

Development of High-density Hollowfiber Membrane Module Suspended in Wave

武蔵工業大学 学生会員 ○森 哲生

武蔵工業大学 正会員 長岡 裕

武蔵工業大学 石黒裕大

武蔵工業大学 粕谷智之

1. はじめに

中空系膜を利用した膜装置は、膜面に堆積する除去対象物により膜同士が容易に固着、集団化して有効膜面積が減少してしまうことから、このような現象を防ぐ手段が必要とされる。

そこで、進行波中に水草状中空系膜を浸漬させることにより、波動に起因する水塊の楕円運動によって膜を独立して揺動させて付着堆積物を効果的に除去できると考えられる。しかも未利用のエネルギーを活用しているため、低コストの膜装置と考えられる。本論は、設定フラックスの違いによる各モジュールのろ過特性および揺動による付着堆積物の剥離効果について検討を行ったものである。

2. 実験装置

実験水路の概略を Fig.1 に示す。水路沖側にフラッター型造波装置を設置して周期 0.9sec、波高 7cm の進行波を発生させ、岸側には反射波の影響を抑えるため消波材を設置した。水深は 26cm とした。

実験に使用した膜モジュール (Fig.2 参照) は有効膜長 17cm、1 モジュールあたりの膜表面積が 8500cm^2 のもので、水路中央付近に 3 モジュール (モジュール A, B, C) 並列して浸漬させた。中空系膜はポリエチレン製 MF 膜 (内径 0.28mm、外径 0.41mm、孔径 $0.1\mu\text{m}$) を用いた。植生密度 (膜モジュールの設置面積に対する全膜表面積の割合) は 36 とした。波動条件下における水面変動を考慮に入れ、膜固定端に塩化ビニル板をポリウレタン樹脂で接着した。また、すべての膜先端部は原水の直接吸引を防ぐため、釣り用錘 (質量: $6.7 \times 10^{-2}\text{g}$ 、直径 2mm) で塞ぎ止めた。吸引はマスターフレックス可変ポンプで行った。

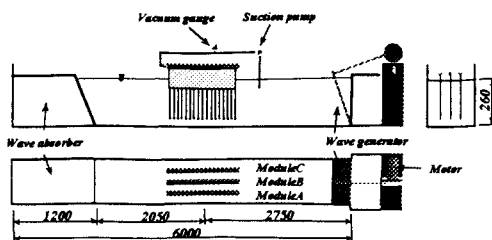


Fig.1 Wave channel (unit : mm)

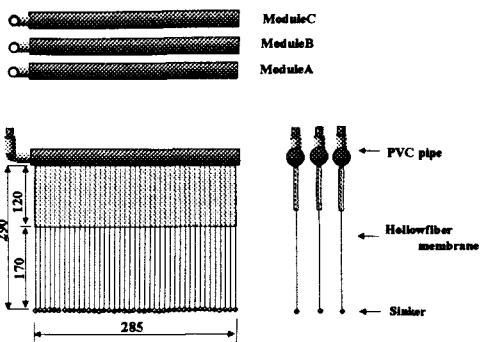


Fig.2 Membrane module (unit : mm)

3. 膜の揺動状況

膜モジュール近傍における水粒子軌道の長径 a_m を Fig.3 に、膜の揺動状況を Fig.4 に示す。水粒子軌道の長径は、L.D.V. (レーザードップラー流速計) により測定された水平方向の流速を積分して算出したものである。

膜先端付近における水粒子軌道の長径が 14cm に対し、目視による膜先端部の振幅は 5~6cm であった。これは膜モジュール自体が高密度なため膜同士が接触し合い、互いの揺動が抑制されたことが原因の一つと考えられる。

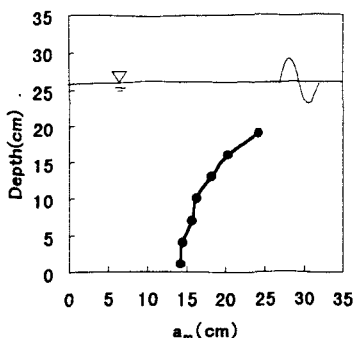


Fig.3 Wave condition

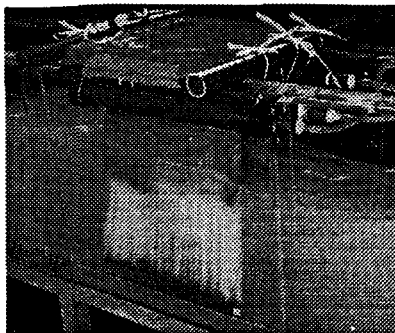


Fig.4 Fluctuation status

4. 実験方法

各モジュールごとに異なるフラックス (A' : $0.35 \text{ m} \cdot \text{day}^{-1}$, A : $0.3 \text{ m} \cdot \text{day}^{-1}$, B : $0.2 \text{ m} \cdot \text{day}^{-1}$, C : $0.1 \text{ m} \cdot \text{day}^{-1}$) を設定し、膜の閉塞の進行、膜の揺動による付着濁質の剥離効果について検討を行った。なお、モジュール A を実験終了後に膜面洗浄を施し、新たに設定フラックスを与えたものをモジュール A' とした。

イオン交換水で満たした水路内に、モデル濁質として過酸化水素水およびピロリン酸ナトリウム飽和水溶液で分散処理を施したカオリンを投入し、吸引実験を行った。水路内濁度は 150 NTU ($1 \text{ NTU} = 0.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 前後で保つようにカオリンまたはイオン交換水を投入し、調整を行った。

また、安定したフラックスが維持できなくなった膜モジュールから順次吸引を停止し、膜の揺動のみの影響を受けた状態でのろ過抵抗の回復状況を測定した (剥離実験)。経時測定項目は、水温、吸引圧、膜透過流量とし、測定結果よりフラックス、ろ過抵抗を算出した。

実験に用いた分散処理後のカオリンの粒径加

積曲線は Fig.5 のとおりである。

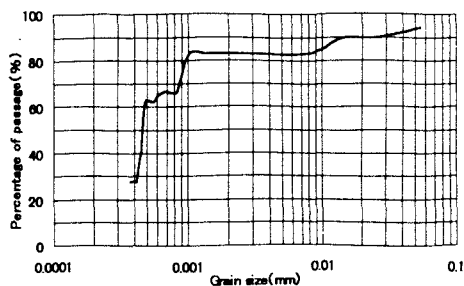


Fig.5 Grain size accumulation curve(Kaolin)¹⁾

5. 実験結果及び考察

5. 1 吸引実験

膜透過流量、ろ過抵抗の経時変化を Fig.6, Fig.7 に示す。モジュール A , A' については、実験開始直後から安定した膜透過流量を維持することが難しく、ろ過抵抗は初期の段階から急激な上昇を示し、その傾向はほぼ直線的なものであった。モジュール B は実験開始 11 日頃、ろ過抵抗の上昇傾向に変化がみられた。この変化に至るまでは、波動に起因する水塊の楕円運動が濁質の剥離に効果的に作用していたものと考えられる。モジュール C のろ過抵抗は除々に上昇を示しているが、フラックスの値にほとんど変化がみせなかった。

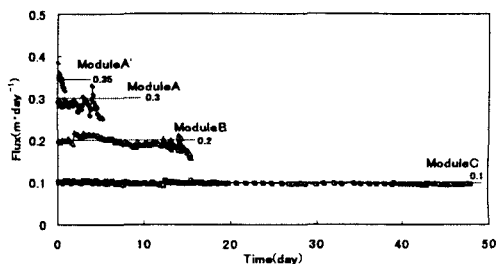


Fig.6 Variation of flux

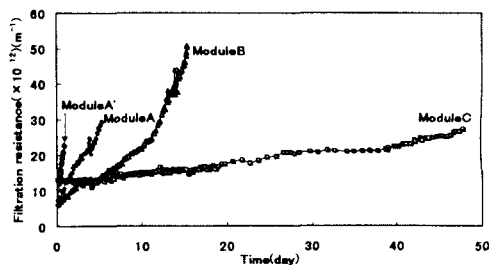


Fig.7 Variation of filtration resistance

4. 2 剥離実験

剥離実験におけるろ過抵抗の経時変化を Fig.8 に示す。ろ過抵抗減少の特徴として吸引停止後、急激に低下してその後は緩やかに減少し、ある値で収束するという傾向がみられた。そのため、以下の式を用いて回帰し、各モジュールのろ過抵抗減少傾向について比較、検討した。

$$R=R_1+(R_0-R_1)e^{-kt} \quad \cdots (1)$$

ただし、 R ：ろ過抵抗 (m^{-1})、 R_0 ：ろ過抵抗初期値 (m^{-1})、 R_1 ：ろ過抵抗収束値 (m^{-1})、 k ：ろ過抵抗減少速度 (day^{-1})、 T ：各モジュールにおける剥離実験開始からの経過日数 (day) である。

各モジュールの設定フラックスとろ過抵抗減少速度及びろ過抵抗収束値の関係を Table 1 に示す。設定フラックスの値が小さいものほどろ過抵抗の減少速度は遅く、収束値は大きい値を示した。同波動条件にも関わらず、このような傾向があらわれた理由として、膜面に堆積した付着濁質の状態が関係していると考えられる。つまり、モジュール B のように設定フラックスが低い場合、モジュール A に比べ長期間フラックスを保つことは可能であるが、その反面連続吸引により付着濁質の圧密が進行し、透水性が低下すると考えられる。

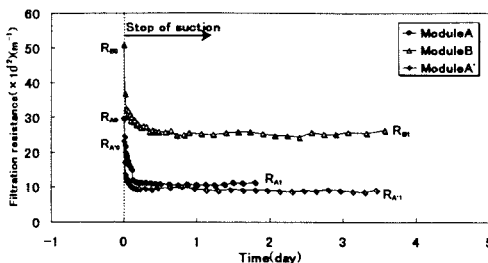


Fig.8 Variation of filtration resistance
(Detaching experiment)

Table 1 Relationship between k and R_1

Module	A'	A	B
Initial flux ($m \cdot day^{-1}$)	0.35	0.3	0.2
$R_1 (\times 10^{12}) (m^{-1})$	10.49	13.5	25.1
$k (day^{-1})$	30.5	23.5	22.1

4. 3 設定フラックスとろ過抵抗上昇傾向の関係

各モジュールの設定フラックスとろ過抵抗初期値から $10^{13} m^{-1}$ 上昇するまでの日数 T_1 との関係を Fig.9 に示す。設定フラックス $0.1 \sim 0.2 m \cdot day^{-1}$ の間でろ過抵抗の上昇傾向にかなりの異なりが生じた。本研究では、設定フラックスは $0.1 \sim 0.35 m \cdot day^{-1}$ の範囲に限定されているが Fig.9 からの傾向から予測できるように、 $0.2 m \cdot day^{-1}$ 以下に設定することにより長期にわたり、安定したフラックスを維持できると考えられる。

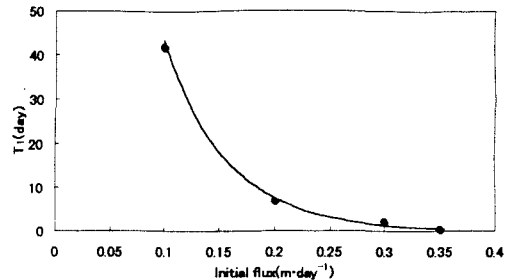


Fig.9 Relationship between flux and T_1

6. まとめ

剥離実験の結果より各モジュールともに 12 時間ほどろ過抵抗が回復していることから、波動エネルギーが膜面に付着したカオリンの剥離に効果があることが確認された。しかし、設定フラックスが $0.2 m \cdot day^{-1}$ 以上のときでは揺動による膜面に付着したカオリンの剥離効果は望まれなかった。これは膜面に作用するせん断力より吸引力が上まわったことが原因と考えられる。このことから波動条件に対応したフラックスを設定することで、長期的に安定したフラックスを維持することができると考えられる。

参考文献

- 1) 増田憲寿：一方向流および波動条件下における直接浸漬型浄水装置の開発，平成 8 年度武蔵工業大学修士学位论文，1997