

東京工業大学 工学部 正員 長谷川佐代子

正員 日野 幹雄

1. まえおき

水にlinear型の high polymerとごく微量だけ溶くと、水の性質が変わり、乱流域で抵抗が減るという現象は、1948年、B. L. Tomによって発見された。彼は、径が0.0202 cm, 0.0645 cmの管路を用い、polymethylmethacrylate monochlorobenzene溶液について実験を行い、抵抗係数とReynolds数の関係を示した。この結果によると、層流域では水の場合と一致し、乱流になると抵抗係数はしだいに減少し始め、Reynolds数の増加と共に水における抵抗係数からのずれは著しくなる。

この現象をToms効果という。

Toms効果に関しては、管路や曳行格子を用いた乱流構造に関する実験、jetの実験あるいは共軸回転円筒のTaylor渦の実験から、しだいにその秘密が解きほぐされつつあるが、まだ多くの難点が残されている。

本研究では、polymer溶液の入った水槽に種々の球を落下させ、その最終速度から球の抵抗係数を測定した。これは、落下球の抵抗の発生機構が球の表面に沿う境界層の発達・剥離・遷移というpipe flow型の現象と、球の背後のwakeというjet flow型の2つの流れの組合わせであり、Toms効果の物理的解明の有効な方法と考えたからである。

2. 実験とその結果

(a) 実験方法：実験は写真測定の方法を用いた。高さ1 m, 断面33 cm四方の亚克力製水槽の下からストロボで照射し、落下する球を撮映した。polymer溶液としては、polyethyrene oxide (P.E.O.) の50ppm溶液を用い、球は、スチールとナイロンのベアリング用ボール、およびビンボーンに四塩化炭素をつめたものを用いた。

(b) 滑らかな球：得られた写真から読み取った落下球の最終速度を、PEO溶液の場合(U_p)と水の場合(U_w)との比によって示したものが図1である。PEO溶液では10%前後の速度の増加がみられる。また、式、

$$\rho \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) \left\{ \frac{4}{3} \pi \left(\frac{D}{2} \right)^3 \right\} g \\ = C_D \frac{\rho}{2} U^2 \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2$$

によって求めた抵抗係数 C_D すなわち、

$$C_D = \frac{4}{3} \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) \frac{Dg}{U^2}$$

とReynolds数 UD/ν との関係は図2で示される。ここで ρ は液体の密度、 σ は

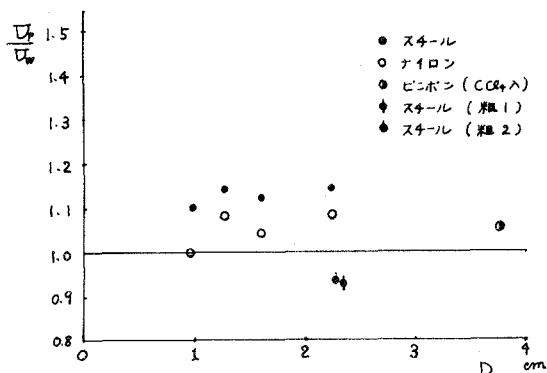


図 1

球の密度、 D は球の直径、 U は最終落下速度、 g は重力の加速度、 C_D は抵抗係数である。PEO溶液における C_D の減少の割合は、Reynolds数の増加についてわずかながら増加する傾向がみられる。この場合PEO溶液の動粘度 ν 、および密度 ρ は水とほとんど変わらないから、 C_D の減少は U の増加のみによると言える。

また、3種類の球の C_D をすれば、球の材質の違い又は、側壁の影響によるものと考えられる。

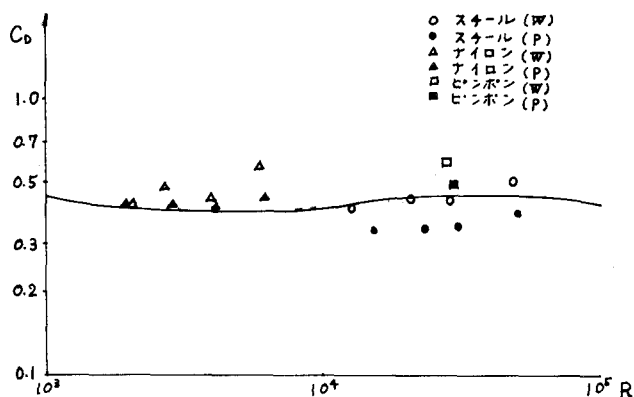


図 2

次に、球が落下する際、周期的な横振動の観察されるナイロン球について、Strouhal数と比較すると表1のようになる。PEO溶液でのStrouhal数は明らかに減少している。

C) 粗球; 次に、スチール球に粒径0.028 cmと0.228 cmの粗度をつけて、同様に落下速度を測定してみた。球の表面と粗にすれば一般にこのReynolds数($5 \times 10^4 \sim 10^5$)の範囲では、球に沿う境界層は乱流剥離となり、剥離点が後方にずれてwakeが縮小するので落下速度が増加する。水の場合の滑らかな球と粗い球との実験結果(滑球; $U_w = 198$ cm, 粗球; $U_w = 216$ cm)は正にこのことを示している。しかし、PEO溶液での速度は、滑らかな球の時とは逆に10%近く減少した。(図1参照)

D_{cm}	$D\nu/U_w$	$D\nu/U_f$
2.24	0.056	0.043
1.61	0.045	0.041
1.28	0.051	0.045
0.96	—	0.037

表 1

4. 考察

奇薄なhigh polymer溶液における抵抗係数の減少は管路の場合と同様に、落下球においても現われることが明らかになった。

この現象は、D.A. Whiteが述べているように、確かにPEO溶液で剥離点が球の後方に移動したこと、より一般的には、polymerの異方性が攪乱に対する層流の安定性を高めるという考えにより説明できるし、Strouhal数の減少も、この仮説を裏付けるものである。

しかし、粗度のある球では C_D は逆に増加することは、こうした仮説のみでは説明が困難であり、今後、球のwakeや剥離点等についての研究が必要である。

5. 謝辞

本研究に当り、多くの助言と御指導をいただきました本学水工研究室の吉川、権貝両先生に心から謝意を表します。