

膜処理法の透過流束改善に関する一考察

東北大学工学部	正会員	牛尼	修央
東北大学工学部	学生員	澤	徹
麻布大学環境保健学部	正会員	平田	強
東北大学工学部	正会員	後藤	光亀

1. はじめに

近年、現行の凝集・沈殿・砂ろ過法に代わる新たな浄水技術として膜処理技術の浄水処理への導入が検討されている。膜処理技術を浄水処理に用いる場合、透過流束の確保が重要である。そのために凝集処理による透過流束の改善、逆洗頻度の増加による透過流束の確保等が行われているが、これらに関する知見は少ない。また、水道原水に含まれる溶存イオンや溶存有機物成分が膜処理に及ぼす影響についての知見も少なく、浄水システムへの膜処理技術の導入には未だ未解明の部分が多い。本研究はカオリンを用い、現行の凝集・沈殿・砂ろ過法では議論されてこなかった一価、二価の陽イオンによる粒子の凝集が、剪断流の存在するクロスフロー型膜処理において透過流束にどのような影響を及ぼすのかについて、基礎的検討を行ったものである。

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(アクリロニトリル)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13,000、有効膜面積0.148m²で内圧式によるクロスフロー型ろ過を行った。実験装置の概要をFig. 1に示す。

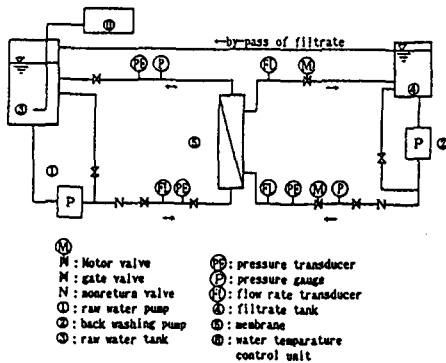


Fig. 1 実験装置概略図

本装置では原水タンク内のカオリン濃度をほぼ一定に保つため、濃縮水の他にろ水もバイパスにより原水タンクへ返送した。原水タンクは温度調整装置により25℃に保ち、pHは7.0に調整した。

カオリン懸濁液はカオリン 25gをイオン交換水 400mlに懸濁させ、5分間超音波で分散させた後一晩かくはんし、さらにイオン交換水で希釈してカオリン濃度を1000mg/lとした。陽イオンとしてはナトリウム及びカルシウムを $2 \times 10^{-5} \sim 2 \times 10^{-3}$ mol/lまで変化させ塩化物塩として添加した。

操作条件は、操作圧力が 80kPa、クロスフロー流速が1m/sとした。ろ過は 2時間連続で行い、その間逆洗は行わなかった。一方、懸濁液の凝集状態を知るため、陽イオンを添加した後膜処理装置で供給原水のバイパス経路のみで10分かくはん後の原水500mlを採取し、ジャーテストを用いて 40 rpm、15分の緩速かくはんを行った後に30分静置して上澄水濁度を測定し、合わせてゼータ電位の測定を行った。また、実験終了後膜面上のカオリンを回収し、その乾重量を測定した。また、ろ過実験とは別にろ過実験と同様のカオリン懸濁液に塩化ナトリウム及び塩化カルシウムを添加して、前述と同様の条件下でジャーテストを行い、上澄水濁度比、沈降体積率、ゼータ電位の測定を行った。

3. 陽イオンの影響による透過流束の変化

ろ過120分後の透過流束 J_{120} をろ過0~1分間の透過流束 J_0 で割り、無次元化したものを FR_{120} とし透過流束の評価を行った。また、実験終了後にモジュールから回収したカオリン量を膜面積で割り単位膜あたりのカオリン付着量 $W(g/m^2)$ を算出した。

Fig. 2 に陽イオン濃度と FR_{120} 並びに W の関係を示す。陽イオン濃度の増加により透過流束の改善が見られる。この透過流束の改善量はイオン交換水のみのかのときの FR_{120} に対して、陽イオン濃度 $6 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$ の場合、塩化ナトリウムで 4.8%、塩化カルシウムで 11% の増加とわずかである。一方、同じ陽イオン濃度での W の低下割合は塩化ナトリウムで 48%、塩化カルシウムで 78% と著しく陽イオ

ン濃度の増加により膜面へのカオリンケーキ層の形成が抑制されていることがうかがえる。さらに、カオリンの凝集状態を検討するために、ジャーテスト後の上澄水濁度と原水タンクからの採水時の濁度の比TRを算出した。Fig. 3 に陽イオン濃度とTR並びにゼータ電位の測定結果を示す。

陽イオン濃度 $2 \times 10^{-5} \sim 2 \times 10^{-4}$ mol/l においてTRは著しく改善され、塩化カルシウムの場合では凝集によるカオリンの沈殿フロックが観察される。このときゼータ電位は塩化カルシウムで臨界ゼータ電位といわれる ± 15 mV 以内となり、塩化ナトリウムの場合も変化は少ないものの臨界ゼータ電位に近づく。

ろ過実験とは別に行ったジャーテストの結果から上澄水濁度比TR、沈降体積率Pv、ゼータ電位をFig. 4 に示す。塩化ナトリウムを添加した場合の結果ではTR、ゼータ電位ともに急激な変化は見られないが、ナトリウムイオン濃度の増加に伴いTRは小さくなり凝集が進行することが知れる。一方、塩化カルシウムを添加した場合の結果ではカルシウムイオン濃度 1×10^{-5} mol/l 以上でTRの急激な改善が見られ、ゼータ電位も急激に上昇して臨界ゼータ電位に近づく。この結果は、ろ過実験において透過流束及び単位膜あたりのカオリン付着量が改善される陽イオン濃度にはほぼ等しい。

この様に、陽イオン濃度の増加に伴って透過流束の改善が見られるが、この理由としては、凝集により成長したフロックがケーキ層に固液分離に伴い堆積されても、クロスフロー流速に伴う剪断力により剝離されてバルク側に運ばれ、膜面でのケーキ層の形成が抑制されることがその一因と考えられる。このことは、凝集・沈殿・砂ろ過法では通常議論されない一価、二価の陽イオンによる微弱な凝集によるフロック径の増大が、クロスフロー型ろ過においては透過流束を改善する要因となることを示すと考えられる。

4. おわりに

日本における河川水中のナトリウム並びにカルシウムイオン濃度は、 2×10^{-4} mol/l 程度といわれている。したがって、本実験で透過流束の改善が示された陽イオン濃度は水道原水において十分ありえるものである。しかしながら、本実験の結果を河川水の処理にどう評価するか、また、原水中の溶存有機物質等の影響をどう考慮するかについては、今後の検討課題である。

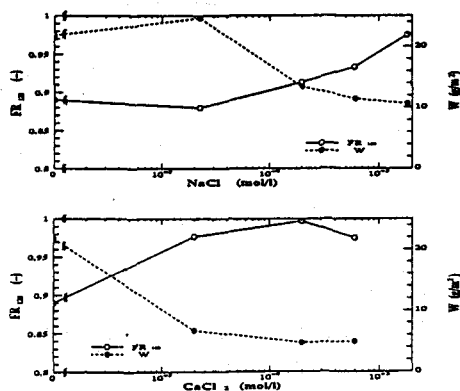


Fig. 2 陽イオン濃度とFR120, W の関係

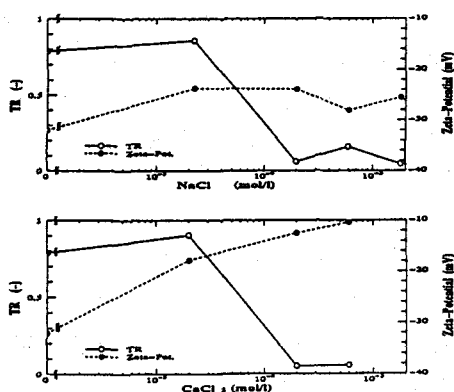


Fig. 3 陽イオン濃度とTR、ゼータ電位の関係

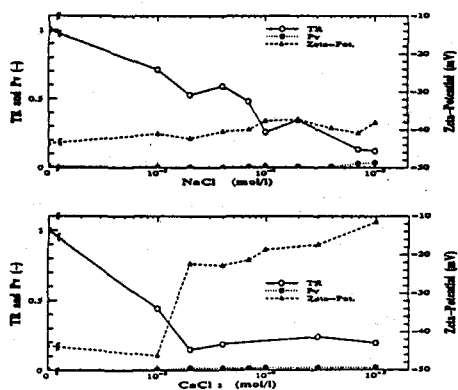


Fig. 4 陽イオン濃度とTR、Pv、ゼータ電位の関係