○溝口卓弥

北川徹哉

非会員

正会員

ウェイクギャロッピングの ALE シミュレーション

名古屋大学大学院工学研究科 名古屋大学エコトピア科学研究所 名古屋大学エコトピア科学研究所

1. はじめに

主流方向に対して直列に近接配置された二つの円柱においてはウェイクギャロッピングと呼ばれる特異な自励振動が発生し、多くの研究がなされてきたが、その発生メカニズムは未だ解明されていない.本研究では、ウェイクギャロッピングの非線形応答を数値流体解析によりシミュレートし、その特性を検討する.

2. 解析方法

解析対象の概要を図1に示す.上流側円柱は空間に固定 とし、下流側円柱は主流方向に対して鉛直方向に1自由度 を有する.下流側円柱の固有振動数および減衰定数は文献 1)の風洞実験にあわせて、それぞれ1.16Hz,0.00148とし ている.この2円柱周りの流れ場をLES(Large Eddy Simulation)記述された非圧縮性流体のナビア・ストークス の式(以下,NS式),ならびに連続の式を解くことによっ て求める.流れ場とその揚力による下流側円柱の応答変位 yとを時々刻々と交互に解き、下流側円柱の運動にともな う流れ場への影響はALE(Arbitrary Lagrangian Eulerian)法 により考慮している.なお、LES 渦粘性モデルには Smagorinskyモデル(Smagorinsky定数=0.1)を使用し、NS式 の対流項には3次精度上流差分法を適用している.

これらの流体方程式の離散化はコロケート格子を用いた 差分法により行い,一般座標系において SMAC 法により解 いた. NS 式の粘性項には 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 用した. 図 2 に示す,円柱直径を D として縦 30D,横 60D, 奥行き 1D の楕円柱の内部を解析空間とした.主流方向の 円柱中心間距離 L は 2D である.円柱表面の格子点数は円 周方向に 200 点,スパン方向に 26 点であり,円柱表面から 放射方向に 150 点の格子を設けている.格子系は円柱の運 動にともなって変形(図 3)し,各格子の移動速度が ALE 法に用いられる.境界条件については,流入境界に一様流 速,流出境界には対流粘性条件を,円柱表面にはすべりな し条件を課した.レイノルズ数は 22000 とし,無次元風速 が 114 の下で下流側円柱に初期変位 ysを与えて解析を開始 した.なお,ysは 0.2D, 0.5D の 3 通りとした.



3. 解析結果および考察

図4は下流側円柱の振動が定常化 したと見なされる時点以降の応答振 幅の平均値を無次元風速に対してプ ロットしたものである.本解析の応 答振幅はウェイクギャロッピングの 特徴であるリミットサイクルを示し た既往の風洞実験結果¹⁾と概ね整合 している.以下では*y_s*=0.5*D*のケー スに着目して詳しく調べる.





図5はy_s=0.5Dのケースの下流側円柱の揚力係数C_Lと無次元 変位 y/D の時刻歴について, y/D を基準としておよそ1波長分 を示したものである. 無次元時間 t=820 付近から 850 付近に着 目すると y/D が大きくなるにつれて CL が小さくなっていくこと が分かる.図 6(a)は図 5 の t=827 における、スパン中央断面で の渦度ω3の分布である. 下流側円柱が上流側円柱のウェイク中 に位置している.図 7(a)は図 6(a)と同時刻における下流側円柱 表面の圧力係数 Cp の分布を示しており, 点線より外側の場合 は負圧を,内側の場合は正圧を示している.また, θは上流方 向からの角度である.円柱表面全体が負圧に覆われており、CL はゼロに近い値(図 5: t=827)となっている.次に t=835 にお ける流れ場(図 6(b))では、上流側円柱の剥離せん断層が下流 側円柱の上面前部に再付着している.このタイミングの C_P(図 7(b)) を見ると、 θ =70° 付近に再付着による *C_P* の正圧方向の ピークがある.また、円柱の上面と下面とで圧力分布に非対称 性が見られる.特に、下面側の負圧が強く、これにより CLは負 の値(図5: t=835)となっている.なお,下流側円柱の後方に は明確な渦が発生しており、この影響により CLの変動が大きく なっている. さらに t=850 においては,図 6(c)に示すように上 流側円柱の剥離せん断層が下流側円柱の下面側にまわり込むギ ャップフローが発生している.このときの C_P (図7(c))は,剥 離せん断層の再付着点が円柱前面部(θ=10°付近)に位置す ることを示している.図7(b)と比べて再付着点に作用している 正圧は大きくなっている一方,表面圧力の非対称性は弱くなり, C_L の振幅は減少に向かう(図 5: t=850 近傍). また, このギャ ップフローが発生している間は下流側円柱の後方には明確な渦 の放出は見られず,流れ場の乱れが著しい(図 6(c)).以上のよ うに、ウェイクギャロッピングを励起する自励流体力には、上 流側円柱の剥離せん断層の下流側円柱への再付着ならびにギャ ップフロー化のプロセスが関与していると思われる.

参考文献

1)林健一,赤瀬雅之,井上浩男:並列ケーブル振動時における振幅依存性 について,第13回風工学シンポジウム論文集,pp245-250,1994.



- 図 6 y_s =0.5D のケースにおけるスパン中央断面 の瞬間渦度分布
- (a)上流側円柱のウェイクに下流側円柱が埋没している様子(t=827)
- (b)上流側円柱の剥離せん断層が下流側円柱に 再付着する様子(t=835)
- (c)上流側円柱の剥離せん断層が下流側円柱の 下部にまわりこむギャップフローが発生し ている様子(*t*=850)



図7下流側円柱の表面に作用する圧力の挙動
(a)図6(a)と同時刻におけるC_pの分布
(b)図6(b)と同時刻におけるC_pの分布
(c)図6(c)と同時刻におけるC_pの分布