

剥離流の変化がウェイクエクサイテーションに及ぼす影響

徳島大学大学院 学生会員 ○松川 将大 徳島大学 正会員 野田 稔
中電プラント株式会社 非会員 井上 真尋 徳島大学 フェロー 長尾 文明

1. はじめに

空力振動現象の1つとしてウェイクエクサイテーションが知られており、従来の研究では、並列円柱の上流側円柱が生成する後流が下流側円柱の空力不安定振動発現の原因であると考えられてきた。さらに下流側円柱の空力不安定振動が、お互いを取り巻く流れ、後流と円柱の相互位置関係に起因する流れの干渉¹⁾という要素からなっていることが知られており、今も研究が進められているが、この現象には未だに不明瞭な点が多い。そこで本研究では、この振動メカニズムを解明するために、並列円柱の下流側円柱の2自由度ばね支持応答実験を行った。また、円柱周りの流れ場を検討するために、円柱周りの風速分布の測定を行い、得られた風速のデータから乱れ強さを求めるとともに、さらに、並列2円柱間の流れの可視化実験を行った。

2. 実験概要

(1) 2自由度応答実験：並列円柱模型の配置状況を図-1に示す。並列円柱の直径を $D=42\text{mm}$ とし、2円柱の中心間距離が $L=3D(126\text{mm})$ となる位置に配置して応答実験を行う。測定するのは、下流側円柱の気流直交方向(鉛直)の変位 Y 、気流方向(水平)の変位 X 、吹流し距離 l (静的な空気力を受けることで無風時の下流側円柱の位置から有風時に移動した距離)を測定する。下流側円柱の支持状況は、図-2に示す。上下左右8本のばねで支持し、振動数 f を鉛直、水平方向共に 2.2Hz とし、両下端に設置したオイルダンパーを調節することで対数減衰率 δ を 0.007 (スクルートン数: $Sc = 2m\delta/\rho D^2 = 16.4$) で下流側円柱の応答実験を行う。

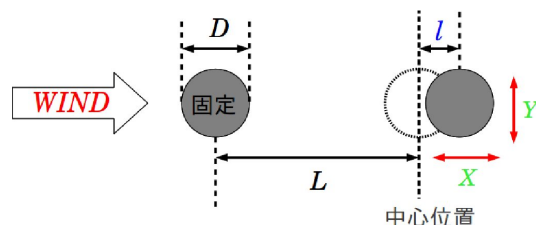


図-1 模型配置

(2) 円柱後流の測定：I型熱線プローブによって、基準風速が $U_0=1, 2, 3, 4, 5, 6, 9\text{m/s}$ の時の単独静止円柱後流の風速測定を行う。測定は円柱の中心点からの水平間隔 $x=1D \sim 5D$ の各断面において、 $y=3D$ の位置から $0.25D$ ずつ鉛直方向に下ろしていき、 $3D \sim -3D$ までの25点、計125点で行う。なお、風速データのサンプリング周波数は 1kHz 、サンプリング数は20,000個(評価時間: 20s)である。また、得られた風速のデータから乱れ強さ Iu を求めた。なお、 Iu は式(1)にて計算している。ここで、 $\bar{U}$ は平均風速、 σ_u は風速の標準偏差である。

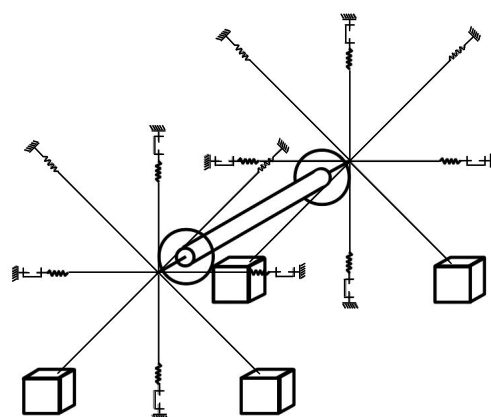


図-2 下流側円柱支持状況

(3) 並列2円柱間の流れの可視化実験：オイルミスト法を用いて煙を発生²⁾させ、サンプリングレートを 500fps 、シャッタースピードを 1.99msec に設定してある高速度カメラで、下流側円柱が振動中と静止した状態の並列2円柱間の流れを撮影して可視化実験を行う。

3. 実験結果及び考察

(1) 下流側円柱の応答：円柱表面が滑面の場合の下流側円柱の応答を図-3に、吹流し距離を図-4に示す。並列円柱の下流側円柱は2段階の不安定なリミットサイクル(UnstableLC)が伴うハードフラッター型の応答を示した。なお、今後リミットサイクルのことをLCと表記する。1段階目のLC(1st-StableLC)は倍振幅で $1D$ 程度の振幅が発生するが、風速の増加に対して振幅はほぼ一定を保ち、吹流しはほとんど発達しなかった。2段階目のLC(2nd-StableLC)は風速が増加するにつれて振幅が大きくなり、吹流し距離も急激に増加する。

$$Iu = \frac{\sqrt{\sigma_u^2}}{\bar{U}} \times 100 \quad (1)$$

(2) 円柱後流の流れ場: 応答実験での下流側円柱中心まで距離 $x/D=3$ における円柱表面が滑面の状態での円柱後流の風速分布と乱れの強さの測定結果を図-5, 図-6 に示す。まず, 図-5 の結果から $y/D=0$ 付近において風速比が非常に小さくなっていることが分かる。また, 風速比が 1 以下の範囲となる幅は, $2D \sim 3D$ 程度となっている。ここで図-3 を見ると, 倍振幅 $2Y/D=2 \sim 3$ というと 2 段階目の LC の倍振幅とほぼ一致することが分かった。

次に, 図-6 の結果から $y/D=0$ 付近において乱れ強さがかなり大きくなっていることが分かる。また, 乱れ強さのピークが $y/D=-0.5 \sim 0.5$ であり, この間隔が $1D \sim 1.5D$ 程度となっている。ここで図-3 を見ると, 倍振幅 $2Y/D=1 \sim 1.5$ というと 1 段階目の LC の振幅とほぼ一致していることが分かった。

続いて, 並列 2 円柱間の流れの可視化実験の結果を図-7, 図-8 に示す。なお, 下流側円柱の振動波形はほぼ正弦曲線を描いている。図-7 が円柱表面が滑面の状態で 1 段階目の LC 発生時の振幅の変位が気流直交方向最大(上死点)の結果であり, 図-8 が円柱表面が滑面の状態で 2 段階目の LC 発生時の振幅の変位が気流直交方向最大(上死点)の結果である。

まず, 図-7, 8 を比較すると, 1 段階目の LC が発生している場合はカルマン渦は発生せず, 2 段階目の LC が発生している場合は 2 円柱間に流れの巻き込みが発生しており, カルマン渦が発生していることが分かる。

次に, 図-7 と図-3, 4 とを比較すると, 1 段階目の LC が発生している場合の振動メカニズムとしては, ギャップフローが発生し, そのため自励振動が発生している。しかし, 風速の増加に対して振幅はほぼ一定を保っていることから, 上流側円柱の死水域内での振動であるために上流側円柱から剥離した流れの主流によって形成される空気の壁により振動が拘束されたと考えられ, 図-7 からその傾向が確認できた。

最後に, 図-8 と図-3, 4 とを比較すると, 2 段階目の LC が発生している場合に大振幅が発生する理由としては, 風速が大きくなったことで振幅が発達し 2 円柱間に流れ込む流れが多くなり下流側円柱が受ける励振力がさらに増加したことと, カルマン渦発生により上流側円柱の後流幅が広がった為に振幅が急激に増加したことが考えられる。

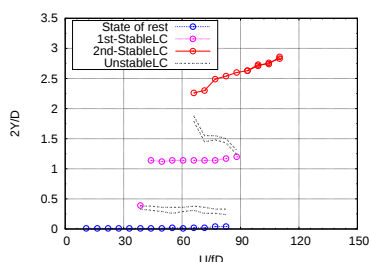


図-3 下流側円柱の鉛直倍振幅

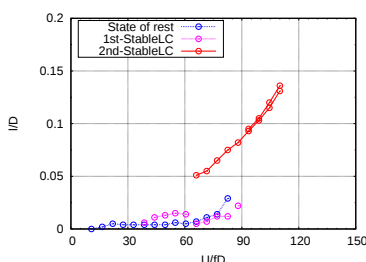


図-4 下流側円柱の吹流し距離

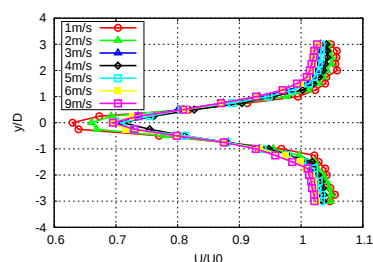


図-5 円柱後流の風速分布 ($x/D=3$)

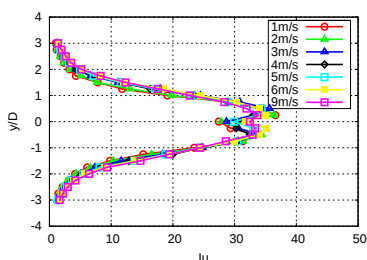


図-6 円柱後流の乱れ強さ ($x/D=3$)

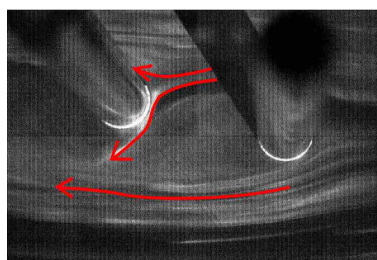


図-7 並列 2 円柱間の流れ (1 段階目の LC 発生時)

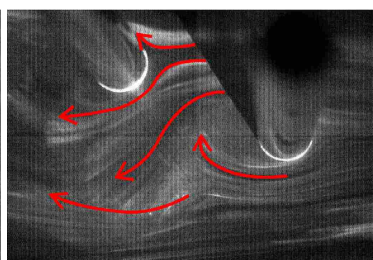


図-8 並列 2 円柱間の流れ (2 段階目の LC 発生時)

4. おわりに

以上の結果が得られたが, リミットサイクルの発生要因などは今回の検討だけでは明確にできなかった。今後はより詳細な流れの可視化実験, 並列 2 円柱間の流れと励振力の関係を検討していく事で, 大振幅振動の発生原因を理解し, ウェイクエクサイテーションの制振対策を考える必要がある。

5. 謝辞

本研究は, 科学研究費補助金・基盤研究 (C) 2256048000 の助成を受けたものであり, 記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 宇都宮英彦 “接近する並列円柱系の空気力学的挙動”, 土木学会論文集, pp.1-8, 1983.
- 2) 和田浩行 “2 自由度強制加振法によるウェイクエクサイテーション発現機構に関する研究-流れ場と非定常空気力による考察-”, 徳島大学工学部 修士論文 平成 20 年。