

Ⅶ-184

中空糸精密ろ過膜の人為的破断による粒子の流出

木更津高専 正員 高橋克夫、東京大学工学系研究科 正員 大垣眞一郎
 埼玉大学理工学研究科 正員 藤田賢二、木更津高専 正員 上村 繁樹
 木更津高専 正員 高石斌夫

1. はじめに

膜分離浄水プロセスにおいて膜の長期使用による膜の破断の問題がある。本報告は人為的に中空糸を破断し破断時の粒子の流出特性を大腸菌及び大腸菌ファージを用いて検討したものである。

2. 実験方法

実験装置のフローを図1に、実験条件を表1に示す。膜はポリエチレン製親水化中空糸精密ろ過膜(M社製)で、膜モジュールは480本の中空糸をU型に折り曲げたものである。モデル粒子として大腸菌および大腸菌ファージを使用した。大腸菌は*E.coli* K12F'(A/λ)を大腸菌ファージはT 4(頭部65×95 nm、尾部25×110 nmの延長形20面体)およびQ β(正20面体で直径23 nm)である。実験1(無機性原水)の原水は、活性炭および中空糸精密ろ過膜で前処理した水道水(TOC 0.3 mg/L)にカオリンを添加し濁度10~20 NTUに調製したものである。実験2(有機性原水)の原水はポリペプトンを主成分とするファージ測定用液体培地(TOCは約7,000~10,000 mg/L)を初期設定流速0.028 m/hに対し2000倍希釈になるように添加した。ただし、ろ過経過により流速が低下するため原水のTOCは当初の3~4 mg/Lから最大約19 mg/Lまで増加した。大腸菌及び大腸菌ファージはポリペプトンを主成分とする液体培地(TOCは約7,000~10,000 mg/L)に保存してある。この保存液を水道水で希釈しモデル粒子のろ過原水とした。モデル粒子の原水濃度は大腸菌で $10^4 \sim 10^5$ (個/mL)、T 4で 10^5 (PFU/mL)、Q βでは 10^6 (PFU/mL)であった。

3. 実験結果

実験1の従属栄養細菌(HPC)を図2に、流速、差圧および流出率(ろ過水粒子濃度/原水粒子濃度)の常用対数)を図3に示す。実験2のTOC・HPCを図4に、流速、差圧および流出率を図5に示す。実験2の原水HPCは実験1よりも1 log 高い。

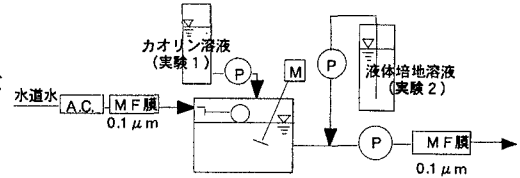


図1 実験装置

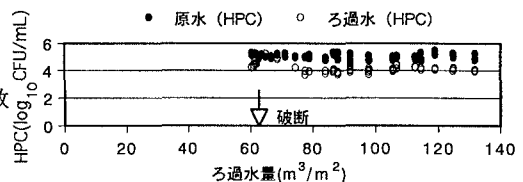
表1 実験条件

	実験1	実験2
原水	カオリン [無機性原水]	液体培地 [有機性原水]
運転期間	1996.3.1~96.9.27 [210日間]	97.1.5~97.3.17 [71日間]
膜の特性	公称孔径0.1 [μm] 親水化中空糸精密ろ過膜、中空糸内径270 [μm]、外径410 [μm]、膜面積0.42 [m ²]	
流速	当初設定約0.028 [m/h]	
ろ過方式	外圧式、全量ろ過、エアスクラビング	
ろ過工程	(1) 注入18秒 (2) ろ過60分 (3) アスクラビング60秒 (4) ドレイン12秒	
破断本数	1本	3本

実験1(無機性原水)

破断前：単位膜面積当たりの累積ろ過水量(ろ過水量と呼ぶ)6.03 m³/m²(9日後)でQ βの対数流出率は-0.12、6.66 m³/m²(10日後)でT 4の対数流出率は-3.51であった。ろ過水量53.1 m³/m²(ろ過開始から80日後)でろ過水中のT 4は不検出となりT 4の対数流出率は-4.82(不検出の時は1 PFU/mLとした)を示した。この時Q βは-1.33でありQ βとT 4との流出率には3 log以上の差があった。

破断後：破断はろ過水量61.4 m³/m²(ろ過開始から93日後)の時点で行った。破断前の大腸菌のろ過水濃度は0で対数流出率は-4.88であった。破断10分後の大腸菌による対数流出率は-2.50を示した。この値は、破断した中空糸内部の流れをHagen-Poiseuilleと仮定して求めた対数流出率-2.285に近い値であった。ろ過水量79.1 m³/m²(ろ過開始

図2 中空糸1本を破断した場合のHPCの変化
(公称孔径0.1 μm、無機系性原水の場合)

キーワード：中空糸精密ろ過膜、膜破断、大腸菌ファージ

連絡先：〒292 木更津市清見台東2-11-1 TEL 0438-98-5751 FAX 0438-98-5717

から121日後)での大腸菌の対数流出率は-3.11で $115\text{m}^3/\text{m}^2$ (ろ過開始から176日)では大腸菌で-1.76(T 4による測定値で-1.65)でありこの間流出率は1log以上上昇した。これは膜差圧がろ過水量 $100\sim 120\text{m}^3/\text{m}^2$ にかけて急増しているため、膜差圧の増加により破断膜糸内を流れる流量が増大した結果であると推察された。実験は破断後111日間で終了した。終了時のろ過水の大腸菌濃度は232個/mL(対数流出率-2.29)、T 4濃度は7650PFU/mL(対数流出率-1.89)であった。無機性原水では破断した中空糸内部の閉塞は起こりにくく粒子の流出は長期間続く。

実験2(有機性原水)

破断前：ろ過水量 $7.53\text{m}^3/\text{m}^2$ (ろ過開始から13日後)で対数流出率はT 4で-3.57、Q β で-2.23であった。この時、膜差圧および流速は121kPa、 $0.0187\text{m}^3/\text{h}$ であり無機性原水に比べて短期間に膜の目詰まりが進行した。

破断後：ろ過水量 $7.54\text{m}^3/\text{m}^2$ の時点で中空糸を3本破断した。破断10分後の対数流出率は-1.1(大腸菌による測定値)、ろ過水量 $7.73\text{m}^3/\text{m}^2$ (破断後8時間33分)で-0.98(大腸菌)、 $7.78\text{m}^3/\text{m}^2$ (破断後10時間36分)で-1.08(T 4)及び-0.85(Q β)であった。この値は、Hagen-Poiseuilleと仮定して求めた対数流出率-1.02に近い値であった。ろ過水量 $10.16\text{m}^3/\text{m}^2$ (破断5日後)では対数流出率は-4.57(大腸菌)、 $10.28\text{m}^3/\text{m}^2$ (破断5日後)で-4.28(T 4)、-2.37(Q β)で大腸菌とT 4はろ過水中に検出されなかった。しかし、破断から11日後には流出率が増加し、以後10日、8日の間隔で流出率の上昇・下降を繰り返した。その後は実験終了時までの26日間は上昇することにはなかった。このことから、破断した中空糸内部ではある種の閉塞物が溜まったり、取り除かれたりしているものと推察された。実験終了後に破断した中空糸を数カ所カミソリで切断し断面を顕微鏡で観察したが中空糸内部に閉塞物は認められなかった。また、破断後28日頃から破断した中空糸出口と思われる部分に水わた状の物質が付着しているのが観察された。このことから、破断した中空糸の出口部分に粒子を阻止する閉塞物が溜まりやすいのではないかと考えられた。

4. まとめ

1)原水が無機性原水(カオリン)では破断した中空糸内部の閉塞は起こりにくく、破断によりモデル粒子が長期間流出し続ける。2)有機性原水(TOC $3\sim 18\text{mg/L}$)での破断後の流出率は上昇と下降を繰り返すことが確認された。有機物を含む原水をろ過した時には破断した中空糸内部に、ある種の閉塞物が溜まったり、取り除かれたりしているものと推察された。

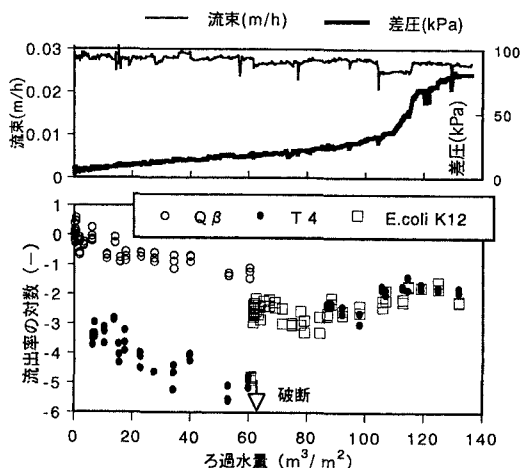


図3 中空糸1本を破断した場合の流出率・流速・差圧の変化(公称孔径 $0.1\mu\text{m}$ 、無機性原水の場合)

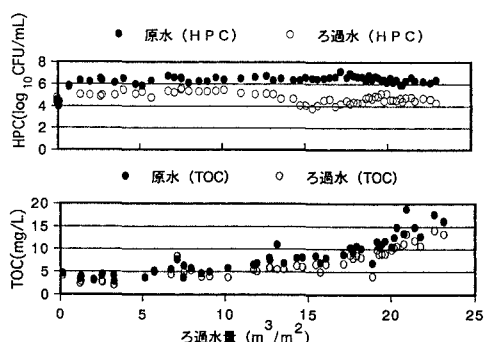


図4 中空糸3本を破断した場合のTOCとHPCの変化(公称孔径 $0.1\mu\text{m}$ 、有機性原水の場合)

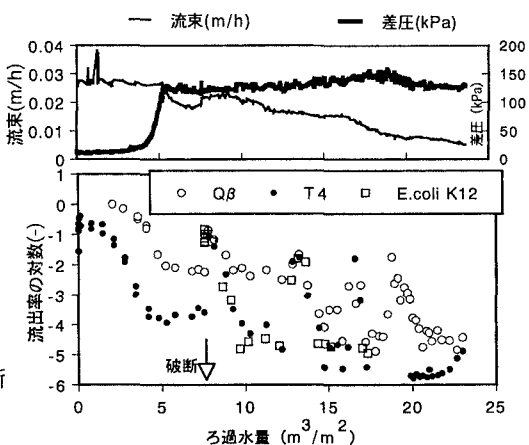


図5 中空糸3本を破断した場合の流出率・流速・差圧の変化(公称孔径 $0.1\mu\text{m}$ 、有機性原水の場合)