

生物集塊の挙動に及ぼす形態の影響に関する一考察

函館高専 大久保 孝 樹

函館高専 芦 立 徳 厚

東北大学 野 池 達 也

1. はじめに

自然界あるいは廃水処理施設等では、微生物は分散状態または集塊を形成した状態で存在しているが、その大部分は生物集塊を形成している。生物集塊には、ブロック等のように水中に浮遊しているもの、河床あるいは支持体に着着して生物膜を形成しているものがある。生物集塊、特に、活性汚泥ブロックは色々な形態をとっており、このような形態がどのようにブロックの挙動に影響を及ぼすかを考察していくことは重要と思われる。

本研究では、ブロックを2次元体の回転体としてモデル化し、有限要素法によって数値シミュレーションすることによって、ブロックの有効係数に及ぼす形態の影響を考察した。また、実際の処理場の活性汚泥ブロックと人工基質の連続実験による活性汚泥ブロックの形態を、フラクタル次元によってその複雑度の違いを定量化し、シミュレーションの結果とともに考察を加えた。

2. 微生物集塊(ブロック)の有効係数に及ぼす形態の影響について(有限要素法による数値計算)

〈回転体ブロックモデル〉

①ブロックの形態は、2次元の曲線をY軸を中心に回転させたものとする

②反応項は、基質、酸素による2基質制限とする。

$$\frac{\partial^2 S}{\partial X^2} + \frac{1}{X} \frac{\partial S}{\partial X} + \frac{\partial^2 S}{\partial Y^2} = \phi_s^2 \frac{S}{K_{sa} + S} \frac{C}{K_{ca} + C} \quad (1)$$

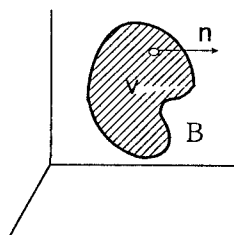
$$\frac{\partial^2 C}{\partial X^2} + \frac{1}{X} \frac{\partial C}{\partial X} + \frac{\partial^2 C}{\partial Y^2} = \phi_c^2 \frac{S}{K_{sa} + S} \frac{C}{K_{ca} + C}$$

at surface of floc $S=1, C=1$ (無次元濃度)

$$X=0, \quad \frac{\partial S}{\partial X}=0, \quad \frac{\partial C}{\partial X}=0 \quad (2)$$

〈微生物集塊の有効係数について〉

任意の形状をしたブロックの有効係数について以下に記述する。



V : ブロックの体積領域 V_p : ブロック体積
 B : ブロックの外部表面領域 S_x : ブロック表面積
 dV : 体積要素
 dB : 外部表面要素
 $\partial/\partial n$: 外部表面要素に立てた法線微分
 ∇^2 : ラプラシアン
 $r_s(S, C), r_c(S, C)$: 基質及び酸素の局所反応項

ブロック表面の全基質除去フラックス(J_s)及びブロックの有効係数(η_s)は、

$$J_s = D_s \iint_B \frac{\partial S}{\partial n} dB = D_s \iiint_V \nabla^2 S dV = \iiint_V r_s(S, C) dV, \quad \eta_s = \frac{\iiint_V r_s(S, C) dV}{V_p r_s(S^*, C^*)} = \frac{D_s \iint_B \frac{\partial S}{\partial n} dB}{V_p r_s(S^*, C^*)} \quad (3)$$

ここで、基質消費と酸素消費の間に $r_c(S, C) = \alpha r_s(S, C)$ なる関係があるとすれば、酸素に関する有効係数は、基質の有効係数に等しくなる。 $\eta_s = \eta_c = \eta$

(3)式より、有効係数は関数 r_s (局所的基質消費速度) だけでなく、ブロックの体積領域 V と外部表面領域 B にも依存している。関数 r_s は、ダブルモノタイプの場合、 $\phi_s, \phi_c, K_{sa}, K_{ca}$ の関数となる。同一形態の場合の有効係数は、

$$\eta = \text{function}(\phi_s, \phi_c, K_{sa}, K_{ca}) \quad \text{となる。}$$

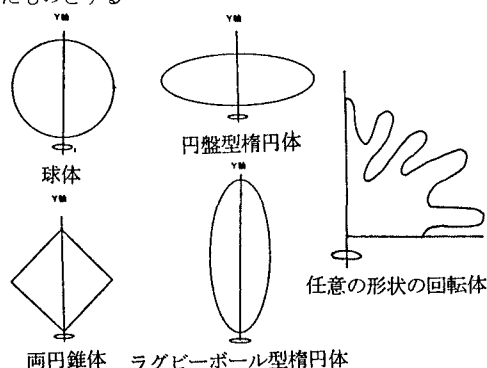


Fig. 1 回転体ブロックモデル

ここで、
$$\phi_s = \sqrt{\frac{v_{s\max} \cdot L^2 \cdot X_f}{D_{sf} \cdot S^*}} \quad \phi_c = \sqrt{\frac{v_{c\max} \cdot L^2 \cdot X_f}{D_{cf} \cdot C^*}}$$

ここで、形態の影響を考慮した関数形をとることにし、R.Aris¹⁾が一次反応の触媒で定義したパラメータを修正して

$$\Lambda_s = \frac{\phi_s}{L} \frac{V_p}{S_x}, \quad \Lambda_c = \frac{\phi_c}{L} \frac{V_p}{S_x}$$

とする。そのとき、有効係数 η は、 $\eta = \text{function}(\Lambda_s, \Lambda_c, K_{sa}, K_{ca})$ となる。

Λ_s 又は Λ_c のパラメータによって、 η に及ぼす形態の影響を考察することが可能となる。

3. 結果及び考察

3.1. 活性汚泥ブロックの有効係数に及ぼす形態の影響

Fig.1は、ブロックを、球、円錐（円錐を底面で二つあわせた形態）、円盤型楕円体、ラグビーボール型楕円体と任意の複雑な形態をした回転体に近似したものである。Fig.2は、上述した形態を持った活性汚泥ブロックの有効係数に及ぼす形態の影響について図示したグラフである。球、円錐、楕円体において、有効係数は、体積一表面積比（ V_p/S_x ）が一定の場合、円錐形がもっとも小さく、円盤型楕円体が大きい値を取っている。ある同一体積に換算すると矢印の位置となり、球がもっとも小さい有効係数となる。一方、複雑な任意の形状をしたブロックの有効係数は、上記の有効係数の曲線とは大きくずれ、 V_p/S_x が小さいとき有効係数はより小さくなり、 V_p/S_x が大きくなると有効係数はより大きくなることを示されている。ある同一体積に換算すると、有効係数は、ここで挙げた形態でもっとも大きい値を示すことがわかる。

Fig.3は、複雑な任意の形状をしたブロックにおける酸素の濃度プロファイルの一例である。ここでは、拡散層を考慮しなかったため、今後、拡散層を考慮して考察を加えていく必要があるだろう。

3.2. 処理場、実験によって得られたブロックの形態について

Fig.4は、某処理場の活性汚泥ブロック（嫌気一好気で連続運転）と連続実験（滞留時間24時間）によって得られた活性汚泥ブロックの写真である。Fig.5は、処理場の活性汚泥ブロックの投影面積と投影周長の関係を示したものであり、この図よりフラクタル次元を求めた。

Fig.6は、連続実験のブロックの投影面積と投影周長の関係よりフラクタル次元を求めたものである。これらの図からわかるように、糸状菌を有している処理場のブロックのフラクタル次元が、糸状菌を有していない連続実験のブロックより大きくなっていることわかり、糸状菌を骨格としたブロックの方がより複雑な形態をしていることがわかる。

3.1の有効係数に及ぼす形態の影響のところ、複雑で V_p/S_x のより小さい形態の方が、より有効係数が大きくなることを考えれば、糸状菌を骨格とした活性汚泥の方が浄化能力が高くなることを示唆しているものと考えられる。しかし、糸状菌が多くなれば、当然バルキングが生じることは確かであり、そのバランスが重要であると考えられる。

（謝辞）ここで発表したものは、函館高専31期生、木口喬介、本見健治、両君の卒業論文の一部である。ここに、計算、実験等に努力を惜しまなかった両君に謝意を表す。

（文献）1) Aris, R. (1975) On shape factors for irregular particles. Chem. Eng. Sci. ,6, 262-268

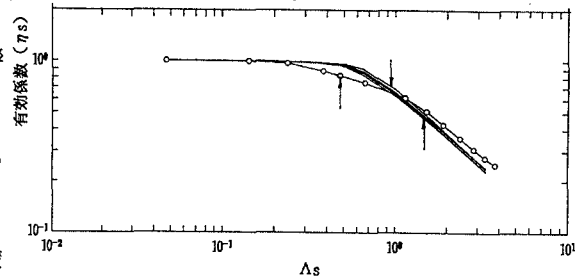


Fig. 2 有効係数に及ぼす形態の影響



Fig. 3 酸素濃度プロファイル

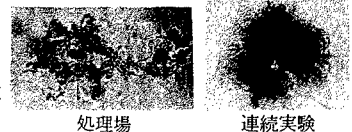


Fig. 4 活性汚泥ブロック写真

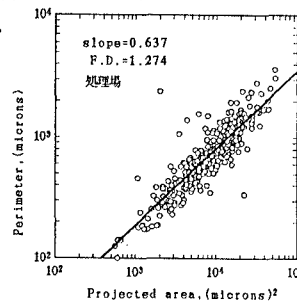


Fig. 5 Relationship between perimeter and projected area of floc

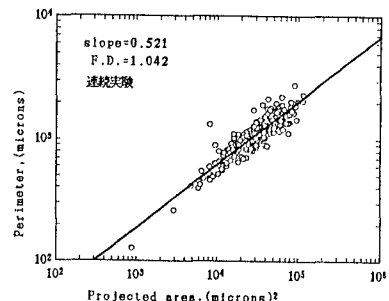


Fig. 6 Relationship between perimeter and projected area of floc