

Measurement of Drape Coefficients of Fabrics and Description of Hanging Shapes of Fabrics Part 4 : Evaluation and Dynamic Drape Behavior of Fabrics Using a Testing Device

Minzhuang Yan*, Mitsuo Matsudaira**, Li Qin**

Abstract

To evaluate dynamic drape behavior of fabrics, a testing device to measure dynamic drapability was designed and new adequate parameters which can represent dynamic drapability were defined and the stability of those parameters were discussed. Following conclusions were obtained. As the revolution of fabric increases, fabric overhangs and the projected area changes in three stages. Dynamic drape increase coefficient ; D_a , which shows the degree of fabric overhanging with revolution speed, is defined as a parameter of dynamic drapability. The parameter is a slope at the 2nd stage. As the effect of airflow is larger for rotating fabrics at higher revolution speed, dynamic drape coefficient at 200 rpm ; D_{200} , is defined also as a parameter of dynamic drapability. Both the dynamic drape increase coefficient and the dynamic drape coefficient at 200 rpm showed high accuracy and reproducibility.

Key Words : Dynamic drapability, Dynamic drape increase coefficient, Dynamic drape coefficient, Revolution speed, Airflow

(Received Nov. 9, 1998)

(Accepted for Publication May 11, 1999)

布のドレープ係数の測定と垂下した布形状の表現 (第4報) 試作測定器による布の動的ドレープ挙動の評価

楊 敏 壯*, 松平 光男**, 秦 黎**

1. 緒 言

布を単に垂れ下げたときの形状を静的ドレープと呼ぶ。筆者らは、これまで静的ドレープについて、その測定法、布物性との関係などについて報告している¹⁻³⁾。しかし、衣服は人体の動きや微風に伴って容易に揺動し、その揺動が衣服着用時の形態の美観に関連していると考えられる。この動的挙動は動的

ドレープ挙動と言える。人に動的な美的感覚を与える要因としてはこの動的ドレープ挙動に依存することが多く、とくに動的ドレープ性のよい布は人体に着けて動いたときにその美しさが発揮されると考えられる。動的ドレープについては、これまでの研究では婦人用スカートの裾の揺動追跡⁴⁻⁶⁾、あるいはスカートの揺動と感覚との関係^{7,8)}などが検討されている。またこの動的ドレープは、一般には布の曲

Member, Graduate School of Natural Science, Kanazawa University, *会員, 金沢大学自然科学研究科, **会員, Member, Faculty of Education, Kanazawa University, 金沢大学教育学部, 金沢市角間町, Kakuma-machi, Kanazawa City

げ変形およびせん断変形を伴う動きが主体と考えられるため、布の曲げ特性およびせん断特性と動的ドレープとの関係が詳しく解析され報告されている⁹⁻¹³⁾。

動的ドレープについての研究では、婦人用スカートに関連した報告は多いが、布そのものについて、動的ドレープの評価および測定などの研究は今まではほとんどない。例えば、ドレープ係数は静的ドレープ挙動に関して、布の垂れ下がる程度を表すパラメーターであるが、動的ドレープ挙動に関しては、布の動的な動きやすさあるいは動きにくさをどのような方法で、またどのようなパラメータで表現するか、未だ不明である。また、同じドレープ係数を示す布であっても、その動的ドレープ挙動は大きく異なることが予想される。

従って、本研究では円形サンプルおよび F. R. L ドレープメータの支持台を用い、試料および支持台の半径は JIS 規格に従いそれぞれ 127mm, 63.5mm として、その支持台を回転させた布の投影面積から動的ドレープ挙動を表現できる適切なパラメータを求め、布の動的ドレープ挙動を評価する値としての適性を検討した。

2. 実験方法

2.1 試料

動的ドレープ特性が外観上重要視される婦人用薄手布および婦人用スーツ地として使用される織物の中からシルク、ポリエステル、レーヨン、ウール、コットンなど11種類の布を用いた。用いた試料の主

な特性値を Table. 1 に示し、KES システムで計測される曲げ剛性 B の値も示しておいた。

2.2 測定方法

動的ドレープ挙動を検討するため、Fig. 1 のような動的ドレープ測定装置を試作した。この測定装置は JIS 規格のドレープテスト装置の円形支持台（直径127mm, 材質アクリル）部分の下に、回転できる装置を付け、回転速度は 0~240rpm の間で無段階調節が可能である。測定時には、試料を支持台にのせ、それから支持台と同じ直径の蓋で固定して、支持台の回転に伴い試料も回転する。

測定条件を整えるため、一定の回転速度で1分間回転させた後、試料の投影図形を Fig. 2 のようにラ

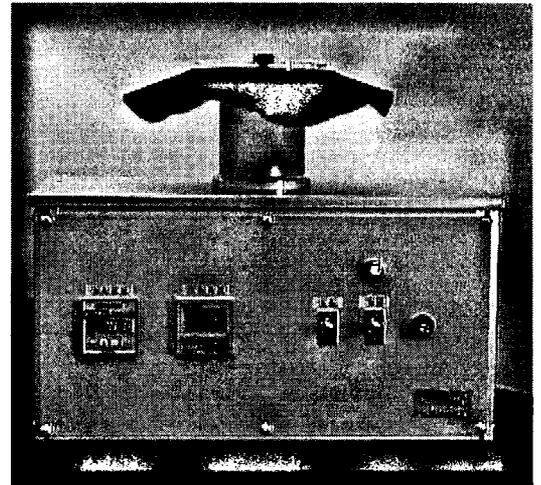


Fig. 1 Equipment to measure dynamic drapability of fabric.

Table. 1 Characteristics of samples

Sample	Weave (Type)	Yarn Count (Tex) (Warp/Weft)	Yarn Density (1/cm) (ends/picks)	Thickness* (mm)	Weight (g/m ²)	Bending Rigidity (gf · cm ² /cm)	
1	Cotton	Plain	27.1/35.6	25/21	0.32	146.7	0.0472
2	Wool	Twill	26.4/36.2	27/31	0.34	180.2	0.0855
3	Wool	Plain	17.6/24.4	28/23	0.28	113.9	0.0305
4	Silk	Plain	16.3/15.1	51/29	0.24	126.3	0.0699
5	Silk	Plain	78.7/92.6	10/9	0.50	176.1	0.213
6	Silk	Satin	8.5/4.0	33/63	0.11	54.3	0.0318
7	Silk	Plain	5.4/7.5	54/34	0.13	54.8	0.0192
8	Polyester	Plain	7.6/9.8	74/42	0.27	98.3	0.0132
9	Polyester	Plain	7.1/7.9	78/27	0.18	78.9	0.0281
10	Rayon	Plain Stitch	12.2	—	0.46	180.4	0.0051
11	Rayon	Pile	14.3/15.8	24/39	0.92	282.2	0.179

* Thickness is measured at the pressure 0.5 gf/cm²

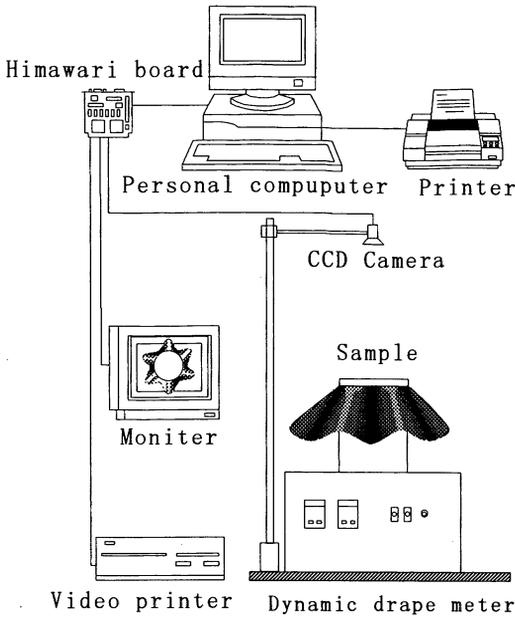


Fig. 2 Experimental system for analyzing dynamic drape behavior of fabric.

イブラリー製の画像処理システムを利用して、試料の真上より CCD カメラを用いて投影する。取り込まれた画像は512×512ドットの画面に収納し、各ドットは256階調のモノクロ画面としてフレームメモリに記憶される。

各回転速度の試料を同一方向で比較するため、測定する前に試料に印を付け、1/30秒の間隔で連続的に6画面を1から6までのフレームメモリに入力し、フィールド変換を行い、1から12までのフレームメモリに出力する。この12枚の画像から各回転速度で同一方向の画像を1つ選び、モニターテレビを見ながら適切なしきい値（閾値）で2値化し、更に

ノイズリムーバーと穴埋めなどの雑音除去処理をしてから、画像計測により投影面積を求める。実験はすべて23±2℃、60±5%RH 環境下で行った。

3. 結果および考察

3.1 ドレープ形状への回転速度の影響

布を検討する前に、まずよく知られている円錐振り子のことを考える。Fig. 3のように長さLの糸の一端をOに固定し、他端Pに質量mのおもりをつけ、糸が鉛直下方と一定の角θを保つように、Pを水平面内で一定の角速度ωで回転させると、次の式が成立する。

$$\cos\theta = \frac{g}{L\omega^2} \tag{1}$$

(1)式から角速度ωが大きいほどcosθが小さくなり、つまり糸と鉛直下方との角θが大きくなり、ω→∞になると、θ→90°になる。

しかし、布の場合ではこの例よりずっと複雑で、布は質点、剛体、弾性体、塑性体などのいずれにも相当せず、円形サンプルは自重により垂下したときに曲げ特性、せん断特性、引張り特性、異方性、気流の影響などにより、回転するときの軌跡を正確な式で表すのは今のところ不可能である。しかしながら、式(1)から回転速度が速いほど垂下した布はよく広がるのがわかる。

Fig. 4とFig. 5は回転速度を0から20rpmずつ増やして220rpmまでのサンプル5とサンプル8の写真である。サンプルを支持台に載せたときに黒い線で印を付け、各回転速度の写真は印がほぼ同じ場所になるように撮影した。いずれの写真でも回転速度の増加に伴い、垂下した布は大きく広がるように

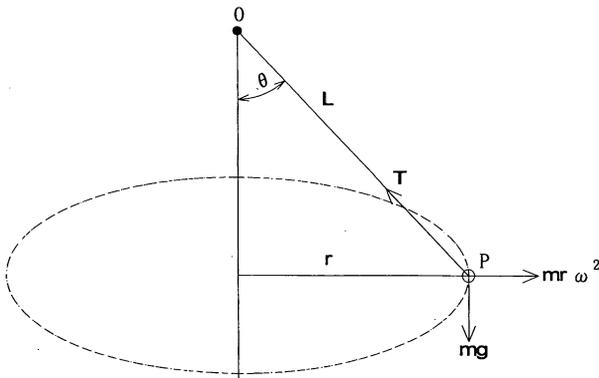


Fig. 3 A model of cone pendulum.

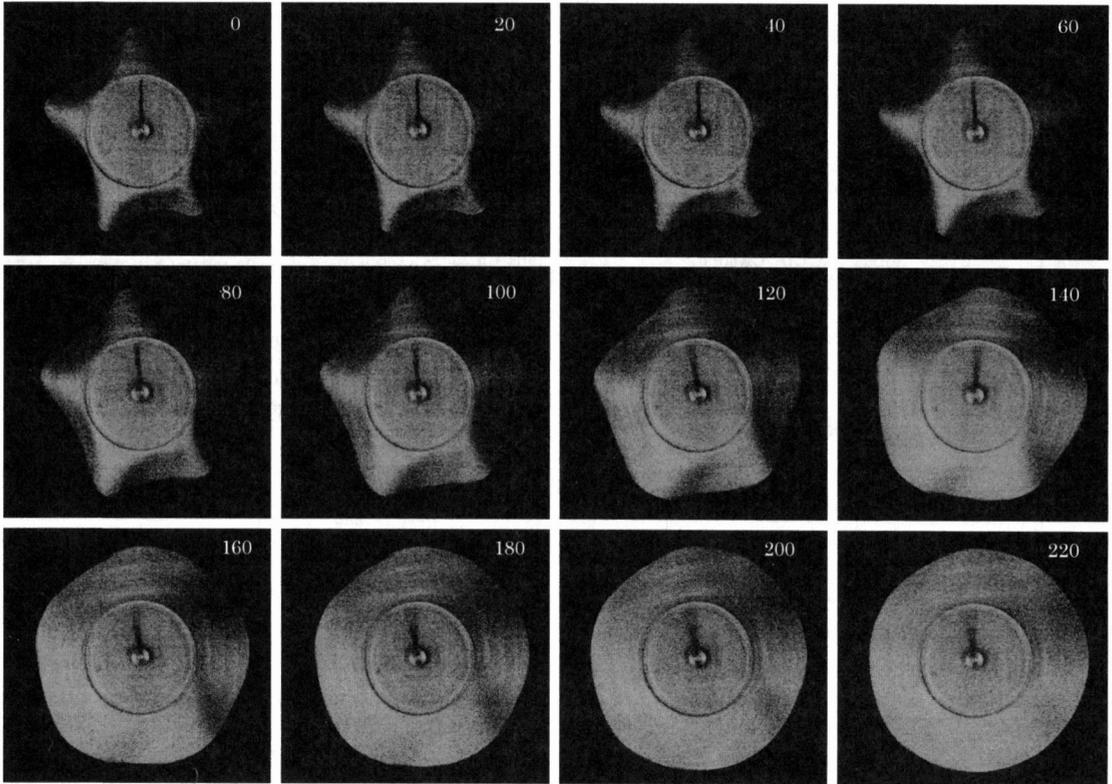


Fig. 4 Photographs of sample 5 dependent on the increase of revolution speed (rpm).

なり、(1)式の結果と一致していることがわかった。Table 1 の中でサンプル5はやや厚く硬い布で、回転速度が200rpm近くで布はほぼ全開して、すべてのノードが消えてしまうことに対して、サンプル8はやや薄く柔らかい布で、回転速度がいくら増えても布の垂下したノードはやはり残っており、ある回転速度になると布が支持台水平面の上になることもあり、全開できないことがわかった。また、Fig. 4では印に対するノードの位置はほとんど変化していないのに対して、Fig. 5ではノードの位置が変化するのみならず、途中でノード数も減少した。これは回転速度の増加に伴い、生じた気流の影響により、特に軽い布に影響が大きいと考えられる。また、布が回転するとき、遠心力があるため、布の伸張変形特性により、伸張変形が生じる。特に薄いニットのような布は伸張変形が大きく、ある回転速度でその投影面積は布自体の面積よりも大きくなっていることがわかった。

3.2 投影面積への回転速度の影響

回転速度を0から240rpmまで10rpmずつ増やした

ときの布の投影面積の変化の様子を Fig. 6 に示す。ここで変化曲線をより単純に表現するために、代表的な5つのサンプルだけを選んだところ、他のサンプルの変化はこれらの変化と同様な傾向にあった。いずれの変化曲線を見ても、さらに Fig. 4 と Fig. 5 を参照して、回転速度により投影面積の変化はだいたい3段階に分けられると考えられる。第一段階(大体0~40rpmの間)では回転速度が遅いため、投影面積は僅かしか変化せず、ドレープ形状は静的ドレープ形状と同様である。第二段階(大体40~160rpmの間)では回転速度の少しの増加に対して投影面積が大きく変化し、布の垂下状態は大きく広がり、投影面積と回転速度の間にはほぼ線形関係がある。第三段階(大体160rpm以上)では、回転速度の増加に対する投影面積の変化は小さく、動的ドレープ形状も安定になり、回転速度を更に大きくしても、投影面積の変化はなくなり、やがて布自体の面積に近づいていく。

3.3 動的ドレープ挙動を表現するパラメータ

Fig. 6 から同じ静的投影面積、即ち同じドレープ

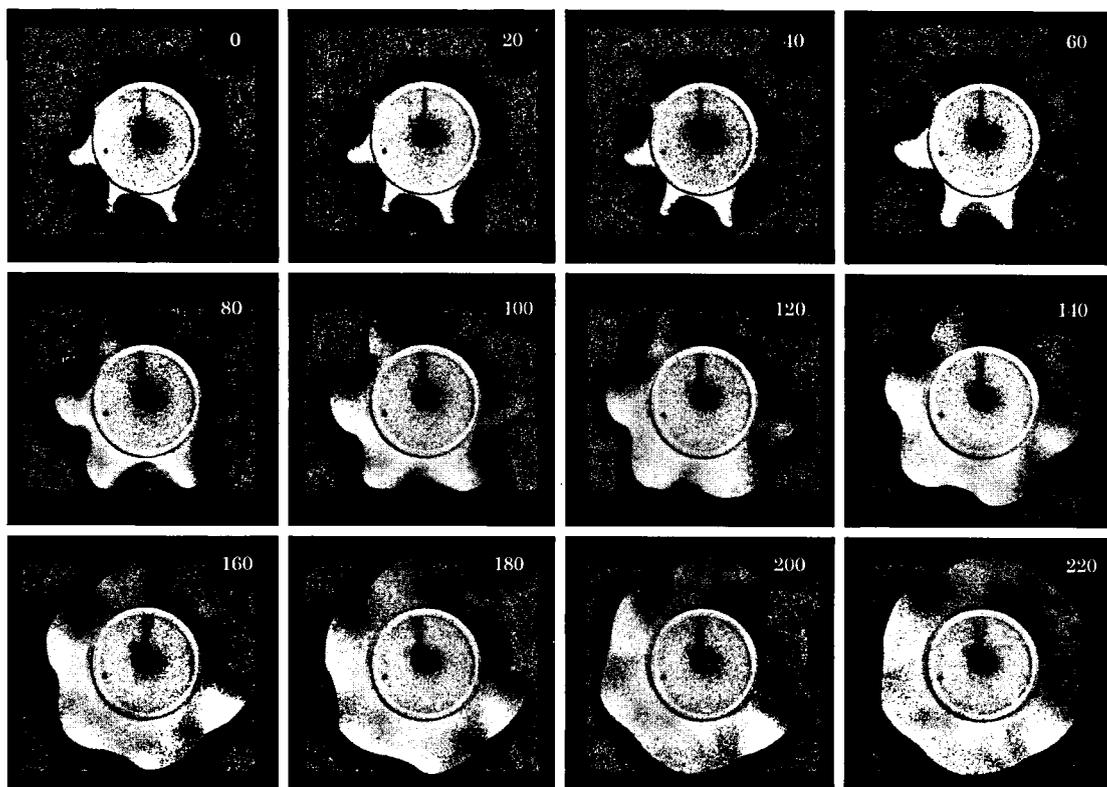


Fig. 5 Photographs of sample 8 dependent on the increase of revolution speed (rpm).

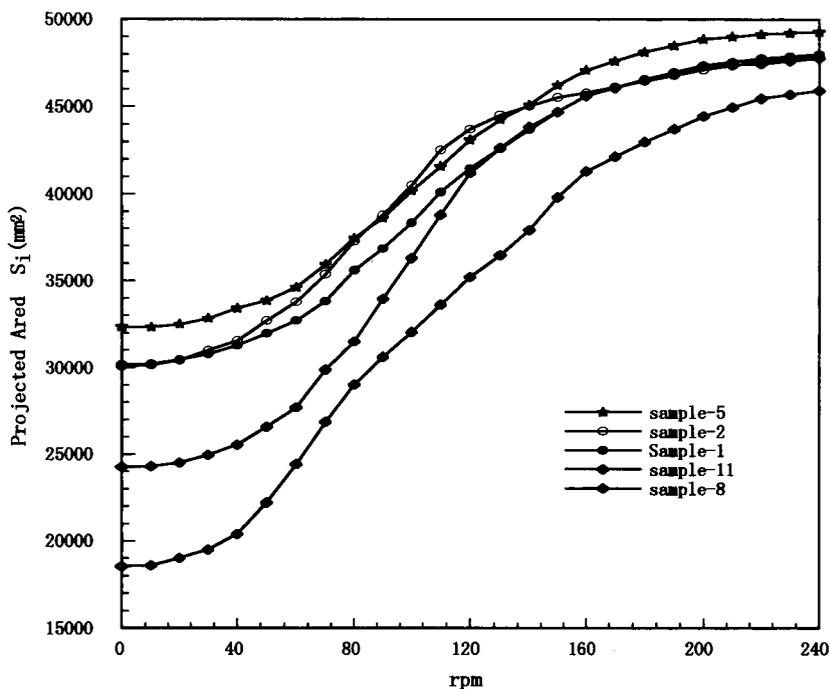


Fig. 6 Projection area of samples at various revolution speeds.

係数を持っているサンプル1と2は回転速度による投影面積の変化は異なることがはっきりと示された。この2種類の布で作った衣服を着装した場合、静的な状態では同じ外観形状が現れるかもしれないが、微風や人体の動きに伴って、その外観形状は必ず異なることになる。従って、ドレープ係数だけで布の動的ドレープ挙動を反映することができず、動的ドレープを表現できる何らかの新しいパラメータが必要である。

よりわかりやすくするために、Fig. 6を次の式によりFig. 7に変換した。すなわち、各回転速度でその投影面積をドレープ係数算出の形に変換した。

$$D_i = \frac{S_i - \pi R_0^2}{\pi R_1^2 - \pi R_0^2} \quad (2)$$

ここで、 D_i は各回転速度でのドレープ係数で、 S_i は各回転速度での投影面積で、 R_0 は円形支持台の半径(63.5mm)で、 $R_1 = 2R_0$ はサンプルの半径(127mm)である。

Fig. 6とFig. 7では、いずれもその曲線の形が同様であり、近似的には次の(3)式あるいは(4)式で表現される。

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 \quad (3)$$

$$y = \frac{1}{a + be^{-cx}} \quad (a > 0, b > 0, c > 0, x > 0) \quad (4)$$

ここで、 x は各回転速度で、 y は各回転速度での投影面積あるいはドレープ係数で、 $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a, b, c$ は定数である。

しかし、以上の(3)式、(4)式では、パラメータが多すぎるため、そのパラメータの物理的な意味ははっきりしない。また、曲線を以上の(3)式または(4)式で表すためには、大量の実験をしなければならない。正確な評価には非常に複雑な手続きが予想され、実用面では問題が残る。従って、1つのパラメータでしかも少量の実験で、布の動的ドレープ挙動を表示できるかどうかについて検討する。

Fig. 6とFig. 7から回転速度により大きく変化する段階、すなわち、第二段階ではほぼ線形関係を持っていることがわかった。布の動的ドレープ挙動はこの段階で明確に現れているともいえる。従って、この部分の直線は布の動的ドレープ挙動を代表できると考えられる。ここで第二段階の直線の傾きを動的ドレープ増加係数 D_d と定義し、回転速度0における静的ドレープ係数 D_s と区別する。動的ドレープ増加係数 D_d が大きいほどその布が回転速度によるドレープ係数の変化も大きく、布が微風や人体の動きに伴い、より動きやすいことを示している。今回の実験では、すべてのサンプルに対して、直線域は0rpmから160rpmの間にあり、サンプルによ

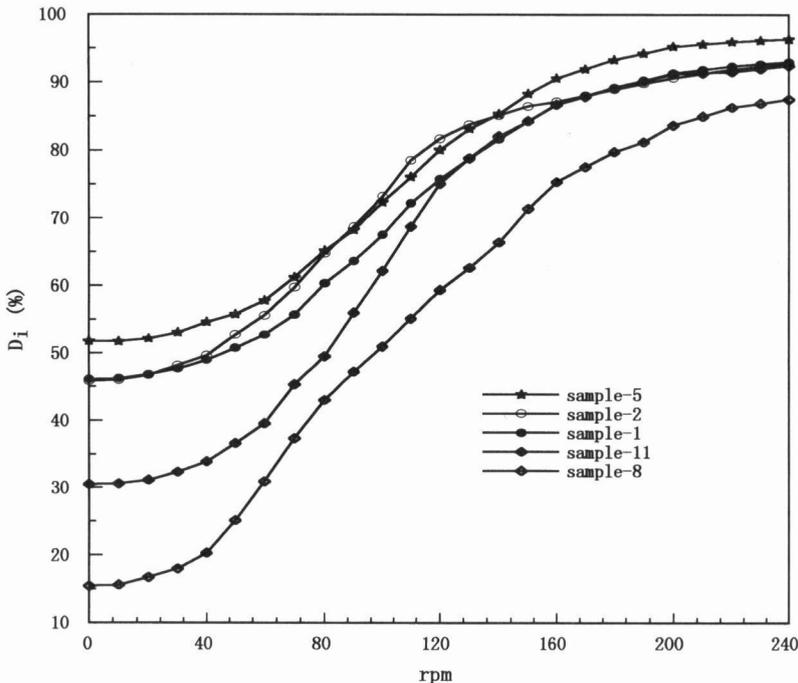


Fig. 7 Drape coefficient of several samples at various speeds.

てその位置がやや異なる。本研究では、その直線域を60rpmから120rpmの間に決め（この始点と終点はこれからまた詳しく研究する必要があると思う）、この範囲内の実験データを最小二乗法でその回帰直線の傾きを求め、この傾きの値を動的ドレープ増加係数 D_d とし、その結果と回帰直線の相関係数を Table. 2 に示す。直線回帰した時のドレープ係数 D_s と動的ドレープ増加係数 D_d との相関係数はすべてのサンプルで0.98以上を示しており、直線域の傾きを動的ドレープ増加係数 D_d と定義するのは妥当と考えられる。また、各サンプルの動的ドレープ増加係数 D_d と静的ドレープ係数 D_s の相関係数は0.68と小さい。これは動的ドレープ増加係数 D_d が静的ドレープ係数 D_s とは内容的に異なる情報を含んでいることを示している。Table. 2 でサンプル1と2は静的ドレープ係数 D_s が同じで、動的ドレープ増加係数 D_d が異なる例であり、サンプル2と8は動的ドレープ増加係数 D_d がほぼ同じで、静的ドレープ係数 D_s が異なる例である。すなわち、静的ドレープ係数 D_s は布の垂下の程度、動的ドレープ増加係数 D_d は回転速度により布の広がり程度をそれぞれ独立に表すパラメータとなっていることがわかる。

また Fig. 6 と Fig. 7 から全てのサンプルに対して、回転速度が180rpm以上になると、サンプルの投影面積の変化が小さくなり、一定値に近づき、回転速度を更に大きくしてもそれ以上の変化はなく、飽和状態になっていることがわかる。従って、本研究では回転速度が200rpmでのドレープ係数 D_{200} を動的ドレープ係数と定義して Table. 2 に示す。各サンプルの回転速度が200rpmでの動的ドレープ係数 D_{200} と静的ドレープ係数 D_s および、動的ドレープ

増加係数 D_d との相関係数はそれぞれ0.54, 0.12と小さい。すなわち、回転速度が200rpmでの動的ドレープ係数 D_{200} は静的ドレープ係数 D_s と動的ドレープ増加係数 D_d とは内容的に異なる情報を含んでいることを示している。実際の布は回転するとき、必ず気流の影響を受ける。その影響力は主に回転速度が速いほど大きくなり、また回転するときの布の特性とも関係があり、布の性質により、変形しやすい布は気流の影響をよく受けると考えられる。従って、回転速度が200rpmでの動的ドレープ係数 D_{200} は高速で気流の影響を受けて、布の特性に対応した結果を反映しているといえる。Table. 1, 2 を参照して、サンプル5やサンプル11のように重い布あるいは硬い布の場合、 D_{200} は大きくなり、逆にサンプル6やサンプル7のように軽い布あるいは柔らかい布の場合、 D_{200} は小さくなるのがわかる。

以上の2つのパラメータ D_d と D_{200} は動的ドレープ挙動を評価するとき、Fig. 7 のようには回転速度によりドレープ形態の変化についてのすべての情報を含むことができないが、測定が非常に簡単であるため、全般的な布の動的ドレープ挙動の把握として大きな利点を持っている。

3.4 動的ドレープ係数の安定性

動的ドレープ増加係数 D_d と回転速度が200rpmでの動的ドレープ係数 D_{200} の安定性と再現性を検定するため、各サンプルを5回測定した結果を Fig. 8 および Fig. 9 に示す。Fig. 8 ではすべてのサンプルに対して5回の測定結果のばらつきの平均は0.0114 (%/rpm) で、 D_d の全平均値の2%以下であり、動的ドレープ増加係数 D_d の安定性と再現性は良いという結果がわかった。また、Fig. 9 ではすべ

Table. 2 Result of each parameters

Sample	Static Drape Coefficients D_s (%)	Straight Line Regression		Dynamic Drape Change Coefficients D_d (% / rpm)	Dynamic Drape Coefficients in 200 rpm D_{200} (%)
		Regression Coefficient	Inclination		
1	45.04	0.999	0.3912	0.3912	91.27
2	45.75	0.999	0.4448	0.4448	90.60
3	40.63	0.983	0.5036	0.5036	88.65
4	65.91	0.999	0.2072	0.2072	92.24
5	51.76	0.999	0.3711	0.3711	95.21
6	36.62	0.983	0.2866	0.2866	80.88
7	33.31	0.986	0.2264	0.2264	76.89
8	15.41	0.995	0.4596	0.4596	83.62
9	35.29	0.980	0.5384	0.5384	85.81
10	7.91	0.985	0.7757	0.7757	85.30
11	30.48	0.998	0.5936	0.5936	91.17

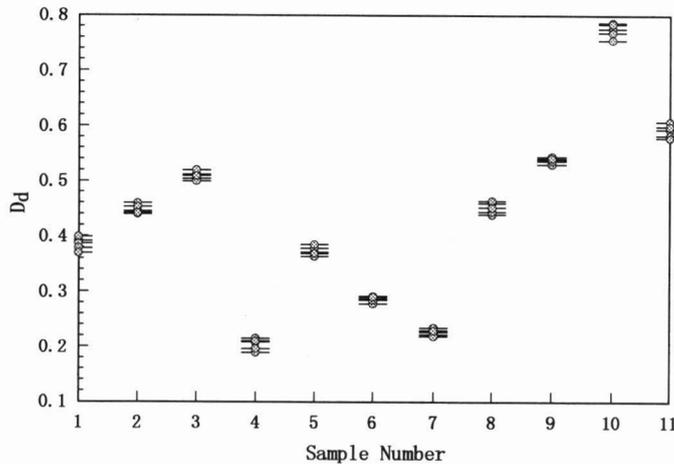


Fig. 8 Variation of dynamic drape increases coefficient D_d .

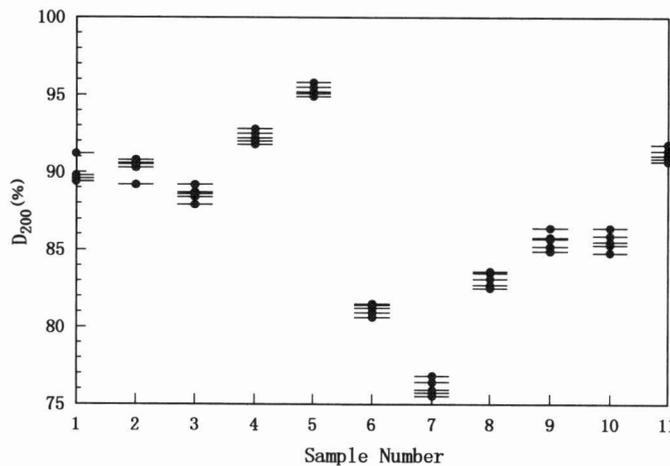


Fig. 9 Variation of dynamic drape coefficient at 200 revolution D_{200} .

てのサンプルに対して5回の測定結果のばらつきの平均は0.8%で、 D_{200} の全平均値の1%以下であり、回転速度が200rpmでの動的ドレープ係数 D_{200} の安定性と再現性は良いという結果もわかった。動的ドレープの測定は静的ドレープの測定に比べて安定性と再現性が良いといえる。

以上の動的ドレープ増加係数 D_d と回転速度が200rpmでの動的ドレープ係数 D_{200} は動的ドレープ挙動の評価として有用であるが、今後例えば第2段階の範囲、布の物理的性質との関連性についての検討を考えている。

4. 結論

試作された動的ドレープ測定装置による評価法は測定が非常に簡便であり、実用面でも大きな利点を

持っている。動的ドレープ挙動の測定によって検討した結果、以下の結論を得た。

- 1) 回転速度の増加に伴い、垂下した布が広がる時の投影面積の変化は3段階に分けられる。第一段階では、投影面積の変化は僅かであり、ドレープ形状はほぼ静的ドレープ形状と同様である。第二段階では、回転速度が少し増えても、投影面積は大きく変化し、投影面積と回転速度の間には線形関係がある。第三段階では、回転速度が増えても、投影面積の変化は小さくなり、ドレープ形状も徐々に安定になり、最終的に布自体の面積に近づく。
- 2) 回転速度により布の広がり程度を評価するパラメータとして動的ドレープ増加係数 D_d を定義した。このパラメータは動的ドレープ形状の垂

下の程度に関連しており、静的ドレープ係数 D_s との相関は小さく、布の動的ドレープ挙動を評価する1つのパラメータとして適当である。

- 3) 回転している布は気流の影響を受けるが、その効果は布の物性により異なる。これを表現するために、回転速度が200rpmでのドレープ係数 D_{200} が1つのパラメータとして適当である。
- 4) 動的ドレープ増加係数 D_d および回転速度が200rpmでの動的ドレープ係数 D_{200} 、ともに安定性と再現性が良い。

謝 辞

本研究に使う動的ドレープ測定装置を試作していただいたカトーテック株式会社に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) M. Matsudaira and M. Yang : J. Text. Mach. Soc. Japan, **50**, T242 (1997).
- 2) M. Yang and M. Matsudaira : J. Text. Mach. Soc. Japan, **51**, T65 (1998).
- 3) M. Yang and M. Matsudaira : J. Text. Mach. Soc. Japan, **51**, T182 (1998).
- 4) S. Ueno, E. Kimura and N. Hasegawa : J. Japan Res. Assoc. Text. End-Uses, **16**, 404 (1975).
- 5) S. Ueno and T. Ebata : J. Japan Res. Assoc. Text. End-Uses, **17**, 43 (1976).
- 6) S. Ueno, T. Ebata and R. Daido : J. Japan Res. Assoc. Text. End-Uses, **18**, 301 (1977).
- 7) H. Noshi, S. Kobayashi and T. Yamada : Sen-I Gakkaishi, **33**, T-470 (1977).
- 8) S. Kobayashi and H. Noshi : J. Text. Mach. Soc. Japan, **33**, P304 (1980).
- 9) K. Izumi and M. Niwa : J. Home Economics Japan, **32**, 390 (1981).
- 10) K. Izumi and M. Niwa : J. Home Economics Japan, **34**, 96 (1983).
- 11) K. Izumi and M. Niwa : Proceed. 3rd Japan-Australia Joint Sympo., Text. Mach. Soc. Japan, Osaka, p. 725 (1986).
- 12) M. Matsudaira and S. Kawabata : J. Text. Mach. Soc. Japan, **39**, T175 (1986).
- 13) M. Matsudaira : J. Home Economics Japan, **38**, 393 (1987).