

氏名	太田 幸一
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第728号
学位授与の日付	平成17年3月22日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	CAEのための織物3次元モデルの生成に関する研究
論文審査委員(主査)	喜成 年泰(自然科学研究科・教授)
論文審査委員(副査)	新宅 救徳(自然科学研究科・教授), 松平 光男(教育学部・教授), 立矢 宏(自然科学研究科・助教授), 浅川 直紀(自然科学研究科・助教授)

## 学位論文要旨

### Abstract

The method which creates the three-dimensional model of woven fabric structures from a weave diagram was examined. Consequently, three-dimensional modeling of the fabric structure corresponding to the expression of three-dimensional structures, such as a honeycomb weave or a multi-layered weave. This was attained by using the method of triggering the floating point number of each yarn for the height position. It enabled this to visualize the three-dimensional structure of fabric, which is only from the information of weave diagrams.

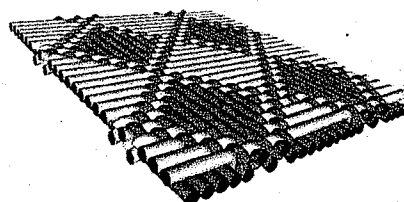
And, it is important to obtain both lateral compressive and tensile properties of yarn in order to create the three-dimensional model of woven fabric structure. Image processing method was used for the lateral compressive deformation of yarn. The influence of yarn structural parameters such as the yarn count and its twist factor on the deformation of yarn was investigated. The compressive deformation of yarn was simulated by Distinct Element Method (DEM). This simulation method was available to describe compressive behavior of yarn.

### 1. 緒論

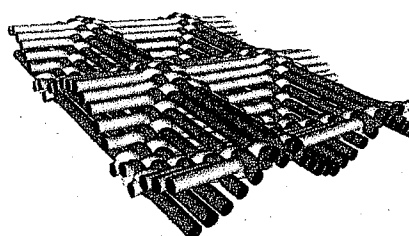
織布は複数の糸を交錯させた複雑な立体形状をもち、糸の素材、糸密度、織物組織など様々な要因で構造が大きく変化する。高付加価値をもつ製品が要求されている現在では、織物企画設計作業において、この織物の立体構造を把握することが必要とされている。しかし、組織図や織物規格から織物の立体構造を把握することは難しく、必要とされる立体構造をもつ織物を設計するには、相当の経験と知識を要する。本研究では、織物の効率的な設計を実現するため、組織図情報を使用し、多層織物組織のモデル化や、組織による立体効果のモデル化に対応した、織物の基本構造を考慮したコンピュータ支援設計技術実現のための織物構造の3次元モデル化技術の開発を行った。

## 2. 糸の横圧縮変形を無視した織物内部構造の3次元モデル化

織物組織図から織物を構成している経緯糸の3次元モデルを作成し織物構造の3次元モデルを生成する手法について検討した。織物組織図から織物構造の3次元モデルを生成するには、織物組織図と糸の太さ、織密度などの織物規格に関する情報を基に、構成する経緯糸1本ごとに対して織物中での座標を確定し、Peirceモデルに従い各糸をベジエ曲面の集合体としてモデル化を行うことで可能とした。この時、単に織物組織図から得られる糸の交錯条件のみを用いて3次元モデル化を行った場合、蜂巢織や多重織組織などの立体的な構造を持つ組織では各組織の持つ特徴的な立体構造を表現することができない。この問題点を解決するために、各糸の浮き組織点数から織物中における糸の相対高さ位置を求め、この相対高さ位置を基に各交錯点における糸の高さ座標を計算する手法を提案した。上記の座標計算手段を用い、織物組織図から



(a) 糸座標算出処理なし



(b) 糸座標算出処理有り

図1 蜂巢織組織モデル化結果

経糸および緯糸の座標を算出し、織物内の立体形状を表示するプログラムを作成し、代表的な組織図を入力し動作確認を行った。その結果、蜂巢織や多重織組織などの立体的な構造を持つ組織については糸座標算出処理を行った場合は各組織の持つ特徴的な立体構造を有する織物構造の3次元モデルを生成することが可能であった。これにより、数学的な知識や3次元グラフィックスの作成技術を必要とせず、組織図を入力するだけで織物の立体構造を容易に確認することが可能となった。また、蜂巢織組織について、実際の織物とモデリングによるシミュレーション結果を比較し精度の検証を行った。その結果、本手法では糸相互の接触による変形を考慮していないため、実際の織物中の糸位置との相違が生じたと考えられ、糸相互の接触による変形に対応した補正処理を加える必要があることが明らかになった。

## 3. 外力による糸の変形特性の測定

織物構造のモデル化のため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手法についての検討を行った。従来の引張変形特性の測定は引張方向に関する寸法変化、すなわち、糸の伸びについての計測のみが可能であったが、伸張に伴い直径寸法の減少が発生することから、引張試験機とレーザ式外径変位センサを組み合わせ、

糸の伸びと伸張時における糸の外径変化を計測する手法を開発し、伸張に伴い直径寸法の減少についての計測を可能とした。同時に、横方向圧縮特性の測定についても、従来の評価方法では圧縮方向についての寸法変化、すなわち、厚みの減少量のみでの計測に限られていたが、圧縮に伴い糸の外径が横方向へ増加する現象が発生することから、糸の画像処理によって圧縮荷重を加えた糸の外径変化を測定する手法についても検討を行い、圧縮荷重を加えた糸が扁平になる挙動についての測定を可能とした。

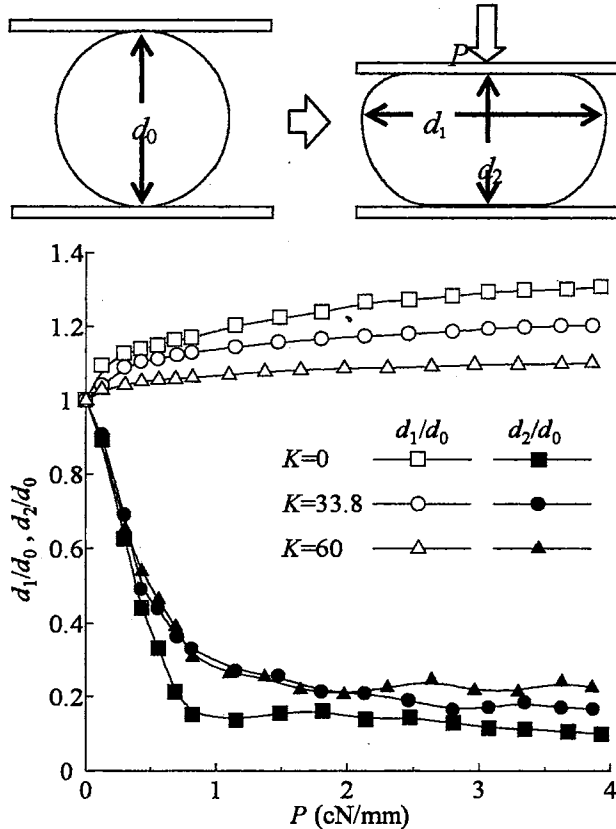


図 2 圧縮特性に及ぼす撚係数の影響

上記の測定手法を用い糸の伸張および圧縮時における外径変化を測定し、糸軸方向の張力や加撚による糸構造の変化と圧縮特性との関係について評価を行った。この結果、伸張変形においては、張力の増加により外径は減少しているが、一定の伸度以上では外径の減少割合が小さくなっており、撚係数が大きい糸ほど伸張に伴う外径変化も小さくなっていった。また、圧縮変形においては、圧縮荷重の増加に伴い、糸の長径は増加し、短径は減少しており、圧縮による外径変化の割合は糸の線密度に依存せず、撚係数および糸の初期張力の増加に伴い

圧縮による外径変化の割合が小さくなった。また、上記の測定結果より、糸の線密度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考察を行った。糸の線密度や撚係数といった糸の構造パラメータは、糸中の繊維の太さや構成本数、加撚方法の違いなど、糸の構造の違いにより変化する。同時に、糸中の繊維相互間の距離、すなわち、糸中の繊維のパッキング密度についても糸の構造からの影響を受けている。したがって、撚係数の増加や糸の両端に加わる張力の増加により、糸中の繊維相互間の距離は小さくなり、その結果として圧縮に伴う外径変化が小さくなっていると考えられる。以上のことから、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明らかになった。

#### 4. 糸横圧縮変形のシミュレーション

前章で述べた圧縮特性評価手法は、2枚の平行平板で糸をはさみ上方からの加圧で圧縮を行っているため、糸の断面形状は上下対称ではなく、圧縮方向に対して上下非対称な形状となる。このことは、糸が連続体ではなく繊維の集合体であることに起因すると考えられ、前章による測定結果と、圧縮時における変形断面形状との関係を明らかにする必要が生じた。そこで、糸中の繊維を個々の要素としてモデル化を行い、圧縮時の変形形状をコンピュータ上でシミュレーションを行うことで糸の変形断面形状を予測する手法についての検討を行った。糸断面の圧縮変形モデルは個別要素法を応用し、糸中の個々の繊維は個別要素として表現した。繊維自身は横方向の圧力に対して変形しないは剛体として考え、加圧による圧縮板と繊維との接触、および加圧の進行に伴う隣接する繊維間における接触による繊維の移動を計算し、圧縮変形時における糸中の繊維の移動についてシミュレーションを行った。シミュレーションプログラムの実装においてはC++言語によるオブジェクト指向プログラミング技法を用いた。

上記シミュレーションソフトウェアを用いて、平行平板による上方からの圧縮変形挙動の計算処理を行った。その結果、平行平板による上方からの加圧において、糸の断面形状は非対称性を示すという変形挙動をシミュレーションにより再現することができた。また、構成繊維数および繊維間空隙が圧縮挙動に与える影響がシミュレーションによる変形形状に与える影響についても確認を行った。その結果、繊維間空隙が大きい場合は圧縮が進行しないという3章での糸圧縮試験結果を再現しており、圧縮に伴う変形挙動の確認を行うことができた。

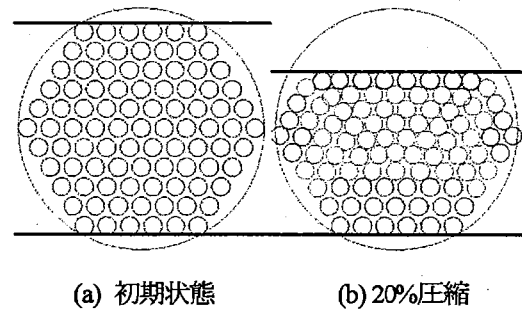
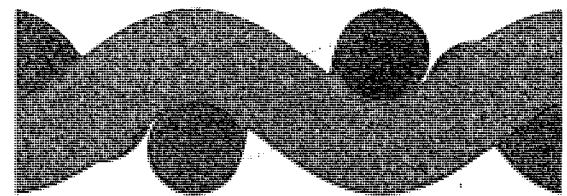


図 3 糸圧縮変形のシミュレーション結果

#### 5. 糸の横圧縮変形を考慮した織物内部構造の3次元モデル化

2章で言及したモデリング手法は織物のモデル化は蜂巢織や多重織組織など立体的な構造の表現に対応した織物構造の3次元モデル化を実現しているが、糸の断面形状を円形断面として取り扱い、交錯する糸同士が接触することによって生ずる糸の変形については考慮していない。このため、モデリング結果と実際の織物中の糸の座標に差異が認められた。この問題点を解決するために、糸を楕円断面で表示する方法を導入し、糸の断面形状を扁平とした場合のした3次元モデリング手法について検討を行った。

ここで、単純に楕円形状を用いモデルの作成を行った場合、織密度が密な場合や、糸が非常に扁平になっている場合などにおいては、糸の交錯点において近接する糸と、これらに交差する糸との間に干渉が生じることが判明した。そこで、糸間の距離と直径(糸断面を楕円形状とした場合は長径と短径)を用い糸間の干渉判定を行い、干渉が発生している場合には隣接する糸について干渉回避ベクトルを算出し、このベクトルに従い交錯点における糸の座標に補正を行うことで上記の干渉を回避することが可能となった。これにより、織密度が密な場合や、糸が非常に扁平となっている場合においても、構造的に矛盾のない織物構造の3次元モデルを生成することが可能となった。



(a) 真円断面



(b) 楕円断面 干渉回避補正前



(c) 楕円断面 干渉回避補正後

図4 断面形状の効果(平織)

また、実際の織物設計では織物限界密度の計算に Ashenhurst および Brierley の理論密度式が活用されているが、理論密度計算結果と実際の織物の密度とに差が生じる現象が発生し、組織や使用糸などの条件によっては適切な密度とならない場合が多く確認されていた。今回開発した糸断面を扁平形状と仮定し、干渉回避補正を加えた3次元モデリング手法によるモデル化を行うことにより、糸の断面形状が扁平になることにより Ashenhurst および Brierley の理論密度式による理論密度計算結果とのずれが生じることが明らかになった。これにより、織密度などの織物規格の影響による内部構造の変化を視覚化が容易に実現することができ、より効率の良い織物設計が可能となったと考えられる。

## 6. 結論

本研究では組織図情報を使用し、多層織物組織のモデル化や、組織による立体効果のモデル化に対応した、織物構造の3次元モデル化技術の開発を行った。その結果、各糸の浮き組織点数から糸の高さ位置を求めることにより、蜂巢織や多重織などの立体的な構造の表現にも対応した織物構造の3次元モデル化が可能となった。続いて、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。この結果を基に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、糸断面の変形挙動のモデル化を可能にした。さらに、前述の3次元モデル作成手法を改良し、糸の断面形状を扁平とした場合の3次元モデリング手法を開発した。断面形状を楕円としたモデリングに加え交錯糸間の衝突回避補正を実施することにより、織密度などの織物規格の影響による内部構造を表現することが可能となった。

本研究で実現させることが可能となった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。

## 学位論文審査結果の要旨

当該学位論文に関し、平成 17 年 1 月 28 日、第 1 回学位論文審査委員会を開催し、提出された学位論文及び関連資料について詳細に検討した。平成 17 年 2 月 2 日の口頭発表後、第 2 回学位論文審査委員会を開催し、慎重に協議の結果、以下の通り判定した。

本論文では、コンピュータ支援による織物の効率的な設計を実現するため、多層織物組織のモデル化や、組織による立体効果のモデル化に対応した、織物構造の 3 次元モデル化を目指した。はじめに糸断面を真円と仮定した場合の織物の 3 次元モデルを作成し、立体的に表現する手法について検討した。その結果、糸の浮き組織点数から糸の高さ位置を求めることにより、蜂巢織や多重織などの立体的な構造の表現にも対応した織物構造の 3 次元モデル化が可能となった。続いて糸の引張変形および圧縮変形特性を測定し、糸の構造パラメータが引張時及び圧縮時の形状変化に及ぼす影響について解析した。その結果、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。この結果を基に圧縮による糸断面の変形挙動をモデル化し、糸の断面形状を扁平とした場合の 3 次元モデリング手法を開発した。さらに糸間の衝突回避補正を実施することにより、織物規格の影響による内部構造を表現することが可能となった。以上のように本論文は独創性に富み、得られた成果は織物設計分野への貢献が大いに期待され、その学術的価値は高いと評価できる。

以上より、本論文は博士（工学）論文に値すると判定する。