

# 織物断面の静的シミュレーション技術の確立

池口達治<sup>\*1</sup> 太田幸一<sup>\*1</sup>

## Simulation of Woven Fabric Construction in Static State

Tatsuharu IKEGUCHI<sup>\*1</sup> and Kouichi OHTA<sup>\*1</sup>

Owari Textile Research Center, AITEC<sup>\*1</sup>

織物の内部構造について解析し、その結果を反映した織物構造シミュレーションシステムを開発した。このシステムは織物に変形するときの構造変化を予測するための初期値モデルを構築するためのものである。織物規格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、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。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

織物に曲げや引っ張り等の応力を加えると柔軟に変形しその内部構造もまた変化する。織物構造の変形特性は衣料、建築土木、インテリア、車両、複合材料など多くの分野における繊維製品の特性を決定する重要な要素である。しかし現状では設計段階で構造変化を予測することは困難であり、満足できる特性を得るためには試織作業が不可欠とされている。試織作業に要する負担を軽減するために、織物に変形するときの構造変化を立体的にシミュレートするソフトウェアが求められている。

しかし織物の製造要因と内部構造との関係が明らかではなく、基本となる変形前の織物構造モデルを構築することが困難であった。本研究では動的な変形過程に対して変形前の静的な条件下における織物構造について解析しこの成果をシミュレーション技術に応用した。

### 2. 実験

経糸は同じ条件に統一し、緯糸の密度、撚係数、番手を変化させた平織物を試料とした。撚係数が異なる試料の断面写真を図1に示す。撚数によって織物構造に大きな差が生じることがこれらの写真からわかる。

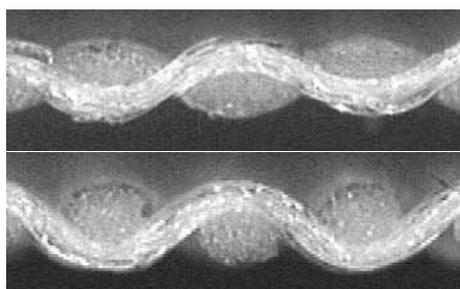


図1 撚数による織物構造の違い

試料の内部構造を調べるため樹脂で表面を固化し、図2に示すように糸の中心部分と糸と糸の間の部分で切断し、それぞれの断面をCCDカメラで撮影した。3次元構造をシミュレーションするためには異なる箇所における構造を明らかにする必要があり、糸間の断面画像も計測した。

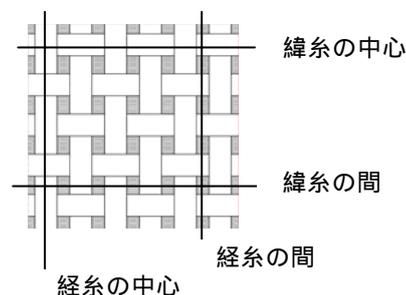


図2 織物断面の測定箇所

断面画像は図3に示す画像計測ソフトを用いて糸形状の特徴量を計測した。

特徴量は図4に示すように、糸断面の最大幅をなす長さ(A+B)、同じく最大高をなす長さ(C+D)、両者の線分の交点距離(E)、クリンプの振幅(F)、とした。

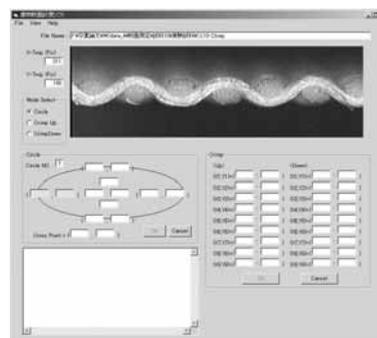


図3 画像計測ソフト

\*1 尾張繊維技術センター 開発技術室

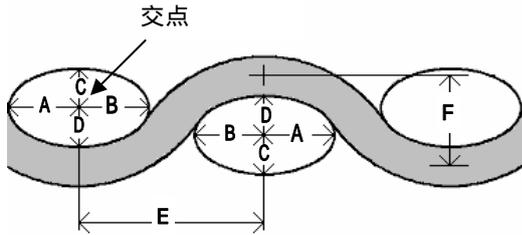


図4 織物断面の測定箇所

### 3. 結果

#### 3.1 系のクリンプ形状

クリンプ形状は糸中心軸の振幅で評価した。図5に緯糸密度と経糸のクリンプ振幅との関係を示す。緯糸密度が増加すると経糸のクリンプ振幅は減少する。緯糸密度が増加することにより緯曲がり構造に変化したことを示している。振幅の減少傾向はほぼ直線的であり限界密度付近では0に近い値を示すと思われたが傾きは緩やかであった。この傾きは経糸の曲げ剛性率および圧縮剛性率に依存するものと思われる。

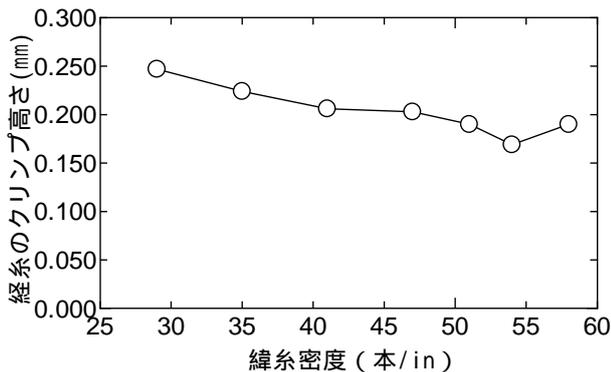


図5 緯糸密度と経糸のクリンプ振幅との関係

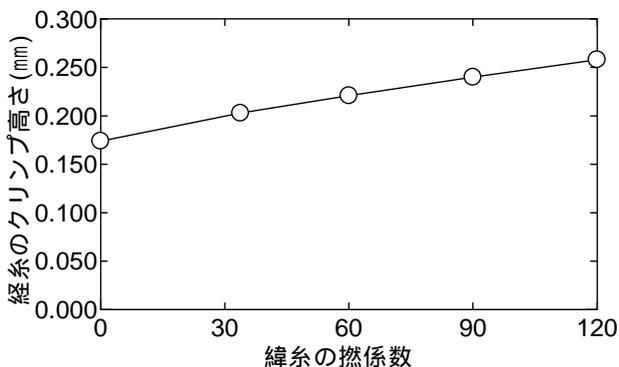


図6 緯糸撚係数と経糸のクリンプ振幅との関係

図6に緯糸の撚係数と経糸のクリンプ振幅との関係を示す。緯糸の撚係数が増加すると経糸のクリンプ振幅は増加する。撚係数が増加すると糸の圧縮性が減少する。このような糸と交錯する糸のクリンプ振幅が大きくなる。

#### 3.2 糸の断面形状

図7に緯糸の密度と緯糸の断面形状との関係を示し、は図4に示したA、はB、はC、はDにおける測定値を表す。緯糸密度が増加すると糸断面の高さ方向の長さはほぼ一定に保たれ、幅方向の長さは減少し、扁平な楕円形から円形に近づく。これは密度が増加し横方向からの圧縮力が増加したためである。

図8に緯糸の撚係数と緯糸の断面形状との関係を示す。撚係数が増加すると、糸の断面は楕円形から円形に近づく。これは加撚により圧縮性が低下したためである。

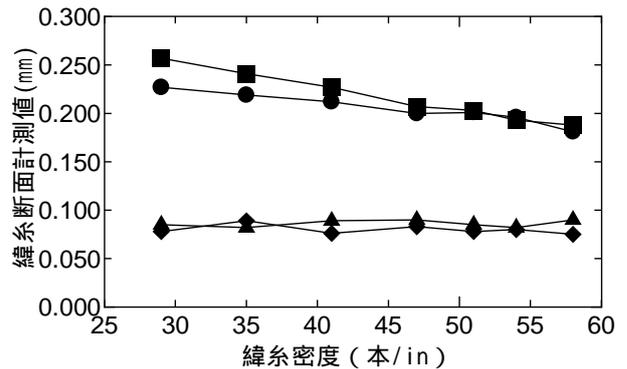


図7 緯糸密度と緯糸断面形状との関係

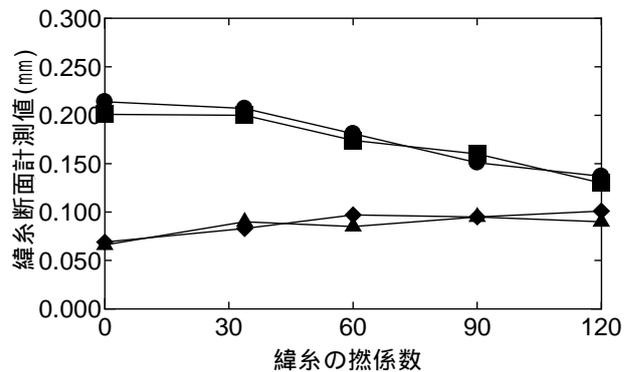


図8 緯糸撚係数と緯糸断面形状との関係

織物は密度や番手などの規格によって断面形状に差が生じることが経験的に知られているが、これらの実験結果から断面形状の変化傾向が明らかになった。また、織物構造の決定プロセスは複数の要因が関係し複雑ではあるが、おおよそ次のようであると考えられる。糸の圧縮特性により限界扁平形状が決まる 糸の曲げ剛性率および織物密度や組み合わせる糸の圧縮特性によりクリンプ振幅が決まる 糸どうしの衝突箇所があれば回避する 織物構造が決定する。

## 4. シミュレーションソフトの開発

### 4.1 織物構造モデルの構築

糸断面形状の変形を考慮した織物構造のモデルとしては、Peirceの楕円断面モデルや、Kempのレーストラ

ックモデルなどが提案されている。実験結果より糸断面形状は楕円とするのが妥当であると考えられることから、本研究では Peirce の楕円断面モデルを基本モデルとして考えた。従来のモデルでは経糸、緯糸の太さや扁平率が同じであるとして扱われることが多いが、経糸と緯糸はもちろん、糸種により太さや扁平率が異なるものと仮定する。また、織物組織についても平織のみ取り扱われるが、任意の組織について考えるものとする。

ここで、織物密度が密な場合や、糸が非常に扁平になっている場合など、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衝突が発生し、モデルが正しく作成できなくなる。

図 9 に示すように、糸断面が真円の場合、組織点  $W(i, j)$  において、近接する経糸の半径を  $r_1(i)$  および  $r_1(i+1)$ 、両者の糸の中心間距離を  $L$ 、これらの糸に交差する緯糸の半径を  $r_2(j)$  とすると、

$$L < r_1(i) + r_1(i+1) + 2r_2(j)$$

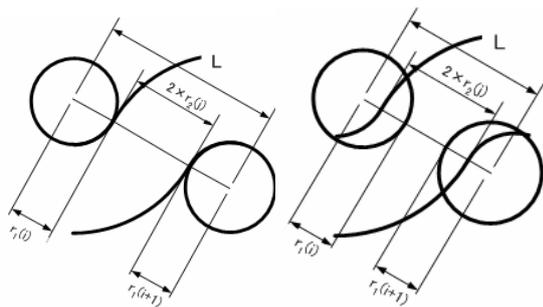
のとき衝突が発生する。また、糸断面が楕円の場合、織物の中心面に対して糸軸のなす角を  $\theta$ 、近接する経糸の長径と短径をそれぞれ  $a_1(i)$ 、 $b_1(i)$  および  $a_1(i+1)$ 、 $b_1(i+1)$ 、交差する緯糸の短径を  $b_2(j)$  とすると、

$$L < l(i) + l(i+1) + 2b_2(j)$$

$$l(i) = \sqrt{a_1(i)^2 \sin^2 \theta + b_1(i)^2 \cos^2 \theta}$$

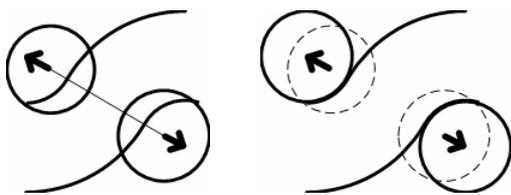
$$l(i+1) = \sqrt{a_1(i+1)^2 \sin^2 \theta + b_1(i+1)^2 \cos^2 \theta}$$

のとき衝突が発生する。これらの条件が成立した場合、図 10 に示すような衝突回避ベクトルを与え、このベクトルに従い糸の位置を移動させることにより、糸間の衝突を回避できるものとする。



(a) 非衝突時の距離関係 (b) 衝突時の距離関係

図 9 衝突発生条件



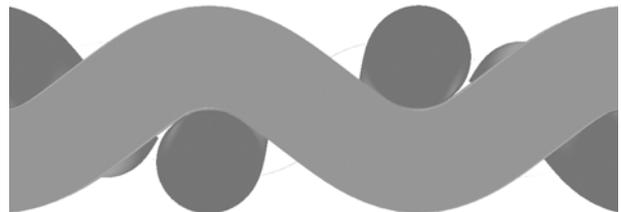
(c) 衝突回避ベクトル (d) 衝突回避後の位置

図 10 衝突回避の原理

## 4.2 ソフトウェアの動作検証

従来の織物構造シミュレーションシステムについて、糸の断面形状を楕円とした場合の 3 次元モデリングを考慮したシミュレーションに対応する改良を加えた。プログラムの作成には Microsoft Visual BASIC (入力インターフェースおよびモデル計算部) および Microsoft Visual C++ (レンダリング処理・表示部) を使用した。

図 11 に平織について糸断面を真円および楕円断面とした場合のシミュレーション結果を示す。真円断面では糸間の衝突が発生していない場合でも、断面が扁平になることにより衝突が発生しているが、衝突回避補正により衝突が生じなくなったことから、衝突回避補正の有効性が確認できた。また、衝突回避補正後は糸の高さ方向の座標が変化することでクリンプ振幅が減少しており、このことから衝突回避補正により実験結果で示されている糸密度の増加による緯曲がり構造への変化を再現することができると思われる



(a) 真円断面



(b) 楕円断面 衝突回避補正前



(c) 楕円断面 衝突回避補正後

図 11 断面形状の効果(平織)

図 12 に糸番手 30Nm、経糸密度 70 本/inch、緯糸密度 60 本/inch の場合の 2/2 綾織のシミュレーション結果を示す。糸番手 30Nm における 2/2 綾の Ashenhurst の理論密度は 72.9 本/inch であるが、従来のシミュレーションでは糸間の衝突が発生し、シミュレーションが正確に行うことができなかった。衝突回避補正を行うことにより糸間の衝突を押さえることができるようになり、実際に製織が可能な密度でのシミュレーションが可能となった。また、衝突回避補正が糸の高さ方向の移動だけでなく横方向への移動を生じさせており、これにより糸の横方向への屈曲が発生している。この屈曲の傾向は Olafsson

の説と同じ傾向を示している。衝突回避補正による糸の高さ方向と横方向への同時移動は図 13 に示す蜂巢織の場合でも確認でき、従来のシミュレーションに比べより現実的なシミュレーションが可能となっている。

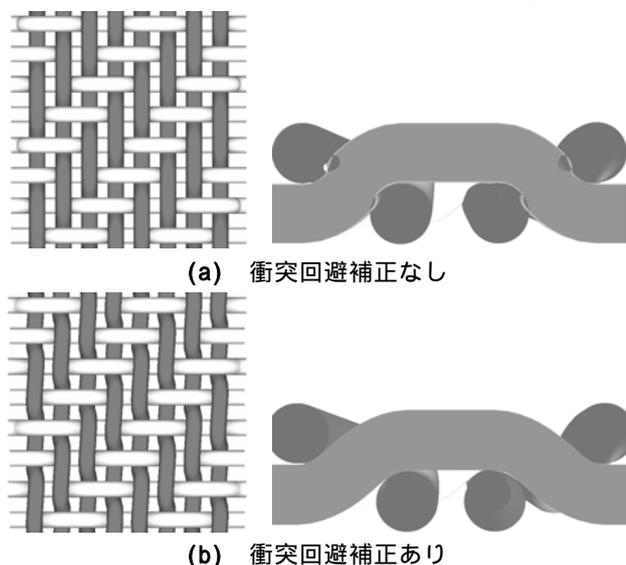


図 12 衝突回避補正の効果 (2/2 綾)

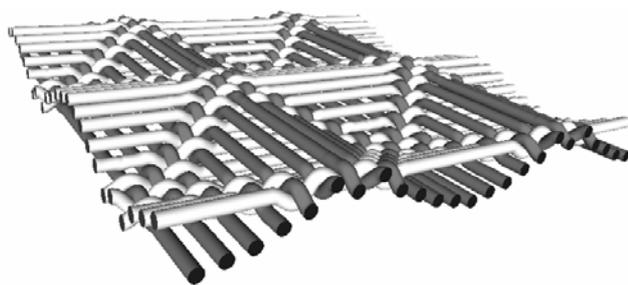


図 13 シミュレーション結果 (蜂巢織)

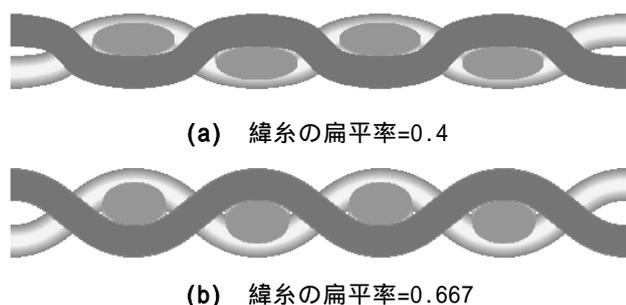


図 14 緯糸の扁平率の違いによる織物断面構造の変化  
扁平率の違いによる織物構造の変化について、緯糸の撚係数が異なる場合の糸断面形状の実測値を用いてシミュレーションを行った結果を図 14 に示す。織物断面構造のシミュレーション結果は図 1 に示されている実際の織物断面と類似している。また、シミュレーション結果

から求めた緯糸のクリンプ振幅も実測値に近い結果を示しており、このことは、織物中の糸断面の扁平率を正確に求めることによって、正確な織物構造のシミュレーションが可能であることを示していると考えられる。現状では糸の圧縮特性と糸断面の扁平率との関係が明確でないため、これらの関係を明らかにすることが今後の課題であると考えられる。

## 5. 結び

本研究では織物の密度や糸の撚係数などの織物規格が織物の内部構造へ及ぼす影響について解析を行った。その結果、織物規格とクリンプ振幅および糸断面形状の関係が明らかになった。

また、これらの解析結果を元に、糸の断面形状を楕円とした場合の 3 次元モデリングを考慮した織物構造シミュレーションシステムを開発した。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、糸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。

本研究で明らかになった織物規格と内部構造との関係と 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。

## 文献

- 1) 池口, 都筑: テキスタイル&ファッション, 16, 193(1999)
- 2) 池口, 都筑: テキスタイル&ファッション, 17, 562(2000)
- 3) J.B.Hamilton: *J. Text. Inst.*, 55, T66(1964)
- 4) V.Milasius: *J. Text. Inst.*, 91, 268(2000)
- 5) 王, 中島, 石倉, 加瀬: 織機誌, 46, T51(1993)
- 6) S.Liebscher: *Melliand Textilberichte*, 76, No.6, 400(1995)
- 7) Selivanov: *TransMoscowText. Inst.*, No.12, 15(1954)
- 8) F.T.Peirce: *J. Text. Inst.*, 28, T45(1937)
- 9) A.Kemp: *Text. Res. J.*, 49, T44(1958)
- 10) 太田, 安田: テキスタイル&ファッション, 17, 292(2000)
- 11) B.Olofsson: *J. Text. Inst.*, 55, T541(1964)