

推動建置都市風廊之 地理資訊系統開發

內政部建築研究所業務委託研究報告

中華民國 112 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)

推動建置都市風廊之 地理資訊系統開發

受委託者：國立臺灣科技大學

計畫主持人：黎益肇

協同主持人：阮馨儀

研究員：詹鈞評

研究助理：賴以倫

研究期程：中華民國 112 年 2 月至 112 年 12 月

研究經費：新台幣 118 萬元整

內政部建築研究所業務委託研究報告

中華民國 112 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

目次.....	I
圖次.....	III
表次.....	V
摘要.....	VII
ABSTRACT	XIII
第一章 緒論.....	1
第一節 研究動機.....	1
第二節 研究目的.....	1
第三節 研究內容與方法.....	2
第二章 理論背景.....	5
第一節 氣象站風速資料.....	8
第二節 計算流體力學.....	10
第三節 大氣邊界層.....	14
第四節 TCCIP 資料.....	15
第五節 都市通風地圖.....	16
第三章 研究方法.....	23
第一節 CFD 模擬.....	24
第二節 資料蒐集.....	27
第三節 建築資訊模型處理.....	31
第四節 QGIS 地理資訊系統.....	33
第四章 地圖資訊.....	35
第一節 TCCIP 資料驗證.....	36
第二節 區域溫度分布.....	39
第三節 涼爽空氣源區劃分.....	45

第四節 局部區域風場分析.....	47
第五節 都市紋理與風廊分析.....	59
第五章 TUVIM 系統與應用.....	65
第一節 系統概述.....	65
第二節 局部區域開發.....	74
第三節 應用流程說明.....	77
第四節 建築群通風分析.....	79
第五節 建議管制原則.....	86
第六章 結論與建議.....	88
第一節 結論.....	88
第二節 建議.....	89
附錄一 採購評選會議意見回應.....	92
附錄二 第一次專家座談會議記錄.....	96
附錄三 期中審查會議記錄.....	104
附錄四 期末審查會議記錄.....	110
附錄五 各行政分區模擬條件.....	118
附錄六 OPENFOAM 網格製作檔.....	120
附錄七 OPENFOAM 求解器設定檔.....	136
附錄八 OPENFOAM 邊界條件設定檔.....	140
參考文獻.....	152

圖次

圖 2-1 微氣候資訊平台	6
圖 2-2 風力資訊整合平台	6
圖 2-3 香港環境規劃署風速查詢平台	7
圖 2-4 類神經網路的非線性過程	9
圖 2-5 不同尺度下的都市氣候	17
圖 2-6 都市建築幾何型態指標示意圖	19
圖 2-7 以 FAI 或地表粗糙度法評估風廊之案例.....	20
圖 2-8 以氣候分區、WRF、FAD、CFD 綜合進行通風潛勢評估結果.....	21
圖 3-1 大台北盆地都會區	23
圖 3-2 都市風廊地理資訊系統架構.....	24
圖 3-3 LOD1 至 LOD4 之概念圖	28
圖 3-4 研究區建築模型	29
圖 3-5 TCCIP 數據資料分布	30
圖 3-6 風速與溫度統計分析與 QGIS 結合	31
圖 3-7 模型簡化程式 Building Polygon Simplify Tool 介面.....	32
圖 3-8 國土測繪中心介接 WMS 匯入圖資至 QGIS	33
圖 4-1 地圖資訊分析範圍	35
圖 4-2 台北與板橋測站位置與 Tccip 資料點位置關係圖.....	36
圖 4-3 台北測站溫度比較(2020 年 2 月).....	37
圖 4-4 2016 年 1、4、7、10 月風速時序列比較(單位：m/s).....	38
圖 4-5 台北測站風速比較(2020 年 7 月).....	39
圖 4-6 板橋測站風速比較(2020 年 7 月).....	39
圖 4-7 氣象測站之夏季平均空氣溫度分布(2010-2020 年).....	40
圖 4-8 研究區之平均空氣溫度分佈圖(2016-2020 年).....	41
圖 4-9 研究區地表溫度(2021 年).....	42
圖 4-10 台北市大安區及新北市蘆洲區地表溫度(2021 年).....	43
圖 4-11 NLST 分類分布圖(2017 年 9 月 18 日上午 10 點).....	44
圖 4-12 涼爽源區分析結果(2022 年).....	46
圖 4-13 行政區分區模擬劃分方式	47
圖 4-14 松山區分區模擬劃分以及 3D 模型方式(示範例)	48

圖 4- 15 CFD 背景網格設計	50
圖 4- 16 CFD 建築表面網格	51
圖 4- 18 計算域側視示意圖	53
圖 4- 19 行政區風場模擬與地圖發布結果(示範例)	53
圖 4- 20 台北市行政區不同高度之 CFD 模擬結果	56
圖 4- 21 新北市行政區不同高度之 CFD 模擬結果	58
圖 4- 22 以台北市為例進行都市建築型態分析過程	60
圖 4- 23 通風潛力分析結果示例(萬華區).....	62
圖 5- 1 TUVM 架構圖	66
圖 5- 2 TUVM 系統資訊呈現介面	67
圖 5- 3 TUVM 系統區域主頁面	69
圖 5- 4 TUVM 系統資料選擇介面	70
圖 5- 5 TUVM 系統主要風廊(夏季)	70
圖 5- 6 TUVM 系統主要風廊(秋季)	71
圖 5- 7 TUVM 系統 $400m^2$ 格點化平均建築高度.....	72
圖 5- 8 TUVM 系統 $400m^2$ 格點化建蔽率	72
圖 5- 9 TUVM 系統 $400m^2$ 格點化容積率	73
圖 5- 10 TUVM 系統 $400m^2$ 格點化地表粗糙度	73
圖 5- 11 選擇當地盛行風風向東風進行評估之風速比示意圖	76
圖 5- 12 風速佈點範圍以及原則	76
圖 5- 13 TUVM 於局部區域開發應用流程圖	78
圖 5- 14 方形斷面與長條形斷面建築群配置與風速擷取示意圖	80
圖 5- 15 沿道路中心線(X 及 Y)之風速比趨勢圖(H1. 2-W0. 4)	81
圖 5- 16 H1. 2-W0. 4風速比等值圖.....	82
圖 5- 17 長條形斷面之 VR 的發生頻率及累積發生頻率圖	83
圖 5- 18 H3. 7-W0. 7之風速比等值圖(路寬 8 公尺).....	84
圖 5- 19 H3. 7-W1. 5之風速比等值圖(路寬 16 公尺).....	84
圖 5- 20 管制範圍示意圖	86

表次

表 3-1 TCCIP 資料說明	30
表 4-1 正規化地表溫度 NLST 分類表	44
表 4-2 熱島強度分類	44
表 4-3 涼爽新鮮空氣源區分類	46
表 4-4 通風潛力分級表	62
表 5-1 細部資訊分類與內容	68
表 5-2 建築群幾何參數設定與代號	79
表 5-3 不同角度下正方形斷面之風速比平均值和標準差	81
表 5-4 長條形斷面之風速比平均值和標準差	83

推動建置都市風廊之地理資訊系統開發

摘 要

關鍵字：計算流體力學、類神經網路、地理資訊系統、氣象資料、風速機率，都市風廊

一、研究緣起

在快速經濟發展與都市化的狀況下，城市中的水泥建築、不透水鋪面以及因各類經濟活動形成的高密度開發，使得工廠、住宅等各類型建築排碳、排熱的強度逐漸增加，進一步造成整體環境的調節失衡。據分析研究指出，在極端情況下，大台北盆地都市中心的溫差最高可達 5.4 度，顯見都市熱島問題十分嚴重。臺灣城市的人口密度高，快速都市化的過程造就高密度開發之建成環境，並減少了都市空地及綠地空間的面積，再再使得都市通風能力下降。

為型塑良好的都市通風，最早的城市通風地圖由德國司圖斯特於 2008 年制定，並於近年逐漸受到重視並借鏡至世界各主要城市。規劃建立良好的城市風廊除可減緩熱島效應、有效解決都市霧霾累積問題，並於城市規劃設計時減少都市整體碳排量，對於我國 2050 淨零碳排目標有實質上的助益。而我國主要直轄市也十分重視此一問題，紛紛就政策面及執行面進行檢討及因應，故提出通用之都市風廊分析工具為刻不容緩之工作。

二、研究方法及過程

本研究旨在整合大量數據資料，且以中尺度 WRF 模式配合小尺度 CFD 模擬精準分析都市內通風特性，建立都市風廊分析技術之架構與流程，並建置都市風廊地理資訊查詢系統。使用者可透過建置之都市風廊地理資訊查詢系統，提供局部區域氣象站風速統計數據分析結果、盛行風風向及平均風速、地表粗糙度、都市熱島強度等資訊，最後分析並呈現都市主、次要風廊以及通風分區。

本計畫為建立都市風廊規畫分析用之工具，規劃「臺灣都市通風地圖」(Taiwan Urban Ventilation Map; TUVM)(以下稱本系統)之系統圖層架構，以

推動建置都市風廊之地理資訊系統開發

及發展系統雛形。本系統包含以下部分：

一、氣象站風速風向資料及韋伯函數

(1) 研究區近 10 年氣象站資料蒐集；

(2) 自動測站資料補遺；

(3) 風速風向資料統計分析。

二、都市通風地圖之主次要風廊

(1) 最新研究區三維建築模型資料蒐集；

(2) 圖資轉換與網格化技術建立與都市紋理分析；

(3) 主次要風廊定義與分析。

三、行政區網格化盛行風風速；

(1) 行政區模擬區域劃分；

(2) 建築 3D 模型轉換；

(3) 盛行風風向模擬與資料擷取分析；

四、熱島強度圖層

(1) 研究區近 5 年衛星空照圖資料蒐集；

(2) TCCIP 溫度資料蒐集；

(3) 熱島強度指標分析。

最後整合工作為將數據與地圖系統彙整至 TUVVM 系統、通風地圖應用策略分析、期末報告、成果報告等。執行期間另舉辦專家座談會，以徵詢學者專家對本案之建議。

三、結論

本研究為建立都市風廊規畫分析用之工具，規劃「臺灣都市通風地圖」(TUVVM; Taiwan Urban Ventilation Map)。針對大台北盆地建築及人口密集區域產製都市通風評估所需資訊並進行試作，資訊涵蓋包含台北市：松山區、

信義區、大安區、中山區、中正區、大同區、萬華區、士林區；新北市：板橋區、三重區、中和區、永和區、新莊區、蘆洲區、泰山區、五股區。

在整合類神經網路、CFD 模擬、中尺度大氣模式、衛星紅外線波段反演、都市紋理分析、地理資訊系統等技術後，產製包含都市通風規劃資訊及圖層。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：

- (1) 本研究建置 TUVVM 網站，並匯入包含區域風速風向資訊、都市熱島資訊、建築紋理資訊、都市風場資訊等四大區塊資料，提供一個快速查詢平台供相關人員取得都市通風規劃資訊。
- (2) 本研究進行過程中，進行了多項驗證以及分析工作，包含所取得風速資料的正確性、擴增衛星資料的代表性、確認都市紋理分析方法，確保相關資訊能合理表現研究區的各项物理機制，對於風廊評估後的效益提供保障。
- (3) 參考國際主要高密度都市作法，建立局部區域開發通風評估方法，研議 3 種維持區域通風的要求，作為都市開發或規劃時，考量都市通風之評估參考。
- (4) 在 TUVVM 系統的概述以及應用流程中，讓使用者可以認識提供的各項資訊內容說明，可依據本系統功能內容變化，修正或擴增說明內容，並進一步整合此部分資訊至網站系統中。
- (5) 參考國際上主要城市管制原則，並參考國內都市樣態後，初步擬定適於我國之管制原則。未來在持續完善本系統的同時，針對管制原則進行修正，並與社會各界達成共識，推出可行且有效的管制手段。

四、建議

建議一

立即可行建議：TUVVM 推廣應用

主辦機關：內政部國土管理署、內政部建築研究所、國立臺灣科技大學

協辦機關：中華民國風工程學會

本計畫建立都市風廊規畫分析用之工具，規劃「臺灣都市通風地圖」(TUVM；Taiwan Urban Ventilation Map)，並套用大台北盆地區域之行政區之分析資料，提供包含區域風速風向資訊、都市熱島資訊、建築紋理資訊、都市風場資訊等。後續應可推廣此技術應用至我國主要都市進行分析，前期目標以六都建築人口密集區域為對象，未來可因應地方需求進行特定區域進行分析，提供各縣市政府都市設計審議或都市規劃之參考。

建議二

中長期建議：研訂風廊管制原則

主辦機關：內政部國土管理署、內政部建築研究所

協辦機關：各縣市政府都市發展局或城鄉發展局、國立臺灣科技大學、中華民國風工程學會

本研究建立整合技術指認都市風廊，而劃定風廊後管制手段牽涉到人民權益以及地方政府都市規劃。如綠地保留或限制開發，以及限制建蔽率、容積率、道路退縮等手段能形塑風廊，但也對於土地使用帶來了限制。風廊區的管制也需要因地制宜，此部分需審視現有中央法規以及地方政府土地管制規則來通盤考量。而在局部區域開發上，可先行推廣評估方法與達標標準，由各縣市政府都市設計審議開始進行。

建議三

中長期建議：本案開發成果納入國土規劃地理資訊圖台

主辦機關：內政部國土管理署、內政部建築研究所、內政部國土管理署城鄉發展分署

協辦機關：國立臺灣科技大學、內政部國土測繪中心

本計畫建立產製各類都市通風基礎資訊之技術，建立大尺度之都市通風地圖資訊，並建立線上地圖查詢系統，提供完整且友善之查找環境。

後續將相關圖資整合至內政部國土管理署國土規劃地理資訊圖台，提供整合資訊以供參考。由於都市物理環境會逐年改變，相應地圖資料須每2-3年進行檢討更新，以產製最新並符合現況之氣象統計資料、都市熱島強度、都市紋理現況、風廊分布狀況等資訊。

建議四

中長期建議：都市風廊長期效益驗證

主辦機關：內政部建築研究所、國立臺灣科技大學

協辦機關：中華民國風工程學會

應持續追蹤風廊改善對於都市熱島對於建築節能之效益並進行檢討，盤點並評估區域建築節能效益，配合我國淨零碳排政策推動方向，協助政府淨零路徑之可行性驗證。後續可針對局部區域作為驗證之場域，進行風場、溫度、地表溫度等即時監控，逐年追蹤其效益。

目前困難點在於衛星所反演之地表溫度受到氣候影響而品質不一，利用分析手段來減少此部分影響，最後產出的熱島強度指標仍有待驗證，未來可以規劃空拍機來進行驗證工作。此外，都市區域的垂直風場分布需要進一步來檢視，因此規劃光達實驗卻有其必要性。綜合前述工作可以發現實場監測工作難度頗高，除顧及儀器安裝及資料傳輸技術外，還需要建築持有方以及地方政府等多方配合，需審慎考慮及規劃聯繫方能完成。

推動建置都市風廊之地理資訊系統開發

ABSTRACT

Keywords : CFD, neural network, GIS, weather data, wind speed probability, urban ventilation corridor

1. Background

In the context of rapid economic development and urbanization, the intensity of carbon and heat emissions from various types of buildings, such as factories and residences, has gradually increased due to the prevalence of cement buildings, impermeable pavements, and high-density development resulting from various economic activities. This has further caused an imbalance in the overall environment. According to the results of relative research, in extreme cases, the temperature difference in the urban center of the Taipei Basin can reach up to 5.4 degrees Celsius, indicating that the urban heat island problem is very severe. The high population density of Taiwan's cities, the rapid process of urbanization, and the resulting high-density development have reduced the area of urban open space and green space, further reducing the ventilation capacity of the city.

The earliest urban ventilation map was developed in Stüttgen, Germany, to promote good urban ventilation in 2008. In recent years, it has gradually received attention and has been used as a reference for major cities worldwide. Planning and establishing suitable urban wind corridors can not only reduce the urban heat island effect and effectively solve the problem of urban haze accumulation but also reduce the city's overall emissions during urban planning and design, which is of substantial help to our country's 2050 net-zero emission target. Major municipalities in our country also attach great importance to this issue and have reviewed and responded to it on both policy and implementation fronts. Therefore, developing a universal urban wind corridor analysis tool is an urgent task.

2. Methodology

The purpose of this study is to integrate a large amount of data and to accurately analyze the ventilation characteristics of an urban area using the mesoscale WRF model and small-scale CFD simulation to establish the structure and process of the urban wind corridor analysis technique and to build an urban wind corridor geographic information query system. Through the urban wind corridor geographic information query system, users can provide the results of wind speed statistics, prevailing wind direction and average wind speed, surface roughness, urban heat island intensity, etc., and finally analyze and present the primary and second wind corridors and ventilation potential zones in the urban area.

This project establishes a tool for urban wind corridor planning and analysis, plans the system layer structure of the "Taiwan Urban Ventilation Map" (from now on referred to as TUVVM), and develops the system prototype. The system consists of the following components:

I. Wind speed and direction data and Weibull distribution analysis;

- (1) The last ten years of meteorological station data collection in the study area;
- (2) Addendum to the automatic station data;
- (3) Statistical analysis of wind speed and direction.

II. Urban Ventilation Map - Primary and Secondary Corridors

- (1) The latest 3D building modeling data collection in the study area;
- (2) 3D model transformation, gridding techniques for building and analyzing urban morphology;
- (3) Definition and analysis of primary and secondary ventilation corridors.

III. Gridding prevailing wind speeds for administrative districts

- (1) Zoning administrative districts to simulating areas;
- (2) 3D buildings model conversion;
- (3) CFD simulation under prevailing winds and data acquisition analysis;

IV. Heat island intensity map layer

- (1) Data collection of satellite aerial photographs in the last 5 years in the study area;
- (2) TCCIP temperature data collection;
- (3) Analysis of Heat Island Intensity Index.

The final integration work is to integrate the data and map system into the TUVVM system, analyze the application strategy of ventilation maps, and write a final report and report on the results. During the implementation period, two expert seminars were held to solicit suggestions from scholars and experts on this project.

3. Conclusions

In this study, the “Taiwan Urban Ventilation Map” was developed as a tool for urban wind corridor planning and analysis. The information required for urban ventilation assessment was produced and piloted for the built-up and densely populated areas in the Greater Taipei Basin, including Songshan, Xinyi, Daan, Zhongshan, Zhongzheng, Datong, Wanhua, and Shilin Districts in Taipei City; and Banqiao, Sanzhong, Zhonghe, Yonghe, Xinzhuang, Luzhou, Taishan, and Wugu Districts in New Taipei City.

After integrating the techniques of the neural network, CFD simulation, mesoscale atmospheric model, satellite infrared band inversion, urban morphometric analysis, and geographic information system (GIS), we have produced the information and map layer for urban ventilation planning. The

following conclusions can be drawn after synthesizing the study's results and reviewing the expected outcome benefits.

- (1) The TUVVM website was built, and four major areas of information were included, including regional wind speed and direction information, urban heat island information, building morphology information, and urban wind field information, to provide a quick query platform for the related designer to obtain urban ventilation planning information.
- (2) In the course of this study, several validations and analyses were conducted, including the accuracy of the wind speed data obtained, the representativeness of the augmentation satellite data, and the confirmation of the urban texture analysis method, to ensure that the relevant information can reasonably represent the physical mechanisms in the study area, and to provide a guarantee of the effectiveness of the wind corridor after the assessment.
- (3) Concerning the practices of major high-density cities in the world, we have established a methodology for evaluating the ventilation of localized area development and proposed three requirements for maintaining regional ventilation, which can be used to assess urban ventilation in urban development or planning.
- (4) In the overview of the TUVVM system and the application process, users can recognize the various information provided in the content of the description, according to the changes in the functional content of the system, amendments or additions to the content of the description, and further integration of this part of the information into the website system.
- (5) After referring to the control principles of major cities in the world and taking into account domestic urban patterns, we have initially formulated the

control principles suitable for Taiwan. In the future, while continuing to improve the system, we will revise the control principles and reach a consensus with all sectors of the community to introduce feasible and effective control means.

4. Suggestions

Suggestion I

Immediately feasible suggestion: TUVVM Promotion and Application

Organizers: National Land Management Agency (Ministry of the Interior), Architecture and Building Research Institute (Ministry of the Interior), Taiwan Building Technology Center (National Taiwan University of Science and Technology)

Associate organizer: Taiwan Association for Wind Engineering

In this project, TUVVM (Taiwan Urban Ventilation Map) is established as a tool for urban wind corridor planning and is applied to the analysis data of the administrative districts in the Greater Taipei Basin to provide regional wind speed and direction information, urban heat island information, building texture information, and urban wind field information. In the future, we should be able to promote the application of this technology to analyze the major cities in Taiwan, with the initial target being the densely populated areas of the six capitals, and in the future, we can analyze specific areas according to the local needs, so as to provide the county and municipal governments with references for their urban design reviews or urban planning.

Suggestion II

Medium and long-term suggestion: Revised principles of Control for ventilation corridors

Organizers: National Land Management Agency (Ministry of the Interior), Architecture and Building Research Institute (Ministry of the Interior), Associate organizer: Taiwan Building Technology Center (National Taiwan University of Science and Technology), Taiwan Association for Wind Engineering

In this study, an integrated technique is developed to identify urban ventilation corridors, and the means of controlling the corridors after their designation involves people's rights and the local government's urban planning. Measures such as preservation of green space or restriction of development, as well as limitations on building coverage, plot ratio, and road setbacks can shape the wind corridor, but they also impose constraints on land use. The control of wind corridor areas also needs to be tailored to the local context, which needs to be considered in a holistic manner by examining the existing central laws and regulations as well as the local government's land control rules. In terms of localized development, we can first promote the evaluation method and standards, and start the urban design deliberation by each county and city government.

Suggestion III

Medium and long-term suggestion: Developing or integrating the ventilation map information platform

Organizers: National Land Management Agency (Ministry of the Interior), Architecture and Building Research Institute (Ministry of the Interior), Taiwan Association for Wind Engineering

Associate organizer: Taiwan Building Technology Center (National Taiwan University of Science and Technology), National Land Surveying and Mapping Center (Ministry of the Interior)

This project establishes the technology to produce various types of basic

urban ventilation information, create large-scale urban ventilation map information, and set up an online map query system to provide a complete and friendly search environment. In the future, the related maps will be integrated into the National Land Planning and Geographic Information Platform of the Public Works Department to provide integrated information for reference. Since the city's physical environment changes every year, the corresponding map data should be reviewed and updated every 2-3 years to produce up-to-date and up-to-date information on meteorological statistics, urban heat island intensity, urban texture, and wind corridor distribution.

Suggestion IV

Medium and long-term suggestion: Efficiencies Verification of ventilation corridor planning

Organizers: Architecture and Building Research Institute (Ministry of the Interior), Taiwan Building Technology Center (National Taiwan University of Science and Technology)

Associate organizer: Taiwan Association for Wind Engineering

We should continue to track and review the benefits of wind corridor improvement on urban heat islands for building energy conservation, inventory and evaluate the regional building energy conservation benefits, and assist the government in verifying the feasibility of net-zero paths in line with the direction of our country's net-zero emissions policy. In the future, we can focus on the localized area as a verification field and conduct real-time monitoring of wind field, temperature, surface temperature, etc., to track the benefits year by year.

Currently, the difficulty lies in the fact that the surface temperature reflected by the satellite is affected by the climate and the quality is not the same, using analytical means to reduce this part of the influence, the final index of heat island strength is still to be verified, and in the future, we can

plan for the aerial camera to carry out the verification work. In addition, the distribution of the vertical wind field in the urban area needs to be further examined, so it is necessary to plan the experiments on the light datum. Summarizing the aforementioned work, it can be found that the field monitoring work is quite difficult, in addition to taking into account the installation of equipment and data transmission technology, but also requires the cooperation of building owners and local governments, etc., which requires careful consideration and planning and liaison to complete.

第一章 緒 論

第一節 研究動機

在快速經濟發展與都市化的狀況下，城市中的水泥建築、不透水鋪面以及因各類經濟活動形成的高密度開發，使得工廠、住宅等各類型建築排碳、排熱的強度逐漸增加，進一步造成整體環境的調節失衡。據分析研究指出，在極端情況下，大台北盆地都市中心的溫差最高可達 5.4 度，顯見都市熱島問題十分嚴重。臺灣城市的人口密度高，快速都市化的過程造就高密度開發之建成環境，並減少了都市空地及綠地空間的面積，再再使得都市通風能力下降。

為型塑良好的都市通風，最早的城市通風地圖由德國司圖斯特於 2008 年制定，並於近年逐漸受到重視並借鏡至世界各主要城市。規劃建立良好的城市風廊除可減緩熱島效應、有效解決都市霧霾累積問題，並於城市規劃設計時減少都市整體碳排量，對於我國 2050 淨零碳排目標有實質上的助益。而我國主要直轄市也十分重視此一問題，紛紛就政策面及執行面進行檢討及因應，故提出通用之都市風廊分析工具為刻不容緩之工作。

據歐盟 EDGAR 全球大氣研究碳排放資料庫(Emission Database for Global Atmospheric Research)，2018 年臺灣人均二氧化碳排放量高達 12 噸，名列全球前 25 名，且高於全球平均。臺灣四面環海，受海洋、氣候所帶來的威脅和衝擊十分嚴重，為因應自然所引發的災害，城市的降溫減碳極為相當重要的手段。國內外的研究顯示，都市中若能有良好的通風條件，可引進新鮮及涼爽的空氣，減緩都市熱島現象，降溫藉以提高行人熱舒適性，並有助於建築空調耗能的降低及戶外空氣品質的提昇，為低碳與健康城市的重要策略。

第二節 研究目的

本研究團隊於先前研究中[63; 64; 65]，利用大量中央氣象局測站資料輸入類神經網路(Artificial Neural Network)模式交互學習運算，解決自動測站資料做為統計應用之不足。可在一些以舒適性或以季風為主要考量之建築微氣候分析中來應用，諸如行人環境風場[52; 55]、戶外通風分析[54]、室內通風分析[57; 59]、估計風力發電量[67]或處理污染擴散問題時，需要分析目標區域的常季風風向、風速分布以及發生機率，以季節分類作為輸入條件，據以進行後續之分析。同時應用國土測繪中心之測繪數據，建立

研究區域大尺度通風地圖[65]，了解都市區域之風環境以及季風風速和機率。

都市通風規劃除需要都市物理空間資訊如風速、風向、溫度等，另需整合都市紋理、土地使用分區等資料進行劃分，本研究旨在整合前述之大量數據資料，且以「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫」(TCCIP)之中尺度 WRF(Weather Research and Forecasting Model)模式結果，配合小尺度 CFD 模擬精準分析都市內通風特性，建立都市風廊分析技術之架構與流程，並建置都市風廊地理資訊查詢系統。使用者可透過建置之都市風廊地理資訊查詢系統，提供局部區域氣象站風速統計數據分析結果、盛行風風向及平均風速、地表粗糙度、都市熱島強度等資訊，最後分析並呈現都市主、次要風廊以及通風分區。以作為國土規劃、都市計畫、區域開發之參考資料平台。

其研究內容規劃如後：

- (1) 蒐集內政數據及國土測繪資料，分析區域風場及資料庫建置。
- (2) 納入 WRF 大氣模式分析結果，並與測站結果進行比對，確認模式之可靠性。
- (3) 建立主要風廊及次要風廊路徑之分析流程，並建置通風決策要素與指標。
- (4) 蒐集整理研究區土地使用分區、建築特徵等資訊，建立劃定通風分區之機制。
- (5) 建置都市風廊地理資訊查詢系統，確認圖層架構與應用功能。

第三節 研究內容與方法

本計畫為建立都市風廊規畫分析用之工具，規劃「臺灣都市通風地圖」(Taiwan Urban Ventilation Map; TUVVM)(以下稱本系統)之系統圖層架構，以及發展系統雛形。本系統包含以下部分：

一、氣象站風速風向資料及韋伯函數

- (1) 研究區近 10 年氣象站資料蒐集；
- (2) 自動測站資料補遺；
- (3) 風速風向資料統計分析。

二、都市通風地圖之主次要風廊

- (1) 最新研究區三維建築模型資料蒐集；
- (2) 圖資轉換與網格化技術建立與都市紋理分析；
- (3) 主次要風廊定義與分析。

三、行政區網格化盛行風風速；

- (1) 行政區模擬區域劃分；
- (2) 建築 3D 模型轉換；
- (3) 盛行風風向模擬與資料擷取分析；

四、熱島強度圖層

- (1) 研究區近 5 年衛星空照圖資料蒐集；
- (2) TCCIP 溫度資料蒐集；
- (3) 熱島強度指標分析。

最後整合工作為將數據與地圖系統彙整至 TUVMS 系統、通風地圖應用策略分析、期末報告、成果報告等。執行期間另舉辦專家座談會，以徵詢學者專家對本案之建議。

推動建置都市風廊之地理資訊系統開發

第二章 理論背景

在建築耐風設計中，主要以颱風事件之極值風速作為其設計標準，透過氣象站資料進行極值分析，需要長年大量的統計資料進行[4; 58]，或蒙地卡羅方法模擬大量颱風事件[71]來補充的風速歷時資料的不足，進而獲得該區域之設計風速。而在一些以舒適性或以季風為主要考量之建築微氣候分析，諸如行人環境風場[52; 55]、戶外通風分析[54]、室內通風分析[57; 59]、估計風力發電量[67]或處理污染擴散問題時，需要分析目標區域的常季風風向、風速分布以及發生機率，以季節分類作為輸入條件，據以進行後續之分析。

國內對於氣象分析資料應用至綠建築分析中，主要以鄰近氣象站的歷史監測資料進行統計分析，如圖 2- 1 所示[70]。在此種尺度下的微氣候分析，地形、鄰近建築或植被均會影響分析對象所在地的風場，選用的氣象站距離若過遠，其對於當地的代表性便會降低。此外，工業技術研究院為風能產業[67]所建構的風力資訊整合平台(圖 2- 2)，主要以 WRF 進行 2008-2010 年真實個案時序列模擬，以 2 公里網格為單位輸出水平向風速資料並進行統計分析。前述工具均採地圖方式呈現查詢地點的氣象或分析資料，以利使用者查詢應用。

為解決香港地區高樓林立造成氣流阻塞的低風速問題，香港環境規劃署進行一連串的研究計畫[30; 31; 49; 50; 51]。除頒訂都市空氣流通作業準則[29]外，規範新開發作業的設計評估準則，同時利用中尺度大氣模式分結果，提供高空氣流風花圖以及風速剖面建議值製作成查詢手冊外，另以線上查詢資訊作為局部區域開發通風評估作業的前導資訊(圖 2- 3)。

推動建置都市風廊之地理資訊系統開發

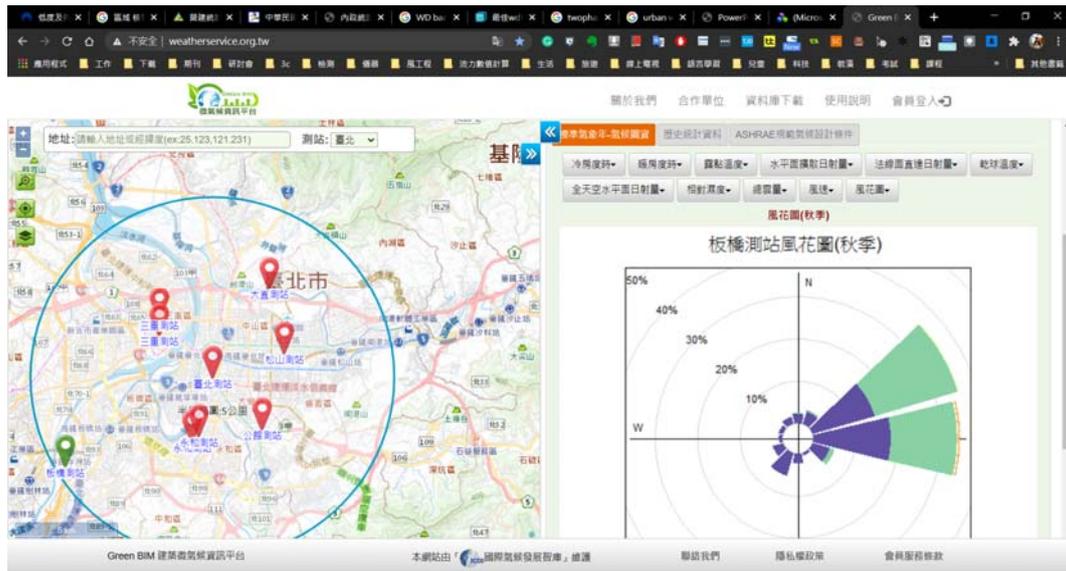


圖 2- 1 微氣候資訊平台

資料來源：<http://www.weatherservice.org.tw/>

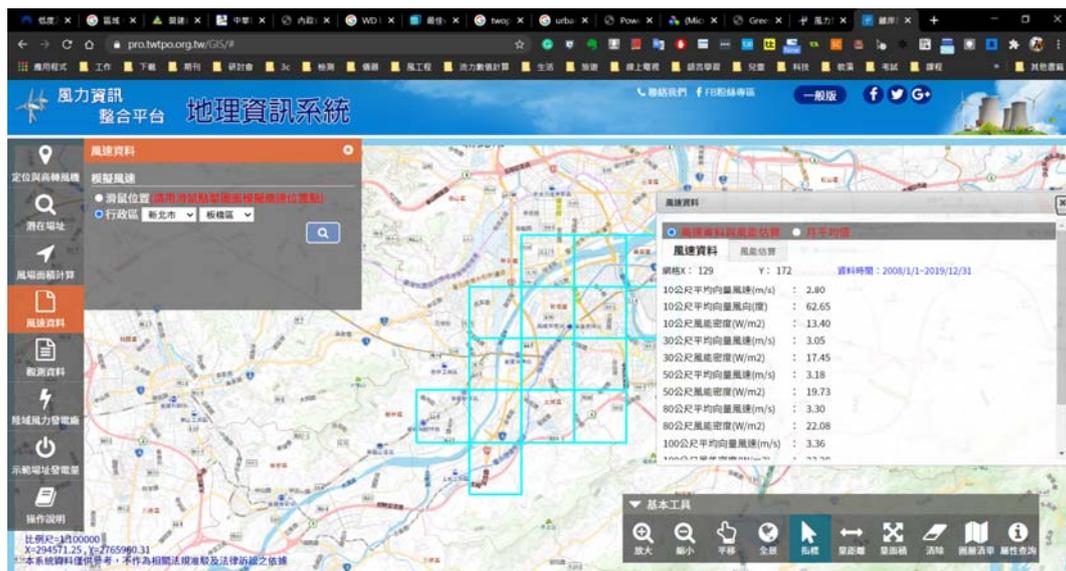


圖 2- 2 風力資訊整合平台

資料來源：<https://pro.twtpo.org.tw/GIS/>

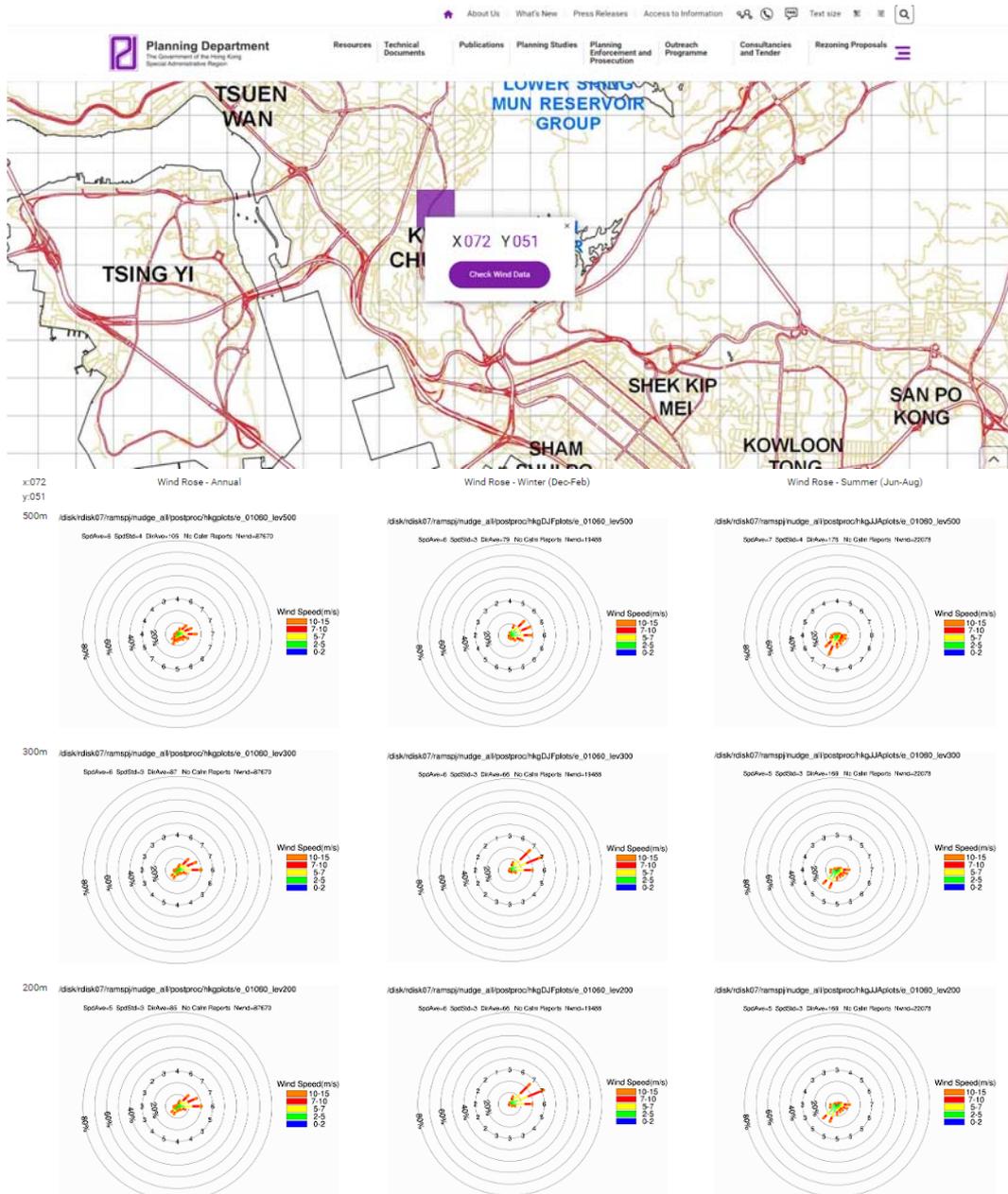


圖 2- 3 香港環境規劃署風速查詢平台

資料來源：

https://www.pland.gov.hk/pland_en/info_serv/site_wind/site_wind/index.html

第一節 氣象站風速資料

根據現存測站統計結果(2021年3月3日)，目前全臺灣的局屬測站共有33個，涵蓋的範圍並不夠全面[62]，且部分局屬測站為新設，因此在選用測站資料時可能會面臨距離測試區過遠，無法確切代表當地的風速及風向資訊。因此近年中央氣象局廣設自動氣象站，目前共有584個，遍佈全臺灣。雖可彌補部分地區資料不足的缺憾，但大部分自動測站因設站時間過短、進行搬遷或儀器因故障而缺少資料，進而發生統計資料不足的困境，無法完整地表達當地風環境特性。一般而言，測站至少需要10年的風速資料才足以作風環境評估，但當蒐集資料年份越多時，越能展現當地風環境特性[15]。

本團隊在近2年的研究中[63; 64; 65]，嘗試利用傳遞類神經網路(Back-Propagation Neural Network; BPN)將目標氣象站缺漏資料補足，蒐集附近測站之氣象參數，並進行資料預處理，再透過倒傳遞類神經網路之學習過程(Learning Process)及回想過程(Recalling Process)，建立類神經網路之模型，以下針對本風速補足技術進行簡要說明。

一、倒傳遞類神經網路架構

類神經網路為一種模擬人類中樞神經系統的計算模型[1]，由多個單位類神經元所構成，其運算結果是經由這些神經元的交互作用而產出。神經元j可以使用以下公式定義：

$$y_j = \varphi\left(\sum_{i=0}^n x_i w_{ij} - \theta_j\right) \quad (2-1)$$

其中， x_i 代表類神經元的輸入， w_{ij} 是神經的權重因子， φ 是轉換函數， θ_j 是閾值， y_j 是輸出值，神經元運算的非線性過程如圖2-4所示。透過反向傳遞演算法(Levenberge-Marquardt 演算法)學習。該模型由輸入層、隱藏層和輸出層組成。其中由數個訓練測站組成輸入層，而輸出層則包含來自目標測站的風速數據。在隱藏層和輸出層中可分別使用不同類型之轉換函數。在模型的訓練過程中，將使用數個測站點的風速數據作為輸入層，而來自涵蓋相同時期的目標測站風速數據則扮演輸出層的角色。經由訓練過程，

最終可創建了一個通過訓練測站數據推導目標測站風速數據的網絡。

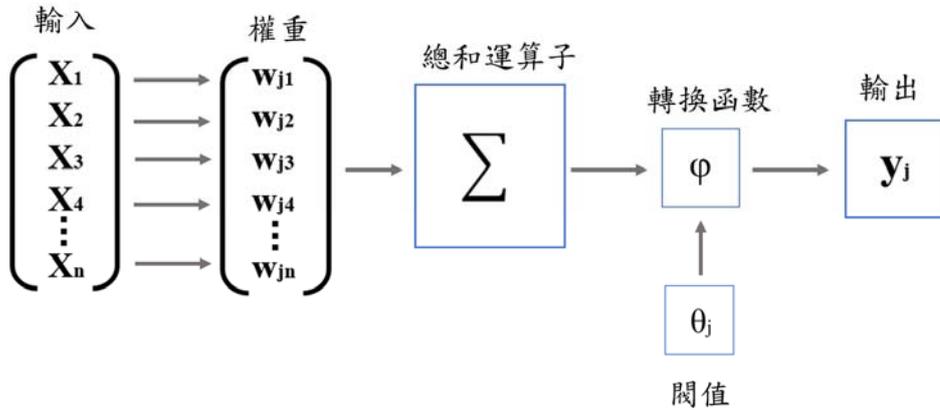


圖 2- 4 類神經網路的非線性過程

資料來源：[64]

二、資料預處理

由於本研究主要探討季風統計應用，故需要以風速為參考條件進行篩選，以及資料正規化等資料預處理步驟，其方式說明如後：

- (1) 過濾低風速資料：經調查中央氣下局風速計精度為 0.5m/s，故將歷時資料中風速 $\leq 0.5\text{m/s}$ 之值剔除，在目前研究區的氣象站中，不同測站剔除的量不一。按照季節來看，夏季約剔除 6-12%，秋季則約剔除 4-10%。
- (2) 過濾颱風資料：以不影響訓練資料且以季風為主要考量，此時段資料不列入類神經網路訓練。
- (3) 風向角型式調整：將風向角 θ 拆分成 x、y 軸上的分量，以 $\sin\theta$ 與 $\cos\theta$ 表示。
- (4) 資料正規化：原始輸入氣象參數包含風速、溫度、濕度、風向等，由於單位不同，且極值差異過大，使各自的尺度規模不同。因此輸入至類神經網路前，需先透過資料正規化，使全部氣象參數分布於 0 至 1 區間，其公式如後：

$$\hat{S} = \frac{s - (s)_{\min}}{(s)_{\max} - (s)_{\min}} \quad (2-2)$$

其中 s 代表原始歷時資料參數， $(s)_{\min}$ 代表原始資料參數中之最小值， $(s)_{\max}$ 代表原始資料參數中之最大值， \hat{S} 表示正規化之參數。

研究結果發現，雖然鄰近測站間的相關性氣壓、濕度、溫度相關性頗高，輸入後所得的訓練模型卻可以有效降低風速預測結果平均誤差約 2%。另本技術在風速歷時比較上，由整體趨勢觀察頗為吻合，適用於季風之風環境分析。

第二節 計算流體力學

在電腦尚未被廣泛應用前，數學解析的方法常與實驗方法並列為研究方法之兩大主流。對一個流場問題而言，其求解係以一個足以正確描述流場變數（流速、壓力、溫度、濃度等）對時間與空間變化的微分方程式（亦稱控制方程式；governing equations）為基礎，配合以適當的起始與邊界條件（initial/boundary condition）後，應用數學工具推衍出相應之流場數學解（mathematical solution）。然而，一個動力問題相應的控制微分方程式往往是非線性（non-linear）的，對此類問題數學解之尋求並非易事。更何況在實際問題中，隨著流場區域邊界幾何或動力條件複雜程度之增加，欲獲取一個精確的流場結果往往有頗高的難度。因此，在古典的解析方法中，常將區域邊界予以簡化以利求解，甚至沿用簡化但對真實流況描述能力較差之控制方程式以獲得流場的結果。在採取此雙重簡化的情況下，雖然達成了問題解析的目的，但是結果的真確度卻可能大打折扣。

隨著近年來電子計算機軟、硬體方面的快速進步，以往在數學解析方面可能遭遇的各種困難，在運用數值解析（numerical analysis）的方法後，多已迎刃而解（此即所謂 CFD 的方法）。值得一提的是，在古典數學解析的方法中，流場結果是以時間與空間函數的數學形式表示出來，其在時空方面之變化均具有連續性；而在數值解析方法中，則為離散化（discretized）數值形態時空分佈的流場結果。

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，而數值模擬在風工程的應用愈趨普遍。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或表面壓力資料，並較經濟地獲致完整之風場資訊，對於分析探討建築鄰近區域之流場可視化有莫大的助益，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，以下針對目前計算風工程領域常見之紊流模型進行說明。

一、紊流模型

在實際的情況中，絕大多數之氣流流動均為紊流之形態。由於紊流中有渦漩(eddy)之存在而具有高度之散漫特性，故較難以掌握。因此在涉及紊流的計算中，都要對紊流模型的類比能力以及計算所需系統資源進行綜合考慮後，再選擇合適的紊流模型進行類比。常見的紊流模型包括：standard $k-\varepsilon$ 模型、RNG $k-\varepsilon$ 模型、Realizable $k-\varepsilon$ 模型、 $k-\omega$ 模型、RSM (Reynolds Stress Model, 雷諾應力模型) 模型和大渦模擬(LES) 等方法，以下針對適用 RANS(Reynolds Averaged Navier-Stokes)的紊流模型以及 LES model 做簡單的介紹：

(1) standard $k-\varepsilon$ model

標準 $k-\varepsilon$ 模型由 Launder 和 Spalding[24] 提出，模型本身具有的穩定性、經濟性和比較高的計算精度使之成為紊流模型中應用範圍最廣、也最為人熟知的一個模型。標準 $k-\varepsilon$ 模型通過求解紊流動能 (k) 方程和紊流耗散率 (ε) 方程，得到 k 和 ε 的解，然後再用 k 和 ε 的值計算紊流粘度，最終通過 Boussinesq 假設得到雷諾應力的解。雖然得到了最廣泛的使用，但因為標準 $k-\varepsilon$ 模型假定紊流為同向性(isotropic)的均勻紊流，所以在旋流 (swirl flow) 等非均勻紊流問題的計算中存在較大誤差。

(2) RNG $k-\varepsilon$ model

RNG $k-\varepsilon$ 模型[46]在形式上類似於標準 $k-\varepsilon$ 模型，但是在計算功能上

強於標準 $k-\varepsilon$ 模型，其改進措施主要有：①在 ε 方程中增加了一個附加項，使得在計算速度梯度較大的流場時精度更高；②模型中考慮了旋轉效應，因此對強旋轉流動計算精度也得到提升；③模型中包含了計算紊流 Prandtl 數的解析公式，而不像標準 $k-\varepsilon$ 模型僅用使用者定義的常數。④標準 $k-\varepsilon$ 模型是一個高雷諾數模型，而 RNG $k-\varepsilon$ 模型在對近壁區進行適當處理後可以計算低雷諾數效應。

(3) realizable $k-\varepsilon$ model

本模式由 Shih et al. (1995)所提出，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。

(4) $k-\omega$ model

$k-\omega$ 模型[42]也是二方程模型。標準 $k-\omega$ 模型中包含了低雷諾數影響、可壓縮性影響和剪力流擴散，因此適用於尾跡流動計算、混合層計算、射流計算，以及受到壁面限制的流動計算和自由剪切流計算。

剪應力傳輸 $k-\omega$ 模型，簡稱 SST $k-\omega$ 模型，綜合了 $k-\omega$ 模型在近壁區計算的優點和 $k-\varepsilon$ 模型在遠場計算的優點，將 $k-\omega$ 模型和標準 $k-\varepsilon$ 都乘以一個混合函數後再相加就得到這個模型。在近壁區，混合函數的值等於 1，因此在近壁區等價於 $k-\omega$ 模型。

在遠離壁面的區域混合函數的值則等於 0，因此自動轉換為標準 $k-\varepsilon$ 模型。與標準 $k-\omega$ 模型相比，SST $k-\omega$ 模型中增加了橫向消散導數項，同時在紊流黏度定義中考慮了紊流剪切應力的輸運過程，模型中使用的紊流常數也有所不同。這些特點使得 SST $k-\omega$ 模型的適用範圍更廣，比如可以用於具有逆壓梯度的流動計算。

(5) RSM model

雷諾應力模型[23]中沒有採用渦粘度的同向性假設，因此從理論上說比紊流模式理論要精確得多。雷諾應力模型不採用 Boussinesq 假設，而是直

接求解 RANS 方程中的雷諾應力項，同時求解耗散率方程，因此在二維問題中需要求解 5 個附加方程式，在三維問題中則需要求解 7 個附加方程式。

從理論上說，雷諾應力模型應該比一方程模型和二方程模型的計算精度更高，但實際上雷諾應力模型的精度受限於模型的封閉形式，因此雷諾應力模型在實際應用中並沒有在所有的流動問題中都體現出其優勢。

(6) LES model

大渦模擬[38]主要概念為，直接對大尺度渦旋進行解析，而對小尺度渦旋採用紊流模型模擬。因此，就解析比例而言，大渦模擬介於直接數值模擬(direct numerical simulation, DNS)和 RANS 之間。與 DNS 中相比，僅解決大尺度渦流可以讓 LES 中使用更粗的網格和更大的時間步。但是 LES 仍然需要比 RANS 計算的網格更精細的網格。此外，LES 必須運行足夠長的時間才能獲得所模擬對象之穩定統計數據。在記憶體 (RAM) 和 CPU 時間方面，LES 所涉及的計算成本通常比穩態 RANS 計算要高幾個量級。因此，對於 LES，特別是對於工業應用必須使用到高性能計算（如並行計算）設備。

二、壁面函數(wall function)

在受壁面限制的流動中，因為壁面附近流場變數的梯度較大，所以壁面對紊流計算的影響很大。紊流模型中假定紊流是同向性的，因此在壁面附近需要進行特殊處理。處理的一種辦法是用半經驗公式將自由流中的紊流與壁面附近的流動連接起來，這種方法被稱為壁面函數法。另一種方法是通過在壁面附近加密網格，同時調整紊流模型以包含壁面影響的方法，被稱為近壁模型(near wall model)法。

壁面函數法中又有標準壁面函數法(standard wall function)和非平衡壁面函數法(non-equilibrium wall function)。一般來說，標準壁面函數可以適用於大多數流動問題。而非平衡壁面函數法則適用於流場函數在壁面附近存在很大梯度的流動問題。

由於本研究之研究區幅員遼闊，在考慮建築尺度解析後，計算網格數

量可能高達近億，故在紊流模型部分擬採用基於時間平均之 realizable k- ϵ model，以期能在計畫期間內完成模擬。本模式在先前的行人風環境研究中 [72]，與風洞實驗比對後獲得不錯的結果，應可用於建立風速地圖。

第三節 大氣邊界層

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，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。

一、平均風速剖面

一般常用於規範中的大氣邊界層風速剖面有 2 個主要定律，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勻分佈之地形上的平均風速剖面，以指數律表示：

$$\frac{U(Z)}{U_{\delta}} = \left(\frac{Z}{\delta} \right)^{\alpha} \quad (2-3)$$

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)

在大氣邊界層中，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：

$$Z_l = b \frac{u_*}{f} \quad (2-4)$$

其中， Z_l 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。在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：

$$\frac{U(z)}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln\left(\frac{z+z_d}{z_0}\right) \quad (2-5)$$

其中， κ (≈ 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。

第四節 TCCIP 資料

觀測資料於研究中扮演重要的角色，然臺灣地形複雜，山區則相對缺乏且觀測時間長度較不足，且測站由於儀器故障或更換所導致的缺值，也會影響該測站的觀測資料，因此在部分地區難以呈現實際且較長時間的氣象資訊。為解決上述問題，開始出現使用區域氣象模式針對特定的區域進行動力降尺度，產製網格化資料的方法作為替代方案。全球尺度的大氣環流模式雖能較完整的模擬整體地球的狀態，但提供的資料解析度也較低(200~300 公里)，整個臺灣僅有 2~3 筆資料。

「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫」(Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform; TCCIP) 透過降尺度的方法來提升資料的解析度，提供國內相關研究單位更精細的資料。模擬使用 WRF 氣象模式，針對歐洲中期天氣預報中心所產製的 ERA5 重分析資料進行動力降尺度，產製一組臺灣地區長時間高解析度歷史氣候

資料，期能彌補測站分布不均的問題以及提供更多樣化的氣象變數，並將其命名為「臺灣歷史氣候重建資料」(TReAD)。

TReAD 的模擬流程配合 ERA5 資料之時間間隔，每 6 小時啟動一組新的模擬，並將模擬結果混合兩者，結合重分析場的大尺度特徵，並保留模式解析出的小尺度結果。為減緩模擬初期的雜訊及不平衡問題，將模擬進行濾波並將每次模擬的前 6 小時作為模式起轉時間，結果僅採用第 7 到 12 小時之結果。重複上述步驟，串結成一組連續的資料即得到 2 公里網格資料。

第五節 都市通風地圖

城市氣候圖研究最早於 20 世紀 70 年代從德國斯圖加特正式開展起來，後逐步擴展到德國及其他國家和地區的不同城市。城市氣候圖研究最初的目標是為了緩解弱風條件下的大氣污染問題，早期的研究手段包括拍攝熱成像圖、氣象站觀測及移動現場測量等，綜合地形地貌、航照地圖、土地利用規劃資訊等要素，繪製成氣候分析圖，區分當地的空氣品質和熱環境狀況，指導土地利用規劃和環境規劃。1992 年起，斯圖加特城市氣候研究所開始利用地理資訊系統(GIS)繪製不同尺度的城市氣候圖，內容也從城市氣候的各類分析圖拓展到氣候規劃建議圖。城市氣候圖通過 GIS 系統將城市風環境、熱環境、污染狀況的實測或類比資料圖與地形地貌、綠地植被、規劃資訊等相疊加，用分析圖表達風流動的模式和阻礙風的建築物等內容。城市氣候規劃建議圖則給出城市熱環境、通風的規劃保護、改善的策略建議[31; 50]。

由都市氣候學的觀點來看[32]，都市的微氣候可以分為 3 個尺度來進行觀察，如圖 2-5 由(a)至(c)，分別為中尺度(Mesoscale)、局部尺度(Local Scale)以及微尺度(Mircoscale)。都市通風的分析主要著重在中尺度以及局部尺度之間[14]，而都市內要污染物多產生於都市邊界層(Urban Boundary Layer；UBL)中，其範圍為城市建築屋頂高到積雨雲的中間。都市邊界層不僅控制著主要污染物在都市內的傳輸、累積以及消散外，同時影響整個都市的空

間佈局。因此大部分研究在這個尺度上，對於風環境、通風潛力、熱島強度進行綜合評估[13]。都市披覆層(Urban Canopy Layer; UCL)約在建築平均屋頂高度附近，在此層中氣流沿著街道達到疏通的效果，一些研究[34]也利用風洞實驗的方式來了解氣流於街道內的走勢。

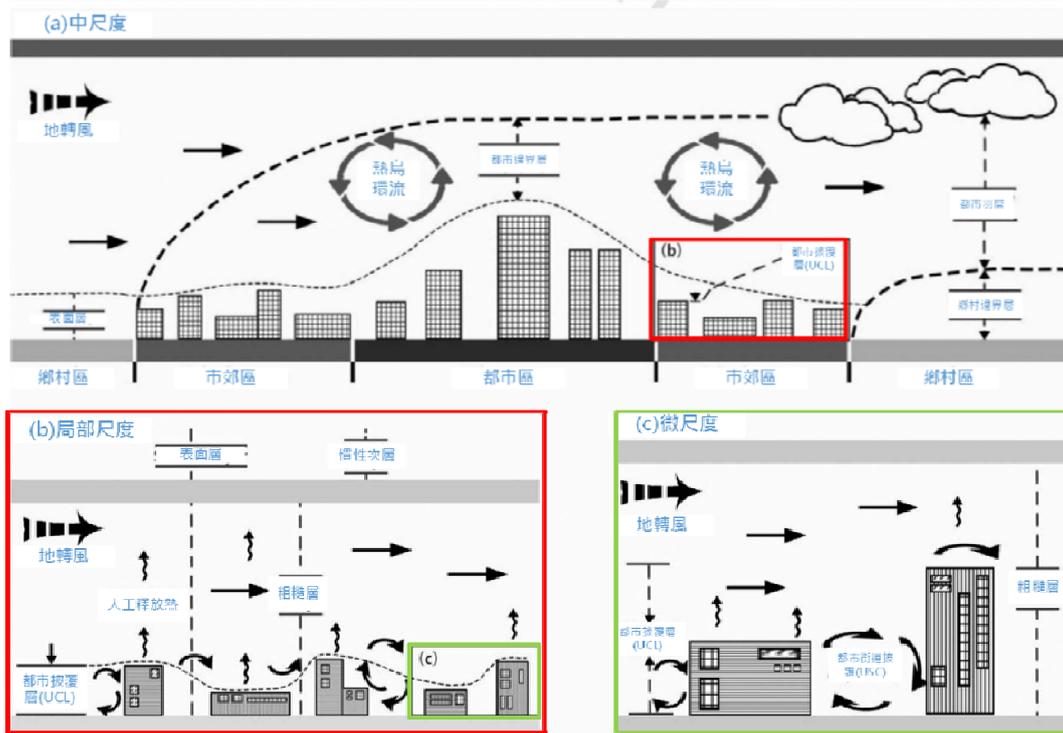


圖 2- 5 不同尺度下的都市氣候

資料來源：[32]

一、都市紋理

前述都市邊界層可以用基本的對數率公式來表示， z_d 與 z_0 分別為零風面位移(zero-plane displacement)與粗糙長度(roughness length)(如公式 2-5)，這 2 個參數主要受到地表地形的型態所影響。其中粗糙長度與地表突出物的平均高度有關，地表越粗糙。零風面位移代表近地表處，風速受到地表突出物的局部效應的影響，可能有風速等於零或小於零(迴流)的現象發生，因此必須將風速起算的高度提高[55]。

目前在都市風廊分析上，常用都市型態測定法來決定以上 2 個參數，主要從都市建築分布型態分析而得，其由多個建築幾何參數所控制，分別為地塊(block)中的地表面積(A_T)、迎風面投影面積(A_F)以及建築平面面積(A_p)，相應幾何參數示意如圖 2-6。由前述定義我們可以進一步定義出迎風面面積指數(frontal area index, λ_f)與平面面積指數(Plane Area Index, λ_p)，分別為：

$$\lambda_p = \frac{A_p}{A_T}; \lambda_f = \frac{A_F}{A_T} \quad (2-6)$$

其中， λ_p 代表的是建築平面面積總和與地塊面積的比值，也就是我們俗稱的建蔽率。Ren et al. (2018)在 λ_f 計算上會採用垂直於風向未被遮蔽的建築面積總和，並以不同風向的投影面積乘上風速發生機率之權重累加後計算。而 λ_f 有阻擋風的比例意涵。目前國際上研究都市型態測定法(morphometric method) 建立 z_d 與 z_0 ，主要有常見的簡易經驗法則公式如後：

$$z_d = f_d \overline{Z}_h \quad (2-7)$$

$$z_0 = f_0 \overline{Z}_h \quad (2-8)$$

其中 Grimmond and Oke (1999)透過風洞實驗建議阻力參數 $f_d=0.7$ ， $f_0=0.1$ 。另 Kondo and Yamazawa (1986)亦採用 \overline{Z}_h 與 λ_p 組合的概念，加上植栽覆蓋佔比以及空地及道路佔比來定義 z_0 經驗公式，國內部份研究有侯凱山 (2019)，實務應用如台北市、台中市等曾採用此公式來指認都市風廊或地表風的流通狀況。

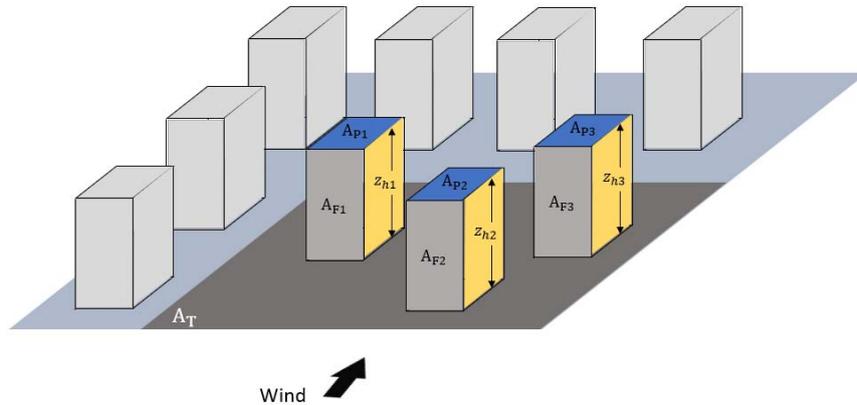


圖 2- 6 都市建築幾何型態指標示意圖

資料來源：本研究繪製

二、風廊分析應用

以迎風面積密度(或指數)加上最小成本路徑法(least cost path, LCP)的通風廊道分析方法其原理為，將都市平面空間轉化為格點，接著計算各格點在特定風向之投影面積。由於分析簡易，結合遙測資料可初步估算都市熱島 (urban heat island, UHI)效應之影響，同樣也被應用於波蘭[39]及中國大陸[5; 9; 47; 48]等多個城市被納入分析研究風廊之方法。在臺灣則有謝俊明等[17]針對台南市進行風廊分析，而林子平等[54]針對台北市區域，利用各級測站的風環境氣象資料，配合衛星影像、數值地表模型、土地利用/土地覆蓋資訊及利用效益分析之方式，了解不同的都市風環境狀況與多種的都市因子如多時段的風速與溫度關聯、不同氣候模式下風環境。

Liu 等[27]提出了一種基於遙測和 GIS 技術的城市尺度通風評估方法。結果發現，城市的通風環境取決於其背景風環境和通風潛力。背景風環境可以通過氣象統計分析或數值模擬來評估，而通風潛力可以使用地表面動態粗糙度高度和周圍天空視野因子 (SVF) 來估計。

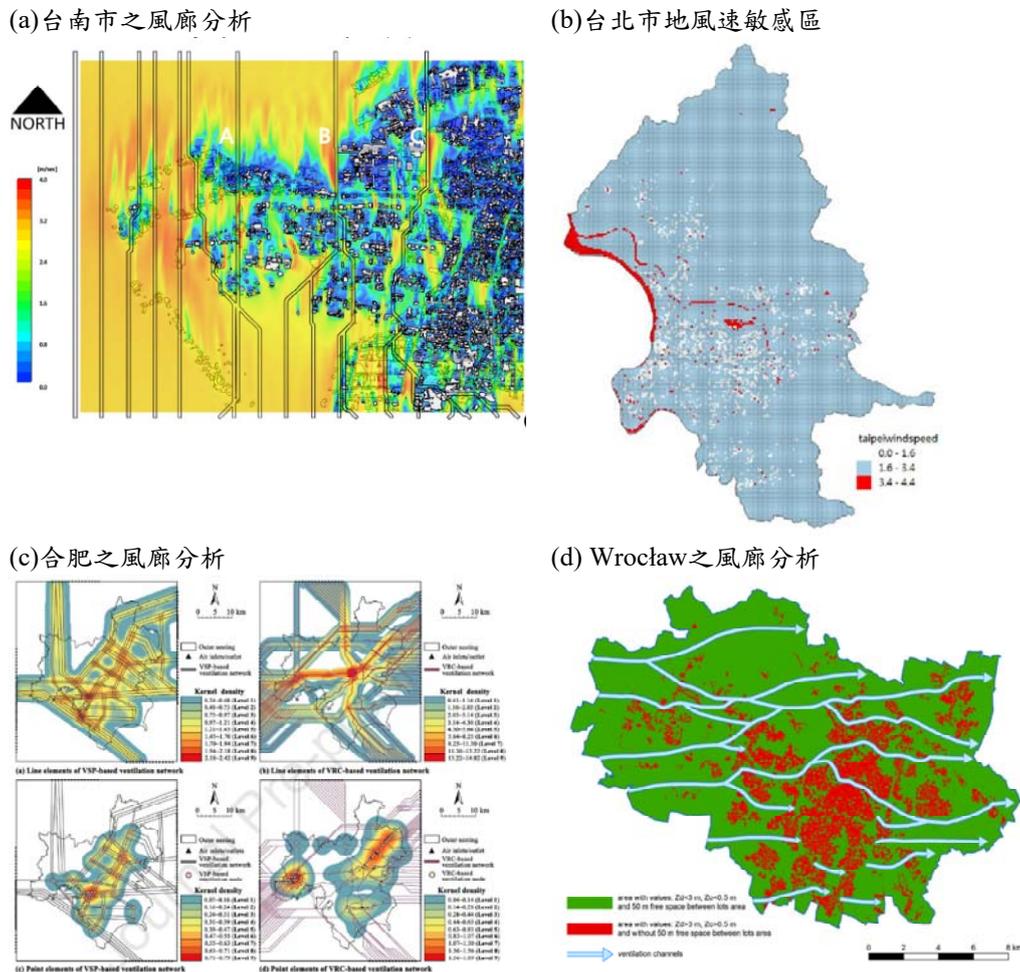


圖 2- 7 以 FAI 或地表粗糙度法評估風廊之案例

資料來源：[17; 61]

Zhan 等[36]研究整合和修改了氣候分區、地表熱反演以及氣象和流體動力學模擬中的不同方法和數據，以應用於城市風廊規劃的架構(圖 2- 8)。研究重點考慮了規模適應性和實施可行性，使規劃實踐的不同階段能夠相應地反應城市通風的要求。雖然本研究採用遙測、GIS、氣象模型綜合量化分析進行分析評估，但風廊的劃定和政策制定、建築群的最佳化仍受主觀決策的影響。

Chang 等[3] 表示 CFD 在精細評估風環境方面具有優勢，而地理資訊系統在空間分析方面有出色的表現，並提出在城市範圍內建立通風廊道，

以緩解城市熱島效應，並加速空氣污染的擴散。以 CFD 模擬提供了不同高度的風速和風向的詳細時空特徵。這些模擬對確定潛在的通風走廊非常有用。一般來說，30m 高度的風速和風向特徵清楚地表明瞭潛在的通風廊道，需要改善的區域都位於潛在的通風走廊的路徑上。主要的道路、綠地和水體都有如有良好的連線性，將直接影響不良的城市熱環境，並提高空氣的流動性。

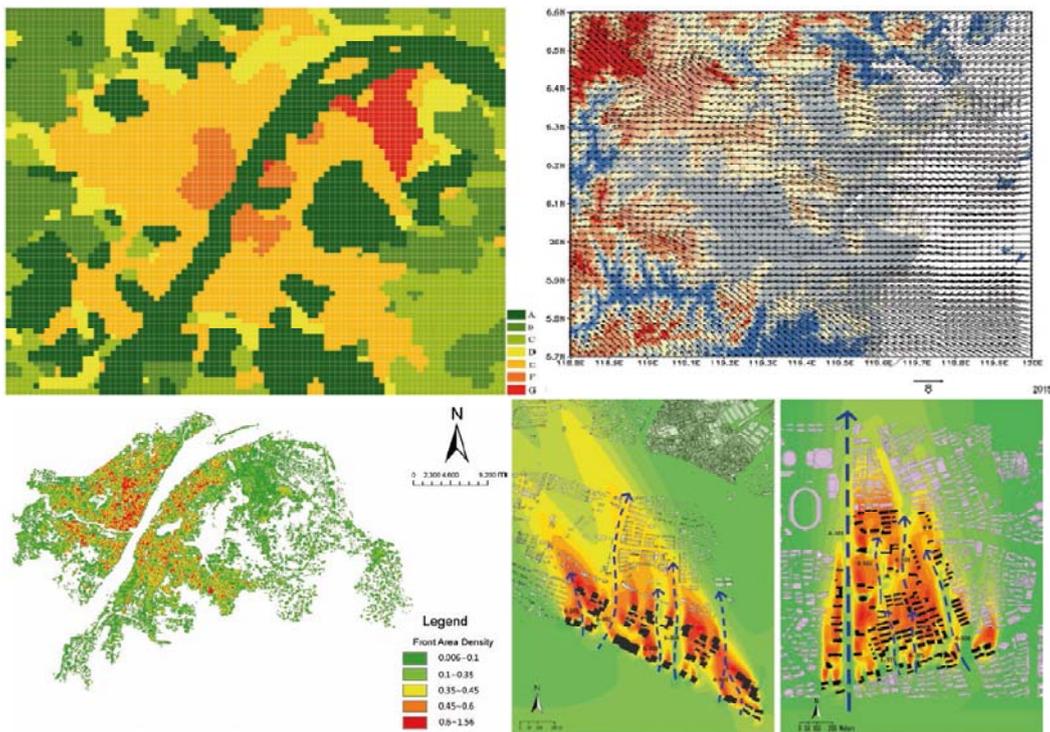


圖 2- 8 以氣候分區、WRF、FAD、CFD 綜合進行通風潛勢評估結果

資料來源：[36]

城市規劃者通常透過與氣候學家合作進行中尺度分析或與 CFD 模擬合作進行微尺度分析來確定都市熱島和微氣候的主要原因為，作為整個城市的分析工具，中尺度方法學的計算單元的水準解析度通常在 500 至 1000 公尺之間[26; 33; 41]。在微觀尺度方法方面，其網格大小通常小於幾公尺，目前多用於建築和社區設計的應用[16; 18; 40]。然而，覆蓋面積超過幾十平方公里的詳細規劃方案是非常普遍的，使用上述兩種方法都不容易適用於具

有如此規模的重點地區。另有學者提出了形態測量方法，供規劃者自己確定城市通風廊道[11; 39; 43]。除了整個城市可以在 GIS 環境下通過各種空間分析技術進行強化的優勢外，亦能夠對探討改善通風和熱島效應的方法以應用於詳細的城市規劃方案中。

Wong 等[44]通過高精度之迎風面積密度 (Frontal Area Density, FAD) 地圖評估城市粗糙度，來發掘香港高密度城市地塊的通風潛力，並評估了可視天空係數的合理閾值。該成果成功應用到香港《城市空氣流通評估指南》中，直接指導了香港的城市規劃實踐。香港房屋及規劃地政局協同環境運輸及工務局進一步使用 AVA (air ventilation assessment) 評估機制，鼓勵半政府或私人機構開發案件自發採用。此方法建議，除了考慮城市空氣流通環境，亦應較全面地檢視香港的都市氣候環境，從而在整體及地區層面上作出更佳的規劃決定。在最高開發強度的案件下必須使用風洞進行風環境評估，而在中高強度的開發條件下則必須使用氣候模擬模式之計算流體力學 (CFD) 進行風環境評估，在一般開發下則須進行基地周遭之風環境整體分析[31; 49; 50; 51]。

綜合國內外研究成果所述，在都市分析區域風廊時需分階段須充分了解區域的風速、溫度、濕度等物理資訊外，另須對於建築使用分區、量體分布，以及人類大量活動的區域範圍進行分析。而在分析風廊時，主要採行 3 種主要方式，以下針對其方式以及優缺點進行說明：

- (1) 局部區域季風特性：使用氣象站資料或中尺度大氣模擬系統如 MM5、WRF，可代表區域的上空風速及風向，無法反映近地表小尺度風況甚至地形地物對風廊影響。
- (2) 都市紋理：透過都市建築以及地形地貌紋理得到投影面積或是地表粗糙度，以最小成本方式決定風的路徑，雖然簡便但不具有物理意義，需要適當修正。
- (3) CFD 模擬：多用來針對局部區域的通風以及舒適性進行評估及尋求改善對策，可以採用更大規模的 CFD 模擬來評估風廊策略，惟其計算量以及前置作業成本較高。

第三章 研究方法

本研究以大台北都會區為研究區(如圖 3- 1)，進行城市通風地圖建置。為建立都市風廊規畫分析用之工具，本計畫擬規劃「臺灣都市通風地圖」(TUVN)之系統圖層架構(圖 3- 2)，以及發展系統雛形。本系統包含以下部分：

- (1) 氣象站風速風向資料及韋伯函數；
- (2) 都市通風地圖之主次要風廊；
- (3) 行政區網格化盛行風風速(通風分區)；
- (4) 熱島強度圖層。

以大台北盆地都會地區為基本圖資範例，將上述圖層資訊以 QGIS 彙整後使用 qgis2web 匯出成可查詢網頁，依分區發布於網站提供查詢，並撰寫使用手冊提供應用案例說明，以下針對所使用的技術以及資料整合進行說明。



圖 3- 1 大台北盆地都會區

資料來源：本研究繪製

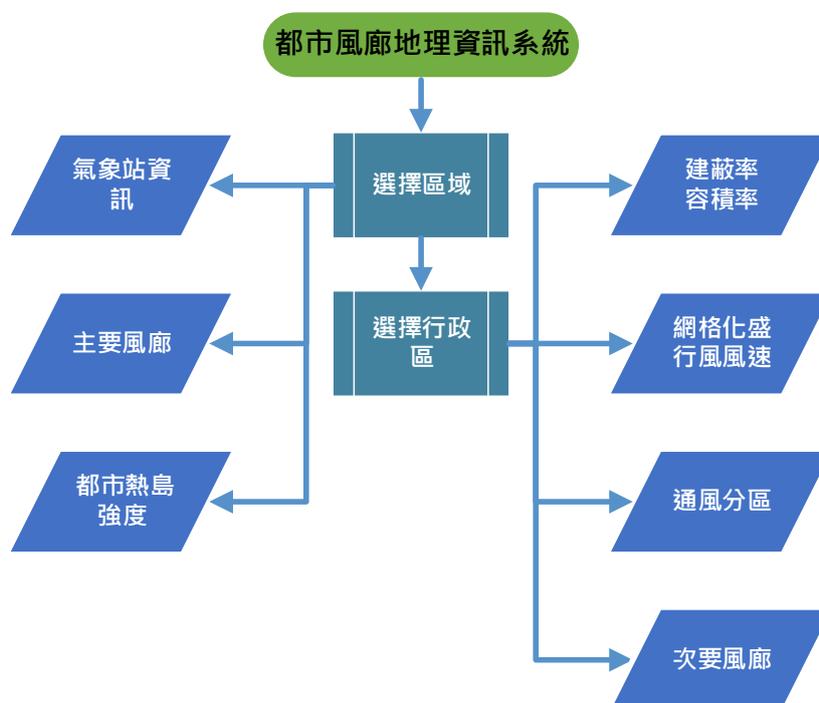


圖 3- 2 都市風廊地理資訊系統架構

資料來源：本研究繪製

第一節 CFD 模擬

本計畫之數值模擬方法採用開源(open source)之泛用型計算流體力學軟體 OpenFOAM (Open Source Field Operation and Manipulation)[10]，可分析的問題包括層流、紊流、可壓縮流、不可壓縮流、自然對流流場、強制對流流場、靜態或動態流場等。而其統御方程式除了基本的連續方程式、動量方程式、能量方程式、濃度方程式等，對於上述問題有多種相應之數學模型可進行耦合解析。受益於物件導向的程式設計和運算子多載，使用者可以相對容易地建立自己的求解器。此外，OpenFOAM 具有很好的可延伸性，使用者在建立客製化的物體或物件（例如邊界條件或紊流模型）時，無需修改或是重新編譯軟體包，便可在已有的求解器上工作。同時，

OpenFOAM 具有相當強大的平行運算效能，在 128 核心以內的分散計算，仍呈現良好的線性加速效果。

一、基本控制方程式

本研究採用 OpenFOAM 之 simpleFoam 求解器乃基於有限體積法 (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)。

有限體積法可將非線性偏微分方程轉變為網格單元上的線性代數方程，然後通過求解線性方程組得出流場的解。網格劃分可以將連續的空間劃分為相互連接的網格單元。每個網格單元由位於幾何中心的控制點和將網格單元包圍起來的網格面或線構成，以求解流場控制方程，最後獲得所有控制點上流場變數的值。

二、紊流模型

在紊流模型部分擬採用 relizable k- ϵ model[37]，為目前計算機能量可實現之高可靠度紊流模型，提供可信之模擬結果以作為風速地圖修正之資料來源。

若將速度與壓力分別以一個均值 (mean) 和一個擾動量 (fluctuation) 的和表示：

$$\bar{u} = \bar{u} + u'; \quad \bar{v} = \bar{v} + v'; \quad \bar{w} = \bar{w} + w'; \quad \bar{p} = \bar{p} + p' \quad (3-4)$$

繼而代入(3-2)式至(3-3)式，將方程式作時間平均，而基於雷諾平均原則 (Reynolds averaging principle) 可得如後之為指標(index notation)型式之方程式：

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (3-5)$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \overline{u'_i u'_j} \right) + f_j \quad (3-6)$$

依據 Boussinesq 渦旋-黏滯度假說 (eddy-viscosity hypothesis)，(3-6) 式中的紊流應力 (Reynolds stress) 項可表示為：

$$-\overline{u'_i u'_j} = \nu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (3-7)$$

其中， ν_t 為渦旋或紊流黏滯度 (eddy/turbulent viscosity)； $k (= \overline{u'^2 + v'^2 + w'^2} / 2)$ 為紊流動能 (turbulent kinetic energy)， δ_{ij} 為 Kronecker delta 函數。

在 k- ϵ model 中，渦度黏滯度 (eddy viscosity) 可由以下公式求得：

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (3-8)$$

而典型紊流傳輸方程-紊流動能和紊流耗散率表示如後：

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (3-9)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \epsilon u_j) = \\ \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\epsilon - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{v\epsilon}} + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} C_{3\epsilon} G_b + S_\epsilon \end{aligned} \quad (3-10)$$

其中等號右邊分別表示生成項 (production term)、消散項 (dissipation term) 和壁面項 (wall term)。各項常數分別為 $C_\mu = 0.09$ ； $C_{\epsilon 1} = 1.45$ ； $C_{\epsilon 2} =$

1.92; $\sigma_k = 1.0$; $\sigma_\epsilon = 1.3$; $Pr_t = 0.9$ 。

本研究紊流模型採用 Realizable k- ϵ model，與 standard k- ϵ model 和 RNG k- ϵ model 不同的地方在於 C_μ 不再是常數，為平均剪應率的函數，採用以下公式進行計算：

$$C_\mu = \frac{1}{A_0 + A_s \frac{kU^*}{\epsilon}} \quad (3-11)$$

其中

$$\begin{aligned} U^* &= \sqrt{S_{ij}S_{ij} + \tilde{\Omega}_{ij}\tilde{\Omega}_{ij}} \\ \tilde{\Omega}_{ij} &= \Omega_{ij} - 2\epsilon_{ijk}\omega_k \\ \Omega_{ij} &= \overline{\Omega_{ij}} - \epsilon_{ijk}\omega_k \end{aligned} \quad (3-12)$$

$\overline{\Omega_{ij}}$ 為以角速度 ω_k 旋轉的旋轉坐標系中得到的平均旋轉張量(rotation tensor)，而模式常數 A_0 和 A_s 定義如後：

$$A_0 = 4.04, A_s = \sqrt{6} \cos \phi \quad (3-13)$$

第二節 資料蒐集

本研究採用的都市建築 3D 模型分為新北市以及台北市 2 大部分，資料分別由內政部國土測繪中心以及台北市政府所提供。此部分資料除了在 QGIS 中利用演算法計算地表粗糙高度、位移厚度、可視角度等風廊辨識資訊外，另經簡化轉檔後提供 CFD 模擬建置網格使用。

而在氣象資料部分，中央氣象局氣象站數據的蒐集與前期研究[63; 65]相同，針對 2010-2020 年間研究區內 18 個測站進行風速及溫度分析。為完善呈現研究區域內都市熱島以及風場特性，另納入 TCCIP 的資料做交叉比對應用。以下針對各項數據內容進行簡要說明。

一、都市建築資料

本研究採用之新北市區域建築量體模型源自於內政部國土測繪中心，其 3D 國家底圖以臺灣通用電子地圖為基礎，以既有 2D 國家底圖升級為 3D，

有別於 2D 圖資將真實世界的地物及地貌投影至平面，3D 圖資是呈現真實世界多元的內容及複雜的空間關係，在考量產製全國圖資之作業時效、經費、可行性、成果展示視覺效果及應用分析可行性等因素，建置符合 OGC CityGML 建物細緻度等級(Level of Detail, LOD)LOD1 三維建物模型(如圖 3- 3)。研究區之建築模型高達數萬棟，以傳統方式自行建置將耗費大量時間成本，以此模型建置 CFD 所需網格(如圖 3- 4)可大幅降低前置作業時間。

而台北市的數值地形圖資由台北市政府自行建置管理，故其資料格式以及資料庫欄位與國土測繪中心資料大為不同，需要分開處理。國土測繪中心的資料即是建築模型資料，分別為一小塊(4-8 棟)的建築組為單位作為檔案的呈現。以中和區為例，其共有 1904 個模型檔案，將全數合併才可組合成一個完整中和區的建築模型；台北市提供的數值模型則主要為 shp 檔，是以建築種類進行分類(如:建築中房屋、已完成建築)，可依個人需求選擇需要用的物件檔案，如本次計畫中需現有建築之建築模型，只需開起一個 shp 檔便能呈現完整的台北市建築資訊。



圖 3- 3 LOD1 至 LOD4 之概念圖

資料來源：[60]



圖 3- 4 研究區建築模型

資料來源：本研究整理

二、TCCIP 資料

本研究向 TCCIP 蒐集所產製之 WRF 模擬歷史資料，資料分布區域位於臺灣北部地區(圖 3- 5)，共 1911 個測點，每個測點間距為 2 公里。模擬資料為每小時一筆，紀錄年分為 2011-2020 年共 10 年的資料。紀錄資料包含風速、風向、溫度、濕度以及地表輻射，完整數據說明如表 3- 1 所示。原始數據各測點按經緯度、時間、物理變數以 CSV 檔紀錄，本團隊利用 Matlab 撰寫程式分析每個測點的統計結果後，按經緯度座標匯入 QGIS 呈現圖層(圖 3- 6)。

表 3-1 TCCIP 資料說明

範圍	臺灣北部地區
格點數量	1911
格點間距	2 km
取樣時間	每小時一筆
紀錄年分	2011-2020年
資料內容	1. 10公尺高風速 (m/s) 2. 10公尺高風向 3. 2公尺高溫度 (°C) 4. 2公尺高相對濕度 (%) 5. 地表輻射 (W/m ² /hour)

資料來源：本研究整理

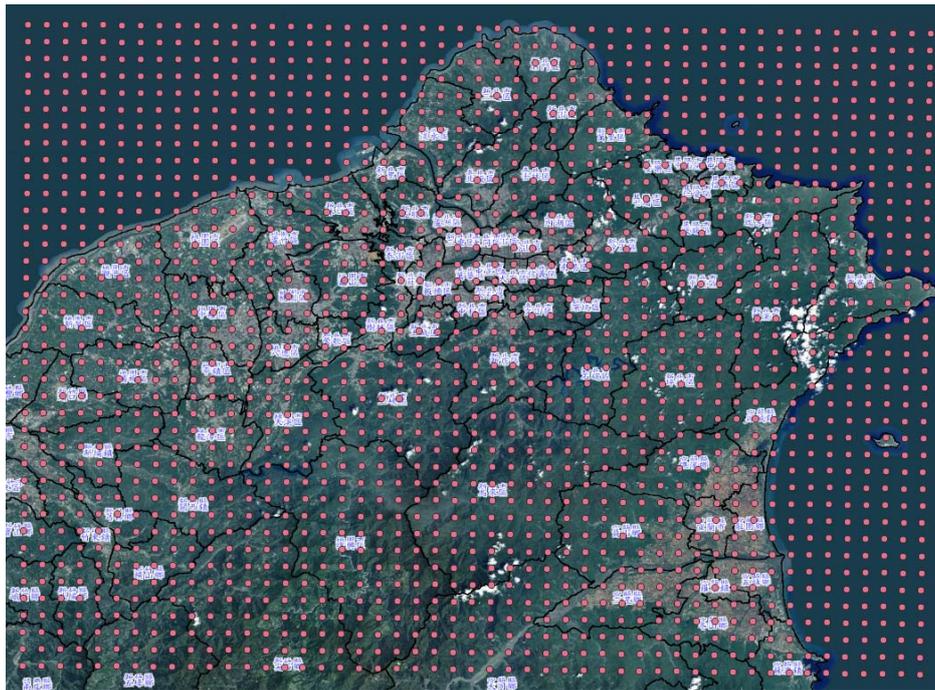


圖 3- 5 TCCIP 數據資料分布

資料來源：本研究整理

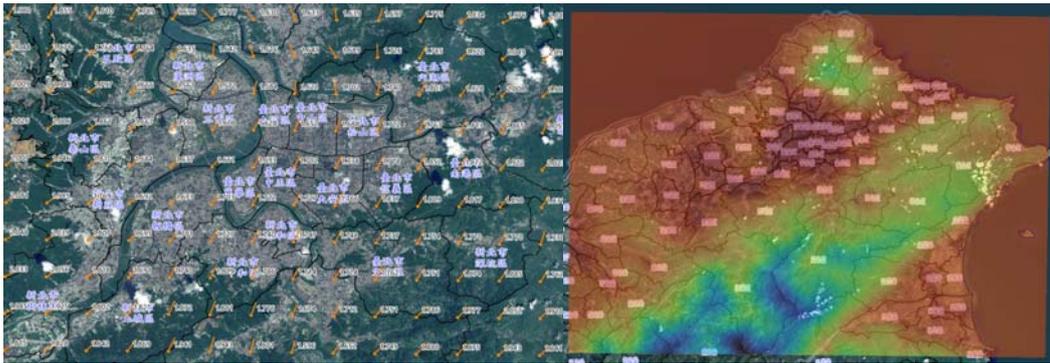


圖 3- 6 風速與溫度統計分析與 QGIS 結合

資料來源：本研究整理

第三節 建築資訊模型處理

在選定的研究區中，除了地形高低起伏外，最主要影響流場特性便是建築群的建置，中間牽扯到成千上萬棟建築資料，如照傳統的 2D 數值圖檔來建立模型，恐難以在短時間內完成。為求快速建置 CFD 模擬所需之建築模型，本研究應用內政部國土測繪中心所建立之「多維度國家空間資訊服務平臺」提供之圖資以及台北市政府都發局管理之，建立相應之轉換技術。

內政部國土測繪中心及台北市政府之圖資可參考其網站說明申請[68]，蒐集到的 3D 圖資為貼附近似化建物紋理材質之三維建物模型(LOD1)，乃利用臺灣通用電子地圖建物區塊及 1/1,000 地形圖建物圖層等既有 2D 建物框，搭配光達 DTM 及 1/1000 地形圖樓層註記等資訊，賦予建物樓高，並輔以屋頂正射影像及建物外牆紋理資料庫，自動化建置之成果。圖資原始檔僅供數位地圖、GIS 等軟體辨識及應用，透過國土測繪中心取得之三維 LOD1 建築圖資，本資料當時開發的主要目標為 3D 數位城市的檢視，著重於視覺化的呈現。需要利用 QGIS 轉換成 shp 檔，並予以修復成 2D 閉合圖框後才能進行後續分析。而在 CFD 模擬時也是採用同一組建築群測繪數據，當經過轉換成三維 CAE 模型時，可能會有破碎面或幾何非流行(Manifold)的狀況。另還有當建築間極為接近或建築輪廓有過於細小的細節，反而增加劃分網格的困難。Ricci 等[35]提出 CFD 使用簡化模型在模擬建築後方尾

流區紊流動能會有低估的狀況，但對於基礎風環境以及大氣邊界層型態影響並不大。

本研究團隊改良前期研究之簡化程序[65]，讓簡化模型更貼近原始之 3D 模型，且細節控制能夠由使用者決定簡化程度後，完成自動建立完成轉換程序，以 python 程式開發建築簡化軟體 Building Polygon Simplify Tool(圖 3- 7)。以下為簡要操作說明：

- (1) 利用 QGIS 框選輸出要製作的建築檔輸出為 geojson ；
- (2) 啟動 Building Polygon Simplify Tool，選擇需要簡化的 geojson 檔；
- (3) 選擇建築高度來源；
- (4) 調整簡化細節保留程度後輸出 shp 檔；
- (5) 在 blender 中進行簡單填補拉伸，輸出成 obj 或 stl 檔。

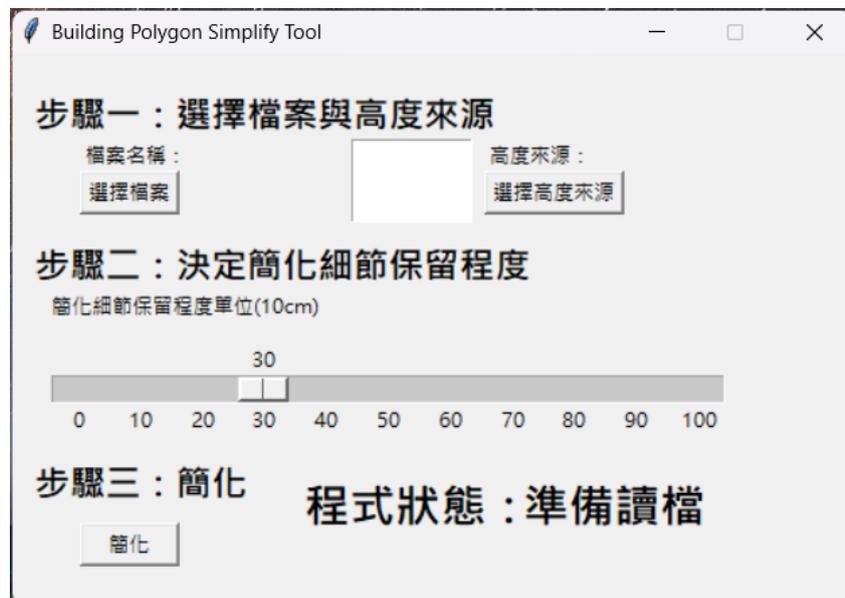


圖 3- 7 模型簡化程式 Building Polygon Simplify Tool 介面

資料來源：本研究製作

第四節 QGIS 地理資訊系統

QGIS 由 Gary Sherman 於 2002 年開始開發，並於 2004 年成為開源地理空間基金會的一個孵化專案。QGIS 以 C++ 寫成，它的 GUI 使用了 Qt 庫，QGIS 允許整合使用 C++ 或 Python 寫成的外掛程式。除了 Qt 之外，QGIS 需要的依賴還包括 GEOS 和 SQLite，QGIS 原始碼採用 GNU General Public License 協定對外發布。本計畫採用 QGIS 3.16.15 版本進行相關地圖開發。

地圖資料使用內政部國土測繪中心整合應用之臺灣通用電子地圖、國土利用現況調查成果圖、基本地形圖、地籍圖等核心、基礎圖資，以 WMS 形式匯入「國土測繪圖資服務雲」 (<https://maps.nlsc.gov.tw>) 提供之圖資服務進行介接運用[53]至 QGIS，如圖 3-8 所示。值得一提的是，國土測繪中心提供的界接服務僅提供檢視，並無法進一步處理分析。

透過 shp file 的地理空間對應，呈現或計算相關指標於 QGIS 中。另可整合氣象站溫溼度統計結果、風場模擬結果、衛星遙測之地表溫度等資訊至 QGIS 作為平台，細部檢視各項資訊對於都市通風、熱島效應的影響，以及呈現各項分析數據做為決策判斷之依據。最後可將地圖圖層資料格點化後，利用 qgis2web 發布為網頁檔納入 TUVVM 系統平台。

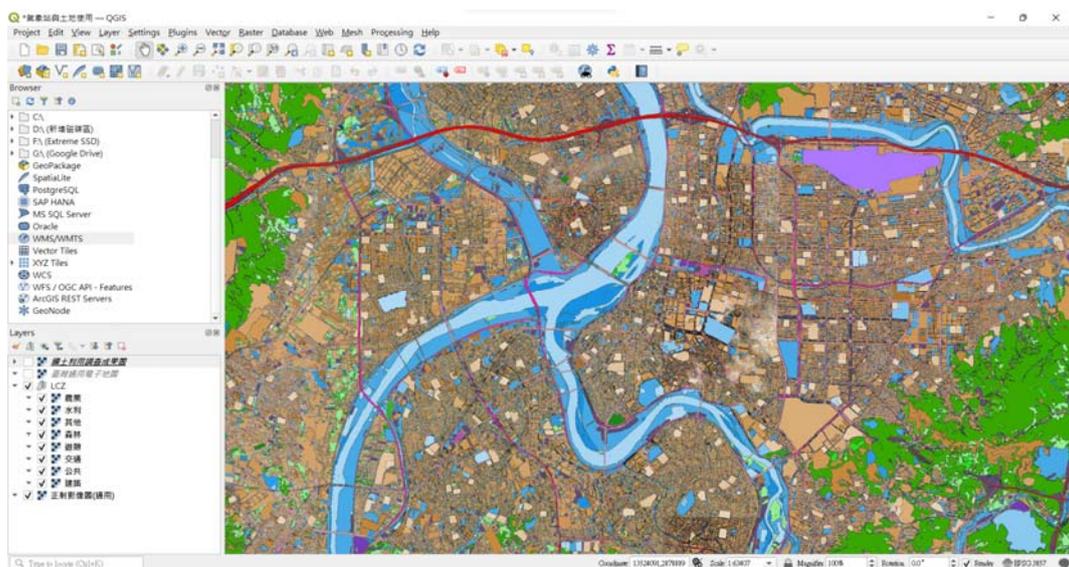


圖 3-8 國土測繪中心介接 WMS 匯入圖資至 QGIS

資料來源：本研究製作

推動建置都市風廊之地理資訊系統開發

第四章 地圖資訊

為建立「臺灣都市通風地圖」系統平台(TUVM)的基礎架構，本計畫針對北部人口、建築稠密區之大台北盆地為研究區，產製都市通風相關資訊並展示於本平台，其分析範圍如後(如圖 4-1)：

- (1) 台北市：松山區、信義區、大安區、中山區、中正區、大同區、萬華區、士林區、文山區；
- (2) 新北市：板橋區、三重區、中和區、永和區、新莊區、蘆洲區、泰山區、五股區。

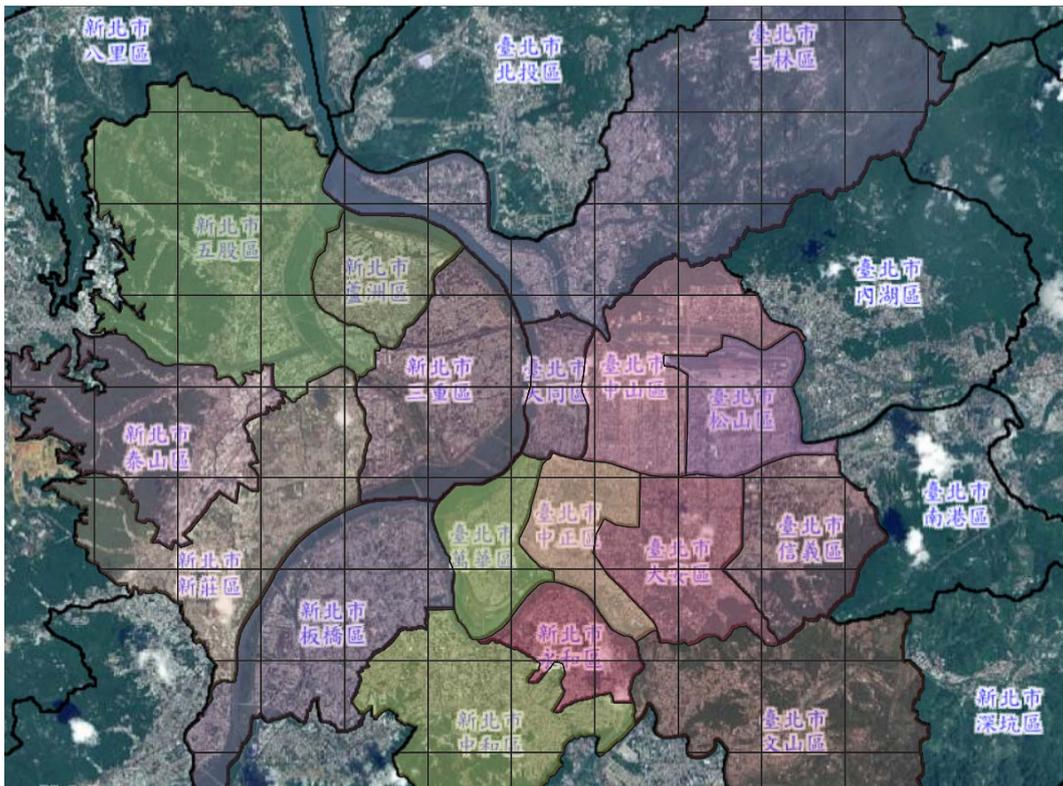


圖 4- 1 地圖資訊分析範圍

資料來源：本研究繪製

分析工作內容包含 TCCIP 資料驗證、區域溫度分析、涼爽空氣園區劃分、區域風場分析、都市紋理與風廊分析等工作，茲介紹如後。

第一節 TCCIP 資料驗證

本計畫後續分析資料會應用到大量 TCCIP 所提供之資料，此部分數據為利用 WRF 所模擬出的降尺度資料，故先針對其產製資料與中央氣象局資要進行比對，確認其資料合理性後再進行後續應用。

驗證工作取用研究區內台北、板橋 2 個氣象站資料來進行，如圖 4- 2 所示，測站位置與 TCCIP 資料節點中心位置約有 200-300 公尺的偏移。另外要提醒的是，TCCIP 的產製數據有以下特性：

- (1) 為 2 公里見方的格點內的空間平均資料；
- (2) 逐時資料為 1 小時內的平均資料。

而中央氣象局的測站資料雖然是逐時紀錄，但記錄的是每小時的前 10 分鐘的平均資料，且為單點位置的物理資訊。以下針對空氣溫度以及風速逐時資料比對進行分項說明。

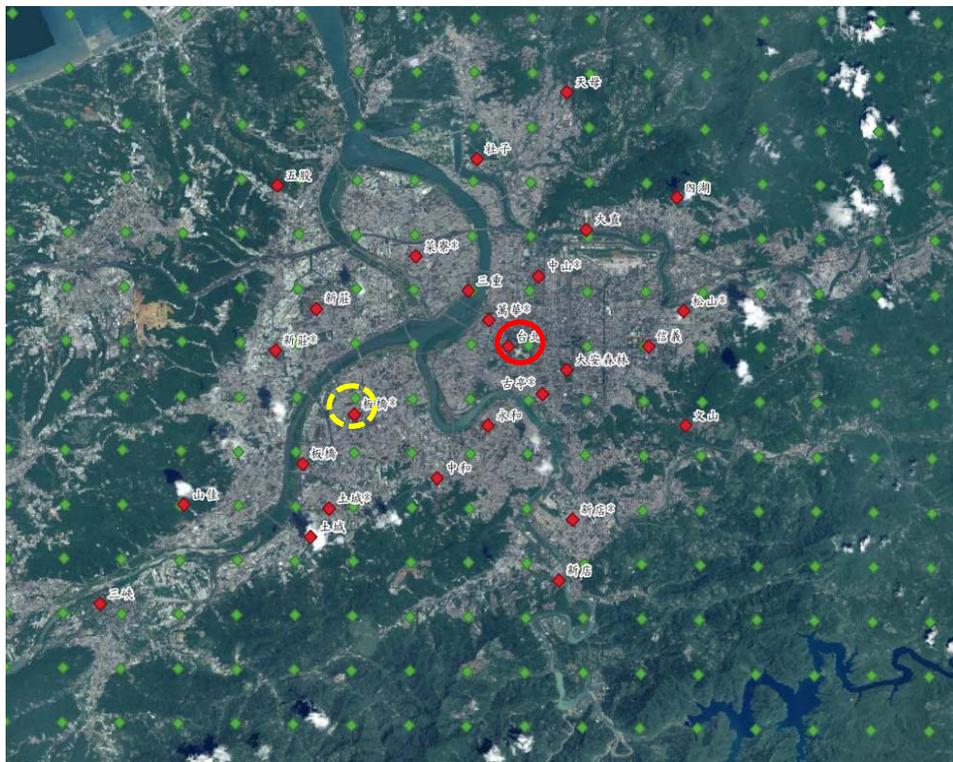


圖 4- 2 台北與板橋測站位置與 Tccip 資料點位置關係圖

資料來源：本研究繪製

一、溫度分析

圖 4- 3 為台北測站在 2020 年 2 月的溫度歷時資料，可以看出 TCCIP 與中央氣象局測站的溫度的變化相當一致。在這段時間內，二者的平均誤差小於 2%。主要是因為溫度的時間及空間變異性相對穩定，故 TCCIP 所產製的溫度資料具有相當高的可靠性，足以代表當地溫度的歷史變化。

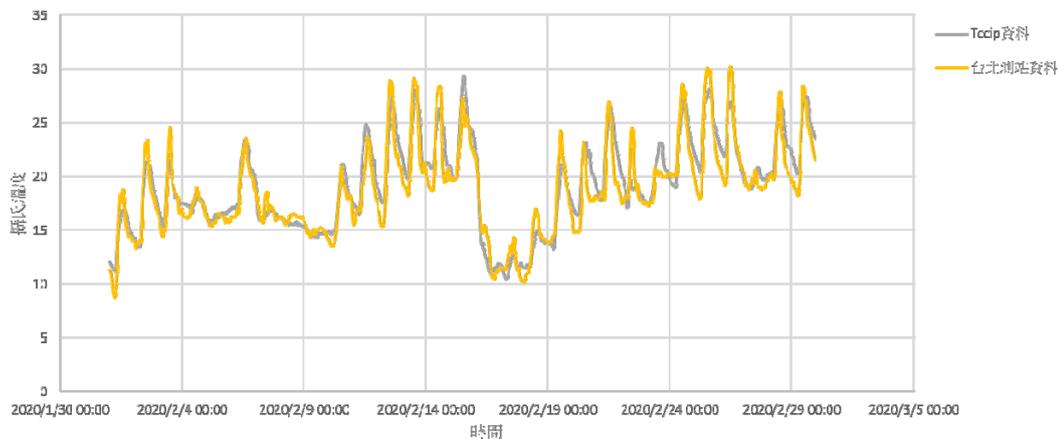


圖 4- 3 台北測站溫度比較(2020 年 2 月)

資料來源：本研究繪製

二、風速比較分析

首先我們先觀察 TCCIP 的自行比對結果[66]，其資料為利用 WRF 模式將歐洲中期天氣預報中心 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) 所產製的 ERA5 重分析資料進行動力降尺度，產製一組高解析氣候資料，以提供臺灣地區多變數的長期氣候資料，資料定名為 TReAD (Taiwan ReAnalysis Downscaling data)。將 ERA5、TReAD 以及氣象局觀測站進行風速時序列比較，選擇 2016 年的 1、4、7 及 10 月作為四季代表，使用臺北、臺中及高雄作為範例。在大多數狀況下，ERA5 資料有較大的誤差，相較之下 TReAD 則更接近觀測資料，且變化趨勢也較符合。TReAD 解析度為 2 公里(本研究採用數據)，而 ERA5 則為 30 公里，兩者的解析度有顯著的差異，因此在海陸分布也明顯不同，特別是在沿岸地區

ERA5 有較多網格為海洋。由於海洋跟陸地的粗糙長度不同，對風速會造成顯著的影響。從可以看出 ERA5 的風速於沿岸地區有較大的誤差。高雄測站由於位置較接近海邊，受到海陸分布差異的影響，使得 ERA5 資料的高雄測站有較大的誤差。該比對也發現，在平坦區域的資料比對相關係數較高，如台北、台中測站相關係數分別為 0.82、0.81，風速誤差值均為 0.83 m/s。

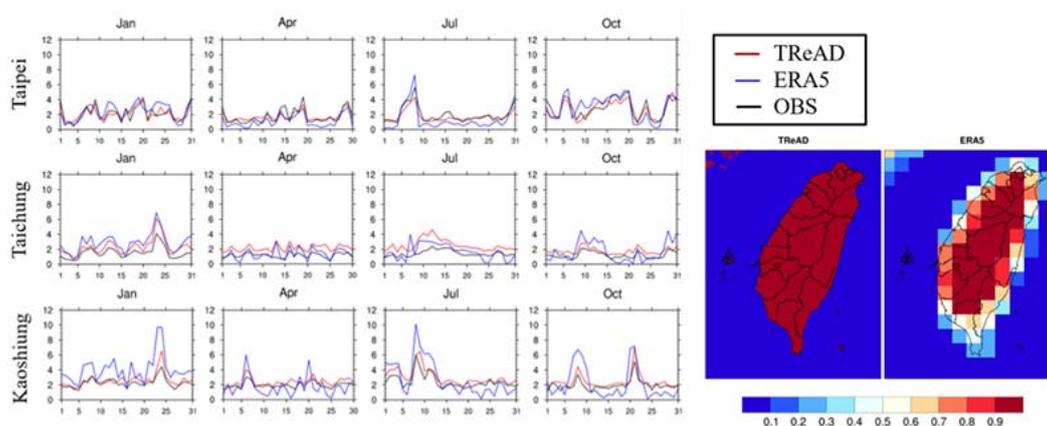


圖 4- 4 2016 年 1、4、7、10 月風速時序列比較(單位：m/s)

資料來源：[66]

相對於溫度逐時資料或前述之日平均風速資料，風速在空間以及時間上的變異性較高，可以預期在比對上的吻合度會較低。圖 4- 5 為本研究將 TCCIP 模擬資料與台北測站風速在 2020 年 7 月的比較結果。可以發現 TCCIP 的風速資料會高於氣象站的資料，但 2 組資料間的相關性是高，在傍晚的風速均有變大的趨勢。

另觀察板橋測站的比較結果(如圖 4- 6)，可能是因為板橋測站附近鄰近建築較低且的處空曠，使其風速歷時吻合呈度較高。如前所述，TCCIP 的資料特性是代表 2 公里見方的區域內的平均風速，且採用地表粗糙參數來反映地表風場在高度上的變化。加上氣象站的逐時資料僅考慮每小時的前 10 分鐘數據，因此出現一定的誤差，此為資料的型態不同所致。

依據林等[66]統計結果以及本研究的歷時比較驗證顯示各變數和測站資料的相似程度依序為氣壓、溫度、相對濕度、輻射、風速，最後則是降雨。雖然各變數在數值上仍存在一定的誤差，但是變化趨勢和觀測資料大

致相似，能夠重現過去的氣候變化趨勢。

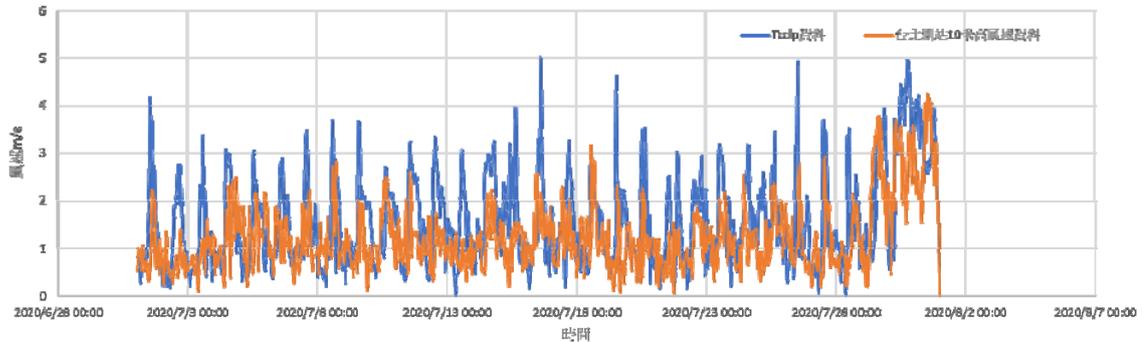


圖 4- 5 台北測站風速比較(2020 年 7 月)

資料來源：本研究繪製

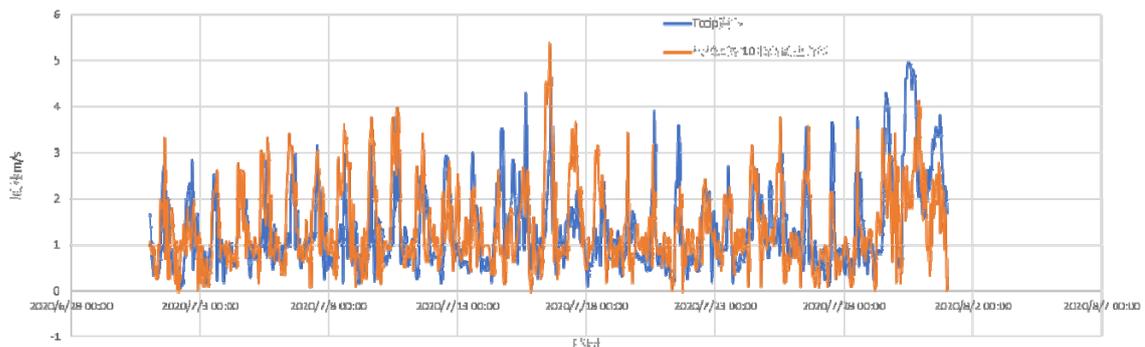


圖 4- 6 板橋測站風速比較(2020 年 7 月)

資料來源：本研究繪製

三、盛行風分析

由於風速地圖資訊主要著重在近 10 年季風資料，檢視夏季及秋季分析結果，將盛行風風向及該風向平均風速進行比對。基本上，TCCIP 的風速資料還是可以合理反映該地區的風速變化狀況，且在盛行風風向以及平均風速量級的分析結果頗為一致。

第二節 區域溫度分布

為了解研究區都市熱島效應，於此節進行區域溫度分析。分成空氣溫

度以及地表溫度，空氣溫度主要採用 TCCIP 產製之溫度歷史資料，於北部地區共 1911 個測點(如 3.2 節所說明)，地表溫度則採用衛星紅外線照片進行反演求得。

一、空氣溫度

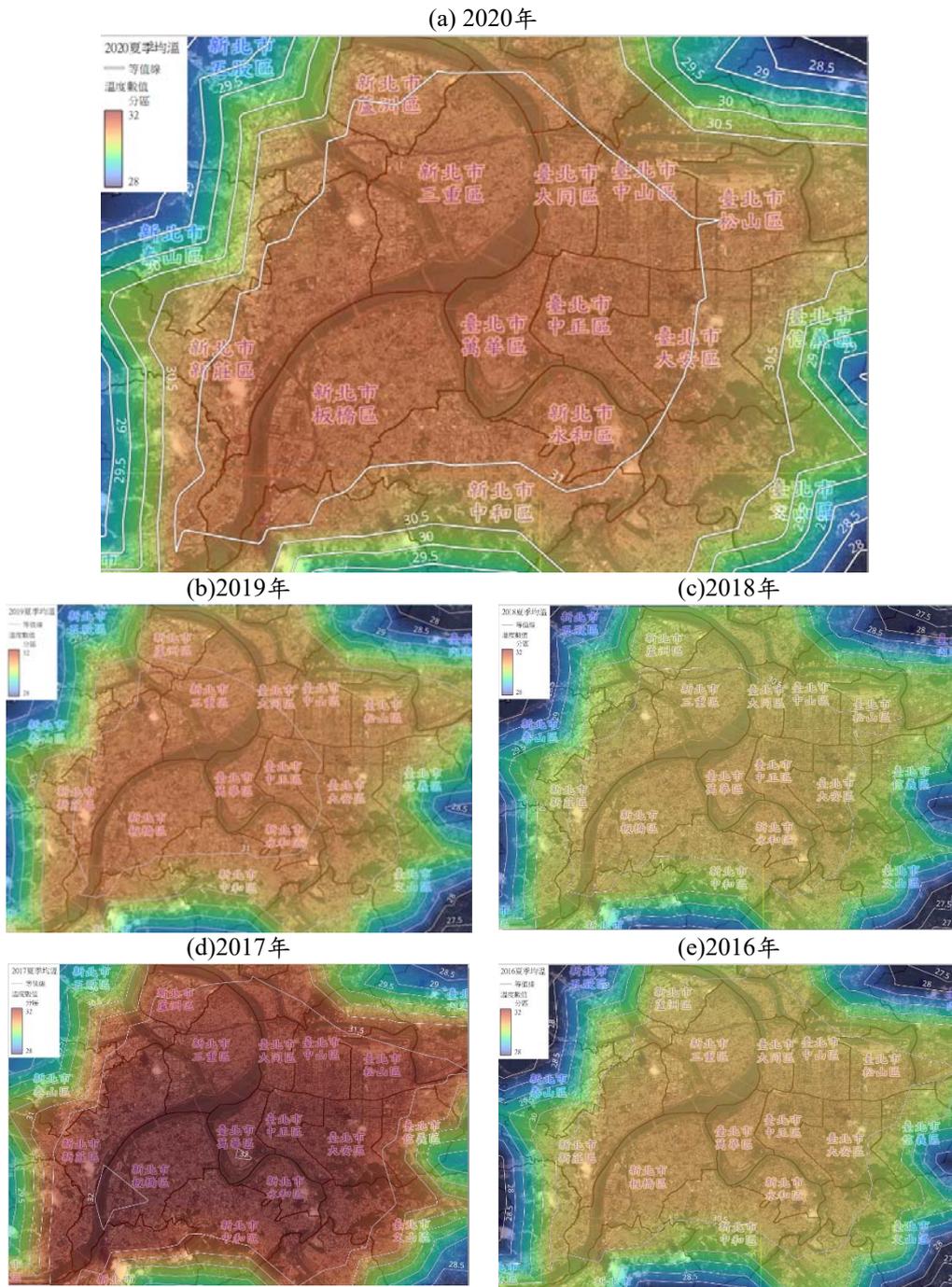
本團隊先前研究大台北盆地之溫度測站結果發現[65]，在納入環境部的溫度測站後，由於測點僅有 17 個且間距從 2 公里到 15 公里不等。在繪製成整個研究區的溫度等值圖狀況不如預期(圖 4-7)，會有溫度集中的狀況很難呈現平滑內差的分析資料，此因測點不夠密集所致。

由 4.1 節 TCCIP 的驗證結果可以得知溫度歷史資料吻合度相當高，因此於此採用 TCCIP 溫度資料進行 2016-2020 年的夏季溫度平均分析，用以檢視此區域內的溫度分佈。圖 4-8 可以發現熱島效應使得大台北盆地都會與郊區的溫度差來到 3 度以上，也看出 2017 年夏季溫度為近幾年最高。同時溫度的變化在市區並不顯著，主要變化在靠近山區才開始。因此可以想見，在計算成熟島強度指標時，不同位置溫度的加權對指標值並不會有太大的影響。



圖 4-7 氣象測站之夏季平均空氣溫度分布(2010-2020 年)

資料來源：[65]



資料來源：本研究繪製

二、地表溫度

地表溫度為檢視都市熱島程度的重要指標，本研究蒐集美國地質調查局(USGS)之 Landsat 6 ETM+之圖資。透過地表紅外線第個 6 波段(band 6)之溫度反演方法，於此採用 Xiong 等[47]所建議的方式，獲得地表溫度 LST(land surface temperature)。由於受到衛星通過臺灣上空時間為上午 10 點的限制，且視當天的天候雲層狀況若過於濃密時，地表溫度無法呈現太陽輻射效應，透過條件搜尋選擇雲量低於 30%的衛星照片，故每年選用平均之衛星照片約 2-3 張。

平均結果如圖 4- 9 所示，本計畫擬將地表溫度與空氣溫度換算為都市熱島指標做為參考，因此會將其按行政區分割做查詢。如圖 4- 10 顯示大安區以及蘆洲區的分區顯示，後續會進一步分析區域內溫度分布面積，作為規畫人員之參考。

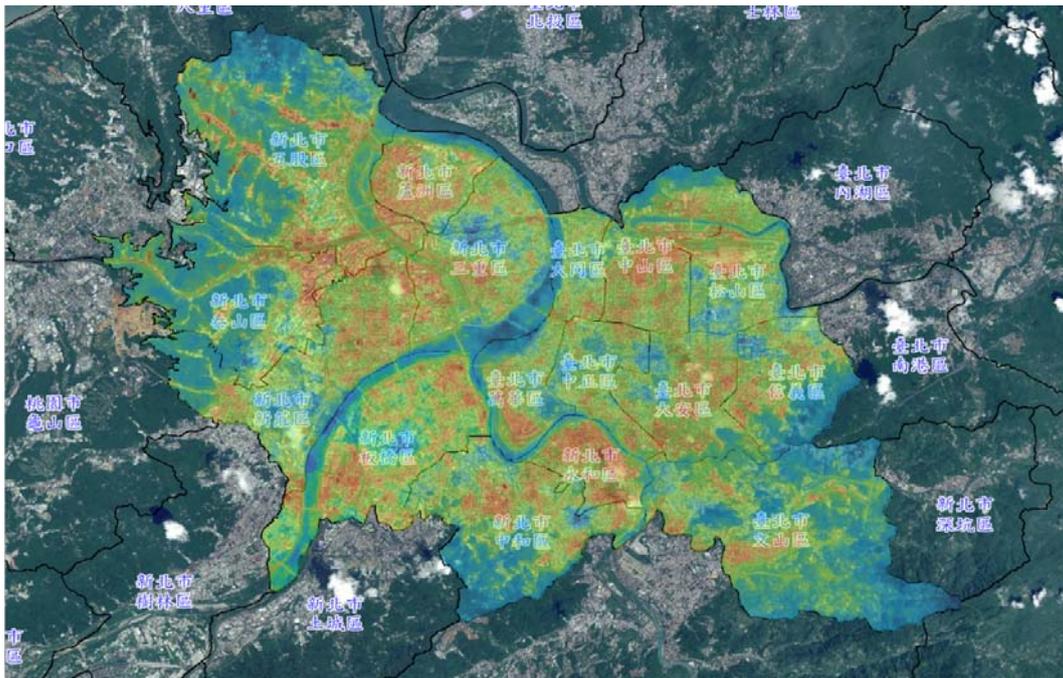


圖 4- 9 研究區地表溫度(2021 年)

資料來源：本研究繪製



圖 4- 10 台北市大安區及新北市蘆洲區地表溫度(2021 年)

資料來源：本研究繪製

由於一年之中地表的溫度會隨著季節與不同年間的氣候變化而被影響，故直接對一年之中不同時間的地表溫度進行平均分析比較並不合理。為解決此問題，地表溫度分布圖在進行定量分析前須先被正規化(normalized)，正規化地表溫度 NLST(normalized surface temperature)計算參考 Xiong 等[45]之建議如後：

$$NLST = \frac{T_i - T_{min}}{T_{max} - T_{min}} \quad (4-1)$$

其中，NLST 為 i 像素之正規化地表溫度， T_i 為 i 像素之原始地表溫度， T_{max} 、 T_{min} 為全區域最高與最低之地表溫度。NLST 分類表參考 Cui 等[6]之建議，將 NLST 地圖不同的數值分為七個層級如表 4- 1，分為最低(lowest)、較低(lower)、低(low)、中(medium)、高(high)、較高(higher)、最高(highest)。其中若區域分級屬於高、較高、最高這三個等級者，則被歸類為都市熱島區域(urban heat island region，UHIR)。

本研究蒐集 2017-2022 年等不同年份的結果進行平均套圖分析，在執行過程中發現，部分區域因雲層遮蔽無法顯示地表溫度。為使得地表溫度能夠具有全年溫度的代表性，避免極端不合理溫度的發生，本研究採用分區平均的方法，以得到更具代表性的結果。在不同時間的區域數據正規化後做平均，每個區域至少取 3 個時間點，得到個行政區的平均結果，再將其統整。最後把無因次溫度對實際溫度進行關聯，以淡水河以及大安森林公

園作為低強度基準，進一步將都市熱島強度分為 5 類，如表 4- 2 所示。本圖資分析法結果除提供規劃者了解讓島強度集中區域，以進行相應規劃對策外。亦可針對長時間區間的結果進行追蹤比較，以了解都市變遷或檢視減緩都市熱島效應的成果。

表 4- 1 正規化地表溫度 NLST 分類表

NLST Zones	NLST Ranges
lowest	$NLST < NLST_{mean} - 1.5S$
lower	$NLST < NLST_{mean} - 1.5S \leq NLST_{mean} - 1.0S$
low	$NLST < NLST_{mean} - 1.0S \leq NLST_{mean} - 0.5S$
medium	$NLST < NLST_{mean} - 0.5S \leq NLST_{mean} + 0.5S$
high	$NLST < NLST_{mean} + 0.5S \leq NLST_{mean} + 1.0S$
higher	$NLST < NLST_{mean} + 1.0S \leq NLST_{mean} + 1.5S$
highest	$NLST \geq NLST_{mean} + 1.5S$

註：NLST_{mean} 為區域內 NLST 之平均值，S 為區域內 NLST 之標準差。

資料來源：Cui 等[6]

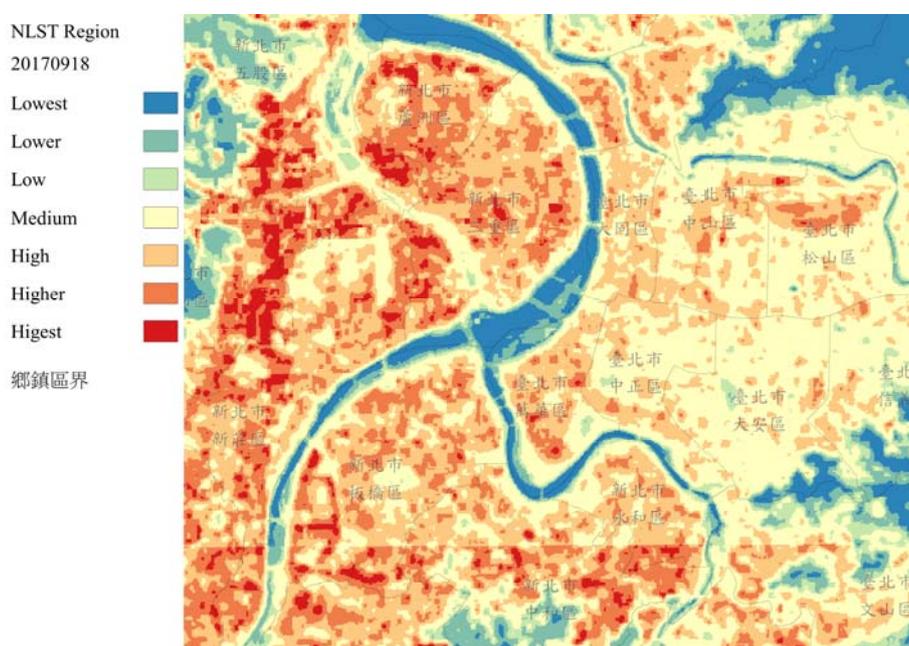


圖 4- 11 NLST 分類分布圖(2017 年 9 月 18 日上午 10 點)

資料來源：本研究繪製

表 4- 2 熱島強度分類

編號	標準化溫度值	熱島強度分類
1	0-0.2	極低
2	0.2-0.4	略低
3	0.4-0.6	中性
4	0.6-0.8	略高
5	0.8-1.0	極高

資料來源：本研究整理

第三節 涼爽空氣源區劃分

都市風廊的一個重要概念為將涼爽空氣導引至都市中心或高溫區域，並使其降溫，因此辨識出適當的涼爽源區並作為連接都市中心區域的通風廊道上下游，以形成良好的降溫風廊。在本圖資定義涼爽源區的主要方式為參考[33]。利用半監督式方法，針對地表低溫區以及面積大小進行自動判別及自動劃分，分析得出在研究區範圍辨識出涼爽源區有以下區域：

- (1) 基隆河涼爽源區；
- (2) 淡水河涼爽源區；
- (3) 新店溪涼爽源區
- (4) 中埔山-虎山涼爽源區
- (5) 陽明山涼爽源區
- (6) 五股涼爽源區
- (7) 泰山涼爽源區。

再將以上區域標註於 TUVN 系統中，以地圖圖層方式供查詢檢視，結果如圖 4-12 所示。

表 4-3 涼爽新鮮空氣源區分類

分類	描述	土地使用分類	面積(m ²)
1	強	水體	≥3,600
2	相對強	樹林或綠地	≥20,000
3	中等	樹林或綠地	16,000-20,000
4	弱	樹林或綠地	12,000-16,000
		建築用地	≥12,000

資料來源：[33]

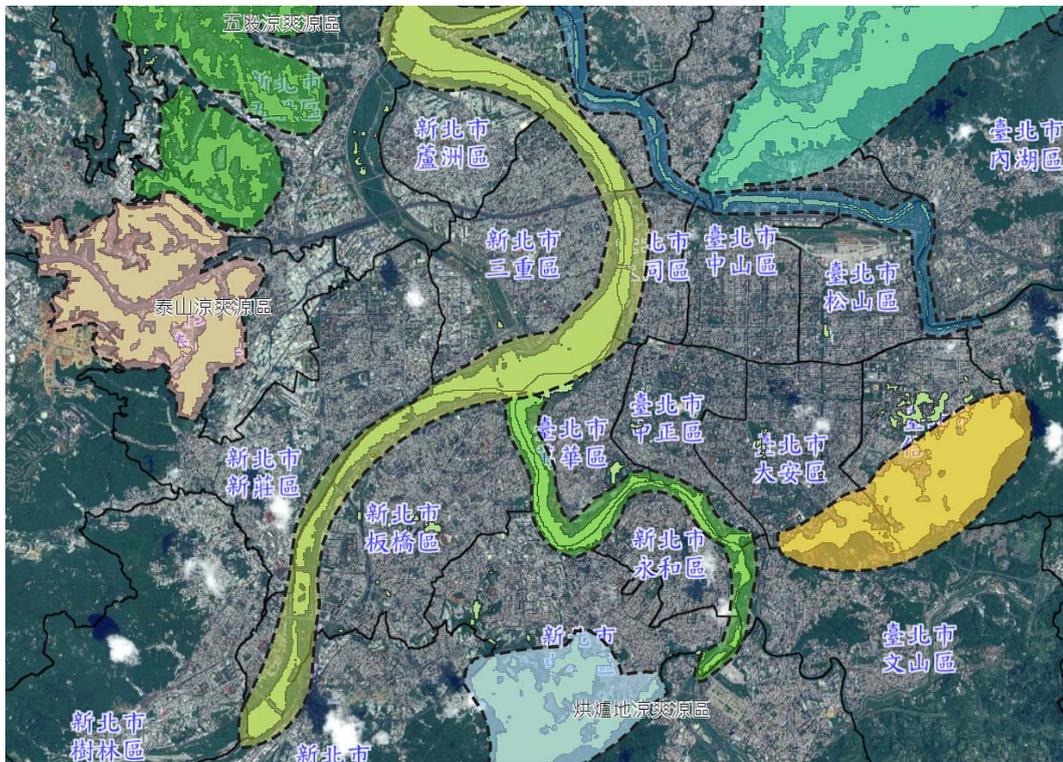


圖 4-12 涼爽源區分析結果(2022 年)

資料來源：本研究繪製

第四節 局部區域風場分析

於此先針對研究區的局部區域進行通風分析，並提出應用風場模擬結果的風廊分析指標。首先由氣象資料、溫度分結果來做選擇。在畫分主要風廊以及次要風廊區域後，以都市計畫區為分析單元進行討論。

一、分區模擬劃分

為控制運算量需將計算域做分區劃分，而非直接以雙北市全域進行計算，本計畫以現行行政區做為分區為確保週邊流場正確性，非直接按照行政區疆界切分，還需考慮區交界處的建物群及地形。如圖 4-13 為臺北市實際區塊劃分情況，為考量每個行政區以外的建築或地貌對於行政區邊緣的影響，建模範圍將其向外擴張 1 到 2 個街廓，也就是 200-500 公尺左右的範圍。若是鄰接區為平坦地或河道區域，則減少取樣範圍。

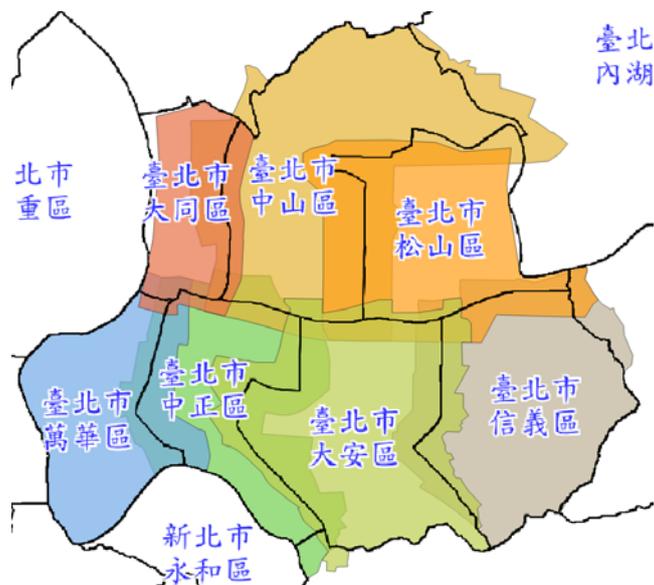


圖 4-13 行政區分區模擬劃分方式

資料來源：本研究繪製

二、分析流程

區域模擬流程分為以下步驟：

- (1) 選定行政區模擬範圍，並製作成 3D 模型及 CFD 模擬網格(如圖 4-14)；
- (2) 依據當地氣象站以及 TCCIP 風速，找出夏季盛行風風向及平均風速。另由都市型態分析找處盛行風風向入流特性後，給定模擬條件；
- (3) 模擬結果分別對 5m、10m 以及都市平均都市披覆層高度 15m 狀況下，產製 30m 網格資料；
- (4) 按風速分區定義各網格的分區，並連接中高潛力區域劃定次要風廊；
- (5) 將行政區之格網化風速資料以及主次風廊圖層發布於 TUVVM。

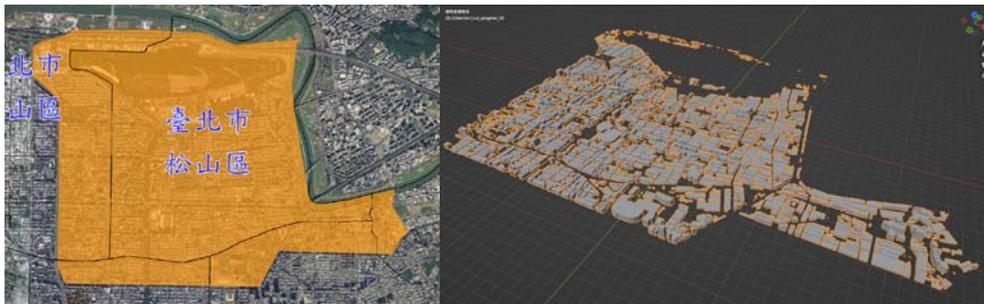


圖 4- 14 松山區分區模擬劃分以及 3D 模型方式(示範例)

資料來源：本研究繪製

三、模式求解設定

本研究採用 SIMPLE(semi implicit method for pressure linked equation)演算法[2]，主要概念為將壓力和速度依序分開處理，用離散的動量方程式中的速度代入連續方程式，得到壓力方程式來計算壓力。SIMPLE 被設計用來求解穩態問題，即控制方程中不包含瞬態項的計算。其在 OpenFOAM 中主要代表的求解器為 simpleFoam，用於求解穩態不可壓縮牛頓流體 Navier-Stokes 方程式的求解器。在 simpleFoam 中，壓力和速度的耦合通過 SIMPLE/SIMPLEC 演算法進行計算，且沒有考慮其他體積力(body force)如重力等。於求解器中的迭代計算殘差值在壓力、速度、紊流動能以及紊流

消散率均設定為 10^{-4} ，其他相關設定檔案請參閱附錄六。

四、計算域與邊界條件

在風場 CFD 模擬部分，各行政區範圍不一，大小會依模擬對象做調整。基本上，以選取的建築區域為中心(如圖 4-17)，往東西南北四個方向，延伸模擬區域 H_s 公尺，以確保入流(inlet)以及出流(outlet) 避免發生入流或出流處回流發生造成數值發散。 H_s 的長度與模擬建築群有關，採用 2 種決定方式中的最大值，分別是建築群外側最高建築的 15 倍；其次是外側邊界距離建築群內最高建築高度(H_h)的 25 倍。

網格採用 openfoam 之 blockMesh 製作背景網格，採疏密度配置。由水平 x-y 平面(圖 4-15 上)來看，外圍區域(邊界區)為最大網格 50m，建築群區域採最大網格的 0.2 倍 10m，中間過渡區域網格變化為等比級數分佈。由 x-z 平面之側視圖來看(圖 4-15 下)，由地表到建築群區域範圍內最高建築高度(取 10 的整數倍數)採 10m 網格，以上到頂部邊界由密至疏之等比級數漸進變化成 50m 之網格。

待背景網格建置完成後，接著使用程式將網格針對建築量體做網格細化以及貼合。snappyHexMesh 為八叉樹(octree)架構之網格系統，背景網格為第 0 層，每加密一層代表將網格等分成 8 塊，也代表每一個三維網格的邊長被等分成二段，依此類推。本研究在建築表面區域為第三層，故此區域基本網格大小為 1.25。另加上邊界層網格，設定表面上第一個網格大小為 0.02m，以符合壁函數要求。

本研究完成網格製作系統化流程，利用 openfoam 之 c++語言撰寫自動化步驟，省去背景網格調整條數工作，可快速算得一致化之參數。blockMesh 以及 snappyHexMesh 之設定檔請參考附錄六。

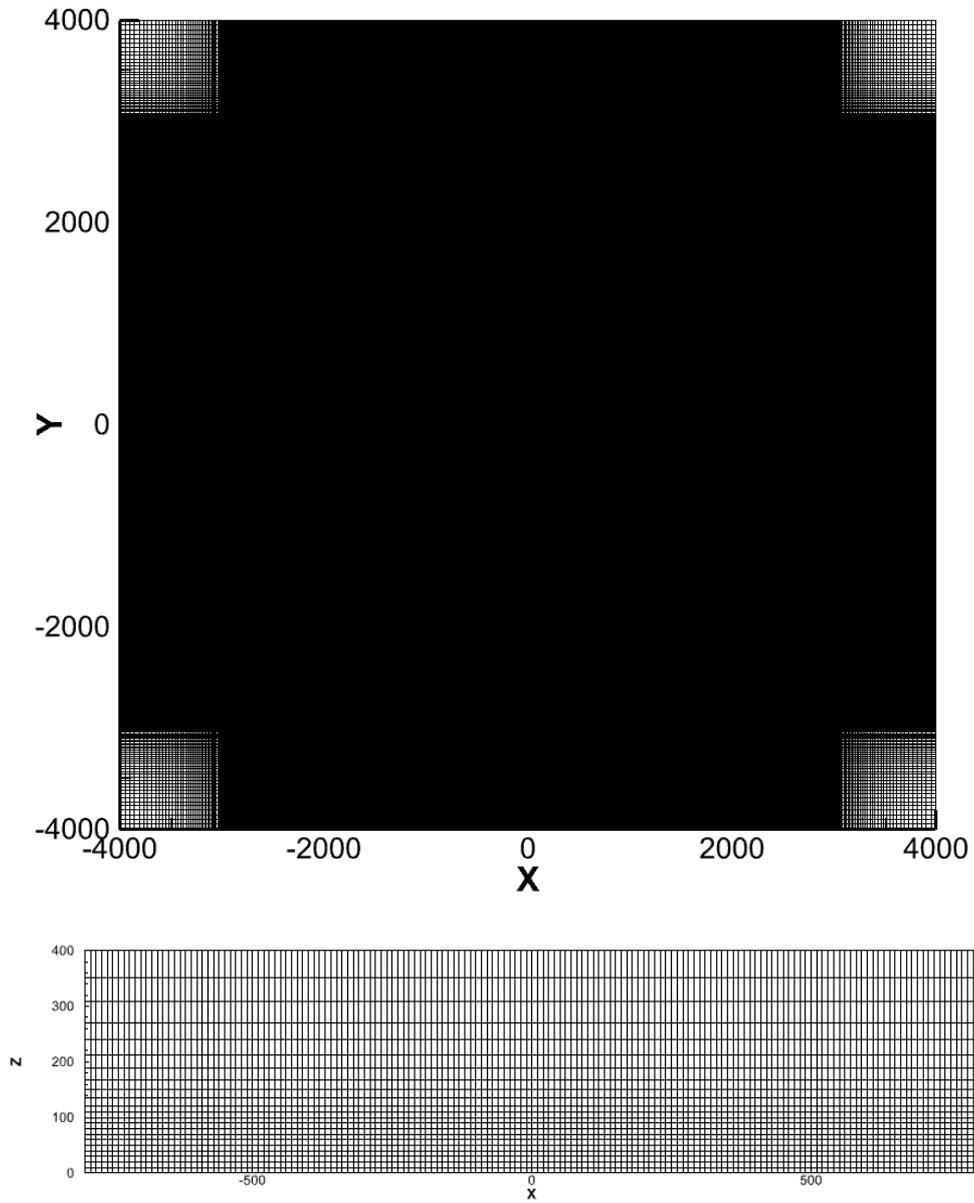


圖 4- 15 CFD 背景網格設計

資料來源：本研究繪製

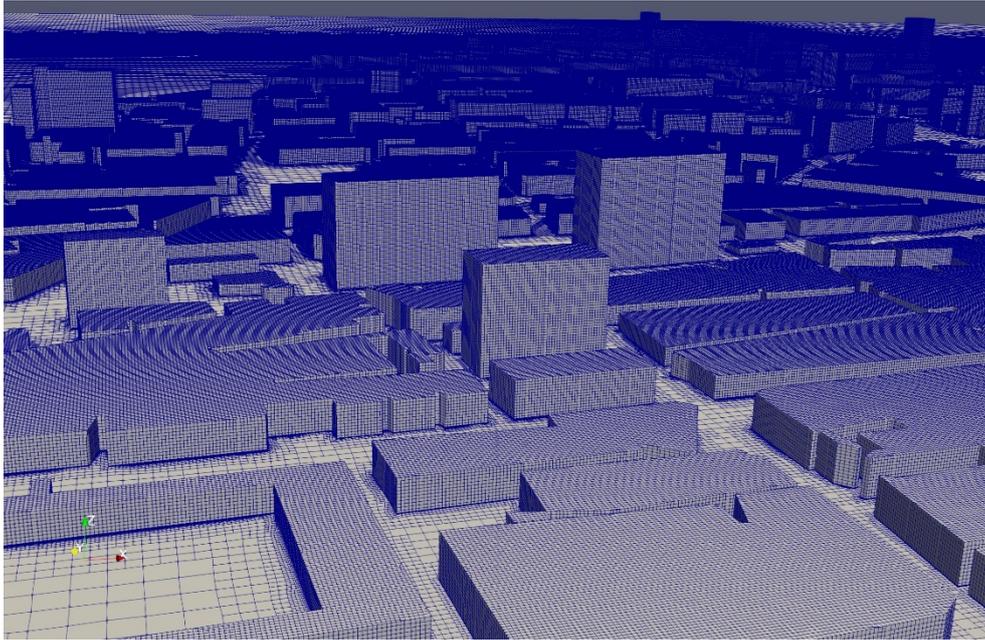


圖 4- 16 CFD 建築表面網格

資料來源：本研究繪製

各行政區依據其盛行風風向做入流及邊界設定調整，如圖 4- 17 所示，假設入流為北風，則設定 N 面為入流條件(inlet)，S 面為出流面(outlet)，W、W 則設定為對稱(symmetry)邊界；若入流為東北風(NE)，則設定入流面為 N、E 面，出流面為。

而在頂部高度部分，可參見圖 4- 18 側視示意圖，由區域內最高建築往上起算 H_T 公尺為頂部邊界， H_T 為區域內建築群最高建築的 4 倍，若整體高度($5H_T$)低於 400m 則取 400m 為計算區域垂直高度。頂部採對稱邊界條件。模擬風場入流條件採用對數率(logarithmic law)，為 openfoam V8 預設之大氣邊界層入流條件-atmBoundaryLayerInlet，按照當地盛行風風向及風速定義入流方向，且依據該區域上游狀況給定入流剖面特性，各行政區域模擬入流條件請參見附錄四。

如前所述，入流在速度(檔名 U)、紊流動能(檔名 k)、紊流消散率(檔名 epsilon)部分採大氣邊界層入流，速度部分依據風向自動調整入流風向之向量值，不必重建網格。各物理量在對稱(symmetry)面保持垂直於邊界面維持零梯度(zero gradient)之條件；地表面速度採不可滑動(no-slip)，除紊流黏滯

度項(檔名 nut)使用相應壁面邊界層公式修正外，其他採零梯度設定，本研究使用之邊界條件設定請參見附錄七。

最後，擷取高度 5、10、15m 處之切面風場結果，並以每 5m 間距進行採樣並計算水平向合成風速(velocity component)，將其取 20 m² 的面積平均後，整合至地圖圖層計算通風潛力(參見 4.5 節)。

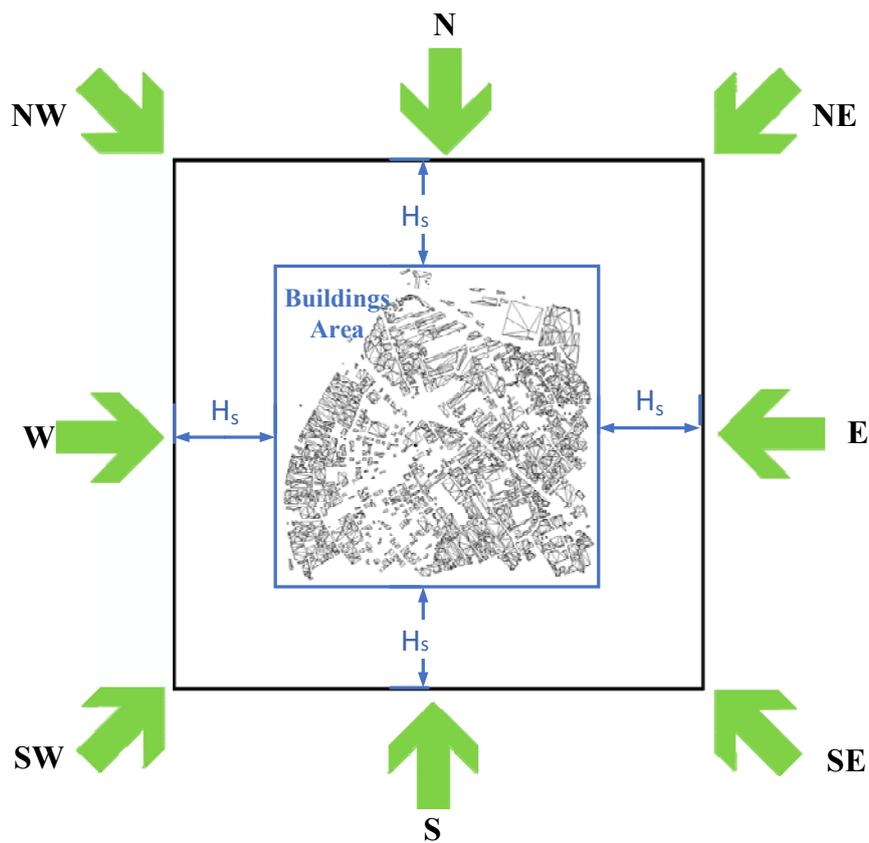


圖 4-17 計算域俯視示意圖

資料來源：本研究繪製

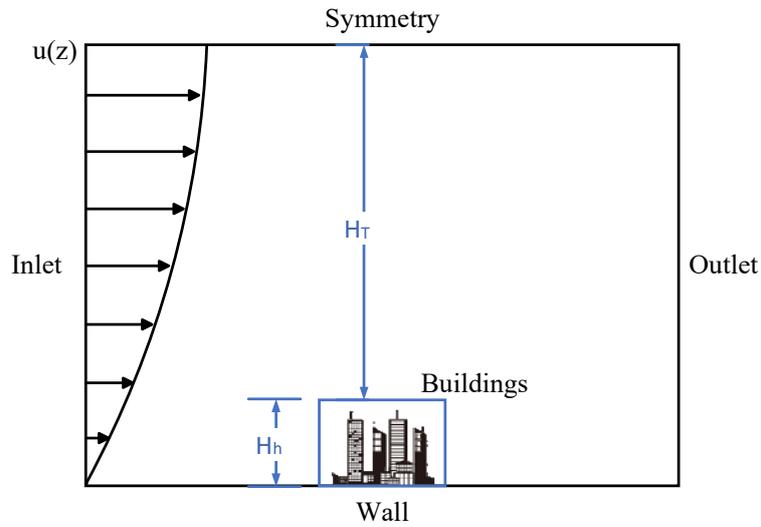


圖 4- 18 計算域側視示意圖

資料來源：本研究繪製

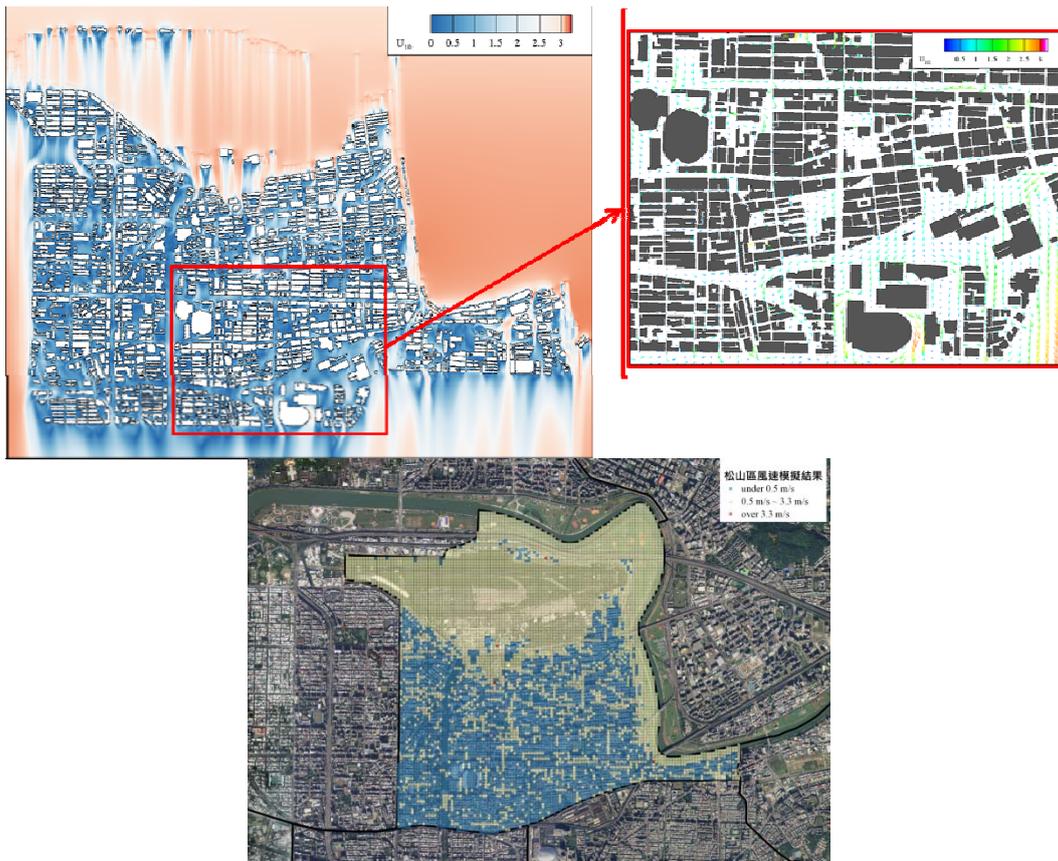


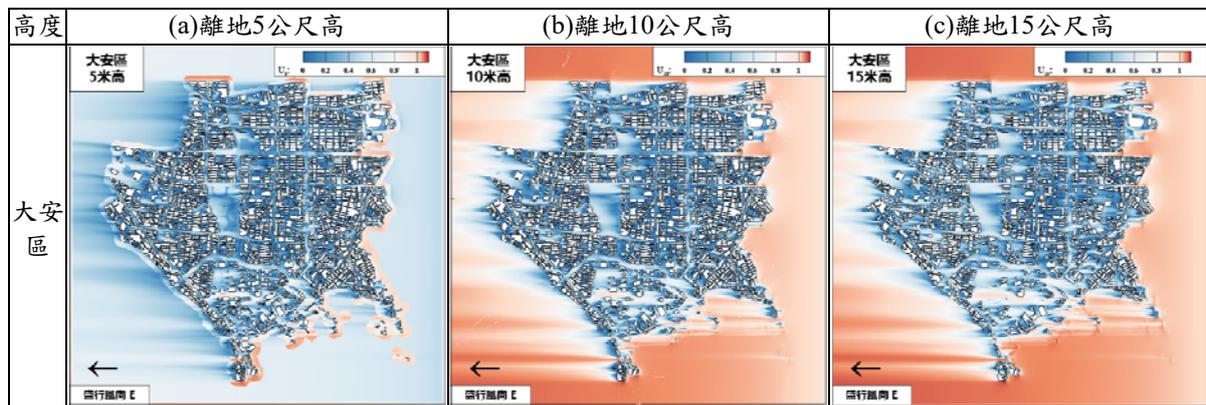
圖 4- 19 行政區風場模擬與地圖發布結果(示範例)

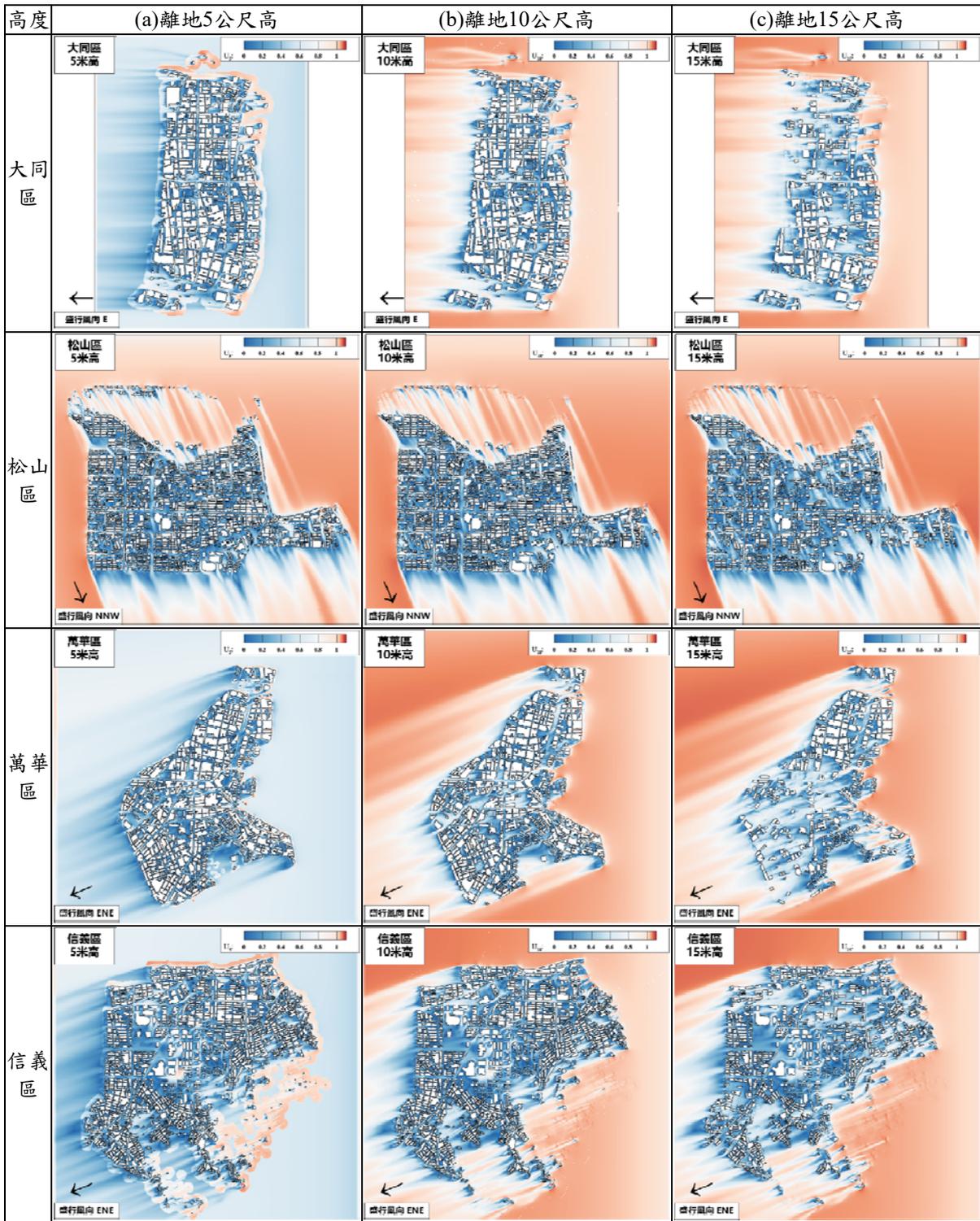
資料來源：本研究繪製

五、風場模擬結果

本研究案行政區進行分區切割，分為台北市轄區以及新北市轄區，其模擬結果分別如圖 4- 20 圖 4- 21。每個區域之建築群範圍依據行政區來劃分，並視範圍大小及形狀做切割，每個模擬案例約在 4 平方公里至 10 平方公里之間，每個行政區之模擬網格數量約在 6 千萬至 3 億之間。模擬設備使用國家網路高速電腦中心之臺灣衫三號來進行，平行運算採 Intel® Xeon® Platinum 8280 2.4GHz CPU，每個工作使用 256 個執行緒來進行。自動化 blockMesh 加上 snappyHexMesh 網格製作時間約為 2 小時，流場計算至收斂之時間約需 20 小時。

針對每個行政區的夏季盛行風風向進行模擬，資料如附錄五，再擷取出 3 個高度，分別為 5m、10m、以及 15m 的模擬結果，並將其利用來流對等高度之風速(U_{ref})進行正規化。據以檢視各行政區的通風狀況，再利用 5.5 節的通風潛力分析的方法進行數據處理後，再行匯入 TUVIM 系統以供查詢。





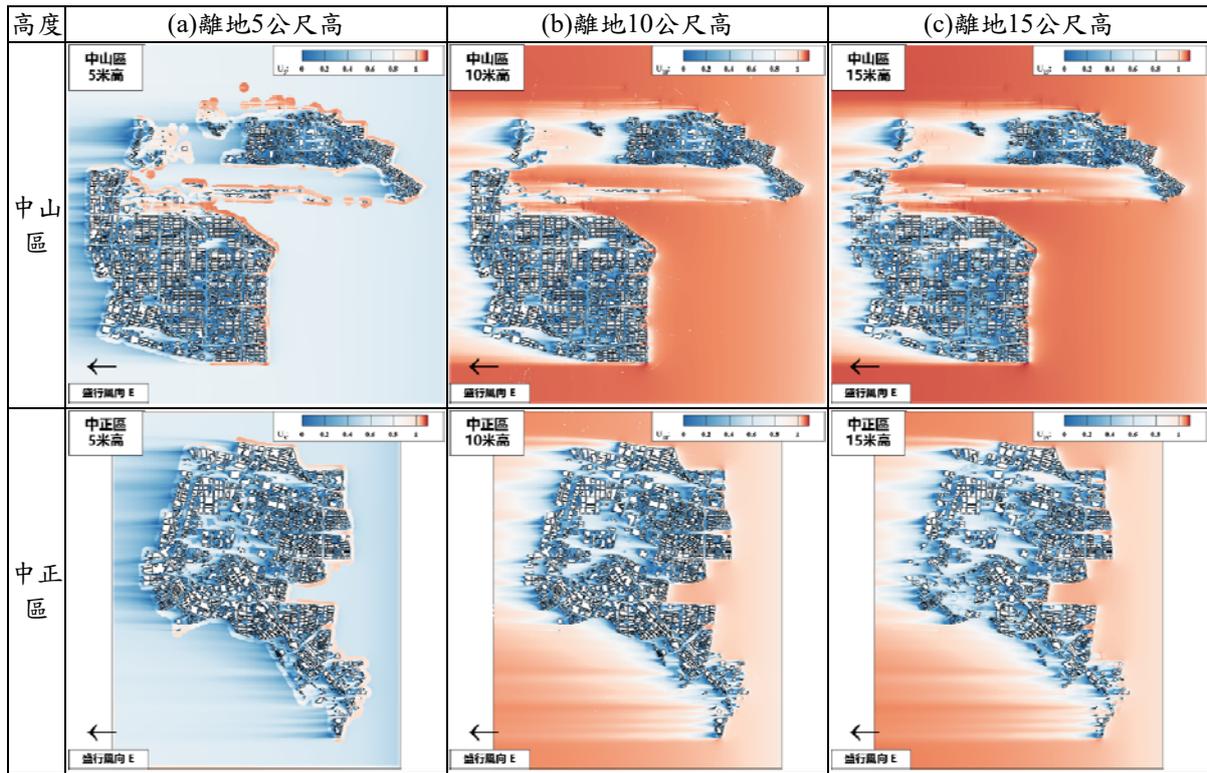
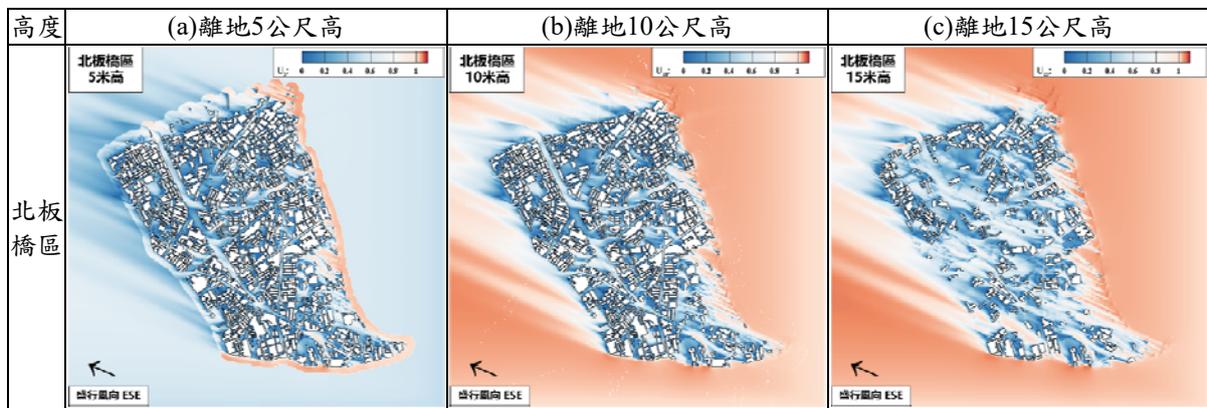
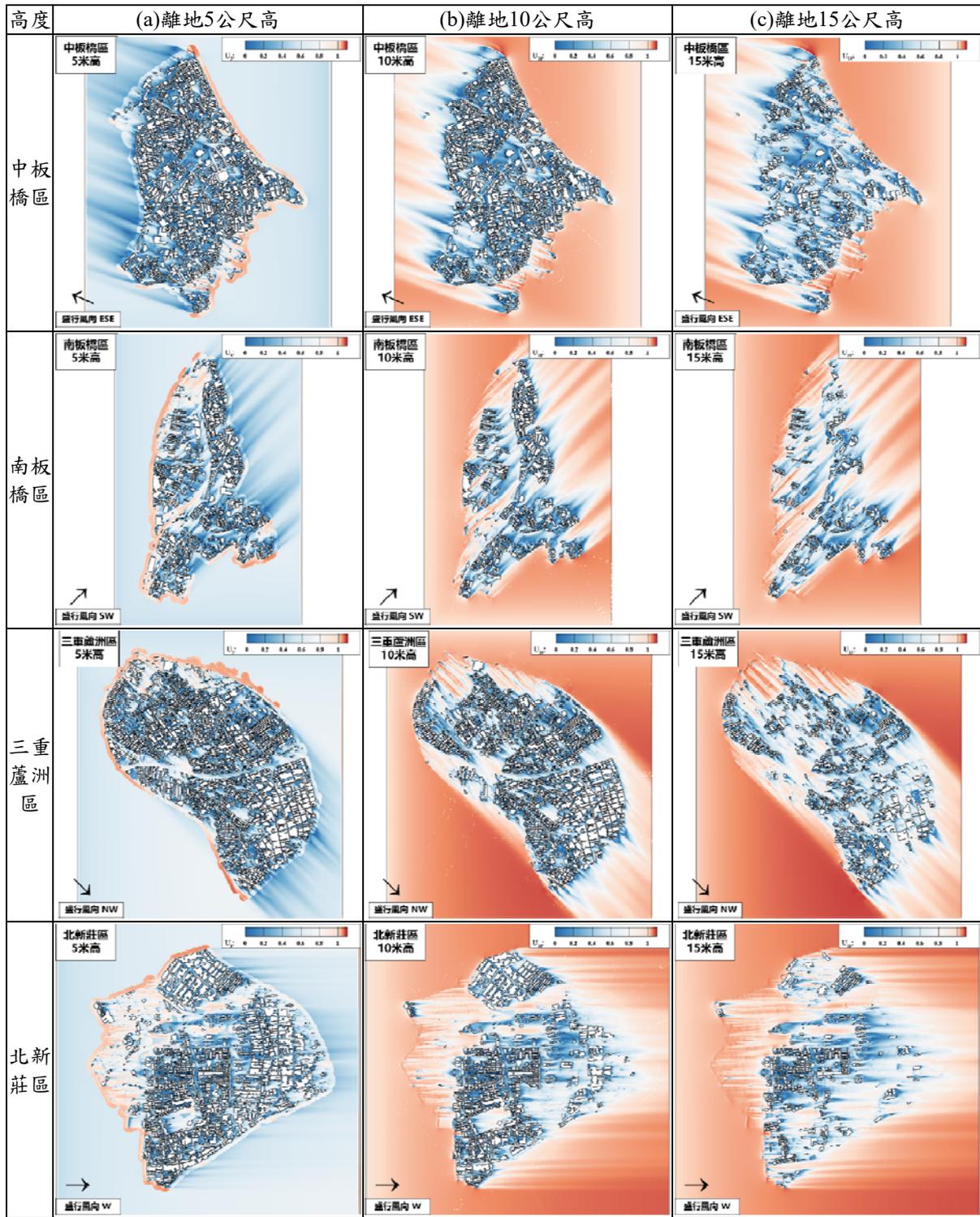


圖 4- 20 台北市行政區不同高度之 CFD 模擬結果

資料來源：本研究繪製





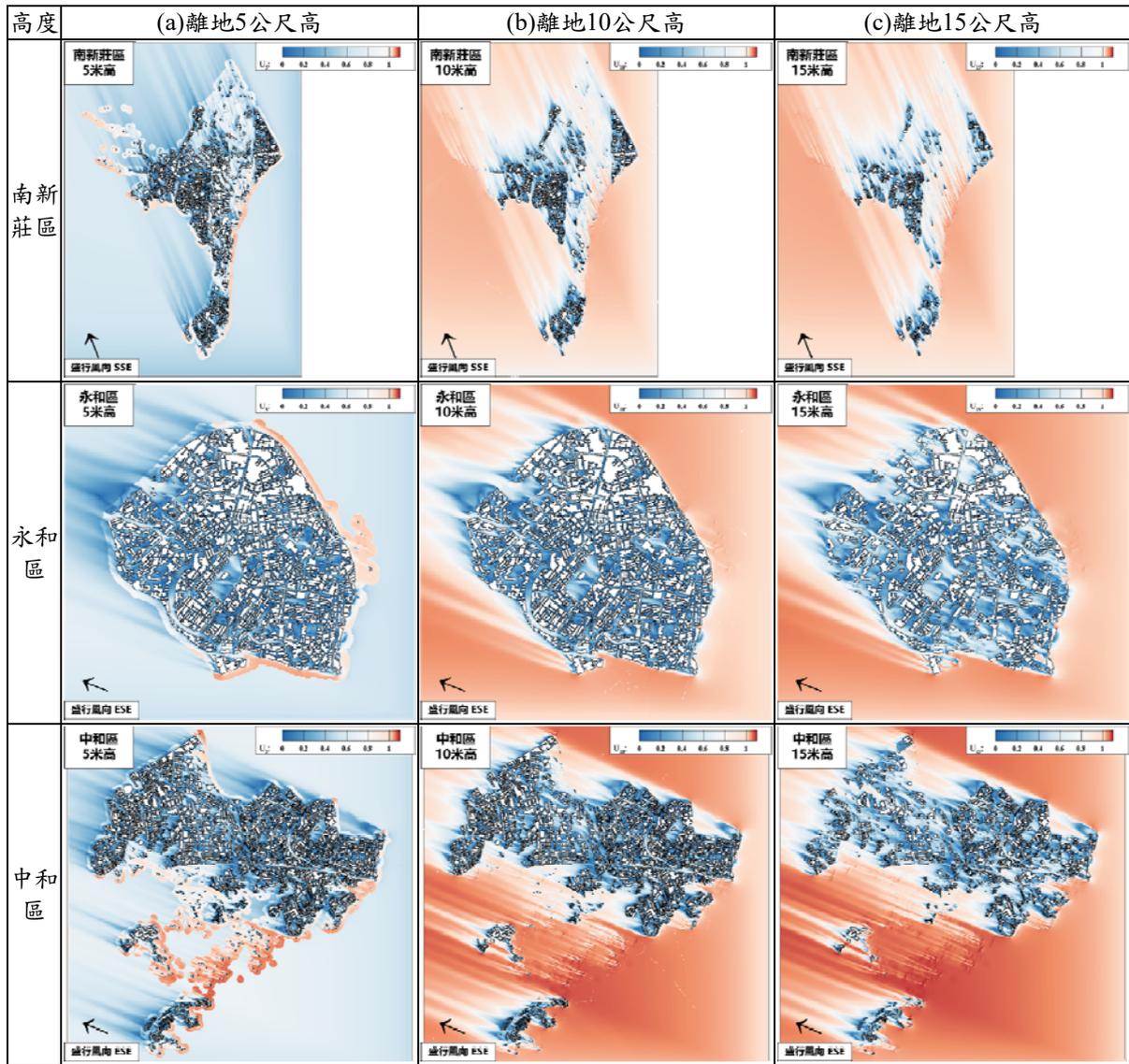


圖 4- 21 新北市行政區不同高度之 CFD 模擬結果

資料來源：本研究繪製

第五節 都市紋理與風廊分析

一、都市紋理

都市紋理對於給予都市建築型態配置一個直接指標，有助於規劃人員了解目前都市建築群的分佈特性。常見的建蔽率(λ_p)定義可參見 2.5 節，而容積率則定義為地塊中樓地板面積總和與地塊面積的比值，可由區域內的平均建築高度(\overline{Z}_h)與建蔽率來推求，其公式為：

$$\text{容積率} = \frac{\lambda_p \overline{Z}_h}{4} \quad (4-2)$$

其中，假設建築每層樓平均挑高為 4m 來進行簡化計算。地表粗糙度分析方式採用 Kanda et al. (2013)所提出的形態測定法。過去研究發現[21]，相對於其他型態測定法，本方法與實場量測結果具有較高的吻合度，其公式為：

$$z_d = [c_0 X^2 + (a_0 \lambda_p^{b_0} - c_0) X] h_{max} \quad (4-3)$$

$$z_0 = (b_1 Y^2 + c_1 Y + a_1) Mac_{z_0} \quad (4-4)$$

$$\text{其中，} X = \frac{\sigma_h + \overline{Z}_h}{h_{max}}; Y = \frac{\lambda_p \sigma_h}{\overline{Z}_h} \quad (4-5)$$

其中， a_0 、 b_0 、 c_0 、 a_1 、 b_1 、 c_1 為迴歸係數，其值分別為 1.29、0.36、-0.17、0.71、20.21、-0.77。 Mac_{z_0} 為 Macdonald et al. (1998)公式求出的 z_0 ，公式為：

$$z_0 = (1.0 - \frac{z_d}{\overline{Z}_h}) \exp \left\{ - \left[0.5 \beta \frac{C_D}{\kappa^2} \left(1 - \frac{z_d}{\overline{Z}_h} \right) \lambda_f \right]^{-0.5} \right\} \overline{Z}_h \quad (4-6)$$

$$\frac{z_d}{\overline{Z}_h} = 1.0 + \alpha^{-\lambda_p} (\lambda_p - 1) \quad (4-7)$$

其中， $C_D = 1.2$ 為阻力係數， $\alpha = 4.43$ 為經驗係數； $\beta = 1$ 為阻力係數的校正因子，內含幾個變量的淨校正，包括速度剖面形狀、入射紊流強度、紊流長度尺度、入射風角和圓角。

完成型態測定法測試工作後，由蒐集之都市建築模型資料，以 QGIS 外掛程式透過轉換成 raster 向量影像後，計算出地表粗糙度高及粗糙長度，

如圖 4- 22。

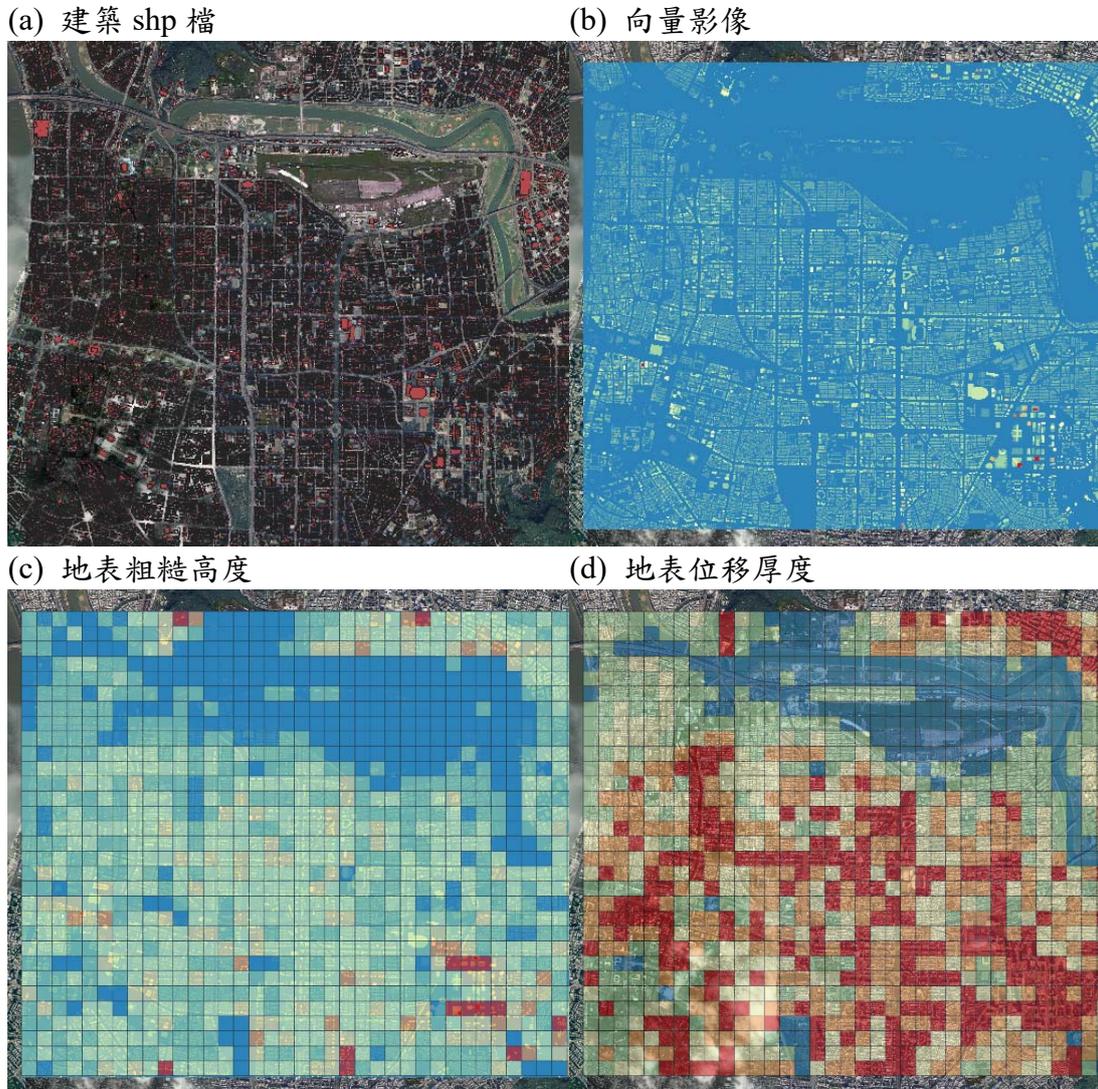


圖 4- 22 以台北市為例進行都市建築型態分析過程

資料來源：本研究繪製

二、主要風廊

風廊旨在呈現通風熱區，也就是對於都市通風有迫切需求的區域，在高溫時段引入涼爽的風源。在主要風廊部分，找出研究區域範圍盛行風風向上下游的涼爽源區(參考 4.3 節)，並標註涼爽源區上空的盛行風風向。以

此圖層可觀察涼爽來風的走勢，掌握待分析區域的有利來風區域以進行後續規劃。

三、通風潛力與次要風廊

而在通風潛力部分，目前相關研究並未有利用整體都市風場分析結果進行風廊判斷。因此在通風潛勢部分，本團隊前期研究[65]嘗試界定為三個等級來做判斷。首先，以蒲福風級的軟風(0.3 m/s)到輕風(3.3 m/s)作為都市通風的舒適標準來看，上限 3.3 m/s 除了滿足都市通風環境下的熱舒適條件外，長時間高於此風速吹襲下反而有強風舒適性問題。另參考香港環境規劃署在進行局部通風環境評估時，建議以撥扇取涼作為舒適標準風速為 0.5-1 m/s 之間，於盛行風況下，在開發區域內能有 90%以上的行人高度測點能滿足此條件。綜合前述，將風速潛力分為 3 個等級，分別為低潛力、中潛力以及高潛力。

而在實際執行時發現，若以前述風速基準作為分類，以本研究區域而言，10 m 高度處的夏季風速大部分都低於 2 m/s 以下，到了 15m 高度處即使無阻礙的基本環境風場也是無法達標。因此在通風潛力的判別上，改以能夠讓風繼續往下由流動的比例概念作為標準，即以該地區氣象站(或 TCCIP 資料)分析出之 15m 高度的盛行風平均風速為基準計算風速比 V_R ，修正分類如表 4-4。將前述規則套入 CFD 模擬計算結果，以萬華區為例，採夏季盛行風模擬(東北東風)，15m 高通風潛力分析結果如圖 4-23 所示。

表 4-4 通風潛力分級表

類型	風速比
低潛力	$V_R < 0.5$
中潛力	$0.5 \leq V_R < 0.75$
高潛力	$V_R \geq 0.75$

資料來源：本研究製作



圖 4-23 通風潛力分析結果示例(萬華區)

資料來源：本研究繪製

將 CFD 模擬區域風場結果後，再引入最小成本法搭配區域盛行風風向後，劃定出次要風廊。在採用通風潛力或地表粗糙度做為辨識風廊要徑方法時，採用最小成本路徑法(least cost path)，參考 Li 等所建議的方法[25]，

其公式如後：

$$LCP = f_{min} \sum_{i=m}^{j=n} D_{ij} R_i \quad (4-8)$$

上式 LCP 代表最小累積阻抗， D_{ij} 為在阻抗因子 i 在像素 j 的權重係數， R_i 為阻抗因子 j 的值， m 、 n 分別代表來源型態數和成本因子數。

本圖層以都市計畫區為單位(直轄市行政區或市、鄉為單位)，重建現地建築、地形、植被等資訊於 CFD 模擬中，並結合當地氣象站風速統計之盛行風風向進行模擬。以風速潛力分級標準，指認區域中高通風潛力區域連結主要綠地以及水體，以較高的通風潛力並通過都市中心(建築密集處)之路線為次要通風廊道。

推動建置都市風廊之地理資訊系統開發

第五章 TUVM 系統與應用

基於第四章之地圖資訊所說明之資料產製方法，彙整相關資訊以及圖層，於此建立 TUVM 系統。首先針對系統架構進行說明，內容包含頁面簡介、圖形圖層以及格點圖層說明。

另參考香港空氣流通評機制(air ventilation assessment；AVA)，詳列可行的局部區域開發評估方法，同時對應至 TUVM 系統所需之資料，並擬定相應之應用流程作為依循。同時本團隊進行理想化都市群通風分析，並參考國際上目前主要都市之管制原則，提出建議風廊管制原則以供參考。

第一節 系統概述

本計畫建置臺灣都市通風地圖(TUVM)系統，是一個網頁形式的查詢系統。主要資料架構分為(a)查詢資訊：區域風速風向資訊、都市熱島資訊、建築紋理資訊、都市風場資訊等四部分；(b)細部資訊：依據分項如圖 5- 1 所示，共 11 種數據資料。

本系統資訊包含 3 類，分別為表格圖形數據、格點圖層以及圖形圖層。簡要說明如後。

- (1) 表格圖形數據：主要用於顯示氣象站資訊，研究區中自動測站風速資料，乃利用 3.3 節提到之類神經網路推估模式來進行補遺，提供研究區內 17 個氣象站的風速統計資料查詢，內容包含全年以及分季節之 16 個風向風速機率以及韋伯函數，並提供行政區對應，如圖 5- 2 所示。
- (2) 格點圖層：以國土測繪中心 WMS 服務提供之電子地圖正射影像為底圖，套上所產製的網格化圖層，依產製數據不同，提供 2km、200m、30m 等網點圖層。除可以以巨觀的方式觀察都市的各項指標，如盛行風速及風向、無因次地表溫度、建蔽率、容積率，也提供查詢數值功能。查詢位置資訊時，僅需將滑鼠移動到該位置點擊即可看到資訊。

(3) 圖形圖層：國土測繪中心 WMS 服務提供之電子地圖正射影像為底圖，利用 4.3 節、4.5 節的分析方法繪製的 shp 幾何外型圖層，如涼爽源區、主要風廊、次要風廊等，僅提供檢視功能。

各分類資訊詳細資料詳見表 5- 1。本系統撰寫採用 codeigniter 4 加上 MYSQL 軟體架設網站，地理圖資則使用 QGIS 的外掛套件 qgis2web，將所製作圖層發布為網頁檔。再整合網頁檔至 TUVM 網站。本網頁系統暫時掛載於本團隊建置之 NAS 主機，以轉址方式於以下網站呈現：

<http://tuvm.ntust.edu.tw/>

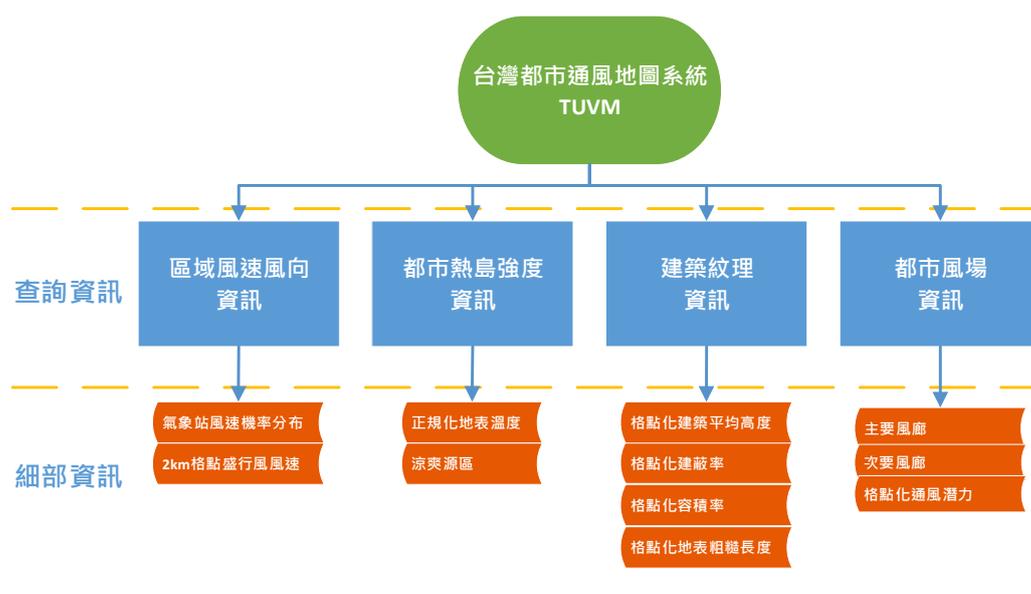


圖 5- 1 TUVM 架構圖

資料來源：本研究繪製



圖 5- 2 TUVM 系統資訊呈現介面

資料來源：本研究繪製

表 5-1 細部資訊分類與內容

主項資訊	次項資訊	資料形式	概要說明	分析方法
區域風速 風向	氣象站資訊	表格圖形 數據	研究區氣象局各測站近 10 年全年、四季之各風向統計表與風花圖。	2.1 節
	2km 格點化 盛行風速	2km 格點 圖層	近 10 年 TCCIP 夏季統計資料，僅呈現夏季盛行風風向、平均風速。	3.2 節
都市熱島 強度	正規化地表 溫度	3m 格點圖 層	將近 1 年的 landsat 6 衛星資料進行地表溫度反演，提供全區以及行政分區圖層進行檢視以及查詢。	4.2 節
	涼爽源區	圖形圖層	結合涼爽源區分類標準，經由地表溫度和面積判別而得。	4.3 節
建築紋理	建蔽率	200m 格點 圖層	利用國土測繪中心和台北市政府提供之建築 3D 圖資，經 QGIS 自動化程式計算而得。	4.5 節
	容積率	200m 格點 圖層	利用國土測繪中心和台北市政府提供之建築 3D 圖資，經 QGIS 自動化程式計算而得。	4.5 節
	平均建築高 度	200m 格點 圖層	利用國土測繪中心和台北市政府提供之建築 3D 圖資，經 QGIS 自動化程式計算而得。	4.5 節
	粗糙高度	200m 格點 圖層	利用國土測繪中心和台北市政府提供之建築 3D 圖資，經 QGIS 自動化程式計算而得。	4.5 節

主項資訊	次項資訊	資料形式	概要說明	分析方法
都市風場	主要風廊	圖形圖層	結合涼爽源區、2km 格點化盛行風速資料，繪製而成。	4.5 節
	次要風廊	圖形圖層	整合 CFD 行政分區模擬結果，依最小成本法找出風廊路徑。	4.4、4.5 節
	通風潛力	30m 格點圖層	整合 CFD 行政分區模擬結果，按照分類定義給定通風潛力分區。	4.4、4.5 節

資料來源：本研究製作

一、頁面簡介

TUVM 首頁如圖 5-3 所示，可按欲了解之資訊分項進入子項目。部分子項目如氣象站資料、正規化地表溫度和通風潛勢等格網數據量大者，提供行政分區查詢功能，如圖 5-4 所示，以加快讀取速度。



圖 5-3 TUVM 系統區域主頁面

資料來源：本研究繪製

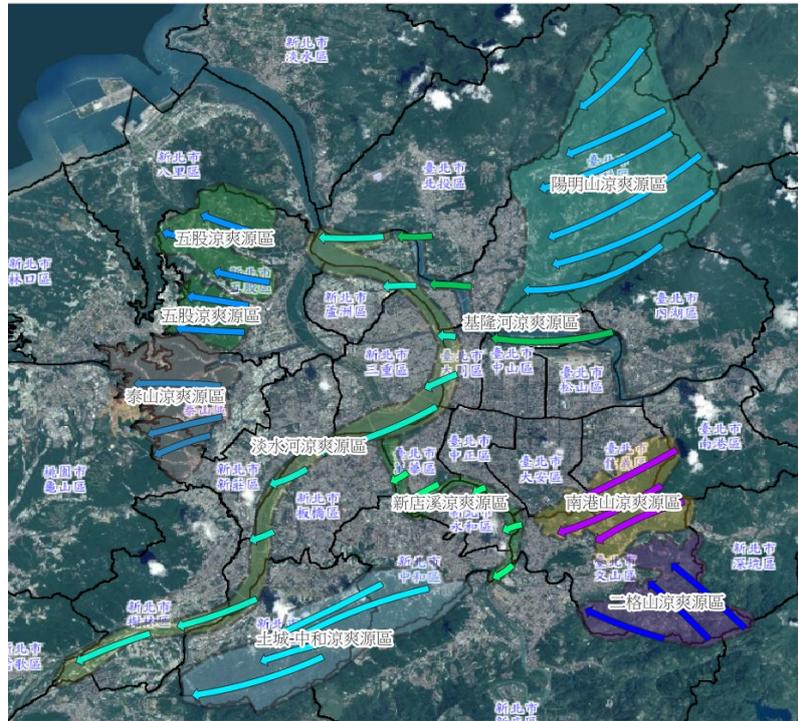


圖 5- 6 TUVM 系統主要風廊(秋季)

資料來源：本研究繪製

三、格點圖層

格點圖層以都市紋理資訊為例，圖 5- 7、圖 5- 8、圖 5- 9、圖 5- 10 分別顯示平均建築高度、建蔽率、容積率、地表粗糙度等。以等值圖顏色代表各指標的強度，方便整體觀察。使用者亦可點擊 400m² 的格點區域，進一步得到精確數值。



圖 5- 7 TUVN 系統 400m² 格點化平均建築高度

資料來源：本研究繪製

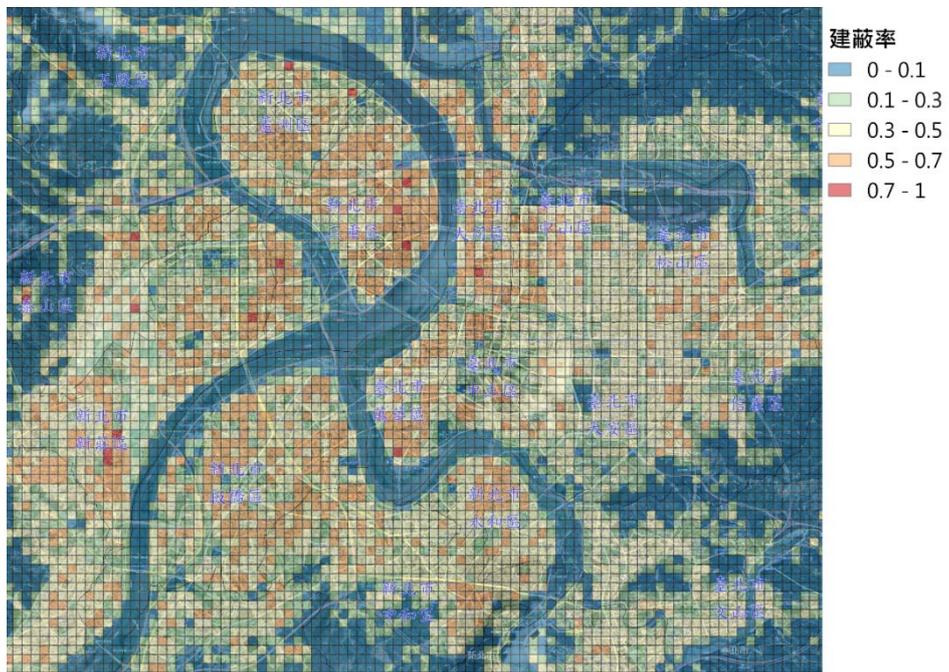


圖 5- 8 TUVN 系統 400m² 格點化建蔽率

資料來源：本研究繪製

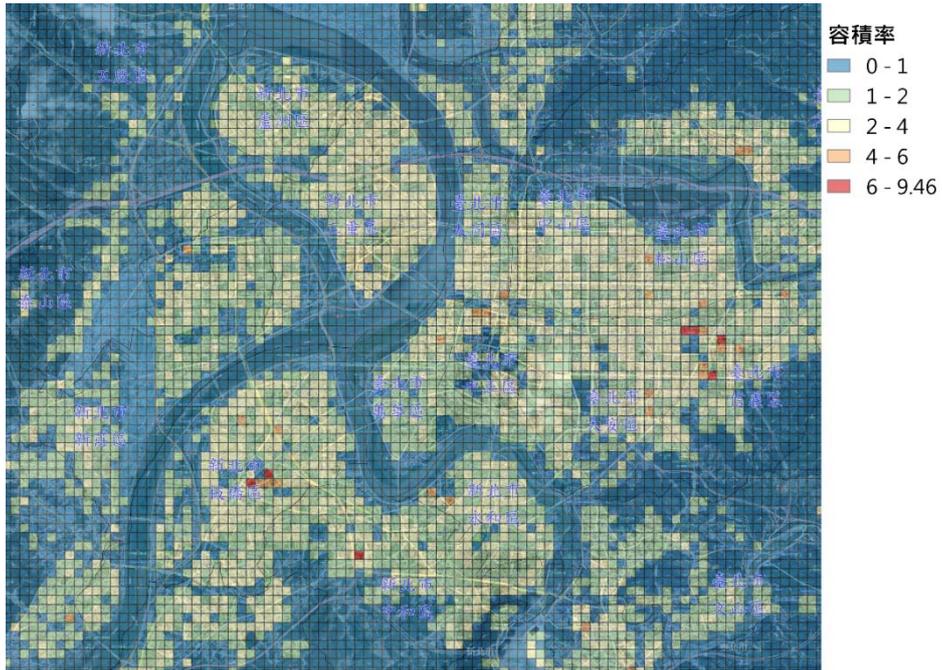


圖 5- 9 TUVM 系統 400m² 格點化容積率

資料來源：本研究繪製

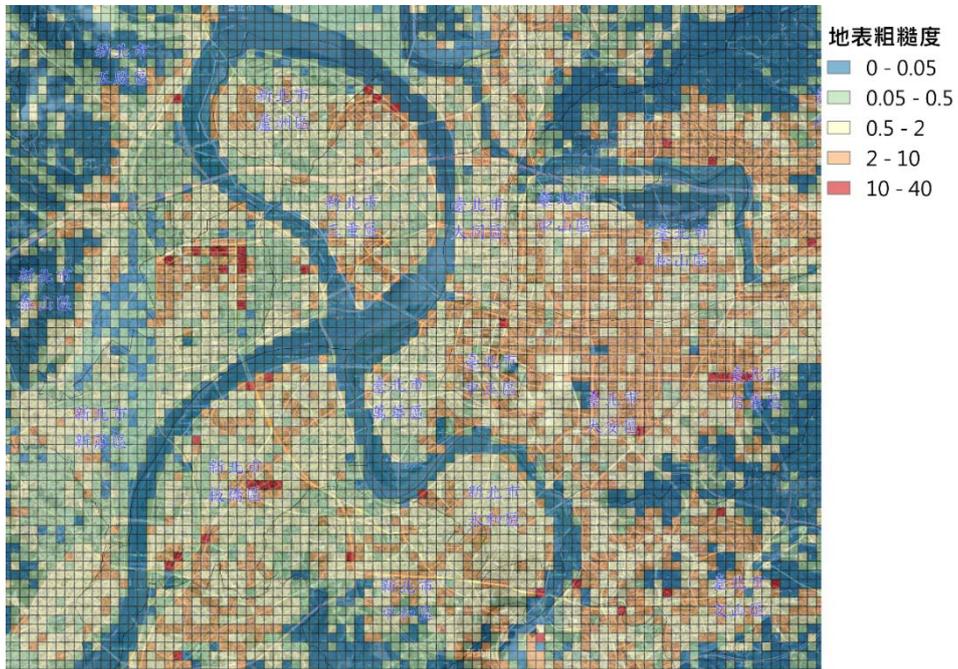


圖 5- 10 TUVM 系統 400m² 格點化地表粗糙度

資料來源：本研究繪製

第二節 局部區域開發

香港由 2005 年開始於公共工程案推動 AVA，綜觀自 2006 年至 2023 年 8 月 24 日，共有 170 件空氣流通評估項目登錄，其中有 6 件在初步評估後無須提供 AVA 報告，目前仍有一件正在進行中。其餘 163 件分別為土地使用規劃、建築設計及高架道等。AVA 報告最終皆提出模擬成果證明提出的開發案和建築量體型態與配置或基礎設施及綠地開放空間等，將不影響既有的風場條件。鑒於香港實施 AVA 的經驗，本研究希冀未來臺灣也能藉由風場評估的推動，使我國都市提升熱與風舒適度更並具更具宜居性。

我國有部分城市也在都市設計審議以中加入相關規定，如「新北市林口特定區計畫(第三種產業專用區)永續發展暨淨零碳地區都市設計審議原則」中，提到風廊規劃：「為促進環境通風效果，建築開發應提出環境風場試驗成果說明，以確保風廊效應。」

據此，本研究建議局部區域開發參考香港 AVA 的評估方法[29]，在局部區域開發如場址涵蓋範圍、建築物體積、建築物座向和布局等在規畫初期就納入考量，以確保建築物及其興建後不會對週邊環境風場產生明顯阻擋。

一、評估方法

在進行風速比評估時，先要確認當地的盛行風風向，再以風洞實驗或 CFD 模擬進行分析(圖 5- 11)興建前後的風速比。建置的模擬範圍為以開發案的最高建築高度(H)2 倍為半徑的範圍內，評估區域則是以 H 為半徑的範圍內，如圖 5- 12。採用風速比 (VR_w) 作為指標，公式為：

$$VR_w = \frac{V_p}{V_\infty} \quad (4-7)$$

其中， V_∞ 為在不受到地表粗糙度、建築物及地形地貌影響下的邊界層層緣風速（通常假設距都市中心屋頂往上一定高度，具體取決於實際位置） V_p 是受到建築物影響後的行人高度（離地 2m 高）。表示該位置在考慮週邊建築物的情況下，地面上行人可以感受跟享受到多少的風。由於 VR_w 僅受該

鄰近建築物的影響，可以作為一個簡單的指標來用於評估規劃案的影響。當 VR_w 值越高，建築物對風可利用性的影響也就越小。

基本上，測點集合佈設原則有以下 2 種：

- (1) 周邊測點：在邊界上設置一些週邊測試點，間距約為 10~50m，實際依現場情況設置，均勻分佈並環繞測試場地。測試點必須設置在道路交會處、轉角處及主要入口處。用來計算場域平均風速比(site spatial average wind velocity ratio, SVR_w)，可表示開發對週邊風環境造成了何種影響。
- (2) 整體測點：在詳細的研究下評估區域內每 200~300m² 內有 1 個測試點。測試點應設置於行人可到達或常出入的位置，包括人行道、開放空間、廣場、大廳等，但摒除後巷、小巷弄等區域。部份測試點應設置於主要出入口處及已知的人群聚集處。在街道部份，測試點應位於道路中線上。整體測點和周邊測點合併後，用來計算局部平均風速比(local spatial average wind velocity ratio, LVR_w)。

二、達標要求

本研究研議 3 種維持區域通風的要求：

- (1) 開發後的 SVR_w 不應低於開發前的 SVR_w ，且 95% 以上的周邊測點的風速比不應低於開發前的風速比。
- (2) 開發後的 LVR_w 不應低於開發前 LVR_w 的 95%。
- (3) 開發後的 VR_w 經與夏季氣象資料結合換算後，95% 以上的整體測點，夏季平均風速可達 1 m/s 以上。

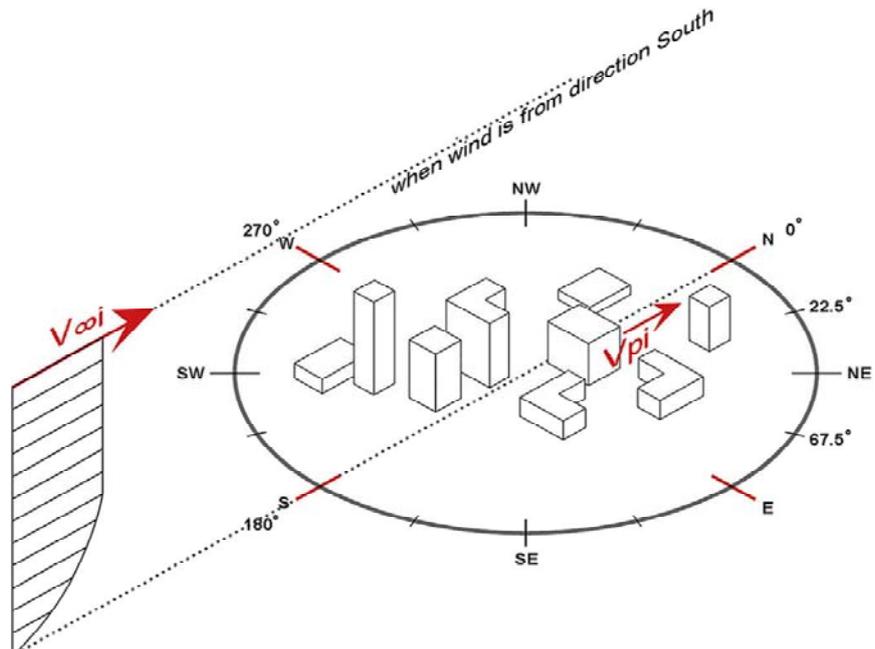


圖 5- 11 選擇當地盛行風風向東風進行評估之風速比示意圖

資料來源：[29]

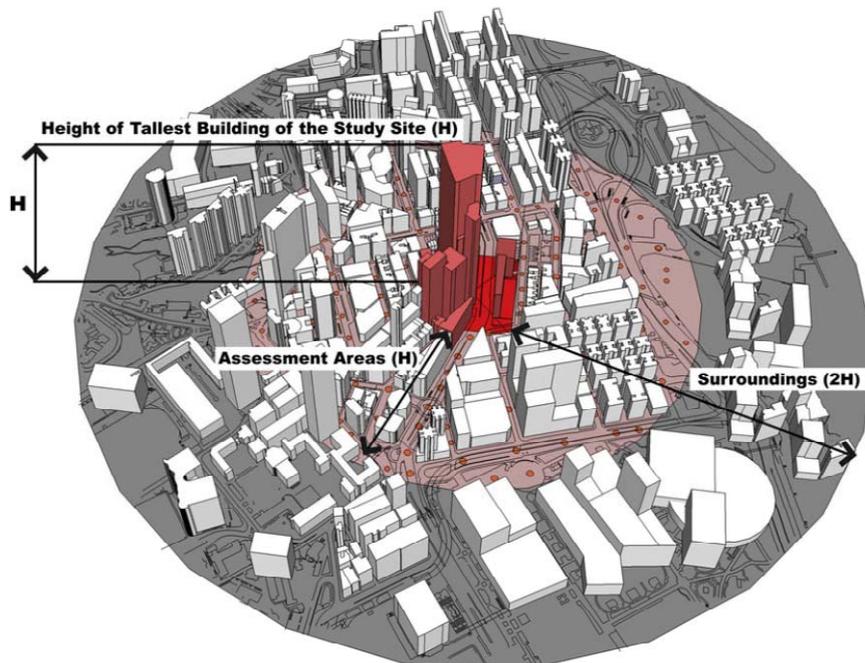


圖 5- 12 風速佈點範圍以及原則

資料來源：[29]

第三節 應用流程說明

在前一節中(5.2 節)中建議在局部區域開發時進行風洞實驗或 CFD 模擬之通風評估，本節說明如何應用 TUVN 之產出資訊至作業流程中。相關流程步驟如圖 5- 13 所示，以下為流程說明。

- (1) 檢視都市熱島強度：觀察開發區域是否落在高溫區附近，也就是都市熱島強度較強的區域。於此建議鄰近區域正規化地表溫度高於 0.75 時，需審慎考慮本區域的通風效應，進行建築基地開發時應進行通風評估，若規劃藍綠帶則免進行評估。
- (2) 檢視主要風廊：若開發區鄰接涼爽源區且位於主要風廊下游，需審慎考慮本區域的通風效應，進行建築基地開發時應進行通風評估，若規劃藍綠¹帶則免進行評估。
- (3) 檢視次要風廊：若開發區位於次要風廊之要徑上，需審慎考慮本區域的通風效應，進行建築基地開發時應進行通風評估，若規劃藍綠帶則免進行評估。
- (4) 檢視區域都市紋理：開發區域規劃之建蔽率應低於開發前樣態。
- (5) 風洞試驗或 CFD：依據氣象站風速分析結果，或格點化盛行風風速作為風場入流條件。最後按照 5.2 節建議方式進行評估，確認是否達標。

¹ 主要是考量綠帶包含公園綠地，藍帶則是考慮規畫水體(如池塘、滯洪池等)降溫措施，並非規劃建築量體或不透水鋪面(如道路等)，對於形塑都市風廊、引進涼爽空氣為正面助益之規劃，因此建議可免評估。

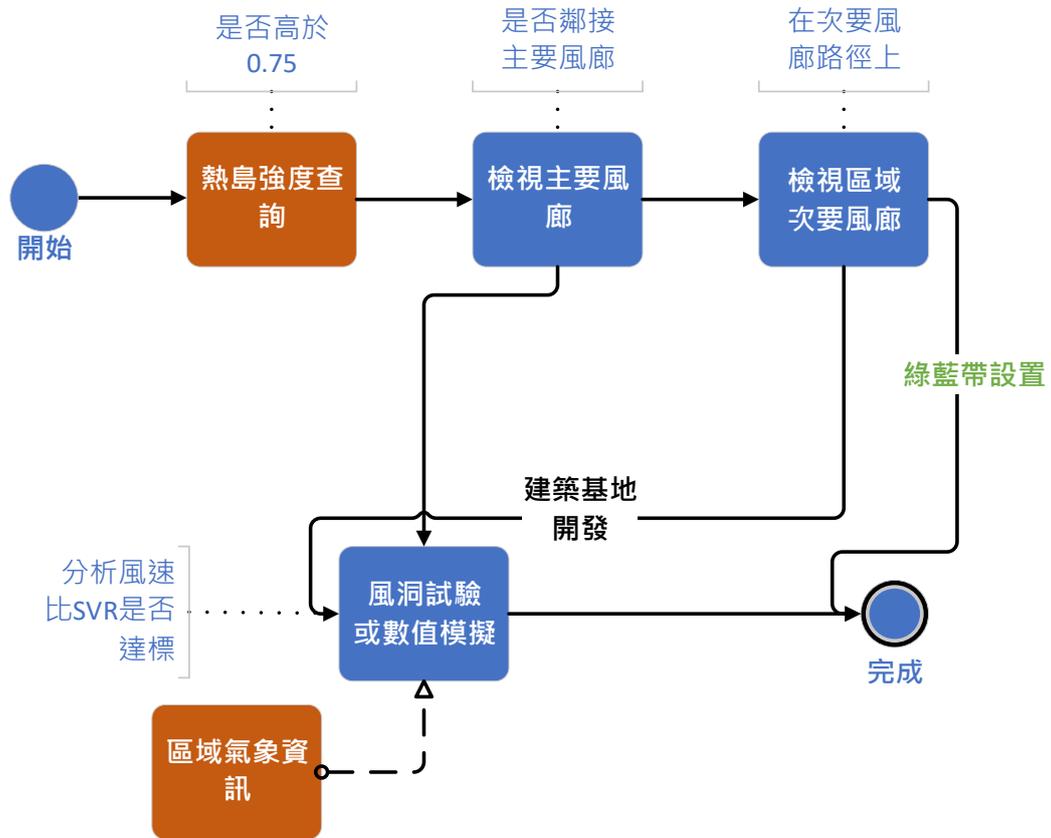


圖 5- 13 TUVM 於局部區域開發應用流程圖

資料來源：本研究繪製

第四節 建築群通風分析

根據王際濤[69]針對都市通風的研究，參考現行主要都市之細部計畫土地使用分區管制要點之規定進行設計，藉由固定容積率及斷面面積，觀察調整路寬及建築高對建築群中的氣流特性及行人高通風效應的影響。建築配置設計方法如下：首先固定路寬為 8 m，將建築模型斷面長寬高(樓高設定為 4m)依建蔽率(50%)及容積率(300%)設計至法規上限值，而後固定此建築斷面尺寸並將路寬調整為 16 m 及 24 m，將路寬放大時，容積率也會隨之降低，再調整建築高使容積率達上限值。

一、研究方法

風場模擬採 openfoam 為主要分析工具，數值模式經過 AIJ[19]典型建築群風洞實驗結果驗證，行人風場高度模擬結果與實驗比對平均誤差低於 10%，並經過格網獨立性(grid independent)測試，在物性比對分析上具有一定的可信度。

於此設計 2 種斷面的典型建築，分別為正方形以及長方形斷面。正方形斷面的長寬比為 1:1，寬度代號為 D_1 ，建築棟數設定為 10 棟×10 棟；長條形斷面的長寬比為 5:1，寬度(短邊)代號為 D_2 ，建築棟數設定為 8 棟×5 棟，建築高代號為 H，路寬代號為 W。正方形斷面及長條形斷面之參數設定及縮寫代號表 5-2 所示。

表 5-2 建築群幾何參數設定與代號

Case ID	建築高($\frac{H}{D_1}$)	路寬($\frac{W}{D_1}$)	Case ID	建築高($\frac{H}{D_2}$)	路寬($\frac{W}{D_2}$)
H _{1.2} -W _{0.4}	1.2	0.4	H _{2.2} -W _{0.7}	2.2	0.7
H _{2.1} -W _{0.8}	2.1	0.8	H _{3.7} -W _{1.5}	3.7	1.5
H _{3.1} -W _{1.2}	3.1	1.2	H _{5.6} -W _{2.2}	5.6	2.2

資料來源： [69]

入流條件設定為參考風速 $U_{ref}=5$ m/s；參考高度 $z_{ref}=10$ m； $z_0=0.7$ m，此設定值為依據 ESDU [7; 8]對於郊區 z_0 值範圍之參考。入流風向分別以 5

個風向角($\theta = 0^\circ、22.5^\circ、45^\circ、67.5^\circ、90^\circ$)表示。正方形斷面之分析風向及區域、長條形斷面之分析風向及區域如圖 5-14。

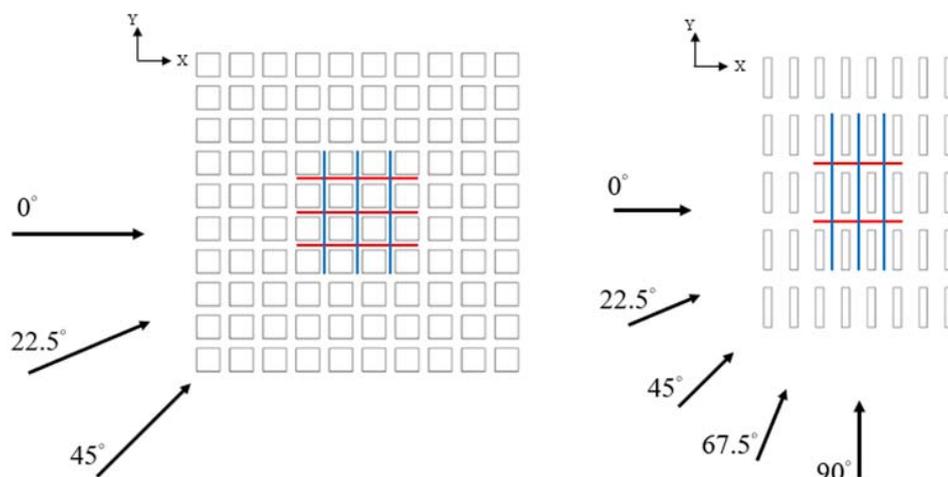


圖 5-14 方形斷面與長條形斷面建築群配置與風速擷取示意圖

資料來源： [69]

透過風速比 VR 於分析區域的發生頻率及累積發生頻率繪圖以觀察於分析區域內風速的分布情況，風速比 VR 之定義為合成風速與參考風速之比值($VR = u_i/U_{ref}$)。另考慮風速發生頻率 $F(\%)$ ，其定義為：

$$F = \frac{VR(i,j)}{n} \quad (5-1)$$

其中， $VR(i,j)$ 為風速比於 i 至 j 區間之樣本數，區間大小為 0.05， n 為分析區域內總樣本數。累積發生頻率(cumulative frequency； $CF\%$)之定義為：

$$CF = \sum_0^k F_k \quad (5-2)$$

此外，為了觀察風速沿道路中心線變化的趨勢，於此定義平均風速比 \overline{VR} 為 X 軸向及 Y 軸向沿道路中心線的風速比取平均值。

二、結果分析

由正方形斷面分析結果可以看出(表 5-3)，對個別案例之風速比進行比較，可以看到風向角 θ 越大，風速比的平均值越小。進一步觀察 X 向及 Y 向

\overline{VR} 沿道路中心線的趨勢圖(圖 5- 15)，可以看到流入建築物後，風速會逐漸減弱，在經過另一方向道路時，均有加速的現象。由等值圖可以進一步觀察這一現象(圖 5- 16)，當 $\theta= 0^\circ$ 時，氣流經過建築前緣由建築的兩側繞過去產生加速的現象，並於角隅處發生渦漩分離形成角隅強風，擠壓到道路中心處進而產生加速；當 $\theta=22.5^\circ$ ，除了建築角隅處發生渦漩分離，因為角度的關係，風可以從 Y 向部分導入道路中，綜合影響下，使其具有加速的現象，也因為角隅強風的發展加上入流的氣流，使 $\theta=22.5^\circ$ 時 \overline{VR} 的峰值有些區域大於 $\theta=0^\circ$ 。

由表 5- 4 中所見， $H_{2.2}-W_{0.7}$ 至 $H_{3.7}-W_{1.5}$ 風速比的平均值均有所提升； $H_{3.7}-W_{1.5}$ 至 $H_{5.6}-W_{2.2}$ 於 $\theta=22.5^\circ$ 時風速比的平均值則有些微的降低；於其他風向角之風速比則有所提升。若將五個風向角之風速比進行比較，可以看到 $\theta= 67.5^\circ、90^\circ$ 比 $\theta= 0^\circ、22.5^\circ$ 風速要來的大許多。

而從圖 5- 17 中反應的趨勢可以看到，當 $\theta= 0^\circ$ 時雖風速比會隨路寬增加而有所增加，但仍有約 70%的風速比發生頻率落在 0-0.3 之間。可見當長條型斷面路寬增加，雖能稍微增加風速但在 $\theta= 0^\circ$ 時仍無法有效率地將風引導至建築群內。

表 5- 3 不同角度下正方形斷面之風速比平均值和標準差

$\theta=0^\circ$	平均值	標準差	$\theta=22.5^\circ$	平均值	標準差	$\theta=45^\circ$	平均值	標準差
$H_{1.2}-W_{0.4}$	0.269	0.154	$H_{1.2}-W_{0.4}$	0.242	0.149	$H_{1.2}-W_{0.4}$	0.206	0.137
$H_{2.1}-W_{0.8}$	0.498	0.293	$H_{2.1}-W_{0.8}$	0.416	0.226	$H_{2.1}-W_{0.8}$	0.250	0.156
$H_{3.1}-W_{1.2}$	0.691	0.369	$H_{3.1}-W_{1.2}$	0.446	0.250	$H_{3.1}-W_{1.2}$	0.246	0.149

資料來源： [69]

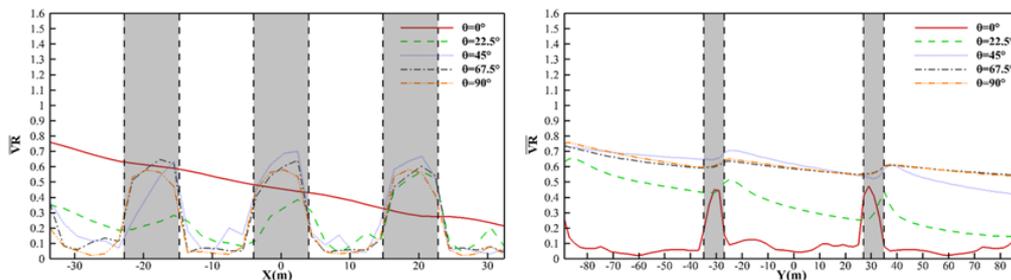


圖 5- 15 沿道路中心線(X 及 Y)之風速比趨勢圖($H_{1.2}-W_{0.4}$)

資料來源： [69]

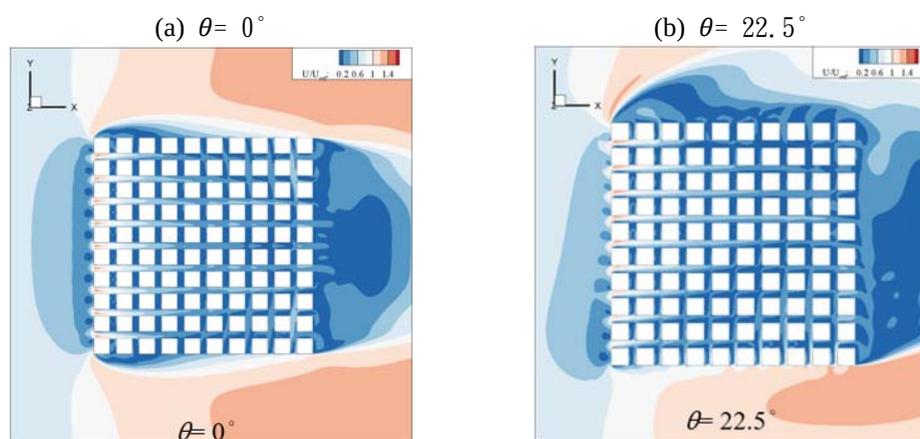


圖 5- 16 $H_{1.2}-W_{0.4}$ 風速比等值圖

資料來源： [69]

再看到 X 向及 Y 向 \overline{VR} 沿道路中心線的趨勢圖。圖 5- 17 中 X 向 $\theta=0^\circ$ 的風速趨勢與 Y 向 $\theta= 22.5^\circ$ 、 45° 、 67.5° 、 90° 類似，由於 $\theta= 67.5^\circ$ 及 90° 時與 Y 向道路夾角較小，風速趨勢同 X 向 $\theta= 0^\circ$ 為合理現象，Y 向 $\theta= 22.5^\circ$ 、 45° 則須從等值圖進行說明。由圖 5- 18、

圖 5- 19 可以看到風在進入建築群後脫離原有的風向而沿街谷(street canyon)流動形成渠化效應，也因此即使 $\theta= 22.5^\circ$ 、 45° 風無法從 X 向良好的流入建築中心的區域，仍受渠化效應影響使風速相較於 $\theta=0^\circ$ 有更良好的提升，而渠化效應的影響也使得 $\theta= 22.5^\circ$ 、 45° 的風速趨勢會與 $\theta=67.5^\circ$ 、 90° 的風速趨勢相似。而前述提到 $H_{3.7}-W_{1.5}$ 至 $H_{5.6}-W_{2.2}$ 於 $\theta= 22.5^\circ$ 時風速比的平均值有些微的降低，由圖 5- 18、圖 5- 19 可以看出將路寬調大反而使得渠化效應減弱，使氣流較分散，風速較低； $\theta= 45^\circ$ 則因路寬加大，角隅強風與渠化效應的綜合影響下，風速仍能有良好的提升。

表 5-4 長條形斷面之風速比平均值和標準差

			$\theta=45^\circ$	平均值	標準差
			$H_{2.2}-W_{0.7}$	0.534	0.208
$\theta=0^\circ$	平均值	標準差	$H_{3.7}-W_{1.5}$	0.593	0.231
$H_{2.2}-W_{0.7}$	0.170	0.189	$H_{5.6}-W_{2.2}$	0.678	0.272
$H_{3.7}-W_{1.5}$	0.229	0.160	$\theta=67.5^\circ$	平均值	標準差
$H_{5.6}-W_{2.2}$	0.303	0.191	$H_{2.2}-W_{0.7}$	0.532	0.184
$\theta=22.5^\circ$	平均值	標準差	$H_{3.7}-W_{1.5}$	0.710	0.226
$H_{2.2}-W_{0.7}$	0.334	0.195	$H_{5.6}-W_{2.2}$	0.890	0.276
$H_{3.7}-W_{1.5}$	0.487	0.288	$\theta=90^\circ$	平均值	標準差
$H_{5.6}-W_{2.2}$	0.343	0.244	$H_{2.2}-W_{0.7}$	0.533	0.191
			$H_{3.7}-W_{1.5}$	0.712	0.239
			$H_{5.6}-W_{2.2}$	0.863	0.270

資料來源： [69]

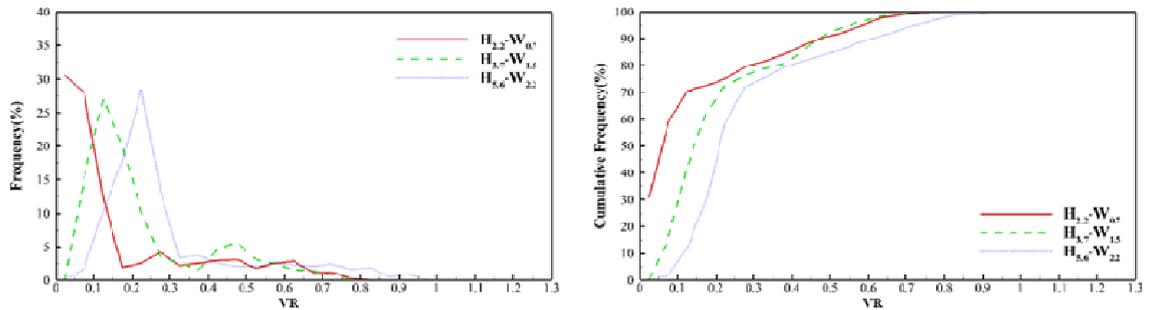


圖 5- 17 長條形斷面之 VR 的發生頻率及累積發生頻率圖

資料來源： [69]

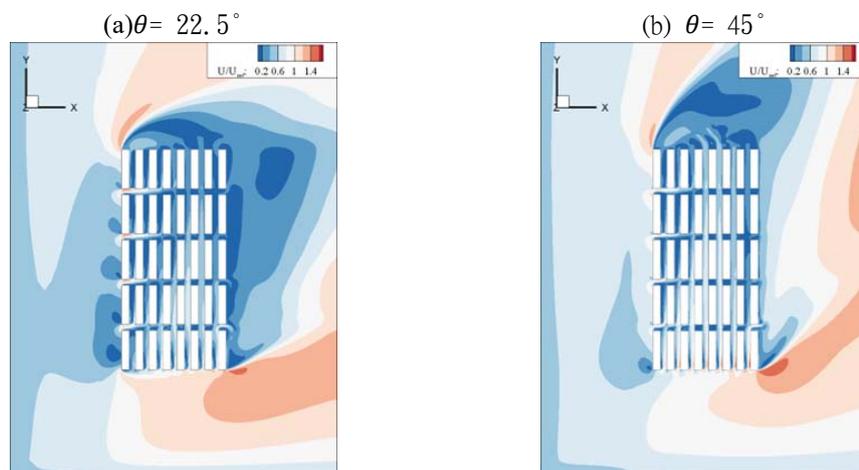


圖 5- 18 $H_{3.7}-W_{0.7}$ 之風速比等值圖(路寬 8 公尺)

資料來源： [69]

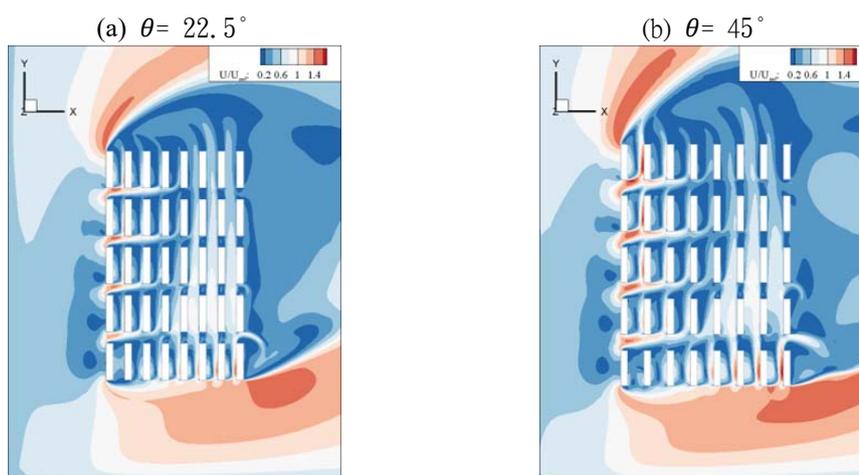


圖 5- 19 $H_{3.7}-W_{1.5}$ 之風速比等值圖(路寬 16 公尺)

資料來源： [69]

三、小結

- (1) 在理想化正方形斷面建築群的情況下，入流風向與道路走向越接近平行，整體的風速會越大，通風的效率越好。
- (2) 在容積率固定的前提下，增加路寬且增加建築高度能使整體的風速提升，但在入流與道路走向風向角差越大時，路寬的增加對提升整體風

速的能力越有限。

- (3) 角隅強風的發展和入流的綜合影響下，長條形斷面街道可以使 $\theta=22.5^\circ$ 風速的峰值大於 $\theta=0^\circ$ ，風速更高。
- (4) 在長條形斷面建築群的情況下，增加路寬雖能增加風速，道路寬最寬的狀況下反而降低；在 $\theta=22.5^\circ$ 時雖入流風向較偏向平行於斷面短邊之道路走向，但受渠化效應的影響，風主要由平行於斷面長邊之道路走向導入，也因此將路寬加大到 24m 時，反而使風速減弱，故路寬 16 公尺在研究個案中會是較好的通風選擇。
- (5) 在 $\theta=45^\circ$ 時因路寬加大，雖可能使渠化效應的減弱，但在角隅強風與渠化效應的綜合影響下，風速仍有良好的提升。在 $\theta=67.5^\circ、90^\circ$ 時入流風向與平行於斷面長邊之道路走向較接近，由入流風主導氣流，渠化效應的輔助使得氣流可以更集中的進入建築內。

第五節 建議管制原則

本研究於此參考國際上主要城市管制原則，並參考國內都市樣態後，初步擬定建議原則如後：

- 風廊管制範圍，以垂直於風廊要徑切線之 500 公尺區域內(如圖 5-20)。
- 在風廊要徑上建議增設綠地、水體等降溫區域。
- 在風廊要徑上建議不高於原基地之建蔽率。
- 在風廊要徑上建議保留主要道路寬度(含退縮)大於 8 但不超過 16 公尺(四線道)。
- 在必要的情況下，風廊要徑上的大型開發案有阻礙風廊要徑之疑慮者，建議進行區域開發通風評估。

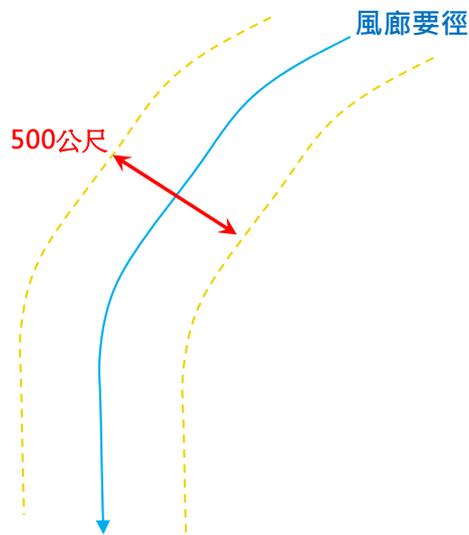


圖 5- 20 管制範圍示意圖

第六章 結論與建議

第一節 結論

本研究為建立都市風廊規畫分析用之工具，規劃「臺灣都市通風地圖」(TUVM; Taiwan Urban Ventilation Map)。針對大台北盆地建築及人口密集區域產製都市通風評估所需資訊並進行試作，資訊涵蓋包含台北市：松山區、信義區、大安區、中山區、中正區、大同區、萬華區、士林區；新北市：板橋區、三重區、中和區、永和區、新莊區、蘆洲區、泰山區、五股區。

在整合類神經網路、CFD 模擬、中尺度大氣模式、衛星紅外線波段反演、都市紋理分析、地理資訊系統等技術後，產製包含都市通風規劃資訊及圖層。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：

- (1) 本研究建置 TUVM 網站，並匯入包含區域風速風向資訊、都市熱島資訊、建築紋理資訊、都市風場資訊等四大區塊資料，提供一個快速查詢平台供相關人員取得都市通風規劃資訊。
- (2) 本研究進行過程中，進行了多項驗證以及分析工作，包含所取得風速資料的正確性、擴增衛星資料的代表性、確認都市紋理分析方法，確保相關資訊能合理表現研究區的各项物理機制，對於風廊評估後的效益提供保障。
- (3) 參考國際主要高密度都市作法，建立局部區域開發通風評估方法，研議 3 種維持區域通風的要求，作為都市開發或規劃時，考量都市通風之評估參考。
- (4) 在 TUVM 系統的概述以及應用流程中，讓使用者可以認識提供的各項資訊內容說明，可依據本系統功能內容變化，修正或擴增說明內容，並進一步整合此部分資訊至網站系統中。
- (5) 參考國際上主要城市管制原則，並參考國內都市樣態後，初步擬定適於我國之管制原則。未來在持續完善本系統的同時，針對管制原則進

行修正，並與社會各界達成共識，推出可行且有效的管制手段。

第二節 建議

建議一

立即可行建議：TUVVM 推廣應用

主辦機關：內政部國土管理署、內政部建築研究所、國立臺灣科技大學

協辦機關：中華民國風工程學會

本計畫建立都市風廊規畫分析用之工具，規劃「臺灣都市通風地圖」(TUVVM；Taiwan Urban Ventilation Map)，並套用大台北盆地區域之行政區之分析資料，提供包含區域風速風向資訊、都市熱島資訊、建築紋理資訊、都市風場資訊等。後續應可推廣此技術應用至我國主要都市進行分析，前期目標以六都建築人口密集區域為對象，未來可因應地方需求進行特定區域進行分析，提供各縣市政府都市設計審議或都市規劃之參考。

建議二

中長期建議：研訂風廊管制原則

主辦機關：內政部國土管理署、內政部建築研究所

協辦機關：各縣市政府都市發展局或城鄉發展局、國立臺灣科技大學、中華民國風工程學會

本研究建立整合技術指認都市風廊，而劃定風廊後管制手段牽涉到人民權益以及地方政府都市規劃。如綠地保留或限制開發，以及限制建蔽率、容積率、道路退縮等手段能形塑風廊，但也對於土地使用帶來了限制。風廊區的管制也需要因地制宜，此部分需審視現有中央法規以及地方政府土地管制規則來通盤考量。而在局部區域開發上，可先行推廣評估方法與達標標準，由各縣市政府都市設計審議開始進行。

建議三

中長期建議：本案開發成果納入國土規劃地理資訊圖台

主辦機關：內政部國土管理署、內政部建築研究所、內政部國土管理署城鄉發展分署

協辦機關：國立臺灣科技大學、內政部國土測繪中心

本計畫建立產製各類都市通風基礎資訊之技術，建立大尺度之都市通風地圖資訊，並建立線上地圖查詢系統，提供完整且友善之查找環境。後續將相關圖資整合至內政部國土管理署國土規劃地理資訊圖台，提供整合資訊以供參考。由於都市物理環境會逐年改變，相應地圖資料須每2-3年進行檢討更新，以產製最新並符合現況之氣象統計資料、都市熱島強度、都市紋理現況、風廊分布狀況等資訊。

建議四

中長期建議：都市風廊長期效益驗證

主辦機關：內政部建築研究所、國立臺灣科技大學

協辦機關：中華民國風工程學會

應持續追蹤風廊改善對於都市熱島對於建築節能之效益並進行檢討，盤點並評估區域建築節能效益，配合我國淨零碳排政策推動方向，協助政府淨零路徑之可行性驗證。後續可針對局部區域作為驗證之場域，進行風場、溫度、地表溫度等即時監控，逐年追蹤其效益。

目前困難點在於衛星所反演之地表溫度受到氣候影響而品質不一，利用分析手段來減少此部分影響，最後產出的熱島強度指標仍有待驗證，未來可以規劃空拍機來進行驗證工作。此外，都市區域的垂直風場分布需要進一步來檢視，因此規劃光達實驗卻有其必要性。綜合前述工作可以發現實場監測工作難度頗高，除顧及儀器安裝及資料傳輸技術外，還需要建築持有方以及地方政府等多方配合，需審慎考慮及規劃聯繫方能完成。

附錄一 採購評選會議意見回應

委員	審查委員意見	研究團隊回應
一	<ol style="list-style-type: none"> 1. 由於本案將使用多項軟體(如 OPENFOAM、QGIS)，建議將分析建置過程以影像訊息留存，俾利後續人員應用教學研究。 2. 在大數據應用系統中，將採用哪些資料庫，請說明。 3. 附表 1 中遺漏高潛力類型，請補充。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫應用多項開源軟體如 OPENFOAM、QGIS 來建置圖資，後續可提供簡要說明影片以及文件，以利相關人員操作並學習應用於建置圖資。 2. 本研究應用之大數據資訊，主要如國土測繪中心建置之 LOD1 之三維建築圖資、中央氣象局近 10 年的氣象資料等。都市紋理分析包含建蔽率、容積率、地表粗糙高度乃應用 LOD1 圖資進行分析，土地使用分區資料亦為國土測繪中心所提供，可應用於都市風廊分析，相關數據來源將列表說明於研究報告中。 3. 研究報告中將補充通風潛力分類方式。
二	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案提供國土規劃、都市計畫、區域開發或更新參考，惟各層級之計畫內容及尺度不同，如何提供各計畫參考。 2. 本研究範圍為大台北盆地都會區，是否涵蓋台北市和新北市所有行政區？新北市包含都市及非都市地區，土地管制不同，本案建置系統是否隨之改變？ 3. 都市紋理資料來源、內容及尺度為何？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建成環境之都市更新對於主要風廊影響較小，但目前主要都市如台北、台中也逐漸提出要求區域開發後之通風不應低於開發前。相關管理及規劃工作，可透過本系統建置之資訊協助後續分析應用，其應用方法將於研究過程中以應用案例加以說明。而都市計畫則可應用本計畫所建立之系統，針對規劃中的重劃區進行方案討論。 2. 本系統擬先以 QGIS 彙整為

委員	審查委員意見	研究團隊回應
	<ol style="list-style-type: none"> 4. 本案將應用於區域開發或更析，此「更新」係「都市更新」或另有其他界定？ 5. 本案應用於規劃和管制實務尚不清楚，建議能擇一地區/地點作模擬展示(Demo)。 	<p>圖層後發布於可查詢之 html 檔，再以 PHP 及 MySQL 整合為網頁介面建置查詢平台。國內相關政府單位如國土管理署、國土測繪中心均有自行建置之圖台，本案執行過程，可進一步洽詢結合發布之機制及可行性。</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. 都市紋理資料來源為國土測繪中心建置之 LOD1 之三維建築圖資，為三維實尺寸模型。 4. 區域開發或更析，此「更新」即指「都市更新」。 5. 將選擇一區域開發分析，並示範如何套用本資訊系統作為局部開發應用範例。
<p>三</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 都市風廊宜利用公園綠地及水域為主，雖受都市建築物林立之微氣候影響，可微調改變都市風廊位置及廊道方向，以串聯完整都市風廊。 2. 空污主要在中低高度之風場，且其流通受地形地貌及溫度影響，如何運用區域盛行風場去調整風廊，使減少空污蓄積。 3. 都市計畫使用分區，雖訂定容積率，惟受都市更新容積及 TOD 開發之增加容積影響，如何考量不同位置之容積差異。 4. 建議案例分析(區域風場)檢討，作為都市規劃參考。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 微調改變都市風廊位置及廊道方向牽涉到縣市土管機制，此部分可與縣市政府主管單位了解，尋求可行方案。 2. 國際上都市風廊規劃主要緣起為改善都市霧霾問題，並進一步協助都市降溫。規劃中可將易產生污染工業區規畫於風廊下游，以減少空污蓄積。 3. 本計畫之主要風廊分析將納入非都市區域分析，結合 WRF 以瞭解本區域內的風廊。而次要風廊部分主要受到建築影響，著重在都市區域，並採用 CFD 模擬分析，故在新北市之非都市區域次要風廊分析不在本案的分析

委員	審查委員意見	研究團隊回應
		<p>範圍內。</p> <p>4. 選擇一區域開發分析，並示範如何套用本資訊系統作為局部開發應用範例。</p>
四	<ol style="list-style-type: none"> 1. 請說明極端氣候對模擬結果影響，又如何處理極值資料？ 2. 請說明模擬範圍選擇不同行政區域之依據及校正方式，建議選擇新興區域模擬，例如新建捷運路線對風廊影響。 3. 請說明城市重大建設及更新後，對風廊發展的影響及因應方式？ 4. 報告內容（簡報）提及修正或調整都市計畫使用分區，風廊為既成都市現況，該如何修正，請舉例說明。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫主要著重於掌握常態發生之風場特性以導入涼爽氣流至都市中心，暫不考慮極端氣候影響。 2. 本年度著重於系統平台以及工具開發，未來技術成熟，可與縣市政府洽談協助新興區域模擬評估，以擴展本工具之應用廣度。 3. 在以地表粗糙度分析及土地使用分區後可以了解都市的主要風廊概況，若檢視其粗糙度分布可以找出潛在風廊路徑，透過區域管制行為應可增加都市風廊路徑。
五	<ol style="list-style-type: none"> 1. 風速之數據僅提供 2 公尺及 15 公尺之網格化平均風速資料(第 4 頁)，但第 5 頁次要風廊建議使用 30 公尺以下，主要風廊應是 30 公尺以上，其間之高差是否採用推估方式？若是，是否會參生主要風廊與次要風廊一樣之情形？ 2. 第 5 頁第 1 行提及：「都市風廊概念主要是讓涼爽空氣帶入城市中心」。但風廊路徑係大自然形成，有辦法改變使涼爽空氣帶入城市中心嗎？亦或都市規劃遷就風廊？ 3. 所有人員均為兼任，是否足夠人力可完成本研究案？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 2 公尺及 15 公尺之網格化平均風速資料指的是呈現風場所在高度，次要風廊規劃採 30 公尺指的是網格解析度，會在報告書中加強說明。 2. 在以地表粗糙度分析及土地使用分區後可以了解都市的主要風廊概況，若檢視其粗糙度分布可以找出潛在風廊路徑，透過區域管制行為應可增加都市風廊路徑。 3. 本計畫團隊包含風工程、GIS、CFD 燈專業人員，並有多年風廊分析經驗，本年度另整合督濟方面專才人員共同進行，對於如期如質完成

委員	審查委員意見	研究團隊回應
		計畫需求深具信心。
六	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案主題為都市風廊地理資訊系統開發，建議就該系統之規劃內容，以及未來擬與何種國家資訊系統介接等詳細說明。 2. 本案之通風地圖未來如何適用調整於都會區域計畫、地方層級國土計畫、都市計畫及開發或更新計畫等不同層級尺度空間之規劃應用。 3. 研究過程請多邀國土管理署、地方政府及顧問公司參加相關會議，確實瞭解實務應用的問題及實用性，以利未來落地應用。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫以自行開發網頁查詢系統為主，未來有機會可以與國土管理署或國土測繪中心等單位洽談圖資介接方法。 2. 都市設計審議及環境影響評估時，無論是在通風分析或是強風評估上，可應用氣象站之分析資料作為進行後續風洞實驗或CFD模擬背景資訊。其次，在開發或更新時，或可建議比照香港 AVA 模式，在主次要風廊區之地表粗糙度高度應不高於原本狀況，或進行風洞實驗、CFD模擬以確認變更後之不致大幅影響現有風廊通風情形。都會區域計畫、地方層級國土計畫、都市計畫管制作為且影響層面較廣，將透過專家座談、專家諮詢等方式，整合各方意見後做出建議。 3. 計畫執行期間將透過專家座談、專家諮詢會議，邀起請國土管理署、地方政府及顧問公司參加相關會議，確實瞭解實務應用的問題及實用性。

附錄二 第一次專家座談會議記錄

日期：民國 112 年 5 月 17 日 上午 10 點 00 分

會議地點：Webex 視訊會議

出席者：黎益肇教授、吳綱立教授、蔡欣君教授、黃騰賢顧問、林郁文總經理、蔡綽芳組長、郭建源副研究員

委員	委員意見	回應
蔡欣君教授	<ol style="list-style-type: none"> 1. 從建築規劃設計角度上，很期待看到本案的風速地圖網站可以建置完成，在後續建築紋理及都市規劃等使用上會有相當大的幫助 2. 展示的松山區範例在數值模擬時，東北側是直接以基隆河為分界，不像其他側有從行政區交界再外推確保來風的準確性，但基隆河本身亦為城市的通風廊道，模擬上是否會與實際情況有所出入。 3. 都市內保留通風廊道及低密度建築區的劃設，在都市開發甚至延伸到國土規劃方面也是課題，如範例中松山區盛行風為東北風，來風向剛好是面基隆河測，河岸邊的建築高度是否需有所限制。又松山區內含松山機場，本就應有飛航區相關的建築高度限制，可以查 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝肯定。 2. 通風廊道基本上是城市中受到阻礙最小，且可引入涼爽氣流的區域。因此在不需外推的情況下，可合理在為模擬入流的邊界區域，並反映真實狀況。 3. 誠如委員建議，都市計畫之建築限高規劃，除了要考量因應都市通風氣流引入外，另在基本區域使用限制上也要通盤考量。本案在此部分未來在實務操作上，會建議都市計畫之規劃單位在此應做妥適考慮。 4. 目前分析堤防在國土測繪之資料有納入，而高架道路目前因圖資較新，且底下會有空隙氣流通過效應，於粗糙度分析尚無法引入，但可用 CFD 模擬來補足。 5. 目前相關研究對於行人高度會抓在 1.5m 到 2m 的

	<p>詢作為參考。</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. 模擬中數值模型僅看到一般建築物，如堤防及高架道路等結構物是否需納入模擬？ 5. 行人環境風場國內一般是使用離地 1.5m~1.75m 的風速，本案使用的則是 2m，考量為何？ 	<p>區間，且在此高度區間內的風速梯度變化甚微，故於此統一採用 2m 高度作為分析基準。</p>
<p>林郁文 總經理</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 在業界實務方面，本案成果對於後續都市設計及國土規劃有很大的幫助，以往都只有零星區域的結果，對於範圍性的氣象結果相當缺乏。 2. 後續要怎麼樣將本案研究結果跟環評或法源結合，推動本案研究成果納入實際運用。 3. 都市環境及氣象資料都會隨著時間變動，為因應現實環境的變化，寄望後續能持續定期固定的投入資源進行更新維護。 4. 為後續要推動時在法源上站的住腳，應該擴張將風廊科普化，與民眾形成共識才更容易要求業界，立於訂定規範或作為法源依據。 5. 計畫可分成短期及中長期目標，短期可如同地震帶資料般進行部份公開，配合科普建立民眾對風廊的概念。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝肯定。 2. 本案目前先以開發查詢平台文主，提供都市設計人員基礎資訊。同時規劃應用本資訊之範例個案說明，以納入實際運用 3. 本案規劃於國內主要都市進行地圖建置工作，擬採用每 2 年滾動更新資訊方式，以因應現實環境，包含都市紋理、的變化。 4. 感謝建議，研究團隊會與主辦單位持續合作推廣此工作成果，並納入地方政府及都市計畫專家建議，在區域計畫、都市計畫、國土計畫上進行法規盤點。 5. 本計畫短期目標為建立查詢資訊平台，並逐步應用於國內主要都市。後續會在持續於主辦單位與國土管理署的支持下，往開放資料的目標邁進。

<p>吳綱立教授</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案在理論及實務上都有相當的價值，內容亦有相當的關鍵性，包含指認地區的通風潛力、主次要風廊的劃設等，在實務上都有相當大的幫助。 2. 運用 GIS 開發都市風廊除了能研究熱島問題外，還有空氣污染以及能源消耗等問題可以探討，只是如要進行該類研究就還需要其他更多相關的資料以進行探討。 3. 實際操作上，要獲取氣象資料有所困難，且大多為大尺度資料，缺乏中尺度及微觀尺度的空間分佈風速風向資料，各氣象站所在高度也不盡相同，如何利用大數據整合風速資料是很重要的課題。 4. 本案風廊高度使用 15M，去年研究中似乎是 10M，行人舒適是使用 2M，甚至會受都市建物高度影響，城市風廊的定義可能需明確，不同的需求關心的高度可能就不盡相同。 5. 風廊亦牽涉尺度問題，除大尺度的主次要風廊，如需模擬較微觀的風廊數值模擬時網格可能要切的更細，亦須進行風廊尺度的定 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員肯定研究方向。 2. 誠如委員所說，如要進一步分析空污及能源消耗問題，應進一步蒐集研究區域內空污資料(如 PM2.5 的區域監測資料)，以尋求以都市通風對流緩解手段。 3. 本研究擬整合 TCCIP 的中尺度氣象資料，透果與氣象站資料適當比對驗證， 4. 誠如委員所說，在不同分析尺度上所關切的風速高度也不盡相同。目前規劃是在局部開發時，著重於地表行人高度 2m，而在都市風廊分析時則可能落在 10-15m 之間，後續於研究成果中會明確定義。 5. 誠如委員所言，在數值模擬時的微觀尺度中，本計畫劃定的行行政區範圍下，針對靠近建築表面的網格採 1 公尺以下，且確保平行於建築表面，以兼顧計算量與精度之要求。 6. 感謝建議，與本計畫擬進行之方向相符。 7. 本研究在溫度分析上採用折衷的方式，空氣溫度部分在驗證 WRF 的歷史模擬資料後納入使用，地表溫度不分則僅可能蒐集近 5 年之遙測影像，進以分析區域的熱島效應
--------------	---	--

	<p>義區分。</p> <p>6. 城市風廊的規劃與都市紋理、型態、布局，土地使用的密度強度等都有密切的關係，這部份在利用 GIS 軟體資料可以有效整合上述資料。</p> <p>7. 都市熱島強度分析往往在城市風廊上也是一個重要的研究議題，但氣象資料庫目前仍有相當的困難度，現多使用遙感衛星溫度影像或是地表氣象溫度，但遙感溫度資料也有一定使用上的困難，地表溫度則受限於氣象站的分佈。</p> <p>8. 風廊舒適度標準除風向風速外還牽涉日照，目前並無統一一致的標準，如使用 0.3m/s 在測量上又會受到儀器精度影響，如可經由本案建立一套一致性的標準會利於後續使用。</p> <p>9. 氣象模擬軟體（WRF）是在大尺度分析，如果需要進行城市風廊設計或都市規劃，在精度上是較為不足的。數值模擬時亦受限於網格及電腦的運算能量會影響出來的結果精度，這 2 個方式間該如何結合以較有效率的</p>	<p>趨勢。</p> <p>8. 感謝建議，本研究會在計畫進行中研議解決此問題。</p> <p>9. 本研究採用 WRF 及 CFD 雙軌並行方式來指認都市風廊，以確保分析結果的可靠性。</p> <p>10. 未來可在建研所以及國土管理署的支持下，持續進行相關實測及驗證研究。</p> <p>11. 感謝肯定，會持續檢討研究成果並實行落定應用。</p>
--	---	--

	<p>方式得到一個不錯的結果也是本計畫的課題。</p> <p>10. 城市風廊系統及執行管控實踐上，因會實際影響到民眾生活權益，需要有更多的研究結果來進行論證。</p> <p>11. 大尺度主次要風廊規劃上可與都市基礎設施結合，都市尺度風廊則跟土地管理如建築型態與容積管控相關，本案的研究成果可以作為支持相關的論述。</p>	
<p>黃騰賢 顧問</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. ArcGIS 有很多外掛的工具模組，在本案使用上也可以多做考慮使用。 2. 可以先將基本氣象資料與 GIS 地圖資料結合當作地圖基底，再納入數值模擬結果。 3. 展示部份建議使用教育版的 ArcGIS，可以解決很多結果展示上的問題。 4. 後續可能配合 AI 的方面進行氣候變遷預測，同時定期更新分區結果資料，使得計畫成果有一定的持續性。 5. 在城市樣貌上，遇到樹木、高架道路、橋樑、堤防等不同結構體該如何展現及處理。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝建議，本團隊將嘗試了解其功能，檢視其是否適用於本分析架構，。 2. 目前都市通風地圖平台系統先已研究區內的中央氣象局氣象站作為基本地圖資訊，共有 17 個氣象站資料。將其風速資料依據季節進行 10 年的統計分析，並呈現於平台上面。 3. 本研究初步先以 QGIS 分析之圖層資訊，後續本團隊會探詢 ArcGIS 的功能，比較 2 種軟體於圖層呈現的適用性。 4. 感謝建議，此部分會在各主要區域的氣象資料上納入定期更新的機制。 5. 樹木、高架道路、橋樑、堤防等不屬於都市建築

	<ol style="list-style-type: none"> 6. 前面提到的衛星航照遙感溫度測量結果可用切分方式處理可用資料，分別擷取不同該區可用時間點的結果切分後再拼接。 7. 美國 NETCDF 也有提供開源全球尺度的溫度資料，可以參考。 	<p>圖資部分，在處理上分為 2 部分。首先，主要風廊在分析都市紋理時。在行政分區的局部 CFD 模擬部分，小尺度的構造物會以源項方式處理，而高架橋部分因圖資有限尚無法列入考量。</p> <ol style="list-style-type: none"> 6. 由於不同時間所擷取出的地表溫度會不一樣，若直接以拼貼方式組合，可能會造成比較基準的不同而造成誤判。目前的做法會是，先取得雲量百分比 30% 以下的圖資進行人工檢視，找出研究區中無雲遮蔽狀況的圖資，這樣可以找出較多可用的資料納入分析。 7. 感謝資訊提供，會適度參考比對本研究蒐集之中央氣象局氣象站、環保署測站之溫度資訊。
<p>郭建源 副研究員</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 風速和溫度對本案研究上是相當重要的氣象資料，前面有委員有提到 WRF 出來的結果不是很精準，這部份也牽涉到盛行風向的訂定，會大大影響到風廊的結果，結果需足夠準確才能在都市規劃以及土地管理上運用。同樣的情況，在都市熱島問題上，溫度的準確性上一樣需要足夠準確。 2. GIS 系統目前看來主要作為資料呈現，後續可 	<ol style="list-style-type: none"> 1. TCCIP 提供之 WRF 模擬採 2 公里一格為單位時發現，本團隊針對特定氣象站位置之 1 個月的風速、溫度歷時變化與模擬資料進行比對，結果發現溫度結果頗為吻合。雖然風速結果因為測點與氣象站仍有一小段距離在歷時表現上並不完美，但在長時間統計分析上人呈現相近的結果，會進一步將驗證過程詳細說明。 2. 未來可規劃都市通風可視化系統開發研究，以達

	<p>能要將研究成果給都發或國土規劃單位做使用，需要以可視化結果呈現，或開放給民眾觀看，這樣才利於後續推廣及實務上使用。</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. 系統上是否可預留簡單的計算功能，提供在使用者端能有更高的便利性。 4. 研究結果後續要跟國土地理資訊系統進行結合，需要預先考慮系統媒合及介接的問題。 	<p>到此目標。</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. 可加入計算功能，須先了解最後產生之資訊是否以滿足使用者需求，如需整合不同圖層資訊後得到最終應用資訊，可歸納公式提供計算功能。 4. 目前查詢平台新以圖層資訊方式提供，相對簡易且自由度高，後續會聯繫相關單位討論介接問題。
<p>蔡 綽 芳 組長</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案的前期計畫有參加總統杯黑客松比賽，也有進入前 20 名，得到一定的認同。 2. 亦有跟營建屬爭取到國土基金，後續還會有 5 年期的計畫，預定逐步與地方政府合作，進行落地性的計畫。像是前面委員提到對於民眾的科普及執行者能了解本案成果使用上可以得到的效益，這部份就可以在後續實際與地方政府合作上，實際進行測試驗證。 3. 建研所是屬於半行政的研究機構，研究成果需考慮能否實際落實使用，研究團隊中有提到有蒐集到香港現行的辦法，也可以作為後序落地執行的參考及探討方向。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝肯定。 2. 本計畫非常感謝建研所與國土管理署的支持，本年度目標在建構都市通風地圖平台系統，並逐步與地方政府合作，達到平台分享資訊上的共識，朝落地應用目標邁進。 3. 初步會以香港 AVA 的應用現況做為參考，擬定資訊應用範例。後續會參考國內外其他學者所建立的應用樣態，並納入地方政府第一線的需求，讓都市通風地圖平台系統能符合需求。

附錄二 第一次專家座談會議記錄

附錄三 期中審查會議記錄

日期：民國 112 年 7 月 13 日 上午 9 點 30 分

會議地點：大坪林聯合開發大樓 15 樓第三會議室（新北市新店區北新路 3 段 200 號 15 樓）

主席：蔡綽芳組長

委員	委員意見	回應
朱佳仁 教授	<ol style="list-style-type: none"> 1. 此計畫利用氣象局資料與計算流體動力學模式研究都市風廊與通風，可供都市發展規劃之參考，值得鼓勵。 2. 不同測站的風速計設置高度並不相同，是否有考慮？ 3. P. 8, ”將風速 ≤ 0.5 m/s 之值剔除”，請註明剔除資料佔總資料筆數百分比？風速低是最悶熱之時，應該要考慮。 4. 都市風廊在夏季中午時吹來的風依然是熱風，是否可以降溫應該用有考慮空氣溫度變化的 CFD 來模擬。 5. 台北市全年和夏季的平均風速，盛行風向皆不同，此計畫用模式模擬的流場參數與計算網格請用表格方式列舉！表格 4-2 只有一個案例，建議加上南風案 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝肯定。 2. 有利用指數率以市郊地況，統一歸納到 15 公尺高度位置。 3. 本研究只在夏秋之際，找到都市最有效率的通風選擇來優化都市風廊。故在季風狀況下，保留風速計有效量測風速 0.5 m/s 以上的數據，剔除筆數百分筆會加註於 2.1 節資料預處理中說明。 4. 由於都市模擬尺度較大，加上城市區域溫熱環境的邊界掌握較困難，因此目前在次要風廊上先以風場模擬為主，未來有機會可以另提研究針對此議題來探討。 5. 後續會增加模擬區域的基本模擬條件，基本上各區域會以當地的盛行風風向進行模擬。 6. 已修正錯誤以及改正為紊流耗散率，並改正圖 4-18 的風向錯誤。

	<p>例。</p> <p>6. 報告中有許多誤植之處，如 P. VII 的”uban ” 應為”urban”、”紊流消散率”和”耗散率”應該統一。P. 52 之圖 4-18”風向東風”但圖中風向是南風。</p>	
黃朝揚 經理	<p>1. 最近外界有提到設置太陽能電廠會造成聚落產生都市熱島效應，也許未來可以朝這方向進行研究。</p> <p>2. 此計畫建構之 TUVM 資料平台對未來其他應用很有幫助。</p>	<p>1. 未來可以利用地表溫度分析來討論太陽能板聚落產生都市熱島效應問題。</p> <p>2. 感謝肯定。</p>
陳瑞華 教授	<p>1. 建議於摘要與結論中說明研究區的範圍。</p> <p>2. P.55(1) TUV 是否應為 TUVM?</p> <p>3. 建議增加各圖形之清晰度。</p>	<p>1. 感謝提醒，會在期末報告中補正。</p> <p>2. 漏字已修正。</p> <p>3. 會在期末報告中加強圖形解析度。</p>
傅仲麟 總經理	<p>1. TCCIP 資料是否需與測站資料比較後再進行修正後採用。</p> <p>2. 都市風廊的分析結果對於重劃區之規劃頗有助益。而目前有許多都更案在進行推動，都市風廊結果在局部開發時之應用如何評估應用，可提出評估範例以利瞭解。</p> <p>3. 本計畫中所提出之系統中，有提供區域風速風向資訊、都市熱島強</p>	<p>1. 會加強季風部分比較，以確認實用性。</p> <p>2. 建議可以採用香港 AVA 的做法，在局部開發時可以參考。如本計畫在有餘裕的狀況下，可提出評估範例供參。</p> <p>3. 感謝肯定。</p>

	度資訊、建築紋理資訊等，對於建築風工程相關應用有很大的幫助。	
賴啟銘教授	<ol style="list-style-type: none"> 1. 研究主題符合社會需求，有其深入探究之必要。 2. 在 TCCIP(or 所謂 WRF) 與氣象站數據的比對過程中，應注意 TCCIP 網格的大小、氣象數據受局部地況的影響、兩者的高度等的差異。 3. CFD 模擬採用何種紊流模型應有所依據(已有文獻依據)。 4. 圖 4-13 如此的 computational domain 在其邊界條件如何設定？亦應說明模擬設定。 5. 4.5 小節本案的規劃為何？ 6. 風廊的形成或維持如何藉由建築方法或都市規劃來達成？有何行政工具？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝肯定。 2. 誠如委員所提，會儘量調整這 2 者的條件趨於一致，並在驗證比對過程做進一步確認。但比對目標是希望在季風狀況下，尤其是夏秋季的盛行風能有一致的結果，讓都市風廊分析結果的能提供當地再高溫時最佳的風廊狀態。因此後續會以盛行風風向以及平均風速作為比對基礎來進行比對分析。 3. 加入引用之參考文獻。 4. 於報告書中 4.4 節加入模擬條件設定，並於附錄中敘明各分區入流風場條件。 5. 在局部開發時，也就是縣市政府針對區域開發審查時，於都市設計審議階段，參考香港 AVA 評估，納入風廊評估考量。 6. 本季樺木前以開發地圖工具為主要考量，中間納入局部開發評估改善手段。至於行政工具手段需整理歸納更多數據，並參考國內外建制的建議方式，並與產業界及縣市政府溝通後形成。
江支川建築師	<ol style="list-style-type: none"> 1. 劃定風廊的意義何在？對造型(建物)有何 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 劃定風廊主要在找出現有都市型態下，夏季涼爽

	<p>限制？</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. 區域開發通風評估，是否會更改建築法？ 3. 何國有類似研究可供參採？ 4. 都市風廊議題已納入行政院氣候變遷調適行動方案(112-115年)，本案成果為行動方案之前期準備作業，各項評估方法及準則之擬定應更為精確，以確保後續執行應用之可靠度。 5. 本案開發之地理資訊系統，應以使用者為導向。評估潛在使用者來源及其對系統功能之需求，並注意操作便利性與功能完整性，以增加上線後使用效能。 	<p>盛行風通過都市中心或熱區的通道。在風廊的要徑上，建議新的大型開發案應先經過局部通風評估，以確保風廊能被留設下來。</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. 目前考慮，尚未規劃修訂建築法。 3. 目前一些人口與高樓密集高，或霧霾嚴重的城市如香港、德國斯圖加特、上海等，均訂有相關的準則來規範，會在後續報告中增加說明。 4. 感謝建議，會往此方向修正系統。
<p>吳毓庭 教授</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建議應用 TCPIP 的資料於世紀中或世紀末的都市風廊變化(考量氣候變遷影響)。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本計劃旨在形塑臺灣地區都市風廊，減緩熱島效應的危害以達到節能減碳之目標，因此著重於現有都市的狀態。至於長時間軸之氣候變遷議題，建議可以另案討論。
<p>蔡綽芳 組長</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 研究中提出都市風廊相關準則草案，建議召集中央及地方政府都發局處共同研商，瞭解各單位立場與需求，並達成集體共識後再行決定。 2. 本所已爭取國土永續發展基金經費，規劃建 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝建議，會朝此方向進行，本計劃所列草案僅供參考與討論，待有共識後才會進行。 2. 感謝建研所所持續對都市風廊規劃有長期的支持以及落地規劃，期盼本計劃成果能協助貴所完成階段性目標，以力持續

	<p>置國內六都通風地圖，將都市風廊落地應用，未來研究應強化效益評估，以提高政策誘因，降低推廣阻力。</p> <p>3. 本案研擬之通風地理資訊系統，如規劃納入國土規劃地理資訊圖台，建議儘速與國土管理署討論如何介接與整合。</p>	<p>推進後續計劃。</p>
--	---	----------------

附錄三 期中審查會議記錄

附錄四 期末審查會議記錄

日期：民國 112 年 10 月 26 日 上午 9 點 30 分

會議地點：大坪林聯合開發大樓 15 樓第四會議室（新北市新店區北新路 3 段 200 號 15 樓）

主席：蔡綽芳組長

委員	委員意見	回應
李教授宜庭	<ol style="list-style-type: none">1. 都市風廊地圖之建立對都市區域開發有很重大之參考。2. 對於地表溫度數據正規化之數量是否足夠？且隨現今地表溫度可能逐年升高，是否會造成誤差？3. 利用氣象站風速與 TCCIP 列為入口邊界條件差異量有多大？4. 都市風廊地圖和都市管制原則設立條件須與相關部門進行更多之討論。	<ol style="list-style-type: none">1. 感謝肯定。2. 受到 Landsat 衛星繞過臺灣上空之時間限制，本研究儘可能每年溫度數據會擷取 4 筆以上進行平均，以排除監測誤差。後續規劃地表溫度數據逐年分析，以確保監測之數據為最新狀態。未來亦會規劃實場空拍紅外線監測，以取得高解析度數據並進行比對驗證。3. 大台北地區氣象測站風速計高度約在 15 公尺上下，較容易受到周遭地形地物影響，使得風速風向產生變異。而 TCCIP 資料屬於高空，近地表風速則是利用使用中央研究院環境變遷研究中心提供的土地利用資料進行修正，在比較中也發現氣象站量測數據與 TCCIP 的每小時資料紀錄方式也有所不同，因此這 2 種條件直接當作 CFD 入口邊界條件會有顯著的差

		<p>異，這個差異會隨著不同測站而有所不同。本研究建議在局部區域開發作業中，先以 TCCIP 之高空風速數據作為入流條件，以避免近地表之建築干擾。</p> <p>4. 感謝建議，目前相關管制原則目前尚在研究團隊中規劃討論階段，後續會與相關部門進行更多討論以完善實質之管制作為。</p>
吳教授毓庭	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建議將資訊展示平台由資訊工程師來進行。 2. 分區模擬條件細節建議加以述明於報告書中。 3. 建議定義都市風廊之風速大小。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝建議，目前本計畫先自行規劃建立查詢網站，後續研究會嘗試整合至國土規劃地理資訊系統。 2. 感謝建議，會補充相關資料於報告書中。 3. 都市風廊之風速大小於報告書 5.3 節有做說明，會在成果報告進一步補充。
黃經理朝揚	<ol style="list-style-type: none"> 1. 國外研究提及太陽光電的設置會造成光電熱島效應，如果 TUVMM 可結合光電地圖，應可分析設置光電是否影響熱島溫度分布。 2. 地表可能是草地、水泥地、建築物。是否需要考慮地表吸放熱或蓄熱問題？ 3. 郊區設置大面積(2 公頃以上)的太陽光電系統是否可結合 TUVMM 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 未來可考慮此方面應用，建置太陽能光電板對於地表溫度之影響地圖。 2. 在目前地表溫度分析中，乃直接獲取紅外線波段反演的溫度，已經隱含著吸熱蓄熱的因素。 3. 這部分分析可應用都市熱島強度分析法來進行，或採用相關都市熱島分析軟體來應用分析。

	<p>評估是否對周遭聚落有影響?</p>	
<p>傅總經理 仲麟</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 若本計畫建置完整，在臺灣主要都市都能完成此系統，除了在都市規劃可提供規劃參考外，對於各城市在考量新建工程之風環境及熱環境影響時，有更充足的資料可進行參考。 2. 在局部區域風場分析部分，因這部份分析與該區域詳細建築形式有關，可列出詳估程序與方法及可運用之系統資料，讓在該區域之開發單位有評估之依據及參考資料。 3. 未來可提出一設計案例，說明新建工程規劃如何應用此系統，可得到較佳的熱環境影響。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝肯定。 2. 本研究初步建議局部區域風場分析可參考香港AVA的做法，詳細評估方法請參考5.2節。分為評估方法以及達標要求2大部分，評估可採用風洞實驗或CFD模擬來進行，觀察風速比影響之狀況。 3. 後續研究可針對實際工程案例進行局部區域開發評估示範例，並製作相關手冊及說明。
<p>賴教授啟 銘</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 內容符合預期，成效良好。 2. 報告書內容請順稿並檢查圖示與圖號，以求正確合宜，例如： <ol style="list-style-type: none"> (1) 第91頁的“都市審議”應為“都市計畫審議”或“都市設計審議”。 (2) 第29頁應說明地表粗糙高度及位移厚度，以及說明何謂“網格使用”。 3. 其餘詳見紙本註明。 4. 應實質回應期中審查 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝肯定。 2. 會依據建議修正成果報告書，讓報告具有可讀性。並修正建議(1)、(2)之內容。並說明地表粗糙高度、位移厚度於5.5節(一)都市紋理中。 3. 感謝提供寶貴意見，會依建議修正。 4. 會在成果報告中針對會應不足處予以修正。

	<p>意見。</p>	
<p>陳專門委員柏君</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究於整合區域風向資訊對於都市熱島強度提出各區域通風效應建議管制原則，擬定風廊管制範圍以垂直於風廊要徑切線之500公尺區域內，且建議保留主要道路寬度(含退縮)大於16公尺尚無驗證，可提出評估方式以利瞭解。 2. 圖 5-13 TUVVM 於局部區域開發應用流程圖，若規劃藍綠帶則免進行通風評估之標準，建議補充這方面研究資訊。 3. 本研究為建立都市風廊規劃分析用之工具，於臺灣都市通風地圖系統(TUVVM)細部資訊涉及建蔽率及容積率僅利用國土測繪中心及臺北市政府提供圖資，可與本府資訊圖台介接整合，確保後續執行應用之準確性。 4. 圖 5-5、5-6 圖形圖層以主要風廊為例分為夏季及秋季，本研究蒐集美國地質調查局之 Landsat6ETM+5 之圖資，但易受天候雲層狀況影響地表溫度，建議相關採集標準及調查方式應趨於一致，強化資訊可靠性。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本結論為本研究團隊依據參數化分析結果所得之結論，為建議性質，成果報告會加註研究來源與分析方法。 2. 規劃本要徑事項主要是考量綠帶包含公園綠地，藍帶則是考慮規畫水體(如池塘、滯洪池等)降溫措施，並非規劃建築量體或不透水鋪面(如道路等)，對於形塑都市風廊、引進涼爽空氣為正面助益之規劃，因此建議可免評估。 3. 後續肯定需要貴府所建置之圖資，以完善本系統所分析之各項數據，屆時懇請大力協助。 4. 誠如委員所言，衛星圖層易受天候影響而使得地表溫度受到影響。因此本計畫使用正規化方法將行政區拆分，並選擇未受干擾區域進行多時間點平均，期能達到完整並具有代表性的研究區圖資。 5. 之後會以 100 公尺網格呈現數據，以提升使用效能。

	<p>5. 格點圖層之都市紋理資訊分別顯示建築高度、建蔽率、容積率及粗糙高度等，各項指標圖資資料形式以 200 平方公尺格點方式呈現，惟就圖 5-7~5-10 呈現資訊較模糊不明，建議以 100 平方公尺格點化增加清晰度，以提升使用效能。</p>	
蘇 建 築 師 成 基	<p>1. 建議本研究成果都市風廊能擴大應用在六都都市設計或都市設計審議使用。</p> <p>2. 建議本研究成果能應用在目前建築物綠建築設計規範。</p>	<p>2. 感謝肯定，後續會持續推動並擴展 TUVIM 普及率，使其分析數據及圖層能被廣泛應用。</p> <p>3. 目前分析之部分氣象資訊應能作為綠建築設計規範之基礎數據。</p>
楊 副 總 經 理 澤 欣	<p>1. 太陽能板設置方式有很多種，會有不同的發熱效果以及造成不同的熱島效應，分析時建議考慮這些差異。</p>	<p>1. 感謝建議，會納入未來研究方向。</p>
郭 副 研 究 員 建 源	<p>1. 溫度分佈資訊以美國衛星資料轉換，資料量有限且尚無法適當驗證，建議再仔細檢視溫度資料可靠性。</p> <p>2. 本案建置風場、都市熱島強度、主次要風廊及建築紋理等資訊，建議將現行資料交叉比對，檢視各項資料間的相關性，以協助都發局處單位掌握須加強管理之重點區域。</p> <p>3. 本案研究內容廣泛且</p>	<p>1. 後續會規劃實場驗證計畫，目前規劃以無人機方式進行局部區域地表溫度分析，並產製高解析之地表溫度資訊，再進一步與 USGS 衛星資料比對，以確認溫度資料的可靠性。</p> <p>2. 各資料包含熱島強度、建築紋理、通風潛力等資料可以同一格網解析度進行建置，再以相關性分析進行探討，後續研究會以此方向來建置關聯性分</p>

	<p>應用多元評估技術，建議成果報告書內，加強論述研究過程及相應成果，以充分展現研究質量。</p> <p>4. 本案建置之地理資訊系統，建議委由專業人員或團隊將版面及功能優化。</p>	<p>析數據，以提供加強管理及因應對策之參考。</p> <p>3. 本團隊後續會將版面及功能優化，提供更完善的應用功能。</p>
<p>蔡組長綽芳</p>	<p>1. 根據國土管理署之建議，請研究團隊將非都市土地開發案納入風廊評估規劃檢討。另外，鄰里公園、學校等開放空間是建置都市次要風廊最容易的途徑，請研究團隊未來規劃時可納入考量。</p>	<p>1. 次要風廊會以通風潛力分析結果進串聯，找出該區域盛行風風向下的最佳風廊路徑。劃定時會依據分析結果，檢視區域內之鄰里公園、學校等開放空間配置。後續研究亦會納入非都市土地開發案檢討風廊評估規劃可行性。</p>
<p>國土管理署城鄉發展分署</p>	<p>1. 第21頁及第47頁中，本研究提及城市不通風導致熱環境不良的積累與綠地、空地、水體有直接關聯性，於分區模擬時擇取擁有較大空地(機場)及水體(基隆河)環境的松山區，忽略喬木植栽及水體之模擬設定，與實際環境迥然不同，建議第三頁中標示研究限制，或於第四章第一節內述明，以符VIII結論(1)、(2)所述之說明。</p> <p>2. 本研究提及之司徒加特、香港或北京等案例，基礎上係解決區域性長期空氣汙染(空氣</p>	<p>1. 分區模擬採用全區模擬，期末報告書中僅先以松山區作呈現，成果報告會完整呈現各分區分析結果，並發佈於TUVVM。</p> <p>2. 本計畫目前考慮夏秋2個季節的盛行風風向、空氣溫度以及都市熱島強度進行都市通風分析，主要考量到於此季節時分為臺灣都市熱島效應較強以及體感溫度較高之故，期盼能透過風廊工之手段將涼爽氣流引入都市中心，以達減緩都市熱島之成效。</p> <p>3. 資料數據蒐集提出低風速部分，主要是針對氣象站風速數據分析所進行</p>

	<p>氣溶膠)或急性傳染病事件(SARS),然各國會因為地理區位條件、季節盛行風向(環境因素)搭配建物座向、街道留設等作法提升自然通風效益,在臺灣自然通風盛行之季節在春秋季,是否以年均風向、風速、溫度及濕度作為數值模擬或後續氣候地圖的基礎數據,請團隊再行評估。</p> <p>3. 第 9 頁及第 48 頁,針對資料數據蒐集,提出以下 2 點建議:(1)本研究於資料前置處理提及剷除風速 ≤ 0.5 m/s 之靜風數值。極端氣候下,未來評估區域性熱累積之地區刻不容緩,靜風區域是否可作為優先改善之區域,建議納入考量。(2)本研究第四節部分提及研究流程依據當地氣象站及資料相互驗證,然松山區有較大空地(機場)及水體(基隆河)環境,區域內選用合適之上風處測站格外重要,本節以松山區作為模擬,該區測站最大風速可達 20 m/s 左右,是否適合作為模擬案例(台北市夏季年平均風速約在 2 m/s),請團隊再行評估。</p> <p>4. 第 59 頁、第 69 頁,第</p>	<p>之資料剷除機制,主要是考量氣象站的儀器誤差會對於類神經網路預測造成誤差因而剷除。局部區域的靜風,主要是受到風向、建築遮蔽或其他交互作用影響,本研究主要採 CFD 模擬找出通風不良處,松山區僅為期末報告顯示之示範區,後續會補充其他行政區的模擬資料。</p> <p>4. 六章考量 TUVIM 系統之架構及後續管制原則目前為草擬階段,仍有待各方給予意見以及形成共識後再補強內容。風洞實驗或 CFD 評估方法目前在各大都市評估風廊時為主要工具,如香港在建築審批時為主要要求,當然也是在建築規模大到一定程度時才會阻擋通風,因此在擬定需進行評估之建築量體也要進一步定義清楚,後須會進行相關研究來研議具體管制之要求。</p> <p>5. 未來所產製之地圖會定期更新,並視貴署圖台介面以及呈現方式進行討論,以提供完善並可行之圖面以供查詢分析。</p>
--	---	---

	<p>六章考量 TUVIM 系統之架構及後續管制原則對局部區域開發時考量之因素，應多元考量系統於後續應用之可行性，如區域性風洞測試之成本相當可觀，是否評估開發達一定規模大小時再行風洞測試，請再檢視區域開發影響建議，提出更具體之管制內容。</p> <p>5. 關於中長程建議將相關圖資整合至本分署國土規劃地理資訊圖台 1 節，本部建築研究所可依期末報告建議，每 2 至 3 年定期提供本分署相關圖資納入國土規劃地理資訊圖台供查詢參考。</p>	
--	--	--

附錄五 各行政分區模擬條件

夏季

縣市	行政區	風速 (m/s)	盛行風向	上游地形	Z ₀ (m)	
台北市	松山區	1.680	NNW	河岸	0.02	
	信義區	1.703	ENE	市郊	0.8	
	大安區	1.679	E	都市密集區	1.0	
	中山區	1.810	E	都市密集區	1.0	
	中正區	1.708	E	都市密集區	1.0	
	大同區	北側	1.709	SW	河岸	0.02
		南側		E	都市密集區	1.0
	萬華區	1.782	ENE	都市密集區	1.0	
新北市	北板橋區	1.808	ESE	河岸	0.02	
	中板橋區	1.657	ESE	都市密集區	1.0	
	南板橋區	1.592	SW	河岸	0.02	
	中和區	1.677	ESE	市郊	0.8	
	永和區	1.667	ESE	河岸	0.02	
	北新莊區	1.720	W	市郊	0.8	
	南新莊區	1.709	SSE	河岸	0.02	
	蘆洲區	1.848	NNW	河岸	0.02	
	三重區	1.789	NW	都市密集區	1.0	

秋季

縣市	行政區	風速 (m/s)	盛行風向	上游地形	Z ₀ (m)	
台北市	松山區	2.525	ENE	河岸	0.02	
	信義區	2.471	ENE	市郊	0.8	
	大安區	2.528	ENE	都市密集區	1.0	
	中山區	2.612	E	都市密集區	1.0	
	中正區	2.629	ENE	都市密集區	1.0	
	大同區	北側	2.541	E	都市密集區	1.0
		南側		ENE	都市密集區	1.0
	萬華區	2.713	ENE	都市密集區	1.0	
新北市	北板橋區	2.774	ENE	河岸	0.02	
	中板橋區	2.521	ENE	都市密集區	1.0	
	南板橋區	2.533	ENE	都市密集區	1.0	
	中和區	2.519	ENE	都市密集區	1.0	
	永和區	2.500	ENE	河岸	0.02	
	北新莊區	2.574	ENE	河岸	0.02	
	南新莊區	2.458	ENE	河岸	0.02	
	蘆洲區	2.574	ENE	河岸	0.02	
	三重區	2.458	ENE	河岸	0.02	

參考資料：Engineering Sciences Data Unit, ESDU, 1993. Data Item 82026. Strong winds in the atmospheric boundary layer. Part 1: hourly-mean wind speeds. Engineering Sciences Data Unit.[8]

附錄六 openfoam 網格製作檔

(a)blockMesh

```
/*-----* C++ *-----*\
=====
  \ \ / / F i e l d           | OpenFOAM The Open Source CFD Toolbox
  \ \ / / O p e r a t i o n   | Website  https://openfoam.org
  \ \ / / A n d               | Version  6
   \ \ / / M a n i p u l a t i o n |
\*-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format       ascii;
    class        dictionary;
    object       blockMeshDict;
}
// *****
    convertToMeters 1;

//*****Basic Information*****//
#include "../windDirection"

#ifdef $windDirection N
    N_boundary "inlet_N";
    W_boundary "side_W";
    S_boundary "outlet_S";
    E_boundary "side_E";
#endif
#ifdef $windDirection NNE
    N_boundary "inlet_N";
    W_boundary "outlet_W";
    S_boundary "outlet_S";
    E_boundary "inlet_E";
#endif
#ifdef $windDirection NE
    N_boundary "inlet_N";
    W_boundary "outlet_W";
    S_boundary "outlet_S";
    E_boundary "inlet_E";
#endif
#ifdef $windDirection ENE
```

```

        N_boundary "inlet_N";
        W_boundary "outlet_W";
        S_boundary "outlet_S";
        E_boundary "inlet_E";
    #endif
    #ifeq $windDirection E
        N_boundary "side_N";
        W_boundary "outlet_W";
        S_boundary "side_S";
        E_boundary "inlet_E";
    #endif
    #ifeq $windDirection ESE
        N_boundary "outlet_N";
        W_boundary "outlet_W";
        S_boundary "inlet_S";
        E_boundary "inlet_E";
    #endif
    #ifeq $windDirection SE
        N_boundary "outlet_N";
        W_boundary "outlet_W";
        S_boundary "inlet_S";
        E_boundary "inlet_E";
    #endif
    #ifeq $windDirection SSE
        N_boundary "outlet_N";
        W_boundary "outlet_W";
        S_boundary "inlet_S";
        E_boundary "inlet_E";
    #endif
    #ifeq $windDirection S
        N_boundary "outlet_N";
        W_boundary "side_W";
        S_boundary "inlet_S";
        E_boundary "side_E";
    #endif
    #ifeq $windDirection SSW
        N_boundary "outlet_N";
        W_boundary "inlet_W";
        S_boundary "inlet_S";
        E_boundary "outlet_E";
    #endif
    #ifeq $windDirection SW
        N_boundary "outlet_N";
        W_boundary "inlet_W";
        S_boundary "inlet_S";
        E_boundary "outlet_E";
    #endif

```

以大數據預測季風機率分析研究

```
#endif
#ifeq $windDirection WSW
    N_boundary "outlet_N";
    W_boundary "inlet_W";
    S_boundary "inlet_S";
    E_boundary "outlet_E";
#endif
#ifeq $windDirection W
    N_boundary "side_N";
    W_boundary "inlet_W";
    S_boundary "side_S";
    E_boundary "outlet_E";
#endif
#ifeq $windDirection WNW
    N_boundary "inlet_N";
    W_boundary "inlet_W";
    S_boundary "outlet_S";
    E_boundary "outlet_E";
#endif
#ifeq $windDirection NW
    N_boundary "inlet_N";
    W_boundary "inlet_W";
    S_boundary "outlet_S";
    E_boundary "outlet_E";
#endif
#ifeq $windDirection NNW
    N_boundary "inlet_N";
    W_boundary "inlet_W";
    S_boundary "outlet_S";
    E_boundary "outlet_E";
#endif
    addDistance 1000.;

x2 -3000.;
x3 3000.;

x1 #calc " $x2 - $addDistance ";
x4 #calc " $x3 + $addDistance ";

y2 -3000.;
y3 3000.;

y1 #calc " $y2 - $addDistance ";
y4 #calc " $y3 + $addDistance ";
```

```

zMin    0.;
zH      100.;
zMax    400.;

maxDelta  50.;

globalRatio 0.2;
pedRatio  0.1;

minDelta  #calc " $maxDelta * $globalRatio ";
pedDelta  #calc " $minDelta * $pedRatio ";

//***** Calculate delta length and cells*****//

Lx1  #calc "$x2 - $x1";
Lx2  #calc "$x3 - $x2";
Lx3  #calc "$x4 - $x3";

Ly   #calc "$y4 - $y1";
Ly1  #calc "$y2 - $y1";
Ly2  #calc "$y3 - $y2";
Ly3  #calc "$y4 - $y3";

Lz   #calc " $zMax - $zMin ";

Lz1  #calc " $zH - $zMin ";
Lz2  #calc " $zMax - $zH ";

bataX1 #calc " 1 + ( $minDelta - $maxDelta ) / $Lx1 ";
bataX3 #calc " 1 + ( $minDelta - $maxDelta ) / $Lx3 ";

bataY1 #calc " 1 + ( $minDelta - $maxDelta ) / $Ly1 ";
bataY3 #calc " 1 + ( $minDelta - $maxDelta ) / $Ly3 ";

bataZ1 #calc " 1 + float( $pedDelta - $minDelta ) / $Lz1 ";
bataZ2 #calc " 1 + ( $minDelta - $maxDelta ) / $Lz2 ";

x1Cells #calc "round( 1 + log( $globalRatio ) / log( $bataX1 ) )";

```

以大數據預測季風機率分析研究

```
x2Cells #calc "round($Lx2 / $minDelta)";
x3Cells #calc "round( 1 + log( $globalRatio ) / log( $bataX3 ) )";

y1Cells #calc "round( 1 + log( $globalRatio ) / log( $bataY1 ) )";
y2Cells #calc "round( $Ly2 / $minDelta)";
y3Cells #calc "round( 1 + log( $globalRatio ) / log( $bataY3 ) )";

z1Cells #calc "round( $Lz1 / $minDelta ); /*uniform*/
//      z1Cells #calc "round( 1 + log( $pedRatio ) / log( $bataZ1 ) )";
z2Cells #calc "round( 1 + log( $globalRatio ) / log( $bataZ2 ) )";

yCells #calc " round($y1Cells + $y2Cells + $y3Cells) ";
zCells #calc " round($z1Cells + $z2Cells) ";

//*****//

//***** x-division*****
      x1Ratio      $globalRatio;
      x2Ratio      1.;
      x3Ratio      #calc " 1 / $globalRatio ";
//***** y-division*****
      y1Ratio      $globalRatio;
      y2Ratio      1.;
      y3Ratio      #calc " 1 / $globalRatio ";

yLratio1 #calc " float( $Ly1 ) / float( $Ly ) ";
yLratio2 #calc " float( $Ly2 ) / float( $Ly ) ";
yLratio3 #calc " float( $Ly3 ) / float( $Ly ) ";

y1lineP #calc " float( $y1Cells ) / float( $yCells ) ";
y2lineP #calc " float( $y2Cells ) / float( $yCells ) ";
y3lineP #calc " float( $y3Cells ) / float( $yCells ) ";

divy1      ($yLratio1 $y1lineP $y1Ratio);
divy2      ($yLratio2 $y2lineP $y2Ratio);
divy3      ($yLratio3 $y3lineP $y3Ratio);

//***** z-division*****

//      z1Ratio      #calc " 1 / $pedRatio ";
      z1Ratio      1 ;
      z2Ratio      #calc " 1 / $globalRatio ";
```

```
z1Lratio #calc " float($Lz1) / float( $Lz ) " ;
z2Lratio #calc " float($Lz2) / float( $Lz ) " ;
```

```
z1lineP #calc " float( $z1Cells )/ float( $zCells ) " ;
z2lineP #calc " float( $z2Cells )/ float( $zCells ) " ;
```

```
divz1      ($z1Lratio $z1lineP $z1Ratio);
divz2      ($z2Lratio $z2lineP $z2Ratio);
```

```
//*****//
```

```
vertices
```

```
(
```

```
//block1
```

```
($x1 $y1 $zMin)
($x2 $y1 $zMin)
($x2 $y4 $zMin)
($x1 $y4 $zMin)
```

```
($x1 $y1 $zMax)
($x2 $y1 $zMax)
($x2 $y4 $zMax)
($x1 $y4 $zMax)
```

```
//block2
```

```
($x2 $y1 $zMin)
($x3 $y1 $zMin)
($x3 $y4 $zMin)
($x2 $y4 $zMin)
```

```
($x2 $y1 $zMax)
($x3 $y1 $zMax)
($x3 $y4 $zMax)
($x2 $y4 $zMax)
```

```
//block3
```

```
($x3 $y1 $zMin)
($x4 $y1 $zMin)
($x4 $y4 $zMin)
```

以大數據預測季風機率分析研究

```
($x3 $y4 $zMin)

($x3 $y1 $zMax)
($x4 $y1 $zMax)
($x4 $y4 $zMax)
($x3 $y4 $zMax)

);

blocks
(
  //block1
  hex (0 1 2 3 4 5 6 7)
  (
    $x1Cells
    $yCells
    $zCells
  )
  simpleGrading
  (
    $x1Ratio
    ($divy1 $divy2 $divy3)
    ($divz1 $divz2)
  )
)

  //block2
  hex (8 9 10 11 12 13 14 15)
  (
    $x2Cells
    $yCells
    $zCells
  )
  simpleGrading
  (
    $x2Ratio
    ($divy1 $divy2 $divy3)
    ($divz1 $divz2)
  )
)

  //block3
  hex (16 17 18 19 20 21 22 23)
  (
    $x3Cells
    $yCells
    $zCells
  )
)
```

```

)
simpleGrading
(
    $x3Ratio
    ($divy1 $divy2 $divy3)
    ($divz1 $divz2)
)

);

edges
(
);

boundary
(
    $W_boundary
    {
        type patch;
        faces
        (
            (0 3 7 4)
        );
    }

    $E_boundary
    {
        type patch;
        faces
        (
            (17 21 22 18)
        );
    }

    $S_boundary
    {
        type patch;
        faces
        (
            (0 4 5 1)
            (8 12 13 9)
            (16 20 21 17)
        );
    }
)

```

```
$N_boundary
{
    type patch;
    faces
    (
        (3 2 6 7)
        (11 10 14 15)
        (19 18 22 23)
    );
}

bottom_1
{
    type wall;
    faces
    (
        (0 1 2 3)
    );
}

bottom_2
{
    type wall;
    faces
    (
        (8 9 10 11)
    );
}

bottom_3
{
    type wall;
    faces
    (
        (16 17 18 19)
    );
}

top
{
    type patch;
    faces
    (
        (4 7 6 5)
        (12 15 14 13)
    );
}
```

```

        (20 23 22 21)
    );
}

patch1_1
{
    type patch;
    faces
    (
        (1 5 6 2)
    );
}

patch2_0
{
    type patch;
    faces
    (
        (11 15 12 8)
    );
}

patch2_1
{
    type patch;
    faces
    (
        (13 14 10 9)
    );
}

patch3_0
{
    type patch;
    faces
    (
        (23 20 16 19)
    );
}

);

mergePatchPairs
(
(patch1_1 patch2_0)

```

以大數據預測季風機率分析研究

```
(patch2_1 patch3_0)

);

#calc " Info << $bataZ1 << endl ";
#calc " Info << $bataZ2 << endl ";
#calc " Info << $z1Lratio << endl ";

//
*****
***** //

(b)snappyHexMesh
/*----- C++ -----*\
=====
\ \ / F ield | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
\ \ / O peration | Website: https://openfoam.org
\ \ / A nd | Version: 6
\ \ M anipulation |
\*-----*/
FoamFile
{
    version 2.0;
    format ascii;
    class dictionary;
    object snappyHexMeshDict;
}
// ***** //

castellatedMesh on;
snap on;
addLayers on;

geometry
{
    buildings
    {
        type triSurfaceMesh;
        file "buildings.stl";
    }
}

// refinementBox1
// {
//     type searchableBox;
//     min (-0.7 -2 0);
```

```

//      max  (0.7  2 1);
//    }
//  refinementBox2
//  {
//      type searchableBox;
//      min  (-0.17 -0.02 0.);
//      max  (0.5   0.42 0.1);
//  }

};

castellatedMeshControls
{
    maxLocalCells 60000000;
    maxGlobalCells 100000000;

    minRefinementCells 10;

    maxLoadUnbalance 0.10;
    nCellsBetweenLevels 10;

    resolveFeatureAngle 30;
    plannerAngle 30;

    features
    (
        { file "buildings.eMesh";
//      levels ((1.875 4)(3.75 4) );
        level 3;
        }
    );

    refinementSurfaces
    {
        buildings
        {
            level (3 3);
            patchInfo { type wall; }
        }
    }

    refinementRegions
    {

```

以大數據預測季風機率分析研究

```
    locationInMesh (0. 0. 300);
    allowFreeStandingZoneFaces false;
}

snapControls
{
    nSmoothPatch 3;
    nSmoothInternal $nSmoothPatch;
    tolerance 2.0;
    nSolveIter 100;
    nRelaxIter 5;

    nFeatureSnapIter 10;
    nFaceSplitInterval 5;

    explicitFeatureSnap    true;
    implicitFeatureSnap    false;
    mutliRegionFeatureSnap false;
}

addLayersControls
{
    relativeSizes false;
    expansionRatio 1.3;
    finalLayerThickness 0.5;
    minThickness 0.02;

    layers
    {
        buildings
        {
            nSurfaceLayers 5;
        }
    }

    nGrow 0;
    featureAngle 180;
    // Maximum number of snapping relaxation iterations. Should stop
    // before upon reaching a correct mesh.
    nRelaxIter 20;

    // Number of smoothing iterations of surface normals
    nSmoothSurfaceNormals 2;
}
```

```

// Number of smoothing iterations of interior mesh movement direction
nSmoothNormals 3;

// Smooth layer thickness over surface patches
nSmoothThickness 10;

// Stop layer growth on highly warped cells
maxFaceThicknessRatio 0.5;

// Reduce layer growth where ratio thickness to medial
// distance is large
maxThicknessToMedialRatio 0.3;

// Angle used to pick up medial axis points
// Note: changed(corrected) w.r.t 17x! 90 degrees corresponds to 130 in 17x.
minMedianAxisAngle 90;

// Create buffer region for new layer terminations
nBufferCellsNoExtrude 0;

// Overall max number of layer addition iterations. The mesher will exit
// if it reaches this number of iterations; possibly with an illegal
// mesh.
nLayerIter 100;
}

meshQualityControls
{
// #include "meshQualityDict"
maxNonOrtho 65;
maxBoundarySkewness 5;
maxInternalSkewness 4;
maxConcave 40;
minVol 1.E-8;
minVolCollapseRatio 0.5;
minTetQuality 1e-30;
minArea 1e-13;
minTwist 0.05;
minDeterminant 0.001;
minFaceWeight 0.05;
minVolRatio 0.01;
minTriangleTwist 0;
minFlatness 0.5;

```

以大數據預測季風機率分析研究

```
nSmoothScale 4;
errorReduction 0.75;

}

writeFlags
(
    noRefinement
    scalarLevels
    layerSets
    layerFields
);

mergeTolerance 1e-6;

//
*****
***** //
```


附錄七 openfoam 求解器設定檔

```
/*----- C++ -----*\
=====
\| / Field | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
\| / Operation | Website: https://openfoam.org
\| / And | Version: 8
\| / Manipulation |
/*-----*/
FoamFile
{
    version 2.0;
    format ascii;
    class dictionary;
    object fvSchemes;
}
// *****

ddtSchemes
{
    default steadyState;
}

gradSchemes
{
    default Gauss linear;

    limited cellLimited Gauss linear 1;
    grad(U) $limited;
    grad(k) $limited;
    grad(epsilon) $limited;
}

divSchemes
{
    default none;

    div(phi,U) bounded Gauss linearUpwind limited;

    turbulence bounded Gauss limitedLinear 1;

    div(phi,k) bounded Gauss upwind;
    div(phi,epsilon) bounded Gauss upwind;
    div(phi,omega) bounded Gauss upwind;
```

```

    div((nuEff*dev2(T(grad(U)))) Gauss linear;
//    div(phi,epsilon) $turbulence;

}

laplacianSchemes
{
    default          Gauss linear corrected;
}

interpolationSchemes
{
    default          linear;
}

snGradSchemes
{
    default          corrected;
}

wallDist
{
    method meshWave;
}

//
*****
***** //

```

以大數據預測季風機率分析研究

```
/*-----*- C++ -*-----*\
=====
\ \ / F i e l d | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
\ \ / O p e r a t i o n | Website: https://openfoam.org
\ \ / A n d | Version: 8
\ \ / M a n i p u l a t i o n |
\*-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format       ascii;
    class        dictionary;
    object       fvSolution;
}
// ***** //

solvers
{
    p
    {
        solver      GAMG;
        smoother    GaussSeidel;
        tolerance   1e-8;
        relTol      0.1;
    }

    "(U|k|omega|epsilon)"
    {
        solver      smoothSolver;
        smoother    symGaussSeidel;
        tolerance   1e-8;
        relTol      0.1;
    }
    Phi
    {
        solver      GAMG;
        smoother    DIC;

        tolerance   1e-07;
        relTol      0.01;
    }
}

SIMPLE
{
```

```

residualControl
{
    p            1e-4;
    U            1e-4;
    "(k|omega|epsilon)" 1e-4;
}
consistent     yes;
nNonOrthogonalCorrectors 0;
pRefCell       0;
pRefValue      0;
}

potentialFlow
{
    nNonOrthogonalCorrectors 10;
}

relaxationFactors
{
    fields
    {
        p            0.3;
    }
    equations
    {
        U            0.7;
        "(k|omega|epsilon).*" 0.7;
    }
}

//
*****
***** //

```

附錄八 openfoam 邊界條件設定檔

(1) U

```
/*-----* C++ *-----*\
=====
\ \ / Field | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
\ \ / Operation | Website: https://openfoam.org
\ \ / A nd | Version: 8
\ \ M anipulation |
\*-----*/
/* Windows 32 and 64 bit porting by blueCAPE: http://www.bluecape.com.pt
*\
| Based on Windows porting (2.0.x v4) by Symscape: http://www.symscape.com
|
\*-----*/
FoamFile
{
    version 2.0;
    format ascii;
    class volVectorField;
    location "0";
    object U;
}
// *****

dimensions [0 1 -1 0 0 0];

#include "include/initialConditions"

internalField uniform (0 0 0);

boundaryField
{
    buildings
    {
        type noSlip;
    }
    "outlet_.*"
    {
        type inletOutlet;
        inletValue $internalField;
        value $internalField;
    }
}
```

```
}
"inlet_.*"
{
    type            atmBoundaryLayerInletVelocity;
    #include        "include/ABLConditions"
}
"side.*)"
{
    type            zeroGradient;
}

top
{
    type            zeroGradient;
}
"bottom.*)"
{
    type            noSlip;
}
}

//
*****
***** //
```

(2) p

```
/*-----*- C++ -*-----*\
=====
  \ \ / F i e l d           | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
  \ \ / O p e r a t i o n   | Website:  https://openfoam.org
  \ \ / A n d               | Version:   8
  \ \ M a n i p u l a t i o n |
\*-----*/
/* Windows 32 and 64 bit porting by blueCAPE: http://www.bluecape.com.pt
*\
| Based on Windows porting (2.0.x v4) by Symscape: http://www.symscape.com
|
\*-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format       ascii;
    class        volScalarField;
    location     "0";
    object       p;
}
// *****

dimensions      [0 2 -2 0 0 0 0];

internalField   uniform 0;

boundaryField
{
    buildings
    {
        type          zeroGradient;
    }
    "outlet_.*"
    {
        type          totalPressure;
        rho           rho;
        psi           none;
        gamma         1.4;
        p0            uniform 0;
        value         uniform 0;
    }
    "inlet_.*"
    {
        type          zeroGradient;
    }
}
```

```

    }
    "side.*"
    {
        type            zeroGradient;
    }

    top
    {
        type            zeroGradient;
    }
    "bottom.*"
    {
        type            zeroGradient;
    }
}

//
*****
***** //

(3) k
/*----- C++ -----*\
=====
\| / F ield          | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
\| / O peration     | Website:  https://openfoam.org
\| / A nd           | Version:   8
\| / M anipulation  |
\*-----*/
/* Windows 32 and 64 bit porting by blueCAPE: http://www.bluecape.com.pt
*\
| Based on Windows porting (2.0.x v4) by Symscape: http://www.symscape.com
|
\*-----*/
FoamFile
{
    version    2.0;
    format     ascii;
    class      volScalarField;
    location   "0";
    object     k;
}
// ***** //

dimensions    [0 2 -2 0 0 0 0];

```

以大數據預測季風機率分析研究

```
#include      "include/initialConditions"
internalField  uniform $kInlet;

boundaryField
{
    buildings
    {
        type          kqRWallFunction;
    }
    "outlet_.*"
    {
        type          inletOutlet;
        inletValue    $internalField;
        value         $internalField;
    }
    "inlet_.*"
    {
        type          atmBoundaryLayerInletK;
        #include      "include/ABLConditions"
    }
    "side.*)"
    {
        type          zeroGradient;
    }

    top
    {
        type          zeroGradient;
    }
    "bottom.*)"
    {
        type          kqRWallFunction;
    }
}

//
*****
***** //
```

(4) epsilon

```

/*-----*- C++ -*-----*\
=====
\| / F i e l d | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
\| / O p e r a t i o n | Website: https://openfoam.org
\| / A n d | Version: 8
\| / M a n i p u l a t i o n |
\*-----*/
/* Windows 32 and 64 bit porting by blueCAPE: http://www.bluecape.com.pt
*\
| Based on Windows porting (2.0.x v4) by Symscape: http://www.symscape.com
|
\*-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format       ascii;
    class        volScalarField;
    location     "0";
    object       epsilon;
}
// *****

dimensions      [0 2 -3 0 0 0 0];
#include         "include/initialConditions"

internalField   uniform $epsilonInlet;

boundaryField
{
    buildings
    {
        type      epsilonWallFunction;
        value     $internalField;
    }
    "outlet_.*"
    {
        type      inletOutlet;
        inletValue $internalField;
        value     $internalField;
    }
    "inlet_.*"
    {
        type      atmBoundaryLayerInletEpsilon;
        #include  "include/ABLConditions"
    }
}

```

以大數據預測季風機率分析研究

```
}
"side.*"
{
    type          zeroGradient;
}

top
{
    type          zeroGradient;
}
"bottom.*"
{
    type          epsilonWallFunction;
    value         $internalField;
}
}

//
*****
***** //
```

(5) nut

```

/*-----*- C++ -*-----*\
=====
\| / F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
\| / O p e r a t i o n | Website:  https://openfoam.org
\| / A n d           | Version:   8
 \| \ M a n i p u l a t i o n |
\*-----*/
/* Windows 32 and 64 bit porting by blueCAPE: http://www.bluecape.com.pt
*\
| Based on Windows porting (2.0.x v4) by Symscape: http://www.symscape.com
|
\*-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format       ascii;
    class        volScalarField;
    location     "0";
    object       nut;
}
// *****

dimensions      [0 2 -1 0 0 0 0];

internalField   uniform 0;

boundaryField
{
    buildings
    {
        type          nutUWallFunction;
        #include      "include/ABLConditions"
        value         uniform 0;
    }
    "outlet_.*"
    {
        type          calculated;
        value         uniform 0;
    }
    "inlet_.*"
    {
        type          calculated;
        value         uniform 0;
    }
}

```

以大數據預測季風機率分析研究

```
"side.*"
{
    type          zeroGradient;
}

top
{
    type          calculated;
    value         uniform 0;
}

"bottom.*"
{
    type          nutkAtmRoughWallFunction;
    #include     "include/ABLConditions"
    value         uniform 0;
}

bottom_2
{
    type          nutUWallFunction;
    #include     "include/ABLConditions"
    value         uniform 0;
}

bottom_3
{
    type          nutUWallFunction;
    #include     "include/ABLConditions"
    value         uniform 0;
}
}

//
*****
***** //
```

(6) ABLConditions

```

/*----- C++ -----*\
=====
\ \ / F i e l d | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
\ \ / O p e r a t i o n | Website: https://openfoam.org
\ \ / A n d | Version: 8
 \ \ M a n i p u l a t i o n |
\*-----*/
#include "../windDirection"

z0org 0.05;
zGroundorg 0.0;

Uref 3;
Zref 10;
zDir (0 0 1);

#ifdef $windDirection N
    flowDir ( 0.0000 -1.0000 0 );
#endif
#ifdef $windDirection NNE
    flowDir ( -0.3827 -0.9239 0 );
#endif
#ifdef $windDirection NE
    flowDir ( -0.7071 -0.7071 0 );
#endif
#ifdef $windDirection ENE
    flowDir ( -0.9239 -0.3827 0 );
#endif
#ifdef $windDirection E
    flowDir ( -1.0000 0.0000 0 );
#endif
#ifdef $windDirection ESE
    flowDir ( -0.9239 0.3827 0 );
#endif
#ifdef $windDirection SE
    flowDir ( -0.7071 0.7071 0 );
#endif
#ifdef $windDirection SSE
    flowDir ( -0.3827 0.9239 0 );
#endif
#ifdef $windDirection S
    flowDir ( 0.0000 1.0000 0 );
#endif
#ifdef $windDirection SSW

```

以大數據預測季風機率分析研究

```
        flowDir ( 0.3827 0.9239 0 );
#endif
#ifeq $windDirection SW
        flowDir ( 0.7071 0.7071 0 );
#endif
#ifeq $windDirection WSW
        flowDir ( 0.9239 0.3827 0 );
#endif
#ifeq $windDirection W
        flowDir ( 1.0000 0.0000 0 );
#endif
#ifeq $windDirection WNW
        flowDir ( 0.9239 -0.3827 0 );
#endif
#ifeq $windDirection NW
        flowDir ( 0.7071 -0.7071 0 );
#endif
#ifeq $windDirection NNW
        flowDir ( 0.3827 -0.9239 0 );
#endif
```

```
z0                uniform $z0org;
zGround           uniform $zGroundorg;
```

```
kappa             0.41;
Cmu               0.09;
phi              phi;
C1               0.0;
C2              1.0;
E               9.8;
```

```
//
*****
***** //
```

(7) initialConditions

```

/*-----* C++ *-----*\
=====
\ \ / F i e l d | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
\ \ / O p e r a t i o n | Website: https://openfoam.org
\ \ / A n d | Version: 8
 \ \ M a n i p u l a t i o n |
\*-----*/

#include "ABLConditions"

ustar #calc " $kappa * $Uref / log( ( $Zref + $z0org ) / $z0org ) ";

kInlet #calc " pow( $ustar , 2 ) / sqrt( $Cmu ) ";

epsilonInlet #calc " pow( $ustar , 3 ) / ( $Zref + $z0org - $zGroundorg ) / $kappa
";

omegaInlet #calc " $ustar / $kappa / sqrt( $Cmu ) / ( $Zref + $z0org -
$zGroundorg ) ";

```

參考文獻

1. Ahmad, N., Inagaki, A., Kanda, M., Onodera, N., and Aoki, T., (2015). Large eddy simulation of the gust factor using lattice boltzmann method within a huge and high resolution urban area of Tokyo. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)*, 71, I_37-I_42 °
2. Caretto, L., Gosman, A., Patankar, S., and Spalding, D. (1973). *Two calculation procedures for steady, three-dimensional flows with recirculation*. Paper presented at the Proceedings of the Third International Conference on Numerical Methods in Fluid Mechanics: Vol. II Problems of Fluid Mechanics °
3. Chang, S., Jiang, Q., and Zhao, Y., (2018). Integrating CFD and GIS into the Development of Urban Ventilation Corridors: A Case Study in Changchun City, China. *Sustainability*, 10(6), 1814 °
4. Choi, E. C. C., and Tanurdjaja, A., (2002). Extreme wind studies in Singapore. An area with mixed weather system. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90(12), 1611-1630 °
5. Chun, B., and Guldmann, J.-M., (2014). Spatial statistical analysis and simulation of the urban heat island in high-density central cities. *Landscape and urban planning*, 125, 76-88 °
6. Cui, Y., Xu, X., Dong, J., and Qin, Y., (2016). Influence of urbanization factors on surface urban heat island intensity: A comparison of countries at different developmental phases. *Sustainability*, 8(8), 706 °
7. ESDU, (1982). Characteristics of wind speed in the lower layers of the atmosphere near the ground; strong winds (Neutral atmosphere),
8. ESDU, (2002). Strong winds in the atmospheric boundary layer. Part 1: hourly-mean wind speeds, Engineering Sciences Data Unit, London, UK.
9. Fang, Y., and Zhao, L., (2022). Assessing the environmental benefits of urban ventilation corridors: A case study in Hefei, China. *Building and Environment*, 108810 °
10. Foundation, O. (2020). *OpenFOAM v8 User Guide* (v6 ed.): The OpenFOAM

Foundation.

11. Gál, T. M., and Sümeghy, Z., (2007). Mapping the roughness parameters in a large urban area for urban climate applications. *Acta Climatologica ET Chorologica*, 40, 27-36 °
12. Grimmond, C., and Oke, T. R., (1999). Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 38(9), 1262-1292 °
13. Gu, K., Fang, Y., Qian, Z., Sun, Z., and Wang, A., (2020). Spatial planning for urban ventilation corridors by urban climatology. *Ecosystem Health and Sustainability*, 6(1), 1747946 °
14. Hang, J., Wang, Q., Chen, X., Sandberg, M., Zhu, W., Buccolieri, R., and Di Sabatino, S., (2015). City breathability in medium density urban-like geometries evaluated through the pollutant transport rate and the net escape velocity. *Building and Environment*, 94, 166-182 °
15. Hiester, T., and Pennell, W. (1979). *Siting technologies for large wind turbine clusters*. Richland, WA (USA). Conference retrieved from
16. Hsieh, C.-M., Chen, H., Ooka, R., Yoon, J., Kato, S., and Miisho, K., (2010). Simulation analysis of site design and layout planning to mitigate thermal environment of riverside residential development. *Building Simulation*, 3(1), 51-61 °
17. Hsieh, C.-M., and Huang, H.-C., (2016). Mitigating urban heat islands: A method to identify potential wind corridor for cooling and ventilation. *Computers, Environment and Urban Systems*, 57, 130-143 °
18. Hu, C.-H., and Wang, F., (2005). Using a CFD approach for the study of street-level winds in a built-up area. *Building and Environment*, 40(5), 617-631 °
19. Japan, A. I. o., (2016). AIJ benchmarks for validation of CFD simulations applied to pedestrian wind environment around buildings, Architectural Institute of Japan,
20. Kanda, M., Inagaki, A., Miyamoto, T., Gryschka, M., and Raasch, S., (2013). A new aerodynamic parametrization for real urban surfaces. *Boundary-Layer Meteorology*, 148(2), 357-377 °

21. Kent, C. W., Grimmond, S., and Gatey, D., (2017). Aerodynamic roughness parameters in cities: Inclusion of vegetation. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 169, 168-176 ◦
22. Kondo, J., and Yamazawa, H., (1986). Aerodynamic roughness over an inhomogeneous ground surface. *Boundary-Layer Meteorology*, 35(4), 331-348 ◦
23. Launder, B. E., Reece, G. J., and Rodi, W., (1975). Progress in the development of a Reynolds-stress turbulence closure. *Journal of Fluid Mechanics*, 68(3), 537-566 ◦
24. Launder, B. E., and Spalding, D. B., (1974). The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3(2), 269-289 ◦
25. Li, J., Deng, W., and Zhang, J.-f., (2019). Evaluating mountain water scarcity on the county scale: a case study of Dongchuan District, Kunming, China. *Journal of Mountain Science*, 16(4), 744-754 ◦
26. Lin, C.-Y., Chen, F., Huang, J. C., Chen, W. C., Liou, Y. A., Chen, W. N., and Liu, S.-C., (2008). Urban heat island effect and its impact on boundary layer development and land–sea circulation over northern Taiwan. *Atmospheric Environment*, 42(22), 5635-5649 ◦
27. Liu, Y., Fang, X., Cheng, C., Luan, Q., Du, W., Xiao, X., and Wang, H., (2016). Research and application of city ventilation assessments based on satellite data and GIS technology: a case study of the Yanqi Lake Eco-city in Huairou District, Beijing. *Meteorological Applications*, 23(2), 320-327 ◦
28. Macdonald, R., Griffiths, R., and Hall, D., (1998). An improved method for the estimation of surface roughness of obstacle arrays. *Atmospheric Environment*, 32(11), 1857-1864 ◦
29. Ng, E., (2009). Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities – air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong. *Building and environment*, 44(7), 1478-1488 ◦
30. Ng, E., and Ren, C., (2018). China's adaptation to climate & urban climatic changes: A critical review. *Urban Climate*, 23, 352-372 ◦
31. Ng, E., Yuan, C., Chen, L., Ren, C., and Fung, J. C., (2011). Improving the

- wind environment in high-density cities by understanding urban morphology and surface roughness: A study in Hong Kong. *Landscape and Urban planning*, 101(1), 59-74 ◦
32. Oke, T. R., (1997). Urban environments. *The surface climates of Canada*, 303-327 ◦
33. Ren, C., Yang, R., Cheng, C., Xing, P., Fang, X., Zhang, S., *et al.*, (2018). Creating breathing cities by adopting urban ventilation assessment and wind corridor plan – the implementation in Chinese cities. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 182, 170-188 ◦
34. Ricci, A., Burlando, M., Freda, A., and Repetto, M. P., (2017). Wind tunnel measurements of the urban boundary layer development over a historical district in Italy. *Building and Environment*, 111, 192-206 ◦
35. Ricci, A., Kalkman, I., Blocken, B., Burlando, M., Freda, A., and Repetto, M. P., (2017). Local-scale forcing effects on wind flows in an urban environment: Impact of geometrical simplifications. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 170, 238-255 ◦
36. Shen, Z., and Li, M. (2017). *Big data support of urban planning and management: The experience in China*: Springer.
37. Shih, T.-H., Liou, W. W., Shabbir, A., Yang, Z., and Zhu, J., (1995). A new $k-\epsilon$ eddy viscosity model for high Reynolds number turbulent flows. *Computers & Fluids*, 24(3), 227-238 ◦
38. Smagorinsky, J., (1963). General circulation experiments with the primitive equations: I. The basic experiment. *Monthly Weather Review*, 91(3), 99-164 ◦
39. Suder, A., and Szymanowski, M., (2014). Determination of ventilation channels in urban area: a case study of Wrocław (Poland). *Pure and Applied Geophysics*, 171(6), 965-975 ◦
40. Takahashi, K., Yoshida, H., Tanaka, Y., Aotake, N., and Wang, F., (2004). Measurement of thermal environment in Kyoto city and its prediction by CFD simulation. *Energy and Buildings*, 36(8), 771-779 ◦
41. Tremeac, B., Bousquet, P., de Munck, C., Pigeon, G., Masson, V., Marchadier, C., *et al.*, (2012). Influence of air conditioning management on heat island in Paris air street temperatures. *Applied Energy*, 95, 102-110 ◦

42. Wilcox, D. C. (1998). *Turbulence modeling for CFD* (Vol. 2): DCW industries La Canada, CA.
43. Wong, M. S., Nichol, J., and Ng, E., (2011). A study of the “wall effect” caused by proliferation of high-rise buildings using GIS techniques. *Landscape and Urban Planning*, 102(4), 245-253 °
44. Wong, M. S., Nichol, J. E., To, P. H., and Wang, J., (2010). A simple method for designation of urban ventilation corridors and its application to urban heat island analysis. *Building and Environment*, 45(8), 1880-1889 °
45. Xiong, Y., Huang, S., Chen, F., Ye, H., Wang, C., and Zhu, C., (2012). The impacts of rapid urbanization on the thermal environment: A remote sensing study of Guangzhou, South China. *Remote sensing*, 4(7), 2033-2056 °
46. Yakhot, V., Orszag, S. A., Thangam, S., Gatski, T. B., and Speziale, C. G., (1992). Development of turbulence models for shear flows by a double expansion technique. *Physics of Fluids A: Fluid Dynamics*, 4(7), 1510-1520 °
47. Yang, C., He, X., Yan, F., Yu, L., Bu, K., Yang, J., *et al.*, (2017). Mapping the Influence of Land Use/Land Cover Changes on the Urban Heat Island Effect—A Case Study of Changchun, China. *Sustainability*, 9(2), 312 °
48. Yong, T., (2017). Exploration on Planning System and Planning Method of Urban Ventilation Corridor. *Journal of World Architecture*, 1(2) °
49. Yuan, C. (2018). *Urban wind environment: Integrated climate-sensitive planning and design*: Springer.
50. Yuan, C., and Ng, E., (2012). Building porosity for better urban ventilation in high-density cities – A computational parametric study. *Building and Environment*, 50, 176-189 °
51. Yuan, C., and Ng, E., (2014). Practical application of CFD on environmentally sensitive architectural design at high density cities: A case study in Hong Kong. *Urban Climate*, 8, 57-77 °
52. 中華民國風工程學會，2016，風工程理論與應用，中華民國風工程學會。
53. 內政部國土測繪中心，(2016)，國土測繪圖資服務雲，資料來源：<https://maps.nlsc.gov.tw/S09SOA/> °
54. 王安強、林子平、梁文宇、郭建源、曾淑翎、陳育成、侯凱山、藍士棠，

- 2018，跨不同地況區域之風廊建置分析及都市通風環境評估，內政部建築研究所。
55. 朱佳仁，2006，風工程概論，科技圖書股份有限公司。
56. 侯凱山. (2019). 應用高密度地面氣溫量測網探討熱環境及風環境之時空變遷.
57. 郭建源, 2017, 集合住宅外部環境風場與室內自然通風互制效應分析研究, 內政部建築研究所。
58. 陳建忠、羅元隆、傅仲麟、許敬昀、蔡宜中、李信宏、陳紀柔、曾育凡，2016，建築耐風設計規範風速模式探討及設計風速修訂研究，內政部建築研究所。
59. 陳若華、吳國昌、陳海曙、蔡明樹，2001，建築配置與自然通風評估模式之研究，內政部建築研究所。
60. 劉正倫、蔡季欣、林昌鑑、湯美華，(2019)。三圍國家底圖建置，*國土及公共治理季刊*，第七卷(第二期)。
61. 鄭元良、林子平，2019，都市戶外通風效益分析與推動策略研議，內政部建築研究所。
62. 黎益肇，陳瑞華，林柏宇，and 江桐，2021，以大數據預測季風機率分析研究，內政部建築研究所。
63. 黎益肇、陳瑞華、林柏宇、江桐，2021，以大數據預測季風機率分析研究，內政部建築研究所。
64. 黎益肇、陳瑞華、林柏宇、吳政陽, (2023). 以倒傳遞類神經網路預測氣象站之風速與風向資料. *中國土木水利工程學刊*, 35(5)。
65. 黎益肇、陳瑞華、詹鈞評、王際濤、吳政陽，2022，整合風環境資料庫與內政大數據建置城市通風地圖，內政部建築研究所。
66. 林秉毅, and 鄭兆尊，. (2021)，歷史觀測資料補遺救星-臺灣歷史氣候重建資料. *臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台電子報*，台北: 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台電子報。
67. 工業技術研究院，(2014)，風力資訊整合平台，資料來源：<https://pro.twtpo.org.tw/GIS/>。
68. 內政部國土測繪中心，(2015)，多維度國家空間資訊服務平臺，資料

以大數據預測季風機率分析研究

來源：<https://3dmaps.nlsc.gov.tw/>。

69. 王際濤，2023，以 RANS 紊流模型探討理想化都市建築群之通風效應，國立臺灣科技大學營建工程系，碩士論文。
70. 台達電子文教基金會、國際氣候發展智庫、中央氣象局、財團法人臺灣建築中心，(2017)，微氣候資訊平台，資料來源：<http://www.weatherservice.org.tw/>。
71. 陳建忠、朱佳仁、羅元隆、蔡宜中、張淇喻、郭建源、林禹安、羅仕亮、游聲迪，2019，建築物耐風設計規範之基本設計風速修訂研究，內政部建築研究所。
72. 方富民、陳瑞鈴、黎益肇、陳建忠、郭建源，(2018)。都市地區行人風環境之 CFD 模擬與風洞實驗比對研究，*建築學報* (103)，17-34。