

粒子法によるラージ・エディ・シミュレーションに関する研究

Large Eddy Simulation using a Particle Method

1. 序論

粒子法による流体解析¹⁾は、これまでの計算事例の大半が層流を対象としたものであり、乱流を取り扱ったものは少ない。

この研究では代表的な乱流モデルであるラージ・エディ・シミュレーション (LES) による数値計算を、粒子法の一つである MPS 法を用いて行った。

2. 乱流モデル

2.1 渦粘性モデル

流れが乱流である場合には、通常の粘性とは別に速度を均一化しようとする働きが生ずる。この作用を表現するために渦粘性係数を導入し、通常の粘性係数に加える。

2.2 ラージ・エディ・シミュレーション²⁾

乱流によるエネルギーの散逸は小スケール領域に現れるため、LES では空間離散化の際に計算格子スケール以下の成分を考慮する。

$$\frac{D\bar{u}_i}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \nu \nabla^2 \bar{u}_i - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (1)$$

(1)式はフィルター関数を用いて粗視化された Navier-Stokes 方程式で、 τ_{ij} を SGS(Sub Grid Scale)応力と呼ぶ。この研究では Smagorinsky 渦粘性モデルを用いて τ_{ij} をモデル化しており、次式に示す渦粘性係数

$$\nu_e = (C_s \Delta)^2 \left(2\bar{S}_{ij}\bar{S}_{ij} \right)^{1/2} \quad (2)$$

を得る。 C_s は Smagorinsky 定数、 Δ はフィルター幅、 \bar{S}_{ij} は格子スケールの歪速度テンソルである。

3. MPS 法

MPS (Moving Particle Semi-implicit) 法は連続体解析を行うための代表的な粒子法であり、微分演算子を粒子間相互作用モデルによって離散化する。

4. バックステップ流れの計算

この研究では、図 1 に示す 2 次元バックステップ流れの計算を行った。拡大比 $(D+H)/D$ は 1.5、レイノルズ数は 5,500 とした。

図 2 に定常状態の平均速度分布を示す。LES による計算結果 (LES) は概ね実験値³⁾に近い

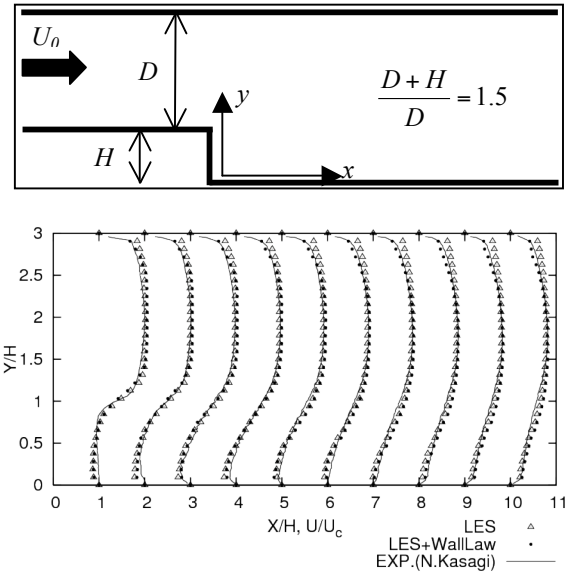


図 2 平均速度分布

形となったものの、壁面近傍で実験値よりも流れが速くなってしまっている。これは解像度の低さが一因と考えられる。解像度を上げると計算コストが著しく増大するので、代わりに壁法則による対数速度分布を満たすような壁面境界条件を付与したところ、より実験値に近い結果 (LES+WallLaw) が得られた。

5. 結論

MPS 法による LES 計算を実行し、概ね実験値に近い結果が得られた。また壁法則を壁面境界条件に導入することにより、解像度を上げずに壁面境界での精度を向上させることができた。

壁法則適用後の壁近傍における速度分布形状が若干不自然になるので、今後は壁法則の扱いを改善しなければならない。また、本来 LES は 3 次元での取り扱いを前提としているため、3 次元へと拡張していく必要がある。

参考文献

- 1) 越塚誠一, 粒子法, 丸善 (2005), pp.10-35
- 2) 数値流体力学編集委員会 編, 乱流解析, 東京大学出版会 (1995), pp.67-84
- 3) Kasagi, N., and Matsunaga, A., Int. J. Heat & Fluid Flow, 16[6], pp.477-485 (1995)

図 1 バックステップ流れ