

オキシデーションディッチ法におけるDOの空間分布と基質除去

佐賀大学理工学部 ○学 今村 正裕 学 野原 昭雄
正 荒木 宏之 正 古賀 憲一

1. はじめに

小規模下水道の普及に伴い、オキシデーションディッチ法(OD法)を採用する処理場が増加している。OD法による窒素除去は空間的に好気ゾーン・無酸素ゾーンを形成する方法(ゾーン方式)と時間的にディッチ内を好気状態・無酸素状態にする間欠曝気方式がある。間欠曝気方式の設計・運転操作法については既に明かにされているが¹⁾、ゾーン方式において効率的な窒素除去を行うためのゾーン形成の条件や水路長との関連についてはまだ検討の余地が残されている。

本研究では、ゾーン方式OD法による窒素除去についてDOの空間分布、水路長とDO分布・基質除去との関係について検討を加えた。

2. モデル式と計算方法

表-1, 2にモデル式とパラメーターを示す。対象とする基質はBOD、 NH_4^+-N 、 NO_3^--N でMLSSは一定として計算した。 NO_2^--N は実際の硝化・脱窒のプロセスではほとんど認められないので省略した。シミュレーションは、水路幅を3.0m、水深を1.5mとしディッチ長のみを50, 100, 150, 200, 300mと変化させて行なった。 K_L 及び平均流速は機械曝気装置の動力投入密度(W/m^3)と酸素供給効率($\text{kg}-\text{O}_2/\text{KWh}$)、流速に関する既存の値を用い、動力学パラメーターは、本学OD実験プラントの実測結果と一致するように値を決めたものである。計算は差分法により行い、押し出し流れとして扱った。下水の流入位置は曝気装置位置とし、放流位置は曝気装置の直前とした。

表-1 モデル式

$$\begin{aligned} \text{BOD} &: \frac{\partial S_{\text{BOD}}}{\partial t} + U \frac{\partial S_{\text{BOD}}}{\partial x} = E \frac{\partial^2 S_{\text{BOD}}}{\partial x^2} - r_{\text{BOD}} - a \cdot r_{\text{NO}_3} \\ \text{NH}_4^+-\text{N} &: \frac{\partial S_{\text{NH}_4}}{\partial t} + U \frac{\partial S_{\text{NH}_4}}{\partial x} = E \frac{\partial^2 S_{\text{NH}_4}}{\partial x^2} - r_{\text{NH}_4} \\ \text{NO}_3^--\text{N} &: \frac{\partial S_{\text{NO}_3}}{\partial t} + U \frac{\partial S_{\text{NO}_3}}{\partial x} = E \frac{\partial^2 S_{\text{NO}_3}}{\partial x^2} + r_{\text{NH}_4} - r_{\text{NO}_3} \\ \text{DO} &: \frac{\partial DO}{\partial t} + U \frac{\partial DO}{\partial x} = E \frac{\partial^2 DO}{\partial x^2} - C_{\text{NH}_4} \cdot r_{\text{NH}_4} \\ &\quad - C_{\text{BOD}} \cdot r_{\text{BOD}} - b \cdot C_s \cdot X + K_{Ld} (DO_s - DO) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{反応式} &: r_{\text{BOD}} = \frac{\hat{V}_{\text{BOD}} \cdot S_{\text{BOD}}}{K_{\text{BOD}} + S_{\text{BOD}}} \cdot \frac{DO}{K_{\text{DO}, \text{N}} + DO} \cdot X \\ r_{\text{NH}_4} &= \frac{\hat{V}_{\text{NH}_4} \cdot S_{\text{NH}_4}}{K_{\text{NH}_4} + S_{\text{NH}_4}} \cdot \frac{DO}{K_{\text{DO}, \text{NIT}} + DO} \cdot X \\ r_{\text{NO}_3} &= \frac{\hat{V}_{\text{NO}_3} \cdot S_{\text{NO}_3}}{K_{\text{NO}_3} + S_{\text{NO}_3}} \cdot \frac{S_{\text{BOD}}}{K_{\text{BOD}, \text{D}} + S_{\text{BOD}}} \cdot \frac{K_{\text{DO}, \text{DEN}}}{K_{\text{DO}, \text{DEN}} + DO} \cdot X \end{aligned}$$

表-2 パラメーター

記号	パラメーター名	パラメーター値
$\hat{V}_{\text{BOD}}$	最大比BOD除去速度	1.7(1/day)
K_{BOD}	BOD飽和定数	0.3(mg/l)
$K_{\text{DO}, \text{N}}$	BOD酸化におけるDO飽和定数	150.0(mg/l)
$\hat{V}_{\text{NH}_4}$	最大比硝化速度	0.04(1/day)
K_{NH_4}	NH_4^+-N 飽和定数	0.5(mg/l)
$K_{\text{DO}, \text{NIT}}$	硝化反応におけるDOの飽和定数	1.3(mg/l)
$\hat{V}_{\text{NO}_3}$	最大比脱窒速度	0.9(1/day)
K_{NO_3}	NO_3^--N 飽和定数	25.0(mg/l)
$K_{\text{BOD}, \text{D}}$	脱窒反応におけるBODの飽和定数	150.0(mg/l)
$K_{\text{DO}, \text{DEN}}$	脱窒反応におけるDOの飽和定数	0.05(mg/l)
a	脱窒反応において消費されるBODの割合	2.5
b	自己酸化係数	0.03
C_{NH_4}	NH_4^+-N 除去にともなうDO消費の割合	4.27
C_{BOD}	BOD除去にともなうDO消費の割合	0.4
C_s	自己酸化におけるDO消費の割合	0.57

E: 分散係数 U: 平均流速 X: MLSS

3. 計算結果と考察

(1) 一定負荷: 流入水質を $\text{BOD}=200\text{mg/l}$ 、 $\text{NH}_4^+-\text{N}=30\text{mg/l}$ 、 $\text{NO}_3^--\text{N}=0\text{mg/l}$ と一定にし、流れ方向の水質分布の定常解を求めた。図-1に計算結果の一例(水路長200m)を示す。DOは流下とともに減少し、好気ゾーンと無酸素ゾーンが形成されている。各ディッチ長における好気ゾーン長($\text{DO}=0.2\text{mg/l}$ となる地点)を L_a とし、図-2に L_a/L と $T-N$ 及びBOD除去率の関係を示す。 L_a/L が0.5付近で最大の $T-N$ 除去率が得られる。 L_a/L が小さい($L_a/L < 0.5$)即ち好気ゾーンが短いと硝化律速となり $T-N$ 除去率は低下する。 L_a/L が大きい場合($L_a/L > 0.5$)には硝化は進むが、無酸素ゾーンが相対的に短くなるため脱窒律速となり $T-N$ 除去率は低下する。しかしなが

ら、同一 L_a/L でも水路長が短い場合、曝気装置位置での DO 濃度（以後 DO_1 と略）は低くなり硝化不足となること、水路長が短いため生成された $NO_3^- - N$ を十分に脱窒できる無酸素ゾーン長を得ることができないため $T-N$ 除去率は低下する。 K_L と平均流速以外を同一条件として間欠曝気方式で計算を行うと、全ての水路長で95%程度の BOD 除去率と70~80%の $T-N$ 除去率が得られた。水路長300mの場合ゾーン方式より間欠曝気方式の方がわずかに除去率が低くなるが、200m以下では間欠曝気方式の方が高い除去率を得られることが分かった。我国の実際の施設では150m以下のディッチが多く、200m程度ではエアレーターを2個以上設置する場合が多いことを考慮すると間欠曝気方式の方が窒素除去には優れているといえる。図-3に、各ディッチの DO_1 と L_a/L の関係を示す。短いディッチではわずかな変化で L_a/L が大きく変化し、水路長が長くなるとその変化は小さくなる。従って、短いディッチほど所定の好気ゾーン長を安定して形成させることは難しいことが解る。

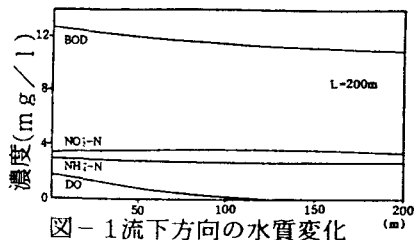


図-1 流下方向の水質変化

(2) 負荷変動： 図-4に示すように流入水質を一定とし、流量の時間変化は一定負荷の場合の流量 Q に対し振幅 $1.5Q$ の正弦曲線で負荷変動を与え計算した。 $NH_4^+ - N, NO_3^- - N$ の平均値はともに一定負荷の場合に比べ高くなっている。処理水 BOD の時間最大値は負荷変動に伴い平均値の2倍以上となる場合もある。図-5に、負荷変動により変化する好気ゾーン長の平均を $\bar{L}_a$ とし、 $\bar{L}_a/L$ と除去率との関係を示す。全体的な傾向は一定負荷の場合と同様である。 $\bar{L}_a/L$ の変化に対する $T-N$ 除去率の挙動は好気ゾーン長の時間的変動に伴い、前述のように硝化・脱窒が不安定となり一定負荷と比べて $T-N$ 除去率は10%近く低下する。同じ負荷変動のもとで間欠曝気方式により計算を行なうと $T-N$ 除去率は74%から77%の間となり、50m, 100mのディッチではゾーン方式に比べ20%程度の高い除去率が得られる。

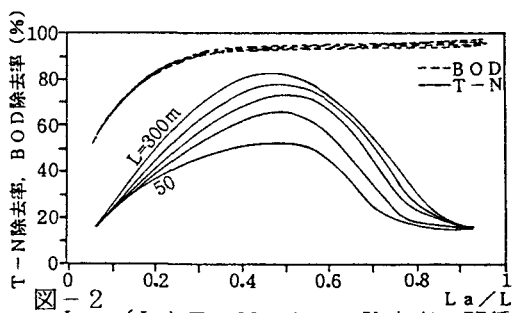


図-2 $\bar{L}_a/L$ と $T-N$ 、 BOD 除去率の関係

4. まとめ
種々のディッチについて、ゾーン方式と間欠曝気方式による除去機能をシミュレーションにより検討した。その結果長さが少なくとも300mまでは間欠曝気方式がゾーン方式よりも窒素除去に優れていることが明らかになった。

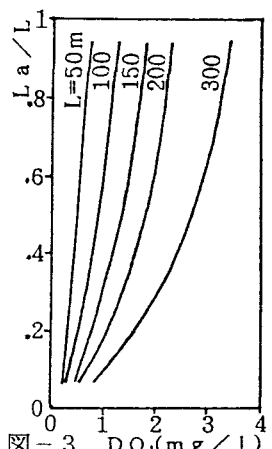


図-3 DO_1 と $\bar{L}_a/L$ の関係

参考文献 1) 荒木宏之：間欠曝気オキシデーションディッチ法による下水処理に関する研究、九州大学学位論文

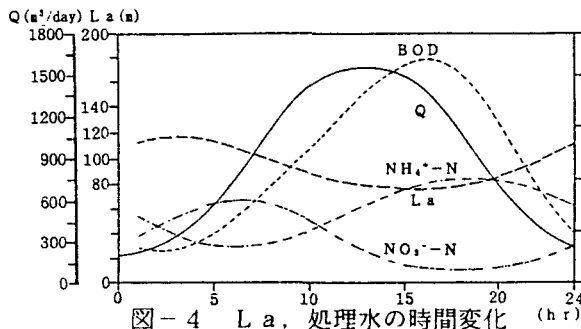


図-4 $\bar{L}_a$ 、処理水の時間変化

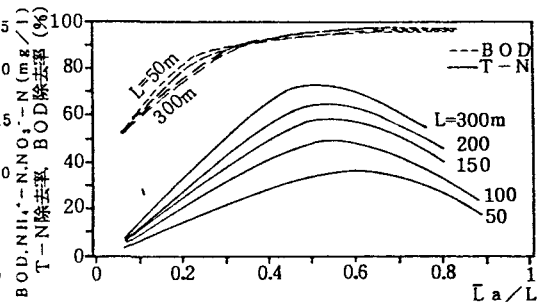


図-5 $\bar{L}_a$ と $T-N$ 、 BOD 除去率の関係