

上水汚泥の管路輸送に関する実験的研究

東北大学工学部 学生員 ○陳 鴻霞

藤浪哲也

正会員 石橋良信

1. まえがき

汚泥の管路輸送に関する研究において、下水汚泥については盛んに行われているが、上水汚泥についてはまだ端についたばかりである。そこで、本研究では上水汚泥を対象に、その管路輸送における流動特性についての実験を行った。実験に際しては、汚泥の濃度をパラメーターとして、管路内流動の塑性特性の考察を加え、流動特性を示す因子としての降伏値と塑性粘度を検討し、さらに、管路の摩擦損失水頭、レイノルズ数およびヘツドストレーン数の変化について、若干の考察を報告する。

2. 解析方法

一般に塑性流体は降伏値を持つ流体である。その流動方式は図1に示すように、降伏値 τ_0 を過ぎたところから流動を始めるが、せん断応力 τ と速度勾配 $\frac{du}{dr}$ との関係は、ABの曲線部を経て直線BCに移る。ビンガム流体は理想的な塑性流体である。その円管内における層流状態のせん断応力分布および流速分布を図2に示す。またその流動方程式は(1)式で表わされる。

$$\tau = \tau_0 + \mu_b \left(\frac{du}{dr} \right) \quad \text{----- (1)}$$

図2のモデルに基づいて、ビンガム流体の粘度 μ_b と降伏値 τ_0 を用い、平均流速と速度分布との関係より、ビンガム流体の流動方程式を(2)式で表わすことができる。

$$\frac{dv}{D} = \tau_0 \mu_b \left[1 - \frac{4}{3} \tau_0 \tau_w + \frac{1}{3} (\tau_0 \tau_w)^2 \right] \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 D は管径、 v は平均流速。(2)式において、 $(\tau_0 \tau_w)$ は常に1より小さい値をとるため、解析を行う際、 $\frac{1}{3} (\tau_0 \tau_w)^2$ は十分小さいと考え、この項を省略すると、(3)式となる。

$$\frac{dv}{D} = \tau_0 \mu_b \left[1 - \frac{4}{3} \tau_0 \tau_w \right] \quad \text{----- (3)}$$

(3)式は一般にビンガム流体の解析に便する式である。図1において、直線BCを下方に延長し、 τ 軸と交わる点Bの応力値 τ_0 はビンガムの降伏値といわれ、 τ_0 との間に(4)式の関係がある。

$$\tau_0 = \frac{2}{3} \tau_w \quad \text{----- (4)}$$

ビンガム流体のレイノルズ数については、図1のB点から考えるビンガムの粘度 μ_b を用い、真のビンガム流体のレイノルズ数 Re を(5)式で定義する。

$$Re = \rho D v / \mu_b \quad \text{----- (5) ここに、} \rho \text{ は汚泥の見掛け密度}$$

摩擦損失水頭 h_f を求める式は(6)式で表わされ

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad \text{----- (6) } f \text{ は摩擦損失係数、} L \text{ は測定区間長}$$

これを変形すると、(7)式を得る。

$$f = \left(\frac{\Delta P D}{4L} \right) / \left(\frac{\rho v^2}{2} \right) = \tau_w / \left(\frac{\rho v^2}{2} \right) \quad \text{----- (7) また、} \tau_w = \Delta P D / 4L \quad \text{----- (8)}$$

3. 実験装置および方法

実験装置は図3に示す。貯留槽(350l)内の汚泥はポンプによって管路を流れ、流量測定用定水位タンクで越流し、その貯留槽に戻される。輸送管路は内径28mmの透明強化ビニール管を使用し、空気抜きを1個設けた。摩擦損失水頭の測定区間は449cmの直線部とし、管路の横に枝管を取り付け、差圧測定用マノメーターに継いだ。実験はポンプによって試料を管路中に流し、流量を測定すると同時に、圧力測定用の圧力差をマノメーターによって読み取るものである。

供試材料は仙台市国見浄水場の遠心濃縮された上水汚泥を0.74mmふるいで粗

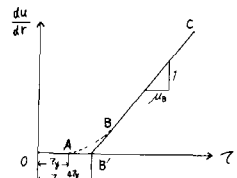


図1. 塑性流体の流孔

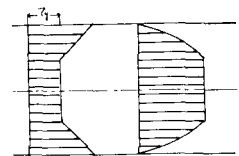


図2 応力分布と速度分布

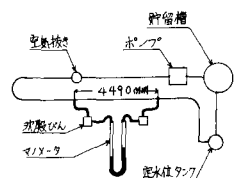


図3 実験装置略図

大固形物を取り除いたものである。また、濃度調整には、同浄水場濃縮槽の上澄水を用いた。

4. 実験結果および考察

速度勾配 γ_w と壁面せん断応力 τ_w との関係を図4と図5に示す。濃度によらず、流動曲線は同じような型となり、擬塑性流体(図4の立ち上がり)、ビンガム流体(図4の直線部)、ダイラタント流体(図5の直線部)のうっ挙動を示す。図4の直線部より求めた降伏値 τ_0 と塑性粘度 M_0 と乾燥重量濃度 Wt との関係を図6に示す。これより、両者とも濃度の増加によって大きくなり、5%を過ぎたところから、急に大きくなるのがわかる。

流速 V と摩擦損失水頭 Δh の関係を図7に示す。上水汚泥による摩擦損失水頭は水道水のそれより大きく、特に流速の小さい層流域に著しく、流速の非常に大きい乱流域では、両者はほぼ同じ値となる。これは乱流域においては粘性は無視できるが、層流域においては粘性の影響が大きくなり、濃度が高いほど(塑性粘度が大きいほど)摩擦損失水頭が大きくなる。つまり、濃度が摩擦損失水頭に与える影響は流速が小さいときには著しいが、流速が大きいとほとんどないと言える。

摩擦損失係数 f と真のビンガムレイノルズ数 Re の関係を図8に示す。 Re が大きい乱流域は、すなわち Re によらずほぼ一定の値をとるが Re の小さい層流域は、 f と Re は直線関係となる。層流域での f の値は水道水の f より大きな値となり、濃度によって変化する。しかし f は濃度の関数ではなく、 $\rho^2 V^3 / M_0$ の増加とともに大きくなると思われる。この $\rho^2 V^3 / M_0$ はヘッドストリーム数といわれるもので、濃度とヘッドストリーム数との関係を図9に示す。この図より、初め、濃度の増加とともに He 数も大きくなるが、ある限界濃度を過ぎると急激に減少することがわかる。層流域の f も同じような変化をしており、濃度と f 、濃度と He 数の関係からこの限界濃度は5%から6%の間にあるものと考えられる。

5. おとがき

本実験で用いた上水汚泥は濃度が3%~7%の範囲であり、また粒度分布も5 μ 以下のものが80%以上という、ほぼ均質のものであったので、以上述べた現象に対する普遍性の検討は今後の課題である。また、本実験の上水汚泥は塑性流体の非ビンガム流体の挙動を示したのであるが、今回は層流域でのビンガム流体にとどめたが、指数法則流体についての検討、さらに、曲管路における流動特性などが残されている。なお、本実験は昭和53年度文部省科学研究費(補助を受けたことを付記する。参考文献)大垣真一郎 東大修論(1971.2)

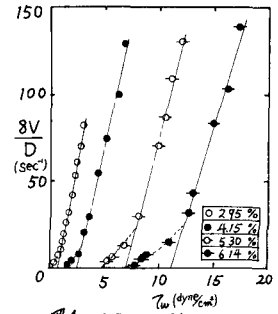


図4. 速度勾配 (γ_w) と壁面せん断応力 (τ_w)

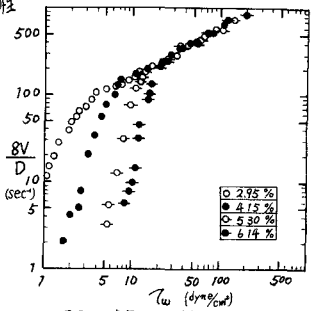


図5. 速度勾配 (γ_w) と壁面せん断応力 (τ_w)

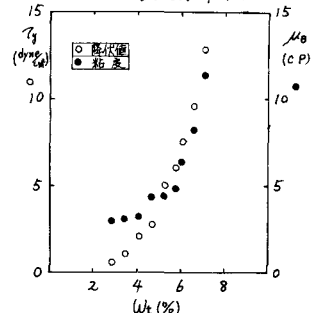


図6. 濃度 (Wt) と降伏値 (τ_0)
濃度 (Wt) と塑性粘度 (M_0)

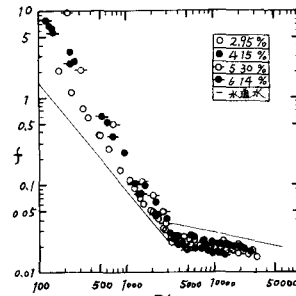


図7. 摩擦損失水頭 (Δh) と平均流速 (V)

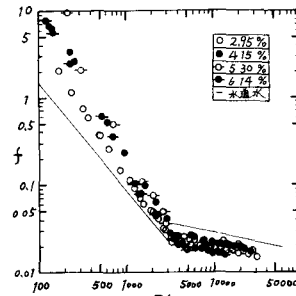


図8. 摩擦損失係数 (f) と真のビンガムレイノルズ数 (Re)

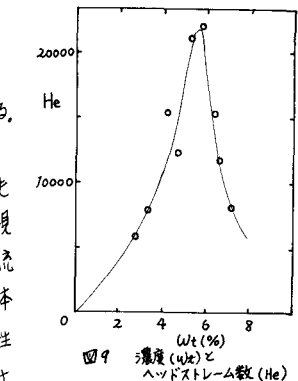


図9. 濃度 (Wt) とヘッドストリーム数 (He)