

早稲田大学理工学部 正 員 遠藤郁夫
 国土院大学工学部 正 員 金成英夫
 清水建設 正 員 ○岡野正固

1. 結 論 浄水場で発生する上水汚泥は従来のように河川への直接放流処分等は公共用水域の水質汚濁防止の観点から、事実上、困難な場合が多い。上水汚泥は各浄水場で適切に処分するか、数ヶ所の浄水場の汚泥を1ヶ所に集め、集中一括処理する必要も生じてきている。このようなことから、上水汚泥の処理・処分地への輸送手段としての管路輸送や汚泥放流管などの設計に際して、合理的な設計法を確立する必要がある。本研究は上水汚泥の管路輸送における摩擦損失係数および摩擦損失水頭について、実験管路および回転粘度計を用いて実験的に検討を加えたものである。

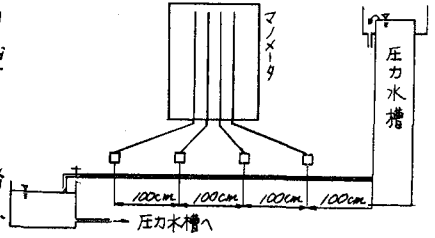


図1. 実験装置の概観

2. 実験装置および実験方法 上水汚泥の摩擦損失水頭の測定に用いた実験管路の概要を図1に示す。管路は塩ビニール製であり、管径は1.62 cm および 2.00 cm である。損失水頭はマンノメータで、流速は体積法で測定した。損失水頭は流速を一定に保ち、そのときの流速と同時に測定した。粘度測定に用いた回転粘度計は同心円筒回転粘度計であり、外筒半径1.50 cm、内筒半径1.25 cm および内筒の長さとは 2.00 cm である。実験には4浄水場の汚泥を用いた。

3. 上水汚泥の摩擦損失係数 上水汚泥の流動特性は擬塑性流体で近似できるとため、次の管内流動理論が適用できる。すなわち、

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

この場合、広義のレイノルズ数 (Re) は次の式で与えることができる。

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

$k' = 8^{n'-1} \cdot R'$, n' : 構造粘度指数, ρ : 流体粘度指数, D : 管径, ΔP : 圧力損失, L : 管長, V : 流速, ρ : 密度。

図2および図3は汚泥濃度と n' および k' の関係を示したものである。上水汚泥の n' は汚泥濃度とともに徐々に減少しているのに対して、 k' は指数関数的に増大しているのが認められる。これらの関係は次の式で表すことができる。

$$n' = 9.20 C^{-0.267} \quad (3)$$

$$k' = 5.53 \times 10^{-8} C^{1.41} \quad (\text{dyn} \cdot \text{sec}^{n'} / \text{cm}^2) \quad (4)$$

C : 汚泥濃度 (mg/l), 温度 20~29°C

図4は上水汚泥の密度と汚泥濃度との関係であり、次の式で表わせる。

$$\rho = 0.993 + 6.07 \times 10^{-7} C \quad (\text{g/cm}^3) \quad (5)$$

摩擦損失係数 (λ) は Darcy-Weisbach の式で算定した。

$$\lambda = 2g \frac{D}{L} \frac{k'}{V^2} \quad (6)$$

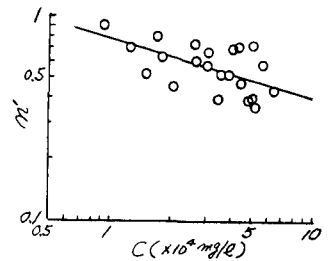
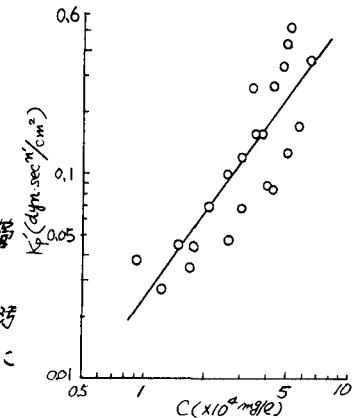
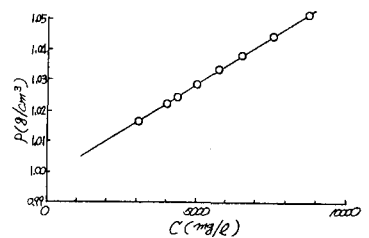
図2. Cと n' の関係図3. Cと k' の関係図4. Cと ρ の関係

図5は(2)式に示した Re と(6)式の λ との関係を示したものである。これらの関係は次のように表すことができる。

層流領域 ($Re \leq 2000$) $\lambda = 64/Re$ (7)

乱流領域 ($Re \geq 4000$) $\lambda = 0.0777 Re^{-0.23}$ (8)

ただし、汚泥濃度 9220 ~ 65000 mg/l および温度 20~24℃。固相から、臨界レイノルズ数は 2000 と考えることができる。

4. 摩擦損失水頭の計算値と実験値の比較 上木汚泥の摩擦損失水頭の計算値は次の2つの方法を用いて算定した。すなわち、前節(3節)で検討した Re - λ 等の関係を用いる方法および *Abwassertechnik* に示された方法。ここで、*Abwassertechnik* に示された計算法を示す。この方法は回転粘度計から求めた汚泥の速度勾配 ($G(\eta_0)$) とせん断応力 (F_0) の関係から、次式で

$$F_0 = R(G(\eta_0))^n \quad (9)$$

構造粘度指数 (n) および流体粘度指数 (R) を求め、(10)式および(11)式で摩擦損失係数 (λ) を算定する。

層流領域; $\lambda = 8 \left(\frac{6n+2}{n} \right)^n \frac{1}{Re_n}$ (10)

乱流領域; $\frac{1}{\lambda} = 2.0 \left(\frac{1}{n} \right)^{0.70} \log(Re_n \lambda^{1-\frac{n}{2}}) - 0.8n$ (11)

$$Re_n = \frac{D^n \cdot v^{2-n} \cdot \rho}{R} \quad (12)$$

摩擦損失水頭の比較検討に用いた管路は塩化ビニール製で、管径は 200mm である。実験には A 浄水場の汚泥を使用した。

図6は本報告の3節で示した関係式を用いて算定した摩擦損失水頭の計算値 ($R_{f(c)}$) と実験値 ($R_{f(e)}$) の誤差率 (E) と Re との関係である。ここで、誤差率 (E) は次の式で算定した。

$$E = (R_{f(c)} - R_{f(e)}) / R_{f(e)} \quad (13)$$

図6に見られるように、 Re 数が 5000 以上では、 E は $\pm 10\%$ 以内であり、計算値は実験値に良く一致している。

Abwassertechnik の方法を用いる場合、回転粘度計で汚泥の粘度を測定する必要がある(図7)。図8は図7の関係から、この方法で算定した $R_{f(c)}$ と $R_{f(e)}$ の誤差率 (E) と Re_n との関係である。図8から誤差率は Re_n 数に關係なく、 $\pm 40\%$ 程度にあることが認められる。

5. 結論 上木汚泥の管路輸送における摩擦損失水頭について実験的に検討を加え、次のような結論が得られた。

(1) 上木汚泥の濃度と構造粘度指数、流体粘度指数および密度の関係を求めた。

(2) 本報告で示した上木汚泥の摩擦損失水頭の算定式は Re 数が 5000 以上では誤差率は $\pm 10\%$ 以内であり、*Abwassertechnik* の方法は $\pm 40\%$ 程度である。

[参考文献] 1) 遠藤, 金成, 井田, "上木汚泥の管路輸送に関する実験的研究", 第36回土木学会年講(四), 昭和56。

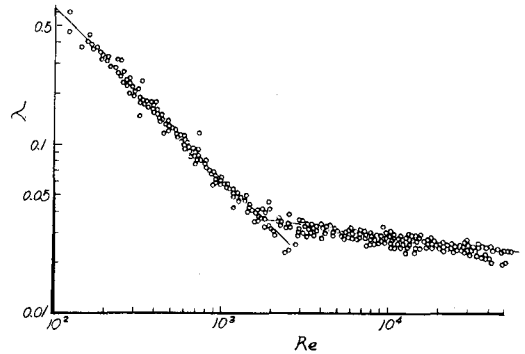


図5. 上木汚泥の Re と λ との関係



図6. Re と E との関係

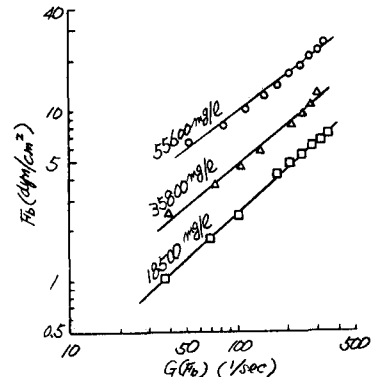


図7. 上木汚泥の $G(\eta_0)$ と F_0 との関係

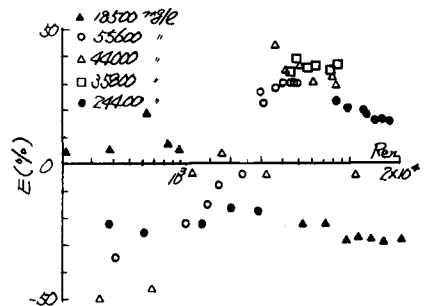


図8. Re_n と E との関係