

Ⅶ-182 平膜を用いた浸漬型膜分離活性汚泥法において膜面近傍の水理学的因子が汚泥堆積速度および汚泥堆積開始時間に及ぼす影響

広島大学工学部 正会員 尾崎 則篤
 東京大学環境安全研究センター 正会員 山本 和夫

1. はじめに

膜モジュールを直接反応槽に浸漬し、吸引式のろ過をおこなう浸漬型膜分離活性汚泥法は、外圧式のろ過と比べてエネルギーコスト的に有利であると考えられている。浸漬型膜分離活性汚泥法では、曝気の際の気泡上昇流に、膜面を洗浄し汚泥の堆積を防ぐ役割を兼ねさせることで、高いろ過性能を目指している。

そこでよりよいろ過性能を維持しうる運転条件を見出すための基礎的検討として、膜の配置や曝気量などによって決まる膜面近傍の水理学的状況が、どのように汚泥堆積過程に影響を及ぼすかに関する検討が重要になってくる。

前報¹⁾では主に平衡汚泥堆積量に影響を及ぼす因子に関して解析を行った。本報では汚泥堆積が平衡に達する前の、ろ過の初期段階での汚泥堆積過程に関する解析の報告をおこなう。

2. ろ過実験

(1) 実験方法

実験装置の概略を図-1に示す。リアクターのサイズは460×230×1100 mm、平膜エレメントは450×570×8 mm、膜面積は0.3m²である（日東電工社製）。平膜はリアクター壁面に近接して設定し、外側から流動状況が観察できるようにする。平膜の材質はポリオレフィン系、分画径は0.4μm（ラテックス球93%除去）である。膜間距離は0.5, 1.0, 1.5cmで各々ろ過実験をおこなった。

水温は20℃であった。散気装置には市販のエアレータを用いた（平均気泡半径2mm）。活性汚泥は、グルコース、ペプトンを主に基質として用いて実験室内で馴致し、MLSSは0.8~1.2 kg・m⁻³である。Fill and drawによって運転しSRTを40日に保った。

ろ過及び曝気は連続的におこない、圧力とフラックスとの関係からろ過抵抗を計算した。ろ過時間は20時間であった。フラックスは0.3~0.6 m³・d⁻¹の範囲であった。

ろ過継続中に膜を取り出し汚泥堆積量を測定し、汚泥の堆積過程を調べた。汚泥の堆積量の測定は、膜面の一部をふき取りその重量を測定し、一様に汚泥が堆積をしているとして単位膜面積当たりの汚泥堆積量を計算し示した。

また曝気の強さの指標に、（曝気量/膜モジュール間の流路断面積）を、「曝気線速度」として定義した。

(2) 汚泥堆積速度

図-2に汚泥堆積量の経時変化の例を示す。汚泥堆積量は初期においては直線的に増加し、ある程度時間が経過すると平衡に至ることが分かる。筆者らは前報において平衡汚泥堆積量は膜面のせん断力によって決まることを示した。

そこで汚泥堆積量が直線的に増加している状態における汚泥堆積量の増加速度を調べた。汚泥堆積量が直線的に上昇している時期の曝気線速度と汚泥堆積速度との関係を図-3に示した。曝気線速度が上昇するにしたがって汚泥堆積速度が減少していることが分かる。また、膜間距離によって曝気線速度が異なることはない。これらの傾向は平衡汚泥堆積量と共通しており、汚泥堆積速度も平衡汚泥堆積量と同じく膜面のせん断力に依存していると考えられた。

(3) 汚泥堆積開始時間

ろ過実験中に膜を取り出した観察によると、汚泥堆積はろ過後ある時間を経過した後に生じるということが分かった。また、前記の汚泥堆積速度の計算において傾きの推定に用いた回帰直線の横軸がいずれも有意に正の値を持つという結果からも、汚泥堆積が開始されるにはろ過開始後ある程度の時間を要すると考えられた。

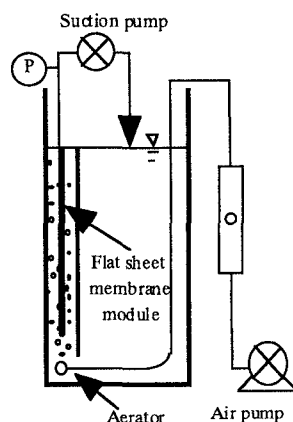


図-1 浸漬型平膜実験装置

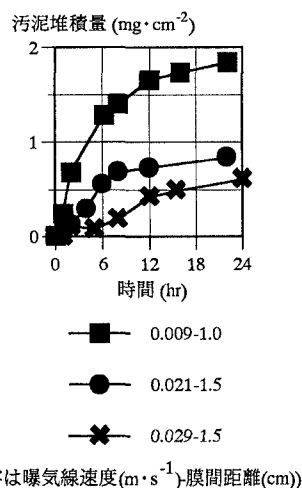


図-2 汚泥堆積量の経時変化の例

そこで、ろ過開始後、汚泥堆積が生じ始めるのに要した時間を汚泥堆積開始時間とし、曝気線速度、膜間距離との関係を見た。汚泥堆積速度の計算の際に傾きの推定に用いた回帰直線の横軸の切片の値を汚泥堆積開始時間としてとり、図-4に曝気線速度と汚泥堆積開始時間との関係を示した。曝気線速度が上昇するにしたがって汚泥堆積開始時間は上昇している。しかし、その上昇率は膜間距離によって異なっており、同じ曝気線速度であっても膜間距離の大きい方が汚泥堆積開始時間が大きいことが分かる。膜面せん断力は膜間距離によって異なることはなく、このことは汚泥堆積開始時間が平衡汚泥堆積量、汚泥堆積速度と異なり膜面せん断力以外の因子にも依存していることを意味している。

3. 膜間距離と汚泥堆積開始時間

膜間距離の影響を加味した、汚泥堆積開始時間を決定するモデルについて考える。膜間距離が短くなるとせん断力が等しいにも関わらず汚泥堆積開始時間が短くなるのはバルク中を移動しているフロックが膜面に接触しやすくなるためではないかと考えられる。

バルク中での汚泥の運動の膜面方向の乱れによって汚泥の膜面への衝突機会が生じ、膜間距離が短くなるとその衝突頻度が増加して汚泥堆積開始時間が短くなると推測される。そこで汚泥堆積開始時間を、膜間距離とフロックの移動度とを考慮して無次元化し、無次元化した汚泥堆積開始時間と膜面のせん断力を以下に示す式によって比較した。

$$\frac{T_A}{D/u'} = k \left(\frac{\tau}{f_{pm}} \right)^n = \left(\frac{k}{f_{pm}^n} \right) \tau^n \quad (1)$$

ここに T_A : 汚泥堆積開始時間 [s]、 τ : 膜面せん断力、 D : 膜間距離 [m]、 u' : 液相の乱れ強度 (= フロックの運動の乱れ) [$m \cdot s^{-1}$]、 f_{pm} : 汚泥の膜に対する付着力 [Pa]、 k, n : 定数 [-] である。 f_{pm} の値は不明であるが、汚泥の粘度と、膜面のごく近傍の膜方向の流速、すなわちフラックスによって決まると考えると、本実験を通して一定値を持つと考えられる。

液相の乱れ強度 u' は、Theofanous ら⁽²⁾ によって求められた関係式から求めた。

図-5に $T_A/(D/u')$ と τ との関係を示した。ただし曝気線速度が小さく汚泥堆積開始時間が0のものについては、ろ過のごく初期の運転の不安定性が原因の誤差であると見なし、省いてある。

この結果より、膜間距離の影響を式 (1) によって取り込みうる事が分かる。

4. まとめ

浸漬型膜分離活性汚泥ろ過法において、膜間距離と曝気量が汚泥堆積速度および汚泥堆積開始時間に及ぼす影響を調べ、以下の知見を得た。

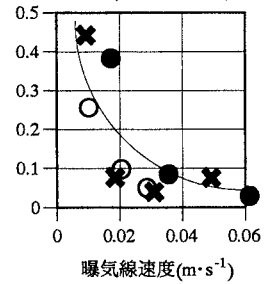
(1) 汚泥堆積速度は曝気線速度が上昇するにしたがって減少し、膜間距離には依存しなかった。これは汚泥堆積速度が膜面せん断力に依存していることを意味していると考えられる。

(2) 汚泥堆積開始時間は曝気線速度が上昇すると増加する。しかし同じ曝気線速度でも膜間距離が異なると汚泥堆積開始時間が異なる。これは汚泥堆積開始時間が膜面せん断力以外の因子にも影響を受けていることを意味している。汚泥堆積開始時間が膜間距離に依存するのはフロックの膜面への接触機会が増加し、そのために汚泥堆積開始時間が短くなると考え、式 (1) によって整理した。これにより膜間距離によらない一定の関係が見出された。式 (1) によって膜間距離の影響を取り込むことができることが分かった。

参考文献

- (1) 尾崎、山本、1996、土木学会第51回年次学術講演概要集第7部門, pp190-191
- (2) Theofanous, T. G. and Sullivan, J., 1982, J. Fluid Mech., Vol. 116, pp. 343-362

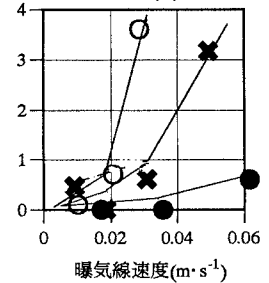
汚泥堆積速度 ($mg \cdot cm^{-2} \cdot hr^{-1}$)



● 0.5
× 1 (数字は膜間距離(cm))
○ 1.5

図-3 汚泥堆積速度

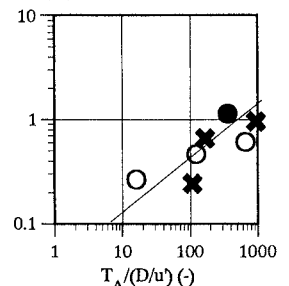
汚泥堆積開始時間(hr)



● 0.5
× 1 (数字は膜間距離(cm))
○ 1.5

図-4 汚泥堆積開始時間

τ (Pa)



● 0.5
× 1 数字は膜間距離(cm)
○ 1.5

図-5 $T_A/(D/u')$ と τ