

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

輻射彈事故小尺度氣象之實驗分析與模擬研究

**Study of small scale meteorological observation and modeling for
dirty bomb's accident**

計畫編號：992001INER010

受委託機關(構)：財團法人氣象應用推廣基金會

計畫主持人：鄧仁星

核研所聯絡人員：盧仲信

聯絡電話：02-23491087

E-mail address：tengjh@rdc.cwb.gov.tw

報告日期：中華民國 99 年 11 月 30 日

目 錄

目 錄	I
中文摘要	1
英文摘要	2
壹、計畫緣起與目的	3
貳、研究方法與過程	5
一、A2C 模式介紹	5
二、研究過程與步驟	8
(一) 特定郊區建物周圍之細部氣象觀測實驗地點實地探訪選 址	8
(二) 郊區建物周圍 A2C 模式基本資料建立 (建物模型建 立)	8
(三) 郊區建物周圍之細部氣象模擬實驗	9
(四) 郊區建物周圍之細部氣象觀測實驗及分析	9
參、主要發現與結論	11
一、特定郊區建物周圍 A2C 模式案例模擬	11
二、特定郊區建物周圍 A2C 模式案例模擬結果之分析及驗證 ...	12
肆、參考文獻	25

中文摘要

由於輻射彈事故發生後，污染物會隨周圍的大氣條件及不同的地形、地表甚或建築物形態產生複雜的傳輸及擴散現象。A2C 模式為目前唯一結合大氣環流（Atmospheric circulation）與計算流體力學（computational fluid dynamic）的模式，不僅可考慮複雜地形與地表利用，並且可有效模擬氣流受建築物影響產生的風場變化。本計畫將與核研所合作進行不同都市開發程度的建物周圍細部氣象觀測實驗，並利用 A2C 模式實際模擬觀測實驗案例。除了分析觀測實驗數據，探討不同都市開發程度地區大氣環境的差異性外，並利用實際觀測資料驗證 A2C 模式模擬結果，及模式模擬的細部分析探討。

Abstract

As dirty bomb's accident occurred, the radiation particles will transport and diffuse in the air. In order to evaluate the radiation dose, we need to study the small-scale atmospheric boundary layer feature around building in complex terrain area. A2C model is the only one that coupled atmospheric circulation model and computational fluid dynamic model. This model is not only used in complex terrain and surface condition area, but also used in and around building.

In this project, we will focus on the observation and simulation of the small-scale wind features in urban, suburban and country area. We will do an observation experiment around some typical building to analyze the flow pattern. We also will do some model simulation to evaluate the model results within observation and study more detail phenomena.

壹、計畫緣起與目的

自從「911 事件」之後，美國人民就一再被提醒恐怖分子會以輻射髒彈來執行恐怖攻擊。髒彈是一種常規炸藥或炸彈，內含具殺傷力且有相當數量的放射性物質。髒彈並非核子炸彈，殺傷人的能力如同一般的炸彈。但它爆炸之後會散佈放射性物質，造成廣大面積的輻射污染及社會不安。民眾會因恐慌而自亂陣腳讓城市陷於癱瘓，造成重大的心理不安和經濟衝擊。這也是恐怖分子施行髒彈攻擊所欲達成的目的。而台灣不僅據稱為恐怖分子的對象之一，且亦要提防中國大陸利用此手段造成台灣的不安。

對於含有建築物存在的大氣運動數值模式，目前在世界上分為兩大部分。一為 CFD(computational fluid dynamics) 模式，另一則為大氣邊界層模式。CFD 模式大都是用在單一建築物的中性大氣模擬，並不考慮大氣狀態的隨時間及空間的演變。且若要考慮許多的建築物時則須花費很多的計算資源。而一般的大氣邊界層模式之水平解析度最高僅達 1km 左右，在考慮建築物對氣流的效應時，大概都是透過類似地物不同之摩擦效應及加熱效應產生影響，並不能真正模擬建築物周圍之氣流受建築物之影響。

Yamada(2004)利用其長年的大氣邊界層模式發展經驗，成功的將其大氣邊界層模式 (HOTMAC; High order turbulence model for atmospheric circulation) 之解析度提升至數米，且可將建築物比照地形高度代入模式中，提供一套適合複雜地形區之市區含建築物之小尺度大氣邊界層模式。在其論文中並將其模擬結果與一些風動實驗(如 Hunt and Snyder, 1980; Ishihara et al.,

2001; Ishihara and Hibi,2000) 之結果比較，得到相當一致的結果。並將其更名為 A2C(Atmosphere to CFD) 模式，為目前唯一結合大氣環流(Atmospheric circulation) 與計算流體力學(computational fluid dynamic) 的模式，不僅可考慮複雜地形與地表利用，並且可有效模擬氣流受建築物影響產生的風場變化。本計畫將與核研所合作進行不同都市開發程度的建物周圍細部氣象觀測實驗。並利用 A2C 模式實際模擬觀測實驗案例。除了分析觀測實驗數據，探討不同都市開發程度地區大氣環境的差異性外；並利用實際觀測資料驗證 A2C 模式模擬結果，及模式模擬的細部分析探討。

貳、研究方法與過程

氣象要素包括風向、風速、溫度、濕度等在低層大氣邊界層變化大，同時這些氣象要素也影響人類的的生活。例如在不同穩定度之大氣環境如圖 1.1 不穩定與圖 1.2 中性穩定大氣、在不同地表性質、建築物分布下如圖 1.3，在日夜變化下如圖 1.4，其風向、風速、溫度等在邊界層裡隨高度有顯著之變化和不同。在邊界層，空氣流動受地面摩擦影響，最接近地表約 10 米厚的氣層，稱地表邊界層，此層之摩擦作用主要是空氣分子直接接觸之動量改變所導致。在地表邊界層內，風速隨高度線性增加，風速越大，應力值越大，即摩擦越大。而地表邊界層頂至梯度風層的氣層(不受地面摩擦影響的最低氣層)，稱為摩擦層；在摩擦層內，地面摩擦作用主要是透過渦流 (eddy) 動量傳送所導致。在摩擦層內，風向和風速隨高度改變，並與地表粗糙度、穩定度和密度等因素隨高度變化。

若要了解局部地區之風向、風速、溫度、濕度在邊界層之變化，必須透過小尺度之氣象數值模式，配合適當之初始條件、地形高度、地表性質和實際環境之建築物分布等作模擬，並由實際觀測資料驗證模式之模擬結果。本研究之目的為透過實地之氣象觀測，取得風向、風速、溫度等變化觀測數據，與 A2C 模式之氣象模擬結果作比較，驗證模擬結果並分析局部地區風向、風速、溫度等之變化。

一、A2C 模式介紹

為能模擬非均勻地形並易於處理地表邊界條件，本模式垂直方向採用

Mahrer and Pielke (1975) 所定義之地形座標，

$$z^* = \frac{\bar{H} z - z_g}{H - z_g}, \quad (1)$$

其中 z^* ， z 分別為轉換後及卡氏座標下的垂直座標。式中 z_g 為地表高度， \bar{H} 為 z^* 座標下的模式頂高度， H 為 z 座標下的模式頂高度。

基本控制方程式為：

$$\begin{aligned} \frac{dU}{dt} = & f(V - V_g) + g \frac{\bar{H} - z^*}{H} \left(1 - \frac{\bar{\theta}_v}{\theta_v} \right) \frac{\partial z_g}{\partial x} \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{xy} \frac{\partial U}{\partial y} \right) + \frac{\bar{H}}{H - z_g} \frac{\partial}{\partial z^*} (-\overline{uw}) \end{aligned}, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} = & f(U - U_g) + g \frac{\bar{H} - z^*}{H} \left(1 - \frac{\bar{\theta}_v}{\theta_v} \right) \frac{\partial z_g}{\partial y} \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xy} \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial V}{\partial y} \right) + \frac{\bar{H}}{H - z_g} \frac{\partial}{\partial z^*} (-\overline{vw}) \end{aligned}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W^*}{\partial z^*} - \frac{1}{H - z_g} \left(U \frac{\partial z_g}{\partial x} + V \frac{\partial z_g}{\partial y} \right) = 0, \quad (4)$$

$$W^* \equiv \frac{\bar{H}}{H - z_g} W + \frac{z^* - \bar{H}}{H - z_g} \left(U \frac{\partial z_g}{\partial x} + V \frac{\partial z_g}{\partial y} \right), \quad (5)$$

上式中，大寫表示總集平均值，小寫表示對平均值的擾動量， K_x 、 K_{xy} 及 K_y 為水平渦流黏滯係數。

亂流動能方程式如下：

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt}\left(\frac{q^2}{2}\right) &= \frac{\partial}{\partial x}\left[K_x \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{q^2}{2}\right)\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[K_y \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{q^2}{2}\right)\right] \\
&+ \left(\frac{\bar{H}}{H - z_g}\right)^2 \frac{\partial}{\partial z^*}\left[qlS_q \frac{\partial}{\partial z^*}\left(\frac{q^2}{2}\right)\right] \\
&- \frac{\bar{H}}{H - z_g} \left(\overline{uw} \frac{\partial U}{\partial z^*} + \overline{vw} \frac{\partial V}{\partial z^*}\right) + \beta g \overline{w\theta_v} - \frac{q^3}{B_1 l}
\end{aligned} \tag{6}$$

在上式中，等號右邊第一~三項為平流項，第四項為風切產生項，第五項為浮力項，第六項為動能消散項。 $q^2 = \overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2}$ ， $\overline{w\theta_v}$ 為亂流熱通量。

亂流長度尺度 l 可利用下式求得：

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt}(q^2 l) &= \frac{\partial}{\partial x}\left[K_x \frac{\partial}{\partial x}(q^2 l)\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[K_y \frac{\partial}{\partial y}(q^2 l)\right] \\
&+ \left(\frac{\bar{H}}{H - z_g}\right)^2 \frac{\partial}{\partial z^*}\left[qlS_l \frac{\partial}{\partial z^*}(q^2 l)\right] \\
&- lF_1 \left[\frac{\bar{H}}{H - z_g} \left(-\overline{uw} \frac{\partial U}{\partial z^*} - \overline{vw} \frac{\partial V}{\partial z^*}\right) + \beta g \overline{w\theta_v}\right] \\
&- \frac{q^3}{B_1} \left[1 + F_2 \left(\frac{l}{kz}\right)^2\right]
\end{aligned} \tag{7}$$

其中 F_1 、 F_2 、 S_q 、 S_l 及 B_1 為從實驗所得之經驗常數，其值分別為 1.8、1.33、0.2、0.2 及 16.6。

熱力及水汽混合比方程式如下：

$$\begin{aligned}
\frac{d\delta\theta}{dt} &= \frac{\partial}{\partial x}\left(K_x \frac{\partial \delta\theta}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y \frac{\partial \delta\theta}{\partial y}\right) \\
&+ \frac{\bar{H}}{H - z_g} \left[\frac{\partial}{\partial z^*}(-\overline{w\theta}) + \frac{1}{\rho C_p} \frac{\partial R_N}{\partial z^*} - W \frac{\partial \theta_v}{\partial z}\right] \frac{\partial}{\partial z^*}(-\overline{vw})
\end{aligned}, \tag{8}$$

$$\frac{dq_v}{dt} = \frac{\partial}{\partial x}\left(K_x \frac{\partial q_v}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y \frac{\partial q_v}{\partial y}\right) + \frac{\bar{H}}{H - z_g} \frac{\partial}{\partial z^*}(-\overline{wq_v}), \tag{9}$$

方程式 (2)(3)(6)(7)(8)(9) 中之亂流通量，由簡化的二階亂流

閉合方程得到 (Yamada, 1983) :

$$\left(\overline{uw}, \overline{vw}\right) = -l\tilde{S}_M \left(\frac{\partial U}{\partial z}, \frac{\partial V}{\partial z}\right), \quad (10)$$

$$\left(\overline{w\theta}, \overline{wq_v}\right) = -\alpha l q \tilde{S}_M \left(\frac{\partial \theta}{\partial z}, \frac{\partial q_v}{\partial z}\right), \quad (11)$$

其中 \tilde{S}_M 及 α 是通量理查遜數 (flux Richardson number) 的函數。

$\alpha \equiv K_H / K_M$ 為亂流普朗多常數的倒數，其中 K_H 及 K_M 為渦流擴散及黏滯係數。 \tilde{S}_M 及 α 可由 Mellor and Yamada (1974) 之 level 2 模式中得到。

二、研究過程與步驟

(一) 特定郊區建物周圍之細部氣象觀測實驗地點實地探訪選址

利用地理資訊系統及實地探訪，並經委托單位(核能研究所)認可，本年度計劃研究選取點觀測之位置為國立中央大學科二及科三館附近(圖 2.1、圖 2.2)。觀測點周圍為湖池、操場、草坪等，避免大樓建築物對風速風向等氣象要素觀測之影響，為適合進行細部氣象觀測實驗之地點。

(二) 郊區建物周圍 A2C 模式基本資料建立 (建物模型建立)

利用探堪的觀測實驗地點之建物分布狀況，建立實驗區域附近的 A2C 模式基本資料設定。圖 3 為建築物實際面積之平面圖，共包含四座建築物，分別為(1)、左下方的科二館：一「L」形建築物，上半部為 20 (長) * 20 (寬) * 16 (高) 米，下半部為 55 (長) * 25 (寬) * 32 (高) 米。由地面到 4 米高為一階級形之走廊，設定如圖示。(2)、左上方的科

三館：20（長）*50（寬）*20（高）米。(3)、右上方的鴻經館：60（長）*20（寬）*20（高）米。(4)、右下方的綜教館：50（長）*30（寬）*20（高）米。根據觀測點附近之實際建築物、地形、地表等狀況，為 A2C 模式模擬之建築物、地形、地表之設定。

（三）郊區建物周圍之細部氣象模擬實驗

為了解在不同背景氣象資訊下，實驗區之建物可導致如何的細部氣象場的分布，我們利用 A2C 模式在不同風向的條件下，作一系列的模擬實驗。

模擬使用的建築物分布如上節所述。模擬水平解析度為 2.5 公尺，網格為 100*100，表示模擬的範圍為 250 公尺x250 公尺。垂直方向共分 50 層，為增加建築物高度內之垂直解析度，我們在地面到 40 公尺高設定其垂直網格距為 1 公尺，如此可確保利用模式得到此近地面層及建物周圍有較佳的垂直分布狀況，而從 40 到 80 公尺為 4 公尺解析度，共 10 層。

在氣象背景場中，我們共選擇 8 種不同的方向（每 45 度一個）、接近標準大氣的穩定度的平均流（風速為 3m/s）為此模擬實驗的案例，利用 A2C 模式模擬在此環境背景場下因建築物造成的氣流變化。

（四）郊區建物周圍之細部氣象觀測實驗及分析

觀測實驗之工作項目包括聯絡租賃氣象觀測儀器之事宜、確定儀器之操作與運作正常、選取適當並可行之地點架設儀器、選取觀測實驗時

段、進行觀測實驗和收集與分析觀測數據。在此研究先針對冬季時段進行觀測，其原因為冬季時，邊界層大氣較其他時期穩定，且局部小尺度之擾動也較少（例如夏季在不穩定之大氣，易出現午後對流、海陸風或熱島效應等，造成局部風向、風速、溫度、濕度等變化），可排除其他額外因素對風向、風速、溫度、濕度等造成之變化，把討論之問題簡單化，並預期模式對此穩定的大氣（即觀測時段裡，風向、風速、溫度、濕度等變數較為恆定）時模擬具有相當之能力。

觀測地點為國立中央大學科二及科三館附近，利用租賃的 5 組地面氣象觀測儀器架設在選取點空曠之地點上(以▲標示於圖 2.2 中)，目前觀測儀器架設於 3 米高之位置上，進行為期約 1 週的建物周圍之細部氣象觀測實驗，觀測項目有：。其後利用此觀測實驗數據，分析各固定觀測點之氣象場（包括風速、風向）隨時間的變化，並挑選具代表性、穩定性的時間，分析氣象場的平面空間分佈，以了解觀測點附近之氣象變化。

參、主要發現與結論

一、特定郊區建物周圍 A2C 模式案例模擬

在此先就八種不同風向（0—360 度，以 45 度劃分）之環境場狀況下作模擬，以探討在此研究選取地點建物分布狀況下，當模擬結果達穩定後其觀測點附近之風向風速變化，以了解風場受建物分布下之影響情況。圖 4、5、6 為模式模擬在背境風場為恆定 3m/s，中性大氣(0.005°C/m)下，其水平風場在不同高度分別為 3、6、10 米下之分布，風速值從 1-3m/s 以色階表示。注意以下討論之風速增強或減弱，為風速值與水平或垂直附近點之比較，一般氣流通過建築物，若沒有額外環境之影響，受摩擦影響，其風速都會減弱。從模擬結果得知，風場變化主要在建物高度以下，其上方則變化不大，此與前人之研究觀測圖 1.3 吻合。若進一步討論風場在建物影響高度以下之變化，從模擬結果顯示：

- (一) 當風場恆定以某一角度吹時，沿風向吹出的建築物的接觸面和外圍兩側，風速增強，而在這四座建築物內，則風場受建築物所擋，其風速微弱。
- (二) 若有通道效應（即由兩座建築物之間形成一狹窄之通道），則在此狹窄通道上風速增強。例如，由於左下方的科二館「L」形建築物，由地面到 4 米高為一階級形之走廊，此與右下方之綜教館大樓之間形成一通道，若在東風、東南風之情況下，其風場在此窄道上通過並有輻合現象，使得風速加強如圖 4.d、5.d、6.d，其影響之高度視建築物走廊高度而定。在此模擬中，走廊高度為 4 米，其通道效應之風速增強影響可到 10 米高之地方，風速增強現象在走廊高度上方最為明顯（圖 5.d）。除地面走廊與上方周圍大樓形成通道效應外，在兩大樓之中間空曠之地方，也有通道效應之存在，且影響之範圍在水平和垂直方上也較廣，如圖 4.b、5.b、6.b。
- (三) 在靠近地表面之高度，受地面摩擦影響，風速在各位置上較為微弱。而往上的高度，風向和風速隨高度改變，並與地表粗糙度、穩定度和

密度等因素隨高度變化。

若進一步分析上述提及之走廊附近分析點（圖 7）之垂直方向風場變化，圖 8 為八種不同風向下，在此分析點上方風速隨高度之變化。受不同背景風向吹進此分析點，其風速在垂直方向變化大，結果討論如下：

1. 在北風、東北風下(圖 8.a、8.b)，風場垂直分布相似，在高度 30 米以下之風速，受左上和右上方之 20 米高度建築物阻擋，風速減弱。在走廊高度 4 米附近，風速只有微弱之增強，此因近風面受北方之建築物影響，到達下方建築物之下方風速已大大的減弱，導致通道效應也不明顯。
2. 在東風、東南風及南風下之狀況下（圖 8.c、8.d、8.e），在此分析點上為迎風面，分析點上風場受附近建築物之影響較少，上述討論之通道效應最為明顯，影響最大之高度為 3 米高之地方，即為分析點左方建築物走廊高度（4 米）之高度。當中以東南風風向下，通道效應之風速增強最大。
3. 在西南風和西風之狀況下（圖 8.f、8.g），受左下方之 32 米高大樓影響，在分析點 32 米以下風速最為微弱，其上則呈線性遞增。
4. 在西北風狀況下（圖 8.h），部分風場沿左方兩棟建築物進入，為上述討論通道效應之另一種，模擬結果指出在分析點上，其風場隨高度呈階梯式之演變。

由上述之分析可知，在不同背環風場模擬下，受建築物之分布，風場在水平和垂直方向有顯著之變化，且模擬結果也合理。

二、特定郊區建物周圍 A2C 模式案例模擬結果之分析及驗證

利用特定郊區建物周圍 A2C 模式基本資料建立（地形、地物等）和探堪的觀測實驗地點之建物分布狀況，引入 A2C 模式中，並選擇具代表性的案例進行模擬。利用 A2C 模式案例模擬結果，探討建物對氣象場的影響，並分析其模擬結果與建物周圍之細部氣象觀測實驗數據比較，調整模式的

參數，再進行模式的模擬，探討模式參數對結果之影響，驗證模式的結果。

此部分因觀測實驗仍在持續進行中，目前尚無結果。待觀測實驗告一段落

後，將於近期內探討其結果。

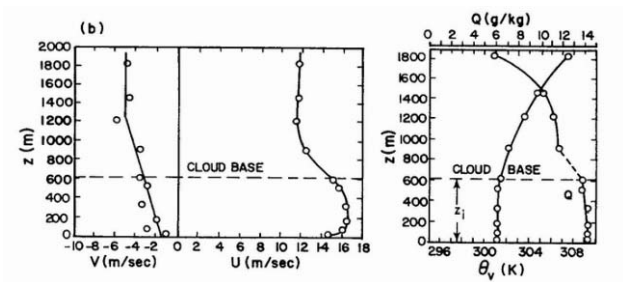


圖 1.1 在不穩定大氣下之位溫、南北風分量、東西風分量之隨高度變化。(摘自 Pennell and LeMone (1974))

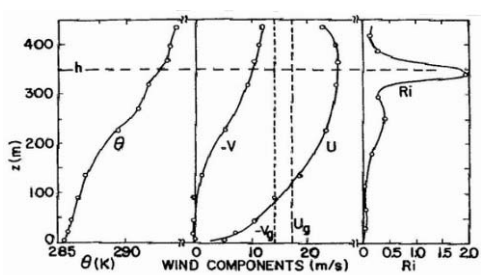


圖 1.2 在中性穩定大氣下之位溫、南北風分量、東西風分量之隨高度變化。(摘自 Deardoff (1973)和 Izumi and Barad (1963))

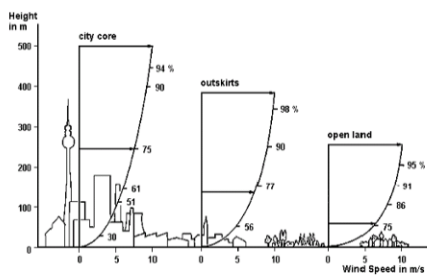


圖 1.3 風速在不同建物與生態環境下隨高度之變化。(摘自 Deardoff (1973))

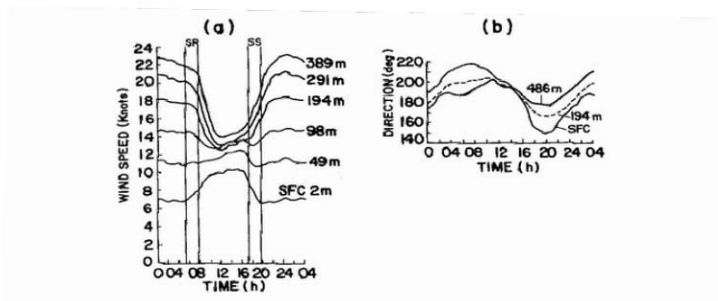


圖 1.4 風速、風向在不同高度之日夜變化 (摘自 Crawford and Hudson (1973))

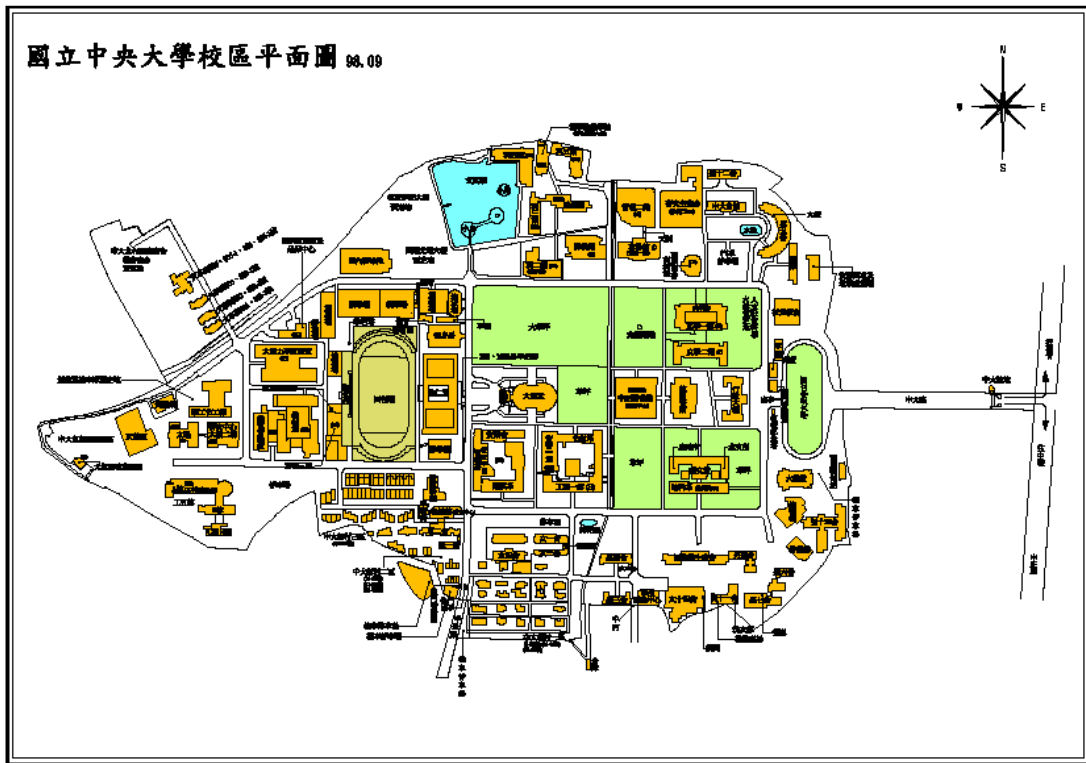


圖 2.1、國立中央大學校區平面圖



圖 2.2、本年度計劃研究選取點觀測之位置及本年度計劃研究選取點觀測之位置

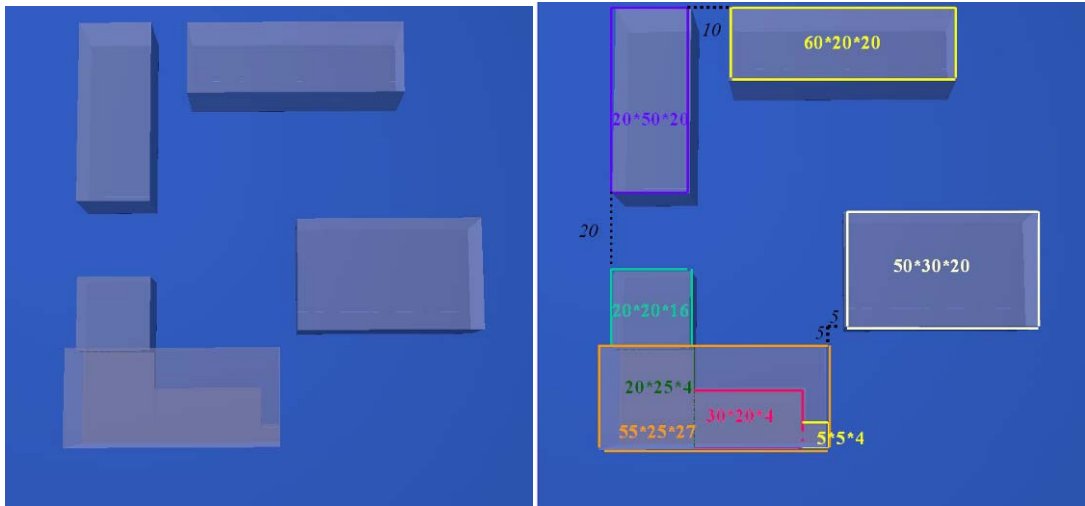


圖 3.1 A2C 模式模擬建築物設定之平面圖。

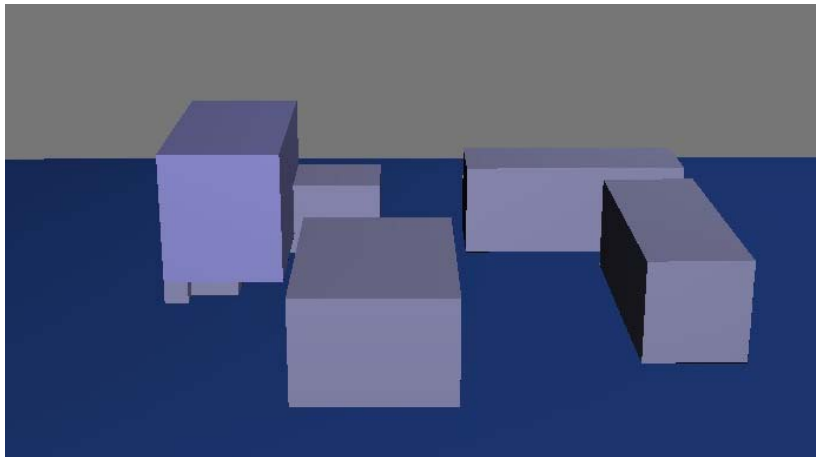
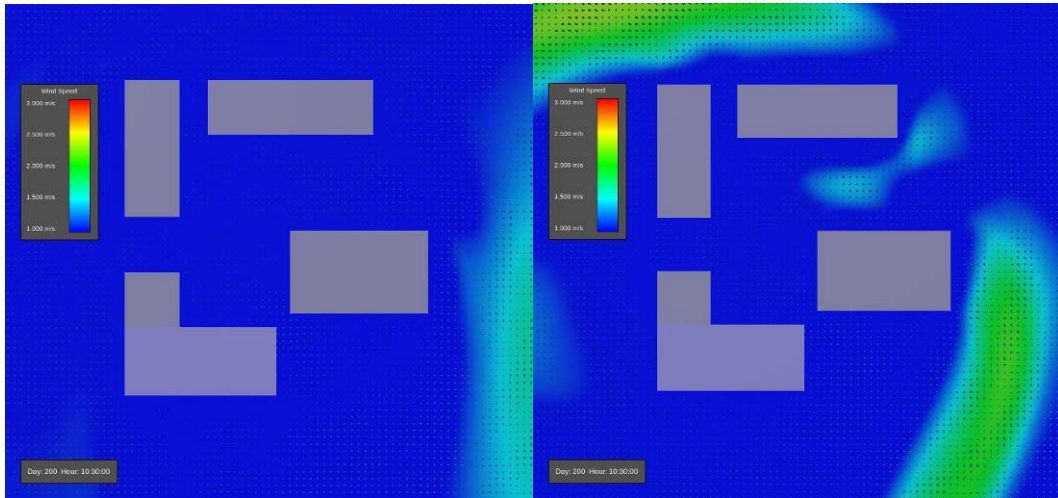


圖 3.2 A2C 模式模擬建築物設定之旋轉 90 度立體圖。

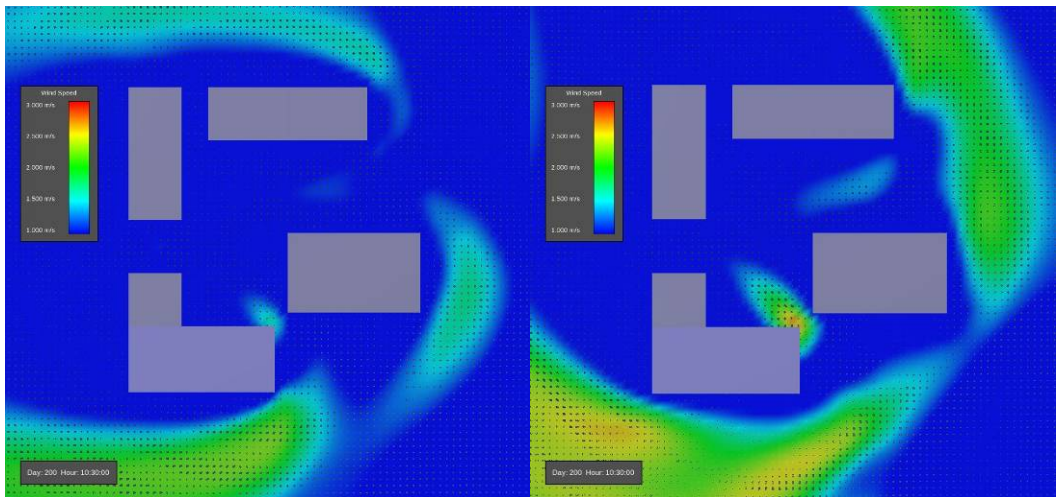
(a). 正北

(b). 東北



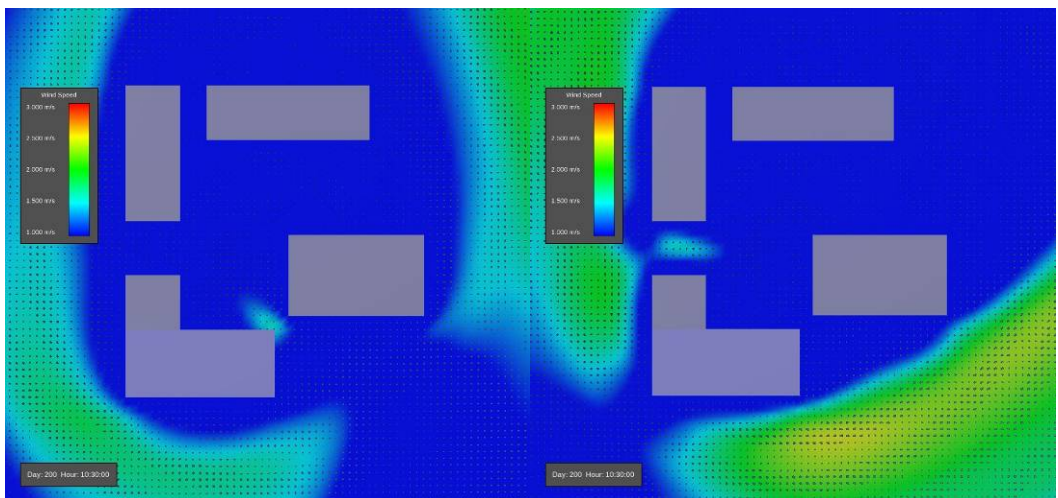
(c). 正東

(d). 東南



(e). 正南

(f). 西南



(g). 正西

(h). 西北

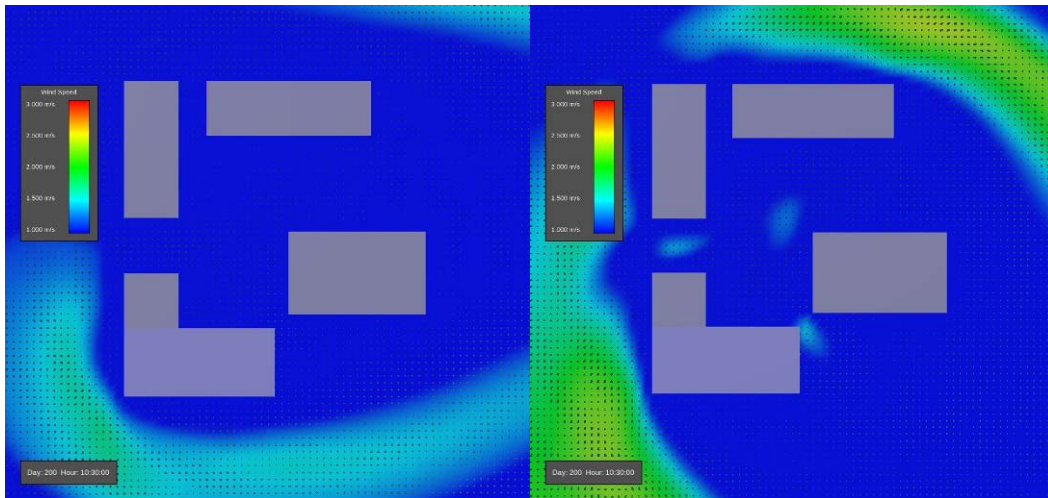
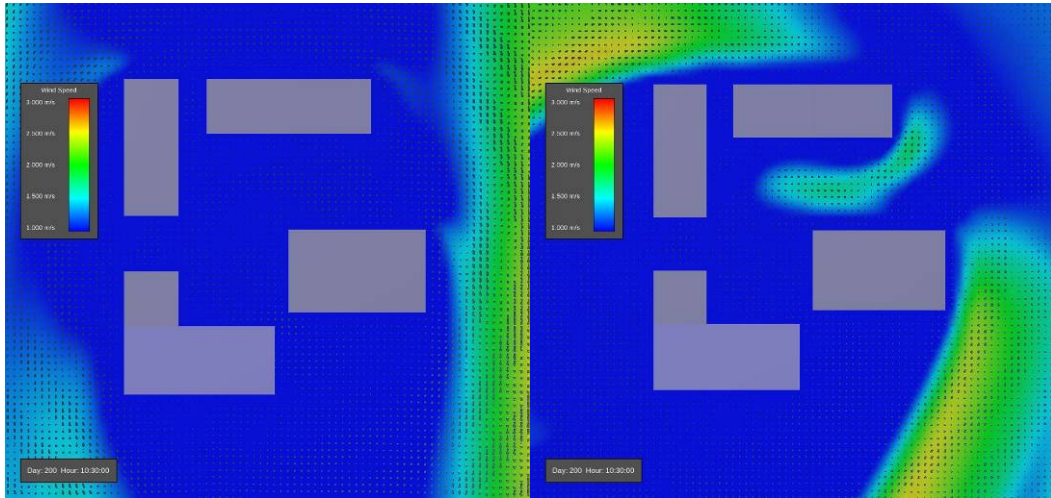


圖 4. 3 米高之平面風場，背環風為 3m/s，風向為 0—360 度，以 45 度劃分，分別為(a)正北、(b)東北、(c)正東、(d)東南、(e)正南、(f)西南、(g)正西、(h)西北風。

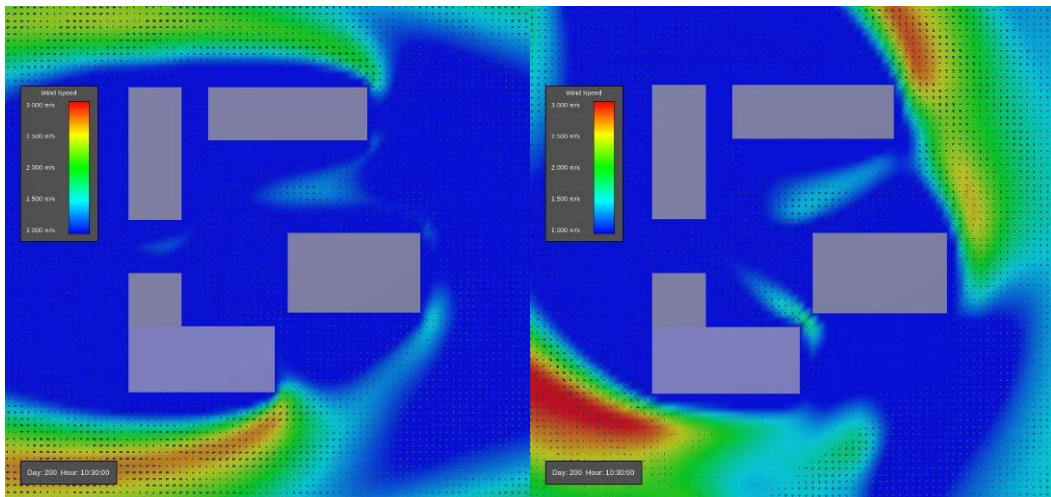
(a). 正北

(b). 東北



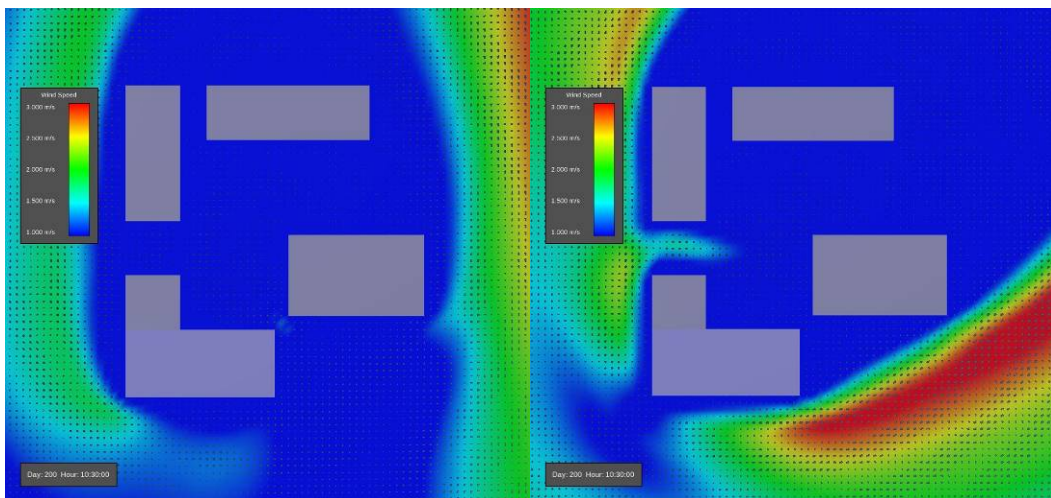
(c). 正東

(d). 東南



(e). 正南

(f). 西南



(g). 正西

(h). 西北

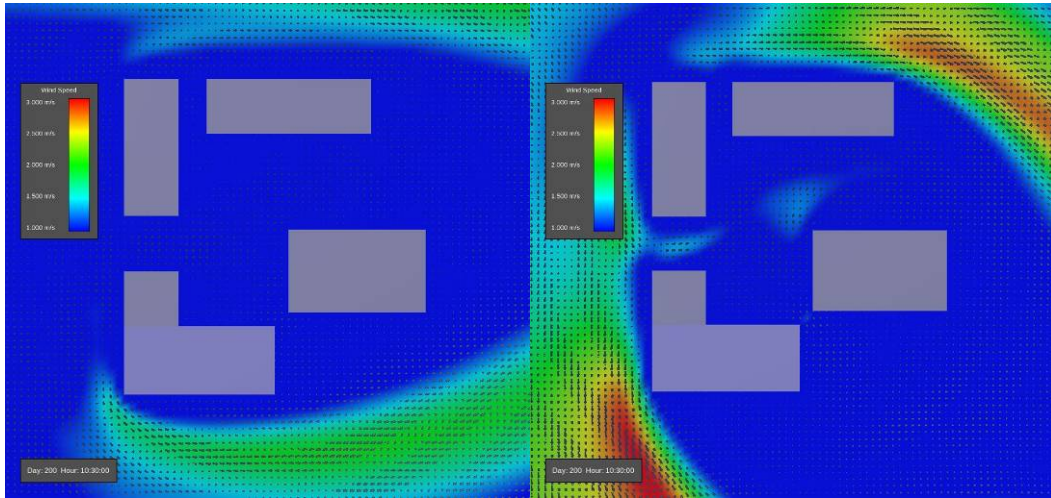
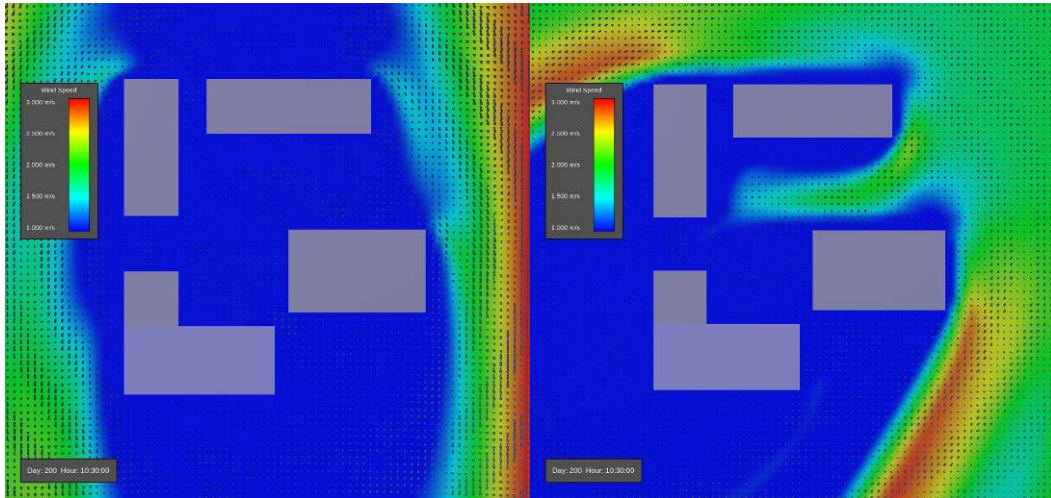


圖 5.6 米高之平面風場，背環風為 3m/s，風向為 0—360 度，以 45 度劃分，分別為(a)正北、(b)東北、(c)正東、(d)東南、(e)正南、(f)西南、(g)正西、(h)西北風。

。

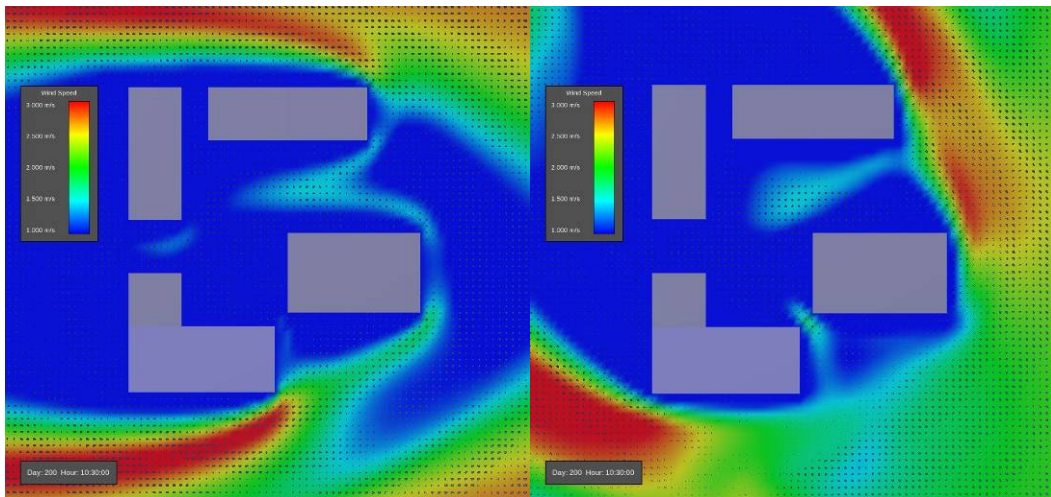
(a). 正北

(b). 東北



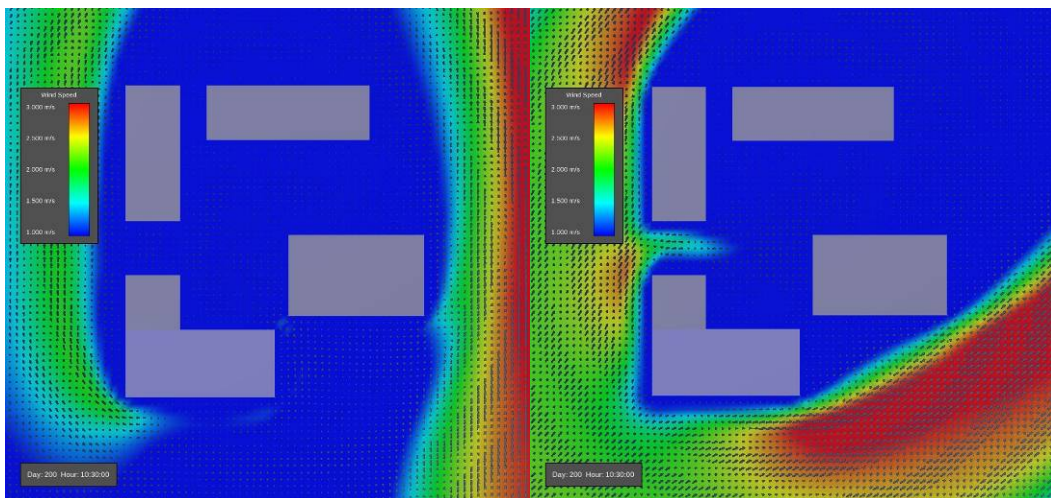
(c). 正東

(d). 東南



(e). 正南

(f). 西南



(g). 正西

(h). 西北

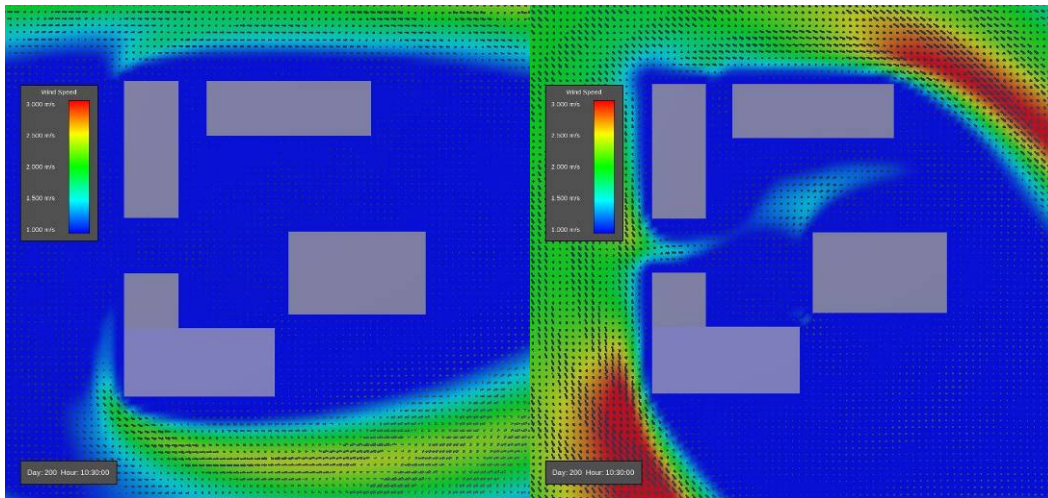


圖 6. 10 米高之平面風場，背環風為 3m/s，風向為 0—360 度，以 45 度劃分，分別為(a)正北、(b)東北、(c)正東、(d)東南、(e)正南、(f)西南、(g)正西、(h)西北風。

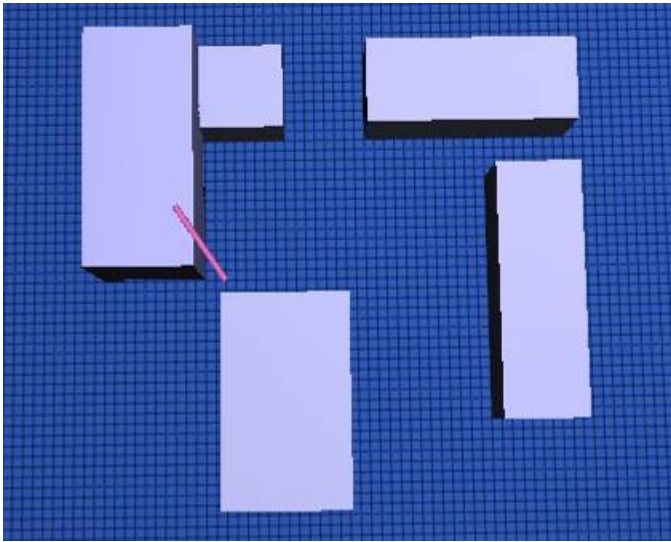


圖 7. 分析點之位置

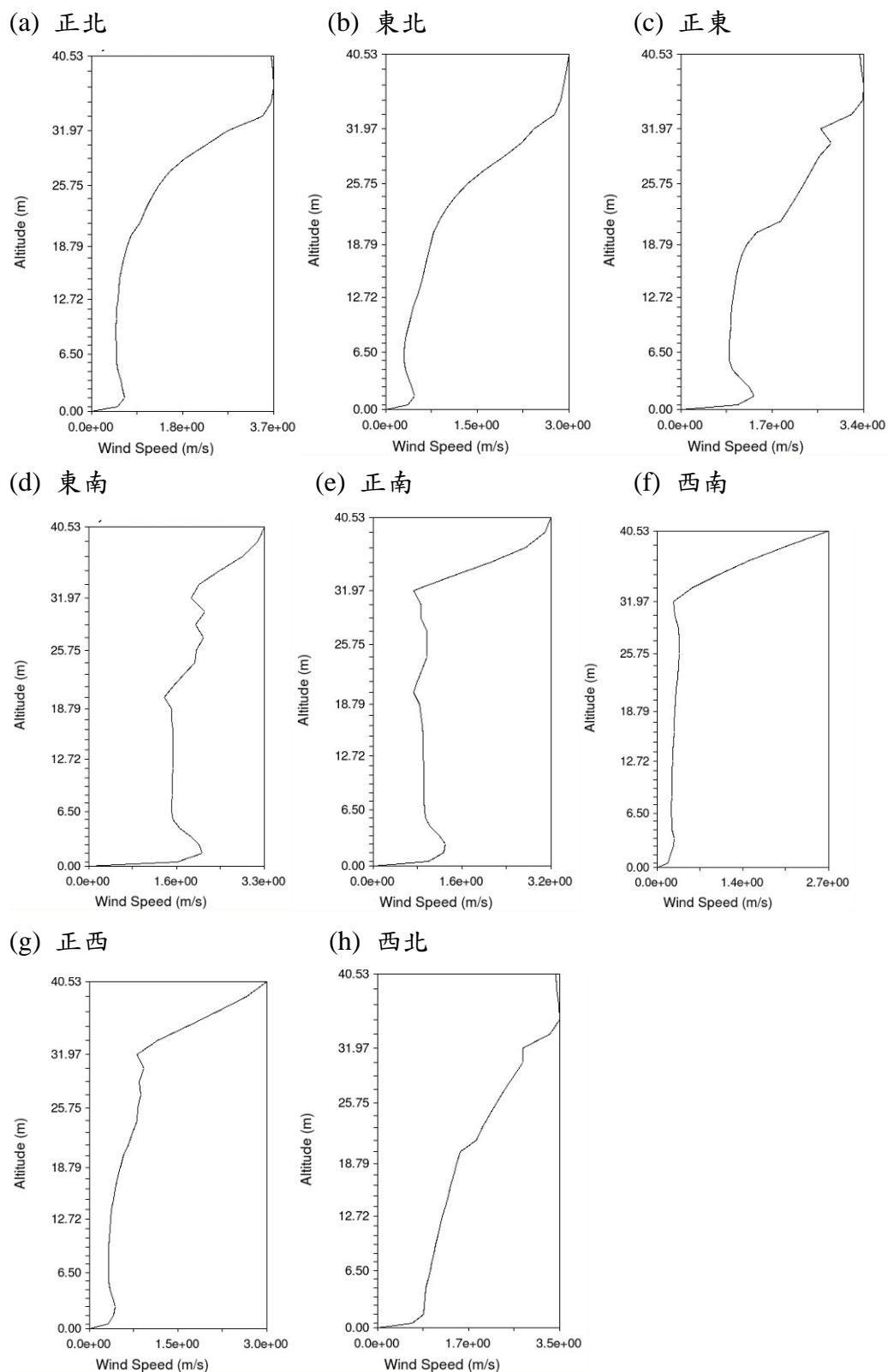


圖 8 圖 7 分析點之風場隨高度變化分別為(a)正北、(b)東北、(c)正東、(d)東南、(e)正南、(f)西南、(g)正西、(h)西北風

肆、参考文献

1. Yamada T., 2004: Merging CFD and atmospheric modeling capabilities to simulate airflows and dispersion in urban areas., *Computational Fluid Dynamics Journal*, 13(2):47, 329-341.
2. Hunt, J. C. R. and W. H. Synder, 1980: Experiments on stably and neutrally stratified flow over a model three-dimensional hill., *J. Fluid Mech.*, 96-4, 671-704.
3. Ishihara, T., Y. Fujino and K. Hibi, 2001: A wind tunnel study of separated flow over a two-dimensional ridge and a circular hill., *J. Wind Engineer*, 89, 573-576.
4. Ishihara, T. and K. Hibi, 2000: Numerical simulation of turbulent flow over a steep hill., *J. Wind Engineer*, 83, 175-188.
5. Deardorff, J. W., 1973: Three-dimensional numerical modeling of the planetary boundary layers. *Workshop on Micrometeorology*, D.A. Haugen, Ed., Amer. Meteor. Soc., 271-311.
6. Pennell, W. T., and M. A. LeMone, 1974: An experimental study of turbulence structure in the fair weather trade wind boundary layer. *J. Atmos. Sci.*, 31, 1308-1323.
7. Izumi, Y. and Barad, M.L.: 1963: Wind and Temperature Variations during the development of a low-Level Jet', *J. Appl. Meteorol.* 2, 668-673.
8. Crawford, K. C., and H. R. Hudson, 1973: The diurnal wind variation in the

lowest 1500 ft in Central Oklahoma: June 1966-May 1967. *J. Appl. Meteor.*, 12,
127-132.

