

# 活性汚泥法におけるMLSS制御による 処理水水質の予測と評価

藤江 幸一<sup>\*</sup>、浦野 紘平<sup>\*\*</sup>、大竹 正寿<sup>\*\*\*</sup>、久保田 宏<sup>\*\*\*</sup>

\* 横浜国立大学工学部環境安全工学研究室  
横浜市保土ヶ谷区常盤台156

\*\* 静岡県工業技術センター

\*\*\* 東京工業大学名誉教授

## 摘要

活性汚泥法ばつ気槽における処理水水質をより正確に予測するため、ばつ気槽内での液混合状態、MLSS濃度変化および溶解性有機物除去速度を正確に評価できる数式モデルを、都市下水処理場での実測データの解析結果に基づいて提案した。このモデルを用いて、処理水水質の安定化を目的として提案されている種々のMLSS制御方式について、実際の流入負荷変動の実測データに基づいたシミュレーションを行い、各制御方式の有効性を検証した。プロセス内での活性汚泥の増殖速度は遅いので、流入負荷変動に追従した活性汚泥量の増大は不可能であり、また、高負荷時のための汚泥貯留槽を設けることも現実的でない。流入水量が増大すれば、時間遅れはあるものの返送汚泥濃度が上昇し、ばつ気槽内のMLSS濃度はほぼ一定に維持される。完全混合ばつ気槽でも多段ばつ気槽でも、処理水の溶解性有機物濃度に大きな違いは見られない。汚泥貯留槽を設けて過不足ない汚泥返送が可能でも、処理水水質を一定にするには、流入水質の時間遅れない検出と流入水量変動の予測が必要となる。処理水質の安定化のためのMLSS制御は実用上大きな効果は期待できない。

## キーワード

活性汚泥法、MLSS制御、処理水質安定化、生物吸着、生物酸化、液混合、有機物除去速度、汚泥返送量、逆流をともなう完全混合槽列モデル。

### 1. はじめに

都市下水処理場では流入負荷変動に拘らず、処理水水質を安定化することが求められている。ばつ気槽内でのBODおよびCODの除去速度は、有機物(以下、OS)濃度、活性汚泥(MLSS)濃度およびその活性の関数として与えられる。流入負荷が増大しても処理水水質を安定化させるには、MLSS濃度を上昇することによって、ばつ気槽内でのOS除去速度を増大させればよい。処理水質の向上を目的とした返送汚泥量を調節をMLSS制御と呼ぶ。従来、処理水水質の安定化を目的として種々のMLSS制御方式が提案されてきた。汚泥貯留槽を設けるなどして流入負荷が増大したときの返送汚泥量の不足を補う方式、汚泥滞留時間(SRT)を調節する方式、総汚泥量一定のまま汚泥返送量を調節する方式等に大別される。しかし、ばつ気槽内の液混合やOS除去機構を把握した処理水水質予測モデルが無かったために、提案されている制御方式の効果を比較評価することが出来なかった。本報告では、処理水水質安定化の目的で提案されているMLSS制御方式を実施した場合の、ばつ気槽内でのMLSS濃度および処理水水質の変化を、著者らの提案している数式モデルを用いて予測し、各制御方式の評価を試みたので報告する。

### 2. 水質予測モデル

#### 2.1 有機物除去速度

ばつ気槽に流入した下水は、すでにばつ気による酸素供給を受けている活性汚泥と混合接触して、下水中

に含まれる懸濁性有機物の大部分と溶解性有機物 (s-OS) の一部が生物吸着によって活性汚泥に取り込まれる。一方、残留s-OSは、下水がばっ気槽内を流下する過程で、生物酸化によって除去される。活性汚泥プロセスの処理水水質は、ばっ気槽で残留したs-OSと最終沈澱池のオーバーフローによって流出した活性汚泥を主体とした懸濁性有機物によって決定される。<sup>2)</sup>但し、以下では流入下水由来の懸濁性有機物はすべて生物吸着によって活性汚泥に取り込まれると仮定した。

流入下水由来のs-OSが生物吸着の対象となり、返送汚泥中のs-OSは生物吸着では除去されないとして、活性汚泥単位乾燥重量当りのs-OS (溶解性COD<sub>Cr</sub>を指標としている。以下、s-COD) の生物吸着量  $\delta$  (g-s-COD/g-MLSS) は式(1)で与えられる。<sup>1)</sup>

$$\delta = k_s(1.07)^{t-20}(S_a^* - 20) \quad (1)$$

M下水処理場のばっ気槽から採取した活性汚泥では  $k_s = 3.0 \times 10^{-4}$  であった。  $S_a^*$  は流入下水由来のs-OS濃度であり、次式で与えられる。<sup>1)</sup>

$$S_a^* = S_0 Q_0 / (Q_0 + Q_r) \quad (2)$$

ここで、  $S_0$  は流入下水中のs-COD、  $Q_0$  および  $Q_r$  はそれぞれ流入下水及び返送汚泥の流量である。一方、ばっ気槽内の活性汚泥単位乾燥重量当りの生物酸化速度  $-v_s$  (g-COD/g-MLSS·hr) は次式で表すことが出来る。

$$-v_s = k_o(1.07)^{t-20}(S - 27) \quad (3)$$

Sはs-CODで表示された混合液中s-OS濃度であり、M下水処理場での実測結果から  $k_o = 1.44 \times 10^{-2}$  と与えられている。但し、  $k_s$  および  $k_o$  の値は、活性汚泥の性状によって変化し、上記した数値はM下水処理場の操業条件に固有であると考えられる。

## 2. 2 ばっ気槽内液混合

通常のばっ気槽内は押し出し流れに近づくため、液の流れ方向に長く作られており、仕切り板によって多段化されている。ばっ気槽内液の流れ方向での液混合は、仕切り板間での液の混合拡散と仕切り板を通した逆混合によって支配されている。仕切り板間での液の混合拡散係数  $E_z$  ( $m^2 \cdot h^{-1}$ ) および仕切り板を通した逆混合流量  $Q_b$  ( $m^3 \cdot h^{-1}$ ) は、旋回流方式のばっ気槽ではばっ気槽内液表面で実測される旋回流速  $U_{1s}$  の関数として、それぞれ以下のように与えられている。<sup>3)</sup>

$$E_z = 0.0115(1+H/L)^{-3} U_{1s}^{-0.34} U_{1s}(H+W) \quad (4) \quad Q_b = 0.045 U_{1s} A_b \quad (5)$$

ここで、H、WおよびLはそれぞればっ気槽の液深、幅及び長さ(m)、  $U_{1s}$  は吹き込み空気空の空塔速度(m/h)、  $A_b$  は仕切り板の切り欠き部面積( $m^2$ )である。尚、  $U_{1s}$  は次式で予測出来ることが報告されている。<sup>4)</sup>

$$U_{1s} = a \{ h U_0 (h/H) \}^{1/2} (H/W)^{1/3} \quad (6)$$

hは散気液深、aおよびmは定数であり原報を参照されたい。通常のばっ気槽では、仕切り板を通した液混合抵抗が仕切り板間での混合拡散抵抗に比較して大きいので、ばっ気槽内を「逆流を伴う完全混合槽列モデル」で近似することが出来る。<sup>3)</sup>

## 2. 3 ばっ気槽における物質収支

ばっ気槽内での混合状態は「逆流を伴う完全混合槽列モデル」で近似できる。<sup>3)</sup>ばっ気槽内での汚泥生成速度は返送汚泥量に比較して無視できるので、OSの生物吸着速度は返送汚泥流量  $Q_r X_r$  と  $\delta$  の積で与えられるとして、ばっ気槽1段目でのOSの物質収支をとると次式をうる。但し、  $S_1$ 、  $S_2$  および  $S_r$  は、それぞればっ気槽1段目、2段目および返送汚泥のs-COD濃度、  $Q_b$  は逆混合流量、  $V_1$  はばっ気槽第1段目の容積である。

$$dS_1/d\theta = \{ Q_0 S_0 + Q_r S_r + Q_b S_2 - (Q_0 + Q_r + Q_b) S_1 \} / V_1 - \delta Q_r X_r / V_1 - (-v_s) X_1 \quad (7)$$

ばっ気槽の2段目以降でのOSの収支および活性汚泥の収支については別報を参照されたい。<sup>1)</sup>

## 3. 各MLSS制御方式による処理水水質の比較

### 3. 1 シミュレーションの方法

M下水処理場におけるばっ気槽の仕様および流入負荷条件を用いたシミュレーションを行った。M下水処理場の処理人口は約15万人で、分流方式になっており、大部分が家庭排水である。ばっ気槽は4池あり、それぞれ長さが68.2m、幅が7.1m、有効液深が6m、散気水深が5m、容積が2900  $m^3$  で、液の流れ方向に5段に仕切られている。各仕切り板の切り欠き部面積は2  $m^2$  である。

シミュレーションに用いたM下水処理場での1池当り流入負荷変動の24時間実測結果をFig. 1に示した。通気量は0.6  $V/H$ 、すなわち  $U_0 = 3.6 m \cdot h^{-1}$  であり、仕切り板を通した  $Q_b$  は式(5)より220  $m^3 \cdot h^{-1}$  と予測された。

M下水処理場の返送汚泥濃度  $X_r$  は、最終沈澱池での汚泥蓄積量Wに比例しており、最終沈澱池での汚泥の

収支は次式で与えられる。

$$dW/Rd\theta = (Q_0+Q_r)X_n - Q_r X_r - Q_0 X_r \quad (8)$$

$R=6 \times 10^{-3} (\text{m}^{-3})$ とすることで $X_r$ を精度よく推定できる。

M下水処理場の流入下水およびばっ気槽内混合液について、それぞれ溶解性のBOD濃度とCOD濃度との関係を実測したところ、20%以内の誤差で $s\text{-BOD}=(s\text{-COD}-20)/1.5$ で与えられることがわかっている。<sup>1)</sup>

### 3. 2 処理水水質一定化制御

まず、完全混合1段のばっ気槽において、流入下水中のOS濃度が一定である場合を考えてみる。ここでは簡単のため、OS除去に対する生物吸着の効果を無視する。処理水水質が一定となるためにはOSの収支から、ばっ気槽内のMLSS濃度 $X$ は、 $Q_0$ に対応して以下のように変化しなければならない。

$$X = Q_0(S_0 - S) / (-v_0)V \quad (9)$$

一方、完全混合1段のばっ気槽における $X$ の収支は、活性汚泥の増殖を無視して、

$$VdX/d\theta = Q_r X_r - (Q_0 + Q_r)X \quad (10)$$

式(9)の $X$ を式(10)に代入して整理すると、

$$\beta V d\zeta / d\theta = \gamma \zeta X_r - \gamma \zeta X - \zeta X \quad (11)$$

ここで、 $\gamma = Q_r / Q_0$ 、 $\zeta = Q_0 / Q_0'$ であり、 $Q_0'$ は日間平均の流入下水水量である。処理水質を一定とするためには、 $\beta = (S_0 - S) / (-v_0)V = \text{一定}$ でなければならない。式(11)を返送率 $\gamma$ について整理すると、

$$\gamma = \{1 + (V/Q_0)\zeta d\zeta / d\theta\} / (\eta - 1) \quad (12)$$

$\eta$ は最終沈澱池における日間平均汚泥濃縮率である。式(12)は処理水水質を一定にするための $\gamma$ を示しているが、流量変動の微係数が含まれていることに注意する必要がある。現実には流入下水の水質も変動しているので、時間遅れ無しにこれを検出して汚泥返送率を制御することは困難である。

一方、ばっ気槽内が押し出し流れの場合には、流入下水水量の変化を予測して、ある時刻に流入した下水のばっ気槽内滞留時間を推定した上で、返送汚泥量を決定しなければならない。

### 3. 3 実用装置における処理水水質安定化操作

以下では、実用の活性汚泥プロセスにおいて、どのような汚泥返送を行えば処理水水質の安定化に効果的であるかを明らかにするため、Table-1に示す5方式をM下水処理場で実施することを想定して、ばっ気槽内MLSS濃度と処理水水質の予測を行い比較検討した。

Case1では流入負荷にかかわらずMLSS濃度を約900g/m<sup>3</sup>としている。Case2および3では、返送汚泥濃度 $X_r$ を3000g/m<sup>3</sup>で一定とした。Case4および5ではM下水処理場における実測データおよびその解析結果に基づいた式(8)を用いて返送汚泥濃度を計算した。Case4では、M下水処理場での方式にしたがって、流入下水水量 $Q_0$ が500m<sup>3</sup>/h未満では $Q_r=150\text{m}^3/\text{h}$ 、 $Q_0$ が1000m<sup>3</sup>/h以上では $Q_r=330\text{m}^3/\text{h}$ とし、この間では $Q_r$ を $Q_0$ に比例させた。Case2および3では、 $Q_r$ は一定である。町田処理場においても、流入下水の濃度は流入下水水量が多いときに上昇する傾向がみられるので、Case3では流入下水水量が多いときにMLSS濃度が增大するように、 $Q_r$ を $Q_0$ の2乗に比例させた。日間平均のMLSS濃度が約900g/m<sup>3</sup>となるように各Caseの $Q_r$ が設定されている。

5段に仕切られたばっ気槽の1段目におけるMLSS濃度の経時変化の計算結果を、Case1~Case5を対比してFig.2に示した。対応するばっ気槽の5段目におけるs-COD濃度の経時変化をFig.3に示した。ばっ気槽内が完全混合であるとしたときの同じくMLSSとs-COD濃度の経時変化を、それぞれFig.4およびFig.5に示した。但し、Case5の計算結果はCase1にほぼ等しいので、図示を省略した。

返送汚泥量を一定としたCase2では、流入下水水量が増大したときにMLSS濃度が低下してOS除去速度も低下するので、処理水質が最も悪い。M下水処理場と同様な汚泥の返送を行うと、ばっ気槽内のMLSS濃度はほぼ一定となる。但し、返送汚泥量一定のCase2を除けば、処理水のs-CODに大きな変化はみられない。

完全混合ばっ気槽と多段ばっ気槽での比較から、日間平均の処理水s-COD値は完全混合ばっ気槽の方が高くなっている。完全混合ばっ気槽では、OS除去率は低いが、流入負荷変動を吸収し、処理水の水質を平滑化する効果を持っている。

最終沈澱池での汚泥蓄積量は、ばっ気槽内の汚泥量に比較してかなり小さいこと、最終沈澱池に流入する汚泥量が増大すると、厚密により最終沈澱池での汚泥の濃縮が促進されて返送汚泥濃度が増大し、返送流量が一定であっても返送汚泥量は増大する。流入下水水量に比例して返送流量を増大するような制御を行えば、最終沈澱池からばっ気槽への汚泥の返送が促進され、汚泥のほぼ全量をばっ気槽に保持することが出来る。多少の時間遅れはあるものの、ばっ気槽内のMLSS濃度はほぼ一定になる。

#### 4. 結論

M下水処理場を例にとって、処理水質の安定化を目的とした各MLSS制御方式の比較を行った。通常用いられている活性汚泥プロセスでは、ばっ気槽内でのMLSS濃度を一定にするような作用があり、特別な制御を行わなくても、多少の時間遅れはあるものの、ばっ気槽内でのMLSS濃度はほぼ一定となる。流入負荷変動を吸収できる汚泥貯留槽を設けることは現実的でないし、活性汚泥を十分確保できるだけの貯留槽が設置できたとしても、流入排水量と濃度を時間遅れなく検出して、それに見合った汚泥を返送することは困難である。通常の活性汚泥法では、速やかに汚泥返送を行い、プロセス内の汚泥をできるだけばっ気槽に保持することが、現実的であり有効な手段である。

#### 引用文献

- 1) Fujie, K. & Kubota, H. (1988) Water Research, 22, 29
- 2) 藤江幸一他 (1983) 下水道協会誌, 20(227), 25
- 3) Fujie, K. et al. (1983) J. Ferment. Technol., 61, 295
- 4) 星野定司他 (1977) 下水道協会誌, 14(160), 22

Table-1 MLSS制御方式

Case	$Q_r$ ( $m^3 \cdot h^{-1}$ )	$X_r$ ( $g \cdot m^{-3}$ )	日間平均MLSS濃度
1	$0.5Q_0$	3,000	$900(g \cdot m^{-3})$
2	245	3,000	911
3	$Q_0^2/1,350$	3,000	912
4	M処理場方式	M処理場実測値	908
5	350	式(8)	913

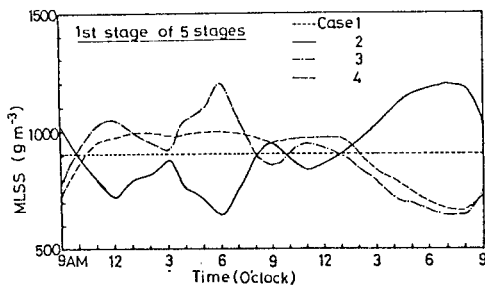


Fig. 2 多段ばっ気槽の第1段目におけるMLSS濃度の経時変化の計算結果と各制御方式の比較。Case5はCase1に類似のため省略(以下同じ)。

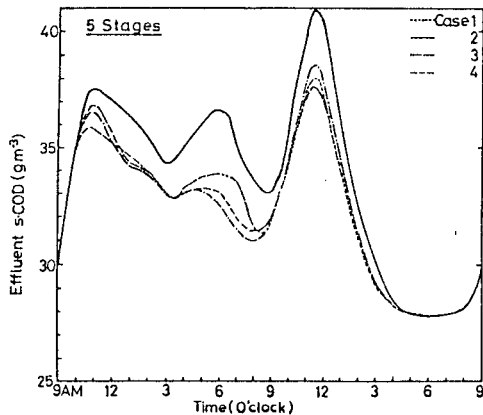


Fig. 3 多段ばっ気槽の出口におけるs-COD濃度の経時変化の計算結果と各制御方式の比較。

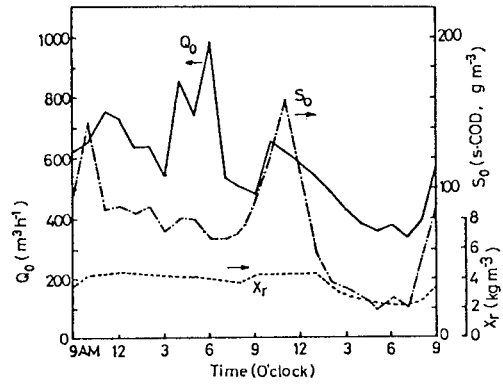


Fig. 1 M下水処理場で実測された流入負荷変動および返送汚泥濃度の経時変化。

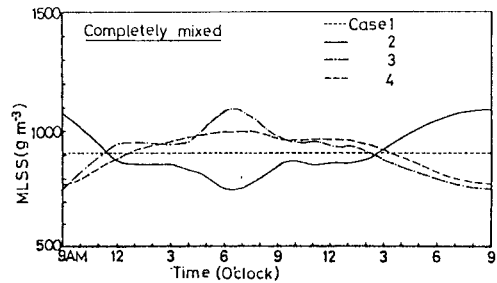


Fig. 4 完全混合ばっ気槽におけるMLSS濃度の経時変化の計算結果と各制御方式の比較。

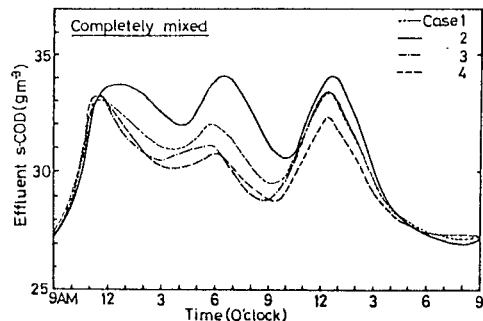


Fig. 5 完全混合ばっ気槽の出口におけるs-COD濃度の経時変化の計算結果と各制御方式の比較。