

羊毛布地における応力緩和の水分依存性

鈴木 淳

長崎大学教育学部家庭科教室
(昭和62年10月30日受理)

Moisture Dependence of Stress Relaxation for Wool Fabric

Atsushi SUZUKI

Department of Home Economics, Faculty of Education on
Nagasaki University, Nagasaki, Japan
(Received Oct. 31, 1987)

Abstract

The effect of moisture regain was examined on the stress relaxation for a milled wool serge. The influence of fabric hygral expansion behavior was also investigated on the stress relaxation. The measurement conditions of strain, temperature and moisture regain for stress relaxation were 3.5-15%, 30°C and 5-25%, respectively. The relation between the stress ratio or the apparent stress relaxation modulus and the relaxation time was discussed.

The following results were obtained under these measurement conditions: Fabric stress relaxation depended largely on the weave crimp and moisture regain. The stress relaxation rate was large when moisture regain was high or low. Fabric stress relaxation was closely related with fabric hygral expansion behavior. Apparent hygral expansion increased rapidly in the range until about moisture regain 25%, then reached the maximum value 1.3%.

1. はじめに

羊毛素材は外観や風合い,あるいは着用機能性において魅力ある優れた性質を有しているが,一方では化合織に比較して多くの欠点も持っている。中でも羊毛素材の水分に対する性質は重要であり,一般に羊毛の吸湿性が高いことは大きな利点といえる。しかし,反面羊毛素材は水分による緩和収縮,ハイグラルエキスパンション,あるいはフェルト収縮

などの寸法変化¹⁾をもたらし、生地²⁾の風合いや着用時の形態安定性などに少なからず問題を与える。前報²⁾ではこのような問題が布の粘弾性的性質³⁾と深い関係にあることを前提として、羊毛布地における応力緩和の測定を取り上げ、その一部として水分が羊毛布地の応力緩和特性に及ぼす影響⁴⁾について言及した。ところで、応力緩和に影響を及ぼす要因の一つに織りクリンプの存在がある。これは試料にかかるひずみ量（伸長率）の大きさに関係して働き、羊毛布地においては上述のハイグラルエキスパンション⁵⁾という水分の吸脱湿に伴う布地の寸法変化をもたらす、ひいては応力緩和と深くかかわりあうものである。

そこで、本報告では主としてこのような観点から羊毛布地における応力緩和の水分依存性についてその一端を検討したので報告する。

2. 実験方法

2.1 試料

用いた試料は表1に示す縮充加工された市販の羊毛布地1種類で、応力緩和等の測定には試験片を65%RHに調湿したデシケータ中に保存して用いた。このとき、実際の試験片の水分率は11%前後（温度はほぼ20°C）であった。伸長はたて糸方向とし、試験巾は25mmとした。また、諸元の測定は標準状態で行い、剛軟度の測定（カンチレバー法とハートループ法）については布地の裏面を曲げの内側とした。なお、厚さと撚りの測定にはそれぞれ織物厚さ計と撚器を用いた。

Table. 1 Details of the sample

Sample	Fiber	Texture	Count Warp Weft	Twist Warp Weft (tpm)	Density* Warp Weft	Thickness (mm)	Weight ($\times 10^{-2}/\text{cm}^2$)	Bending resistance (mm)
Milled serge	Wool	Twill	2/23.5 2/21.6	320 520	28 22	0.522	2.125	33.5** 80***

* Threads/cm

** Cantilever, Warp

*** Heart loop, Warp

2.2 実験方法

A 実験装置

図1は応力緩和等の測定に用いた実験装置²⁾の概略図である。これは精密空気供給装置（タバイ製の型式CAU-211）、環境雰囲気試験槽（試料空間は巾×深さ×高さ、230×230×600mm）および精密万能試験機（オートグラフAG-100A型）等からなっており、これらは20°C±1°Cの恒温室に設置されている。精密空気供給装置の仕様は温度-5~60°C±1.5°C、湿度45~90%±5%RH（20~50°Cの範囲で）であるが、試験槽内の温湿度は空気循環によって安定に保たれる。このとき試験槽の温湿度は乾湿球湿度計でモニターされ、この結果を試験槽の雰囲気条件とした。しかし、実際には雰囲気湿度に基づく試料の水分率を実測し、これを水分因子として採用した。風量については2ヶ所にもうけた調整板（図1の記号3）で調整し、かつ遮閉板（図1の記号4）にて試料への影響を除外した。用いたロードセルは定格100kgと5kgのものであった。

B 測定内容および測定方法

1) 水分率—調湿時間曲線

20°Cで、水分率が11%前後のデシケータ中の試験片を20°Cの試験槽（室温に平衡）に懸垂し、その後試験槽の温度を30°Cに、湿度をその都度任意に選択し、数時間調湿する。そして、調湿1時間以降の各任意時間における試料の水分率を、そのときの試験片の一端を手早く秤量ビンに切り取り、天秤にて実測し、かつその絶乾重量も測定し各雰囲気湿度における水分率—調湿時間曲線を求めた。

2) 応力—ひずみ曲線

測定はまず上述の1)項と同一条件の試験片を試験槽の温度が20°C（室温に平衡）において、初張力がほぼ3.4g/cmになるようにチャック間に装着する。そして試験槽内の温度を30°C、湿度をその都度任意に選択し、試料の水分率がみかけ上の平衡に達した段階で、応力—ひずみ曲線を測定し、その水分率依存性を求めた。このとき、測定開始までの調湿時間は1)項の水分率—調湿時間曲線の結果をもとに1時間以上とし、高・低湿条件にあっては測定までに長い時で数時間を費やした。なお、チャック間の試料保持長は100mm、伸長速度は200mm/min、伸長率は20%とした。

3) 応力緩和の測定

i) 水分率が平衡状態にあるときの応力緩和

試料の水分率が平衡状態にあるときの応力緩和を測定した。応力緩和させる伸長率は2)項の応力—ひずみ曲線の結果をもとに織りクリンプの働きに注目して、3.5%、5%、8.5%および15%の4つの条件とした。緩和時間は1~3,600secとし、試料の水分率は応力緩和の測定終了直後に先述同様天秤にて実測した。また試験片の装着、測定温度、みかけ上の平衡水分率に達するまでの調湿時間および伸長速度などは1), 2)項の内容に準じた。

ii) 水分率が過渡的に変化しているときの応力緩和

試料が吸湿または脱湿過程にある場合の応力緩和を測定した。すなわち、2)項に準じて、試験片をチャック間に装着する。そしてその直後に、試験槽の温湿度の運転を開始し（30°Cで、高湿または低湿に設定）、同時に試料に5%の伸長を与え、1~3,600secまでの応力緩和を測定した。なお、この他の測定条件は既述した内容に準じた。

4) みかけ上のハイグラルエキスパンション

応力緩和の測定におけるのと同じ条件で試験片をチャック間に装着し、各湿度条件（温度は30°C）に応じて、試料の水分率がみかけ上の平衡状態に達するまで維持する。この間において試料は吸脱湿に伴うハイグラルエキスパンション現象を生じ、高湿条件下では試料は弛緩し、応力は初張力の3.4g/cmより低下する。逆に、低湿条件下では緊張し、応力は上昇する。そこで、このように水分率がみかけ上の平衡に達した時点で伸長実験を開始し、その記録紙上の初期の応力—ひずみ曲線の特性から、各水分率におけるみかけ上のハイグラルエキスパンション現象を応力（実際には伸長実験開始直前のCRT画面に表示された

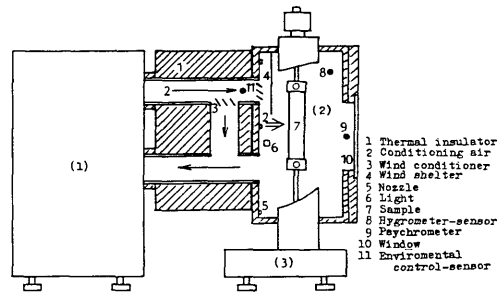


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

- (1) Temp. and humidity regulator
- (2) Environmental control chamber
- (3) Tensile tester

初張力の変化した値) および試料の寸法弛緩率 (伸長実験開始直後から応力が1g/cm付加されるまでの記録紙の送り長から算出したもの=ハイグルエクスパンション(%)) の変化として読みとった。このとき伸長速度は5mm/min, チャートスピードは500mm/min(記録紙上の100mmが試料の伸長1mmに相当), 応力感度は記録紙上のフルスケールで, 100gまたは2,500gとした。

3. 結果および考察

3.1 水分率の調湿時間依存性

図2に水分率—調湿時間曲線の測定結果を示した。初め温度が、20°Cで、水分率が11%前後の試料は各雰囲気条件における調湿時間の経過に伴って吸脱湿し、最終的にみかけ上の平衡状態に達する。図中示した数字は高・低湿条件下における試験槽内の乾球温度と湿球温度の観測例であるが、高湿条件においては試験槽内のガラス面に結露が見られ、これは経過時間の初期において顕著であった。図から高・低湿条件における調湿1時間以降の時間当り(応力緩和時間に相当)の水分率変化は高く3%強程度であるが、調湿時間が数時間に及べば試料はほぼみかけ上の平衡水分率にあるといえよう。一方、中間の湿度条件下では調湿時間が1時間に達すればみかけ上の平衡が成立しているといえる。反対に、調湿時間が1時間未満では水分率の変化が顕著である。

3.2 応力—ひずみ曲線

図3に各平衡水分率における応力—ひずみ曲線の測定結果を示した。図から各ひずみでの応力値は水分率が11.7%の基準に近い値より低いと大きく、これより高いと小さい。この原因の1つには羊毛布地のハイグルエクスパンション現象の影響が考えられるが、これについては後節で取り上げる。図中に示した4種類のひずみ率は次節の応力緩和実験の伸長率として採用したもので、これらは図の特性曲線から織りクリンプの伸縮に着眼⁶⁾してつぎのようなひずみ領域にある代表値として考えた。すなわち、3.5%はわずかな力で布の屈曲や組織のゆるみが伸ばされる領域の、5%は布を構成している糸の屈曲が伸ばされるとともに、たて糸、

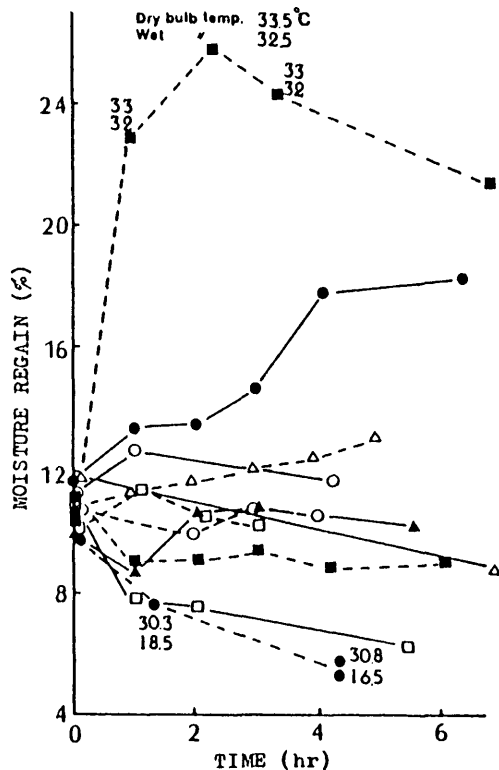


Fig. 2 Moisture equilibrium

Fig. 2 Moisture equilibrium time for test fabrics under the ambient humidity conditions.

よこ糸が各交錯点で互に押さえられてくる領域の、8.5%は糸が引き伸ばされて布地を構成している繊維特有の引張状態を示す領域の、15%はそれが更に伸長されて、降伏点に近づく領域のひずみ率等とした。

3.3 応力緩和の挙動

A 水分率が平衡状態にあるときの応力緩和

伸長率別による応力緩和の水分率依存性を前報²⁾におけると同様、応力比(図中P, P₀は緩和時間毎の応力と初期応力)の時間変化(図中tは緩和時間)として図4に、その同一結果についてみかけの緩和弾性率(図中のE)の時間変化として図5に示した。図4の応力比の結果では伸長率が小さい(a), (b)において緩和曲線が凸状に下る傾向にあり、伸長率が大きい(c), (d)においてそれが凹状に下る傾向にある。このとき、前者では特に高・低水分率においてその傾向が顕著であり、後者では水分率が15%の場合、水分率の差が余り見られなくなってくる。図5のみかけの緩和弾性率の結果では、伸長率が小さい(a), (b)における水分率が高・低水分率条件下にあって緩和曲線が直線的でなく、応力緩和の進みが時間(logt)の後半で促進されており、粘性的傾向が高い。また、この例を除けば一般に伸長率が大きい(c), (d)において、緩和曲線(直線的である)の勾配が急となっており、繊維特有の引張状態を示すひずみ量の大きい領域ではより粘性的傾向にあるといえる。このとき、8.5%の(c)では勾配に水分率による差が認められ、高・低水分率条件下において急である。また、みかけの緩和弾性率の値は図5の(a), (b), (c), (d)の全部に共通して水分率が低いほど大きいようである。以上これらの特性は織りクリンプや繊維自身あるいはハイグラルエキспанション現象等に伴う粘弾性的性質がひずみ量の大きさや測定手法等と関係して複合的に出現していることになり、今後さらに数量的にとらえる必要があると思われる。

B 水分率が過渡的に変化しているときの応力緩和

図6に伸長率が5%で、試料の水分率が吸湿または脱湿過程にあるときの応力緩和の測定結果を示した。すなわち、1つは20°Cで、11.1%の試料が29.5°Cで、6.8%の水分率に至るまでの脱湿過程にあるときの結果で、いま1つは20°Cで、11.1%の試料が34°Cで、18.1%

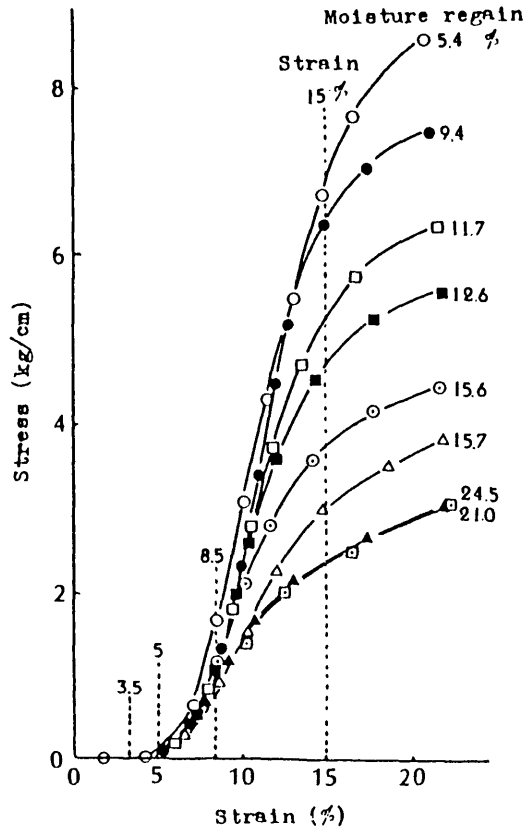


Fig. 3 Stress-strain curves at the moisture regains indicated.

Strain rate: 200 mm/min, Temp.: 29.5 -31.5°C

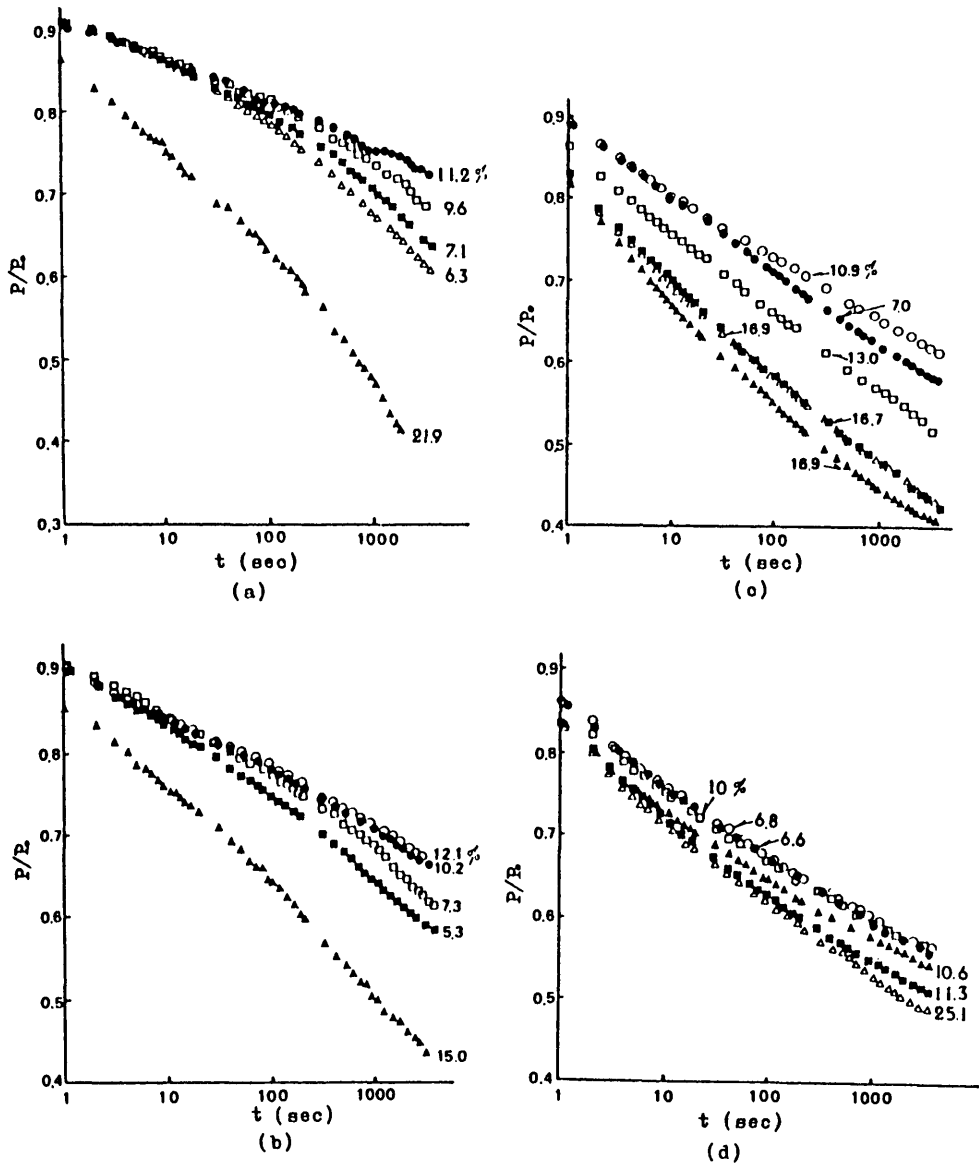


Fig. 4 The stress ratio (P/P_0) on the relaxation time (t) at the moisture regains indicated.

Strain rate: 200 mm/min, Temp.: 30.5-31.3°C

- (a) Strain: 3.71-3.76%
- (b) " : 5.18-5.24 "
- (c) " : 8.70-8.73 "
- (d) " : 15.20-15.26 "

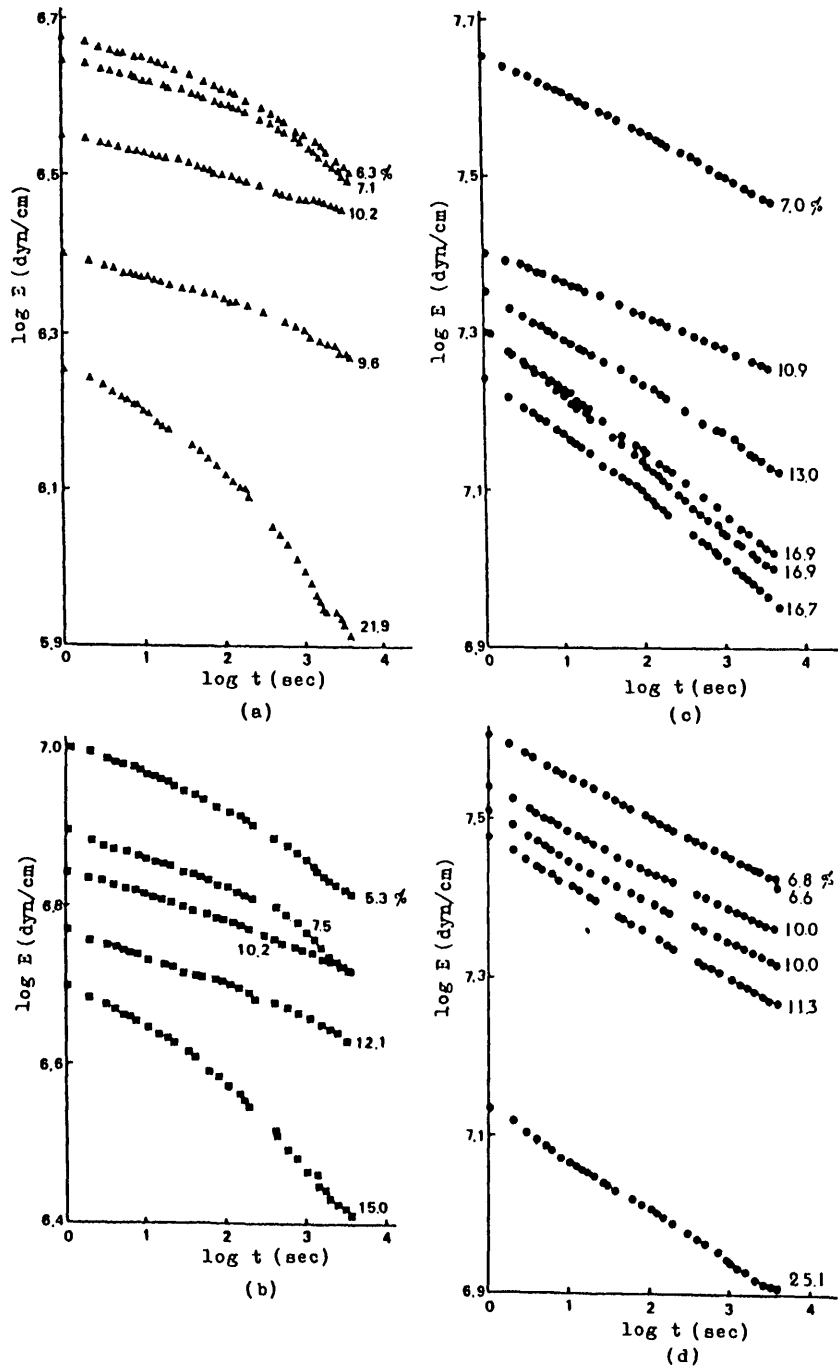


Fig. 5 The apparent stress relaxation modulus (E) on the relaxation time (t) at the moisture regains indicated.

Strain rate: 200 mm/min, Temp.: 30.5-31.3°C

(a) Strain: 3.71-3.76% (b) " : 5.18-5.24 "

(c) " : 8.70-8.73 " (d) " : 15.20-15.26 "

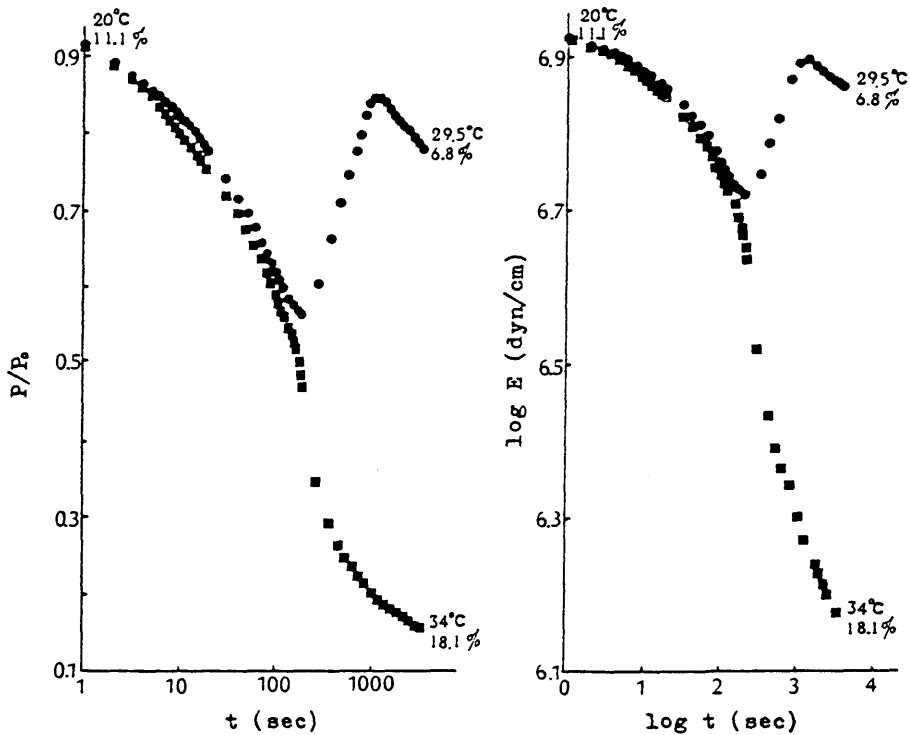


Fig. 6 The effect of the hygral expansion behavior on the stress relaxation.

の水分率に至るまでの吸湿過程にあるときの結果である。なお、このとき途中における温度および水分率は未測定である。これによると緩和時間がほぼ200secまでは両者の緩和挙動が類似するが、200sec以降の脱湿過程にあつては応力の増大が始まり、吸湿過程にあつては応力の減少が加速される結果となっている。さらに緩和時間が1,200secを過ぎると、この段階では水分率の変化が少なくなっていることが推定され、前者では応力の緩和がまた促進され、後者では減速される特徴にある。このように羊毛の過渡的な吸脱湿の性質が緩和挙動に敏速に反応していることが判り、すでにふれたようにこれがハイグラルエキスパンション効果に基づくものであることが推察される。

3.4 みかけのハイグラルエキスパンション

図7は伸長試験の結果からみかけのハイグラルエキスパンション現象を近似的に推定したものである。図ではまず、20°Cで平衡水分率が11.3% (平均) の試料に3.4g/cmの初張力 (▲印) をかけたときのハイグラルエキスパンションを0% (△印) の基準にとっている。そして、温度が30°Cの一定において、水分率が11.3%より低い各みかけの平衡水分率においては試料は脱湿の結果、緊張し応力が3.4g/cmより増大している。一方、みかけの平衡水分率が11.3%より高い場合には吸湿による試料の弛緩が起り、始め3.4g/cmあった応力が減少し、試料にたるみ、つまりハイグラルエキスパンション (%) が生じ、たとえばそれは平衡水分率が25%ほどになるとみかけ上1.3%程度の値に達する。すなわち、これが応力

緩和挙動に影響を及ぼすことになる。なお、この値の大きさはウォッシュャブル加工に求められる形態安定性上の収縮限界近傍の値に相当している。図中、57.6%の水分率は精密空気供給装置の湿球温度を乾球温度よりかなり高く設定した場合の結果である。

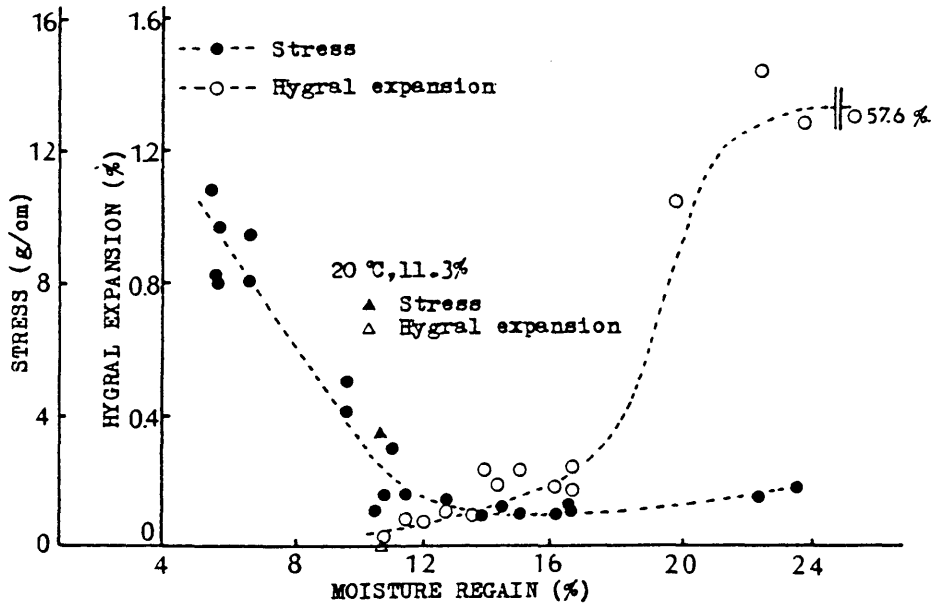


Fig. 7 Apparent hygral expansion curve plotted as a function of moisture regain.

Temp.: 30-34°C

4. おわりに

以上、本測定条件下においてつぎのような結果を得た。

(1) 織りクリンプの伸縮限界内の3.5%と5%の伸長率における高・低水分率条件下のみかけの緩和弾性率 ($\log E$) は緩和時間 ($\log t$) に対して、直線的な関係になく、緩和時間の後半で応力緩和の進みが加速され、より粘性的傾向を示した。

(2) 繊維特有の引張状態が示される8.5%と15%の伸長率における応力緩和挙動は $\log E$ と $\log t$ の間にほぼ直線関係が成立し、その勾配は比較的大きく、より粘性的であった。このとき、8.5%では勾配に水分率による差が認められ、高・低水分率条件下において大きかった。

(3) みかけの緩和弾性率の値は一般に水分率が低いほど大きかった。

(4) 水分率が過渡的に変化する状況下での応力緩和の測定においてハイグラルエキスパンション現象が応力緩和挙動に敏速に反応することが推察された。

(5) ハイグラルエキスパンションは水分率が25%程度になるとみかけ上1.3%程度の値を示した。これはウォッシュャブル加工に求められる収縮限界近傍の値に相当する。一方、

水分率が5%程度の低いケースでは脱湿によるハイグラルエキスパンション現象の結果として織りクリンプが緊張し、11g/cm程度の応力が感知された。

参 考 文 献

- 1) 繊維工業構造改善事業協会；アパレル研究2，三州社，200（1985）
- 2) 鈴木；長崎大学教育自然研報，**38**，53（1987）
- 3) 日本繊維機学会編；被服科学総論（上巻），日本繊維機学会，37（1980）
- 4) X. Tao, R. Postle; Objective Measurement: Applications to Product Design and Process Control, T. M. S. J., 459（1986）
- 5) R. C. Dhingra, R. Postle, T.J.Mahari; Text. Res. J. **55**, 28（1985）
- 6) 石川；新被服材科学，同文書院，103（1976）