

静止タンデム 2 円柱に作用する空気力に関する数値解析的検討

名古屋大学大学院 学生会員 ○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、熱交換器等に見られる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、その流れ場は単一の物体周りの流れ場とは大きく異なる性状を示す。特に、送電線や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空力振動の発現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 次元での解析を行った例は少ない。本研究では 3 次元 LES を行い、静止タンデム 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

本研究では非圧縮性流体の基礎式であるナビエ・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 $15D$ 横 $30D$ 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。円柱中心間距離 L については $1.5D$, $2D$, $2.5D$, $2.75D$, $3D$, $3.25D$, $3.5D$, $4D$ の 8 通りで解析を行った。

3. 解析結果及び考察

本研究では解析結果から円柱周りの流れ場のアニメーションを作成し、2 円柱周りの流れ場の検討を行った。図 3 に、ある瞬間における円柱スパン方向中央断面における渦度のスパン方向成分を示す。図 3(a),(b),(c) に示すケースでは上流側円柱からの明確な渦の放出は見られないが、図 3(d)では上流側円柱からも規則的な渦の発達および放出が見られる。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)に示すように円柱間で流れが巻き込む現象が見られるようになり、間欠的に渦が発生する。さらに $L/D=3$ (図 3(c)) のケースでは間欠的に渦を放出するほか、一時的に円柱間で上下対称の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

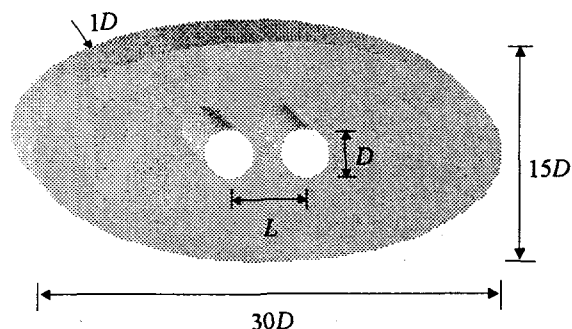


図 1 計算領域の概要

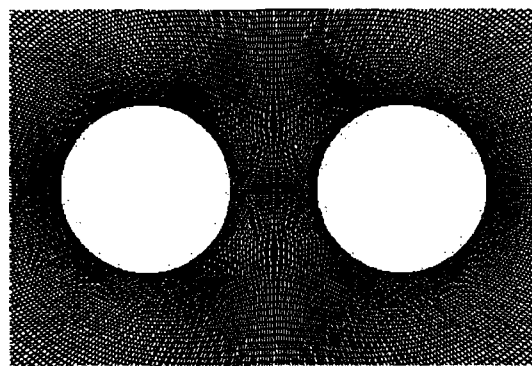


図 2 2 円柱近傍の格子の一例($L/D=1.5$)

が見られるようになり、それらの渦が下流側円柱へ衝突する。さらに円柱間距離が増加すると、上流側円柱からの渦の発生がより明確になることが観察された。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の円柱間距離による特徴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。図4(a),(b),(c)のケースでは上流側円柱から剥離した流れが周期的に揺動もしくは間欠的に渦を放出することで上流側円柱の C_L が変動し、それと同期した下流側円柱からの渦放出が下流側円柱の C_L の変動の要因となる。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が上流側円柱の C_L の変動の要因であり、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が組み合わさるため、下流側円柱の C_L の変動が図4(a),(b),(c)のケースに比べて大きい。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。上流側円柱から規則的な渦放出が見られるようになる $L/D=3.25$ 以降、 St は不連続的な変化を示す。本研究で得られた St の円柱間距離による変化は、既往の結果と概ね整合している。

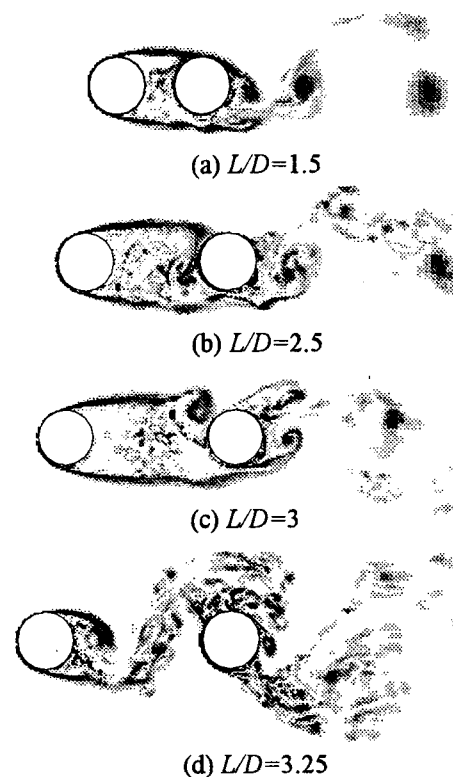
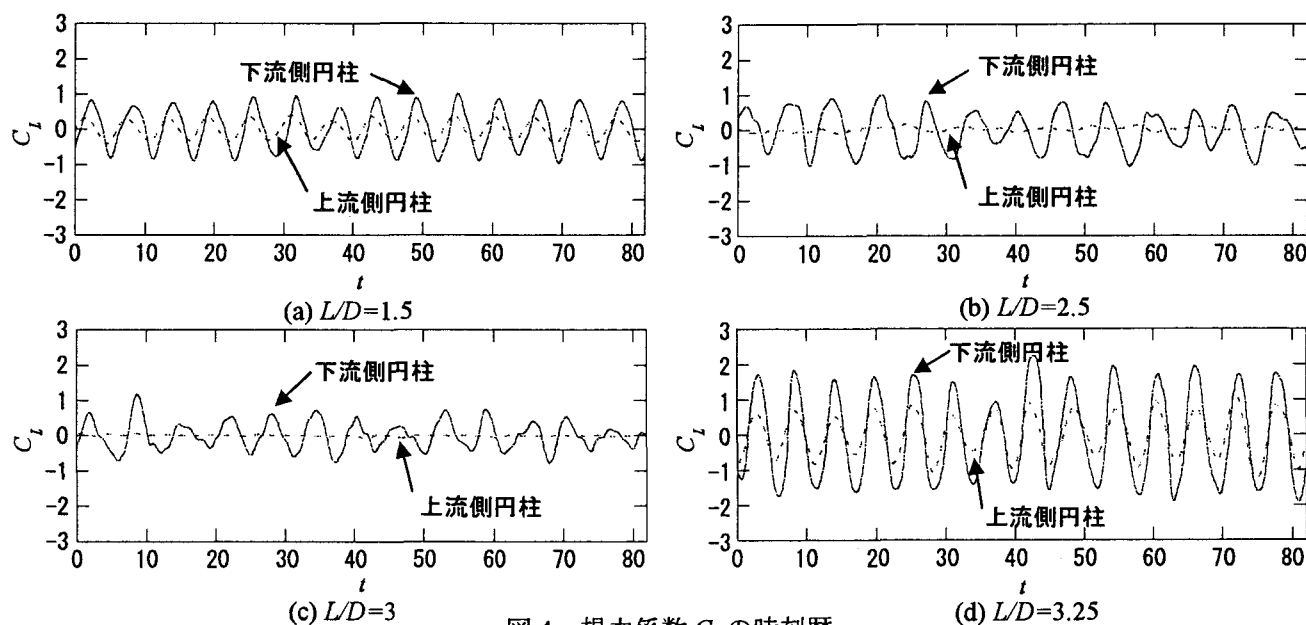


図3 2円柱近傍の渦度分布

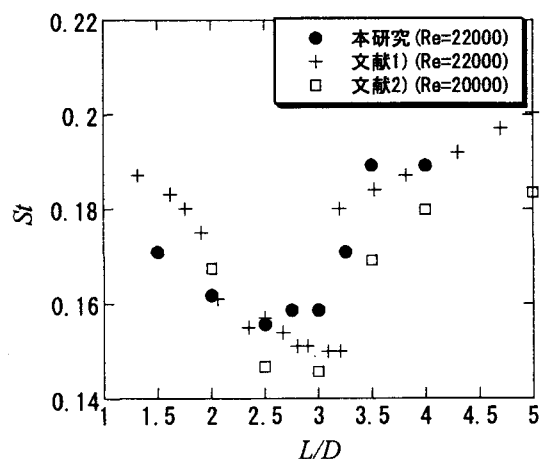
図4 揚力係数 C_L の時刻歴

4. まとめ

静止タンデム2円柱まわりの流れ場と流体力についての3次元LESを行った。得られた流れ場は既往の研究と概ね整合し、その結果から円柱間距離の違いによるフローパターンと揚力特性との関係を明らかにした。

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，pp1026-1036，1981。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 ストローハル数 St