

自然換気制御のための建物屋上近傍気流のモニタリング手法に関する研究 (その4) 外部風向 0°・45° の場合の LES による風向変動特性の基礎的評価

正会員 ○明石 大^{*1} 同 小林 知広^{*2}
同 山中 俊夫^{*3} 同 佐藤 可奈^{*1}

屋上近傍気流 風向風速 CFD 解析
LES

1. はじめに

本研究では建物屋上近傍気流の水平断面に着目し、建物上部の測定点での風向・風速と外部風向・風速との差を風洞実験及び CFD 解析により評価し、自然換気口の高度制御手法の提案へと繋げることを目的とする。本報では、Large Eddy Simulation(以下 LES)を用いて前報¹⁾で報告した風洞での縮小模型実験(図1)を再現した CFD 解析を行い、建物寸法や外部風向をパラメータとして、外部風向との差を評価した結果を報告する。

2. CFD 解析概要

前報¹⁾で行った風洞実験を概ね再現した CFD 解析を行った。図2に対象模型を、図3に解析領域及びメッシュレイアウトを示す。建物寸法は、建物高さ H = 200 mm の 1:1:2 単体建物(以下 Case1M)と H = 400 mm の 1:1:4 単体建物(以下 Case 1H)の2条件で、外部風向は 0° と 45° の2条件で計4条件を解析対象とした。解析領域は主流方向(X)に 2,300 mm、高さ(Y)方向に 1,000 mm、奥行き(Z)方向に 1,400 mm とし、外部風向が 0° の条件では建物幅を 20 分割した。表1に解析概要を示す。屋上近傍気流は剥離の影響により、高い非定常性を有するため解析精度の向上を期待し、乱流モデルには LES を用いた。SGS 渦粘性モデルには Smagorinsky-Lilly モデルを用い、Smagorinsky 定数は 0.1 とした。標準 k-ε モデルの計算結果を初期条件とし、時間刻みは 0.0005 sec. (2.0 kHz) として初期条件か

ら 22,000 time step (1.0 sec.) の助走計算の後、20,000 time steps (10.0 sec.) の本計算を行った。流入境界条件として、既往の研究³⁾で同じ風洞内環境下において測定されたアプローチフローの風速、乱流エネルギー、乱流散逸率を高さごとに与え、Smirnov ら⁴⁾の手法に基づき瞬時風速を与えた。流入境界の風速比及び乱流強度の鉛直分布を図4に示す。図5に建物屋上平面の座標の定義と3章で用いる風速のモニター点の平面位置を示す。主流方向に X 座標を取り、建物屋上中心点を原点として以降の結果を示す。なお、外部風向 45° の条件では Line A が風上側となるよう設定した。

3. 解析結果

3.1. 風向差の確率密度分布

各モニター点における瞬時の風向が、外部風向とどの程度一致するのかを把握するため、モニター点での風向と外部風向の差の確率密度分布及びそれから算出される確率によって風向の測定精度を評価する。検討を行う平面位置(鉛直ライン)の詳細を図5に示す。以降に示す確率密度分布のグラフは、縦軸が確率密度、横軸は外部風向との風向差とする。この風向差は -180° から 180° の

表1 LES 解析概要

CFD Code	Fluent 19.2	
Turbulence Model	Large Eddy Simulation (Smagorinsky-Lilly Model : C _s =0.1)	
Algorithm	SIMPLE	
Time Step	0.0005 sec. (2 kHz)	
Pre-conditioning Term	2,000 time steps (1 sec.)	
Total Calculation Time	22,000 time steps (11 sec.)	
Boundary Condition	Inlet	Profile (Experimental Value)
	Outlet	Gauge Pressure : 0 [Pa]
	Walls	Two Layer Model of Linear-Log Law
Total Number of Cells	Case1M_0°	1,353,980
	Case1H_0°	1,609,000
	Case1M_45°	1,724,018
	Case1H_45°	2,060,930

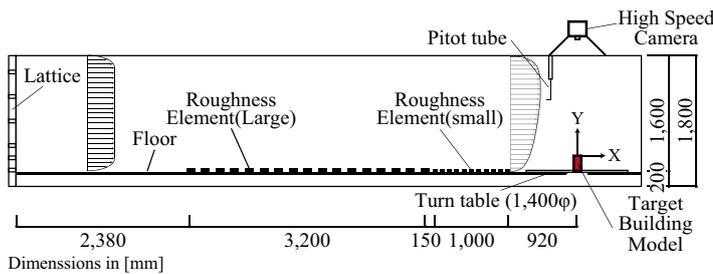


図1 風洞実験概要(主流方向断面図)

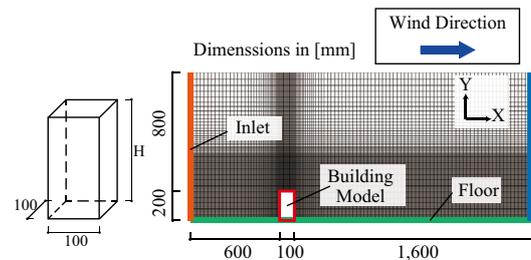


図2 解析対象
建物モデル

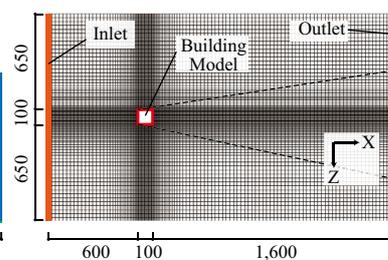


図3 メッシュレイアウト (Case1M_0° 条件)

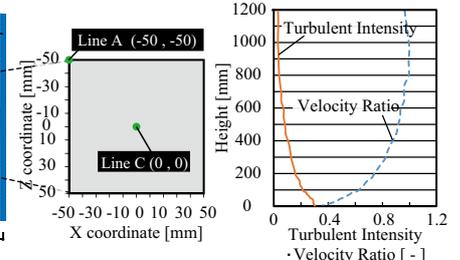


図5 モニター
点の平面配置

図4 アプローチ
フロー

Monitoring Method of External wind velocity around Building Roof Top for Natural Ventilation Control
(Part 4) Numerical Investigation of Velocity Fluctuation for Basic Configuration using LES for 0 and 45 Degree Approaching Wind

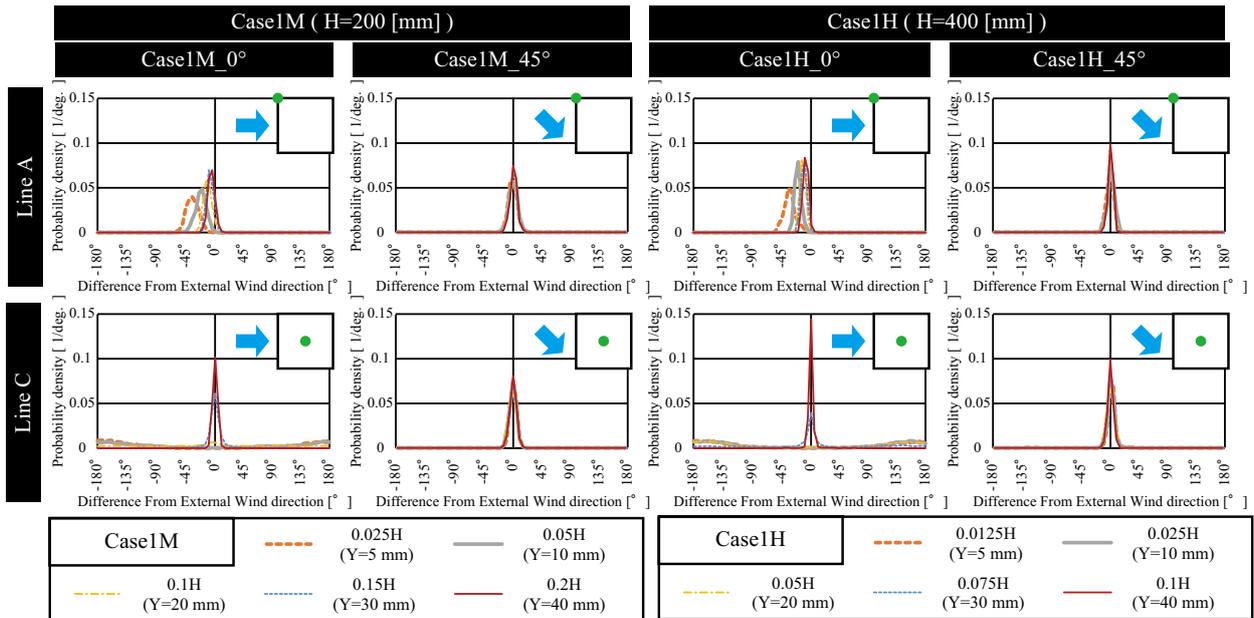


図6 確率密度分布

範囲で、モニター点での測定風向が外部風と一致する際は差は0°、外部風に対して時計回りの風向を示す際は、正の値を示すものとする。

図6に各測定条件における、各測定ラインでの風向差の確率密度分布を示す。風向0°条件のLine Aでは低い断面では風向差が負の値を示し、高くなるにつれて差が0°に近づくことから、よどみ点から放射状に広がる気流の影響と考えられる。Line Cにおける低い断面では、±180°の位置で低い山が見られるため、これらのモニター点は剥離域内に存在し、逆流が生じていると考えられる。45°条件はどの条件においても、高さによる変化が見られず差が0°の位置に山が見られたことから、中央断面で剥離せず風向が大きく乱れなかったと考えられる。

表2 外部風向からの風向差が±10°に属する確率 [%]

Case1M (H=200 [mm])				
	Case1M_0°		Case1M_45°	
	Line A	Line C	Line A	Line C
0.025H (Y=5 mm)	0.3	0.5	86.9	97.9
0.05H (Y=10 mm)	6.7	1.1	88.2	94.2
0.1H (Y=20 mm)	36.8	11.6	90.2	89.2
0.15H (Y=30 mm)	62.4	75.0	92.1	92.5
0.2H (Y=40 mm)	77.3	99.3	93.4	94.7
Case1H (H=400 [mm])				
	Case1H_0°		Case1H_45°	
	Line A	Line C	Line A	Line C
0.0125H (Y=5 mm)	0.7	0.1	91.1	90.0
0.025H (Y=10 mm)	2.8	0.3	92.6	92.4
0.05H (Y=20 mm)	22.7	2.1	98.1	90.9
0.075H (Y=30 mm)	34.5	41.9	98.6	97.1
0.1H (Y=40 mm)	64.5	98.7	99.3	98.9

3.2. 風向差が±10°に属する確率

確率密度を積分することにより風向差が±10°となる確率を算出した結果を表2に示す。20%以下は青色、80%以上は橙色の網掛けで示す。風向0°条件の高い位置では、Line AよりLine Cの方が測定精度が良く、両測定ラインとも断面が高くなるにつれ精度が上昇している。45°条件では、建物寸法や外部風向によらずその測定位置においても高い測定精度を示すことが分かる。確率密度分布同様に、剥離の影響を受けないためと考えられる。

4. まとめ

本報では、単体建物を対象にLESにより外部風向と測定風向の差を評価した。風向が0°では測定精度は高い位置ほど高精度であり、45°条件では今回対象とした条件では比較的低い測定高さでも測定精度が高くなった。今後は外部風向や建物形状を更に変更した際の分析及び風向を簡易的に推定するための手法の提案を行う所存である。

【謝辞】

本研究の一部はJSPS 科研費(若手研究A, 課題番号JP16H06110, 研究代表者:小林知広)の助成を受けた。

【参考文献】

- 佐藤、小林、山中ら：自然換気制御のための建物屋上近傍気流のモニタリング手法に関する研究(その3)PIV測定による屋上近傍の風向変動の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2020年9月掲載予定
- 福山、山中ら：高密度街区における建物の通風設計に関する研究(その1) 風洞実験による壁面風圧及び建物間風速分布, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, A-30, 2019.3
- A. Smirnov, S. Shi, I. Celik : Random Flow Generation Technique for Large Eddy Simulations and Particle-Dynamics Modeling, *Journal of Fluids Engineering*, Vol.123, Issue 2, pp359-371, 2001.6

※1 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 博士前期課程
 ※2 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 准教授・博士(工学)
 ※3 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 教授・博士(工学)

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