

II-33

低差圧膜ろ過に関する基礎的検討

北見工業大学 正員 海老江 邦 雄
 北見工業大学 学生員 飯 沼 真 治
 北見工業大学 学生員 天 野 重 己

1. ま え が き

近年、限外ろ過法、逆浸透法、電気透析法などの膜による分離技術が急速に発達し、各種の工業分野で使用する高純度の水の生産を始めとして、その用途は拡大の一途¹⁾にある。しかしながら、これらの方法では一般の浄水処理に用いられる急速ろ過とは異なり、重力のみで対象粒子を分離することは困難であり、膜による分画分子量を小さく設定すればするほど加圧のためのエネルギー消費量が大きくなるという欠点²⁾が指摘されている。

本報では、こうした膜ろ過に注目し、比較的低濁の原水を対象として浄水処理への導入を検討しようとするものである。通常、浄水処理で対象となる原水の平均濁度は $20\sim 30\text{mg/l}$ （平均粒子径は $3\sim 5\mu\text{m}$ ）³⁾程度の希薄溶液であることから、浄水処理には粗目の膜を用いた省エネ型、即ち、低加圧型膜ろ過が適当と考えられる。ここでは、原水中のカオリンをPACで凝集させたフロックを対象に、膜ろ過時と膜の洗浄再生時における濁質の基礎的な挙動について検討した結果を報告したい。

2. 実 験

1) 実験装置の概要……………今回用いた実験装置は、図1に示すように、エアーコンプレッサー（圧力 5kg/cm^2 に設定）、圧力調整弁（圧力 1kg/cm^2 に調圧）、原水タンク（容量 20L ）、2次圧計（ハウジング内の圧力表示用）、ろ過筒（カートリッジを収納するハウジングと円筒状骨組の外側を円筒状膜で被覆されたカートリッジとからなる）および水銀マンノメーター（膜の損失水頭測定用）などからなっている。カートリッジは直径約 4cm 、高さ約 25cm で、膜の表面積は約 245cm^2 である。膜は、写真1に示すように、ポリエステル製の単繊維を撚り合わせたマルチフィラメントで織られており、厚さは約 1.7mm 、通気度は $0.97\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{秒}$ 、また通水度は、 15.3秒/l （ 0.5kg/cm^2 ）と 8.4秒/l （ 1.5kg/cm^2 ）であった。

2) ろ過用原水の調整と水の流れ……………原水は実験の都度、本学水道水にカオリン、pH調整剤（NaOHでpH7に調整）および凝集剤PACの所定量を順次注入して総量 20L となるように調整し、原水タンクに貯蔵した。なお原水は、常時マグネティックスターラー（400RPM）で混和した。ろ過に際しては、コンプレッサーで加圧した原水タンク内からの水が耐圧ホースを伝ってカートリッジを装着したハウジング内の上部

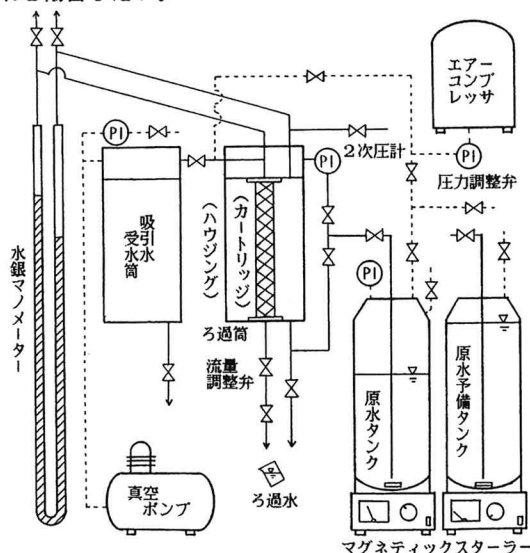
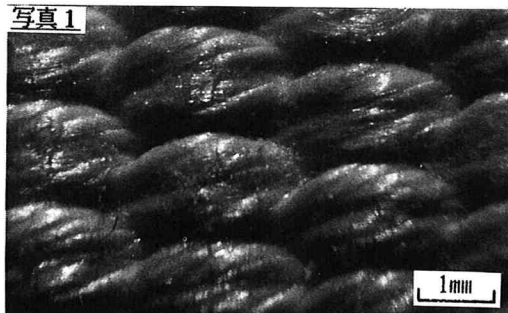


図1 実験装置の概略

写真1



へ流入し、さらに、膜の外側から内側に加圧ろ過される。カートリッジ内に流入したろ過水は、底部から引き出される。

表1に実験条件を示す。ろ過中は、ろ過水の採水および膜の損失水頭の測定を行なった。膜の初期損失水頭H(cm)はろ速V(m/h)とH=7.5~8.0 Vなる関係があり、ろ速の設定時および膜の清浄度の確認時に用いた。

3) 膜の清浄再生工程……………ろ過後、ハウジング内の水を完全に抜く(この水はろ過中の沈降濁質と水抜き時の膜表面からの剝離濁質を含む)。

その後、清浄水(カートリッジ内には水は入っていない)を入れ、コンプレッサーから1kg/cm²の空気をろ過と逆の方向(カートリッジ内部からハウジング内へ)に1分間通気させて膜に付着していた濁質を剝離させ、ハウジング内の濁水を抜く。同様の操作をもう一度繰り返す。2回の空洗に伴う濁水の量と濁度を計ることによって空洗による剝離量を算出した。その後、カートリッジを外し、NaOHでpH11程度に調整した蒸留水中で超音波洗浄(2~3時間を3回が標準)を行なって、残留濁質の剝離を促進させ、濁水の量と濁度から剝離量を求めた。洗浄後の膜の清浄度については、予め測定しておいた初期損失水頭値で確認した。

表1 ろ過の実験条件

1次圧 kg/cm ²	1
ろ速 m/h	0.5, 1, 2
ろ過時間 分	84, 42, 21
濁度 mg/l	20, 100
PAC mg/l	10, 20

3. 実験結果と考察

1) ろ過水濁度と損失水頭の動き……………図2と3でろ過水濁度の推移を見ると、初期流出は原水濁度の高いほど、また、ろ速の速いほど急速に終息し清澄期に移行している。この移行時間は、原水濁度20mg/lの場合で20分間程度、100mg/lの場合は10分間程度となっている。また、清澄期へ移行後の濁度は前者で1mg/l以下、後者で0.5mg/l以下であり、ろ過水濁度で見ると高濁原水のろ過の方が良い結果を示している。さらに、表2で濁度除去率の動きを見ると、原水濁度の高い方で高い除去率を示し、原水濁度が低い場合にはろ速の上昇とともに除去率の低下傾向が認められるものの、PACの効果は明確でない。3元配置法による分散分析結果を示す表3においても、除去率の変動に対する原水濁度の寄与率は圧倒的に大きくなっている一方で、PACの寄与率は有意でない。

表2 ろ過水と損失水頭の動き

原水濁度 mg/l	PAC mg/l	ろ速 m/h	平均濁度 mg/l		除去率 %	損失水頭 cm
			原水	ろ過水		
20	10	0.5	19.74	0.57	97.1	16.3
		1.0	20.67	1.49	92.8	33.6
		2.0	20.56	1.97	90.4	87.0
	20	0.5	20.82	0.68	96.7	20.9
		1.0	20.75	1.63	92.1	61.8
		2.0	21.06	1.70	91.9	146.1
100	10	0.5	100.62	1.48	98.5	21.6
		1.0	102.48	1.50	98.5	48.7
		2.0	101.55	1.24	98.8	117.0
	20	0.5	102.87	1.10	98.9	27.9
		1.0	101.48	1.47	98.6	82.3
		2.0	101.78	1.85	98.2	190.3

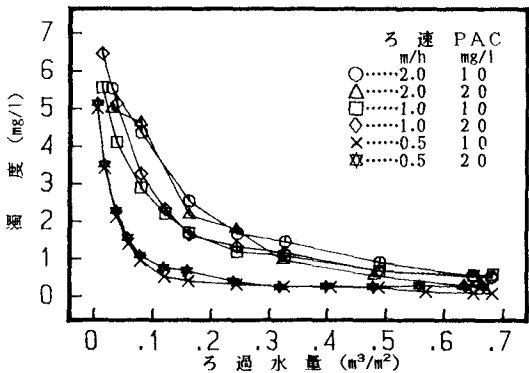


図2 ろ過水の動き(カオリン 20mg/l)

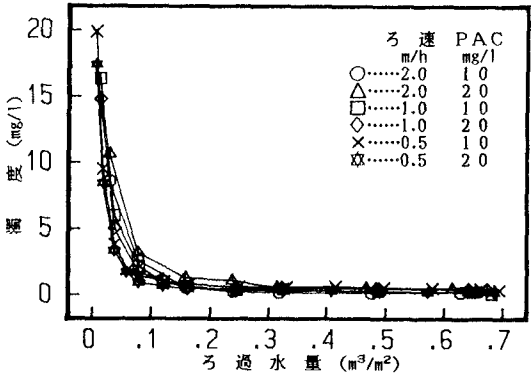


図3 ろ過水の動き(カオリン100mg/l)

図4と5で損失水頭の全体的な推移を見ると、ろ過初期に急激な伸展を示した原水濁度 100mg/l の高ろ速時を除いて、ろ過水量の増加とともに、ほぼ直線的に上昇している。その発生量は、原水濁度が高い方が、また、いずれの原水濁度においてもろ速の速いほど、PAC 注入率の高いほど多くなっている。表3で寄与率を見ると、除去率の場合と異なり、損失水頭に対してはろ速の効果が断然大きい。表2でろ速の上昇に伴う損失水頭の増加傾向を見ると、ろ速の上昇割合以上に損失水頭の増加が顕著である。

以上、ろ過水濁度と損失水頭の動きから判断する限り、この種の膜ろ過は比較的高濁原水の低ろ速ろ過に適すと考えられる。

2) 膜の洗浄効率と濁質収支……………これらの結果を表4に示す。最初に、沈殿量(ろ過中のハウジング内沈殿濁質量と水抜き時の膜面からの剝離濁質量の和)については、原水濁度が高いほど、また、ろ速が遅い(ハウジング内の滞留時間が長い)ほど多量となっている。それに対し、原水濁度の高い場合には PAC 注入率の上昇に伴って減少する傾向が認められた。こうした結果の動きについては表3の寄与率からも推測される。

次に、付着量(1)とは主に膜表面に捕捉された空気洗浄(空気圧1kg/cm²、1分間、2回)による剝離量であり、原水濁度の高い方で多いが、ろ速やPAC 注入率の変動による影響は認められない。それに対し、付着量(2)とは主に膜の織り目内に強く捕捉された濁質で、空気洗浄では剝離できなかったが強度の大きい超音波によって始めて剝離してきた濁質量である。全体として高濁原水、高ろ速、また、PAC の高注入率の場合ほど多量となる傾向が認められる。付着量(1)に対する(2)の割合については、原水濁度の高いほど、また、ろ速の遅いほど小さくなる傾向がある。いずれにしても超音波洗浄で剝離してくる膜内捕捉量の割合が高い。したがって、膜の目詰りを防ぎ、寿命を長びかせるためには、強力な洗浄方法の開発、懸濁粒子の膜内進入を防ぐための膜面のプリコーティングやろ過初期のボディフィード⁴⁾などを今後考えていくことが必要となろう。表4の誤差とは、膜ろ過実験における濁質収支の誤差であって、次式で示される。

$$\text{誤差(\%)} = 1 - \frac{\text{ろ過水濁質量} + \text{沈殿量} + \text{付着量}}{\text{供給濁質量}}$$

表3 三元配置法による分散分析

因子	自由度	寄 与 率 (%)			
		除去率	損失水頭	沈殿率	付着率
ろ 速 (V)	2	16.0	74.2	39.2	19.4
原水濁度 (K)	1	66.3	4.1	53.5	24.3
PAC (P)	1	- 0.5	9.6	5.1	39.4
V×K	2	13.3	1.6	- 0.1	1.9
V×P	2	- 0.9	5.0	0.0	7.4
K×P	1	- 0.5	0.1	3.8	1.8
誤 差	2	6.3	5.4	- 1.5	5.8

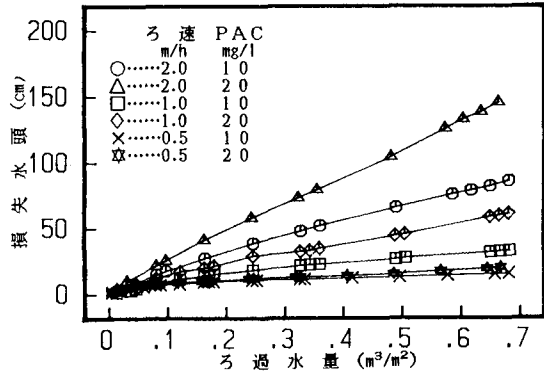


図4 損失水頭の動き(カオリン 20mg/l)

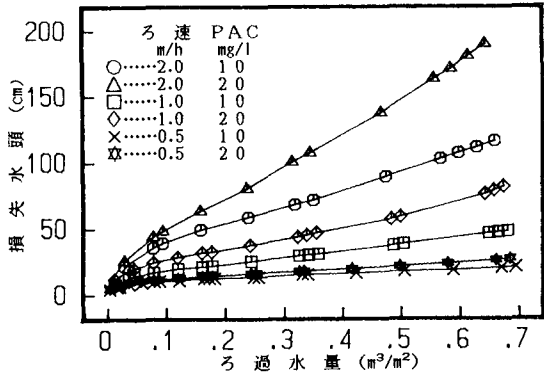


図5 損失水頭の動き(カオリン100mg/l)

表4 膜の洗浄効率と濁質収支

原水濁度 mg/l	PAC mg/l	ろ 速 m/h	沈殿量 mg	付着量 mg		誤 差 %
				(1)	(2)	
20	10	0.5	90.6	102.9	111.8	8.1
		1.0	63.5	90.6	137.4	12.0
		2.0	35.3	98.3	126.3	18.2
	20	0.5	95.2	95.2	134.1	5.3
		1.0	58.1	105.3	157.4	3.6
		2.0	32.5	66.6	206.5	6.8
100	10	0.5	836.0	758.5	132.2	4.1
		1.0	634.7	812.7	183.5	9.3
		2.0	577.4	715.2	240.4	11.4
	20	0.5	696.5	828.3	197.7	5.6
		1.0	499.2	882.3	347.6	1.9
		2.0	347.5	874.6	358.7	6.4

3) 空気洗浄方法の検討……………空洗に先行するろ過は次の通り。カオリン 100mg/l、PAC 20 mg/lを本学水道水に注入したものを原水とし、これをろ速 1 m/h で約20ℓろ過した。ろ過後ハウジング内の水を抜き、洗浄強度(空気圧 1 kg/cm²)と総空洗時間(30秒)は固定し、表5に掲げる5種類の方法で洗浄を行ない、それぞれの剝離量を測定して洗浄効率を算出した。すなわち、Aとはハウジング内に水を入れカートリッジ内に水を入れないで30秒間の洗浄、Bとはハウジングとカートリッジの両方に水を入れて30秒間の洗浄、Cとはハウジング内に水を入れカートリッジ内に水を入れないで10秒3回の洗浄、Dとはハウジング内に水を入れカートリッジ内に水を入れないで10秒3回の洗浄(ただし1回ごとに水抜き、水入れをした)、Eとはハウジング内に水を入れカートリッジ内には水を入れないで5秒6回の洗浄を意味する。

表5 空気洗浄方法の検討結果

洗 浄 方 法	沈殿量 mg	剝 離 量 mg		総抑留量 mg	洗浄効率 %	
		空洗	超音波		(1)	(2)
A	94.5	967.5	458.3	1520.3	69.9	67.9
B	156.4	986.8	442.6	1585.8	72.1	69.0
C	360.7	890.0	417.9	1668.6	75.0	68.0
D	132.4	1) 921.0 2) 118.4 3) 51.9	468.3	1692.0	62.3 69.3 72.3	59.1 66.6 70.0
E	93.7	1207.5	387.6	1688.8	77.1	75.7

(注) 洗浄効率 (1) = (沈殿量 + 空洗剝離量) / 総抑留量
洗浄効率 (2) = 空洗剝離量 / 剝離量

結果を表5の洗浄効率(2)で見ると、まずAとBの比較より、カートリッジ内に水を入れて水と空気との両方で洗浄を行なっても洗浄効率は僅か 1.1%しか上昇しておらず、カートリッジ内の水の効果は小さい。Dの1回目の洗浄効率の値が高いことから、短時間の洗浄で殆んど濁質が剝離してしまうこと、Eのように洗浄の分割回数を増加させることによって洗浄効率が上昇することなどが明らかになった。しかし、いずれにしても空気洗浄のみでは大幅な洗浄効率の改善は望めないので、強度の大きな洗浄法を採用する一方、濁質の膜内進入の抑制や付着濁質の剝離性の良い膜の選定などについて検討することが必要であろう。

4. あ と が き

本報では、膜ろ過を比較的低濁原水の浄水処理に導入することを目的として、膜によるろ過時と膜の洗浄時における濁質の基礎的な挙動について検討した。その結果、ろ過水濁度と損失水頭の動きから、この種の膜ろ過については比較的高濁原水の低ろ速ろ過への適用が効果的であることが明らかになった。また、今後の課題として、ブリーチングなどによる初期流出の抑制法や膜の再生効率を高める洗浄方法などについて検討することが必要と考える。

実験の遂行にあたって、北見工業大学土木工学科上下水道工学研究室の学生に協力いただいた。ここに記して謝意を表す。

【 参 考 文 献 】

- 1) 萩原・橋本：膜による分離法， 講談社
- 2) 松尾友矩：膜分離法による排水処理の意義と技術的課題， 用水と廃水 Vol.29 No.10(1987)
- 3) 丹保憲仁：新体系土木工学 88上水道， 技報堂出版
- 4) 橋本泰治：ろ過ろ過助剤， 地人書館