

II-463

下水汚泥の摩擦損失係数に関する実験的研究

早稲田大学理工学部
 国土館大学工学部
 群馬工業高等専門学校

正会員 遠藤郁夫
 正会員 ○金成英夫
 正会員 大森 忠

1. 緒 論 汚泥の摩擦損失係数は、粒子が微細な場合は、Colebrook-Whiteの式で広義のレイノルズ数を用いて求めることができるが、下水汚泥のような粗大粒子や繊維状物質を含む泥漿の摩擦損失係数は、微細な粒子のみを含む泥漿の場合と異なることを、著者らがすでに明らかにしている。本研究は、滑管および粗管に下水汚泥を流した場合の摩擦損失係数について、実験的に検討を加えた結果を報告するものである。

2. 実験装置及び実験方法 実験管路には矩形の管路を用いた。実験管路は塩化ビニール製で、全長が4.0m、助走区間1.5m、圧力損失測定区間は2.0mである。この実験管路には、内面が滑らかな管（滑管）と内面に砂（金剛砂）を張り付け、人工的に粗度をつけたもの（粗管）を用いた。実験管路の1辺の長さ、および、相対粗度を表-1に示す。実験管路の内面に人工的に付着させた金剛砂の有効径（ D_{10} ）および均等係数（UC）は金剛砂No.60およびNo.24で、それぞれ、 $D_{10}=0.22\text{mm}$ 、 $UC=1.27$ 、および、 $D_{10}=0.72\text{mm}$ 、 $UC=1.15$ である。圧力測定区間は2.0mで、圧力測定は汚泥が入り込まないようにしたマンオメータで流速は重量法で測定した流量から求めた。S下水処理場の混合汚泥を用いた。

3. 実験結果及び考察 正方形管の場合、管径の代わりに次式の相当直径 D （ $=4A/S$ 、 A ：断面積、 S ：潤辺）を用いると、層流領域の Re 数と f との関係は次のようになる。

$$f = 56.9 / Re \quad (1)$$

Schillerは相当直径を用いた場合、水の乱流領域の摩擦係数を円形管のレイノルズ数と摩擦係数との関係を用いて求めることができるとしている。図-1は水の場合 Re 数と f との関係を示したものである。これらの関係から、Colebrook-Whiteの式を用いて、相対粗度を求め表-1に示す。

下水汚泥の流動特性は非ニュートン流体であり、特に、擬塑性流体として取り扱う必要がある。擬塑性流体の層流領域の損失水頭と流速との関係は

$$\frac{D \cdot \Delta P}{4L} = k' \left(\frac{8V}{D} \right)^{n'} \quad (2)$$

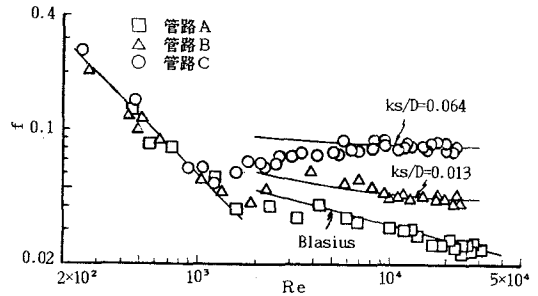
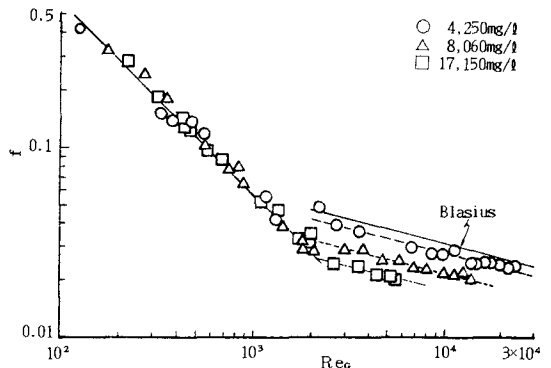
ΔP ：圧力損失、 L ：管長、 V ：流速、 n' ：構造粘度指数、 k' ：流体粘度度指数となる。ここで、流体の密度を ρ とすると、正方形管の場合、レイノルズ数は(3)式の広義のレイノルズ数 Re_G で計算できる。

$$Re_G = \frac{D^{n'} \cdot V^{2-n'} \cdot \rho}{1.125 \times 8^{n'-1} \cdot k'} \quad (3)$$

一方、摩擦損失係数 f は次の Darcy-Weisbachの式から求めることができる。すなわち、

表-1 管路の管径、相当粗度および相対粗度

実験 管路	D (cm)	砂の平均 径 (mm)	$\frac{ks}{D}$	備 考
A	2.45	0	0	滑らかな管
B	2.42	0.45	0.013	金剛砂 No.60
C	2.35	0.90	0.064	金剛砂 No.24

図-1 水の Re 数と f との関係図-2 下水汚泥の Re_G と f （管路A）

$$f = \frac{2g \cdot D \cdot h_f}{L \cdot V^2} \quad (4)$$

h_f ; 摩擦損失水頭, g ; 重力加速度

図-2は管路-A（滑管）に下水汚泥を流した場合の Re_G と f との関係を示したものである。下水汚泥の乱流領域の f は、汚泥濃度とともにBlasiusの関係に平行に減少していることが認められる。このことから、滑管における下水汚泥の f は、次のように表せる。

$$f = \alpha Re_G^{-0.25} \quad (5)$$

図-3に下水汚泥の濃度(C)と α との関係を示した。

図-4および図-5は、それぞれ管路-BおよびCに下水汚泥を流した場合の Re_G と f との関係を示したものである。粗管の場合も、濃度が増加するにしたがって、乱流領域の f が減少しているのが認められる。粗管における下水汚泥の Re_G と f との関係は、Colebrook-Whiteの式で水と異なった相対粗度を用いた関係に良く一致している。このことは、相対粗度を α_R 倍し、Colebrook-Whiteの式で f を求めることができることを示している。すなわち、

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2.0 \log \left(\frac{\alpha_R (k_s/D)_w}{3.71} + \frac{2.52}{Re_G \sqrt{\lambda}} \right) \quad (6)$$

図-6に汚泥の濃度と α_R との関係を示した。管路-Bでは、汚泥濃度 5,000mg/l以下では、 α_R が1以上である。これは、汚泥を流した場合の見掛け上の相対粗度が、水のそれよりも大きいことを示している。一方、汚泥濃度5,000mg/l以上では、見掛け上の相対粗度が、濃度とともに減少している。管路-Cでも、汚泥濃度10,000mg/l以下では、見掛け上の相対粗度が水のそれより大きい。この場合も、管路-Bと同様に、濃度10,000mg/l以上では、水のそれよりも小さくなることが予想される。

ベントナイトスラリーのように微細な粒子の泥漿の場合、 f は Colebrook-Whiteの式で Re_G を用いて求めることができることを勘案すると、下水汚泥は比較的大きな粒子や繊維状の物質が含まれているため、見掛け上の相対粗度が図-6のようになるものと考えられる。すなわち、下水汚泥中のこれらの物質が水と一体となって運動せず、管内の流れの挙動が水の場合と異なるものと予想される。

4. 結 論 実験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検討し、次の結論を得た。

- (1) 滑らかな管の乱流領域の Re_G と f との関係は、Blasiusの式を平行移動させた関係で表すことができる。
- (2) 粗い管の乱流領域の Re_G と f との関係は、Colebrook-Whiteの式で計算できる。ただし、見掛け上の相対粗度は、管路の相対粗度および汚泥濃度の影響を受ける。

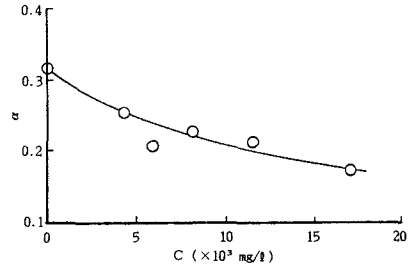


図-3 下水汚泥の濃度と α （滑管）

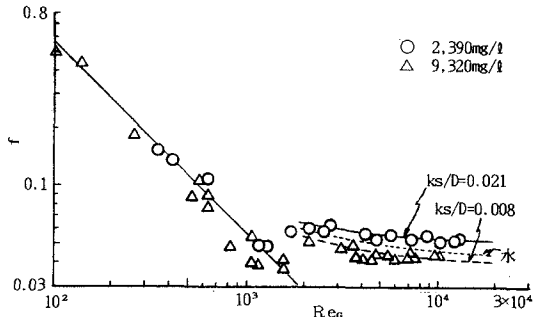


図-4 下水汚泥の Re_G と f （管路B）

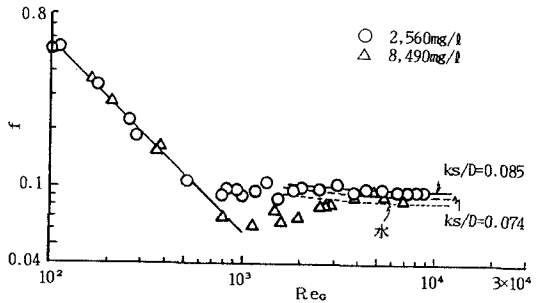


図-5 下水汚泥の Re_G と f （管路C）

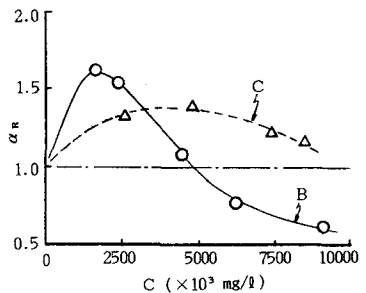


図-6 下水汚泥の濃度と α_R （粗管）