

早稲田大学理工学部 学生員 ○和崎宏一
 国土館大学工学部 正会員 金成英夫
 早稲田大学理工学部 正会員 遠藤郁夫

1. 緒 論

下水汚泥の輸送管路の設計には、摩擦損失水頭を知ることが最も大切である。下水汚泥は有機性固形物及び粗大粒子や繊維状物質を含んでいるため、水の場合の関係式を用いて損失水頭を求めることはできない。本研究は管壁に粗さを持つ管路を用いて、下水汚泥の構造粘度指数、流体粘度指数および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

図-1に実験装置の概要を示す。実験には正方形断面管路を用いた。これは、水路の内面に金剛砂を均一に付着させるため、上蓋を取り外すことのできる正方形断面管路を用い、人工的に均一な粗度を付けるためである。管路は塩化ビニール製で、全長が4.0m、助走区間1.5mおよび圧力損失測定区間2.0mである。管路の内面に付着させた金剛砂は、粒径の大きな順に並べると、No. 24, No. 36, No. 60およびNo. 120である。これらの金剛砂の有効径および均等係数を表-1に示す。

圧力は汚泥が入り込まないようにしたマンオメータで測定した。さらに、流速は重量法で求めた流量から算定した。下水汚泥は、S下水処理場の生汚泥を用いた。

3. 実験結果及び考察

正方形管の場合、レイノルズ数 Re と摩擦損失係数 f との関係は、円管の場合の関係式をそのまま用いることはできない。矩形管では、円管の場合の管径の代わりに、管の潤辺 S と断面面積 A から、次の相当直径 D

$$D = \frac{4A}{S} \quad (1)$$

を用いる。正方形管の場合、層流領域の Re と f との関係は理論的に、次のようになる。

$$f = \frac{56.9}{Re} \quad (2)$$

$$\text{ここで、} Re = \frac{DV\rho}{\mu} \quad (3)$$

V : 流速, ρ : 密度, μ : 粘性係数

Schillerは矩形管路の乱流領域の Re と f は、相当直径を用いると、円管の場合の关系到良く一致するとしている。

図-2は、この実験管路に水を流した場合の Re と f との関係を示したものである。この乱流領域の Re と f との関係から、次のColebrook-Whiteの式を用いて相対粗度 k_s/D を求め表-1に示した。

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{k_s/D}{3.71} + \frac{2.52}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (4)$$

下水汚泥は擬塑性流体として取り扱う必要がある。

円管の場合、下水汚泥の層流領域では、次の関係が成り立つこと

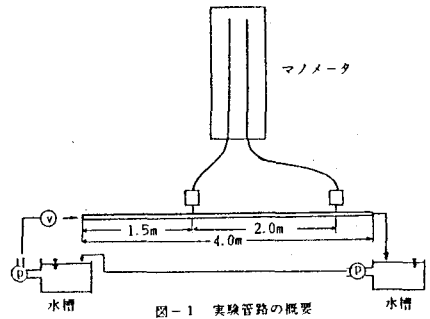


図-1 実験管路の概要

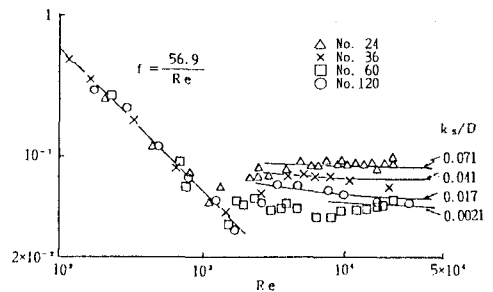


図-2 水のレイノルズ数と摩擦損失係数

表-1 実験装置の緒元

金剛砂 No.	D (cm)	有効径 (mm)	均等係数	k_s/D
24	2.35	0.72	1.15	0.071
36	2.40	0.46	1.22	0.041
60	2.42	0.22	1.27	0.017
120	2.42	0.10	1.60	0.0021

を著者等の研究ですでに明らかにしている。すなわち、

$$\frac{d \cdot \Delta P}{4 L} = k' \left(\frac{8 V}{d} \right)^{n'} \quad (5)$$

d : 円管の直径 ΔP : 圧力損失 L : 管長、

V : 流速 n' : 構造粘度指数 k' : 流体粘度指数

図-3は、正方形管路における下水汚泥の層流領域の $8V/D$ と $D\Delta P/4L$ との関係を示したものである。これらの関係は、両対数グラフで直線で表せる。したがって、正方形管においても、円管と同様に次の関係が成り立つことがわかる。

$$\frac{D \cdot \Delta P}{4 L} = k' \left(\frac{8 V}{D} \right)^{n'} \quad (6)$$

図-4および図-5は、それぞれ(6)式を用いて求めた下水汚泥の構造粘度指数 n' および流体粘度指数 k' と汚泥濃度との関係である。下水汚泥の構造粘度指数は管路の粗度の影響を受けず、汚泥濃度とともに小さくなっている。同様に、流体粘度指数も管路の粗度の影響を受けず、汚泥濃度とともに指数関数的に増大している。結局、下水汚泥の構造粘度指数および流体粘度指数は、管路の粗度の影響を受けず、汚泥の濃度等によって決まる数値であることがわかる。

図-6は金剛砂No.120を付着させた管路で下水汚泥を流した場合の広義のレイノルズ数 Re_G と摩擦損失係数 f との関係を示したものである。ここで、 Re_G は(7)式で、一方、 f はDarcy-Weisbachの式を変形した(8)式で求めた。

$$Re_G = \frac{D^{n'} \cdot V^{2-n'} \cdot \rho}{8^{n'-1} \cdot k'} \quad (7)$$

$$f = \frac{2 g \cdot D \cdot h_f}{L \cdot V^2} \quad (8)$$

h_f : 摩擦損失水頭 g : 重力加速度 ρ : 密度

図-6中の k_s/D の値は(4)式のColebrook-Whiteの式を適用して求めた値である。ただし、(4)式で Re の代わりに Re_G を用いている。この図から、下水汚泥の乱流領域の f は Re_G だけでなく汚泥濃度の影響も大きく受けることがわかる。

4. 結 論

管壁に粗さを持つ実験管路を用いて、下水汚泥の管路輸送について実験的に検討を加えた結果をまとめると次のようになる。

- (1) 下水汚泥の構造粘度指数および流体粘度指数は、管路の粗度の影響を受けず、汚泥濃度によって決まる数値である。
- (2) 下水汚泥の乱流領域の摩擦損失係数は、広義のレイノルズ数だけでなく、汚泥濃度の影響も大きく受ける。

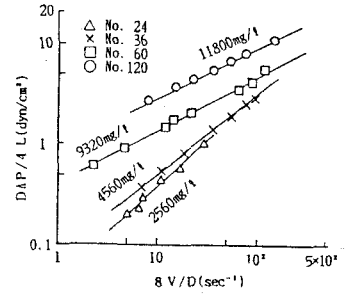


図-3 下水汚泥の $8V/D$ と $D\Delta P/4L$

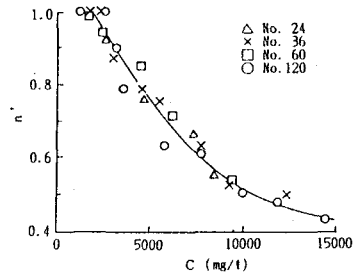


図-4 下水汚泥の濃度と構造粘度指数

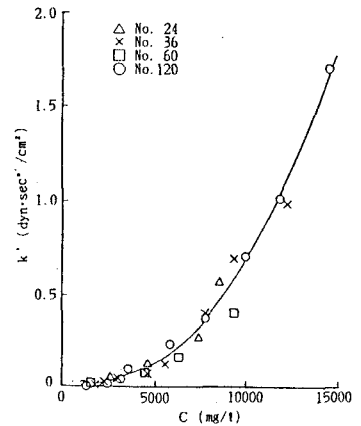


図-5 下水汚泥の濃度と流体粘度指数

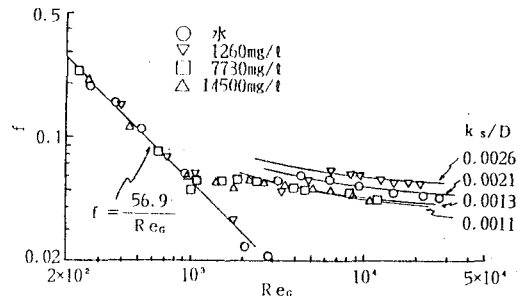


図-6 下水汚泥の Re_G と f