

走査型電子顕微鏡観察による市販縫糸の変形機構

山本良子・清水義雄

(昭和60年9月26日受理)

The Extensional Behaviour of Commercial Sewing Threads by SEM

Ryoko YAMAMOTO and Yoshio SHIMIZU

(Received September 26, 1985)

1 緒 言

被服材料は主として繊維の複合構造体である。被服が形づくられるときには、被服材料である布、糸さらには糸の構成単位である繊維はさまざまな力を受け、複雑な変形を生ずると考えられる。また着用時においては、運動・活動による人体の変形に伴って、被服も変形し、人体を覆わねばならない。このような変形は結局被服を形成している繊維の変形と繊維間の相対的位置変化を生じることにより、可能になると考えられる。しかしながら、被服材料の変形をその構成要素である繊維および繊維間の変形としてとらえるという研究は、ほとんどなされていない。われわれは、とくに被服材料の初期の変形挙動に対して繊維および繊維間の変形の果す役割を明らかにするために、繊維の変形・位置変化の観察から考えてみようとした。

繊維集合体である布や糸を変形させながら、繊維および繊維間の変形を観察するためには、顕微鏡により微細な繊維の変化をとらえることが必要となる。ところが光学顕微鏡では焦点深度が非常に浅いため、糸を構成している繊維全体の観察には不適当である。一方走査型電子顕微鏡(SEM)では細部にわたる観察が可能である。SEMを用いて繊維、糸、布等の変形挙動を観察した報告¹⁻³⁾は既にいくつかあるが、糸や布の変形は複雑な挙動を示しており、変形機構は十分解明されるまでにはいたっていない。

そこで本報では、試料として市販縫糸を取り上げ、伸張過程での糸の変形を連続的にSEMにより観察する目
衣料管理研究室

的で、外部から操作できるSEM内伸張装置を試作し、試料を伸張しながらSEMによる糸中の繊維の形態を観察した。

2 実験方法

2.1 試料

本実験に用いた市販縫糸は、綿カタン糸グレース仕上(A)、ソフト仕上(B)およびポリエステルミンシ糸(C)の3種類で、いずれも三子糸である。試料の諸元を表1に、S—S曲線を図1に示した。糸の太さ、より数、破断強度、破断伸度および初期弾性率の測定は、JIS1013—1981とJIS1095—1979にもとづいて行った。

綿カタン糸のAとBは番手、より数ともほぼ同じ値であるが、仕上げ方法の違いにより、伸長特性が異なるものである。糸Aはグレース仕上の結果、ろうにより繊維どうしが固められた状態になり、伸度小で初期弾性率大の結果になったものと思われる。ポリエステルミンシ糸Cは、破断強度、伸度とも糸A、糸Bより大で、初期弾性率は糸Aと糸Bの中間の値を示している。

2.2 走査型電子顕微鏡内伸張装置

SEM(日立SE-450)の試料台に付属している試料回転用ダイヤルを伸張用に利用して、外部から連続的に伸張できるようにした。また同時に伸張時の応力を検出できるように、微小圧力変換器を伸張器にセットした。

図2に装置の伸張部分の平面図を示した。試料⑤は把持台①にセットし、SEM外のダイヤルを手動で回すことにより、軸②が回転し、ねじ歯車③を回しかさ歯車④が回転する。これにより、試料把持台が移動し、試料は伸張される。把持部の最大移動距離は40mmであるので、

繊維や糸の破断伸度が10%程度である場合は、試験長を35mmくらいまでとることができる。

また応力の検出のためには、図3に示すように微小歪

ゲージをとりつけ、歪ゲージからの応力信号をリード線によりSEM外へ送り、増幅器で増幅し、応力測定が行うことができるようにした。

表1 試料糸の諸元

試料名	繊維(%)	表示番号	構成	糸の太さ(D)	撚り方向()内は下糸	撚り数(T/m)	破断強度(gf/D)	破断伸度(%)	初期弾性率(gf/D)	備考
A	綿 100	50	50 / 3	303	Z(S)	860	3.6	4.4	135.3	グレース仕上
B	綿 100	50	50 / 3	308	Z(S)	840	2.9	8.9	28.6	ソフト仕上
C	ポリエステル ミシン糸	ポリエステル スパン 100	60 / 3	284	Z(S)	730	4.8	13.9	61.0	

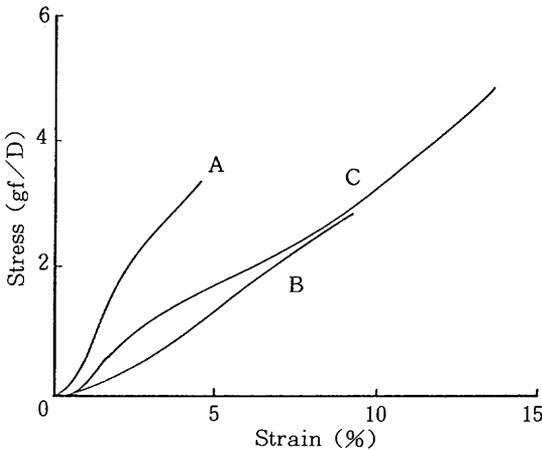


図1 縫糸の強伸度曲線

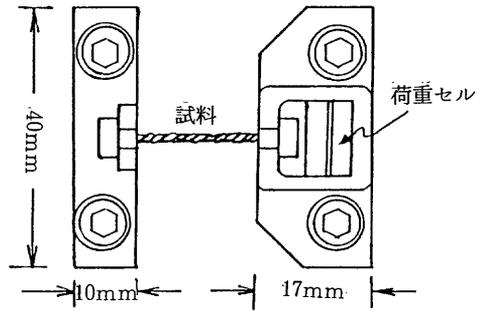


図3 応力測定部

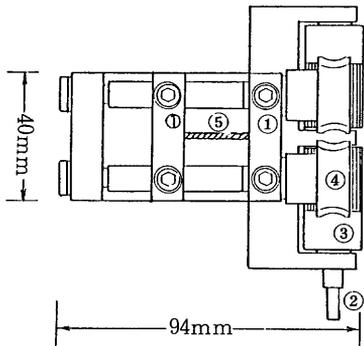


図2 走査型電子顕微鏡内伸張装置

- ① 把持部, ② 軸, ③ ねじ歯車, ④ かさ歯車,
- ⑤ 試料

2.3 走査型電子顕微鏡による観察および測定方法

一般にSEMによる観察は、被服材料の表面に金属の超薄膜を蒸着して行われるが、これでは糸の変形状態は金属のコーティングによる影響を受け、糸本来の変形と異ってくる可能性がある。そこで金属を蒸着せずSEM撮影を行った。図4に試料Cの蒸着しない場合(300倍および1500倍)のSEM写真を示したが、この写真からわかるように、この程度の拡大率ならばチャージアップの現象の影響を受けることなく観察できる。そこで本報では、糸の伸張状態のSEM像による観察は、金属コーティングをしない状態で行った。

3 結果および考察

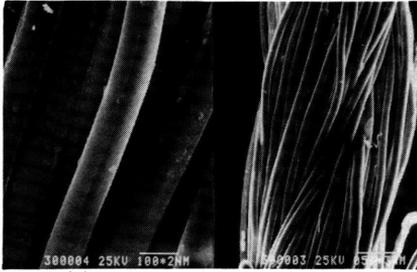


図4 金未蒸着試料(糸C)のSEM写真

試料糸の試長は30mmとし、伸張時のSEM写真撮影は逐次各伸張率でいったん伸張を停止し行い、さらに伸張・撮影を繰り返した。このようにして1回の伸張試験で6～7段階の伸張率についての写真撮影が行われた。3種類の試料糸については、それぞれ3回の伸張試験を行い、SEM写真を得た。

伸度の決定はダイヤルの回転数によらず、糸にあらかじめつけておいたカーボンブラックのマーク間距離を50倍のSEM写真から測定することにより算出した。応力の測定は今回は行わなかった。

糸の直径(ϕ μ)、糸のより角度(θ)および繊維の糸軸との交差角(θ_0)の測定を、200倍または300倍のSEM写真から行った。これらについては図5に示した。糸のより角度と繊維の交差角は、図5に示すように試験糸の太さの中央に中心線をひき、それぞれこの中心線と下糸のなす角度および中心線に交わる繊維のなす角度を測定することによって求めた。中心線をはずれている繊維の交差角は求めなかったが、これは立体である糸が顕微鏡写真では平面になっているため、中心線から上下に遠ざかるにつれて本来の繊維の形態が観察できず、正確な測定が困難になるためである。

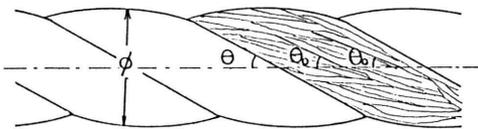
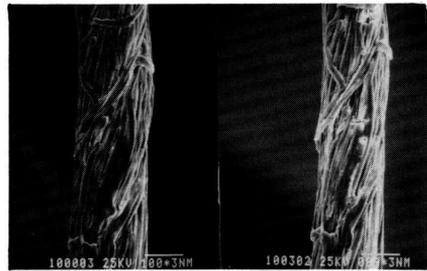


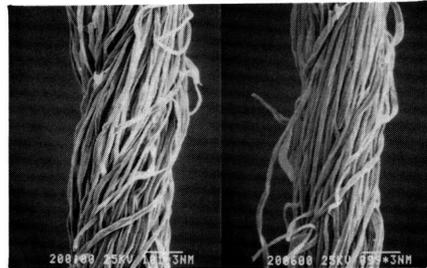
図5 糸のより角度 θ 、繊維の交差角 θ_0 および糸の直径 ϕ の測定方法

糸の直径およびより角度については、1つの伸張条件についてそれぞれ5ヶ所の測定を行い、繊維の交差角は20ヶ所の測定を行い、平均と標準偏差を求めた。

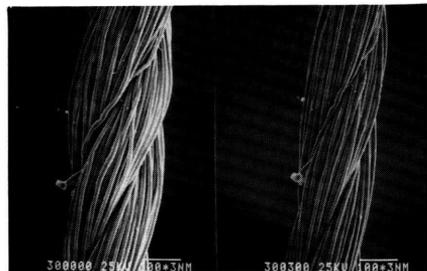
図6に各試料の伸張前と4ないし6%伸張時のSEM写真を示した。伸張前の写真から、糸Aはグレース仕上の結果、毛羽が表面にかためられているのが観察される。また糸A中の繊維はさまざまな方向を向き、交差角はいろいろな値を示すことが推測される。糸Bはソフト仕上のため、毛羽立ちが多く、繊維と繊維の間の空隙が多いが、やはり1本の繊維はさまざまな方向を向いていることがわかる。糸Cは毛羽立ちが少なく、繊維は比較的ひきそろっており、交差角も比較的そろった値を示すことが伺える。



(a) 糸A



(b) 糸B



(c) 糸C

図6 伸張前および伸張時の縫糸のSEM写真

これらの試料を4ないし6%伸張することによって、糸Aは直径、より角および交差角の変化は少なく、糸表面のみが分離して浮いているのが観察される。これは糸表面がろうでかためられているためと考えられる。糸Bと糸Cは繊維間の空隙が排除され、直径の減少、交差角、より角の減少がみられ、糸中で繊維がひきそろってくるのがわかる。

伸張にともなうより角 θ と交差角 θ_0 の変化をそれぞれ図7と図8に示した。伸張前にはより角 θ 、交差角 θ_0 とも糸B、糸A、糸Cの順に大きい。いずれの試料もより角 θ は交差角 θ_0 より大きな値を示しているが、

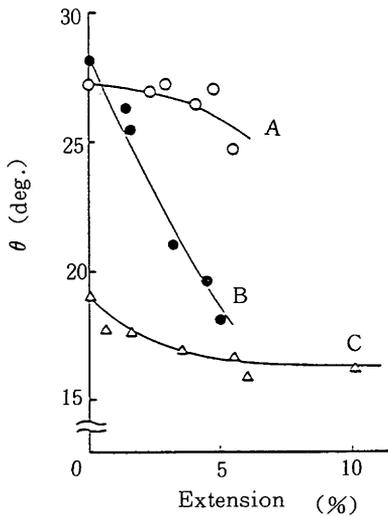


図7 伸張による糸のより角 θ の変化

これは下糸中で繊維に下糸のよりがかかっているためである。

糸Aは伸張にともなうより角 θ および交差角 θ_0 の変化が少ない。これは前述したように、グレース仕上のためろうで繊維が互いにかためられているためであろう。糸Bはより角 θ 、交差角 θ_0 ともに、伸張にしたがって比較的直線的に減少している。とくにより角 θ は急激に減少し、伸張率5%程度では繊維の交差角 θ_0 とほぼ同程度の値を示し、繊維は下糸中でも上糸中でも同方向に糸軸へと引きそろえられていくことがわかる。糸Cはより角 θ 、交差角 θ_0 とも低伸張率で著しく減少し、伸張率約4%以上では一定値を示している。

図9に直径 ϕ の伸張にともなう変化を示した。伸張前の直径の大きさは糸B、糸C、糸Aの順であるが、デニール数が同程度の糸Aと糸Bで直径が異なるのはグレー

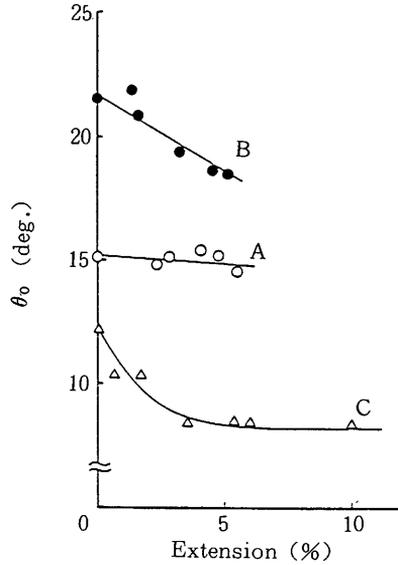


図8 伸張による繊維の交差角 θ_0 の変化

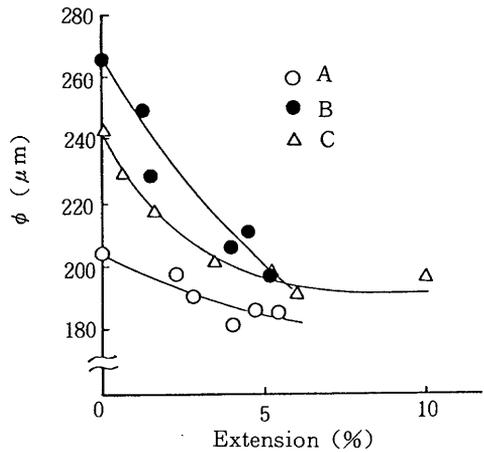


図9 伸張による糸の直系 ϕ の変化

ス仕上げによるためであろう。いずれの試料も伸張とともに直径 ϕ の減少がみられ、5%程度の伸張ではほぼ同程度の直径を示している。また糸Aの直径の減少の割合は、糸Bと糸Cに比して小さい。

以上の結果から、糸Bと糸Cでは糸の伸張にともないより角 θ 、交差角 θ_0 および直径 ϕ の減少が生じ、繊維はひきそろえられ、繊維間の空隙を排除していくことがわかる。糸Cについては、さらに伸張することにより、約4%以上の伸張率で、より角 θ 、交差角 θ_0 および直径 ϕ ともはや減少がみられなくなり、ほぼ一定値とな

り、糸中の繊維の状態は変化しなくなることがわかる。

したがって、糸Bおよび糸Cにおいては、伸張によって糸中で繊維が位置変化を生じ、最密充填の状態に近づくことが推測される。さらにその後は繊維間の位置変化はもはや生じないことから、糸の伸張変形は主として繊維自体の伸張変形によると思われる。この最密充填となる伸張率は、糸の構造によって異なると思われるが、糸Cでは約4%である。一方糸Bについては、この一定値を示す点がはっきりとは認められず、繊維自体の伸張変形があまり生じない時点で破断したものと考えられる。

また、糸の仕上状態により糸の挙動が変わってくるが、糸Aの試料からみとめられる。グレース仕上ではろうでかためられた表面をもつため、糸Bや糸Cのような繊維の自由な位置変化が生じず、表層が内部の繊維の集合部分から分離すると考えられる。同じ綿繊維を用い、同程度の糸構造をもつ糸Bと比較して、糸Aの破断伸度が小さいのは、このように繊維の相対的位置変化が生じにくいためと考えられる。

4 結 論

市販縫糸の伸張過程での変形機構を、糸中の繊維および繊維間の変形という点から検討するために、SEM外伸張装置を試作し、試料をSEM内で連続的に伸張しながら、SEM像観察を行った。各伸張率でのSEM写真から、伸張にともなう糸の直径、糸のより角度および繊維と糸軸との交差角の変化を測定することによって、糸中の繊維の位置変化を検討し、次のようなことを明らかにした。

糸の伸張とともに、第一段階として糸の直径、糸のよ

り角および繊維と糸軸の交差角は減少し始め、糸中で繊維はひきそろえられ、繊維間の空隙を排除し、繊維は最密充填の状態に近づいていく。さらに伸張すれば、糸の伸張は、第一段階である繊維間の位置変化から、第二段階の繊維自体の伸張変形へと移ると考えられる。しかしながら、糸Bは破断伸度が小さく、最密充填になる伸張率以上での変形すなわち第二段階の変形はほとんど観察されず、最密充填になる前後で糸の破断が生じるものと推測される。

またこのような変形機構は、糸Aのようにグレース仕上が施されているものには観察されず、糸の表層のみが分離して剝離する状態になる。

以上、伸張にともなう糸中の繊維の変形・位置変化を明らかにし、糸の変化機構を糸中の繊維の状態変化という点から検討した。今後はさらに、これらの変形機構と糸の応力との関係を検討するつもりである。また、SEMによって伸張状態の観察を行ったため、試料は真空中で伸張されたが、空気中での伸張状態とは異なる可能性があるため、今後真空中と空気中との伸張状態の比較検討を行う必要がある。

文 献

- 1) A. N. McKee and C. L. Beattie : *Textile Res. J.*, **40**, 1006 (1970)
- 2) P. M. Cross and J. W. S. Hearle : *ibid.*, **41**, 629 (1971)
- 3) C. C. Cheng, J. L. Cowart, B. L. McGill, J. E. Spruiell and J. L. White : *ibid.*, **45**, 414 (1975)