

直列 2 円柱まわりの流れの特性に関する数値計算

Numerical Calculation of the Flow Characteristics around Two Tandem Circular Cylinders

○植田翔¹, 近藤典夫²

*Sho Ueda¹, Norio Konodu²

Abstract: In the design of the structure, it is important to grasp the fluid force acting on the circular cylinder that is arranged in a uniform flow. Numerical analysis of this study was performed by calculating the flow around the circular cylinder caused by the fluidity force acting on two tandem circular cylinders. The fluid forces caused by changing the spacing between the two circular cylinders is reported in this paper.

1. はじめに

一様流れの中に存在する柱体に働く流体力を把握することは、構造物の設計において重要なことである。ライザー管や橋脚は流れ中に複数の柱体が存在する。単独の柱体と比べ、それぞれの柱体構造物の周りに生じる流れの特性が干渉し合うことで複雑な流れになると考えられる。

本研究では直列に並んだ2円柱に作用する流体力により起こる円柱まわりの流れについての計算を行い、数値解析をすることで、周辺の流れの干渉特性について解明し、現象を捉えることを目的とする。

2. 基本式

本研究で使用する流体運動の式は3次元ナビエ・ストークス方程式と連続方程式で与えられ、無次元表示で以下のように表される。

- ナビエ・ストークス方程式

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

- 流体の非圧縮性を示す連続方程式

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

ここで、 u_i は無次元流速、 p は無次元圧力、 Re はレイノルズ数、 t は無次元時間を表している。

3. 円柱の計算モデル

Fig.1 に示すように直列に配置された円柱モデルを使用する。計算条件は、レイノルズ数 $Re=2.0 \times 10^3$ 、円柱の高さ $H=2.0$ 、円柱直径 $D=1.0$ とし、円柱の間隔比 $S/D=2.0, 2.5, 2.8, 3.0, 3.2, 3.6, 3.8, 3.9, 4.0, 5.0, 6.0$ の11ケースで行う。

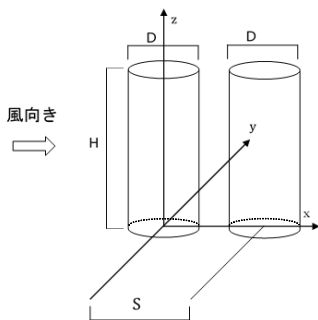


Fig.1 計算モデル

4. 数値解析結果

Fig.2 は間隔比 S/D を変化に対する上流側と下流側の円柱の抗力係数 C_D を示す。 C_{D1} 、 C_{D2} が本研究、 C_{D1_s} 、 C_{D2_s} は森谷ら[3]による実験結果を表している。上流側、下流側の本研究の結果と実験結果を比較すると、間隔比が同じでも $S/D=3.0$ 以降の本研究で得られた数値は実験結果より大きくなった。

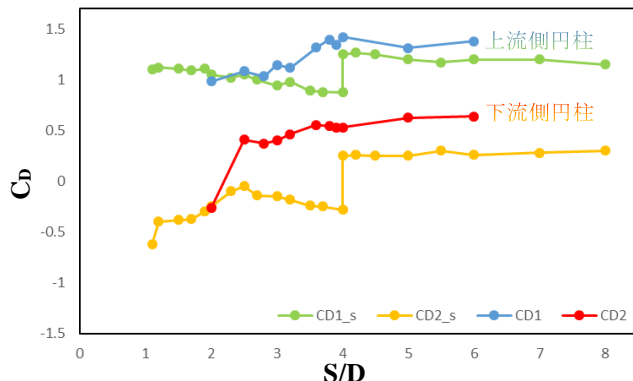


Fig.2 間隔比による抗力係数 C_D の変化

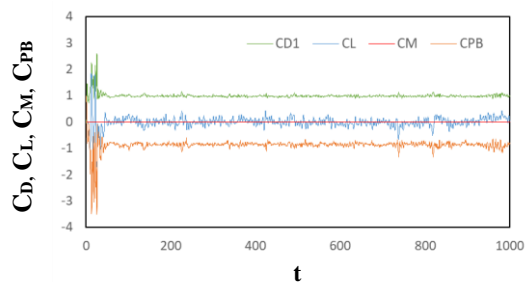


Fig.3 上流側の C_D , C_L , C_M , C_{PB} の時刻歴曲線 $S/D=2.0$

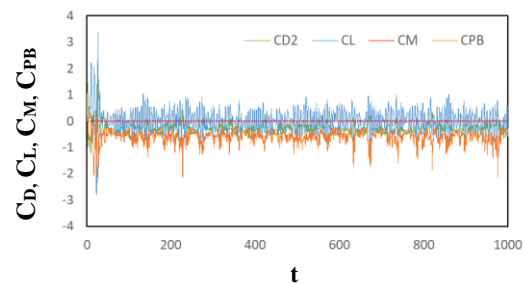


Fig.4 下流側の C_D , C_L , C_M , C_{PB} の時刻歴曲線 $S/D=2.0$

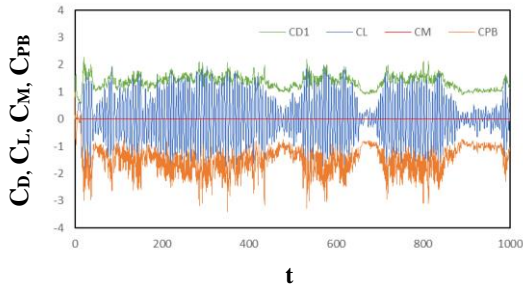


Fig.5 上流側の C_D, C_L, C_M, C_{PB} の時刻歴曲線 $S/D=6.0$

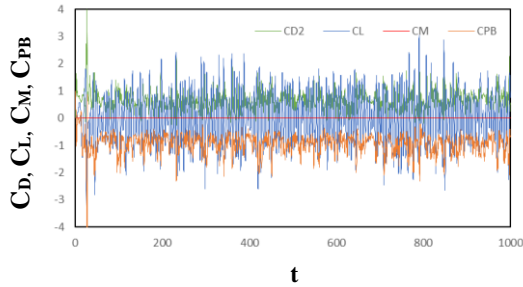


Fig.6 下流側の C_D, C_L, C_M, C_{PB} の時刻歴曲線 $S/D=6.0$

Fig.3~Fig.6 は上流と下流の円柱に作用する流体力の C_D, C_L, C_M, C_{PB} の時刻歴曲線を表しており、 C_L は揚力係数、 C_M はモーメント係数、 C_{PB} は背圧係数である。それぞれの間隔比の上流側、下流側の数値を比較すると、 $S/D=2.0$ の時、上流側はあまり振動していないが下流側は大きく振動していることがわかる。その一方で $S/D=6.0$ になると、上流側は振動が大きくなり、下流側も振動が少し大きくなる。間隔比の変化で係数 C_D, C_L, C_M, C_{PB} の数値も変化するということが捉えられた。

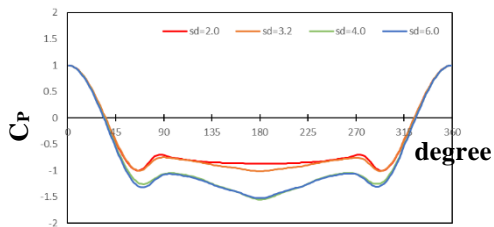


Fig.7 上流側の平均圧力係数 C_P

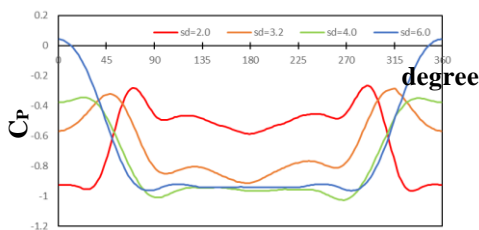


Fig.8 下流側の平均圧力係数 C_P

Fig.7,8 は $S/D=2.0, 3.2, 4.0, 6.0$ の上流、下流の平均圧力係数 C_P をまとめたものである。上流側の平均圧力係数 C_P の分布は約 40° から 320° 付近で負圧となっている。この時の数値を見ると $45^\circ \sim 315^\circ$ 間で $S/D=2.0, 3.2$ は $-0.5 \sim -1.0$ の間で変動している。一方

で $S/D=4.0, 6.0$ は $-1.0 \sim -1.5$ の間で変動しており、間隔比が広いほど負圧が大きくなることが分かる。下流側の平均圧力係数 C_P では S/D の間隔比が変わることで 0° 付近の圧力係数の分布の様子が異なっている。間隔比を変えることで、上流側と下流側の変動の様子、下流側の圧力の分布に違いが生じることがわかる。

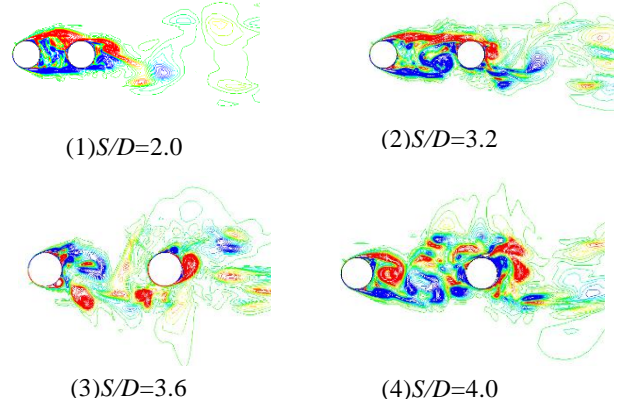


Fig.9 円柱まわりの流れ

Fig.9 は円柱まわりの流れの様子を表しており、赤が左回りの渦、青が右回りの渦を示している。上記の Fig.9 から流れは上流側円柱の背後で渦を発生し、さらに下流側円柱にも衝突するとともに円柱後方にさらに複雑な渦を発生させていることが分かる。Fig.9-(1)~(4)から上流側円柱によって発生した渦は、下流側円柱との間隔が変化することでの流れが複雑化することが捉えられた。

5. おわりに

本研究では 2 つの円柱の間隔を変えることで C_D の数値が変化することが分かった。また、上流側で発生した渦は下流側に衝突することで下流側後方の流れや圧力係数に影響を与えていることが捉えられた。これらの結果から、複数の円柱建築物が直列に隣接している状況下では間隔比に応じた流れへの対策が一層重要だと考えられる。

6. 参考文献

- [1] 岡島厚, 安井聡, 木村繁男, 木綿隆弘: 直列 2 円柱の流れ方向流力振動に関する研究, 日本機械学会論文集 (B 編) 73 巻 726 号, P,34-42, 2007 年
- [2] 五十嵐保: 直列 2 円柱まわりの流れ特性, 日本機械学会論文集 (B 編) 50 巻 451 号, P,594-601 (昭 59-3)
- [3] 森谷優, Md.Mahbub ALAM, 高井和紀, 坂本弘志: 直列配置された近接 2 円柱の変動流体力特性, 日本機械学会論文集 (B 編) 68 巻 669 号, P,1400-1406, 2002 年