

ウェイクエクサイテーションのレイノルズ数依存性に関する研究

徳島大学大学院 学生会員 ○井上 真尋 徳島大学 正会員 野田 稔
 徳島大学 正会員 宗田 和之 徳島大学 正会員 長尾 文明

1. はじめに

並列円柱の大振幅振動をもたらす空力振動現象の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、今も研究が進められている。従来の研究により、剥離のレイノルズ数依存性や応答の振動数依存性が指摘されているが、ウェイクエクサイテーションの振動メカニズムは未だに不明瞭な点が多く、明確にされていないのが現状である。そこで本研究では、並列2円柱の下流側円柱を2自由度ばね支持し、対数減衰率、振動数、レイノルズ数等を変化させ、応答実験を行い、並列2円柱の下流側円柱の応答がどのようなパラメータに影響を受けているのかを検討した。

2. 実験概要

模型の配置状況を図-1に示す。並列2円柱の直径 $D=42\text{mm}$ とし、2円柱の中心間距離が無風時に $L=3D(126\text{mm})$ となる位置に配置して応答実験を行う。このとき、応答は鉛直変位 Y 、水平変位 X 、吹流し距離 l (下流側円柱が静的な空気力を受けることで中立軸が移動した距離) を測定する。下流側円柱は図-2の様に支持し、両下端に設置したオイルダンパーを調節して対数減衰率 δ を0.003, 0.007, 0.015 と変化させた。また、下流側円柱を支持している上下左右4方向のばねを変更して、鉛直、水平方向の固有振動数 f を1.7Hz, 2.2Hz, 2.7Hz と変化させて、各対数減衰率と振動数の条件の組み合わせによる応答実験を行う。加えて、レイノルズ数 Re を変化させた実験も行う。ここでは円柱に粒度が100番のサンドペーパーを貼り付け、円柱表面に粗度を付けることで見かけのレイノルズ数を大きくし、応答の変化を観察した。

また、下流側円柱でのレイノルズ数の変化による影響を詳しく検証するために、上流側円柱を角柱に置き換えた実験も行った。上流側に角柱を用いる手法は宇都宮らによって採られており¹⁾ 上流側の模型を単なる後流発生源と見なし、上流側のレイノルズ数の影響を除いて検証を行うために角柱を用いている。さらに、下流側円柱にのみ100番と80番のサンドペーパーを貼り、より詳しくレイノルズ数の変化による影響を検証した。また、それぞれの粒度条件において円柱単体の抗力を計測し抗力係数 C_d を算出した。抗力の計測では、風速と吹流し距離の関係から抗力係数を求めた。

3. 実験結果及び考察

(1) 下流側円柱の応答

紙面の都合上、 $f=2.2\text{Hz}$ 、 $\delta=0.015$ の条件の実験結果を図-3(a)、図-3(b)に示す。並列2円柱の下流側円柱は2つの異なる振幅領域に不安定なリミットサイクルが伴うハードフラッター型の応答を示した。1段階目の安定なリミットサイクル(Group B)は倍振幅で $1D$ 程度の振幅が発現するが、風速が大きくなっても振幅はわずかにしか発達せず、吹流し距離もほぼ0になった。この原因としては、空力振動が発生しているが、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の剥離流れの主流により風軸直交方向の振動が拘束されたことが考えられる。2段階目の安定なリミットサイクル(Group A)における応答は風速が大きくなるに連れて振幅が大きくなり、吹流し距離も急激に増加する。これは風速が大きくなったことで振幅が発達しギャップフローが起き、下流側円柱に揚力と抗力が作用し、揚力により円柱の振動方向に空気力が生まれて励振力がさらに増幅され振幅が大きくなり、外部流によって生じる抗力によって吹流し距離が大きくなったものと考えられる。

(2) 対数減衰率の変化による影響

紙面の都合上、結果を掲載できないが、対数減衰率が大きくなるほど振幅が小さくなっていった。特に2段階目の安定なリミットサイクルにおける応答に対数減衰率の影響が大きく出ており、減衰の増加による応答低減が確認できた。

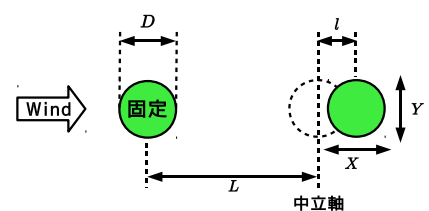


図-1 模型配置

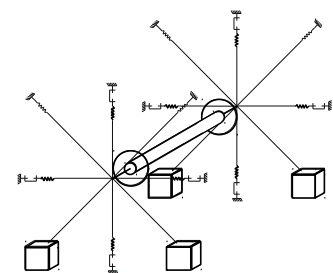


図-2 下流側円柱の支持状況

(3) 振動数の変化による影響

$\delta=0.015$ で, f を変化させた場合の実験結果を図-3(c) に示す. 振動数が大きいほど, 1 段階目の安定なりミットサイクルから 2 段階目の安定なりミットサイクルに移行するときの無次元風速が小さくなった. すなわち, 並列 2 円柱の応答は振動数に依存していることが分かった. 振動数に依存しているということは同じ無次元風速で比較する場合, 振動数によって風速を変化させなければならなく, これによりレイノルズ数が変化する. すなわち, この振動数依存性はレイノルズ数によって上流側円柱の剥離点や後流の特性が変化する, レイノルズ数依存性と考えられることもできる.

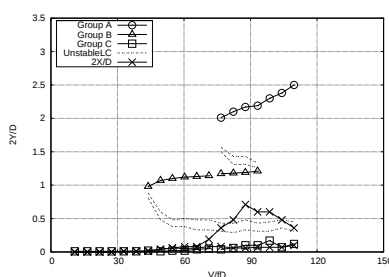
(4) レイノルズ数の変化による影響

$f=2.2\text{Hz}$, $\delta=0.015$ の条件で円柱表面に粗度を付けた場合の結果を図-3(d) に示す. 見かけのレイノルズ数を大きくすることで, 振幅が大きくなった. 特に, 2 段階目の安定なりミットサイクルの応答において振幅が著しく大きくなっている. これはレイノルズ数が大きくなったことで, 上流側円柱後流の幅が大きくなり, 応答が大きくなったと推測される.

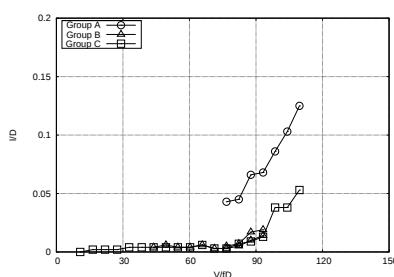
(5) レイノルズ数の変化による影響 (上流側角柱)

上の実験結果からウェイクエクサイテーションのレイノルズ数依存性を確認することができたが, これは主に見かけのレイノルズ数が大きくなったことで上流側円柱のウェイク幅が大きくなったことが原因だと考えた. しかし, 下流側円柱のレイノルズ数の変化による影響をはっきりと確認することはできなかった. そこで今度は下流側円柱での影響を詳しく検討するために, 上流側円柱を角柱に置き換えて実験を行った.

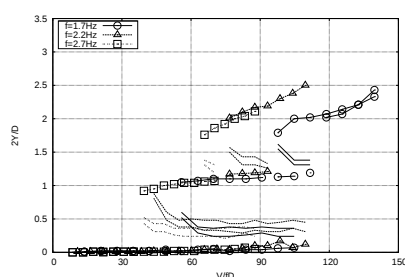
応答実験の結果を図-3(e) に, 抗力係数の計測結果を図-3(f) に示す. 上流側が角柱の場合, 不安定なりミットサイクルは存在せず, 円柱表面の粗度が大きいほど振幅が大きくなる傾向が見られた. また, 抗力係数の計測結果は低レイノルズ数領域ではデータにばらつきがあるため, 高レイノルズ数領域での抗力係数に注目して比較すると, 粗度が大きいほど抗力係数が大きく, 1.25 付近でほぼ一定の値になることが確認できた. これは円柱表面に粗度を付けることで, 今回の実験で計測したレイノルズ数領域より, さらにレイノルズ数が高い領域での円柱表面が滑面の場合の応答が, 相対的にレイノルズ数の低い領域に遷移したと考えた. これらの結果から, 見かけのレイノルズ数が変化することで, 下流側円柱の剥離流の幅が大きくなったことにより, 下流側円柱の受ける空気力が大きくなり, 振幅が大きくなったと考えられる.



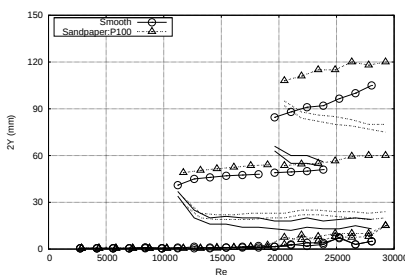
(a) V-A 図 ($f=2.2\text{Hz}$, $\delta=0.015$)



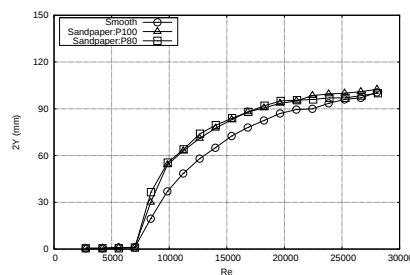
(b) 吹出し距離 ($f=2.2\text{Hz}$, $\delta=0.015$)



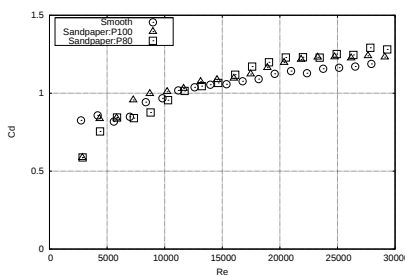
(c) 振動数の変化による影響



(d) レイノルズ数の変化による影響



(e) 上流側が角柱の場合



(f) 下流側円柱の抗力係数

図-3 実験結果

4. おわりに

今回の研究で以上の結果が得られたが, ウェイクの幅についての記述などは, 推測の域を出ず, さらに詳しい検証が必要である. そのためにはウェイクの形状を把握するために, 流れの可視化の実験や, 風速分布の測定などの実験を行い, その結果を含めた上で再検討する必要がある.

参考文献

- 1) 宇都宮英彦 他, “角柱後流の作用による円柱の空力振動特性に関する研究”, 第 17 回風工学シンポジウム論文集, pp.309-314, 2002.