

## 静止タンデム 2 円柱に作用する空気力に関する LES

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機構 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、物体が相互に干渉しあうことにより、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、このような事例に対して近接配置された 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検討した。

### 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נק・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 にこの領域に一般座標系を形成した円柱周りの断面図を示す。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課した。また、円柱壁面にはすべりなし境界条件を課した。レイノルズ数は 22000 とし、無次元時間  $t$  の刻み幅は  $2.0 \times 10^{-3}$  とした。円柱中心間距離  $L$  については  $1.5D$ ,  $2D$ ,  $2.5D$ ,  $3D$  の 4 通りで解析を行った。

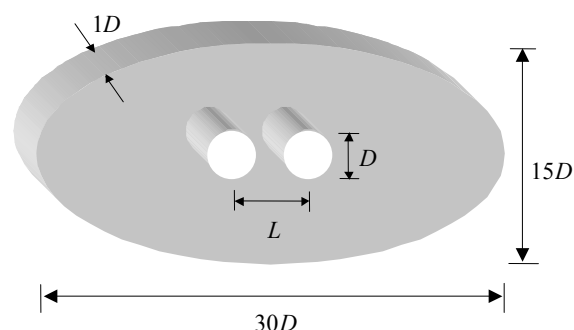
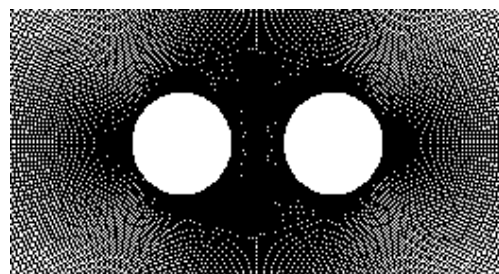


図 1 計算領域

図 2 2円柱近傍の格子( $L/D=1.5$ )

### 3. 解析結果及び考察

図 3 に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  $\omega_z$  を示す。図 3(a),(b),(c),(d) に示すように、上流側円柱から剥離した流れは下流側円柱へ再付着する性状を見せている。図 3(a),(b) に示す  $L/D=1.5, 2$  については上流側円柱背後での渦の発達および放出はほとんど見られず、上流側円柱から剥離した流れは下流側円柱背後での渦の放出に伴い、再付着と剥離を交互に繰り返していた。これに対して図 3(c),(d) の  $L/D=2.5, 3$  のケースについては、上流側円柱背後においても渦の形成および放出が見られる。Zdravkovich<sup>3)</sup>や五十嵐<sup>1)</sup>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、本解析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 に円柱の揚力係数  $C_L$  の時刻歴を示す。下流側円柱の  $C_L$  は背後での渦発生に伴い周期的な変動をしているが、図 4(a),(b) に示すように、 $L/D=1.5, 2$  では上流側円柱の

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

$C_L$  についても下流側円柱の  $C_L$  の変動に伴った変動が見られる。これらの円柱間距離においては、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繰り返している(図 3(a),(b))が、この現象が下流側円柱背後の渦の放出の影響を受けるためと考えられる。一方、 $L/D=2.5, 3$  のケース(図 4(c),(d))における上流側円柱の  $C_L$  の変動は下流側円柱と比較して相対的に小さい。これらの円柱間距離では上流側からも渦の放出が見られる(図 3(c),(d))が、それらと下流側円柱背後の渦の放出が必ずしも同期しないためと思われる。また、下流側円柱の  $C_L$  のスペクトルからストローハル数  $St$  を求めた。図 5 に各円柱間距離における  $St$  について既往の研究結果と併せて示す。 $L/D=1.5$  においてはスペクトルに 2 つのピークが現れたため、それらの両方をプロットしている。低周波数側の  $St$  は既往の実験値とほぼ一致するが、高周波数側の  $St$  は実験値を大きく上回った。また、 $L/D=2$  の  $St$  は既往の結果と整合するが、 $L/D=2.5, 3$  における  $St$  は既往の結果と比べてやや大きい。

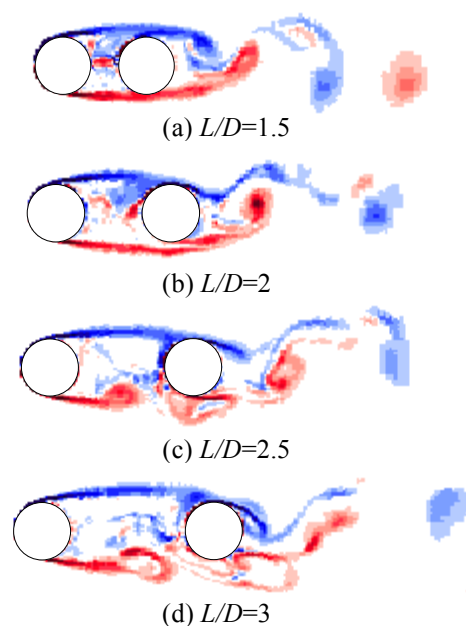
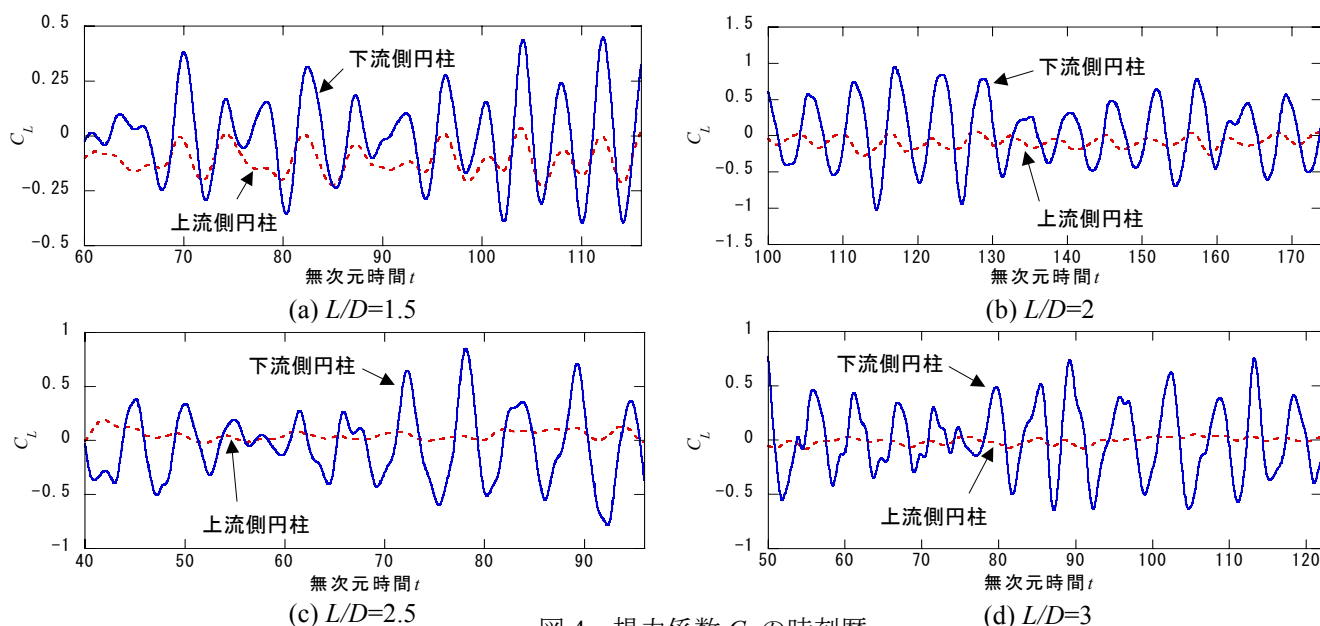


図3 2円柱近傍の渦度分布

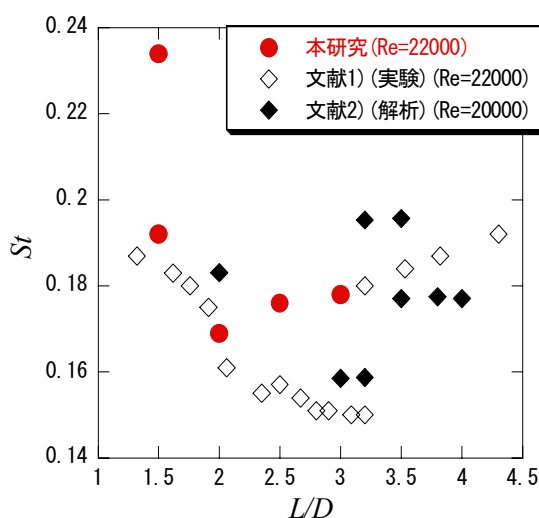
図4 揚力係数  $C_L$  の時刻歴

#### 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。また、ストローハル数については、 $L/D=1.5$  において2つのストローハル数が現れるという特徴が見られた。ただし、 $L/D=2.5, 3$  におけるストローハル数は既往の実験値よりもやや大きい値となった。

#### 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)伊藤嘉晃・姫野龍太郎：直列2円柱まわりの流れの相互干渉のシミュレーションによる流体力の再現性の検討，第17回風工学シンポジウム論文集，pp279-284, 2002.
- 3)Zdravkovich, M.M : Flow Induced Oscillations of Two Interfering Circular Cylinders, Journal of Sound and Vibration, 101(4), pp511-521, 1985.

図5 円柱間距離による  $St$  の変化