

東京芝浦電気株式会社 正員 小 舘 英 寛
同 上 中 山 隆

1. はじめに

下水処理場だけでなく採用されている活性汚泥法の運転法に関しては、流入下水特性の予測⁽¹⁾、流入下水特性を考慮した曝気槽の MLSS モデル⁽²⁾、余剰汚泥引抜流量決定のための汎用アルゴリズムの開発⁽³⁾等種々な角度から検討を加えて来た。これらは、今までに実機場において、運転データの蓄積が行なわれて来ており、その蓄積データを活用して、明日の運転方法を電算機を用いて作成することを目的とした一連の作業である。

活性汚泥法の運転上の特徴は流入下水特性の日間変動が大きく、かつ調整可能な変量は返送汚泥と余剰汚泥の2流量しかないことである。この流入下水特性を考慮した曝気槽の非定常モデル⁽⁴⁾、上記2流量の時間曲線を水質指標 MLSS の日間変動巾が小さくなるように決定する運転アルゴリズム、完成したシミュレーションプログラムの3点について説明し、具体的な数値例を示して、このアルゴリズムの適用可能性について記す。

2. 対象システムとモデル化

図1は対象システムの構成であり、主要装置は曝気槽と沈殿池である。本システムでは、日間変動の大きな流入下水特性に対し、曝気槽 MLSS の変動を小さくするように、通常運転する。調整可能な要素は引抜、返送、余剰の3汚泥流量であるが、引抜汚泥流量は返送と余剰の汚泥流量和に等しいので、自由度は2である。調整は時間と流量の2点を決定することによって得られるが、ある流量の開始時刻と終了時刻は任意であり、1日の調整回数も任意に指定可能とする(回数は少ない方が望ましい)。また、流量は調整弁またはポンプで行なわれるが、流量上下限値が与えられる場合には連続値、ポンプ台数制御の場合には離散値をとることになる。この調整条件は汎用的であり、適用範囲の広いものである。

曝気槽の数学モデルは槽内の主な反応が基質(BOD)と活性汚泥(SS)の混合現象であり、通常、槽列モデルが用いられている。その段数を1としたときに完全混合モデル、無限大としたときに押出流モデルとなる。基本モデルとして、完全混合モデル(C)と押出流モデル(P)は汚泥増殖過程を Monod の式で表わすものとすれば、次のようになる。

$$(C) \quad \frac{dX_c}{dt} = -\frac{1}{T_R}(X_c - X_i) + \hat{\mu} \frac{X_c S_c}{K_s + S_c} - K_d X_c \quad \dots (1)$$

$$\frac{dS_c}{dt} = -\frac{1}{T_R}(S_c - S_i) - \frac{1}{Y} \hat{\mu} \frac{X_c S_c}{K_s + S_c} \quad \dots (2)$$

$$(P) \quad X_p = X_i(t - T_R) \quad \dots (3)$$

$$S_p = S_i(t - T_R) \quad \dots (4)$$

$$\frac{dX_p}{dt} = \hat{\mu} \frac{X_p S_p}{K_s + S_p} - K_d X_p \quad \dots (5)$$

$$\frac{dS_p}{dt} = -\frac{1}{Y} \hat{\mu} \frac{X_p S_p}{K_s + S_p} \quad \dots (6)$$

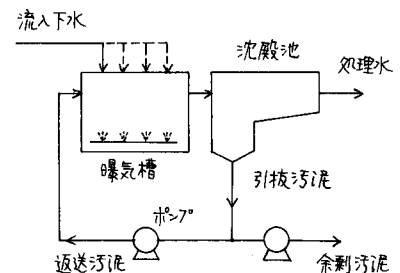


図1. 活性汚泥法のシステム構成

ただし、 S_p , S_c と X_p , X_c はそれぞれ基質濃度と汚泥濃度で、

添字 C と P は各々モデル(C)と(P)の場合の値を示す。 X_i と S_i は各々汚泥濃度と基質濃度の入力値($X_i(t - T_R)$ は時刻 $t - T_R$ における X_i 値)。 $\hat{\mu}$ は最大増殖率、 K_s は飽和定数、 Y は収率係数、 K_d は自己酸化率、 T_R は曝気槽滞留時間、 t は任意時刻。

槽内の実際の混合状態は槽列モデルの両極限モデルの中間に相当するので、その中間状態をモデル(C)と(P)を重ね

み係数で結合させて表現することにすれば、濃度 Z は次のようになる。

$$Z = \alpha \cdot Z_c + (1 - \alpha) Z_p \quad \dots (7)$$

ここで、 Z は X または S で、重み係数 α については、日周変動の大きな流入特性のうち、流量の多少で混合状態が異なるものと考えることが出来る。そこで、任意時刻 t における重み係数 $\alpha(t)$ を次式で表わすことにする。

$$\alpha(t) = \begin{cases} \alpha_H & \text{when } Q(t) \geq Q_M \\ \alpha_L & \text{when } Q(t) < Q_M \end{cases} \quad \dots (8)$$

ただし、 $Q(t)$ は流入流量、 Q_M は使用流量データ Q の中央値、 α_H と α_L は各々、高流量時と低流量時の重み係数で、0~1の値をとるから、格子探索法により、汚泥増殖を無視したモデルを用い、MLSSを指標として最適組合せを求める。これは式(1)~(6)の係数は固定し、時変分を重み係数の形で表わした簡易形非定常モデルとなっている。

沈殿池モデルは設備が横流部を有したものであり、この形の数学モデルとしては定説がないので、統計的モデルを用いることにした。

3. 運転方法作成アルゴリズム

指定回数に等しい個数の2種の汚泥流量値とその開始・終了時刻が求められるべきものである。2流量値については上下限範囲を N 等分すれば、場合数は $(N+1)^2$ となり、時刻の奥では、1時間単位で1日にについて考えると、調整回数1回のときの場合数は $24 \cdot 24 = 300$ 、2回のときには $\sum_{i=1}^{24} i \cdot (24 - i + 1) = 14950$ 、……となり、全体の場合数は流量と時刻の場合数の積となっているから、大変な大きな値となる。したがって、組合せ論的最適化では、場合数が多すぎて、現実的でなく、別の取扱い方が必要となる。そこで、MLSSを一定に保つという目的から、返送汚泥流量の算出式を導出し、余剰汚泥流量は探索する流量決定部と、得られた返送汚泥流量波形を指定調整回数まで削減することによって、ある流量値の開始および終了時刻を得る調整時刻決定部とからなるアルゴリズムを構築した。

3.1 流量決定法

1日24時間を対象として、任意の区分数に分割して得られる部分区分 Δt における槽内の汚泥量の収支を考える。

$$Q_i X_i + Q_R X_R - X_0 (Q_i + Q_R) + (dX/dt) V = 0 \quad \dots (9)$$

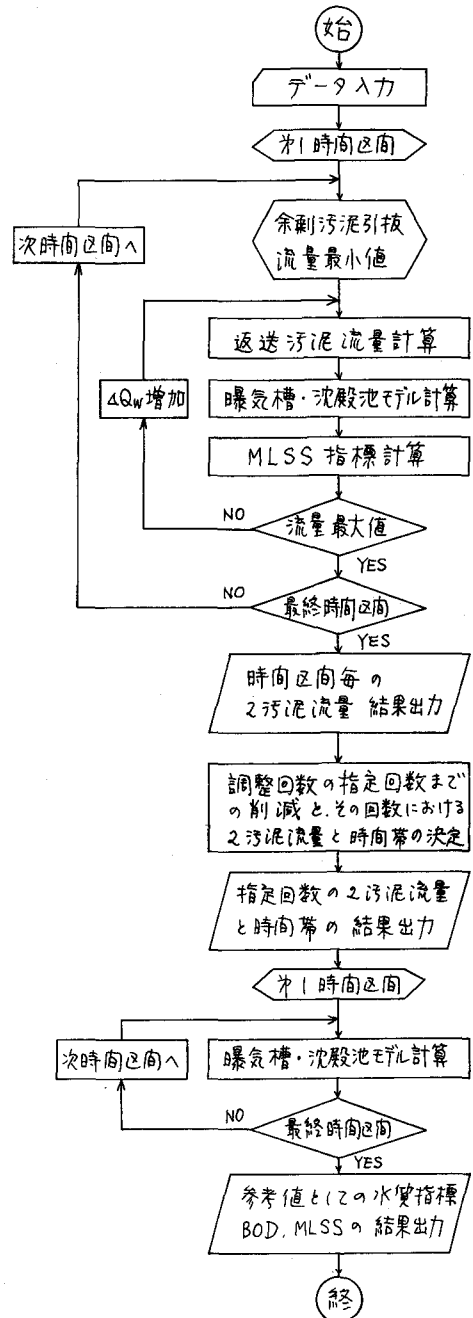


図2. プログラムの全体の流れ図

ここで、 Q は流量、 X は汚泥濃度、添字 I は流入を示し、添字 R は返送である。 ΔX は曝気槽内のMLSSの増殖分、 V は曝気槽容積、 X_D は曝気槽出口におけるMLSS一定値。

式(9)から、部分時間区間に於ける返送汚泥流量 Q_R は次式で得られる。

$$Q_R = (X_I - X_D) \cdot Q_I / (X_R - X_D) - (\Delta X / \Delta t) V / (X_R - X_D) \quad \dots (10)$$

他方の流量も余剰汚泥流量 Q_w とすれば、この流量の許容範囲を N_w 等分して、 $(N_w + 1)$ 個の中からMLSS一定値 X_D との2乗偏差和が最小となる値を探索する。

以上の演算を1日の部分時間区間数に等しい回数だけ繰返し実行することによって、この回数に等しい調整回数の流量時間変化曲線が得られる。

3.2 調整時刻決定法

前章3.1にて得られる流量波形は返送汚泥と余剰汚泥の2種であるが、MLSSを指標としているので、関係の強い返送汚泥流量波形をとりあげる。指定調整回数の波形を得るためには、原波形の特徴を備えた形を保ちつつ回数を削減すれば良い。この原波形の特徴は曲線の極値配置であり、極大値と量的差の小さな極小値はそのどちらかを省略しうるものである。そこで、まず、対象時間区間に存在する極値を見出すが、個数が m 個であったとする。これらの極値について、隣接極値中実時刻を $t_0, t_1, \dots, t_{m+1}$ (t_0 は1日の始実時刻、 t_{m+1} は終実時刻)とすれば、時間区間は $(m+1)$ 個に分割される。これらの部分区間毎の流量平均値を $e_1, e_2, \dots, e_{m+1}$ として、部分区間 i に対して、以下に定義した指標 w_i ($i=1, 2, \dots, m+1$)を与える。

$$w_i = (t_i - t_{i-1}) \cdot |e_{i+1} - e_i| \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad \dots (11)$$

$$w_{m+1} = (t_{m+1} - t_m) \cdot |e_{m+1} - e_m| \quad (|\cdot|は絶対値)$$

この指標は隣接極値の量的差の大きいことと時間区間の長いことの2点から見て、不要な極値を統合していくときに最小の指標値の極値を不要と判定する役目を有している。したがって、 $m_{\min}$ の w_i の極値 i^* を見出し、 w_{i^*}

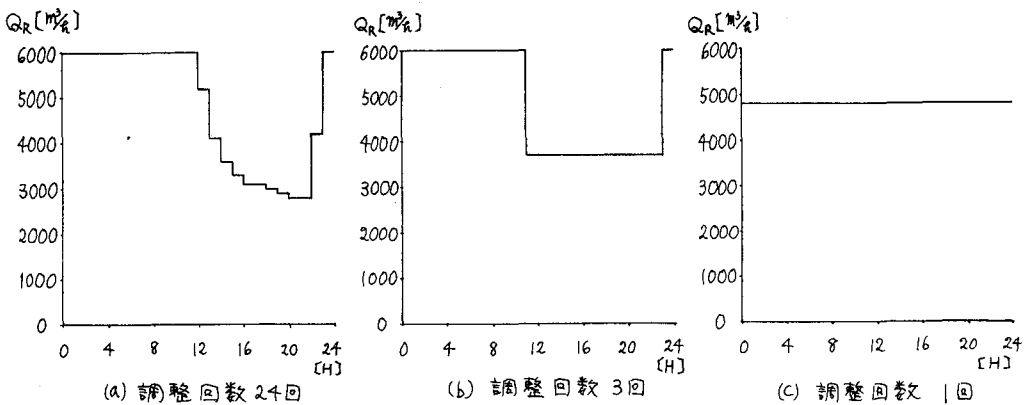


図3. 返送汚泥流量時間変化曲線

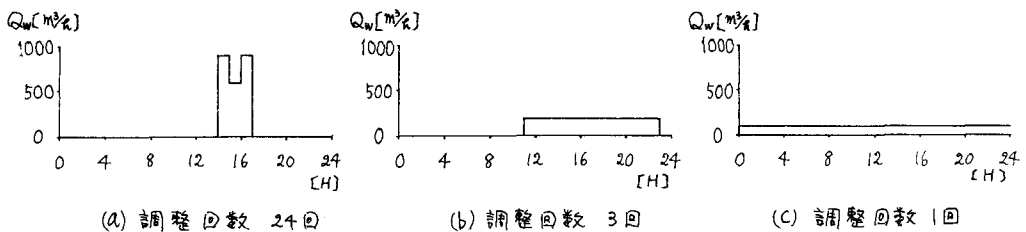


図4. 余剰汚泥流量時間変化曲線

と W_{i+1} を比較して、大きい値の部分と角に統合する。この操作を繰返し、指定調整回数まで減少し終えたときに停止する。

4. シミュレーションプログラムと数値実験結果

指定調整回数の2汚泥流量時間変化曲線をうるためのシミュレーションにおいては、流量決定部と調整時刻決定部の他に、これら得た結果の時間変化曲線を用いた場合の重要指標である MLSS と BOD の時間変化曲線を作成する水質指標演算部も必要となる。したがって、シミュレーションプログラムの流れ図は図2のごとく、これら3つの部分から構成した。

シミュレーションは1日24時間で1時間単位(時間区分数24)とし、使用したデータは実験場において1週間連続観測(手分析作業)を行ない収集したもので、昭和53年8月28日12:00~29日12:00の1日分である。諸定数は $\hat{\mu} = 0.14 [H^{-1}]$, $K_s = 80 [mg/L]$, $Y = 0.6$, $K_d = 0.004 [H^{-1}]$; $V = 34600 [m^3]$, $Q_{Rmax} = 6000 [m^3/H]$, $Q_{Wmax} = 900 [m^3/H]$, $X_0 = 1195 [mg/L]$. 調整回数は(a)24, (b)3, (c)1回の3種として、それぞれ返送汚泥流量 Q_R (図3)、余剰汚泥流量 Q_W (図4)を決定し、そのときの水質指標 MLSS と BOD の時間変化曲線を図5と図6(図中実線は実験データ)。MLSS一定値 X_D との2乗偏差平均は調整回数と角関係で示せば、(a)11.19% (b)12.82% (c)15.62%となった。

5. まとめ

流入下水特性として予測値を用いることによって、指定調整回数の活性汚泥法運転方法を作成することが出来るプログラムについて記した。今後は流入下水特性の取扱い方に検討を加え、さらに簡便で実用的なアルゴリズムに改良していく予定である。

[参考文献] (1) 小館、他、日本OR学会1979年春季大会, No. 1-A-8 (2) 小館、他、日本OR学会1979年秋季大会, No. A-6 (3) 小館、他、第17回下水道研究発表会, No. 6-6 (1980) (4) 小館、他、土木学会第35回年次学術講演会, No. II-318 (1980)。

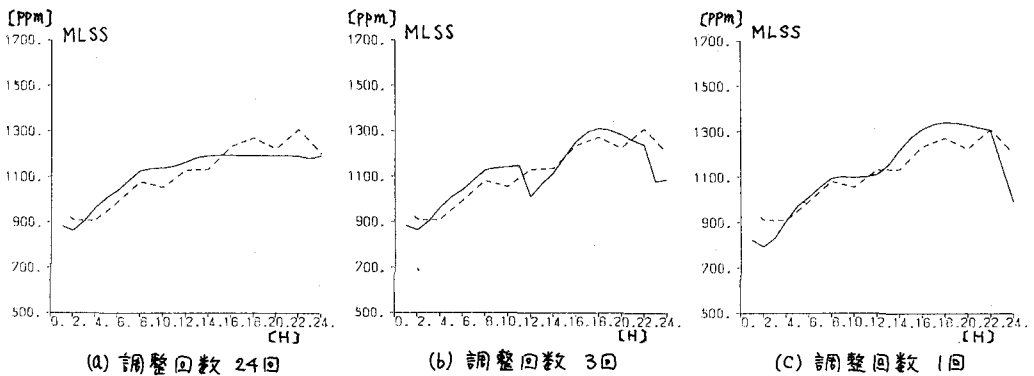


図5. MLSS 時間変化曲線

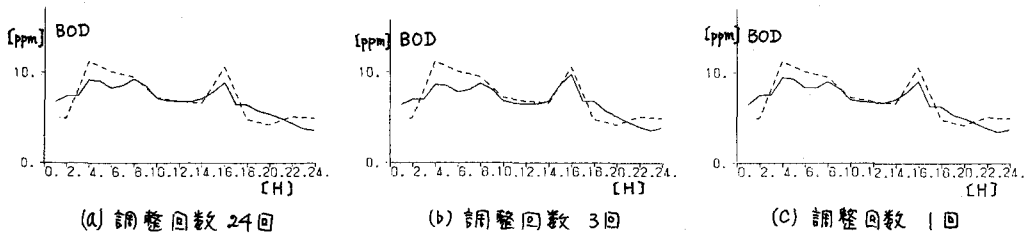


図6. BOD 時間変化曲線