

可視化画像の周波数解析による円柱周りの流れ場の評価

徳島大学大学院 学生会員 大西 慎也 徳島大学 正会員 野田 稔
 非会員 松川 将大 徳島大学 フェロー 長尾 文明

1. はじめに

並列円柱の空力振動現象の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、その発生には風上側に配置された円柱からの剥離流が関係していると考えられている。この発生機構は未だ明確ではない。この振動メカニズムを解明する為に、本研究では並列2円柱周辺での可視化実験を行った。従来での瞬間的な流れ場の可視化画像からは、下流側円柱の応答に影響を与える上流側円柱からのカルマン渦に関する議論が難しかった。本研究では可視化実験で得られた可視化画像の輝度値を用い、周波数解析を行うことでカルマン渦に関する議論を行う。

2. 実験概要

(1) 実験条件：並列円柱模型の配置状況を図-1に示す。実験に使用する円柱は写真-1に示すように、表面を滑面またはメッシュにしたものである。円柱の直径は、滑面の状態が $D=42\text{mm}$ 、メッシュを取り付けた状態が $D'=44\text{mm}$ である。上流側円柱は固定し、下流側円柱は2自由度バネ支持によって設置し、鉛直、水平方向共に振動数 $f=2.2\text{Hz}$ とし、対数減衰率 $\delta=0.007$ に設定している。各円柱表面での粗度長は、松川らの研究¹⁾より滑面が 0.0025mm メッシュが 0.2007mm となっている。

(2) 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させ、サンプリングレートを 500fps 、露光時間を 1.990msec に設定した高速カメラで、下流側円柱が振動時での円柱間の流れ場の撮影を行う。上下流の円柱表面は滑面とメッシュを取り付けた状態で行った。ここで、松川らの研究¹⁾から得られた滑面及びメッシュを取り付けた応答図を図-2に示す。応答図より、表面状態が滑面とメッシュで応答の違いが大きくなっている、風洞風速 4m/s (換算風速、滑面 $U/fD=43$ 、メッシュ $U/fD'=41$)で可視化実験を行う。

3. 画像解析の概要

今回は可視化実験により得られた画像の輝度値を使用して流れ場の評価を行う。以下に、輝度値を使用した輝度の標準偏差 σ_k 、周波数解析 K_f の式を示す。式中の $K(x, y, t)$ は図-1に示す輝度値の座標関係から、 t 枚目の座標 $x(0 \sim 767)$ 、 $y(0 \sim 511)$ の輝度値を表し、 n は使用画像枚数を表し、今回は1024枚を使用した。周波数解析結果では無次元周波数 $fD/U=0.2, 0.4$ のカルマン渦とその交差成分を求め、結果をカラーマップで表現する際には、それらの前後4成分の振幅スペクトルの平均を行った。また、輝度標準偏差では各座標での平均輝度で割り、周波数解析結果は平均輝度で割られていない輝度標準偏差で割ることで標準化している。

$$(1) \sigma_k(x, y) = \sqrt{\sum_{t=1}^n \frac{\{K(x, y, t) - K_{ave}(x, y)\}^2}{n}} \quad (2) K_f(x, y, fD/U) = \sum_{t=1}^n \{K(x, y, t) - K_{ave}(x, y)\} \exp(-i2\pi t fD/U)$$

4. 画像からの流れ場の評価

(1) 輝度の標準偏差による流れ場評価：円柱表面が、滑面またはメッシュとした際の輝度の標準偏差の分布を図-3、図-4に示す。ここで、図中の黄色の丸線は円柱の断面を表す。両者の図を比較すると、図中の破線に示すよう

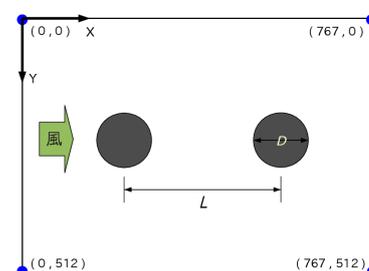


図-1 撮影画像座標関係

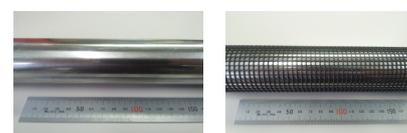
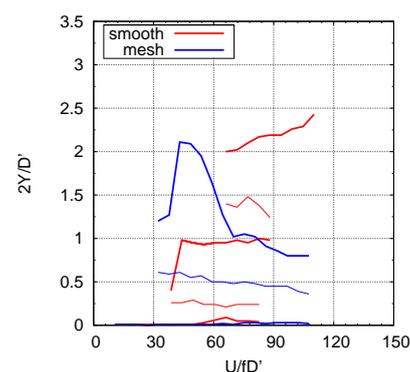
(a) 滑面 (b) メッシュ
写真-1 実験で用いた円柱表面

図-2 滑面 メッシュ応答図

に滑面の結果では上流側円柱からの剥離流による乱れ成分と死水域との境界が明瞭であるのに対し、メッシュを取り付けたものでは境界が明瞭ではない。この結果は、表面にメッシュを取り付けることによって、上流側円柱からの剥離流が円柱間の様々な位置で巻き込んでいるということが考えられる。そのため、メッシュでは剥離流による乱れ成分と死水域とが明瞭に分けることができないと考えられる。以上より、表面にメッシュを取り付けることによる上流側円柱からの剥離流の2次元性が壊されたことや、メッシュによる上流側円柱からの剥離流の乱流化の促進効果を表しているものと考えられる。この上流側円柱の剥離流の円柱間への巻き込み方の違いが下流側円柱の応答に影響を与えていると考えられ、特に応答に影響を与える上流側円柱から放出されるカルマン渦に関しては以下の周波数解析で述べる。

(2) 輝度の周波数解析による流れ場の評価: 円柱表面が滑面とメッシュを取り付けたものでの平均振幅スペクトルを求めた。ここでは、滑面とメッシュを取り付けたものでの上流側円柱からのカルマン渦成分である無次元周波数 $fD/U = 0.2$ の結果を図-5、図-6 に示し、その交差成分である $fD/U=0.4$ の結果を図-7、図-8 に示す。カルマン渦成分である無次元周波数 $fD/U=0.2$ の結果を比較すると、表面にメッシュを取り付けたものの方が、上流側円柱背後の後流域が狭いことが分かる。これは、図中の矢印で示すようにメッシュを取り付けることによって、渦の巻き込みの安定性が低くなったのではないかと考えられる。円柱表面にメッシュを取り付け、その突起により上流側円柱の上下縁の剥離点の対称性を崩し、剥離流の2次元性が崩された結果、カルマン渦の形成に影響を与えているのではないかと考えられる。カルマン渦の交差成分である無次元周波数 $fD/U=0.4$ の結果から、図中に黒線で囲っている領域に注目すると、表面にメッシュを取り付けたものの方が成分の均一性が高い。このことからカルマン渦の交差が様々な位置で行われていることが考えられる。これは円柱表面のメッシュの突起によって、カルマン渦の規則性が壊された可能性が考えられ、その結果カルマン渦の交差が広範囲で分布しているのではないかと考えられる。このカルマン渦の規則性の低下が、輝度の標準偏差結果から得られた上流側円柱背後の後流域が明瞭ではない原因ではないかと考えられる。

5. おわりに

以上の結果が得られ、円柱表面が滑面よりもメッシュを取り付けた場合の方が、円柱間の流れ場は乱れていると評価ができた。この円柱間の乱れが、下流側円柱の応答に影響を与えていると考えられる。また、瞬間的な流れ場では難しかった可視化画像からのカルマン渦に関する議論が、本研究の周波数解析を用いることで議論が行えるようになったと考えられる。以上のような結果が得られたが、表面粗度による円柱間の乱れと下流側円柱の応答との明確な関連性についてはまだ議論の余地があり、下流側円柱の応答には、上流側円柱からの剥離流の影響だけでなく、下流側円柱からの剥離流の影響も受けていると考えられる。そのため、今後は下流側円柱からの剥離流に焦点を当てていく必要がある。

参考文献

- 1) 松川将大 他 “円柱の表面粗度の変化がウェイクエクスパネーションに及ぼす影響” 土木学会第 67 回 年次学術講演会 p621-622.

