布の摩擦溶融に関する実験的研究*

大阪市立大学 矢井田 修(会員)**
 “ 飛田 祐子

Experimental Study on Frictional Melting of Fabrics

Osamu Yaida, Yuko Tobita*

*Faculty of Science of Living, Osaka City University, Osaka

Abstract

Recently, the training wear has come to be used widely and synthetic fibers such as nylon, polyester are the most common materials for the training wear. Consequently, as man putting on a training wear falls down or slips on the floor in the gymnasium, man burns its legs or arms due to the heat generated at the contact surfaces between the wear and the floor. The temperature of wear surface reaches 500 degree, then, has been reported.

In this study, we observed the molten state of fabrics mainly used for trainingwear by using the measuring machine built as a trial, and evaluated the molten state with the mean values of surface roughness measured by KES system. The results obtained are as follows.

- 1) The mean values of the surface roughness after friction test decrease compared to the state before friction test in both of untreated and treated fabrics, therefore, the mean values of the surface roughness measured by KES system are available for the evaluation of the molten state of fabrics.
- 2) As the treated fabrics has low mean values comparing with the untreated fabrics after friction test, the effect of anti-frictional melt finishings is clearly noticed.
- 3) The breaking elongation of fabrics decreases after friction test.
- 4) The mean values of the surface roughness after friction test decreases the collision velocity increases and the collision angle become small.
- 5) The molten state of fabrics is influenced considerably by the presence of the anti-slip finishing of the floor.

(Received September 30, 1989)

1. まえがき

布の溶融については、工場等において火花や高熱溶融物の付着に起因する場合と、合成繊維製のスポーツウェア（トレーニングウェアも含む）を着用して転倒したり、スライディングをした場合に生じる。ここでは摩擦による布の溶融を対象として、どのような摩擦条件が布の摩擦溶融にどの程度影響するかについて実験的に調べる。

スポーツウェアを着用して体育館等で転倒した時、床面と布との間の摩擦による発熱のため、スポーツウェアの表面が溶融して穴があいたり、極端な場合には火傷をしたりする場合があります、この瞬間的

に発生する摩擦熱により布の表面温度は 400 ～ 500℃ に達するといわれている¹⁾。このような災害を防止するため、これまで繊維の防融化、難燃化のための加工法が開発されている。又、摩擦溶融を防ぐため、布の摩擦係数を小さくしたり、天然繊維を混紡するといった方法も行われている。

しかし、この摩擦溶融に関する試験法については統一の方向にあるものの種々の試験法が独自に使用されているのが現状である²⁾。一般的に用いられている方法は、木製ローターを回転させ、それに試料布を一定荷重のもとで押しつける方式である。しか

し、このような方法は、スポーツウェア着用者が実際に転倒したり、スライディングした場合と摩擦条件が異なっていると考えられる。ここでは実際の場合に近い摩擦条件を設定できるような布の摩擦溶融試験機を試作し、種々の条件のもとでの布の溶融状態を調べるとともに、布の摩擦溶融状態を評価する手法について考察する。

2. 一般的な摩擦溶融試験法の問題点

一般的に用いられている摩擦溶融試験法の概略は、モーターによって一定回転数に保たれた木製ローター（通常は円板状）の円周上あるいは側板上に、試料布を一定圧力で一定時間接触させた後に、試料布の摩擦溶融状態を目視によって等級付けしたり、あるいは試料布が摩擦溶融によって破れる時の最小接圧や回転数から判定する方法である。

これらの摩擦溶融試験方法に共通した問題点、即ち実際にスポーツウェア着用者が体育館等で転倒、スライディングした場合と摩擦条件が異なる点をまとめると次のようになる。

a) 摩擦距離が長い

木製ローターと布とが接触している時間は、接触後すぐにモーターのスイッチを切っても3～4秒間、ローターは慣性により回転する。又、モーターは容量の大きいものが多く、摩擦距離を計算すればどの試験法でも10～15mとなる。この距離は実際の場合と比べて非常に長く、特にアンチスリップ加工された床等の場合とは非常に異なる。

b) 接触角を変えられない

円形の木製ローターに試験片を接触させる方法では、試験片とローターとの接触角が常に一定となる。実際にはスポーツウェア着用者は種々の角度で転倒したり、スライディングしたりする。

c) 単位面積当たりの荷重（接圧）が小さい

例えば、体重45kgの人が100mを13～14秒で走ってきてスライディングをした場合の推定接圧は260～300g/mm²といわれている¹⁾。しかし、現在の摩擦溶融試験法での接圧は約10～30g/mm²の範囲であり、これは装置設計上やむをえないとしても実際の場合と比べて著しく小さい。

d) 木製ローターが回転するにつれて熱を持つ

現在の摩擦溶融試験法で用いている木製ローターの直径は50～100mm程度のものが多く、摩擦試験中に同じ面が何度も摩擦されるために発熱する。実際の場合には布は常に新しい床面と接触してい

る。

以上述べた点が一般的な摩擦溶融試験法と実際の場合で異なると考えられる。従って本研究では、スポーツウェア着用者が体育館で転倒、スライディングした場合の状態に近い実験条件を設定できるような試験機を試作した。

3. 試作摩擦溶融試験機の概要

図1は試作試験機の概略を示す。試験布を取付けたスライダ①をレール②の一定位置より滑らせ、摩擦部③に衝突させた後に擦過板④上を滑らせる。そして擦過板上を滑走したスライダはスライダ受け⑤に入る。

図2はスライダの詳細を示す。スライダ本体は鉄製で重量は5kgである。このスライダの周囲に弾性部材として塩ビシートを貼り、その上に試料布を取り付ける。塩ビシートは図2に示すように接触面積を少なくし接圧を大きくするため階段状に構成してある。

この試作試験機では擦過板の種類、衝突角度（レールの取り替え）、擦過長（擦過板長の変化）、衝突速度（スライダの発射位置の変化）等の摩擦条件を変化させて実験することができる。又、衝突速度は光電管とユニバーサルカウンタを組み合わせ、衝撃力はロードセルとピークホルダーとを接続させて測定した。この試作試験機での設定可能実験条件の範囲を表1に示す。

図1 試作試験機の概略図

図2 スライダの詳細図

表 1 実験条件の設定範囲

衝突速度	1.5m/秒～3.4m/秒
衝突角度	30度あるいは15度
擦過板の種類	任意 (9cm×60cm)
擦 過 長	20cm～50cm

4. 試作試験機による摩擦溶融実験

4.1 実験試料

実験試料としてトレーニングウェア等に使用されている4種類の布を用いた。その中の2種類は構造が同じで、耐摩擦溶融加工をした編布と未加工の編布であり、その他の2種類は織布で、耐摩擦溶融加工をしたものと未加工のものである。耐摩擦溶融加工はニューバンメルツ SL 加工と呼ばれるものである。用いた試料布の物性を表2に示す。

4.2 実験条件

実験では擦過板の種類、衝突速度、衝突角度、試料布をスライダーに取り付けるときの伸長率を変化させ、試料布の経、緯のそれぞれの方向について摩擦溶融実験を行った。

擦過板は3種類の床用合板を用いた。体育館等に用いられる床材にはブナ、サクラ、ナラ材があり、ここでは表面塗装（二液型純ポリウレタン塗料の3回塗り）をしたブナ材とナラ材、及び未塗装のナラ材を選んだ。表3は試料布と各擦過板との静摩擦係数を示す。表3から、試料布と擦過板との摩擦係数に関しては、試料布によって多少差はあるが、布との静摩擦係数の最も大きいのは未塗装のナラ材で、順に表面塗装したナラ材、表面塗装したブナ材となる。

衝突角度はレールを取り替えることにより、30°

表 3 擦過板と試料布との摩擦係数

試料布	擦過板	ブナ材表面塗装(1)	ナラ材表面塗装(2)	ナラ材未塗装 (3)
A	経	0.424	0.445	0.554
	緯	0.364	0.435	0.521
B	経	0.424	0.424	0.603
	緯	0.443	0.364	0.534
C	ウエール	0.287	0.364	0.637
	コ ー ス	0.384	0.466	0.566
D	ウエール	0.344	0.354	0.516
	コ ー ス	0.350	0.384	0.510

表 2 試 料 布 の 物 性

試 料			A	B	C	D
構 造			3 / 1 斜文織	2 / 1 斜文織	両 面 編	
耐 摩 擦 溶 融 加 工			加 工	未 加 工	加 工	未 加 工
使 用 糸			ポリエステル 150d/2 綿	ポリエステル 150d/2 綿	ポリエステル 150d/48	
厚 さ (mm)			0.90	0.76	92.1	101.32
糸 密 度	本 / cm	経	27	26		
		緯	41	28		
	ループ数 / cm	ウェール			12	12
		コ ー ス			14	13
重 さ (g/m²)			279.1	283.8	226.2	252.2
圧 縮 弾 圧 率 (%)			81.3	80.5	78.8	71.9
静 摩 擦 係 数		経	0.364	0.344		
		緯	0.374	0.344		
		ウェール			0.424	0.374
		コ ー ス			0.344	0.354
熱 伝 導 率 (cal/cm². sec℃)			0.00116	0.00124	0.00119	0.00109
剛 軟 度 (mm) (ハートループ法)		経	141.8	87.74		
		緯	269.2	133.5		
		ウェール			130.9	253.2
		コ ー ス			29.59	110.7
表 面 粗 さ (μm)		経	3.85	2.90		
		緯	8.24	6.59		
		ウェール			2.83	2.78
		コ ー ス			16.23	13.39

と 10° に設定することができる。又、衝突速度はスライダを滑走させる時の初期位置を変えることにより、 $1.5 \sim 3 \text{ m/sec}$ の範囲で設定できるが、今回の実験では2.3, 3.0, 3.4 m/secの3段階とした。

試料布をスライダに取り付ける時に試料布を伸長させるが、この時の伸長率も実験結果に影響を及ぼすと考えられる。従って、編布については伸長率を0, 20, 50%と変化させたが、織布の場合はあまり伸長できず、経糸に加工糸を用いた試料A(表2)を経方向に取り付ける場合のみ伸長率を10%とし、その他の場合は原長のままで取り付けた。

布の摩擦溶融状態の評価については、目視による等級付けは行わず、実験前後の布の表面粗さを測定(KES表面試験機)することによって判定した。又、布の摩擦溶融試験後の破断強力和破断伸度についてもインストロン型引っ張り試験機で測定し、比較検討した。

5. 布の摩擦溶融実験結果

5.1 耐摩擦溶融加工の効果について

布構造は同じで、耐摩擦溶融加工を施した編布と未加工の編布の摩擦溶融試験前後の表面粗さ実測曲線の一例を図3(a), (b)に示す。図から、加工布と未加工布は共に摩擦溶融試験前と比べ試験後の表面粗さ曲線には波形の乱れが観察され、コース方向においてそれは著しい。又、表面粗さの平均値も摩擦溶融試験前と比べ試験後は低下している。

摩擦によって布表面の繊維が溶融すれば布表面は平滑となり、テカリを生じることが多い。従って、表面粗さの平均値が小さいということは布表面の摩擦溶融の程度が進んでいると推測できる。図3から耐摩擦溶融加工された布は未加工のもの比べて表面粗さの低下の程度が少ない。例えば、ウエル方向において耐摩擦溶融加工布の平均表面粗さの低下

耐摩擦溶融加工布
(試料C)

未加工布
(試料D)

図3(a) 表面粗さの実測曲線(ウエル方向)
(床材3, 衝突角度 30° , 衝突速度3.4 m/秒, 伸び率20%)

耐摩擦溶融加工布
(試料C) 未加工布
(試料D)

図3(b) 表面粗さの実測曲線(コース方向)
(床材3, 衝突角度30°, 衝突速度3.4 m/秒, 伸び率20%)

率は9.13%であるが、未加工布の場合22.3%となる。従って、耐摩擦溶融加工の効果はあるということになるが、目視ではそれほど変わっていない。又、コース方向においては摩擦試験前後の表面粗さ曲線の形状は大きく異なり、摩擦溶融する部分がスティックスリップ現象によって局所的に生じることが分かる(図3(b))。

図4は耐摩擦溶融加工布と未加工布の摩擦試験前後の破断強伸度を示す。布が摩擦により溶融すれば、極端な場合である破れが生じた時(目視で判別できる)に使用不可能になるのは当然としても、その後の使用に耐える物理性能をどの程度保持できるかどうかを検討することは必要である。図4から、破断力については摩擦試験前後で一定した傾向は見られず、破断伸度は摩擦試験前と比べ試験後は低下することが分かる。この原因は、テカリの生じる程

度の溶融では繊維同志の溶着による強度増加と衝撃による試料の破損との相対的なバランスによって試験後の破断強力が決まることと、破断伸度の低下は繊維同志の溶着によるためと考えられる。

5.2 衝突速度が布の摩擦溶融に及ぼす影響

衝突角度、擦過板の種類を一定にして衝突速度を3段階に変化させた場合の実験結果を表4に示す。衝突速度の測定にはMP光電スイッチ(アンプ分離型)、MP-Aアンプユニット及びユニバーサルカウンタ(SC-7201)を用いた。

平均表面粗さは衝突速度の増加につれて減少し、衝突速度の増加による布の摩擦溶融の程度が大きくなるが、この実験範囲ではその程度はあまり大きくなく、更に衝突速度を大きくした場合の実験が必要であろう。破断強力については、衝突速度が3.0 m/

図4 摩擦試験前後の破断強伸度（ウェール方向）
（床材3，衝突角度30°，衝突速度3.4 m/秒，伸び率20%）
（：摩擦試験前 ：摩擦試験後）

表4 衝突速度が布の摩擦溶融に及ぼす影響

衝突速度 (m/秒)	平均表面粗さ (μm)	破断強力 (kg)	破断伸度 (%)
0	2.83	26.7	103.3
2.3	2.69	25.5	100.0
3.0	2.68	26.2	100.0
3.4	2.57	22.1	97.3

（試料C，衝突角度30°，床材3，ウェール方向摩擦）

sec の場合を除けば衝突速度の増加につれて減少する傾向にある。破断伸度についても衝突速度の増加につれてやや減少するという結果を得た。

5.3 擦過板の種類の違いによる影響

表面状態（塗装の有無，静摩擦係数）の異なる3

種類の床材を用い，衝突角度と衝突速度を一定にして布の摩擦溶融試験を行った結果を表5(a)，(b)に示す。

擦過板（床板）と試料布との静摩擦係数については，床板3が最も大きく，次に床板2，床板1の順である（試料布Bの緯方向を除く）。一般的に考えれば，摩擦係数が大きければ摩擦力が大きくなり，それに起因する摩擦熱量も増加し布の摩擦溶融の程度が増大する³⁾。しかし，この摩擦溶融試験後の布の平均表面粗さは床板1を用いた場合が最も小さく，次に床板2，最も大きいのは床板3となった（表5）。即ち，一般的な考案とは逆の傾向となった。これはポリウレタン塗料の表面塗装による影響と考えられる。実験に用いた床板1と2は主として体育館等で用いられ，アンチスリップ性を付加する目的でポリウレタン表面塗装したもので，床板3は未塗装のものである。従って，床板3の場合にはスライダが擦過板に衝突後，摩擦係数が大きいとはいえ連続して直線的に滑走するのに対し，床板1と2の場合にはスライダがスティックスリップ挙動を行いながら滑走するため，全荷重が局部的に加わり，その部分の布の摩擦溶融の程度を増進するためと考えられる。

このことから，滑って転倒するのを防ぐという目的でなされる床板のアンチスリップ加工は布の摩擦溶融という観点からは逆効果になるといえる。又，同じ表面塗装処理したブナ材（床板1）とナラ材（床板2）では，静摩擦係数の大きいナラ材の方が試験後の布の平均表面粗さが小さくなる傾向を示し（試料布Aの緯方向と試料布Dのコース方向を除く），同じ表面塗装状態であっても床板の性質（例えば圧縮特性）によって影響を受けると推測される。

表5 擦過板の違いが平均表面粗さに及ぼす影響 (a) 経・ウェール方向

試料	A			B			C			D		
平均表面粗さ (μm)	3.83	3.02	3.92	2.14	2.03	2.10	2.13	2.02	2.57	2.04	1.98	2.16
床板の種類	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
静摩擦係数	0.424	0.445	0.554	0.424	0.424	0.603	0.287	0.364	0.637	0.344	0.354	0.516

(b) 緯・コース方向

試料	A			B			C			D		
平均表面粗さ (μm)	6.53	8.22	8.09	6.17	6.14	6.37	12.51	11.96	15.54	9.66	11.14	11.35
床板の種類	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
静摩擦係数	0.364	0.435	0.521	0.443	0.364	0.543	0.384	0.466	0.566	0.350	0.384	0.510

（床板1：表面塗装ブナ材，床板2：表面塗装ナラ材，床板3：未塗装ナラ材）
（衝突角度30°，衝突速度3.4m/秒）

（単位 mμ）

5.4 衝突角度の影響

床板の種類、衝突速度を一定にして衝突角度を30°及び10°に変化させた場合の実験結果を表6に示す。

全試料布とも衝突角度が小さい場合の方が試験後の布の平均表面粗さは小さくなる。この傾向は織布(AとB)よりも編布(CとD)において著しい。衝突速度は同じであるので衝突角度が大きいほど衝突時に失われるエネルギーが大きいため、滑走時の速度は低下すると考えられ、それにより滑走時の摩擦溶融の程度は衝突角度が小さい時よりも減少するのであろう。

5.5 試料布取り付け時の布の伸長率の影響

今までの実験は編布の場合、試料布をスライダに取り付けるときの布の伸長率は20%として行った。ここでは、試料取り付け時の伸長率を3段階に変化させ、他の条件は一定として得られた実験結果について述べる。

表7は得られた実験結果を示す。

スポーツウェア着用者が転倒、スライディングした場合に最も溶融しやすい部位はひざ部である。しかもひざを曲げた状態で床上を滑ることが多いと推測される。運動時の身体の必要伸度に関して、ひざを曲げた状態では垂直方向に35～45%、水平方向に12～14%であると報告されている⁹⁾。表7から、試料取り付け時の布の伸長率の増加に伴い試験後の平均表面粗さは減少しており、試料取り付け時の布の伸

表6 衝突角度の違いが平均表面粗さに及ぼす影響
(床材3. 衝突速度3.4m/秒。緯・コース方向)

衝突角度 試料	10°	30°
A	8.07	8.09
B	5.17	6.37
C	10.03	15.54
D	6.40	11.35

(単位 m μ)

表7 試料取り付け時の伸長率の影響

(床板3. 衝突角度30°. 衝突速度3.4m/秒。ウェール方向)

試料 伸長率(%)	C	D
0	2.68	2.36
20	2.57	2.16
50	2.16	2.00

長率が摩擦溶融試験結果に影響を及ぼすことが分かる。

5.6 スライダの衝撃力について

摩擦溶融試験とは別に、この試作機においてスライダが擦過板と衝突する時の衝撃力を測定した。圧力変換器としてU3B1-1-T-B(1トン用)と2点設定器付デジタル指示計(TA-363-2-PS, ピークホルダー)を用いた。

その結果、衝突速度2.3m/secの場合に10kg、3.0m/secの場合に58kg、3.4m/secでは70kgという値であった。実際の場合には5kgのスライダーとは異なり、数十kgの体重の人間が衝突するのであるから、この衝撃力は非常に大きい値となる。従って、摩擦による溶融と衝撃による布の破損とを考慮する必要がある。

図5は摩擦溶融試験前後の布の顕微鏡写真である。図5(a)は試験前、図5(b)は試験後の布の表面及び断面の状態を示す。写真から摩擦後は布表面の繊維が溶融しているのが観察される。

6. まとめ

布の摩擦溶融についての基礎的なデータを得るため、従来の摩擦溶融試験機よりも実際に近い摩擦条件を設定できるような摩擦溶融試験機を試作し、耐摩擦溶融加工布と未加工布を用い摩擦溶融実験を行った。

布が摩擦により溶融した状態を評価するのに、極端な場合である穴があくといった状態を除けば、目視により表面のテカリの程度によって判定するのはあまり正確でなく、又、布の色によって判定しにくい場合も生じる。ここでは布の表面粗さに注目して実験データを整理した。

得られた結果は次の通りである。

- 1) 耐摩擦溶融加工布、未加工布とも摩擦試験前と比べ試験後の布の平均表面粗さは減少し、布表面の繊維が摩擦熱により溶融する程度の尺度として布の平均表面粗さを用いることができる。
- 2) 耐摩擦溶融加工布は未加工布よりも試験前後の布の平均表面粗さの低下率は小さく、加工の効果が認められる。
- 3) 摩擦試験前後の破断強度については一定した傾向は見られないが、破断伸度は試験前と比べ試験後は低下する。

(a) 試験前

布の表面

布の断面

(b) 試験後

布の表面

布の断面

図5 摩擦溶融試験前後の布の顕微鏡写真

- 4) 試験後の布の平均表面粗さは衝突速度が大きいほど、又、衝突角度が小さいほど低下する。このことは床板の接線方向に近い角度でスピードを出してスライディングした場合に布の摩擦溶融程度が大きくなることを示す。
- 5) 擦過板(床板)の違いについては、床板と布との静摩擦係数よりもその床板がアンチスリップ加工(ポリウレタン表面塗装)されているかないかが大きく影響する。
- 6) 試料取り付け時の布の伸長率は布の摩擦溶融状態に影響を及ぼすので、布の摩擦溶融試験

を行う場合には、この点に注意する必要がある。

以上のような基本的な知見が得られたが、更に衝撃摩擦時の摩擦熱量(又は温度)の定量的な測定や、ここでは測定していない摩擦溶融破れの生じるような条件下での実験も必要である。

参考文献

- 1) 吉澤靖夫, 鈴木正夫; 織消誌, **23**, 374 (1982)
- 2) 日本化学繊維協会規格, 合繊素材の摩擦溶融試験方法(JCFA TM-103) (1980)
- 3) 曾田範宗訳; 固体の摩擦と潤滑, P 31, 丸善 (1978)
- 4) Wn. Kirk, Jr., M. Ibrahim; Text. Res. J., **36**, 37 (1966)