

CS 3-7 [I] 振動する円柱および角柱周りの流れの数値シミュレーション

金沢大学工学部 岡島 厚、金沢大学大学院 北島和幸

1. まえがき: 風による煙突、橋梁等の振動、潮流による海洋構造物の振動など、流れの中におかれた円柱や角柱の流力不安定振動は構造物の構造設計において重要な問題となる。本研究では数値シミュレーションにより、円柱および角柱を流れに直角(transverse)および平行(in-line)の方向に強制振動させ、後流渦が強制振動数に同期するいわゆる'Lock-in'現象およびその空力弾性的不安定性について調べる。

2. 主な記号:

a : 物体の振動振幅	Re : レイノルズ数 (=UD/ν), ν は動粘性係数
D : 物体の代表長さ	$S_{tc} (=f_c D/U)$: 物体の無次元強制振動数
f_c : 物体の強制振動周波数	$S_{tn} (=f_{vn} D/U)$: 静止物体の無次元渦周波数
f_v : 後流渦の周波数	$S_{tv} (=f_v D/U)$: 無次元後流渦周波数
f_{vn} : 静止物体の後流渦周波数	U : 一様流の流速

3. 数値解析法: 本計算では支配方程式である連続の式とナビエ・ストークス式を2次元、非圧縮のもとでSIMPLE法で解いた。また、物体の振動に対しては、計算格子の位置が時間とともに変化するALE法⁽¹⁾を適用した。また、実験結果^{(2)・(3)}との比較のため、円柱については $Re=4 \times 10^3$, $a=0.14D$ とし、角柱については $Re=10^3$, $a=0.14D$ として計算を行った。

4. 計算結果

4.1 円柱: 図1に並進振動円柱周りの流れの計算例として、(a)直角方向($S_{tc}=0.28$)および(b)In-line方向($S_{tc}=0.36$)に振動する円柱周りの流れパターンを示す。図(a)は非同期的場合であり、(b)は同期した時である。そして、図2(a)に直角方向振動円柱の揚力のスペクトル解析結果の S_{tc}/S_{tv} の S_{tc} に対する変化を示す。静止円柱の渦流出周波数 $S_{tn}(=0.227)$ 周辺の $S_{tc}=0.18 \sim 0.28$ の領域で $S_{tc}/S_{tv} \approx 1$ の振動成分が認められ、後流渦と円柱振動の同期領域は比較的狭い。図(b)には、平均抗力係数 C_D および変動揚力の振幅 C_L (rms)を示す。同期領域のほぼ中央で C_D , C_L は極大となる。また、物体の空力弾性的不安定を調べるため変動揚力と振動速度の積からエネルギーを求めて、強制振動数に対する位相差(変位基準)の変化、およびその虚数部の値 $\text{Im}(E_L)$ を図(c), (d)示した。位相差は実験結果($Re=3 \times 10^4$)⁽³⁾とよく一致している。次に、図3に示す主流方向振動の場合は、 S_{tn} の2倍周辺である $S_{tc}=0.30 \sim 0.47$ の範囲で、 $S_{tc}/S_{tv} \approx 2$ となり同期する。

4.2 角柱: 図4には振動角柱の流れパターンを示す。図(a)は直角方向($S_{tc}=0.45$)および(b)In-line方向($S_{tc}=0.48$)の振動流れパターンを示す。図5に直角方向振動の場合の S_{tc} に対する種々な流体力の変化を示す。角柱の同期領域は、図(a)のように円柱と異なり非常に広範囲にわたる。また、図(b)の C_D は同期領域では増加せず、むしろ S_{tc} の増加に伴い減少する。 C_L のRMS値は、直角方向振動の場合は $S_{tc}=S_{tn}$ 近傍で極大となり、のち S_{tc} とともに増大する。図(c)のエネルギーの位相差やその虚数部の値から、 S_{tc} の小さい領域(高風速域)で安定から不安定に移る。一方、流れに平行振動の場合、 $S_{tc}/S_{tv} \approx 1, 2$ の2カ所で同期する。 S_{tc} が角柱の $S_{tn}(=0.148)$ 近傍とその3倍の0.45付近では $S_{tc}/S_{tv} \approx 1$ に、 $2S_{tn}$ 近傍では $S_{tc}/S_{tv} \approx 2$ に同期する(図6)。

5. まとめ: 円柱および角柱を流れに直角および平行に強制振動させた場合の流れの数値シミュレーションを行った。それぞれの振動特性は物体形状や振動方向に強く依存し、種々な興味深い現象が認められた。

参考文献

- (1) T.Tamura, K.Tsuboi and K.Kawamura: "Numerical simulation of unsteady flow patterns around a vibrating cylinder", AIAA paper, 88-0128, 1988
- (2) Y.Tanida, A.Okajima and Y.Watanabe: "Stability of a circular cylinder oscillating in uniform flow or in a wake", J. Fluid Mech. (1973), vol. 61, part 4, pp. 769-784
- (3) 岡内功、伊藤學、宮田利雄: 耐風構造, 丸善1977.

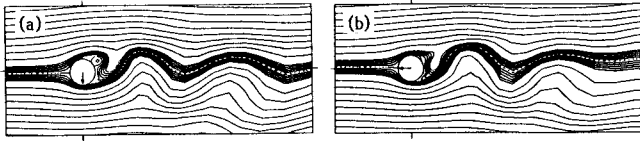


図1 円柱の計算例(流線, $Re=4 \times 10^3$, $a/D=0.14$): (a)直角方向振動($Stc=0.28$, $Time=94.0$), (b)In-line方向振動($Stc=0.36$, $Time=98.0$)

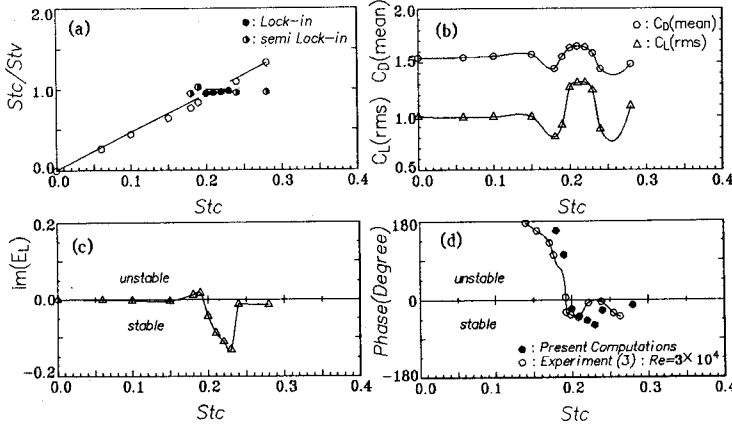
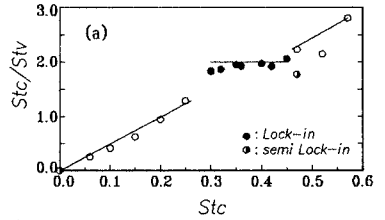


図2 円柱の直角方向振動の場合の Stc と各パラメータとの関係($Re=4 \times 10^3$, $a/D=0.14$): (a)同期状態, (b)抗力係数・揚力係数, (c)変動揚力エネルギーの虚数部, (d)位相差

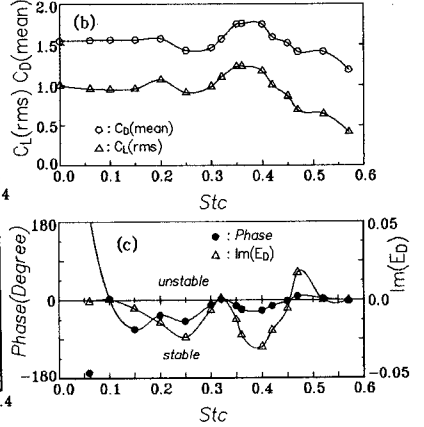


図3 円柱のIn-line方向振動の場合の Stc と各パラメータとの関係($Re=4 \times 10^3$, $a/D=0.14$): (a)同期状態, (b)抗力係数・揚力係数, (c)変動揚力エネルギーの虚数部及び位相差

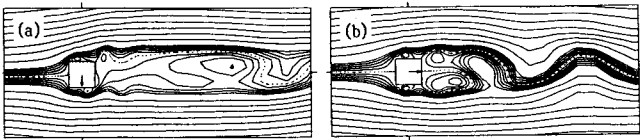


図4 角柱の計算例(流線, $Re=10^3$, $a/D=0.14$): (a)直角方向振動($Stc=0.45$, $Time=98.5$), (b)In-line方向振動($Stc=0.48$, $Time=99.5$)

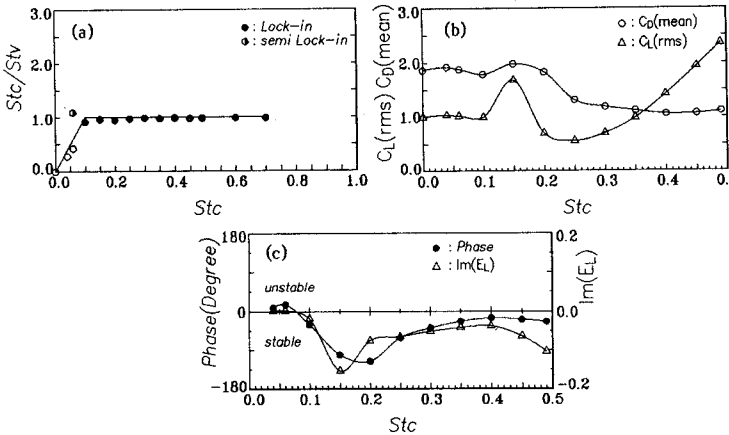
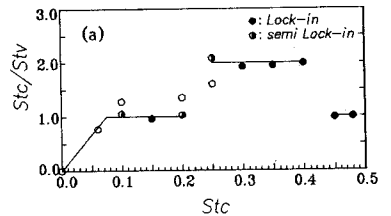


図5 角柱の直角方向振動の場合の Stc と各パラメータとの関係($Re=10^3$, $a/D=0.14$): (a)同期状態, (b)抗力係数・揚力係数, (c)変動揚力エネルギーの虚数部及び位相差

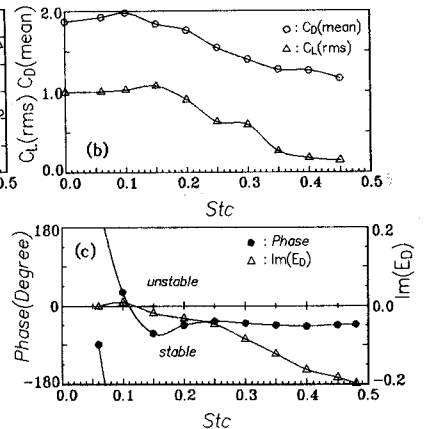


図6 角柱のIn-line方向振動の場合の Stc と各パラメータとの関係($Re=10^3$, $a/D=0.14$): (a)同期状態, (b)抗力係数・揚力係数, (c)変動揚力エネルギーの虚数部及び位相差