

高濃度汚泥の抽出・移送技術 に関する調査研究

1. 調査目的

汚泥処理プロセスの処理効率は、処理する汚泥の水分により大きく左右される。このために、汚泥の高濃度化を図るべく様々な試みがなされてきている。

しかし、液状汚泥に関しては、現状汚泥施設が汚泥濃度：4TS-%を想定した設計となっており、更なる高濃度化を求めようとしても既存施設では円滑な抽出・移送に支障をきたす可能性が高い。

本調査は、高濃度汚泥の円滑な抽出と移送が確保できる技術およびその設計法について、調査・検討するものである。

2. 調査内容

2.1 対象汚泥濃度の設定

本調査において想定する下水汚泥の最大濃度および対象施設は次のとおりである。

最大汚泥濃度

抽出技術：8TS-%

移送技術：10TS-%

対象施設

抽出技術：重力濃縮プロセス

移送技術：濃縮，消化，脱水プロセス

2.2 類似技術調査

他の分野で行われている高濃度に堆積した泥状物

の抽出，排除技術および高粘度物質の移送技術について調査し，得られた個々の技術に対して下水汚泥プロセスへの適用性を評価する。

2.3 高濃度汚泥抽出技術の検討

重力濃縮槽の底部に高濃度汚泥が堆積することを想定した抽出技術を構造面から検討する。また，抽出汚泥濃度の限界値についても検討を加える。

2.4 高濃度汚泥移送技術の検討

汚泥濃度：10TS-%を円滑に移送するのに必要な汚泥の引抜き，送泥に係わるポンプ技術や配管方法について，エネルギー消費や保守点検の頻度，経費等を考慮して検討する。

3. 調査結果

3.1 処理プロセスごとの汚泥濃度概要

3.1.1 濃縮プロセス

重力濃縮，機械濃縮について汚泥濃度の概要を表-1，表-2に示す。

重力濃縮汚泥については，各種設計指針においての標準的な濃縮汚泥濃度は3～4TS-%程度であるとされているが，実績で混合汚泥が2.3TS-%初沈汚泥が3.1TS-%と低い値を示している。

機械濃縮汚泥については，実績で遠心濃縮，浮上濃縮が3.8TS-%，造粒濃縮が1.6TS-%である。

表-1 重力濃縮プロセスの汚泥濃度実績

投入種別	投入汚泥 TS (%)				濃縮汚泥 TS (%)			
	平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差
初沈汚泥	1.3	4.0	0.2	0.81	3.1	6.5	1.0	1.12
混合汚泥	1.0	4.0	0.1	0.62	2.3	6.6	0.4	0.80
余剰汚泥	0.8	4.4	0.1	0.55	1.8	5.0	0.1	0.66

表-2 機械濃縮プロセスの汚泥濃度実績

濃縮方法	投入汚泥 TS (%)				濃縮汚泥 TS (%)			
	平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差
遠心濃縮	0.8	4.2	0.2	0.59	3.8	6.0	1.0	0.91
浮上濃縮	0.6	1.7	0.2	0.24	3.8	5.8	1.7	0.80
造粒濃縮	0.8	1.4	0.2	0.42	1.6	2.5	0.4	0.91

表-3 消化プロセスの汚泥濃度実績

消化方法	投入汚泥 TS (%)				消化汚泥 TS (%)			
	平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差
嫌気性消化1段	2.8	5.6	1.0	1.07	2.1	4.0	0.9	0.79
嫌気性消化2段	2.7	5.3	0.4	2.66	2.0	7.1	0.8	2.00
好気性消化	1.2	2.7	0.4	0.71	1.3	3.0	0.2	0.97

表-4 脱水プロセス別汚泥濃度実績

脱水種別	投入汚泥 TS (%)				脱水ケーキ含水率 (%)			
	平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差
スクリーンプレス	2.4	4.5	1.3	0.90	75.7	85.4	60.9	6.50
ベルトプレス	2.1	7.1	0.5	0.88	79.9	86.7	64.5	3.73
遠心分離	2.0	5.7	0.5	0.96	81.7	88.3	67.5	3.09
加圧ろ過	3.0	9.1	1.0	1.64	63.4	85.0	38.5	6.88
真空ろ過	2.5	6.1	0.8	0.99	80.2	86.6	73.1	3.03

3.1.2 消化プロセス

消化プロセスは、嫌気性消化と好気性消化に分けられる。嫌気性消化の場合は、さらに1段、2段とに分けられる。消化プロセスにおける汚泥濃度実績を表-3に示す。投入汚泥2.7~2.8TS-%に対し、消化汚泥は2.0~2.1TS-%とプロセスにおける減量化・安定化の進行が伺える。また、2段消化の場合は、2次タンクで固液分離が行われるがその濃縮性は良くない。一方、好気性消化の場合は投入汚泥1.2TS-%に対し、1.3TS-%と嫌気性消化に比べると劣る傾向になっている。

3.1.3 脱水プロセス

脱水プロセス別に見た投入汚泥（濃縮汚泥、消化汚泥）および脱水ケーキ含水率の概要を表-4に示す。投入汚泥濃度は、2.0~3.0TS-%であり、プロセス別に顕著な差は見られない。脱水ケーキ含水率は80%前後を主として若干の差が生じている。いずれの処理プロセスにおいても投入汚泥濃度が高くなると、ケーキ含水率は低く抑えられる傾向が見られる。

3.2 抽出・移送汚泥濃度の設定

本検討では、濃縮プロセス（重力濃縮槽）より引抜く濃縮汚泥濃度を7.0～8.0TS-%と想定し、さらにその後の消化、脱水プロセス間の汚泥移送濃度を10TS-%と高く設定するものである。そのため、タンク構造の見直しや新しいポンプ技術の開発、およびそれらに伴う配管方法の検討などが必要になると考えられる。

3.3 重力濃縮槽の濃縮性改善

重力濃縮槽では、槽に投入された汚泥から水分が徐々に分離され濃縮されていく。濃縮後の下部に堆積した汚泥は、底部勾配とかき寄せ機の作用によって槽の中心に集められる。その後、ポンプ吸引され、次の工程に運ばれる。このような過程では投入、引抜き汚泥に対し短絡流を発生させないこと、下部堆積汚泥を均等にかき寄せること、濃縮槽内で圧密を促進させることが必要となる。

重力濃縮を左右する因子を分類すると、

- ① 汚泥そのものの質に関するもの
 - a) 水処理工程で決められる
 - b) 濃縮槽構造、操作にも影響される
 - ② 濃縮槽の構造、操作に関するもの
 - a) 濃縮槽の構造
 - b) 操作方法
- となる。

濃縮槽の構造面に対する改善策

■ 現況＝「下水道施設計画・設計指針と解説」

- ① 底部勾配：5/100以上（かき寄せ機有り）
- ② 有効水深：4m程度

◆改善対策

- ① 底部勾配
20/100程度（野田ら）
17/100以上（EPA）

- ② 有効水深
余裕深含み5m（野田ら）

- ③ ピケットフェンスの有効性

汚泥濃縮槽の操作面に対する改善策

■ 実施＝間欠投入・引抜き

- ① 沈降能力の不足
- ② 単位時間あたりの引抜き量の増大

◆改善対策

- ① 投入前に引抜きを完了
- ② 引抜き時間間隔を短くする。
- ③ 投入汚泥濃度の希釈操作
- ④ 適切なSRT、汚泥界面位置の確保

3.4 重力濃縮槽高濃度汚泥抽出技術

重力濃縮槽汚泥濃度を8.0TS-%と想定した場合の

効率的な抽出技術について他分野の技術の適応性を総括する。

槽構造に適用できる技術

・スリット管による堆砂排除技術

ポンプ技術・配管技術

- ・粘体用充填機
- ・押出機
- ・スクリュウホッパー
- ・スクリュウ渦巻きポンプ
- ・一軸ねじポンプ
- ・ロータリーポンプ

これらの技術について、重力濃縮槽に適応性が良いと考えられるスリット管技術について述べる。

本技術は、ダム堆砂排除関係で採用されているものである。重力濃縮槽に本技術を採用する場合の想定を図-1に示す。濃縮槽の斜構造底部にスリット管を設置し、スリット上部に沈殿濃縮した汚泥を、上部水圧によりスリット部を通じて管内に流入させる。流入汚泥は、管内の高速渦流の発生により、局部的に堆積することなく濃縮槽センターに運搬され、抽出される。

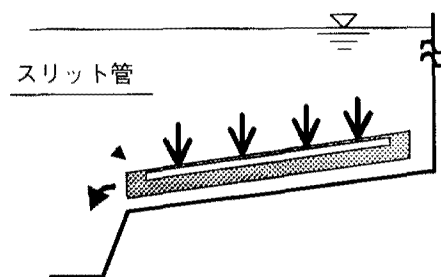


図-1 スリット管を用いた濃縮汚泥抽出

本技術の利点を以下に挙げる。

- ・濃縮された汚泥を一様にピットに移動可能
- ・スケールダウン、コンパクト化することにより最適な構造検討が可能である。
- ・重力自然抽出であるため、運転費が不要
その反面、以下の課題が挙げられる。
- ・スリットに汚泥を吸い込むための管内流速、勾配の確保が必要である。
- ・スリット部の閉塞を防ぐため、定期的な清掃が必要である。
- ・夾雑物の進入を防ぐため、槽前段に除砂設備が必要である。

設計的な配慮として、スリット管にスリットタップを設けることにより、高濃度汚泥を一様に引抜く

ことができること、このときのスリットタップ開度は4.59度程度が最適であることなどが挙げられる。また、合理的なスリット管の配置を検討する必要がある。

スリット管技術の他に、汚泥濃度8TS-%の抽出技術としては、遠心渦巻きポンプ、一軸ねじポンプ、ロータリーポンプなどが挙げられる。

3.5 高濃度汚泥移送技術

高濃度汚泥移送に関する技術は、大別して、ポンプ技術と配管方法の検討が挙げられる。汚泥濃度10TS-%を想定した場合の移送技術について総括する。

3.5.1 移送ポンプ技術

高濃度汚泥（10TS-%）の円滑な移送に適応できるポンプは、以下のものがピックアップされた。

- ・ 一軸ねじポンプ
- ・ ロータリーポンプ
- ・ ピストンポンプ

このうち、高濃度汚泥に広く適用できるのは、一軸ねじポンプである。

3.5.2 配管方法の検討

高濃度汚泥は、擬塑性流体の挙動を示し、管内の流れは層流状態である。

ここで、配管延長を $L=50\text{m}$ と仮定し、管径を $D=0.3\text{m}$ 、水頭差を $H=1\sim 20\text{m}$ と変化させ、層流理論によりこれらの関係をまとめたものが図-2である。汚泥濃度を7TS-%とすると $H=20\text{m}$ の時には、管内流速 1.0m/s を維持することができるが、汚泥濃度を10TS-%とした場合、 $H=20\text{m}$ で管内流速は、 0.1m/s 以下となる。

下水道協会指針によると送泥管管径は 150mm 以上が望ましいとされている。また、管内流速は汚泥の堆積や閉塞を防止するためには 1.0m/s 程度を確保する必要がある。したがって、本検討の結果から、高濃度汚泥（7～10TS-%）を移送する際の管径は 300mm 以上が望ましいと考えられる。いずれの場合も管径や流速の決定にあたっては、経済性や後段の汚泥処理効率等も考慮に含め、総合的かつ効率的な判断が必要である。

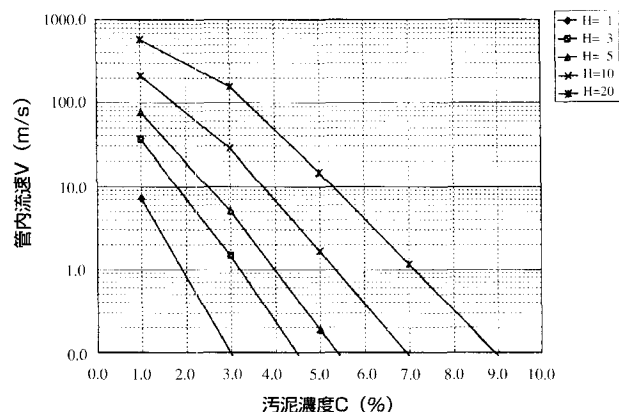


図-2 管内流速と汚泥濃度、水頭差との関係
($D=0.3$ の場合)

4. まとめと今後の課題

以上の調査結果と今後の課題を総括する。

① 重力濃縮槽における高濃度汚泥抽出技術

重力濃縮槽の高濃度汚泥抽出技術は、下水道業界で実績はないが、スリット管を採用することが有効であると判断された。同時に、スリット管採用にあたっては、配置間隔、付帯設備の設置方法、閉塞等に関する維持管理方法について検討する必要がある。

② 高濃度汚泥の抽出に活用できるポンプ技術

ポンプ技術として濃縮汚泥濃度で8TS-%の場合、遠心渦巻きポンプ、一軸ねじポンプ、ロータリーポンプが挙げられる。ポンプについては経済性の検討が必要である。

③ 高濃度汚泥の移送に活用できる技術

10TS-%の移送技術に適用できるポンプ技術は、遠心渦巻きポンプ、一軸ねじポンプ、ロータリーポンプ等が挙げられる。また、送泥管の配管については、管内流速を 1.0m/s 程度は確保するため、最小管径 300mm 程度は必要であると考えられる。

●この調査研究に関する問い合わせは 研究第一部長 大嶋 吉雄
研究第一部主任研究員 田島 研一
研究第一研究員 山口 英