位相平均に基づくタンデム配置正方形角柱間の変動気流の特性

日本大学　正会員　○長谷部　寛　日本大学　(研究当時)　渡邉　賢司
日本大学　(研究当時)　渡辺　裕記　日本大学　フェロー　野村　卓史

1．はじめに

斜張橋の並列ケーブルや超長大橋の桁断面構造として検討されている二箱桁構造など，複数の物体が近接し配置されたタンデム配置構造物は数多くある．小尾らによればタンデム配置構造物間の乱流構造は，上流側物体からの渦放出に起因する流れの変動と高い相関があるとされている [1)]．しかしタンデム配置構造物間の乱流統計量の計測例は少ないことから，本研究ではタンデム配置正方形角柱を対象とし，角柱間の乱流量評価を目標として，角柱間の変動気流の計測および位相平均に基づいて変動流構造の検討を行った．

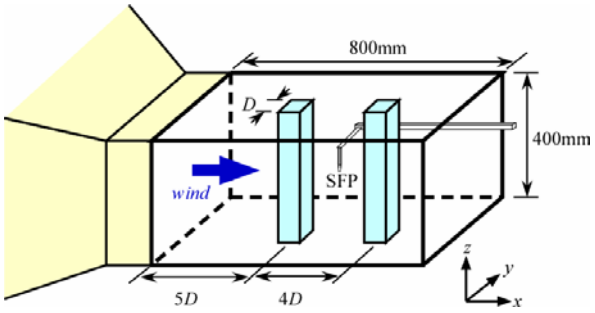


図 1　実験装置

2．実験方法

本研究で用いた風洞の測定部は，図 1 に示すように断面が 400×400mm，長さが 800mm である．一本目の正方形角柱（辺長 D=60mm，軸長 B=356mm）を，測定部始端より 5D の位置に設置し，2 本目の角柱を角柱中心間隔が主流方向に 4D となる位置に設置した．風速測定は，角柱高さ方向中央の xy 平面内で行い，上流側角柱から放出される渦による変動を計測するため，逆流が計測可能なスプリットフィルムプローブ(55R55:ダンテック社製，以下 SFP と記す)を用いた．SFP は z 方向（鉛直方向）に支持し，図 2 に示すように y 方向の風速（V 成分）を測定する際は split 面が xz 面に平行になるよう設置した．x 方向の風速（U 成分）を測定する際は，z 軸周りに 90° 回転させる．風洞風速は 6.0m/s，サンプリング周波数 500Hz，測定時間 30s として実験を行った．

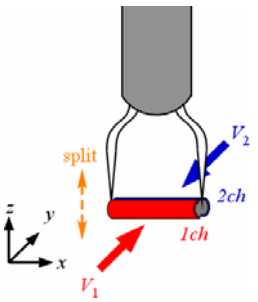


図 2　SFP 設置方向

3．スプリットフィルムプローブの出力結果の処理方法

SFP は図 2 に示すように，2 つのチャンネルのセンサーを有し，例えば V_1 方向の風は 1ch が検出し，V_2 方向の風は 2ch が検出する．図 3 は，角柱間の中央で風速の V 成分を測定した際の，SFP 各チャンネルの測定結果である．上流側角柱の側面から交互に放出される渦によって生じる流れの変動をとらえ，1ch と 2ch の出力が交互に大きくなっている．ただし，1ch と 2ch のセンサー面は向きが 180° 異なることから，次式により両チャンネルの出力結果を合成し，一つの風速波形に変換した．処理された風速波形を図 4 に示す．

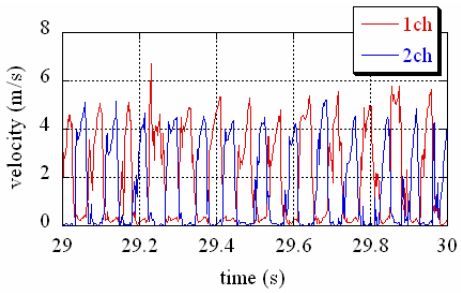


図 3　SFP 各チャンネルの測定結果

$$V=\begin{cases} V_1 & (|V_1|\geq|V_2|) \\ -V_2 & (|V_1|\leq|V_2|) \end{cases} \qquad (1)$$

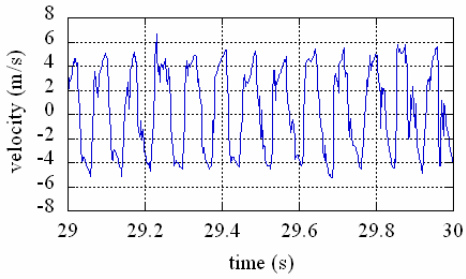


図 4　SFP 各チャンネルの測定結果を合成して得られた風速波形

なお，実際の風向は必ずしもセンサー面に直交しないことから，風向を考慮した変換を行うことは今後の課題である．

キーワード：タンデム配置正方形角柱，スプリットフィルムプローブ，位相平均
連絡先：〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14　TEL/FAX：03-3259-0411 E-mail：hasebe@civil.cst.nihon-u.ac.jp

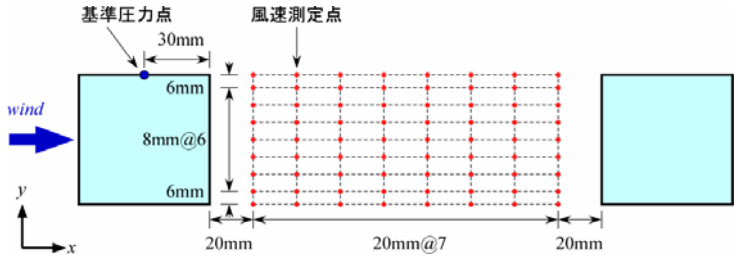


図 5　風速測定点および圧力基準点

4．位相平均による周期的変動成分の抽出

角柱間の渦による変動流の特性を検討するため，図 5 に赤点で示す位置で SFP を用いて *U* 成分および *V* 成分の風速測定を行った．測定したデータの処理方法として，単純な時間平均では変動特性が把握できないため，位相平均 [2]を用いた．位相平均の基準信号として，図 5 に青点で示す上流側角柱側面の表面圧力を用いた．位相平均は以下の手順で行った．

手順１：風速，圧力の同時計測

風速，圧力の同時計測を実施し，渦による周期的な変動成分に着目するため，計測結果に対しローパスフィルター(30Hz)をかける．図 6 (a), (b)に基準圧力点の表面圧力と風速の計測結果(黒線)およびフィルタ処理したデータ(赤線)を示す．

手順２：フィルタ処理したデータの周期ごとの分割

フィルタ処理した圧力データのピークからピーク（図 6(a)中の青点から青点）を 1 周期として定義し，データを周期ごとに分割する．

手順３：同位相のデータ抽出および位相平均風速の取得

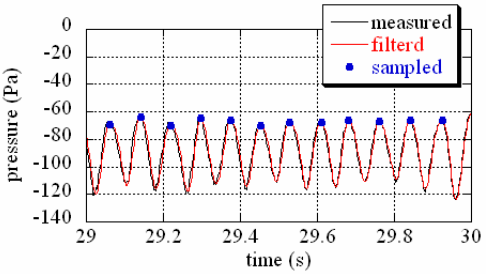
②で分割した周期ごとの風速波形から同位相の風速のデータを抽出し，それらを平均して位相平均風速を得る．ちなみに図 6 (b) の青点は位相 ϕ ＝0 の抽出データである．

5．角柱間の変動流の構造

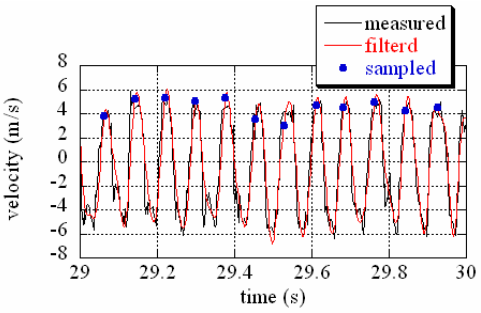
位相平均風速の位相ごとのベクトルを図 7(a)-(d)に示す．(a)から順に，位相 ϕ ＝0, 0.5π, π, 1.5 π である．位相 ϕ ＝0, π では上流側角柱の背後に辺長 *D* (60mm) 程度の大きさの渦が形成されている．ϕ ＝0 の場合，上流側角柱背後では上向きの流れが生じているが，下流側角柱前方では下向きの流れが生じている．ϕ ＝π も上下対称であるが同様である．一方，ϕ ＝0.5π では角柱背後の渦が流下し，全体的に上向きの流れが形成されている．ϕ ＝1.5π も同様である．以上より，タンデム配置正方形角柱間の変動流の特性として，上流側角柱背後に渦が形成された直後は角柱間に流れの変曲点が存在するが，渦が流下すると角柱間を斜めに横切る流れが全体的に形成されることがわかった．

参考文献 1) S.Obi, N.Tokai: Int, J, Heat Fluid Flow, 27, pp.768-776, 2006

2) D.A.Lyn, W.Rodi: J.Fluid Mech., 267, pp.353-376, 1994

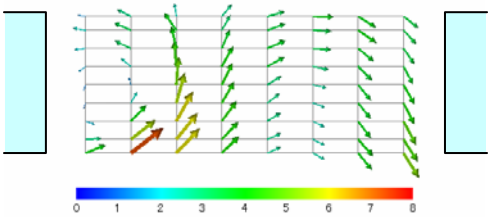


(a) 基準圧力点の表面圧力

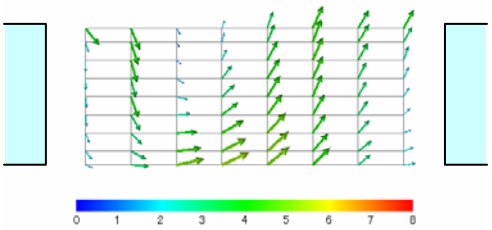


(b) 風速

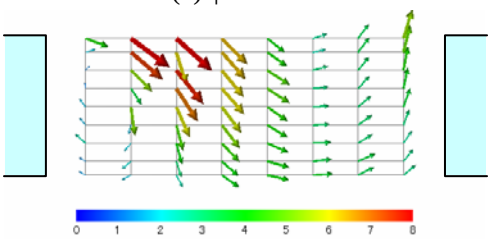
図 6　測定データとフィルタ処理後のデータ



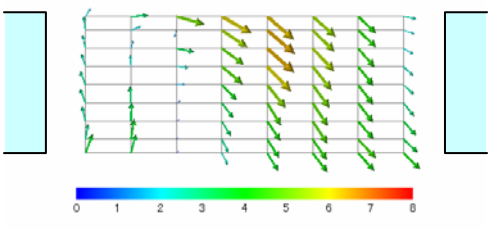
(a) ϕ = 0



(b) ϕ = 0.5π



(c) ϕ = π



(d) ϕ = 1.5π

図 7　位相平均風速のベクトル図