繊維集合体の めれ (その 3)*

会 員 佐 貫 治 夫**

技術解説

3. 繊維集合体の めれ (続)

3.4 われわれの行なった繊維集合体の めれについて の実験の概要

繊維集合体の めれ挙動は、同一条件であっても構成繊維の品種によってかなり相違するものと思われる。そこでわれわれは一つの試みとして、種類の異なったばら繊維をいくつか選び、それらによってできるだけ近似した構成状態の集合体を人為的に作成して試料とすることにより、いろいろな角度から水（常温の蒸留水）を対象とした場合の めれ挙動の繊維の品種による相違を測定比較してみた。すなわち素材的にみた場合、親水性か疎水性かによってそれぞれの繊維の水分率はかなり相違するわけであるが、それらの集合体としての めれ挙動は果たしてこの水分率と比例的な関係があるか、それともどのように異なるかなどについて検討してみた。そして主として同一多孔度値（集合体の空げき率すなわち集合体を構成する繊維内外の すき間の 総和の占める割合

が同じ場合を意味する）における繊維品種による相違、同一繊維における多孔度値による相違について考察した。

ばら繊維の集合体を試料としたのは、

- (1) 数多くの繊維の品種による めれ挙動の相違を比較解析する実験目的に対しては、それらの集合体の多孔度値（空げき率）を同一に規定することによって、かなり近似した構成状態が簡便につくり得られること（織物を試料とすると、糸番手、撚数、織組織、密度などいろいろな要因を、数多くの素材繊維の品種について同一条件のものとしてそろえることがなかなか困難であり手数がかかる）
- (2) 多孔度値のいろいろ異なった状態を手軽につくり得られること
- (3) 異種の繊維を任意の割合に自由に混合して、混合率による吸水性の変化を簡便に測定できること
- (4) ある一つの品種の繊維の集合体を、はっ水や はっ油加工するときの加工条件による吸水性の変化を測定する場合でも、加工前後の集合体の構成繊維本数を同一に規定し同じ占有体積をもたせたものを試料とすることによって（すなわち未加工時の多孔度値が常に一定となるように、同一量の試料繊維を用いれば）、織物などを試料とする場合よりも、より一般的、普遍的なデータが得られること

などの理由による。

そしていろいろな多孔度値（Porosity）をもった試料塊の作成法はつぎのようである。

ここに規定した繊維集合体の多孔度値（ P_0 ）とは、

$$P_0 = (V - V_0) / V \times 100\% \quad \dots\dots\dots (30)$$

$$V_0 = W / d \cdot (1 + r) \quad \dots\dots\dots (31)$$

ここに V : 繊維集合体が占める全体積

V_0 : 繊維実質だけが占める体積

W : 繊維集合体の標準状態における含水重量

d : 繊維の比重

r : 標準状態における繊維の水分率

によって示されるものであり、 V を一定として W を変化させるか、あるいは W を一定として V を変化させるかによって、いろいろ異なった多孔度値をもった試料塊をつくらることができる。

ただしこのようにして、同一デニールの繊維を用い同

* Wetting of Fiber Assemblies (3).

** H. Sanuki, Member. 東京農工大学 工学部
“その 1” は 24, 467 (1971) に, “その 2” は
25, 496 (1972) に掲載した。

一多孔度値の集合体を作成しても、繊維の品種が異なれば比重が異なるために、その集合体の構成空げきの数や大きさの絶対値は厳密にはいくぶん相違するわけであるが、前記のような理由から、かなり近似した構成状態とみなして使用した。

A. 毛管作用的ぬれの場合^{83,84)}

垂直方向および水平方向への毛管作用的浸透挙動に基づいて測定、比較した結果を述べる。

試料繊維は 10 種類であり、いずれも精練したものである。

垂直方向の場合の測定装置を第 10 図に示す。

①：浸せきそう	⑧：試料繊維塊柱
②：蒸留水タンク	⑨：アクリラン パイプ
③：昇降装置	⑩：ドリル線
④：スクリュウ コック	⑪：U ゲージ
⑤：オーバー フロー口	⑫：ブリッジ ヘッド
⑥：精練綿布	⑬：ひずみ計
⑦：排水受け	⑭：湿度計

(第 10 図) 垂直方向への毛管作用的ぬれの場合の実験装置

試料繊維の所要量を採取し、断面内径 0.9 cm、長さ 15 cm のアクリラン パイプの一端から 14 cm の範囲に、繊維軸方向はランダムにできるだけ均質な構成状態に充てんし試料塊柱とした。すなわち一定容積に充てんされる繊維量を変えることによって、いろいろな多孔度値 (P_o) をもった試料塊を作成したのである。

試料塊柱を U ゲージに けん垂し、その下端 1 mm が水面に接触するようにし、浸透上昇開始からの経過時間による ひずみ計の目盛変化を読みとった。そしてあらかじめ求めた目盛～負荷重量関係によって、試料塊柱中への浸透水量を求め、経過時間 (T_r)～上昇浸透水量 (Q_v) 関係曲線を描いた。

それぞれの繊維品種の各多孔度値の場合について 5 回ずつの測定を行ない、この 5 本の T_r ～ Q_v 関係曲線群の平均曲線を把握した。このような平均曲線を同一多孔度値の場合について品種別に図示したものの一例として、 $P_o=85\%$ の場合を第 11 図に示す。

(第 11 図) 垂直方向への毛管作用的ぬれによる各繊維の集合体の場合の経過時間—上昇浸透水量の関係 (集合体の多孔度値が 85% の場合)

また各多孔度値の場合について、各繊維集合体の 10 min 経過後の上昇浸透水量 ($Q_{v,E}$) をまとめて示したのが第 12 図である。

1：脱脂綿	6：ビニロン
2：アセテート	7：ナイロン
3：レーヨン	8：ポリエステル
4：アクリル—I	9：ポリプロピレン
5：アクリル—II	10：羊毛

(第 12 図) 垂直方向への毛管作用的ぬれの場合の 10 min 経過後の上昇浸透水量の相違

吸水性からして使用した試料繊維は二つのグループに区分される。羊毛、ポリプロピレン、ポリエステルの 3 者はどの多孔度値の場合にもきわめて低値であってほとんど差がない。2.1, 2.2 項で示したように、これらの繊維の表面は大きな疎水性(むしろ はっ水性)を持っており、その集合体のどのような構成密度の場合にも、ほとんど完全に水をはじいてしまつて毛管作用的ぬれは起こらないことがわかる。ポリアミド(ナイロン 6)の場合には、これら 3 者よりは少し被浸透性があり、 $P_o=75\%$ あたり

ではかなり吸水する傾向を示したが、やはり垂直方向への毛管的ぬれは小さいグループに属するものと判断すべきである。

これらに対して他の5繊維はかなりぬれが大きく、しかも多孔度値による $Q_{V.E}$ の相違が明りように認められる。共通していることは、構成空けきの狭小な $P_o=65\%$ および過大な $P_o=90\%$ の両場合には、どの繊維も $Q_{V.E}$ は低下しており、中程度の空けきを持つ $P_o=75$ あるいは 85% の場合に最大の吸水量を示していることである。

つぎに水平方向の場合の測定装置を第13図に示す。

(第13図) 水平方向への毛管的ぬれの場合の実験装置

試料繊維充てん用パイプの長さは10cmである。試料塊柱中における水頭の移動状況を目測によって観測すると同時に、弱電的手法(ハムの変化)を用いて把握した。

経過時間(T_h)～浸透移動距離(S_h)の関係を、同一多孔度値の場合について品種別に図示したもの例として、 $P_o=65\%$ の場合(試料塊柱構造のきわめてコンパクトな場合)を第14図に、 $P_o=90\%$ の場合(構成空けきがかなり大きい場合)を第15図に示す。

(第14図) 水平方向への毛管的ぬれによる各繊維の集合体の経過時間～浸透水頭移動距離の関係(集合体の多孔度値が65%の場合)

(第15図) 水平方向への毛管的ぬれによる各繊維の集合体の経過時間～浸透水頭移動距離の関係(集合体の多孔度値が90%の場合)

垂直方向の場合と同様に、ぬれの速いものとぬれの速くないものの2グループに大別され、この両グループの差は集合体の多孔度値が大きくなるほど著しくなること、きわめて疎水性の繊維ではその集合体の多孔度値が大きくなってもぬれの程度はほとんど変化しないこと、ぬれの大きい繊維の場合にはどれも多孔度値が大きくなるほど浸透移動速度は大きくなり(特にレーヨンの場合著しい)、多孔度値(P_o)と水が試料塊の最終端まで到達するに要する時間($T_{h.e}$)とは比例的であること、単一毛管系として導出された浸透移動距離(S_h)と経過時間(T_h)との関係式…(16)式の適合性について検討した結果、ぬれの速い繊維ではどの多孔度値の場合にも近似的に $S_h^2 \sim T_h$ は直線関係が成立し、特に集合体構成がオープンになるほどよく適合することなどが認められた。

B. 水中浸せきぬれの場合⁸⁵⁾

試料塊を水中に完全に浸せきした場合のぬれ挙動を検討した結果を述べる。すなわち Gruntfest が創案し提唱したハイドロメーター法(2.4 参照)を改良し、ハイドロメーターの代わりにひずみ計とレコーダーとを使用して測定した。

試料繊維は3.4 Aと同じであるが、アクリルは1種類だけとしたので全部で9種類である。そして試料塊の多孔度値を変化させる方法として、ここでは繊維量を一定とし、これを充てんすべき円筒形金網容器の容積を変えることとした。

測定装置を第16図(次ページ)に示す。

ぬれの速さに応じて記録紙に描かれたカーブの各点から換算することによって、経過時間(T_h)～試料塊を水中に浸せきしたときのUゲージへの負荷重量(W_s)の関係を求める。

- ①：試料繊維塊 ⑥：ブリッジヘッド
 ②：おもり ⑦：ひずみ計
 ③：蒸留水 ⑧：記録計
 ④：ドリル線 ⑨：温度計
 ⑤：Uゲージ

(第16図) 水中浸せきぬれの場合の実験装置

本来のハイドロメーター法では、つぎのようにして試料布の液中での見掛けの比重 (D_{ap}) を求めている。

$$D_{ap} = \frac{W}{W - (a_1 - a_0)fd}$$

$$\text{または} = \frac{W}{W - \left(\frac{a_1 - a_0}{p} \right)} \quad \dots\dots\dots (32)$$

ここに W ：試料布の絶乾量

a_0 ：おもりだけつけた時の比重計の読み (原点)

a_1 ：試料布をつけた時のある経過時間での比重計の読み

f ：比重計の目盛を一つだけ沈めるための水中での負荷重量 (予備実験で決めておく)

d ：液の比重

p ：液中 1 g 重量に相当する目盛数 (予備実験で決めておく)

(32)式の分母のうち $(a_1 - a_0)/p$ 項は、ある経過時間での試料繊維塊の水中における見掛けの重量 (W_s) を意味する。したがって分母全体すなわち $W - (a_1 - a_0)/p$ は浮力値となり、その絶対値は試料繊維塊の見掛けの体積に相当する (本実験では蒸留水を用いているので $d \div 1$ である)。そこでここで採用した実験方法による場合にも、各経過時間 (T_s) での W_s を測定によって把握すれば、(32)式によって各場合の経過時間 (T_s) ~ 試料塊の見掛けの比重 (D_{ap}) の関係を算出できるわけであり、前記の W_s はこの W に等しいことによって本式の適用が可能となる。

さらに V_a ：試料塊中の残存空気量

V_c ：試料塊中で繊維実質の占める体積

D_{re} ：繊維の比重

とすると、

$$\frac{V_a}{V_c} = \frac{D_{re}}{D_{ap}} - 1 \quad \dots\dots\dots (33)$$

が導出される。この V_a/V_c を残存空気含有倍率と呼ぶこととし、前記のようにして求まった D_{ap} 値および各繊維の比重値を (33) 式に代入することによって、各場合の $T_s \sim V_a/V_c$ 関係を求め、ぬれ挙動解析の指針とした。

得られた $T_s \sim D_{ap}$ 関係の一例として、 $P_o = 90\%$ の場合について繊維品種別に示したのが第17図である。

(第17図) 水中浸せきぬれによる場合の経過時間—試料集合体の見掛けの比重の関係 (試料集合体の多孔度値が90%の場合)

これによってわかるように、同じ実質量の繊維塊を近似した構成状態として同じ蒸留水中に浸せきしても、その水中における見掛けの比重 (D_{ap}) の経時変化の傾向は、繊維品種によって非常に相違する ($D_{ap} = 1$ ということは、試料繊維塊の実質量とこれに作用している浮力値とが釣り合った状態を意味するものであり、できるだけ短時間でこの値に到達するものほど集合体としてのぬれは大きいことになる。またよくぬられる繊維の場合には、当然 D_{ap} 値はその繊維の比重値近くまで達し平衡することになる)。

つぎに $T_s \sim V_a/V_c$ 関係の一例として $P_o = 90\%$ の場合を第18図に示す。

(第18図) 水中浸せきぬれによる場合の経過時間—試料集合体中の残存空気含有倍率の関係 (試料集合体の多孔度値が90%の場合)

この V_a/V_c 値ができるだけ短時間でゼロに近づく場合ほどぬれは速いことを意味する。

このような浸せき法による場合のぬれ性の評価判定の一方法として、根本は一定時間経過後の V_a/V_c 値によって比較することを提唱している²⁴⁾。そこでここでは浸せき後 10 sec 経過時の V_a/V_c 値を採ってみることで、各多孔度値の場合について繊維別にまとめてみると第 19 図のようになる。

(第 19 図) 各多孔度値の場合の各試料繊維集合体中の 10 sec 経過後の残存空気含有倍率

これによってわかるように、よくぬれる繊維では多孔度値によって V_a/V_c 値はほとんど相違しないのであるが、この場合多孔度値が大きいほど最初の含気量は当然多いのであるから、これらの繊維では一般的には多孔度値が大きい場合ほどぬれの速さは大きいといえることができる。これに対してぬれない繊維では、多孔度値が大きくなるにつれて V_a/V_c 値は急増してきて、ぬれる繊維とぬれない繊維との V_a/V_c 値の差は著しくなることがわかるのである。

以上のように本法によった場合にも、同一多孔度値として試料塊の構成状態を近似させても、その水中における見掛けの比重値および残存空気の含有量の経時変化の傾向は、繊維の品種によって非常に相違することがわかるが、今回対象とした 9 種類の試料繊維では、その集合体が非常によくぬれるもの(アクリル、脱脂綿、レーヨン、ビニロン)、比較的よくぬれるもの(アセテート、ナイロン)、ごくわずかにぬれるもの(ポリエステル、ほとんどぬれないもの(ポリプロピレン、羊毛)の 4 グループに大別されること、同じグループに属する繊維でも詳細に検討するとそれぞれの特徴が認められることなどが把握された。

C. 水圧を加えた場合のぬれ^{86,87)}

試料繊維集全体の上に積極的に水圧を加えた場合の

水の浸入程度が、繊維品種によってどのように異なるかについて、付与水圧値および試料集合体の構成空気の大きさの 2 要因と関連づけて検討してみた。すなわち繊維集合体の耐水圧効果を判定する一手段として実施してみた。

試料繊維は前項までと同様であるが、綿は原綿(Texas SLM 15/16)を高濃アルカリ液処理と温水洗によって十分精練したものを用いた。そして長さ 10 cm、内径 0.9 cm のアクリランパイプに所要量のばら繊維を充てんすることによって試料塊柱とした。

測定装置は第 20 図に示すようなものである。

(第 20 図) 水圧を加える場合の測定装置

試料塊上端面に所定の一定水圧を与え、試料塊内に蒸留水(常温)を圧入させ、2 cm 間隔の水頭の通過所要時間を測定し、経過時間 T_f ~ 流下距離 S_f の関係を求めた。また定常状態となつてからの試料塊下端面からの単位時間当たりの流出量 Q もあわせて測定把握した。

得られた T_f ~ S_f 関係の一例として、中多孔度、中水圧の場合を第 21 図に示す。

(第 21 図) 各種繊維集合体の流下曲線の一例(集合体の多孔度が 80%, 付与水圧値が 40 g・wt/cm² の場合)

全般的な傾向としては、どの繊維の場合にも多孔度値および水圧値が大きくなるにつれて水の浸透流下が速くなることはもちろんであるが、同一多孔度値として試料塊構成空げきの絶対値を近似させた場合に、付与水圧値が同じであっても $T_f \sim S_f$ 関係は繊維品種によって非常に相違している。

いまこれら各場合の耐水圧効果を具体的に把握し表現するために、一つの方法として、まずつぎのようにして“1次耐水圧効果指数 E_{W-1} ”を求め比較の手段として用いることとした。すなわち得られた流下曲線を全般的に観察、検討した結果、限界としてもっとも妥当と考えられることから経過時間 20 min を分岐点とし、試料繊維塊柱上端面に水圧付与を開始してから 20 min 経過しても、その最下端面（上端面よりの距離 10 cm）まで水が到達しない場合は、完全な1次耐水圧効果があるものとみなして $E_{W-1}=100$ とし、20 min 以内に水が最下端面まで到達する場合にはこの 20 min を基準として

$$E_{W-1} = \frac{\text{水の試料塊柱最下端面に到達までの所要時間 (sec)}}{1200 \text{ (sec)}} \times 100 \quad \cdots \cdots (34)$$

によって各場合の E_{W-1} を算出し、全般的な比較、考察の手段とした。すなわちこれは实际的に言えば布の裏面まで水が到達することが遅いほど耐水圧効果が大いという考え方で、少しでも水が裏面から浸出するようになれば不可とみなすわけである。

このようにして得られた E_{W-1} 値をまとめて示したのが第22図である。

(第22図) 各種繊維集合体の場合の各多孔度値、各水圧値における1次耐水圧効果指数

1次耐水圧効果は、繊維の品種によってかなり明確な相違が認められる。合織の集合体の場合は、多孔度値の大小、水圧値の高低を問わず全般的に E_{W-1} はきわめて低値である。またポリプロピレンと羊毛の両者は、水圧値が小さい場合には多孔度値が小さくなるにつれて E_{W-1} が急増するという特異な現象が認められる。

つぎに定常状態となつてからの試料塊柱下端面からの単位時間当たりの水の流出量 Q に基づく比較である。いま各場合の効果を具体的に把握し表現するために、一つの方法としてつぎのようにして“2次耐水圧効果指数 E_{W-2} ”を求め比較の手段として用いることとした。すなわち得られた流出量を全般的に観察、検討した結果、限界としてもっとも妥当と考えられることから $Q=1$ cc/min を分岐点とし、 $Q \leq 1$ cc/min の場合は完全な2次耐水圧効果があるものとみなして $E_{W-2}=100$ とし、 $Q > 1$ cc/min の場合にはその逆数を取り

$$E_{W-2} = \frac{1}{\text{単位時間当たりの流出量 (cc/min)}} \times 100 \quad \cdots \cdots (35)$$

によって各場合の E_{W-2} を算出し、全般的な比較、考察の手段とした。すなわちこれは实际的には水が布の裏面まで到達してしまったのちに、連続的に流出する水量の多少について比較することに相当し(JIS織物防水度試験法でもこれと同様な考え方が漏水量法の項として規定されている)、たとえ水がしみ出すようになってからでもその量が少ないほどよいとみなすものである。

このようにして得られた E_{W-2} 値をまとめて示したのが第23図である。

(第23図) 各種繊維集合体の場合の各多孔度値、各水圧値における2次耐水圧効果指数

これによってわかるように、 $P_0=70\%$ のコンパクトな集合体構成においては、水圧値があまり大きくない場合には2次耐水圧効果の十分と認められるものもかなりあり、特に綿とレーヨンのセルロース系では $P_0=80\%$ の中位空げき率でさえも有効な場合のあることが指摘される。またポリプロピレンと羊毛の場合は、1次耐水圧効果と同様に、特定条件の場合に単位時間当たり流出量は極少となるのである。

さてこのように、塊柱構造の試料繊維集合体の1次および2次の耐水圧効果指数は、繊維品種、空げきの大きさおよび付与水圧値によってかなり相違するが、どの繊維品種の場合でも集合体の構成空げきが密になるに

たがって水の流下は遅くなり、耐水圧効果は向上することが認められた。そしてある一つの繊維品種の場合、ある水圧値において、その集合体の多孔度値を順次小さくしていくと水の浸透流下は阻止され、完全な耐水圧効果を発揮することになるものと考えられる。そこでここでは繊維表面が水とある大きさの接触角を呈しているとき、ある水圧値のもとでどのような多孔度値の場合に、その集合体中を水が透過することができなくなるかについて、簡易化した模型の構成の場合に基づいて考察し、いわゆる水の不透過限界多孔度値 (P_{0-L}) を推定してみた。

いまここで使用している試料塊柱として、パイプ中に充てんされたばら繊維は繊維軸方向に均一に平行に配列しているものと仮定し、パイプ断面における構成本数を n とする。さらに各単繊維の断面は半径 r_f の円形であるとし、また試料塊柱の断面半径 (パイプの断面内半径) を R とし、単繊維群によって構成されている空げき部を半径 r の微小円とみなす。水の表面張力を T 、水の密度を ρ 、重力の加速度を g 、水が不透過となり得る限界の水の高さを h 、水と空げき部微小円管壁 (繊維側面) との接触角を θ とすると、管壁内円周全面に働く水の張力 (表面張力の分力 $\times 2\pi r$) F および上方から加えられる水圧 W_p はつぎの両式によって表わされる。

$$F = T \cos \theta \cdot 2\pi r \quad (36)$$

$$W_p = \rho g h \cdot \pi r^2 \quad (37)$$

ところで管内壁に働く水の張力 F の力の方向は、接触角 θ の値によって異なるので、便宜上 $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ と $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$ の二つの場合にわけて考えることとする。

(i) $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ の場合

第24図に示すように F および W_p の力はいずれも下方へ向かうので、この場合は水の張力によって水圧を支えることは不可能である。したがって水が不透過となるためには微小円管の半径 $r = 0$ すなわちまったく空げきのない状態にしなければならない。このことからして

(第24図) $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ の場合の空げき内における水圧 W_p と水の張力 F の関係

$0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ の場合にはすべて不透過限界多孔度値 $P_{0-L} = 0\%$ となる。

(ii) $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$ の場合

この場合は第25図に示すように F の力は上方に作用する。したがってこの場合は管壁内に働く張力 F と上方から付加される水圧 W_p とが釣り合えば水の透過を防ぐことができる。これらが釣り合うためには

$$\rho g h \cdot \pi r^2 + T \cos \theta \cdot 2\pi r = 0 \quad (38)$$

が成立しなければならない。この(38)式から水が不透過となるときの微小円管の半径 r は次式で表わされる。

$$r = -2T / \rho g h \cdot \cos \theta \quad (39)$$

ところで前述のようなモデル化した繊維集合体内部で構成されている毛管群の平均半径 r は近似的に次式で表わされる。

$$r = \sqrt{R^2 / n - r_f^2} \quad (40)$$

またこのようなモデル化した試料塊柱の多孔度値 P_0 は、その断面部について平面的に考えると

$$P_0 = (\pi R^2 - n\pi r_f^2) / \pi R^2 \quad (41)$$

によって表わされる。

(第25図) $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$ の場合の空げき内における水圧 W_p と水の張力 F の関係

$$(40) \text{ 式より } n = R^2 / (r^2 + r_f^2) \quad (42)$$

$$(41) \text{ 式より } n = (1 - P_0) R^2 / r_f^2 \quad (43)$$

$$(42), (43) \text{ 式より } R^2 / (r^2 + r_f^2) = (1 - P_0) R^2 / r_f^2$$

$$\therefore P_0 = r^2 / (r + r_f^2) \quad (44)$$

(44) 式に (39) 式を代入すれば、不透過限界多孔度値 P_{0-L} は

$$P_{0-L} = 4 T^2 (\cos \theta)^2 / \{ 4 T^2 (\cos \theta)^2 + \rho^2 g^2 h^2 r_f^2 \} \quad (45)$$

によって求めることができる。ここで常温の純水によってぬらされる場合として T, ρ および g は一定値であり、各単繊維の半径 r_f も既知のものとすれば、 θ と h の大きさのいろいろな組合わせに対応する P_{0-L} 値を算出することができる。

ここで使用している9種類の試料繊維について、断面

(第 15 表) 各種繊維集合体の場合の空げき側面における接触角 θ の各値に対する水が不透過となる限界多孔度値 P_{0-L} 値の一例 (水柱高さ h が 40 cm の場合) (%)

θ		90°	95°	100°	105°	110°	115°	120°	125°	130°	135°	140°	145°	150°	155°	160°	165°	170°	175°	180°
繊維		〜																		
綿		0	16.4	43.4	63.2	74.9	82.0	86.4	89.4	91.3	92.7	93.7	94.5	95.0	95.4	95.8	96.0	96.1	96.2	96.2
羊 毛		0	8.9	27.7	46.2	59.9	69.5	76.1	80.8	84.1	86.4	88.2	89.5	90.5	91.3	91.8	92.2	92.5	92.7	92.8
レーヨン(ビスコース)		0	13.6	38.1	57.8	70.5	78.5	83.6	87.0	89.4	91.1	92.3	93.3	93.9	94.4	94.7	95.0	95.2	95.3	95.4
アセテート		0	14.7	40.2	60.0	72.3	79.9	84.8	88.5	90.2	91.8	92.9	93.3	94.4	94.8	95.2	95.4	95.6	95.7	95.8
ポリエステル		0	14.1	35.5	55.2	68.2	76.6	82.1	85.8	88.3	90.2	91.5	92.5	93.3	93.8	94.2	94.5	94.7	94.8	94.9
ナイロン		0	10.5	31.4	50.5	64.0	73.1	79.2	83.3	86.3	88.4	89.9	91.1	91.9	92.6	93.1	93.4	93.6	93.8	93.9
ビニロン		0	10.9	32.3	51.6	65.0	73.9	79.9	83.3	86.8	88.8	90.3	91.4	92.2	92.9	93.3	93.7	93.9	94.0	94.1
アクリル		0	11.1	32.8	52.2	65.5	74.3	80.2	84.2	87.0	89.0	90.5	91.6	92.2	92.9	93.3	93.8	94.0	94.2	94.3
ポリプロピレン		0	9.2	28.5	47.1	60.7	70.2	76.8	81.3	84.5	86.9	88.6	89.9	90.8	91.6	92.1	92.5	92.8	92.9	93.0

を円形と仮定してその半径 r_f 値を求め、水柱高さ $h = 15, 40, 65 \text{ cm}$ の 3 水準の場合の各 θ に対応する P_{0-L} 値を求めた結果の一例として $h = 40 \text{ cm}$ の場合を第 15 表に示す。

そしてこのようにして求めた $\theta \sim P_{0-L}$ 関係の一例として、ポリエステル系繊維の集合体の場合を水圧値別に示したのが第 26 図である。

(第 26 図) ポリエステル系繊維集合体の場合の空げき側面における θ と水が不透過となる限界多孔度値 P_{0-L} との関係

これによってわかるように、同一繊維の集合体の場合でも $\theta \sim P_{0-L}$ 関係は付与水圧値によってかなり異なっている。すなわち $h = 15 \text{ cm}$ の低水圧の場合には $\theta = 115^\circ$ 付近から P_{0-L} は平衡に達し、しかもその値は 98% 程度の大きな値を示し、繊維表面の呈する接触角が $115 \sim 120^\circ$ 程度であれば、繊維相互間空げきが相当大きな状態でも水の流出は阻止されることがわかり、このような低水圧の場合には接触角がある程度大でありさえすれば、集合体の多孔度値がかなり大きくても水が不透過となることがわかる。ところが水圧値が大きくなるにつれて、 θ の増大に伴う P_{0-L} の増大傾向は緩慢となり、 $h = 40 \text{ cm}$ の場合には $\theta = 140^\circ$ 付近から、また $h = 65 \text{ cm}$ の場合には $\theta = 170^\circ$ 付近からようやく P_{0-L} は平衡に達し、しかもその値はそれぞれ 95, 85% 程度であり、こ

のような高水圧の場合には接触角がきわめて大きな状態でも、集合体の多孔度値のかなり小さなコンパクトな状態にしなければ、水の流出を阻止することはできないことがわかるのである。

D. 水を対象とした場合のまとめ

以上の結果、常温の水を対象とした場合の繊維集合体のぬれは、必ずしも素材繊維の水分率の大小すなわち一般的な親水性、疎水性という区分と一致しない場合があり (もっとも大部分は比例的であるが)、またよくぬらされる集合体の場合でも、ぬれのタイプによって、さらに集合体の多孔度値 (空げき率, 含気率) によってかなり相違することが指摘された。

E. その他の実験

以上のほかに、つぎの各場合についても実験、考察を実施した。

a. アクリル繊維集合体のぬれ^{88,89)}

前記の諸実験において、疎水性合繊 (リゲインが小さいという意味) であるアクリルは、その集合体としてはどのような見掛けの構成密度においてもきわめてよくぬらされるという結果が得られた。ただしこれらはただ二つのアクリル繊維を用いて行なってきたものであるが、本系統の合繊には、共重合物の種類、配合割合などによって諸性状のかなり異なったものもあり、国内においても数社から別々の商品名で市販されている。そこでいままでに得られたところの集合体がよくぬらされるという現象が、すべてのポリアクリロニトリル系合繊の場合に認められるのか、それとも異なった挙動を示すものがあるのかについて、あらためて詳細に検討してみた。6 種類の本系統の繊維を試料とし (従来と同様に非イオン系界面活性剤液による洗浄と温水洗を十分に繰返すことによって精練したもの)、毛管作用的ぬれ、水中没せきぬれ、水圧を加えた場合のぬれの各場合について測定

した。

その結果、5種類のアクリルの集合体はすべてどの場合にもきわめてよくぬれられるが、アクリル系(モダアクリル)の集合体はきわめてぬれがわるく、ポリエステル系の集合体と同程度かまたはもっとぬれないことが指摘された。

b. 異種繊維の混合割合による繊維集合体のぬれの変化⁹⁰⁾

集合体としてのぬれが大きい繊維と小さい繊維とを種々な割合に混合して集合体とした場合、その混合割合によってぬれがどのように変化するかについて検討した。採用した組合わせは、綿—ポリエステル、レーヨン—ポリプロピレン、アクリル—羊毛の三つの場合であり、毛管作用的ぬれ、水中浸せきぬれ、水圧を加えた場合のぬれの各場合について測定した。

その結果、同じ組合わせの場合でもその混合割合によってぬれは著しく相違する。アクリル—羊毛の場合は他の組合わせの場合と異なった傾向を示すことなどがわかった。

c. 各種繊維の集合体を はっ水加工したときの耐水圧効果の比較⁹¹⁾

通気性防水加工布としては、はっ水性とともに耐水圧性もできるだけ大きいことが望ましい。この耐水圧性を評価するには、通常繊維を試料として耐水圧試験を行なうわけであるが、われわれは前記の水圧を加えた場合のぬれの実験と同じ方法によって、9種類のばら繊維を用いて、これらを防水加工し、近似した構成状態とみなされる塊状構造の集合体を作成し、これを布の厚さ方向に拡大した繊維層とみなし、この中への水の浸透流下挙動を観測することにより、付与水圧値および集合体の多孔度値の2要因と関連づけて解析し、未加工時と比べて耐水圧効果がどの程度向上するかについて検討し、特に繊維の品種による加工効果の相違について考察した。本報では、パラフィン系はっ水剤(セロールS)によって標準的加工処理を施した場合について実施した。

その結果、防水加工効果(耐水圧性の向上程度)は繊維の品種によってかなり相違すること、同一繊維の集合体でも加工されたことによる耐水圧性の向上程度は多孔度値および付与水圧値によって非常に相違することなどが指摘された。

d. 防水加工における はっ水効果と耐水圧効果との相関性について^{92,93)}

布に通気性防水加工を施した場合、繊維自体が疎水化

され布のはっ水性が向上したとしても、その耐水圧性の方は種々の要因から必ずしも高まるとは限らない。したがって防水加工処理条件の変化によって、この両者がどのような相関をもって向上するかについて解析し検討する必要がある。われわれは前記の毛管作用的ぬれと水圧を加えた場合のぬれの手法を用いて行なうこととし、本報では一例として、セルロース系繊維(レーヨンステープル)の集合体をシリコン系はっ水剤で処理した場合のはっ水効果と耐水圧効果との相関性を解析し、あわせて両者に及ぼす処理要因の影響など一般的事項についても検討した。試料集合体の多孔度値が70%および80%の両場合について測定し、はっ水効果指数 E_p および耐水圧効果指数 E_s をそれぞれ規定して、両者の散布図を描き考察した。

その結果、 E_p と E_s の相関性は、 $P_o=70\%$ の場合には $E_s=65$ を限界として趣きを異にし、 $E_s<65$ の範囲では両者は直線的に増加する傾向が認められ、 $E_s>65$ の範囲では $E_p=100$ またはそれに近い値を示し、 $E_s\leq 65$ の範囲において両者の間にきわめて高度の相関が成立し(第27図)、また $P_o=80\%$ の場合には E_s の分布範囲はきわめてせまく、しかも一様に低い値を示しているのに対して、 E_p の分布範囲は非常に広く、 $E_s=13.3$ を限界として、それ以上の範囲では E_p はすべて100とみなすことができるが、 $E_s\leq 13.3$ の範囲では E_s のわずかな変化によって E_p はほとんど垂直に近い傾きをもって増加する傾向が認められる(第28図、次ページ)こと、 $P_o=70\%$ の場合には加工処理要因のうち処理液濃度がはっ水性および耐水圧性に対して大きな影響をもち、はっ

(第27図) はっ水効果指数と耐水圧効果指数の散布図(試料繊維集合体の多孔度値が70%の場合)

(第 28 図) はっ水効果指数と耐水圧効果指数の散布図
(試料繊維集合体の多孔度値が 80% の場合)

水性の向上とともに耐水圧性もある程度向上するが、 $P_0=80\%$ の場合には処理条件を強めても耐水圧効果は得られないことなどがわかった。

e. 塩素化による羊毛集合体の めれ挙動の変化⁹⁴⁾について

羊毛の表面は、エピクチクル膜の存在によって大きな疎水性を呈し めらされにくいものである。しかし塩素化などを施してスケールを破壊すると、よく めらされるようになるということが従来一般的にいわれている(最近新しい防縮加工法として発展普及しつつあるポリマーによるスケール マスキングによる場合にも、その予備処理として塩素化でスケールをこわして、樹脂液にめれやすくすることが重要なプロセスとされている)。だが果たしていつの場合もそうであろうか、処理の程度によってはどうか、めれのタイプによってはどうかなどについて詳細に検討してみる必要がある。本報では、塩素化処理として Negafel 法を採用し、有効塩素量を 3 水準にとり、各処理羊毛の集合体の場合と未処理羊毛の集合体の場合との めれを比較した。めれの測定は毛管作用的めれ、水中浸せきめれ、水圧を加えた場合のめれの各場合について行なった。

その結果、単なる毛管作用的めれの場合には、かなり強度の塩素化処理を受けたものでも吸水はほとんど起こらず、未処理の場合と変わらないこと、水中浸せきめれの場合には、塩素化処理が弱いと未処理と変わらないが、ある程度以上強処理であった場合には、水が試料塊中に浸入し空気とおきかわるようになる(ただし浸せき後かなり長時間が経過してから)こと、積極的に水圧を付与する めれの場合には、塩素化処理が強かった場合ほど水

の浸透流下は速くなり、同時に試料塊柱下端面からの水の流出量も多くなることが認められた。このようになる理由としては、かなり強度の塩素化処理を受けてスケールの先端部が損傷されても、まだかなり大きな疎水性、はっ水性が残存し、このため単なる毛管めれは起こらないが、ある程度以上の水圧が加えられると、この残存はっ水性では抵抗しきれず、集合体として めらされるようになることと、強い塩素化処理によって試料羊毛塊構成空けきがいくぶん広まるためと考えられる。

f. 液状油を対象とした場合の繊維集合体の吸油性^{95,96)}について

最近繊維製品の はっ油加工の重要性が高まってきており、液状油による繊維集合体の めれについて詳細な解析を実施する必要がある。そして布面上の めれにおいては、その表面が完全に液体をはじく性状でないかぎり、一般固体表面(たとえばガラスやプラスチックなどの表面)の場合とは異なって、液体が単に表面上を広がるだけでなく、繊維内部、繊維相互間、糸相互間の空けきに沿った毛管作用に基づく集合体内部への浸透が起こることを考慮する必要がある。そこで本報では、一つの試みとして数種類の液状油を対象として毛管作用的めれの場合について、ばら繊維の集合体の吸油性(逆の観点からすれば はっ油性)を測定し比較してみた。また従来一般的には はっ水加工布は油よごれがつきやすいといわれているが、この点について明確に量的に把握することを目的として、一般的にはっ水剤で加工することにより吸油性がどのように変化するか、また はっ水性の向上程度と比べてどうかについて検討した。

その結果、ここで採用した 8 種類の繊維の集合体の吸油性は、繊維の品種によってはほとんど差がないこと(このことは蒸留水を対象とした場合の吸水性が繊維の品種によって非常に相違した⁸³⁾ことと対比的である)。ここで採用した 4 種類の油においては、吸油量からして二つのグループにわかれる。すなわち表面張力、粘度、比重の小さい n -ヘプタンと n -ヘプタン 50/ニュジオール 50 の両場合は全般的に吸油量は多く、これに対して逆の性状であるところのニュジオールとオリーブ油の両場合は吸油量は少ないこと、試料集合体の多孔度値による吸油性の変化傾向も、繊維の品種によってほとんど差がなく、油の種類によってかなり相違する。すなわち n -ヘプタンのような油では最大吸油量を示す多孔度値が存在するが、ニュジオールのような油では多孔度値による差はほとんどないこと、5 種類の一般的な はっ水剤でそれ

それぞれの標準的処理条件で、レーヨンとポリエステル集合体を加工しても、はつ油性は発揮されず、ニュジョールを対象とした場合は未加工の集合体と同じかやや少ない目の吸油量を示す程度であり、*n*-ヘプタンを対象とした場合にはむしろ吸油量はやや増加すること、ピリジニウム系とシリコン系の両はつ水剤により、弱い処理条件の組合わせから強い処理条件の組合わせまで、それぞ

れ計 135 個の加工を施したレーヨン集合体について、吸油量と吸水量の両方を測定し散布図を描いたが、どちらの場合も吸油性～吸水性の間には相関性は認められないことなどがわかった。

g. フッ素系はつ水、はつ油加工剤で処理した繊維集合体の吸油性について⁹⁷⁾

はつ水、はつ油加工剤としてのフッ素化合物(スコッチガードFC-210)で、処理条件をいろいろに変えて処理したレーヨン集合体の *n*-ヘプタンを対象とした場合の吸油性について詳細に検討した。またあわせて蒸留水を対象とした場合の吸水性についても測定し、吸油性と吸水性の相関性についても考察した。

その結果、処理条件によって吸油性にかなりの相違がみられ、特に処理液濃度の影響が大きいこと、処理液の

(第 29 図) *n*-ヘプタンを対象とした場合の各種繊維の集合体における経過時間と吸油量の関係(集合体の多孔度が 80% の場合)

(第 30 図) ニュジョールを対象とした場合の各種繊維の集合体における経過時間と吸油量の関係(集合体の多孔度が 80% の場合)

(第 31 図) *n*-ヘプタンを対象とした場合のレーヨンおよびポリエステル集合体における 30 min 経過後の吸油量の多孔度値による相違

(第 32 図) ニュジョールを対象とした場合のレーヨンおよびポリエステル集合体における 30 min 経過後の吸油量の多孔度値による相違

(第 33 図) 未加工および一般的はつ水剤の標準的条件下で加工したレーヨンおよびポリエステル集合体の 30 min 経過後の吸油量の比較(油は *n*-ヘプタン, 未加工の試料集合体の多孔度値が 80% の場合)

(第 34 図) 未加工および一般的のはっ水剤の標準的条件で加工したレーヨンおよびポリエステル集合体の 30 min 経過後の吸油量の比較 (油はニュジョール, 未加工の試料集合体の多孔度値が 80% の場合)

(第 35 図) ピリジニウム系はっ水剤によって種々な処理条件の組合せで加工した場合の 30 min 経過後の吸油量と吸水量の散布図 (レーヨン集合体, 未加工の試料集合体の多孔度値が 80% の場合, 吸油量は ● 印…*n*-ヘプタン, × 印…ニュジョールを対象とした場合を示す)

(第 36 図) シリコン系はっ水剤によって種々な処理条件の組合せで加工した場合の 30 min 経過後の吸油量と吸水量の散布図 (レーヨン集合体, 未加工の試料集合体の多孔度値が 80% の場合, 吸油量は ● 印…*n*-ヘプタン, × 印…ニュジョールを対象とした場合を示す)

低濃度範囲では濃度水準に比例して吸油性は急減し, 逆の観点からすれば集合体としての はっ油性が急激に向上するが, それ以上の高濃度範囲では変化はなくなること, 強い処理条件の組合せでは吸水量はゼロでありはっ水性は完全に発揮され, また はっ油性もかなり大きく, 前記の一般的のはっ水剤で加工した場合の はっ水性は発揮されるが はっ油性はむしろ低下することと大きく相違するが, 弱い処理条件の組合せの範囲では吸油量, 吸水量とも処理条件によって変化し, かなりの値を示す場合があり, はっ油性, はっ水性ともに不十分であり, そしてこの範囲では吸油量と吸水量との間には高度の相関性が認められた。

h. 繊維集合体の吸溶剤性について⁹⁸⁾

最近溶剤加工がクローズ アップされているので, それに対する一つのデータとして, 繊維集合体の毛管作用的ぬれに基づく吸溶剤量の測定を行なった。試料繊維は 6 種類, 溶剤はパークレンとし, 繊維の品種による相違, 集合体の多孔度値による相違について比較, 検討した。なお測定はパークレンの飽和蒸気中で行なった。

その結果, 吸溶剤量は繊維の品種によってほとんど相違しないが, 多孔度値によっては相違すること, 各繊維とパークレンとの接触角はいずれもほとんどゼロとみなされることなどが把握された。

4. 結 言

以上の各項において, ぬれの一般的事項, 繊維集合体のぬれについての展望, われわれの行なった実験結果の概要について述べた。最初にも記したように, 染色や仕上加工などにおいて湿式処理を受ける際に, 繊維集合体のぬれの問題はきわめて重要であり, また繊維製品の消費科学的分野においても関係が深い。このような意味からしてこの拙稿がなんらかのご参考になれば幸甚である。

文 献

- 83) 佐貫, 久利, 太田; 繊維誌, **21**, 91 (1965)
- 84) 佐貫, 伊藤, 太田; 繊維誌, **21**, 506 (1965)
- 85) 佐貫, 加藤; 繊維誌, **22**, 43 (1966)
- 86) 佐貫, 戸辺, 安藤; 繊維誌, **22**, 134 (1966)
- 87) 佐貫, 安藤, 加来; 繊維誌, **23**, 133 (1967)
- 88) 佐貫, 石藤; 繊維誌, **22**, 515 (1966)
- 89) 佐貫, 石藤; 繊維誌, **23**, 138 (1967)
- 90) 佐貫, 加来, 梶山; 未発表
- 91) 佐貫, 安藤, 加来; 学振染色加工第 120 委員会年次報告, **19**, 221 (1968)
- 92) 佐貫, 加来; 繊維学会 42 年春期研究発表会講演要旨集, p. 15 (1967)
- 93) 佐貫, 加来; 繊維学会 42 年秋期研究発表会講演要旨集, p. 14 (1967)
- 94) 佐貫, 上原, 佐藤; 学振染色加工第 120 委員会年次報告, **20**, 245 (1969)
- 95) 佐貫, 大津, 等松; 繊維科学誌, **11**, 368 (1970)
- 96) 佐貫, 大津, 等松; 繊維科学誌, **12**, 156 (1971)
- 97) 佐貫, 大津; 未発表
- 98) 佐貫, 山石, 小林, 石島; 未発表