

計算格子の引き継ぎによる CFD 解析の高速化

1. 背景・目的

近年、多数の解析ケースや大規模格子下での CFD 解析の活用が多く見られ、計算時間の短縮は大きな課題である。そこで、比較的計算時間の短い粗い格子での計算結果を段階的に細かい格子の計算初期に引き継ぐことで、計算時間の大幅な短縮が可能と考えられる。

本研究では、多段階格子による計算時間の短縮および解析精度に関する検証を行い、適切な引き継ぎ方や、解析精度上の課題について知見を得ることを目的とする。

本卒業研究では気流のみを扱う定常 CFD 解析について検討する。

2. 共通解析条件

本研究では(株)アドバンスドナレッジ研究所製 FlowDesigner2017 及び 2018 を使用する。解析条件を表 1 に示す。

表 1 CFD 解析条件

乱流モデル	3 節 標準 $k-\epsilon$	流入境界	3 節 一様流
	4, 5 節 修正 L-K		4, 5 節 $\alpha = 0.25$ 乗則
離散化	有限体積法	メッシュ	構造格子
アルゴリズム	SIMPLEC 法	流出境界	自由流出
移流項差分スキーム	QUICK	天空面・側面	Free Slip

3. 単純形状モデルを対象とした引継ぎ解析

3.1 解析概要

本解析対象は(X) 10m×(Y) 10m×(Z) 20m の角柱モデルを使用 (図 1 参照)。角柱を風向きに対して正対させた場合と 45 度傾けたモデルの解析を検討する。45 度傾けた場合は対角線の長さを 14.175m ($\approx \sqrt{2}m$) とする (図 2 参照)。格子は 4 種類用意して、段階的に引継いだ解析を [引継ぎ解析] とする。最も細かい格子 (格子④) のみで解析した場合を [通常解析] とする。引継ぎ解析は通常解析に比べてどの程度解析時間を短縮可能か検討する。表 2 に格子詳細を示す。引継ぎ時における各段階の収束判定は 10^{-5} 、 $10^{-5.5}$ 、 10^{-6} でそれぞれ統一する。

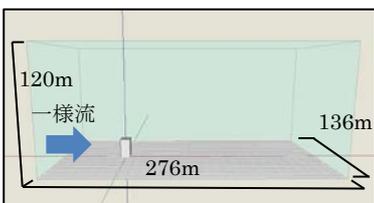


図 1 解析領域

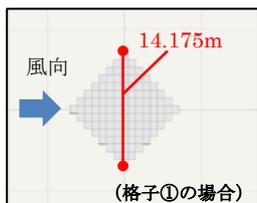


図 2 角柱モデル (45 度風向時)

表 2 格子詳細 (角柱モデル)

	正面風向 (0度)		斜め風向 (45度)	
	計算格子数	軸方向分割数 (X×Y×Z)	計算格子数	軸方向分割数 (X×Y×Z)
格子①	301,716	(87×68×51)	449,955	(101×81×55)
格子②	2,337,228	(171×134×102)	1,981,980	(165×132×91)
格子③	4,553,088	(213×167×128)	5,427,345	(231×185×127)
格子④	17,495,352	(324×266×203)	11,473,407	(297×237×163)

3.2 解析結果

表 3、表 4、表 5 に収束判定条件ごとに格子④のみで解析した通常解析と引継ぎ解析について収束に至るまでの解析時間を示す。

表 3. 解析時間 [通常解析]

収束判定	正面風向 格子④	斜め風向 格子④
10^{-5}	5 時間 41 分 30 秒	4 時間 48 分 32 秒
$10^{-5.5}$	8 時間 29 分 32 秒	5 時間 54 分 34 秒
10^{-6}	11 時間 49 分 46 秒	8 時間 25 分 44 秒

表 4. 解析時間 [引継ぎ解析]

収束判定	格子① → 格子② → 格子③ → 格子④	合計時間
10^{-5}	3分07秒 → 4分49秒 → 4分14秒 → 25分40秒	37分50秒
$10^{-5.5}$	3分36秒 → 8分03秒 → 10分58秒 → 44分36秒	1時間07分13秒
10^{-6}	4分15秒 → 36分59秒 → 15分45秒 → 1時間12分46秒	2時間09分45秒

表 5. 解析時間 [引継ぎ解析]

収束判定	格子① → 格子② → 格子③ → 格子④	合計時間
10^{-5}	5分31秒 → 4分13秒 → 7分02秒 → 12分18秒	29分04秒
$10^{-5.5}$	6分45秒 → 5分54秒 → 12分13秒 → 18分20秒	43分12秒
10^{-6}	40分45秒 → 31分19秒 → 19分40秒 → 39分13秒	2時間10分57秒

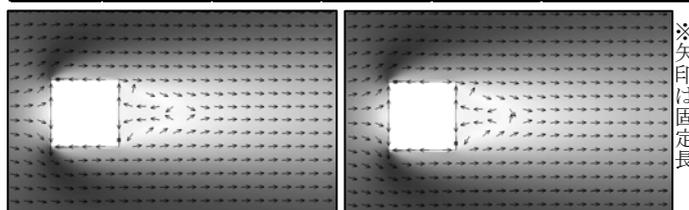


図 3 収束判定 10^{-6} 格子④ 解析結果 (Z=10m)
(左) 通常解析 (右) 引継ぎ解析

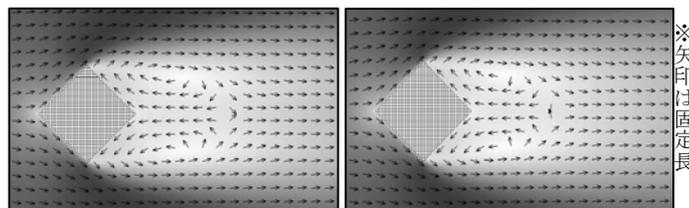
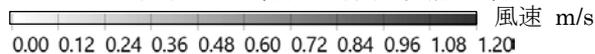


図 4 収束判定 10^{-6} 格子④ 解析結果 (Z=10m)
(左) 通常解析 (右) 引継ぎ解析



モデルを風向きに対して正対させた場合の計算時間は収束判定 10^{-5} のとき 90%、 $10^{-5.5}$ で 89%、 10^{-6} で 74% 程度短縮された。モデルを風向きに対して 45 度傾けた場合は収束判定 10^{-5} のとき 90%、 $10^{-5.5}$ で 89%、 10^{-6} で 74% 程度短縮された。ただし通常解析と引継ぎ解析の結果を比較すると 10^{-6} の時は概ね一致したが、 10^{-5} 、 $10^{-5.5}$ の時は引継ぎ解析の後流域が少し短くなる傾向が見られた (図 3・図 4 参照)。次に斜め風向時の引継ぎ方を変更して解析時間の短縮を検討する (表 6 参照)。

表 6 解析時間

収束判定	格子①	格子②	格子③	格子④	合計時間
10^{-6}	40分45秒 → 31分19秒 → 44分40秒				1時間56分44秒
		1時間5分32秒 → 10分58秒 → 38分52秒			2時間04分05秒
			1時間5分32秒 → 43分37秒		1時間49分09秒

3通り試行した結果、格子②から格子④の二段階に格子を切り替えた場合が最も短縮でき、計算時間は78%程度短縮された。

4. 建物群モデルを対象とした引継ぎ解析

4.1 解析概要

本解析は建物群モデルを対象とする(図5参照)。解析領域は(X)2,100m×(Y)900m×(Z)2,100m。(X)75m×(Y)75m×(Z)50mの建物を9列×9列に配置、中央のみ(X)75m×(Y)75m×(Z)150mの建物とする。引継ぎによる解析を行うための格子は二段階用意し、密な格子(格子②)のみの解析時間よりも短縮を図る。表7に格子詳細を示す。

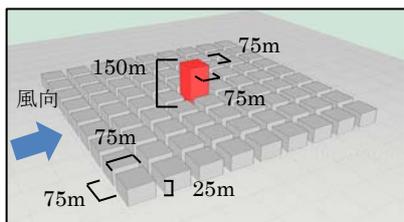


図5 建物群モデル

表7 格子詳細(群建物モデル)

	計算格子数	軸方向分割数 (X×Y×Z)
格子①	1,368,900	(130×130×81)
格子②	5,002,738	(247×247×82)

4.2 解析結果

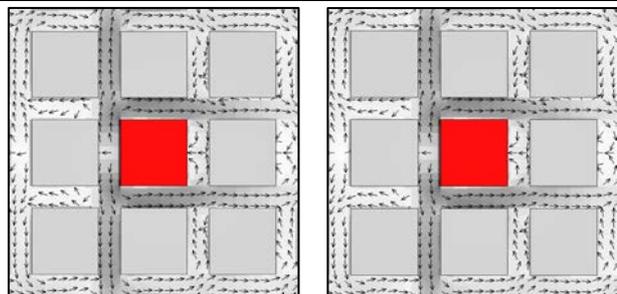
表8、表9に収束判定条件ごとに格子②のみで解析した通常解析と引継ぎ解析について収束に至るまでの解析時間を示す。

表8. 解析時間[通常解析]

収束判定	格子②のみの解析時間
10 ⁻⁵	2時間 01分 06秒
10 ^{-5.5}	3時間 24分 09秒
10 ⁻⁶	6時間 46分 23秒

表9. 解析時間[引継ぎ解析]

収束判定	格子① → 格子②	合計時間
10 ⁻⁵	44分 49秒 18分 01秒	1時間 02分 50秒
10 ^{-5.5}	1時間 42分 58秒 1時間 07分 26秒	2時間 50分 24秒
10 ⁻⁶	3時間 56分 32秒 1時間 57分 09秒	5時間 53分 41秒



※矢印は固定長

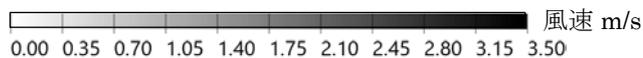


図6 収束判定 10⁻⁶ 格子② 解析結果 (Z=12.5m)

(左) 通常解析 (右) 引継ぎ解析

計算時間は収束判定 10⁻⁵のとき48%、10^{-5.5}で17%、10⁻⁶で13%程度短縮された。10⁻⁶の通常解析と引継ぎ解析を比較すると、群全体の後流域に若干の差は見られたが、中央モデル付近は同等の結果が得られた(図6参照)。

5. 実街区モデルを対象とした引継ぎ解析

5.1 解析概要

本解析は実街区モデルを対象とする(図7参照)。なお、実街区には大阪府の御堂筋のGISデータを使用している。引継ぎ解析を行うために格子は4種類用意し、最も密な格子数(格子④)よりも解析時間短縮を図る。格子詳細を表10に示す。

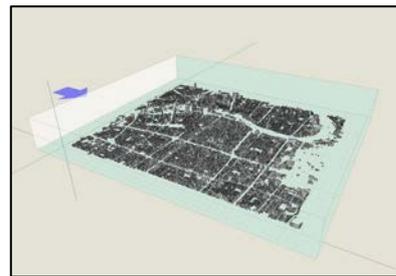


図7 実街区モデル

表10 格子詳細(実街区モデル)

	計算格子数	軸方向分割数 (X×Y×Z)
格子①	2,365,200	(162×146×100)
格子②	4,192,500	(215×195×100)
格子③	9,932,412	(322×291×106)
格子④	38,105,466	(643×581×102)

5.2 解析結果

表11、12に収束判定条件ごとの格子④のみの解析と段階的に格子を切り替えた場合の収束に至るまでの解析時間を示す。

表11 解析時間[通常解析]

収束判定	格子④のみの解析時間
10 ⁻⁵	109時間 35分 59秒
10 ^{-5.5}	222時間 29分 22秒

表12 解析時間[引継ぎ解析]

収束判定	格子① → 格子② → 格子③ → 格子④	合計時間
10 ⁻⁵	8時間26分47秒 4時間16分50秒 5時間58分32秒 12時間32分52秒	31時間15分01秒
10 ^{-5.5}	16時間53分34秒 7時間17分44秒 16時間21分40秒 収束に至らず	



図8 収束判定 10⁻⁵ 格子④ 解析結果 (Z=1.5m)

(左) 通常解析 (右) 引継ぎ解析

解析時間は収束判定 10⁻⁵の時28%程度の短縮となり、10⁻⁵の引継ぎ解析は解析領域の下流側の風速が少し強くなる傾向が見られ、もう少し計算を継続させるべき可能性がある(図8参照)。10^{-5.5}は収束に至らなかった。今後は収束判定 10^{-5.5}の解析につき収束性改善を試みる。

6. まとめ

引継ぎによる解析を検討した結果、解析時間の短縮が確認できた。今後は熱解析を含めた非常常解析への適用を試みる。

(河野研究室)