

N-7

実下水処理場を対象とした活性汚泥モデルのキャリブレーションと処理水質高度化の検討

(株)明電舎

○大石 亮、豊岡 和宏、後藤 浩之

(株)荏原製作所

出口 達也、佐久間博司、沢井 賢司

日本下水道事業団

糸川 浩紀、橋本 敏一、村上 孝雄

1. はじめに

排水規制の強化に伴い、下水処理場では有機物に加え窒素、りんを除去する必要性が高まっている。生物学的処理による下水高度処理プロセスを新規に設計する場合は、硝化、脱窒、脱りん等の各工程が十分に進行する条件を見積もり、生物反応槽の容積やポンプ流量、曝気風量の必要量を割り出して設備を決定する。しかしながら、既設処理場の高度化では、新規設計の場合と比べ設備変更が制限されるため、高度処理工程の進行は厳しくなると推定できる。そこで、設備の部分的な改造が全体の生物処理能力に与える効果を数値シミュレーション手法により予測・評価できれば、既設処理場高度化に有効な設計支援ができると考えられる。

一方、近年ではASM¹⁾に代表される活性汚泥モデルに関する研究が進んでいるが、下水処理場の設計、高度化、運転管理等への実務利用については、シミュレーションの精度に関する情報不足等の理由で、広く利用されるには至っていない。筆者らは、これらの問題を踏まえ、実務利用のための活性汚泥モデルシミュレーションシステムの開発及び実際の下水処理場への適用に関する検討²⁾を進めている。本稿では、活性汚泥モデルのキャリブレーションについてOUR(酸素利用速度)試験を利用した手法を使い、標準活性汚泥法で設計された既設処理場を対象に、限定的なシステム変更による循環式硝化脱窒法への高度化の可能性について、同モデルを用いたシミュレーションにて検討した結果を報告する。

2. 検討内容

検討対象としたA処理場の水処理設備構成²⁾を図-1に示す。現有処理能力18,000m³/dの標準活性汚泥法施設で、最初沈殿池2池、反応槽5池が使用されている。現状では、高度処理に対応した施設構造・運転方法にはなっていないが、4区画に等分された反応槽の第1区画を嫌気槽としている。流入水量は12,000~14,000m³/d程度(HRT 12~14h)、汚泥返送率は50%程度、MLSSは1,000~1,300mg/lである。ブロワからの送風ラインは1系統で、2系末端(第4区画)に設置されたDO計の指示値により、全体の送風量が制御されている。各池への送風量は、手動バルブの開度により半固定されている。

この施設の全3系列を循環式硝化脱窒法に高度化することを想定したシミュレーションを行ない、処理水量を低下させずに窒素除去性能をどの程度向上できるかを検討した。但し、高度化の内容は、①硝化液循環ポンプの設置、②各風量調節弁の自動制御、③好気槽の無酸素槽への転用、の3点に限定した。

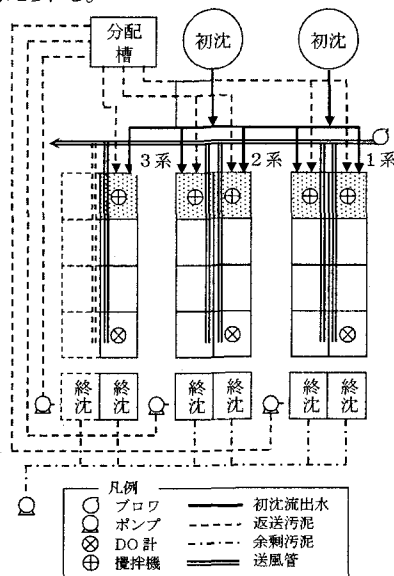
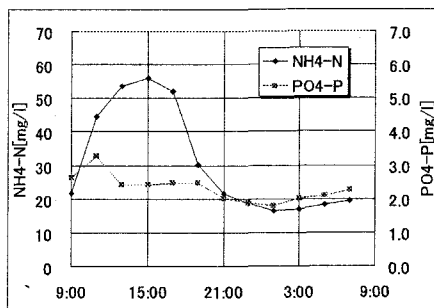


図-1 処理場の構成

図-2 流入水NH₄-N, PO₄-P変化

2.1 シミュレーション手順

シミュレーション対象は、全3系列の反応槽から最終沈殿池までとした。反応槽の各区画を完全混合槽として扱い、最終沈殿池は固液分離比率一定で流入水量に応じた滞留時間を持つモデルとした。流入水量にはA処理場の典型的な時間変動および週間変動パターンを与え、流入水質は最初沈殿池越流水質を2時間毎に24時間実測したデータから、1時間毎の値を作成して使用した。そのうち、 $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ の時間変動のグラフを図-2に示す。有機成分の分画値については、流入水 COD_C とOURを主体とした方法により図-3に示すような4時間ごとに測定したデータから、同様に作成した。水温は 20°C で一定とし、30日間のシミュレーションののち安定した値を初期値として1日分のシミュレーションを行った。余剰汚泥引抜量は、反応槽のMLSSが約 $2,200\text{mg/l}$ となるように調整した。

既設条件としてRun1を、高度化条件としてRun2~4のシミュレーションを実施した。脱窒の改善を意図して、既設条件では1:3であった無酸素/好気槽比を高度化条件では1:1とした。また既設条件では2系好気槽末端のDO値を参照して全系列の風量を制御していたものを、高度化条件では各系列好気槽末端でDOが 2.0mg/l となるように風量制御を行った。硝化液循環率は100, 150, 200%とした。その他諸条件は先の検討事例²⁾と同等だが、キャリブレーション手法の改良を試みたことに伴い、生物反応モデルにはEAWAG Bio-Pモジュール³⁾を追加したASM No.3を採用した。

2.2 パラメータキャリブレーション手順

生物反応モデル中の各種パラメータは、以下の手順で決定した。

①流入水有機成分 S_s の分画のための最初沈殿池流出水のOUR試験では、 $\text{DO}_4 \sim 7\text{mg/l}$ を保ち、活性汚泥とともにアシルチオ尿素を添加した系でのOUR変化を観察した。この反応工程をシミュレーションで再現し、試験におけるOUR曲線を再現するようにカーブフィッティングすることで(図-4)、画分 S_s 、 X_s のキャリブレーションと同時に有機成分の反応速度変化を記述するパラメータ群(k_H , K_X , k_STO , $K_\text{SS,H}$, K_STO , μ_H , Y_H)を決定した。

②シミュレーション時に評価項目の実測値を再現するよう、主にりん蓄積反応に関連するパラメータ群(q_PHA , $\eta_\text{NO,PAO}$, $K_\text{SS,PAO}$, $K_\text{PP,PAO}$, $K_\text{O,PAO}$, K_PHA , $K_\text{PP,PAO}$)を調整・決定した。

③その他の値については、文献³⁾におけるキャリブレーションで決定された値を用いた。

以上のキャリブレーション手順により、処理水質の $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 及び $\text{NO}_\text{x}\text{-N}$ の状況をおおむね表現することができた(図-5)。

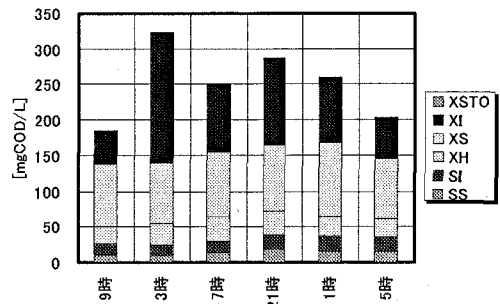


図-3 流入水有機成分の分画

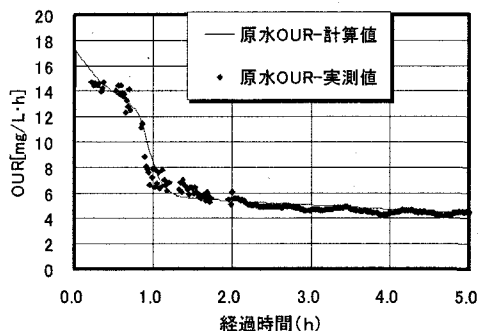


図-4 フィッティング結果

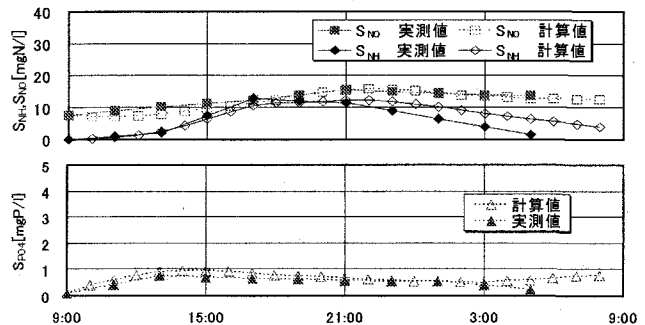


図-5 実際の処理状況のシミュレーション結果
上: $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_\text{x}\text{-N}$ 、下: $\text{PO}_4\text{-P}$

3. 結果と考察

図-6に既設条件Run1及び高度化条件を代表してRun4の溶存酸素濃度、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 及び $\text{NO}_x\text{-N}$ のシミュレーション結果を示す。平均すると、既設条件(Run1)では、処理水の $\text{NH}_4\text{-N}$ が1.9mg/l、 $\text{NO}_x\text{-N}$ が15.7mg/l、窒素除去率は43%であった。一方、高度化条件ではRun2～4の $\text{NH}_4\text{-N}$ はそれぞれ5.2, 5.9, 5.8 mg/l、 $\text{NO}_x\text{-N}$ はそれぞれ8.0, 7.0, 6.2 mg/l、窒素除去率はそれぞれ57, 58, 61%となった。

処理水 $\text{PO}_4\text{-P}$ を比較すると、Run1では $\text{PO}_4\text{-P}$ が0.2mg/l、りん除去率が88%だったのに対し、Run4では $\text{PO}_4\text{-P}$ が0.1mg/l、りん除去率が95%と、若干の向上が確認できた。

4. まとめ

実処理場を対象にして、標準活性汚泥法から窒素除去の向上が見込まれる循環式硝化脱窒法への高度化について、活性汚泥モデルシミュレーションを用いて検討を行った。その際、OUR測定結果を活用し

てキャリブレーション値を裏付ける手法を採った。各系列に硝化液循環ポンプを設置し、系列毎に独立した風量制御を実施し、無酸素槽/好気槽容量比を1:1にすることにより、窒素除去率が約18%向上、りん除去率も若干向上が見込めるとのシミュレーション結果が得られた。これは完全硝化を前提としていない条件下での、全体としての窒素除去率向上についての評価を実施したものであり、種々の制約を受ける既設処理場の高度化の手法を検討するツールとして、シミュレーションソフトウェアの適用に向けた事例と言える。今後も、処理場の高度化に関連する機器モデルや制御モデルの表現力を向上させたシミュレーション・システムの開発を進める予定である。

5. 謝辞

調査を行うにあたりご協力下さった下水処理場の皆様に深く感謝いたします。

6. 参考文献

- 1) Sci. & Tech. Rep. No9 Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3 (IWA Task Group, IWA Publishing, 2000)
- 2) 豊岡ら, 活性汚泥モデルを利用した既設処理場高度化の検討、第40回下水道研究発表会講演集, 177-179, 2003
- 3) The EAWAG Bio-P Module for Activated Sludge Model No.3 (Rieger et al, Wat. Res. Vol.35, No.16, pp. 3887-3903, 2001)
- 4) (社)日本下水道協会, 高度処理施設設計マニュアル(案), 1994

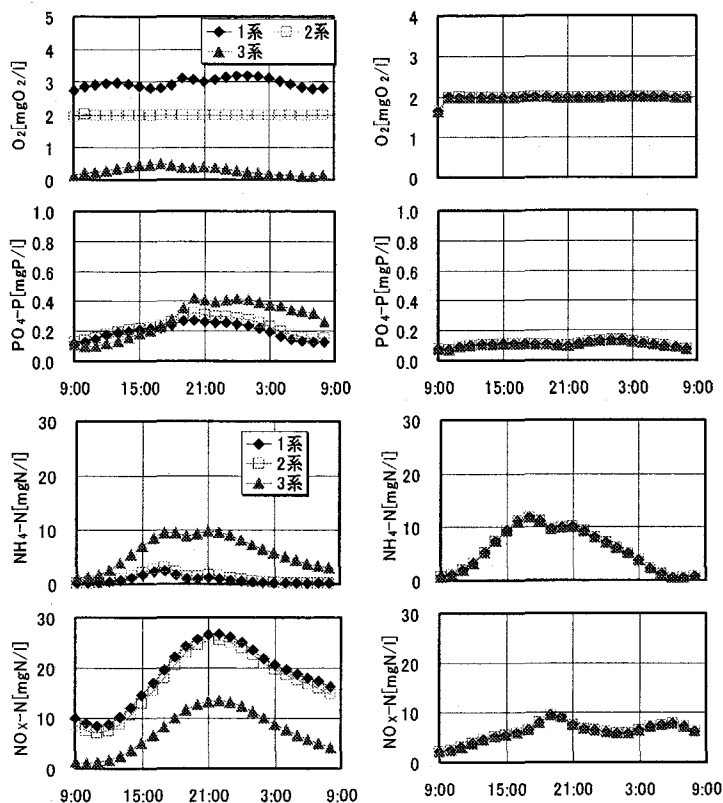


図-6-1 Run1の演算結果
上から O_2 、 $\text{PO}_4\text{-P}$
 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_x\text{-N}$

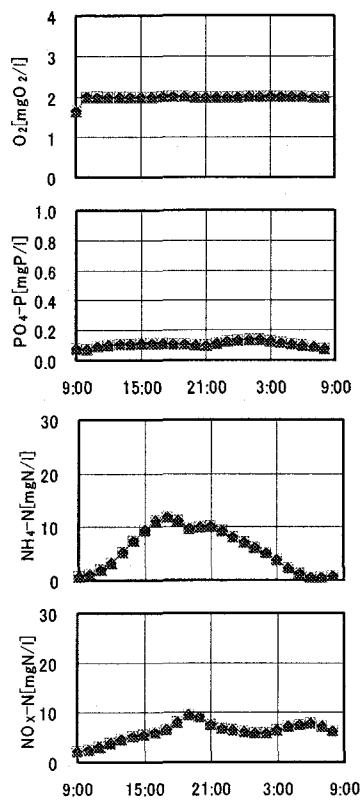


図-6-2 Run4の演算結果
上から O_2 、 $\text{PO}_4\text{-P}$
 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_x\text{-N}$