

(15) クロスフロー型限外ろ過の逆流洗浄過程に関する基礎研究

STUDIES ON BACKWASHING PROCESS OF CROSS-FLOW TYPE ULTRAFILTRATION

後藤光亀*・土方 隆*・平田 強**・田口勝久**・佐藤敦久*

Kohki GOTOH, Takashi HIJIKATA, Tsuyoshi HIRATA, Katsuhisa TAGUCHI, Atsuhisa SATOH

ABSTRACT ; An automatic measuring system to monitor the filtration and backwashing process of cross flow type ultrafiltration was developed using a personal computer. Using this system and Kaoline suspension, we discussed the backwashing effects by initial concentration, filtration cycle number, filtration time, backwashig time and backwashing pressure. Separating the cake layer from the membrane was occured in a 0.6sec at least and the change of the backwashing effect is not large with the increase of the backwashing time. Although backwashing effect decreased with the increase of filtration time and initial concentration of Kaoline suspension, and with the decrease of backwashing pressure and backwashing time, the effect of separating cake layer from the membrane is not large.

KEYWORDS ; ultrafiltration, cross flow, membrane, backwashing, cake, Kaoline

1. はじめに

近年、浄水処理システムへの膜処理法の適用がさかんに検討されてきている。従来の研究は主にろ過時の透過流束の変化と透過液の水質に研究の主眼が置かれてきた^{1)~4)}。膜処理において、ろ過、逆洗の工程の組み合わせが透過流束や透過水の水質を決める上で重要であるが、逆洗工程に関する知見は少ない。

本研究では、まず逆流洗浄工程における逆流流束の経時変化を検討するための第一歩として逆流洗浄（以下、逆洗と略す）工程をモニターできる安価で簡便な計測システムを試作した。この方法により、カオリン懸濁液を用いて原水懸濁液濃度、ろ過サイクル数、ろ過継続時間、逆洗時間、逆洗圧力を変数とし、逆洗効果や逆洗直後の逆流流束の変化よりケーキ層の剥離過程について基礎的検討を加えた。

2. 実験方法

実験に供した膜は中空糸タイプの限外ろ過膜（PAN（ポアクリルニトリル）系共重合体：旭化成製：ACL-1050）で、内径1.4mm、外径2.3mm、分画分子量は13,000で、有効膜面積は0.145m²である。

膜分離実験装置の概要をFig. 1に示す。本装置では濃縮水の他にろ過水もバイパス管で原水タンクへ直接返送して、原水濃度をほぼ一定に保持している。また、原水タンクは、温度調節装置で25±0.1℃に保った。実験はパソコンからI/Oボードを介して弁の開閉とポンプの制御を行い、ろ過時及び逆洗時の圧力・流量データは各センサーからの出力をA/D変換してパソコンに取り込んだ。ろ過工程では1分ごとに圧力と供給原水及びろ水の流量を測定した。圧力は5秒間の平均値、流量は50秒間の平均値で求めた。また、逆洗時には後述

* 東北大学工学部土木工学科 (Dep. of Civil Eng., Faculty of Eng., Tohoku Univ.)

** 麻布大学環境保健学部環境工学科 (Dep. of Environmental Technology, College of Environmental Health, Azabu Univ.)

の方法で圧力と流量を計測した。本実験システムは、逆洗プロセスを含めた自動運転が可能である。

カオリン懸濁液は所定量のカオリン（ENGELHARD社製、粒径 $0.6\mu\text{m}$ ）とカオリン量の1%ピロリン酸ソーダ（分散剤）を500ml ビーカーにとり水道水約400mlを加えて5分間超音波で分散させた。さらに水道水で希釈し、カオリン濃度1,000, 5,000, 10,000, 15,000mg/lとした。また、pHはNaOHまたはHClで 7 ± 0.05 に調整した。

操作条件は内圧式で、ろ過圧力が80kPa（モジュール入口圧力が100kPa、出口圧力が60kPa）、クロスフロー流速1.0m/s、逆洗圧力は約80及び150kPaとした。全ろ過時間は1～2時間とし、各実験の開始前に水道水を原水として膜を十分洗浄した。実験条件をTable 1に示す。

逆洗過程のモニターは次のように行った。小型流量計（愛知時計機マイクロストリーム）による測定はセンサー水路内に一定の体積が流れるとマグネットの回転で、センサーから矩形状のパルス信号が出力され、一定時間にこのパルス信号をカウントして流量を計算する。ここでは逆洗過程にこのパルス信号のLowからHighに立ち上がる時間と逆洗圧力出力をA/D変換して直接パソコンに入力し、このパルス間隔時間より逆洗流量を算定した。A/D変換はアドテック(株)98-05Aを用いた。A/D変換速度はMS-DOS上でBASICをコンパイル後で2,382回/30secであり、1回のA/D変換にかかる時間は12.6msである。流量が多すぎると後述のようにパルスのカウントが困難になる。

3. 解析方法

中空糸膜のろ過基礎式は重力や加速度の影響およびバルク液と透過液との透過圧差を無視できるとすると次式となる^{(6),(7)}。ただし、中空糸膜の中心を $r=0$ とする。

$$\frac{dP_i}{dr} = -\frac{\mu}{K} \left(\frac{Q/L}{2\pi r} \right) = -\frac{\mu}{K} \left(\frac{q}{2\pi r} \right), \quad (1)$$

Q : 透過流量 (m^3/s), L : 膜の長さ (m), q : 半径 r での単位膜長さ当りの透過流量 ($\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$), P_i : 透過圧力 (Pa), μ : 粘性係数 ($\text{Pa}\cdot\text{s}$), K : 透過率 (m^2)。 (1)式より半径 r での透過流束 J は(2)式となり、中空糸膜面での透過流束 J は $r=a$ として与えられる。

$$J = \frac{q}{2\pi r} = -\frac{dP_i}{\mu(dr/K)} = \frac{dP_i}{\mu R}, \quad (2)$$

ここで全抵抗 R ($1/\text{m}$) は、

$$R = R_m + R_c = R_m + R_{cd} - R_{cr}, \quad (3)$$

ここで、 R_c はケーキ抵抗 ($1/\text{m}$)、 R_{cd} は全透過流量によって運ばれる懸濁物質の膜面上への堆積による抵抗 ($1/\text{m}$)、 R_{cr} はクロスフローによるせん断流によって除去される膜面堆積物質の抵抗 ($1/\text{m}$)、 R_m はケーキ抵抗を除いた膜自身の抵抗（目づまり、ゲル層による抵抗等を含む） ($1/\text{m}$) で、(2)式は次式となる。

$$J = \frac{dP_i}{\mu(R_m + R_c)}, \quad (4)$$

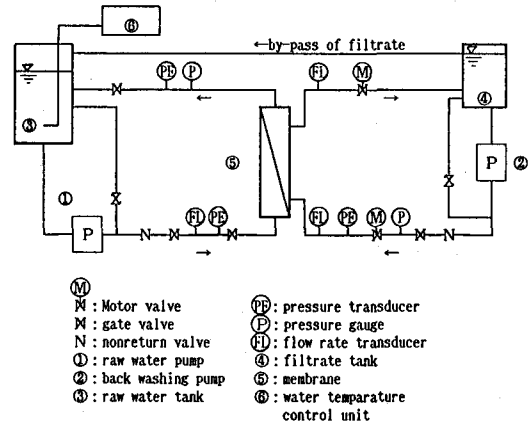


Fig.1 Schematic diagram of membrane apparatus

Table 1 Experimental condition and results

Exp. No.	Initial Concentration C_0 (mg/l)	Filtration time in a run t_f (min)	Back washing		Operation cycle in a run (cycle)	$J_{0.1}$ $\times 10^{-5}$ (m/s)	$J_{0.1}$ $\times 10^{-5}$ (m/s)	$\beta_{0.1}$ (-)
			pressure P_b (kPa)	time t_b (sec)				
1	1,000	10	150	3	12	3.28	2.83	0.20
2	1,000	10	140	15	12	3.35	2.83	0.20
3	1,000	10	150	30	12	3.35	2.87	0.18
4	1,000	20	140	3	6	3.35	2.45	0.30
5	1,000	20	140	15	6	3.35	2.52	0.28
6	1,000	20	140	30	6	3.42	2.42	0.31
7	1,000	30	150	3	4	3.35	2.28	0.35
8	1,000	30	150	30	4	3.32	2.35	0.33
9	1,000	10	75	3	6	3.32	2.80	0.26
10	1,000	10	75	15	6	3.39	2.90	0.18
11	5,000	10	150	3	6	3.18	2.04	0.42
12	5,000	10	140	15	6	3.25	2.01	0.43
13	10,000	10	150	3	6	2.90	1.63	0.54
14	10,000	10	140	1	6	3.08	1.66	0.53
15	15,000	10	140	3	6	2.70	1.52	0.57

filtration pressure: $P_f=80\text{kPa}$, cross flow velocity: $L_v=1.0\text{m/s}$

逆洗時の透過流束 J_b は、逆洗圧力を P_b とすると、次式となる。

$$J_b = \frac{dP_b}{\mu (R_{m'} + R_c)}, \quad (5)$$

カオリン懸濁液では、十分な機械的洗浄後の $R_{m'}$ はほぼ一定と評価できるので、逆洗時の抵抗変化はケーキ層の抵抗変化に相当する。

したがって、逆洗時の P_b と J_b を測定することにより、次式から膜による圧力損失 $P_{b,m'}$ (Pa) が求まり、ケーキ抵抗の変化が求められる。

$$J_b = \frac{P_{b,m'}}{\mu R_{m'}} = \frac{P_b - P_{b,m'}}{\mu R_c}, \quad (6)$$

今回用いた限外ろ過膜は新品でなく水道水を用いてくり返し使用しており、膜自身の抵抗はほぼ一定となっている。この限外ろ過膜の抵抗 $R_{m'}$ は、逆洗時圧力及びろ過時圧力の透過流束から $R_{m'} = 2.4 \times 10^{12} (1/m)$ であった。

一方、2. の実験より得られるろ過 i サイクル目の初期透過流束 ($t_i = 0 \sim 1$ 分間の平均透過流束) を $J_{o,i}$ 、 i サイクル目のろ過終了時の透過流束を $J_{e,i}$ とする。逆洗による透過流束の改善効果を次のパラメータで整理する。

$$a_1 = J_{o,i} / J_{o,1}, \quad (7)$$

$$a_2 = J_{e,i} / J_{o,1}, \quad (8)$$

$$b_1 = \frac{J_{o,i+1} - J_{o,i}}{J_{o,1} - J_{e,i}}, \quad (9)$$

$$b_2 = \frac{J_{o,i+1} - J_{e,i}}{J_{o,1} - J_{e,i}}, \quad (10)$$

ここで a_1 は 1 サイクル目のろ過初期透過流束 $J_{o,1}$ に対する各サイクルの逆洗直後の初期透過流束の減少比で、 a_2 は各サイクルごとのろ過終了時の透過流束 $J_{e,i}$ の $J_{o,1}$ に対する透過流束比である。 b_1 は i サイクル目の逆洗による初期ろ過透過流束の回復比で、 $b_1 = 1$ のとき第 1 回目ろ過開始前に完全回復、 $b_1 = 0$ で洗浄効果がゼロである。 b_2 は各逆洗サイクルでの逆洗による透過流束の回復比である。

逆洗時の流量算定は以下の通りである。1 秒間の A/D 変換回数を H_{AD} ($H_{AD} = 2,382$ 回/30 秒) とすると 1 回の A/D 変換時間は $1/H_{AD}$ (12.6ms) となる。パソコンには流量計からの出力が Low から High になったときの A/D 変換時の積算回数 N_i が入力されている。Fig. 2 は定常流れの状態における 1 秒当りのパルス数と流量の実測値で、パルス数が 24 回/秒までは直線性はよいが、それ以上では矩形波の判別が困難となり、パルスの計測が困難となる。流量計の 1 パルスによる通過流体の体積 V_{t1} ($=0.46$ ml/pulse) を一定とすると N_{i-1} から N_i までのパルスの間隔時間 $\Delta t_{p,i}$

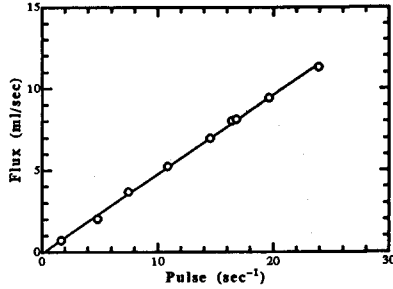


Fig.2 Flow rate vs. pulse number of flow meter

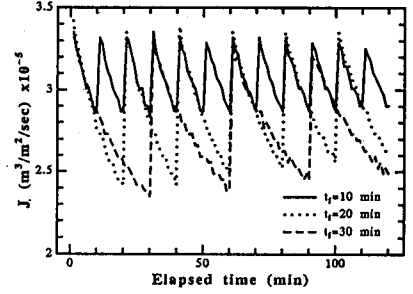


Fig.3 Flux J vs. Elapsed time
($C_0 = 1,000$ mg/l, $t_0 = 30$ sec, $P_b = 150$ kPa)

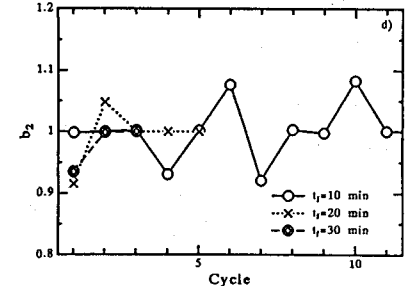
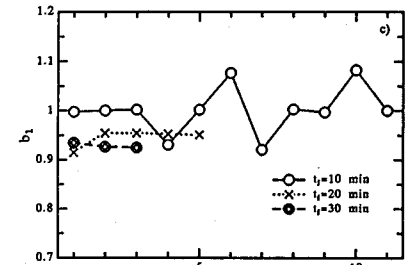
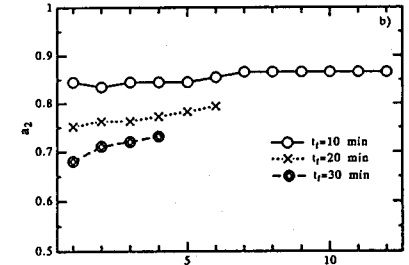
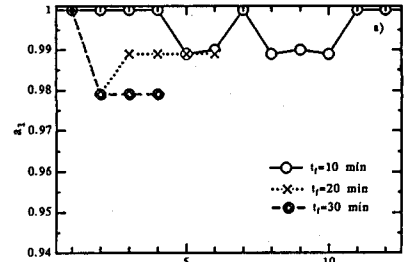


Fig.4 Backwashing effect
($C_0 = 1,000$ mg/l, $t_0 = 15$ sec, $P_b = 150$ kPa)

は(11)式となり、このときの流量 $Q_{f,i}$ (ml/s) は(12)式で求まる。

$$\Delta t_{p,i} = (N_i - N_{i-1}) / H_{AD} \quad , \quad (11)$$

$$Q_{f,i} = V_{f,i} / \Delta t_{p,i} \quad , \quad (12)$$

以上の結果から、ケーキ抵抗の変化は(12)式より J_b を算出し(6)式を用いて次式で求まる。

$$R_m = \frac{P_b - J_b \cdot \mu R_{m'}}{\mu J_b} = \frac{P_b}{\mu J_b} - R_{m'} \quad , \quad (13)$$

また、逆洗時の逆洗圧力に対する膜およびケーキ層での圧力損失比をそれぞれ β_{pm} 、 β_{pc} として次式で示し、逆洗時のケーキ層の剥離状況を表わす指標として用いる。

$$\beta_{pc} = \frac{P_b - P_{b,m'}}{P_b} = 1 - \beta_{pm} \quad , \quad (14)$$

4. 結果及び考察

4.1 ろ過継続時間と洗浄効果

Fig. 3 はバルク濃度 (原水カオリン懸濁液濃度) C_b が 1,000mg/l、逆洗圧力 P_b が 150kPa、逆洗時間 t_b が 30sec でろ過継続時間 t_r を 10, 20, 30分とした場合の透過流束 J の変化である。実験はろ過時間で 2 時間行っている、それぞれ 12, 6, 4, cycle までの値を示した。ろ過時間 10 分までの透過流束 J の経時変化をみるとろ過継続時間に拘らずほぼ同様である。これらの結果を(7)~(10)式に代入し、逆洗による透過流束の回復を求め、Fig. 4 に示した。

1 回目の初期透過流束 $J_{0,1}$ に対する各サイクルの初期透過流束 $J_{0,i}$ の比 a_i は、初期状態への逆洗による回復比を示すもので、同図よりろ過サイクル数が増加するに従い減少する傾向にあり、他の逆洗時間の場合も考慮すると、ろ過継続時間が大きいほど a_i はサイクル数の増加に従い若干低下する傾向にある。第 1 回目の初期透過流束に対する各サイクルのろ過終了時の透過流束比 a_2 はサイクル数が増加すると若干大きくなる。この原因は明確ではないが、その原因の 1 つとして本実験では逆洗排水を原水タンクに返送しており、懸濁液の状態が変化したためと考えられる。すなわち、逆洗により剥離したケーキが原水タンクの中で完全に再分散されずに残り、透過流束の上昇を引き起こすと考えられる。

b_i はろ過によって低下した透過流束の逆洗による $J_{0,1}$ に対する回復比を示す。一方、図示していないが t_b が 30 秒の場合、 b_i 値はサイクル数の増加により減少の傾向にある。Fig. 4, c) では t_b が 15 秒で t_r が 10 分では b_i 値はばらつきがあるもののほとんど 1 に近く、 t_r が 20, 30 分では 10 分よりも小さく、0.92~0.95 の値を示し、ろ過継続時間が長いと洗浄効果が若干小さくなることを示す。また、 b_2 のろ過継続時間及び逆洗時間による変化をみると b_2 値に及ぼす t_b の影響は小さい。

Fig. 5 は第 1 サイクル目の t_r と t_b による a_2 、 b_1 の変化を示す。 a_2 は逆洗時間による影響は小さい。 b_1 はろ過継続時間の増加による変化は顕著に現れない。また、図示していないが、逆洗時間を 3~30sec としたとき、各ろ過継続時間は b_2 にはあまり影響しない。

4.2 初期バルク濃度と洗浄効果

Fig. 6 は t_r が 10 分、 t_b が 3 秒、 P_b が 150kPa の条件下で濃度 C_b を 1,000~15,000mg/l まで 4 段階に変化させた場合の透過流束の経時変化である。 C_b が 15,000mg/l の場合、 J の 1 分値は C_b が 1,000mg/l の 10 分値よりも小

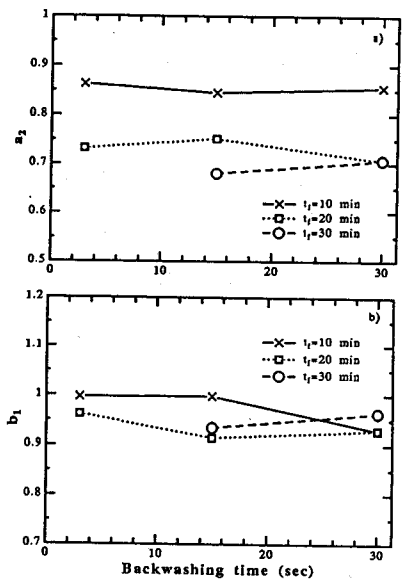


Fig.5 Backwashing effect
($C_b=1,000\text{mg/l}$, $P_b=150\text{kPa}$)

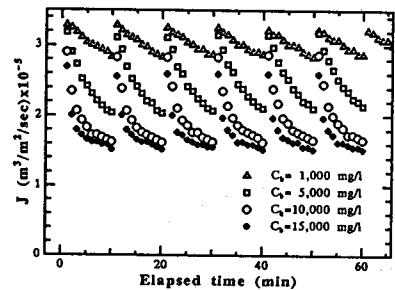


Fig.6 Flux J vs. Elapsed time
($t_b=3\text{sec}$, $P_b=150\text{kPa}$)

い値となり、急激な透過流束の低下を示し、各サイクルのろ過開始から8~10分ではJの変化が小さくなり、平衡状態に近づきつつある。 C_b の濃度増加はケーキ層の形成に大きな差を生じる。Table 1に第1サイクル目のろ過最終時におけるろ過圧力 P_1 に対するケーキ層での圧力損失比 β_{pc} 。(= P_c/P_1 , P_c : ケーキ層での圧力損失)を示した。 t_f が10分の場合、ろ過終了時の β_{pc} は C_b が1,000mg/lで0.20, C_b が5,000 mg/lで0.42, C_b が10,000 mg/l以上ではあまり差はなく、0.53~0.57である。すなわち、10,000mg/l以上で10分のろ過を行うと約5割強がケーキ抵抗による圧力損失となる。

Fig.7は、これら C_b が変化した場合の各サイクルごとの a_1 , a_2 , b_1 , b_2 の変化である。 a_1 は C_b が増加するにつれて減少する傾向にあるが、 C_b が15,000mg/lでも初期透過流束の減少は $J_{0.1}$ の4~6%程度である。 a_2 はろ過サイクル数が増加するにつれFig.4と同様に若干増加する場合もあるが、 C_b が10,000mg/l以上では a_2 の値もほぼ同様で変化が小さい。

b_1 は C_b が5,000mg/l以上でサイクル数の増加により若干増加する。 C_b が1,000mg/lでは b_1 はサイクル数が増加すると0.8~0.92程度まで低下する。 C_b が1,000mg/lの場合のデータのばらつきは $J_{0.1}$ と $J_{0.1}$ の差が小さいためである。これに対し、 C_b が5,000~15,000mg/lでは濃度が高いと b_1 も小さいが、サイクル数が増加しても C_b が15,000mg/lで0.91, C_b が5,000, 10,000mg/lで0.94~0.98と高い逆洗効率を示す。これはケーキ層がある程度形成されるとケーキ層の剝離機構が安定するためと考えられる。 b_2 は各サイクルでの洗浄効果を表わすものであるが、各濃度とも±10%の差はあるものの C_b が15,000mg/lの濃度レベルまでは各サイクルの逆洗により各サイクルの初期透過流束とほぼ同じレベルまで回復することを示す。

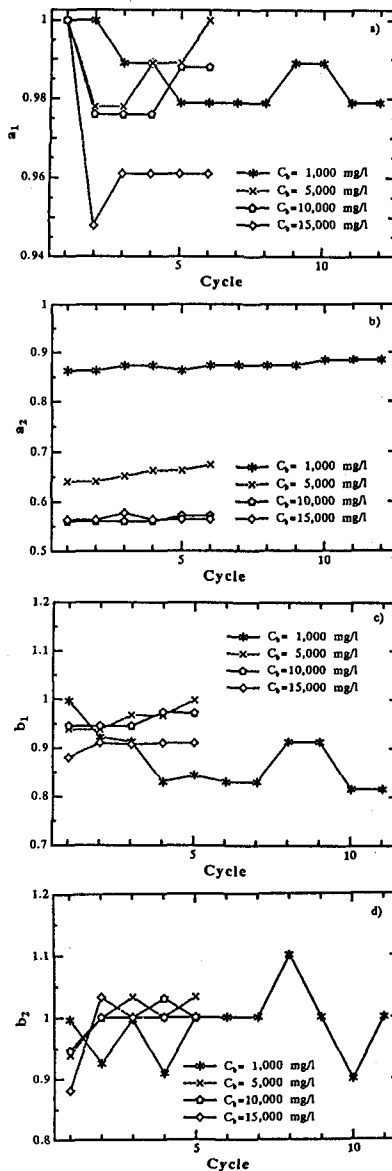


Fig.7 Backwashing effect ($t_b=3$ sec, $P_b=150$ kPa)

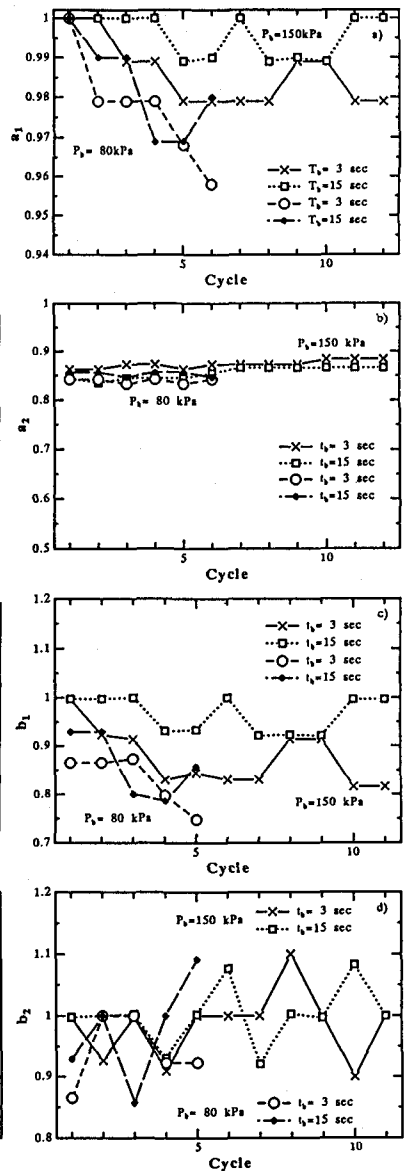


Fig.8 Backwashing effect ($C_b=1,000$ mg/l)

4.3 逆洗圧力及び逆洗時間と洗浄効果

Fig.8は C_b が1,000mg/l, $t_b=10$ 分, 逆洗圧力 $P_b=80, 150$ kPa, 逆洗時間を3, 15秒とした場合の逆洗効果のろ過サイクルに対する変化である。 P_b が小さい場合は明らかに a_1 は小さくなり逆洗効果が低下し, また逆洗時間の短い3秒では15秒よりも a_1 の値は小さく洗浄効果が劣る。ただし, 逆洗圧力がろ過圧力の約2倍の150kPaでは t_b が15秒で初期透過流束は0~1%の減, 3秒では1~2%の減, ろ過圧力とほぼ同じ80kPaではそれぞれ1~2%, 2~4%の減であり, その差は大きくはない。また, a_2 は t_b が3秒のときは P_b が150kPaで約0.87, 80kPaが0.84と逆洗圧力が小さいと若干差が生じるが, t_b が15秒では差はほとんどない。

一方, $P_b=150$ kPa, $t_b=15$ 秒で b_1 は0.9以上を維持し, 洗浄効果が比較的高いが, $t_b=3$ 秒では0.82~0.92となり, サイクル数の増加により減少傾向にある。逆洗圧力 P_b が80kPaでは t_b による明確な差はないが, サイクル数が増加すると減少し, b_1 値は0.75~0.93となり, 150kPaよりも約1割程度洗浄効果が小さい。

Fig.9に, C_b が10,000mg/lで, t_b を1及び3秒とした場合の逆洗効果を示す。図示していないが, a_1 は0.95付近と一定の値を示すが, a_2 は t_b が1秒で0.54, 3秒で0.56とその差は小さい。すなわち, C_b が大きくなりケーキ層が形成されると, 初期透過流束のわずかな差の影響はろ過初期にのみ現われるものと考えられる。また, b_1 は t_b が3秒で0.95, 1秒で0.98となり, 洗浄が1秒とごく短い時間でも第1サイクル目の初期透過流束までは回復しないものの, 2回目以降では b_2 がほぼ1付近を示し, 各サイクルではほぼ同様の洗浄効果が生じている。

4.4 ケーキ層の圧力損失の経時変化

Fig.10は, 逆洗工程の逆洗圧力 P_b , 逆洗時の透過流束 J_b 及び逆洗圧力に対するケーキ層による圧力損失比 β_{pc} の経時変化を示したものである。図中の β_{pc} は Table 1に示した $J_{b,i}$ (ろ過終了時) のときのケーキ層のろ過圧力に対するケーキ層での圧力損失比を示したものである。本実験で用いた小容量の流量計は測定範囲が0.05~0.6 l/minである。本実験では逆洗時の流量が計測最大流量の約8~10割である。当流量計は最大流量時に約40cmH₂Oの圧力損失が生じ, 静止状態からの駆動時には約80cmH₂Oの圧力損失が生じる。この駆動時に流量計の軸受けの摩擦の変化により, パルスが作動直後に一時多くなる特性を示す。当流量計は積算型用に設計させているので今回のような短時間の計測専用ではないため, この誤差は避けられない。また, 当流量計は定常流れ時に1回転で2回パルスを出力するがパルスが一定間隔ではなく若干ずれて出力するように設計されている。したがって, 計測データは項を7つとる移動平均をした後計算に用いた。

一方, 逆洗開始時の $t_b=0$ より, 流量計からの第1回目のパルスが出力されるのに約0.1~0.2秒を要し, 移動平均後の第1データが得られるのは逆洗開始より約0.3秒後となる。したがって, これ以前の流量は測定不能である。また, 逆洗モータ

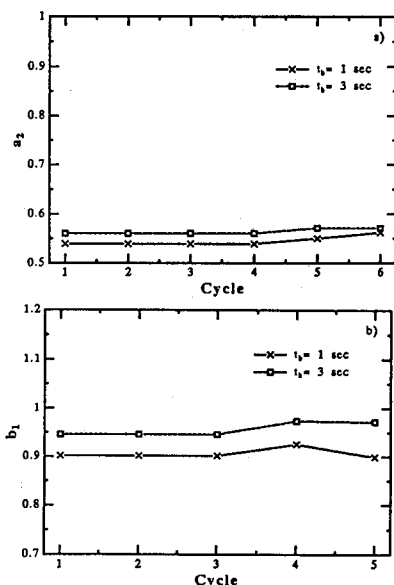


Fig.9 Backwashing effect
($C_b=10,000$ mg/l, $t_b=10$ min, $P_b=150$ kPa)

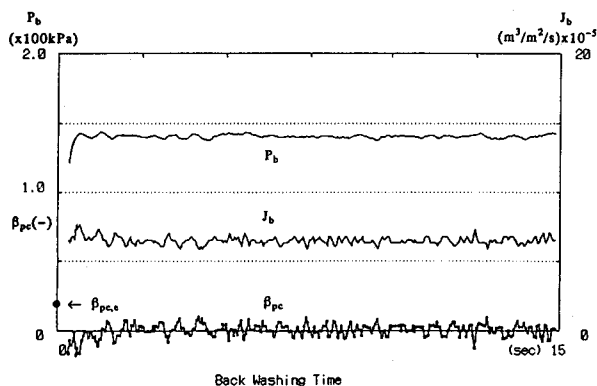


Fig.10 Pressure P_b , flux J_b , Ratio β_{pc} in the backwashing process vs. Elapsed time
($C_b=1,000$ mg/l, $t_b=15$ sec, $P_b=150$ kPa)

は $t_b=0$ で作動させ、0.3秒後で約8割、0.5秒で所定圧力に達する。

また、前述のように流量計は作動初期に多目に流量を出力する傾向にあり、出力結果から判断しほぼ定常値を示すのに逆洗開始より約0.6~0.7秒を要する。したがって、0.7秒未満では J_b が過大に評価されるため(6)式による $P_{b,m}$ を大きく見積ることになり、 β_{pc} はマイナスの値となる。また、逆洗圧力も所定圧力に達した後も変動して一定ではなく、そのため流量値も変動するため、 β_{pc} 値もゼロ付近で変動するがやむを得ない。いずれにしても同図の条件では約0.7秒未満でケーキ抵抗はほとんどゼロとなることが知れる。

Fig.11に C_b が1,000, 5,000, 15,000mg/l, t_r が10分, t_b が3秒で、ろ過逆・洗を6サイクル行った場合の逆洗工程の結果を示す。これらの図からも0.7秒未満でケーキ抵抗はほぼ一定値を示すことが知れる。さらに C_b が1,000mg/l では0.7秒後の β_{pc} はほぼゼロであるが、 $C_b=5,000$ mg/l で0.02, 15,000mg/l で0.04に増加する。しかし、 β_{pc} の大きさは $\beta_{pc,e}$ に比較して十分小さい。この懸濁液濃度の増加による β_{pc} の増加は、逆洗圧力が上昇するとほとんど同時にケーキ層の剥離が生じるが、剥離したケーキ層が逆洗の操作条件が同一であれば C_b が高いほどケーキ層が厚いので剥離後も膜モジュール内に残存する。 β_{pc} の増加はこの剥離したケーキ中を通過する逆洗透過液の抵抗が増加するためと考えられる。また、剥離したケーキ層厚が大きい場合、逆洗排水中にケーキがマカロニ状に排出されることからケーキ層の膜からの剥離が瞬時に生じることが推察される。

したがって、この剥離したケーキのモジュール内からの排出が逆洗効果を上昇させるのに役立つと考えられる。今回のような一度のみの逆洗でなく、数秒の逆洗とモジュールからの剥離ケーキ層の排出を組み合わせた洗浄が有効となることが推察される。

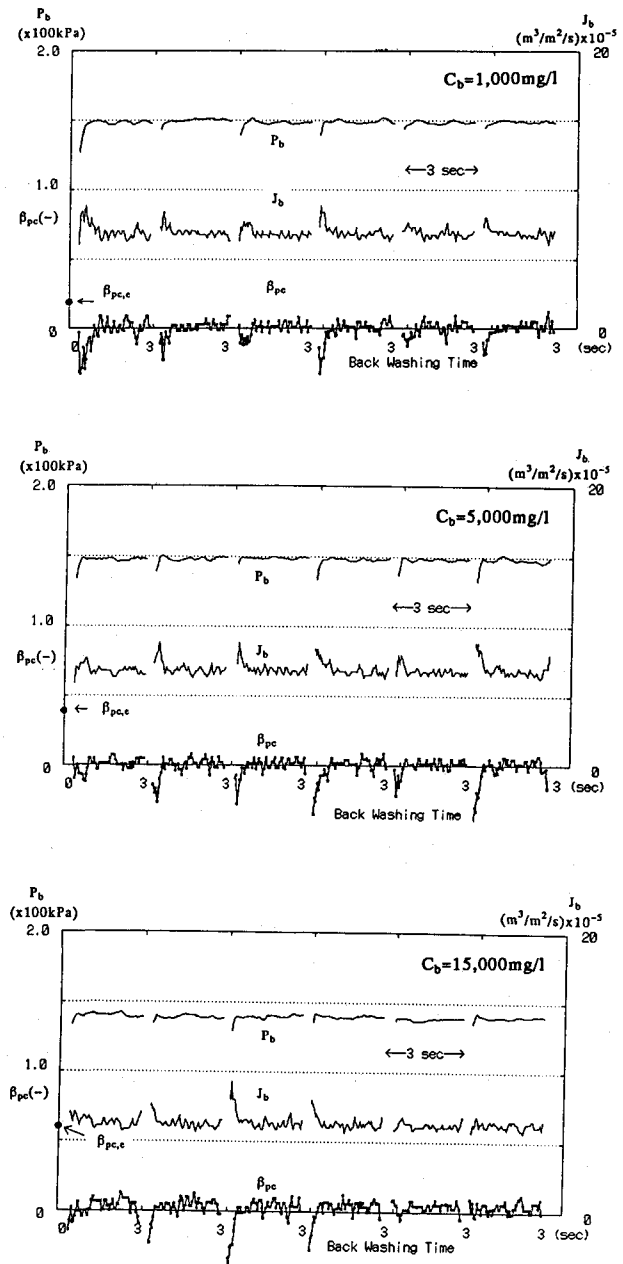


Fig.11 Pressure P_b , flux J_b , Ratio β_{pc} vs. Elapsed time in the backwashing process ($t_b=3$ sec, 6cycle, $P_b=150$ kPa)

5. 結 論

逆洗工程の機構を明らかにするために圧力、流量の計測システムを試作し、カオリン懸濁液を用いて検討し、次の知見を得た。

- 1) 試作した計測システムでは逆洗開始より0.6秒未満の状態を正確には評価できない。
- 2) ケーキ層の剥離は逆洗開始後少なくとも0.6秒未満で生じる。初期濃度が15,000mg/lの場合、剥離が生じた後の膜以外の抵抗が約4%程度残るが、これは剥離したケーキ塊がモジュール内に残存し、このケーキ塊を逆洗水が通過するための圧力損失によるところが大きいと考えられる。
- 3) 逆洗時間が1秒でもケーキ層の剥離は生じ、ろ過数サイクルにおける洗浄時の逆洗効果にはほとんど変化はない。
- 4) ろ過継続時間の増加、逆洗圧力の低下、逆洗時間の短縮、初期濃度増加により洗浄効果は劣化するが、ケーキ層の剥離に関する効果への影響はそれほど大きくはない。

カオリン濁質のような固形物を主体とするケーキ層の抵抗は逆圧により瞬時に剥離すると考えられるので、浄水処理での膜処理技術の導入に際し、逆洗システムの開発が重要な検討課題である。また、原水中にも濁質のみだけでなく、膜の洗浄効果を劣化させる有機物の存在など、より広範囲な原水条件についての検討が重要となる。試作した逆洗工程の計測システムを利用することにより適正な洗浄プロセスへの検討が可能となった。

参考文献

- 1) Veronique Lahoussine-Tarcaud, Mark R. Wiesner, Jean-Yves Bottero and Joel Mollevialle : Coagulation pretreatment for Ultrafiltration of a Surface Water, Jour of AWWA, pp.76-81, 1990.
- 2) J.L. Bersillon, et al. : Ultrafiltration applied to drinking water treatment : case of a small system, Technical papers water Nagoya ASPAC IWSA'89, pp.209-219, 1989.
- 3) 丹保憲仁, 中埜渡文嘉, 桒野吉直 : セラミックメンブレンの色度除去性, 第41回全国水道研究発表会, pp.188-191, 1990.
- 4) 藤田賢二 : 膜分離技術による浄水場の試設計, 水道協会雑誌, 第59巻第4号, pp.10-18, 1990.
- 5) 浦野紘平, 中川信一 : 限外ろ過・精密ろ過の理論とその問題点, 用水と廃水, Vol.32, No.6, pp.3-9, 1990.
- 6) 浦瀬太郎, 山本和夫 : 下水処理における平膜クロスフローろ過に関わる諸因子の検討, 衛生工学研究論文集, 第27巻, pp.55-64, 1991.
- 7) F. M. Tiller, et al. : Generalized approach to thickening, filtration and centrifugation, 4th World Filtration Congress, pp.4.1-4.12, 1986.