

1. 緒論

下水処理場から発生する汚泥については、従来、数多くの処理および処分法が考案或いは、提案されてきた。しかしながら、総合経費の最も安価な方法といえ、一般には嫌気性消化法による方法が最も標準的な方法といえる。汚泥処理は下水処理と同様に、その規模が増すにしたがって、単位容積当りの建設費と維持管理費が割安となる。このためには、汚泥を一括処理することが重要な問題となる。或いは、汚泥処分として海洋投棄を十分検討すべき時期に来ているとも考えられる。斯様な場合、いずれにしても、汚泥の管路による内滑り輸送が重要な問題である。本論文は消化汚泥の消化の程度および消化汚泥の濃度や如何に流動特性に影響するかを検討したものである。

2. 実験方法

実際の汚泥或いは、スラリーの輸送計画を立てるには、予め汚泥の流動特性、降伏応力、粘度および密度等を決定する必要がある。特に、降伏応力と粘度の測定には、大別すると次の二種類がある。すなわち、

1) 内管内の流しより決定する方法

2) 回転円筒型粘度計による測定

などがある。

回転円筒型粘度計は図-1のように内部円筒と外部円筒との間に液を入れ、外部円筒を一定速度で回転せしめ内部円筒の撓り角を鏡で読み、これから内部円筒に加わる力を計算して粘度を求めることができる。また、円筒に一定のモーメントを加えて回転せしめた時の回転数から粘度を計算するものなど、いろいろの型がある。

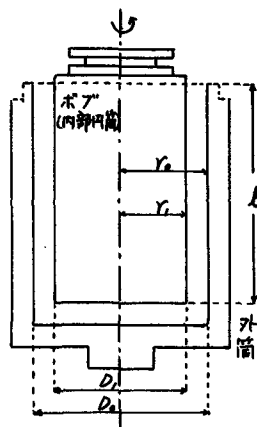


図-1 Couette型粘度計本体。

表-1 消化汚泥濃度と流体の種類

消化日数	濃度 ppm	$\log \tau - \log \frac{dv}{dy}$	$\log \tau - \log \eta$	$\tau - \frac{dv}{dy}$	流体の種類
20日	10228	N	N	N	N
	14630	N	N	N	N
	20236	N	N	N	N
	24728	B	B	B	B
	40504	B	B	B	B
	50004	B	B	B	B
	60354	B	B	B	B
25日	9732	N	N	N	N
	14670	N	N	N	N
	20262	N	N	N	N
	24768	B	B	B	B
	40134	B	B	B	B
	50560	B	B	B	B
	59342	B	B	B	B
30日	9496	N	N	N	N
	14806	N	N	N	N
	20440	N	N	B	N
	25806	B	B	B	B
	40722	B	B	B	B
	50288	B	B	B	B
	63752	B	B	B	B

N: ニュートン流体

B: ビンガム流体

本実験では、上述の前者に相当する Universal Rheometer (I-Type, 島津製作所) を使用し、次の式で計算した。

$$\tau = \frac{T}{2\pi r_i^2 l} \quad \text{--- (1)}$$

$$-\left(\frac{d\tau}{d\dot{\gamma}}\right) = -\frac{4\pi N}{1 - 1/\alpha^2} \left\{ 1 + K_1 \left(\frac{1}{\alpha} - 1\right) + K_2 \left(\frac{1}{\alpha} - 1\right)^2 \right\} \quad \text{--- (2)}$$

$$S = \frac{r_o}{r_i} = \frac{2}{1.65} = 1.212 \quad \text{--- (3)}$$

$$K_1 = \frac{S^2 - 1}{2S^2} \left(1 + \frac{2}{3} \ln S\right) \quad \text{--- (4)}$$

$$K_2 = \frac{S^2 - 1}{2S^2} \ln S$$

$$\alpha = \frac{d(\log \tau)}{d(\log N)} \quad \text{--- (5)}$$

$$\eta = \frac{\tau}{-\left(\frac{d\tau}{d\dot{\gamma}}\right)} \quad \text{--- (6)}$$

α は測定値より $\log \tau$ 対 $\log N$ の勾配より求めた。

r_o : 外筒半径, cm

r_i : 内筒半径, cm

l : ボア長さ, cm

N : 回転数, r.p.s

T : トルク, dyne-cm

τ : セン断応力, dyne/cm²

η : 非ニュートン流体の見掛け粘度, poise

実験に使用した各消化日数の汚泥は研究室の消化実験から得たものである。

3. 実験結果および考察

消化汚泥濃度 10000 ~ 60000 ppm の範囲のものについて、 $\tau \sim \dot{\gamma}$, $\log \tau \sim \log \dot{\gamma}$, および $\log \tau \sim \log \eta$ などの関係を求め、各消化日数における汚泥濃度と流動特性を吟味して表-1 に示した。ニュートン流体とビンガム流体との境界濃度は各消化日数とも、24,000 ppm ~ 26,000 ppm であった。それらの関

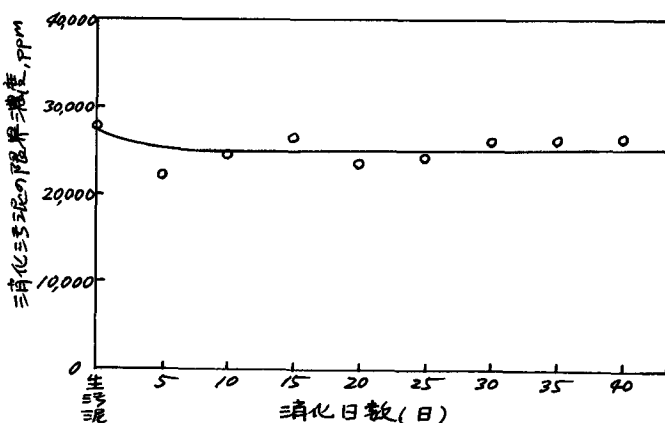


図-2 消化日数と限界濃度

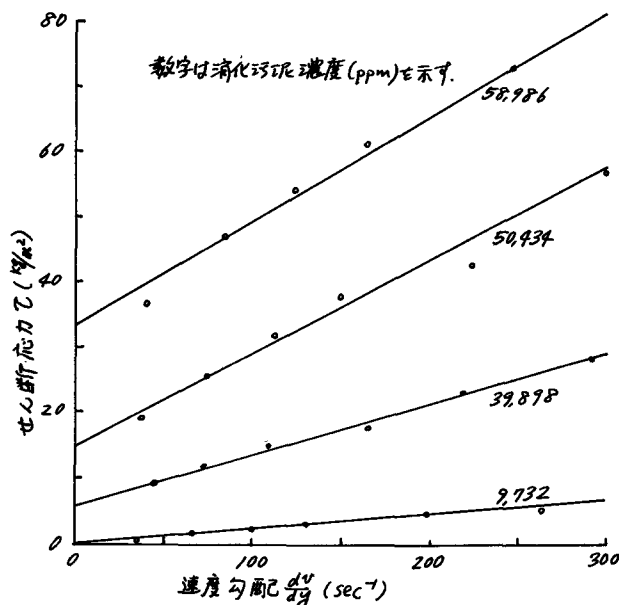


図-3 速度勾配とせん断応力

係を図-2に示すと、生汚泥の28,000¹⁾ ppmに比べれば、若干小さいとも考えられるが、消化汚泥の限界濃度は消化の程度に関係なく、25,000 ppmと見ることが出来る。また、図-3に示してあるように、限界濃度以上の流動特性では、若干ではあるが、非ビンガム的傾向が見られる。しかしながら、殆んど直線と近似できるため、ビンガム流体としての取扱いで十分であると考えられる。

汚泥の消化実験より消化日数によって消化の程度を大別すると、5~10日消化は消化の程度が不良、15~25日消化は消化の程度が良好、30日以上は極めて良好な消化状態であるとしている。²⁾ 然るに、上述の分類に従い、消化汚泥の濃度と粘度との関係を示したものが図-4および図-5である。消化の程度により、粘度は若干の差異が認められた。すなわち、生汚泥、消化の程度が不良、および良好なものという3種類に分け、次の式で表わすことができた。

生汚泥の粘度

$$\mu_r = 0.0226C - 0.0068 \quad \text{--- (7)}$$

消化の程度が不良の汚泥の粘度

$$\mu_p = 0.0210C - 0.0094 \quad \text{--- (8)}$$

消化の程度が良好および極めて良好な汚泥の粘度

$$\mu_b = 0.0160C - 0.0024 \quad \text{--- (9)}$$

μ_r, μ_p, μ_b : 粘度, poise, $\frac{\text{dyn} \cdot \text{cm}}{\text{cm}^2 \cdot \text{sec}}$

C: 汚泥の蒸発残渣物濃度, %

(C = 1% ~ 6%)

汚泥温度: 19 ~ 21°C

汚泥濃度 2% と 5% の場合の粘度

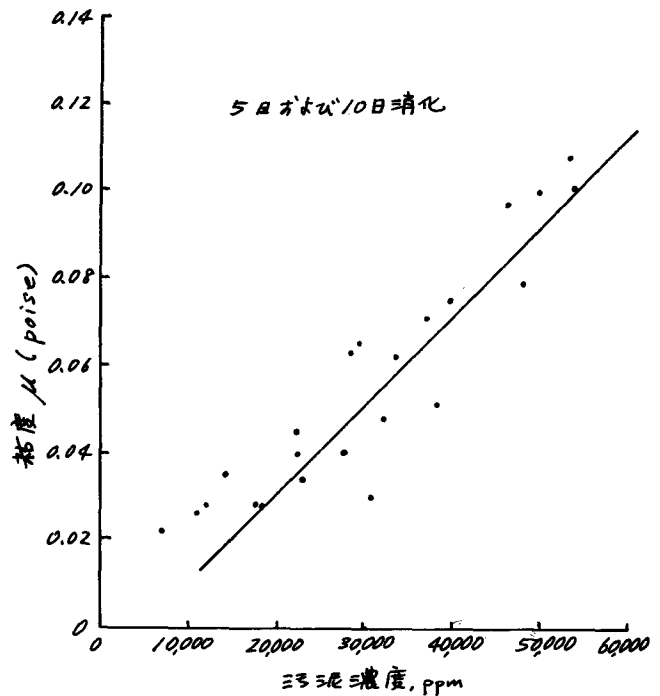


図-4 汚泥濃度と粘度

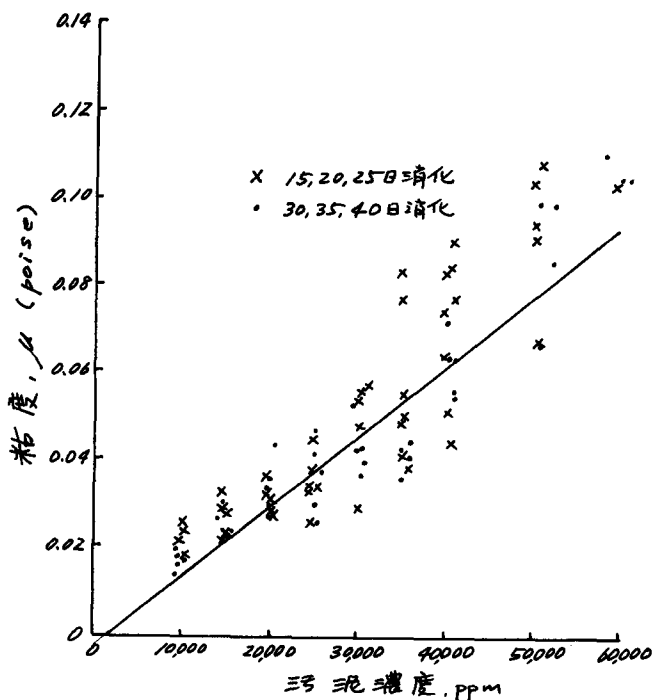


図-5 汚泥濃度と粘度

を(7),(8),(9)の各式から計算すると、生汚泥に比べて、消化の程度が不良の場合は80~90%、良好な消化汚泥では70~80%の範囲であった。このように消化の程度によって粘度がかなり異なることは、生汚泥が親水性であるのに比して、消化汚泥は消化の程度によって疎水性になるためと考えられる。これらの現象は汚泥の脱水、濃縮などのことから推論できよう。結局、粘度と消化日数との関係について見ると、15日消化以上の汚泥消化槽では、かなり効果的に粘度を減少させることができるという。

汚泥濃度が大きくなると、粒子が接触しあうようになると、流体内に速度勾配を形成させるためには、かなりの応力が必要になる。塑性流体では、速度勾配が形成されるには少なくとも降伏応力と呼ばれる τ_0 以上のせん断応力が必要である。消化の程度によって、かなり粘性に差異があるから、降伏応力もその影響を受け、図-6の様に変化を示した。汚泥濃度と降伏応力との関係は次式で表わすことができた。すなわち、

生汚泥の降伏応力 τ_{0r}

$$\tau_{0r} = 0.0926C - 0.157 \quad \text{--- (10)}$$

消化の程度が良好な汚泥の降伏応力 τ_{0d}

$$\tau_{0d} = 0.0800C - 0.194 \quad \text{--- (11)}$$

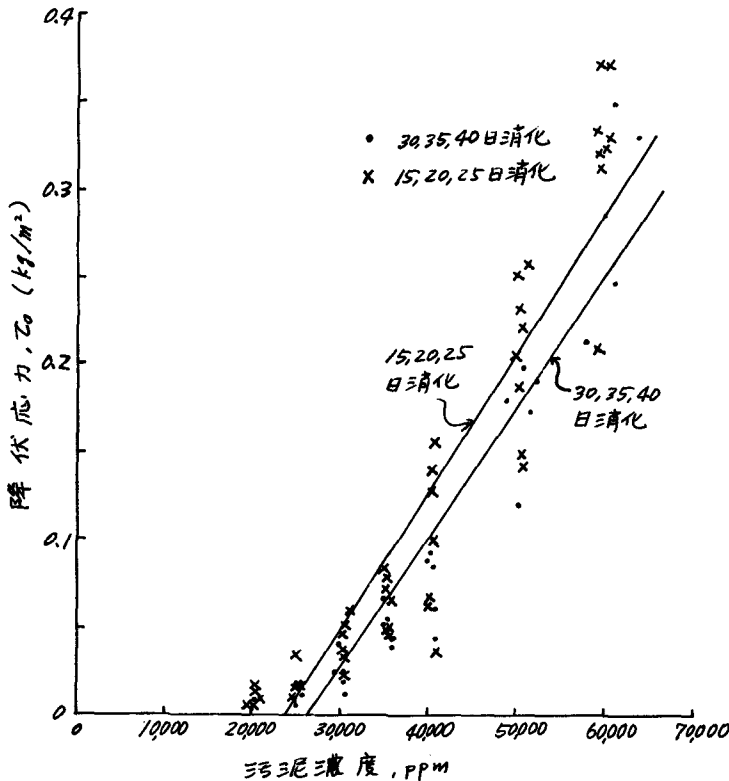


図-6 汚泥濃度と降伏応力

消化の程度が極めて良好な汚泥の降伏応力 τ_{ob}

$$\tau_{ob} = 0.0749C - 0.199 \quad (12)$$

τ_{or} , τ_{od} および τ_{ob} 降伏応力, kg/m^2

C : 汚泥の蒸発残留物濃度, %

($C = 2.5 \sim 6\%$)

汚泥温度: $19 \sim 21^\circ\text{C}$

となる。汚泥濃度を5%として、生汚泥と比較すると、良好な汚泥の場合が70%, 極めて良好な汚泥で60%となる。このように、良好な汚泥では、60~70%と、降伏応力は着しく小さくすることが認められた。

汚泥の比重について検討したものが図-7である。汚泥は消化の程度により若干の差異はあるが、消化汚泥は生汚泥に比べて比重が増大した。また、15日消化以上では消化汚泥の比重は殆ど変化はなかった。消化の程度により汚泥の比重を次式で表わすことができた。

生汚泥の比重

$$S_r = 0.204C + 1.0006 \quad (13)$$

消化の程度が不良な汚泥の比重

$$S_p = 0.204C + 1.0025 \quad (14)$$

消化の程度の良好および極めて

良好な汚泥の比重

$$S_b = 0.205C + 1.0022 \quad (15)$$

S_r , S_p および S_b : 比重

C : 汚泥の蒸発残留物濃度

($C = 0.5 \sim 6\%$)

汚泥温度: $19 \sim 21^\circ\text{C}$

4. 総括および結論

生汚泥と消化汚泥についての流動特性の資料は極めて少なく、尚一層の資料の集積が必要だが、一定の結論を引き出すことはできないが、消化汚泥と生汚泥との差異、或いは消化の程度によってどう変化するかについて若干の結論を得ることができた。すなわち

1) 粘度は消化によって、かなり減少させることができる。例えば、15日消化以上の消化槽では、

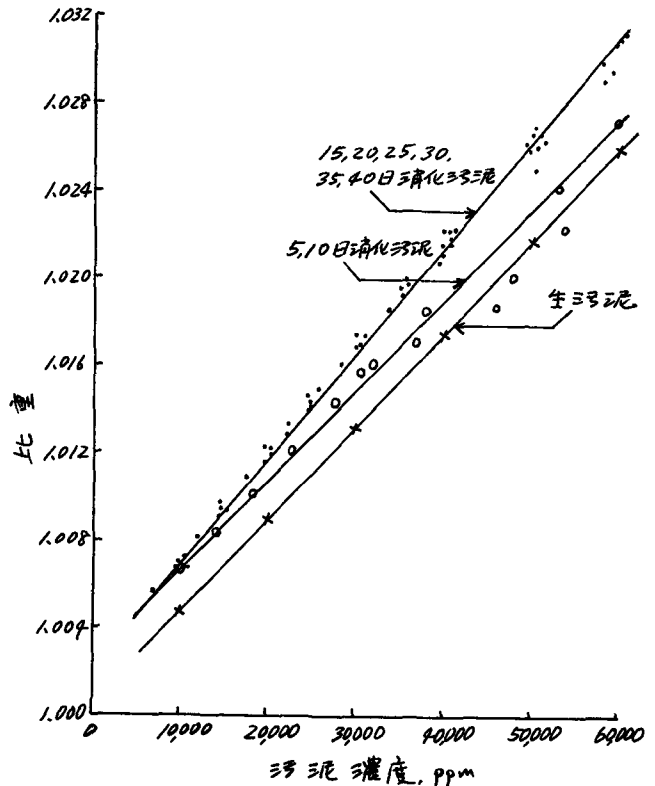


図-7 汚泥濃度と比重

生活污水の70~80%の範囲になる。

- 2) 汚泥の降伏応力は15日以上の消化によって生活污水の60%位まで激減する。
- 3) 汚泥の比重は15日消化以上の消化汚泥では、殆ど変化がない。
- 4) 汚泥消化槽は消化日数が15日以上であれば、粘度、降伏応力、および比重などにより効果的な役割を果たすから、汚泥の輸送には生活污水よりも消化汚泥の方がかなり有利ではないかと推論される。

参考文献

- 1) 遠藤郁夫, 鄭俊錫, “汚泥の管路流動に関する実験的研究”, 第4回衛生工学研究討論会講演論文集, PP122-128, 1967
- 2) 遠藤郁夫, 近藤千秋, “汚泥消化の高率化に関する研究”, 第5回衛生工学研究討論会講演論文集
- 3) Rich, L. G., “Unit operations of Sanitary Engineering”, John Wiley (1961)
- 4) Chou, T. L., “Resistance of sewage to flow in pipes”, Proc. San. Engr. Div., ASCE, PP1780 (1958)
- 5) Behn, V. C., “Flow Equation for sewage sludges”, WPCF. vol.32, No.7, PP 728 (1960)
- 6) Dic, R. I. and Ben, B. E., “The Rheology of Activated Sludge”, WPCF, vol.39, No.4, P543, (1967)