# 高密度街区における建物の通風設計に関する研究 (その 6) 二次精度陰解法を用いた LES による模型縮尺の影響に関する検討 Ventilation Design Method of Buildings Located in High Density Block Area (Part 6) Consideration of Building Model Scale's Effect Based on LES Analysis with Second Order Implicit

○福山	莞爾	(大阪大学)	山中	俊夫	(大阪大学)
Eunse	Lim	(東洋大学)	小林	知広	(大阪大学)
Kanji FUKUYAMA <sup>*1</sup>	T	oshio YAMANAKA <sup>*1</sup> <sup>*1</sup> Osaka University	Eunsu <sup>*2</sup> Toyo U	LIM <sup>*2</sup> niversity	Tomohiro KOBAYASHI <sup>*1</sup>

This paper is devoted to the study of flow distribution in dence city block. The up-to-date literature shows lack of detailed evaluation of important factors for ventilation, wind pressure and wind velocity between buildings. Therefore, the ventilation designs have difficulty in caluculating airflow-rate accurately. Firstly, these values based on wind tunnel tests are presented and evaluated. Wind tunnel tests are conducted under three conditons, under different modeled building scales. Then, the result of CFD analysis by LES were compared with the experimental value. Furthermore, the correlation between Reynolds number and data obtained by wind tunnel tests or CFD are examined.

### はじめに

近年では、オフィスビルや商業施設など大規模建築の 省エネルギー化を目的として自然換気を導入するケース が多くみられる。その際、重要になってくるのは街区内 での建物間における風圧の分布であるが、袖壁の利用や 回転窓など壁から突出する部材の利用を考えると、建物 の壁面に沿って流れる気流も重要な予測対象と言える。 筆者らはこれまで、街区内の建物間の空隙に対して換気 量を算出する上で重要となる建物壁面の風圧係数及び建 物間の風速分布の検討<sup>1)</sup>を行ってきた。本論文では市街 地の気流場の局所的なレイノルズ数<sup>注1)</sup>の影響の把握を 目的として、実在する高密度街区<sup>注2)</sup>に着目し、モデル 化を行い、その街区に対し縮尺をパラメータとして街区 模型を作成した。はじめに、風洞実験を通して風圧係数 や風速のデータを取得し、建物周辺気流の分布性状を把 握する。続いて、風洞実験を再現した CFD 解析を行い、 実験と同様に風圧係数及び風速を取得し、風洞実験の値 との比較を行う。既報<sup>1)</sup>では一次精度であった LESの



時間進行において、本報は二次精度陰解法を用いている。

### 1. 街区のモデル化の概要

本研究では大阪市中央区の中高層建物が立ち並ぶ地域 を対象として、Fig. 1のように街区をモデル化した。そ の際、グロス建蔽率を用いた都市部の研究例<sup>2)</sup>を参考に して、街区は平面が80m×80m、高さ40m、道路幅20m とし、グロス建蔽率を51.8%とみなした。

### 2. 風洞実験による風圧係数・風速の取得

#### 2.1 風洞実験の概要

都市を模擬した模型群の中央に位置する街区を測定 対象街区とし、Fig.2に測定対象街区を、Table.1に実 験条件を示す。基準建物間距離(1/1000のスケールで 8mm)に対して縮尺をパラメータとして1/1000、1/500、 1/250の3条件設定した。測定対象街区周辺の街区の数 は8である。周辺街区に関しては、1/1000のスケール で8mmとなる建物間距離で統一しており、測定対象街 区の建物間距離のみを変更させている。これらの模型を 風洞内の境界層流下に設置し、風圧係数及び建物間の風 速の取得を目的とした風洞実験を行った。風洞実験は



大阪大学構内の研究用風洞 で行われた。Fig.3に風洞断 面図及び模型配置図を示す。 また、Fig.4に風洞内境界層 流の鉛直速度分布、乱流エ

Fig. 2 Target block model

Table.1 Experimental conditions						
Case	Dimensions(mm)	Gross Building	Model	Surrounding		
	$(H_R, d, s)$	coverage(%)	Scale	Blocks		
Case1-1	(40, 36, 8)		1/1000			
Case1-2	(80, 72, 16)	51.8	1/500	8		
Case1-3	(160, 144, 32)		1/250			







Fig. 4 Approach flow profiles of dimensionless mean velocity , turbulent kinetic energy and turbulent dissipation rate



ネルギー及びエネルギー散逸率を示す。風速は図中に記 載したべき乗則におおよそ従う。ただし、U<sub>H</sub>=10[m/s]、 H<sub>R</sub>=1,000[mm] である。

## 2.2 実験条件

境界層流の風速は風洞内に模型を設置しない状態で I 型熱線風速計を用い 1,000Hz で 60s 間測定し、風洞の 床上 1,000mm の高さのピトー管位置で 10m/s になるよ うに設定した。また、風洞内基準静圧はピトー管静圧 とした。Fig. 5 に対象建物模型の風圧係数及び風速の測 定点を示す。各建物模型には、1 つの面にのみ9 点の測 定孔を設けており、90°回転させることで順次2 面の測 定を行った。風圧は微差圧計 (Validyne 社 DP45)を用い て各点 500Hz で 60s 間測定した。また、風速は応答性 7 秒の無指向性熱式風速計 (KANOMAX Model 1570)を 用いて風圧測定点近傍で各点 200Hz で 60s 間測定した。 また、風圧係数はアプローチフローの軒高風速から算出 した速度圧を基準とし、規準化風速は同じくアプローチ フローの軒高風速を基準としている。



Fig. 5 Configuration of wind pressure and wind velocity measurment points





#### 2.3 風洞実験の結果

#### (1) 規準化風速

Fig. 6 に建物軒高で規準化した風速分布を示す。値は 高さ3 点の平均を取っている。主流直行方向においては 建物の間においての風速の低減がみられたが、主流方向 の流れとなる中央部との風速の差については最大で4倍 程度となっていた。また、主流方向では模型の縮尺によ る風速の差異は僅かであり、下流側では上流側に比べて 6割程度まで値が小さくなる。これは主として壁面の摩 擦抵抗によるものと考えられる。Case 間の比較では差 があまり見られず、レイノルズ数による影響は小さいも のと言える。

### (2) 風圧係数

Fig. 7 に軒高風速規準の風圧係数の街区内の建物間 における分布を示す。値は高さ3点の平均を取ってい る。上流側で壁面に当たった風が要因となる剥離流の影 響で、主流方向である Surface2 の上流側の測定点にお いて風圧係数が負圧側に1.25 倍程度大きくなっている。

Table.2 Conditions of CFD analysis						
CFD Code		Fluent19.2				
Turbulence Mo	del	Large Eddy Simulation Smagorinsky-Lilly Model(Cs=0.1)				
Transient Formul	ation	Second Order Implicit				
Discretization Sche advection Ter	eme for m	Central Differencing				
Time Step Siz	e	0.001sec. (1,000Hz)				
Time Step		5,000				
	Inlet	Velocity: Profile(Experimental value)				
Boundary Condition	Outlet	Gauge Pressure:0				
	Wall	Two Layer Model of Linear-Log Law				
	1/1000	2,597,400				
Total Number of Cells	1/500	4,374,400				
	1/250	4 227 870				



どちらの面においても風圧係数はスケールが小さいほど 負圧側に大きくなる。風圧係数の値の分布形状について は、模型の縮尺の影響は見られない。Case 間の比較では、 各条件間で差が大きくでており、レイノルズ数の影響を 受けている可能性はある。ただ、この原因については、 アプローチフローの静圧の鉛直分布に起因している可能 性が考えられる。例えば、1/1000の模型では、風上の ラフネスの高さと同じであり、境界層の静圧自身が低下 していることが考えられる。

### 3. CFD 解析による風圧係数・風速の取得

#### 3.1 LES の解析概要

Table.2に解析条件を示す。LES(Large Eddy Simulation) を用いて CFD 解析の精度検証を行うため、風洞実験 を再現したモデルを対象とし、実験と同条件で計算 を行った。解析は初めに標準 k-ε モデルを用いて十 分に計算を収束させた後、その結果を初期条件とし た LES による計算を行った。LES での計算時間間隔 は 0.001s とし、計算開始後 1,000 time step(1.0s)を標 準 k-ε モデルからの移行期間として計算結果を破棄、 その後の 5,000 time step(5.0s)を本計算とした。流入 境界条件は Fig. 4 に示す境界層流(基準高さ 1,000mm で 10m/s)を与えた。また本報では、既報<sup>1)</sup>より計算 精度向上を目指し、時間差分項において過去の時点 での計算結果も用いる二次精度の計算を用いた。

### 3.2 解析空間の概要

Fig. 8 に Scale:1/1000 条件の LES 解析における流入・ 流出境界及びメッシュを示す。解析空間は各条件で共通



で、z 軸方向(高さ)は境界層流が十分に発達しており、 また計算負荷を考慮し1,000mmとした。x 軸方向(幅) は風洞の幅に等しい1,800mmとした。また、メッシュ サイズは計算負荷を考慮し、模型縮尺と比例させている。

### 3.3 LES の解析結果

### (1) 規準化風速

Fig. 9 に建物軒高で規準化した風速分布を示す。 Surface1 及び Surface2 について、風洞実験と同様の傾向の分布が見られた。また、どの測定点においても測定 点高さが高いほど、風速は速くなる。

### (2) 風圧係数

Fig. 10 に軒高風速規準の風圧係数の街区内の建物間 における分布を示す。風圧係数においても風洞実験と 同様の傾向がみられる。ただし、風速と異なり測定点 高さによる風圧係数の値の違いは見られない。また、 Surface2 では、上流側の壁面で剥離した気流の影響で、 上流側のプロットにおいて風圧係数が負圧に寄る。

#### 4. CFD 解析と風洞実験の比較

#### 4.1 規準化風速とレイノルズ数の相関

Fig. 11 に規準化風速の CFD 解析と風洞実験との比較 及びレイノルズ数との相関を示す。模型縮尺が大きくな るにつれて、風速が僅かではあるが速くなる傾向であり、 レイノルズ数の影響は小さいと言える。また、赤色の実 験の値の全条件の平均値と比較すると、傾向及び値が、 特に Surface2 において概ね一致していることが分かる。 更に、青色の破線で示している既報の一次精度の値と比 較すると大幅に解析精度が改善されたことが分かる。



Fig. 11 Correlation of Reynolds number (building model scale) and mean wind velocity in the gap on facing wall averaged value

# 4.2 風圧係数とレイノルズ数の相関

Fig. 12 に風圧係数の CFD 解析と風洞実験との比較及 びレイノルズ数との相関を示す。模型縮尺が大きくなる につれて、風速が僅かではあるが正圧に寄る傾向であり、 風速と同様にレイノルズ数の影響は非常に小さい。また、 実験の値の平均値と比較すると、正圧に寄るという傾向 は同じであるが、値が異なる。2.3 節で考察したように、 静圧の影響が CFD 解析では風圧係数の値に影響を与え るほどではなかったことが原因と考えられる。また、一 次精度と二次精度の差は大きくはなかった。

### 5. おわりに

風圧係数及び風速のどちらについてもレイノルズ数の 影響は小さいながらも見られたが、風洞内の鉛直静圧分 布が起因するとも考えられた。また、CFD 解析と風洞 実験の値は、風圧係数に少し差はあるものの概ね一致し ており、気流特性も概ね再現出来ていたことより、精度 よく再現できたと言える。 Fig. 12 Correlation of Reynolds number (building model scale) and pressure coefficient in the gap on facing wall averaged value

#### 【記号】-

A:流路の面積 [m<sup>2</sup>]、D:水力直径 [m]、H:建物軒高 [m]、 H<sub>R</sub>:基準高さ [m]、L:流路の周長から上部の開放部を除 いた長さ [m]、R<sub>e</sub>:レイノルズ数 [-]、V:街区中心上下 3 点 の平均風速 [m/s]、V:動粘性係数 [m<sup>2</sup>/s]

# 【注釈】—

- 注 1) 街区中心の平均風速と水力直径から算出した。(Eq. 1)  $R_e = \frac{D \times V}{v}$  (1) また、水力直径は Eq. 2 のように流路の面積 A と流路 の周長から上部の開放部を除いた長さ L で定義される。  $D = \frac{4A}{L}$  (2)
- 注 2) 中高層建物が密集している地域における街区を指す。

#### 【参考文献】

- 福山莞爾、山中俊夫、LimEunsu、小林知広:高密度街区における建物の通風設計に関する研究(その5)風洞実験とLES解析を用いたモデルの縮尺とRe数の検討,令和2年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, D-11,2020.9
- 竹林ら:気候資源としての風の利用を目的とした街路形 態街路空間の風通しの関係の分析,日本建築学会環境系 論文集,74(635), pp. 77-82, 2009.1