

活性汚泥モデルを利用した硝化促進と窒素除去・りん除去の悪化抑制に関する検討

財団法人 下水道新技術推進機構 石田 貴
 日本水工設計株式会社 一松 雄太
 ○ 阿部 善成

1. はじめに

ASM（活性汚泥モデル）を利用した下水処理シミュレーション技術は、下水処理施設の高度処理化および低コスト化への要請が高まる中で、処理方法の選定、改築更新時の供用施設的能力診断、あるいは運転条件変更時の能力評価等、運転管理や設計支援のためのツールとして実務での利用に大きな期待がされている。

そこで、ASMの有用性や実務利用の課題について整理し、既存データを用いたケーススタディによりASMの導入事例をまとめることを目的として、(財)下水道新技術推進機構をはじめとする建設コンサルタント7社にて共同研究を平成20～21年度に行った。本研究は、「活性汚泥モデル利活用マニュアル」¹⁾にとりまとめているケーススタディの1例について、共同研究者を代表して報告するものである。本研究報告により、今後の維持管理業務の一助を担えれば幸いである。

2. 調査方法

(1) 対象系列の概要

図-1に対象としたA下水処理施設の処理系列の概要を示す。当該処理系列の反応タンクは、阻流壁で10槽に分割されており、嫌気-無酸素-好気法が採用されている。第5～8槽は好気・無酸素兼用槽であり、運転変更が可能である。対象系列の流入水量の実績は13,000～17,000m³/日であり、第10槽を通過後は循環率120%で硝化液を第3槽へ循環しており、最終沈殿後は返送率30%で汚泥を第1槽へ返送している。計画放流水質はT-N:20mg/ℓ、T-P:2mg/ℓ、目標処理水質はT-N:10mg/ℓ、T-P:0.5mg/ℓとしているが、冬季には硝化不良が確認されている。

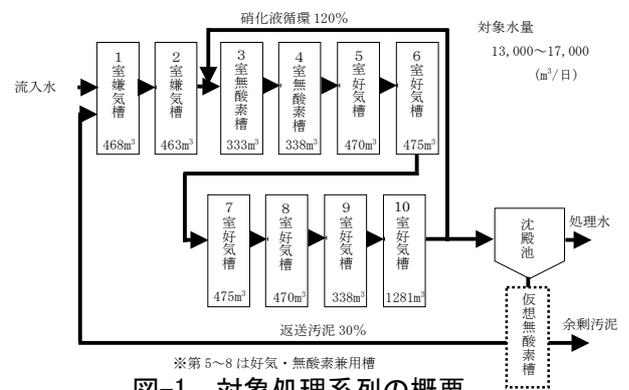


図-1 対象処理系列の概要

表-1 分画方法と分画値

| 成分 | 分画方法 | 単位 | 秋季 | 冬季 |
|------------------|--------------------------|---------------------------|-------|-------|
| S _A | ガスクロ測定値 | mg-COD/ℓ | 15 | 7 |
| S _F | 流入水のS-COD-S _I | mg-COD/ℓ | 37 | 46 |
| S _I | 処理水のS-COD | mg-COD/ℓ | 9 | 13 |
| X _S | 究極BOD(U-BOD)試験 | mg-COD/ℓ | 55 | 63 |
| X _I | T-COD-他成分の総和 | mg-COD/ℓ | 16 | 18 |
| X _H | ゼロと見なす。 | mg-COD/ℓ | 0.0 | 0.0 |
| S _{NH4} | アンモニア態窒素の実測値 | mg-N/ℓ | 18.19 | 19.80 |
| S _{NOX} | 硝酸態窒素の実測値 | mg-N/ℓ | 0.30 | 0.33 |
| S _{PO4} | りん酸態りんの実測値 | mg-P/ℓ | 1.25 | 1.63 |
| S _{O2} | 溶存酸素の実測値 | mg-O2/ℓ | 0.75 | 1.14 |
| S _{ALK} | アルカリ度試験 | mmol-HCO ³⁻ /ℓ | 5 | 5 |

(2) データ収集

秋季および冬季の2回において、反応タンク流入水から処理水まで、滞留時間ごとにサンプリングし水質分析を実施したデータを利用した。(以下、水塊追跡水質データと称す。)また、流入水量や返送汚泥量、送風量については、運転管理データを利用した。

(3) 有機物およびその他の成分の分画

有機物の分画は、STOWA法を利用した。表-1に分画方法および分画値を示す。

3. モデルの構築およびシナリオ解析の方針

(1) 生物反応モデル

当該処理施設では、硝化不良による窒素除去の改善が求められているが、窒素除去の改善に伴うりん除去への影響を確認するために、生物反応モデルは ASM2d を利用した。

(2) プロセスモデル

10 槽全てがそれぞれ死水領域のない完全混合槽であると仮定し構築した。ただし、当該系列では最終沈殿池で脱窒反応が確認されているため、図-1 に示したようにプロセスモデル上では最終沈殿後に仮想無酸素槽を設置した。よって、本報告中の処理水の NO₃-N は仮想無酸素槽流出水のデータを意味する。

(3) キャリブレーション

キャリブレーションは冬季のデータを用いて行った後、秋季のデータを用いて検証を行い、両者の実測値と計算値が許容誤差以内となるように再度パラメータを調整した。本検討の目的は、運転管理支援の最適運転条件の検討に該当するため、予測精度には高いレベルが求められる。したがって、許容誤差は、T-N:2mg/ℓ以下、T-P:0.4mg/ℓ以下とした。

(4) シナリオ解析

シナリオ解析は硝化不良が顕著な冬季のデータを用いることとし、冬季のキャリブレーションデータを現況として比較する方針とした(ケース 1)。検討案として、硝化不良の原因が DO 不足であることが明らかたため、まず処理水の NH₄-N が 1mg/ℓ以下となることを目標に送風倍率を増加させる方針とした(ケース 2)。さらに処理水の NH₄-N、T-N、PO₄-P、T-P に加え送風倍率を評価指標とし、窒素除去・りん除去悪化を抑制するための最適な運転条件(各種流量の変更や槽割の変更など)を抽出する方針とした(ケース 3)。

4. 結果および考察

(1) キャリブレーション結果

表-2 に調整したパラメータを示す。また図-2、3 に冬季のキャリブレーション結果を示す。その結果、冬季と秋季の処理水 T-N の実測値と計算値の差はそれぞれ-0.26、+0.93 であり、T-P の実測値と計算値の差はそれぞれ-0.02、-0.14 であった。よって、目標の許容誤差(T-N:2mg/ℓ以下、T-P:0.4mg/ℓ以下)以下となり、シナリオ解析を実施するために十分なモデルが構築できたと判断された。また、水塊追跡水質データからは、精度が十分に高いモデルを取得することが可能と推測された。

(2) シナリオ解析結果

まず、第 5~10 の好気槽の送風量を増加したところ、送風倍率が約 6.8 倍(実績比約 1.2 倍)を越えると処理水の NH₄-N を 1mg/ℓ以下とすることができた。しかし、送風量の増加に伴い処理水の PO₄-P が高くなる傾向が見られ、計画放流水質 T-P:2mg/ℓを満足することが困難な状況が想定された。(図-4)

表-2 調整したパラメーター一覧

| パラメータ | 調整結果 |
|----------------------------------|-------------------------------|
| X _I /X _S 比 | 0.3→0.8 (gCOD/gCOD) |
| b _H | 0.40→0.20 (d ⁻¹) |
| b _{AUT} | 0.15→0.075 (d ⁻¹) |
| b _{PAO} | 0.20→0.18 (d ⁻¹) |
| b _{PHA} | 0.20→0.18 (d ⁻¹) |
| b _{PP} | 0.20→0.18 (d ⁻¹) |
| i _{N, XI} | 0.02→0.049 (gN/COD) |
| i _{N, XS} | 0.04→0.098 (gN/COD) |
| i _{N, SF} | 0.03→0.064 (gN/COD) |
| i _{N, SI} | 0.01→0.021 (gN/COD) |
| i _{P, XI} | 0.01→0.015 (gP/COD) |
| i _{P, XS} | 0.01→0.015 (gP/COD) |
| i _{P, SF} | 0.01→0.015 (gP/COD) |
| K _{NH4} | 1.0→0.5 (g/m ³) |
| η _{NO3, XI} | 0.80→0.90 (-) |
| η _{NO3, XS} | 0.60→0.90 (-) |
| K _{NO3} | 0.50→0.10 (-) |
| 仮想無酸素槽容積 | 250 (m ³) |
| Y _{PO4} | 0.40→0.35 (gP/COD) |

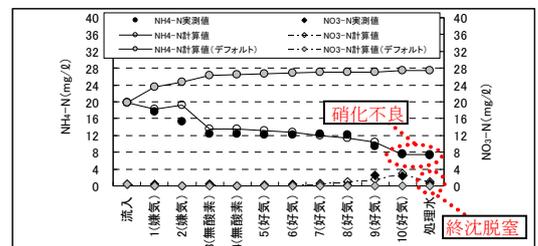


図-2 窒素成分の実測値と計算値(冬季)

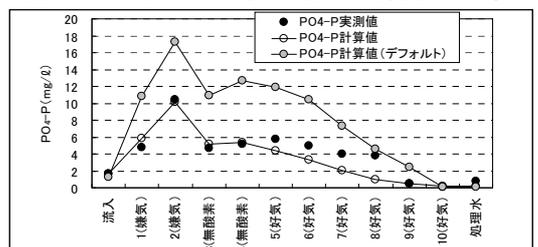


図-3 りん成分の実測値と計算値(冬季)

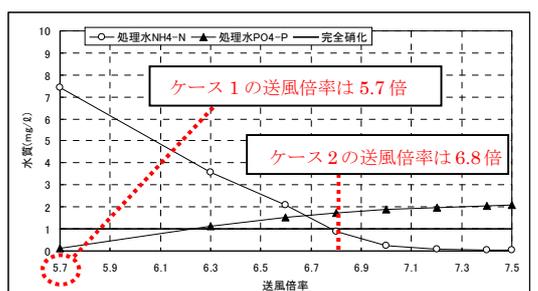


図-4 ケース1・ケース2の解析結果

(窒素・りん成分)

これは、硝化促進により硝化液循環水および返送汚泥中の NO₃-N が増大し、反応タンク前段の嫌気槽および無酸素槽でりん除去反応と競合する脱窒反応が優位性をもつようになり、嫌気槽でのりんの吐き出しが妨げられていることが最も大きな要因と考えられた。そこで、プロセスモデル上で以下の運転変更を行った。(図-5)

- A. 循環先を第 4 槽へ（第 3 槽を嫌気槽へ）変更
- B. 第 5、6 槽を無酸素槽へ変更
- C. 好気槽の送風倍率を増加させる。

その結果、表-3 および図-6、7 の通り、好気槽の送風倍率を 7.1 倍（実績比約 1.25 倍）まで上げることで、処理水の NH₄-N を 1mg/l 以下にしつつ T-N≒6.8mg/l、T-P≒0.10mg/l の処理水質が得られ、当該施設の目標処理水質の達成ならびに現状の処理状況の改善が可能であった。(表-3)

送風量の増大により費用が高くなり一部循環先の接続のため改造等を要するが、現状のりん除去を維持しつつ硝化不良を改善する運転方法が、本研究の予測解析により見出された。

表-3 各ケースの総合比較

| 解析ケース | 処理水質(mg/l) | | | 送風倍率 | 総合 |
|-------------------|--------------------|--------|--------|------|-----|
| | NH ₄ -N | T-N | T-P | | |
| ケース1 現状(冬季) | 7.43 × | 8.47 ○ | 0.12 ○ | 5.7倍 | ○ △ |
| ケース2 硝化促進 | 0.89 ○ | 5.69 ○ | 1.74 × | 6.8倍 | △ × |
| ケース3 窒素・りん除去の悪化抑制 | 0.84 ○ | 6.84 ○ | 0.08 ○ | 7.1倍 | △ ○ |

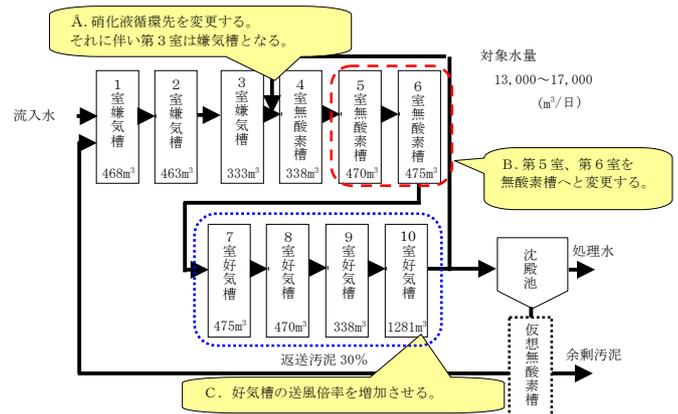


図-5 プロセスモデルの変更点

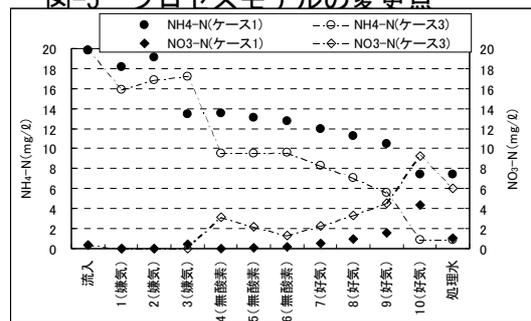


図-6 ケース 1・ケース 3 の解析結果(窒素成分)

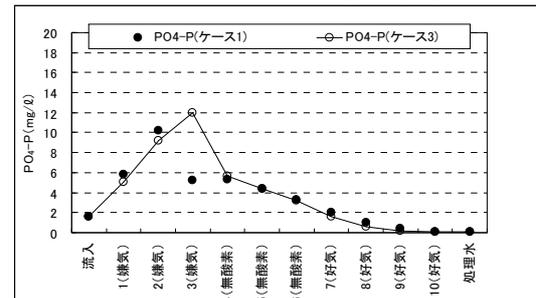


図-7 ケース 1・ケース 3 の解析結果(りん成分)

5. まとめ

- (1) 水塊追跡水質データからは、精度が十分に高いモデルを取得することが可能と推測された。
- (2) 冬季のキャリブレーションデータにおける送風倍率 5.7 倍に対して、処理水の NH₄-N を 1mg/l 以下とするために必要な送風倍率は 6.8 倍（実績比約 1.2 倍）と見出された。しかし、当該検討ケースでは送風倍率の増加とともに嫌気槽・無酸素槽での脱窒反応が優先され、りん除去が悪化する結果となった。
- (3) 嫌気槽や無酸素槽の槽割りを変更し送付倍率を 7.1 倍（実績比約 1.25 倍）に変更することにより、硝化を促進しつつ窒素除去・りん除去の悪化を抑制し、当該施設の目標処理水質を達成することが可能な運転方法が見出された。

【謝 辞】 共同研究を行うにあたり、ご助力を賜った共同研究者諸氏ならびに、データを提供して頂いた自治体関係者の皆様に深く感謝いたします。

【共同研究者】 財下水道新技術推進機構、オリジナル設計(株)、(株)日水コン、(株)東京設計事務所、日本工営(株)、日本上下水道設計(株)、日本水工設計(株)、(株)ニュージェック

【参考文献】 1) 活性汚泥モデル利活用マニュアル、財団法人下水道新技術推進機構、2010年3月

【問い合わせ先】 日本水工設計株式会社 下水道1部 施設設計課 阿部 善成

〒104-0054 東京都中央区勝どき 3-12-1 TEL:03-3534-5535 E-Mail:y-abe@n-suiko.co.jp