

くい違い 2 円柱の流力振動と流れに関する数値解析

Numerical analysis for the fluid-induced vibrations and flow characteristics of two staggered circular cylinder

○植田翔¹, 近藤典夫²*Sho Ueda¹, Norio Konodu²

Abstract: In the design of the structure, it is important to catch the fluid force acting on the circular cylinder that is arranged in a uniform flow. This study is performed by simulation of the flow around the circular cylinders. The fluid force of the cylinders arranged by various gaps between centre-to-centre of the cylinders.

1. はじめに

ライザー管など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。岡島ら 1)は、直列 2 円柱の流力振動を明らかにしており、その振動特性について、明確に報告している。五十嵐 2)は、直列 2 円柱まわりの流れの特性について明らかにしており、レイノルズ数と間隔比による流れの変化を報告している。森谷ら 3)は、直列 2 円柱の干渉効果を明らかにしており、抗力や係数の変動について報告している。しかし、これらは直列配置という 1 形態での配置結果のみを示している。金ら 4)は、くい違い配置の 2 円柱の流力振動特性について報告しているが、クロス・フロー方向の結果のみを報告している。一様流れの中におかれた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。

本研究ではくい違いに配置した 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や振動についての計算を行い、周辺の流れの干渉特性や円柱の振動性状について解明することを目的とする。

2. 基本式

円柱のモデル化では、剛体として扱い、1 質点 2 自由度モデルとしている。これにより、円柱の振動方程式は次式になる。

$$\frac{d^2X}{dt^2} + \frac{4\pi h}{Ur} \frac{dX}{dt} + \left[\frac{2\pi}{Ur} \right]^2 X = \frac{1}{2\chi} C_D \quad (1)$$

$$\frac{d^2Y}{dt^2} + \frac{4\pi h}{Ur} \frac{dY}{dt} + \left[\frac{2\pi}{Ur} \right]^2 Y = \frac{1}{2\chi} C_L \quad (2)$$

ここで X と Y はイン・ライン方向とクロス・フロー方向の振動変位、 Ur は換算速度、 h は減衰定数、 χ は質量比、 C_D は抗力係数、 C_L は揚力係数を表す。

流体計算では、流体運動を粘性流体で仮定し、次式のナビエ・ストーク方程式と連続方程式を採用する。

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_i u_{i,j} = -p_{,i} + \frac{1}{Re} (u_{i,j} + u_{j,i})_{,j} = 0 \quad (3)$$

$$u_{i,i} = 0 \quad (4)$$

ここで、 Re はレイノルズ数、 u_i は無次元流速、 p は無次元圧力、 t は無次元時間である。

3. 円柱の計算モデル

図 1 に示すようにくい違いに配置された円柱モデルを対象にする。計算条件は、レイノルズ数 $Re=2.0 \times 10^3$ 、円柱の高さ $H=4.0D$ 、円柱の間隔比 $S/D=3.0$ とし、くい違い角度 $\theta = 10^\circ$ で行う。質量比は $\chi=12.0$ 、減衰定数は $h=0.006631$ で与え、その結果スクルトン数 $Sc=1.0$ になる。換算速度は静止時、 $Ur=1.5\sim 5.0$ で与える。

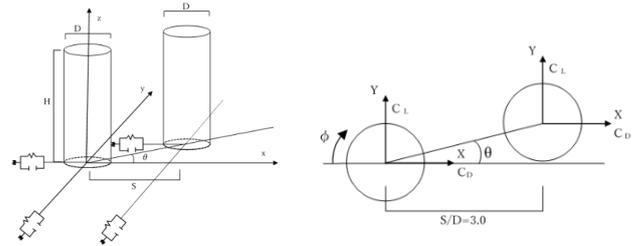


図 1 計算モデル

4. 数値解析結果

図 2, 3 は上流と下流の円柱のイン・ライン方向とクロス・フロー方向の時刻歴曲線を表しており、縦軸はイン・ライン方向とクロス・フロー方向の変位、横軸は時間を表している。 $Ur=2.0$ では、上流側の X が $t=0$ から次第に振幅が大きくなっており、 Y はあまり振幅が変化していないことがわかる。下流側は、 X 、 Y が全体的に似たような振動しており、 $t=300,500,900$ 付近で振幅が大きくなっている。

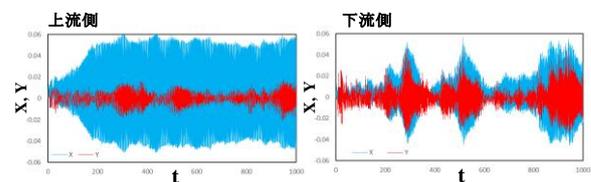


図 2 上流側,下流側のイン・ライン方向とクロス・フロー方向の時刻歴曲線 $S/D=3.0$, $Ur=2.0$

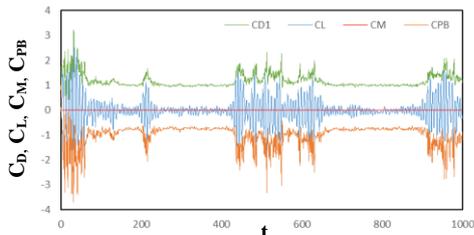


図 4 上流側の C_D, C_L, C_M, C_{PB} の時刻歴曲線
 $S/D=3.0, U_r=1.5$

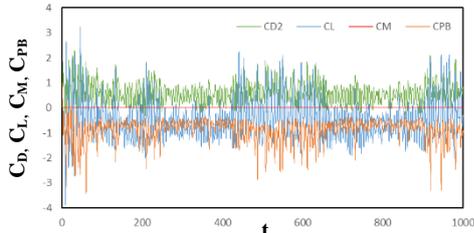


図 5 下流側の C_D, C_L, C_M, C_{PB} の時刻歴曲線
 $S/D=3.0, U_r=1.5$

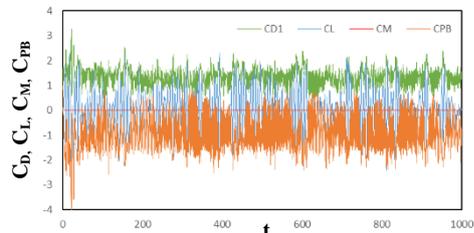


図 6 上流側の C_D, C_L, C_M, C_{PB} の時刻歴曲線
 $S/D=3.0, U_r=3.0$

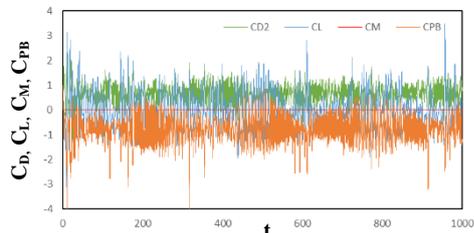


図 7 下流側の C_D, C_L, C_M, C_{PB} の時刻歴曲線
 $S/D=3.0, U_r=3.0$

図 4~7 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_M はモーメント係数、 C_{PB} は背圧係数である。 $U_r=1.5$ と $U_r=3.0$ を与えた時の上流側、下流側に作用するこれらの時刻歴曲線の変化を比較すると、 $U_r=1.5$ では、上流円柱の C_D, C_L, C_{PB} の振幅が時間の経過によって変動しており、小さくなっている部分が見受けられる。下流円柱は全体的に振動している。 $U_r=3.0$ では、上流側、下流側が共に振動しており、小さく振動しているところは見受けられなかった。以上より、 U_r の変化により変位と振動も変化することが捉えられた。

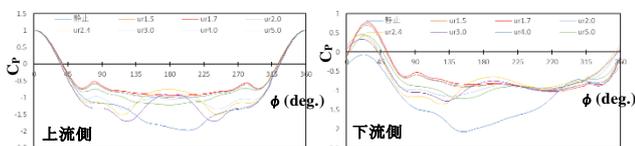


図 8 上流側,下流側の平均圧力係数 C_p

図 8 は円柱の静止時と $U_r=1.5\sim 5.0$ で与え、振動している上流円柱と下流円柱の平均圧力係数 C_p を示したものである。上流側の平均圧力係数 C_p の分布は、それぞれの分布の仕方が少し似ているが、 $U_r=2.4, 4.0$ で圧力の数値が異なる減少をしている。その一方で、下流側の平均圧力係数 C_p は上流側の変化の仕方とは大きく異なり、 $\phi=25^\circ$ 付近の一番圧力が高いことがわかる。以上より上流側、下流側の円柱表面の圧力変化の相違を捉えることができる。

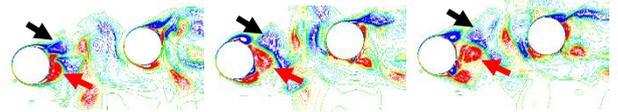


図 9 円柱まわりの流れ $U_r=2.0$

図 9 は $U_r=2.0$ の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。これらの図から、流れは上流側円柱の背後で発生した渦が、下流側円柱に衝突するとともに下流側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。くい違い角度及び換算速度によって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、わずかに振動している 2 円柱では、 U_r の変化に依存して、上流円柱で発生した渦は 2 円柱間で大きく異なった流れパターンを示していること及び圧力係数 C_p に影響を与えていることが分かった。また、上流側で発生した渦は下流側のくい違い角度が変化することで下流側後方の流れや圧力係数 C_p 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、円柱建築物が複数でくい違いに配置している状況下では、それぞれに応じた流れや振動への対策が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
- [4] 金相一, 坂本弘志: くい違い配列された 2 円柱の流力振動特性に関する研究, 日本機械学会論文集 (B 編) 73 巻 725 号, P,139-146, 2007 年