

VII-196

回転円板法の基質除去モデルとシミュレーション

函館高専 学生員 大内 祐介
函館高専 正会員 大久保 孝樹
函館高専 正会員 芦立 徳厚

1、はじめに

自然水系あるいは廃水処理施設に存在する微生物の多くは、フロックや微生物膜を形成している。特に微生物膜は、廃水処理施設や河川における自浄作用において重要な役割をしている。このような微生物膜には定常微生物膜と非定常微生物膜の形態があり、非定常微生物膜モデルの代表として廃水処理施設に用いられる回転円板法がある。非定常微生物膜モデルは、渡辺ら、山本らなどにより研究解析されている。山本¹⁾による研究では詳細に回転円板の現象を理論的に考察し、水中での基質除去フラックスだけでなく、水中出口部による膜交換現象を記述したモデルを構築している。本研究では、回転円板における水中出口部での膜交換現象を記述した山本のモデルを参考にし、反応項にモノタイプの記述を応用したモデルをシミュレートした。2つのモデルの解析を行い、第1のモデルを鉄酸化バクテリアによって形成された回転円板の生物膜とし、第2のモデルは有機物酸化、硝化、脱窒に lysis 分解を考慮した寺島²⁾らのモデルを参考にした。数値解析手法としては、空間を直交選点法により離散化し時間を k 段階 Runge-Kutta 法で解析する方法をとった。

2、2 基質制限の回転円板モデル

3、水中出口部での水膜交換を考慮したフラックスの式

空中

水中

$$\overline{N_{sw}} - f_2(S_{av} - S_b) \frac{\delta}{\tau_w}$$

領域 1 $0 \leq x_1 \leq L$

$$\frac{\partial Sf}{\partial t} = Df_s \frac{\partial^2 Sf}{\partial x_1^2} - \frac{Kms \cdot Sf}{Ks + S_f} \frac{Cf}{Ko + Cf} Xf$$

$$\frac{\partial Cf}{\partial t} = Df_c \frac{\partial^2 Cf}{\partial x_1^2} - \frac{Kms \cdot Sf}{Ks + Sf} \frac{Cf}{Ko + Cf} Xf$$

領域 2 $0 \leq x_2 \leq \delta_2$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = Dws \frac{\partial^2 S}{\partial x_2^2} \cdot \frac{\partial C}{\partial t} = Dwc \frac{\partial^2 C}{\partial x_2^2}$$

領域 1 $0 \leq x_1 \leq L$

$$\frac{\partial Sf}{\partial t} = Df_s \frac{\partial^2 Sf}{\partial x_1^2} - \frac{Kms \cdot Sf}{Ks + S_f} \frac{Cf}{Ko + Cf} Xf$$

$$\frac{\partial Cf}{\partial t} = Df_c \frac{\partial^2 Cf}{\partial x_1^2} - \frac{Kms \cdot Sf}{Ks + Sf} \frac{Cf}{Ko + Cf} Xf$$

領域 2 $0 \leq x_2 \leq \delta_2$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = Dws \frac{\partial^2 S}{\partial x_2^2} \cdot \frac{\partial C}{\partial t} = Dwc \frac{\partial^2 C}{\partial x_2^2}$$

領域 3 $0 \leq x_3 \leq \delta_3$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = Dws \frac{\partial^2 S}{\partial x_3^2} \cdot \frac{\partial C}{\partial t} = Dwc \frac{\partial^2 C}{\partial x_3^2}$$

$\overline{N_{sw}}$; 水中から水膜中への平均基質フラックス

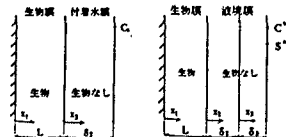
f_2 ; 水中出口部における水膜交換率

S_{av} ; 水中出口部における付着水膜中の平均基質濃度

S_b ; 槽内水中の基質濃度

δ ; 付着水膜厚さ

τ_w ; 平均滞水時間



4、鉄酸化バクテリアによって形成された生物膜を利用した回転円板法のシミュレーションと実験結果

図1は液本体の基質の濃度が50mg/l、酸素の濃度が5mg/lのときの空中時の濃度変化について示したグラフである。空中での濃度変化は時間がたつにつれて基質は消費され酸素が増えてきているのがわかる。図2は水中での濃度変化を示したものである。水中に入ると時間の経過とともに基質が取り入れられ、酸素は時間の経過とともに減って一定となっている。

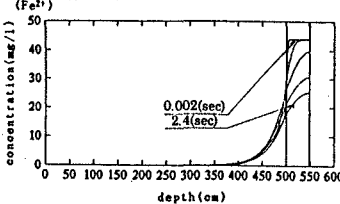


Fig.1 Profile of Fe^{3+} and oxygen concentration at air phase

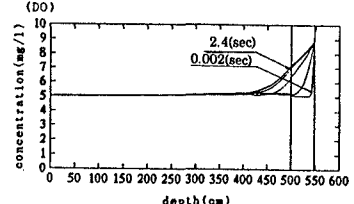


Fig.2 Profile of Fe^{3+} and oxygen concentration at water phase

図3はフラックスの時間変化について示したものである。水中時の液境膜表面での Fe^{2+} のフラックスは短時間で上昇し一定値となっている。DOのフラックスでは短時間で反応層へのフラックス（負のフラックス）が増大し、再び緩やかに減少している。図4は空中時の空中から酸素フラックスを示したものである。この図に示されるように酸素フラックスは急激に減少し一定値に近づいている。図5は液本体濃度と全鉄酸化速度のグラフである。実験値に多少ばらつきがあるものの計算結果はこの傾向をある程度表しており理論的に十分正しいことを示している。

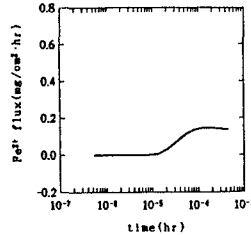
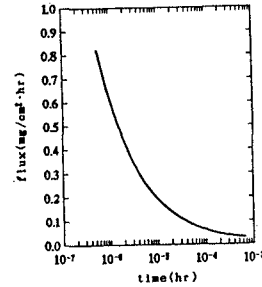

Fig.3.1 Change in Fe^{2+} flux at water phase


Fig.4 Change in oxygen flux at air phase

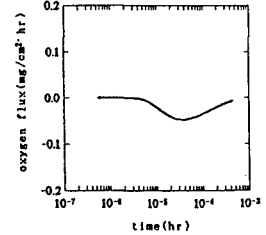


Fig.3.2 Change in oxygen flux at water phase

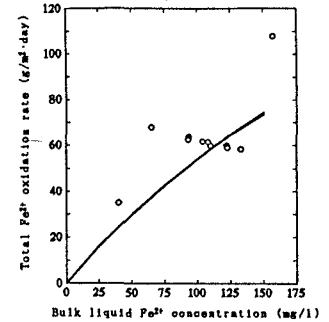


Fig.5 Comparison with experimental data and simulated value

5、有機物酸化、硝化、脱窒を記述したモデル²⁾ 例として空中時のモデルを示す

$$\begin{aligned} \text{領域 1 (生物膜)} \quad 0 \leq X_1 \leq L \\ \frac{\partial S}{\partial t} = DfS \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} - \frac{Kms \cdot Sf}{Ks + Sf} \frac{Cf}{Ko + Cf} Xf - \beta \frac{Kmc_2 \cdot C_2 f}{Kc_2 + C_2 f} \frac{Sf}{Ks + Sf} \frac{Kor}{Kor + Cf} Xf + K \cdot b \cdot P \cdot (1-f) Xf \\ \frac{\partial Cf}{\partial t} = DfCf \frac{\partial^2 Cf}{\partial x^2} - r_2 \frac{Kms \cdot Sf}{Ks + Sf} \frac{Cf}{Ko + Cf} Xf - r_a \frac{Kmc_2 \cdot C_2 f}{Kc_2 + C_2 f} \frac{Cf}{Ko + Cf} \frac{Af}{Kf + Af} Xf \\ \frac{\partial C_2 f}{\partial t} = DfC_2 f \frac{\partial^2 C_2 f}{\partial x^2} - (1 + Y_2 \cdot Fn) \frac{Kmc_2 \cdot C_2 f}{Kc_2 + C_2 f} \frac{Cf}{Ko + Cf} \frac{Af}{Kf + Af} Xf + Kr \cdot Fn \cdot b(1-f) Xf - Y_1 \cdot Fn \frac{Kms \cdot Sf}{Ks + Sf} \frac{Cf}{Ko + Cf} Xf \\ \frac{\partial C_1 f}{\partial t} = DfC_1 f \frac{\partial^2 C_1 f}{\partial x^2} - \frac{Kmc_1 \cdot C_1 f}{Kc_1 + C_1 f} \frac{Sf}{Ks + Sf} \frac{Kor}{Kor + Cf} Xf + \frac{Kmc_2 \cdot C_2 f}{Kc_2 + C_2 f} \frac{Cf}{Ko + Cf} \frac{Af}{Kf + Af} Xf \\ \frac{\partial Af}{\partial t} = DfA \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} - (\omega + \sigma \cdot Y_2 \cdot Fn) \frac{Kmc_2 \cdot C_2 f}{Kc_2 + C_2 f} \frac{Cf}{Ko + Cf} \frac{Af}{Kf + Af} Xf - \sigma \cdot Y_1 \cdot Fn \frac{Kms \cdot Sf}{Ks + Sf} \frac{Cf}{Ko + Cf} Xf + \theta(1-Y_2 \cdot Fn) \frac{Kmc_2 \cdot C_2 f}{Kc_2 + C_2 f} \\ + \sigma \cdot Kr \cdot Fn \cdot b \cdot (1-f) Xf \end{aligned}$$

$$\text{領域 2 (付着水膜)} \quad 0 \leq X_2 \leq \delta_2$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial t} &= DwS \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} \\ \frac{\partial C}{\partial t} &= DwC \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \\ \frac{\partial C_1}{\partial t} &= DwC_1 \frac{\partial^2 C_1}{\partial x^2} \\ \frac{\partial C_2}{\partial t} &= DwC_2 \frac{\partial^2 C_2}{\partial x^2} \\ \frac{\partial A}{\partial t} &= DwA \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} \end{aligned}$$

6、有機物酸化、硝化、脱窒を記述したモデルのシミュレーション結果

ここでは複数の基質を考慮したモデルを用いたプログラムによるシミュレーション結果について述べる。

図6は液本体の濃度が30mg/l、酸素の濃度が2mg/lの時の濃度変化を示したグラフである。膜表面部では酸素が十分に有るため、アンモニアが酸化作用を生じ硝酸が多くなっている。膜奥部では基質が支持体に向かって徐々に増加し、酸素がゼロになり、これにより脱窒が起こっている。ここで基質が支持体に向かって徐々に増加しているのは lysis 分解によるものである。

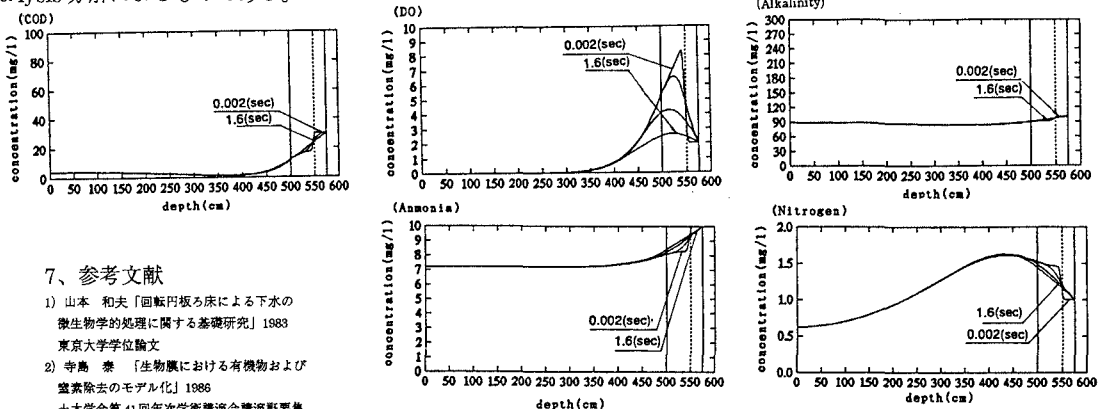


Fig.6 Profile of COD, oxygen, alkalinity, ammonia and nitrogen at water phase

7、参考文献

- 山本 和夫「回転円板ろ床による下水の微生物学的処理に関する基礎研究」1983 東京大学学位論文
- 寺島 泰「生物膜における有機物および窒素除去のモデル化」1986 土木学会第41回年次学術講演会講演要集