

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5) 1:1:2 建物を対象とした外部風向・風速のモニタリング特性の資料整備 Wind Velocity Monitoring above Mid- to High-Rise Building for Natural Ventilation Control (Part 5) Technical Data for Monitored External Wind Velocity and Direction for 1:1:2 Shaped Building

○明石 大 (大阪大学) 小林 知広 (大阪大学) 山中 俊夫 (大阪大学)

Hajime AKASHI^{*1}

Tomohiro KOBAYASHI^{*1}

Toshio YAMANAKA^{*1}

^{*1} Osaka University

In order to measure external wind velocity and direction for controlling natural ventilation (NV), anemometers are often installed at the roof top of mid- to high-rise buildings. However, for the complex flow field caused by separation flow, the accuracy of the measurement is not well-known. The final goal of this research is to propose an advanced method for controlling NV operation by enabling accurate monitoring of wind velocity and direction. This paper organizes technical data for monitoring point of wind velocity and direction above 1:1:2 shaped building by investigating instantaneous horizontal distribution of velocity fields using Large Eddy Simulation (LES).

はじめに

本研究では中高層建物屋上近傍の水平面気流場に着目し、建物屋上部における外部風向・風速計設置想定位置での風向・風速のモニター結果と実際の外部風との差を風洞実験およびCFD解析により評価を行い、風向風速計の適切な設置位置を検討可能にするための基礎的な知見の提供を目的とする。これにより、自然換気口の高度な制御手法の提案へ繋がると思われる。

本報では、Large Eddy Simulation (以下LES) を用いて既報¹⁾で報告した風洞実験を再現したCFD解析を行い、1:1:2単体角柱模型を対象に外部風向や塔屋の有無をパラメータとして各風速モニター点での結果から実用的な外部風向判定を行い、風向風速計を屋上一か所に設置する際の妥当性について検討し整備した結果について示す。

1. CFD解析概要

LESを用いて既報¹⁾の風洞実験を再現したCFD解析を行う。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とした。対象模型は縮尺を1/300と想定し、屋上平面寸法(L)が100 mm角の正方形で、建物高さH=200 mmの1:1:2単体建物とし、屋上に塔屋が無い条件(Case 1M)と屋上中央部に塔屋(25 mm角の立方体)がある条件(Case 1M-P1)の2

条件を対象とした。外部風向 θ は 0° , 22.5° , 45° の3条件で解析を行った。**Fig. 1**に $\theta = 0^\circ$ での解析領域およびメッシュレイアウトを、**Fig. 2**に外部風向条件を示す。

Table 1にLESの解析概要を示す。一般に屋上近傍気流は剥離域内で乱れが強くなるが、本研究では風向と風速の時間変動の把握を目的としているためLESを用いた。Subgrid scale (SGS) 渦粘性モデルにはSmagorinsky-Lillyモデルを用い、Smagorinsky定数(C_s)は0.1とした。標

Table 1 CFD Analysis Condition

CFD Code	Fluent 19.2			
Turbulence Model	Large Eddy Simulation (Smagorinsky-Lilly Model : C _s =0.1)			
Algorithm	Case 1M	SIMPLE		
	Case 1M-P1	PISO		
Discretization Scheme for Advection Term	Case 1M	Central Differencing		
	Case 1M-P1	Bounded Central Differencing		
Time Step	0.0005 sec. (2 kHz)			
Pre-conditioning Term	2,000 time steps (1 sec.)			
Total Calculation Time	Case 1M	22,000 time steps (11 sec.)		
	Case 1M-P1	12,000 time steps (6 sec.)		
Boundary Condition	Inlet	Smirnov's Method ³⁾ based on Experimental Value		
	Outlet	Gauge Pressure : 0 [Pa]		
	Walls	Two Layer Model of Linear-Log Law		
	Symmetry	Free slip		
Total Number of Cells		0°	22.5°	45°
	Case 1M	1,353,980	3,781,842	3,757,000
	Case 1M-P1	2,398,560	4,411,872	3,339,008

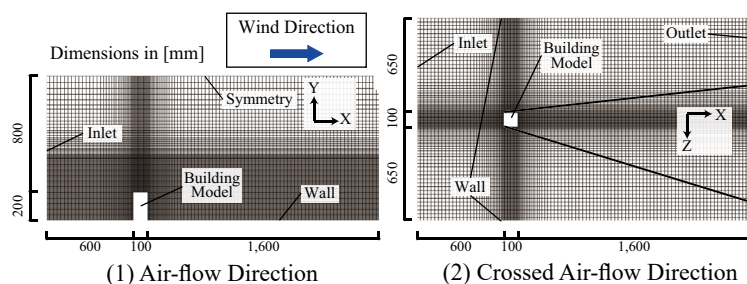


Fig. 1 Mesh Layout for CFD Analysis

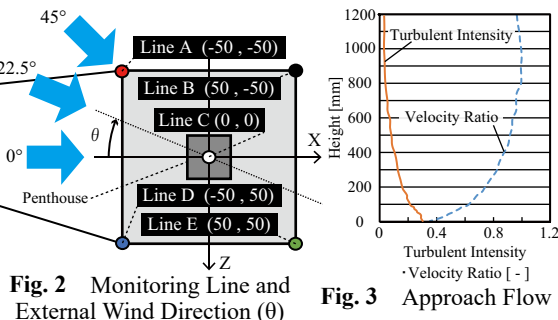


Fig. 2 Monitoring Line and External Wind Direction (θ)

Fig. 3 Approach Flow

準 $k\text{-}\epsilon$ モデルの計算結果を初期条件として、時間刻み幅 $5.0 \times 10^4 \text{ sec.}$ (2.0 kHz) で、2,000 time steps (1.0 sec.) の助走計算の後、Case 1M では 20,000 time steps (10.0 sec.) の、Case 1M-P1 では 10,000 time steps (5.0 sec.) の本計算を行った。流入境界条件として、既往の研究²⁾で同じ風洞内環境下で測定されたアプローチフローの風速と乱流エネルギーと乱流散逸率の算定値を高さごとに与え、Smimov ら³⁾の手法に基づき風速変動を与えた。Fig. 3 に用いたアプローチフローの風速比と乱流強度の鉛直分布を示す。

Fig. 2 に評価を行う際の建物屋上平面の座標設定および風向・風速のモニター点の平面位置を示す。検討水平断面は、屋上面からの高さを Y 座標として $Y = 0.05L$ (5 mm), $0.1L$ (10 mm), $0.2L$ (20 mm), $0.3L$ (30 mm) の 4 面とした。5 つの平面位置で鉛直方向に 4 点、計 20 点のモニター点を想定する。ここでは 1 つの平面位置で鉛直方向に 1 列

で 4 点存在するモニター点をまとめて 1 つのラインと称し、Line A から Line E と表記する。

2. 解析結果

2.1 外部風向判定

実用的な外部風向判定を意図して、屋上近傍の各モニター位置での局所的な風向を 16 方位 (分級幅を 22.5°) に分類したヒストグラムと各モニター点での最頻風向を示した図を Fig. 4 に示す。各ラインで高さごとに 16 方位に分類し、瞬時の風向判定を行っており、ヒストグラムの横軸は各モニター点で示す風向、縦軸はその風向を示す確率である。ここでは便宜上 Z 軸の負の方角を北と設定し、 $\theta = 0^\circ$ は西風、 $\theta = 45^\circ$ は北西風に対応するよう表す。なお、ヒストグラム中の網掛け部は外部風向を示し、グラフの右隣に併記する図は各測定点での最頻風向と確率

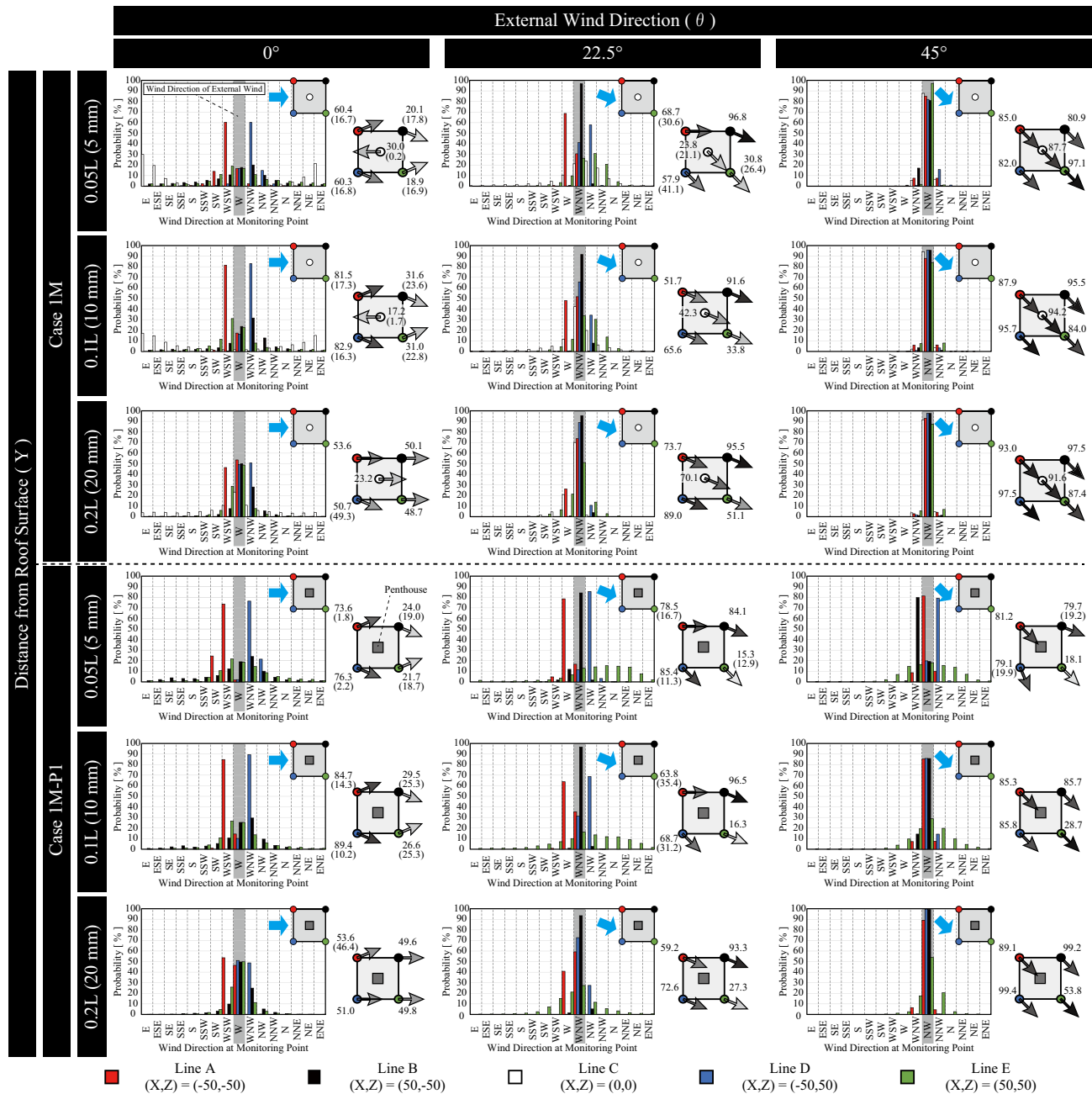


Fig. 4 Histogram of Monitoring Wind Direction and Most Frequent Direction

を示す。確率については上段に最頻風向、下段括弧内に外部風向を示す確率を記載しており、括弧書き無しは最頻風向が外部風向と等しいことを意味する。

まず、Case 1M の $\theta = 0^\circ$ では、 $Y = 0.1L$ 以下では全点で最頻風向が外部風向と異なるため低い設置位置では個々の測定点から外部風向の判定は困難である。 $Y = 0.2L$ では外部風向を示す測定点が多いが、その確率は 50 % 程度のため最頻風向が外部風向を示す確率が高いとは言えない。 $\theta = 22.5^\circ$ では、 $Y = 0.05L$ では Line B を除いて外部風向である西北西から 22.5° 異なる風向が最頻値となり、Line B では高い確率で西北西を示している。 $Y = 0.1L$ 以上ではどの測定ラインにおいても最頻風向が西北西を示し外部風向と一致するが、 $Y = 0.1L$ では外部風向を十分高い確率で正しく計測可能とは言いがたい。 $\theta = 45^\circ$ では、今回検討を行った全てのモニター位置で 80 % 以上の確率で外部風向と同じ風向を示す結果となった。

Case 1M-P1 では、Case 1M と概ね類似した傾向を示すが、 $\theta = 45^\circ$ の風下側 Line E では外部風向を示す割合が Case 1M より低下しており、 $\theta = 22.5^\circ$ の風上側 Line A、D の $Y = 0.1L$ や $\theta = 45^\circ$ の Line B、D の $Y = 0.05L$ では最頻風向が Case 1M と異なることから、 $\theta = 22.5^\circ$ の Line B 以外や $\theta = 45^\circ$ の風上以外では塔屋の側壁を沿う気流や後流が風向変動に多少の影響を及ぼした可能性がある。

2.2 外部風向と測定風向の相関性

前節では外部風向 3 条件について考察を行ったが、実際は外部風はどの方角からも接近し得るため、本節では測定ラインを Case 1M では隅角部の Line A と平面中心部の Line C の 2 ラインに、Case 1M-P1 では Line A の 1 ラインに固定し、16 方位から気流が接近する際にモニター点

で計測される風向と実際の外部風向の相関性について検討を行う。これは風向風速計を屋上に一か所のみ設置する際の設置位置の妥当性を検討するための一助となる基礎的な技術資料の提供を意図している。以降のモニター風向については、CFD 解析を行った 3 つの風向条件の結果から屋上平面の対称性を用いて算出した。

Fig. 5 に Case 1M の、Fig. 6 に Case 1M-P1 の各ラインにおけるモニター風向と外部風向の相関について示す。本節で示す最頻風向は分級幅 4.5° でモニター風向を分割した際の最頻値で、横軸は外部風向 θ 、縦軸は各モニター点における局所的な風向を設定しており黒色のプロットが θ における最頻値を示す。なお、図中には各モニター点における確率密度分布を併記しており、プロット位置がグラフのピークになるように配置した。図の 1:1 の直線上にプロットが存在するときはその位置で外部風向が正しく計測できる可能性が高いことを示す。

Case 1M における、建物隅角部である Line A の最も低い検討高さである $Y = 0.05L$ では、最も差があったモニター点で 22.5° の差があり、多くのモニター点で 1:1 の直線上に最頻風向が存在しない。 $Y = 0.1L$ では最大で 18° の差があり、 $Y = 0.05L$ と比べると改善が見られる。 $Y = 0.2L$ では屋根面に近い断面の結果と比較して 1:1 の直線に点が集結しており、確率密度分布も全モニター点で明確なピークが見られることから信頼性の高い外部風向計測が可能と考えられる。 $Y = 0.3L$ でも概ね同様の結果が見られた。一方、屋上中央部である Line C の $Y = 0.05L$ では、1:1 の直線から最頻風向が大きく離れている点が 4 点見られるが、建物に垂直に気流が接近する風向であり、剥離域内の渦の影響で真逆の風向を計測すると考えられ

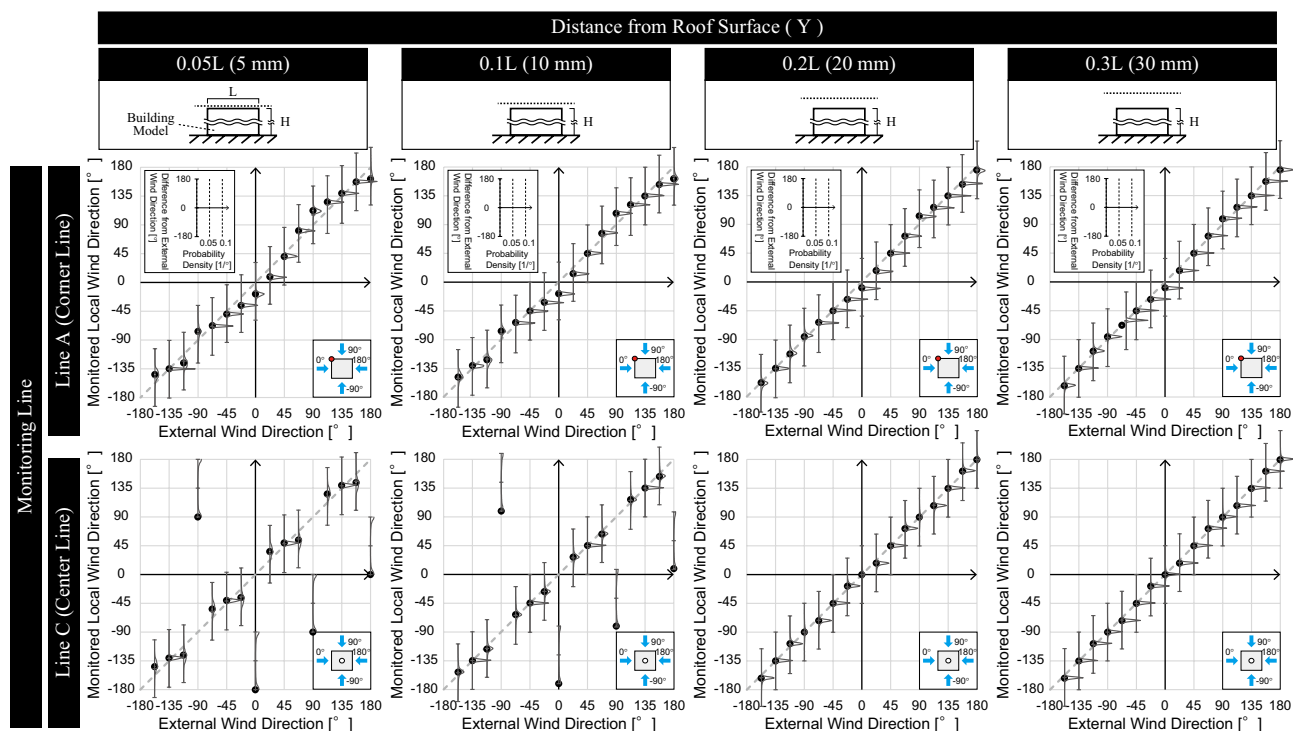


Fig. 5 Correlation between External Wind Direction and Monitoring Wind Direction (Case 1M)

る。その他の外部風向でも 1:1 の直線から多少のずれが見られる。 $Y=0.1L$ でも $Y=0.05L$ 同様、直線から離れた点が見られるが、 $Y=0.2L, 0.3L$ では外部風向 16 風向のうち 8 風向で 1:1 の直線上に点が存在し、他の 8 風向でもずれが 4.5° であり、高確率で風向計測が可能と言える。

Case 1M-P1 の Line A の $Y=0.05L$ の高さでは、 $\theta=-157.5^\circ, -112.5^\circ$ の条件において 1:1 の直線から 67.5° のずれが見られ、他の風向でも Case 1M より直線上からプロットが乖離している。 $Y=0.1L$ で最も差があったモニター点で 22.5° の差があり、Case 1M の $Y=0.05L$ と同等の結果であったが、 $Y=0.2L$ 以上では類似した結果となった。

2.3 外部風向と測定風速の相関性

前節に次いで本節ではモニター風速と外部風向の相関性について検討を行う。これは、前節における相関性から外部風向を予測した後、計測された風速から外部風速を補正して予測するための資料提供を意図している。

Fig. 7 に各測定ラインにおけるモニター風速と外部風向の関係を示す。横軸は外部風向 θ 、縦軸は無次元風速の時間平均値とした。無次元風速は各モニター点での XZ 平面 2 次元スカラー風速をアプローチフローの建物高さ位置 (床上 200 mm) での風速で除したものである。

Case 1M 条件の Line A では、モニター点が風下側となる θ (-135° を除く) で $Y=0.05L, 0.1L$ では無次元風速が 0.8 以下を示しているが、他の風向・検討高さでは概ね 1.1 程度を示し過大評価をしており、1.0 程度を示す位置が少ない。このため、風圧係数が既知として実際のモニター値から風

圧を予測するには補正が必要である。Line C の $Y=0.2L$ までは屋上平面の対角線方向に気流が流入する条件では 1.1 程度を示すが、その他の風向では過小評価をしており、これは剥離域内の低風速域に位置するためと考えられる。

Case 1M-P1 の Line A では、モニター点が塔屋の風上側に位置する θ ではやや過大評価をするが、風下側の際には $Y=0.2L$ までで Case 1M より過小評価をしている。

3. まとめ

本報では 1:1.2 単体角柱模型屋上の水平面気流場を対象に LES を用いた CFD 解析を行い、外部風向と塔屋の有無をパラメータとして風向・風速について各モニター点での結果と外部風との差を評価した上でその資料整備を行った。今後は、建物形状を変更した条件資料整備や外部風向・風速の簡易予測手法の提案が必要と考える。

【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】

- 1) 佐藤, 小林, 山中ら: 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 1), 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, 2020.3
- 2) 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, 2019.3, 論文番号: A-30
- 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, Issue2, pp.359-371, 2001.6

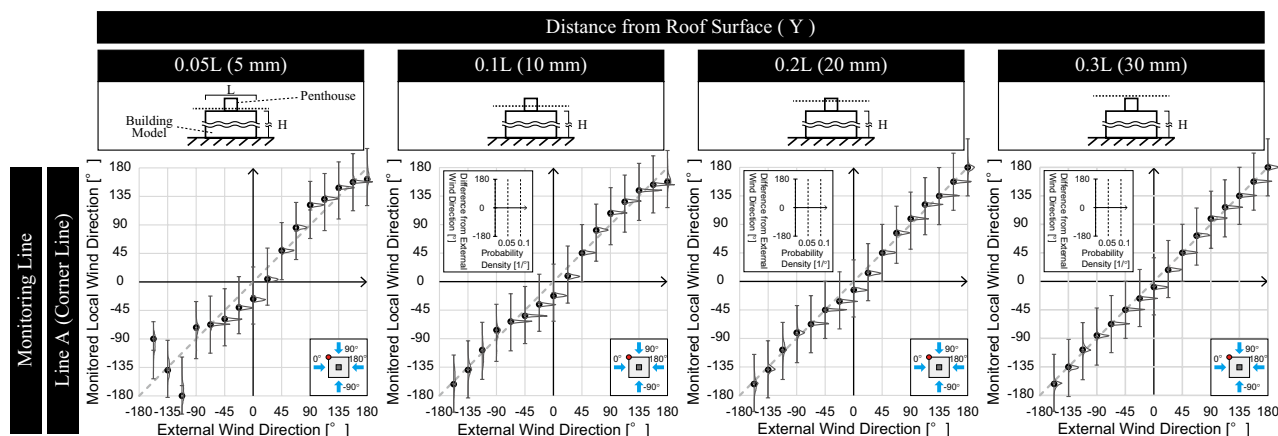


Fig. 6 Correlation between External Wind Direction and Monitoring Wind Direction (Case 1M-P1)

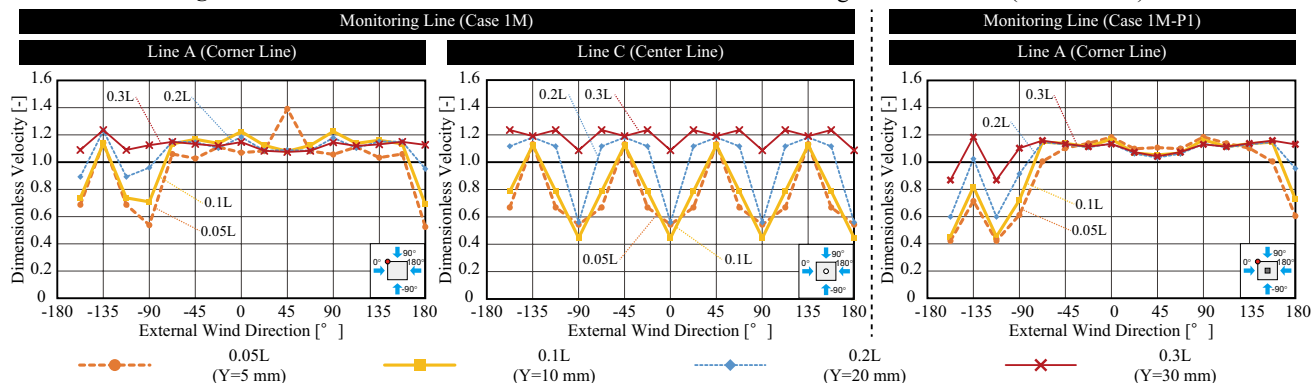


Fig. 7 Correlation between External Wind Direction and Monitoring Dimensionless Velocity