



Title	浄水処理における中空糸限外ろ過膜のファウリングとその予測
Author(s)	峯岸, 進一; 渡辺, 義公
Description	第9回衛生工学シンポジウム (平成13年11月1日 (木) -2日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 4 水処理 1 . 4-2
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 9, 194-196
Issue Date	2001-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7169
Type	departmental bulletin paper
File Information	9-4-2_p194-196.pdf



4-2

浄水処理における中空糸限外ろ過膜の ファウリングとその予測

○峯岸進一（東レ株式会社）、渡辺義公（北海道大学）

1. はじめに

水道分野では、膜ろ過法を導入した浄水処理システムの研究が積極的に進められており、21世紀には膜ろ過法が浄水処理システムの中で重要な処理プロセスの1つになると考えられる。

水道水源の水質は様々であり、安全・低コストで美味しい水道水を得るためには、水質に応じた浄水処理システムの設計が重要であり、水源水質が悪い場合には膜ろ過に前処理を組合せるなどシステム全体として水道水質基準とコストを満足させる必要がある。膜ろ過法も、膜供給水質に応じた *Flux* や洗浄条件の設定が重要であるが、膜供給水質に応じた *Flux* や洗浄条件の設定は容易なことではなく、単なる実験や実績の蓄積だけでは解決できない課題である。そこで本研究では、膜のファウリングメカニズムを解明して原水水質・運転条件とろ過差圧推移の関係を定量化し、ろ過差圧推移の予測手法を確立することを目的に、中空糸限外ろ過膜の運転データを解析・検討した。

2. 解析方法

2.1 膜ファウリングの考え方

図1に膜ファウリング進行の考え方を示す。本研究の膜は、材質が高重合度ポリアクリロニトリルで公称孔径が $0.1\mu\text{m}$ の外圧式中空糸限外ろ過膜である。ろ過の継続に伴い膜に汚れが蓄積するが、濁質は物理洗浄毎に除去できるため、長期的には細孔内部および膜表面の汚れのみが蓄積し、ろ過差圧を上昇させる。

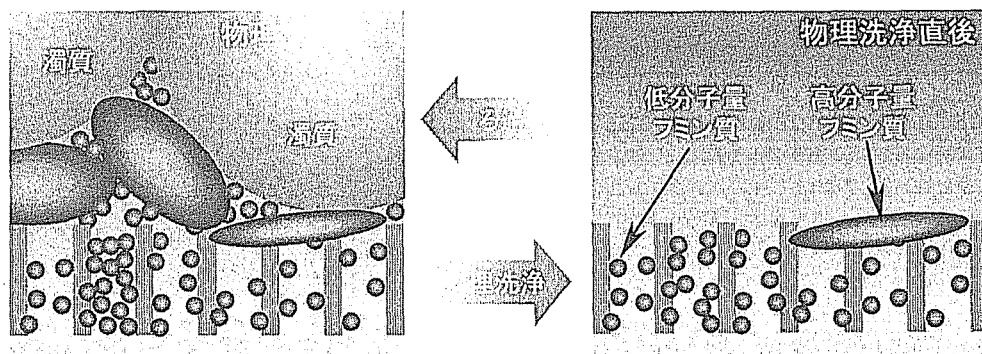


図1 膜ファウリング進行の考え方

2.2 ろ過差圧上昇のモデル¹⁾

本研究の限外ろ過膜は非対称構造膜であるが、外表面スキン層のポリマー間隙がろ液の流路であり、スキン層における抵抗が支配的であると考え、膜は長さ (L_e) が一定な毛細管の集合体として解析を行った。また、実際の細孔径には分布があり、この分布が細孔閉塞に影響を与えると考えられるので、細孔径分布を正規分布で仮定し、解析に導入した。Poiseuille

式 (①式) から各細孔毎 (直径: d_m) の透過流束を求め、これを足し合わせて膜透過係数を算出し、ろ過抵抗 R を②式から計算した。膜への汚れの蓄積による細孔分布の変化は、③式のように平均細孔径 d_{mav} が総ろ過水量 V に比例して小さくなることと、細孔数 $N(d_m)$ が総ろ過水量に比例して少なくなるのが同時に起こると考えた。実験結果から総ろ過水量とろ過抵抗の関係を求め、実験データとモデルの差の2乗和が最小になるように定数 a_1 、 a_2 を決定した。

$$u(d_m) = \frac{d_m^2 \Delta p}{32\mu L_e} \quad \dots \text{①式} \quad , \quad R = \frac{128L_e}{\pi \sum d_m^4 N(d_m)} \quad \dots \text{②式}$$

$$N(d_m) = (1 - a_2 V) N_0 \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi s}} \exp \left\{ -\frac{[d_m - d_{mav}(1 - a_2 V)]^2}{2s^2} \right\} \right] \quad \dots \text{③式}$$

ここで、 N_0 は初期細孔数、 $u(d_m)$ は毛細管内の流速、 Δp はろ過差圧、 σ : 細孔径分布の標準偏差、 μ は水の粘度である。

3. 解析結果とろ過差圧推移の予測例

3.1 解析結果

図2に解析結果例を示す。千歳川水や琵琶湖水をろ過したデータ、前処理に凝集や凝集沈殿をした場合のデータなどを解析したが、いずれも本モデルで良好に表現することができた。

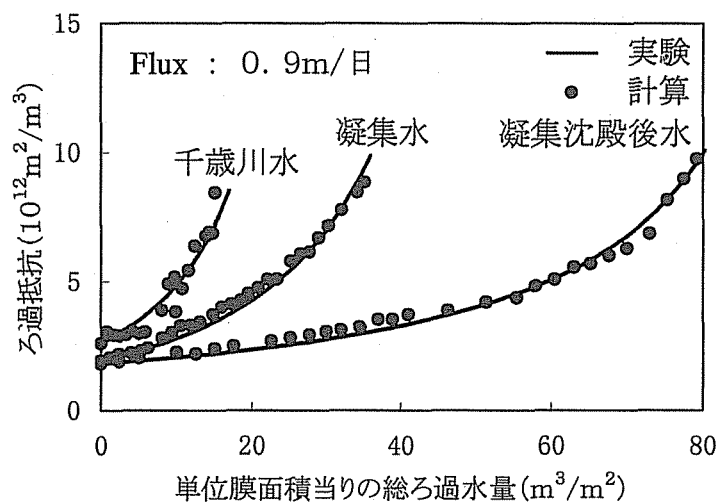


図2 解析結果例

また、③式中の定数 a_1 、 a_2 と膜供給水質、運転条件との関係を検討した結果、④、⑤式のような関係を見出した。定数 a_1 は細孔内部への汚れの蓄積し易さを表すが、これは膜透過水の DOC_p および $DOC/E260$ と正の相関が見られた。膜透過水中の有機物が多く、分子量が小さいほど細孔内部に蓄積し易いことが考えられる。定数 a_2 は膜表面における細孔の閉塞し易

さを表すが、これは膜供給水の $E260$ 、 $Flux$ 、物理洗浄直前までにろ過した濁質量 T_M と正の相関が見られた。 $E260$ はフミン質が多く、分子量が大きいほど大きくなる。 $E260$ が大きいほど膜表面に高分子量のフミン質が蓄積し、細孔を閉塞し易いことが考えられる。さらに $Flux$ が高いほど、また物理洗浄直前までにろ過した濁質量が多いほどろ過差圧が高くなるので、 $Flux$ および T_M が大きいほど、膜表面に堆積したフミン質が膜に押しつけられ物理洗浄で除去されにくい状態になり定数 a_2 が大きくなることが考えられる。

$$a_1 = \left(1.4 \times 10^{-11} \right) \cdot DOC_p^{3.2} \cdot \left(\frac{DOC_p}{E260_p} \right)^{3.1} \dots \text{④式}$$

$$a_2 = \left(5.9 \times 10^{-4} \right) \cdot E260_b^{0.34} \cdot Flux^{0.72} \cdot T_M^{0.69} \dots \text{⑤式}$$

3.2 ろ過差圧推移の予測例

本手法を用いて、1,000 m³/日の膜ろ過プロセスのろ過差圧推移をシミュレーションした。 $Flux$ を0.6m/日と1.5倍の0.9m/日で設計した場合の1,000日間のろ過差圧推移を図3に示す。ろ過差圧が100kPaに達した時点で薬液洗浄を行うとし、薬液洗浄による膜透過係数の回復率を、 $Flux$ が0.6m/日の時は90%、0.9m/日の時は85%と仮定した。 $Flux$ を0.9m/日と高くした場合、膜面積は2/3倍となるが、薬液洗浄の回数が2回から7回に増えることから、 $Flux$ を高くすることが必ずしも有利であるとは言えないことがわかる。

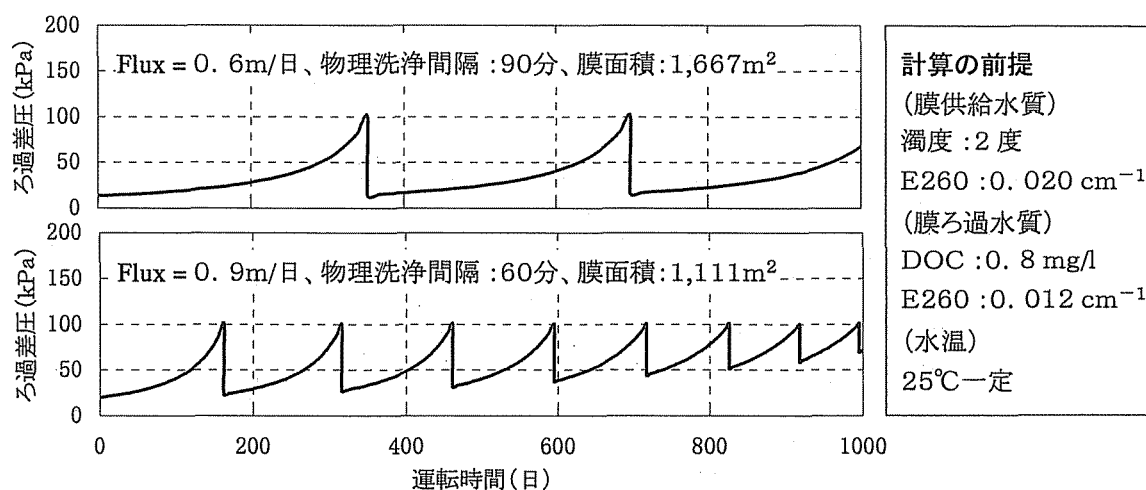


図3 ろ過差圧推移シミュレーション例

4. まとめ

中空糸限外ろ過膜の運転データを解析し、ろ過差圧推移を予測できる手法を見出した。今後、本モデルの膜ろ過プロセス基本設計への応用と予測精度向上の検討を継続する。

参考文献 1) 峯岸進一、渡辺義公他、水道協会雑誌、Vol.69, No.3, pp.2~10 (2000).