

3-1-5 画像化技術の活用に関する検討～三河島水再生センター

第二沈殿池内の可視化と水処理運転への応用～

東京都下水道サービス株式会社 施設部 水質課

梶原 大聖

児玉 弓枝

1. はじめに

三河島水再生センターの浅草系第二沈殿池（以下「二沈」という。）では、処理水質への悪影響を与える汚泥浮上が発生することがある。二沈での汚泥浮上は、水深の浅い構造に伴う沈降不良が原因の一つに考えられるものの、水面の目視確認だけでは把握できず、不明点も未だ多く原因解明が求められている。

従来から、二沈の汚泥堆積状況を把握する方法には、MLSS計や汚泥界面計が用いられてきた。しかし、これらは一回にピンポイントでの測定しかできないため、二沈全体を把握するには多くの作業時間と労力を費やすことが課題であった。

そこで、処理水質の更なる安定化を目的に、簡易かつ広範囲の測定が可能な画像化技術（以下「画像センサー」という。）を活用した二沈の汚泥堆積状況の可視化及び水処理運転への応用を検討した。本稿では、その取組内容について報告する。

2. 使用機器及び測定方法

画像センサーは、センサー下部から超音波を発信し、反射した音波強度を受信することで沈殿池内の状態監視が可能なポータブル型の測定機器（図1、表1）である。画像センサーは最大10mの深さまで計測が可能であり、センサーを水面近くに投入し水底まで測定できることから、汚泥かき寄せ機のフライトやチェーンなど駆動機器に接触する恐れがなく、1地点当たり5分程度で測定できるなどのメリットがある。



図1 画像センサー（外観）

表1 画像センサー 概要

機器名	槽内監視センサー クリソニック K-ST10TypeC	
メーカー	栗田工業株式会社	
計測原理	超音波式(400kHz)	
用途	汚泥界面の計測、沈殿槽の状態監視	
計測範囲	最大深さ10m	
センサー設定位置	深さ	水面から10～15cmの位置に沈める
	壁からの距離	水深3mでは60cm以上、5mでは1m以上離す

測定例を図 2 に示す。

本体の画面は縦軸に水深、横軸に経過時間が表示され、画像の色相は反射強度が強い場合（堆積汚泥や躯体等）は赤色を、反射強度が弱くなるに従い、黄色、緑色、水色、青色の順に変化し、上澄水のように透明度が高い場合などには反射強度がほとんどないため黒色を示す。

なお、画像センサーは、センサー直下から数十 cm は測定できない不感帯の範囲となり、赤色に表示される。測定画像は、画面左から右方向に時系列順に表示され、気泡や汚泥などが浮上する場合は右斜め上方向へ、汚泥などが沈降する場合は右斜め下方向へ軌跡が描かれ、測定画像から汚泥堆積状況や汚泥浮上の有無を把握することが可能である。

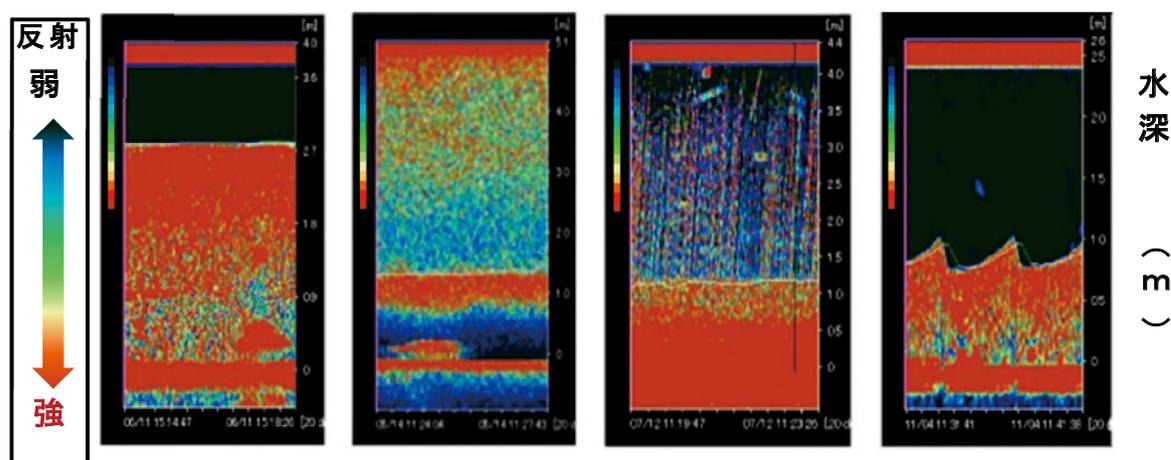


図 2 画像センサーの測定例（メーカー出典より抜粋）

本調査では、センサーを水面下 20cm 付近に沈めて測定したが、超音波が円錐状に拡散し、躯体壁面の反射を汚泥界面と誤認識する恐れがあった。このため、自作した専用治具（棒）を使用してセンサーと躯体壁面との距離を 60cm 以上離れた状態で測定を行った（図 3）。

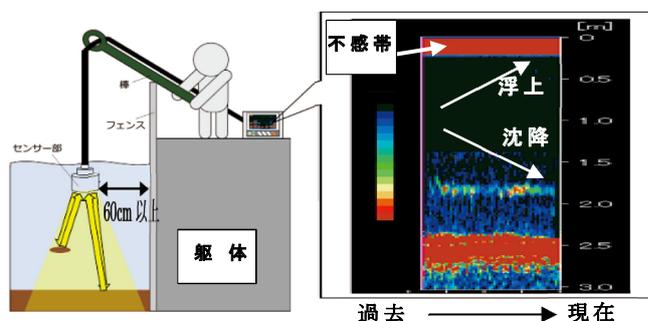


図 3 画像センサー測定方法

3. 調査内容

今回調査した二沈は、南（以下「浅草南」という。）12 池、北（以下「浅草北」という。）12 池の全 24 池で、1 池が 4 つに分岐している。調査内容は以下のとおりである。

3.1 画像センサーの有効性及び校正方法の検討【R5 年 6 月～R6 年 1 月】

画像センサーの有効性を確認するため、浅草北（10-4 号池中流域）において、画像センサー及びポータブル MLSS 計を使用し、同時に測定して比較を行った。

次に、画像センサーの校正方法について検討を行った。画像センサーは、機器が劣化した場合は性能が低下し、測定結果に影響を及ぼす可能性があることから、正常に機能しているかを把握するため、超音波の強度調整用器具（図 7 左図に示す）を作成・使用した校正方法を検討した。具体的には、ロープの水深 1m・2m となる位置に超音波を発射するプラ

スチック製ボトル（以下「プラボトル」という。）を固定し、先端部におもりを取り付けた調整器具をセンサーの近傍に沈め、その器具をセンサーで測定することで、劣化判断及び超音波の送受信調整の可否について調査した。

3.2 二沈全体（1池）の汚泥堆積状況の可視化【R5年10月～11月】

画像センサーは、MLSS計に比べて広範囲な測定が可能であるが、水深約3mの場合で計測範囲が直径0.65m程度であり、二沈全体の把握には多地点での測定を行う必要がある。このため、浅草南の6-4号池（長さ36.5m、幅3.85m、深さ3m）において、画像センサーを長手方向に24点（1m間隔）、短手方向に6点（0.5m間隔）測定し、二沈全体（1池）の汚泥堆積状況の可視化について調査を行った。

3.3 二沈（全池）の汚泥堆積状況の把握【R4年11月～R5年12月】

二沈の処理方法は、浅草南が、フライト板（高さ18cm）で汚泥をかき寄せるチェーンフライト方式、一方、浅草北は、くさび形スクレーパ（高さ5cm）が流れ方向に対して、前後に動きながら汚泥をかき寄せるレシプロ方式（図4）である。今回、汚泥かき寄せ方式の違いや池ごとの汚泥堆積量の偏りの有無を把握するため、二沈（全池）で画像センサーによる測定を行った。

なお、測定は、各●-4号池下流部（流入扉から4/5付近）で行った（図5）。

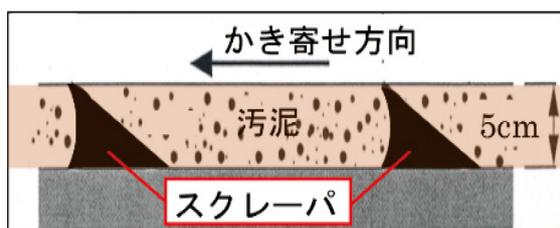


図4 レシプロ式

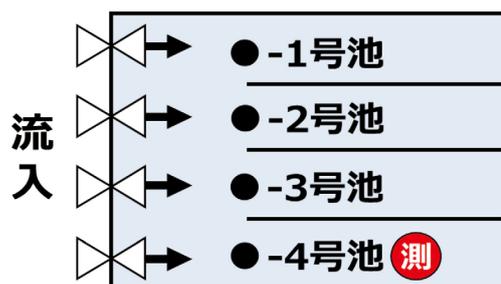


図5 測定地点

3.4 水質分析による汚泥浮上の原因把握【R5年7月】

調査は、画像センサーを用いて上澄水の懸濁が多い池を把握したのち、汚泥浮上の原因把握を目的に、二沈（浅草北9-4号池 上流・中流・下流）の水質分析を行った。試料採取は、各地点で鉛直方向に水面、中間（水深1.5m）、底面（上流を除く。）の3か所で採水（北原式採水器使用）し、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素を分析した。分析は、アンモニア性窒素が電量滴定法（AT-2000型）で、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素はジアゾ化反応を用いた吸光光度法（RQフレックス）により実施した。

3.5 水処理運転への応用検討(流入扉開度調整による挙動確認)【R5年12月～R6年1月】

浅草南12-4号池では、汚泥浮上が短期間に頻発することがあった。そこで、汚泥浮上が見られなかった12-1号池との汚泥堆積量の比較を行った結果、流入水量の偏りが要因の一つと考えられた。このため、運転変更時（流入扉の開度調整など）に画像センサーを活用し、池内の汚泥の挙動を把握することで、水処理運転への応用可能性について検討を行った。

4. 結果及び考察

4.1 画像センサーの有効性確認及び校正方法の検討

画像センサー及びポータブル MLSS 計の測定結果を図 6 に示す。

測定画像から、表層（不感帯を除く。）～水深 0.5m 付近は赤みを帯び、汚泥が浮遊する様子が確認できた。また、水深 2.2～2.7m は黄～緑色を示し、汚泥が沈降している状況を、水深 2.7～2.9m（底面）は赤色を示し、汚泥が堆積している状況を観測することができた。

また、ポータブル MLSS 計による測定では、色相が変化した水深 0.5、2.4、2.7m 付近で色相の傾向と同様に汚泥濃度の増加が確認された。

このことから、画像センサーは、汚泥の堆積状況、上澄水の濁り具合の変化、汚泥濃度の変動などを捉えることができるものと判断した。

次に、画像センサーの校正方法の検討結果を図 7 に示す。

図 7 より、水深 1m と 2m とでは赤色を示し、画像センサーがプラボット及び水深を正しく認識できることが分かった。このことから、調整器具を用いて、センサーの劣化判断や画像を同条件で表示できるよう超音波強度及び発・受信のバランス調整を定期的に行い、劣化等による測定結果のズレを補正することで、測定の信頼性を高め画像センサーの有効性を担保できるものと考えられる。

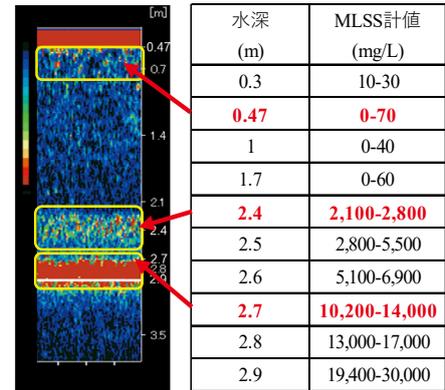


図 6 画像センサー、MLSS 計の比較

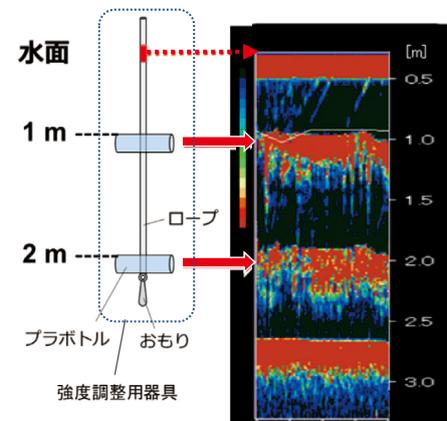


図 7 画像センサーの校正方法の検討結果

4.2 二沈全体（1池）の汚泥堆積状況の可視化

画像センサーによる二沈（浅草南 6-4 号池）、長手方向の測定結果を図 8 に示す。

測定画像より、上流から中流にかけて汚泥が徐々に沈降する様子を、中流から下流では汚泥が堆積し、上澄水も清澄な状態が確認できた。一方、最下流付近では若干の汚泥浮上が観測できたことから、二沈全体（1池）の汚泥堆積や汚泥浮上などの可視化が可能と考えられる。

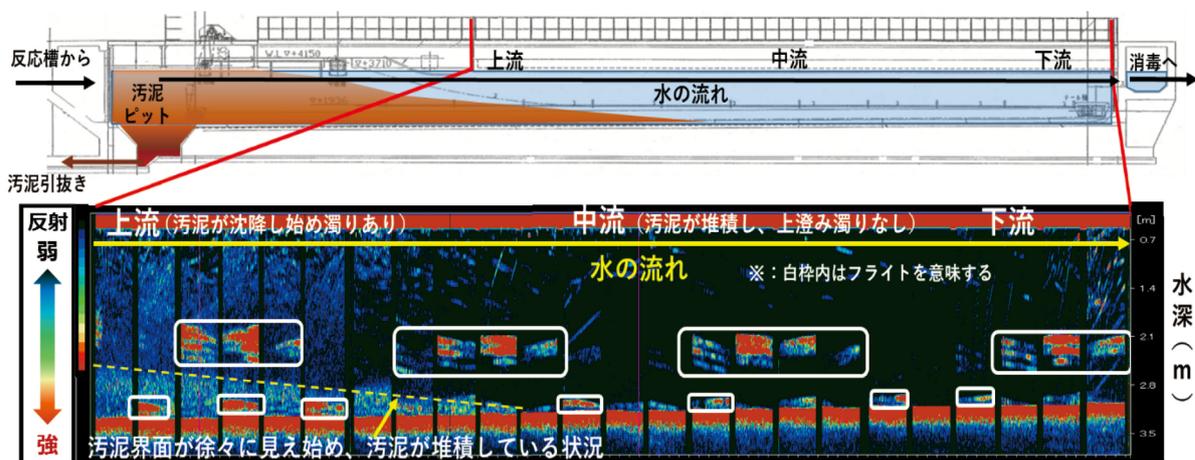


図 8 二沈断面図（上図）及び長手（縦）方向の汚泥堆積状況（下図：鉛直分布）

なお、長手方向の測定では、図 8 に示すとおり、数 m ごとでは大きな変化は見られないため、数か所（上流、中流、下流）程度の測定で二沈全体（1 池）の状況把握が可能と考えた。

次に、短手方向の測定結果を図 9 に示す。測定画像では、どの地点も活性汚泥が一様に分布しており、堆積状況に大きな変化は見られず、当初懸念していた壁面近くの汚泥量の偏り（停滞）は見られなかった。

以上のことから、作業時間や労力を考慮した場合、縦方向（長手）の上流・中流・下流部で横方向（短手）の中央付近で測定を行えば、二沈全体（1 池）の汚泥堆積状況などをおおむね把握することが可能と考えられる。

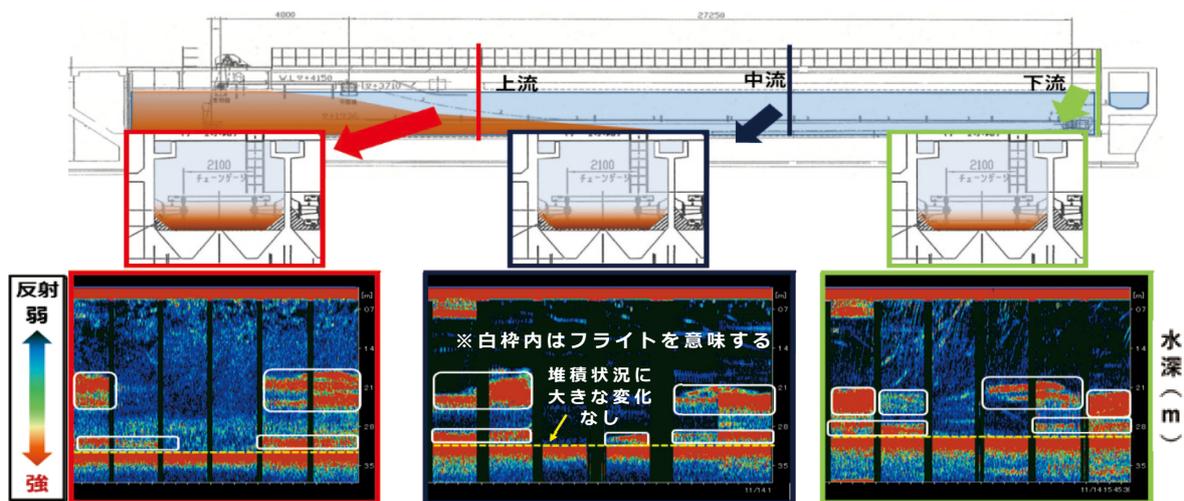


図 9 二沈断面図（上図）及び短手（横）方向の汚泥堆積状況（下図：鉛直分布）

4.3 二沈（全池）の汚泥堆積状況の把握

二沈（全池）の測定画像の結果を図 10 に示す。

調査は 2 回（2 日）行った。浅草南は、水深 2.3～2.8m に上・下段のフライト板（図中、白枠内）が、浅草北では、スクレーパによる汚泥界面の凸凹が確認された。汚泥堆積量や汚泥浮上は、池ごとに異なっており、汚泥かき寄せ方式による差異も顕著に見られた。

浅草南では、1～9 号池の水深 1.5m 以深は黒色を示し、底面（水深 3m）の汚泥堆積量がほとんどなく、水面付近は汚泥浮上によりやや懸濁がみられるものの、フライト板により汚泥を適正にかき寄せられていると考えられる。しかし、浅草南 11、12 号池は水深 2.5m 付近において汚泥界面がみられ、汚泥が堆積する途中であり、11 号池の上澄水部分は青色を呈し、汚泥浮上により懸濁している状況が確認された。

一方、浅草北では、4、5、7 号池で汚泥堆積量が多く池ごとに偏りがみられ、調査日にかかわらず汚泥量が多い傾向を示した。また、上澄水は多くの池で青～赤色を示し、汚泥が全面に浮上している池も多々見られたが、調査日により異なる状況を示した。

このように、画像センサーは二沈（全池）の汚泥堆積状況や上澄水の濁り具合及び処理方式による処理状況の違いを把握することが可能と考えられる。

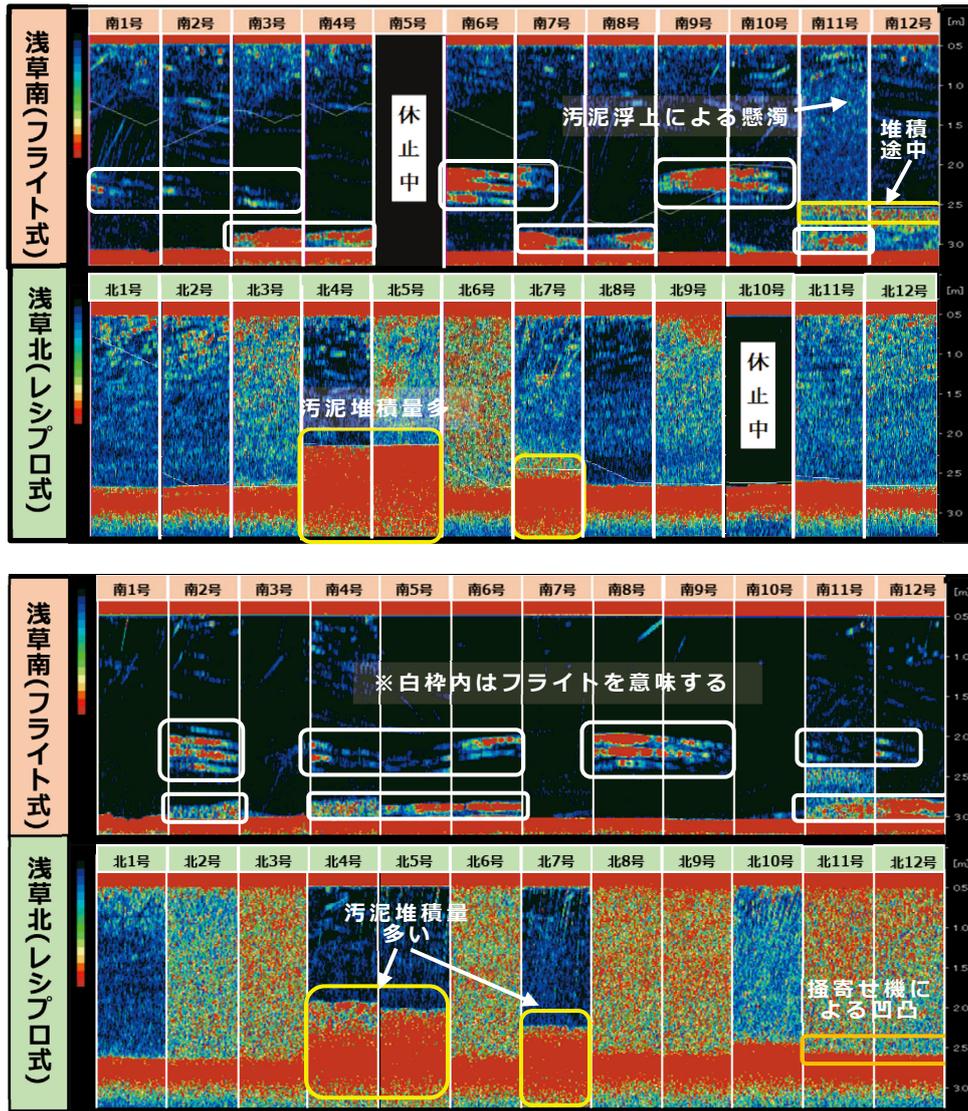


図 10 画像センサーによる二沈の全池測定結果（上図 R5 年 5 月、下図 R5 年 7 月）

4.4 水質分析による汚泥浮上の原因把握

浅草北において、上澄水の懸濁が多い浅草北 9-4 号池を対象に水質分析を行った。汚泥堆積状況、採水地点及び二沈の水面状況を図 11、12 に、水質分析結果を表 2 に示す。

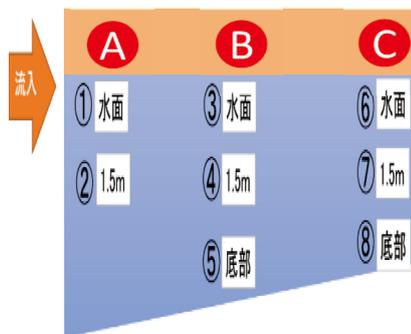
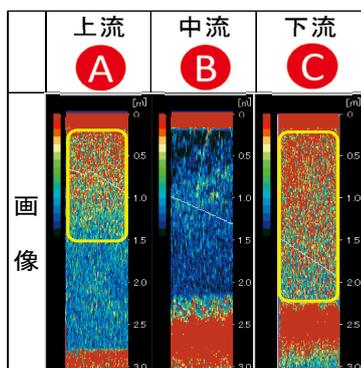


図 11 汚泥堆積状況（左図）及び採水地点（右図）

図 12 二沈（下流側）水面状況

表 2 水質分析結果

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	参考 (日常試験) 浅草北 処理水
	A 上流		B 中流			C 下流			
	水面	1.5m ^{※1)}	水面	1.5m ^{※1)}	底部	水面	1.5m ^{※1)}	底部	
アンモニア性窒素(mg/L)	2.5	2.7	2.9	2.7	3.8	2.6	2.8	3.9	2.5
亜硝酸性窒素(mg/L)	2.8	2.8	2.9	2.9	0.0	2.7	2.6	0.5	2.6
硝酸性窒素(mg/L)	2.9	3.8	2.9	3.2	0.0	2.5	2.7	0.0	3.6

※1) 水面から 1.5m 地点で採水した。

画像センサーによる測定では、黄色枠で示したとおり、上流 (A) の水面～水深 1.5m 付近及び下流 (C) の水面～水深 2.5m において懸濁しており、下流側の水面は、浮上した汚泥が薄層状に滞留 (浮遊) していた。

水質分析の結果、水面及び水深 1.5m の硝酸性窒素は、下流 (C) に向かうほど減少する傾向を示し、浅草北処理水 (参考) に比べて下流 (C) で 1.0mg/L 程度低くなった。また、底部では、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素がほとんど不検出となった一方、アンモニア性窒素は浅草北処理水 (参考) に比べて 1.3mg/L 程度上昇した。

以上のことから、浅草北では、底部に堆積した汚泥が無酸素若しくは嫌気状態となり、処理水の亜硝酸性窒素及び硝酸性窒素が脱窒し、窒素ガスとともに汚泥が浮上したものと推定される。

しかし、本調査は限られた条件から推定していることから、今後は様々な条件で同様の調査を重ねることで、汚泥浮上の原因がより明確になると考えられる。

4.5 水処理運転への応用検討 (流入扉開度調整による挙動確認)

浅草南 12-4 号池では、汚泥浮上が短期間に多く発生したことから、汚泥浮上のない 12-1 号池と比較するため、画像センサーを用いて両池の汚泥堆積状況を調査した (図 13)。

その結果、12-1 号池 (流入扉開度 25%) は底面に汚泥堆積がほとんど確認されない一方、12-4 号池 (流入扉開度 15%) では汚泥堆積量が多く、両者に偏りが見られた。

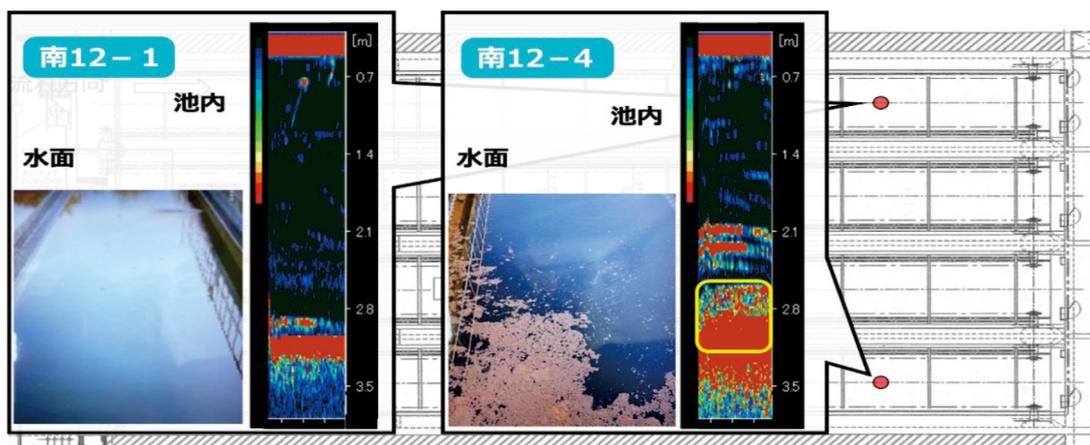


図 13 浅草南 12 号池の水面及び汚泥堆積状況

12-4 号池では、流入水量が多いことによる汚泥量の増加に加え、水面積負荷の増大に伴う沈降性悪化により汚泥浮上が発生した可能性が考えられたため、画像センサーを活用して流入扉の開度調整による汚泥堆積状況の変動を確認した (図 14)。

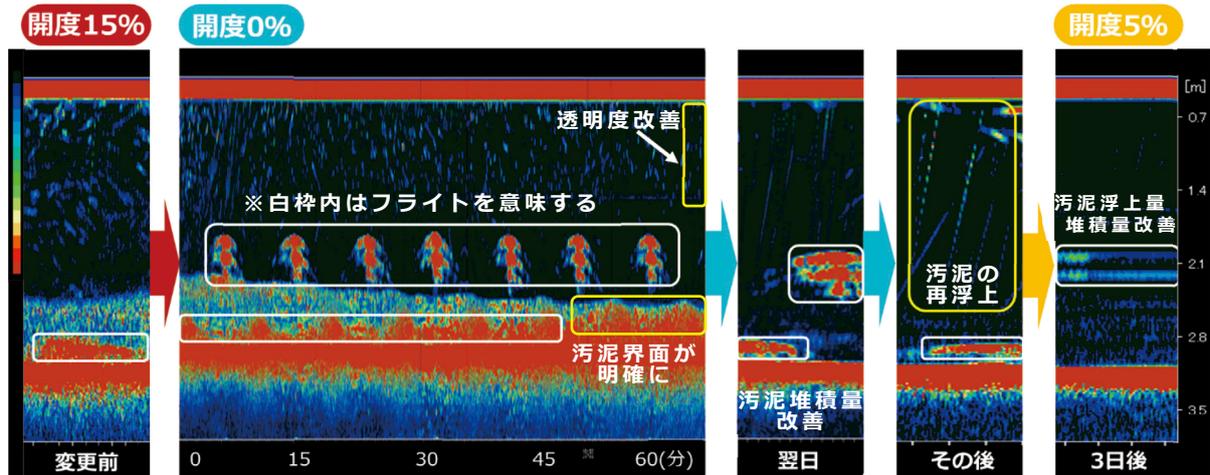


図 14 流入扉開度変更による汚泥堆積状況（浅草南 12-4 号池）

12-4 号池について、流入扉開度を 15%から 0%に変更した結果、沈降不良が見られた汚泥が徐々に沈殿し、35～40 分後には堆積汚泥量が増加、50 分後に汚泥界面が明確化、60 分後に上澄水の透明度の改善が見られた。翌日には一旦汚泥堆積量は減少したが、その後、汚泥浮上が再び発生した。理由としては、滞留時間が長くなり脱窒が進むことで窒素ガスとともに汚泥が浮上した可能性が考えられた。そこで、流入扉開度を 0%から 5%まで上げたところ、汚泥堆積量と汚泥浮上量ともに改善傾向が確認できた。

一方、流入扉の開度調整直後や開度を大きくした際に、越流堰壁面付近のみ、数十センチ程度の汚泥塊の浮上が度々確認された。底部の測定画像には変化がなかったことから、流速の急激な変化により越流堰の下部や壁面に付着していた汚泥が剥れるなど、別の原因で汚泥浮上が発生したのではないかと推測される。

以上のことから、画像センサーは、水処理の運転変更時（流入扉開度調整）など、汚泥の処理状況及び良好な上澄水を得るための条件把握に応用することができると考えられる。

5. まとめ

本調査より、以下の知見が得られた。

- ・画像センサーは、汚泥の堆積や上澄水の懸濁状況を捉えることができる。
- ・画像センサーは、3ヶ所程度（上流、中流、下流）の測定で、従来法に比べて短時間かつ少ない作業労力で二沈全体（1池）の可視化が可能である。
- ・汚泥かき寄せ方式によって、汚泥堆積量や上澄水の懸濁状況に違いがある。
- ・水質分析及び画像測定による測定結果から、汚泥浮上の一因として、沈殿池底部での脱窒現象が考えられる。
- ・流入扉開度調整により、汚泥堆積量や上澄水の懸濁状況に大きな違いが表れる。
- ・画像センサーは、汚泥の沈降分離及び良好な上澄水を得るための運転条件の把握に利用できると考えられる。

今後は、長期連続測定による経時変化や運転変更時（レシプロの速度調整など）の処理状況の把握に画像センサーを活用し、汚泥浮上の原因究明及び処理水質の更なる安定化に役立てたい。