

武蔵工業大学 ○長岡 裕
 武蔵工業大学 綾 日出教
 東急建設(株) 持田悦夫

1. はじめに

膜分離活性汚泥法は、活性汚泥プロセスに膜分離を組み合わせる固液分離を行うものであるが、平膜あるいは管状膜を利用するシステムでは、クロスフロー流速およびに必要なポンプ動力が大きく、合併浄化槽あるいは下水処理場への適用が困難である。中空系膜を束ねたものを膜分離モジュールとして用いれば、広大な膜面積がコンパクトな装置で得られる。さらに、これを曝気槽内で揺動させ、エアレーションによる気泡上昇エネルギーを利用すれば、電力の大幅な節約が可能になると考えられる。本研究は、より多くの膜透過流量が得られるような中空系膜のモジュールを開発することを目的に、モジュール形態が透過流量におよぼす影響について実験的に検討したものである。

2. 実験装置および方法

実験装置の全体図を図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、同処理場への流入汚水を処理原水として用いた。原水は、同汚水処理施設の既設エアレーション沈砂池より水中ポンプによって取水し、これを微細目スクリーン(目開き1mm)を

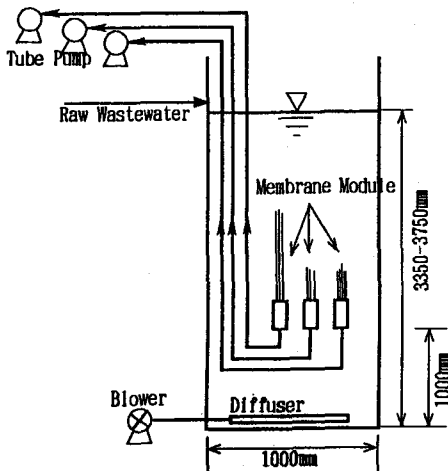


Fig.1 Schematic Diagram of Experimental Setup.

通して、繊維、毛髪、ゴミ等の夾雑物を取り除いたものを原水槽に貯蔵し、供給するようになっている。

反応槽は $1\text{m} \times 1\text{m} \times 4\text{m}$ (深さ)であり、底部にはディフューザーが設置されている。中空系膜モジュールは、 $1\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m}$ のステンレス製の枠内に設置し、モジュールの交換や修理の際には、枠ごと引き上げてこれを行うこととした。

中空系膜モジュールは図2に示す3種類のモジュールを用意した。使用した中空系膜はA社製MF膜(材質ポリエチレン)である。透中空系膜の先端は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。各モジュールの仕様を表2に示す。表中の占有容積とは、膜モジュールの本体の体積に、吸引のパイプ系統に必要な容積や、中空系膜が揺らぎにより移動可

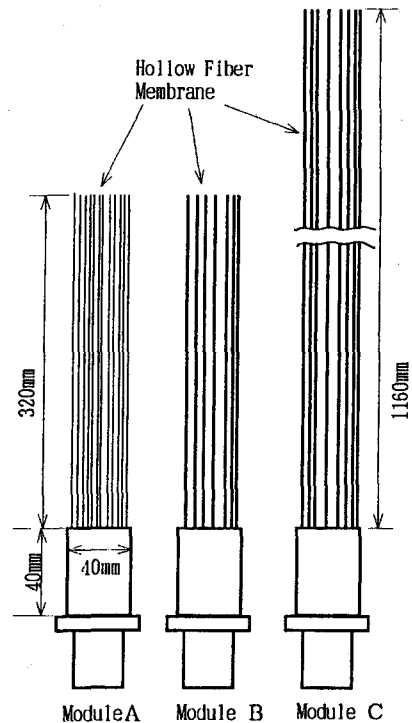


Fig.2 Hollow Fiber Membrane Module.

Table 1 Hollow Fiber Membrane Module

Module	A	B	C
Pore Size of Membrane	0.10 μ m	0.10 μ m	0.10 μ m
Outer Diameter of Fiber	1.22mm	3.00mm	3.00mm
Inner Diameter of Fiber	0.68mm	1.90mm	1.90mm
Length of Fiber	32cm	32cm	116cm
Number of Hollow Fiber per Module	42	18	18
Total Area for Filtration	0.0515m ²	0.0543m ²	0.197m ²
Volume Occupied by the Module	2900cm ³	2900cm ³	8300cm ³

能な領域を加えたものとして定義し、ここでは、8cm×8cm×（〔中空糸膜長さ〕+4cm+10cm）として計算した。過液の引き抜きにはチューブポンプ（Masterflex社製）を用い、1分吸引1分停止の繰り返しにより、膜への汚泥の固着を防ぐものとした。逆流洗浄は行わなかった。

図1には示されていないが、エアレーションタンク内には、別の実験の中空糸膜モジュールが8器設置されていた（全濾過面積は8m²、膜透過流速0.1～0.2m/day）。このためエアレーションタンク内のHRTは本実験と係わりなく、ほぼ6日となっていた。

実験は1992年4月22日より9月9日までの140日間実施された。運転開始後の測定項目は、反応槽内については、MLSS（混合液浮遊物質濃度）、水温およびpH、原水および透過液については、COD_{Mn}（過マンガン酸カリウム消費量）、pH、SS（浮遊物質濃度）および膜透過水量である。

3. 実験結果

各モジュールに関する、透過液フラックス、吸引圧力、濾過抵抗の経日変化を図3～図5に示す。なお、実験開始63日目に一度膜モジュールを引き上げ、水道水により軽く洗浄を行った。また、実験開始後69日目には台風により停電が発生し、エアレーションが約1日間停止した（吸引ポンプは運転を継続）。

運転開始後、各モジュールで濾過抵抗が徐々に増大し、停電直後に大きく上昇した。この急上昇は、エアレーションによる堆積汚泥の剥ぎ取り効果が無い条件下で吸引を続行したために生じたものと考えられる。その後、濾過抵抗は緩やかに回復し、110日目以降でほぼ一定値に収束した。全実験期間を通してモジュ

ールAのみの濾過抵抗が大きく、BおよびCはほぼ同じ値となっていた（Cがやや小さい）。

流入水の水質はCOD_{Mn}で200 mg L⁻¹前後であり、エアレーションタンク内のMLSS濃度は、実験期間中を通じてほぼ2000 mg L⁻¹～3000 mg L⁻¹の範囲内にあった。またpHは硝化の進行により、40日目以降は常に4.0～5.0の値となった。処理水の水質はCOD_{Mn}で5 mg L⁻¹～10 mg L⁻¹の範囲（70日目以降）にあった。

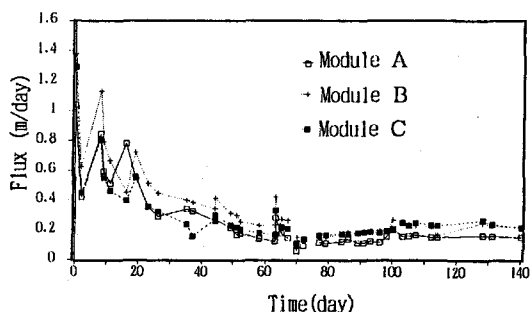


Fig.3 Change of Filtration Flux with Time.

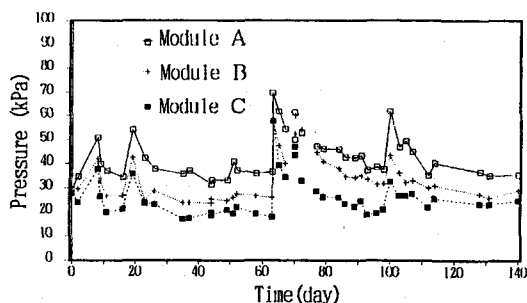


Fig.4 Change of Filtration Pressure with Time.

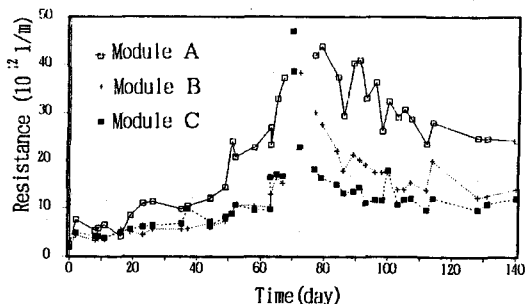


Fig.5 Change of Membrane Resistance with Time.

3. 考察

3種類の膜モジュールの濾過抵抗を比較すると、モジュールAのみが大きいという結果を得たが、実験終了後に各モジュールを引き上げて観察したところ、膜間に汚泥が堆積するような状況はみられず、各モジュールの中空系膜はエアレーションタンク内で自由に揺動していたのではないかと推定された。膜モジュール外部の水理学的条件はほぼ等しいと考えられるので、3モジュールの濾過抵抗の差は、モジュール内部における流体運動、あるいは個々の中空系膜の揺動・振動の条件に由来すると考えられる。

本実験結果からは、濾過面積が同一であるならば太い中空系膜を間隔を開けて植え付けるようなモジュールが有効であることが示された。また、ある程度太い中空系膜を用いる場合は、膜内の摩擦損失の影響が大きくなり範囲で長さを大きくし、流水中での中空系膜の揺動を促す方がよいことが伺える。

膜分離モジュールを実用化するに当たっては、よりコンパクトなモジュールでより多くの処理水を獲得することが必要であり、濾過抵抗のような膜そのものに対するミクロな指標では不十分である。そこで膜モジュールに関するマクロな指標として、次式のように比流量 Q_s を定義し、検討を加えた。

$$Q_s = \frac{(Q\lambda - Q_0\lambda_0)\mu}{V \cdot \Delta P} \quad (1)$$

ただし、 Q_s : 比流量 [—], λ : 吸引時間の割合 [—], 逆洗時間の割合 [—], Q : 吸引時の透過流量 [ml s^{-1}], μ : 透過液の粘性係数 [Pa s], V : 膜モジュールの占有容積 [ml], ΔP : 差圧 [Pa] である。

図6に本実験における比流量 Q_s の経日変化を示した。比流量 $Q_s = 1 \times 10^{-12}$ という値は、モジュール容積 1 m^3 、差圧 50 kPa の条件下で透過流量が約 $4 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ 得られることを示すが、本実験で用いたモジュールでも十分に実用に耐え得る透過流量が得られることが示されている。

4. まとめ

中空系膜を束ねてエアレーションタンクに直接浸漬させるタイプの膜分離モジュールについて、実下水を用いて実験的に検討した結果、以下の結論を得た。

- 1) 膜面積が同じであれば、太い膜を間隔をあけて植え付けたモジュールの方が濾過抵抗が小さい。
- 2) 無次元の比流量を定義して検討した結果、本実験で用いた膜分離モジュール（直径 3 mm の精密濾過中空系膜を間隔を開けて植え付け、先端は自由端としたもの）は、透過流量の点からは十分に実用化に耐え得るものである。

謝辞

本研究は一部、平成3年度（財）日本環境整備教育センター・浄化槽に関する研究および調査助成を受けた。また、実験の遂行に当たっては、西村 保君（武蔵工業大学4年）の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

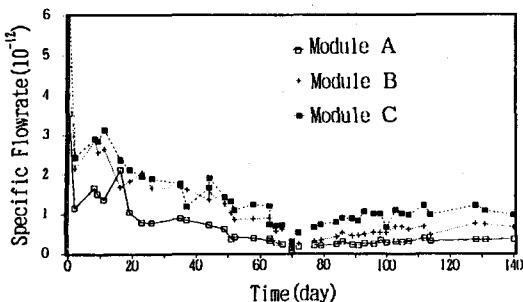


Fig.6 Change of Specific Flowrate from Membrane Module with Time.