

平成27-28年度 建築基準整備促進事業

S18. 風圧力、耐風設計等の基準への数値流体計算の導入に関する検討

応募調査名

(イ) 実建築物を対象とした風洞試験及び大規模計算による数値流体計算
(平成27年度)

(ロ) 風洞試験と同等の妥当性のある数値流体計算の適用範囲に関する検討
(平成28年度)

応募者

東京工業大学 神戸大学
大林組 鹿島建設 清水建設

(技術指導: 国立研究開発法人 建築研究所)

建築基準法施行令第87条

建築物等の耐風設計をする際の風力係数等は平成12年建設省告示第1454号、1458号に定められた方法によるか**風洞試験**により求めることとされている。

数値流体計算 (Computational Fluid Dynamics、CFD)

風洞試験と同等な風圧や風速分布の結果が得られることが**大学や民間企業の研究成果**として発表されるなど、**技術的な発展**が進んでいる。



建築基準整備促進事業の調査研究テーマ

「S18 風圧力、耐風設計等の基準への数値流体計算への導入に関する検討」

目的

高層建築物等の性能評価(大臣認定)が実施される場合、風力係数等の評価に数値流体計算を用いるとき、数値流体計算の時間・空間解像度等の**計算条件**について、風洞試験と同等な**妥当性のある結果**を得ることができる範囲を明確にする。

各年度の実施内容

- イ) 実建築物を対象とした風洞試験及び大規模計算による数値流体計算(平成27年度)
- ロ) 風洞試験と同等の妥当性のある数値流体計算の適用範囲に関する検討(平成28年度)

(イ) 実建築物を対象とした風洞試験及び大規模計算による数値流体計算

実建築物を対象とした大規模計算による数値流体計算

- 複雑な形状をした対象建物, 並びに周辺建築物を再現した3次元市街地モデルを作成し, 流入変動風のデータベース化を実施
- 建築物まわりの風の流れ・風圧を正確に再現できる大規模計算をスーパーコンピュータ「京」上で実施し, チャンピオンデータを取得

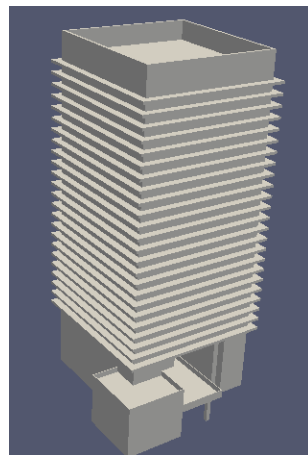


実建築物を対象とした風洞実験

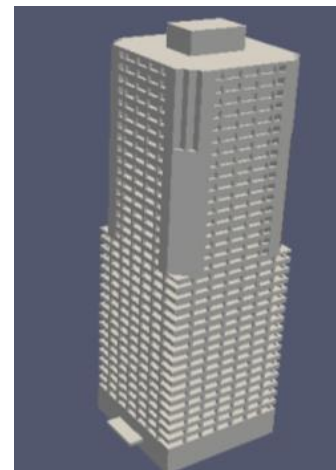
- 複数の風洞設備を利用した風洞実験, PIV, 熱線流速計による接近流の測定や壁面風圧の多点測定により実験のばらつき
- 風圧が建築物に作用するプロセスの検証が可能なデータを整備

対象建物

環境配慮型ファサードを有するオフィスビル
(以下オフィス棟)



バルコニーを有する高層集合住宅
(以下住宅棟)



大規模LESによるチャンピオンデータの拡充とデータベースの整備

平成27年度に得たチャンピオンデータに対して、**風向・アンサンブル数**を追加した解析を実施し、データ補充を行ったうえで、データベースを整備する

CFD実用計算法の提示

平成27年度に得た**チャンピオンデータ**をベースとした別コード(オープンソースコード, 建設会社の自社コード, 商用コード)による検証を行ったうえで、格子数と計算精度の関係等を示す。**実務用モデルのための計算条件**を例示する。

実建物を対象としたCFD解析

実建物を対象としたCFD解析を実施し、数値流体計算を用いて建築物の風荷重を適切に評価する上での**課題**とその**対応策**を明らかにする。



上記の結果を受けて、風洞試験と同等な妥当性のある結果を得ることができる**計算条件**を検討したうえで、数値流体計算の**適用範囲**に関する検討(適用除外の選定)を行う。

実施項目

- ・周囲の建築物群の配置あるいは当該建築物自体の形状を考えながら、平成27年度に実施した風洞実験の結果に基づき、重要となる風向を詳細に吟味し、風向が変化した場合の計算格子(メッシュ)を作成してFrontFlow/Red(FFR)によるLESを実施し、**風荷重の風向依存性**を明らかにする。
- ・平成27年度に得た計算結果に対して、別途流入変動風を加えて、**アンサンブル数を追加**するLES 計算を実施し、平均・変動・ピークの風荷重に関するアンサンブル数の影響を明らかにする

オフィス棟の解析ケース一覧

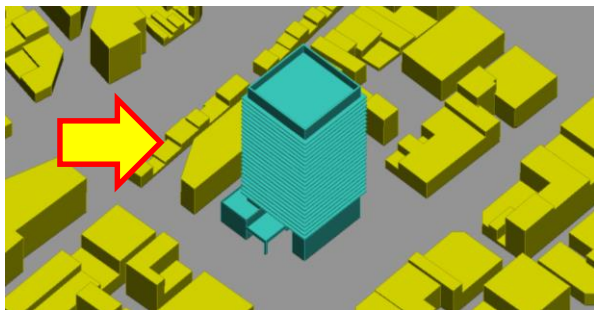
建物	周辺街区	格子点数	風向(°)	実大10分間波数	
				2015年度	2016年度
オフィス棟	無	約2億	90	1	-
	有	約2億	0	2	-
			65	3	4~9
			135	-	3
			90	1	-
		約18.4億	65	0.1	1

住宅棟の解析ケース一覧

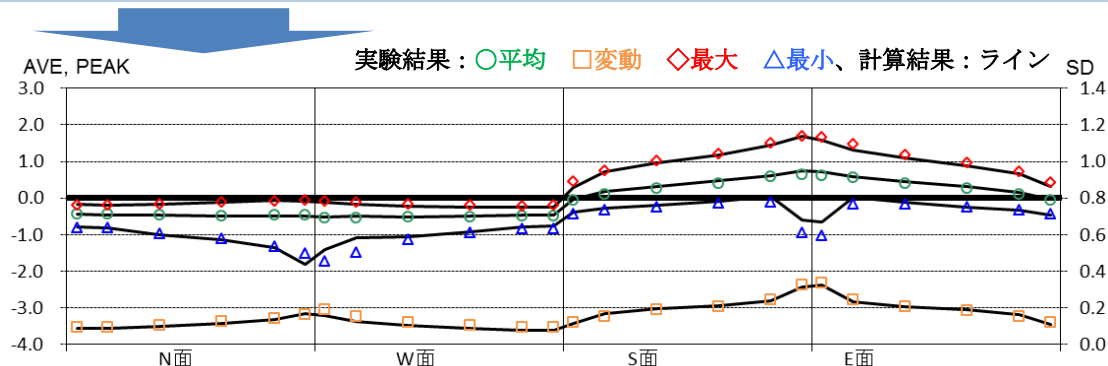
建物	周辺街区	格子点数	風向(°)	実大10分間波数	
				2015年度	2016年度
住宅棟	無	約2億	90	1	-
	有	約2億	0	2	-
			40	-	3
			80	3	4~9
			90	1	-
		約20億	80	0.1	1

・風向追加計算

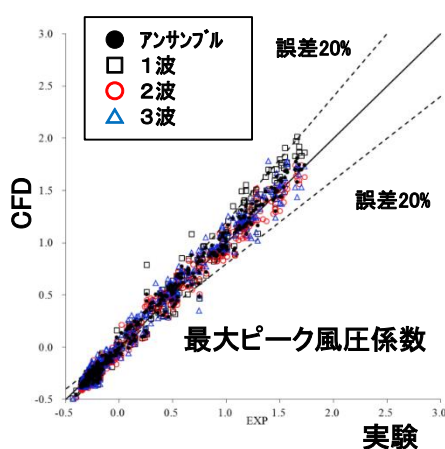
平成28年度は、屋上屋根面のピーク負圧が大きくなるような風向として、オフィス棟は**風向135°**，住宅棟は**風向40°** の**2億メッシュの解析**を追加した。



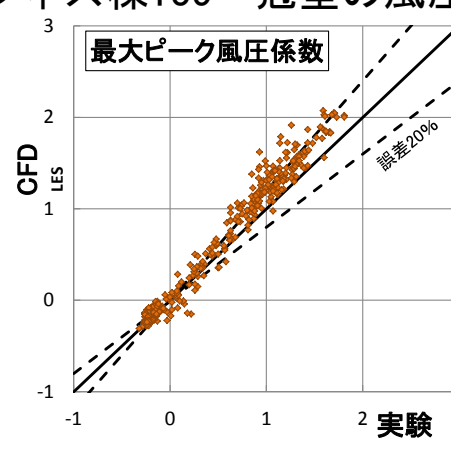
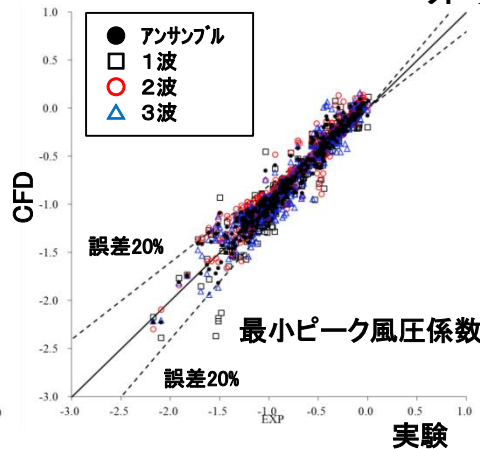
オフィス棟風向角135° モデル図



オフィス棟135° 冠壁の風圧係数分布



実験結果と解析結果の風圧係数の相関
(オフィス棟135°)

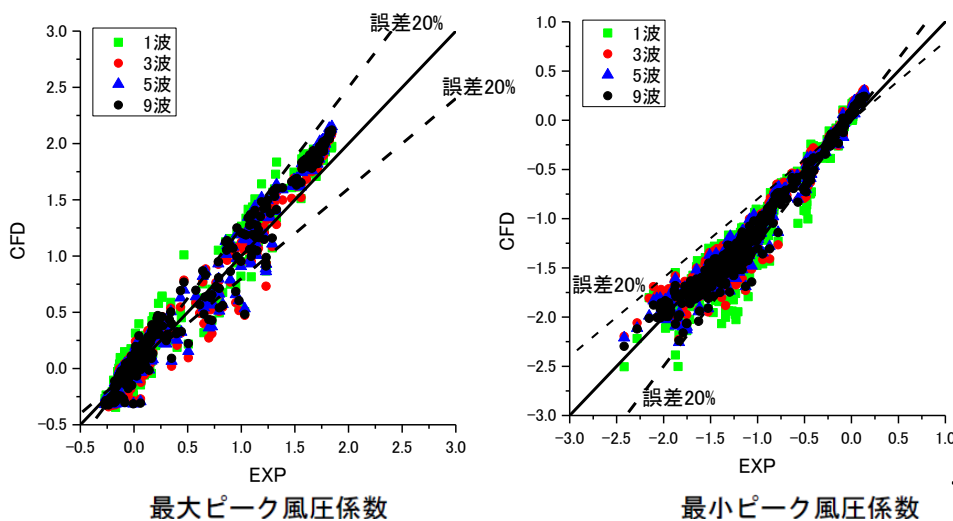


実験結果と解析結果の風圧係数の相関
(住宅棟40°)

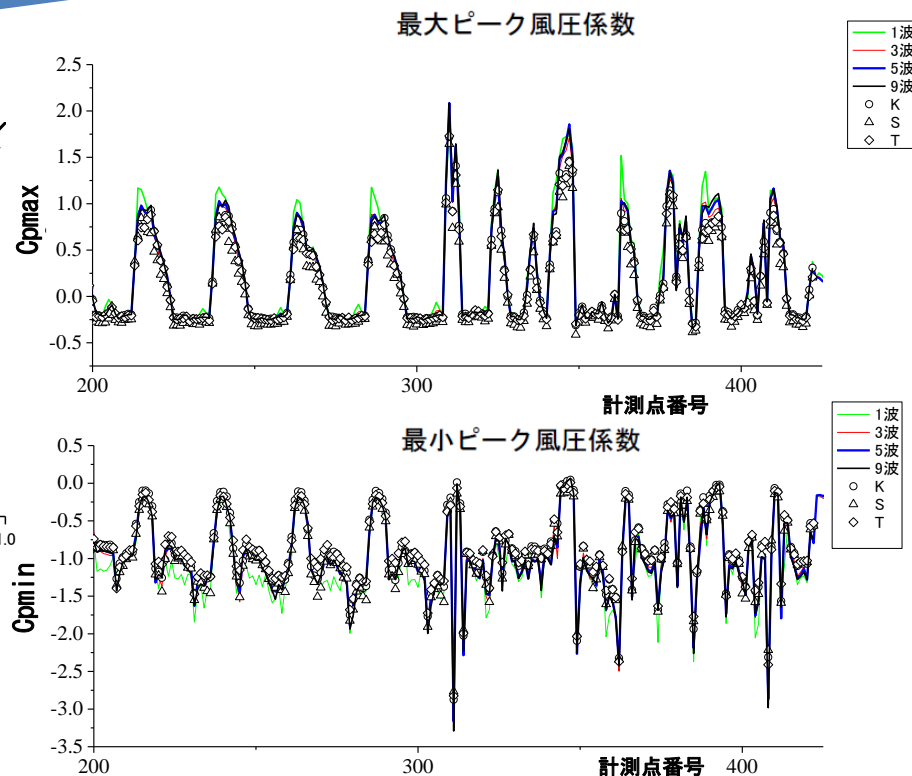
いずれのケースも壁面や屋根面などの全測定点での平均値・標準偏差・ピーク風圧係数は、ほぼ風洞実験結果に比べて誤差20%以内に収まることを確認。

・アンサンブル平均追加計算

平成27年度は、2億メッシュの解析モデルを用いて、オフィス棟は風向65°、住宅棟は風向80°のアンサンブル回数3回の解析を実施した。→平成28年度は風洞実験と同様にアンサンブル回数9回までの解析を追加し、その影響を検討した。



実験結果と解析結果の風圧係数の相関 (住宅棟80°)

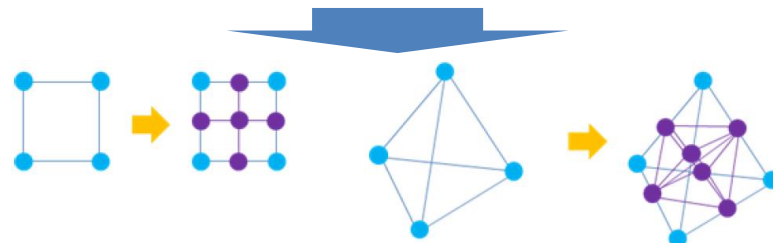


測定点番号毎の最大ピーク風圧係数のばらつき (オフィス棟65度)

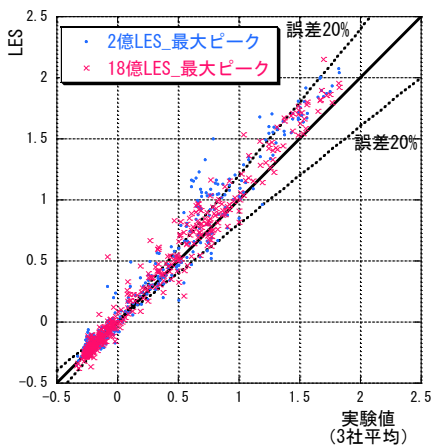
3波と5波以上の差はほとんど見られず、3波～5波以上のアンサンブル回数を確保することが望ましい。

・超精密追加計算

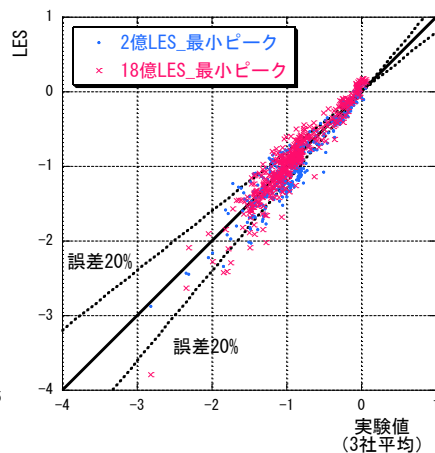
2 億メッシュの解析モデルをFFR のrefiner 機能を使って8倍とした超精密計算は、平成27年度は実大相当80秒程度であったが、平成28年度はさらに10分間までの解析を追加し、2 億メッシュと**超細密計算** (リファイン、オフィス棟**18.4 億**メッシュ、住宅棟**20 億**メッシュ)の解析結果を実験値と比較した。



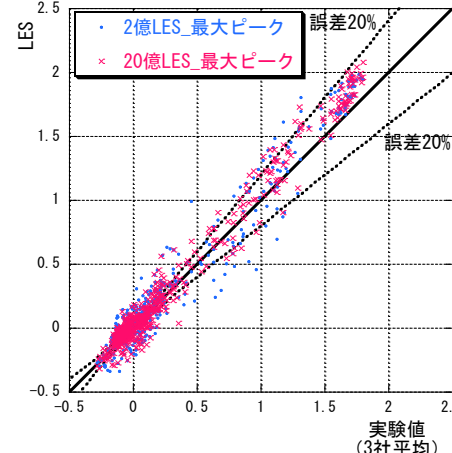
Refiner機能によるメッシュ再分割の概要



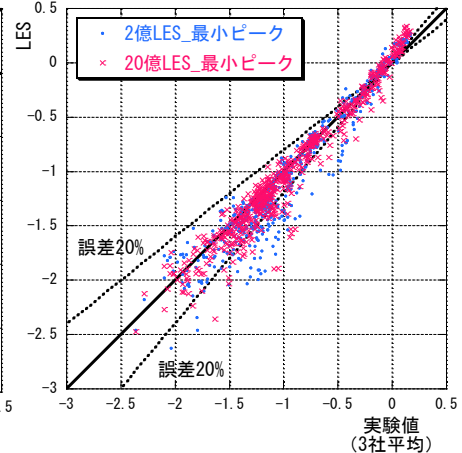
オフィス棟(風向65°)



実験値 (3社平均)



実験値 (3社平均)



実験値 (3社平均)

住宅棟(風向80°)

実験と解析のピーク風圧係数の相関図

超精密メッシュの計算結果は、2 億メッシュと明確な**差異がほとんど見られない。**

数値流体計算の実用化に関する作業の一環として、数値流体計算の妥当性確認用の**チャンピオンデータのデータベース**を作成した。

チャンピオンデータの拡充を踏まえ、昨年度の風向角0度, 90度, 特殊角の6 ケース, 本年度の風向角追加分2ケースの解析結果を**データベース**として報告書付属のCD-ROM に収録した。

まとめ

- ・ **風向追加計算**: 対角の隅角部から剥離するような風向角であっても、壁面や屋根面などの全測定点の平均値・標準偏差・ピーク風圧係数は、ほぼ誤差20%以内に収まることを確認。
- ・ **アンサンブル平均追加計算**: 1波のプロットは20%の誤差を示すラインから外れているが、3波以上のケースでは良い対応が認められた。3波、5波、9波とアンサンブル平均の回数を増やすことで、ばらつきが少なくなる。本検討においては、3波と5波以上のケースの差はほとんど見られず、3波～5波以上のアンサンブル回数を確保することが望ましい。
- ・ **超精密追加計算**: FFR のrefiner 機能を使って8倍のメッシュとした超精密計算結果は、2億メッシュと明確な差異がほとんど見られなかった。

2億メッシュのモデルを用いた解析結果は、チャンピオンデータとして風洞実験結果を十分に再現できているものと判断される。

第2章のチャンピオンデータと比較して、計算負荷を抑えた格子(格子数低減)を用いて各機関で数値流体計算を実施する。

→ 実用計算で用いられる計算条件、精度の検討を行う。

対象は平成27年度に実施した風洞実験(オフィス棟、住宅棟)結果

1. 解析コード: **商用コード・オープンソースコード**、ならびに**自社開発コード**
 - ・ **建築系機関**のコードおよび条件で実施
 - ・ **ベンダー**が提供する計算条件で実施
2. 解析コード: チャンピオンデータ作成に用いた**FFR(HPC版)**
 - 計算負荷を抑えた**リダクション計算**(計算格子数低減)を実施

それぞれ用いた**計算手法**、**格子解像度**、**予測精度**の比較

→ 風洞実験(オフィス棟、住宅棟)に対して、同等の妥当性のある結果が得られるケースの**計算条件**について検討

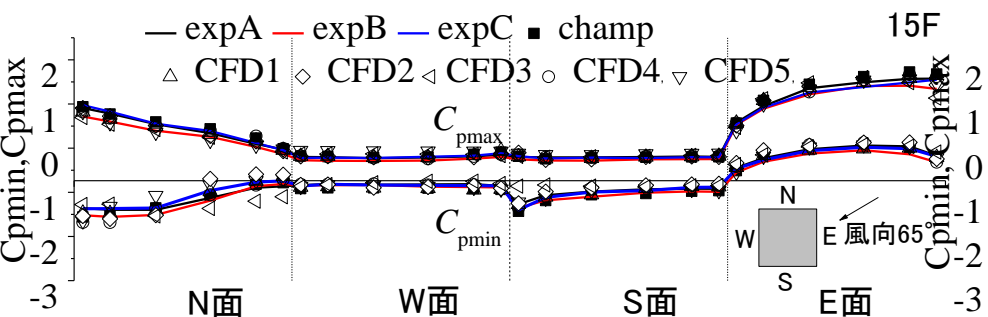
3. 各機関での計算条件

		清水建設	大成建設 CFD1	鹿島建設 CFD2	前田建設 工業 CFD3	大林組 CFD4	竹中 工務店 CFD5	ベンダー1	ベンダー2	東工大	
解析コード		FFR1	SCRYU	OF1	OF2	自社開発	自社開発	Fluent	STAR-CCM+	FFR2	
格子系		非構造					構造		非構造		
物理量定義点		節点中心		セル中心		節点中心	-----	セル中心		節点中心	
主なセル形状		テトラ	テトラ	ヘキサ	ヘキサ	テトラ	直交	ポリヘドラル	トリムメッシュ	テトラ	
数値粘性 一次風上のブレンド		10~20%	ガンマーリミ タ	20~50%*1	TVD 制限	5%	無し		15%	5%	
SGSモデル		SM Cs=0.1	SM Cs=0.15	SM Cs=0.12*2	SM Cs=0.2	CSM	SM Cs=0.12	SBES*3	WM*4	SM Cs=0.12	
格子点数		約3,100~ 6,500	約5,900~ 6,500	約4,800	約1,700~ 4,300	約4,300~ 6,600	約7,900~ 9,700	約8,900 ~9,100	約7,000	約5,000~ 5,500	
格子 解像度(m)	水平方向	0.2	0.4	0.3	0.4	0.2~0.4	0.215~0.54	提示なし ただし、境界層レイヤ-は有 ベンダー2は建物表面の 解像度が粗め		0.6~2m	
	隅角部	0.3~0.4	0.4	0.3	0.4	0.2~0.4	0.215			0.09	
	壁直交方向	0.04	0.08	0.04	0.4	0.06~0.1	0.215			有	
	境界層レイヤ-	有	有	有	無	有	----			有	
	鉛直方向	0.2	0.4	0.3	0.4	0.2~0.4	0.215~0.54			0.45m	
	周辺建物	3.0	0.8	0.8	1.6~6.4	3.5~4	0.215~8.6			0.6~2m	

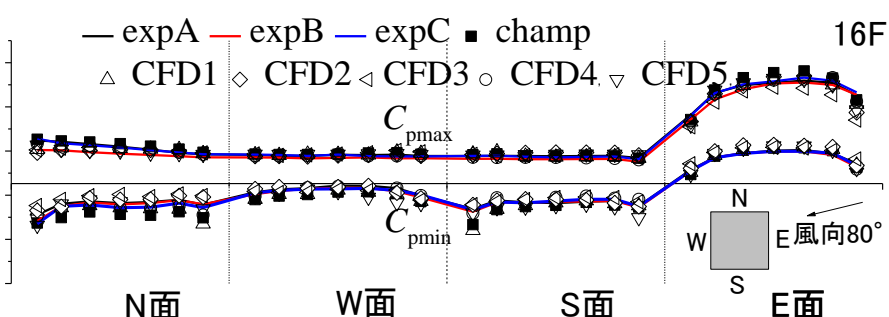
FFR1: FFR商用版、FFR2: HPC版、OF1: OpenFOAM (Helyx & v1606改) 鹿島版、OF2: OpenFOAM公開版 Fluent : ANSYS Fluent R17.2、STAR-CCM+: STAR-CCM+ Ver11.06、SM: 標準Smagorinskモデル、CSM: Coherent Structure Smagorinsky Model。

*1数値粘性Sweby Type limiterベース、*2WALE Cw=0.39Iでも計算、SBES*3: Stress Blended Eddy Simulation (SBES) RANS-LESをshielding functionでブレンドするモデル、SST-LES (WALE) をブレンドCw=0.325、WM*4: Wale Subgrid Scale (Cw=0.544, Ct=3.5, Kappa=0.41)。大成建設の格子解像度は、オフィス棟のケースを抜粋。流入変動風は、全て SEMIによるもの(平成27年度基整促の流入変動風)を利用、大成建設はSEMI以外の流入変動風でも解析。全て周辺有り。

実用的な計算負荷を想定

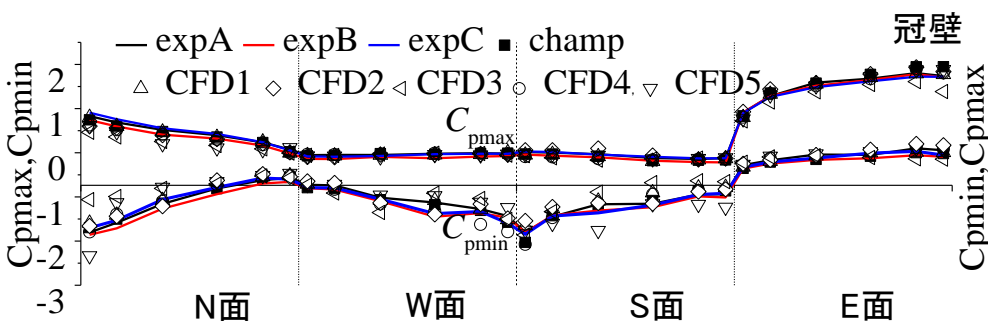


15階 壁面 (正方形)

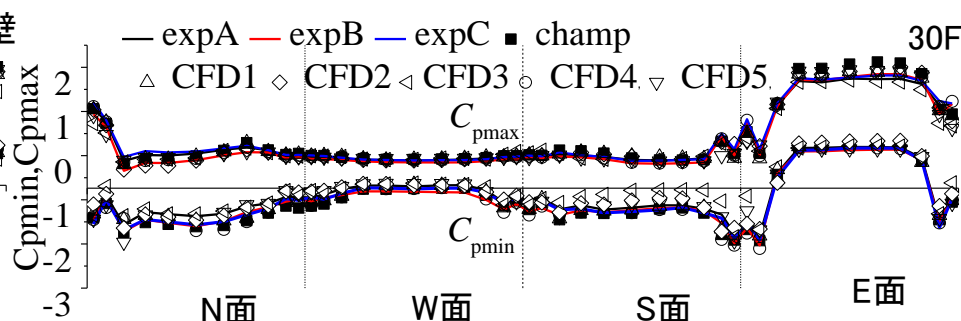


16階 壁面 (正方形)

ほとんどが、チャンピオンデータ同様に実験結果のばらつきの範囲



冠壁



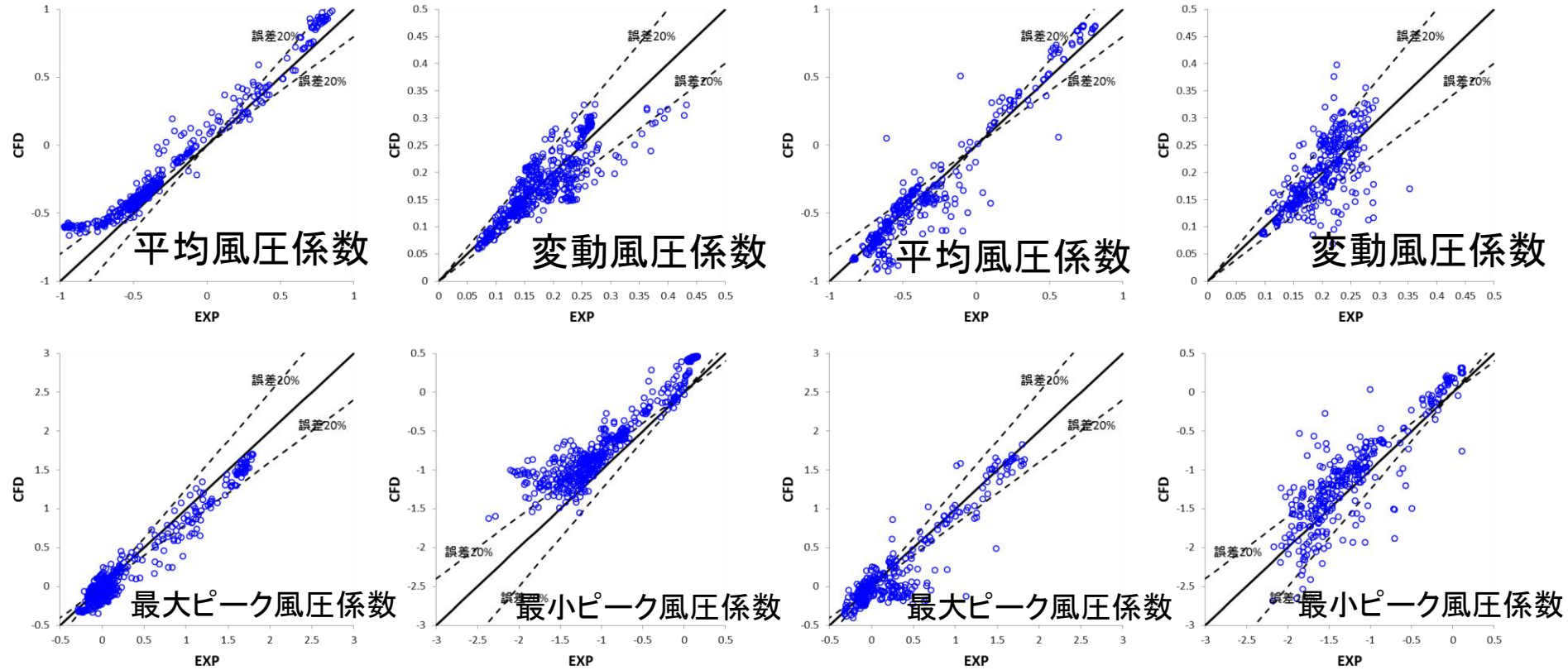
30階 壁面 (隅欠)

幾つかバラつきが認められる → 格子解像度の向上により改善が期待できる

オフィス棟65度

住宅棟80度

層毎の風圧係数の分布の比較



風圧係数のCFDと実験結果の相関(住宅棟80度)

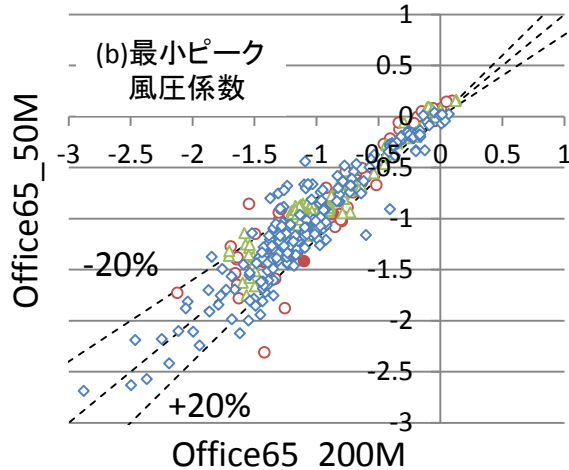
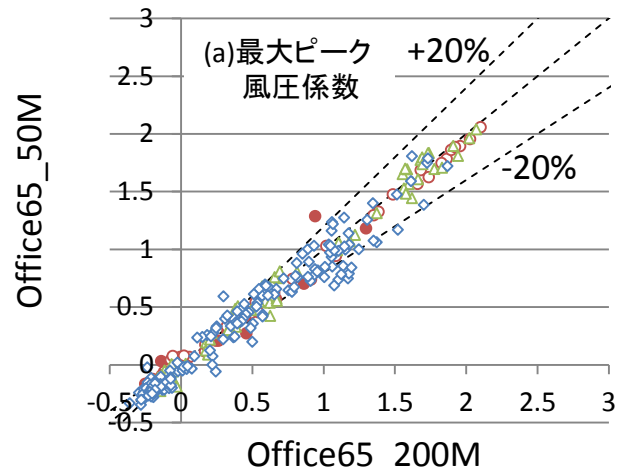
風圧係数のCFDと実験結果の相関(オフィス棟0度)

ベンダー1

ベンダー2

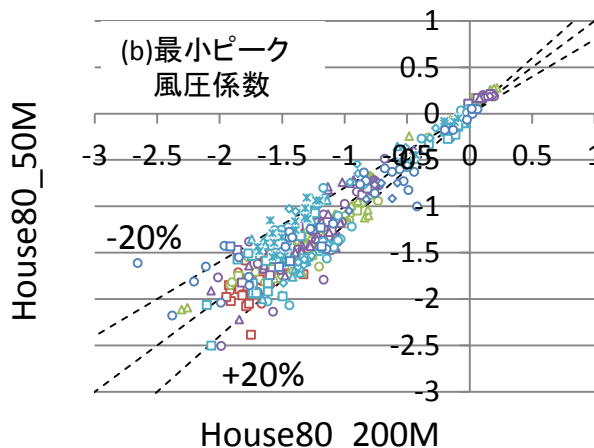
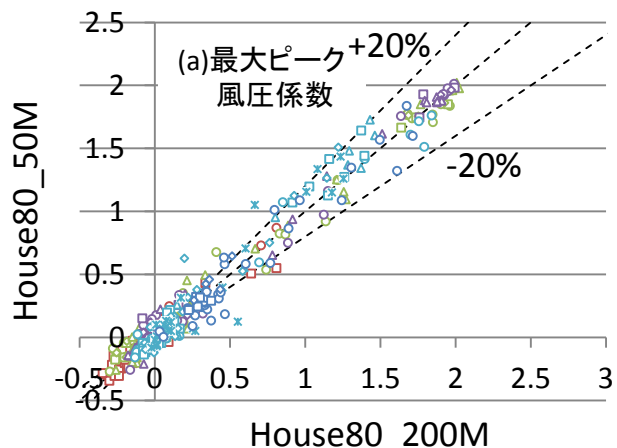
必ずしも、十分な精度が得られていない

→ CFD適用ガイド(日本建築学会)を満たすことで改善される可能性



凡例: ●屋根面 ○冠壁壁面, 26-27階底 ◇5階以下の低層部 △その他

風圧係数の相関(オフィス棟65度)



○ 搭屋	□ 屋上	○ 8層目壁面部
□ 8層目バルコニー一部外側	◇ 8層目バルコニー一部内側	△ 7層目壁面部
○ 6層目壁面部	□ 6層目バルコニー一部外側	◇ 6層目バルコニー一部内側
△ 5層目壁面部	○ 4層目壁面部	△ 3層目壁面部
□ 3層目バルコニー一部外側	◇ 3層目バルコニー一部内側	× 2層目壁面部
○ 1層目壁面部	□ 1層目底部上	◇ 1層目底部下

風圧係数の相関(住宅棟 80度)

Office65_200M:
オフィス棟風向角65度チャンピオンデータ

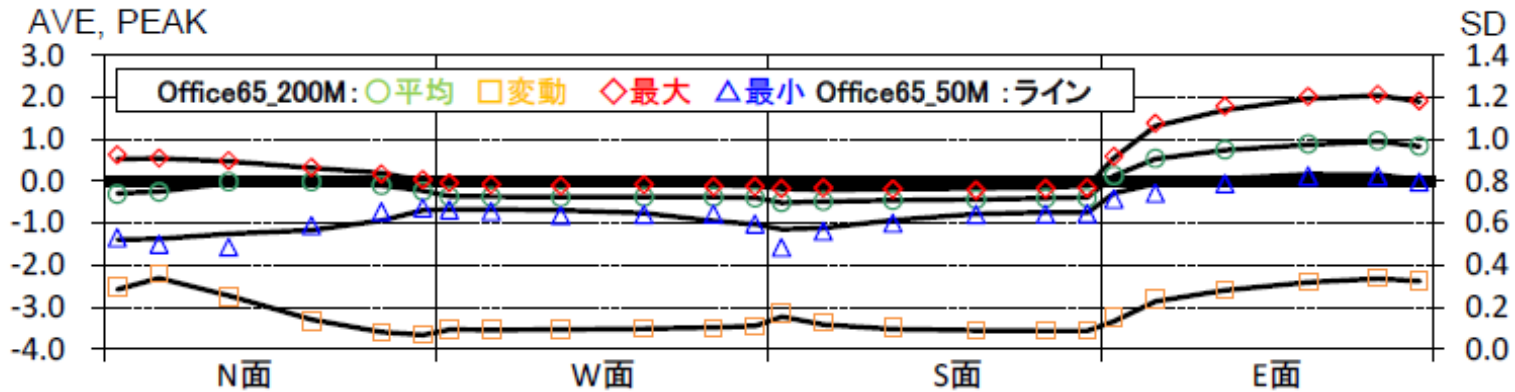
Office65_50M:
オフィス棟風向角65度
格子数低減ケース

House80_200M:
住宅棟風向角80度チャンピオンデータ

House80_50M:
住宅棟風向角80度
格子数低減ケース

※計算コードは
チャンピオンデータ
提供コードと同一
(Frontflow/Red)

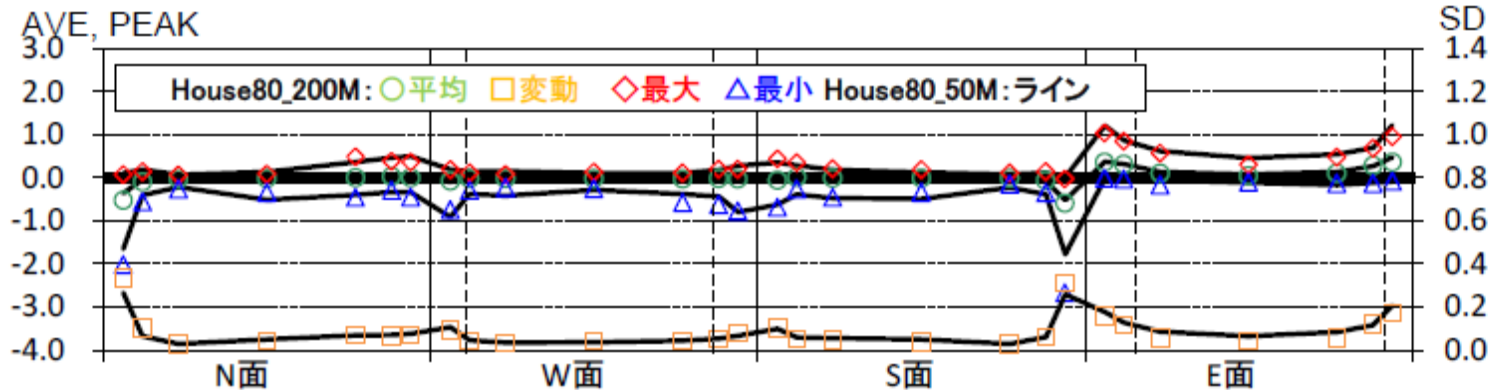
格子低減版でも
ほぼ20%の
誤差の範囲



オフィス棟風向角65度26階 壁面 (z=115.5m)

2億のケースとほぼ同様の結果

風圧係数の相関(オフィス棟65度)



住宅棟風向角80度、11階 バルコニー (z=40.7m)

風力係数の相関(住宅棟 80度)

格子低減版でも
ピーク風力の性状再現

■目的

様々な特徴を有する実建物を対象としてCFD解析を実施し、設計時の風洞実験や現地計測の結果と比較検討することで、CFD解析の精度と適用性を検証する。

■対象建物

高層建物が林立する大手町、中層建物が密集する日本橋、複雑な地形上に中低層建物と高層建物が林立する虎ノ門、中低層建物が密集する練馬、中層建物が密集する京橋の各地区に建つ高層建物を対象。

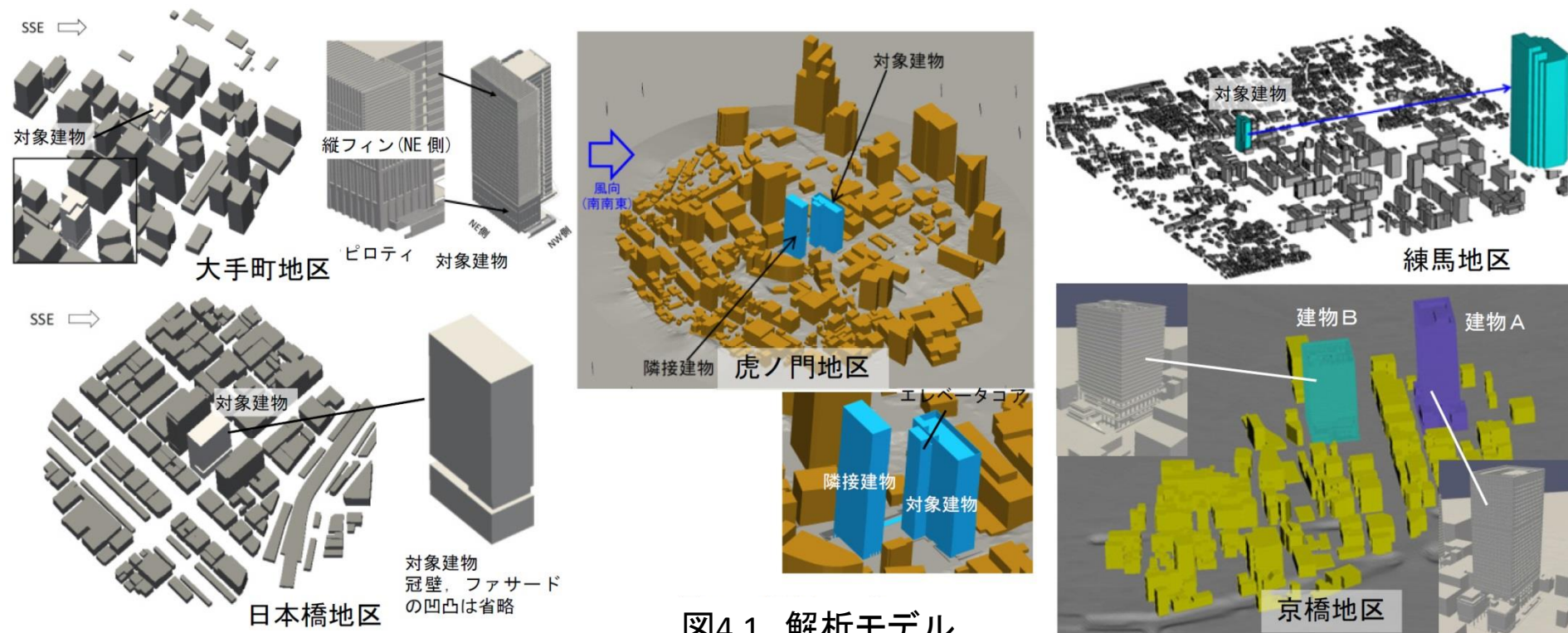


図4.1 解析モデル

- 大手町、日本橋、京橋: 複雑なファサードを有しており、解析モデルの作成にあたって、詳細なCADデータから**不要なデータを削除**する等の**前処理**が必要。
- 虎ノ門: 複雑な地形上に建つため、市街地の周辺部で地形段差の**テーパ処理**が必要。解析モデルの作成にあたって、その接続部や細い街路等で**CADデータの前処理**が必要。
- 練馬: CUBEによる計算のため前処理は不要。

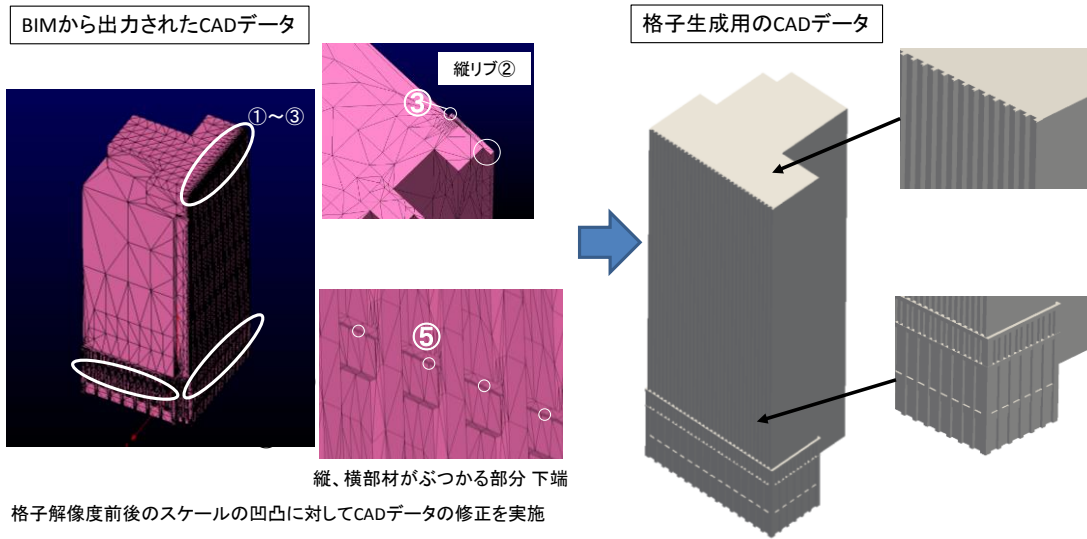


図4.2 格子生成用のCADデータの修正事例(大手町)

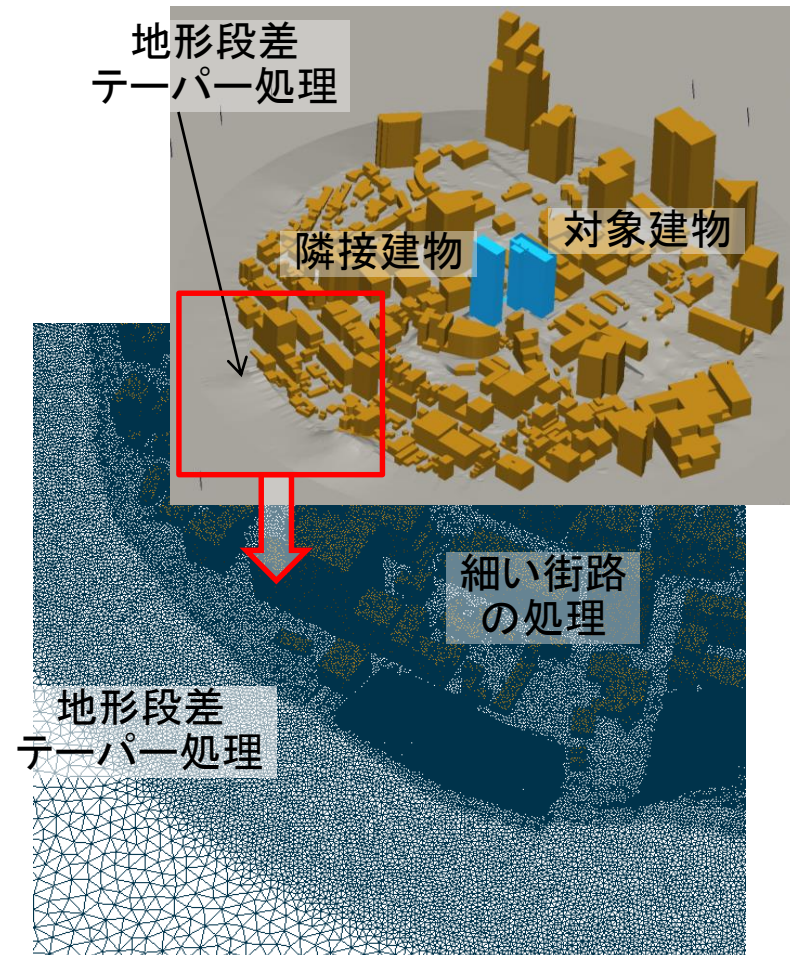


図4.3 地形段差の処理事例(虎ノ門)

■ 大手町:

- ・周辺に同程度の建物が林立しており、計算結果の平均値は**全て負値**。
- ・最小ピークは、計算結果と実験結果で絶対値が最大となる地点が異なる。これは、**解析モデルと実験模型の差**が一因。

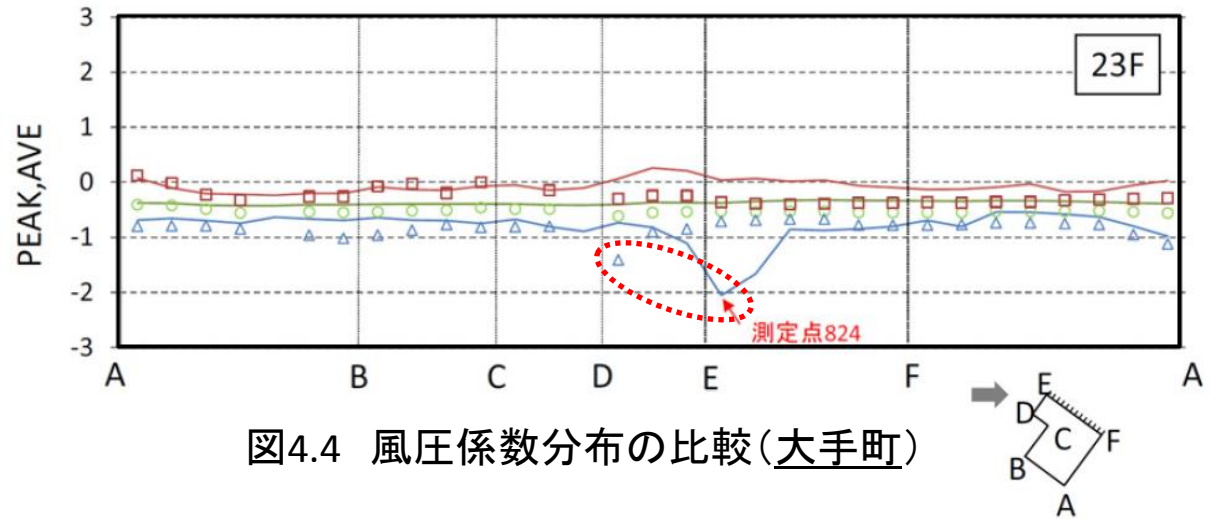


図4.4 風圧係数分布の比較(大手町)

■ 日本橋:

- ・風上側の建物からの剥離流が対象建物に対して45度の角度で流入することで隅角部に剥離を生じさせ**局所的に強い負圧**を生じさせることを確認。
- ・CFDで建物表面の圧力分布を可視化することで**実験の測定点以外**でも局所的に強い負圧が生じることを確認。

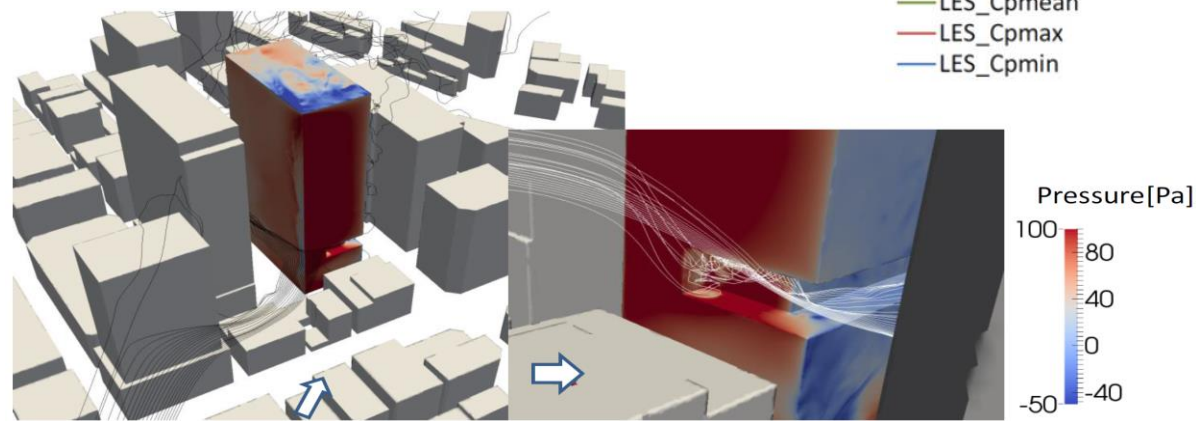


図4.5 建物表面の圧力分布と流線図(日本橋)

■ 虎ノ門:

- 対象建物まわりの風の流れは、**周辺の高層建物の影響**を強く受けており、その格子解像度の確保が重要。
- 計算と実験の風圧係数は、概ね20%の誤差に収まる。
- 粗度区分IVでは、標準偏差と最大ピークに関して、エレベータコア部で計算結果が実験結果を下回る。これは**流入変動風**の乱れの強さが**実験気流**に比べて小さいことが主な原因。

■ 練馬:

- 中低層建物が密集する地域に建つ隅欠きを有する高層建物を対象に、CFDで求めた風力による**応答結果**と**実測結果**を比較した結果、計算結果と実測結果は、概ね良好な対応を示した。

実験: ●平均(AVE) ■標準偏差(SD) ◆最大(+PEAK) ▲最小(-PEAK) 計算: 実線

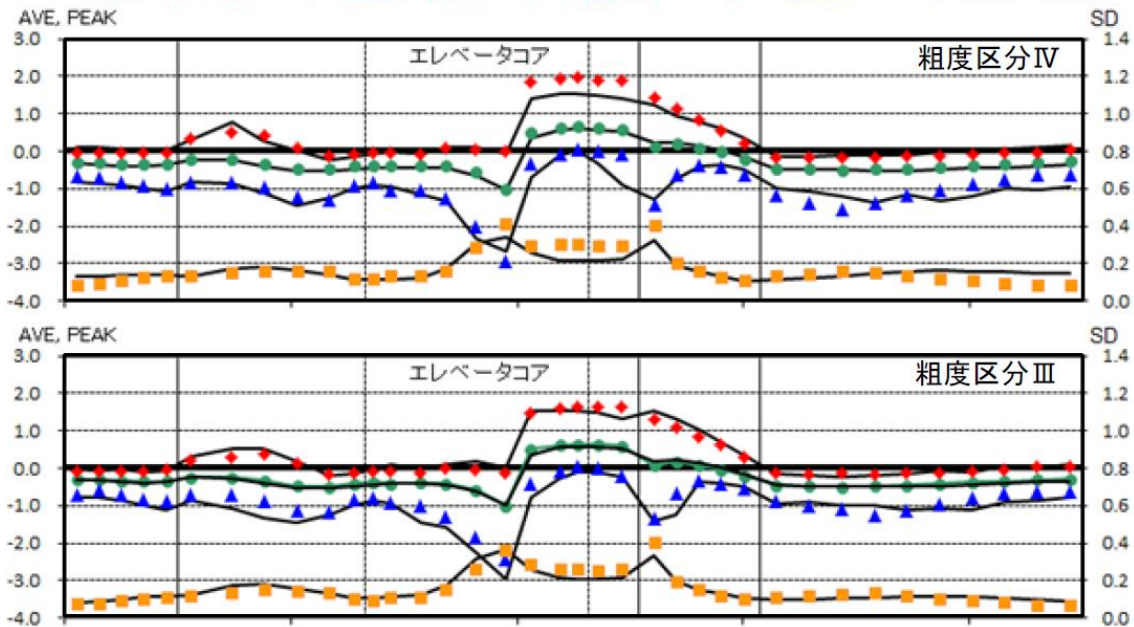


図4.6 風圧係数分布の比較(14階)(虎ノ門)

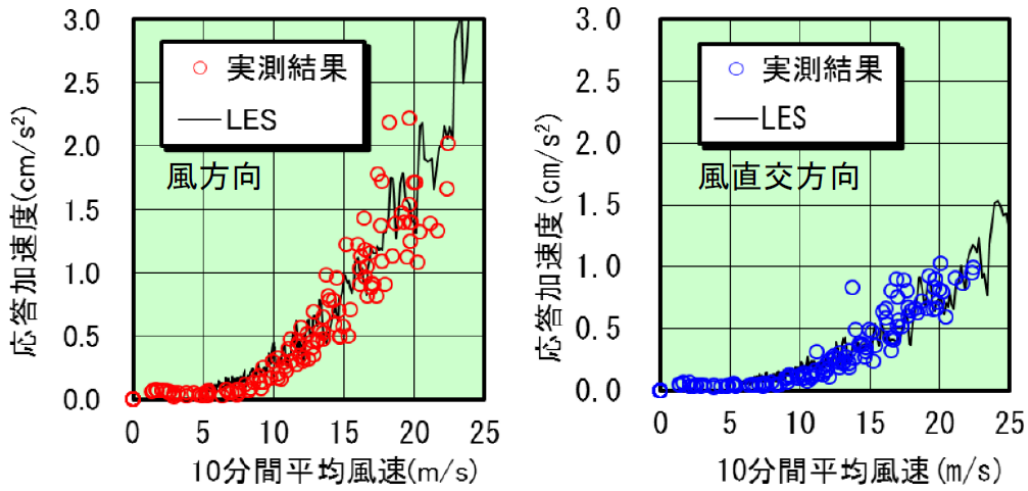


図4.7 風応答の比較(練馬)

■京橋:

- ・建物A、建物Bとも計算結果と実験結果が**良く対応**している。
- ・建物Aと建物Bは近接しているため、高層部では上流側に建つ建物Bの隅角部で生じる**剥離せん断層**が風下側の建物Aに**ぶつかる**ことを確認。
- ・**地下空間**への風の流入・流出の様子が確認できた。

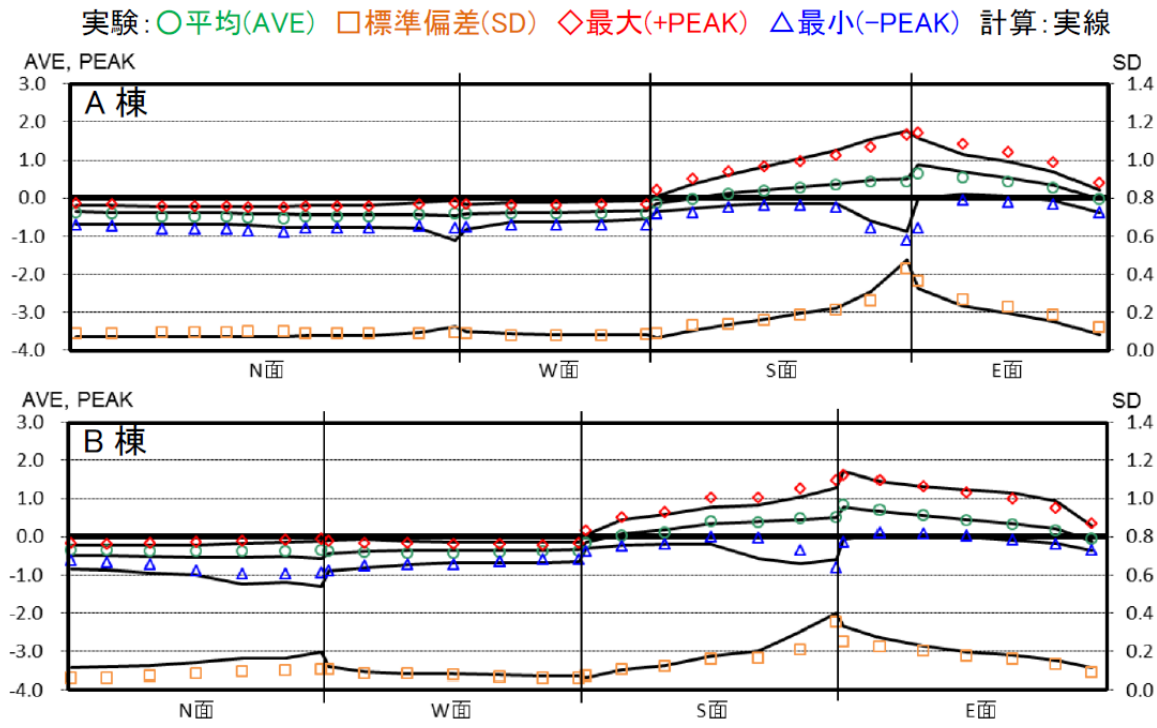


図4.8 風圧係数分布の比較(A棟28階, B棟24階)(京橋)

■まとめ

実建物は一般に複雑な形状を有するが、どこまで簡素化するかが解析モデル作成のポイントである。ここで紹介した事例では、数億メッシュの格子で表現するモデルで実用上のデータが取得できることが確認できた。

□計算条件の整理

以下の計算事例の結果から計算条件を整理し、風洞実験と同等な妥当性のある結果を得ることができる**計算条件**の検討を行う。

平成28年度風洞実験結果を対象とした計算(住宅棟**9ケース**＋オフィス棟**10ケース**)
実建物を対象とした計算結果(**5ケース**)

整理した項目

- 解析手法
 離散化手法
 乱流モデル(SGSモデル)
- 計算領域の大きさと境界条件
 計算領域の大きさ
 境界条件
- 格子解像度
 形状の再現
 格子解像度

表 5.1.1 計算条件の比較 (住宅棟 その1)									
項目	解析 1	解析 2	解析 3	解析 4	解析 5	解析 6	解析 7	解析 8	解析 9
解析規模 (セル数)	約 2.5 億	約 5500 万	約 3700 万	約 4800 万	約 1700 万、約 2900 万	約 6990 万	約 4500 万 (ICEM)	約 5100 万 (ICEM)	約 5100 万 (ICEM)
計算コード名、Version No. など	FrontFlow Red	FrontFlow Red	FrontFlow Red	OpenFOAM-v1606+(80 度)、Helyx-2.2(90 度)	OpenFOAM ver.1.7	SCRYU/Tetra	自社開発コード	自社開発コード	自社開発コード
開発者	オープンソース	オープンソース	オープンソース	OpenFOAM 開発者、Helyx-2.2 (株) ソフトウェア	オープンソース	オープンソース	自社開発コード	自社開発コード	自社開発コード

表 5.1.2 計算条件の比較 (オフィス棟 その1)									
項目	解析 1	解析 2	解析 3	解析 4	解析 5	解析 6	解析 7	解析 8	解析 9
解析規模 (セル数)	約 2.3 億	約 5000 万	約 6500	約 2.3 億	約 4800 万	約 2800 万、約 4300 万	約 5880 万	約 5100 万 (ICEM)	約 5100 万 (ICEM)
計算コード名、Version No. など	FrontFlow Red	FrontFlow Red	FrontFlow Red	FrontFlowRed	OpenFOAM-v1606	OpenFOAM ver.1.7	SCRYU/Tetra	自社開発コード	自社開発コード
開発者	オープンソース	オープンソース	オープンソース	オープンソース	OpenFOAM 開発者	オープンソース	(株) ソフトウェア	自社開発コード	自社開発コード

表 5.1.3 計算条件の比較 (実建物モデル その1)									
項目	解析 1	解析 2	解析 3	解析 4	解析 5				
解析対象モデル	大手町地区 OHT モデル	日本橋地区 NHB モデル	虎ノ門地区モデル	鎌倉地区	実建物				
総計算セル数	約 2.6 億	約 2.5 億	約 3.2 億	約 8.9 億	約 1.1 億				
計算コード名、Version No. など	FrontFlow Red	FrontFlow Red	FrontFlow Red	CUBE	FrontFlow Red				
開発者	オープンソースコードの NuFD 版	オープンソースコードの NuFD 版	オープンソースコードの NuFD 版	理化学研究所	オープンソースコードの HPC 版				
空間離散化手法	非構造格子 (有領域積分法、コロケート格子、節点中心法)	非構造格子 (有領域積分法、コロケート格子、節点中心法)	非構造格子 (有領域積分法、コロケート格子、節点中心法)	構造格子 (有領域積分法、コロケート格子、セル中心法)	非構造格子 (有領域積分法、コロケート格子、節点中心法)				
空間離散化精度	対流項: 2 次中心差分+1 次風上 (5%)	対流項: 2 次中心差分+1 次風上 (5%)	対流項: 2 次中心差分+1 次風上 (5%)	対流項: 2 次中心差分+1 次風上 (5%)	対流項: 2 次中心差分+1 次風上 (5%)				
時間積分手法	陰解法	陰解法	陰解法	クラウンニコルソン法	陰解法				
時間解像度	1 次精度	1 次精度	1 次精度	2 次精度	1 次精度				
圧力解法 (アルゴリズム)	SMAC 法	SMAC 法	SMAC 法	Fractional step 法	SMAC 法				
圧力解法 (数値解法)	圧力修正 P のポアソン式: ICCG 反復法	圧力修正 P のポアソン式: ICCG 反復法	圧力修正 P のポアソン式: ICCG 反復法	R-B SOR 法	圧力修正 P のポアソン式: ICCG 反復法				
乱流モデル	標準 Smagorinsky モデル	標準 Smagorinsky モデル	標準 Smagorinsky モデル	標準 Smagorinsky モデル?	標準 Smagorinsky モデル				
モデル定数 (S モデル)	Cs=0.1	Cs=0.1	Cs=0.1	Cs=0.15	Cs=0.1				
壁面条件 (S モデル)	Van Driest の減衰関数	Van Driest の減衰関数	Van Driest の減衰関数	Van Driest の減衰関数	Van Driest の減衰関数				
計算領域の大きさ	流入境界までの距離: 600m	流入境界までの距離: 1,200m	流入境界までの距離: 1,200m	流入境界までの距離: 900m	流入境界までの距離: 約 1,250m				
流出境界までの距離	600m	1,200m	1,300m	750m	600m				
側方境界までの距離	600m	600m	900m	750m	600m				
計算領域の高さ	1,200m	1,200m	1,200m	1,500m	1,200m				
流入境界 風速	流入変動風を規定	流入変動風を規定	流入変動風を規定	流入変動風を規定	流入変動風を規定				
流入境界 圧力	Neumann 条件	Neumann 条件	Neumann 条件	Neumann 条件	Neumann 条件 (p1=0)				
流出境界 風速	Neumann 条件	Neumann 条件	Neumann 条件	Neumann 条件	Neumann 条件				
流出境界 圧力	Neumann 条件	Neumann 条件	Neumann 条件	Neumann 条件	Neumann 条件 (p1=0)				
側面・上空境界	Free-slip	Free-slip	Free-slip	Free-slip	Free-slip				
建物・地表面境界 風速	Spalding 則に基づいた壁法則	Spalding 則に基づいた壁法則	Spalding 則に基づいた壁法則	Spalding 則に基づいた壁法則	Spalding 則に基づいた壁法則				

計算条件の整理

1 解析手法

1) 離散化手法

構造格子、非構造格子いずれの離散化手法も有効である。

ただし庇やバルコニーなどの付属物がある複雑な形状をした建物では、**形状の再現性**が良い**非構造格子**が有利

2) 対流項の離散化近似

2次精度中心差分に対して**5%程度**の1次精度の風上差分を付加する。

計算が不安定な場合にはリミッター付きで流れ場に応じてその割合を制御

3) 時間積分

時間刻みを大きく設定できる**陰解法**を時間積分法に用いる事が多い。

4) LESのSGSモデル

標準Smagorinskyモデルはモデル定数**0.1~0.15**で、壁面で**減衰関数**を用いる。

WALEやCSMなどの改良型のモデルの場合には、減衰関数は必要ない。

2 計算領域の大きさと境界条件

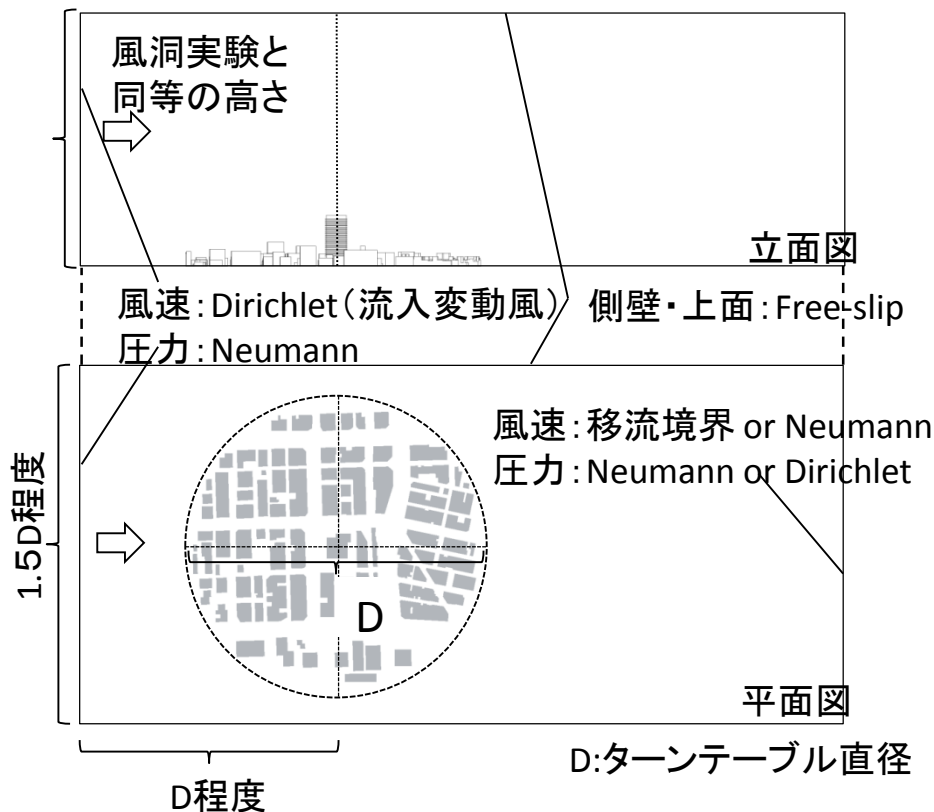
1) 領域の大きさ

風洞実験と同等な計算領域を設定するのが望ましい。

流入変動風が流入境界で与えられる場合には、ターンテーブル直径の**1.5倍**程度の矩形領域を設ける。

風下には、十分な流下距離(**ターンテーブル直径相当**)を設ける。

領域の高さも風洞実験での設定を参考とする。



2) 流入境界条件

風速には流入変動風を規定、圧力にはNeumann条件

3) 流出境界条件

風速: 移流型もしくはNeumann条件、
圧力: Neumann、Dirichletいずれの条件も適用可能

4) 側壁、上空境界条件

Free-slip条件

5) 建物・地表面境界条件

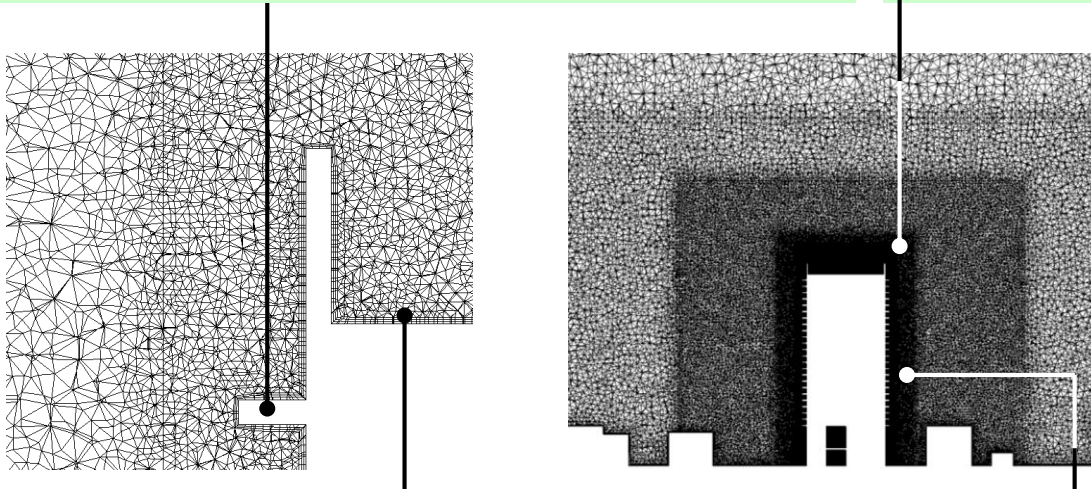
風速に対して対数則を用いて、壁面や地表面への摩擦力を評価

3 格子解像度(その1)

1) 形状の再現: 基本的に風洞実験模型の精度で再現するのが望ましい。

2) 建物表面の解像度: 庇やバルコニーといった**付属物**を再現できる解像度が必要

3) 建物の隅角部の解像度
 $B/100$ 程度以下の格子幅である事 (B は建物の見附幅)



4) 建物表面に沿った境界層に対する解像度
 $B/250 \sim B/1000$ 程度の格子解像度で、かつ表面に沿って3層程度の境界層要素を配置する事

5) 建物近傍の空間の解像度
 $B/100 \sim B/50$ 程度の解像度で、かつ歪んだ格子を配置しない事

6) 直交格子の場合の注意点

風向角が格子線と一致しない場合や、壁面と格子線が一致しない場合には、建物表面や隅角部の解像度は、**非構造格子よりも充分に細かく**とる必要がある。

3 格子解像度(その2)

7) 実建物を対象とした解析の注意点

細部の形状まで再現すると格子数が増えるので、建物3次元モデルの段階で**簡略化等の修正作業**が必要

8) 周辺建物に対する格子解像度

今回の検討では要求条件を示すことができなかった。風向変化に対する風圧・風力の変化を検証する事で、風上にある建物に対する格子解像度の影響が把握できるものとする。

4 適用除外

以上は、風洞実験モデルならびに実建物を対象として得られた知見
ラチス構造物を対象とした解析に基づく検討は未実施



現段階では、ラチス構造物に対するCFDによる風荷重評価は適用除外とする。

平成27、28年の2年間にわたり、数値流体計算の実用化に向けた検討の一環として「数値流体計算技術検討委員会」を発足させ、6回の委員会を開催した。委員会では2年間で実施された風洞実験や数値計算の検討結果から

- ・実用化を実現する上での課題
- ・今後の方向性

について討論が行われた。

実用化を実現する上での課題(抜粋)

- ・ CFDの判断基準は、建築学会の適用ガイドが目安となり、風洞実験と同様に耐風設計の専門家に加えて流体力学の専門家のチェックが必要になる。
- ・ CFDの検証対象として基整促で実施した実験・数値解析の情報を一般公開する必要がある。ただし、大量のデータ等の公開方法については、今後の課題となる。

今後の方向性(抜粋)

- ・ チャンピオンデータの1/4程度の格子解像度の解析モデルでも良好な結果が得られる傾向が確認された。概ね5000万程度の格子数が目安と考えられる。
- ・ 大臣認定の際、審査の際のチェック項目や計算条件については、数値計算技術の進歩に伴い、常に見直しが必要。今後はチェックシートの活用等CFDの運用を含め委員会等を発足して継続的な体制を考える必要がある。

大規模LESによるチャンピオンデータの拡充とデータベースの整備

- **解析風向、アンサンブル数**の追加解析からチャンピオンデータの拡充とデータベースの整備を実施
- 2億メッシュアンサンブル数3回のデータは十分風洞実験の結果を再現している。
- アンサンブル回数は**3~5波以上**を確保するのが望ましい。

CFD実用計算法の提示

これまでのチャンピオンデータに比べて、計算負荷を抑えた格子を用いて各機関で下記の数値流体計算を実施し、実用計算で用いられる計算条件の検討を行った。

- **商用コード、オープンソースコード、ならびに自社開発コード**により計算を実施し、風洞実験(オフィス棟、住宅棟)に対して、同等の妥当性のある結果が得られたケースの計算条件について検討を行った。
- 昨年度の解析と比較して、計算負荷を抑えた**リダクション計算**を実施し、適切なCFDの計算結果が得られる格子解像度を提示した。

実建物を対象としたCFD解析

実建物は一般に複雑な形状を有するが、どこまで簡素化するかが解析モデル作成のポイントである。実建物の解析では、数億メッシュの格子で表現するモデルで実用上のデータが取得できることが確認できた。

CFDの計算条件

第3章ならびに第4章の結果を受けて、風洞試験と同等な妥当性のある結果を得ることができる計算条件を検討し、数値流体計算の適用性に関する検討(適用除外の選定)を実施

数値流体計算の実用化に向けた方針

数値流体計算(CFD: Computational Fluid Dynamics)の実用化に向けて、「数値流体計算技術検討委員会」を発足させて、委員会の討議から数値流体計算の適用に関する課題等を提示した。