

高濃度汚泥の流動特性について

(公財) 愛知水と緑の公社 ○藁科 亮・丸山 司
中日本建設コンサルタント(株) 大石悟司・中根 進

1. はじめに

汚泥濃縮法の分離濃縮化が進むにつれ、重力濃縮汚泥や機械濃縮汚泥については、高い濃度が得られるようになった。しかし、分離濃縮法を採用している愛知県の流域下水道の下水処理場では、重力濃縮汚泥については設計時の汚泥濃度にもかかわらず引抜流量が急激に低下して、脱水工程への汚泥供給が安定して行えないなどの問題が顕在化している。

これまでに、引抜汚泥濃度が2.5%程度を超えると引抜流量が急激に低下していること¹⁾を報告し、想定される原因の一部については、引き続き調査を行い報告²⁾し、「高濃度汚泥の粘性が想定より大きい」ことを示した。これらの調査では、粘度計による汚泥粘度の直接測定が、汚泥に含まれる夾雑物やフロックなどの影響で難しいことが予想されたため、まずは現場のポンプ吐出圧力計や流量計を利用した吐出圧力や吐出量によって検討を実施してきた。しかし、今回は敢えて粘度計による直接測定を行うこととした。

水理公式集³⁾においては、層流域の場合、汚泥を擬塑性流体として扱い、その損失水頭を求める式はa式

$$\left[H_f = \frac{64 V^2 L}{Re \cdot 2g D}, Re = \frac{8\rho v^{2-n} D^n}{\mu_p [(6n+2)/n]^n} \right]$$

が示されていないため、実際には使用できずに、下水道指針⁴⁾では、「固形物の濃度が2%程度以下、流速が1m/sec以上の汚泥の輸送は乱流となる」ことから、乱流域であるニュートン流体として扱う清水で求める式に汚泥濃度で補正をした簡便法であるb式「 $H_f = 6.82 (L/D)^{1.17} (V/C_{H0})^{1.85} (1+0.11C)$ 」を使って、設計しているのが実情であると思われる。今回は引抜設定濃度が3~4%となっていることが多いことから、この近辺の濃度も含めた汚泥の流動特性を調査するために、速度を変えることのできるB型粘度計で粘度を測定することとし、その計測値から流動特性値を推定することとした。また、実施設の汚泥移送管の水平直管部(鑄鉄管 150A、125.85m)を利用し、水平直管の上流部と下流部にそれぞれ圧力計を設置し、圧力損失を測定し、その結果を解析して本報告とするものである。

2. 調査内容と調査結果

(1) B型粘度計による粘度調査

3つの処理場の重力濃縮汚泥を各種濃度でサンプリングし、B型粘度計によりロータ回転数1, 2, 5, 10rpmごとの体積濃度と粘度の関係を調査した。採取した汚泥については手分析により濃度測定を行ったが、濃度の異なった試料を得るために採取汚泥を処理水で希釈したものも試料とした。ここでは、採取汚泥と処理水の割合で計算した濃度を体積濃度という。

ロータ回転数別の測定粘度から速度勾配 (dv/dy) とせん断応力 τ を算出し、速度勾配 (dv/dy) とせん断応力 τ の関係を調査した。調査対象の一つの処理場を例として図-1に示す。

擬塑性流体のレオロジー方程式は次の通りである。

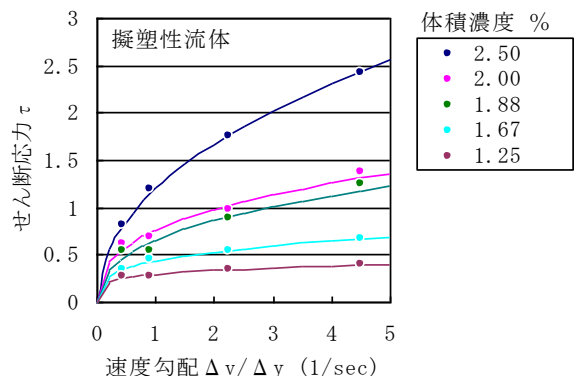


図-1 重力濃縮汚泥の速度勾配 (dv/dy) とせん断応力 τ の関係

$$\tau = \mu_p \left(\frac{dv}{dy} \right)^n \quad (n < 1) \quad \tau : \text{せん断応力 (Pa)}, \quad \mu_p : \text{擬塑性粘性係数 (Pa} \cdot \text{s}^n), \quad n :$$

擬塑性粘性指数(-)、 dv/dy : 速度勾配 (1/sec)

次に図-1の調査値をレオロジー方程式で回帰して流動特性値を推定する。これに他の2つの処理場の重力濃縮汚泥から得られた汚泥濃度と流動特性値の関係も加えたものを図-2, 3に示す。図中には回帰した曲線を示す。濃度が高くなるとともに、 μ_p は増加し、 n は小さくなっている。また、 n は濃度に対するばらつきが大きかった。

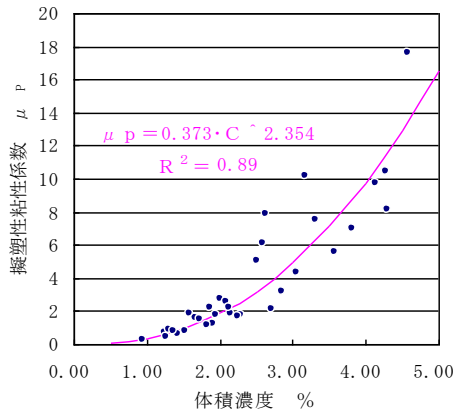


図-2 体積濃度Cと擬塑性粘性係数 μ_p の関係

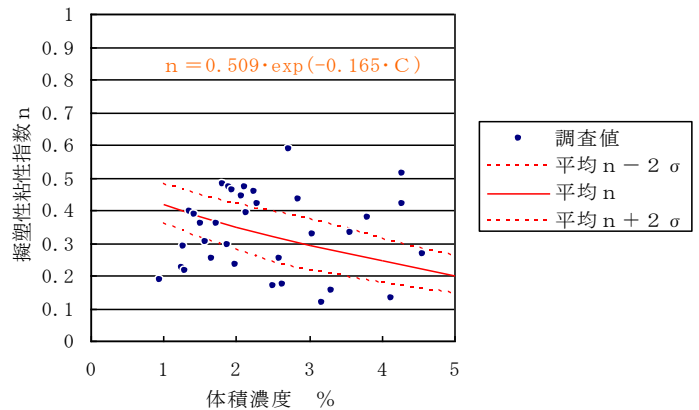


図-3 体積濃度Cと擬塑性粘性指数nの関係

(2) 擬塑性流体の管内流れの状態

B型粘度計で調査した重力濃縮汚泥の濃度に対する流動特性値を用い、移送管の口径と管流速に対する管内の流れの様子を、レイノルズ数 Re を求めることにより試算した。その結果、濃度2%以上の濃縮汚泥を移送管(管径:75、150、200、250mm)で圧送する場合は、流速1.5m/sec以下の範囲ではすべて層流状態であった。

(3) 水平直管部の圧力損失調査

圧力測定は4回(2012年11/16、12/13、12/18、12/20)行った。既設の一軸ねじポンプにより3点流量を変化させて、水平直管部での汚泥濃度に対する差圧を測定した。初回(11/16)の調査は管内を高圧水で洗浄した直後である。直前の洗浄時には管内側には油脂分と思われるスケールが付着して、管内空断面を小さくしているように見えた。スケールなどの影響が出ていると判断し、洗浄直後(11/16のみ)のデータと全データ(4回分)は別に解析することとした。

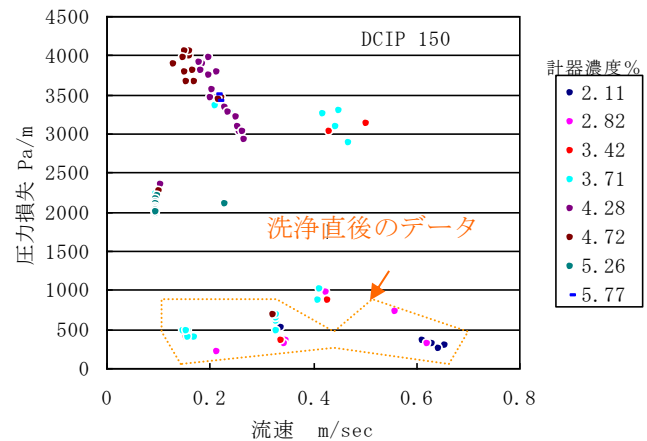


図-4 計器濃度別の移送管管内流速と直管部の配管損失水頭の関係

計器濃度別、流速別に圧力差を整理すると図-4と

なる。計器濃度が0.5%ピッチになるように区画分けして凡例に示した。洗浄直後の11/16の圧力差は1,000Pa/m以下であったが、1ヶ月経過した12月ではほとんどのデータで2,000Pa/m以上になっている。

次に計器濃度が0.5%ピッチになるように区画分けし、区間内で計測濃度と流速を平均した。区間内濃度の平均値と対数にとった速度勾配とせん断応力の関係から、回帰した結果を表-1に示す。

(4) 水平直管部の調査とB型粘度計との比較

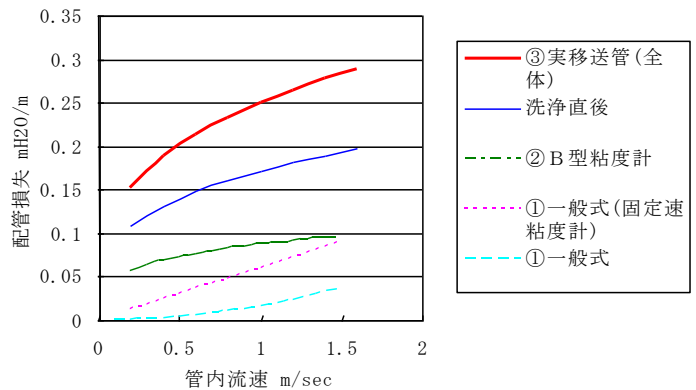
表-1 水平直管部の調査から求めた流動特性値

全データ	洗浄直後
$n = -0.172 \cdot C + 1.0$	$n = -0.178 \cdot C + 1.0$
$\mu_p = 0.002 \cdot C^{6.876}$	$\mu_p = 0.001 \cdot C^{6.981}$

表一で示した流動特性値から管路損失水頭を推定するために、次式を用いた。

$$\textcircled{3} \frac{\Delta P}{L} = 2^{n+2} \left(\frac{3n+1}{n} \right)^n \frac{\mu_p V^n}{d^{n+1}} \quad \Delta P: \text{圧力 (Pa)}, \quad L: \text{長さ (m)}, \quad d: \text{管内径 (m)}, \quad V_m: \text{管内平均流速 (m/sec)}$$

ここで、汚泥濃度 4%を例として、図一5に洗浄直後(11/16のみ)と、全データ(4回分)の結果から得られた管内流速と圧力損失の関係を示す。合わせて、①一般式(清水としてレイノルズ数 Re を求め、コルブルック式の管摩擦係数 λ から配管損失を算出し、ヘーゼンウィリアムズの係数に濃度補正する。また固定速粘度計の粘性係数 μ からレイノルズ数 Re を求め、コルブルック式の管摩擦係数 λ から配管損失を算出する。)、②B型粘度計による流動特性値から得られた関係も示し、比較



図一5 濃度4%の流速と各調査値による損失水頭の関係

することとした。一般式は下に凸で上昇しているが、今回調査した水平直管とB型粘度計では上に凸で上昇している。洗浄直後に対して全データの圧力損失は1.4~1.5倍になった。一方、B型粘度計から求めた圧力損失は約0.5倍であり、一般式では、約0.1倍であった(1m/secの場合)。洗浄直後が実際の配管損失を反映しているとする、一般式は明らかに配管損失を過小評価しすぎており、またB型粘度計においても低く評価していることになる。B型粘度計で求めた値の2倍程度(4%の場合)が妥当といえる。

3. まとめと課題

- ・ B型粘度計を用いて濃縮汚泥の流動特性値から配管損失を推定し、実施設の汚泥移送配管と比較を行い、設計時の配管損失計算には、濃縮汚泥の流動特性値を使い擬塑性流体として扱うことの必要性を示した。
- ・ B型粘度計の粘度測定により流動特性値をある程度推定することができたが、データ数を増やすなどして測定の精度を上げる必要がある。
- ・ 曲管やT字管などの各種異形管に対する損失水頭を算定するためには、清水に対して補正するような算定手法が望まれるが、本調査の結果からは考察できない。
- ・ 汚泥濃度が変動することにより、粘性(損失水頭)は大きく変動するため、無閉塞形等のポンプの場合は、引抜流量が大きく変動してしまうが、容積式のポンプの場合は、引抜流量の変動が小さい。
- ・ 実施設の汚泥移送配管を利用した損失水頭の実測では、管内面の洗浄直後と1ヶ月後により大きく損失水頭値が変わり、管内面のスケールの付着が大きく影響していることが判明したため、別途スケールの対策を検討する必要がある。

<参考文献>

- 1) 藁科亮 他: 重力濃縮引抜ポンプの稼働状況の実態について 第48回下水道研究発表会講演集 II-7-2-1
- 2) 藁科亮 他: 重力濃縮引抜ポンプの稼働状況の実態について(その2) 第49回下水道研究発表会講演集 N-10-5-1
- 3) 水理公式集 平成11年版 p.418
- 4) 下水道施設計画・設計指針と解説 後編 2009年版 pp.314-315

問い合わせ先: (公財) 愛知水と緑の公社 下水道部 五条川左岸・新川東部・新川西部下流事業所

E-mail: awg-g-gs@pluto.plala.or.jp 〒485-0074 愛知県小牧市新小木四丁目4番地

Tel: 0568-75-2911 Fax: 0568-75-2913