

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

(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

既報¹⁾にて、境川浄化センターの擬塑性流体を示す濃縮汚泥の流動特性(擬塑性粘性指数 n 、擬塑性粘性係数 μ_p)を汚泥移送管に設置した圧力計から固形物濃度別に算定した。汚泥の予想配管抵抗を計算するにはせん断速度を変化させて粘度を測定し、汚泥の流動特性を求める必要がある。しかし濃縮汚泥はし渣や無機物等の固形物が含まれる流体のため、精度良く計測することが難しい。そこで手軽に直管の圧力を計算できるよう共同研究者である兵神装備(株)が可搬式の測定装置を開発し、圧力計測式粘度測定装置(以下、「測定装置」という。)と名付けた。

この測定装置を用い4浄化センター5種類の濃縮汚泥(境川(A系、B系)、矢作川、衣浦西部、衣浦東部)の圧力損失を測定し、濃縮汚泥の流動特性を得た。合わせて、境川B系濃縮汚泥について移送管でも圧力測定を行い、測定装置から得られる圧力との比較を行った。



写真-1 測定装置

2 測定装置による濃縮汚泥の流動特性値

2.1 測定装置概要

口径15A(内径16.1mm)及び25A(内径27.6mm)の細管二種類を使い一軸ネジ式ポンプで汚泥を循環させる装置を製作した。装置の写真を写真-1に示し、概略図を図-1に示す。圧力計は図-1のように4箇所(PI A, B, C, D)に設置し、直管部3.8m×2箇所、90°曲管2個の圧力を測定できるようにした。

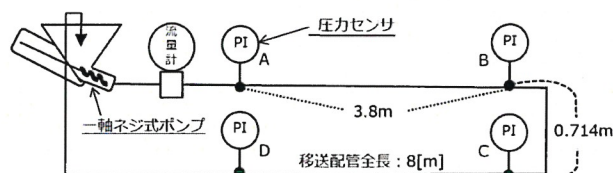


図-1 測定装置概略図

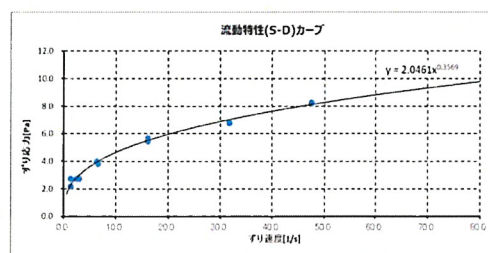


図-2 流動特性の一例

2.2 測定装置による流動特性

直管圧力の測定に際し、管内流速を各5点変化させて測定した。A点-B点間とC点-D点間の圧力差を直管部3.8mの圧力損失とし、測定結果から求めた流動特性の一例を図-2に示す。測定装置を用いて測定した結果についても、実管の結果と同様に濃縮汚泥が擬塑性流体の性質を示していることがわかる。

2.3 測定装置による流動特性値

2020年度の調査で得られた流動特性値を表-1に、表-1から濃度(TS)と擬塑性粘性指数 n 、擬塑性粘性係数 μ_p の関係を線形関数と指数関数で回帰して図-3、図-4に示す。

表-1 測定装置による流動特性値

No	計測日	処理場	調査汚泥	採取回数	TS [%]	液温 [°C]	粘性係数 [-]	粘性指数 [-]	内径 [mm]
1	2020/7/6	境川	A系重力濃縮	1	3.06	26.2	1.9696	0.4400	27.6
2	2020/7/6	境川	A系重力濃縮	2	3.24	26.3	2.0550	0.4172	27.6
3	2020/7/6	境川	A系重力濃縮	2	3.24	26.3	2.3028	0.3188	16.1
4	2020/9/8	境川	B系重力濃縮	3	3.42	30.0	2.0461	0.3569	27.6
5	2020/9/8	矢作川	1区画重力濃縮	1	3.28	30.9	1.2507	0.3033	27.6
6	2020/9/8	衣浦西部	重力濃縮	1	2.14	30.9	0.5748	0.2477	27.6
7	2020/9/8	衣浦東部	重力濃縮	1	3.10	31.0	1.4552	0.3482	27.6
8	2020/11/11	境川	B系重力濃縮	4	3.49	18.7	2.1121	0.3993	27.6
9	2020/11/11	境川	B系重力濃縮	5	3.24	18.7	1.7617	0.3507	27.6
10	2020/11/12	境川	B系重力濃縮	5	3.24	15.5	1.7033	0.3349	27.6
11	2021/3/9	境川	B系重力濃縮	1	3.92	18.5	3.8092	0.4339	27.6
12	2021/3/9	境川	B系重力濃縮	1	3.92	18.5	3.4024	0.4641	27.6

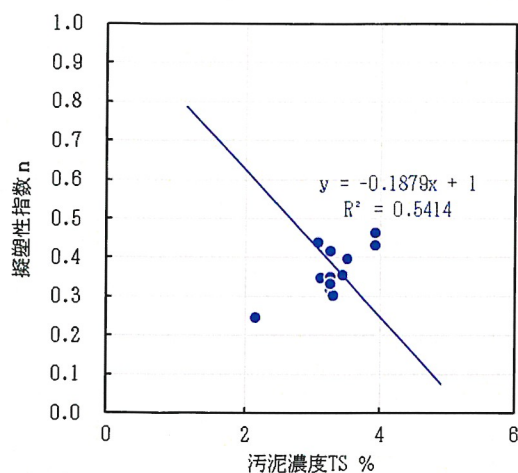


図-3 濃縮汚泥濃度 (TS) と擬塑性指数 n の関係

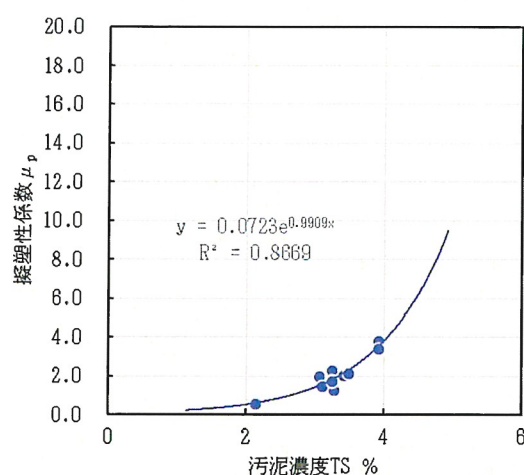


図-4 濃縮汚泥濃度 (TS) と擬塑性係数 μp の関係

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

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

得られた流動特性値から(1)式を使い境川浄化センターの移送管 150mm を想定し、濃度別の直管 1 mあたりの損失を計算する。濃度別に管内流速と圧力損失の関係を図-5 に示した。

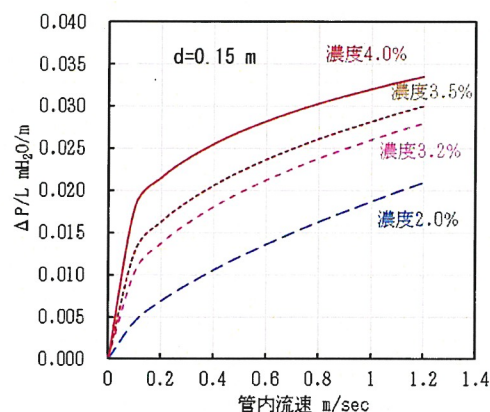


図-5 汚泥濃度別の管内流速と圧力損失 (ΔP/L) の関係

2.4 曲管の形状圧力損失について

曲管による損失が実管の圧力損失の測定結果に影響を与えていないか検証するため、擬塑性流体の配管の曲管の損失係数 λ について調べる。測定装置には、2 箇所 に 90° 曲管が使われている。

曲管の損失は形状損失と考え、摩擦損失分を差し引く。図-6 に示す曲管の損失水頭を表す(2)式と(3)式及び(4)式が等しくなるため、測定数値を代入して 90° 曲管 1 箇所あたりの損失係数 λ を求め、図-7 に示した。流速が速くなると曲管損失は 0 に近づく。

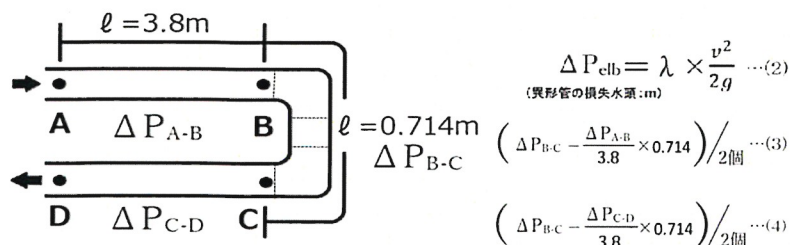


図-6 90° 曲管の損失係数 λ の算定

境川 B 地区の移送管 294 m には 45° ~ 90° の曲管が 41 個あるが、実管の流速は、0.1 ~ 1.0 m/sec (約 0.11 m³/min ~ 1.1 m³/min) であり、測定装置で推定した曲管損失はほぼ 0 となる。よって曲管による損失は考慮しなくてよいことがわかった。

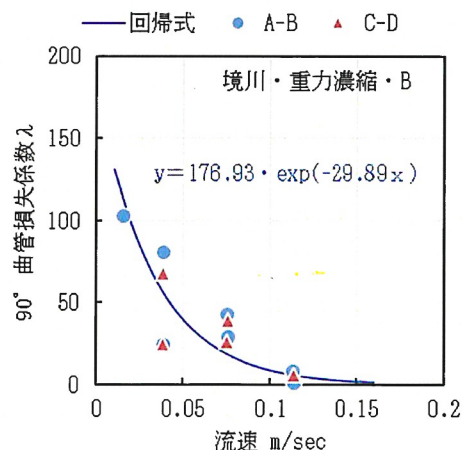


図-7 管内流速と曲管の損失係数 λ の関係

3 境川B系重力濃縮汚泥移送管の圧力調査

重力濃縮汚泥の移送管 $\phi 150 \times 294$ m の無閉塞型渦巻ポンプの吐出側と移送先の混合汚泥槽側に圧力計を設置し、実管の圧力を調査した(図-8)。

調査は表-2 に示す測定日にて実施し、移送管上下流の圧力差 ΔP と吐出量から流速を計算することによって上記(1)式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。

表-2 の汚泥濃度(計器濃度)と流動特性値の関係を図-9、図-10 に示す。擬塑性粘性指数 n はバラツキが大きい、前掲図-3 に示す測定装置から得た値と同じような傾向であった。図-10 に示す擬塑性粘性係数 μ_p は、前掲図-4 に示す値より一桁大きい結果となった。流動特性値を使って汚泥濃度別に管内流速に対する圧力損失($\Delta P/L$)を求め、図-11 に示す。

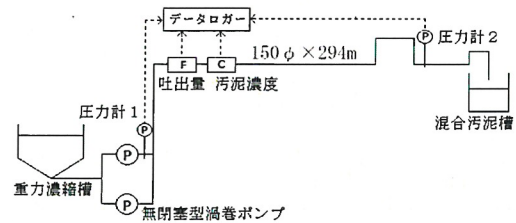


図-8 境川移送管による圧力計測概要図

表-2 汚泥移送管調査による濃縮汚泥の流動特性値と圧力損失(m 当り)

測定日	汚泥濃度 %	擬塑性指数 n	擬塑性係数 μ_p	計測 $\Delta P/L$ $\text{mH}_2\text{O}/\text{m}$
2019/11/13	3.53	0.254	10.32	0.055
2019/12/2	2.06	0.709	1.32	0.052
2019/12/10	3.63	0.018	19.32	0.057
2020/1/31	3.41	0.008	19.01	0.054
	3.50	0.005	19.29	0.054
	3.60	0.021	18.09	0.054
	3.69	0.036	17.19	0.054
	3.81	0.028	17.68	0.054
2020/3/2	4.53	0.024	16.67	0.059
2020/3/9	4.55	0.054	18.61	0.060
2020/9/29	3.26	0.640	3.66	0.055
2020/11/11	2.70	0.635	1.38	0.047
	3.09	0.565	2.23	0.048
	3.39	0.308	6.02	0.049

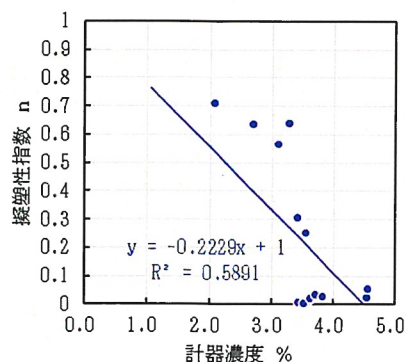


図-9 濃縮汚泥濃度(計器濃度)と擬塑性指数 n の関係

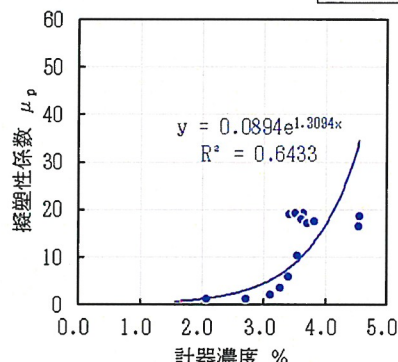


図-10 濃縮汚泥濃度(計器濃度)と擬塑性係数 μ_p の関係

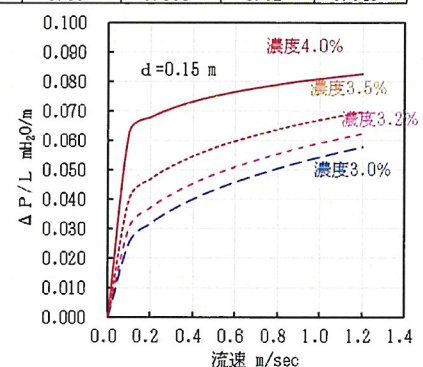


図-11 実管による汚泥濃度別の管内流速と圧力損失($\Delta P/L$)

$\phi 150$ の移送管の圧力損失($\Delta P/L$)は、測定装置から得た流動特性値を使った圧力損失($\Delta P/L$)に較べて流速 1.0m/sec、濃度 4.0%時で 2.6 倍の値と高い結果になったが、原因は特定できなかった。

4 課題

新しく圧力計測式粘度測定装置を開発し、圧力差から重力濃縮汚泥の流動特性値を推定できるようになった。しかし、擬塑性粘性係数 μ_p の値が移送管で求めた値より小さいこともあり、移送管の圧力損失($\Delta P/L$)を再現できなかった。その理由の一つに曲管の損失があるのではと考えたが、実管の流速付近では曲管の損失は無視できることが明らかになった。

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が、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、一軸ネジ式ポンプを使って調査を行ってきたい。

【参考文献】 1) 若尾 貞仁・畔柳 裕充・西村 太作・中根 進：濃縮汚泥移送における流動特性について
2020 年第 57 回下水道研究発表会 N-10-1-4

【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