田畑 隆英[○] (鹿児島高専), 中島 正弘 (鹿児島高専)
李 輝 (鹿児島大学), 野崎 勉 (鹿児島大学)

Wavelet Analysis Applied to Circular Wall Jet

Takahide TABATA, Masahiro NAKASHIMA, Hui LI and Tsutomu NOZAKI

ABSTRACT

In this report, the wavelet intermittency based on wavelet transform is newly applied to reveal the intermittent phenomenon of the circular jet issuing along the cylinder wall. The wavelet intermittency provides simultaneously the information of intermittency over a time and period region. The flow structure of the wall jet was clarified using the wavelet intermittency, comparing with that of the plane wall jet.

Keywords: Wall jet, Turbulent flow, Wavelet analysis, Intermittency, Visualization

1. 結 論

壁面に沿って流出する噴流は広く工学的に応用されており, この壁面噴流に関する研究も多くなされている. 著者らは大口径円管の内壁または円筒形物体の外壁に沿い, しかも軸方向に流出する円形噴流に関する研究を行っている. ここでは, 前報¹⁾に引き続き, 噴流の間欠現象を明らかにするために, 間欠ウェーブレット係数を新たに適用し, 円筒形物体の外壁に沿って流出する噴流と平板壁に沿って流出する噴流との相違を比較したので報告する.

2. 実験装置および方法

本研究で用いた実験装置の概略を図1に示す. 送風機からの空気は, 鎮静胴を通り, 内径 $d = 20$ mm の円管から直径 $D = 500$ mm, 長さ 1000 mm のアクリル樹脂製円管の外壁面に沿って流出する. 速度の測定には I 形および X 形熱線センサーと定温度形熱線流速計を用いた. なお, 空間相関などの測定の場合には X 形センサー 2 本と熱線流速計 2 台を用いた. 本実験において円管出口における最

①Blower ②Plenum chamber ③Circular pipe ④Cylindrical wall
⑤Hot wire sensors ⑥CTA systems ⑦Personal computer ⑧CD unit

Fig. 1 Experimental apparatus

大速度 U_0 と d を用いて表したレイノルズ数は約 4.02×10^4 である.

流れのモデルと座標系を図2に示す. 噴流が流出する円管出口の壁面上に座標原点 o をとり, 各座標軸 x, y, z を図のようにとる. また, 各軸方向の速度成分を u, v, w とし, 半値幅などの各特性量を図のようにとる.

3. ウェーブレット間欠係数

間欠係数は, 乱流に含まれる渦塊の通過する時間とそうでない時間の比で定義されているが, 一般にそれを求めることは困難であり, かつ間欠現象のスケールの情報を得ることはできない.

そこで, 本研究では流れの大規模構造に含まれる間欠現象のスケールと出現時間を調査するために, 式(1)で示される Farge²⁾が提案したウェーブレット間欠係数

$$WI(b,a) = \frac{|Wf(b,a)|^2}{\int_x |Wf(b,a)|^2 dt} \quad (1)$$

を新たに適用した. このウェーブレット間欠係数 $WI(b,a)$

Fig. 2 Schematic model

は, 平均のスペクトルに対する任意のスケール a および位置 b における瞬間のエネルギーの割合を示す. なお, 本研究におけるウェーブレット変換 $Wf(b, a)$ およびアナライジングウェーブレットの定義については, 既報³⁾に詳しく述べられているので, ここでは省略する.

4. 実験結果および考察

噴流の間欠現象を調べるために, 下流位置 $x/d = 40$ の測定点における速度変動成分 u' のウェーブレット間欠係数 $WI(a, t)$ を求めた. 平板壁面噴流および円筒壁面噴流のウェーブレット間欠係数をそれぞれ図3および図4に示す. 上図において横軸は時刻 t , 縦軸は周期 a , そしてカラーの変化は $WI(a, t)$ の大きさを示す. また, 下図に速度変動波形を示す.

図3に示す平板壁面噴流において, 赤で示す $WI(a, t)$ のピークは, $a = 0.1$ s かつ $t = 0.8 \sim 1.2$, $2.2 \sim 2.5$ s に間欠的に現れ, 両者とも 0.2 s 程度持続している. また, $a = 0.04 \sim 0.05$ s において 0.1 s 程度持続するピークが 2, 3回連続して現れでは消えるという現象を間欠的に繰り返している. すなわち, 2つの周期成分を有する変動が, 計測点を間欠的に通過していることを示している.

一方, 図4に示す同じ下流位置における円筒壁面噴流の場合, $WI(a, t)$ のピークは $a = 0.14$ s かつ $t = 2.4 \sim 2.7$ s に現れ, 0.4 s 程度持続している. また, $a = 0.06$ s において 0.1 s 程度持続するピークが $t = 2.2 \sim 2.9$ s に3回現れている. したがって, 円筒壁面噴流の流れは, 平板壁面噴流と比較して間欠的であり, 間欠現象の周期成分は若干長めで, しかもその持続時間も長くなっていることがわかる.

次に, 円筒壁面噴流の下流位置 $x/d = 40$, $z = b_z$, $y = y_{\max}$ の測定点における $WI(a, t)$ を図5に示す. $WI(a, t)$ のピークは $a = 0.15$ s かつ $t = 0.2 \sim 0.4$ s に現れ, かつ $a = 0.04 \sim 0.12$ s に様々な持続時間を有するピークが時間の経過とともに継続的に出現している. これは計測点を通過する流れに様々な周期成分を有する変動が含まれていることを示している. また, 大きなエネルギーを有する現象の周期成分に着目すると, $y = b_y$ である図4においては $a = 0.14$, 0.06 s であるが, $y = y_{\max}$ である図5においては $a = 0.05 \sim 0.08$ s である. したがって $y = b_y$ ではより長い周期成分を持つ大規模な変動が長い時間間隔で間欠的に出現していることを意味している.

5. 結 言

新たに導入したウェーブレット間欠係数により噴流の構造を考察した. その結果, ウェーブレット間欠係数を用いることにより, 流れに含まれる間欠現象のスケールと持続時間を抽出し, 円筒形物体の外壁に沿って流出する噴流と平板壁に沿って流出する噴流の構造に相違があることを明らかにした.

Fig. 3 Wavelet Intermittency Analysis of u'
(Plane wall jet at $x/d = 40, y = b_y, z = b_z$)

Fig. 4 Wavelet Intermittency Analysis of u'
(Circular wall jet at $x/d = 40, y = b_y, z = b_z$)

Fig. 5 Wavelet Intermittency Analysis of u'
(Circular wall jet at $x/d = 40, y = y_{\max}, z = b_z$)

参 考 文 献

- 1) 田畑隆英・中島正弘・李輝・野崎勉: 円形壁面噴流のウェーブレット解析, 可視化情報, Vol.19, Suppl.No.1(1999), pp.31-32.
- 2) Farge, M.: Wavelet Transforms and Their Applications to Turbulence, Annual Review of Fluid Mechanics, Vol.24, (1992) pp.395-457.
- 3) Li, H. and Nozaki, T.: Wavelet Analysis for the Plane Turbulent Jet (Analysis of Large Eddy Structure), Transactions of JSME International Journal, Fluids and Thermal Engineering, 38-4, (1995), pp.525-531.