

脱室処理生物膜の生長に伴う膜内付着力分布変化

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
 山口大学 学員 ○秦 育宏

1. はじめに

生物膜型下・廃水処理装置の合理的な設計、操作方法を確立するためには、反応器内の生物膜量変動を予測・評価する必要がある。生物膜の付着力は生物膜の生長と共に推移し、それに伴って流体せん断力等によって剥がされる量も変化するが、その生物膜量の変動予測は現在困難である。その主な原因として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ことが挙げられる。本研究は、平板上に付着形成させた脱室生物膜に数段階の遠心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、生物膜内の付着力およびその分布について調べた。また、細胞外ポリマーと付着力の関係についても検討を行った。

2. 実験方法

生物膜は、前報¹⁾と同じ水路(長さ 100cm, 幅20cm)の底面に設置した支持板(硬質塩化ビニール板)上に付着形成させた。一枚の支持板の大きさは $5 \times 5 \times 0.6$ cmで、これを流速方向に4列(1列16枚)の計64枚を設置してある。水路の流量、基質、水温とも前報と同一である。脱室細菌を接種し、経過11日目から約1週間間隔で支持板を1行(4枚)ずつ取り出し、下記の操作および測定を行った。

- ① 遠心力による生物膜の剥離…図-1に示す装置の回転板に支持板を垂直にし、流速方向と重力方向を同一にして固定させ、5分間回転させて遠心力を作用させることで、生物膜の一部を強制的に剥離させた。向心加速度は4枚の支持板に対して、それぞれ0, 760, 3100, 6900 $\text{cm} \cdot \text{sec}^{-2}$ あるいは0, 80, 760, 3100 $\text{cm} \cdot \text{sec}^{-2}$ とした。
- ② 膜厚測定…上記①の遠心力を作用させる前後に、顕微鏡を用いて生物膜厚を測定した。測定方法は顕微鏡の標本台にダイヤルゲージをセットし、生物膜表面にピントを合わせ、ダイヤルゲージの読みからその部位の膜厚を測定するものである。これを支持板当たり格子状に121地点行った。格子の大きさは生物膜の生長に応じて 1×1 , 2×2 , 3×3 , 4×4 , 5×5 mm画の5段階に変化させた。
- ③ 生物膜の体積…上記②の膜厚測定値から、生物膜表面を有理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…遠心剥離させる前後に、生物膜湿潤質量を測定した。また遠心剥離後、支持板から生物膜を剥ぎ取り、生物膜乾燥質量を測定した。
- ⑤ 生物膜内の成分…さらに剥ぎ取った生物膜から細胞外ポリマーを水蒸気抽出(104℃, 60分間)し、生物膜および細胞外ポリマーのタンパク質と糖の含有量を測定した。

3. 実験結果および考察

遠心力によって剥離させる前の生物膜単位面積湿潤質量の経日変化を図-2に示す。湿潤質量は経過日数と共に増加しており、実験

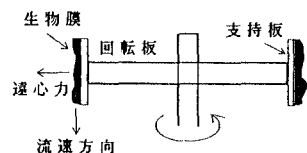


図-1 遠心剥離装置の概略図

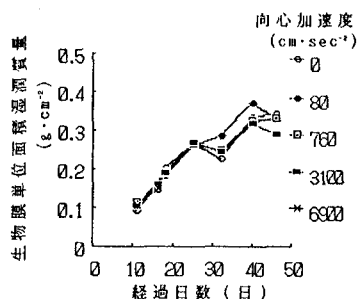


図-2 遠心剥離前の生物膜単位面積湿潤質量の経日変化

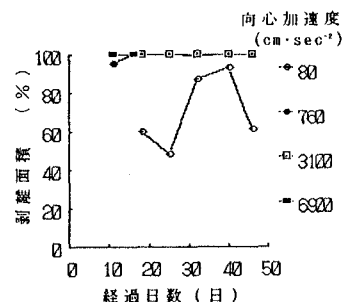


図-3 剥離面積の経日変化

期間中では生物膜の生長は飽和に達していない。ある経過日に取り出した1列、4枚の生物膜湿潤質量は同じような値であることから、水路側面の影響はほとんどなかったと考えられる。このため、ある経過日の各支持板付着生物膜の状態は同じあるとして以下の検討を行った。

図-3に支持板面積に対する生物膜内の遠心力により剥離した部位の面積の比(以下、剥離面積という)の経日変化を示す。加速度760, 3100, 6900 $\text{cm}\cdot\text{sec}^{-2}$ のときの剥離面積は、ほぼ100%である。これは生物膜のある層から上部が全て剥離したことを意味している。一方、遠心力が小さい加速度80 $\text{cm}\cdot\text{sec}^{-2}$ のときの剥離面積は約50~90%であり、膜表面の一部が剥離するような形態となっている。遠心力作用前の最大生物膜厚と遠心力作用後の付着している生物膜の最大膜厚の比(最大膜厚比)、および遠心力作用前後の平均膜厚の比(平均膜厚比)の経日変化を図-4, 5にそれぞれ示す。加速度80 $\text{cm}\cdot\text{sec}^{-2}$ を作用させた最大膜厚比は100%を超えている場合がある。これは遠心力により生物膜は引っ張られるが、剥離までには至らなく、伸びて盛り上がったことを示している。さらに大きな遠心力が作用すると生物膜は剥離すると推測される。最大膜厚比は経過に伴って徐々に減少する傾向が見られる。一方、平均膜厚比は16日目頃までは横ばいあるいは増加しており、その後転じて減少している。このことから、生物膜の凸部分が剥離しやすいとは限らないこと、生物膜内の付着力は均一ではないことが分かる。

遠心剥離後の生物膜平均膜厚の経日変化を図-6に示す。経過20日から25日までの平均膜厚は増加しているが、それ以降はほぼ横ばいであり、同一の遠心力ではある一定の層から剥離するようである。しかも遠心力が大きいと膜厚は小さくなっている。遠心剥離した部位の付着力が遠心引張力に抵抗する力と合等しいと仮定すると、付着力 τ ($\text{dyne}\cdot\text{cm}^{-2}$)は次式によって算出できる。

$$\tau = m \cdot r \cdot \omega^2 / A \quad (1)$$

ここに、 m : 遠心剥離した生物の湿潤質量(g), r : 回転板の半径(cm), ω : 角速度(sec^{-1}), A : 剥離した部位の面積(cm^2)である。剥離部位の付着力と膜層の関係を図-7に示す。図中において付着力が0となっているのは剥離が起っていないことである。図より支持板に近い底層部ほど付着力は大きいことが分かる。例えば、11日目の膜層0.7mmの部位の付着力は約0.07 $\text{gf}\cdot\text{cm}^{-2}$ であるが、0.5mmの部位では約0.3 $\text{gf}\cdot\text{cm}^{-2}$ となっている。また、ある層の付着力は経過と共に大きくなる傾向にある。遠心剥離後の生物膜の細胞外ポリマー内糖含有量は、遠心力が大きい、すなわち支持板近くの底層部ほど高くなっており、細胞外ポリマー糖含有量は付着力に関与していると推察される。

【参考文献】1)大橋ほか;脱窒処理生物膜の代謝産物と細胞外ポリマーの凝集性,土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集,1991

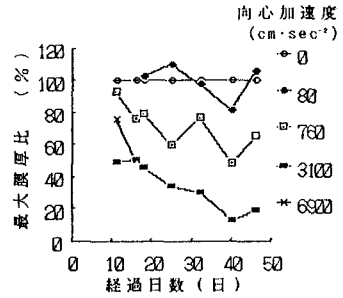


図-4 最大膜厚比の経日変化

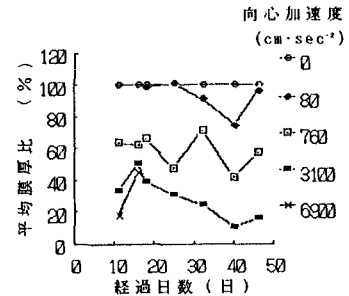


図-5 平均膜厚比の経日変化

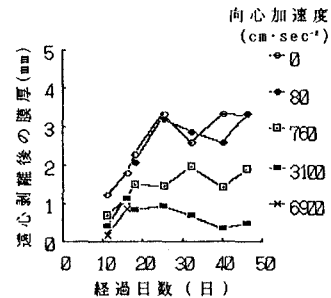


図-6 遠心剥離後の平均膜厚

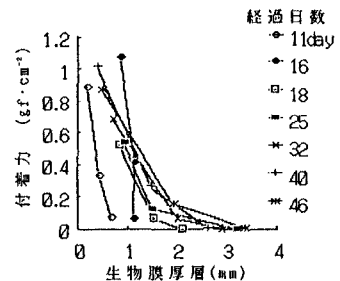


図-7 遠心剥離部位の付着力