

II-68 下水汚泥の輸送流速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

1 緒 論 下水汚泥の管路輸送においては、輸送管路内に固形物が次第に堆積し、また、グリースなどが管壁に付着したりすることによる管路の有効断面積の減少を招くことのない状態で運転することが肝要である。固形物の次第に堆積等を防ぐためには大きな流速で輸送すれば良いが、流速を必要以上に大きくすると損失水頭もかなり増大するため、流速をいかにすべきかは建設費等を含めた経済性の観点から重要な問題である。

本研究は下水汚泥の管路輸送における標準流速および臨界流速について実験的に検討を加え、さらに、輸送流速について考察したものである。

2. 標準流速 (Standard Velocity) 汚泥のような懸濁液の輸送においては、固液分離して上澄水のみが流れる状態、ある濃度分布をもった非均一状態で流れる場合、および均一な濃度分布となつて流れる状態とがあるが、標準流速とは均一な濃度分布となつて流れる状態の流速である。したがつて、下水汚泥の管路輸送では、少なくとも、標準流速以上の流速で輸送する必要がある。

図-1は下水汚泥の管内流動状態の観察結果から、管内が均一な濃度分布となる流速、すなわち、標準流速における摩擦損失水頭から求めた壁面せん断強度 τ_{ws} と汚泥濃度との関係を示したものである。ただし、汚泥濃度 10000 mg/l 以上では、汚泥はほとんど沈殿せず、均一な状態で流動しているため、(1)式の適用範囲は 10000 mg/l 以下の汚泥濃度である。これらの関係は次の式で表わすことができる。すなわち、

$$\tau_{ws} = 1.40 \exp(1.03 \times 10^{-4} C) \quad (1)$$

τ_{ws} : 標準流速における壁面せん断強度 (dyn/cm^2),
 C : 汚泥濃度 (mg/l)

ここで、 τ_{ws} は次の様に表わせる。

$$\tau_{ws} = D \cdot \Delta P / 4L = \rho_w \lambda v_s^2 / 8 \quad (2)$$

したがつて、標準流速 v_s は次の式となる。

$$v_s = \sqrt{8 \tau_{ws} / \lambda \rho_w} \quad (3)$$

D : 管径, ΔP : 圧力損失, L : 管長, ρ_w : 水の密度
 λ : 摩擦損失係数

(1) 層流領域; $Re \leq 2000$, 層流領域の λ は次の式で表わせる¹⁾

$$\lambda = 64 / Re = 64 \cdot k_p' / D^{2-n'} v_s^{2-n'} \rho \quad (4)$$

Re : 仮のレイノルズ数 ($Re = D^{n'} v_s^{2-n'} \rho / k_p'$)

したがつて、層流領域の標準流速は次の式で表わせる。

$$v_s = \left(\frac{\tau_{ws}}{8 k_p'} \cdot \frac{\rho}{\rho_w} \right)^{\frac{1}{2-n'}} \cdot D \quad (5)$$

(2) 遷移領域 および乱流領域; $Re > 2000$

④ 滑らかな管 この場合の λ は次の式で与えられる¹⁾

$$\lambda = 0.134 Re^{-0.197} \quad (6)$$

したがつて、標準流速は次の様になる。

$$v_s = \left\{ 89.7 \frac{\tau_{ws}}{\rho_w} \left(\frac{D^{n'} \rho}{k_p'} \right)^{0.197} \right\}^{\frac{1}{1.606+0.197n'}} \quad (7)$$

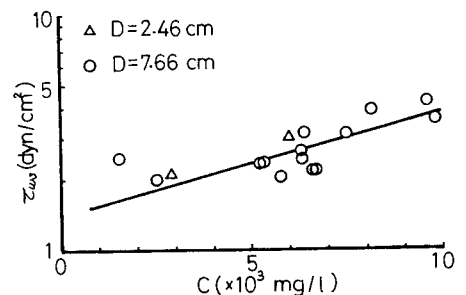


図-1 汚泥濃度と τ_{ws} との関係

表-1. 下水汚泥の標準流速

C (mg/l)	D (cm)	20°C V _s (m/sec)	
		滑管	粗管
4000	15	0.28	0.23
	30	0.29	0.23
	50	0.30	0.23
6000	15	0.29	0.25
	30	0.30	0.25
	50	0.31	0.25
8000	15	0.31	0.28
	30	0.32	0.28
	50	0.33	0.28
10000	15	0.33	0.31
	30	0.35	0.31
	50	0.36	0.31

⑤粗い管 この場合の入は次式で与えられる¹⁾

$$\lambda = 0.0383 Re^{-0.071} \quad (8)$$

したがって、標準流速は次の様になる。

$$V_s = \left\{ 207 \frac{Z_{ws}}{\rho_w} \left(\frac{D^{2.1} \rho}{k_p'} \right)^{0.071} \right\}^{1.4658 + 0.071 n'} \quad (9)$$

以上の諸式と遠藤・金成の式(1)を用いて標準流速を算定できる。

$$\left. \begin{aligned} n' &= 10.35 C^{-0.324} \\ k_p' &= 1.76 \times 10^{-15} C^{1.75} \exp(4.250/T) \text{ (dyn}\cdot\text{sec}^2/\text{cm}^2) \\ \rho &= \frac{3.9038 \times 10^{-8} \rho_w}{C \rho_w (131 + 1.67 B_p) + 340.38 (10^6 - C)} \text{ (g/cm}^3) \end{aligned} \right\} \text{遠藤・金成式(1)} \quad (10)$$

T: 絶対温度, B_p : 汚泥の有機物含有率 (V_s/f_s) (%)

表-1は以上の諸式を用いて管径15, 30 および 50 cm の場合について算定した標準流速である。標準流速は0.3 m/sec程度であり、汚泥濃度、管径および管の粗さにあまり影響されない値である。この値は下水汚泥の管路輸送において最低限必要とされる流速0.4 m/secにほぼ匹敵していることが認められる。

3. 輸送流速 以上の検討結果にしたがって、一例として $D=30$ cm の場合の汚泥濃度と輸送流速との関係を図-2および図-3に示した。図中の領域A, BおよびCはそれぞれ乱流領域、遷移領域および層流領域である。領域Dは流速が標準流速以下となる範囲であり、管路内に固形物が沈殿堆積するため、輸送領域としては不適当である。

管路の維持管理の観点からすると、輸送流速は標準流速以上とするべきであるが、標準流速は0.3 m/sec程度であり、この程度の流速では管壁へのグリーン等の付着や、砂粒子の沈殿堆積により管路の有効断面積が減少することが考えられる。したがって、領域Aすなわち、乱流領域 ($Re \geq 10000$) で輸送すればグリーン等の付着や砂粒子の沈殿堆積による管路の有効断面積の減少を効果的に防ぐことができるとも考えられる。これらの検討結果にしたがって、広義のレイノルズ数10000における管径と流速との関係を図-4に示した。同一汚泥量を輸送する場合、流速を2倍にすれば管径は約0.7倍となるが、摩擦損失水頭は約4.7倍となるため、どのような流速 ($Re \geq 10000$) で輸送するかは慎重に検討すべきである。

4. 結 論 下水汚泥の輸送流速について検討を加え、次の結論を得た。

(1) 下水汚泥の標準流速は0.3 m/sec程度であり、汚泥濃度、管径および管の粗さにあまり影響されない値である。

(2) 輸送流速は広義のレイノルズ数が10,000以上となる流速とする。

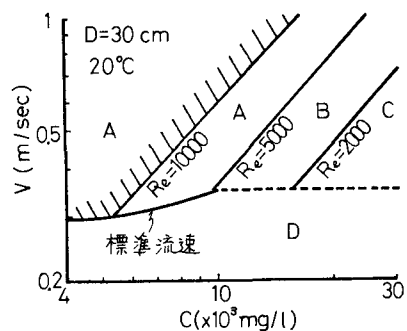


図-2 汚泥濃度と輸送流速 (滑らかな管)

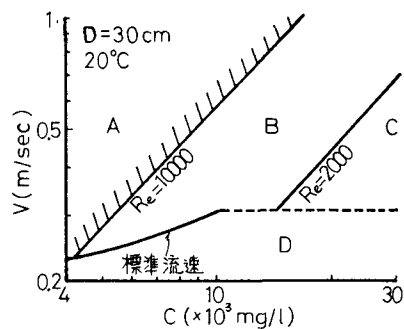


図-3 汚泥濃度と輸送流速 (粗い管)

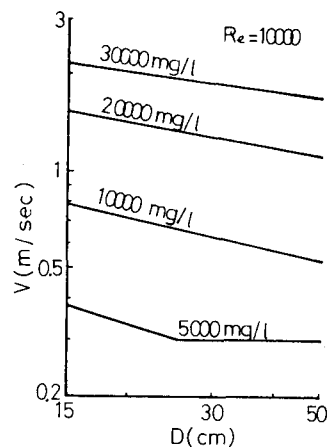


図-4. $Re=10,000$ における D と V の関係

[参考文献]

1) 遠藤・金成, "下水汚泥の摩擦損失係数に関する基礎的研究", 土木学会論文報告集, No. 301, 1980.

2) 遠藤・金成, "下水汚泥の管路輸送に関する実験的研究—臨界流速について—", 第16回下水道研究発表会講演集, 昭和54年.