

矩形柱後流の周波数特性および流れ方向の相関長さ

関東学院大学 正会員 ○中藤 誠二

1. はじめに 一様流中の2次元柱からは周期的な渦放出（カルマン渦列）が生じ2次元的な流れ場が形成される。渦放出はストローハル数成分が支配的になるが、周辺の周波数成分にもパワーを持つ狭帯域振動の特性を持つ。周波数特性はガウス関数でよく近似できるが¹⁾、ここでは自由減衰振動の周波数応答関数で近似し、流れ方向の相関長さを求めて、後流域における分布特性について調べた。

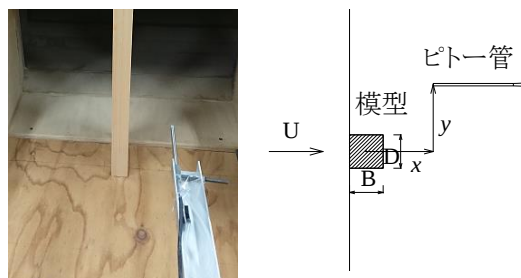


図1 実験の様子と平面図

2. 実験方法 吹き出し口の断面が 40cm×40cm、床面のみを設置した開放型の測定部に、模型の断面中心が吹き出し口に接する形で矩形柱を鉛直方向にノズル口に接する形で設置した¹⁾ (図1)。矩形柱模型は流れに正対する長さ D を 25mm として、流れ方向の幅 B を 25, 50, 75mm の3種類とした。辺長比 B/D は 1, 2, 3 となる。模型後流の流速は、床面から 19cm 高さの位置でピトー管で測定した。ピトー管は支持棒（アルミのチャンネル材 25mm×15mm）にとりつけ、同じく支持棒に設置した小型の圧力センサーに接続した。チューブ長は全圧側が約 3cm、静圧側が約 15cm と短いことからチューブ補正は行っていない。サンプリング周波数 1kHz で 20 秒間測定した。模型直交方向（流れ直交方向、y 方向とする）に最大 500mm の範囲をリニアガイドで 1mm 刻みで移動した。模型中心を原点とする。流速は一様流で $U=6.6\text{m/s}$ とし、代表長さを $D=25\text{mm}$ としたときにレイノルズ数は 1.2×10^4 である。ここでは $B/D=1$ の結果を中心に述べる。

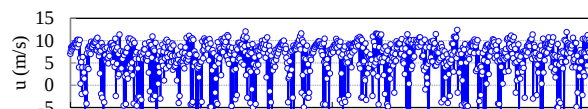


図2 風速の時系列波形, $B/D=1$, $x=D$, $y=D$

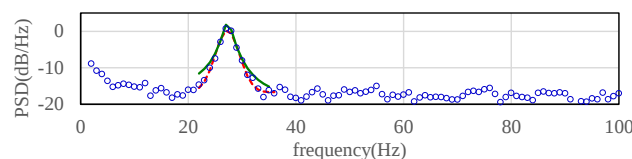


図3 風速のパワースペクトル, $B/D=1$, $x=D$, $y=D$

3. 実験結果および考察 図2に $x=D$, $y=D$ における風速の時系列波形を示す。ピトー管の差圧が負となるなど間欠的な変動が見られる。電気ノイズのようにも見えるが、模型を設置していない場合の風速では見られないことから、剥離流れの巻き込みによるものではないかと考えられる。なお、 $y=1.5D$ では、間欠的な変動はなくなり、振幅が変動するうなりのような波形となった。

自由減衰振動の周波数領域における応答倍率は周波数応答関数として表され、固有振動数 f_0 にピークがあり、 $f \rightarrow 0$ で $x \rightarrow 1$, $f \rightarrow \infty$ で $x \rightarrow 0$ となる関数であり、ピークの広がりには減衰定数 h で表される。形状を拡大、移動する補正係数 a , b を加えて、風速のパワースペクトルに適用する²⁾。

$$u(f) = a \frac{1}{\sqrt{\{1 - (f/f_0)^2\}^2 + \{2h(f/f_0)\}^2}} + b \quad (1)$$

図3に図2のパワースペクトルを示す。ここでは 0.5Hz の解像度のものを示しているが、実際の計算は 1Hz の解像度で行っている。周波数応答関数による近似を実線で示す。また、参考にガウス関数（正規分布）による近似を破線で示す。

$$u(f) = A \exp\left(-\frac{(f - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) + B \quad (2)$$

ここに、 μ : 平均, σ : 標準偏差, A , B は補正係数である。近似はピーク周波数を中心に 1/3 オクターブバンド幅の範囲について行っている。近似はデシベル値でなくパワースペクトルそのものの値で行っているため、

キーワード 矩形柱, 周波数特性, 周波数応答関数, 相関長さ

連絡先 〒236-8501 神奈川県横浜市区金沢区六浦東 1-50-1

ピーク形状の両端では近似曲線の誤差は大きくなっている。

図4に $x=D$ のときの周波数応答関数，ガウス関数の近似パラメータを示す．ピーク周波数 (f_0 および μ) はどちらも同様の傾向を示し，模型近傍でわずかに低下する傾向が見られる．模型中心位置では，スペクトルにピークがほぼ見られないため近似できていない．減衰定数 h と標準偏差 σ も同様の傾向を示し，さらに模型近傍では低下する傾向が見られる． h は0.03から0.05程度の値を示し， σ は1.0から1.3程度の値を示す．近似の決定係数 R^2 （上図が周波数応答関数）は両者とも模型中心位置やいくつかの点を除いてほぼ1に近い値となっており，近似精度は高い．図5に $x=3D$ の結果を示す．ピーク周波数が低減する傾向は $x=D$ と比べて弱くなるとともに，減衰定数 h も y の位置に関わらずほぼ一定の値となっている．近似精度も中心位置を除いて高い．

ここでは，構造物の常時微動がインパルス応答の重ね合わせと考えるのと同じように，時系列波形で見られる不規則な振動が減衰するカルマン渦列の重ね合わせによるものとして，流れ方向の相関長さを求める，自由減衰波形は以下の式で表される（ C は定数）．

$$u(t) = Ce^{-2\pi f_0 h t} \cos(2\pi f_0 \sqrt{1-h^2} t) \quad (3)$$

自由減衰波形の減衰部分について積分時間を求めると

$$T = \int_0^\infty Ce^{-2\pi f_0 h t} dt / C = \frac{1}{2\pi f_0 h} \quad (4)$$

となり，さらに流下速度としてカルマンが求めた風速 U の0.86倍の値を用いて³⁾，流れ方向の相関長さを下記のように求める．

$$L_{cx} = T \times 0.86U = \frac{0.86U}{2\pi f_0 h} \quad (5)$$

このようにして求めた L_{cx} を図6に示す．式(5)に示すように減衰定数 h の逆数となるため，バラつきは h 同様に大きい，

下流に行くにしたがって，相関長さが小さくなっている傾向が見られる．また，その大きさはおおよそ0.5mから1mの範囲にあることが分かるが，定量的な評価については今後，モデル化の妥当性も含めて検討する必要がある．

4. まとめ

矩形柱の後流の風速分布の周波数特性について，パワースペクトルのピーク周波数を中心とした範囲を自由減衰の応答関数でよく近似できることが分かった．測定点を増やし面的な特性を把握していく予定である．

参考文献 1) 中藤誠二：矩形柱後流の風速分布特性，日本風工学会年次研究発表会，2023

2) 中藤誠二：矩形柱周りの変動風速のストローハル成分の空間相関特性，風工学シンポジウム論文集，Vol. 22, pp. 139-144, 2012

3) 日本鋼構造協会編：構造物の耐風工学，2.3節，東京電機大学出版局，1997

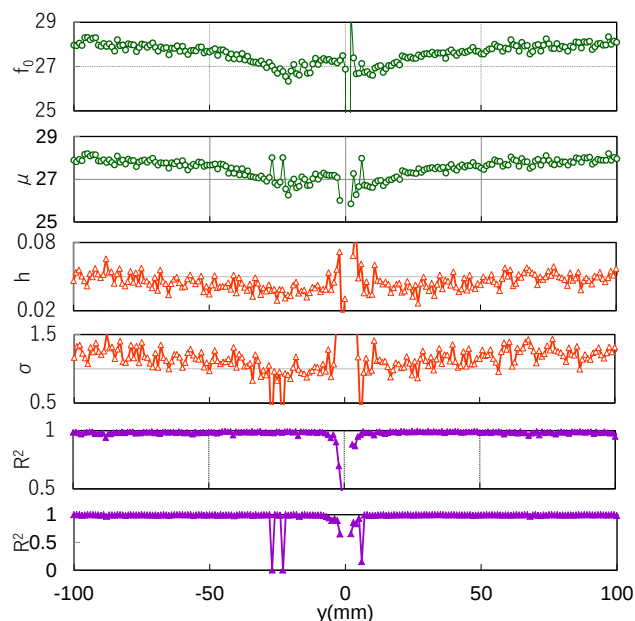


図4 近似パラメータ， $B/D=1$ ， $x=D$

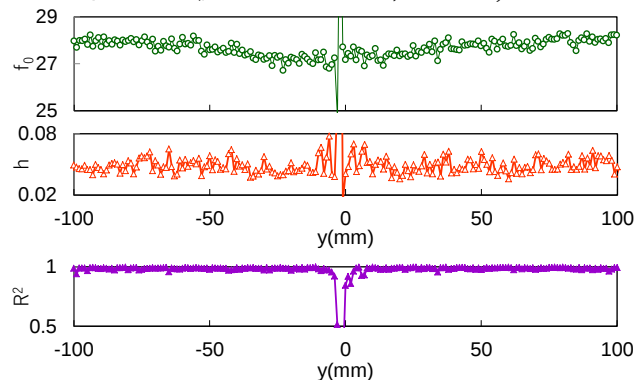


図5 近似パラメータ， $B/D=1$ ， $x=3D$

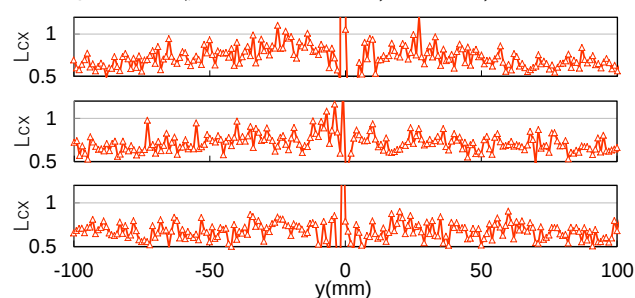


図6 流れ方向相関長さ(単位：m)， $B/D=1$
上： $x=D$ ，中： $x=2D$ ，下： $x=3D$