

重力濃縮汚泥の流動特性と移送管の閉塞

丸山 司* 藁科 亮** 犬飼 茂*** 中根 進****

要 旨：

近年、分離濃縮の採用により高濃度の濃縮汚泥が得られるようになった一方で、無閉塞型渦巻きポンプでは引抜流量が低下するなど安定した汚泥の供給ができないといった問題が顕在化していた。

そこで、この問題の原因を探るために、重力濃縮汚泥の粘度を計測し汚泥の流動特性を明らかにするとともに、濃縮汚泥移送の設計時には配管損失水頭計算などに流動特性を考慮する必要があることを明らかにした。

また、濃縮汚泥移送管が閉塞する問題についても、配管内の付着状況及び付着物を調査し、閉塞原因を推察した。

キーワード： 重力濃縮汚泥，流動特性，擬塑性流体，粘度計，配管圧力損失

1. まえがき

汚泥濃縮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。分離濃縮を採用している愛知県流域下水道の下水処理場(分流式)において、重力濃縮汚泥濃度が設計値と同等であるにもかかわらず汚泥ポンプ(無閉塞型渦巻きポンプ)では引抜流量が急激に低下し脱水工程への安定した汚泥供給ができないこと^{1), 2)}や、濃縮汚泥移送管の閉塞などの問題³⁾が顕在化している。

本稿では濃縮汚泥の流動特性⁴⁾を粘度計測することにより明らかにした上で、矢作川浄化センターの濃縮汚泥移送管の直管部を利用して圧力損失を測定し、流動特性と配管損失の関係を示す。また、濃縮汚泥引抜管の付着物と濃縮汚泥の性状を調査するとともに移送管内の閉塞(付着)状況を調査し、管閉塞の原因を推定した。

2. 重力濃縮汚泥の流動特性と移送管圧力損失

濃縮汚泥の粘性を3処理場の試料を使って定量的に調査するとともに、矢作川浄化センターでは濃縮汚泥移送管の水平直管部約126 mを利用して、直管の圧力損失を測定した。粘度調査を行った処理場名と採取した濃縮汚泥濃度は、表-1の通りであり、調査は12月から1月にかけて実施した。

表-1中の矢作川浄化センターの備考欄の1区画、2区画とは、後述するが汚泥処理の引抜系統が異なるもので、2区画の濃縮汚泥移送管は、1区画と同口径(150 mm)であるが、125.85 mの長い水平直管部を有している。この2区画の直管部において管内閉塞が発生しており、1区画では発生していない。

表-1 濃縮汚泥粘度調査日と汚泥濃度

処理場名	調査日	採取汚泥		調査項目	備考
		汚泥の種類	手分析濃度		
衣浦東部	2012. 12. 12	重力濃縮	2.2 %	粘度(B形粘度計)	遠沈管で濃縮
			2.5 %	粘度(B形粘度計)	
			2.6 %	粘度(B形粘度計)	
衣浦西部	2012. 12. 18	重力濃縮	2.72 %	粘度(B形粘度計)	遠沈管で濃縮
			3.18 %	粘度(B形粘度計)	
	2013. 1. 25	重力濃縮	3.92 %	粘度(B形粘度計)	
矢作川	2012. 12. 20	重力濃縮	2.21 %	単位体積重量	2区画引抜
			3.2 %	単位体積重量	
			4.28 %	粘度(B形粘度計)	
	2013. 1. 25	重力濃縮	4.57 %	粘度(B形粘度計)	2区画引抜
			3.8 %	粘度(B形粘度計)	1区画引抜
			4.96 %	粘度(B形粘度計)	2区画引抜
			4.83 %	粘度(B形粘度計)	1区画引抜
2012. 12. 20	遠心濃縮	3.6 %	粘度(固定速粘度計)		
	ベルト濃縮	3.94 %	粘度(固定速粘度計)		

2.1 重力濃縮汚泥の粘度調査

2.1.1 固定速粘度計の粘度調査

3処理場で採取した重力濃縮汚泥の粘度を回転ロータの角速度が一定(62.5rpm)の粘度計(写真-1)で測定した。この測定粘度では汚泥の流動特性を知ることにはできないが、濃度の異なる汚泥の相対的な粘度の違いを確認できる。

3処理場の重力濃縮汚泥の汚泥濃度と粘度の関係を図-1に示す。

調査に使う濃度の異なる試料を得るために、採取した汚泥を処理水で希釈した低濃度のもや遠心分離機を使って濃度を高めたものも試料とした。これらの汚泥は手分析により濃度



写真-1 粘度計(VT-04F) リオン(株)

測定を行った。ここでは、採取汚泥と処理水の割合から計算した濃度を体積濃度という。

濃度とともに急激に粘度が高くなる傾向にあり、各処理場の重力濃縮汚泥の粘度は、同じ濃度と粘度の曲線に乗る結果となった。

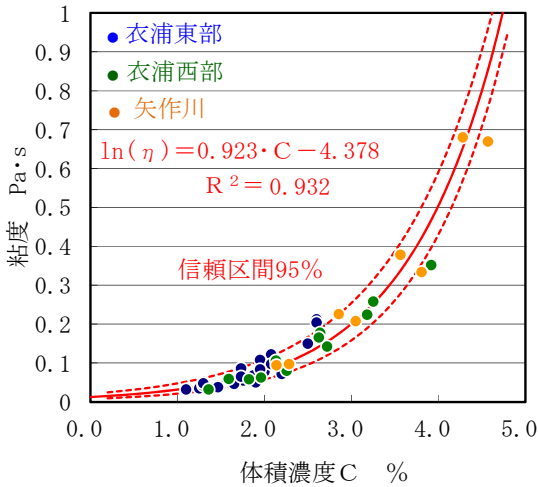


図-1 体積濃度と粘度の関係

汚泥濃度が高くなると3処理場に設置された無閉塞型渦巻きポンプは、引抜量が急激に減少することが確認されており¹⁾、配管の損失水頭やポンプ特性曲線が粘度に影響されていると考えられる。

2.1.2 B型粘度計の粘度調査

3処理場の重力濃縮汚泥を各種濃度で採泥し、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(写真-2)。



写真-2 B形粘度計 ((株)東京計器)

ロータ回転数別の測定粘度から体積濃度別に速度勾配 (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1つの処理場を例として図-2に示す。

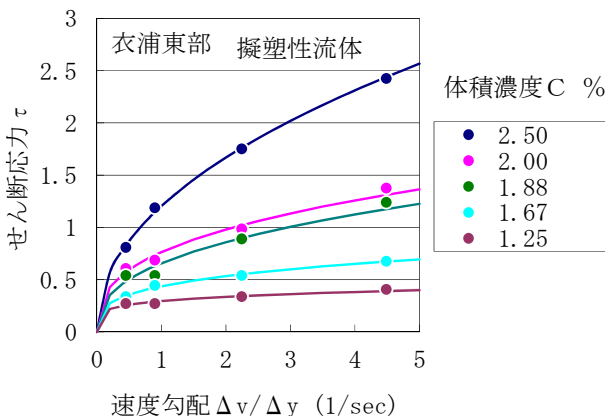


図-2 衣浦東部重力濃縮汚泥の速度勾配(dv/dy)とせん断応力τの関係

図-2の調査値(プロット点)を式(1)に示す擬塑性流体のレオロジー方程式で回帰して流動特性値(μ_p, n)を推定する。

$$\tau = \mu_p \left(\frac{dy}{dx} \right)^n \quad \dots\dots\dots (1)$$

- ここに、τ : せん断応力 (Pa)
- μ_p : 擬塑性粘性係数 (Pa · sⁿ)
- n : 擬塑性粘性指数(-) (n < 1)
- dv/dy : 速度勾配 (1/sec)

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-3、4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、擬塑性粘性係数μ_pは増加し、擬塑性粘性指数nは小さくなっている。

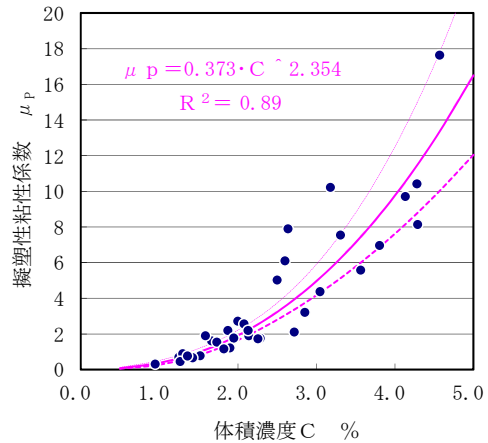


図-3 体積濃度Cと擬塑性粘性係数μ_pの関係

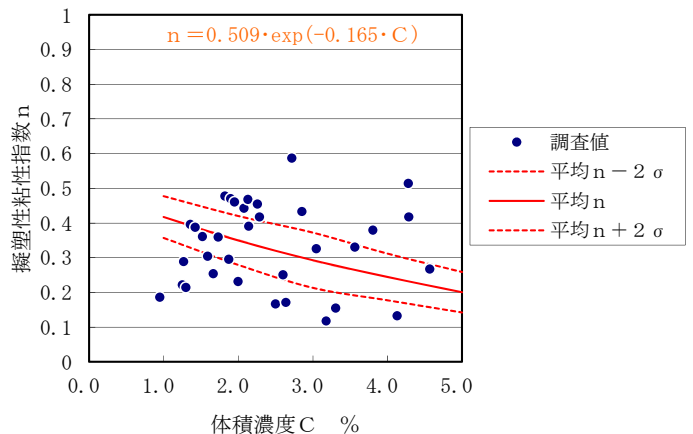


図-4 体積濃度Cと擬塑性粘性指数nの関係

図-4の擬塑性粘性指数nは濃度に対するばらつきが大きかった。このばらつきは、重力濃縮汚泥に含まれるフロックの影響と思われる。

最初沈殿池から引き抜いた汚泥は、水分や繊維分、髪の毛などが含まれたものである。重力濃縮過程では、これら繊維分、髪の毛などが凝集、フロックを形成して界面を持って沈降している。

濃縮汚泥は、最初沈殿池汚泥に較べて水分が少なく、フロックを多く持った汚泥(写真-3)である。



写真-3 重力濃縮汚泥のフロック

重力濃縮汚泥の粘度を測定する際、ロータと容器内側壁面の上にダマになったフロックがはさまり、そのはさまり具合により壁面抵抗値がばらついているのが観察された。抵抗値の一定を待ち記録したが、これが擬塑性粘性指数 n のばらつきに繋がっていると思われる。

2.1.3 汚泥移送管(水平直管部)の圧力損失調査

矢作川浄化センターにおける重力濃縮汚泥の脱水機前汚泥貯留槽までの移送系統を図-5に示す。1区画と2区画にはともに水平部を有している。

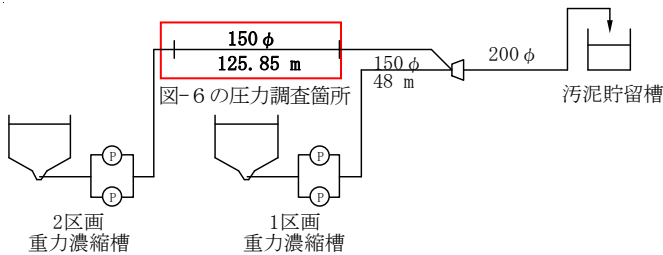


図-5 矢作川浄化センターの汚泥移送管系統図

後述4.3に示すが1区画は、早くから共用し、一定の汚泥量を移送でき、2区画に較べてほぼ一定の管内流速があり、1区画の移送管には閉塞を示す兆候は無く、2区間の移送管は1年に1度配管を外して管内を高圧洗浄している³⁾。

この2区画の汚泥移送管の直管部(鑄鉄管口径150mm×125.85m)を利用して、直管の上下流に圧力計を設置して圧力損失を測定した(図-6)。

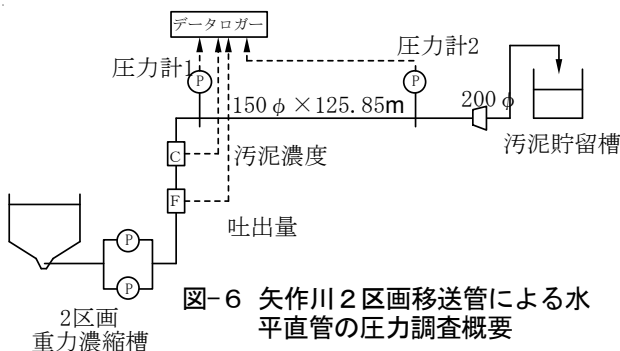


図-6 矢作川2区画移送管による水平直管の圧力調査概要

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ものが付着して、管内空断面を小さくしているように見えた。付着物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。

計器濃度別、流速別に圧力差を整理すると図-7となる。計器濃度が0.5%ピッチになるように区間分けして凡例に示した。

洗浄直後の11/16の圧力差は1,000 Pa/m以下であったが、1ヶ月経過した12月では2,000 Pa/m以上になっている。

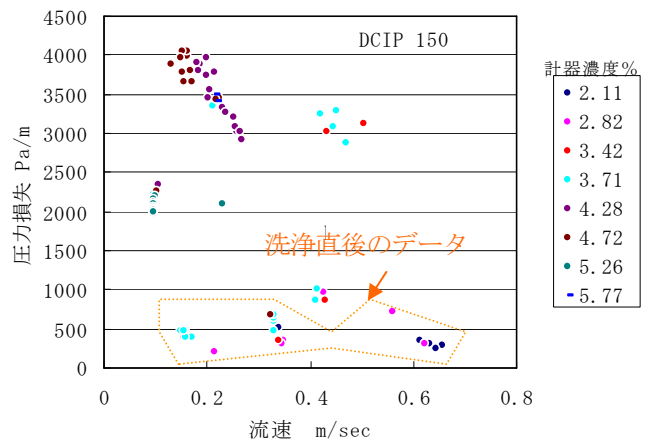


図-7 計器濃度別の移送管管内流速と直管部の配管損失水頭の関係

調査結果の全データと洗浄直後のデータに分け、計器濃度が0.5%ピッチになるように区間分けし、区間内で計測濃度と流速を平均して、区間内濃度の平均値と速度勾配とせん断応力の関係を回帰した結果を表-2に示す。

表-2 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
$\mu_p = 0.002 \cdot C^{6.876}$	$\mu_p = 0.001 \cdot C^{6.981}$
$n = -0.172 \cdot C + 1.0$	$n = -0.178 \cdot C + 1.0$

調査値の打点と回帰式を図-8、9に示す。全データと洗浄直後の流動特性値としての差は、あまり見られないようであるが、濃度が高くなると擬塑性粘性係数 μ_{pipe} の差が損失水頭の差として現れてくる。

前掲図-4において濃度と擬塑性指数の関係を指数関数で示したがほぼ線形であったことから図-9は一次式で回帰した。

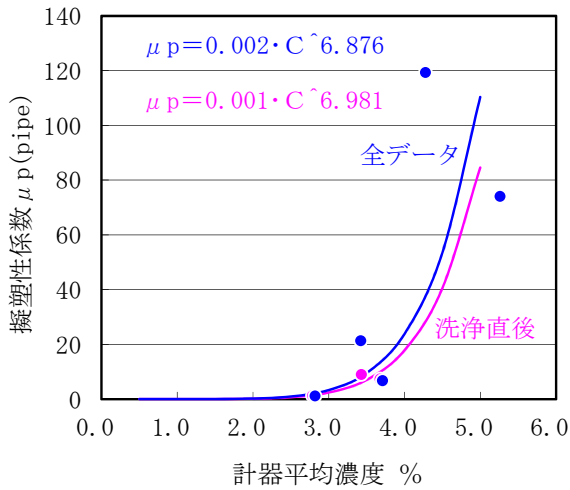


図-8 ln(計器平均濃度)とln(擬塑性粘性係数 μ_p)の関係(洗浄直後)

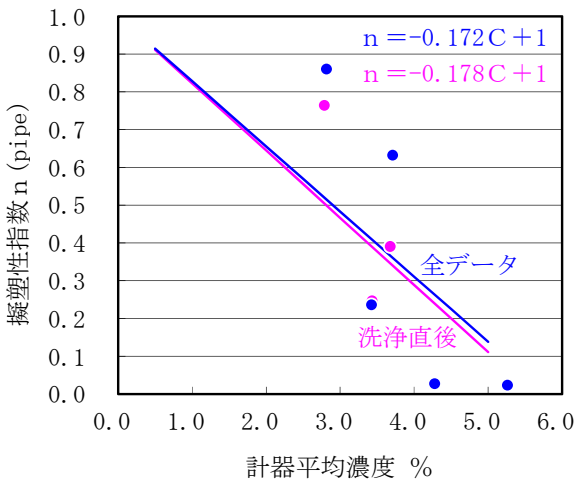


図-9 計器平均濃度と擬塑性粘性指数nの関係(洗浄直後)

2.1.4 水平直管部の調査と粘度計による管路損失水頭との比較

現行の設計時の配管損失水頭計算において、下水処理場内での配管には、ダルシーの式、場外で長距離の輸送ではヘーゼンウイリアムズ式が使われる。

これらの式には、流体の粘性や濃度を考慮する項が含まれないが、文献や過去の実験などの知見を入れ補正式が提案され、使われている。

本稿では、調査した流動特性値を使うことができる式を導入し、調査値と現行設計時の配管損失水頭の比較を行い、高濃度汚泥の損失水頭にはどの式が使えるかを調べた。

ダルシーの式：

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad \dots (2)$$

$$f = 0.02 + 1 / (2000 + d) \text{ 鋼鉄管摩擦係数}$$

ヘーゼンウイリアムズ式⁵⁾：

$$Hf = 6.82 C_H^{-1.85} D^{-1.17} V^{1.85} L$$

- h_f, H_f : 管路損失水頭 m
- f : 摩擦損失係数
- L : 直管長さ m
- D : 内径 m
- V : 管内平均流速 m/sec
- g : 重力加速度 m^2/sec
- ρ : 密度 kg/m^3
- μ : 粘性係数 Pa·s
- Re : レイノルズ数
- C_H : 係数

下水道施設計画・設計指針には、長距離の輸送に関しヘーゼンウイリアムズ式に図-10の濃度に関する補正を考慮したヘーゼンウイリアムズの拡張式⁶⁾がある。

$$Hf = 6.82 \frac{L}{D^{1.17}} \left(\frac{V}{C_H} \right)^{1.85} (1 + 0.11C)$$

- C : 濃度(%)
- C_H : 係数

設計時に一般的に用いるダルシーの式(2)は、図-10を基にして作られた濃度補正係数を考慮して損失水頭を求める。

固定速の粘度計から得られる粘度(粘性係数 Pa·s)を使ってレイノルズ数を計算し、コールブルックの式(3)⁸⁾から摩擦損失係数 λ を計算し、下式のダルシーの式から損失水頭を計算する。

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon/d}{3.71} + \frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} \right) \quad \dots (3)$$

$$Re = \frac{Vd}{\nu} \quad \text{ここに、}$$

$$\Delta h = \lambda \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

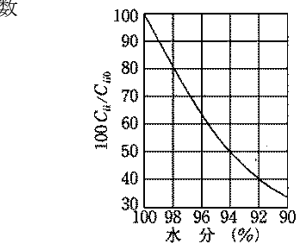


図-10 汚泥濃度(水分)のヘーゼンウイリアムズ係数の補正⁷⁾

- λ : 摩擦損失係数
- ϵ : 絶対粗度 m
- d : 内径 m
- V : 管内平均流速 m/sec
- ν : 動粘係数(= μ / ρ) m^2/sec
- ρ : 密度 kg/m^3
- μ : 粘性係数 Pa·s
- Re : レイノルズ数
- Δh : 管路損失水頭 m
- L : 長さ m

一方、式(4)⁹⁾は、B型粘度計から得られる流動特性値(μ_p, n)を使って損失水頭 ΔP を推定できる。

$$\frac{\Delta P}{L} = 2^{n+2} \left(\frac{3n+1}{n} \right)^n \frac{\mu_p V^n}{d^{n+1}} \quad \dots (4)$$

ここに、 Δp : 圧力 Pa
 L : 長さ m
 n : 擬塑性粘性指数
 μ_p : 擬塑性粘性係数
 d : 内径 m
 V : 管内平均流速 m/sec

ここでは、汚泥濃度4%を例として、各式で計算した管内流速に対する配管損失を図-11に示す。図-11の上から次のようにして配管損失を推定した。

- 1) 全データ(4回分:青線)の水平直管部の圧力調査結果から得られた表-2(図-8、図-9の回帰式)の流動特性値を式(4)に代入して求めた配管損失
- 2) 洗浄直後(11/16のみ:ピンク線)の水平直管部の圧力調査結果から上記と同じ式(4)に代入して求めた配管損失
- 3) B型粘度計による図-3、図-4の流動特性値から得られる式(4)を使った配管損失
- 4) 固定速粘度計の粘度(図-1)から求めたレイノルズ数 Re を使い式(3)のコールブルックの式から管摩擦係数 λ を求めた配管損失
- 5) ダルシーの式(2)と铸铁管摩擦係数 f から求めた配管損失

ダルシーの式(2)は、配管損失水頭が管内流速 v の二乗に比例するので下に凸で上昇しているが、式(2)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(式(4)+図-3、図-4)は洗浄直後の約0.5倍であり、ダルシーの式(2)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、ダルシーの式(2)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(式(4)+図-3、図-4)においても低く評価していることになる。

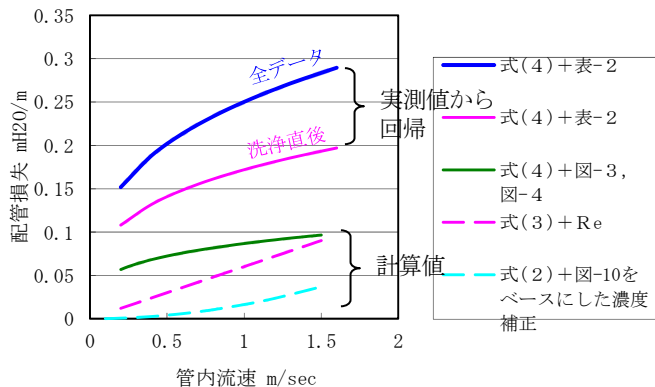


図-11 濃度4%の流速と各調査値による損失水頭

図-11に示す計算値と書いた現行設計時に使用するダルシーの式(2)は全く使用できない。

なお、レイノルズ数 Re の算定には、濃縮汚泥の単位体積重量が必要になる。下水試験方法 上巻 -2012年版-p.714の簡便法2により、写真-4に示すように1,000 mLのメスシリンダーに採泥した重力濃縮汚泥

を入れ、重量を測定した。各汚泥を3回測定し、平均して単位体積重量とした。

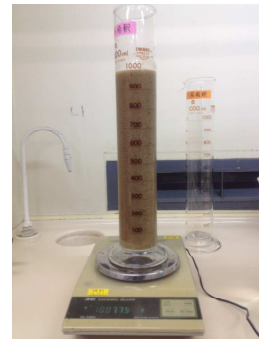


写真-4 重力濃縮汚泥の単位体積重量の測定

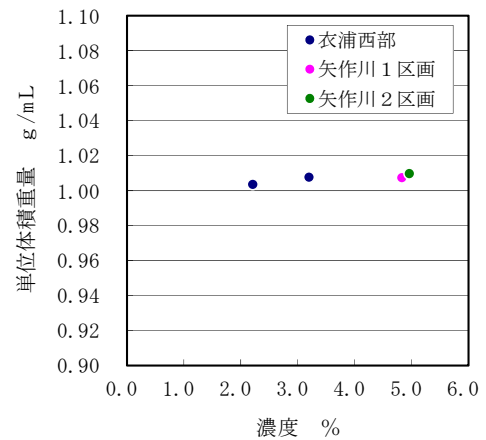


図-12 濃度と単位体積重量の関係

図-12に濃度と単位体積重量の関係を示す。濃度が高くなるに従い単位体積重量は、増加するが3%あたりからあまり増加せず、1.01であった。本稿では、1.0と扱い整理した。

3 ポンプ吐出圧力調査

3.1 ポンプ吐出圧力調査

2処理場(衣浦西部、衣浦東部浄化センター)のポンプ吐出側の圧力計の読み値から、流量計や濃度計の読み値に対する配管損失水頭を求めた。

ポンプ吐出圧力調査では重力濃縮汚泥の流動特性値を算出できないので、配管スケルトンから管径、延長、異形管の数などを拾い出し、清水としての管路すべての損失水頭(総損失水頭)を算定し、調査した重力濃縮汚泥の総損失水頭と比較する。

また、粘度調査、直管調査による流動特性値(擬塑性粘性係数 μ_p および擬塑性粘性指数 n)から推定した総損失水頭と比較する。

流動特性値から総損失水頭の推定には、口径別に異形管を含めた延長を拾い出し、粘度調査あるいは直管調査による流動特性値から推定した直管延長1mあたりの損失水頭から管路の損失水頭を算定し、異形管の

形状損失分を加味して調査管路全体の損失水頭とする。

3.1.1 衣浦西部(調査用一軸偏心ねじポンプ)の結果

調査用一軸偏心ねじポンプを設置する際に既設ポンプ吸込側の丁字管フランジ蓋を外したときの管内写真を写真-5に示す。管内には油脂分と見られる付着物が見られた。



写真-5 濃縮汚泥引抜管の管内付着物

調査のために設置した一軸偏心ねじポンプにおいて計器濃度とその引き回し配管を含めた管路全体の損失水頭の関係は図-13となる。

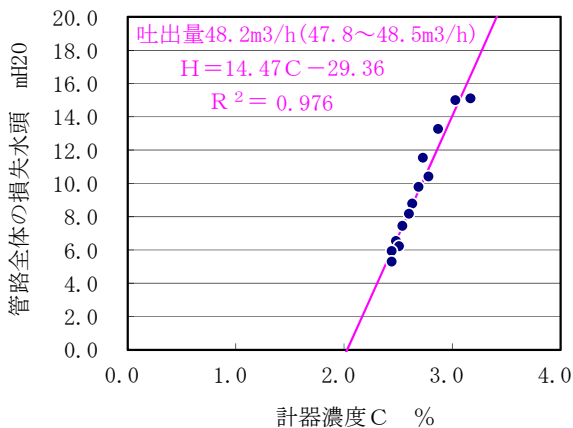


図-13 計器濃度と管路全体の損失の関係

汚泥濃度が 2.44%~3.17%の 1%弱の変化に対して管路全体損失水頭は、5 m~15 m と 3倍程度も変化した。

図-13 に計器濃度に対する管路全体の損失水頭の回帰式を示したが、回帰式から濃度 4%の時には、管路全体の損失水頭が 28.5 m になると推定される。(ポンプ吐出圧力計の読み値ではない。)

図-14 に既設無閉塞型ポンプ性能曲線と汚泥濃度別の推定した管路抵抗曲線を示す。

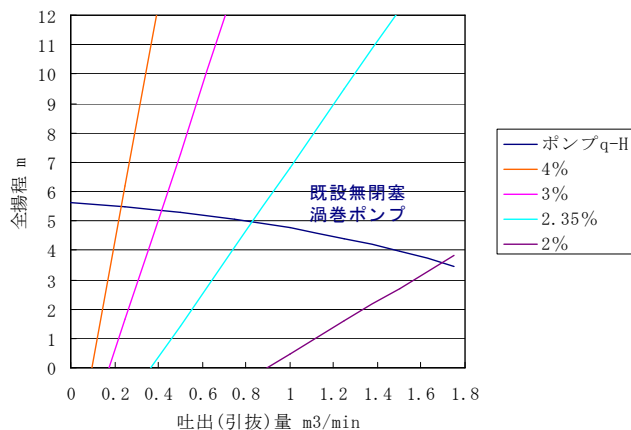


図-14 既設無閉塞型渦巻ポンプの推定吐出量(引抜量)

推定では、濃度 4%でも所要吐出量 48.2 m³/hr (0.8 m³/min) の 1/4 (0.2 m³/min) 程度は引き抜けていることになる。既設無閉塞型ポンプで所要(設計時)吐出量 48.2 m³/hr (0.8 m³/min) を引き抜くためには濃度が 2.35%以下でなければならないことが判明した。

3.1.2 衣浦東部(吸込スクリーポンプ)の結果

調査に使用した現地設置吸込スクリーポンプの性能曲線を図-15に示す。

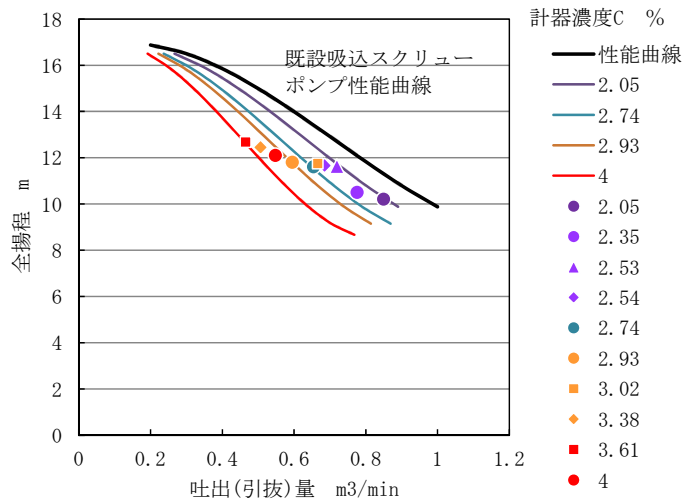


図-15 現地設置吸込スクリーポンプ性能曲線と調査値

図-15 に調査で得られた吐出量と全揚程の関係を打点した。すべての点においてポンプ性能曲線を下回っている。汚泥濃度は、同じ値を示していないので、同じ濃度ごとのポンプ性能曲線を回帰式で示すことができないが、2.05~2.54%、2.74%、2.93~3.38%、3.61と 4%のグループに分けて、概略の濃度別のポンプ性能曲線を示した。これは汚泥濃度によってポンプ性能曲線が変化していることを示唆している。図-15 の現地設置吸込スクリーポンプの性能曲線と汚泥濃度ごとに調査した吐出量の割合を算定して、図-16 に示す吐出量の低下割合を示す曲線を導いた。4%濃度であれば、全揚程に対して吐出量は、ポンプ性能曲線に示される吐出量の 60%となることが推定される。

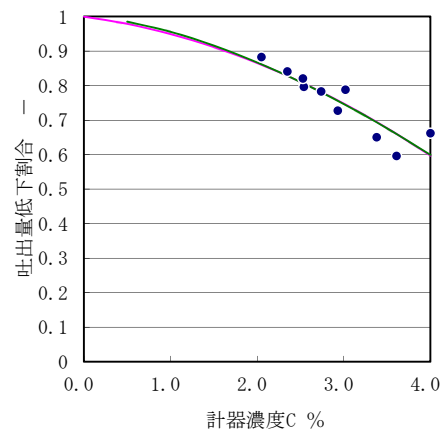


図-16 現地設置吸込スクリーポンプの汚泥濃度による吐出量の低下割合

JIS B 8301:2000 遠心ポンプ、斜流ポンプ及び軸流ポンプ-試験方法の附属書 G(参考)高粘度液に対する性能補正線図には、高粘度液を扱う一般の遠心ポンプに対して性能を補正する方法が示されている。このJISは、前掲図-2の速度勾配とせん断応力 τ の関係が線形を示すニュートン流体の補正方法であり、擬塑性流体を示す濃縮汚泥の補正方法ではないと考えられる。濃縮汚泥を引き抜き、移送する無閉塞型ポンプの吐出量は、2処理場(衣浦西部、衣浦東部浄化センター)のポンプ吐出圧力調査の結果では、4%濃度の場合、必要なポンプ吐出量は計画値の1.67倍(1/0.6)のものを選定する。また、吐出量に応じてポンプ電動機容量も考慮する必要がある。

3.2 ポンプ吐出圧力に及ぼす液温の影響

汚泥濃度により粘性が高くなり、移送管の損失水頭やポンプ性能に影響を与えることは記述の通りである。矢作川浄化センターの一軸偏心ねじポンプの吐出圧と濃縮濃度を通季にわたり調査した。月別の吐出圧と濃縮汚泥濃度の平均値を図-17に示す。吐出圧と濃縮汚泥濃度は、維持管理の際の指示計の読みを記録し、採泥した汚泥の手分析値であり、月4回程度の平均値である。

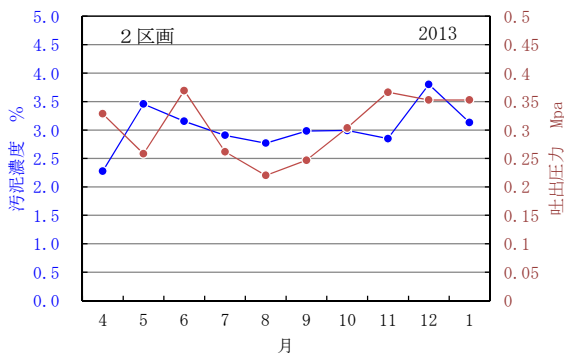


図-17 月別のポンプ吐出圧と汚泥濃度

粘度調査や移送管の圧力損失の調査では、汚泥の液温も考慮して解析したが冬季12月に行ったので、汚泥の液温が低い側の結果しかなく、その変動もほとんどないため、汚泥の液温による影響を示すことができなかった。そこで維持管理時に採泥した際の濃縮汚泥の液温を月別に図-18に示す。

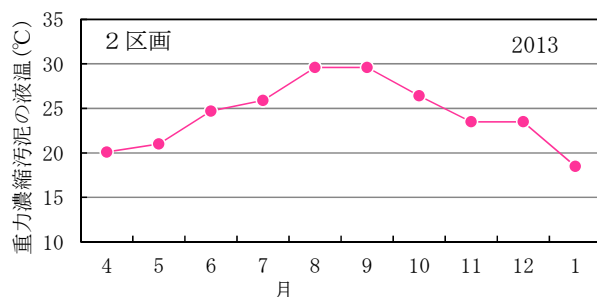


図-18 月別の重力濃縮汚泥の液温

月別の吐出圧と濃縮汚泥濃度は、5月、12月を除き相関がみられ、濃縮汚泥の液温は、夏季には高く、吐出圧、汚泥濃度が低い時期と重なる。粘性は一般的に温度によって変化するので、吐出圧を目的変数、流量、濃度、液温、閉塞率を説明変数として多変量解析した。解析結果は表-3に示すが、p値(有意水準5%)で液温のみが説明変数として吐出圧に寄与している。

表-3 多変量解析の結果

回帰統計		変数	係数	標準誤差	t	P-値
重相関 R	0.875873	切片	0.77991	0.16789	4.64535	0.005606
重決定 R2	0.767154	流量	-0.01159	0.008377	-1.38337	0.225131
補正 R2	0.580877	濃度%	-0.02438	0.028962	-0.84196	0.438212
標準誤差	0.03204	水温	-0.0087	0.003137	-2.77422	0.039169
観測数	10	閉塞率	0.000979	0.000625	1.568004	0.177667

上記、多変量解析では流量、濃度などの影響はない結果であったが、吐出圧=管の損失であること、汚泥液温により汚泥の粘性が変化し、吐出圧が変化することから、月平均流量と粘性の要因を考慮できるレイノルズ数 Re (式(3))に着目する。

月平均流量の違いによる管内流速、汚泥の液温による粘性の違いと、管の損失水頭を表すことのできるレイノルズ数 Re を算定し、吐出圧とレイノルズ数 Re の逆数(摩擦係数に相当)の関係を図-19に示す。

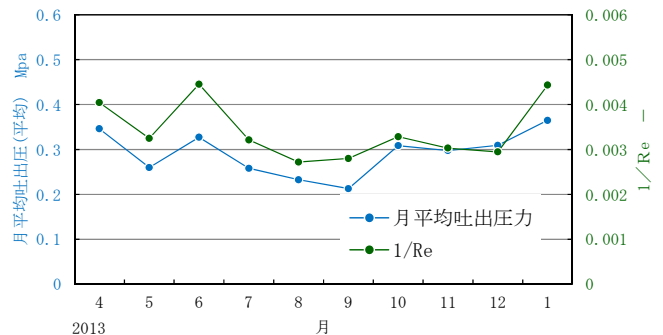


図-19 月別のポンプ吐出圧とレイノルズ数 Re の逆数

汚泥の液温が低く粘度が大きくなれば、レイノルズ数 Re の逆数が大となり、吐出圧が上昇することが明らかになった。

4. 重力濃縮汚泥の性状と移送管の付着物による閉塞状況³⁾

4.1 重力濃縮汚泥の性状

矢作川浄化センター2区画の重力濃縮汚泥移送ポンプの吸込配管から付着物(写真-6)を採取した。

付着物は管内面に10mm程度付着し、粘土状になっており、かなり堅い状態であった。

採取した付着物を写真-7に示すN-ヘキサンに溶解した



写真-6 配管付着物の状況

ところ簡単に溶解したことから油脂類割合を調査した。

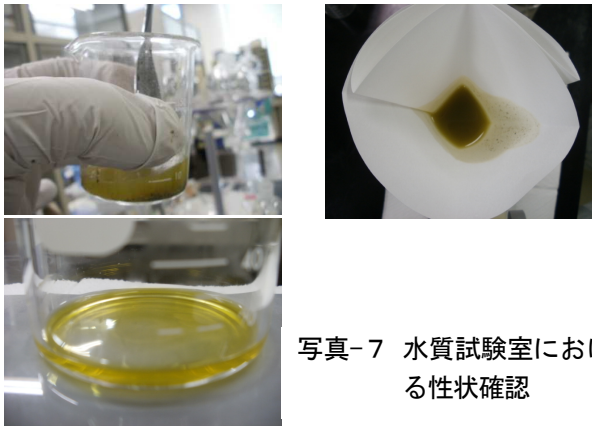


写真-7 水質試験室における性状確認

付着物の含水率は約54%であり、N-ヘキサン抽出物質は乾重量ベースで54~61%と半分以上となり、付着物の主成分は油脂類であることがわかった。抽出した油の溶解温度は51℃であり、前掲図-18の濃縮汚泥(液温17~29℃)では付着物は固体と考えられる。

そこで矢作川浄化センターの各区画と他の浄化センターの重力濃縮汚泥の油脂類(N-ヘキサン抽出物質)について調査し比較した。

重力濃縮汚泥の採取は冬季1月7~10日にかけて日間変動や時間変動を考慮し、複数回行った。

汚泥濃度は採取時の運転条件によりばらつきがみられたがN-ヘキサン抽出物質濃度の平均値においては採取場所によって大きな差がみられなかった。(表-4)

表-4 重力濃縮汚泥のN-ヘキサン抽出物質

	矢作川浄化センター		他の浄化センター
	1区画	2区画	
平均値 mg/gDS	46.3	40.7	44.5
標準偏差	6.8	7.5	—

4.2 移送管の付着物による閉塞状況調査

他の処理場と比べて移送される汚泥性状(N-ヘキサン抽出物)に差がないにもかかわらず、矢作川浄化センター2区画の汚泥移送管でなぜ閉塞が多発するのかを明らかにするため、移送管の付着状況を直接調べることとした。

放射線透過線量法といわれる可搬式装置(図-20)を使って移送管内面の付着物量を調査した。

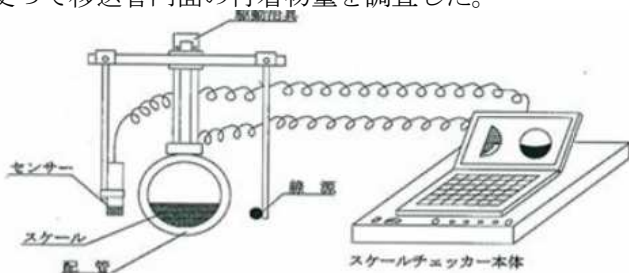


図-20 放射線透過試験装置(可搬式)の概要

測定は移送管直管部の铸铁管とSUS管部分で測定した(写真-8)。



写真-8 放射線透過試験装置測定箇所

また、測定は濃縮汚泥移送ポンプを停止し、汚泥が残留した状態と管内に処理水を送水して付着汚泥以外の固形物を流出させて空にした状態の2ケースを測定した。

放射線透過試験後に配管を外し目視により測定も行った。測定結果を図-21に示す。

铸铁管表面の铸肌はざらついているためか、測定のために結果の変動が大きくなったが、SUS管については概ね目視に近い結果が得られた。

管内付着物の傾向として、図-21右のように管の底部へ付着が多く見られ、管内での沈降による傾向が示唆される結果となった。

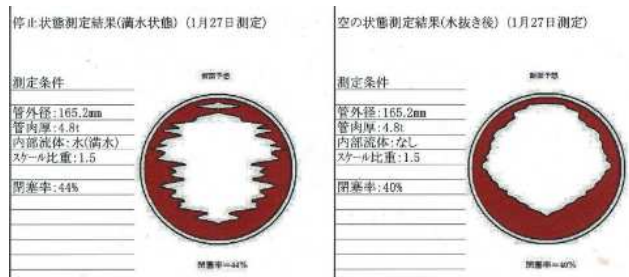


図-21 放射線透過試験による測定結果³⁾

4.3 濃縮汚泥性状と付着物閉塞状況からの知見

濃縮汚泥引抜は間欠的に行われるため、油脂類を含んだ濃縮汚泥がポンプ停止時に濃縮槽からの引抜管や移送管の水平部で管内面に付着し、管底に沈降堆積する。停止時間が長くなると液温が低い(常温)ことにより濃縮汚泥が油脂類とともに管内面に付着固化するものと推察される。

これらの付着固化の対策としては、1)移送量を増やし、停止時間を少なくする。2)熱源があれば配管を暖めることなどが考えられる。

矢作川浄化センターでは、管内流速で示しているが図-22に示すように2区画の移送量も増加してきたこともあり、計画値での移送量となり、1区画と同程度の流速になってきている。

その結果、以前に比べ付着物の増加による閉塞の発生頻度は低下した。

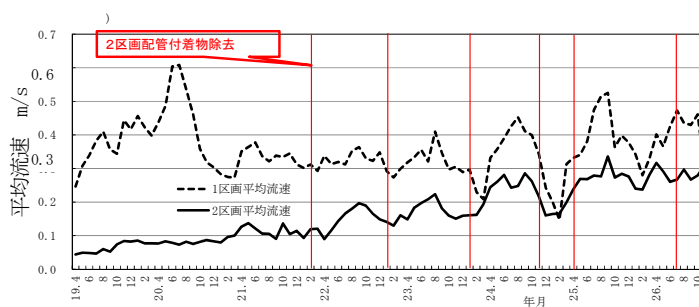


図-22 矢作川浄化センター1区画と2区画の管内流速の推移

5. まとめと課題

粘度計を用いた濃縮汚泥の流動特性値から配管損失を推定し、移送管での実測圧力損失値との比較を行い、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明確にした。

固定速の粘度計(写真-1)による測定粘度を使った配管損失計算は、実管調査の配管損失値と大きな隔りがあり、B型粘度計((写真-2)により流動特性値を得ることのほうが実管調査の配管損失値に近いことが明らかになった。しかし、実管調査の配管損失値は、流動特性値から計算する損失値の約2倍であった。

B型粘度計の粘度測定により流動特性値を推定することができるが、擬塑性粘性指数n値のばらつきが大きく、安定して測定する方法が課題となった。

一軸偏心ねじポンプを持つ矢作川浄化センターでの移送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、管内面の付着物が大きく影響していることが判明した。

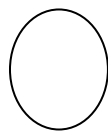
濃縮汚泥を引き抜き、移送する無閉塞型渦巻きポンプについては、設計時に4%濃度の場合、必要なポンプ吐出量は計画値の1.67倍(1/0.6)のものを選定するなどの配慮を必要とする。

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。

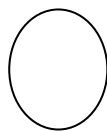
重力濃縮汚泥に含まれる油脂類の調査と移送管内の付着物閉塞状況調査から、流速が遅いことにより水平配管で油脂類を含む汚泥が付着堆積し冷却固化するのではないかと推察された。

＜参考文献＞

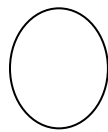
- 1) (公財)愛知水と緑の公社 藁科 亮、他：重力濃縮引抜ポンプの稼動状況の実態について 第48回下水道研究発表会講演集 II-7-2-1
- 2) (公財)愛知水と緑の公社 藁科 亮、他：重力濃縮引抜ポンプの稼動状況の実態について(その2) 第49回下水道研究発表会講演集 N-10-5-1
- 3) (公財)愛知水と緑の公社 犬飼茂、丸山 司、牛丸 巖、後藤 康明、中日本建設コンサルタント(株)大石 悟司、中根 進：重力濃縮汚泥移送管における閉塞発生事例 第51回下水道研究発表会講演集 N-8-2-6
- 4) (公財)愛知水と緑の公社 藁科 亮、丸山 司、中日本建設コンサルタント(株)大石 悟司、中根 進：高濃度汚泥の流動特性について 第50回下水道研究発表会講演集 N-10-4-1
- 5) (社団)日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説 後編 p.314
- 6) (社団)日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説 後編 p.315
- 7) 土木学会：水理公式集 平成11年版 p.418
- 8) 坂東 修：Excelで解く配管とポンプ流れ 工業調査会 p.50
- 9) 寺嶋 光春：水処理装置の環境負荷低減に向けた混相流動制御 2010年1月 東北大学大学院環境化学研究科環境化学・生態学コース 博士学位論文



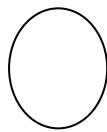
* (まるやま つかさ)
(公財)愛知水と緑の公社
下水道部管理課



** (わらしな りょう)
(公財)愛知水と緑の公社
下水道部矢作川・衣浦東部事業所



*** (いぬかい しげる)
(公財)愛知水と緑の公社
下水道部管理課



**** (なかね すずむ)
中日本建設コンサルタント(株)
水工技術本部 技師長
日本下水道協会 特別会員

Fluid characteristics of gravity concentrated sludge and clogging of transport piping

Tukasa MARUYAMA* , Ryo WARASHINA** , Shigeru INUKAI*** , Susumu NAKANE****

High concentrated sludge has been obtained by adopting the separation concentration method in recent years. but the problem of being unable to supply stable sludge, such as drawing amount of sludge being lowered with a non-clogging centrifugal pump, has become apparent.

Therefore, in order to investigate the cause of this problem, we measured viscosity of concentrated sludge and clarified flow characteristics of sludge. In addition, it show that flow characteristics should be taken into account such as calculation of piping loss head of concentrated sludge transfer during designing.

Also, regarding the problem of clogging of the concentrated sludge transfer pipe, the adhesion situation inside the pipe and the deposits were investigated and the cause of the blockage was estimated.