

織物断面の動的シミュレーション技術の確立

太田幸一^{*1} 池口達治^{*1}

Simulation of Woven Fabric Construction in Dynamical State

Kouichi OHTA^{*1} and Tatsuharu IKEGUCHI^{*1}

Owari Textile Research Center, AITEC^{*1}

織物の引張や曲げなどの変形により織物内部の構造を解析し、変形途中の構造変化を動的かつ立体的にシミュレートするソフトウェアを開発した。織物の変形量と構造との関係をアルゴリズムに組み込んだことにより、変形時の織物構造を実物に近い状態で表現することが可能である。織物の変形を考慮した厳密な構造設計が要求される資材用織物などの分野において特に有効である。

1. はじめに

高付加価値をもつ製品の設計を迅速に行うことが要求されている現在では、要求されている力学的特性を実現する織物の構造を製織することなしに予測することが必要となっている。特に、シミュレーション技術の発達により、様々な材料のCAEが実用化されているが、織物に代表される繊維材料は、その可撓性により汎用のCAE技術をそのまま用いることが難しいため、CAEの実用化が遅れていることが問題視されている。

織物のCAE技術の実現のため、織物組織図から三次元モデルを算出し変形状態をシミュレーションにより求める研究が行われている。Hearleらは最小エネルギー法を用いた力学特性計算手法^{1,2)}を元に織物の3次元モデリングを行うソフトウェアTechTextCADを開発している³⁾。また、Lomovらは5次多項式を使用して糸の屈曲状態を表現する方法⁴⁾を提案しており、この手法を利用して組織図から織物の立体構造モデルを作成するアプリケーションソフトWiseTex⁵⁾を開発している。LomovらのWiseTexは引張・せん断変形時の構造変化シミュレーションが可能であり、一般的な織組織の他、多層構造組織の場合でも織物構造のモデル化が可能であるが、複合材料向け織物の構造設計に開発されたため、資材や複合材料の設計には有効であるものの、一般的な織物の設計には不向きであると考えられる。WiseTexは引張・せん断変形時の、TechTextCADは引張時のみの構造変化シミュレーションが可能である。著者らも組織図から織物の3次元構造のモデル化に関する研究⁶⁻⁹⁾を実施してきたが、変形シミュレーションには対応していないため、変形シミュレーションを実現させる必要が生じてきた。特に、現在3次元モデルの変形シミュレーションでは曲げによる構造変化

のシミュレーションが未到達領域であるため、本研究は、従来の3次元モデルのモデリング手法を元に引張および曲げの変形シミュレーションを実施する手法について検討を行った。

2. 糸の変形特性の測定

2.1 測定方法

引張など織物の変形特性にはそれを構成する糸の引張および圧縮挙動が大きく影響することは多くの研究者が報告している¹⁰⁻¹⁹⁾。したがって、織物変形のシミュレーションを実施するには糸の外力による形状の変形特性を知る必要があるため、ポリエステルマルチフィラメント糸の引張変形および圧縮変形の測定を行った。引張変形試験装置を図1に示す。引張試験機(オリエンテック製RT-1250A)を用いチャック間距離200mm、引張速度20cm/minで糸の引張試験を行い、この時の外径の変化をレーザー式外径変位センサ(キーエンス製LS-3000)で測定した。

圧縮変形試験装置を図2に示す。圧縮変形については、Harwoodらが糸の側面から圧縮を行い、この時の糸の上方向および側面方向の太さを画像処理により測定する方法¹⁹⁾を報告している。この手法では細番手の糸については適応が難しいので、ガラス板に挟んだ糸に対し上方向から荷重を加え、糸の上方向から観測した太さ変化をビデオマイクロスコープ(キーエンス製VH-5900)で、側面方向から観測した太さ変化をおよびレーザー変位計(キーエンス製LB-01)を用いて測定した。この時の荷重は電子天秤(ザルトリウス製BP3100P)で測定した。

2.2 測定結果

引張実験結果を図3および図4に示す。図3は撚係数

*1 尾張繊維技術センター 開発技術室

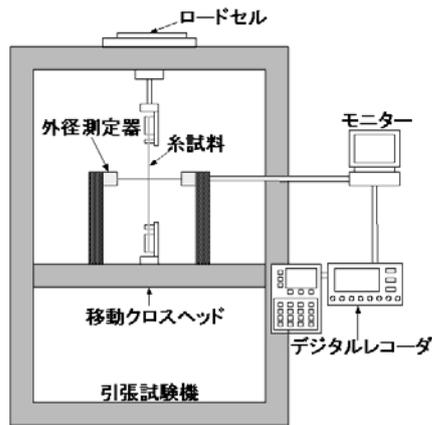


図1 引張変形試験装置

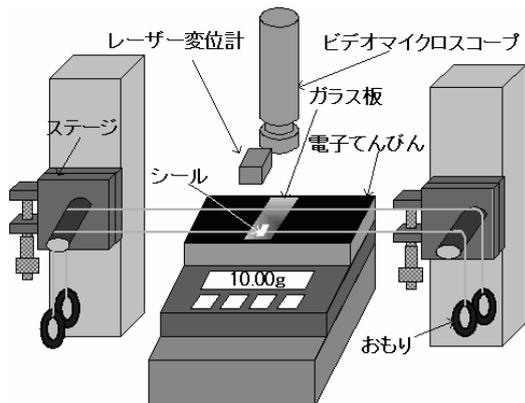


図2 圧縮変形試験装置

が同じ(33.8)で線密度が異なる時の実験結果である。図4は線密度が同じ(300D)で撚係数が異なる時の実験結果である。張力の増加により外径は小さくなっていくが、あるところから張力を大きくしても外径はそれほど変化しなくなる。これは、低張力状態では繊維間の空隙が大きく、空隙が限界に近づくと外径の変化が見られなくなるためであると考えられる。また、撚係数が大きくなれば低張力状態ですでに空隙が小さくなっているため、外径変化も小さいものと考えられる。

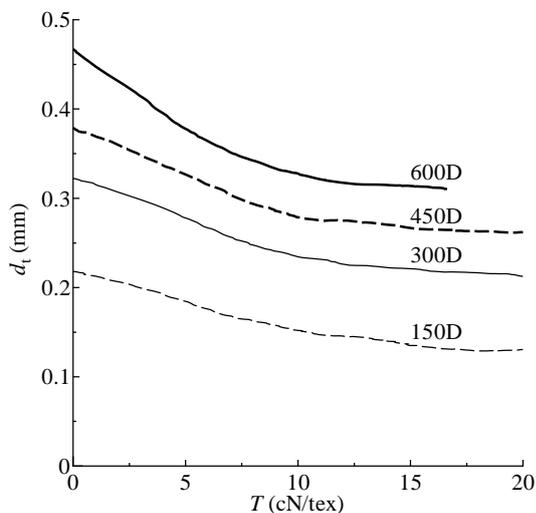


図3 伸長時の外径変化に及ぼす番手の影響

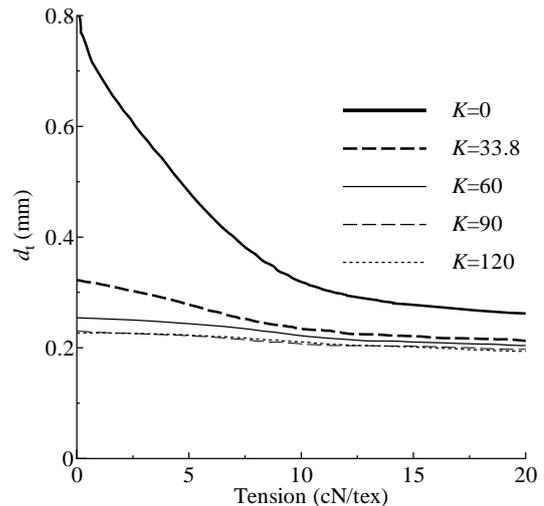


図4 伸長時の外径変化に及ぼす撚係数の影響

圧縮実験結果を図5～図7に示す。横軸は糸の単位長さあたりの圧縮荷重(cN/mm)、縦軸は初期の糸断面を円形と仮定しその直径 d_0 に対する圧縮時の太さ d_t との比を示す。図5は、撚係数を33.8と共通とし、番手が異なる糸の実験結果である。図6は、番手を300Dと共通とした場合の撚係数が異なる場合の実験結果である。いずれも初期張力は9.8cNとした。図7は番手(300D)、撚係数(33.8)とも同じで初期張力が異なる糸の実験結果である。図5、6、7とも低圧縮荷重では圧縮荷重の増加により、太さ、厚みとも大きく変化するが、高圧縮荷重では太さ、厚みとも変化が小さい。図5から番手が異なっても太さ、厚みとも変化の割合はほぼ同じなので、番手は圧縮特性に影響を与えないことがわかる。図6から撚係数が大きい糸の方が撚係数の小さい糸に比べて太さ、厚みとも変化の割合が小さいので、撚係数は圧縮特性に影響を与えている。図7では初期張力が大きくなると太さ、厚みとも変化の割合は小さくなっていき、高張力状態では太さ、厚みとも変化の割合がほとんど変わらない事が確認された。以上より、伸長張力の変化や撚係数の違いにより糸中の繊維空隙が変化し、この構造の違いにより圧縮特性が異なるものと考えられる。

2.3 非均一圧縮による糸の断面形状の変化

本実験では上方からの圧縮を行ったため、圧縮時の断面を試料糸を切断し観測したところ、断面形状は図8(a)のように上下非対称な結果が得られた。このことは、糸が連続体ではなく繊維の集合体であると事に起因すると考えられ、圧縮に伴う糸中の繊維の移動をシミュレートするソフトを作成し、糸断面の変形挙動を再現した結果、図8(b)に示すように、実際の圧縮時の断面形状に近い形状を得ることができた。この糸変形シミュレーション手法を用いることで、織物の非変形時における、織物中の糸の形状をシミュレートすることが可能になり、従来の

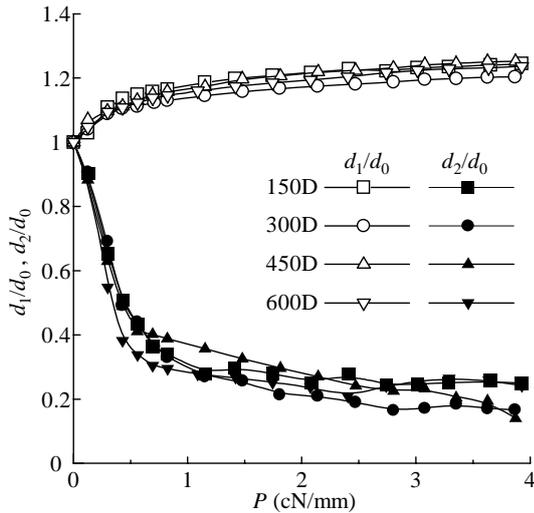


図5 圧縮特性に及ぼす番手の影響

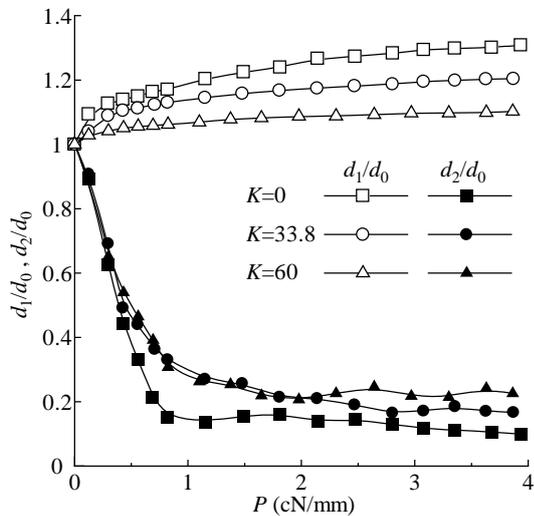


図6 圧縮特性に及ぼす撚係数の影響

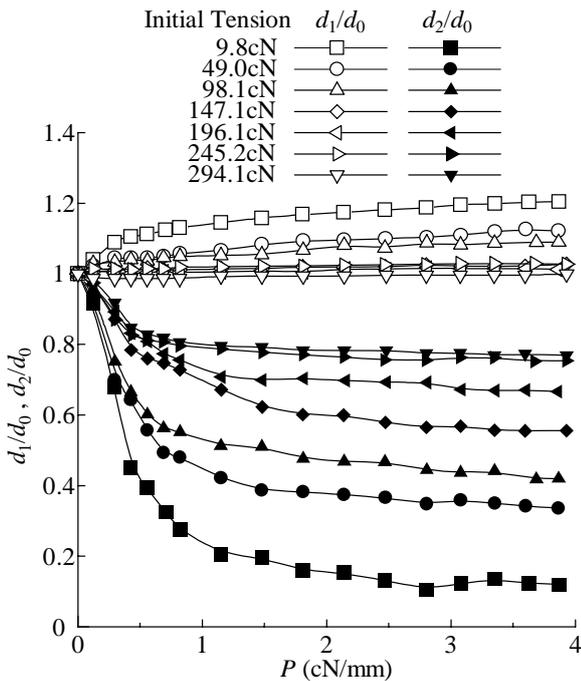
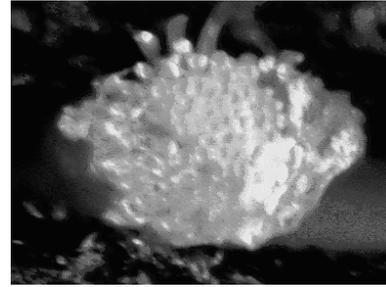
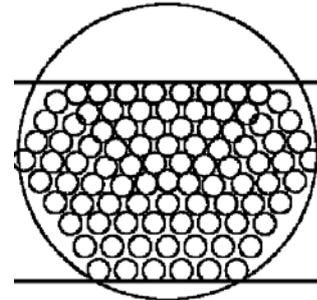


図7 圧縮特性に及ぼす初期張力の影響



(a) 実断面



(b) シミュレーション結果

図8 平行板による上方からの圧縮時の断面形状
静的シミュレーションの精度を向上可能であると考えられる。

3. 糸変特性を反映した織物変形処理

3.1 織物構造モデルの構築

外力に伴い糸形状を変化させた織物変形のシミュレーションを実現するために、糸物性値を反映させた衝突・変形判定を加えた変形処理アルゴリズムを構築した。

引張変形については、JIS L1096 A法（ラベルドストリップ法）に相当する1軸引張をシミュレートする。このとき、織物の変形挙動としては、以下の2段階の挙動をとるものと見なすことができる。

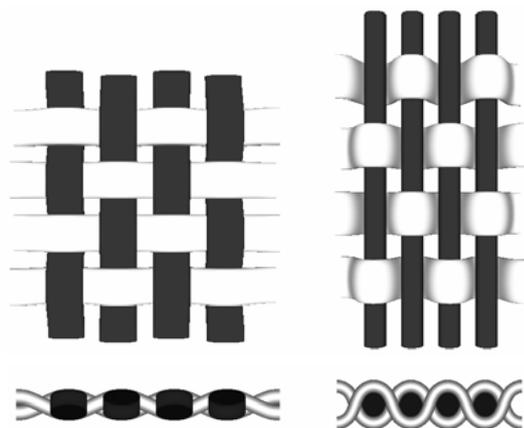
フェーズ1：織物の伸長に伴い、引張方向の糸のクリンプがまっすぐになる。このとき、引張方向の糸のクリンプ高さが低くなるため、直交する糸が引っ張られ、横方向に縮んでいく。

フェーズ2：引張方向の糸のクリンプがまっすぐになった後は、引張方向の糸自身の伸張特性に従い織物が伸張される。

この挙動に従い、断面形状の変化については丹羽らの研究結果^(10,11)を参考にし、前節で測定した糸の変形挙動を参照しモデルの再構築を行う織物構造の引張シミュレーションアルゴリズムを構築した。引張変形のシミュレーション結果を図9に示す。

また、曲げの場合、曲げ方向に対し曲げの外側では引張応力が、曲げの内側では圧縮応力が加わるので、曲げ方向に直交する糸の断面に対して変形させる処理を加え

た。曲げのシミュレーション結果を図 10 に示す。



(a) 伸長前 (b) 25%伸張時

図 9 引張変形のシミュレーション結果



図 10 曲げのシミュレーション結果

(曲率半径 6mm、曲率 $=1.7\text{cm}^{-1}$)

3.2 変形時の織物断面形状の計測・解析

シミュレーションの精度を検証するために、曲げおよび引張変形を加えた織物に対し樹脂により変形形状の固定化を行い、断面試料を作成・観測、シミュレーション結果との比較を行った。曲げおよび引張変形を加えた織物に対して酢酸ビニルエマルジョンを塗布し固化させることにより変形形状の固定化を行い、断面試料を作成する。その後、断面を実体顕微鏡で観測し、断面形状の特徴量の測定を行う。図 11 に示すように、比較的良好な切断面の試料で比較したところ、図 10 に示したシミュレーション結果と同等の断面となっていることが確認され、シミュレーションが有効であることが確認できた。

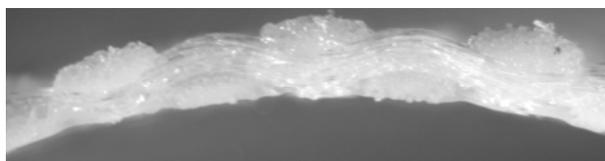


図 11 曲げ変形を加えた織物断面

(曲率半径 6mm、曲率 $=1.7\text{cm}^{-1}$)

4. 結び

本研究では織物変形の基礎パラメータとなる糸の引張変形および圧縮変形特性の測定を行い、糸の番手や撚係数などの糸の構造パラメータが糸の引張時及び圧縮時における形状変化に及ぼす影響について解析を行った。その結果、伸長張力の変化や撚係数の違いにより糸中の繊維空隙が変化し、この構造の違いにより圧縮特性が異

なることが確認された。上記で測定した糸の変形挙動を元に、引張および曲げ変形時の織物構造の変化に従い 3 次元モデルの再構築を行う 3 次元モデリングアルゴリズムを新たに構築した。この結果、変形時における織物の、内部構造の 3 次元モデル化が可能となった。本研究で明らかになった糸の変形特性と変形時における織物の 3 次元シミュレーション手法を応用することで、織物設計における CAE の実現ができ、資材用織物など最終用途で必要とされる高機能な特性を実現するための高度な織物設計が可能になると考えられる。

謝辞

糸の変形特性の測定については、金沢大学工学部機能機械工学科喜成年泰助教授、山下竜人氏、五十嵐雄介氏のご協力をいただきました。心より感謝致します。

文献

- 1) J.W.S.Hearle, V.S.Shanahan: *J. Text. Inst.*, **69**, 81(1978)
- 2) J.W.S.Hearle, V.S.Shanahan: *J. Text. Inst.*, **69**, 92(1978)
- 3) J.W.S.Hearle, P.Porluri, V.S.Thamandra: *J. Text. Inst.*, **92 Part 3**, 53(2001)
- 4) S.V.Lomov, G.Huysmans, I.Verpoest: *Text. Res. J.*, **71** 534(2001)
- 5) S.V.Lomov, I.Verpoest: *10th European Conference on Composite Materials (ECCM-10) Proceedings*, Brugge, Belgium, CD-ROM(2002)
- 6) 太田, 安田: *テキスタイル&ファッション*, **17**, 292(2000)
- 7) 池口, 太田, 都筑: *織機誌*, **54**, P173(2001)
- 8) 太田, 池口: *織機誌*, **57**, T81(2004)
- 9) 池口, 太田: *愛知県産技研研究報告*, **4**, 188(2005)
- 10) 丹羽, 川端, 河合: *織機誌*, **20**, T12(1967)
- 11) 丹羽, 川端, 河合: *織機誌*, **20**, T258(1967)
- 12) 丹羽, 川端, 河合: *織機誌*, **22**, T133(1969)
- 13) S.Kawabata, M.Niwa, H.Kawai: *J. Text. Inst.*, **64**, 21(1973)
- 14) S.Kawabata, M.Niwa, H.Kawai: *J. Text. Inst.*, **64**, 47(1973)
- 15) 平井, 仙波: *織機誌*, **33**, T139(1980)
- 16) 平井, 深井, 仙波: *織機誌*, **35**, T79(1982)
- 17) 川端, 丹羽, 河合: *織機誌*, **31**, T74(1978)
- 18) 川端, 丹羽, 松平: *織機誌*, **34**, T33(1981)
- 19) R.J.Harwood, S.A.Grisanov, S.V.Lomov, T.Cassidy: *J. Text. Inst.*, **88 Part1**, 373(1997)