402 異形円柱の伴流特性

Some features of wake of a circular cylinder with different diameters

○学 上田 恒 (日大院)

正 松本 彰 (日大理工)

正 関谷 直樹 (日大理工)

Hisashi UEDA, Graduate school of Nihon University, 1-8 Kanda Surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo

Akira MATSUMOTO, Nihon University, 1-8 Kanda Surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo

Naoki SEKIYA, Nihon University, 1-8 Kanda Surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo

Key Words: Circular cylinder, Vortex filament, Wake flow

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よく知られている。カルマン渦列はこれまで多くの研究者によって、強い関心が持たれてきた。さらに、円柱の長手方向の途中で、その径が急変する異径円柱体はその上下部分からの渦放出周波数が異なり、一様径円柱体と比べて、空力騒音のみならず、伴流の流れ場にとっても興味ある研究対象である。そこで我々は、不連続面を境にして、上下の円柱部から放出される渦糸がどのように干渉をし、伴流の速度場へどのような影響を与えるかを調べることを計画した。本報告は、長手方向の途中で直径が40%に急減する円柱模型を用いて、その伴流の平均速度場を熱線風速計によって計測を行った結果である。

2. 実験装置および実験方法

Fig.1 Schematic diagram of the experimental apparatus

実験には、Fig.1に示す250×250×800mmの測定部を持つ回流型風洞を使用した。使用した円柱模型は、 $d=10\text{mm}$ と $d=4\text{mm}$ の直円柱、および測定部中央位置で $d=10\text{mm}$ から $d'=4\text{mm}$ へ直径が急変する異径円柱である。阻害比は0.028~0.04である。円柱は測定部入口から250mmの中央に床面および天井面との間に取り付けた。座標軸原点は、円柱取り付け位置で、円柱中心の直径が急変する位置に取り、主流方向をX軸、横幅方向をY軸、円柱軸方向をZ軸をとした。X方向の速度成分Uの測定にはI型熱線プローブ(5 μm のタングステン線)を線形化した熱線風速計と共に使用した。プローブはトラバース

装置に取り付けられ、X方向は手動、Y方向とZ方向はステッピングモーターにより駆動できる。

実験は直径 $d=10\text{mm}$ に基づくレイノルズ数 $Re=6500(U_0 \div 10\text{m/s})$ で行った。速度分布測定は $X=5d$, $Z=-5.0d \sim Z=5.0d$ において、横幅方向の $Y = \pm 2d \sim \pm 4d$ の範囲では0.4d間隔、 $Y = \pm 1d \sim \pm 2d$ の範囲では0.2d間隔、そして速度変動が最も大きい円柱中心付近 $Y = \pm 1d$ の範囲では0.1d間隔で行った。

3. 実験結果

Fig.2 Mean velocity profiles at $X=5d$

Fig.2は、 $d=10\text{mm}$ から $d'=4\text{mm}$ へ直径が急変する異径円柱(4/10円柱と称す)の伴流内 $X=5d$ 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 のいくつかのZ位置におけるY方向分布である。比較のために、 $Z=0.0d \sim 5.0d$ には直径4mmの直円柱(4/4円柱と称す)の分布を点線で、 $Z=-0.5d \sim -5.0d$ には $d=10\text{mm}$ の直円柱(10/10円柱と称す)の分布を破線で示した。直円柱では、どのZ位置でも速度分布は十分な2次元性を示している。一方、4/10円柱の上部 $Z=2.5d \sim 5.0d$ の範囲では分布にほとんど変化はなく、4/4円柱の分布と変わらない。この範囲から下部に移動した $Z=0.5d$ では最大速度欠損部が一旦大きくなる。さらに下部に移ると、再び欠損部は小さくなり始め、 $Z=-0.5d \sim -1.0d$ では $d=10\text{mm}$ の部分にもかかわらず、4/4円柱の分布を引きずっている。 $Z=-1.5d$ になると分

布は扁平に近づき、欠損部はさらに小さくなるものの、その幅は 10/10 円柱の分布の幅に近づく。さらに下部の $Z=-2.0d \sim Z=-2.5d$ では W 型の分布を示しながら、徐々に 10/10 円柱の分布に近づき、 $Z=-5.0d$ でやっと戻るように見える。

Fig.3 Turbulent intensity profiles at $X=5d$

Fig.3 は、4/10 円柱の $X=5d$ における乱れ強さ u' / U_0 の Y 方向分布である。 U / U_0 分布と同様、直円柱では十分な 2 次元性を示している。 4/10 円柱の上部 $Z=2.5d \sim Z=5.0d$ の範囲では 4/4 円柱の分布と変化はない。 $Z=0.0d \sim Z=0.5d$ の範囲においても U / U_0 分布ほど差は見られない。 一方、不連続面より下部に移ると、 U / U_0 分布と同様に、 $d=10mm$ の部分であるにもかかわらず 4/4 円柱の分布を引きずっており、 U / U_0 分布よりも 10/10 円柱の分布に回復するのに Z 方向に距離を要する。

Fig.4 Strouhal number profile at $X=5d, Y=1d$

Fig.4 は、 $X=5d, Y=1d$ で Z 方向に測定した周波数分布をストローハル数 ($St=fd/U_0$) で示したものである。 $Z \geq -0.5d$ では $d=4mm$ で、 $Z < -0.5d$ では $d=10mm$ で無次元化を行った。 4/10 円柱の上部では St 数は約 0.21 (540Hz) であり、 10/10 円柱や 4/4 円柱の St 数と良く一致している。 しかし、下部の広い範囲 ($Z=-0.5d \sim Z=-5.0d$) で $St=0.18$ (180Hz) と下がるが、さらに下に行くと直円柱の値にほぼ回復する。 このように、不連続面の段差によって円柱下部の St 数が強く影響を受ける傾向は、Fig.2 の平均速度分布や Fig.3 の乱れ強さ分布と同様である。

Fig.5 は、 10/10 円柱の全乱れ強さ u' / U_0 分布のうち、放出周波数 210Hz からの寄与成分 (u' / U_0)₂₁₀ の割合を調べた

Fig.5 Turbulent intensity profiles at $X=5d, Z=0.0d$ (10/10 cylinder)

Fig.6 Turbulent intensity profiles at $X=5d$ (4/10 cylinder)

ものである。このような直円柱では、 Z の全域にわたって渦層による変動が支配的であり、 $Y=\pm 0.5d$ 付近で円柱表面からの剥離剪断層によって、分布に、より鮮明なダブルピークを示す。

Fig.6 は 4/10 円柱の上部からの渦層の放出周波数 540Hz と下部からの放出周波数 180Hz からの寄与である、それぞれ (u' / U_0)₅₄₀ 分布と (u' / U_0)₁₈₀ 分布、および u' / U_0 分布である。不連続面から離れた Z 位置、特に上部では 10/10 円柱の (u' / U_0)₂₁₀ 分布で見られたダブルピークが (u' / U_0)₅₄₀ 分布で観察される。しかしながら u' / U_0 分布では見られない。これは渦層の放出による変動が支配的であることを示している。さらに、不連続面に近づくにつれ、ピークは小さくなる。不連続面の下部 $Z=-0.5d, -1.5d$ では段差の影響により、 u' / U_0 が抑えられる結果として (u' / U_0)₁₈₀ も小さくなる。この Z の範囲では (u' / U_0)₅₄₀ も同様に小さく、Fig.4 で示した St 数が 0.21 から 0.18 への不連続の結果と考えられる。さらに 4/10 円柱の下部では、分布は (u' / U_0)₁₈₀ も u' / U_0 もダブルピークをとるが、その位置は Fig.5 に示す 10/10 円柱に比べて $Y=\pm 0.5d \sim Y=\pm 1.0d$ となる。これは剥離点が上流側に移動した結果、伴流の幅が広がったためと考えられる。

4. まとめ

長手方向に不連続面を持つ異型円柱を用いて、その伴流の速度分布を調べた結果、以下のことがわかった。

- 1) 段差による影響は不連続面より下部で強く現れ、速度欠損が著しく減少、特に分布が扁平となる Z 位置がある。
- 2) 平均速度分布が扁平となる Z 位置では、渦層からの寄与である乱れ強さ成分が著しく低下する。
- 3) 不連続面より下部では直円柱に比べて伴流の幅が広がり、その影響で St 数が低下する。