

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 O金成英夫

1. 結 論

下水汚泥の流動特性は擬塑性流体として良く近似できることが認められた。管路輸送したときの摩擦損失水頭はニュートン流体の場合と異なり、その流動特性をも考慮しなければならない。本研究は下水汚泥の流動特性や粘度を考慮して、摩擦損失水頭を合理的に算定しようとするものである。

2. 汚泥の流動特性

汚泥の管内流動は次のように取扱うことができる。

すなわち、

$$\left(-\frac{du}{dr}\right)_w = \left(\frac{3n'+1}{4n'}\right) \left(\frac{8V}{D}\right) \quad (1)$$

ただし、 $\left(-\frac{du}{dr}\right)_w$; 管壁における速度勾配、

V ; 流速、 D ; 管径。

$$n' = \frac{d(\ln \frac{D \Delta P}{4L})}{d(\ln \frac{8V}{D})} \quad (2)$$

n' が一定値の場合、(2)式を積分すると次のようになる。

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

ただし、 n' ; 構造粘度指数、 k' ; 流体粘稠度指数。

(1)および(3)式から、

$$\tau_w = \frac{D \Delta P}{4L} = k' \left(\frac{4n'}{3n'+1}\right)^{n'} \left(-\frac{du}{dr}\right)_w^{n'} \quad (4)$$

ただし、 τ_w ; 壁面摩擦強度、 ΔP ; 圧力損失、

L ; 管長。

となり、(4)式は擬塑性流体に関する式。

$$\tau_w = k' \left(-\frac{du}{dr}\right)_w^{n'} \quad (5)$$

に相当しており、 n' がほぼ一定値の場合、次のような関係があるとされている。すなわち、

$$n' = n \quad (6)$$

$$k' = k \left(\frac{3n+1}{4n}\right)^n \quad (7)$$

ここで、摩擦損失係数、 λ と

$$\lambda = 4f = 4 \times \frac{\frac{D \Delta P}{4L}}{\frac{\rho V^2}{2}} \quad (8)$$

とし、(3)式へ代入すると、次のようになる。

$$\lambda = \frac{64 \times 8^{n'-1} \times k'}{D^{n'} \cdot V^{2-n'} \cdot \rho} \quad (9)$$

ただし、 ρ ; 汚泥の密度。

ここで、ニュートン流体の場合と同様に、

$$\lambda = \frac{64}{Re_p} \quad (10)$$

とすると、管路内の広義のレイノルズ数 Re_p は次のようになる。

$$\begin{aligned} Re_p &= \frac{D^{n'} \cdot V^{2-n'} \cdot \rho}{8^{n'-1} \cdot k'} \\ &= \frac{D^{n'} \cdot V^{2-n'} \cdot \rho}{k_p} \end{aligned} \quad (11)$$

ただし、 $k_p = 8^{n'-1} \cdot k'$

3. 実験結果と考察

下水汚泥を管路輸送した場合の摩擦損失水頭の算定には、オーに摩擦損失係数を求めることが肝要である。図1は管径15.0 cmの鋼管で下水汚泥(純培養曝気汚泥)を輸送したとき(1)式で与えられる管内の汚泥の広義のレイノルズ数 Re_p と(8)式の摩擦損失係数 λ との関係を示したものである。これらの関係は各領域ごとに、それぞれ次のように表わすことができた。すなわち、

$$\text{層流領域 } Re_p \leq 2,000 \quad \lambda = \frac{64}{Re_p} \quad (12)$$

遷移領域(I) $Re_p = 2,000 \sim 10,000$, $\lambda = 0.0312$ — (13)

遷移領域(II) $Re_p = 10,000 \sim 16,000$, $\lambda = 8.92 \times 10^{-4} Re_p^{0.396}$ — (14)

乱流領域 $Re_p \geq 16,000$, $\lambda = 0.664 Re_p^{-0.247}$ — (15)

これらに示されるように、管内の広義のレイノルズ数 Re_p を合理的に算定すれば、摩擦損失係数は一意的に求めることができる。図-2は管径 2.46 cm, 7.66 cm および 15.0 cm の管路で汚泥を輸送した場合に、(2)式で示される構造粘度指数 n' と汚泥濃度との関係を示したものである。また、図-3は同様の条件下で求めた k_p と汚泥濃度との関係

である。これらの関係はそれぞれ次のように表わすことができた。すなわち、

$$n' = 28.68 C^{-0.444} \quad (16)$$

$$k_p = 3.405 \times 10^{-9} C^{2.02} \quad (17)$$

図-2、および図-3に示されているように、汚泥の構造粘度指数 n' および k_p は管径に影響されず、汚泥濃度によって決まる値である。図-4は汚泥を管路輸送したときの摩擦損失水頭の計算値と実験値との誤差率を示したものであり、 Re_p が 5000 以上では $\pm 10\%$ の範囲内にあり、計算値は実験値と良く一致することが認められる。

4. 結論

管径 2.46 cm, 7.66 cm および 15.0 cm の管路を用いて下水汚泥の摩擦損失水頭について検討を加え次のような結論が得られた。

- 1) 構造粘度指数 n' および k_p は管径に関係なく、汚泥濃度によって決まる値である。
- 2) この n' および k_p を用いて摩擦損失水頭を算定すると、実験値との誤差率は 10% 以内であり良く一致することが認められる。

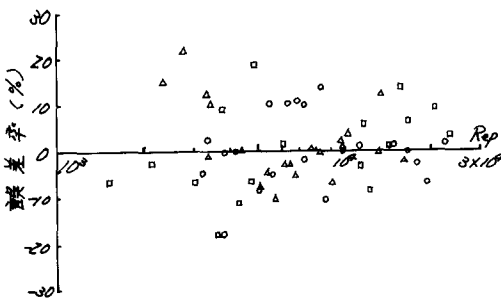


図-4 Re_p と誤差率との関係

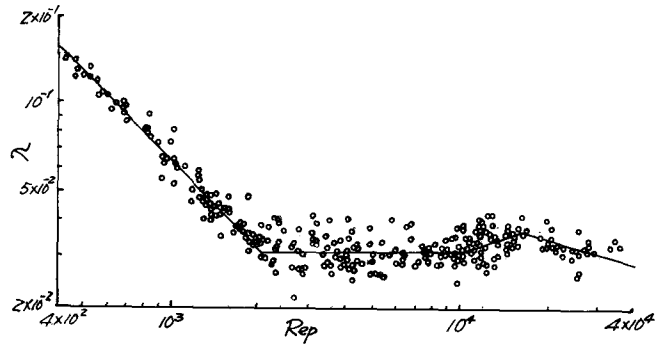


図-1 汚泥の Re_p と λ の関係

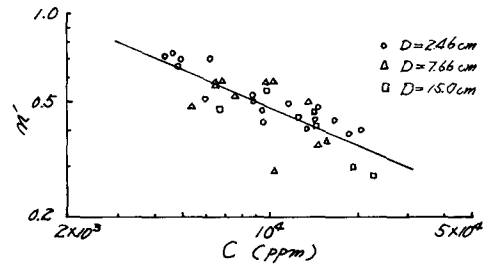


図-2 汚泥濃度と n' の関係

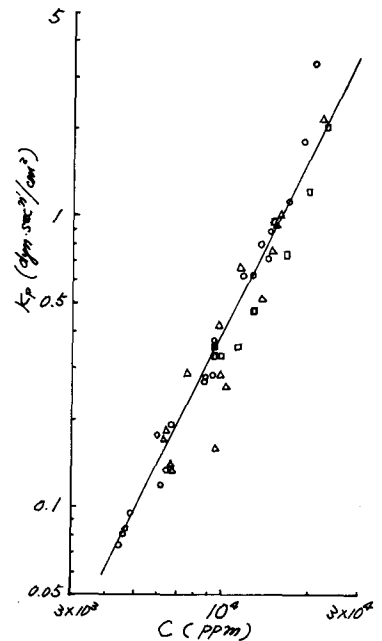


図-3 汚泥濃度と k_p の関係