

リング状小物体による急縮小円管の流動抵抗低減に関する研究

Reduction of Flow Resistance of Abrupt Contraction Pipe by Small Obstacle

正 社河内 敏彦(三重大院) ○ 正 安藤 俊剛 (三重大) 学 宮田 啓吾 (三重大院)

Toshihiko Shakouchi, Mie Univ., Kamihama-cho 1515, Tsu-shi, Mie 514-8507

Toshitake Ando, Mie Univ.

Keigo Miyata, Mie Univ. (Postgraduate Student)

Key Words: Abrupt Contraction Pipe, Separation Vortex, Separation Control, Drag Reduction

1. 結論 断面積が急縮小する円管内の流れは、多くの流体装置や工業用設備で見られる基本的な流れの一つである^{(1), (2)}。流路縮小部の前後にはく離渦領域が生起し、後者の渦は流路の有効な流路断面積を減少させるため(図1)、大きな流動抵抗の原因となる⁽³⁾。

本研究では、リング状の小物体(図1)を上流側の流路に設置し、そこからはく離する流れを縮小部に滑らかに流入させると、この渦の生起が抑制され、流動抵抗が低減されることを示す。

2. 実験装置と方法 図1に、試験流路(急縮小部)の詳細を示す。流動状態は軸対称なので、図の上・下半分にはそれぞれ、小物体が無い場合と有る場合を記した。試験流路(内径 $D_1 = 60[\text{mm}]$ = 一定)の入口にはベルマウスが、また急縮小部までに長さ $50D_1 = 3,000[\text{mm}]$ の直管部が設けられている。流路の縮小後の内径は、 $D_2 = 30, 34, 44[\text{mm}]$ (断面積比: それぞれ、 $A_1/A_2 = 4, 3.1, 1.9$) に変化させることができる。小物体 ($0.2H \times h$, $h/H = 0.2 \sim 0.6$, H : ステップ高さ) を組み込んだ継ぎ手と小物体取り付け位置 L を調整する継ぎ手は取り外し可能で、長さの異なる継ぎ手を使うことにより小物体取り付け位置 L を調整できる。

流路縮小部前後の流路壁面(ステップ下面および上面)には、直径 0.6mm の静圧孔が流路中心高さの位置に多数設けられている。圧力分布は、 $x = -100[\text{mm}]$ の静圧孔で測定された圧力を基準に、逆 U 字管水柱マノメータで測定した。流路の圧力損失 Δp は、縮小部の上流側 $x = -7.5 \pm 6[\text{mm}]$ の範囲の位置と下流側 $x = 75[\text{mm}]$ の位置の二点間の圧力差として求めた。

速度分布は、レーザドップラ流速計(LDA)を用いて測定した。また、流れ関数 Ψ は、次式により求めた。

$$\Psi = - \int_{D/2}^r ur dr \quad (1)$$

ここで、 $D = D_1$ ($x < 0$), D_2 ($x > 0$)。

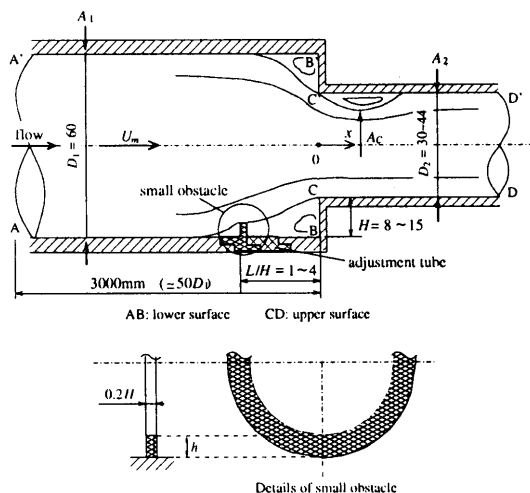


Fig. 1 Details of test section

3. 結果と考察

3.1 圧力分布 図2に、 $A_1/A_2 = 4$ 、レイノルズ数 $Re = U_m D_1 / \nu = 2 \times 10^4$ の場合の管路軸方向への圧力分布を示す。ステップ下面での圧力変化はほとんど無いが、縮小部 ($x/D_1 = 0$) を通過すると、圧力は急激に減少し $x/D_1 \approx 0.5$ までに圧力回復した後、それ以降一定の勾配で減少する。

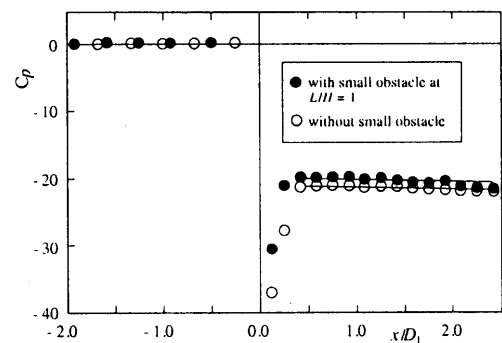
小物体を $L/H = 1$ の位置に設置した場合、 $0 \leq x/D_1 \leq 0.5$ での圧力減少割合は小物体が無い場合に比べて小さく、圧力回復後 ($x/D_1 > 0.5$) は小物体が無い場合より約 10% 大きい圧力を保ちながらほぼ同一勾配で減少する。

下流側の円管(内径: D_2) に対するブラジウスの管摩擦抵抗による圧力勾配は、

$$\frac{\partial C_p}{\partial(x/D_1)} = -\lambda \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^5 \quad (2)$$

ここで、 $\lambda = 0.3164[(D_1/D_2)Re]^{-1/4}$ 。

いずれの条件においても下流側流路で $x/D_1 \geq 0.5$ での圧力勾配はほぼ一定(それぞれ、約 $-0.53, -0.67$)であり、式(2)から計算される圧力勾配(≈ -0.7)とほぼ一致する。

Fig. 2 Pressure distribution
($A_1/A_2 = 4.0$, $Re = 2 \times 10^4$)3.2 圧力損失, Δp

3.3 レイノルズ数の影響 図3に、 $A_1/A_2 = 4$ の場合の圧力損失 Δp に対する Re 数の影響を示す。 Δp は、圧力係数 $\Delta C_p [= 2\Delta p / (\rho U_m^2)]$ で示した。 $Re \geq 1.0 \times 10^4$ では小物体が有る場合の ΔC_p は、 Re 数の増加とともに無い場合のそれに近づく。高 Re 数域では、流れが乱流に移転することにより、急縮小部下流側(ステップ上面, CD)で大きな離渦領域が形成され難くなるため小物体設置の効果が小さくなったと考えられる。また、小物体の位置が $L/H = 1$ の場合、上流側の Re 数が臨界 Re 数に近い 2×10^3 前後で ΔC_p は極大値をとる。

3.4 小物体の高さと位置の影響 図4に、 ΔC_p に対する小物体の高さ h/H の影響を示す。 ΔC_p は、いずれの Re 数の場合も $h/H = 0.4$ で最小となる。

図5に、 $A_1/A_2 = 4.0$ の場合の ΔC_p に対する小物体の取

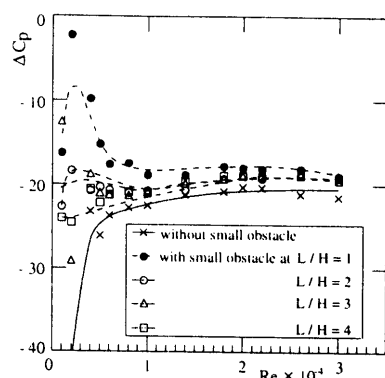


Fig. 3 Effects of Re on flow resistance
($A_1/A_2 = 4.0$)

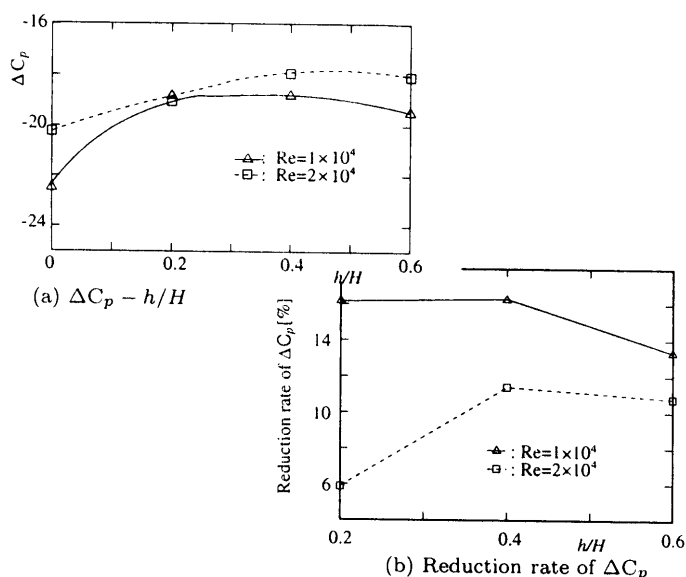


Fig. 4 Effect of h/H on flow resistance
($A_1/A_2 = 4.0$)

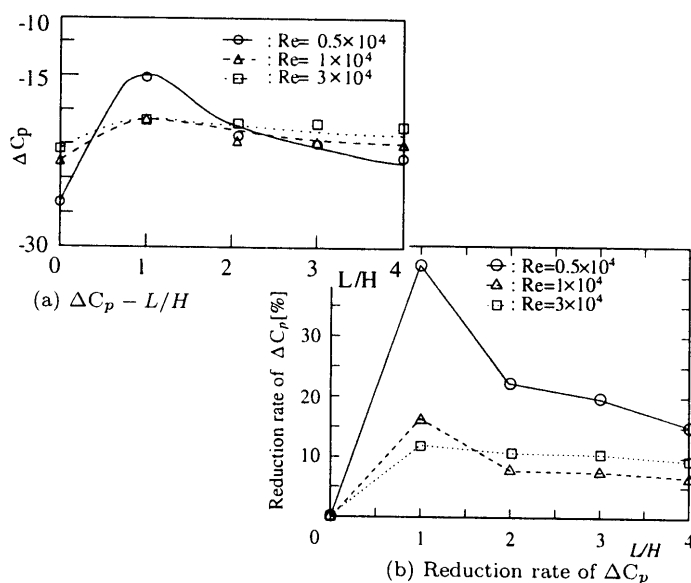


Fig. 5 Effects of L/H on flow resistance
($A_1/A_2 = 4.0$)

り付け位置 L/H の影響を示す。 ΔC_p は、いずれの Re 数の場合も、 $L/H = 1$ で最小となり、例えば、 $A_1/A_2 = 4.0$ 、 $Re = 1 \times 10^4$ の場合には、小物体が無い場合に比べ約 16%

減少する。これは、 $L/H = 1$ の場合、ステップ表面上の渦領域が消滅あるいは最小化されたことによると考えられる。

3.5 速度分布とはく離渦の制御 圧力損失の実験結果から $A_1/A_2 = 4$ の場合、小物体の高さと位置は $h/H = 0.4$ 、 $L/H = 1.0$ が最適であることがわかった。そこで $A_1/A_2 = 4$ 、 $Re = 5 \times 10^3$ において、小物体が無い場合と、 $L/H = 1.0$ 、 $h/H = 0.4$ とした場合の流動状態を知るため速度分布 u と流線をそれぞれ図 6、7 に示す。小物体が無い場合に存在していたステップ表面上の逆流域は $x/D_1 = 0.125$ の断面でわずかに観察されるが、ほぼ消滅している。流線図を見ると、小物体角部からはく離した流れが、ステップ上面に沿うように縮小部に流入しており、このためステップ表面上の渦領域が消滅したと考えられる。

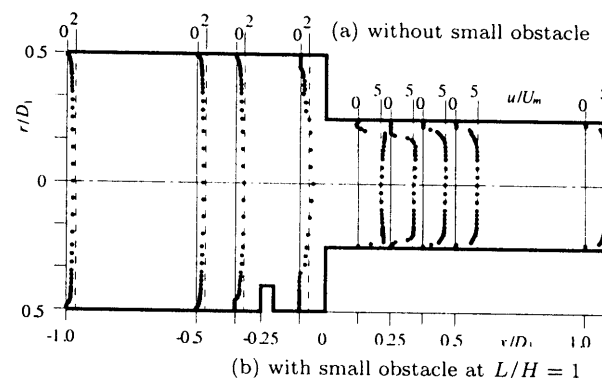


Fig. 6 Velocity profile
($A_1/A_2 = 4.0$, $L/H = 1$, $Re = 5 \times 10^3$)

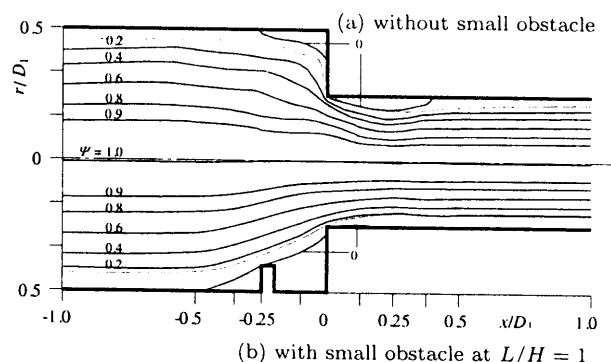


Fig. 7 Stream line
($A_1/A_2 = 4.0$, $L/H = 1$, $Re = 5 \times 10^3$)

4. 結論 急縮小円管内の流動特性を、LDA による速度分布の測定、圧力分布の測定により実験的に明らかにするとともに、小物体の設置による急縮小流路の流動抵抗の低減を試した。主な結果は、

- (1) 急縮小円管に高さ $h = 0.4H$ の小物体を $L/H = 1$ の位置に設置するとステップ表面上のはく離渦領域はほぼ消滅し、圧力損失が最も小さくなり、小物体が無い場合に比べ約 16% の減少となる。
- (2) 小物体の設置による流動抵抗の減少は Re 数の増加とともに小さくなり、 $Re \approx 3 \times 10^4$ で、小物体が無い場合とほぼ同一の流動抵抗になる。

参考文献

- (1) Tropea, C.D. and Gackstatter, R., J. of Fluid Eng., Trans. ASME, Vol. 107, (1985), pp.489-494.
- (2) Taulbee, D.B. and Robertson, J.M., J. of Basic Eng., Trans. ASME, Vol. 94, (1972), pp.544-550.
- (3) 社河内・安藤・中野, 前向きステップ面上の流動特性とはく離流れの抑制・制御, 機論 (B 編), 65-637, (1999) pp.72-78.