

LES による回転楕円体周りのはく離流れの解析 Analysis of separated flow past a prolate spheroid using Large-eddy Simulation

○高木洋平, 海技研, 〒181-0004 東京都三鷹市新川 6-38-1, E-mail: yotakagi@nmri.go.jp

Youhei Takagi, Center for CFD Research, National Maritime Research Institute,
6-38-1 Shinkawa, Mitaka, Tokyo, 181-0004, Japan

Separated flow past a 6:1 prolate spheroid was analyzed using Large-eddy Simulation(LES). In this simulation, the standard Smagorinsky model was used as a sub-grid scale (SGS) model, and the computation was carried out for several angles of attack at $Re = 1.0 \times 10^5$. Separation region appeared at the rear of the body, but precise prediction of separation line was not attained because of low resolution grid and the property of SGS model used in this study. However, the three-dimensional vortex structure arisen from the separation region was captured, and it was shown that the effect of longitudinal vortex became intense with increase in angle of attack.

1. はじめに

船舶や航空機, 自動車などの輸送機械周りの流れでは大規模なはく離流が発生することが知られている。このようなはく離流が発生すると抵抗が変化し, 推進性能や操縦性能に大きな影響を与えるため, はく離位置やはく離形態を正確に予測することは重要な課題となる。はく離流に関する研究は実験的・数値的に数多くの研究がなされているが, 角柱などの鋭い角を有する物体周り, 船体形状のような鈍い物体周りとははく離流の性質が大きく異なっていると考えられる。鈍い物体の例の一つとして, 長軸と短軸の長さ比が 6:1 となる回転楕円体 (prolate spheroid) に対し, 実験的・数値的研究が数多くなされている (例えば Simpson(2000)⁽¹⁾ など)。この回転楕円体は極めて単純な形状であるが, 迎角を与えると三次元のはく離が発生し, 船の斜航状態に似たはく離流を得ることができる。そこで本研究では, この回転楕円体周りの流れに対し, 近年応用が増えているラージ・エディ・シミュレーション (Large-eddy Simulation, LES) を用い, 小迎角の楕円体周りに発生する渦構造の解析を行うことを目的とする。

2. 計算方法

LES では計算格子よりも小さなスケール (Sub-grid Scale, SGS) による SGS 応力 τ_{ij} が方程式中に現れ, モデル化が必要となるが, 本研究では代表的な Smagorinsky モデル⁽²⁾ を van Driest の減衰関数とともに用いた。

空間の離散化は一般座標系における有限体積法によって行い, すべての変数をセル中心に配置するコロケーション格子を用いて, 2 次精度の中心差分で空間微分を近似した。ただし, 対流項に関しては 5% の風上成分を注入することによって振動を抑制した。圧力と速度のカップリングには fractional step 法を用い, 時間積分は対流項には Adams-Bashforth 法, 粘性項には Crank-Nicolson 法を用いた。

計算格子は楕円体下半分を解く O-O 格子とし, 格子点数は物体表面に沿った流れ方向に 60、ガース方向に 12、物体から離れる方向に 20 とした。

計算条件はレイノルズ数を 1.0×10^5 とし, 一様流に与える迎角 β は $0^\circ, 2^\circ, 4^\circ, 6^\circ, 8^\circ, 10^\circ$ とした。 $\beta = 0^\circ$ のときは直進, $\beta > 0^\circ$ のときは斜航となる。

3. 計算結果

壁面せん断応力から物体表面での流線を可視化すると (図は省略), 楕円体後端付近では逆流が発生するはく離領域が存在していることが示された。しかし, 格子解像度の不足と用いた SGS モデルの性質により, 迎角 β の増加に伴うはく離領域の拡大は

見られなかった。はく離領域付近での三次元的な渦構造を可視化するために, 図 1 は楕円体後端付近における第二不変量 $Q^{(3)}$ の正值の等値面を示している。第二不変量 Q はひずみ速度の大きさよりも渦度の大きさが大きくなるときに正值となるため, 楕円体後端ではく離が発生している領域では剛体回転の強い渦構造が存在しているといえる。 β の増加に伴う渦構造の変化に注目すると, 図 1(a) に示す $\beta = 0^\circ$ のときは壁面上で形成される横渦が渦輪となって放出された後に球状の渦構造を形成するが, 図 1(b) に示す $\beta = 10^\circ$ の状態になると縦渦の影響が強くなり, 流れ方向に伸びる渦構造を形成していることがわかる。

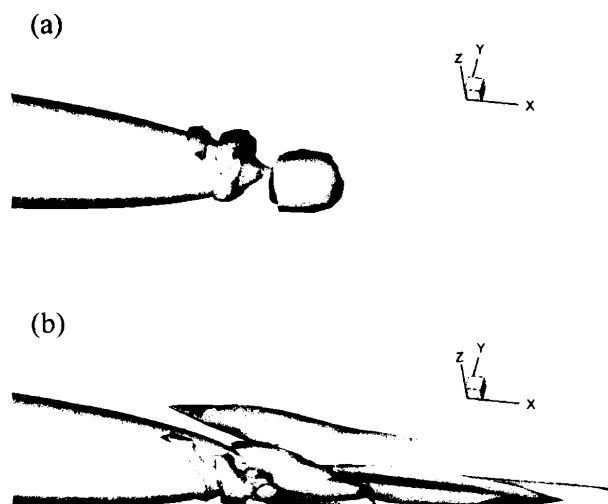


Fig. 1 第二不変量 Q の等値面 ($Q > 0$); (a) $\beta = 0^\circ$, (b) $\beta = 10^\circ$

参考文献

- (1) Simpson, R. L., "Steady flow over a 6:1 prolate spheroid", www.aoe.vt.edu/aoe/prolatespheroid, (2000).
- (2) Smagorinsky, J., "General circulation experiments with the primitive equations", Mon. Weath. Rev., 91 (1963), pp.99-164.
- (3) Hunt, J. C. R., Wray, A. A. and Moin, P., "Eddies, stream, and convergence zones in turbulent flows", Center for Turbulence Research Report CTR-S88 (1988), pp. 193-208.