

直列 2 角柱の流力振動に関する数値解析

Numerical analysis for flow-induced vibration of two tandem square cylinders

鈴木隆之¹, 近藤典夫²*Takayuki Suzuki¹, Norio Kondo²

We first present numerical results of C_D and C_P acting on two tandem stationary cylinders, which are mounted of the tandem arrangement, in the range of spacing $S/B = 2.0 \sim 10.0$. Secondly, we show the numerical results for the C_D and C_P of the vibrating cylinders. These computations one performed by using the three-dimensional FEM scheme.

1. はじめに

円柱や角柱のような剥離を伴う近接した 2 つの柱状物体の空力特性は、単独の時と比べて剥離領域の干渉等によって複雑になる。柱状物体の空力不安定現象については、様々な振動性状が知られており、例えば、渦振動、ギャロッピング等がある。そのような振動の要因となる変動流体力の挙動を明らかにすることは工学的に重要である。¹⁾

本研究では、流れに対して直列に配列された 2 本の角柱を静止および振動状態を想定し、角柱の空力特性と振動特性を捉える。

2. 解析モデル

本研究では角柱の断面比 $D/B=1$ とし、角柱の高さ $H/B=4$ とする。 H は角柱の高さ、 B は角柱の奥行き、 D は角柱の幅を表わす。その解析モデルを Fig.1 に示す。

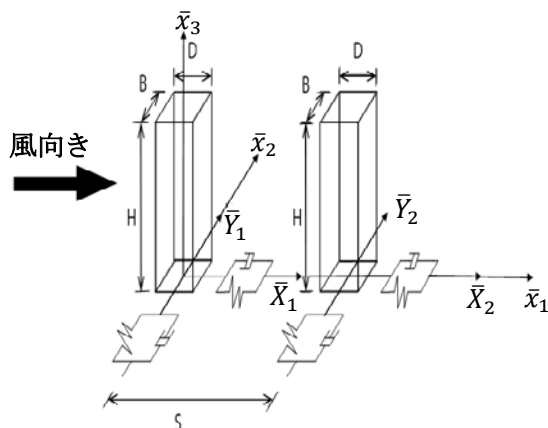


Fig.1 A computational model of a square cylinders

本論文では、 Fig.1 の角柱に作用する流体力を静止状態では、間隔 S/B を 2.0, 3.0, 3.5, 3.8, 4.0, 4.2, 5.0, 6.0, 8.0, 10.0 の 10 ケースで行う。次に振動状態では、 S/B を 3.0 で行う。

3. 基礎方程式

流体運動は 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。

- 1) ナビエ・ストークス方程式

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j u_{i,j} = \sigma_{ij,j} \quad (1)$$

- 2) 応力

$$\sigma_{ij} = -p\delta_{ij} + \frac{1}{Re}(u_{i,j} + u_{j,i}) \quad (2)$$

- 3) 連続方程式

$$u_{i,i} = 0 \quad (3)$$

ここで、無次元座標 $x_i = \bar{x}_i/D$ を使い、 u_i は無次元流速、 σ_{ij} は全応力、 p は無次元圧力、 Re はレイノルズ数を表す。また、角柱の振動方程式は以下のように表される。

- 4) \bar{x}_1 軸方向の運動方程式

$$\frac{d^2 X_k}{dt^2} + \frac{4\pi h}{U_r} \cdot \frac{dX_k}{dt} + \left(\frac{2\pi}{U_r}\right)^2 X_k = \frac{1}{2 \frac{m}{\rho L^2 H}} C_{Dk} \quad (4)$$

- 5) \bar{x}_2 軸方向の運動方程式

$$\frac{d^2 Y_k}{dt^2} + \frac{4\pi h}{U_r} \cdot \frac{dY_k}{dt} + \left(\frac{2\pi}{U_r}\right)^2 Y_k = \frac{1}{2 \frac{m}{\rho L^2 H}} C_{Lk} \quad (5)$$

ここで、 C_D と C_L は抗力係数と揚力係数、 $X_i = \bar{X}_i/D$ 、 $Y_i = \bar{Y}_i/D$ は無次元変位、 ρ は流体の密度、 V は代表速度、 A は代表面積、 h は減衰定数、 U_r は換算速度を表す。添字 $k=1$ は上流側角柱、 $k=2$ は下流側角柱を表す。換算速度 U_r をパラメータとして上流側角柱、下流側角柱のそれぞれの振動変位を求める。

4. 数値結果

Fig.2 は、角柱の静止状態において、間隔 S/B を変化させた時の 2 角柱の抗力係数 C_D を示す。上側の結果が上流側角柱、下側の結果が下流側角柱のものである。赤の線が本研究、黒と青の線がそれぞれ坂本ら¹⁾、Liu²⁾

1 : 日大理工・学部・海建、 2 : 日大理工・教員・海建

らが過去に行った研究結果である。上流側，下流側共に過去の研究結果と比較すると，定性的に一致した結果が得られた。

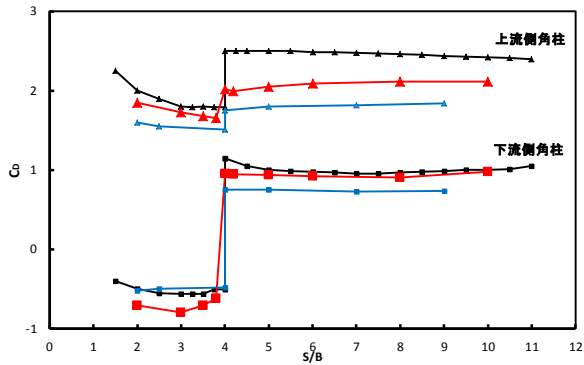


Fig.2 variations of the drag coefficients due to the gap size of two cylinder

Fig.3 と Fig.4 は，静止 2 角柱の上流側と下流側の表面の圧力係数 C_p を示したものである。Fig.3 に示す C_p は， $S/B=2.0$ と 3.8 の場合，B 面から D 面で一定の結果になり， $S/B=4.2, 5.0, 10.0$ では B 面と D 面の C_p は約 -1.5 であるが，C 面の C_p は約 -1.0 である。Fig.4 の C_p は，間隔 S/B に大きく依存し，各面で C_p の数値は激しく変化している事が捉えられた。

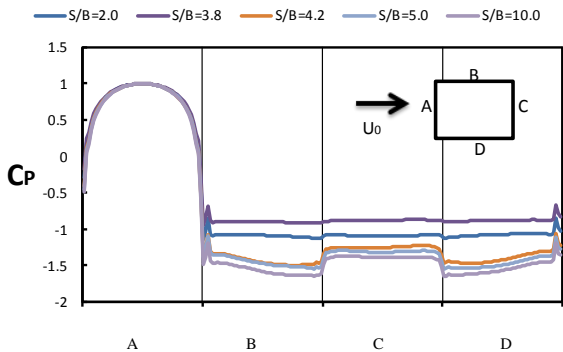


Fig.3 Pressure coefficient C_p of the upstream stationary cylinder

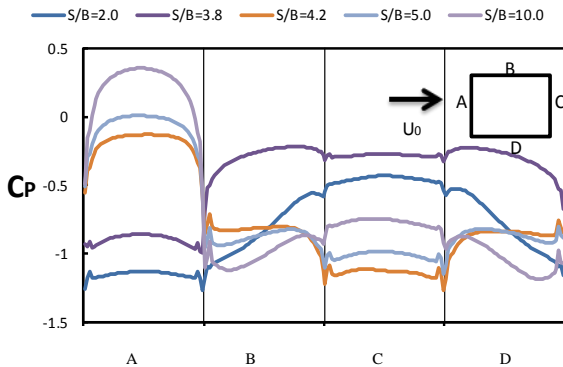


Fig.4 Pressure coefficient C_p of the downstream stationary cylinder

Fig.5 と Fig.6 は， $S/B=3.0$ の時の静止 2 角柱の C_p と $Ur=2$ と 3 のパラメータで振動した 2 角柱の C_p を示している。Fig.5 に示す上流側角柱の C_p は，B 面と D 面で僅かに差が見られた。Fig.6 に示す下流側角柱の C_p は，静止時と振動した時ではかなり異なったものになっている。

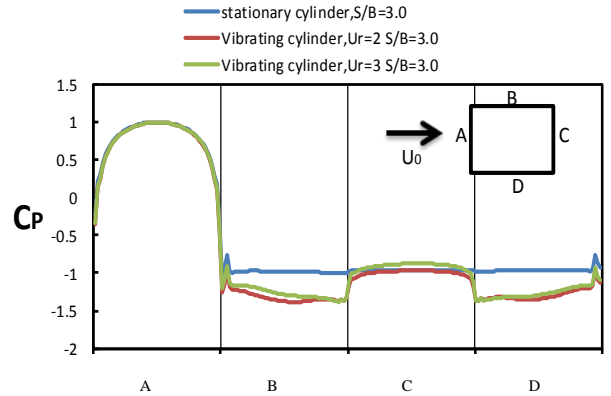


Fig.5 C_p of the upstream cylinder, $S / B = 3.0$

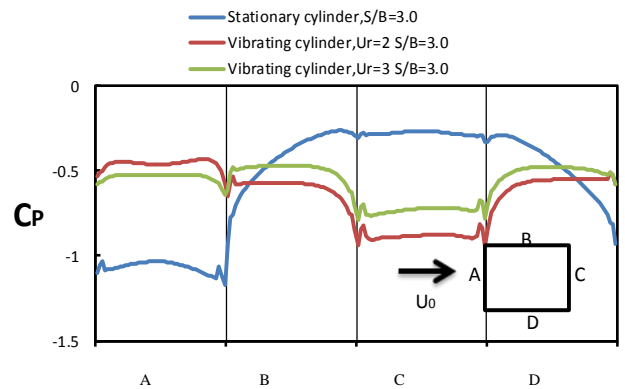


Fig.6 C_p of the downstream cylinder, $S / B = 3.0$

5. おわりに

静止状態での 2 角柱の抗力係数 C_D と揚力係数 C_L の結果は，実験結果と良く一致していることが捉えられた。また振動状態での解析は， $S/B=3.0$ を対象に $Ur=2.0$ と 3.0 の計算を行った。振動角柱の圧力係数 C_p は，静止時とは相当異なった結果になる事が捉えられた。

6. 参考文献

- [1] 坂本弘志, 羽二生博之, 小畑芳弘 : 「直列配列 2 角柱に作用する変動流体力」日本機械学会論文集 (B 編), 1175-1183, 1986-3
- [2] Chia-Hung Liu, Jerry M.Chen : 「Observations of hysteresis in flow around two square cylinders in a tandem arrangement」Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 90, 1019-1050, 2002