

タンデム配置正方形角柱周辺気流の可視化と PIV 解析による風速評価

日本大学 正会員 ○長谷部 寛 日本大学 非会員 澤 裕俊
 日本大学 非会員 田中 信志 日本大学 フェロー 野村 卓史

1. はじめに

斜長橋の並列ケーブルや吊橋のハンガーロープ、主塔など、タンデム配置された構造物や構造要素周辺の気流は、単独の物体周辺の気流よりも複雑化する。タンデム配置構造周辺の複雑な気流特性を把握することは、タンデム配置構造特有のウェイクギャロッピング¹⁾などの振動現象の発生メカニズムの解明につながると考えられる。そこで本研究では、可視化実験により、タンデム配置正方形角柱周辺の複雑な気流性状を検討した。さらに、可視化実験で撮影した画像を PIV 解析することにより、風速の定量的評価を試みた。

2. 可視化実験概要

本研究では、高さ 600mm、幅 300mm、長さ 900mm の測定部を有する押し出し型風洞を用いた。辺長 $D = 60\text{mm}$ の正方形角柱を、測定部始端から 300mm の位置に設置し、そこから下流側にもう 1 本の角柱をタンデム配置した。図 1 に示すように風洞ファンの上流側で煙発生器 (SAFEX-2010 : ダンテックダイナミクス㈱) により煙を発生させ、YAG レーザー (G200 : カトウ光研㈱) で煙を照射し、高速度カメラ (k-II : カトウ光研㈱) を用いて、200 フレーム/秒で 2.6 秒間撮影した。

3. 角柱間隔と流れパターン

タンデム配置角柱の中心間隔を L として、中心間隔比 $L/D = 2, 3, 4, 5, 6$ の 5 ケースの可視化実験を行った。一様流の風速 U_{in} は $U_{in} = 1.0\text{m/s}$ とした。図 2 に角柱間隔比 $L/D = 3$ の可視化結果を示す。上流側角柱の前縁で剥離した流れは、剥離せん断層の巻き込みを伴いながら、下流側角柱に再付着し、角柱間に大きな渦は形成されない。一方、図 3 に示す角柱間隔比 $L/D = 4$ では、上流側角柱前縁で剥離した流れは、角柱間で大きく巻き込み、明確な渦が形成される。さらに、例えば図 3 のように、上流側角柱の下面から巻き込む流れは下流側角柱前面で上方へ向かい、下流側角柱の上面を乗り越える流れが形成される。 $L/D = 3$ の流れパターンをモード I、 $L/D = 4$ の流れパターンを

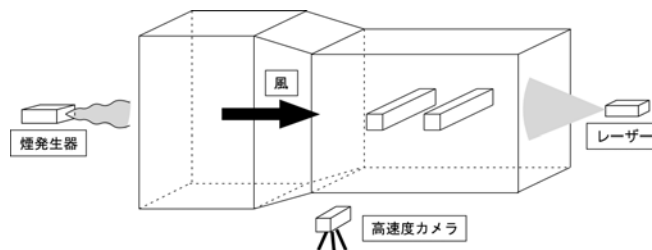


図 1 可視化実験装置配置

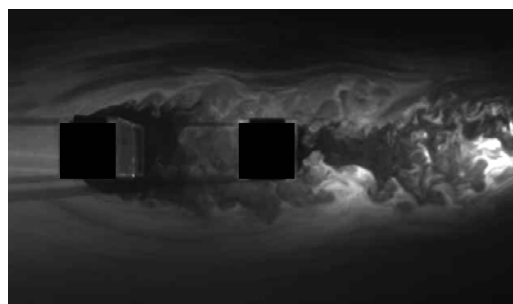


図 2 $L/D = 3$ の可視化結果

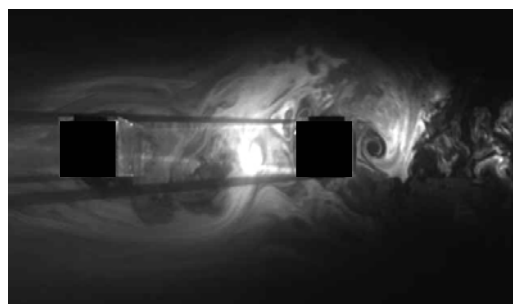


図 3 $L/D = 4$ の可視化結果

表 1 角柱間隔比と流れパターン

L/D	2	3	4	5	6
Mode	I	I	II	II	II

モード II として、各角柱間隔比の流れパターンを表 1 にまとめる。 $L/D = 3$ と 4 の間で流れパターンが大きく変化することが確認された。

4. PIV 解析による風速評価

可視化実験で撮影した画像を用い、PIV 解析ソフト DIPP-FLOW (カトウ光研㈱) により風速を評価した。

キーワード：タンデム配置，正方形角柱，可視化実験，PIV 解析

連絡先：〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14 E-mail : hasebe@civil.cst.nihon-u.ac.jp

まず始めに、PIV 解析の精度を確認するため、図 4 に示す単独の正方形角柱まわりの流れを対象に、PIV 解析により求めた風速と、スプリットファイバースコープ（以下 SFP と略記）を用いて測定した風速を比較した。一様流の風速 U_{in} を $U_{in} = 0.5\text{m/s}$ として、角柱の中心から下流側 $2D$ の位置（点 P）において、風速の鉛直方向成分（V 成分）を比較した。図 5 に比較結果を示す。PIV 解析と SFP による風速測定は同時に行っておらず、若干の差は見られるものの、変動周期および振幅はほぼ一致しており、PIV 解析により定量的な評価が可能であることが確認できた。

図 6 は、角柱中心を通る水平軸上に沿った風速の水平方向成分（U 成分）の時間平均値の分布である。Lyn らの実験結果²⁾および Durão らの実験結果³⁾を併せて示す。PIV 解析の結果は、Lyn の実験値と良く一致していることがわかる。

PIV 解析により評価した風速が十分な精度を有していることが確認されたことから、図 3 に示した角柱間隔比 $L/D = 4$ のタンデム配置正方形角柱の角柱間を対象として PIV 解析を行い、著者らが SFP を用いて測定した結果⁴⁾と比較した。図 7 は、角柱中心を通る水平軸上に沿った風速の水平方向成分（U 成分）の時間平均値の分布である。PIV 解析の結果は、風速測定結果と定性的に一致しているが、定量的には 3 割程度過小に評価されたため、可視化実験で撮影した画像の質の改善など検討が必要である。

5. まとめ

本研究では、タンデム配置正方形角柱周辺の気流特性を、可視化実験により検討した。角柱中心間隔比 $L/D = 3$ 以下の場合、上流側角柱前縁で剥離した流れは下流側角柱に再付着し、角柱間に明確な渦が形成されない。一方、 $L/D = 4$ 以上の場合、上流側角柱前縁で剥離した流れは、上流側角柱背後で巻き込み、大きな渦を形成することが確認された。

可視化実験で撮影した画像を用いて PIV 解析した結果、単独の正方形角柱後流では、熱線流速計で測定した結果と定量的に一致する結果が得られた。しかし、タンデム配置正方形角柱間を対象とした PIV 解析の結果は、定性的に一致する結果が得られたものの、定量的な差が大きかった。今後は、可視化実験で撮影する画像の質の向上が課題であると考えます。

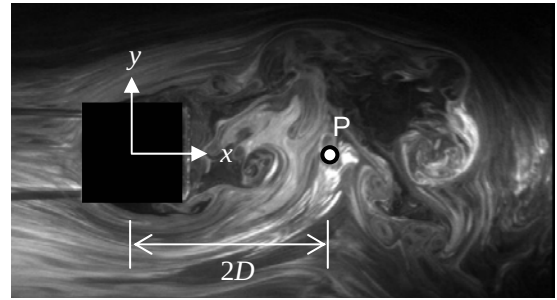


図 4 単独の正方形角柱の可視化結果

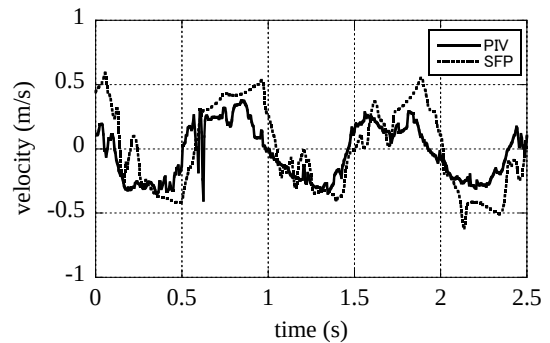


図 5 PIV 解析および SFP による点 P の風速測定結果

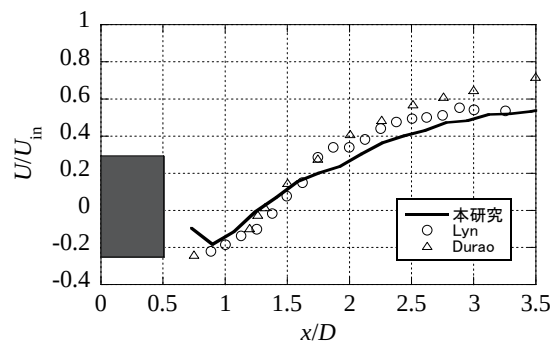


図 6 角柱中心軸上の平均風速分布（U 成分）

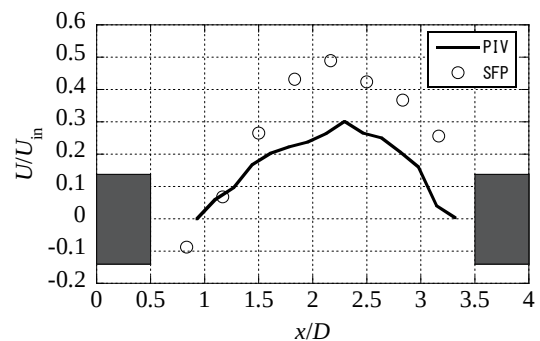


図 7 タンデム配置角柱間の平均風速分布（U 成分）

参考文献：1) S.Tokoro et al., J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., Vol.88, pp.247-261, 2000. 2) D. A. Lyn 他 3 名: J. Fluid Mech., Vol.304, pp.285-319, 1995. 3) D. F. G. Durão ほか 2 名: Exps. Fluids, Vol.6, pp.298-304, 1988. 4) 長谷部寛, 他 3 名, 第 20 回風工学シンポジウム論文集, pp.379-384, 2008