(昭和 55 年 9 月 11 日受理)

織糸の交差角度に関する実験的研究

大阪府立繊維技術研究所 知野 光伸・田中 稔
京都工芸繊維大学工芸学部 鈴木 恵

STUDY ON THE BENDING ANGLE YARN IN CLOTH ON THE LOOM

By Mitsunobu Chino^{*1}, Minoru Tanaka^{*1} and Megumu Suzuki^{*2}

^{*1} (Textile Research Institute of Osaka Prefecture, Izumi-otsu, Osaka, Japan)

^{*2} (Kyoto Institute of Technology, Sakyo, Kyoto, Japan)

The bending angles of warp and weft yarns in the cloth on loom were measured. The results were compared with a theory on shrinkage of cloth. When the weft yarn tension was kept constant, the warp bending angles decreased and the weft bending angles increased with the increase of warp tension on loom. The bending angles depended on the yarn count, the flexural rigidity of yarn, and the configuration of yarn deformed by the lateral load. The theory well explained these results.

(Received September 11, 1980)

1. 結 言

織物の構造解析および織縮みなどを検討する場合、必ずたて糸とよこ糸の交差角度が問題となる。その交差角度を決定する要因には、たて糸とよこ糸の張力とその相互関係、糸番手、織密度、おさ打ち力はもちろん、素材の織度、繊維長、断面形状、織物に使用される糸の撚数、番手、曲げこわさなどが考えられる。

従来より多くの研究者が製織時におけるおさ打ち力や織密度等を解析するため交差角度を用いているが、交差角度についての解析には、綿織物中の織糸間隔と糸の断面形状を楕円と考えたときの短軸との関係¹⁾を求めた研究、織物構成糸の糸軸長さとクリンプ、製織中のおさ打ち力の測定を行なった研究^{2,3)}、そして相似織物作成のための織物構造解析に糸断面形状を円と仮定して織密度と糸直径から交差角度を求めた研究⁴⁾がある。その他、製織のタイミングと交差角度との関係⁵⁾を求めた実験的研究もある。

前述のようにたて糸とよこ糸の交差角度は糸の番手、織密度、交差時における織糸の潰れに関係し、また、たて糸、よこ糸の張力の大きさやよこ糸挿入時のおさ打ち力が交差角度に影響する⁶⁾。これらの研究はそれぞれの目的を遂行させるのに必要なため交差角度の解析または実験を行なっているが、交差角度は他の素材、製織条件

を同一としてもたて糸張力により大きく変化する。現実たて糸張力を増加させると織密度は多くなり^{7,8)}、必然的に交差角度も大きくなるものと考えられる。これまで、筆者らは製織機構の解析の一環として糸摩擦、織縮み、織密度の変化などについて検討を加えて来たが、いずれもたてとよこ糸の交差角度が問題となり、解析を行なってきた。しかしながら、この交差角度をたて糸張力との関係に着眼して実験的に系統だてて検討した研究はほとんど見あたらない。このたて糸張力と交差角度との関係を実験的に知ることは織物の構造解析のために重要なことと思われる。したがって、本研究ではたて糸張力と交差角度との関係を実験的に求め、織糸を梁モデルで置き換えて解析を行ない、たて糸張力と交差角度との関係を明らかにしようとした。

2. 実 験

2.1 実験試料

一般に、たて糸とよこ糸の交差による織縮みのため織物が織機の中央に集まる傾向を持つのでテンプルを用いて機械的にこの傾向を抑え織幅を出している。機上における織糸の交差角度の測定は、機上における織物がテンプルを通過した後の交差角度を検討すればよいと思われる。

いま、製織モデルを図1に示し、図中にたて糸張力測

定個所を×印、織物試料摘出位置を○、⊗印で示した。試料摘出の各点より交差角度測定用試料としての織物を機上での現状を保持するためポリエステル系樹脂で固定して切り出し、図2のような断面写真を作成した。図2の(a)は図1の○位置より採取した織物の、(b)は先に述べたようにおさ幅と織前幅の相違、テンプルによる幅出しの影響を避けて⊗点より採取した織物の顕微鏡写真

Fig. 1 Measuring points of warp tension and bending angle.

(a)

(b)

Fig. 2 Microphotographs of cloth cross sections on the loom; (a) tensile part and (b) non-tensile part by the temples.

である。それぞれ○、⊗の位置を以後テンプル上、テンプル外と呼ぶ。たて糸張力は図1の×点に示すように、遊動バックレストと糸が離れる位置から20 cmたて糸の進行方向に進んだところ、両耳端より10 cm離れた内部の6ヶ所の単糸張力を測定した。たての単糸張力はたて糸の開口、おさ打ち、よこ入れ運動等によって変動するため研究目的によってその取り扱いはやや異なり、おさ打ちによる張力増加分、よこ糸密度とおさ打ちによる張力増加等の検討におさ打ち直前のたて糸張力を基本として用い⁹⁾たり、織物の耳端解析のためには織幅中央部の糸の平均張力をたて糸張力として用いている¹⁰⁾。したがって、本報ではたて糸とよこ糸の交差時張力の相違が必要であるが、たて糸とよこ糸の交差が完了する開口時(クランク角136°)の張力をたて糸張力とし、それら単糸張力6ヶ所の平均値を測定時のたて糸張力とした。使用した織機は綿織物で東海式綿織機、豊田織機、毛織物では岩間小幅織機である。

本研究の目的から考えて交差角度を求めるときのよこ糸張力は、よこ糸とたて糸の交差時に発生する張力を知ることが最も望ましい。しかしながら、現在では製織中のよこ糸張力を直接測定することは不可能に近いため、本報では織物に織り込まれるよこ糸長さとおさ打ち直後の織物断面写真より全織幅に必要なよこ糸長さを算出し、この両者の差よりよこ糸の受けるひずみ量を求める。また、同ロットの糸の伸張弾性曲線から製織中に生ずるひずみ量と同じひずみを与えたときの荷重を得て、これをよこ糸が製織中に受ける荷重と推定し、この荷重の大きさをよこ糸張力と仮定した。このようにして求めたよこ糸張力は綿織でたて糸張力48.2 gfのとき22.5 gf、そ毛織物ではたて糸張力33.3 gfで18 gfであった。

製織中のたて糸、よこ糸交差角はおさ打ちにより新しいよこ糸を圧入したときと順次よこ糸を織前に圧入したときとは異なり、織前に近い糸の交差角は小さく、しだいに交差角は安定して大きくなり、一定の交差角度となる^{6,11)}。これは一番新しいよこ糸をおさ打ちにより織前へ圧入してもおさが織前を離れるとおさによる圧入力が消失し、各組織での摩擦抵抗もあり、それぞれよこ糸前後の張力差によりよこ糸は織前へ移動する⁶⁾。このたて糸とよこ糸の交差角は織前より5~6本のよこ糸打ち込みで一定になるといわれている¹²⁾。この実験でも図3に見られるようによこ糸間隔はほぼ4から5本程度のよこ糸打ち込みにより均一となり、たて糸の交差角度も同様な時点で一定になると考えられる。ただし、交差角度が一定となるよこ糸打ち込み回数は糸の番手、織物の密度、糸の曲げこわさなどにより一定ではなく多少変化するようである。

Fig. 3 Microphotograph of a cloth on loom.

交差角度測定用の試料として綿糸 40s (14.7 tex.), そ毛糸 2/36 (27.8 tex. $\times 2$) をおのおのたて糸, よこ糸に用いて織物を作成した。ここに, 緯織物ではたて糸, よこ糸密度を cm 当り 31.5 本, 51.2 本の朱子織, そ毛織物はそれぞれの糸密度が 17.3 本, 16.9 本の平織である。前記, 朱子織, 平織の試料作成にあたり, 製織条件はたて糸単糸張力を綿織物で 42.2, 48.2, 50.6 gf の 3 種, そ毛織物では 25.2, 30.1, 33.3, 40.0 gf の 4 種類とした。

2.2 測定原理

解析を行なうにあたり, 既報^{7,8)}のように織糸の交差点での断面を楕円, 非交差点でのたて糸, よこ糸は直線, その断面形状は円形であると仮定する。

また織物構成糸を梁で近似することは従来から多く見られ^{13,14,15)}, 本報でも製織時の解析に織糸を梁として近似できるものと考えた¹⁰⁾。したがって織物の大部分は引張り力の加わった連続梁の集合として取り扱った。この場合, たて糸とよこ糸の交差で各糸が屈曲するため単位組織内における糸長はよこ糸との交差前より長くなるが, たて糸は糸の両端をヤーン, クロス両ビームで把持されているので, 糸長は不変と考え, また, よこ糸もたて糸とよこ糸間に生ずる摩擦力が大きいため屈曲に必要な糸長を交差時にシャトル内ポビンより供給されることはない¹⁰⁾と仮定した(機上においては織物の両端部分はテンプレートで把持しているためテンプレート把持部の織物張力とテンプレート非把持部の織物張力とは異なり¹⁰⁾, 織物の端部が中央部より織糸張力が大きいため別の解析が必要と考えている)。

たて糸の開口運動を糸の浮きと沈みに分け, それぞれの浮き糸と沈み糸は織物構造から最大浮き, 沈み量がたて糸またはよこ糸の直径以上に大きくなることはなく, 梁の支持点も機上ではテンプレート等の作用で移動を起さないと仮定する。

自動織機の回転数を一般に 150 rpm と考えると織機のクランクが一回転するに要する時間は 0.4 秒/回となり, 最近非常に勢いで増加している革新織機等の回転数をも考え合せてもクランクが 1 回転する時間は 0.2~0.4

秒/回と思われる。

いま, 製織実験に用いた織機の一つである岩間の小幅織機を例にとり, 織機の諸元を次のとおりとする。すなわち, バックレストから織前までの距離 92 cm, 開口の高さ 5 cm, バックレストの遊動距離 0.3 cm である。以上の諸数値より開口運動によるたて糸のひずみ量は 0.4 % となり, 引張試験機を用いて引張速度 100 mm/min で糸の伸張試験を行なうと応力, ひずみ曲線は綿糸 40s のり付糸で約 1.0 % まで直線で示され, この間は弾性領域内と考えられる。

実際, 織機上ではクランク・シャフトの 1 回転に要する時間が各織機によって速度が異なり, 回転速度の相違は糸引張速度の相違につながる。綿糸 40s の引張速度 30~500 mm/min による弾性領域は図 4 に見られるように 72 gf から 78 gf までの値を示すため, 綜絢が開口から開口に至る時間 0.1~0.2 秒間でたて糸 0.4 % 引き伸ばしてもいづれもその値は 30 gf 程度と弾性領域内での変化であり, この間ではたて糸は弾性挙動を示すと考えてよい。よって, 織糸を弾性体の連続梁と近似して検討することで比較的良く現象を説明できるものと考えている。

Fig. 4 Relationship between tensile force and tensile velocity; ● cotton yarn 40s, ○ worsted yarn 2/36.

すなわち, 図 5 に示すような両端支持の連続梁のある支点間の中央部に 1 個の集中荷重が加わり, 隣り合う二つのスパンを考える¹¹⁾。既報⁸⁾より n 番目のスパンの撓み角 $\theta, \theta', M_i (i=n-1, n, n+1, \dots)$ を n または $n+1$ 点での曲げモーメント, EI を曲げこわさ, P_n をスパン n に加わる 1 個の集中荷重, l を各支点間または荷重点と支点間距離, α, β を係数とすると

$$\theta = -\beta_n \frac{2M_n l_n}{3EI} - \alpha_n \frac{M_{n-1} l_n}{3EI} - r_n \frac{P_n l_n^2}{4EI}$$

Fig. 5 Continuous beam model for the interlacing structure by the warp and weft yarns.

$$\theta' = \alpha_{n+1} \frac{M_{n+1} l_{n+1}}{3EI} + \beta_{n+1} \frac{2M_n l_{n+1}}{3EI} + \gamma_n \frac{P_n l_{n+1}^2}{4EI}$$

となり、これより

$$\theta = \theta' = \left(\frac{dy}{dx} \right)_{x=0, x=2l} = \frac{5P_n l_n^2}{24EI} \cdot \gamma_n \quad (1)$$

(1)式の θ および θ' はたて糸とよこ糸の交差時、すなわち、よこ糸がたて糸にそう入され、たて糸が閉口したときのたて糸の屈曲角度を示す。

ここで、 T を引張張力とすると、(1)式中の γ_n は

$$\gamma_n = \frac{1 - \cosh u}{\frac{1}{2} u^2 \cosh u} \quad u = \left(\frac{T l_n^2}{4EI} \right)^{1/2}$$

である。また、 M_n 、 P_n 、 R 、 l_n は実際の織物上では次のような意味を持つものである。 M_n はたて糸に加わるよこ荷重、またはよこ糸に加わるたて糸張力にもとづく荷重で生ずる曲げモーメント。 P_n はたて糸の糸軸に対し直角に加わるよこ糸張力による荷重、ただし、よこ糸に対してはたて荷重となる。 R_n は P_n とは逆方向から加わるよこ糸による荷重、 l_n は各たて糸間またはよこ糸間距離、 EI は織糸の曲げこわさである。

基本的には織糸の交差角は織前におけるよこ糸挿入による交差が初めて完了した時点での各張力により決定され、以後、順次新しいよこ糸挿入とテンプルなどの影響およびテンプル外に出るまでの時間などの変化要因がある。しかし、いずれも経過時間としては多くて数分しか必要とせず、ここでは無視され得る程度と考え、よこ糸織込時のたて糸、よこ糸の力関係は大きく変わらないとした。ここに交差角度は図6に示すように、たて糸またはよこ糸の中心軸と織物の中心軸 XX' とのなす角である。

Fig. 6 Geometric figure of the interlacing structure by the warp and weft yarns.

ただし、織糸断面の長軸、短軸 a 、 b および整経されたたて糸と隣接するたて糸または既に打ち込まれたよこ糸と新しく打ち込まれたよこ糸との間隔を $1/K$ とした。この $1/K$ の大小は織密度の粗密を意味する。

3. 実験結果および考察

織物を構成しているたて糸、よこ糸はよこ入れ操作でそれぞれの張力の垂直方向分力で互いに屈曲させながら交差しているが、各々の張力、糸の番手および織密度などの違いにより交差角度が変化することは(1)式で説明される。

3.1 交差角度へのテンプルの影響

よこ糸の打ち込みが進むにつれて巻取りが行なわれるため織糸の張力のほか、何等の外力も機上の織物に加わらないときには機上の織物幅は狭くなり織り難くなる。この織幅減少防止のためテンプルを用いて所定の幅出しを行なう。テンプルでよこ糸は糸軸方向に引張られ、よこ糸の交差角度が小さくなると同時に図2で明らかなように、たて糸の交差角度はテンプル外の角度に比較してテンプル上で大きくなる。この関係について毛織物を用いて検討したものが図7である。ここに●印はたて糸の交差角度、○印はよこ糸の交差角度である。同図のたて軸はテンプル上の交差角度、よこ軸はテンプル外の交差角度である。いま、テンプルによる織物への影響がない場合、交差角度は機上織物面ではほぼ同一となり、図7中にテンプル上とテンプル外の各点が1対1の対応する点を一点鎖線で結ぶと測定点はこの一点鎖線上に乗るは

Fig. 7 Relationship between bending angles of yarns (a worsted 2/36) in tensile part and non-tensile part by the temple; ● warp, ○ weft.

ずである。しかし、試料の両交差角度は同線には乗らないし、たて糸の交差角度がテンプル上で 29.3° を示したものが、テンプル外で 31.3° と大きくなる。これはテンプルによる影響と考えてよい。よって、たて糸とよこ糸の交差角度を測定する場合、織前およびテンプル上で測定することは織物の交差角度を測定する個所として不適当であることが図7からも明らかである。

次に、上述のように機上での交差角度を求めるためには図1の⊗点で測定しなければならない。このようにしてテンプル外より求めた測定値と(1)式よりの計算結果とを比較検討したものが図8である。ここに、●、×印は毛織物のたて方向、よこ方向、○、△印は綿織物のたて、よこ方向交差角度を示し、破線は測定値と計算値の1対1の対応値を結んだものである。同図より測定値と

Fig. 8 Relationship between the calculated and the experimental bending angles in non-tensile part by the temples: ● and × denote the warp and weft directions of worsted 2/36 cloth, and ○ and △ denote the warp and weft directions of cotton 40s cloth, respectively.

計算値とはおおむね一致することがわかった。ここに、(1)式の計算に用いた糸の物性と織物の設計を表1に示す。したがって、(1)式を用いて交差角度を求めても差支えないことがわかった。

3.2 たて糸張力と交差角度との関係

交差角度は糸の物性、織密度などによっても変化するが、たて糸張力により交差角度は影響を受ける。その張力と交差角度との関係を図9に示した。ここに、用いた記号は図8と同じである。図9に見られるように各試料共たて糸張力の増加にしたがいたて糸の交差角度は小さくなり、これと同時によこ糸の交差角度は大きくなる。この傾向を計算式より検討すると、たて糸張力が増加するにしたがい、(1)式における P_n の増加はたて糸張力増加分と同量の増加を示さずはるかに小さく、 r_n の減少によってたて糸の交差角度 θ は小さくなり、逆によこ糸の交差角度が大きくなる。また、同図よりたて方向がよ

Fig. 9 Relationship between warp tension and bending angle in non-tensile part by the temples; ● and × denote the warp and weft directions of worsted 2/36 cloth, and ○ and △ denote the warp and weft directions of cotton 40s cloth respectively.

Table 1 Characteristics of the test cloths.

Sample No.	material	warp tension(gf)	density		EI (gf·mm)	a (mm)	b (mm)
			warp (ends/2.5 cm)	weft (picks/2.5 cm)			
1	worsted yarn	25.2	44	43	0.42	0.160	0.136
2	"	30.1	44	43	0.42	0.166	0.131
3	"	33.3	44	43	0.42	0.171	0.125
4	"	40.0	44	43	0.42	0.177	0.119
5	cotton yarn	42.2	80	130	0.29	0.080	0.068
6	"	48.2	80	130	0.29	0.085	0.062
7	"	50.6	80	130	0.29	0.087	0.060

こ方向の交差角度に比較してたて糸張力の変化に対し敏感に順応して変わることがわかった。(1)式によるたて糸張力と交差角度との関係を整理し図10に示してみた。計算には表1のそ毛糸2/36の諸物性を用い、 $1/K$ は0.5 mmとした。同図はよこ糸張力に相当する(1)式 P_h を変化させ、それを P としたときのたて糸張力とたて糸交差角度との関係を図示したものであり、たて糸張力の増加につれてたて糸の交差角度は小さくなる。これは図9の場合と同様であり、また、たて糸単糸張力の増加は図9に示すようによこ糸の交差角度を大きくし、よこ糸の交差角度たて糸の交差角度のときは逆の傾向を示す。このたて糸張力とたて糸の交差角度との関係はたて糸張力の増加に直線的に比例して減少するのではなく、よこ糸張力とたて糸張力がほぼ同じ大きさのときには、たて糸の張力変化量に比較してたて糸の交差角度が大きく変わる。また、たて糸張力がよこ糸張力より大きくなるにつれてたて糸の交差角度の変化量はしだいに小さくなり、たて糸張力が製織としての限界に近づくにつれて交差角度はほとんど変わらなくなる。すなわち、2.1のよこ糸張力測定法で述べた方法を用いてそ毛糸2/36を使用した平織のよこ糸張力を検討した結果、たて糸張力が21.5 gf, 30.0, 33.5 gfのとき、よこ糸張力は8, 16, 18 gfとたて糸、よこ糸の張力変化は直線関係にないこともわかった。

たて、よこ糸交差による織糸の屈曲はそれぞれの張力の布面に対して垂直方向の力によって発生するものである。いま、よこ糸張力を6 gfから14 gfまで2 gfの間隔

Fig. 10 Theoretical relationship between bending angles and warp yarn tensions.

で変化させたが、交差角度は(1)式からも明らかなようにたて糸に対するよこ荷重に直線的に比例して変化する。すなわち、よこ糸の張力が大きくなるとたて糸の交差角度も大きくなり、図10のように変化することがわかる。

以上述べたように機上におけるたて糸とよこ糸は相互の張力によりよこ糸の打ち込みで生ずるたて糸、よこ糸の交差で互いに相手糸を屈曲させる。交差角度は同一織機を用いると織糸の張力、糸の曲げこわさ、番手および糸の潰れ方等により決定されることがわかった。

4. 結 論

機上における交差角度はテンプル外で測定せねばならず、同点より求めた測定値と計算値より次の結果を得た。

(1) 計算値と実験値はおおむね一致するため、交差角度の計算に織糸をモデル化して引張力が加わる梁として求めた解析式が利用できる。

(2) たて糸単糸張力の増加は、よこ糸張力を一定とするとたて糸の交差角度を小さくする。しかしながら、他の製織条件が一定の場合、極端にたて糸張力を大きくしてもたて糸交差角度の変化割合は小さい。逆に、たて糸の交差角度はよこ糸張力によって生ずるよこ荷重の変化に比例する。

(3) 解析結果より糸の曲げこわさ、番手、よこ荷重による糸の潰れ方によっても交差角度は影響を受けることがわかった。すなわち、糸によこ荷重を受けた場合、よこ荷重を受ける糸の曲げこわさが大きいほどその糸の交差角度は小さい。また、糸の番手が太い場合および糸の潰れ方が小さいときは他の交差角度に影響する条件が同一でも交差角度は大きい。

付記：本研究を行なうに当りご協力を賜った辰己織布(株)辰己美績氏および当研究所中出岩男、井上克巳の諸氏に感謝します。

文 献

- 1) W. Żurek, H. Szemik; *Text. Res. J.*, **34**, 143 (1964)
- 2) F. T. Peirce; *J. Text. Inst.*, **28**, T45 (1937)
- 3) D. E. A. Plate, K. Hepworth; *J. Text. Inst.*, **62**, T515 (1971)
- 4) 田中道一; 繊維工業学会誌, **5**, 607 (1939)
- 5) 吉村元一; 織機誌, **7**, 445 (1954)
- 6) 久世栄一, 酒井哲也, 三原正義; 織学誌, **11**, 192 (1955)
- 7) 知野光伸, 鈴木 恵; 織学誌, **33**, T-272 (1977)
- 8) 知野光伸, 鈴木 恵; 織学誌, **34**, T-201 (1978)
- 9) 久世栄一, 酒井哲也, 須郷康也; 織学誌, **14**, 412 (1958)

- 10) 内山 生; 織機誌, **21**, T29 (1968)
 - 11) たとえば S. Timosenko; 「材料力学(中巻)」, 東京図書株式会社, p.38 (1956)
 - 12) S. Nosek; Textile Science and Research, No. 7, p. 70 (1967)
 - 13) 久世栄一; 織学誌, **14**, 304 (1958)
 - 14) 白樫 侃, 小口 登, 平山順之; 織学誌, **17**, 601 (1961)
 - 15) 平井 恒, 曾山義明, 仙波卓弥; 日本機械学会講演論文集, No.794-7, p.56 (1979)
-