

活性汚泥プロセスの汚泥量制御システム

関東芝重電技術研究所 ○高瀬 格 三浦 良輔

1. ま え が き

曝気槽と沈澱池とからなる活性汚泥法二次処理系の制御は、大きくわけて活性汚泥の量を浄化に必要な値に制御する汚泥量制御と、活性汚泥が浄化に必要な酸素を供給する酸素量(送風量)制御に分けられる。汚泥量制御は二次処理系に存在する活性汚泥の量(総汚泥保有量)を所定の値に維持する余剰汚泥量制御と、曝気槽と沈澱池に存在している活性汚泥量のバランスを所定の比率に維持する返送汚泥量制御とに分けられる。今回汚泥量制御システムを完成しプラントに適用したので報告する。

2. 汚泥量制御システムの構成

本汚泥量制御システムは、二次処理系内の汚泥挙動(混合・沈降・輸送)をオンラインでシミュレーションするシミュレータを活用するものである。このシミュレータを使用することにより実測がむずかしい沈澱池の汚泥量などが計算により求められるようになる。本システムではシミュレータにより曝気槽汚泥量と総汚泥保有量が演算され、総汚泥保有量が所定の値になるように余剰汚泥量が制御され、曝気槽MLSSを一定とすることを目標に曝気槽汚泥量が所定の値となるように返送汚泥量が制御される。

2.1 シミュレータの概要

シミュレータは大きくわけて「曝気槽モデル」と「沈澱池モデル」よりなる。このモデルの概要を図1に示す。曝気槽モデルは曝気槽の流動特性を表わすもので、完全混合槽列モデルに短絡流および槽間の混合を加えたものである。沈澱池モデルは沈澱池をクロス室、ホッパ室、沈降室、沈澱室の4つに分け、クロス室とホッパ室は完全混合、沈降室は沈降による時間遅れ、泥澱室は沈澱した汚泥のホッパへの輸送を要素として組み立てたものである。さらに返送汚泥のピットや返送管路などの容積を考慮して仮想の槽を設け、完全混合として扱った。本シミュレータの入力は高級処理水量、返送汚泥流量、余剰汚泥流量、返送汚泥濃度、一次処理水濁度の5点であり、最低必要なものだけとしてある。

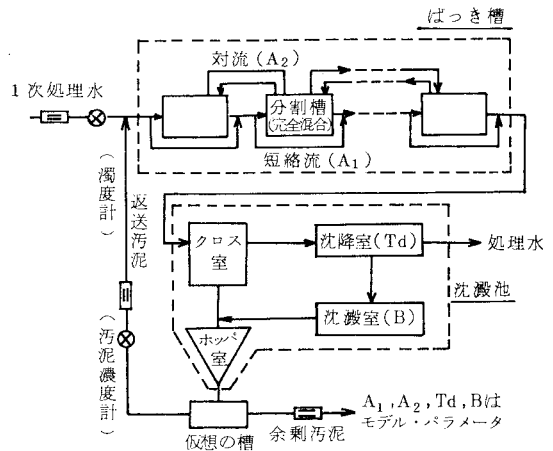


図1 シミュレータの概要

2.2 余剰汚泥流量制御(総汚泥保有量制御)方法

余剰汚泥流量制御は二次処理系の総汚泥保有量が一定となるように以下に示すフィードバック制御とした。

$$e1_n = W_T - W_{TSV} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\Delta S1_n = K_{p1} \left\{ (e1_n - e1_{n-1}) + \frac{T_{C1}}{T_{I1}} \cdot e1_n \right\} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$S1_n = S1_{n-1} + \Delta S1_n \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$Q_{WT} = S1_n \cdot 10^6 / X_R \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここに

W_T : 総汚泥保有量

W_{TSV} : 総汚泥保有量設定値

$e1_n$: 上記2量の時点nにおける偏差

$\Delta S1_n$: 時点nにおける引抜固形物量変分

$S1_n$: 時点nにおける引抜固形物量

K_{p1} : 比例定数

(1) 間欠引抜を行なう場合

間欠引抜を行なう時の引き抜き時間 t は次のようになる。

$$t_C = Q_{WT} / Q_{WO} \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$t_C \leq T_{C1} \text{ の時} \quad t = t_C \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$t_C > T_{C1} \text{ の時} \quad t = T_{C1} \quad \dots\dots\dots(7)$$

(2) 連続引抜を行なう場合

$$Q_W = Q_{WT} / T_{C1} \quad \dots\dots\dots(8)$$

T_{I1} : 積分定数

T_{C1} : 制御周期

Q_{WT} : 一制御周期間の余剰汚泥引抜流量

X_R : 返送汚泥濃度

Q_{WO} : 単位時間当りの余剰汚泥流量 (設定値)

t_C : 引抜時間計算値

t : 引抜時間 (実際の操作量)

Q_W : 余剰汚泥流量

2.3 返送汚泥量制御 (曝気槽汚泥量制御) 方法

返送汚泥流量制御は曝気槽汚泥量が一定となるよう以下に示すフィードバック制御とした。

$$e2_n = W_A - W_{ASV} \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$\Delta S2_n = K_{p2} \left\{ (e2_n - e2_{n-1}) + \frac{T_{I2}}{T_{I2}} \cdot e2_n \right\} \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$S2_n = S2_{n-1} + \Delta S2_n \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$Q_R = S2_n \cdot 10^6 / X_R / T \quad \dots\dots\dots(12)$$

ここに

W_A : 曝気槽汚泥量

W_{ASV} : 曝気槽汚泥量設定値

$e2_n$: 上記2量の時点 n における偏差

$\Delta S2_n$: 時点 n における返送固形物量差分

$S2_n$: 時点 n における返送固形物量

K_{p2} : 比例定数

T_{I2} : 積分定数

Q_R : 返送汚泥流量

T_{C2} : 制御周期

3. モデルパラメータの決定および修正

曝気槽の分割槽の数, 沈澱池のクロス室とホッパ室の容積, 返送汚泥のピットや返送管路の容積を考慮した仮想の槽の容積は実際の土木構造より決定した。その他のパラメータは処理場の運転が安定している期間を選び, 時系列データを採取して決定した。採取したデータはシミュレータの入力となる5点のデータと曝気槽 MLSS, 沈澱池汚泥量 (実測) である。この採取したデータを用いてシミュレーションを行ない, 曝気槽の MLSS が実際と一致するように曝気槽モデルのパラメータを決定し, 返送汚泥濃度および沈澱池汚泥量が実際と一致するように沈澱池モデルのパラメータを決定した。また条件の変動などによりシミュレータの計算値が実際と合わなくなった時を考慮し, 本システムでは常時返送汚泥濃度の実測値とシミュレータの計算値が比較されており, この二者の差が所定の値を越えた場合には警報が発せられるようになっている。この場合には再度パラメータの探索を行なって修正すれば良い。

4. 制御結果

処理場では従来返送汚泥流量は一定で運転されていたため, 本制御システムを適用するにあたり, 次の二段階とした。まず最初に返送汚泥流量は一定のまま総汚泥保有量制御 (余剰汚泥量制御) を行ない, 次に総汚泥保有量制御を実施しながら返送汚泥量制御を行なった。

4.1 総汚泥保有量制御 (余剰汚泥量制御) 結果

従来は余剰汚泥量は曝気槽の MLSS を毎日定時に測定し, その MLSS が目標値になるように経験から決められていた。実験を行った処理場の流入水量は図2に示すように毎日同一のパターンであるため, 総汚泥保有量が同一であれば毎日の MLSS は同一のパターンとなり, ある特定の時刻の MLSS は同一となる。そこで標準流量パターンでシミュレーションを行ない朝10時における総汚泥保有量と MLSS の関係を求めると図3に示すようになる。今回はこの図を用いて運転員が目標の MLSS を目標総汚泥保有量によ

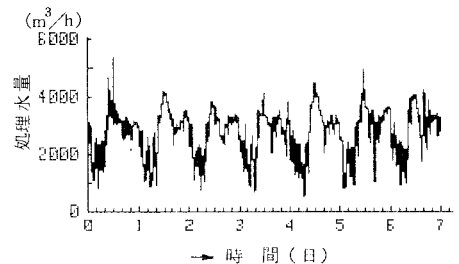


図2 処理水量の日間変動

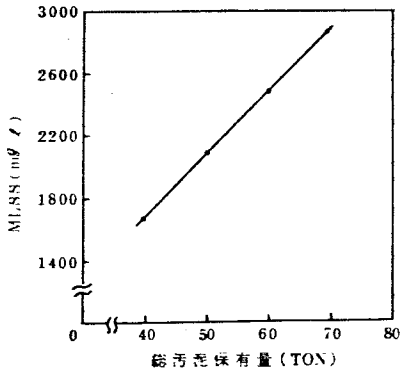


図3 総汚泥保有量とMLSSの関係

みかえて総汚泥保有量の設定値を決定した。この制御を実施した結果の一例を図4に示す。この期間の総汚泥保有量の設定値は54トンであり、制御周期は4時間である。図4より明らかなように降雨時を除き総汚泥保有量は満足できる範囲に保たれた。降雨時には曝気槽へ流入するSSが増加するため余剰汚泥の引き抜きが一時的に追いつかなくなり総汚泥保有量の増加が見られるが、ほぼ1日間で設定値に復帰し、従来の1日1回のMLSS測定によって余剰汚泥量を決めていた時と比較すると回復が大幅にはよくなっている。なお制御による水質への影響を制御した系と制御しない系の水質を比較することにより調査したが、制御をした系に若干の改善が見られたが有意差はなかった。

4.2 返送汚泥量制御

総汚泥保有量一定制御を実施しながら曝気槽汚泥量一定制御を行った。上記の総汚泥保有量制御実験では制御周期が4時間であったが総汚泥保有量にまだ変動が残ったため、総汚泥保有量の制御周期は1時間に変更し、返送汚泥量の制御周期は10分間とした。また返送汚泥ポンプは1000m³/時の能力のものが2台あったため、返送汚泥流量の最小値は150m³/時、最大値は2000m³/時とした。制御結果の一例を図5に示す。この期間の総汚泥量の設定値は52トン、曝気槽汚泥量の設定値は35トンである。これらの設定値は制御開始時の運転状況をもとに決定した。図より明らかなようにMLSSはほぼ一定となった。返送汚泥流量は従来の返送汚泥流量一定の1400m³/時と比較して平均1130m³/時と小さくなった。総汚泥保有量は返送汚泥流量一定の場合と比較すると多少変動幅が大きくなった。なお返送汚泥量制御を実施したことによる水質への影響は長期間のデータをとらなければ明確にできない。

5. 考察

(1) 今回の汚泥量制御システムにより総汚泥保有量は一定に制御でき、また曝気槽のMLSSもほぼ一定に制御できた。今回実験を行った処理場の水量変動は図2に示すようになかなか大きなものであったが、MLSSはほぼ一定に近づいた。従来MLSSを一定に制御するのはむづかしいとされていたが、今回良好に制御できた原因を考えてみると沈澱池に汚泥を多く保有していたためと考えられる。ちなみに今回の場合沈澱池と返送経路に存在している汚泥量は総汚泥保有量の33%にも達していた。そこで沈澱池と返送経路に存在する汚泥量を変えた場合にM

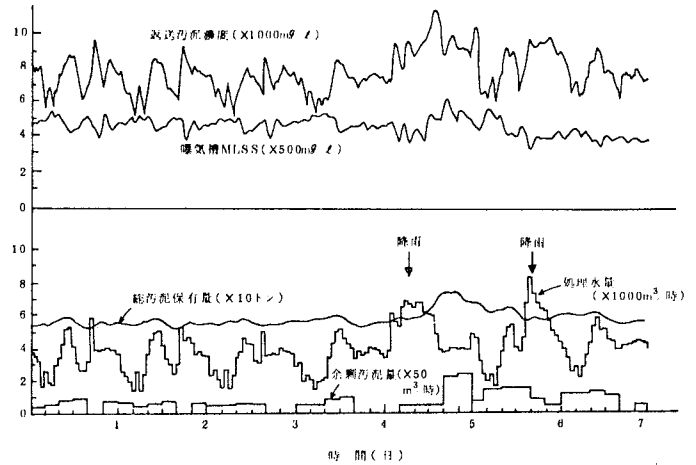


図4 総汚泥保有量制御結果

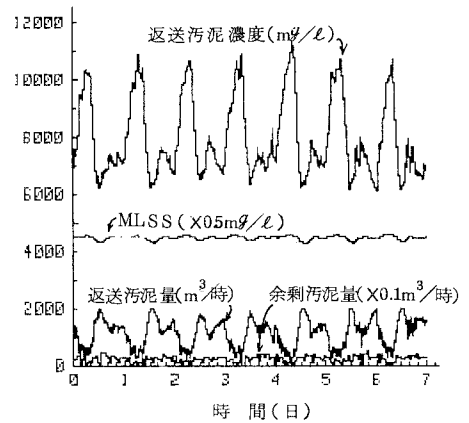


図5 返送汚泥量制御結果

LSS の変動幅がどの程度増加するかをシミュレーションにより検討した。曝気槽の汚泥量を 3.5 トン一定として沈澱池汚泥量（返送経路の汚泥量も含む）を変えた時の MLSS 変動幅を図 6 に示す。沈澱池の汚泥量が 9 トン（総汚泥保有量の 20%）の時は MLSS の変動幅は 400 mg/L 以上残ることがわかる。このことより単に MLSS を一定とすることが目的であれば沈澱池汚泥量を増加させればよいことがわかる。しかしながら沈澱池にためられる汚泥量は汚泥の沈降・濃縮性に関係するし、また処理水質にも関係してくる。これらのことより、沈澱池汚泥量の適切な量はそのプラントにより決まり、その沈澱池汚泥量によって MLSS の変動幅が決まることになる。

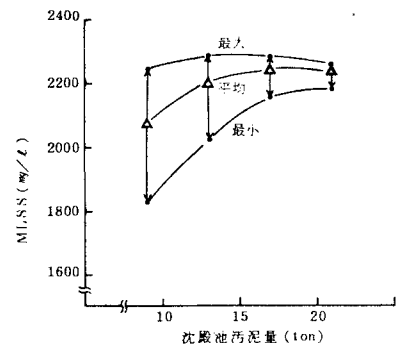


図 6 沈澱池汚泥量と MLSS の変動幅

(2) 結果の項でのべたように返送汚泥量の制御をすると総汚泥保有量の制御がみだされる。そこでシミュレーションにより返送汚泥量の上限を変更して総汚泥保有量制御への影響を調査してみた。その結果を表 1 に示す。この表より明らかなように返送汚泥量を大きく動かすほど返送汚泥濃度の変動幅が大きくなり、総汚泥保有量の変動幅も大きくなる。さらに余剰汚泥流量の変動幅も大きくなり、系全体が不安定となる。このことから MLSS をなるべく一定にしようとするとは逆に系の安定性をみだしかねない。したがって返送汚泥流量制御は多少 MLSS 一定はぎせいにしても返送汚泥流量に上下限を設けるべきであり、その上下限値はプラントの特性を考慮して決める必要がある。

表 1 返送汚泥流量制御範囲と系の安定性の関係

返送汚泥量制御範囲 ($m^3/時$)	4 槽 MLSS (mg/L)				返送汚泥量 ($m^3/時$)				返送汚泥濃度 (mg/L)				総汚泥保有量 (ton)				余剰汚泥量 ($m^3/時$)			
	最小	最大	平均	SD	最小	最大	平均	SD	最小	最大	平均	SD	最小	最大	平均	SD	最小	最大	平均	SD
150 ~ 2400	2160	2280	2240	28	150	2400	1170	524	5610	11280	7880	1446	516	523	520	.11	0	67.2	213	117
150 ~ 2000	2140	2280	2240	31	150	2000	1130	479	6080	11280	7980	1379	516	523	520	.11	0	48.6	210	105
150 ~ 1000	1870	2260	2140	36	150	1000	800	239	8230	11410	9400	807	517	523	520	.09	0	32.2	173	84
1400 一定	1960	2690	2310	174	1400	1400	1400	0	4730	8300	6680	789	518	522	520	.06	0	40.3	232	82

SD : 標準偏差

6. ま と め

- (1) オンラインシミュレータを活用した総汚泥保有量制御（余剰汚泥量制御）を実施することにより二次処理系内の総汚泥保有量はほぼ一定に保たれ、系の安定化がはかられ、降雨後の回復も迅速となった。さらに曝気槽汚泥量制御（返送汚泥量制御）を実施することにより MLSS はほぼ一定に保たれた。以上により二次処理系の汚泥量制御の自動化が達成された。
- (2) MLSS の変動幅をどこまで小さくできるかは沈澱池の汚泥量で決まる。しかし沈澱池にためられる汚泥量は汚泥の沈降・濃縮性や処理水質などによって制限されるので適切な量を検討する必要がある。
- (3) MLSS と一定にしようとするほど返送汚泥流量の変動幅が大きくなり、系が不安定となる。安定性ということを考慮すると返送汚泥流量には上下限値を設けた方がよい。
- (4) 今回の制御では、制御目標である総汚泥保有量および曝気槽汚泥量の設定値は経験的に決めたが、今後は処理水質に関連させてこの設定値を自動的に決めるシステムを完成させることが課題となろう。

7. 参 考 文 献

- 1) 三浦, 他「二次処理系の汚泥量制御の一方式」, 下 wastewater 処理の自動制御と水質の計測監視に関するワークショップ論文集, P153, (1980)
- 2) 三浦, 他「ばつ気槽汚泥量制御用シミュレータ」, 第 19 回下水道研究発表会講演集, P200, (1982)