

可変緩和係数を用いた CFD 解析の高速化に関する検討

213-006 池田 良平

1. 背景・目的

CFD 解析の設定の一つに緩和係数がある。緩和係数とは現在の計算結果と一つ前の計算結果を使用する比率を指しており、その値が大きいほど計算の進行は速く進むものの、収束に至らない場合もある。この緩和係数を適宜変更することで、収束までにかかる計算時間を変えることができることは知られているが、一般的にこの値が最も有効といった統一的な知見は無く、経験に沿った使用が成されている。また、近年では大規模格子が用いられることが多い。しかし、大規模格子の下で緩和係数を調整することにより、どの程度計算時間について改善の余地があるかについてもほとんど明らかになっていない。

本研究では、CFD 解析における緩和係数を可変させて、解析全体の高速化を図る際の緩和係数の調整法について提示する。併せて、計算時間を削減するための適切な緩和係数について、格子数の規模毎の傾向を調査する。

2. 解析概要

本研究では、(株)アドバンスドナレッジ研究所の CFD ソフト Flow Designer13 を使用。解析条件を表 1 に示す。

表 1 CFD 共通解析条件

乱流モデル	標準 $k-\epsilon$ モデル	メッシュ	構造格子
離散化	有限体積法	流出境界	自由流出
アルゴリズム	SIMPLEC 法	天空面・側面	Free Slip
移流項差分スキーム	一次風上	地物表面	一般化対数則

3. 単体建物における高速解析手法の検討

3.1 解析概要

はじめに、緩和係数に調整を加えない基礎検討を行い、その結果を基準として高速解析手法の検討を進める。その際、格子数の規模ごとの計算時間を確認するため複数の格子数条件で検討を進める。また、格子形状の縦横比による計算結果の違いを無くすべく、立方体格子を用いる。解析モデルを図 1、格子数条件を表 2 に示す。

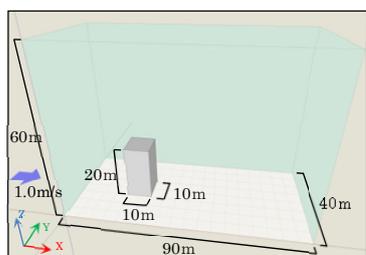


図 1 解析モデル

また、Flow Designer13 の機能にプログラムオート(以下 PA)がある。PA の仕様は非公開であるが、計算の高速化が可能とされている。そこで、PA 機能使用時についても計算し、目標の一つとする。解析条件を表 3 に示す。

表 3 解析条件

解析領域	(X)90m×(Y)40m×(Z)60m	
解析対象	(X)10m×(Y)10m×(Z)20m	
風速	1.0m/s (一様流)	
収束判定	10 ⁻⁶ (計算回数上限 2000 回)	
緩和係数	固定	不足緩和 0.8[-] 慣性緩和 4.0[s]
	PA 機能	非公開

3.2 緩和係数固定時の検討

まず、緩和係数について不足緩和 0.8[-]、慣性緩和 4.0[s]とした基本ケースの格子別の収束判定 10⁻⁶に至るまでの計算回数と計算時間を表 4 に示す。PA 機能使用時は参考値とする。

表 4 格子別計算回数、計算時間 2000 回時点での収束判定値を[]に示す

収束判定条件	格子	基本ケース (緩和係数固定)		PA 機能使用時 (参考値)	
		計算回数	計算時間	計算回数	計算時間
10 ⁻⁶	格子①	311 回	2 分 29 秒	175 回	1 分 28 秒
	格子②	619 回	1 時間 7 分	249 回	32 分 13 秒
	格子③	900 回	2 時間 50 分	430 回	1 時間 33 分
	格子④	1094 回	5 時間 21 分	2000 回 [10 ^{5.90}]	9 時間 45 分
	格子⑤	1475 回	20 時間 33 分	2000 回 [10 ^{5.45}]	25 時間 58 分
	格子⑥	1842 回	44 時間 35 分	2000 回 [10 ^{5.25}]	54 時間 59 分

表 4 が示すように格子①～格子③に関して基本ケースは PA 機能使用時に比べて約 2 倍の計算時間がかかっている。しかし、格子④～格子⑥に関しては PA 機能使用時の方が収束性に乏しくなり、基本ケースの方が短い時間で収束に至った。しかし、格子数が増加すると収束に必要な計算回数が増えるため、例えば、格子⑥は格子①の 125 倍の格子数であるが、計算時間は 1070 倍かかる結果となり、格子数比の倍率以上の計算時間となった。

次に、基本ケースと PA 機能使用時の気流性状を比較する。格子①～格子③において、基本ケースと PA 機能使用時を比較したところ結果にほとんど違いは見られなかった。しかし、格子④～格子⑥を同じく比較したところ、解析結果に違いがあることを確認した。なお、基本ケースの格子①～格子⑥はほぼ同じ結果である。図 2 に格子⑤の収束判定 10⁻⁵時点における気流分布を示す。

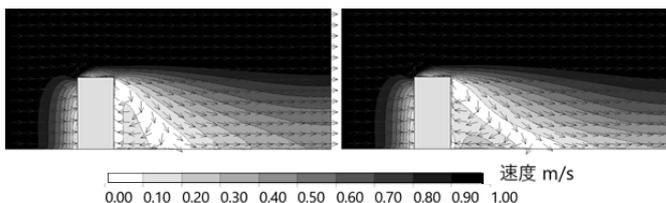


図 2 基本ケース<左>と PA 機能使用時<右>の気流分布

以上より、PA 機能は計算の高速化を可能とする反面、格子数の大きい場合には解析が収束する方向が変わる可能性があることがわかった。次節で行う可変緩和係数の検討では、格子数が増えても解析結果に相違を起さずに PA 機能使用時以上の解析全体の高速化を目標とする。

3.3 緩和係数可変時の検討及び、解析結果

まず、緩和係数の中の不足緩和の可変方法について検討を進め、慣性緩和については 4.0[s]固定とした。緩和係数は計算回数1回目を初期値、x回目を最終値と設定し、その間を線形的に推移させる。(x回目を以降は一定とする) また、格子数の規模ごとの傾向を調査するため、表2で示した格子①と格子⑤を対象に検討を進める。なお、緩和係数の可変については Visual Basic (VB)を使用した。

表5に不足緩和変動パターン及び、収束判定 10^{-5} に至るまでの計算回数を示す。なお、PA機能使用時及び、基本ケースについては表3と同じ条件のもとで行う。

表5 不足緩和変動パターン、計算回数

	不足緩和 初期値→最終値	不足緩和の可 変回数 (x回)	計算回数	
			格子①	格子⑤
基本ケース	0.80		216回	833回
PA機能使用時<参考値>			126回	186回
ケース1	0.60→0.80	10回	226回	833回
ケース2		20回	233回	835回
ケース3		50回	243回	848回
ケース4	0.99→0.80	10回	250回	777回
ケース5		20回	275回	693回
ケース6		50回	277回	764回

格子⑤では、ケース4~ケース6の複数ケースで基本ケースを上回る高速解析となった。また、ケース1~ケース5は基本ケースとほぼ変わらない気流性状となった。

格子①では全ケースとも目標値であるPA機能使用時だけでなく、基本ケースさえも上回らず、高速解析には至らなかった。そこで、格子①を対象に不足緩和だけでなく、慣性緩和も可変させて再検討を行った。表6に緩和係数変動パターン及び、収束判定 10^{-5} に至るまでの計算回数を示す。

表6 緩和係数変動パターン、計算回数 <格子①>

	不足緩和	慣性緩和	緩和係数の可変 回数 (x回)	計算回数
	初期値→最終値			
ケース7	0.60→0.80	1.0→4.0	10回	227回
ケース8	0.60→0.95			122回
ケース9	0.60→0.99			108回

検討の結果、ケース8、ケース9では目標値のPA機能使用時を上回る高速解析となり、気流性状についても基本ケースとの違いは見られなかった。同様に格子数の少なめの格子②を対象に検討を行う。表7に緩和係数変動パターン、収束判定 10^{-5} に至るまでの計算回数を示す。

表7 緩和係数変動パターン、計算回数 <格子②>

	不足緩和	慣性緩和	緩和係数の可変 回数 (x回)	計算回数
	初期値→最終値			
PA機能使用時<参考値>				124回
基本ケース	0.80	4.0		398回
ケース10	0.60→0.80	1.0→4.0	10回	405回
ケース11	0.60→0.95			152回
ケース12	0.60→0.99			122回

ケース7~ケース12の結果より、格子①や格子②のような少ない格子数においても高速解析が可能であり、気流分布についても基本ケースとの違いは見られなかった。

4. 実街区における可変緩和係数の適用

4.1 解析概要 はじめに、緩和係数に調整を加えない基礎検討を行い、その結果を基準として可変緩和係数の適用を進める。

図3に解析対象の概略図を示す。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。また、解析条件を表8に示す。

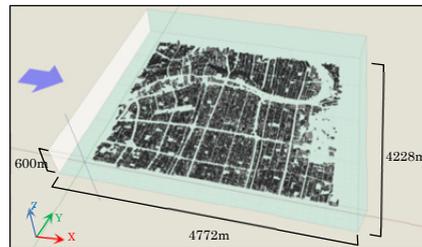


図3 解析モデル

表8 解析条件

解析領域	(X)4,772m×(Y)4,228m×(Z)600m
格子数	38,105,466 (約3,800万)
風速	1.0m/s (基準高さ23m) ベキ乗則($\alpha=0.25$)
風向	西 (X方向)
収束判定	$10^{-3.5}$, 10^{-4} , $10^{-4.5}$, 10^{-5}
乱流モデル	修正L-Kモデル
風上化	QUICK
緩和係数	不足緩和 0.8[-] 慣性緩和 4.0[s] or 可変

4.2 緩和係数固定時の解析結果

表9に収束に至るまでの計算回数と計算時間を示す。

表9 緩和係数固定時の収束判定別計算回数、計算時間

	計算回数	計算時間		計算回数	計算時間
$10^{-3.5}$	539回	25時間34分	$10^{-4.5}$	1203回	76時間15分
10^{-4}	930回	50時間18分	10^{-5}	3029回	191時間39分

上記の結果から、格子数の大きい実街区では膨大な時間が必要となる。そこで3章で検討した可変緩和係数のうち、格子数の大きい格子⑤をもとに高速解析を図る。

4.3 緩和係数可変時の解析結果

可変緩和係数変動パターン及び、収束判定 10^{-5} に至るまでの計算回数を表10、気流分布を図4に示す。

表10 緩和係数変動パターン、計算回数

	不足緩和	慣性緩和	緩和係数の可変 回数 (x回)	計算回数
	初期値→最小値			
基本ケース	0.80	4.0		3029回
ケース4	0.99→0.80	4.0	10回	3026回
ケース5	0.99→0.80		20回	3022回

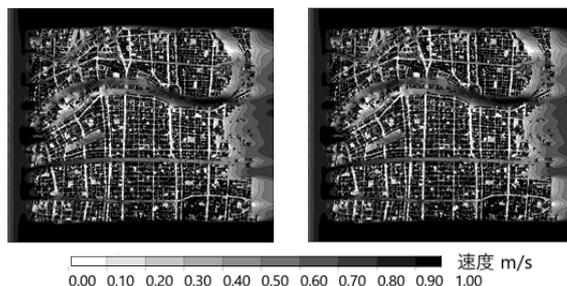


図4 基本ケース<左>とケース5<右>気流分布

僅かではあるが計算回数の短縮化となり、大幅な改善は望めなかった。今後、大規模格子の下では緩和係数をより緩やかに可変させることを検討する。

5.まとめ 複数の可変緩和係数を検討した結果、格子数の規模によって適切な緩和係数の調整方法に傾向があることを確認した。この知見をもとに、緩和係数の調整法を実街区の解析に適用し、計算回数の短縮化を確認した。(河野研究室)