(昭和 57 年 8 月 31 日受理)

布の湿感限界水分率に関する一考察

長崎大学教育学部 鈴木 淳

A STUDY ON THE CRITICAL WATER CONTENT OBTAINED BY SENSARY TEST OF MOIST FABRICS

By Atsushi Suzuki

(Department of Home Economics, Faculty of Educations,
Nagasaki University, Nagasaki)

There is a close relation between damp or oppressive sense and water content of fabrics. The differences in the critical water content of damp sense of fabrics among fibers have been suggested as one of major factor when we discuss comfortable use of fabrics. The relation between the subjective rating of critical water content of damp sense and the experimental results of fabrics was mainly discussed in this paper.

That is to say, results of sensory test of four kinds of knit fabrics, polyester, acrylics, wool and cotton, on damp and oppressive sense were compared with those measured by both the sliding resistance of water sorbed fabrics to a metal, from which the clingy forces were assessed, and the changes of the temperature and the heat flow in drying. The relationship were mainly investigated between the critical water content of damp sense, the effects of water content to the clingy forces and the temperature or the heat flow. It was found that the critical water content of damp sense was characterized by the critical water content where the clingy force showed the remarkable increase, and the so called the second critical water content in the falling-rate period of drying.

(Received August 31, 1981)

1. はじめに

着用時において、衣料に湿った感じ(湿感)やそれに基づく抵抗感(密着感)があることは非常に不快なものである。この湿感ないしは密着感は繊維の種類によってかなり異なることが指摘され¹⁾、高温多湿の気候条件下や運動時にあっては極めて直接的な問題であり、衣料の基礎的性質の一つとして重要²⁾である。従来、水分に関する着ごこちの研究³⁾は数多くあるが、最近の繊維の種類による布の「湿感限界水分率¹⁾」の研究は興味ある問題である。しかし、この湿感限界水分率について、物理量との対応で捉えた直接的な研究は余り見当たらないようである。

そこで、本報告ではこの湿感ないしは密着感の問題を、布の皮膚への自然接触を想定した低荷重領域における布の接触問題として捉え、それに関係する物理量として、つぎの二項目を取り上げ検討した。すなわち、試料として、ポリエステル、アクリル、木綿、羊毛の各メリヤス

肌着を例にとり、一つは吸水布(等温吸湿曲線の範囲にある)のすべり抵抗を測定することにより、いわゆる凝着説⁴⁾に基づく布の密着力を導出し、いま一つは熱板に接触させた吸水布(水を過飽和に湿潤させた)の乾燥過程における温度ならびに熱流量の変化特性を測定した。そしてそれらの結果の対水分率特性を評価し、湿感ないしは密着感の官能試験による結果、特に湿感限界水分率について比較したので報告する。

2. 実 験

2.1 試 料

表 1 に用いた試料の諸元を示した。試料は繊維種別による市販のメリヤス肌着で、使用に際し精練処理し、標準状態に調整して用いた。

繊維種別は親、疎水性の違いを吸湿性とぬれ易さの観点からとらえ、ポリエステルでは吸湿性が小さくぬれにくいもの、アクリルでは吸湿性が小さくぬれ易いもの、羊毛では吸湿性が大きくぬれにくいもの、木綿では吸湿

Table 1 Details of samples.

Samples	Number of yarns (n/cm)	Count (d or s)	Thickness (mm)	Air content (%)	Dry weight (g/cm ²)	Water content (%) (20°C 65% R.H.)	Contant angle (°)	Rate of water absorption (mm/10 min)	Air permeability (cc/cm ² /sec)	Water permeability (%)	Hardness (mm)
Polyester knit	15×13	82.5	0.86	88.9	0.0132	0.4	68	18	177	58	77.5
Acrylics knit	13×18	150	0.39	78.5	0.011	1.5	55	80	221	54	87.0
Wool knit	13×15	1/37.5	50.65	83.6	0.0157	14.1	82	0	183	53	89.0
Cotton knit	13×19	42.5/1	0.69	85.7	0.0153	7.9	55	110	181	57	85.5

性が大きくぬれ易いものの代表として選んだ。なお、試料の諸元は次のような測定法に準拠し、標準状態において測定した値である。まず、厚さ、通気度、剛軟度等の測定については、それぞれ織物厚さ計、フラジール型通気度試験機およびハートループ法による剛軟度試験器等を用いて測定した。吸水速度はバイレック法による測定値を示し、吸湿率は乾燥重量に対する水分率で示した。

接触角については繊維に水滴を噴霧し、その顕微鏡写真から計測し、含気率は繊維の比重 ρ 、布の厚さ d 、布の乾燥重量 v_0 等を知って、式 $100(\rho d - v_0)/\rho d$ から計算した。また、透湿性については、カップ法により20分後の水の蒸発量を測定し、空試験のときの透湿量を P_0 、布をつけたときの透湿量を P とし、式 $100(P_0 - P)/P_0$ から評価した。

2.2 物理試験

A. すべり抵抗の測定

図1(a)に示すようなEulerのベルトの理論⁹⁾に従う場合の布のすべり抵抗(摩擦力)を測定した。すべり抵抗の測定には被接触面、接触圧、摩擦速度、温度などいろいろな要件が問題となるが、本報告では着用条件のうち、布の皮膚への自然接触を想定した接触圧と摩擦速度とが小さい場合を例にとり、任意な条件により実施した。また、布の水分率は等温吸湿曲線の範囲にある比較的低水分率の場合を対象とした。

まず摩擦機構には記録計の記録紙の巻き取り機構を利用し、布の被接触面には巻き取りドラムの金属面(クロム処理による平滑面)をそのまま利用した(表面はアルコールと水とで洗浄処理し、乾燥させて用いた)。このとき、被接触面の回転半径は $r=1.91$ cmで、摩擦速度は周速1.8 cm/minであった。また、布の接触角度は $\theta=\pi/2$ radで、試料幅は $b=23$ cmとした。試料の装着に当っては試料の両端を接触部分より長く(布の垂下長は $l=4.8$ cm)とり、その下端には小さな垂下荷重($R'_0=0.84$ g, 1.79 g, 3.6 g, 5.91 g)を掛けた。すべり抵抗は定格20 gのUL型ストレインゲージを用いて検出し、すべり抵抗

Fig. 1 Schematic diagram for measuring the sliding resistance of water absorbed fabrics.

(a) Schematic diagram of main parts of the apparatus

(b) System for recording the sliding resistance

が定常状態になったときの値を読み取った。測定温度は20°Cとし、布の水分率は硫酸溶液又は粉粒状塩化カルシウムで調整(硫酸溶液および調湿ボックス内はゆっくりとかくはんした)し、そのときの水分率は測定中併置した布の水分率を実測して求めた。図1(b)には測定の系統図を示した。以上の方法により布のすべり抵抗～水分率曲線を求め、その結果から水分率が布の密着力に及ぼす影響について検討した。

B. 温熱変化の測定

図2(a)に示すような一定熱量(1.5 V, 220 mA)を供給している熱板に水分を過飽和に湿潤させた布を接触させ

Fig. 2 Schematic diagram for measuring the changes of temperature and heat flow in the period of drying of wet fabric.

(a) and (b) Schematic diagram of main parts of the apparatus

(c) System for recording the changes of temperature and heat flow

て、その乾燥過程における温度及び熱流量の変化特性を測定した。ヒーターAには $2.9 \times 2.9 \text{ cm}^2$ 、厚さ 0.1 cm の銅板Bをそえ、その上には、上下を銅板C (Bと同じ) ではさんだ熱流計D (放熱面が $2.9 \times 2.9 \text{ cm}^2$ 、常温附近の熱流特性が $80 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{mV}$ の市販品である) をセットした。

このとき、各接触部にはシリコングリースを塗布し、接触の安定化を計った。銅板Cの中央部にはクロメル-コンスタンタン熱電対E (径が 0.1 cm 弱) を配置 (冷接点付き) し、上側の熱電対を温度測定用とし、下側の熱電対を熱流量の温度補正用の参考とした。そして、熱板の外周を発泡スチロールで断熱し、その境界部分と熱電対Eの配置部分とは防水の意味も含めて、シリコン樹脂で補修した。また、銅板Cの表面は黒体塗装をほどこした。試料Gの大きさは $3 \times 3 \text{ cm}^2$ で接触は自重のみとし、試料の外周 0.1 cm の部分をバーク板Hで押え、接触の安定化を計った。なお、布を過飽和に湿潤させる方法は接触の安定性にも役立っている。実験環境には図2(b)に示すような陶土で作った恒温槽I (内径 8 cm、高さ 17 cm) を考え、槽内には水中を通過させた圧縮空気J (温度 20°C 、圧力 1 kg/cm^2 、風量 10 l/min) を循環させて湿度の安定化も計った (27°C で、ほぼ $20 \sim 30\% \text{ R.H.}$)。

試料の装着は測定系が定常状態にあるかどうかを確認した上で、槽内からKの部分をつり上げ、検出部L (図2(a)に相当する) を取り出し、素早く試料を装着かつ湿潤させて、もとの槽内に設置した。このとき一時、系の熱バランスがくずれるが、測定期間中、槽内の温度が単

調増減しないようヒーターMとNとの電圧バランスに注意を払った。そして、出力は電圧～時間曲線として読みとり、その後キャリブレーションカーブにより温度および熱流量に変換させた。図2(c)には測定の系統図を示した。

実験は最初乾燥過程の全体について温度および熱流量の変化を測定し、以後、乾燥過程の中途段階で測定を中断し、その時点での布の水分率を自動天秤にて実測し、各測定点での温度ならびに熱流量の対水分率曲線を求めた。

2.3 官能試験

A. 水分率を規定した布の場合

あらかじめ水分率を規定した布について次のような条件による接触感の官能試験を行った。

(1) 試料：表1の試料で、1, 2.5, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60%の水分率に予め吸水させた (調湿したデンケータ、水の浸漬、脱水乾燥などによる) ものを、P.P. フィルムに密閉し、実験室内にかなりの時間放置した後官能試験に供した。なお、水分率が1%と2.5%のものはポリエステル試料とアクリル試料のみとし、水分率が50%と60%のものは木綿試料と羊毛試料のみとした。

(2) 実験環境：標準状態の不感気流下における快適な環境で行った。

(3) 被検者：成人男子 10 名である。

(4) 官能検査法：簡便で接触面が比較的大きい方法として左右の前腕部を感覚センサーとして用いた。そのときできるだけ客観性を持たせるために左右に取り付けた別々の円筒状試料を一対比較により同時チェックしながら

Table 2 Items of comfort feel and evaluated values.

Evaluated values Items	1	2	3	4	5
Moist feel	Dry	Slightly moist	Moist	Considerably moist	Very moist
Oppressive feel	Smoothy	Slightly oppressive	Oppressive	Considerably oppressive	Very oppressive
Warm or cold feel	Warm	Slightly cold	Cold	Considerably cold	Very cold
Comfort feel	Comfort	Slightly discomfort	Discomfort	Considerably discomfort	Very discomfort

らそれぞれの試料の接触感を評価した。一対比較の組み合わせは複雑さと無駄をはぶくため、水分差が20%未満までとし、整理の都合と繊維間にも意味を持たせるために、一つは同一繊維同志の四つのグループ、今一つは2種類の繊維を掛け合わせた六つのグループについて行った。ところで、以上を組み合わせると134対の組み合わせとなり、1人が全て行うには問題が残る。そこで、水に対する皮膚感覚が被検者および被検者間において一意性と一致性とが高いことを根拠に被検者1人が二つのグループを受け持つこととし、全てランダム化して実施した。

(5) 評価方法：接触感の評価項目は湿感および密着感を主体に、温冷感⁶⁾および快適感についても設問し、表2の5段階評価を基本に、各評価値の中間の評点も許した。そして、官能検査の実施に当たり、表2の基準を「乾、湿、ぬれ」の概念として与え、評価値3から4は湿感にぬれ感が付加される変化過程であること、評価値4以上ではぬれ感がその主体となることなどの説明を加え、両極端な試料について最初に情報を与えることとした。結果は個々の評点を総平均して求めた。

B. 乾燥過程にある布の場合

温熱測定時の乾燥途中にある試料について湿感限界水分率の測定を行った。すなわち、水分率を実測した後の試料についてその都度表2をもとに被検者3名による判定を行った。なお、測定は試料面(熱板に接触していた面とそうでない面)にこだわることなく試料全体から受ける接触感を手の甲で評価した。

3. 実験結果

3.1 物理試験の結果

A. すべり抵抗の測定結果

1) 初荷重および水分率の影響

各試料の水分率 α (%)が異なるときのすべり抵抗の測定結果をすべり抵抗 R_1 ～初荷重 R_0 (g/2.3 cm)(ここで、

$R_0 = R'_0 + \omega_0(1 + \alpha/100)bl$ で、 ω_0 は布の単位面積当りの乾燥重量(g/cm²)である)曲線として図3に示した。その結果は本実験条件下の結果としてすべり抵抗と初荷重とが直線関係にあり、すべり抵抗が初荷重の増加とともに大きくなっている。また、すべり抵抗は水分率とともに大きくなっており、特に水分率の高いところで直線の勾配と直線を外挿した切片の値とが大きくなっている。その一例を対水分率曲線として見直すと図4のようになる。すなわち、水分率がある程度大きくなるとすべり抵抗の大きさがより顕著となる傾向にある。

2) 密着力による取り扱い

一般に繊維素材の摩擦力(すべり抵抗)はBowdenの法則⁴⁾とも言える関係式、つまり摩擦力が接触圧(初荷重)に対して指数関数として示される。しかし、図3のように初荷重が限定された場合にはAmontonやCoulombの法則⁴⁾として(1)式が成立する⁷⁾。

$$R' = \mu' w' \quad (1)$$

ここで、 R' : 摩擦力、 μ' : 摩擦係数、 w' : 接触圧である。

この場合、布の摩擦特性は通常摩擦係数の変化として求められるが、この摩擦係数は繊維の種類や布構成によって影響を受ける。そこで今後、同一繊維で布構成が異なる試料についても検討を進める必要があるが(補足実験によれば、繊維種別による特性が優先する)、本報告では次のような凝着説に基づく解析を試み、繊維種別による布の水分効果の定性的な特徴を把握してみることとした。

すなわち、図3の直線関係はWhileheadに始まる凝着説⁴⁾、つまり凝着力(密着力) F' を考えると(2)式としても成立する。

$$R' = \mu'' w' + F' \quad (2)$$

ここで、 μ'' : 真の摩擦係数である。しかし、(2)式の場合、接触圧に無関係な真の摩擦係数とは何かという点

Fig. 3 Relation between the sliding resistance R_1 of the fabric which differs in water content and initial load R_0 .

(a) Polyester knit, (b) Acrylics knit, (c) Wool knit, (d) Cotton knit.

Fig. 4 Relation between sliding resistance R_1 and water content α .

(a) $R_0' = 0.84 \text{ g}$

(b) $R_0' = 5.91 \text{ g}$

で難点が指摘されている。

そこで、図3の結果について(1)式および(2)式の変形として、(3)式を当てはめ、繊維種別による各試料の特徴づけを行うことにした。

$$R' = \mu'''(w' + F'') \quad (3)$$

ここで、 μ''' : 摩擦係数、 F'' : 密着力である。

いま、(3)式による関係をベルト掛け法による展開式として、Eulerのベルトの理論⁵⁾により求めると図3のすべり抵抗 R_1 (g)は(4)式で示される(詳しくは付録による)。

$$R_1 = e^{\pi\mu/2} \cdot R_0 + bw_0(1 + \alpha/100)(r + d/2)(1 - \mu^2) + 2\mu e^{\pi\mu/2} / (1 + \mu^2) + br(e^{\pi\mu/2} - 1)F \quad (4)$$

ここで、 μ : 摩擦係数、 F : 密着力(g/cm²)である。

つまり、摩擦係数 μ による補正のもとに、布の湿感ないしは密着感に関係する物理量として、密着力 F の水分率依存性を取り上げ検討した。

3) 密着力の水分率依存性

すなわち、図3から直線の勾配および切片の値を求めその結果を(4)式に当てはめ⁸⁾、密着力 F と摩擦係数 μ とを計算し、図5に示した。その結果、おおそつぎのような特徴を得た。まず密着力 F と摩擦係数 μ とは水分率が高くなるとともに大きくなり、密着力ではほぼ0.05~0.2 g/cm²程度の値をとり、摩擦係数ではほぼ0.2~0.3程度の値を得た。つぎに密着力の繊維種別による試料の違いではポリエステル試料とアクリル試料の場合には水分率が2%以下と小さいにもかかわらず、密着力 F の変化が顕著で、ポリエステルでは水分率がほぼ0.6%、アクリルでは水分率がほぼ1.2%のところで密着力が急増する特徴を示している。一方、木綿試料と羊毛試料の場合

Fig. 5 Relation between "clinging force" F and frictional coefficient μ of water absorbed fabric, when the initial load is in the region of about 1~6 g/2.3 cm, and water content α .

には密着力 F の変化が緩慢で木綿の場合で水分率が11%前後、羊毛の場合で水分率が16%前後になって始めて顕著に増大する特徴を示した。なお、ここで以上の各水分率を密着力の限界水分率 α_F (%) と呼ぶことにする。

B. 温熱変化の測定結果

吸水布の乾燥過程における温度 T (°C) および熱流量 H (kcal/m²hr) の測定結果を対水分率曲線として図6に示した。その結果はいわゆる典型的な乾燥機構⁹⁾を示すもので、つぎのような特徴が認められる。まず水分率がある大きさ以上のところでは温度および熱流量が水分率の大きさにかかわらずほぼ一定で、いわゆる恒率乾燥期間にあることが分る。この恒率乾燥期間の限界水分率を推定してみると、おおよそ羊毛試料では50~60%, 木綿試料では30~40%, アクリル試料では20%前後、ポリエステル試料では10%前後の値にあることが推察される。

その後、水分率が減少するに伴っていわゆる減率乾燥期間に入り、熱流量が小さくなり温度が上昇する。

今、図6の結果を対数関数として表わし(ここで、 T_0 ,

Fig. 6 Changes of temperature T and heat flow H versus water content α in drying of wet fabric.

H_0 は恒率乾燥期間の温度 (°C) および熱流量 (kcal/m²hr) の値である), 図7に示すとある水分率のところで変曲点が認められる。すなわち, 図7の水分率の高い直線領域を減率第1段, 水分率の低い直線領域を減率第2段として考えるとその変曲点における水分率はいわゆる第2限界水分率として与えられる。すなわち, その値は羊毛試料の場合温度曲線で $\alpha_{T_2}=18\%$ (熱流量曲線で $\alpha_{H_2}=20\%$), 木綿試料の場合同 9.5% (同 13%), アクリル試料の場合同 5% (同 6%), ポリエステル試料の場合同 2.5% (同 2.5%) の値を示している。

Fig. 7 Relation between $\log (T/T_0-1)$ and $\log (1-H/H_0)$ and α .

3.2 官能試験の結果

A. 水分率を規定した布の場合

図8に湿感および密着感の官能検査による評価結果を図示した。温冷感および快適感の評価結果もよく似た傾向を示した。ポリエステル試料の場合図8によれば水分率をもっとも低い段階で湿感ないしは密着感を感ずるようになり羊毛試料ではその逆の性質を示している。

一方、アクリル試料や木綿試料ではその中間的な性質を示している。その場合、水分率が低いところではアクリルの方が湿感や密着感を感じやすく、水分率が高いところでは木綿の方がそれを感じやすくなる傾向にある。

つぎに図8(a)の湿感について、官能検査の情報をもとに湿感限界水分率を与える評価値として1.25を定義すると、湿感限界水分率 α_{s_1} (%) は羊毛試料では16%, 木綿試料では11%, アクリル試料で5%, ポリエステル試

Fig. 8 Relation between moist feel and clingy feel of fabric and water content α .
(a) Moist feel, (b) Clingy feel.

料で3%程度の値を示した。

B. 乾燥過程にある布の場合

乾燥過程にある布について、湿感の官能検査を実施し、湿感限界水分率 α_{S2} (%)を求めた。結果はほぼ羊毛試料で13%, 木綿試料で9%, アクリル試料で2.2%, ポリエステル試料で1.5%の値を得た。

4. 考 察

以上の結果を図9, 図10に対比して示した。すなわち, 図9には密着力の限界水分率と温度および熱流量の第2限界水分率との関係を対比し, 図10には官能試験および文献による湿感限界水分率と各物理試験による限界水分率および第2限界水分率との関係を対比して示した。

それらの結果は各測定値がかなり類似した対応関係にあることを示している。そこで乾燥理論の基礎⁹⁾をもと

Fig. 9 Relation between the critical water content of clingy force gave from the measurement of the sliding resistance of water absorbed fabric (α_F) and the second critical water content of temperature or heat flow in the period of drying of wet fabric (α_{T2} , α_{H2}).

Fig. 10 Relation between the critical water content of moist feel by the sensory test (α_{S1} , α_{S2} or value in literature) and the critical water content of temperature or heat flow by the physical test (α_F , α_{T2} or α_{H2}).

に湿感限界水分率の布中の水分機構を考えて見ると, その機構は布中に液状水の拡散移動が存在するか, しないか, いいかえれば気状水の拡散移動に液状水の拡散移動がともない始める限界の水分状態にあるものと推察される。

また, 乾燥過程における限界水分率が, 図8の評定値3を示す水分率と比較的よく対応していることから布の水分率が減率乾燥期間と恒率乾燥期間の境目に相当する限界水分率のところでは, つまり布中の水分機構が液状水の水のみ水分移動に移るところでは湿感にぬれ感が付加される状況にあるものと推察される。

5. ま と め

布の湿感ないしは密着感, 特に湿感限界水分率の物理的意味について検討した。その結果, 湿感限界水分率は, 布の密着力が顕著な増大を示すところの水分率と湿潤布の乾燥過程における第2限界水分率とによく対応し, また, 布の水分率が乾燥過程の限界水分率近くなると湿感にぬれ感が付加されることの結果を得た。なお, 現在接触面積との関係についても検討中である。

付 録

いま付図において布が円筒上の接触点Aから任意の角度 θ だけ離れたC点で, 微小中心角度 $d\theta$ に対する微小布の試料部分CDEFについて, 力の釣合いを考える。そして, この部分のCF端で右に働く力を R とすると, DE端で働く力は $R + dR$ となる。 dR は微小布試料の自重による法線力(摩擦条件が低荷重のため, 試料の自重を補正して考える)と F (被接触面の半径 r の位置で作用するとする)と R とによる摩擦力とにより次式のように近似される(Eulerのベルトの理論による)。