報 文

一般報文

(昭和50年3月17日受理)

無撚糸織物の引張りにおける初期挙動について

岐阜大学工業短期大学部 渡辺 明
岐阜大学工学部 黒崎新也・近田富士雄

THE BEHAVIOR OF TWISTLESS-YARN FABRIC IN THE INITIAL EXTENSION

By Akira Watanabe, * Shinya Kurosaki** and Fujio Konda**

* (Junior Technical College, Gifu University, Kakamigahara City, Gifu Prefecture, Japan)

** (Faculty of Engineering, Gifu University, Kakamigahara City, Gifu Prefecture, Japan)

Recently, the twistless yarns and their fabrics have been developed. In previous paper, it was shown that the rupture forces of the twistless yarn fabrics were as same as those of the conventional twist yarn fabrics. The considerations were based upon the compressive forces working at the intersecting points of the yarns in the fabrics and inter-fiber frictional forces which increase with tension.

In this paper, the initial extensional properties of the twistless yarn fabrics (T_0F) and the twist yarn fabrics ($T_{2.6}F$) are comparatively discussed, concerning the changes of yarn cross-section shapes and sizes (Fig. 8), yarn packing factors (Fig. 9) and yarn crimp angles (Fig. 10) during extension. The aspects of the fabric cross-sections are shown in Fig. 7. The various factors of equation (7) are obtained by above experimental results. (Table 2) Fig. 12, the initial regions of load-elongation curves both twistless and twist yarn fabric, are calculated from the equation (7). The calculated and experimental results are compared in Fig. 13. The difference between the twistless and twist yarn fabrics are remarkably characterized by the aspects of initial regions of load-elongation curves. That seems to depend on the differences of mobility of fibers in both fabrics.

(Received March 17, 1975)

1. 結 言

近年、無撚糸および無撚糸織物が新しく開発されている。Tex-Ja糸、T. N. O.糸などの製法とその織物の特性について、R. D. Wells¹⁾、J. W. Powischill²⁾、H. J. Selling³⁾、P. R. Load⁴⁾らが報告している。われわれは、前報⁵⁾において、無撚糸自身はほとんど強力をもたないが、その織物は引張りによって、糸と糸の交錯点に側圧力が発生し、繊維間摩擦力が増加するため、従来の撚糸織物と同程度の破壊強力を示すことを理論的に考察し、実験結果との一致を示した。

織物の初期伸長特性は、しわ回復、圧縮特性、曲げ特性などと同様に、実用的見地からみて、きわめて重要な特性であり、織物構造に関連した基本的な問題の1つで

ある。無撚糸織物の初期伸長特性を研究することは、この立場から意義あると思われる。

従来、織物の初期伸長特性に関する研究は、数多く報告されている^{6~10)}。これらの論文において、糸を圧縮されない弾性体として取扱っている研究が多く、初期の荷重-伸長曲線は、主として織物中の糸のクリンプ角の変化によって決定されるとしている。従来の織物は、加撚糸からできており、引張りの初期においては、織物中の糸のパッキング率、断面形状などの集合性の時間的变化は、ほとんどないと考えられる。しかし、無撚糸織物では、引張りによって織物中の繊維が大きく移動するため、従来の考え方に、さらに糸構造の変形依存性を考慮する必要がある。

本報は、無撚糸織物の初期の引張りにとまなう糸のバ

ッキング率、糸の断面形状および寸法、糸のクリンプ角などの時間的変化を追跡し、従来の燃糸織物との違いを実験的に明らかにした。また、これらの因子をもとにして、無燃糸織物の初期の荷重-伸長曲線を理論的に考察し、燃糸織物と比較検討した。

2. 試料および実験方法

2.1 試料

a) 糸：原料は繊維長 51 mm (等長)、織度 2 d のビスコスレーヨンで、粗紡機あがりの粗糸 (1.5 番手) を用いた。無燃糸は前報と同様に図 1 の無燃糸作成装置により紡績した。糊材は、5% P. V. A. 溶液で、付着量は 5~7% である。紡出番手は、22^s である。燃糸は従来のリング精紡機を用いた。燃係数は 2.6 で、番手は、22^s である。

また、織物の初期の引張りにともなう構造の変形依存性を詳細に観察するために、1.5^s の無燃糸と燃係数 2.6 の燃糸を紡績した。

b) 織物：織物は、手織織機を用いて製織した。織物中の糸密度を表 1 (a) に示す。経糸密度、緯糸密度の代

Fig. 1 Apparatus for the production of twistless yarn.

- A : Drafting part
- B : Convergenter
- C : Sprayer
- D : 5% P.V.A. Solution
- E : Dryer
- F : Twistless yarn

Table 1 Yarn density of the fabric.

	Sample number		Yarn count ('S)	Yarn density in the tensile direction (N/cm)	Yarn density in the normal direction to tensile (N/cm)
	T ₀ F	T _{2.6} F			
(a)	No. 1	No. 4	22	21	17
	No. 2	No. 5	22	21	25
	No. 3	No. 6	22	21	30
(b)	T ₀ F(M)	T _{2.6} F(M)			
	No. 7	No. 10	1.5	4.3	2
	No. 8	No. 11	1.5	4.3	3
	No. 9	No. 12	1.5	4.3	4

T₀ F: twistless yarn fabric

T_{2.6} F: twist yarn fabric with 2.6 twist factor

T₀ F(M): twistless yarn fabric (model)

T_{2.6} F(M): twist yarn fabric (model)

わりに、織物の引張り方向の糸密度、引張りに直交する糸密度で表わした。22^s の糸の無燃糸織物を T₀ F、それに対応する燃糸織物を T_{2.6} F で表わす。

また、1.5^s の糸の無燃糸織物と燃糸織物をモデル織物と呼び、それぞれ T₀ F (M)、T_{2.6} F (M) で表わす。モデル織物の糸密度を表 1 (b) に示す。

燃糸織物は製織の際、P. V. A. を経糸糊材として用いた。製織後、無燃糸織物、燃糸織物がともに同じ条件になるように、50℃の温水中で P. V. A. の糊抜きを行ない、標準状態に調湿した。

2.2 実験方法

22 番手の糸の織物 (T₀ F、T_{2.6} F) と、1.5 番手の糸のモデル織物 (T₀ F (M)、T_{2.6} F (M)) の引張り試験を、インストロン型テンサイルテスターで行なった。試料の大きさは、試長 10 cm、幅 5 cm で、引張り速度は 20 mm/min である。

22 番手の糸の無燃糸織物 (No. 1~No. 3) と、燃糸織物 (No. 4~No. 6) を、Diacotton Rhoduline Red B で染色し、標準状態に調湿したのち、固定剤 (パラフィン、エチルセルロース、ステアリン酸を 2:1:1 の割合で溶解したもの) で固めた。そのたて方向、よこ方向の断面を顕微鏡で観察し、写真をとった。

織物を引張ることによって、織物中の糸がどのような挙動を示すか、また断面形状がいかに変化するかを、モデル織物 (No. 7~No. 12) を用いて、詳細に検討した。

Diacotton Rhoduline Red B で染色したモデル織物を、0%、5%、10%、15%、20%、切断寸前の各伸度まで引張り、その状態のまま鉄製の枠で織物を把持し、さらに固定剤を流して織物を固定した。各試料の中央におけるたて方向よこ方向の断面を、カセットメーターで観察し、写真をとった。その写真より、糸の形態、糸の中心の位置、糸のクリンプ角、糸の長径および短径などの因子について測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 結果

22 番手の糸の無燃糸織物と燃糸織物の荷重-伸長曲線を図 2 に示す。同じ糸密度の T₀ F と T_{2.6} F を比較すると、引張りの初期においては、同一伸度における荷重が T₀ F よりも T_{2.6} F の方が大きい。ところが、5~10% の伸度で、その傾向が逆転し、T_{2.6} F の方が小さくなっている。

無捻糸織物と捻糸織物の断面写真の1例を図3に示す。試料は、No. 2 (T_0F) と No. 5 ($T_{2.6}F$) である。これより無捻糸織物中の糸の断面は、目の形⁴⁾をして、繊維が平行に配列しているのが見られる。一方、捻糸織物中の糸の断面は、楕円形で、繊維はラセン状に配列し、糸がしまっている。このように、無捻糸織物と捻糸織物では、糸の形態、糸のクリンプ角、繊維の配列、糸のパッキング率などの構造因子の値が大きく異なっている。これらの構造因子は、織物の荷重-伸長曲線の初期の部分に大きな影響をあたえ、これらの因子が引張りによって、ど

Fig. 2 Load-elongation curves of various fabrics. (No. 1, No. 2, No. 3: twistless yarn fabrics, No. 4, No. 5, No. 6: twist yarn fabrics with 2.6 twist factor.)

(a)

(b)

Fig. 3 Microphotographs of the yarn cross-sections of the fabric. ($\times 50$)

(a) twistless yarn fabric. (T_0F , No. 2)

(b) twist yarn fabric. ($T_{2.6}F$, No. 5)

Fig. 4 Load-elongation curves of various fabrics. No. 7, No. 8, No. 9: twistless yarn fabric (model) No. 10, No. 11, No. 12: twist yarn fabric (model) $T_{2.6}Y(M)$: twist yarn with 2.6 twist factor.

Fig. 5 Comparison of load-elongation curves between twistless yarn fabrics and twist yarn fabrics at the initial extension.

のように時間的に変化するかがわかれば、無燃糸織物と燃糸織物の荷重 - 伸長曲線の違いが、理解できるものと思われる。

モデル織物 ($T_0F(M)$, $T_{26}F(M)$) の各試料の荷重 - 伸長曲線を図 4 に示す。これらの曲線の初期の部分と比較すると、図 5 のようになる。これより、同一密度の $T_0F(M)$ と $T_{26}F(M)$ について、前述の 22 番手の糸の織物と同様の傾向を有している。

3.2 考 察

a) 理論的考察：従来、織物の初期の荷重 - 伸長曲線について、織物構造因子のうち糸のクリンプ角が、その様相を大きく左右する因子として取扱われている⁶⁻¹⁰⁾。しかし、実際に織物の引張り方向にともなう織物中の糸の状態の変形依存性を詳細に追跡し、その結果を導入して解析した研究はほとんどない。われわれは、つぎのように織物の初期の荷重 - 伸長曲線について考察し、無燃糸織物と燃糸織物を比較検討した。

図 6 (a) は、無張力時の織物中の糸の形態である。図 6 (b) は、織物の引張り過程のある伸度における糸の形態で、引張り方向にそって切断した場合である。引張り方向の糸の中心線を折れ線に近似させ、図 6 (c) (d) のように符号をつける (X : 織物中の糸の交錯点における引張り方向の糸とそれに直交する糸の中心間距離, Y : 引張り方向の糸を折れ線に近似させたときの 1 単位長, Z : 引張り方向に直交する糸の中心間距離, θ : 引張り方向の糸のクリンプ角)。

織物の伸度を ϵ_F 、織物中の糸の伸度を ϵ_Y 、織物の糸 1 本あたりの張力を F_F 、織物中の糸の張力を F_Y とする。

Fig. 6 Yarn cross-sections of the fabric.
(a) without tensile forces.
(b) with tensile forces. (cutting along the tensile)
(c) (d) lengths and their changes of unit cell elements.

ϵ_F , ϵ_Y は、それぞれつぎのように表わされる。

$$\epsilon_F = Z/Z_0 - 1 \quad (1)$$

$$\epsilon_Y = \sqrt{Z^2 + X^2} / \sqrt{Z_0^2 + X_0^2} - 1 \quad (2)$$

また、 X の変化は織物の与えられた伸度に比例すると仮定すると、(3) 式が成り立つ。

$$X = X_0 - a \epsilon_F \quad (3)$$

(ただし、 $\epsilon_F \geq X_0/a$ のとき、 $X=0$)

(2) 式に (1) (3) 式を代入する。

$$(Z_0^2 + X_0^2)(1 + \epsilon_Y)^2 = Z_0^2(1 + \epsilon_F)^2 + (X_0 - a \epsilon_F)^2 \quad (4)$$

(4) 式は、 ϵ_F と ϵ_Y の関係を示している。ここで、糸の伸度 ϵ_Y と張力 F_Y の関係を (5) 式のようにおく。

$$\epsilon_Y = f(F_Y) \quad (5)$$

また、 F_F と F_Y の関係は (6) 式で表わされる。

$$F_F = F_Y \sin \theta \quad (6)$$

(4) 式に、(5) (6) 式を代入して (7) 式となる。

$$(Z_0^2 + X_0^2)(1 + f(F_F/\sin \theta))^2 = Z_0^2(1 + \epsilon_F)^2 + (X_0 - a \epsilon_F)^2 \quad (7)$$

ただし、 $\sin \theta = Z_0(1 + \epsilon_F) / \sqrt{Z_0^2(1 + \epsilon_F)^2 + (X_0 - a \epsilon_F)^2}$

Fig. 7 Photographs of the yarn cross-sections in the fabric with tensile forces.

- (a) twistless yarn fabric. (cut along the tensile direction)
- (b) twistless yarn fabric. (cut at the right angle to the tensile direction)
- (c) twist yarn fabric. (cut along the tensile direction)
- (d) twist yarn fabric. (cut at the right angle to the tensile direction)

(7)式は、織物の伸度 ϵ_F と、織物の糸1本あたりの張力 F_F の関係を示し、 X_0 , Z_0 , θ , a の各因子の値と、糸の初期の荷重-伸長曲線がわかれば、織物の初期の荷重-伸長曲線を得ることができることを示している。

b) 織物の構成因子の時間的变化：織物の引張りにもなう織物中の糸の状態の変化の写真を図7に示す。これは、伸度0, 10, 20%そして切断寸前の伸度のときの織物の断面写真を順に並べたものである。図7(a)(b)は、無撚糸織物(No. 8)で、(c)(d)は撚糸織物(No. 11)である。これより、引張り方向の糸はそのクリンプが伸ばされて直線化し、同一平面上にのようになる。一方、引張り方向に直交する糸は、引張り方向の糸の側圧により押し出され、クリンプ角が増加し、引張り方向の糸との接触面積が増加する。

引張りにもなう変化する糸断面の長径および短径の測定結果と形状をまとめて図8に示す。(A)は、引張り方向に直交する糸の断面で、(B)は、引張り方向の糸の断面である。引張り方向に直交する糸の断面は偏平化が生じ、無撚糸の方が撚糸よりその程度が大きい。また、引張り方向の糸の断面は、無撚糸撚糸とも糸の円形化が生じ、切断時ではほとんど円に近い形をしている。

つぎに、引張りにもなう織物中の糸のバックング率の変化を図9に示す。糸のバックング率 $(1-\epsilon)$ は、糸の断面積を A 、単繊維の断面積を B 、断面繊維本数を N とし、 $1-\epsilon = BN/A$ (ϵ : 空隙率)より計算した。

Fig. 8 Changes of shapes and sizes of the yarns.
A : the right angle to the tensile direction
B : the tensile direction

無張力時において、無撚糸のバックング率は6~8%で低い値であるが、撚糸は13~15%で、撚のため高い値である。引張り方向の糸について、無撚糸(A)は引張りにもなう、バックング率が急激に増加し、切断時には25%近くまで達している。一方、撚糸(B)では、バックング率の増加が少ない。引張り方向に直交する糸のバックング率の変化は、無撚糸(C)、撚糸(D)ともに小さく、撚糸はほとんど変化していない。この無撚糸織物中の糸の顕著なバックング率の変化は、無撚糸特有のソフト性と大いに関連がある。

つぎに、引張りにもなう織物中の糸のクリンプ角の変化を図10に示す。糸のクリンプ角(θ)は、つぎのようにして求めた。 $\theta = \tan^{-1} X/Z$ (X : 織物中の糸の交錯点における引張り方向の糸とそれに直交する糸の中心間距離, Z : 引張り方向に直交する糸の中心間距離) 無張力時においては、無撚糸撚糸とも同程度のクリンプ角である。しかし、引張りにもなう、無撚糸の方が撚糸よりクリンプ角の変化の程度が大きく、低い伸度で糸の直線化が生じている。このクリンプ角の変化は、荷重-伸長曲線の初期の部分を決定する重要な因子である。

c) 計算値と実験値の比較：糊を抜いた無撚糸は、試長が繊維長以上のとき、ほとんどすべての繊維が滑脱するため、引張り張力はごくわずかである^{3,6)}。しかし、その織物の引張り過程における糸の状態を観察すると、織物構造の変形にともない糸の交錯点での側圧力およびバックング率がしだいに増加し、繊維間摩擦力が大きく

Fig. 9 Changes of the yarn packing factor in the fabric with tensile forces.
(A) twistless yarns. (the tensile direction)
(B) twist yarns. (the tensile direction)
(C) twistless yarns. (the right angle to the tensile direction)
(D) twist yarns. (the right angle to the tensile direction)

Fig. 10 Changes of the yarn crimp angles of the tensile direction. (No. 7, No. 8, No. 9: twistless yarns, No. 10, No. 11, No. 12: twist yarns)

Fig. 11 The initial regions of load-elongation curves. (sample length : 10mm)
(right : twist yarn, left : twistless yarn.)
(----- : experimental, ——— : fitted)

なり、繊維相互の自由な滑脱はほとんどないことがわかる。無撚糸とその織物の引張りを対応させると、糸中における繊維の自由な滑脱が拘束された形、すなわち繊維長以内の試長における引張り挙動に近似できるものと考えられる。そこで、試長10mm、引張り速度20mm/minで糸の引張り試験を行なった。無撚糸と撚糸の荷重-伸長曲線を図11に示す。曲線の初期の部分の実験式を(8)

Table 2 The values of various factors obtained by the experimental results.

	Sample number	θ_0	$\sin \theta_0$	X_0 (mm)	Z_0 (mm)	a (mm)	ϵ_F ($\theta \rightarrow 90$)	α	n
$T_0 F(M)$	No. 7	72.0	0.951	1.43	4.40	7.90	0.18	11,700	3
	No. 8	65.5	0.910	1.50	3.37	6.52	0.23		
	No. 9	62.0	0.883	1.52	2.85	5.43	0.28		
$T_{25} F(M)$	No. 10	70.0	0.939	1.47	4.30	5.25	0.28	400	2
	No. 11	66.0	0.913	1.49	3.26	4.81	0.31		
	No. 12	62.5	0.887	1.48	2.84	4.48	0.33

Fig. 12 The calculated curves in the initial regions of load-elongation.
(—— : twistless yarn fabric, ----- : twist yarn fabric.)

Fig. 13 Comparison between the calculated curves and the experimental curves in the initial regions of load-elongation.
No. 7, No. 8, No. 9: twistless yarn fabric. (model)
No. 10, No. 11, No. 12: twist yarn fabric. (model)

式のようにおき、因子 α , n の値を実験曲線より求める。

$$F_y = \alpha \epsilon_y^n \quad (8)$$

以上の無撚糸織物と撚糸織物の測定結果より、(7)式および(8)式の各因子の値をまとめると表2のようになる。表2の値を(7)式に代入して、各モデル織物の荷重

-伸長曲線の初期の部分をかくと、図12のようになる。実線は無燃糸織物で、破線は燃糸織物である。前述の実験結果と同様の傾向がみられ、初期の伸度では無燃糸織物の方が燃糸織物より荷重が小さく、5~15%の所でその傾向が逆転している。この伸度における織物の糸1本あたりの荷重は、0.8~1.6 kg/糸であり、図11よりこの荷重における糸の伸度は、5%以下である。したがって、この現象は、糸強度よりもほとんど織物構造の変化の違いに起因するものと考えられる。つぎに、計算値と実験値を比較すると図13のようになり、初期の部分では大体よい一致がみられる。

無燃糸織物の引張りの初期の部分は、ほとんど糸のパッキング率の変化と糸のクリンプ角の変化によって大きく左右される。引張り方向の糸は、急激にパッキング率が増加し、そのため糸のクリンプ角が大きく変化し、しだいに円形化すると同時に同一平面上にのるようになる。引張り方向に直交する糸は、引張り方向の糸の側圧により押し出され、クリンプ角が増加すると同時に、大きく偏平化し、そのため引張り方向の糸との接触面積および側圧力が大きくなり、繊維相互の滑脱を妨げる。伸度が増すにつれて、この傾向はさらに顕著になり、引張り方向の糸が直線化し、内部繊維がひずみをうけるようになると、伸びに対する荷重が急激に増加するようになると考えられる。

4. 結 言

織物の初期伸長特性は、織物構造に関連した基本的な問題であり、実用的学問的にも非常に重要な特性の1つである。無燃糸織物の初期の引張りにもなる織物中の糸の状態の変化を詳細に観察し、従来の燃糸織物と比較

検討した結果、つぎのことが明らかになった。

- (1) 無燃糸織物中の糸のパッキング率は、非常に低い(6~8%)が、引張りにもなると急激に増加する。燃糸織物では、そのような傾向はあまり認められない。
- (2) 引張りによる糸の偏平化の程度は、無燃糸の方が燃糸より大きい。
- (3) 引張りによる糸のクリンプ角の変化は、無燃糸の方が燃糸より大きく、低い伸度で糸の直線化が生ずる。
- (4) 無燃糸織物は、(1)~(3)のように引張りの初期における繊維の易動性が、燃糸織物に比べて大きい。そのため、両者の荷重-伸長曲線の初期の部分に差がみられる。すなわち、低い伸度では、無燃糸織物の方が荷重が小さく、10%前後の伸度の所でその傾向が逆転する。

以上のことは、無燃糸織物特有の非常にソフトであるが、強度も十分にある性質と大いに関係がある。

文 献

- 1) R.D. Weels; *Text. Res. J.*, 25, 481 (1955)
- 2) J.W. Powischili; *Text. Res. J.*, 25, 486 (1955)
- 3) H.J. Selling; *Twistless Yarns*, MERROW (1971)
- 4) P.R. Load; *Text. Res. J.*, 43, 96 (1973)
- 5) 渡辺, 黒崎, 近田; 織学誌, 29, T313 (1973)
- 6) F.T. Peirce; *J. Text. Inst.*, 28, T45 (1937)
- 7) B. Olofsson; *J. Text. Inst.*, 55, T541 (1964)
- 8) 白樫, 小口, 平山, 清水; 織学誌, 19, 171 (1963)
- 9) 青木; 織学誌, 4, 132 (1948)
- 10) 丹羽, 川端, 河合; 織学誌, 19, T157 (1966) 20, T12 (1967) 20, T258 (1967) 20, T279 (1967) 20, T317 (1967)