

離散ウェーブレット自己相関法を用いたスパイラルフローの解析

加藤 浩一 (日本大学) [○], 武居 昌宏 (日本大学), 越智 光昭 (日本大学)
 李 輝 (鹿児島大学), 齋藤 兆古 (法政大学), 堀井 清之 (白百合女子大学)

Spiral Flow Analysis with Discrete Wavelets Auto-Correlation

Koichi KATO, Masahiro TAKEI, Mitsuaki OCHI
 Hui LI, Yoshifuru SAITO and Kiyoshi HORII

ABSTRACT

Time-frequency distribution of axial velocity of spiral flow has been clearly obtained by discrete wavelet transform and multiresolution analysis. As a result, both of the low frequency level and high frequency level of the spiral flow are lower than those of the typical turbulence flow. It means that the turbulence level of the spiral flow is dramatically lower than the typical turbulence flow. Moreover, the dominant frequency level to lower the turbulence level of spiral flow is clarified. The originality of this paper lies in applying discrete wavelet transform and its multiresolution analysis to analyzing the spiral flow.

Keywords : Spiral Flow, Discrete Wavelet Transform, Auto-correlation

1. 緒言

筆者らは、固体粒子の空気輸送方式において特殊な旋回流であるスパイラルフローの研究を行っている¹⁾。そのスパイラルフローの生成メカニズムや、長距離旋回持続性のメカニズムなどの解明のために乱れ速度の解析する必要がある。従来、乱れ速度の解析にはフーリエ解析が行われてきた。フーリエ解析は、信号をすべて周波数領域に変換してしまうため、時間情報が失われてしまう欠点があった。このような問題を解決する手段として、ウェーブレット変換がある。ウェーブレット変換は時間領域と周波数領域にまたがって解析可能であり、乱れ速度の周波数の時間に対する変化や、渦の速度変動の階層構造をとらえるのに有効な手段といえる。

本報では、離散ウェーブレット変換を用いた多重解像度自己相関を新しく提案し、それをスパイラル管内流と通常乱流の解析に適応し、その支配的な周波数成分を抽出し比較することでスパイラルフローの特性を把握することを目的としている。

2. 実験

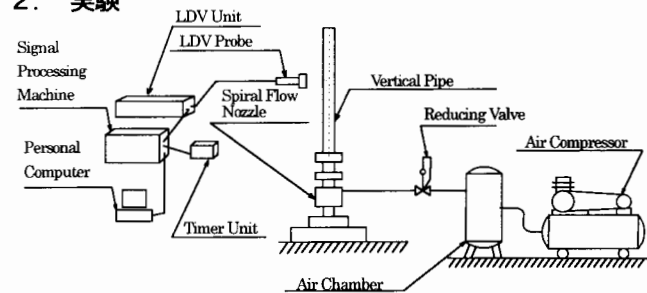


Fig. 1 Experimental equipment

本実験に使用した実験装置を Fig. 1 に示す。測定にはレーザードップラ流速計(Laser Doppler Velocimeter; LDV)を用いて軸速度を測定した。空気源にはエアコンプレッサを用い、水蒸気をトレーサーとして管路下方から供給した。スパイラルフロ

ー生成に関しては、特殊形状のスパイラルフローノズルを用い (Fig. 2)、ノズルの横から空気を、下方からトレーサーを供給した。このノズル内では、自由渦領域の大きな旋回流が生成される²⁾。また、通常乱流生成に関しては、そのノズルと同一の内部形状で下方から空気とトレーサーを供給した。供給空気量は $0.00482\text{m}^3/\text{s}$ で、レイノルズ数は約 10,000 であった。管路は内径 41mm であり、測定はLDVにより、ノズル出口から高さ 0.15m の地点で管中心部から管壁付近まで 3mm おきに 8 点計測した。LDVにはタイマーユニットが付けてあり、1ms(1000Hz)ごとに $1024(=2^{10})$ 個のサンプリングを行った。

Fig. 3, 4 は、流速測定で得られた波形に対して、それぞれの時間の平均軸速度で無次元化した無次元乱れ速度波形 v' である。

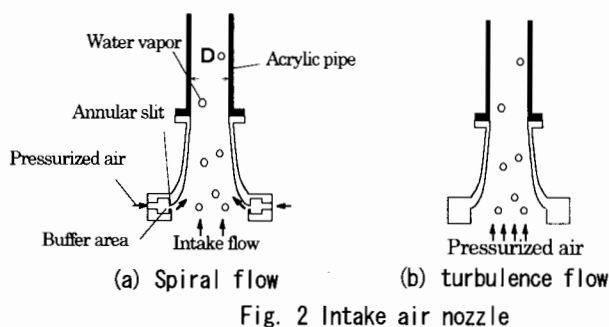


Fig. 2 Intake air nozzle

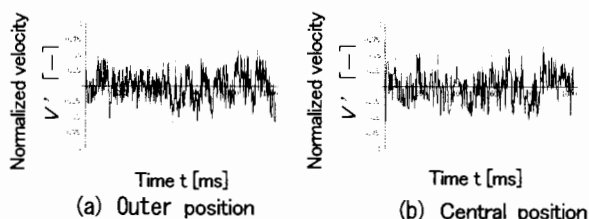


Fig. 3 Axial turbulence velocity of spiral flow

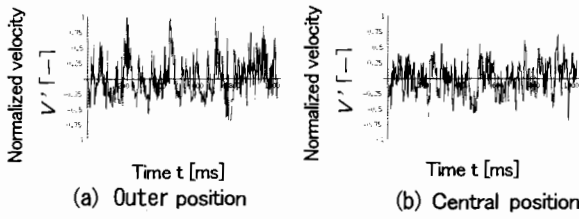


Fig. 4 Axial turbulence velocity of turbulence flow

3. 解析方法

まず, Fig. 3, 4の乱れ速度波形について離散ウェーブレット変換を用いた多重解像度解析を行う³⁾. 基底関数には20次のドビッシー(Daubechies)正規直交関数を用い, 解析対象時間は, 1024×1/1000[s]とした. ここで, 各周波数波形ごとの周期性を見るために

$$R(\tau) = \frac{\overline{v'(t)v'(t+\tau)}}{\sqrt{\overline{v'(t)^2}} \cdot \sqrt{\overline{v'(t+\tau)^2}}}$$

を用いて自己相関関数 $R(\tau)$ をとる. $v'(t)$ は無次元乱れ速度であり, $v'(t+\tau)$ は時間 τ だけ遅れた波形である.

4. 解析結果と考察

Fig. 5, 6はFig. 3, 4の無次元乱れ速度波形について多重解像度解析を行い, 各周波数レベルに分解した2次元波形に対して自己相関関数をとったものである. ここで, Level0のおおよその中心周波数は7.81Hz, Level1は15.63Hz, Level2は31.25Hz, Level3は62.5Hz, Level4は125HzおよびLevel5は250Hzを表す. 自己相関係数 R の+0.25以上を白, -0.25以下を黒, それ以外を灰色の3色で表示している. 白と黒が連続的に現れているところをドミナントなLevelとする.そして, 記号Dはドミナントな領域を示している. Fig. 5のスパイラルフローにおいて, 管壁付近では, Level0, 1の領域, 管中心部では, Level3の領域においてドミナントな特徴がみることができ, 管壁付近から管中心部にかけて, ドミナントな成分がLevelの低い領域から高い領域へシフトしたと考えられる. 一方, Fig. 5の通常乱流においては, ドミナントな周波数領域が不規則に現れている.

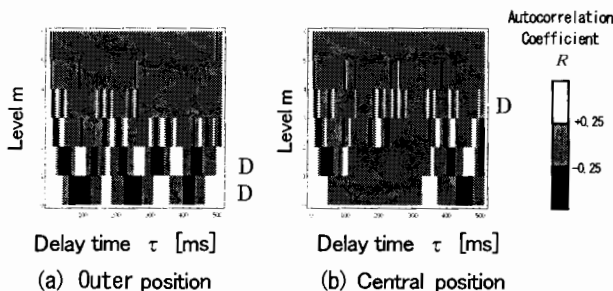


Fig. 5 Binary autocorrelation of spiral flow

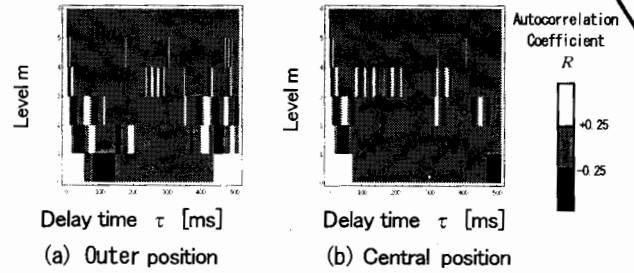


Fig. 6 Binary autocorrelation of turbulence flow

一般的に, 低周波数成分の渦は, 管壁周辺の乱流境界層で生じ, 分解合体を繰り返しながら, 管路内を輸送される. 以上の結果から, スパイラルフローの渦の遷移は, Fig.7に示したように模式的に推測することができ, この図に示したように, スパイラルフローの半径方向の規則的な流れがその時間周期性に寄与し, 管壁周辺に生じた低周波数成分の渦が, その半径方向の規則的な流れにより, 管路内部に輸送され, その過程で分解が生じ, 管路中心付近では, より高周波成分の時間周期性が現れてくると思われる. しかしながら, 漸縮小乱流ではこのような半径方向の流れは存在せず, したがって, その時間周期性も現れてこないと考えられる.

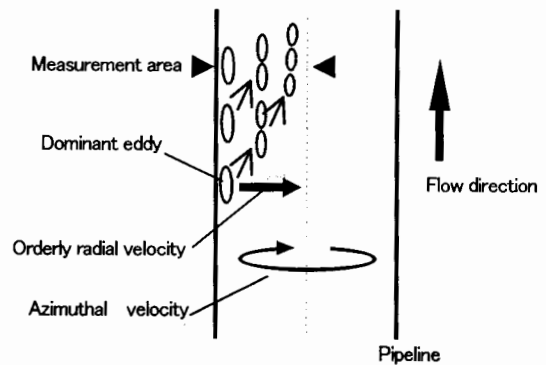


Fig. 7 Image of turbulence transition in Spiral flow

5. 結言

スパイラルフローと通常乱流の軸乱れ速度について, 離散ウェーブレット自己相関法を用いた解析を行い, 周波数帯域別に互いを比較した. その結果, スパイラルフローの低周波数帯は, 管壁付近でその時間周期性が現れ, 管中心では, その時間周期性は高周波数帯に遷移することを確認した. これは, スパイラルフローの半径方向の規則的な流れがその時間周期性に寄与していると思われる. 一方, 漸縮小乱流ではそのような時間周期性は現れてこない. これは, 漸縮小乱流では, このような半径方向の流れは存在しないことに起因すると考えられる.

参考文献

- 1) Horii, K., (1990), Mechanical Engineering - ASME, Vol.112, No.8, pp68-69
- 2) Takei, M. et al., FEDSM98-4824, (1998)
- 3) 斎藤兆古, 電気学会論文誌A, Vol. 116A, No10 (1996) 833-839