原毛塊多孔度が洗, 乾毛に及ぼす影響について*

(第2報) 浸毛機構に及ぼす影響(その2)

(昭和30年7月21日受理) 会 員 池 田 章**

佐 貫 治 夫

→ 摘 要 ←

研究目的

前報に引続き、浸毛機構における濾過性、滲透性の良否を判断するための基礎資料として、羊毛塊を多重毛細管系と考えた場合の各多孔度における毛細管半径 r の分布を求めようとした。

研究結果

Cantor 及び Poiseuille の法則から誘導した毛細管孔の分布函数

$$n(r) = \frac{8\eta l p^4 g^5}{\pi(2\sigma)^5} \left(p \frac{dQ}{dp} - Q \right)$$

を適用することによって、各多孔度における流出曲線から r の分布につき考察した結果

(1) 流出曲線の形状は多孔度によって相当の差があり、固まっているものほど曲線部分は長く、全部分系開口通過までの時間がかかる。

(2) r の分布範囲 ($r_{\max}$ と $r_{\min}$ との差) は、多孔度の増大につれて広がる。また隣接多孔度においてのみ存在する r の絶対値の共通部分は、 $Po.=70\sim 80\%$ 間が最も多い。

(3) 各多孔度においては、いずれも $r_{\min}$ への集中性が極大であり、またこの割合は多孔度の増大につれてある程度低下し、 $Po.=80\%$ の場合が最低である。ただし $Po.=90\%$ の場合には構成機構の偏奇性が影響してくる。

(4) 以上の点から判断して、 $Po.=80\%$ 程度が自然状態における羊毛塊の標準構成と考えられる。

1. 緒 言

供給原毛塊の多孔度の大小が、浸毛工程の処理効率に及ぼす影響につき、前報においてはまず羊毛塊を毛細管系として取扱った場合の濾過機構に基いて考察したが、本報においては引続き多孔度の相違による毛細管系の構成機構の変動と、各多孔度における毛細管半径 r の分布状態を更に詳細に推定するために、加圧による流出曲線を求め考察した。

2. 実験方法

第1図に示す如き装置により、水そう中の水面上に圧縮空気を送込んで次第に加圧し、試料羊毛層中を透過通過して流出する水量を測定し流出曲線を求めた。すなわち図において試料装着前、空気圧縮そう中は空とし底部のピッチコックを開いておく。この状態で試料管取付用流出口から逆に加圧水そう中に蒸溜水を流入し、流出管と同一水位となる如くしておく。次に直径 0.65 cm、

- 1 貯水そう
- 2 二方コック
- 3 空気圧縮そう
- 4 三方コック
- 5 加圧水そう
- 6 試料管取付用流出口
- 7 試料
- 8 U字管
- 9 メス シリンダ

(第1図)
実験装置

長さ 3 cm のガラス管に恒容積の多孔度作成法により、所要の多孔度(以下 $Po.$ にて示す)として試料羊毛を充てんした試料管を、この流出口にゴム管をもって接続する。この際なるべく流出口に気ほうを生じないように注

* The Effect of Wool Porosity on the Scouring and Drying Process.

Part 2 : On the Steeping Mechanism. (2)

** A. Ikeda, H. Sanuki, Member. 東京農工大学繊維学部

意して取付ける。この場合をもって試料端面への圧力は 0 の状態とする。次にピッチ コックを閉じ、三方コックの 2 通路開放の状態ですりより 40cc/min の速度で圧縮そう中に落水させ、加圧水そう中に圧縮空気を送込む。かくして漸次圧力の増大に伴って試料羊毛層中を透過通過した水は他端から滴下をはじめるから、一定経過時間ごとの圧力量と流出量とを同時に読取り、流出曲線を求めた。使用試料は前報と全く同一のものであり、測定時の室温は 20~24°C、湿度は 75~80% の範囲である。

3. 実験結果及びその考察

多孔度 60, 70, 80, 90% の各場合につき測定した結果は第 2 図に示す如くであり、各多孔度によって圧力 (p) ~ 流出量 (Q) 関係には相当大きな相違が認められる。

(第 2 図) 各多孔度における流出曲線

(第 3 図) 1 本の毛細管における流出曲線

いま最も基本的な場合として、1 本の毛細管孔における状態について考えると、第 3 図 (a) に示す如く毛細管中にて水と空気の境界面を作ったとすれば、最初圧の小さな間は界面張力のために液の移動は生じないが、圧が上ってある値に達するとはじめて移動を開始する。こ

の点がすなわち Cantor の法則²⁾

$$p = 2\sigma / rg \quad \dots\dots\dots (1)$$

r : 毛細管半径

σ : 水と空気との界面張力

g : 重力の加速度

の成立する場合であり、 p は r の小なるほど大であることが必要なのはもちろんである。 p が (1) 式に示す値以上になると、 $Q \sim p$ 関係は Poiseuille の法則(前報)

$$Q = n\pi r^4 p / 8\eta l \quad \dots\dots\dots (2)$$

に従い直線的であり、単一毛細管における基本的流出曲線としては第 3 図 (b) に示す如きものとなる。

さて本実験試料の羊毛塊の如く、多くの r を異にする孔のある場合すなわち多重毛細管系においては、一方から加圧された時、ある圧力の値において最初 $r_{\max}$ の部分系が開口し他はそのままであるが、 p が増すと共に順次 r の小なるものも開口して、ついに全部分系において液が流出するに至る。

いま孔の分布函数を $n(r)$ とすれば、 r と $r+dr$ の間に含まれる数は、 $n(r)dr$ であり、その流量は、 $\pi p r^4 n(r) dr / 8\eta l$ であるから、 $r_{\max}$ から r までの開口状態においては

$$\frac{Q}{p} = \int_r^{r_{\max}} \frac{\pi r^4 n(r) dr}{8\eta l} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$[n]_{r_{\max}} = 0$ とすることにより

$$= -\frac{\pi n(r)}{8\eta l} \frac{r^5}{5}$$

$$\therefore \frac{d}{dr} \left(\frac{Q}{p} \right) = -\frac{\pi r^4 n(r)}{8\eta l}$$

ここにおいて

$$\begin{aligned} \frac{d}{dr} \left(\frac{Q}{p} \right) &= \frac{\frac{dQ}{dr} p - Q \frac{dp}{dr}}{p^2} \\ &= \frac{\frac{dp}{dr} \left(\frac{dQ}{dp} p - Q \right)}{p^2} \end{aligned}$$

となし、また (1) 式の関係から

$$\frac{dp}{dr} = \frac{-2\sigma}{r^2 g} \quad \text{及び} \quad r = \frac{2\sigma}{pg}$$

であるから、結局

$$n(r) = \frac{8\eta l p^4 g^5}{\pi (2\sigma)^5} \left(p \frac{dQ}{dp} - Q \right) \quad \dots\dots\dots (4)$$

を得る。

理想的な薄膜の如き多重毛細管系においては、この $p \sim Q$ 曲線は第 4 図に示す実線の如くであり、 B 点がすなわち $r_{\max}$ なる部分系において (1) 式の成立する点であり、この時までは液の流出は全くないが、この圧力に

(第4図) 理想的流出曲線

その点において開口する大きさの半径を持つ部分系の $n(r)$ を図式的に求めることができる。

実験結果の曲線部分を拡大し図示すれば第5図の如くであり、本実験の如く試料の羊毛層がある厚さを持っている場合には、その透過に要する圧力の消費及び時間的遅れ、更に繊維自体の膨潤などのために、曲線の形態は理想の場合とはやや異なってくるが、各多孔度における滲透過程を追及し毛細管分布状態を解析推定するために、標準流出曲線の場合に準じて取扱い考察した。

さて図によって明らかな如く、多孔度の小なるものほど曲線部分は長く全部分系開口通過までの時間が長いことを意味し、各部分系の r の値が小さいために p の増大に伴う流出量の増加が僅少であるからである。これを詳細に検討するために各多孔度の曲線において、 $p_{\min}$ ($r_{\max}$ 系の開口する圧力) 及び $p_{\max}$ ($r_{\min}$ 系の開口す

(第5図) 流出曲線拡大図

達するとはじめて $r_{\max}$ 部分系が開口し流出が開始される。次いで圧力が増大すると、次位の大きさを持つ r_1 部分系が開口を終り前者に加わるので流出量はやや多くなる。このようにして

順次圧力の増加につれて流出量は多くなり、C 点に示す圧力に達して $r_{\min}$ 部分系の開口を終了し全部の孔が作動状態に入り、以後は $p \sim Q$ は比例の関係を示し直線となる。この BC 曲線上の任意の点 D から切線を引き縦軸との交点を A とすると、AO がすなわち $(p \frac{dQ}{dp} - Q)$ であって (4) 式における右辺の括弧内を与えるから、曲線上の任意の点においてこのような操作を行えば

る圧力) を測定値より求め、(1) 式において $g: 980 \text{ cm/sec}^2$, $\sigma: 69.2 \text{ dyne/cm}$ として、各 p に対応する $r_{\max}$, $r_{\min}$ を算出する。この範囲を r につき等差的に分割するために、いま k 等分するとすれば、 $\Delta = r_{\max} - r_{\min}/k$ で $r_{\min+1/2}$, $r_{\min+3/2}$, $r_{\min+5/2}$, ..., $r_{\min+(k-1/2)}$ [= $r_{\max} - \Delta/2$] に相当するところの ($p_{\max}$ [= p_0], p_1 , p_2 , ..., p_{k-1} , $p_{\min}$ [= p_k]) としては

$$p_x = \frac{k p_{\max} p_{\min}}{k p_{\min} + x (p_{\max} - p_{\min})} \quad (x=0, 1, 2, \dots, k) \dots (5)$$

(5) 式によって各部分系が開口する圧力値を求めることができる。第5図において $r_{\max} \sim r_{\min}$ 間を r につき5等分するとして、各多孔度において5式により p_x を

求め、これらの各 p に相当する曲線上の点 ($r_{\max}$ 側より 1, 2, 3,と番号を附す) より切線を引き、図上より各 r に対応する $(p \frac{dQ}{dp} - Q)$ を測定する。

さて (4) 式における常数項のうち、毛細管長さ l は厳密にいて同一試料においても幾分は相違しているがこのようにすると問題はきわめて複雑となるから、本実験の場合は、同一多孔度においては等長と仮定して取扱い、また各多孔度における値としては $Po.=90\%$ の場合に充てん長 (3 cm) に等しいとし、第 1 報第 7 表の推定値の比率により換算したものをを用いた。(第 1 表に示す)

(4) 式において常数項をまとめれば

$$n(r) = C p^4 \left(p \frac{dQ}{dp} - Q \right) \dots\dots\dots(6)$$

となり、各多孔度における C を算出すると第 1 表の如くである。

(第 1 表)

多孔度 (%)	60	70	80	90
l (cm)	9.5	5.0	3.1	3.0
C	0.509	0.268	0.168	0.167

(6) 式により各多孔度の場合につき $n(r_r)$ を算出した。 r_1 と $r_1 + \Delta$ との間の孔を半径 $r_{1+1/2}$ の部分系にて代表させ、その数を $\bar{n}_{r_1+1/2}$ とすれば

$$\bar{n}_{r_1+1/2} = \int_{r_1}^{r_1+\Delta} n(r) dr$$

(第 6 図) 各多孔度における毛細管半径分布割合

であるから、半径 $r_{\min+(x+1/2)\Delta}$ の部分系の数の全体の数に対する百分率は

$$Z = \frac{\bar{n}_r}{\Sigma \bar{n}_r} \times 100 \dots\dots\dots(7)$$

である。この結果を図示したものが第 6 図である。

図によって明らかな如く、各多孔度における毛細管半径の分布範囲 ($r_{\max}$ と $r_{\min}$ との差) は多孔度の小なるものほど狭く、多孔度の大きい場合すなわちよく開毛された状態においては相当広範囲の隔差を持った孔が存在していることがわかる。また r の絶対値は多孔度の小なるものほど小さな範囲に分布していることはもちろんであるが、各多孔度における半径の絶対値の共有部分 (図における斜線部分) は隣接多孔度においてのみ存在し、 $Po.=70\sim80\%$ 間の場合が最も同一径の r の共存が多い ($70r_{\max}\sim80r_{\min}$ の範囲) この点から判断して $Po.=70\sim80\%$ 程度が脂付羊毛塊の自然状態における標準構成であると考えられる。次に同一多孔度内においての r の分布割合をみると、いずれの場合も $r_{\min}$ が大部分を占め同一の傾向を示している。そして $Po.=60\%$ の場合の集中性が最も高く、多孔度の増大につれてこの集中性はある程度低下するが、 90% の場合には再びやや高まってくる。しかしこの両者においてはその意味を異にし、前者の場合は構成繊維から考えて押し固められていることによる $r_{\min}$ への集中性であり、後者の場合は r の極大なものが少数個存在することによって全体としての多孔度は大となっても、他の部分においては $r_{\max}$ とは相

当隔った $r_{\min}$ 部分系が多数存在するために、割合としては $r_{\min}$ への集中性が高まることになる。このようなことは実験試料の充てんにおいて十分注意して均一に分織したならば、ある程度集中性は低下するものと思われるが、しかし実際的にもこのような大きな多孔度においては、通常やはり偏奇した不均質な構成状態で存在することが多いと思われ、羊毛塊全体としての多孔度が大であっても部分的には固まった状態であることになるから、処理工程における開毛ではこの点に留意しなければ

ならぬ。また $P_o = 80\%$ においては、他の場合に比べれば、 $r_{\min}$ への集中性が比較的低いことからして、前述の理由と同じく最も標準構成状態に近いものと考えられる。

本実験実施に当り種々御便宜を与えられた大和毛織株式会社南千住工場 林 喬氏に対し謝意を表する。

注

- 1) 第1報, 本誌8巻5号(昭30-5月), P. 10.
- 2) 駒形作次: 界面電気化学概要, P. 13.

撚 糸 に つ い て*

(第7報) 切断強力の理論とレイヨン タイヤコードにおける実例

(昭和30年6月8日受理) 会 員 眞 鍋 朋 信**

—→ 摘 要 ←—

研究目的

撚構造の模型から、連続繊維よりなる撚糸の切断強力の理論を導き、理論の結果をレイヨン タイヤコードにおける実験結果と比較検討する。

研究結果

(1) 下撚糸2本からできている撚糸の切断強力 P_* は、撚係数があまり大きくない時、近似的に

$$P_* = P_{*0} \left[1 - 2\pi^2 N^2 R^2 - 2\pi^2 \left\{ 1 + \frac{1}{2f_*} \left(\frac{df}{d\varepsilon} \right)_* \right\} (N-n)^2 R^2 + \dots \right]$$

で与えられる。ここに P_{*0} は撚糸の無撚の時の切断強力、 f_* は撚糸を構成する単繊維の切断強度、 $(df/d\varepsilon)_*$ は単繊維の応力-変形率曲線の切断点附近における勾配、 N は上撚数、 n は下撚数、 R は下撚糸の中心線が沿う円筒の半径である。

(2) 上撚数と下撚数とがほぼ等しい撚糸の強力利用率は、ほぼ 100 から撚縮みを引いた値に等しい。

1. 緒 言

下撚糸の引張りに関する性質は撚構造から理論的にいろいろと研究されているが、^{1,2)} 少くとも上撚りと下撚りの二つを撚りに関して考慮しなければならない撚糸の場合には、撚構造が下撚糸の場合よりも複雑なために、下撚糸の場合よりも研究が遅れ、撚糸の引張りに関する性質が³⁾ 理論的に論ぜられはじめたのは極く最近のことである。しかしながら未だ撚糸の引張りに関する性質は、上撚数、下撚数及び撚糸の直径などの撚構造に関する量の函数として、簡単なわかり易い形で表現されてはいないよう

ある。また最近レイヨン タイヤコードの切断強力と撚縮⁴⁾みの間に直線関係のあることも経験的に見出されたが、このような現象に対しても未だ理論的な説明は与えられていない。ここでは前に報告した撚構造の理論と撚縮⁵⁾みの理論を用いて、引張りに関する性質の一つである切断強力の問題を取扱う。一般に破壊現象を取扱う場合には統計的なばらつきを考慮に入れなければならないが、撚構造の模型にそのような考慮を払うとなると、数学的な処理がかなり煩雑なものになるので、ここでは第一近似として対象とする試料は統計的なばらつきをまったく考慮に入れる必要がない程、あらゆる点で完全に均整なも

* Studies of Twist. Part 7: A Theory of Breaking Strength of Plied Yarns, and Some Illustrations on Rayon Tire Cords.

** T. Manabe, Member. 日本レイヨン(株) 総合研究所