

## 附錄D 以數值風洞模擬方法評估建築物周圍環境流場舒適性

依據本規範 6.5 節，數值風洞為應用計算流體力學之原理，以電腦數值模擬方式，模擬建築物於風洞中之受風特性。在遵守合理且適當的模擬原則下，數值風洞可應用於建築物之環境風場舒適性評估。

### D.1 基本分析原則

數值風洞模擬可在實尺寸狀況下，獲得計算空間中全場及全時的物理數據資料。在適當的網格分割、邊界條件、物理模型以及相關參數設定下，分析並評估行人風環境舒適性。

以 RANS 為基礎所發展之紊流模型能針對大範圍的都市區域進行快速運算，並獲得合理平均風速結果以及紊流統計資訊。然而，在建築物有明顯周期性渦流風況下，尾流區及分離區風速常有高估的狀況，而都市建築群流場相對較複雜，流體分離所形成的周期現象以及尾流因建築複雜配置而被破壞，降低了尾流區預測的誤差。故在行人風環境評估時，若採 RANS 紊流模型，在合理的條件給定下，有助於進行都市風環境研究和建築設計最佳化。

此外，在進行模擬時，乃基於連續方程式、動量方程式進行風速、壓力的解析。另可因應模擬個案需求，納入溫度、濃度等控制方程式進行溫度場、濃度場之對流與擴散效應分析。表示在電腦數值模擬納入合理的控制方程式後，可增加其延伸應用性至空氣汙染、建築微氣候、以及溫熱環境等問題。

### D.2 模擬應遵守之要求

採用數值風洞模擬評估建築風環境時，應遵守如後之模擬原則：

- (1) 數值風洞模擬之執行應採用合宜的數值方法及數值模式。
- (2) 數值風洞模擬應適當模擬建築物所在位置之大氣邊界層流況特性，包括邊界層高度、平均風速剖面以及紊流強度、紊流尺度等大氣紊流特性。
- (3) 對於建築物可能造成影響的鄰近地貌、地物，應作適當的模擬。
- (4) 建築物及鄰近地貌、地物模型於順風向投影面積與計算域順風向投影面積比值應小於 3%。
- (5) 數值風洞模擬建構之離散網格應適當配置以兼顧計算精度以及效率。
- (6) 應針對網格系統以及數值疊代門檻進行限制，以有效降低數值風洞模擬之數值誤差。
  
- (7) 數值風洞模擬應考慮不同風向的影響。
- (8) 數值風洞模擬方法與過程應經適當驗證。
- (9) 延伸模擬應遵守相應之物理模擬條件。

當使用數值風洞模擬方法時，本規範第六章風洞實驗中，風洞測試的基本要求均適用。因此，針對上列九項要求簡要說明如後。

(1)

一般來說，採數值風洞模擬在行人風環境舒適性評估方面，可使用穩態模擬，並以 RANS 模型進行行人高度處風場模擬。此外，使用數值模式解析傳輸量須注意，當流場變數的空間梯度變得容易引致大的數值黏滯度時，一階上風法(first-order upwind scheme)並不適用於所有傳輸量的計算，應採更高階或其他修正之疊代方法。

(2)

入流邊界依模擬區域實際狀況給定適當之大氣邊界層入流邊界條件，且必須確認平均風速剖面、紊流強度、紊流動能至受測區域不會有明顯的衰減或變形。另在非恆定模擬中，入流之變動風速符合實際大氣邊界層之紊流積分長度尺度、風速頻譜(如 von Karman)或空間交相關頻譜(coherence)之特性。

(3)

在實際都市區域中，評估區域中的建築必須詳細建模，並比照風洞實驗建議方式建構鄰近建築群模型。計

算域應設定足夠大之範圍，使得兩側與上側表面邊界條件的誤差對於目標建築周圍的計算結果不會有顯著的影響。對於小於格網尺寸的構造物，如小型建物、路標、樹以及移動車輛等小尺度障礙物所形成之氣動力效應，需在基本流體動力控制方程式中增加源項(source term)，用來塑造降低風速與增加紊流的效應。

(4)

計算區域中兩側及頂部通常為非物理邊界條件(零梯度或對稱條件)。因此，這些邊界位置必須距離都市或建築群模型區域足夠遠的距離，以避免因邊界造成強大的收縮效應而導致過強的人工加速現象發生。與風洞實驗定義相同，主要是阻礙物在迎風面的投影面積( $A_{building}$ )與計算域的斷面積( $A_{domain}$ )比值，在部份國際模擬準則中建議小於 3%，其公式如下：

$$BR = \frac{A_{building}}{A_{domain}} \quad (D.1)$$

值得注意的是，這些準則中所規定之阻塞比，小於風洞實驗中阻塞比需小於 8%之要求。

(5)

為了在可接受的精度下預測建築周圍風場，正確的表現靠近建築屋頂與壁面的分離流特性是極重要的工作，因此角隅區域流場解析需要細密的網格配置。且在不同粗細之網格系統下，需要確認預測結果沒有明顯變化。另為了改善精度，建議在固體邊界處採用角柱體網格(prismatic cells)，並確保所有位置網格偏度(skewness)不應過大。

(6)

在不同粗細之網格系統下，需要確認預測結果沒有明顯變化。在穩態風場分析中，應輸出特定位置點變數或整體計算域物理量的統計指標，以確認在不同計算步中的計算結果沒有改變，收斂門檻容許值(tolerance)須考慮採用較保守者以確認計算結果穩定收斂。

(7)

在建築風環境中，除鄰近建築物因方向而異，另需考量當地風速不同風向的發生機率，以進行舒適性評估。

(8)

採用數值風洞模擬方法進行評估前，應與風洞實驗數據進行基本比對驗證，以確認執行方法與流程的正確性。行人環境風場之評估驗證可參考日本建築學會(Architectural Institute of Japan)或其他具公信力單位所公布之標準風洞實驗驗證數據進行驗證。針對行人高度(1.5~2 公尺)處進行驗證，驗證數據應包含平均風速及擾動風速(或紊流動能)。

(9)

數值風洞模擬除前述基本要求外，因模擬環境或延伸項目之控制方程式不同，考慮之數值模式、物理條件及相關參數亦有額外考量，故使用之模式及參數應採個案檢討或要求。

### **D.3 數值風洞模擬數據之引用**

數值風洞模擬分析報告除分析結果外，應詳列所採用的軟體、數值方法、計算網格、邊界條件、紊流模型與參數設定。模擬時應參考相關準則進行驗證後始得應用於設計評估，如常用之 Hunt 等(1976)、Isyumov 與 Davenport(1976)、Lawson 與 Penwarden(1976)、Penwarden 與 Wise(1975)、Melbourne(1978)、Soligo 等(1998)、Janssen 等(2013)、Ratcliff、Peterka(1990)與 Koss(2006)所提出之舒適性準則。

環境風場評估應包含建築物周遭潛在高風速區、預定新設與既存之人群活動空間之環境風場舒適性。在進行不同風向的模擬後，結合當地多年之風速統計資料與公認之舒適性評估準則分析後，給予舒適度分級結果。具體來說，環境風場舒適性評估應將試驗量測而得之風速配合氣象統計資料轉換為量測處之風速機率，同時考量各風向發生機率，累加各風向門檻風速之超越機率後，以前述公認之舒適性評估準則進行舒適性判定。

相同於本規範第六章風洞試驗報告之要求，數值風洞模擬報告內應檢附報告自我評定表，以確保試驗執行單位對數值風洞模擬品質及數據準確性之要求。附錄 E 為數值風洞模擬自評表示範例，模擬單位可參考後自行製作納入報告。