

湿潤時における布の摩擦特性と布に含まれる 水の形態に関する研究

木下 瑞穂

(2011年10月6日受理)

Frictional Behavior of Wet Fabrics and Existence Form of Water in Fabrics

Mizuho Kinoshita

Abstract: Frictional Force of fabrics was measured as a function of the water content of fabrics. The frictional force was compared with the soaked area of the boundary face between fabrics and a plastic plate. It was found that the frictional force rises sharply when the boundary face is soaked completely and after it reaches a maximum value, decreases quickly. The drop-off of the frictional force was observed from the measurement using the liquid solution of a weak surface tension.

Key words: sweat, surface tension, frictional force

キーワード：布, ぬれ, 摩擦力, 表面張力

1. はじめに

衣服の水に関する性質, すなわち吸水, 撥水, 吸湿, 透湿はその性能を考える上でひじょうな因子であり, 様々な素材や加工により用途にあった性質をもった布が使用されている。しかし衣服の快適性を考える場合, 発汗による濡れた状態を想定することはあまりない。発汗がある場合下着等により吸水し, 発汗による水分を皮膚表面から移動させ外部に発散させるということに快適性を保つことが重要であるからである。つまり濡れた状態をいかに解消するかということが服を考える上での主眼となっている。しかしスポーツウェアは汗をかくシーンで着用されることが多く, 汗の処理は重要な要素になっているが, スポーツの運動量が多い場合には水分の発散が発汗に追いつかず, 発汗で生じた体と衣服との間の水分により不快感が増す現象はよく経験するところである。その不快感のひとつは, 「べとつき」という皮膚とウェアの間に水分が溜まることにより濡れた状態となり, 布地が皮膚に張り付く力学的要因によるものである。濡れた状態でもより快

適にスポーツを継続できるかは, スポーツをおこなっている側からすると非常に重要な問題であると考えられる。

濡れた状態での皮膚と布の間の摩擦挙動を明らかにすることは, スポーツウェアの設計製作にとっても, またそれを着用してスポーツをする側にとっても有用であると考えられる。スポーツウェアの製品開発においては様々な工夫をすることでべとつきを軽減した製品を製作しているようであるが, 濡れた状態の摩擦に関して基礎的な研究は少ないようである。数少ない研究の中で, 鈴木^{1)~3)}により, 濡れた状態での布の皮膚への張り付きが, 繊維と皮膚間の水の表面張力により布が皮膚に押しつけられることにより生ずることが明らかにされ, 織物が濡れて張り付くモデルも提唱されている。本研究では, 布の水分量を変化させ, すべり摩擦力の測定をすると同時に含まれる水分の形態を観察することで, 張り付くという現象と布素材や布構造との関係を検討することを目的とした。

2. 方法

1) 試料布

本報告では吸水加工等を施した布ではなく、一般的な織物布を使用した。吸湿性、吸水性の異なった代表的な素材として、綿、ポリエステル、アクリルの平織物の布を使用した（関西衣生活研究会実験用白生地。試料の諸元を表1に示す。吸水性はバイレック法による10分間の吸水高である。

表1 試料布の諸元

試料	素材	糸使い	吸水性
#1	綿	タテヨコ 40/1	80 mm
#2	ポリエステル	タテ 50d ヨコ 75d	10 mm
#3	アクリル	タテヨコ 1/64	20 mm

2) 水分量の測定

濡れた試料からは常に水分が蒸発するため、特定の水分量を試料に与えて摩擦力の測定することはひじょうに難しい。本研究では十分に水分を含ませた状態から始めて、適当な時間間隔で測定をすることにより、蒸発量をコントロールし水分量を変化させて、すべり摩擦力と水分量の関係を測定することにした。温度および湿度は繊維製品計測の標準状態である20℃ 65%とした。水は蒸留水とともに、表面張力が純水の半分になるように調整した界面活性剤水溶液を使用した。

3) すべり摩擦力の測定

布の皮膚への張り付きによる摩擦力の変化を測定するために、鈴木淳¹⁾の方法を参考にして測定装置を作成した。図1にすべり抵抗測定装置の概略図を示す。この装置を用い、湿潤布を、固定した表面上に置き、無荷重状態ですべらせ、その界面におけるすべり抵抗を検出した。摩擦の対象として人間の皮膚が疎水性であることを考慮し、摩擦の対象面としてポリエチレンテフタレート板（以下 PET 板）を使用した。

試料の大きさは、すべり面積が縦10cm、横3cmとなるようにした。移動速度は1mm/secとし、50mm移動させて前後10mmを除いた30mm間の摩擦力の測定をおこなった。摩擦力の検出にはひずみ計型のロードセルを使用し、ストレインアンプ（DPM-700B：共和電業製）のアナログ出力を12ビット、サンプリング

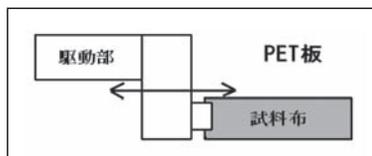


図1 滑り摩擦力測定の概略図

間隔5msecでPCに取り込んだ。

各含水率でのすべり抵抗力の測定は次のようにして行った。最初に試料に水を含ませ、水分量/布重量が200%になるまで蒸発させる。そこから3分おきにすべり摩擦力を測定する。できるだけ多くのデータを収集するために、測定間隔は1回の測定に必要な最短時間である3分おきとした。測定は20℃、湿度65%の恒温恒湿環境で行った。

4) 水分形態の観察

PET板の側からデジタル顕微鏡を使用して、PET板と布試料間にある水分の撮影を行った。撮影した画像から水分の面積を算出し、すべり摩擦力との関係について検討した。

3. 結果

すべり摩擦力の測定に先立ち、水分量と時間経過の関係について検討した。試料に水を含ませ、水分の重量%が200%になるまで蒸発させ、そこから3分おきに重量を測定した。各試料5回測定し、その平均を求めた。図2-1～図2-3にその結果を示す。いずれの試料でも水分量が時間とともに直線的に減少しており、経過時間から水分量を求めることが可能であることがわかる。#1の綿布試料がもっとも蒸発速度が遅く水分が0%となるまでに108分かかっている。これ

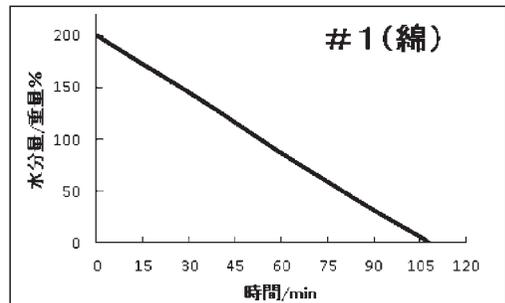


図2-1 水分量と時間の関係（#1綿）

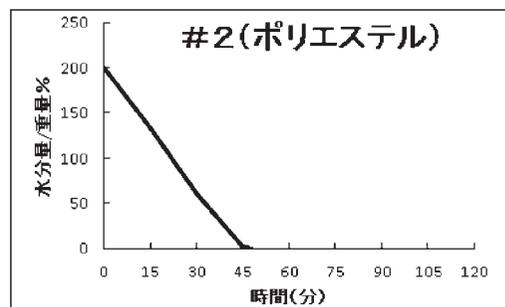


図2-2 水分量と時間の関係（#2ポリエステル）

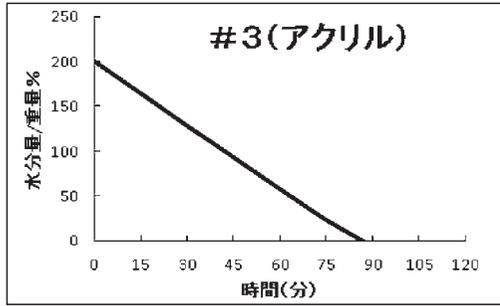


図2-3 水分量と時間の関係 (#3アクリル)

は親水性繊維の紡績糸織物であることによる。これに対し #2 のポリエステル布は親水性の小さなフィラメント糸織物で、0% になるまでの時間が #1 の半分以下の約45分となっている。#3 のアクリル布は綿とポリエステルの中間となっている。

滑り摩擦力

水分率を横軸にとり、水分率に対する滑り摩擦力の変化をプロットしたものを図3～5に示す。いずれの試料においても水分率が小さい時には、すべり抵抗力はほぼ0であるが、ある水分率で急激に増大し、最大値をとった後、急速に減少する特徴的なグラフとなっている。#1 の綿では、水分率が0～70%において、すべり摩擦力がほぼ0gfであるが、70～120%の領域で急激に大きくなり、120%で最大値120gfとなっている。さらに水分率が大きくなると120～130%で急速に小さくなり、130%では40gfとなっている。その後、130～200%では徐々に減少し、200%において20gfとなっている。

#2 のポリエステルでは、水分率が0～30%におい

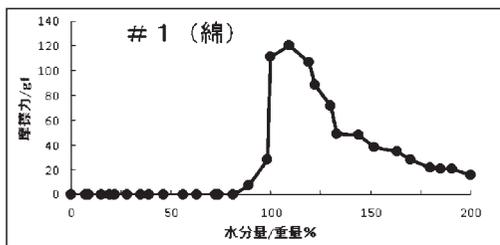


図3 滑り摩擦力と水分量の関係 (#1綿)

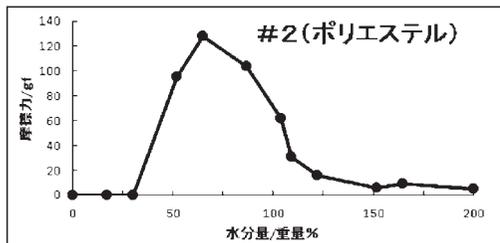


図4 滑り摩擦力と水分量の関係 (#2ポリエステル)

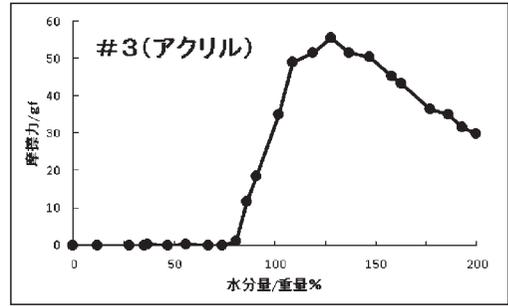


図5 滑り摩擦力と水分量の関係 (#3アクリル)

て、すべり抵抗がほぼ0gfであるが、50～60%の領域で急激に大きくなり、水分率60%で120gfとなっている。60～130%で急激に小さくなり、130%では20gfとなった後は変化が小さくなっている。#2 のポリエステルは水分の蒸発が速いため、測定点が少なくなっている。そのため30～50%の部分において急激に大きくなることは確かであるが、その立ち上がりの水分量の値は明確ではない。

図5に示すように#3のアクリルでは、水分率が0～70%において、すべり抵抗がほぼ0gfであるが、70～130%の領域で急激に大きくなり、水分率130%で最大の55gfとなっている。この値は#1、#2の最大値の約半分である。その後、130～200%で徐々に小さくなり、200%では30gfとなる。また、#1、#2ではすべり摩擦力が最大となった後、20gf以下までに減少しているのに対し、アクリルは最大値の約半分である30gfまでしか下っていない。

すべり抵抗力が最大となる水分率は、#1の綿と#3のアクリルで約120%、#2のポリエステルは約60%となっている。吸水性の小さなポリエステルは、吸水性の大きな綿やアクリルと比較して、水分率が小さな段階ですべり抵抗力が大きくなり、最大となる水分率もほかの2つの試料より小さいことがわかる。

次に試料布とPET板間の水分の形態を観察し、すべり摩擦抵抗との関連を検討した。図6は水分率が約20%のときの#2ポリエステル試料をPET板側から撮影した画像である。試料とPET板間に水分が入りPET板が濡れている部分と濡れていない部分が同程度あることが分かる。掲載した画像は濡れた部分を見やすくするために画像処理をしてある。布が張り付くという現象は試料布とPET板間の水による表面張力によるものであれば、この濡れた面の水が関与するはずであり、濡れた部分の面積が重要な指標となると考えられる。また滑り摩擦力は表面張力のPET板に垂直な成分と次式により関係付けられる。

$$\text{摩擦力} = \text{垂直加重} \times \text{摩擦係数}$$

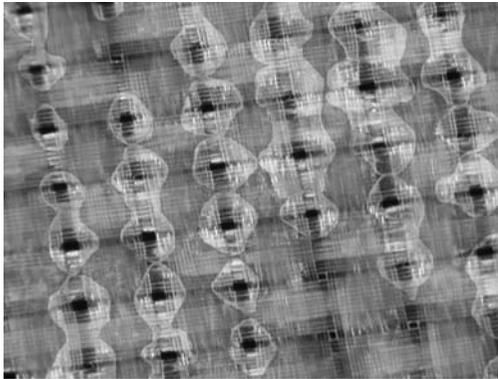


図6 布試料とPET板間の水の分布写真(＃2)

各水分量での濡れた部分の面積の割合を画像から求め、水分量の変化に対し、濡れた部分の面積の割合と、滑り摩擦力を同時にプロットし、その関係について検討する。図7～9にその結果を示す。ただし濡れた部分の面積割合ではなく、100%からその値を引いた乾燥面積比としてプロットしてある。

これらの図からわかることは、いずれの試料においても乾燥面積比が0%付近ですべり摩擦力の増大が始まっていることである。すなわち濡れていない部分が少しでもあるうちは滑り抵抗は大きくならないということを示している。多少濡れていても摩擦力が大きくなることは少し意外であるが、このことはPET板と布試料の直近の部分ではなく布の厚さ方向の水分分布が重要であることを示していると考えられる。

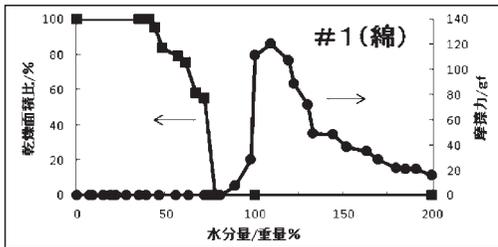


図7 水分量と乾燥面積比(■)滑り摩擦力(●)の関係(＃1綿)

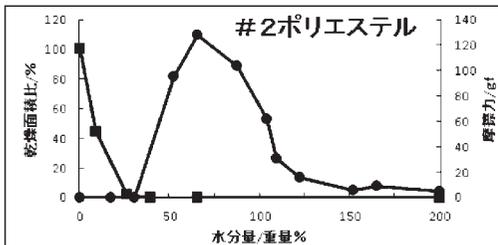


図8 水分量と乾燥面積比(■)滑り摩擦力(●)の関係(＃2ポリエステル)

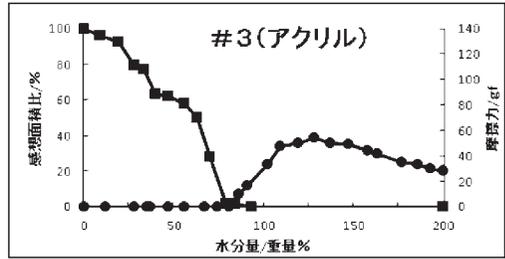


図9 水分量と乾燥面積比(■)滑り摩擦力(●)の関係(＃3アクリル)

水分量が十分大きく、試料全体が水に浸かる状態になれば、布試料とPET板間に働く表面張力はなくなるので滑り摩擦力は減少すると考えられ、いずれの試料でも摩擦力が最大となった後減少しているのはこのような状態に近づくためである。また＃1の結果から分かるように水分を含むことによる自重の増加は自重自体が小さいので摩擦力にはあまり影響しないと考えられる。

次に滑り摩擦力の増大が水分の表面張力によるものであるか確かめるために、表面張力を調整した水溶液を用い同様な測定を行った。汗は食塩や尿素などを成分とする水溶液であるが、その表面張力は、表2示したようにほぼ純水な水と同じであること予想される。

表2 各種溶液の表面張力

水溶液	表面張力(N/cm)
蒸留水	72.7×10^{-5}
0.65%食塩水	73.4×10^{-5}
0.08%尿素溶液	72.5×10^{-5}
0.02%界面活性剤水溶液	31.8×10^{-5}

今回は市販の洗濯洗剤(界面活性剤)を用いて表面張力が純水の約半分になるように調整して測定に供した。界面活性剤溶液を用いた場合の滑り摩擦力の測定結果を、図10～図12に乾燥面積比のデータと合わせて示す。

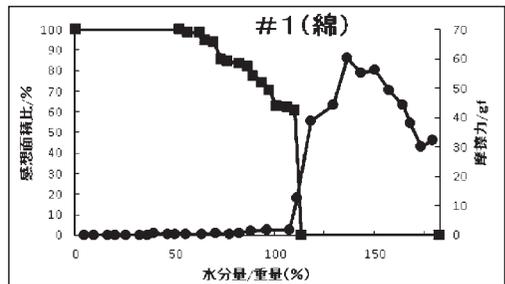


図10 界面活性剤溶液を用いた場合の水分量と乾燥面積比(■)滑り摩擦力(●)の関係(＃1)

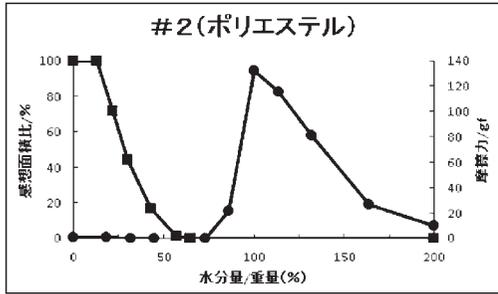


図11 界面活性剤溶液を用いた場合の水分量と乾燥面積比 (■) 滑り摩擦力 (●) の関係 (#2)

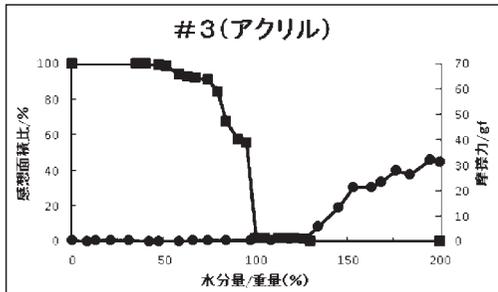


図12 界面活性剤溶液を用いた場合の水分量と乾燥面積比 (■) 滑り摩擦力 (●) の関係 (#3)

#1綿、#2ポリエステル試料では、水分量の増加に伴い摩擦力が大きくなりまた減少するという傾向は純水の場合と同じである。また乾燥面積比が0%の点で摩擦力が増大し始めることも同様である。しかし乾燥面積が0%になる点または摩擦力が増大し始める点が高水分量側に移動していることがわかる。#1では80%から110%へ、#2では25%から70%へと変化している。このことはより多くの水分が試料布内に保たれ、PET板との間に浸透するのが遅くなっていることを示している。しかしながら#3のアクリル試料では、摩擦力の増大の立ち上がりが不明瞭であるとともに明確なピークも無くなっている。これにはアクリル繊維に対する水の接触角が小さいことが関係している可能性がある。

次に摩擦力の大きさであるが、純水において#1の綿のすべり摩擦力の最大値は、水分率120%のときに120gfであるのに対し、界面活性剤水溶液では水分率150%のときに約半分の60gfとなっている。また#2のポリエステルのすべり抵抗力の最大値は、純水で水分率60%のときに120gf、界面活性剤水溶液では水分率100%で100gfとなっており、最大値の大きさ減少しているものの、その減少幅は#1の綿ほどではない。#3のアクリルの場合は最大値は明確ではないものの全体的に純水の場合に比べて低くなっている。

水分の表面張力が小さくなることで当然ながら水分の布地・PET板に垂直な方向断面形状が変化するので定性的にしかいえないものの、以上のことから、滑り摩擦力が水分の表面張力に依存していることが分かる。

おわりに

本研究では水の平面的な分布と滑り摩擦力の関係について検討した。その結果布との界面が全て水で蔽われた時点で摩擦力の増加が始まる、言い換えれば張り付きが始まることがわかった。しかしながら滑り摩擦力の増加の程度やの最大値を説明する、または推測するためには、布の厚さ方向の水の分布と、繊維の配列状態、繊維と水の接触角などを考慮に入れて、表面張力の関与する成分を検討する必要がある。現在垂直断面からの水分分布の観察法と、合わせてコンピュータによるシミュレーションを検討中である

本報告は平成23年度広島大学教育学部卒業生山手麻友美の卒業研究の実験データをもとに作成したものである。精力的に実験をおこない基礎的なデータを出してくれました。

【参考文献】

- 1) 鈴木淳, 新海克彦, 大平通泰: 繊維学会誌, Vol.29, No.2, 50-56 (1973)
- 2) 鈴木淳, 繊維学会誌, Vol.39, No.6, 233-245 (1983)
- 3) 鈴木淳, 繊維学会誌, Vol.38, No.4, 163-170 (1982)