

705 スリット流による円柱後流の制御と流れ場のPIV計測

PIV Measurement of Flow Around a Circular Cylinder under the Control by Slit Flow

○学 武田 玄太郎(新潟大院) 正 藤沢 延行(新潟大工)
正 富松 重行 (新潟大院)

Gentaro TAKEDA, Nobuyuki FUJISAWA, Shigeyuki TOMIMATSU
Niigata University, 8050 Ikarashi 2, Niigata, Japan, 950-2181

Key words: Circular cylinder, Vortex shedding, PIV, Visualization, Flow control

1. 緒言

流れの中に置かれた物体から発生する渦放出現象の制御は、流体力学等において特に重要な課題である。近年、基本的な形状である円柱を取り上げ、渦の制御法として円柱内部から狭い単一スリットを通して音場を供給する方法^{(1),(2)}の有効性が検討されてきた。この制御方法の支配パラメータはスリット角度、スリット流周波数、スリット流速度振幅比である。既報⁽²⁾において、円柱表面圧力値から導かれた抗力係数を評価基準とし、抗力減少に対する最適パラメータの組合せが求められた。すなわち、スリット角度は約90度で、渦周波数の4倍程度の加振を加えたとき、最大抗力減少率は約30%であった。

本研究では、制御時および無制御時の円柱後流速度場の変化を定量的に計測し、制御機構を明らかにすることを目的とする。そこで、円柱後流を可視化してPIV計測を行い、流れ場の詳細な速度データを得ることにした。さらに得られた速度データから、円柱による流れ場の運動量損失を算出して抗力係数を求め、既報⁽²⁾との比較も試みた。

2. 実験装置および方法

2-1. 実験装置 Fig. 1に供試円柱の横断面図を示す。開放型風洞の測定部(断面寸法500mm×500mm)に直径d=50mmの供試円柱を水平に取り付けた。円柱周りの流れの二次元性を保つため、風洞側壁には円柱直径に比べ十分大きい端板(430mm×400mm)が両側壁から各々50mmの位置に取り付けている。円柱表面にはスパン方向400mmに渡って幅0.4mmのスリットが設けてあり、その両端のスピーカから音響流を円柱内部に供給し、スリットを通して円柱外部に振動流が放出される構造である。ただし、円柱内部の圧力分布はスパン方向に一様であることを確認してある。スリット角度は、供試円柱を軸中心に回転させることで、任意に設定可能であるが、既報⁽²⁾に基づいて、本実験中はスリット角度 θ を90°に固定した。実験条件は、主流速度U=2.6m/s、レイノルズ数Re=9.0×10³、このときカルマン渦のストローハル数はSt=0.23(12Hz)である。

2-2. PIV法による速度場測定 円柱後流流れ場を明らかにするためPIVを用いて速度場計測を行った。撮影したのは、無制御時および抗力最大時(Sf=[fd/U, f:加振周波数]=0.23, Vr=[v/U, v:スリット流振幅]=1.5)および抗力最小時(Sf=0.91, Vr=1.5)の3種類のパラメータについてである。トレーサはスモークマシンで作られるオイルミストを用い、風洞の吸入口から測定部に導入した。シート状のパルスレーザ光(Nd:YAG Lazer, 出力50mJ)を測定領域下方から照射し、高解像度CCDカメラ(解像度1K×1K)で撮影した。レーザの発光間隔は80 μ secに設定した。また、

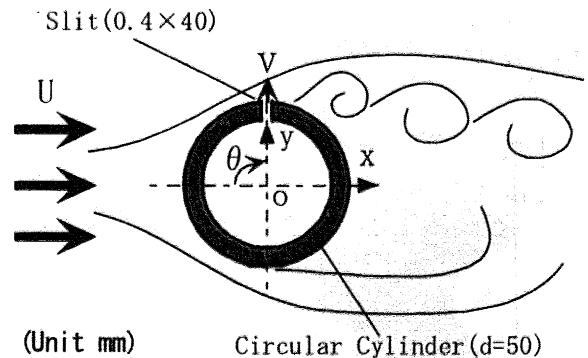


Fig. 1 Flow management by oscillating slit flow

150mm×200mmの全撮影領域を6分割して撮影を行った。撮影された画像を、サブピクセル解析を導入した輝度差累積法による相関計算(PIV)を行い、速度ベクトルを算出した。その際、相関領域30pixel、探索領域7pixelである。以上のようにして求められた300枚の瞬時速度ベクトル図から、時間平均速度および速度変動を算出した。また、抗力係数Cd算出には文献⁽³⁾に示されている次式を用いた。

$$Cd = \frac{2h/d}{(1-\delta'/h)^2} \left[\int_0^{\delta'} \frac{u}{U_0} \left(1 - \frac{u}{U_0} \right) d\eta - \int_0^{\delta'} \frac{u^2 - v^2}{U_0^2} d\eta + \frac{1}{2} \left(\frac{\delta'}{h} \right)^2 \right] \quad (1)$$

$$\text{ただし} \quad \frac{\delta'}{h} = \int_0^1 \left[1 - \frac{u(\eta)}{U_0} \right] d\eta \quad (2)$$

ここで、h:測定領域高さ、 $\eta = y/h$ である。

3. 結果および考察

3-1. 円柱後流の平均速度および速度変動 Fig. 2は時間平均速度ベクトル図と速度絶対値分布図を重ね合わせた図、Fig. 3は速度変動分布図である。(a)はStationary, 他は制御されたときで、制御パラメータは(b)Sf=0.23, Vr=1.5, (c)Sf=0.91, Vr=1.5である。Fig. 2(a)において見られる円柱背後の低速領域は、渦発生による逆流領域である。これに対して、Fig. 2(b)の逆流領域は上下非対称な分布になっており、特にスリット側の速度の大きさが増加している。ベクトルの方向に注目すると、円柱背後に強い渦形成が定常的に起きていることを示している。また、Fig. 3(a)および(b)の速度変動が大きい領域を比較すると、渦発生がより円柱側で起こっていることがわかる。つまり、渦周波数に等しいスリット流の供給によって、同期して渦の巻き込みを増強したと考えられる。

一方、Fig. 2(c)のとき速度分布は大きく様変わりしている。Fig. 2(a)で円柱上下の増速領域は、円柱付近を通過し

た流体が渦の発生によってすぐに減速を始めて主流に近づくが、(c)では低速領域が後方まで発達することによってカルマン渦の発生が遅れ、せん断層の外側領域の速度が低下することなく円柱付近を通過する。スリット流が速度場全域に渡って影響しており、後流領域の後方への広がりが見られている。また、Fig. 3(a)および(c)の比較から、(c)では全領域において速度変動が低下しており、強い渦抑制効果が働いている。このことは円柱に加わる抗力が低減したことを示唆する。

3-2. 抗力係数の比較 参考のために算出した本実験結果からの速度データ ($x/d=3$) による抗力係数 C_d を (i)、既報⁽²⁾の結果である円柱表面圧力値からの C_d を (ii) として比較すると、(a) Stationary のとき (i) 1.18 (ii) 1.17、(b) $Sf=0.23$ のとき (i) 1.26 (ii) 1.36、(c) $Sf=0.91$ のとき (i) 0.83 (ii) 0.80 となり、非常に良好な対応結果である。このことは円柱付近の圧力分布計測結果と後流速度場がよく対応することを示している。

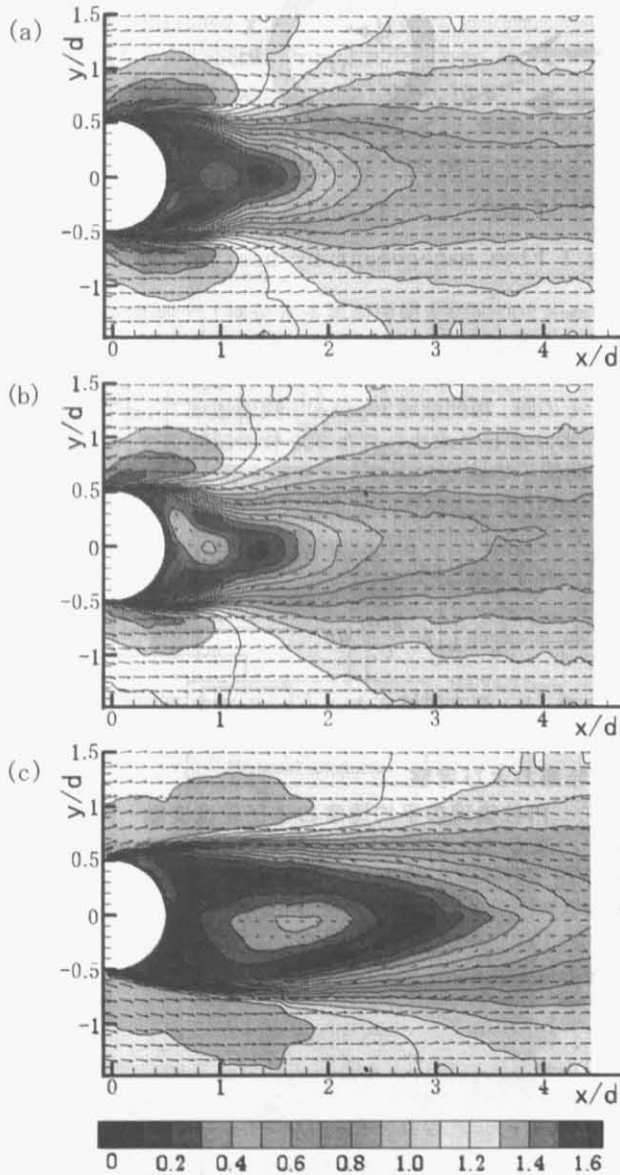


Fig.2 Velocity distributions and contour of velocity magnitude
(a) Stationary (b) $Sf=0.23, Vr=1.5$ (c) $Sf=0.91, Vr=1.5$

4. 結言

スリット流によって制御された円柱後流領域を PIV 計測し、速度場を統計的に解析した結果、抗力低減が現れたパラメータでは流れ場全域に渡って速度変動が低下しており、この効果によって抗力係数 C_d が減少したものと考えられる。また、速度データから求められた C_d が圧力から求められた結果と良好に対応しており、この種の制御による抗力低減効果を示唆した。

参考文献

- (1) Hsiao, F.B. and Shyu, J. Y., J. Fluids and Struct. (1991), vol. 5, pp427-442.
- (2) 板橋・藤沢、日本機械学会北陸信越支部講演論文集、(2001), No. 071-1, pp345-346.
- (3) Tokumaru, P. T. and Dimotakis, P. E., J. Fluid Mech. (1991), vol. 224, pp77-90.

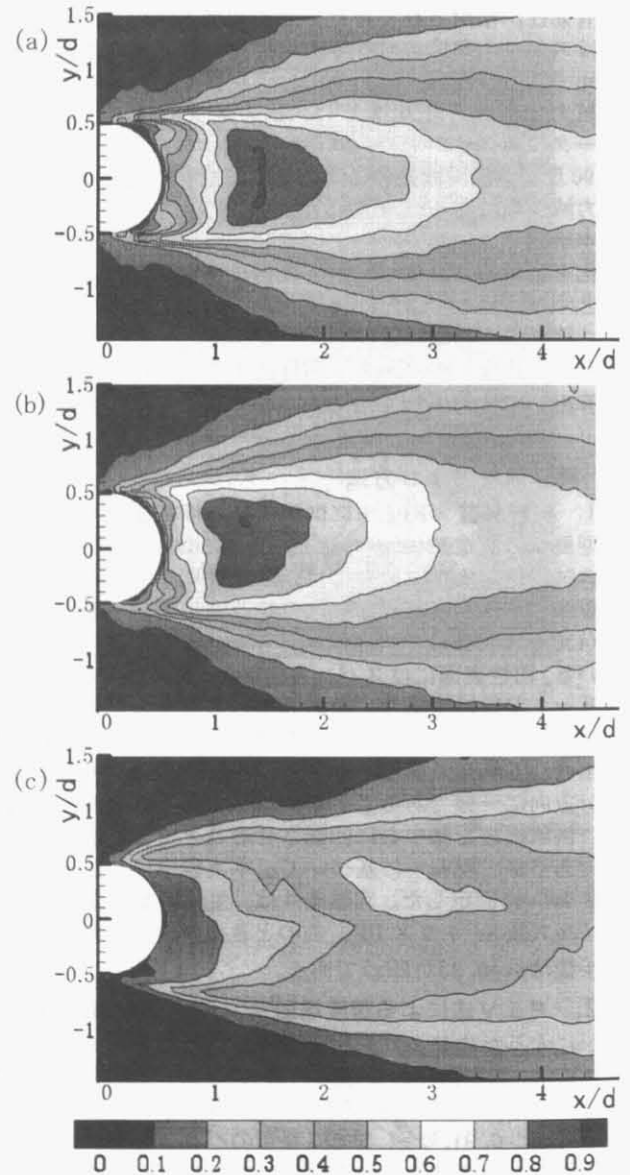


Fig.3 Contour of fluctuating velocity
(a) Stationary (b) $Sf=0.23, Vr=1.5$ (c) $Sf=0.91, Vr=1.5$