

並列円柱の定常圧力特性と流速の関係

1100420 中西 勇太

高知工科大学 工学部社会システム工学科 (〒782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮ノ口185)

E-mail: 100u420@ugs.kouchi-tech.ac.jp

並列円柱周りの流れに対する研究は、油膜法などによる流れの可視化や定常時の圧力特性が報告されている。今回は、既往の研究データを基に、PIV（粒子画像速度測定法）を用いて、今まで計測されていなかった流速を解析することを試みた。2D、3D共に変位があるものに関しては、ギャップフローが発生していた。また、2D、3D共にギャップフローが発生している個所の流速は周りと比べ低下している。しかし、今回の実験ではトレーサーによる計測誤差やレイノルズ数が小さいため、このような現象が発生している可能性もある。今後は、トレーサーの検討や、円柱径を大きくするなどし、実験を行った上で、ギャップフロー箇所での圧力低下と流速の関係を検討する必要がある。

Key Words : 定常圧力 流速 空気力 ベルヌーイ

1. はじめに

並列に張られた斜張橋ケーブルにおいて、風によって複雑な振動を示すことが報告されている。

振動は空気力によって発生しており、空気力は流れが原因で発生する。そのメカニズムには不明な部分が多い。

2. 目的

円柱が振動する原因は空気力が作用するためであり、空気力は流れにより発生している。既往の研究^{1) 2)} から並列円柱周りの流れや下流円柱の表面圧力係数（以下、圧力係数）が求められており、それらの報告から、ギャップフロー発生時に下流側円柱で圧力低下を起こす箇所が存在している事がわかっている。流れと圧力分布は、円柱間隔や無次元変位 Y/D （以下、 Y/D ）によって異なっている。（ Y/D とは、円柱中心間の流れ直角方向の相対変位 Y を、円柱径 D で除す事で無次元化した変位）また、それらの流速については、圧力低下箇所では流速は大きくなっているとされており、ベルヌーイの定理からも流速が上れば圧力は低下することがわかる。

しかし、実際に流速を計測したとの報告はない。そこで、今期に導入されたPIV（粒子画像速度測定法）を用いて並列円柱周りの流速測定を行う。本研究では既往の研究データを基に、定常時の並列円柱周りの流速測定を行う。

3. 実験方法

実施した実験は、上流側円柱・下流側円柱共に固定とし、下流側円柱を移動させ Y/D を大きくし実験を行う。両円柱は仰角、偏角ともに 0° とし、風洞内底面に対して垂直に配置した。円柱モデルには、直径(D)32mm、円柱長200mmの市販アルミ製パイプを使用した。N.SHIRAIISHI等の研究での、並列円柱の流れは3Dし

か資料がないものの、八木の圧力測定実験結果は、円柱間隔2D、3D、4Dがあり、 Y/D は2Dでは0、0.31、0.63、3Dでは0、0.55、0.78、4Dが0、0.47、0.94においての実験結果がある。今回は、円柱間隔2D、3Dについて、変位は圧力測定で用いられた Y/D の値で6パターンの実験を行った。

実験では、PIVレーザーは一機なので、片側からの照射になる。この場合、円柱の奥側にレーザーが到達せず影になってしまうため、影部分のベクトルを算出できない。よって、円柱を垂直に設置し、両側から2回に分けてPIVレーザーを照射し、お互いのベクトルが算出されない部分を補った。動画を撮影するカメラは、風洞上面から底面向きに撮影し、シャッタースピードは200f/sに設定した。PIVレーザー照射位置は円柱底面より100mmの位置で行った。図1にセッティングを、表1に実験条件、写真1に実験の様子を示す。また、今回のトレーサーは市販のベビーパウダーとした。これは、気体用トレーサー発生装置の固体粒径は約 $1\sim 50\mu\text{m}$ であるのと比較し、ベビーパウダーの粒径は約 $14\mu\text{m}$ とトレーサーとして十分小さな粒径であると考えた。実験の測定結果は、トレーサーが十分到達しており、欠損ベクトルが少ない時間間隔を平均することとした。八木の圧力測定結果がある時間間隔での平均値であることから、平均を使用しても問題ないと考えたからである。

2次元流体解析ソフトから出力された合成速度と角度のデータを基に、グラフ作成ソフトを用いて、合成速度を長さで表したベクトルマップを作成した。

作成されたベクトルマップと八木の圧力係数とを比較し、検討した。

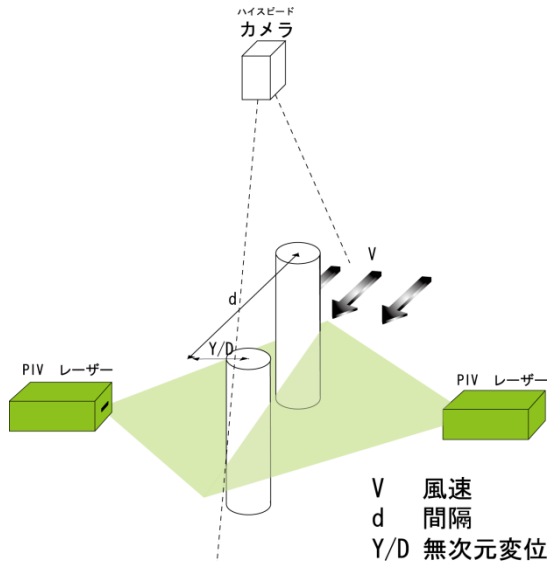


図1 実験方法

表1 実験条件

円柱径 (mm)	32	
円柱長 (mm)	200	
円柱間隔	2D	3D
変位 (mm)	2 D	0, 10, 20
	3 D	0, 18, 25
実験風速 (m/s)	0.5	



写真1 間隔2D 無次元変位0.31

4. ベクトル測定結果

4.1 2Dの場合のベクトル

図2に表面圧力係数を、2Dの場合のベクトルマップを図3、4、5に示す。(図2、6の流線図は、八木の圧力測定の結果から想像で書かれたものである) 角度は、円柱上流側を0°、時計回りで360°とする。

Y/D=0.0の場合、下流側円柱下側315°付近に流れがぶつかりその後上側に流れていることが認められるが、流速が非常に小さいため、円柱間にはほとんど流れはなく、上流円柱の後流内に下流円柱全体が入っていると考えてよいものと思われる。Y/D=0.31の場合、下流側円柱にギャップフローが見られる。圧力係数を見る

と、40°付近の圧力係数は約1と増加している。40°付近では流れがぶつかっているため、圧力は増加すると考えられ、圧力特性との整合性が高いといえる。しかし、ギャップフローが発生している340°付近の圧力係数は約-2と非常に低くなっているが、流速は周りより遅くなっている。ベルヌーイの定理より、流速が上がれば圧力が低下することがわかるが、今回の結果はこれに整合しない。よって圧力が低下する原因は別にあると考えられる。Y/D=0.63の場合、これもギャップフローが340°付近で発生している。圧力係数を見ると、20°付近の圧力係数が約1と増加している。20°付近では流れがぶつかっているため、圧力が増加していると考えられ、圧力特性との整合性が高いといえる。ギャップフローが発生している340°付近では、多少圧力係数が低下しており、ここでの流速も周りに比べ遅くなっている。0.63の場合も圧力低下の原因は流速ではなく他にあると考えられる。

多くの研究者が、ギャップフロー発生箇所では、収束が起こり流速は上がると考察している。しかし、今回の実験結果はそれとは正反対の結果が得られた。トレーサーが不十分なことによる計測誤差や、レイノルズ数が低い等の影響による誤差も考えられるので、流速が低下しているにも関わらず圧力も低下していると速断してよいかどうか今後の検討課題と考える。

4.2 3Dの場合のベクトル

図6に3Dの表面圧力係数を、3Dの場合のベクトルマップを図7、8、9に示す。(図2、6の流線図は、八木の圧力測定の結果から想像で書かれたものである) 角度は、円柱上流側を0°、時計回りで360°とする。

Y/D=0.0の場合、対称の流れ場になるが、図から明らかなように下流側円柱下側から上向きの流れが見られる。対称にならない原因としては、円柱自体が歪んでいる等が考えられる。その為に、下から上向きの流れが著しく見られたと考えられる。Y/D=0.55の場合、ギャップフローが320°付近で発生している。圧力係数を見ると、20°付近の圧力係数が約1と増加している。20°付近では流れがぶつかっているため、圧力が増加していると考えられ、圧力特性との関連性が高いといえる。ギャップフローが発生している320°付近では、圧力係数が約-1.5と低下しているが、流速が周りに比べ遅くなっている。この場合も圧力低下の原因は流速ではなく他にあると考えられる。Y/D=0.78の場合、ギャップフローが320°付近で発生している。圧力係数を見ると、15°付近の圧力係数が約0.8と増加している。15°付近では流れがぶつかっているため、圧力が増加していると考えられ、圧力特性との関連性が高いといえる。ギャップフローが発生している320°付近では、圧力係数が約-0.8と少し増加しており、270°付近では少し低下している。このパターンも流速が周りに比べ遅くなっていることがわかる。

3Dも2D同様に、ギャップフロー発生箇所では流速が低下している。よって、3Dの場合も2D同様、速断してよいかどうか今後の検討課題と考える。

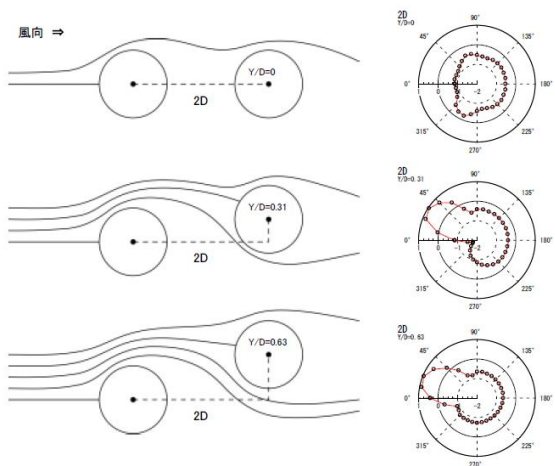


図2 間隔2Dの並列円柱周りの流れと表面圧力係数

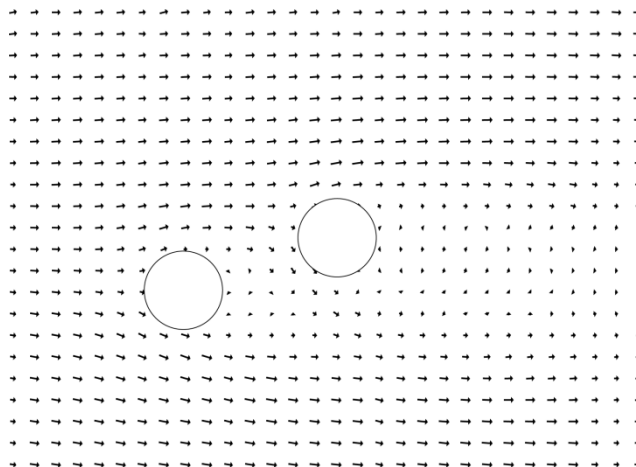


図5 2D Y/D=0.63のベクトルマップ

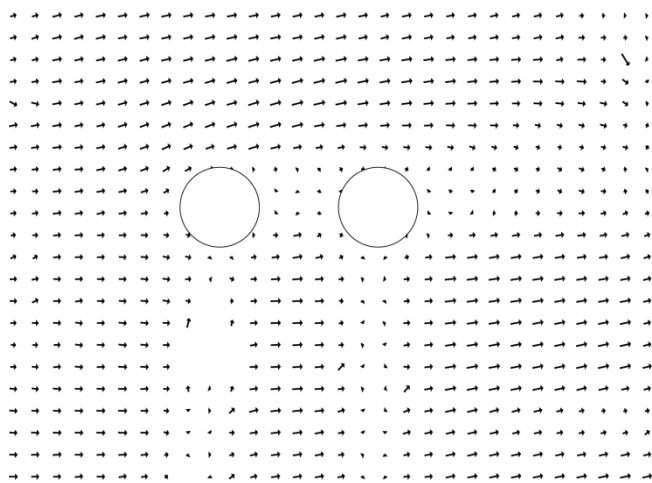


図3 2D Y/D=0.0のベクトルマップ

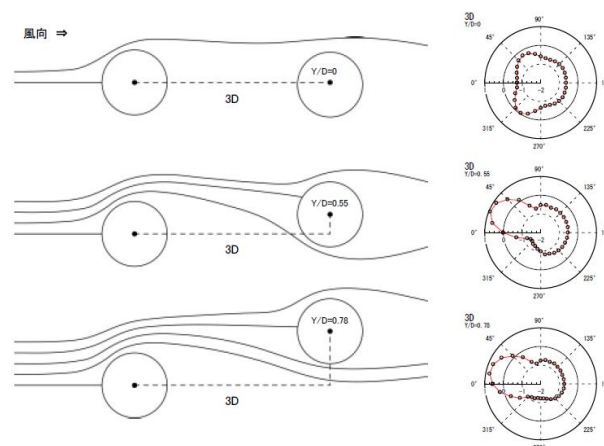


図6 間隔3Dの並列円柱周りの流れと表面圧力係数

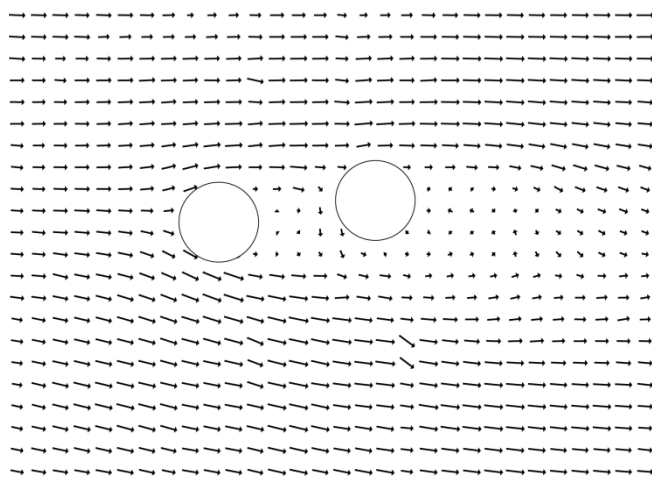


図4 2D Y/D=0.31のベクトルマップ

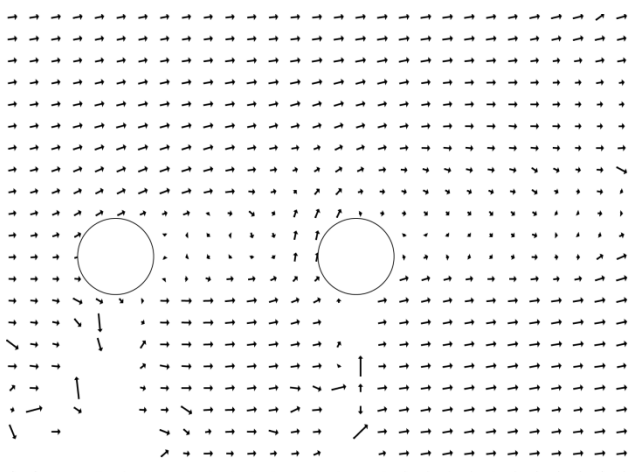


図7 3D Y/D=0.0ベクトルマップ

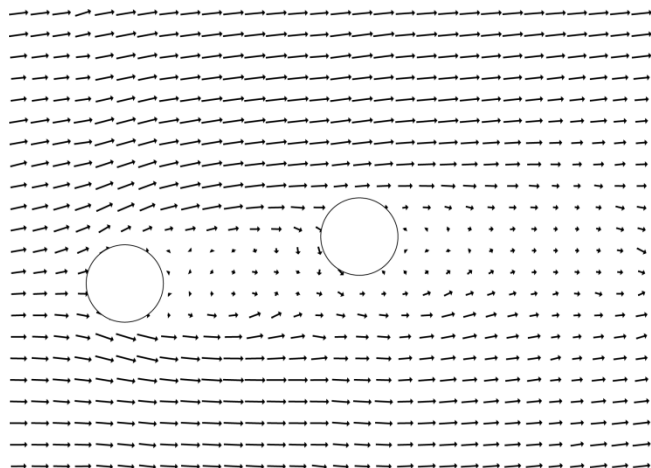


図8 3D Y/D=0.55ベクトルマップ

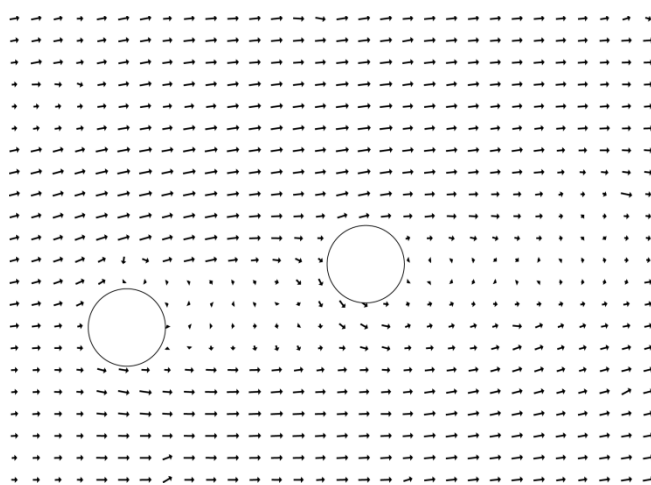


図7 3D Y/D=0.78ベクトルマップ

5. ギャップフローの流速について

今回作成したベクトルマップは、トレーサーが十分に到達しており、欠損ベクトルが少ないある時間間隔を平均した画像2枚で作成しているものを使用した。カメラのチラつき等により片方の画像のベクトルの流速が低いと、平均値が非常に小さくなることが考えられた。そこで、ベクトルマップ作成前の撮影動画1つに対してギャップフロー箇所の流速を時系列で確認した。その結果、1/200s単位で実験風速と同値ほどのベクトルも存在するが、ギャップフローが発生している微小時間間隔を平均すると実験風速よりも低いという結果になった。よって今回の実験では、ギャップフロー箇所では流速が低下していると言える。

しかし、4.でも述べたように、多くの研究者が、ギャップフロー発生箇所では、収束が起こり流速は上がると考察している。今回の実験は、0.5m/sと低風速で行ったためレイノルズ数が小さく、レイノルズ数等による影響、また、トレーサーが不十分なための計測誤差によりこのような現象が発生している可能性も考えられる。今後は、トレーサーの検討や、円柱径を大きくするなどし、実験を行った上で、ギャップフロー箇所での圧力低下と流速の関係を検討する必要がある。

6. 結論

- ① 2D、3D共にギャップフロー箇所での流速は周りの流速と比べ遅くなっており、圧力係数は低下しているが流速は上がっていない。
- ② レイノルズ数の影響で、流速低下を起こしている可能性がある。

<参考文献>

- 1) 八木 悟：並列円柱のウェーク・ギャロッピングと非定常圧力 高知工科大学修士論文 2003年
- 2) N.SHIRAIISHI,M.MATUMOTO and H.SHIRATO : ON AERODYNAMIC INSTABILITIES OF TANDEM STRUCTURES Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics.
- 3) 田中 佑典：ヘリカルワイヤによるウェークギャロッピングの制振 高知工科大学卒業論文 2005年
- 4) 建設省土木研究所：共同研究報告書 第134号 斜張橋並列ケーブルのウェークギャロッピング制振対策検討マニュアル（案）平成7年9月P.10~14