

I-319

二次元矩形柱の近傍後流の数値解析

北九州高専 正員 中山龍三 九州大学応用力学研究所 正員 大屋裕二 同 中村泰治

1. まえがき

物体下流に大きな剥離領域を有する bluff body に関して、渦の生成と放出の機構、または後流に広がる渦度場の時間変化等には未だ不明な部分が多い。これらのことを解明すべく様々な風洞および水槽実験がなされてきた。特に最近、flying hot-wire⁽¹⁾やタンデムプローブ⁽²⁾等の逆流域も測定可能な流速センサーを用いたり、conditional sampling⁽³⁾等の測定技術を駆使して、物体近傍後流に関する様々な知見が得られている。一方、流れの数値解析により bluff body まわりの流動特性を解明しようとする試みが計算スキームおよびコンピューターの発達により可能になってきた。たとえば、Eaton⁽⁴⁾は有限要素法を用いて円柱まわりの流れを解析し、実験で得られた結果との比較をしている。本数値解析では差分法を用いて矩形柱周囲流れを数値計算し、後流の渦度分布、および流体粒子の動き等に注目してその近傍後流特性を明らかにしようとするものである。

2. 計算方法

非圧縮粘性流れに対する基礎方程式は連続の式(1)と Navier-Stokes 方程式(2)を無次元化して用いている。

$$\text{div } \mathbf{V} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \mathbf{V} / \partial t = - (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} - \text{grad } p + \Delta \mathbf{V} / \text{Re} \quad (2)$$

連続の式(1)を満たすために MAC 法に従って(2)の両辺の発散をとり、圧力についての Poisson 方程式(3)を導く。

$$\Delta P = - \text{div}(\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} - \partial(\text{div } \mathbf{V}) / \partial t + \Delta(\text{div } \mathbf{V}) / \text{Re} \quad (3)$$

(2)と(3)が差分化されて解くべき基礎式である。(3)の空間項は中心差分とし、SOR 法を用いて逐次近似して圧力を求める。圧力の収束判定条件は相対誤差で 10^{-5} としている。(2)の差分化で時間微分項に対しては Euler の陽解法、空間微分項のうち非線形対流項は三次の風上差分⁽⁵⁾で近似し、他は中心差分を用い、(3)より求めた圧力を代入して速度を求める。境界条件は、速度について物体表面上で no-slip 条件、遠方境界では一様流 ($u=1, v=0$) とし、圧力はすべて外挿で与えている。計算格子には Thompson 等が開発した物体適合格子を用いている。レイノルズ数 $\text{Re}=200$ 、断面辺長比 $d/h=0.4$ 、時間ステップ $\Delta t=2 \times 10^{-4}$ とした。計算格子 (113×101) を図 1 に示す。

3. 計算結果

* St 数と CD, CL : $t=115$ までの抗力係数 CD、揚力係数 CL についての時間変化を図 2 に示す。渦放出の周期は $T=4.8$ で、Strouhal 数は $St=0.208$ である。一方、 $\text{Re}=177$ の水槽での可視化実験では $St=0.172$ となっており、やや高めの値となっている。また、時間平均値として $CD=2.63$ となった。

* 水槽実験との比較 : 水素気泡法により可視化した写真(図 3-1, timeline)とほぼ同位相の図 2 の点 A における瞬間の streakline (図 3-2) とを比較しているが、両者のフローパターンはよい一致を示している。

* 近傍後流の渦度場 : 図 4 には上から順に揚力が最小(A)、零(B)、最大(C)の時の流線図と等渦度線図を示している。各渦は図 3-1 に見られるような孤立化した渦としての存在ではなく、その核を中心にして特徴的な広がりを持ちその周辺部は互いに隣接した状態となっている。一部の“すそ野”(図中の*印)は互いに反対符号の渦を取り囲むように伸びている。時刻(B)において負の渦度(非常に小さな値であるが)をもった領域が物体近傍の下側(巻き込もうとしている下方からのせん断層の下周辺、図中の☆印)にみられ、(C)ではその領域が拡大している。その反対の状態が上方からのせん断層の上周辺に見られる。この現象については、数値解析上、流体現象上の正当性を今後の検討課題としたい。

<参考文献>

- | | |
|---|--|
| 1) Perry, Chong & Lim : JFM, 116 (1982) | 4) B.E.Eaton : JFM, 180 (1987) |
| 2) 溝田武人 : 九州大学博士論文 (1983) | 5) Kawamura & Kuwahara : AIAA 84-0340 (1984) |
| 3) 田中, 村田 : 機論 (B 編) 51 巻 (昭 60-9) | |

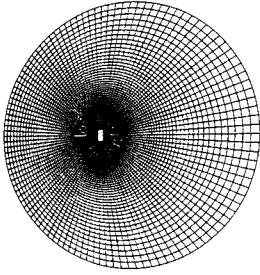


図1. 計算格子 (113×101)

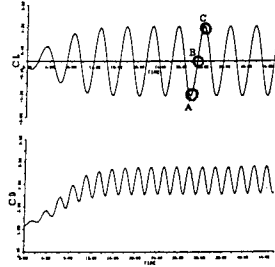


図2. C_D, C_L vs. 時間 t

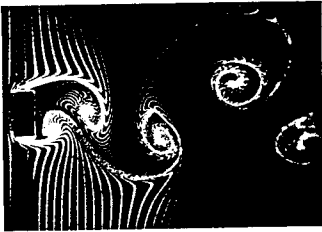


図3-1. 水素気泡法によるタイムライン

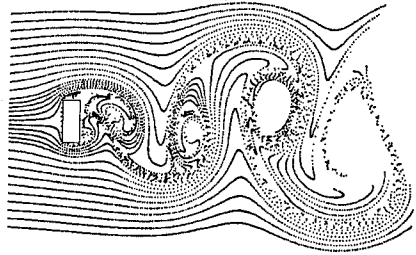


図3-2. Streakline

図3 水槽実験とのフローパターンの比較。

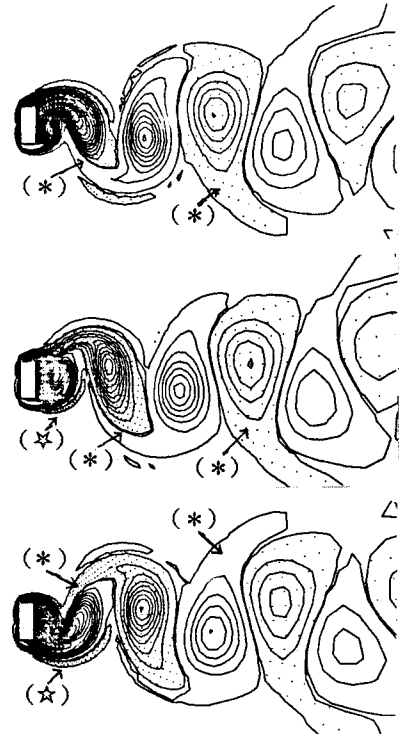
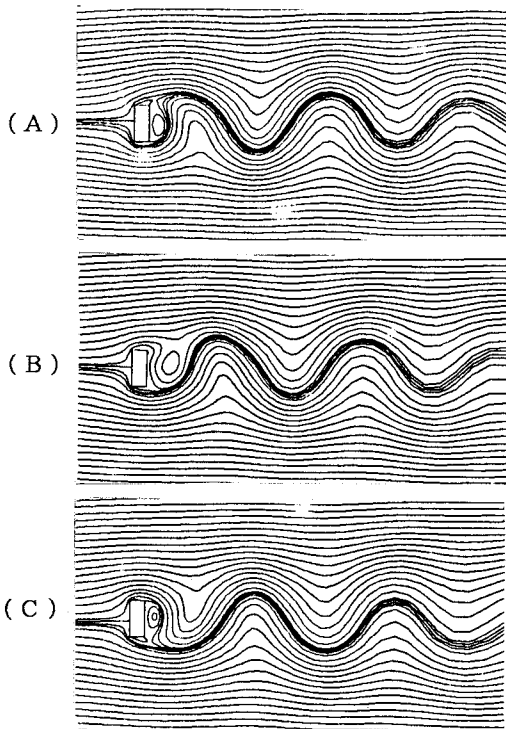


図4. 流線図 と 等渦度線図 (A), (B), (C)は図2の時刻A, B, Cに対応

(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)