(昭和63年9月29日受理)

布の透湿抵抗

弘前大学 羽賀敏雄・盛 玲子

RESISTANCES OF FABRICS TO WATER VAPOR TRANSMISSION

By Toshio Haga^{*1}, Reiko Mori^{*1}

^{*} 1 (Faculty of Education, Hirosaki University, 1 Bunkyocho,
Hirosaki-City Aomori 036, Japan)

Total resistance R of fabrics to water vapor transmission was divided into apparent inner-resistance R_1^a and outer-resistance R_2^a from linear relation between R and number of layers for multilayered fabrics. The change in R through the adhesion of a nonwoven interlining to each woven fabric was studied in connection with R_1^a and R_2^a . This study also dealt with resistances of woven fabrics having relatively fuzzy uncertain surface.

Practical outer-resistance tended to decrease to a larger extent through the adhesion in the case of woven fabrics having rougher structure. The thickness of still air layer above the woven fabrics may be different from that above the same woven fabric which composed laminated one. This suggests that the thickness of still air layer above the fabrics may depend on the inner structure of the fabrics.

(Received September 29, 1988)

1. 緒 言

水蒸気透過に対する布の全抵抗値 R は、内部抵抗値 R_1 と外部抵抗値 R_2 からなることが指摘されている¹⁻⁴⁾。 R_1 は布の固有抵抗で、布本来の性質や構造を反映するものと考えられる²⁾。 R_2 は布の表面にある静止空気層に基づくもので、布の表面形状と関係がある³⁻⁵⁾と考えられている。

布表面の静止空気層の厚さを実測する方法として、湿度勾配法^{5,6)}が知られている。この方法は、布面の垂直方向の蒸気圧勾配を測定して、水蒸気拡散層（静止空気層）の厚さを実測する方法である。この方法は、布表面上で蒸気圧勾配が3次元的拡がりをもつ問題と併せて、センサーの形状、大きさ、精度が測定値に影響を与えることが考えられ、測定には慎重な取扱いが必要である⁷⁾。

R_2 は1枚の布を重ねたことによる R の増加分を、最初にあった1枚の同種の布の R から差し引いた値と考えることができる²⁾。透湿量を重量法によって測定することにより、 R を R_1 と R_2 に分離する方法として、実際には測定する布を順次重ねてそれぞれ R を測定し、 R と重ねた布の層数あるいは厚さとの間に直線性を仮定し

て求めることが多く行われている^{3,4,8)}（以下多層法という）。すなわち直線の勾配から R_1 を求め、層数または厚さ0のときの切片から R_2 が求められている。

多層法による R_1 と R_2 の分離は、特に毛羽などの存在により、布の表面と外気との境界が必ずしも明確でない布を測定する場合には、問題なしとはいえない。すなわち積層した布と布の間に無視できない空気層が存在し、それによる誤差が介入したり²⁾、直線性が損われる可能性などが考えられる。

本研究では、重量法によって、フランネルなどの単層の布（以下単層布）と接着布の R を測定した。そして多層法を用いて分離したみかけの R_1 と R_2 を吟味した。単層布と接着布の測定値を比較した結果、 R_2 について興味ある知見が得られたので、これらについて報告する。

なお相関分析の有意水準は、本研究ではすべて10%以下とした。

2. 実験方法

2.1 供試試料

試料布の詳細を表1に示す。表1にある8種類の織物の中から、含気率、圧縮率などが広範囲に異なるように、タフタ、サキソニー、ミルドール、フランネル

Table 1 Characteristics of the fabrics used in the experiments.

No. fabrics	weave	material	count(tex)		threads ends	per cm picks
			warp	weft		
1 taffeta	plain	PE ^a	8.7	8.8	39	33
2 gaberdine	twill	wool	41.7	42.0	39	28
3 burberry	twill	PE/C ^b	5.1	8.3	46	31
4 saxony	plain	wool	37.8	36.7	30	29
5 mild wool	plain	wool	40.4	36.0	30	29
6 flannel 1	plain	wool	95.8	87.1	9	9
7 flannel 2	plain	wool	74.5	69.0	12	12
8 mossy	twill	wool	57.7	95.7	23	18
9 interlining	random	PE/C ^b				

^a Polyester^b Cotton

Table 1 Continued

No. fabrics	thickness ^c (mm)	fabric density ^d (g/cm ³)	air content ^e
1 taffeta	0.093	0.667	0.514
2 gaberdine	0.434	0.482	0.634
3 burberry	0.310	0.552	0.620
4 saxony	0.532	0.474	0.641
5 mild wool	0.648	0.438	0.668
6 flannel 1	0.858	0.218	0.835
7 flannel 2	0.694	0.235	0.822
8 mossy	1.000	0.329	0.678
9 interlining	0.276	0.304	0.734

^c measured under 28.5gf/cm²^d weight per unit volume of fabric^e 1-P, P: fiber-occupied volume per unit volume of fabric

Table 1 Continued

No. fabrics	air permeability ^f (cm ³ /cm ² ·s)	compressibility (%)	surface roughness (μm)
1 taffeta	14	7.8	40
2 gaberdine	12	12.4	95
3 burberry	11	8.7	90
4 saxony	18	11.7	95
5 mild wool	11	19.0	97
6 flannel 1	242	29.8	217
7 flannel 2	114	29.4	220
8 mossy	25	35.6	239
9 interlining	193	30.1	98

^f measured by Frazier method

1, フランネル 2 を選び, 接着布の表地として使用した。接着布はこれらの織物のそれぞれに, 表 1 の接着芯地を張り合わせた 2 層のものである。芯地の基布は不織布で, 片面に接着布形成のための溶融樹脂 (ポリエチレン) がランダムドット型⁹⁾ におかれている。

表地に用いた 5 種類の織物に限定すると, 圧縮率と表面粗さの大きいものほど, 表面に毛羽が多いことが視感的に認められる。また織物の構造要素・性質 (以下要素) のうち, 厚さと織糸の太さは, 含気率との間の相関係数がそれぞれ 0.918, 0.980 の正值であり, いずれも高度に有意である。したがって, 厚さと織糸の太さの大きい織物は上の表地の範囲で, より疎な構造の織物といえる。

2.2 接着方法

荷重 45gf/cm², 温度 150°C, 10 秒間の条件で, 家庭用アイロンを用いて行った。

2.3 透湿量の測定

R₂ が測定容器の形状によって変化することが知られている。ここでは JIS Z 0208 で規定しているカップを用い, 蒸発法によって透湿量を測定した。このカップは管径 6 cm の円筒形であり, 同サイズの円形の開口部をもつ。試料布は, 水蒸気拡散層の保護カバーの役割をも果たす, 内径 6 cm, 高さ 1 cm のリングを補助用具に用いて, 開口部を除いてワックスで密封した。

測定は 20 ± 0.2°C, 65 ± 3 % RH, 10 ± 5 cm/s の外気条件で行った。カップ内の水面と測定する試料布下面との距離は 0.75 cm である。カップの重量変化を 30 分毎に測定した。カップの重量の時間に対するプロットが直線になった後, その勾配から単位時間当りの透湿量を求めた。R は 2 ~ 3 回繰り返して測定し, その平均値を求めた。

若干の種類の単層布や接着布について, それぞれ 10 回の繰り返し測定を行ったところ, 測定値の標準偏差が, 布の種類や重ね層数に依存せずほぼ 0.030 cm であることがわかった。

接着布は, 実際を考慮して表地を水蒸気の低濃度側に, 芯地を高濃度側において測定した。多層布の測定は 2 層と 3 層のものを測定した。この場合接着布は表地と芯地を張り合わせたものを 1 層とする。

2.4 透湿抵抗値 R の算出

R は次の式¹⁾によって求めた。

$$Q = \frac{D \Delta C A t}{R} \quad (1)$$

ここで Q は透湿量, D は水蒸気の拡散係数, ΔC は透湿が起る物質の両側面の水蒸気濃度差, A は透湿面積, t は透湿時間である。D は文献¹⁾に従って計算し

た。 ΔC は、水面上の蒸気圧を飽和蒸気圧 (20°C) と近似して⁵⁾、飽和蒸気圧と外気の蒸気圧との差から、文献¹⁾に従い計算した。

管径8.2cmの円筒容器を用い、20°C、65%RH、無風の外気条件で、水面から布の下面に至る距離が1cm以下の空気層に、対流層がないことが報告されている¹⁰⁾。また管径4.7cmのカップを用いた蒸発法によるRの測定において、21°C、65%RHの外気条件で水面と試料下面との距離を1cmに設定し、この空間を静止空気層とみなしている例がある¹⁾。水面と試料布下面の距離が0.75cmの場合、20°Cで一次元的な湿度勾配のみがある条件下では、上の空間がほぼ静止空気層であることが、Spencer-Smithの求めている対流因子Fcの表⁸⁾からうかがわれる (文献⁸⁾の表A1)。

本研究では、カップ内における水面と試料布下面間の距離0.75cmの空間を静止空気層とみなした。

2.5 圧縮率Cの測定

(2)式によって算出した。

$$C(\%) = \frac{T_1 + T_2}{T_1} \times 100 \quad (2)$$

ここで T_1 , T_2 は、それぞれ28.5gf/cm², 57.0gf/cm²の荷重下で測定した厚さである。

2.6 表面粗さRzの測定

㈱小坂製作所製表面粗さ測定器SE-3Cを用いて測定した結果から、JIS B 0601に示されている10点平均法に基づいて算出した。上の装置は、0.01cm/sの速度で移動する布の表面に接触させた針の揺動の大きさを記録するものである。

3. 結果と考察

3.1 多層法による分離の意味

多層法によってRを2つの成分に分離するには、次の3つの仮定が必要と思われる。

(1) 多層布のRと層数xとの間に直線関係が成り立つこと。

(2) 多層布のRに寄与する成分として、単層布および接着布のそれぞれの R_1 , R_2 の他に、多層布内の層間に2種類の空隙に基づく成分があると考え。そしてこの個々の空隙は種類毎に、多層布のRに対する寄与量がxに関係なく一定であるとする。この空隙に基づくR成分は、各層が同種の単層布からなる場合の K_0 と、接着布を積層した場合にみられる、芯地と表地との間の空隙に基づくKである (図1)。

(3) 多層布の最上階にある布の上方にある静止空気層の厚さが、単層布、接着布のそれぞれについて、xに関係なく一定であり、 R_2 が一定であること。

Fig. 1 Diagram of multilayered fabrics. K_0 and K exhibit components of total resistance R for multilayered fabrics. K_0 is the resistance based on air layer between the same woven or nonwoven fabrics. K is the resistance based on air layer between the same laminated fabrics and that between woven fabric and nonwoven interlining.

それぞれの系について、 R と x の間に直線関係が成り立つとすると、この直線は仮定(2), (3)から次の式で表される。

単層布を重ねた場合

$$R = (R_1^F + K_0)x + R_2^F - K_0 \quad (3)$$

接着布を重ねた場合

$$R = (R_1^F + R_1^I + K)x + R_2^B - K \quad (4)$$

ただし、添字 F, I, B はそれぞれ表地、芯地、接着布を表す。

Fig. 2 Plots of R vs. x give a straight line for both flannel and laminated fabric. Laminated fabric is composed of flannel and nonwoven interlining. R is total resistance to water vapor transmission and x is number of layers for multilayered fabrics.

単層布, 接着布のそれぞれの R と x の関係を, 典型的な例としてフランネル 1 を用いた場合について, 図 2 に示した。いずれも R と x の間に直線関係が認められる。これは他の布でも, 一般的な傾向として観察された。

この直線の勾配から得られるみかけの $R_1 (R_1^a)$ と, $x = 0$ のときの R 軸の切片から得られるみかけの $R_2 (R_2^a)$ との合計値は, 単層布で $R_1^F + R_2^F$, 接着布で $R_1^F + R_1^I + R_2^B$ である。このことから, 単層布と接着布のいずれの場合も, $R_1^a + R_2^a$ には布間の空隙に基づく R 成分はなく, したがって真の R に等しいことになる。

表 2 に単層布, 接着布の R_1^a , R_2^a , $R_1^a + R_2^a$ を示した。併せて単層布と接着布の 1 層を単独で実測した R 値 (R_{meas}) を示した。 $R_1^a + R_2^a$ と R_{meas} の差の絶対値は単層布 9 点, 接着布 5 点のそれぞれについて 0 cm ~ 0.024 cm, 0.004 cm ~ 0.018 cm の範囲にあり, 標準偏差は 0.012 cm と 0.011 cm である。本研究における R の測定精度は標準偏差にして 0.030 cm 程度であるので, 表 2 に示した $R_1^a + R_2^a$ と R_{meas} は単層布と接着布の双方とも,

Table 2 Comparison of $R_1^a + R_2^a$ with R_{meas} . R_1^a and R_2^a are apparent inner-resistance and outer-resistance to water vapor transmission, respectively. R_{meas} is directly measured total resistance R for a single layer of fabrics. R_1^a and R_2^a were obtained from linearity between R and number of layers for multilayered fabrics. All resistances exhibited here are in cm. $R_1^a + R_2^a$ and corresponding R_{meas} appear to be nearly equal for both groups of fabrics. Each of five woven fabrics was used as a component of laminated fabrics.

fabric	Woven fabrics and non-woven interlining				laminated fabrics			
	R_1^a	R_2^a	$R_1^a + R_2^a$	R_{meas}	R_1^a	R_2^a	$R_1^a + R_2^a$	R_{meas}
taffeta	0.093	0.978	1.071	1.071	0.177	1.097	1.274	1.259
gaberdine	0.044	1.155	1.199	1.175				
burberry	0.052	1.137	1.189	1.197				
saxony	0.077	1.146	1.223	1.241	0.142	1.064	1.206	1.210
mildwool	0.093	1.258	1.351	1.360	0.134	1.220	1.354	1.336
flannel 1	0.027	1.358	1.385	1.382	0.168	0.955	1.123	1.136
flannel 2	0.053	1.229	1.282	1.288	0.211	1.045	1.256	1.263
mossy	0.111	1.269	1.380	1.380				
interlining	0.061	1.059	1.120	1.109				

高い精度で一致しているといえる。フランネルなど表面に毛羽が多く凹凸の大きいものでも, 2 つの R は精度

よく一致している。

これらのことから本実験の範囲内で, K_0 , K は一定とみなすことができ, 先に示した(1)~(3)の 3 つの仮定は成立していると考えられる。同時に, 多層法によって分離した R_1^a , R_2^a には, 多層布内の層間にある空隙による寄与が加味されていると考えることができる。

3.2 接着に伴う外部抵抗値 R_2 の変化

R_1^a , R_2^a について, 接着布が示す値から単層布の値を差し引いた値として ΔR_1^a , ΔR_2^a を表わすと, これらは(3), (4)式から, 次式で表わされる。

$$\Delta R_1^a = R_1^I + K - K_0 \quad (5)$$

$$\Delta R_2^a = R_2^B - R_2^F - K + K_0 \quad (6)$$

みかけの R の変化量を ΔR^a とすると, $\Delta R^a = \Delta R_1^a + \Delta R_2^a$ より, $\Delta R_2 = R_2^B - R_2^F$ として, (5), (6)式から次式が導かれる。

$$\Delta R^a = R_1^I + \Delta R_2 \quad (7)$$

表 2 から $R_1^I + K_0^I = 0.061$ であるから

$$\Delta R_2 - K_0^I = \Delta R^a - 0.061 \quad (8)$$

となり, $\Delta R_2 - K_0^I$ が(8)式から計算できる。別に, 接着布の R_{meas} を $R_1^F + R_1^I + R_2^B$, 単層布の R_{meas} を $R_1^F + R_2^F$ とすると, 接着布と単層布の R_{meas} の差 ΔR_{meas} は(7)式の右辺と等しくなる。

$\Delta R_2 - K_0^I$ と ΔR_{meas} を表 3 に示した。それぞれの表地について, ΔR_{meas} は $\Delta R_2 - K_0^I$ よりも大きい値である。

Table 3 ΔR_2 and ΔR_{meas} are the changes in outer resistance and directly measured total resistance, respectively. These changes were occurred by adhesion of a fusing interlining to each given woven fabric. K_0^I is a part of total resistance of multilayered nonwoven interlinings indicated in figure 1. $\Delta R_2 - K_0^I$ is necessarily lower than ΔR_{meas} .

fabric	$\Delta R_2 - K_0^I$ cm	ΔR_{meas} cm
taffeta	0.142	0.188
saxony	-0.078	-0.031
mildwool	-0.058	-0.024
flannel 1	-0.323	-0.246
flannel 2	-0.087	-0.025

ΔR_{meas} を(8)式の ΔR^a に代入すると, 同じ結果が得られる。

本研究のRの測定精度は標準偏差にして0.030cm程度であるが、 ΔR_{meas} は接着布と単層布の2つの R_{meas} の差であるから分散の加成性¹¹⁾より、 ΔR_{meas} の測定精度が標準偏差で0.042cm程度となる。この場合危険率10%で変動幅が $\pm 0.069\text{cm}$ となり、両側合わせて0.138cmの幅となる。タフタ、フланネル1を表地とした場合、 ΔR_{meas} の絶対値は、0.138cmより大きく、測定精度の観点からしても有意性がある。

$\Delta R_2 - K_0^1$ と ΔR_{meas} について、対応する表地の要素との間の相関係数を表4に示した。双方とも多くの要素と有意な関係がみられ、傾向は極めて類似している。これ

が相関係数が大きく、有意性も高い。 ΔR_{meas} は $\Delta R_2 - K_0^1$ に定数値の $R_1^1 + K_0^1$ が加算された内容をもつが、 $\Delta R_2 - K_0^1$ の方が概して有意性が高い結果である。以下 $\Delta R_2 - K_0^1$ についてのみ説明する。

布密度と織密度が増大すると、 $\Delta R_2 - K_0^1$ は増大する傾向があるのに対し、厚さ、繊維の太さ、含気率、通気性が増大すると、逆に $\Delta R_2 - K_0^1$ は減少する傾向を示す。タフタを除いた表地で $\Delta R_2 - K_0^1$ 自身は負の値であり、 K_0^1 は本来一定であるから、上の結果は構造が疎な表地を用いるほど、芯地の接着によって R_2 は減少する傾向が強いことを示す。

本研究では、水面から測定試料布下面までの空間を静止空気層とみなし、その厚さは試料布に無関係に一定と考えている。観察される R_2 はこの静止空気層と、布上方の静止空気層の厚さの和である。したがって上の結果は構造の疎な表地を用いるほど、接着によって表地上方の静止空気層の厚さが小さくなる程度が大きいことを示す。

鈴木ら⁵⁾は、毛羽の少ない布について、本研究と類似した条件で湿度勾配法によって実験し、布の上方の静止空気層の厚さが0.47cmから0.68cmの範囲の値で変化することを報告している(文献⁵⁾の表3)。坪内⁶⁾は最近、温湿度勾配のある実験条件で湿度勾配法を用いて実験し、穴あきプラスチック板の上部の静止空気層の厚さが、穴の大きさや数によらずほぼ1cmの厚さであるとしている。

織物に芯地を接着させると、布としての内部構造が変化する。本研究では、布上部が接着前と同一の形状であるにもかかわらず、その上方にある静止空気層の厚さが異なることが示された。すなわち、 R_2 が布の内部構造によって系統的に変化することを示唆する結果が得られた。

4. 結 論

本研究では限られた試料布の範囲ではあるが、多層法によって分離した布のみかけの内部抵抗値と外部抵抗値について吟味を行いながら、接着に伴う透湿抵抗値の変化について、知見を得ることができた。特に毛羽などの存在により、表面と外気との境界が明確でない布でも、多層法による検討が行い得たことに、本研究の特徴がある。

織物に不織布芯地を接着させた場合、実際の外部抵抗値は、疎な構造の織物を用いるほど減少する傾向が強かった。布上方の静止空気層の厚さに影響を与える因子の1つとして、従来、布の表面形状が考えられてきたが、ここでは、この厚さが布の内部構造の影響を受けて系統

Table 4 Correlation coefficients r between two kinds of resistances and factors of woven fabrics. Mean values of warp and weft ones for threads per cm and yarn size were used in this analysis. ΔR_2 and ΔR_{meas} are the changes in outer resistance and directly measured total resistance, respectively. These changes were occurred by adhesion of a fusing interlining to each woven fabric. K_0^1 is a part of total resistance of multi-layered nonwoven interlinings indicated in figure 1. Since K_0^1 is assumed to be constant, ΔR_2 in the case of woven fabrics having rougher structure may decrease to a larger extent. Trend of ΔR_{meas} which could consist of ΔR_2 and constant leads to the same explanation.

factors	$\Delta R_2 - K_0^1$ cm	ΔR_{meas} cm
thickness	-0.919*	-0.931*
fabric density	0.860+	0.848+
threads per cm	0.827+	0.796
yarn size	-0.920*	-0.900*
air content	-0.855+	-0.839+
air permeability	-0.843+	-0.805+
compressibility	-0.785	-0.767
surface roughness	-0.799	-0.771

significance levels: **=1%, *=5%, +=10%

は多層法による分離が³⁾、(4)式に基づいてほぼ正確に行われていることを支持する結果である。さらに、 $\Delta R_2 - K_0^1$ と ΔR_{meas} を比較すると、厚さを除いて $\Delta R_2 - K_0^1$ の方

的に変化することを示唆する結果が得られた。

付記：本研究は、昭和62年度文部省科学研究費補助金一般研究(C)を受けて行われたものであり、本会第2回感覚と計測に関するシンポジウム(昭和63年、東京)で発表した。

文 献

- 1) L. Fourt and M. Harris, *Text. Res. J.*, **17**, 256 (1947)
 - 2) M. E. Whelan, L. E. MacHattie, A. C. Gooding and L. H. Turl, *Text. Res. J.*, **25**, 211 (1955)
 - 3) 内藤道子, 中島利誠, 織消誌, **20**, 29 (1979)
 - 4) 黒田亘哉, 織消誌, **26**, 260 (1985)
 - 5) 鈴木淳, 大平通泰, 織学誌, **26**, T-109 (1970)
 - 6) T. Tsubouchi, *Text. Res. J.*, **58**, 86 (1988)
 - 7) 栗野美千子, 石川欣造, 織学誌, **43**, 148 (1987)
 - 8) J. L. Spencer-Smith, *Cloth. Res. J.*, **5**, 82 (1977)
 - 9) 窪田茂子, 「'80裏地と芯地」, 関西衣生活研究会, 44 (1980)
 - 10) 尾崎晶子, 織学誌, **31**, T-254 (1975)
 - 11) 例えば, 安藤貞一, 松村嘉高, 二見良治, 「技術者のための統計的品質管理入門」, 共立出版, P.36 (1981)
-