

I-318 剝離-再付着流の数値解析

九州大学応用力学研究所 学生員 鶴田秀紀 正会員 大屋裕二 同 中村泰治

1. まえがき

剝離-再付着を伴う流れ場は、大規模構造物の周辺の流れなど工学上の様々な分野で現れ、物体周辺流の基本的な問題の一つであるために、以前から多くの研究がなされてきた^{1), 2), 3)}。これらの研究は実験的なものが多く、非定常周囲流れの詳細な挙動は調べられていない。一方、最近数値シミュレーションの発達とともにナビエ・ストークス方程式を直接数値計算し、様々な流れ場の特性を明らかにしようとする試みが行われ始めた⁴⁾。本研究は、剝離-再付着流れが現れる十分長い厚板($D/H=8$)について、その周辺流れを差分法を用いて数値計算し、剝離せん断層の挙動に注目しながら剝離バブル及びそこからの大規模渦の放出、そして厚板背後での渦形成、放出等の詳細な検討を行うことを目的とする。

2. 計算方法

無次元化した2次元非圧縮粘性流に関し、中山ら⁵⁾の手法と同様にMAC法に従ってナビエ・ストークス方程式と圧力のポアソン方程式から連続の式を満足するように差分法を用いて数値的に解いた。ナビエ・ストークス方程式に現れる非線形項は三次精度の風上差分、他の空間微分項は中心差分を採用した。時間項に対しては一次のオイラーの陽的差分を用いた。また圧力はSOR法を用いて求めた。速度、圧力についての境界条件も中山ら⁵⁾と同じである。計算格子はThompson等が開発した一般座標を使った物体適合格子を用いたが、本研究対象の厚板は、 $D/H=8$ と細長いため周方向に非常に多くの格子点数を必要とした。試行計算の段階において 81×81 (周方向 $\times$ 動径方向)の格子を生成し計算を行ったところ、空間的に解が振動し良い結果が得られなかった。そこで 453×81 の格子を生成して計算を行い満足する結果を得た。当計算に使用した格子を図1に示す。なおレイノルズ数は $Re=1000$ 、時間ステップ $\Delta T=2 \times 10^{-4}$ である。

3. 計算結果

初期段階からの流線及び渦度のパターンの時間的変化を追っていくと次のような結果が得られた。まず厚板上下面に前縁から剝離した流れが厚板表面上に上下対称に再付着し、剝離バブルが形成され、厚板背後では双子渦が形成される(図3)。この剝離バブルは時間経過とともに下流側へ発達し後流の双子渦と一体化していく。双子渦の対称性が崩れ振動を始めると、それと連動して厚板上下のバブルも対称性を失う(図4)。まだ定常周期解まで計算が進んでいないが、 C_D (抗力係数)及び C_L (揚力係数)の時間変化を図2に示す。揚力が最大値を示す時刻の流線図を他の時刻のものと比較してみると明らかに下面の再付着領域の幅が広いことが確認される。図2における時刻A、B、Cの時刻の流線図、渦度図を図5に示す。前縁から形成される剝離バブルは時間経過とともに下流側に伸びていくが、ある長さまで達すると途中がくびれ始め、遂には分裂し、その結果前縁からの剝離せん断層はより手前で再付着する。分裂した後方の循環領域は大規模渦として側面上を下流へながされて後縁から放出される。流線パターンの視察によれば時間平均的には前縁から $4H \sim 5H$ の付近で再付着しているがこれはLane-Loehrke²⁾の可視化実験と一致している。図では分かりづらいが、前縁からの剝離したバブルや、下流へ流されている大規模渦が位置する物体表面上では周囲と逆の符号を持った渦度が現れている。この逆符号の渦度が主流に取り込まれると考えられる。そのため前縁で生成される総渦度は下流へ流され、孤立渦になる頃には相当低下しているのではないかと考えられる。今後その渦度の変遷を確認していきたい。

参考文献

- 1) Ruderich & Fernholz, JFM, vol.163(1986)
- 2) Lane, Jc. and Loehrke, R.I., Trans.
- 3) Kiya & Sasaki, JFM, vol.137(1983)
- 4) Eaton, JFM, vol.180(1987)
- 5) 中山、大屋、中村 第45回土木年次講演会(1988)

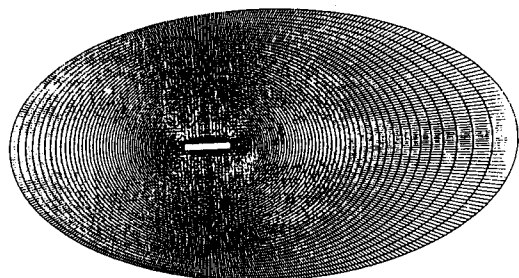


図1 計算格子

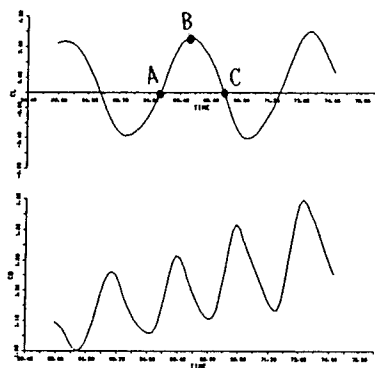


図2 CD、CL VS. 時間 t

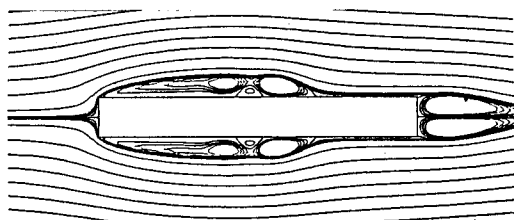


図4 流線図

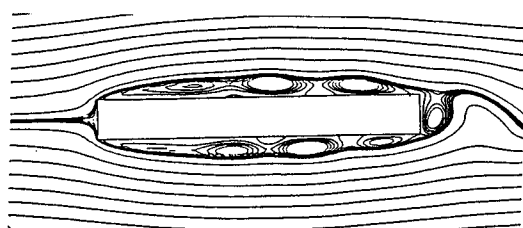


図3 流線図

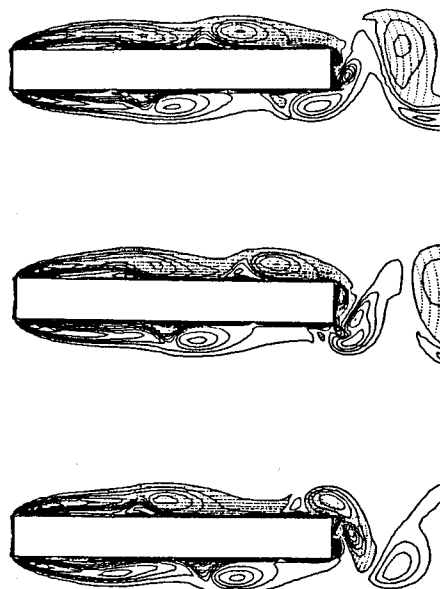
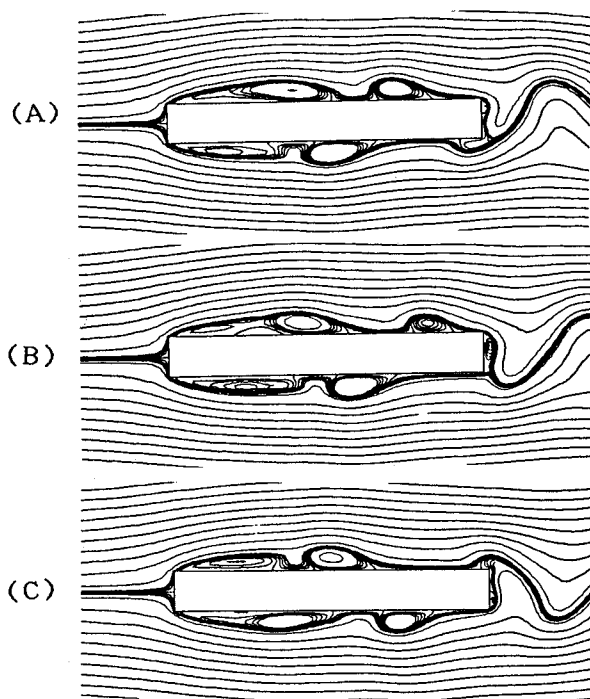


図5 流線図と等渦度線図 (A),(B),(C)は図2の時刻A,B,Cに対応
(網掛けは上側からのマイナスの渦度場、白抜きは下側からのプラスの渦度場)