

II—91

微生物の気質利用速度に及ぼす攪拌強度の影響について

岩手大学工学部 学生員 ○遠藤 真

正員 海田輝之 相沢治郎 大村達夫

1. はじめに

近年、固定化微生物による廃水処理が注目を集めている。また、活性汚泥も‘自己固定化微生物’といえる。このような固定化微生物では、液本体から固定化微生物表面への基質の移動に対する抵抗（外部拡散抵抗）と微生物集塊内での基質の移動に対する抵抗（内部拡散抵抗）が生じる。反応槽での流体の攪拌の強度は前者に影響し、ひいては反応槽内の微生物による基質利用速度に影響を及ぼす。本研究では、攪拌強度をSherwood数により表現し、微生物がなんらかの形態で集塊している場合の基質利用速度について著者らの従来の知見¹⁾をふまえて理論的に検討する。

2. 固定化微生物の基質利用速度

著者らは、微生物が完全に分散された状態での比基質利用速度がMichaelis-Menten式で表されるとき、この微生物が固定化されたときの反応速度 ν について、外部及び内部拡散抵抗を考慮して検討し、

$$\nu = \frac{\eta_o \nu_m C_b}{C_b + (K_m/K) + \delta_o}$$

で表されることを示した¹⁾。ここで、 η_o ：有効係数、 ν_m ：微生物が分散した状態での最大比基質利用速度、 C_b ：bulkの基質濃度、 K_m ：微生物が分散した状態でのMichaelis定数、 K ：分配係数である。また、 δ_o は外部及び内部抵抗の影響を表すパラメーター（濃度の次元をもつ）で

$$\delta_o = \left(\frac{\phi_m^2 \eta_o}{3 Sh_o} \right) K_m \quad \text{であり、} \quad \phi_m^2 = \frac{\nu_m X_o R_o^2}{K_m D} \quad \text{で与えられる。}$$

ここで、 X_o ：ペレットの密度、 R_o ：ペレットの半径、 D ：基質の液中での拡散係数、 Sh_o ：シャーウッド数である。

したがって、 δ_o に及ぼす攪拌強度の影響を検討すれば良いことになる。以下では、活性汚泥フロックを対象とし、BOD酸化菌および NH_4 -N酸化菌について、従来報告されている知見をもとに検討する。

1) 種々のパラメーターについて

・ Sh_o (Sherwood数) : Bathelot²⁾は、乱流下での球粒子のSherwood数を理論解析より、 $Sh_o = 1 + 0.55 P_o^{1/3}$ で表されることを示した。ここで、 P_o (ペクレー数) は $P_o = R_o^2 G / D$ (G は攪拌強度) で、 $P_o > 1$ 、 $R_o = R_o^2 G / \nu < 100$ のときに適用できる。フロック径を0.003~0.3cmとすれば上式は G 値が10~1000s⁻¹までの範囲で適用できる。

・ X_c ：フロックの空隙率 ϵ は $\epsilon = (X_o - X_w) / (X_o - X_w)$ で、 X_o ：cellの密度(1.3g/cm³)、 X_w ：水の密度(1g/cm³)で表される。また、 L ³⁾らは、フロックの静水中での沈降速度とフロックの最長径 L (cm)との関係を実験より、 v (cm/s) = $0.522 L^{0.55}$ で示した。Stokesの式を用い、 $L = 2 R_o$ 、粘性係数の値を0.01(g/cm²・s)とし、cell中の80%が水分とすれば、

$$X_c = 0.2(1 - \epsilon) X_o, \quad 1 - \epsilon = 1.170 \times 10^{-4} R_o^{-1.45}$$

となる。

・ R_o ：フロックの形成は主に細胞外代謝物質のlinkageによってなされるので、必ずしも G 値の関数とはならないので、ここでは独立変数として扱う。

・ η_o ：本発表会での赤川らと同様の条件で求めると、

$$\eta_o = \frac{12 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n \left(\frac{4}{3} \phi_m^2 \right)^{n-1}}{3 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 7 \cdots 3n \cdot (3n+1)}}{\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\left(\frac{4}{3} \phi_m^2 \right)^n}{3 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 7 \cdots 3n \cdot (3n+1)}}, \quad \phi_m^2 = \frac{\nu_m}{k_m} \frac{X_o}{D_o} R_o^2, \quad D_o = \left(\frac{\epsilon}{\tau} \right) D$$

・その他：BOD酸化菌については、 $D=6.6 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{s}$ 、 $K_m=20 \text{mg/l}$ 、 $\nu_m=10.0 (\text{d}^{-1})$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 酸化菌については、 $D=1.5 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{s}$ 、 $K_m=2.98 \text{mg/l}$ 、 $\nu_m=7.40 (\text{d}^{-1})$ とし、 τ はともに1.5とした。

3. 計算結果及び考察

図-1, 2に $\text{NH}_4\text{-N}$ 酸化菌について、図-3, 4にBOD酸化菌についての計算結果を示す。 ϕ_m^2 は R_p の増加関数であるため、フロック径 R_p が大きくなるにしたがって大きくなる。 ϕ_o^2 は R_p が小さいときにはフロックの空隙率 ε が小さいため大きな値をとり、 R_p が大きくなるにしたがって ε は大きく、 X_o は小さくなるため極小値を取り、その後増加する。有効係数 η は ϕ_m^2 と逆の傾向を示し、本計算例ではどちらの場合も $R_p=0.05 \text{cm}$ のところで最大値をとり、フロック内の微生物を有効に利用するためには最適のフロック径が存在することを示している。 δ_o/K_m の値については、同一径では当然 G 値の大きな方が小さくなり、また、同一の G 値では、ある R_p の時に最大値をとっている。全体としては、通常の反応槽の攪拌強度である $G=100 \sim 500 \text{s}^{-1}$ でみると、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 酸化菌では、 K_m の10~20%程度、BOD酸化菌では5~8%の修正が必要であることが分かった。

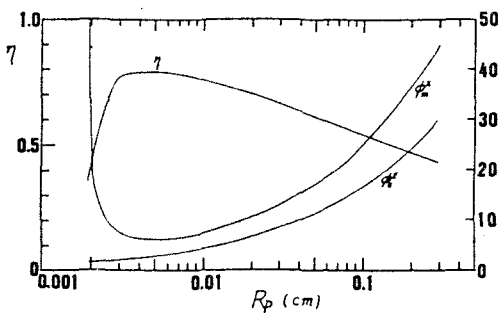


図-1 R_p と η 、 ϕ_m^2 、 ϕ_o^2 との関係の計算結果
($\text{NH}_4\text{-N}$ 酸化菌)

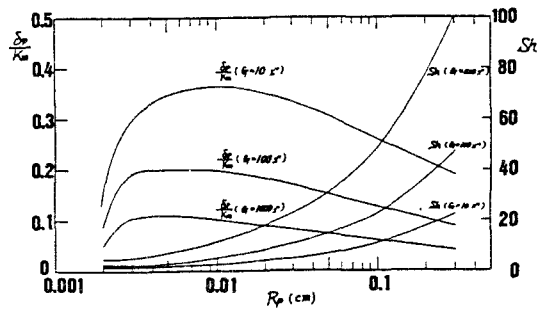


図-2 R_p と δ_o/K_m 、 Sh との関係の計算結果
($\text{NH}_4\text{-N}$ 酸化菌)

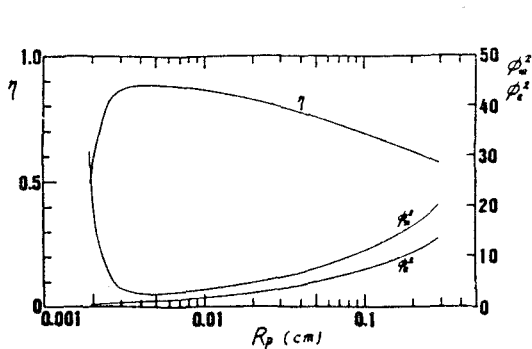


図-3 R_p と η 、 ϕ_m^2 、 ϕ_o^2 との関係の計算結果
(BOD酸化菌)

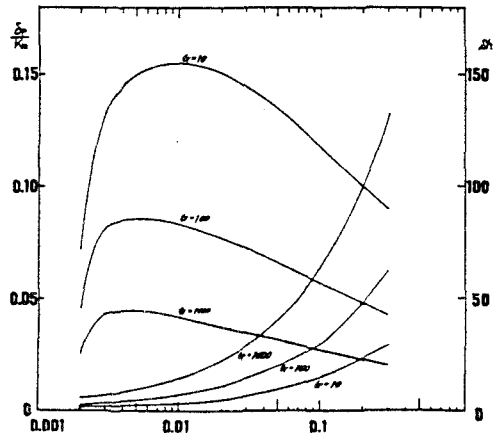


図-4 R_p と δ_o/K_m 、 Sh との関係の計算結果
(BOD酸化菌)

参考文献

- 1) 海田ら, 固定化微生物の基質利用速度に関する研究, 水環境学会誌投稿中
- 2) Batchelor, G. K. (1980) J. Fluid Mech., Vol. 98, part 3, 609-623.
- 3) Li, D. (1987) Water Research, Vol. 21, No. 3, 257-262