

I - B7

安定化有限要素法による三次元性を有する円柱周り流れの数値解析

中央大学大学院 学生員 ○ 原田 太一
中央大学 正会員 樫山 和男

1. はじめに

円柱周り流れにおいて、レイノルズ数の増加に伴う流れの三次元性の形成が知られている。その際の特徴として抗力・揚力の時間変動特性が間欠的に揺らぎ現象やその流れ場との対応等が報告されているが¹⁾²⁾、三次元性の形成メカニズムにはまだ未知の部分が多い。本研究では安定化有限要素法により三次元円柱周り流れ解析を行い、抗力・揚力、 $C_D \cdot C_L$ の時間変動及び、円柱境界層の剥離点近傍における流速・圧力の時間変動を比較し、流れの三次元性形成のメカニズムとの関連を検討する。

2. 解析手法

非圧縮粘性流体の基礎式である Navier-Stokes 方程式の運動方程式 (1) と連続式 (2) を流速双 1 次・圧力 0 次で補間する Q1/P0 要素を用いた安定化有限要素法³⁾により離散化し定式化を行う。

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j u_{i,j} = -p_{,i} + \frac{1}{Re} u_{i,jj} \quad (1)$$

$$u_{i,i} = 0 \quad (2)$$

ここで u_i , p はそれぞれ i 方向の速度成分, 圧力を表す。

3. 解析条件

解析には要素総数 249,960 の矩形領域型有限要素メッシュを用いる。解析領域は閉塞率を 1/16, スパン長を 3D (円柱直径を 1D) とし、円柱周方向に 86 分割, 半径方向に 45 分割, スパン方向に 60 等分割, 円柱近傍の半径方向最小メッシュ幅は 0.006D としている。解析の初期条件には二次元計算における十分に発達した流れを用い、スパン方向の境界条件は周期境界条件を使用する。

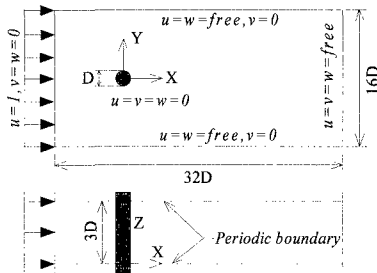


図1 解析領域及び、境界条件

4. 解析結果

レイノルズ数を 1000 とし、三次元円柱周り流れ解析を行った。得られた C_D の時間平均値は 1.108 (実験値⁴⁾ 1.0), ストローハル数は 0.2289 (同様に 0.22) とほぼ定量的に一致している。図 2 に $C_D \cdot C_L$ の時間変動を示す。波形の振幅には間欠的な揺らぎが現れており、流れの三次元性を捉えている事がわかる。この揺らぎ現象の原因を検討するため、 $C_D \cdot C_L$ のスペクトル解析を行った。図 3 に $C_D \cdot C_L$ のパワースペクトルを示す。図には $C_D \cdot C_L$ の主たるピーク周波数の $F=0.4578$ と $F=0.2289$ に隣接する複数の隣接ピークが見られ、揺らぎ現象の原因はこれらのピーク間の相互干渉である事がわかる。また、揺らぎ幅と流れ場との対応については、図 4,5 に示すように図 2 における $T=70$ の揺らぎ幅の拡大時には後流渦が強まり、 $T=130$ の縮小時には後流渦は弱まっている。

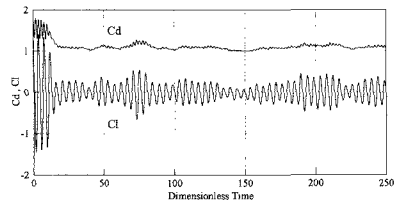


図2 $C_D \cdot C_L$ の時間変動波形

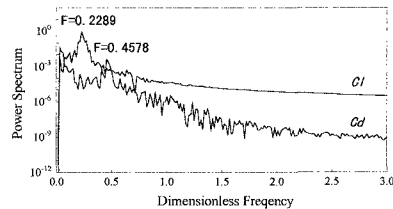


図3 $C_D \cdot C_L$ のパワースペクトル

流れの三次元性形成のメカニズムを検討するため、円柱境界層における剥離点近傍の流速及び、圧力値を抽出し、その特性について調べる。抽出点は円柱後縁より反時計回りに 85 度の角度で、円柱表面から 0.006D の距離にある円柱スパン中央における節点である。なお、レイノルズ数が 1000 における境界層厚さは約 0.032D である。

図 6 にこの節点における X, Y, Z 軸方向の流速ベクトル U, V, W と圧力 P の時間変動をそれぞれ示す。W では $T=20$ 前後から U, V, P と同様に時間変動が現れており、流れが三次元方向にも推移している事がわかる。ま

Key Words : 円柱, 三次元性, 安定化有限要素法

〒 112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 計算力学研究室

TEL 03-3817-1815, FAX 03-3817-1803

た、各図に $C_D \cdot C_L$ と同様な揺らぎが現れており、揺らぎ幅の強弱のリズムも W を除いて C_L とほぼ同様に推移している。ここで、 W の揺らぎ幅は他の波形と比べて強弱のポイントにずれが生じており、突発的な変動幅の変化もみられる。次に図7にスペクトル解析による U , V , W , P のパワースペクトルを示す。 U , V , P のパワーをみると主たるピーク周波数に C_L と同様の $F=0.2289$ を持っており、 W のピークについては $F=0.1068$ と低い周波数を示した。以上の傾向から、円柱境界層における剥離流れの時点ですでに三次元性が形成されている事が確認でき、また、 W の挙動より円柱スパン方向の流れは水平方向の流れと異なる周期で推移している事がわかる。

5. おわりに

レイノルズ数 1000 における三次元円柱周り流れ解析を安定化有限要素法により行い、以下の結論が得られた。

(1) 抗力・揚力の時間変動特性に流れの三次元性形成を示す揺らぎ現象が捉えられ、その原因はこれらの主たるピーク周波数と隣接する複数のピークとの干渉にある。

(2) 円柱境界層における剥離点近傍の流速及び、圧力値の時間変動特性は、抗力・揚力の時間変動特性と同様の傾向を持ち、この事から剥離流れの時点で既に流れの三次元性は形成されていると考えられる。

参考文献

- 1) 泉 元, 他: 円柱周りの3次元流動解析, 日本機械学会論文集 B 編, 60-579, 3797, 1994
- 2) 木枝 香織, 他: 円柱周り流れの三次元シミュレーション (時間・空間相関の解析), 計算工学講演会論文集 vol.2, 197, 1997
- 3) 猪股 渉, 他: 低次補間を用いた安定化有限要素法による非圧縮粘性流れ解析に関する研究, 土木学会論文集投稿中
- 4) Cantwell, B. and Coles, D.: An Experimental Study of Entrainment and Transport in the Turbulent Near Wake of a Circular Cylinder, J. fluid Mech., 136, 1983

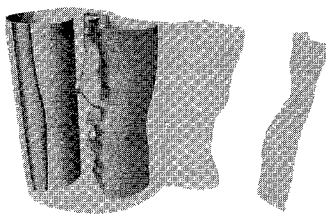


図4 揺らぎ幅拡大時の円柱後流渦 (T=70)

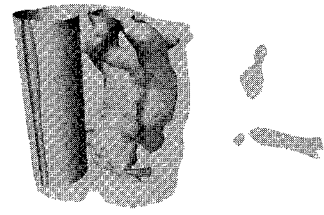


図5 揺らぎ幅縮小時の円柱後流渦 (T=130)

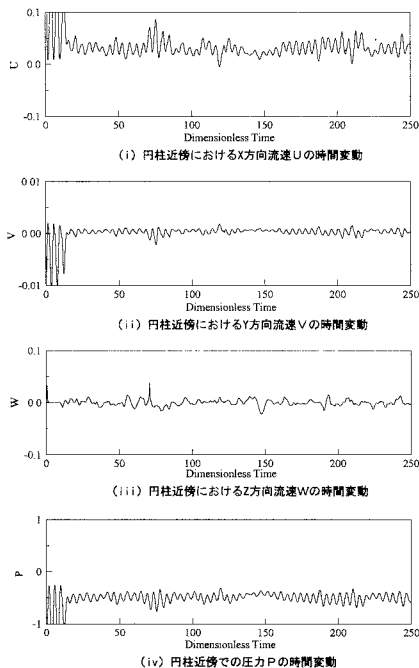


図6 流速・圧力の時間変動波形

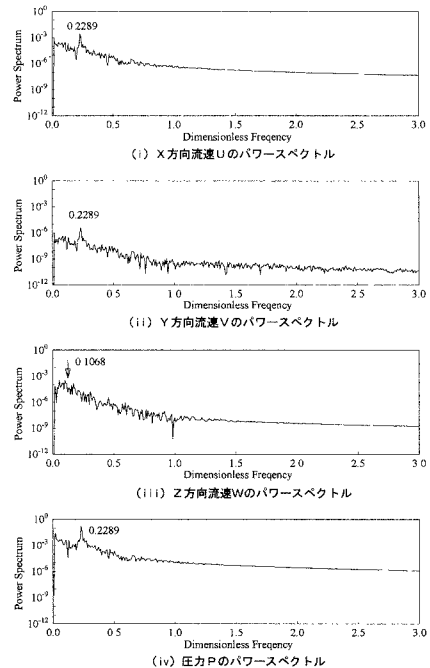


図7 流速・圧力のパワースペクトル