

II-512

中空糸膜モジュールを用いた膜分離
活性汚泥法における間欠吸引の効率化

東京大学工学部 ○日浅 雅見（学）

松尾 友矩（正） 花木 啓祐（正）

1. はじめに 活性汚泥法において混合液の膜濾過で固液分離を行うシステム「膜分離活性汚泥法」と呼ぶ。本研究に用いた膜は中空糸膜で、表1¹⁾に示すように中空糸膜は体積当りの膜面積が大きい、形状上閉塞を起こしやすく、中空糸膜特有の運転方法が必要になってくる。本研究では、付着層の剝離は加圧・加熱を用いずに間欠吸引で行い、操作圧、透過流束は低く設定する必要があるが、高い膜充填密度を活かし膜面積でカバーして、効率的な運転方法を検討した。

2. 実験装置、実験方法 膜の仕様を表2に示す。表2から膜充填密度を求めると約735(m²/m³)となる。図1にシステムの概要を示す。膜モジュールを直接曝気槽に浸漬し、膜の内側を低圧で吸引して処理水を得る。流入水の組成は表3の通りである。各RUNの運転方法を表4に示す。RUN1～3では吸引時間延長の影響を、RUN4～6では休止時間短縮の影響をみる。RUN7,8は透過流束を増加させて行った。なお、各RUNの運転中、汚泥はMLSS測定のためのサンプリング以外は引き抜いていない。

3. 結果と考察

3.1 透水性能、処理水量の評価 濾過する際の透過流束 J_v は次式のように表される。

$$J_v = \frac{\Delta P}{R_m + R_{gc}}$$

ここで ΔP は差圧、 R_m は膜抵抗、 R_{gc} は付着層抵抗（濾過によって付着するゲル層、ケー層の抵抗）を表す。表5に各RUNの付着層抵抗の変化をまとめた。安定し、かつ処理水量が最大なのはRUN4で0.14 m³/m²・dayであった。表1の膜充填密度と本モジュールの735m²/m³とを比較すると、本モジュールの膜充填密度は他の約2～9倍になっており、膜充填密度を考慮に入れて比較するとRUN4の値の2～9倍である0.3～1.3m³/m²・dayの処理能力とみなせる。表6に実プラントの透過流束（すなわち処理水量 $J_v \cdot r$ ）及び操作圧を示す。これを見るとRUN4の値は実プラント並の値であり、しかも平常時の吸引差圧は0.1～0.2kg/cm²で、表6の値よりも低圧で済んでいる。以上からRUN4の透過流束（処理水量）、吸引差圧の値は実用上十分である。また、いずれのRUNも運転期間中、逆洗無しで最長141日にわたり継続して運転できた。これは表6の逆洗頻度と比較して、運転管理上の大きな利点といえる。

3.2 有機物除去 各RUNにおける流入水と処理水のCOD_{Cr}の測定結果を表7に示す。いずれも処理水の水质は良好であった。

3.3 閉塞の原因と対策

3.3.1 吸引時間 T_s について 図2に示すRUN1～3bの吸引差圧の変化を見比べると、RUN3aまでは運転期間中ほとんど増加していないが、RUN3bでは短期間に上昇した。他に比べてRUN3bは透過流束の初期設定は小さく、その点ではむしろ閉塞しにくいはずである。

しかし吸引時間はRUN3bが最も長くなっており、これが閉塞の原因であると考えられる。すなわち吸引の継続にともない付着層は増加、圧密化してくるが、ある点までは休止時間中

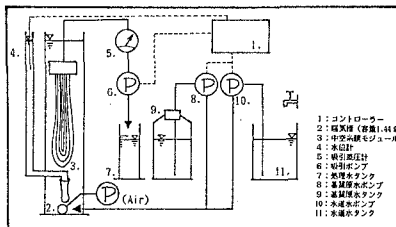


図1 実験装置図

表1 UDF膜モジュールの体積と膜面積

形態	モジュール体積V (L)	膜面積A (m ²)	膜充填密度 (m ² /m ³)
管状型	2.5	0.2	80
スラット型	7.9	3.4	430
中空糸	7.0	4.7	670

表2 中空糸膜モジュール仕様

材質	ポリエチレン
内径	280 μm
膜厚	55 μm
孔径	0.03 μm
膜面積	0.3m ²
モジュール径	φ=38mm
モジュール長	1=360mm
純水透過率	100l/m ² ・hr at 0.5kg/cm ²

表3 流入基質の組成(mg/l)

RUN	1	2	3	4	5	6	7,8
Glucose	100	40	30	26.7	20		
Pepton	100	40	30	26.7	20		
(NH ₄) ₂ SO ₄	80	32	24	21.3	16		
KH ₂ PO ₄	16	6.4	4.8	4.27	3.2		
Yeast extract	10	4	3	2.7	2		
MgSO ₄ ・7H ₂ O	20	8	6	5.3	4		
MnSO ₄ ・4H ₂ O	1.8	0.72	0.54	0.48	0.36		
CaCl ₂ ・2H ₂ O	2	0.8	0.6	0.53	0.4		
FeCl ₃ ・6H ₂ O	0.1	0.04	0.03	0.03	0.02		
設定COD _{Cr} 濃度	250	100	75	66.7	50		
設定COD _{Cr} 容積負荷 kg/m ³ ・day	1.5			3			

表4 各RUNの運転方法

RUN	吸引時間 T_s 分	休止時間 T_r 分	吸引時間率 $T_s / (T_s + T_r)$	初期設定透過流束 $J_{v,0}$ m ³ /m ² ・day	処理水量 $J_v \cdot r$ m ³ /day	滞留時間 τ hr
1	約1 60ml	約9	約0.1	0.288	0.03	4 hr
2	3	27	0.1	0.288	0.03	4
3a	約6 360ml	約54	約0.1	0.288	0.03	4
3b	7 →8	53 →52	0.12 →0.13	0.247	0.03	4
4	1	1	0.5	0.288	0.14	48min
5	1	0.5	0.67	0.288	0.20	36
6	1	0.33	0.75	0.288	0.22	32
7	0.5	0.5	0.5	0.576	0.29	24
8	1	1	0.5	0.576	0.29	24

表5 各RUNの運転結果

RUN	運転日数	経過日数別 透過流束 J_v (m ³ /m ² ・day)						判定
		1日	3日	5日	10日	20日	終了	
1	116							○
2	61	0	0	0	1.1	4.2	0.2	○
3a	141				0.2	0.6	2.9	○
3b	17			6.9	8.6	24.0	×	×
4	22	0.3	3.0	2.7	4.7	4.9	×	×
5	14	1.4	4.8	9.3	7.1	9.2	×	×
6	1	41.5				41.5	×	×
7	31	1.4	1.6	1.4	20.7	13.9	×	×
8	27	0.8	5.8	7.8	15.9	87.6	41.1	×
7	32	2.3	3.8	5.2	11.9	15.7	17.9	×

表6 実施施設の透過流束、差圧、逆洗頻度

文献	透過流束 m ³ /m ² ・day	差圧 kg/cm ²	逆洗頻度 1～2カ月
2)	0.83	0.8	1～2カ月
"	0.63	0.6	"
"	0.5	0.4	"
3)	2.88～4.32	2	
4)	0.95	(記述なし)	
5)	1.2	4	数カ月

に回復できる。しかし、圧密化がある点を超えると休止時間を長くとっても回復しなくなるのであろう。この臨界吸引時間が透過流束 $0.3\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{day}$ では6~7分だといえ、吸引時間はそれ以下に設定しなければならない。透過流束がこれより大きい場合、付着層の圧密速度も大きくなり臨界吸引時間はさらに短くなる。

3.3.2 休止時間長 T_R について 生成する付着層を剝離させ、透過流束を維持する作用は吸引停止による吸引圧の開放によって行われる。つまり休止時間中に付着層が拡散により減少しているものと考えられる。1回の吸引中に生成した付着層は続く1回の休止時間中に除去されなければ蓄積されていくので、吸引時間に生成される付着層の量に応じた休止時間を確保する必要がある。RUN1、4~6は吸引時間は等しいが、休止時間が徐々に短縮されてきている。その結果は図3の通りで、RUN4までは吸引差圧の上昇を抑えられたが、休止時間をそれ以上に短くすると膜は閉塞へ向かう結果となっている。吸引時間中の付着層の生成速度は透過流束の関数であり、休止時間中の付着層の減少速度は付着層自体の関数であることは予測されるが、実験結果を的確に表現するには至っていないが、休止時間長が閉塞の有無を決定する因子の1つであることは明らかなのでこれを適切に制御する必要がある。

3.3.3 吸引時間率 r について 間欠吸引においては、前節に述べたように吸引時間と休止時間とが付着層の生成・減少に作用する。両者とも、その速度が時間変化しないと仮定すると、図4に示すように同一の透過流束、同一の r ならば（すなわち処理水量が一定ならば）、その結果は変わらないことになる。RUN1~3a及びRUN7,8とがその関係にあたり、図2、図5にその結果を示す。前述の仮定が正しければ閉塞に終わったRUNでは付着層抵抗が運転日数と比例して増加することになるが、図5の運転開始から10日目前後まで概ね直線的に増加しているといえる。

3.3.4 MLSSの影響 このモジュールはMLSSが4~5 mg/l に達すると透過流束に汚泥濃度の影響が表れる⁶⁾が、本実験では最高時でも1 mg/l 程度であったのでMLSSの影響はないものと思われる。

3.4 本モジュールの構造上の問題点 モジュールの中空糸がU字型をしているため図6に示すようにモジュールによって汚泥が捕捉されてしまう。これは曝気による水流に起因し、これにより汚泥が付着した、膜モジュールの内側では付着層抵抗が増加したり、さらにはその部分が閉塞していることも考えられる。すると膜の有効面積は減少しており、実際に膜の有効部分を透過した流束の値はさらに大きかったことになる。つまり、ここに示してある値よりも高い透過流束で運転が可能ということになり、このモジュールによる捕捉を何らかの形で防ぐことができれば処理水量はさらに増加する。

4. まとめ 中空糸膜を用いた間欠吸引方式による膜分離活性汚泥法の閉塞の要因は①吸引時間の限界超過、②吸引時間に見合う休止時間の不足。

透過流束 $0.288\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{day}$ では①は約6分であり、②は吸引時間率 $r=0.5$ 程度にする必要がある。この時の処理水量は $0.14\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{day}$ で、膜充填密度を考えれば十分な値といえる。この時、 COD_Cr 容積負荷 $3\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{day}$ 、滞留時間48分で COD_Cr 除去率は93%で良好であった。また、メンテナンスなしで最長141日間安定した透過流束を得ることができた。

なお、有効膜面積の低下防止ができれば処理水量のさらに増加できる。

<参考文献> 1) 膜の種類と水処理技術での利用形態, 神沢千代志, 空気調和・衛生工学, 62, 1 (1988) 2) 三機MSRシステム納入実績表, (1984) 3) 北千住ターミナルの中水道システム, 金山彦喜, 空気調和・衛生工学, 62, 1 (1988) 4) 東京都港区庁舎の中水道システム, 柴山成永, 空気調和・衛生工学, 62, 1 (1988) 5) ビル用水の循環再生における膜の利用例, 小泉求, 公害と対策, 9, (1984) 6) 第42回年講P. 824 (1987)

RUN	流入	処理	除去率
N	mg/l	mg/l	%
1	276	5.8	97.8
2	279	14.3	94.6
3a	229	7.0	96.5
3b	234	12.4	94.4
4	100	7.0	92.9
5	79	12.3	84.2
6	67	6.5	90.2
7	49	6.6	86.0
8	51	8.2	83.5

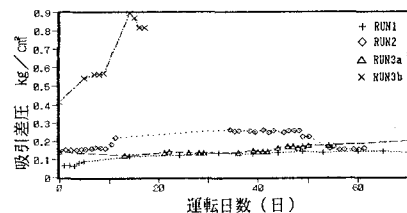


図2 吸引時間延長の影響

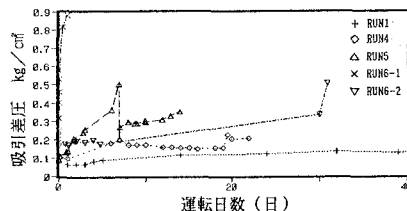


図3 休止時間短縮の影響

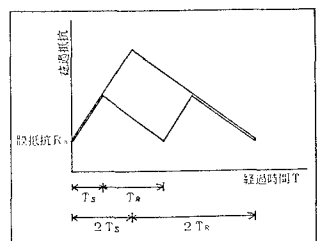


図4 1サイクル中のゲル層生成と減少

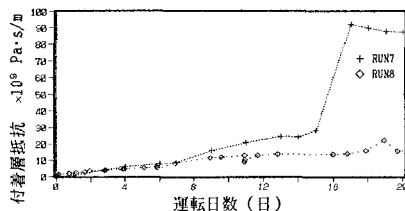


図5 同一吸引時間率の実験結果

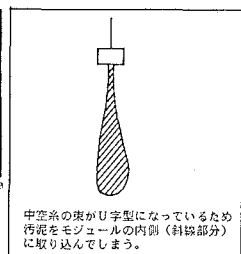


図6 モジュール構造による汚泥の捕捉