

圧力計測式粘度測定装置による 濃縮汚泥の流動特性調査

(公財)愛知水と緑の公社 ○藁科 亮・若尾 貞仁

兵神装備(株) 西村 太作 中日本建設コンサルタント(株) 中根 進

1. はじめに

汚泥処理施設のポンプを選定する際には、移送に必要な吐出量や全揚程を計算するが、一般的には汚泥移送管の圧力損失を清水として計算し、汚泥濃度を考慮した補正係数を乗じて汚泥としての全揚程を求める。調査対象である境川浄化センターでも、重力濃縮汚泥移送ポンプの選定時にはこの計算で設計が行われ、無閉塞型渦巻ポンプが設置されている。しかし、このポンプで実際に運用すると汚泥濃度が 3%程度以上の高濃度になると、移送量が大きく低下し、設計上の流量に満たない状況であった。このような課題が他の浄化センターでもあり、これまで実情に近い圧力損失の計算手法を構築するために調査してきた。

擬塑性流体を示す重力濃縮汚泥の流動特性値(擬塑性粘性指数 n 、擬塑性粘性係数 μ_p)を実施設の汚泥移送管(以下、「実管」という。)に設置した圧力計から固形物濃度別に算定してきたが、前回の報告では、境川浄化センターの曲管部を含む実管($\phi 150\text{mm} \times$ 約 294m, 無閉塞型渦巻ポンプ)と後述の圧力計測式粘度測定装置(以下、「測定装置」という。)から得られる流動特性値の間に差異があり、測定装置の流動特性値から実管の圧力損失を再現することができなくなったことを報告した¹⁾

測定装置は、後述する概略図に示すように供試体である濃縮汚泥を循環使用(流速を変えて1つの濃度に対して5回、往復で10回計測)して圧力を測定するため、汚泥ブロックがロータなどで剪断応力を受け、次第に粘度が低下してくるのではないかと考えた。また、以前の調査研究においてB形粘度計による粘度を測定している際も、粘度計のロータ回転によるせん断の影響が試料に残り、粘度の値が一定しない状態であった(図 1.1、図 1.2)。

べき乗則流体のうち擬塑性流体では、ずりを受けると粘性が低下し、ずりを除去してもすぐには粘性が戻らず、しばらく放置すると粘性が戻る。この性質をチクソトロピーというが、測定装置で測定した濃縮汚泥を一晩放置し、翌日に再度粘性を測定したが、粘性は戻らなかった(図 1.3)。また、ブロックの大きさとチクソト

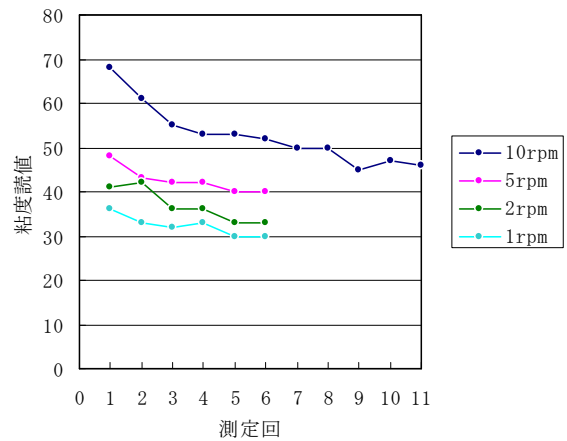


図 1.1 B型粘度計の測定回と粘度計の読み

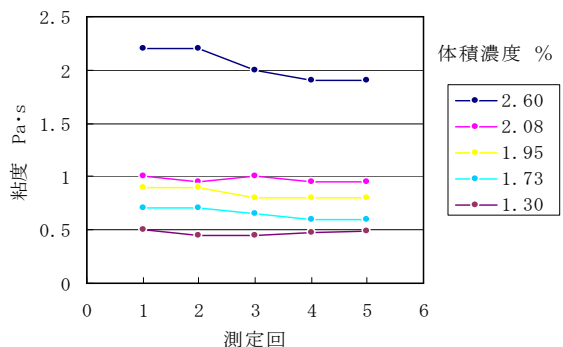


図 1.2 B型粘度計の測定回と粘度

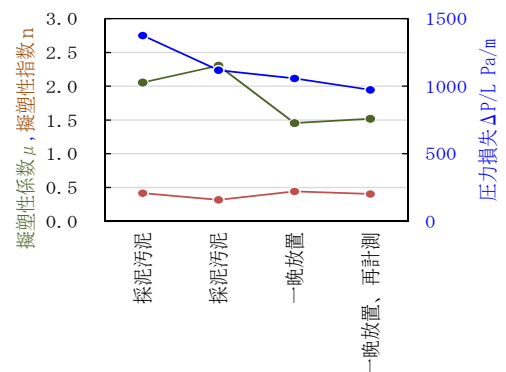


図 1.3 粘度再計測における流動特性値と圧力損失

また、ブロックの大きさとチクソト

ロピー性とは関連がないと思われるが、せん断でフロックが小さくなり流動特性値が変わることも考えられる。

一方、実管で移送するときの濃縮汚泥は、一度だけ無閉塞型渦巻ポンプの羽根車でせん断を受けるものの循環されずに移送される（以下、「1パス」という。）ため、粘度の低下（チクソトロピー性の影響）は小さいと考えた。

これらのことから、今回の調査では、測定装置での供試体を循環させずに1パスで圧力測定をし、循環させた結果と比較した。

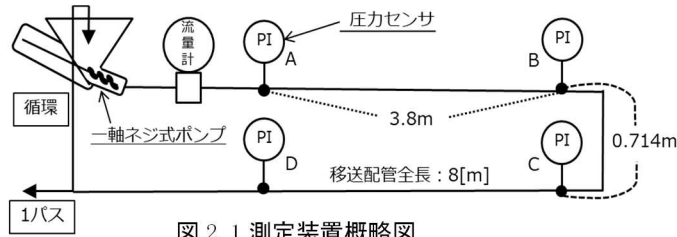


図 2.1 測定装置概略図



写真 2.1 測定装置

2. 測定装置

測定装置（兵神装備（株）製）は異形管（90° 曲管）と直管部の圧力を計測し、流動特性値を算定する。（写真 2.1、図 2.1）圧力計は4箇所を設置し、直管部 3.8 m×2箇所、90° 曲管2個の圧力を測定できるようにしている。

前回の調査では、一軸ネジ式ポンプでホッパーから汚泥を引抜き、口径 25A の細管を通してホッパーに戻し、汚泥を循環させた。今回は、圧力計測後の汚泥を循環使用せずに破棄し、新たな汚泥をホッパーに充填し続けて測定した。

この1パスあるいは循環で、重力濃縮汚泥（写真 2.2）、機械濃縮余剰汚泥（写真 2.3）の2種類の濃縮汚泥の圧力を測定し、流動特性値を得た。



写真 2.2 重力濃縮汚泥の供試汚泥と1パス後の汚泥性状



写真 2.3 機械濃縮余剰汚泥の供試汚泥と循環後の汚泥性状

3. 測定装置による流動特性値

1パスと循環で圧力損失を測定し、(1)式から流動特性値を算定する。

1パスと循環で得た流動特性値を図 3.1、図 3.2 に示す。なお、図中の「循環 11月～3月」は前回報告した調査結果¹⁾によるものである。

図 3.1 に示す擬塑性粘性指数 n は、汚泥濃度に対してバラツキが大きく、このデータだけでは線形回帰はできないが、実管による調査の結果を受けて線形回帰した。1パスと循環の区別も明確にはならなかった。

図 3.2 の擬塑性粘性係数 μ_p は、1パスと循環で明確な差がなく、1つの指数関数で回帰できた。

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

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

この測定装置による調査結果では1パスと循環では明確な差がなく、実管と測定装置の流動特性値の差異は調査前に想定していたチクソトロピー性の影響と言えない結果となった。

機械濃縮した余剰汚泥は写真2.3左に示すように重力濃縮汚泥(写真2.2左)のようなフロックはなく、チクソトロピー性が小さいと考えたが、機械濃縮余剰汚泥についても測定装置での1パスと循環の圧力調査を行った。

調査から得た流動特性値を図3.3、図3.4に示す。擬塑性粘性指数nは、重力濃縮と同様、濃度に対してバラツキが大きく、擬塑性粘性係数 μ_p は、計測データが少ないが1パスも循環も含めて指数関数で回帰した。循環させた流動特性値は1つしか得ていないが、1パスと循環で流動特性値に差異はあまりなかったといえる。また、重力濃縮汚泥と機械濃縮余剰汚泥で流動特性についても差異はあまりなかった。

4. まとめ

今回の調査では、実管と測定装置から得られる流動特性値の差異は解消できなかった。本稿には示していないが、流動特性値から算定する配管の圧力損失は、擬塑性粘性係数 μ_p より擬塑性粘性指数nの大きさに左右されるので、実情にあった圧力損失を導くために、濃度に対してバラツキの少ない擬塑性粘性指数nの推定が望まれる。

【参考文献】 1) 若尾 貞仁・畔柳 裕充・西村 太作・中根 進：圧力計測式粘度測定装置および実管による濃縮汚泥の流動特性について 2021年第58回下水道研究発表会 N-10-4-2

【問い合わせ先】 中日本建設コンサルタント(株) 水工技術本部 中根 進
TEL052-232-6055 E-mail s_nakane@nakanihon.co.jp

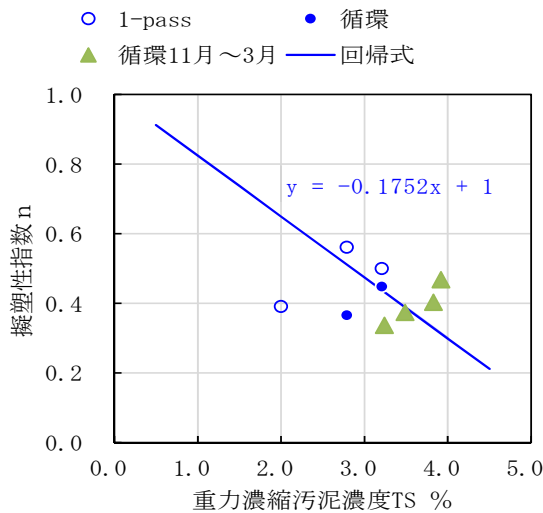


図 3.1 重力濃縮汚泥の濃度と擬塑性指数 n の関係

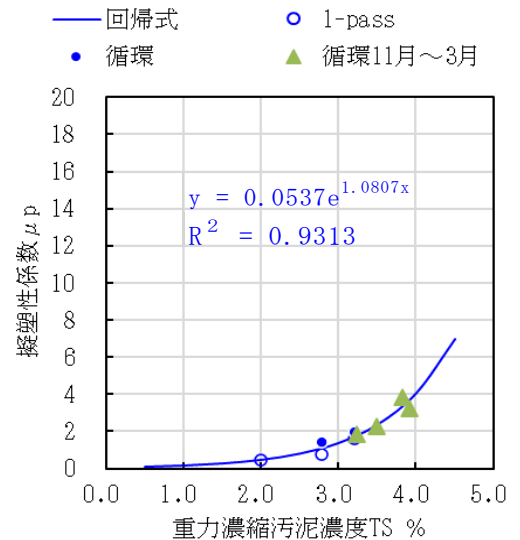


図 3.2 重力濃縮汚泥の濃度と擬塑性係数 μ_p の関係

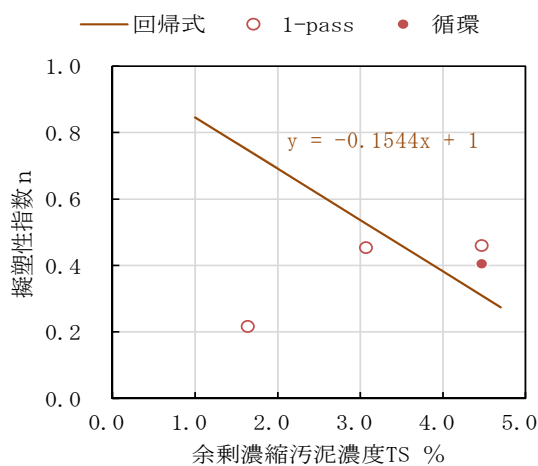


図 3.3 余剰濃縮汚泥の濃度と擬塑性指数 n の関係

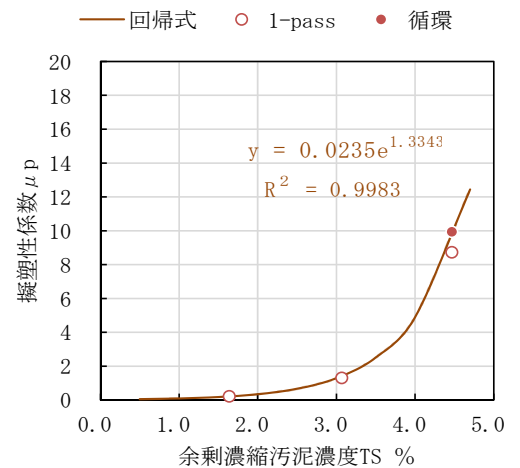


図 3.4 余剰濃縮汚泥の濃度と擬塑性係数 μ_p の関係