切り欠きのある円柱の抵抗低減 (ストローハル数と表面流れ)

Drag Reduction of a Circular Cylinder with Grooves (Strouhal Number and Surface Flow Pattern)

正 五十嵐 保 (防衛大) 正 横井 嘉文 (防衛大) ○学 平尾 恵子 (防衛大)

Tamotsu IGARASHI, National Defense Academy, 1-10-20 Hashirimizu Yokosuka, 239-8686
Yoshifumi YOKOI, National Defense Academy, 1-10-20 Hashirimizu Yokosuka, 239-8686
Keiko HIRAO, National Defense Academy, 1-10-20 Hashirimizu Yokosuka, 239-8686

Key Words: Boundary Layer, Transition, Flow Visualization, Flow Control, Strouhal number

1. まえがき

鈍い物体に働く抗力の軽減に関し多くの方法で研究が行われてきた。そのうちの一つに、強制的に境界層をはく離・再付着させ、乱流遷移を起こさせる方法がある。例えば、円柱⁽¹⁾の壁面にトリッピング・ワイヤを設置する方法、平板⁽²⁾や円板⁽³⁾の端部に切り欠きを設ける方法がある。本報では円柱の前面に切り欠きを設けることにより境界層の遷移・乱流はく離を起こさせ、抗力の半減が期待された。また、迎え角の影響も調べた。

2. 実験装置および方法

図1に切り欠き円柱の断面形状と座標系を示す。円柱直径は $d = 50\text{mm}$ で、円周上の切り欠き部位置、 $\theta_r - \theta_r$ は $50^\circ - 70^\circ$, $55^\circ - 74^\circ$, $60^\circ - 78^\circ$ の三つの切り欠き円柱と滑面円柱が用意された。一様流速度は $U = 3 \sim 30\text{ m/s}$, この範囲内で主流乱れはほぼ 0.4% で、実験レイノルズ数は $Re = 10^4 \sim 10^5$ の範囲である。また、迎え角 α の影響を調べた。円柱後流の速度変動のパワースペクトルから渦放出数を測定し、ストローハル数を求めた。さらに、油膜法により円柱表面流れを可視化し、境界層の遷移と乱流はく離位置を測定した。

3. 実験結果および考察

3-1 ストローハル数 図2にモデル3($60^\circ - 78^\circ$)の切り欠き円柱のストローハル数を示す。図2(a)の迎え角 $\alpha = 0^\circ, 10^\circ$ では $Re > 3 \times 10^4$ でストローハル数 S は 0.25 をこえ、 $Re > 5 \times 10^4$ では $S = 0.28 \sim 0.29$ のほぼ一定となっている。乱流はく離が起こっていることを示唆している。図2(b)は $Re = 6.3 \times 10^4$ における迎え角 α の影響を示し、 $\alpha = 20^\circ$ で S は不連続的に減少し、円柱上側では切り欠き部の上部側で層流はく離している。

3-2 円柱表面の油膜模様 円柱表面の油膜模様によれば、はく離した流れが切り欠き部後部に再付着し、下流の $\theta_s = 92^\circ$ で乱流はく離している。なお、他の二つのモデルでも同様である。また、迎え角 α のある場合も上例は $\alpha + \theta_r < 80^\circ$ では乱

Fig. 1 Coordinate system and symbols

流はく離している。下例は $\alpha < 30^\circ$ で乱流はく離している。

3-3 抗力軽減の予測 五十嵐⁽¹⁾によれば、トリッピング・ワイヤ付き円柱の抗力係数 C_D はストローハル数 S とフローパターンに依らず、次の関係にある。

$$S = 0.22 / C_D^{0.514} \quad (1)$$

切り欠き円柱では $S = 0.28 \sim 0.30$ であるから、 $C_D = 0.63 \sim 0.55$ となる。40 から 50% の抗力軽減が期待される。なお、滑面円柱では $S = 0.20$ で $C_D = 1.20$ である。

4. 結論

切り欠きを有する円柱は境界層が遷移し乱流はく離する。ストローハル数は 0.30 まで増加する。円柱の抗力が半減することが期待される。

引用文献

- (1) 五十嵐保, 機論, 52-473, B (1986), 358-366.
- (2) 五十嵐ら, 日本流体力学学会年会, (2005) 88.
- (3) 五十嵐ら, 機講論, 05-32, (2005) 105.

Fig. 2 Strouhal number vs. Reynolds number and discontinuous change of Strouhal number with attack angle