

II-118 逆洗をともなう急速ろ過における硝化のシミュレーション

八戸工業大学 学生員 ○伊藤 秋範

正員 佐藤 米司、福士 憲一

1. はじめに 急速ろ過における低濃度硝化を対象に、逆洗をともなう非定常生物膜モデルを考え、シミュレーションと実験の結果を比較検討したので報告する。

2. モデルの概要

(1) 低濃度系のフラックス式¹⁾ 図-1のRittmannのモデルに基づくと、フラックス J は次式群で示される。

$$J = -D_b \frac{dS}{dz} = \frac{D_b}{L_d} (S - S_s) \quad (1)$$

$$D_f \frac{d^2 S_f}{dz^2} = \frac{k \cdot X_f \cdot S_f}{K_s + S_f} \quad (2)$$

$$S = S_s \quad (z=0), \quad dS_f/dz = 0 \quad (z=L_f) \quad (3)$$

上式群に一般的な解析解は存在しないが、図-2のような数学的近似解は得られる。低濃度系では生物膜が薄く(図-1のC型)、境膜抵抗も無視してもよいので、

$$\therefore J = k \cdot X_f \cdot L_f \frac{S}{K_s + S} \quad (4)$$

(2) 生物膜の消長式²⁾ Rittmannらと同様に増殖、死滅、流れによるせん断剥離の各項から成る式で考える。

$$\frac{dX_f L_f}{dt} = Y \int \frac{k X_f S_f}{K_s + S_f} dz - b X_f L_f - b_s X_f L_f \quad (5)$$

第1項の積分はフラックス J のことであり、生物密度 X_f を一定とすると次式のようになる。

$$\therefore \frac{dL_f}{dt} = (Yk \frac{S}{K_s + S} - b - b_s) L_f \quad (6)$$

さらに、生物膜厚の時間変化は十分に小さいので次式のようにも表現できる。

$$\Delta L_f = (Yk \frac{S}{K_s + S} - b - b_s) L_f \Delta t \quad (7)$$

(3) 固定層への適用 図-3の1次元流れモデルで、拡散項、移流項、反応項を考えると次式となる。

$$\varepsilon \frac{\partial S}{\partial t} = D_H \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} - v \frac{\partial S}{\partial x} - a \cdot J \quad (8)$$

$$v \cdot S_0 = v \cdot S - D_H \frac{\partial S}{\partial x} \quad (x=0), \quad \frac{\partial S}{\partial x} = 0 \quad (x=1) \quad (9)$$

(4) 逆洗のモデル化 図-4のように2次元の砂層内生物膜厚分布を仮定し、逆洗時のろ材混合により水平方向分布が縦方向に置き代わり、かつ水流により生物膜の一部が剪断剥離すると考える。また、砂層深 (i) の

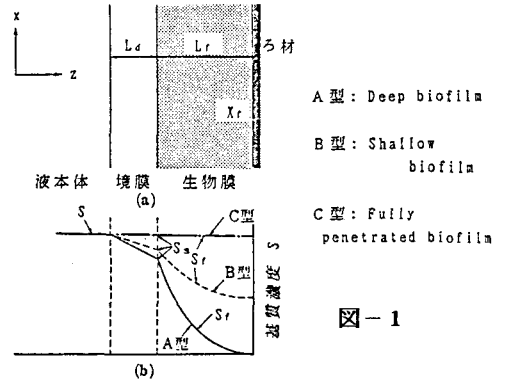


図-1

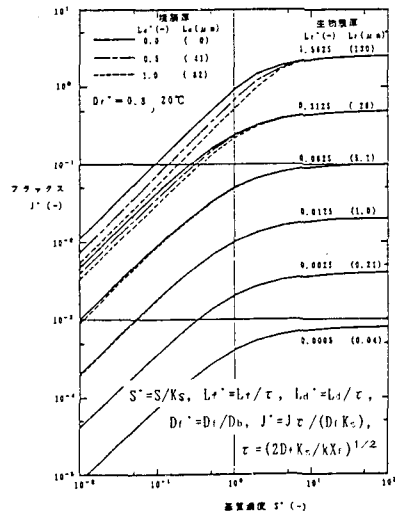


図-2

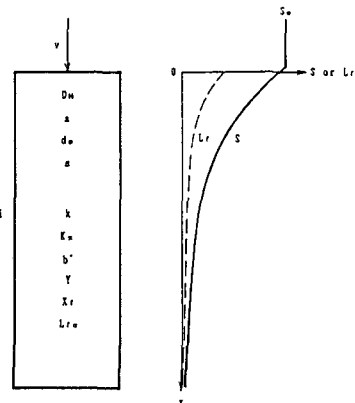


図-3

各膜厚クラス(j)に対するフラックスの総和と等しいフラックスJ(i)に対応する平均膜厚 $\bar{L}_f(i)$ を仮定する。これにより、フラックス式と生物膜消長式は式(4)と(6)の形のまま使用でき、計算上は1次元モデルとして扱える。

<逆洗直前までは>

$$\frac{dL_f(i, j)}{dt} = \left\{ Yk \frac{S}{K_s + S} - b - b_s \right\} L_f(i, j) \quad (i, j = 1 \sim N) \quad (10)$$

$$J(i) = kX_f \bar{L}_f(i) \frac{S(i)}{K_s + S(i)} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N kX_f L_f(i, j) \frac{S(i)}{K_s + S(i)} \quad (11)$$

<逆洗直後は>

$$L_f(i, j) = (1-w) \bar{L}_f(j) \quad (i=1 \sim N) \quad (12)$$

ここで、 $L_f(i, j)$:任意の砂層深(i), 水平位置(j)における生物膜厚(cm), $\bar{L}_f(i)$:任意の砂層深(i)における平均生物膜厚(cm), $S(i)$:砂層深(i)におけるバルク基質濃度(mg/cm³), N:砂層の分割数, i, j方向同数, w:逆洗による生物膜流出係数(-), $0 \leq w \leq 1$ である。

3. 計算結果と実験結果

(8)式の基礎式に(10)~(12)式を導入して数値計算を行った。詳細は略すが、クランクニッソ法による差分とガウス消去法を用い、パソコン(BASIC)で計算を行った。計算条件は水温20℃で、硝化反応に係わる諸係数として $k=2.5 \text{ day}^{-1}$, $K_s=0.7 \text{ mg/l}$, $b=0.05 \text{ day}^{-1}$, $b_s=0.005 \text{ day}^{-1}$, $Y=0.39$, $X_f=10 \text{ mg/cm}^3$ 、砂層と流れの諸条件として $l=67 \text{ cm}$, $d_p=0.0772 \text{ cm}$, $\varepsilon=0.43$, $v=100 \text{ m/day}$, $D_H=670 \text{ cm}^2/\text{day}$ 、原水濃度 $S_o=1.0 \text{ mg-N/l}$ 、初期生物膜厚 $L_{f0}=0.01 \mu\text{m}$ 、砂層の分割数 $N=12$ 、時間刻み $\Delta t=30 \text{ sec}$ 、逆洗による生物膜流出係数 $w_o=0.7$, $w=0.1$

とした。図-5に計算と実験の結果を示す。若干食い違う部分もあるが、両者は比較的良好に一致しており、モデルがほぼ妥当なものであることを示している。なお、水温と原水濃度の非定常変動についても計算と実験の結果がよく一致することを確認しているが、これらは別の機会に報告する。

<参考文献> 1) Rittmann, et. al.; J. ASCE, EE4, 831(1981). 2) Rittmann, et. al.; J. WPCF, 56, 874(1984)

<使用記号> a: ろ層比表面積(cm²), b: 自己分解係数(day⁻¹), b_s: 剪断剥離係数(day⁻¹), d_p: ろ材径(cm),

D_b: 水中の基質の分子拡散係数(cm²/day), D_f: 生物膜内の基質の分子拡散係数(cm²/day), D_H: 縦方向混合拡散係数(cm²/day), J: 基質フラックス(mg/cm²/day), k: 最大比消費速度(day⁻¹), K_s: Monodの飽和定数(mg/cm³), l: ろ層全長(cm), L_d: 境膜厚(cm), L_f: 生物膜厚(cm), L_{f0}: 初期生物膜厚(cm), S: バルク基質濃度(mg/cm³), S_o: 原水基質濃度(mg/cm³), S_r: 生物膜内の基質濃度(mg/cm³), S_s: 生物膜表面の基質濃度(mg/cm³), t: 時間(day), v: ろ過速度(空塔)(cm/day), w: 逆洗による生物膜流出係数(-), w_o: 同左の初期値(-), X: ろ層深(cm), X_f: 生物膜内微生物濃度(mg/cm³), Y: 収率係数(-), z: 生物膜表面からの鉛直距離(cm), ε: 空隙率(-)

	水平方向位置 or 膜厚クラス 1 j N	平均 膜厚	バルク 濃度
1	$L_f(1,1) \dots L_f(1,j) \dots L_f(1,N)$	$\bar{L}_f(1)$	$S(1)$
⋮			
砂 層 i	$L_f(i,1) \dots L_f(i,j) \dots L_f(i,N)$	$\bar{L}_f(i)$	$S(i)$
⋮			
N	$L_f(N,1) \dots L_f(N,j) \dots L_f(N,N)$	$\bar{L}_f(N)$	$S(N)$

図4-6 a 逆洗直前の生物膜厚分布(完全混合)

	水平方向位置 or 膜厚クラス 1 j N
1	$(1-w) \bar{L}_f(1) \dots (1-w) \bar{L}_f(j) \dots (1-w) \bar{L}_f(N)$
⋮	
砂 層 i	$(1-w) \bar{L}_f(1) \dots (1-w) \bar{L}_f(j) \dots (1-w) \bar{L}_f(N)$
⋮	
N	$(1-w) \bar{L}_f(1) \dots (1-w) \bar{L}_f(j) \dots (1-w) \bar{L}_f(N)$

図4-6 b 逆洗直後の生物膜厚分布(完全混合)

図-4

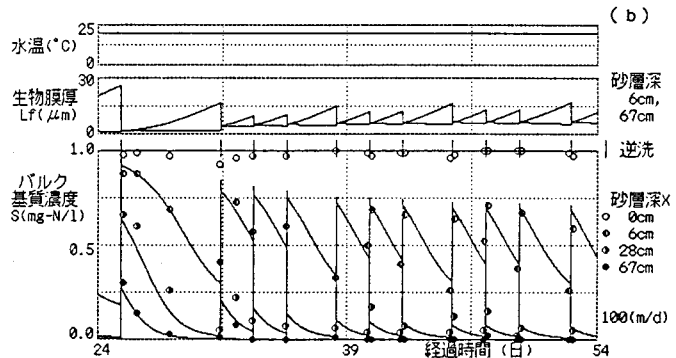


図-5