Effects of Weave Pattern on Estimation Surface Height of Yarn in Fabric

IKEGUCHI Tatsuharu*, OHTA Kouichi*,
TSUDUKI Hidenori*, and OKAMURA Masaaki**

* Owari Textile Research Center, AITEC, Aichi Pref. Government, Mabiki Yamato-cho, Ichinomiya, Aichi, Japan

** Department of Mechanical and Systems Engineering, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu, Japan

Received 22 February 2003; accepted for publication 10 October 2003

Abstract

Conventionally, CAD for textiles had regarded textiles as a thin plane. For this reason, it was inapplicable to the textiles which have the feature in surface form. In this research, textiles were regarded as a thick solid structure. The research also dealt with the method of carrying out the simulation of the surface form.

It has been thought that the surface height of yarn in textiles is influenced by the length of the float yarn. However, as a result of measuring the form of the textile surface using noncontact form measurement equipment, it became clear that the height of yarn is not decided by the length of a float yarn. It is instead decided by the state of the weave in the weaving point circumference and the distribution of float yarn in the large range.

Based on these experiment results, a weave figure for surface form was drawn. By applying this formula to computer simulation technology, a system that displays the surface form of textiles in an instant becomes a reality.

Key Words: Simulation; Weave Effect; Fabric Surface; Fabric Structure, CAD

組織が織物中の糸高さに及ぼす影響の予測

池口達治* 太田幸一* 都筑秀典* 岡村政明**

1. まえがき

織物構造は、織り柄はもちろんのこと、糸の盛り上がりによる表面凹凸や布の風合いなどにも大きく影響し、織物設計において重要な項目である。

しかし、織物内部の糸が3次元空間上でどのように交錯するのか頭に思い描くことは容易ではない。さらに、多層織物(風通織など)や表面効果織物(蜂巢織など)のように糸が内部で複雑に屈曲するような織物となると、経験を活かさない限り、織り上がりの形状を予測することはほとんど不可能である。

現在普及している織物設計用CADは、織物を平面的にとらえ、主として色柄を確認することを目的としているため、織物断面や表面形状を確認することはできない。構造に特徴のある新しい織物を開発するには試し織りを行なうしか方法はなく、この作業に要する時間やコストは企業の大きな負担になっている。

織物を平面ではなく立体的にとらえ、画面に構造を表示するための方法論はいくつか報告されている。

織物の変形挙動に関する研究の多くは平織に限られている。その理由のひとつとして、平織以外の組織は非対称形であり幾何学的に複雑な形状をしているため、織物

のモデルを構築する事が難しいという点がネックとなっていたからである。

Toney[1]らは有限要素法を用いて織物の交錯点にかかる荷重を解析し織物内部の糸がどのように変形するか予測する手法を試みている。

Tarfaoui[2]らは、綾織に有限要素法を適用し引張荷重下における変形挙動について解析したが、解析のベースとなる綾織のモデルをはじめに作成する必要がある。

Lomov[3]らは、最小エネルギー法を用いて実物に近い織物のモデリングを行った。それまではコンピュータで織物のモデリングを行うと数時間から数日を要していたものが数分で計算できるようになった。この報告は最小エネルギー法により織物構造を推定することが可能であることを示しており、実際に表示例が呈示されている。しかし、組織図から立体表示のためのデータを作成する方法については言及されておらず、専用の解析ツールが必要でありしかもモデリングに数分要するため、実用化は難しい。

本研究は、織物の経糸と緯糸が交差する点、すなわち組織点における糸の相対的な高さに着目した。織物中の糸の屈曲形状は、糸の物性、織物の規格、仕上げ条件など多くの要因の影響を受けるのは明らかである。しかし、これらの要因について検討する前にまず組織が表面形状に及ぼす影響に対して明らかにする必要がある。本研究では諸要因を排除し、対象を組織が織物表面の形状に及ぼす影響に絞り、組織点における糸の相対的な高さを階層で表現し、表面効果を予測するための基礎的技術を確立することを目的とした。

2. 実験方法

組織に浮きが連続する箇所があると、その箇所の糸は屈曲度数が少ないため、糸長さにゆとりが生じる。糸長さにゆとりがある箇所は、糸が表面に突出し高さが増加する。

Fig. 1 Model of textiles in the states of plain and float with more than 2ends. H:Yarn height, A:Yarn radius in vertical direction, θ :Inclination of yarn crimp.

平織は構成する糸の屈曲度数が最も多く、必要な糸長が最も多い組織である。平織構造を形成するのに必要な糸長をベースにして、浮き数の増加による必要な糸長の

変化について検討した。①糸の伸縮、移動は起きない、②余分の糸長は交錯点間にて均等に配分される、③糸断面形状は変化しないと仮定し、経緯とも糸の太さと屈曲率が等しく、密度が最大であるとする。

図1に示すモデルで、連続する浮き数を N とすると、

$$H=A(4\pi\theta/360-\tan\theta)\cdot(N-1)/2\cdots(1)$$

が成り立ち、連続する浮き数 N と糸の高さ H とは正比例の関係になる。梳毛糸 2/60 の直径に近い値 $A=400\mu\text{m}$ とし、 $\theta=60^\circ$ とした場合の(1)式の計算結果を図5の△で示す。

浮き数が表面高さに及ぼす影響について上記の仮定を検証するために実験を行った。試料は浮き糸の長さが異なる織物4点である。ベースを平織とし、奇数本数で浮く糸を部分的に配置した組織である。試料を表1に示す。

Table 1 Samples of surface structure measurement

Weave	Plane	3ends- float in the plain	5ends- float in the plain	7ends- float in the plain
Yarn	Warp Weft Polyester 300D 72filaments			
Density	Warp 58ends/inch		Weft 49Picks/inch

Fig. 2 Diagram of measurement system using laser displacement meter.

図2は、試料の表面における糸の高さを非接触で測定する形状測定システムである。この測定原理は、試料に波長 670nm、平均出力 950 μW 、最小スポット径 $45\times 20\mu\text{m}$ の半導体レーザーを照射し、その反射光をセンサーで受光して、受光位置の変化により試料までの距離を求めるもので、測定分解能は 0.5 μm 、サンプリング周波数は 50kHz である。試料は、2cm 四方の窓を開けたアクリル板で挟み、X-Y ステージ上に設置する。X-Y ステージはコンピュータ制御により設定したサンプリング間隔の距離を x 軸、y 軸方向に移動し、停止してから試料表面の高さを測定する。この移動-測定の動作を繰り返して所定の範囲の測定を行う。表面の測定が終了したら試料を裏返して裏面を測定する。測定範囲は織物組織 2 リピート分を

カバーするよう $5 \times 5 \sim 10 \times 10 \text{ mm}$ に設定した。また、測定点が糸を構成する繊維の上面であるときと繊維間の隙間であるときとは測定値が異なる。サンプリング間隔が広すぎると測定誤差が大きくなるため、サンプリング間隔は少なくとも配向する繊維の間隔程度に設定する必要がある。そこで測定結果を表す画像から繊維の配列状態が判別できる 0.02 mm に設定した。

Fig. 3 Measurement software.

Warp \ Weft	1	2	3	4	5	6
1	400	390	390	340	330	300
2	410	370	360	340	310	270
3	380	390	350	340	320	280
4	370	330	420	300	250	280
5	320	290	420	260	260	260
6	320	280	450	300	260	290
7	310	300	450	250	300	300
8	340	330	500	340	300	290
9	340	370	340	350	300	280

Fig. 4 Sample result of a 5ends-float in the plain surface measurement (μm).

図3はデータ処理を行うプログラム画面である。図左の画像は、得られた高さデータを濃淡画像に置き換えた画像であり、図右は画像の最上部位における輝度ヒストグラムである。測定した高さ値は CSV 形式で保存した。糸は円筒形であり、また上述したように繊維の上面での測定値と繊維間の隙間での測定値が混在するため糸上面における最上部の高さを正確に求めることが困難である。そこで、経糸と緯糸が交差する各組織点において、中心部位の縦横 5×5 画素の範囲における測定値を求め、糸の高さとして評価することとした。また、測定は各試料について表面、裏面ともに2ヶ所ずつ行った。

以上の方法によって得られた結果の一例を図4に示す。地組織の平織の中に5本浮きの経糸を配置した試料で、経糸6本と緯糸9本の範囲における各組織点の糸高さを示した。表の各マスが組織点に相当する。中がグレーに塗られたマスは経糸が浮いている組織点であることを示す。5本浮きの部分の糸高さは $420 \sim 500 \mu\text{m}$ であり、その他の平織の部分の糸高さは $250 \sim 410 \mu\text{m}$ であることが

わかる。

測定結果より、連続した浮き糸部分と平織部分における糸表面の高さの差を求めた。これは図4に示す組織を例にすると、経糸 No. 3・緯糸 No. 4~8 の5本浮きの部分と経糸 No. 5~6・緯糸 No. 4~8 で囲まれた部分との高さの差に相当する。これらの結果から得られた連続する浮き糸の長さとの糸の高さとの関係を図5の○で示す。X軸の1すなわち平織部分に相当する箇所の高さを基準として0にした。連続する浮き数が増加すると糸高さが増加する傾向があるが、比例関係はない。すなわち、1本浮きから3本浮きに至るまでの増加の割合が大きく、3本浮き、5本浮き、7本浮きの差は少ない。この傾向は(1)式の結果とは明らかに異なる。2本浮き、4本浮き、6本浮きの組織での実験は行っていないが同様の傾向であると推定できる。

以上のことから、連続して浮く糸の長さが糸の高さに及ぼす影響は小さいため、織物組織の浮き糸の長さから糸の高さを予測することは妥当ではないことが明らかとなった。このことから、注目する組織点における糸の高さを予測する際に、その糸の周辺にある糸が押し上げたり押し下げたりする作用に着目すればよいと考えた。

Fig. 5 Relation between number of floating ends and surface height.

次に、浮いている糸が隣接する糸を押し上げたり押し下げたりする作用に、浮き糸の長さがどれほど影響するか調べた。実験は、表1に示した試料で3本浮き、5本浮き、7本浮きの糸と隣接する糸の高さを測定し、平織部分の高さとの差を求めた。結果を図5の●で示す。この図から、浮き糸の長さが変化すると隣接する組織点の高さは変化するが、その変化量は微小であることがわかる。したがって、浮き糸の長さが変化しても、その浮き糸が他の糸を押し下げる力はほとんど変化しないことがわかった。

これらの結果をもとに、組織点における糸の高さを推定するには、各組織点における周辺の組織構造の影響を考慮することが極めて重要であると考えた。

3. 理論

3.1 近傍組織点

織物中の糸の高さに影響を及ぼす要因として、浮き糸の長さはそれほど重要ではなく、周辺の組織点において交錯する別の糸が上から押さえつける力、同様に下から持ち上げる力が重要であると考えた。また、組織全体における浮き糸の分布が不均一の場合、浮き糸が集中する箇所では周辺の糸が持ち上げられると考えた。

各組織点の糸高さが4近傍、すなわち上下左右の組織点の浮き沈みによりどのような影響を受けるかについて考えた。平織を例にとると、平織の組織点のうち、経浮き部分では左右の組織点はどちらも緯浮きであるので、緯糸が中心に位置する経糸を上を持ち上げる作用を及ぼす。また、上下の組織点は緯浮きであるので、緯糸が中心に位置する経糸を下に押し下げる作用を及ぼす。これらの作用を総合すると、押し下げる作用と持ち上げる作用が釣り合うので、平織は全面的にフラットな表面形状を呈することになる。

Fig. 6 The effect of the yarn around the cross point to the surface height.

一方、組織点において経糸、緯糸により持ち上げられる作用と押し下げられる作用に差がある織物では表面形状に影響が現れる。図6に4近傍の組織点の浮き沈みが中央の組織点の高さに及ぼす影響を示す。二重丸の組織点に注目すると、中央が経浮き、左が経浮き、右が緯浮き、上下がともに緯浮きである。左の経糸は中央の経糸と接触していないので中央の経糸に作用しない。右の緯浮き糸は中央の経浮き部に上に押し上げる作用を及ぼす。上の緯浮き糸は中央の経浮き部に下に押し下げる作用を及ぼす。下の緯浮き糸も同様に下向きに押し下げる作用を及ぼす。中央の経糸はこれら作用を合わせた力を受ける。

隣接する組織点に作用する力は、糸の種類など多くの因子によって決まる。ここでは同一の糸を使つたと想定し、すべての組織点において、上に押し上げる作用が働くときは $+F$ 、下に押し下げる作用が働くときは $-F$ 、作用が働かないときは0の度数をとり、これらの値の総

和をその組織点における近傍組織点との相対的な糸高さを表す一つの指標 T であると考えた。 F は糸の種類および密度をはじめとする製造条件によって決まる定数である。実際には各組織点において F の値は異なる。ここでは、糸の種類など、経緯とも同一条件で製造したと仮定し、全組織点で F が同一に働くと考えた。例えば図6における◎をつけた組織点では $T=-F$ である。具体的には次の手順で T を求める。

図7(a)に示すような組織を表すマトリックス W を考える。

$W(1,1)$	$W(2,1)$	...	$W(n,1)$
$W(1,2)$	$W(2,2)$	...	$W(n,2)$
...	...	...	...
$W(1,n)$	$W(2,n)$	...	$W(n,n)$

(a)

	S_1	
S_3	S_0	S_4
	S_2	

(b)

Fig. 7 Location of the contact points in the weaving pattern.

ここで、

$W(i, j)$: 組織の構成要素

n : 組織の1循環サイズ

i : 注目する組織点を表す経糸番号

$i=1, 2, \dots, n$

j : 注目する組織点を表す緯糸番号

$j=1, 2, \dots, n$

とし、組織点 (i, j) において、

経糸が浮きならば、 $W(i, j)=1$

経糸が沈みならば、 $W(i, j)=0$

とする。また、図7(b)に示すように、組織 W から抽出した各組織点における4近傍組織点で構成されるマトリックス S を考える。 S の構成要素は注目する組織点 S_0 、およびその4近傍組織点 S_1, S_2, S_3, S_4 であり、

$$S_0 = W(i, j)$$

$$S_1 = W(i, j-1)$$

$$S_2 = W(i, j+1)$$

$$S_3 = W(i-1, j)$$

$$S_4 = W(i+1, j)$$

とすると、組織点における糸高さの指標 T は、

$$T_1 = \sum_{k=1}^2 \{ (1 - |S_0 - S_k|) \cdot S_k - (S_0 - S_k) \} \cdots (2)$$

$$T_2 = \sum_{k=3}^4 \{ (1 - |S_0 - S_k|) \cdot (1 - S_k) + (S_0 - S_k) \} \cdots (3)$$

$$T(i, j) = T_1 + T_2 \cdots (4)$$

から得られる。

表1の試料について連続する浮き糸部分およびその糸に隣接する糸の高さを(4)式に基づいて計算すると図8

の結果が得られる。連続する浮き糸部分では浮き数が1本のときは $T=0$ であり、浮き数が3本になると急激に増加し3本以上の増加に対しては増加傾向が小さくなる。連続する浮き糸に隣接する部分では、浮き数の増加に対して高さは変化しない。図8と図5において浮き数の増加に対する組織点における糸の高さの変化傾向を比較すると、表1の試料のように極端に浮きの異なる組織でも良好な結果が得られることがわかる。このことから、(4)式は高さ予測式としての可能性を有していると考えられる。厳密な糸の高さを求めるためには原料、織物規格、仕上条件などを考慮する必要があるのは言うまでもないが、組織図の情報から糸の相対的な高さを予測するという目的に絞れば、(4)式から得られる指標 T により高さを表現しても目的は十分達せられると考え、この式を今後展開する理論の基礎とすることとした。

Fig. 8 Relation between number of floating ends and surface level (T).

3.2 浮き糸の周辺分布

種々の織物をさらに広域的に観察すると、浮き糸の分布状態が不均一であることが糸の高さに影響を及ぼすことが確認できる。織物上の浮き糸が均一に分布していない蜂巢織はこの現象が顕著に現れる。図9は蜂巢織りの組織図と、経糸、緯糸それぞれの浮きの分布である。この図から経糸、緯糸ともに浮きの分布に偏りがあることがわかる。浮き糸が集中している箇所は織物が上に持ち上げられて高くなる現象が生じる。さらに、これらの延長線が交わる箇所も高い位置に引っ張り上げられる現象が起こる。

この現象の影響を組織点高さから補正するには組織図の広い範囲で浮き糸の分布状態を調べる必要がある。経糸、緯糸それぞれの方向に浮き数をカウントし、その合計数の分布状態から高さへの作用度数を決定した。浮きの周辺分布による高さへの作用度数は主として織物の曲げ剛さによって決まる。ここでは組織点 (i, j) における作用度数を(5)式で計算した。(5)式における定数 d は、主として糸の曲げ剛さ及び圧縮剛さなどによって決まり、現段階では導くことが困難である。今回は任意の数値を代入して $D(i, j)$ を求め、(6)式に代入し、組織点の高さを補正した。

$$D(i, j) = \text{浮き数の周辺分布} / \text{平均浮き数} \times d \cdots (5)$$

$D(i, j)$: 組織点 (i, j) における浮きの周辺分布による高さへの作用度数

d : 定数

$$Th(i, j) = T(i, j) + D(i, j) \cdots (6)$$

$Th(i, j)$: 浮きの周辺分布を考慮した組織点 (i, j) における階層

(6)式で得られる組織点の階層は、隣接する糸の浮き沈みが糸の高さに及ぼす影響、及び離れた位置における糸の浮き沈みが糸の高さに及ぼす影響を考慮している。織物の裏面でも同様の計算処理を行うことにより、浮き糸と沈み糸の両方ともに高さ値を求めることができる。

Warp \ Weft	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1
2	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
3	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1
4	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1
5	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
6	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
7	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
9	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
10	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
11	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
12	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1

(a)

(b)

(c)

Fig. 9 Sample frequency of the floating contact points along the yarn. (a) Numerical representation of the weave pattern. (b) Frequency of the float of warp yarn. (c) Frequency of the float of weft yarn.

図9(a)に示した組織では、左から5番目と11番目の経糸の浮き糸の周辺分布がそれぞれ最小、最大であるのでこれらの糸を例にとって(6)式の適用効果を説明する。

図10は図9(a)に示した組織の5番目と11番目の経糸について、組織点の高さを(4)式によって求めた結果である。X軸は上から順にみた緯糸との組織点を表す。5番目の経糸の組織点2は平織部分であり、このように4近傍組織点の影響だけをみて計算した場合、(4)式の結果は0になる。また、11番目の経糸の組織点8も平織部分であり、計算結果は同じく0になる。すなわち、両者の高さは同等であるという結果が得られる。また、これら平織部分はすべて一様に高さが等しいという結果が得られる。どちらの結果も実際の織物の様相とは異なる。

これは各組織点の周辺4近傍に存在する組織点だけを考慮して組織点における糸の高さを求めることの限界を表している。

Fig. 10 Estimated surface level (T) of warp 5 and 11 using equation 4 (Refer to fig. 8).

Fig. 11 Estimated surface level (Th) of warp 5 and 11 using equation 6 (Refer to fig. 8).

同じ経糸について、(6)式を用いて求めた組織点の高さを図11に示す。5番目の経糸は緯糸2との組織点において経糸と緯糸の浮き糸の周辺分布がどちらも低い。このため(6)式における補正值 $D(i, j)$ が小さい値となり、補正後の組織点高さが小さくなる。同じく5番目の経糸の組織点8の部分は緯糸が長く浮く部分が存在し、この影響を受けて組織点の高さが増加している。

一方、11番目の経糸の緯糸2との組織点は、長く浮く経糸が存在しておりこの影響を受けて糸の高さは高い。

同じく11番目の経糸の緯糸8との組織点は経糸、緯糸とも長い浮き糸が存在するため組織点の高さは増加している。

以上のように、5番目の経糸における組織点2の部分と11番目の経糸における組織点8の部分はどちらも平織を構成しているにもかかわらず、後者の組織点における糸の高さの方が高いという結果が得られる。これは図12に示す実際の織物における糸高さの測定結果ときわめてよく一致している。

Fig. 12 Actual surface height of warp 5 and 11 (Refer to fig. 8).

4. 結論

織物組織が表面の形状に及ぼす影響として、糸の浮き長さが最も大きな因子であると考えられていたが、実験結果よりその影響は小さいことが明らかになった。一方、組織点周辺の糸の浮き沈みがその組織点における糸の高さに及ぼす影響は大きいことがわかった。この性質を応用して組織図から得られる情報を元に織物中の糸の高さを推定する手法を導いた。糸の浮き沈みの周辺分布を考慮することにより糸高さを求める式の汎用性を高めることができる。

この手法は糸の絶対的な高さを求めるのではなく、織物を階層に分け各組織点がどの階層に属するのかにより相対的な高さ関係を求めることに特徴がある。そのため特殊なツールを必要とせず、組織図の情報だけをもとに織物表面効果を予測することが可能である。

References

- [1] M.M.Toney, "Computer Modeling of Fibrous Structures", J. Text. Inst., Part3, 133-139 (2000)
- [2] M.Tarfaoui, J.Y.Drean, "Predicting the Stress-Strain Behavior of Woven Fabrics Using the Finite Element Method", Text. Res. J., 71, 790-795 (2001)
- [3] S.V.Lomov, G.Huysmans, I.Verpoest, "Hierarchy of Textile Structures and Architecture of Fabric Geometric Models", Text. Res. J., 71, 534-543 (2001)