

# 織物の高曲率域での曲げ変形挙動

角 田 幸 雄

(被服材料科学研究室)

## The Bending Behaviour of Woven Fabrics at Higher Curvatures

Yukio TSUNODA

### 1. 緒 言

従来から布の風合いに寄与する物理的因子として、厚さ、重さ、曲げ特性、せん断特性、圧縮特性、表面摩擦特性などをあげて、官能特性との関連において種々検討<sup>1)~5)</sup>がなされてきた。最近では、これらの基本的力学量を使<sup>6,7)</sup>っての風合い計量のための Characterization の研究も進展している。

しかしながら、風合い評価に関するこれら諸因子の中で、因子負荷の最も大きいとされている曲げ特性についての検討をみると、曲率  $3\text{ cm}^{-1}$  以下の低い領域においてなされている。手触りによる風合い判定の一般的手法として行われている三つ指法では、布をU字形に曲げた状

態で若干の時間をかけながらその弾力感、しなやかさなどを感じとっている事実からすれば、もっと高い曲率域で時間的要素を入れた曲げ挙動に関する力学量の検討も風合い評価のための物理的因子を見出す上で極めて必要ではなかろうか。また、高曲率域での曲げ変形挙動の検討は布のしわ特性の解明を進めていく上からも重要である<sup>8)</sup>と考える。

このような観点から、高曲率域で布に曲げ変形を与える際の挙動について種々検討を進めているが、この報文では、 $3 \sim 20\text{ cm}^{-1}$  の高曲率域において、一定曲率下での曲げの応力緩和と曲げ変形回復性の時間依存性などについて行った実験結果を報告する。

TABLE I. Fabrics detaile

Fabric			Thickness cm, $\times 10^{-3}$	Weight g / $\text{cm}^2 \times 10^{-3}$	Threads / cm	
					Warp	• Weft
A	Cotton	Broad	26.7	13.1	45	22
B	Wool	Serge	55.2	28.7	33	27
C	Silk	Habutae	13.0	5.9	55	38
D	Cupra	Taffeta	11.6	7.2	64	42
E	Nylon	Taffeta	7.2	3.3	49	45
E - S <sup>a</sup>						
E - H <sup>b</sup>						
F	Polyester	Taffeta	8.0	4.3	40	35
F - S <sup>a</sup>						
F - H <sup>b</sup>						
P	Book paper		8.2	6.6		

a : Those Fabrics Treated with Softener(alkyl amide amine)

b : Those Fabrics Treated with Hardener(Poly vinyl acetate)

## 2. 実験試料

供試布の明細を TABLE I に示す。

## 3. 実験方法

### 3-1. 一定曲率下での曲げ応力緩和の測定

FIG. 1 に示すような測定装置を組立て、幅2.0cm、長さ3cmの試験片を一端固定、他端自由としてU字形の変形となるように2枚の平行板の間にはさみ、Instron 型引張試験機のcross headに連結した上部平板を100mm/minの一定速度で下降させ、平板間隔(D)の圧縮変化によって試料布に曲げ変形を与え、各曲率値(TABLE II)において変形を停止したときの曲げ応力緩和の経時変化を記録測定した。

なお、この測定法の検討において、試験片を loop で圧縮変形を行なうと、曲率が大きい場合には loop の bend されない直線部分に干渉を生じ、測定に不適当であることを認めた。

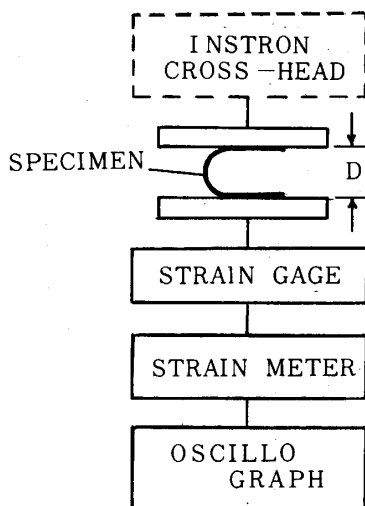


FIG. 1. Schematic Diagram of Experimental apparatus

TABLE II. Relationship between Plate separation and Curvature

$D-t^*$ (cm)	0.7	0.5	0.3	0.2	0.1
$1/r$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	2.9	4.0	6.7	10.0	20.0

\*Thickness of specimen

### 3-2. 曲げ変形回復性の測定

Monsant の Wrinkle Recovery Tester を利用し、FIG. 2. に示すように、2つ折りに曲げた試験片の間に一定曲率になるように各厚さの平板をはさみ、500 g で 5 min 加重し、除重後、直ちに回転角度板に set して、曲げ変形回復角の経時変化を測定した。変形回復率(R)は

各回復角の測定値( $\alpha$ )から次式によって算出した。

$$R(\%) = \alpha / 180 \times 100$$

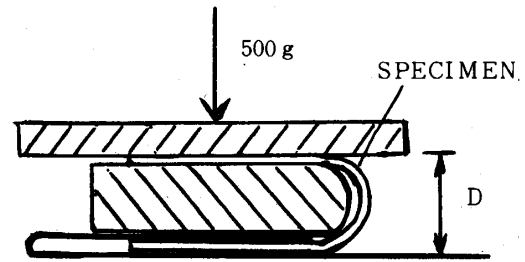


FIG. 2. Setting up the Bending Fabric

### 3-3. エラスチカと見なした試料のU字形変形荷重と曲げ剛さとの関係式

一端固定、他端自由なエラスチカ棒を垂直に立て、自由端に垂直荷重Pを加えて大撓み変形を与えたときのエラスチカ(FIG. 3)の解析はすでに報告した。そこで、その解析で求めた(1)式に  $b = \frac{1}{2}(D-t)$  の関係を代入し(2)式を誘導して、本実験でのエラスチカと見なしたときの試料のU字形変形における関係式とした。

$$EI = \frac{2 b^2 P}{1.198^2} \dots\dots\dots(1)$$

$$EI = 0.3484 P (D-t)^2 \quad (\text{g} \cdot \text{cm}^2) \dots\dots\dots(2)$$

ここに、EI : エラスチカの曲げ剛さ

P : 圧縮荷重 (g)

D : 平板間隔 (cm)

t : 試料布の厚さ (cm)

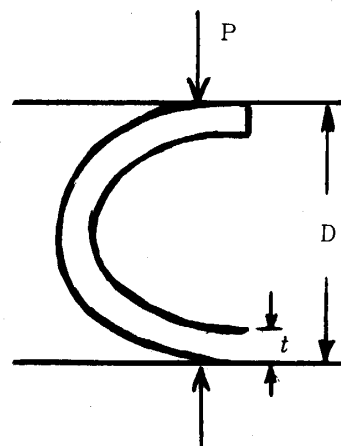


FIG. 3. Constrained Elastica

## 4. 実験結果および考察

### 4-1. 曲げ変形の曲率と応力緩和の経時変化および初期応力緩和率

FIG. 4 に示す応力緩和線図は試料布に定速でU字形

変形を与え、 $3 \sim 20\text{cm}^{-1}$ の曲率域におけるそれぞれの曲率で変形を停止した後の応力緩和記録線図から停止時点の応力 ( $P_0$ ) と各時間経過後の応力 ( $P$ ) を求め、次式によって算出した応力緩和率 ( $R$ ) でもって表わした線図である。

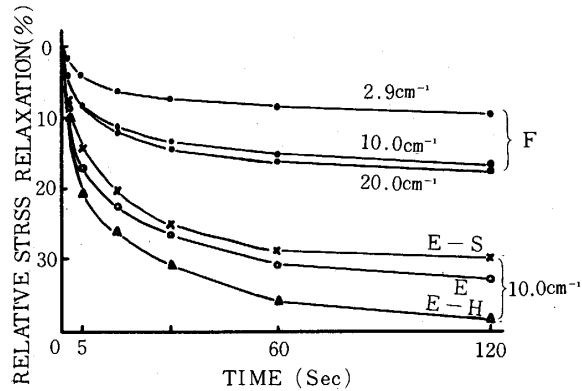
$$R (\%) = \left(1 - \frac{P}{P_0}\right) \times 100$$


FIG. 4. Typical Stress Relaxation Curve of Bending Fabrics

FIG. 4.には、供試布の中で緩和率の大きいナイロンタフタについてその柔軟、硬化の処理効果と、また、緩

和率の小さいポリエステルタフタについての曲率との関係を例として示した。他の試料についてもこれらと同じように、時間経過にしたがって、いずれも指数関数的に減少し、その減少勾配は初期の時間において急激であることがわかる。そこで、各曲率値における変形停止後5 sec間の応力緩和率（これを初期応力緩和率と呼ぶことにする）で各試料間の挙動を比較してみた結果をFIG. 5に示す。

FIG. 5から、いずれの試料においても応力緩和率は曲率が大きくなるにしたがって増加していくが、その傾向は漸減し、やがて試料B, E, E-H, F-Hおよび比較試料Pの挙動から明らかなように減少傾向をたどることがわかる。初期応力緩和率の大きさやその最大緩和率を示すところの曲率値は試料間でかなりの差異のあることが認められ、また、試料の柔軟および硬化処理の緩和挙動に及ぼす効果も顕著であることがわかる。

次に、FIG. 5で試料Bおよび試料Cの中にそれぞれ破線で併記した結果は、各試片のよこ方向の交差糸を除いたものについて同じ方法で求めた曲げ応力緩和率である。これらの結果から、織られた原布の場合と比較し

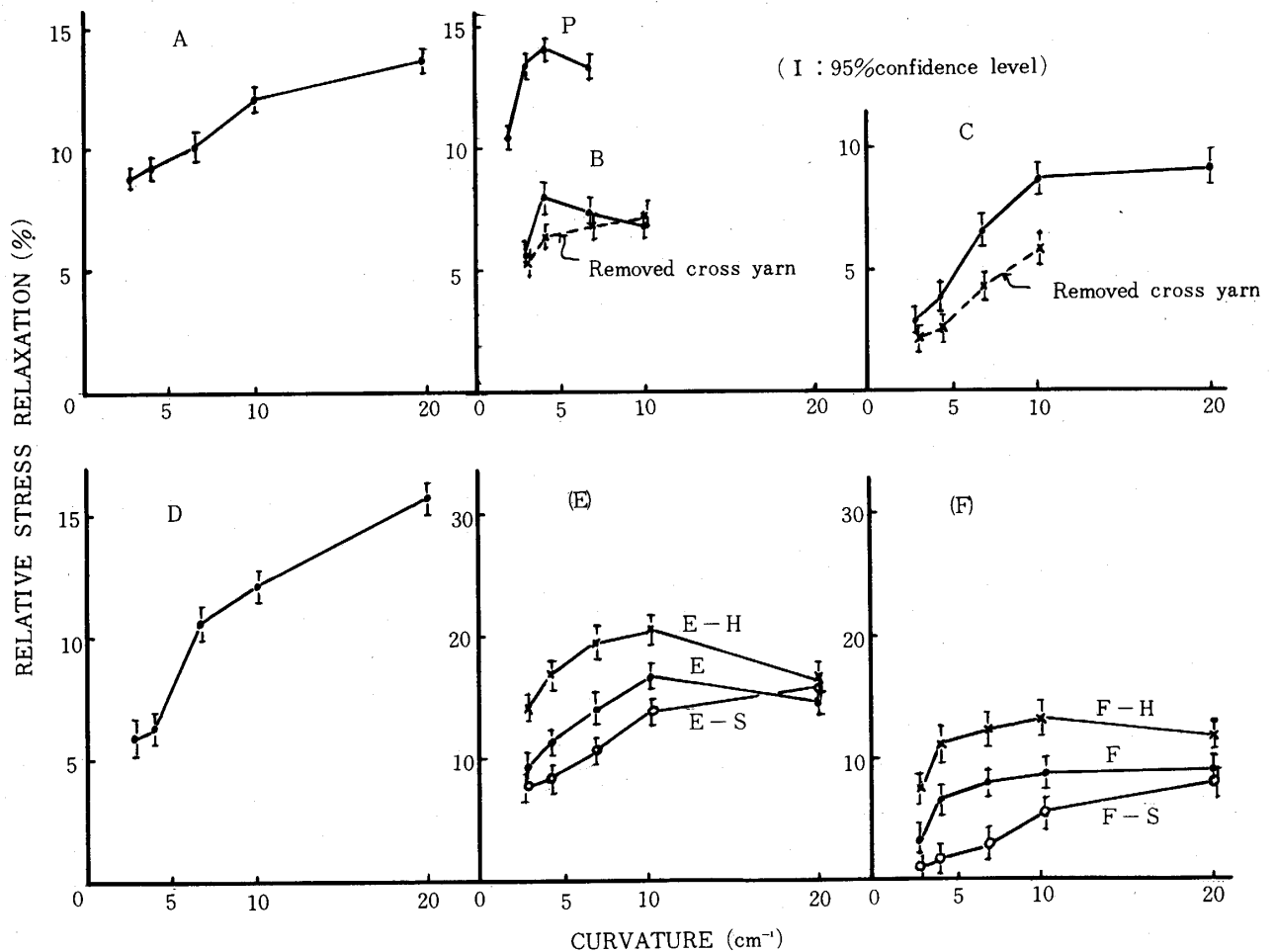


FIG. 5. Relationship between Curvature and Initial Stress Relaxation

て、よこ方向交差糸を除去した場合の応力緩和率は小さく、また最大緩和率を示す曲率値はかなり大きい方向へ移動することが推測される。

#### 4-2. 変形曲率とエラスチカ挙動

試料に曲げ変形を与えて、その曲率を次第に増加していくとき、どの程度の変形までエラスチカとしての挙動をとるかについてエラスチカ解析により誘導した曲げ剛さの関係式(2)から検討した結果を FIG. 6 に示す。この場合、用いた各曲率での抵抗値はそれぞれ応力緩和挙動を求めるために変形を停止した時点での値である。

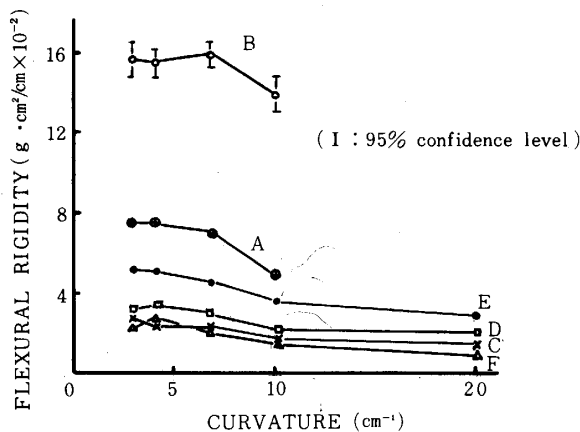


FIG. 6. Relationship between Curvature and Flexural Rigidity of Fabrics

FIG. 6 から、いずれの試料も曲率 7 ~ 10 cm<sup>-1</sup> でその曲げ剛さの値が急激に減少してくることがわかる。このことから、試料に U 字形の変形を連続して加えていくとき、曲率 7 cm<sup>-1</sup> 程度までは、ほぼ、エラスチカと見なされる挙動をとっていると推測される。

#### 4-3 変形曲率と曲げ回復性

各曲率で、曲げ変形を与え、除荷した後、その曲げ回復性の経時変化を求めた結果を FIG. 7 に示す。

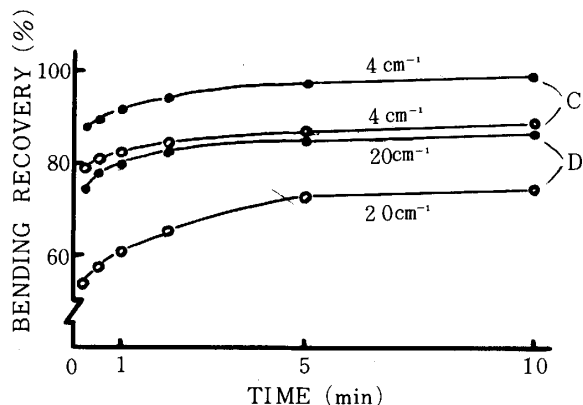


FIG. 7. Typical Recovery Curves for Fabrics that has been Bending

FIG. 7 には、絹羽二重およびキュプラタフトの試料の曲率が 4 cm<sup>-1</sup> と 20 cm<sup>-1</sup> における回復性を例として示しているが、他の試料ならびに各曲率変化においても同じ回復傾向の曲線が求められた。すなわち、曲率の大小にかかわらず、除荷後の初期時間での曲げ回復率は急激であるが、その後の回復速度は緩慢となってくる。

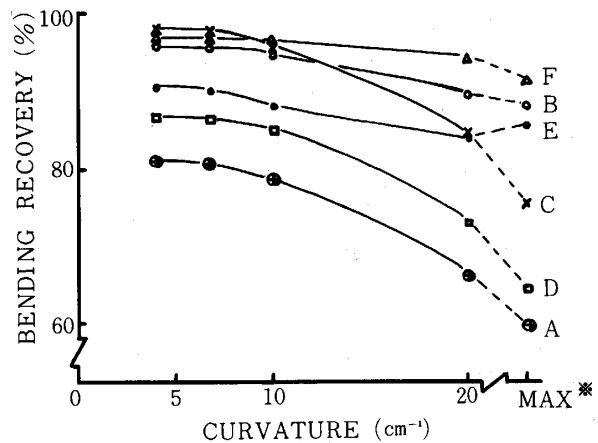


FIG. 8. Relationship between Curvature and Bending Recovery after 5 minutes

\* The Limiting Curvature Set by the Fabric Thickness

FIG. 8 は除荷後 5 min における各曲率での回復率を求めて試料間で比較した結果である。いずれの試料も曲率の増加にしたがって、回復率は低下するが、その低下度は曲率 7 ~ 10 cm<sup>-1</sup> 付近から大きくなっている。これらの変化を試料間でみると、試料 A, C, D の低下度は他の試料と比較して著しく、また、試料 E については曲率 20 cm<sup>-1</sup> 付近での回復率よりも折目づけをした場合の回復率がむしろ高くなる結果を得た。

以上の実験検討から、高曲率域においては曲率が大きくなるにしたがって繊維には次のような構造的変化が進んでいくことがわかる。<sup>9)</sup> すなわち、曲げ変化が大きくなると、曲げの局部的部分でのたて糸、よこ糸の交差点に作用する糸間圧力が増加するために繊維の摩擦拘束を増し、これが繊維、糸のクランプ距離を短かくして、クリープ挙動を大きくし、座屈中の可塑性成分の依存度を増してくる。さらに高い曲率の変化を与えていくと、ついには構造のつまり (Jamming in the structure) を生じ、Clustering effect を示すようになる。一方、厚さのオーダの逆数に近い限界曲率付近になると、曲げ方向の変形から厚さ方向の圧縮変形に移行していることも明らかである。

## 5. 総 括

繊維に 3 ~ 20 cm<sup>-1</sup> の高曲率域で曲げ変形を与えたとき

の変形挙動について検討を行なった本実験結果から次のような知見を得た。

1. 試料布に定速で曲げ変形を与え、各曲率で変形を停止したときの進行する曲げ応力緩和の経時変化は指数関数的に減少し、その減少勾配は初期の時間において急激である。
2. 初期応力緩和率(0-5 sec間の応力減少比率)は曲率が大きくなるにしたがって、ある限度までは増加を示すがやがて減少する傾向が認められる。緩和率の大きさや最大緩和率を示す曲率値は試料布の種類によってかなりの差異があり、また、試料布の柔軟、硬化の処理効果や曲げに対するよこ方向交差糸の除去効果も顕著である。
3. 試料布に曲げ変形を与えていくとき、曲率値  $7\text{ cm}^{-1}$  付近まではエラスチカとみなした取り扱いが可能と考えられる。
4. 曲げ変形回復性の時間依存性は除荷後の初期時間内での回復度が著しい。曲げ変形の回復性と曲率との関係は曲率の増加にしたがって回復性は低下し、曲率値

$7\text{ cm}^{-1}$  付近からその低下度は顕著となる。これらの関係は試料間でかなりの差異が認められ、また、ナイロントフタには他の試料に比較して特異な関係が認められた。

#### 参 考 文 献

- 1) F. T. Peirce : J. Text, Inst, **21**, T377(1930)
- 2) 酒井豊子：織消誌, **1**, 37 (1960)
- 3) 小林茂雄：織消誌, **6**, 67 (1965)
- 4) 篠原 昭：繊維工学, **19**, 807 (1966)
- 5) 松尾達樹：織機誌, **23**, T134 (1970)
- 6) 川端秀雄, 丹羽雅子：織機学会講演論文集  
No. 25, 77 (1972)
- 7) 風合い計量と規格化研究委員会：織機学会,  
Technical Report HESC No. 1 (1972)  
~No. 21 (1974)
- 8) 角田幸雄：本誌, **11**, 40 (1973)
- 9) P. Grosberg : Text. Res. J, **36**, 205 (1966)  
(昭和51年1月17日受理)