

II-398

活性汚泥混合液の膜分離—透水速度に及ぼす汚泥濃度の影響

東京大学工学部 正員 山本和夫 ○浅見恵一 松尾友矩

1. はじめに 活性汚泥混合液を直接膜ろ過する場合、膜の透水性能が著しく低下することが知られている。膜面上の透水抵抗の増加（濃度分極、ゲル層の形成或は生物スライムの付着によると考えられる）と膜内微細孔の目詰まりがその原因として挙げられ、そのような状態での実際の透水性能を明らかにしていく必要がある。本研究は、平膜の限外ろ過膜を用いた場合の透水速度に及ぼすMLSSの影響及び使用済み膜の透水性能、分画性能を調べたものである。

2. 実験装置と方法 実験装置の概略を図1に示す。20℃の恒温水槽中の容器に所定の濃度にした活性汚泥混合液を約2L入れ、循環ポンプを用い混合液を膜モジュールに送り循環させ、吸引ポンプにより膜透過水を得た。実際の水温は $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の範囲であった。汚泥槽は好気条件の維持と攪はんのため曝気を行い、また汚泥濃度を一定に保つため膜透過水は全量汚泥槽に戻した。膜透過側出口と循環流出口の圧力差により膜面にかかる圧力（差圧）を算出した。膜はドーナツ状にくり抜かれてモジュール内上面に付いており、材質はポリスルホン、公称分画分子量100万のものをを用いた。モジュール内はスターラーで攪はんを行い、その回転数19rpsとした一定の攪はん条件下で実験を行った。供試活性汚泥は、グルコース、ペプトンを主成分とした基質を用い Fill & draw方式で馴養した活性汚泥を所定の濃度に希釈或は濃縮したものをを用いた。高濃度活性汚泥法での低圧吸引ろ過を想定したためMLSSは4,200~55,000mg/L、差圧は $1\text{Kg}/\text{cm}^2$ 以下で実験を行った。

膜は一定時間の蒸留水による洗浄操作後に混合液のろ過を開始し、透水速度の時間変化を求め安定した所を平衡時の透水速度とした。汚泥の粘度は、回転粘度計を用いて 20°C で円筒回転数を4段階に上昇させた時の流動曲線から算出した。膜の分画特性を調べるためゲルろ過を行ったが、ゲルはSephacryl-300(Pharmacia)、溶離液は $0.05\text{M KH}_2\text{PO}_4$, 0.1M NaCl , 0.02% NaN_3 を含みpH7.5に調製したものをを用いた。

3. 実験結果と考察 図2に混合液ろ過開始からの透水速度の時間変化例を示す。 $0.2\text{Kg}/\text{cm}^2$ 程度の低圧では実験開始直後から透水速度はほぼ安定していた。むしろ若干増加する傾向が認められたが、それはある平衡状態に達するまで差圧が実験開始時より上昇した結果であると考えられる。差圧が $0.8 \sim 0.9\text{Kg}/\text{cm}^2$ の場合はMLSS濃度が低い程初期の透水速度減少が大きかった。いずれの場合も4~6時間後には透水速度は一定となった。図3に平衡時の透水速度と差圧の関係を示す。MLSSが存在する場合、差圧と透水速度は比例せず圧力の増加とともに透水速度は頭打ちとなっている。圧力が増加すると膜面上の透水抵抗層の圧密或は層厚そのものの増加が起きるためと考えられる。MLSS 4~

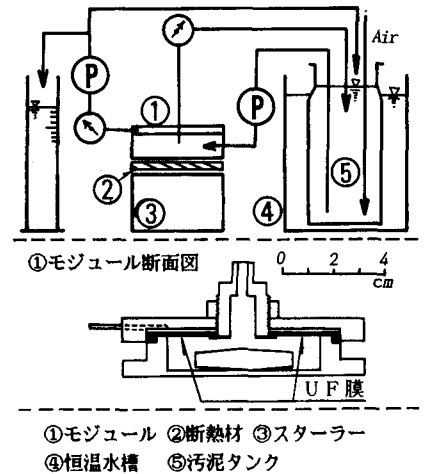


図1, 実験装置図

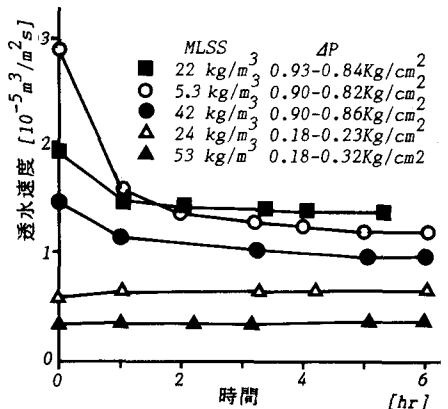


図2, 透水速度の時間変化

表1 新膜, 使用済み膜の透水性能

分画分子量	使用水	使用状態	膜抵抗 R_m 10^{12}m^{-1}
100万	純水	新膜①	0.54
"	水道水	新膜②	0.91
"	蒸留水	使用済③	3.0
"	蒸留水	使用済④	3.3
5万	純水	新膜	2.2
1万	純水	新膜	7.0

(注) ①~④は図3, 本文中の説明に対応。純水とはイオン交換+蒸留。膜の材質は全てポリスルホン。

24kg/m³の範囲では、透水速度に対するMLSSの影響は殆どなく、40kg/m³を越えると透水速度が低下するようである。図3中の実線①，②はそれぞれ新膜での純水（イオン交換+蒸留）と水道水を使用した場合の透水速度—差圧の関係である。水道水の場合、透水速度は新膜純水使用時の59%と低下し、また一度水道水を使用した膜での純水透水速度は新膜の72%までしか回復しなかったことから、水道水中の微量物質による膜内微細孔の目詰まりが生じた可能性がある。実線③，④は、それぞれMLSS 6kg/m³，55kg/m³での実験終了後に水道水で洗浄を行った膜の蒸留水透水速度—差圧の関係であり、MLSSが存在する系での膜そのものの透水性能を示すものである。新膜の場合と比べ透水性能の劣化が顕著であり、これも膜の圧密や微細孔の目詰まりが原因と考えられる。本実験は同一膜を使用し膜の交換はせずにMLSSを低濃度から高濃度の変化させていったため、③は実験初期、④は実験後期と使用履歴の異なる段階の結果であるが、④で若干透水性能が劣化したものの大きな違いは生じなかった。従って微細孔の目詰まり等はMLSSを負荷したかなり初期の段階で生じ、その後はあまり進行しないといえよう。表1に次式から求められる膜抵抗値をまとめて示す。

$$J = \Delta P / \mu R_m$$

ここに、Jは透水速度、 ΔP は差圧、 μ は粘性係数、 R_m は膜抵抗である。表1中には分画分子量1万と5万の限外ろ過膜の結果も示してある。本実験で使用した分画分子量100万の使用済み膜は、透水性能からは分画分子量1万と5万の間の新膜に相当するといえる。図4は、その使用済み膜の分画性能を示すゲルクロマトグラムである。原水中（膜透過前）の分配係数 $K_{av} = 0.3 \sim 0.4$ のピークは分子量4～5万のアルブミンであり、膜によりほぼ完全に阻止されている。 $K_{av} \geq 0.5$ のピークは分子量1万以下の物質と推定され、透過水側へのリークが認められるが、それでも膜でかなりの量が阻止されている。図5はMLSSと汚泥の粘度及び透水速度の関係をもとめたものである。粘度はMLSS55kg/m³での値を基準とした比として、また透水速度は同一圧力下の蒸留水透水速度との比を用いてプロットしてある。差圧0.2kg/cm²でMLSS20kg/m³程度までは蒸留水透水速度との比は1に近く、膜面上に形成される透水抵抗層の影響はあまりみられない。差圧が0.9kg/cm²と増加すると、透水速度比が0.5以下となり膜面上の透水抵抗層の存在が透水性能を大きく左右するようである。いずれの場合も、汚泥の粘性が急激に上昇するMLSSが40kg/m³以上では、透水速度が大きく低下していることがこの図からわかる。

4. まとめ MLSS 4,000～24,000 mg/Lの範囲では、透水速度は汚泥濃度に殆ど影響されなかった。汚泥の粘性が急激に増加するMLSS 40,000 mg/L以上では、透水速度が低下した。使用済み膜の透水性能は劣化しており、分画分子量100万の使用済み膜の透水性能は分画分子量数万の新膜と同等であった。また分子量数万の物質をほぼ完全に阻止しており、膜自体の分画性能も大きく変化することがわかった。

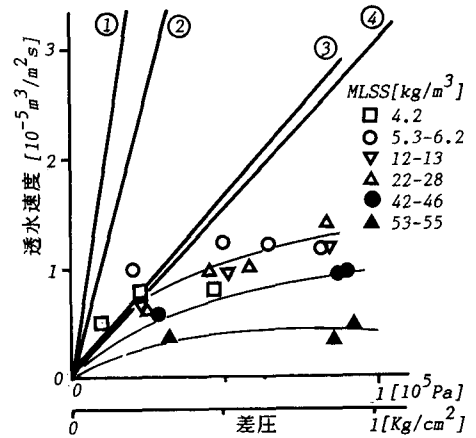


図3 透水速度と差圧の関係
[图中 ①純水(新膜) ②水道水(新膜)
③,④蒸留水(使用済)で本文中の
説明参照]

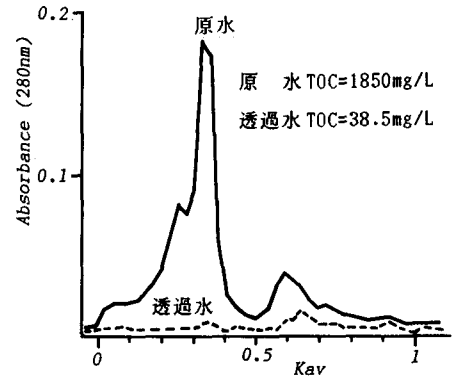


図4 使用済み膜のゲルクロマトグラム

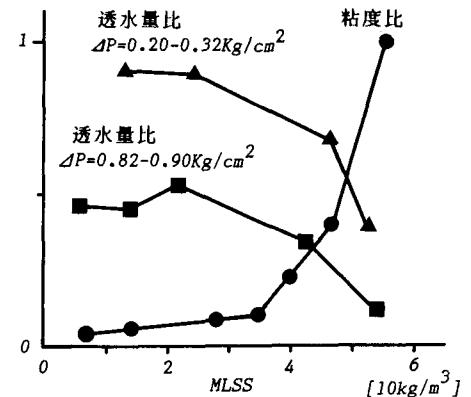


図5 透水速度に及ぼすMLSSの影響