

VII-187

波動条件下に浸漬させた水草状中空系膜モジュールの
揺動による濁質の剥離機構

武蔵工業大学 学正会員 ○宮本 祐介
 武蔵工業大学 正会員 長岡 裕
 武蔵工業大学 正会員 田中 厚至
 武蔵工業大学 現：日本水工設計 森 哲生

1. はじめに

一端が自由端である中空系膜モジュールを進行波中に浸漬し揺動させることにより、膜面に堆積した濁質を効率的に除去できると考えられる。本研究では、膜揺動に影響を与える要因と考えられる波高および膜に作用する乱れと剥離効果との関係の解明を試みた。

2. 実験装置および実験方法

Fig.1 に実験装置の概略を示す。使用した中空系膜モジュールは長さ 17cm のポリエチレン製 MF 膜を束ねたもので、1 モジュール当りの膜面積は 8500cm² である。水路中央部に 3 モジュール並列して浸漬させ、モジュールごとに 0.3, 0.2, 0.1m・day⁻¹ の初期フラックスを設定した。モデル濁質として水路内には分散処理を施したカオリンを投入した(濁度: 150NTU)。水路沖側に設置した造波装置により異なる進行波を発生させ吸引実験を行い、波動条件は、波高 0, 3, 7, 8.7, 10.6cm の計 5 ケースを設定した。各波動条件における水温、吸引圧、膜透過流量を経時測定しフラックスおよびろ過抵抗を算出した。

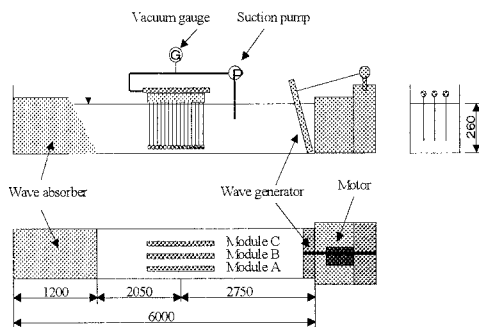


Fig.1 Experimental setup (unit:mm)

また波動エネルギーによる揺動が膜モジュール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) を用いて膜先端部付近の流速変動を測定し、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. 剥離速度の推定方法

(1) 膜目詰まりモデル¹⁾

膜目詰まりは、膜表面で分離される濁質層の形成と、その形成した層が長期的に吸引されることにより進行する圧密現象が主な原因と考えられる。これらを考慮した膜面に堆積するカオリン重量変化モデル、カオリン圧密進行モデル、ろ過抵抗モデル、フラックスモデルを式①～⑥に示す。本モデルの特徴として、濁質の剥離速度を膜面に作用するせん断応力と静止摩擦係数の差で表し、圧密においてはカオリン比抵抗が初期値から徐々に上昇し最大値で収束するように表した。

$$\frac{dm}{dt} = J \cdot p_0 - k_{dm} \cdot m \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$k_{dm} = k - \lambda P \quad (k \geq \lambda P) \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$k_{dm} = 0 \quad (k < \lambda P)$$

$$\frac{d\alpha}{dt} = k_\alpha (\alpha_\infty - \alpha) \quad \cdots \textcircled{3} \quad k_\alpha = \beta \cdot P \quad \cdots \textcircled{4}$$

$$R = R_m + m \cdot \alpha \quad \cdots \textcircled{5} \quad J = \frac{P}{\mu \cdot R} \quad \cdots \textcircled{6}$$

ここに、J:フラックス (m³・day⁻¹)、p₀:水路内水濁度 (kg・m⁻³)、k_{dm}:剥離速度 (day⁻¹)、m:膜面付着カオリン重量 (kg・m⁻²)、P:吸引差圧 (Pa)、λ:摩擦抵抗に関する係数 (Pa⁻¹・day⁻¹)、k_α:圧密進行速度 (day⁻¹)、α_∞:最大比抵抗 (m³・kg⁻¹)、α:比抵抗 (m³・kg⁻¹)、β:定数 (-)、R:全ろ過抵抗 (m³)、R_m:膜ろ過抵抗 (m³)、μ:膜処離水の粘性係数 (g・s⁻¹・cm⁻¹)、P_{max}:最大吸引差圧 (Pa)

キーワード：中空系膜モジュール、往復運動、膜目詰まり、波高、剥離速度

武蔵工業大学工学研究科土木工学専攻 (〒158-0087 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL03-3703-3111)

（２）モデルに用いるパラメータの設定

Table1 にモデルに用いた設定パラメータ値を示す。圧密に関するパラメータ α_0 , α_∞ , β は圧密実験結果から決定した。水路内水の粘性係数 μ は、水温 20℃ の時のものを用いた。膜ろ過抵抗 R_m には、各実験結果におけるろ過抵抗初期値を用いた。最大吸引差圧 $P_{\max}$ は 80kPa と仮定した。カオリン層の摩擦抵抗に関する係数 λ , 吸引停止時における剥離速度 k は、実験結果とのフィッティングにより決定した。

Table1 Model parameters and values

Parameter	Values
T	20℃
μ	0.001 Pa·sec
ρ_0	0.09 kg·m ⁻³
λ^*	0.0006 Pa ⁻¹ ·day ⁻¹
α_0	2.0×10^{-14} m·kg ⁻¹
α_∞	5.0×10^{-14} m·kg ⁻¹
β	9.0×10^{-6} Pa ⁻¹ ·day ⁻¹
$P_{\max}$	80 kPa

*determined by fitting

４．波高および乱れと膜揺動による濁質の剥離効果の関係

濁質の剥離は波高、膜近傍に発生する乱れなどに影響を受けると考え、実験結果と計算結果とのフィッティングにより、各波動条件における剥離速度 k を推定した。計算は時間さきみを 0.1day⁻¹ とし、ルンゲクッタ法を用いて行った。

Fig.2 に設定フラックス 0.1m/day におけるろ過抵抗の経口変化に関し、実測値と計算結果を合わせたものを示す。各波動条件のろ過抵抗の上昇傾向は、本モデルにより概ね再現することができた。

Fig.3 にモデルから推定された剥離速度 k と波高の関係を示す。波高と剥離速度 k はほぼ比例関係にあり、膜モジュールをより大きな波高の条件下に浸漬させることで、膜の往復運動が濁質の膜面付着堆積を効果的に抑制できると考えられる。

Fig.4 に膜面近傍に生成した乱れとモデルにより推定した剥離速度の関係を示す。膜近傍における乱れの生成が大きくなるほど、剥離速度の上昇傾向が緩やかになる傾向を示した。よって乱れによる付着濁質の剥離への影響は、膜の往復運動による剥離作用に比べて相対的に小さいと考えられる。

５．まとめ

膜目詰まりモデルによる計算結果と実測値との間に整合性を見いだすことができた。

往復運動による付着濁質の剥離速度と波高の間には比例関係があり、波高をより大きくすることで膜面への付着堆積を抑制できると考えられる。

それに比べ膜近傍の乱れは剥離速度に大きな影響を与えないことが示され、膜の往復運動による剥離作用の方が支配的なものであることが分かった。

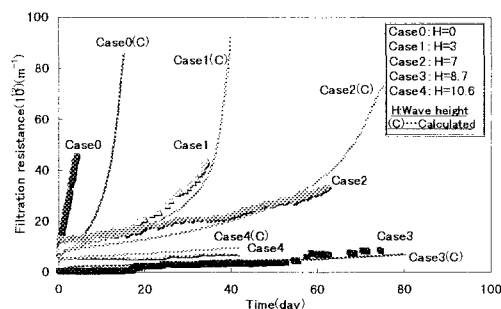


Fig.2 Variation of filtration resistance
(Initial flux : 0.1m·day⁻¹)

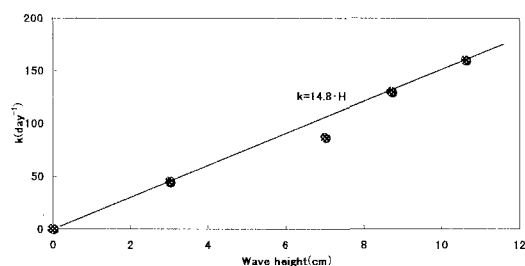


Fig.3 Relationship between wave height and k

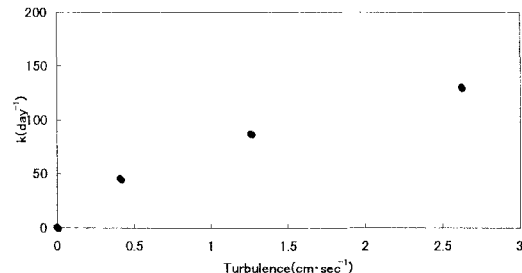


Fig.4 Relationship between turbulence and k

【参考文献】

- 1) 森 哲生：波動エネルギーを利用した高密度上部懸垂型中空糸膜モジュールに関する基礎的研究，武蔵工業大学修士学位論文，1998