

チャンネル内立方体及び角柱周り流場での DES モデル比較

Flow Comparisons of DES models on Surface Mounted Cube and Rounded-Corner Square

○大橋訓英, 海技研, 〒181-0004 東京都三鷹市新川 6-38-1, E-mail:k-ohashi@nmri.go.jp

Kunihide OHASHI, Center for CFD Research, National Maritime Research Institute,
6-38-1 Shinkawa Mitaka Tokyo 181-004 Japan

Detached-Eddy simulation(DES) based on $k-\omega$ SST model and Explicit Algebraic Stress Model(EASM) is applied to the flows around a surface mounted cube and a rounded-corner square. The limiters which change the regions between RANS and LES-like are tested. DES limiter using the functions F_1, F_2 in $k-\omega$ SST model show better agreement with the measurement results.

1. はじめに

近年、数値流体力学 (CFD) の進展はめざましく、Reynolds Averaged Navier-Stokes(RANS) によるシミュレーションは、船舶性能設計の現場でも使用され、小規模の剥離を伴う定常流れに対しては、精度の良い結果を出すものの、大きな剥離を伴う非定常流れには適していない。DES は、RANS と Large Eddy Simulation のハイブリッド計算法であり、物体近傍を RANS で解き、物体より離れた計算領域では LES-like に切り替えるため、LES と比較して大きな計算リソースを必要とせず、大規模剥離を伴う流場を精度よく推定することができる。

今回、チャンネル内立方体及び流入角 10 度を有した角柱周り流れに二方程式乱流モデルである $k-\omega$ SST DES モデル及び非線型乱流モデルである EASM DES モデルを適用し、URANS 及び計測結果との比較により、モデルの有効性を検討する。

2. 数値計算法

2.1 ナビエーストックスソルバー SURF

本計算で使用した CFD コードは海上技術安全研究所で開発されている SURF である。計算法の概略は以下の通りである。

空間離散化は、非構造格子を用い、セル中心に変数を配置した有限体積法によって評価する。対流項は Flux-Difference-Splitting に基づく 2 次風上差分 (MUSCL type)、拡散項は中心差分を用いる。実時間と擬似時間を導入し、非定常計算を行う。実時間微分は 2 次精度、擬似時間は 1 次後退差分で近似し、擬似時間については局所時間刻みによる収束加速を行う。ナビエーストックス方程式を離散化及び線形化して得られる連立方程式はガウスザイデル法と多重格子法で解く。

2.2 乱流モデル

URANS 及び DES での乱流モデルとして、 $k-\omega$ SST モデル⁽¹⁾ 及び非線形モデル EASM⁽²⁾ と各 DES モデルを適用する。

2.3 DES リミター

DES での RANS 領域と LES-like 領域を切り換えるリミターとして、オリジナルリミターと $k-\omega$ SST モデルの関数 F_1 及び F_2 に基づくリミターを適用する。⁽¹⁾ ω と ϵ をブレンドする関数 F_1 を使用する場合、物体近傍の RANS 領域をオリジナルリミターより保持することができ、境界層位置を定義する関数 F_2 は最も RANS 領域を保持するリミターであり、境界層内は RANS 領域、境界層外側領域は LES-like 領域として取り扱うことができる。EASM での DES モデルは DES リミターを $k-\omega$ SST モデルと同様に乱流エネルギー k に関する方程式に適用することで得られる。

3. チャンネル内立方体周り流れへの適用

計算に使用したケースは ERCOFTAC の乱流モデルテストケース 6.3 であり、平均流速分布の計測結果との比較を行っ

た。関数 F_2 に基づくリミターを使用した $k-\omega$ SST DES F_2 及び EASM DES F_2 は、他のモデルと比較し、立方体後方の速度プロファイルを精度良く推定できることが分かった。

4. 角柱周り流れへの適用

次に角柱周り流れにおいて、計算結果の抗力係数及び表面圧力分布を計測結果⁽³⁾ と比較した。角柱の断面は正方形で、コーナー部は辺の 1/4 半径の円弧を有し、流入角 10 度を与えた。Fig.1 に角柱表面圧力分布を示す。コーナー部の圧力低下と後面での剥離に伴う圧力の変化を、いずれのモデルも再現することが分かる。また、渦動粘性係数 ν_t の分布より、関数 F_1, F_2 を使用した DES モデルは、URANS の結果と比較し、角柱後方の複雑な流場を表現できることから、 $k-\omega$ SST 及び EASM DES モデルは、大規模剥離流れに有効であると考えられる。

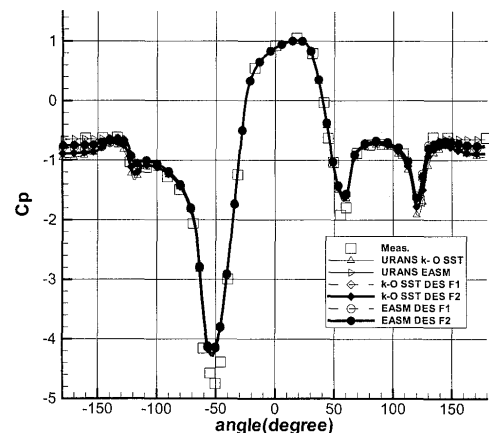


Fig. 1 Comparisons of pressure distributions on square cylinder

5. 結言

$k-\omega$ SST 及び EASM DES をチャンネル内立方体及び角柱周り流れに適用し、DES モデルの有効性を確認した。

参考文献

- (1) Menter, F.R. et al, Ten Years of Industrial Experience with the SST Turbulence Model, Proc. 4th Int. Symp. on Turbulence, Heat and Mass Transfer, (2003)
- (2) Gatski, T.B. and Speziale, C.G., "On explicit algebraic stress models for complex turbulent flows", JFM, vol.254, 1993, pp.59-78.
- (3) Polhamus, E.C. et al, "Pressure and Force Characteristics of Noncircular Cylinders as Affected by Reynolds Number with a Method Included for Determining the Potential Flow about Arbitrary Shapes", NASA TR R-46.