特集Ⅰ・水システム自動計測制御の研究の現状と動向

活性汚泥の汚泥量コントロール

Study on Sludge Flow Control in Activated Sludge Processes

柏谷 衛*

1. ま え が き

活性汚泥法のプロセス制御技術としては、エアレーションタンク内のDO（溶存酸素）制御、返送汚泥制御（返送率制御）、引き抜き汚泥制御〔SRT（汚泥滞留時間）制御〕、F/M（食物・微生物比）制御が代表的なものである。

これらの活性汚泥法のプロセス制御の目的は、①経済性の向上、②プロセス性能の向上 ③処理水質の安定性などが挙げられてきた。このうち、①についてはエアレーションタンク内のDO制御が最もその目的を達成しうるものとして評価され、しかも実用的に使用されるまでに至っている。この最大の理由は、DOセンサーの発達によって、エアレーションタンクに長期間にわたってセンサーを浸漬したままで、精度よい測定結果が連続して得られるようになったためである。実用試験の結果でも、消費電力量の20%以上の節約が報告されている。

②と③については、返送汚泥制御と引き抜き汚泥制御（以下、この両制御を総称して「汚泥量制御」という）およびF/M制御が果す役割が大きい。しかし、この種の技術は実用化されるまでに至っていない。その主たる理由は計測と数学モデルの開発が十分でないためである。計測について、量的な計測は相当以前から機器が開発されて実用上支障なく使用されているが、質的な計測を行う機器の開発は行われてきているものの十分とはいえない面がある。また、活性汚泥による汚水の浄化の動的モデル化もその開発がこの種の制御に十分適用できるまでに至っていない点が挙げられている。しかしながら、この種の技術は年を追って着実に進歩してきており、次々に新しい試みによる研究が進められている。

本年度の「水システム自動計測制御ワークショップ」

* 東京理科大学理工学部教授
Mamoru KASHIWAYA

では、②と③の目的に貢献する活性汚泥の汚泥量制御に関する報告が発表された。

その第1は、「活性汚泥プロセスの汚泥量制御システム（高瀬格、三浦良輔の両氏）」であり、この発表ではシミュレータを活用して実測のむずかしい最終沈殿池の汚泥量を計算で求め、余剰汚泥量を制御することによりエアレーションタンクのMLSS濃度を一定にすることを試みている。

第2は、「汚泥沈降特性解析システムの開発（津倉洋氏ほか）」であり、この発表では、すでに開発したSVI計に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の実験池への適用結果を報告している。

最後は、「最終沈殿池における滞留汚泥量の予測制御（津倉洋氏ほか）」であり、この発表ではSVI計の回分沈降現象を円形最終沈殿池へ応用したマクロモデルと池内の汚泥量分布実測から得た滞留汚泥量との比較検討、SVI、汚泥返送率、SRTなどとの関係を求めている。

以下、順を追って、各発表の内容を報告する。

2. 発表の内容

2.1 「活性汚泥プロセスの汚泥量制御システム」について

この研究に使用したシミュレータは図-1に示す曝気槽と沈殿池の2個のモデルより成り、入力処理水量、返送汚泥量、余剰汚泥量、返送汚泥濃度、流入水濁度である。曝気槽モデルは完全混合槽別モデルに短絡流と槽間の混合を加えてある。沈殿池モデルは4室より成り、クロス室とホップ室は完全混合、沈降室は沈降による時間遅れ、沈殿室は沈殿した汚泥のホップへの輸送を要素として組立てられている。

汚泥量の制御について、余剰汚泥量制御では2次処理系の総汚泥保有量が一定となるように制御を行い、返送汚泥量制御では曝気槽汚泥量が一定となるように

図-1 シミュレータ

制御を行い、ともにフィードバック制御とした。

シミュレーションは先に示した入力値のほか、曝気槽MLSSと沈殿池汚泥量の実測値を用いて行い、曝気槽MLSSが実測値と一致するように曝気槽モデルのパラメータを決定し、返送汚泥濃度と沈殿池汚泥量が実測値と一致するように沈殿池モデルのパラメータを決定した。また返送汚泥濃度の実測値とシミュレータによる計算値とが所定の差を越えたときには警報が発せられ、再度パラメータの修正を行うこととしている。

余剰汚泥量制御の調査結果を図-2に示す。この調査では総汚泥保有量を54トンとし、制御周期を4時間とした。降雨時を除いて総汚泥保有量はほぼ一定に保たれた。返送汚泥量制御の調査結果を図-3に示す。

この調査では総汚泥保有量の制御周期を1時間、返送汚泥量の制御周期を10分、返送汚泥量の最小を150m³/時、最大を2,000m³/時、総汚泥保有量の設定値を52トン、曝気槽汚泥量の設定値を35トンとした。曝気槽MLSSはほぼ一定にすることができた。

このように、総汚泥保有量と曝気槽MLSSをほぼ

図-2 余剰汚泥量制御の調査結果の例

図-3 返送汚泥量制御の調査結果の例

一定とすることができたのは、沈殿池と返送経路に汚泥を多く保有したためであり、この量は全保有量の33%に達していた。この沈殿池と返送経路の汚泥量が変化したとき、曝気槽MLSSの変動巾を曝気槽汚泥量35トンの場合について検討した結果を図-4に示してある。沈殿池汚泥量が9トン(総汚泥保有量の20%)のときにMLSS変動巾は400mg/ℓ以上になった。

図-4 沈殿池汚泥量とMLSSの変動幅

MLSSを一定にすることが目的ならば沈殿池汚泥量を増やせばよいが、沈殿池に保有できる汚泥量は、汚泥の沈降・濃縮性、処理水質に関係するので、沈殿池汚泥量の適切な値は処理施設ごとに異なる。その沈殿池汚泥量によってMLSSの変動巾が定まることになる。

返送汚泥量の制御をすると総汚泥保有量の制御が乱される。返送汚泥量を大きく動かすほど返送汚泥濃度の変動巾が大きくなり、総汚泥保有量の変動巾も大きくなる。さらに余剰汚泥量の変動巾も大きくなって系全体が不安定になる。したがって、返送汚泥量制御では、MLSS一定ということを多少犠牲にしても返送

図-5 汚泥沈降特性解析システム

汚泥量の上下限を設けるべきであると主張している。

2.2 「汚泥沈降特性解析システムの開発」について

この研究に使用した汚泥沈降特性解析システムは図-5に示すように、SVI計本体に相当する汚泥界面測定部と、汚泥界面位置と上澄水濁度のオンライン・データの解析演算を行うデータ解析部から構成されている。SVI計は内径170mm、管高600mmのガラス製円筒筒の側面に界面位置検知用光電管を装備して、汚泥界面位置を計測すると同時に上澄水濁度変化をモニターする。ガラス製円筒筒の底部には散乱光比較方式によるMLSSの計測、上部には近赤外光方式の濁度計測用センサーが取り付けられている。

この汚泥沈降特性解析システムを用いて、実際池に対して、①曝気槽出口DO一定（2mg/l）制御、②返送汚泥率を0.2～0.4の範囲の一定値に保つ返送汚泥制御、③SRTを一定（5，7，10日）に制御する余剰汚泥引抜き制御、を実施した。制御手段として、①と②はコントローラ、③は8ビット計算機を用いた。

入力データの解析・演算は、自由沈降から圧密沈降までの4過程の沈降に対して、④等速沈降域と圧密沈降域の分割、⑤等速沈降過程の演算（区間の決定と同直線の算出）、⑥圧密沈降過程の演算（区間の決定と同曲線とRoberts定数の算出）、⑦圧密点の算出とその接線の決定、をSV測定終了まで一定時間間隔で行っている。

初期沈降速度（ V_t ）とSVIとの関係は図-6に示すように、MLSS 1,400～2,100mg/lの範囲では汚泥濃度に影響されずに $V_t \propto \text{SVI}^{-0.866}$ なる関係が得られている。この実験では V_t が 3mm/s (SVI 50) から

図-6 V_t と SVI との関係

0.2 mm/s (SVI 600) が得られている。圧密開始時間（ t_c ）は実測より $t_c \propto \text{SVI}^{0.867}$ が得られ、 $V_t \cdot t_c = \text{Const}$ となる。この関係は V_t が大であると等速沈降区間は短く、 V_t が小であると等速沈降区間は長く、等速沈降距離（ $V_t \cdot t_c$ ）は SVI に関係なく一定となる。

2種類のMLSS範囲でのRoberts定数(K_r)とSVIの関係を図-7に示す。SVI < 150では直線(1)に従って $K_r \propto \text{SVI}^{-0.896}$ となり、SVIが150～250では、 K_r は不規則に変化し、SVIがそれ以上では直線(2)に従って変化した。

測定終了時（50分経過後）の上澄水濁度（ TU_{sv} ）は、 $\text{TU}_{sv} \propto \text{SV}_{30}^{-2.42}$ で表わされる。糸状菌が発生してSVIが上昇すると、沈降管上部の残留濁度は減少傾向を示す。図-8は短期間にSVIが90から190まで変化したときの TU_{sv} 、 SV_{30} 、MLSSおよびSVIの時系列変化を示してある。SVIの減少にともない SV_{30} はゆるやかに低下するが、 TU_{sv} は急

図-7 Roberts定数(K_r) と SVI の関係

図-8 SVI, SV_{30} , MLSSおよび TU_{sv} の時系列変化

激に増加した後に減少傾向を示した。すなわち、 TU_{sv} の応答は SV_{30} に比べて敏感であり、変化量も大きい。SVIが上昇するときには、 SV_{30} と TU_{sv} とはほぼ同時に応答をはじめ、変化量は TU_{sv} の方が大きい。したがって、 SV_{30} とともに TU_{sv} の時系列変化をモニターすることは、SVI変化を予測するうえで重要な指標になりうると述べている。

2.3 「最終沈殿池における滞留汚泥量の予測制御について

最初沈殿池における滞留汚泥量は次の2方法によって推定した。

その1は、図-5に示した汚泥沈降特性システムを用いて、初期沈降速度、Roberts定数、最終汚泥界面高および圧縮点から決定される汚泥沈降曲線に対して圧密点接線方程式を求め、電算機によるオンライン処理で式(1)により、最終沈殿池滞留汚泥量(V_F)を推定した。

$$V_F = \alpha \cdot \beta_0 \cdot (C_o / C_u) \cdot Q_o \cdot t_u \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 α ：補正係数、 β_0 ：スケールアップ係数、 C_o ：沈殿池に流入する汚泥濃度、 C_u ：返送汚泥濃度、 Q_o ：流量、 t_u ：濃縮時間

その2は図-9に示す沈殿池内の流下方向に沿った7ヶ所のサンプリング箇所(SP1～7)で0.5～1.0 mおきに採取した活性汚泥濃度から手分析によって汚泥濃度分布を測定し、これより滞留汚泥量を推定した。

実際池における調査では、①汚泥返送率 R が曝気槽流入量に対して一定比率(0.2～0.4)になる返送汚泥制御、②SRTが5, 7, 10日になる余剰汚泥引き抜き制御、をプロセスコントローラと8ビット計算機を用いて行った。このほかに、曝気槽出口のDO一定制御(2 mg/l)も合わせて行った。

図-9 実験システム

沈殿池滞留汚泥重量比(MF/MA)〔(註) MAは曝気槽滞留汚泥量、MFは沈殿池滞留汚泥量〕と SV_{30} との関係では、 SV_{30} が50%以下ではMF/MAが原点を通る直線となり、 SV_{30} がそれ以上になると一定値(約0.5)となる。SVIとの関係でもほぼ同様であり、SVI 330以下ではMF/MAは原点を通る直線それ以上では一定値になると予想される。図-10はSVIをパラメータとして、汚泥返送率とMF/MAの関係を示している。SVIが低いほどMF/MAは汚泥返送比の影響を受けにくい、SVIが上昇するにつれて汚泥返送比に対する傾きは増加してくる。したがって、高SVI領域では汚泥返送率を0.5以上として、沈殿池における汚泥滞留時間を短縮し、汚泥界面位置による滞留汚泥容量も考慮に入れた設定値以下に維持すべきであると述べている。

図-10 (MF/MA) 比のSVIによる変化

式(1)を変形して式(2)とし、沈殿池内の汚泥濃度分布測定より算出した実験値を式(2)に代入して β' を計算し、SRTをパラメータとして $\beta' / \beta_0 = \alpha$ を表わしたのが図-11である。

$$\beta' = \alpha \cdot \beta_0 = V_F / (C_o / C_u) \cdot Q_o \cdot t_u \quad \dots \dots \dots (2)$$

α とSVIの間には直線関係がある。低SVI領域

図-11 補正係数 α とSVIの関係

ほど理論値と実験値が一致しており、SVIが上昇するにしたがって誤差が増加する傾向を示す。

系内総汚泥重量MTはSRTの増加にしたがって増大していく。MTを正確に把握するのは高SVI領域ほど問題があるので、MTよりもMAに対する比としてMFを評価し、MAとMFの和としてMTを求めるのが実用的であると主張している。

3. あとがき

上記の3報告とも下水処理場の実際池で実験したものであり、実用化へ近づいて来たものといえる。しかし、活性汚泥の汚泥量制御を行う場合には、多かれ少なかれ最終沈殿池内への汚泥の貯留を考慮しなければ成り立ち得ない点に問題がある。このような貯留は短期間の実験では成功するであろうが、どのような自然的、人為的条件のもとでも長年月にわたって安定して、水質基準に適合した処理水質を得ていかなければならない下水処理場で採用して果して大丈夫であろうか。

アメリカのEPAとClemson大学の共同研究ではF/M制御のために汚泥貯留タンクを設置して実験している¹⁾。すなわち、Contact Stabilization法の形式をとらないと標準活性汚泥法の汚泥量制御、F/M制御は長期間にわたってはむずかしいということである。本報告をされた方々に、標準活性汚泥法の現有施設のままでの汚泥量制御は果して可能なのか、改めてご検討をいただきたい点である。

参考文献

建設省都市局下水道部：第6回日米下水処理技術委員会会議録，昭和53年10月30日～11月3日，ワシントンD.C
p. 484

新刊図書

超低周波音と低周波音

著者・山梨大学工学部・工学博士 山田伸志 定価1500円(〒300)

“近代日本に妖怪現る、その名は超低周波音”という書き出しが、ぴたりするように、超低周波音による被害がマスコミを通じて報じられてきた。著者が、この問題に関心を持ったのは、昭和50年秋、山梨県の中央自動車道葛野川橋付近の調査を行ってからである。橋の真下には美しい葛野川のせせらぎが聞こえ、自然に包まれた素晴らしい場所であった。しかしひとたび住民の家に入ると、ガ

タガタという戸障子のゆれる音がし、不気味な感じを受けた。

それ以来研究を続ける中で、低周波音はたしかに複雑で理解しにくい、これは物理現象と人間心理のからみあいから発生することがわかった。筆者は、これら低周波音の被害者・加害者を出さぬためにこの研究を下記の項目に分けてまとめた。

(筆者まえがきより)

＜主 要 目 次＞

第1章 低周波音と超低周波音	(低周波音はどこで感じるか)	第7章 低周波音による
第2章 低周波音の物理的性質	第5章 低周波音による	物理的影響
第3章 低周波音の可聴限界	心理的影響	第8章 低周波音の測定方法
(聞こえる最小レベル)	第6章 低周波音による	第9章 低周波音の防止対策
第4章 低周波音の感覚受容器	生理的影響	第10章 低周波音問題の実例

(申込先) 〒550 大阪市西区京町堀1-14-25 京二ビル ☎06(443)6445 環境技術研究会