

# 3次元遷音速流中に置かれた円柱周りのLESによる数値解析

## Large Eddy Simulation of Three-Dimensional Transonic Flow around a Cylinder

○ 林 大介, 名古屋大学工学研究科, 〒464-8603 名古屋市千種区不老町, Email: hayashi@fluid.nuae.nagoya-u.ac.jp

中村 佳朗, 名古屋大学工学部, 〒464-8603 名古屋市千種区不老町, Email: nakamura@nuae.nagoya-u.ac.jp

Men'shov Igor, 名古屋大学工学部, 〒464-8603 名古屋市千種区不老町, Email: menshov@nuae.nagoya-u.ac.jp

Daisuke HAYASHI, School of Eng., Nagoya Univ., Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8603, JAPAN

Yoshiaki NAKAMURA, Dept. of Aerospace Eng., Nagoya Univ., Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8603, JAPAN

Igor MEN'SHOV, Dept. of Aerospace Eng., Nagoya Univ., Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8603, JAPAN

Large eddy simulations (LES) were performed for the flow around a circular cylinder with and without double plates at  $M = 0.6$  and  $Re = 3.6 \times 10^5$ . The underlined objective is to examine the mechanism of drag reduction due to the plates. The calculation is based on a finite volume Navier-Stokes solver and the Smagorinsky model for subgrid scale stresses, using 3.0 million control volumes. Compared with experimental data, the LES results showed similar tendency.

### 1. はじめに

円柱周りの流れは、層流境界層剥離、乱流遷移、再付着、渦放出など複雑な現象を伴うため解析が困難である。Reynolds-averaged Navier-Stokes(RANS) 解析ではこのような複雑な現象を捉えることは困難である。また、DNSで高 Reynolds 数流れを再現することはコンピュータの性能を考えると近い将来でも難しい。このような非定常性の強い乱流場を解析するひとつの方法としてLESが挙げられる。

本研究では、遷音速流中に置かれた円柱及び、2枚の平板を付けた円柱周りの数値解析を行い、本研究室の遷音速風洞で得られた実験結果と比較検討する。

### 2. 数値計算方法

支配方程式は3次元質量加重平均フィルタリングNS方程式を用い、SGS応力にはSmagorinskyモデルを用いた。

空間離散法として、対流項にMUSCL法を適用した。その際、セル境界面の数値流束を2次精度のGodunov法で求めた。また、粘性項に2次精度の中心差分法を用いた。時間離散化には陽解法と陰解法のハイブリッドスキームを適用し、格子幅の小さいところで陽解法の割合を高くし、格子幅の大きいところで陰解法を用いるようにした。

### 3. 計算対象

最初に、流れに垂直に置かれた円柱直径( $D$ )を基準としたReynolds数が約 $3.6 \times 10^5$ 、一様流マッハ数が0.6の流れを解析した。次に、前縁から $\pm 140^\circ$ の位置に長さ $0.2D$ の板を置き、前述と同じ条件で解析を行った。

物体表面は滑べり無し境界条件を用い、スパン方向には周期条件を適用した。マッハ数 $M_\infty = 0.6$ 、温度 $15^\circ C$ 、高度 $0km$ の標準大気とする流れを流入条件とした。流出条件は特性境界条件とした。

計算格子はO型格子をスパン方向に展開した。格子点は半径方向、周方向、sスパン方向にそれぞれ $50 \times 120 \times 50$ とした。計算領域は半径方向に $20D$ 、スパン方向に $10D$ とし、円柱付近で格子点を密にし、物体表面から最初の格子点までの距離は $3.0 \times 10^{-5}D$ とした。また、無次元時間刻みを $\Delta t \approx 0.065$ としている。

計算結果を統計的に扱うために、計算結果を時間スパン方向に平均操作を施した。

### 4. 計算結果、及び考察

図1に本計算で得られた円柱表面の平均圧力分布と実験で得られた時間平均圧力分布を示した。灘点( $\theta = 0^\circ$ )

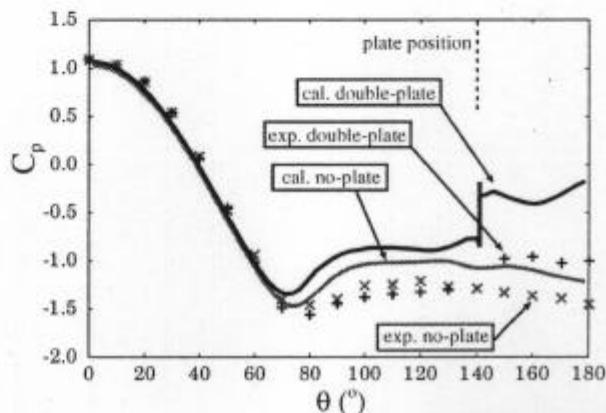


Fig. 1: Mean pressure coefficient  $C_p$  on the surface of the cylinder.

から $\theta = 70^\circ$ 付近までの円柱の前方部分は平板の有無に関わらず、LESは実験結果に近い値を示す。しかし、剥離はLESの方が実験結果に比べて早く生じ、剥離以後の円柱の後半部分の圧力分布はLESは実験値より大きな値を示す。

しかしながら、平板無しの場合における、剥離以後 $\theta = 130^\circ$ 付近まで圧力が上昇し、その後減少する傾向や、平板有りの場合での、剥離以後から平板直前まで圧力が上昇し、平板直後で圧力が急激に増大し、特に $\theta = 180^\circ$ で極大値をとるといった定性的な傾向を捉えられている。

### 参考文献

1. G. Urbin, D. Knight and A. A. Zheltovodov, "Compressible Large Eddy Simulation Using Unstructured Grid: Supersonic Turbulent Boundary Layer and Compression Corner," AIAA 99-0427, 1999
2. I. Men'shov, M. Kaneko and Y. Nakamura, "A Hybrid Explicit-Implicit High-Resolution Method for Non-Linear Advection Equation," 航空宇宙技術研究所特別資料 SP-44 航空宇宙シミュレーション技術シンポジウム'99 論文集, (1999), pp. 315-321.