

京都大学工業教員養成所 正員 〇 大同 淳之

六甲工業高等専門学校 正員 日下部重幸

この報告は、塑性流体の管内流れの粗滑面遷移領域の抵抗法則と乱流領域の流速分布について実験を行なった結果についてのべたものである。

粗滑面遷移領域の抵抗係数 さきに著者は、塑性流体の管内流れの抵抗を表わすとき、(1)式に示す抵抗係数 f_B と Reynolds 数 Re_B を用いると、層流の領域で与えられるせん断降伏値 τ_0 と塑性粘度 μ_b を用いて、乱流の領域の f_B と Re_B の関係が、滑面ばかりでなく粗面の場合についても、ニュートン流体と同じように表されることを示した。すなわち完全粗面の領域では f_B は Re_B に無関係に、相対粗度 D/k だけで表わされることを示した。ここに

$$f_B = \frac{4\mu_b D \cdot 2g}{L \cdot W_b U_m^2 F(a)}, \quad F(a) = \frac{9(5+6a-11a^2)}{5(3+2a+a^2)^2}, \quad Re_B = \frac{4a\alpha \cdot D \cdot U_m F(a)}{\gamma_b}, \quad \alpha = \frac{a^4 - 4a + 3}{12a} \dots (1)$$

で、 $4\mu_b$ は区間しにおける損失水頭、 D は管径、 W_b は流体の単位体積重量、 U_m は平均流速、 a はせん断降伏値 τ_0 と壁面せん断応力 τ_w の比、 γ_b は動塑性粘度である。しかしながら層流から乱流に移る遷移領域での模様については明らかでなかった。ニュートン流体では一般に乱流の場合が多く、遷移領域の挙動はそれほど問題にならないが、

塑性流体では層流が普通の条件で生じ、わずかな変化で、層流と乱流の間を転移する。このような領域でも(1)式の関係で十分であるが確かめる必要がある。

図1は、内径2.715 cm のビニール管に粘土の泥漿を流した結果である。

粗度として $D/k=41$ は砂、209はサンドペーパーを用いた。 $D/k=41$ の実験結果から、この実験の範囲では、 f_B と Re_B で表わすとき、塑性流体の抵抗係数は $f=0$ の場合と全く同じに表される。遷移領域でも境界面の変化はないと考えてよい。ただ $D/k=209$ および滑面の場合において、 f すなわち τ_0 の増すにしたがって層流から乱流に移る遷移が Reynolds 数の大きい方向に移る傾向を示した。この傾向は滑面の場合に顕著であるから、その原因

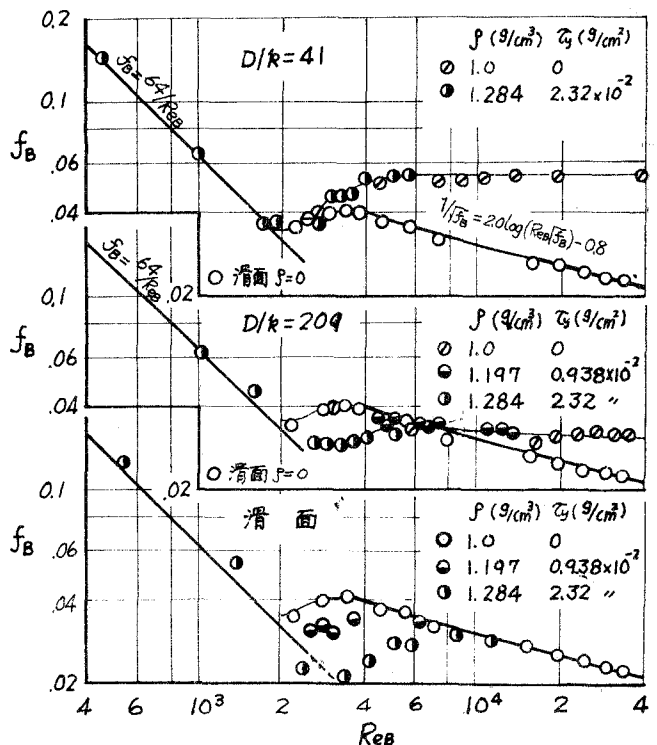


図1 遷移領域の抵抗係数と Reynolds 数の関係

図については、境界面の変化以外に求める必要がある。ニュートン流体では、乱れの発生は Re が 800 ほどで管の中央に発生し、 $Re \rightarrow 2400$ で全面的に乱れが広がるとされているが塑性流体の場合には管中心部に流動しない領域があり、この部分は乱流のときにでもいぜんとして存在することが実験によって認められる。この実験の場合ではこの流動しない領域によって、乱れの発生が抑制されていると考えられる。

乱流域の流速分布 塑性流体の円管内乱流の流速分布は、塑性流体でも、乱れによるせん断応力として、混合長理論がなりたつと考えると、次式が成り立つ。

$$\frac{U}{U_*} = A_1 + \frac{\sqrt{1-a}}{K} \ln \frac{y U_*}{\nu_B}, \quad A_1 = \frac{\sqrt{1-a}}{K} \left\{ \ln 4K\sqrt{1-a} - 1 \right\} + \frac{U_* d_i}{\nu_B} \quad (2)$$

ここに用いた記号は a および ν_B と除いて、慣用のものである。式中の A_1 , K , $U_* d_i / \nu_B$ は、(2)式より得られる抵抗係数の式の中の係数が実験によると、 η , μ_B の変化にかかわらず一定値と保つことから図2のように a の関数で与えられるものと考えた。¹⁾ (A_1 は平均流速の係数)

この結論の妥当性は実験によって検証されなくてはならぬ。しかし上にのべた考え方が、この流体の力学的挙動にふさわしいものであるかどうか未定であるため、実験結果がただ半対数紙上に直線状にあらわされたとしても、直ちにそれから係数を求めても十分でない。

(2)式の考えが妥当であるならば、 a の等しい流速分布は層流、乱流の領域と通じて U/U_* と $U_* y / \nu_B$ の関係は結ばれるはずである。図3は、 Re_B の異なる二つの実験結果を重ねたもので、これからは一応(2)式の考えがなりたつと考えてよいようである。ニュートン流体では、流速分布において、 $U_* y / \nu > 70$ において乱流、 $5 < U_* y / \nu < 70$ の範囲は遷移領域とされている。ニュートン流体の $U_* y / \nu$ に、塑性流体の $U_* y / \nu_B$ が対応するものとする、(2)式の係数とよみとるのは、 $U_* y / \nu_B > 70$ の領域で行う必要がある。直至 4.1 cm の管を用いて流速分布と測定した結果では種々の条件で行な、たが、 $U_* y / \nu_B > 70$ の領域が生じるのは、 η に比較して μ_B の大きい、 a の値にして 0 の近くに限られた。この付近の実験で得られた K と a の関係は図4に示す。管径を小さくして更に実験を行う予定である。

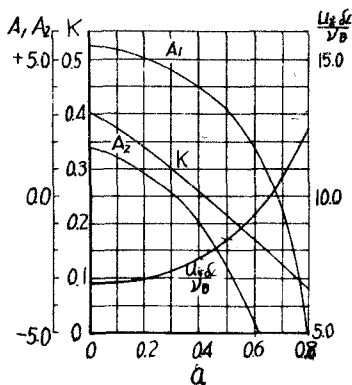


図2 a と A_1 , A_2 および $\frac{U_* d_i}{\nu_B}$ の関係

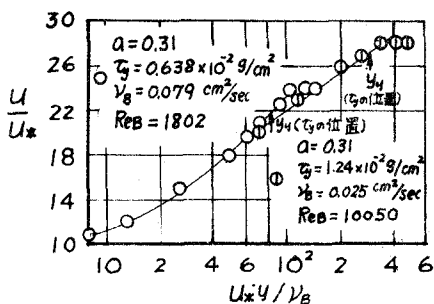


図3 流速分布の1例

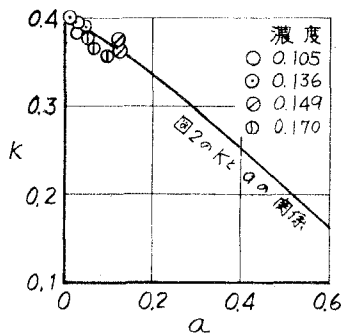


図4 実験値と対比、

参考文献 1) 大同、日下和；非ニュートン流体の乱流特性 工本学

会第20回年次講演会概要

2) 廣田幸雄；非ニュートン流体の工学的取扱、日本機械学会誌 Vol. 63 第35