円筒状縫製布の一軸拘束二軸引張り による被服圧のシミュレーション研究

京都工芸繊維大学 堀 野 恒 雄 (会員)

武庫川女子大学 川 西 定 子 (〃)

〃 利 見 美 代 子

Simulation of Clothing Pressure in Wear by Strip Bi-Axial Extension of Circular Sewn Fabrics.

Tsuneo Horino,* Sadako Kawanishi and Miyoko Toshimi**

**Department of Textile Engineering,*

Kyoto University of Industrial Arts and Textile Fibers, Kyoto.

***Department of Clothing Science,*

Mukogawa Women's University, Nishinomiya.

Abstract

An external pressure applied on a circular sewn fabric by longitudinal stretching was measured by using an Instron type tensile tester and by a thin walled circular cylinder with a narrow slit. The outer surface of the cylinder is coated by Teflon resin and two sets of strain gauge are fixed to the inner surface at the opposite side of the slit.

A sewn fabric whose peripheral length is as same as that of the circumference of the thin walled cylinder was put on this cylinder. Bending moment was applied to the thin walled cylinder by stretching the sewn fabric along the cylinder axis. If the dimensions of the thin walled cylinder are known, the external pressure can be obtained from the bending moment measurement.

Assuming that a human body is formed of a hard circular cylinder, an external pressure obtained in this experiments may be related with a clothing pressure in wear.

Comparing two experimental results of woven fabrics to those of knitted fabrics at the same tensile strain, it was concluded that an external pressure of woven fabrics are higher than those of knitted fabrics.

(Received December 20, 1975)

摘 要

目 的 前報¹⁾の中実のテフロン製円筒の代りに、金属製の切口のある薄肉円筒を使用し、円筒状に縫製した布を被覆し、この布の引張りにより発生する圧力を直接測定する方法により、布の種類による発生圧力の相違を求める。

成 果 内面に2枚のゲージを接着し、外面をテフロンコーティングした切口のある薄肉円筒と、通常の引張試験機とを組合せて、円筒状に縫製した布の円筒軸方向の引張り時に誘起される圧力を直接測定する簡単な方法を考案し、数種の織物、編物について測定した。

この測定方法では、布試料には一軸拘束二軸引張りが印加されるとみられる。この場合の検出圧力は、人体を円筒かつほぼ剛体とおいた場合に、被服の引張りにより誘起される被服圧に対応するとみられる。

織物と編物に同じひずみを印加した場合、一般に織物の方が編物よりも発生する圧力が大きいことを実験的に確かめた。

(昭和50年12月20日受理)

1. 緒 言

被服圧の研究に関しては、二、三の測定法^{2), 3), 4)}による報告があり、身体軟部に障害を及ぼす被服圧の衛生学的許容値として、古くから約 40 g/cm^2 の値が見出されている⁵⁾。また、快適被服圧は身体部位により異なり、 $10 \sim 40 \text{ g/cm}^2$ としている測定例もある⁶⁾。

一方、被服圧を布の機械的性質から推測する報告はまだ少なく、Kinkら⁷⁾および丹羽ら⁸⁾の論文にみられる程度である。丹羽らはパワー ネットの二軸引張挙動を測定し、球面状および円筒上の被覆物体への圧迫力を算出し、上述の測定法により求められた被服圧⁵⁾との関連性について述べている。

布の引張挙動については、多くの研究がある⁹⁾が、物体を被覆した布に引張力を加えることにより発生する圧迫力について、直接測定しようとした例はあまり見当たらない。

本報告では、このような場合に被覆物体に及ぼす圧力を直接測定する方法により、種々の布についての測定結果を述べる。この方法は、通常の引張試験機と、前報¹⁾と同様な簡単なアタッチメントとを用い、円筒状に縫製した布の引張りにより誘起される圧迫力（以下外圧と称する）を測定しようとするものである。この外圧は、人体が円筒状で構成される¹⁰⁾とし、かつ人体自身があまり変形しないとした場合の被服圧に対応するとみられる。

2. 外圧の測定原理

割縫いたした円筒状本縫試料布¹⁾の引張りにより発生する外圧を測定するために、図1に示すようなアタッチメントを使用した。

試作したアタッチメントは、2本の連結ねじ棒①、⑦と、2個の段付き丸棒②、⑥および外面をテフロンコーティングしたステンレス製で、幅 δ の切口のある薄肉円筒とで構成される。

薄肉円筒③の切口と反対側の内面に、2枚のストレンゲージ④を接着し、ゲージ端子からのリード線は、⑥にあけたリード線引出し穴⑤より外部に引出す。

連結ねじ棒①、⑦をそれぞれロードセルおよびクロスヘッドと連結している引張試験機の上部および下部チャックに取り付ける。

外圧の測定では薄肉円筒③の円周長さ $2\pi R$ になるように試料布を縫製し、試料長さの位置で縫代部に切込みを入れた図2の円筒状本縫試料布を、あらかじめ③にかぶせておき、クロスヘッドの上昇により設定試料長 $L_{Y,f}$ にする。その後②、⑥の丸棒の段欠き部a、b部分で厚紙を介してホースバンドで本縫試料布を丸棒に固定する。

円筒軸方向（Y方向）の引張りにより、本縫試料布は

図1 試作したアタッチメント

- ①, ⑦: 連結ねじ棒 ②, ⑥: 円筒型試料布固定用段付丸棒 ③: テフロンコーティングした切口のある薄肉円筒 ④: ストレンゲージ ⑤: リード線の引出し穴

円周長さを減じようとするが、中に挿入した薄肉円筒により、ほぼ一定の長さに保たれる。

この場合、本縫試料布の力学モデルを前報¹⁾と同様にY方向には布要素と縫目要素が並列に、円周方向（X方向）には、この二要素が直列に結合したモデルにおくと、本縫試料布の引張り挙動は、前報で述べたように布要素単独の場合の引張り挙動とほぼ同じとみられる。したがって、図2の本縫試料布上のXおよびY方向に単位長さで形成される微小布要素には、図示したように、Y方向

図2 円筒の母線に沿って割縫いたした本縫試料布

に $p_{r,f}$, X 方向に $p_{x,f}$ の単位長さに当たりの引張り力が作用し, $p_{x,f}$ の作用により薄肉円筒に外圧 p が作用することになる。

図1のアタッチメントを使用した場合の外圧 p の検出原理¹⁾を次に述べる。

図3(a)は、切口のある長さ b , 厚さ h , $h/2$ の位置での半径 r の薄肉円筒の変形前の断面を示す。上述の実験方法により、単位面積当りの外圧 p が、図のように円周面上に一様に作用した場合、図中の微小長さ $ds=r d\phi$ の部分の外力 dP は、 $dP=pbrd\phi$ で表わせるから、点 A に関するモーメント dM は、 $dM=pbr^2 \sin \phi \cdot d\phi$ となる。

中心角 ϕ の任意断面 C での曲げモーメント M は

$$M = \int_0^\phi pbr^2 \sin \phi \, d\phi = 2 pbr^2 \sin^2 \frac{\phi}{2} \dots\dots\dots (1)$$

最大曲げモーメントの位置は、 $\phi=180^\circ$ すなわち、切口の反対側の B 点であり、中立面が $h/2$ の位置を通るとすれば、最大曲げ応力は次式のように表わされる。

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{Z} = \frac{6 M_{max}}{bh^2} = 12p \frac{r^2}{h^2} \dots\dots\dots (2)$$

一方、図3(b)のように薄肉円筒に ひもをかけ、ひもの両端をそれぞれ引張り試験機の上、下のチャックに固定し、切口で大きさ等しく反対方向の力 W を接線方向に加える。この場合は、(a)図の下の半円部に示した荷重状態となり、任意断面 D での A 点に関する曲げモーメント M' は

図3 (a): 切口のある薄肉円筒に印加される外力の状態

上半円部: 布を被覆した場合

下半円部: (b)図の場合

(b): 外力の較正方法

(c): 使用したブリッジ回路

G_1, G_3 : 感応ゲージ G_2, G_4 : 補償ゲージ

$$M' = W \cdot r (1 - \cos \phi') \dots\dots\dots (3)$$

最大曲げモーメントの位置は、 $\phi'=180^\circ$ の B 点であり、最大曲げ応力 σ_{max}' は、次式のように表わされる。

$$\sigma_{max}' = M_{max}' / Z = 12 W r / b h^2 \dots\dots\dots (4)$$

$\sigma_{max} = \sigma_{max}'$ とすると

$$W = p b r \dots\dots\dots (5)$$

となり、 W が既知であれば、 p が求まる。

実際には、図3(c)の4枚のストレインゲージで構成されるブリッジのうち、 G_1, G_3 のゲージを感応ゲージとして薄肉円筒の B 点の内面に接着し、 G_2, G_4 のゲージを図1の部番⑥の下端部に接着し、ブリッジを形成した。

図3(b)の方法により、 W とブリッジの出力との関係をあらかじめ求めておき、円筒状本縫試料布の一軸拘束二軸引張りともみられる実験により、種々の布で誘起される外圧 p を測定した。

使用した切口のある薄肉円筒の寸法は、 $b=100$ mm, $h=1.8$ mm, $r=16.1$ mm, $\delta=1.0$ mm であり、この切口のある薄肉円筒の場合の W と p との関係は、図4のような直線関係が得られる。

切口で接線方向に印加した力 W (kg)

図4 使用した外圧検出器の較正線図

3. 本縫試料布の作成と測定方法

3.1 本縫試料布の作成

実験には機械的性質が異なる8種類の布を用いた。表1にこれらの布の構成を示す。

各布より長さ×幅が約 18×15 cm の寸法の大きさの布に裁断し、約2 cm の縫代をとり長さ方向に、円筒の円周長と同じになるように、比較的強度、伸度の大きい50 s のナイロン ミシン糸を用いて割縫いた。

縫製後、試料長 $L_{r,f}$ の位置に切込みを入れ、 20°C , 65% RH の環境条件下で1日間調湿した。

3.2 測定方法

測定では縫製線を薄肉円筒の切口部分に一致させて取付け、 $L_{r,f}=10.7$ cm, 引張速度1 cm/min で、調整と

表1 布の構成

試料記号	布の種類	布の材質, 組成 (%)	組織	密度(cm^{-1})		見掛けの 厚さ(mm)	目付け (g/m^2)
				たて ウェール	よこ コース		
W-1	織物	綿 100	平織	54	28	0.26	129
W-2	"	ポリエステル 100	"	59	36	0.16	61
W-3	"	" 100	"	16	16	0.62	270
K-1	編物	アクリル 100	天竺編	12	18	0.45	128
K-2	"	アクリル 50	ホットマン編	12	12	1.46	342
K-3	"	毛綿 50 100	両面編	12	18	0.52	146
K-4	"	ナイロン 83 ポリウレタン 17	ダブルトリコット編	21	26	0.82	247
K-5	"	ナイロン 74 ポリウレタン 26	パワーネット	13	10	0.52	202

同じ環境条件下で実験を行った。

実験は外圧測定アタッチメントの円筒長さが限られて
いるので、引張りひずみ15%までとした。

試料K-4, K-5は、ガードル用の布であり、これらの
ファウンデーションに使用される布では、実際には初期
ひずみを印加した状態で着用され、また着用時の人体の
動作によりかなりのひずみが印加される⁷⁾。このよう
な場合の測定を目的として、円筒の円周長さよりも短く
なるように縫製した本縫試料布も作成した。これを円筒
に被覆した場合、布には円周方向に初期ひずみ $\epsilon_{x,f,i}$ が
印加されることになる。また、円筒軸方向についても、
予め初期ひずみ $\epsilon_{y,f,i}$ を印加することができるので、初
期ひずみを印加した状態から、さらにY方向に引張った
場合の実験も行った。

薄肉円筒に初期ひずみを印加した試料布を取付けた場
合、検出力は布の応力緩和により時間経過とともに低下
するが、ひずみ印加後、20min 前後の時点ではほぼ一定
の検出力を示すので、ひずみ印加後 20 min 経過した後
にクロスヘッドを作動した。

これらの引張条件は初期ひずみを印加しない場合と同一
である。初期印加ひずみ条件を表2に示す。

表2 印加した初期ひずみ条件

試料	初期ひずみ (%)	
	円周方向 $\epsilon_{x,f,i}$	円筒軸方向 $\epsilon_{y,f,i}$
K-4-0°	10	0
	30	0
	50	0
K-5-0°	10	10
	10	30
	10	50

4. 実験結果

上述の方法により測定した各試料布の外圧-引張りひ

ずみ曲線を、図5および図6に示す。図5は織物の、図
6は編物の結果である。図中の試料記号の末尾の0°およ
び90°は、織物ではたて糸方向およびよこ糸方向が、
編物ではウェール方向およびコース方向が円筒軸方向で
あることを示す。

図中W-1-0°の場合のように、2本の曲線とハッチ
ングが施してあるのは、円筒型に作製するために本縫試
料布の円周長さがやや変動するので、得られた外圧-引
張りひずみ曲線の範囲を示した結果である。

図5および図6に示すように、布の種類、引張り方向
により外圧-引張りひずみ曲線は異なり、また同一ひず
みにおける外圧の値は、織物の方が編物よりも大きい。

本実験で用いた薄肉円筒の曲率は、通常衣服で被覆
する人体各部の曲率¹²⁾より大きく、また円筒と本縫試
料布との間のゆとりは0とみられる。

図5 3種類の織物の $p-\epsilon_{y,f}$ 線図

図6 3種類の編物の $p-\epsilon_{r,f}$ 線図

このような条件では、織物の場合、約10%の引張りひずみで、たとえば人体軟部に障害を与えるといわれている衛生学的許容値⁵⁾として 40 g/cm^2 をとると、これ以上の外圧が検出された。一方、編物では15%のひずみが印加されても 40 g/cm^2 よりかなり低い値を示す場合が多い。

上述の結果は、一軸拘束二軸引張りともみられる実験の場合であるが、一般に知られているように、織物は編物に比較して、引張りにより誘起される外圧は大きい。

人体各部の曲率¹²⁾は本実験の場合の曲率より小さく、使用した試料布を衣服として、ゆとりをとらずに縫製した場合でも外圧は低下するが、織物を用いて被服を製作する場合には、適当なゆとりが必要となる。また、織物では、たて糸方向を人体の身長方向にとり、裁断することが多い点からも、ゆとりが必要である。

次に、表2に示したように、本縫試料布に初期ひずみを印加した状態から、さらに引張りひずみを印加した場合の2種類の編物についての測定結果について述べる。

図7は円周方向に、図8は円筒軸方向にそれぞれ初期ひずみを印加した場合の結果である。

図7では、円周方向の初期ひずみの値が大きくなるにしたがい、検出圧力は高くなり、また、曲線のひずみ軸に対する勾配は、やや高くなる。

図8は、 $\epsilon_{x,f,i}=10\%$ と一定に、 $\epsilon_{y,f,i}$ を10, 30, 50%と変化した場合の結果を、 $\epsilon_{y,f,i}=0$ を基準としたひずみ軸に書き表わした図である。応力緩和現象の大きいK-5試料では、緩和現象の小さいK-4試料よりも $\epsilon_{y,f,i}$ が異なった各曲線の連続性が悪くなる。

このように初期ひずみ $\epsilon_{x,f,i}$ 、または $\epsilon_{y,f,i}$ を印加した時の外圧のひずみ依存性を測定することにより、フ

図7 円周方向に初期ひずみを印加した場合の2種類の編物の $p-\epsilon_{r,f}$ 線図 図8 円筒軸方向の初期ひずみ $\epsilon_{x,f,i}$ を10, 30, 50%と変化した場合の2種類の編物の $p-\epsilon_{r,f}$ 線図

ウンデーションの着用時の外圧の程度を検討することができる。

5. 考 察

図9は縫製前に布面上に $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ の基盤割の墨入れ線を墨入れしたK-3試料布で作成した本縫試料布に引張りひずみ $\epsilon_{r,f}$ 0, 15, 30%を印加した場合の布要素部の変形状態を示す。

変形印加前後の墨入れ線を比較すると、円筒軸方向では、 $\epsilon_{r,f}=15\%$ の場合、布要素のいずれの部分においてもほぼ均一な変形が生じている。 $\epsilon_{r,f}=30\%$ では、薄肉

図9 基盤割の墨入れ線を墨入れしたK-3試料

円筒を被覆している部分と、写真上方の ひずみ印加により円筒を被覆しない部分とでは変形量が異なり、後者の部分の変形量が大きい。

一方、円周方向では、 $\epsilon_{Y,f}=15\%$ の場合および $\epsilon_{Y,f}=30\%$ で円筒を被覆している布要素部分では、 $\epsilon_{Y,f}=0\%$ の場合と同じ長さに保たれている。

このような変形状態の観察結果より、 $\epsilon_{Y,f}=15\%$ までは薄肉円筒を被覆した本縫試料布は、一軸拘束二軸引張状態を保つとして、この ひずみまでの外圧特性を測定した。

また、一般の衣服はある程度の ゆとりがあり、さらに皮膚と布間などの すべりにより、約15%程度変形すれば種々の人体動作に適応できるという観点¹⁰⁾にたてば $\epsilon_{Y,f}=15\%$ までの測定ができればよいものと思われる。

図10 アタッチメントを使用した円筒状本縫試料布の引張りと一軸拘束二軸引張りとの比較

図11 図10の(a)と(c)の引張り実験結果の比較

上述した $\epsilon_{Y,f}$ 印加前後の墨入れ線の観察とは別に、岩本製作所製ビストロンにより同じ試料布についての一軸拘束二軸引張試験¹³⁾の結果と比較検討した。比較の方法を模式的に図10に示す。

図10(a)は、本実験の円筒状本縫試料布の $\epsilon_{Y,f}$ 印加前後の状態を、(b)はその時得られる $p-\epsilon_{Y,f}$ 曲線を示した図である。

一方、(c)はビストロンの場合の $\epsilon_{Y,f}$ 印加前後の状態を、(d)はこの際のX方向の張力 $P_{X,f}$ とY方向のひずみ $\epsilon_{Y,f}$ との関係を模式的に示した図である。

(a)に示したように、外圧 p は引伸ばされた布の内、長さ b の薄肉円筒を被覆した布要素部分について検出しているので、 b 当たりのX方向の張力は、(5)式より $W/b=p \cdot r$ となる。これを(e)中に実線で示した。一方、ビストロンの測定結果の $P_{X,f}$ を、引張り後の長さ当たり、すなわち $P_{X,f}/\{L_{Y,f}(1+\epsilon_{Y,f})\}$ として、(e)中に破線で示した。

この両曲線が一致すれば、(a)に示した実験方法の場合に、本縫試料布には一軸拘束二軸引張りが印加されたとみられる。

図11は測定例として試料布中もっとも p の値が大きいW-1-0°の場合の図5をプロットし直し、同じ試料のビストロンによる結果を上述の方法で処理し、比較した図である。

両測定方法による結果はほぼ一致しており、円筒状本縫試料布には一軸拘束二軸引張りが印加されているとみてよいようである。したがって、本実験で試みた被覆物体におよぼす外圧を直接測定する方法は、一応妥当と考えられる。

6. 総 括

通常の引張試験機と、金属製の切口のある薄肉円筒を用いて円筒状に縫製した布の引張りにより誘起される圧迫力を直接測定することを試みた。この場合、布は一軸拘束二軸引張り状態となる。

ゆとりをとらずに円筒物体を被覆した場合の実験より、従来からいわれているように、織物の方が編物よりも布の引張りに伴い誘起される圧迫力が、一般的に大きいことを実験的に確かめた。

本報では、外圧により被覆される物体が、ほとんど変形しない場合が対象であった。

実際の被服の場合、特に身体軟部を被覆するときには、被服の引張りにより身体自身も変形し、誘起される外圧は減少するとみられる¹⁴⁾。この減少の程度は、身体各部の圧縮変形挙動と関連すると思われるが、このような解析例は、まだ少ないようである。

外圧の測定結果と、被服の ゆとり寸法のとり方との関連については、上述のように被覆される物体の力学的性質も関連するので、定性的に、一般に編物よりも織物の場合にゆとり寸法を大きくとる必要があるといえる。

(本報の大部分は、昭和50年10月24日、第7回、繊維連合研究発表会で発表した。)

文 献

- 1) 堀野, 川西; 繊維論文集, **26**, T155(1973)
- 2) S. M. Ibrahim; Text. Res. J., **38**, 950(1968)

- 3) 渡辺, 中橋, 田中; 家政誌, **20**, 252 (1969)
- 4) 米田; “衣服衛生学”, 第5章, 化学同人 (1973)
- 5) 川生; 国民衛生, **20**, 255 (1943)
- 6) 繊維特性評価委員会編; “繊維計測便覧”, p. 407, 日本繊維機械学会 (1975)
- 7) Wm. Kirk, S. M. Ibrahim; Text. Res. J., **36**, 37 (1966)
- 8) 丹羽, 川端; 繊維論文集, **23**, T159 (1970)
丹羽, 七島, 山田, 古里; 消費科学, **12**, 61(1971)
- 9) P. Grosberg; “Structural Mechanics of Fibers, Yarns, and Fabrics”, 第10章, Wiley-Interscience, (1969)
S. Kawabata, M. Niwa, H. Kawai; J. Text. Inst., **64**, T21, T47 (1973)
川端, 丹羽, 七島, 河合; 繊維論文集, **23**, T95, T120, T223 (1970)
柳川, 川端, 河合ほか; 繊維論文集, **23**, T36, T48, T211, T238 (1970); **24**, T75, T223 (1971)
- 10) 石川編; “新被服材料学”, 第4章, 同文書院(1972)
- 11) 例えば, 津村, 小玉; “材料力学”, 第8章, 共立出版 (1956)
- 12) 松川編著; “被服材料学・被服機構学・被服衛生学”, 第4章, 光生館 (1970)
- 13) 坂口, 川端, 河合, 裕; 材料, **17**, 356 (1968)
- 14) 渡辺, 田村ほか; 家政誌, **23**, 325 (1972); **26**, 366 (1975)