

B-7 膜分離活性汚泥法におけるモジュール形状および吸引条件の影響

武蔵工業大学 〇新井 一仁 石上 尚 徳野 光宏
綾 日出教 長岡 裕

1. はじめに

活性汚泥法において、混合液を膜で直接固液分離する場合、膜モジュールの膜透過性能の劣化が問題とされている。その原因として汚泥の付着や膜孔の目詰まり等による膜面積の減少が挙げられる。中空糸を束ねたものを膜分離モジュールとして用いれば体積当たりの膜面積が大きくでき、曝気槽内のエアレーションによる揺動や透過を間欠に行うことによって効果的な汚泥の剥離が期待できる。本研究では安定した透過流量が得られるような中空糸膜モジュールの開発を目的に、モジュール形状、および運転条件（間欠吸引）が透過流量に及ぼす影響について実験的に検討した。

2. 実験装置と方法

実験装置の概要をFig. 1に示す。本装置は平塚市H団地汚水処理場内に設置されており、同処理場の流入汚水を処理原水とした。原水は処理場内の曝気沈砂池よりポンプで取水した後、目開き1mmの自動スクリーンにて繊維物を除去したものを原水槽へ貯留し、曝気槽内での処理水量に応じて投与される。実験に使用した膜モジュールの仕様と間欠サイクルをTable 1に、また膜モジュールの概形をFig. 2に示す。

Table 1 Specification of Module

Module	A	B	C	D	E
Pore Size	0.10	0.10	0.10	0.03	0.03
Outer Diameter	1.22	3.00	3.00	0.39	0.39
Inner Diameter	0.68	1.90	1.90	0.28	0.28
Length of Fiber	32	32	116	32	32
Number of Hollow Fiber per Module	42	18	18	128	688
Total Area	0.0515	0.0543	0.1970	0.0502	0.2696
Cycle First Term	1min-1min				
Second Term	6hours-6hours				
				1min-1min	6h-6h

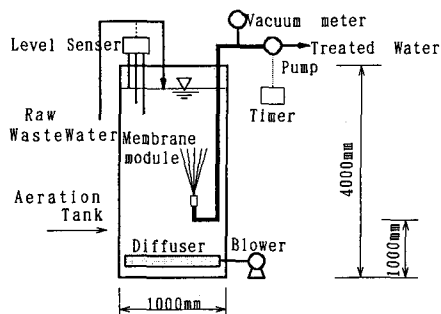


Fig.1 Experimental Setup

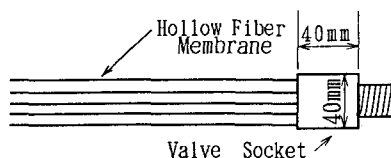


Fig.2 Form of Module

使用した中空糸膜は材質ポリエチレンのMF膜で膜先端をエポキシ系接着剤で塞ぎ、膜は互いに間隔を開けて植え付けた。透過液の引き抜きはマスターテックス社製チューブポンプを使用した。本実験は第一期(1992/4/22～9/9)及び第二期(1993/3/12～7/5)に分けて行った。第一期においてはA,B,Cのモジュールを使用し、間欠サイクルは全て1分吸引1分停止である。また、第二期においてはD,Eのモジュールを加え実験を行った。間欠サイクルはDのみ1分吸引1分停止でその他は6時間吸引6時間停止とした。

3. 実験結果

実験開始からの各モジュールのフラックス、吸引圧、ろ過抵抗の変化を第一期についてはFig. 3～Fig. 5に、第二期についてはFig. 6～Fig. 8に示す。第一期実験ではろ過抵抗はAがやや大きく、Cが小さい傾向がみられた。第二期実験では間欠サイクルが6時間と長いため、1日のフラックス測定は吸引開始直後と吸引終了直前の2回測定した。このため各モジュールの値に多少のばらつきがあるが、のこぎり歯状のフラックスパターンが見られ、6時間の休止中に透過流量の回復がなされる傾向が見られた。また、モジュールDは68日目以降ほとんど流量が得られなくなった。A, B, Cのろ過抵抗は同等の値を示し、Eは実験期間を

通して上昇を続けた。槽内MLSSは3000~8000mgL⁻¹と第一期(2000~3000mgL⁻¹)より高い状態にあった。両期間の実験終了後、膜を引き上げて観察を行ったところ、膜間に污泥が堆積する状況は見られなかった。尚、第二期実験でモジュールDとEでは植え付けた中空系が互いにかみ合っていた。

4. 考察

両期実験終了後、各モジュールに污泥の堆積が見られなかったのは、一端を自由端としたモジュールのため、閉塞部が少なくエアー・リフトタンク内で揺動による剥離が促進されたためと思われる。第一期実験ではAのろ過抵抗が大きくCが小さい傾向が見られたが、これは膜内径の大小による摩擦損失や膜長の違いによる揺動の大きさに起因すると考えられる。第二期実験ではD、Eがろ過抵抗が増加する傾向にあったが、これは前述の影響に加え、中空系のからみ合いが有効膜面積を減少させたためと思われる。膜分離モジュールを実用化する際の評価項目として、ろ過抵抗等のような膜そのものに対するミクロな指標にとらわれず、モジュールに関するマクロな指標として式(1)のように透過流量効率係数 η ¹⁾を定義した。また、第一期、第二期実験では径日変化が同一でも透過流量、混合液中固形物濃度(槽内MLSS)が異なっており両者の結果を比較する場合、これらの影響を考慮した指標が求められる。よって本研究では式(2)の通り除去粒子体積時間 θ を定義し、Fig. 9~Fig. 13に η と θ の関係を表した。

$$\eta = \frac{(Q\lambda - Q_B\lambda_B)\mu}{V \cdot \Delta P} \quad (1)$$

η : 透過流量効率係数 [-], λ : 吸引時間の割合 [-], λ_B : 逆流時間の割合 [-], Q : 吸引時の透過流量 [L³T⁻¹], μ : 透過液の粘性係数 [ML⁻¹T⁻¹], V : 膜モジュール占有容積 [L³], ΔP : 膜間差圧 [ML⁻¹T⁻²]

$$\theta = \int_0^t \frac{C(t)Q(t)}{\rho_s V} dt \quad (2)$$

θ : 除去粒子体積時間 [-], $C(t)$: 混合液中濃度, $Q(t)$: 膜透過流量 [L³T⁻¹], t : 運転開始からの経過時間 [T], ρ_s : 除去される物質の密度 [ML⁻³], モジュール占有容積 [L³]

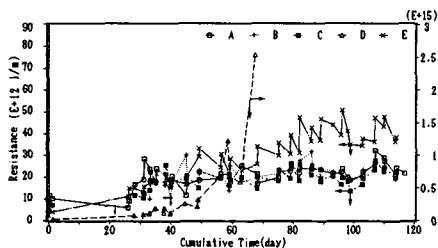


Fig. 8 Variation of Resistance(Second Term)

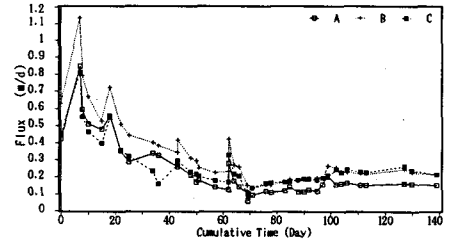


Fig. 3 Variation of Flux (First Term)

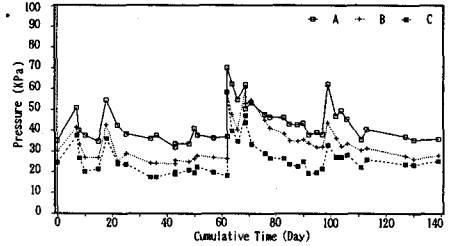


Fig. 4 Variation of Pressure(First Term)

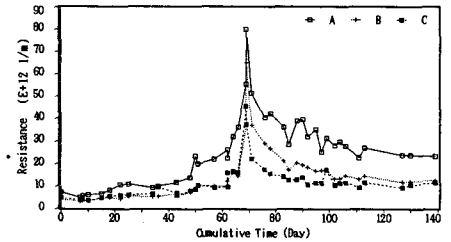


Fig. 5 Variation of Resistance(First Term)

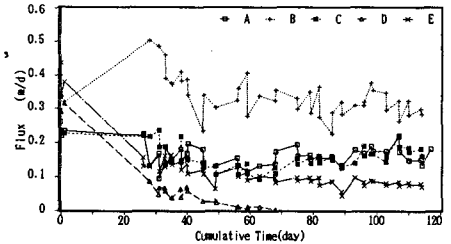


Fig. 6 Variation of Flux (Second Term)

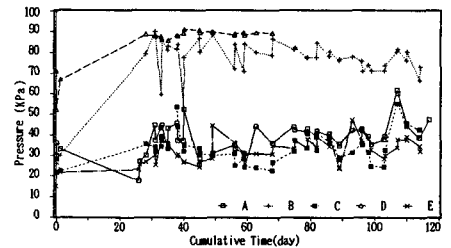


Fig. 7 Variation of Pressure(Second Term)

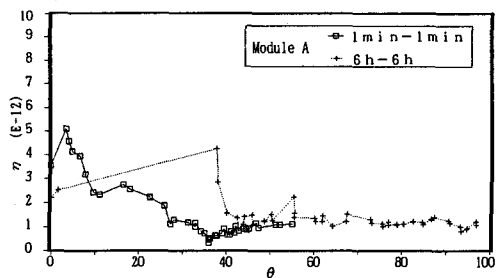


Fig.9 Relationship between η and θ (module A)

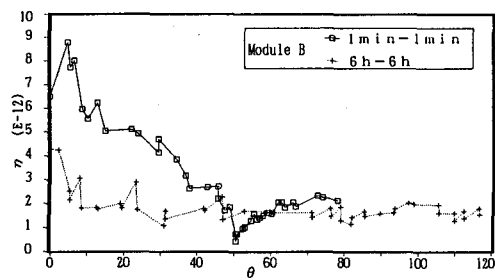


Fig.10 Relationship between η and θ (module B)

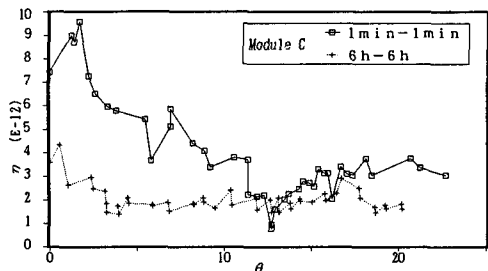


Fig.11 Relationship between η and θ (module C)

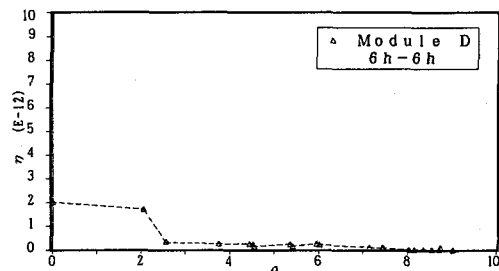


Fig.12 Relationship between η and θ (module D)

θ の表す意味は $\theta = 1$ が経過した時点で、モジュール占有容積と同一の体積の粒子をモジュールが除去したということである。Cとしては曝気槽内MLSS濃度を用い、 ρ_s は汚泥の固形分密度を考えた。尚、 ρ_s は実測していないため、 $\rho_s = 1200000 \text{ mgL}^{-1}$ とし、積分に関しては台形法を用いて計算した。

第二期実験の場合は第一期実験と比べ、槽内MLSS濃度が高かったため、 θ の値も大きくなっている。モジュールA,B,Cでは1分休止1分停止の間欠運転の方が η の落ち込みも大きく、 θ の値が大きくなるにつれ6時間吸引6時間停止と同等の値を示す傾向がみられた。

5. まとめ

一端を自由端とした膜モジュールをエアレーションタンク内に直接浸漬させ、実下水を用いて膜長、膜径および間欠吸引時間の影響について実験的に検討した結果、以下の知見を得た。

- 1)ろ過面積が同一であれば、内径の大きい膜を間隔を開けて固定したモジュールの方がろ過抵抗が小さい。
- 2)自由端とした膜モジュールはエアレーションによる揺動のみで汚泥の堆積を防ぐことができる。
(但し、外径の細い本数の多いモジュールは中空糸が互いにからみ合い、膜面積を減少させる。)
- 3)膜分離モジュールの性能を評価するための無次元指標として透過流量効率係数 η 、除去粒子体積時間 θ を定義し、解析したところ、同じ膜モジュールに対し6時間吸引6時間休止の長期間欠サイクルを用いても、1分吸引1分休止の場合と同等の流量が得られることが示された。

参考文献

1) 長岡 裕, 綾 日出教, 持田 悦夫, 中空糸膜分離活性汚泥法におけるモジュール形態の影響, 第29回環境工学研究フォーラム講演集, pp.132~134, 1992