

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
Ventilation Design Method of Buildings Located in High Density Block Area
(Part 5) Consideration between model scales and Reynolds Number based on Wind Tunnel Test and LES Analysis

学生会員 〇福山 莞爾 (大阪大学) 技術フェロー 山中 俊夫 (大阪大学)
正会員 Lim Eunsu (東洋大学) 正会員 小林 知広 (大阪大学)

Kanji FUKUYAMA^{*1} Toshio YAMANAKA^{*1} Eunsu LIM^{*2} Tomohiro KOBAYASHI^{*1}
^{*1} Osaka University ^{*2} Toyo University

The objective of this paper is the validation of Reynold number effect for some scaled models under 10m/s of approaching wind. This paper first shows the results of the wind tunnel test to obtain wind pressure coefficient and wind velocity between different scale building models. Then, the result of CFD by LES, such as wind pressure coefficient and wind velocity, is to be shown. Based on a study varying modeled building's scales and compared with the experimental value, the correlation between modeled building scales and Reynolds number is to be shown.

1. はじめに

近年、オフィスビルや商業施設等において省エネルギーやBCPの観点から自然エネルギーの利用が注目されている。その中でも自然換気は、中間期の冷房負荷の削減が期待できる。しかし、中高層建築が密集した都市の市街地（以下、高密度街区）では建物間の気流の流れが複雑になり、換気量予測が困難である。換気量をより正確に予測するには、建物壁面の風圧係数及び壁面周辺の気流性状の情報が必要である。既報¹⁾においてもCFD解析において、風洞実験を再現した条件を対象として風圧係数や風速のデータを取得し、風洞実験の結果と比較をしたが、本報ではより詳細に気流場を見ていく。

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

街区内の気流性状を把握するために、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。図1にモデル化した街区を、また、図2に対象建物及び周辺街区を縮尺した条件を示す。街区は縮尺1/1000, 1/500, 1/250のそれぞれで再現し、風洞内の境界層流下で測定を行った。図3に風洞断面図及び模型配置図を示す。また、図4に風洞内境界層流の鉛直速度分布、乱流エネルギーを及び乱流散逸率を示す。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て1.0kH, 60sで測定し、床土1,000mm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。

2.2 実験条件

図5に対象建物模型の風圧係数及び風速の測定点を示す。風圧は微差圧計(Validyne社, DP45)を用いて各点500Hz, 60sで測定した。風速は応答性7秒の無指向

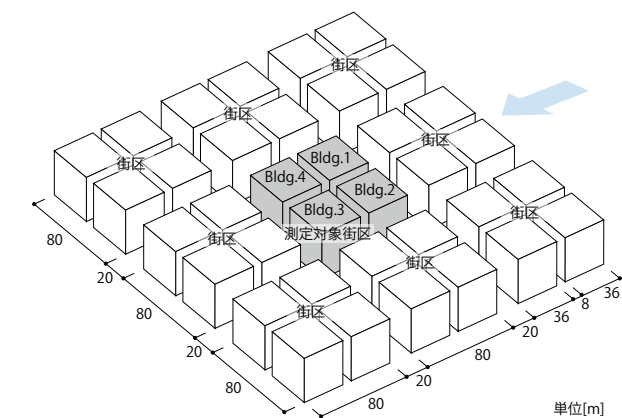
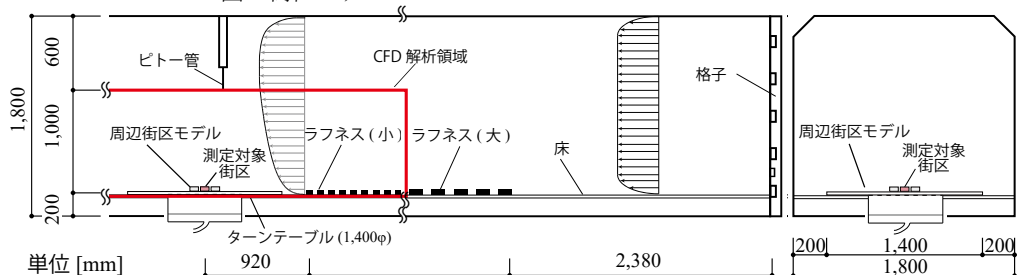


図1 街区モデル

		Target Block		
		H	d	s
Scale	1/1000	40mm	36mm	8mm
	1/500	80mm	72mm	16mm
	1/250	160mm	144mm	32mm



(1) 風洞断面 (境界層流順方向)

(2) 風洞断面 (境界層流直行方向)

図3 風洞概要

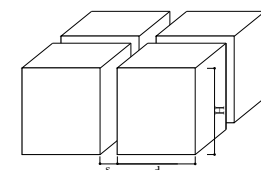


図2 街区モデルの縮尺条件

性熱式風速計 (KANOMAX Model 1570) を用いて各点 200Hz, 60s で測定した。また、風圧係数は軒高の速度圧を基準とし、規準化風速は軒高風速を基準としている。

2.3 風洞実験の結果

(1) 風速分布

図 6 に実験で得られた建物間の風速分布を示す。全条件において風の流れ方向の隙間では建物の摩擦で風下側ほど、減衰していくことがわかる。風速が小さな箇所において、例えば 1/1000 に比べて 1/250 では 20 ~ 25 % 程度風速が大きくなるといった違いが見られた。

(2) 風圧係数

図 7 に実験で得られた風圧係数を示す。風上側で壁面に当たった風が要因となる剥離流の影響で、主流並行面の風上側の測定点において風圧係数が負圧側に大きくなっていることが分かる。また、概ね Scale 間による風圧係数の絶対値の違いがある程度見受けられ、例えば主流方向の面では最大 50 % 程度 1/1000 と 1/250 では差が見られた。これより、気流が狭い隙間を通る際にその長

さに影響を受けやすいことが示唆された。

3. CFD 解析の概要

3.1 LES の解析概要

表 1 に解析手法を示す。実験と比較のため CFD(LES) で風洞及び縮小模型を再現したモデルを対象に計算を行った。解析は初めに標準 $k-\epsilon$ モデル (SKE) にて定常計算を行い十分に計算を収束させ、その結果を初期条件として LES による計算を行った。LES での計算時間刻みは 0.001s とし、計算開始後 1,000 time step(1.0s) を標準 $k-\epsilon$ モデルからの移行期間として計算結果を破棄し、その後の 5,000 time step(5.0s) を本計算とした。

3.2 解析領域

図 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。z 軸方向 (高さ) は境界層流が十分に発達し、また計算負荷を考慮し 1,000mm とし、x 軸方向 (幅) は風洞の幅に等しい 1,800mm とした。流入境界は図 4 に示す通りである。また、計算負荷を考え、各条件で最小メッシュサイズが異なる。

3.3 解析条件

本報では、模型の縮尺の差異、つまりレイノルズ数の変化が街区周辺の気流場に与える影響を検討対象としている。また最大の関心が街区内の隙間であるため、レイノルズ数は建物間距離を代表長さ、各 Case の街区中心

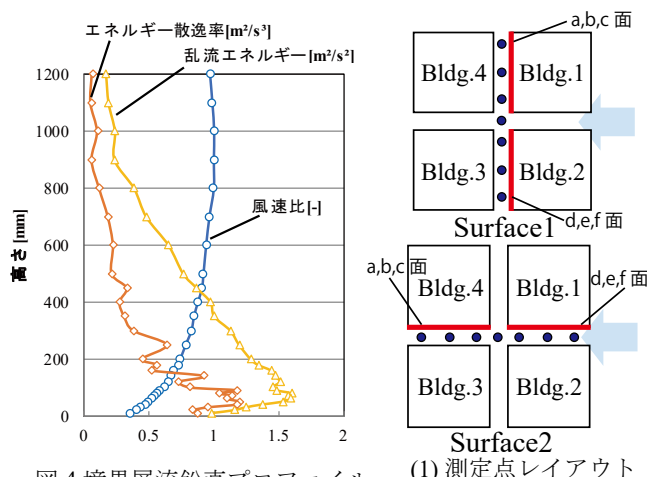


図 4 境界層流鉛直プロファイル

(1) 測定点レイアウト

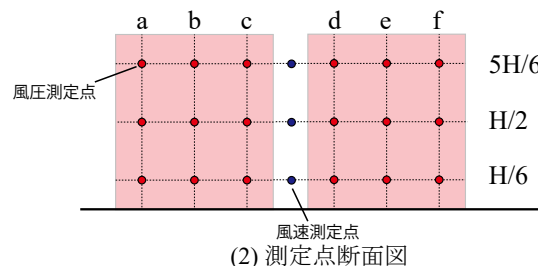
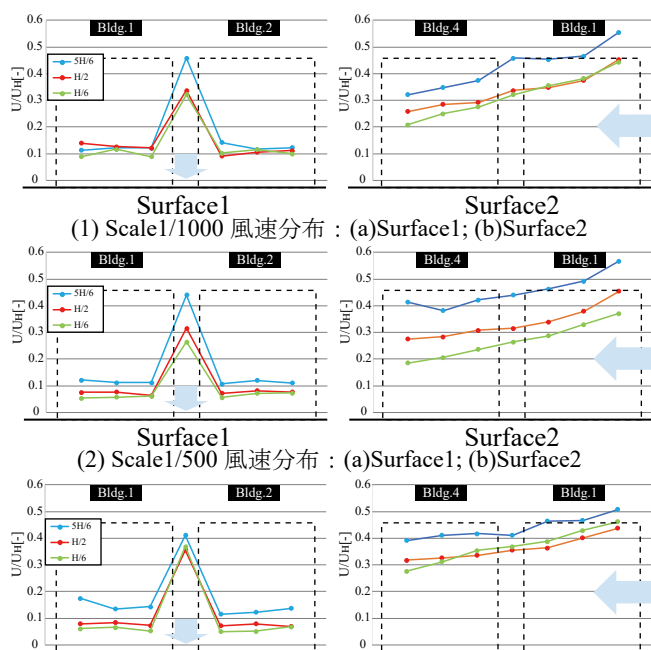


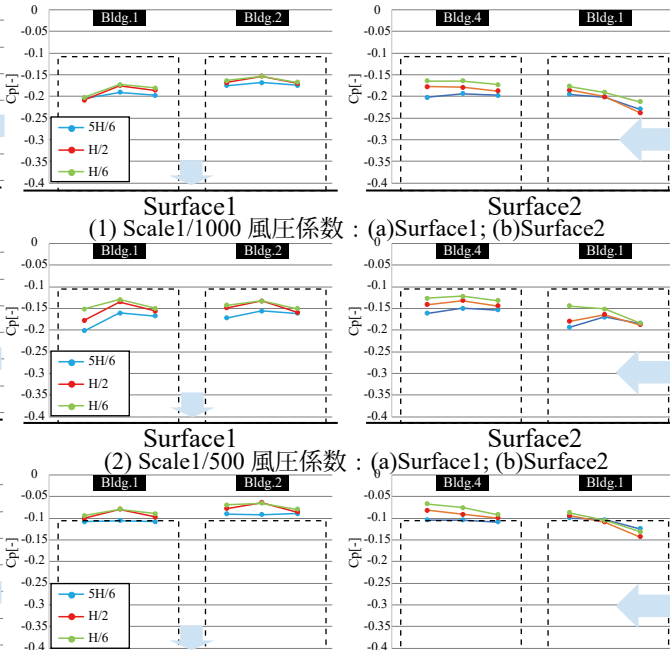
図 5 風圧係数・風速測定点

(2) 測定点断面図



(3) Scale 1/250 風速分布 : (a) Surface 1; (b) Surface 2

図 6 建物間風速分布 (実験)



(3) Scale 1/250 風圧係数 : (a) Surface 1; (b) Surface 2

図 7 壁面風圧係数分布 (実験)

表 1 CFD 解析の概要

CFDコード	Fluent19.2	
乱流モデル	Large Eddy Simulation Smagorinsky-Lilly Model(Cs=0.1)	
アルゴリズム	SIMPLE	
差分スキーム	中央差分	
Time Stepサイズ	0.001sec. (1000Hz)	
Time Step数	5000	
境界条件	Inlet	風速: Profile(Experimental value)
	Outlet	ゲージ圧:0(Pa)
	Wall	二層モデル
セル数	1/1000	2,597,400(最小メッシュ:0.8mm)
	1/500	4,374,400(最小メッシュ:1.6mm)
	1/250	4,327,870(最小メッシュ:3.2mm)

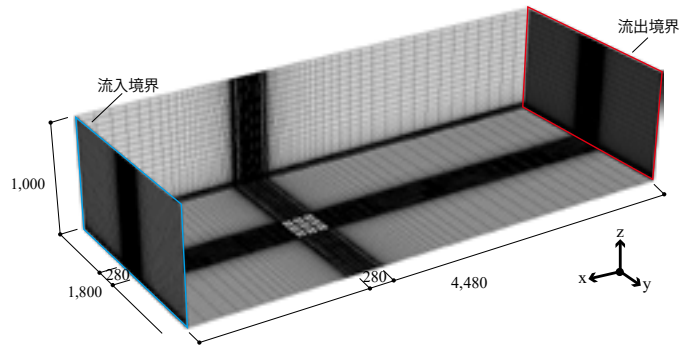
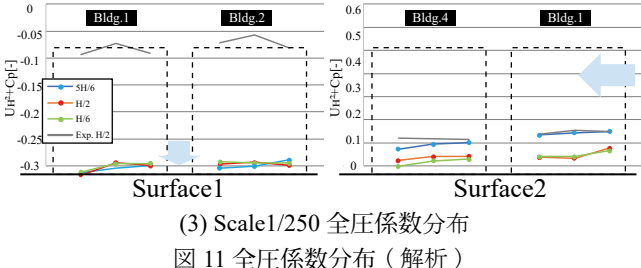
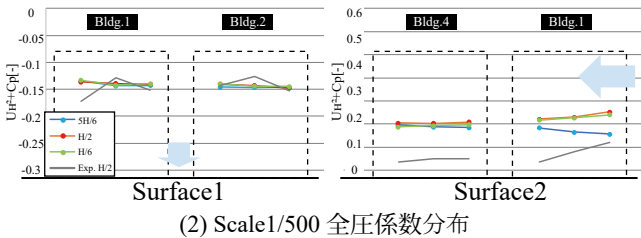
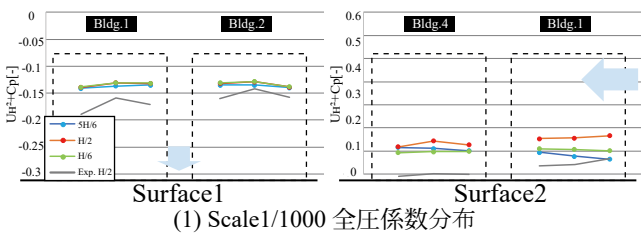
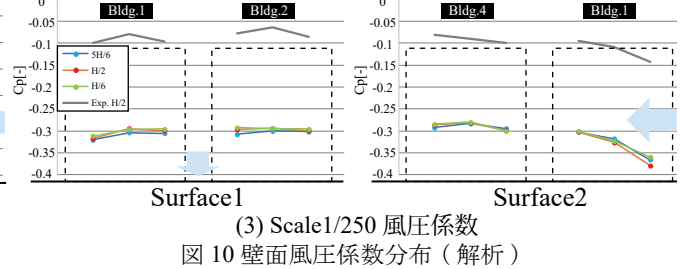
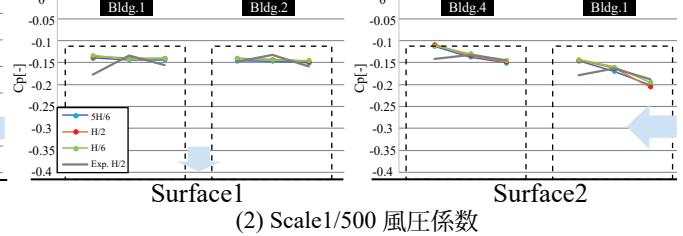
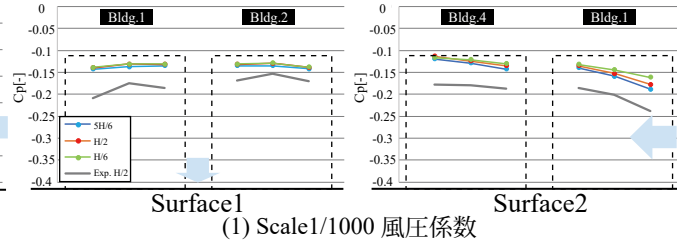
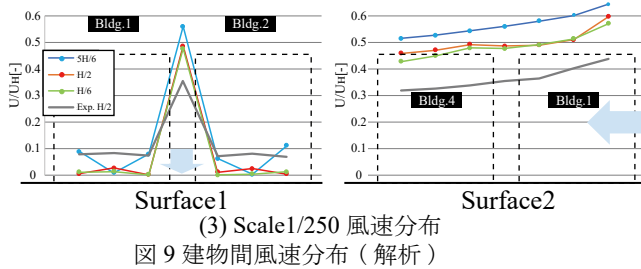
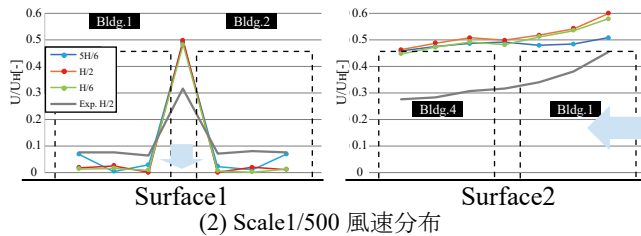
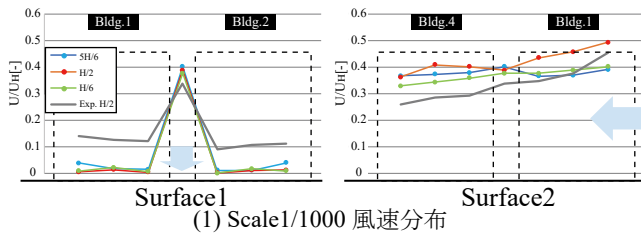


図 8 壁面風解析対象領域及びメッシュ (Scale:1/1000)



の上下 3 点の測定点の風速の平均風速を代表風速としている。また、風圧係数及び風速比は実験と同定義である。

3.4 解析結果の評価

(1) 解析結果：建物間風速

図 9 に LES 解析により得られた風速を示す。実験との比較で軒高の半分の $(1/2)H$ の実験値も示す。分布の傾向としては実験と解析で変わらないが、絶対値は解析において実験の値よりも過大評価する傾向にあることがわかる。例えば Scale が 1/500 や 1/250 の Surface2 では実験値より 1.5 倍程度値が大きいことがわかる。

(2) 解析結果：壁面風圧係数

図 10 に LES 解析により得られた風圧係数を示す。(1) と同様に実験の値を共に示す。Scale1/1000 では風圧係数が実験値と比べて絶対値が小さいが、1/250 においてはそれと逆のことが言える。また、1/250 においては実験値と解析値に 2 倍以上の差異がある。精度がメッシュサイズに依存している可能性が示唆された。

(3) 全圧係数の評価

図 11 に全圧係数の分布を示す。全圧係数は全圧を軒高の速度圧で除したものと定義する。また実験値

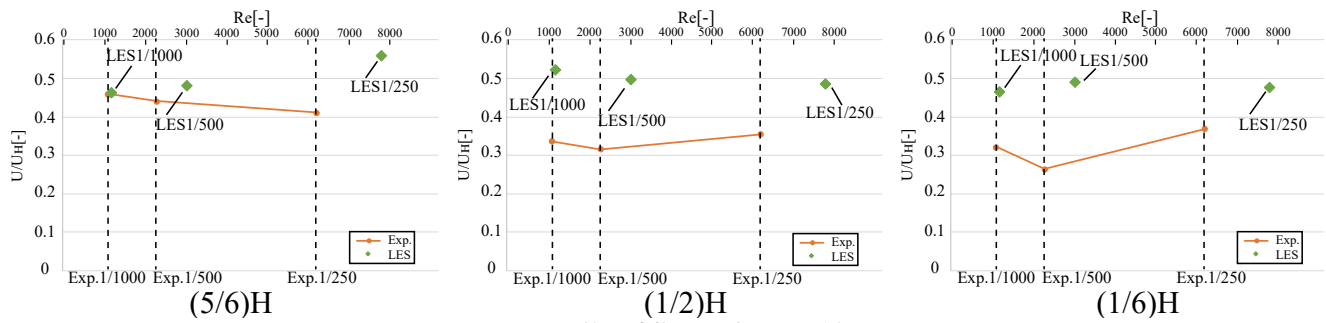


図 12 Re 数と建物間風速との関係

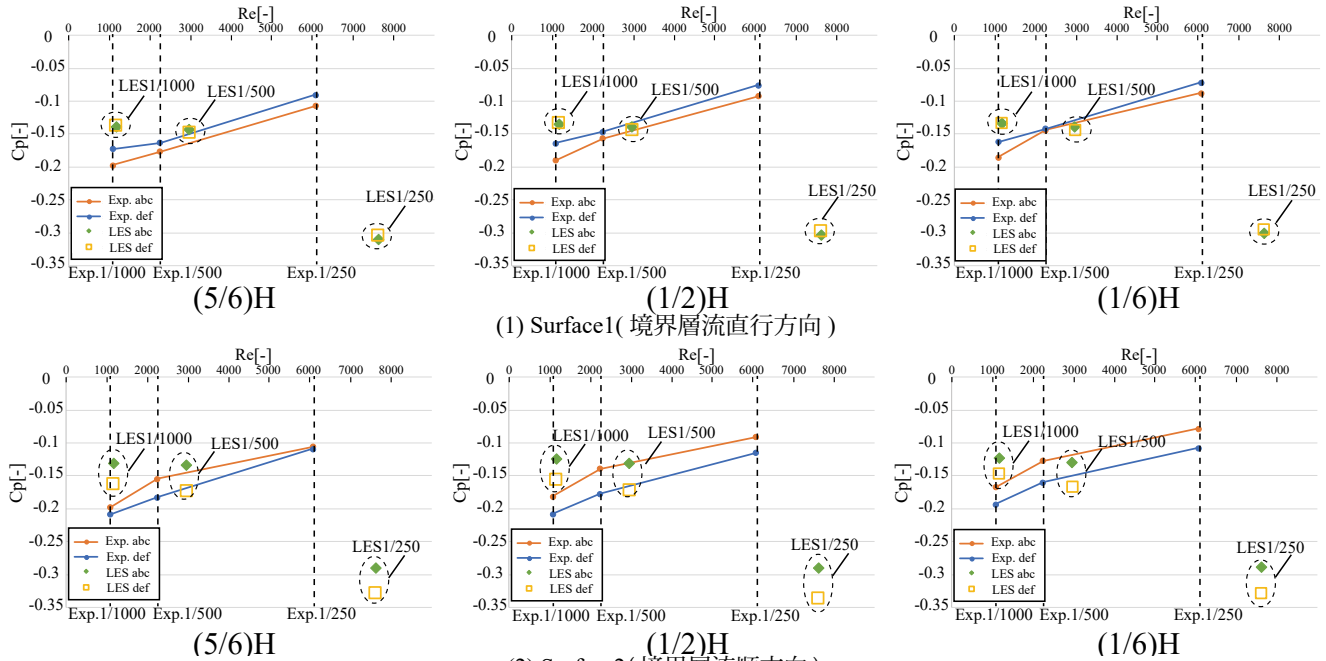


図 13 Re 数と壁面風圧係数との関係

の全圧係数も比較で示す。Surface 1 で対象性があり、Surface2 では風下に向かうにつれ全圧が減少しているため解析で気流性状の特性は再現できていると考えられる。しかし、Scale 間での値の差異は大きく、また実験との差も大きく、特に Scale1/250 の Surface1 において顕著である。

3.5 解析と実験結果の比較

(1) 解析と実験の比較：建物間風速

図 12 に、Scale 間で異なる Re 数と実験値及び LES 解析結果の風速の関係を示す。風速は図 5 のように街区の中心の高さ方向 3 点を代表点とする。図 12 の結果より風速はレイノルズ数の依存性があまり見られない。しかし、主に低層部において Scale の 1/500 で値の変化が見られた。しかし、LES の (5/6)H の Scale1/250、実験 (1/6)H の Scale1/500 を除いて、高さ毎のスケール間の風速比の絶対値はさほど差異がない。

(2) 解析と実験の比較：壁面風圧係数

図 13 に、Scale 間で異なる Re 数と実験値及び LES 解析結果の風圧係数の関係を示す。abc, def それぞれ高さごとの平均で評価する。実験では Re 数が大きいと風圧係数は 0 よりになるが、LES では逆の傾向が見られた。実験と LES の傾向の違いの原因は検討できなかった。

たが、模型の Scale が変わると Re 数の効果で風圧の絶対値に変化があることが分かり、1/1000 と 1/250 の間には 50%以上の差が見られた。

(3) メッシュ依存性

メッシュのサイズが値 (解析精度) に影響を与えている可能性を検討するため Scale1/250 の建物間の隙間の最小メッシュを 3.2mm から 1/1000 の最小メッシュに等しい 0.8mm とした。結果として、値は 1~3% 程度の差異しか見られなかった。

4. おわりに

本報では風洞実験と LES による解析の結果の比較を通して模型の縮尺と Re 数の関係を評価した。結果としてレイノルズ数が風圧係数や風速の値に与える影響がある程度あることが分かった。今後は LES 解析の結果が実験結果と異なる原因の解明を進めると共に、換気設計の指針を整備する所存である。

【記号表】

C_p : 風圧係数 [-], U : 測定点風速 [m/s], U_H : 軒高風速 [m/s]

【参考文献】

- 1) 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 4) 風洞実験と LES 解析によるレイノルズ数効果の検討, 第 49 回空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, A-66, 2020. 3