

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：1002001INER006

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

聯絡電話：(02)23491087

E-mail address：tengjh@rdc.cwb.gov.tw

核研所聯絡人員：盧仲信

報告日期： 100 年 11 月 30 日

目 錄

中文摘要.....	1
ABSTRACT	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、 研究步驟與過程	8
(一) 都市之細部氣象觀測實驗地點實地探訪選址與觀測結果	8
(二) EOC 大樓與其周圍建築物模型於 A2C 模式中建立	9
(三) A2C 模擬實驗設計	9
參、 主要發現與結論	10
一、 模擬個案驗證	10
二、 本實驗中建築物對不同風向的模擬結果	11

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，

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

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， \overline{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：

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

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

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

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

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：

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

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：

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt}(q^2 l) &= \frac{\partial}{\partial x} \left[K_x \frac{\partial}{\partial x} (q^2 l) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_y \frac{\partial}{\partial y} (q^2 l) \right] \\
&+ \left(\frac{\bar{H}}{H - z_g} \right)^2 \frac{\partial}{\partial z^*} \left[q l S_l \frac{\partial}{\partial z^*} (q^2 l) \right] \\
&- l F_1 \left[\frac{\bar{H}}{H - z_g} \left(-\overline{uw} \frac{\partial U}{\partial z^*} - \overline{vw} \frac{\partial V}{\partial z^*} \right) + \beta g \overline{w\theta_v} \right] \\
&- \frac{q^3}{B_1} \left[1 + F_2 \left(\frac{l}{kz} \right)^2 \right]
\end{aligned} \tag{7}$$

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)：

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

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

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、研究步驟與過程

(一) 都市之細部氣象觀測實驗地點實地探訪選址與觀測結果

於去年度計劃中所選定的是位於郊區的中央大學部分區域進行觀測及模擬的地點，但有鑑於國外的許多恐怖攻擊的目標多為人口密集之都市，於是本年度計劃選定位於台北市信義區的台北市災害應變中心(Emergency Operation Center of Taipei City, EOC)進行不同高度位置的風向風速觀測。EOC(圖 2.1)為一大約為南北走向的長方型建築物，觀測點分別為頂樓東北角(觀測點 a)以及西南角(觀測點 b)兩組，地面一組觀測位於大樓南側(觀測點 c)，另一組為大樓西側(觀測點 d)，總共 4 個觀測點(圖 2.1)。EOC 頂樓為相對較高的制高點，因此其頂樓的觀測可做為當時環境風的參考。頂樓東北角的觀測點為災害應變中心本身的長期觀測，而為了觀察環境風受到建築物影響產生的變化，設置了頂樓西南角的觀測點。地面兩個觀測點則分別放置在推測風向風速會有較大變化的地點。除了災害應變中心本身為 10 分鐘一筆的觀測外，其他三個皆為每分鐘一筆的觀測資料，其觀測資料包含氣壓、溫度、相對濕度、風向和風速等。但位於大樓西側的觀測受到儀器的限制，觀測資料較不齊全。

觀測的時間為 100 年 4 月 12 日至 19 日，為期八天，屬春季的天氣型態。從其風向風速隨時間的變化，可得知此處的風速大致都在 5 m/s 以下，且可能在受到建築物的遮蔽之下，風速變得相當微弱，則此時的風向就不那麼的具有代表性。在這八天時間內除了 4 月 15、16 日這兩天受到冷鋒影響，其他六天的天氣都是屬於較為穩定的天氣型態。觀測結果也顯示，這幾個觀測點的設置，在穩定的天氣型態之下，仍有些微或者較為不同的風向風速，代表了此建築物能夠對氣象場產生的變化特性，之後將會挑選較具有代表性的個案進行模擬，與觀測驗證，進而了解本實驗中 A2C 模式的模擬能力。

(二) EOC 大樓與其周圍建築物模型於 A2C 模式中建立

利用實地探訪災害應變中心周圍的建築物概況，於 A2C 模型中建立建築物的模型分布及採用的模擬範圍如圖 2.2 和圖 2.3 所示，為建築物模型俯視圖，EOC 大樓東方的為信義國中，建築物高度較低，並為了簡化模擬過程及降低分析風場的困難度，故在 EOC 大樓東方不再設置建築物。除災害應變中心之外，民宅的部分以一個街區做為建築物，並不以一棟樓房為一建築物。共包含五棟建築物(圖 2.4)，正中間的是災害應變中心，分為三個部分，中間的長方形:35m(長)×56m(寬)×35m(高)，北邊小長方形: 21 m(長)× 10.5 m(寬)×35 m(高)，東邊小長方形: 7 m(長)× 21 m(寬)×15 m(高)。左下方民宅: 35 m(長)×28 m(寬)×30 m(高)。右下方民宅: 77 m(長)×28 m(寬)×25 m(高)。左上方大樓: 10.5 m(長)×21 m(寬)×40m(高)。右上方大樓: 49 m(長)×10.5 m(寬)×40 m(高)。並依實際建物間的距離放入 A2C 模式中進行細部氣象模擬。

(三) A2C 模擬實驗設計

為了解本實驗中建物在不同氣象背景場中，對於風向風速的影響，以八種(0-360 度，以 45 度作劃分)不同的風向，風速皆為 5 m/s，並以大氣為中性穩定(0.005°C/m)的假設下進行模擬。除此之外，利用觀測分析後的結果，選取了兩個個案，以做為模式與實際觀測的驗證。

模擬所使用的建築物模型概況如上節所述。模擬採兩層的巢狀網格(圖 2.4)，第一層水平解析度為 10.5 m×10.5 m，網格為 30×30，模擬範圍即為 315 m×315 m，第二層水平解析度為 3.5 m×3.5 m，網格為 60×60，模擬範圍即為 210 m×210 m。垂直網格共分為 50 層，1~20 層垂直解析度為 2.5m，即為 0~47.5 m，47.5 m~500 m 為線性分布。

參、 主要發現與結論

一、 模擬個案驗證

觀測時間為 100 年 4 月 12 日至 4 月 19 日 8 天的時間，台灣屬春季的天氣型態，在不受綜觀擾動影響之下，主要仍受東北季風影響，且以觀測點 a 代表當時的環境風。在這期間挑選出了 2 段觀測中具穩定性及代表性的風速風向，做為與模擬結果驗證的個案。先藉由個案與模擬的驗證來將模式的參數設定到較合適的狀態，再進行八種不同風向的模擬，以期得到更有參考價值的模擬結果。

東北風的個案時間為 4 月 18 日 12:00~ 16:00，這天是屬於穩定的天氣型態(圖 3)，圖 4 為 4 月 18 日各個觀測點的風向風速時序圖，其中觀測點 a 為北北東風(平均風向:28.75°，平均風速:3.029 m/s)，觀測點 b 為東北風(平均風向:57.69°，平均風速:3.02 m/s)，觀測點 c 為東風(平均風向:90.018°，平均風速:2.00 m/s)，觀測點 d 為南南西風(平均風向:218.28°，平均風速:1.022 m/s)，如圖 5。這四個觀測點的觀測結果可以證實觀測點的位置放置的確捕捉到了建築物影響環境風產生的變化情形。模擬時即以觀測點 a 的風向風速，並假設環境風在未受到建築物摩擦力時的風向風速，給予風向 30°、風速 5 m/s 做為模式的初始條件。

模擬結果以觀測點的高度 5 m(z = 3)和 40 m(z = 17)，與實際觀測做比較，在 40 m 高的水平風場中(圖 6)，觀測點 a 的模擬結果風速為 1.89 m/s，風向為 33.35°，觀測點 b 的模擬結果風速為 1.92 m/s，風向為 44.15°，能夠抓到實際觀測中觀測點 a 到 b 風向轉為較偏東風，模擬的風速也較觀測來的小。在 5 m 高的水平風場中(圖 7)，觀測點 c 的模擬結果為 1.52 m/s，風向為 88.53°，觀測點 d 的模擬結果為 2.19 m/s，風向為 191.6°，在觀測點 c 的模擬結果與觀測相當一致，而觀測點 d 的模擬結果中，其風向有較大的差異。由此結果發現通常以制高點的觀測作為環境風時，仍然忽略了在頂樓時，風向風速仍會受到建築物的摩擦力等因素而有所差異。而此個案模擬中，模式在觀測點 c 的位置表現得最好，其實觀測點 c 所在的位置即為易產生通道效應的位置，由此可知此模式對於在都市密集的建築物當中，能夠將這種小尺度的風向風速變化有良好的掌握。

西風的個案時間為 4 月 16 日 10:00~18:00，台灣受到鋒面擾動影響，天氣較為不穩定(圖 8)，風向也有較大的改變。圖 9 為 4 月 18 日各個觀測點的風向風速時序圖，而圖 10 所示為此個案中各觀測點的情形。觀測點 a 為西風(平均風向:252.89°，平均風速:1.64 m/s)，觀測點 b 為西北風(平均風向:319.46°，平均風速:1.95 m/s)，觀測點 c 為西南風(平均風向:250.34°，平均風速:1.54 m/s)，而觀測點 d 因此段時間中觀測資料的缺乏，無法加入分析。以樓頂的觀測點 a 和 b 來假設環境風的風向為 270°，風速為 5 m/s 進行此個案的模擬。

模擬結果以觀測點的高度 5 m($z = 3$)和 40 m($z = 17$)，與實際觀測做比較，在 40 m 高的水平風場中(圖 11)，觀測點 a 的模擬結果風速為 0.428 m/s，風向為 111.9°，觀測點 b 的模擬結果風速為 1.356 m/s，風向為 259.8°，較無法模擬出實際觀測的風向情形，風速也是低估的情形。而在 5 m 的水平風場中(圖 12)，觀測點 c 的模擬結果風速為 1.559 m/s，風向為 267.0°，雖與實際觀測的風向風速都相當接近，可能只是因為觀測點所在的位置，必會受到通道效應影響而有的必然結果。由於此個案上游仍有相當多的建築物影響，觀測點設置較不利推測其環境風的風向風速，且上游的建築物在模擬中的設置亦有其相當的困難度，以致此個案的模擬結果與觀測較不相同。

二、本實驗中建築物對不同風向的模擬結果

在本實驗中的建築物模型共有五棟，中心為災害應變中心，西北方的兩棟樓為高度最高的大樓，但建築物面積不大，東南方的建築物高度最低，西南方的建築物高度次低。此八種(0-360 度，每 45 度)不同的風向的環境下，恆定的 5m/s 風速和中性穩定(0.005°C/m)的大氣下進行模擬。當模擬結果達到穩定之後，一樣分別先藉由 5 m(圖 13)和 40 m(圖 14)高度的水平風場，來檢視此建築物的模型分布對不同風場的影響，色階代表的是風速(0-5 m/s)。

- (一)從 0 度(圖 13a)和 180 度(圖 13e)可發現，越高的建築物高度期阻擋效應越強，在北邊較高的建築物阻擋之下，風的強度可達 5 m/s 以上，而南邊較低的建築物其風速增強的情形卻不到 5 m/s。
- (二)在 5 m 的水平風場，中間建築物(EOC)的西側，風速通常都是較小的情形，除了 風的 u 方向的分量為負時，其西側處背風面，故風速較小;但當風的 u 方向分量為正時，其西側雖處迎風面(圖 13f-h)，風都會沿著 EOC 大樓的兩側繞流而過，其西側的風速相對來說還是較小的情形。
- (三) 從 5 m 的水平風場(圖 13)中，通道效應通常產生在北方建築物與 EOC 大樓及南方建築物與 EOC 大樓之間。但兩者相較之下，在各個風向的模擬結果中，都是以北方建築物與 EOC 大樓之間的通道效應較為顯著，可能與其通道的寬度最有關係。
- (四)在 40 m 高度的水平風場(圖 14)中，可看到建築物上方通常會受到建築物摩擦力的影響風速減低而其下游處因流體連續的特性，亦為減速的情形。

在 4 個觀測點中，觀測點 d 相對而言是受到建築物影響最大，產生較多變化之處，因此接著進一步分析在 EOC 大樓觀測點 d，在八種不同風向時，此點隨著高度的垂直變化情形。對於觀測點 d 而言，除了 225、270 度和 315 度之外都是屬於有受到建築物遮蔽的背風處。

- 1.整體而言，建築物的影響大致在高度 50~60 公尺左右，達到最大的風速 6~7 m/s，之後就漸漸降低至 5 m/s。
- 2.在正北風(圖 15a)、正東風(圖 15c)和正南風(圖 15e)的模擬中，在高度 40 公尺時，風速都只有 1 m/s 比其他風向的模擬都要來的小。而正北風的模擬中，又因為北方建築物的高度高達 40 公尺，使得風速在 60 公尺高度之上才開始急速增加，顯示大樓的摩擦力可影響至樓頂之上 20 公尺的高度。

3.在東北、東和東南風(圖 15b、c、d)的模擬中，觀測點 d 風速隨高度的垂直變化相似，顯示在有負的 u 方向分量時，受到 EOC 大樓的影響較大，EOC 大樓的高度為 35 公尺，觀測點 d 的風速亦在 30~40 公尺之上開始急速增加。

4.在西南風(圖 15f)、西風(圖 15g)和西北風(圖 15h)的風向時，觀測點 d 受建築物的影響較小，但仍然受到地面摩擦力的影響，風速隨著高度緩慢增加，但從西南風的隨高度變化，與西風和西北風相比之下，可知仍受到建築物不小的影響。

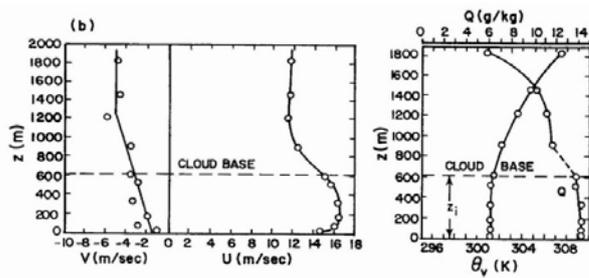


圖 1.1 在不穩定大氣下之位溫、南北風分量、東西風分量之隨高度變化。(摘自 Pennell and LeMone (1974))

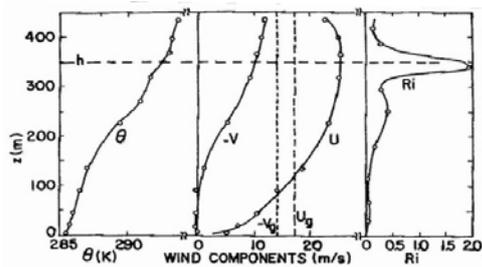


圖 1.2 在中性穩定大氣下之位溫、南北風分量、東西風分量之隨高度變化。(摘自 Deardoff (1973)和 Izumi and Barad (1963))

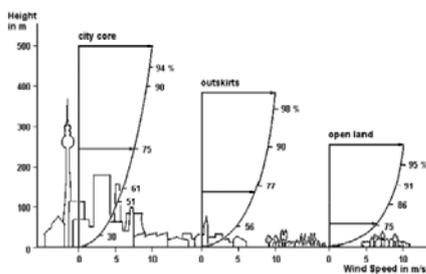


圖 1.3 風速在不同建物與生態環境下隨高度之變化。(摘自 Deardoff (1973))

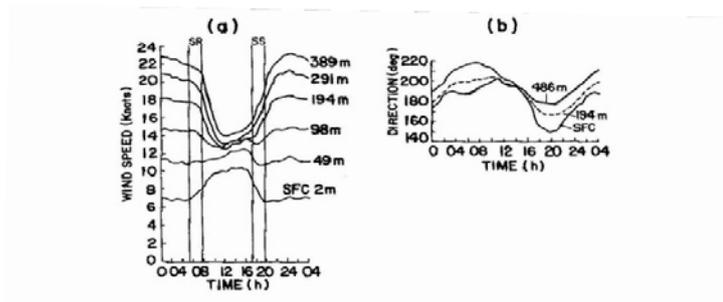


圖 1.4 風速、風向在不同高度之日夜變化 (摘自 Crawford and Hudson (1973))

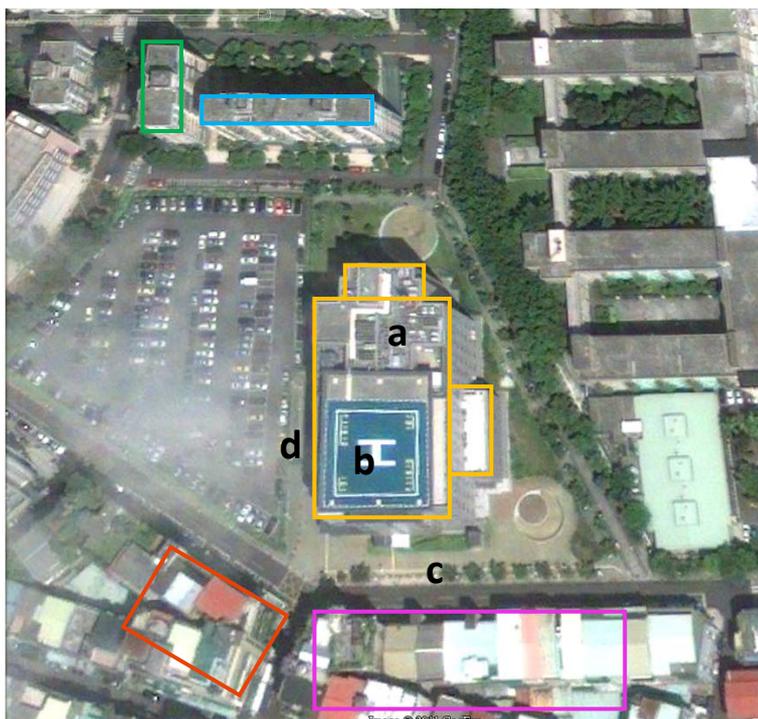


圖 2.1 台北市災害應變中心衛星實景圖，取自 Google Earth。圖中的 a、b、c 和 d 分別為 4 個觀測點的位置。

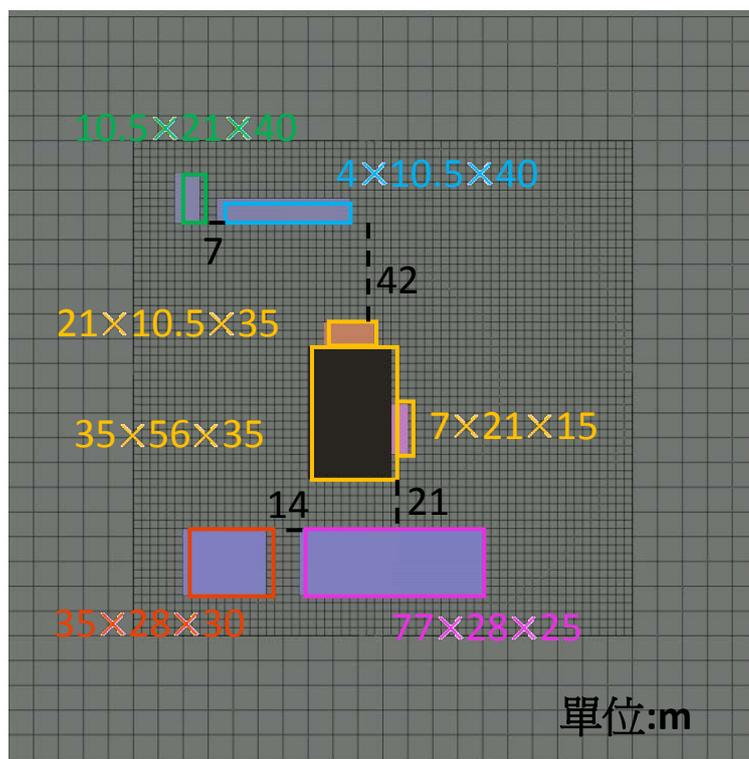


圖 2.2 A2C 模式中建築物模型以及擺放位置。圖中標示其建築物的長寬高以及建築物間的距離，單位為公尺。

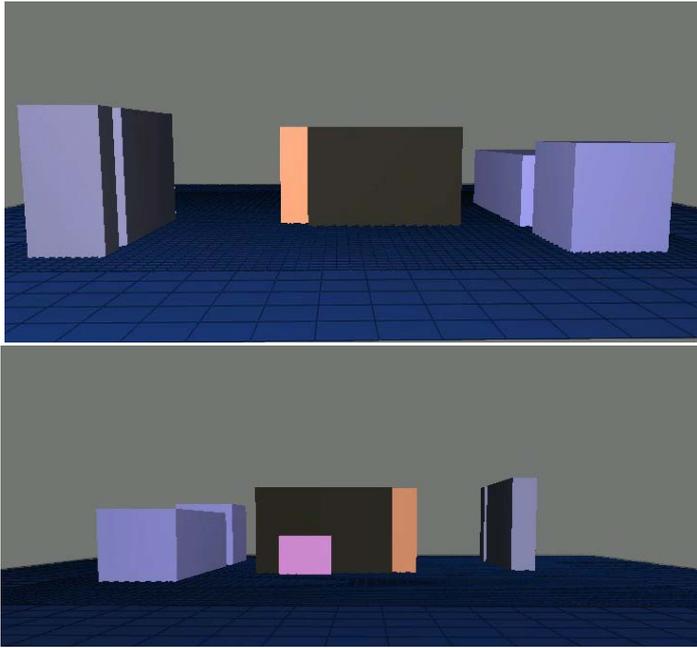


圖 2.3 上為模式中建築物的左視圖，下為右視圖。

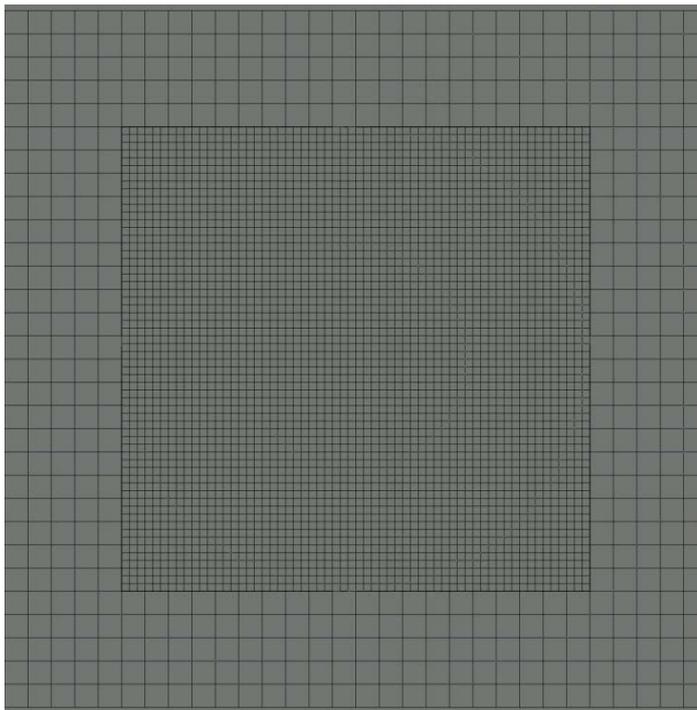


圖 2.4 模擬所使用之巢狀網格

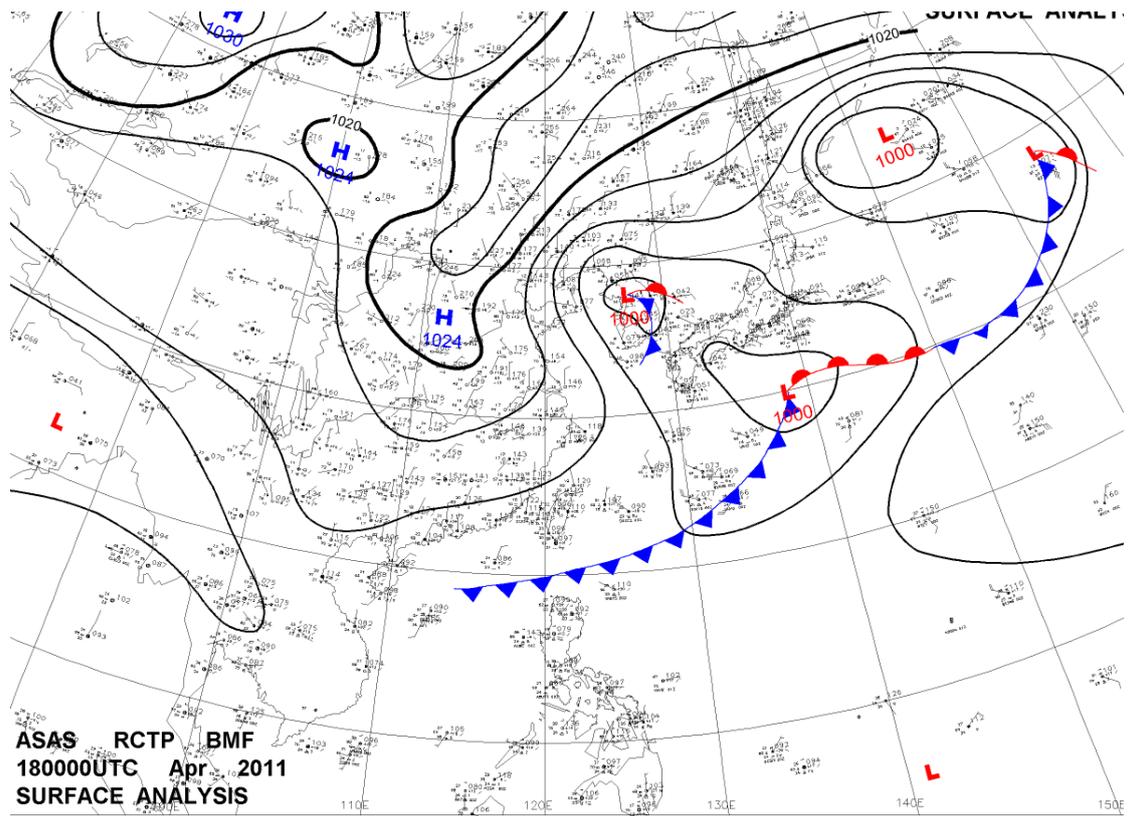


圖 3 100 年 4 月 18 日 0000UTC 之地面天氣圖。

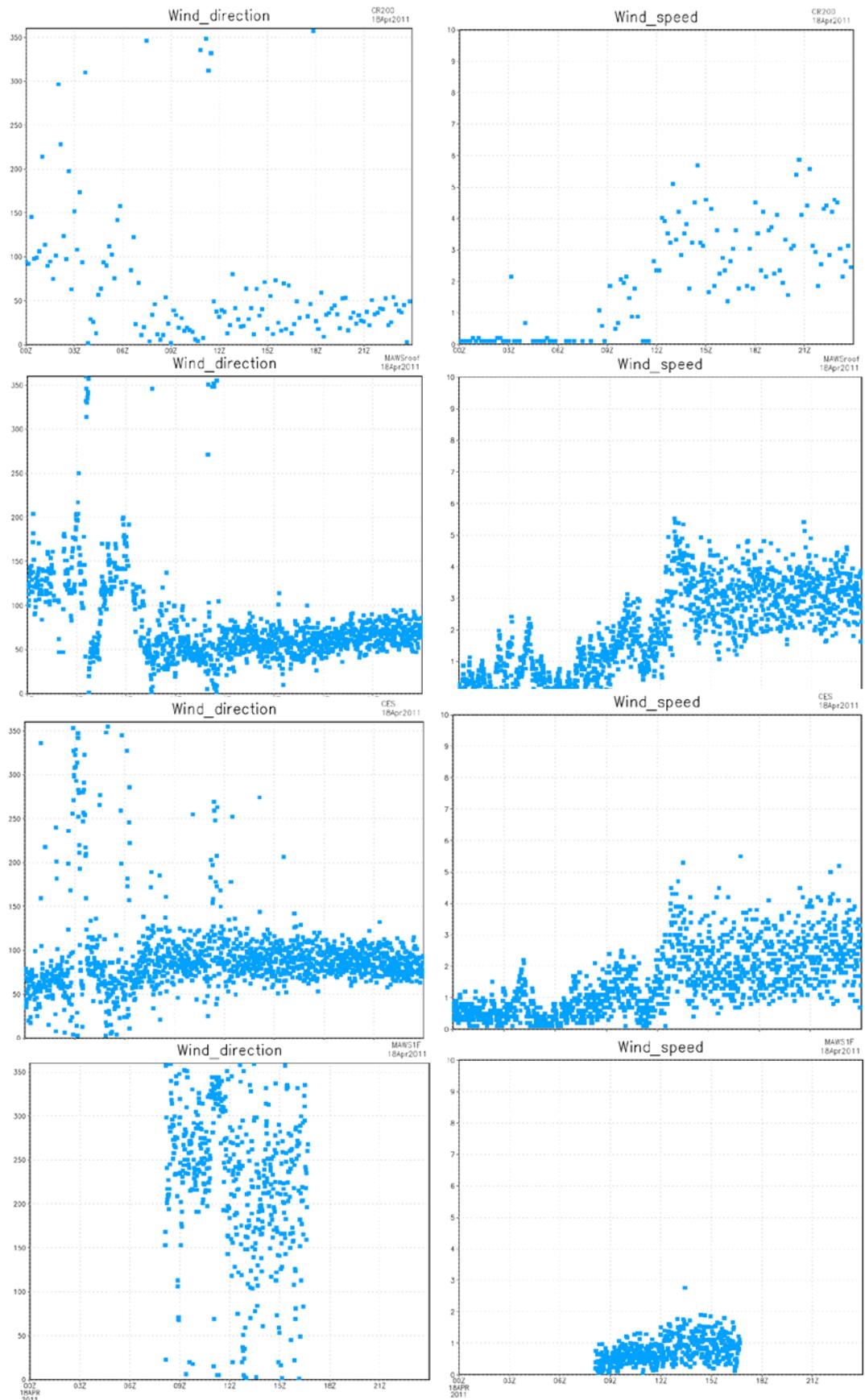


圖 4 依序為觀測點 a、b、c、d 於 4 月 18 日的風向風速時序圖，左為風向，右為風速。

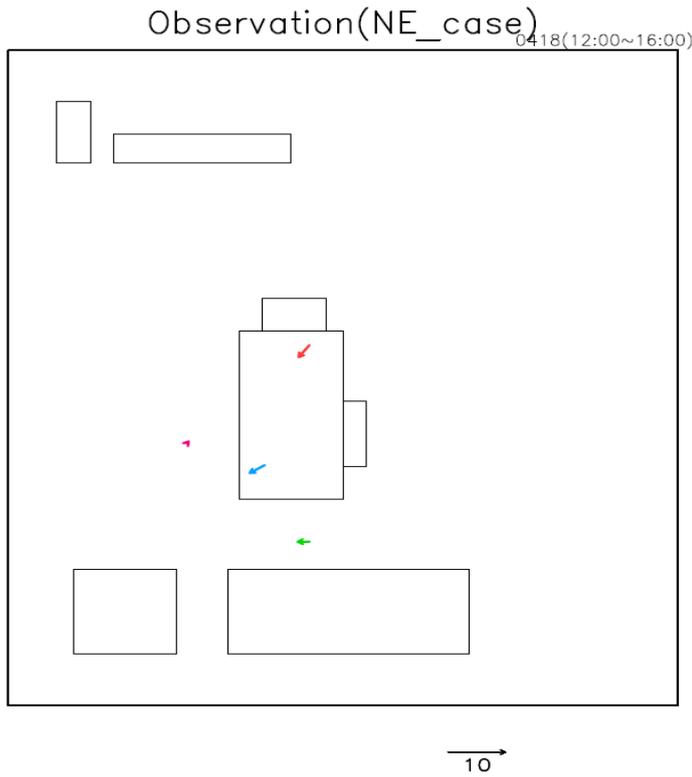


圖 5 4 月 18 日 12:00~16:00 平均的風向風速，分別為 a、b、c、d 四個觀測點。

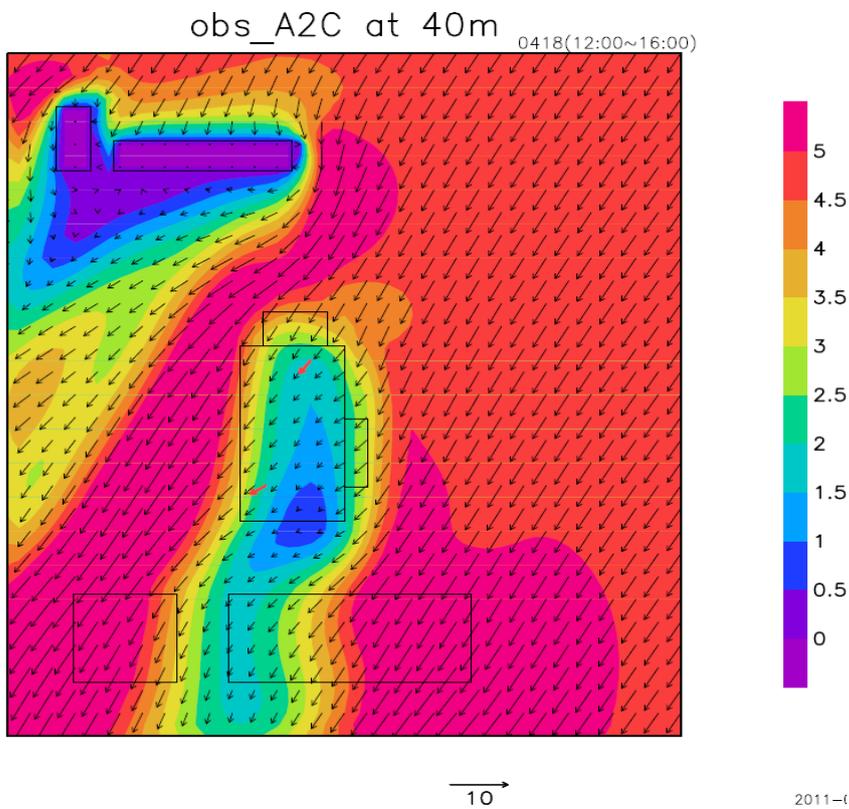


圖 6 東北風個案模擬之 40 m 平面圖，圖中的紅色箭頭為觀測點 a 和 b 的風向風速。色階代表風速大小。

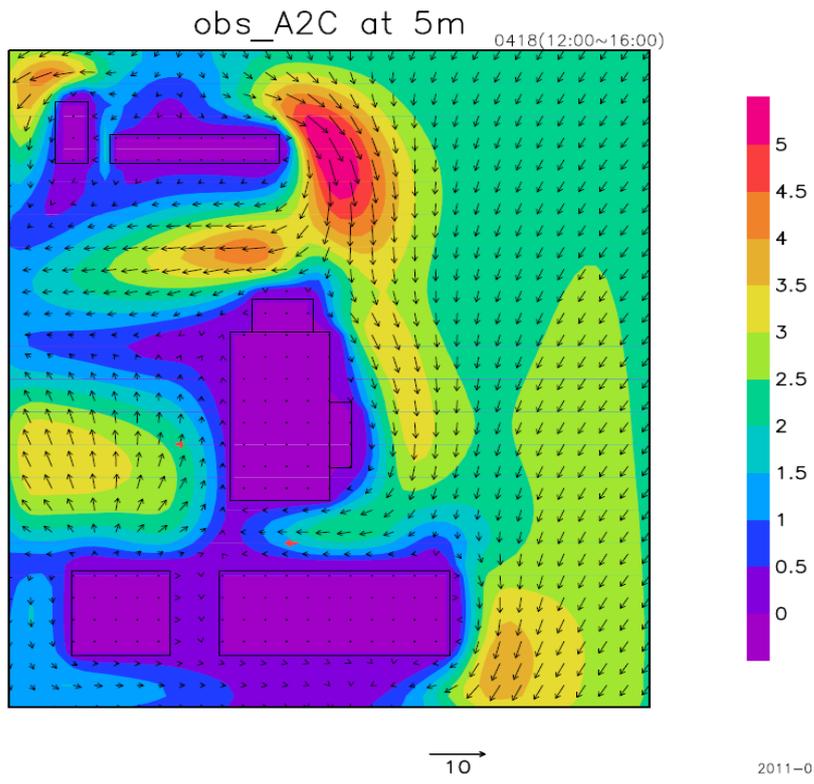


圖 7 東北風個案模擬之 5 m 平面圖，圖中的紅色箭頭為觀測點 c 和 d 的風向風速。色階代表風速大小。

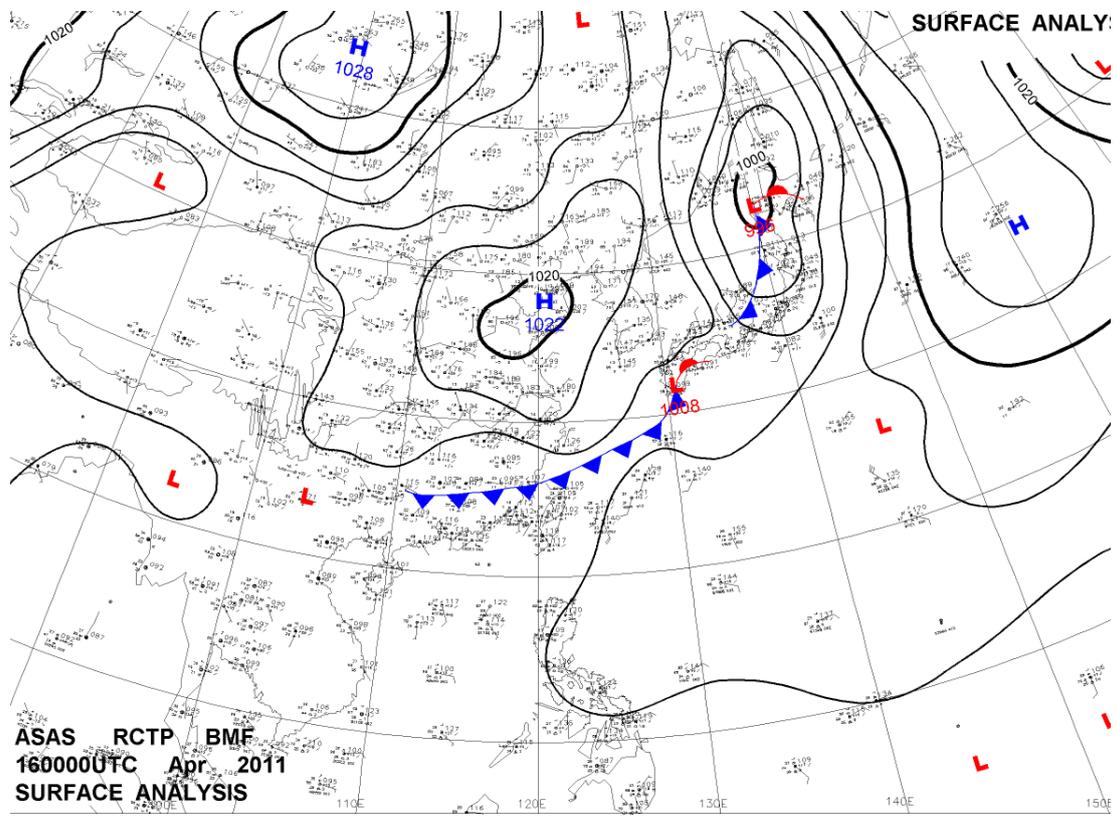


圖 8 100 年 4 月 16 日 0000UTC 之地面天氣圖。

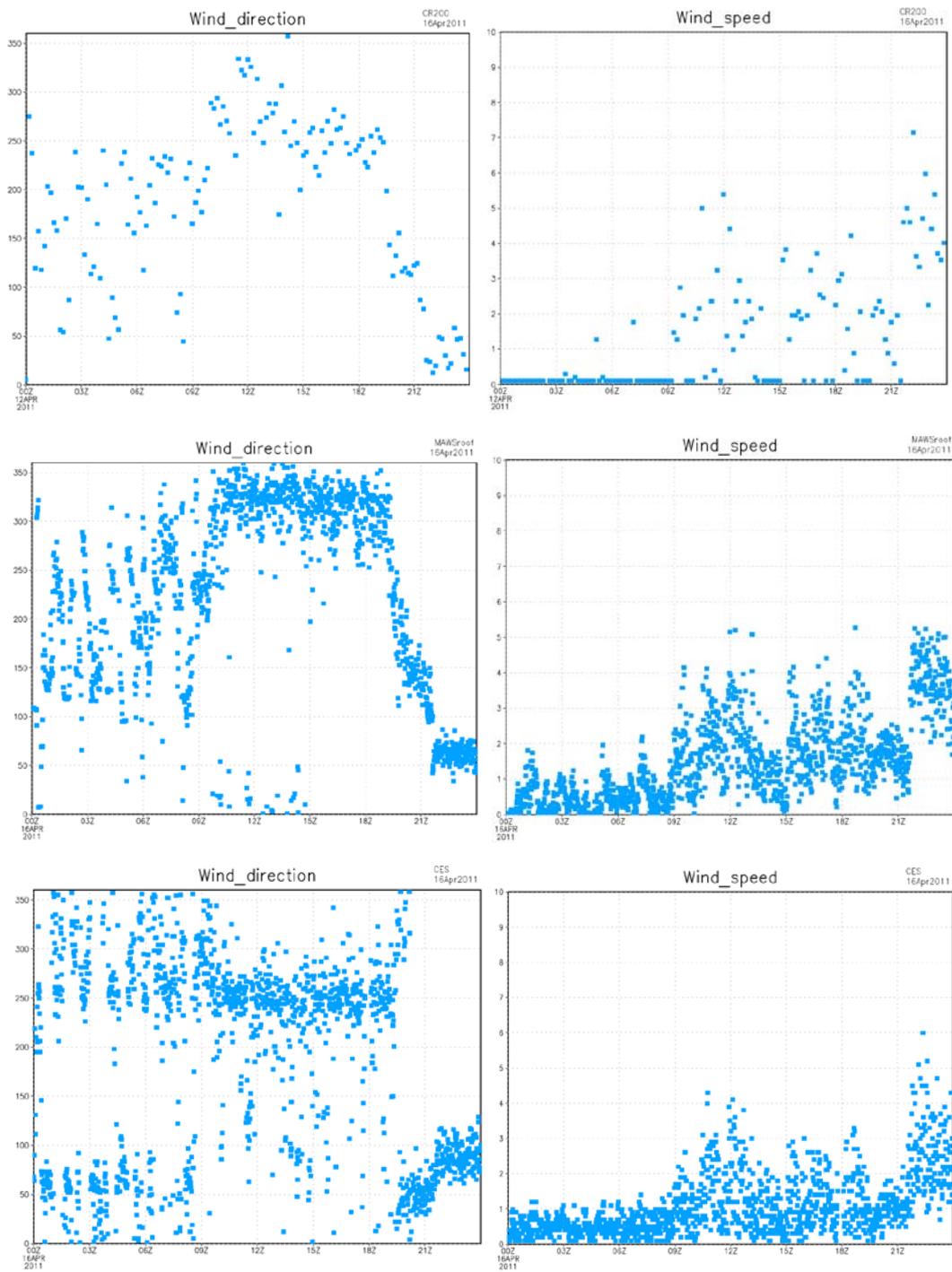


圖 9 依序為觀測點 a、b、c 於 4 月 16 日的風向風速時序圖。

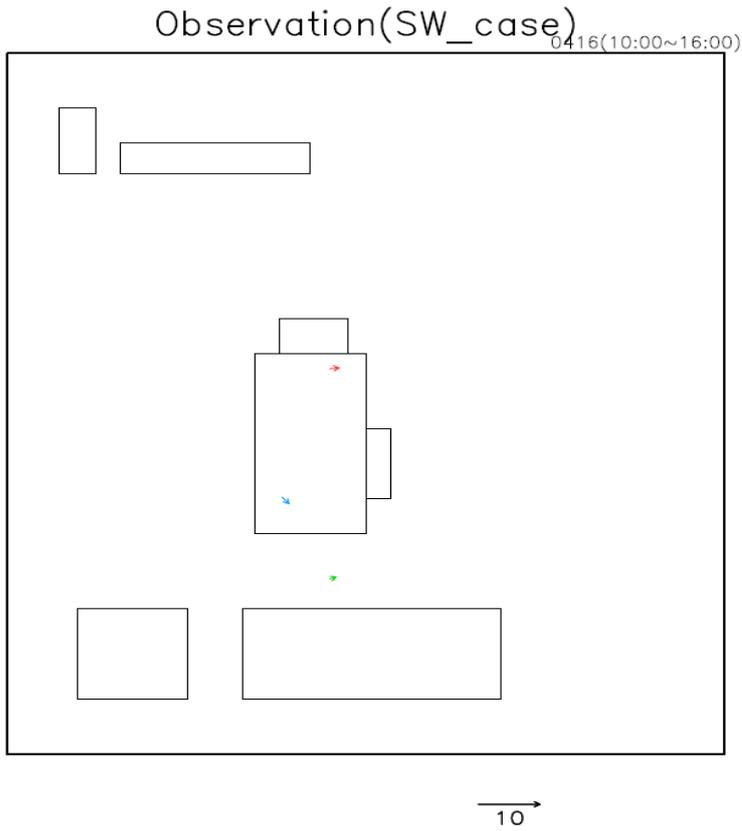


圖 10 4 月 16 日 10:00~16:00 平均的風向風速，分別為 a、b、c 三個觀測點。

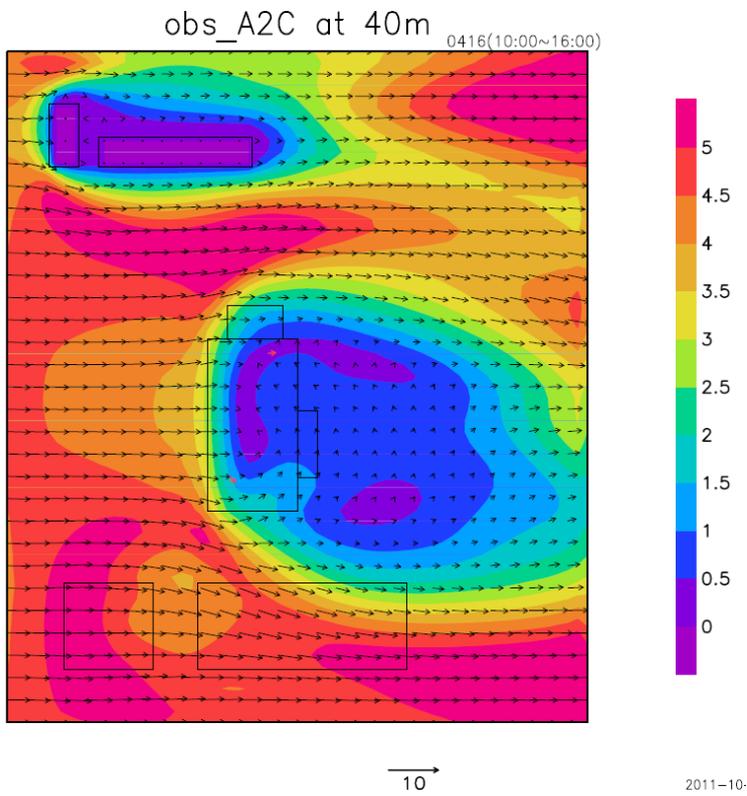


圖 11 西風個案模擬之 40 m 平面圖，圖中的紅色箭頭為觀測點 a 和 b 的風向風速。色階代表風速大小。

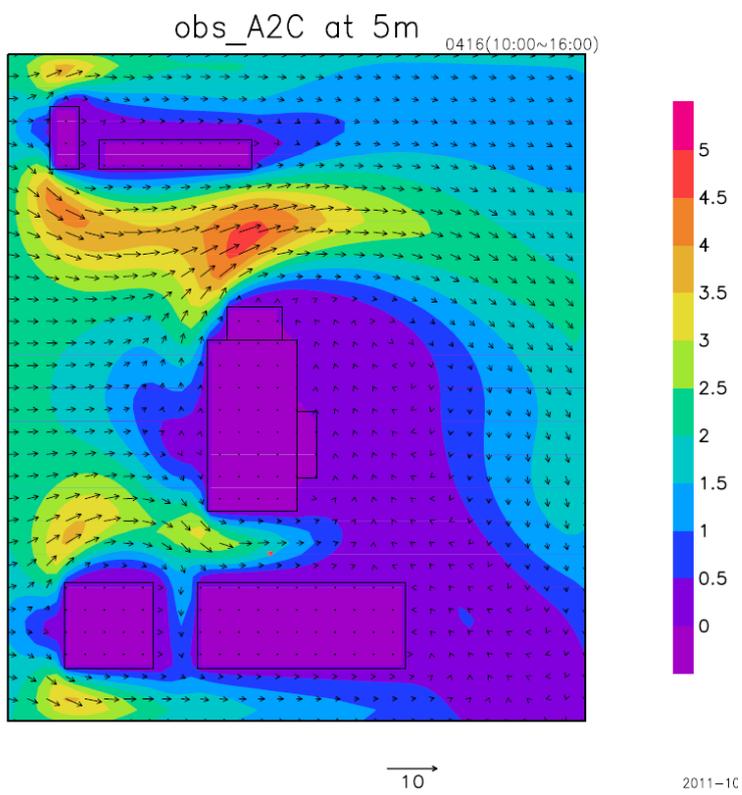
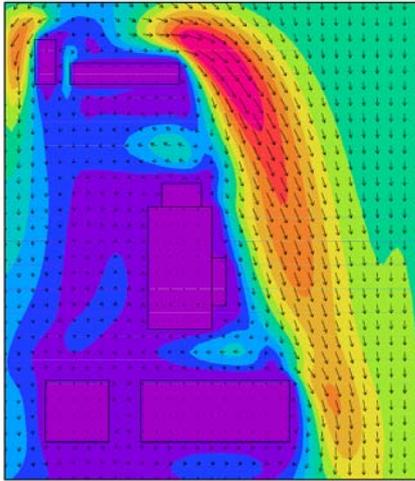


圖 12 西風個案模擬之 5 m 平面圖，圖中的紅色箭頭為觀測點 c 的風向風速。色階代表風速大小。

(a)

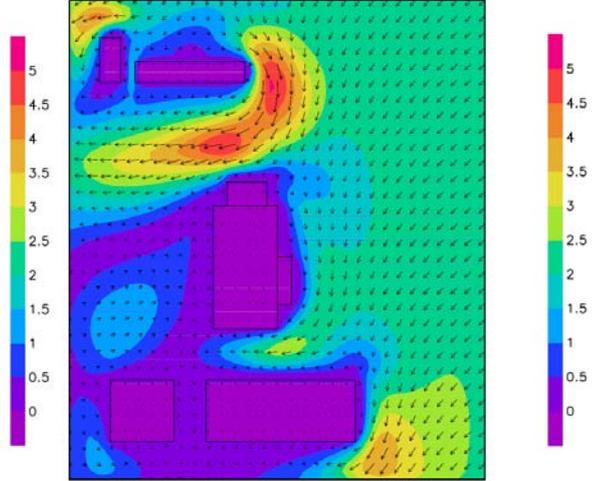
(c) 000_A2C at 5m



10 →

(b)

(d) 045_A2C at 5m



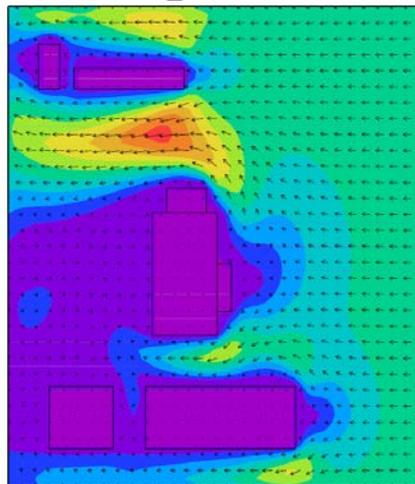
2011-0

10 →

2011-0

(e)

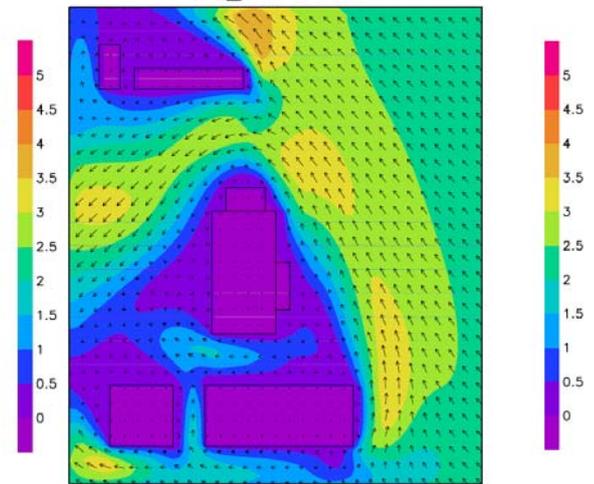
090_A2C at 5m



10 →

(f)

135_A2C at 5m

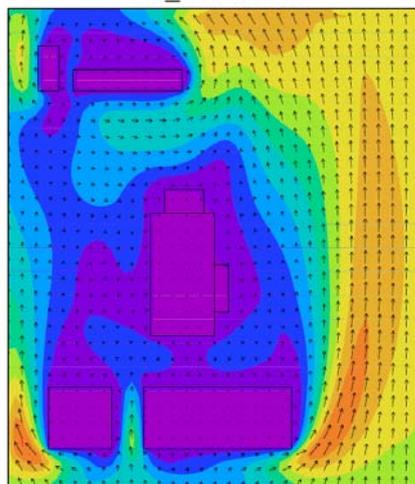


2011-4

10 →

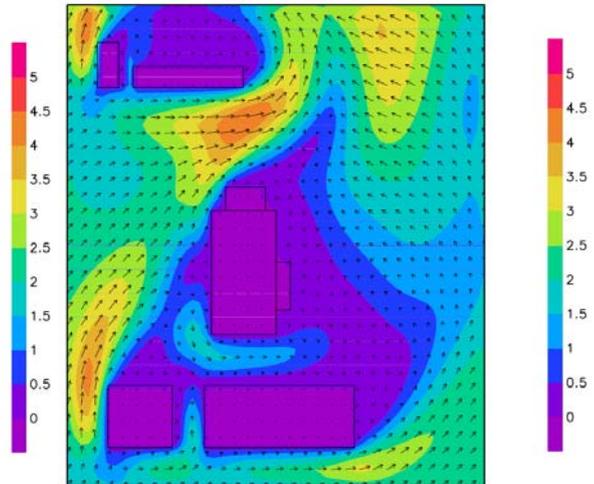
2011-0

180_A2C at 5m



10 →

225_A2C at 5m



2011-0

10 →

2011-0

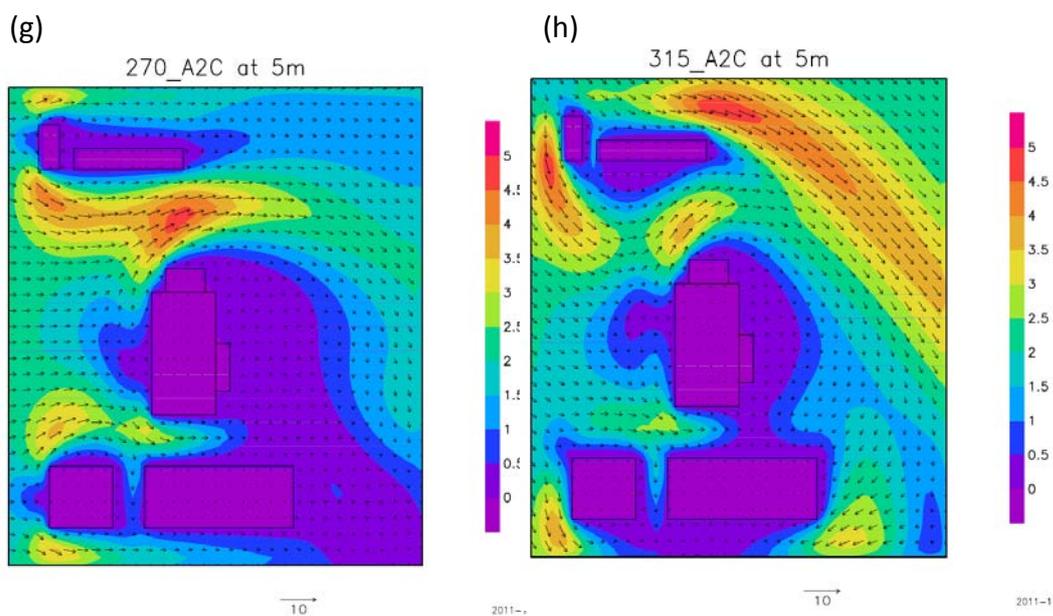
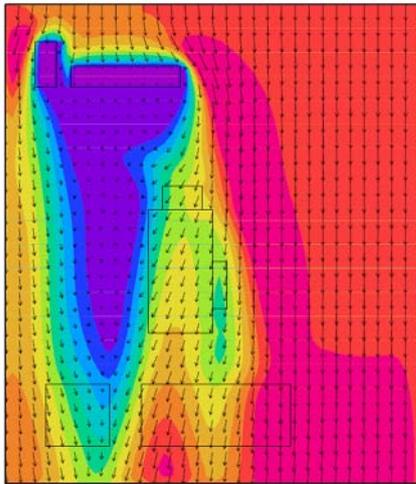
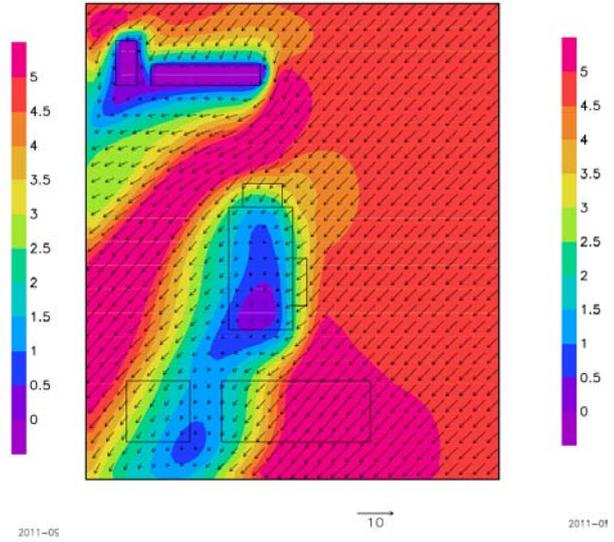


圖 13 八個不同風向的 5 m 水平風場。(a)正北風，(b)東北風，(c)正東風，(d)東南風，(e)正南風，(f)西南風，(g)正西風，(h)西北風。色階代表風速大小。

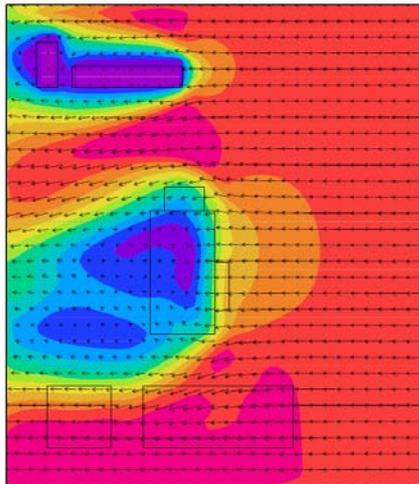
(a) 000_A2C at 40m



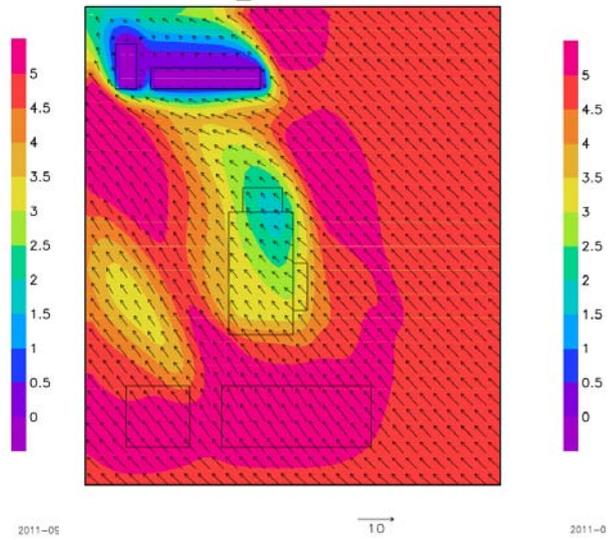
(b) 045_A2C at 40m



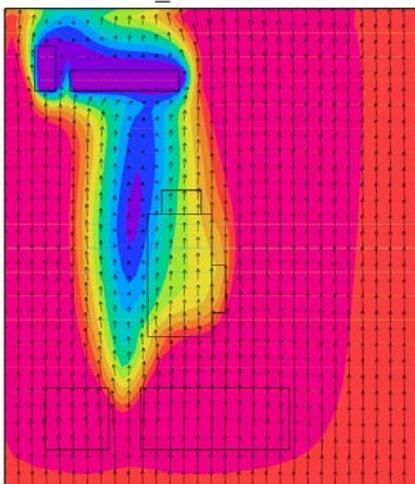
(c) 090_A2C at 40m



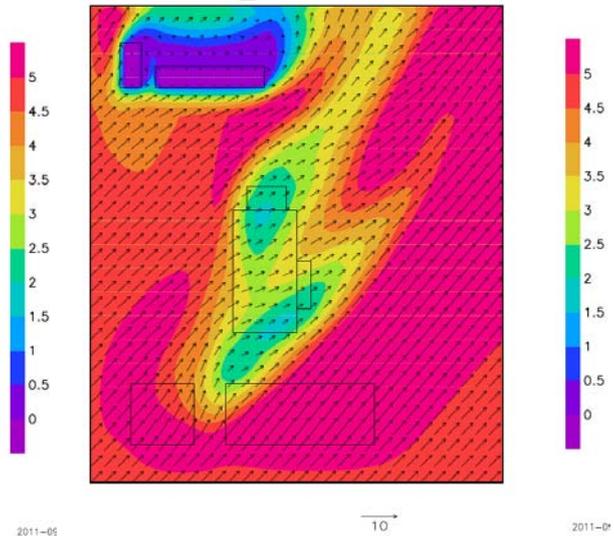
(d) 135_A2C at 40m



(e) 180_A2C at 40m



(f) 225_A2C at 40m



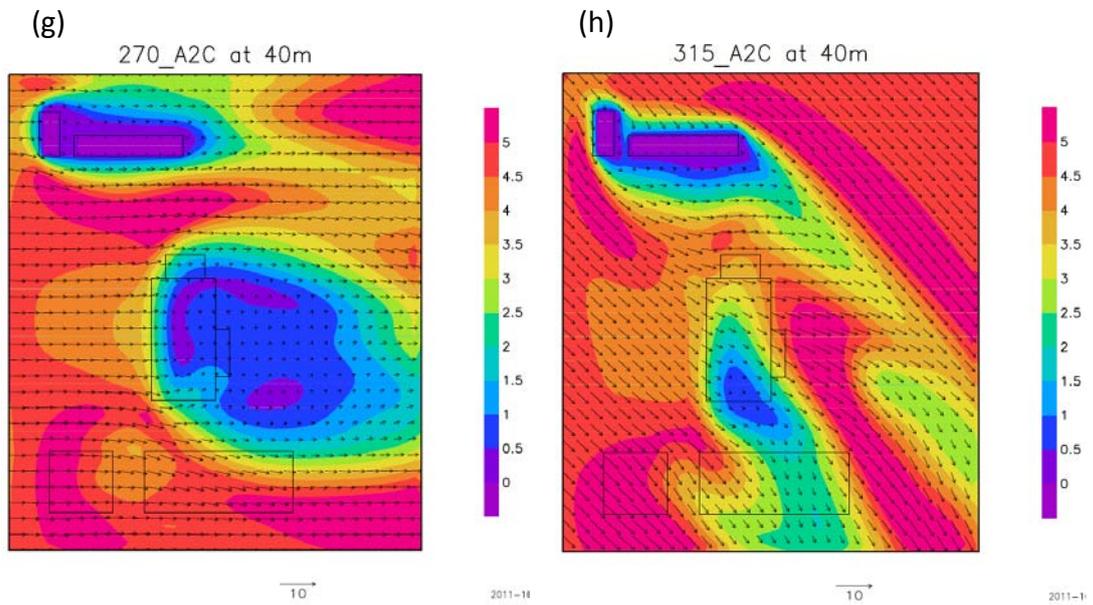


圖 14 八個不同風向的 40 m 水平風場。(a)正北風，(b)東北風，(c)正東風，(d)東南風，(e)正南風，(f)西南風，(g)正西風，(h)西北風。色階代表風速大小。

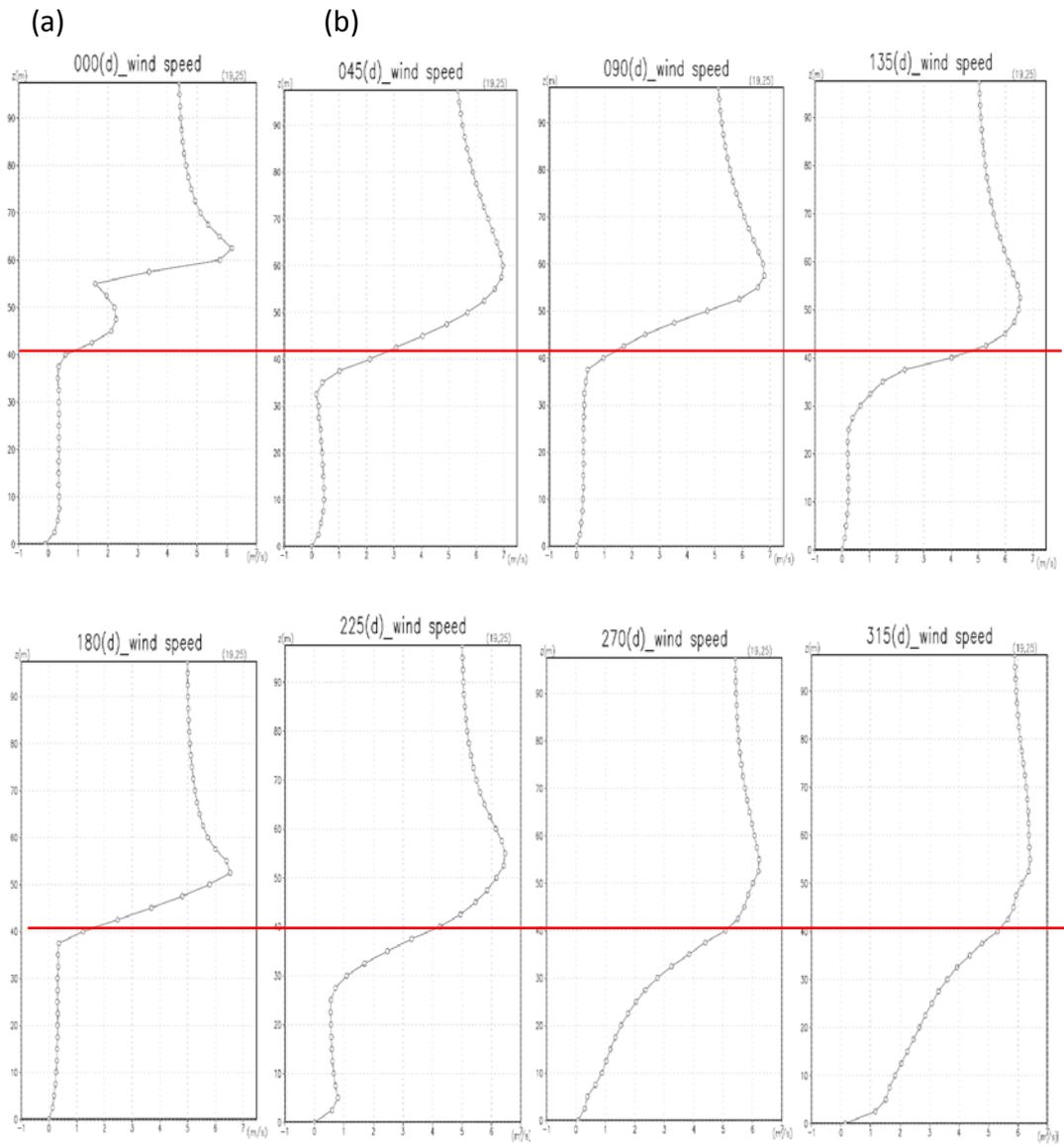


圖 15 觀測點 d 在八個不同風向模擬的風速隨垂直高度變化圖。(a)正北風，(b)東北風，(c)正東風，(d)東南風，(e)正南風，(f)西南風，(g)正西風，(h)西北風。

參考文獻

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. Snyder, 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.