

変形を受けた径違い円柱の伴流の速度分布について Deformed Velocity Profiles of Wake Flow of a Stepped Circular Cylinder

○安齋 昌幸¹, 長門 貴之¹, 山本 真稔², 関谷直樹³, 松本 彰³
Anzai Masayuki¹, Nagato Takayuki¹, Masatoshi Ymamoto², Naoki Sekiya³, Akira Matsumoto³

Measurements were made of mean velocity profiles in the wake of a circular cylinder with a step at the midpoint of the span. Moreover, we measured vortex shedding frequencies and compared them to those of a straight cylinder. From the results obtained, it was clarified that the strong interference was imposed on the velocity field of the wake flow because of the existence of a step. The region where mean velocity profile exhibited W-shape existed in the wake of large cylinder. This suggested that the separated shear layer from the cylinder became to the longitudinal vortex-like in this region.

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⁽¹⁾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てきた。この結果、径違い円柱からの剥離剪断層が段差によって縦渦化し、平均速度分布を大きく歪めることがわかった。

2. 実験方法および実験装置

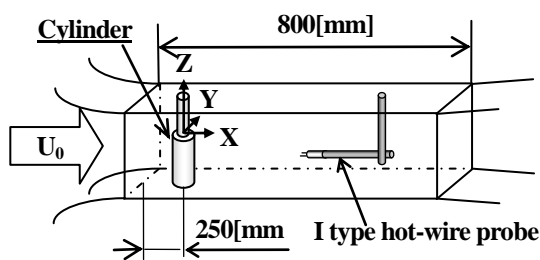


Fig.1 Schematic diagram of the experimental apparatus

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。また、I 型の参照用熱線プローブを別に用意し、測定用プローブと同時測定を行った。実験は、円柱直径 $d=10$ [mm] に基づくレイノルズ数 $Re=6500(U_0 \approx 10$ [m/s]) 一定のもと行なった。

3. 実験結果

3.1 X=5d の平均速度分布と乱れ強さ分布

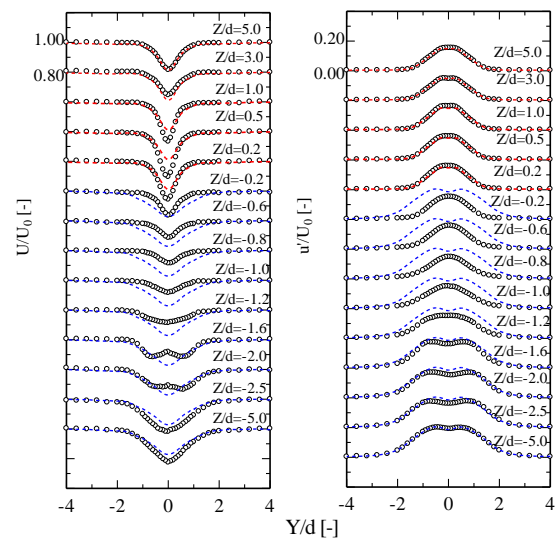


Fig.2 Mean velocity and turbulent intensity profiles at X=5d

Fig.2 は $X=5d$ における各 Z 位置における時間平均速度 U を主流速度 U_0 で無次元化した U/U_0 の Y 方向分布(左図)と変動速度の実効値 u' を U_0 で無次元化した乱れ強さ u'/U_0 の Y 方向分布(右図)である。縦軸スケールは 0.2 だけずらしている。図の $Z/d=5.0$ から $Z/d=0.5$ の径が 5[mm] の範囲では 5/5 円柱の分布を赤い破線で、 $Z/d=0.0$ から $Z/d=-5.0$ の径が 10[mm] の範囲では 10/10 円柱の分布を青い破線で重ねて示した。 $Z/d=5.0$ から $Z/d=0.5$ では、Z の減少とともに $Y/d=0$ における速度欠損が大きくなり、 $Z/d=0.5$ で最大となる。この位置では、 u'/U_0 の中央付近の

1: 日大理工・学・機械 2: 日大理工・院・機械 3: 日大理工・教員・機械

分布はなだらかになり、双頭峰は消えている。一方、段下部の径が 10[mm]の範囲では、段上部より一層段差の影響は強く、 $z/d=0.8$ においては U/U_0 分布は回復し、平坦な分布になっている。その後、 $Z/d=1.6$ において特徴的な W 型の速度分布になる。また、この Z 位置において、 u'/U_0 は上側から下側の円柱の分布への移行が終わる。これらの分布は段差によって生じた剥離剪断層の縦渦化によるものと考えられ、 U/U_0 分布では上方からの運動量の流入の結果 W 型となり、 u'/U_0 分布の広がりには縦渦によって拡散が強まった結果と考えられる。

3.2 X=5d の Y/d=0.0 と 0.3 におけるパワースペクトル

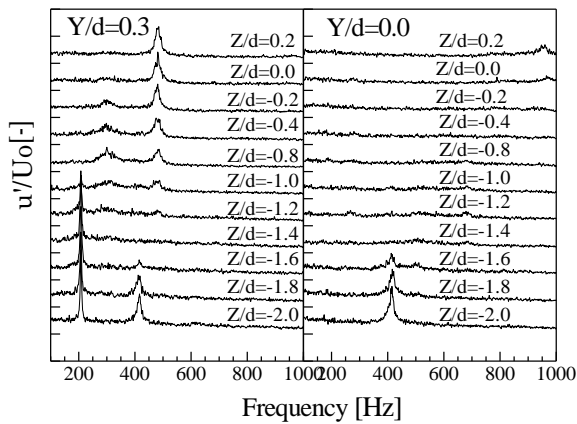


Fig.3 Power spectra at Y/d=0, Y/d=0.3 and at X=5d

Fig.3 は $x=5d$ 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 0.03 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] のピークは $d=5$ [mm]の範囲の卓越周波数で、5/5 円柱からの放出周波数と同じであり、 $d=10$ [mm]の範囲の 210[Hz] のピークは 10/10 円柱からの放出周波数と同じである。これに対応する $Y/d=0.0$ のスペクトル図を見ると、 $d=5$ [mm] 円柱からの倍周波数 960[Hz]は $Z/d=0.2$ 以下で出現しなくなる。また、段下部の $Z/d=1.6$ から出現し始める 420[Hz] は $d=10$ [mm]円柱からの倍周波数である。これら 2つの Y 位置のスペクトルから、剥離剪断層の縦渦化によって、円柱の両側からの発生周波数の合成である倍周波数の出現が抑制されていると考えられる。

3.3 X=5d の Z/d=-1.5 と Y/d=-0.8 における瞬時速度

Fig.4 の左の図は $Z/d=-1.5$ での瞬時波形(AC カップリング)である。青色の実線は各位置での測定用プローブの瞬時波形であり、紫色の実線は段から十分離れた $Z/d=8.0$, $Y/d=3.5$ の位置に固定した参照用プローブの波形で、測

定用プローブの波形と同時に測定した。参照用波形の振幅は非常に小さいため、測定用波形と比較できる程度に拡大して表示している。 $y/d=0.8$ 付近の波形の周期は参照用波形とほぼ同じであるが、波形の振幅は抑えられている。この Y 位置は Fig.2 において平均速度分布 U/U_0 が W 型になり、下に凸の部分がこの Y 位置と一致している。下に凸の部分より外側の $Y/d=1.2$ になると、抑えられた振幅が回復し、ほぼ周期的な波形の下り部分だけに乱れが現れる特徴的な波形である。 $Y/d=0.8$ に固定し、Z 方向に測定位置を変化させた Fig.4 の右図を見ると、 $Z/d=-1.5$ に比べて $Z/d=-2.0$, -3.0 の波形の振幅の抑制は生じていない。また、 $Z/d=3.0$ では平均速度分布は直円柱の分布よりも欠損は大きい、形状は W 型から通常の U 字型の分布に戻っている。この結果は、縦渦化した剥離剪断層が $Z/d=1.5$ 付近の速度波形に変形を与えていることを示している。

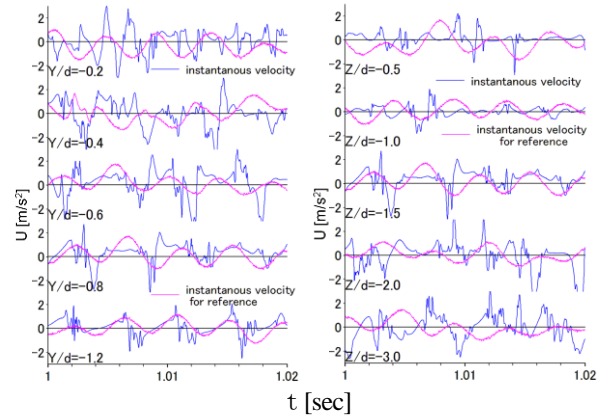


Fig.4 Time histories of instantaneous velocity at X=5d

4. まとめ

- 1) 段差近傍の径が $d=10$ [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倍周波数は消失している。
- 2) 420[Hz]のピーク周波数が $Z/d=1.6$ より下部で現れ、抑制されていた瞬時波形の振幅の回復も W 型分布のすぐ外側の Y 位置から見られる。この結果は、剥離剪断層の縦渦化による影響を示すものである。

今後は Y 方向の速度成分 V を測定し、より詳細な縦渦による流れ場の影響を調べていく予定である。

参考文献

- (1) 八木田 幹・他 2 名：日本機械学会論文集(B), 55 巻, 518 号, 3044, 1989