

II-251 生物膜の脱落に関する一考察

早稲田大学理工学部 正員 遠藤 郁夫
日本住宅公団 正員 田村 隆俊
日本住宅公団 正員 ○ 光 木 真一

1. 緒 論

散水伊床法は、理論的には活性汚泥法と同様、吸着と酸化の生化学的メカニズムによるものである。しかしながら、固着性生物膜は、生物膜の過剰繁殖により、伊床表面に嫌気性微生物が生成し、好気性分解に対して有害な最終生成物が生じ、生物膜が伊床から脱落することとなる。よって、散水伊床法などの固着性生物膜による生物処理においては、伊床の閉塞を防ぎ、薄くて活性化の状態にある生物膜を維持することができると散水負荷などを決定する必要がある。今回の研究は、摩擦損失係数及び生物膜の剪断強度より、生物膜の脱落現象を明らかにしようとしたものである。

2. 実験装置及び実験方法

実験装置の概略は、図-1に示す通りである。円筒に目標流速がでるように水頭差をつけて管を接続したものであり、実験に使用した下水は、一般都市下水である。この下水を循環させて、生物膜の摩擦損失係数及び剪断強度に関する実験的解析を行った。流速は、30 cm/sec, 40 cm/sec, 60 cm/sec, 80 cm/sec, 100 cm/secとした。

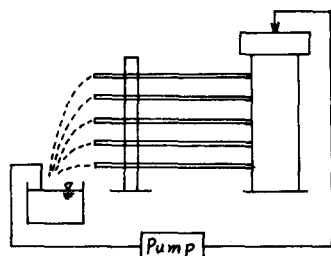


図-1 実験装置概略図

3. 理論的考察

生物膜の付着状態の経日変化を摩擦損失係数の変化によって調べた。摩擦損失係数は、マンメータにより、摩擦損失水頭を測定し、次式を用いて計算した。

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (1) \quad \text{ここで、} h_L: \text{摩擦損失水頭 (cm)}$$

f : 摩擦損失係数, L : マンメータ間隔 (200 cm), D : 管径 (0.9 x 10 cm), v : 平均流速 (cm/sec), g : 重力加速度 (980 cm/sec²) となる。

(1) 式を変形して摩擦損失係数を求めると、次式の様になる。 $f = h_L \frac{D}{L} \frac{2g}{v^2}$ --- (2) また、剪断応力は、次の様に表わすことができる。

(i) 層流の場合 円管内の流速分布 u は、 $u = -\frac{1}{4\mu} \frac{dP}{dx} (a^2 - r^2)$ --- (3) 平均流速 u_m は、 $u_m = \frac{a^2}{8\mu} \frac{dP}{dx}$ --- (4) 壁面に働く剪断応力 τ_0 は、 $\tau_0 = \frac{8\mu}{a} u_m$ --- (5) となる。

(ii) 乱流の場合 摩擦によって失われるエネルギー h_L は、(1) 式によって求まる。壁面に働く剪断応力 τ_0 は、 $\tau_0 = \frac{D}{4} \frac{dP}{dx} = \frac{D}{4} \frac{8g}{L} h_L$ --- (6)

(1) 式を(6)式に代入して、 $\tau_0 = \frac{f}{8} \rho u_m^2$ --- (7) となる。今回の実験での流速 30 ~ 100 cm/sec に対する Re 数は、約 3,000 ~ 10,000 となり、乱流領域であるため、(7) 式を用いて剪断応力を計算した。

4. 実験結果及び考察

流速 30 cm/sec, 40 cm/sec, 60 cm/sec, 80 cm/sec, 100 cm/sec における摩擦損失係数の経日変化は、図-2 ~ 図-6 に示す通りである。流速が 30 cm/sec, 40 cm/sec の場合、生物膜の管壁面への付着状態が非常に不安定で、生物膜の急激な増殖が起こり、その結果、生物膜が厚くなると脱落がおこり

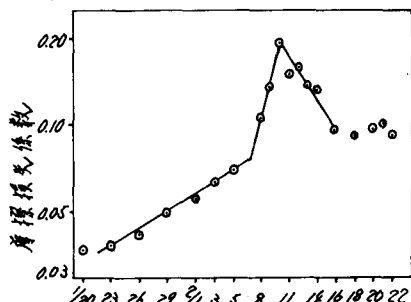


図-2 流速 30 cm/sec における摩擦損失係数の経日変化

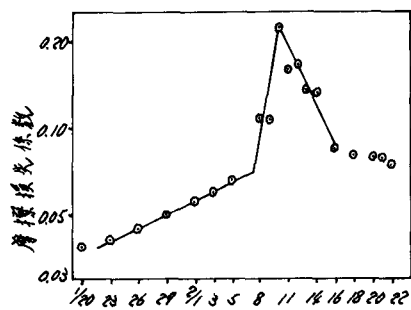


図-3 流速 40 cm/sec における摩擦損失係数の経日変化

始めることが認められた。流速が 60 cm/sec , 80 cm/sec , 100 cm/sec の場合には、生物膜は、一様に付着し、摩擦損失係数が指数的に増加していることが認められた。図-7に示す様に、一様に生物膜が付着始めた時、摩擦損失係数とレイノルズ数との関係は、Blasius の式によくあてはまる。従って、生物膜の摩擦損失係数は、Blasius の式を適用できるものと考えられる。よって、次式によって管径を求めれば、元の管径からの減少分が生物膜の厚さとなる。つまり、 $f = 0.3164 Re^{-1/4}$ (8), $Re = \frac{u_m D}{\nu}$ (9), $u_m = \frac{Q}{A}$ (10), $A = \frac{\pi}{4} D^2$ (11) で与えられるので、(8), (9), (10), (11) 式を(1)式に代入すると、
$$h_f = 0.3164 \left(\frac{Q \nu D^2}{\pi^2} \right)^{-1/4} \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{1}{2g} \left(\frac{Q \nu D^2}{\pi^2} \right)^{1/4} \dots (12)$$
 となる。(12)式を变形して、管径 D を求めると、次式の様になる。
$$D = \left\{ 0.3164 \left(\frac{Q \nu}{\pi^2} \right)^{-1/4} \cdot \frac{L}{2g} \cdot \frac{1}{h_f} \left(\frac{Q \nu}{\pi^2} \right)^{1/4} \right\}^{1/2} \dots (13)$$
 (13)式より、管径 D が求まるので、管径補正を行なって、流速及び摩擦損失係数を求めると、(8)式より、剪断応力 τ_0 が求まる。すなわち、流速が 60 cm/sec の時、生物膜厚は、 0.082 cm 、剪断応力は、 0.36 dyne/cm^2 、流速が 80 cm/sec の時、生物膜厚は、 0.058 cm 、剪断応力は、 0.45 dyne/cm^2 、流速が 100 cm/sec の時、生物膜厚は、 0.038 cm 、剪断応力は、 0.53 dyne/cm^2 であった。以上のことから、一様でしかも発達した生物膜が付着する流速は、 60 cm/sec 以上で、生物膜の厚さは、 0.082 cm 以下である。よって、図-8に示す様に、生物膜の厚さと剪断応力から、生物膜の発達している領域として、次の条件を考えることができた。

$$\tau_0 > 0.36 \text{ dyne/cm}^2, \quad h_f < -0.259 \tau_0 + 0.175 \dots (14)$$

ここで、 h_f : 生物膜の厚さ (cm)

5. 結 論

以上の実験結果より、次の結論を得ることができた。

- (1) 摩擦損失係数の変化から生物膜の付着及び脱落の現象を考察すると、
もに、生物膜の剪断強度及び厚さを計算した。
- (2) 生物膜の厚さは、流速が 60 cm/sec の時、 0.082 cm 、 80 cm/sec の時、 0.058 cm 、 100 cm/sec の時、 0.038 cm であった。また、生物膜に対する剪断応力は、流速が 60 cm/sec の時、 0.36 dyne/cm^2 、 80 cm/sec の時、 0.45 dyne/cm^2 、 100 cm/sec の時、 0.53 dyne/cm^2 であることが認められた。
- (3) 生物膜の脱落現象は、従来、季節的なもので、春秋に脱落が起こると言われてきたが、今回の実験では、生物膜の肥厚、流速及び生物膜との間に働く剪断応力によって、その説明を試みた。それらの間の関係は、(14)式で説明することができた。

この論文の作成には、早大大学院 稲毛克俊君(当時)の協力を得たことを感謝いたします。

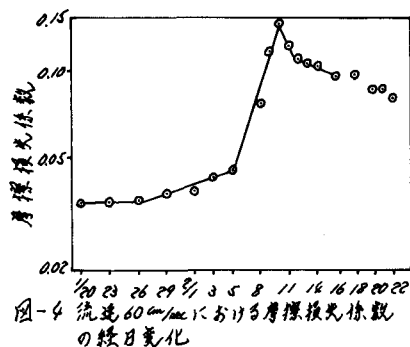


図-4 流速 60 cm/sec における摩擦損失係数の数日変化

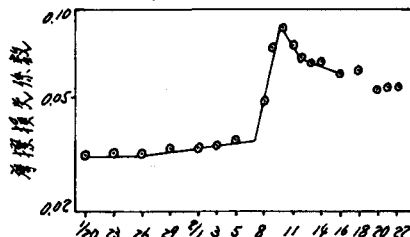


図-5 流速 80 cm/sec における摩擦損失係数の数日変化

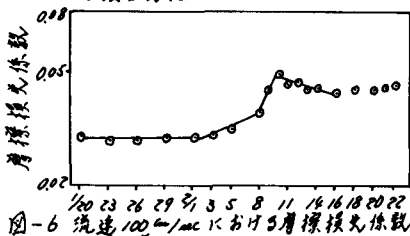


図-6 流速 100 cm/sec における摩擦損失係数の数日変化

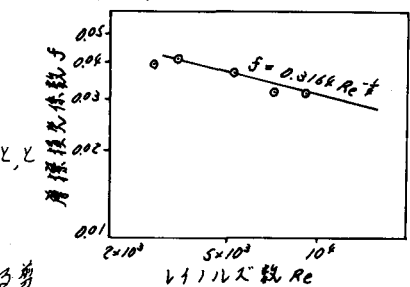


図-7 生物膜が付着始めた時の摩擦損失係数とレイノルズ数との関係

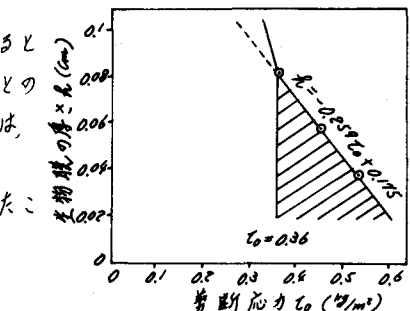


図-8 生物膜の厚さと剪断応力との関係