B-43 膜分離活性汚泥法における逆洗浄によるEPS剥離を考慮した膜間差圧上昇予測モデルの構築

○丸林　修[1]*・長岡　裕[2]

[1]東京都市大学院　工学研究科都市工学専攻（〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1）

[2]東京都市大学教授　工学部都市工学科（〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1）

＊E-mail：g1481716@tcu.ac.jp

1. はじめに

膜分離活性汚泥法は，反応槽内を高 MLSS に維持することができ，標準活性汚泥法に比べ短時間で排水を処理することが可能であるが，膜ろ過の際に生じるファウリングが問題である．膜ファウリングを抑制する方法は様々あるが，運転条件に逆洗浄を組み込むことが対策の一つとして考えられる．本研究では，逆洗の高圧に耐えられ，膜の材質より，高い逆洗浄効果が期待されるセラミック平膜を採用した．膜交換時期の判断は現場での実務経験がないと難しいとされている．そこで，ファウリング発生時期を予測する数式モデルを構築することができれば，適切な時期に膜洗浄を行うことができ，効率的な施設運営が可能になると考えた．

本研究では，Nagaoka[1)]らのモデル式に逆洗浄による EPS の剥離効果を表すパラメータを組み込むことで，逆洗浄を考慮した膜間差圧上昇予測モデルの構築を目指す．

2. モデル式

本研究で用いたモデル式を以下に示す．

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

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

$$\frac{dm}{dt} = J \cdot p \cdot - k_{dm} \cdot m - k_b \cdot m \qquad (3)$$

$$k_{dm} = \gamma(\tau_m - \lambda_m \cdot \Delta p) \qquad (4)$$

$$J = \frac{\Delta p}{\mu \cdot R} \qquad (5)$$

$$R = \alpha \cdot m + R_{memb} \qquad (6)$$

x：MLSS 濃度 (g/L)，Y：菌体収率 (g-MLSS/g-TOC)，L：TOC 容積負荷（g/L/day），k_{dx}：MLSS 自己分解定数（1/day），t：時間（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)，m：膜面上 EPS 密度 (kg/m^2)，J：フラックス（m^3/m^2/day），k_{dm}：EPS の剥離速度（kg/m^2/day），γ：定数（Pa/day），τ_m：膜面のせん断応力（Pa），λ_m：静止摩擦係数 (-)，k_b：逆洗浄による剥離速度，R：ろ過抵抗（1/m），α：吸引 EPS 比抵抗（m/kg），R_{memb}：膜の初期濾過抵抗（1/m），μ：透過液の粘性係数（Pa・s）

3. 実験概要

3.1 実験装置及び測定項目

本研究で用いた実験装置を**図 1** に，運転条件を表 1 に示す．反応槽 1000×450×255mm の塩化ビニル製で有効容積は 75L である．セラミック平膜の孔径は 0.06μm，有効面積 0.1008m^2 である．運転条件は，9.5

分吸引，0.5 分逆洗あるいは停止を 1 サイクルとした．開始 MLSS 濃度は 7g/L，TOC 容積負荷は 0.6g/L/day，DO は 3～5mg/L，エアーフラックスは 0.016m/sec である．反応槽内にセラミック平膜を 3 枚浸漬させ，それぞれ装置 1，装置 2，装置 3 とした．

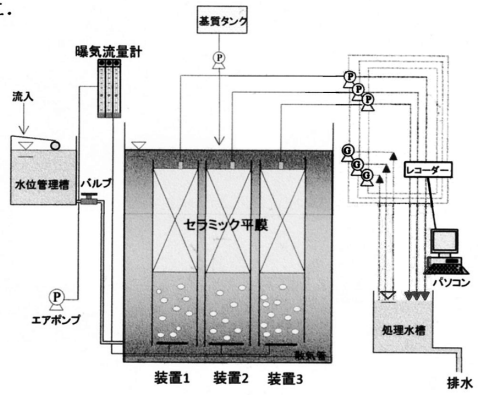

図 1　実験装置

表 1　運転条件（逆洗流束）

	装置1	装置2	装置3
1日～35日	4m/day	0m/day	0m/day
36日～76日	4m/day	2m/day	0m/day

3.2　逆圧洗浄による剥離効果を求める実験方法

逆圧洗浄により，膜面堆積物質がどの程度剥離するのか測定するために実験を行った．実験装置は**図 1** と同じである．まず，運転条件を連続吸引に設定し，膜間差圧が上昇したら，吸引を停止し 30sec 逆圧洗浄を行い，再び吸引を行う．30sec の逆圧洗浄前後の流量と膜間差圧を測定し，**式 (5)** を用いてろ過抵抗をそれぞれ求めたあと，逆圧洗浄開始時のろ過抵抗を x 軸に，30sec の平均ろ過抵抗減少速度を y 軸にとりグラフを作り，近似曲線の傾きから逆圧洗浄による洗浄効果を求めた．測定は，膜間差圧の値に変動が見られてから行うため約 1 日～2 日間隔で行った．

4.　パラメータの決定

表 3 にモデルの計算に用いたパラメータを示す．β，γ，λ_m，ω，α はフィッティングを行うことで求めた．平均せん断応力 τ_m は佐々木ら[2]の実験を用いた．また，本研究で測定した汚泥データから，粘度 μ (Pa・s) と MLSS 濃度 (g/L) の関係は $\mu=e^{0.357MLSS\,濃度}$ の指数関数で表すことができた．

3.2 項で示した逆圧洗浄による剥離効果を求める実験結果を**図 2**，**図 3** に示す．逆洗前のろ過抵抗と 30sec の平均ろ過抵抗減少速度の関係は逆洗流束 4m/day の時 $dR/dt=0.0045R$，逆洗流束 2m/day の時 $dR/dt=0.0036R$ という関係であることが示された．ここで**式 (6)** を用いて，式変換すると dm/dt の形で表すことができ，これによりパラメータ k_b が，逆洗流束 *4m/day*，*2m/day* それぞれについて，$0.0045day^{-1}$，$0.0036day^{-1}$ と求められた．

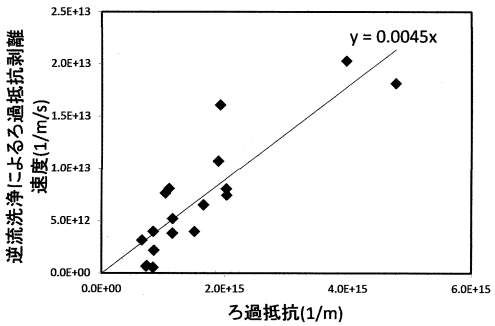

図 2　逆洗流束 4m/day の実験結果

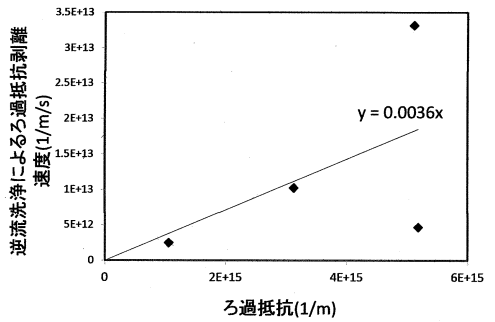

図 3　逆洗流束 2m/day の実験結果

表 2　パラメータ

Y	(g-MLSS/g-TOC)	0.6
k_{dx}	(1/day)	0.028
k_{dp}	(1/day)	0.012
β	(g-EPS/g-MLSS)	0.009
γ	(1/day/Pa)	0.09
λm	(-)	0.002
α	(m/kg)	1.00E+12
k_b *(逆流洗浄4m/day)*	(1/day)	4.50E-03
k_b *(逆流洗浄2m/day)*	(1/day)	3.60E-03

5. 実験結果

図 4 に混合液中 EPS 濃度のシミュレーション結果を示す．実測値とシミュレーションがともに経過日数とともに上昇していくことが示された．

図 5, 6 に逆洗浄を考慮した膜間差圧のシミュレーション結果を示す．**図 5** より，35 日までのシミュレーション結果は実測値と近い値を示していることがわかる．しかし，35 日以降は，シミュレーションの方が実測値よりも早く膜間差圧の上昇が見られた．理由として,槽内の EPS の影響をシミュレーションに反映させることができなかったことが考えられる．**図 6** についても,経過日数とともにシミュレーションの精度が低くなっており,槽内の EPS の影響をシミュレーションに反映させることができなかったことが理由として考えられる．

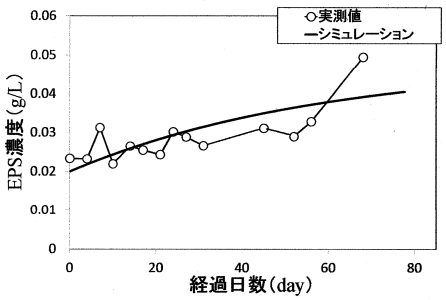

図 4 EPS 濃度のシミュレーション

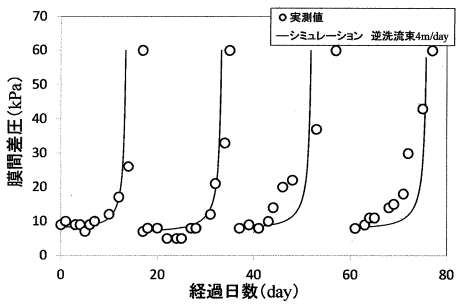

図 5 逆洗流束 4m/day のシミュレーション

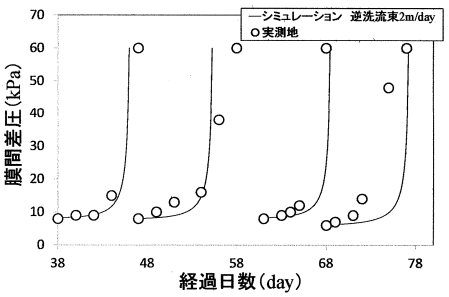

図 6 逆洗流束 2m/day のシミュレーション

図 7 は逆洗流速 0m/day の時のシミュレーションである．全期間を見て,シミュレーションのほうが実測地よりも膜間差圧の上昇が早くなる傾向が見られる．

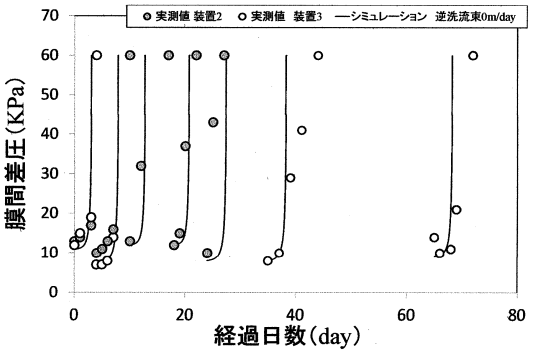

図 7 逆洗流束 0m/day のシミュレーション

6. まとめ

逆洗浄を考慮した膜間差圧上昇モデルを用いてシミュレーションした結果,以下のことが示された．

(1) 既存もモデルに逆洗浄による EPS 剥離速度を示すパラメータ k_b を組み込みシミュレーションした結果，時期により膜間差圧の値に差は見られたが，全体的な挙動は実測値，シミュレーションともに近い挙動を示す傾向が見られた．

(2) 逆洗浄による EPS 剥離速度を示すパラメータ k_b の値を変えることで，異なる大きさの逆洗流束を与えても，本モデルでシミュレーション可能であることが示された．

参考文献

1)H.Nagaoka, S.yamanishi and A.Miya
Modeling of biofouling by extracellular activate sludge system
Water Science and Technology Vol38 No4-5 pp497-504
2)佐々木哲哉,長岡裕
平膜浸漬状形 MBR において膜面上せん断応力に及ぼす MLSS の影響
下水道研究発表会講演集 49th pp247-24