論　文

布のドレープ係数の測定と垂下した布形状の表現

(第2報) 異方性試料についての表現

楊　敏　壮*，松平　光男**

Measurement of Drape Coefficients of Fabrics and Description of Hanged Shapes of Fabrics

part 2 : Description of Hanged Shapes About Anisotropic Fabrics

Minzhuang Yang*, Mitsuo Matsudaira*

Abstract

To investigate about fabric drapability of anisotropic fabrics, a method to decide the direction of a node is proposed, and the hanged shape of fabric is described using trigonometric function. Relationship between the trigonometric function and basic mechanical parameters is also investigated. Following conclusions were obtained :

1) Deciding at least one node for a fabric in the direction of larger value of B and/or 2HB in the warp or weft direction, hanged shape of fabric becomes stable and reproducibility of measurement becomes high.

2) Two-dimensional projection of fabric shape is described by the equation ; $r(\theta)=[a+a_m\cos(a_n\theta+\alpha)]+[b+b_m\cos(b_n\theta+\beta)]\cos[n(\theta-90)]$, and the drape coefficient obtained by the equation ; $D=(4a^2+2b^2+2a_m^2+b_m^2-4R_0^2)/12R_0^2$, agreed well with the actual one. Further, the hanged shape obtained theoretically also agreed well with the actual one.

3) Constants in the trigonometric function can be regressed well with fabric basic mechanical parameters with high accuracy.

(Received Nov. 11, 1997)
(Accepted for Publication July 4, 1997)

1. 緒　言

布のドレープは自重により垂下する変形現象を示す尺度として用いられるものであり，布地の視覚的な美しさを決める1つのポイントである．しかし，一般に使われているHamburgerのドレープ係数だけではドレープ形態の美しさの評価指数とはいえないことがすでに明らかにされている[1]．ドレープ形態を特徴づけるものとして，ノードの数やエッジの形状が極めて重要な要素と考えられ，前報[2]では筆者らにより提案したドレープの測定方法で，等方性と見なす試料の垂下した形状をsin関数で表現できることを明らかにした．しかし，一部分の異方性の大きな試料に対しては，このsin関数で表現するのは不十分であり，しかも異方性試料を正多角柱に載せる場合，ノードの方向が異なることにより，布の垂下した形状はやはり不安定な現象となる．そこで，本研究では画像処理システムを利用して，異方性試料を正多角柱に載せる方向を決定し，異方性の大きな試料のドレープ形状を数学モデルで表現することを試みた．また，KESで布の基本力学パラメータを測定し，これによって回帰式を算出する．さらにドレープ形状の画像も製作し，数学モデルの表現について検討した．

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

2．実験方法

2.1 試　料

実験に用いた試料は市販の布で，素材，重量，構造，密度，糸使い，曲げ剛性などをできるだけ広範囲に159点を選定した．このうち特に異方性の大きな試料を43点を選定して，異方性実験に使う．用いた試料の概略を Table 1 に示した．

2.2 ドレープ形状の測定

測定装置は前報[2]と同じように（Fig. 1）ライブラリー㈱製の画像処理システムを利用して，支持台にセットしたサンプルはCCDカメラで取り込まれ，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．そしてその画面は適当なしきい値（閾値）で2値化され，2値化された画像はコンピュータにより極座標上で360等分に分けて，2次元画像の形状，谷の深さなどを計算する．

2.3 試料を支持台にセットする方法

前報[2]で提案した測定方法では，サンプルをすべて等方性と見なして検討したため，布を正多角柱に載せるとき，どんな方向にしても各方向で布の性質がほぼ同じなので，垂下した形状もほとんど同じである．しかし，実際の布の場合，曲げ剛性 B，曲げモーメントのヒステリシス 2HB は布の構造から多かれ少なかれ異方性を持つことに特徴があり，この布の曲げ特徴の異方性はドレープ形状に直接影響を及ぼすであろうと考えられる．従って，異方性試料の場合では，布の各方向の性質が違うので，正多角柱に載せる方向が異なると垂下した布の形状も異なる．つまり，異方性試料に対しては，正多角柱に載せる方法により，不安定性を持つものと考えられ，異方性試料を正多角柱に載せる方向を決める必要があると考えられる．従って，今回の実験では布の経方向あるいは緯方向の曲げ特性により，B，2HB の大きい方に少なくとも1つのノードを生じることにする．その方法により布の形状も安定して，異なる試料のドレープ形状も比較評価することができると思われる．

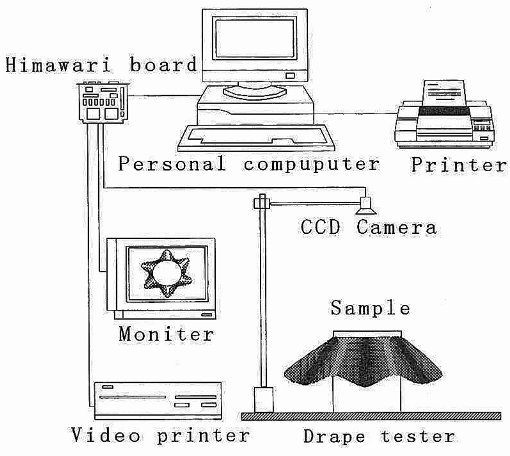


Fig. 1　Experimental system of fabric drape.

2.4 異方性の測定

KES システムを利用して，サンプルを緯方向に0°として，15°ごとに B と 2HB を測定し，極座標にプロットするとドレープ形状への影響を調べることができる．実験はすべて22±3℃，60±10%R.H. 条件下で行った．

3．結果と考察

布のドレープ形状は織物の基本物理量により支配されている．前報[2]では，等方性と見なす試料に対して，次の sin 関数で表現できることを明らかにした．

$$r=a+b\sin(n\theta) \qquad (1)$$

ここで，a は垂下した布の全般的な投影面積の大きさを意味している定数（mm）で，b は谷の深さを示している定数（mm）で，n はノードの数である．

しかし，一部分の異方性の大きな試料の場合，ノードの各方向に差があるため，a と b は変数とな

Table. 1　Outlines of Samples

Fiber	Yarn	Weight(mg/cm^2)	Sample number	Anisotropic Sample number
Silk	Filament	4.15～22.39	25	6
Polyester	Filament	4.23～15.39	43	14
Rayon	Filament	6.37～37.31	38	8
Cotton	Spun	8.45～12.28	10	3
Wool	Spun	10.29～32.90	40	12
Silicone		40.87～118.45	3	0

り，(1)式で表すのは不十分である．また，支持台を2つの部分に分けて測定する方法では，はじめにサンプルを正多角柱に載せて，布の垂下した形状は円周に沿ってノードの分布がほぼ均一になっているため，その形状を周期関数で表せると思われる．しかし，$\sin(n\theta)$関数で表現した形状はノードの数が奇数か偶数によりその方向が不安定なので，今回提出した布のセット方向を表現することができない．従って，(1)式を次の式に修正する．

$$r(\theta)=f(\theta)+g(\theta)\cos[n(\theta-90)] \quad (2)$$

ここで，$f(\theta)$ は垂下した布の全般的な投影面積の大きさを意味している関数（mm）で，$g(\theta)$は谷の深さを示している関数（mm）で，n はノードの数である．

3.1　ドレープ形状と異方性の関係

計算した画像から各ノードの$f_i(\theta)$と$g_i(\theta)$（$i=1, 2, \cdot\cdot n$）を測定して，B と 2HB とも相対値で極座標にプロットすると Fig. 2 のようになる．

Fig. 2(a)のサンプルはシリコンで，等方性の性質を持っているため，B，2HB，$f(\theta)$と$g(\theta)$がほぼ円形になっている．それに対して，Fig. 2(b)のサンプルでは，B，2HB の大きい経糸方向に$f(\theta)$がはり出しており，Fig. 2(c)のサンプルでは，B，2HB の大きい緯糸方向に$f(\theta)$がはり出していることがわかり，両者の形状の類似は，他の各種の布についても同様の傾向が認められ，布の異方性がドレープ形状に関係していることがわかった．この結果は棚辺ら[3]の結果とも一致している．$g(\theta)$については B，2HB の形状と類似することもあり，異なる場合もあり，その原因は後で説明する．

3.2　$f(\theta)$と$g(\theta)$の形態

全サンプルの形態から，$f_i(\theta)$と$g_i(\theta)$を計算し，直交座標にプロットすると$f(\theta)$と$g(\theta)$の形態が複雑でしかも1つの関数で表すのは困難であるが，ドレープ画像を製作するとき，近似的に視覚的な結果を提供すれば受け入れられると考えられる．従って，$f(\theta)$と$g(\theta)$の形態を詳しく分析の上で 12 種類に分けて，その代表的な例を Fig. 3 と Fig. 4 に示す．Fig. 3 のサンプルでは B と 2HB が大きいのは経糸方向であるが，Fig. 4 のサンプルでは B と 2HB が大きいのは緯糸方向である．Fig. 3 と Fig. 4 の横軸は角度で，縦軸は$f_i(\theta)-\overline{f_i(\theta)}$（実線）或いは$g_i(\theta)-\overline{g_i(\theta)}$（破線）である．

この12種類のグラフを見て，いずれもほぼ周期的に変化していることがわかった．従って，$f(\theta)$と$g(\theta)$を次の式で近似的に表示することができると考えられる．

$$f(\theta)=a+a_m\cos(a_n\theta+\alpha) \quad (3)$$

$$g(\theta)=b+b_m\cos(b_n\theta+\beta) \quad (4)$$

ここで，a と b は式(1)の a，b と同じもので，a_m と b_m は$f(\theta)$，$g(\theta)$の変動の差で B，2HB の異方性に関連すると考えられるが，a_n，b_n，α と β は$f(\theta)$と$g(\theta)$のタイプを決める係数である．

Fig. 3(a)と Fig. 4(a)及びそれぞれ対応するグラフを見れば，両方の曲線はほぼ直交していることがわかった．これは Fig. 2 からも同じ結果が出てきた．従って，本報告では B と 2HB が経糸方向に大きいサンプルの Fig. 3 を例として説明し，Fig. 4 の場合

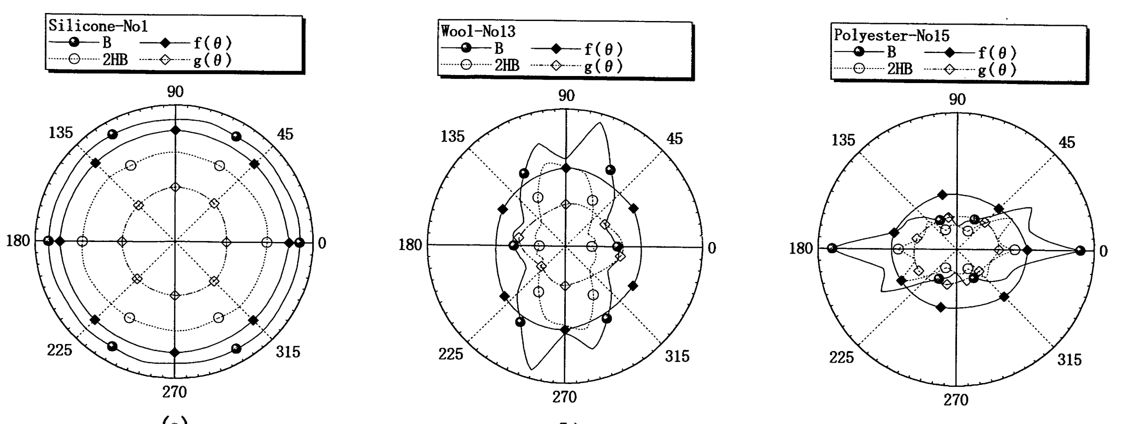


Fig. 2　Results of mechanical parameters, B, 2HB and functions f(θ), g(θ) ;
(a) : Silicone, (b) :Wool, (c) : Polyester.

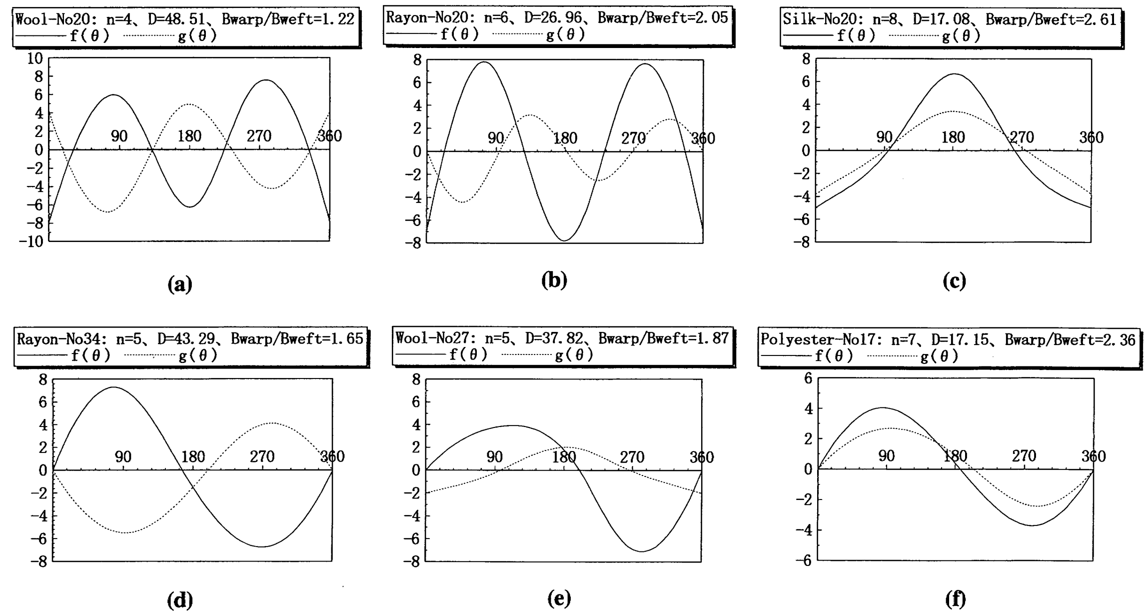


Fig. 3 Shapes of $f(\theta)$ and $g(\theta)$ on the Cartesian coo rdinates ;
(a) : Wool, (b) : Rayon, (c) : Silk, (d) : Rayon, (e) : Wool, (f) : Polyester.

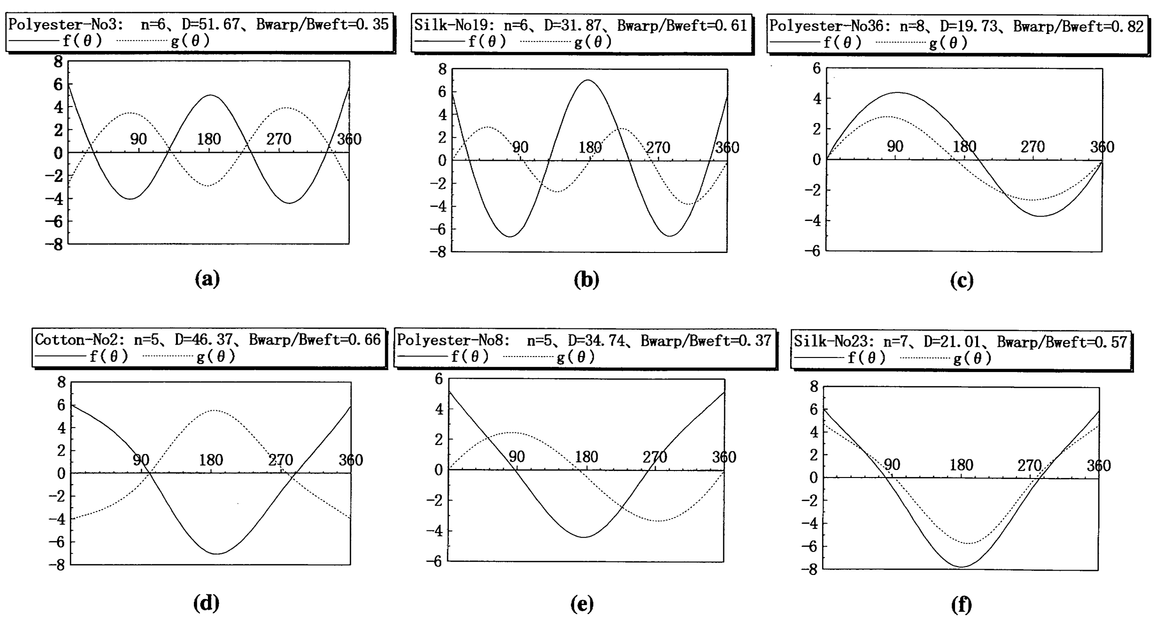


Fig. 4 Shapes of $f(\theta)$ and $g(\theta)$ on the Cartesian coordinates ;
(a) : Polyester, (b) : Silk, (c) : Polyester, (d) : Cotton, (e) : Polyester, (f) : Silk.

はθを$(\theta+90)$で入れ替えればFig. 3と同じになる.

Fig. 3(a), (b), (c)では，サンプルのノード数が偶数であるのに対して，Fig. 3(d), (e), (f)では，サンプルのノード数は奇数である．Fig. 3(a), (b)では，$f(\theta)$と$g(\theta)$の変化は周期関数が2θの変数形になって，極座標の場合では，曲線が中心と対称となっている．普通の布は直交異方性の性質を持っているため，垂下するとき，ノードの数が偶数の場合では垂下した形状も中心と対称となるべきで，2θの変数形で形

成した曲線はちょうど布の直交異方性の性質を反映している．しかし，Fig. 3(c)では布のドレープ係数が小さくなると垂下した形状が崩れて中心と非対称の形状となって，$f(\theta)$ と $g(\theta)$ の変化は周期関数が 1θ の変数形になる．その理由ははっきりわからないが，ドレープ係数の小さい布はとても柔らかくて垂下するとき，僅かな力を加えてもそのドレープ形状は変化し，中心と対称性を保つのは難しいと考えられる．ノードの数が奇数の場合では，布が直交異方性の性質を持っていても，中心と対称になることはなく，1つの軸で対称となる．従って，Fig. 3(d), (e), (f)では，$f(\theta)$ と $g(\theta)$ の変化は周期関数が 1θ の変数形になる．

一方，$f(\theta)$ と $g(\theta)$ の位相の差を調べてみると，ドレープ係数の大きい布(a), (d)では，$f(\theta)$ と $g(\theta)$ の位相の差はほぼ反対となっているに対して，ドレープ係数の小さい布(c), (f)では，$f(\theta)$ と $g(\theta)$ の位相はほぼ同位相となっており，その間の(b), (e)では，$f(\theta)$ と $g(\theta)$ の位相の差はほぼ90°となっていることがわかった．これは幾何学形状からみれば，ドレープ係数の大きい布はあまり垂下していないため，$f_i(\theta)$ は大きくなると $g_i(\theta)$ は小さくなるのに対して，ドレープ係数の小さい布は十分に垂下するため，$f_i(\theta)$ は大きくなると $g_i(\theta)$ も大きくなり，その間の布はドレープ係数の減少に伴い，位相の差も反位相から同位相に変化してくる．従って，Fig. 2 の $g(\theta)$ についてB, 2HB の形状と類似することもあり，異なる場合もあるのは当然なことだと思われる．

3.3 異方性試料の表現

(3)式と(4)式を(2)式に入れ替えると，異方性試料の垂下形状を表現する数学モデルとなる．

$$r(\theta) = [a + a_m\cos(a_n\theta + \alpha)] + [b + b_m\cos(b_n\theta+\beta)]\cos[n(\theta-90)] \tag{5}$$

極座標上で，(5)式によって垂下した布の投影面積は

$$\begin{aligned} S &= \int_0^{2\pi}\frac{1}{2}r^2(\theta)d\theta \\ &= \frac{1}{2}\int_0^{2\pi}\{[a+a_m\cos(a_n\theta+\alpha)]+[b+b_m\cos(b_n\theta+\beta)] \\ &\qquad \cos[n(\theta-90)]\}^2 d\theta \qquad (6) \\ &= \pi\left(a^2+\frac{1}{2}b^2+\frac{1}{2}a_m^2+\frac{1}{4}b_m^2\right) \end{aligned}$$

ドレープ係数 D は

$$D = \frac{S-\pi R_0^2}{\pi R_1^2-\pi R_0^2} = \frac{4a^2+2b^2+2a_m^2+b_m^2-4R_0^2}{12R_0^2} \tag{7}$$

ここで，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．

(5)式の a と b および n はすでに前報[2]で Wool と他のサンプル2組に分けて求められたが，次のようになる．

$$\left.\begin{aligned} a_W &= 40.007+43.35\sqrt[3]{\frac{B}{W}}-148.492B \\ a_o &= 37.407+27.094\sqrt[3]{\frac{B}{W}}-1.438\frac{B}{W}+5.325\sqrt[3]{\frac{G}{W}} \end{aligned}\right\} \tag{8}$$

$$\left.\begin{aligned} b_W &= 46.6-3.204n-1.08\frac{B}{W}-3.283\sqrt[3]{\frac{G}{W}}+4.396(2HG) \\ b_o &= 30.771-2.063n-1.071G-0.01\frac{2HG}{W} \end{aligned}\right\} \tag{9}$$

$$\left.\begin{aligned} n_W &= 10.12-3.266\sqrt[3]{\frac{B}{W}}+4.363(2HB) \\ n_o &= 13.28-5.673\sqrt[3]{\frac{B}{W}}+0.368\frac{B}{W}-0.012\frac{G}{W}++0.002\frac{2HG}{W} \end{aligned}\right\} \tag{10}$$

ここで，B は曲げ剛性（gf・cm^2/cm），$2HB$ は曲げヒステリシス（gf・cm/cm），W は単位面積当たりの重量（g/cm^2），G はせん断剛性（gf/cm/deg），$2HG$ はせん断力のヒステリシス（gf/cm）である．

a_m と b_m については布の異方性と関連していると思われ，つまり等方性の試料に対しては $a_m=b_m=0$ となり，異方性の大きい試料に対しては a_m と b_m も大きくなるべきである．一方，異方性試料の場合，曲げ特性は方向によって明らかな差が認められるが，せん断特性には方向による明らかな差は認められなかった．従って，a_m, b_m と B_1/B_2（経と緯の比），$2HB_1/2HB_2$, B_{Max}/B_{Min}（最大値と最小値の比），$2HB_{Max}/2HB_{Min}$ などとの関連を求めたが，いずれの特性とも相関係数が小さく，対応関係は得られなかった．そこで，$\sqrt[3]{(B_1-B_2)/W}$ と a_m, b_m との関係を調べ，その結果は Fig. 5 と Fig. 6 に示す．両方とも $y=ax^2$ の曲線とほぼ一致しており，最小二乗法で回帰式を求めたところ，次の(11)式と(12)式のようになり，a_m の場合は相関関数 $r=0.88$, b_m の場合は $r=0.89$ となり，かなり高い相関が得られた．すなわち，布の基本力学量 $\sqrt[3]{(B_1-B_2)/W}$ より a_m と b_m を推定することができ，異方性試料の垂下形状は経，緯方向の曲げ剛性の差により変化することが明らかにできた．

$$a_m = 4.15\left(\frac{B_1-B_2}{W}\right)^{\frac{2}{3}} \tag{11}$$

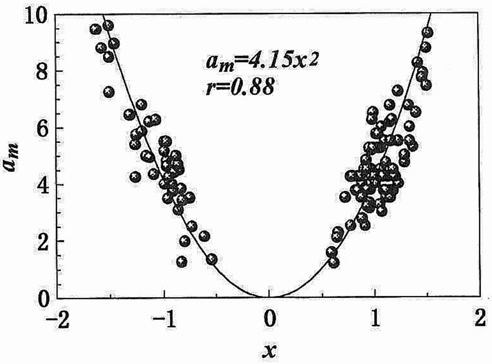


Fig. 5　Relationship between the a_m and $\sqrt[3]{(B_1-B_2)/W}$

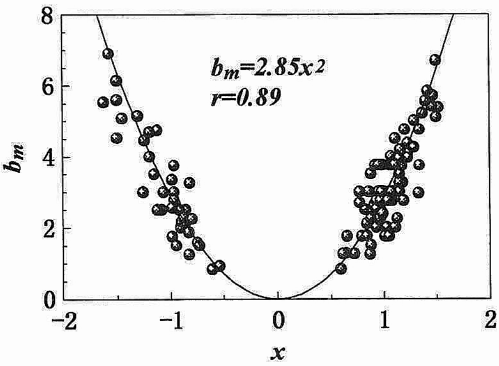


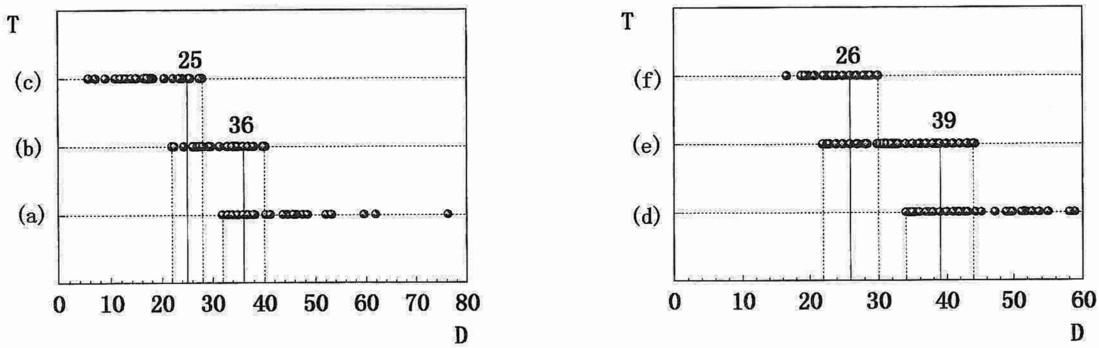
Fig. 6　Relationship between the b_m and $\sqrt[3]{(B_1-B_2)/W}$

$$b_m=2.85\left(\frac{B_1-B_2}{W}\right)^{\frac{2}{3}} \tag{12}$$

ここで，(7)式によりドレープ係数を求めたところ，得られたドレープ係数は前報[2]の式$D=(2a^2+b^2-2R_0^2)/6R_0^2$の結果よりはやや大きいが，実測したドレープ係数との相関係数は$r=0.95$となって，よく一致することがわかった．

a_n，b_n，αとβについては布の垂下した形状のタイプにより決められ，今回の実験では，硬い布と柔らかい布の垂下形状のタイプの相違が明らかになり，布の垂下した形状のタイプと布のドレープ係数との間に深い関連があることが証明された．従って，そのタイプとドレープ係数Dとの関係を調べてみるとFig. 7のようになり，Fig. 7(a)はノードの数が偶数で，Fig. 7(b)はノードの数が奇数である．Fig. 7(a)はドレープ係数D＞40％の場合（点線）ではFig. 3(a)のタイプになり，28％＜D＜32％の場合（点線）ではFig. 3(b)のタイプになり，D＜22％の場合（点線）ではFig. 3(c)のタイプになる．しかし，Dは32％～40％の間（点線）にFig. 3の(a)タイプと(b)タイプが同時に存在し，22％～28％の間（点線）にFig. 3の(b)タイプと(c)タイプが同時に存在する．従って，32％～40％の間および22％～28％の間に平均的に考えた場合では，36％と25％になる．つまり，D＞36％の場合（実線）はFig. 3(a)のタイプになり，25％＜D＜36％の場合（実線）はFig. 3(b)のタイプになり，D＜25％の場合（実線）はFig. 3(c)のタイプになる．すなわち，ドレープ係数により布の垂下した形状のタイプを決めることができると考えられる．Fig. 7(b)も同じようにD＞39％の場合はFig. 3(d)のタイプになり，26％＜D＜39％の場合はFig. 3(e)のタイプになり，D＜26％の場合はFig. 3(f)のタイプになる．布の垂下した形状のタイプがわかればa_n，b_n，αとβも決められ，各タイプをまとめるとTable. 2のようになる．

垂下した異方性試料の形状を表現する数学モデル



(a)　　　　(b)

Fig. 7　Relationship between the type of shape and drape coefficient (D);
(a) : even numbers of node, (b) : odd numbers of node.

の式(5)の有効性を検討するために，Fig. 3 と Fig.4 の各タイプと対応して，実物画像と(5)式で計算した画像を Fig. 8 と Fig. 9 に示し，上段は実物画像で，下段は計算した画像である．これらの画像をみると，製作した画像と実物の画像の間には差はなく，形態も極めて良く似ていることがわかる．従って，(5)式の数学モデルで異方性試料のドレープ形態を表示することが可能であるといえる．

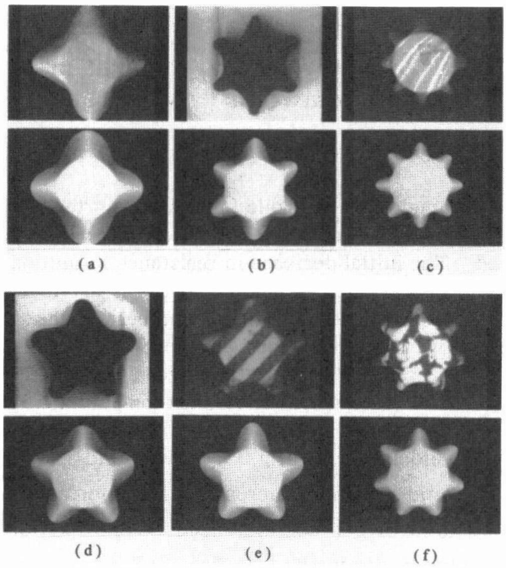


Fig. 8 Photograph of actual drape shape of fabric (the upper row) and that obtained theoretically (the lower row) in $B_1 > B_2$.

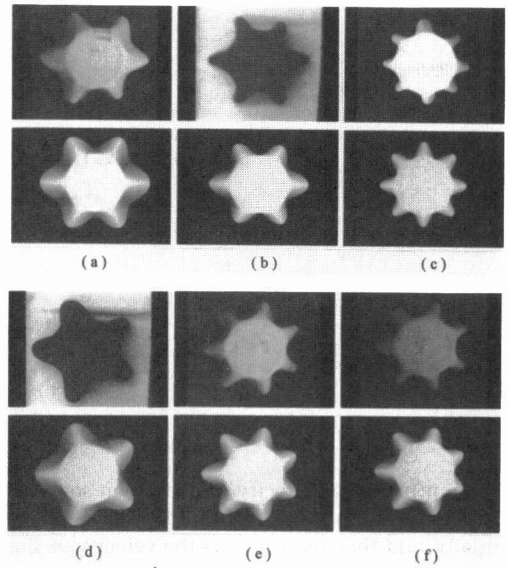


Fig. 9 Photograph of actual drape shape of fabric (the upper row) and that obtained theoretically (the lower row) in $B_1 < B_2$.

4．結　論

本研究で明らかにされた結論をまとめると次のようになる．

1）異方性試料を正多角柱に載せるとき，試料の経方向或いは緯方向の曲げ特性により，B，2HB の大きい方に少なくとも1つのノードを生じさせ，ゆっくり円形支持台に戻す測定方法により，垂下した布の形態が安定し，実験の再現性も高くなる．

2）異方性試料の場合では，今回提出した測定方法によって，垂下した形状は周期関数$r(\theta)=[a+a_m\cos(a_n\theta+\alpha)]+[b+b_m\cos(b_n\theta+\beta)]\cos[(n(\theta-90)]$で表現することができ，ドレープ係数の計算式 $D=(4a^2+2b^2+2a_m^2+b_m^2-4R_0^2)/12R_0^2$ で求めたドレープ係数と実測したドレープ係数とはよく一致する．垂下した布の実際の形態と周期関数で理論的に製作した画像もよく一致する．

3）布の基本力学パラメータで，周期関数の a，b，n，a_m，b_m，a_n，b_n，α，β をそれぞれの回帰式によって求められ，高い回帰精度でドレープ係数と垂下した布の形状を適切に記述できる．

参考文献

1）須田，大平；繊消誌，13，475（1972）
2）松平，楊；繊機誌，50（9），T242（1997）
3）棚辺晴美，赤松，丹羽，古里；繊消誌，16，119（1975）

Table. 2　Drape Parameter a_n，b_n，α，β

	Drape coefficient	Type of shape	a_n	α	b_n	β
Even numbers	D>36%	Fig.3 (a)	2	180	2	0
	25%<D<36%	Fig.3 (b)	2	180	2	90
	D<25%	Fig.3 (c)	1	180	1	180
Odd numbers	D>39%	Fig.3 (d)	1	270	1	90
	26%<D<39%	Fig.3 (e)	1	270	1	180
	D<26%	Fig.3 (f)	1	270	1	270

※　B_1（経方向）<B_2（緯方向）の場合は、Table. 2 を参照に、式(5)の θ を $\theta+90$ で入れ替える