

## 単一角柱のギャロッピング振動及び後流渦構造について

### On the Galloping Vibration of a Square Cylinder and Flow Vortex Structure

○横山侑弥<sup>1</sup>, 近藤典夫<sup>2</sup>

\*Yuya Yokoyama<sup>1</sup>, Norio Konodu<sup>2</sup>

Abstract: It is well-known that structures complexly vibrate 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 at the Reynolds number flow 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。特に、レイノルズ数が高くなるとスパン方向の変化が複雑になるので、それ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

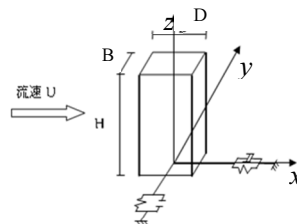


図 1 計算モデル

は  $Re=2.0 \times 10^4$ 、質量比は  $\chi=12.0$ 、スクルートン数は  $S_c=1.0$ 、減衰定数は  $h=0.00663$ 、換算速度は  $Ur=0.0 \sim 14.0$ 、角柱の奥行は  $D$ 、角柱の幅は  $B$ 、角柱の高さは  $H$ 、とする。

#### 4. 数値解析結果

図 2 は  $Ur=2.0 \sim 6.0$  の角柱の励起振動をまとめたものである。ここで  $x_{amp}$  はイン・ライン振幅、 $y_{amp}$  はクロス・フロー振幅をである。  $Ur=4.0$  の時にイン・ライン

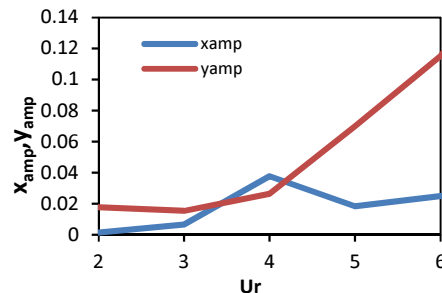


図 2 イン・ライン方向の励起振動

振幅がクロス・フロー振幅より大きくなるのが捉えられる。このような現象

は単一円柱ではよく知られている現象ですが、単一角柱でも同様な現象が起きました。

図 3 は  $Ur=2.0 \sim 14.0$  の角柱の振動性状をまとめたもの

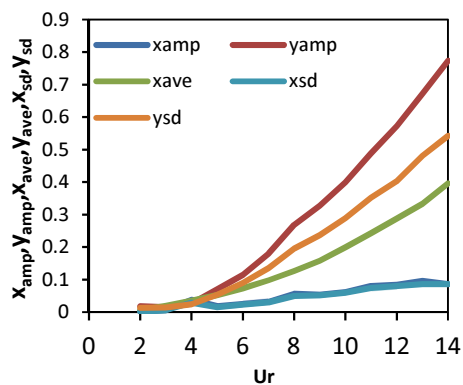


図 3 角柱の振動性状

である。ここで、 $x_{amp}$ 、 $y_{amp}$  は振動振幅、 $x_{ave}$  は平均変位、 $x_{sdr}$ 、 $y_{sdr}$  は標準偏差である。

$Ur=2.0 \sim 4.0$  の範囲では大きな変化は見られない。  $Ur=5.0 \sim 14.0$  の範囲では  $Ur$  が大きくなるにつれ振動性状は大きくなる。

図 4 は角柱の圧力係数  $C_p$  を表している。A 面の圧力は静止角柱，振動角柱に対して大差がない。C 面の圧力は負圧がかかり，その中でも静止角柱の時が最も大きくなる。B 面 D 面はどちらにも負圧がかかり， $Ur$  の値が変わってもあまり変化は見られない。

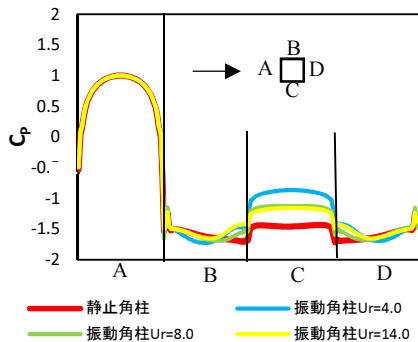


図 4 角柱の圧力係数  $C_p$

図 5 は角柱周り流れを表している。図 5 の (1) に図 5(2)~(6)に示した。また，図 5-(2)~(6)は左側が 2 次元表示，右側が 3 次元表示である。図

5-(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 5-(3)以降も  $y$  の変位が異なった位置のものである。これらから，図 5-(2)では角柱が上方へ移動する為，渦は角柱の右下側に多く発生する。渦は角柱の後方では複雑になっており、スパン方向で一様にならないことが 3 次元表示から捉えられる。これは図 5-(3)以降も同様である。図 5-(3)では角柱が最大位置に移動した時で，角柱後方で右下側に渦が流れている。図 5-(4)では角柱が下方に移動している為，右上側に大きく渦が発生している。図 5-(5)では角柱が最小位置に移動したもので，右上側に渦が多く発生している。図 5-(6)は図 5-(2)と同様に渦が発生している。

5. おわりに

本研究では連続方程式とナビエ・ストークス方程式を用いて，単一角柱に対して換算速度  $Ur=0.0\sim 14.0$  までの振動計算を行った。  $Ur$  が大きくなるにつれクロス・フロー方向の振動が大きくなることが分かった。そして，3 次元数値解析によって角柱の振動性状を十分に捉えることができた。

今後は，角柱に対して入射角を与え，入射角に対する流力振動を捉える予定である。入射角は 0 度，5 度，10 度，15 度，20 度，30 度，45 度の 7 通り行う。また，スクリーン数  $S_c$ ，減衰定数  $h$ ，質量比  $\chi$  も数値を変えて数値解析を行う。

6. 参考文献

[1]中口博，橋本貴久裕，武藤真理，矩形断面の柱の抗力に関する実験，日本航空宇宙学会，Vol 16, No,179,pp.1-5,昭和 43 年 12 月

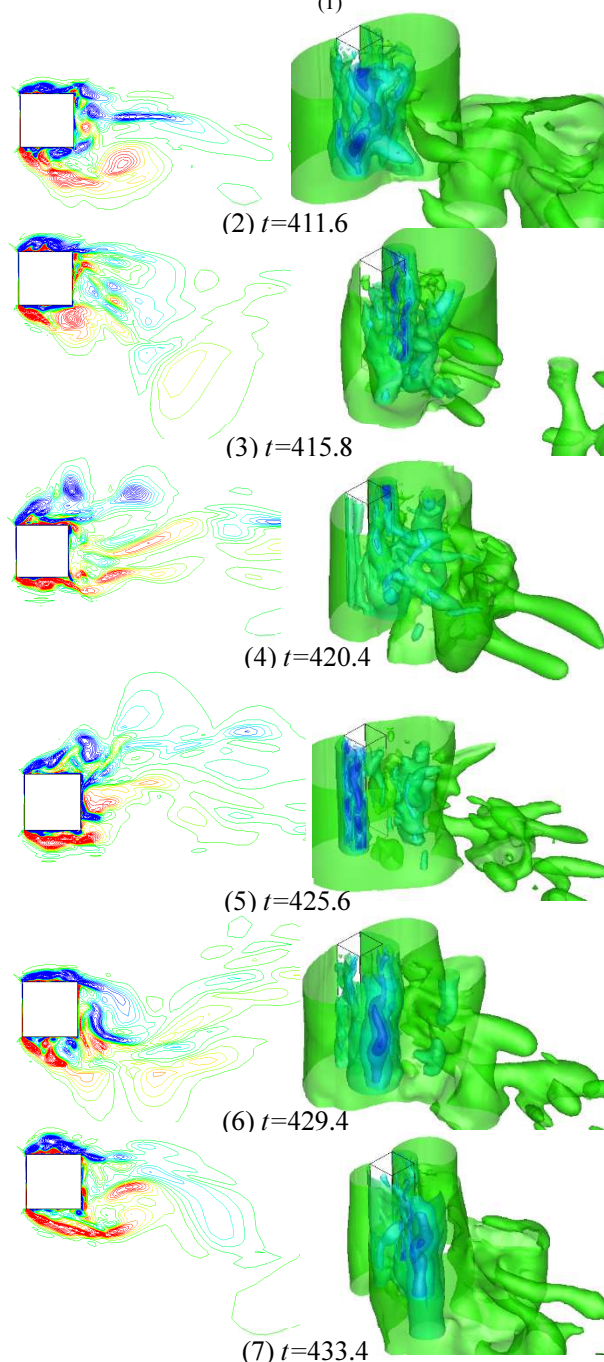
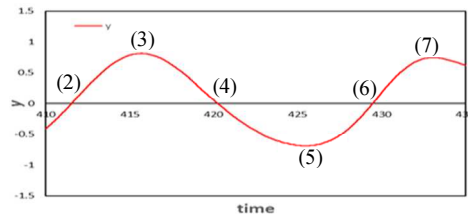


図 5 角柱周りの流れ  $Ur=14.0$

[2]T.Miyata,M.Miyazaki,H.Yamada,Pressure Distribution Measurements For Wind Induced Vibration Of Box Girder Bridges, Journal Of Wind Engineering And Industrial Aerodynamics, Vol.14, pp223-234, 1983.  
[3]岡島厚，杉谷賢一郎，長方形断面柱のストローハル数と背圧係数 日本機械学会論文集(B 編)50 巻 457 号 2004-2012