(昭和52年9月27日受理)

変り織の織縮に関する一考察*

大阪府立繊維技術研究所 知 野 光 伸
京都工芸繊維大学 鈴 木 恵

STUDY ON THE SHRINKAGE OF THE FANCY FABRIC

By Mitsunobu Chino** and Megumu Suzuki***

** (Textile Research Institute of Osaka Prefecture,
Izumiohtsu, Osaka, Japan)

*** (Kyoto Institute of Technology, Kyoto, Japan)

In designing the weaving of fancy fabrics, it is important to forecast accurately the shrinkage, which is influenced by the yarn count, the weaving density and the warp or weft yarn tension. In this paper, these factors are investigated theoretically and experimentally on fancy fabrics of cotton and wool.

The results obtained are as follows:

- 1) The fabric shrinkage increases with decreasing the warp yarn tension or with decreasing both the weft yarn tension and the weaving density of weft.
- 2) It increases with decreasing the bending resistance and the yarn diameter.
- 3) It increases with increasing the deformation of the yarn cross section and with the cross-point number in the woven structure.
- 4) The shrinkage of fancy fabrics ϵ , can be represented by the following expression:

$$\epsilon = \left\{ \frac{\lambda}{\left(\frac{m}{K_{r2}} + \frac{n}{K_{c2}} \right)} \times 100 \right\} + \varphi$$

where, λ is the difference of yarn intervals in on-loom and off-loom fabrics, K_{r2} and K_{c2} are the densities per 1 cm of non-bent and bent sections of the off-loom fabric respectively, m and n are the numbers of non-bent and bent sections per 1 perfection of the fabric respectively, and φ is the shrinkage ratio of the on-loom fabric.

(Received September 27, 1977)

1. 緒 言

織縮を正確に知ることは織物設計時に必要であることは言うまでもなく、同時に製織中織糸に加わる各種のひずみによる織卸後の織物の経時変化を推察することで、既成服裁断時に生ずるチェック柄の不一致などのトラブルを防止することもできる。

従来より Pierce¹⁾を初めとして多くの研究者により織縮は検討されてきたが、いずれも解析を容易にするための仮定で現実の値とはやや異なった結果を生むことが多く、特に織卸後の経時変化について言及するものはなかった。そこで、前報²⁾で述べたとき現実の織糸の状態に類似した仮定を置き織縮を解析した。

前報²⁾で平織の織縮について述べたが、本報では引き続き平織以外の組織を持つ織物の織縮について検討を加えた。

なお、本解析に用いる記号は前報²⁾とはほぼ同じである

* “平織の織縮に関する一考察”を「織縮に関する研究」
「Study on the shrinkage of the fabric」の第1報とし、本報を第2報とする。

が、追加使用の記号を列挙すると次のとおりである。

- P_n ; 引張張力が加わったたて糸とよこ糸の交差部分に生ずるそれぞれの押圧
- K_{w1}, K_{f1} ; 織物のたて、よこ方向 1 cm 当りの機上密度
- K_{w2}, K_{f2} ; 織物のたて、よこ方向 1 cm 当りの織上り密度
- l_c ; 機上において任意のよこ糸の中心から、それに隣接するよこ糸の中心までに要するたて糸の 1/2
- l_{cw} ; たて糸とよこ糸およびよこ糸とたて糸との接触部分の長さの 1/2
- m, n ; 1 完全組織中におけるたて糸とよこ糸が非屈曲状態または屈曲状態で交差する個数
- R_w, R_f ; 機上における 1 完全組織中のたて糸およびよこ糸の長さ
- r_w, r_f ; 張力を加える前の 1 完全組織中のたて糸およびよこ糸の長さ
- s_e, s_r, s ; 糸に張力を加えたとき 1 完全組織内の糸長さ、張力を除いたときの糸の長さおよび糸変形回復過程における残留伸び量
- $1/K_{fc2}, 1/K_{wc2}$; 屈曲部分のみの織上り後のたて糸およびよこ糸間距離
- $1/K_{fr2}, 1/K_{wr2}$; 非屈曲部分のみの織上り後のたて糸およびよこ糸間距離

2. 解 析

たて糸、よこ糸の持つ性質は前報²⁾と同じと考えると、平織以外の織物の糸構成はたて糸およびよこ糸が必ずしも交互に浮き沈み（浮きとはたて糸に注目するとたて糸がよこ糸の上にある状態、沈みとはこの逆の場合をいう）してはおらず、浮きの部分または沈みの部分が連続する可能性がある。

いま、糸の浮き沈みを図 1 のごとく両端支持の連続梁と考え、そのスパンに引張張力といくつかある支点間の 1 つの中央に 1 個の集中荷重を加えたモデルを想定した。

Fig. 1 Continuous beam of cloth model.

図 1 のように隣り合う二つのスパンを考える⁸⁾。前報より n 番目のスパンの撓み角は 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 を曲げかたさ、 P_n をスパン n に加わる 1 個の集中荷重、 α, β を係数とすると

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

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

となり、これより

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

ここで、 T_f を引張張力とすると

$$r_n = \frac{1 - \cosh u}{\frac{1}{2} u^2 \cosh u}, \quad u = \left[\frac{T_f l_n^2}{4EI} \right]^{1/2}$$

であり、このときの最大撓み量 $(y)_{\max}$ は単純支持梁より

$$(y)_{\max} = \frac{P_n l_n^3}{6EI} \cdot \frac{\tanh u - u}{\frac{1}{3} u^3} \quad (2)$$

である。(2) 式より織物の厚さ h は糸の断面を楕円と考えそのときの長軸を a_1 、短軸を b_1 とすると平織の場合同様

$$\left. \begin{aligned} b_1 &> (y)_{\max} \text{ のとき} \\ h &= 2 \left(3b_1 - \frac{P_n l_n^3}{6EI} \cdot \frac{\tanh u - u}{\frac{1}{3} u^3} \right) \\ b_1 &= (y)_{\max} \text{ のとき} \\ h &= 6b_1 \\ b_1 &< (y)_{\max} \text{ のとき} \\ h &= 2 \left(b_1 + \frac{P_n l_n^3}{6EI} \cdot \frac{u - \tanh u}{\frac{1}{3} u^3} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

となる。

平織と他の組織の織物との相違は屈曲部と非屈曲部とが交互に規則正しく繰り返されるか否かにある。いま、図 2 に示すような糸の交差を考え、その B と D との交差部を屈曲部、A と D との部分为非屈曲部と呼び、1 完全組織中のそれぞれの個数を n, m とする。

図 2 の糸 B、D の交差部分から C、D までの糸長さを l_c とすると図 3 より近似的にたて糸の屈曲長さ l_{cw} 、 l_c は

Fig. 2 Crossing model of warp yarn and weft yarn.

$$l_{cw} = (a_2 + b_1) \int_0^{\frac{\pi}{2}} \{1 - e^2 \sin^2 \theta\}^{1/2} d\theta$$

$$- (a_2 + b_1) \int_0^{\frac{\pi}{2} - \alpha_e} \{1 - e^2 \sin^2 \theta\}^{1/2} d\theta$$

$$l_c = 2 \left\{ \left(\frac{1}{2K_{f1}} - x \right)^2 + y^2 \right\}^{1/2} + 2l_{cw} \quad (4)$$

となる。ただし、

$$e^2 = 1 - \frac{(b_1 + b_2)^2}{(a_2 + b_1)^2}$$

$$x = \frac{\left\{ \frac{l}{2} (b_1 + b_2)^2 - \varepsilon \left[(a_2 + b_1)^2 \varepsilon^2 + (b_1 + b_2)^2 \left(\frac{l^2}{4} - (a_2 + b_1)^2 \right) \right]^{1/2} \right\} (a_2 + b_1)^2}{(a_2 + b_1)^2 \varepsilon^2 + \frac{l^2}{4} (b_1 + b_2)^2}$$

$$y = \pm \frac{(b_1 + b_2)}{(a_2 + b_1)} \left[(a_2 + b_1)^2 - x^2 \right]^{1/2}$$

$$\varepsilon = (b_1 + b_2) - \frac{(y)_{\max}}{2}$$

Fig. 3 Cloth cross section model.

where, $l = 1/K_{f1}$

もし、たて方向の1完全組織中に m 個の非屈曲部分と n 個の屈曲部分が存在するときの1完全組織中のたて糸長さ R_w は(4)式より

$$R_w = m \frac{1}{K_{f1}} + n l_c \quad (5)$$

となる。

(5)式より1完全組織におけるたて糸の機上織縮率 φ_w は

$$\varphi_w = \frac{R_w - (m_i + n_i)/K_{f1}}{(m_i + n_i)/K_{f1}} \times 100 \quad (6)$$

同様によこ糸の機上織縮率 φ_f は

$$\varphi_f = \frac{R_f - (m_j + n_j)/K_{w1}}{(m_j + n_j)/K_{w1}} \times 100 \quad (6-2)$$

で示すことができる。ここで、 m_i , n_i および m_j , n_j はたて方向、よこ方向の m , n である。

機上において織るために各種ひずみが増えられるが、織られた布を織機より取り出すと織糸に加えられていた外部要因による力は除かれ、時間の経過と共に織糸は元の状態に近くなる。これは織糸自体の収縮によるものであり、この織糸を前報²⁾同様図4に示すとき Voigt の

Fig. 4 Viscoelastic model of yarn.

4要素粘弾性模形と考える。そして、外力による織糸の伸長回復過程をそれぞれ s_e , s_r とすると

$$\left. \begin{aligned} s_e &= \left\{ \frac{\sigma}{E_1} + \frac{\sigma}{E_2} [1 - \exp(-\frac{E_2}{\eta_2} t)] + \frac{\sigma}{\eta_3} t \right\} r_w \\ s_r &= \left\{ \frac{\sigma}{E_2} [1 - \exp(-\frac{E_2}{\eta_2} t)] \exp[-\frac{E_2}{\eta_2} (t_1 - t)] \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{\eta_3} \sigma t \right\} r_w \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

となる。ここで、 σ は織糸に外部要因により加わる応力、 t は経過時間、 t_1 は応力が加わっている間の時間である。

本解析でも平織の場合同様開口運動によるたて糸の伸長、収縮は瞬間的に繰り返されるため、この運動によるたて糸の残留伸びは微小として無視する。

製織による張力からの回復量 s は(7)式より

$$s = \left\{ \frac{\sigma}{E_1} + \frac{\sigma}{E_2} [1 - \exp(-\frac{E_2}{\eta_2} t)] \right\} \times [1 - \exp(-\frac{E_2}{\eta_2} (t_1 - t))] r_w$$

で示される。

しかし、織物にはたて糸、よこ糸相互の交差によって屈曲部分が生じ、その屈曲部分のたて糸、よこ糸交差による変化距離 Δk は屈曲角を θ とすると $\Delta k = s \cos \theta$ で示される。これより $1/K_{fc2}$, $1/K_{wc2}$ は

$$\frac{1}{K_{fc2}} = \frac{1}{K_{f1}} (1 - \Delta k_f), \quad \frac{1}{K_{wc2}} = \frac{1}{K_{w1}} (1 - \Delta k_w) \quad (8)$$

また、 $1/K_{fr2}$ 、 $1/K_{wr2}$ は

$$\frac{1}{K_{fr2}} = \frac{1}{K_{f1}}(1-s), \quad \frac{1}{K_{wr2}} = \frac{1}{K_{w1}}(1-s) \quad (9)$$

である。ここで K_{w1} 、 K_{f1} はたて、よこ糸の設計密度を示す。

よって、1完全組織における織卸後の各たて糸の移動距離 λ_w は

$$\lambda_w = (m_i + n_i) \frac{1}{K_{f1}} - \left(\frac{m_i}{K_{fr2}} + \frac{n_i}{K_{fc2}} \right) \quad (10)$$

ゆえに、たて方向の整経時に対する織卸し布の織縮率 ϵ_w およびよこ方向の織縮率 ϵ_f は(6)、(8)、(9)および(10)式より

$$\epsilon_w = \left\{ \frac{\lambda_w}{\frac{m_i}{K_{fr2}} + \frac{n_i}{K_{fc2}}} \times 100 \right\} + \varphi_w \quad (11)$$

$$\epsilon_f = \left\{ \frac{\lambda_f}{\frac{m_j}{K_{wr2}} + \frac{n_j}{K_{wc2}}} \times 100 \right\} + \varphi_f \quad (11-2)$$

となる。

(11)および(11-2)式により変り織の織縮率を求めることができるが、同式の $m \rightarrow 0$ のときは平織の織縮率を示すことになる。また、組織の違いにより m 、 n の実数を適宜定めることで全ての織物組織の織縮率について求めることができる。

3. 計算例および考察

たて糸およびよこ糸張力を考慮した式の妥当性を、綿糸40s(14.7tex)およびそ毛糸2/48の朱子織物、綾織物について計算例と製織実験とを比較することにより検討した。なお、織卸後の経時変化は各々の試料について5時間とした。

測定方法および条件は前報²⁾に述べた平織と同様とし、織物は各たて糸、よこ糸共同糸を用いた。綿織物の組織は朱子、織り密度はたて、よこそれぞれ254cm当り80本、130本、そ毛織物は綾織、織り密度をたて、よこ68本、66本とした。使用した織機は綿織物に東海式綿織機、豊田織機、そ毛織物は平岩織機である。

製織された織物の織卸後の織縮率とたて糸単糸張力との関係を図5に示した。このときのたて糸単糸張力は綿織物で42.2, 48.0, 50.5gの3種類とし、そ毛織物では48.5, 54.1, 60.1gである。測定の結果、平織の場合と同様、同図より明かなように織縮率はたて糸単糸張力によって影響を受けることが分った。すなわち、通常製織される範囲⁴⁾では綿、そ毛織物のたて、よこ糸ともたて糸単糸張力の増加につれて織卸後の織縮率は増加する傾

Fig. 5 The relationship between warp yarn tension and shrinkage ratio of fabric out of loom at experiment.

where,

●, ×: warp and weft line of cotton 40s (14.7 tex.) cloth

○, △: warp and weft line of worsted 2/48 cloth

向がある。ここで、綿織物のたて糸には殿粉75%、PVA糊25%の混合糊が糊付されている。

織縮は一般に、たて糸およびよこ糸が織機上で相互に交差するため幾何学的に整経長に対し織物の織り長さは短くなる。この機上での織縮率と織卸すことで織糸が収縮し、これによって生ずる織縮みに大別できる。そこで、機上での織縮率について検討を加えることとした。機上での織縮率を求めるに当たり糸番号、織密度、織組織を知らねばならないことは当然であるが図5からも分る様にたて糸単糸張力等製織条件によっても影響される。

たて方向の機上織縮率について製織中機上で既に印加された区間の長さより測定された織縮率と(6)式より計算された値との比較を行い、その結果を図6に示した。なお、計算を行うに当り各糸の物性は表1の通りとした。同図より明かなように計算結果と実験による結果とは大略傾向が一致することが分る。すなわち、図6では判明しえないがたて糸単糸張力が増加するにつれて計算および実験結果とも機上織縮率はやや小さくなる傾向を示した。これはよこ糸張力がある程度一定と考えられ、そのため、たて糸単糸張力が増加するにつれてたて糸とよこ糸との張力差が大きくなり、たて糸はよこ糸との交差

Fig. 6 The relationship between shrinkage ratio of fabric of on loom at experiment and calculated one.

where,

●, ○: warp line shrinkage ratio of cotton cloth and worsted one

Table 1 Component factors of yarn.

sample	cotton 40s	worsted 2/48
D_w, D_f (mm)	0.154	0.254
$E_1 I$ ($\text{g} \cdot \text{mm}^2$)	0.289	0.44
E_1 ($\text{g} \cdot \text{mm}^{-2}$)	9.62×10^6	1.06×10^6
E_2 ($\text{g} \cdot \text{mm}^{-2}$)	7.31×10^6	7.35×10^4
η_2 ($\text{g} \cdot \text{mm}^{-2}$)	1.86×10^7	3.77×10^6
η_3 ($\text{g} \cdot \text{mm}^{-2}$)	1.26×10^6	2.49×10^6

でよこ糸より受ける荷重が相対的に小さくなって屈曲が少なくなる。一方、これとは逆によこ糸はたて糸の周りを大きくうねる様になるためと考えられる。

機上でたて糸とよこ糸の交差により構造的に織縮んだ各糸は織卸すことにより製織中に受ける各種ひずみ、例えば、ワーブビーム、クロスビーム、テンプルによる拘束および開口運動、おさ打運動による衝撃荷重がなくなり、各糸はクリープ回復現象を起しながら収縮する。クリープ回復によりたて糸、よこ糸はそれぞれ収縮するが、それと同時にたて方向、よこ方向の織密度が粗から密へとしたいに移行する。クリープ回復および織密度 K_{f1} , K_{w1} より K_{f2} , K_{w2} へと変化する事による織縮は理論的に (11), (11-2) 式より求めることができ、これと綿織物、羊毛織物について製織実験した結果とを比較検討した。その織卸後の織縮結果を図 7 に示した。

ここで、(11), (11-2) 式を求めるに必要な諸数値は

Fig. 7 Comparison of experimental data of shrinkage ratio with calculated one.

where,

●, ×: warp and weft line of cotton 40s cloth

○, △: warp and weft line of worsted 2/48 cloth

表 1 に示したが、たて糸、よこ糸が相互に交差することによる糸断面形状は楕円とし、その長軸、短軸の長さは松田⁶⁾より $a_1 = a_2$, $b_1 = b_2$ は綿糸で 0.0895, 0.055 mm, そ毛糸では 0.151, 0.095 mm とした。また、製織実験ではたて糸整経時たて糸に前報²⁾と同様一定長の印を入れ、この間の織縮およびよこ方向はおさ幅に対する織物幅の織縮を測定した。図 7 より明らかなように計算値と実験値との間に良好な対応を示した。

よこ方向の織縮率は計算結果より実験結果が大きい値を示している。これは機上織縮率の場合と同様よこ糸張力をシャトルよりの解じょ張力としたことで実際に織り込まれるよこ糸の張力よりかなり小さい^{6,7)}ため、よこ糸のクリープ回復量が大きく、必然的に織縮率が大きくなる。一方、たて方向の織縮率もたて糸張力の増加に伴い大きくなること分る。たて糸単糸張力の増加によりたて糸張力とよこ糸張力との間は相対的に差が大きくなり、よこ糸はたて糸の周りをうねり、機上では逆にたて糸の屈曲は少なくなるが、織卸すと糸の収縮が大きくなり、織密度を大とするためである。

たて糸単糸張力を綿糸 40s (14.7 tex) で 422 g, そ毛糸 2/48 では 485 g で製織したときのクリープ回復現象による織縮の過程をたて方向について示したものが図 8 である。同図中の点は実験結果、実線および破線はそれぞれ (11) 式より求めた計算結果を示す。図 8 に見られるごとく織卸後それぞれの織物は計算結果と実験値がお

Fig. 8 The relationship between shrinkage ratio and time after taking out of loom.

where,

—, ---: theoretical curves of warp line shrinkage of cotton 40s cloth at warp yarn tension 42.2g and worsted 2/48 cloth at warp yarn tension 48.5g.

●, ○: experimental points of warp line shrinkage of cotton 40s cloth (warp yarn tension 42.2g) and worsted 2/48 cloth (warp yarn tension 48.5g)

おむね一致して収縮することが分る。また、収縮状態について見ると綿織物は η_2 が大きいので短時間で安定するが、羊毛織物は綿織物に比べて η_2 が小さいため安定するまで比較的長い時間を要することが分った。

以上のごとく、実験結果と計算値より変り織においても織密度の増加およびたて糸、よこ糸張力の増大によって織縮率は大きくなり、使用糸番手が細くなるにつれて小さくなる。そのほか同一織密度、たて糸、よこ糸張力で製織するときには試料の D_w および D_f が減少することにより a_1 , b_1 が小さくなり、 a_1 , b_1 の減少は(4)式で分るように織縮率を小さくする。逆に(4)式より糸断面形状の潰れ方が小さいと、また、織組織についてはたて糸、よこ糸の交差点の多い織物ほど n の個数が多くなり、 m が少なくなるにつれて織縮率は大きくなることが分った。

このように(11)および(11-2)式を用うることによって全ての組織の織物の織縮率を求め得ることが分った。

4. 結 論

前報において平織の織縮率について言及したが、本報では織物の三原組織を含めて変り織の織縮率について検討を加えた。三原組織を含めた変り織の織縮も基本的には平織の場合と同様と考えてよく、ただ、平織の場合との相違はたて糸、よこ糸の屈曲部分と非屈曲部分がある周期で繰り返し現われることであり、平織のようにたて糸とよこ糸は常に屈曲状態にはない。この点を考慮して織糸の屈曲部分または非屈曲部分の糸断面形状を楕円と仮定して解析を行うと同時に実験結果との比較を行なった。

その結果、変り織においても交差角度はたて糸張力の減少またはよこ糸の張力増加により大きくなる。机上織縮率は糸番手、糸の潰れ方、織物の組織、織密度等により影響を受ける。

たて糸張力が増加するにつれてたて方向の机上織縮率はあまり大きくは変化しないが、よこ方向の織縮率は増加する。しかし、織物を織卸すことによりたて方向の織縮率も増加することが分った。

同一組織、織密度、たて糸およびよこ糸張力で製織するときは織糸の EI の減少は織縮率を小さくし、逆に η_2 が小さいときは大きくなることが分った。

付記：本研究を行うに当りご協力を賜ったセキモト株式会社、関本南海旺氏および辰己織布株式会社、辰己美績氏に感謝します。

文 献

- 1) F. T. Peirce; *J. Tex. Inst.*, **28**, T45 (1937)
- 2) 知野光伸, 鈴木 恵; 織学誌, **33**, T-272 (1977)
- 3) たとえば S. Timosenko; 「材料力学(中巻)」, 東京図書株式会社, p.38 (1956)
- 4) 日本紡績協会編, 「繊維技術データ集」, 日本紡績協会, p.494 (1971)
- 5) 松田秀一; 織学誌, **9**, 351 (1953)
- 6) 三浦義人, 宇野 稔; 織機誌, **5**, 45 (1952)
- 7) K. Greenwood, G. N. Vanghon; *J. Tex. Inst.*, **49**, T247 (1958)