

神戸大学大学院工学研究科 学生員 ○松本 敏秀
 神戸大学工学部 フェロー 道奥 康治
 神戸大学大学院自然科学研究科 学生員 山田 怜奈

1. はじめに

一般廃棄物が埋め立てられた堆積層からは高濃度で様々な汚濁物質を含む水が浸出し、下流域へ環境負荷をもたらす。対象とする埋立処分場からは、リンの多くが土壤に吸着され、浸出するまで水がほとんど大気に触れないため還元状態に至り、高濃度のアンモニア態窒素を主成分とする水が浸出する。浸出水に含まれる溶存態マンガンも公共用水域への汚濁負荷成分として懸念される。著者らは、簡易浄化技術として浸出水のマイクロバブル曝気実験を実施し、作業気体として空気やオゾンを用いた場合よりも酸素曝気がより高い硝化・マンガン除去効果を発揮することを示した¹⁾。本研究では、水質生態系の生物化学過程を考慮した水質モデルを定式化し、曝気運用方式を検討するための解析ツールを構築する。

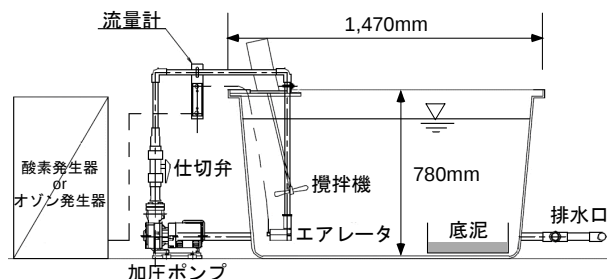


図-1 曝気実験装置¹⁾

2. 水質生態系モデル

窒素とマンガンの酸化を考慮して、アンモニア態窒素 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、亜硝酸態窒素 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、硝酸態窒素 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、溶存態マンガン S-Mn 、溶存酸素 DO を未知数とする収支をモデル化する。この中でアンモニア酸化 ($\text{NH}_4\text{-N} \Rightarrow \text{NO}_2\text{-N}$)、硝化 ($\text{NO}_2\text{-N} \Rightarrow \text{NO}_3\text{-N}$)、マンガン酸化を担う各種微生物の濃度も未知変数として収支式を考える。例として、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の時間変化率 $S(\text{NH}_4)$ は式(1)のように記述される。

$$S(\text{NH}_4) = -R_{\text{N1}} \cdot f_{\text{N1}}(T) \cdot \frac{\text{DO}}{D_{\text{N1}} + \text{DO}} \cdot \frac{B_{\text{NH}_4}}{C_{\text{BN1}} + B_{\text{NH}_4}} \cdot \text{NH}_4 \quad (1)$$

ここで、 R_{N1} : アンモニア酸化速度、 $f_{\text{N1}}(T)$: 温度制御関数、 D_{N1} , C_{BN1} : 半飽和定数である。この反応はアンモニア酸化菌濃度 B_{NH_4} によって活性化される。 B_{NH_4} の時間変化率 $S(B_{\text{NH}_4})$ は次式であらわされる。

$$S(B_{\text{NH}_4}) = \underbrace{R_{\text{BN1}} \cdot f_{\text{BN1}}(T) \cdot \frac{\text{DO}}{D_{\text{BN1}} + \text{DO}} \cdot \frac{\text{NH}_4}{C_{\text{NH}_4} + \text{NH}_4} \cdot B_{\text{NH}_4}}_{\text{増殖}} - \underbrace{R_{\text{BD1}} \cdot f_{\text{BD1}}(T) \cdot B_{\text{NH}_4}}_{\text{死滅}} \quad (2)$$

同様に、酸化反応にともなう $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, S-Mn の収支や反応を担う微生物の増減がモデル化される。 $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ の時間変化率を示せば、次のようである。

$$S(\text{NO}_2) = \underbrace{R_{\text{N1}} \cdot f_{\text{N1}}(T) \cdot \frac{\text{DO}}{D_{\text{N1}} + \text{DO}} \cdot \frac{B_{\text{NH}_4}}{C_{\text{BN1}} + B_{\text{NH}_4}} \cdot \text{NH}_4}_{\text{アンモニア酸化}} - \underbrace{R_{\text{N2}} \cdot f_{\text{N2}}(T) \cdot \frac{\text{DO}}{D_{\text{N2}} + \text{DO}} \cdot \frac{B_{\text{NO}_2}}{C_{\text{BN2}} + B_{\text{NO}_2}} \cdot \text{NO}_2}_{\text{硝化}} \quad (3)$$

$$S(B_{\text{NO}_2}) = \underbrace{R_{\text{BN2}} \cdot f_{\text{BN2}}(T) \cdot \frac{\text{DO}}{D_{\text{BN2}} + \text{DO}} \cdot \frac{\text{NO}_2}{C_{\text{NO}_2} + \text{NO}_2} \cdot B_{\text{NO}_2}}_{\text{増殖}} - \underbrace{R_{\text{BD2}} \cdot f_{\text{BD2}}(T) \cdot B_{\text{NO}_2}}_{\text{死滅}} \quad (4)$$

上式中の各モデル定数は式(1)中の諸量と同様である。硝化菌濃度 B_{NO_2} もまた式(2)と類似の収支式であらわされる。溶存酸素収支 $S(\text{DO})$ はマイクロバブル曝気と水面での自然曝気にともなう供給、上記の生物化学反応にともなう消費を考慮して次式のように表される。

$$S(\text{DO}) = \underbrace{E_{\text{AW}} \cdot (C_{\text{A}} - \text{DO})}_{\text{大気との交換}} + \underbrace{\frac{Q_{\text{X}} \cdot Q_{\text{O}} (C_{\text{O}} - \text{DO})}{V}}_{\text{曝気}} - \underbrace{R_{\text{N1}} \cdot f_{\text{N1}}(T) \cdot \frac{\text{DO}}{D_{\text{N1}} + \text{DO}} \cdot \frac{B_{\text{NH}_4}}{C_{\text{BN1}} + B_{\text{NH}_4}} \cdot \text{NH}_4 \cdot Y_{\text{NH}_4}}_{\text{アンモニア酸化による酸素消費}} - \underbrace{R_{\text{N2}} \cdot f_{\text{N2}}(T) \cdot \frac{\text{DO}}{D_{\text{N2}} + \text{DO}} \cdot \frac{B_{\text{NO}_2}}{C_{\text{BN2}} + B_{\text{NO}_2}} \cdot \text{NO}_2 \cdot Y_{\text{NO}_2}}_{\text{硝化による酸素消費}} - \underbrace{R_{\text{SMn}} \cdot f_{\text{SMn}}(T) \cdot \frac{\text{DO}}{D_{\text{SMn}} + \text{DO}} \cdot \frac{B_{\text{SMn}}}{C_{\text{BMn}} + B_{\text{SMn}}} \cdot f_{\text{SMn}}(\text{pH}) \cdot \text{SMn} \cdot Y_{\text{Mn}}}_{\text{マンガンの酸化による酸素消費}} \quad (5)$$

ここで、 C_A : 酸素の飽和濃度、 C_O : 曝気気体の酸素濃度、 Q_O : 送気量、 Q_X : 気泡の溶解率、 V : 水槽容積、 Y_{NH_4} , Y_{NO_2} , Y_{Mn} : 各反応による酸素消費量への換算係数、その他の係数は、式(1)で用いられたものと同様の意味を有する。

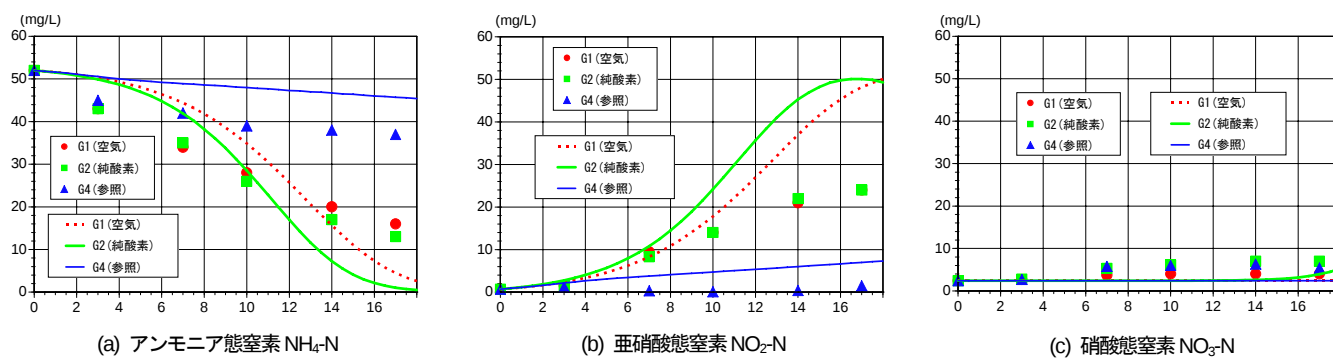


図-2 窒素系化合物の変化 (底泥なし)

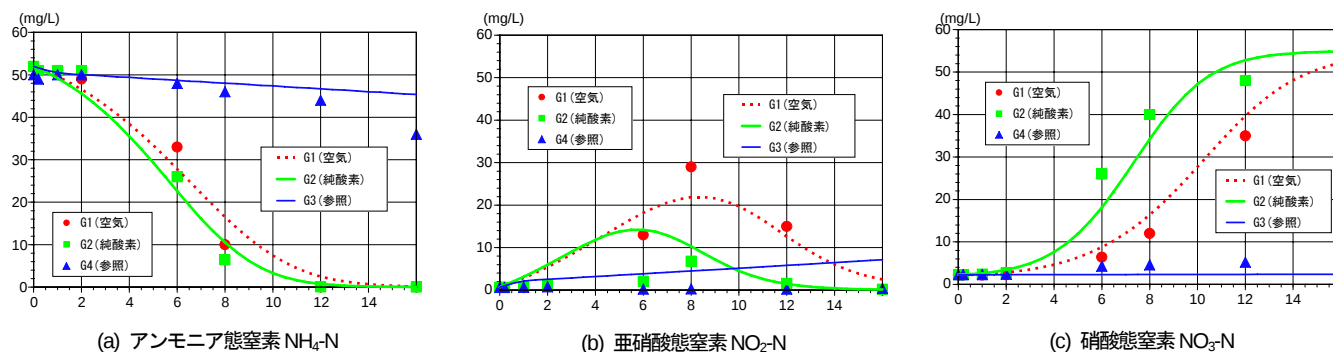


図-3 窒素系化合物の変化 (底泥あり)

3. 水質シミュレーション結果と実験値との比較

既報¹⁾の通り、微生物の供給源として水槽底に浸出水貯留池の底泥を敷いた場合と敷かない場合について曝気実験を実施した。シミュレーションでは、底泥の有無は微生物の初期濃度の違いによってあらわされた。その他、水質各項の実験値がシミュレーションと最も適合するようにモデルパラメータを調整した。図-2~5に実験値とシミュレーション結果の比較を示す。空気より酸素の方が窒素酸化の効率が高いこと、溶存態マンガンの除去効果に関しては空気と酸素に大きな違いがないことなど、水質挙動の特性がシミュレーションにおいても再現されている。また、底泥を敷かない場合には亜硝酸態窒素 NO_2-N までの酸化にとどまって硝化がほとんど生じていないのに対し、底泥を敷いた場合には、 NH_4-N から NO_2-N まで酸化されて NH_4-N が枯渇した後、硝化細菌の働きで NO_3-N への酸化が急速に進行する様子などが概ね再現されている。水質変化におよぼす諸因子の影響も検討したので講演時に報告する。

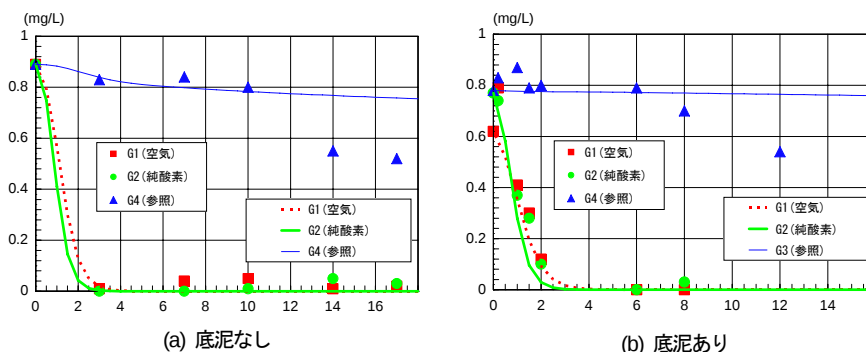


図-4 溶存態マンガンのS-Mnの変化

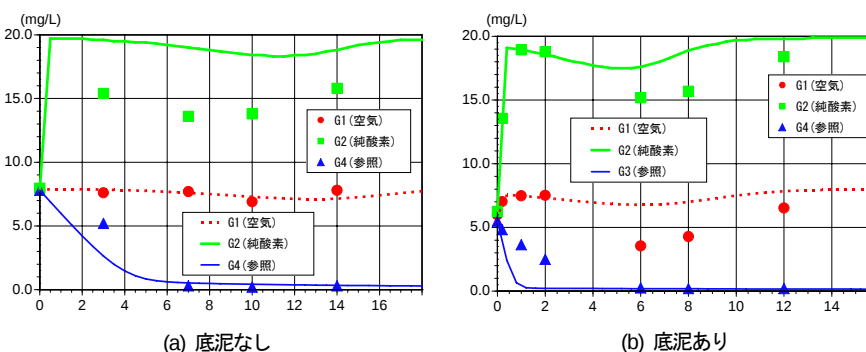


図-5 溶存酸素DOの変化

参考文献

- 1) 道奥他：ゴミ埋立処分場からの浸出水のマイクロバブルによる水質浄化，水工学論文集，第51巻，pp.1403-1408，2007年。