

## II-390

### 凝集フロックのクロスフロー膜分離 —濾過抵抗，フラックスに及ぼすフロック量の影響—

東京大学大学院 学生員 張 博苒  
東京大学工学部 正 員 山本和夫  
同 正 員 大垣眞一郎

#### 1. はじめに

し尿処理においては、リン、色度等の除去に凝集膜分離が用いられている。今後、浄水や下水処理など様々な分野で膜処理が導入されて来る場合でも、膜単独の処理では限界があり、生物処理や他の物理化学処理との組合せによるハイブリッド化は避けられないと考えられる。その一つに凝集処理との組合せがあるが、その際凝集操作と膜分離との相互作用を明らかにしていく必要がある。本研究では、リン、色度除去を目的とした凝集により生成したフロックの性状、特にフロックの大きさに着目して、クロスフロー濾過過程における濾過抵抗層の形成やフロック性状の変化について調べたものである。

#### 2. 実験方法

クロスフロー濾過実験装置の概略を図1に示す。膜は管状膜で、分画分子量2万のポリスルホン膜（NTU-2020-P2，日東電工社製）を使用した。各実験において膜はすべて新膜を用いた。用いた合成廃水の組成を表1に示す。

Table 1. Composition of artificial wastewater (mg/l)

| Peptone | Nitrohumic acid | tannic acid | Sodium lignine sulfonate | K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> | NaCl |
|---------|-----------------|-------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------|
| 60      | 130             | 100         | 70                       | 1100                            | 900                             | 3000 |

合成廃水の水質は、TOC160mg/l，PO<sub>4</sub>-P400mg/l，pH6.3であった。濾過原水として、合成廃水にジャーテストから求めたリンと色度除去に最適な凝集添加量で凝集剤を加え、フロックを形成させた後、定圧濾過し、フラックスの変化を測定した。濾過水は原水タンクに戻し原水量を一定に保った。凝集剤はAl<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>，添加量は5g/lであった。アルカリ剤として NaHCO<sub>3</sub>を添加し、凝集処理後のpHは6.3であった。SS量の調製は次のように行った。まず、凝集フロック水を所定量とり1時間静置し重力沈降させる。次に上澄水を一定量採取し、そこに沈澱したフロックのうちの所定量を再度加え、段階的にSS量を調製して供試濾過原水とした。従って、全体のSSが少ない場合はフロック性のSSの量が少なく、SSが大きくなるに従って、フロック性のSSが支配的となる。平均操作圧力は、98kPa，水温は25℃，膜面流速は0.55(m/s)に設定した。本実験では、濾過抵抗モデルとして次式を用いた。

$$J = P / \eta (R_m + \Delta R) \quad \Delta R = R_p + R_g + R_c$$

ここに、Jは透過フラックス、Pは操作圧力、 $\eta$ は溶媒の粘度、R<sub>m</sub>は膜の抵抗、R<sub>g</sub>はゲル層の抵抗、R<sub>p</sub>は膜内部の目詰まりによる抵抗、R<sub>c</sub>はケーキ層の抵抗である。膜自体の抵抗R<sub>m</sub>は純水の透過フラックスより求めた。R<sub>p</sub>+R<sub>g</sub>は実験終了後、膜を水洗した後の純水の透過フラックスより求めた。

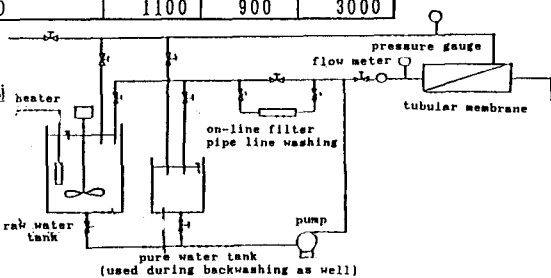


Fig.1 Scheme of experimental equipment

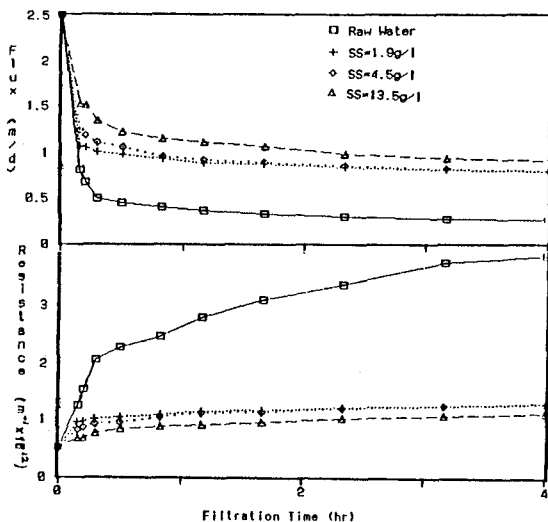


Fig.2 Effect of SS on flux and resistance

### 3. 実験結果および考察

フラックスと濾過抵抗の経時変化をFig. 2に示す。凝集剤無添加の場合に比べて、凝集剤を添加することによって、濾過抵抗も少なくフラックスも高くなっている。これは、膜を詰まらせるような水中の溶存物質がフロック化しケーキ層を形成し、かえって膜表面でのゲル層の生成或は膜内部の目詰まりが抑制されたためと考えられる。また、SS量が大きいとフラックス値も高く、抵抗の増加も抑制されるという結果となっている。Fig. 2の濾過抵抗の内訳をFig. 3に示す。SS量の増加とともに、 $R_c$ の全抵抗に占める比率が増加し、 $R_p + R_g$ の全抵抗に占める比率が減少している。この結果から、SS量が大きいとケーキ層形成が促進され、そのことが逆に膜内部の目詰まりの抑制につながったと考えられる。またケーキ層抵抗の値がSSの増加と共に減少しているのは、本実験ではSSの増加はフロッグ性のSSの増加を意味し、形成されたケーキ層の構造が粗くなり抵抗値そのものは減少したためと考えられる。

クロスフロー循環濾過継続時のフロッグ性状の変化を調べる実験を50Lの濾過原水を用いて行った。濾過開始時から2時間毎に所定量の濾過原水を採取し、1時間静置後のフロッグ沈澱堆積量を測定し、開始直後のその値との比率を求めた。結果をFig. 4に示す。濾過継続時間の増加とともに沈澱フロッグ堆積量も減少した。この現象から、形成したフロッグは濾過とともに循環ポンプによるせん断力で破壊され、沈澱性の悪いSSに変化して行ったと考えられる。また、SSの増加と共に、沈澱堆積量比の減少率が低下した。これは、SSの高いほうが初期凝集フロッグ量が多いため、一度ポンプで破壊されても原水 tank での緩やかな攪はんによりフロッグの再形成が起こったためではないかと考えられる。

濾過初期の濾過抵抗層の形成過程と構造を調べるために、濾過開始後10min, 20min, 40min, 60minまでの濾過実験をそれぞれ新膜を用いて行った。フラックスと抵抗の経時変化をFig. 5に示す。その抵抗の内訳をFig. 6に示す。SSが同じ場合、各新膜を用いた濾過の挙動はほぼ同じで、その意味で濾過の再現性は高い。Fig. 3と併せて考えると、 $R_c$ は継続的に増加するが、濾過1時間の中で $R_p + R_g$ の値は頭打ちとなるようである。これも、ケーキ層の形成により膜表面或は内部での目詰まりが抑制された結果と考えられる。

今後、フロッグの粒径分布やクロスフロー濾過過程における粒径分布の変化に着目して、濾過抵抗層の形成過程に関わる現象をさらに解明して行く必要がある。

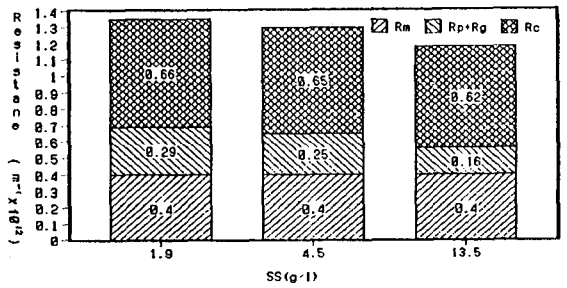


Fig. 3 Comparison of Resistance

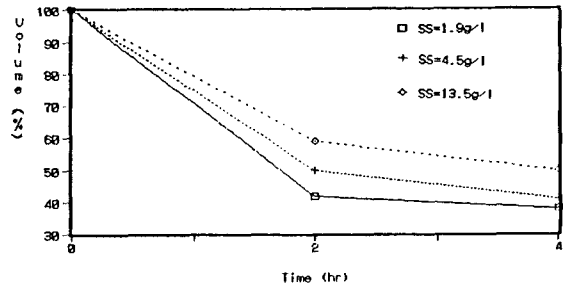


Fig. 4 Change in Volume of Floc

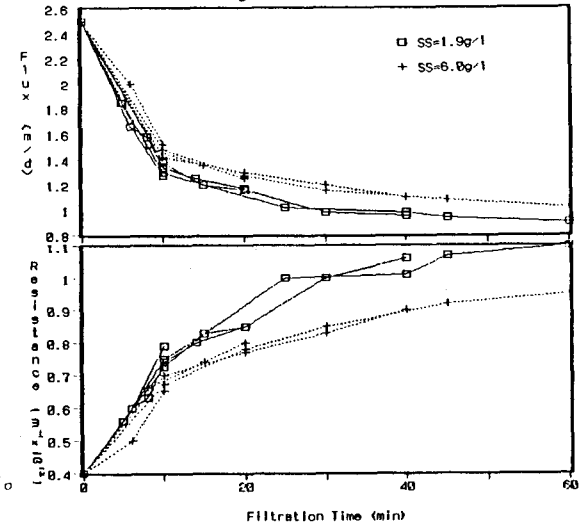


Fig. 5 Relationship of flux & R with time

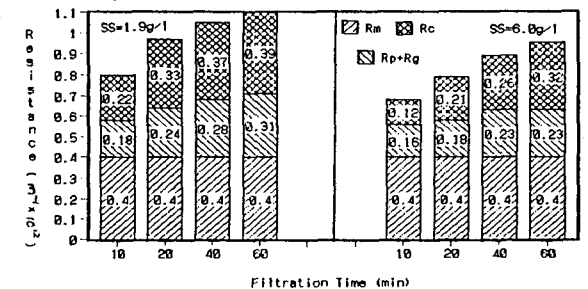


Fig. 6 Comparison of Resistance