

濃縮汚泥移送における流動特性について

(公財)愛知水と緑の公社 ○若尾 貞仁・畔柳 裕充
 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

筆者らはこれまで分離濃縮を採用した場合の濃縮汚泥移送における問題に関して調査¹⁾を行ってきたが、過去に調査を行った以外の浄化センターにおいても安定した送泥ができないといった問題が顕在化している。

愛知県流域下水道の境川浄化センター(以下境川という)においては重力濃縮汚泥の移送管が 350 m ほどある箇所があり、供用開始当時(2012 年 12 月)には無閉塞型渦巻ポンプで送泥していた。しかし、汚泥が高濃度の場合には、計画上の引抜量に満たない送泥しかできない状況であったため、現在では当該ポンプにて隣接する余剰濃縮汚泥貯留槽へ送り、余剰濃縮汚泥と混合して一軸ネジ式ポンプにて長距離の送泥をしている状況である。過去の調査では粘度計による粘度測定を行い、重力濃縮汚泥が非ニュートン流体であり擬塑性流体であることを示し、濃縮汚泥の流動特性値として固形物濃度別の擬塑性粘性指数 n 、擬塑性粘性係数 μ_p を明らかにした。また矢作川浄化センター(以下矢作川という)の汚泥移送管に設置した圧力計から直管部の圧力損失を測定したが、実測した圧力損失は粘度計粘度測定で得た流動特性値から推定した圧力損失よりかなり大きな値であった。

本稿では、矢作川の直管部から得られた圧力損失から濃縮汚泥の流動特性値を求め、他処理場の濃縮汚泥の配管損失計算に利用できるかを調査した。また、新たに境川にて異形管を含む重力濃縮汚泥移送管に圧力計を設置し、境川での濃縮汚泥の流動特性値を調査し比較を行った。

表 2.1 設計上のポンプ諸元

種類	無閉塞型渦巻ポンプ	
計画吐出量	1.1	m ³ /min
清水配管損失	4.239	m
濃度補正係数	1.94	—
汚泥配管損失	8.24	m
実揚程	-2.67	m
全揚程	5.57	m

2 境川浄化センター濃縮汚泥移送状況

境川移送管の設計上における配管の圧力損失は、表 2.1 に示す清水での損失に対して汚泥濃度 3.1 % を考慮した補正係数 1.94 を乗じており、図 2.1 に示すように設計値に対して余裕のあるポンプが設置されている。

このポンプであらためて 2019 年 11 月及び翌年 1 月に供用開始当時の汚泥移送ラインに切り替え汚泥濃度と汚泥引抜量を計測した。その結果を図 2.2 に示す。汚泥濃度 3 ~ 4% で 0.2 m³/min 以下の引抜量となっており計画量 1.1 m³/min には全く届いていない。

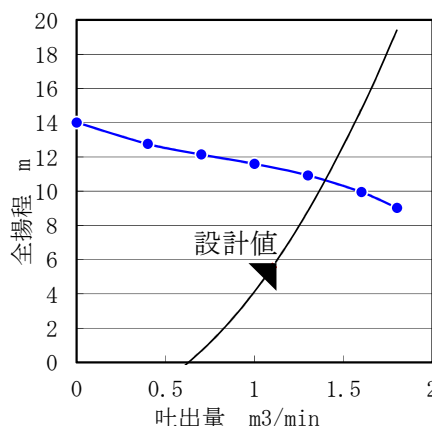


図 2.1 設計上の管路抵抗曲線とポンプ特性曲線(境川)

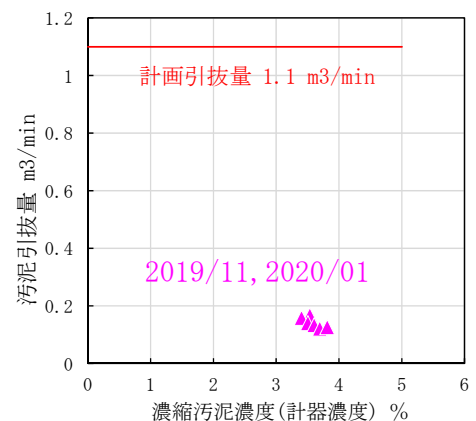


図 2.2 計画上の引抜量と実測値(境川)

3 調査

3.1 移送管圧力計測装置

図 3.1 に矢作川の直管部(φ 150mm×約 126m, 一軸ネジ式ポンプ)及び境川の異形管を含む移送管(φ 150mm×約 294m, 無閉塞型渦巻ポンプ)に圧力計を設置した概要図を示す。これを流動特性値を測定する装置とする。

移送管上下流の圧力差 ΔP を計測し、吐出量から流速を計算することによって式(1)から逆算して流動特性値(擬塑性粘性指数 n 、擬塑性粘性係数 μ_p)を求める。

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

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

式(1)の流動特性値は、濃度によって異なる値であり、塑性流体の擬塑性粘性指数 $n < 1.0$ である。

3.2 計器濃度と差圧および流動特性値

本調査での汚泥濃度は現地に設置してある濃度計の値(以下計器濃度という)である。

矢作川では2012年11月、12月に、境川は2020年1月、3月に差圧を測定した。その結果を図3.2に示すが、境川の圧力損失は異形管を含んでいるにもかかわらず直管部で計測した矢作川より小さい値となった。また境川は、ポンプ締切運転状態となり濃度が3.4%以上で圧力損失にほとんど変化がなかった。

次に各処理場の計器濃度を1.0%ごとに分割し、その区間の流量から流速を計算し、圧力計間の差圧より流動特性値を式(1)から逆算して求め、各区間の各平均濃度に対する平均差圧と流動特性値を求める。境川では、今回までの調査では計器濃度3.4%以上しか得られていないが、図3.3に計器濃度(2.0~5.0%)に対する擬塑性粘性指数 n 、図3.4に擬塑性粘性係数 μ_p を示す。擬塑性粘性指数 n

は、矢作川と境川とで差がある結果となり、境川の擬塑性粘性係数 μ_p は、矢作川と同じ回帰線上に乗っているものと、下回るものがあった。今回の調査では境川の流動特性値の回帰式は得られなかった。

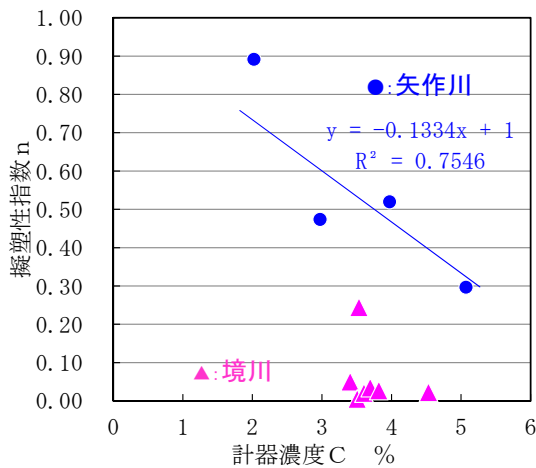


図 3.3 計器濃度と擬塑性粘性指数 n の関係

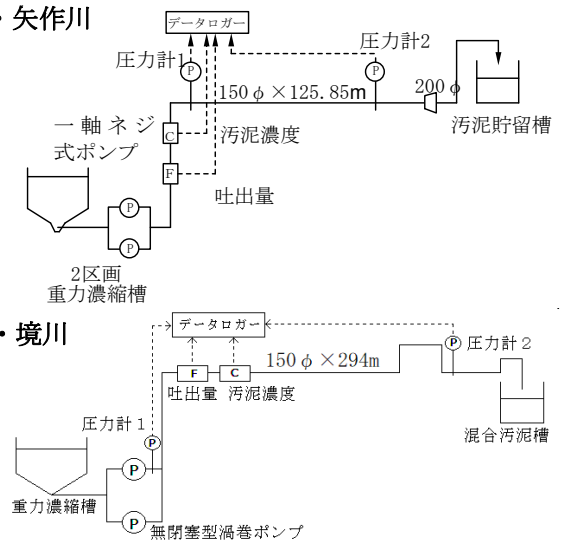


図 3.1 圧力計測概要図

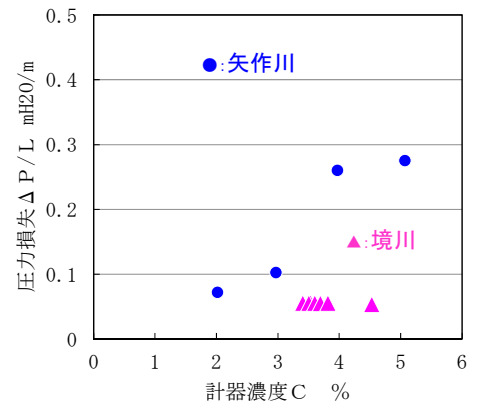


図 3.2 平均計器濃度と平均差圧の関係

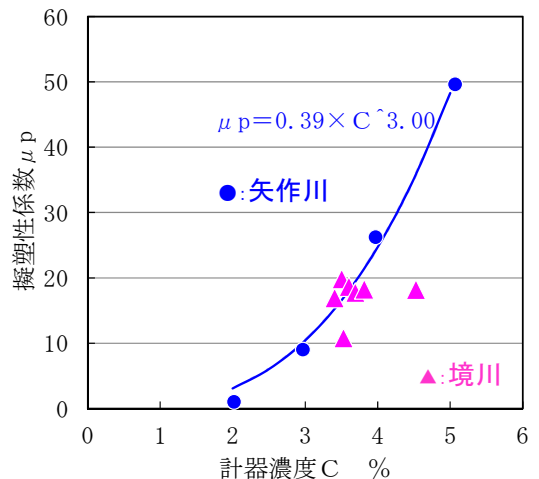


図 3.4 計器濃度と擬塑性粘性係数 μ_p の関係

4. 実管の流動特性値を使った境川浄化センターの圧力損失と汚泥引抜量

過去に矢作川で調査した直管部の流動特性値を使って境川の引抜量を再現してみる。

矢作川の流動特性値の回帰式から式(1)を使って口径150mmの管内平均流速0.2、0.35、0.6、1.0m/secにおける直管1m当たりの圧力損失($\Delta P/L$)を計算し、図4.1に示す。濃度とともに圧力損失は上昇する傾向が

得られた。次に境川管路延長 350 m の圧力損失を設計値である計器濃度 3.1% に対して実管の流動特性値からポンプ吐出量ごとに計算し、管路抵抗曲線を図 4.2 に描き、無閉塞型渦巻ポンプの特性曲線との交点から吐出量を推定した。その結果汚泥濃度 3.1% において計画引抜量 1.1 m³/min に対し吐出量 0.09 m³/min しか引抜きできないことが明らかになった。

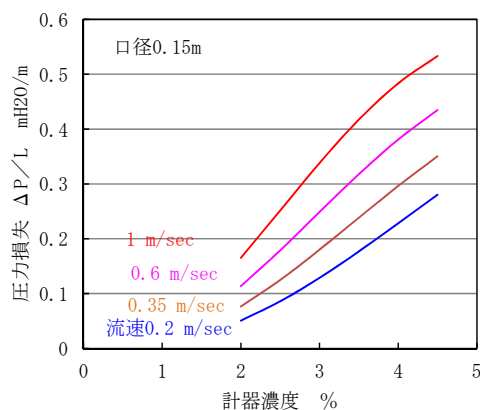


図 4.1 口径 150mm の管内流速別、計器濃度 C と圧力損失 ($\Delta P/L$)

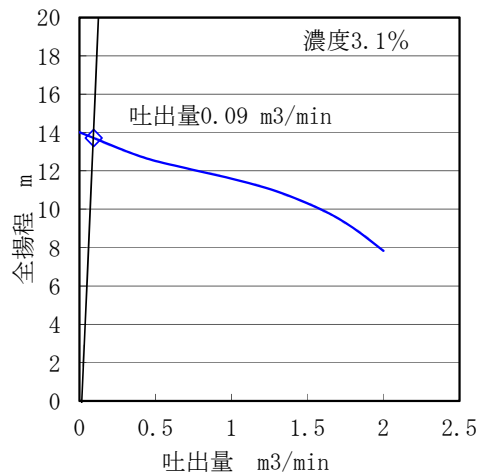


図 4.2 ポンプ特性曲線と管路抵抗曲線より求める吐出量

同様に汚泥濃度 2.5~4.5% に対して矢作川の流動特性値から境川の管路抵抗曲線を求め、吐出量(汚泥引抜量)を推定し、図 2.2 に 2020 年 3 月に測定したデータを加えたうえで図 4.3 に実線で示す。矢作川の流動特性値から推定した吐出量は、実測値よりやや小さい値となった。回帰式の実測値との相関に、やや課題が残る結果となった。

5. まとめとあとがき

境川では、異形管を含んだ圧力損失であるため、 $\Delta P/L$ (m あたりの圧力損失) は矢作川より境川が大きい値を示すと考えていたが、今回の調査では逆の結果となった。

矢作川の直管部での差圧から流動特性値を推定し図 3.3、図 3.4 を得たが、境川では現在までの調査では汚泥濃度 3.4% 以上でのデータしか得られていないこともあり、流動特性値の回帰式を得るまでには至らなかった。

矢作川と境川の実管から推定した流動特性値は、擬塑性粘性指数 n については矢作川より境川が小さく、擬塑性粘性係数 μ_p は同程度か高濃度帯では境川が小さい結果となった。境川において、矢作川の流動特性値から推定した管路抵抗曲線と無閉塞型渦巻ポンプの特性曲線から推定した汚泥引抜量を、実測引抜量と比較したが一致はしなかった。

境川の無閉塞型渦巻ポンプの吐出圧は図 4.2 のポンプ特性曲線から分かるように締切時でも全揚程で 14 m と高くなく、特に高濃度帯においては差圧を求める調査を行うのが難しかった。また今回の調査では特定の汚泥濃度 (3.4~4.0%) 付近に片寄ったデータしか得られておらず、過去調査との比較及び回帰式の決定までを行うことが出来なかった。上記のまとめも限定的な結果から得たものとなっているため、今後は調査濃度の分布及び点数を増やし再度検討を行っていくとともに、無閉塞型渦巻ポンプによる高濃度帯での調査は難しいため、低濃度帯での調査を実施することで過去調査との比較及び回帰式の検討を行いたい。

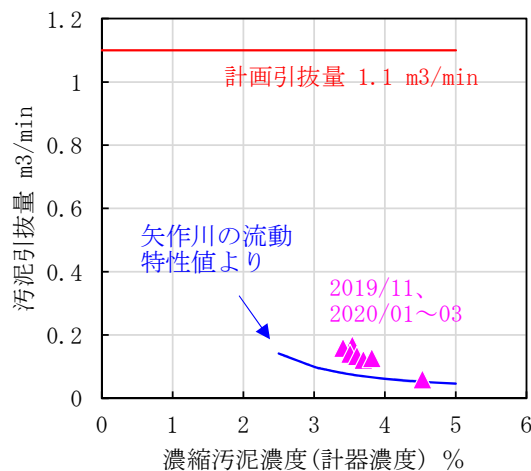


図 4.3 計器濃度と汚泥引抜量の実績値と流動特性値を使った汚泥引抜量の関係

【参考文献】 1) 丸山 司, 藁科 亮, 犬飼 茂, 中根 進: 重力濃縮汚泥の流動特性と移送管の閉塞 下水道協会誌論文集 令和元年 11 月号

【問合わせ先】 中日本建設コンサルタント(株) 水工技術本部 中根 進
TEL : 052-232-6055 E-mail : s_nakane@nakanihon.co.jp