

管壁における付着生物膜の形成におよぼす流れの影響について(2)

徳島大学工業短期大学部 正 細井 由彦
徳島大学工業短期大学部 正 村上 仁士
徳島大学大学院 学 O南 利治
四 国 鉄 工 寺島 郁

1. まえがき 本研究は、付着生物膜の形成過程と水理特性量、特に流速との関係を調べることを目的として、管路流における硝化生物膜に関して実験および考察を行ったものである。また、あわせて数理モデルにより、硝化生物膜の増殖特性の検討を行った。

2. 実験方法 図-1に示すように、共通の受水槽を持つ4本の塩ビパイプ(径20mm)にポンプで水を循環させて実験を行った。実験中適宜アンモニア濃度を測定し、アンモニア性窒素濃度が1.0ppmになるように調整した。各パイプにおける流速は図-2中に示すとおりである。一定期間ごとに、パイプの中間に設けた取りはずし可能な部分を回収し、管の内壁の付着物を採取して、その乾燥重量を求めた。

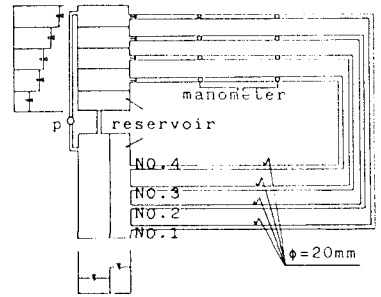


図-1 実験装置

3. 増殖曲線 NO.1~4における付着物の乾燥重量の経日変化は図-2のようであり、流速によって異った増殖特性が見られる。NO.2では実験途中から付着生物量が減少する結果になったが、これは、流速が非常に遅いため基質の供給が十分行われず、付着生物の死滅による離れが増大したためであると考えられる。従来から、流速が速いほど初期の増殖は遅れるが、基質の供給が促進されるため以後の増殖は速くなるという結果が報告されており、本実験の結果においても、その傾向が認められる。つまり、本実験における流速の範囲では、付着生物膜の増殖に関して流速は有利に働いているといえる。

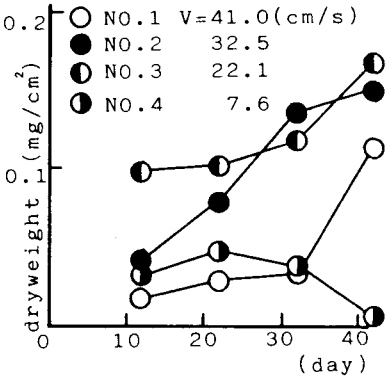


図-2 付着生物量の変化

表-1 諸定数の値

$C=1.1 \times 10^{-3} (\text{mg}/\text{cm}^3)$
$Y=0.15$
$m_1=2.24$
$r=8.5$
$n=0.29$
$D=1.74 \times 10^{-5} (\text{cm}^2/\text{s})$
$\beta=1.4 \times 10^{-6} (1/\text{s})$
$K1=1.66 \times 10^{-6} (\text{cm}/\text{s})$
$K2=8.96 \times 10^{-3} (\text{cm}/\text{s})$
$K3=0.241$
$a=241 (\text{cm}/\text{s})$
$\delta_2=10 (\mu\text{m})$

4. 増殖曲線と流速の関係に関する考察 流速による増殖特性を説明するために以下のように数理モデルを導入した。

生物膜形成の初期の状態においては、全付着量が少ないため主流から運ばれてきて付着するものと増殖によるものとがともに重要であり、単位面積当りの付着生物量Mの挙動を表わす基礎式を次式で与える。

$$dM/dt = \alpha m + \beta M \quad (1)$$

この状態においては、壁面に輸送されてきたバクテリアは付着後、数時間で強固な不可逆的付着過程に入り、それまでの可逆的な付着段階では一部は壁面摩擦力により再び脱離して流される。 α は、この再びく離を考慮した残存率であり、可逆状態の付着力分布を正規分布とすると、 α は誤差関数で表わされるが、ここでは簡単のため、 $v=0$ のとき $\alpha=1$ 、 $v=\infty$ で $\alpha=0$ となる関数で近似し次式を仮定する。

$$\alpha = \exp(-rv^n) \quad (r, n: \text{定数}) \quad (2)$$

m は付着面へのバクテリアのフラックスであり、拡散層厚さ δ に関係し、 $m \sim (\text{流速バクテリア濃度})/\delta$ とかける。 $\delta \sim v/u_r \sim v/v$ より、 m は次式で表わされる。

$$m = m_1 V \quad (m_1: \text{定数}) \quad (3)$$

β は、次式で表わされる比増殖速度である。

$$\beta = \mu_{\max} C / (K_S + C) \quad (4)$$

$\mu_{\max}$: 最大比増殖速度, K_S : 飽和定数, C : 基質濃度

一方, 増殖が進み生物膜が十分発達した状態($M > M_0$)においては付着生物自身による増殖とせん断力によるはく離が重要となり M を次式で表わす。

$$dM/dt = FY - R_S \quad (5)$$

右辺第1項は式(6)で表わされる拡散層内の基質フラックス F と収率係数 Y との積である。

$$F = DC / \delta \quad D: \text{拡散係数} \quad (6)$$

拡散層厚さ δ は, 流速に依存する部分 δ_1 と生物膜形成に伴い膜表面に恒常的に付着している部分 δ_2 とに分けられる。 $\delta_1 = K_S / v$ とすると右辺第1項はつぎようになる。

$$FY = DCY / \delta = DCY / (\delta_1 + \delta_2) = DCY(1 - a / (v + a)) / \delta_2 \quad (7)$$

$$a = k_3 / \delta_2 \quad (k_3: \text{定数})$$

R_S は, はく離率であり付着生物量および流速が増すと R_S は増加するものとし, 次式で与える。

$$R_S = KM \quad (8)$$

また, 係数 K は流速の影響を受けるので, K を次式で与える。

$$K = K_1 \exp(k_2 v) \quad (k_1, k_2: \text{定数}) \quad (9)$$

式(1) 式(5)を, $t = t_0$ のとき $M = M_0$ として解くとつぎのような結果が得られる。

$$0 < M < M_0 \quad (0 < t < t_0): M = \alpha m_1 v (\exp(\beta t) - 1) / \beta \quad (10)$$

$$M_0 < M \quad (t_0 < t): M = M_P + (M_0 - M_P) \exp(-K(t - t_0)) \quad (11)$$

ここで, M_P は最終定常膜量であり次式で表わされる。

$$M_P = DCY(1 - a / (v + a)) / K \delta_2 \quad (12)$$

式中の諸定数の値を表-1のように決定した。これらの値を代入し本実験における各流速を与えてシミュレーションを行った結果を図-3~5に示す。図中の曲線がこのモデルより得られる増殖曲線である。

図-6は, 式(12)より得られる M_P と流速の関係である。 M_P はある流速で極大となり, 増殖に最適な流速が存在することを示している。また, これは Trulear らが二重回転円筒を使用して行った結果である図-7と同じ傾向である。

5. あとがき 管路流における付着生物膜の形成におよぼす流速の影響に関して, 数理モデルにより検討することができた。その結果, 本実験における流速の範囲では, このモデルは妥当なものであると。今後, 流速が生物膜の増殖に阻害的に働くと考えられる領域においても検討する必要がある。

<参考文献> 1) 細井・村上他: 管壁における付着生物膜の形成におよぼす流れの影響について(1), 土木学会中四国支部講演会59年。2) M.G.Trulear, W.G.Charcklis: Dynamics of biofilm processes, Jour.WPCF, VOL.54, 1982。

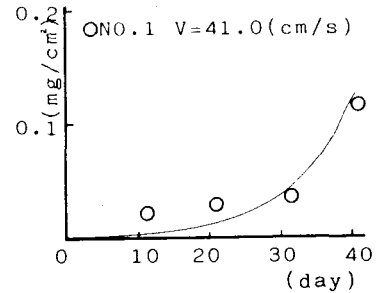


図-3 シミュレーション結果(N0.1)

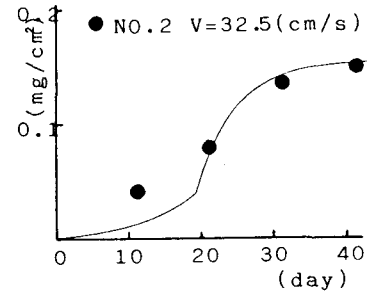


図-4 シミュレーション結果(N0.2)

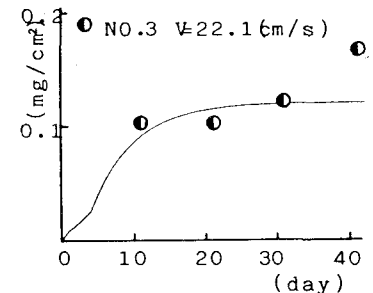


図-5 シミュレーション結果(N0.3)

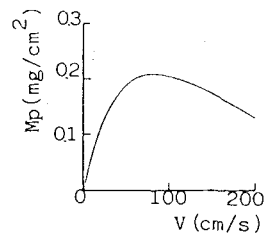


図-6 M_P と v の関係

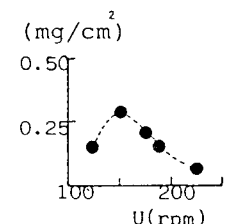


図-7 付着量と回転速度の関係