(昭和 43 年 11 月 16 日 受理)

交 織 織 物 の 耐 水 圧

山形大学工学部 岩倉 賢次・藤村 敏一

STUDIES ON PENETRATION PRESSURE OF UNION FABRICS

By Kenji Iwakura and Toshikazu Fujimura

(Faculty of Engineering, Yamagata University,
Yonezawa City, Yamagata-Prefecture, Japan.)

In this paper, the water-penetrating pressure in the composite fabrics of hydrophilic and hydrophobic yarns is discussed in relation to the wettability of the materials and the structure of fabrics.

The following results were obtained ;

(1) The penetrating pressure P is given by the following equation as a function of the advancing contact angles of both component materials, θ_1 , θ_2 , radius of yarns, r , the gap between the yarns, D , and the surface tension of liquid, γ ,

$$P = \gamma(I/R_w + I/R_f)$$

$$R_w, (R_f) = \frac{r(\cos \theta_2 + \cos \theta_1) + [r^2(\cos \theta_2 + \cos \theta_1)^2 + D(4r + D)\{I - (r(\cos \theta_2 - \cos \theta_1)/(2r + D))^2\}]^{1/2}}{2\{I - (r(\cos \theta_2 - \cos \theta_1)/(2r + D))^2\}}$$

R_w and R_f are calculated for the warps and the wefts, respectively.

(2) The observed pressure agrees approximately with the calculated value, except in the case where one of advancing contact angles of the components is smaller than the critical angle. In such a case, the observed pressure is much lower than the calculated. However, the deviation becomes smaller when the hydrophilic yarns are neglected.

(3) Generally, the pressure reduces steeply with the decrease of the advancing contact angle of one component or with the increase of mixed ratio of the hydrophilic component.

(4) The water-penetrating pressure in composite fabrics of hydrophilic and hydrophobic yarns is dependent not only on the mixed ratio of yarns but also on the structure. Thus the proper design improves the comfortability of the apparel with little deterioration of water-repellency.

(Received November 26, 1968)

1. 緒 言

防水衣料において着心地の改善は重要な問題であるがこの観点から、汗を吸収しやすい親水性糸を疎水性糸に交織し、吸湿性通気性とともに防水性のある構造を与えることが考えられる。この織構造を設計するに際して基礎となる材料の特性および構造と防水性の関係を示す理論が望まれる。はつ水性は複雑な現象であるが、接触角で示されるぬれやすさが一要素であるから、耐水圧と共通の面があるので耐水圧を検討することとした。

単一材料から成る織物の耐水圧の研究として Baxter と Cassie¹⁾ は、同径の糸から成る織物の矩形の織目空隙を液体が通過するに要する圧力を糸の径、間隔および糸の前進接触角の関数とした式を提出した。

また Rijke²⁾ はたてよことも糸の径および間隔が異なる

場合について同様な解析を行なっているが、いずれも異質の材料糸を組合わせたときについては触れていない。

本研究では異質の糸を交織する場合において、織物の耐水圧を(i)各材料糸の前進接触角、(ii)糸の径および間隔(iii)液体の表面張力、の関数としてモデル的に解析するとともに、ポリプロピレンとレーヨンの交織構造や防水処理程度を異にする織物における耐水圧を実測して、それらの値を比較検討した。

2. 理 論

平行に並ぶ同質同径の円筒状の糸の間を液体が通過するに要する限界圧力(液表面の内側と外側の圧力差 P の最大値)は通過液面の示す最小曲率半径 R および液体の表面張力 γ の関数として(1)式により求められる。

$$P = r/R \quad (1)$$

Baxter ら¹⁾によると Fig. 1 において通過しようとしている液の表面がつくる曲面の曲率半径 R' はその中心 O' が直線 MN 上の O 点にきたとき極小値 R をとり、その値は (2) 式で示される。

$$R = r \cdot \cos \theta_a + \{(r+d)^2 - r^2 \sin^2 \theta_a\}^{1/2} \quad (2)$$

ただし、 r : 糸の半径、 $2d$: 糸間間隙、 θ_a : 材料糸の前進接触角。

Rijke²⁾ は Fig. 2 のように糸の材質が同じであって、その太さおよび糸間隔の異なる織物を通しての液体の通過圧力を (3) 式で示した。

$$P = r(1/R_w + 1/R_f) \quad (3)$$

ただし

$$\begin{cases} R_w = r_w \cdot \cos \theta_a + \{(r_w + d_w)^2 - r_w^2 \sin^2 \theta_a\}^{1/2} \\ R_f = r_f \cdot \cos \theta_a + \{(r_f + d_f)^2 - r_f^2 \sin^2 \theta_a\}^{1/2} \end{cases}$$

著者らは異質の材料糸を交織し、各糸の前進接触角が異なる場合について次のように考えた。

Fig. 3 のように平行に並ぶ糸の前進接触角が異なると対称性から外れて、O 点はおのおのの前進接触角 θ_1, θ_2 に応じ横に移動するようになる。この場合の曲率半径 R は前と同様に中心が MN 線上の O にきたとき極小になるとして

$$\begin{aligned} R &= r \cdot \cos \theta_1 + \{(r+d_1)^2 - r^2 \sin^2 \theta_1\}^{1/2} \\ &= r \cdot \cos \theta_2 + \{(r+d_2)^2 - r^2 \sin^2 \theta_2\}^{1/2} \end{aligned} \quad (4)$$

Fig. 1. Penetration of water between yarns.

Fig. 2. Diagram of fabric structure.

Fig. 3. Penetration of water between yarns of different materials.

さらに Fig. 3 で幾何学的に明かなように

$$(r+d_1)^2 = r^2 + R^2 - 2rR \cdot \cos \theta_1 \quad (5)$$

$$(r+d_2)^2 = r^2 + R^2 - 2rR \cdot \cos \theta_2 \quad (6)$$

$D = d_1 + d_2$ において (4) (5) (6) 式から (7) 式が得られる。

ただし糸の径 r は材料にかかわらず同一とする。

$$R = \frac{r(\cos \theta_2 + \cos \theta_1) + [r^2(\cos \theta_2 + \cos \theta_1)^2 + D(4r+D)] \times \{1 - (r \cdot (\cos \theta_2 - \cos \theta_1) / (2r+D))^2\}^{1/2}}{2\{1 - (r(\cos \theta_2 - \cos \theta_1) / (2r+D))^2\}} \quad (7)$$

(7) 式によりたておおよそ方向における R_w, R_f を求め、(3) 式から交織織物の織目空隙における液体の通過圧力を算出することができる。

3. 実験

3.1 試料

解析式に合う異種単繊維のモデル的網の作成が困難で

Table 1. Compositions of fabrics.
(— Rayon ---- pp)

Structures of Fabrics (warps)x(fillings)	Mixed ratio				Yarn- arrangement	Structure of a pore
	Wt. %		Vol. %			
	R	P	R	P		
-(R-R)- x -(R-R)-	100	0	100	0
-(R-R)- x -(R-P)-	83	17	75	25
-(R-R)- x -(P-P)-	60	40	50	50
-(R-P)- x -(R-P)-	60	40	50	50
-(R-P)- x -(P-P)-	36	64	25	75
-(P-P)- x -(P-P)-	0	100	0	100

Table 2. Advancing contact angle and minimum radius of liquid penetration between yarns of various water-repellency.

($r=0.013$ cm, $D=0.006$ cm, $\gamma=74.20$ dynes/cm)

Conc. of silicone	Advancing contact angle (degrees)		Minimum radius R from Eq. (7) (cm)		
	Rayon (θ_1)	P.P. (θ_2)	R-R	R-P	P-P
Untreated	0	97.3	2.90×10^{-2}	1.99×10^{-2}	7.84×10^{-3}
$10^{-3}\%$	43.5	104.3	2.27×10^{-2}	1.45×10^{-2}	6.69×10^{-3}
$10^{-2}\%$	66.8	109.0	1.58×10^{-2}	1.02×10^{-2}	6.01×10^{-3}
$10^{-1}\%$	101.4	110.8	7.12×10^{-3}	6.39×10^{-3}	5.78×10^{-3}
1 %	109.1	111.5	6.03×10^{-3}	5.83×10^{-3}	5.73×10^{-3}

あること、実用上の目的に近づくことなどにより、次の試料布を準備した。

交織材料糸として、径がほぼ同じになるように 100 D ポリプロピレンと 150 D レーヨンのマルチフィラメントの燃糸（両糸直径 0.026 cm）を使用した。

燃数は経 400/m、緯 200/m である。

4 枚そうこう平織で織密度はたてよことも 30 本/cm とした。糸配列は Table 1 に示すように試料布のおおのが異なる単一織目構造をとるよう、6 種類設計した。

3.2 通過圧力の測定

測定機器、測定条件は JIS L 1003 (1961) の規格に準じたが、この際、(i) 試料布を固定するためにクランプではさんだ部分に構造的な偏りが生じ、そこから液の通過がおりやすくなり実際よりも小さい値を測定しがちなこと、(ii) 織物は構造的に不均一性が大きい従来方法では特に大きな織目からの異常値を測定していること、などの問題があるため、本実験では次のように測定方法を修正して行なった。

18×18 cm の試料布の中央部に、大きさをほぼ相似的に、半分に順次縮小できるような、6×4 cm の測定部分を残して他は溶融パラフィンで刷毛で塗布して織目空隙をふさぐ。この試料について測定を行ない、最初に液が通過した織目を含み半分の部分塗りつぶし第 2 回の測定をする。同様に第 3 回、第 4 回……と異常に大きな織目を順次ふさいでいて測定値が一定の平衡値に達するまで繰り返す行なう。

3.3 材料糸の前進接触角測定

ポリプロピレンとセロファンフィルム、およびこれと (3.4) と同じ条件で防水処理したものについて、ゴニオメータ付顕微鏡により水滴付着直後において平衡状態に移行するために前進している状態における水滴の幅と高さを測定して接触角を算出した。織物に用いた燃糸そのもので接触角測定が困難であるため、再現性のよいフィ

ルムを使用した。

3.4 試料布の防水加工

材料糸の前進接触角を種々の中間的な値に調整するため、シリコン系防水剤（ノランシリコンコンク）の浴濃度を変えて、交織試料布の防水処理を行なった。処理条件は浴濃度を変え、浴比 1:100 とし 60℃ で 15 分間浸せき、絞り率 100%、50℃ → 110℃ まで 10 分間で昇温し、予備乾燥およびキュアリングを行なった。防水処理前後の材料フィルムの前進接触角と、各糸配列について (7) 式により算出した、通過水面の最小半径は Table 2 のようである。

4. 結果および考察

4.1 解析式の適用性

Fig. 4 は未処理交織物の、Fig. 5~7 は防水処理程度を変えたとき、の実測値と計算値とを比較したものである。Fig. 4, Fig. 5 のように未処理あるいは低濃度防水剤で処理してレーヨンの接触角が小さい場合、その配合率が大きいほど両値の差が著しく現われている。ポリプロピレン糸の配合が多いとき、またはシリコン濃度を高めてレーヨンの接触角を大きくするにつれて Fig. 6, Fig. 7 のように一致する傾向を示す。この原因として次のように考えられる。 θ が小さいとき濡れの機構が変わり、Fig. 1 において糸の表面に沿って液が前進するとき B', C' 点で隣接する液面と接するから耐水の限界に達する。液がこの限界点まで前進したとき R が極小となる場

Fig. 4. The penetration pressure through untreated fabric.

Fig. 5. The penetration pressure through fabric treated with 10⁻³% silicone.

Fig. 6. The penetration pressure through fabric treated with 10⁻²% silicone.

Fig. 7. The penetration pressure through fabric treated with (A) 10⁻¹% (B) 1% silicone.

Fig. 8. The penetration pressure through untreated fabric neglecting rayon yarns.

合 $\theta = \tan^{-1}\{(r+d)/r\}$ となる。いま材料系の前進接触角がこれよりも小さい場合、液面の中心が直線 MN 上にくる前に液が B', C' 点まで達して、となりの液面といっしょになり通過が起ってしまうため実測値が計算値より小さくなるものと考えられる。したがって交織材料系の前進接触角が上記値より小さい場合、通過機構が変わり、解析式は不適当となる。しかしこのような場合、接触角の小さい糸は先に完全にぬれて通過圧に影響しない

としてその存在を無視して、疎水性糸のみの間で前述の理論式に当てはめて計算すると Fig. 8 のように大体一致するようになる。実測値が理論値より低い値を示しがちであるが、この原因として次のことが考えられる。

解析式は径が同一の円筒を仮定したのに対し、実験ではマルチフィラメントを使用したため、(i) 表面が滑らかでなく凹凸がある。一般に固体の接触角が 90 度以下である場合、表面の凹凸は見かけの接触角を小さくす

Fig. 9. Relation between penetration pressure through various fabrics and advancing contact angles of components.

る²⁾。(ii) 織物の耐水圧は織目空隙を通する外、ファイバの間を通することも考えなければならない⁴⁾が、この糸内部のファイバ間隙を通しての液の通過を無視したために、親水性糸の場合、差が大きくなる。(iii) 織物においてはたてよ糸が互いに交叉して織目をつくる4本の糸の軸は同一平面上に位置することができず、織物の一方の面から反対の面にかけて垂直方向に傾いて通る部分があるため、縦ぬれがおこる⁵⁾ことも無視している。この影響は親水性糸において著しいと予想される。

4.2 通過圧力と糸配列構造の関係

Fig. 4～7において、各材料糸の前進接触角が大きいほど、また接触角大なる糸の配合率が多いものほど高い通過圧力を示すのみでなく、糸配列の違いによつても通過圧力が影響されることが認められる。たとえば Fig. 5 Fig. 6において同じ50%の交織率であっても $\{R-R\} \times \{P-P\}$ の構造のものは $\{R-P\} \times \{R-P\}$ の試料布より高い圧力を示している。この点を確認するために各試料布について r および D 一定における材料糸の前進接触角および糸配列と通過圧力の関係を理論式により検討する。Fig. 9において鎖線は θ_1, θ_2 が等しいとき、すなわち単一材料糸から成る場合であり、このとき接触角の減少に伴う耐水圧の低下は非常に急激である。グラフの実線部は $\theta_1 < \theta_2$ のとき、すなわち $\{R-R\} \times \{R-P\}$ の試料のように接触角が小さい親水性糸3に対して疎水性糸1を交織する場合であり、このときは親水性糸

Fig. 10. Relation between penetration pressure through fabric (A) $\{R-R\} \times \{P-P\}$, (B) $\{R-P\} \times \{R-P\}$ and advancing contact angles of components.

の接触角 θ_1 が小さいと、これに交織する疎水性糸の接触角 θ_2 をいかに大きくしても耐水圧の増大はわずかである。

点線部は $\theta_1 > \theta_2$ 、すなわち $\{R-P\} \times \{P-P\}$ の試料布に相当し、 θ_1 が大きい場合、これに θ_2 の小さい親水性糸を交織しても耐水圧はそれほど急激な悪化は示さない。

Fig. 10は同じ50%の配合率でも、その織目構造が、 $\{R-R\} \times \{P-P\}$ のように相対する2本の材質を同じくする場合と $\{R-P\} \times \{R-P\}$ のように隣接する2本が同質である場合があり、前者の構造では一方の糸の θ_1 が小さくとも、これに交織する θ_2 を大きくすると耐水圧をかなり高めることができ、逆に θ_1 の大きい材質に小さい θ_2 の糸を交織しても耐水圧の減少は著しくない。

これに対し後者の場合は一方の材料の接触角 θ_1 が小さいと、これに交織する糸の接触角 θ_2 を大きくしても耐水圧はほとんど改良されず、逆に接触角 θ_1 の大きい材料に交織する糸の接触角 θ_2 が小さくなると耐水圧は急激に減少する。

このように耐水圧の織構造による影響の実測結果を定性的に理論式によつても説明することができる。

5. 結 言

(1) 交織織物の耐水圧を材料糸の前進接触角、径お

よび間隔, 液体の表面張力の関数として解析し理論式を導いて, これが定性的に応用できることを確めた。

(2) 交織織物の織構造を工夫すれば, 親水性糸の交織による防水性の低下をある程度抑えることが期待でき, このことは内部からの汗の吸収発散をよくし, 防水衣料の着心地の改良に効果的であると思われる。

—— 昭和42年5月30日, 東京学士会館において行なわれた春期研究発表会で講演したものである。

文 献

- 1) S. Baxter & A. B. D. Cassie ; *J. Text. Inst.*, 36, T 67 (1945)
- 2) A. M. Rijke ; *J. Colloid Sci.*, 20, 205 (1965)
- 3) F. L. Warburton ; *Water Proofing and Water Repellency*, 50 (1963)
- 4) G. H. Segall : *Text. Res. J.*, 22, 736 (1952)