

糸構造による表面効果のシミュレーション技術

池口達治^{*1} 宮路千乃^{*2}

Simulation of Fabric Surface and Effect of Yarn Structure on it

Tatsuharu IKEGUCHI, Yukino MIYAJI

Owari Textile Research Center, AITEC^{*1*2}

強撚糸を使った織物では糸が座屈変形を起こしたり織物表面にしばが発現することがある。この発現傾向は製造条件により異なることが経験的に知られているが、明確な理論は確立されていないため、織物設計の段階で表面形状を予測することは困難である。そのためしば織物を開発するときは試織が不可欠であり、これに要する時間とコストは企業の大きな負担になっている。本研究はコンピュータを用いてしば形状を予測することを目的とし、実験からしばの発現傾向を明らかにするとともに、糸の座屈形状の3次元モデルとして従来から提唱されている等振幅等ピッチらせんモデルの欠点を補った異振幅異ピッチらせんモデルを提案した。さらにこのモデルを発展させて、しばは糸の座屈変形が大きい箇所から発生し、これが逐次伝搬し織物全面に広がるとの考えに基づき、織物面の3次元しばモデルを提案した。

1. はじめに

糸の構造には撚り数、紡績方法、原料など多くの因子が含まれるが、そのうち撚りは織物表面にしばを発生させ、織物表面形状に最も大きく影響する。

加撚した糸にはひずみエネルギーが内在しており、解撚トルクが発生したとき糸はらせん形状になる。Hearle⁴⁾⁵⁾は、1本のフィラメントがらせんを形成したときのひずみエネルギーを理論的に求めている。

山本⁶⁾は、Hearleらの理論をポリエステルクレープ織物に適用した。織物の中で糸がねじり座屈変形を起こすとき織物はせん断変形を伴う。このときに要する仕事を考慮し、ひずみエネルギーを最小とする条件からしばの高さと周期を求めた。その結果、実際の織物に観測される傾向と一致し、フィラメント糸のように解撚トルクが均一な条件においては、糸の性状から織物のしばの形状を予測することが可能であることを示した。

小森¹⁰⁾は、山本らの理論を修正し、しばが形成されるための条件や、織物の平衡状態に関するパラメータを、糸の曲げとねじりの剛性率、織り密度、織物のせん断剛性率、および糸の自己解撚の強さによって表す理論式を誘導した。しかし3種類の剛性率の信頼できる測定値の入手とともに理論から導かれた諸変数間の関数関係の検証に焦点を合わせた実験研究が必要と述べている。

以上の報告からフィラメント糸織物のしば形状を理論的に予測することは可能ではあるが、小森らが言及しているように現段階では課題が多く残っている。一方、紡績糸織物の分野では実験結果に基づきしばを予測しようとする試みがされてきた。

大野⁷⁾は、ねじり座屈の形状および織物組織による糸のクリンプ形状をそれぞれ正弦波曲線で近似し、織物の収縮率などを基に糸の座屈形状を予測する式を導いた。ただしひとつの織物断面における糸の形状を扱っており織物表面については扱っていない。

山下⁸⁾⁹⁾は、綿クレープ糸における撚数、緯糸密度、番手としば数、しばのピッチ、らせん振幅との関係を実験から導いた。しばの断面形状は相似形でもなくピッチの変化と振幅の変化が複合的に生じているため、しば立ちによる収縮を単なる等振幅らせんのピッチの変化としてとらえることはできないことを示唆している。

紡績糸は糸むらが存在するためフィラメント糸と同様の理論的アプローチによりらせん形状を導くことはできない。しかし、しばの発現傾向を推測することは可能である。本研究では梳毛糸織物のしば形状をシミュレーションすることを主眼に置いて研究を進め、糸の撚りと織物規格と織物表面形状との関係について実験を行った。その結果をもとに織物表面形状をコンピュータを利用してシミュレーションする技術¹⁾²⁾³⁾について検討した。

*1 尾張繊維技術センター開発技術室 *2 尾張繊維技術センター加工技術室

2. 実験及び考察

2.1 座屈形状のモデリング

糸の座屈は解撚トルクが要因であることがこれまでの研究でわかっている。太さムラがなく撚りも均一である糸の場合、糸の座屈は均一に生じると考え図1に示すように等振幅等ピッチのらせん形状で座屈を表現できる。

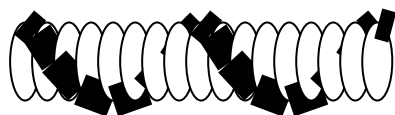


図1 等ピッチ等振幅らせんモデル

しかし、紡績糸の座屈形状は等振幅等ピッチではない。図2に熱水収縮後の梳毛糸に発生したねじり座屈の外観写真を示す。上から普通糸(撚係数88)、強撚糸(120)、強撚糸(180)、超強撚糸(210)である。撚り数が増加するとともに座屈頻度と座屈半径が増加することがわかる。座屈箇所は糸が細い部分すなわち撚りが集中している部分で特に多い。一般にフィラメント糸の座屈変形は平均的に発生し、紡績糸では不均一に発生することが知られているが、これは紡績糸に太さむらがあり、細い部分に撚りが集中し撚りが不均一になるためである。さらに糸単体で解撚が発生すると把持間のうち撚りが最も多い箇所でねじり座屈変形が発生し撚りがほかに移動する現象が起きる。糸が織物中で拘束されていると、撚りの移動が起きにくくなり、糸単体の状態と比べると織物中の糸の座屈変形は全体に平均的に発生する。

したがって、紡績糸の座屈形状モデルを考える場合、図3に示すように、異振幅異ピッチのらせん形状モデルを適用するのが妥当である。このときの振幅およびピッチは糸の解撚トルクによって決まる。

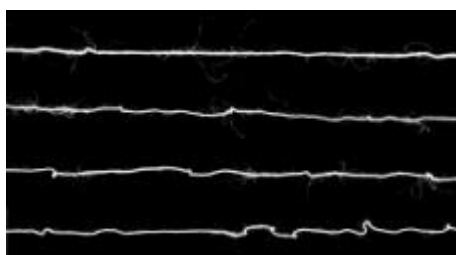


図2 梳毛糸のねじり座屈



図3 異ピッチ異振幅らせんモデル

2.2 試料

撚り数、密度の異なる平織および綾織を作成し、しぼの発現状態を観察した。

試料1

組織:平織 使用糸:経;梳毛糸 2/60,緯;梳毛糸 1/30
撚係数:経;80,緯;88,150,180,210
筈密度:20,23,26羽/in 引込数:2本
打込数:22.1,28.1,34.0,40.0,46.0,51.9本/in
理論密度比:経;67,77,87% 緯;37,47,57,67,77,87%
製織張力:経糸;平均 24gf/本,緯糸;平均 15gf/本
仕上方法:洗い90 10分 風乾 24時間

試料2

組織:3/1綾織 使用糸:同上 撚係数:同上
筈密度:26羽/in 引込数:2本
打込数:40.0,46.0,51.9本/in
理論密度比:経87% 緯67,77,87%
製織張力:同上 仕上方法:同上
理論密度比はBrierleyの理論密度を基準にした。図4に一部試料の写真を示す。



図4 試料の一部 (試料1,経密度67%,緯密度57%,撚係数 図左88 図右210)

2.3 解撚トルク

糸の解撚トルクを糸トルク計を用いて測定した。3gfの初期加重をかけて70の熱水に浸水後、解撚トルク値が安定したときのトルク値で評価した。

図5に測定結果を示す。経糸は普通撚の双糸であり繊維はほとんどねじれ変形をしていないので解撚トルクはほとんど発生していない。一方、緯糸は単糸であり普通撚でも解撚トルクが発生している。撚係数の増加とともに解撚トルクは比例的に増加する。

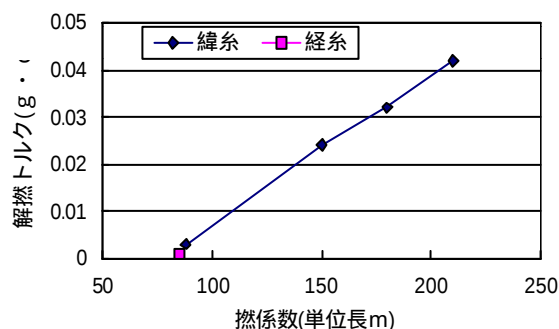


図5 糸の解撚トルク

2.4 糸および織物の熱水収縮率

50cmの糸を100℃の熱水に10分間浸し、3gfの加重をかけたときと加重を加えないときの浸水前後の長さ比を測定した。なお、測定中はクリップで糸端を留めて解熱しないように処置した。荷重を加えたときは座屈変形が起きず、荷重を加えないと座屈変形が起きたが、いずれの場合も撚係数の増加とともに寸法変化率はほぼ比例的に増加することがわかった。

次に、織物に20cmの印をつけ、仕上げ処理後に放置状態およびしぼを伸ばした状態における長さを測定し、それぞれの収縮率を求めた。

織物収縮率としぼによる収縮率はよく似た傾向を示した。緯糸の撚係数が150までは収縮率はほぼ一定で、さらに撚り係数が増加すると収縮率が増加する。これは糸単体での収縮率の傾向と一致する。

また、緯糸密度が粗いほど収縮率は大きい。隣接する糸の間隔が離れているほど座屈変形しやすくなり、収縮が増加すると考えられる。

糸が解熱、収縮することがしぼの要因であり、両者とも撚り数と比例関係にあることがわかった。しぼの発現量には密度の影響も大きいことがわかった。これは織物中で糸が変形を起こすには織物のせん断変形を起こすだけのエネルギーを要するためと考えられる。

2.5 しぼ数

織物10cm間のしぼ数を肉眼で測定した結果を図6に示す。しぼは大小のしぼが複合したものがあり、これはひとつのしぼとして計測した。

緯糸密度が少ないときは撚り係数が大きいほどしぼ数が多く、撚り係数の影響の差が大きい。緯糸密度が増加するとしぼ数は減少し、減少の割合は撚り係数が大きいほど多い。このため緯糸密度が大きいときの撚り係数によるしぼ数の差は小さい。これらは収縮率の傾向と一致する。また、経糸密度についても同様であり増加するとしぼ数は減少する。

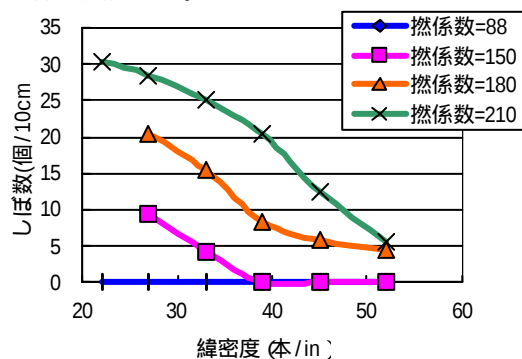


図6 撚係数および密度としぼ数との関係

2.6 しぼ収縮率としぼ数

しぼ収縮率としぼ数の分布をみるとどの試料も両者は直線上に並ぶ関係にあり、高い相関が認められる。すなわち、しぼによる収縮率は単位長さ当たりのしぼ数と比例関係にあり、このことから密度、撚係数の影響を受けることが明らかである。

2.7 しぼ高さ

風合試験器 KES の圧縮試験器を使用して $0.5\text{g}/\text{cm}^2$ 加重時の高さを測定し、しぼの高さを評価した。図7に測定結果を示す。しぼがほとんど発生していない撚り係数88の試料では高さは1.2~1.3mmであった。最もしぼが多く発生した撚り係数210の試料では約3mmである。密度が増加するとしぼ高さは減少するが、これはしぼ数が減少する傾向と一致している。しぼ高さは素材の曲げ剛性等の影響を受けると考えられるが、今回の実験では素材が種類なのでその評価に至らなかった。

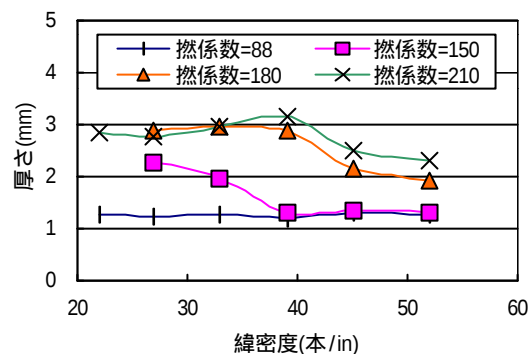


図7 撚係数および密度と高さとの関係

3. シミュレーション

3.1 座屈のシミュレーション

紡績糸の座屈形状をシミュレーションする場合、まず糸の座屈形状のむらに注目すべきである。むらを再現するため、ここでは次式のモンテカルロ法を適用した。

$$y_i = y_{i-1} + M * (R1 * D1(y_i) - R2 * D2(y_i))$$

y : 糸の直径 i : 糸軸の位置を表す添え字

M : 最大変動値

R : 乱数

D : 距離係数 $D(y_i) = H/y_i$ H : 最大直径値

糸むらの変動に近づくために乱数成分に変動範囲の限界値 M および H を設けることにより糸の座屈変形の形状が自然な状態に近づく。なお、 H は糸むらに相当し、 M は撚り係数および織物密度に相当する。これらの値を実験値と合わせて調整することにより糸の座屈シミュレーションを行った。図8はこの式を使用して、強撚平織物で糸が座屈している様子をシミュレーションした結果である。実物と比較して良好であることを確認した。

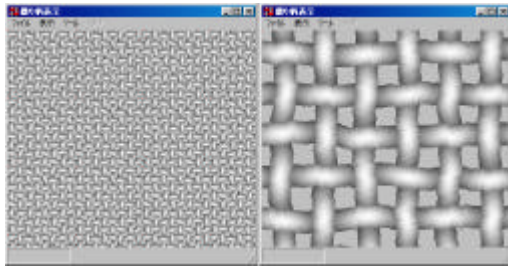


図8 織物中における糸の座屈シミュレーション
(図左: 縮小表示, 図右: 拡大表示)

3.2 しぼのシミュレーション

実験により、糸の撚係数、織物密度と発生するしぼ形状の関係が得られ、織物規格が単位長さ当たりのしぼ数に大きく影響を及ぼすことがわかった。したがってしぼのシミュレーションではしぼ数を主体とした方が実用的かつ効率的である。

しぼのシミュレーションは異振幅異ピッチの3次元らせん形状で表される糸の座屈変形を出発点と仮定する。織物中に織り込まれている糸はクリンプ形状をとっているため、座屈形状とクリンプ形状を複合した形状をとることになり、断面形状は異なる周期と振幅を有する正弦波曲線の和として表現することができる。

しぼは糸の座屈変形量が多い箇所から集中的に発生し、その周辺部分の変形を促進させると考える。一般に糸全体の撚数は与えられた撚係数に従い一定値をとるが、局所的な撚数は糸の太さむらにより変動している。この法則に従い、図9に示すように撚数に変動がある糸を並べたモデルを考える。撚数が設定値よりも大きい箇所を抽出し、さらにこれらの箇所がたて、よこ方向に近接する箇所を抽出する。図9では四角に囲った部分が撚数の多い部分、それらが近接する箇所を線で結んだ。これらの箇所では大規模な座屈変形が発生するため、大きくしぼが集中的に発生すると考える。これらの箇所ですみずしぼが発現し、織物規格によって決定するしぼ数に応じた間隔で周期的に伝搬すると考えた。これらの考え方に基づき、新しいしぼのモデルを構築し、しぼシミュレーション技術を開発した。

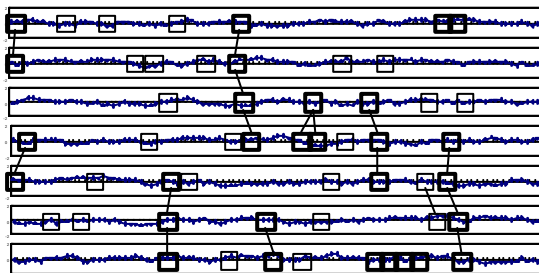


図9 しぼのモデリング

4. 結び

梳毛強撚糸織物に発生する糸の座屈変形およびしぼの形状をコンピュータシミュレーションすることを目的に、織物規格としぼの発生状態の様子を調べた。糸の撚係数が大きく、織物密度が小さいほどしぼが多く発生する。糸の座屈は撚りの解撚トルクが要因であるが、紡績糸では太さむらに起因する撚りむらが存在し、座屈形状は一様ではない。

したがってシミュレーションをする場合は、糸の座屈形状のむらに注目すべきである。むらを直接的に再現することができないので、ここではモンテカルロ法を適用した。糸むらの変動に近づけるために乱数成分に変動範囲の限界値を設け、糸の座屈変形の形状が自然な状態に近づくように工夫した。

しぼについては、織物規格が単位長さ当たりのしぼ数に大きく影響を及ぼす。したがってしぼのシミュレーションではしぼの高さよりもむしろしぼ数を主として考える必要がある。糸の座屈変形量が多い箇所から集中的に発生し、周辺部分の変形を促進させると考えられるので、この考え方に基づいたしぼのシミュレーション手法を提案した。今後はシミュレーション結果を実際の織物と比較しその結果をシミュレーションアルゴリズムにフィードバックして予測精度の向上を図る予定である。

文献

- 1) 池口, 都筑: テキスタイル&ファッション, VOL.16, No.4
- 2) 池口, 都筑: テキスタイル&ファッション, VOL.17, No.11
- 3) 池口, 宮路: テキスタイル&ファッション, VOL.18, No.2
- 4) J.W.S.Hearle and A.E.Yegin: J.Text.Inst., 63, T490(1972)
- 5) J.W.S.Hearle: J.Text.Inst., 57, T441(1966)
- 6) 山本孝, 高久明: 織機誌, 48, T149(1992)
- 7) 大野博, 河村博司: 織機誌, 50, T251(1997)
- 8) 山下重和, 高寺政行, 篠原昭: 織機誌, 50, T115(1997)
- 9) 山下重和, 高寺政行, 篠原昭: 織機誌, 50, T155(1997)
- 10) 小森尚志, 伊藤元貴: 織機誌, 58, T176(2002)