

II-67 上水汚泥の管路輸送に関する実験的研究

早稲田大学理工学部 正員 遠藤郁夫
 国士館大学工学部 正員 金成英夫
 早稲田大学理工学部 学生員 〇許田和義

1. 緒論 浄水場から発生する上水汚泥量は、原水の性質・凝集剤の添加量及びその種類・凝集沈殿法・排泥作業等、種々の条件によって異なる。近年は特に、原水水質の悪化、処理水量の増加などにより、汚泥の性質も複雑化し、量も多量となって来た。そこで、従来のように、河川への直接放流処分は、公衆水域の保全或いは水質汚濁防止等の観点から、事実上、甚だ困難か不可能の場合も多い。従って、各浄水場では適切な処理・処分方法を、独自に開発実施せざるを得ないのが現状である。この様なことから、上水汚泥の処理・処分地への管路輸送、或いは汚泥放流管などの設計にあたっては、従来にも増して、より合理的設計手法を確立することが重要である。

本研究は、上水汚泥の流動特性について実験的に解析を行い、擬塑性流体モデルとして、種々検討を行ったものである。

2. 実験装置及び方法 上水汚泥の流動特性の解析に用いた回転粘度計は、円心内筒回転粘度計であり、外筒半径 $R_c = 1.50 \text{ cm}$ 、内筒半径 $R_i = 1.25 \text{ cm}$ 、内筒の長さ $L = 7.00 \text{ cm}$ である。外筒の回転数は 0 rpm から 500 rpm とし、 50 rpm ずつ変化させた。各回転数における内筒のトルクを、トーションワイヤーの振れ角から求めた。

上水汚泥の摩擦損失係数の測定に用いた実験管路は、塩化ビニール製であり、管径 $D = 1.635 \text{ cm}$ であった。流速は体積法で、摩擦損失水頭はマンオメーターで測定し、実験にはA浄水場の汚泥を使用した。

3. 上水汚泥の流動特性 上水汚泥を回転粘度計で測定すると、下水汚泥の場合と同様に、測定回数と共にトルクが減少するため、 0 rpm から 500 rpm と回転数を増加させ、次に 500 rpm から 0 rpm と減少させる操作を6回以上繰返し、測定を行った。そしてトルクが一定値に収束した状態での回転数とトルクとの関係から、次の式で速度勾配 $G(\tau)$ とせん断応力 τ との関係求めた。

$$G(\tau) = \frac{4\pi N}{1 - 1/S^2} \left[1 + k_1 \left(\frac{1}{n^2} - 1 \right) + k_2 \left(\frac{1}{n^2} - 1 \right)^2 \right] \quad (\text{sec}^{-1}) \quad (1)$$

$$\tau = M / 2\pi R_i^2 L \quad (\text{dyn/cm}^2) \quad (2)$$

$$N: \text{回転数 (rps)} \quad M: \text{トルク (dyn}\cdot\text{cm)} \quad S = R_c/R_i$$

$$k_1 = \frac{S^2 - 1}{2S^2} \left(1 + \frac{2}{3} \ln S \right) \quad k_2 = \frac{S^2 - 1}{6S^2} \ln S \quad n^2 = \frac{d(\log M)}{d(\log N)}$$

回転粘度計で汚泥のような懸濁液の粘度測定を行う場合、内・外筒半径やクリアランス等の諸元をいかにすべきかの問題はあるが、今回の実験から求めた上水汚泥の $G(\tau)$ と τ との関係を図-1及び図-2に、見かけ粘度 μ_a ($\mu_a = \tau / G(\tau)$) と τ との関係を図-3に示した。表-1にこれらの図から上水汚泥の流動特性を示した。これらの図・表が

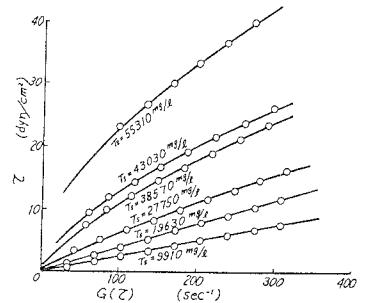


図-1 上水汚泥の $G(\tau)$ と τ との関係

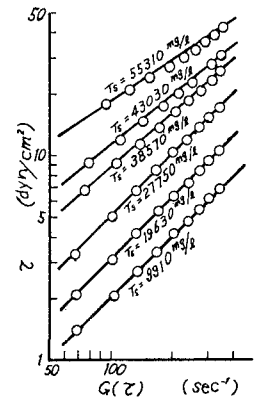


図-2 上水汚泥の $\log G(\tau)$ と $\log \tau$ との関係

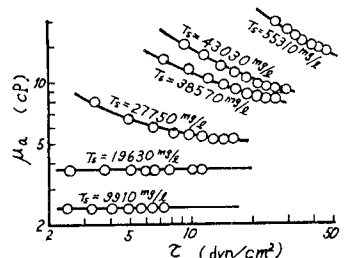


図-3 上水汚泥の $\log \tau$ と $\log \mu_a$ との関係

う。上水汚泥は汚泥濃度が高くなるに従って塑性流体的、或いは擬塑性流体的挙動を示した。このため、本研究では擬塑性流体として取扱った。

4. 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ものと考えられ、次の管内流動理論が適用できる。すなわち、

$$\Delta P / 4L = k' (8V/D)^{n'} \quad (3)$$

n' : 構造粘度指数 k' : 流体粘度指数 D : 管径

ΔP : 圧力損失 L : 管長 V : 流速

この場合、広義のレイノルズ数は次の式で与えることができる。

$$Re = \frac{D^{n'} V^{2-n'} \rho}{8^{n'-1} k'} = \frac{D^{n'} V^{2-n'} \rho}{K_p'} \quad (4)$$

$K_p' = 8^{n'-1} k'$ ρ : 上水汚泥の密度

図-4及び図-5に、汚泥濃度 C と n' 及び K_p' との関係を示した。上水汚泥の n' は、汚泥濃度と共に徐々に減少しているのに対して、 K_p' 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、それぞれ次の式で表わすことができる。すなわち、

$$n' = 34.5 C^{-0.405} \quad (5)$$

$$K_p' = 1.91 \times 10^{-10} C^{2.04} \quad (\text{dyn} \cdot \text{sec}^{n'} / \text{cm}^2) \quad (6)$$

上水汚泥の摩擦損失水頭 h_f は、前述の塩化ビニール製の管路で求めた。上水汚泥の実験に先立って、水を用いて検討を加え、レイノルズ数($Re = DV/\nu$)と摩擦損失係数 λ との関係を図-6に示した。ただし、 λ はDarcy-Weisbachの式で算定した。すなわち、

$$\lambda = 2g \cdot D \cdot R_f / L V^2 \quad (7)$$

この図に見られるように、水の乱流領域の $Re-\lambda$ の関係は、滑らかな管に適合するBlasiusの式に一致している。また、木理学的粗滑を検討すると、 $V=0.6 \text{ m/sec}$ で、 $\tau_w = 14.3 \text{ dyn/cm}^2$ であり、塩化ビニールでは高々、 $R = 0.0005 \text{ cm}$ であるので、 $R/\nu = 0.2$ となる。

R/ν が3~4以下であると木理学的滑面であるとされるため、実験に使用した管路の壁面は滑らかであると考えられる。

上水汚泥の場合、(4)式に示した広義のレイノルズ数 Re と(7)式の λ との関係を図-6に示した。これらの関係は、層流領域及び乱流領域でそれぞれ次の式で表わすことができる。ただし汚泥の温度は、 15°C から 19°C である。

$$\text{層流領域: } \lambda = 64 / Re \quad (8)$$

$$\text{乱流領域: } \lambda = 0.214 Re^{-0.213} \quad (9)$$

臨界レイノルズ数は、図-6では $Re = 2800 \sim 4000$ の範囲であった。上水汚泥の臨界レイノルズ数は、 4000 とも考えることができる。

5. 結論 上水汚泥の流体特性について、実験的に解析を行い、次の結論が得られた。

- (1) 上水汚泥の流動特性は、擬塑性流体で近似できる。
- (2) 上水汚泥の汚泥濃度と構造粘度指数及び K_p' との関係を求めた。
- (3) 上水汚泥の広義のレイノルズ数と摩擦損失係数との関係を求めた。

表-1 上水汚泥の流動特性

C (mg/L)	G(Z)~ Z	log G(Z)~ log Z	log Z~ log μ_a	流動 特性
9910	N	N	N	N
19630	N	N	N	N
27750	B or P	P	B or P	P
38570	B or P	P	B or P	P
43030	B or P	P	B or P	P
55310	B or P	B or P	B or P	P

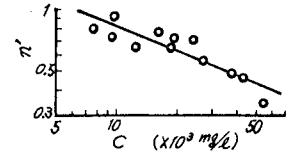


図-4 上水汚泥の C と n' との関係

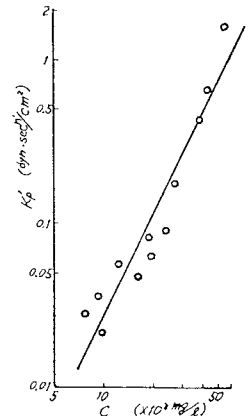


図-5 上水汚泥の C と K_p' との関係

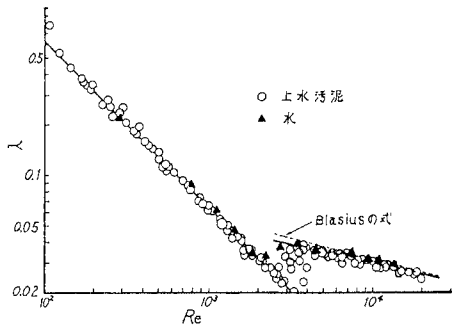


図-6 上水汚泥の Re と λ との関係