

市街地風環境予測ベンチマークテスト によるOpenFOAMの検証

MTS雪氷研究所 柴田貴裕

Contents

- 1 Introduction
- 2 ベンチマークテストの概要
- 3 CaseA(角柱モデル)
- 4 CaseC(単純建物群モデル)
- 5 CaseE(実在市街地モデル)
- 6 結論

1 Introduction

日本建築学会の流体数値計算による風環境予測ガイドライン作成WGではさまざまな状況での建物周りの風環境の実測と各種商用・自作コードによる計算結果の比較を網羅的に行いデータを公開している。

OpenFOAMでも計算を実施し、実測や商用コードとの比較を行う。

2 ベンチマークテストの概要

日本建築学会 流体数値
計算による風環境評価ガ
イドライン作成WGによる
データベース
建物周りの風環境の
6ケース

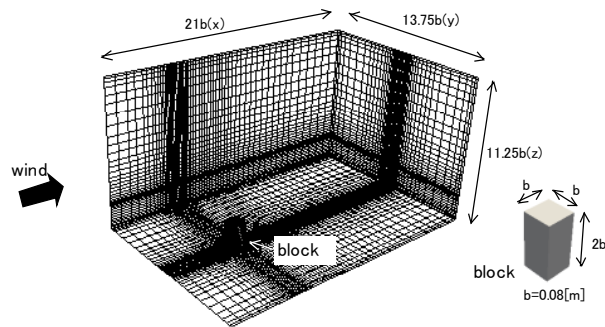
今回はこの3ケースについて紹介する

引用：
<http://www.aij.or.jp/jpn/publish/cfdguide/index.htm>

	test case	dataset	ガイドブックの参照 ページ	参考文献
A	2:1:1角柱周辺流れ (2:1:1 shape building model) 	Data file : CaseA(1 1 2).xls	結果 : P80-92 要領 : P174-177	[1][2]
B	4:4:1角柱周辺流れ (4:4:1 shape building model) 	Data file : CaseB(4 4 1).xls	結果 : P99-106 要領 : P179-184	[3]
C	単純建物群モデル (Simple Building blocks) 	Data file : CaseC(City blocks).xls	結果 : P107-115 要領 : P184-187	[4]
D	街区内に建つ高層建 物モデル (A high-rise building in city blocks) 	Data file : CaseD(Highrise+Blocks).xls CAD File(DXF) : CaseD dxf.zip CAD File(MCD) : CaseD mcd.zip	結果 : P116-128 要領 : P187-191	[5][6]
E	新潟市内低層建物密 集地 (Building complexes with simple building shape in actual urban area (Niigata)) 	Data file : CaseE(Niigata).xls CAD File(DXF) : CaseE dxf.zip CAD File(MCD) : CaseE mcd.zip	結果 : P129-140 要領 : P191-196	[7]
F	新宿副都心高層ビル 群 (Building complexes with complicated building shape in actual urban area (Shinjuku)) 	Data file : CaseF(Shinjuku).xls CAD File(DXF) : CaseF dxf.zip CAD File(MCD) : CaseF mcd.zip CAD File(STL)* : CaseF stl.zip <small>*STLファイルは円筒状の解析領域になっており、一部の市街地形状が簡略化されています。</small>	結果 : P141-145 要領 : P197-201	[8]

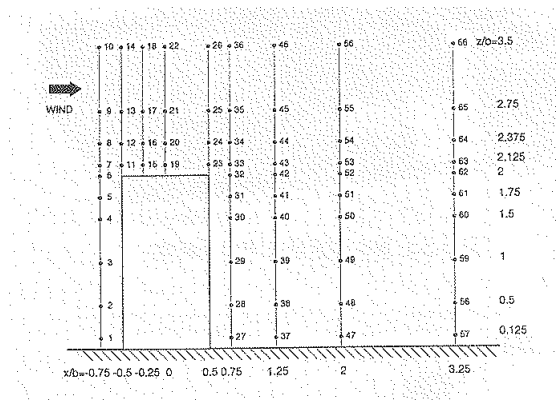
3 CaseA(角柱モデル)

モデル



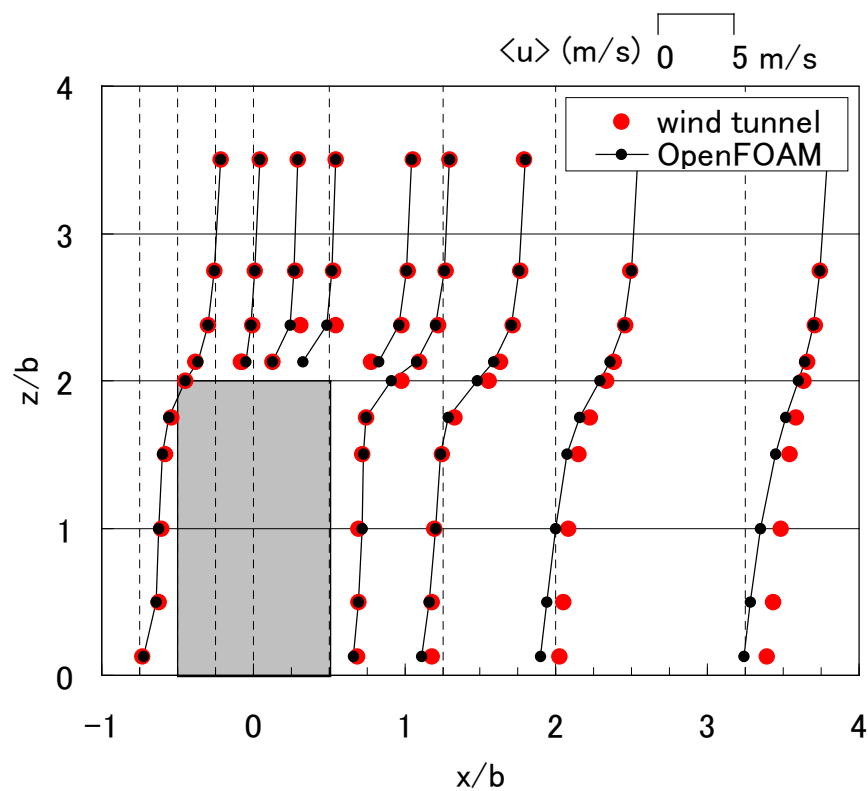
計算条件

流入境界条件	ベンチマーク指定値を使用
上面・側面境界条件	Slip壁
流出境界条件	勾配ゼロ
固体壁面境界	滑面用の一般化対数則
乱流モデル	標準k-εモデル
移流項スキーム	TVD (Limited linear) スキーム
計算アルゴリズム	SIMPLE, 定常解法
計算格子分割法	ベンチマーク指定の格子分割を使用

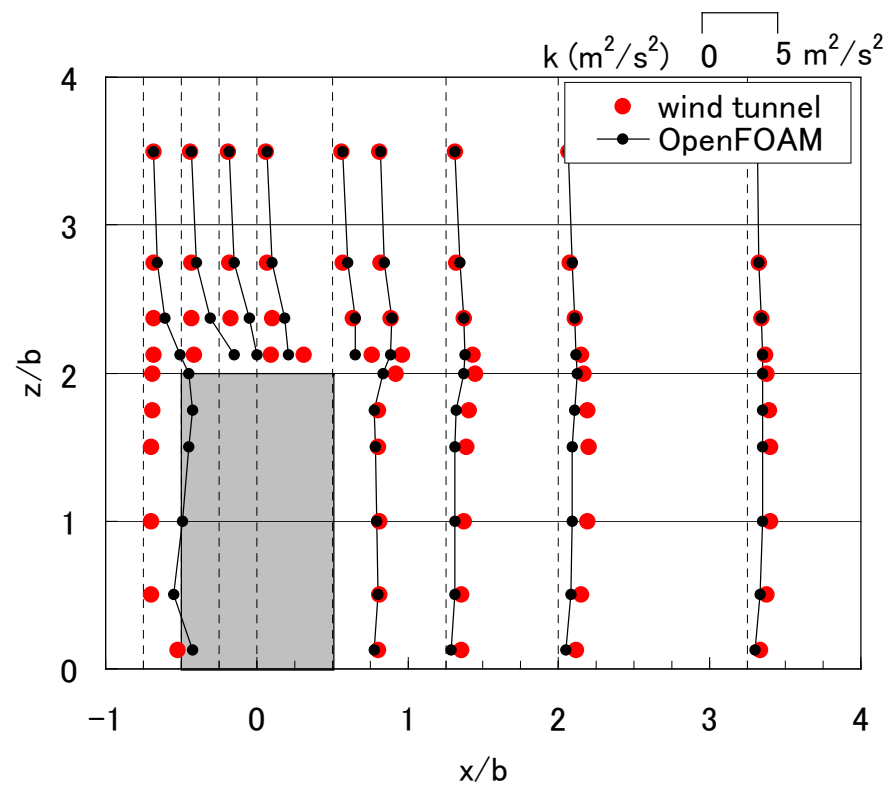


建物中心鉛直断面

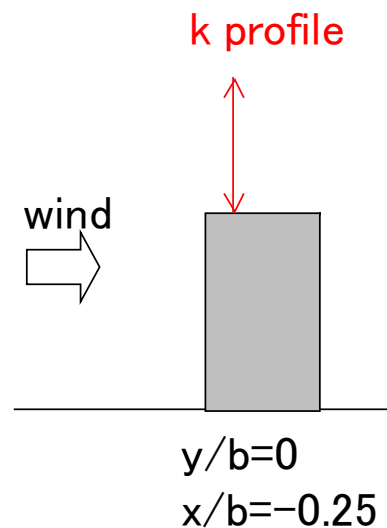
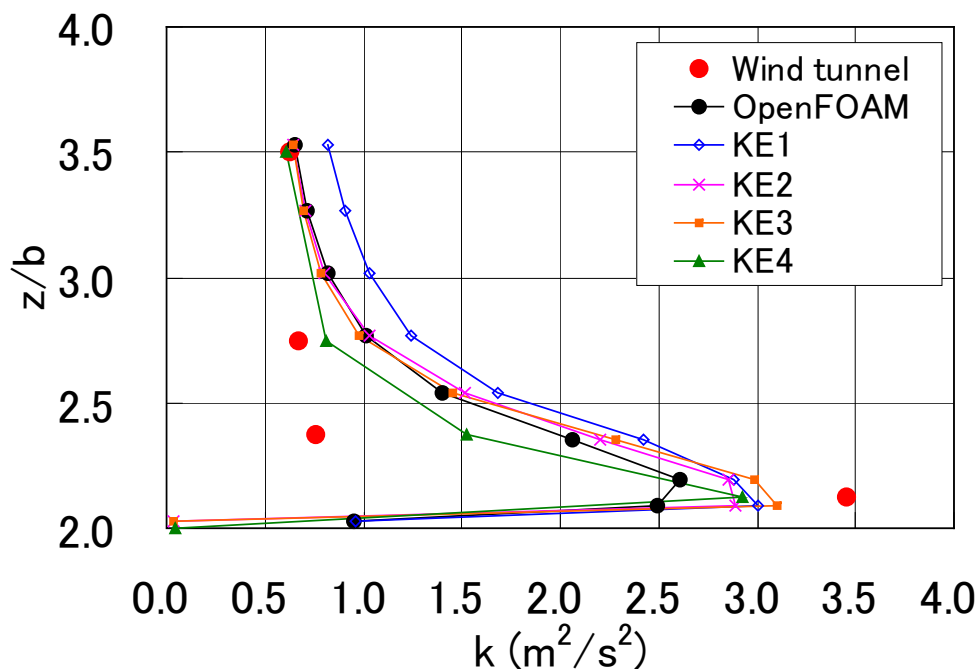
速度



乱流エネルギー

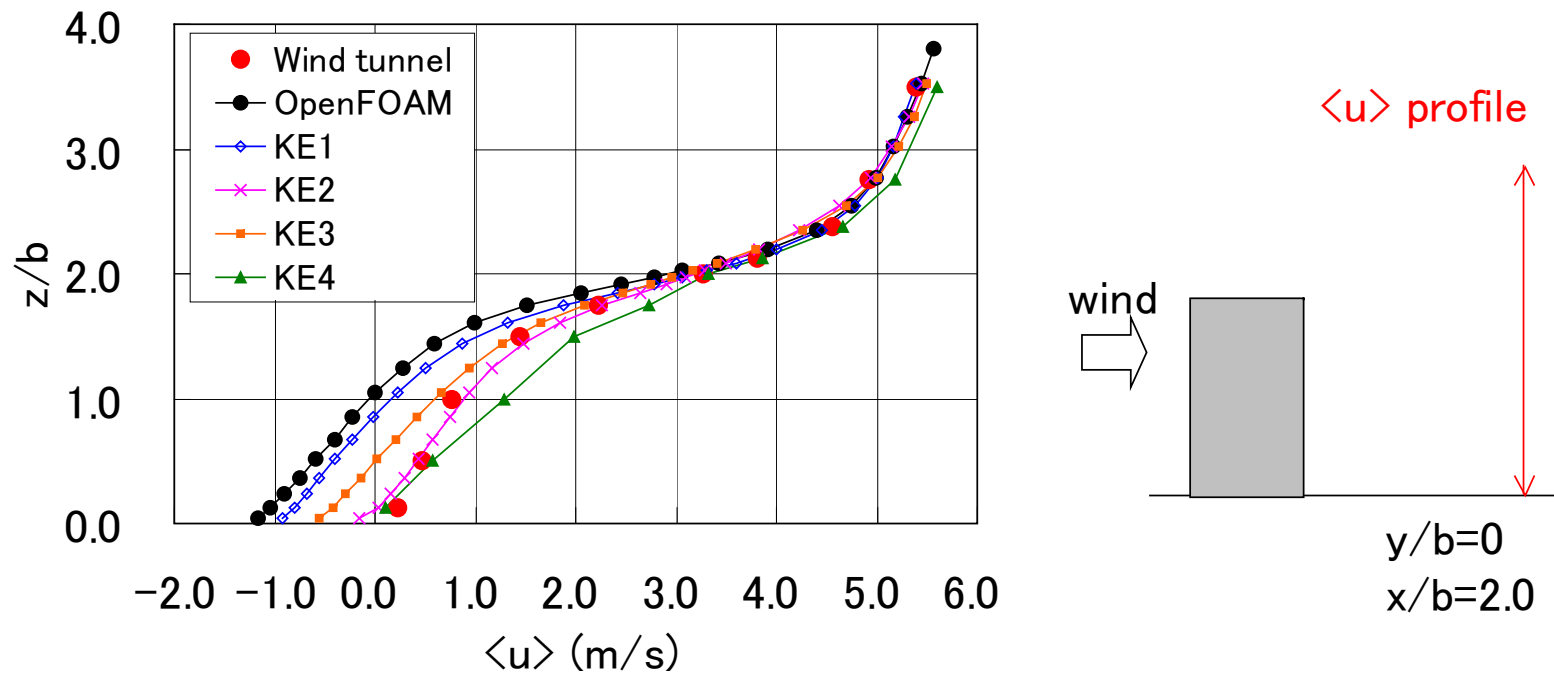


建物屋上面のkの分布



研究機関	ソフトウェア	移流項スキーム	計算アルゴリズム	ケース名
A	STREAM ver2.10	QUICK	SIMPLE, 定常解法	KE1
B	STAR-LT ver2.0	QUICK	SIMPLE, 定常解法	KE2
D	FLUENT ver5.0	中心差分	SIMPLE, 定常解法	KE3
	自作	QUICK	HSMAC, 非定常解法	KE4

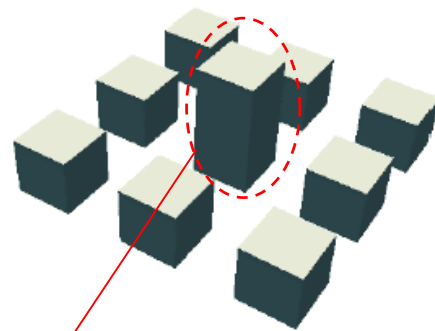
角柱後方の主流方向風速 $\langle u \rangle$ の分布



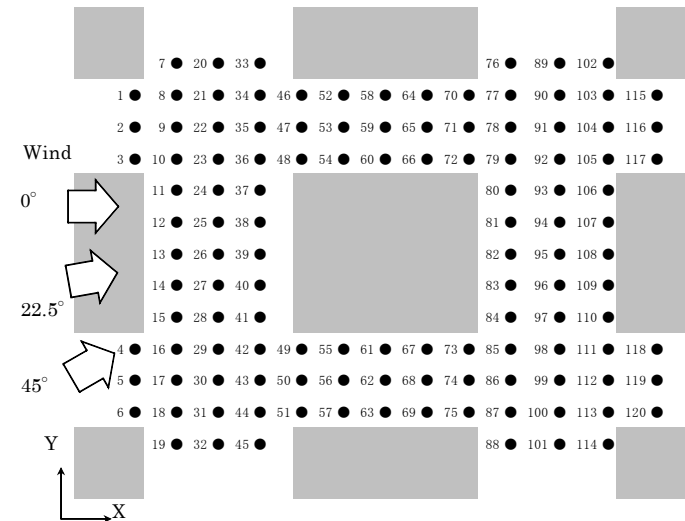
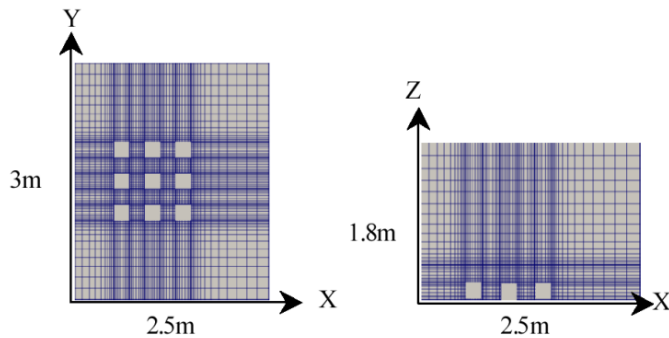
研究機関	ソフトウェア	移流項スキーム	計算アルゴリズム	ケース名
A	STREAM ver2.10	QUICK	SIMPLE, 定常解法	KE1
B	STAR-LT ver2.0	QUICK	SIMPLE, 定常解法	KE2
D	FLUENT ver5.0	中心差分	SIMPLE, 定常解法	KE3
	自作	QUICK	HSMAC, 非定常解法	KE4

4 CaseC (単純建物群モデル)

モデル



中心建物 0, D, 2Dに変更

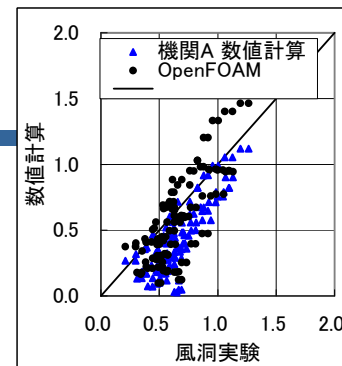
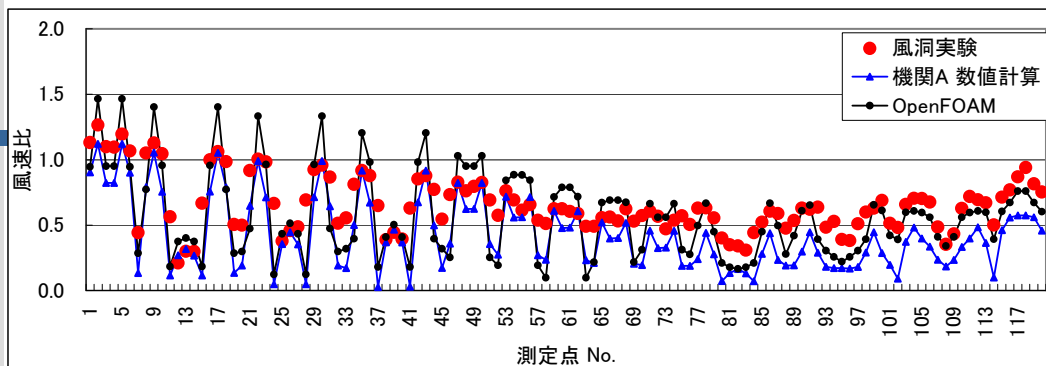


計算条件

流入境界条件	ベンチマーク指定値 ⁽¹⁾ を使用 風向,22.5° 及び45° のCaseは、2面 を流入条件とした。
上面・側面境界条件	slip壁
流出境界条件	勾配ゼロ。風向,22.5° 及び45° の Caseは、2面を流出条件とした。
固体壁面境界	滑面用の一般化対数則
乱流モデル	標準k-εモデル
移流項スキーム	TVD (Limited linear) スキーム
計算格子分割法	ベンチマーク指定の格子分割 ⁽¹⁾ を 使用 (約8万要素)

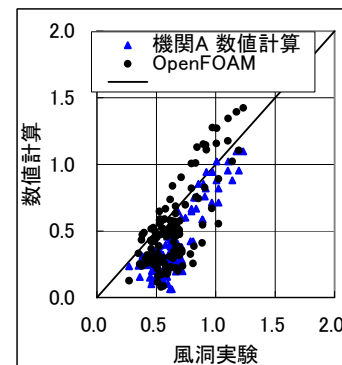
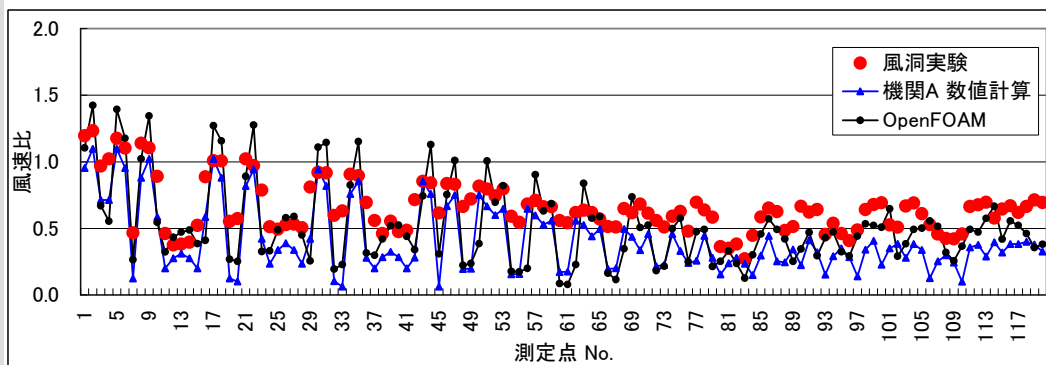
中心建物高さを変えた場合(風向角0°)

中心建物なし



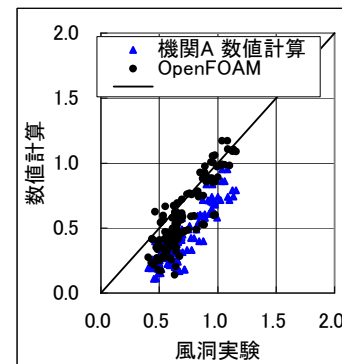
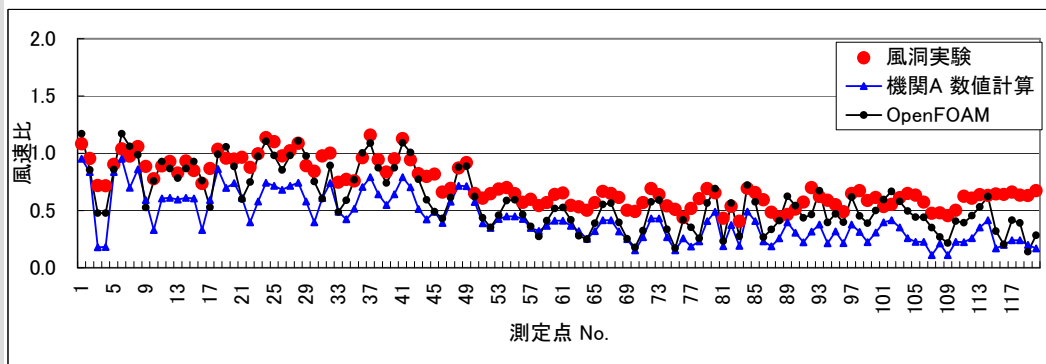
	相関係数	標準誤差
機関A 数値計算	0.83	0.27
Open FOAM	0.77	0.22

中心建物1D



	相関係数	標準誤差
機関A 数値計算	0.86	0.27
Open FOAM	0.76	0.24

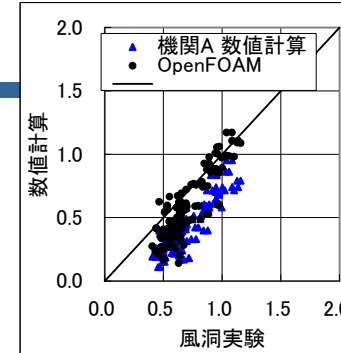
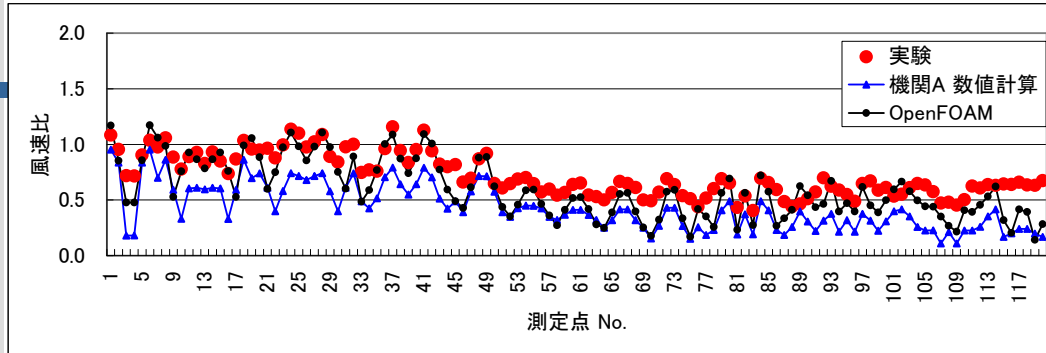
中心建物2D



	相関係数	標準誤差
機関A 数値計算	0.88	0.30
Open FOAM	0.87	0.18

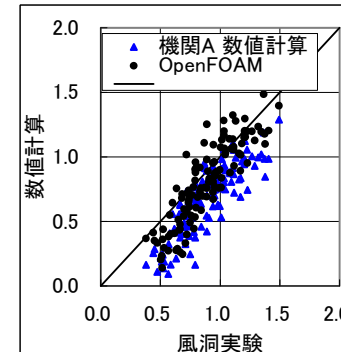
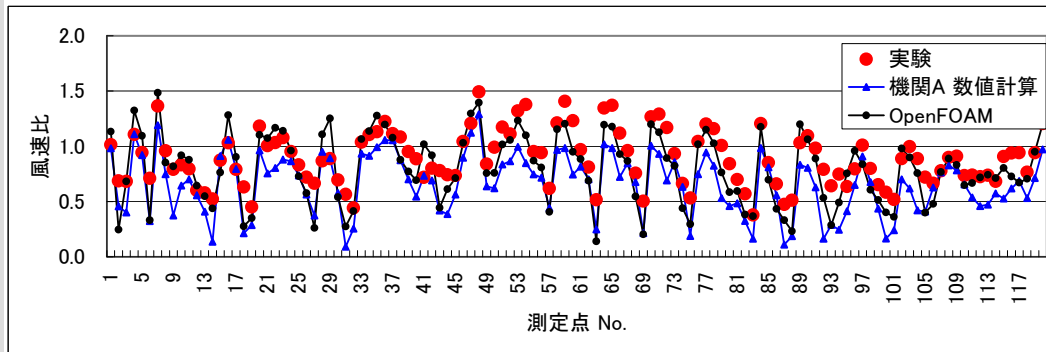
風向角を変えた場合(建物中心高さ2D)

風向角0°



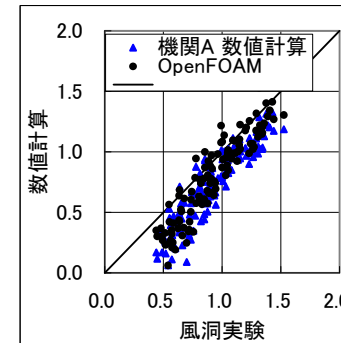
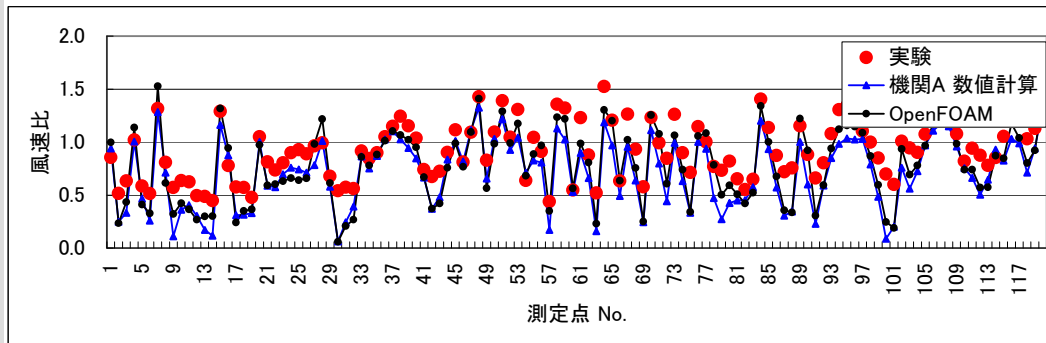
	相関係数	標準誤差
機関A 数値計算	0.88	0.30
Open FOAM	0.87	0.18

風向角22.5°



	相関係数	標準誤差
機関A 数値計算	0.88	0.27
Open FOAM	0.87	0.18

風向角45°



	相関係数	標準誤差
機関A 数値計算	0.88	0.24
Open FOAM	0.93	0.20

他のソフトとの比較

研究機関	ソフトウェア	風向	乱流モデル	中心建物なし		中心建物高さ1D		中心建物高さ2D	
				相関係数	標準誤差	相関係数	標準誤差	相関係数	標準誤差
本研究	OpenFOAM	0°	標準k-ε	0.77	0.22	0.76	0.24	0.87	0.18
		22.5°	標準k-ε	0.85	0.20	0.87	0.20	0.87	0.18
		45°	標準k-ε	0.89	0.20	0.87	0.27	0.93	0.20
A	自作	0°	標準k-ε	0.83	0.27	0.86	0.27	0.88	0.30
		22.5°	標準k-ε	0.89	0.23	0.89	0.24	0.86	0.27
		45°	標準k-ε	0.91	0.22	0.87	0.29	0.91	0.24
B	STAR-CD	0°	標準k-ε	0.87	0.23	0.85	0.24	0.91	0.24
		0°	改良k-ε	0.90	0.20	0.90	0.22	0.93	0.24
C	STREAM	0°	標準k-ε	0.85	0.22	0.85	0.22	0.76	0.23
		22.5°	標準k-ε	0.90	0.22	0.91	0.24	0.77	0.30
		45°	標準k-ε	0.92	0.22	0.90	0.30	0.93	0.26
D	FLUENT	0°	標準k-ε	0.90	0.23	0.86	0.24	0.83	0.26
		22.5°	標準k-ε	0.90	0.25	0.91	0.27	0.83	0.32
		45°	標準k-ε	0.94	0.25	0.88	0.35	0.91	0.33

建物高さについて平均化

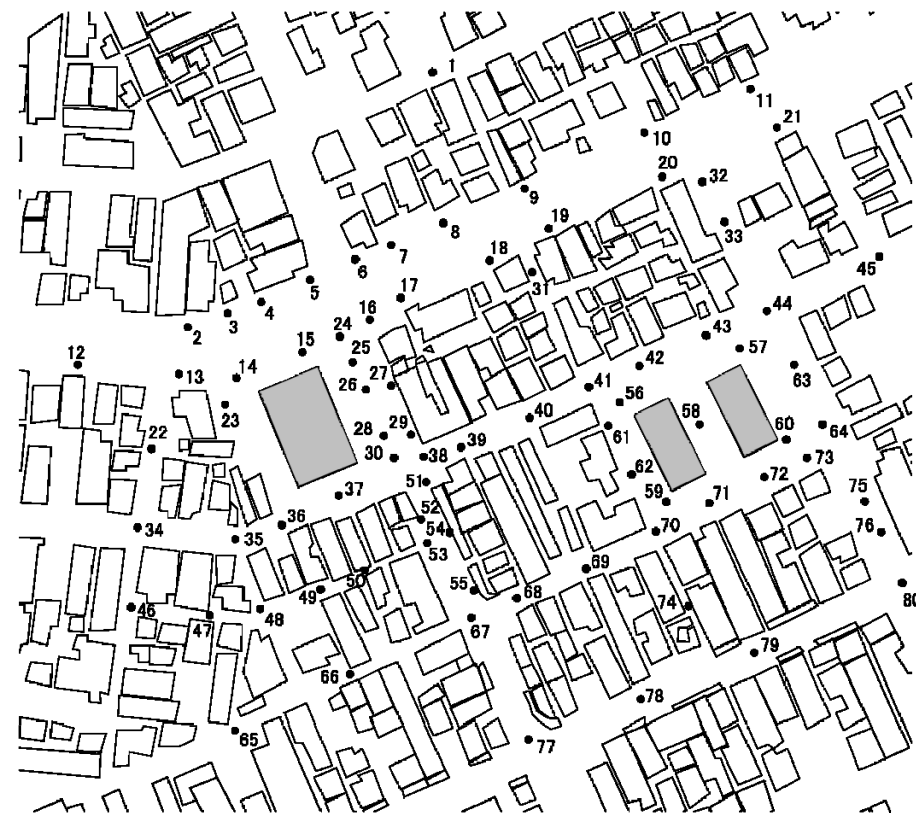
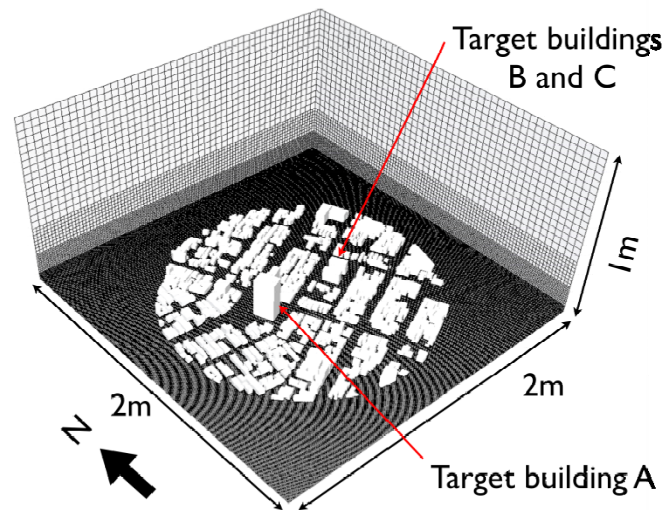
研究機関	ソフトウェア	風向	乱流モデル	相関係数	標準誤差
本研究	OpenFOAM	0°	標準k-ε	0.80	0.21
		22.5°	標準k-ε	0.86	0.19
		45°	標準k-ε	0.90	0.22
A	自作	0°	標準k-ε	0.86	0.28
		22.5°	標準k-ε	0.88	0.25
		45°	標準k-ε	0.90	0.25
B	STAR-CD	0°	標準k-ε	0.88	0.24
		0°	改良k-ε	0.91	0.22
C	STREAM	0°	標準k-ε	0.82	0.22
		22.5°	標準k-ε	0.86	0.25
		45°	標準k-ε	0.92	0.26
D	FLUENT	0°	標準k-ε	0.86	0.24
		22.5°	標準k-ε	0.88	0.28
		45°	標準k-ε	0.91	0.31

風向角について平均化

研究機関	ソフトウェア	乱流モデル	中心建物なし		中心建物高さ1D		中心建物高さ2D	
			相関係数	標準誤差	相関係数	標準誤差	相関係数	標準誤差
本研究	OpenFOAM	標準k-ε	0.84	0.21	0.83	0.24	0.89	0.19
A	自作	標準k-ε	0.88	0.24	0.87	0.27	0.88	0.27
C	STREAM	標準k-ε	0.89	0.22	0.89	0.25	0.82	0.26
D	FLUENT	標準k-ε	0.91	0.24	0.88	0.29	0.86	0.30

5 CaseE (実在市街地モデル)

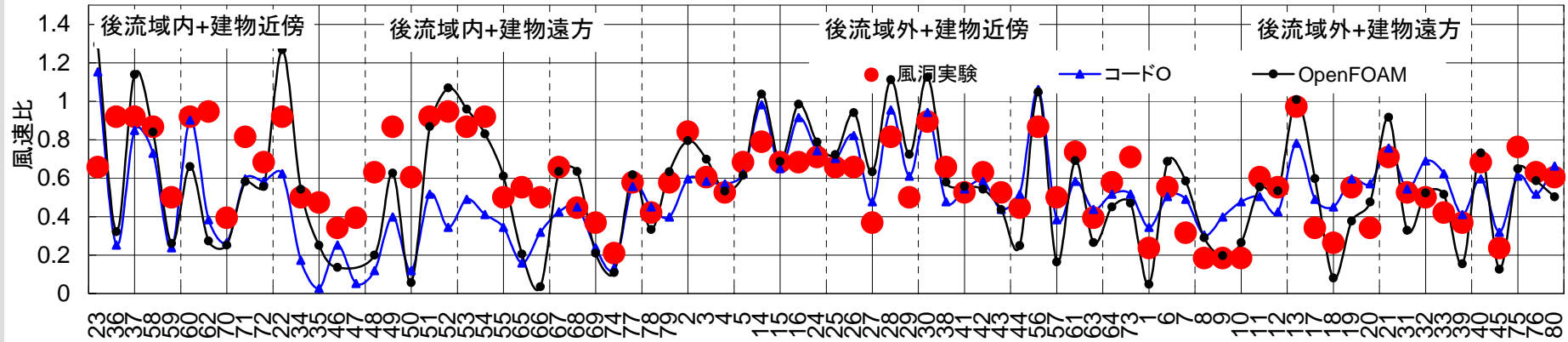
モデル



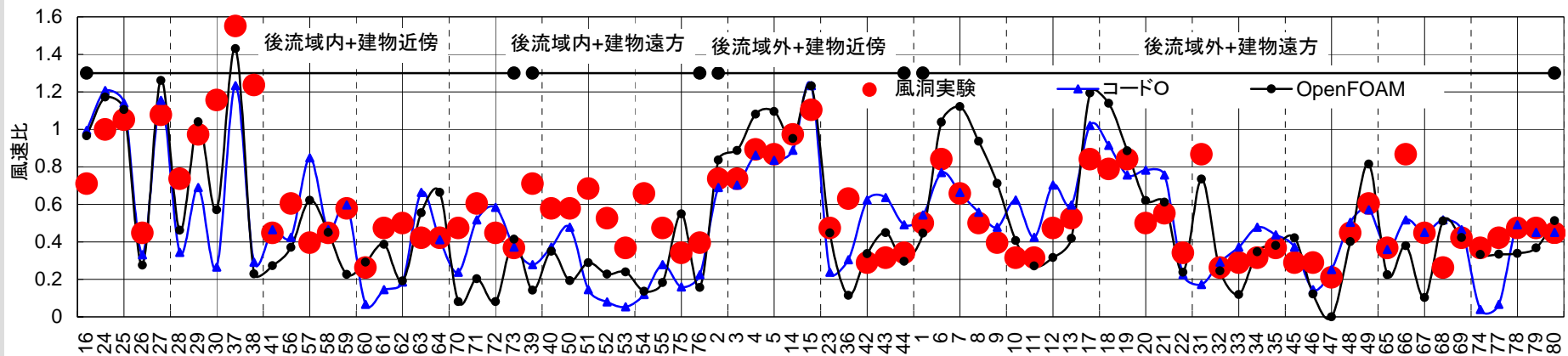
計算条件

流入境界条件	ベンチマーク指定値 ⁽¹⁾ を使用
上面・側面境界条件	slip壁 (側面は風向N,E,S,W時のみ)
流出境界条件	勾配ゼロ
固体壁面境界	滑面用の一般化対数則
乱流モデル	標準k-εモデル
移流項スキーム	TVD (van Leer limiter) スキーム
計算アルゴリズム	SIMPLE, 定常解法
計算格子分割法	適合直交格子による5段階細分化

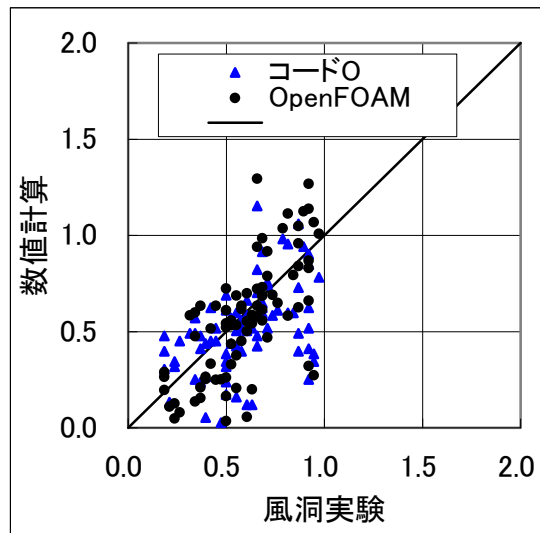
風向NNE



風向W

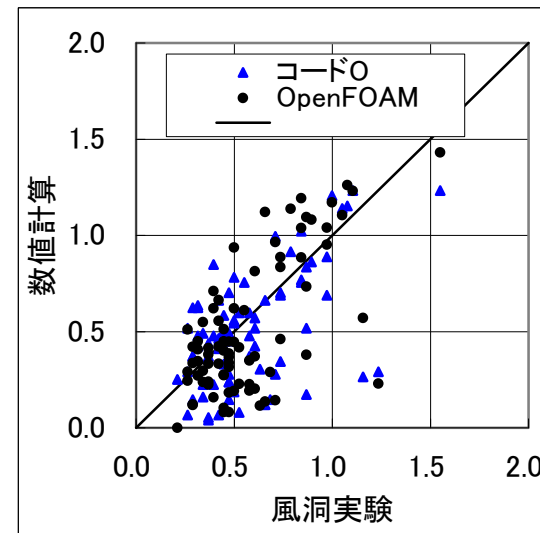


風向NNE



	相関係数	標準誤差
コードO	0.47	0.24
OpenFOAM	0.69	0.22

風向W



	相関係数	標準誤差
コードO	0.56	0.27
OpenFOAM	0.67	0.27

6 結論

OpenFOAMの計算結果は他の商用コードと
比べ概ね遜色はない