

I-315 矩形柱まわりの流れの数値シミュレーション

金沢大学工学部 正員 岡島 厚

1. まえがき 高レイノルズ数における矩形柱まわりの流れを離散渦点法(Discrete Vortex Method)によって数値シミュレートする。矩形柱後流渦のストロハル数の値が断面辺長比 $B/H=2.8, 6$ (Critical Depth) を境にしてステップ状に大きく変化する特異な現象に注目して、Critical Depthをはさむ $B/H=0.6\sim 8$ 断面柱まわりの流れについて、坂田⁽¹⁾やSarpkaya-Ihrig⁽²⁾による方法によって数値計算を行う。なお、解法や計算手続は文献(1)、(2)とほとんど同様であるので、ここでは省略する。

2. 計算に採用したパラメータの値 種々な矩形断面柱まわりの流れを離散渦点法によって計算するにあたり、渦点移動時間間隔、渦点導入時間間隔、断面柱表面に分布させる特異点(渦点)の数などのパラメータの具体的な値は試行計算などして定めた。

3. 流れの計算結果 B/H (B は矩形柱の流れ方向の辺長さ、 H はそれと垂直な方向の辺長さ) $=0.6\sim 8$ 断面柱まわりの流れ、抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L の時間変化を計算した。また、ストロハル数 $St(=fH/U)$; f は後流渦の周波数、 U は一様流速)は C_L 変化や後流域の速度変化をスペクトル解析して求めた。

(1) $B/H \leq 2.5$ 断面柱: まず、図1に $B/H=1$ 断面柱で迎え角 $\alpha=5^\circ$ 、無次元時間 $\tau(=UT/H, T$ は時間) $=46.4$ の流れを示す。 C_D, C_L, St 数の値は最終の2~3の周期から求めると、それぞれ $C_D=1.90, C_L=-0.20, St=0.143$ 、揚力の定常分は負で、負の揚力傾斜である。また、迎え角 α に対する $B/H=1$ 断面柱の C_D, C_L, St 数の計算結果は実験結果と良く一致し、本計算法の妥当性を確認した。図2には、 $B/H=0.6$ 断面柱($\alpha=1^\circ, \tau=46.0$)の場合を示すが、後流に形成される渦塊はより密で強く、渦点の集中化が著しい。 $B/H \geq 2$ 断面柱の場合には、矩形柱の前後縁部から渦を放出させる。図3、4には $B/H=2$ ($\tau=49.6$)、 $B/H=2.5$ ($\tau=38.4$)の流れを示す。 $B/H=1$ 以下の断面柱では放出された渦点が集中化し、明瞭な渦塊を呈し、周期的後流渦列を形成しているが、 $B/H=2, 2.5$ 断面柱後流域では幾分不明瞭となり、大きさ、強さの異なる渦塊が配列する。従って、 C_L の時間的变化には高周波の変動成分が混在し、周期性も不明瞭なためフーリエ解析した。例えば、 $B/H=2$ の卓越 St 数成分は $St=0.1$ であり、 C_D は1.20で、それぞれ実験値 $St=0.08, C_D=1.5$ と大体一致する。

(2) $B/H=2.8\sim 5$ 断面柱: $B/H=2.8, 3, 4, 5$ 断面柱($\alpha=1^\circ$)の流れをそれぞれ図5、6、7、8に示す。渦点分布を見ると $B/H=1$ 断面柱などの場合と異なり、放出された剝離せん断層が蛇行する形状で下流へ流され、後流渦列が形成されている。図5、6の $B/H=2.8, 3$ 断面柱の場合、後縁角部から放出された渦点は物体上下壁面に沿って逆流し、逆流域が矩形柱後縁近くの上下面にも存在している。そしてこの場合、前縁で一旦剝離した流れが矩形柱の上下面に再付着したり離れたりして、周期的再付着(Alternate Reattachment)が生ずる。定常状態に達した C_L 変化をフーリエ解析した結果には2種類の成分があるが、高い方の St 数成分がより卓越する。さらに、 $B/H=4, 5$ 断面柱($\alpha=1^\circ$)の流れを図7、8に示すが、周期的再付着流れの様相が顕著となる。 C_L は渦放出に伴い周期的に変動し、卓越 St 数は単一で、比較的高い St 値である。

(3) $B/H \geq 6$ 断面柱: 図9、10に、 $B/H=6, 8$ 断面柱の流れを示す。前縁で剝離した渦点が矩形柱上下壁にはば定常的に再付着し、前縁近傍に剝離バブルが形成される。後流渦は背面で形成され、その St 数値は高い。

4. 計算結果と実験結果の比較 本計算によって得られた $B/H=0.6\sim 8$ の断面柱の計算結果のうち、 C_D, St 数の計算結果と実験値との比較を図11、12に示す。 C_D, St 数ともに実験値と良く一致している。

5. まとめ 断面辺長比 $B/H=0.6\sim 8$ の矩形柱まわりの流れを離散渦点法によって計算した。計算結果は実験値と比較的良好一致した。特に、Critical Depth($B/H=2.8, 6$)を境にして St 数がステップ状に大きくなる現象に対応する流れのパターン変化を数値計算によって明らかにした。

参考文献 (1)坂田、足立、稲室、機械学会論文集、49-440、801-808(1983)

(2)Sarpkaya.T & Ihrig.C.J., ASME Ser.I, J. Fluid Eng.,108,47-54(1986)

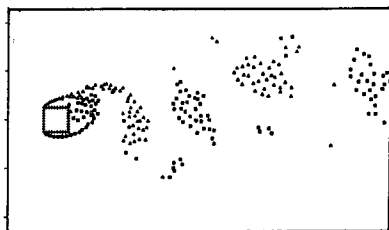


図1. $B/H=1$ 、 $\tau=46.4$ 、 $\alpha=5^\circ$

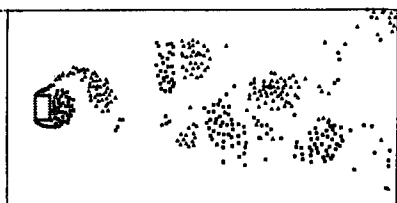


図2. $B/H=0.6$ 、 $\tau=46.0$ 、 $\alpha=1^\circ$

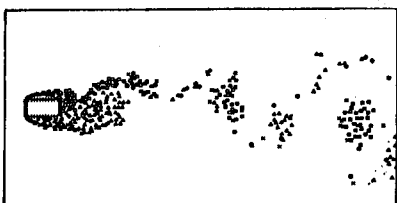


図3. $B/H=2$ 、 $\tau=49.6$ 、 $\alpha=1^\circ$

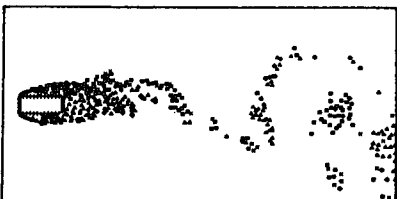


図4. $B/H=2.5$ 、 $\tau=38.4$ 、 $\alpha=1^\circ$

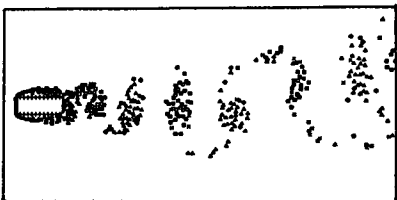


図5. $B/H=2.8$ 、 $\tau=41.6$ 、 $\alpha=1^\circ$

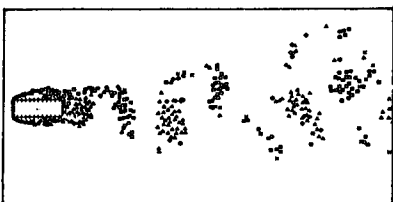


図6. $B/H=3$ 、 $\tau=52.0$ 、 $\alpha=1^\circ$

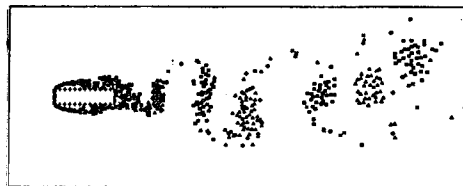


図7. $B/H=4$ 、 $\tau=54.4$ 、 $\alpha=1^\circ$

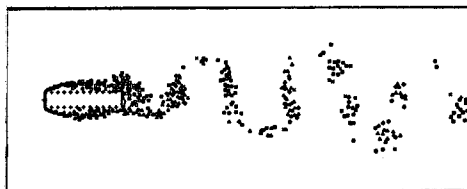


図8. $B/H=5$ 、 $\tau=51.2$ 、 $\alpha=1^\circ$

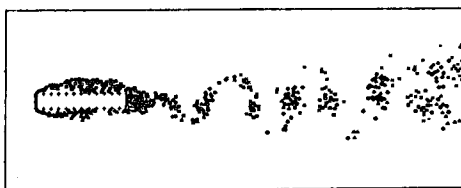


図9. $B/H=6$ 、 $\tau=36.8$ 、 $\alpha=1^\circ$

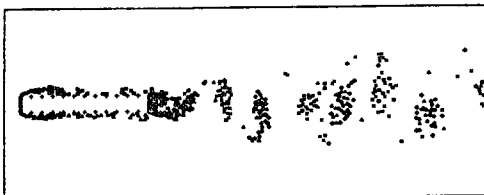


図10. $B/H=8$ 、 $\tau=39.2$ 、 $\alpha=1^\circ$

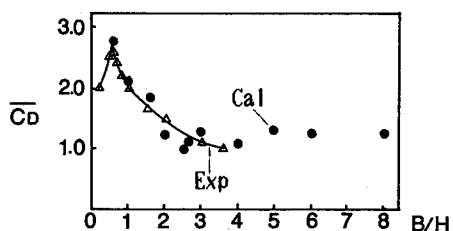


図11. C_D の計算値と実験値の比較

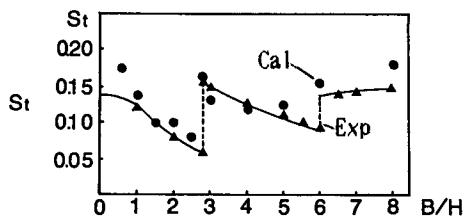


図12. St 数の計算値と実験値の比較