迎角を有する2円柱における後流側円柱の平均揚力のスイッチングに関する CFD

名古屋大学エコトピア科学研究所	正会員	〇北川	徹哉	
名古屋大学大学院工学研究科	非会員	劉	文	
名古屋大学エコトピア科学研究所	非会員	Dragomirescu Elena		

1. はじめに

互いに近接した二つの円柱が主流方向に対してやや傾斜している場合,後流側の円柱の平均揚力が時間的に 変化する現象がみられる.坂本ら¹⁾は円柱中心間距離が直径の2倍,主流方向に対する迎角が10°の状態で二 つの円柱を配置し,下流側円柱の揚力を計測している.その結果,下流側円柱の平均揚力は一定ではなく,時 間の経過に応じて断続的に二つの値をとることが観察された.本研究においては,数値流体解析により,この 平均揚力の時間依存性と流れ場との対応関係を調べる.

2. 解析方法

LES 記述された非圧縮性ナビア・ストークスの式と 連続の式をコロケート格子を用いた一般座標系におい て差分法により離散化し、SMAC法により解いた.LES にはスマゴリンスキーモデルを用い,対流項には3次 精度風上差分を適用している.また,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適用し、流速予測子 ならびに圧力ポテンシャルの求解には SOR 法を用い た. 解析空間は、図1に示すような、円柱直径をDと して長径 60D, 短径 30D, スパン方向長さ D の楕円柱 であり, 主流は左から右に向かって流れる. 円柱表面 の格子点数は周方向に 200 点, スパン方向に 26 点であ る. 円柱中心間の距離 Lは 2D とし, 迎角 α は 5°, 10°, 15°の3通りで解析を行ったが、次章では $\alpha = 10^\circ$ の 結果に絞って説明する. 図2はα=10°における格子 系のスパン方向断面の拡大図である.また、境界条件 については, 流入境界を一様流入, 流出境界において は対流粘性条件,円柱表面はノンスリップとした.な お、レイノルズ数については、著者がこれまで実施し てきたタンデム2円柱まわりの流れ場に関する数値流 体解析²⁾と整合させて 2.2×10⁴に設定した.



図2 L/D=2, α=10°における2円柱近傍の格子

3. 解析結果と考察

図3に $\alpha = 10^{\circ}$ における上流側円柱と下流側円柱の揚力係数 C_L の時刻歴を示す.点線が上流側円柱の C_L を 実線が下流側円柱のそれを表す.上流側円柱の C_L は平均がゼロであり,ほとんど変動していない.これに対 して,下流側円柱の C_L はほぼ全時間にわたって負の値となっており,これは下向きの揚力が作用しているこ とを意味する.しかしながら,下流側円柱の C_L には時間依存性がみられ,その局所平均 $\overline{C_L}$ 'は例えば80<t<140 においては-0.3,160<t<220においては-0.5,240<t<310においては-0.27となっている.第1章に触れた坂 本ら¹⁾の研究においては, $\overline{C_L}$ 'が負の方向に大きい場合を Mode-1,小さい場合を Mode-2 としており,本研究 においても同様に称することとする.図3において,160<t<220の $\overline{C_L}$ 'が Mode-1に相当する.また,80<t<140における $\overline{C_L}$ 'と240<t<310のそれとは互いに値がやや異なるが,Mode-1の $\overline{C_L}$ 'と大きく異なることから 両者とも Mode-2 に分類した.

次に, $\alpha = 10^{\circ}$ における Mode-1 と Mode-2 の流れ場を観察する. 図4 にスパン中央断面における瞬間渦度 のスパン方向成分を示す. 図4(a)は Mode-1 が現れた t = 180 (図3) での渦度分布であり,上流側円柱の上面

2円柱,数值流体解析,迎角,揚力

〒464-8603 名古屋市千種区不老町 電話: 052-789-5918 FAX: 052-789-3734

からの剥離せん断層が下流側円柱の正面近傍に付着している.この付着した流れは下流側円柱を下向きに再剥離し、下流側円柱の下部空間において弧を描くように向きを変えている.ただし、この再剥離流れは一定の位置に留まっているわけではなく、下流側円柱の下面に近づいたり離れたりしていた.一方、図4(b)は Mode-2 が現れた t = 268 (図 3) における渦度分布である. Mode-1 と同様に上流側円柱からの剥離せん断層は下流側円柱に付着するが、その付着位置は Mode-1 のケース(図4(a))よりもやや上側である.さらに、再剥離した流れの向きはほぼ鉛直下向きとなっている.以上の再剥離流れの航路の違いが Mode-1 と Mode-2 の $\overline{C_L}$ に差をもたらしていると推定される.

そこで円柱表面の圧力特性について検討する.まず, 図5は上流側円柱と下流側円柱の表面における平均圧力 係数 C, の分布である. 点線が上流側円柱の表面の C, を, 実線が下流側円柱のそれを表し、横軸の6は正面からの 角度である.上流側円柱においては $\theta = 0^{\circ}$ をよどみ点と して、 $\overline{C_{\mu}}$ の分布は上下面でほぼ対称となっている.こ れに対して下流側円柱の C, は非対称な分布となってお り, 30°<θ<60°近傍に上流側円柱からの剥離せん断 層の付着による正圧がみられる.これ以外の領域は全て 負圧となっており、緩やかにではあるが下面側(θ =180 $\sim 360^{\circ}$)ほど負圧が強まっている.この $\overline{C_{\mu}}$ の非対称性 が下流側円柱に下向きの揚力を生じさせている. さらに, 下流側円柱の $\overline{C_{p}}$ を Mode-1 と Mode-2 とで比較する.図 6にはMode-1が発生した160 < t < 220の時間帯の圧力か ら求めた下流側円柱の $\overline{C_p}$ と, Mode-2 が発生した 80 < t < 140 のそれとを重ねて描いている. 上流側円柱からの剥 離せん断層の付着による正圧のピークが Mode-2 の方が やや上側に位置しており、これは図4の渦度場において 観察されたことに整合する.また、特に 270°< θ < 360° において, Mode-1 の方が負圧が強く, これが Mode-1 の 下向きの揚力を大きくしている理由である. すなわち, Mode-1 における再剥離流れは下流側円柱の下面近傍に 位置していた(図4(a))ことが、下側表面の負圧を増大 させ、下向きの揚力を大きくしたと考えられる.これに 対して, Mode-2 では再剥離流れが下流側円柱表面から 離れた位置にあった(図4(b))ことから, Mode-1の場合 よりも下面の負圧が弱く,下向きの揚力は相対的に小さ くなったと考察される.

参考文献

 1)坂本弘志, Md. Mahbub ALAM, 金相一,高井和紀: 食違い配列された2円柱周辺の流れに関する研究(第 1報),日本機械学会論文集(B編),70巻696号, pp.2034-2042,2004.

 2)北川徹哉,太田裕希:数値流体解析による静止タンデム2円柱まわりの流れ場の考察,土木学会論文集 A, Vol. 63, No. 1, pp. 153-166, 2007.



図6 Mode-1 と Mode-2 の下流側円柱表面の 平均圧力分布の比較