

内圧クロスフロー型中空糸膜ろ過における 中空糸有効内径の測定

岐阜大学 正員 湯浅 晶・松井佳彦
岐阜大学 学生員 加藤玄俊・鳥居久義
住友重機械工業(株) 江川 健

1 序論

膜ろ過プロセスを浄水処理の固液分離に適用する場合、一定の膜透過性能が長期間維持されることが望ましい。しかし、実際には原水中の懸濁物質などが膜面に付着・堆積して、膜の閉塞が生じる。膜が閉塞していく速度は、膜透過流速や逆流洗浄条件、クロスフロー流速などの運転条件に影響を与えるので、膜の閉塞状態を常に把握することが必要である。

本研究では、クロスフロー方式による内圧式中空糸 UF 膜ろ過プラントにおいて、膜モジュールの入口と出口での圧力差から、中空糸有効内径(クロスフロー流路の内径)を測定することを試みた。

2 実験

2.1 実験概要

実験は岐阜県可茂用水道事務所山之上浄水場内に設置した UF 膜ろ過パイロットプラントにおいて、新品の膜モジュールを用いて行った。膜モジュールの特性(公称)を表 1 に示す。パイロットプラントのろ過フローを図 1 に示す。原水は一定流量に制御された原水供給ポンプにより UF 膜モジュールを組み込んだ循環ループに圧送され、中空糸 UF 膜の内側から外側へろ過される。クロスフロー流量は循環ポンプにより制御される。本実験の原水として水道水を用いた。

ろ過流量を $0.45\text{m}^3/\text{h}$ に設定した場合ろ過を行わない(ろ過流量 $0\text{m}^3/\text{h}$) 場合の各々について、循環流量を $1.0\sim 1.5\text{m}^3/\text{h}$ の間で数段階に設定し、クロスフロー圧力損失(クロスフロー流路の圧力損失)を計測した。

2.2 圧力損失の測定

モジュール流入前の圧力(P1)と流出後の圧力(P2)を測定するとともに、この2点間の差圧 ΔP を精密差圧計を用いて測定した。この差圧 ΔP は中空糸クロスフロー流路による圧力損失 ΔP_{CF} とそれ以外の場所における圧力損失 $\Sigma\Delta P'$ を含んでいる。中空糸クロスフロー流路以外に圧力測定点と膜モジュールケーシング間の塩ビ管流路(直管およびエルボ)、ケーシング入口と出口の間の漸拡部と漸縮部、モジュール入口と出口の急縮部と急拡部、その他管路変形部における圧力損失を水理公式集に基づいて計算した。これらの圧力損失の合計 $\Sigma\Delta P'$ を用いて中空糸クロスフロー流路の圧力損失 ΔP_{CF} を求めた。

$$\Delta P_{CF} = \Delta P - \Sigma\Delta P' \quad (1)$$

2.3 中空糸有効内径の算出

実験中、水温は 20°C 以下、クロスフロー流速は 1.0m/s 以下、中空糸内径は 0.93mm (公称)以下であった。この値を用いてレイノルズ数を計算すると最大でも 920 であり、中空糸内の流れは層流であることが分かる。このため、中空糸有効内径はクロスフロー圧力損失からハーゲン・ポアズイユの式を用いて計算した。

$$d = \left(\frac{128\mu L Q}{\pi \Delta P_{CF} n} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (2)$$

ここで、 d は中空糸有効内径(m)、 μ は粘性係数($\text{Pa}\cdot\text{s}$)、 L は中空糸全長(m)、 Q は中空糸内クロスフロー平均流量(m^3/s)、 ΔP_{CF} はクロスフロー圧力損失(Pa)、 n は中空糸の本数である。

3 結果

ろ過流量を $0\text{m}^3/\text{h}$ に設定した場合の圧力の測定結果と計算結果を表 2 に示す。循環流量が大きくなると、いずれの圧力損失も大きくなるが、クロスフロー流路以外の圧力損失の合計 $\Sigma\Delta P'$ が全差圧 ΔP に占める割合は $1\sim 3\%$ にとどまった。

図3は計算した中空糸有効内径と循環流量との関係を示す。ろ過に関わらず中空糸有効内径は $0.89\pm0.01\text{mm}$ と算出され、公称の内径(0.93mm)より小さいことが示された。

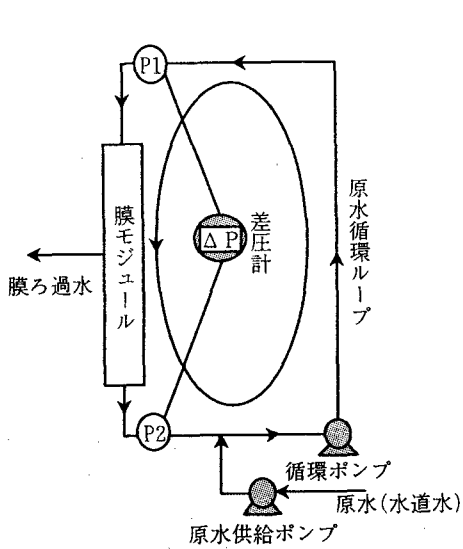


図1 パイロットプラントのろ過フロー

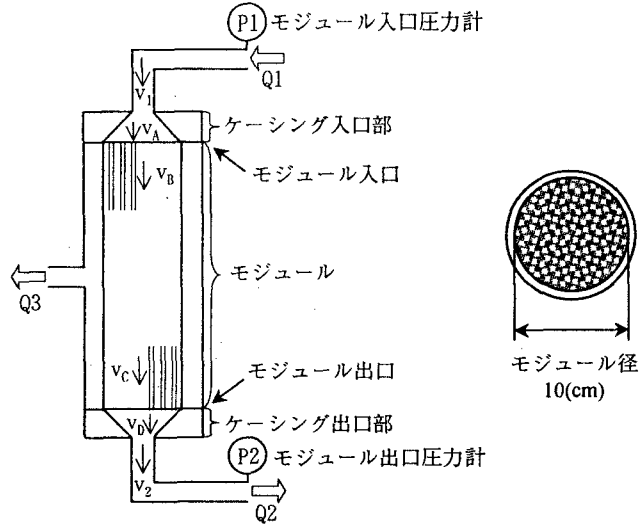


図2 モジュール出入口付近の形状

表1 UF膜モジュールの特性

膜材質	酢酸セルロース
排除分子量	100,000(Dalton)
モジュール長	130(cm)
モジュール径	10(cm)
中空糸全長/有効長	130(cm)/120(cm)
中空糸外径/内径	1.67(mm)/0.93(mm)
中空糸本数	2060本
膜ろ過面積	7.2(m ²)
初期透過性能 (純水20℃)	0.25(m/h/100kPa)

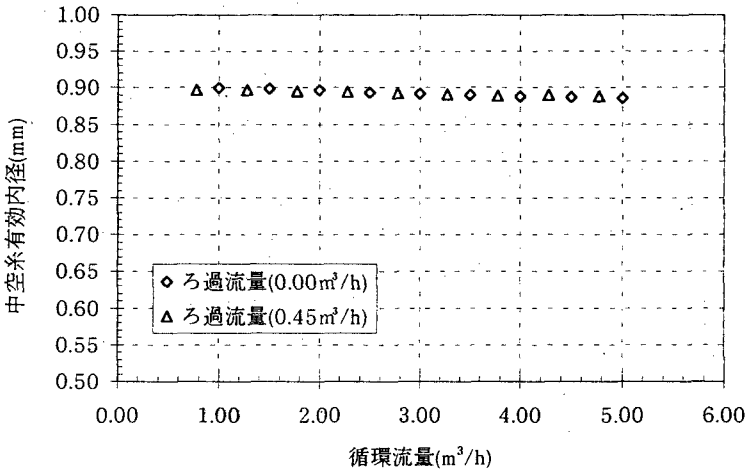


図3 循環流量と中空糸有効内径

表2 圧力損失測定結果 (ろ過流量 $0.00\text{m}^3/\text{h}$ に設定した場合)

循環流量 m^3/h	中空糸クロスフロー流路以外の圧力損失(計算値)							差圧計 測定値 ΔP kPa	クロスフロー 圧力損失 ΔP_{CF} kPa	中空糸 有効内径 d mm
	塩ビ管路 直線部	塩ビ管路 直角部	ケーシング 入口漸拡	モジュール 入口急縮	モジュール 出口急拡	塩ビ管路 変形部	合計			
	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	$\Sigma \Delta P'$ kPa			
5.00	0.42	0.37	0.56	0.20	0.33	0.03	1.91	65.21	63.30	0.885
4.50	0.35	0.30	0.46	0.16	0.27	0.03	1.56	58.58	57.02	0.887
4.00	0.29	0.23	0.36	0.13	0.21	0.02	1.24	52.05	50.81	0.888
3.50	0.23	0.18	0.28	0.10	0.16	0.02	0.96	45.28	44.32	0.890
3.00	0.17	0.13	0.20	0.07	0.12	0.01	0.71	38.67	37.96	0.892
2.50	0.13	0.09	0.14	0.05	0.08	0.01	0.50	32.11	31.61	0.894
2.00	0.09	0.06	0.09	0.03	0.05	0.01	0.32	25.42	25.10	0.896
1.50	0.05	0.03	0.05	0.02	0.03	0.00	0.19	18.97	18.78	0.899
1.00	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.08	12.58	12.50	0.900