

VII-34

クロスフロー型膜ろ過における人工濁質の堆積と剥離について

東北大學生員 ○小粥 愛子
 東北大學生員 大野 崇
 東北大正会員 後藤 光亜

1.はじめに

近年、中小規模水道を中心に、膜ろ過処理技術が急速に普及してきている。膜ろ過は一定の大きさ以上の物を取り除くと言う点で有効であるが、取り除かれた物質が膜面に堆積し、抵抗が増加するのが問題である。この堆積物を掃流力により剥離させ、透過抵抗を減少するのにクロスフロー型膜ろ過は効果的であると言われている。しかし、クロスフロー流速と透過流束などの操作因子と、堆積と剥離などのファウリング物質の特性を解析した情報は極めて少ない。

そこで本研究ではクロスフロー流速、透過流束、剥離と堆積の関係について定量的に求めることを目的とし、人工濁質（カオリン）を用いた基礎実験を行った。

2.実験方法

公称平均粒径 $0.6 \mu\text{m}$ のカオリン約 100g を水道水と混ぜミキサーで攪拌した後、50 l となるようタンクに水を入れた。1時間の静置後、タンクの水面より約 30cm 以浅の懸濁液を採水した。ここで、この部分に入っているカオリンはストークスの沈降式により $11.5 \mu\text{m}$ 以下である。これに水道水を加えて 100mg/l のカオリン懸濁液にし人工原水とした。

実験装置を図 1 に示す。濁度計は T1, T2 が高濁度用、T3 は中濁度用、T4 が低濁度用である。また、実験に用いた膜は分画分子量 50000 のラボ用 UF 膜である。中空糸の内径は 0.8mm 、本数は 400 本で、有効膜面積 0.2m^2 であった。ろ過方式は内圧式である。

カオリン懸濁液用タンクに人工原水を入れ、弁 (e) を閉め、デットエンド方式（全量ろ過方式）で透過流束 3m/d による膜ろ過を行い、カオリンを膜面上に堆積させた。ろ過液は懸濁液用タンクに戻し、水量を一定とした。1時間後、弁 (a), (b) により清水（水道水）用タンクに切り替え、膜モジュールまでのパイプおよびポンプ内に残留しているカオリンを膜表面に堆積させた。清水に切り替えた時より、各圧力、流量、濁度および水温のデータをパソコンに記録した。

透過流束を 1 または 3m/d に維持した後、クロスフロー流速を 0.1m/s に調節する。透過流束は弁 (d) によって設定し、クロスフロー流速は弁 (c), (e) によって調節した。その後 5 分間隔でクロスフロー流速を $0.2, 0.4, 0.7, 0.9, 1.1\text{m/s}$ に順次増加させ、最後にクロスフロー流速を 1.1m/s に保ったまま透過流束を 0m/d にし、各条件での剥離量を計測した。

3. 解析方法

今回行った 2 つの実験において、デットエンド方式による膜面上でのカオリンの堆積状態は同一であると仮定する。カオリンの剥離濃度は濁度計 (T3) により測定し、剥離速度は剥離濃度と流量との積によって求めた。累積剥離百分率は実験を通じて剥離する量に対するその時間までに剥離した割合を示している。水温は 12°C でほぼ一

定であったため、クロスフロー流速および透過流束の水温による粘性変化の補正是行わなかった。

4. 結果および考察

図 2 と 3 の b) より、ともにデットエンド方式で膜面上に堆積したカオリン粒子は、清水によるクロスフロー流速 V_c が 0.1m/s 程度でも剥離が生じている。剥離は瞬間にではなく一定期間継続する。 V_c を 0.2m/s に上昇させ掃流力を増加させたにも関わらず、顕著な剥離は起こっていない。これに対し V_c を 0.4m/s に上昇させたとき再び多くの剥離が生じた。以降は V_c を増加させても、顕著な剥離は生じなかった。デットエンド方式ではモジュール内の V_c が極めて小さく、膜面上の最上部付近に堆積したカオリン粒子には大きな付着力が働いていないものと考えられる。したがって V_c が 0.1m/s では、この最上部の緩やかな堆積層が剥離したものと推察される。 V_c が 0.4m/s では掃流力が残った堆積層を押し流す力が付着力より大きくなり、剥離する限界点付近に達し剥離が促進されたものと考えられる。

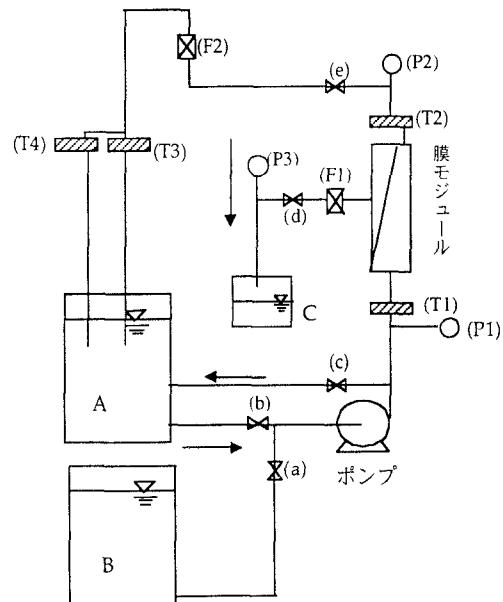


図.1 装置図

- | | | | |
|------------|------------|-------------|--------|
| (a) ~ (e) | 弁 | (P1) ~ (P3) | 圧力計 |
| (F1), (F2) | 流量計 | (T1) ~ (T4) | 濁度計 |
| A | カオリン懸濁液タンク | B | 清水用タンク |
| C | ろ液タンク | | (水道水) |

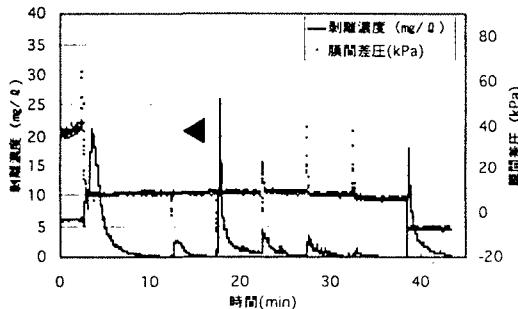
図2より透過流速 J が 1m/d を維持してクロスフローを行った場合 V_c の増加に伴い剥離量が徐々に増加し累積剥離百分率が62%に達し、 J を 0m/d とするとさらに剥離する。クロスフロー型膜ろ過の時にはクロスフローにより生じる膜接線方向の力 F_p と膜が透過する事により生じる膜法線方向の力 F_q が作用する。 J が 0 m/d であれば $F_q=0$ となり、クロスフローによる掃流力のみとなる。

これに対し、 J を 3m/d に維持してクロスフローを行うと V_c が 0.9m/s までは剥離するが、 1.1m/s では剥離が起こらない(図3)。このときまでの累積剥離百分率は24%であり、その後が 3m/d から段階的に 2 m/d に低下させたときはほとんど剥離しないが、 $J=0.5\text{m/d}$ では若干剥離する。さらに J を 0m/d とする

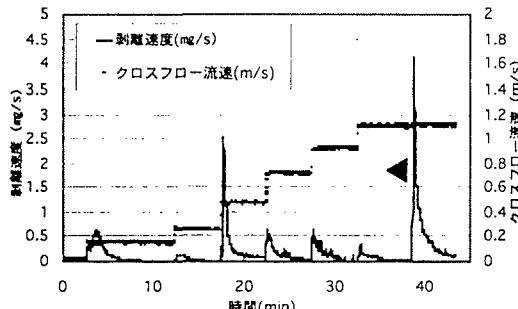
と再び大きな剥離が起き、その剥離量は実際に約7割にもなり、膜法線方向の力 F_q の影響が示された。

5.おわりに

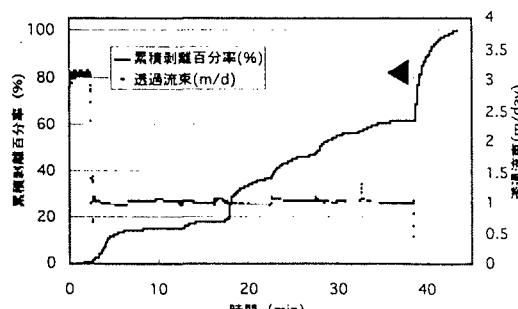
透過流束が存在しないときの剥離は、中空糸膜の伸縮やケーキ層のリラクゼーションの影響など考えられるが、現段階では明らかにはなっていない。透過流束の存在が膜面上に堆積している粒子の付着に対しだけ大きな影響をもつため、膜ろ過操作時の透過弁の開閉や循環ポンプの操作のタイミングが堆積物の剥離現象上、重要である。また特定のクロスフロー流速下では堆積物が多く剥離する限界点の存在が判明した。この限界点は粒子の付着力に依存するものと考えられる。今後は逆流洗浄行程を含め、堆積したケーキ層の剥離過程を検証するとともに、粒子の凝集特性を考慮した検討を進めていく予定である。



a) 剥離濃度と膜間差圧

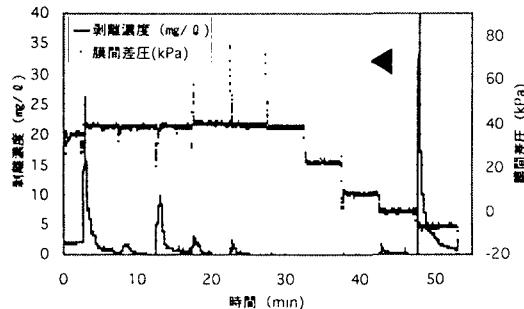


b) 剥離速度とクロスフロー流速

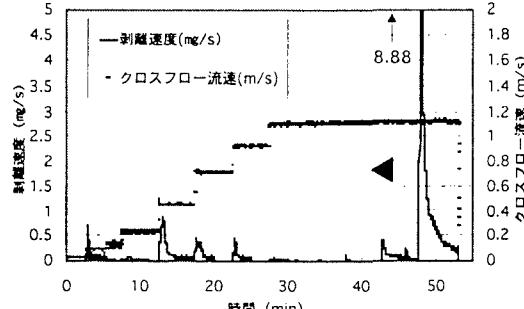


c) 累積剥離百分率と透過流束

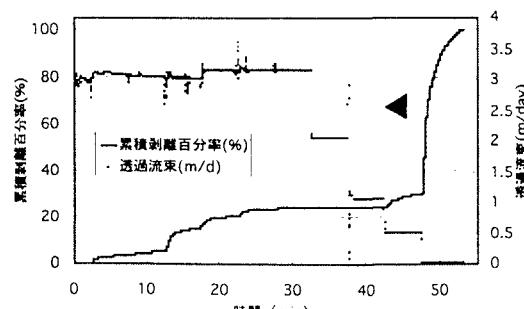
図.2 透過流束が 1m/day の時の諸量の変化



a) 剥離濃度と膜間差圧



b) 剥離速度とクロスフロー流速



c) 累積剥離百分率と透過流束

図.3 透過流束が 3m/day の時の諸量の変化