

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1) 風洞実験による PIV を用いた風向変動特性の評価

正会員 ○佐藤 可奈^{*1} 同 小林 知広^{*2}
同 山中 俊夫^{*3} 同 明石 大^{*4}

4. 環境工学 -13. 空気流動応用 -c. 建物周辺気流・都市気流 屋上近傍気流, 風向風速, PIV 測定, 風洞実験

1. はじめに

中高層建物の屋上では風向風速計を設置して外部風向や風速を測定するケースが多いが、適切な設置位置をまとめたガイドラインは無い。建物の屋上の気流場は、風上側で生じる剥離流や屋上部で生じる逆流により非定常性が大きくなる¹⁾。このことから、屋上に設置された風向風速計が正しく外部風を測定できているとは限らず、その精度は設置位置によって異なると言える。

本研究では、風向風速計の設置想定位置における風向・風速と実際の外部風向・風速との差を風洞実験及び CFD 解析にて評価し、自然換気時の適切かつ高度な開口制御の提案に繋げる。本報では、建物形状と塔屋の有無をパラメータとした風洞実験により、建物直上の水平断面での PIV(Particle Image Velocimetry) を用いた風速・風向の測定及び風向差の評価結果を報告する。

2. 風速測定実験概要

建物直上の水平断面における風速・風向の測定を目的として、大阪大学工学部内の吹放し型風洞(測定胴長さ:9.5m、幅:1.8m、高さ:1.6m)にて PIV 測定を行った。図1に風洞断面図及び実験機器配置を示す。実験模型は中高層矩形建物を想定し、縮尺 1/200 とした。実験は概ね 1/4.8 乗のべき乗則に従う境界層流下で行った。座標は図1に示すように模型屋上平面の中心を原点、主流方向を X 軸に設定した。図2にアプローチ

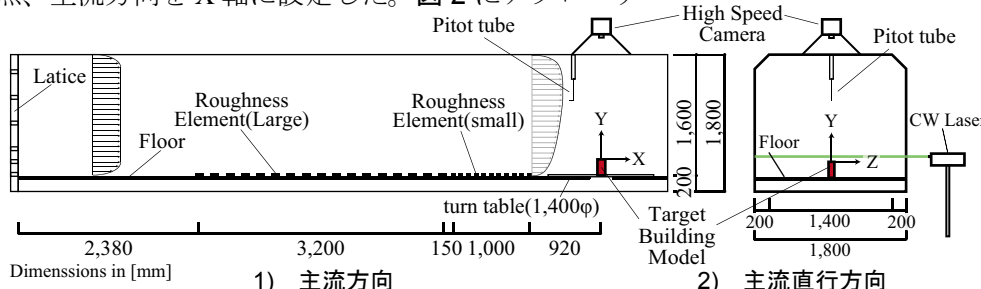


図1 風洞断面図

フローの風速比及び乱流強度の鉛直分布を示す。アプローチフロー風速は、模型を設置していない風洞内で I 型熱線風速計を用いてサンプリング周波数 1.0 kHz で 1 分間測定した。風洞内風速は床上高さ 1,000 mm 位置のピトー管で 10 m/s となるように設定した。

図3に実験模型の寸法を示す。使用する実験模型は、屋根伏形状が 100 mm 角の正方形で、建物高さが $H = 200$ 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 Case1H)の2条件で、各建物条件の屋上に塔屋が無い条件(P0)及び屋上中央部に塔屋がある条件(P1)の2条件を設定し、計4種類の模型条件に対して風洞実験を行った。

3. PIV 解析概要

PIV は可視化を行った気流にレーザーシートを照射することで断面を投影し、微小な時間間隔で2枚の画像を連続撮影することでトレーサー粒子の移動距離から速度を算出する方法である。可視化は煙発生器(KANOMAX 社, 8304)で発生させた煙を模型上流から

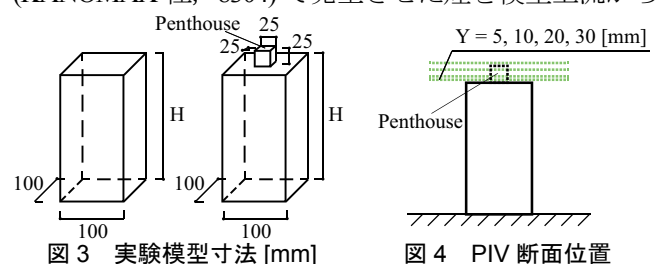


図3 実験模型寸法 [mm]

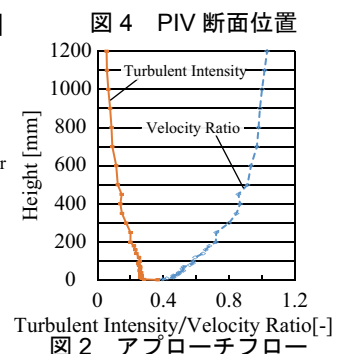


図4 PIV 断面位置

Monitoring Method of External Wind Velocity around Building Roof Top for Natural Ventilation Control
(Part 1) Evaluation of Velocity Fluctuation using PIV by Wind Tunnel Test

SATO Kana, KOBAYASHI Tomohiro, YAMANAKA Toshio, AKASHI Hajime

注入することで行った。光源にはCW : YAG レーザー (KANOMAX 社, CW532-10-3W) を用い、風洞側面から模型上部の水平断面を投影し、風洞上部に設置した高速カメラ (カトウ光研, K8) で 1500 枚の画像を 1 秒間撮影した。水平断面の高さは、図 4 に示すように模型屋上面からの高さ (Y) が 5, 10, 20, 30 mm とした。

表 1 に PIV 測定の概要を示す。画像処理には Davis 8.3 (LaVision 社) を使用し、解析アルゴリズムに直接相互相関法を用いて流速を算出した。また、統計的信頼性と空間分解能の向上のために再帰的相関法を用い、瞬時の速度場を算出するための相互相関係数分布を計算するプロセス (Pass) を計 30 回とした。

4. 解析結果

4.1 水平断面の時間平均気流場

図 5 に Case1M の水平断面における平均風速のコンター図及びベクトル図を示す。撮影高さは

表 1 PIV 解析概要

Program	Davis 8.3
Algorithm	Direct Cross-Correlation Method
Camera Frame Size	350 [mm] × 320 [mm]
Interrogation Window Size	Pass1 : 32 [pixel] × 32 [pixel] Pass2-30 : 16 [pixel] × 16 [pixel]
Overlap	25 %
Frame Rate	1500 [fps]
Sampling Time	1 [s]
Laser Output	3 [W]

0.025H (Y=5mm) と 0.15H (Y=30mm) の 2 断面とし、同じ高さにおけるアプローチフロー風速 (V_{ref}) を併記している。両模型条件とも、屋上面から離れると風速が大きくなり、高さ 0.025H では剥離域内のため、測定風速が V_{ref} より低い値となっている。全測定断面での風速コンター図は、 $Z = \pm 30$ mm 付近の列で風速が周囲より大きくなっているが、トレーサが均一に注入できていなかった可能性が考えられ、加えて条件 P1 では塔屋の影響もあると考えられる。また、0.15H の高さでの P1 の模型中央部の風速が P0 より低い、これは塔屋による剥離の影響であるからと推察される。 V_{ref} と同程度の風速を示す位置は P0、P1 ともに高さが 0.15H の $-30 \leq X \leq 0$ 、 $Z = \pm 30$ mm 付近の位置であった。

図 6 に Case1H の水平断面における平均風速のコンター図及びベクトル図を示す。0.0125H の高さでは P0、P1 共に全体的に V_{ref} よりも低い値となっているが、風上側端部 ($X = -50$ mm) 付近では周囲より風速がやや高くなっている。Case1M と同様に、風速コンター図で $Z=0$ mm 付近の風速が $Z = \pm 30$ mm 付近と比べて小さい値をとり、 V_{ref} と同程度の風速を示す位置は P0、P1 共に高さが 0.075H の $-30 \leq X \leq 0$ 、 $Z = \pm 30$ mm 付近の位置であった。P1 条件の高さ 0.075H では塔屋上は剥離の影響で風速が小さくなっている。なお、P1 条件の 0.0125H の高さで、

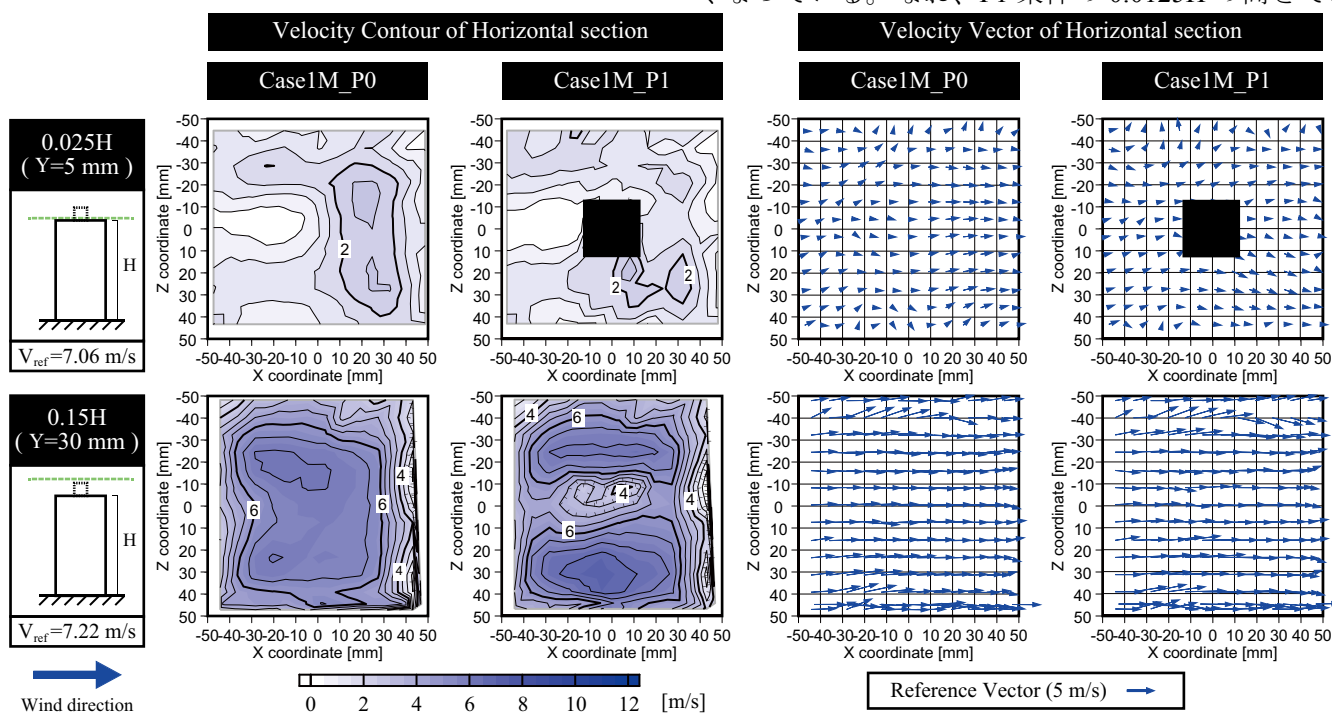


図 5 Case1M(H=200[mm]) の風速コンター図・風速ベクトル図

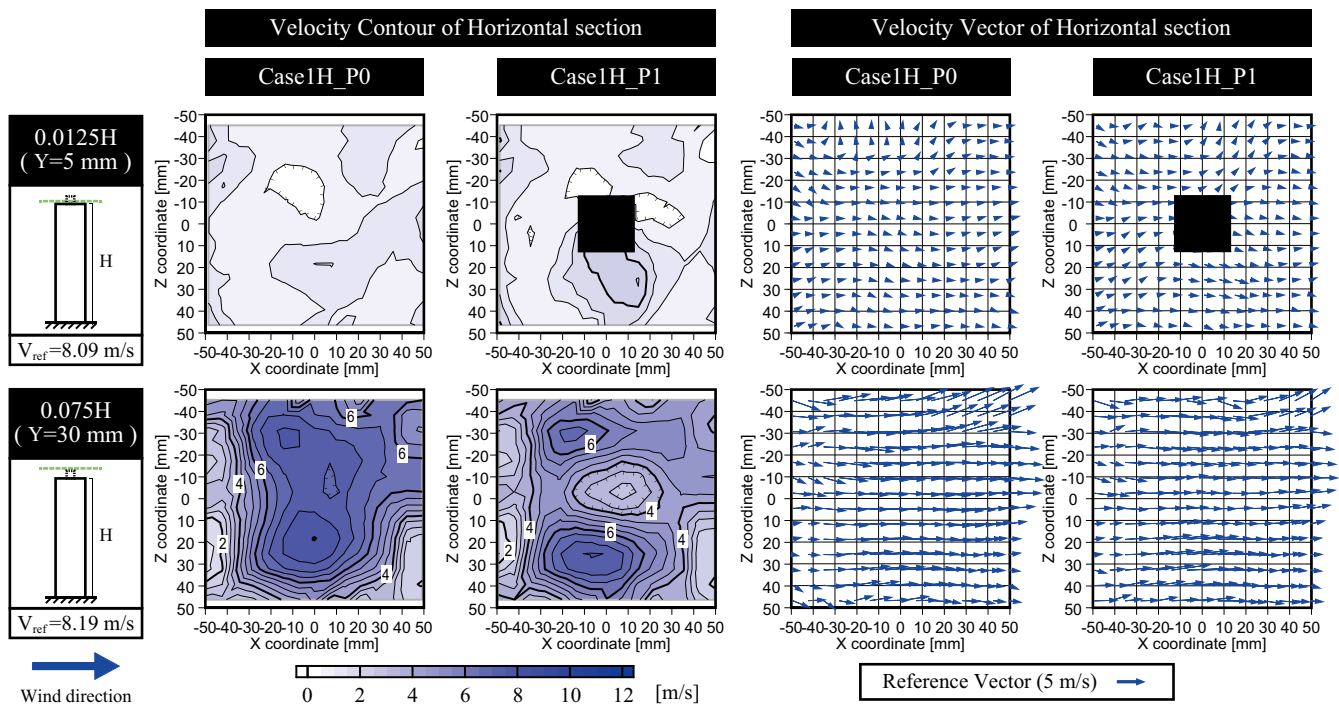


図6 Case1H(H=400[mm])の風速コンター図・風速ベクトル図

塔屋横のZ座標が正の位置で風速が周囲より大きく測定されているが、これは塔屋がレーザー光を遮ったことでZ座標が正の位置での風速が正しく測定できていない可能性がある。

4.2 外部風向と測定風向の風向差

各点における瞬時の風向がアプローチフローの風向とどの程度一致し得るのかを把握するために、瞬時風向とアプローチフローの差の確率密度分布及びそこ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。図7に検討する風向モニター点の平面配置を示す。各平面位置(鉛直ライン)毎にPIV撮影をした高さ方向4断面のデータがある。なお、P1条件についてはLine Cの結果は省略する。以降に示す確率密度分布のグラフは、縦軸が確率密度、横軸は外部風向からの風向差である。この風向差は、 -180° から 180° の範囲とし、測定風向がアプローチフローと一致する際は差が 0° 、アプローチフローに対して時計回りを示す際は正の値となるように設定している。

図8に模型中央(Line C)での各測定高さにおける風

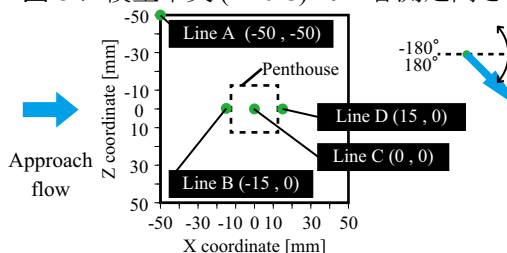


図7 測定点の概要及び風向の定義

向差の確率密度分布を示す。両条件とも測定断面が屋上から高くなるにつれて風向差が 0° の位置での山が高くなっていることから、高い位置ほど高精度で風向がモニターできることがわかる。両条件とも低い位置(Y=5, 10 mm)では目立った山は見られず様々な風向が計測されているが、Case1Hの0.0125Hでは $\pm 180^{\circ}$ の位置でピークが確認されることから逆流が生じていることがわかる。Case1Mでは0.15Hでの分布が概ね0.1Hと一致しているが、Case1Hでは0.05Hより0.075Hの方が精度が良いことがわかる。

図9にLine Cを除く3ラインの確率密度分布を示す。Y=5 mmの高さではLine Cと同様に、様々な風向を示すラインが多いが、Case1M_P1のLine D、Case1H_P1のLine B、Line Dにおいて $\pm 90^{\circ}$ で山が見られることがわかる。これらの位置では逆流によって塔屋側面を伝う気流が生じるため、風向が主流直交方向を示すこ

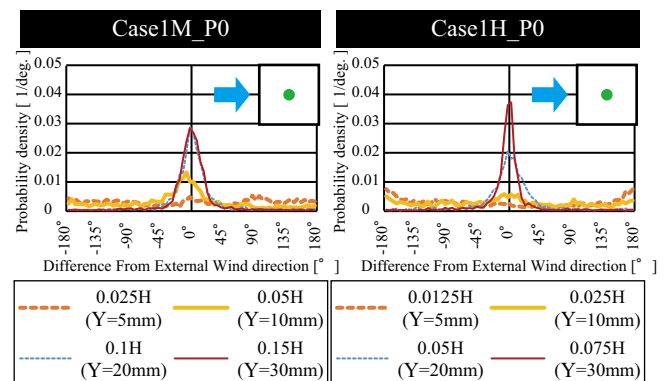


図8 LineCの確率密度分布

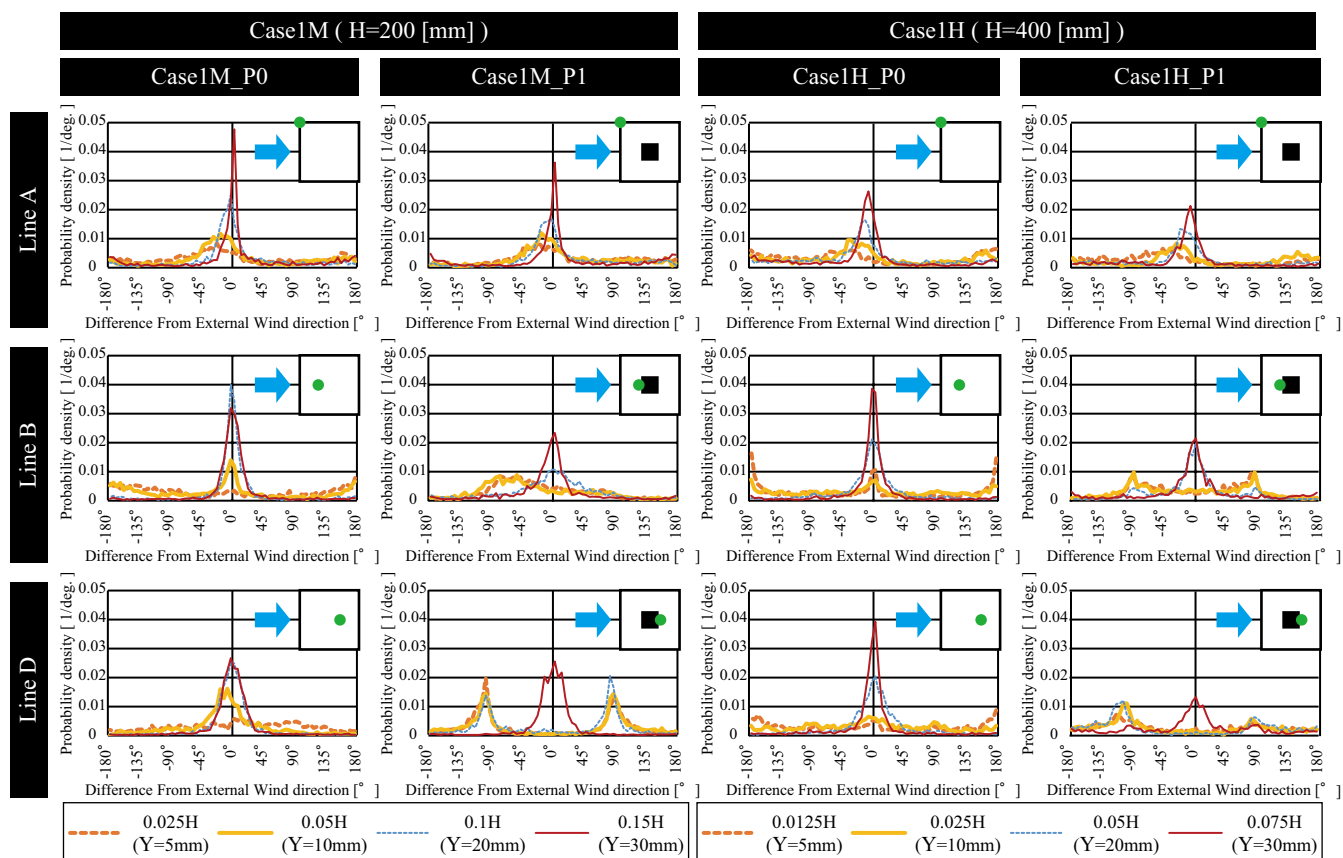


図9 LineC以外の確率密度分布
表2 外部風向からの差が±10°以内にある確率[%]

		Case1M_P0 (H=200 [mm])				Case1M_P1 (H=200 [mm])		
		Line A	Line B	Line C	Line D	Line A	Line B	Line D
	0.025H (Y=5 mm)	9.5	5.5	7.2	8.2	13.1	8.5	1.1
	0.05H (Y=10 mm)	16.0	20.6	19.7	24.8	16.8	5.5	0.9
	0.1H (Y=20 mm)	35.6	59.0	46.7	45.2	27.1	20.0	2.5
	0.15H (Y=30 mm)	49.5	55.8	49.8	47.8	42.1	39.6	43.2

とが原因と考えられる。どの条件も、Line Cと同様に測定位置が高くなるほど0°の位置で山が高くなっている。P1条件のLine D(塔屋風下側)ではY=30 mmでも0°で山は見られるものの、塔屋の影響により他の測定位置より精度は低くなる。Line A(風上側端部)ではY=20 mm以下の高さでは差が負の値を示す位置に山が見られる。これは、風上壁面で剥離した気流が斜めに流れているためと考えられる。

確率密度分布を-10°から10°の範囲まで積分することで、風向差が±10°の範囲に属する確率を算出し、精度を評価した結果を表2に示す。Case1Mの条件のみ示すが、総じて0.05Hの高さまでは低く、50%を上回る測定位置がP0条件のLine Bの2点のみであった。また塔屋の影響により、P1条件ではLine Dの0.1Hの

高さまでは正しい風向を測定できず、Line BもP0条件より精度が低くなることがわかる。

5. まとめ

本報では、風洞でのPIV測定により、屋上近傍の水平断面の気流性状を把握し、外部風向との風向差を評価した。屋上面に近いほど風向の測定精度は低く、検討した平面位置では、風上側が高精度であった。次報では同じ模型条件で、LESによるCFD解析を行った際の結果及び実験結果と解析結果の比較を示す。

【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】

- 1) 西村宏昭、谷池義人: 二次元正方形角柱の変動風圧特性, 日本建築学会構造系論文集, No.533, pp37-43, 2000.7.

* 1 大阪大学工学部地球総合工学科 学部生
* 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)
* 4 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

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