	2.17	1.80
北西	7.10	1.05	2.02	1.53
北北西	4.22	1.03	1.95	1.47
北	6.86	1.13	2.24	1.62
靜風	14.70	-	-	-

表 7.15 澎湖各風向之韋伯機率分佈參數

風向	發生機率 (%)	平均風速 (m/s)	$A_i$	$U_i$ (m/s)
北北東	42.82	6.38	2.56	7.42
北東	14.55	6.11	2.29	6.77
東北東	1.03	2.65	1.68	3.29
東	0.78	1.93	1.96	2.41
東南東	0.63	2.09	1.58	2.54
南東	0.92	3.13	1.45	3.80
南南東	2.34	4.05	1.84	5.06
南	6.46	3.72	2.23	4.61
南南西	7.00	3.40	2.16	4.26
南西	3.77	2.97	1.87	3.71
西南西	2.05	2.59	1.86	3.25
西	2.44	2.26	1.89	3.15
西北西	1.64	2.16	1.74	2.90
北西	1.54	2.09	1.72	2.80
北北西	2.72	2.53	1.76	3.44
北	8.58	4.03	1.97	5.18
靜風	0.72	-	-	-

表 7.16 嘉義各風向之韋伯機率分佈參數

風向	發生機率 (%)	平均風速 (m/s)	$A_i$	$U_i$ (m/s)
北北東	7.84	2.34	2.10	2.91
北東	4.77	1.72	2.04	2.36
東北東	4.15	1.51	2.09	2.11
東	4.87	1.60	1.91	2.29
東南東	1.40	1.91	1.67	2.30
南東	2.28	2.12	2.05	2.66
南南東	3.00	2.80	1.89	3.48
南	5.75	2.96	1.86	3.66
南南西	3.56	3.22	2.19	3.95
南西	3.58	3.22	2.20	3.79
西南西	3.08	3.34	2.27	3.85
西	3.85	2.84	2.10	3.36
西北西	3.85	2.39	2.26	2.94
北西	9.56	2.69	2.12	3.30
北北西	12.53	3.15	1.88	3.79
北	24.34	3.05	2.16	3.90
靜風	1.59	-	-	-

表 7.17 台東各風向之韋伯機率分佈參數

風向	發生機率 (%)	平均風速 (m/s)	$A_i$	$U_i$ (m/s)
北北東	5.42	2.64	1.89	3.59
北東	15.31	3.86	2.32	5.01
東北東	6.93	3.33	2.14	4.26
東	3.38	2.49	2.49	3.34
東南東	2.26	2.23	2.55	2.87
南東	2.32	2.00	2.75	2.49
南南東	1.58	1.95	2.23	2.73
南	3.37	2.56	1.67	3.32
南南西	2.70	3.43	1.93	4.21
南西	1.72	2.38	1.38	2.92
西南西	0.81	1.54	1.46	1.93
西	1.33	1.31	1.58	1.69
西北西	3.51	1.32	1.94	1.69
北西	19.82	1.64	2.36	2.29
北北西	21.04	1.88	2.31	2.83
北	6.43	1.83	1.54	2.32
靜風	2.07	-	-	-

表 7.18 高雄各風向之韋伯機率分佈參數

風向	發生機率 (%)	平均風速 (m/s)	$A_i$	$U_i$ (m/s)
北北東	9.44	2.40	1.66	3.07
北東	6.31	1.77	2.09	2.63
東北東	7.03	1.84	2.12	2.64
東	3.52	1.89	2.04	2.77
東南東	2.29	2.86	1.57	3.74
南東	1.92	3.47	1.43	4.10
南南東	4.73	3.81	1.92	4.66
南	4.01	3.07	1.75	3.87
南南西	2.49	2.70	1.99	3.47
南西	1.94	2.52	1.78	3.42
西南西	3.23	2.79	1.68	3.69
西	5.18	2.81	1.91	3.57
西北西	10.14	3.42	2.06	4.47
北西	10.48	3.01	2.14	4.13
北北西	10.86	2.79	1.94	3.78
北	12.28	2.49	1.76	3.18
靜風	4.16	-	-	-

表 7.19 恆春各風向之韋伯機率分佈參數

風向	發生機率 (%)	平均風速 (m/s)	$A_i$	$U_i$ (m/s)
北北東	12.23	4.87	2.04	5.51
北東	26.02	5.90	2.16	6.54
東北東	11.12	3.82	2.00	4.50
東	11.51	2.82	1.96	3.58
東南東	2.94	2.34	1.77	2.74
南東	1.65	2.36	1.89	3.02
南南東	1.54	2.64	1.87	2.96
南	1.79	2.65	1.78	3.07
南南西	0.84	2.52	1.87	3.02
南西	1.57	2.50	1.72	2.95
西南西	2.10	3.05	1.96	3.59
西	4.32	3.11	1.94	4.03
西北西	4.15	2.91	1.64	3.48
北西	5.41	2.76	1.73	3.55
北北西	3.54	2.04	1.96	2.60
北	5.81	2.56	1.74	3.13
靜風	3.44	-	-	-

## 第八章 改善措施

若建築物周遭的環境風場無法滿足該區域使用目的之下舒適性或安全性的要求，則有需要改變採取改善措施以達到最起碼的舒適性或安全性的標準。改善措施可分為修改建築物的設計及在建築物周遭設置防風設施，以下分別加以做一敘述。

### 第一節 修改建築物的設計

建築物的外型及與鄰近之建築物的相關位置皆會影響建築物周遭的環境風場，修改建築物外型的細部設計有時可改善環境風場，以下為一些可採取的措施：

#### 1. 建築物的座向：

若矩形建築物的寬邊與該地盛行風向垂直，則建築物的角隅及背風面發生強風出現的機率會較高，建築物的迎風面愈寬愈高，下切氣流愈強，風害的區域會愈大。反之，建築物長邊的座向與該地盛行風向平行，則強風出現的機率會較低。故建築物設計時應注意盛行風的風向與建築物座向之間的關係。

#### 2. 中空式建築物：

若在建築物的立面設計一個大型的中空開口，如圖 8.1 所示，氣流可直接穿透而過，則建築物迎風面與背風面的壓差會較小，可減弱迎風面



的下切氣流和角隅渦流。但若中空開口過小，則開口處可能產生縮流現象。

### 3. 相鄰建築物的配置：

近似高度與規模的建築群，若其長邊的座向與該地盛行風向一致或接近，則地面風害的區域將會較小；反之，長邊的座向與該地盛行風向垂直，則建築物之間易產生的縮流現象，而強風出現的機率會提高。建築物間隔距離愈寬，加速現象愈不明顯。高低相差太大的建築物亦應避免配置在一起，以避免迎風面下切氣流的生成。

### 4. 建築物之基座：

建築物底部數層具有突出的平台，如圖 8.2 所示，可減少下切氣流對地表行人活動的干擾。另一方面，下切氣流在底層突出的露台上空會形成強烈的渦流，這必須配合植栽、棚架、防風網等設施減少風害。

### 5. 騎樓：

建築物底部若採騎樓式設計，如圖 8.3 所示，可減少下切氣流對騎樓之下行人活動的直接影響。

### 6. 建築物角隅的設計：

建築物外形上若有尖銳的角隅，則可能會引發角隅渦流的出現。如將角隅處加以圓角化處理或採用多邊形，則強風區亦可減小。建築物側邊如有較大的削角，地表氣流會發生偏斜的現象，在角隅後方有高速的渦流發生。

## 7. 建築物的表面粗糙度：

建築物的表面粗糙度會影響附近的風速和其表面的風壓，建築物表面愈粗糙，下切氣流愈弱，如圖 8.4 所示。建築物外形若為圓形的斷面，氣流與建築物表面分離的位置與雷諾數及其表面粗糙度有關。

## 8. 建築物之出入口：

若大樓底層為挑空式設計或有前後貫通的通道或開口，如圖 8.5 所示，較可能會產生穿堂風，對於出入大樓及經過開口部的行人均構成威脅。如設計上難以避免，則應考慮設置自動門、旋轉門或屏風等設施，兼顧防風與出入安全。

# 第二節 設置防風設施

## 1. 防風柵網：

防風柵、防風網或圍籬對於地表風場的影響有遮蔽、過濾、導引及偏向等效果。其作用則視防風柵網的高度、孔隙密度及其走向與風向之間的關係而定。防風柵網的孔隙密度過低，會在防風柵網的背風面形成低壓區，造成迴流現象(Recirculation)，如圖 8.6 所示，防風效果反而變差。孔隙密度過高，穿透流過強，防風效果亦不佳。孔隙密度在 30 ~ 50% 之間，穿透流會與迴流區內的逆流互相抵消，會有最佳的防風效果。防風設施應與基地之盛行風的方向垂直，在防風設施高度 5 – 10 倍的距離範圍內，最具防風效果。但必須考慮防風柵網是否會影響到周遭的視野、景觀或阻礙行人的走動。

## 2. 植栽：

植栽對環境風場的改善效果類似防風柵網，且兼具有綠化、美觀、改善空氣品質及防風的效用，如圖 8.7 所示。至於防風效果則視植物之種類及栽植方式而異，無論濃密或稀疏的樹林，對氣流都會產生阻力，減低風速。過於濃密的樹林反而因貫穿氣流過少，在背風面形成低壓區，造成下沖現象，防風效果反而變差。透風度在 30 ~ 50% 之間，會有最佳的防風效果。

## 3. 棚架：

大樓底部的強風區可設置棚架以減弱下切氣流對地面的直接影響，如圖 8.8 所示，且棚架下可規劃為活動、休憩或商業區域，棚架上可以種植爬藤式的植物以達到綠化、減小日晒及防止風害的功效。

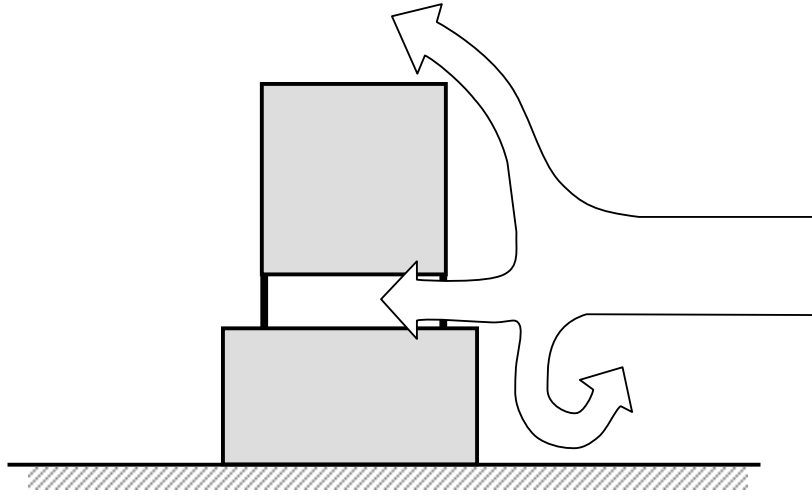


圖8.1 中空式建築物對環境風場的影響

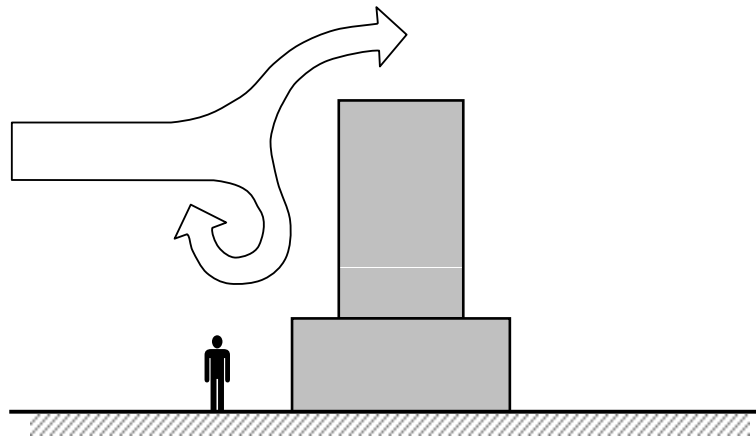
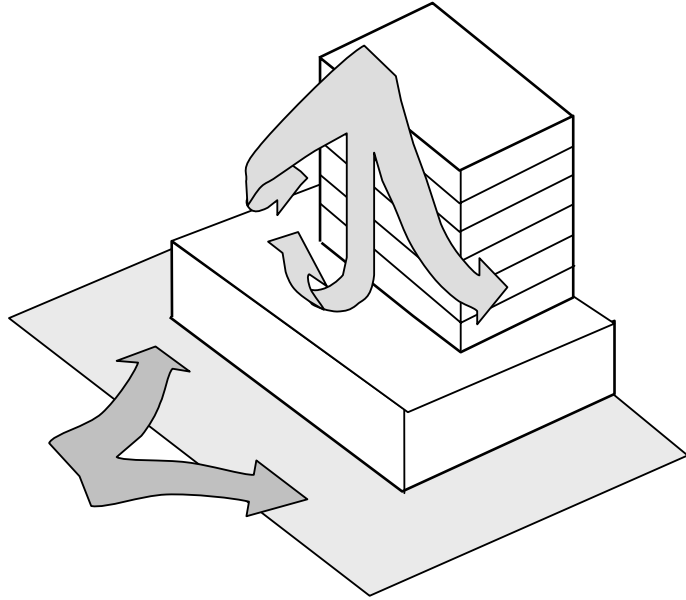


圖 8.2 建築物基座對下切氣流的影響

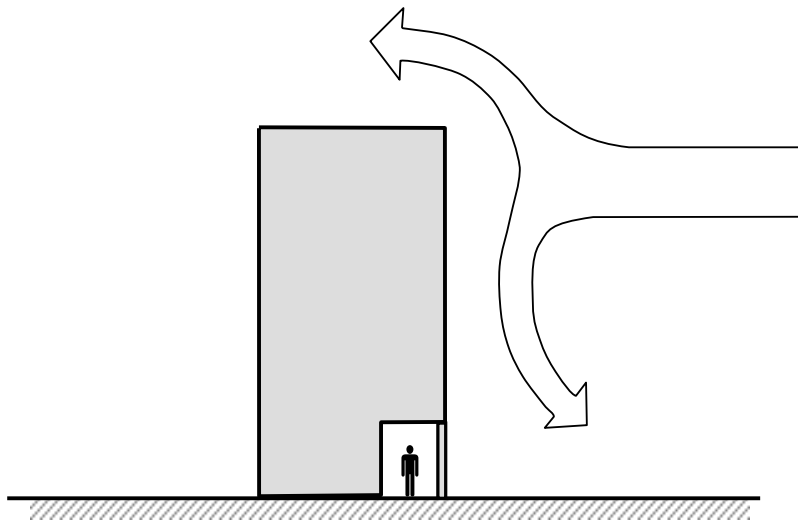


圖8.3 騎樓式建築物對行人風場的影響

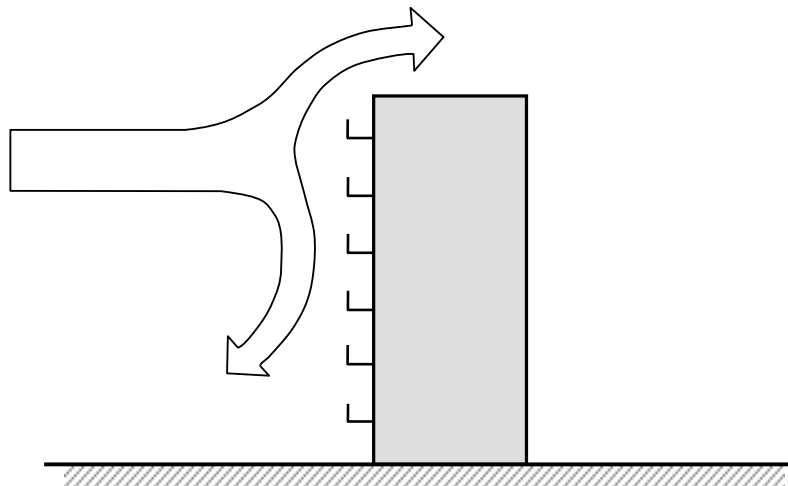


圖 8.4 建築物表面粗糙度對下切氣流的影響

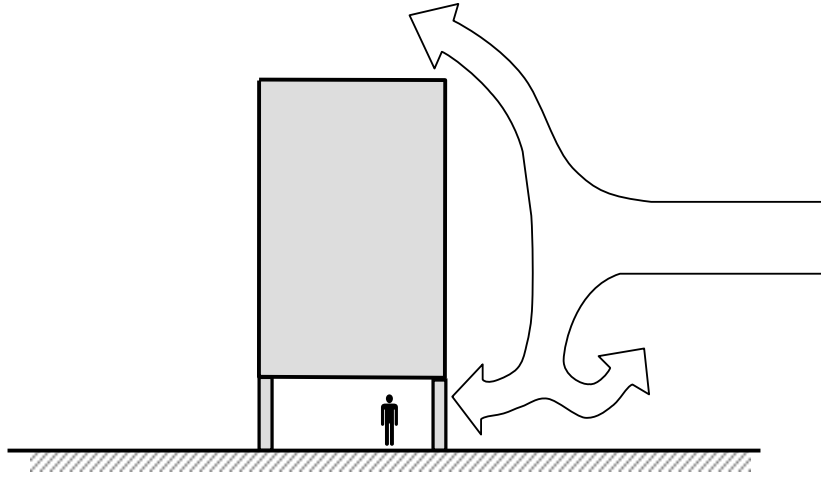


圖 8.5 底層挑空式建築物對風場的影響

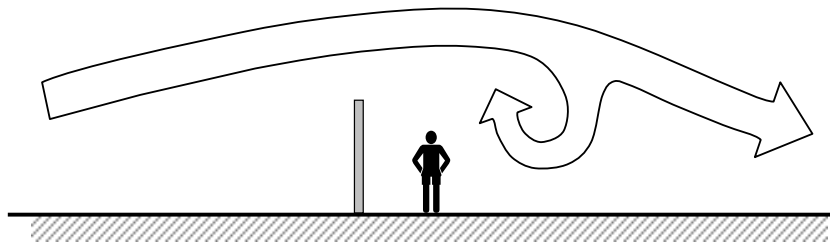
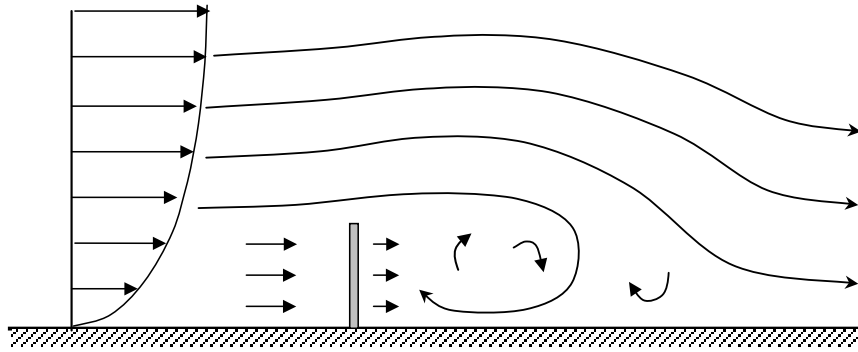
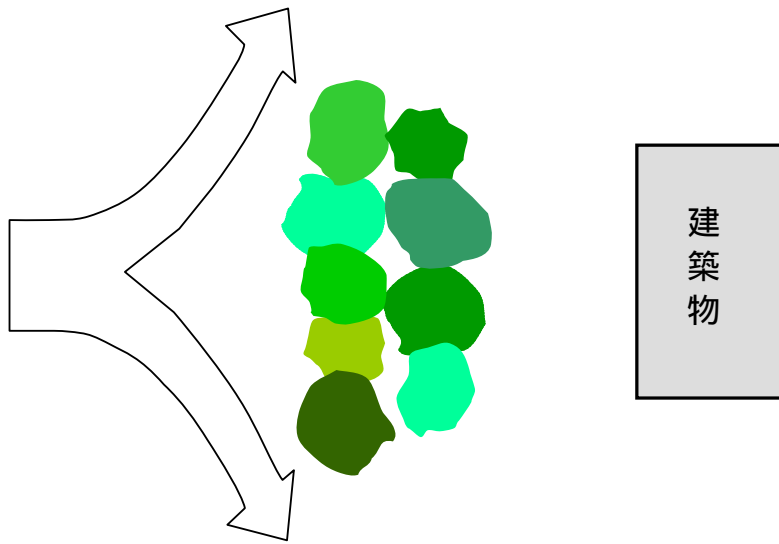


圖 8.6 防風柵網、圍籬對風場的影響





上視圖



側視圖

圖8.7 植栽對風場的影響

o

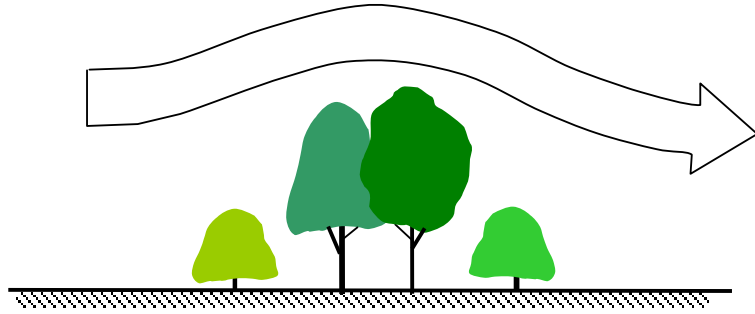


圖 8.8 灌木與喬木搭配對風場環境之影響

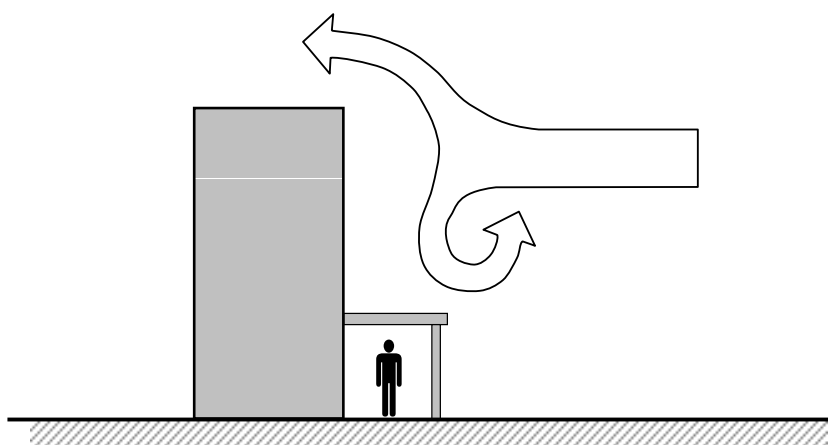
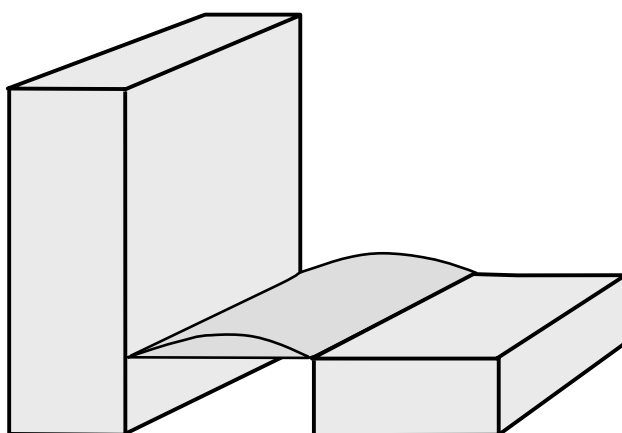
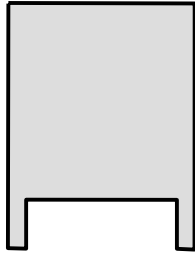


圖 8.9 棚架、雨披對風場的影響



## 第九章 評估範例

本章說明環境風場評估之流程，並列舉一個環境風場的評估範例，藉以說明評估過程中應注意事項。

### 第一節 評估流程

首先依據主建築物的設計圖和周遭建築物的配置預測將來主建築物興建之後建築物周遭各測點的風速，再依據氣象局所提供的建築物基地風速、風向發生機率預估建築物周遭各級風速的發生機率。若強風發生的機率超過舒適性或安全性的等級，則表示該建築物的環境風場不合格，必須加以改善。在建築業者提出改善措施後，再一次的來預測和評估建築物周遭各級風速的發生機率，直到建築物周遭各測點皆合格為止。

#### 一、蒐集資料：

評估單位應由委託單位（建築師或建設公司）處取得欲評估之建築物的相關設計資料，所需資料如下：

- (1) 主建築物東、西、南、北向之立面圖。
- (2) 各樓層平面圖(Floor plans)及其高度。
- (3) 屋頂突出圖(Roof plan)。
- (4) 建築物模型之照片。
- (5) 建築物配置圖(Site plans)及周遭街道圖。
- (6) 開放空間計畫及綠化植栽計畫之圖面。

- (7) 建築物及周遭建築物出入口位置圖。
- (8) 半徑500公尺範圍以內之地形圖。
- (9) 半徑500公尺範圍以內現有建築物之高度、外型圖、航照圖。
- (10) 半徑500公尺範圍以內未來可能興建之建築物高度、外型圖。
- (11) 距離基地最近之中央氣象局風速、風向資料。

地形圖、航照圖等資料常有更新年份的問題，造成周遭建築物，因此評估單位應到基地現場觀察周遭建築物的配置、出入口位置、圍籬、植栽情形及該區域之規劃使用情形，並以照片記錄，以實際瞭解書面或圖面資料不清處、不完整之處。

## 二、進行風場評估：

評估單位依據建築物設計資料，以風洞試驗或數值模擬來評估未來該建築物興建之後環境風場的變化。評估過程中，如有發現問題，應立即與委託單位討論，提供意見以修改建築物的設計或其他改善措施。評估報告應明確敘述以下之項目：

- (1) 風場預測之方法(風洞試驗或數值模擬)。
- (2) 風洞試驗中所使用之量測儀器及試驗條件(來流流況、模型縮尺比、試驗風速等)。
- (3) 數值模擬所採用之模式、模擬條件(來流流況、雷諾數、計算網格等)、計算範圍及驗證結果。

- (4) 基地之風速、風向資料及所採用之機率函數。
- (5) 風場評估點之位置及陣風風速比。
- (6) 所採用之風場評估標準。
- (7) 各評估點之風速發生機率及評估結果。
- (8) 確實可行的改善措施。

審查過程中，評估單位應說明或答覆審查委員所提之風場評估的相關問題。

## 第二節 案例說明

本案例為中央大學所完成之環境風場評估，建築物位於台北市信義計畫區，風場預測方式為風洞試驗。

### 一、氣象資料

本研究以距離信義計畫區最近之中央氣象局台北氣象站(站號#46692)過去21年(1978 - 1998)逐時風速、風向資料進行分析，台北氣象站位於北緯 $25^{\circ}02'$ ，東經 $121^{\circ}30'$ ，海拔高度5.5 m，風速計距當地地面33.0 m。中央氣象局所提供的逐時風速資料為各小時的最後10分鐘平均風速，風向的劃分則分為十六個方位(北北東、東北、東北東、東... )。經統計分析可求得各風向、風速的發生頻率。表9.1為台北市各月份之平均風速、最大風速及最常發生之風向，全年之平均風速為2.84 m/s，最大風速為16.5 m/s。而七月、八月、九月及十月的最大風速皆大於12 m/s，應是由颱風

所造成的。圖9.1為台北市各月份之平均風速分佈圖，各月份之平均風速皆偏低。表9.3為台北市全年各風向的風速分佈百分比，可以看出發生機率最高的風向為東北東風，佔21.8%。而圖9.2為台北市全年（不分風向）的風速分佈百分比圖，由表9.3與圖9.2可以看出風速小於4 m/s的機率佔大部份(74.33%)，而風速大於10 m/s的機率極低(0.14%)。

研究中並將一年分成春(三月至五月)、夏(六月至八月)、秋(九月至十一月)、冬(十二月至次年二月)四季，圖9.3為台北市各季及全年之風花圖，台北市夏季最常發生之風向為南南東風(12.76%)，其餘各季最常發生之風向為東風或東北東風。表9.4 - 表9.7為台北市四季各風向的風速分佈百分比，由表中資料可以發現夏季與秋季皆有風速大於12 m/s的狀況發生，但機率很小，應是由颱風所造成的。而各季節低風速（小於4 m/s）的發生機率佔大部份（65 ~ 85%），故台北市應屬低風速區。

在風工程上，常將風速之機率分佈以韋伯機率函數來描述

$$P(> U) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{U}{U_i}\right)^{a_i}\right] \quad i = 1 \rightarrow 16$$

其中 $P(>U)$ 為風速之機率累積分佈函數， $a_i$ 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)， $i$ 代表1至16的風向。表9.8為台北市各風向之韋伯機率參數。研究中將此風場資料與風洞實驗的結果相結合，計算出實際場地上各級風速出現的頻率，各風速的出現頻率即可用來評估風場環境的舒適性與安全性。



## 二、風洞實驗

本研究以風洞實驗來探討大樓周遭的風場環境，風洞實驗於國立中央大學土木系大型環境風洞中進行，該風洞為一低風速、開放、吸入式風洞，風洞全長30.0 m，其主要構造部份可分為整流段、收縮段、動力段及試驗段。其設計細節說明如下：

整流段寬6.10 m，高4.27m，長2.00 m，內包括蜂巢管(honey cone)與四層整流細網(screen)的整流裝置，蜂巢管是由許多塑膠圓管整排列而成，其目的在減小氣流流動方向上的擾動和渦漩，即可將渦流再切割成更小之渦流，減少氣流的靜壓擾動及橫向擾動，使其為低紊流強度之流況，增進氣流的均勻性和穩定性。蜂巢管之後便是整流網，整流網的功能是將通過蜂巢管的渦流在切成更小的渦流，使流場的紊流強度降低到最小，亦可使得收縮段較不易產生分離(separation)現象。風洞之收縮段為兩個三次曲線相接而成，收縮比為1:4，可造成試驗段內風場近似成均勻流。

動力段包括收縮管、風扇及出口擴散管。收縮管由長方形進口縮成2.1m圓形之風扇進口，風扇直徑1.8 m，一共有16片扇葉，風扇葉片的角度可調整以微調風速。風扇由一200 馬力之馬達驅動，馬達最大轉速1800 rpm，最高風速可達20 m/s，相當於八級強風。為了避免馬達及風扇轉動而引致的振動會影響實驗量測結果，動力段與試驗段接縫處為一軟性帆布相連，且動力段具有一獨立地基，以防止振動的傳遞。出口擴散管為一直徑2.6 m，長1.5 m之喇叭口。

試驗段長18.5 m，寬3.0 m，高2.1 m。因本風洞之試驗段夠大，可從事較大模型之實驗。在試驗段內有二個實驗轉盤（直徑分別為 2.0 m與 2.8 m），可輕易地旋轉以改變對模型之有效風向。本研究之模型置於大轉盤之上（直徑為2.8 m），轉盤圓心距試驗段入口處之距離為12.8 m處，風洞之吹程約有14 m長，可用於邊界層之發展。試驗段內部另有一三度空間活動之天車，可由風洞外遙控探針其位置。另外於試驗段上壁上方擺設照明設備，而且左右側壁及上壁皆有大型透明窗，便於直接觀測風洞中流況。

在試驗段設有渦流產生器及地表粗糙元，用以模擬適當之大氣邊界層。風洞中風速剖面及紊流強度的量測採用熱線流速儀(TSI, IFA300)及熱絲探針(TSI, 1210)，圖9.4為風洞中之平均風速及紊流強度分佈圖，其平均風速剖面符合大氣邊界層的風速分佈：

$$\frac{U(z)}{U_{\delta}} = \left(\frac{z}{\delta}\right)^{\alpha}$$

本實驗中指數  $\alpha = 0.30$ ，符合都會地區之邊界層流況(Davenport, 1965；ASCE, 1995)。邊界層厚度  $\delta = 200$  cm， $U$  為邊界層外之梯度風速。圖9.4中接近地面處之紊流強度  $u'/U(z)$  約為15%，亦符合都會地區之紊流流況。

研究中採用 1/200 縮尺的模型進行風洞試驗，對應實際風場的邊界層厚度約為 400 m。模型除本計畫預定興建之大樓外，還涵蓋周遭半徑 280 公尺範圍內所有之地面建築及地形地貌。模型依據台北市都發局之地形圖、航照圖及現地拍攝之照片按比例製作而成。模型放置於風洞試驗段內

直徑 2.8 m 的大轉盤上，藉旋轉轉盤依次量測十六個風向方位下各量測點的風速。

研究中在主建築物四周及附近街道共設置32個量測點，量測點的位置可參見圖9.6，量測點位置的選擇取決於行人常出沒的地方（如人行道、街角、建築物的出入口）及風速可能會很大的地方（如建築物的角隅處、窄巷等）。風速的量測使用地表風速計(Irwin, 1981)、電子式壓差感應計(Validyne, DP103)、壓力訊號處理器(Validyne, MC170)及壓力掃描器(Pressure Scanner)。地表風速計量測相應於實際場地上1.5 m處之風速。為配合中央氣象局逐時風速資料，風洞中風速量測時間須相當於現場之小時風速，而採樣時間需滿足模型與現場之間的時間縮尺。

### 三、結果與討論

本研究中風速的量測包括平均風速  $\bar{U}$  及陣風風速  $\tilde{U}$

$$\tilde{U} = \bar{U} + kU_{\text{rms}}$$

其中  $U_{\text{rms}}$  為風速之均方根值， $k$  為陣風因子，本研究設定  $k = 3.0$ 。表 9.9 為 32 個量測點之陣風風速比  $\tilde{U} / U_{\delta}$ ，其中  $U_{\delta}$  為邊界層上的梯度風速，風洞實驗中梯度風速  $U_{\delta} = 8.20 \text{ m/s}$ 。

大氣邊界層之雷諾數高達  $10^7 \sim 10^8$  以上，因此要求風洞內之雷諾數與實際情況相同幾無可能。所幸紊流在高雷諾數具有雷諾數相似性之特徵，亦即當雷諾數超過某臨界值時，紊流結構之特徵不受雷諾數大小的影響。以柱體尾流而言，臨界雷諾數約為  $10^4$ 。亦即當雷諾數大於  $10^4$ ，結構物

的尾流結構和物體的阻力係數，便不再受雷諾數的影響。本研究中風洞內自由流之流速  $U_\delta = 8.20 \text{ m/s}$ ，邊界層之厚度  $\delta = 2.0 \text{ m}$ ，可得風洞內邊界層流的特徵雷諾數為  $Re_\delta = U_\delta \delta / \nu = 1.0 \times 10^6$ 。建築物模型之高度  $H = 0.5 \text{ m}$ ，因此建築物周遭流場之局部雷諾數為  $Re_H = U_\delta H / \nu = 2.6 \times 10^5$ ，皆超過臨界雷諾數，因此本研究應能忠實地模擬出大氣之流況及建築物周遭的流場。

本棟大樓因位於信義計劃區，周遭的建築物及中強公園的地形會影響到本棟大樓的行人風場。由表9.9的結果可以看出測點5、6、7在風向為西、西南及南南西的狀況下，風速會較大(陣風風速比  $\tilde{U} / U_\delta > 100\%$ )，這是因為測點5、6、7位於大樓後方巷內，在上述風向下，易產生縮流加速現象。測點2、6在風向為東南東及東南時，風速較大。這是因為測點2、6位於大樓角隅，在東南東及東南風，易產生角隅渦流。其餘各測點陣風風速  $\tilde{U} / U_\delta$  大多在20 ~ 100%之間，風速不至於太大。此風洞實驗之結果在配合台北市的風速、風向之機率分佈，可計算出大樓周遭各級風速出現的頻率，以評估其風場環境的舒適性與安全性。

本研究採用之風場標準來評估大樓周遭各測點的舒適性與安全性，評估結果歸納在表 9.10 中。

(1) 大樓東側 (測點 1, 7, 8, 9 及 23) :

測點 1, 7, 8 及 9 位於大樓角隅，易產生角隅渦流，發生強風的可能性較大。測點 1 的舒適性等級屬於行走，測點 7, 8, 9 及 23 的舒適性等級屬於站立，但應不至於影響到該處行人的安全性。

(2) 大樓北側（測點 2, 3, 10, 11, 12 及 25）：

測點 2, 3, 10, 11 及 25 位於大樓正前方，此處易受下切氣流的影響產生強風，舒適性等級屬於行走。測點 12 因其後方的建築物高度較小，下切氣流的風速較弱，因此測點 12 的舒適性等級皆屬於站立。若想改善達坐定之標準，建議可用植栽或設置雨披或棚架的方式加以改善。

(3) 大樓西側（測點 13, 14, 15 及 26）：

測點 13, 14 及 15 位於大樓西側，因西側建築物較矮，發生強風的機率亦較低，測點 13, 15 及 26 的舒適性等級屬於站立，測點 14 的舒適性等級屬於坐定，可作為長時間停留等待區。

(4) 大樓南側（測點 4, 5, 6, 16, 24, 27 及 28）：

測點 5, 6 位於大樓後方巷道內，測點 24, 28 位於兩棟大樓之間巷道內，易產生縮流效應所造成的加速現象，舒適性等級屬於行走。測點 4, 16 及 27 位於較矮的西側建築物後方，發生強風的機率較低，測點 16 的舒適性等級分別屬於坐定，測點 4 及 27 的舒適性等級屬於站立。

(5) 大樓周遭街道（測點 17, 18, 19, 20, 21, 22, 29, 30, 31 及 32）：

測點 17, 18, 19, 20, 21, 22, 29, 30, 31 及 32 位於大樓四周的人行步道上，受到建築物的影響較小，發生強風的機率皆不大，舒適性皆屬於站立或坐定，因此應該不至於影響到來往的行人在大樓四周的活動。

#### 四、結論與建議：

本研究以風洞實驗配合的台北市之氣象資料，評估大樓周遭環境風場的舒適性與安全性，評估結果顯示其環境風場的風速偏高，這是因為大樓北側及西側無其他建築物遮蔽的緣故。32個測點中，舒適性等級屬於坐定的僅有3點，站立等級的有18點，行走等級的有11點。各測點發生風速大於 8.9 m/s的機率皆小於20%，因此應不至於造成不安全的情況。總體而言，大樓興建後四周的行人風場舒適性皆屬於合格。並且，信義計畫區其他建築物興建之後，應會改善周遭區域的風場環境。短期內，若想改善周圍風場環境達坐定之標準，建議可用植栽或設置圍籬、雨披或棚架的方式加以改善。

表 9.1 台北市各月份平均風速、最大風速及主要風向

月 份	平均風速	最大風速	主要風向
1	2.83 m/s	9.6 m/s	東北東風
2	2.86 m/s	9.4 m/s	東風
3	2.77 m/s	11.0 m/s	東風
4	2.70 m/s	10.0 m/s	東風
5	2.65 m/s	10.5 m/s	東風
6	2.26 m/s	10.0 m/s	東風
7	2.27 m/s	16.5 m/s	南南東風
8	2.60 m/s	15.5 m/s	南南東風
9	2.96 m/s	14.9 m/s	東北東風
10	3.56 m/s	13.7 m/s	東北東風
11	3.46 m/s	10.8 m/s	東北東風
12	3.14 m/s	8.8 m/s	東北東風
年平均	2.84 m/s	16.5 m/s	東北東或東風

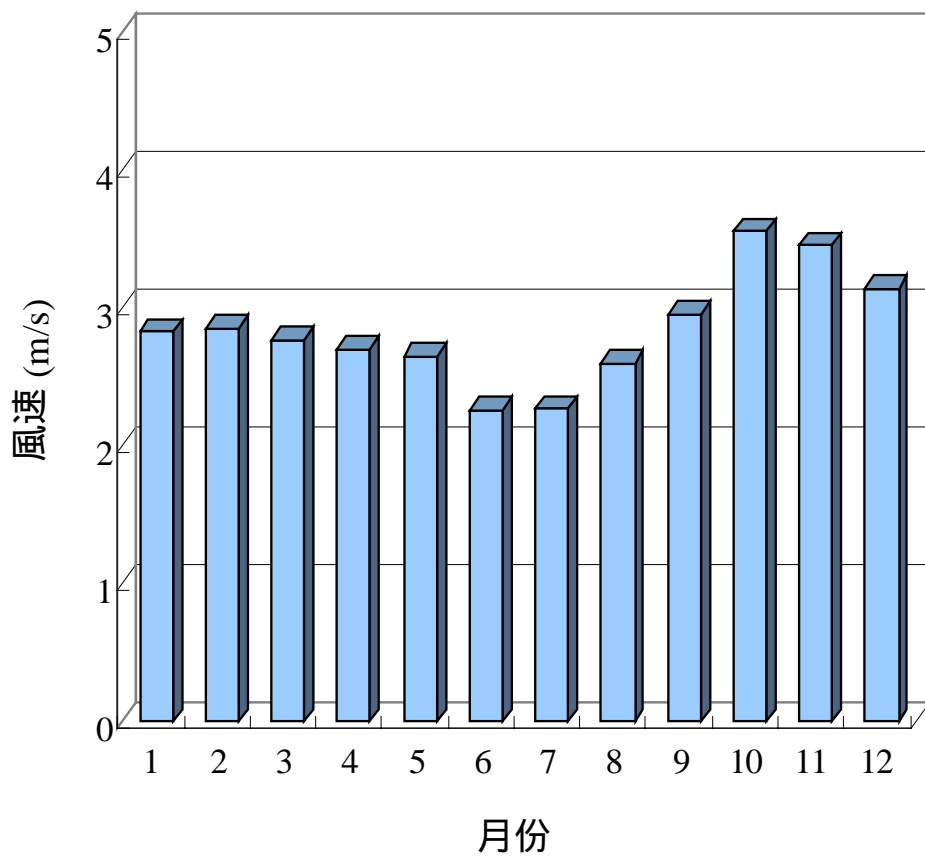


圖 9.1 台北市各月份之平均風速分佈圖



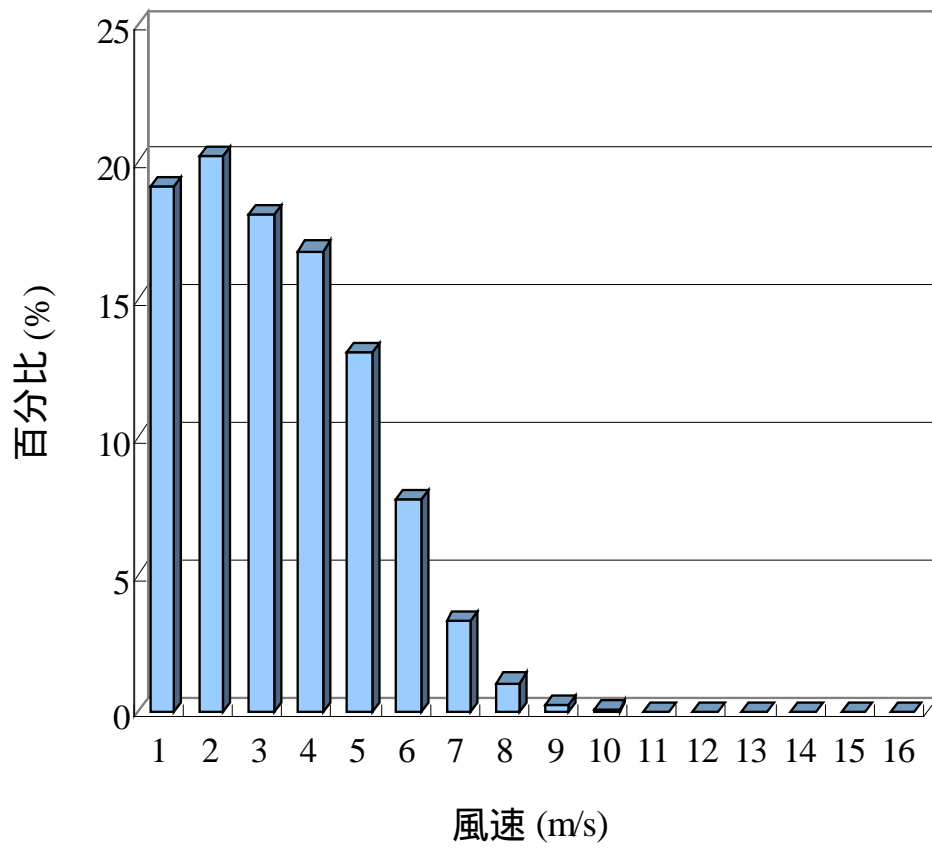


圖 9.2 台北市不分風向之風速分佈百分比圖



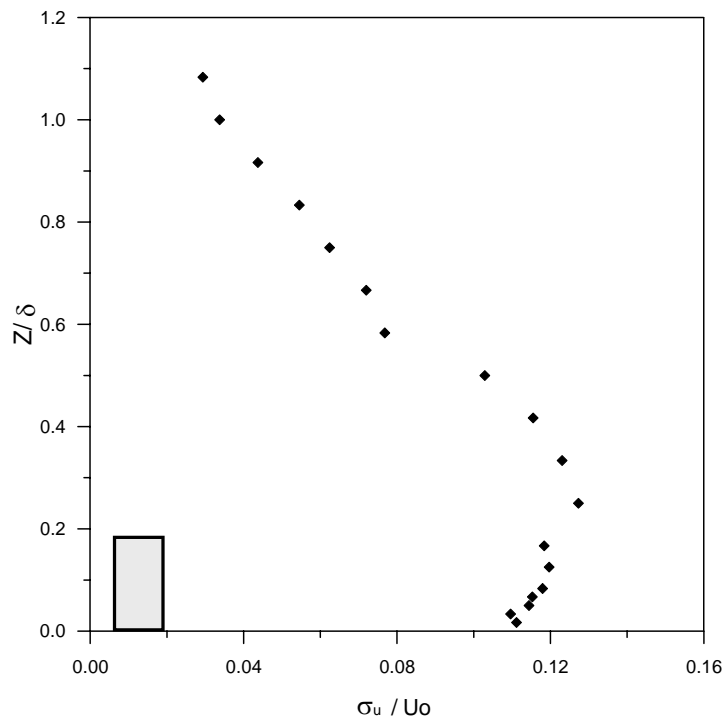
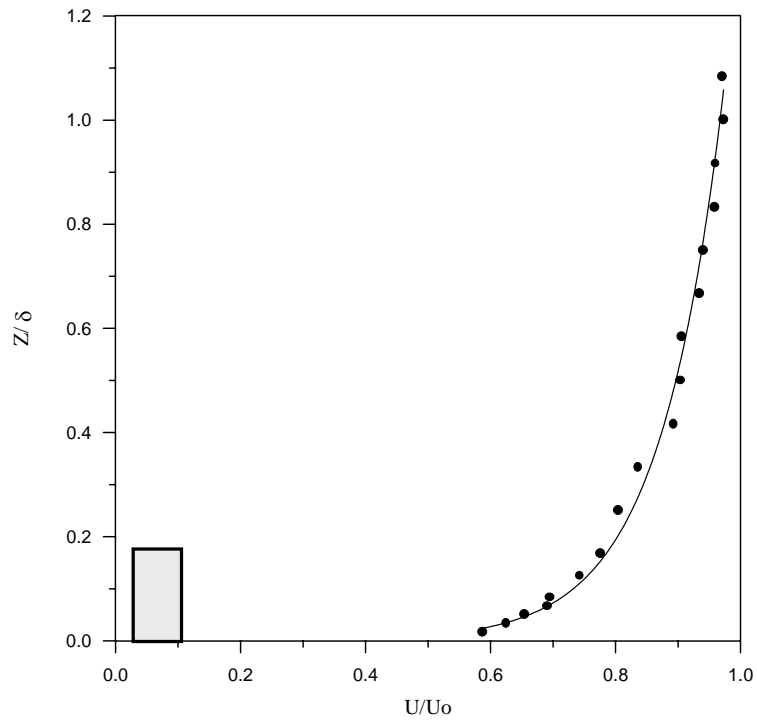


圖 9.4 風洞中試驗段之平均風速及紊流強度分佈圖

圖9.5 風洞實驗模型之影像圖

表 9.2 台北市各風向之 Weibull 機率分佈參數

風向	$A_i$	$U_i$ (m/s)
NNE	1.72	3.09
NE	2.11	3.99
ENE	2.55	4.73
E	2.33	4.15
ESE	1.81	3.33
SE	1.42	1.96
SSE	1.72	1.85
S	1.73	1.77
SSW	1.62	1.53
SW	1.24	1.76
WSW	1.37	2.67
W	1.56	2.70
WNW	1.87	2.66
NW	1.93	2.67
NNW	2.03	2.56
N	1.67	2.36













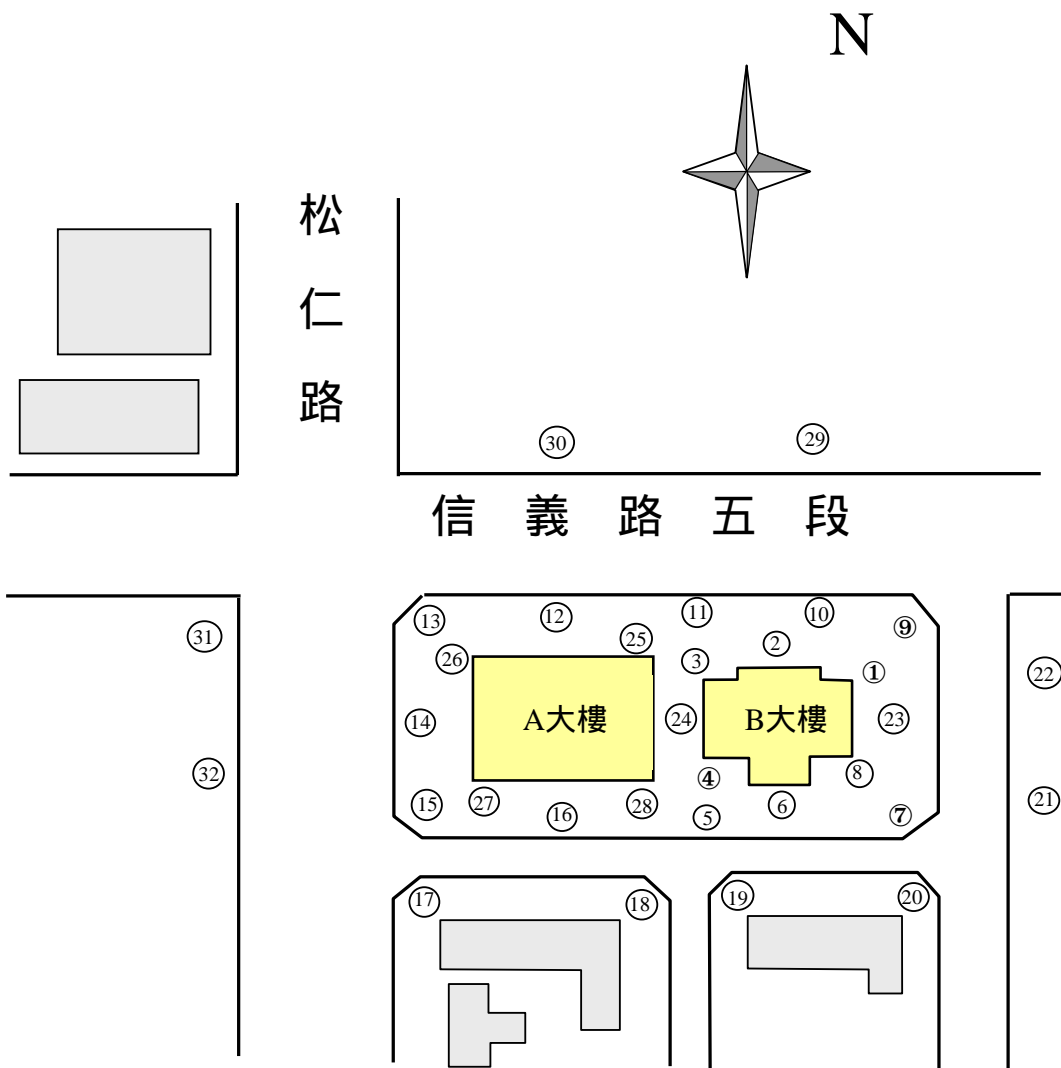


圖 9.6 量測點之位置圖

表9.8 大樓周遭各測點之陣風風速  $\tilde{U}/U_g$  (%)

風向	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
1	86.0	80.2	64.1	68.0	81.0	82.6	76.0	62.0
2	80.2	81.4	88.6	87.6	109.4	106.9	73.4	65.2
3	91.6	91.5	93.5	75.3	81.8	66.5	66.0	63.3
4	38.6	43.0	45.4	61.1	80.8	94.2	87.3	54.0
5	71.1	56.6	79.0	95.6	82.9	75.2	74.3	65.8
6	83.2	84.1	80.4	100.5	100.5	104.1	88.9	94.0
7	56.4	53.8	50.3	68.6	76.8	87.1	87.1	96.0
8	68.3	66.1	48.0	54.3	57.5	59.3	60.5	49.5
9	46.1	39.3	49.1	62.0	68.1	54.5	53.4	59.4
10	83.2	75.5	67.1	56.0	64.1	77.1	59.0	57.0
11	87.3	91.8	87.8	61.0	63.8	59.0	48.6	47.2
12	68.1	70.9	69.0	46.3	31.7	29.3	39.0	47.8
13	78.2	81.2	63.1	46.5	37.0	53.7	60.2	50.6
14	61.8	41.0	39.3	39.0	41.9	51.7	52.1	45.8
15	54.3	55.8	44.7	52.6	72.8	84.9	84.6	64.6
16	32.4	30.2	36.9	44.9	53.3	61.0	64.4	57.8
17	59.5	65.6	86.1	44.3	55.1	38.9	44.5	55.8
18	101.1	105.7	86.7	76.8	72.2	57.5	52.2	62.2
19	51.1	50.8	50.8	52.0	51.8	49.2	52.1	55.3
20	39.4	36.9	52.1	42.4	63.9	66.6	59.4	38.4
21	75.5	55.9	50.5	40.1	48.8	48.2	46.4	44.5
22	75.3	69.6	58.0	50.2	63.9	78.4	87.4	74.2

表9.8續 大樓周遭各測點之陣風風速  $\tilde{U}/U_{\delta}$  (%)

風向	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
<b>23</b>	74.0	82.6	51.6	57.1	67.7	55.3	53.8	63.7
<b>24</b>	84.1	87.5	90.4	72.6	71.4	57.8	70.2	58.6
<b>25</b>	77.3	81.4	78.4	53.7	47.8	44.2	53.8	51.5
<b>26</b>	82.0	92.4	75.2	64.9	48.1	67.5	72.3	55.6
<b>27</b>	64.6	49.3	51.7	56.2	80.6	76.9	86.2	50.4
<b>28</b>	48.3	53.4	62.2	78.4	81.9	84.7	80.8	59.9
<b>29</b>	41.9	48.7	42.5	48.7	45.9	58.3	43.8	45.0
<b>30</b>	42.5	37.8	41.7	43.1	42.0	40.3	41.7	49.9
<b>31</b>	47.8	50.5	58.5	47.0	42.5	50.7	63.1	56.6
<b>32</b>	56.4	52.8	53.3	59.6	84.6	87.1	83.0	74.6

表9.9 大樓周遭各測點之陣風風速  $\tilde{U}/U_8$  (%)

風向	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N
1	50.6	59.2	64.2	50.5	78.6	87.4	90.2	86.4
2	73.5	86.7	93.3	73.4	84.0	92.5	92.5	86.6
3	72.3	70.8	64.7	57.1	61.5	83.8	82.6	85.3
4	30.3	36.5	39.1	35.1	16.3	43.9	44.9	42.2
5	91.5	102.8	95.1	97.4	61.1	56.9	59.4	64.4
6	104.6	112.3	93.6	104.2	88.8	89.6	89.7	83.9
7	103.1	116.3	103.5	90.2	78.4	89.5	74.5	55.3
8	65.5	79.4	78.6	78.7	59.9	54.2	45.3	47.1
9	50.7	53.1	54.1	48.6	56.4	61.9	55.2	50.4
10	60.1	78.4	74.0	59.7	65.1	80.9	86.6	82.1
11	54.6	49.5	49.1	53.5	52.8	57.1	62.8	70.4
12	36.3	40.8	58.0	56.9	44.8	44.6	43.0	61.5
13	62.3	61.7	67.7	60.0	47.3	49.0	56.6	62.1
14	59.1	58.0	64.7	60.1	67.1	66.0	67.9	73.1
15	78.9	64.2	65.6	50.1	50.8	54.1	43.7	51.7
16	62.2	63.2	58.1	38.2	37.8	56.3	81.2	72.0
17	68.7	71.7	64.3	45.7	42.3	56.4	57.5	54.3
18	66.4	84.8	82.5	68.2	57.6	63.0	61.4	60.5
19	67.1	60.7	50.5	53.1	56.5	74.2	81.7	58.8
20	18.3	19.1	18.3	17.6	21.1	24.4	35.7	40.3
21	41.4	44.9	45.5	37.5	52.6	61.1	62.5	83.8
22	62.9	78.3	72.8	50.2	58.1	72.0	77.7	77.4

表9.9續 大樓周遭各測點之陣風風速  $\tilde{U}/U_8$  (%)

風向	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N
<b>23</b>	92.6	83.7	50.1	55.8	70.5	88.6	46.2	83.9
<b>24</b>	79.5	53.4	47.8	60.6	74.9	82.3	89.0	86.6
<b>25</b>	89.2	70.9	67.2	41.6	44.3	63.9	82.9	70.9
<b>26</b>	53.1	51.2	41.6	39.8	43.8	44.0	47.9	52.0
<b>27</b>	74.2	57.7	53.4	48.4	46.9	49.8	58.3	59.4
<b>28</b>	37.1	40.1	38.3	38.4	39.6	41.1	40.2	42.3
<b>29</b>	50.4	49.0	55.6	50.8	55.3	44.2	55.9	40.9
<b>30</b>	47.7	45.0	49.4	44.1	48.7	52.6	40.9	44.7
<b>31</b>	52.0	43.4	49.2	60.7	50.3	47.1	40.1	40.1
<b>32</b>	64.2	54.8	71.7	69.1	57.6	45.0	48.1	49.7

表 9.10 各測點之風環境舒適性等級

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%	每年三次以上	
測點	%	%	%	%	舒適性等 級	安全性等 級
1	52	75	89	11	行走	合格
2	43	60	81	19	行走	合格
3	48	65	83	17	行走	合格
4	67	89	97	3	站立	合格
5	48	64	85	15	行走	合格
6	40	59	80	20	行走	合格
7	54	80	93	7	站立	合格
8	66	90	97	3	站立	合格
9	65	88	97	3	站立	合格
10	56	79	92	8	行走	合格
11	56	74	85	15	行走	合格
12	68	85	93	7	站立	合格
13	67	86	94	6	站立	合格
14	81	97	99	1	坐定	合格
15	68	91	98	2	站立	合格
16	80	97	99	1	坐定	合格
17	65	80	88	12	站立	合格
18	50	66	80	20	行走	合格
19	67	91	98	2	站立	合格
20	76	93	98	2	站立	合格



表 9.10 續 各測點之風環境舒適性等級

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%		每年三次以上
測點	%	%	%	%	舒適性等 級	安全性等 級
21	75	93	99	1	站立	合格
22	61	85	95	5	站立	合格
23	78	87	96	4	站立	合格
24	60	75	85	15	行走	合格
25	53	76	89	11	行走	合格
26	74	90	94	6	站立	合格
27	78	93	97	3	站立	合格
28	57	77	88	12	行走	合格
29	82	96	99	1	坐定	合格
30	77	93	98	2	站立	合格
31	67	86	94	6	站立	合格
32	72	91	97	3	站立	合格

## 第十章 結論與建議

建築物周遭接近地面處之風場可能會影響到行人的舒適性與安全性，擾人或不安全的行人風場會直接影響到建築物的使用與其周遭區域的規劃，因此有關風場環境的評估與改善措施，已成為國內大型建築規劃設計時必須加以考慮的要項之一。

國外許多先進國家及大都市皆有其環境風場的評估標準，以供都市開發與建築業者依循或參考之用。國內的規範有明文規定建築物高度超過 70 公尺應做環境風場評估，但並未訂定環境風場的評估標準與評估方法，使得國內的建築業者無所是從。本計畫便是針對適用於台灣都市使用分區和氣候條件的環境風場提出一個評估標準，並建議風場預測的方式如風洞實驗、數值模擬和風速機率函數應遵循事項，期望能建立一個客觀的環境風場評估標準和正確的風場預測方式，國內的建築業者及審查單位參考。

### 第一節 環境風場標準

環境風場的標準可依國內都市使用分區，諸如住宅區、商業區與工業區，而有不同的標準。因為住宅區為一般民眾居住休息的地方，可容許的強風發生機率應較低，另外風害敏感地區，譬如學校、公園、露天座椅、公車站、醫院、療養院及幼兒遊戲設施等，有殘障、老弱婦孺常出沒之處，可容許的強風發生機率亦應較低。反之，商業區與工業區發生強風的機率則可以稍微放寬。

本研究建議住宅區及風害敏感地區的環境風場標準如下表所示：

分類	等級	風速極限	發生頻率	機率
1	宜人	> 8 m/sec	<每月 180 小時	< 25 %
2	擾人	> 11 m/sec	> 每月 50 小時	> 7 %
3	危險	> 25 m/sec	> 每年 3 小時	> 0.03 %

商業區及工業區的環境風場標準如下表所示：

分類	等級	風速極限	發生頻率	機率
1	宜人	> 8 m/sec	<每月 225 小時	< 31.25 %
2	擾人	> 11 m/sec	> 每月 72 小時	> 10 %
3	危險	> 25 m/sec	> 每年 3 小時	> 0.03 %

以上風速係指離地面2.0 m高處之陣風風速 $\tilde{U}$

$$\tilde{U} = \bar{U} + kU_{\text{rms}}$$

式中 $\bar{U}$ 為平均風速， $U_{\text{rms}}$ 為風速之均方根， $k$ 為陣風因子，建議採用 $k = 3.0$ 。

依照中央氣象局之定義：平均風速之平均時間為10分鐘。

## 第二節 風場預測方式

風場預測方式可採用風洞實驗及數值模擬，但使用的方法往往會影響到評估之結果。因此有必要對風場預測方式予以規範，以確保評估之

結果的正確性。

## 一、風洞實驗需注意事項：

1. 風洞模型之縮尺比例應在 1/200 ~ 1/600，縮尺比例太小的模型不易精確製作，風洞實驗的正確性便會受到影響。
2. 風洞模型需包含以主建築物為圓心，3 倍主建築物高度為半徑範圍內所有的地形、地物及植物等。
3. 為了避免氣流加速現象得發生，模型迎風面積與風洞斷面積的比值不得超過 5%，若阻塞比大於 10%，應調整風洞試驗段之屋頂的高度，或對實驗結果做適當的修正。
4. 風洞中的迫近流必須滿足平均風速與紊流流況的相似。
5. 風洞實驗時，雷諾數  $Re = U_0 H / \nu > 10^4$  以上，其中  $U_0$  為風洞中自由流之流速， $H$  為主建築物的高度， $\nu$  為空氣的運動黏滯係數。
6. 風洞實驗時，必須針對 16 個風向（北北東、東北、東北東、東、東南東、東南、南南東、南、南南西、西南、西南西、西、西北西、西北、北北西、北）分別進行實驗。
7. 風速量測儀器應可量測紊流及逆向流之流速。
8. 風洞實驗之結果必須進行誤差分析。

## 二、數值模擬需注意事項

1. 因建築物周遭的流場為三維、非穩態的紊流，故所使用的數值模式應可計算三維、非穩態的紊流流場。

2. 所使用的數值模式應先與風洞實驗的結果比對以驗證模式的正確性，數值模擬之結果誤差範圍必須在 5% 以內。
3. 為了確保計算結果不受計算範圍的影響，數值模式計算範圍的高度需達邊界層厚度（梯度高度），計算範圍的上游距離主建築物應至少 5 倍主建築物的高度，計算範圍的下游離主建築物至少為主建築物高度的 10 倍。
4. 主建築物周遭 3 倍高度半徑範圍內所有的地形、地物及植物皆需以邊界條件輸入模式中。
5. 數值模式所使用的格網應能計算離地面 1.5 ~ 2.0 m 高度之風速，且必須對不同的計算格網進行測試，直至不同的計算格網結果之差異在 5% 以內，以確保計算結果不受格網影響。
6. 數值模式的迫近流必須滿足平均風速與紊流流況的相似。
7. 數值模式的雷諾數  $Re = U_0 H / \nu > 10^4$ ，其中  $U_0$  為風洞中自由流之流速， $H$  為主建築物的高度， $\nu$  為空氣的運動黏滯係數。
8. 數值模擬時，必須針對 16 個風向（北北東、東北、東北東、東、東南東、東南、南南東、南、南南西、西南、西南西、西、西北西、西北、北北西、北）分別進行模擬。

### 三、評估點的選取

風洞實驗或數值模擬若不能全域地量測或計算受影響區域內所有位置的風速，必須選擇重要的位置點來檢視該位置的舒適性及安全性。評估

點應選擇在基地四周可能發生強風之處及行人常出沒的地方，可藉煙流觀察及學理來判斷。評估點數目視基地大小而定，大多介於 20 ~ 40 點。評估點位置可分為近地面之測點與非近地之測點：

(1)近地面之評估點：

評估點位於離地面 1.5 ~ 2.0 m 高處，主要考慮對地面行人的影響。

- a. 基地四周的人行道、建築物的出入口及停車場出入口。
- b. 主建築物的迎風面、背風面、角隅及特殊突出處。
- c. 基地附近的街道及窄巷，可能發生強風之處。
- d. 基地四周易受風害影響的區域，有老弱殘障人士出沒處，譬如學校、公園、露天座椅、公車站、醫院、療養院及幼兒遊戲設施等。

(2)非近地之評估點：

- a. 主建築物的陽台、露台或其他設施的頂部。
- b. 主建築物透空或開口之處。
- c. 基地四周高層建築物的陽台、露台或其他設施之頂部。
- d. 主建築物周遭之木造建築物或大型看板等易受強風影響之構造物。

#### 四、風速機率

1. 可使用中央氣象局各地地面逐時風速資料進行分析。
2. 建議使用韋伯(Weibull)機率函數。
3. 必須分別對16個風向（北北東、東北、東北東、東、東南東、東南、

南南東、南、南南西、西南、西南西、西、西北西、西北、北北西、北) 進行機率分析。

4. 風速資料的樣本空間不得小於20年。

### 第三節 諮詢單位

國內可供環境風場評估諮詢之單位包括有內政部建築研究所、國立中央大學土木工程學系的大型環境風洞實驗室、海洋大學河海工程學系及淡江大學風工程研究中心，以上單位皆有大型風洞可進行環境風場之模擬。

### 第四節 建議

建議未來的環境風場研究方向：

1. 建議建築研究所之風洞實驗室成立後，推動「風科技整合計畫」之相關研究工作。
2. 以問卷調查的方式瞭解台灣民眾對行人風場的敏感程度。
3. 針對一棟建築物周遭風場進行現場監測，所得風速記錄可供風洞實驗及數值模擬驗證之用。
4. 邀請國內外風場評估單位針對同一棟建築物評估其風場，並比較其結果，以認證其風場評估的正確性。

5. 不論數值模擬或風洞實驗，應有認定程序或認證機制，可考量於高層建築技術準之總則篇中予以納入。
6. 建議就「建築技術規則」應就風洞試驗之事項研擬條文。



## 參考文獻

1. 賴光邦 (1983) *敷地計劃中局部氣候之控制*，六合書局
2. 蔡益超，林宗賢 (1984) *建築物所受風力規範研擬*，國科會防災科技研究報告，NSC73-0414-P002-04
3. 林憲德 (1986) *台灣地區建築物理環境計畫用氣象資料系統之研究*，國科會專題研究報告，NSC74-0410-E006-21
4. 吳武易 (1992) *超高層建築環境影響評估方法之研究：以物理環境影響因子為對象*，成功大學建築學系碩士論文
5. 鄭啟明，盧博堅 (1992) *高層建築之風洞試驗及準則*，內政部建築研究所研究報告
6. 林憲德 (1994) *現代人類的居住環境*，胡氏書局
7. 陳瑞華 (1995) *風力規範中標稱風速與載重係數之研究(I)*，國科會專題研究報告
8. 張景鐘 (1995) *台灣風力載重規範中相關係數之可靠度研究*，國科會專題研究報告
9. 蔡益超，陳瑞華，項維邦 (1996) *建築物風力規範條文解說及示範例之研訂*，內政部建築研究所研究報告
10. 林憲德 (1996) *熱濕氣候的綠色建築計畫*，詹氏書局
11. 范祥宇 (1996) *不同建築造型對地面風場之影響*，淡江大學水資源及環境工程學系碩士論文
12. 張世典 (1998) *敷地生態環境科技之風環境科技*，內政部建築研究所研究報告
13. 朱佳仁 (1998) *國立中央大學大型環境風洞簡介*，國立中央大學土木工程學系研究報告，CE-WT-1998-001
14. Arens, E., Ballanti, D., Bennett, C., Guldman, S. and White, B. (1989) "Developing the San Francisco wind ordinance and its guidelines of compliance, *Building and Environment*, 24, 4, pp.297-303
15. American Society of Civil Engineers (1999) *Wind Tunnel Studies of Buildings and Structures*, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No.67,

New York, U.S.A

16. Bottema, M., Leene, J.A., and Wisse, J.A. (1992) "Towards forecasting of wind comfort", *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, 41-44, pp.2365-2376
17. Cermak, J.E. (1981) Wind tunnel design for physical modeling of atmospheric boundary layers. *J. of Engineering Mechanics Division*, ASCE, 107, No. EM3, June, pp.623-642.
18. Cermak, J.E. (1984) Wind Simulation Criteria for Wind Effect Tests, *J. of Structural Engineering*, ASCE, Vol.110, No.2, pp. 328-339.
19. Chu, C.R. and C.K. Soong (1997) Numerical Simulation of wind-induced entrainment in a stably stratified water basin. *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 35, No.1, pp.21- 41
20. Durgin, F.H, and Chock, A.W. (1982) "Pedestrian level winds:A brief review", *J. of the Stuctural Division*, ASCE, Vol.108, pp.1751-1767
21. Durgin, F.H. (1990) "Use of the equivalent average for evaluating pedestrian level winds", *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, 36, pp.817-828
22. Durgin, F.H. (1992) "Pedestrian level wind studies at the wright brothers facility", *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, 41-44, pp.2253-2264
23. Durgin, F.H. (1997) "Pedestrian level wind criteria using the equivalent average", *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, 66, pp.215-226
24. Hanlon, J. (1972) "Taming man-made winds", *New Scientist*, 29, June, pp.732-734
25. He, J. and Song, C.C.S. (1992) "Computation of turbulent shear flow over surface-mounted obstacle", *J. of Engineering Mech.*, ASCE, Vol.118, No.11, pp.2282-2297
26. Hunt, J.C.R., Poulton, E.C., and Mumford, J.C. (1976) "The effects of of wind on people: new criteria based on wind tunnel erperiments", *Building Environment*, 11, pp.15-38
27. Irwin, H.P.A.H. (1981) "A simple omni-directional sensor for wind tunnel studies of pedestrian-level winds", *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, 7, pp.219-239

28. Isyumov, N. and Davenport, A.G. (1975) "The ground level wind environment in build-up areas", *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures*, Cambridge University Press, pp.403-422
29. Jamieson, N.J., Carpenter, P. and Cenek, P.D. (1992) "The effect of architectural detailing on pedestrian level wind speeds", *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, 41-44, pp.2301-2312
30. Kaimal, J.C. and Finnigan, J.J. (1994) *Atmospheric Boundary Layer: Their Structure and Measurement*, Oxford University Press, p.289
31. Kato, N., Ohkuma, T., Kim, J.R., Marukawa, H., and Niihori, Y. (1992) "Full scale measurements of wind velocity in two urban areas using an ultrasonic anemometer", *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, 41-44, pp.67-78
32. Kawamura, S., Kimoto, E., Fukushima, T., and Taniike, Y. (1988) "Environmental wind characteristics around the base of a tall building — A comparison between model test and full scale experiment", *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, 28, pp.149-158
33. Lawson, T.V. and Penwarden, A.D. (1975) "The effects of wind on people in the vicinity of buildings", *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures*, Cambridge University Press, pp.605-622
34. Liu, H. (1991) *Wind Engineering*, Prentice Hall, Inc.
35. Livesey, F., Inculet, D., Isyumov, N., and Davenport, A. G. (1990) "A scour technique for evaluation of pedestrian winds", *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, 36, pp.779-789
36. Melaragno, M. (1982) *Wind in Architectural and Environmental Design*, Vn Nostrand Reinhold Co.
37. Melbourne, W.H. (1978) "Criteria for environmental wind conditions, *J. of Industrial Aerodyn.*, 3, pp.241-249
38. Murakmi, S. and Fhjii, K. (1983) "Turbulence characteristics of wind flow at ground level in built-up area", *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, 15, pp.133-144

39. Murakami, S., Y. Iwasa, and Y. Morikawa (1986) "Study on acceptable criteria for assessing wind environment ground level based on residents' diaries", *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, 24, pp.1-18
40. Ohba, M., Kobayashi, N., and Murakmi, S. (1988) "Study on the assessment of environmental wind conditions at ground level in a built-up area", *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, 28, pp.129-138
41. Panofsky, H.A. and Dutton, J.A. (1984) *Atmospheric Turbulence: Models and Methods for Engineering Applications*, John Wiley & Sons Press, 397 p.
42. Penwarden, A.D. (1973) "Acceptable wind speeds in towns", *Build. Sci.*, 8, pp.259-267
43. Ratcliff, M.A., and Peterka, J.A. (1990) "Comparison of pedestrian wind acceptability criteria", *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, 36, pp.791-800
44. Seguro, J.V. and Lambert, T.W. (2000) "Modern estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy analysis", *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, 85, pp.75-84
45. Simiu, E., and Scanlan, R.H. (1996) *Wind Effects on Structure: Fundamentals and Applications to Design*, 3<sup>rd</sup> Edition, John Wiley Inc.
46. Sparks, P.R. and Elzebda, J. (1983) "A comparison of pedestrian comfort criteria applied to a city center", *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, 15, pp.123-132
47. Song, C.C.S. and He, J. (1993) "Computation of wind flow around a tall building and the large-scale vortex structure", *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, Vol.46, pp.219-228
48. Sorbjan, Z. (1989) *Structural of the Atmospheric Boundary Layer*, Prentice Hall Inc., 317 p.
49. Stathopoulos, T. , and Wu, H. (1995) "Generic models for pedestrian-level winds in built-up regions", *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, 54/55, pp.515-525
50. To, A.P., and Lam, K.M. (1995) "Evaluation of pedestrian-level wind environment around a row of tall buildings using a quartile-level wind speed

- descriptor”, *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, 54/55, pp.527-541
51. Uematsu, Y., Yamada, M., Higashiyama, H. and Orimo, T. (1992) “Effects of the corner shape of high rise buildings on the pedestrian-level wind environment with consideration of mean and fluctuating wind speeds”, *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, 41- 44, pp.2289-2300
  52. Wang, Z.Y. Plate, E.J., Rau, M. and Keiser, R. (1996) “Scale Effects in wind tunnel modelling”, *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, 61, pp.113-130
  53. White, B.R. (1992) “Analysis and wind-tunnel simulation pedestrian-level winds in San Francisco”, *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, 41-44, pp.2353-2364
  54. Wu, H. and Stathopoulos, T. (1993) “Wind-tunnel techniques for assessment of pedestrian-level winds”, *J. of Engineering Mechanics*, ASCE, Vol.119, pp.1920-1933
  55. Wu, H. and Stathopoulos, T. (1997) “Application of infrared thermography for pedestrian wind evaluation”, *J. of Engineering Mechanics*, ASCE, Vol.123, No. 10, pp.978-985
  56. Yamada, M., Uematsu, Y., and Sasaki, R. (1996) “A visual technique for the evaluation of the pedestrian-level wind environment around buildings by using infrared thermography”, *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, 65, pp.261-271

## 附錄一：高層建築物之風場環境評估標準(草案)

條 文	說 明
第一章 總則	章 名
<p>第一條 (依據) 本標準依「開發行為環境影響評估作業準則」第二十二條之規定訂定。</p>	<p>一、揭示本標準之訂定依據。為減少高層建築物對風場環境造成之衝擊，提昇國人居住環境的品質，風場評估需建立一個適合國人及國內都市使用分類的客觀環境風場評估標準和正確的風場預測方式，特訂定本標準。</p> <p>二、高層建築物對風場環境之影響及風場環境品質之評估，應建立符合基準與評估標準，使主管單位有審查之依據，而開發單位應採用最佳可行之防制(治)技術，以符合此一基準或使現已不符基準者不致繼續惡化。</p> <p>三、本標準乃依據(八六)環署綜字第八〇四七九號令發布「開發行為環境影響評估作業準則」第二十二條之規定訂定。</p>
<p>第二條 (適用範圍) 本標準適用範圍為建築物高度超過七十公尺或樓層二十二層以上之高層建築物。</p>	<p>一、明定本標準適用之範圍。</p> <p>二、依前條準則第二十二條規定：「開發行為中除煙囪外有七十公尺以上之高層結構體者，其可能產生之風場、日照、電波以及空氣污染物擴散之干擾等負面影響，應予預測及評估，並提出因應對策；必要時應進行相關之模擬分析或試驗。」，台北市綜合設計公共開放空間設置及管理維護要點亦有相關規定：「建築高度超過六十公尺，應對其建築物之量體及配置對公共開放空間的微氣候等之影響進行檢討」。惟環保署所定之準則適用於全國，故本條依其規定訂定。</p>

<p>第三條 (名詞解釋) 本標準專用名詞定義如下：</p> <p>一、阻塞比：模型迎風面積與風洞斷面積的比值。</p> <p>二、風向：風吹來之方向，亦即風標所指之方向。</p> <p>三、風速：氣流流動之速度。</p> <p>四、風速機率：描述各級風速發生機率之函數。</p> <p>五、風洞：可提供穩定風速之密閉、長形的實驗設備。</p> <p>六、風洞試驗：以風洞對建築物進行測試。</p> <p>七、風害敏感地區：係指學校、公園、露天座椅、公車站、醫院、療養院及幼兒遊戲設施。</p> <p>八、陣風：瞬間風速與時間平均風速之差值。</p> <p>九、陣風風速：係指離地面 2.0 m 高處之陣風風速 <math>\tilde{U}</math>，  <math>\tilde{U} = \bar{U} + kU_{rms}</math>，式中 <math>\bar{U}</math> 為平均風速，<math>U_{rms}</math> 為風速之均方根，<math>k = 3.0</math> 為陣風因子。</p> <p>十、陣風因子：描述陣風風速之無因次係數。</p> <p>十一、雷諾數：流體慣性力與黏滯力之比。</p> <p>十二、數值模擬：以數值模式模擬或預測可能發生之風場。</p> <p>十三、模型縮尺比：模型高度與實際建築物高度的比值。</p>	<p>為使本標準用詞淺顯明確，爰將本法專用名詞加以詮釋。</p>																																
<p>第二章 評估標準與內容</p>	<p>章名</p>																																
<p>第四條 (評估標準) 高層建築物風場環境評估應符合以下標準：</p> <p>一、住宅區及風害敏感地區：</p> <table border="1" data-bbox="231 1272 949 1444"> <thead> <tr> <th>等級</th> <th>陣風風速</th> <th>發生頻率</th> <th>風速機率</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>宜人</td> <td>&gt; 8 m/sec</td> <td>&lt; 每月 180 小時</td> <td>&lt; 25 %</td> </tr> <tr> <td>擾人</td> <td>&gt; 11 m/sec</td> <td>&gt; 每月 50 小時</td> <td>&gt; 7 %</td> </tr> <tr> <td>危險</td> <td>&gt; 25 m/sec</td> <td>&gt; 每年 3 小時</td> <td>&gt; 0.03 %</td> </tr> </tbody> </table> <p>二、工業區及商業區：</p> <table border="1" data-bbox="231 1563 949 1736"> <thead> <tr> <th>等級</th> <th>陣風風速</th> <th>發生頻率</th> <th>風速機率</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>宜人</td> <td>&gt; 8 m/sec</td> <td>&lt; 每月 225 小時</td> <td>&lt; 31.25 %</td> </tr> <tr> <td>擾人</td> <td>&gt; 11 m/sec</td> <td>&gt; 每月 72 小時</td> <td>&gt; 10 %</td> </tr> <tr> <td>危險</td> <td>&gt; 25 m/sec</td> <td>&gt; 每年 3 小時</td> <td>&gt; 0.03 %</td> </tr> </tbody> </table>	等級	陣風風速	發生頻率	風速機率	宜人	> 8 m/sec	< 每月 180 小時	< 25 %	擾人	> 11 m/sec	> 每月 50 小時	> 7 %	危險	> 25 m/sec	> 每年 3 小時	> 0.03 %	等級	陣風風速	發生頻率	風速機率	宜人	> 8 m/sec	< 每月 225 小時	< 31.25 %	擾人	> 11 m/sec	> 每月 72 小時	> 10 %	危險	> 25 m/sec	> 每年 3 小時	> 0.03 %	<p>一、依各國使用之評估標準訂定本土化之高層建築物風場環境評估標準。</p> <p>二、本標準依國內都市使用分區分成住宅區及風害敏感地區與工業區及商業區兩大類。</p> <p>三、住宅區為一般民眾居住休息的地方，可容許的強風發生機率應較低，另外風害敏感地區，譬如學校、公園、露天座椅、公車站、醫院、療養院及幼兒遊戲設施等，有殘障、老弱婦孺常出沒之處，可容許的強風發生機率亦應較低。反之，商業區與工業區發生強風的機率則可以稍微放寬。</p>
等級	陣風風速	發生頻率	風速機率																														
宜人	> 8 m/sec	< 每月 180 小時	< 25 %																														
擾人	> 11 m/sec	> 每月 50 小時	> 7 %																														
危險	> 25 m/sec	> 每年 3 小時	> 0.03 %																														
等級	陣風風速	發生頻率	風速機率																														
宜人	> 8 m/sec	< 每月 225 小時	< 31.25 %																														
擾人	> 11 m/sec	> 每月 72 小時	> 10 %																														
危險	> 25 m/sec	> 每年 3 小時	> 0.03 %																														
<p>第五條 (風速機率) 高層建築物所在地區風速與風向之機率分佈函數分析應依下列規定：</p> <p>1. 機率分析須包含北北東、東北、東北東、東、東南東、東南、南南東、南、南南西、西南、西南西、西、西北西、西北、北北西、北等16個風向。</p>	<p>為確保高層建築物風場環境能符實際需要，風速與風向之機率分布須有相同之分析基準並具代表性。</p>																																

<p>2. 分析之風速資料至少須有20年之逐時的風速、風向記錄。建議使用中央氣象局各地地面逐時風速資料進行分析。</p> <p>3. 風速機率分布使用韋伯(Weibull)機率函數。</p>	
<p>第六條 (評估點的選取) 評估點應選擇在基地四周可能發生強風之處及行人常出沒的地方, 其位置分為近地面之測點與非近地之測點:</p> <p>1. 近地面之評估點: 離地面 1.5 ~ 2.0 m 高處, 主要考慮對地面行人的影響。</p> <p>(1) 基地四周的人行道、建築物的出入口及停車場出入口。</p> <p>(2) 主建築物的迎風面、背風面、角隅及特殊突出處。</p> <p>(3) 基地附近的街道及窄巷, 可能發生強風之處。</p> <p>(4) 基地四周易受風害影響的區域, 有老弱殘障人士出沒處, 譬如學校、公園、露天座椅、公車站、醫院、療養院及幼兒遊戲設施等。</p> <p>2. 非近地之評估點:</p> <p>(1) 主建築物的陽台、露台或其他設施的頂部。</p> <p>(2) 主建築物透空或開口處。</p> <p>(3) 基地四周高層建築物的陽台、露台或其他設施之頂部。</p> <p>(4) 主建築物周遭之木造建築物或大型看板等易受強風影響之構造物。</p>	<p>風洞實驗或數值模擬若不能全域地預測或計算受影響區域內所有位置的風速, 必須選擇重要的位置點來檢視該位置的舒適性及安全性。</p>
<p>第三章 預測方法</p>	<p>章名</p>
<p>第七條 (預測方法) 環境風場的預測方法可採用風洞實驗或數值模擬。</p>	<p>列舉風場預測方式應遵循事項, 以確保評估結果的客觀性與正確性。</p>
<p>第八條 (風洞實驗) 風洞實驗應遵循事項:</p> <p>1. 風洞模型之縮尺比例應在 1/200 ~ 1/600。</p> <p>2. 風洞模型需包含以主建築物為圓心, 3 倍主建築物高度為半徑範圍內所有的地形、地物及植物等。</p> <p>3. 模型迎風面積與風洞斷面積的比值不得超過 5%, 若阻塞比大於 10%, 應做適當的修正。</p> <p>4. 風洞中的迫近流必須滿足平均風速與紊流流況的相似。</p> <p>5. 風洞實驗時, 雷諾數 <math>Re = U_0 H / \nu &gt; 10^4</math> 以上, 其中</p>	<p>一、明定風洞實驗應遵循事項, 俾使風洞實驗結果具可信度。</p> <p>二、縮尺比例太小的模型不易精準製作, 風洞實驗的正確性便會受到影響。</p> <p>三、避免氣流加速現象的發生, 模型迎風面積與風洞斷面積的比值不得超過 5%。</p> <p>四、為滿足流場的相似性, 明定雷諾數大於 <math>10^4</math> 以上。</p>



<p><math>U_0</math> 為風洞中自由流之流速，<math>H</math> 為主建築物的高度，<math>\nu</math> 為空氣的運動黏滯係數。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>風洞實驗時，必須針對北北東、東北、東北東、東、東南東、東南、南南東、南、南南西、西南、西南西、西、西北西、西北、北北西、北等 16 個風向分別進行實驗。</li> <li>風速量測儀器應可量測紊流及逆向流之流速。</li> <li>風洞實驗之結果必須進行誤差分析。</li> </ol>	<p>雷諾數大於 <math>10^4</math> 以上。</p> <p>五、16 個風向之實驗要求為配合中央氣象局量測發布之氣象站的風向資料。</p>
<p>第九條（數值模擬）數值模擬需注意事項</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>所使用的數值模式應可計算三維、非穩態的紊流流場。</li> <li>所使用的數值模式應先與風洞實驗的結果比對以驗證模式的正確性，數值模擬之結果誤差範圍必須在 5% 以內。</li> <li>數值模式計算範圍的高度需達邊界層厚度（梯度高度），計算範圍之上游距離主建築物應至少為主建築物高度的 5 倍，計算範圍的下游離主建築物應至少為主建築物高度的 10 倍。</li> <li>主建築物周遭 3 倍高度半徑範圍內所有的地形、地物及植物，皆需以邊界條件輸入模式中。</li> <li>數值模式所使用的格網應能計算離地面 1.5 ~ 2.0 m 高度之風速，且必須對不同的計算格網進行測試，直至不同的計算格網結果之差異在 5% 以內。</li> <li>數值模式的迫近流必須滿足平均風速與紊流流況的相似。</li> <li>數值模式的雷諾數 <math>Re = U_0 H / \nu &gt; 10^4</math>，其中 <math>U_0</math> 為風洞中自由流之流速，<math>H</math> 為主建築物的高度，<math>\nu</math> 為空氣的運動黏滯係數。</li> <li>數值模擬時，必須針對北北東、東北、東北東、東、東南東、東南、南南東、南、南南西、西南、西南西、西、西北西、西北、北北西、北等 16 個風向分別進行模擬。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>明定數值模擬應遵循事項，俾使數值模擬結果具可信度。</li> <li>因建築物周遭的流場為三維、非穩態的紊流，故數值模式須可計算三維、非穩態的紊流流場。</li> <li>規定數值模式計算之高度與範圍，以確保計算結果不受計算範圍的影響。</li> <li>網格之規定以確保計算結果不受格網的影響。</li> <li>為滿足流場的相似性，明定雷諾數大於 <math>10^4</math> 以上。</li> <li>16 個風向之實驗要求為配合中央氣象局量測發布之氣象站的風向資料。</li> </ol>
<p>第四章 評估報告</p>	<p>章名</p>
<p>第十條（評估步驟）風場評估須依一定之評估步驟如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>依據高層建築物的設計圖和周遭建築物的配置等基本資料建立模型，並依本標準第七條之規定選取評估點。</li> </ol>	<p>評估步驟之說明。</p>

<ol style="list-style-type: none"> <li>2. 藉由風洞實驗或數值模擬方法預測將來高層建築物興建之後，周遭各測點的風速。</li> <li>3. 依據本標準第六修之規定，以所得之機率分析結果計算各評估點各級風速的發生機率。</li> <li>4. 評估各評估點之強風發生率是否符合本標準第四條之規定。</li> <li>5. 若強風發生的機率超過舒適性或安全性的等級，則表示該建築物的環境風場不合格，必須加以改善。</li> <li>6. 在建築業者提出改善措施後，再一次地來預測和評估建築物周遭各級風速的發生機率，直到建築物周遭各測點皆合格為止。</li> </ol>	
<p>第十一條（評估報告）評估報告中應明確敘述以下之項目：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 基本資料：高層建築物之設計資料、地理位置、周圍建築物配置與環境等基本資料。其中設計資料包括各向立面圖(1/400)與平面配置圖(1/200)。</li> <li>2. 氣象資料：高層建築物所在地區歷年之逐時風速與風向資料。</li> <li>3. 機率函數：基地之風速、風向資料與所採用分析之機率函數（韋伯機率函數）。</li> <li>4. 預測方法：風場預測之方法為風洞試驗或數值模擬。 <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 風洞試驗：若採用風洞試驗，須述明風洞試驗中所使用之量測儀器及試驗條件(來流流況、模型縮尺比、試驗風速等)。</li> <li>(2) 數值模擬：若採用數值模擬，須述明數值模擬所採用之模式、模擬條件(來流流況、雷諾數、計算網格等)、計算範圍及驗證結果。</li> </ol> </li> <li>5. 結果與討論： <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 風場評估點之位置及陣風風速比。</li> <li>(2) 各評估點之風速發生機率及評估結果。</li> <li>(3) 實施改善措施後，各評估點之風速發生機率及評估結果。</li> </ol> </li> <li>6. 改善措施：建議可行的改善措施。</li> </ol>	<p>明訂評估報告應載明事項。</p>
<p>第五章 附則</p>	<p>章名</p>
<p>第十二條（施行日）本標準自公布日施行。</p>	<p>明定本標準施行日期。</p>

## 附錄二：期中報告審查意見回應表

溫顧問維謙：

1. 期中報告中有關評估方法第三項若符合舒適性之標準則准予興建，係針對新建建築物之管制，對於舊有大樓部分如台電大樓，除有掀裙風之外，甚至有吹倒行人紀錄，建議對風場不良之舊有大樓亦能提出具體之改善方案。

回覆意見：已興建之舊有大樓因無法令規定其必須改善不良之風場，故無法管制。若想改善已興建大樓周遭之環境風場，建議可用植栽或設置雨披、棚架的方式加以改善。

營建署 陳研究員雅芳：

1. 報告中風場標準係依據國外之標準抑或由本土之數據推估，應予說明。
2. 研究內容係對新建建築物加以規範，對於已興建完成之建築物能否亦據以提出改善建議。
3. 報告中有關商業區及工業區發生強風的機率可予提高，惟需注意其對工作及消費行為造成之影響。
4. 需進行風場評估之建物規模是否比照現有法令之規定，請予說明。

報告中並未說明對建築物半戶外開放空間之影響，建議可予列入考量。

- 回覆意見：
1. 本研究所建議之環境風場評估標準係考量台灣地區強風發生機率訂定而成，期末報告中有加以說明。
  2. 期末報告中有加入已興建之大樓周遭環境風場的改善措施。
  3. 風場標準已有考量強風對商業區及工業區之工作及消費行為所造成之影響。

4. 期末報告中建議需進行風場評估之建物規模比照現有法令之規定。

蔡教授添璧：

1. 本研究之結論，希望能就三項預期成果分項具體列舉，並包含案例說明，以利建築師參考。
2. 風場相關理論與研究等資料，一般建築師參考不易，建議不需納入評估準則中。

回覆意見：1. 期末報告中已加入評估案例之說明，可供建築業者之參考。

2. 風場評估之相關理論可供審查單位審查之依據，故仍應納入評估準則之中。

周主任鼎金：

1. 評估準則建議以條列方式呈現較明確。
2. 目前國內有那些單位可提供風場環境評估，建議列入說明。

回覆意見：1. 期末報告共有十章，皆以條列方式呈現。

2. 期末報告中有列出國內可提供環境風場評估之單位。

林博士後研究員碧亮：

1. 研究內容包含理論與實驗值得肯定，建議多介紹幾個案例研究，以利準則之擬定與比較。
2. 準則界定為一困難工作，建議先行擬定，並在下個月專家諮詢會議中提出檢討。

回覆意見：1. 期末報告中已加入評估案例之說明，可供準則之擬定與比較。

2. 所擬定之評估準則已在專家諮詢會議中有充分的討論。

呂助理研究員文弘：

1. 不同都市土地使用分區雖重要，但依據現行法令，規模大小為風場評估關鍵因素，其相互關係可否予檢討。
2. 建議準則或規範能予條列化，以利成果之推廣與應用。

回覆意見：1. 都市土地使用分區與建築物規模大小為不同的因素，其間並無一定的相互關係。

2. 期末報告共有十章，皆以條列方式呈現。

何主任秘書明錦：

1. 風洞實驗所做之模擬案例，是否可納入討論？
2. 風場環境影響評估在風場影響基地範圍內可要求業主據以改善，但基地範圍外卻無從要求改善，如何解決？
3. 建築物若設有平台，其設計與使用注意事項可否納入探討？
4. 研究成果是否有可供建築師規劃設計遵循之事項。

回覆意見：1. 期末報告中已加入評估案例之說明。

2. 基地範圍外之改善措施應視業主與附近居民協調之結果，其改善措施因個案而定。

3. 期末報告中有說明建築物之基座對環境風場之影響。

4. 期末報告中有列出風場評估時應遵循事項。

丁副所長育群：

1. 研究題目「高層建築物風場環境評估規範研議」，由於規範需有依據與法源，本研究結果並非規範，故「規範」應予修訂為「準則」，以符規定。
2. 研究成果呈現方式影響應用與推廣，故需考量建築師之需求來訂定準則。
3. 本研究以正風壓為主，負風壓是否可予納入考量。

回覆意見：1. 研究題目已改為「高層建築物風場環境評估準則研議」。

2. 建築師大多委託專業之風場評估單位進行評估，因此所擬定之評估準則乃針對審查單位之需求來訂定。

3. 環境風場評估時正負風壓皆有納入考量。

# 附錄三：專家諮詢會議記錄

## 高層建築物環境風場評估準則研議

### 專家諮詢會議

- 一、 時間：中華民國 89 年 5 月 5 日(星期五)早上 9 時 30 分
- 二、 地點：本所會議室
- 三、 主席：丁副所長育群                      記錄：
- 四、 出席人員：如簽到單
- 五、 主席致詞：(略)
- 六、 出席人員發言要點：

#### 溫教授國忠：

1. 風洞實驗模型的製作與模型材質是否有關連，可否提出模型材質之標準。
2. 有關舒適度之擬定，可否以目前的大樓風場，實做現場調查、訪問做進一步探討。
3. 有關設計後、施工中及使用中之監測，可否擬定於評估準則中。
4. 建議能有建築物設計形式的改善方式與設計規範之擬定，提供建築師針對不合格之處做改善。
5. 可否將此研究結果推導致有效通風處改善之評估，如地下大型停車場或密閉空間。

#### 蕭教授葆羲：

1. 環境風場之定義範圍應採廣義的界定，亦即高層建築物周遭之風場變化。至於高度 1.5 ~ 2 m 處之風場，屬行人風。

2. 行人風之標準訂定，建議應廣泛搜集各地風速資料分析，以符合本土化特性，並考慮各地區之地形條件。
3. 風洞模型試驗，其模型阻塞比建議可採用較鬆之條件，例如為 10%，有利於複雜地形試驗。
4. 相關資料文獻搜集十分完備。

鄭教授啟明：

1. 應做個案比較。
2. 建議以平均風速加上一因子，非只以陣風。
3. 地形影響應考慮。
4. 模型不應大於風洞斷面之 5% 應可再放寬；且雷諾數為  $10^5$  應可再進一步討論。

陳教授瑞華：

1. 建議將表 2.3、2.4 與結論中風速定義清楚(平均風速、陣風、k 值)。
2. 建議結論中大於及小於的符號，宜以範圍界定。
3. 應說明台北風速站之資料有多少樣本點。
4. 建議附一評估範例。

鄭教授政利：

1. 本研究對其“環評”作業有其迫切的需要及重要價值，以課題“評估準則研議”而言，本研究的內容似乎包含了技術規範之內容，工作上可能需要適當釐清。
2. 都市環境的構成十分複雜，除了“使用分區”的分類評估外，能否從環境型態或建築型式上做簡化分類，對設計者會有直接幫助。
3. 研究中能否以實際案例進行風洞試驗、風場模擬與現場測試來比對，



建立具體參考依據。

4. 參考文獻上，建議可以再多收集日本方面的資料，國內成功大學之研究成果可提供參考。

周教授鼎金：

1. 建議增加將相關研究資料彙整出一章，以條列式研擬出準則架構。
2. 準則架構之建議如下：
  - 一、 目的
  - 二、 適用範圍（規模、高度、風場範圍）
  - 三、 評估方法（應具備的資料等）
  - 四、 評估準則
  - 五、 預測方法（風洞試驗之相關條件與原則）
  - 六、 改善方式
  - 七、 實驗單位與諮詢單位
  - 八、 範例（評估流程等）

陳組長正改：

1. 氣象預報之目的主要是著重於防災及減災；至於進一步應用氣象資訊在各行各業，中央氣象局樂觀期成，並願意協助及提供相關資料。
2. 在國外，有關環境評估、都會及社區之開發、建築規範之研訂及審議等等，均會考慮氣象因素及條件，所以氣象學者及專家亦會共同參與。
3. 依台北捷運系統行車規章：
  - (1) 木柵線（中運量） - 當風速達每小時 60 公里（7 級風），列車應駛回動物園站；風速達每小時 80 公里（9 級風），列車則停於當地之車站。
  - (2) 淡水線（重運量） - 風速達 8 級風，改為人員駕駛；風速達 10 級風，列車立即停駛。
4. 颱風來襲時，停止上班及上課標準：根據氣象預報，颱風暴風半徑於

四小時內可能經過的地區，平均風力可達 7 級以上或陣風可達 11 級以上時，即達全面停止上班及上課；但平均風力可達 6 級以上或陣風可達 10 級以上時高級中學以下學生可先行停止上課。

5. 風速為風的速度，即在單位時間內風的行程。世界氣象組織規定其單位為每秒公尺 ( m/s )，但目前亦有以每小時浬 ( knot ) 計算者；其關係為  $1.0 \text{ m/s} = 1.9424 \text{ kts}$ 。
6. 因風有陣性，故風速不能保持長時間而不變。世界氣象組織規定採用 10 分鐘之平均速度，即觀測時間正時之前 10 分鐘內之平均風速。( 美國 JTWC 及我國空軍氣象單位採 1 分鐘平均值、中國大陸氣象單位採 2 分鐘平均值、我國中央氣象局及日本氣象廳係根據世界氣象組織規定，採用 10 分鐘之平均值。 )
7. 瞬間風速：在某一短暫時間 ( 約 5 至 20 秒間，依儀器構造及性能而不同 ) 內之風速，稱為瞬間風速。瞬間風速與當時平均風速之比，隨風速大小及變動周期而改變，必要時可以 1.5~1.7 倍加以估計。
8. 陣風：10 分鐘平均風速與在此 10 分鐘內所出現之最大瞬間風速之差，如大於 5m/s 時，即為有陣風現象。平均風速與最大瞬間風速之差在 5~10m/s 者稱為小陣風，在 10m/s 以上者稱為大陣風。
9. 根據蒲福風級估計風速時，須注意各該目標物是否受障礙物之影響。蒲福風級與風速之關係為：  
$$V = 0.836B^{3/2}$$
 V 為風速 ( m/s ) B 為蒲福風級
10. 規範台灣地區的「住宅區及風害敏感區和商業區及工業區之環境風場標準」( 第四章之 4-1 評估標準之表 ) 時，應考慮國人之體格、體形及身高 ( 均比歐美為瘦小 )
11. 正值政府全力重建中部震災地區之時，建議內政部建研所將「環境風場的評估標準」之理念加以推廣及應用。

陳組長瑞鈴：

1. 綜合大家所提出之問題做整理，應該考慮風速、氣候、地形與地物，且要本土化。
2. 土地分區的標準。

3. 國內風洞設備是否都能達到評估需求，且成本是否會過高。
4. 應有後續監控研究。

丁副所長育群：

1. 邊界條件的不同（如複雜的山坡地形）應考慮。
2. 舒適度範圍的給定應多區分幾個程度。
3. 負風壓是否應考量。
4. 多用圖表，有利建築師參考。
5. 是否有相關法規須改進。

## 附錄四：期末報告審查意見回應表

鄭元良研究員：

1. 評估標準僅區分「住宅區及風害敏感地區」與「商業區及工業區」兩大類，請說明依據與原因。又為何學校、醫院、療養院、幼兒遊憩設施等屬風害敏感地區，應併予說明。
2. 國內風場環境評估標準，係參酌國外標準訂定，第 4-11 頁與 4-13 頁有關國內外標準表內等級分類不同，請說明不同的理由。

回覆意見：因為區域的使用目的、活動有所不同，可容忍的風速亦應有所不同，因此風場評估標準有需要加以區分。學校、醫院、療養院及幼兒遊憩設施等地區常有老弱殘障人士出沒，強風的影響可能較大，故設定為風害敏感地區。

國內風場環境評估標準係考量台灣地區強風發生機率訂定而成，與國外標準有所不同，期末報告中有加以說明。

丁育群副所長：

1. 高層建築物之戶外空間如露台、退縮空間或露天餐廳等，是否納入考量？
2. 準則應予條文化，有關結論與建議第一節評估準則，第二節風場預測方式格式應予條文化，俾作有關單位法制化之參考。

回覆意見：建築物之戶外空間的風場，如露台、退縮空間或露天餐廳等亦可能影響到建築物使用者的舒適性與安全性，風場評估時亦需納入考量，期末報告第 4、10 章皆有加以說明。

期末報告已將評估準則和風場預測方式予以條文化。

陳瑞華教授：

1. 第十章結論與建議第一節環境風場標準表，宜說明機率計算方式，並註

明平均風速之平均時間。第二節風洞實驗與數值模擬所涵蓋之範圍分別為建物高度之 3 倍和 10 倍，其倍數不同之原因請予敘明。

回覆意見：環境風場標準表有加入機率計算方式之說明。

依照中央氣象局之定義：平均風速之平均時間為 10 分鐘，期末報告中有加以說明。

風洞實驗所涵蓋之範圍為 3 倍建物高度，數值模擬所涵蓋之範圍為 10 倍建物高度，其倍數不同是因為數值模擬之上、下游邊界條件可能會影響到計算結果，故計算範圍的上、下游邊界應設在距離主建築物較遠處。

中央氣象局 陳正改組長：

1. 本研究計畫除舉辦期中與期末簡報會議外，另邀請學者專家舉行諮詢會議廣納各界意見，執行之用心及敬業，應予肯定。
2. 天氣預報主要目的在於防災及減災；至於是否進一步將氣象資訊應用在環境影響評估，中央氣象局樂觀其成，並願意協助及提供相關資料。
3. 在國外有關社區開發、建築規範研訂涉環境影響評估者均會考慮氣象因素及條件，所以在審議時均會邀請氣象學者及專家參與。
4. 研訂建築物風場環境評估準則，除考量土地使用分區(如住宅區、商業區及工業區)而有不同的標準外，是否亦應考量當地之地域效應(如都會、市郊、濱海、離島等)？
5. 表 2.1 之  $I_u$  (%) 代表何意義？請敘明。
6. 第二章及第八章表序號及圖序號部分不符合，應予修正。
7. 第八章建築物之設計建議採用「中空式」及「騎樓式」，是否涉結構安全之疑慮？
8. 第一章有關現行法令規定：建築物「超過七十公尺以上」(環保署)或「超過六十公尺」(台北市)，即應進行「風場環境評估」，究竟何者較為正確？

9. 正當政府全力重建中部震災地區同時，建議貴所將本研究案之理念加以推廣及應用。

回覆意見：風速發生機率會因基地之地域效應(如都會、市郊、濱海、離島等)而有所不同，但強風對行人的影響則不會因為地域效應而有所改變，故舒適性與安全性標準不應隨地域而有所不同。

表 2.1 之  $I_u$  (%)代表紊流強度，期末報告中有加入說明。

第二章及第八章表序號及圖序號部分不符合處已修正。

第八章建築物之設計建議採用「中空式」及「騎樓式」乃針對環境風場之考量，結構安全之疑慮可以加強建築物之結構設計來解決。

環保署之標準「超過七十公尺以上」與台北市之標準「超過六十公尺」有所差異，但環保署之標準適用於全國，故應以環保署之標準為依據。

蕭葆羲教授：

1. 相關文獻搜集尚稱完備，有利建立國內風場評估準則之參考。
2. 第 10-2 頁國內環境風場評估標準，各項標準訂定的依據為何？
3. 第 10-2 頁與 4-13 頁之陣風因子 K 分別為 3.0 與 2.0, 二者矛盾, 應予修正並請說明選擇 2.0 或 3.0 之合理性及其依據。
4. 第 10-3 頁數值模擬，其計算範圍宜考慮垂直高度。
5. 第 10-3 頁有關風洞實驗應注意事項「模型迎風面積與風洞斷面積比值不得超過 5%」，在國外有些研究不超過 10% 亦可接受，請予說明採用 5% 之理由。

回覆意見：國內風場環境評估標準係考量台灣地區強風發生機率訂定而成，期末報告中有加以說明。

陣風因子 K 應為 3.0，第 4-13 頁之  $k = 2.0$  為筆誤，期末報告中已

修正，並加入說明選擇  $k = 3.0$  之依據。

期末報告中加入計算範圍之垂直高度。

依據國外的研究：阻塞比大於 5% 會發生氣流加速現象，若阻塞比大於 10%，應調整風洞試驗段之屋頂的高度，或對實驗結果做適當的修正。本研究採用較為嚴謹之阻塞比 5%。

曾俊達教授：

1. 請研究單位再確認計畫名稱究為「建築物風場環境評估準則研議」或「高層建築物風場環境評估準則研議」。
2. 第 5-21 頁之圖表請加註尺寸單位。
3. 第二章第一節影響風場環境因素請考量增加敷地材料、植栽綠化、水景或水域處理等。
4. 第 5-16 頁量測方法除風洞實驗量測方法外，亦請考量於現地量測。
5. 有關第十章結論及建議，請增列本研究結果亦可供都市防災(火災)之參考。
6. 對風的感受是否宜人與溫濕度亦有關係，屬微氣候範疇之一，於訂定標準應予納入考量。

回覆意見：計畫名稱究應為「高層建築物風場環境評估準則研議」。

期末報告中有加入圖 5-9 之尺寸單位。

敷地材料、植栽對風場環境之影響在第八章中有說明。

現地量測之方法大多以風杯式風速計量測之。

溫濕度對行人舒適性的影響會因人而異，較難量化。

葉祥海組長：

1. 第八章建議建築物設計採中空式，騎樓或基座方式是否妥當？應予檢討，

因以耐震觀點而言，立面與平面之不規則，亦易致震害，宜注意提示角隅之改善，以求較佳的形狀係數。

2. 對風力而言，結構上建議 100 公尺以上高層建築物須作風洞試驗，而環保單位規定 70 公尺以上應作風場環境評估，台北市則以 60 公尺要求微氣候之影響檢討，故建議就建築技術規則應作風洞試驗之事項研擬條文，俾利增訂。
3. 試驗模型範圍，本文以高度 3 倍為依據，但依本所過去研究曾建議以建物斷面積之方根之 8 倍為範圍，請予說明。
4. 第十章結論與建議，可否增列後續研究發展課題，以利本所風洞實驗室建立後，相關研發之推動，並進一步整合為「風科技整合計畫」。

回覆意見：第八章建築物之設計建議採用「中空式」及「騎樓式」乃針對環境風場之考量，結構安全之考慮可以加強建築物之結構設計來解決。

本研究建議試驗模型範圍以建物高度 3 倍為半徑，是依據風洞實驗結果而訂定。建築研究所之研究報告(1992)「*高層建築之風洞試驗及準則*」建議以建物斷面積之方根之 8 倍為範圍。舉例而言，一棟高 100 m，寬度 50 m 的建築物，迎風面積之方根之 8 倍為 560 m，若縮尺比為 1/200，則模型半徑為 2.8 m，亦即風洞寬度至少需要 5.6 m 以上，較不合理。但若以建物高度 3 倍為半徑，若縮尺比為 1/200，則模型半徑為 1.5 m，風洞寬度僅需要 3.0 m，較接近一般建築物試驗用風洞之尺寸。

林碧亮研究員：

1. 請執行單位以條文化方式研訂準則，並納入專有名詞之解釋，以利參採。

回覆意見：期末報告共有十章，皆以條列方式呈現，並將專有名詞之解釋納入。





## 附錄五：慣用名詞定義

下切氣流	：發生於建築物前方的氣流下沖至地面之現象
下沖現象	：發生於建築物後方的氣流下沖現象
行人風場	：距離地表 1.5 ~ 2.0 m 高度處之風場，會影響到行人的風場
自由流	：不受地表或物體影響之流場
風向	：風吹來之方向，亦即風標所指之方向
風花圖	：描述風速、風向發生機率之圖形
風洞	：可提供穩定風速之密閉、長形的實驗設備
風洞試驗	：以風洞對建築物進行測試
風速	：氣流流動之速度
風速機率	：描述各級風速發生機率之函數
風級	：將風速加以區分的一種分類法，一般指蒲福風級
風阻力	：氣流施予物體之外力
風阻係數	：無因次化之風阻力
風壓	：氣流施予物體表面之壓力
風壓係數	：無因次化之風壓力
均方根速度	：紊流流速的標準差
尾流	：物體後方的流場，又稱為尾跡
逆向流	：與自由流相反方向之流場
迫近流	：建築物前方不受建築物影響之流場

角隅渦流	: 發生於建築物兩側角隅的氣流加速現象
陣風	: 瞬間風速與時間平均風速之差值
陣風因子	: 描述陣風風速之無因次係數
梯度高度	: 風速等於梯度風速之高度，又可稱為邊界層厚度
梯度風速	: 邊界層之外的風速，又可稱為自由流流速
粗糙長度	: 凸出於地表之物體的平均高度
雷諾數	: 流體慣性力與黏滯力之比
羅士比數	: 流體慣性力與科氏力之比
理查生數	: 流體慣性力與浮力之比
黏性次層	: 地表附近受流體黏滯性影響之區域
模型	: 按照實際物體之形狀依比例縮小製作的物體
模型縮尺比	: 模型高度與實際建築物高度的比值
阻塞比	: 模型迎風面積與風洞斷面積的比值
環境風場	: 建築物周遭地表附近之風場，又可稱為行人風場
數值模擬	: 以數值模式模擬或預測可能發生之風場
層流	: 流速穩定、流體成層狀般的流動
紊流	: 流速不穩定、看似紊亂的流場
紊流模式	: 可計算紊流流場的數值模式
紊流強度	: 均方根速度與時間平均速度的比值
瞬間風速	: 發生於某一短暫時間之內的風速
縮流效應	: 氣流流經兩棟建築物之間所產生的加速現象

邊界層流 : 地表附近受地表影響之流場

邊界層厚度 : 流速等於自由流流速之高度

GPN : 002244890218

ISBN :

（高層建築物風場環境評估準則研議

內政部建築研究所

（八十九年度）

高層建築物風場環境評估準則研議

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 27362389

地址：台北市敦化南路二段 333 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

出版年月：89 年 10 月

版（刷）次：初版

工本費：

GPN：002244890218

ISBN：