LESの数値計算手法とSGSモデリングに関する話題

Numerical Method and SGS Modeling for Large Eddy Simulation

正 森西 洋平 (名工大)

Youhei MORINISHI, Nagoya Institute of Technology,

Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya, Aichi 466-8555, Japan

1. はじめに

LESの数値計算結果はSGSモデルの信頼性に加えて離散化による効果の影響も大きく受ける。本講演では、これを考慮して講演者が近年行ったLESの数値計算手法およびSGSモデルに関する研究を紹介する。

2. 壁乱流のLESにおける差分精度と格子解像度の影響

LESの工学的応用問題では空間2次精度差分法を使用する人が多い。しかし、2次精度差分法ではトップハット型のフィルターが余分にかかってしまうこと、およびSGS応力が空間2次精度のオーダーを持つことにより、できればLESでは空間高次精度差分を使用したい。また、数値粘性等によらず乱流の非定常数値計算を安定に継続するためには非粘性の極限で質量、運動量および運動エネルギーを同時に保存する差分スキーム（完全保存形差分スキーム）の使用が有効である。そこで講演者は、非圧縮性流体の解析に適したスタガード格子に対して高次精度の完全保存形差分スキームを提案し^{(1),(2)}、高次精度差分の使用により平均速度や乱流強度等の計算結果が改善されることを示した⁽³⁾。

3. スマゴリンスキーモデルとスケール相似則モデル

LESの代表的なSGSモデルとしてスマゴリンスキーモデルとスケール相似則モデルがある。スマゴリンスキーモデルは伝統的なLESのSGSモデルである。一方のスケール相似則モデルは真のSGS応力との相関が非常に高いことが知られているが、このモデルのみでは乱れの散逸性が十分ではないため、実用問題に対してはスマゴリンスキーモデルと合わせて混合モデルとして使用される。しかし、混合モデルのモデル係数をダイナミックに決定すると、平均速度の計算結果はスマゴリンスキーモデルによるものよりもむしろ悪化してしまう。そこで講演者は、まずスマゴリンスキーモデルとスケール相似則モデルの性質を調べ（図3、4）、混合モデルの適切な係数決定法を提案した^{(4),(5)}。この係数決定法を用いたダ

イナミック混合モデル(DTMR)は、従来のSGSモデルよりも信頼性の高い平均速度および乱流強度の分布を与える（図5、6）。

4. ベクトル・レベルのidentityを用いるダイナミックSGSモデリング

LESの計算結果が格子解像度の影響を大きく受けることを考え、離散化の効果がモデル係数に直接反映されるダイナミックSGSモデルを構築した^{(6),(7)}。このSGSモデルでは、ベクトル・レベルの恒等式を通してモデル係数がダイナミックに決定される。従来のダイナミックモデル(DSM)と比べ、提案されたSGSモデル(VDSM)の計算結果は格子解像度に依存しないことが確認された（図7）。

Fig. 1: The effect of grid resolution on the mean velocity at $Re_\tau = 100$ ⁽³⁾

Fig. 2: Turbulence intensity profile of the simulation without SGS model at $Re_\tau = 100$ ⁽³⁾

Fig. 3: The effect of the parameter C_{S0} of the Smagorinsky model on the mean streamwise velocity profile for the channel flow at $Re_\tau = 395$ ⁽⁵⁾

Fig. 4: The effect of the parameter C_L of the scale similarity model on the mean streamwise velocity profile for the channel flow at $Re_\tau = 395$ ⁽⁵⁾

Fig. 5: The mean stream wise velocity profile for the channel flow simulation at $Re_\tau = 395$ ⁽⁵⁾

Fig. 6: The profiles of grid scale velocity fluctuations for the channel flow simulation at $Re_\tau = 395$ ⁽⁵⁾

Fig. 7: Effect of grid resolution on mean streamwise velocity (4th FDM) ⁽⁶⁾

参考文献

- (1) 森西洋平, 非圧縮性流体解析における差分スキームの保存特性 (第1報-第3報), 機論, **62-604**, B (1996), pp4090-4112.
- (2) Morinishi, Y., Lund, T.S., Vasilyev, O.V. and Moin, P., Fully Conservative Higher Order Finite Difference Schemes for Incompressible Flow, *J. Comput. Phys.*, **143** (1998), pp90-124.
- (3) 森西洋平, 市川明洋, 奥村隆, 中林功一, 壁乱流のLESにおける差分精度と格子解像度の影響, 機論, **66-647**, B (2000), pp1750-1757.
- (4) 森西洋平, ダイナミック2係数混合SGSモデルによる平板チャネル乱流のLES, 機論, **63-606**, B (1997), pp5290-536.
- (5) Morinishi, Y. and Vasilyev, O.V., A recommended modification to the dynamic two-parameter mixed sub-grid scale model for large eddy simulation of wall bounded turbulent flow, *Phys. Fluids*, **13**(11) (2001), pp3400-3410.
- (6) 森西洋平, ベクトル・レベルのidentityを用いるダイナミックSGSモデリング, 機論, **66-651**, B (2000), pp2764-2771.
- (7) Morinishi, Y. and Vasilyev, O.V., Vector level identity for dynamic subgrid scale modeling for large eddy simulation, *Phys. Fluids* (submitted).