

II-185 クロスフロー型限外ろ過の透過流束に及ぼす凝集処理効果に関する基礎的検討

東北大学工学部	学生員	土方 隆
東北大学工学部	正会員	後藤光亀
東北大学工学部	正会員	佐藤敦久
麻布大学環境保健学部	正会員	平田 強
麻布大学環境保健学部	正会員	田口勝久

1. はじめに: 近年、凝集管理の不十分等から、残留アルミニウムによる健康問題、残留塩素が存在する水道水からのウイルスの検出などが報告され、また、小規模水道における維持管理の確実性や水質基準の未達成の解消など新しい浄水技術の開発が求められている。最近の膜技術の発達はこのような要望を満足できるものとして、浄水システムへの導入が検討され始めている。本報告では、凝集処理による透過流束の改善に関する基礎的実験および、ケーキろ過理論に基づく解析結果より凝集剤添加の有無と逆洗頻度との組み合わせから透過流束の維持に関する基礎的検討を行なった。

2. 実験方法: 膜分離実験装置の概要を図-1に示し、膜および実験条件を表-1に示す。カオリン懸濁液はカオリン(粒径0.6 μ m)25gとピロリン酸ソーダ(分散剤)0.25gに水道水約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1000mg/lとした。pHはNaOHまたはHClで 7 ± 0.05 に調整した。凝集剤は硫酸アルミニウムを用い、ALT比で $1 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-1}$ まで変化させた。また、原水タンクは、温度調節装置で25℃に保った。一方、懸濁液の凝集状態を知るためろ過開始直前の原水を採取し、ジャーテスターを用いて緩速かくはん40rpmで15分したあと30分静置して上澄水濁度を測定した。実験はパソコンからI/Oボードを介して弁とポンプの開閉の制御を行い、圧力・流量データは各センサーからの出力を1分ごとにA/D変換してパソコンに取り込んだ。なお、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。

3. ろ過理論: 中空糸タイプでのろ過基礎式は、重力や加速度の影響およびバルク液と透過液との浸透圧差を無視できるとすると次のように簡略化できる。^{1), 2)}ただし、中空糸膜の中心を $r=0$ とし、 $r=a$ での透過流束を J_r とする。

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

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

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($m^3/m \cdot s$)、r: 半径(m)、 P_i : 透過圧力(Pa)
K: 透過率(m^2)、 μ : 粘性係数(Pa $\cdot$ s)、 J_r : 透過流束($m^3/m^2 \cdot s$)
懸濁物質が圧縮性の場合、ろ過抵抗Rの変化は次式となる。

$$\frac{dR}{dt} = k_{r1} (C_0 J_r - k_{r2}) \quad \text{----- (3)}$$

ここで、 k_{r1} は抵抗変化の速度を、 k_{r2} は設定ろ過時間の透過流束を定めるパラメータとして、 k_{r2} は、ろ過終了時間(2時間)の $J_{r,2}$ より、 $k_{r2} = C_0 J_{r,2}$ を第1次近似とした。 k_{r1} は(3)式より10分ごとの dR/dt と J_r の関係から最小二乗法により傾き b を求め、 $k_{r1} = b/C_0$ として第1次近似を行った。第1次近似値より任意に組み合わせ、実測値との残差平方和の最も小さい組み合わせとして決定した。

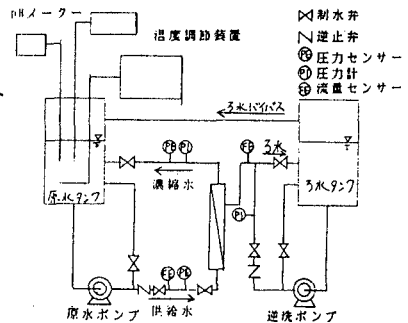


図-1

膜の条件	
中空糸タイプの限外ろ過膜	
(PAN(ポリアクリロニリル)系共重合体)	
旭化成製: ACL-1050)	
内径	: 1.4mm
外径	: 2.3mm
分画分子量	: 13,000
有効膜面積	: 0.148m ²
実験条件	
操作圧力	: 80kPa
クロスフロー流速	: 1m/s
逆洗圧力	: 150kPa
ろ過時間	: 2時間

表-1

一方、逆洗時の抵抗 R_b (1/m)を逆洗開始直後にケーキ層の抵抗を除く膜自身の抵抗とゲル層による抵抗等の和 R_m' になると近似する。逆洗圧力を P_b とすると

$$J_b = \frac{P_b}{\mu R_m'} \quad \text{----- (4)}$$

したがって逆洗水量 V_b (m³)は、逆洗時間を t_b (s)とすると

$$V_b = A \int_0^{t_b} J_b \cdot dt = \frac{2\pi a \cdot L \cdot P_b \cdot t_b}{\mu R_m'} \quad \text{----- (5)}$$

このとき、逆洗水量は過大に評価される。1サイクルの有効ろ過水量 V_o (m³)は、ろ過水量を V_r とすると $V_o = (V_r - V_b)$ となり、1サイクル当りの平均有効透過流速 U_o (m³/m²/s)は、1サイクルの時間を T とすると

$$U_o = \frac{V_o}{AT} = \frac{V_r - V_b}{A(t_r + t_b + t_l)} \quad \text{----- (6)}$$

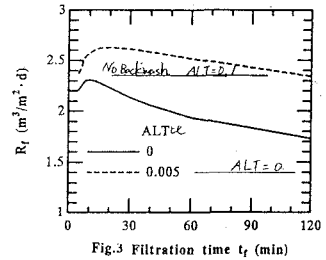
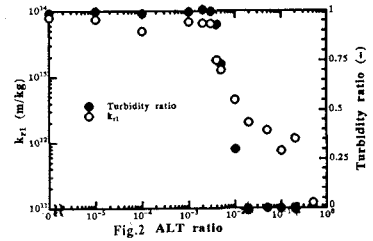
t_r : ろ過継続時間(s)、 t_l : 雑時間(s)

この U_o を用い、1日当り単位膜面積当りの有効ろ過水量としてろ過速度 R_f (m³/m²/d)を定義する。

4. 凝集処理による透過流速の変化: 本報告では、凝集剤を添加した場合でも長時間運転すると、透過流速がALT比=0の状態に漸近するものとし、 k_{r1} を変数として評価した。このとき、凝集剤添加により生成する $Al(OH)_3$ による C_b の濃度補正も行った。各ALT比における k_{r1} とジャーテストによる濁度比の関係を図-2に示す。透過流速の低下速度のパラメータである k_{r1} は、ジャーテストの結果に対応して、凝集の進行により減少する。これより、凝集処理でフロック径を大きくすると透過流速を低下させずに維持できることが認められた。Mietton³⁾らもG値の増加および凝集剤注入によるフロック径の増大が透過流速の改善につながるとし、透過流速が最大となる薬注量が存在するとしているが、本実験の薬注範囲ではその傾向は認められていない。

5. 逆洗による透過流速の維持: 各凝集条件の k_{r1} を用いて逆洗時間15秒、雑時間10秒としたときのろ過速度 R_f を求め、透過流速の維持に関する検討を行った。図-3は、各薬注条件におけるろ過継続時間とろ過速度の関係を示す。また、図中には k_{r1} 、 k_{r2} を参考にし、24時間逆洗無しの場合のろ過速度も示した。ALT比=0で24時間逆洗しない場合、 R_f は約1.4m/dであるが、10分に1回逆洗を行うと R_f は約2.3m/dを維持できる。この R_f 値は凝集剤をALT比=0.05で注入し、24時間逆洗無しの場合に相当する。凝集による透過流速の改善が認められるようになるALT比=0.005では2時間に1回程度の洗浄で、ALT比=0.1で24時間逆洗無しの透過流速を維持できると推算される。

6. おわりに: 中空糸タイプのクロスフロー形式における膜処理の透過流速の維持のための凝集処理および逆洗の効果について検討した。ただし、本報告では長時間運転時の逆洗後の初期透過流速の低下等の影響を考慮しておらず、今後の課題としたい。最後に、本実験を行った麻布大学の小林裕一及び平井勝正両君に感謝の意を表す。



参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) M. Mietton-Peuchot et al. : Couplage de la floculation et de la.....microfiltration tangentielle, La place des techniques a membrane en traitement et equation des eaux industrielles, 5 Novembre 1987, Agen, France, 59-63