

[43] 活性汚泥法の最適運転法

東京芝浦電気(株) 重電技術研究所 ○小 館 英 実 中 山 隆
技術部 清水 泰 治

1. まえがき

下水処理場では電算機を用いて、運転データを記録・蓄積しているが、それらデータの活用はようやく活潑に行なわれるようになって来た。主なデータ活用法としては、対象システムへ流入する入力特性の把握、対象システムのモデル化、対象システムの運転方法作成の3つである。活性汚泥法を採用した実機場において、一週間連続観測を数回にわたり実施して、多種の水質指標を採集した。そのデータを用いて、流入下水特性の予測^①、曝気槽の非定常モデル作成^②、余剰汚泥引抜汎用アルゴリズムの開発^③、など種々の角度からの検討を行なって来た。本文では、活性汚泥法のMLSSを一定に保つような最適運転アルゴリズムを記し、このアルゴリズムを明日の運転法を作成するためには、流入下水特性の予測を要するので、その一方法として、スペクトラム分析結果の主要な2成分からなる合成特性を作成し、これを用いて運転法を得ることの適否について検討する。

2. 対象システムとモデル化

活性汚泥法は曝気槽と沈澱池が主要な装置であり、前者では生物化学的反応によって、基質(BOD)が汚泥(SS)に変換され、後者では沈降によって固液分離を行ない、上澄液を放流するものである。日間変動の大きな流入下水特性に対し、曝気槽出口のMLSSの変動を小さくするように運転することが望ましい。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。これらの調整は時間と流量の2点で決定されるが、ある流量に関する開始と終了の時刻は任意であり、1日の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調整されるが、流量調整範囲が与えられるときには連続値、ポンプ台数制御によって調整する場合には離散値をとることになる。この調整条件は適用範囲の広いもので、汎用的と言える。

槽内の生物化学的反応は曝気によって持続されるが、主として、基質(BOD)と汚泥(SS)の混合状態として取扱われるもので、この数学モデルは槽列モデルを通常使用する。その段数を最小の1としたときに完全混合モデル(C)、無限大にしたときに押出流モデル(P)である。また、混合現象に伴う汚泥増殖過程は種々のモデルが公表されているが、最も広く用いられているMonodの式を用いることにする。実際の槽内の混合状態は基本モデル(C)と(P)の中間状態であるから、重み係数を用いて両者を結合したモデルで表現することにすれば、

$$Z = \alpha Z_C + (1 - \alpha) Z_P \quad \dots (1)$$

ここで、 Z は濃度で、基質濃度あるいは汚泥濃度であり、添字CとPはそれぞれ、モデル(C)と(P)に対応している。 α は重み係数であるが、流入下水特性の日間変動が大きいという特徴を考慮に入れたモデルとするために、流入流量の多少によって混合状態が異なるものと考え、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。

$$\alpha(t) = \begin{cases} \alpha_H & \text{when } Q(t) \geq Q_M \\ \alpha_L & \text{when } Q(t) < Q_M \end{cases} \quad \dots (2)$$

ただし、 $Q(t)$ は流入流量、 Q_M はモデル作成用流量データの中央値。

重み係数 α_H と α_L の組合せの決定は、これら重み係数が0~1の値をとるも

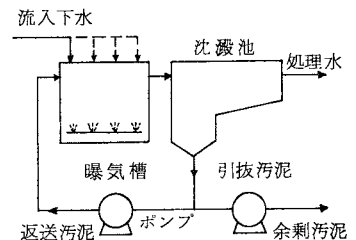


図1. 活性汚泥法のシステム構成

のであるから、汚泥増殖過程を無視したモデルを用い、MLSSを指標として、 a_H と a_L で構成される格子点を対象に最適な組合せを探索することによって行なわれる。沈澱池モデルは設備が横流部を有したものであり、この種の設備の数学モデルは流動的狀況にあるので、統計モデルを用いた。

3. 最適運転アルゴリズム

2種の汚泥流量の1日24時間変化曲線が求められるべきものである。調整回数は指定されるから、指定回数に等しい個数の流量値とその開始・終了時刻を決定することが作業内容である。電算機を用いる場合には、より短かい演算時間とより小さな記憶容量が基本的に配慮すべき点となっている。今、流量に関しては、許容変動範囲をN等分して、(N+1)値をとるとすれば、2流量値の組合せ場合数は $(N+1)^2$ となり、時刻については、1時間単位で1日について考えると、調整回数1回の場合数は ${}_{25}C_2=300$ 、2回では $\sum_{i=1}^{23} i ({}_{25-i}C_2) = 14950, \dots$ 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。この組合せ論的最適化の取扱方では場合数が多すぎて、現実的でないことがわかる。そこで、MLSSを一定に保つことを目的とし、返送汚泥流量の1時間単位の算定式を算出し、余剰汚泥流量を探索する流量決定部とこの結果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ための波形変形を施すことによって、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

対象とする時間を1日24時間とする。任意の区分数に分割して得られる部分区間 Δt における曝気槽内の汚泥量の収支を考える。

$$Q_I X_I + Q_R X_R - X_D (Q_I + Q_R) + (\Delta X / \Delta t) V = 0 \quad \dots (3)$$

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の平均増殖分、Vは曝気槽容積、 X_D は曝気槽出口におけるMLSSの目標値。

式(3)から、部分区間における返送汚泥流量 Q_R は次式となる。

$$Q_R = \frac{(X_D - X_I) Q_I}{(X_R - X_D)} - \left(\frac{\Delta X}{\Delta t} \right) \frac{V}{(X_R - X_D)} \quad \dots (4)$$

他方の余剰汚泥流量 Q_w については、この流量の許容範囲の値を N_w 等分し、 $(N_w + 1)$ 個の中から、MLSS目標値 X_D との偏差2乗和が最小となる値を探索する。

以上の演算を1日の部分区間の全てについて繰り返し実行することによって、部分区間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

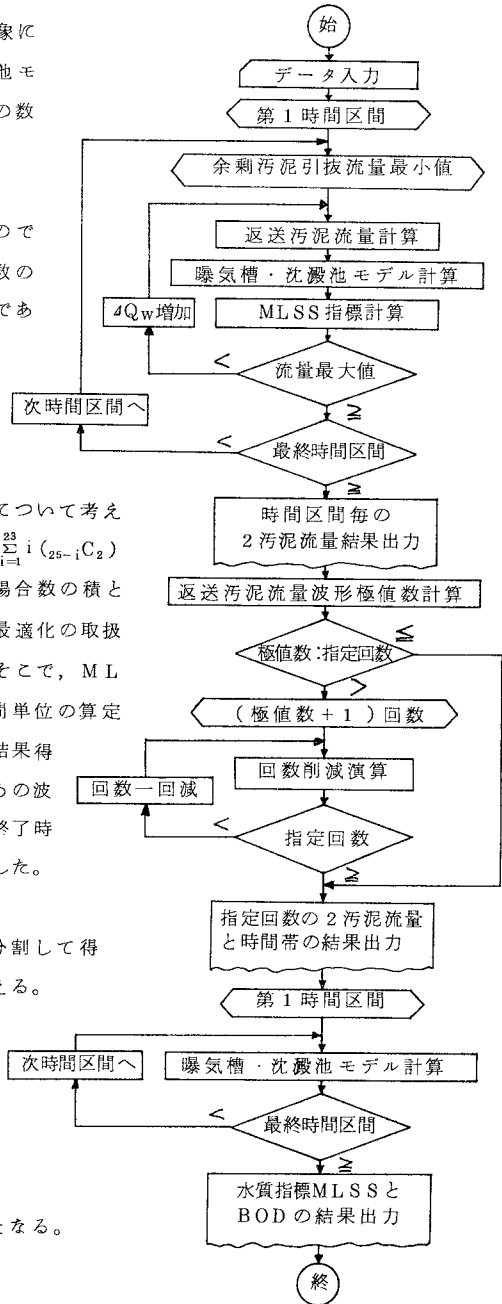


図2 プログラム全体の流れ図

前節で作成した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、これと関係の強い返送汚泥流量波形をとりあげる。指定の調整回数まで波形変形をするためには、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、対象時間区間に存在する極値を見つけ出し、 m 個あったとする。これらの極値について、隣接極値中点時刻を t_0, t_1, \dots, t_{m+1} (t_0 は1日の始点時刻、 t_{m+1} は終点時刻) 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。

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

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

この指標は隣接極値の量的差の大きいこととその時間間隔の長いことの2点を複合した値であるから、この値の最小の極値は不要な極値と判断し、この極値を他の極値に統合すれば良い。すなわち、 $\text{Min } w_i$ の極値 i^* を見出し、 w_{i^*-1} と w_{i^*+1} を比較して、大きい方の極値に統合する。この操作を繰返して、指定調整回数まで減少し終えた時に実行を停止する。

4. シミュレーションプログラムとフーリエ解析による合成流入特性を用いた数値実験結果

図2は流量決定部と調整時刻決定部を主体としたシミュレーションプログラムの全体の流れ図であるが、図中の最後の部分には、演算によって得た運転案としての流量時間変化曲線を用いた時の重要指標であるMLSSとBODの時間変化曲線を算出する水質指標演算部があり、3つの部分から構成されている。

数値実験によって、明日の運転案を作成することを目的とした場合には、流入下水特性の予測を行なわなければならない。その一つの方法として、実データのフーリエ解析結果から、その第1、第2位の成分のみから合成した特性を用いることについて検討を加える。これは特性の特徴を把握する一つの方法であり、取扱いが簡単であるという点で実用的なものである。

図3はフーリエ解析の結果例で、1週間のBOD流入特性の場合を示しているが、日単位と週単位の周期が第1、第2位を占めている。そこで、これらから合成した図4のBOD合成流入特性を用いることにする。流量とSSのフーリエ解析結果では日単位と半日単位の成分が第1、第2位を占めた。

数値実験は1日24時間で1時間単位(部分区間数24)とし、実機場で1週間連続観測によって採集したデータ(昭和53年8月28日12:00~29日12:00の1日分)を用いた。諸定数は $\alpha_H = 0.95$, $\alpha_L = 0.6$, $\hat{\mu} = 0.14 \text{ [H}^{-1}\text{]}$, $K_S = 80 \text{ [mg/}\ell\text{]}$, $Y = 0.6$, $K_d = 0.004 \text{ [H}^{-1}\text{]}$, $V = 34600 \text{ [m}^3\text{]}$, $Q_{R \max} = 6000 \text{ [m}^3\text{/H]}$,

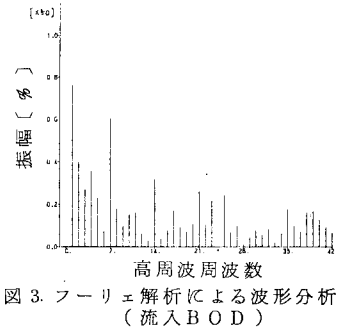


図3. フーリエ解析による波形分析 (流入BOD)

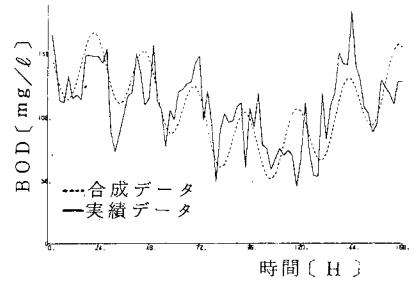


図4. 流入BODの実績と合成特性

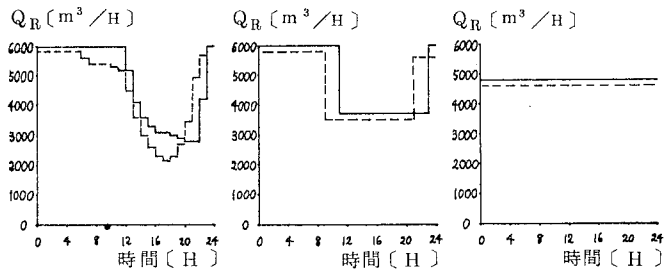


図5. 返送汚泥流量時間変化曲線

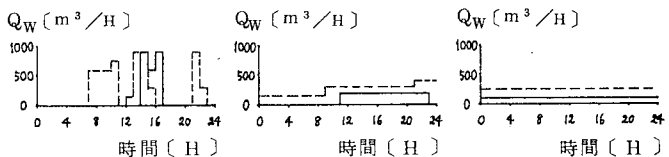


図6. 余剰汚泥流量時間変化曲線

$Q_{Wmax} = 900 \text{ [m}^3/\text{H]}, X_D = 1195 \text{ [mg/l]}$ 。
調整回数は(a) 24, (b) 3, (c) 1回の3種とした。

図5と図6はそれぞれ、返送汚泥と余剰汚泥の流量時間変化曲線であり、実線と点線は合成と実績の流入特性に対応している。図7と図8はそれぞれMLSSとBODの時間変化曲線で、点線は実データ、実線は(I)合成流入特性、(II)実流入特性の場合である。

合成流入特性を用いた場合を実績特性の場合と比較してみると、返送汚泥流量は約3%減であり、MLSSの変化曲線では大きな変化率を示し、BODは低目となっているが、MLSSの目標値 X_D と計算値 X_i の偏差2乗平均

($=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{24} (X_D - X_i)^2}{24}}$)は表1のごとく、実用的な調整回数の3回と1回では、殆んど同一となった。

5. まとめ

活性汚泥法でMLSSを目標値に保つための最適運転法を作成する、電算機演算時間の短かなアルゴリズムを開発した。運転上の特徴は調整回数を指定しうることである。

また、流入下水特性の予測値の一つの取扱い方として、フーリエ解析による、第1、第2位の主成分から合成した特性を用いる簡便な方法は数値実験によって、実用可能であることを示した。今後も、実機データを採集し、さらに本方法の実用性の検討を続けていく予定である。

参考文献

- (1)小館, 石崎, 日本OR学会春季大会, No 1-A-8 (1979)
- (2)小館, 中山, 土木学会第35回年次講演会, No II-318 (1980)
- (3)小館, 中山, 第17回下水道研究発表会, No 6-6 (1980)

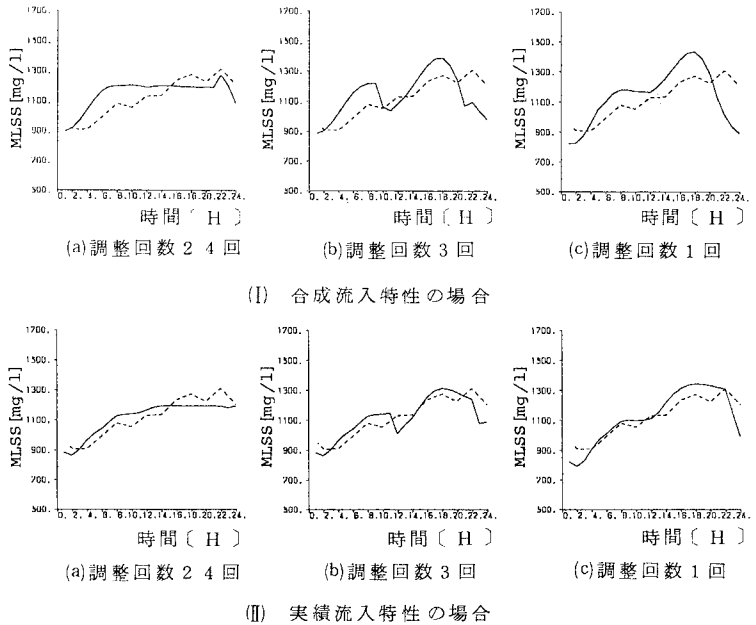


図7. MLSS時間変化曲線

調整回数	24回	3回	1回
合成流入特性	8.80	12.77	15.97
実流入特性	11.19	12.82	15.62

表1. 偏差2乗平均値(%)

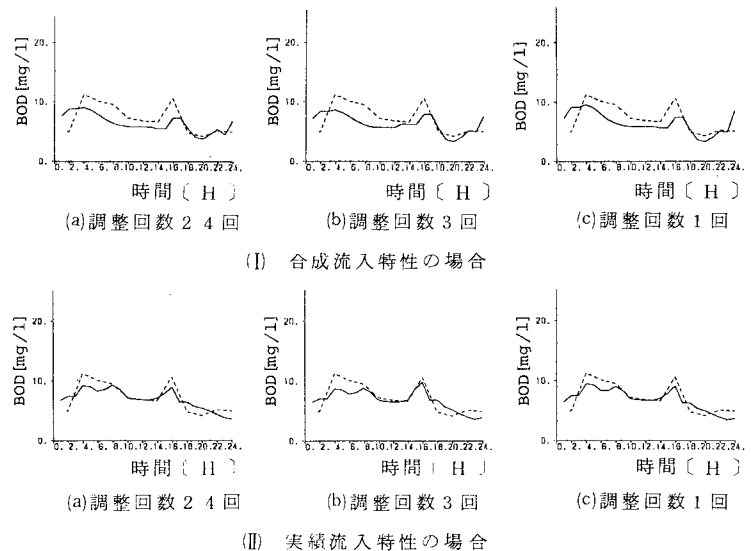


図8. BOD時間変化曲線