

全量ろ過方式における中空糸膜の破断検知技術

Detection system of a broken membrane in dead-end purification

川満昭範¹、井上公平¹、三塚康史²、野中規正²、本山信行²

¹: 富士電機アドバンステクノロジー(株)、²: 富士電機システムズ(株)

Akinori-Kawamitsu¹, Kouhei-Inoue¹, Yasushi-Mitsuzuka², Norimasa-Nonaka², Nobuyuki-Motoyama²

¹: Fuji Electric Advanced Technology Co., Ltd., ²: Fuji Electric Systems Co., Ltd.

Abstract

Membrane filtration systems have been spreading out starting with small-scaled drinking water treatment plants as the critical solution of the removal of *Cryptosporidium*. In these systems it is very important to establish the methods to find deficiency of the membrane effectively and rapidly.

To achieve the purpose above, we conducted the experiments to investigate the efficiency of the particle counting technique, airflow test and pressure hold test using a hollow fiber MF membrane (diameter of a fiber $d = 1.5\text{mm}$, the # of fibers $n = 6000$, effective membrane surface area $S = 40\text{m}^2$) as the experimental system.

As a result of the experiment, the deficiency of one cut-fiber in 6000 fibers could be easily found from both examinations. Also, it has been cleared that the particle counting technique requires the particle concentration in raw water of 25,000 particles/ml.

Key Words: Membrane filtration, Airflow test, Pressure hold test, Particle counting, Micro filtration

1. はじめに

膜ろ過システムは耐塩素性の病原性微生物対策として、簡易水道を中心に普及しつつある。このような膜ろ過システムにおいて、膜が破断した場合の効率のかつ迅速な検知法と、対応手段の構築は重要である。

そこで著者らは、最適な膜破断検知システムを検討するために、処理水量 $100\text{m}^3/\text{d}$ 規模の実験用プラントを導入し、微粒子検知法と、拡散空気流量試験法における検出性能試験を行なったので、その結果を報告する。

2. 実験装置

本実験に用いた膜ろ過実験装置の仕様を **Tab.1**、フローを **Fig.1** に示す。

本装置は、3000 本の中空糸膜で構成した膜エレメント 2 本を、水平型の圧力容器に納めたモジュール構造であり、通水は、モジュール両端から行なう全量ろ過方式となっている。

3. 実験方法

正常膜と破断膜の特性比較の検知実験は、正常膜エレメントと、端部で中空糸 1 本を切断した膜エレメントを用意し、**Fig.1** に示したモジュール内左側のエレメントを入れ替えて行なった。破断の検知方法は、微粒子検知法、圧力保持試験、そして拡散空気流量試験の 3 種類を採用した。

ここで、全ての方式における破断の有無の判定基準は、1 本破断時と正常時の測定値の比 S を計算し、 S が 3 以上であれば膜破断検知可能とすることにした。

3.1 微粒子検知法

膜が破断している場合、原水中の微粒子が破断箇所から漏洩するため、ろ過水中の微粒子濃度が上がる。微粒子検知法は、これを利用して、ろ過水中の微粒子濃度を測定し、膜の破断の有無を判定する方法である。

微粒子を検知するための微粒子カウンターは、富士電機インスツルメンツ製高感度濁度計 (ZYU) を用いた。測定は $0.5 \mu\text{m}$ 以上の粒子を対象にした。

原水は、活性炭によって塩素を除去した水道水(濁度 0.1 度以下)に、カオリン(和光純薬製)を添加、原水中の微粒子

濃度を 24,000~60,000 個/ml (濁度換算 0.2~5 度) の範囲内で段階的に制御した水を用いた。また、ろ過流速は、1.5、3.0、5.0m/d で行なった。

3.2 拡散空気流量試験および圧力保持試験

この2つの試験は次の原理で行なう。まず、濡れた状態(膜の細孔が水で満たされた状態)の中中空糸膜の内側に 100kPa に加圧した空気を供給する。このとき、膜が正常な場合は、膜の細孔から空気が流れ出るためには、毛管吸引力以上の圧力を必要とするため、100kPa 程度では、空気はほとんど流出しない。一方、膜が破断している場合は、破断箇所から大量に空気が流れ出る。拡散空気流量試験と、圧力保持試験は、この空気の流出の差を、次のようにして検知する。

拡散空気流量試験は、膜の2次側(ろ過水側)を水で満たした状態とし、1次側(原水側)と2次側の膜差圧を 100kPa に保持、1次側から漏洩する空気によって押し出される2次側の水量を測定することで、1次側の空気の流出を検知する。今回測定に用いた流量計は、正常膜実験では東京フローメータ研究所製 FKH1199(面積式流量計)を、破断膜実験では Endress+Hauser 社製 PROMAG-P(電磁流量計)を用いた。これら2種類の流量計を用いた理由は、正常膜と破断膜の流出水量が大きく異なるためである。

圧力保持試験は、膜の1次側と2次側を全て排水した後、2次側の圧力は大気に開放された状態で、加圧した空気を1次側に供給する。空気の供給は、膜差圧が 100kPa に達した後、止める。このとき、1次側の空気が破断箇所から漏洩するため、膜差圧は減少する。この膜差圧の経時変化を測定、圧力降下速度を計算し、その大きさを1次側の空気の流出を検知する。

圧力保持試験は、膜の1次側と2次側を全て排水した後、2次側の圧力は大気に開放された状態で、加圧した空気を1次側に供給する。空気の供給は、膜差圧が 100kPa に達した後、止める。このとき、1次側の空気が破断箇所から漏洩するため、膜差圧は減少する。この膜差圧の経時変化を測定、圧力降下速度を計算し、その大きさを1次側の空気の流出を検知する。

Tab.1 膜ろ過装置の仕様

膜の種類	MF(公称孔径 $0.03 \mu\text{m}$)
膜材質	ポリエーテルスルホン/ポリビニルピロリドン
膜形状	内圧式中空糸
中空糸寸法	内径 1.5mm、長さ 1.5m(1エレメント)
有効膜面積	$40\text{m}^2(20\text{m}^2 \times 2)$
中空糸本数	約 6 千本(約 3 千本 $\times 2$)
ろ過方法	全量ろ過方式
ろ過流速	0.6~5m/d

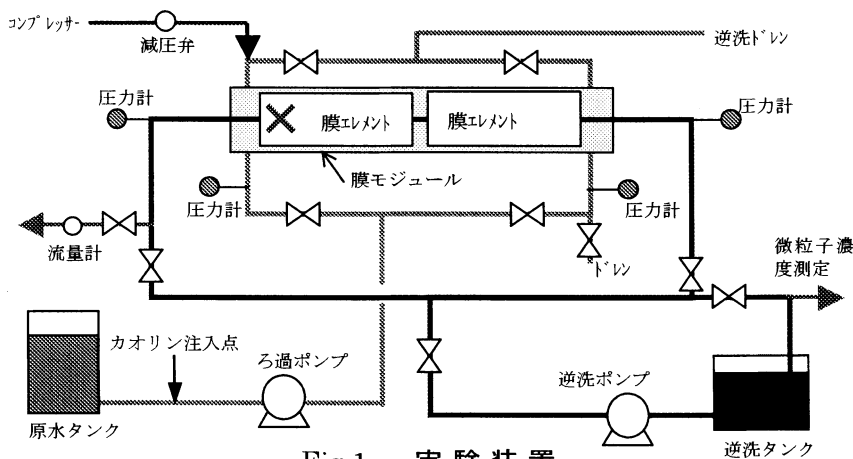


Fig.1 実験装置

4. 実験結果と考察

4.1 微粒子検知法

実験結果を Fig.2 に示す。Fig.2 から、正常膜の場合、ろ過水中の微粒子濃度は、原水微粒子濃度、ろ過流束に関わらず、平均 100 個/ml 以下の水準にとどまることが分かる。一方、破断膜の場合、ろ過水中の微粒子濃度は、原水中の微粒子濃度に比例し、上昇する。また、ろ過流束を大きくすると、漏洩微粒子濃度は減少することが分かった。

従って、正常と異常の判別は、原水微粒子濃度が少なくなるほど、また、高流速になるほど、難しくなる。高流速(5m/d)における、6,000 本中 1 本破断の検出の限界点(S=3 とする点)は、原水中の微粒子濃度が、約 25,000 個/ml(濁度 0.2 度相当)にあることが明らかとなった。

また、今回の実験は、採水をモジュール両端から取り出されろ過水が合流した点で行なったが、採水点をモジュール両端のそれぞれで行なえば、検出感度はほぼ倍になることが、過去の実験から分かっており⁽¹⁾、検出感度をさらに上げる余地は残っている。

Fig.3 は、実際の適用を想定し、原水微粒子濃度を約 25,000 個/ml に調整し、ろ過流束 5.0m/d で、ろ

過(40分)+逆洗(1分30秒)の運転を繰り返し行なった時の、ろ過水微粒子濃度の検出状況を示す。運転開始直後に、ろ過水中の微粒子濃度が特に高いのは、膜の入れ換えにより、2次側が大気に曝され、汚染されたものと考えられる。

また、逆洗後に高い数値を示すのは、ろ過水中の微粒子が、逆洗タンク内で凝集、検出可能な粒径に成長し、逆洗時に膜の2次側に濃縮され、ろ過運転時にそれが流出したためと推定される。

この実験から、逆洗後、測定が安定するまでの時間、10~15分を不感時間に設定することにより、誤検知の少ないシステムの構築を可能にする目処をつけることができた。

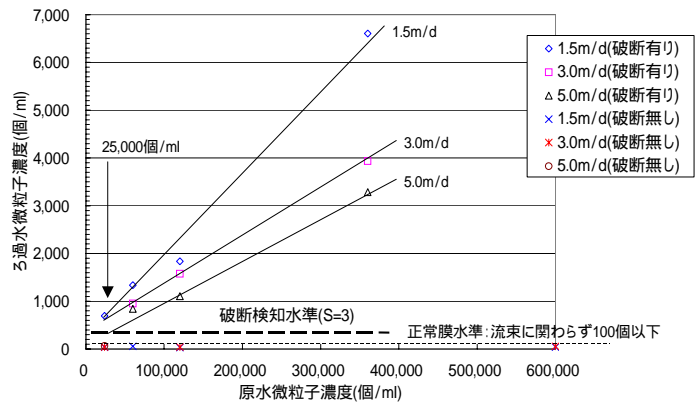


Fig.2 各流束におけるろ過水中の微粒子濃度の原水微粒子濃度依存性

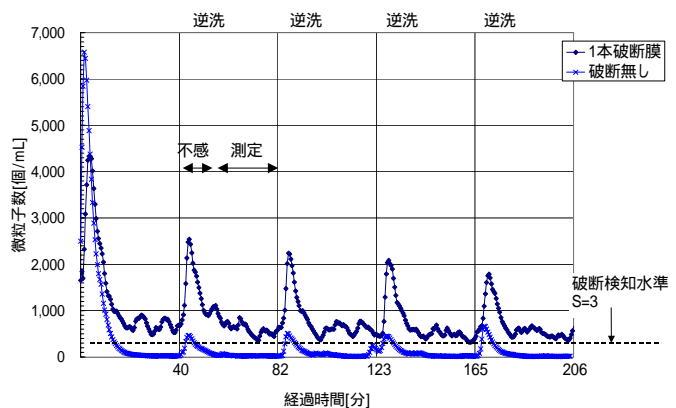


Fig.3 実運転におけるろ過水中微粒子濃度の変化

Tab.2 拡散空気流量試験・圧力保持試験結果と検出感度

試験	破断無し (正常)	1本破断 (異常)	S (異常/正常比)
拡散空気流量試験 (2次側漏出水量)	80 ml/min	2170 ml/min	27
圧力保持試験 (膜差圧降下速度)	2.0kPa/min	60 kPa/min	30

4.2 拡散空気流量試験および圧力保持試験

Tab.2 は、圧力保持試験と、拡散空気流量試験の実験結果を示す。Tab.2 から、それぞれの試験の検出感度 S は、27 (拡散空気流量試験) 30 (圧力保持試験) であるため、内径 1.5mm 膜の切断に対しては、いずれの方法も容易に検知可能であることが確認できた。

Fig.4 に圧力保持試験の経時変化を示す。Fig.4 から、破断膜の圧力降下は、正常膜の膜差圧に対して非常に大きいことが分かる。

圧力保持試験の膜差圧降下速度は、膜の 1 次側の内容積の影響を受ける。すなわち、破断部から流出する空気量は一定であるため、装置の規模が大きくなり、1 次側の容積が大きくなるほど、膜差圧降下速度は遅くなる。

今回は、本装置の膜の 1 次側の容積が小さいため、圧力保持試験の方が、よい感度が得られた。

一方、拡散空気流量試験は、容積の依存性が無いため、装置の規模が大きくなると、圧力保持試験よりも有利になると考えられる。

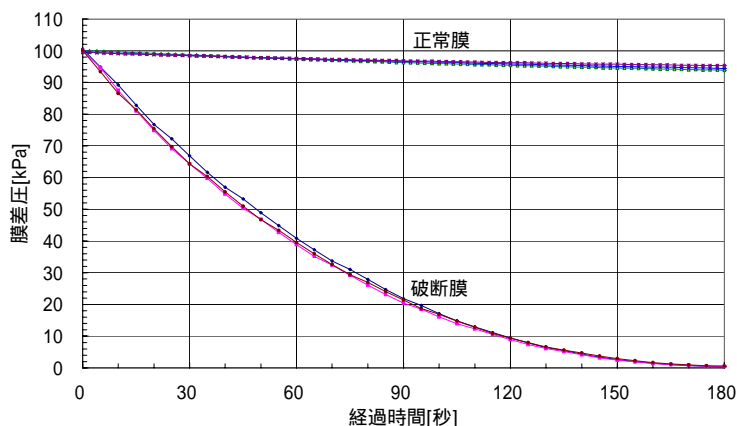


Fig.4 圧力保持試験実験結果

5 まとめ

今回の実験結果を以下にまとめる。また、今回行なった実験の特徴を、Tab.3 にまとめる。

1. 拡散空気流量試験、圧力保持試験は、6 千本 (膜面積 40m²) あたり 1 本の破断を容易に検知できる。
2. 微粒子法を適用するには、原水に、少なくとも 25,000 個/ml (濁度 0.2 度相当) の微粒子濃度が必要である。
3. 微粒子法の検出感度は、原水中の微粒子濃度に比例して大きくなる。
4. 微粒子法は、ろ過流束が大きくなるほど、感度が低下する。
5. 微粒子法は、逆洗後の 10 ~ 15 分を不感時間とすることが望ましい。

Tab.3 各膜破断検知方法の特徴

試験方法	1 本破断時の検出感度 (S)	利点	欠点・課題
微粒子検知法	3 以上 (原水依存)	・連続検知可能。	・原水微粒子濃度に依存。25,000 個/ml から検知可能。
拡散空気流量試験	27	・大規模でも感度が低下しにくい。 ・原水に依存しない。	・連続検知不可。
圧力保持試験	30	・小規模 (膜面積 40m ²) では高感度。 ・原水に依存しない。	・連続検知不可。 ・大規模装置では感度が低下する。

[参考文献]

- (1) 山口、野中、角川、阪本、安藤：「全量ろ過方式における膜破断検知実験」 第 54 回全国水道研究発表会
p.186-187