

下水汚泥の濃縮効率を向上させる手法

浅井圭介* 宮本豊尚** 岡本誠一郎*** 内田 勉****

1. はじめに

現在の下水道事業は人口減少に伴う料金収入の減少や改築更新費用の増大などにより、厳しい財政運営を余儀なくされており、汚泥処理においても性能を確保しつつコスト低減を図ることが重要である。土木研究所では機械濃縮に比べ消費電力が小さく、ランニングコストの少ない重力濃縮において、既存の濃縮槽を活かし更新費用を抑えながら重力濃縮の性能を改善する装置として「みずみち棒」を開発した。図-1 にみずみち棒の原理を示す。みずみち棒を重力濃縮槽内に鉛直方向に設置し横移動させることで、みずみちが形成されて汚泥粒子の沈降速度が高まり、濃縮効率の改善効果につながる。現在では、この技術を導入した重力濃縮槽が全国 10 処理場、12 槽で稼働している。

本報ではみずみち棒のさらなる効果向上を図るため、コー・クレベンガー(Coe-Clevenger)の計算方法を準用し、小型実験装置による実験結果から沈降速度上昇が汚泥濃度の向上に与える影響を調べた考察結果について報告する。

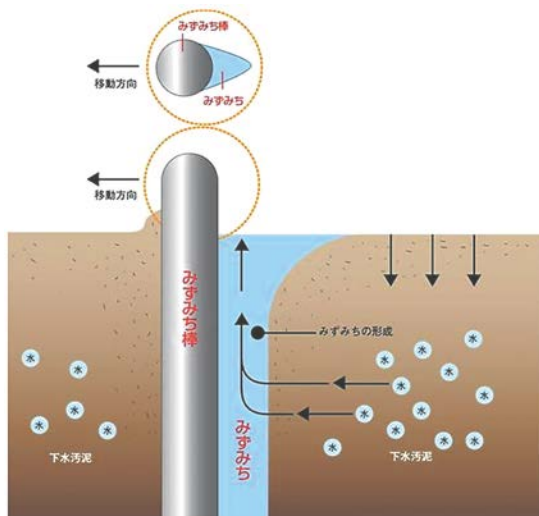


図-1 みずみち棒の原理

2. コー・クレベンガー(Coe-Clevenger)の計算方法から導き出される引抜汚泥濃度

図-2 に連続式重力濃縮槽プロセスのモデル、図-3 に重力濃縮槽における固形物流量線図を示す。重力濃縮槽に投入された汚泥は槽内で水と固形物が分離し、重い固形物が沈殿することで底部の汚泥濃度が高くなる仕組みとなっており、汚泥界面が高くなるにつれてより圧密され汚泥濃度は高くなる。連続で汚泥が投入される場合、投入された汚泥が沈降する速度と汚泥の腐敗速度などを考慮したうえで決定される滞留時間によって汚泥界面の高さが決まることとなる。ここで、連続式重力濃縮槽の汚泥の濃縮条件を決定するための重要な因子として固形物負荷がある。固形物負荷とは、 1m^2 あたり 1 時間を通して通過する固形物量を表しており、式(1)で表すことができる。

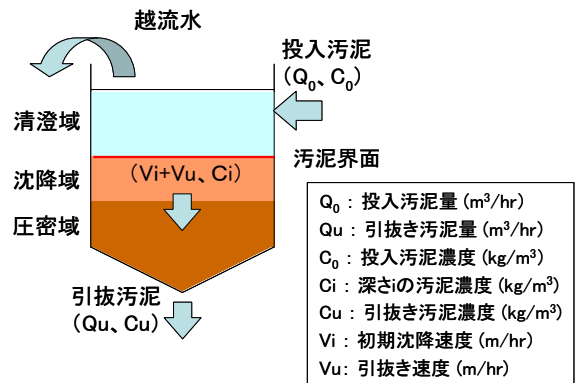


図-2 連続式重力濃縮槽プロセスのモデル

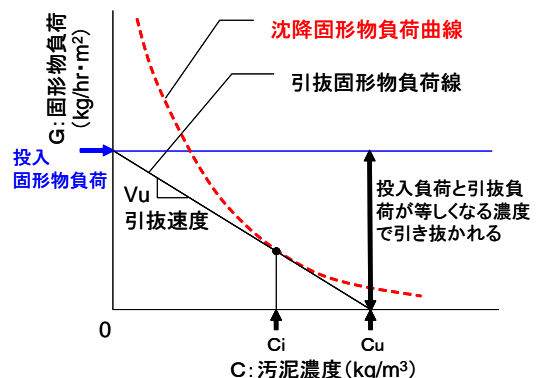


図-3 重力濃縮槽における固形物流量線図

$$G = \frac{Q}{A} \times C = V \times C \quad \text{式(1)}$$

ここに、G：固形物負荷 (kg/hr・m²)、Q：汚泥量 (m³/hr)、C：汚泥濃度 (kg/m³)、A：濃縮槽面積 (m²)、V：汚泥沈降速度 (m/hr)。

そこで固形物の限界負荷を検討する方法として提案されているのがコー・クレベンガー(Coe-Clevenger)の計算方法である¹⁾。本計算では、①投入した固形物は越流することなくすべて底部から引抜かれる。②濃縮槽の水面積は水深にかかわらず一定で、固形物の移動速度は汚泥自体の沈降速度 V_i と底部からの汚泥引抜きによる一定の移動速度 V_u (制御可能な操作因子)によって移動する。③投入固形物負荷は連続して一定量を供給する。という仮定のもとで行っている。投入する汚泥の汚泥濃度を C_0 、引抜く汚泥の汚泥濃度を C_u とし、重力濃縮槽内の汚泥界面を一定の高さで保つには、投入固形物負荷と引抜固形物負荷が等しい関係になくなくてはならない。したがって、図-3に示すように、投入固形物負荷の汚泥濃度 0 の点より沈降固形物負荷曲線に交わる比例となる線を引くことで、引抜固形物負荷を表すことができ、この引抜固形物負荷の傾きから引抜き速度を算出することができる。さらに引抜固形物負荷線と引抜固形物負荷曲線の交点が沈降域での汚泥濃度 C_i 、固形物負荷 0 の点で引抜き汚泥濃度 C_u として示すことができる。

既往の回分試験結果から、みずみち棒は初期沈降速度を大幅に改善することが分かっている³⁾。みずみち棒の導入によって沈降固形物曲線が上方へ移動することが確認できれば、引抜速度を遅くすることが可能となり引抜濃度を高める事ができるといえる。

3. 小型実験装置による実験

前項ではみずみち棒導入による引抜汚泥の高濃度化について、コー・クレベンガー(Coe-Clevenger)の計算方法により説明したが、実際の適用性を確認するために実験を行った。

3.1 実験方法

図-4 に実験装置、表-1 に実験条件を示す。直径 167mm 高さ 300mm の円柱型の水槽を用いて、20℃の恒温室で回分試験を行った。供試汚泥は実際の下水処理場から採取してきた OD 法の余

剰汚泥 (TS≒20g/L) を水道水で希釈して投入汚泥濃度に調整して使用した。みずみち棒なしの条件で投入汚泥濃度 13g/L、10g/L、7g/L、4g/L、1g/L、みずみち棒ありの条件で投入汚泥濃度 13g/L、10g/L、7g/L、4g/L とし、汚泥を深さ 200mm まで投入した。みずみち棒は φ18×1 本、0.42min⁻¹ という条件で運転した。沈降の様子は 10 分毎にデジタルカメラの自動撮影により記録した。汚泥濃度は、ピペットを使用して汚泥を採取し、下水試験法に基づいて蒸発残留物(TS)を測定した。

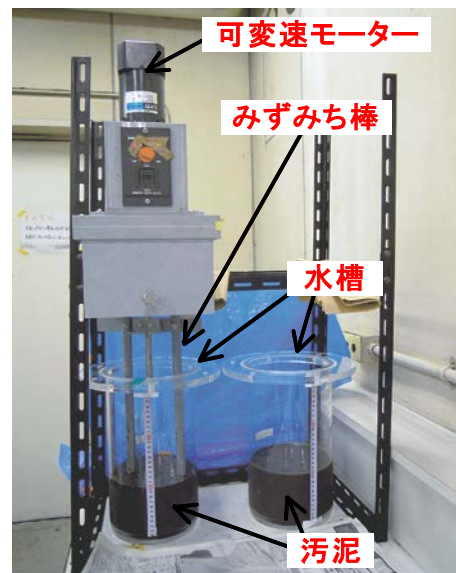


図-4 実験装置

表-1 実験条件

	みずみち棒	投入汚泥濃度 (g/L)
Case1	みずみち棒なし	13
Case2		10
Case3		7
Case4		4
Case5		1
Case6	みずみち棒あり	13
Case7		10
Case8		7
Case9		4

表-2 みずみち棒条件

棒径 (mm)	ピッチ (mm)	回転速度 (min ⁻¹)
φ18	45	0.42

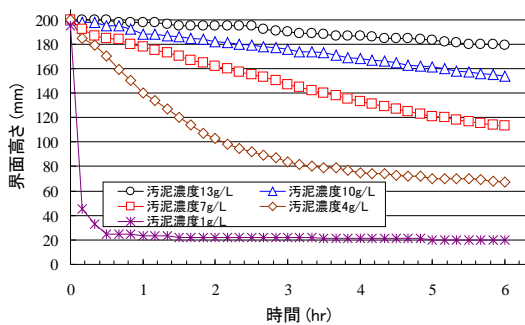
3.2 実験結果

図-5 に投入汚泥濃度の違いによる界面高さや時間の関係を示す。界面高さは汚泥の沈降により変動する水と汚泥の界面のことで、(a)のみずみち棒なしの条件、(b)のみずみち棒ありの条件ともに、投入汚泥濃度が高い条件に比べて投入汚泥濃度が低い条件の方が、界面の高さの減少速度が速い傾向にあった。この時、界面高さや時間の関係に見られる曲線を沈降曲線と呼び、沈降曲線の初期に見られる減少する速度が等速となっている部分を初期沈降速度と呼ぶ。

図-6 に初期沈降速度や投入汚泥濃度の関係、図-7 に固形物負荷や投入汚泥濃度の関係を示す。各条件の初期沈降速度を算出すると、Case1 が 3.5 (mm/hr)、Case2 が 7.7 (mm/hr)、Case3 が 16.8 (mm/hr)、Case4 が 60 (mm/hr)、Case5 が 900 (mm/hr)、Case6 が 11.3 (mm/hr)、Case7 が 21.2 (mm/hr)、Case8 が 39 (mm/hr)、Case9 が (112mm/hr)であった。

初期沈降速度や投入汚泥濃度の関係を方対数グラフで表すと図-6 となり、みずみち棒なしの条件よりみずみち棒ありの条件の方が、どの投入汚泥濃度の条件においても初期沈降速度が速い結果となった。さらにこの初期沈降速度から固形物負

(a) みずみち棒なし



(b)みずみち棒あり

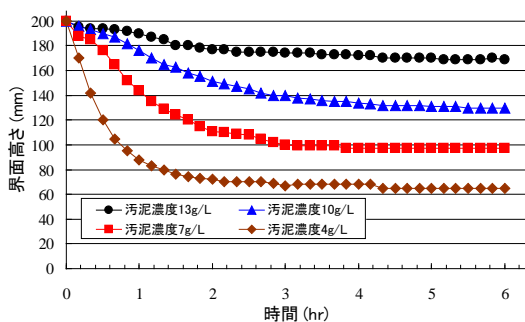


図-5 投入汚泥濃度の違いによる界面高さや時間の関係

荷を算出しコー・クレベンガー(Coe-Clevenger)の計算方法にある固形物流量線図にあわせて固形物負荷や投入汚泥濃度の関係を表すと図-7 となり、図-6 の初期沈降速度や投入汚泥濃度の関係と同じような傾向がみられた。

4. 実験結果とコー・クレベンガー (Coe-Clevenger)の計算方法との比較

図-8 に実験の結果から得られた引抜速度の推測を示す。実験から得られた結果、図-7 にコー・クレベンガー(Coe-Clevenger)の計算方法を準用させたものである。今回の実験は小型実験装置を用いた回分実験であるため、実機の連続運転のような投入固形物負荷を決定することができない。よって実験結果の傾向からコー・クレベンガー(Coe-Clevenger)の計算方法との比較を解説していく。

連続運転を想定して投入固形物負荷をある値で設定したとする。その投入固形物負荷よりみずみち棒なしとみずみち棒ありの条件で得られた沈降固形物負荷曲線それぞれに、引抜固形物負荷曲線

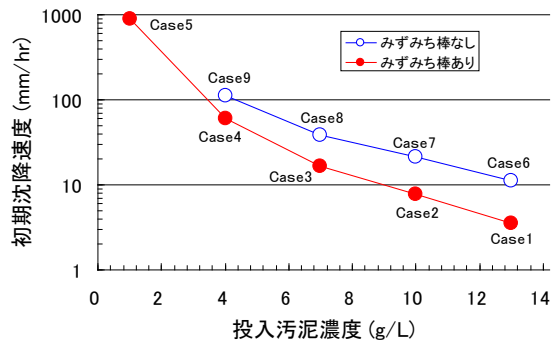


図-6 初期沈降速度や投入汚泥濃度の関係

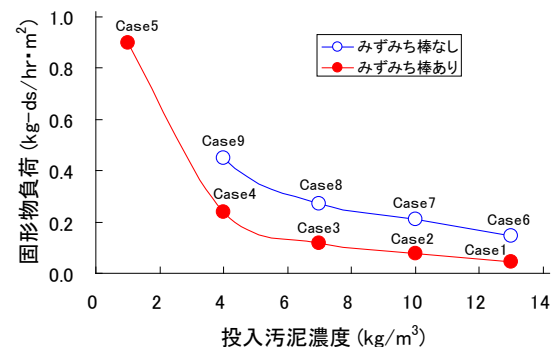


図-7 固形物負荷や投入汚泥濃度の関係

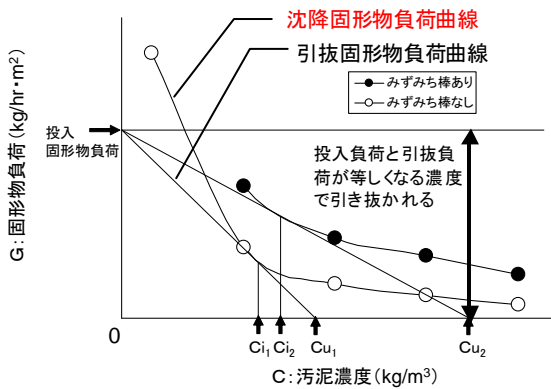


図-8 実験結果から得られた引抜速度の推測

を引く。これより、みずみち棒導入によって汚泥の沈降速度が高まっているため、界面の高さを一定に保ち投入固形物負荷と引抜固形物負荷を等しい関係とするためには、図-8 の引抜固形物負荷曲線の傾きが浅くなっていることからわかるように、引抜き速度を遅くしなければならないことがわかった。

また、引抜固形物負荷線と沈降固形物負荷曲線の交点が示す。沈降汚泥の濃度は、 C_{i1} から C_{i2} へ上昇しており、みずみち棒ありの条件の方がより濃度が高くなるといえる。さらに、引抜固形物負荷線の固形物負荷 0 で示すことができる引抜き汚泥濃度は C_{u1} から C_{u2} へ上昇していることからみずみち棒によって汚泥の沈降速度が速くなった場合、より濃度の濃い汚泥を引抜くことができるといえる。

5. まとめ

重力濃縮槽の汚泥濃度を向上させるための一つの手法としてみずみち棒の導入が考えられる。コー・クレベンガー(Coe-Clevenger)の計算方法を準用して導入効果について検討を行った結果、みずみち棒により初期沈降速度を向上することによって沈降固形物負荷曲線を上昇できた場合、汚泥濃度を向上させるには引抜量の制御を併せて行うことの必要性を固形物流量線図上から確認できた。

今後は圧密の影響を大きく受ける汚泥層内部も含めた重力濃縮全体へのみずみち棒が与える影響の解明を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 土木学会 水理公式集、pp.419～420 (平成 11 年度版)
- 2) 永持雅之、森孝志、清水一弥、西崎柱造：「重力濃縮槽の機能調査」、大阪市下水道局業務研究論文集 15 周年記念、pp.365～375、1987
- 3) 北村友一、落修一、渡部春樹：「下水汚泥の重力濃縮におけるピケットフェンスの効果」、土木学会第50回年次学術講演会、pp.1234～1235 (平成 7年9月)

浅井圭介*



(株)大原鉄工所 (前独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料資源研究グループリサイクルチーム 交流研究員)
Keisuke ASAI

宮本豊尚**



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室 研究官 (前独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループリサイクルチーム研究員)
Toyohisa MIYAMOTO

岡本誠一郎***



京都大学大学院工学研究科附属流域圏総合環境質研究センター特定准教授 (前独立行政法人土木研究所材料資源研究グループリサイクルチーム 上席研究員)、博士 (工学)
Dr. Seichiro OKAMOTO

内田 勉****



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料資源研究グループリサイクルチーム 上席研究員
Tsutomu UCHIDA