

B-32 雨水流入が都市下水の活性汚泥処理に与える影響について

日水コン 酒井 彰
〃 〇住山 真
日本大学 田中 和博

1. はじめに

下水道管きよの面整備の進捗にあわせて、宅内マス、雨污水管きよの誤接等の原因により、分流式下水処理場にとっても相当量の雨水が流入し、処理の不安定化、生物量確保の困難化などの問題が近年顕在化してきている。

本稿では、従来、あまり取り扱われていなかった分流式処理場における雨天時の処理状況、雨水流入後の活性汚泥プロセスへの影響について検討するため、生物反応による基質除去動力学モデルと最終沈殿池における活性汚泥の挙動モデルを用いてシミュレーションを行い、雨天時水量増大時の活性汚泥の挙動、降雨時並びに降雨終了後の活性汚泥濃度及び処理状況を推定するとともに、降雨時等の非常条件下における運転管理の方法として、雨天時最終沈殿池の運転等（返送汚泥量の調整）による対応方法の有効性を検討した結果について報告する。

2. モデルの基本式

(1) 活性汚泥法収支式

活性汚泥法における汚泥及び基質の収支式は完全混合反応が行われるものと仮定し、エアレーションタンクを図-1に示すように4槽の完全混合槽列モデルを想定して計算した。

$$V_i \frac{dX_i}{dt} = (Q + QR) \cdot (X_{i-1} - X_i) + r \cdot V_i$$

$$V_i \frac{dS_i}{dt} = Q \cdot (S_{i-1} - S_i) + r \cdot V_i$$

- ここに、 X_i : i槽のMLSS濃度 [mg/l]
 S_i : i槽の基質濃度 [mg/l]
 Q : 処理水量 [m³/日]
 QR : 返送汚泥量 [m³/日]
 V_i : i槽あたりのエアレーションタンク容量 [m³]
 r : 各要素の反応項

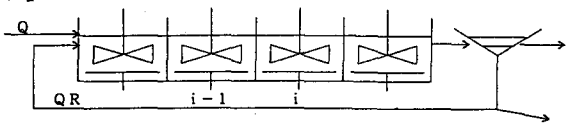


図-1 完全混合槽列モデル(n=4)

(2) 基質反応動力学モデル

流入下水の変動に应答するエアレーションタンク内の基質濃度、活性汚泥の酸素消費速度及びDO濃度、処理水質等の変化を予測するために図-2に示すような基本概念の基づく活性汚泥法の動力学モデルを作成した。

モデルの基礎式は表-1のとおりである。

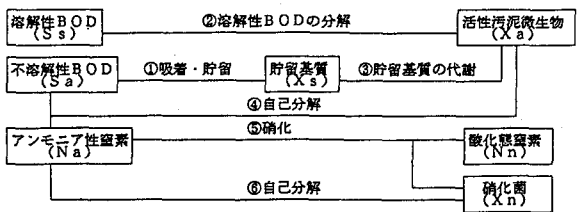


図-2 モデルの基本概念

表 - 1 基質反応動力学モデルの基礎式及び各要素の反応項¹⁾²⁾

一 基礎式 一	一 記号説明 一
① $Ka \cdot Sp \cdot Xa \cdot fma \cdot \left(\frac{Xs}{Xa} \right)$	Ka : 基質移動速度係数 (吸着速度) [1/mgYSS/g]
② $Kms \cdot \frac{Ss}{Kss + Ss} \cdot Xa \cdot \frac{Or}{Kor + Or}$	fma : 貯留可能な基質の重量比 (mg/mg)
③ $Kmp \cdot \frac{Xs \cdot p}{Ksp + Xs \cdot p} \cdot Xa \cdot \frac{Or}{Kor + Or}$	p : 換算係数 [mgBOD/mgYSS]
④ $Kd \cdot Xa$	Kms : 溶解性BODの最大利用速度 [mgBOD/mgYSS/g]
⑤ $\frac{fma}{Yn} \cdot \frac{Na}{Kn + Na} \cdot \frac{Or}{Kor + Or}$	Kss : 溶解性BODの飽和定数 [mg/l]
⑥ $Kdn \cdot Xn$	Kor : 好気性基質分解における溶存酸素濃度に関する飽和定数 [mg/l]
⑦ $Kms \cdot \frac{Ss}{Kss + Ss} \cdot Xa \cdot \frac{Nn}{Knn + Nn} \cdot \frac{Kor}{Kor + Or} \cdot \epsilon g$	Y : 活性微生物の収率係数 [mgYSS/mgBOD]
⑧ $Kmp \cdot \frac{Xs \cdot p}{Ksp + Xs \cdot p} \cdot Xa \cdot \frac{Nn}{Knn + Nn} \cdot \frac{Kor}{Kor + Or} \cdot \epsilon g$	Kmp : 貯留基質の最大利用速度 [mgBOD/mgYSS/g]
⑨ $Kl \cdot (Sor - Or)$	Ksp : 貯留基質の飽和定数 [mg/l]
一 各要素の反応項 一	Kd : 活性微生物の自己分解係数 [1/g]
$rss = -Kms \cdot \frac{Ss}{Kss + Ss} \cdot Xa \cdot \left(\frac{Or}{Kor + Or} + \frac{Nn}{Knn + Nn} \cdot \frac{Kor}{Kor + Or} \cdot \epsilon g \right)$	f : 活性微生物中の生分解可能な比率 [-]
$rsp = -Ka \cdot Sp \cdot Xa \cdot \left(fma \cdot \frac{Xs}{Xa} \right) + p \cdot (1 - f) \cdot Kd \cdot Xa$	mgx : 硝化菌の最大増殖速度 [1/g]
$rxs = Ka \cdot Sp \cdot Xa \cdot \left(fma \cdot \frac{Xs}{Xa} \right) - Kmp \cdot \frac{Xs \cdot p}{Ksp + Xs \cdot p} \cdot Xa \cdot \left(\frac{Or}{Kor + Or} + \frac{Nn}{Knn + Nn} \cdot \frac{Kor}{Kor + Or} \cdot \epsilon g \right)$	Yn : 硝化菌の収率係数 (mgYSS/mgBOD)
$rxn = Y \cdot (Kms \cdot \frac{Ss}{Kss + Ss} + Kmp \cdot \frac{Xs \cdot p}{Ksp + Xs \cdot p}) \cdot Xa \cdot \left(\frac{Or}{Kor + Or} + \frac{Nn}{Knn + Nn} \cdot \frac{Kor}{Kor + Or} \cdot \epsilon g \right) - Kd \cdot Xa$	Yn : 硝化反応におけるアンモニア性窒素濃度の飽和定数 [mg/l]
$ror = -(1 - Y) \cdot (Kms \cdot \frac{Ss}{Kss + Ss} + Kmp \cdot \frac{Xs \cdot p}{Ksp + Xs \cdot p}) \cdot Xa \cdot \frac{Or}{Kor + Or} \cdot 4.57 \cdot \frac{fma}{Yn} \cdot \frac{Na}{Kn + Na} \cdot \frac{Or}{Kor + Or}$	korn : 硝化反応における溶存酸素濃度に関する飽和定数 [mg/l]
$rna = -\frac{fma}{Yn} \cdot \frac{Na}{Kn + Na} \cdot \frac{Or}{Kor + Or} \cdot rxn$	Kdn : 硝化菌の自己分解速度 [1/g]
$rnn = -\frac{fma}{Yn} \cdot \frac{Na}{Kn + Na} \cdot \frac{Or}{Kor + Or} \cdot rxn$	e : 活性微生物の増殖、自己分解に伴う窒素の摂取、放出率 [mgN/mgYSS]
$rxn = rxn - \frac{fma}{Yn} \cdot \frac{Na}{Kn + Na} \cdot \frac{Or}{Kor + Or} \cdot rxn$	Kl : 基質移動速度係数 [1/g]
$rxn = rxn - \frac{fma}{Yn} \cdot \frac{Na}{Kn + Na} \cdot \frac{Or}{Kor + Or} \cdot rxn$	Sor : 溶存酸素飽和濃度 [mg/l]
$rxn = rxn - \frac{fma}{Yn} \cdot \frac{Na}{Kn + Na} \cdot \frac{Or}{Kor + Or} \cdot rxn$	Knn : 脱窒反応における硝化型窒素濃度に関する飽和定数 [mg/l]
$rxn = rxn - \frac{fma}{Yn} \cdot \frac{Na}{Kn + Na} \cdot \frac{Or}{Kor + Or} \cdot rxn$	εg : 補正係数 (好気性反応と脱窒反応) [-]

(3) 最終沈殿池における活性汚泥の挙動モデル³⁾

最終沈殿池に流入した活性汚泥がいかに沈積していくのか、沈殿池内に沈積した汚泥が、いかに濃縮されるのかについてモデル化を図った。さらに、汚泥が、最終沈殿池に流入してから引き抜かれる間に前部ゾーンの沈積高が大きくなった場合には、一部が、容易に引き抜かれない後部ゾーンへ移行し、汚泥掻き寄せにより前部ゾーンへ再び移行するという挙動の再現を意図して図-3のようにモデル化を行った。

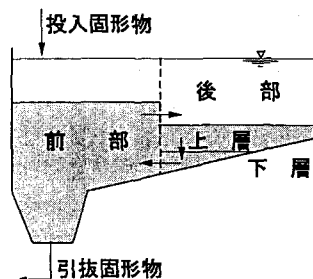


図-3 最終沈殿池モデル

3. 雨天時シミュレーション

2. で述べたモデルを組合せて、雨天時の水量増に伴う活性汚泥プロセス内の活性汚泥ならびに基質除去反応の挙動をシミュレートする。

(1) 計算条件

シミュレーションは標準的な運転管理の下で安定した処理が行われている日平均流入下水水量5,000(m³/日)、時間変動率1.8の処理場を対象に行う。シミュレーションの計算対象期間は4日間であり、この間1.0~2.0日の間に降雨があったと仮定して降雨時における流入水量及び水質の条件を次のように設定した。

雨天時流入水量	時間最大流入下水水量
雨天時流入水質	晴天時平均水質のほぼ1/2としたが無機物の流出は増えるとして変えなかった。

また、雨天時の流入水量増加に対して、返送汚泥比を次の3つのケースに設定して計算を行った。

	降雨前返送比	降雨開始後返送比
ケース1	0.3	0.3
ケース2	0.3	0.4
ケース3	0.3	0.5

※降雨開始前の返送は定率返送とし返送比は時間平均流量に対する値。 降雨開始後の返送は定量返送とし返送比は日平均値に対する値。

(2) シミュレーション結果

雨天時シミュレーションにより得られたMLSS濃度、最終沈殿池内総固形物量及び処理水質の変化はそれぞれ図-4～6のとおりである。

ケース1では、MLSS濃度が1,600(mg/l)であったものが1,000(mg/l)まで低下し、しかも活性微生物の比率が0.4まで低下している。また、これらの活性微生物の流出により図-5に示したように最終沈殿池内の総固形物量が降雨期間中に多くなり、図-7に示したとおり処理水質も急激に悪くなっている。

これに対して、雨天時に返送汚泥量を多くしたケース2,3では、MLSS濃度の低下等は著しいものではなく、処理水質も晴天時と比べてやや低下するものの、BOD₂₀(mg/l)を下回っており、返送汚泥量の増加に降雨後の微生物濃度の回復状況も返送比が大きいほど速いことがわかる。

4. まとめと今後の課題

本検討では、雨天時シミュレーションにより降雨時における活性汚泥の挙動と処理水質の状況を予測した。その結果、降雨時の流入下水量の増加に伴ってエアレーションタンクから微生物が流出し、最終沈殿池への汚泥堆積が進行することから、汚泥のキャリーオーバーの可能性が高くなることを示すことができた。また、エアレーションタンク内のMLSS濃度の低下により、処理水BOD濃度が悪化することを示すことができ、これらの状況を回避する方策として、返送汚泥量を増加させることが有効であることを述べた。しかし、これらの実施当たっては最終沈殿池改造の必要性を要する場合がある。

また、今回の検討では、流入下水の水質が設定した降雨時の水量増分に応じて希釈されるということが前提になっており、今後、実際の下水処理施設への雨天時流入水量、水質を用いてシミュレーションを行い今回提示したモデルを検証したいと考えている。

分流式下水処理場では雨天時における雨水の流入は避けられない課題であり、特に、下水処理場が段階的に整備されるので、途中年次の処理施設では、処理場流入管きょが最終計画時の流下能力を有しているため、施設処理能力を越える雨水が流入する恐れがある。このため、雨水混入対策を図る上で雨天時における下水処理状況を明かにすることは重要と考えられる。また、今後、窒素除去をはじめとする高度処理が行われようとしているが、増殖速度の遅い硝化菌が雨水混入により流出することや、雨水混入量の多少によって雨天時流入下水のBODと栄養塩のバランスが大きく変化することが予想され、雨天時の下水処理特性をより精細に表すことは今後ともより重要視されるであろう。

1) P. L. Dold, G. A. Ekawa, etc. "A General Model for the Activated Sludge Process", Proceeding of the 10th International Association on Water Pollution Research, (1980); 2) H. Nakazawa and K. Tanaka, "Kinetic model of sequencing batch activated sludge process for the municipal wastewater treatment", Water Pollution Control Federation, KYOTO, (1990)

3) 吉本、齊藤、"分流式下水道における処理の安定化を目的とした活性汚泥法の技術評価", 日本下水道事業団技術開発部報, (1991)

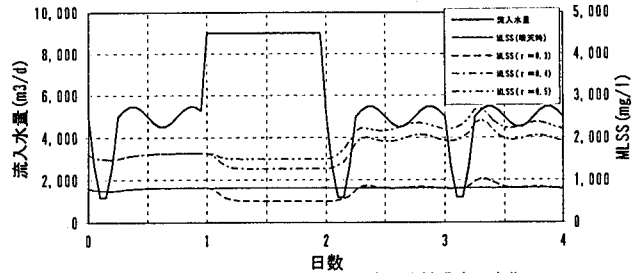


図-4 エアレーションタンク内のMLSS濃度の変化

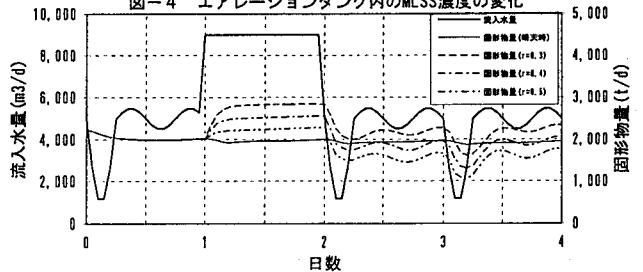


図-5 最終沈殿池内総固形物量の変化

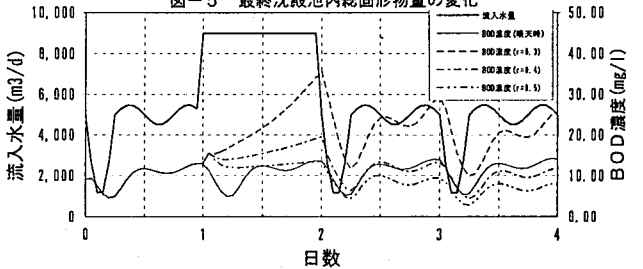


図-6 BOD濃度の変化