キャンドル フィルタによる恒率濾過について*

(昭和31年9月24日受理) 会 員 松 本 庄 平**

〃 安 井 時 康

〃 小 出 晃

→ 摘 要 ←

研 究 目 的

恒率濾過の一般式を求め、キャンドル フィルタ濾過に関連した諸事項を明らかにした。

研 究 結 果

(1) 恒率濾過の一般式は $P = P_0 e^{k(t-T_0)}$

であらわせ、ビスコース濾過にも適用される。

(2) 係数 k は恒率濾過初期、すなわち第一層成形時期においては、原液が同一でも濾布の性質に影響を受ける。濾塊の沈積が進むと、濾布の性質に無関係となり、濾塊の種類および性質により定まる。

(3) キャンドル フィルタの取扱上、普通差圧 $2 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$ 以上では、フィルタの存在は無益となり、濾液は著しく混濁度を増す。

(4) 濾布の性質が同一であれば、キャンドル フィルタでは起毛されたものが推称される。

1. 緒 言

工業的濾過には、恒圧濾過と恒率濾過とがある。一般に広く行われているのは前者で、その報文は多いが、後者のそれはあまり見当たらない。

本研究ではモデル ケースとして、ビスコースの代りに特殊の油を用い、濾塊として炭酸カルシウム粉末を投入し、キャンドル フィルタで恒率濾過を行い、濾過式を求め、濾過に関連した諸事項を明らかにした。

2. 理 論

濾布は毛細管が並列になっていると考え、毛細管の半径 R 、毛細管の長さ L 、毛細管の数 N 、構造粘性係数 a 、差圧力 P 、粘度 μ 、時間 t における濾過量 Q とする。

Hagen-Poiseuille によれば

$$\frac{dQ}{dt} = \left(\frac{PR}{2L} \right)^a \frac{\pi R^3}{(a+3)\mu} N \dots\dots\dots (1)$$

恒率濾過の場合

$$\frac{dQ}{dt} = S_0 = \text{一定}$$

(1) 式は

$$P = R^{-3+a/a} N^{-1/a} L \left(\frac{S_0}{a} \right)^{1/a} \dots\dots\dots (2)$$

ただし

$$a = \frac{\pi}{2^a (a+3) \mu}$$

となる。

濾過の進行につれて、濾塊により毛細管の半径 R 、毛細管の数 N は減少し、毛細管の長さ L は大きくなって、圧力 P は増大する。

時間 T_0 における毛細管の半径を R_0 、時間 t における半径の減少を r とすれば、毛細管の中心に向っての減少速度は

$$\frac{dr}{dt} = K_1 (R_0 - r) \dots\dots\dots (3)$$

$$\therefore R_0 - r = R_0 e^{-K_1(t-T_0)} \dots\dots\dots (4)$$

時間 T_0 における毛細管の数を N_0 、濾塊のために、時間 t で n 個ふさがると仮定すれば、目ふさがりは

$$\frac{dn}{dt} = K_2 (N_0 - n) \dots\dots\dots (5)$$

$$\therefore N_0 - n = N_0 e^{-K_2(t-T_0)} \dots\dots\dots (6)$$

同様に毛細管の長さについて、時間 T_0 における毛細管の長さ L_0 、時間 t で長さ l だけ増加すると仮定すれば、その増加速度は

* A Study on the Constant Volume Filtering by Candle Filter.

** S. Matsumoto, T. Yasui, A. Koide, Member. 京都工芸繊維大学

$\frac{dl}{dt} = K_3(L_0 + l) \dots\dots\dots (7)$

$\therefore L_0 + l = L_0 e^{K_3(t-T_0)} \dots\dots\dots (8)$

Hagen-Poiseuille の式で毛細管の半径 R , 毛細管の
数 N , 毛細管の長さ L が一緒に変化するとして, (2)
に (4), (6), (8) を代入すれば

$P = P_0 e^{\left\{ K_1 \frac{3+a}{a} + K_2 \frac{1}{a} + K_3 \right\} \{t-T_0\}}$

ただし, T_0 における圧力を P_0 とすれば

$P_0 = R_0^{-\frac{3+a}{a}} N_0^{-\frac{1}{a}} L_0 [S_0/k]^{\frac{1}{a}}$

よって

$P = P_0 e^{k(t-T_0)} \dots\dots\dots (9)$

$k = \frac{K_1(3+a)}{a} + \frac{K_2}{a} + K_3 \dots\dots\dots (10)$

(9) は恒率濾過の一般式である.

(10) の係数 k を適当に取ると, 実験結果と一致する.

滝沢氏は小型ノズルホルダに, 金巾 S 3618 晒 3 枚を用
いて, ビスコースを濾過し, 結論式として (10) と類似
の式を提案している.

3. 実 験

(1) 実験材料

本実験に使用する原液は, 20°C において, ビスコ
ース粘度と等しい紡糸用ギャポン試験液(シリンダ油
51.4%, 単独粘度 43 960 sec レットウッド粘度, マシ
ン油 48.6%, 単独粘度 700 sec レットウッド粘度を混

合したもので, 20°C において 4 450 sec レットウッド
粘度)を用いた. 試験油に混入する濾塊には, 第 1 表に
示す炭酸カルシウムの粉末を用い, 重量比 1%混入して
実験を行った.

(第 1 表)

炭酸カルシウム粉末の大きさ	重量比混合割合(%)
150~200 メッシュ	65.8
250 メッシュ以上	34.2

濾布としては次の 5 種類, すなわち 1) ビニロン片
面起毛ネル A, 2) ナイロン片面起毛ネル B, 3) ナイ
ロン 501-A, 4) ナイロン 501-B, 5) ナイロン 9A
を使い, その組織は第 2 表に示す.

(2) 実験装置

第 1 図に示すごとく, タンク A, 攪拌器 B, ギャ
ポンプ支持金具 C, ギャポンプ D, 圧力計 E, キャンド
ルフィルタ F, モータ G, プーリ H, ウォームホイ
ール I, 歯車 J, 回転計 K からなっている装置を使っ
た.

試験液は十分に攪拌してタンク A に注入し, 実験中
攪拌器 B にて絶えず攪拌して, 重力給油法により, ギ
ャポンプ D に供給される. ギャポンプは 14.8 r.p.m.
で定速運転される. 予備実験の結果, 内外の圧力差 1 ~
5 kg/cm² の間では, ギャポンプは 0.72 cc/rev の吐
出量不変である. キャンドルフィルタ入口側の圧力は

(第 2 表)

布 名	経 緯	糸 の 種 類	糸の捻数 (t/m)		糸の太さ (den)	組 織	織物密度 (本/cm)	厚 さ (mm)
			上 捻	下 捻				
ビニロン 片面起毛 A	経 緯	ビニロンフィラメント双糸	250 S	200 S 200 Z	260	2/2 綾織	32	0.66
		ビニロン スフ糸双糸	680 S	400 S 400 Z	10's		24	
ナイロン 片面起毛 B	経(1)	ナイロンフィラメント双糸	400 S	400 Z 400 S	500	綾 織	8	0.64
	経(2)	ナイロンフィラメント双糸	800 Z	400 Z 400 S	220		40	
	緯	ナイロンフィラメント単糸		520 S	110		22	
ナイロン 501-A	経	ナイロンフィラメント双糸	420 S	300 S 300 Z	140	平 織	40	0.29
	緯	ナイロンフィラメント双糸	600 S	300 S 300 Z	140		25	
ナイロン 501-B	経	ナイロンフィラメント単糸		300 S	250	畦 織	66	0.29
	緯	ナイロンフィラメント単糸		50 S	250		28	
ナイロン 9 A	経	ナイロンフィラメント単糸		200 S	250	3/2 綾織	66	0.54
	緯	ナイロンフィラメント単糸		50 S	210		26

(第 1 図)

(第 2 図)

(第 3 図)

圧力計 E で測定される。圧力計の読みの精度は 0.05 kg/cm^2 。

次にキャンドル フィルタの濾布の取付方法は第 2 図

のごとくである。キャンドル フィルタの濾布の経糸が円周方向になるように三重に巻きつけ、布の重ね目を 1 cm にした。三重に巻いた濾布上を、レーヨン タイヤコードでフィルタの溝 A にて 3 回巻締め、溝 B に向って一定ピッチにて 5 巻し、溝 B において同様に 3 回巻締め、更に A の方向に 5 巻する。両端からの液の湧出を防止するために、針金で A, B 溝で 1 回強く巻締める。以上により、1) $P-t$, 2) 濾液の顕微鏡観察、3) 濾布の膨張等を記録した。

4. 実験結果

(1) $\log P-t$ 図

第 3 図は数回の実験結果のうちの一例で、他のものの $\log P-t$ 線の傾斜は、いずれもほとんど平行であるが、 0.2 kg/cm^2 の起点は前後にずれている。この図により (10) 式は、恒率濾過に適用できることが確認できる。傾斜の急な直線部は、極くうすく濾塊が成層される時期と考えられ、すなわちこれが第一層成形時期である。傾斜のゆるやかな直線部は、第一層の上に更に濾塊が沈積し、層が厚くなり、圧力は急激に高まって行く時期である。

第一層成形の係数 k を求めると第 3 表のごとくなる。ただし $P_0 = 0.2 \text{ kg/cm}^2$, T_0 はそれに応ずる時間とする。ナイロン 501-B のみ $P_0 = 0.4 \text{ kg/cm}^2$ 。

(第 3 表)

	ビニロン 起毛	ナイロン 起毛	ナイロン 501-A	ナイロン 501-B	ナイロン 9A
k	0.05971	0.06666	0.06409	0.08962	0.09704

織物の性量 (第 1 表) 及び、開孔 (第 5 表) はビニロン起毛、ナイロン起毛及びナイロン 501-A においては大同小異で、したがって係数 k 及び 0.2 kg/cm^2 の時期も、その性量の順で大体類似している。(第 1 表で各濾布条件がまちまちで性量を厳密に定量的に比較するのは困難である。しかし主観的に、より数、den 数、特に織物密度が k に影響を及ぼすことが考えられる)

ナイロン 501-B、ナイロン 9A は、その性量の示すごとく、空隙が少ないこと、及び開孔はナイロン 501-B では著しく小さく、ナイロン 9A は開孔が比較的多いことが、前 3 者と比べて $\log P-t$ 線が著しく偏奇している理由である。

第二層以下の係数を求めると第 4 表となる。ただし各濾布の変曲点の圧力を P_0 、それに応ずる時間を T_0 とする。

第 4 表の係数 k は濾塊が厚く沈積すると、濾塊そのも

(第 4 表)

	ビニロン 起 毛	ナイロン 起 毛	ナイロン 501-A	ナイロン 501-B	ナイロン 9 A
k	0.02607	0.02767	0.02528	0.02585	0.04718

の性質に主として依存し、濾布の影響はなくなる傾向がある。

結局恒率濾過の $P-t$ 線図においては、変曲点がありその低圧側は濾布の影響を受け、高圧側は濾塊の性質によって定まる。

ビスコースに関する実験は、すべて^{1,2)} $1.2 \sim 1.3 \text{ kg/cm}^2$ までのデータで、変曲点より低圧側であり、高圧にいたるまでの資料はない。しかし濾塊が厚く沈積すると初期濾過と異なって、濾布の影響が少なくなり、沈澱物そのものが濾過の主役を演ずると考えるのは妥当である。恒圧濾過では、しばしば濾布の影響は一般に、全濾過に対して一小部分であるから、これを無視して問題を解く場合が多い。³⁾ このことは、濾過が進むと一般に濾材の影響がなくなっていくからである。

かく考えると上述の結論は一般化され、ビスコースにも適用できると推定される。

(2) 濾布の開孔 (膨張)

フィルタに巻かれた濾布は、内圧の上昇により膨張しその結果織物の糸と糸との間隙を増大し、すなわち開孔して、その度合は初期濾過に影響する。第4図は圧力と径の増加の度合をあらわし、第5表はその100分率である。

(第 5 表)

	ビニロン 起 毛	ナイロン 起 毛	ナイロン 501-A	ナイロン 501-B	ナイロン 9 A
1 kg/cm^2	3.5%	3.6%	3.3%	2.5%	4.1%
2 kg/cm^2	5.4%	6.5%	5.4%	4.8%	5.1%

(3) 濾過液の粒子数

圧力と濾過液中の濾塊粒子数との関係は、顕微鏡で粒子数を読んだ結果を第6表に示す。表中(大)は444倍の顕微鏡で見たとき $2 \sim 3.5 \text{ mm}$, (小)はそれ以下の大きさのものである。

湧出時の濾過液中の粒子数は著しく多量であるが、第一層が成形されるにつれ、これは減少し、圧力差 $2 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$ で最小となり、以後圧力上昇と共に再び粒子数は増大する。

恒圧濾過では濾塊が沈積するにつれ、一般に濾液の清澄度は増す。恒率濾過でも同一傾向であるはずである。ところが A, B 溝の針金を取り除いて実験すると、差圧 $2 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$ になると、濾過液は原液とほとんど同様に、多数の不純物を含む。これは第5図のごとく A, B の締付部を上方、及び下方に向かって原液は濾過されず、そのまま流出するからである。針金を強く締めると

(第 5 図)

(第 6 表)

圧力 (kg/cm ²)		湧 出 時		1		2		3		4		5	
粒 度		小	大	小	大	小	大	小	大	小	大	小	大
布 名													
ビニロン 起 毛		16	1	14	0	11	0	7	0	5	0	15	0
ナイロン 起 毛		13	1	13	0	10	0	10	0	8	0	14	0
ナイロン501-A		14	5	7	0	8	0	7	0				
ナイロン501-B		14	5	8	0	4	0	9	0	10	0		
ナイロン 9 A		12	2	12	0	9	0	11	0	11	1	25	0

第1巻(内) 第2巻(中間) 第3巻(外)

ビニロン
片面起毛
A ナイロン
片面起毛
B ナイロン
501-A ナイロン
501-B ナイロン
9A

(第 6 図)

3 kg/cm² 程度まではこの湧出はなくなり、頂部に液のたまりは殆んどない。

結局キャンドル フィルタは、差圧 2~3 kg/cm² までが存在価値がある。たとえ濾布の締付方法を改良しても、それ以上の圧力では濾液は混濁度を増す。

(4) 濾塊の付着面積

試験液が濾布の1巻目で濾過されず、重ね目から2巻目に流入する場合があるが、この流入によって2巻目に付着した濾塊の付着面積を第6図に示す。図において左方の黒い部分は、1巻目での濾塊の沈積をあらわし、中央は布の2巻目で、その黒い部分は濾塊の沈積を示している。

第7図に示すごとくナイロン 501-B が最も多く、次いでナイロン 501-A が多い。これに反しビニロン起毛、ナイロン起毛はほとんど沈積していない。このように布の重ね目からの液の流出は、面の平滑な織物は多く、起毛したものは少ない。したがって面の平滑な織物は、原液が重ね目より濾液に浸出する危険が多分にあるといえよう。

参考文献

- 1) 滝沢, 他 2 名: ビスコース濾過に関する研究, (第4報), 織学誌, 10, 6, P. 246.
- 2) 滝沢, 他 2 名: ビスコース濾過に関する研究, (第3報), 織学誌, 10, 2, P. 46.
- 3) 亀井: 化学機械の理論と計算 (昭27-9)