

浸漬型膜分離活性汚泥法におけるファウリングモデルの構築

学生会員 渡邊 寛隆
 学生会員 井上 舞衣
 正会員 長岡 裕

1.はじめに

膜分離活性汚泥法(Membrane Bio-Reactor:MBR)は、反応槽内に微細孔膜を浸漬し、吸引ろ過することで処理水を得る処理法である。そのため、処理水中には懸濁物質が含まれておらず、再利用も可能な水質を得ることが可能である。この処理法は、現在主流である標準活性汚泥法と比べ最終沈殿地を省略することが可能になるため敷地面積が縮小できる、管理維持が容易になる、高度な処理水が安定して得られるなどの利点がある。しかし、運転コストの高さと時間経過によって発生する膜目詰まり(ファウリング)という問題点がある。

ファウリングとは、活性汚泥や汚泥中の微生物やその代謝物が膜の表面などに付着、堆積したのち吸引圧で堆積層が圧密されることによってろ過抵抗が増加し、膜透過流速(Flux)や処理水の水質が低下する現象である。主な目詰まり原因物質は、微生物の新陳代謝物である菌体外高分子ポリマー (Extra-cellular Polymeric Substances:EPS) であると考えられている。処理場では定期的な洗浄を行いながら運転を行っているが、洗浄を行っても膜自体の劣化は進行し、取り替えを行わなければならない、高い運転コストがさらに増大してしまう。このようなことからファウリングは、処理場の能力低下だけでなく経済面的にも大きな欠点となっている。そのため、ファウリングは抑制または発生時期の正確な予測が望まれている。

2.研究目的

長岡らによって、膜表面での気泡流による剥離と吸引による堆積という物理的な現象が考慮された膜間差圧(Trans-Membrane Pressure:TMP)上昇予測モデルが考案された¹⁾。現段階において、曝気による気放流とそれにより発生するせん断力との関係が明らかになっており²⁾、それらをモデル式に適用できると仮定できた。しかし、事前のファウリング予測まで応用できていないことが課題である。本研究では、ファウリングの事前予測を可能にするため、初期条件から正確なファウリング発生予測が可能なモデルの構築を目的とする。そこで、研究室スケールでの反応槽実験結果を用いて、モデル式の改良・開発を行っていく。

3.膜間差圧上昇予測モデル概要

本研究では以下の(1)～(8)のモデル式を使用した。

表1 モデル式パラメータ

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

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

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

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

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

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

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

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

パラメータ	単位	項目
x	(g/L)	MLSS濃度
Y	(g-MLSS/g-TOC)	菌体収率
L	(g/L/day)	TOC容積負荷
k _{dx}	(1/day)	MLSS自己分解定数
t	(day)	時間
p	(g/L)	混合液中EPS濃度
	(g-EPS/g-MLSS)	EPS生成率
k _{dp}	(1/day)	EPS自己分解定数
	(m/kg)	EPSの比抵抗
k	(1/day)	圧密の関する速度定数
	(m/kg)	圧密後の比抵抗
o	(m/kg)	圧密前の比抵抗
p	(m/kg/Pa)	定数
P	(Pa)	膜間差圧
m	(kg/m ³)	膜面上EPS密度
J	(m/day)	フラックス
k _{dm}	(1/day)	EPSの剥離速度
	(1/day/Pa)	定数
m	(Pa)	膜面のせん断力
m	(-)	静止摩擦係数
R	(1/m)	ろ過抵抗
μ	(Pa·s)	透過液の粘性係数
R _{memb}	(1/m)	膜のろ過抵抗

キーワード 膜分離活性汚泥法, ファウリング, 菌体外高分子ポリマー, 膜間差圧上昇モデル

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 水圏環境工学研究室 TEL 03-5707-2100(3257)

4. 実験装置及び実験条件

実験に使用した反応槽は、アクリル製で Run1 では有効容積 0.297 m³(97cm×46.5cm×46.5cm) , Run2 では 0.1037 m³(57cm×32cm×60cm) , 膜モジュールは有効膜面積(両面)0.1 m² , 孔径 0.4μm , 塩素化ポリエチレンの MF 平膜を用いた . また , 散気管は , Run1 , Run2 とともに直径 8mm の塩ビ管に 15mm 間隔で直径 0.5mm の穴を開けたものを使用した . 今回の実験では 2 種類の空気量で曝気を行った . また , ろ過は連続吸引・間欠吸引(9 吸引 1 分停止)で行い , 基質投与は連続投与で行った . 本実験では , TMP が 40kPa 近くになった場合を膜目詰まり発生とし , その際 , 膜を引き抜き , スポンジで表面の堆積物を取り除いた後 , 0.3% の次亜塩素ナトリウム水溶液に浸漬させ , 洗浄を行った . モデル式に用いる実験条件を表 2 に , パラメータを表 3 に示す .

表 2 実験条件

膜No.	Run1							Run2	
	1	2	3	4	5	6	7	1	2
供給空気量(L/min/枚)	15	15	15	15	35	35	35	15	15
フラックス(m ³ /m ² /day)	0.55							0.55	
TOC容積負荷量(g/L/day)	0.55							0.55	

表 3 モデル式パラメータ

	Run1	Run2
Y(g-MLSS/g-TOC)	0.5	
ksx(1/day)	0.02	
(g-EPS/g-MLSS)	0.0391	0.0284
kdp(1/day)	0.017	
0(m/kg)	5*10 ¹³	
m(-)	0.0007	
μ(Pa·s)	0.001	
(1/day/Pa)	0.6	

また , 本実験では EPS の剥離速度のパラメータに大きな影響を与える定数 の数値を決定するため , 式(5)の膜面上 EPS 密度のシミュレーションからフィッティングを行い , 算出した .

5. 結果

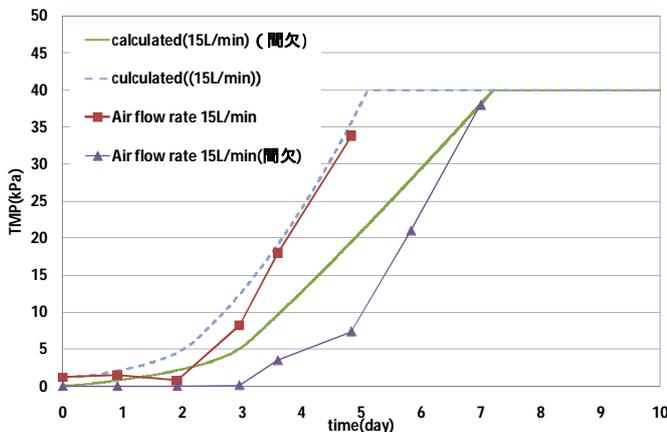


図 1 空気量 15(L/min)における TMP シミュレーション(Run2)

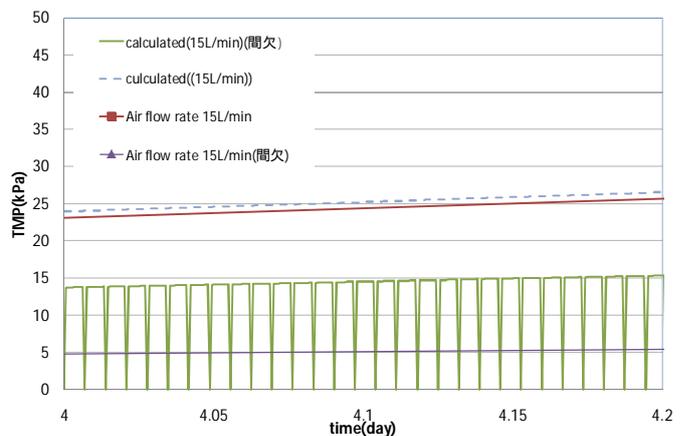


図 2 TMP シミュレーション拡大図

TMP 上昇についてのシミュレーション結果を図 1 に示す . 緩やかに上昇していく TMP 挙動を示せていないもののファウリングの発生時期は予測できている . 図 1 では , 吸引停止時の TMP が 0kPa になる部分は省略している . 実際に間欠吸引運転時の吸引停止時を考慮した場合の挙動を図 2 に示す . 9 分毎に吸引圧は 0Pa になり , 緩やかに上昇していく挙動を示している . 本報告では , 初期条件だけでシミュレーションを行っていないが , 今後 , 式(5)によるパラメータの決定方法の妥当性について検討していく . 既存の研究ではフィッティングによるシミュレーションがほとんどであったが , 式(5)による初期条件設定の妥当性が証明できれば , 初期条件のみによる TMP 上昇シミュレーションの予測が可能になると考えられる .

また , 本報告では空気量 15(L/min)に対するシミュレーションであったが , 今後 , 他の空気量 , 実験条件に対して適用可能か解析していく .

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 , p298-300 , 2008 .