

〈研究発表〉

活性汚泥モデルを用いた二点 DO 制御高負荷型 OD 法の運転条件の検討

中町 和雄¹⁾, 藤原 拓²⁾

前澤工業 技術開発センター (〒332-8556 川口市仲町 5-11, E-mail: kazu_nakamachi@maezawa.co.jp)¹⁾
 高知大学 農学部 (〒783-8502 高知県南国市物部乙200, E-mail: fujiwarat@kochi-u.ac.jp)²⁾

概要

筆者らが開発中の二点 DO 制御高負荷型 OD 法は従来 OD の約半分の滞留時間で効率的な処理が可能な処理法である。本法では酸素供給量と OD 循環流速を独立に制御することにより、流入負荷の変動に対して DO 勾配を一定に保つことが可能で、これにより無終端水路に一定の好気・無酸素ゾーンを形成することを特長としている。

本稿では活性汚泥モデルを用いて酸素供給量と循環流速の独立制御が窒素除去特性に与える影響のシミュレーションを行い、従来技術と本法の処理特性の違いを明らかにする。

キーワード: オキシデーションディッチ、窒素除去、高度処理

1. はじめに

1.1 はじめに

(1) 背景

筆者らは小規模下水処理システムとして広く普及しているオキシデーションディッチ(以下 OD)を高負荷運転することにより省スペース化を実現し、その際に問題となる流入負荷変動の影響を「二点溶存酸素制御技術」により解決する「二点 DO 制御高負荷型 OD 法」の開発を行ってきた。

本報では活性汚泥モデルを用いて酸素供給量と循環流速の独立制御が窒素除去特性に与える影響のシミュレーションを行い、本法の処理特性を明らかにする。活性汚泥モデルは高知県高須浄化センター内に設置したベンチスケール実験装置で得られた実験データを用いてあらかじめキャリブレーションを行ったものを使用した。

2. 実験フローと計算方法

2.1 ベンチスケール実験装置

高知県浦戸湾東部流域下水道高須浄化センター内に、OD の流動を模擬する 8 槽完全混合槽列型の実験装置を設置し、実下水の連続実験を行った。Fig.1 に実験フローを示す。OD 無終端水路の循環流を模擬するためにポンプで循環液を循環した。No.6 槽の DO を一定に保つために No.5 槽の曝気量を制御し、No.8 槽の DO を一定に保つために循環倍率を制御した。No.1~4 槽は無酸素槽(DO ≤ 0.1mg/L)、No.5~No.7 槽を好気槽(DO ≥ 0.5mg/L)として運転した。

2.2 計算方法

計算は IWA の活性汚泥モデル ASM2d に基づき市販のソフトウェアを用いて行った。ベンチスケールを模擬した 8 槽完全混合槽列の生物反応槽に最終沈殿池を組み合わせた。各パラメーターはデフォルト値を使用した。実験データを用いたキャリブレーションにより、以下のパラメーターを変更した。

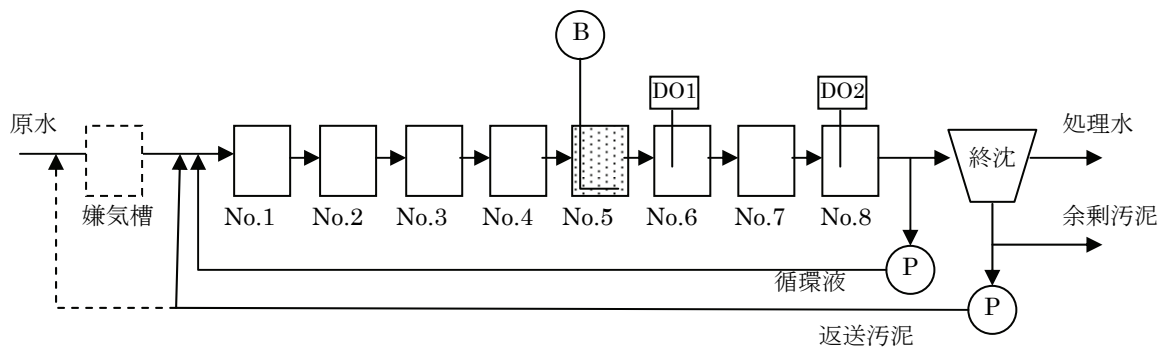


Fig.1 Flow diagram of High loading OD with dual DO control method

Table.1: Modified parameter

パラメーター	採用値	デフォルト値
K_NH4_AUT	0.5	1.0
K_O	0.1	0.2

定常計算では 100 日間の計算を行い、非定常計算では平均流入条件に対してあらかじめ定常計算を行った上で、約 1 秒刻みで計算を行った。
計算条件を下表に示す。

Table.2: Condition of calculation

処理水量	750~3,000m ³ /d
容量	1,500m ³ (水路長 150m を想定)
最終沈殿池	8m ³ /m ² ・日
反応タンク MLSS	3500mg/L
水温	15°C

流入水質を下表に示す。流入水質データは高須浄化センター内実験設備の流入水を用いた。
流入水質は COD_{Cr} の実測値及び流入 ff-COD_{II} を用いて分画し、X_I, X_S は固形物発生量が実測値と一致するようにあらかじめキャリブレーションを行った。

Table.3: Influent water quality and characterization

BOD ₅	160 mg/L
SS	181 mg/L
TN	35.8 mg/L
NH ₄ -N	19.9mg/L
PO ₄ -P	3.1 mg/L
S _I	17.25 mg/L
S _A	36.5 mg/L
S _F	6.25 mg/L
X _I	78 mg/L
X _S	217 mg/L
TCOD	244mg/L

2.3 槽内 DO プロフィールの確認

ケーススタディに先立って実測と計算の槽内 DO プロフィールが一致していることを Fig.2 より確認した。曝気風量制御により好気第2槽(DO6)を 1.0mg/L に、循環量制御により好気第 4 槽(DO8)を 0.2mg/L に、それぞれ独立に制御している状況が再現されていることを確認した。

3. ケーススタディ

上記で構築したモデルを用いて、いくつかのシナリオを想定しシミュレーションを行った。

3.1 HRT が DO プロフィール及び窒素除去特性に及ぼす影響

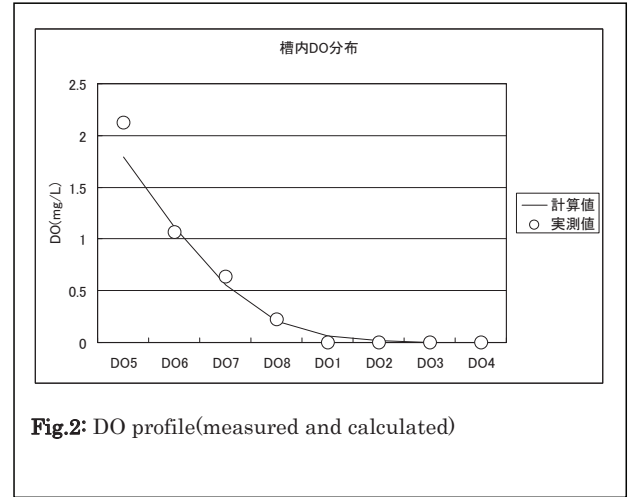


Fig.2: DO profile(measured and calculated)

流入水量を HRT=12~48hr の間で変更した場合の槽内 DO プロフィール(Fig.3)及び窒素除去特性(Fig.4)を定常計算で計算した。

計算条件: DO6=1.0mg/L 曝気風量制御
循環流速 0.3m/s 固定(循環時間 8.3 分)

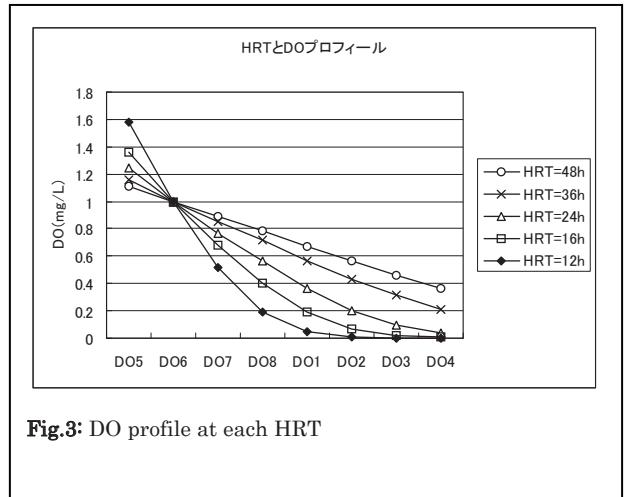


Fig.3: DO profile at each HRT

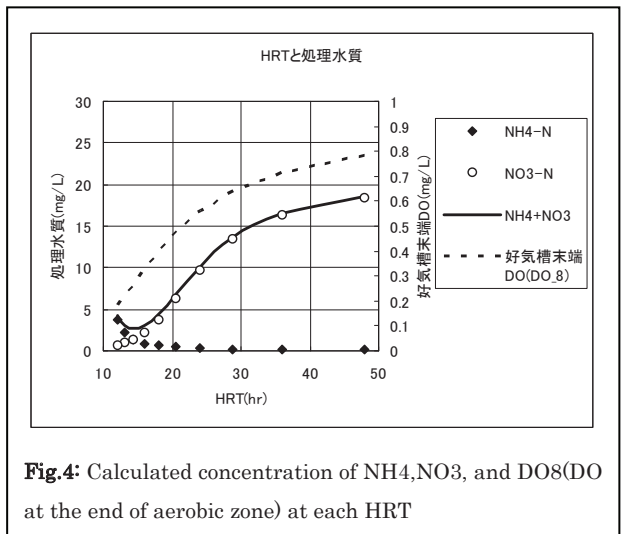


Fig.4: Calculated concentration of NH₄, NO₃, and DO₈ (DO at the end of aerobic zone) at each HRT

水路長 150m、水路流速 0.3m/s、循環時間 8.3 分の条件において、無酸素ゾーン比(DO ≤ 0.1mg/L の槽容積が占める割合)は HRT=36,48h で現出せず HRT=24h で 0.25 となり脱窒不足により処理水

NH₄+NO₃ 濃度が悪化した。一方、HRT=24h より小さい高負荷条件では酸素消費速度の増加によりDO 勾配が変化し、無酸素ゾーンが現出することで処理水NH₄+NO₃も低下した。

HRT=12hr のときの処理水 NH₄+NO₃は約 4mg/Lと良好で、好気槽末端 DO(DO8)は約 0.2mg/L であった。

3.2 循環流速が DO プロフィール及び窒素除去特性に及ぼす影響

3.1 の結果より流入負荷の変動により酸素消費速度が変化し槽内の DO プロフィールが変化して窒素除去性能に影響を与えることがわかった。しかし、槽内の DO プロフィールは循環流速によっても影響を受けることが知られている。

そこで、HRT=12hr の高負荷条件において、循環流速を 0.1~0.6m/s の範囲で段階的に変化させ、槽内 DO プロフィール(Fig.5)及び窒素除去特性(Fig.6)を定常計算で計算した。

計算条件:DO6=1.0mg/L 曝気風量制御
循環流速 0.1~0.6m/s(循環時間 4.1~25 分)

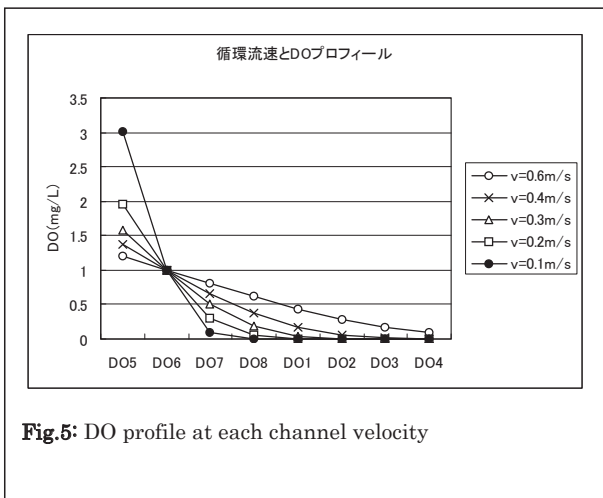


Fig.5: DO profile at each channel velocity

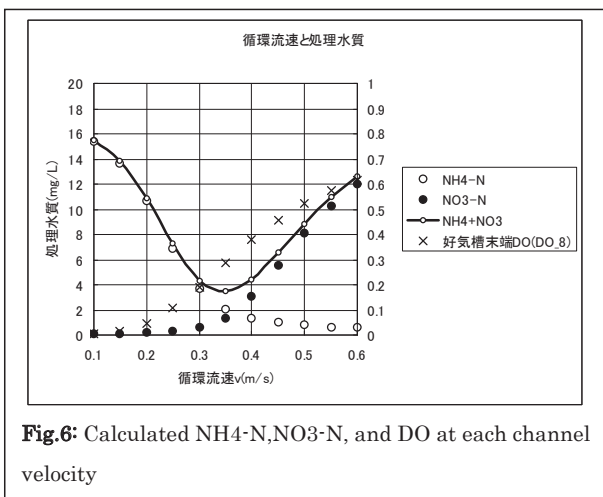


Fig.6: Calculated NH₄-N,NO₃-N, and DO at each channel velocity

槽内循環流速が大きい(=循環時間が短い)と DO

の勾配がゆるくなり全体的に好氣的雰囲気となり、無酸素ゾーンが形成されず処理水硝酸性窒素濃度が増加した。

循環流速が小さい(=循環時間が長い)と DO 勾配が急になり、好気ゾーンが小さくなり処理水アンモニア性窒素濃度が増加した。

窒素除去の最適条件を評価するための指標として処理水の NH₄-N+NO₃-N 濃度を用いた場合、循環流速 0.35m/s のときに最小のピークを示し、その際の好気槽末端 DO (No8 槽)は約 0.3mg/L であった。

OD の一周に要する循環時間 T は下式で表される。

$$T(\text{min})=L \div v \div 60 \quad \text{式(1)}$$

ここで Fig6 の横軸を式(1)を用いて循環時間に変換

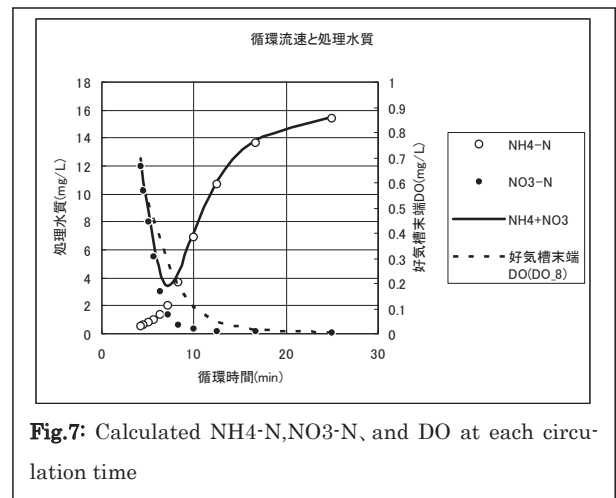


Fig.7: Calculated NH₄-N,NO₃-N, and DO at each circulation time

したものを Fig.7 に示す。

この条件においては循環時間が 8 分前後に窒素除去率が最適化される条件があることがわかる。

3.3 流入変動と循環流速制御の有無の影響

3.2 の結果より循環流速及び循環時間が槽内 DO プロフィール及び窒素除去特性に大きな影響を及ぼすことがわかった。一方、3.1 の結果より流入負荷が変動するとやはり槽内 DO プロフィールが変動する。ここで流入負荷変動に対して槽内 DO プロフィールを最適に保つことを目的として、DO2(第 8 槽 DO)を約 0.2mg/L で一定に保つ循環流速制御(以下二点 DO 制御という)を行った場合と、循環流速一定(以下一点 DO 制御という)の場合の比較を非定常計算で行った。

ここで二点 DO 制御の循環流速の制御範囲は 0.1~0.6m/s とし、一点 DO 制御の循環流速は 0.3m/s で固定した。

また日間の流入変動は負荷変動の大きい小規模施設を模擬して、下式のような正弦波の水量変動として与えた。

$$Q(t)=Q_{ave} \times (1 + 0.5 \sin(2 \pi t)) \quad (0 \leq t < 1)$$

$$\text{変動比} = Q(t)/Q_{ave}$$

Q_{ave}: 日平均水量

ここで簡単のため水質は一定としたため、流入負荷量は水量に比例する。HRT=12hr を考慮し 1 日を 2 分し、高負荷時間帯の負荷量 S_1 と低負荷時間帯の負荷量 S_2 とすると、 $S_1=0.67 \times (S_1+S_2)$ となり 1 日の負荷量の約 2/3 が高負荷時間帯に流入することとなる。

一点 DO 制御及び二点 DO 制御における好気槽末端 DO (DO8) 及び循環流速の計算結果を Fig.8 に示す。

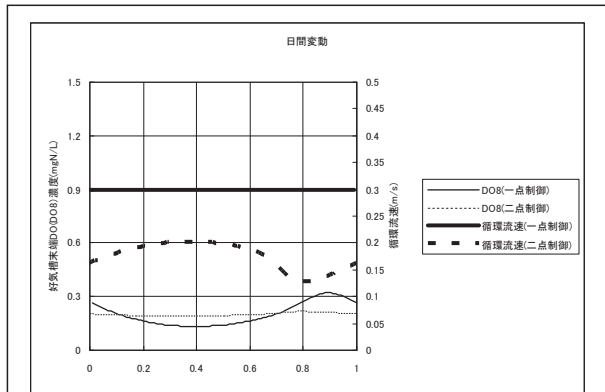


Fig.8: Calculated DO8(DO at end of aerobic zone) and channel velocity at single & dual DO control conditions

一点 DO 制御及び二点 DO 制御における $\text{NH}_4\text{-N}$ および $\text{NO}_3\text{-N}$ の計算結果を Fig.9 に示す。

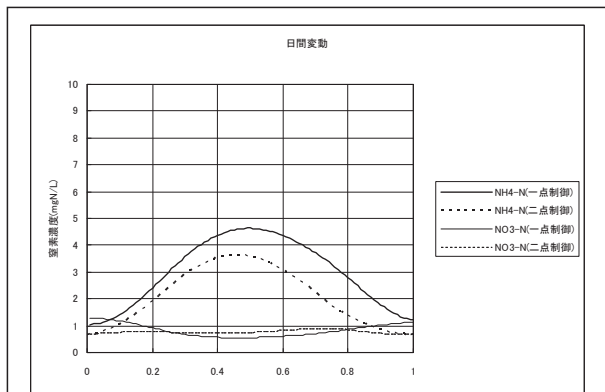


Fig.9: Calculated $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ at single and dual DO control conditions

一点 DO 制御においては流入負荷変動に応じて好気槽末端 DO が 0.1~0.3mg/L 程度に変動した。一方、二点 DO 制御においては好気槽末端 DO が 0.2mg/L に保たれた。

処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度については二点 DO 制御の方がやや良好な結果となった。

4. まとめ

ベンチスケールの実験データと活性汚泥モデルを用いて、二点 DO 制御高負荷型 OD 法の処理特性のケーススタディを行い、流入負荷および循環流速の大小が槽

内 DO プロフィール及び窒素除去特性に与える影響を試算した。得られた主要な成果を以下にまとめる。

1) 負荷が低いと無酸素ゾーンが現出せず脱窒反応が悪化したが、負荷を高めると DO 勾配が大きくなり脱窒が進行した。

2) $\text{NH}_4\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度を指標とした窒素除去性能について最適な循環流速が存在することを示した。

3) 小規模処理場を模擬した流入変動パターンを与え、一点 DO 制御と二点 DO 制御の計算結果を比較した。一点 DO 制御では流入の負荷変動に対して DO プロフィールが変化したのに対して、二点 DO 制御では一定に維持された。

4) 建設費の削減と窒素の高効率除去を目的とした高負荷二点 DO 制御 OD 法の有効性を示唆する計算結果が得られた。

[参考文献]

- 1) 安部義成、渡邊智英、斎藤謙、砂金岳、工藤和正：物理化学的分画を用いた活性汚泥モデルの実処理施設への適用、第 43 回下水道研究発表会講演集、pp.109-111, 2006.