

VII-75

生物集塊の挙動に及ぼす形態と拡散層の影響

函館高専 正 員 大久保 孝 樹
 函館高専 正 員 芦 立 徳 厚
 東北大学 フェロー 野 池 達 也

1.はじめに

水環境に存在するバクテリアのほとんどは、生物集塊を形成している。微生物の集合体である生物集塊の存在形態として、生物膜、ブロック、グラニュール等が挙げられる。これらの生物集塊は様々な形態をしており、その形とはたけの関係を理論的、実験的に解明している例は少ない。著者らは、以前より生物膜の表面形態および活性汚泥ブロック形態が、その挙動、特に基質除去フラックスにどのように影響を与えるかを理論的かつ実験的に調べている(1) (2) (3) (4)。

今回は、生物膜表面凹凸とブロック外部に形成される拡散層を仮想的に想定したモデルを用いシミュレートすることにより、生物集塊の形態と拡散層の影響を定性的かつ定量的に調べることを試みた。実験との整合性の確認に関しては、モデルの単純性や仮定などの問題を解決して行き、より現実に近いモデルの構築をした上で行っていきたいと考えている。

2. 生物集塊モデル

(1) 二次元生物膜モデル

生物膜内 (D1)

$$D_{sf} \frac{\partial^2 S_f}{\partial X^2} + D_{sf} \frac{\partial^2 S_f}{\partial Y^2} = \frac{V_{SMAX} S_f}{K_s + S_f} \frac{C_f}{K_c + C_f} X_f$$

$$D_{cf} \frac{\partial^2 C_f}{\partial X^2} + D_{cf} \frac{\partial^2 C_f}{\partial Y^2} = \frac{V_{CMAX} S_f}{K_s + S_f} \frac{C_f}{K_c + C_f} X_f$$

境界条件

$$(B2) \quad S = S^*, \quad C = C^*$$

$$(B3)$$

$$(B1)$$

$$D_s \frac{\partial S}{\partial X} l + D_s \frac{\partial S}{\partial Y} m = 0$$

$$D_c \frac{\partial C}{\partial X} l + D_c \frac{\partial C}{\partial Y} m = 0$$

$$D_{sf} \frac{\partial S_f}{\partial X} l + D_{sf} \frac{\partial S_f}{\partial Y} m = 0$$

$$D_{cf} \frac{\partial C_f}{\partial X} l + D_{cf} \frac{\partial C_f}{\partial Y} m = 0$$

拡散層内

$$D_s \frac{\partial^2 S}{\partial X^2} + D_s \frac{\partial^2 S}{\partial Y^2} = 0$$

$$D_c \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} + D_c \frac{\partial^2 C}{\partial Y^2} = 0$$

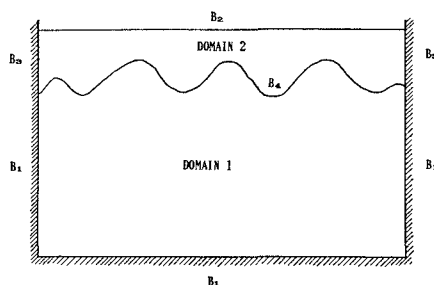


Fig. 1 Finite domain of biofilm with rough surface

(2) 回転体微生物ブロックモデル

ブロック内 (領域 I)

$$D_{sf} \left\{ \frac{\partial^2 S_f}{\partial X^2} + \frac{1}{X} \frac{\partial S_f}{\partial X} \right\} + D_{sf} \frac{\partial^2 S_f}{\partial Y^2} = \frac{V_{SMAX} S_f}{K_s + S_f} \frac{C_f}{K_c + C_f}$$

$$D_{cf} \left\{ \frac{\partial^2 C_f}{\partial X^2} + \frac{1}{X} \frac{\partial C_f}{\partial X} \right\} + D_{cf} \frac{\partial^2 C_f}{\partial Y^2} = \frac{V_{CMAX} S_f}{K_s + S_f} \frac{C_f}{K_c + C_f}$$

境界条件

$$B1 (X \text{ 軸, } Y \text{ 軸})$$

$$D_s \frac{\partial S}{\partial X} l + D_s \frac{\partial S}{\partial Y} m = 0 \quad D_{sf} \frac{\partial S_f}{\partial X} l + D_{sf} \frac{\partial S_f}{\partial Y} m = 0$$

$$D_c \frac{\partial C}{\partial X} l + D_c \frac{\partial C}{\partial Y} m = 0 \quad D_{cf} \frac{\partial C_f}{\partial X} l + D_{cf} \frac{\partial C_f}{\partial Y} m = 0$$

拡散層内 (領域 II)

$$D_s \left\{ \frac{\partial^2 S}{\partial X^2} + \frac{1}{X} \frac{\partial S}{\partial X} \right\} + D_s \frac{\partial^2 S}{\partial Y^2} = 0$$

$$D_c \left\{ \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} + \frac{1}{X} \frac{\partial C}{\partial X} \right\} + D_c \frac{\partial^2 C}{\partial Y^2} = 0$$

B2 (ブロック体と拡散層の境界)

$$D_{sf} \frac{\partial S_f}{\partial X} l + D_{sf} \frac{\partial S_f}{\partial Y} m = D_s \frac{\partial S}{\partial X} l + D_s \frac{\partial S}{\partial Y} m$$

$$D_{cf} \frac{\partial C_f}{\partial X} l + D_{cf} \frac{\partial C_f}{\partial Y} m = D_c \frac{\partial C}{\partial X} l + D_c \frac{\partial C}{\partial Y} m$$

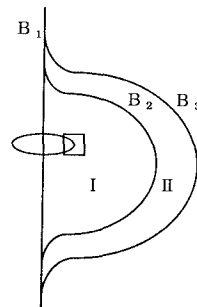


Fig. 2 Rotating body of floc

ここで、 D_{sf} , D_{cf} : 生物集塊内の基質と酸素の分子拡散係数、 D_s , D_c : 水中での基質と酸素の分子拡散係数、 S , C : 生物集塊内での基質と酸素濃度、 S_f , C_f : 拡散層内での基質と酸素濃度、 V_{SMAX} , V_{CMAX} : 基質と酸素の最大比消費速度、 K_s , K_c : 基質と酸素の飽和定数、 X_f : 生物集塊内の微生物密度、 l , m : 境界面に立てた法線ベクトルの要素

3. 生物膜の挙動に与える膜表面凹凸と拡散層の影響

Fig. 3～Fig. 4は、連続実験で54日間馴致した生物膜(Run. 3)の測定凹凸に仮想的な拡散層を考慮したモデルのシミュレート結果である。生物膜は十分発達しており凹凸は大きくなっている。拡散層から突出している凸の部分では、形態に沿って浸透深さが変化しているが、拡散層に埋もれている凹凸の形態の影響は、拡散層によって大きく緩和されていることがわかる。

Table. 1は、7日目(Run. 1)、20日目(Run. 2)、54日目(Run. 3)の反応槽の下層の凹凸をモデル化し、平均生物膜厚上の拡散層厚を各Runに対し、0 μm 、50 μm 、100 μm とした場合の線長比(面積増分比に当る)、rms (root mean square)とフラックス増分比の関係を示したものである。ここでのフラックス増分比は、凹凸と拡散層を考慮した2次元生物膜モデルのシミュレート結果より計算された基質除去フラックスを拡散層を考慮してない平面の生物膜の基質除去フラックスで除したものである。Table. 1の中で、フラックス増分比が1.0以下になっている系列があるが、これは拡散層を考慮していない平面の生物膜との比をとったからである。拡散層を考慮した平面の生物膜との比も考えられるが、凹凸の生物膜の拡散領域と平面の拡散領域および膜厚との関係が不明確なので、ここでは考慮しないことにした。Table. 1に示されるようにTable. 2の拡散層を考慮しないものに比べフラックス増分比が低くなっていることがわかる。また、Run. 1、Run. 2、Run. 3と凹凸が大きくなるにつれ、フラックス増分比が増加し、拡散層が0 μm 、50 μm 、100 μm と大きくなるにつれ増分比が小さくなることが示されている。各Runの凹凸に対する拡散層の増大の影響は、Run. 3の凹凸が大きい系列が小さくなっていることが示されている。

4. 拡散層を考慮したブロックモデルの考察

Fig. 5は、ブロック形態の種類を、等辺の球・円錐・円柱、縦長の楕円・円錐・円柱、円盤型の楕円・円錐・円柱の9種類に分け、拡散層を考慮しない場合、考慮する場合の計18種類について同一ブロック体積における有効係数を図に示したものである。拡散層を考慮している実線は、考慮しない破線に比較して有効係数が低くなっている。このことにより、拡散層の存在がフラックスに与える影響が大きいことがわかる。等辺の球・円錐・円柱形態(白丸)において、拡散層を考慮している有効係数(実線)は、考慮していないもの(破線)のグラフ形状を変えずに低下している。このことは、等辺型のものは、拡散層の影響が3形態とも均等に出ていることを示している。縦長の形態(黒丸)では、円柱形態に対する拡散層の影響が、楕円・円錐形態に比べ大きいことがわかる。円盤形態(白三角)では、円柱形態の有効係数に与える拡散層の影響が少なく、楕円・円錐形態に対する影響が円柱形態の影響の2倍近く出ていることが示される。

5. 参考文献

- 1) 大久保、水環境学会誌 第19巻 第4号 281-293 1996
- 2) 大久保、環境工学研究論文集 第32巻 99-110 1995
- 3) 大久保、函館高専紀要 第30号 93-104 1995
- 4) 大久保、土木学会年講 VII, 1994, 1995, 1996, 1997



Fig.3 Simulation of Fe^{2+} concentration profile within biofilm at 54days

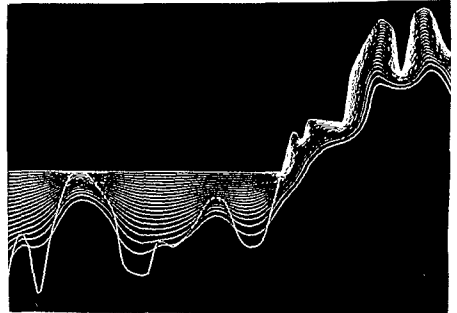


Fig.4 Magnified figure of Fig.1

Table.1 Relation between diffusion layer and increased rate of flux

Run	Length ratio	rms	Increased rate of flux
Run.1 0um	1.73	0.143	1.004
50um	1.73	0.143	0.8556
100um	1.73	0.143	0.7147
Run.2 0um	2.00	0.222	1.123
50um	2.00	0.222	0.9842
100um	2.00	0.222	0.8601
Run.3 0um	2.32	0.539	1.174
50um	2.32	0.539	1.110
100um	2.32	0.539	1.050

Table.2 Relation between morphology and increased rate of flux without diffusion layer

Run	Length ratio	rms	Increased rate of flux
Run.1	1.73	0.143	1.523
Run.2	1.999	0.222	1.862
Run.3	2.32	0.539	2.065

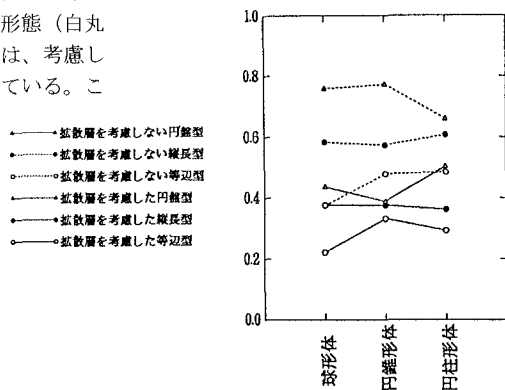


Fig.5 Effect of morphology and diffusion layer on effectiveness factor of bacterial floc