

都市地區風環境流通效應影響評估分析研究

內政部建築研究所協同研究報告

104
年度

都市地區風環境流通效應影響 評估分析研究

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 104 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

計畫編號：10415B0006

都市地區風環境流通效應影響 評估分析研究

計畫主持人：何明錦

協同主持人：方富民

研究員：黎益肇、蔡宜中、劉文欽、鐘政洋、許敬昫

研究助理：賴冠廷、吳宜芳

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 104 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目次

圖次	III
表次	V
摘要	VII
ABSTRACT	XI
第一章 緒論	1
第一節 研究動機.....	1
第二節 研究目的.....	3
第三節 研究內容與方法.....	4
第二章 文獻與理論背景分析	5
第一節 地表風場特性.....	5
第二節 建築物週遭氣流特性	9
第三節 行人風場強風之改善方法	14
第四節 都市通風改善對策	16
第五節 國內環境風場相關規定	19
第六節 強風之行人風場舒適度評估準則	22
第七節 文獻回顧.....	28
第三章 研究方法	31
第一節 風洞試驗.....	32
第二節 數值模擬方法.....	38
第三節 典型建築街廓模擬	40
第四節 研究區域模擬.....	42
第四章 結果與討論	47
第一節 氣象資料分析.....	47
第二節 風洞試驗結果與評估	51
第三節 體感溫度指標.....	57

第四節 研究區模擬結果.....	59
第五節 典型建築街廓模擬結果	66
第五章 結論與建議.....	73
第一節 結論.....	73
第二節 建議.....	75
附錄一 採購評選會議意見回應.....	79
附錄二 期中審查會議意見及回應.....	83
附錄三 專家座談會會議意見及回應.....	87
附錄四 期末審查會議意見及回應.....	91
附錄五 環境風場數值模擬準則.....	95
附錄六 入流剖面 UDF.....	103
參考文獻	107

圖次

圖 1-1 都市熱島效應示意圖.....	1
圖 2-1 不同地況下平均風速隨高度之變化示意圖.....	7
圖 2-2 迎風面渦漩示意圖.....	9
圖 2-3 建築尾流示意圖.....	10
圖 2-4 穿堂風示意圖.....	10
圖 2-5 角隅強風示意圖.....	11
圖 2-6 遮蔽效應示意圖.....	11
圖 2-7 金字塔效應示意圖.....	12
圖 2-8 縮流效應示意圖.....	12
圖 2-9 渠化效應示意圖.....	13
圖 2-10 盛行風通風廊.....	16
圖 2-11 通風廊與建築配置關係.....	17
圖 2-12 入射角小於 30°.....	18
圖 2-13 盛行風垂直於立面.....	18
圖 2-14 盛行與建築平行.....	19
圖 2-14 板橋江翠北側重劃區域範圍.....	21
圖 2-15 基地內建築物面寬限制.....	21
圖 3-1 建研所循環式大氣邊界層風洞性能.....	33
圖 3-2 地表風速計剖面圖.....	35
圖 3-3 使用動態皮托管校驗地表風速計.....	35
圖 3-4 地表風速計校正回歸線.....	35
圖 3-5 多頻道電子式壓力掃瞄器.....	36
圖 3-6 風洞實驗室 B 地況風速剖面.....	37
圖 3-7 棋盤式街廓示意圖.....	40
圖 3-8 連棟式街廓示意圖.....	41
圖 3-9 研究區範圍-新北市板橋區江子翠空照圖.....	42
圖 3-10 風洞試驗模擬範圍.....	43
圖 3-11 測點分布圖.....	44
圖 3-12 風洞試驗配置.....	45
圖 3-13 地表風速計埋設.....	45
圖 3-14 研究區 CFD 格網模型.....	46

圖 4-1 板橋測站 2004-2014 風花圖	48
圖 4-2 板橋測站 2004-2014 夏季風花圖	48
圖 4-3 板橋測站 2004-2014 冬季風花圖	49
圖 4-4 板橋地區 13:00-19:00 步行狀況下 SET*隨風速之變化圖	56
圖 4-5 板橋地區 13:00-19:00 站立狀況下 SET*隨風速之變化圖	56
圖 4-6 本國都會地區人體於站立狀況下 SET*隨風速之變化圖 ..	58
圖 4-7 研究區北風至南南東風測點無因次風速比較圖	60
圖 4-8 研究區南風至北北西風測點無因次風速比較圖	61
圖 4-9 研究區北風至東南東風行人高度無因次風速等值圖	62
圖 4-10 研究區南風至北北西風行人高度無因次風速等值圖	63
圖 4-11 研究區盛行風北風行人高度速度向量圖	64
圖 4-12 研究區盛行風東風行人高度速度向量圖	64
圖 4-13 研究區風洞試驗等效風速分布圖	65
圖 4-14 無因次風速等值圖	67
圖 4-15 廊道風速分析示意圖	68
圖 4-16 廊道風速變化示意圖($s/D=0.25$)	69
圖 4-17 廊道風速變化示意圖($s/D=0.5$)	70
圖 4-18 廊道風速變化示意圖($s/D=1$)	71
圖 A1 邊界處的柱體網格規劃示意圖	97
圖 A2 AIJ GUIDELINE BENCHMARK	101

表次

表 2-1 大氣邊界層之 A、 Δ 及 Z_0 建議值	8
表 2-2 行人風效應表	23
表 2-3 各國強風舒適度評估準則	25
表 2-4 SET*與感覺、生理現象之關係	27
表 4-1 板橋測站溫度分析表(2004-2014)(°C)	49
表 4-2 板橋測站相對濕度分析表(2004-2014)(%)	50
表 4-3 各測點在不同風向角下的無因次風速結果 I	53
表 4-4 各測點在不同風向角下的無因次風速結果 II	54
表 4-5 各測點夏季等效平均風速 U_{EQ}	55
表 4-6 本國直轄市夏季舒適風速標準	57
表 4-7 棋盤街廓案例對應之建築密度與容積率	67

摘要

關鍵詞：都市熱環境、自然通風、風洞試驗、數值模擬

一、研究緣起

都市地區因土地有限又快速開發使建築物密集興建，且逐漸往高層化發展，高層建築物興建後對整個都市的風場形成阻礙，容易產生強風或造成風流通阻礙，對行人的舒適性及安全具有一定程度的影響。而高度都市化的結果，來自於大樓和柏油的太陽光的蓄熱，城市內部林立的大樓中的空調設備被排出的熱空氣，樹木的減少所產生的城市圓頂效應，也帶來異常的溫度上升現象。

行人風場是許多因素交互影響而成的複雜氣流運動，高層建築對風場阻礙，將造成建築物四周氣流之狀態及速度的改變，其影響因素眾多，包括大氣邊界層特性、風向、風速、建築物量體、幾何外型以及鄰近之建築群干擾效應等。風環境特性除影響行人及低樓層建築使用者的安全性及舒適性問題外，良好的室外通風環境對於減緩都市熱島效應亦有所幫助。

以往進行行人風場評估時僅在預防強風發生，缺乏考慮都市熱潛勢較高區域的通風良窳，對於風環境舒適度的考量是不足的。都市區域風環境分析研究可了解都市風廊道走向，在主要計畫階段作好風廊道導入規劃。對於既有都市街廓可透過增設植栽或公園綠地手法在低風速區域降低溫度。另外，在大型的建築開發案可就設計方案進行風場流通模擬與比較分析，如有低風速或高溫區，可透過建築配置與設計手法加以改善，使形成通風廊道，降低戶外熱環境的不舒適性。

二、研究方法及過程

本計畫主要是以數值模擬為主，風洞試驗為輔，系統化探討都市地區的通風效應與評估方法，並提出改善建議。

本研究之研究內容與步驟如下：

一、國內外研究文獻之蒐集與整理

- (1) 蒐集國內外都市地區風環境流通效應影響評估分析之相關資料。
- (2) 蒐集相關文獻及規範，探討相關規定對建築型態之影響。

二、研究區選定與模型製作

- (1) 選定板橋江子翠北側為本研究之研究區，並進行現場調查確認量體與細節。
- (2) 製作數值模擬所需之 3D 模型以及風洞試驗之量體模型。

三、風洞試驗

- (1) 進行研究區 16 個風向角之環境風場風洞試驗。

四、數值模擬

- (1) 進行研究區 16 個風向角之環境風場數值模擬。
- (2) 模擬 2 種典型都市街廓之通風效應。

五、舒適性評估

- (1) 分別以風洞試驗及數值模擬結果評估分析研究區域內的風環境舒適度，交叉比對各項數據。

六、準則草擬

- (1) 草擬以數值模擬評估行人環境風場之準則，提供相關執行單位參考。
- (2) 依據典型都市街廓模擬分析結果，提出都市通風之改善對策。

三、重要發現

本研究重要發現如下：

- (1) 本研究初步於風洞實驗室進行板橋江子翠地區風洞模擬試驗，以地表風速計量測行人高度之風速。在引入風速之氣象資料後估算夏季之等效風速，再以 UC Berkeley Thermal Comfort Program 估算研究區夏季下午時段，於不同風速下的 SET*體感溫度量尺。根據此風洞試驗為基礎之分析流程，納入當地氣象資料，以作為初步評估戶外溫熱環境舒適度之工具。
- (2) 針對夏季下午 1 點時的臨界情況，人體代謝率採用站立時的情境，並參採 Matzarakis 所建議之熱舒適性上限 30 °C 為標準，得到我國 6

大直轄市的舒適風速標準。初步推斷舒適風速 1 m/s 時，應可作為都市地區判定弱風之舒適標準。

- (3) 研究中採用之數值模式乃依據 AIJ 及 COST 等國外規範進行，除 AIJ 的實驗數據比對外，並配合本研究所進行之風洞試驗結果交互驗證，得到相當不錯的結果，但在尾流弱風區則有低估之現象。相較於風洞試驗，數值模擬可以得到更為全面之風場特性，對於分析都市地區之風流通效應並提出設計規畫建議，應是可行且有效之工具。
- (4) 依據典型街廓模擬結果，提出 2 點改善都市熱環境設計建議：(a) 當進行新市區開發時，由連棟式街廓結果可以發現，配合當地季風風向，使街道走向與季風夾角小於 45° 時，具有較佳之風廊道導引效果；(b) 依據棋盤式街廓模擬結果，降低建築密度對氣流流通具有良好之效果。如無法完全配合季風風向時，則建議可透過都市設計的手法，例如劃定非建築用地、鼓勵狹窄街道兩旁的建築退縮、或增加建築物臨接道路法定空地面積等方式來增加氣流流通。

四、主要建議事項

建議一

建立適用於本國都市熱環境舒適評估之風洞試驗方法與程序：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦單位：社團法人中華民國風工程學會

本計畫選定板橋江子翠地區作為都會示範區域，並針對此區域進行了縮尺模型試驗與模擬風場的研究。其中，有關風洞試驗中採用之模型縮尺、區域範圍、入流風速地況之選定，以及試驗量測設備(包括風速、風壓量測儀器)之率定、匹配與系統整合等皆係在試驗精度與可行性的雙重考慮下予以決定。研究中所採用之風洞試驗方法與程序應可作為未來擬定適熱環境舒適評估風洞試驗方法與程序之重要參考。

建議二

建立以數值模擬評估風環境的本土化技術規範：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所、內政部營建署、行政院環境保護署

協辦機關：社團法人中華民國風工程學會

近年來由於電腦硬體與效能之大幅提升，以數值模擬方法取代風洞試驗進行問題之分析已逐漸形成一個趨勢，除了可以大幅節省許多金錢與時間的付出外，並可以獲得更為完整且詳盡的變數動態資料以供設計評估之所需。因此，以數值計算來模擬空間中流場變化分布的研究成為另一種符合經濟性及實用性的選擇。然而，在進行行人環境風場數值模擬時，需審慎處理相關參數之設定，否則將造成模擬之失真或導致錯誤之環境風場模擬結果。因此，未來在數值模擬的相關應用技術上予以適當的規範確有其必要性。

建議三

提出完整之都市風環境流通設計指引：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：社團法人中華民國風工程學會

本研究初步討論出都市地區風環境流通的影響因子，包含建築密度、常季風風向、建築物高度等，並初步歸納出都市規劃設計建議。但都市型態眾多，本年度研究無法概括所有都市街廓類型。建議後續可完整規劃街廓類型參數，通盤討論影響因子，並與相關文獻比對後提出完整之都市通風設計指引。

建議四

未來課題建議：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：社團法人中華民國風工程學會

綜合本研究心得，提出未來課題建議如後：

- (1) 以數值模擬評估建築強風環境之技術準則
- (2) 建築戶外熱環境與風環境耦合之數值模擬研究
- (3) 都市風環境流通設計指引研究

ABSTRACT

Keywords : urban thermal environment, natural ventilation, wind tunnel experiments, numerical simulation

I. Introduction

Due to rapid development in urban territory where the available land limited, the newly constructed buildings become higher. As these high-rise buildings can generally affect the path and speed of local air flow, it results in different extents of pedestrian comfortability and safety. In summertime, heat due to solar radiation from asphalt road pavement and expelled warm air from buildings can also cause a significant increase of temperature when the local wind is weak.

The factors that affect the pedestrian wind field are complex. In urban area, they include the characteristics of local atmospheric boundary layer, wind direction and speed, the size and geometry of the local buildings and so on. The condition of wind environment can affect the extent of pedestrian comfortability and safety. A good wind environment can alleviate the strength of possible heat-island effect.

II. Research method and procedure

The project attempts to investigate the urban ventilation effect and explore the method of assessment by using numerical simulation and wind-tunnel testing. The work includes:

1. Collection of related studies,
2. Selection of investigation district and model establishment,
3. Execution of wind-tunnel tests,
4. Execution of numerical simulation,
5. Assessment of comfortability, and
6. Draft of guidelines.

III. Important Findings

Four important findings are stated as follows:

1. By conducting wind tunnel model tests on the Banqiao investigation district, the equivalent speed was evaluated according to the local meteorological data

then to find out the SET* temperature scale. Accordingly, a standard operation procedure can be established to assess the outdoor thermal environment.

2. Under the condition that it is 1 o'clock in a summer afternoon and a human is standing up, the comfortable wind speeds for the local six metropolitan cities are obtained based on a 30 °C upper limit of comfortability.
3. By performing numerical simulation according to the specifications by AIJ and COST, the predicted results are generally in good agreement with those from the experiments.
4. According to the results of analysis about the two typical arrangements of buildings, suggestions are given in help with the planning of street blocks to improve the local thermal environment.

IV. Major suggestions

The major suggestions are

- to establish the wind tunnel test method and procedure for the assessment of local urban thermal environment,
- to draw up the local technical codes for the execution of numerical simulations in assessing the wind environment, and
- to construct the national design guidelines for the ventilation of urban thermal environment.

第一章 緒論

第一節 研究動機

隨著台灣地區經濟的迅速發展以及都會區人口聚集，建築物的高層化與高密度化已無法避免，高層建築可視為巨型阻礙物，氣流因建築、建築群的存在而改變行進方向，進而造成下切、縮流、渠化、渦旋(vortex)、角隅流(corner flow)、尾流(wake)；另有遮蔽、穿堂風(through flow)等效應。上述效應除了造成建築物或建築群興建後產生瞬間的強風，而影響行人及低樓層建築使用者的安全性及舒適性問題外，對其下游空間亦因遮蔽效應而產生弱風區域，進一步使空氣對流減少而影響戶內外自然通風，造成都市熱島效應加劇，甚至使得空氣污染物蓄積於都市內。都市地區的異常的溫度上升主要的原因，來自於大樓和柏油的太陽光的蓄熱、城市內部林立的大樓中的空調所排出的熱空氣、以及樹木的減少所產生的城市圓頂效應(如圖 1-1)。由於氣溫高出，所以會出現突然的降雨。近幾年，大樓不斷向高空發展，河流沿岸被覆蓋，都遮擋著風的流動，加劇了城市內部的高溫化。

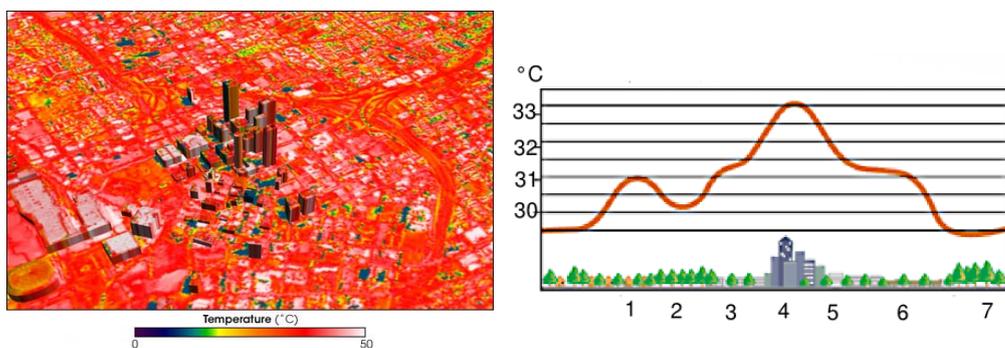


圖 1-1 都市熱島效應示意圖

資料來源：維基百科<https://zh.wikipedia.org>

因都會區蓬勃的發展，人口的密集度也隨著增加，在有限的土地限制之下，必須興建較高的建築物來符合人們居住與活動的需求。高樓建築物在地面會造成局部風場加速的現象與行人風環境 (pedestrian wind

environment) 的改變，進而影響行人在此區域活動之舒適性甚至於危害行人的安全，因此對於新建高層建築的行人風場環境評估已是設計時的必要條件。根據「開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準」第二十六條中所述，高樓建築有下列情形者，應實施環境影響評估：

- (1)住宅大樓，其樓層三十層以上或高度一百公尺以上。
- (2)辦公、商業或綜合性大樓，其樓層二十層以上或高度七十公尺以上。

在「開發行為環境影響評估作業準則」第二十二條中，開發行為中除煙窗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。

另新北市訂立板橋江子翠北側重劃區都市設計審議原則，並已於102年10月1日起實施，未來相關建案進行都市設計審議，若為沿河第一排街廓的高層建築物，除應依相關規定辦理風洞試驗外，亦應提出環境風場試驗成果說明，以利都市設計委員進行審查。為促進環境通風的效益，在建築物開發上，若能運用設計使各幢立面最大淨寬度與基地平均寬度之百分比低於70%，減少過去水岸建築物臨河景觀面最大化設計方式，以拉開建築物間的棟距，除了能避免對水岸都市景觀之產生不良影響外，還可藉由環境風對流降低都市的熱島效應。

以往進行行人風場評估時僅在預防強風發生，缺乏考慮都市熱潛勢較高區域的通風良窳，對於風環境舒適度的考量是不足的。都市區域風環境分析研究可了解都市風廊道走向，在主要計畫階段作好風廊道導入規劃，對於既有都市街廓可透過增設植栽或公園綠地手法在低風速區域降低溫度。另外，在大型的建築開發案可就設計方案進行風場流通模擬與比較分析，如有低風速或高溫區，可透過建築配置與設計手法加以改善，使形成通風廊道，有效降低戶外熱環境。

第二節 研究目的

環保署於民國 86 年 12 月 31 日發佈之「開發行為環境影響評估作業準則」，其中第 22 條規定：「開發行為中除煙囪外有 70 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」。另第 42 條規定：「規劃高樓建築時，應重視其品質與景觀之整性；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之衝擊。」。台北市「綜合設計公共開放空間設置及管理維護要點」第 7 條規定：「建築高度超過 60 公尺，應作風洞效應評估，尤其側重超高層建築物所可能產生之微氣候及對公共開放空間使用之影響。」以上兩法規均規定，高層建築對周遭環境所產生之風場應加以評估，並提出適當的改善策略。此規範主要是針對大樓興建後之強風所造路上行人的不舒適性而訂出之規定。

但另一方面，密集的都市區域建築量體櫛比鱗次對風場形阻礙而使都市中心形成嚴重的弱風區域，亦即都市中心內有較小的環境風場通風量。而戶外低環境風場通風量，常會導致如後現象：(1)造成都市熱島效應而增高戶外溫度，影響人體舒適度，(2)使污染物蓄積都市內形成環境污染，(3)降低室內通風交換率而弱化室內通風量影響居室健康。目前僅有新北市政府在都市審議規範中提及需考慮此問題之發生。

國內外有關都市地區行人環境風場舒適度評估的研究及應用頗多，風洞試驗基本上以地表風速計量測等效風速後，結合當地氣象資料，選擇適當的準則加以評估。而近年因計算機能量、計算流體軟體普及和計算精度提升，以數值模擬結果來評估環境風場得以實現。在日本，目前已有 70% 以上的工程評估案均以 CFD 來完成，日本及歐洲也提出了模擬準則來因應此一變革。

如前所述，由於都市風環境舒適度評估主要分成兩個範疇，首先是都市地區建築高樓化後造成局部區域強風，純粹為強風效應造成的人體

不舒適性。其次則為溫熱環境的熱舒適性，須考慮人體在戶外的各項舒適性影響參數，並以增進都市通風為目的，在夏季時避免弱風(或無風)，降低都市戶外高溫所造成之不舒適性。本研究旨在探討增進都市風環境流通效應，也就是弱風的發生可增進戶外熱環境的行人舒適性，並以風洞試驗探討其評估分析方法。另建構合理且精確的數值模擬方法，草擬並條列相關準則，以供相關評估單位參考。最後以數值模擬系統化分析典型都市街廓，提出都市通風設計改善之建議。

第三節 研究內容與方法

本研究之研究內容與步驟如下：

一、國內外研究文獻之蒐集與整理

- (1) 蒐集國內外都市地區風環境流通效應影響評估分析之相關資料。
- (2) 蒐集相關文獻及規範，探討相關規定對建築型態之影響。

二、研究區選定與模型製作

- (1) 選定板橋江子翠北側為本研究之研究區，並進行現場調查確認量體與細節。
- (2) 製作數值模擬所需之 3D 模型以及風洞試驗之量體模型。

三、風洞試驗

- (1) 進行研究區 16 個風向角之環境風場風洞試驗。

四、數值模擬

- (1) 進行研究區 16 個風向角之環境風場數值模擬。
- (2) 模擬 2 種典型都市街廓之通風效應。

五、舒適性評估

- (1) 分別以風洞試驗及數值模擬結果評估分析研究區域內的風環境舒適度，交叉比對各項數據。

六、準則草擬

- (1) 草擬以數值模擬評估行人環境風場之準則，提供相關單位參考。
- (2) 依據典型都市街廓模擬分析結果，提出都市通風之改善對策。

第二章 文獻與理論背景分析

第一節 地表風場特性

地表附近空氣的移動受到地面之起伏、建築物、林木作物分佈等的磨擦作用的影響，使得平均風速隨高度而變，形成一垂直分佈剖面，越接近地表風速愈慢(參見圖 2-1)，及此「風速剖面」直接受到地表粗糙狀況之影響，而影響所及的範圍稱之為「大氣邊界層」，在邊界層頂部之風速通常稱之為梯度風速(gradient wind)。

一般風工程之應用所涉及的問題大都發生在較強的風勢情況下，而於近地表上數百公尺高度的大氣邊界層範圍內。在強風的情況下，大氣紊流作用遠超過熱對流作用。由於紊流之強制混合趨向於形成中性層差，所以本節對大氣邊界層之討論僅限於中性層差之大氣邊界層。

大氣邊界層之厚度，在中性層差的情況下，視風之強度、地表之粗糙程度及所在之緯度而定，通常在數百公尺至數公里之間。本案之風洞模擬實驗，很重要之一項工作即是要模擬邊界層高度內紊流流場的各項重要性質，其中包括有平均風速特性及紊流特性。

一、平均風速剖面

一般常用於規範邊界層風速剖面的兩定律，一為指數律 (power law)，另一則為對數律(logarithmic law)。

(1) 指數律(power law)

邊界層流中水平方向均佈之地形上的平均風速剖面，以指數律表示：

$$\frac{U(Z)}{U_{\delta}} = \left(\frac{Z}{\delta}\right)^{\alpha} \quad (2-1)$$

其中，U為縱向之平均風速；Z為地表上之高度； U_{δ} 為梯度風速； δ 為大氣邊界層厚度； α 為指數。在現行工程應用中之假設為：①一個 α

為定值之指數律可適用至梯度高度 δ 。②邊界層厚度 δ 僅只為指數 α 之函數。

(2) 對數律(logarithmic law)

愈接近地表的地方，其風速的擾動性愈高，解析描述也就愈加困難。在地表層(或稱之為常應力層)其剪應力值 τ_u 與地表面之剪應力值 τ_0 極為接近，且其橫風向之風速分量 V 極小。對邊界層橫風向之平均風速方程積分至高度，再加以整理可得：

$$Z_i = b \frac{u_*}{f} \quad (2-2)$$

其中， Z_i 為對數律之有效高度； u_* 為剪力風速 $= (\tau_0 / \rho)^{0.5}$ ； f 為科氏力參數； ρ 為空氣密度； b 為常數，其值約在 0.015 至 0.03 之間。微氣象學研究的一些結果顯示，在地表其平均風速剖面可用下式表示：

$$U(Z) = (1/\kappa) u_* \ln(Z/Z_0) \quad (2-3)$$

其中， $\kappa (=0.4)$ 為 Von Karman 常數； Z_0 為地表粗糙長度(roughness length)。公式(2-3)即為通常所稱之對數律。實場量測結果指出，在強風之情況下，對數律之適用範圍可達數百公尺之高度。有關在不同地表情況下，上述討論之大氣邊界層各參數的建議值詳見表 2-1。

二、紊流特性

紊流強度是紊流擾動流速大小的表達方式。將擾動風速之均方根值(root mean square)除以平均風速值，以百分比之方式表達出來。邊界層中某特定高度 Z 之紊流強度，其定義如下[20]：

$$T.I.(%) = \frac{\left(\overline{u_i^2}\right)^{0.5}}{U_i} \times 100\% \quad (2-4)$$

其中， $T.I.(%)$ 為 i 方向上之紊流強度； u_i 為 i 方向上之擾動風速； U_i 為 i 方向之平均風速。而縱向擾動風速之均方根值與地表剪應力風速

有下列關係：

$$\overline{u_i^2} = \beta u_*^2 \quad (2-5)$$

其中， β 值通常假定與高度無關，在一般工程應用上可取為 0.6。在非常粗糙的地況下，其值最低可達 0.4。

大氣邊界層中的紊流性質除了前述的紊流強度之外，紊流長度尺度 (turbulence length scale) 以及紊流頻譜密度函數 (turbulence power spectrum density function) 和交相關頻譜 (cross-spectrum density function) 都是進行風洞模擬時不可忽略的重要特性。

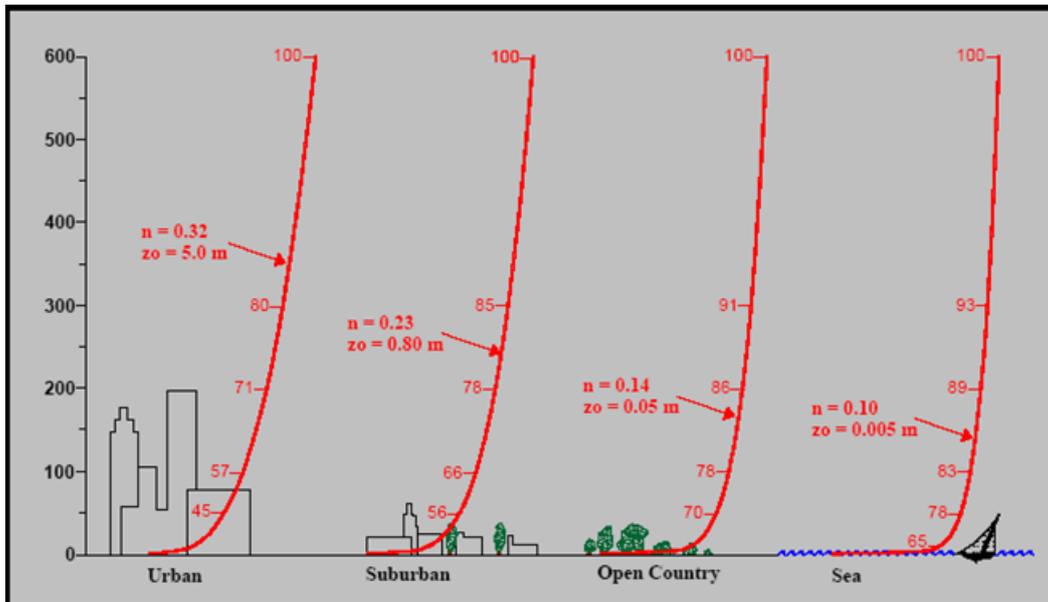


圖 2-1 不同地況下平均風速隨高度之變化示意圖

資料來源：[2]

表 2-1 大氣邊界層之 α 、 δ 及 Z_0 建議值

參考文獻	Coastal Area			Open Terrain			Suburban Terrain			Centers of Large City		
	α^1	δ^2	Z_0^3	α	δ	Z_0	α	δ	Z_0	α	δ	Z_0
Davenport	—	—	—	0.16	275	—	0.28	400	—	0.40	520	—
ANSI	0.1	215	—	0.14	275	—	0.22	370	—	0.33	460	—
Cook, N. J	—	—	0.003 0.01	—	—	0.03 0.1	—	—	0.3	—	—	0.8
ESDU	—	—	—	—	—	0.02 0.1	0.26	—	0.2 0.6	0.35	—	0.7 1.2
耐風設計 規範	—	—	—	0.15	300	—	0.25	400	—	0.36		

資料來源：本研究整理

¹ α ：邊界層風速剖面冪數律指數

² δ ：邊界層厚度，單位：公尺

³ Z_0 ：粗糙長度，單位：公尺

第二節 建築物週遭氣流特性

由於大氣中複雜的氣流運動造成行人風場，進而影響建築週遭的居住、用路人生活品質。影響氣流複雜變動的可能因素包含有：風速、風向、建築物的外形、及附近建築物高度、位置、外形等。本節就建築物附近可能形成行人風場的氣流特性描述如下：

一、迎風面渦流(vortex)：

當風場遇到高層建築時，一部分的氣流往上或往左右兩側溢散，另一部分則產生下切氣流，對地面形成加速的渦流，當建築物斷面愈寬愈大時，此種渦流現象愈明顯。

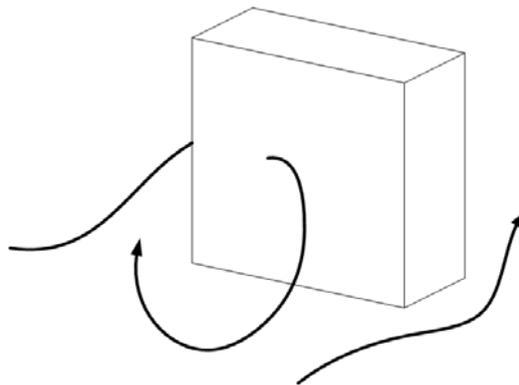


圖 2-2 迎風面渦流示意圖

資料來源：本研究繪製

二、建築尾流(wake)

當風場越過建築物，流場會在建築物的背面形成一尾流，此氣流會向下形成一迴旋的流場，而增加風場的擾動性。

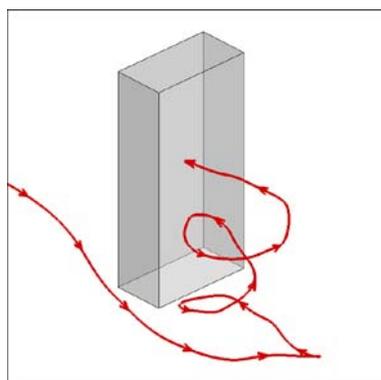


圖 2-3 建築尾流示意圖

資料來源：本研究繪製

三、穿堂風(through flow)

當建築物有前後貫穿的街谷，氣流通過此街谷會產生加速的現象，此現象稱之為穿堂風，此種氣流對貫穿的街谷的行人或緊鄰此街谷的出入口將產生不舒適或產生危險的情形。

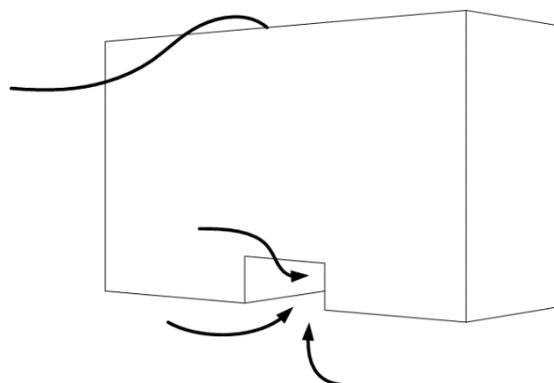


圖 2-4 穿堂風示意圖

資料來源：本研究繪製

四、角隅強風(corner flow)

當氣流由建築物的兩側溢散時，在角隅處會產生突然加速的強風，對結構外強形成強勁的負風壓，因此角隅處結構外牆或其他景觀設部設計應更為小心謹慎。

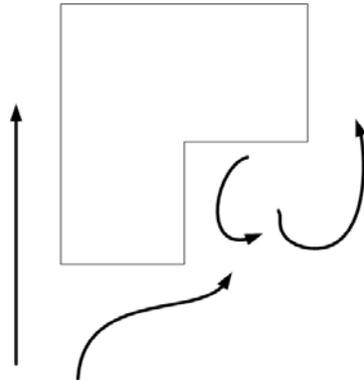


圖 2-5 角隅強風示意圖

資料來源：本研究繪製

五、遮蔽效應(shelter effect)：

相近高度的建築群相鄰而立時，對於近面來的氣流產生類似阻牆的遮蔽效應，迫使流場往建築群的上方越過或側邊繞過。

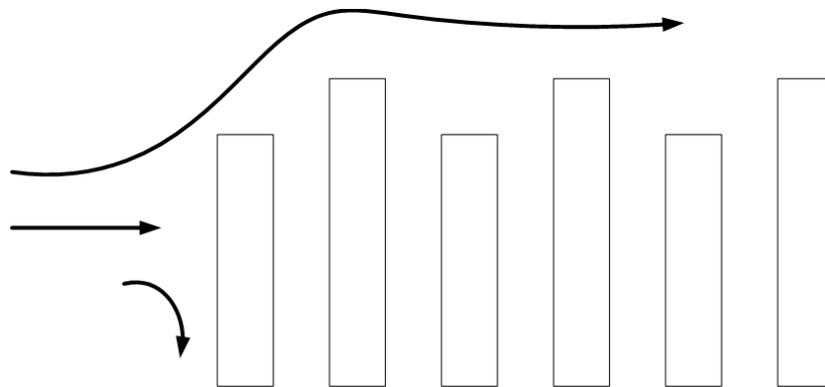


圖 2-6 遮蔽效應示意圖

資料來源：本研究繪製

六、金字塔效應(pyramid effect)

對於逐漸上升的建築或建築群，建築物頂部分離的剪力層受到漸次升高的邊界影響，匯聚成一股向上的氣流。

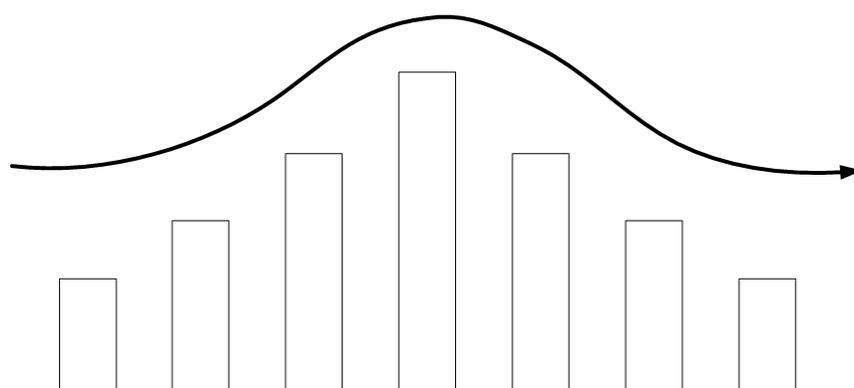


圖 2-7 金字塔效應示意圖

資料來源：本研究繪製

七、縮流效應(venture effect)

當風由一寬廣的區域進入狹窄的街道時，由於斷面積減小，造成氣流加速現象，形成高風速出現，此種加速應會隨著建築物距離的增大會明顯減低。

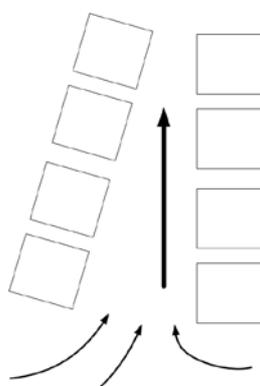


圖 2-8 縮流效應示意圖

資料來源：本研究繪製

八、渠化效應

都會區中沿街兩側建築物多有平整的立面且相互比鄰，對於運行期間的氣流而言，有如渠道之兩壁，此現象會驅使接近地面的氣流脫離原來風向而沿街谷的走向流動。

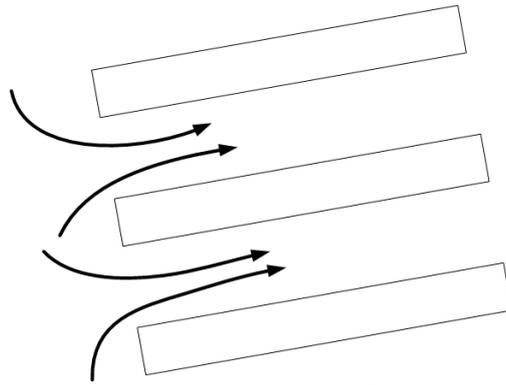


圖 2-9 渠化效應示意圖

資料來源：本研究繪製

第三節 行人風場強風之改善方法

行人風場評估後若無法滿足區域使用目的，則應提出適當的改善措施以滿足安全性與舒適性的要求，依據朱佳仁教授[2]提出之改善措施可分為修改建築物的設計與在建築物周遭設置防風設施，分述如後[2]：

一、修改建築物的設計

- (1) 建築物的座向：若建築物的迎風面為寬邊，則此迎風面與角隅處出現強風的機率相對提高，迎面愈寬愈高，下切氣流會愈強，強風的區域愈大。反之，建築物的寬邊座向與建築物平行，則下切氣流會較弱。因此，設計時應注意盛行風與座向關係。
- (2) 建築物的基座：若建築物底部數層有突出的基座、平台或裙樓，可減少下切氣流對地面行人之干擾。但另一方面，下切氣流在突出基座上方會形成強烈的渦流，可以配合其他防風設施以減緩下切氣流的強度。
- (3) 建築物角隅設計：若建築物外型有尖銳的角隅或較大的削角，則可能會引發角隅渦流。若將角隅圓角化或採用多邊形，則可減弱角隅渦流。
- (4) 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街谷或開口，則可能產生穿堂風，會對進出大樓及經過開口的行人形成干擾。如設計上難以避免，則可考慮設置自動門、旋轉門或屏風等設施，兼顧防風與出入安全。
- (5) 中空式建築：若建築物的立面開了一個大型的中空開口，氣流可直接穿透而過，則建築物迎風面與背風面的壓差會變小，迎風面的下切氣流和角隅渦流亦會減弱，但中空開口處可能會產生穿堂風的現象。
- (6) 騎樓：建築物底部靠近街道處若採用騎樓式設計，不但可以遮日避雨，亦可減少下切氣流對騎樓下方行人的直接影響。
- (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。建築物外形若

為圓弧形的斷面，氣流與建物表面分離的位置和雷諾數及其表面粗糙度有關。

- (8) 相鄰建築物的配置：高度相差太大的建築物若比鄰而立，容易產生較強的下切氣流，故設計時應儘量避免高度相差較大的建築物配置在一起。近似高度與規模的建築群，則須注意其寬邊的座向儘量不要和該地盛行風向一致或接近，以防止縮流效應或渠化現象。

二、設置防風設施

若建築物無法修改其設計，可以在建築物四周設置防風設施以改善風場。防風設施包括防風柵網、植栽、棚架和雨披。以下分述之：

- (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、偏向及導引等作用，其效果視防風柵網的高度、孔隙密度及其座向與風向的關係而定。在防風設施後方 5 至 10 倍防風設施高度的距離內，有最佳的防風效果。且防風柵網應與盛行風的方向垂直，但必須考慮防風柵網是否會影響到周遭的視野、景觀或阻礙行人的活動。
- (2) 植栽：植栽對行人風場的改善效果類似防風柵網，且兼具有綠化、美觀、改善空氣品質和吸收噪音的效用。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，造成逆向流，防風效果反而變差。孔隙密度在 30~50% 之間，會有最佳的防風效果。
- (3) 棚架和雨披：大樓底部若常發生強風，可以設置棚架或雨披以減弱下切氣流對地面行人的直接衝擊，且棚架可遮陽和遮雨，棚架下可規劃為休憩、活動或商業區域，棚架上亦可種植爬藤式的植物以達到綠化的功效。

第四節 都市通風改善對策

鄭[6]等針對都市通風提出幾點改善對策建議，分為通風廊(風道)以及街道佈局 2 個面相來討論[6]：

一、通風廊/風道

- (1) 沿盛行風方向設置通風廊道，並設置與通風廊交接的風道，可以驅散熱氣、廢氣與微塵，改善區域氣候（圖 2-10）。
- (2) 通風廊道應以大型空曠地帶，如：主要道路、綠地、綠帶…等相連，而且須貫穿於社區街廓。通風廊道應沿盛行風方向延展，並配合海、陸風的風向，形成帶狀網絡（圖 2-11）。
- (3) 對於連接主要道路或通風廊的街道，應將建物設置與風道及通風廊呈直角狀或成一定角度接續，並持續伸延一段距離，增加社區通風程度。

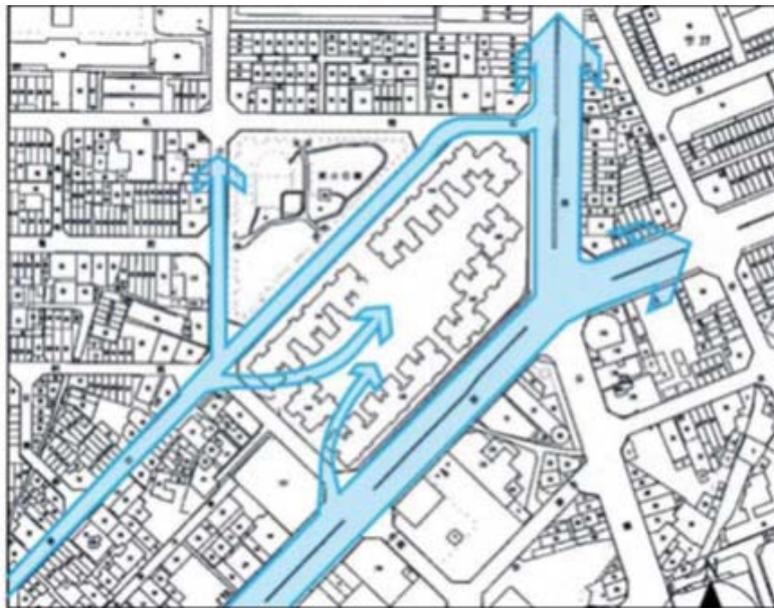


圖 2-10 盛行風通風廊

資料來源：[6]



圖 2-11 通風廊與建築配置關係

資料來源：[6]

二、街道佈局

- (1) 主要街道應與盛行風方向平行或最大成 30° ，使盛行風得以進入社區（圖 2-12）。
- (2) 與盛行風成直角的建築面寬應儘量縮短，此可減少熱氣滯留長度與時程，更可為社區增闢通風廊道（圖 2-13）。
- (3) 基地配置時，應將建築物較長面寬與風向平行，並適度退縮建築牆面線，形成開放空間，以利空氣流通（圖 2-14）。

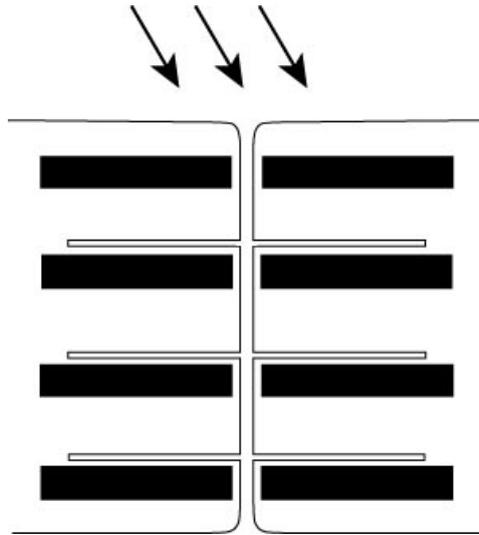


圖 2-12 入射角小於 30°

資料來源：[6]

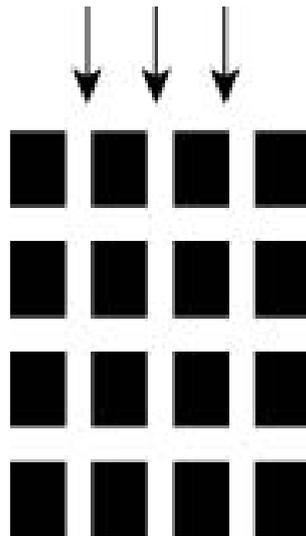


圖 2-13 盛行風垂直於立面

資料來源：[6]

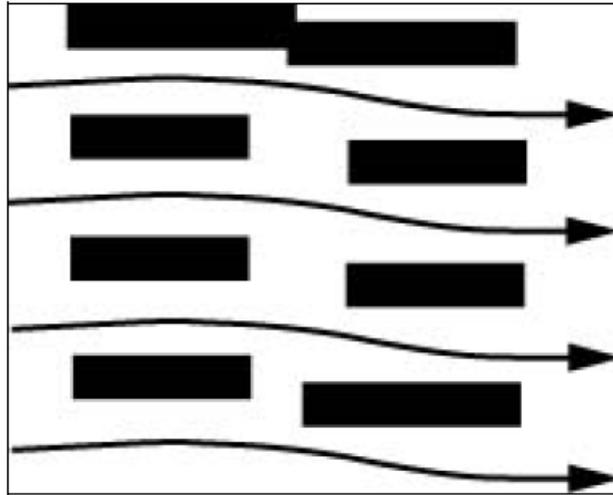


圖 2-14 盛行與建築平行

資料來源：[6]

第五節 國內環境風場相關規定

一、環保署

依據我國環保署於民國 86 年 12 月 31 日發佈之「開發行為環境影響評估作業準則」，於第 22 條中規定：「開發行為中除煙囪外有 70 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」。

第 42 條亦規定：「規劃高樓建築時，應重視其品質與景觀之整性；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之衝擊」。

二、台北市政府

為了評估高層建築對環境微氣候的影響，台北市「綜合設計公共開放空間設置及管理維護要點」第 7 條亦規定：「建築高度超過 60 公尺，應作風洞效應評估，尤其側重超高層建築物所可能產生之微氣候及對公共開放空間使用之影響」。

三、新北市政府

新北市政府針對板橋江子翠北側重劃區，其地點與範圍如圖 2-8 所示，首創全國第一個提出風環境管事項的都市審議規則，該規則共包含三點如下：

建築基地平均寬度大於十五公尺以上者，建築物各幢立面最大寬度（以淨寬度計算）與送審基地平均寬度之百分比應不大於百分之七十為原則。（如下圖 2-9 所示）

為促進環境通風的效果，降低都市熱島效應，並避免高樓風對人行的影響，沿河第一排街廓之高層建築物，應提出環境風場試驗成果說明。

為確保通風廊道與景觀廊道的功能，垂直河岸道路留設之四公尺無遮簷人行道，規劃時應能保持良好自然環境視覺通透，且全天二十四小時供公共人行通行，並得計入法定空地。所留設之無遮簷人行道，除考量夜間照明外，應與相鄰道路之人行道高程齊平，且沿該無遮簷人行道兩側 1.5 公尺範圍內植栽喬木以綠化。

以上第一點係為避免建築物過於寬扁而影響其下游的環境通風效果，將開放空間加大，可增加通風效果。同時為了確認環境通風效益且降低都市熱島效應，並避免行人強風，規定沿岸第一排建築應提出環境風場風洞試驗成果說明，這也足以說明過去高層建築僅針對行人強風探討，現在對於環境通風效益也相對重視。同時於第 3 點為了使垂直河岸道路增加開放空間規定應留設 4 公尺的無遮簷人行道。

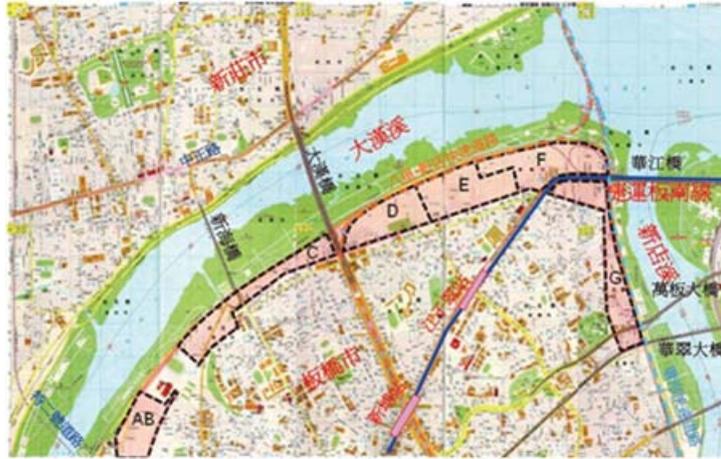


圖 2-14 板橋江翠北側重劃區域範圍

資料來源：[8]

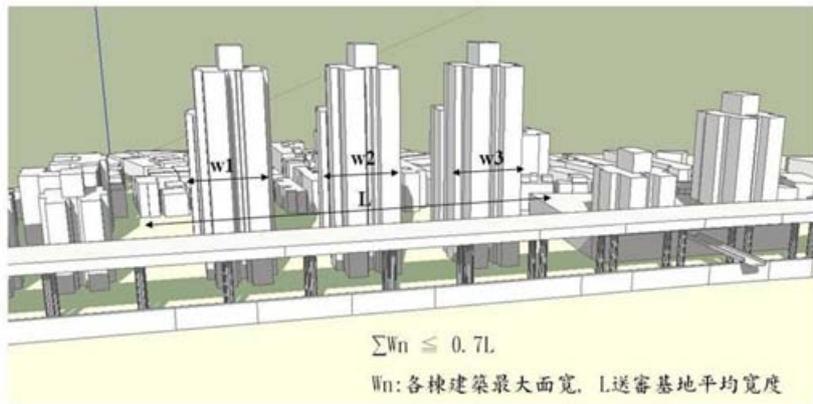


圖 2-15 基地內建築物面寬限制

資料來源：[8]

第六節 強風之行人風場舒適度評估準則

一、強風風環境舒適性

強風行人環境風場評估乃根據風洞試驗的量測值，配合標的物當地的氣象資料，計算各測點不同風速之發生機率，再引用舒適性評估準則，而得到風場環境評結果。一般而言，中央氣象局所得之風速資料為每小時前 10 分鐘的平均風速，且在高風速的發生機率相當小；另基於安全考量，行人於颱風來臨時不會長時間駐留於戶外，故在颱風來時風速不予納入。由於上述情況，使得取得氣象資料的風速發生機率往往限制在風速 20 m/s 以內，對於高風速機率資料便不在分析範圍內。

有鑑於此，在進行風洞模擬試驗前應先針對氣象局的每小時前 10 分鐘的風速風向資料進行機率分析，並採用適當之機率密度函數來計算強風發生的機率。一般常用來描述風速風向發生機率的函數有極值分佈 I 型(Type I extreme value distribution)、極值分佈 II 型(Type II extreme value distribution)、韋伯分佈(Weibull distribution)以及萊利分佈(Rayleigh distribution)等。依據丁等[1]之研究發現，為使風速風向機率密度函數與分析資料具較佳的吻合度，建議採用韋伯分佈函數，其公式如下：

$$P_i(>U) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{U}{U_i}\right)^{a_i}\right] \quad (2-6)$$

其中， P_i 為風速高於 U 之發生機率； a_i 為各風向的機率函數的形狀因子； U_i 為各風向機率函數之尺度因子， i 代表 16 個風向代號(間隔 22.5°)。氣象資料分析方法須將受測區域之中央氣象局測站 10 年以上的氣象資料進行統計分析，計算逐時 16 個風向角的風速發生機率，再對上述函數做統計分析。

在評估建築物周圍行人風場時，有關「舒適性」以及「安全性」的評估判定須以人體受風感受、高風速發生機率、陣風風速以及評估區域的使用性作考量。其中人體受風感受屬於主觀性之指標，並因人的性別、年齡和身體狀況而有所差異，相關研究如 Hunt[32]曾在風洞中進行人體

受風舒適度試驗，研究發現行人的活動在風速低於 6 m/s 時不會受到影響，當風速大於 9 m/s 時會影響行人的活動，若風速超過 15 m/s 後會導致行走困難，一旦風速超過 20 m/s 後則會發生危險。此外，Melbourn 等 [39] 在建築物周邊進行風場調查後發現，當瞬間風速達到 20 m/s 以上將使人體失去平衡；若瞬間風速超過 25 m/s 以上時，行人將有被吹走之虞。整體而言，在標準設計情況下，因風強度導致的不等程度之不舒適感可概分為 9 類，如表 2-2 所示。

表 2-2 行人風效應表

蒲福風級	名稱	風速(km/hr)	風效應描述
0,1	無風-軟風	0~5.4	平靜,無可察覺之風。
2	輕風	5.5~11.9	臉頰上感覺到風之輕拂。
3	微風	12~19.4	輕質旗幟招展； 擾動頭髮； 衣襟飄動。
4	和風	19.5~28.4	塵土揚起,紙片飛動； 頭髮吹亂。
5	清風	28.5~38.5	身體可感覺到風力； 雪被吹離地面； 令人覺得愉快的地面風的上限。
6	強風	38.6~49.7	舉傘困難頭髮被吹直； 穩步行走困難； 耳邊之風聲令人不悅； 吹離地面之飛雪越過行人高度。
7	疾風	49.8~61.6	行走覺得不便
8	大風	61.7~74.5	前行困難； 在陣風中保持身體之平衡極度困難。
9	烈風	74.6~87.8	人被陣風吹倒。

資料來源：本研究整理

評估風場環境對行人的影響為具有高度主觀性，至今仍未有一致的標準。而在評估行人環境風場的舒適度與安全性主要考慮人體受風感受、高風速出現機率、陣風風速以及評估區域的使用特性，故在選用適當的行人舒適性風速分級標準以及訂定各級風速標準的容許發生頻率為其要件。由以往的研究中可以發現不同研究者提出不同的風速分級標準和不同的發生頻率，研究成果如表 2-3 所示。而國際間著名實驗室及顧問公司所採用之評估準則也有所不同，如 RWDI 風工程顧問公司依據 Williams 與 Soligo[50]、Lawson 與 Penwarden[37]、Penwarden 與 Wise[45] 等人的研究，發展了一套舒適性評估準則。CPP 風工程顧問公司則採行 Melbourne[39]、Hunt 等[32]、Lawson 等[37]以及 Isyumov 與 Davenport[35] 等評估準則。西安大略大學 (University of Western Ontario) 風洞實驗室則是根據 Penwarden 與 Wise 以及 Isyumov 與 Davenport 等人的研究提出其舒適性評估準則。內政部建築研究所亦於 2000 年及 2011 年提出舒適性評估準則研究，其中郭[10]於風洞中進行人體舒適度調查後研擬相應準則，並與各國準則評估結果做比較。

所謂強風舒適性評估準乃依人體不舒適性的程度、使用區域設計用途以及當地的風氣象而會有不同的發生頻率(次數)，倘若這些發生的頻率被判定為過高，相關之「不舒適性」程度分類即被認為是「無法接受」。譬如，於某些地區偶爾會有很強的風勢發生，但由於發生機率並不高，因此行人感覺其可被接受。相對的，某些地區雖然風勢並不強，但是由於發生的頻率較高，人們會覺得該地區常在刮風，常覺得擾人且無法接受。除此之外，區域之設計用途同時也須納入考量。譬如露天餐廳或咖啡座等需要有長時間坐定之規劃，而公園、開放廣場等區域僅需滿足短時間停留之目的即可。

表 2-3 各國強風舒適度評估準則

評估標準	活動性	風速	範圍(m/s)	發生機率底限
Lawson and Penwarden	長時間停留	\bar{U}	3.4	<4%
	站立	\bar{U}	5.5	<4%
	行走	\bar{U}	8.0	<4%
	不舒適	\bar{U}	13.9	>2%
Isyumov and Davenport	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.	長時間停留	$\bar{U} + 3U_{rms}$	>6	<10%
	短時間停留	$\bar{U} + 3U_{rms}$	>9	<10%
	行走	$\bar{U} + 3U_{rms}$	>9	>10%
	不舒適	\bar{U}	>9	>1%
Melbourne	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%
	不舒適	$\bar{U} + 1.5U_{rms}$	>13.9	>1%
Murakami et al	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%
郭建源	長時間停留	$\bar{U} + 3U_{rms}$	7.8	<0.06 %
	短時間停留	$\bar{U} + 3U_{rms}$	10.8	<0.09 %
	行走	$\bar{U} + 3U_{rms}$	12.7	<0.32 %
	不舒適	$\bar{U} + 3U_{rms}$	14.4	<1.24 %
	危險	$\bar{U} + 3U_{rms}$	14.4	>1.24 %
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%

資料來源：本研究整理

二、體感溫度指標

影響人體對環境的冷熱感覺項目，主要分為環境因素及人體因素兩大部分，其中環境因素即為氣溫、濕度、周壁輻射溫度與風速；人體因素則是代謝量與著衣量。近年來許多戶外熱環境研究所使用之熱舒適指標被提出使用，其中以 MRT(mean radiant temperature)、SET*(Standard effective temperature)及 PET(physiological equivalent temperature)熱舒適度指標，最常被國內、外學者用來評量戶外環境的熱舒適度。

MRT 是指環境四周表面對人體輻射作用的平均溫度。可反應出直接日射、全天空漫射、短波反射、大氣反射及周圍物體表面之紅外線輻射等，直接與綠化植栽、戶外遮蔭、牆面顏色有密切關係。當周圍環境表面的溫度與空氣溫度相差甚遠時，人體的冷熱感覺必須考慮氣溫與周圍輻射的總和作用。

生理等效溫度 (PET) 是由德國 Peter Höppe [31] 為首的研究小組於 1999 提出，修改自 Fanger[30] 的室內熱舒適性指標 PMV、PPD。PET 藉由分配適當的參數，來為更複雜的戶外輻射環境調整其模型，以適用於戶外環境。PET 結合了各種氣候和生理參數，包括氣溫、相對濕度、太陽輻射、空氣流動、服裝和代謝率，因其衡量單位為 $^{\circ}\text{C}$ ，所以易於被理解。根據 Höppe[31]對 PET 的定義，係指在一個典型室內環境的空氣溫度中，以人體的體感溫度、皮膚溫度與複雜的戶外環境進行熱平衡的預算與評估。

如以行人體感溫度舒適度角度出發，著重於規範最小風速值之訂定，針對下午及晚上時段之氣候狀況，以 SET*舒適指標檢驗 2 公尺高度處之行人風場是相當合適的。SET*是美國空調協會 ASHRAE 綜合人體對於溫熱環境反應之指標，綜合考慮了溫度、相對濕度、風速、平均輻射溫度、人體新陳代謝率和著衣量，共六個主要參數。

ASHRAE 將 SET*定義為，某個空氣溫度等於平均輻射溫度的等溫環境中的溫度，其相對濕度為 50%、空氣靜止不動，在該環境中身著標準熱阻服裝的人，若與他在實際環境和實際服裝熱阻條件下的平均皮膚

溫度和皮膚濕潤度相同時，則必將具有相同的熱損失，這個溫度就是前述實際環境的 SET*。SET*指標相對應在人體生理現象與感覺如表 2-4 所示，Matzarakis[38]等學者將人體感覺舒適、可接受的範圍定義在 SET* 25.6~22.2 °C。

表 2-4 SET*與感覺、生理現象之關係

SET* (°C)	感覺	生理現象
>37.5	非常熱，極大不舒適	蒸發調節失敗的增加
37.5-34.5	熱，非常不能接受	大量出汗
34.5-30	溫暖，不舒服、不能接受	出汗
30-25.6	稍微溫暖，輕微不能接受	輕微出汗，血管舒張
25.6-22.2	舒適，可接受	生理熱中性
22.2-17.5	稍微涼爽，輕微不能接受	血管開始收縮
17.5-14.5	涼爽，不能接受	身體緩慢降溫
14.5-10	冷，非常不能接受	開始發抖

資料來源：[38]

三、平均風速指標

在平衡考慮理想的基本風環境條件和現時實際的建築環境下，香港中文大學[3]針對香港地區須提交空氣流通評估的發展用地，提出了一個風環境評估標準。每小時平均風速中位數達至 1 米/秒，其效果大致與撥扇取涼的效果相符。本標準包括下列兩個可以達標的方法：

(1) 當評估地區內 80%的測試點達至：

全年每小時平均風速的中位數 \geq 1 米/秒及

夏季每小時平均風速的中位數 \geq 1 米/秒。

(2) 評估地區內 95%的測試點達至：

全年每小時平均風速的中位數 \geq 0.6 米/秒及

夏季每小時平均風速的中位數 \geq 0.6 米/秒

評估表現要求 80% 的測試點要達至不少於每秒一米是考慮到在某些建築物後面會無可避免地存在孤立的弱風區。要求 95% 的測試點要達至不少於每秒 0.6 米，是為防止滯風環境的出現。

第七節 文獻回顧

林等[7]針對 2007 年台南市大林住宅都市更新計畫之計畫範圍，進行定點觀測，以實測資料驗證 CFD 模擬計算研究地區之風環境。在歸納整理台南市氣象站資料後，參考國內外風環境指標之檢測及考量人體舒適度 SET*舒適指標檢測值之分析，以絕對評估法與相對評估法兩概念為主軸，訂出下午及晚上時段最適風速範圍，以評估研究地區行人風場。另依都市規劃中管制機制(建蔽率與容積率)，訂定四套組合的模擬分析，再配合先前所歸納出的綜合性之風環境檢測指標，檢驗現行法規下大林住宅都市更新區之風環境情形。最後，突破容積率之管制及周邊建物不變更之限制，提出增加建築量體及設置風廊道的策略，改善該都市更新的風環境。

香港中文大學對於香港地區的行政摘要建議[3]提出如後幾點建議：
(1)將都市氣候規劃建議圖、風環境評估標準和改善建築環境的規劃及設計措施，納入香港規劃標準與準則，為公共和私人發展項目作出指引；
(2)適當地修訂聯合技術通告第 1/06 號(相當於建築技術規則)，以訂明空氣流通評估的改良方法和風環境評估標準；
(3)在地區層面，協調合適的規劃措施，包括限制建築密度、建築物高度和地面覆蓋率、提供通風廊及風道、連接綠化和開敞空間，以增加市區的通透度和減少熱負荷；
(4)在要求公共專案在前期的規劃和設計階段，依照經修訂的技術通告進行空氣流通評估，並確保項目在空氣流通方面達標；
(5)於公眾地方和休憩空間廣泛推廣綠化，特別提倡植樹，以改善城市環境的熱舒適度；
(6)採取合適的建築設計以確保發展專案對都市氣候環境沒有負面影響；
(7)當有機會在發展項目的規劃許可申請、修訂土地契約、或在「可持續建築設計指引」下申請豁免樓面面積而預符合風環境表現為其中一項條件時，

證明發展專案在空氣流通方面是可達到標準的。

Yoshie 等[54]在日本新宿某區域進行長期的風速測量。將測點得到的風速資料與風洞實驗、數值模擬做比較。數值模擬的部分則是使用三種不同 CFD 軟體與繪製三種不同的網格來進行比較。入流風速是設定為新宿三井大樓(237 m)與 KDD Building(187 m)量測的風速，將數值模擬的結果與實場、風洞實驗同時進行比較研究後發現，在弱風且尾流區的地方模擬並不是令人滿意，但在強風區的精確度是比較高的(強風區實場與模擬誤差 10%)，至於實場模擬方面，並不是不完全符合實場量測，但對於精準度的判定是較困難的。在紊流模式的比較，標準紊流模式的結果要比 RANS 紊流模式來的好，雖然標準紊流模式會有放大渦旋能量的情況，但在採用 LES 模型時，這些情況可以有效改善的。然而，如採行 LES 來模擬，其計算量超出一般工程應用的負荷，故建議模擬評估環境行人風場還是使用平均風速來的恰當。此外，若要取得有效風速，則是平均風速乘上紊流強度即可。

日本建築學會(AIJ)[53]進行了大量的數值模擬、風洞試驗、實地量測和不同的計算流體力學軟體。計算流體力學模擬主要是以 RANS 模型進行模擬，礙於龐大的計算量與時間，使用 LES 模型可以獲得更精準的分析結果，並藉由 7 種案例互相比較提出較佳模擬風場環境的指南，並與歐洲規範(COST, European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research)比較其異同。

Mochida 等[40]回顧了近幾年在計算風工程(CWE)領域中，於預測都市區域行人高度之風和熱環境等在主要日本相關領域的研究。研究中除了概略回顧近十年常用的紊流模型及其應用於風環境相關問題外，並介紹了 AIJ 在風環境 CFD 與實驗交互比對合作計劃的結果。接著，也條列了披覆流(canopy flows)包含植栽、矮小建築群、移動汽車等之模式，並介紹該領域目前的成果。列舉之數值模擬結果顯示，在街廓中加入植栽和汽車披覆模式後，對於穩態和非穩態的次網格紊流場有顯著的影響。

Chen 等[23]以大陸深圳市公寓住宅區之戶外環境為探討對象，將其

測點散布於公寓住宅區之間，進行夏季的熱環境因子實測，且為估算民眾於此環境之熱舒適，則以量測數據導出 SET* 與 MRT，更利用 CFD 軟體模擬出公寓大樓之間大氣溫度、濕度、建物表面溫度、SET* 及 MRT 之水平分布圖，以此作改變建物外觀型態、或種植植栽，來改善戶外熱環境的預測。此研究結論證明，數值模擬方法對於戶外熱環境的設計是一個極有幫助的工具。

第三章 研究方法

本研究選定台灣都會研究區域-板橋江子翠地區進行模擬風場研究，其模型縮尺為 1/250，入流風速擬採市郊地況(B 地況)。模擬範圍為半徑 450 公尺區域，範圍內建築量體約為 70-80 棟，以保麗龍製作量體模型。風速量測以 Irwin 探針量測行人高度(約 2 公尺)處之平均及擾動風速，據以了解風速風向特性及評估該地區之風環境舒適性，並作為數值模擬驗證之參考依據。

一般而言，就現有計算機能量直接模擬(DNS)都市地區環境風場在實務上是難以做到的。雖然大渦模擬(large eddy simulation)可有效降低計算量，且就現有的紊流模式來看，其精度高於其他模式，目前在工程應用上較難實現。而最常被使用的 standard $k-\varepsilon$ model 在建築屋頂區域具有紊流動能高估的問題(Murakami et al.,1990)，但基於 RANS(Reynolds averaged Navier-Stokes)穩態(steady-state)計算的 standard $k-\varepsilon$ model 還是具有且高成本效益的特性，因此許多學者對於 standard $k-\varepsilon$ model 提出有效的修正方式，諸如 RNG 等紊流模型。本研究之風環境數值模擬採用 RANS 進行評估，並遵守日本建築學會(AIJ)風環境 CFD 模擬指針，據以獲得正確且完整之風環境資訊。

另由於本研究主要考量夏季下午時段為溫熱感應最嚴酷之時段，研究中蒐集分析氣象資料後得到夏季之風速、溫度及濕度統計資料，計算受測區域夏季下午的體感溫度 SET*指標，據以評估受測區的溫熱環境舒適性。

本研究另規劃 2 種典型都市地區的建築街廓型式，由不同的外型配置參數改變下，探討其對於空氣流通效應的影響，並提出適當建議做為未來都市規劃設計的方向。

第一節 風洞試驗

本研究風洞試驗於內政部建築研究所風洞實驗室進行，其風洞本體為一垂直向的封閉迴路系統，總長度為 77.9m，最大寬度為 9.12m，最大高度為 15.9m，為東南亞目前最大之建築風洞實驗室。

整個風洞本體具有兩個測試區段，第一測試區中配置有 2 個旋轉盤，第一座旋轉盤直徑 1m，安置於距測試區入口處 3m 處，從事一般流體力學研究；第二座旋轉盤直徑 2.6 m，置於可移動式軌道上，定位於距測試區入口端約 25.5m 或 31.5m 處，並以機械控制使其做旋轉及上下運動，以進行建築物受風力作用的空氣動力學研究及污染擴散試驗為主。第二測試區則配置一座旋轉盤，位於風洞本體整流段出口 15m 處，轉盤直徑為 2.6 m，主要用途以橋梁測試為主。

環境風場試驗於本實驗室第一測試段之第二旋轉盤進行，本測試段長 36.5 公尺、寬 4 公尺、高 2.6 公尺，最大風速為 30 公尺/秒。風洞頂部為可調式上蓋板，以維持測試段壓力梯度為零，並將阻塞比降到最低。實驗室相應性能參數與配置圖如圖 3-1 所示。

一、循環式風洞性能

(一)、風洞尺寸

測試段長度	36.5 m
測試段寬度	4 m
收縮比	4.7:1

(二)、驅動系統

總功率	500 kW
風扇型式	直接傳動軸流式風扇
風速控制	變頻器控制馬達轉速

(三)、風速

最高風速	30 m/s
------	--------

邊界層厚度 最高 200 cm
 紊流強度 測試區處約 2 %

(四)、順風向壓力梯度 零梯度由可調式上蓋板調整

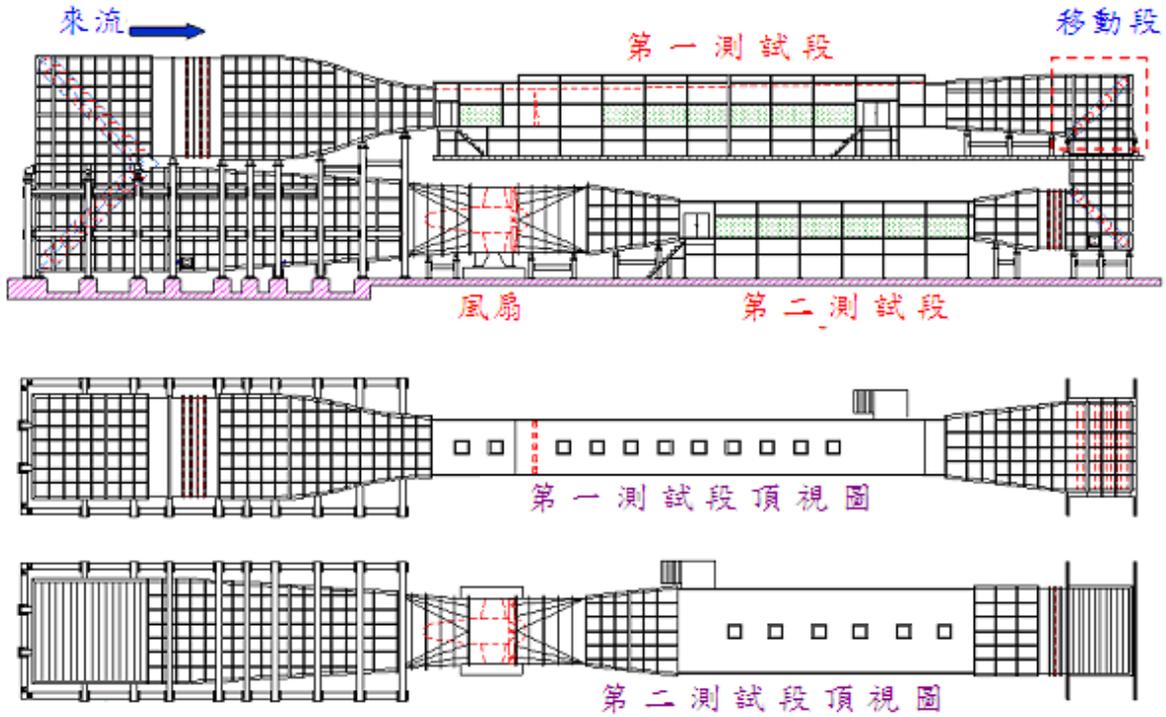


圖 3-1 建研所循環式大氣邊界層風洞性能

資料來源：【本研究整理】

二、風速量測設備

(a) 皮托管

本研究採用皮托管進行來流平均風速之量測，由皮托管所量測到的壓力差值，利用伯努利方程式(Bernoulli equation)，即依據後式計算出相應之風速。

(b) 熱線測速儀

來流風速剖面量測採用 Dantec 公司生產之熱線(hot-wire)測速儀進

行。所謂熱線測速儀是利用電流通過金屬導線時會使導線溫度升高，而當流體流經金屬表面時會帶走部分熱量之原理來量測流體之速度。當探針(probe)所在位置之電阻 R 值因溫度之改變而改變時，使得電橋失去平衡。本實驗室所有之恆溫式流速儀，利用補償電路(compensating circuit)，因應流速之變動，對流經探測元之電流做瞬間之改變來維持探測元之操作溫度固定不變(因而探測元之電阻亦不變)，使電橋保持平衡狀態。如此即可經由回饋電壓的變化來得知所要量測流場中流速之變化。實驗中，將測速儀裝設於可垂直與橫向移動的移動機構，測針擺設位置均以電腦控制。

(c) 地表風速計

在進行行人環境風場試驗時，於風洞實驗中須定義行人高度的風場，在風速的量測上，通常需要在不同的風向情況下，量測許多接近地表、不同位置的測點。由於邊界條件的複雜，導致各測點風向的高度不準確性。再加上紊流強度高，傳統之量測工具如皮托管與熱流速儀使用起來相當困難，其誤差亦大。

本案之行人高度風速量測採用 Irwin[36]於 1981 年所發展出來的無方向性地表風速計測器來進行，其原理是利用管與管中之細管(即管中管，內外兩管共一中心軸，但內管突出較高)，兩者間之壓力差，參照預先率定之結果，可迅速、正確地量測到行人高度上之水平方向風速。如下圖 3-2 所示。而其風速計算方式如下式所示，其中 u 為風速， ΔP 為上述兩內外管之壓力差， α 、 β 則為公式常數。

$$u = \alpha + \beta\sqrt{\Delta P} \quad (3-1)$$

進行試驗前須率定每個地表風速計(Irwin probe) 之 α 、 β 值方能進行風速計算，本研究以用三維動態皮托管進行率定，如圖 3-3 所示。將三維動態皮托管探針放置接近地表風速計處，同時量測 8 個風速點，將動態皮托管及地表風速計之壓力差繪製如圖 3-4 所示，進行線性迴歸即

可得 α 、 β 值。

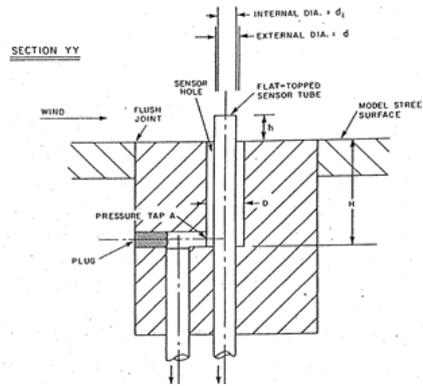


圖 3-2 地表風速計剖面圖

資料來源：[36]

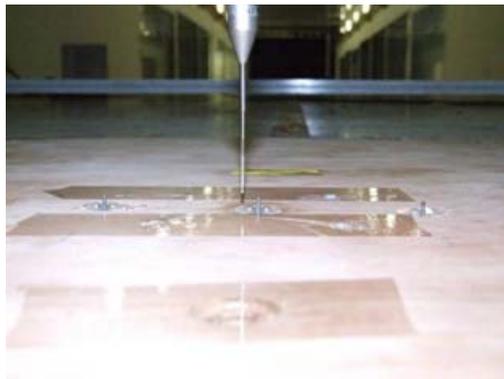


圖 3-3 使用動態皮托管校驗地表風速計

資料來源：本研究整理

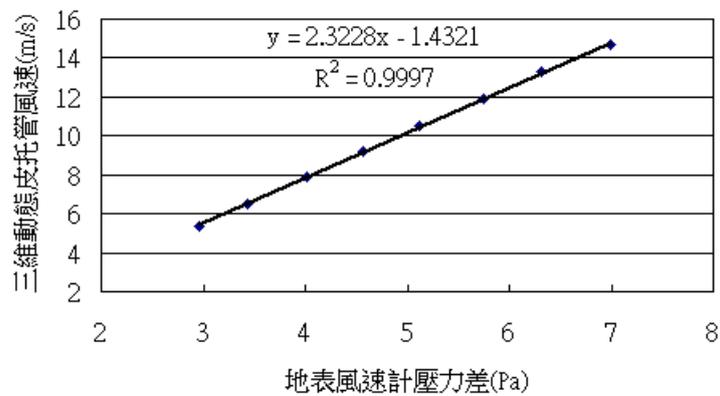


圖 3-4 地表風速計校正回歸線

資料來源：本研究整理

三、壓力量測設備

前述之風速量測方法中，亦涉及壓力之量測。本計畫採用多頻道電子式壓力掃描閥，用來同步擷取作用於結構表面各點的瞬時風壓，經過適當的處理便可得到結構系統所受之平均風力、擾動風力以及外牆所受之局部風壓。

本儀器為 SCANIVALVE 公司之產品，如圖 3-5 所示，其元件包括：

1. 壓力訊號處理系統(RADBASE3200)

- (1) 最多可支援 8 組類比訊號轉換成數位訊號之轉換器(A/D MODULE)
- (2) 最多可支援 8 組壓力感應模組，共 512 個壓力量測點。
- (3) 其類比訊號轉換成數位訊號(A/D convert)解析度達 16bit。
- (4) 最大採樣速率可達 500Hz
- (5) 採用 USB 介面傳輸。
- (6) 具備網路控制與傳輸功能。

2. 壓力感應器模組特性：

- (1) 壓力感應範圍為 ± 10 in H₂O。
- (2). 誤差範圍為 $\pm 0.2\%$ 。

實驗中將各個風壓孔之壓力訊號經 PVC 管傳遞至壓力感應器模組，其量得之訊號傳至壓力訊號處理系統計算後所得壓力值傳回電腦。

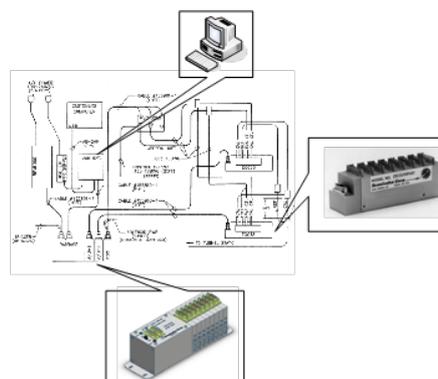


圖 3-5 多頻道電子式壓力掃描器

資料來源：本研究整理

四、風速剖面

本研究於 B 地況中進行風洞試驗，圖 3-6 為建研所風洞實驗室 B 地況之平均風速剖面及其紊流強度剖面，指數律 $\alpha=0.25$ ，邊界層厚度 $\delta=1.6\text{ m}$ ，相應縮尺為 1/250，平均風速符合我國「建築物耐風設計規範與解說」所定義之 B 地況特性。紊流強度部分，近地表紊流強度約為 28%，隨高度逐步衰減，在邊界層層緣處約為 8%。

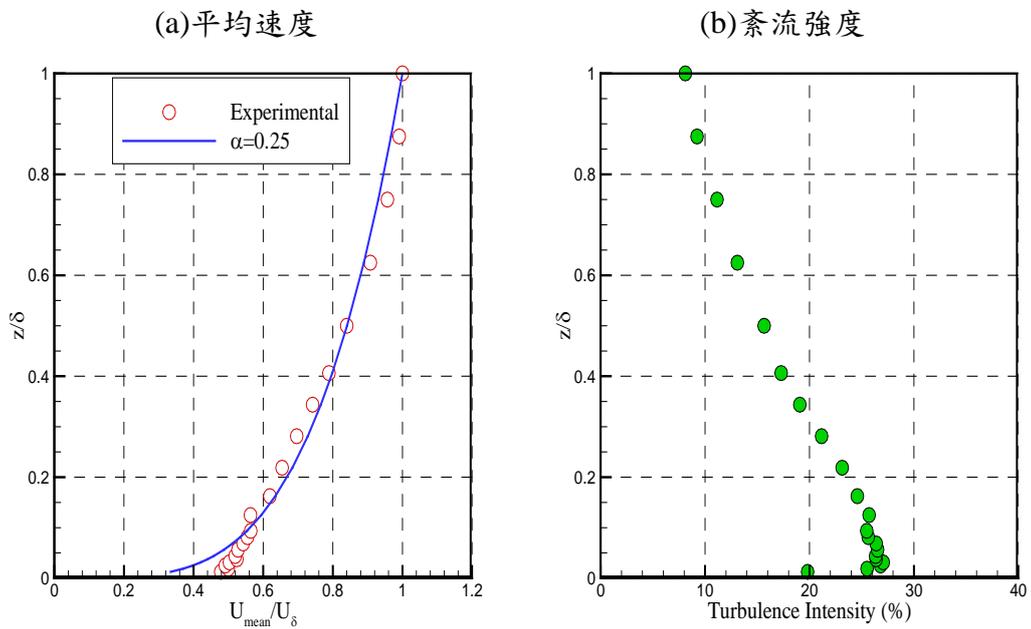


圖 3-6 風洞實驗室 B 地況風速剖面

資料來源：【本研究整理】

第二節 數值模擬方法

近年來由於電腦效能大幅提升，以數值模擬方法代替實驗，可大幅節省許多金錢與時間的付出，因此以數值模式來模擬空間中流體分布的研究成為另一種符合經濟性及實用性的選擇，而數值模擬在環境風場的應用愈趨普遍。相較於風洞試驗，數值模擬可在無縮尺狀況下模擬建築周圍環境微氣候，並較經濟地獲致完整之風場資訊，對於分析探討都市地區風環境影響評估有莫大的助益，惟計算域、格網解析度、紊流模式選定等相關之參數設定需要風洞試驗數據來做進一步確認。

本研究採用泛用型計算流體力學軟體 FLUENT 進行風場模擬工作，其乃基於以有限體積法(finite-volume method)為架構所建構出來的計算流體動力學程式，以求解如下之連續方程式與動量方程式：

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3-2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + f_x + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + f_y + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + f_z + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \quad (3-3)$$

其中， u 、 v 、 w 為速度在 x 、 y 、 z 三個方向之分量； t 為時間； f_x 、 f_y 、 f_z 為場加速度在 x 、 y 、 z 座標上之分量； p 為壓力； ρ 與 ν 分別為流體之密度與運動黏滯度(kinematic viscosity)。FLUENT 採用有限體積法為主要架構，進而求解連續方程式與動量方程式在流場的速度及壓力，以克服對於複雜幾何形狀計算域的適用性問題。

另在 RANS 模式下採用 realizable $k - \varepsilon$ model 進行建築周圍微氣候之模擬。本模式滿足雷諾應力的約束條件，可以更精確地模擬平面和圓形設流的擴散速度，旋轉流計算、具有壓降梯度的邊界層流計算和分離流計算等問題，其計算結果更符合真實情況。可有效改善 standard $k - \varepsilon$

model 的缺點，提升精度。

本研究之數值模擬乃依據 AIJ 所建議之數值模擬準則(附錄 5)來進行，入流邊界條件其平均風速剖面公式乃依據 power law 給定，可由圖 3-6 的風洞實驗室量得之平均風速回歸得到 α 為 0.25。依實場的邊界層厚度給定為 400 公尺，紊流強度剖面公式同樣依據風洞實驗室量測結果進行回歸所得，其公式為：

$$I(z) = 0.26 - 0.18 \left(\frac{z}{\delta} \right)^{0.35} \quad (3-4)$$

接著由 AIJ guideline(附錄 5)的紊流強度建議式 A2 計算紊流動能。另從紊流消散率建議，依據自保持理論，在邊界層中假設紊流消散率 ε 與 production 項相近，將紊流動能與平均風速公式 A3 計算紊流消散率。

第三節 典型建築街廓模擬

為探討建築街廓特性對於都市通風之影響因子進而初步研議都市通風廊道設計指引，本研究設計 2 種典型都市區域街廓型式，分別為棋盤式與連棟式。棋盤式街廓如圖 3-9 所示，由 5×5 共 25 棟方形斷面建築所構成。建築面寬(D)為 25 公尺，調整 3 組棟距 S/D 分別為 1、0.5、0.25(25 公尺、12.5 公尺、6.25 公尺)，3 組樓高 h/D=1、3、5(25 公尺、50 公尺、125 公尺；約為 6 樓、12 樓、31 樓)，3 組風向 $\theta=0^\circ$ 、 22.5° 、 45° ，合計共 27 組案例。

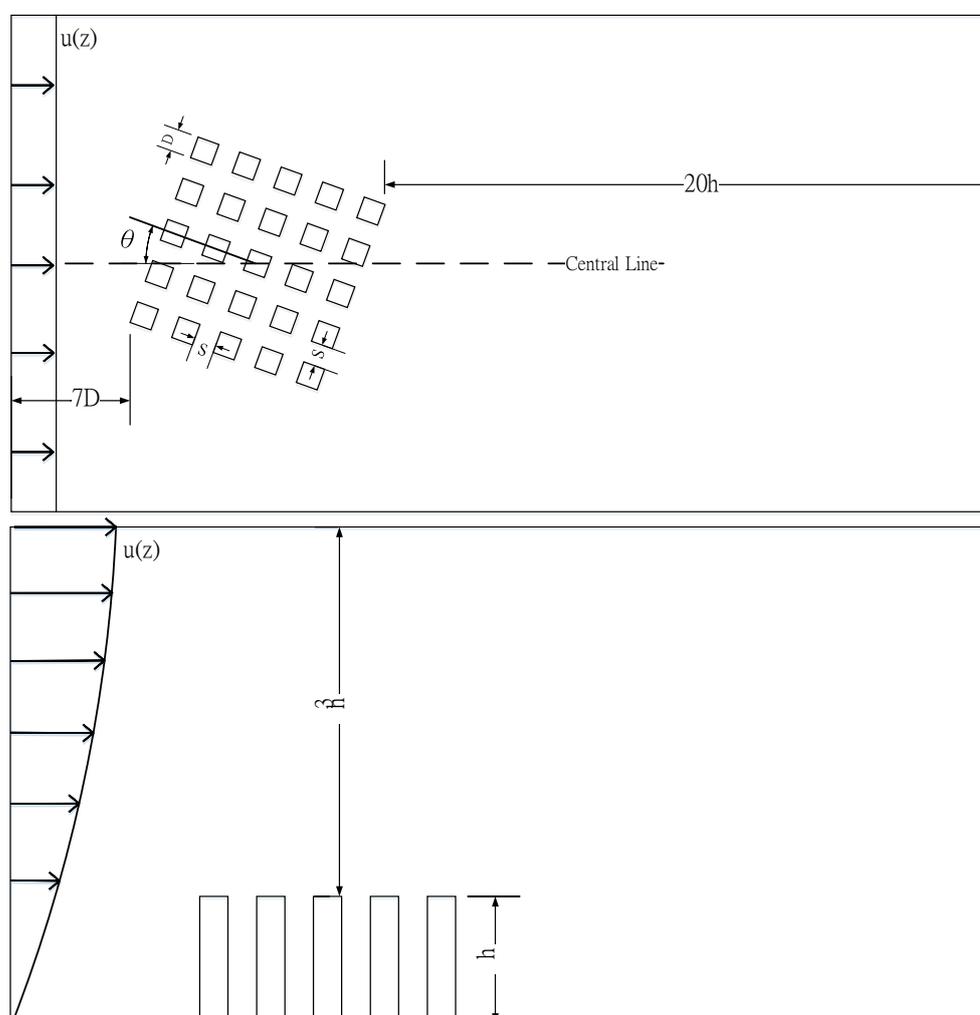


圖 3-7 棋盤式街廓示意圖

資料來源：本研究繪製

連棟式街廓由5棟矩形斷面建築所構成，可視為連棟式建築之設計。一般來說，此類建築設計因考慮地震力作用，大多不會設計得太高。研究中建築面寬(D)為25公尺，深度 W=5D(125公尺)，採用3組棟距S/D=1、0.5、0.25等3組樓高 h/D=1、2、3(25公尺、50公尺、75公尺；約為6樓、12樓、18樓)。由於本案例為非對稱排列型式，理論上來說當 $\theta=90^\circ$ 時，相鄰兩棟間的廊道會形成尾流區，不利於通風。為通盤比較風向對於通風效果的影響以提出合理的建議，於此採用4組風向 $\theta=0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ$ 。合計共36組案例。

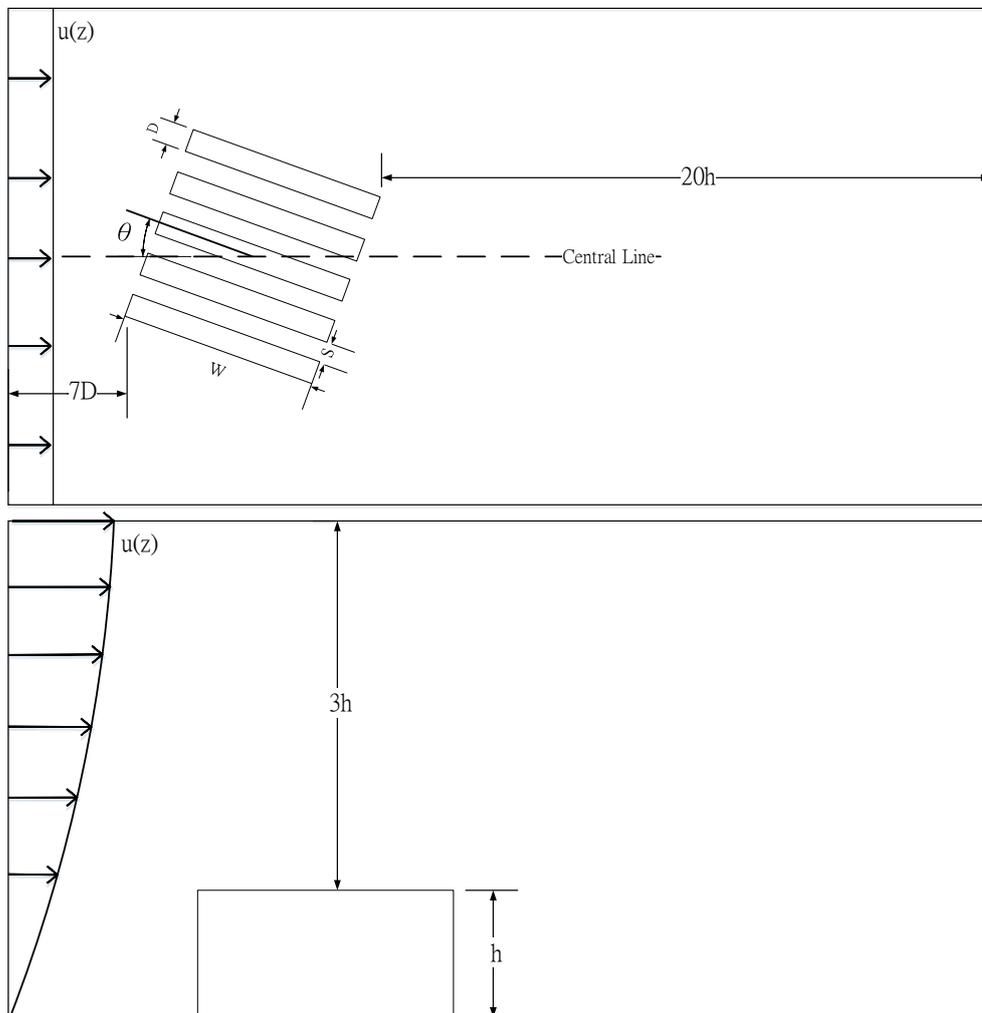


圖 3-8 連棟式街廓示意圖

資料來源：本研究繪製

第四節 研究區域模擬

本研究選定新北市板橋區江子翠區域作為研究區(如圖 3-11)，模擬範圍為半徑 450 公尺。區域中間有 64 號東西向快速道路橫越，另為大漢橋之起點向北與新莊連接。區域北側靠基隆河有板橋巨蛋大樓，高約 136 公尺，其餘部分高樓均落在東北側區域，高約 30-60 公尺之間。南側區域建築較為低矮，屬於老舊型社區，高度多落在 3-6 樓之間(約 12 公尺-24 公尺之間)，本區域數值地形圖如圖 3-12 所示。由於受到實驗室現有環境限制，僅於標註之方形區域內佈設地表風速計，風速計佈設點位分布如圖 3-13 所示，基本上是採均勻配置。

本實驗於內政部建築研究所風洞實驗室進行(如圖 3-14)，地表風速計按圖 3-13 安裝於圓盤中心區域(圖 3-15)。入流風場地況為 B 地況，邊界層層緣風速(U_0)為 11.93 m/s。實驗時以北風為起點，標記為 0° ，每 22.5° 逆時針學旋轉圓盤一次，共 16 個風向角。每次紀錄地表風速計資料，實驗取樣頻率為 250 Hz，取樣時間為 132 秒。

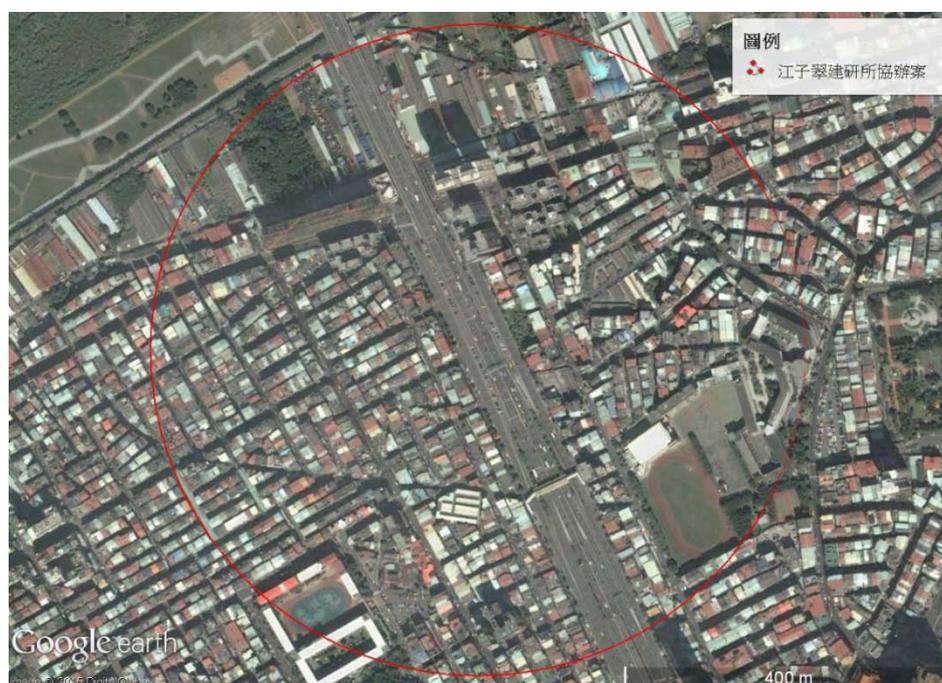


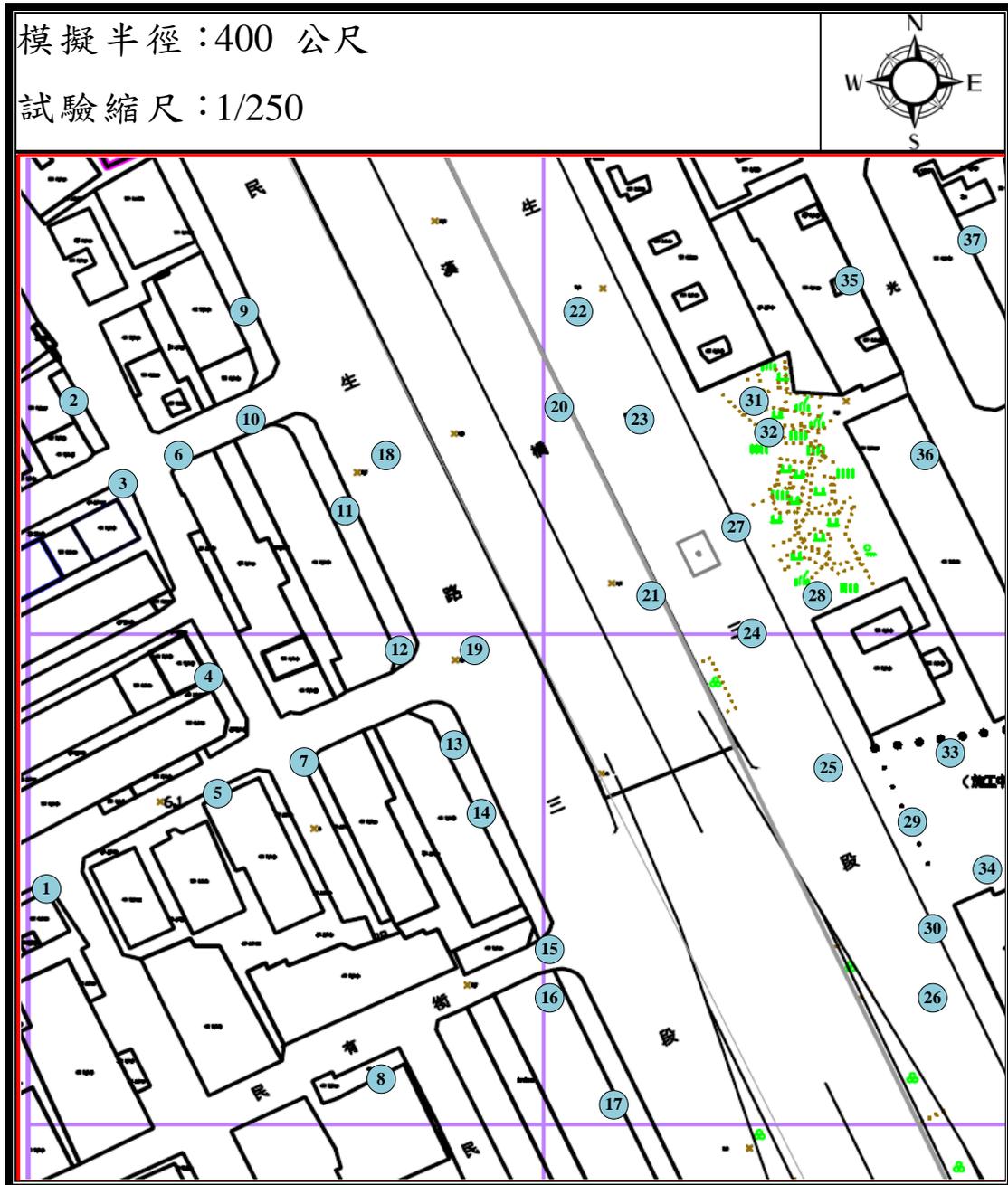
圖 3-9 研究區範圍-新北市板橋區江子翠空照圖

資料來源：本研究修改自 Google earth



圖 3-10 風洞試驗模擬範圍

資料來源：本研究繪製



資料來源：本研究繪製

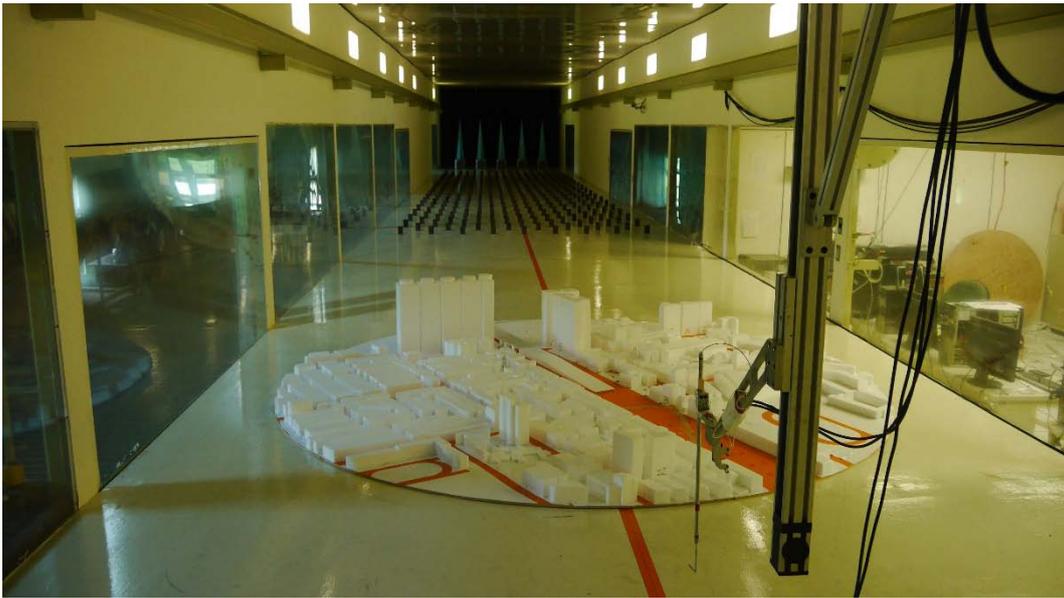


圖 3-12 風洞試驗配置

資料來源：本研究拍攝



圖 3-13 地表風速計埋設

資料來源：本研究拍攝

本研究同時針對研究區進行 CFD 模擬評估，相應之計算區域、建築配置、入流條件、風向角等基本設定與風洞試驗相同，數值模擬之圓盤配置如圖 3-16 所示。格網疏密分配原則為鄰近建築流場變化較劇烈，以及近地面行人高度位置需較高之精度，上述區域採用較密的格網。其中，計算所採用之最小網格尺寸為 0.5 m，最大網格尺寸則為 12.5 m。

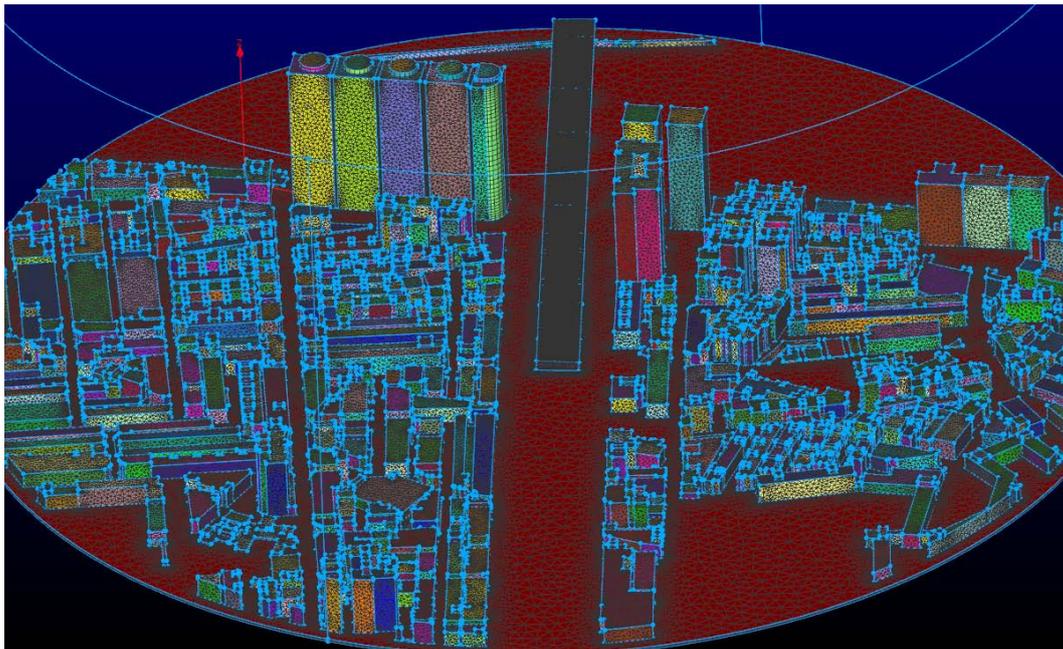


圖 3-14 研究區 CFD 格網模型

資料來源：本研究製作

第四章 結果與討論

為進行都市地區通風效應評估，了解研究區域之 SET* 指標分布概況，研究首先必須針對板橋地區之氣象資料進行分析。另依據風洞試驗結果，則須估算各測點之無因次化風速以及相應之等效平均風速，據以評估研究區之。此外，研究中亦針對典型街廓環境進行初步分析，以探討棋盤式街廓特性對於風環境之影響。

第一節 氣象資料分析

板橋測站位於新北市板橋區大觀路二段 265 巷 62 號，風速計高度 14.1 公尺，溫溼度計高度 1.16 公尺。由 2004 至 2014 年的風速分析結果發現(圖 4-1)，本測站因位於大漢溪西側，東風發生機率最高(26%)。其次為東北東風，機率為 18%。而冬季也是以東風機率最高(圖 4-3)，東北東風次之，接著則是北風，機率分別為 32.5%、20.3%、15.1%。夏季(圖 4-2)則是以北風機率 18.9% 最高，平均風速為 0.54 m/s；其次為東風(14.1%)，平均風速為 3.27 m/s；第三高則是南南西風(10.8%)，平均風速為 0.98 m/s。

另分析該區域溫度與濕度(表 4-1、表 4-2)在不同時段的分布，全年平均溫度為 23.01 °C，夏季為 28.78 °C，冬季為 16.74 °C。在下午時段(13:00-19:00)的溫度部分，全年、夏季、冬季有著一致的統計結果，隨著時間越晚，溫度有隨之下降的趨勢。在溼度部分，全年平均相對濕度為 74.66%，而冬季濕度(76.82%)高於夏季濕度(73.83%)。且隨著時間越晚，相對濕度隨之增加。

測站：板橋 時間：2004-2014 全年

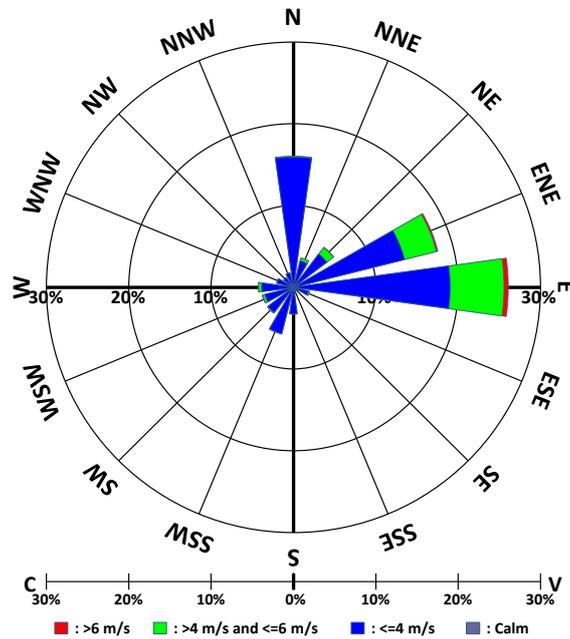


圖 4-1 板橋測站 2004-2014 風花圖

資料來源：[11]，本研究整理

測站：板橋 時間：2004-2014 夏季

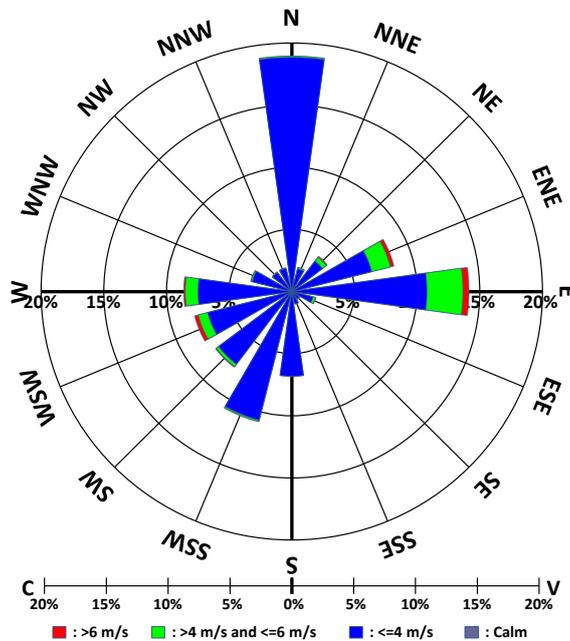


圖 4-2 板橋測站 2004-2014 夏季風花圖

資料來源：[11]，本研究整理

測站：板橋 時間：2004-2014 冬季

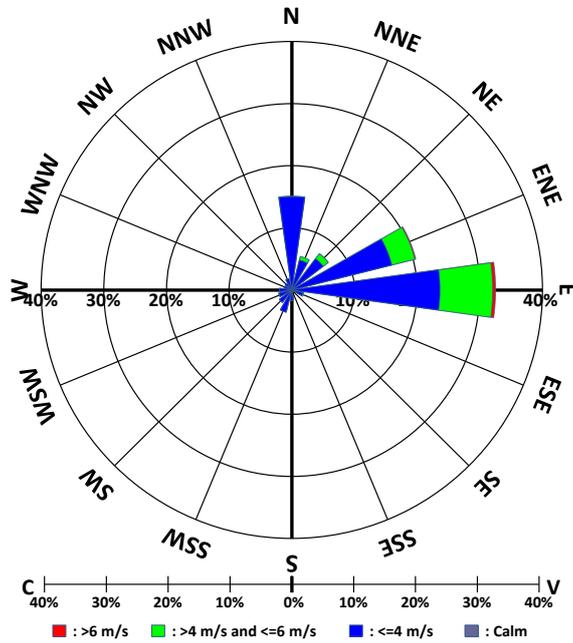


圖 4-3 板橋測站 2004-2014 冬季風花圖

資料來源：[11]，本研究整理

表 4-1 板橋測站溫度分析表(2004-2014)(°C)

均溫	23.01						
夏季均溫	28.782						
冬季均溫	16.737						
時間	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
全年	25.85	25.601	25.134	24.524	23.88	23.311	22.879
夏季	32.322	31.867	31.183	30.439	29.822	29.212	28.611
冬季	19.1	18.922	18.63	18.082	17.464	16.972	16.696

資料來源：[11]，本研究整理

表 4-2 板橋測站相對濕度分析表(2004-2014)(%)

平均濕度		74.661					
夏季平均濕度		73.833					
冬季平均濕度		76.82					
時間	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
全年	66.881	67.419	68.416	69.7	70.984	72.529	74.011
夏季	64.38	65.852	67.469	69.19	70.232	71.434	73.187
冬季	69.818	69.896	70.686	71.817	73.335	75.137	76.303

資料來源：[11]，本研究整理

第二節 風洞試驗結果與評估

本研究之研究區中 37 個測點，含 16 個風向的平均無因次風速(如表 4-3、4-4 所示)，平均無因次風速為地表風速所量得行人高度位置之風速(u_2)除以邊界層層緣風速(U_δ)而得，便於後續氣象資料引入計算之用。整體來說，測點 20-25 位於快速道路西側，在氣流由南風至西風角度灌入時，具有較佳之氣流導引，其無因次風速較高。

為評估夏季時各測點的戶外熱舒適性，另須計算夏季之等效平均風速(U_{eq})，其定義為該測點在夏季時的平均風速，其公式如下：

$$U_{eq} = \sum_{i=1}^{16} P_i C_{Bi} \left(\frac{u_{2i}}{U_\delta} \right) \quad (4-1)$$

$$C_{Bi} = U_{mi} \left(\frac{\delta}{z_m} \right)^\alpha \quad (4-2)$$

其中 P 為各風向發生之機率，i 為風向。 C_B 為風速轉換因子，可將邊界層厚度處之風速轉換到氣象站高度之風速。 U_m 為氣象站在不同風向的平均風速， Z_m 為測站高度。經由 4-1 式可計算得各測點在考慮各個風向的發生機率後，統計所得的等效平均風速。本研究區各測點的夏季等效平均風速如表 4-5 所示。

在考慮板橋地區夏天下午 1 點至 7 點時之不同氣象條件下，本研究引入氣溫及濕度之概念，依據影響人體舒適度之六項因子演算，以求解在不同風速條件下 SET* 值之變化，並試圖找出達到戶外熱舒適性可接受範圍之 SET* 值時之最小風速值。SET* 之計算採用 Charlie Huizenga 與 Marc Fountain 於 1994 年所設計的「UC Berkeley Thermal Comfort Program」[49]，計算時將儀器所測得之溫度、平均熱輻射溫度、相對濕度、風速等物理環境因子及調查所得之活動狀態與人的衣著量等數據輸入程式中，以得出影響人體舒適度之可忍受的最小風速值。

溫度、相對溼度依據夏季下午時刻的氣象資料統計後帶入。由於近 10 年的板橋區氣象資料並未含有黑球溫度，故無法取得平均幅射溫度，

在此以各時段之平均溫度取代。人的夏季衣著量設定絕緣值平均為 0.5 clo。另設定 2 種活動狀態，分別為步行(2 met)與站立(1.2 met)，其不同時段之風速(0.3-3 m/s)與 SET*對應圖如圖 4-4、4-5 所示。平均風速 3 m/s 是一個臨界值，若風速高於此值，依據表 2.3 的舒適性評估準則，則可能會發生行人強風的不舒適。因此，適當的微風將有效和緩戶外體感溫度，增進舒適性。

以 Matzarakis 等[38]所整理之表 2-4 中所描述的狀況，30 °C 為輕微不能接受的範圍內。如以步行狀態去檢視舒適度(圖 4-4)，13:00-15:00 在戶外的熱舒適性是極差的，提高風速也無法達標。而在 16:00 時，風速在 2 m/s 以上才可達標，且隨著時間愈晚，達標的風速也隨之降低。如以站立情況檢視體感溫度指標 SET*(圖 4-5)可以發現，於 1:00 時，風速在 1 m/s 以上可以在忍受範圍內。

如依據林子平[4]針對台灣地區的戶外熱舒適性研究結果，即 SET*的可接受範圍為 23-33.1 °C 來看，於下午 13:00 之步行狀況下，當風速達到 1 m/s 以上，體感溫度即可達到標準。而換成站立狀況時，即使是無風時戶外 SET*也在忍受範圍內。

若以 1 m/s 為標準來檢視測區內各測點的等效風速門檻，可視作步行狀況下 SET*=33.1 °C 指標，或是站立狀況下 SET*=30 °C 指標。如以香港中文大學的 2 個風速門檻指標 0.6 m/s 與 1 m/s 來看，發現研究區測點 8 與 26 因位於巷道內，其等效風速低於 0.6 m/s，整體測點風速達成率為約為 95 %。而在測點 9、10、20、21、22、23、29、34、37 之等效風速可以達到 1 m/s 以上，測點風速達成率為 24 %。

表 4-3 各測點在不同風向角下的無因次風速結果 I

點位	無因次平均風速 (u/U_0)							
	北	北北東	東北	東北東	東	東南東	東南	南南東
1	0.208	0.153	0.140	0.134	0.139	0.123	0.217	0.182
2	0.178	0.262	0.195	0.178	0.139	0.130	0.120	0.134
3	0.218	0.263	0.184	0.255	0.268	0.259	0.201	0.144
4	0.232	0.237	0.191	0.190	0.171	0.162	0.139	0.155
5	0.207	0.193	0.204	0.166	0.153	0.149	0.150	0.141
6	0.224	0.219	0.190	0.284	0.284	0.240	0.211	0.154
7	0.221	0.224	0.290	0.236	0.211	0.202	0.113	0.116
8	0.181	0.166	0.127	0.107	0.083	0.093	0.158	0.154
9	0.471	0.464	0.356	0.343	0.325	0.333	0.242	0.196
10	0.226	0.224	0.291	0.342	0.351	0.297	0.221	0.178
11	0.305	0.234	0.271	0.258	0.286	0.286	0.241	0.182
12	0.322	0.226	0.241	0.226	0.250	0.195	0.222	0.171
13	0.300	0.259	0.254	0.226	0.242	0.171	0.290	0.219
14	0.255	0.230	0.264	0.249	0.270	0.188	0.334	0.290
15	0.294	0.257	0.314	0.254	0.228	0.241	0.425	0.355
16	0.220	0.279	0.264	0.318	0.250	0.243	0.316	0.240
17	0.216	0.262	0.275	0.270	0.245	0.345	0.399	0.302
18	0.343	0.309	0.224	0.226	0.223	0.248	0.293	0.316
19	0.257	0.215	0.190	0.187	0.201	0.177	0.274	0.331
20	0.216	0.311	0.347	0.268	0.247	0.207	0.189	0.235
21	0.227	0.280	0.275	0.236	0.226	0.235	0.172	0.286
22	0.196	0.237	0.268	0.222	0.253	0.225	0.192	0.240
23	0.202	0.290	0.314	0.248	0.251	0.253	0.280	0.250
24	0.215	0.251	0.215	0.171	0.148	0.121	0.150	0.260
25	0.205	0.251	0.226	0.245	0.301	0.391	0.254	0.254
26	0.146	0.149	0.136	0.134	0.113	0.114	0.104	0.115
27	0.188	0.227	0.167	0.149	0.132	0.131	0.150	0.160
28	0.179	0.233	0.205	0.165	0.117	0.101	0.114	0.131
29	0.212	0.231	0.208	0.243	0.242	0.329	0.241	0.145
30	0.223	0.322	0.321	0.240	0.195	0.184	0.156	0.136
31	0.185	0.207	0.235	0.182	0.237	0.277	0.218	0.214
32	0.217	0.248	0.235	0.187	0.145	0.165	0.209	0.201
33	0.141	0.133	0.110	0.109	0.148	0.204	0.204	0.204
34	0.214	0.290	0.284	0.268	0.226	0.280	0.269	0.153
35	0.192	0.252	0.344	0.196	0.143	0.136	0.155	0.118
36	0.164	0.276	0.373	0.214	0.132	0.145	0.154	0.120
37	0.163	0.182	0.266	0.284	0.298	0.307	0.149	0.153

資料來源：本研究整理

表 4-4 各測點在不同風向角下的無因次風速結果 II

點位	無因次平均風速 (u/U_0)							
	南	南南西	西南	西南西	西	西北西	西北	北北西
1	0.167	0.202	0.242	0.163	0.233	0.355	0.253	0.136
2	0.140	0.188	0.188	0.179	0.229	0.274	0.166	0.159
3	0.145	0.175	0.162	0.158	0.184	0.227	0.209	0.241
4	0.154	0.221	0.178	0.171	0.184	0.191	0.196	0.262
5	0.150	0.178	0.168	0.152	0.193	0.181	0.133	0.158
6	0.158	0.162	0.156	0.155	0.180	0.171	0.160	0.172
7	0.153	0.152	0.158	0.152	0.250	0.163	0.139	0.184
8	0.170	0.154	0.187	0.225	0.209	0.216	0.113	0.101
9	0.135	0.245	0.208	0.165	0.143	0.217	0.253	0.398
10	0.180	0.148	0.151	0.157	0.181	0.190	0.176	0.211
11	0.118	0.221	0.187	0.192	0.172	0.158	0.211	0.251
12	0.120	0.151	0.166	0.172	0.140	0.158	0.153	0.215
13	0.127	0.147	0.217	0.179	0.156	0.160	0.122	0.195
14	0.146	0.143	0.204	0.174	0.148	0.150	0.136	0.199
15	0.194	0.131	0.154	0.180	0.159	0.172	0.134	0.209
16	0.165	0.157	0.231	0.258	0.238	0.276	0.141	0.154
17	0.173	0.112	0.171	0.207	0.191	0.236	0.141	0.186
18	0.170	0.235	0.235	0.209	0.207	0.219	0.205	0.291
19	0.177	0.203	0.222	0.243	0.209	0.203	0.151	0.215
20	0.210	0.384	0.465	0.481	0.249	0.379	0.442	0.421
21	0.273	0.270	0.327	0.376	0.183	0.277	0.364	0.362
22	0.240	0.383	0.463	0.434	0.251	0.445	0.404	0.343
23	0.262	0.416	0.522	0.502	0.321	0.548	0.553	0.383
24	0.354	0.259	0.275	0.276	0.242	0.312	0.365	0.285
25	0.331	0.231	0.391	0.399	0.361	0.401	0.414	0.301
26	0.115	0.133	0.131	0.147	0.145	0.151	0.130	0.114
27	0.219	0.284	0.300	0.293	0.213	0.335	0.313	0.235
28	0.164	0.201	0.240	0.238	0.212	0.256	0.318	0.248
29	0.173	0.244	0.302	0.330	0.308	0.304	0.217	0.143
30	0.140	0.149	0.265	0.390	0.300	0.291	0.239	0.193
31	0.241	0.279	0.319	0.286	0.297	0.333	0.273	0.157
32	0.223	0.276	0.320	0.295	0.301	0.350	0.339	0.168
33	0.258	0.226	0.169	0.181	0.188	0.175	0.164	0.118
34	0.177	0.211	0.311	0.405	0.337	0.334	0.234	0.166
35	0.177	0.297	0.364	0.382	0.258	0.299	0.164	0.153
36	0.155	0.277	0.240	0.303	0.240	0.216	0.181	0.136
37	0.152	0.234	0.327	0.377	0.283	0.219	0.138	0.119

資料來源：本研究整理

表 4-5 各測點夏季等效平均風速 U_{eq}

點位	U_{eq} (m/s)	點位	U_{eq} (m/s)
1	0.700	20	1.222
2	0.709	21	1.030
3	0.882	22	1.162
4	0.749	23	1.302
5	0.677	24	0.863
6	0.894	25	1.224
7	0.825	26	0.523
8	0.568	27	0.795
9	1.147	28	0.721
10	1.034	29	1.024
11	0.955	30	0.979
12	0.837	31	0.986
13	0.846	32	0.900
14	0.875	33	0.637
15	0.868	34	1.082
16	0.991	35	0.917
17	0.905	36	0.836
18	0.928	37	1.088
19	0.828	-	-

資料來源：本研究整理

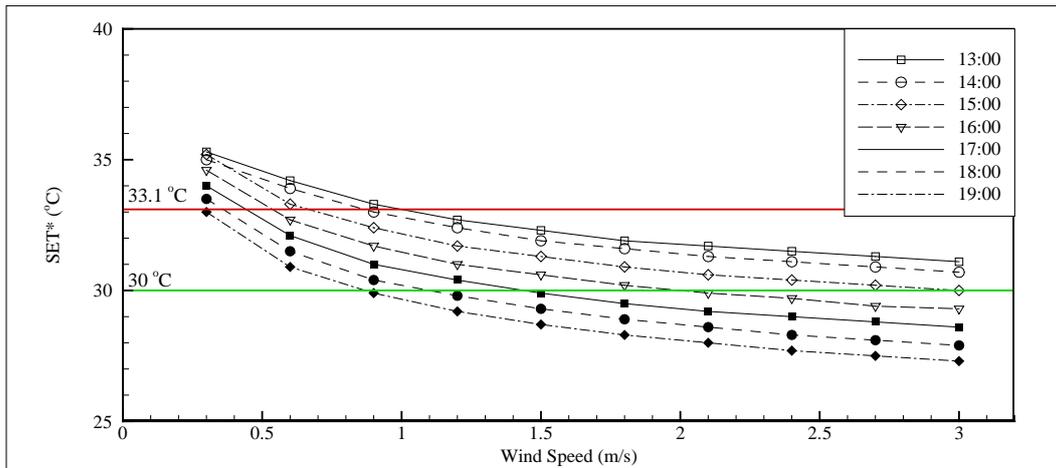


圖 4-4 板橋地區 13:00-19:00 步行狀況下 SET*隨風速之變化圖

資料來源：本研究繪製

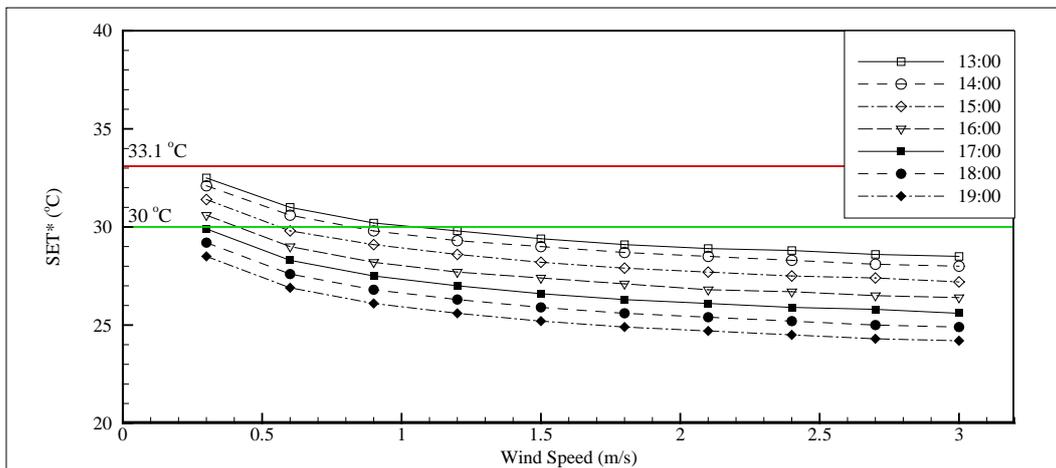


圖 4-5 板橋地區 13:00-19:00 站立狀況下 SET*隨風速之變化圖

資料來源：本研究繪製

第三節 體感溫度指標

按上節提到引入氣溫及濕度之概念，依據影響人體舒適度之六項因子演算，以求解在不同風速條件下 SET* 值之變化，並找出達到戶外熱舒適性可接受範圍之 SET* 值時之最小風速值。為了解我國都市地區之風速標準，於此蒐集我國六個直轄市分別為台北市、新北市、桃園市、台中市、台南市、高雄市，將其氣象資料進行 SET* 分析，各都會區的 SET* 隨風速之變化如圖 4-6 所示。

針對夏季下午 1 點時的臨界情況，人體代謝率採用站立時的情境，並參採 Matzarakis 所建議之熱舒適性上限 30 °C 為標準，可以得到各地區的舒適風速標準如見表 4-6。因台北市及新北市屬於盆地地形，都市化程度亦較高，夏季的溫度及濕度都較其他地區高，因此所需的舒適風速亦為最大，分別為 1.047 m/s 及 1.078 m/s。而南部的高雄市及台南市緯度較低，夏季溫度雖高，但濕度較北部要來得低，所需的舒適風速為 0.728 m/s。而桃園市及台中市溫度及濕度的感受相較其他地區要佳(較低)，因此舒適風速最低，分別為 0.569 m/s、0.53 m/s。

表 4-6 本國直轄市夏季舒適風速標準

地區	風速標準 (m/s)
台北市	1.047
新北市	1.078
桃園市	0.569
台中市	0.53
台南市	0.728
高雄市	0.728

資料來源：本研究整理

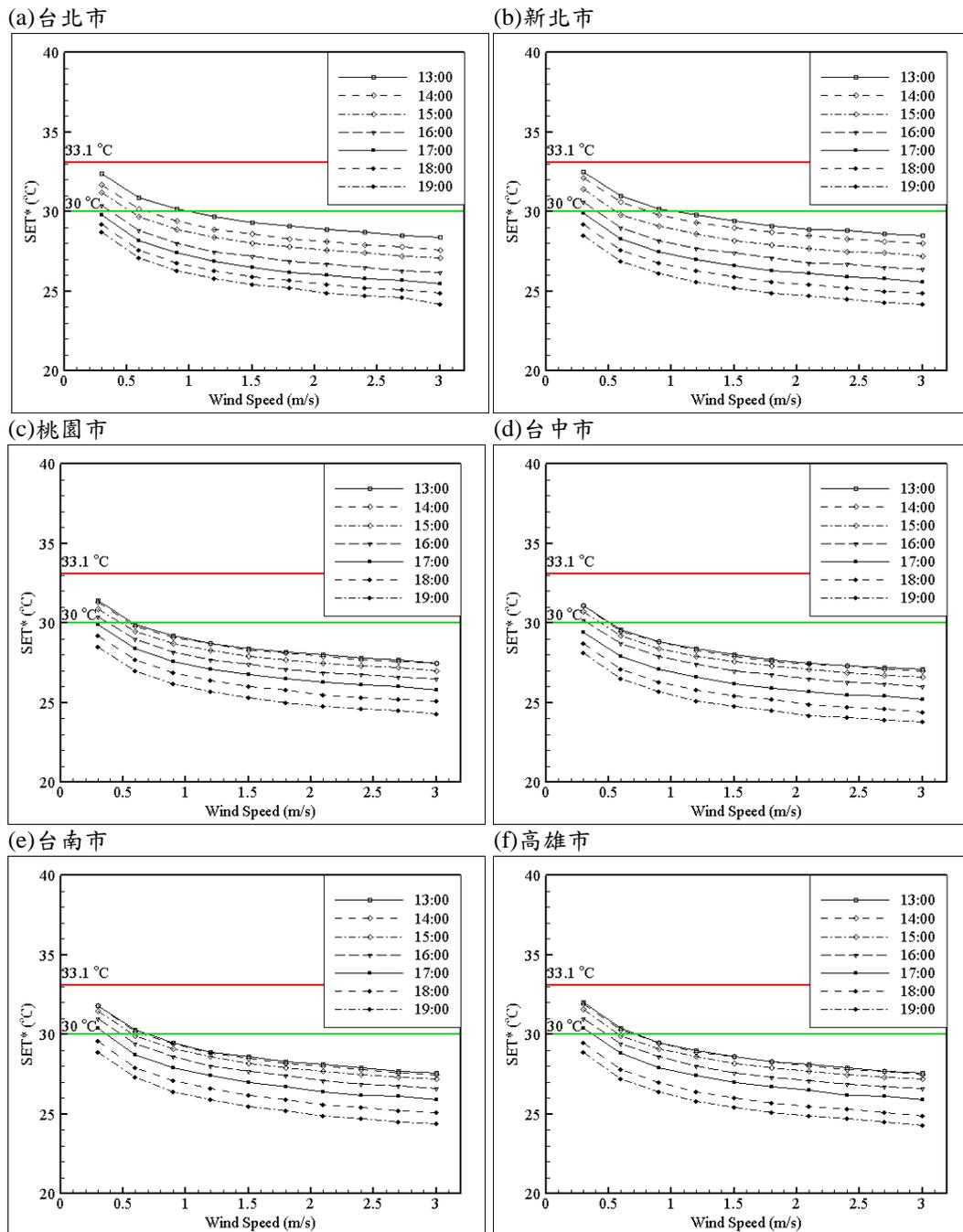


圖 4-6 本國都會地區人體於站立狀況下 SET*隨風速之變化圖

資料來源：本研究繪製

第四節 研究區模擬結果

一、模式驗證

針對研究區進行 16 個風向角之數值模擬結果，與風洞試驗量測 37 個測點(如 3.7 節所述)行人高度位置之無因次風速進行比較，其結果如圖 4-7、圖 4-8 所示。整體看來，數值模擬的風速分布與風洞試驗有相近的趨勢，但部分風向的測點會有較大之誤差值，其可能原因如後：

- (1) 數值模式問題：依據 Yoshie 等[53]應用 RANS 模式比較行人風場風洞模擬結果後發現，在建築尾流區(wake)的預測會發生低估的狀況，在本研究模擬結果也有發現此一問題。其主要原因為非恆定週期性擾動在建築後方發生，而 RANS 模式無法重現此一現象之故。因此在評估弱風時，數值模擬可能會有比較保守之結果。
- (2) 風洞試驗模型：風洞試驗模型的高架橋橋墩與數值模擬略有差距，造成當風從北側(北北西、北、北北東、東北)來時，位於北側之測點會有較大的誤差。而在角度大於 135°(東南風)之後，高架橋即位於測點下游，橋墩造型影響降低，預測的精度也隨之提高。
- (3) 量測點定位：實驗量測點位置座標擷取為人工判斷，再導入數值模擬擷取數據後造成誤差。

二、研究區分析

相較於風洞試驗，數值模擬可以得到更為全面之風場特性，能夠通盤瞭解弱風區與強風區發生之成因，對於後續分析都市地區之風流通效應並提出設計規劃建議，應是可行且有效之工具。由於本研究區中線為板橋民生路(台 106 甲線)貫通，因高架橋設計而有 20 公尺寬，與北方夾角約為 10°。於此檢視行人高度之無因次風速(圖 4-9、圖 4-10)可以發現，當氣流由北側來時，北北西風具有較佳之氣流導引效果。若風來自南方時，在南南東風的氣流導引效果是最好的。由此可知，寬度較大之路段與常季風風向平行對於空氣流通具有較佳之成效。

由氣象資料分析(圖 4-2)可以得知該區域夏季盛行風風向為北風和東風，而審視該區域北風時的速度向量圖(圖 4-11)時發現，由於西北側

區域有 5 棟 115 公尺高、間距 5 公尺的大樓，對於其下游的測點造成很大的遮蔽效應，另下游街道走向與來風垂直，使得風洞試驗的 1-19 測點等效風速偏低(如見圖 4-13)，僅有測點 9、10 因在通風廊道邊緣，其等效風速可以達到 1 米以上。而實驗測點 21-23 位於通風廊區，以及東風時(如見圖 4-12)此區域有較強之風速，因此等效風速可以達到 1 米以上。

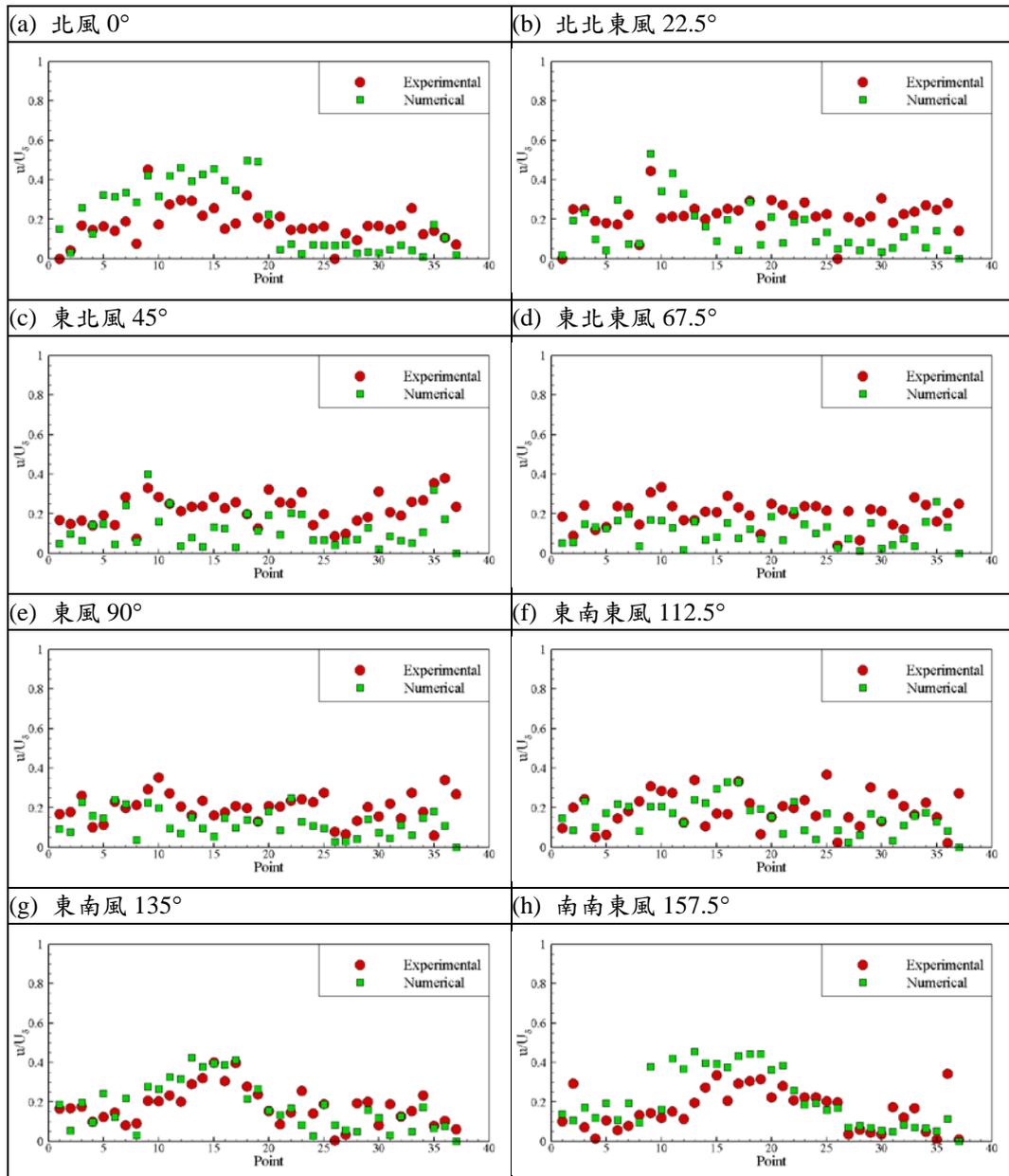


圖 4-7 研究區北風至南南東風測點無因次風速比較圖

資料來源：本研究繪製

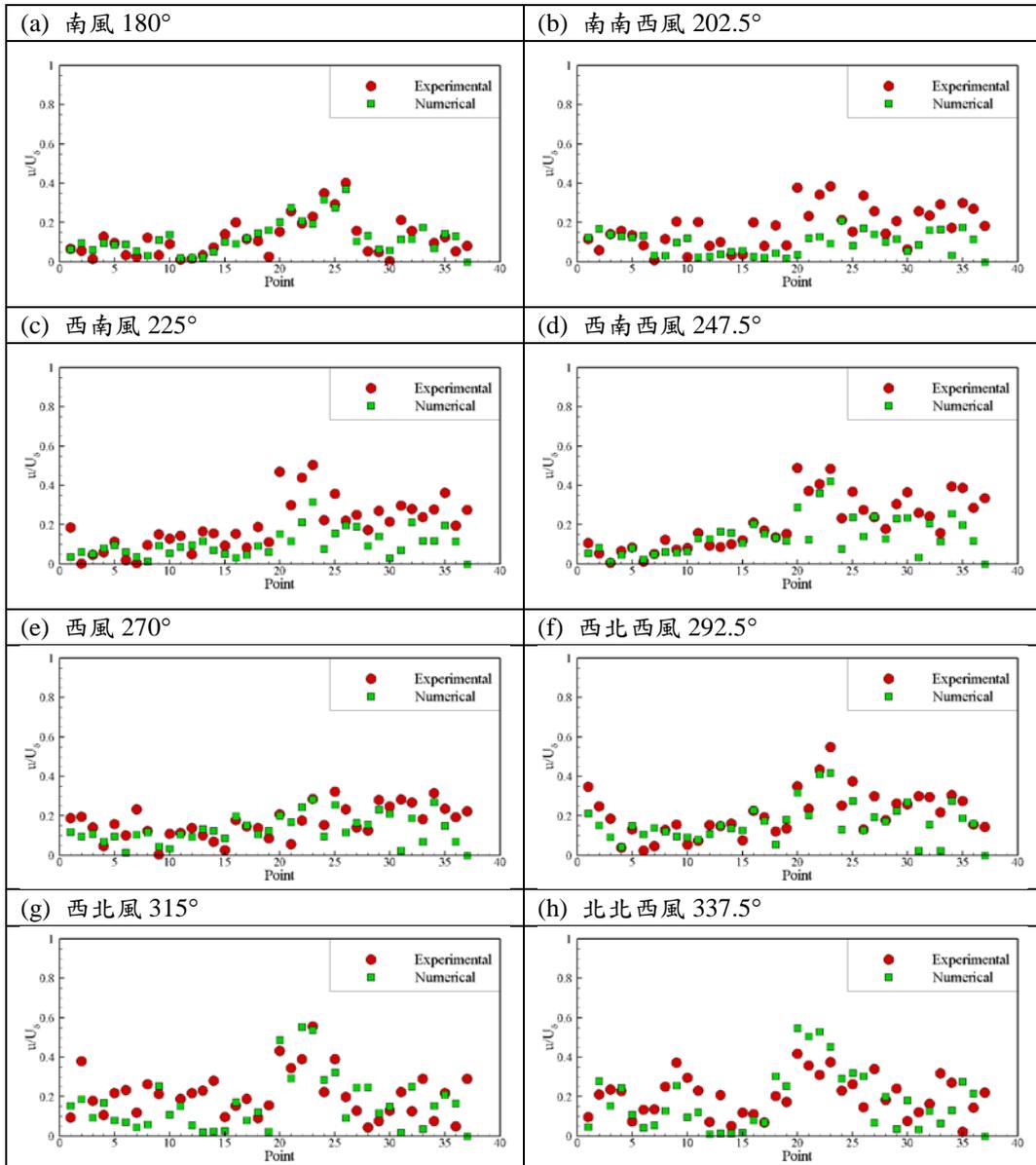


圖 4-8 研究區南風至北北西風測點無因次風速比較圖

資料來源：本研究繪製

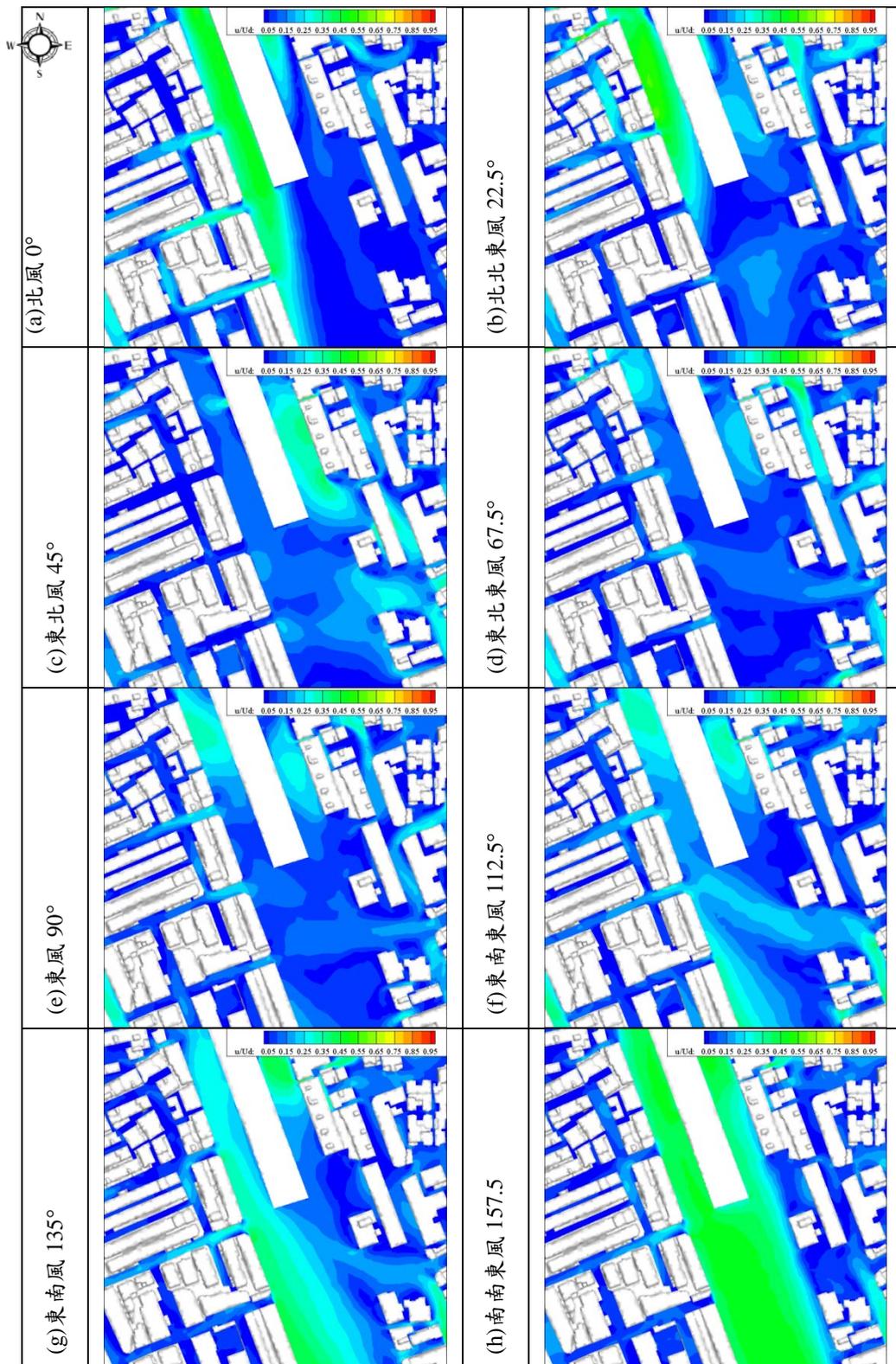


圖 4-9 研究區北風至東南東風行人高度無因次風速等值圖

資料來源：本研究繪製

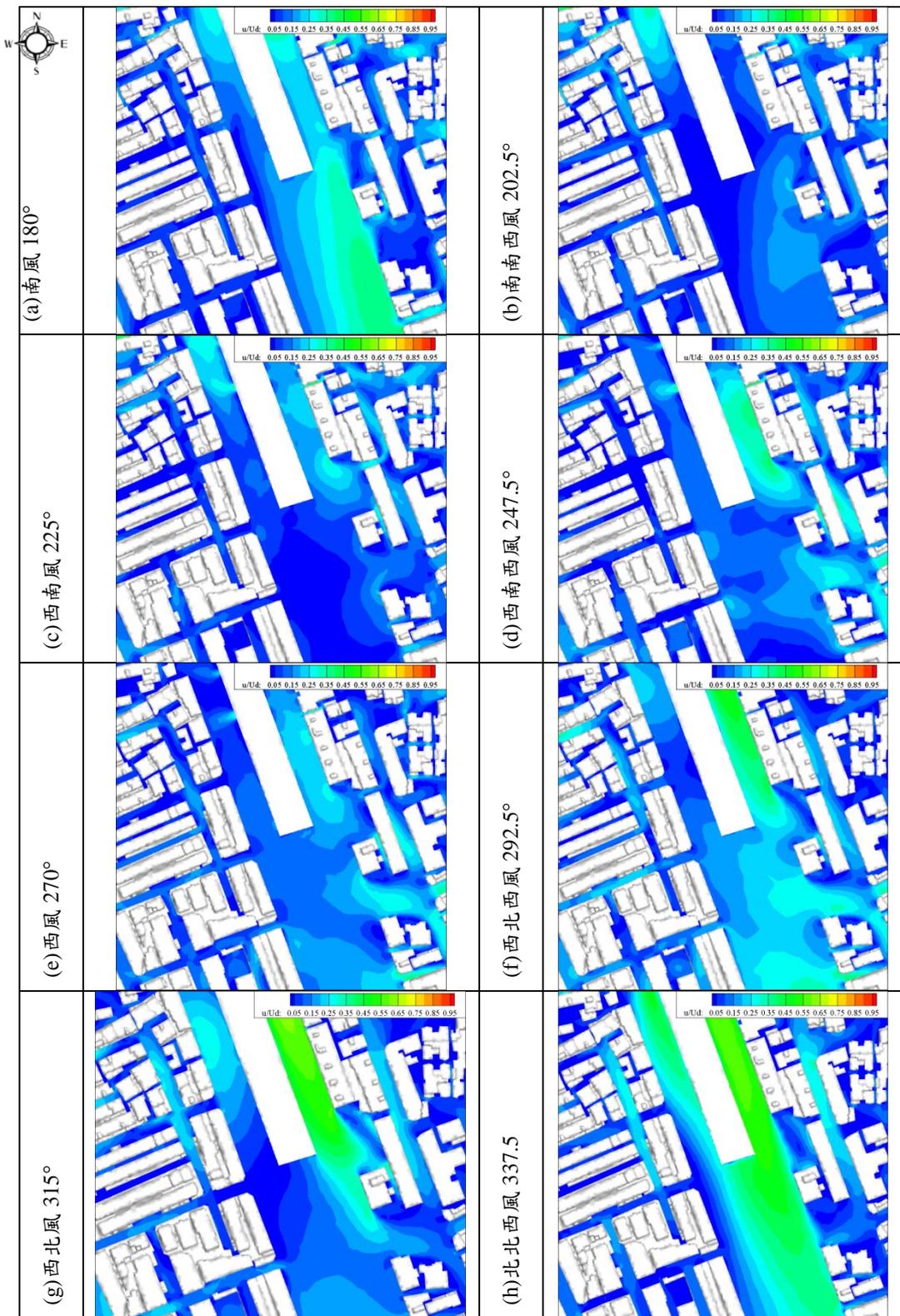


圖 4-10 研究區南風至北北西風行人高度無因次風速等值圖

資料來源：本研究繪製

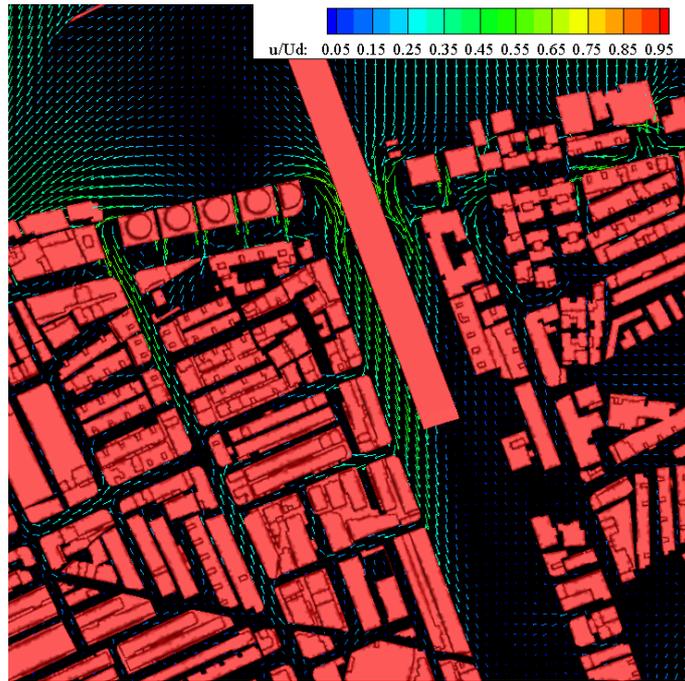


圖 4-11 研究區盛行風北風行人高度速度向量圖

資料來源：本研究繪製

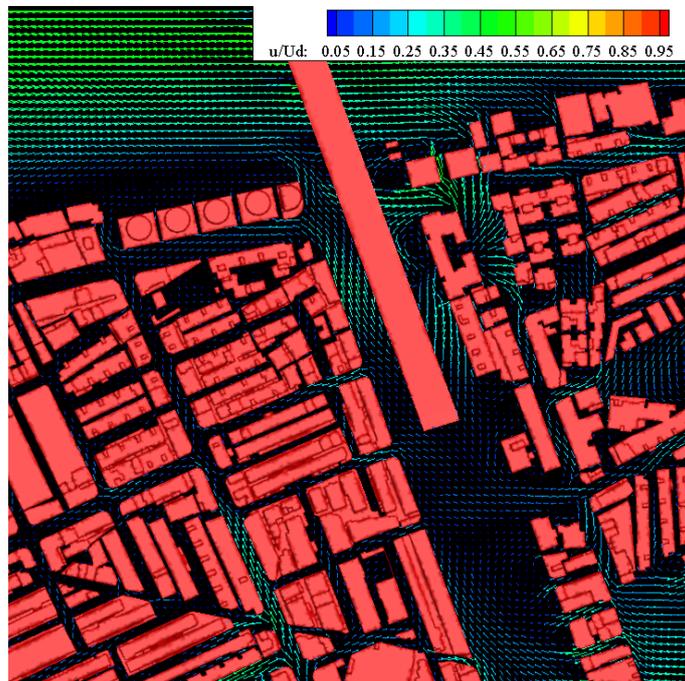


圖 4-12 研究區盛行風東風行人高度速度向量圖

資料來源：本研究繪製



圖 4-13 研究區風洞試驗等效風速分布圖

資料來源：本研究繪製

第五節 典型建築街廓模擬結果

一、棋盤式街廓結果

根據 3.3 節典型街廓模擬規劃，分析風向與街道走向平行(0°)之棋盤式街廓行人高度風場。表 4-7 顯示各案例之建築密度與容積率，建築密度是指規劃地區內各類建築基底面積占該區域用地面積的比例，它可以反映出一定用地範圍內的空地率和建築密集程度。其公式為：

$$\text{建築密度} = \frac{\text{規劃地塊內各類建築基底面積之和}}{\text{用地面積}} \times 100\% \quad (4-3)$$

本次案例相應之建築密度由 20.66 % 至 59.17 %，容積率以每層樓高 4 公尺來估算，範圍由 234.38 % 至 1834.32 %。

由模擬區域內的行人高度風速的平均風速比(U/U_0)可以看出(圖 4-6)，隨著建築密度增加，區域內的風速比隨之下降。雖然建築高寬比增加看似可以增加區域內風速，可能會發生 2 個問題。首先是通風斷面減少，進而使得通過之氣流流量降低，對於後方空氣流通造成不良的影響。其次，隨著建築增高，迎風第一排的局部角隅強風發生的機率也隨之增大，對於強風的舒適性反而是不利的。

表 4-7 棋盤街廓案例對應之建築密度與容積率

編號	棟距 s/D	高度比 h/D	建築密度	容積率
C00	0.25	1	59.17%	355.03%
C01	0.25	3	59.17%	1065.09%
C02	0.25	5	59.17%	1834.32%
C03	0.5	1	39.06%	234.38%
C04	0.5	3	39.06%	703.13%
C05	0.5	5	39.06%	1210.94%
C06	1	1	20.66%	123.97%
C07	1	3	20.66%	371.90%
C08	1	5	20.66%	640.50%

資料來源：本研究整理

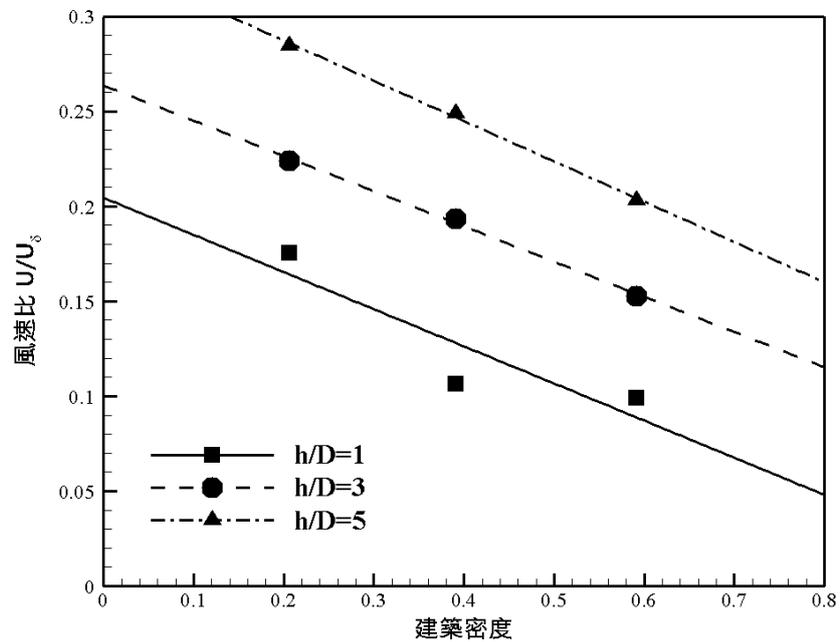


圖 4-14 無因次風速等值圖

資料來源：本研究整理

二、連棟式街廓結果

藉由連棟式街廓之參數分析，可以概略瞭解通風廊道的規劃設計原則。廊道分析之測點選定如圖 4-15，沿著廊道中心線擷取無因次風速進行比較，其結果如見圖 4-16 至圖 4-18。廊道的風速分布特性基本上可以分成 2 種形式，首先是在風向角較小時，因縮流效應入口前段風速會急遽上升後降低；其次則是大風向角時，入口段風速先降低後因導引效果後逐漸抬升。由參數分析比較結果亦發現以下幾點結論：

- (1) 街道寬度過窄時，小風向角(0° 、 22.5°)風速進入廊道後會很快地衰減，不利於通風。
- (2) 大風向角(45° 、 67.5°)的風進入廊道後，當街道不夠寬時，入口段風速會先降低，且風速普遍較不穩定並偏低。
- (3) 建築物高度對於入口段加速效果並不明顯，最大無因次風速約在 0.6 左右。

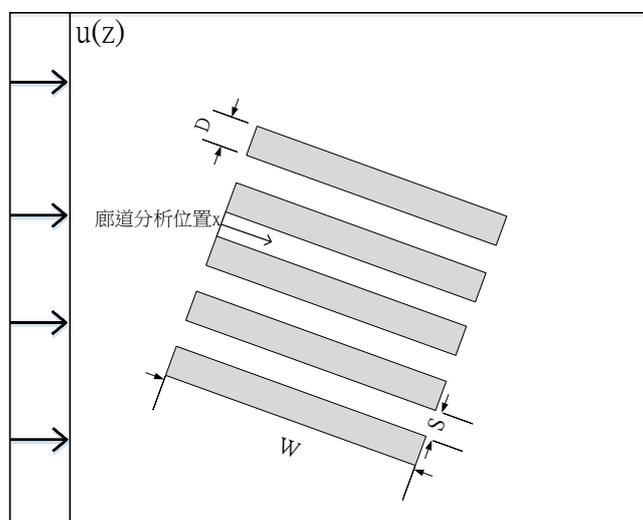


圖 4-15 廊道風速分析示意圖

資料來源：本研究整理

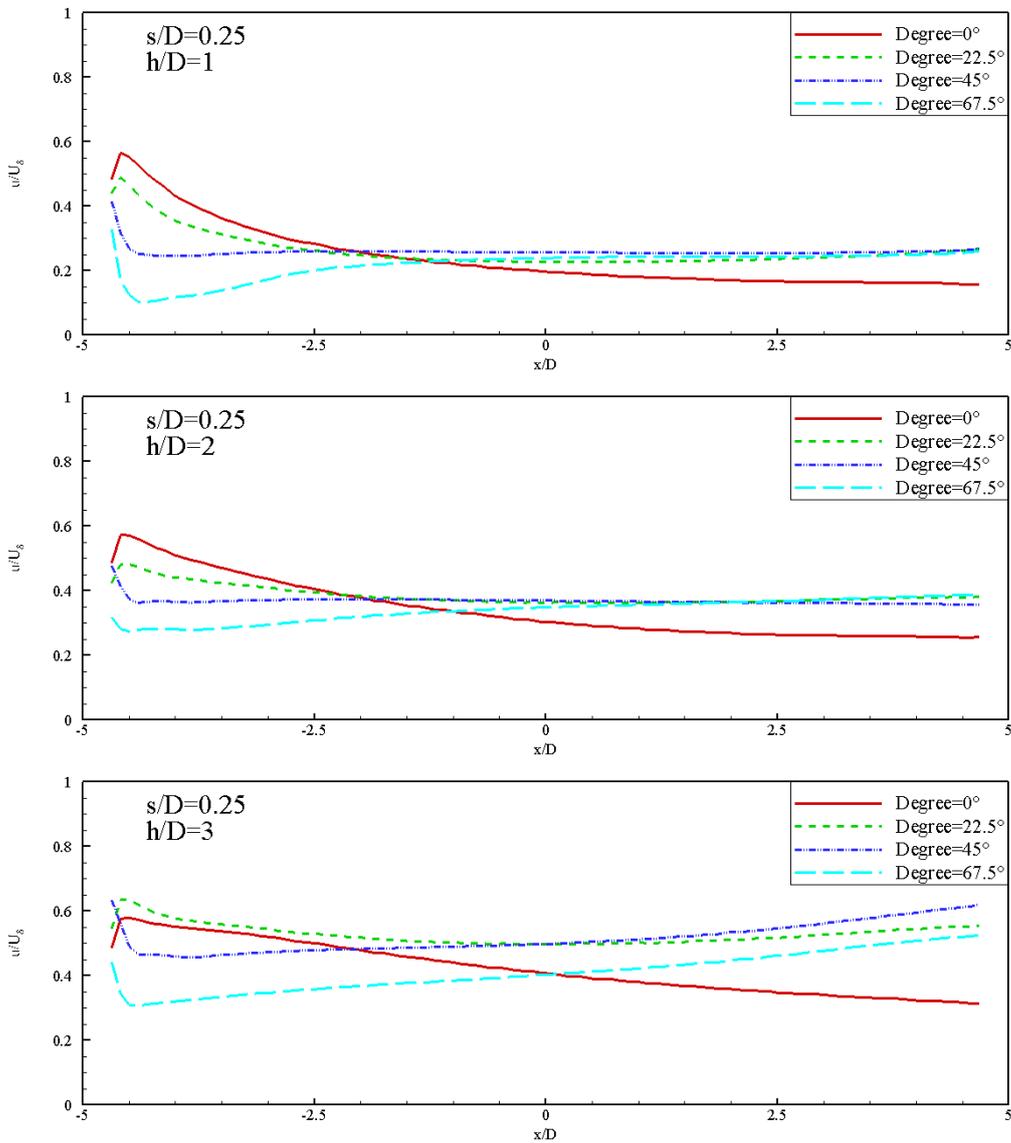


圖 4-16 廊道風速變化示意圖($s/D=0.25$)

資料來源：本研究整理

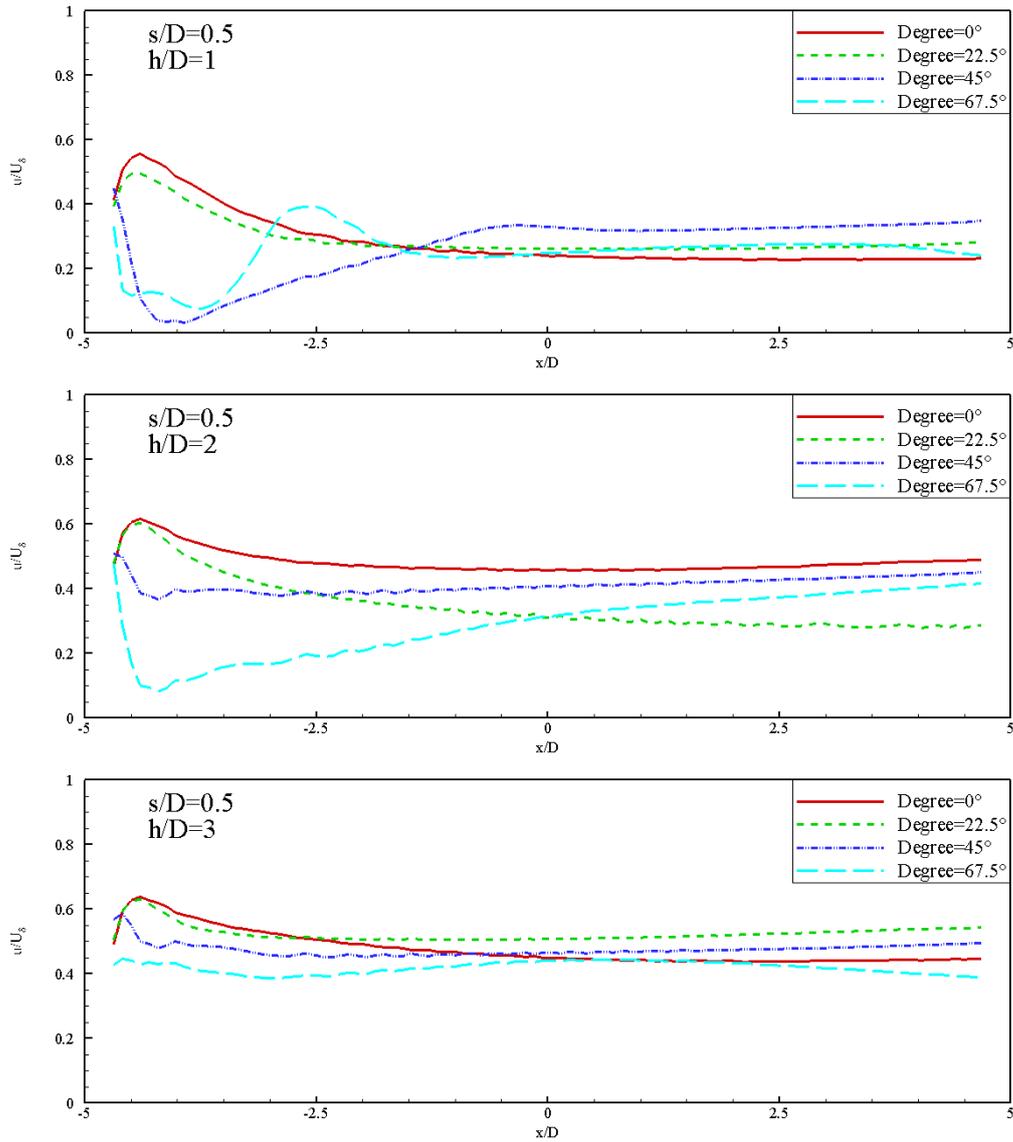


圖 4-17 廊道風速變化示意圖($s/D=0.5$)

資料來源：本研究整理

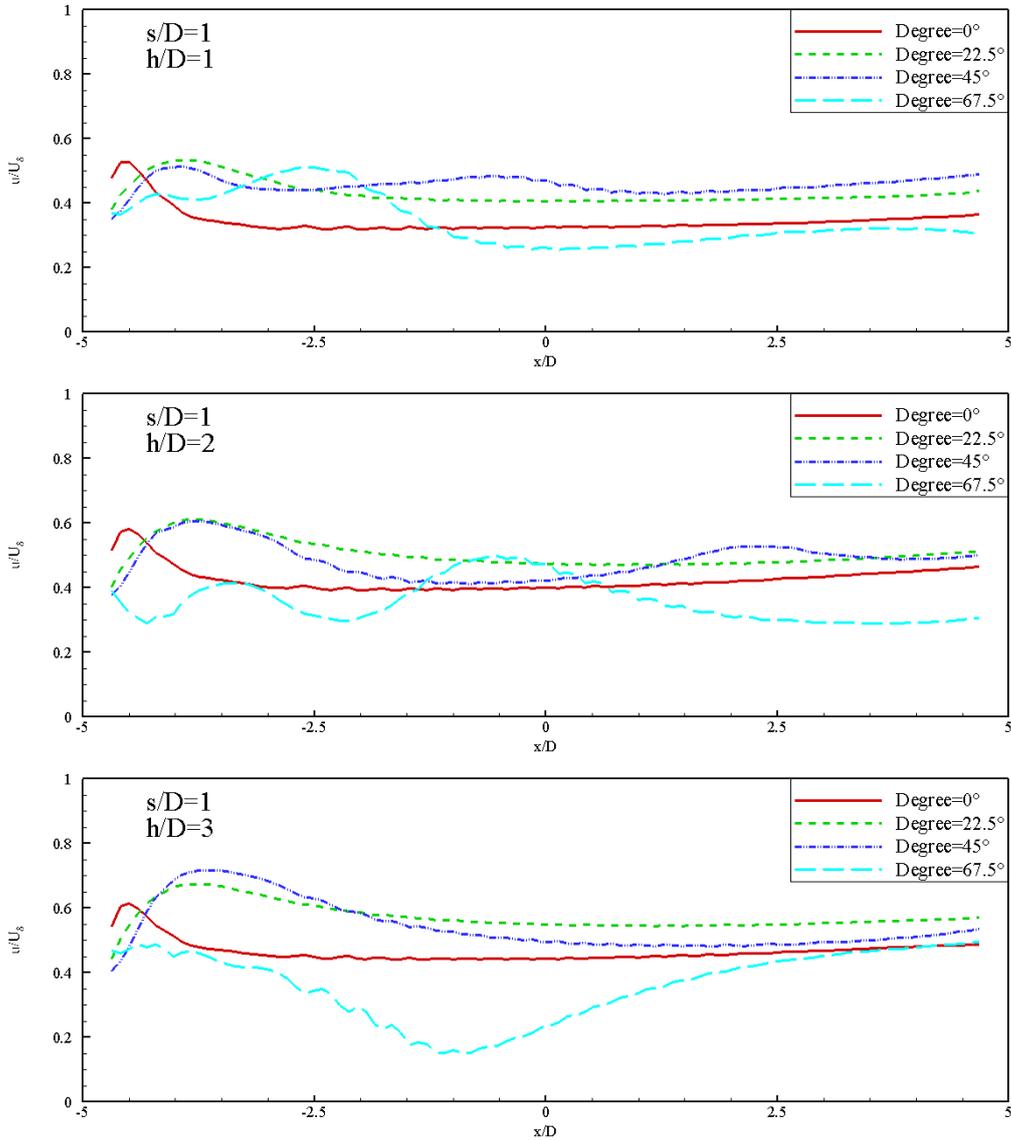


圖 4-18 廊道風速變化示意圖($s/D=1$)

資料來源：本研究整理

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究綜合研究成果並檢視預期成果效益後，可歸納以下幾點結論：

一、建構完整風環境流通效應之風洞試驗與數值模擬評估基準

初步於風洞實驗室進行板橋江子翠地區風洞模擬試驗，以地表風速計量測行人高度之風速。另採用之數值模式乃依據 AIJ 及 COST 等國外規範進行，除 AIJ 的實驗數據比對外，並配合本研究所進行之風洞試驗結果交互驗證，得到相當不錯的結果，但在尾流弱風區則有低估之現象。相較於風洞試驗，數值模擬可以得到更為全面之風場特性，對於分析都市地區之風流通效應並提出設計規畫建議，應是可行且有效之工具。

二、建立都市區內風場特性研擬環境流通效應判定準則，以供建築設計或都市設計審議之參考。

在引入風速之氣象資料後估算夏季之等效風速，再以 UC Berkeley Thermal Comfort Program 估算研究區夏季下午時段，於不同風速下的 SET*體感溫度量尺。根據此風洞試驗為基礎之分析流程，納入當地氣象資料，以作為初步評估戶外溫熱環境舒適度之工具。針對夏季下午 1 點時的臨界情況，人體代謝率採用站立時的情境，並參採 Matzarakis 所建議之熱舒適性上限 30 °C 為標準，得到我國 6 大直轄市的舒適風速標準。初步推斷舒適風速 1 m/s 時，應可作為都市地區判定弱風之舒適標準，提供給建築設計或都市設計審議參考。

三、建立區域風廊道走向分析方法，作為本所實驗室相關檢測能量。

相較於風洞試驗，數值模擬可以得到更為全面之風場特性，能夠通盤瞭解弱風區與強風區發生之成因，對於後續分析都市地區之風流通效應並提出設計規劃建議，應是可行且有效之工具。本研究即利用數值模擬分析研究區風廊道走向，瞭解夏季常季風對於該區域風廊道走向的影

響。

另依據典型街廓模擬結果，提出 2 點改善都市熱環境設計建議：

- (1) 當進行新市區開發時，由連棟式街廓結果可以發現，配合當地季風風向，使街道走向與夏季季風夾角小於 45° 時，具有較佳之風廊道導引效果。
- (2) 依據棋盤式街廓模擬結果，降低建築密度對氣流流通具有良好之效果。如無法完全配合季風風向時，則建議可透過都市設計的手法，例如劃定非建築用地、鼓勵狹窄街道兩旁的建築退縮、或增加建築物臨接道路法定空地面積等方式來增加氣流流通。

第二節 建議

根據研究結果，茲提出建議如後：

建議一

建立適用於本國都市熱環境舒適評估之風洞試驗方法與程序：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦單位：社團法人中華民國風工程學會

本計畫選定板橋江子翠地區作為都會示範區域，並針對此區域進行了縮尺模型試驗與模擬風場的研究。其中，有關風洞試驗中採用之模型縮尺、區域範圍、入流風速地況之選定，以及試驗量測設備(包括風速、風壓量測儀器)之率定、匹配與系統整合等皆係在試驗精度與可行性的雙重考慮下予以決定。研究中所採用之風洞試驗方法與程序應可作為未來擬定適熱環境舒適評估風洞試驗方法與程序之重要參考。

在未來都市熱環境舒適評估之風洞試驗中，建議以本研究中採行的風洞試驗量測技術為基準，以進行地表行人高度之風速量測。另一方面，配合以近 10 年間之氣象統計資料(包括 16 個風向之平均風速機率)，則可進一步的求得各測點相應之等效風速。再者，考慮該地區之溫度、濕度、輻射溫度等相關資料，則可以製作出該地區之 SET*量尺，據以判定各測點之風速舒適等級，並作為區域熱環境舒適整體評估之依據。

建議二

建立以數值模擬評估風環境的本土化技術規範：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所、內政部營建署、行政院環境保護署

協辦機關：社團法人中華民國風工程學會

近年來由於電腦硬體與效能之大幅提升，以數值模擬方法取代風洞試驗進行問題之分析已逐漸形成一個趨勢，除了可以大幅節省許多金錢與時間的付出外，並可以獲得更為完整且詳盡的變數動態資料以供設計

評估之所需。因此，以數值計算來模擬空間中流場變化分布的研究成為另一種符合經濟性及實用性的選擇。然而，在進行行人環境風場數值模擬時，需審慎處理相關參數之設定，否則將造成模擬之失真或導致錯誤之環境風場模擬結果。因此，未來在數值模擬的相關應用技術上予以適當的規範確有其必要性。

在風環境數值模擬上，相較於直接模擬(DNS)與大渦模擬(LES)方法，雷諾平均那維爾-史托克(RANS)方法再配合以紊流模型的應用實為較為經濟之分析方法。目前日本與歐洲規範已有相當完備之模擬風環境評估指針，針對運用 RANS 進行風環境數值模擬時應注意之各項環結，皆有詳盡的規範與建議。對本國而言，儘管現行法規中尚未將數值模擬納入認可之分析方法，但為因應未來之趨勢，宜即早著手制定相應之本土化技術規範，針對模擬風環境評估指針等要件項目作具體之擬定。

建議三

提出完整之都市風環境流通設計指引：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：社團法人中華民國風工程學會

本研究初步討論出都市地區風環境流通的影響因子，包含建築密度、常季風風向、建築物高度等，並初步歸納出都市規劃設計建議。但都市型態眾多，本年度研究無法概括所有都市街廓類型。建議後續可完整規劃街廓類型參數，通盤討論影響因子，並與相關文獻比對後提出完整之都市通風設計指引。

目前各縣市在進行都市設計審議時，僅有台北市與新北市的都市設計審議準則中有明文規定需考慮風環境問題，審議時多依據委員之專業經驗來提出改善建議。由於都市高樓化除了強風舒適性的考量外，都市通風舒適性同時應予以重視。目前在缺乏評估標準以及風洞試驗分析成本較高的情況下，提出都市通風設計指引對於設計人員以及審查人員應有實質上的幫助。

建議四

未來課題建議：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：社團法人中華民國風工程學會

綜合本研究心得，提出未來課題建議如後：

- (1) 以數值模擬評估建築強風環境之技術準則
- (2) 建築戶外熱環境與風環境耦合之數值模擬研究
- (3) 都市風環境流通設計指引研究

附錄一 採購評選會議意見回應

採購評選會議委員意見回應

審查委員	審查意見	研究團隊回應
陳召集人建忠	台電大樓的街巷風等影響行人效率，其基地及周邊如何分析解決？	可藉由風洞試驗或數值模擬建構當地都市街廓模型，得到行人高度處之無因次風速後，導入當地氣象資料以及行人舒適性準則後評估。
	僅設單一研究區做風洞試驗及數值模型，如何導出通案的改善對策、都市規劃作業之需，以及評估基準判定準則？	由於氣流受到待評估基地建築以及周遭環境影響而多變，做出通案改善對策實屬不易，目前多以個案處理。但可採用一些常見之手法如種植樹木、雨遮等，或在都更時修改建蔽率等方式進行。行人風環境相關評估準則在建研所以及國外均有進行相關研究，本研究僅針對應用數值模擬應遵守之重要準則進行探討。
	研究內容有提到蒐集現行建築法令及相關研究，宜彙集成冊交付本所參考，分析內容應具體。	遵示辦理。
	建立的分析方法，要有流程，注意事項等，目前尚無具體目標，未來作業宜先與本所洽知。	相關準則將與所內討論後撰擬。

	使用軟體，不宜僅停留於專家自行解讀原手冊，而需可被審查或驗認證，以提昇品質及穩定性。	遵示辦理。
宋委員厚民	研究進度表時程 11 個月，而研究費估算表中協同主持人團隊工作月數為 10 個月，請說明其差別。	將統一修正為 10.5 個月。
	計畫主辦機關在預期成果及效益要求「建立區域廊道走向分析方法，作為本所實驗室相關檢測能量」，計畫中未詳細敘述。	擬由實驗及數值模擬探討不同風向時，分析區域廊道的通風狀況，據以建立相關分析方法。
	協同研究人員地點分散，如何匯集成果？	藉由電話以及網路會議方式進行研究溝通。
黃委員然	本研究計畫主要為試驗研究，建議應就熱島效應影響參數進行探討。	本研究擬以風場評估為主，未來可加入熱島效應評估模式。
	建議具體敘明本研究計畫應用之目的。	感謝建議，擬於期中報告敘明。
楊委員仲家	請說明研究區域選定之位置。	擬選定以台北信義區或新北江翠地區為研究區。
	請規劃配合風洞實驗室之作業行程。	遵示辦理。
	請說明風洞試驗以何參數應用於數值模擬。	將於期中報告敘明。
李委員鎮宏	環保署對於環評項目如噪音或振動，分別訂有評估方法及審議準則等，已公告施行之規則，本案可參考前階條文模式研擬。	感謝建議，將參考相關準則研擬。

	在地方政府都市審議中，如何納入都市風廊效應評估，請加以說明。	期能由建研所統籌相關機關及專家學者意見，修正後提出。
	以縮尺 1/300 進行風環境都市模擬試驗，恐無法涵蓋都市尺度，建議再行考量。	在行人環境風場評估中，模擬基地半徑 450 公尺範圍足以適切呈現風場特性。
陳委員玠佑	選定研究區是否已有初步想法?服務建議書尚未見相關內容，請說明未來考量之方式?另 3D 模型係指 70~80 棟建築量體?	擬選定以台北信義區或新北江翠地區為研究區，並建構該區域 450 半徑範圍之建築量體。
	環境風場影響之評估方法為何?所依據文獻或相關規範為何?	將於期中報告呈現。
	簡報時所述採用 C 地況，與都市地區的實際情形略有差異，請說明考量原因。	語誤，擬採用 B 地況。
	專家座談會未排入預定進度中，建議在階段性成果完成後，應廣徵意見。	將補充專加座談會期程。
	研究成果未來如何具體提供都市計劃審議應用與參考?	準則草擬後，期能由建研所統籌相關機關及專家學者意見，修正後提出。

附錄二 期中審查會議意見及回應

審查委員	審查意見	研究團隊回應
陳教授瑞華	以 CFD 模擬時，報告 P.39 指出使用 wall function 之缺點，應如何改善？	wall function 乃基於平衡紊流邊界層之假設，在建築表面並不適用，故於建築採用不可滑動條件，而地表面則可採用 wall function。
	擬議之環境流通效應判定準則，是否同時考慮舒適性與安全性？	2 本研究擬議之環境流通效應判定準則乃以建築外部環境之舒適度為主要方向。
	估算 SET*或進行 CFD 時，請建議如何合理決定 MRT 值。	MRT 值受到太陽輻射的影響，在太陽直射區與陰影區的輻射溫度可能出現高估或低估等不同情況，建議未來可採用輻射模型來模擬不同位置之 MRT 值。
朱教授佳仁	都會地區風場流通效應有助於解決熱島效應，應建立評估基準。	感謝肯定。
	P.57，SET*之計算公式應列在報告中。另，平均輻射溫度以平均溫度取代會造成多少誤差？	按前人研究結果，採用平均溫度取代輻射溫度應為較保守之狀況，其誤差值約在 2 度左右。
	建議寫出計算網格的形狀比及伸長比 (stretching ratio)，不得超過多少。	將於期末報告中修正。

	紊流模式入流處紊流流速的產生方式是採用何種方式？	本研究採用穩態 RANS model 進行模擬，故入流給定平均風速、紊流動能及紊流消散率即可。
	建議列出 Fluent 模式中 UDF 的寫法，以供後人參考。	邊界條件給定的 UDF 將於期末報中附註。
鄭技師兆鴻	是否考慮建築物表面裝飾物之影響？	且風場特性主要受控於建築的尺寸及外型，表面裝飾對於風場的影響並不顯著。
	是否可以考慮外風如何流進大樓室內、梯間、廁所等？(考慮建築物內人員的舒適度。)	本研究主要探討戶外舒適性。
詹博士麒璋	本研究是否針對特定的都市建案而做？如果新建一些建築物或拆除後，結果是否不同？	本研究旨在建立通風廊道的分析方法，未來可應用至實際建案評估。
	縮小尺寸的模型材質對風吸收係數及風大小、方向是否有影響？	風洞試驗採用縮尺模型基於建築受到風致振動的影響極微的狀況下，故不考慮建築材料之特性。
	本研究將來如何落實於實際的都市建案設置？	可整理研究結果提出設計準則。
何所長明錦	本研究所選定的區域應為研究區、實驗區或驗證區，而不是示範區。	期末報告將示範區改為研究區。
	研究中所採用的氣候條件主要為氣象局之資料，是否可能在當地設立微型氣象站進行資料蒐集，使成果更為精確。流程包含英國規範翻譯是否妥適，是否改用英國規範的探討或其他用語較為妥適。	而歐洲規範的縮寫乃引用國外文獻，後續將統一敘明為日本規範及歐洲規範。

陳組長建忠	國內環境風場規定，應不只是環保署、台北市政府及新北市都市計畫個案規定，宜再度廣為調查，以掌握事實與真相。	對於相關之國內外規範將進行更完善的彙整蒐集，並發文詢問相關單位。
	國際或先進國家的規定宜予之彙整，並比對分析。	對於相關之國內外規範將進行更完善的彙整蒐集。
	上次評選會議即已提出示範地區，不足以通案呈現，宜有通案式基準、準則，再就邊界條件計算、評估。	將於期末報告中修正。
	預期成果中的評估基準及判定準則，何時可提供？	將於期末報告中提出。
	請將各項預期成果以研究流程、研究方法 & 研究進度項目表示，以便自我檢視。	將研究流程圖加於期末報告書中。
李主任鎮宏	依據江子翠地區的實驗數據分析，僅有約20%符合香港規範要求風速 1m/sec 之標準，未來如何與都市設計審議進行連結？	目前選定之研究區屬於老舊街區，且選定測點時不夠完整，目前僅為方法初探過程，未來研究可針對新規劃街區進行探討。
	理論分析結果應與實驗數據比對，以增加本研究的說服力。	期末報告將完整比對研究區之數值模擬與風洞試驗結果，確立數值模式之可靠度。

附錄三 專家座談會會議意見及回應

專家	審查意見	研究團隊回應
賴榮平教授	本研究之主題對象為高樓興建後之強風還是都市通風，應再明確定義清楚。	本研究主要針對都市通風，也就是減少弱風發生，將在期末報告中敘明。
	將江子翠地區列為研究區的主要原因為何？	新北市政府在江翠北側之都市審議規則中，規定風環境相關審議原則。本研究希望藉由模擬該區域，瞭解其合理性以及所擬定之評估方法之應用性。
	典型街廓的配置應就現實面進行考量，以符合實際的街廓特性因子。	本年度研究針對典型街廓進行初步討論，未來研究可規劃更多類型之街廓，並整理相關文獻成果以符合實際之街廓特性因子。
林文欽教授	研究區的各项物理因子，包含風速、溫度、濕度、輻射溫度等是否能進行實場量測驗證？	本年度研究以風洞試驗以及數值模擬針對研究區進行初探，並未規劃實場量測工作，可納入下一階段研究之目標。
	地點選擇高架橋附近位置，對於風洞試驗與數值模擬的模型如何處理？	於風洞試驗與 CFD 均有針對高架橋建構模型，CFD 邊界條件給定為 WALL。
李宗霖教授	CFD 與風洞試驗相比，其誤差值是多少？	期末報告將完整敘明其誤差及發生原因。

	CFD 發生低估之原因請進一步說明。	主要是因為 RANS 模式對於鈍體流的週期性擾動無法完整重現之故，將於期末報告中加入說明。
	板橋地區的 SET*舒適標準風速為 1 m/s，低於 1 m/s 的區域如何進行改善？	本區域由於北側(河岸側)有高樓興建，阻擋了下游的空氣流通，應由都市審議階段與以規範來減少此狀況發生。
姚忠達教授	對於 CFD 模擬環境風場應詳盡規範。	感謝建議。
	關於溫熱環境中的關鍵因子如溫度、濕度、風速等，在 CFD 與風洞試驗中如何重現？	在風洞試驗中重新溫濕度的模擬難度頗高，但在 CFD 中可在無縮尺狀況下完成此目標。
張正興教授	目前法規對於風環境的舒適性，應當做更詳細的規範，本研究提供良好的初步探討。	感謝肯定。
	本研究顯示，Irwin probe 在低風速的量測上會有誤差，建議比較時可針對高風速或提高實驗風速來進行比對，以增進精度。	感謝建議
蔡宜中副研究員	CFD 是否能夠提供實際應用之參考，相關評估能否只做 CFD？	依據本研究結果，CFD 可提供研究區合理之趨勢以及較保守之風速模擬結果，應可應用於相關評估工作。僅在進行相關評估時，採用 CFD 模擬應遵守準則，以確保模擬結果之合理性。

	研究所採用之軟體光碟能否提供？	本研究採用商用軟體 FLUENT 進行研究，為付費軟體。
--	-----------------	------------------------------

附錄四 期末審查會議意見及回應

審查委員	審查意見	研究團隊回應
朱教授佳仁	本研究有助於評估都市區域風場流通及戶外通風之模擬與判定基準。	感謝肯定。
	本研究結合風洞試驗及數值模擬，可互相驗證以確保研究成果的正確性。	感謝肯定。
	建議附錄四之入流剖面 UDF，請加上說明其所使用之參數。	已修正於成果報告。
	建議建研所將本研究之成果報告書寄給各縣市政府都發局，以供其參考。	建議建研所可將成果報告寄送給各縣市政府都發局或城鄉發展局參考。
陳教授瑞華	本研究成果豐碩，建構數值模擬之準則，評估室外通風是否足夠。	感謝肯定，本研究依據 AIJ 準則進行分析，本準則乃針對戶外風環境所訂定，應足以表現室外通風特性。
	對既有都市之熱島效應，除了以植栽降溫外，有無其他解決方法？另本研究所建構之數值模擬準則是否考量溫度效應？	如在都市設計規劃階段，可參考本研究典型街廓研究成果建議進行設計。本研究目前僅針對風場模擬，未考量溫度效應。
	本簡報結論 4 (a)：「配合當地季風風向，使街道走向與季風夾角較小時，具有較佳之風廊道導引效果」，此措施是否會造成行人強風區？	風環境中行人舒適性在強風與弱風情況下之考慮是不同的，有時甚至會相互抵觸；風環境規劃者須兼顧二者作全盤之考量，以達到

		最佳之整體目標。
陳技正志鵬	本研究 P.22, 第 3 行開始所述「中央氣象局...」等等, 可能是誤解, 相關敘述並不正確; 「平均風向、風速」的定義是過去 10 分鐘之平均風向、風速。經查中央氣象局對外提供之風速、風向資料有 3 種: (1) 小時平均風向、風速: 係指每正點前 10 分鐘之平均風向、風速, 並非報告所述每小時平均風速。(2) 小時最大平均風向、風速: 過去 1 小時, 每分鐘之平均風向、風速 (即每小時之前 10 分鐘風速平均值) 之最大風速 (也就是過去 1 小時, 每分鐘移動平均風速的最大值) (僅提供有人氣象站之觀測值)。(3) 瞬間最大風速: 過去 1 小時間之最大風向、風速。	感謝釐清觀念, 已修正於成果報告。
	另上述段落所提「基於安全考量, 在颱風來時不予量測」, 意指本研究不予量測, 亦或氣象局不予量測 (氣象局不可能不量測), 請詳加說明。	已修正於成果報告。
	在研究區的數值模擬初始場, 係採均一風場, 參照研究區位置。現實狀況中, 南來氣流因必須流經一段市區建築, 近地面氣流不太可能以均勻 (homogeneous) 風場進入研究區域。爰建議爾後在建立「都市環境流通設計」指引時, 考慮是否需參考相關實際狀況, 或以更大尺度模擬來釐清。	本研究區模擬範圍達 450 公尺, 入流風速剖面雖以均勻分布近入研究區外圍, 但離實際分析區域尚有一段距離, 研究分析區域流場特性可靠鄰近之地形地貌來形成。
張教授景鐘	本研究彙整國內外都市風環境舒適度評估標準, 提出我國的舒適風速標準, 研究成果符合預期需求。	感謝肯定。
	本研究 P.71 之圖 4-13, 等效平均風速 U_{eq} 分類數字請再檢核為 0.6 或 0.65 m/sec。	於成果報告書統一修正與香港規範之相同門檻值為 0.6 m/s。

	本研究 P.61 之表 4-5，採用該研究區 37 測點進行風洞試驗，只有 7 站高於新北市夏季舒適風速標準 1.078 m/sec，而高於等效平均風速 $U_{eq} \geq 1.0$ m/sec 只有 10 站。建議討論本地區舒適性達成率偏低之原因，以提供未來都市規劃之參考。	於報告書 p.65 討論低風速發生原因。
詹經理麒璋	本研究的研究目的相當好，對於都市建築的設計、通風環境及建築節能設計都非常重要；而研究成果亦相當豐碩，非常有參考價值。	感謝肯定。
李主任鎮宏	本研究 P.44 之 AIJ 所提進行 CFD 分析時需進行實驗驗證，本案驗證結果如何請加以說明。	本研究風洞實驗採用 Irwin probe 來量測行人高度之風速，其主要缺點為低於 3 m/s 以下的風速量測會有高估的狀況。本研究區又屬於弱風區的呈現，如直接做誤差分析比較會有很大的誤差結果，故於此僅採用風速分佈趨勢上的比較。
	分析結果之驗證基準或可接受範圍如何界定，請加以補述。	數值模擬驗證基準級可接受範圍牽涉極廣，超出本研究範圍，建議可於未來以專案研究來討論。
	本研究之數值模擬準則建議另以附件方式呈現。	已於成果報告書中修正。
蔡副研究員宜中	本研究報告多處同一段落同時出現「風洞實驗」及「風洞試驗」兩種用語，為增進研究的精準度，請統一用語。	於成果報告書中統一修正為風洞試驗。
	本簡報「結論 4」所提出之 2 點都市設計建議部分，感覺很像是常識。不管是「(1) 進行新市區開發時，配合當地季風風向，使街道走向與季風夾角較小	感謝建議。

	<p>時，具有較佳之風廊道導引效果」；或「(2) 降低建築密度對氣流流通具有良好之效果。如無法完全配合季風風向時，則建議可透過都市設計的手法，例如劃定非建築用地、鼓勵狹窄街道兩旁的建築退縮、或增加建築物臨接道路法定空地面積等方式來增加氣流流通」皆與常識相印證。這2點如何落實實務面之執行方為重點。</p>	
	<p>本研究 P.28 文獻回顧提到「協調合適的規劃措施，包括規限建築密度、建築物高度和地面覆蓋率」，其中「地面覆蓋率」是否有較合適的名詞，是建蔽率嗎？與建築密度有何不同？</p>	<p>建蔽率屬於單一建築的建築投影面積與基地面積的比值，而建築密度則屬於都市區域建築平面面積加總與區域面積比值。</p>
	<p>本研究後續請按部頒格式完成成果報告，相關圖示及文字錯誤疏漏處也建請一併修正。</p>	<p>已於成果報告中修正。</p>
<p>陳組長建忠</p>	<p>本研究有進行六都的「都市設計審議風環境評估調查作業」，具有深度；但如能把全國各縣市均進行調查，則更趨完整。</p>	<p>感謝建議。</p>
	<p>本研究請具體書寫如何使預期成果逐項展現，以便應用。</p>	<p>已於成果報告中修正，將預期成果逐項展現。</p>
	<p>專業名詞使用時請注意，須定義，不宜誤用或被誤解。例如地面覆蓋率、建蔽率，甚至建築物臨接道路面積等...，宜再檢視修正。</p>	<p>感謝指正，已修改於成果報告中。</p>
	<p>本研究風洞試驗及數值模擬是否要考量開口、開窗之風進出情形？</p>	<p>本研究主要探討建築戶外通風，未考量開口、開窗之風進出情形。</p>

附錄五 環境風場數值模擬準則

而在進行行人環境風場數值模擬時，需審慎處理相關參數設定，據以模擬出可靠之環境風場結果。目前日本(AIJ guidelines)與歐洲(COST)規範已有相當完備之模擬風環境評估指針，針對利用 RANS 進行風環境數值模擬時應注意之各項環結，皆有詳盡的規範與建議。以下針對 AIJ 及 COST 的風環境 CFD 模擬規範簡要說明。

一、周遭建築之建置

- (1) 在實際都市區域中，評估區域中的建築必須詳細建模。一般而言，評估區域約為目標建築之半徑 $1-2H$ (H 為主建築物高度) 範圍。
- (2) 評估區域內每個方向至少有一個附加的街廓必須清楚呈現。
- (3) 建議在處理建築叢集時使用簡化的外型，或是在地表邊界條件定義合適的粗糙長度 Z_0 去呈現外部區域(由附加街廓的外緣到計算域邊界)的粗糙度。

二、小於格網尺寸的障礙物

- (1) 為了模擬如小型建物、路標、樹以及移動車輛等小尺度障礙物的氣動力效應，必須在基本流體方程式中增加附加項，用來降低風速但增加紊流。
- (2) 披覆物模型(canopy model)乃基於 $k-\varepsilon$ model，並在傳輸方程式中加入額外項。
- (3) 額外項(source term)乃基本控制方程式應用空間平均推導而來，體積片段技術-考慮小於格網尺度的障礙物的簡化技術。
- (4) 在行人風環境改善方法中，植栽是最受歡迎的手段。Mochida 等[40]界定了多種樹木披覆模型，並比較不同樹木披覆模型預測結果與實場量測結果，最後建議使用者在使用任何樹木披覆模型時應比較他們的實驗結果。

三、格網離散

- (1) 為了在可接受的精度下預測建築周圍流場，正確的表現靠近建築屋頂與壁面的分離流特性是最重要的工作，因此角隅區域流場解析要求細密的格網配置。
- (2) 近建築表面的黏滯次層(viscous sub-layer)一般來說是非常難以解析的，同時也很難在壁面上採用不可滑動條件。之前許多壁函數(wall function)係對數律(logarithmic law)在考慮附屬於邊界層流狀況下所發展的，因此在建築周圍使用 wall function 來表現流場基本上是不正確的。
- (3) 諸多建築與鈍形體有著銳緣以及分離點總是落在尖端處並與雷諾數無關，在這些狀況下，可預見採用壁函數將會使精度降低。
- (4) 建築一邊至少需要 10 個格網來重現迎風角隅周遭所發生的分離流。
- (5) 格網形狀應該被設定，使其與鄰近格點寬度較小，特別是在風速梯度很陡的區域。在這些區域，將其鄰近網格伸展率設定為 1.3 或更小是值得的。然而，以往這些建議伸展率也許依建築外型以建築而改變，確認不同格網輸出所得結果不再改變是值得嘗試的。
- (6) COST 建議在格網伸展率部分有著與 AIJ 相同的限制，同時建議應該測試格網解析的敏感度結果。

四、主建築解析度

- (1) 最小格網解析度應設定約為建築尺寸的 1/10(約為 0.5-5.0 m)，涵蓋範圍包含目標建築周圍評估點區域。
- (2) 格點應適當排列使得評估高度(地表以上 1.5-5 m)落在距離地表上第 3 或更高位置。

五、格網相依性

- (1) 在不同粗細之格網系統下，需要確認預測結果沒有明顯變化。
- (2) 在測試格網相依性時，細密網格在每個方向的數量至少是 1.5 倍粗網格的數量。

六、非結構化網格處理

- (1) 在某些區域如鄰近粗網格或複雜幾何外型的表面，必須確保格網形狀比值(aspect ratio)不能變得過高。
- (2) 為了改善精度，柱體網格(prismatic cells，圖 A1)值得在邊界處的元素(element)進行規劃。
- (3) COST 同樣也介紹平行牆面或地表面的格網生成技術。

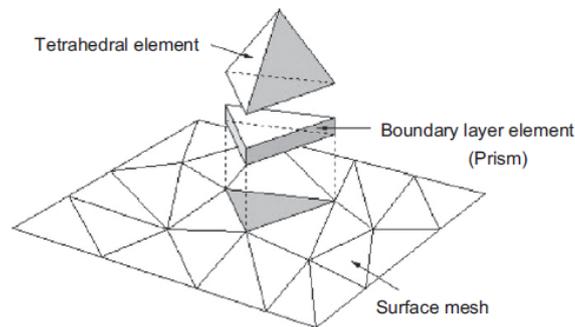


圖 A1 邊界處的柱體網格規劃示意圖

資料來源：[48]

七、入流邊界條件

- (1) 平均風速

$$\frac{u}{U_\delta} = \left(\frac{y}{\delta}\right)^\alpha \quad (\text{A1})$$

其中冪數 α 及邊界層厚度 δ 依地況特性給定之。

- (2) 紊流強度

使用者可自行選定可信之紊流強度剖面，AIJ 亦提供建議式：

$$I(z) = \frac{\sigma_u(z)}{U(z)} = 0.1 \left(\frac{z}{\delta}\right)^{(-\alpha-0.05)} \quad (\text{A2})$$

- (3) 紊流動能

紊流動能依據 AIJ guideline 的建議，紊流動能的給定方式如後：

$$k(z) = \frac{\sigma_u^2(z) + \sigma_v^2(z) + \sigma_w^2(z)}{2} \cong \sigma_u^2(z) = (I(z)U(z))^2 \quad (\text{A3})$$

(4) 紊流消散率

依據 AIJ guideline 的紊流消散率建議，依據自保持(self-preservation)理論，在邊界層中假設紊流消散率 ε 與 production 項相近，故其給定方式如後：

$$\varepsilon(z) \cong P_k(z) \cong -\overline{u'w'} \frac{dU(z)}{dz} \cong C_\mu^{1/2} k(z) \frac{dU(z)}{dz} \quad (\text{A4})$$

當速度梯度分佈以冪數率表示時紊流消散率可簡化如後：

$$\varepsilon(z) = C_\mu^{1/2} k(z) \frac{U_s}{\delta} \alpha \left(\frac{z}{\delta} \right)^{(\alpha-1)} \quad (\text{A5})$$

其中， C_μ 為常數，建議值為 0.09。

八、外側邊界條件

- (1) 若計算域夠大，2 側與上側表面的邊界條件對於目標建築周圍的計算結果不會有顯著的影響。
- (2) 在大計算域中，使用無滯性(inviscid)邊壁條件(正切速度分量的垂直速度分量與垂直速度梯度設為零)將會使計算更為穩定。
- (3) 建議出流邊界條件所有變數設置垂直梯度為零。
- (4) 出流邊界條件必須設置於遠至目標建築影響可忽略之區域。

九、實際複雜建築群之地表設置

- (1) 應使用符合實際地表的邊界條件，如在平滑地表面，平滑壁面的對數率公式(A6)即可使用

$$\frac{U_p}{(\tau_w / \rho)^{1/2}} = \frac{1}{\kappa} \ln z_n^+ + A = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{(\tau_w / \rho)^{1/2} z_p}{\nu} + A \quad (\text{A6})$$

其中 κ 為 von Karman 常數，建議值為 0.4。下標 P 代表邊界上第一

個格點相應之物理量。

- (2) 在粗糙地表則可以粗糙長度 z_0 來表示，可應用包含粗糙參數的對數率公式(如公式 A7)。

$$\frac{U_p}{(\tau_w/\rho)^{1/2}} = \frac{1}{\kappa} \ln\left(\frac{z_p}{z_0}\right) \quad (\text{A7})$$

- (3) COST 指出使用 k_s 之粗糙壁面條件會導致流體在接近固體邊界會有非常差的解析結果，此乃由於近地表的第一個計算節點應該位於地表至少 1 個 k_s 的距離。

十、紊流動能與消散率之固體邊界設置

- (1) 紊流動能：解傳輸方程式時須採用其正向梯度為零之設置。
 (2) 紊流消散率：採用以下公式。

$$\varepsilon_p = \frac{C_\mu^{3/4} k_p^{3/2}}{\kappa z_p} \quad (\text{A8})$$

十一、演算法與空間離散

- (1) 如果計算中非恆定擾動現象沒有發生且充分收斂，恆定與非恆定計算使用 RANS model 應得到相同的解。
 (2) 在實際狀況下，非恆定週期性擾動通常在高層建築後方。這種週期性擾動基本上與紊流不同，並且無法在恆定流計算中重現。雖然採用非恆定計算，這種週期性擾動亦無法呈現在許多高雷諾數形式的 $k - \varepsilon$ model，當採用更精準的紊流模型和邊界條件時則可能重現。在這個例子中，由於解隨著時間變化，因此必須計算每個變數的時間平均值。
 (3) 由於物理量的空間梯度變得容易普遍導致大的數值黏滯度，使得一階上風法(first-order upwind scheme)並不適用於所有傳輸量計算。

十二、解的收斂

確認由輸出特定點變數或重疊的等值線，在不同計算步中的解是沒

有變化非常重要的。由於軟體廠商希望加強計算效率，因此收斂預設值在大多數的商業軟體並不周全，因此必須要求周全的收斂準則來檢查解沒有改變。

在計算過程中，常發生發散或收斂緩慢之狀況，其原因可能如下：

- (1) 格網的形狀比(aspect ratio)與伸長比(stretching ratio)可能過大；
- (2) 矩陣求解器的鬆弛係數(relaxation coefficient)可能過小；
- (3) 週期性擾動如渦散(vortex shedding)現象發生。

十三、紊流模型

- (1) standard $k - \varepsilon$ model 的眾所周知問題為無法呈現在建築屋頂的分離(separation)和逆流(reverse flow)，並導致建築表面的碰撞區的紊流動能高估現象。
- (2) 和建築屋頂區域發生的問題相比，雖然在近地表面區不太常發生，但它可能會影響預測之精度以及預測之高風速位置。
- (3) 一些修正過的 $k - \varepsilon$ models 和 DSM 模型(differential stress model) 可以緩和此一問題，並提升近地表強風區的預測精度。

十四、初始條件

為了快速獲得收斂結果，應給定適當物理性能之初始條件(initial condition)。常利用入流剖面延伸套用至整個計算域，或者由層流計算結果作為初始條件。

十五、CFD 模式驗證

使用者應使用他們的 CFD 模式套用在至少一個單一高層建築以及至少一個在實際都市區域的複合型建築，並與 AIJ 團隊所提出的實驗結果進行比較。這些實驗結果已公布於網站上，驗證案例如見圖 A2。

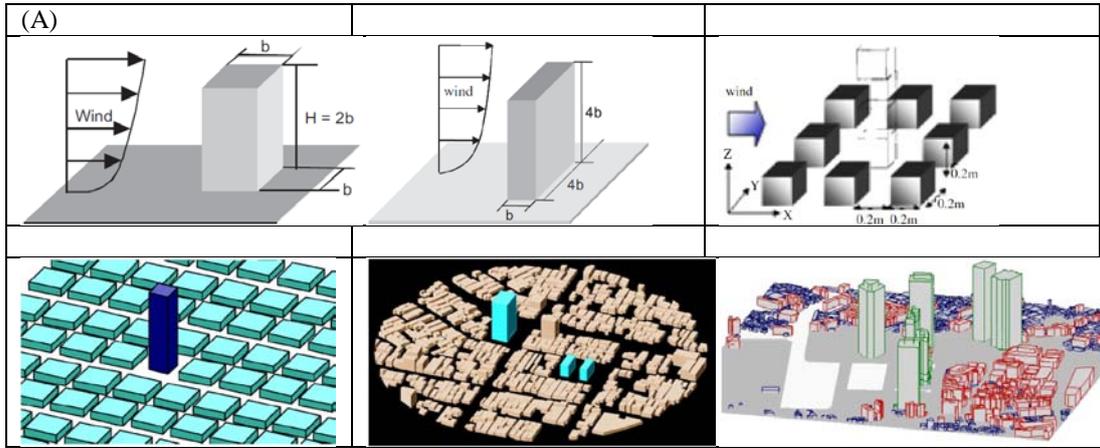


圖 A2 AIJ Guideline Benchmark

資料來源：http://www.aij.or.jp/jpn/publish/cfdguide/index_e.htm

附錄六 入流剖面 UDF

```

/*****
/* Concatenated UDFs for fully-developed turbulent inlet profiles */
/*****
#include "udf.h"

#define UMEAN 25.
#define B 0.25
#define DELOVRH 400
#define VISC 1.7894e-05
#define CMU 0.09
#define VKC 0.41

/*****
/* UMEAN:邊界層層緣風速 */
/* B :power law 之冪數  $\alpha$  */
/* DELOVRH:邊界層厚度  $\delta$  */
/* UMEAN:邊界層層緣風速 */
/* ti :紊流強度 */
/* kay :紊流動能 */
/* ti :紊流強度 */
/*****

/* 定義平均風速 profile for x-velocity */
DEFINE_PROFILE(x_velocity, t, i)
{
real y, del, h, x[ND_ND], ufree; /* variable declarations */
face_t f;
del = DELOVRH;
ufree = UMEAN;

begin_f_loop(f, t)
{
F_CENTROID(x,f,t);
y = x[2];
if (y <= del)
F_PROFILE(f,t,i) = ufree*pow(y/del,B);
else
F_PROFILE(f,t,i) = ufree;
}
end_f_loop(f, t)
}

```

```
/* 定義紊流動能 profile for kinetic energy */
DEFINE_PROFILE(k_profile, t, i)
{
  real y, del, h, ufree, x[ND_ND];
  real ff, utau, knw, kinf, ti, uz;
  face_t f;
  del = DELOVRH;
  ufree = UMEAN;
  begin_f_loop(f, t)
  {
    F_CENTROID(x, f, t);
    y=x[2];

    if (y <= del)
      ti= 0.26-0.18*pow(y/del,0.35);
    else
      ti= 0.08;

    if (y <= del)
      uz=ufree*pow(y/del,B);
    else
      uz=ufree;

    F_PROFILE(f,t,i)=pow(uz*ti,2.);
  }
  end_f_loop(f, t)
}

/* 定義紊流消散率 profile for dissipation rate */
DEFINE_PROFILE(dissip_profile, t, i)
{
  real y, x[ND_ND], del, h, ufree;
  real ff, utau, ti, uz, kay, dudz;
  face_t f;

  del = DELOVRH;
  ufree = UMEAN;
  begin_f_loop(f, t)
  {
    F_CENTROID(x, f, t);
    y=x[2];
```

```
if (y <= del)
ti= 0.26-0.18*pow(y/del,0.35);
else
ti= 0.08;

if (y <= del)
uz=ufree*pow(y/del,B);
else
uz=ufree;

kay=pow(uz*ti,2.);
dudz=ufree/del*B*pow(y/del,B-1.);

F_PROFILE(f,t,i)=pow(CMU,0.5)*kay*dudz;
}
end_f_loop(f,t)
}
```


參考文獻

1. 丁育群、朱佳仁(2000)，高層建築物風場環境評估準則研議，內政部建築研究所協同研究報告。
2. 朱佳仁(2006)，風工程概論，科技圖書。
3. 香港中文大學，2005，空氣流通評估方法可行性研究研究結果摘要，香港：香港中文大學。
4. 林子平，2007，熱濕氣候區戶外熱舒適接受範圍與環境設計對策，兩岸三地都市微氣候評估研討會論文集，臺南，77-82。
5. 郭建源(2010)，以風洞試驗建立行人風場環境影響評估準則之研究(2/2)，內政部建築研究所自行研究報告。
6. 鄭元良、何友鋒(2010)，都市社區外部空間熱氣流通評估及都市設計指引之研究，內政部建築研究所協同研究報告。
7. 林君娟、謝俊民、程琬鈺，2010，建立都市住宅風環境舒適度指標與改善策略評估-以台南市大林住宅都市更新地區為例，建築與規劃學報，第十一卷 第三期，第 221-242 頁。
8. 新北市政府板橋江翠北側重劃區都市設計審議原則(2013)，新北市政府(民國 102 年)。
9. 曾涵筠(2013)，水岸復興城市治理-大台北黃金雙子城國際論壇，新北市城鄉發展電子報，第 78 期，新北市政府，http://www.planning.ntpc.gov.tw/web66/_file/1691/upload/news/78/p5.html。
10. 郭建源(2014)，環境風場風洞實驗應用於都市設計審議規則研究，內政部建築研究所自行研究報告。
11. 大氣資料庫，台灣颱風洪水研究中心，<https://dbar.ttfri.narl.org.tw/>。
12. AIAA, 1998, Guide for the verification and validation of computational fluid dynamics simulations, AIAA G-077-1998.
13. American National Standard, 1982, Minimum Design Codes for Buildings and Other Structures, ANSI, Inc., New York.

14. Auliciems, A. and Szokolay, S. V., 2007. PLEA Note 3 : Thermal Comfort.
15. Architectural Institute of Japan, 2004, Recommendations for loads on buildings. Architectural Institute of Japan.
16. ASHRAE, 2004, ANSI/ASHRAE Standard 55-2004:Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
17. Blocken, B., and Carmeliet, J., 2004, Pedestrian wind environment around building: literature review and practical examples, Journal of Thermal Env. & BLDG. SCI., Vol.28, No.2 October.
18. Blocken, B., Stathopoulos, T., 2008, Wind environmental conditions in passages between two long narrow perpendicular buildings, Journal of aerospace engineering, vol.21, pp. 280-287.
19. Carl, D. M., Tarbell, T. C., and Panofsky, H. A. 1972, Profiles of wind and temperature from towers over homogeneous terrain, J. Atmos. Sci., 30, pp. 788-794.
20. Cermak, J. E. and Arya, S. P. S. 1970, Problems of atmospheric shear flow and their laboratory simulation. Boundary Layer Meteorology, I, pp.40-60.
21. Cermak, J. E., 1975, Application of fluid mechanics to wind engineering”. A Freeman Scholar Lecture, ASME Journal of Fluids Engineering, 97 , No.1, , pp.9-38.
22. Cermak, J. E. and Arya, S. P. S., 1970, Problems of atmospheric shear flow and their laboratory simulation, Boundary Layer Meteorology, Vol. I, pp. 40-60.
23. Chen, H., Ooka, R., 2004, Study on outdoor thermal environment of apartment block in Shenzhen, China with coupled simulation of convection, radiation and conduction, Energy and Buildings, Vol : 36, pp.1247~1258.
24. Cook, N. J., 1985, The designer's guide to wind loading of building

- structures, Part I: Background, damage survey, wind data and structural classification, Building Research Establishment Report, London, Butterworths.
25. Davenport, A.G., 1972, An approach to human comfort criteria for environmental wind conditions, Colloquium on Building Climatology, Stockholm.
 26. Davenport, A.G. and Isyumov, N., 1967, The application of the boundary layer wind tunnel to the prediction of wind loading, Proceedings of International Research Seminar, Wind Effects on Buildings and Structures, pp.210-230.
 27. ESDU, 1982, Strong winds in the atmospheric boundary layer, Part I mean-hourly wind speeds. ESDU Data Item NO.8026, Engineering Sciences Data Unit, London, 51P.
 28. Frank, H. D., 1997, Pedestrian level Wind Criteria Using the Equivalent Average, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 66, pp. 215-226.
 29. Franke, J., Hirsch, C., Jensen, A.G., Krüger, H.W., Schatzmann, M., Westbury, P.S., Miles, S.D., Wisse, J.A., Wright, N.G., 2004, Recommendations on the use of CFD in wind engineering. In: van Beeck, J.P.A.J. (Ed.), COST Action C14, Impact of Wind and Storm on City Life Built Environment. Proceedings of the International Conference on Urban Wind Engineering and Building Aerodynamics, 5–7 May 2004. Von Karman Institute, Sint-Genesius-Rode, Belgium.
 30. Fanger, P. O., 1997, Thermal Comfortable, ASHRAE Handbook of Fundamental.
 31. Höppe, P., 1999, The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment, International Journal of Biometeorology, Vol : 43, pp.71-75.

32. Hunt, J. C. R., Poulton, E. C., and Mumford, J. C., 1976, The effects of wind on people; new criteria based on wind tunnel experiments, *Building and Environment*, Vol. II, pp.15-28, 1976.
33. Hunt, J. C. R and Femholz, H., 1975, Wind-tunnel simulation of the atmospheric boundary layer, *A report on Euromech 50*, J. F. M, 70, pt. 3, pp.543-559.
34. Isyumov, N., 1978, Studies of the pedestrian level wind environment at the boundary layer wind tunnel laboratory of university of Western Ontario, *Journal of Industrial Aerodynamics*, Vol. 3, pp.187-200.
35. Isyumov, N., and Davenport, A.G., 1976, The ground level wind environment in build-up areas, *Proceedings of the Fourth International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures*, United Kingdom, p.403-422.
36. Irwin, H. P. A. H., 1981, A simple omnidirectional sensor for wind-tunnel studies of pedestrian-level winds”. *J. of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, Vol. 7, pp.219-239.
37. Lawson, T.V. and Penwarden, A.D., 1976, The effects of wind on people in the vicinity of buildings, *Proceedings of the Fourth International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures*, United Kingdom, pp. 605-622.
38. Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, M. G., 1999, Applications of a universal thermal index : physiological equivalent temperature , *International Journal of Biometeorology* , Vol : 43 , pp.76~84.
39. Melbourne, W. H., 1978, Criteria for Environmental Wind Conditions”, *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, Vol. 3, pp.241-249.
40. Mochida, A., Lun, I. Y. F., 2008, Prediction of wind environment and thermal comfort at pedestrian level in urban area, *Journal of Wind*

- Engineering and Industrial Aerodynamics, 96, pp.1498–1527.
41. Mochida, A., Iizuka, S., Tominaga, Y., Lun, I. YF., 2011, Up-scaling CWE models to include mesoscale meteorological influences, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 99, 187-198.
 42. Murakami, S., Iwasa, Y. and Morikawa, Y., 1986, Study on Acceptable Criteria for Assessing Wind Environment Ground Level Based on Residents' Diaries, *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, Vol. 24, pp.1-18.
 43. Oguroa, M., Morikawa, Y., Murakami, S., Matsunawa, K., Mochida, A., Hayashi, H., 2008, Development of a wind environment database in Tokyo for a comprehensive assessment system for heat island relaxation measures, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96 , pp. 1591–1602.
 44. Penwarden, A. D., 1973, "Acceptable wind speeds in towns", *Building Science*. Vol.8, pp.259-267.
 45. Penwarden, A. D., and Wise, A. F. E., 1975, *Wind Environment around Buildings*, Building research Establishment Report H.M.S.O.
 46. Stathopoulos, T., Wu, H., and Bedard, C., 1992, wind environment around buildings: a knowledge-based approach", *J. of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, 41-44, pp.2377-2388.
 47. To, A.P., Lam, K. M. 1995, Evaluation of pedestrian-level wind environment around a row of tall buildings using a quartile-level wind speed descriptor, *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, 54/55, pp.527-541.
 48. Tominaga, Y., Mochida, A., Yoshie, R., Kataoka, H., Nozu, T., Yoshikawa, M., Shirasawa, T., 2008, AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96,

1749-1761.

49. UC Berkeley Thermal Comfort Program, <http://comfort.cbe.berkeley.edu/>.
50. Williams, C. J. and Soligo M. J., 1991, A Discussion of the Components for a Comprehensive Pedestrian Level Comfort Criteria,” Eighth International Conference on Wind Engineering, London.
51. Wind Tunnel Testing: A General Outline, Report of the Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory, University of Western Ontario, 1991.
52. Ye; G., Yanga, C., Chen, Y., Li, T., 2003, A new approach for measuring predicted mean vote (PMV) and standard effective temperature (SET*), Building and Environment, 38 , pp. 33 – 44
53. Yoshie, R., Mochida, A., Tominaga, Y., Kataoka, H., Harimoto, K., Nozu, T., Shirasawa, T., 2005, Cooperative project for CFD prediction of pedestrian wind environment in the Architectural Institute of Japan , Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 95, pp.1551–1578.
54. Yoshida, S., Ooka, R., Mochida, A., Murakami, S., Tominaga, Y., 2006. Development of three dimensional plant canopy model for numerical simulation of outdoor thermal environment. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Climate (ICUC 6), Goteborg, Sweden, June 12–16.

都市地區風環境流通效應影響評估分析研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路3段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：何明錦、方富民、黎益肇、蔡宜中、劉文欽、鐘政
洋、許敬昫、賴冠廷、吳宜芳

出版年月：104年12月

版次：第1版

ISBN：978-986-04-7429-9 (平裝)