

[37] 活性汚泥プロセスにおける汚泥総量推定法

三菱電機(株) 制御製作所 ○桑田 貴平
 “ 中央研究所 前田 和男

1. 緒言

近年、下水道の整備・拡充に伴ない、処理水質を良好に保ち、かつ必要エネルギーを節減するため下水処理場の適切な運用・管理が呼ばれ、活性汚泥プロセスの解明が待たれている。活性汚泥プロセスでは、下水の浄化を司るエアレーション・タンクを適切に維持管理することが重要とされているが、現在 D O (溶存酸素濃度) および M L S S (混合液遊物濃度) に着目した種々の制御が行なわれている。

特に、最近では系全体の汚泥の総量をコントロールする、いわゆる汚泥総量制御が提出されその有効性が確認されつつある。しかるに、実プラントにおいては流入下水水量等の外乱に伴なつて系内の M L S S 分布状況が直接影響を受けるため、汚泥総量の適確な把握は困難だとされてきた。本稿は、汚泥総量制御を実施する際必要となるエアレーション・タンクおよび最終沈澱池に含まれる汚泥の総和である汚泥総量の推定法を提案する。

まず、エアレーション・タンクおよび最終沈澱池における汚泥に関する物質収支より、動的モデルを定式化する。次に、このモデル式と流入下水水量など系の外力に関するプロセス値と、エアレーション・タンク内のある地点で観測された M L S S 実測値より、状態推定法を用いて系の M L S S 分布状況を推定する。ついで、これらの M L S S 分布に基づいて、汚泥総量を算出する。最後に本手法を実プラント・データに試みた結果について述べ、その有効性・実用性を確認するとともに、実施例を紹介する。

2. 活性汚泥プロセスの動的モデル

ステップエアレーション法で運転されるプラントでは、流入下水がエアレーション・タンクに分割して注入されるため、汚泥総量の算出は標準活性汚泥法と比較して著しく困難とされている。以下ここでは、4 回路を有するステップエアレーション法で運転されるプラントを対象として論ずる。

エアレーション・タンクおよび最終沈澱池は、図 1 に模式的に示されるようないくつかの完全混合槽より成り立つと仮定した。

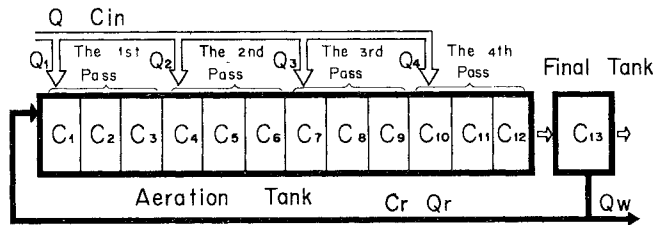


Fig. 1 Schematic diagram of the activated sludge process.

図 1 における変数は次のようになる。

- | |
|--|
| C_{in} : 流入 S S (mg/l) |
| C_i ($i = 1 \sim 12$) : 各槽内 M L S S (mg/l) |
| C_r : 返送汚泥濃度 (mg/l) |
| V : 各槽の容積 (m^3) |
| Q_r : 返送汚泥流量 (m^3/H) |
| Q : 総流入下水水量 (m^3/H) |
| Q_w : 余剰汚泥流量 (m^3/H) |
| Q_i ($i = 1 \sim 4$) : 各回路流入下水水量 (m^3/H) |
| C_{13} : 最終沈澱池汚泥量 (ton) |

各槽における汚泥量の変化に着目し、物質収支の関係より以下に示すモデルを定式化する。なお、ここでは各槽内部での汚泥増殖ならびに自己酸化頃、および最終沈澱池より系外に流出する S S は、いずれも小さいとして無

視していることに注意する。

(エアレーション・タンク)

$$V \frac{dC_1}{dt} = Q_r \cdot C_r + Q_1 \cdot C_{in} - (Q_1 + Q_r) C_1 \quad (1)$$

第1回路

$$V \frac{dC_2}{dt} = (Q_1 + Q_r) C_1 - (Q_1 + Q_r) C_2 \quad (2)$$

$$V \frac{dC_3}{dt} = (Q_1 + Q_r) C_2 - (Q_1 + Q_r) C_3 \quad (3)$$

第2回路

$$V \frac{dC_4}{dt} = (Q_1 + Q_r) C_3 + Q_2 \cdot C_{in} - (Q_1 + Q_2 + Q_r) C_4 \quad (4)$$

$$V \frac{dC_5}{dt} = (Q_1 + Q_2 + Q_r) C_4 - (Q_1 + Q_2 + Q_r) C_5 \quad (5)$$

$$V \frac{dC_6}{dt} = (Q_1 + Q_2 + Q_r) C_5 - (Q_1 + Q_2 + Q_r) C_6 \quad (6)$$

第3回路

$$V \frac{dC_7}{dt} = (Q_1 + Q_2 + Q_r) C_6 + Q_3 \cdot C_{in} - (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_r) C_7 \quad (7)$$

$$V \frac{dC_8}{dt} = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_r) C_7 - (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_r) C_8 \quad (8)$$

$$V \frac{dC_9}{dt} = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_r) C_8 - (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_r) C_9 \quad (9)$$

第4回路

$$V \frac{dC_{10}}{dt} = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_r) C_9 + Q_4 \cdot C_{in} - (Q + Q_r) C_{10} \quad (10)$$

$$V \frac{dC_{11}}{dt} = (Q + Q_r) C_{10} - (Q + Q_r) C_{11} \quad (11)$$

$$V \frac{dC_{12}}{dt} = (Q + Q_r) C_{11} - (Q + Q_r) C_{12} \quad (12)$$

但し、 $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$

(最終沈澱池)

$$\frac{dC_{13}}{dt} = (Q + Q_r) C_{12} - (Q_r + Q_w) C_r \quad (13)$$

上式の意味するところは、たとえば(1)の左辺は、分割されたエアレーション・タンク第1槽内の汚泥量の単位時間あたりの変化量を表わし、右辺第1項は返送汚泥による流入項、第2項は流入下水中のSSによる流入項、第3項はエアレーション・タンク第2槽への流出項である。以下、第2槽から第12槽まで全く同様の考えにより(2)～(12)が導かれる。また、最終沈澱池についても、流出項として余剰汚泥の引抜流量を考慮することによって同様に(13)が導出される。

3. 汚泥量分布ならびに汚泥総量の推定法

汚泥総量を求めるためには、エアレーション・タンクに多数のMLSS計を設置するか、手分析を行なうことによつて汚泥分布を得なければならないが、いずれも実用上、制約がある。

ここでは2台のMLSS計が設置され、第2回路入口部(C₄)ならびに第4回路出口部(C₁₂)が観測されているとする。さらに最終沈澱池の汚泥量は、流入下水水量などの外乱がない定常状態では、以下に示すように求められて⁽¹⁾

$$\hat{S}_F = \frac{\tau_F}{\tau_A} \hat{S}_A \quad (14)$$

τ_A : エアレーション・タンクの滞留時間 τ_F : 最終沈澱池の滞留時間

いるが、これを最終沈澱池の観測値としよう。以上より観測方程式として(15)～(17)が定まる。

$$y_i = C_4 \quad (15)$$

$$Y_2 = C_{12} \quad (16)$$

$$Y_3 = C_{13} = \hat{S}_T \quad (17)$$

一方、汚泥に関する系の状態表示式(1)~(13)を離散化し、これをあらためて(15)~(17)とともに行列・ベクトル表示すると、(18)および(19)と表わされる。

$$X(K+1) = A X(K) + f + u \quad (18)$$

$$Y(K) = C X(K) + v \quad (19)$$

ここで A, C : 係数行列 f : 外部入力ベクトル

$X(K)$: 時刻 = K における状態ベクトル u : モデル誤差

$Y(K)$: 時刻 = K における観測ベクトル v : 観測誤差

ただし、UおよびVの共分散行列は、(20)および(21)のごとく既知とする。

$$K = E(u, u^T) \quad (20)$$

$$L = E(v, v^T) \quad (21) \quad E(\quad) \text{は期待値を表わす。}$$

さて(18)をシステム方程式、(19)を観測方程式とする時ある状態変数の観測値 $Y(K)$ から、すべての状態変数 $X(K)$ を時々刻々と求めることを考える。この問題は、状態推定法の問題に帰結されるが、たとえばR. Kalman⁽²⁾によれば $X(K)$ の推定値 $\hat{X}(K)$ は以下のように定められる。

$$\hat{X}(K+1) = A \hat{X}(K) + f + F(K)(Y(K) - C \hat{X}(K)) \quad (22)$$

ここで $F(K)$: 重み係数行列

したがって、系内の汚泥総量の推定値 $\hat{S}_T(K)$ は、上で求められた $\hat{X}(K)$ を用いて最終的に(23)のように求められる。

$$\hat{S}_T(K) = V[1, 1, 1, \dots, 1_V] \hat{X}(K) \quad (23)$$

4. 実プラント・データによる検討

以上述べた本推定法を確認するため、某処理場を例として検討しよう。このプラントは、表1に示される緒元を有する。

流入下水量が図2に示したパターンをとる時、エアレーション・タンク内の汚泥

量分布を図3に示す。同図

より、エアレーション・タンクに供給される返送汚泥はエアレーション・タンクの下流側に行くにした

が、順次希釈されるため汚泥量の分布もそれに

応じて減少している様子がよく理解される。また

流入下水などの外乱によつて、第1回路の汚泥量

は大きな変動を受けるが、

実測値との推定誤差は最大4.0%以内に納まっている。しかしながら下流側では外乱の影響は少なくなるため、

表1. 某処理場の緒元

運転法	ステップ・エアレーション法
エアレーション時間	5.2時間(日最大時)
最終沈澱池沈澱時間	2.4時間(日最大時)

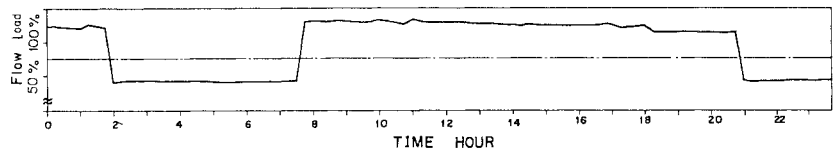


Fig. 2 Pattern of influent discharge. (Case = 1)

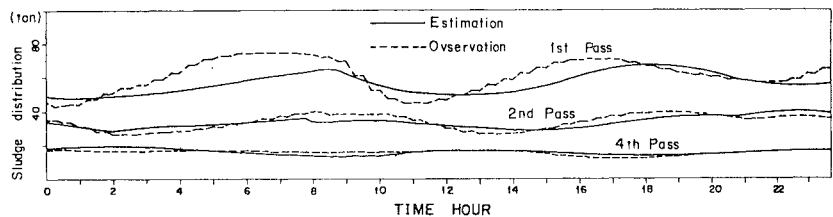


Fig. 3 Estimation results of sludge distribution in aeration tank (Case = 1)

汚泥量分布は平滑化されるときとも実測値との一致も良い。次いでエアレーション・タンクならびに最終沈澱池の汚泥量およびこれらの系の和である汚泥総量を図4に示す。同図より、

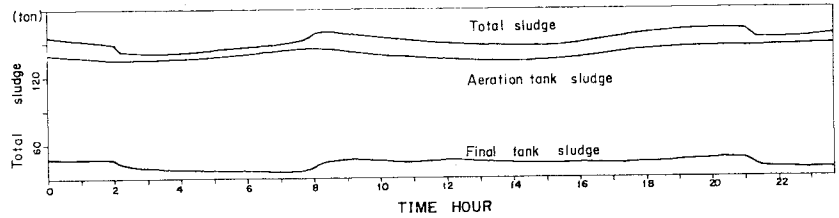


Fig. 4 Estimation results of total sludge. (Case = 1)

明らかなように系の汚泥総量の大部分はエアレーション・タンクに配分されているのが理解される。定常状態でのこの配分比率は、汚泥総量の91%を占め滞留時間より導出された結果と良く一致する。⁽¹⁾次に、流入下水量が図5のように若干前よりも少ない時、本推定法を試みた場合について図6および図7に示す。エアレーション・タンクの汚泥量の推定精度が、幾分改善されている点を除いて前の場合と同様の結果を得る。

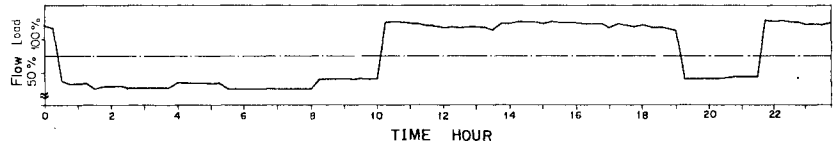


Fig. 5 pattern of influent discharge. (Case = 2)

最後に、ここで述べた手法を実プラントで実施した一例を示す。この例では、標準活性汚泥法によつて運転されているエアレーション・タンクのはぼ中継点にMLSS計を設置し、この計測値から時々刻々15分周期で系の汚泥量分布および汚泥総量を推定している。これらは操作員の要求により、過去30日の汚泥総量の日変化と併せて、

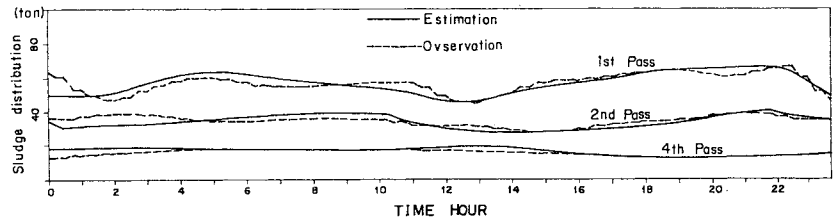


Fig. 6 Estimation results of sludge distribution in aeration tank. (Case = 2)

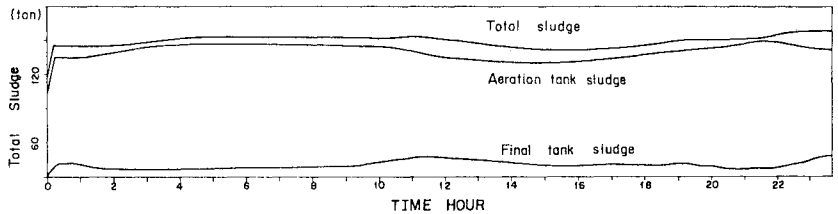


Fig. 7 Estimation results of total sludge. (Case = 2)

CRT上に表示され汚泥総量管理のオペレーション・ガイダンスに用いられている。

5. むすび

本稿では、活性汚泥プロセスにおける汚泥総量の推定法について検討した。まず、汚泥量についての物質収支式より、系のモデルを確立した。次に汚泥総量の推定法として、Kalman - Filter 法を提案した。この推定手法について、某下水処理場の実データに適用することにより、その有効性および実用性を確認するとともに、実プラントに納入した一例を紹介した。

今後に残された課題として、最終沈澱池のより厳密なモデル式の確立と、汚れ等の影響を受けることの少ないセンサーの開発による推定精度の向上などがあげられる。

参考文献 (1)前田和男 : '活性汚泥プロセスにおける汚泥の総量と配分に関する制御について' 第16回下水道研究発表会講演集

(2) R. E. Kalman : 'A New Approach to Linear Filtering & Prediction Problems'

Trans. ASME, J. Basic Eng., 82, 35/42