

A 3 0 5 円柱後流における  $1/f$  周波数成分の可視化

牛島 央智<sup>○</sup> (山形大学・院), 李鹿 輝 (山形大学), 齋藤 兆古 (法政大学・院)

Visualization of Frequency Component in a Cylinder Wake

Hisatomo USHIJIMA, Akira RINOSHIKA and Yoshifuru SAITO

ABSTRACT

The flow phenomena are almost unsteady and have time fluctuating components. Frequency analysis of this time fluctuation component leads to the famous “1/f fluctuation” characteristic that exhibits the turbulent characters. It's contemplated that vortex frequency of cylinder wake has 1/f-fluctuation frequency. Our purpose of this paper is to apply the method of frequency characteristic extraction to dynamic images of cylinder wake. As a result, the major frequency of cylinder wake is extracted, and the precise frequency characteristic of cylinder wake is visualized.

Keywords: Cylinder wake, 1/f-fluctuation frequency, Visualization

1. 結論

流れの中に置かれた物体の後方にはカルマン渦と呼ばれる規則的な渦列が発生することは周知の事実である。このカルマン渦は構造物の振動や疲労破壊の原因となっている。本研究では物体後方流れのカルマン渦が持つ周波数に着目し、この周波数を動画解析により調べる方法を提案する。他方、我々人類の住む地球には雲の流れやろうそくの炎などのように様々な自然現象が見られるが、このような現象は固有の周波数特性を持っている。これらの自然現象の持つ周波数特性は「 $1/f$  ゆらぎ」と呼ばれるが、「 $1/f$  ゆらぎ」の特徴として人類にとっての癒しや安らぎの効果をもたらすことがあげられる<sup>1)</sup>。このような「 $1/f$  ゆらぎ」は流体中にも存在することが考えられるが、円柱後流における  $1/f$  周波数成分を知ることは有意義である。本研究では円柱後方流れのこれらの周波数解析を行い、円柱後方流れにおける周波数特性及び  $1/f$  周波数成分の可視化画像を作成する。

2. 理論

2.1  $1/f$  ゆらぎとは

「 $1/f$  ゆらぎ」とは自然界の様々な現象で見られる周波数成分である。このような  $1/f$  周波数成分を調べる具体的な方法は、まず動画の各画素の成分を時間軸方向に離散フーリエ変換することにより各周波数に対するパワースペクトラムを計算する。ここで周波数の低下と共にパワースペクトラムが増加するような信号の中でパワースペクトラムの振幅が周波数に対して反比例する

信号を  $1/f$  周波数成分と呼ぶ。具体的にはフーリエ・パワースペクトラム対周波数の両対数グラフを描き、グラフの傾きによってゆらぎの種類を大別できる。このような方法を用いて、ある現象の  $1/f$  周波数成分を調べる。Fig. 1において、直線の傾きが0の場合は主にホワイトノイズである。また、直線の傾きが急になるほど単調な信号である。そしてホワイトノイズと単調な信号の中間的な信号で傾きが約-1の信号を「 $1/f$  ゆらぎ」と呼ぶ。

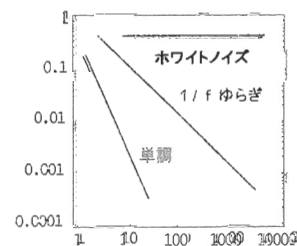


Fig. 1 Typical Sample Power Spectra

2.2 動画解析による周波数特性解析

高速ビデオカメラにより撮影された動画を計算機に取り込み、動画の各画素ごとの成分を時間軸方向に離散フーリエ変換することにより、各画素ごとのパワースペクトラムを計算する。視覚的に分かりやすくするために、フーリエ・パワースペクトラムと各周波数をそれぞれ、縦軸と横軸に対応させ、Fig. 2に示すような両対数グラフとして求める。両対数軸上に描かれた曲線へ累乗近似を適用し、回帰直線の傾きを求める。ただし、DF

Tスペクトラムは全サンプル数の半分までであり、さらにDFTの精度を勘案して、全サンプル数の1/4項までの低周波領域から傾きを求める。

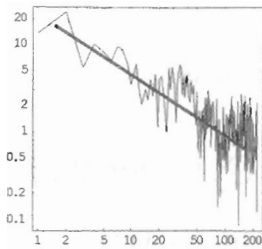


Fig. 2 Power Spectrum of Fluctuation

### 2.3 累乗近似

Fig. 2に示した動画像解析により求めたパワースペクトラムより傾きを求める方法は以下の通りである。パワースペクトラムがn次の数値配列で構成されているとすると、Fig. 2のパワースペクトラムは式(1)で表される。

$$f = [y_1, y_2, y_3, \dots, y_n] \quad (1)$$

式(1)で示したパワースペクトラムの数値配列を両対数グラフで表したときの傾きを求める方法として、本研究では累乗近似を用い、直線に回帰させる。

## 3. 応用

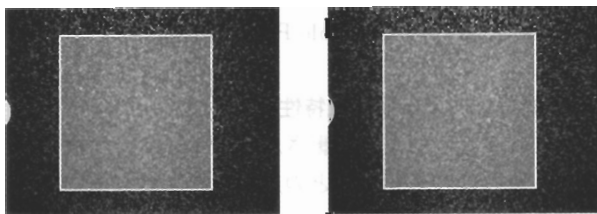
### 3.2 円柱後流における周波数特性

#### 3.2.1 実験条件

円柱後流の可視化実験の実験条件は以下の通りである。円柱の直径  $d=35$  mm、前方の流速は 0.16, 0.29 m/s で、レイノルズ数はそれぞれ 4900, 8900 となっている。また動画像の撮影速度は 1/250 s である。

#### 3.2.2 動画像の周波数解析

円柱後流の可視化動画像の画像ごとの各画素の成分を時間軸方向に離散フーリエ変換することにより、各周波数に対するパワースペクトラムを求める。このパワースペクトラムを累乗近似することにより、傾きを求める。Fig. 3に2種類の円柱後流の可視化画像を示す。



Re =4900 Re =8900  
Fig. 3 Visualization images of cylinder wake

この円柱後流の可視化動画像のフレーム画像の渦

発生部分を含む 600×600(pixel)の画像(白枠部分)を切り取り、解析を行う。さらに各フレーム画像の各画素成分を時間軸方向に離散フーリエ変換し、各周波数に対するパワースペクトラムを求める。Fig. 4は各周波数に対するパワースペクトラムの傾きの分布である。Fig. 4より流体速度の低い方が円柱後流の渦中に  $1/f$  周波数成分(画像の黒の部分)を多く含んでいることが分かる。さらにFig. 5に  $1/f$  周波数成分のみを示した画像を示す。可視化画像における白色の部分に円柱後流の  $1/f$  周波数成分を表わす。

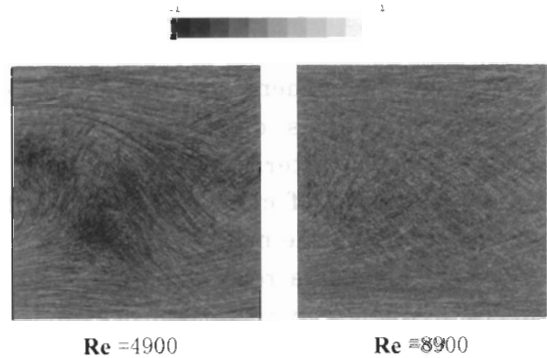
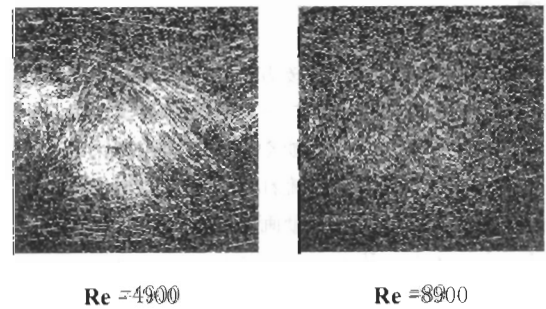


Fig. 4 1/f-fluctuation frequency of cylinder wake



Re =4900 Re =8900  
Fig. 5 1/f-fluctuation of cylinder wake

## 4. 結論

本研究では、円柱後流の可視化動画像を用いて、渦周波数に含まれる  $1/f$  周波数成分について考察を行った。結果、流体速度が低速のほうが渦に含まれる  $1/f$  周波数成分を多く含んでいることが分かった。今後、このような周波数解析により円柱後流の渦構造のさらなる解析が期待できる。

### 参考文献

- 1) 寺西 正晃, 丸山 和夫, 早野 誠治, 齋藤 兆吉, 堀井 清之, 自然界の画像が持つ  $1/f$  周波数成分の可視化, 可視化情報学会誌, vol. 25, No. 1(2005).