

市街地の風環境におけるネスティング領域に関する研究

CFD 解析と実測の比較を通して

A Study on Boundary Setting of CFD for Ventilation in Urban Environment

Comparison between CFD simulation and the actual survey

○三部 玲子*¹, 小笠原 正豊*²

Reiko SAMBU*¹, and Masatoyo OGASAWARA *²

*¹ 東京電機大学未来科学部建築学科

Undergraduate Student, Department of Architecture, Tokyo Denki University.

*² 東京電機大学建築学科 准教授 博士(工学)

Associate Professor, Department of Architecture, Tokyo Denki University, Dr. Eng.

キーワード : CFD 解析; シミュレーション; 解析条件; 実測; 通風

Keywords: CFD simulation; simulation; analysis; actual survey; ventilation.

1. 背景・目的

2011 年東日本大震災以降、省エネルギーへの関心が高まり、有用な手段として自然通風が注目されている。通風の開口検討は、設計初期段階での実施が有効である。しかし、CFD 解析は専門の知識を要する為、意匠設計者による初期段階の使用は難しい。

また、これまでに解析精度の向上を目的とした、CFD 解析条件についてのベンチマークテストは多く行われている。さらに、2006 年から 2018 年の日本建築学会計画系論文集及び環境系論文集内で、風に関する CFD 解析は、都市スケールの屋外を対象にした論文は、151 本、一室の屋内を対象とした論文は、289 本の論文がある。しかし、ネスティング手法を利用した論文は 5 本と少ない。加えて、ネスティング領域に関する研究は、考慮すべき要素が多いため、行われていない¹⁾。ネスティング領域を利用し段階的に解析を行うことで、解析性能の高い機材を用いず、解析を行うことが可能となる。また、細かなメッシュを作成可能になるため、市街地など周辺環境へ考慮が必要な敷地における CFD 解析結果を、意匠設計者が設計段階で得られる可能性が増す。そこで本論は、実測と解析結果を比較し、解析領域内の対象建物と周辺建物の関係から、妥当なネスティング領域の検証を目的とする。

2. 研究方法・手順

対象建物は、市街地に位置する 5 階建て中層住宅とする。開口面積は、B 側 C 側それぞれ 1.08m²、0.99m²である。測定機器は、2 次元的に風向風速を計測する NETATMO 社の Netatmo 風速計モジュールを用いる。実測は 5 分毎、気象庁は 10 分毎の風向・風速の平均値である。実測期間は 2020 年 3 月 20 日～25 日の起居時間内の

7 時～19 時の 12 時間とする。2 階個室(測定高さ 4.8m)と屋上(測定高さ 18.4m)における実測の様子を、(Figure 1.)に示す。

まず、北風時と南風時の広域解析を行う。屋上地点 D における、解析結果を実測の風向風速と比較する。

次に、入力値気象庁の広域解析条件下で、対象建物を含む 6 種類のネスティング領域の解析をする。その後、室内 3 点について、実測と CFD 解析結果の風向風速の比較を行い、妥当なネスティング領域を検討する。

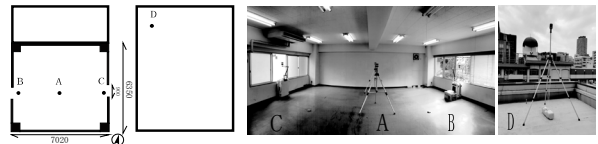


Figure 1. 計測位置と実測の様子(左:2 階、右:屋上)

3. 広域解析の検討

ネスティング手法に使用する広域解析の妥当性を検討する。まず、気象庁東京(所在地:千代田区、高さ:35.3m)の値²⁾と対象建物屋上(高さ:18.4m)の風向を風配図(Figure 2.)に示す。次に、対象建物屋上における入力値毎の解析結果の値と、実測地点 D の値を比較する。

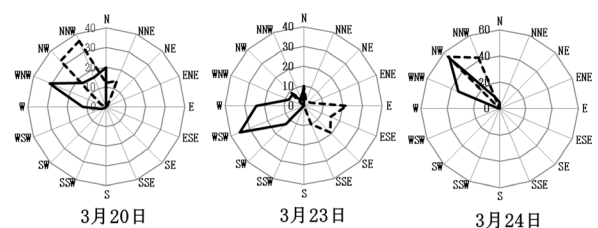


Figure 2. 風配図(点線:気象庁データ、実線:実測データ)

Table 1. 広域解析条件

概要	
ソフトウェア	計算アルゴリズム
Flowdesigner2020	SIMPLEC(定常解析)
乱流モデル	移流項差分スキーム
高レイノルズ数型/k-εモデル	QUICK
解析条件	
解析領域 (70m×70m)	解析モデル (70m×70m)
x:70m y:70m z:105m	x:56.5m y:65m z:36m
メッシュ(m)	入力値
間隔:0.5, 1.0, 3.0, 8.5	NW:5.2m/s(z=35.3m)

Table 2. 広域解析結果

		北風		南風		備考
		風速(m/s)	風向	風速(m/s)	風向	
入力データ	気象庁	5.2	NW	3.8	SSE	z=35.3m
解析結果		2.3	NW	0.4	SSW	z=18.4m
実測		1.9	NW	1.3	SSW	

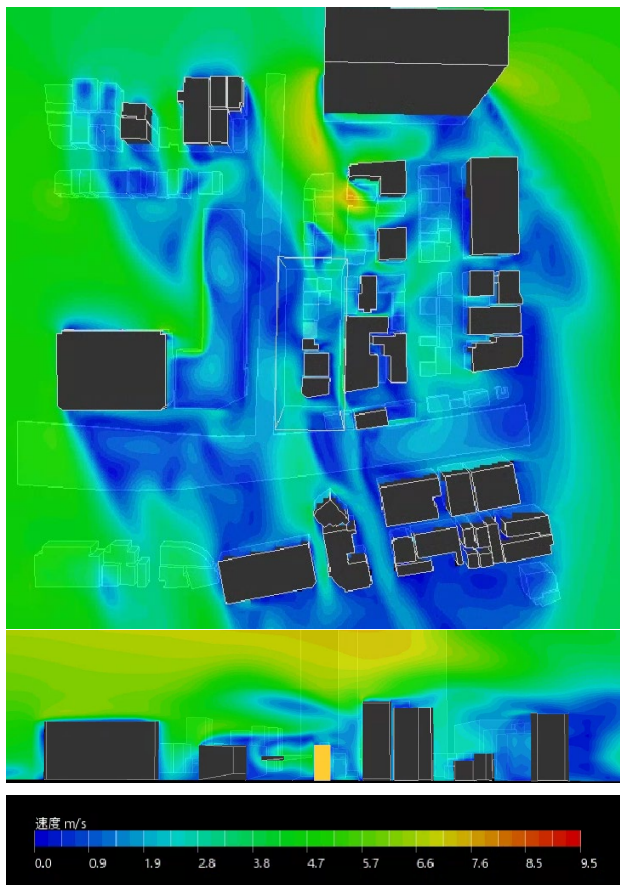


Figure 3.北風時の解析結果(上:高さ 18.4m 平面 下:断面)

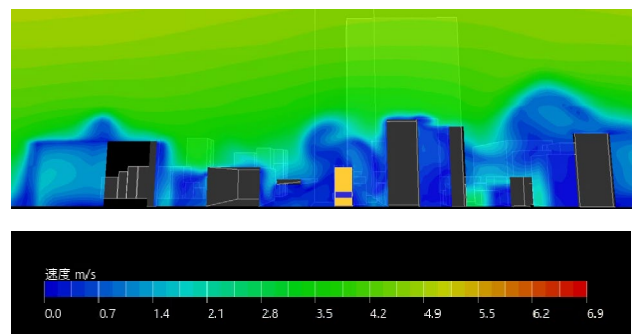
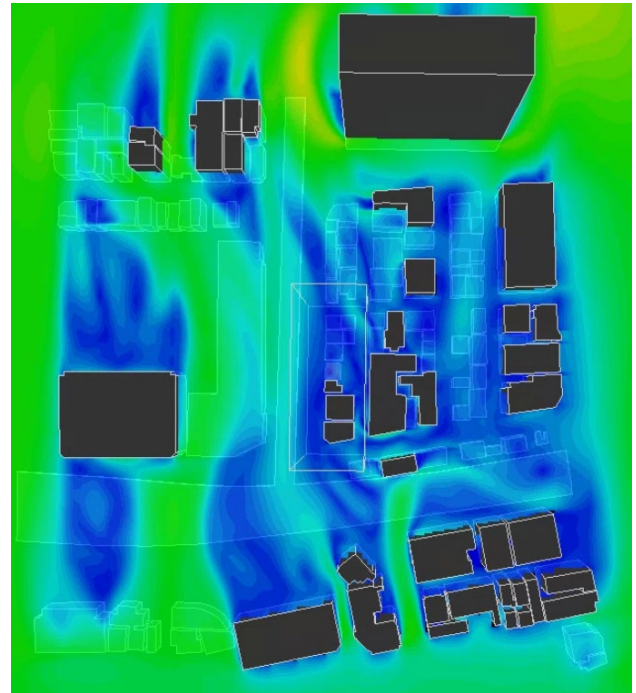


Figure 4.南風時の解析結果(上:高さ 18.4m 平面 下:断面)

入力風向が北西の場合、実測と同じ風向が得られた。同様に南南東の時、対象建物屋上で回り込みが見られ、実測と風向が一致した。周辺建物の影響で風向が変わること、解析モデル作りこみ度が風環境の再現に十分であることを検証できた。しかし、南南東の風速を強めると、対象建物屋上周辺に乱流が多発し、安定した結果が得られない。風速に関しては、北風時に実測値 1.9m/s に近い 2.3m/s の値が得られた。

以上の結果から、CFD 解析時に入力する風向風速データの妥当性に関して、以下のように考察する。市街地かつ周辺を高い建物で囲まれている敷地において、周辺建物を含むモデルの CFD 解析を行う場合、気象庁の値を風向風速の入力値に用いることは妥当である。しかし、乱流が生じる場合は、入力風速や解析領域、メッシュなどの要因で、乱流の発生位置が変わり、安定した風向風速が得られない。乱流が発生する場合は、対象建物周辺の風の流れを大まかに把握することは出来るが、風速は信憑性の低い結果となる。

4. ネスティング領域の検討

今回は、南風に乱流が生じるので、北風時の気象庁の風向風速を用いた広域解析を元にする。室内における実測と解析結果の風向風速を比較し、妥当なネスティング領域を検討する。

まず、周辺建物からの影響の受け方を調べるために、風下側に周辺建物を増やした解析領域 a を作成した。次に、解析領域内に対象建物のみか、周辺建物を含む解析条件の違いを調べる。さらに、対象建物のみについて、ネスティング領域内の大きさと、ネスティング領域内の位置による違いを、ネスティング領域 c、d、e、f の比較から検討する。ネスティング領域 c は、ネスティング領域 a と b の、解析領域の幅を狭めた物で、風下側にゆとりがある。ネスティング領域 d は、ネスティング領域 c よりさらに風下側にゆとりがある。ネスティング領域 e は、ネスティング領域内中央に、対象建物が位置する。

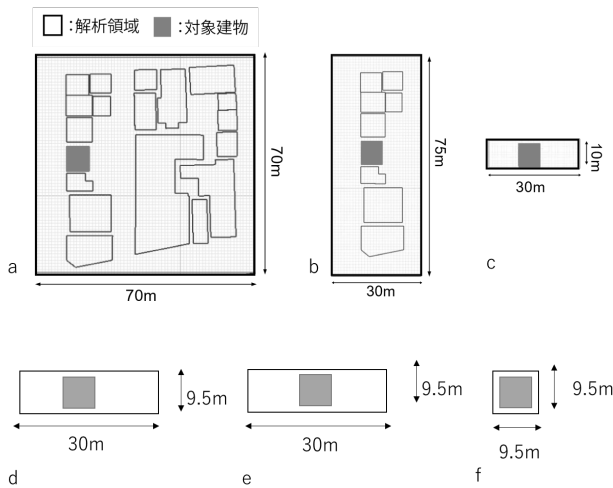


Figure 5. ネスティング領域(a, b, c, d, e, f)

Table 3. 解析条件

概要	
ソフトウェア	計算アルゴリズム
Flowdesigner2020	SIMPLEC(定常解析)
乱流モデル	移流項差分スキーム
高レイノルズ数型/k-εモデル	QUICK
領域	モデル
ネスティング領域 (a)	解析モデル (a)
x:70m y:70m z:105m	x:56.5m y:65m z:36m
ネスティング領域 (b)	解析モデル (b)
x:30m y:75m z:63m	x:14.9m y:64.2m z:35m
ネスティング領域 (c,d,e,f)	解析モデル (c,d,e,f)
x:30m y:10m z:48m	x:7.3m y:8m z:15.9m

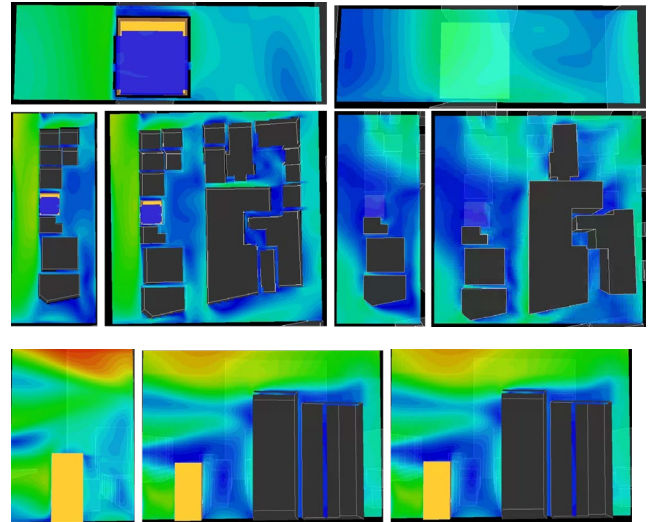


Figure 6. 最小間隔 0.25m の解析結果

Table 4. 解析結果

	入力値	NW 5.2m/s	風速(m/s)				風向				流出入口		
			地点A	地点B	地点C	地点D	地点A	地点B	地点C	地点D	地点B	地点C	
北風													
	CFD解析												
	mesh0.25	a	0.1	0.3	1	0.3	ENE	NE	SSE	NNE		出	入
		b	0.1	0.3	0.9	0.4	NE	ENE	ESE	N		出	入
		c	0.1	0.2	0.6	2.4	WSW	SSE	WSW	NNW		出	入
	実測		0.1	0.6	0.6	1.9	E	ESE	E	NW		出	入

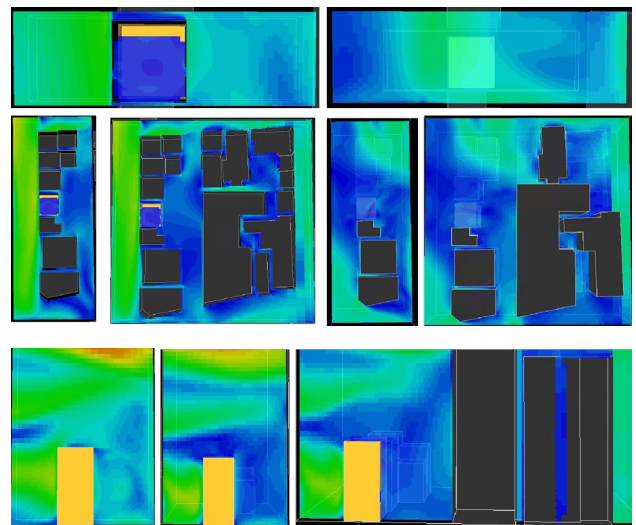


Figure 7. 最小間隔 0.1m の解析結果

Table 5. 解析結果

	入力値	NW 5.2m/s	風速(m/s)				風向				流出入口		
			地点A	地点B	地点C	地点D	地点A	地点B	地点C	地点D	地点B	地点C	
北風													
	CFD解析												
	mesh0.1	a	0.1	0.7	0.8	0.9	WSW	NNE	SSE	NNE		出	入
		b	0.1	0.5	1.1	0.6	WSW	NE	SE	NNE		出	入
		c	0.2	0.4	1.0	2.4	WSW	N	SSE	NW		出	入
	実測		0.1	0.6	0.6	1.9	E	ESE	E	NW		出	入

解析結果の図は、おおむね傾向が似ている。一方で、高さ 18.4m の時、対象建物に強い風がネスティング領域 c には届いているが、ネスティング領域 a と b には届いていない。結果として、対象建物と周辺建物を含むネスティング領域 a と b は、屋上の風速が実測より小さくなる。メッシュについては、最小間隔 0.25m より、最小間隔 0.1m の細かい分割の方が、実測の風速に近づく。風向に関しては、方位は正確に一致しない。しかし、ネスティング領域 a、b、c は、メッシュの間隔にかかわらず、流出入口が一致する。3 種類のネスティング領域の検証から、対象建物のみのネスティング領域 c が、実測に一番近い風向・風速を示した。

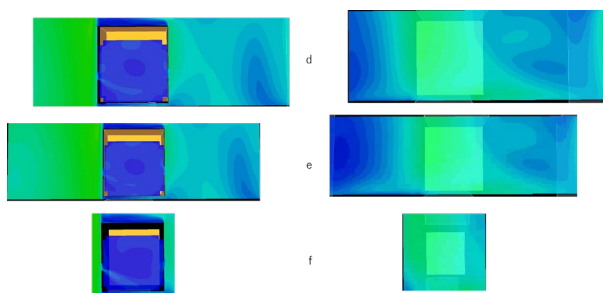


Figure 8. ネスティング領域 d、e、f の解析結果

Table 6. 解析結果

北風	入力値	NW 5.2m/s	風速(m/s)				風向				流出入口		
			地点A	地点B	地点C	地点D	地点A	地点B	地点C	地点D	地点B	地点C	
		d	0.2	0.5	0.9	2.4	2.3	W	SSE	SSE	NW	-	-
	CFD解析 mesh0.1	e	0.1	0.3	0.9	2.4	2.4	W	SSE	SSE	NW	-	-
		f	0.1	0.6	0.5	2.4	2.4	SW	NNW	NNE	NW	入	出
	実測		0.1	0.6	0.6	1.9	1.9	E	ESE	E	NW	出	入

ネスティング領域 d、e、f は屋外地点 D の風向風速に差はほとんど無い。室内に関しては、ネスティング領域 c、d、e は全て室内地点 B と C の風速は近い値を示す。しかし、ネスティング領域 d、e は、流出入口が平面方向と断面方向で変わり判断出来ない。ネスティング領域 c、d、e の比較から、ネスティング領域の大きさよりもネスティング領域内における、対象建物の位置が影響していることが分かる。ネスティング領域を固定しているため、風上と風下方面の割合が変わり、流出入口の結果が変化したと考えられる。この結果から、実測なしに解析のみで流出入口を求める際は、ネスティング領域の大きさや対象建物の位置を変えて、解析結果を確認することが必要である。解析領域を限りなく狭めた、ネスティング領域 f は、室内の風速が実測と近づくが、流出入口が反転する。

6 種類のネスティング領域の比較から、今回使用した乱流モデル標準 k-ε モデルでは、対象敷地において、対象建物のみで、解析領域を風下にゆとりを持たせたネス

ティング領域 c を解析範囲とすることが、一番実測と近い値となる。しかし、室内中央地点 A の風速は、全てのネスティング領域で、実測と大きく異なる。

今後、ネスティング領域 a、b については、メッシュの切り方の検討が必要である。周辺建物を含むネスティング領域の解析精度が向上する場合、広域の都市モデルで粗いメッシュの解析を行い、ネスティング領域内は、段階的にメッシュを作成することが可能となる。また、ネスティング領域の形状が、周辺建物からの制約を受けるため、住宅密集地では、周辺の建物を含む領域と対象建物のみ領域の解析を行い、同様な結果が得られるか試す必要がある。また、道路に面した開口部のある対象建物では、道路を含んだ領域と、対象建物のみ領域を確認する必要であるため、今後対象敷地とネスティング領域の形の検討が必要である。

5. まとめ

本研究では、CFD 解析と実測の結果を比較することで、妥当性のあるネスティング領域を検討した。気象庁の値を解析の入力値として用いるには、妥当性がある。しかし、対象建物が周辺建物より低い場合、周辺環境による風の影響から、周辺モデルの作成が不可欠である。

そして、今回の CFD 解析で、風向風速ともにより実測と近い値となるネスティング領域は、対象建物のみで、風下に解析領域のゆとりを持たせたネスティング領域 c である。また、CFD 解析結果と室内の実測結果の比較から、ネスティング領域 a、b、c では、開口部が 2 つある場合の流出入口を解析から求められた。しかし、ネスティング領域は現時点で、高層ビルを含む市街地の風下にある建物について、画像レベルの解析結果の提示は可能だが、具体的な風向風速まで正確な値を提示することは出来ない。特に、室内中央部の風速は、実測値から大きく離れた結果となる。周辺建物を含んだネスティング領域のメッシュの切り方は、検討余地がある。

-謝辞-

東京理科大学高瀬幸造講師には、実測方法や CFD 解析への助言を賜り、この場をお借りしお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 「社団法人 日本建築学会」(2007)『市街地風環境予測のための流体数値解析ガイドブック』pp.156-158,166-173
- 2) 気象庁データ
www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php