

セラミック平膜を用いた膜分離活性汚泥法における逆洗浄工程考慮の 膜間差圧上昇モデルの構築

東京都市大学院 学生会員 ○丸林修
東京都市大学 正会員 長岡裕

1. はじめに

膜分離活性汚泥法は、活性汚泥を固液分離することで良質な処理水が得られる水処理方法であるが、施設の継続運転に伴い膜ファウリングが発生することが問題である。膜ファウリングが発生に伴い、膜洗浄を行わなければならない、時間と手間を要する。膜ファウリング発生時期の判定は現場での経験がないと難しく、専門知識が必要であるが、膜ファウリングを予測することが出来れば、効率の良い施設運営が可能になる。

本研究では、セラミック平膜を用いて、逆洗浄を行う場合の膜間差圧上昇の予測を数式モデルで表す。膜間差圧上昇モデルの構築について検討した。

2. 実験方法

図1に実験装置を、表1に逆洗流束の運転条件、表2に基質の組成を示す。反応槽 1000×450×255mm の塩化ビニル製で有効容積は75Lでセラミック平膜は0.06μm、有効面積0.1008m²である。反応槽内に3枚の膜を浸漬させて運転を行った。運転条件は9.5分吸引、0.5分逆洗あるいは0.5分停止を1サイクルとした。人口基質はポンプを用いて継続的に投下した。開始MLSS濃度は7g/L、TOC負荷量は0.6g/L/day、DOは3~5mg/L、エアーフラックスは0.016m/secである。

表1 実験条件(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

表2 人工合成基質組成

基質成分表			
CH ₃ COONa	NH ₄ Cl	KCl	MgSO ₄ ·7H ₂ O
30.8	4.32	0.18	0.368
Peptone	FeCl ₃ ·6H ₂ O	CaCl ₂	KH ₂ PO ₄
8.12	0.09	0.18	1.25

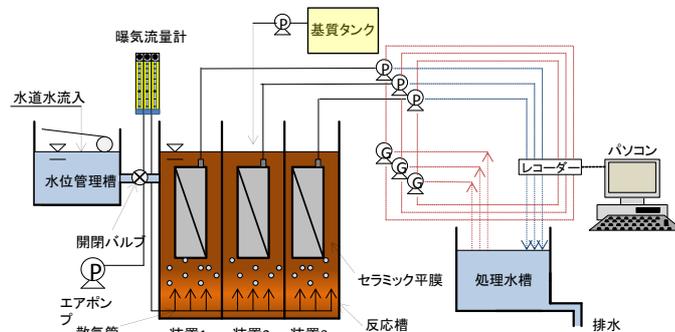


図1 実験装置概要図

測定項目は MLSS 濃度、粘度、溶存酸素、pH、膜間差圧、透過流量、菌体外高分子ポリマー(Extracellular Substances:EPS)である。EPS は陽イオン交換樹脂を用いて抽出した。

逆洗流束による膜堆積物質の剥離効果を示す逆洗浄力は、装置の運転条件を連続吸引に変え、膜間差圧が上昇したら吸引を停止し30sec逆洗流束を行い、その後、再度吸引を行い、逆洗浄前後のろ過抵抗の変化量を逆洗浄力とした。測定は約2日間隔で行った。

3. モデル式

以下に本研究で用いるモデルを示す。

$$\frac{dx}{dt} = Y \cdot L - k_{dx} \cdot x \tag{1}$$

$$\frac{dp}{dt} = Y \cdot L - k_{dp} \cdot p \tag{2}$$

$$\frac{dm}{dt} = J \cdot p - k_{dm} \cdot m - k_{\beta} \cdot m \tag{3}$$

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

$$R = \alpha \cdot m + R_{memb} \tag{5}$$

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

キーワード: 膜分離活性汚泥法, ファウリング, 膜間差圧, モデル

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL:03-5707-2222(内線 3257) Email:g1018080@tcu.ac.jp

自己分解定数(1/day), m : 膜面上の EPS 密度(kg/m^2), J : フラックス ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$), k_{dm} : EPS の剥離速度 ($\text{kg/m}^2/\text{day}$), γ : 定数 (Pa/day), τ_m : 膜面のせん断力 (Pa), λ_m : 静止摩擦係数 (-), k_b : 逆洗浄による剥離速度 (1/day), R : ろ過抵抗 (1/m), α : 吸引 EPS 比抵抗 (m/kg), R_{memb} : 膜のろ過抵抗(1/m), μ : 透過液の粘性係数 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)

4. パラメータ値の決定方法

表3にモデル式に使用したパラメータを示す. Y , k_{dx} , k_{dp} は長岡ら¹⁾のデータを使用する. β , γ , λ_m , ω , α はフィッティングを行った. 平均せん断応力は佐々木ら²⁾の実験より, せん断応力 $\tau_m(\text{Pa})$ は $\tau_m = 0.0299\eta + 1.9794$ を用いた. また, 粘度 η ($\text{mPa} \cdot \text{s}$) と MLSS の関係は $\eta = e^{0.3568x}$ の指数関係が成り立つことが本研究より分かった. 逆洗浄力を求める実験より, 逆洗浄前の膜のろ過抵抗と逆洗浄を行っている間の平均ろ過抵抗の減少速度は $dR/dt = -k_b \cdot R$ と表せることから, 逆洗流束 4m/day の時 $k_b = -0.0045\text{day}^{-1}$, 逆洗流束 2m/day の時 $k_b = -0.0036\text{day}^{-1}$ であることが示された.

表3 モデル式のパラメータ値

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
λ_m	(-)	0.002
α	(m/kg)	1.00E+12
k_b (逆洗流束4m/dayの時)	(1/day)	4.50E-03
k_b (逆洗流束2m/dayの時)	(1/day)	3.60E-03

5. 実験結果

図2と図3に逆洗浄を行う時のシミュレーションを示す. 実測値とシミュレーションが異なる挙動を描いている時期はあるものの, 膜間差圧の上昇が見られない時期は同じような値を示していることがわかる. また, 急激な膜間差圧上昇を示すTMPジャンプはシミュレーションすることができた.

図4は逆洗浄を行わない時のシミュレーションである. 図4よりシミュレーションが上手くいく時期とそうでない時期があることがわかる. 実測値の流量の調整を頻繁に行っていればシミュレーションの精度が高まっていたことが予想される.

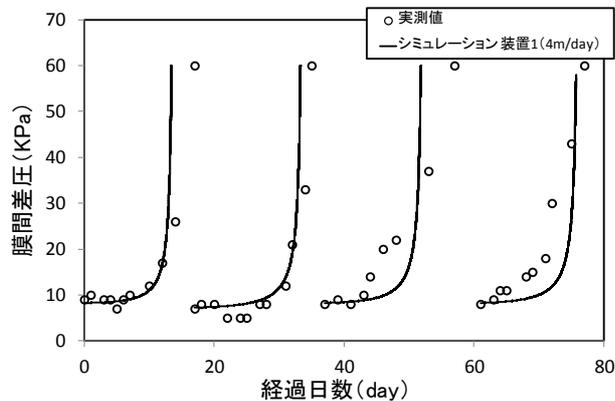


図2 シミュレーション (逆洗流束 4m/day)

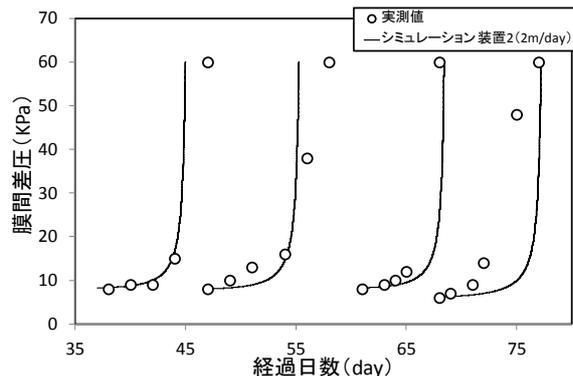


図3 シミュレーション (逆洗流束 2m/day)

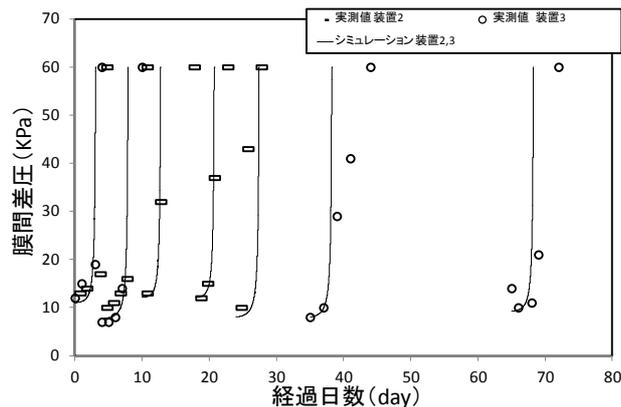


図4 逆洗浄なしのシミュレーション

6. まとめ

逆洗浄を考慮した膜間差圧上昇をモデル式でシミュレーションした結果, シミュレーションが実測値と異なる値を示す時期はあったものの, k_b のパラメータを変えることで, 異なる逆洗流束にした時の, 実測値の予測としては有効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 平膜状浸漬型 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 49thpp247-249