シングルトリコット編布の二軸伸長特性 に関する実験的研究[†]

京都工芸繊維大学	柳	川	良	樹 (会員)
京 都 大 学	川	端	季	雄 (会員)
京都工芸繊維大学	中	川	建	次
京都工芸繊維大学	当	山	清	徳
京 都 大 学	河	合	弘	廸 (会員)

Experimental Investigation of the Biaxial Tensile Properties of Warp Knitted Fabric of Single Tricot Stitch

Yoshiki Yanagawa,* Suelo Kawabata,** Kenzi Nakagawa,*
Kiyonori Tōyama* and Hiromichi Kawai**

*Department of Textile Technology, Kyoto Technical University, Kyoto

**Department of Polymer Chemistry, Kyoto University, Kyoto

Abstract

A theory of the biaxial tensile properties of warpknitted fabrics was developed in previous paper. And the tensile properties of single tricot stitch with close lap were calculated under given conditions such as fabric structure and mechanical properties of yarn.

In this paper, the biaxial tensile properties of some of actual fabrics are calculated using the theoretical formula presented in previous paper. And also these properties are measured by using biaxial tensile tester for comparing with theoretical values.

Theoretical curves of biaxial load-extension relations showed good agreement with measured ones over the whole range from the initial tensile region to the ultimate region.

It is concluded that the biaxial tensile properties of single tricot fabric can be calculated with good accuracy if the tensile property of yarn and the structure constants of knitted fabric are given.

(Received December 6, 1969)

摘 要

目 的 閉じ目シングルトリコット編布の二軸伸長特性を理論式を用いて数値計算する。

一方、実験によりそれらの特性を実測し理論曲線と実測曲線を比較して、本理論の妥当性を検討する。

成 果 糸の力学的特性と編構造から、フィラメント糸で編成されたシングルトリコット編布の二軸伸長特性を理論計算した、そしてこの理論曲線と実測曲線の間にかなりよい一致のみられることを明らかにした。したがって本理論でシングルトリコット編布の二軸伸長特性をあらわせることが実証できた。

(昭和44年12月6日受理)

1. 緒 言

別報¹⁾において、閉じ目のシングルトリコット編布の二軸伸長特性を、編構造と糸の力学的特性から求める計算法を誘導した。本報ではエラストマなどの高分子材料

の二軸伸長特性のために設計された大変形用二軸引張試験機を用いて、フィラメント糸により編成されたシングルトリコット編布の二軸伸長特性を実測し、理論計算結果と実験結果との比較を行ない、理論の精度を検証する。

[†] “たて編布の二軸伸長特性に関する研究” 第2報とする。

2. 理 論¹⁾

理論を用いて応用計算するために、二軸伸長変形理論の概要を述べる。

まず糸が伸びずに曲がり形状が交差部分を除き、まっすぐな形状をとる伸長比、境界伸長比 λ_c を求め、これを境にして伸長過程を糸の曲げ変形領域と糸伸長変形領域の2つに分けて、別々に解析し、再者の結果を合成する。

伸長比 λ は伸長ひずみを ε として、 $\lambda=1+\varepsilon$ と定義し、単位構造の糸の長さを l 、糸の直径を D として

$$L=l-(1+\pi)D \quad \dots\dots\dots(1)$$

とおく。境界伸長状態のコース間隔 y_{1c} 、ウエール間隔 y_{2c} を L で除して

$$Y_{1c}=y_{1c}/L, \quad Y_{2c}=y_{2c}/L, \quad d=D/L$$

とすると、境界伸長状態の幾何学的形状より D/L をパラメーターとする $Y_{1c}-Y_{2c}$ の曲線が得られる。したがって境界伸長比 λ_{c1} , λ_{c2} は、この曲線と

$$\left. \begin{aligned} Y_{1c} &= k_1(y_{01}/y_{02}) \cdot (Y_{2c} - y_{02}/L) + y_{01}/L \\ \text{または} \\ Y_{2c} &= k_2(y_{02}/y_{01}) \cdot (Y_{1c} - y_{01}/L) + y_{02}/L \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(2)$$

との交点の座標 $[Y_{1c}]$, $[Y_{2c}]$ を読み取り、

$$\lambda_{c1}=[Y_{1c}]/(y_{01}/L), \quad \lambda_{c2}=[Y_{2c}]/(y_{02}/L) \quad \dots\dots\dots(3)$$

により算出する。ここで k_1 , k_2 は変形様式で、 $\varepsilon_1 < \varepsilon_2$ のとき $k_1 = \varepsilon_1/\varepsilon_2$, $\varepsilon_2 < \varepsilon_1$ のとき $k_2 = \varepsilon_2/\varepsilon_1$, $\varepsilon_2 = \varepsilon_1$ のとき $k_1 = k_2 = k = 1$, y_{01} , y_{02} は変形前のコース間隔、ウエール間隔を表わす。

糸の曲げ変形領域においては、変形前の各ループはすべて円弧の形態をとるという近似等価変換を行ない、糸間の摩擦を無視してこの円弧が伸長されるとして、引張荷重を計算する。まず、伸長にともなうループの交点の移動も考慮した単位構造の変形モデルを定める。そしてシンカー ループ、ニードル ループそれぞれの円弧の弦と X_2 軸とのなす角 φ_{21} , φ_{22} 、円弧の両端、弦の方向に作用する力を P' , P'' とすると、コース方向の力 F_2' , F_2'' は

$$F_2' = P' \cos \varphi_{21}, \quad F_2'' = 2P'' \cos \varphi_{22} \quad \dots\dots\dots(4)$$

であるから、シンカー ループの長さ L_a' (またはニードル ループの長さ L_a'') を順次変えて F_2' , F_2'' を別個に計算し、

$$F_2 = F_2' = F_2'' \quad \dots\dots\dots(5)$$

が満足される値を図式解法により求める。一方、ウエール方向の力 F_1 は次式で計算できる。

$$F_1 = F_2(y_{21}/y_{22}' + y_{21}/y_{22}'') \quad \dots\dots\dots(6)$$

ここで y_{21} は伸長比 λ におけるウエール間隔、 y_{22}' , y_{22}'' はシンカー ループ、ニードル ループのコース方

向の長さである。

境界伸長状態以後の糸の伸長変形領域では糸は滑らないと仮定し、シンカー ループ、ニードル ループそれぞれの糸の伸長比 λ_1' , λ_2'' 、糸張力 $T'=f(\lambda_1')$, $T''=f(\lambda_2'')$ 、交差角 φ_{s1} , φ_{s2} の変化より、伸長比 λ_1 , λ_2 と荷重 F_{s1} , F_{s2} の関係を計算する。すなわち、曲げ変形領域の計算と同様にコース方向の力の釣合いを考えたと次式が成り立つ。

$$F_2 = F_{s2}' = f(\lambda_1') \cos \varphi_{s1} = 2f(\lambda_2'') \cos \varphi_{s2} = F_{s2}'' \quad \dots\dots\dots(7)$$

よってシンカー ループのコース方向の伸長比 λ_{s2}' (またはニードル ループの λ_{s2}'') を変化させ、 F_{s2}' , F_{s2}'' を別々に計算し、 λ_{s2}' をよこ軸とする図上の交点から F_{s2} を求める。 F_{s1} は

$$F_{s1} = F_{s2}(y_{s1}/y_{s2}' + y_{s1}/y_{s2}'') \quad \dots\dots\dots(8)$$

により得られる。

以上の計算によって、 $\lambda=1$ から λ_c までの間で引張荷重が0から無限大に変化する糸の曲げ変形領域と、 λ_c を出発点とする糸伸長変形領域とが得られる。しかし伸長の全過程を通じて、この2つの変形は同時に生じているため、曲げ領域の特性を糸伸び領域の特性分だけ糸伸び側にずらすことにより、両者の特性を合成する近似法をとる。この合成曲線が編布の二軸伸長の理論曲線を与える。

3. 実 験

3.1 理論の実際的応用法

閉じ目 シングル トリコット 編布の二軸伸長特性の理論計算に必要な構造定数や力学定数は、編布の構造と編布を構成する糸の力学的特性から決定されるが、これら定数の具体的な決定法について述べる。

3.1.1 編布構造および糸の直径

コース密度 v 、ウエール密度 u 、単位面積当たりの布重量 W 、単位長さ当たりの糸重量 w を与えると、計算に必要な構造パラメーターは次式により求まる

$$\left. \begin{aligned} y_{01} &= 1/v \\ y_{02} &= 1/u \\ l &= W/(u \cdot v \cdot w) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(9)$$

糸の太さ D の決め方は糸がふくらみのある集合体であるだけに困難であるが、ここでは第1図に示すように繊維が最密充てんした場合の糸の短径を与えることにし、糸の構成繊維本数 N と繊維の直径 d' より、次式を用いて計算し、あとで測定結果との比較により、この妥当性を確かめる。

$$\left. \begin{aligned} N &= 3m^2 + 3m + 1 \\ D &= (2m+1)d' \cdot \cos 30^\circ \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(10)$$

3.1.2 糸の力学的特性

第1図 繊維が最密充てんした糸断面と糸の太さ

糸伸長変形領域の理論計算に当たり、(7)式に示したように、糸の伸長特性を直接計算式に代入する。このため編布を構成する糸と同じ糸について、その伸長特性を測定し、計算に用いた。引張速度は20mm/minで、編布を二軸伸長するときの速度とほぼ同じである。

繊維の弾性係数 E は、単繊維の荷重-伸長曲線の比較的伸長初期でかつ直線的な立ち上がり特性より求め、断面二次モーメント I は単繊維の断面を円に近似し、次式により計算した。

$$I = \pi d^4 / 64 \quad \dots\dots\dots (11)$$

糸の曲げ剛性 EI は、このようにして計算された単繊維の EI に構成繊維本数を乗じた値を用いた。

3.2 実験および理論計算に用いた試料

理論の検討のために構造が極端に異なる閉じ目シングルトリコット編布をナイロンフィラメント糸、30, 50, 100デニールを用いて編成した。前述の方法で求めた各編布の構造パラメーターを第1表に示す。

第1表 実験および理論計算に用いた試料

	No. 1	No. 2	No. 3
使用糸	ナイロン 30den. 6フィラメント	ナイロン 50den. 12フィラメント	ナイロン 100den. 24フィラメント
糸の EI , $g \cdot mm^2$	0.01068	0.02167	0.0631
編目長, mm	1.967	2.325	2.430
ウエール間隔, mm	0.727	0.833	0.9091
コース間隔, mm	0.2083	0.250	0.250
糸の直径, (短径) mm	0.0598	0.0780	0.1108

100デニールで編成した布は、構造が密で編成できる最高密度に近く、 D/L の比が大きな値をとる。一方30デニールの編布は D/L が最も小さく、構造が不安定になる限界の構造である。また伸縮性も大きい。

第2図にこれら糸の伸長特性を示す。同じ種類のナイロン糸であるが、3種の糸は図のようにかなり異なった特性を示す。

第2図 糸の伸長特性

3.3 実験装置および方法

編布の二軸伸長特性を実測するための実験装置には、坂口、川端²⁾らによって試作された平板試料の二軸引張試験機を用いた。第3図はその外観である。本機は試料に

第3図 二軸引張試験機外観

直角2方向のひずみを与えて、それぞれの方向の伸長に要する荷重を検出する機構を有し、両軸の荷重、伸びを同時に記録できる。エラストマなどの大変形時の挙動を測定するために製作されたものであるが、織物のような特殊な構造体の二軸伸長特性の測定にも利用できることが丹羽³⁾らによって確認されている。本実験においても丹羽らの場合と同様に、11.3cm×11.3cmの大きさの試料を用い、その周辺部のほつれやランを防ぐため周辺部を軟質接着剤(ソニーボンドタフを用いた)により補強し

た. チャック間距離9.5cm, 有効試料長7.5cm, 引張速度20mm/min である.

変形様式は第4図に示すように $k_1 = -0.1, 0, 0.5$,

第4図 変形様式 (点線は一軸引張実測値)

$k_2 = -0.1, 0, 0.5$ および $k_1 = k_2 = 1$ の7種類に変化させ, それぞれについて実測および理論計算を行ない, 理論の精度を検証した. 点線は30デニールの編布の一軸伸長の場合の2方向の伸長比の関係を示すもので, この2つの点線で示された曲線につつまれる全領域が二軸伸長変形領域である. このため代表値として上記の k_1, k_2 を用いた. なお他の50, 100デニールの編布の二軸伸長もほぼ同様に行なった. k_1, k_2 が -0.1 の値をとる場合は, やはりこの試料についても二軸変形領域内にある.

3.4 理論値と実測値との比較

3.4.1 糸の曲げ変形領域

糸の曲げ変形領域における引張荷重は, 糸伸びを無視して, 円弧状のループを引き伸ばしていくのに必要な力として計算する. このため荷重は0よりしだいに大きくなって, 境界伸長比 λ_c で無限大になるが, 本領域は比較的低荷重領域の伸長特性を支配するものである. 理論が正しいならば理論曲線は実測値にくらべると糸伸び効果を無視しているので同じ伸長比でも荷重が大きくなるが, 低伸長領域では伸び効果を無視できることは次の伸長領域での特性からも推定できるので, 実測値と一致するはずである.

変形様式 k_1, k_2 を $0, 0.5, 1$ と変化させて, 前述の試料を用いて二軸伸長特性を測定した結果と本領域の計算値を第5図に示す. たて軸は単位構造当たりのウェール方向およびコース方向の荷重 F_1, F_2 を示し, よこ軸は伸長比を表す. 30, 50デニール糸を用いた編布の $k_1 = 0$ の場合, すなわちウェール方向を拘束してコース方

第5図 曲げ変形領域

向に引張った場合を除き, いずれも低伸長域で良い一致が見られ, 理論の妥当性が確認される. 30, 50デニール編布の $k_1 = 0$ の場合, 理論値が少し高く現われる.

3.4.2 糸の伸長変形領域

曲げ領域で示したのと同じ変形様式, 同じ試料についての, 実測値と伸長変形領域の理論値との比較の例を第6図に示す.

理論上, 本領域の計算値は境界伸長比 λ_c を出発点としてほとんど糸の伸長特性のまま急激に立ち上がり, 実測値にしだいに近づき, 荷重が無限大になったとき, 実測値に一致する. 図においてこの理論がかなり高い精度を持つことがわかる. しかし荷重の高い領域, 特に破断点近くで100デニール編布の場合は, 理論値と実測値は他の試料よりも多く交差する. これは実測値の測定誤差, 編目長を算出するときの誤差などによることも考えられ

(a) 30den 編布

(b) 50den 編布

(c) 100den 編布

第6図 糸の伸張変形領域

るが、構造定数が異なっても同じ傾向を有すること、糸の太い程この傾向が大きいことなどから、張力の増加にともなう糸直径の変化によるものであることが推定される。しかし全体として見ればループ長に比べ直径が小さいためこれが伸長特性に与える影響は小さく、特に厳密な解析を必要とする場合以外は、糸直径は変化しないとして十分である。

3.4.3 2領域の特性の合成

以上の糸の曲げ変形領域と糸伸長変形領域の計算結果を前述の方法で合成すると、シングルトリコット編布

第7図 2領域の合成例 (100den 編布)

(a)

(b)

第8図 30den 編布の理論値と実測値の比較

第8図 30den 編布の理論値と実測値の比較

第9図 50den 編布の理論値と実測値の比較

測値の比較の数例をあわせて示す。

図よりわかるように、どの試料についても、 $\lambda_1 > \lambda_2$ の場合、すなわちよこ方向の伸長比よりたて方向の伸長比が大きい場合、実測値と理論値はよい一致を示し、特に $k_2=0$ ではほぼ完全に一致する。逆に $\lambda_1 < \lambda_2$ で、30, 50 デニール編布の場合、低伸長域と高伸長域で理論値と実測値が一致、または近い値を示しても、境界伸長比前後では両曲線のはずれが目立つ。

なお k_1, k_2 が -0.1 の場合、上述とは幾分異なる傾向を示すのは、測定誤差が大きいためである。すなわち、この場合ウエルまたはコースのどちらか方向の伸長比を1より小さくする必要があり、その縮める操作を手動により行なったためである。

しかし全体として、実測値と理論値は、その編構造の複雑さを考慮すれば、かなりよい一致を示しており、本理論により二軸伸長の特性を計算により求められることが明らかになった。

の二軸伸長特性の理論曲線が得られる。第7図に両領域の計算値と合成値および実測値の1例を示す。また第8～10図に他の変形様式および試料についての理論値と実

第10図 100den の編布の理論値と実測値の比較

4. 考 察

4.1 糸の太さについて

理論式では糸の直径を繊維が最密充てんした糸の短径と決め、糸の太さは全伸長過程を通じて、単位構造内の

どの部分においても同じであるとした。この具体的な値は実測値と、かずかずの直径を用いて計算した伸長領域の理論曲線との比較により決定した。第11図はその1例を示す。最密充てん糸の短径、長径およびその平均値の3つを用いた計算結果を示すが、短径を理論計算に用い

第11図 糸の直径の決定

た場合、実測値に最もよく合うことがわかる。

しかし、糸の太さを常に一定として理論計算すると、前述第6図に示すように、糸が太いほど糸伸長変形領域の理論曲線は実測値と高荷重において交差し、実測値より大きい値となる。第12図は破断点近くまで二軸伸長し

(a) ナイロン 100den 編布
($\lambda_1=1.4$, $\lambda_2=1$)

(b) ナイロン 50den 編布
($\lambda_1=1.45$, $\lambda_2=1$)

第12図 高伸長時の編目構造

たときの編布形状の1例である。ニードルループの上部で糸が押しつぶされ、偏平になることが観察される。

本理論においては、この糸の直径の減少を考慮しなかったため、糸の伸長変形領域の特性と実測曲線が交差したのであろう。しかし第10図の合成曲線と実測曲線との比較で見られたように100デニールの糸で編成した試料の場合においても、この誤差が伸長過程全体に与える影響は小さい。したがって特に精度の高い理論計算を必要とするとき以外は、この直径変動を考慮した修正計算をする必要はなく、本理論は糸の太さを常に一定として用いても実用上十分の精度を持つことは明らかである。

4.2 実測値と合成値の相違

前第7～10図に示したように、 k_2 の小さいとき、すなわちウエール方向の伸長比がコース方向の伸長比に比

べて大きいとき、理論値と実測値の一致度は高くなり、 k_1 の小さいとき、すなわちコース方向の伸長比がウエール方向より大きいとき、構造がルーズな30, 50デニールの編布において理論値と実測値の不一致が目立つ。これはつぎの理由によるものと思われる。

糸の曲げ変形領域においては単位構造は3つの円弧からなると仮定し、それらの円弧を引き伸ばすに要する力から編布の引張荷重を計算する。しかしウエール間隔、コース間隔が小さく、編地がルーズで、ループ長が長い場合は、弛緩状態では第13図(a)に示すようにニードルループの1つとシンカーループとは1つの円弧を形作

(a)

(b)

(c)

第13図 ルーズな構造のループの変形

る。この円弧はウエール方向の伸長比が大きい場合、伸長されると第13図(b)のように、ループの交点を一端とする2つの円弧にわかれ、仮定した構造モデルに近い状態をとる。このため k_2 の小さいとき、理論の精度は高くなる。一方コース方向の伸長比が大きい場合は、伸長比がかなり大きくなるまで第13図(c)に示すようにニードルループの1つとシンカーループは1つの円弧の状態を保つ。このため、理論値は実測値より大きな値を示すと思われる。

100デニールの編布の場合、 $k_1=0$ でも実測値と理論値の不一致が小さいのは、編布が密で、仮定したモデルに近いループ形状を持つためである。

しかし、50, 30デニールの糸を用いた編布においても、上述の理論値と実測値の不一致は大きいものではなく、本理論の計算により編布の二軸伸長特性を実用上支えなく計算できる。

4.3 糸間の摩擦

本研究で編成糸として30, 50, 100デニールの3種のナイロン糸を用いたが、これら3種の糸の伸長特性およ

び曲げ剛性 EI は前述のように大きく異なっている。このように大きく構造定数が異なり、糸の性質も異なるこれらの試料により本理論の妥当性が確認されたので、本実験で用いたナイロン糸以外のフィラメント糸で編成された編布にも本理論は適用できるであろう。しかし本実験で用いたのと異なる種類の糸を用いた場合、本理論に影響を与える因子として、力学的特性のほかに摩擦係数がある。この摩擦係数がどのように影響するかを調べるため、前述の試料に油剤（ソルゾール No. 400-P）を5%塗布して、糸間の摩擦係数を小さくし、その二軸伸長特性を実測して、油剤を塗布しない場合と比較した。なお摩擦係数は糸を直交させ、接触角 90° で測定した。この結果を第2表に示す。

第2表 摩擦係数

	油剤有	油剤無
100デニール, ナイロン糸	0.13	0.22
30デニール, ナイロン糸	0.17	0.28

第14図に油剤の有無、すなわち糸間の摩擦係数を変えた場合の二軸伸長特性の違いを示す。摩擦係数がかなり異なっているにもかかわらず、よく一致し、境界伸長比前後で油剤を塗布した方がわずかに低い値を示すだけで、摩擦係数の影響は小さく、本理論が他のフィラメン糸により編成された編布にも適用できることがわかる。

第14図 摩擦係数の影響

5. 結 語

シングル トリコット編布の二軸伸長理論を用いて、編布の二軸伸長特性を理論計算し、一方において二軸引張試験機を用いて実測した値と比較、検討した。その結

果、フィラメント糸を用いた編布においては全般に理論曲線と実測曲線の間にはかなりよい一致がみられ、本理論の妥当性が確認された。特にウェール方向の伸長比の大きい二軸引張り、および密な編布の場合、本理論が高い精度を持つことが明らかになった。

終わりに、本研究に用いた試料を提供いただいた大阪府繊維工業指導所大阪分室並びに大和紡績株式会社に厚く感謝の意を表わし、あわせて本研究に対し、討論いただいた京都大学工学部高分子化学教室内、繊維集合体力学研究会の諸氏に謝意を表わす。

文 献

- 1) 柳川, 川端, 河合; **23**, T 36 (1970)
- 2) 坂口, 川端, 河合, 裕; 材料, **17**, 365 (1968)
- 3) 丹羽, 川端, 河合; 本誌, **22**, T 85 (1969)