

## CS 123

## 振動角柱に働く流体力の数値計算と実験結果の比較

金沢大学 正員 岡島 厚

## 1. 緒言

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体不安定振動は構造物の構造設計において重要な問題である。しかし、振動物体に作用する流体力を予測し得る数値解析的研究は少なく、また計算結果と比較検討し得る振動物体周りの流れに関する実験的研究も比較的少ない。そこで、本研究では数値シミュレーションおよびそれとほぼ同一条件の実験により、断面比の異なる角柱を流れに直角(transverse)および平行(in-line)方向に振動させ、加振振動数に対する抗力や揚力の流体力変化、さらに流れ弾性的不安定性に注目し、計算結果と実験結果を比較して振動物体周りの流れの数値シミュレーション法の有効性を検証する。

## 2. 数値シミュレーション法と実験方法の概略

(1) 数値シミュレーション: 断面比 $B/H=1, 2, 3$ 角柱周りの流れ場は2次元、非圧縮、粘性流れとする。支配方程式の連続の式とNavier-Stokesの式を有限体積法を用いて数値的に解く。計算アルゴリズムにはSIMPLE法を用い、振動物体周りの流れ場はALE法を用いて解く。レイノルズ数、 $Re=UH/\nu$  ( $U$  は一様流速、 $H$  は前面辺長さ、 $\nu$  は動粘性係数) は、 $10^3$  とし、振動振幅は $H$  の14%で一定とする

(2) 水槽実験: 実験は、長さ10m、幅0.7m、水深0.3mの水槽を用い、自走測定台車上の模型振動装置によって模型を加振して行った。模型の正確な単振動は、無段変速機構付きサーボモータに直結の円筒カムによって得られた。揚力、抗力、モーメントなどの流体力は半導体ゲージを貼付したロードセルで検出し、得られた測定値はコンピュータ(EWS)に転送して解析した。供試角柱模型には、 $H=30\text{mm}$ の断面辺長比 $B/H=1, 2, 3$ 角柱の3種の模型を用い、全て $Re$ 数は $4 \times 10^3$ とした。

## 3. 数値計算と実験結果の比較

振動物体には静止時とは異なり振動に伴う付加流体力が働き、しかも振動方向、振動数により大きく変化する。本報告では、断面比 $B/H=2, 3$ 角柱を例として計算結果と実験結果の比較をする。

(1)  $B/H=2$ 角柱: 図1, 2には、流れに直角および平行(in-line)方向に $B/H=2$ 角柱を加振した時の加振振動数 $Stc$ に対する抗力の時間平均値 $C_D$ と揚力振幅のRMS値 $C_L$ 、そして振動変位に対する揚力または抗力の位相差の計算結果( $Re=10^3$ )と実験結果( $Re=4 \times 10^3$ )の比較を示す。図(a)の $C_D$ 値、図(b)に示す揚力または抗力の位相差は点線で示す実験値とほぼ一致している。図1(a)の直角方向振動の $C_L$ 値は共に $Stc$ が角柱の静止時の自然渦放出周波数 $Stn(=0.07)$ に等しい付近でピークに達し、 $3Stn$ 付近で $C_L$ は極小となり、 $C_D$ の計算値と実験値は共に極大となる。その後、 $Stc$ の増加に伴い $C_L$ 値は急増する。また図1(b)から $Stc < 0.04$ の領域で不安定を示し、ギャロッピング振動の発生を示している。図2に示すin-line方向振動の場合、 $C_D, C_L$ 値はともに $Stn$ 付近で最大となり、 $3Stn$ 付近で最小となる。 $Stc$ が $Stn$ と $3Stn$ に等しい付近の計算による流れパターンを調べると、 $Stc=Stn$ では流れが再付着せず幅広い後流域を形成し、 $Stc=3Stn$ では角柱側面および下流後流域共に上下対称に渦が形成され、 $C_D, C_L$ 値の減少に対応している。また、in-line方向振動の抗力の位相変化から低振動数領域に流れ不安定域が認められる。

(2)  $B/H=3$ 角柱: 次に、断面辺長比 $B/H=3$ 角柱の流体力変化を図3, 4に示す。図3(a,b)に示す直角方向振動の場合、 $C_D, C_L$ は $Stn(=0.18)$ の1/2付近でともに最小で、その後、 $C_L$ 値は $Stc$ の増加にともない急増する。また、in-line振動の場合、図4(a)から $Stc=Stn(=0.18)$ 付近で $C_D, C_L$ 値共に最小値をとるのに対し、 $Stc$ が $1.5Stn$ 付近では極大となる。また、図には、点線で $C_D$ の実験値を示すが、計算値と比較的良好一致している。 $Stc=Stn$ 付近で $C_D, C_L$ が最小となる流れパターンは角柱側面や後流域の渦が上下対称で、 $Stc$ が $1.5Stn$ 付近では、角柱側面の渦は対称でも角柱後縁からの渦放出は非対称の交番渦列となり、 $C_L$ 値が増大

することに対応している。

#### 4. 結論

ALE法を適用した振動角柱周りの流れの数値シミュレーションとほぼ同一条件の実験による流体力の結果は、両者ほぼ一致した。そして振動物体に作用する流体力の物体形状、加振制振動数、振動方向などの依存性を明らかにした。

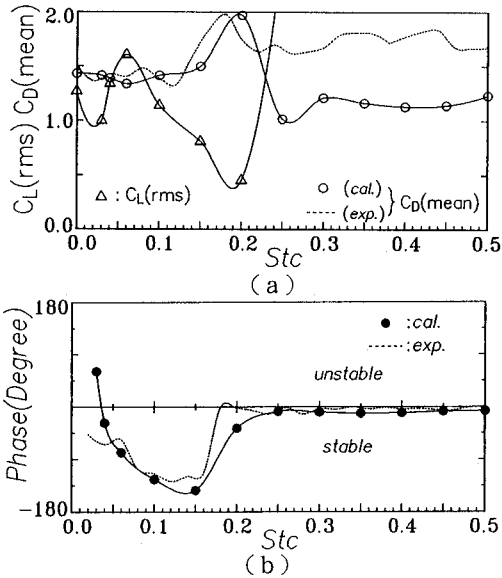


図1. 直角方向振動の $B/H=2$ 角柱の (a)抗力、揚力(Exp.: $C_D$ ;---,  $Re=4 \times 10^3$ , Comp.:  $C_D$ ;○,  $C_L$ ;△,  $Re=10^3$ )と(b)揚力の位相差 (---, Exp.( $Re=4 \times 10^3$ ); ●, Comp.( $Re=10^3$ ))

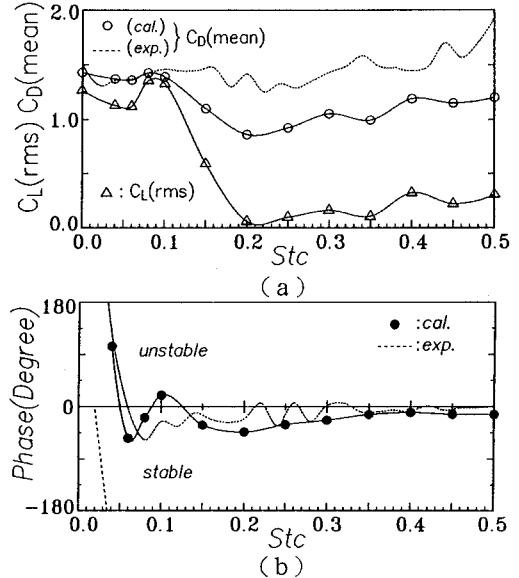


図2. In-line方向振動の $B/H=2$ 角柱の (a)抗力、揚力(Exp.: $C_D$ ;---,  $Re=4 \times 10^3$ , Comp.:  $C_D$ ;○,  $C_L$ ;△,  $Re=10^3$ )と(b)抗力の位相差 (---, Exp.( $Re=4 \times 10^3$ ); ●, Comp.( $Re=10^3$ ))

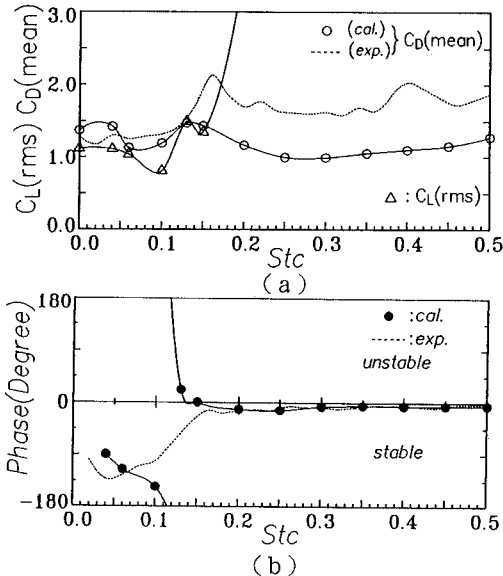


図3. 直角方向振動の $B/H=3$ 角柱の (a)抗力、揚力(Exp.: $C_D$ ;---,  $Re=4 \times 10^3$ , Comp.:  $C_D$ ;○,  $C_L$ ;△,  $Re=10^3$ )と(b)揚力の位相差 (---, Exp.( $Re=4 \times 10^3$ ); ●, Comp.( $Re=10^3$ ))

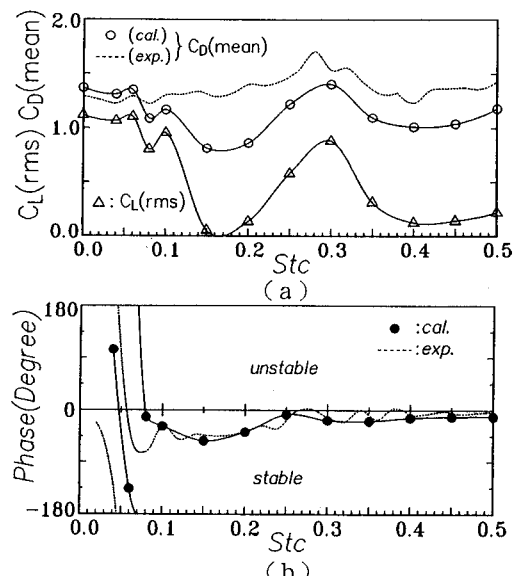


図4. In-line方向振動の $B/H=3$ 角柱の (a)抗力、揚力(Exp.: $C_D$ ;---,  $Re=4 \times 10^3$ , Comp.:  $C_D$ ;○,  $C_L$ ;△,  $Re=10^3$ )と(b)抗力の位相差 (---, Exp.( $Re=4 \times 10^3$ ); ●, Comp.( $Re=10^3$ ))