

高密度街区における建物周辺気流に関する研究

LES 解析に基づいた気流場および壁面風圧に対するレイノルズ数の影響評価

AIRFLOW AROUND BUILDINGS IN HIGH DENSITY BLOCK OF METROPOLIS

Effects of Reynolds number on airflow between buildings and wind pressure on building walls based on LES

佐嶋 俊彦^{*1}, 山中 俊夫^{*2}, イム ウンス^{*3}, 小林 知広^{*4}, 福山 莞爾^{*5}

*Toshihiko SAJIMA, Toshio YAMANAKA, Eunsu LIM,
Tomohiro KOBAYASHI, Kanji FUKUYAMA*

This study focus on wind pressure and airflow around buildings located in high density block of metropolis. In the wind tunnel test, a scale of the models and velocity of approach flow are limited. So, when using small scaled models in the test, it is critical matter whether the airflow around the models is equal to the airflow around actual scaled buildings. The purpose of this study is to grasp dependency of wind pressure and velocity on Reynolds number. This paper shows the results of CFD analysis with 1:1000 scaled models of high density block conducted by LES.

Keywords : High density block, LES, Wind tunnel test, Reynolds number, Wind pressure coefficient, Turbulent Length Scale

高密度街区, LES, 風洞実験, レイノルズ数, 風圧係数, 乱れのスケール

1. はじめに

実務における自然換気計画では、設計の初期段階で敷地に特有な気象条件を把握し、外気の給排気を担う開口部の面積や目標とする換気回数の設定が必要である。¹⁾ 近年、中高層建築が密集する都市の市街地においても自然換気を導入する建物事例は数多くみられるが、換気設計における壁面風圧係数に関するデータは十分に整備されておらず、換気量の予測は容易ではない。また、街区を構成する建物の配置や密度が、建物周辺の気流性状および壁面風圧に及ぼす影響は大きく、これらの関係を把握することは重要である。市街地における建物周辺気流を解明する取組みはこれまでも数多く行われてきた。竹林ら²⁾は、大阪の中心市街地を対象に CFD 解析 (Computational Fluid Dynamics) を行い、街路形態と街路空間の風通しの関係を調査している。久保田ら^{3),4)}は、実在の地区を対象とした風洞実験を行い、住宅地計画の指針となる全国主要都市におけるグロス建蔽率の基準値を提示した。他にもモデル化した街区の幾何学的な形状や配置を操作し、モデル周辺の気流場を把握した事例もあり、古くは勝田ら⁵⁾や村上ら⁶⁾により研究がなされている。孟岩ら⁷⁾は、建物密度が建物群内の気流場と拡散に与える影響を風洞実験により検証し、屋根面の濃度性状をモデル式で予測できることを示した。義江ら⁸⁾は、風洞実験により建蔽率が、街区内の気流場および温度場に与える影響を評価している。萩島ら⁹⁾は、高さの異なる建物の混在による影響に着目し、高さ分布が街路の気流性状に与える影響を風洞実験により評価した。また、建物の換気性能の観点から赤林ら¹⁰⁾や野中ら¹¹⁾は、グロス建蔽率が建物表面における風

圧係数分布に与える影響を風洞実験で検証し、建物の自然通風量の評価を行っている。

本研究では換気設計の観点から、従来の研究の中でも知見の少ない高密度な市街地における建蔽率と街区を構成する建物の壁面風圧の関心に焦点を当てて検討を進めることとする。風洞実験等により縮小模型を用いて壁面風圧や風速の把握を行う際には、実験における模型周りの気流場と実スケールにおける気流場が幾何相似であるかが問題となる。しかし、風洞実験では模型の縮尺や設定風速などに限界があるため、実スケールと等しい Re 数 (Reynolds number) とするのが困難な場合も多く、実験における Re 数が臨界 Re 数より大きいことを把握しておくことが重要である。Uehara ら¹²⁾によりモデル化された市街地内における気流場の Re 数依存性が示されたが、本研究で扱う街区モデルの配置が密であり、街路が極めて狭小であるという条件の違いから、従来の知見を参照することは難しい。そこで本論文では、CFD 解析により流入境界に与える境界層流の風

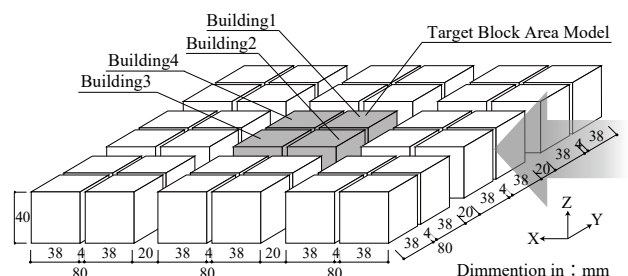


Fig. 1 Block area model for CFD analysis

^{*1} (株) 竹中工務店

^{*2} 大阪大学大学院工学研究科 教授・博士 (工学)

^{*3} 東洋大学理工学部建築学科 准教授・博士 (工学)

^{*4} 大阪大学大学院工学研究科 准教授・博士 (工学)

^{*5} 大阪大学大学院工学研究科 大学院生

Takenaka Corporation

Prof., Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr. Eng.

Associate Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Engineering, Toyo University, Dr. Eng.

Associate Prof., Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr. Eng.

Graduate Student, Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering, Osaka University

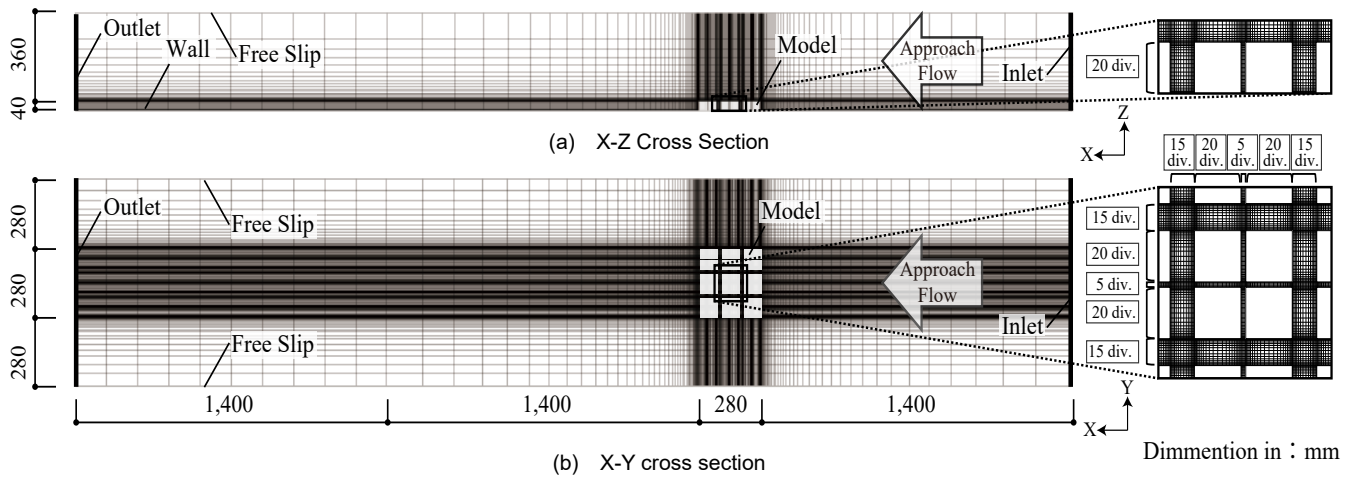


Fig. 2 Mesh layout

Table 1 Summary of CFD

CFD Code	Fluent19.1
Turbulence Model	Large Eddy Simulation WALE Model ($C_w=0.325$)
Algorithm	SIMPLE
Discretization Scheme for Advection Term	Central Differencing
Boundary Condition	Inlet Velocity : Profile (experimental value)
	Outlet Outflow
	Wall Two Layer Model of Linear-Log Law
Total Number of Cells	2,275,875

Table 2 Analysis conditions

	V_0	Time Step Size	Courant number	Time Step
Case1	1.0 m/s	0.01sec.(100Hz)	0.079	5000
Case2	5.0 m/s	0.002sec.(500Hz)	0.30	
Case3	10.0 m/s	0.001sec.(1000Hz)	0.83	
Case4	50.0 m/s	0.0002sec.(5000Hz)	1.18	
Case5	100.0 m/s	0.0001sec.(10000Hz)	1.16	

速を変化させた条件で解析を行い、風洞での縮小模型実験時における街区内の気流場および壁面風圧の Re 数依存性を把握することを目的とする。今後、街区内の隣棟間距離や建物高さの異なる街区モデルを条件として、街区内の街路における気流に着目した検討を行うことを想定し、気流場の相似の評価に用いる Re 数は、流路の断面積と濡れ縁長さで定義される水力直径を代表長さとして算出した。

2. 本研究における街区モデル

本研究における街区モデルを Fig. 1 に示す。大阪市中央区を参考に街区のモデル化を行った。建物を模した4つの直方体で構成される建物群を1つの街区とし、1つの街区規模は $80\text{ m} \times 80\text{ m}$ 、高さ 40 m として 20 m 間隔で均等配置した。また、 Re 数の影響が大きく出ることを意図して、街区内部における隣棟間距離を 4 m (グロス建蔽率 57.8%) とし、一般的な都市のグロス建蔽率よりも高い設定とした。

3. 解析概要

3.1 解析手法

Fig. 2 に解析領域およびメッシュ分割図を示す。解析領域は、風洞の一部を再現した空間とし、断面中央に縮尺 $1/1000$ の街区モデル ($3\text{ 行} \times 3\text{ 列}$) を設置した状態を作成した。メッシュは、不等間隔の

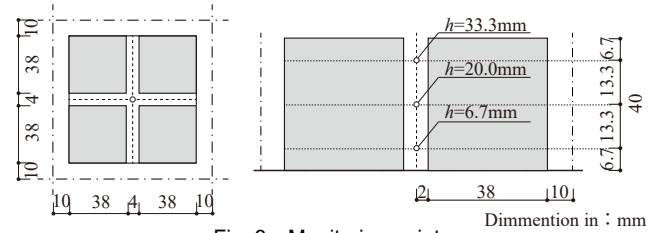


Fig. 3 Monitoring points

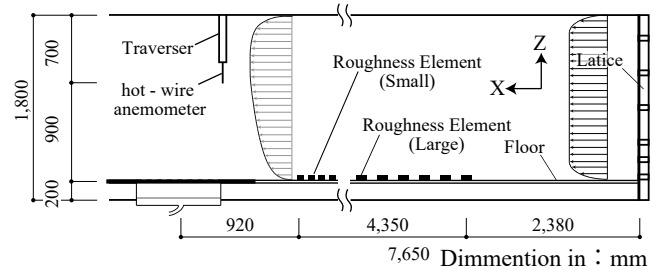
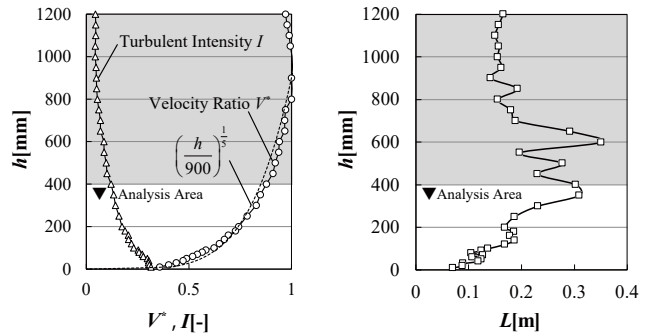


Fig. 4 Section of wind tunnel



(a) Velocity ratio and turbulent intensity

(b) Turbulent length scale

Fig. 5 Approach flow profile (experimental value)

構造格子とし、幅 4 mm の隣棟間は5分割とした。解析結果より壁面からの第一メッシュにおける無次元距離 y^+ が粘性低層に入ることを確認した。解析概要を Table 1 に示す。解析に用いた基礎方程式は、非圧縮の連続の式と Navier - Stokes 方程式とし、乱流モデルは、Large Eddy Simulation (以下、LES) を用いた。LES における壁近傍処理は、メッシュが細かく層流低層を解像できる場合は、流れを直接計算し、メッシュが粗く層流低層が解像できない場合には、二層モデルの壁関数を適用している。SGS (Sub-Grid Scale) モデルには、低レイノルズ流れや遷移の伴う流れなどで精度向上が期待

できる WALE モデルを用いた。解析では標準 $k-\varepsilon$ モデルの解析結果を初期値とし、計算開始後の 1,000 time step を標準 $k-\varepsilon$ モデルから LES への移行期間とみなし、LES への移行後 5,000 time step を対象として解析を行った。また、Fig. 3 に解析時の風速のモニター点を示す。モニター点は、配置した 9 つの街区モデル中央の検討対象街区における街路の交差点で各高さ 1 点ずつの計 3 点設定した。

3.2 流入境界に与えた境界層流

解析に先立ち、流入境界に与える境界層流の測定を行った。Fig. 4 に示す回流式風洞内に乱流格子とラフネスを設置し、境界層を作成することで市街地風に似た風を再現し、I 型熱線風速計を用いて 1.0 kHz, 60s で測定した。風洞内風速は、床上 900mm 高さのピトー管位置で 10m/s に設定した。Fig. 5 に測定したアプローチフローの風

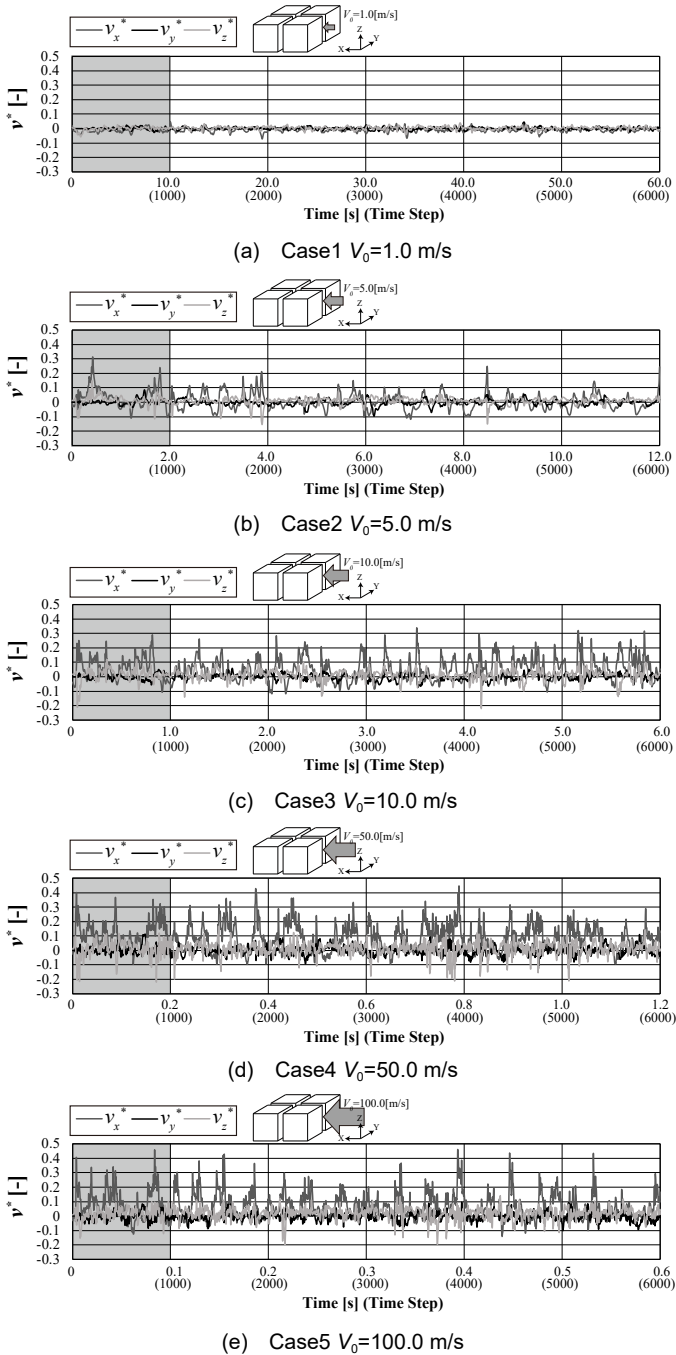


Fig. 6 Time fluctuation of velocity ratio ($h=20.0$ mm)

速比、乱流強度、および乱れのスケールの鉛直分布を示す。風速は、床上 900 mm における風速測定値による無次元化を行った。また、乱れのスケールは、後述の式 (5) を用いて測定した風速の時系列データの自己相関より算出した。LES の流入境界には、解析領域である床上 400mm までの範囲において Fig. 5 に示す境界層流のプロファイルを与え、Smirnov ら¹³⁾ の手法により変動風を作成した。

3.3 解析条件

解析条件を Table 2 に示す。3.2 で述べた流入境界条件におけるアプローチフローの上空風速 V_0 (FL+900mm) を 1.0, 5.0, 10.0, 50.0, 100.0 m/s と変化させた計 5 条件での解析を行った。なお、計算時間間隔は、街区内のモニター点のうち比較的風速の大きくなる最も高い位置 ($h=33.3$ [mm]) において、主流方向の風速成分より算出したクーラン数が概ね 1 以下となる様に決定した。

4. 結果と考察

4.1 風速比の経時変化

街路の交差点に設置したモニター点での $h=20.0$ [mm] における X, Y, Z 各成分の風速比 v^* の経時変化を Fig. 6 に示す。アプローチフローの主流と同方向の風速成分を v_x 、アプローチフローの主流に垂直な方向の風速成分を v_y 、鉛直方向の風速成分 v_z とし、結果は各ケース間で比較を行うために、各モニター点の成分風速を上空風速 V_0 で無次元化している。 V_0 が最も小さい条件である Case1 では、全ての成分において風速比が小さくなっている。また、風速変動も各成分間での違いは見られず、粘性力の影響が支配的であることがわかる。Case2 ~ Case5 においては、全てのケースにおいて $v_x^* > v_z^* > v_y^*$ の順で大きくなっている。全風速成分に共通して、上空風速 V_0 が大きくなるにつれて風速比とその変動の幅は増大し、Case4, Case5 ではほとんど違いが見られなくなる。

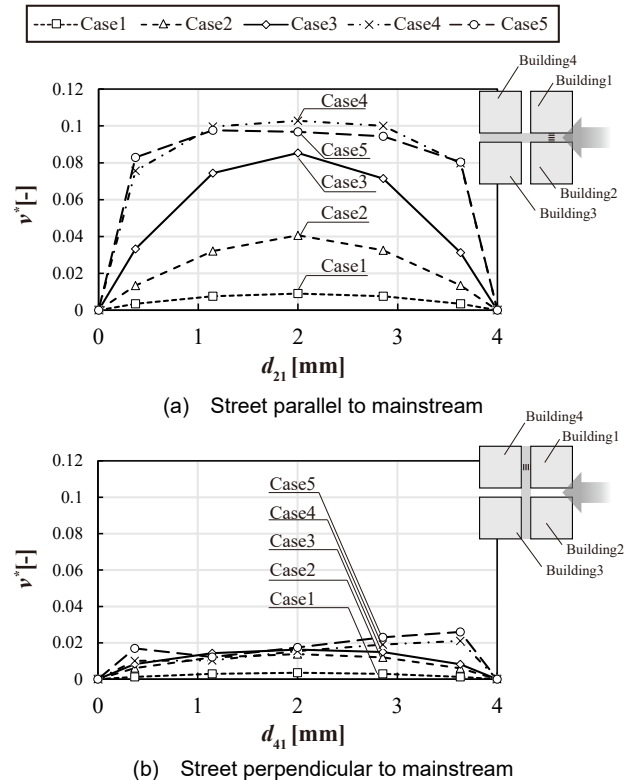


Fig. 7 Distribution of time average velocity ratio

4.2 隣棟間における風速比分布

幅 4mm の隣棟間 ($h=20.0[\text{mm}]$) における時間平均風速の分布を Fig. 7 に示す。結果は各方向成分の合成風速をアプローチフローの上空風速 V_0 で無次元化している。(a) 主流に平行な街路については、建物 1 と建物 2 の各壁面中央点を結ぶ線分上、(b) 主流に垂直な街路については、建物 1 と建物 4 の各壁面中央点を結ぶ線分上における風速分布を示しており、横軸はそれぞれ建物壁面からの距離 d を示している。

(a) 主流に平行な街路においては、Case1~3 では流体の粘性の影響を受け、壁面近傍の速度勾配が小さくなっている。また、上空風速 V_0 の増加に伴い、壁面近傍の速度勾配が徐々に大きくなり、Case4, 5 では分布に大きな差異が見られなくなる。(b) 主流に垂直な街路においても同様に、Case1~3 では流体の粘性の影響を受け、壁面近傍の速度勾配が小さくなっているのに対し、Case4, 5 では分布に大きな差異が見られなくなる。また、Case5 について各方向の街路における風速比 v^* の最大値を比較すると、主流に垂直な街路での値は、主流に平行な街路における値の概ね 1/4 程度の値となっていることがわかる。

4.3 壁面風圧係数分布

Fig. 8 (A)~(E) に各ケースにおける対象街区モデルを構成する各建物の壁面風圧係数分布、およびその凡例を示す。(a) は主流に垂直な壁面、(b) は主流に平行な壁面における風圧係数を示している。風圧係数の基準速度圧は、街区モデル軒高 ($h=40[\text{mm}]$) におけるアプローチフローの速度圧とした。また、実験時のピトー管位置を想定し、流入境界より 1,400 mm 離れた解析領域上端の位置における静圧を解析領域内の基準静圧とした。(a) のアプローチフローの主流に垂直な壁面においては、全ケースにおいて風上側の面と風下側の面ではほぼ同様の風圧係数分布になっている。Case1 では、風圧係数が壁面内でほぼ均一になっており、分布の勾配が小さくなっているのに対し、Case2 ~ Case5 においては低い位置ほど、そして狭小街路側ほど正圧よりになる傾向が見られる。一方、(b) のアプローチフローの主流に平行な壁面では、全てのケースにおいて低い位置ほど、また風上側から風下側にかけて正圧よりになる傾向がみられる。Fig. 9 に壁面風圧係数と上空風速 V_0 の関係を示す。(a) は各建物の狭小街路に面する壁面における風圧係数の面平均値、(b) は各壁面ごとの標準偏差を表している。(A) アプローチフローの主流に垂直な面では、風圧係数の面平均値が、全ての建物において、ほぼ同じ値となっており、また、上空風速 V_0 によらずほぼ一定値となっている。一方、標準偏差については、風上側の壁面においては V_0 によらず一定した値をとっているのに対し、風下側の面では、 V_0 とともに標準偏差も増加する傾向がみられる。(B) アプローチフローの主流に平行な面では、上空風速 V_0 が大きくなるにつれて、風上壁面と風下壁面の風圧係数の面平均値の差が大きくなる傾向がみられる。また、風上側風下側どちらに位置する面においても標準偏差が上空風速 V_0 とともに増加する傾向がみられる。

4.4 Re 数と各種乱流統計量の関係

Re 数と各種乱流統計量の関係を Fig. 10 ~ 14 にそれぞれ示す。Re 数の算出において、モニター点 3 点の平均風速を代表風速とし、代表長さは、下記の式 (1) で算出される水力直径とした。街路内の気流は、建物壁面と街路底部の 3 辺で囲まれる U 字型の流路を流れるも

の考え、濡れ縁長さは、建物壁面と街路底部による 3 辺の周長とした。

$$D_H = \frac{4A}{P} \quad (1)$$

ここで、 A : 流路の断面積 (= 軒高 × 隣棟間距離) [m^2]

P : 濡れ縁長さ [m]

Fig. 10 にモニター点における Re 数と街区内の代表点 4 点での風速比 v^* の関係を示す。風速比 v^* は、高さの異なる 3 点 ($h=6.6, 20.0, 33.3[\text{mm}]$) における平均値とし、各ケース間での比較のため、上空風速 V_0 による無次元化を行った。街路上の全ての点に共通して、モニター点における Re 数が 2000 以上になると風速比の増加が見られなくなる傾向が見られたため、各種乱流統計量の Re 依存性の評価は、モニター点を代表点として検討を行うこととする。

モニター点における各種乱流統計量は、下記の (1) ~ (4) に示す方法により算出した。

(1) 風速比 v^*

各高さのモニター点ごとに各風速成分を合成した結果を示している。各ケース間での比較のため、上空風速 V_0 により無次元化を行っている。

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (2)$$

$$v^* = \frac{v}{V_0} \quad (3)$$

(2) 乱れのスケール L

算出は以下の式 (4) ~ (6) を用いて行い、各風速成分ごとに求めた L_i を平均することで乱れのスケール L を算出した。また、係数 C_D は経験的に推奨される 0.09 を用いた。

$$v_i'(t) = v_i(t) - \bar{v}_i \quad (4)$$

$$L_i = C_D^{\frac{1}{4}} \cdot \bar{v}_i \cdot \int_0^\infty \frac{v_i'(t)v_i'(t+\tau)}{v_i'^2(t)} d\tau \quad (5)$$

$$L = \frac{(L_x + L_y + L_z)}{3} \quad (6)$$

(3) 乱流エネルギー k

算出には以下の式 (7) を用いた。各ケース間での比較のため、上空風速の二乗値 V_0^2 により無次元化を行った結果を示している。

$$k = \frac{1}{2} \left(\overline{v_x'^2} + \overline{v_y'^2} + \overline{v_z'^2} \right) \quad (7)$$

(4) エネルギー散逸率 ε

算出には以下の式 (8) を用いた。各ケース間での比較のため、上空風速の二乗値 V_0^2 により除した結果を示している。

$$\varepsilon = C_D \frac{k^{\frac{3}{2}}}{L} \quad (8)$$

Fig. 11 ~ 13 より、風速比 v^* 、乱れのスケール L 、および乱流エネルギー k に共通して同様の傾向が見られた。各条件において低い位置より高い位置の方が値が大きくなっている。また、Re 数の増加とも

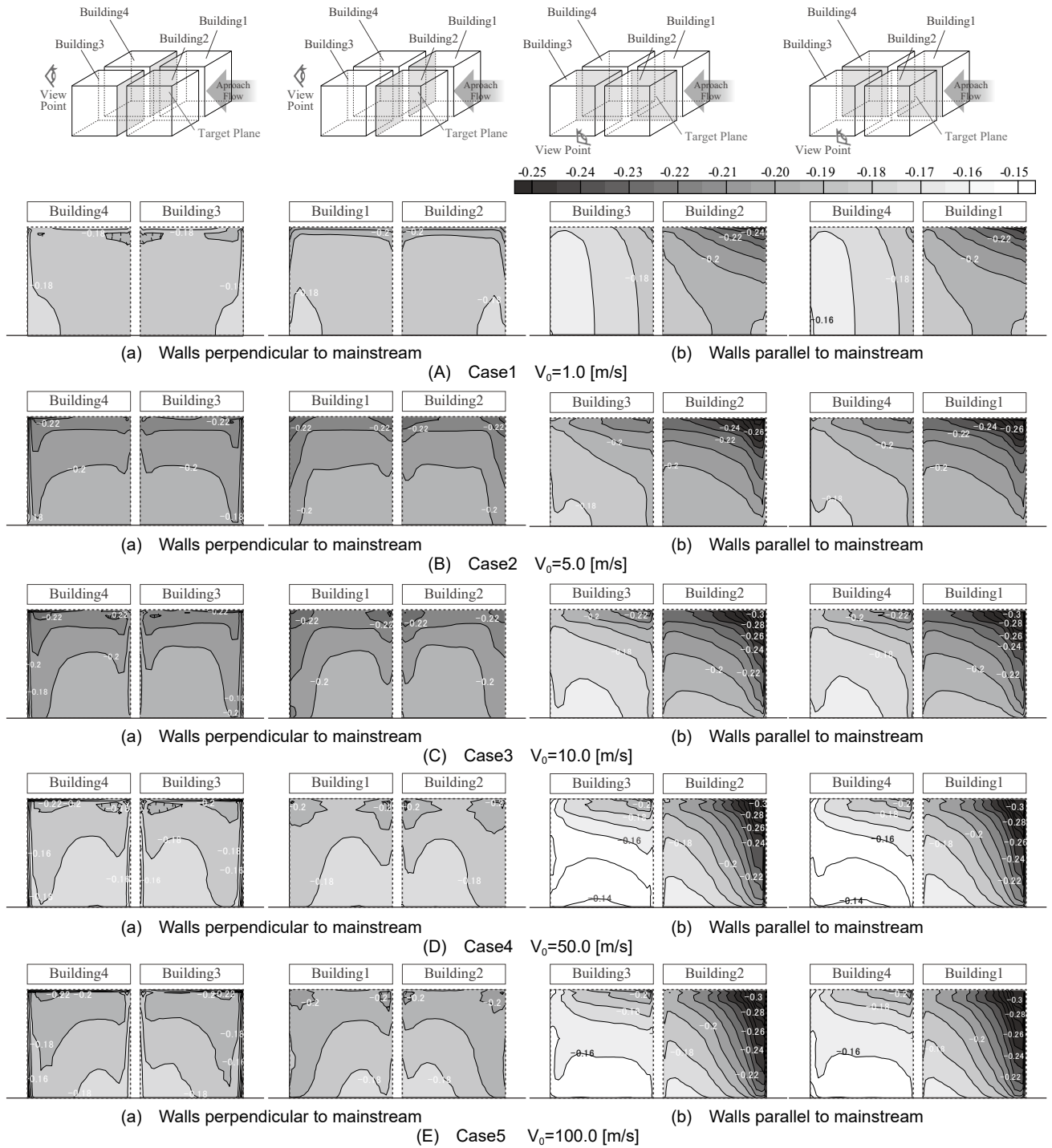


Fig. 8 Wind pressure coefficient distribution

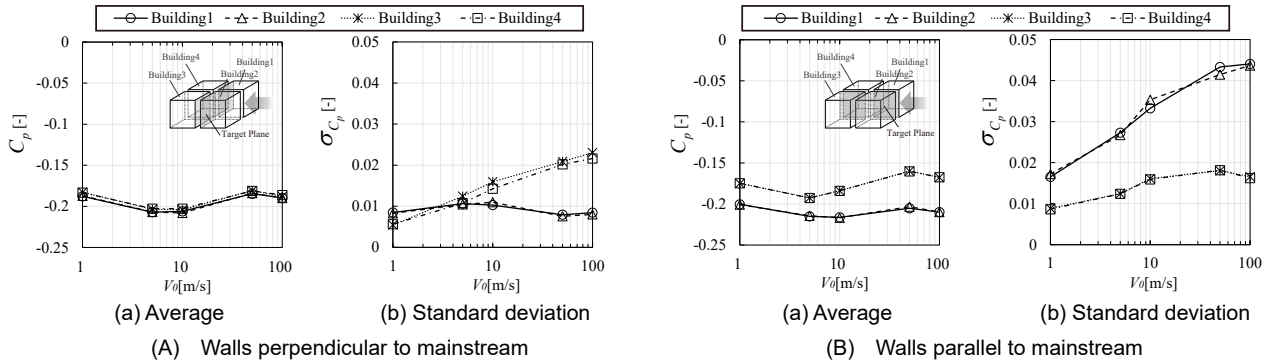


Fig. 9 Wind pressure coefficient and upper wind velocity V_0

にそれぞれの値も増大し、 Re 数が 2000 以上になると増加が見られなくなる。**Case5** では減少する傾向が見られるが、**Case4** で最大になる理由は明確ではない。一方、エネルギー散逸率 ε は、**Fig. 14** の結果より、高さが最も低い位置で値が最大になっており、それ以外の高さでは大きな違いは見られない。また、 Re 数の増加に伴い、エネルギー散逸率も増大する傾向が見られる。

総じて、**Case1, 2, 3** においては粘性力の影響が無視できないのに対し、**Case4, 5** では乱流消失率を除き、乱流統計量の増加は見られなくなることから、建物周辺気流の Re 数が臨界 Re 数以上の範囲にあると考えられる。よって本研究における街区モデルを対象とした風洞実験を行う際には、代表長さを流路の水力直径とした場合、街路の交差点における Re 数が、概ね 2000 以上となるように風洞内風速を設定する必要があると考えられる。

5. まとめ

高密度街区モデルの縮小模型周りにおける気流場および壁面風圧の Re 数依存性を把握することを目的として、気流場の Re 数を変化させた条件で風洞実験の一部を再現した CFD 解析 (LES) を行った。

Re 数は、街路の交差点における高さの異なる 3 点の平均風速、お

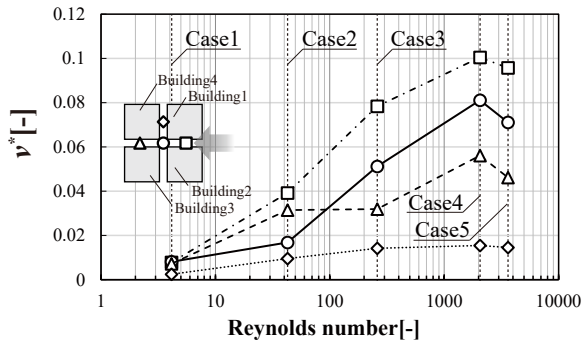


Fig. 10 Reynolds number and velocity ratio

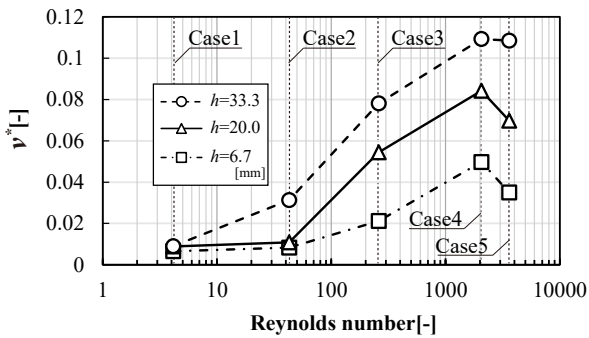


Fig. 11 Reynolds number and velocity ratio

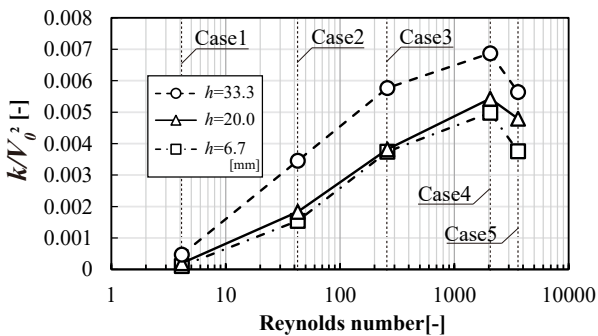


Fig. 13 Reynolds number and turbulent kinetic energy

よび流路の断面積と濡れ縁長で定義される水力直径により算出を行った。結果より得られた知見を以下の (1) ~ (4) に示す。

- (1) 街区内の街路における風速比は、気体の粘性力が支配的な条件下では、全方向成分について同程度の値となっている。 Re 数の増加とともに $v_x^* > v_z^* > v_y^*$ の順で風速比は増大し、変動の幅も大きくなるが、 Re 数が 2000 以上になると、変化はほとんど見られなくなる。
- (2) 街路の方向ごとに隣棟間での風速比の最大値を比較すると、主流に垂直な街路での値は、主流に平行な街路での値と比べて、概ね 1/4 程度小さくなる。
- (3) 狭小街路に面する建物壁面の風圧係数分布は、 Re 数の影響を受けて変化する傾向がみられる。風圧係数の面平均値は、 Re 数によらずほぼ一定の値になっているが、壁面内における標準偏差については、一部の壁面において、 Re 数とともに増加し、 Re 数が 2000 以上になると、変化が見られなくなる。
- (4) 街路の交差点において、 Re 数の増加とともに風速 v 、乱れのスケール L 、乱流エネルギー k 、エネルギー散逸率 ε は増大し、 v, L, k は高い位置ほど、 ε は低い位置ほど大きい値となる。

また、 Re 数が概ね 2000 以上になると風速 v 、乱れのスケール L 、乱流エネルギー k の増加が見られなくなる。一方で、エネルギー散逸率 ε については、 Re 数が概ね 2000 以上になっても増加する傾向が見られる。

本論文では、高密度街区のモデル化および縮小模型周りの気流場における臨界 Re 数の把握を行った。今後は、風向と街区内の街路幅をパラメータとした条件で風洞実験を行い、高密度街区モデルにおける隣棟間距離が建物周りの気流場と壁面風圧係数に及ぼす影響を把握する所存である。

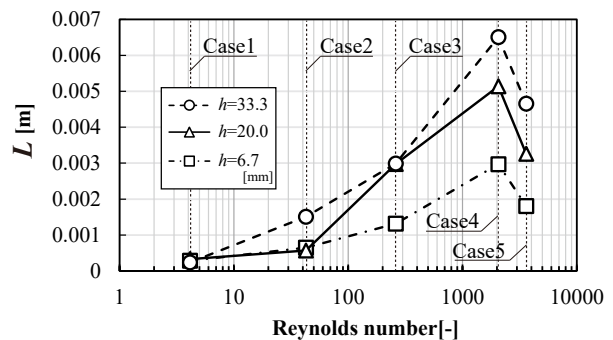


Fig. 12 Reynolds number and turbulent length scale

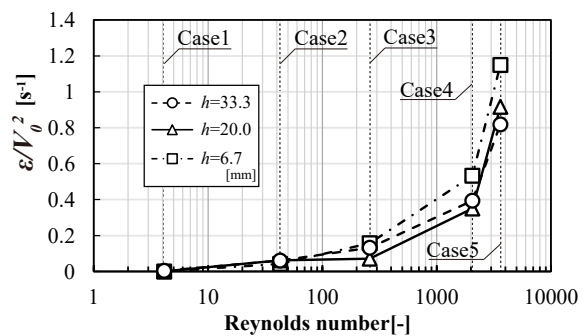


Fig. 14 Reynolds number and turbulence dissipation rate

記号

A	: 流路の断面積 (=軒高×街路幅) [m^2]
C_p	: 壁面風圧係数 [-]
D_H	: 流路の水力直径 [mm]
d	: 建物壁面からの距離 [mm]
h	: 床面からの高さ [mm]
I	: 乱流強度 [-]
k	: 乱流エネルギー [m^2/s^2]
ε	: エネルギー散逸率 [m^2/s^3]
L	: 乱れのスケール [m]
P	: 濡れ縁長さ [mm]
V^*	: アプローチフローの風速比 [-]
V_0	: アプローチフローの上空風速 [m/s]
v_i	: i 方向成分風速 [m/s]
v	: 合成風速 [m/s]
$\bar{v}$	: 時間平均風速 [m/s]
v^*	: 風速比 [-]
v'	: 風速変動 [m/s]

参考文献

- 1) Architectural Institute of Japan: Natural Ventilation Design Handbook for Architects and Building Engineers, 2013 (in Japanese)
日本建築学会: 実務者のための自然換気設計ハンドブック, 技術堂出版, 2013
- 2) Takebayashi, H., Moriyama, M., and Miyake, K.: Analysis on the Relation between Properties of Urban Block and Wind Path in the Street Canyon for the Use of the Wind as the Climate Resources, Journal of Environmental Engineering (Transaction of AIJ), Vol. 74, No. 635, pp. 77-82, 2009.1 (in Japanese)
竹林英樹, 森山正和, 三宅弘祥: 気候資源としての風の利用を目的とした街路形態と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, 第 74 巻, 第 635 号, pp. 77-82, 2009.1
- 3) Kubota, T., Miura, M., Tominaga, Y., and Mochida, A.: Wind Tunnel Tests on the Nature of Regional Wind Flow in the 270m Square Residential Area, Using the Real Model, Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering (Transaction of AIJ), Vol. 65, No. 529, pp. 109-116, 2000.3 (in Japanese)
久保田徹, 三浦昌生, 富永禎秀, 持田灯: 実在する 270m 平方の住宅地における地域的な風通しに関する風洞実験, 建築群の配置・集合形態が地域的な風通しに及ぼす影響 その 1, 日本建築学会計画系論文集, 第 65 巻, 第 529 号, pp. 109-116, 2000.3
- 4) Kubota, T., Miura, M., Tominaga, Y., and Mochida, A.: Standards of Gross Buildings Coverage Ratio in Major Cities for the Planning of Residential Area in Consideration of Wind Flow, Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering (Transaction of AIJ), Vol. 67, No. 556, pp. 107-114, 2002.6 (in Japanese)
久保田徹, 三浦昌生, 富永禎秀, 持田灯: 風通しを考慮した住宅地計画のための全国主要都市におけるグロス建ぺい率の基準値, 建築群の配置・集合形態が地域的な風通しに及ぼす影響 その 2, 日本建築学会計画系論文集, 第 67 巻, 第 556 号, pp. 107-114, 2002.6
- 5) Shoda, T., Murakami, Shuzo., Uehara, Kiyoshi., and Komine, H.: Wind Tunnel Experiment on Strong Wind around High-Rise Building Located in Surrounding Blocks, Transactions of the Architectural Institute of Japan, No. 256, pp. 67-78, 1977.6 (in Japanese)
勝田高司, 村上周三, 上原清, 小峯裕己: 街区の中に建つ高層建物周辺の気流分布に関する風洞実験, 建物周辺気流に関する実験的研究 (IX), 日本建築学会論文報告集, 第 256 号, pp. 67-78, 1977.6 (in Japanese)
- 6) Murakami, S., Hibi, K., and Mochida, A.: Three Dimensional Analysis of Turbulent Flowfield around Street Blocks by Means of Large Eddy Simulation (Part-1), Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering (Transaction of AIJ), No. 412, pp. 1-10, 1990.6 (in Japanese)
村上周三, 日比一喜, 持田灯: Large Eddy Simulation による街区周辺の乱流場の 3 次元解析 (その 1) 隣棟間隔の変化が流れ場に与える影響と風洞実験の比較, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 412 号, 1990.6
- 7) Meng, Y., and Oikawa, S.: A Wind-tunnel Study of the Flow and Diffusion Within Model Urban Canopies Part 2, J. Jpn. Soc. Atmos. Environ., No. 32(2), pp. 148-156, 1997 (in Japanese)
孟岩, 老川, 1997, 建物群ないにおける流れと拡散に関する実験的研究 その 2. 拡散場の測定, 大気環境学会誌 32(2), 第 32 号, pp. 136-147, 1997
- 8) Hagishima, A., Katayama, T., Tanimoto, J., Moritake, T., and Ezoe, N.: Wind Tunnel Experiments on Airflow Characteristics around the Buildings of Rectangular Blocks with Two Different Heights, Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering (Transaction of AIJ), No. 538, pp. 15-21, 2000.12 (in Japanese)
萩島理, 片山忠久, 谷本潤, 森竹千景, 江副紀子: 高さの異なる直方体模型群の周辺気流特性に関する風洞実験, 日本建築学会環境系論文集, 第 538 号, pp. 15-21, 2000.12
- 9) Yoshie, Y., Tanaka, H., Shirasawa, T., and Kobayashi, T.: Experimental Study on Air Ventilation in a Built-Up Area with Closely-Packed High-Rise Buildings, Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering (Transaction of AIJ), Vol. 73, No. 627, pp. 661-667, 2008.5 (in Japanese)
義江龍一郎, 田中英之, 白澤多一, 小林剛: 高層密集市街地における建物群の形態が歩行者レベルの風速・気温分布に与える影響, 日本建築学会環境系論文集, 第 73 巻, 第 627 号, pp. 661-667, 2008.5
- 10) Akabayashi, S., Murakami, S., Mizutani, K., and Takakura, S.: Wind Tunnel Test on Surface Wind Pressure and Prediction of Air Change Rate of Detached House, Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering (Transaction of AIJ), Vol. 59, No. 456, pp. 9-16, 1994.2 (in Japanese)
赤林伸一, 村上周三, 水谷国男, 高倉秀一: 周辺に建物群のある独立住宅の風圧分布に関する風洞実験および換気量予測, 住宅の換気・通風に関する実験的研究 その 1, 日本建築学会計画系論文集, 第 59 巻, 第 456 号, pp. 9-16, 1994.2
- 11) Nonaka, T., Kurabuchi, T., Ohba, M., Endo, T., and Tsukamoto, K.: Wind Tunnel Experiments on Surface Wind Pressure and Cross-Ventilation Flow Rate in Densely Populated Residential Area, Journal of Environmental Engineering (Transaction of AIJ), Vol. 74, No. 642, pp. 951-956, 2009.8 (in Japanese)
野中俊宏, 倉淵隆, 大場正昭, 遠藤智行, 後藤伴延, 塚本健二: 密集住宅地における建物表面風圧係数分布及び自然通風量に関する風洞実験, 密集住宅地における効果的な通風利用を目的とした開口部配置計画手法に関する研究 (第 1 報), 日本建築学会環境系論文集, 第 74 巻, 第 642 号, pp. 951-956, 2009.8
- 12) Uehara, K., Wakamatsu, S., and Ooka, R.: Studies on critical Reynolds number indices for wind-tunnel experiments on flow within urban areas, Boundary-Layer Meteorology 107: 353-370, 2003
- 13) Smirnov, A., Shi, S., and Celik, I.: Random Flow Generation Technique for Large Eddy Simulations and Particle-Dynamics Modeling, Journal of Fluids Engineering, Vol. 123, Issue 2, pp. 359-371, 2001.6

AIRFLOW AROUND BUILDINGS IN HIGH DENSITY BLOCK OF METROPOLIS

Effects of Reynolds number on airflow characteristics between buildings based on LES analysis

*Toshihiko SAJIMA^{*1}, Toshio YAMANAKA^{*2}, Eunsu LIM^{*3},
Tomohiro KOBAYASHI^{*4}, Kanji FUKUYAMA^{*5}*

^{*1} Takenaka Corporation

^{*2} Prof., Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr. Eng.

^{*3} Associate Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Engineering, Toyo University, Dr. Eng.

^{*4} Associate Prof., Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr. Eng.

^{*5} Graduate Student, Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering, Osaka University

Natural ventilation is attracting attention as one method for realizing energy saving and BCP (Business Continuity Plan). In urban area in Japanese metropolises, a large number of high-rise buildings are introducing natural ventilation systems, and the way of ensuring stable ventilation performance is very important matter. In design stage of natural ventilation building, building engineers have to decide the size and number of ventilation devices, such as openings and chimneys or shafts. But it is not easy because the data of wind pressure coefficient to predict flow rate into rooms is not enough especially for buildings located in a block where buildings are densely distributed (high density block). In designing openings introducing natural wind from outside into rooms, grasping airflow around buildings is essential to decide the shape and layout of openings. So, it can be said that the data of wind pressure coefficient and airflow around buildings are necessary for natural ventilation design. In the wind tunnel test, the scale of the model and the wind velocity of approach flow are limited. So, when using small scaled models in the wind tunnel test, it is critical matter whether the airflow around the models is equal to the airflow around the actual scaled buildings.

The purpose of this study is to grasp the dependency of wind pressure and velocity on Reynolds number between buildings. CFD analysis with 1:1000 scaled models of high density block are conducted by LES. By changing the upper wind velocity of the approach flow from 1.0 to 100.0m/s, the influence of the Reynolds number on the airflow between buildings and wind pressure on building walls are examined.

As a result of CFD by LES, these following things are clarified.

- The fluctuation amplitude of the velocity ratio (velocity at the monitoring point / upper wind velocity of the approach flow) in the high density block increases with the upper wind velocity. And it does not increase when the Reynolds number of monitoring points is 2000 or more.
- The maximum velocity ratio of the street perpendicular to the mainstream of approach flow is about 1/4 value of the street parallel to the mainstream.
- The wind pressure coefficient of the building walls facing the streets in the high density block depends on the upper wind velocity. On all walls, the area average of the wind pressure coefficient is almost constant when the upper wind velocity of approach flow changes. On some walls, the standard deviation increases with the upper wind velocity.
- At the monitoring point in the high density block, the velocity ratio, the turbulent length scale, and the turbulent kinetic energy are large at higher positions, and the turbulent dissipation rate is large at the lowest positions.
- The Reynolds number at the monitoring points in the high density block was calculated with the representative length as 4mm, the distance between buildings. The velocity ratio, turbulent length scale, and turbulent kinetic energy stop increasing when the Reynolds number is approximately 2000 or more. On the other hand, the turbulent dissipation rate tends to increase even when the Reynolds number is approximately 2000 or more.