

集合住宅における自然換気による 排熱効果に関する研究

東京大学大学院 西村 彩子

第二回オープンソースCAEワークショップ

2009年11月7日 @東京大学

研究の背景

- ▶ 集合住宅は熱がこもりやすく、冷房負荷が大きくなりやすい
- ▶ 通風による排熱への期待は大きいですが、防犯やプライバシー保護の観点から、両側に大きな開口をとることができない場合が多い
- ▶ 集合住宅における窓のあり方を検討
- ▶ 自然換気利用を促進する提案



YKK ap ウィンドウ商品カタログより抜粋

研究の目的

▶片側壁面上のスリット開口

- ✓ 防犯上有利（幅200mm）
- ✓ 不在時や睡眠時も開放可能

➡ 排熱効果をシミュレーションにより把握し、設計に活用

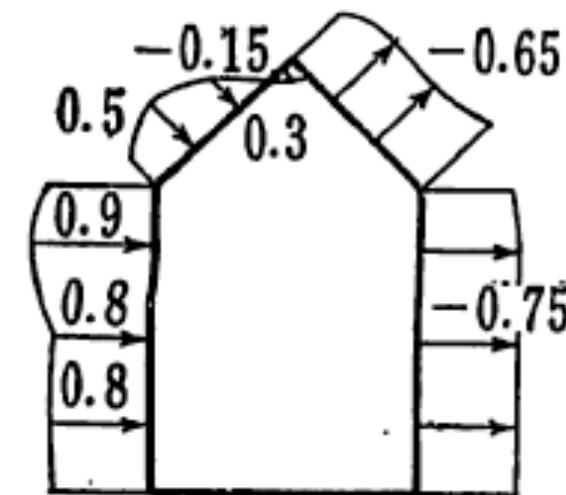
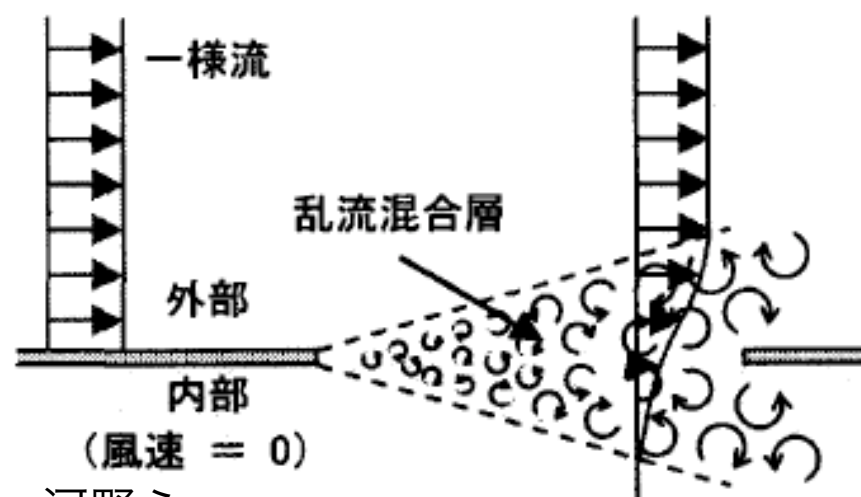


▶スリット開口の換気メカニズム

風の乱れによる換気
(乱流拡散)

>>

風圧係数差による換気



河野ら
片側開口居室の換気性状に関する研究
(2006)

研究の目的

▶片側壁面上のスリット開口

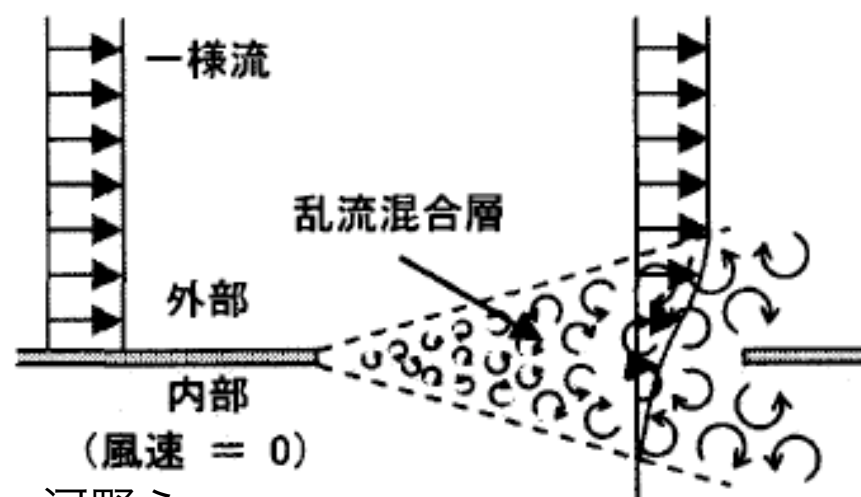
- ✓ 防犯上有利（幅200mm）
- ✓ **不在時**や**睡眠時**も開放可能

➡排熱効果をシミュレーションにより把握し、設計に活用



▶スリット開口の換気メカニズム

風の乱れによる換気
(乱流拡散)

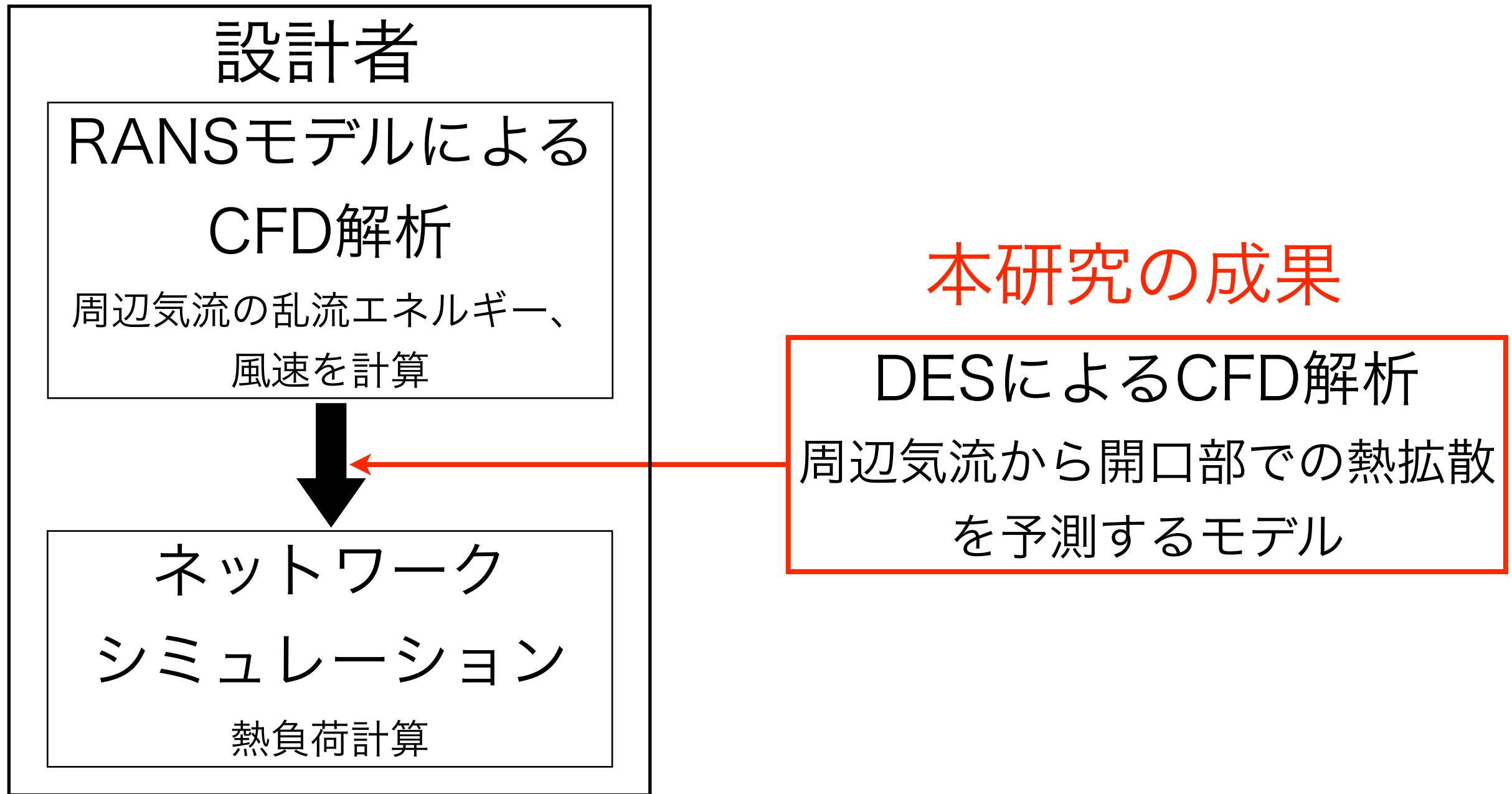


河野ら
片側開口居室の換気性状に関する研究
(2006)

乱流熱拡散：見積もるためにはLES/DESによる計算が必要

手間や計算負荷が大きく、建築設計の実務で用いるのは難しい

研究の目的



DES：シミュレーションの精度はいいが、計算負荷が大きく手間がかかり、実務に使えるとは言いがたい

RANS：周辺気流の解析であれば、今後は実務でも使うことができる

ネットワークシミュレーション：現状でも実務で熱負荷計算等に用いられている

研究フロー

1. 実在する集合住宅を対象としたCFD解析
を行う際の**建物モデルの精度**、**境界条件**の検討

⇔実測（両側開口解放時）との比較



2. 片側小開口解放時の開口周辺気流性状
再現に適した**乱流モデル**の検討(DES)

⇔風洞実験による開口周辺気流可視化、風速分布



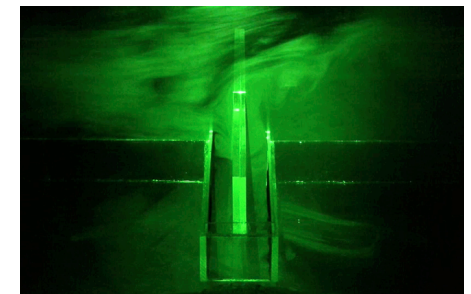
3. 片側小開口解放時の通風性状・温度変化再現

⇔実測（片側小開口解放時）との比較



開口部における乱流熱拡散モデル

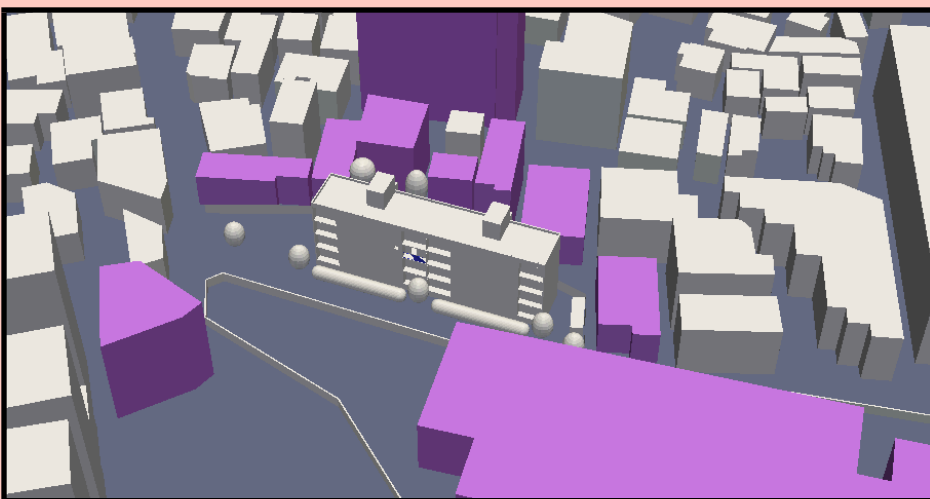
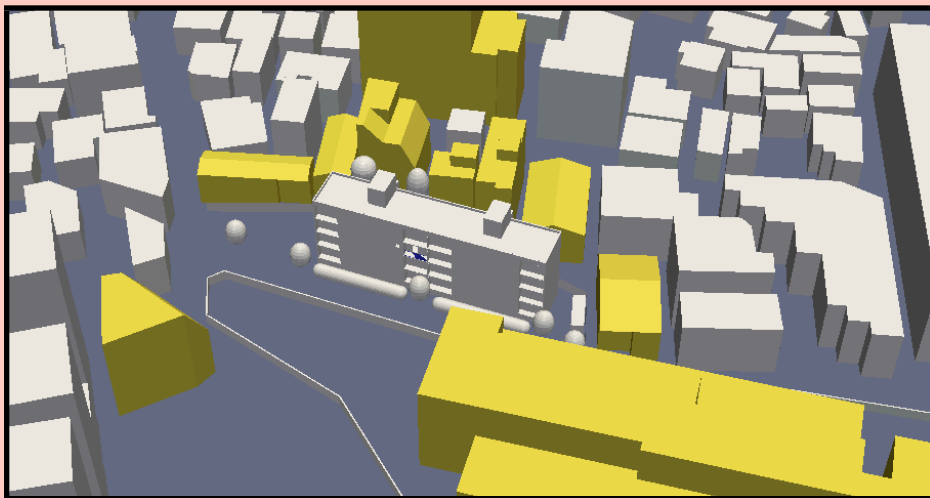
ネットワークシミュレーションによる
実測（片側小開口解放時）の再現



実在する集合住宅を対象としたCFD解析 を行う際の建物モデルの精度、境界条件の検討

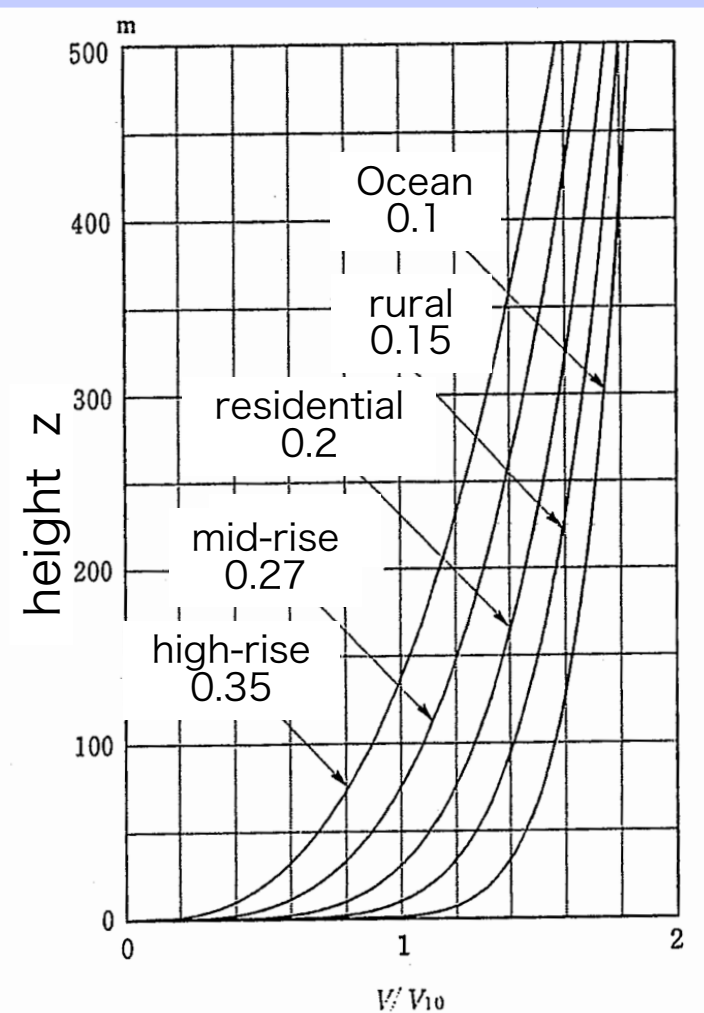
☞CFD解析(RNG k-epsilon)によるケーススタディを行い、
実測結果との誤差解析

①建物モデルの精度

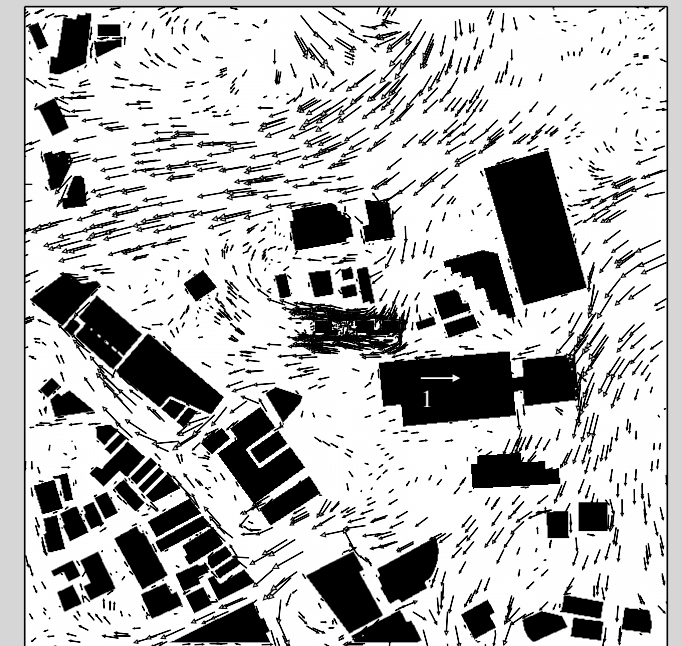


②流入境界条件

ベキ指数



周期境界条件



対象建物概要

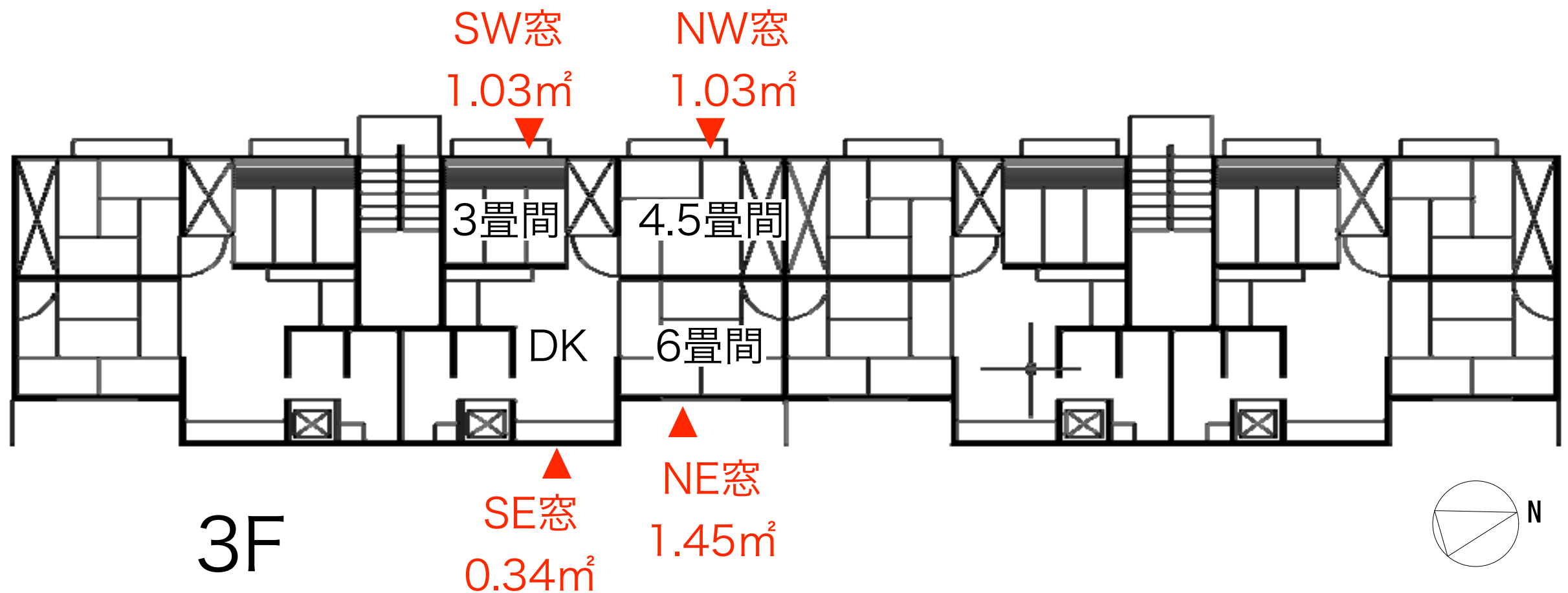


東京都新宿区

4階建RC造集合住宅

3F中央住戸

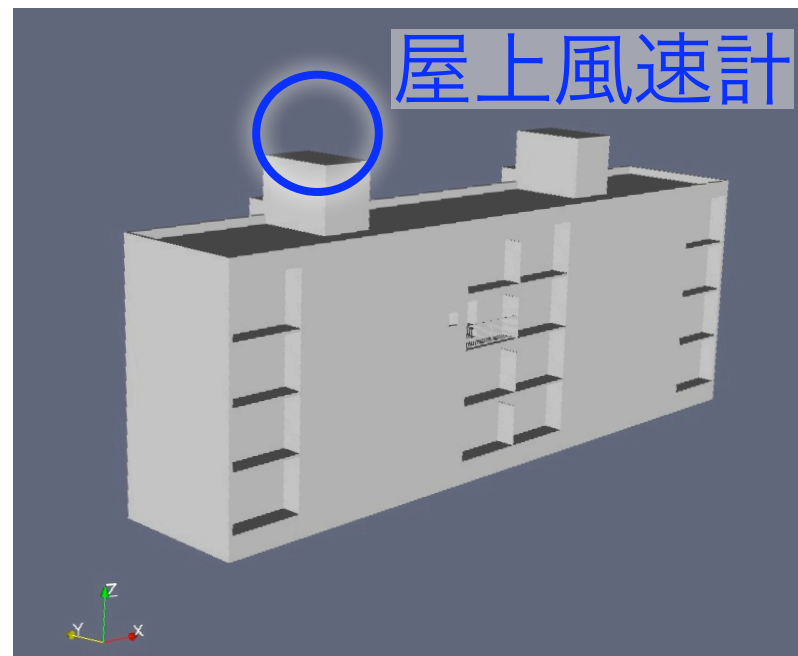
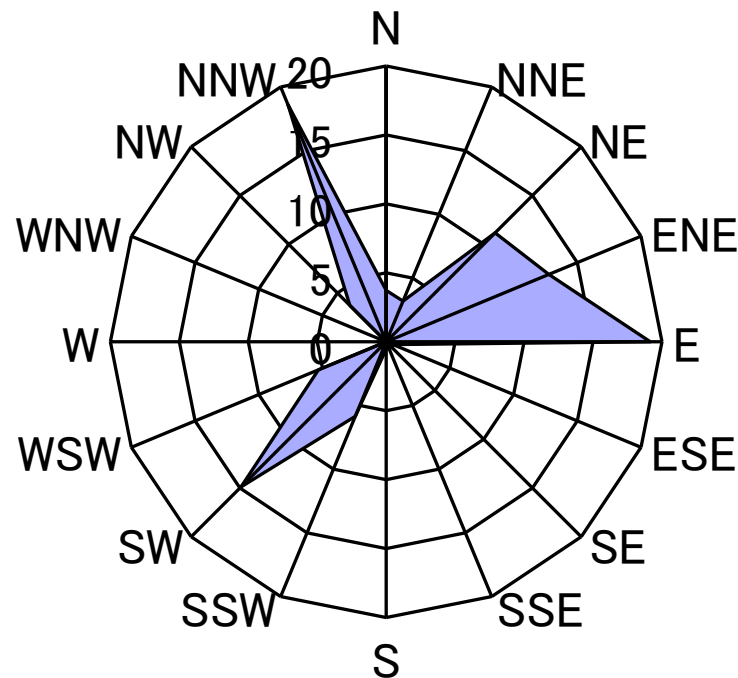
⇒開口は4つすべて開放



実測概要

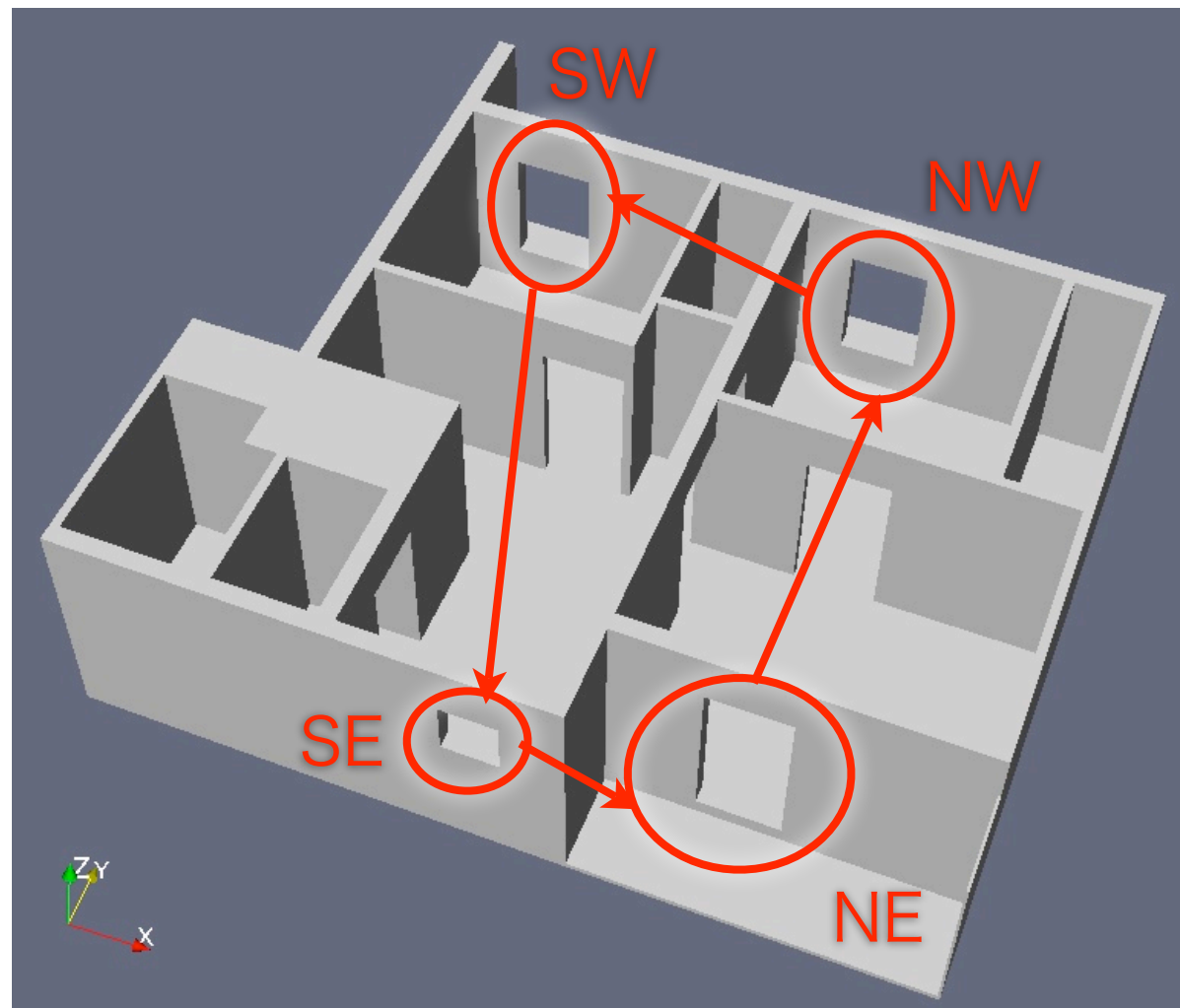
実測期間：
2008/9/5, 10/23, 27, 28,

- ▶ 屋上風速
南側階段室上で測定（0.1秒間隔）
- ▶ 実測期間における風配図
NNWとEが卓越している

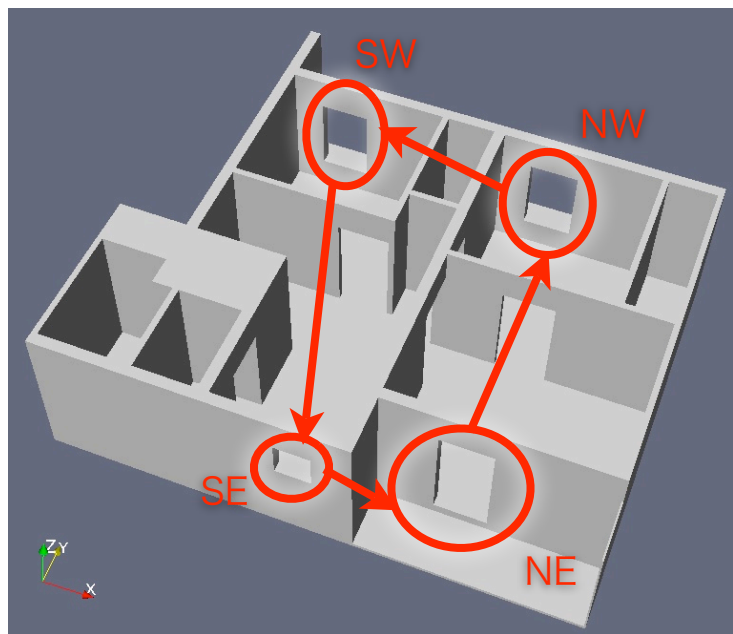


実測概要

- ▶ 開口面内6箇所（SEは4箇所） 1 開口ずつ順番に測定
- ▶ 1 測定あたり 0.1 秒間隔で 100 分間測定



実測概要



10分平均データから屋上風向がNNWのときのデータを取り出し、平均して用いた

9/5	測定対象窓 10分毎に分割	<table><tr><td colspan="10">NE1</td><td colspan="10">NW1</td><td colspan="10">SW1</td><td colspan="10">SE1</td><td colspan="10"></td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td></td></tr></table>	NE1										NW1										SW1										SE1																				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
NE1										NW1										SW1										SE1																																																															
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																						
10/23		<table><tr><td colspan="10">SE2</td><td colspan="10">SW2</td><td colspan="10"></td><td colspan="10"></td><td colspan="10"></td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td></td></tr></table>	SE2										SW2																																								0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
SE2										SW2																																																																																			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																						
10/27		<table><tr><td colspan="10">SW3</td><td colspan="10">NW2</td><td colspan="10">NE2</td><td colspan="10">SE3</td><td colspan="10"></td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td></td></tr></table>	SW3										NW2										NE2										SE3																				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
SW3										NW2										NE2										SE3																																																															
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																						
10/28		<table><tr><td colspan="10">SE4</td><td colspan="10">NE3</td><td colspan="10">NW3</td><td colspan="10">SW4</td><td colspan="10"></td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td></td></tr></table>	SE4										NE3										NW3										SW4																				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
SE4										NE3										NW3										SW4																																																															
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																						
10/30		<table><tr><td colspan="10">SW5</td><td colspan="10">SE5</td><td colspan="10">NW4</td><td colspan="10">NE4</td><td colspan="10"></td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td></td></tr></table>	SW5										SE5										NW4										NE4																				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
SW5										SE5										NW4										NE4																																																															
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																						
10/31		<table><tr><td colspan="10">NE5</td><td colspan="10">NW5</td><td colspan="10"></td><td colspan="10"></td><td colspan="10"></td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td></td></tr></table>	NE5										NW5																																								0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
NE5										NW5																																																																																			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																						

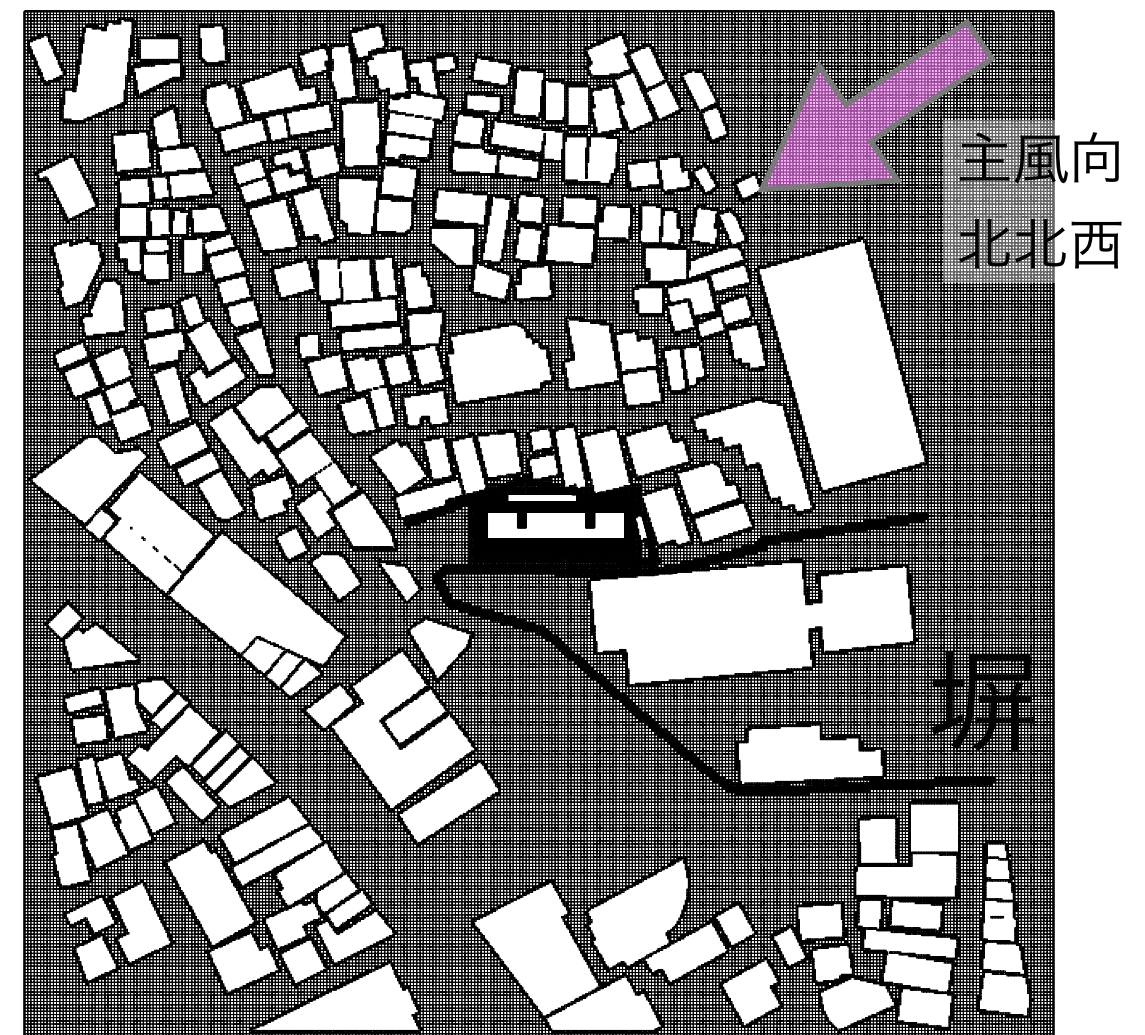
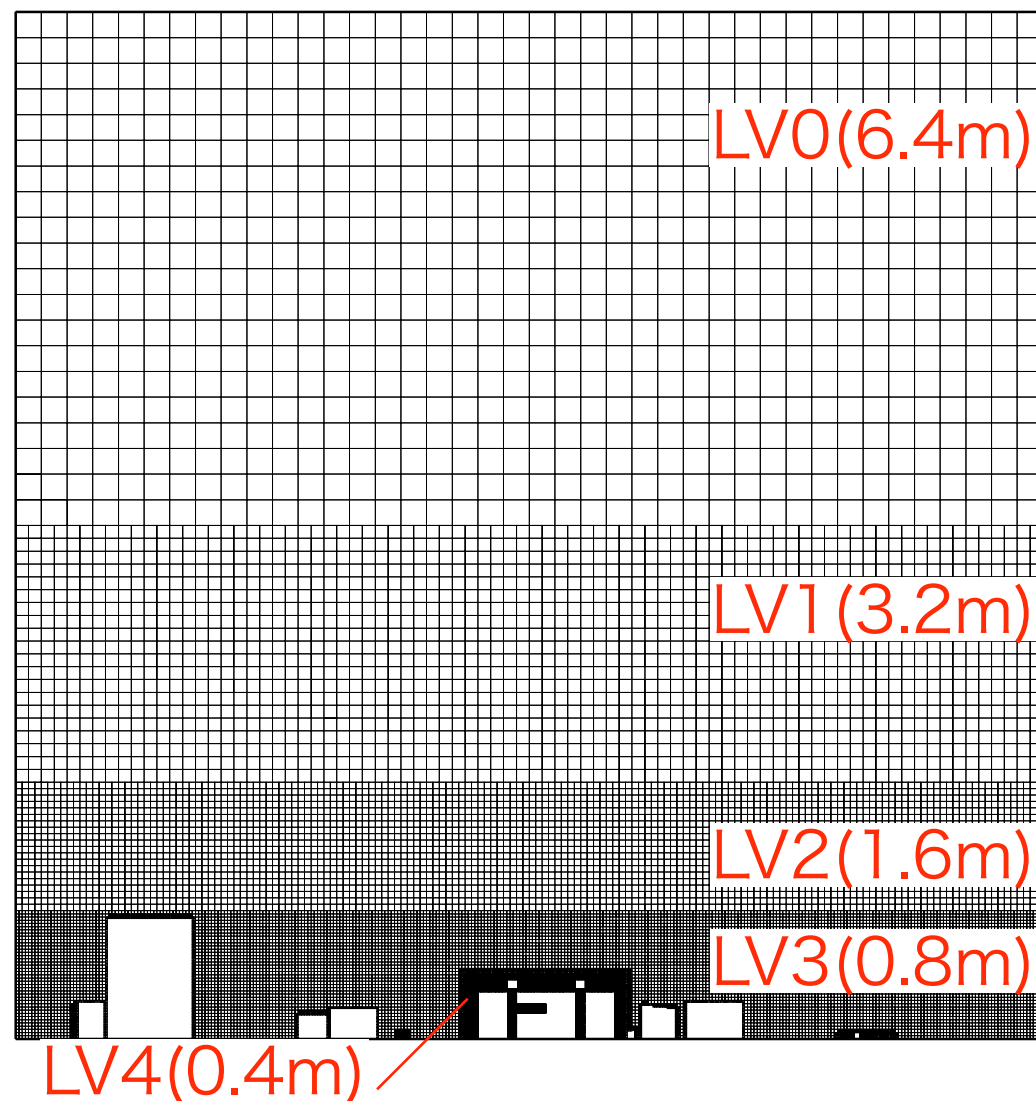
CFD解析概要

- CFDコード：オープンソースコード汎用CFDツール「OpenFOAM」
- 計算解法：SIMPLE法
- 乱流モデル：RNG k-epsilon
- 移流項離散化スキーム：TVD with van Leer limiter
- 樹木による抵抗：大橋らによる樹木キャノピーモデル

CFD解析概要

実測の建物/開口状況を再現

- ▶ 計算領域：256m(x)X256m(y)X256m(z)
- ▶ 計算格子：
格子数 880万～890万／格子幅 2.5cm～6.4m



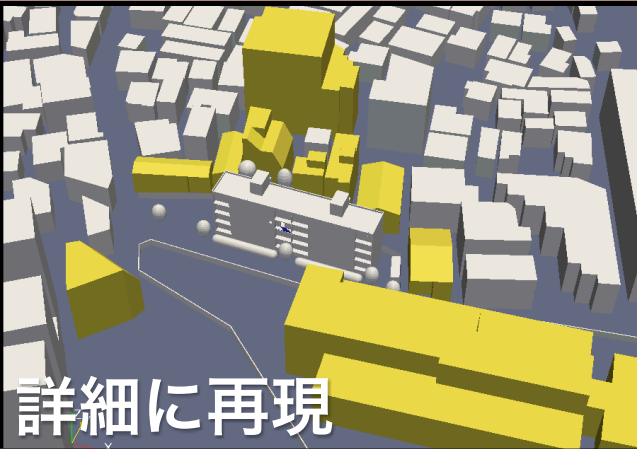
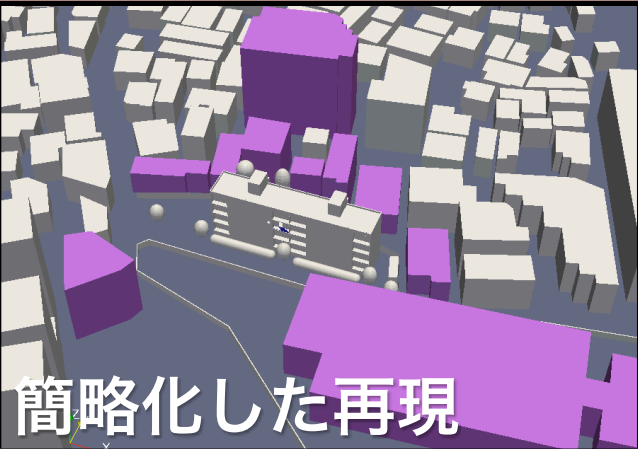
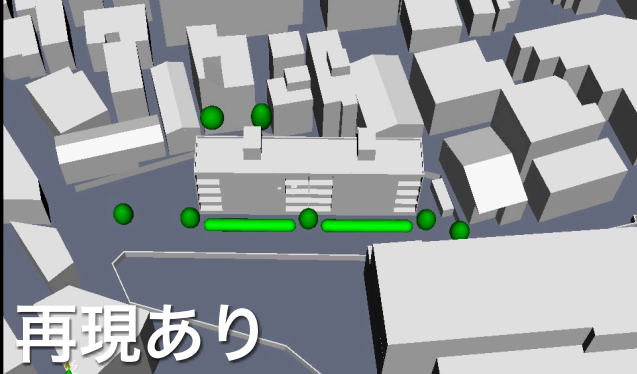
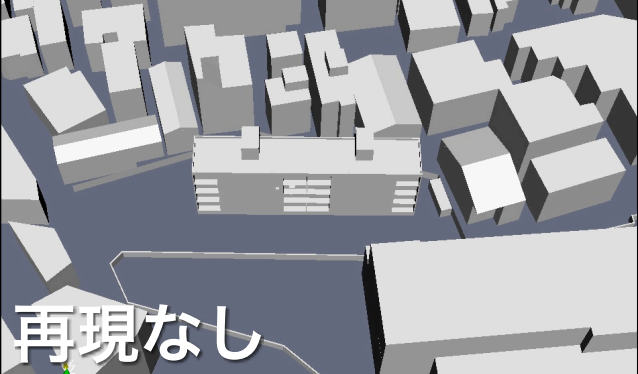
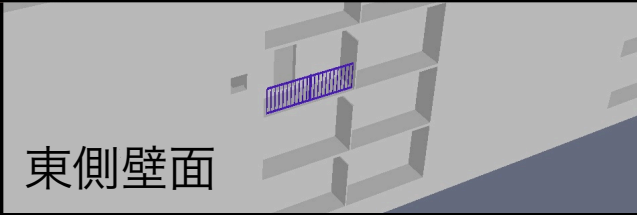
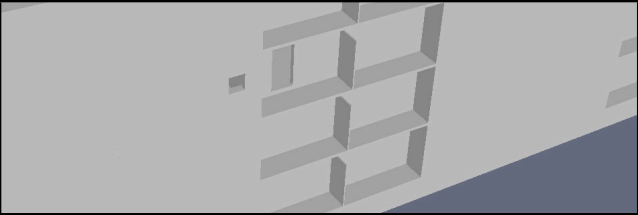
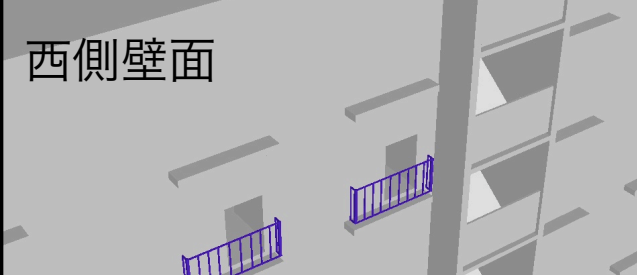
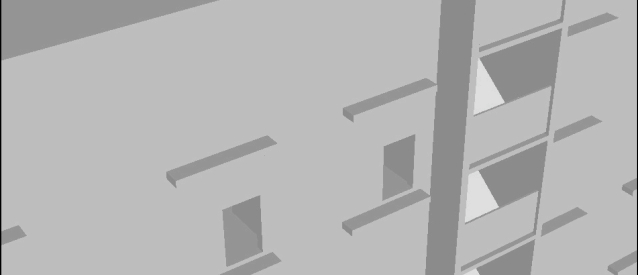
解析ケース

建物モデルの精度と流入境界条件を変
数としたケーススタディ

Case No.	周辺建物屋根形状の再現	周辺樹木の抵抗の有無	手すり再現の有無	べき指数
1	No	No	No	0.2
2	Yes	“	“	“
3	“	Yes	“	“
4	“	“	Yes	“
5	“	“	“	0.27
6	“	“	“	0.35
7	“	“	“	周期境界

CFD解析概要

①建物モデルの精度

周辺建物屋根形状 の再現	 詳細に再現	 簡略化した再現
周辺樹木の抵抗の 有無	 再現あり	 再現なし
手すり再現の有無	東側壁面 	
	西側壁面 	

CFD解析概要

②流入境界条件

粗度区分	周辺地域の地表面の状況
I	・海上のようなほとんど障害物のない平坦地
II	・農作物程度の障害物のある田園地帯、草原等 ・樹木が散在している丘陵地 ・低層建築物が散在している平坦地
III	・山岳地と樹木が密集する丘陵地 ・低層建築物が密集する平坦地 ・中層建築物（4～9階）が散在している平坦地
IV	・中層建築物（4～9階）が主となる市街地
V	・高層建築物（10階以上）が密集する市街地

風荷重指針による粗度区分

①粗度区分Ⅲ（べき指数0.2） 新宿区全域

②粗度区分Ⅳ（べき指数0.27）

③粗度区分Ⅴ（べき指数0.35）

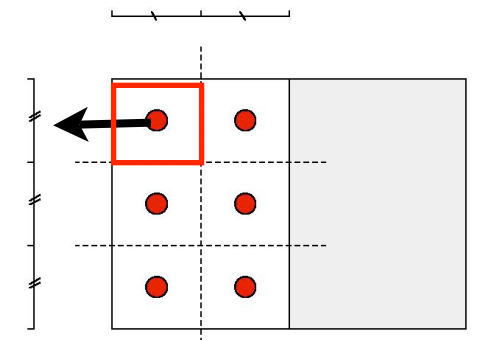
④解析領域での風量が一定となるよう主流方向に圧力勾配を課した周期境界条件（2方向とも）

実測とCFD解析結果比較

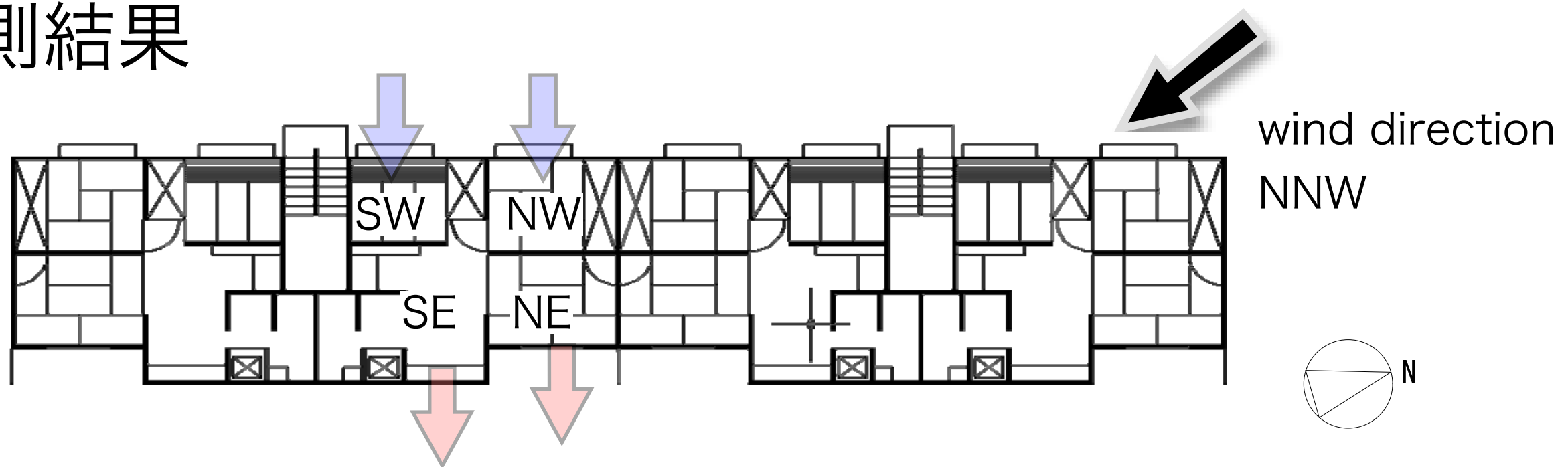
本研究における通風量

風速比ベクトル = 窓面でのサンプリング風速 / 屋上風速

通風量 = $\sum$ 風速比ベクトルの開口面法線成分 $\times$ 開口部面積



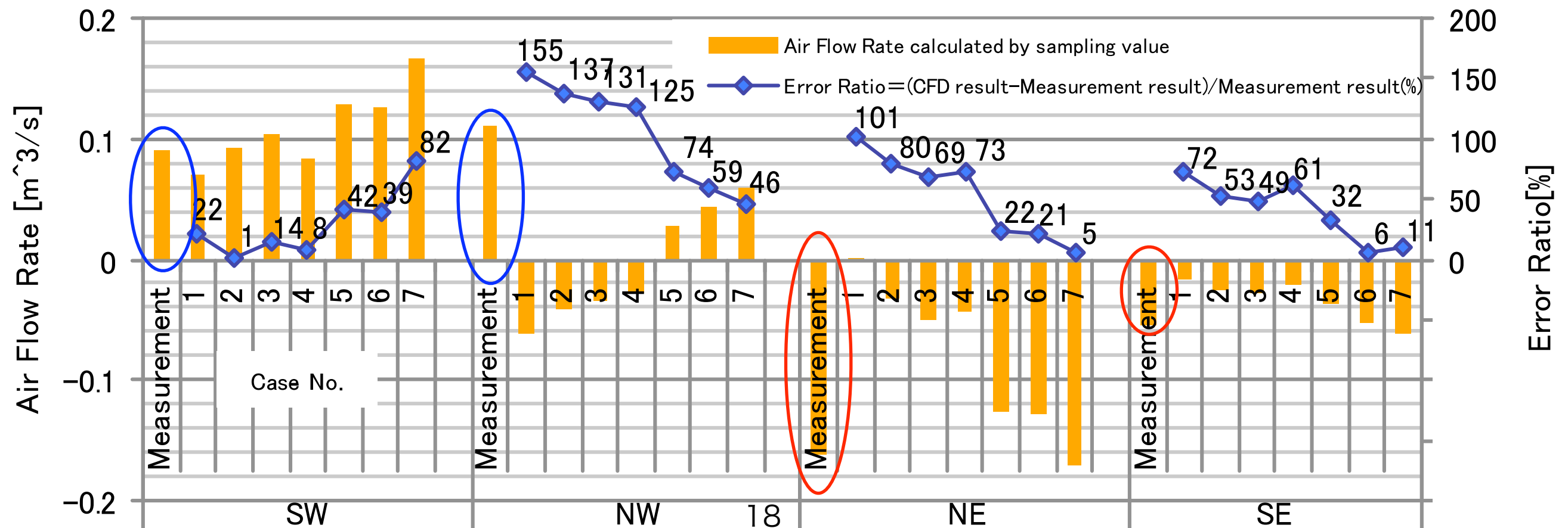
実測結果



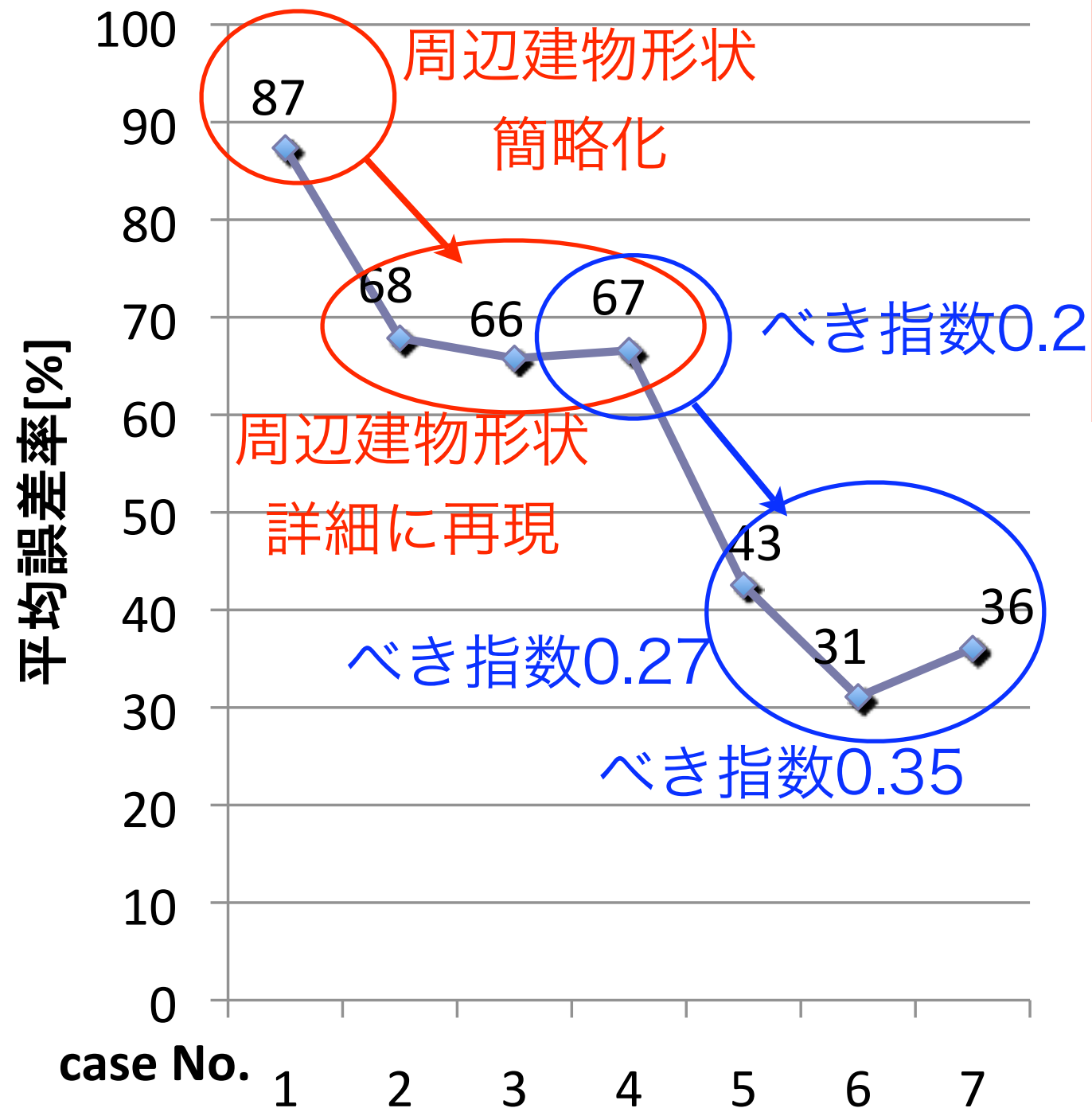
実測とCFD解析結果比較

各ケースにおける通風量と実測値との誤差率

※通風量は流入が正



4開口平均誤差率



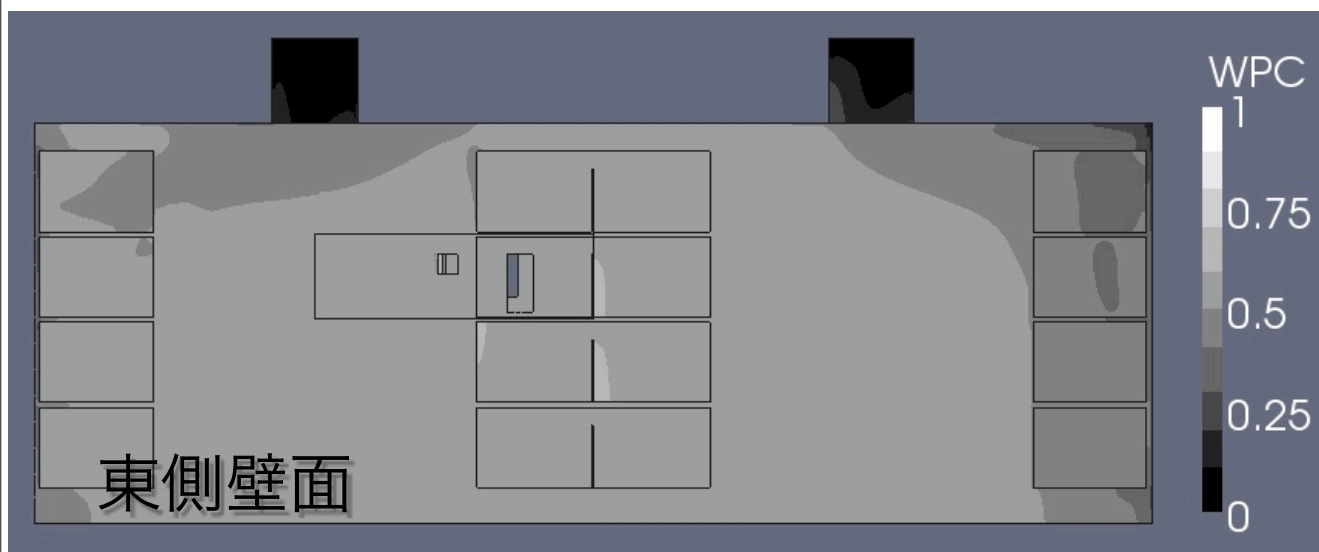
周辺建物形状は詳細に再現する必要がある

再現する街区に応じた風速プロファイルを与える必要がある

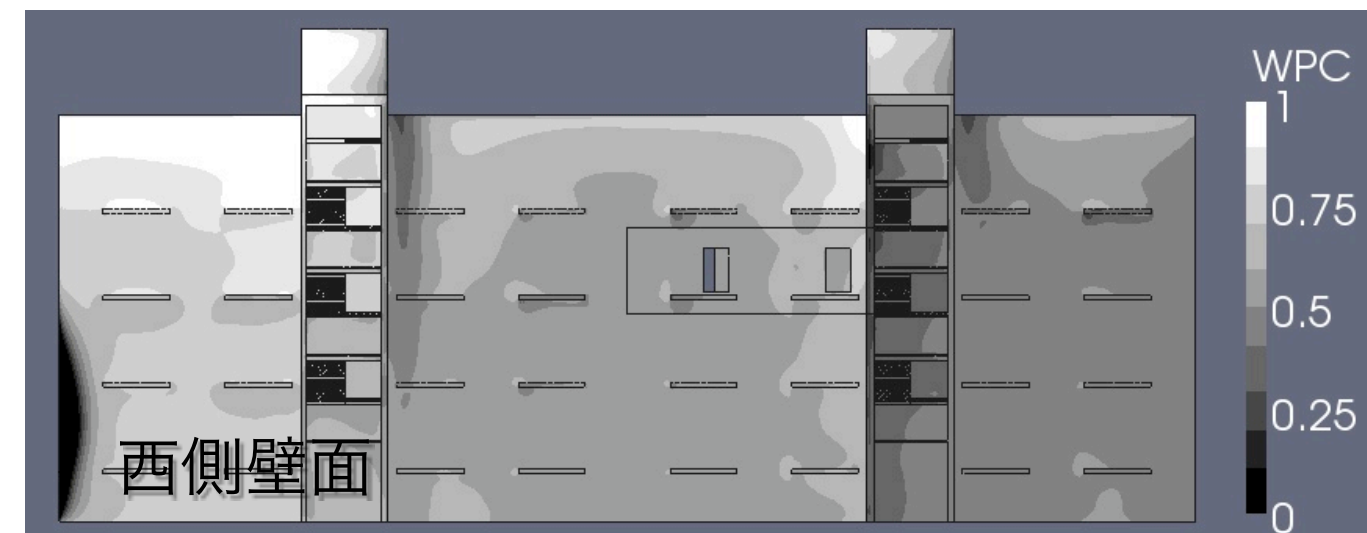
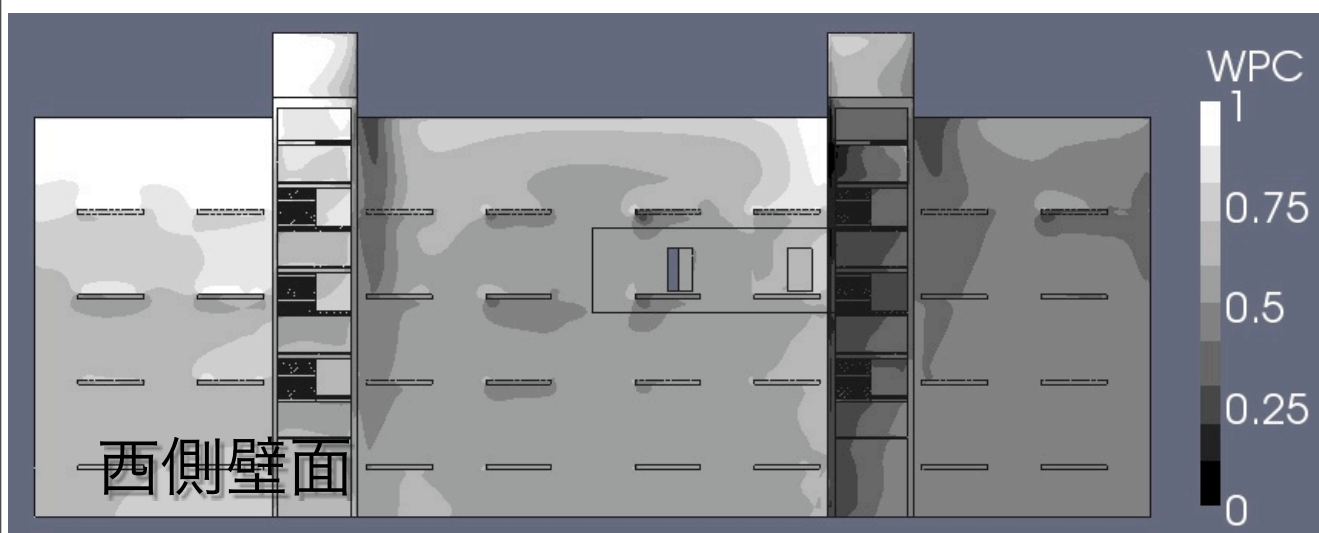
流入風鉛直プロファイルの与え方により結果が異なることに関する考察

東西壁面での風圧係数分布

👉 べき指数0.2のケース

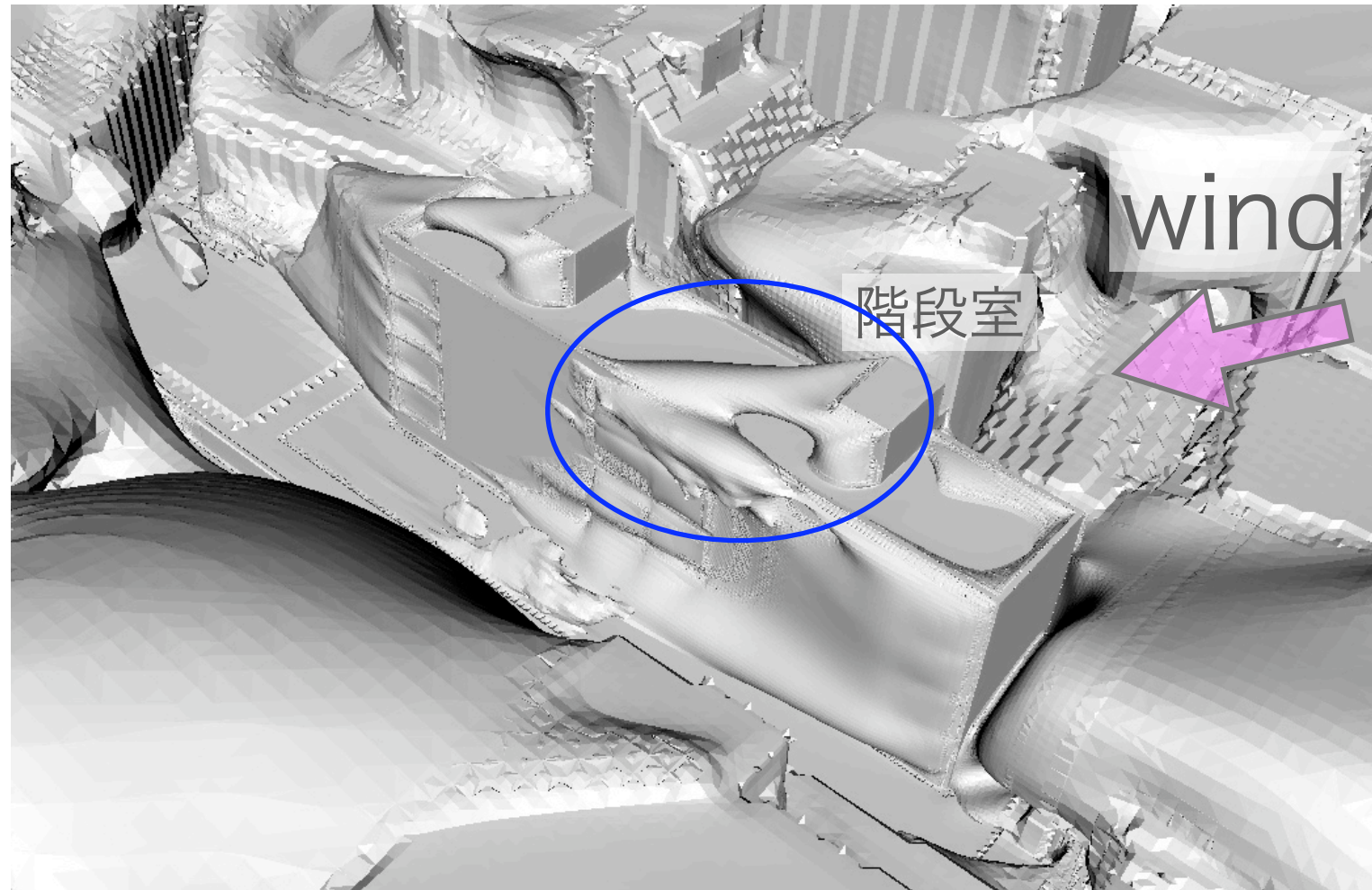


👉 べき指数0.35のケース



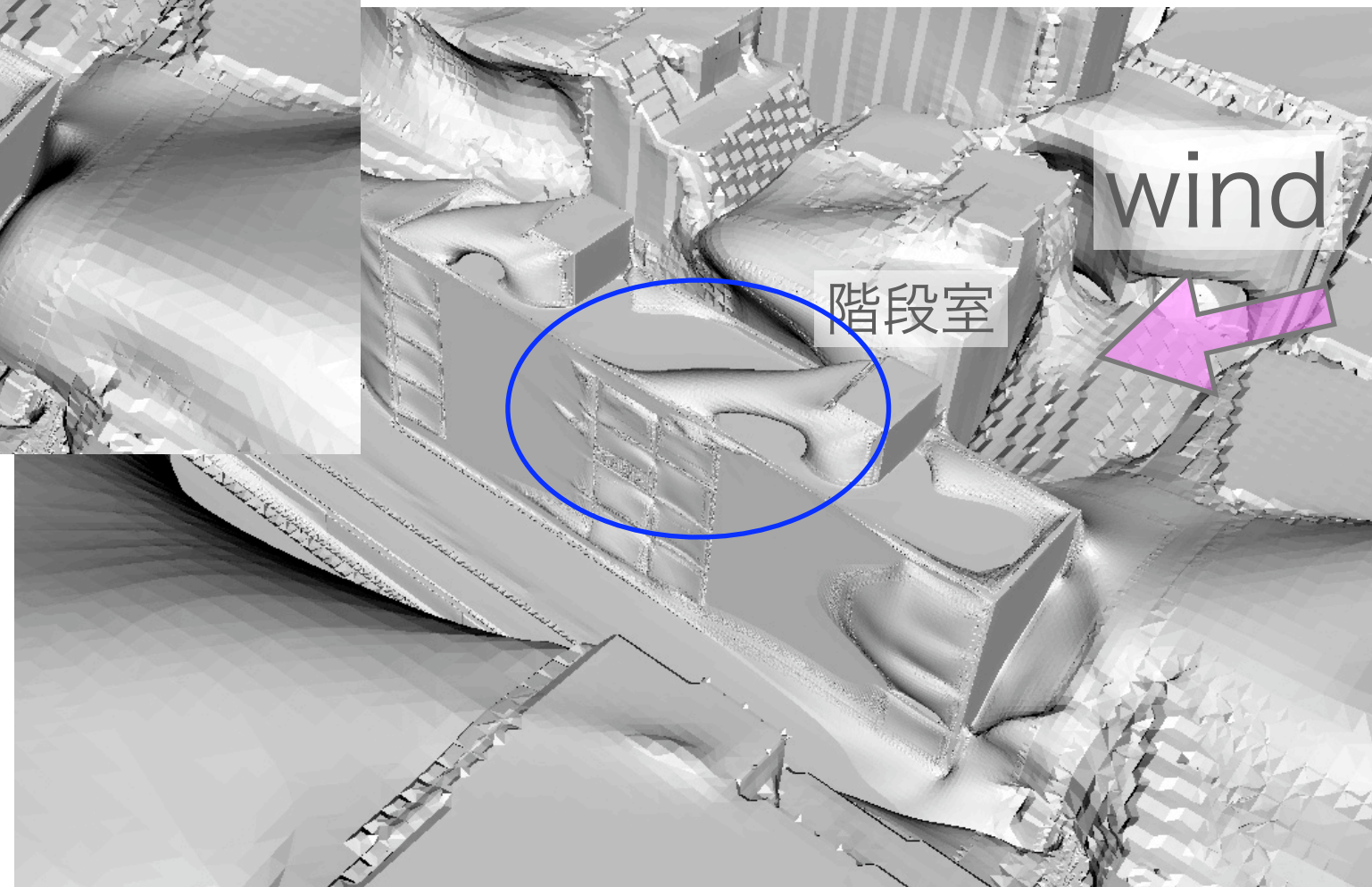
流入風鉛直プロファイルの与え方により結果が異なることに関する考察

風速0.4m/sの風速コンター図



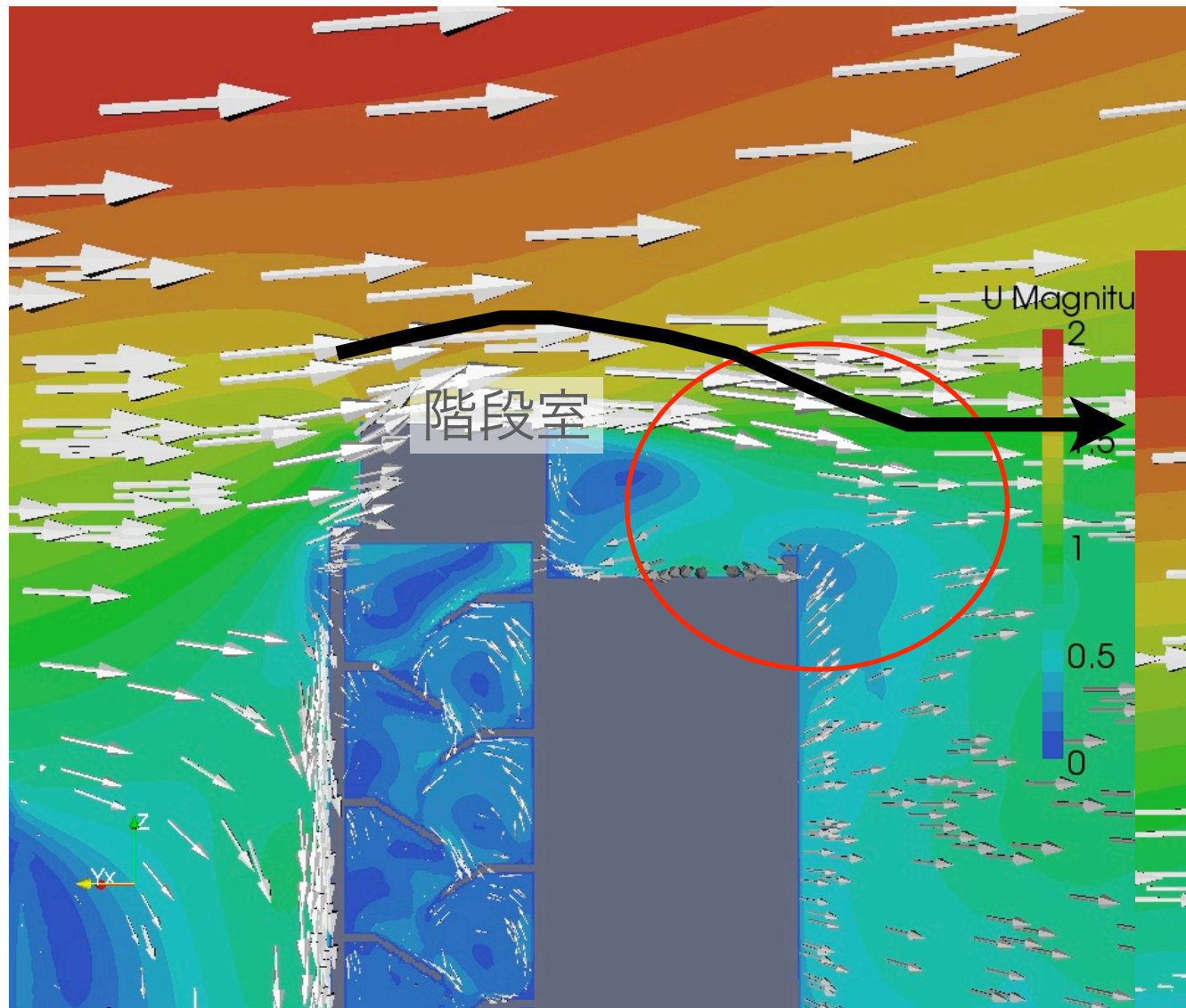
👉 べき指数0.35のケース

👉 べき指数0.2のケース

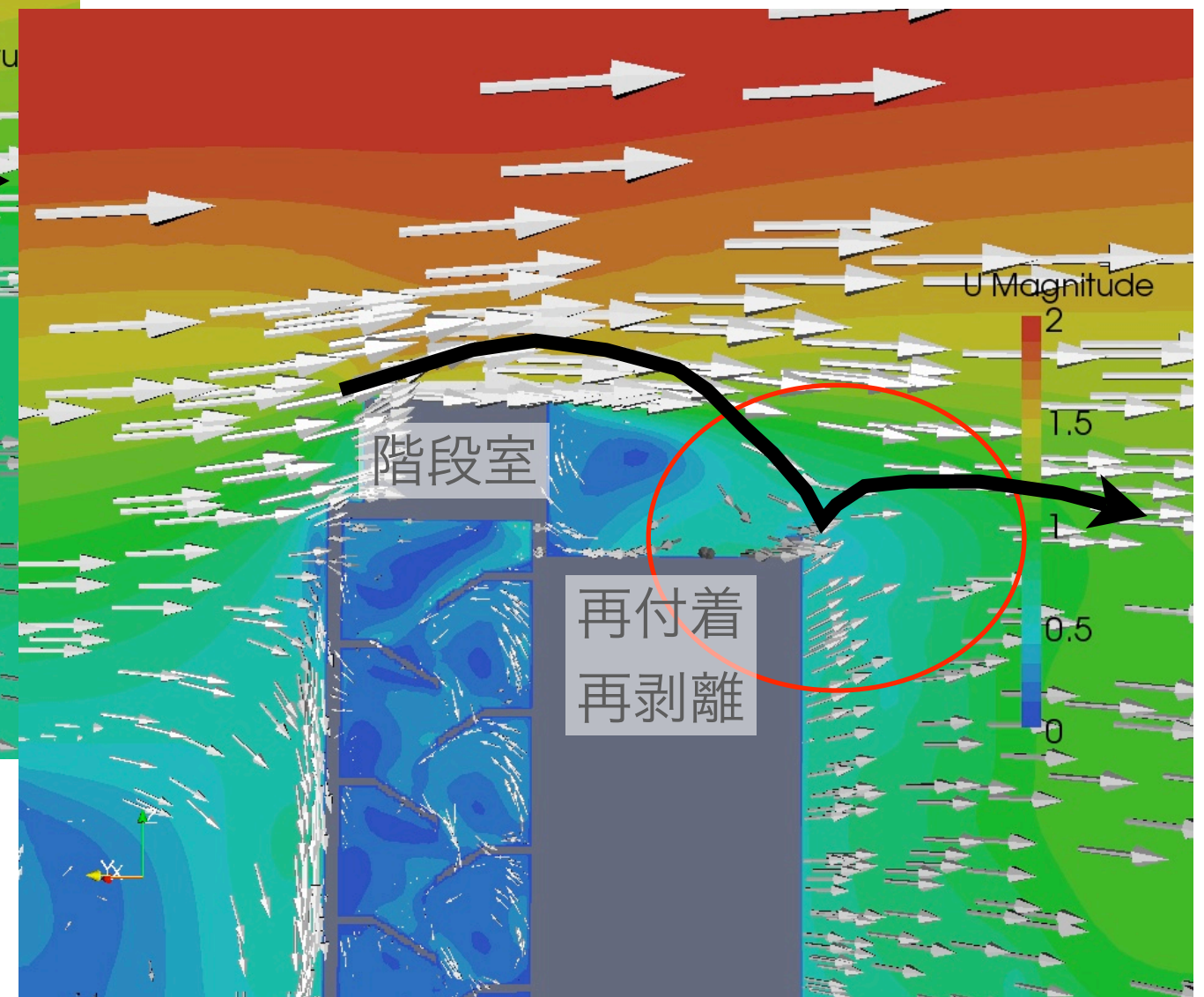


流入風鉛直プロファイルの与え方により結果が異なることに関する考察

風速分布と主流方向風速ベクトル



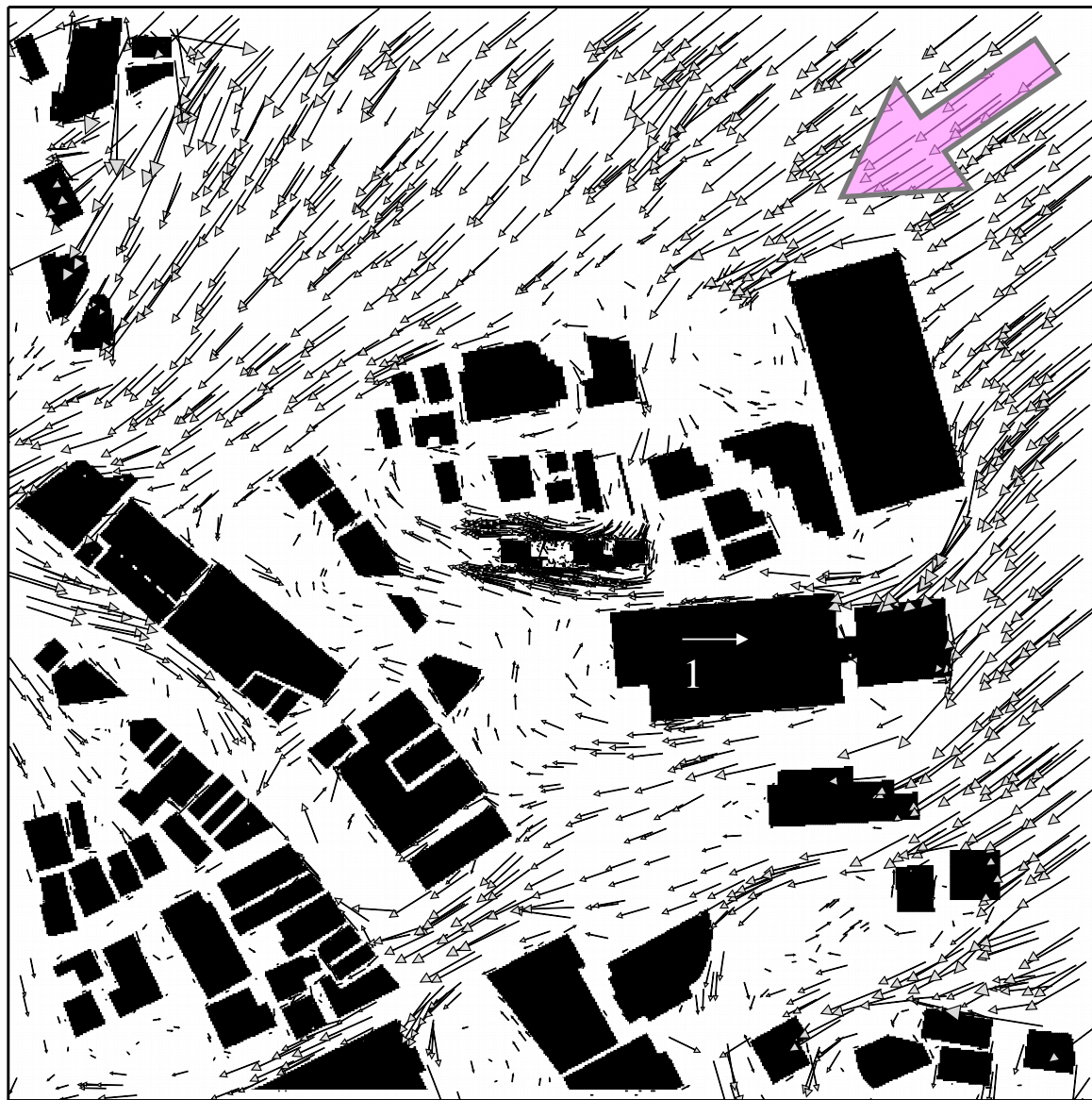
👉 べき指数0.35のケース



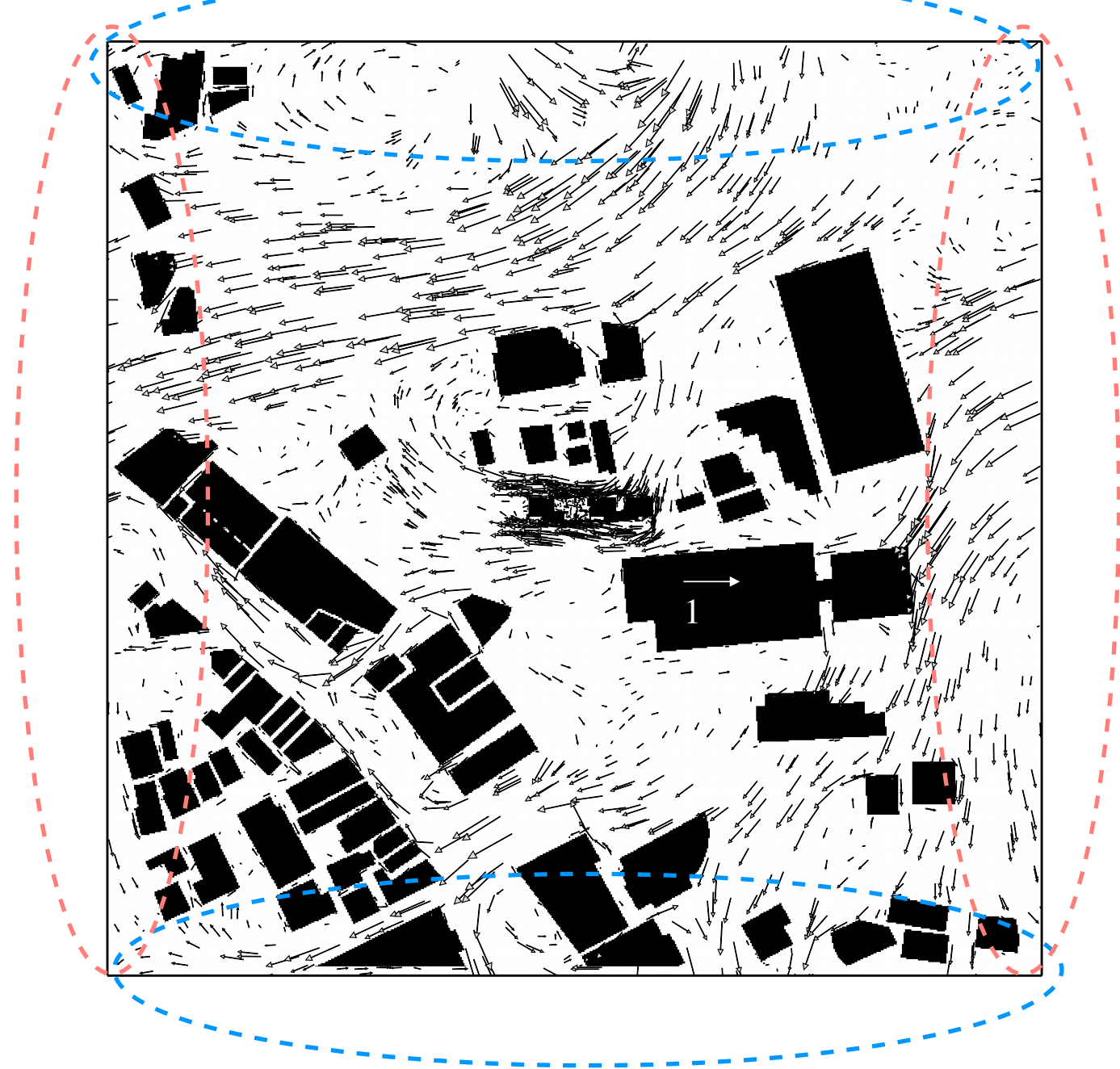
👉 べき指数0.2のケース

周期境界条件の適用

北北西から流入



周期境界条件



周期境界条件の適用

鉛直風速プロファイルを対数則と比較

対数則

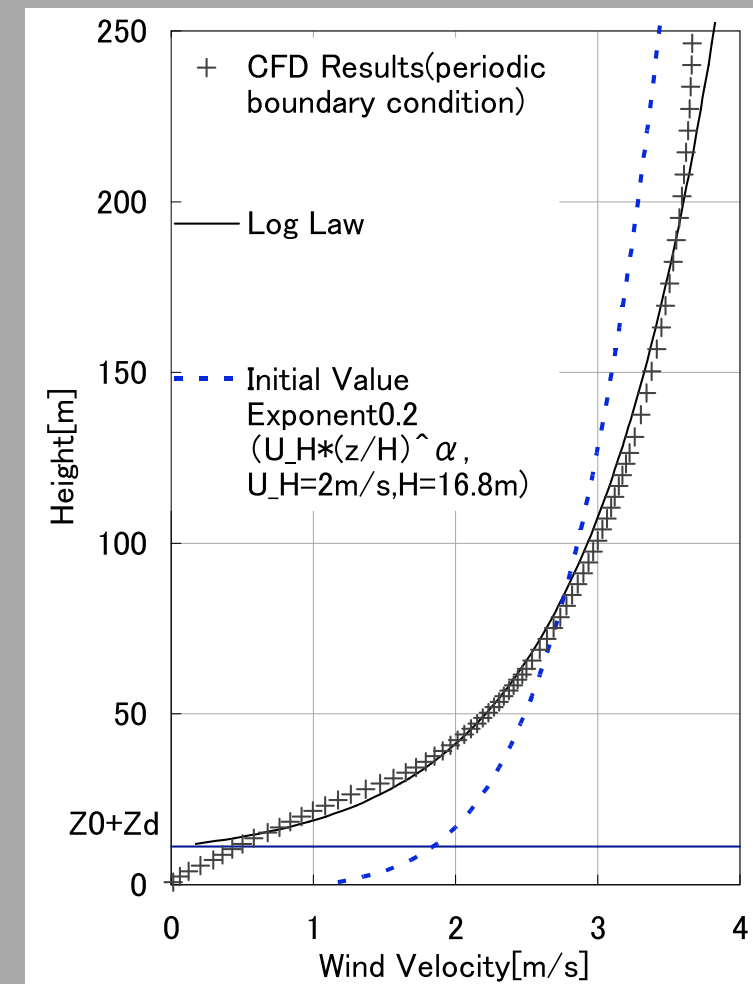
$$U = \frac{U^*}{\kappa} \ln \left(\frac{Z - \boxed{Z_d}}{\boxed{Z_0}} \right)$$

街区の幾何パラメタ

⇒粗度長 $Z_0=3.9\text{m}$ 、ゼロ面変位 $Z_d=7.3\text{m}$

$$\frac{\boxed{Z_d}}{Z_h} = 1 + 4.43^{-\lambda_p} (\lambda_p - 1)$$

$$\frac{\boxed{Z_0}}{Z_h} = \left(1 - \frac{Z_d}{Z_h} \right) \exp \left\{ - \left[0.5 \frac{C_D}{\kappa^2} \left(1 - \frac{Z_d}{Z_h} \right) \lambda_f \right]^{-0.5} \right\}$$



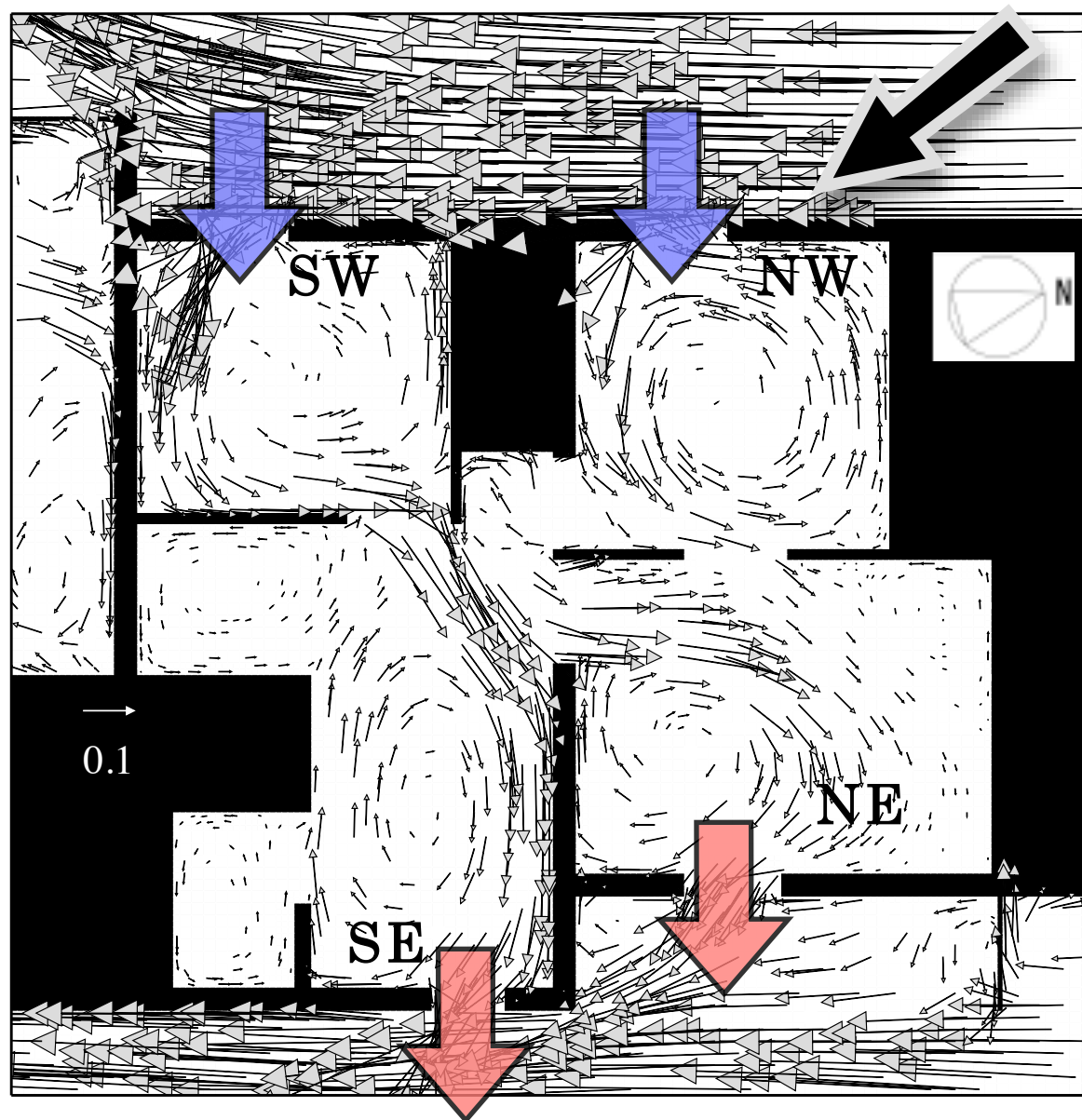
対数則と同定すると $U^*=2.31\text{m/s}$ 、解析結果と対数則はよく一致。

☞ 風速プロファイルは妥当であるといえる

周期境界条件

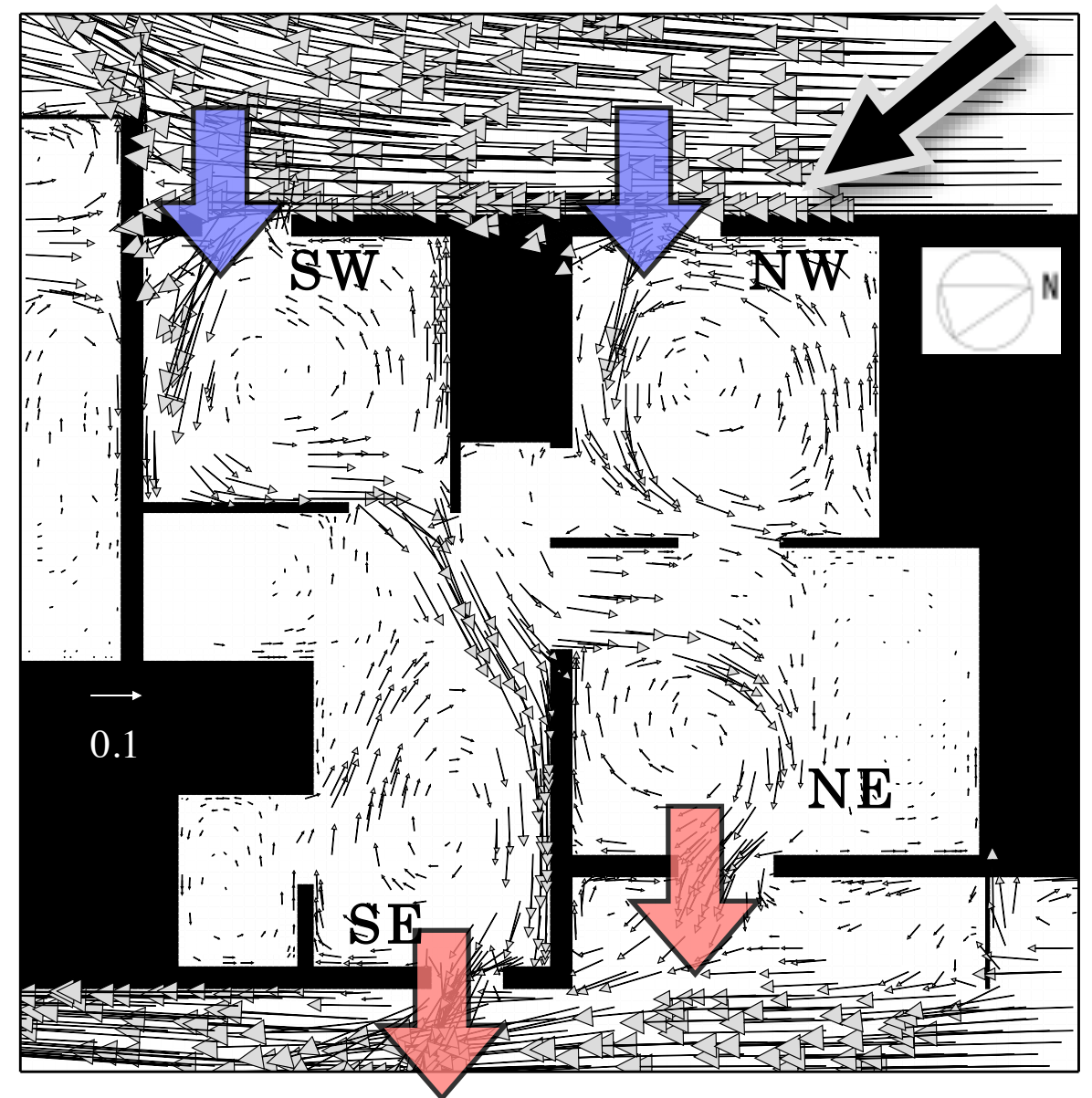
周期境界条件のケース

平均誤差率 37%



べき指数0.35のケース

平均誤差率 31%



まとめ

CFD解析により実在集合住宅の通風性状を検討する際のモデルの再現性と境界条件を変数としたケーススタディを行い、実測結果と比較して評価を行うことで以下の知見を得た。

- 1) 周辺建物の再現の有無がCFD解析結果に与える影響は大きい。
- 2) 流入風の鉛直プロファイルのべき指数が大きいケースほど実測値と誤差が小さい。
- 3) 周期境界条件を課した際の鉛直プロファイルを街区から求まる幾何パラメータを与えた対数則と比較することで、流入風の妥当性を確認した。また同境界条件による計算結果も実測値との誤差は小さい。