

# ストレッチ性を発現させる機能繊維の 最小混入率の計算方法について

舟木 淳夫\*

## Calculation the Minimum Ratio of Mixed Elastomer Fiber with the Ability of Stretching Fabric

by Atsuo FUNAKI

In order to calculate the minimum ratio of mixed elastomer fiber, we considered functional fabric to be a composite material, and led to the equation that showed the correlation between rate of shape recovery and rate of mixed elastomer fiber. As the result of calculation, The following was suggested. (1) The correlation between rate of shape recovery and rate of mixed elastomer fiber, depends on young's modulus  $E_s$  and  $E_m$ . (2) The larger the ratio of young's modulus  $E_s/E_m$  is, the smaller the minimum ratio of mixed elastomer fiber is.

Key Words: stretch, elastomer fiber, young's modulus

### 1. はじめに

県内繊維産業には二重ビーム織機を使用するタオル製造業がある。この織機は2つのビームを持つことから、異なるテンションをかけながら複数の繊維を経糸に織り込むことが可能である。これはパイル織物以外の製品でも製織可能な織機で、経糸に機能性繊維を使用した製品開発の可能性が考えられる。他県では、二重ビーム織機を活用したアウトドア用の衣料素材の開発が報告されている<sup>1)</sup>。そこで、製品開発の新たな分野として、介護用衣料素材に着目した。介護用衣料素材が求められる重要な機能の一つとして、着脱の容易さと保温性を兼ね備えたストレッチ機能があげられる。被介護者が衣服を着脱するためには、どうしても身体と衣服のとの隙間が通常のものよりも必要となる。着用したときに体のサイズより大きくては保温性に支障がでる。着脱の際は適度に伸び、着用中は体にフィットするストレッチ機能は介護用途として有用と考えられる。しかしながら、機能

性繊維はコストが高くつき、どうしても製品の上代に反映されてしまう。機能性は付与したいが、製品コストはできるだけ低くしたいというのが製造側の意見である。そこで本研究では、ストレッチ性を発現し得る、ストレッチ機能繊維の最小混入量を計算により求める方法について検討を行った。必要な混入量が計算よって事前に分かれば、製品開発の試作時における購入の目安とすることもできる。

### 2. 研究方法

#### 2. 1 課題の設定

織物の経糸全てにストレッチ性の機能繊維（以下、弾性繊維と称する）を使用すれば、間違いなくその機能を発現する。ここでは逆に考えて、ストレッチ性でない安価な繊維を経糸に使用し、ストレッチ性が発現するまで、その経糸を弾性繊維と置き換えていく。つまり、経糸への弾性繊維の混入率を0%から徐々に増やしていき、ストレッチ性を発現した時点での混入率を最小混入率とした。混入率100%とは、経糸が全て弾性繊維となったこ

\* 生活技術開発グループ

とを意味している。この最小混入率を計算にて求めることを本研究の課題とした。

また、ストレッチ性の発現については、外力によって変形した織物が、外力が除かれた際に原状の形状のどこまで回復したかで判断する。回復の程度は回復率で表し、完全に回復した場合を回復率100%とした。

## 2. 2 平織物のモデル化

織物の変形については、多くの研究者が解析を試みている<sup>2)</sup>。しかしながら、変形に關与する因子が多く、また、変形の種類も引張、剪断、曲げ、圧縮と多様であり、経糸方向と緯糸方向からなる平面内に限定した変形であっても、伸縮変形、伸展変形、ずれ変形の三種類がある。これら多くの因子と多様な変形が互いに影響を及ぼしあうために、完全なる織物の力学モデルの作製は非常に困難なものとなっている。

ここで、本研究で対象とする織物について、条件を整理してみる。本研究の対象は、図1に示すように、経糸に二種類の繊維（その内の一つは弾性繊維）を使用した織物である。

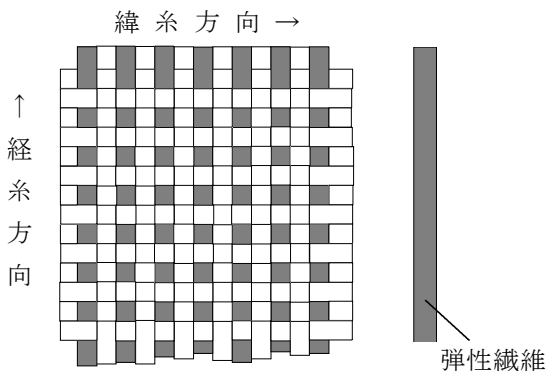


図1 二種類の経糸からなる平織物

問題を単純化するために、以下の項目を織物を構成している条件として仮定した。

- ・緯糸は経糸に使用している繊維（弾性繊維でない方）と同じ素材のもの。また、物理特性も全て同じである。
- ・織り組織は平織りとし、経糸と緯糸が直交し、隙間無く織られている。
- ・経糸と緯糸の交錯点は、ずれないものとし、外力は織物全体に均等にかかる。

- ・二種類の繊維は弾性体。
- ・弾性繊維は混入率に関係なく、常に緯糸方向に均等に配置されている。

以上の仮定を考慮した結果、図2に示すような複合材料のモデルを考えた。弾性繊維でない方の繊維（以下、母材繊維と称する）が経糸と緯糸で均一な平板状の母材を形成し、その母材中に弾性繊維が埋め込まれた複合材料と見なした。

本研究は弾性繊維の混入量を主目的としているので、変形については経糸方向の引張荷重による変形のみを考慮した。つまり、一軸の伸縮変形のみ発生し、その他の変形は考慮しないものとした。

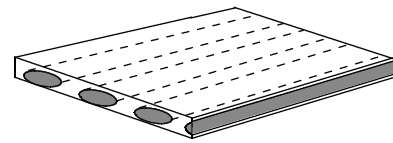


図2 母材繊維と弾性繊維の複合材料モデル

## 2. 3 計算式の作成

図3に変形過程における状態と、そのときの経糸方向の長さを示す。状態Iは、外力の働いていない初期状態を示し、初期長を $L_0$ とする。次に、外力が加えられ伸長されると状態IIとなる。このときの長さを $L$ とする。さらに、外力が除かれて状態IIIとなる。長さ $\delta$ の伸びが回復して長さ $L_1$ となる。状態Iから状態IIへの変形過程を伸長過程と称し、状態IIから状態IIIの過程を回復過程と称する。

計算式は弾性繊維の混入率をパラメータとして、回復率が求められる式とした。回復率は $\delta$ によって決まるので、ポテンシャルエネルギーを使って $\delta$ を求める式を考えた。

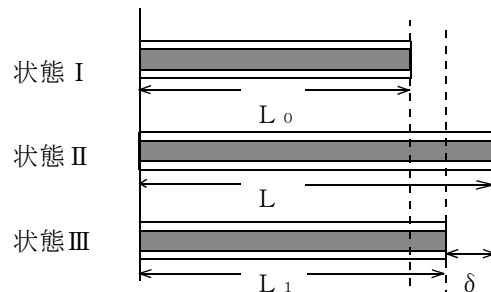


図3 変形過程の状態と試料長

伸長過程において、弾性繊維のひずみエネルギー

$U_e$ は式(1)で表される<sup>3)</sup>.

$$U_e = \frac{1}{2} \frac{A_e E_e (L_1 - L_0)^2}{L_0} \quad (1)$$

ここで、 $A_e$ はモデルに含まれる弾性繊維の総断面積、 $E_e$ は弾性繊維のヤング率である。

また、回復過程において形状回復に寄与するエネルギーは弾性繊維のひずみエネルギーがほとんどであり、母材繊維の伸長過程におけるひずみエネルギーは、形状回復にはあまり寄与しないと考えられる。そこで、母材繊維の伸長過程におけるひずみエネルギーは考慮せず、回復過程におけるひずみエネルギーのみを考えた。すると、母材繊維に蓄えられるひずみエネルギー $U_m$ は式(2)によって与えられる。

$$U_m = \frac{1}{2} \frac{A_m E_m (L - L_1)^2}{L} \quad (2)$$

ここで、 $A_m$ は母材繊維の総断面積、 $E_m$ は母材繊維のみから成る平織物のヤング率である。

状態Ⅲにおいて、外力は働いていないので全体のポテンシャルエネルギー $\Pi$ は式(3)で与えられる。

$$\Pi = U_e + U_m \quad (3)$$

このとき、回復した変位量 $\delta$ は、 $\delta = L - L_1$ であるので、

$$L_1 - L_0 = L - L_0 - \delta \quad (4)$$

となる。

変位量 $\delta$ はポテンシャルエネルギー $\Pi$ が最小となったときに定まるので、 $\Pi$ を $\delta$ で偏微分した式を0とおくことにより、式(5)から求まる。

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \delta} = \frac{-A_e E_e (L - L_0 - \delta)}{L_0} + \frac{A_m E_m \delta}{L} = 0 \quad (5)$$

よって、回復変位量 $\delta$ は式(6)により与えられる。

$$\delta = \frac{A_e E_e (L - L_0) L}{A_m E_m L_0 + A_e E_e L} \quad (6)$$

### 3. 結果と考察

導かれた式(6)を用いて、回復変位量 $\delta$ を求めると、 $A_m$ と $A_e$ については、複合材料モデルの総断面積を1とおくと、 $A_m + A_e = 1$ となるので、 $A_m$ は

$$A_m = 1 - A_e \quad (7)$$

となる。

また、一般的なストレッチ織物の伸度は10~20%であるので、伸度20%とすると $L = 1.2 \times L_0$ となる。

$E_e$ 、 $E_m$ それぞれのヤング率は実際に測定することも可能であるが、本研究では試料を調達できなかったため、 $E_e/E_m = 1$ 、 $E_e/E_m = 10$ 、 $E_e/E_m = 100$ 、の三通りについて計算を行った。計算結果を図4から図6に示す。ここで、横軸の混入率は織物の断面積に占める弾性繊維の断面積の割合である。また、回復率は式(8)により求めた。

$$\text{回復率(\%)} = \frac{\text{回復過程における変位量}(\delta)}{\text{伸長過程における変位量}(L - L_0)} \times 100 \quad (8)$$

図4を見ると、混入率が80%のときに回復率もほぼ80%である。このことは、 $E_e/E_m = 1$ のとき80%の回復率を発現させる場合は、弾性繊維の混入率は80%であることを示している。

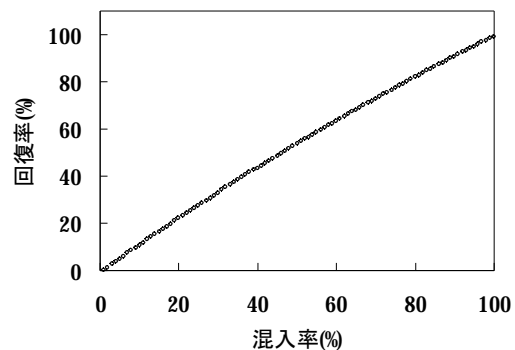


図4  $E_e/E_m = 1$  の回復率と混入率

さらに、図5、図6を見ると、弾性繊維のヤング率と母材繊維平織物のヤング率との比 $E_e/E_m$ が異なることによって、同じ回復率であっても必要な弾性繊維の混入率が異なった。また、 $E_e/E_m$ が大きくなるにつれて、混入率が少なくてすむ傾向が示された。

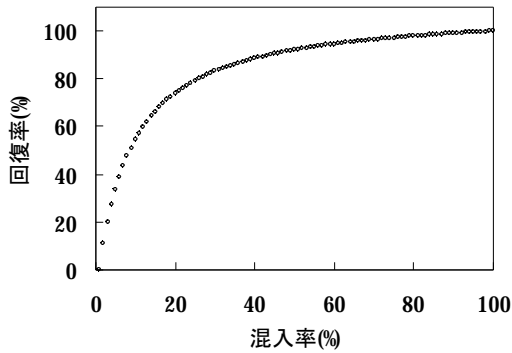


図5  $E_e/E_m=10$  の回復率と混入率

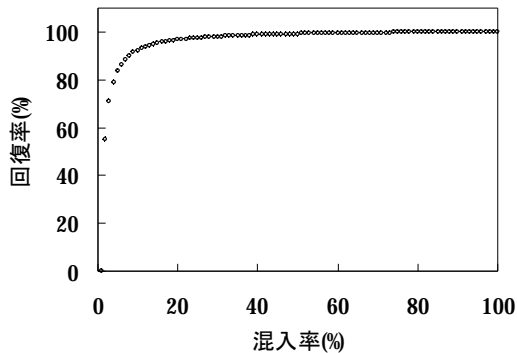


図6  $E_e/E_m=100$  の回復率と混入率

このことから $E_e$ 及び $E_m$ の値が得られれば、回復率と混入率のグラフより、所望の回復率に適した最小の混入率が求められることが示唆された。

今後の課題としては、実測試験による整合性の検

討が必要である。また、今回は弾性繊維及び母材繊維ともに理想弾性体として検討を行ったが、母材繊維のヤング率が非線形の場合などについて、より実態に合ったモデル化の検討が必要である。

#### 4. まとめ

本研究では、二重ビーム織機を用いた介護用衣料素材の開発を出発点とし、ストレッチ機能が発現できる弾性繊維の最小混入率の計算方法について検討を行った。弾性繊維と母材繊維の二種類からなる平織物について、複合材料としたモデル化を行い、ポテンシャルエネルギーの観点から、回復変位量を求める計算式を導いた。その結果、弾性繊維のヤング率と母材繊維のみからなる平織物のヤング率の値が得られれば、任意の回復率に対する最小混入率が求められる可能性が示唆された。

#### 参考文献

- 1) 服部安紀ほか：“レクリエーション衣料用素材の開発”。愛知県尾張繊維技術センター研究年報，第20号，p1-15(1999)
- 2) 桑水流 理ほか：“平織布の力学特性”。日本機械学会2001年度年次大会講演論文集，Vol5, p67-68(2001)
- 3) 吉田 均ほか：“Ti-Ni合金をエフェクタとする環境応答性複合材料の創製について”。強化プラスチック協会 39th FRP CON-EX'94 講演要旨集，p 181-184(1994)