

汚泥沈降特性解析システムの開発

株式会社 〇津倉 洋 岩堀 恵祐 富士元 英二

金沢大学工学部 松井 三郎

1. はじめに

最終沈殿池へ流入する活性汚泥の沈降特性を把握することは、汚泥性状の変化に対応して最終沈殿池を効率的に運用する観点から極めて重要である。活性汚泥の沈降特性を調べる水質計測器としてSVI計が実用化されているが、汚泥界面沈降曲線データはSV₃₀値を求めるだけに用いられており、従来のSV₃₀、MLSS濃度、SVIだけで沈降特性を総合的に把握することは困難であると思われる。そこで、回分的な汚泥界面沈降試験を連続的に行い、SV₃₀、MLSS濃度、SVIを自動算出するSVI計に、沈降試験中の沈降管上澄水濁度測定機能と沈降データ解析機能を追加した汚泥沈降解析システムを開発した。

本稿では、活性汚泥処理の下水処理場へ本解析システムを導入し、長期間にわたる連続実験を実施することにより、汚泥沈降曲線解析法の妥当性の検証および活性汚泥の沈降特性に関する評価を行ったので、その概要を報告する。

2. 実験装置と実験方法

活性汚泥プロセスにおける汚泥の沈降特性を調べるために、本解析システムをA下水処理場（処理水量：30000 m³/日）へ導入するとともに、濁度計付き汚泥界面測定部（新型SVI計）をばっ気槽出口付近に設置して、種々の実験条件下で約半年間の長期にわたり連続的に回分沈降試験を実施した。一定測定周期（本実験では50分間）で汚泥界面位置、MLSS濃度および上澄水濁度を計測し記録計へ出力すると共に、それらのデータをミニコンピュータへ入力し、測定終了時にオンライン計算によりデータ解析を行った。

2.1 実験装置

本解析システムは、図-1に示すように、新型SVI計本体に相当する汚泥界面測定部と、汚泥界面位置データおよび上澄水濁度データを記録しオンライン処理により解析演算を行うデータ解析部から構成される。

新型SVI計は、内径170 mm、管高600 mmのガラス製円筒管の側面に界面位置検知用光電管を装着し、汚泥沈降試験中に降下する汚泥界面に光電管が追従して界面位置を計測すると同時に、試験中の上澄水濁度の変化をモニターする装置である。本SVI計は、壁面効果や汚泥濃度の影響を無視できるような管高と管径を有する汚泥沈降管を採用している。円筒形沈降管の底部には散乱光比較方式によるMLSS計（測定範囲：0～5000 mg/l）と、上部には近赤外光方式による濁度計（測定範囲：0～100 mg/l）の各センサー

表-1 実験条件

	制御項目	制御点	設定値
DO一定制御	DO	エアレーションタンク出口	2 mg/l
返送汚泥制御	返送率	返送汚泥ライン	0.2-0.4
引き抜き汚泥制御	SRT	同上	5,7,10 days

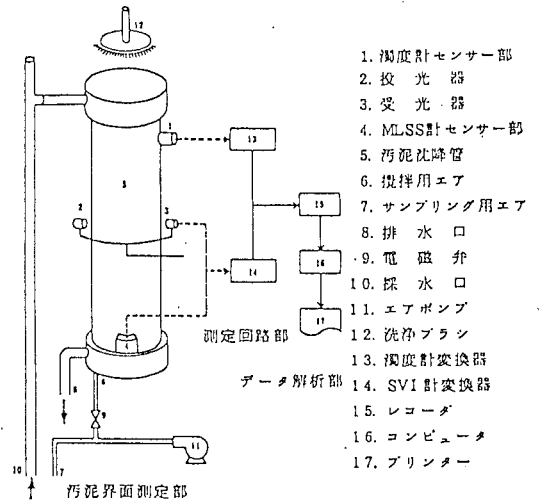


図-1 汚泥沈降特性解析システムの概要

検出部が取り付けられ、SVI計内の各変換器で処理されたアナログ信号が記録計へ伝送される。

2.2 実験方法

本解析システムによる連続的回分沈降試験は、①エアリフトポンプによるばっ気槽内活性汚泥の5分間採水、②エア攪拌中の沈降管内MLSS濃度測定、③50分間の汚泥沈降試験、④測定開始30分後のSV₃₀、MLSS濃度、SVIの算出・メータ表示、⑤測定終了後の排泥・洗浄、⑥沈降特性パラメータの算出・プリンタ出力印字の手順に従って行った。

実験期間中の活性汚泥プロセスの運転条件を表-1に示す。本プロセスに対して実施した制御内容は、①コントローラを用いたばっ気槽出口のDO濃度一定(2mg/l)制御、②汚泥返送率を0.2~0.4の範囲内の一定値に保つコントローラによる返送汚泥制御、③8ビット計算機を用いた汚泥滞留時間(Sludge Retention Time; SRT)を一定値(5, 7, 10日)に制御する余剰汚泥の引き抜き制御の3種類である。また、SVI計内のMLSS濃度計と濁度計は実験開始前に手分析値と比較校正を行い、実験期間中も1週間に1回の頻度で手分析値と比較対照した結果、両者にはかなり良い相関が認められた。

2.3 演算方法

入力データの解析・演算方法は、自由沈降、等速沈降、遷移領域および圧密沈降の4過程にわけられる汚泥沈降曲線に対して、①等速沈降域と圧密沈降域への2分割、②等速沈降過程の演算(等速沈降区間の決定、等速沈降直線の算出)、③圧密沈降過程の演算(圧密沈降区間の決定、Roberts定数と圧密沈降曲線の算出)、④圧密点(t_c, H_c)の算出および圧密点における接線の決定から成り立っている。なお、上記の演算は、SV測定終了まで一定時間間隔でコンピュータに格納したデータをもとに行った。

3. 実験結果と考察

SV₃₀とMLSS濃度の比として簡単に測定できるSVI値は、活性汚泥の密度等の汚泥物性の変化を概略的に表現できる有効な指標である。そこで、本論文では、初期沈降速度やRoberts定数等の沈降特性パラメータをSVI等の汚泥指標と関連づけて評価を行った。また、本実験期間中に現われた高SVI領域では、主に、*Sphaerotilus natans* が検鏡結果から観察されたが、SVI変動原因の詳細な検討については、ここでは省略した。

3.1 汚泥沈降曲線解析法の妥当性の検証

SVIをパラメータとして、沈降時間 t に対する $H_t - H_\infty$ の片対数変化の一例を図-2に示す。ここで、 H_t は時刻 t における沈降率(%)で表される汚泥界面高、 H_∞ は最終汚泥界面高である。本図からわかるように、圧密沈降過程まではRobertsの実験式に従って直線的に変化している。また、SVIが上昇するにつれて、初期沈

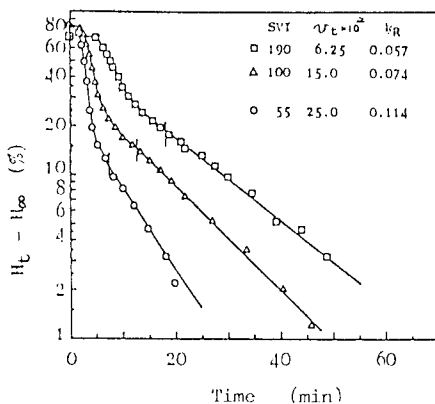


図-2 汚泥沈降曲線の一例

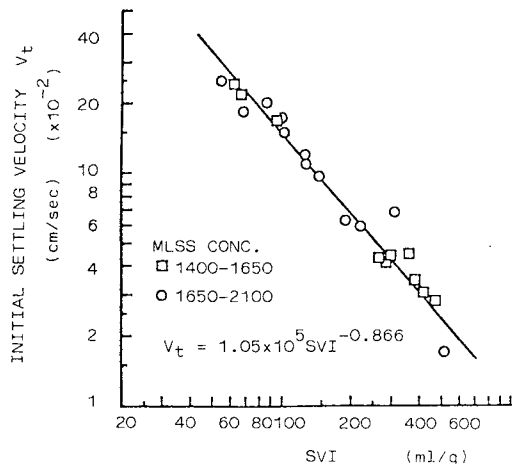


図-3 初期沈降速度とSVIの関係

降速度 V_t (Initial Settling Velocity ; I S V) (mm/sec), Roberts 定数 K_r がともに減少している。また、高 S V I 領域においても同様な関係が得られた。したがって、等速沈降域を 1 次直線式および圧密沈降域を Roberts の実験式で表す汚泥沈降曲線解析法の妥当性が検証できた。

3.2 初期沈降速度の影響因子に関する検討

自由沈降過程に続いて現われる等速沈降過程において、活性汚泥の初期沈降速度 V_t と S V I の関係を図-3 に示す。1400~2100 mg/l の M L S S 濃度範囲では、ほとんど汚泥濃度に影響されずに $V_t \propto S V I^{-0.866}$ なる関係が得られた。本実験における S V I の変動範囲では、I S V は 3 mm/sec (S V I = 50) から 0.2 mm/sec (S V I = 600) まで変化し、最低でも 2 mm/min (0.2 mm/sec) の沈降速度を示した。

次に、得られた $V_t \propto S V I^{-0.866}$ なる関係と $t_c \propto S V I^{0.867}$ の関係式を利用すると、 $V_t \cdot t_c = const.$ の関係が導出できる。この関係式は、I S V が大きいと等速沈降区間は短く、I S V が小さいと逆に等速沈降区間は長くなり、 V_t と t_c の積で表される等速沈降距離は S V I に関係なく一定となることを意味している。そこで、I S V と t_c の関係をプロットすると図-5 のようになる。本図から、I S V は t_c の -1 乗ではなく -1.31 乗に比例する結果が得られたが、この違いは自由沈降時間等の影響によるものと考えられる。

3.3 圧密沈降曲線パラメータに関する検討

2 種類の M L S S 濃度範囲に対して、圧密沈降速度に相当する Roberts 定数 K_r と S V I の関係を図-5 に示す。S V I < 150 では、直線(1)に従って K_r は S V I の -0.896 乗に比例して減少し、S V I が 150~250 の範囲では、 K_r は不規則な変化を示した。また、それ以降は直線(2)に従って変化した。圧密領域における沈降速度 K_r は、I S V の場合と同様に汚泥濃度、S V I、S V₃₀ 等の関数になると推測できるが、圧密沈降過程では初高やレーキ状態等の影響も複雑に関与しているため、さらに詳細な検討を行う必要がある。

最終汚泥界面高 H_∞ は、S V I の 0.85 乗に比例して増加し、圧密点汚泥界面高 H_c は圧密沈降終了時には約半分の値に減少するという結果から、圧密沈降域における実験式は次式にまとめられ

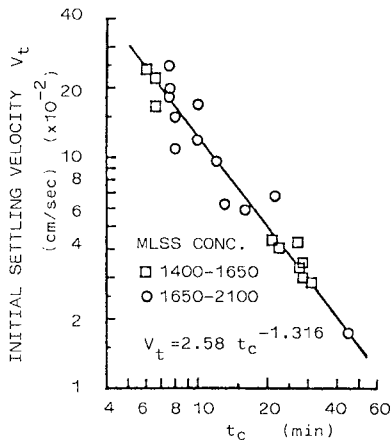


図-4 初期沈降速度と圧密開始時間の関係

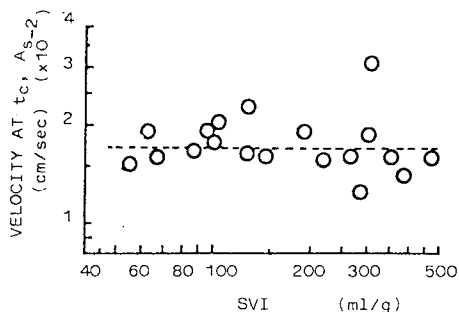


図-6 圧密点接線の S V I による変化

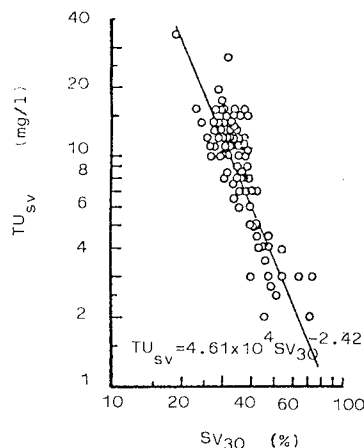


図-7 上澄水濁度の S V₃₀ による変化

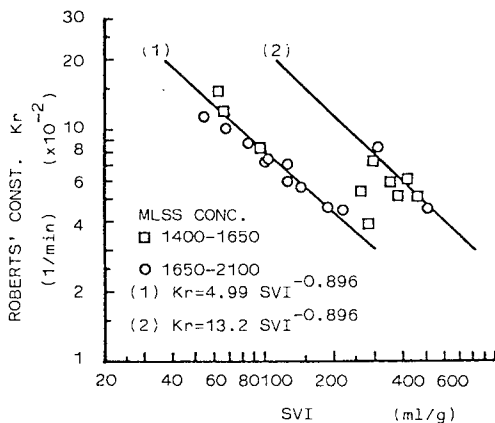


図-5 Roberts 定数と S V I の関係

る。

$$\left. \begin{aligned} Kr &\propto SVI^{-0.896} \\ Hc &= 2.1 H\infty \\ H\infty &\propto SVI^{0.85} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

圧密点における接線の傾き A_s と SVI の関係は、図-6に示す通りである。接線の傾き A_s は SVI に関係なく一定値をとり、破線で示す傾きの平均値は $1.7\%/min$ 程度であった。この結果から、等速沈降域と圧密沈降域へ沈降曲線を2分割する場合の設定値($2\%/min$)選択の妥当性が確認できた。したがって、沈降速度が 2% 程度になる点が圧密点であると本実験の場合は考えることができる。一方、圧密点における接線の傾き A_s' は、圧密沈降開始時の沈降速度を表すので、Robertsの実験式から次式で与えられる。

$$A_s' = \left. \frac{dHt}{dt} \right|_{tc} = Kr(Hc - H\infty) \dots\dots\dots (2)$$

$SVI < 150$ の領域に対して、式(1)で示されるこれまでの結果を式(2)に代入して、 A_s' と SVI の関係が導出できる。

$$A_s' \propto SVI^{-0.046} \dots\dots\dots (3)$$

$SVI < 150$ 以下の領域では、 $SVI^{-0.046}$ は $0.8 \sim 0.9$ 程度の値を示しほぼ一定になることがわかる。したがって、 $Kr(Hc - H\infty) = const.$ の結果から、低 SVI 領域では Kr が大きくなり、圧密脱水量に相当する($Hc - H\infty$)は小さくなる。逆に、汚泥物性に何らかの変化を生じると予想される高 SVI 領域では、 Kr が減少し圧密脱水量($Hc - H\infty$)が増大するものと推測できる。

3.4 上澄水濁度の変化に関する検討

測定終了時(50分経過後)の上澄水濁度 TU_{sv} と SVI の関係を図-7に示す。 TU_{sv} は SVI の約2.4乗に反比例して変化することがわかる。つまり、糸状菌の発生に伴い SVI の上昇が始まり、沈降管上部に残留する濁度は減少傾向を示すことが観察された。また、短期間(約2日間)に SVI が $90 \sim 190$ まで変化したときの TU_{sv} 、 SV_{30} 、 $MLSS$ 濃度および SVI の時系列変化を図-8に示す。 SVI の減少に伴い SV_{30} と TU_{sv} の応答は、 TU_{sv} の方が敏感であり変化量(ゲイン)も大である。一方、 SVI が上昇する場合、 SV_{30} と TU_{sv} がほぼ同時に応答し始め、変化量は TU_{sv} の方が大きくなる。以上のように、本実験で観察された汚泥性状に対して、 TU_{sv} と SVI の間には密接な応答関係が存在する。したがって、 SV_{30} と共に TU_{sv} の時系列変化をモニターすることは、 SVI の変化を予測するうえで重要な指標となり得ることが確認できた。

4. まとめ

本論文では、汚泥界面沈降曲線、 SV_{30} および SVI に加えて上澄水濁度の変化を自動的にモニターできる新型 SVI 計とデータ解析装置を組合せた汚泥沈降特性解析システムを開発した。本解析システムを実規模活性汚泥プロセスに適用し連続実験による検討を行った結果、初期沈降速度、Roberts定数、最終汚泥界面高および圧密点を把握することにより、活性汚泥の沈降特性を評価できることを確認した。また、上澄水濁度の時系列変化をモニターすることが、 SVI 変化の予測に有効であることが明らかになった。

<参考文献> 富士元、津倉、岩堀、松井：衛生工学研究論文集、Vol.20、pp.193~200(1984)

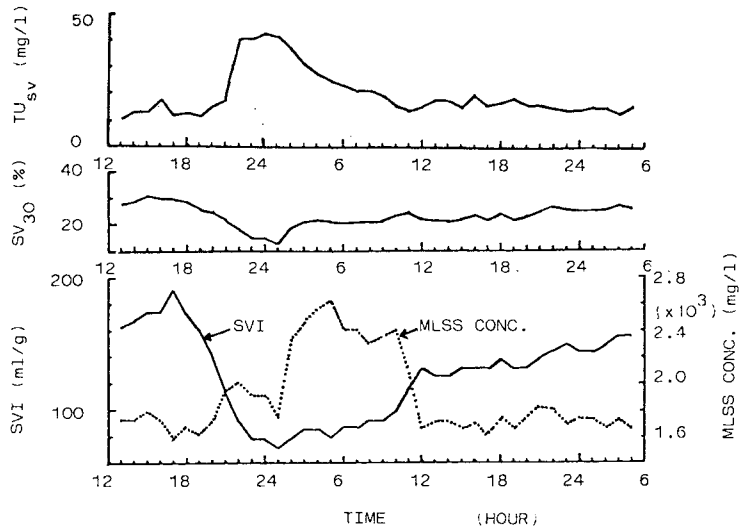


図-8 SVI、SV₃₀、MLSSおよびTU_{sv}の時系列変化