

II-140

オキシデーションディッチ法における溶存酸素の空間分布と窒素除去

九州大学大学院 ○学 今村 正裕

佐賀大学理工学部 正 荒木 宏之 正 古賀 憲一

佐賀大学大学院 学 野原 昭雄

1. はじめに

オキシデーションディッチ法（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らかにされているが¹⁾、ゾーン方式における窒素除去についてはまだ検討の余地が残されている。本研究では、ODにおけるDOの空間分布と曝気条件やディッチ長との関係、並びに窒素除去効率との関係についてシミュレーションにより検討を加えた。

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値を示す。対象水質はBOD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ でMLSSは一定とし、 $E=0$ として計算した。シミュレーションは、水路幅を3.0m、水深を1.5mとしディッチ長を50,100,150,200,300mと変化させて行なった。 K_L 及び平均流速にはOD用機械曝気装置の動力投入密度とそれぞれとの既存の関係をを用い、動力学パラメーター値は本学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。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

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

反応式

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

表-2 パラメーター

記号	パラメーター名	パラメーター
$\hat{v}_{\text{BOD}}$	最大比BOD除去速度	1.7(1/day)
K_{BOD}	BOD飽和定数	150.0(mg/l)
$K_{\text{DO},H}$	BOD酸化における溶存酸素飽和定数	0.3(mg/l)
$\hat{v}_{\text{NH}_4}$	最大比硝化速度	0.04(1/day)
K_{NH_4}	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 飽和定数	0.5(mg/l)
$K_{\text{DO},\text{NIT}}$	硝化反応における溶存酸素飽和定数	1.3(mg/l)
$\hat{v}_{\text{NO}_3}$	最大比脱窒速度	0.9(1/day)
K_{NO_3}	$\text{NO}_3^-\text{-N}$ 飽和定数	25.0(mg/l)
$K_{\text{BOD},D}$	脱窒反応におけるBODの飽和定数	150.0(mg/l)
$K_{\text{DO},\text{DEN}}$	脱窒反応における溶存酸素の飽和定数	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(1/day)
C_{NH_4}	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 除去にともなう溶存酸素消費の割合	4.27
C_{BOD}	BOD除去にともなう溶存酸素消費の割合	0.4
C_b	自己酸化における溶存酸素消費の割合	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：HRTを1hr、 $\text{BOD}=200\text{mg/l}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}=30\text{mg/l}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}=0\text{mg/l}$ とし、流れ方向の水質分布の定常解を求めた。図-1に水路長を200mとした場合の計算結果を示す。DOは流下と共に減少し100m付近で無酸素となっている。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 $T\text{-N}$ 及びBOD除去率の関係を示す。 L_a/L が0.5付近で最大の $T\text{-N}$ 除去率が得られる。 L_a/L が小さいと硝化が律速となり、 L_a/L が大きいと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が律速となり、 $T\text{-N}$ 除去率は低下する。また、水路長が短い場合には、最適な L_a/L を得るために曝気装置位置でのDO（以下 DO_1 ）を低くしなければならず、そのために硝化が不十分となり $T\text{-N}$ 除去

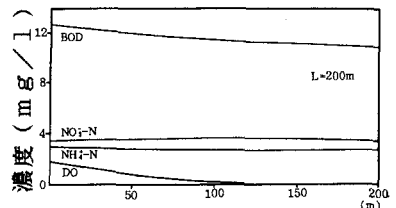


図-1 流れ方向の水質変化

率は低下する。図-3に、 DO_1 と La/L の関係を示す。短いディッチではわずかな DO_1 の変化で La/L が大きく変化し、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。以上のようにゾーン方式においては、硝化と脱窒のバランスからみた好気・無酸素ゾーンを形成させ、かつ、硝化に十分な好気ゾーンの DO レベルも確保できるように曝気操作を行なう必要がある。ところが、これらは前述のようにディッチ長によっても影響を受ける。そこで、ディッチ長（容量）を考慮した単位時間当りの供給酸素絶対量 OC' を用いて除去率を整理すると図-4のようになる。ディッチ長が短いほど最適な OC' の範囲が狭くなり、また、硝化と脱窒が共に十分生じるような好気ゾーンと無酸素ゾーンを同時に確保することが困難となるため、窒素除去率が低下している。このように、ディッチ長

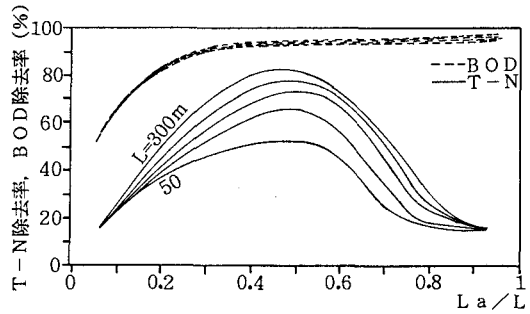


図-2 La/L とT-N・BOD除去率の関係

に応じてそこに形成される好気・無酸素ゾーン長と DO レベルを規定する操作因子としての OC' によりゾーン方式における曝気操作条件を検討できることが分かる。図中の●は間欠曝気とした結果であり、ディッチ長が短い場合でも高い除去率が得られる。これは、定まったディッチ長の中で硝化・脱窒を生じさせるための好気・無酸素ゾーンの形成と DO レベルの確保を行なわなければならないゾーン方式とは異なり、間欠曝気方式では時間的に好気・無酸素状態をつくり出せるため、本例に示した範囲内ではディッチ長に依らず硝化に必要な酸素供給（好気時間と DO の確保）と脱窒に必要な無酸素時間の確保が可能であるからである。

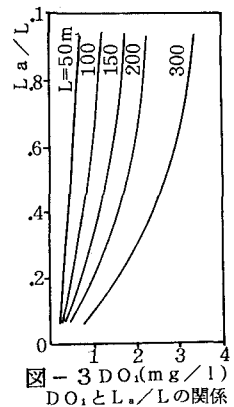


図-3 DO_1 (mg/l)と La/L の関係

(2) 負荷変動： 流入水質を一定とし、図-5に示すような流量の時間変動を与えて計算した。処理水の NH_4^+-N 、 NO_3^--N の平均値は共に一定負荷の場合に比べ高くなり、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。 $\overline{La}/L$ ($\overline{La}$

は平均好気ゾーン長)と各除去率の傾向は一定負荷の場合と同様であるが、T-N除去は好気ゾーン長の時間的変動に伴い硝化・脱窒が不安定となるため、一定負荷の場合と比べて除去率が10~20%低下する。これに対して、間欠曝気方式の場合は負荷変動の影響によるBOD、T-N除去率の低下はほとんど見られなかった。

4. まとめ

ゾーン方式の場合ディッチ長が300m程度あれば負荷変動があっても75%程度の窒素除去率が得られる。ゾーン方式の曝気操作条件は OC' により評価できる。間欠曝気方式の場合は負荷変動がある場合においてもディッチ長によらず80%程度の安定した高い除去率が得られる。実際の施設では2台以上の曝気装置が設置される場合が多いことも考慮すると、OD法において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といえる。

参考文献 1) 荒木宏之: 間欠曝気式持滞ゾー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

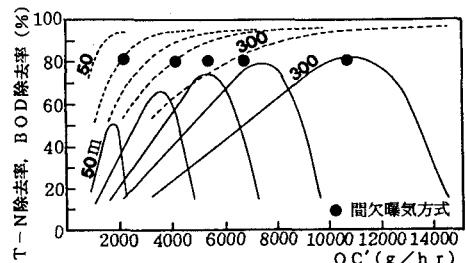


図-4 OC' とT-N、BOD除去率の関係

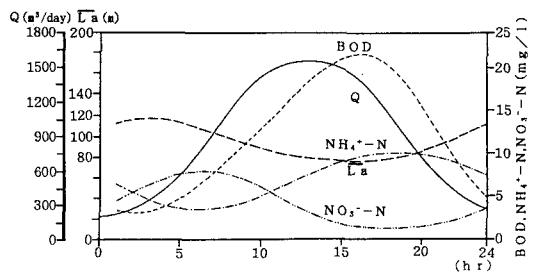


図-5 La 、処理水の時間変化