

## 径違い円柱の伴流の速度分布 Velocity Profiles in the Wake Flow of a Stepped Circular Cylinder

○山本 真稔<sup>1</sup>, 関谷直樹<sup>2</sup>, 松本 彰<sup>2</sup>  
Masatoshi Ymamoto<sup>1</sup>, Naoki Sekiya<sup>2</sup>, Akira Matsumoto<sup>2</sup>

A stepped circular cylinder shows the shedding frequency different from that of a straight cylinder at each spanwise position. Therefore, velocity field of the wake flow receives an influence different from that of a straight cylinder. We used a stepped circular cylinder that the diameter changes suddenly into 50% at an axial midpoint, and measured mean velocity profiles and shedding frequency at the various streamwise positions and pressure distribution around the cylinder. As a result, the dominant frequencies on the both side of a step were deferent from those of the straight cylinders.

### 1. はじめに

流体中に置かれた円柱から剥離した剪断層が、カルマン渦列を形成することは良く知られている。長手方向に径の違う円柱のそれぞれの位置での渦放出の卓越周波数は異なるため、この円柱の伴流の速度場は一様円柱のそれとは異なる影響を受ける。

径違い円柱の研究<sup>(1)</sup>は古くから行われているが、円柱表面圧力の測定や段差による渦糸の変形を調べたもので、伴流内の速度分布の詳細な測定は少ない。そこで我々は、長手方向中央で径が 50%急変する円柱模型を用いて、長手方向の背圧の測定に加えて、伴流内において長手方向および流れ方向に平均速度分布を詳細に測定し、径違い円柱からの剥離剪断層が伴流の平均速度場に与える影響を調べた。

### 2. 実験方法および実験装置

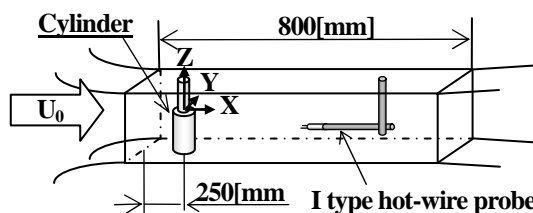


Fig.1 Schematic diagram of the experimental apparatus

実験装置はFig.1に示す回流型風洞で行った。使用した円柱模型は、長手方向中央位置で $d=10$ [mm]から $d'=5$ [mm]へ径が急変する径違い円柱(5/10円柱)と、 $d=10$ [mm](10/10円柱)、 $d'=5$ [mm](5/5円柱)の直円柱の3種類である。座標軸原点は、長手方向中央の径が急変する位置とし、主流方向をX軸、横幅方向をY軸、長手方向をZ軸とした。X方向の速度成分Uの測定にはI型熱線プローブを使用した。円柱の表面圧力は円柱を回転させ、Z方向にいくつかあけた圧力孔(径0.5[mm])の1つから採り、中

空円柱の上端から引き出し、圧力変換器に繋ぎ測定した。ただし、使用しない圧力孔は粘土で塞いだ。実験は、円柱直径 $d=10$ [mm]に基づくレイノルズ数 $Re=6500$ ( $U_0=10$ [m/s])一定のもと行なった。

### 3. 実験結果

#### 3.1 径違い円柱および直円柱の背圧

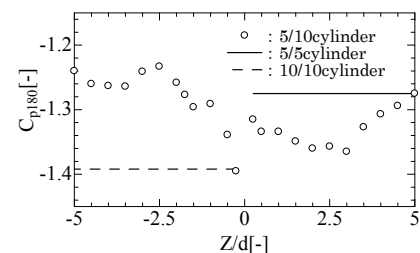


Fig.2 Back-pressure coefficient of the stepped cylinder

Fig.2は5/10円柱の背圧 $P_{180}$ [Pa]を動圧 $q=1/2\rho U_0^2$ [Pa]で無次元化した圧力係数 $C_{p180}$ である。比較のために実線で5/5円柱の $C_{p180}$ を示し、破線で10/10円柱の $C_{p180}$ を示した。ただし、これらの $C_{p180}$ は $Z/d=0$ における値である。

5/10円柱の段上部の径が5[mm]の領域では、 $C_{p180}$ が不連続になる $Z/d=0$ から2.5までは減少するが、 $Z/d=2.5$ からは転じて回復傾向を示し、 $Z/d=5.0$ では5/5円柱の $C_{p180}=-1.28$ に回復している。一方、段下部の径が10[mm]の領域では段差のすぐ下では10/10円柱の $C_{p180}$ 値と一致しているが、 $Z$ の減少とともに $C_{p180}$ は増加し、 $Z/d=-2.5$ で最大値を示した後、緩やかに減少傾向を示すものの $Z/d=-5.0$ においても10/10円柱の $C_{p180}$ 値への回復には程遠い。したがって、段の存在は下部の表面圧力に大きく影響をおよぼすことを示している。この $C_{p180}$ の変化は、5/10円柱表面からの剪断層の剥離位置が長手方向に変化し、結果として、伴流の速度分布も大きく影響を受けることを示唆している。

3.2 X=3d の Y/d=0.0 と 0.3 におけるパワースペクトル

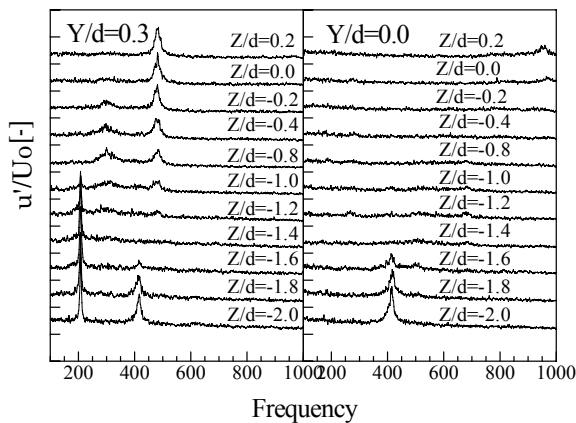


Fig.3 Power spectra at Y/d=0, Y/d=0.3 and at X=3d

Fig.3はx=3dのY/d=0.0と0.3におけるパワースペクトルである。ここで、縦軸のスケールは0.02だけずらして示してある。Y/d=0.3のスペクトル図で見られる480[Hz]の周波数は段上部の径が5[mm]の範囲の卓越周波数で、5/5円柱からの剥離剪断層の放出周波数と一致している。同様に、段下部の210[Hz]の周波数は10/10円柱からの剥離剪断層の放出周波数と一致している。これに対応するY/d=0.0のスペクトル図で見られる剥離剪断層の2倍の周波数960[Hz]はZ/d=0.2からZの減少とともに出現しなくなる。同様に、段下部のZ/d=1.6から出現する周波数420[Hz]は10/10円柱の剥離剪断層の放出周波数の2倍である。この結果は光田<sup>(2)</sup>の報告で、 $u'/U_0$ 分布の双頭峰が見られた位置と一致しており、ここでも段差付近の剥離剪断層が影響をうけていることを示唆している。

3.3 各 X 位置の Y/d=0 におけるパワースペクトル

Fig.4はZ/d=1.6とZ/d=2.5で測定したY/d=0におけるパワースペクトルのX方向変化である。Z/d=1.6に着目すると、X/d=1.5付近から段下部の420[Hz]の卓越した周波数が現れ始めるが、X/d=4.0付近で急激に消失する。一方、少し下方のZ/d=2.5の位置でも420[Hz]の周波数がX/d=1.5付近から現れるが、Z/d=1.6と異なりX/d=5.0でも引き続き出ている。光田<sup>(2)</sup>の報告によればX=3dのZ/d=1.6の位置は平均速度の欠損が増加し、乱れ強さ $u'/U_0$ 分布に双頭峰が見え始め、10/10円柱の分布に遷り変わる領域である。Fig.5で示したさらに下流のX=5dのZ/d=1.6では、平均速度 $U/U_0$ はY/d=0付近で加速した特徴的なW型の分布を示している。そして乱れ強さ $u'/U_0$ は双頭峰分布になってはいるが、10/10円柱の分布にはまだ近づいていない。さらに、Z/d=1.6の少し上と下のZ位置の平均速度分布に着目すると、Z/d=1.2では10/10円柱に

比べて欠損が全体的に小さく平坦な分布となっている。そして、Z/d=2.5では10/10円柱の分布に近づいている。これらの結果はX=5d,Z/d=1.6の付近にZ方向の速度分布を歪める縦渦の存在を予期させる。

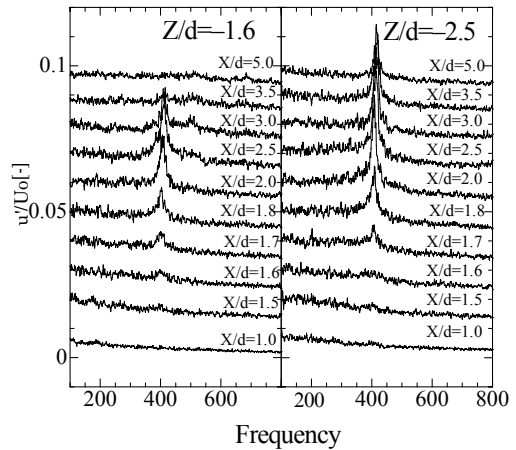


Fig.4 Variation of power spectra at Y/d=0 downstream

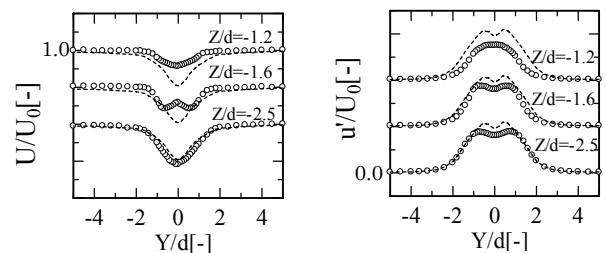


Fig.5 Mean velocity and turbulent intensity profiles at X=5d

4. まとめ

- 1) 段差近傍の径が10[mm]の領域においても、平均速度および乱れ強さの分布は未だ段上部の分布を残存する。この領域では直円柱の伴流中心で見られる剥離剪断層の放出周波数の2倍の周波数は消失している。
- 2) Y/d=0,Z/d=1で熱線を固定し、X方向に移動してパワースペクトルを調べた結果、420[Hz]の卓越周波数がX/d=1.6から3.5の範囲で現れ、それより下流では現れなかった。卓越周波数が現れたX=3dでは、速度分布は10/10円柱の分布に漸近しているが、X=5dでは特徴的なW型の速度分布を示し、縦渦の存在を予期させた。

しかしながら、この点に関してはさらに詳細な測定が必要である。

参考文献

- (1) 八木田 幹・他 2名：日本機械論集(B), 55巻, 518号, 3044, 1989.
- (2) 光田 拓史・靱江亮太：平成 22 年度 日本大学理工学部理工学部卒業論文