

浸漬型膜分離活性汚泥法における膜間差圧上昇モデルの改良

東京都市大学 学生会員 ○井上舞衣
東京都市大学 正会員 長岡 裕

1. はじめに

膜分離活性汚泥法とは、活性汚泥法と膜分離法を組み合わせたプロセスである。膜分離活性汚泥法は排水の完全な固液分離が可能であるため、汚泥の沈降性に処理水質が影響されないという大きな長所を有する。また、こうした固液分離作用により汚泥流出が阻止され、反応層内の汚泥の濃度を高められるので、装置の小型化が可能であることや、最終沈泥池が不要となるため施設を建てる際、広域な土地を必要としなくなる。しかし、汚泥中の微生物への酸素供給に加え、膜の目詰まりを洗浄するための曝気が継続的に必要であり、エネルギーを膨大に消費する。膜分離活性汚泥法のより広範囲な適用を可能にするための課題として挙げられるファウリングに関連した研究が近年行われてきている。その1つに膜間差圧上昇のモデル式化が挙げられるが、このモデル式化によりファウリングの挙動を予測することができ、最適な時期の膜洗浄を行うことが可能となり、運転管理への貢献が期待できる。

現在、ファウリングの主な原因物質とされている菌体外高分子ポリマー(Extra cellular Polymeric Substances: EPS)の、膜面での物理挙動をモデル式化したものが考案されている¹⁾。モデル式のパラメータであるせん断力は、曝気による空気量とせん断力の関係²⁾として実験的に明らかになっている。

本研究は、モデル式のパラメータとして、空気量とせん断力の関係が適応できるか、実験、シミュレーションを行い、検討することを目的とする。

2. モデル式概要

本研究では以下の(1)～(8)のモデル式を使用した。

$$\frac{dx}{dt} = Y \cdot L - k_{dx} \cdot x \quad (1)$$

$$\frac{dp}{dt} = \beta \cdot Y \cdot L - k_{dp} \cdot p \quad (2)$$

$$\frac{d\alpha}{dt} = k_{\alpha} (\alpha_{\infty} - \alpha) \quad (3)$$

$$\alpha_{\infty} = \alpha_0 + \alpha_p \cdot \Delta p \quad (4)$$

$$\frac{dm}{dt} = J \cdot p - k_{dm} \cdot m \quad (5)$$

$$k_{dm} = \gamma (\tau_m - \lambda_m \cdot \Delta p) \quad (k_{dm} \geq 0) \quad (6)$$

$$J = \frac{\Delta p}{\mu \cdot R} \quad (7)$$

$$R = \alpha \cdot m + R_{memb} \quad (8)$$

x : MLSS 濃度(g/L), Y : 菌体収率(g-MLSS/g-TOC), t : 時間(day)
 L : TOC 容積負荷(g/L/day), k_{dx} : MLSS 自己分解定数(1/day), p : 混合液中 EPS 濃度(g/L), β : EPS 生成率(g-EPS/g-MLSS), k_{dp} : EPS 自己分解定数(1/day)
 α : EPS の比抵抗(m/kg), k_{α} : 圧密の関する速度定数(1/day), α_{∞} : 圧密後の比抵抗(m/kg), α_0 : 圧密前の比抵抗(m/kg), α_p : 定数(m/kg/Pa), $\square P$ ($\square P < P_{max}$): 膜間差圧(Pa), m : 膜面上 EPS 密度(kg/m²), J : フラックス(m²/m²/day), k_{dm} : EPS の剥離速度(1/day), γ : 定数(1/day/Pa), τ_m : 膜面のせん断力(Pa), λ_m : 静止摩擦係数(-), R : ろ過抵抗(1/m), μ : 透過液の粘性係数(Pa·s), R_{memb} : 膜のろ過抵抗(1/m)

3. 実験装置および実験方法

反応槽の概略図を図 1 に示す。モデル式に用いたパラメータ、実験条件を表 1、表 2 に示す。

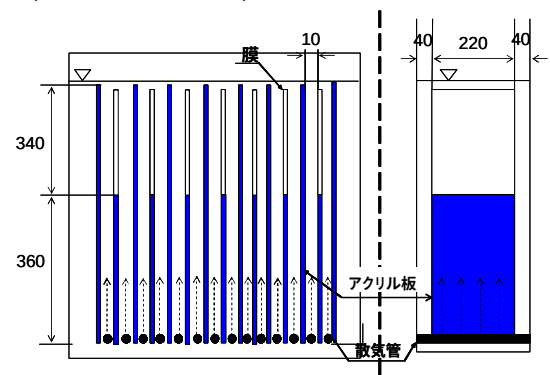


図 1: 実験装置概略図

実験に使用した反応槽は、アクリル製で有効容積 0.2097 m³(46.5cm×97cm×46.5cm)、膜モジュールは有効膜面積(両面)0.1 m²、公称孔径 0.4μm、塩素化ポリエチレン製の MF 平膜を用いる。散気管は、直径 8mm の塩ビ管に 15mm 間隔で直径 0.5mm の穴を開けたものを 12 本、膜 No.1～6 に使用する。ファウリングが発生

キーワード 膜間差圧上昇モデル, 空気流束, せん断力, EPS

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL02-5707-0104(内線 3257) E-mail: g0617012@tcu.ac.jp

したら膜を引き抜き、0.2%の次亜塩素ナトリウム水溶液に2～3日浸し洗浄を行う。ろ過は連続吸引で行い、基質（TOC 負荷）も連続投与で行う。

表 1: モデル式に用いた各パラメータ

項目	数値	項目	数値
Y(g-MLSS/g-TOC)	0.4	α_0 (m/kg)	1×10^{11}
k_{dx} (1/day)	0.085	α_p (m/kg/Pa)	5.9×10^{10}
β (g-EPS/g-MLSS)	0.25	γ (1/day/Pa)	0.47
k_{dp} (1/day)	0.2	λ_m (-)	1×10^{-6}
k_a (1/day)	0.028	μ (Pa·s)	9.72×10^{-9}

表 2: 実験条件

膜No.	1	2	3	4	5	6
供給空気量(L/min/枚)	35	35	35	15	15	15
空気流速(m/s)	0.133	0.133	0.133	0.057	0.057	0.057
フラックス($m^3/m^2/day$)	0.55					
TOC容積負荷量(g/L/day)	0.55					
せん断力(Pa)	7.129	7.129	7.129	5.338	5.338	5.338

次に、モデル式のせん断力の値を決定するために空気流速とせん断力の関係²⁾を図2に示す。この関係図の近似曲線より、空気流速からせん断力の値を決定した。

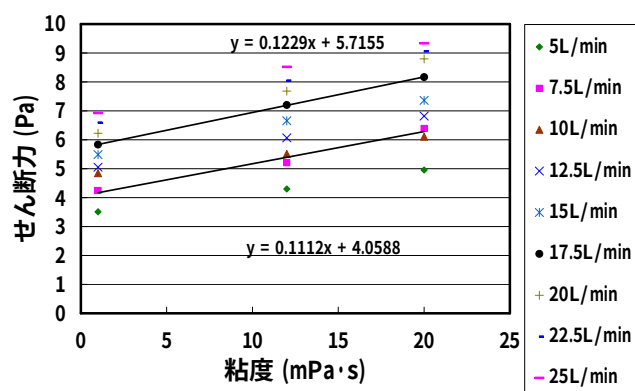


図 2: 空気流速とせん断力の関係図

4. 実験結果及び考察

シミュレーションの結果を図7に示す。Calculated 15(L/min)におけるシミュレーション値は測定値の挙動を上手く示せている。しかし、Calculated 35(L/min)のシミュレーションでは計算値の明確な膜目詰まりの時期の予測、挙動をうまく示すことができていない。

図8ではCalculated 35(L/min)のパラメータ中にある定数 γ (1/day/Pa)を修正し、フィッティングを行った。フィッティングを行った結果、Calculated 35(L/min)のシミュレーション結果は測定値のグラフとほぼ一致し、膜間差圧上昇の挙動をうまく示すことができているとわか

る。しかし、パラメータや実験条件の補正によるフィッティングではMBRのファウリング現象をより正確に再現することは困難であるため、新たにモデル式を加え、ファウリング現象をより正確に再現していくことが必要と考えられる。

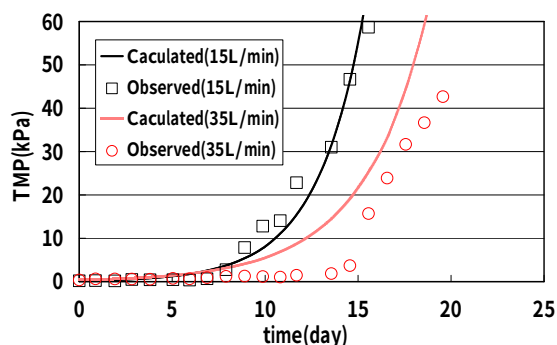


図 7: 膜間差圧上昇シミュレーション結果

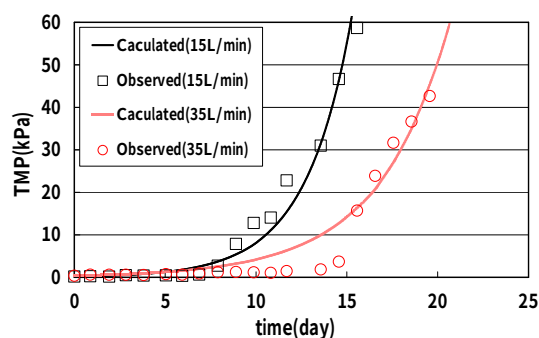


図 8: 膜間差圧上昇シミュレーション結果(γ 修正)

5. 今後の方針

膜細孔内にEPSが侵入し、膜間差圧の上昇に影響を与えていると考え新たにモデル式(9)を加え、引き続きシミュレーションを行っていく。

$$\frac{dx_f}{dt} = \phi \cdot \Delta p - k \cdot x_f \quad (9)$$

x_f : 膜細孔内EPS濃度(g/L), ϕ : 定数(1/day) $\square p$: 膜細孔内侵入EPS濃度(g/L) k : 膜細孔内EPS自己分解定数(1/day)

参考文献

- 1) 辻横 剛: 平膜を用いた膜分離活性汚泥法における膜間差圧上昇モデルの適用, 土木学会関東支部講演集 2008
- 2) 李泰日, 長岡裕: 数値流体力学手法によるMBRにおける膜面せん断力の評価, 下水道研究発表会講演集, Vol. 45th, p298-200, 2008. 6.
- 2) 趙華安: Excelによる数値計算法, 共立出版 pp.101-102 107-115, 2000.2