

山梨大学工学部 正会員 萩原能男

山梨大学工学部 正会員 宮沢直幸

○ 山梨大学大学院 学生員 手塚久司

1. まえがき

本発表は、第39回土木学会年次講演会(昭和59.10)の発表に続いてレイノルズ数 Re を非ニュートン流体に拡張して定義し、ニュートン流体で一般に用いられているMoody線図などを非ニュートン流体に利用できるかどうか検討したものである。

2. 拡張されたレイノルズ数の物理的意味

一般の非ニュートン流体について、拡張されたレイノルズ数 Re_2 を定義してみよう。図-1のように、ニュートン流体(粘性係数 μ)より $g(\tau)$ 変化して $f(\tau)$ になるせん断速度 du/dr を示す非ニュートン流体を考えて

$$du/dr = f(\tau) = \tau/\mu - g(\tau) \text{-----}(1)$$

を用いてレイノルズ数を定義し、流速、長さの代表値を用いて示すと

$$Re_2 = Re \left\{ 1 - Re \frac{\mu}{\tau_0} g(\tau_0) \right\} \text{-----}(2)$$

ただし、 $Re = U\ell/(\mu/\rho)$ はニュートン流体で定義されるレイノルズ数であり、 ρ は流体密度、 ℓ は長さの代表値、 τ_0 は τ の代表値である。

一方、ビンガム流体について別途定義すると

$$Re_1 = \frac{U\ell}{\eta_{pl}/\rho + k_1 \tau_0 \ell / \rho U} \text{-----}(3)$$

式(2)、式(3)のように非ニュートン流体における拡張されたレイノルズ数 Re_1 、 Re_2 を定義すると、諸量の代表値を用いるために未知の無次元係数 k_1 、 k_2 が入ってくる。

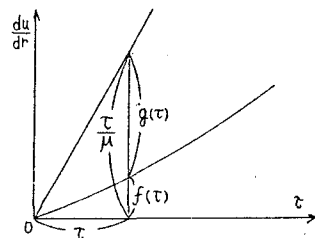


図-1

3. 拡張されたレイノルズ数の別の定義

拡張されたレイノルズ数 Re_3 は次のように定義される。¹⁾

$$Re_3 = Re \left\{ 1 - X(\tau_0) \right\} \text{-----}(4)$$

ただし、 $G(\tau) = \int g(\tau) d\tau$ $X(\tau_0) = \frac{8\mu}{\tau_0^4} \left\{ \frac{1}{2} G(\tau_0) \tau_0^2 - \int_0^{\tau_0} G(\tau) \tau d\tau \right\}$ である。

ビンガム流体の場合には Re_3 に相当する拡張されたレイノルズ数 Re_4 は

$$Re_4 = Re \left\{ 1 - \frac{4}{3} \left(\frac{\tau_0}{\tau_c} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{\tau_0}{\tau_c} \right)^4 \right\} \text{-----}(5)$$

となる。

4. 実験と実験資料

本実験では、流体は水とベントナイト(比重1.1)の混合流体とし、水とベントナイトの重量混合比 $W/V=9.10, \dots, 16$ の8種類とした。そしてこれらの混合流体をビンガム流体として塑性粘度 η_{pl} 、降伏応力 τ_0 を定め、内径20mmと30mmの2種類の円管内を流して流量と摩擦損失水頭を測定した。なお、壁面摩擦応力 τ_0 は摩擦損失水頭より求めた以下の計算に使用した。

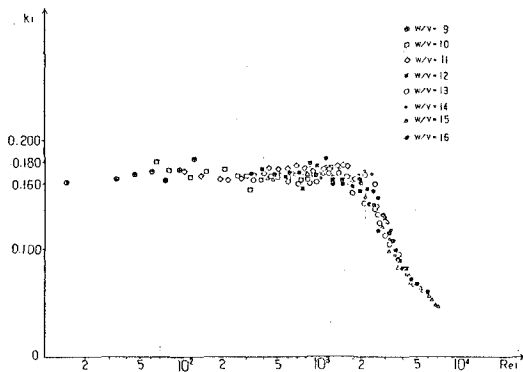


図-2 式(3)で定義した係数 k_1 と Re_1 の関係

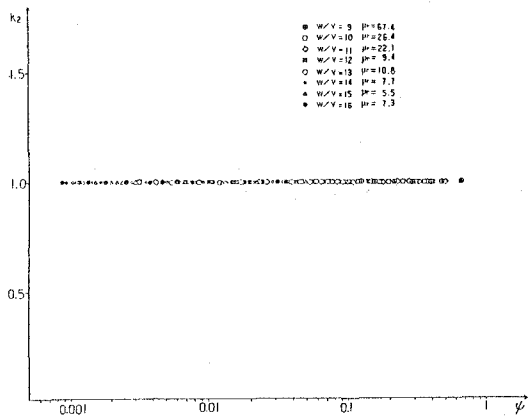


図-3 式(2)で定義した係数 k_2 と ψ の関係

5. 無次元係数 k_1 , k_2 の実験的考察

各実験資料ごとに拡張されたレイノルズ数 Re_1 と Re_+ が同一の値を取るような無次元係数 k_1 を定めると図-2のようになる。この無次元係数 k_1 は $Re_1 < 2000$ では0.16~0.18となりほぼ一定値をとり、 Re_1 が2000以上になると減少して0に近づく。これは後述のMoody線図からも利とうり乱流域と考えられる。

次に、各資料ごとに拡張されたレイノルズ数 Re_2 と Re_+ が同一の値を取るような無次元係数 k_2 を定めると図-3のようになる。この無次元係数 k_2 はほぼ1.0となった。これは本実験で μ が水の粘性係数 μ の約5倍以上のためである。これは図-4の理論曲線でも明らかである。

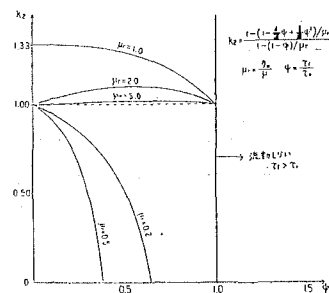


図-4 k_2 の理論曲線

6. 拡張されたレイノルズ数のMoody線図への適合性

各実験値に対する抵抗係数 λ と、拡張されたレイノルズ数 Re_1 , Re_+ の関係を表わしているのが図-5である。図から明らかなように拡張されたレイノルズ数 Re_1 , Re_+ が水ベントナイト重量比に関係なく層流域のMoody線図に一致していることがわかる。これに反して、ニュートン流体として定義されたレイノルズ数 Re の方は、水ベントナイト比が小さく(水ベントナイト濃度が濃)なるほど層流域のMoody線図から離れていくことが図-6よりわかる。

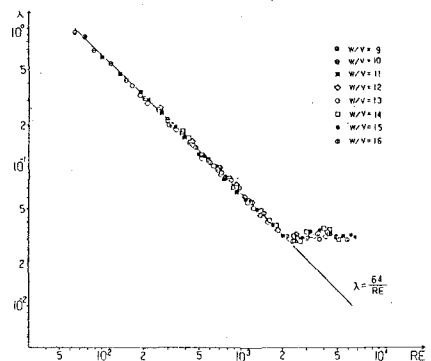


図-5 Moody線図

7. 結論

(1) 拡張されたレイノルズ数 $Re_1 = \frac{U_{nd}}{\eta_{PR}/P + R_i T_s d / \rho \mu_m}$ における無次元係数の値は、本実験の層流域では $k_1 = 0.16 \sim 0.18$ でほぼ一定値をとる。同様に係数 k_2 は水に比較して高粘度の場合にはほぼ1.0となることが判明した。

(2) 一般に用いられるニュートン流体に対するMoody図表へビingham流体を適用するためには、拡張されたレイノルズ数 Re_1 , Re_+ を用いるとよい。

〈参考文献〉 1) 萩原：第39回土壌学会年次講演会 II-313 1985

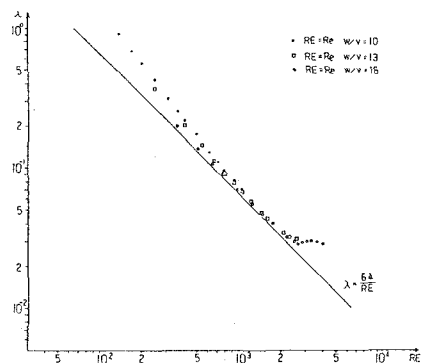


図-6 Moody線図