

数値流体解析によるタンデム2円柱周りの流れ場の分析

トヨタ紡織株式会社 正会員 ○太田裕希

名古屋大学エコトピア科学研究所 正会員 北川徹哉

1. はじめに

送電線や斜張橋の並列ケーブル，熱交換器等の複数物体が流れの中に近接して配置されるケースにおいては，物体周りの流れ場は単体で配置されるケースと比べてより複雑な様相を示す．特に，斜張橋の並列ケーブルのような事例ではウェークギャロッピングと呼ばれる流体関連振動が問題となっているが，そのメカニズムには未解明の部分が多い．一方，このように近接配置された2円柱について数値流体解析を行った例はあるものの，亜臨界領域のレイノルズ数で3次元解析を行った例は少ない．本研究では3次元LESを行い，タンデムに配置された静止2円柱まわりの流れ場および流体力特性について基礎的検討を行った．

2. 解析手法

本研究ではLES記述された非圧縮性ナビエ・ストークス式および連続の式を，コロケート格子を用いた一般座標系で差分法により離散化した．LESの渦粘性モデルにはSmagorinskyモデル(Smagorinsky定数=0.1)を使用し，また，ナビエ・ストークス式の対流項はUTOPIA法を用いた3次精度上流差分法により離散化し，SMAC法によりこれら基礎式を解いた．SMAC法により解く際，粘性項には2次精度クランク・ニコルソン法を，対流項には2次精度アダムス・バッシュフォース法を用いた半陰解法を適用した．なお，流速の求解および圧力ポテンシャルに関するポアソン方程式の求解にはSOR法を用いている．また，解析を行うにあたっては図1に示すような，円柱直径を D として縦 $30D$ 横 $60D$ 奥行き $1D$ の計算領域を用意した．図2はこの領域に配置した格子の円柱近傍の断面図である．円柱表面の格子点数は円柱周方向に200点，スパン方向に26点である．境界条件については，流入境界において一様流速を与え，流出境界には対流粘性条件を，円柱壁面にはすべりなし境界条件を課した．また，レイノルズ数は22000とし，無次元時間 t の刻み幅は 2.0×10^{-3} とした．2円柱の中心間距離 L については $1.5D$ ， $2D$ ， $2.5D$ ， $2.75D$ ， $3D$ ， $3.25D$ ， $3.5D$ ， $4D$ ， $5D$ の9通りで解析を行った．

3. 解析結果

解析結果から流れ場のアニメーションを作成し，タンデム2円柱周りの流れ場の検討を行った．図3にスパン方向中央断面における，ある瞬間の渦度分布を示す．図3(a),(b),(c)に示す $L/D < 3.25$ のケースでは上流側円柱から周期的な渦の放出は見られないが，図3(d)に示すように $L/D = 3.25$ を境に上流側円柱からも周期的な渦の発達および放出が見られるようになる．具体的には，まず図3(a)に示す $L/D = 1.5$ では上流側円柱から剥離した流れは下流側円柱への再付着と剥離を交互に繰り返すことで上下に揺動し，これらは下流側円柱背後で発達する渦の放出に同期している．円柱間距離が増加するに従って，図3(b)に示すように上流側円柱の剥離せん断層は下流側円柱に到達する前に不安定化し，間欠的に小規模の渦が形成されるようになる．さらに

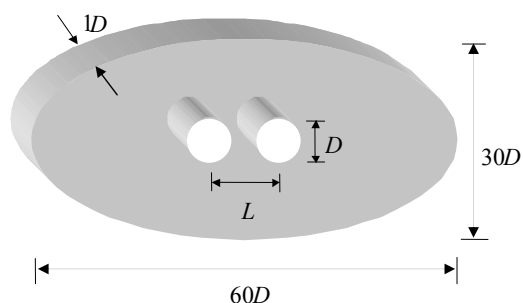


図1 計算領域の概要

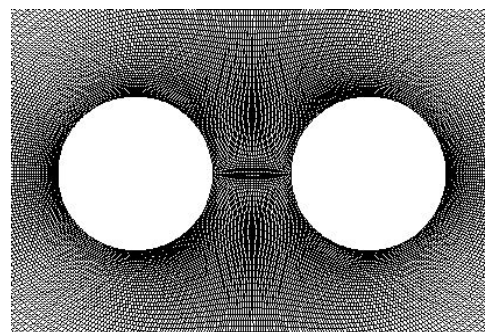


図2 2円柱近傍の格子の一例

キーワード：数値流体解析，LES，タンデム2円柱，流体力特性

連絡先：〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学

$L/D=3$ （図 3(c)）のケースでは上流側円柱からの剥離せん断層はほとんど揺動せず，また下流側円柱のやや前方で波打ち，小渦が形成されることがある．図 3(d)の $L/D=3.25$ においては，上流側円柱からも規則的なカルマン渦の放出が見られ，それらの渦は下流側円柱へ衝突する．Zdravkovich³⁾や五十嵐¹⁾はタンデム 2 円柱まわりのフローパターンを円柱間距離について整理しており，本研究において得られた流れ場はこれに概ね整合する．次に，図 4 に 2 円柱の揚力係数 C_L の時刻歴を示す． $L/D=1.5, 2.5$ （図 4(a),(b)）のケースでは，剥離せん断層の揺動が上流側円柱の C_L の変動の要因であり，それと同期した渦放出が下流側円柱の C_L の変動の要因となる．また， $L/D=3$ （図 4(c)）のケースでは上流側円柱の剥離せん断層から間欠的に形成される渦の影響により，下流側円柱の C_L の変動の非定常性が強くなる．なお，上流側円柱の C_L はほとんど変動しない．さらに $L/D=3.25$ （図 4(d)）のケースでは，上流側円柱から周期的に放出される渦により上流側円柱の C_L は変動し，それらの渦の下流側円柱への衝突と下流側円柱自身からの渦放出とが組み合わさるため，下流側円柱の C_L の変動は図 4(a),(b),(c)のケースに比べて大きい．一方，図 5 に下流側円柱の C_L のスペクトル解析から得たストローハル数 St を既往の実験結果とともに示す．本研究における St の円柱間距離による変化は，レイノルズ数が本研究とほぼ同等の既往の実験結果と概ね整合する．

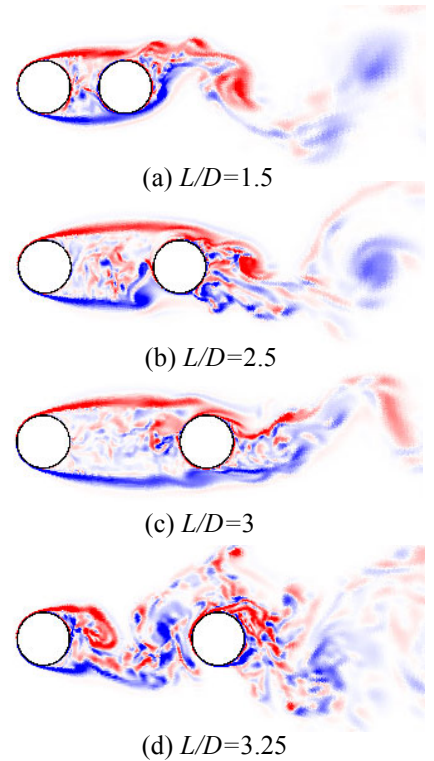
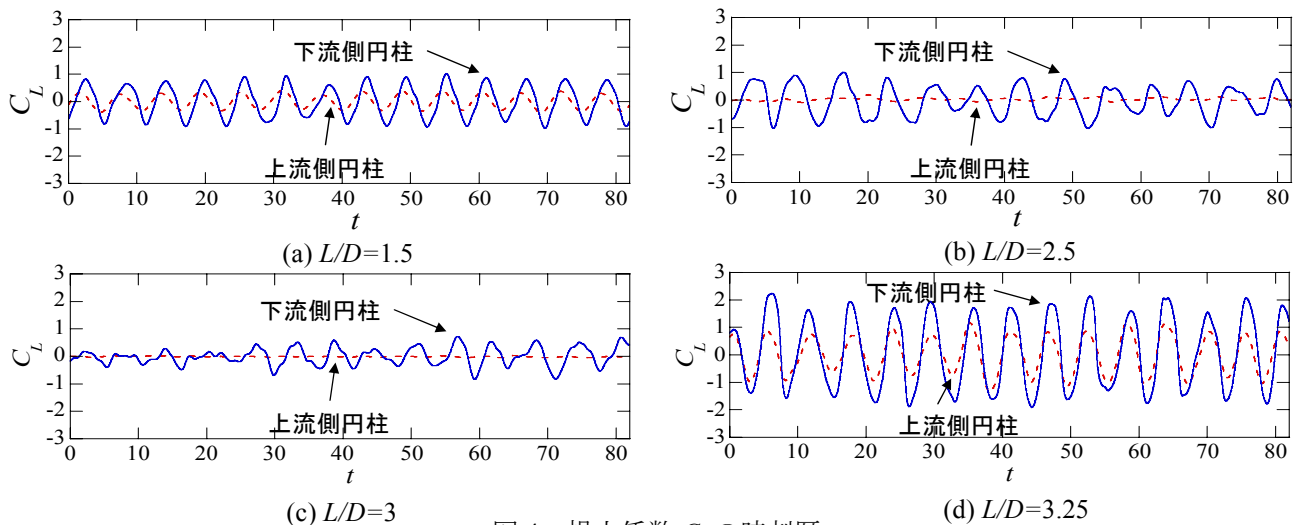


図 3 2 円柱近傍の渦度分布

図 4 揚力係数 C_L の時刻歴

4. まとめ

タンデム配置された静止 2 円柱周りの流れ場について，3 次元数値流体解析を行った．2 円柱間の距離に応じた流れ場の変化は既往の研究結果に概ね整合し，円柱間距離の違いによる流れ場と変動揚力の特性との対応関係を示した．また，ストローハル数の円柱間距離による変化も既往の実験を概ね再現できた．

参考文献

1)五十嵐保：直列 2 円柱まわりの流れ特性(第 1 報)，日本機械学会論文集(B 編),46 巻 406 号, pp1026-1036, 1980. 2)Ljungkrona,L et al.: Free-stream turbulence and tube spacing effects on surface pressure fluctuations for two tubes in an in-line arrangement, Journal of Fluids and Structures, 5, pp701-727, 1991. 3)Zdravkovich,M.M.: Flow Induced Oscillations of Two Interfering Circular Cylinders, Journal of Sound and Vibration, 101(4), pp511-521, 1985.

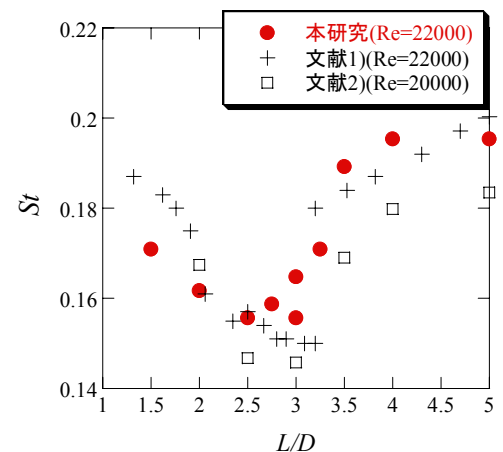


図 5 下流側円柱のストローハル数