

# 圧縮過程における織物表面の接触状態の変化\*

金沢大学 松 平 光 男 (会員)  
 金沢大学 秦 虹 (会員)

## Change of Contacting Surface State of Weave on Compressional Process

Mitsuo Matsudaira and Qin Hong

Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa  
 University, Kakuma-machi, Kanazawa

### Abstract

In order to confirm the three step division of fabric compressional process reported previously, contacting surface shapes of weave were observed precisely by microscope and following conclusions were obtained. The number of contacting fiber increased with pressure. As the increase was large at pressure  $P=1$  to  $50 \text{ gf/cm}^2$  and small at  $P>50 \text{ gf/cm}^2$ ,  $P=50 \text{ gf/cm}^2$  could be a boundary of 2nd and 3rd step of compressional process. Contacting surface area of weave increased with pressure, and the tendency of increase agreed well with the three step division of fabric compressional process. The pressure ranges:  $P<1$ ,  $P=1$  to  $50$  and  $P>50 \text{ gf/cm}^2$  are considered to be 1st, 2nd and 3rd step of compressional process, respectively. The actual pressure  $q$  was quite larger than pressure  $P$ .  $q$  differs with each fabric samples.

(Received January 18, 1995)

(Accepted for Publication June 15, 1995)

### 摘 要

**目的** 織物の圧縮特性において、圧力の増加によって織物と加圧板との間の接触状態がいかに変化するかを光学顕微鏡によって観測し、すでに提案している圧縮過程3段階分割仮説の正当性を確認する。

**成果** 布を圧縮する場合、布と加圧板との接触繊維本数および接触繊維面積の変化は、布圧縮過程の3段階と極めてよく対応する。圧力  $P<1$ ,  $P=1\sim 50$ ,  $P>50 \text{ gf/cm}^2$  の三つの圧力範囲をおのおの圧縮の第1, 第2, 第3段階と考えることができる。

(平成7年1月18日受理)

(平成7年6月15日審査終了)

## 1. 緒 言

低圧力および高圧力下での織物の圧縮特性はそれぞれ織物の表面圧縮特性、繊維材料の圧縮特性と関連があるという考えに基づき、著者らは、布の圧縮過程を3段階に分け、各段階の圧縮パラメータを算出し、織物の圧縮特性をより正確に表す方法を提案した<sup>1)</sup>。この三つの圧縮過程においては、織物の圧縮変形はそれぞれ表面毛羽や突出繊維の曲げ変形、織

維の摩擦移動を伴う変形、繊維自体の横圧縮変形の三つの変形からなっていると考えた<sup>1)</sup>。

織物の圧縮特性を測定する場合、圧力  $P$  は一般に単位面積当たりの力で示されている (例えば  $\text{gf/cm}^2$ )。しかしながら、織物は繊維と空気との複合材料であるため、圧力の増加に従い、織物の体積密度は大きく変化する<sup>2)</sup>。このとき、加圧板と圧縮されているサンプルの表面との間の接触面積も大きく変化することが考えられる。それゆえ、サンプルと加圧

\*本論文を繊維集合体の圧縮特性 (第3報) とする。

板との間の真の圧力, すなわち, 接触表面の応力は圧力  $P$  より大きいことが容易に予想できる。

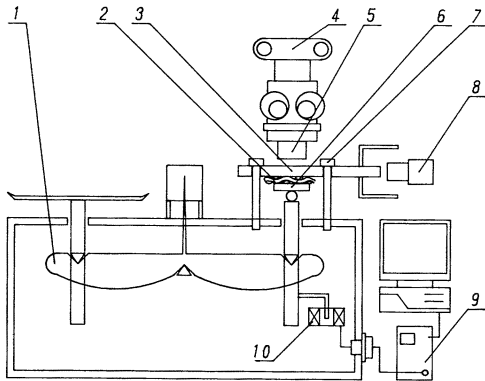
単一の繊維が圧縮される場合, 繊維と加圧板との接触表面状態の変化については, 透明ガラス板を加圧板として, 光を繊維に透過して, 繊維横(繊維軸に直交する)方向から各圧力下での繊維と加圧板との接触表面を観測することができる<sup>3)</sup>。しかしながら, 織物の場合には, 光は織物内を均一に透過することができないため, 表面毛羽や繊維の移動状況は観測することができるが, 織物と加圧板との接触表面を観測することはできなかった<sup>4)</sup>。

本研究では, 織物の圧縮特性をより正確に測定するため, また, すでに提案した圧縮過程3段階分割仮説<sup>1)</sup>の正当性を証明するため, 各圧力下での接触表面の状態形態変化を観測し, 接触表面積と接触表面応力がいかに変化するかを検討する。

## 2. 実験

### 2.1 実験装置および方法

本実験では透明アクリル樹脂板の光学特性を利用し, Ward<sup>3)</sup>の実験原理を参考にして, 図1のような実験装置を試作した。上加圧板(3)はアクリル樹脂板で作成したものである。上加圧板の上にある三つの調節ねじ(7)で板とサンプルとの初期距離を調節する



- |                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 - Balance                 | 2 - Sample                  |
| 3 - Upper compressing plate | 4 - Camera                  |
| 5 - Microscope              | 6 - Under compressing plate |
| 7 - Screw for adjustment    | 8 - Lightsource             |
| 9 - Amplifier               | 10 - Sensor                 |

Fig. 1 Schematic diagram of compression experiment

ことができる。下加圧板(6)は円形(表面積  $2\text{cm}^2$ )であり, 接触面内で均一な応力を得るため, ボールジョイント方式で加圧板を支えた。観測用アクリル樹脂板(上加圧板)の面に平行に光源(8)から光を入射した場合, 光線は上加圧板の表面に平行な方向しか透過できないため, 暗室内で上から板に垂直に設置した顕微鏡(5)で観測すると, サンプル(2)の上加圧板と接触した繊維の部分のみが見える。天秤(1)の一端で分銅を乗せると, 他的一端の下加圧板は下方からサンプルを加圧する。それゆえ, 上加圧板の下部表面とサンプルの繊維との接触数および接触面積などを観測することができる。

装置には, 変位センサー(10)を設置し, 加圧力と同時に, 圧縮変位も測定した。観測には, ニコン社製立体光学顕微鏡 SM-10 を用いた。測定中に繊維がクリープするのを極力おさえるために, 高感度フィルム ASA1600 を用いて撮影の露出時間の短縮をはかった。また, 観測と撮影は恒温恒湿室 ( $20 \pm 0.3^\circ\text{C}$ ,  $65 \pm 3\% \text{RH}$ ) 内で行った。

### 2.2 試料

実験には, 織り密度の比較的粗い, 反射率の高い白い4種類のサンプルを選んだ。サンプルの組成を表1に示す。

### 2.3 データの算出方法

各圧力下で撮影した下加圧板とサンプルとの接触表面の写真を半透明方眼紙へトレースして, 接触繊維数 ( $N_s$ ), 接触繊維の面積 ( $A_s$ ) を求めた。

## 3. 結果および考察

### 3.1 接触表面状態の変化

サンプル1 (ポリエステル織物) のいくつかの圧力における接触表面状態の写真を図2に例示した。写真の明るい部分は上加圧板と接触した繊維の部分である。写真より, 繊維のわずかな一部分しか加圧

Table 1 Details of Fabric Samples

| No. | Fiber Material         | Counts(tex)<br>(Warp/Weft) | Density(1/cm)<br>(Warp/Weft) | Structure |
|-----|------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------|
| 1   | 100%Polyester/Filament | 33.4/33.4                  | 45/25                        | Twill     |
| 2   | 100%Wool               | 29.5/29.5                  | 32/24                        | Plain     |
| 3   | 100%Silk/Filament      | 2.3/2.3                    | 45/45                        | Twill     |
| 4   | 100%Cotton             | 18.2/27.8                  | 25/25                        | Plain     |

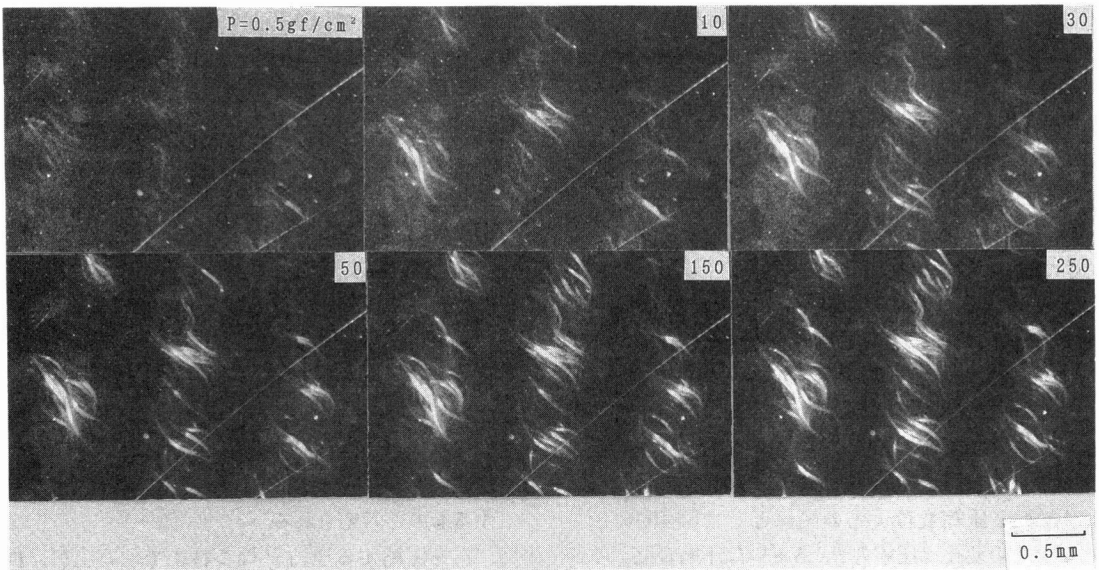


Fig. 2 Fabric surface photographs of sample 1 contacting with upper compressing plate at various pressure

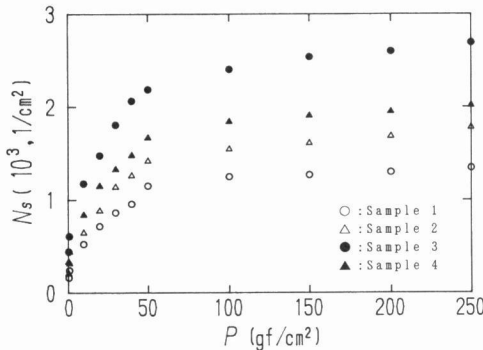


Fig. 3 Relationship between the number of contacting fiber ( $N_s$ ) and pressure ( $P$ )

板に接触していないことが分かった。また、圧力  $P$  ( $\text{gf}/\text{cm}^2$ ) の増加に伴い、接触した部分が増えることが分かった。

接触繊維本数の変化：上加圧板に接触した繊維の本数 ( $N_s$ ) の圧力による変化を図3に示す。接触繊維数は圧力  $1 \sim 50 \text{gf}/\text{cm}^2$  の範囲で急激に増えることが分かった。

図3より、接触表面繊維本数の変化がいずれのサンプルでも  $P = 50 \text{gf}/\text{cm}^2$  前後で異なることが分かった。繊維が圧縮される時、表面の繊維は下層の繊維との摩擦力を克服して、繊維と繊維との隙間の中に入る。他方、下層の繊維は相対的に表層に浮かび出てくる。このとき繊維は曲げ、ねじり、横圧縮

変形を順次に受けると考えられる。繊維—繊維間の力学接合要素としては固着状態、すべり状態、および口開き状態の3種類があるが、繊維集合体の圧縮特性を解析する場合には固着とすべり状態を考慮すれば良いと考えられる。すべり状態では繊維—繊維間ですべりやすく、圧縮力の増加に伴い、接触表面繊維本数の増加が大きく、固着状態では繊維間のすき間への移動が起こりにくく、接触数の増加が少ないと思われる。このことから、図3より、すべり状態は、主に  $P < 50 \text{gf}/\text{cm}^2$  の範囲に固着状態は、主に  $P > 50 \text{gf}/\text{cm}^2$  に対応していると考えられる。すなわち、圧縮の第2段階と第3段階の境界は  $P = 50 \text{gf}/\text{cm}^2$  付近に位置していると推測される。

サンプルによる違いを比較すると、同一圧力下での接触繊維本数はサンプル3が一番多く、サンプル1が一番少ない。これはサンプル3は細い糸を使用しており、たて糸、よこ糸とも無断であるため、繊維が移動しやすいのに対して、サンプル1は太く、しかも加熱糸からなるため、布(繊維集合体)の構造が緊密で、繊維が移動しにくいことによると考えられる。

### 3.2 接触面積および接触応力の変化

圧縮過程で織物と加圧板との接触面積を精密に測定するのは非常に困難である。本実験の場合、上加

圧板と接触した繊維は透明、あるいは半透明なので、接触点における光の散乱のために、写真の明るい部分が実際の接触面積よりやや大きいことが懸念される。それによる誤差を極力少なくするため、本研究では、接触面積を求めるときに、写真のもっとも明るい部分を方眼紙へトレースして接触面積 $A_s$  (布と上加圧板との接触面積,  $\text{cm}^2$ )を求めるよう心がけた。

写真より求めた接触面積比 $A_s/A$  ( $A$ , 測定面積,  $\text{cm}^2$ )と圧力 $P$ との関係を図4(a)に示す。いずれのサンプルについても、約 $50\text{gf}/\text{cm}^2$ 以下の圧力では、面積比の増加が大きいが、 $50\text{gf}/\text{cm}^2$ 以上になると小さくなっている。

図4(a)の横軸を圧縮変位 $x$ に変換して、接触面積比 $A_s/A$ と圧縮変位 $x$ との関係として図4(b)に示す。 $A_s/A$ の変化は圧縮力 $P$ , あるいは圧縮変位 $x$ の増加とともに、増加している。例として、サンプル1をあげると、図4(b)のように、三つの圧力範囲 ( $P < 1, = 1 \sim 50, > 50\text{gf}/\text{cm}^2$ )で接触表面積の増加率が異なる。この三つの圧力範囲を布の圧縮過程の三つの段階に対応させて考えてみる。第1段階(圧力

$P < 1\text{gf}/\text{cm}^2$ )では布表面の毛羽、突出繊維の曲げ変形を生じるが、図4(b)より、曲げたわみの領域ではこの接触面積の変化が少ないことが分かった。サンプル1では圧力 $P$ を $1 \sim 50\text{gf}/\text{cm}^2$ に増やすと、接触面積比 $A_s/A$ は0.19%から2.13%まで、急激に増加した。これは圧縮の第2段階で、繊維間にすべりを生じ、上加圧板と接触した繊維の量が急激に増えるためである。圧力をさらに増すと ( $P > 50\text{gf}/\text{cm}^2$ )、接触面積比 $A_s/A$ は2.13%から2.62%まで、ゆるやかな勾配で増大した。これは圧縮の第3段階に相当し、繊維間の間隔が減少し、繊維自体が横の圧縮変形を生じていることを意味している。これらの結果は著者らが提案した圧縮過程3段階に極めて良く対応しており、3段階分割仮説<sup>1)</sup>の正当性を示唆するものと考えられる。

布を圧縮する圧力 $P$ はこれまで便宜上加圧板の単位面積当たりの力 ( $\text{gf}/\text{cm}^2$ )で定義してきたが、この圧力 $P$ は実際の接触部位にかかる圧力ではないと考えられる。接触表面に実際に作用する圧力(あるいは応力)を接触圧力と呼ぶことにして $q$  ( $\text{gf}/\text{cm}^2$ )で表すと、 $q$ と $P$ との関係は下式になる。

$$P \cdot A = q \cdot A_s \quad (1)$$

$$q = \frac{P}{A_s/A} \quad (2)$$

$P$ の増加に伴う接触圧力 $q$ の変化を図5(a)に、また圧縮変位 $x$ の増加に伴う変化を図5(b)に示す。 $A_s$ は常に $A$ より小さいため、(3)式より $q$ は $P$ より大きい。 $A_s$ は圧縮変位 $x$ の増加に伴い、それぞれ変化率は異なるが、三つの段階で単調に増加する。

各サンプルの接触面積比 $A_s/A$ と接触力 $q$ の値はいずれも $P$ の増加に伴い三つの勾配をもって増加している。4種の試料の中でサンプル3は各境界 ( $1, 50, 250\text{gf}/\text{cm}^2$ )における接触面積比 $A_s/A$ はもっとも大きく0.85, 2.84と3.82%であった。接触応力 $q$ はもっとも小さく1.18, 17.61と65.45 $\text{gf}/\text{cm}^2$ であった。一方、サンプル1は接触面積比 $A_s/A$ はもっとも小さく0.19, 2.13と2.62%であり、接触応力 $q$ はもっとも大きく5.26, 23.47と95.42 $\text{gf}/\text{cm}^2$ であった。これは接触面積比や接触応力が織物の構造、材料と関連があることを示している。

この接触面積の測定は圧縮状態の圧力分布を解析すること、および、布表面の接触状態形態の変化と圧縮手触り(風合い)との関係を解明することに意義があり、より詳細な布圧縮特性の解析に応用できると考えられる。

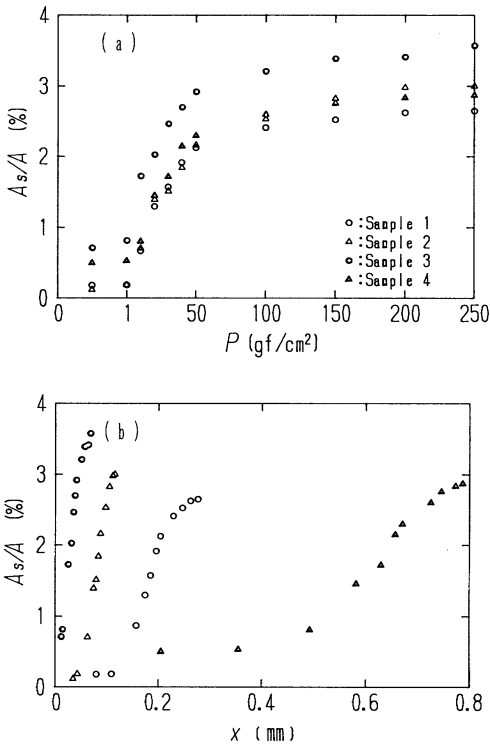


Fig. 4 Relationship between the ratio of contacting area ( $A_s/A$ ) and pressure ( $P$ ); (a), that and displacement ( $x$ ); (b)

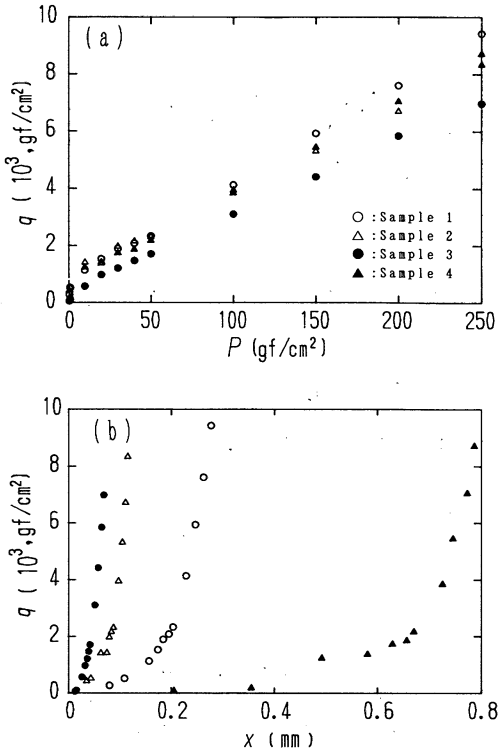


Fig. 5 Relationship between the actual pressure ( $q$ ) and pressure ( $P$ ); (a), that and displacement ( $x$ ); (b)

#### 4. 結論

本研究では、織物に対して、各圧力下での接触表面の状態形態変化を観測し、接触表面と表面応力がいかに変化するかを検討した結果、次の結論が得られた。

- 1) 加圧板と接触する繊維数の増加は圧力  $P$  の増加に伴い、 $P=0\sim 50\text{gf/cm}^2$  の範囲では大きく、 $P>50\text{gf/cm}^2$  では少ないことから、 $P=50\text{gf/cm}^2$  を圧縮の第2と第3段階の境界とみなすことができる。
- 2) 布と加圧板との接触面積は圧力  $P$  の増加に伴い、増加傾向の異なる三つの段階を経る。これは布圧縮過程の筆者らの3段階分割仮説<sup>9)</sup>によく対応している。 $P<1$ ,  $P=1\sim 50$ ,  $P>50\text{gf/cm}^2$  の三つの圧力範囲がおおの圧縮の第1, 第2, 第3段階と推定した。
- 3) 接触表面応力  $q$  は圧力  $P$  より極めて大きい。

#### 文 献

- 1) 松平光男, 秦 虹; 繊維誌 (論文集), 46, T226 (1993)
- 2) C. M. van Wyk; J. Text. Inst., 37, T285 (1946)
- 3) I. M. Ward; "Mechanical Properties of Solid Polymers 2nd ed.," p. 262, John Wiley & Sons, New York, USA (1983)
- 4) M. Matudaira, H. Qin; Proceedings of 23rd Fuji Textile Research Conference p. 115 (1994)