

中高層建物の自然換気制御のための建物上空風速のモニタリング手法に関する研究
 (その3) 風速モニター位置による外部風向判定精度に関するPIVを用いた検討

**Wind Velocity Monitoring above Mid- to High-Rise Building for Natural Ventilation Control
 (Part3) Difference in Accuracy of Wind Direction due to Monitoring Position Using PIV**

学生会員 ○佐藤 可奈 (大阪大学)
 技術フェロー 山中 俊夫 (大阪大学) 正会員 小林 知広 (大阪大学)
 学生会員 明石 大 (大阪大学)

Kana SATO^{*1}
 Toshio YAMANAKA^{*1}
 Tomohiro KOBAYASHI^{*1}
 Hajime AKASHI^{*1}
 *1 Osaka University

Mid- to high-rise buildings are often provided with a 2-D anemometer on the roof top. The measured data of external wind is available to control building operation, such as natural ventilation (NV). In utilizing these data, the external wind direction and velocity shall appropriately be measured, however due to the complex airflow around the roof top, these cannot be measured properly depending on the anemometer position. The purpose of this paper is to evaluate the accuracy of estimation of external wind direction based on a data regarding horizontal distribution of wind above the building by using PIV in wind tunnel.

1.はじめに

中高層建物では屋上に風向風速計を設置する場合が多いが、適切な設置位置をまとめたガイドラインは無い。中高層建物のような構造物の屋上では、風上側隅角部で生じる剥離流や平面上部で生じる逆流により非定常性の大きな気流場が形成される¹⁾。このような背景から屋上で外部風向風速が適切に測定されているとは限らず、その精度は設置位置によって異なるため、屋上近傍気流性状の把握は重要と言える。例えば有森・甲谷ら²⁾は単純な建物形状で風洞実験により鉛直断面での屋上近傍気流の測定を行っているが、水平方向の風向に着目した研究は多くない。本研究では主に屋上直上部における水平断面の気流場に着目し、測定器設置想定位置での風向・風速と実際の外部風向・風速との差を風洞実験及びCFD解析により評価し、建物形状や条件ごとに適切な外部風向風速の測定位置の検討を行う。これにより外部風速計測に基づく自然換気口制御へと繋げることを最終目的とする。本報では、風洞実験により外部風向をパラメータとして建物上部の水平断面でPIVにより風向を面的に測定し、外部風向との差を算出することで建物屋上各所での外部風向判定精度を評価した結果を報告する。

2.風速測定実験概要

建物屋上近傍での水平断面における風速及び風向分布を測定することを目的として、時系列PIVを用いた風速測定実験を行った。実験は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:1.8m)で行った。図1に風洞の断面図を示す。実験模型は中高層の矩形建物を想定し、縮尺を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。図1に示すように、実験模型屋上平面の中心部に原点を取り、主流方向にX軸、主流直行方向にZ軸を設定した。図2にアプローチフローの風速比及び乱流強度の鉛直分布を示す。ここで示すアプローチフロー風速は、模型を設置していない状態の風洞内で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分間測定して得られた結果である。風洞内風速は、床上1,000 mmの高さに設置したピトー管で測定し、10 m/sとなるように設定した。

実験建物模型の寸法を図3に示す。建物模型は屋根伏形状が100 mm角の正方形で、高さはH=200 mmの1:1.2角柱とした。この建物模型に対して直行する風向(0°)と対角線方向の風向(45°)の外部風における検討を行い、風洞実験を行った。

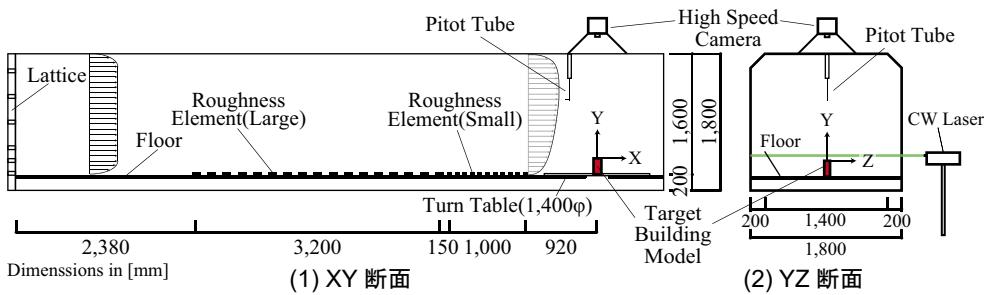


図1 風洞断面図

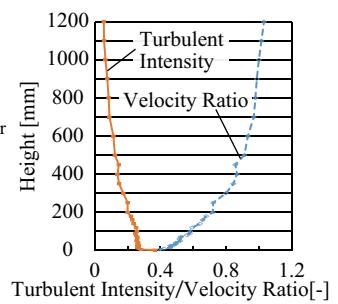


図2 アプローチフロー

3. PIV 解析概要

PIV 測定の可視化は煙発生器(日本カノマックス, 8304)で発生させた煙を模型上流から流入させることを行った。光源にはCW:YAG レーザー(日本カノマックス, CW532-10-3W)を用い、風洞側面からアクリルガラス越しに水平に照射して風洞上部に設置した高速度カメラ(カトウ光研, K8)により 1 秒当たり 1500 枚の撮影間隔で 1 秒間画像を撮影した。PIV 測定を行った水平断面は、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 の 4 断面とした。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は直接相互相關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再帰的相関法を用い、瞬時の速度場を計算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. 外部風向と測定風向の風向差

4.1. 各モニタ位置での風向特性の把握

各点における瞬時風向がアプローチフロー風向とどの程度一致し得るかを把握するため、瞬時風向とアプローチフロー風向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、各評価点での風向の測定精度を評価する。図 5 に本報で検討を行う瞬時風向のモニタ一点の平面位置 5箇所を示す。各平面位置において図 4 に示す鉛直 4 高さにモニタ一点を想定するため、検討するモニタ一点は計 20 点である。ここでは 5 つの平面位置をラインと称し、Line A から Line E と表記する。そのため各ラインで PIV 測定を行なった高さ方向 4 点のデータが存在する。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。風向差は -180° から 180° の範囲とし、各点で測定した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を示すものとする。

図 6 に各測定ラインにおける風向差の確率密度分布を示す。外部風向 0° 条件では、モニタ一点が高いほど

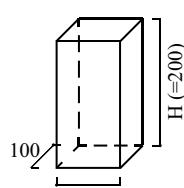


図 3 測定対象模型 [mm]

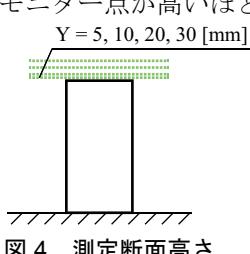


図 4 測定断面高さ

表 1 PIV 測定の概要	
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]
Frame Rate	1500 [fps]
Sampling Time	1 [s]
Laser Output	3 [W]

精度良く風向をモニターすることができ、低い位置では様々な風向を示していることが分かる。外部風向に対して対称なラインである Line A と Line D に着目すると、Line A では負の風向差、Line D では正の風向差に偏っている。つまり建物の外側に向かう風向の気流が多く計測されており、この傾向は測定点高さが低いほど顕著となる。これは気流がよどみ点から放射状に広がるためと考えられる。Line B と Line E では対称な位置関係であるにも関わらず、分布傾向が若干異なっている。これは PIV 測定時にトレーサーが左右均等にうまく注入できていなかつたためと考えられる。外部風向 45° 条件では、Line C と Line E において断面の高さに関係なくピークが風向差 0° 付近に集中しており、この平面位置に風向風速計を設置した場合、当該風向については精度良く風向が計測できると言える。Line A についてもピークがおおむね風向差 0° 付近の位置に存在するが、Line C, E と比較して風向の変動幅が大きくなっている。これは、外部風が建物模型の角に衝突することにより、風向が 0° から少しづれてしまうことが原因であると考えられる。

確率密度分布を -10° から 10° の範囲まで積分することで、外部風向に対する差が ± 10° の範囲内で風向を計測することができる確率を算出し、精度を評価した結果を表 2 に示す。確率が 40 % を超える結果を網掛けで示す。外部風向 0° の条件を見ると、模型上高さ 30 mm (0.15H) ではほとんどのラインで精度よく風向を測定できている。屋上面から建物高さの 15% に相当する高さに風向風速計を設置することは容易ではない場合も多いと想定されるが、少なくとも建物高さの 5% (0.05H) ではどの平面位置でも風向計測の精度が良くないと言える。10% の高さに相当する 20 mm の結果を見ると、模型の中心のラインである Line C で精度が良くなることが分かる。これは高さ 10% 程度で剥離域外となつたためと考えられる。外部風向 45° 条件では、Line C と Line E で比較的精度良く風向を計測できることが分かる。特に Line C では高さにかかわらず精度良く計測ができるという結果となった。外部風向 0° と 45° 条件を比較すると、0° では高さが高くなるほど精度が良くなるが、45° ではどのラインでも精度と高さに関係が見られなかった。これは 45° では鉛直方向に明確な剥離が見られないことが原因と考えられる。

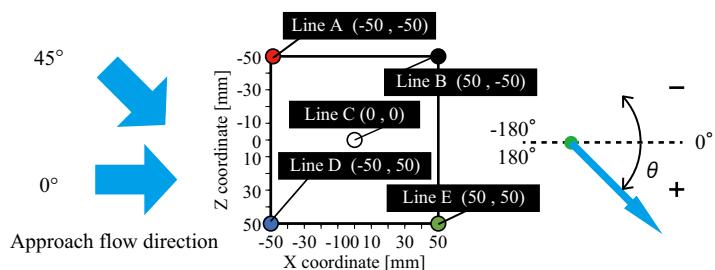


図 5 モニタ一点配置と風向の定義

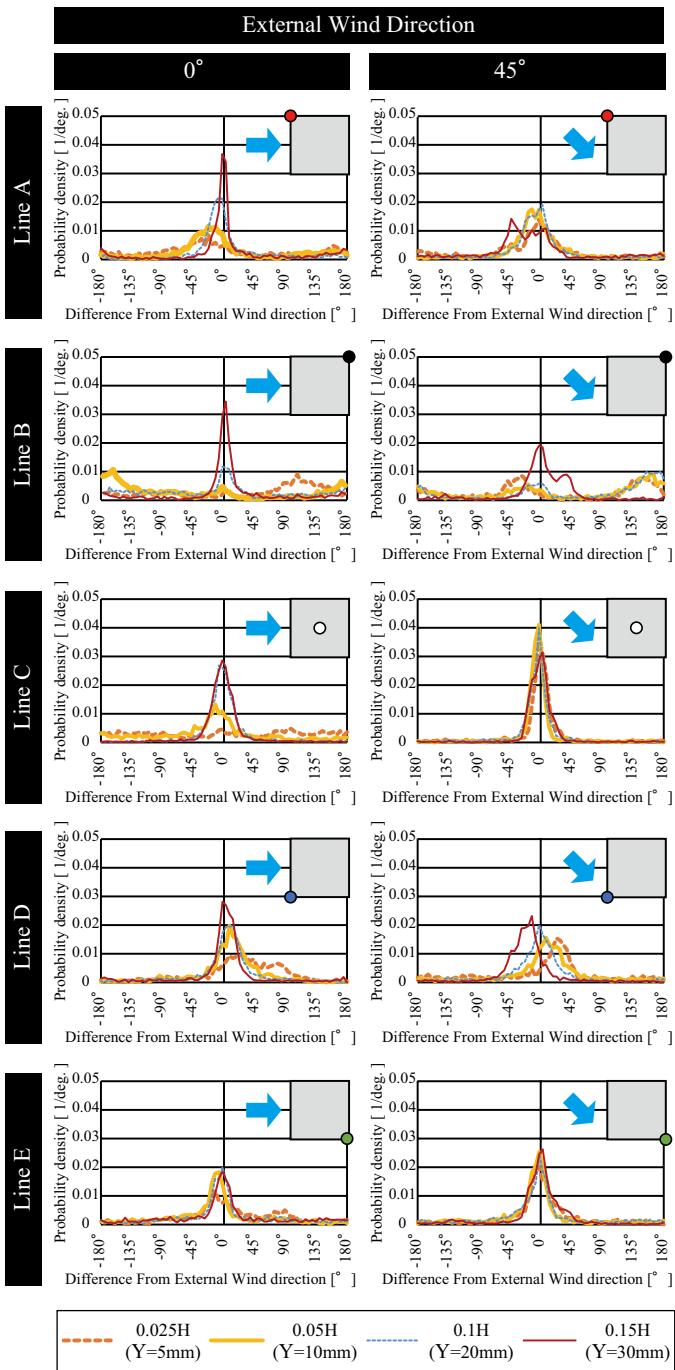


図 6 各モニター点で測定した風向の外部風向からの差の確率密度分布

4.2. 外部風向判定

実用的な外部風向判定精度を検証することを意図し、前節で示した確率密度分布から外部風向と測定風向との風向差を 16 方位に分類したヒストグラムを作成した。5 点の平面位置において高さごとに 16 方位に分類して瞬時風速の風向判定を行なった。また、16 方位中の最多風向の確率及び外部風向と同様の風向を示す確率も合わせて算出した。以降に示すヒストグラムでは、縦軸が当該風向を計測する確率、横軸が 16 方位に分類した場合の各位置での風向である。方位の定義を図 7 に示す。ここでは Z 軸の負方向を北と想定し、外部風向が 0° の場合は西風、45° の時は北西風に対応するよう表した。

表 2 外部風向からの誤差が ± 10° 以内となる確率

		External Wind Direction 0°				
		Line A	Line B	Line C	Line D	Line E
0.025H (Y=5 mm)		9.4	4.4	7.2	12.3	17.0
0.05H (Y=10 mm)		16.1	7.0	19.7	24.2	27.0
0.1H (Y=20 mm)		35.6	20.2	46.7	30.7	32.8
0.15H (Y=30 mm)		49.6	49.9	49.8	43.8	31.7
		External Wind Direction 45°				
		Line A	Line B	Line C	Line D	Line E
0.025H (Y=5 mm)		23.8	4.1	55.2	8.7	35.6
0.05H (Y=10 mm)		28.9	6.8	61.6	21.6	41.2
0.1H (Y=20 mm)		32.9	10.4	54.8	33.0	37.0
0.15H (Y=30 mm)		19.1	33.8	54.5	22.2	42.5

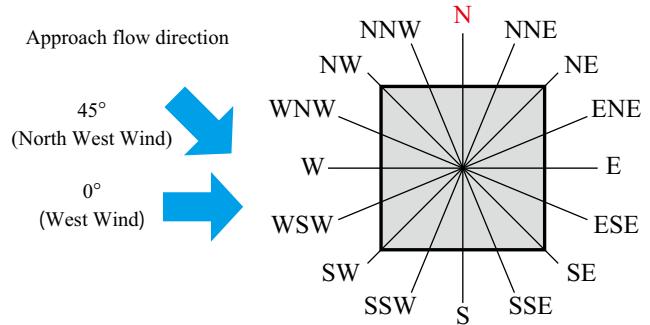


図 7 想定した方位と外部風向との対応

図 8 に各断面高さにおけるヒストグラム及び各測定ラインごとの最多風向・外部風向を示す確率を記載した最多風向をまとめて示す。確率については上段に最多風向、下段括弧内に外部風向を示す確率を記載する。外部風向 0° 条件を見ると、高さ 0.025 H では外部風向と同じ風向を示すのは Line E のみであった。しかし、Line E と対象な位置の Line B を見ると、最多風向は北北東であり外部風向を示す確率も 4.7% と低いことから Line E の信頼性は低く、模型風下側のラインである Line B, E では様々な風向を示すことが分かる。Line B と Line E のこの違いは前述のトレーサー注入が十分に均一でなかったことが原因と考えられる。高さ 0.05 H では高さ 0.025 H と比較して外部風向の判定精度が向上してはいるものの、十分に高精度とは言い難い。高さ 0.1 H では全ての測定ラインで最多風向が外部風向と同じ方向を示した。特に模型中央に位置する Line C での精度が最も良く、確率が 50 % 以上となった。高さ 0.15 H でも全て外部風向と同じ風向を示し、確率多くのモニター点で 50 % 以上を示した。

外部風向 45° 条件を見ると、高さ 0.025 H では Line C で比較的精度良く風向を判定できることが分かる。さらに Line C ほど確率は高くはないが、Line A と Line E でも最多風向が外部風向と一致している。これらの Line A,

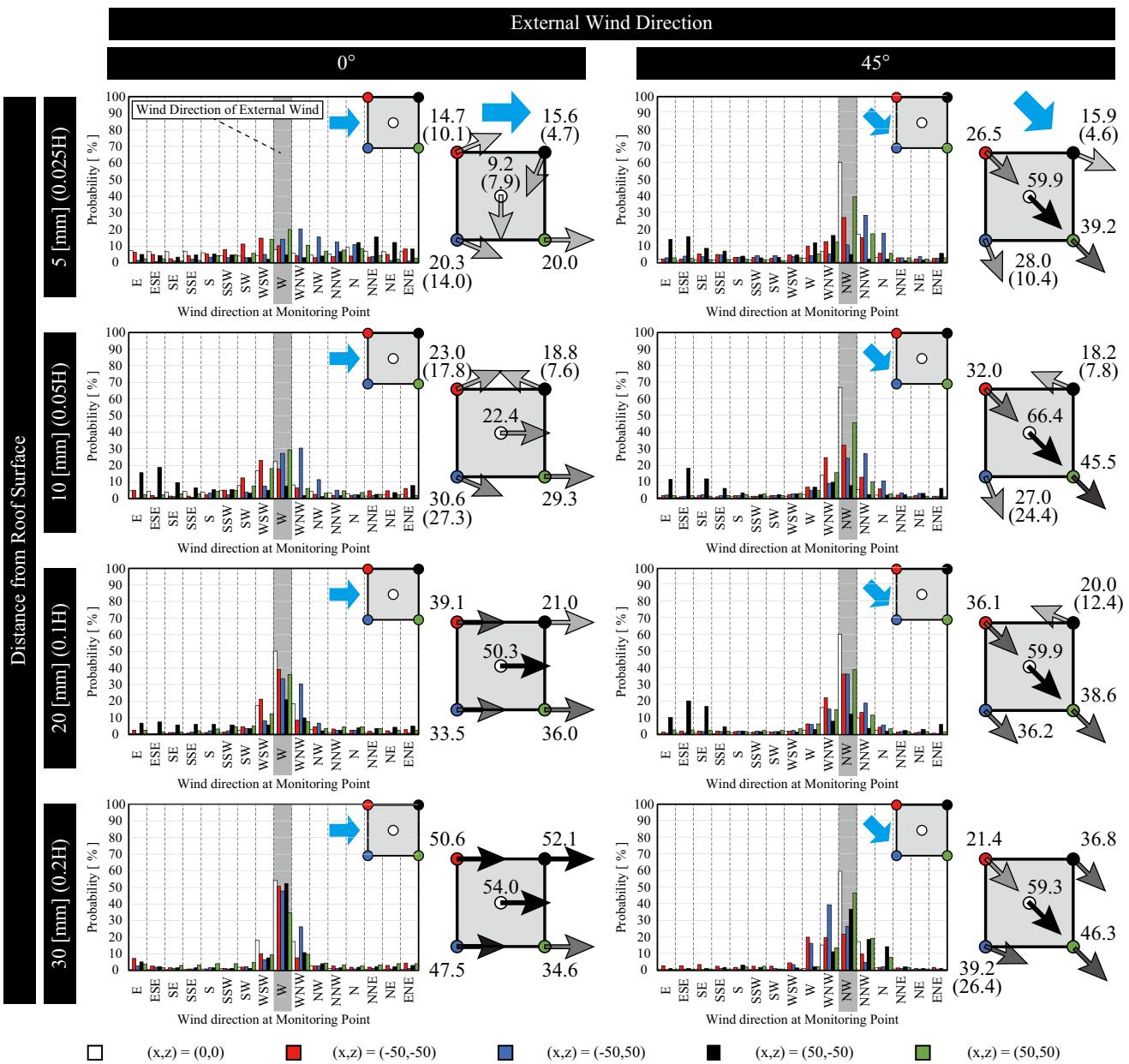


図 8 16 風向に分類した際の各モニター点における風向のヒストグラムと最多風向・外部風向を計測する確率

C, E の 3 ラインではすべての高さで外部風向を精度よく測定できている。特に Line C ではすべての高さで外部風向と一致する確率が 50% を超えている。外部風向に対して対称的な位置関係の Line B と Line D では高さ 0.025 Hにおいて、それぞれ外部風向から反時計回りに 22.5°、時計回りに 22.5° ずれた風向を示している。これは模型に沿った気流の影響と考えられる。その他の断面高さにおいては、Line B では外部風向と反対側の風向を示し、Line D で外部風向から少しずれた風向を示しており、Line B, D では高さにかかわらず風向を正確に判定することは難しいと考えられる。

5. おわりに

本報では、建物屋上近傍の水平断面における単体建物を対象とした PIV 測定により、外部風向判定精度を評価

した。外部風向 0° 条件では高さ 0.1 H での全測定ラインで外部風向を判定することができ、特に模型中心ラインである Line C で精度が良い結果となった。外部風向 45° 条件では、高さに関わらず模型の中心線上の鉛直ラインである Line A, C, E で精度よく風向を判定できた。次報では同様の条件で、LES 解析を行った際の外部風速及び外部風向測定精度の結果を示す。

【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。ここに記して謝意を表します。

【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.
- 2) 有森、甲谷、山中ら：屋上設置物の配置計画のための屋上近傍気流場に関する研究（その 1）PIV による屋上近傍気流性状の把握，日本建築学会近畿支部研究報告集，第 51 号，環境系, pp125-128, 2011.6.