

II-107

波動エネルギーを利用した上部懸垂型中空糸膜モジュールに関する基礎的研究

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**

1. はじめに

進行波中に水草状中空糸膜を浸漬させることは、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。本論では、波動条件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

実験装置の概略を Fig.1 に、波動条件を Table1 に示す。ただし、Case 0 は静水状態における条件を示す。

実験に使用した中空糸膜モジュールは有効膜長 17cm とし、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。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 とする。中空糸膜はポリイミド MF 膜（内径 0.28mm, 外径 0.41mm, 孔径 $0.1\mu\text{m}$ ）を用いた。すべての膜先端部には原水の直接吸引を防ぐため、釣り用錘（質量： $6.7 \times 10^{-2}\text{g}$ ）で塞ぎ止めた。

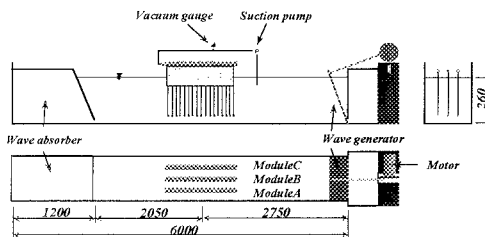


Fig.1 Wave channel (unit: mm)

Table 1 Wave condition

	Case 0	Case 1	Case 2
Period (sec)	—	0.9	
Wave length (cm)	—	123	69
Wave height (cm)	0	7	3

3. 実験方法

3. 1 膜モジュール近傍の流速測定

異なる波動条件が膜モジュールの揺動状況に及ぼす影響を検討するため、L.D.V.（レーザードップラー流速計）を用いて

膜モジュール近傍（岸側）の流速変動を測定した。測定ポイントは、水路底面から 4cm 間隔で 5 ヶ所測定を行った。水路内には水粒子のトレーサとしてコヒーレンス正液を投入した。流速測定結果を微小時間で積分することより、水粒子の楕円軌道を算出した。また、FFT（高速フーリエ変換）法によりスペクトル解析を行い、コヒーレンス法を用いて流速変動の波動成分、乱れ成分に分離した。

3. 2 カリンを汚濁質とした吸引実験

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。イオン交換水で満たした水路内に汚濁質として分散処理を施したカリンを投入し、吸引実験を行った。水路内濁度は 150NTU （ $1\text{NTU}=0.6\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ）前後で保つようにカ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）。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。

4. 実験結果及び考察

4. 1 膜モジュール近傍の流れ構造

Fig.3 に各波動条件における水粒子の楕円軌道を示す。目視による膜先端部の振幅は Case 1 が約 5cm で、Case 2 では約 2cm であった。Fig.4 に流速変動の分布を示す。流速変動の波動成分には明確な差が顕れているが一方、乱れ成分に関しては Case 1 の膜自由端部以外での変動はみられなかった。Fig.5 に流速変動エネルギーのパワースペクトル（Case 1 膜自由端部）を示す。パワースペクトルが周波数の $5/3$ 乗に比例しており、乱れの慣性小領域（慣性力が支配的な領域で粘性の作用は無関係）となっている。しかし、このポイント以外ではこのような傾向がみられず、乱れは微小である。よって、膜面に流水の乱れはほとんど関与していないと考えられる。

キーワード：波動エネルギー、中空糸膜モジュール、往復運動、ろ過抵抗、剥離

*武蔵工業大学工学研究科土木工学専攻（〒158 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL03-3703-3111）

**工博 武蔵工業大学助教授（同上）

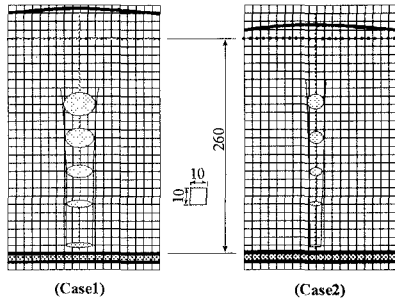


Fig.3 Wave condition (unit ; mm)

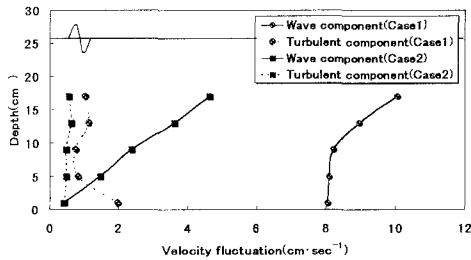


Fig.4 Profile of velocity (Horizontal direction)

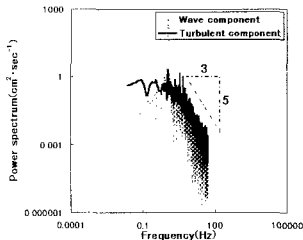


Fig.5 Power spectrum of velocity

4. 2 各波動条件における膜モジュールのろ過特性

Fig.6にろ過抵抗の経日変化の一例 (Case 1) を示す。この結果よりろ過抵抗の上昇傾向は、①モジュール A、Aのように、揺動による付着濁質の剥離効果が望めず、ほぼ直線的に上昇するものと、②モジュール Bのように、連続的に吸引を行ったことにより付着濁質の圧密が進行し、ろ過抵抗の上昇傾向が途中で変化して急激に上昇を示すものの2つに大別できる。Fig.7に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 との関係を示す。波動がない Case 0 の場合では、設定フラックスを変化させても T_1 の値に変化がみられず、いずれも1日未満であった。また、波動が存在しても設定フラックスが $0.2 \text{ m} \cdot \text{day}^{-1}$ 以上の場合には、Case 0 と同様の傾向がみられた。しかし、設定フラックスが $0.2 \text{ m} \cdot \text{day}^{-1}$ 以下では、波動条件の違いにより T_1 の値に徐々に差が生じる傾向がみられた。Fig.8に剥離実験におけるろ過抵抗の経日変化

(設定フラックス $0.2 \text{ m} \cdot \text{day}^{-1}$ のとき) を示す。ろ過抵抗減少の特徴として、吸引停止直後、急激に低下してその後は緩やかに減少する傾向がみられた。しかし、その減少傾向からは揺動状況の違いによる剥離効果の評価までに至らなかった。その原因として、モデル濁質として用いた材料粘土の粘性が低かったためと考えられる。

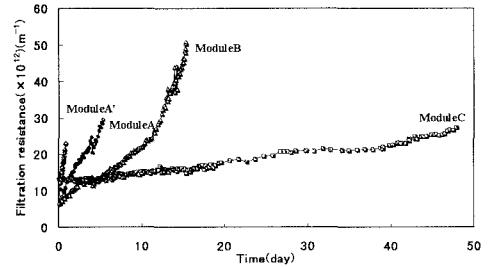


Fig.6 Variation of filtration resistance (Case 1)

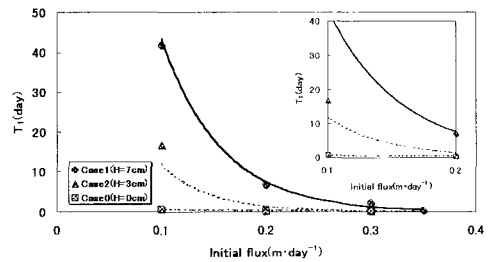


Fig.7 Relationship between flux and T_1

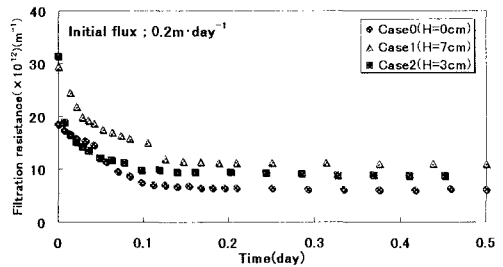


Fig.8 Variation of filtration resistance (Detaching experiment)

5. まとめ

異なる波動条件下によるろ過抵抗の上昇傾向の違いが顕著にあらわれ、膜の往復運動が付着濁質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 $0.2 \text{ m} \cdot \text{day}^{-1}$ 以上では揺動による膜面に付着した材料の剥離効果は望まれなかった。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。