

II-633

平板上に形成された脱窒処理生物膜内のせん断強度

呉工業高等専門学校 正員 大橋晶良
 長岡技術科学大学 正員 原田秀樹
 長岡技術科学大学 正員 桃井清至
 呉市役所 正員 福本 司

1. はじめに

生物膜型下・廃水処理装置の合理的な操作, 維持, 管理を行うためには, 反応器内の生物膜量変動を予測・評価する必要がある。しかし, 生物膜の付着形成および剥離機構の解明が不十分であるため生物膜量の変動予測は現在困難であり, 生物膜の生長による付着力の推移とそれに伴う流体せん断力等によって剥がされる量との関係が解明されていない。本研究は平板上に付着形成させた脱窒生物膜に数段階の衝撃力を作用させて生物膜の一部を強制的に剥離させることで, 生物膜内のせん断強度およびその分布について調べた。

2. 実験方法

長さ1m, 幅20cm, 水深3cmの水路底面に支持板(硬質塩化ビニール板)を設置し, 基質を連続定常的に流入させ脱窒生物膜を付着形成させた。一枚の支持板の大きさは5cm×5cm×6mmで, 4列の64枚が設置してある。基質は流量が28ml/minで, 濃度を硝酸ナトリウム500mg-N/l, メタノール1500mg/lとし, 若干の無機塩類とリン酸緩衝液(pH7)からなる。水路内は20ℓ/minの流量で循環させ, 水温は25℃に制御した。脱窒菌を植種し, 経過13日目から3, 4日間隔で支持板を1枚ずつ取り出し下記の操作および測定を行った。

- ① 衝撃力による生物膜の剥離…図-1に衝撃装置を示す。水中内の車Aは, 滑車を通して重りにつながれ水平に置いた支持板と固定してある。車Bは底面に固定してあるバネと連結している。車Aを車Bから所定の距離だけ離し, 車A, Bを衝突させて衝撃力を作用させ, 生物膜の一部を強制的に剥離させた。一枚の支持板に対し, 重りの質量と距離とを種々組み合わせ, 数段階の衝突実験を行った。
- ② 膜厚測定…上記①の衝撃力を作用させる前後に, 支持板当たり格子状に121あるいは441地点の膜厚測定を行った。1地点の膜厚は, デジタルゲージ付の顕微鏡を用いて, 生物膜表面のピント距離から求めた。
- ③ 生物膜の体積…上記②の膜厚測定値から, 有理Bezier曲面補間し数値積分より生物膜の体積を算出した。
- ④ 生物膜質量…衝突剥離させる前後に生物膜湿潤質量を測定した。また衝突剥離生物および最終衝撃後に残留している生物膜の乾燥質量を測定した。
- ⑤ 生物膜内の成分…衝突残留生物膜の細胞外ポリマーを抽出し, 生物膜および細胞外ポリマーのタンパク質と全糖の含有量を測定した。

3. せん断強度の算出方法

衝撃装置において, 生物膜形成支持板の車Aが車Bに衝突しからの運動方程式は次式のようにになる。

$$(m_1 + m_2 + m_s)a - m_s \cdot g + k \cdot x + Cd \cdot Ac \cdot v^2 \cdot \rho_w / 2 = 0 \quad (1)$$

ここに, m_1 : 車Aの質量(g), m_2 : 車Bの質量(g), m_s : おもりの質量(g), a : 車の加速度($\text{cm} \cdot \text{sec}^{-2}$), g : 重力加速度($\text{cm} \cdot \text{sec}^{-2}$), k : バネ定数($\text{dyne} \cdot \text{cm}^{-1}$), x : バネの伸び(cm), Cd : 流体

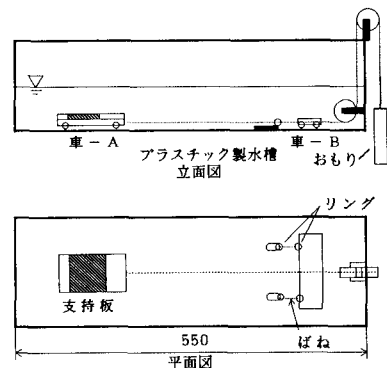


図-1 衝撃力作用実験装置概略図

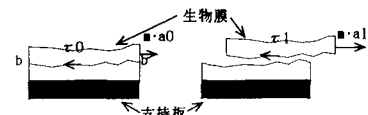


図-2 衝撃時の剥離形態

抵抗係数(-), A_c :車の断面積(cm^2), v :車の速度($\text{cm}\cdot\text{sec}^{-1}$), ρ_w :流体の密度($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)である。式(1)の微分方程式を解くと衝撃時の最大加速度が算出できる。

生物膜内のせん断強度を衝撃により膜内部に発生する力に抵抗する力で、剥離寸前のときの抵抗力と定義すると、生物膜の一部を衝撃で強制的に剥離させた破断面でのせん断強度 τ ($\text{dyne}\cdot\text{cm}^{-2}$)を求めることができる。すなわち、図-2に示すように衝撃最大加速度が a_1 ($\text{cm}\cdot\text{sec}^{-2}$)の時には、生物膜の一部が断面b-bで剥離したが、 a_1 よりも小さな衝撃最大加速度 a_0 のときには剥離が起きなかったとすると、破断面b-bにおける運動方程式は次のようになる。

$$\frac{m \cdot a_0}{A_b} \leq \tau \leq \frac{m \cdot a_1}{A_b} \quad (2)$$

ここに、 A_b :破断面の面積(cm^2), m :剥離生物膜湿潤質量(g)である。本実験では、生物膜のある断面のせん断強度 τ を正確な値として求めることはできないが、式(2)のようなある範囲にあるという幅をもった値として算出することができる。

4. 実験結果および考察

衝突によって剥離させる前の生物膜単位面積乾燥質量の経日変化を図-3に示す。乾燥質量は経過日数と共に増加しており、実験期間中では生物膜の生長は飽和に達していない。

図-4に最終衝突後の残留した生物膜乾燥密度と膜厚の関係を示す。最終衝突後の膜厚は経過日数にあまり関係せず約2mmであり、支持板から2mm以内の生物膜は剥離しにくいことが分かる。また、支持板近傍の生物膜乾燥密度は経過日数と共に増加している。

図-5に生物膜内せん断強度と膜層高さとの関係を示す。せん断強度は、経過日数に関わらず支持板に近い底層部はど大きくなっている。また経過と共に生物膜内のせん断強度は増加する傾向が見られる。

図-6に経過50日目の生物膜における衝突後残留生物膜乾燥密度と膜層高さとの関係を示す。生物膜乾燥密度は、膜内で均一でなく底層部へ向かうほど高くなっている。生物膜内のせん断強度分布と乾燥密度分布は、非常によく似た傾向をしており、密接な関係があると推測される。支持体近傍の生物膜乾燥密度が経過日数と共に増加することで、せん断強度も増加すると考えられる。

5. まとめ

- 1) 生物膜内のせん断強度は膜の下層部へ向かって高くなった。
- 2) 衝突後の膜厚は2mm程度より小さくならず、下層2mmの部位は表層部に比べせん断強度はかなり高いと考えらる。
- 3) 生物膜の生長と共に生物膜乾燥密度は大きくなった。せん断強度も生物膜の生長と共に増大する傾向があり、膜乾燥密度とせん断強度は密接な関係にあると思われる。

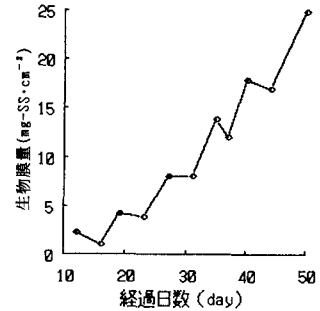


図-3 乾燥生物膜量の経日変化

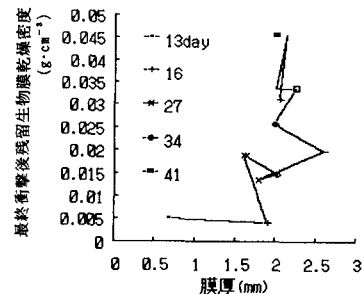


図-4 最終衝撃剥離後の膜厚と乾燥密度の関係

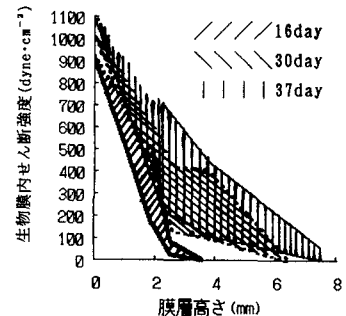


図-5 せん断強度分布

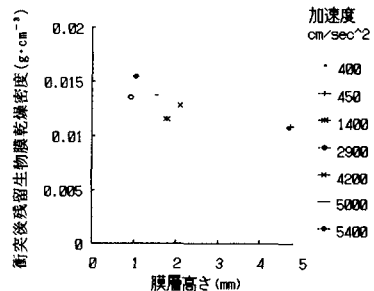


図-6 経過50日目の生物膜乾燥密度分布