

早稲田大学理工学部 正会員 遠藤郁夫

国士舘大学工学部 正会員 ○金成英夫

日本大学生産工学部 正会員 永田伸之

1. 緒 論

下水汚泥の管路輸送は液状の汚泥の輸送手段としては、確実でかつ経済的である。著者らは、管壁が滑らかな場合の下水汚泥の摩擦損失係数は広義のレイノルズ数のみの関数で表わせることを示した。一方、粗い管の清水の摩擦損失係数はレイノルズ数 Re だけでなく管壁の粗度要素の大きさ、形状および間隔等の関数となることが知られている。しかし、粗い管で下水汚泥を輸送した場合の摩擦損失係数についてはほとんど研究されていないのが実情である。そこで、本研究は粗い管における下水汚泥の摩擦損失係数について実験的に検討を加えたものである。

2. 実験装置及び実験方法

実験管路は長さ 4.0m、内径 2.00cm の塩化ビニール管の内面に人工的に粗度を付けたもので、圧力測定区間は 2.0m である。圧力測定は汚泥が入り込まないようにしたマノメータで、流速は重量法で測定した流量から求めた。実験にはS下水処理場の汚泥（最初沈殿池汚泥＋余剰汚泥；VS/TS=80~85%）を用いた。

3. 実験結果及び考察

実験管路の相対粗度 $(k_s/D)_w$ は清水における Re 数と摩擦損失係数 λ との関係から Colebrook-White の式で求めた。その結果、実験管路の相対粗度は 0.008, 0.016, 0.018 および 0.027 であった。

下水汚泥は非ニュートン流体としての挙動を示し、特に擬塑性流体として取り扱う必要がある。すなわち摩擦損失と流速との関係は、層流領域では

$$\frac{D \cdot \Delta P}{4L} = K' \left(\frac{8V}{D} \right)^{n'} \quad (1)$$

D ; 管径, ΔP ; 圧力損失, L ; 管長, V ; 流速, n' ; 構造粘度指数, K' ; 流体粘度度指数

で表すことができる。

この場合の Re 数は次式の広義のレイノルズ数 Re_g となる。

$$Re_g = \frac{D^{n'} \cdot V^{2-n'} \cdot \rho}{K_p'} \quad (2)$$

$K_p' = 8^{n'-1} \cdot K'$, ρ ; 密度

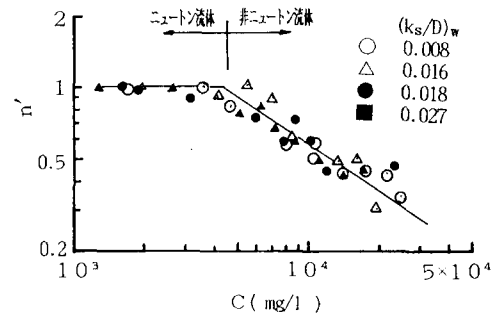
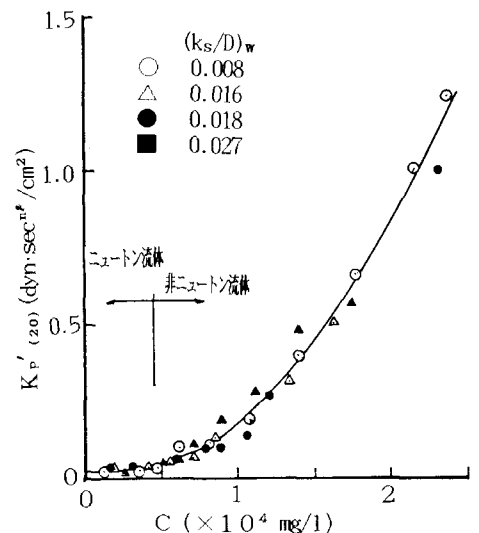
また、摩擦損失係数 λ は次の Darcy-Weisbach の式から求めることができる。すなわち、

$$\lambda = \frac{2g \cdot D \cdot h_f}{L \cdot V^2} \quad (3)$$

h_f ; 摩擦損失水頭, g ; 重力加速度

図-1 および図-2 は汚泥濃度と n' および K_p' との関係を示したものである。これらの図から、下水汚泥の n' および K_p' は管の相対粗度の影響をほとんど受けないことが認められる。

図-3, 図-4 および図-5 はそれぞれ相対粗度 0.008,

図-1 汚泥濃度と n' 図-2 汚泥濃度と K_p'

0.018および0.027の実験管路で下水汚泥を輸送した場合の R_{eg} と λ との関係を示したものである。いずれの相対粗度の場合とも、これらの関係は層流領域では、汚泥濃度にかかわらず $\lambda=64/R_{eg}$ で表わせる。一方、 $R_{eg}\geq 4000$ の乱流領域では、 λ は汚泥濃度の影響を大きく受けている。そこで、Colebrook-Whiteの式で R_e を R_{eg} に置き換えて、各濃度における相対粗度 $(k_s/D)_w$ との比 $\alpha=(k_s/D)_s/(k_s/D)_w$ と汚泥濃度との関係を図-6に示した。図-6から、濃度がほぼ4000mg/l以下では、 α は汚泥濃度とともに大きくなるが、4000mg/l以上では α は汚泥濃度とともに小さくなり滑らかな管の状態に近づくことが認められる。これは、下水汚泥では濃度が高い場合、図-2に示すように K_p' が急激に増大するため、粘性底層が厚くなり管壁の粗さの影響を抑制するが、濃度が低くなると粘性底層も薄くなり管壁の粗さの影響を受けやすくなるためと考えられる。また、濃度が4000mg/l以下では、図-2に示すように粘度も小さくなるため、汚泥中の粒子が乱れやすく、粒子の運動によりエネルギー損失が大きくなるためと考えられる。濃度4000mg/l付近は下水汚泥の流動特性がニュートン流体から非ニュートン流体に変わる濃度でもある。以上の検討結果から、粗い管路における下水汚泥の摩擦損失係数は次の式で求めることができる。

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2.0 \log \left(\frac{\alpha (k_s/D)_w}{3.71} + \frac{2.52}{R_{eg} \sqrt{\lambda}} \right) \quad \dots (5)$$

汚泥濃度 $C \leq 4000 \text{ mg/l}$

$$\alpha = 1.00 + 3.39 \times 10^{-4} \times C$$

汚泥濃度 $C \geq 4000 \text{ mg/l}$

$$\alpha = 1.72 - 8.08 \times 10^{-5} \times C$$

4. 結 論

粗い管路で下水汚泥を輸送した場合の摩擦損失係数について実験的に検討した結果、次の結論を得た。

- (1) 下水汚泥の構造粘度指数および K_p' は管の粗さの影響をほとんど受けない。
- (2) 管の相対粗度が0.008~0.027の範囲では、 α は相対粗度に関係なく、汚泥濃度との間に一定の関係があり、 α を汚泥濃度の関数で表すことができた。

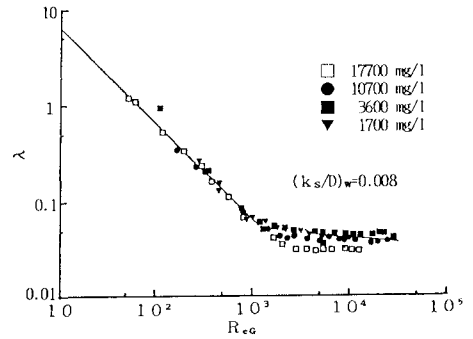


図-3 R_{eg} と λ との関係($(k_s/D)_s=0.008$)

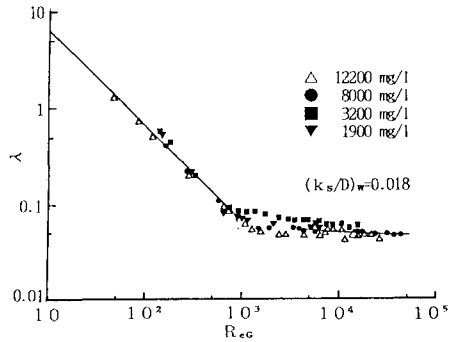


図-4 R_{eg} と λ との関係($(k_s/D)_s=0.018$)

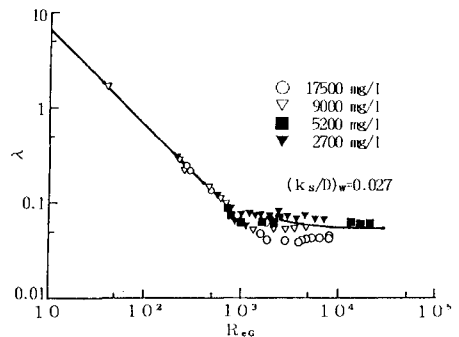


図-5 R_{eg} と λ との関係($(k_s/D)_s=0.027$)

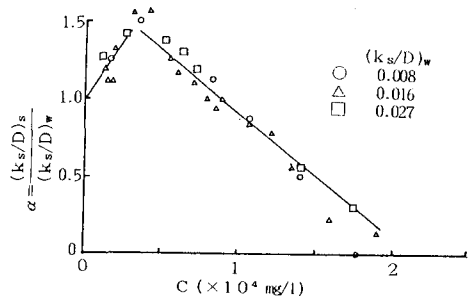


図-6 汚泥濃度と α との関係