

早稲田大学理工学部 正員 遠藤 郁夫

早稲田大学理工学部 学生員 〇 稲毛 克俊

1. 緒 論

標準散水戸床法、超高率散水戸床法、回転戸床法、或いは、回転円板接触法などの固着性生物膜による基質除去機構ならびに、生物膜の物理的諸性質は、浮遊性微生物(活性汚泥法)と比較して必ずしも明らかにされていない。生物膜のこれらの性質を明らかにすることによって、生物膜を常に活性化の状態に維持するための散水負荷、回転数等を明らかにすることができる。

2. 実験装置および実験方法

実験はガラス管による生物膜について、生物膜の諸性質を明らかにした。実験装置の概略は、図-1に示した。流速は水頭差によって変化させた。下水を循環させたガラス管は、充分に生物膜が発達し、定常状態になったところで生物膜の厚さを測定した。ガラス管の直径は1.0cmを使用した。測定項目は生物膜の厚さ、生物膜に作用する剪断応力、流速、生物膜の浸潤密度、含水率および生物膜の活性状態の指標として酸素利用速度係数等を求めた。

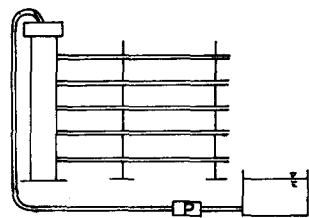


図-1 実験装置概略図

3. 実験結果および考察

生物膜の厚さと流速

生物膜の厚さと流速との関係は図-2に示した。ここでは流速30~100 cm/secにおける生物膜は0.035cmではほぼ一定であることが認められた。また、層流領域の流速は20 cm/sec以下であることから、層流領域ではきわめてやわらかく不安定な生物膜の付着状態であることが認められた。また100 cm/sec以上では、急激に生物膜の剝離(構造破壊)が認められた。このことから流速と生物膜との関係は次の様に要約できる。

有効流速 30~100 cm/sec ($Re=3000 \sim 10000$)下限限界流速 30 cm/sec ($Re=3,000$)上限限界流速 100 cm/sec ($Re=10,000$)

生物膜の厚さと剪断応力

円管内の流速と壁面との剪断応力との関係は次の式で表わすことができる。

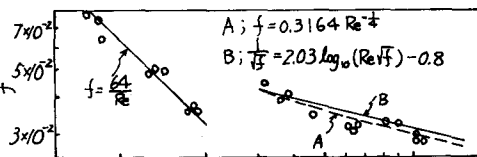
(1) 層流の場合 円管内の速度分布 u は、 $u = -\frac{1}{4\mu} \frac{dP}{dx} (a^2 - r^2)$ ----- (1)平均流速 U_m は、 $U_m = \frac{a^2}{8\mu} \frac{dP}{dx}$ ----- (2) 壁面の剪断応力 τ_0 は、 $\tau_0 = \mu \left(\frac{du}{dr} \right)_{r=a}$ ----- (3) (1)式より $\frac{du}{dr} = \frac{1}{2\mu} \frac{dP}{dx} r$ ----- (4) (2)式より $\frac{dP}{dx} = \frac{8\mu}{a^2} U_m$ ----- (5) (4)式(5)式を(3)式に代入して $\tau_0 = \frac{4\mu}{a} U_m$ (2) 乱流の場合 摩擦によって失なわれるエネルギー h_r は、 $h_r = f_0 \frac{L}{D} \frac{U_m^2}{2g}$ ----- (6) 管壁に働く摩擦係数 f_0 は、 $f_0 = \frac{D}{4L} \frac{dP}{dx} = \frac{D}{4L} h_r$ ----- (7)(6)式を(7)式に代入して $f_0 = \frac{f_0}{8} 9 U_m^2$ ----- (8) となる。ここで f_0 は、生物の摩擦損失係数である。 f_0 を実験的に求めて図-2に示した。 f_0 は Blasiusおよび Prandtl-Kármán の式に非常に近いことが認められた。従って生物膜の摩擦損失係数は Blasius の式で求めることにした。また、生物膜の膜面が滑であるか、粗であるかは $U_m \cdot \ell$ の値によって判定することができる。実験値から計算すると、 $\frac{U_m \cdot \ell}{\nu} = \frac{\sqrt{\frac{8\mu}{a^2} U_m} \cdot \ell}{\nu} = 0.098 < 5$ (ここに、 U_m ;摩擦速度、 ℓ ; 絶対粗度) となり、滑であることが認められた。

図-2 レイノルズ数と摩擦損失係数との関係

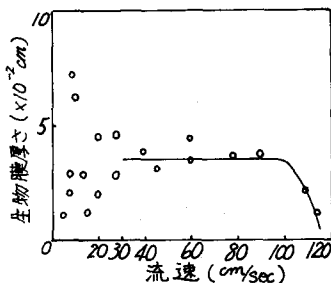


図-3 流速と生物膜厚さとの関係

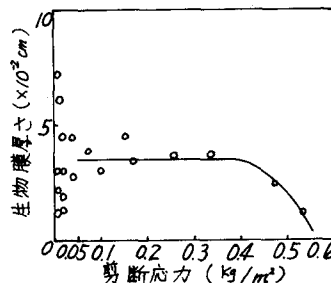


図-4 剪断応力と生物膜厚さとの関係

生物膜の厚さと流速との関係は、図-3に見られる様に乱流領域、特に流速、 $30 \sim 100 \text{ cm/sec}$ で一定であることから図式より剪断応力 $\tau = 0.05 \text{ kg/m}^2$ 以上で一定であることが認められた。また、流速 100 cm/sec 以上では、生物膜の構造破壊がおこることから、上限限界剪断応力は、 $\tau_0 = 0.40 \text{ kg/m}^2$ となる。また、下限限界剪断応力は、 $\tau_0 = 0.05 \text{ kg/m}^2$ であるから有効剪断応力は、 $\tau_0 = 0.05 \sim 0.40 \text{ kg/m}^2$ であることが認められた。それらの関係は、図-4に示した。

生物膜の厚さと酸素利用速度係数 生物膜の厚さは、実験の範囲内では $0.02 \sim 0.07 \text{ cm}$ であり、図-5に示すように酸素利用速度係数が $5 \sim 8 \text{ mg/g/hr}$ の範囲で膜全体が活性状態であると考えられる。したがって、膜厚さ $0.02 \sim 0.07 \text{ cm}$ の範囲では浮材近傍付近に嫌気性生物が必らずしも存在しないのではないかと考えられる。

生物膜の厚さと浸潤密度、及び含水率 生物膜の厚さと浸潤密度、含水率との関係は、図-6,7に示す通りである。これらの図からわかる様に、活性状態にある生物膜（生物膜の厚さ $0.02 \sim 0.07 \text{ cm}$ ）は膜厚の変化にもかかわらず、ほぼ一定の値を示しており、生物膜の浸潤密度については、 $1.005 \sim 1.009 \text{ g/cm}^3$ 、生物膜の含水率については $95 \sim 97\%$ であるとみることができる。

生物膜の厚さと生物膜乾燥密度 生物膜の厚さと生物膜乾燥密度 (mg TSS/cm^3) との関係は図-8に示す通りである。この図からわかるように、生物膜の厚さ $0.01 \sim 0.075 \text{ cm}$ に対して $30 \sim 55 \text{ mg TSS/cm}^3$ の範囲で乾燥密度は 42 mg TSS/cm^3 となり、ほぼ一定とみることができる。

4. 結 論

以上の実験結果より、次の結論が得られた。

(1) 生物膜の厚さを $0.02 \sim 0.07 \text{ cm}$ の範囲内では、生物膜は高い活性状態を示した。

(2) 流速と生物膜の厚さの関係は、次の様に要約できる。

有効流速 $30 \sim 100 \text{ cm/sec}$

下限限界流速 30 cm/sec

上限限界流速 100 cm/sec

また、剪断応力と生物膜の厚さとは、

有効剪断応力 $0.05 \sim 0.40 \text{ kg/m}^2$

下限限界剪断応力 0.05 kg/m^2

上限限界剪断応力 0.40 kg/m^2

(3) 活性状態の生物膜の浸潤密度は、生物膜の厚さにかかわらず、 $1.005 \sim 1.009 \text{ g/cm}^3$ 、含水率は $95 \sim 97\%$ である。

(4) 生物膜の厚さ $0.01 \sim 0.075 \text{ cm}$ に対して、乾燥密度は $30 \sim 55 \text{ mg TSS/cm}^3$ の範囲で 42 mg TSS/cm^3 のほぼ一定値を持つことが認められた。

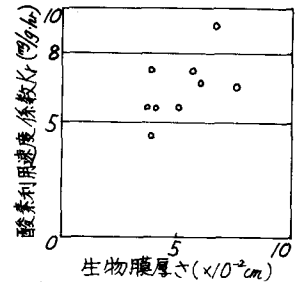


図5 生物膜厚さと酸素利用速度係数の関係

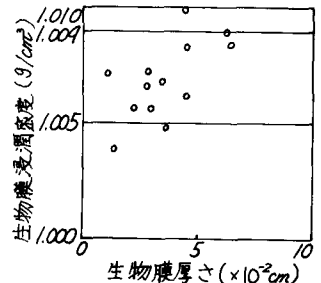


図-6 生物膜の厚さと浸潤密度の関係

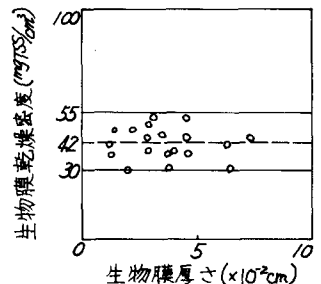


図-8 生物膜の厚さと乾燥密度の関係

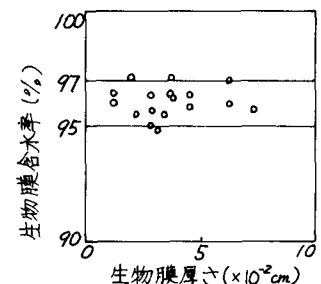


図7 生物膜の厚さと含水率の関係