

Measurement of Drape Coefficients of Fabrics and Description of Those Hanging Shapes

Part 6 : Evaluation of Dynamic Drape Behavior of Fabrics in Swinging Motion

Minzhuang YANG* , Li QIN** and MATSUDAIRA Mitsuo**

* Graduate School of Natural Science, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192 Japan,

** Faculty of Education, Kanazawa University, Kanazawa, 920-1192 Japan,

Received 27 June 2000 ; accepted for publication 27 December 2000

Abstract

To evaluate dynamic drape behavior of fabrics in swinging motion of fabrics, a testing device to measure dynamic drapeability in continuous swinging motion was designed, and new adequate parameters that can represent dynamic drapeability of fabrics were defined and the stability of those parameters was discussed. Following conclusions were obtained. At the maximum angle in one-time swinging motion, fabrics were subjected to the largest acceleration and the projected area changed remarkably. It was concluded that the change of the projected area characterized dynamic drapeability of fabrics in swinging motion. Dynamic drape coefficient D_d was defined as a parameter of the dynamic drapeability, and it maintained high accuracy and reproducibility. D_d and mechanical parameters of bending and shearing properties of fabrics were studied precisely and the regression equations were derived from those mechanical parameters. It was shown clearly that D_d was controlled firstly by fabric weight, secondly by shearing property and bending property.

Key Words : Dynamic drape coefficient; Angular velocity; Swinging motion angle; Mechanical parameters; Image analysis

布のドレープ係数の測定と垂下した布形状の表現

(第6報) 揺動時の布の動的ドレープ挙動の評価

楊 敏 壮*, 秦 黎**, 松 平 光 男***

1. 緒 言

布のドレープ挙動は静的ドレープと動的ドレープに分けられる。布の静的ドレープについては多く研究されており、筆者らもこれまで画像処理システムにより、その測定法、三角関数による表現、布物性との関係、静的ドレープのシミュレーションなどについて報告している[1

-3]。動的ドレープ挙動について、いままでの研究では、婦人用スカートに関連した報告は多いが[4-13]、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少ない。筆者らの最近の研究では、サンプルを連続回転させて、その回転ドレープ挙動を表現できるパラメータを定義し[14]、布の基本力学量との関連も明らかにした[15]。しかし、動的ドレープ挙動を考える場合、

連絡先：*会員，金沢大学自然科学研究科，金沢市角間町，**非会員，***会員，金沢大学教育学部，金沢市角間町，TEL. 076-264-5482, FAX. 076-264-5613,

回転ドレープ挙動だけでは片落ちであり、人の動きとの関連では、サンプルが反転（すなわち揺動）時のドレープ挙動の方が重要と考えられる。

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、サンプル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、その支持台を連続反転させた布の投影面積の変化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、布の基本力学量との関連も明らかにする。

2. 実験方法

2.1 試料

実験に用いたサンプルは前報[15]と同じように、動的ドレープ特性が外観上重要視される婦人用薄手布と婦人用スーツ地および紳士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

トンなどから構造、重量、密度、糸使い、曲げ剛性などをできるだけ広範囲に153点の布を選定した。用いたサンプルの概略を表1に示す。表1の中から、特に詳細な検討を行うため、布の厚さ、重量、曲げ剛さ、繊維の種類などのバランスから代表的なサンプル9点を選び、その詳細を表2に示す。

2.2 測定方法

動的ドレープ挙動を検討するため、図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規格ドレープテスト装置の円形支持台部分の下に、連続反転できる装置を付け、反転角度は $0 \sim 2\pi$ radの間で無段階調節が可能であり、角速度は $0 \sim 25$ rad/sの間で無段階調節が可能である。測定条件を整えるため、各反転角度と角速度で1分間連続反転させた後、サンプルの投影図形をライブラリー(株)の画像処理システムで連続撮影してから、画像計測により各投影面積の変化を求めた。

Table 1 Outlines of Samples Used in This Experiment

Fiber	Yarn	Weight (mg/cm ²)	Thickness* (mm)	Number of Samples
Silk	Filament Spun	4.05~24.92	0.11~0.82	35
Polyester	Filament Spun	4.13~18.42	0.18~0.74	39
Rayon	Filament Spun	6.37~37.31	0.11~1.65	37
Cotton	Spun	8.45~12.28	0.30~0.92	10
Wool	Spun	9.67~34.35	0.37~1.16	32

Note: *Thickness is measured at the pressure 0.5 gf/cm²

Table 2 Details of Samples

Sample	Weave Structure	Yarn Count (Tex) (Warp/Weft)	Yarn Density (1/cm) (Ends/Picks)	Thickness (mm)	Weight (mg/cm ²)	
1	Cotton	Plain	27.1/35.6	25/21	0.32	14.67
2	Wool	Twill	25.8/35.6	28/32	0.31	16.97
3	Wool	Plain	17.6/24.4	28/23	0.28	11.39
4	Silk	Plain	78.7/92.6	10/9	0.50	17.61
5	Silk	Satin	9.2/4.8	42/66	0.14	6.81
6	Polyester	Plain	7.6/9.8	74/42	0.27	9.83
7	Polyester	Plain	6.4/4.2	64/38	0.11	4.23
8	Rayon	Plain Stitch	12.2	—	0.46	18.04
9	Rayon	Pile	14.5/16.1	22/36	0.89	27.26

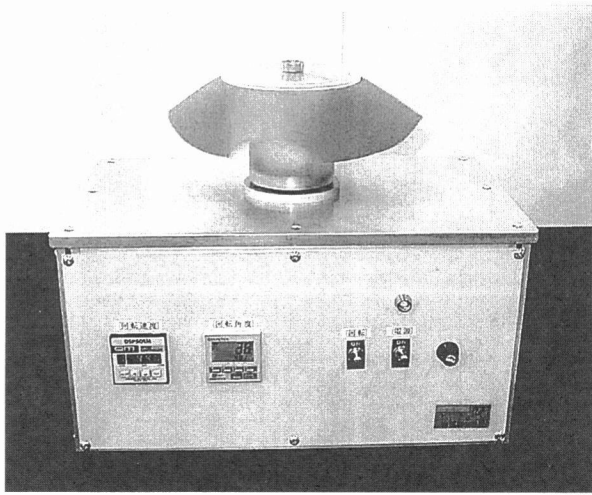


Fig. 1 Equipment to measure dynamic drapeability of fabrics.

3. 結果および考察

3.1 動的ドレープ装置の運動特性

予備実験により各サンプルを反転させたときに、外観に明らかな差がある条件（反転角度が $2\pi/3$ rad, 角速度が 8.4rad/s ）で、試作した動的ドレープ装置の運動特性として、その角度 θ と角速度 ω の変化の様子を図2に示す。試作したドレープ装置の反転は角度制御の信号により直接モーターの駆動で実現させる。

1回の反転運動の中には、角速度の変化は4つの段階があり、まず最初から一定の角加速度で、角速度を0からほぼ直線的に最大角速度まで増加する段階があり、この段階の時間は大体全体の $1/3$ で、 0.1 秒である。その後、その角速度を維持して最大角度まで回転し、この段階の時間は大体全体の $2/5$ で、 0.12 秒である。さらに、最大角度になると、モーターから反対の角加速度を受け、

反転は機構の慣性のため、瞬間的に止めることができないが、角速度は急速に0まで減少し、この段階の時間は大体全体の $1/10$ で、 0.03 秒である。その後しばらく停止してから、反対方向へ回転し始め、この段階の時間は大体全体の $1/6$ で、 0.05 秒である。

3.2 ドレープ形態の変化

布が反転運動するとき、連続撮影により、1回の反転時のおおのこの角度による布の変化の様子を図3に示す。最初は布が静的ドレープと近い形態から、角速度の変化に伴い、だんだん広がり、最大角速度になった後も、布は徐々に最大限にまで広がり、この形態は最大角度まで続いていく。それから角速度が急速に減少するが、布の慣性のため、布の形態はそのまま維持するか、あるいはやや縮小する。

その後の停止段階では、ドレープメータの支持台が完全に停止しても、布の外周は回転が続き、布を強制的に縮小させ、布の外周回転が止まるまで最小面積になり、このときの面積は布の静的ドレープ面積より小さくなることもある。それから次の反転が始まる前に、布は静的ドレープ形態に回復し始める。

画像処理により1回の反転時のおおのこの角度での布の投影面積の変化は図4に示す。その中の1つは反転角度が $2\pi/3$ rad で、測定装置の運動特性を調べた条件と同じであり、もう1つは反転角度を半分に減少した結果である。

いずれにしても、最初の投影面積は静的ドレープの投影面積と近いが、反転に伴い、投影面積はだんだん大きく広がり、大体 0.87rad (50°) を過ぎてから最大の投影面積になる。それから、最大角度に近づくとき角速度が急激に0まで減少し、それに伴って投影面積も急激に最小投影面積に減少する。

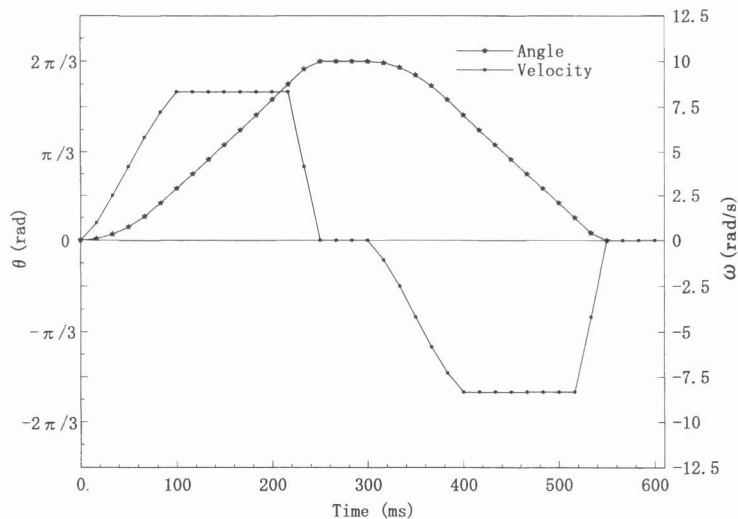


Fig. 2 Revolving features of the equipment to measure dynamic drapeability of fabric.

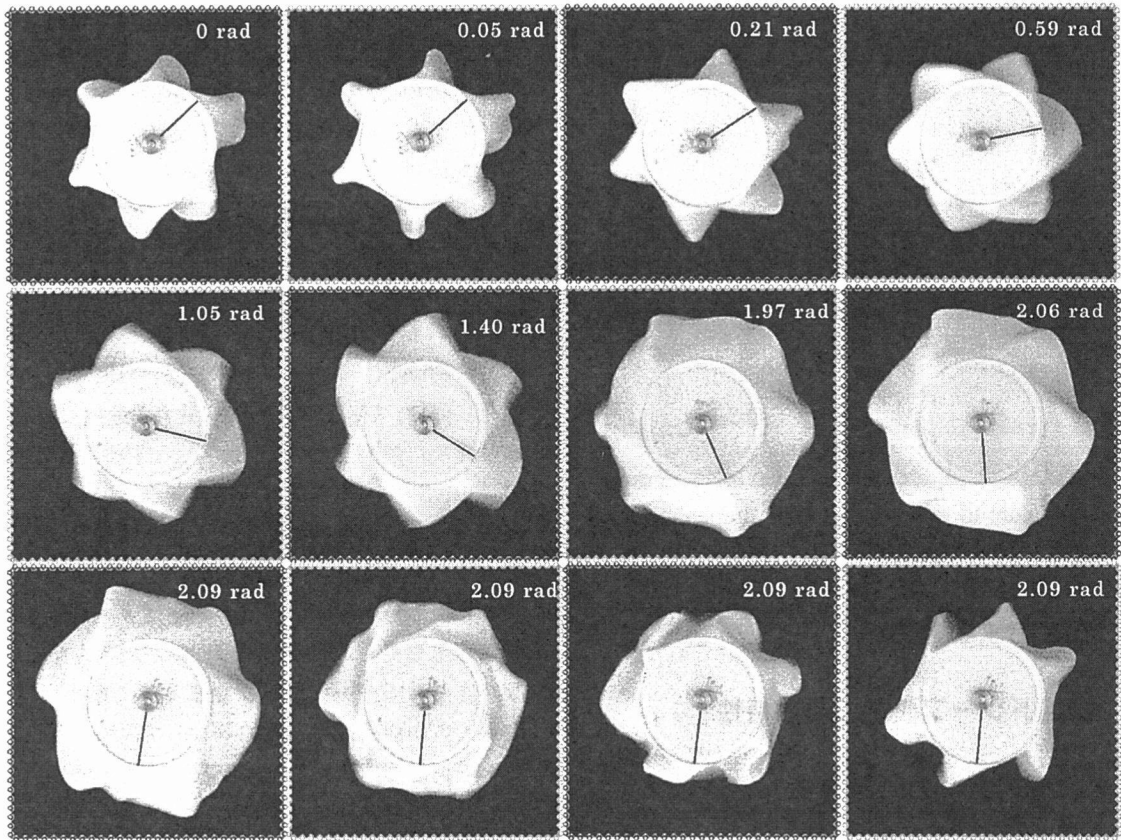


Fig. 3 Photographs of sample 7 at various angles in rotating.

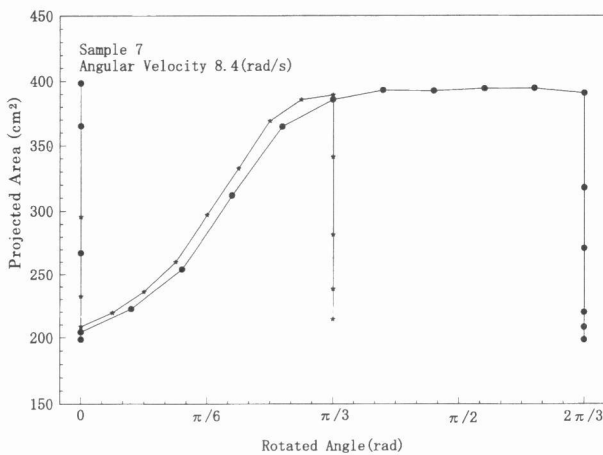


Fig. 4 Projected area of sample 7 at various angles in rotating.

3.3 動的ドレープ係数の定義

時間の変化に伴う投影面積の変化を図5に示す。最大角度 ($2\pi/3$ rad)の近くで、布は反対方向の最も大きな加速度を受け、布の形態が激しく変化することがわかった。

この時の投影面積の変化は布により異なるため、おのおの布の揺動特性を表現できると考えられ、次の(1)式で動的ドレープ係数 D_d を定義し、静的ドレープ係数 D_s と区別する。

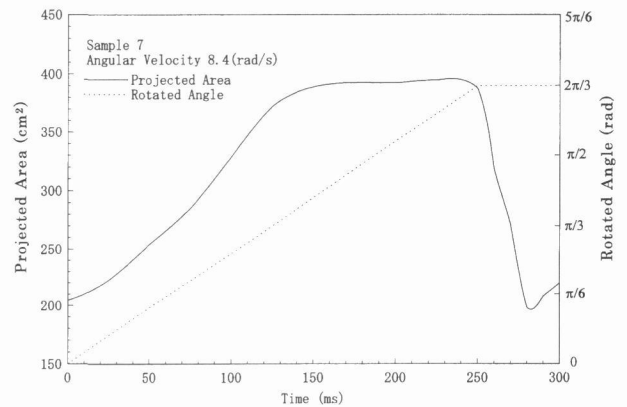


Fig. 5 Projected area of sample 7 at various time.

$$D_d = \frac{(S_{Max} - S_{Min})}{(S_1 - S_0)} \times 100\% \quad (1)$$

ここで、 S_{Max} は最大角度近くでの最大投影面積であり、 S_{Min} は布の外周回転が止まるときの最小面積であり、 S_1 はサンプルの面積であり、 S_0 は円形支持台の面積である。

(1) 式の形は静的ドレープ係数[16]とほぼ同じであるが、その内容的には大きく異なっている。静的ドレープ係数は、布の垂れ下がる程度を表しているが、動的ドレープ係数の場合、布の形態変化の程度を表している。従って、動的ドレープ係数 D_d が大きいほどその布が揺動によるドレープ形態の変化も大きく、布が微風や人体

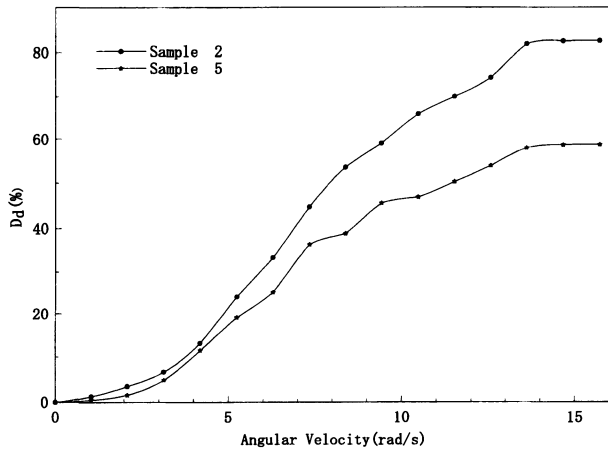


Fig. 6 Dynamic drap coefficient of samples 2 and 5 at various angular velocity.

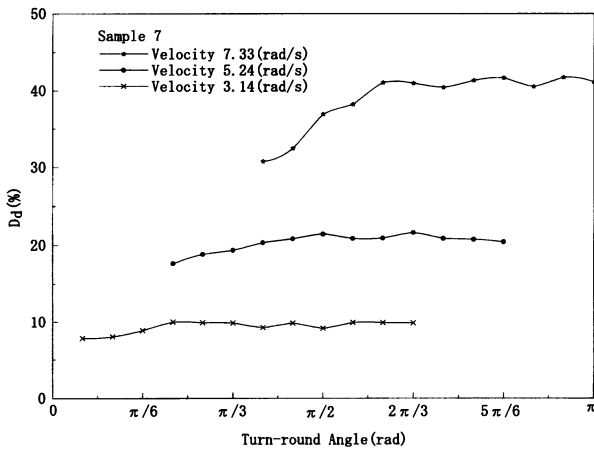


Fig. 7 Dynamic drap coefficient of samples 5 at various swinging motion angles.

の動きに伴い、より動きやすいことを示している。

3.4 動的ドレープ係数と角速度および反転角度との関係

反転するときに、角速度および反転角度が異なると、布の最大面積および最小面積も異なり、以上の(1)式で計算した動的ドレープ係数の結果も異なる。従って、角速度および反転角度と動的ドレープ係数との関係を調べた結果を図6、7に示す。

図6では、一定の反転角度(2π/3rad)で、角速度の増加に伴い、動的ドレープ係数は大きく変化し、角速度がある値の以上(ここでは14rad/s)になると、動的ドレープ係数の変化は小さくなり、一定値に近づき、角速度をさら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。

図7では、一定の角速度で、反転角度の変化に伴う動的ドレープ係数の変化を示す。ここでよく注意しなければならないのはこの測定装置が低速(3.14rad/s以下)では小角度の反転が実現できるが、角速度の増大に連れて、機構の慣性力が大きくなり、小角度での測定は実現できなくなる。そのために、角速度が大きいほど反転角度も適当に大きく設定しなければならない。いずれの結果に置いても、反転角度の増加に伴い、動的ドレープ係数はあまり大きく変化していないことがわかる。但し、各角速度に対して、反転角度が小さいときは、投影面積が最大値にまで広がることができないため、動的ドレープ係

Table 3 Experimental Results Based on Orthogonal Arrays of L₉(3⁴)

Column No.	(1)	(2)	(3)	(4)	S15	W10	P1	C2	R6	R34	S3	P6	W5	Variance
	A (ω) (rad/s)	B (θ) (rad)	(A × B) ₁	(A × B) ₂										
1	1 (6.28)	1 (π/2)	3	2	20.12	32.42	27.75	19.51	47.41	54.85	35.34	24.82	34.34	126.11
2	2 (9.42)	1 (π/2)	1	1	47.26	49.86	62.21	41.27	75.98	68.46	60.97	48.88	56.00	110.45
3	3 (12.57)	1 (π/2)	2	3	56.31	64.50	70.02	49.89	83.24	73.58	68.48	59.41	63.15	86.77
4	1 (6.28)	2 (2π/3)	2	1	22.86	35.14	37.98	11.29	50.37	49.35	36.47	27.59	35.94	134.61
5	2 (9.42)	2 (2π/3)	3	3	50.02	62.91	67.62	43.53	77.14	70.72	65.95	48.95	50.96	120.51
6	3 (12.57)	2 (2π/3)	1	2	60.68	70.12	74.47	51.94	81.63	75.23	72.57	58.67	62.41	81.45
7	1 (6.28)	3 (π)	1	3	26.23	31.85	40.36	17.18	52.32	43.74	30.40	26.98	24.03	106.88
8	2 (9.42)	3 (π)	2	2	52.47	63.82	63.10	46.42	82.83	69.16	67.81	50.26	42.94	146.34
9	3 (12.57)	3 (π)	3	1	63.42	70.54	72.54	53.25	84.41	74.94	73.10	61.22	55.71	89.46
T1	367.6	323.33	298.78	334.52	$T=1002.58$ $\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^9 y_i^2 \right) = 111685$ $S = \sum_{i=1}^9 y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^9 y_i \right)^2 = 4065.2$									
T2	377.3	336.57	367.72	353.9										
T3	257.68	342.68	336.08	314.16										
$\sum_{i=1}^3 T_i^2$	343884.0	335251.2	337437.3	335845.3										
S _i	2942.83	65.23	1057.17	1.31E-10										
	S _A	S _B	S _{A×B}	S _c										

Table 4 Analysis of Variance

Factor	s.s.	d.f.	m.s.	$F_{0.01}$	F_0
A	2942.83	2	1471.41	8.65	45.12**
B [▲]	65.23	2			
A×B	1057.17	4	264.29	7.01	8.10**
Error	1.31E-10	0	32.61		
Sums	4065.22	8			

Note: [▲] shows that the factor was merged into the error.

Table 5 Static and Dynamic Drape Coefficients

Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Static Drape Coefficients D_s (%)	45.04	61.14	40.63	51.76	21.12	15.41	32.38	7.91	42.98
Dynamic Drape Coefficients D_d (%)	46.42	42.94	63.82	67.81	52.47	63.10	50.26	82.83	69.14

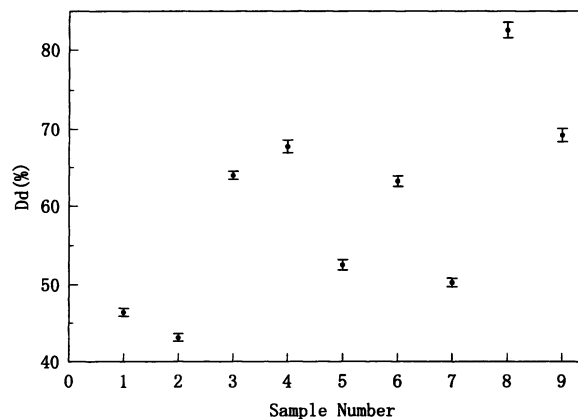
数がやや小さくなっている。また、角速度が大きくなると、各角度で布の投影面積の変動はやや大きくなる。角速度と反転角度の選択は各サンプルに対して、その動的ドレープ係数のばらつきが大きいほどよいと考えられる。従って、実験計画法[17]の直交表実験により、角速度と反転角度の最適値を求める。

表3は直交表 $L_9(3^4)$ による実験の結果を示し、代表的な9点のサンプルに対して、各実験条件での動的ドレープ係数の分散を求めた。この実験の結果に対して表4のように分散分析を行ったところ、その結果は角速度が動的ドレープ係数に対して、最も影響が大きく、角速度と反転角度の相互作用の影響も認められ、有意水準0.01で有意な結果が得られた。角速度と反転角度の相互作用を考えた上で、角速度を9.42rad/sにし、反転角度を π radにしたときに、各サンプルの動的ドレープ係数のばらつきが一番大きい。従って、以後の実験はすべてこの条件下で行う。

3.5 動的ドレープ係数の適性

各サンプルの動的ドレープ係数 D_d と静的ドレープ係数 D_s との相関係数を調べた結果、 -0.49 と小さかった。このことは動的ドレープ係数 D_d は静的ドレープ係数 D_s とは異なる情報を含んでいることを示している。代表的なサンプルの動的ドレープ係数の結果は表5に示す。

ほぼ同程度の静的ドレープ係数 D_s を持っているサンプル1と9は反転時の動的ドレープ係数 D_d 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

Fig. 8 Variation of dynamic drape coefficient D_d .

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。また、サンプル3と6は動的ドレープ係数 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、動的ドレープ係数 D_d は布形態の変化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。

動的ドレープ係数 D_d の安定性と再現性を検定するため、各サンプルを5回測定した平均値と標準偏差の結果を図8に示す。すべてのサンプルに対して5回測定結果のばらつきの平均は1.7 (%)で、 D_d の全平均値の2.8%以下である。従って、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、動的ドレープ係数 D_d は布の動的ドレープ挙動の把握にひとつのパラメータとして適当と考えられる。

Table 6 Correlation Coefficients between Dynamic Drape Coefficient and Mechanical Parameters (n=153)

	B	2HB	G	2HG	W	$\sqrt[3]{B/W}$	$\sqrt{2HB/W}$	$\sqrt[3]{G/W}$	$\sqrt{2HG/W}$
D_d	-0.26	-0.37	-0.43	-0.41	0.63	-0.59	-0.61	-0.74	-0.53

Note: The critical value of significance level 0.001 is 0.267.

動的ドレープ係数 D_d は布が反転するときの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。

3.6 動的ドレープ係数と基本力学量との関係

3.6.1 動的ドレープ係数と基本力学量との相関関係

一般的に静的ドレープ係数 D_s へ大きな影響を及ぼすのは曲げ特性と自重が挙げられる。しかし、動的ドレープ係数 D_d と各力学パラメータとの関連については、いまだ不明である。従って、表1のサンプル全てに対する動的ドレープ係数 D_d と力学パラメータ $W, B, 2HB, \sqrt[3]{B/W}, \sqrt{2HB/W}, G, 2HG, \sqrt[3]{G/W}, \sqrt{2HG/W}$ との単相関係数を表6に示す。すべてのパラメータは有意水準0.001で相関が認められる。

動的ドレープ係数 D_d に対しては、せん断特性パラメータ $\sqrt[3]{G/W}$ との相関が-0.74で最も高く、自重 W 、曲げ特性パラメータ $\sqrt{2HB/W}$ と $\sqrt[3]{B/W}$ およびせん断特性パラメータ $\sqrt{2HG/W}$ とも比較的に高い相関が認められる。

3.6.2 基本力学量から動的ドレープ係数 D_d の推定回帰式

動的ドレープ係数 D_d の測定は静的ドレープ係数より複雑であり、時間もかかる。従って、手軽に測定できる力学特性を選び、これらの基本力学パラメータを適切な組み合わせで、動的ドレープ係数 D_d を精度よく予測計算できる関係式を見出すことを目的とする。

本研究では、動的ドレープ係数 D_d に次の基本力学パラメータ $W, B, 2HB, G, 2HG, \sqrt[3]{B/W}, \sqrt{2HB/W}, \sqrt[3]{G/W}, \sqrt{2HG/W}$ など9種を導入し、これらの力学量を変数とし、動的ドレープ係数 D_d を目的変数として、線型多変量回帰式を導き、重回帰分析の変数増減法により、回帰式を求める。回帰精度を高くするため、いくつかの式を誘導して比較した結果、以下の(2)式が得られた。

$$D_d = 90.217 + 1.183W - 154.234\sqrt[3]{B/W} - 73.067\sqrt[3]{G/W} \quad (2)$$

重相関係数 R 標準偏回帰係数は表7に示す。回帰式の精度は重相関係数 R が0.92で高く、また分散分析に

Table 7 Multiple Correlation Coefficients and Standard Regression Coefficient for Dynamic Drape Coefficient

	W	$\sqrt[3]{B/W}$	$\sqrt[3]{G/W}$	R
D_d	0.51	0.40	0.38	0.92

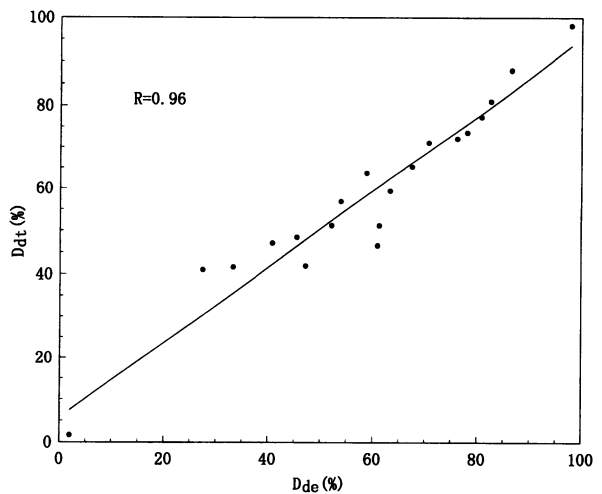


Fig. 9 Relationship between the experimental value D_{de} and theoretical value D_{dt} for the dynamic drape coefficient of fabrics.

よる検定では、有意水準0.001で有意な結果が得られた。標準偏回帰係数の絶対値の大きさが目的変数への寄与の大きさを示すが、動的ドレープ係数 D_d に対しては、自重 W の寄与が最も高く、曲げ特性パラメータ $\sqrt[3]{B/W}$ およびせん断特性パラメータ $\sqrt[3]{G/W}$ の寄与は大体同程度である。静的ドレープ係数 D_s への寄与は曲げ特性パラメータ $\sqrt[3]{B/W}$ がもっとも高いことに対して、動的ドレープ係数 D_d への寄与は自重とせん断特性パラメータ $\sqrt[3]{G/W}$ の割合が高くなった。

3.6.3 動的ドレープ係数 D_d の推定回帰式の有効性検定

(2) 式の推定回帰式の有効性を確認するため、回帰に用いた表1のサンプル以外の新しいサンプルを20点用いて、実測値と理論値と比較した結果を図9に示す。実測値と理論値との相関関数は0.96で、有意水準0.001で

相関が認められ、精度面および応用時の単純さという点で回帰式(2)で求めた動的ドレープ係数 D_d は適当であると考えられる。

3.7 今後の課題

動的ドレープ係数の測定は反転できるドレープ測定装置により行われるが、その測定装置の運動特性が異なると、測定した動的ドレープ係数も異なると考えられる。今回試作した測定装置は基本的な角度および角速度で実験できるようにするため、反転運動は直接モーターから駆動させており、角速度が大きくなると、制御は困難となる。従って、機構の設計を検討すべきである。例えば、ドレープメータ支持台の質量の軽量化、カムなどによる反転運動の駆動、sin曲線の角速度運動特性などが考えられる。

また、動的ドレープ係数を比較できるようにするため、測定装置の運動特性を標準化するべきである。

一方、今回使用した円形サンプルは静的ドレープとまったく同じであり、そのサンプルの直径と円形支持台の直径比率は2:1である。このようなサンプルに対しては、角速度が低くなると、各サンプルの動的ドレープ係数のばらつきは小さくなり、互いに比較するのは不適当となる。今回の直交表実験により選ばれた角速度は9.42rad/sで、通常の人間の歩行運動より大きいことが予想される。それ故、サンプルの直径比率をそのまま使った方がいいか、あるいは大きくして、角速度をやや低くした方がいいか、さらに検討する必要があると思われる。

4. 結論

揺動による動的ドレープ挙動を検討した結果、以下の結論を得た。

(1) 1回の反転中に、垂下した布が広がる時の変化は4つの段階に分けられ、第1の加速段階では、角速度の増加に伴い、布は大きく広がる。第2の等速段階では、角速度が一定値になっても、布は引き続き最大限まで広がり、それからその状態を保つ。第3の減速段階では、角速度が急速に減少するが、布の慣性のため、布の形態はそのまま維持するか、あるいはやや縮小する。第4の停止段階では、ドレープメータの支持台が完全に停止しても、布の外周は回転が続き、布を強制的に縮小させ、最小面積になってから、布は静的ドレープ形態に回復し

始める。

(2) 第4の停止段階では、布が一番大きな加速度を受け、布を強制的に縮小させ、このときの投影面積の変化を揺動ドレープ挙動の評価パラメータとして動的ドレープ係数 D_d を定義した。このパラメータは動的ドレープ形状の変化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、布の揺動による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) JIS規格の円形サンプルに対して、動的ドレープ係数の測定条件は角速度が9.42rad/sで、反転角度が π radのとき、各サンプルの動的ドレープ係数のばらつきは最も大きい。

(4) 動的ドレープ係数 D_d は安定性と再現性が良い。

(5) 布の曲げ特性、せん断特性および形態特性のパラメータから、動的ドレープ係数 D_d を算出する回帰式を精度高く求めた。動的ドレープ係数 D_d への寄与は自重が最も高く、曲げ特性とせん断特性がほぼ同程度である。

References

- [1] Matsudaira, M., M. Z. Yang; *J. Text. Mach. Soc. Japan*, 50, T 242 (1997).
- [2] M. Z. Yang, Matsudaira, M.; *J. Text. Mach. Soc. Japan*, 51, T65 (1998).
- [3] M. Z. Yang, Matsudaira, M.; *J. Text. Mach. Soc. Japan*, 51, 182 (1998).
- [4] Ueno, S., Kimura E., Hasegawa, N.; *Jpn. Res. Assn. Text. End-Uses*, 16, 404 (1975).
- [5] Ueno, S., Ebata, T.; *Jpn. Res. Assn. Text. End-Uses*, 17, 43 (1976).
- [6] Ueno, S., Ebata, T., R. Daidou; *Jpn. Res. Assn. Text. End-Uses*, 18, 301 (1977).
- [7] Nosi, H., Kobayasi S., Yamada, T.; *Sen'i Gakkaishi*, 33, 470 (1977).
- [8] Kobayasi, S., Nosi, H.; *J. Text. Mach. Soc. Japan*, 33, T304 (1980).
- [9] Izumi, K., Niwa, M.; *J. Home Economics. Japan*, 32, 390 (1981).
- [10] Izumi, K., Niwa, M.; *J. Home Economics. Japan*, 34, 96(1983).
- [11] Izumi, K., Niwa, M.; *Proc. of 3'rd Japan-Australia Symposium, Textile Mach. Soc. Jpn., Osaka*, 725 (1986).
- [12] Matsudaira, M., Kawabata, S.; *J. Text. Mach. Soc. Japan*, 39, 175 (1986).
- [13] Matsudaira M.; *J. Home Economics. Japan*, 38, 393 (1987).
- [14] M. Z. Yang, Matsudaira, M.; *J. Text. Mach. Soc. Japan*, 52, T167 (1999).
- [15] M. Z. Yang Matsudaira, M.; *J. Text. Mach. Soc. Japan*, 53, T51 (2000).
- [16] W. J. Hamburger, M. M. Platt; *J. Text. Inst.*, 44, 475 (1953).
- [17] Asao, M., et al.; "Design of Experiments", *Japan Science and Engineering*, p. 122 (1985).