

# 直列に配列した 2 円柱まわりの流れに関する研究

田中 祐一

法政大学大学院工学研究科機械工学専攻（修士課程）2 年

水木 新平 辻田 星歩  
法政大学工学部機械工学科

流れの中に置かれた柱状物体の流力振動問題は工学上数多く存在する為に、多くの研究が行われてきた。しかし流れに対して複数の円柱が存在する場合の研究は少ない。過去に、流れに対して 2 本の円柱を直列に配置した場合に単独の円柱において振動がおさまっている流速領域において振動が発生するという報告がされており、その発生メカニズムは明らかになっていない。そこで本研究では、流れに対して直列に 2 本の円柱を配置した場合に発生する振動のメカニズムの解明を目的とし、可視化実験および数値解析を行った。

## 1. 緒言

原子力発電、火力発電、石油化学プラントなどの配管内に、安全管理やシステムの運転制御のために挿入されたセンサーや、熱交換器の管群等、流れの中に置かれた柱状物体は我々の身の回りに多い。

このような柱状物体後方には広範囲のレイノルズ数においてカルマン渦が発生し、渦の発生周波数は物体の固有振動数近傍においてロックイン現象を起こし、渦と物体との共振状態が持続する。そしてロックイン状態時には物体に大きな振幅の振動が発生し、疲労破壊の危険を招く。この円柱状構造物の流力振動問題は、工学上数多く存在する為に、多くの研究が行われてきた。

しかし、これまでの研究の大部分は流れに対して円柱が単独で存在する場合で、複数の円柱が存在する場合の研究は少ない。

渦と物体とのロックイン領域は物体の固有振動数近傍に 1 箇所、固有振動数の 1/2 の値を境に 2 箇所合計 3 箇所存在する事が知られているが<sup>(1)</sup>、流れに対して直列に 2 本の円柱を配置した場合に、特定の距離において、単独の円柱では振動しない流速において大きな振幅の振動が発生する事が過去に報告されており<sup>(2)</sup>、その発生メカニズムは明らかになっていない。

本研究では流れに対して 2 本の円柱を直列に配置した場合に単独円柱では振動の発生しない流速領域において生じる振動の発生メカニズムの解明を目的とし、可視化実験及び数値解析を行った。可視化の手法には非接触で多点同時計測が可能な PIV 法を用い、数値解析には汎用コード Phoenics を使用した。

## 2. 解析方法

### 2.1 解析時の条件

図 1 に解析対象となる円柱の配置を示す。2 本の円柱の配置は円柱間の距離  $L$  を直径  $D$  で割って無次元化した値  $L/D$  で 0.3、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 の 7 種類に変化させた。流入境界条件は上流側の円柱の前縁部より 50mm 上流側の A-A' において流速 240mm/s を与えた。また、数値解析では A-B 及び A'-B' を壁面とした。計算格子点数は  $x$  方向に 430 点、 $y$  方向に 450 点である。

また可視化実験において 2 円柱を固定した場合及び板ばねを用いて弾性支持した場合の測定を行った。

解析も実験に合わせ、円柱を固定した場合及び振動さ

せた場合の 2 種類行った。

### 2.2 数値解析法

Phoenics では全体の計算アルゴリズムには SIMPLE 法を用いた。また、対流項の評価には 1 次精度の風上差分法を、乱流モデルには  $k$ -モデルを壁法則とともに用いた。さらに時間進行法は後退オイラー法を用いた。

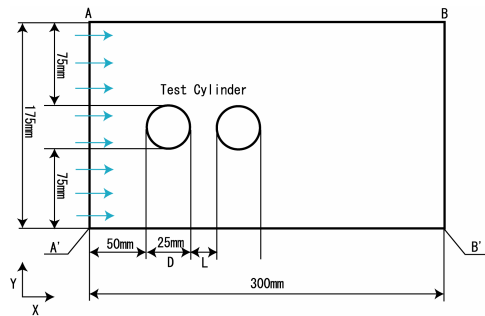


図 1. 円柱の配列

## 3. 計算結果及び考察

### 3.1 $L/D=0.3$ の場合

図 2 に円柱間の距離  $L/D=0.3$  において両円柱を静止させた時の渦度および圧力の解析結果を、また図 3 に  $L/D=0.3$  において両円柱を振動させた時の渦度および圧力の解析結果を示す。ここで円柱振動時の円柱の挙動は可視化実験で得られた結果に合わせた。それぞれの画像は上から順に 0.2 秒の時間が経過しており、渦度は反時計回り方向を正として赤色で示す。圧力は各格子点において計算された値を入口の圧力で割って無次元化して示した。ここで  $L/D=0.3$  は、可視化実験において両円柱に生じる振動の振幅が最も大きかった配置である。

図 2(a)より後流側円柱の後方にはカルマン渦が発生し、時間の経過とともに円柱から交互に離脱している様子が見られる。また円柱間には離脱した渦が交互に流れ込む様子が見られる。

図 2(b)より両円柱の周りには渦の発生に伴い、交互に揚力及び抗力が発生している。また両円柱に発生する揚力はその向きが逆になっている事がわかる。さらに本実験条件における単独円柱のカルマン渦の発生周波数は 1.92Hz であり 0.52 秒で 1 周期となるが、解析結果にお

る渦の1周期は約0.8秒となっており、渦の発生周波数が低くなっている。これは円柱を2本直列に並べた影響であると考えられる。

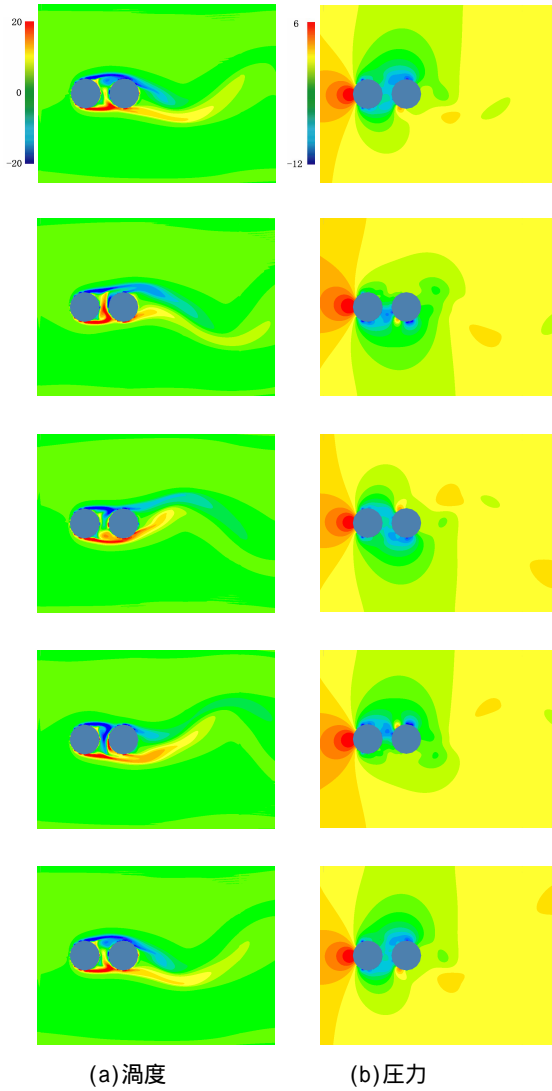


図 2.  $L/D=0.3$  円柱静止時

図 3 に  $L/D=0.3$  において円柱を振動させた時の渦度および圧力を示す。時間経過は円柱静止時と同様に 0.2 秒毎であり、円柱が最も上にある時を上死点、最も下にある時を下死点と呼ぶ。円柱の振動周期は約 0.8 秒であり、振動周波数を求めると 1.25Hz となる。可視化実験において使用した円柱の固有振動数が 1.2Hz である事から両円柱はロックイン現象を起こしていると考えられる。

図 3(a)より両円柱後流部には静止時に比べ強い渦度が見られる。とくに後方円柱が上死点及び下死点にある時には後流部の渦は強い渦度を示している。これは円柱の振動による影響であると考えられる。

図 3(b)より後方円柱には上死点および下死点においてそれぞれ進行方向と反対側に力が働いている。これは渦度の結果で見られた強い渦が離脱している為であると思われる。これらより、円柱の振動によって大きくなった渦は上死点および下死点において離脱し、再び円柱を振

動させるエネルギーを与えていると考えられ、円柱と渦で一種のフィードバック機構を構成している。

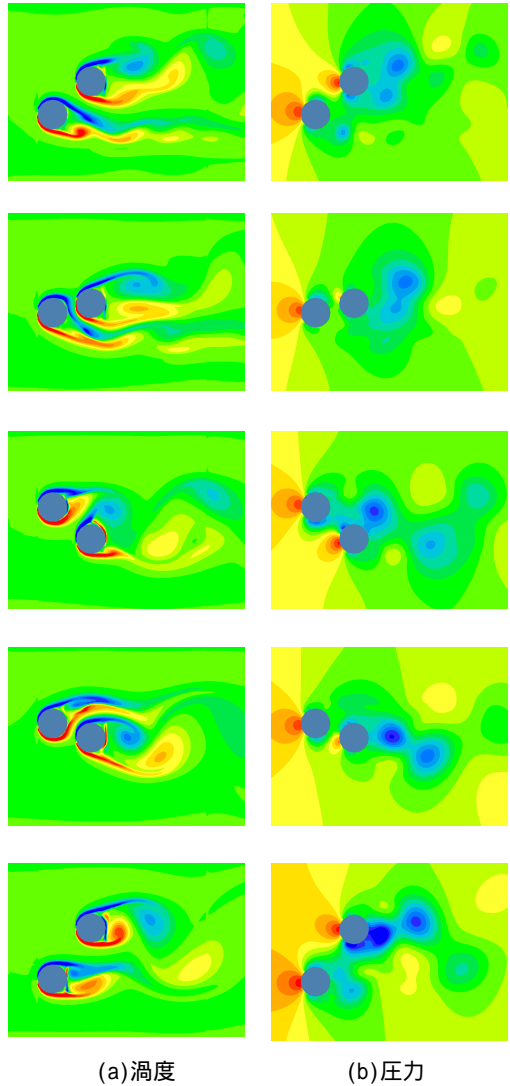


図 3.  $L/D=0.3$  円柱振動時

### 3.2 $L/D=2.0$ の場合

図 4 に  $L/D=2.0$  において円柱を静止させた時の渦度および圧力を示す。これは可視化実験において上流側円柱の振動が消滅した距離である。

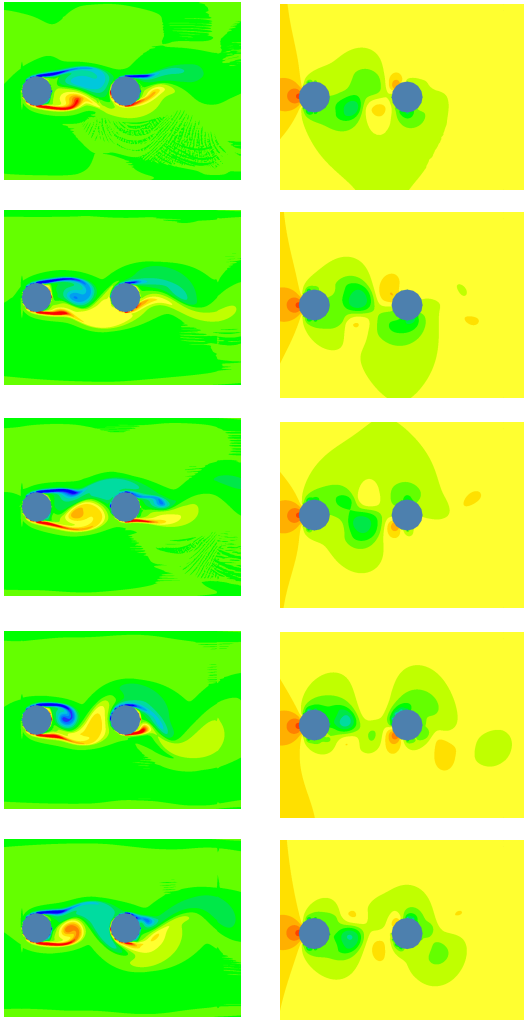
図 4(a)より円柱間にカルマン渦が交互に発生しているのが見られる。

図 4(b)では下流側円柱の後流部には  $L/D=0.3$  の場合と同様の傾向が見られる。

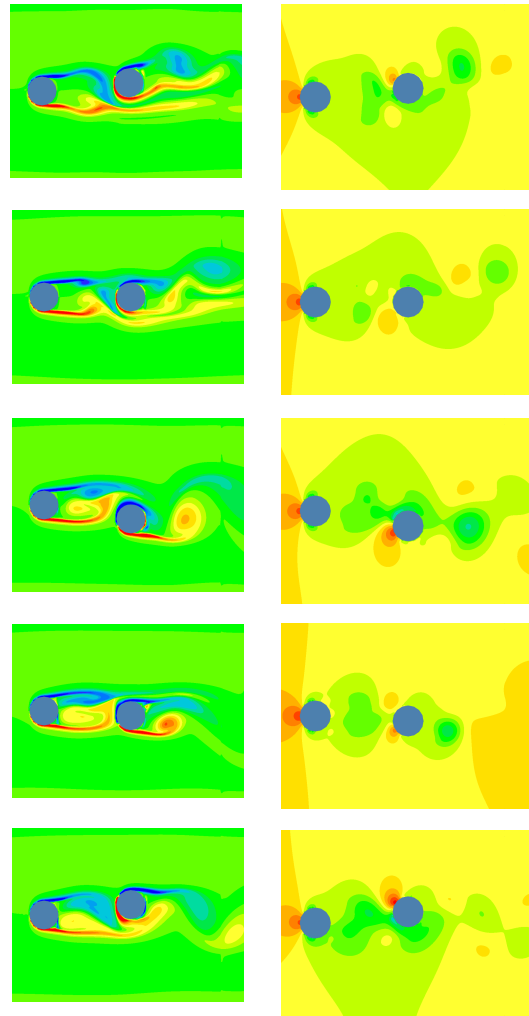
図 5 に  $L/D=2.0$  において円柱を振動させた時の渦度および圧力を示す。

$L/D=0.3$  の円柱振動時と同様に、下流側円柱の後流部において、上死点および下死点で離脱した渦は円柱を反対方向へ振動させる力を与えていると考えられる。また、振動時の渦度を見ると、上流側円柱は振動していないにも関わらず、静止時よりも渦の巻き込みが弱くなっている。これは下流側円柱の振動の影響であると思われる。しかし、円柱間の圧力の分布は静止時と同様の傾向を示している。これより、下流側円柱の振動は上

流側円柱後流部に発生する渦に影響を与える事が考えられるが、円柱間の距離を  $L/D > 2.0$  とする事で上流側円柱への影響はなくなる。従って、 $L/D=0.3$  において上流側円柱も振動したのは下流側円柱が振動した為であると考えられる。



(a)渦度 (b)圧力  
図 4.  $L/D=2.0$  円柱静止時



(a)渦度 (b)圧力  
図 5.  $L/D=2.0$  円柱振動時

#### 4. 結論

- (1)円柱を流れに対して 2 本直列に配置すると下流側に設置した円柱の渦発生周波数は低下する。
- (2)下流側円柱が振動する事によって上流側円柱後流部へ影響を及ぼす。

とくに  $L/D < 2.0$  の場合、下流側円柱の振動の影響が上流側円柱まで伝わる。

- (3)振動中の円柱からは上死点および下死点において渦が放出し、円柱を反対方向へ再び振動させる力を及ぼす。

また、円柱後流部の渦は円柱が振動する事により渦度が強くなる。

このように振動する円柱と渦とはフィードバック機構を構成する。

#### 参考文献

- [1]King,R.,Prosser,M.J.and Johns,D.J.,J.Sound and Vib(1973)
- [2]金相一ほか 5 名、直列配列された 2 円柱の流力振動特性に関する研究,日本機械学会北海道支部講演会講演概要集,(2003)

キーワード.

カルマン渦、円柱、流力振動、直列配置

-----

Summary.

## **Flow around Two Circular Cylinders in Tandem Arrangement**

Yuichi Tanaka

Graduate school of Mechanical Engineering, Hosei University

Shimpei Mizuki      Hoshio Tsujita

Department of Mechanical Engineering, Hosei University

A lot of studies have been made for the flow-induced oscillation around a circular cylinder. However, the study for two or more cylinders has been seldom. For the velocity region without the oscillation for single cylinder, the tandem cylinders generate oscillations. The mechanism for this type of oscillations has not been clarified yet. In this point of view, the flow around tandem cylinders is analyzed numerically based on the experimental results of flow visualizations using P.I.V.

Keywords.

Karman-Vortex, Circular Cylinder, Flow-induced Oscillation, Tandem Arrangement