

入射角を持つ正方形角柱のギャロッピング振動解析 Computation for Galloping of a Square Cylinder with angles of attack.

○横山侑弥¹, 近藤典夫²

*Yuya Yokoyama¹, Norio Kondo²

Abstract: It is well-known that structures vibrate complexly under the fluid force. The cross-flow amplitudes of a square cylinder increases with variation of the reduced velocity. The galloping vibration characteristics of a square cylinder is captured in this study. The cross-flow vibration of the square cylinder with an angle of attack is reported in this paper.

1. はじめに

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はクロス・フロー方向の振動が大きくなる。

岡島ら[3]は、レイノルズ数 10^4 以上の実験で、長方形断面柱は円柱とは異なり流れの剥離する位置は前縁に固定され、ストローハル数の値や背圧係数の値はレイノルズ数に対して、ほとんど変化がないと指摘している。レイノルズ数が低い値から高い値の流れになるまでには、レイノルズ数の増加に伴い、流れは前縁で大きく剥離するようになり、その物体周辺の流れが層流から乱流になり、長方形断面柱周りの流れに対するレイノルズ数の影響は大きいと述べた。このようなことを踏まえ、本研究では、単一角柱のギャロッピング振動特性について捉える。また、入射角を持つ角柱のクロス・フロー振動についても報告する。

2. 基礎方程式

本研究の数値解析では流体運動を粘性流体で仮定し、次式を使用する。

・ 3次元ナビエ・ストークス方程式

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} + X_i \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

・ 角柱の振動方程式

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{4\pi h}{Ur} \frac{dx}{dt} + \left[\frac{2\pi}{Ur} \right]^2 x = \frac{1}{2x} C_D \quad (3)$$

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

ここで、 Re はレイノルズ数、 u_i は無次元流速、 t は無次元時間、 C_D は抗力係数、 C_L は揚力係数である。

3. モデルの設計条件

図 1 に示すように角柱はバネとダンパーで支持されたモデルを使用する。モデルの条件は、レイノルズ数は $Re=2.0 \times 10^4$ 、スクルートン数は $Sc=1.0$ 、質量比は

$\chi=10.0$ 、減衰定数は $h=0.00796$ 、換算速度は $Ur=0.0 \sim 30.0$ 、入射角は $\theta=0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ 、角柱の奥行は D 、角柱の幅は B 、角柱の高さは H 、とする。本研究では $D/B=1, H/B=4$ に設定した。

4. 数値解析結果

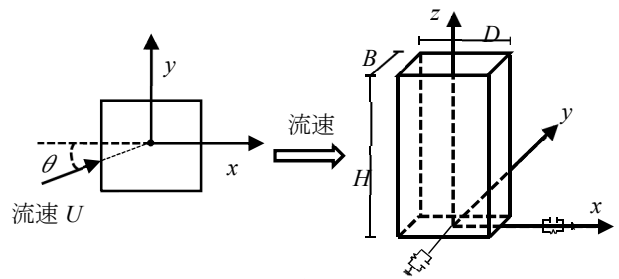


図 1 角柱の計算モデル

図 2 は入射角を持つ静止正方形角柱の C_D と C_L について本解析値と実験値を比較したものである。本開解析値は実験値と近似した値となっていることが分かる。また、 C_D, C_L ともに $\theta=12^\circ \sim 15^\circ$ で最も低い値を示す。

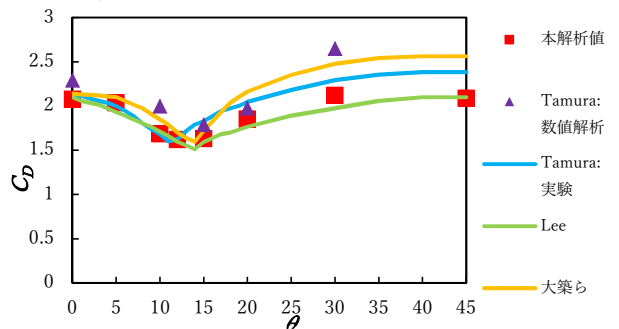


図 2-(1) C_D

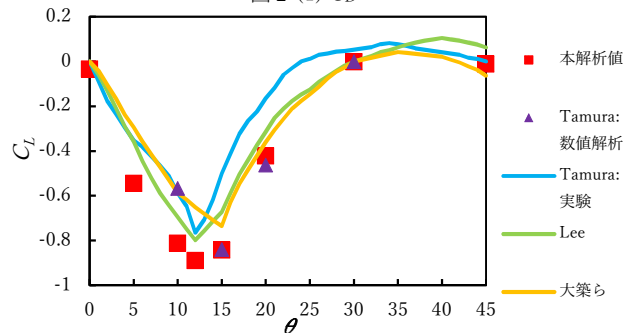


図 2-(2) C_L

図 2 静止状態に作用する C_D と C_L の比較

1 : 日本理工・院(前)・海建, 2 : 日大理工・教員・海建

図 3 は入射角 $\theta=0^\circ$ に対しての角柱の振動振幅を示したものである。ここで、 x_{amp}, y_{amp} はそれぞれ x 軸と y 軸方向の振動振幅、 x_{ave} は x 軸方向の平均変位である。換算速度が大きくなるにつれ、振動振幅も大きくなる。

図 4 は入射角 $\theta=15^\circ$ に対しての角柱の振動振幅を示したものである。ここで、 $x_{amp}, y_{amp}, x_{ave}$ の意味は図 2 と同様である。 $Ur=4.0\sim 14.0$ の範囲では x_{amp}, y_{amp} は山なりになる。 $Ur=14.0$ 以降は入射角 $\theta=0^\circ$ の時と同様に換算速度が大きくなるにつれ y_{amp}, x_{ave} も大きくなる。

図 5 は入射角 $\theta=45^\circ$ に対しての角柱の振動振幅を示したものである。ここで、 $x_{amp}, y_{amp}, x_{ave}$ の意味は図 2 と同様である。 $Ur=8.0$ の時、 y_{amp} は最も大きくなる。

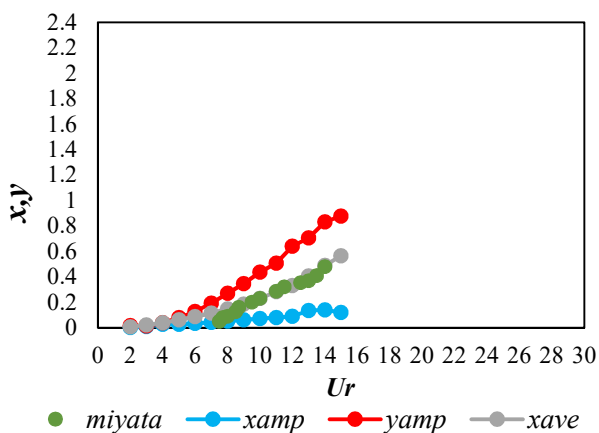


図 3 角柱の振動性状 $\theta=0^\circ$

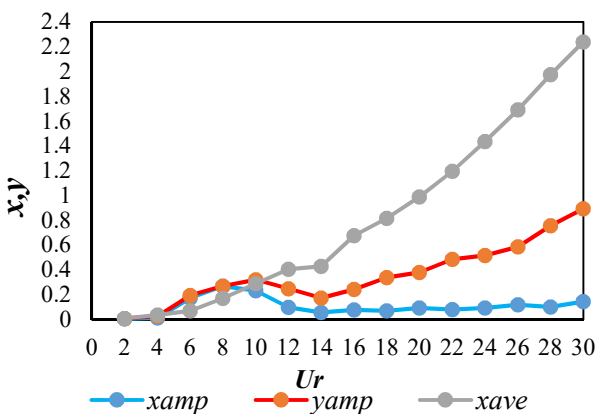


図 4 角柱の振動性状 $\theta=15^\circ$

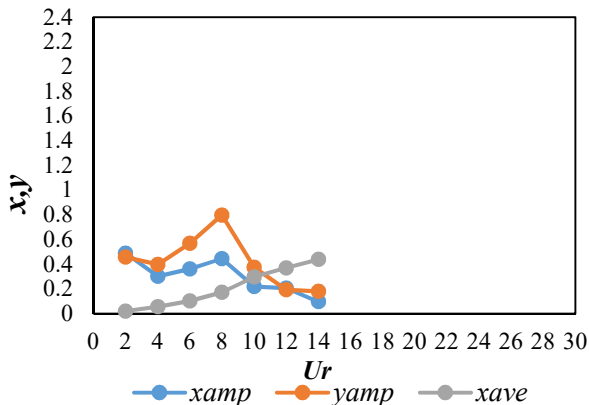


図 5 角柱の振動性状 $\theta=45^\circ$

図 6 は入射角 $\theta=15^\circ$ の角柱周りの流れを示している。図 6-(1)に振動角柱の位置を示した。図 6-(2)ではクロス・フロー振幅で $y=0$ の位置における角柱周りの流れを表している。図 6-(3)以降も y の位置が変位が異なった位置のものである。また、青色の渦は時計回り、赤色の渦は反時計回りである。図 6-(2)では角柱が上方方向に移動するが、渦は角柱の後方に多く発生する。図 6-(3)では角柱が最大位置に移動した時で、角柱の右上側に多く渦が発生している。図 6-(4)では角柱が下方方向に移動している為、右上側に多く発生し、剥離し流れている。また、赤色の渦が逆流していることが捉えられる。図 6-(5)では角柱は最小位置に移動したもので角柱の後方に渦が多く発生しており、渦が剥離し流れている。図 6-(6)は図 6-(2)と同様に渦が発生している。

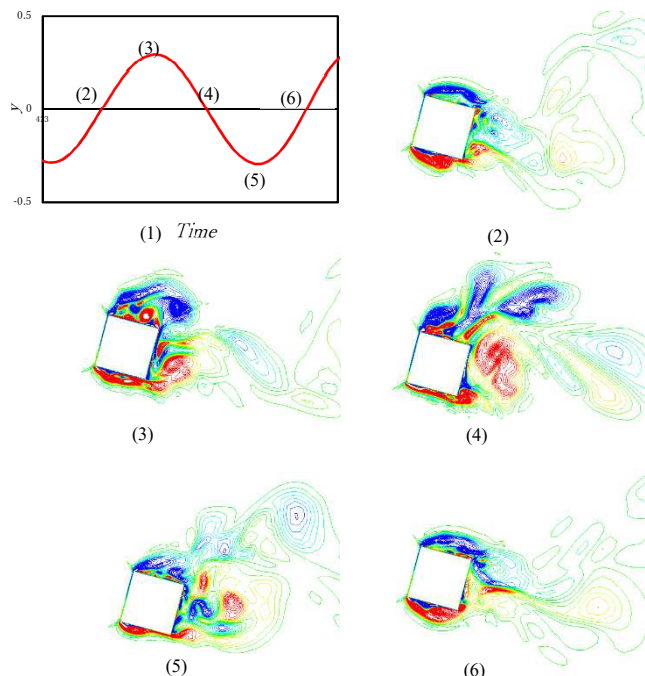


図 6 角柱周りの流れ $Ur=8.0 \quad \theta=15^\circ$

5. まとめ

入射角 $\theta=0^\circ\sim 45^\circ$ に対してそれぞれ計算を行った。角柱は流速の入射角が変化することで、振動振幅も大きく変化することが分かった。特に $\theta=15^\circ$ の時に $Ur=4.0\sim 14.0$ の範囲で渦励振を起こしていることが考えられるため、解明していく必要がある。

参考文献

[1] T. Tamura and K. Kuwahara, Numerical analysis on aerodynamic characteristics of an inclined square cylinder, AIAA paper, AIAA-89-1805, 1989.
 [2] 大築志夫, 藤井邦雄, 鷺津久一郎, 大屋昭男, 一樣流中におかれた 2 次元静止矩形柱の空力 3 分力特性と圧力分布について, 第 5 回構造物の耐風性に関するシンポジウム論文集, 169-175, 1978 年 12 月
 [3] T. Miyata, M. Miyazaki and H. Yamada, Pressure distribution measurements for wind induced vibrations of box girder bridges, Journal of Wind Engineering Industrial Aerodynamics, 14, 223-234, 1983