

# 織物の諸特性に対する繊維断面形状の影響

木下 瑞穂

(2003年9月30日受理)

Variety of cross sectional shapes of fibers and mechanical properties of woven fabrics

Mizuho Kinoshita

Woven fabrics that are made of fibers having different cross sections, circle, triangle, star and hollow, were prepared. Compressional and bend properties of the fabrics were measured. Relationship between these mechanical properties and cross sectional shape of fibers were discussed. It was suggested that airspace in a yarn and friction between fibers are sensitive to the cross sectional shape, and the air space and the friction affect the mechanical properties of fabrics.

Key words: cross section, fiber, woven fabrics, mechanical property

キーワード：断面，繊維，織物，力学特性

## 1. はじめに

織物は現在、編物と共に広く被服の素材として広く用いられている。その大きな理由の一つとして、被服に適した力学特性を持っていることがあげられる。平面的な布を裁断、縫製することにより、人体の複雑な曲面を覆うことができ、また同時に人体の動きに追従して適当に変形するために我々は被服を快適に着用できる訳である。このような性質は、織物が一次元的な形状をもつ経糸と緯糸が交錯することで面が形成され、また糸がさらに細かい一次元的構造をもつ繊維から構成されていることと深い関係がある。フィルムのような連続的な平面材料では決してもつことのできない性質である。

織物の基本的な力学的性質は織物の構造と糸の力学的特性から単純化されたモデルを用いてある程度予測することができる<sup>1)2)</sup>。しかしながら布の力学特性は、繊維構造、糸の構造、布の構造の複合的なものであるため、純粋に繊維の断面形状のみについてのモデル化ができないために、織物や編み物の力学的性質にどのように反映されるかについてはあまり検討されていない。

その一方で、実用面においては、繊維の断面形状は、布の様々な性質と密接な関係があることが知られている。絹のもつ深みのある光沢、絹鳴りや絹独特の手触

り感などは、フィブロイン繊維が三角形の断面を持つことに由来していることが知られている。合成繊維にこのような性質を付加するために、紡糸口金の形状を工夫することにより、様々な断面形状をもつ繊維が作られ、その形状と光沢などの関連はかなり詳しくわかっている<sup>3)4)</sup>。

織物の力学特性に対して、繊維の断面形状が単独でどのように影響するかについては、ひじょうに興味のあるところであり、布の性質、さらには布から構成された被服の性質を理解する上にも重要と考える。本研究では、断面形状の異なる繊維を使用し、その他のパラメータを一定にして作製した織物を用いて、圧縮特性を中心に曲げ特性、通気性等について測定をおこなった。その結果をもとに、繊維断面形状の違いがどのように力学特性に反映されるかを検討した。

## 2. 試料及び実験方法

### 2.1. 試料

実質的な太さが同じで、典型的な断面形状である、円、三角形、星形、中空円形の断面をもつ繊維からなる糸を緯糸とする織物を用意した。すべて平織で、糸密度は経糸 123/inch、緯糸 87/inch である。繊維は延伸倍率3.24のナイロン6で特殊な加工や添加剤等は

含んでいない。表1に本研究で使用した試料織物の糸使いと繊維の断面形状を示す。経糸は全て#01の繊維を用いており、緯糸がそれぞれの糸に変更されている。表1には、糸の撚り、繊維の太さを変化させた試料が含まれている。本論文では表1に掲載した試料全てについての各測定結果を図示するが、断面形状についての検討をおこなうために#01、#04、#05、#06の試料について主に考察することにする。

表1. 試料の糸使いと繊維断面形状

試料	緯糸 dtex/fila	断面形状	撚り turns/m
#01	78/18	円形	10
#02	78/18	円形	200
#03	78/36	円形	10
#04	78/18	星形	10
#05	78/18	円形中空	10
#06	78/18	三角形	10
#07	78/36	三角形	10

図1に試料#01、#04、#05、#06のたて方向断面の電子顕微鏡写真を示す。

## 2.2. 測定方法

### 圧縮特性

KES-FB3 超低加重圧縮試験器（カトーテック株式会社製）を使用した。圧縮変形速度を0.02mm/sec、最大圧縮加重を50gwt/cm<sup>2</sup>、及び100gwt/cm<sup>2</sup>とした。一つの試料について布の測定部位を変えて10回測定をおこなった。

### 曲げ特性

KES-FB2 準曲げ試験器（カトーテック株式会社製）を使用した。最大曲率を±2.5cm<sup>-1</sup>とし、変形速度を0.5/secとした。経糸方向と緯糸方向の曲げについて各試料3回ずつ測定を行った。

### 通気特性

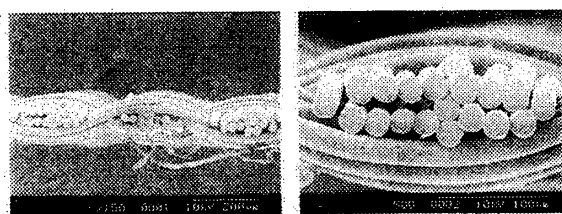
KES-F8-AP1 通気性試験機（カトーテック株式会社製）を使用した。

試料の通気測定断面積は2πcm<sup>2</sup>で通気量を4×10<sup>-2</sup>、4×10<sup>-3</sup>m/secとして測定した。

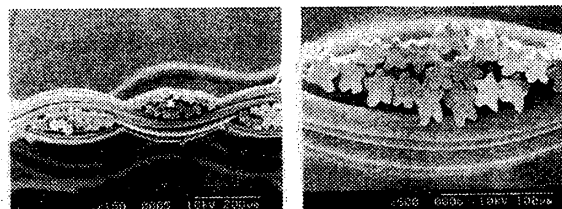
試料1枚の状態と2枚重ねの状態で測定し、2枚重ねの場合平行、45°、垂直のそれぞれの重ね合わせ状態で測定した。

上記測定はいずれも、気温20°C、湿度65%の標準測

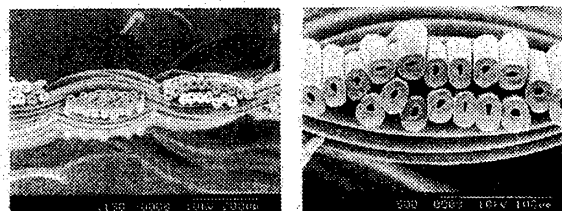
定状態にておこなった。



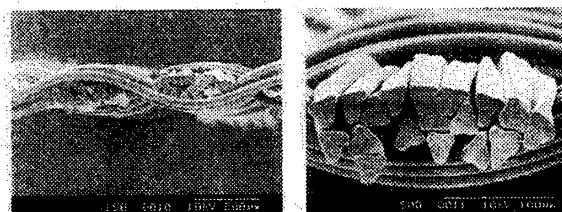
(1)



(2)



(3)



(4)

図1. 試料布断面の電子顕微鏡写真

(1): #01, (2): #04, (3): #05, (4): #06

## 3. 結果と考察

### 3.1. 圧縮特性

圧縮変形量-圧力のヒステリシス曲線から、最大圧縮加重時の厚さ $T_M$ 、初期厚さ $T_{01}$ 、圧縮回復時の厚さ $T_{02}$ 、圧縮仕事量 $WC1$ 、圧縮回復仕事量 $WC2$ 、圧縮レジリエンス $RC (=WC2/WC1)$ 、圧縮率 $EMC$ 、圧縮回復率 $RR$ 、を算出した。

図2に各試料布の圧縮時の初期厚さ $T_{01}$ を示す。#04の星形、#05の円形中空の試料で嵩高くなっており、#06の三角形がもっとも小さくなっている。円形の場合最密充填の配置をとった場合約10%の空隙ができるが、図1の写真と比較すると、#06は三角形であるために空間的に円よりも稠密な配置が可能であること、#04の星形はそれが不可能であり相当量の空隙が存在すること、また#5の中空部分は必ず空間として

存在することと対応している。

図3に示したように、圧縮荷重を加えたときの厚さも、図2と同様に空間の充填率による違いが見られるが、その変化率すなわち圧縮率は圧縮加重によって異なっている。図4に各試料の圧縮率を示す。加重が小さい場合には、#06がもっとも圧縮されやすく、#05、#01、#04の順になっているが、加重が大きいたときには、#04、#05、#01、#06の順になっている。#06の試料では元々繊維間の空隙は小さいものの、空隙を埋めるように繊維同士が動きやすく、小さな加重でも圧縮されるが、空隙がなくなれば圧縮されにくいことを示していると考えられる。

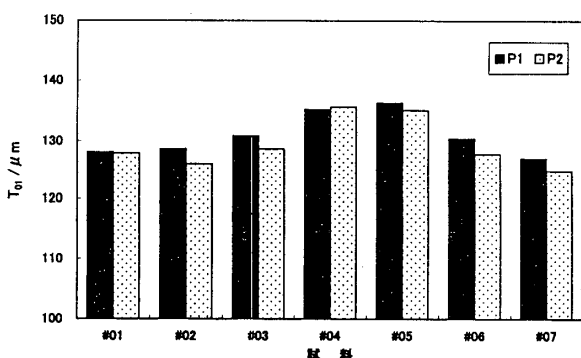


図2. 各試料の圧縮初期厚さ  $T_0$

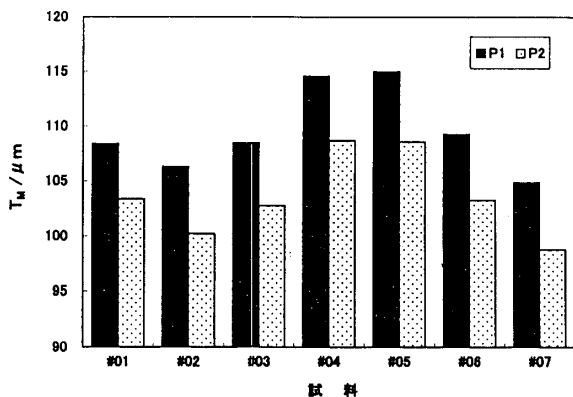


図3. 各試料の最大圧縮荷重時の厚さ  $T_M$

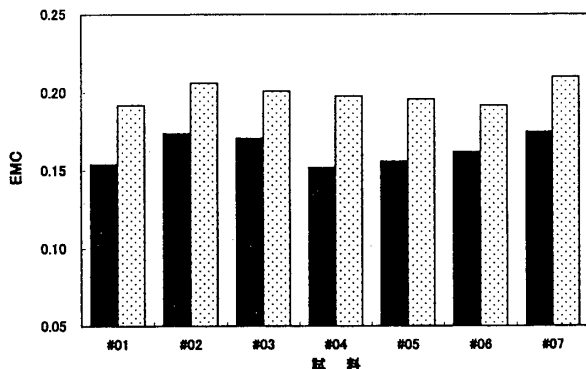


図4. 各試料の圧縮率 EMC

#04では元々の繊維間の空隙が大きく、また#05では繊維内に一定の空間があるが、これらの空間が圧縮により減少するためには繊維自体が変形しなければならない。このことから加重が小さい場合には圧縮されにくく、加重が大きくなると繊維自体の変形が生じ圧縮率が大きくなると考えられる。

圧縮変形に限らず、織物の変形は繊維の幾何学的な配置の変化による変形と繊維そのものの変形に分けて考えることができる。配置の変化による変形の場合繊維自体の変形は小さく、繊維同士の摩擦として変形のエネルギーが消費されるため、変形は回復し難い。一方繊維自体の変形では繊維内部に変形エネルギーが蓄えられるため変形が回復しやすいと予想される。

図5に圧縮回復率を、図6に圧縮レジリエンスを示すが、加重が小さい場合に#04、#05でいずれも大きく、加重の小さい段階で繊維自体の変形が起きていることを示している。これに対し#06や#01では加重が小さいうちは配置の変化による変形が大きく、加重が大きくなると繊維自体の変形が相対的に大きくなることを示している。#01の円形と#04の星形の違いは、円形の場合繊維同士が比較的滑りやすいのに対して、星形の場合凸部のエッジ同士が接触するために滑り難いのではないかと考える。Qinら<sup>5)</sup>は布の圧縮変形が段階的におき、紡績糸、フィラメント糸などの糸構造と関係があることを示したが、繊維断面形状もまた圧縮変形に対して付加的に影響することが明らかになった。

#### 曲げ特性

図7に各試料の緯糸方向の曲げ剛性を、図8に曲率-曲げトルクヒステリシス幅を示す。

なお、経方向の曲げでは、試料間の差異はなく、緯糸の影響はほとんど無いことがわかったのでここには掲載していない。

図7において、#05の曲げ剛性が突出して大きいことがわかるが、これは中空繊維の断面二次モーメントが他の繊維に比較して大きいためと考えられる。#04はその形状から繊維同士の摩擦が大きく、見かけの二次モーメントが大きくなり比較的曲げ剛性が大きくなっていると考えられる。

#01、#06では繊維自体の断面二次モーメントも小さく、また繊維同士が滑りやすいために曲げ剛性も小さいと考えられる。このことは図8において#01と#06でヒステリシス幅が大きいことからわかる。これらの曲げ特性は、圧縮変形での挙動とよく符合している。

#### 通気性

圧縮特性は繊維間の空隙と深い関わりがあることが明らかとなったが、空隙の大きさは通気性に反映されると考えられるため、通気性の測定を行った。図9に

測定で得られた各試料の通気抵抗の値を示す。

また通気性は、繊維間の空隙と共に織物のカバーファクタが重要であるため各試料のカバーファクタを測定した。図10に#01, #04, #05, #06のカバーファクタを示す。カバーファクタは試料の顕微鏡写真をコンピュータに取り込み、繊維部分の画素数を数えることにより求めた。

通気抵抗は#05の試料が最も大きく、#04, #01, #06の順に小さくなっている。これは糸の内部に空間

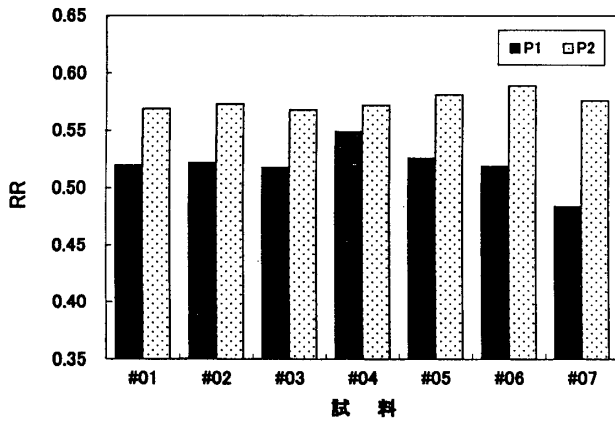


図5. 各試料の圧縮回復率RR

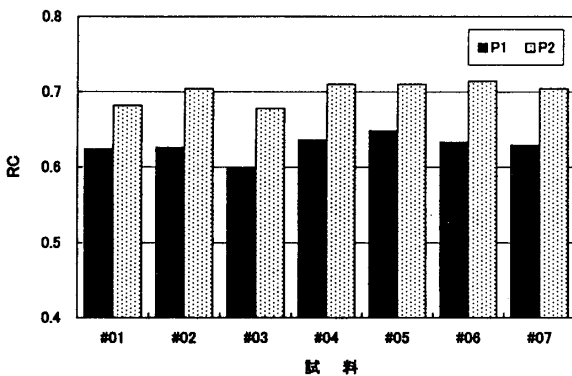


図6. 各試料の圧縮レジリエンスRC

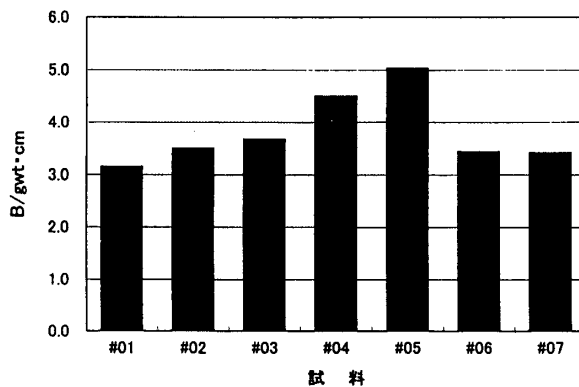


図7. 各試料の緯糸方向の曲げ剛性B

を持つ嵩高性の順であり、繊維同士の空隙が大きければ通気性がよくなるという関係ではない。図10のカバーファクタと比較すると、通気抵抗とカバーファクタの大きさがほぼ対応していることがわかる。本実験で用いた試料では、糸の嵩高性がカバーファクタと直接影響し、織物を構成している糸同士の隙間の大きさが通気性を支配していると考えられる。

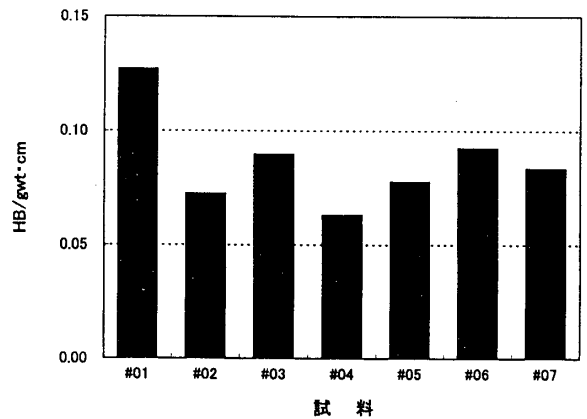


図8. 各試料の曲げヒステリシス幅HB

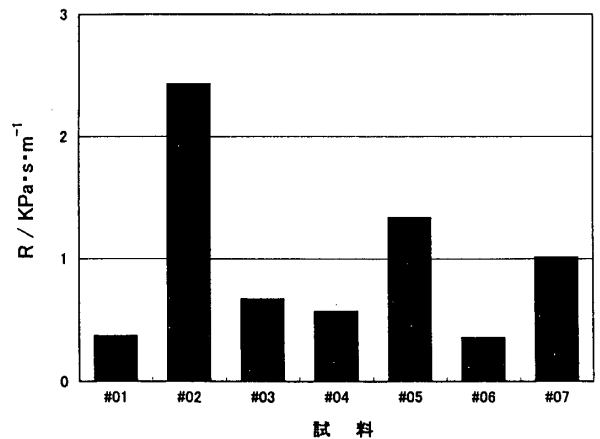


図9. 各試料の通気抵抗R

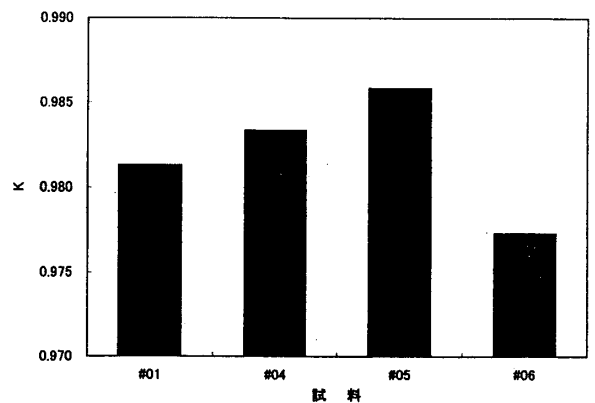


図10. 各試料のカバーファクター

#### 4. まとめ

合成繊維の典型的な断面形状である、丸形、丸形中空、三角形、星形の断面をもった繊維で構成された織物について、圧縮特性を中心に測定をおこない、断面の違いによる力学特性の変化について検討した。その結果、定性的にはあるが、断面形状が繊維の空間充填に影響し、最密充填したときの空隙の大きさを支配すること、断面形状が繊維同士の摩擦に影響することが予想された。これらが結果として圧縮や曲げ特性に関係し、断面形状によってそれぞれ固有の変形の機構が働くことが示唆された。

本研究は、平成15年3月家政教育学専修卒業の豊田裕子さんの卒業研究「織物の力学特性と繊維断面形状の関係についての研究」の中で行われた実験データを元に行っている。

また、本研究で用いた試料は島根大学教育学部の高橋哲也先生に提供いただいたものです。ここに篤く感謝いたします。

#### 【参考文献】

- 1) S. Kawabata, M. Niwa and H. Kawai: J. Text. Inst., **64**, 21 (1973)
- 2) S. Kawabata, M. Niwa and H. Kawai: J. Text. Inst., **64**, 45 (1973)
- 3) 日本繊維機械学会編, 「繊維工学 (II) 繊維の製造・構造及び物性」, **179** (1983), 日本繊維機械学会
- 4) 日本繊維機械学会編, 「被服科学総論 (上巻) - 被服設計 -」, **49** (1980) 日本繊維機械学会
- 5) Qin Hong and M. Matsudaira, 繊維機械学会誌, vol.48, **46** (1995)