Analysis of the Helix Number of Hard Twisted Yarn in Cotton Crepe Fabrics

NISHIKAWA Shigekazu^{a,*}, TAKATERA Masayuki^b, MIYAKE Hajime^c, SHINOHARA Akira^d

^a *Miyagi University of Education, Sendai, Miyagi 980-0845, Japan*

^b *Shinshu University, Ueda, Nagano 386-8567, Japan*

^c *North Eastern Industrial Research Center of Shiga Prefecture, Nagahama, Shiga 526-0024, Japan*

^d *Shinshu Junior College, Saku, Nagano 385-0022, Japan*

Received 21 June 2006; accepted for publication 28 June 2007

Abstract

In this paper, the helix number of hard twisted yarn was analyzed by both theory and experiment. The shape of hard twisted yarn was supposed as the helix and the helix number was examined from the dynamic balance of moment.

The results obtained are as follows:

- 1) Bending rigidity and twisting moment are strongly concerned in the deformation of hard twisted yarn.
- 2) The smaller the bending rigidity of hard twisted yarns, the larger the helix numbers of hard twisted yarn.
- 3) By increasing the twisted moment, the helix number of hard twisted yarns increases.

Key Words: Helix number, Hard twisted yarn, Twisting moment, Crepe fabric

綿クレープ織物中の強撚糸が作るらせん数の解析

西川重和^{a,*}, 高寺政行^b, 三宅 肇^c, 篠原 昭^d

^a宮城教育大学, ^b信州大学, ^c滋賀県東北部工業技術センター, ^d信州短期大学

1. 緒 言

よこ糸に強い撚りを挿入した織物は強撚糸織物と呼ばれ、素材に綿を用いた織物をクレープ織物と呼んでいる。この織物は、布表面にしばと呼ばれる凹凸の形状を有しているのが特徴で、この凹凸形状のしばがシャリ風の風合いを有するために、夏用の肌着やパジャマに主に使用されている。

クレープ織物の製造は、経験と試行錯誤により行われているため、現在では経験をもつ織物設計者の減少と高齢化が問題となっている。また、生産方式においても少品種大量であり、NIEsからの競合に安い製品でもある。将来のクレープ織物の存続あるいは需要拡大のためには、若手の人材育成やアウト分野へのさらなる進出等を図っていく必要がある。そのためには、布設計段階においてしば形状を予測することが重要である。

クレープ織物のしば設計に関する最近の研究では、山本

ら[1]はポリエステル楊柳織物のしば形態とその形成機構として、Hearlら[2]の円筒状モデルを応用して、これにスナール形成する際に織物をせん断変形させるに要する仕事を考慮したモデル提案を行い、しばの高さと周期を求めることを試みている。また、小森ら[3]は、山本ら[1]の文献中の式のせん断ひずみエネルギーの式に修正を加え、さらに新しい考えとして糸が残留トルクを有する場合に、糸が直線で幾何学的な振率が0であっても0でない振りエネルギーを持つ（よこ糸に残留トルクに相当する過剰なよりが与えられている状態）として臨界残留よりを加えたモデルの提案を行い、しばの形成機構について報告している。

また、石倉ら[4-6]は微小変形を仮定し、ねじりと曲げを伴う棒の安定問題を応用し、軸力のある場合の両端球節境界条件での座屈条件を導き、軸力がない場合の座屈形状がhelixであることを示し、絹と綿の強撚糸織物についてのらせん数について理論と実験の両方から詳細に解析を行っている。

* 連絡先：宮城教育大学教育学部 980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉 149, E-mail: nishika@staff.miyakyo-u.ac.jp

本報では、綿クレープ中の強撚糸の3次元変形をらせん変形と仮定してhelixの力学的釣り合のモデルから、らせん数を求める予測式を算出した。らせん数の予測式には、しば発生時である熱湯中でのよこ糸の解撚トルクの数値が必要となる。しかし、熱湯中での糸の解撚トルクの測定は非常に困難であり、従来は加熱時のトルクで置き換えているのが現状である。そこで、我々は実験から加熱トルクと解撚トルクの両方を測定し、トルクの違いがらせん数におよぼす影響について検討を行った。

また、石倉ら[6]は綿クレープ織物のよこ糸に双糸からなる強撚糸を用いて、S撚とZ撚を何本か交互に配列し、その時のよこ糸の撚数がらせん数に及ぼす影響について解析を行っている。しかし、一般的な綿クレープ織物とは、Z撚の単糸の原糸をさらにZ方向に追撚した強撚糸のみを配列した織物であり、本来の綿クレープの糸構造と異なっている。そのため、一般的なクレープ設計するための基本的なデータが得られていない。そこで、我々はよこ糸にZ撚の単糸からなる強撚糸のみを配列した織物を試作し、その時のよこ糸の撚数と密度の変化がらせん数に与える影響について検討した。

2. 記号

本報で用いる主な記号を以下に示す。

空間固定座標軸

x : x 軸

y : y 軸

z : z 軸

材料固定座標軸

w 軸 : 接線方向 (接線)

u 軸 : 側面方向 (主法線)

v 軸 : 上面方向 (従法線)

オイラー角

θ : z 軸と w 軸

ϕ : zx 面と zw 面

Ψ : wu 面と wz 面のなす角

α : らせんの傾斜角, $\alpha = (\pi/2) - \theta$

s : 弧長

R : 円筒の半径

p, q, r : u, v 軸曲率および w 軸撚率

L, l : 製布後の織物の長さ と 精練後の織物の長さ

3. 理 論

3.1 モデル化

クレープ織物中の強撚糸がらせん形状であることはよく知られている[1-6]。

Fig. 1は精練工程後の綿クレープ織物から強撚糸 (よこ糸) を取り外した時の糸の形態を示す。Fig. 1から強撚糸は、らせん形態をとっていると考えられる。精練工程後のよこ糸の強撚糸のモデルとしてFig. 2に示すようならせん形態をとると仮定して解析する。

Fig. 1 A crepe yarns form.

Fig. 2 Model of hard twisted yarns.

3.2 基礎方程式の構築

初期状態でまっすぐな棒がhelixに変形する際の釣り合いの方程式は解析的に導くことができ[7], らせん形状はFig. 3に示すように、両端における z 軸方向の力 F と z 軸回りのトルク M_z により保持されるものとする。

Helixの場合

$$\theta : \text{定数} \quad \frac{d\theta}{ds} = 0 \quad (1)$$

ϕ : 接線の円筒断面に投影した角

$$s \cos \alpha = \phi R, \quad \frac{d\phi}{ds} = \frac{\cos \alpha}{R} \quad (2, 3)$$

曲率とオイラー角の関係より,

$$p = \frac{-\cos^2 \alpha \cos \phi}{R}, \quad q = \frac{\cos^2 \alpha \sin \phi}{R}, \quad r = \frac{\cos \alpha \cos \alpha}{R} + \frac{d\phi}{ds} \quad (4, 5, 6)$$

A, Bを曲げ剛性, Cをねじれ剛性, 外力の u , v 成分を F_u , F_v とすると,

$$\begin{aligned} Ap' - (B - C)qr &= F_v \\ Bq' - (C - A)pr &= -F_u \\ Cr' - (A - B)qp &= 0 \end{aligned} \quad (7, 8, 9)$$

式(4)および(5)を微分すると,

$$p' = \frac{\cos^2 \alpha \sin \phi}{R} \phi', \quad q' = \frac{\cos^2 \alpha \cos \phi}{R} \phi' \quad (10, 11)$$

式(6)より,

$$\phi' = \frac{d\phi}{ds} = r - \frac{\cos \alpha \cos \alpha}{R} \quad (12)$$

糸断面の対称性より, $B = A$ である, 式(7, 8)に式(4), (5), (10), (11), (12)を代入すると,

$$F_v = \sin \phi \left(\frac{Crcos^2 \alpha}{R} - \frac{Bcos^3 \alpha \sin \alpha}{R^2} \right) \quad (13)$$

$$-F_u = \cos \phi \left(\frac{Crcos^2 \alpha}{R} - \frac{Bcos^3 \alpha \sin \alpha}{R^2} \right) \quad (14)$$

外力 F の成分 x, y, z ($0, 0, F_z$) を u, v, w 成分で表すと,

$$F = (F_u, F_v, F_w) = F_z(-\sin \theta \cos \phi, \sin \theta \sin \phi, \cos \theta) \quad (15)$$

式(14)より,

$$\cos \phi \left(\frac{Crcos^2 \alpha}{R} - \frac{Bcos^3 \alpha \sin \alpha}{R^2} \right) = F_z \cos \alpha \cos \phi \quad (16)$$

$$\therefore F_z = \frac{\cos \alpha}{R} \left(Cr - \frac{Bcos \alpha \sin \alpha}{R} \right) \quad (17)$$

Fig. 3 Geometry of a cylindrical surface.

Fig. 4 Moment which acts on the helix.

終端モーメントの軸はhelixの中心線の終端において, 円筒の接線平面 (tangent plane) 内にある. この点におけるそのモーメントのhelixの従線方向成分 M_b は幾何曲率 $\kappa = \cos^2 \alpha / R$ より,

$$M_b = \frac{Bcos^2 \alpha}{R} \quad (18)$$

helixの接線方向成分 M_t : $M_t = Cr$

このモーメントはFig. 4に示すように PR と M_z の合モーメントの接線成分で与えられる.

Cr の M_z 軸方向成分: $Crcos \alpha$

従法線ベクトル $b = \sin \alpha \sin \phi i - \sin \alpha \cos \phi j + \cos \alpha k$ より,

$$M_b \text{ の } M_z \text{ 軸方向成分: } \frac{Bcos^3 \alpha}{R}$$

よってモーメントは, M_z

$$M_z = Crcos \alpha + \frac{Bcos^3 \alpha}{R} \quad (19)$$

初期真直な側面が常に円柱面に接するとき, u 軸は常に xy 平面内にあり,

$$\phi = \pi/2, \quad \frac{d\phi}{ds} = 0 \quad (20)$$

$$\text{ねじれ率: } r = \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{R} \quad (21)$$

$$\text{曲率: } p = 0, \quad q = \frac{\cos^2 \alpha}{R}$$

式(21)を式(17),(19)に代入すると,

$$\begin{aligned} F_z &= \frac{(\cos^2 \alpha \sin \alpha)(C - B)}{R^2} \\ M_z &= \frac{(C \sin^2 \alpha + B \cos^2 \alpha) \cos \alpha}{R} \end{aligned} \quad (22, 23)$$

モーメントだけで力が作用しない場合は,

$$M_z = \frac{Bcos \alpha}{R} \quad (\text{軸はhelixの軸に平行}) \quad (24)$$

$$r = \frac{B \sin \alpha \cos \alpha}{CR} \quad (25)$$

$$\therefore \text{軸モーメント } M_t = Cr \frac{B \sin \alpha \cos \alpha}{R} \quad (26)$$

らせんの幾何学的関係より、単位長さ当たりのらせん数 n/L (n はらせん数)

$$\frac{n}{L} = \frac{M_t}{EI} \frac{1}{2\pi \sin \alpha} \quad (27)$$

3.3 計算例

Fig. 5は M_t/EI を変化させた時のらせん数とらせん角度の関係を示す。らせん数はらせん角度が大きくなるに従いらせん数は減少する。 M_t/EI が大きくなるとらせん数は増加する。仮に M_t を一定と仮定した場合、糸の曲げ剛性 EI が小さくなるほどらせん数は増加する。これは糸の直径が細くなるほどらせん数が増加することを意味する。また、糸の曲げ剛性 EI が一定の場合、糸のモーメント M_t が大きくなるに従いらせん数は増加する。これは、糸の撚数が増加するに従いらせん数も増加することを意味する。

この結果から綿クレープ織物の場合においては、細かいしほ形状を得るためには強撚糸の糸の太さが細いものを使用し、また限界に近い撚数を与える必要がある。

同様に、たて糸においても糸の太さが細い（曲げ剛性の小さい）糸を使用することにより、よこ糸（強撚糸）が精練後においてらせん形状をとる時の抵抗力が小さくなり、しほが得やすくなる。この事については、よこ糸の撚数、たて・よこ糸の番手を変えた織物を試作し、実験により[8]確認を行っている。本モデルを用いて定性的にしほ形状の説明を行うことが可能である。

Fig. 5 Relation between helix number and helix angle.

4. 実験

4.1 試料

試料の原糸には、一般的に綿クレープ織物に用いられている綿の単糸を用いた。綿原糸の詳細をTable 1に示す。なお、表中の紡績撚数は敷島紡績(株)製自動検撚機による、試料長25 cm、試験回数10での実測値の平均である。

撚数と解撚トルクの関係調べるために、紡績糸と同方向のZ（左）方向にリング撚糸機（共立機械製）を用い約100回/mづつ撚数の異なる追撚を行い、総撚数を実測した。得られた試料の原撚数、追撚数、総撚数をTable 2に示す。

また、解撚トルクの測定には、前もって撚糸した糸の撚止めを行う必要があり、真空糸蒸熱セット機（昭和工業製）を用いて、湿式状態でセット温度105℃、セット時間20分で糸の撚止めを行った。これは実際に綿クレープ織物製造時に用いられている標準の条件である。また、加撚トルクの測定にもTable 1の原糸を用いた。

4.2 実験

解撚トルクおよび加撚トルクの測定には、カトーテック製 KES-YN-1を使用した。Fig. 6に本装置の構成を示す。

本実験においては熱湯中での糸の解撚トルク測定のため、Fig. 7に示すように、左右にガイドのあるガラス管の製作を行い、実験を行った。

Table 1 Details of cotton raw thread.

Yarn Count s(tex)	Raw cotton	Carding	Spinning	Twist direction	Twist in spinning (turns/m)
40(14.8)	Pakistan	Card	Ring	Z	1000

Cotton 100%

Table 2 Cotton yarn samples.

Yarn No.	Yarn count s(tex)	Original Twist (turns/m)	Additional Twist (turns/m)	Total Twist (turns/m)	untwisting Moment ($\mu\text{N}\cdot\text{m}$)
1	40(14.8)	1000	0	1000	0.06
2	40(14.8)	1000	113	1113	0.23
3	40(14.8)	1000	238	1238	0.31
4	40(14.8)	1000	346	1346	0.48
5	40(14.8)	1000	437	1437	0.52
6	40(14.8)	1000	602	1602	0.76
7	40(14.8)	1000	856	1856	0.93

Fig. 6 Outlines of apparatus.

Fig. 7 Set up samples.

4.3 試験方法

4.3.1 解燃トルクの測定

解燃トルクは、燃止めセットが不十分で発生する乾式状態での解燃トルクと、熱湯中で発生する解燃トルクの和である。実際のクレープ織物のシボ形状は、精練工程中（熱湯中）で発生することから、熱湯中で発生する解燃トルクが、クレープ織物のしぼ形状に強い影響を与えていると考えられる。測定においては、試料を試験機にセットする際の不平衡の発生、おりの影響、乾式状態での解燃トルクの分離が困難なため、熱湯中で発生する解燃トルクのみについて測定を行うものとし、燃糸後の糸に十分な燃止めセットを施し、試料セット時の乾式状態でのトルクを0とした。試料を試験機のバーチャックにセットするために、試料にFig. 8に示す紙の支持部を貼り付けた。長さ100 mmの試料の下部バーチャックの中心の下に1.0 gの分銅を付け、静かに下部バーチャックを試験管の溝に沿って下ろす。分銅を付けるのはトルク発生時にスナールの発生を防ぐためである。上部バーチャックを上部チャック受けに装着する。ここでトルクを0とし、99℃の水を静かに試験管に注ぐ。この時に発生するトルクを記録する。綿糸は、糸の太さにばらつきがあるため、各試料10回の試験を行いその平均値をデータとした。本測定では熱湯を入れ始めてから20秒後の値を採用した。

Fig. 8 Preparations to set samples to experimental device.

Table 3 Results of twisting torque test.

Yarn No	Yarn Count s(tex)	Original Twist (turns/m)	Additional Twist (turns/m)	Total Twist (turns/m)	Twisting Moment ($\mu\text{N}\cdot\text{m}$)
8	40(14.8)	1000	113	1113	0.64
9	40(14.8)	1000	238	1238	1.35
10	40(14.8)	1000	1346	1346	2.42
11	40(14.8)	1000	437	1437	1.67
12	40(14.8)	1000	602	1602	3.12

Fig. 9 Bending samples.

4.3.2 加燃トルクの測定

長さ10 mmの試料の下部バーチャックの中心の下に、5.0 gの分銅を付ける。本来、解燃トルクと同じ1.0 gの分銅を付けるのが望ましいが、糸を加燃していくうちに二重燃が発生するため、それを防ぐには重いおもりが必要となる。試料を上下バーチャック受けに装着する。ここでトルクを0とし回転リングを回転させ、設定した回転数（燃数）に達すると回転を止め、この時発生したトルクを記録する。加燃 (MAX) とは回転停止後のトルクを表す。加燃 (Relax) とは回転停止後、トルクが安定した時点でのトルクを表す。Table 3に加燃トルクの結果を示す。

4.3.3 曲げ剛性の測定

曲げ剛性の測定には、KES-F2純曲げ試験機（カトーテック製）を用い、得られた曲げモーメント-曲率曲線の往路（変形が大きくなる方向に進むとき）で、曲率1~2 (1/cm)における勾配より求めた。単糸1本の曲げモーメントは微小なため、Fig. 9に示すように試料30本を一つの面内で平行に並べ両端を固定し測定を行った。その後1本当たりの曲げモーメントを算出した。

4.3.4 らせん数の測定および $\sin\alpha$ の算出

40番糸 (14.8 tex) をたて糸として密度65本/2.54 cm、よこ糸に40番糸を用いて密度 (45~65本/2.54 cm) と燃数 (追燃数671~1444回/m) を変化させた綿クレープを試織し、手もみ精練後によこ糸を取り出して単位長さ当たりのらせん数を測定し、 $\sin\alpha$ を算出した。

5. 試験結果および考察

5.1 解捻トルク、加捻トルクおよび曲げ剛性の測定結果

Fig. 10は綿糸の捻数と解捻トルクの関係を示す。追捻数の増加に伴い解捻トルクも増加する。今回、測定した範囲においての追捻数と解捻トルクは、ほぼ比例関係にある。Fig. 11は加捻トルクと追捻数の関係を示す。追捻数の増加に伴い加捻トルクも増加する。Table 4は標準状態 ($20 \pm 2^\circ\text{C}$, $65 \pm 5\%$ RH) での綿糸の曲げ剛性の値を示す。

Fig. 10 Relationship between untwisting torque and additional twist number.

Fig. 11 Relationship between twisting torque and additional twist number.

Table 4 Bending rigidity of cotton yarns.

Yarn Count s(tex)	Natural Twist (turns/m)	Additional Twist (turns/m)	Total Twist (turns/m)	Curvature (1/cm) gfc/m	Curvature (2/cm) gfc/m	Bending rigidity gfc/m $\cdot$ cm
40(14.8)	980	1200	2180	0.0251	0.0378	0.0127

5.2 綿クレープのらせん数の予測

本研究では、よこ糸にZ捻の強捻糸のみを用いた織物を試作し、その時のよこ糸の捻数と密度の変化がクレープ織物のらせん数に与える影響について検討した。Table 5に試作した綿クレープ織物の特性値を示す。Fig. 12に試作したクレープ織物中のよこ糸のらせん数 $n/1$ を示す。Fig. 12から、よこ糸の追捻数の増加に伴いらせん数も増加している。これは、よこ糸捻数の増加は糸のモーメント（解捻トルク）の増加を引き起こし、精練後において織物の収縮率が大きくなるためであり、Fig. 5と同様な結果である。また、よこ糸密度の関係でみると、たてよこ40番綿糸のクレープ織物では、よこ糸密度が55本/2.54 cmが標準の製造条件である。Fig. 12から、本実験ではよこ糸密度が55本/2.54 cmのときにらせん数が最大になる傾向を示した。このことから、クレープ産地での長年の経験によって決定されたよこ糸密度は、らせん数が最大になる密度で試行錯誤的に決定されたと推測される。また、その前後の密度で比較すると、45本より65本時の密度の方がらせん数は全体的に少ない傾向を示した。原因として、よこ糸密度の増加は、織物全体での解捻トルクの増加に寄与すると考えられるが、逆によこ糸がらせん形状を取るための空間の減少につながり、よこ糸密度の増大がせん断変形の拘束に強く作用したためと考えられる。

Table 6は綿クレープ織物のよこ糸のらせん数の予測値と測定値を示す。追捻数1186回/mの40番綿糸のよこ糸のクレープ中のらせん数 n/L は、よこ糸密度45～60本/2.54 cmの範囲ではほぼ一定で、1.62～1.72個/cmであった。算出された $\sin\alpha$ は0.37～0.53となる。同じ40番綿糸の解捻トルクは追捻数900回/mまでの範囲で直線的に増加することから予測し、0.0135 gf $\cdot$ cmとなり、加熱時トルク (Max) は平均の解捻時のトルクの約4.4倍であった。また標準状態の曲げ剛性は0.0127 gf $\cdot$ cmであった。 M_t に加熱トルク、 EI に曲げ剛性を代入して求めたクレープ中の糸の $\sin\alpha$ に対応する n/L の予測値を見ると、予測値2が1.42～1.87/cmとなり実験値に近い値を示す。予測値2とは加熱 (Max) の M_t の値と標準状態での EI を使用した値である。また、予測値1は解捻の M_t の値と標準状態での EI 、予測値3は加熱 (Relax) の値と標準状態での EI

Table 5 Characteristic of cotton crepe.

Fabric No	Density Ends Picks (1/2.54cm)	Yarn Count Warp Weft s(tex)	Additional Twist Weft (turns/m)	Shrinkage (L-l)/L (%)	Helix Number L=10cm
1	65 65	40(14.8) 40(14.8)	1444	55.0	18.3
2	65 55	40(14.8) 40(14.8)	1444	65.0	18.5
3	65 45	40(14.8) 40(14.8)	1444	62.3	18.0
4	65 60	40(14.8) 40(14.8)	1186	47.5	16.2
5	65 55	40(14.8) 40(14.8)	1186	63.2	16.8
6	65 50	40(14.8) 40(14.8)	1186	60.2	17.2
7	65 45	40(14.8) 40(14.8)	1186	59.8	16.3
8	65 65	40(14.8) 40(14.8)	1085	46.7	17.3
9	65 55	40(14.8) 40(14.8)	1085	57.5	17.7
10	65 45	40(14.8) 40(14.8)	1085	60.0	16.0
11	65 65	40(14.8) 40(14.8)	1009	54.2	17.2
12	65 55	40(14.8) 40(14.8)	1009	50.8	15.5
13	65 45	40(14.8) 40(14.8)	1009	30.8	14.0
14	65 65	40(14.8) 40(14.8)	676	18.3	5.8
15	65 55	40(14.8) 40(14.8)	671	14.2	8.5

を使用した。 M_t の値と標準状態で EI の値を Table 7 に示す。
現時点では、加熱トルクの最大と標準時での曲げ剛性を用

Fig. 12 Helix number of weft in cotton crepe samples (change in twist number and density of weft).

Table 6 Comparison between the predicted values and the experimental values.

Fabric No	Density Ends Picks (1/2.54cm)	Yarn Counts Warp Weft S	Additional Twist Weft (turns/m)	Shrinkage (L-l)/L (%)	Helix Number n/L n/l L=1cm l=1cm		$\sin \alpha$	Predicted values 1 2 3 (n/L)		
4	65 60	40 40	1186	47.5	1.62	3.1	0.525	0.32	1.42	0.97
5	65 55	40 40	1186	63.2	1.68	4.6	0.368	0.46	1.62	1.11
6	65 50	40 40	1186	60.2	1.72	4.3	0.398	0.43	1.87	1.28
7	65 45	40 40	1186	59.8	1.63	4.1	0.402	0.42	1.77	1.21

Table 7 M_t and EI for yarn samples (Yarn counts 40s, Additional twist number 1186 (turns/m)).

M_t			EI	
Untwisting (gfc/cm)	Twisting(Max) (gfc/cm)	Twisting(Relax) (gfc/cm)	Standard	Moist
0.0135	0.0594	0.0407	0.0127	—

いた方が実験値に近い値となる。実際のしほの発生は精練後に発生するため、しほ数の予測を行うためには湿潤時での曲げ剛性が必要になる。しかし、精練時（湿潤時）の曲げ剛性については測定が困難であり、現時点では確認されていない。今後は間接的推定法が必要と考えられる。また、クレープのシボ形状や $\sin \alpha$ については織物のせん断変形による拘束やたて糸の影響も考慮する必要がある。

6. 結 言

- 1) 強撚糸のらせん変形には曲げ剛性とねじりモーメントが強く関与する。
- 2) たて糸、よこ糸に40番糸を用いた綿クレープのらせん数は、よこ糸密度が55本のときに、らせん数が最大となる傾向を示した。
- 3) たて糸、よこ糸に40番糸を用いた綿クレープのらせん数は、綿糸の標準状態での曲げ剛性およびねじりモーメント(加熱時のmax)により算出したしほ数と近い値を示した。

References

- [1] Yamamoto T, Takaku A (1992) Sen-i Gakkaishi, **48**, 149–156
- [2] Hearle JWS, Yegin AE (1972) J Text Inst, **63**, 477–489
- [3] Komori T, Itou M (2002) Sen-i Gakkaishi, **58**, T176–T181
- [4] Ishikura H, Kase S, Nakajima M (1991) J Text Mach Soc Japan, **44**, T260–T267
- [5] Ishikura H, Kase S, Nakajima M (1992) J Text Mach Soc Japan, **45**, T65–T70
- [6] Ishikura H, Yang L, Kase S, Nakajima M (1992) J Text Mach Soc Japan, **45**, T154–T164
- [7] Love AEH, (1944) “A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity 4th Ed”, Dover
- [8] Yamashita S, Takatera M, Shinohara A (1997) J Text Mach Soc Japan, **50**, T155–T163