

近接 2 角柱のギャロッピング解析 Computation of Galloping for close two prisms in tandem

○守川耀¹, 近藤典夫²

The sodium leakage accident ^[2] of the fast breeder reactor "Monju" that occurred on December 8, 1995 caused by the fluctuation of vibration. The electric current of the electric wire was damaged by the fluctuation of vibration and power failure due to breakdown of transmission line in Northeastern central part of Nagano ^[3] on March 2, 2015. It is well known that a structure vibrates by a fluid force, in which lateral self-excited vibration of a prismatic structure is called galloping. Since the galloping vibration varies with the mass, rigidity and damping constant of prisms, it is necessary to elucidate the difference. The phenomenon of galloping is a phenomenon revealed by Den Hartluka ^[1], mainly on single prism vibration characteristics acted by fluid force and have been elucidated. However, most of them are experimental, there are no many studies based on three-dimensional numerical analysis, and much research has been done on the prisms.

Therefore, this paper clarifies the galloping oscillation of the closely arranged dual prism with the numerical calculation method for the low Scruton number, and also shows the effectiveness of the algorithm used by our simulation.

1. この例は 2 段組

流力振動による事故として 1995 年 12 月 8 日に起こった高速増殖炉「もんじゅ」のナトリウム漏えい事故^[2]や 2015 年 3 月 2 日に起こった長野県北東中部^[3]の電線の流力振動による送電線の故障で停電などが挙げられる。流体力によって構造物は振動することがよく知られている。その中で角柱構造物の横方向の自励振動をギャロッピングという。ギャロッピング振動は角柱の質量、剛性及び減衰定数によって異なるため、その相違点を解明することが必要である。ギャロッピングの現象はデン・ハルトークによって明らかにされた現象^[1]で、主に単一角柱振動特性と作用する流体力等が解明されてきた。しかし、それらの多くは実験によるもので、3 次元数値解析による研究は多くない。さらに 2 角柱に対する研究はあまり行われていない。

そこで本論文は、低スクロトン数域を対象にして、近接配置された 2 角柱のギャロッピング振動について数値計算手法を使って解明する。さらに、本計算でのアルゴリズムの有効性を示す。

2. 角柱の計算モデル

角柱の計算モデルは図 1 のような、ダンパーとバネにより支えられたものとする。ここで奥行を D 、幅を B 、高さは $H=4B$ とする。2 角柱の中心間距離 S は $S=3B$ とする。中心間距離 S を幅 B で除したものを間隔比とする。また、正方形断面を仮定するので $B=D$ と置く。

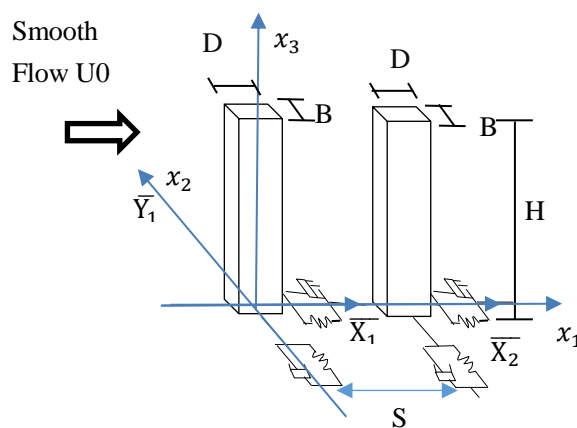


図 1 角柱の計算モデル

3. 基本式

本計算で使用する流体の式は連続方程式(1)とナビエ・ストークス方程式(2)である。

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\nabla P + \frac{1}{R_e} \nabla^2 \mathbf{u} \quad (2)$$

ここで、 \mathbf{u} は流速ベクトル、 ρ は流体の密度、 p は圧力を表す。本研究では FEM により計算する。角柱の振動方程式は無次元表示で(3),(4)に示す。

$$\frac{d^2 X_\alpha}{dt^2} + \frac{4\pi h}{U_r} \frac{dX_\alpha}{dt} + \left(\frac{2\pi}{U_r}\right)^2 X_\alpha = \frac{1}{2\chi} C_{D\alpha} \quad (3)$$

$$\frac{d^2 Y_\alpha}{dt^2} + \frac{4\pi h}{U_r} \frac{dY_\alpha}{dt} + \left(\frac{2\pi}{U_r}\right)^2 Y_\alpha = \frac{1}{2\chi} C_{L\alpha} \quad (4)$$

ここで、 $X_\alpha = \overline{X_\alpha}/B$ と $Y_\alpha = \overline{Y_\alpha}/B$ は振動変位、 U_r は換算風速、 χ は質量比、 C_D は抗力係数、 C_L は揚力係数である。

4. 数値結果

計算パラメータとして、 $S_c = 2\chi \times 2\pi h \doteq 1.0$ として、 $\chi = 12$ と与えた結果、 $h = 0.00663$ となった。レイノルズ数 $Re = 20000$ とした。

図 2 と図 3 に平面上のメッシュ図と角柱近傍のメッシュ図をそれぞれ示す。

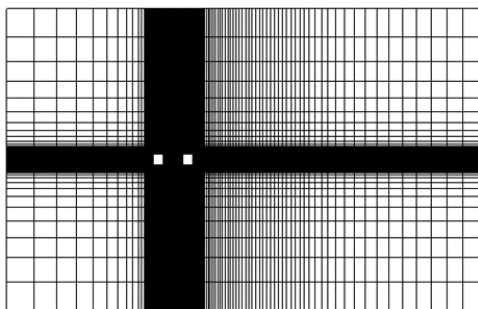


図 2 平面上のメッシュ図

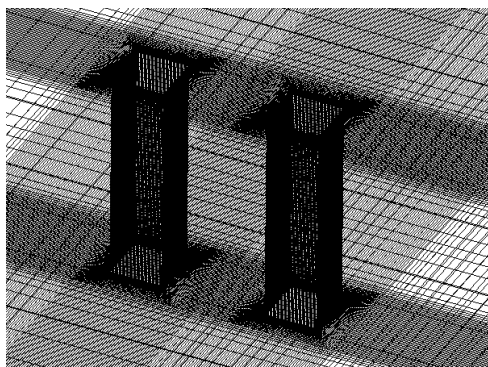


図 3 角柱近傍のメッシュ図

図 4 は単一角柱のクロスフロー方向の振動変位と 2 角柱のインラインとクロスフロー方向の振動変位の数値結果の比較である。縦軸は変位 x, y で横軸は換算風速 U_r である。

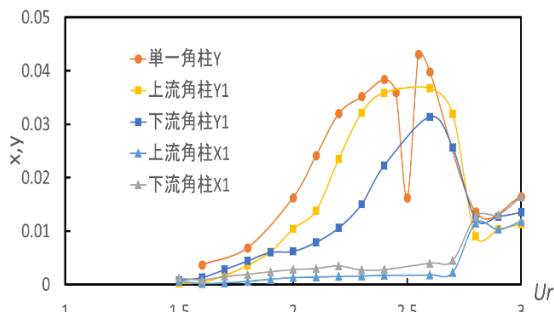


図 4 単一角柱と 2 角柱のクロスフロー振動振幅の比較

$U_r = 2.4$ までは単一角柱の方が上流角柱より振動変位は大きいが増加の傾向はほぼ同じであることが分かる。図 5, 図 6 は上流角柱と下流角柱の振動角柱表面の圧力係数 C_p である。縦軸は C_p , 横軸は角柱の各面を表す。

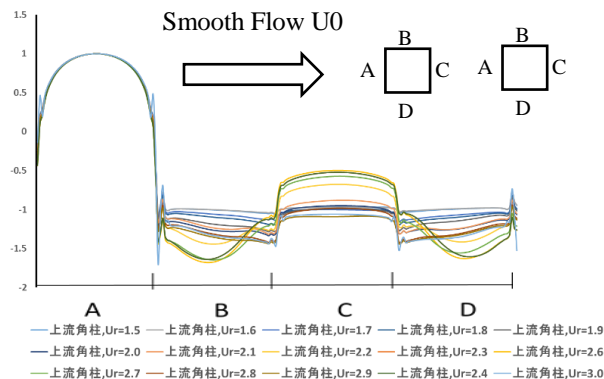


図 5 上流角柱の角柱表面の圧力係数

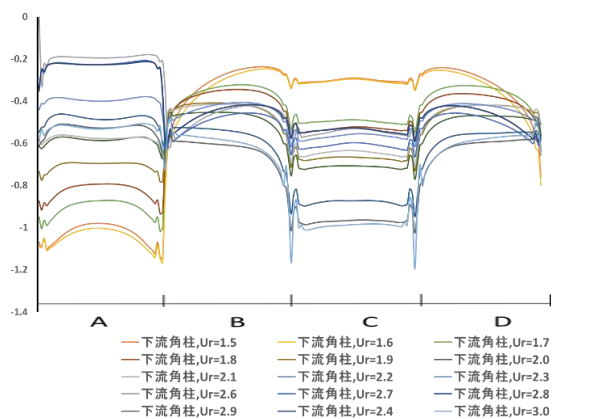


図 6 下流角柱の角柱表面の圧力係数

5. 考察

図 4 から間隔比 $S/B = 3.0$ の時は直列 2 角柱のほうが単一角柱よりクロスフロー振動が小さいことが分かる。直列 2 角柱では上流側のほうが下流側より振動が大きい。図 5, 図 6 では $U_r = 1.5 \sim 3.0$ では上流側の角柱は各面の圧力の差が大きくなっている。また、A 面は下流側に比べて大きい圧力を受けている。下流側は A 面は U_r が大きいほど圧力が大きく C 面は U_r が小さいほど圧力が大きくなっている。

6. 参考文献

[1] 日本鋼構造協会編 『構造物の耐風工学』東京電機大学出版局 1997
 [2] 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 34-42
 [3] 中部電力 プレスリリース 2015 年”3 月 2 日に発生した長野県内における停電の原因と再発防止策について”中部電力

https://www.chuden.co.jp/corporate/publicity/pub_releases/press/3256574_21432.html