(昭和41年8月4日受理)

防水加工による各種繊維集合体の耐水圧効果について

第2報 水の不透過限界多孔度値の推定

東京農工大学工学部 佐 貴 治 夫・安 藤 克 彦
加 来 俊 高WATER-PROOFING PROCESSES OF FIBERS AND THEIR RELATION TO
THE WATER-RESISTING PROPERTIES OF THE FIBER ASSEMBLIES.
PART II. THE CRITICAL POROSITY OF FIBER ASSEMBLY FOR WATER-
IMPERMEABILITY.

By Haruo Sanuki, Katsuhiko Andō and Toshitake Kaku

(Faculty of Engineering, Tokyo University of Agriculture and
Technology, Koganei City, Tokyo, Japan)

The previous report dealt with the results of experiment on the wetting behaviors of non-treated fiber assemblies under various hydrostatic pressures. It was found that the water-resisting effects are dependent on the types of fibers, the porosity of the assemblies, and impressed hydrostatic pressures, and, furthermore, that the smaller the porosity of assembly, the lower the rate of downward flow of water, irrespective of types of fibers. The flow of water was completely impeded at a critical porosity.

In the present paper the authors discuss the critical porosity of fiber assembly (P_{0-L}) assuming the simplified model of the structure. This model assembly is assumed to have a structure in which the axis of fibers is so arranged in parallel and homogeneously that there exists inter-fiber capillary space of radius r . Then the water tension F on the wall of capillary space and hydrostatic pressure on the assemblies W_p may be expressed as ;

$$F = T \cos \theta \cdot 2 \pi r \qquad W_p = \rho g h \cdot \pi r^2$$

where T and ρ are surface tension and density of water, h the height of water-column, θ contact angle, and g acceleration of gravity. The porosity of the assembly may be expressed as ;

$$P_0 = r^2 / (r^2 + r_f^2)$$

where r_f is radius of constituent fibers.

In the case of $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$, balance of F and W_p is impossible and water does not permeate at $r = 0$, so P_{0-L} is 0 %. In the case of $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$, if $F + W_p = 0$ vix. $r = -2 T / \rho g h \cdot \cos \theta$ is held, water will not permeate and then the following relation is obtained.

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

According to this relation, P_{0-L} was calculated as function of contact angle and water pressure on nine samples of fiber assemblies and the results are tabulated. When any fiber assembly was finished by any water-proofing agent, the porosity at which the assembly becomes water-impermeable can be approximately estimated from this Table, provided that the values of contact angle between the fiber and water are known. On the other hand, the contact angle will be obtained if the value of P_{0-L} is known.

(Received August 4, 1966)

1. 緒 言

通気性防水加工布における耐水圧性の評価解析法の一

つの新しい試みとして、本研究では各種のパラ繊維を用いて近似した状態と考えられるところの塊柱構造の集合体を人為的に作成し、これを試料としていろいろな水圧

下での被浸透挙動を観測し、付与水压値および集合体の構成空けきの大きさの2要因と関連づけて解析することとし、まず第1報¹⁾では未加工時の耐水压効果について判定し考察を加えた。その結果、1次および2次の耐水压効果指数は繊維品種、空けきの大きさおよび付与水压値によってかなり相違するが、どの繊維品種の場合にも集合体の構成空けきが密になるにしたがつて水の浸透流下は遅くなり耐水压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、ある水压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、完全な耐水压効果を発揮することになるものと考えられた。そこで本報では繊維表面がある接触角を呈しているとき、ある水压値のもとでどのような多孔度値の場合にその集合体中へ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})を推定した結果を報告する。

そして本報で得られた各水压値での各種繊維の集合体の不透過限界多孔度値とそれに対応する接触角との相関表を用い、続報での各種防水剤による加工時の実験結果からはあくされる不透過限界多孔度値をあてはめて、各加工時の各繊維表面の呈する水との接触角の大きさを推定しようとするものである(単繊維状での液と呈する接触角を実際に測定によつてはあくすることはきわめて困難であるので)。

2. 不透過限界多孔度値の推定

理論的に水が不透過になる限界多孔度値(P_{0-L})を求めるにあたって、繊維集合体ではいろいろ困難な問題がつきまとうため、ここではモデル化した場合について考察することにした。いま、本研究で使用している試料塊柱としてアクリランパイプ中に充てんされたパラ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、単繊維群によつて構成されている空けき部を半径 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

Fig. 1. Schematic representation of F and W_p in the capillary space of assembly ($0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$).

Fig. 2. Schematic representation of F and W_p in the capillary space of assembly ($90^\circ < \theta \leq 180^\circ$).

水の高さを h 、水と空けき部微小円管壁(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压 W_p は次の両式によつてあらわされる²⁻⁹⁾。

$$F = T \cos \theta \cdot 2\pi r \quad (1)$$

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

ところで管壁内に働く水の張力 F の力の方向は接触角 θ の値によつて異なるので、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。

Fig. 3. Relation of $\theta \sim P_{0-L}$ for assembly of polyester fiber.

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

第1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 $r=0$ 、すなわち全く空けきのない状態にしなければならない。このことからして $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ 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) $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$

この場合には第2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 とがつり合えば水の透過を防ぐことができる。これらがつり合うためには

$$\rho gh \cdot \pi r^2 + T \cos \theta \cdot 2 \pi r = 0 \quad (3)$$

が成立しなければならない。この(3)式から水が不透過となるときの微小円管の半径 r は次式であらわされる。

$$r = -2 T / \rho gh \cdot \cos \theta \quad (4)$$

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細管群の平均半径 r は近似的に次式で

あらわされる¹⁰⁾。

$$r = \sqrt{R^2/n - r_f^2} \quad (5)$$

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

$$P_0 = (\pi R^2 - n \pi r_f^2) / \pi R^2 \quad (6)$$

によつてあらわされる。

Table 1. The values of r_f in fiber samples, cross-section is assumed to be circle.

Substance	Denier (d)	$r_f (\times 10^{-4} \text{cm})$
Natural Cellulose		7.5
Protein		10.6
Rayon (Viscose)	3	8.4
Acetate	3	8.0
Polyester	3	8.8
Polyamide	3	9.7
Polyvinyl Alcohol	3	9.5
Acrylic	3	9.4
Polypropylene	3	10.4

Table 2. The critical porosities of fiber assemblies for water-impermeability (in the case of $h=15 \text{ cm}$) (%)

Substance	θ	90°	95°	100°	105°	110°	115°	120°	125°	130°	135°	140°	145°	150°	155°	160°	165°	170°	175°	180°
Natural Cellulose	~	0	57.9	84.6	92.4	95.5	97.0	97.8	98.3	98.7	99.0	99.1	99.2	99.3	99.3	99.4	99.4	99.4	99.4	99.5
Protein	~	0	40.7	73.3	85.4	91.4	94.4	95.8	96.6	97.4	97.8	98.2	98.4	98.5	98.7	98.8	98.8	98.8	98.8	98.9
Rayon (Viscose)	~	0	52.4	81.1	90.0	94.4	96.6	97.3	97.7	98.0	98.2	98.3	98.4	98.5	98.6	98.7	98.7	98.7	98.7	98.8
Acetate	~	0	54.6	82.7	91.1	95.4	97.6	98.1	98.4	98.6	98.7	98.8	98.9	99.0	99.0	99.1	99.1	99.1	99.1	99.1
Polyester	~	0	49.7	77.9	86.8	91.1	93.3	94.0	94.3	94.5	94.6	94.7	94.8	94.9	94.9	95.0	95.0	95.0	95.0	95.1
Polyamide	~	0	45.0	76.6	85.2	89.5	91.6	92.3	92.6	92.8	92.9	93.0	93.1	93.2	93.2	93.3	93.3	93.3	93.3	93.4
Polyvinyl Alcohol	~	0	46.1	77.7	86.3	90.6	92.7	93.4	93.7	93.8	93.9	94.0	94.1	94.2	94.2	94.3	94.3	94.3	94.3	94.4
Acrylic	~	0	46.7	77.7	86.3	90.6	92.7	93.4	93.7	93.8	93.9	94.0	94.1	94.2	94.2	94.3	94.3	94.3	94.3	94.4
Polypropylene	~	0	41.6	74.0	82.6	86.9	89.0	90.6	91.3	91.6	91.7	91.8	91.9	91.9	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.1

Table 3. The critical porosities of fiber assemblies for water-impermeability (in the case of $h=40 \text{ cm}$) (%)

Substance	θ	90°	95°	100°	105°	110°	115°	120°	125°	130°	135°	140°	145°	150°	155°	160°	165°	170°	175°	180°
Natural Cellulose	~	0	16.4	43.3	46.3	47.4	48.2	48.6	48.9	49.1	49.2	49.3	49.4	49.5	49.5	49.5	49.6	49.6	49.6	49.6
Protein	~	0	8.9	27.7	46.2	59.9	69.5	76.1	80.8	84.4	86.6	88.2	89.5	90.5	91.1	91.3	91.4	91.4	91.4	91.4
Rayon (Viscose)	~	0	13.6	38.1	57.7	70.0	78.5	83.3	86.7	88.9	90.1	91.2	92.3	93.3	94.4	95.4	96.5	97.5	98.5	99.4
Acetate	~	0	14.7	40.0	59.0	72.7	81.2	86.0	89.4	91.6	92.8	93.9	94.9	95.9	96.9	97.9	98.9	99.9	100.0	100.0
Polyester	~	0	14.1	35.5	55.5	68.2	76.6	81.2	84.6	86.8	88.3	89.4	90.4	91.4	92.4	93.4	94.4	95.4	96.4	97.4
Polyamide	~	0	10.5	31.1	45.0	56.4	65.3	71.9	76.3	78.6	80.0	81.1	82.1	83.1	84.1	85.1	86.1	87.1	88.1	89.1
Polyvinyl Alcohol	~	0	10.9	32.1	46.1	57.5	66.3	72.9	77.3	79.6	81.0	82.1	83.1	84.1	85.1	86.1	87.1	88.1	89.1	90.1
Acrylic	~	0	11.1	32.1	46.1	57.5	66.3	72.9	77.3	79.6	81.0	82.1	83.1	84.1	85.1	86.1	87.1	88.1	89.1	90.1
Polypropylene	~	0	9.2	28.5	47.1	60.0	67.0	72.6	76.8	78.1	79.2	80.2	81.2	82.2	83.2	84.2	85.2	86.2	87.2	88.2

Table 4. The critical porosities of fiber assemblies for water-impermeability
(in the case of $h=65\text{ cm}$) (%)

Substance	θ	90°	95°	100°	105°	110°	115°	120°	125°	130°	135°	140°	145°	150°	155°	160°	165°	170°	175°	180°
Natural Cellulose	0	6.7	22.2	39.1	52.9	63.2	70.7	76.0	79.9	82.8	84.9	86.6	87.8	88.8	88.9	59.0	0.9	0.3	90.5	90.6
Protein	0	3.6	12.5	24.3	36.0	46.2	54.7	61.2	66.6	70.7	73.8	76.6	78.7	80.3	81.8	82.8	83.2	82.7	82.8	82.8
Rayon (Viscose)	0	5.4	18.6	34.0	47.4	57.8	65.9	71.7	76.6	79.9	82.8	84.9	86.6	87.8	88.8	88.9	59.0	0.9	0.3	90.5
Acetate	0	5.9	20.0	36.0	49.6	60.0	67.7	73.8	77.8	80.3	82.8	84.9	86.6	87.8	88.8	88.9	59.0	0.9	0.3	90.5
Polyester	0	4.9	17.0	31.6	44.7	55.2	63.2	69.4	74.7	77.8	80.3	82.8	84.9	86.6	87.8	88.8	88.9	59.0	0.9	0.3
Polyamide	0	4.1	14.5	27.7	40.1	50.5	58.5	65.3	70.7	73.8	76.6	78.7	80.3	81.8	82.8	83.2	82.7	82.8	82.8	82.8
Polyvinyl Alcohol	0	4.3	15.1	28.6	41.2	51.6	59.6	66.4	71.7	74.7	77.8	80.3	82.8	84.9	86.6	87.8	88.8	88.9	59.0	0.9
Acrylic	0	4.3	15.1	28.6	41.2	51.6	59.6	66.4	71.7	74.7	77.8	80.3	82.8	84.9	86.6	87.8	88.8	88.9	59.0	0.9
Polypropylene	0	3.6	14.8	25.0	36.8	47.1	55.6	62.1	67.4	71.7	74.7	77.8	80.3	82.8	84.9	86.6	87.8	88.8	88.9	59.0

$$(5) \text{式より } n = R^2/(r^2 + r_f^2) \quad (7)$$

$$(6) \text{式より } n = (1 - P_0)R^2/r_f^2 \quad (8)$$

$$(7), (8) \text{式より } R^2/(r^2 + r_f^2) = (1 - P_0)R^2/r_f^2$$

$$\therefore P_0 = r^2/(r^2 + r_f^2) \quad (9)$$

(9)式に(4)式を代入すれば不透過限界多孔度値 P_{0-L} は

$$P_{0-L} = 4 T^2(\cos\theta)^2 / \{4 T^2(\cos\theta)^2 + \rho^2 g^2 h^2 r_f^2\} \quad (10)$$

によつて求めることができる。ここで常温の純水によつ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み合わせに対応する P_{0-L} 値を算出することができる。

本研究で使用している9種類の試料繊維について半径 r_f の値を第1表に示すようなものとして¹¹⁻¹²⁾、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} 値を求めた結果を第2, 3, 4表に示す。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ものが第3図である。これによつてわかるように、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つ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、繊維相互間空けがき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は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。

3. 総 括

本報では塊柱構造の繊維集合体において、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、簡易化した模型的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})を推定はあくするための式を導出した。そしてこの式によつて各品種の繊維集合体が水によつてぬらされる場合に、構成繊維表面の呈する接触角のいろいろな大きさと上方から付与される水圧のいろいろな大きさの組み合わせに対応する P_{0-L} 値を算出し、一覧表を作成した。

ある一つの繊維集合体はある一定水圧のもとでは、微小空けき側面の呈する接触角の値を変化させるることによつて P_{0-L} 値を自由に変えることができるわけであるが(ただし $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$ の場合として)、ここで得られた相関表を用いることにより、各種防水剤で加工されたバラ繊維が集合体を形成した場合、ある水圧のもとで多孔度値 P_0 をどのようにとつたら水は不透過になるのか、あるいは逆に不透過限界多孔度値 P_{0-L} がわかっているならば、その場合の微小空けき側面の水との呈する接触角の大きさが近似的に推定はあくできるものと考えられる。続報では各種防水剤で各種繊維集合体を加工した場合の耐水圧効果について報告するが、その際本報で得られた結果を上記のような目的で応用してみたい。

(付記) 種々ご助言をいただいた岐阜大学牧島邦夫教授および平岡織染株式会社技術部長中井新蔵氏に厚く謝意を表します。

文 献

- 1) 佐貫, 戸部, 安藤; 織学誌, 22, 134 (1966)
 - 2) 板谷; 水力学, p. 50 (1963)
 - 3) 繊維新聞社; 加工織物の実際知識, p. 169 (1961)
 - 4) 佐々木; 繊維加工, 13, p. 451, p. 547 (1961)
 - 5) 小川; 応用被服材料学, p. 128 (1963)
 - 6) 日本化学会; 実験化学講座, 7, p. 7 (1956)
 - 7) 村上; 繊維, 6, 3, p. 13 (1954)
 - 8) P. Kaswell; Textile Fibers, Yarns and Fabrics., p. 263 (1953)
 - 9) G.H. Segall; Text. Res. J., 22, 736 (1952)
 - 10) 平山; 織学誌, 19, 771 (1963)
 - 11) 繊維学会; 化繊便覧, p. 95 (1963)
 - 12) 日本紡績協会調査部工務課; 繊維技術データ集, p. 27 (1964)
-