Effect of Water Contained in Pore on UVR Shielding and See-through Properties of Woven Fabrics

YAMADA Yukako^{a,*}, INOUE Mari^b, IWASAKI Kin^c

^a Osaka Kyoiku University, 4-698-1 Asahigaoka, Kashiwara, Osaka 582-8582, Japan

^b Kobe University, 3-11 Tsurukabuto, Nada-ku, Kobe 657-8501, Japan

^c Former Kobe University, 3-11 Tsurukabuto, Nada-ku, Kobe 657-8501, Japan

Received 21 October 2005; accepted for publication 22 March 2006

Abstract

In the previous paper, we studied the ultraviolet ray shielding rate for cotton woven fabrics during the drying process from the high moisture regain. We found that the UVR shielding rate increased with decreasing moisture regain, and it showed a maximum in the drying process. In the present study, the UVR shielding rate was measured for stainless meshes as non-swelling materials and filter papers as unperforated materials in order to clarify the origin of the maximum of the UVR shielding rate for cotton woven fabrics, and ΔL^* was measured as see-through property.

The shielding rate of stainless meshes in wet condition was higher than standard condition and that of filter papers in wet condition was lower than standard condition. As the results, it was found that the shielding rate of fabrics decreased because of an increase in fiber swelling, but over a certain higher moisture regain, the shielding rate increased owing to a decrease in water contained in pore of the fabrics. The behavior of ΔL^* of fabrics with the moisture was shown by the characteristics of stainless meshes and filter papers.

Key Words: UVR shielding rate, Pore, Moisture regain, See-through property

気孔中の水分が織物の紫外線遮蔽性能と透け性に及ぼす影響

山田由佳子^{a,*}, 井上真理^b, 岩崎 錦^c

1. 緒 言

現在、オゾン層破壊に起因する紫外線増加の被害が深刻な環境問題となっている。被服は紫外線を遮蔽し、皮膚を守るために重要な役割を担っており、布の紫外線遮蔽性能については布構造との関連[1-5]や、色の影響[6-10]等、様々な報告がみられる。我々は、布構造の中でも特に直通気孔率に着目し、同一の糸で織密度を段階的に変化させた綿織物を試料として、乾燥状態における綿織物の紫外線遮蔽率と布構造について検討し、布の直通気孔率が低い布ほど紫外線遮蔽率が高いことを報告している[11]。また、紫外線が増加する夏期には衣服が汗等で濡れる機会も多いことから、湿潤時の紫外線遮蔽率について研究を行った。その結果、綿織物の場合、湿潤時には水分を吸収して繊維が膨潤すると共に繊維と繊維の間にも水分が入り込み、糸が膨らむ。そのため水分率が高くなるほど直通気孔率は減少するが、紫外線遮蔽率は水分率の

増加とともに低下することを見出している。ただし、布表面が液相の水で覆われるような高い水分率においては、わずかなではあるが、紫外線遮蔽率の増加が認められる試料があることを見出した[12]。

一方、衣服が濡れた場合、肌や下着が透けて見えることを我々は日常的に経験している。衣服が透けることの定量化については坂本[13]により色差計を用いた評価法が提案されており、親水性の高い繊維の方が湿潤時の透け性の増加が大きいことが報告されている。

そこで本研究では、このように高い水分率で紫外線遮蔽率が増加する現象に焦点をあて、気孔中の水分が織物の紫外線遮蔽性能と透け性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。平織り構造をもち、気孔が存在するが、繊維、糸にあたる部分は水分を吸収せず、膨潤しない試料のモデルとしてステンレスメッシュを取り上げ、繊維は膨潤するが直通気孔が無い試料のモデルとして濾紙を取り上げることにした。水

* 連絡先：大阪教育大学 582-8582 柏原市旭ヶ丘4-698-1, E-mail: yamada@cc.osaka-kyoiku.ac.jp, Tel/Fax: +81-729-78-3406

分率，直通気孔率，および紫外線遮蔽率と透け性を測定し，綿織物と比較して検討を行った。

2. 実験方法

2.1 試 料

試料は，密度の異なる市販ステンレスメッシュ8種類（Hobby man, (株) 久宝金属製作所）および，密度の異なる濾紙6点（東洋濾紙(株)）である。ステンレスメッシュは，メッシュ数すなわち1インチ当たりのワイヤー本数が大きくなるほどステンレス線の太さは細くなり，厚さも薄くなる。濾紙は，単位面積あたりの重量の異なる，厚さ0.20～0.26 mmのものを使用した。比較に用いた綿織物試料は，経緯共に40番手（14.8 tex, Group A）または80番手（7.4 tex, Group B）の綿糸を用い，糸本数を規則的に変化させて製織した平織物8点である[12]。実験に用いた試料の詳細をTables 1～3に示す。

Table 1 Details of stainless mesh samples.

Sample	Wire diameter (mm)	Density (number of wire /cm)	Thickness (mm)	Mass per unit area (g/m ²)
M10	0.392	3.9	0.82	714.5
M20	0.195	7.9	0.43	381.9
M30	0.169	11.8	0.35	457.3
M40	0.139	16.5	0.27	389.9
M60	0.118	23.8	0.22	387.5
M100	0.093	39.7	0.18	456.3
M150	0.057	58.3	0.11	257.1
M250	0.037	98.9	0.09	190.5

Table 2 Details of filter paper samples.

Sample	Thickness (mm)	Mass per unit area (g/m ²)
1	0.20	92.5
2	0.26	131.1
5A	0.22	108.7
5B	0.21	110.4
5C	0.22	119.2
131	0.25	143.5

Table 3 Details of cotton samples.

Sample	Yarn count (tex)	Yarn density		Thickness (mm)	Mass per unit area (g/m ²)
		(ends/cm)	(picks/cm)		
Group A	C1	14.8	43.0	0.24	113.1
	C2	14.8	43.0	0.24	94.5
	C3	14.8	34.6	0.25	100.8
	C4	14.8	33.2	0.23	81.0
Group B	C5	7.4	47.0	0.17	70.6
	C6	7.4	46.2	0.16	58.8
	C7	7.4	45.8	0.16	50.9
	C8	7.4	33.6	0.18	50.5

2.2 実 験

実験は，紫外線遮蔽率，直通気孔率，透け性の測定を行った。測定条件は，標準状態と湿潤状態である。標準状態は，綿織物および濾紙では公定水分率8.5%，ステンレスメッシュでは0%での状態とした。湿潤状態は水分率を段階的に変化させて実験を行った。ステンレスメッシュの場合，蒸留水（25℃）に浸し，引き上げるとステンレス線自身は吸水しないものの気孔部分に膜を張るように水分が充填される。水滴が落ちず，かつ膜が破れない程度に水分を取り除いた状態をステンレスメッシュにおける最大湿潤状態と定義し，重量を測定して水分保持限界水分率，すなわち最大水分率とした。綿織物および濾紙においてはそれぞれ蒸留水（25℃）に浸漬し十分な湿潤状態とした後，水中から引き上げ，水滴が落ちない状態を水分保持限界水分率とみなし，その後，自然乾燥させた。ここでの水分率 $MR(\%)$ は，任意の状態の質量 $W(g)$ と絶乾質量 $W'(g)$ との差の絶乾質量に対する百分率とし，次式により算出した。

$$MR = \frac{W - W'}{W'} \times 100 \quad (1)$$

各水分率において1試料につき3枚の紫外線遮蔽率，直通気孔率，および透け性の測定を行った。

紫外線遮蔽率測定装置をFig. 1に示す。無試料時と，試料をセットした時の紫外線強度を測定し，(2)式に従って紫外線遮蔽率 $S(\%)$ を算出した。

Fig. 1 Experimental equipment.

$$S = \frac{V_0 - V_t}{V_0} \times 100 \quad (2)$$

ここで、 V_0 (mW/cm²) は試料セット前の紫外線強度、 V_t (mW/cm²) は試料セット後の紫外線強度である。直通気孔率は、1枚につき5カ所の顕微鏡画像より求めた。デジタルカメラ (COOLPIX 4600, NIKON (株)) による顕微鏡画像をコンピュータにとりこみ、画像解析ソフト (Magical IP, マジカルアート (株)) を用いて、白黒2値化処理を行った画像に変換して気孔面積を計測し、(3)式により直通気孔率 P (%)を算出し、平均値を求めた。

$$P = \frac{P_w}{P_a} \times 100 \quad (3)$$

ここで、 P_w (pix) は気孔部分の画素数、 P_a (pix) は全画素数である。

透け性は、坂本が提案した方法[13]を取り入れ、透け性の指標に L^* を用いることとした。 L^* とは、JIS Z 8729に規定されている $L^*a^*b^*$ 表色系における、明度を表す指数である。分光色差計 (NF777, 日本電色工業 (株)) にて L^* 値の測定を行い、(4)式により透け性 ΔL^* を算出した。

$$\Delta L^* = L_w^* - L_b^* \quad (4)$$

ここで、 L_w^* は試料背面に白板を置いた時の L^* 、 L_b^* は試料背面に黒板を置いた時の L^* とし、その差で透け性 ΔL^* は示される。この値が大きいほど見た目に透けていることを表している。

3. 結果および考察

3.1 ステンレスメッシュの湿潤状態における紫外線遮蔽性能

ステンレスメッシュ各試料の最大水分率および、最大水分率における紫外線遮蔽率をTable 4に示す。比較のために標準状態における紫外線遮蔽率を掲載している。

どの試料も標準状態に比べて2~3%とわずかなではあるが、湿潤状態の方が紫外線遮蔽率が高い傾向がみられ、気孔に水の膜が張られた状態の方が紫外線を遮蔽することがわかった。最大水分率はメッシュにより異なり、気孔の大きいM10からM30はすぐに水の膜が破れ、継続した測定ができなことから、M10, M20, M30を除く試料のみについて、自然

Table 4 UVR-shielding rate of stainless mesh.

Sample	Maximum moisture regain (%)	UVR-shielding rate (%)	
		Under maximum moisture regain	Under standard condition
M10	7.6	30.2	27.8
M20	13.5	30.8	28.1
M30	11.8	41.2	36.7
M40	13.1	42.6	39.5
M60	10.5	48.4	46.1
M100	12.7	62.7	59.8
M150	9.3	57.9	55.6
M250	14.0	63.8	61.5

Fig. 2 Relationship between moisture regain and UVR-shielding rate of stainless mesh: ■ M40, ▲ M60, ● M100, □ M150, △ M250.

乾燥間の測定を行った。結果をFig. 2に示す。変化の割合は異なるが、全ての試料で湿潤状態の方がそれぞれの標準状態よりも遮蔽率が高く、水分率2~3%をピークとして、乾燥が進むにつれ紫外線遮蔽率が低下する傾向が認められた。しかし、標準状態より遮蔽率が低下することはなかった。

急激に遮蔽率が低下する水分率では、水の膜が次々と破れていく現象を観察しており、気孔に水の膜が張っている状態では、張っていない状態よりも遮蔽効果は高いことが確認された。しかし、最大水分率では標準状態よりは高いものの、ピークの紫外線遮蔽率より低い値を示すことから、気孔に充填された水の量が多すぎると透過量も多くなることが推測される。

顕微鏡により観察した試料M100の水の膜の状態をFig. 3に示す。気孔部分は、湿潤直後の最大水分率の状態(a)から水分の蒸発に伴って気孔の周りが黒く変化していき、膜が破れる直前(b)では、明るく見える部分が最大水分率での状態より少なくなり、光が遮蔽されている。この現象は他の試料においてもみられ、気孔に充填された水分は、膜を保つぎりぎりの水分量に減ったところで最も遮蔽効果が高まると考えられる。これは、気孔に充填された水分が、初めは水分量が多く

Fig. 3 Microgram of stainless mesh sample M100.

凸レンズのような役割をしていたのに対し、乾燥するに従って水分量が減少すると共に凸状態に変化が生じ、凹レンズのようになって光が拡散されるためではないかと推測される。

3.2 濾紙の湿潤状態における紫外線遮蔽性能

各種濾紙の最大水分率および、標準状態と最大水分率における紫外線遮蔽率をTable 5に示す。

最大水分率は濾紙の種類によって異なるが、どの試料も標準状態に比べて紫外線遮蔽率が低いことがわかった。そこで、メッシュ試料と同様に最大水分率から自然乾燥時の測定を行った。結果をFig. 4に示す。いずれの濾紙も、最大水分率から乾燥するに従って遮蔽率が増加し、水分率約30%程度で増加の程度が大きく減少して標準状態の遮蔽率に戻る。ステンレスメッシュでみられたような湿潤による紫外線遮蔽率の増加はみられず、遮蔽率が標準状態以上となることはなかった。ここで、綿織物の結果と先ほどの濾紙の結果を合わせてFig. 5に示す。濾紙、綿織物共に水分率約30%から80%の間は水分率の増加に伴って直線的に紫外線遮蔽率は低下し、その傾きはほぼ同じである。また、綿織物でみられるような高い水分率での紫外線遮蔽率の上昇は濾紙ではみられないことから、濾紙、綿織物共に、湿潤による紫外線遮蔽率の低下は繊維の

Table 5 UVR-shielding rate of filter paper.

Sample	Maximum moisture regain(%)	UVR-shielding rate(%)	
		Under maximum moisture regain	Under standard condition
1	235.4	83.0	93.5
2	215.1	86.1	95.5
5A	173.9	83.0	94.4
5B	149.1	84.0	95.0
5C	152.8	86.3	96.4
131	184.6	87.7	96.3

Fig. 4 Relationship between moisture regain and UVR-shielding rate of filter paper: $\triangle$ 1, $\circ$ 2, $\blacktriangle$ 5A, $\square$ 5B, $\bullet$ 5C, $\blacksquare$ 131.

Fig. 5 Relationship between moisture regain and UVR-shielding rate of filter paper and cotton woven fabrics: $\triangle$ 1, $\circ$ 2, $\blacktriangle$ 5A, $\square$ 5B, $\bullet$ 5C, $\blacksquare$ 131, + Cotton Group A, $\times$ Cotton Group B.

膨潤によるものであり、綿織物やステンレスメッシュでみられる紫外線遮蔽率の増加は、気孔に充填された水分の影響であることが明らかとなった。

3.3 湿潤状態における透け性

各試料の標準状態と最大水分率での透け性をTable 6に示す。綿織物および濾紙では標準時に比べて湿潤時では透け性

Table 6 See-through property.

		ΔL^*	
	Sample	Under maximum moisture regain	Under standard condition
Stainless mesh	M10	41.8	41.4
	M20	43.8	48.4
	M30	35.1	36.9
	M40	31.3	32.1
	M60	24.2	25.7
	M100	14.8	16.8
	M150	17.6	20.5
	M250	12.8	15.4
Filter paper	1	24.8	7.5
	2	20.2	4.2
	5A	25.4	5.8
	5B	23.4	4.9
	5C	19.9	4.2
	131	17.6	4.3
Cotton woven fabric	C1	27.1	11.7
	C2	29.0	14.5
	C3	28.8	13.9
	C4	30.9	18.7
	C5	31.8	16.2
	C6	34.6	19.3
	C7	35.8	23.3
	C8	34.8	23.6

が高い。すなわち衣服として着用している場合、濡れると皮膚や下着などが透けて見えやすくなることがわかる。ステンレスメッシュはほとんど変化がみられない。そこで遮蔽率の測定と同様に水分率を変化させて透け性を測定した結果をFigs. 6～8に示す。

ステンレスメッシュにおいては最大水分率から水分率が低くなるに従って透け性は低下する。水分率3～6%で最低値を示した後、透け性は上昇し、標準状態にもどることがわかった。ただし、M40に関しては、気孔が大きいことから最小値を示す水分率にばらつきがみられた。このような、水分率の変化による透け性の変化は水分率と紫外線遮蔽率の関係とほぼ同様であり、ステンレスメッシュの気孔に水の膜が張り、

Fig. 6 Relationship between moisture regain and ΔL^* of stainless mesh: ■ M40, ▲ M60, ● M100, □ M150, △ M250.

Fig. 7 Relationship between moisture regain and ΔL^* of cotton woven fabrics: ◆ C1, □ C2, ▲ C3, × C4, ○ C5, ■ C6, △ C7, + C8.

Fig. 8 Relationship between moisture regain and ΔL^* of filter paper: ■ 1, △ 2, ○ 5A, ▲ 5B, □ 5C, ● 131.

膜が破れるぎりぎりの状態はやはり透けにくくなることが確認された。

一方、綿織物および濾紙においては湿潤時に高い透け性が、乾燥するに従って直線的に減少し、標準時の透け性に戻ることがわかった。綿織物では水分率0%から100%付近までは直線的であるが、それ以上の水分率においてはほぼ一定であり、試料によっては透け性がやや低くなるものもみられた。これは、高い水分率では気孔に水の膜が張り、ステンレスメッシュ同様膜の破れるぎりぎりの水分率で透け性がやや低くなったものと考えられる。気孔のない濾紙ではそのような挙動はみられないが、水分率0～40%で横這いとなる傾向がみられた。

以上の結果、湿潤時の透け挙動は繊維の膨潤によるものであり、気孔に充填された水分はむしろ透け性を低くすることが明らかとなった。

4. 結 論

本研究では布の表面が液相の水で覆われるほどの高い水分率において、紫外線遮蔽率がやや増加する現象を明らかにし、気孔中の水分が織物の紫外線遮蔽率と透け性に及ぼす影響を明らかにするため、ステンレスメッシュ、濾紙を試料として実験を行い、綿織物と比較検討した。その結果、膨潤しないステンレスメッシュでは気孔に水が充填された状態で標準時より紫外線遮蔽率が高く、乾燥途中でピークを示す挙動がみられるのに対し、膨潤するが気孔のない濾紙においては湿潤時の方が標準状態よりも遮蔽率が低く、乾燥するに従って遮蔽率が高くなることが明らかになった。

これらのことから、綿織物で観察された湿潤時の紫外線遮蔽率の低下は、繊維および糸の膨潤による、糸中を通る紫外線の増加に起因するものであること、液相の水で覆われるほどの高い水分率で、布の紫外線遮蔽率がわずかに増加する傾向は、気孔中に充填された水の影響によるものと推定され、

水の膜を保つぎりぎりの水分率の時に遮蔽率が極値を示すことが明らかになった。

また、湿潤時の透け性の増加は繊維の膨潤によるものであり、気孔に充填された水分はむしろ透け性を低くすることが明らかとなった。

References

- [1] Gies HP, Roy CR, Elliott G, Zongli W (1994) Health Phys, **67**, 131–139
- [2] Kuwabara N, Obata N (1994) Sen-i Gakkaishi, **50**, 357–363
- [3] Kuwabara N, Obata N (2004) J Jpn Res Assn Text End-Uses, **45**, 655–662
- [4] Crews P C, Kachiman S, Beyer AG (1999) Text Chem Color, **31**, 17–26
- [5] Eckhardt C, Rohwer H (2000) Text Chem Color Am Dyest Rep, **32**, 21–23
- [6] Srinivasan M, Gatewood BM (2000) Text Chem Color Am Dyest Rep, **32**, 36–43
- [7] Mima T, Sato M (2000) J Jpn Res Assn Text End-Uses, **41**, 342–351
- [8] Mima T, Sato M (2001) J Jpn Res Assn Text End-Uses, **42**, 841–855
- [9] Mima T, Sato M (2004) J Jpn Res Assn Text End-Uses, **45**, 134–144
- [10] Mima T, Sato M (2004) J Jpn Res Assn Text End-Uses, **45**, 369–378
- [11] Yamada Y, Inoue M, Iwasaki K (2002) Proceedings of the 31st Textile Research Symposium at Mt. Fuji, 183–189
- [12] Yamada Y, Kobayashi M, Inoue M, Iwasaki K (2005) J Text Mach Soc Japan, **58**, T123–T127
- [13] Sakamoto H (1997) Bulletin of The Kurashiki City College, **27**, 105–112