繊維の機械的性質に関する研究*

(第2報) 伸長に伴う断面積変化について

(昭和34年8月10日受理) 会 員 樋 口 健 治**

高 井 英 雄

要 要

研究目的

伸長に伴う断面積変化の模様を追跡し、ポアソン比について研究することを目的とする。

研究結果

(1) 空気マイクロメータの原理を利用して繊維の断面積変化を記録することのできる引張試験装置を製作し、たてひずみ—よこひずみ線図を描かせることによって、上記の目的を達成することかできた。

(2) ナイロン テグスの場合には、切断伸度の $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{3}$ の伸長レベルまでは、たてひずみ に対する よこひずみの進行率はほぼ一定であり、したかつてポアソン比も平均 0.385—0.386 のほぼ一定値をとるか、それ以上の伸長レベルでは、よこひずみの進行率は変動を来たとともに増大し、切断伸度における ひずみの比は、ついに平均 0.446 程度に達する。

(3) 特に高伸長域において、降伏点の伝播とみなされる現象かおこり、これか、たてひずみ—よこひずみ記録線図に変動をおよぼす原因と考えられる。

1. 緒 言

繊維の機械的性質の研究のために、その引張試験による応力—伸度線図が広く活用され、多くの研究報告かなされている。しかし、その多くは伸長の際の試料の断面積変化を無視している。これは繊維のように細い線状物質の断面積を連続測定することの困難なことに起因するのであろう。たてひずみとよこひずみの関係、すなわち具体的にはポアソン比に関する研究報告もしたかつて数少なく割合信頼できるものとしては、わずかに電気抵抗を応用した Arthur, Floyd の研究¹⁾があるのみである。そこでわれわれは、空気マイクロメータを応用することによって、伸長に伴う繊維の断面積変化の模様を追跡しポアソン比を求めて数値的な検討を加えようと試みた。

2. 実験装置およびその特性

空気マイクロメータ応用の糸むら試験機を断面積変化感知装置に転用し、試料糸条走行部に新たに引張装置を取りつけて使用した。この実験装置を第1図に示す。

感知部の噴出ノズルは真鍮製のものと、その構造は第2図に示すごとくである。

(第1図) 実験装置図

(第2図) 試料断面積感知ノズル

* Mechanical Properties of Textile Fibers Part 2 Decrease of the Cross-Sectional Area Accompanying Longitudinal Extension (第1報 12巻 9号に所載)

** K Higuchi, H Takai, Member 東京農工大学繊維学部

本装置の原理は、通す試料糸条の断面積変化に伴う背圧 P_c (第1図参照) の変化をベローの機械的変位にかえ、さらにこれをレバーによって拡大し、記録ペンによって連続記録させようとするものである。

次に装置特性の検討にあたっては、まず引張量と記録ドラムの回転量との関係を測定し、記録紙の横軸スケールを決定した。次に断面積変化を示す縦軸スケール決定のために、銅線およびピアノ線をマイクロメータで直径を測定し、これより断面積を計算して、ノズルに通し、装置を作動させてペンの振れを記録した。第3図はこのようにして得られた較正線図の一例であり、初定圧 P_A (第1図参照)、しぼり G_1 のしぼり度を適当に組み合わせることによって、この線図の直線部分を目的とする供試々料の断面積変化域に合わせて作動させるようにした

$$= 4 \cdot (\text{供試々料断面積}) / \pi \quad (\times 10^4 \mu^2)$$

(第3図) (供試々料断面直径)² とペンの振れとの関係の一例

なお、直径の測定にあたっては、位置と方向を変えて10個以上を測定し、ばらつきが無視できるほど小さいもののみを採用し平均値をもってその直径とした。

3. 実験結果およびその考察

3.1 たてひずみ—よこひずみ線図

(1) 切断伸度まで

まず、切断伸度まで実験を行なった。供試々料は、市販のナイロン テグス(シルバスター、5厘柄)、断面直径 $d = 349 \mu$ 、断面積 $S = 3.82 \times 10^5 \mu^2$ 、織度 1 010 den を使用し、原長 $l_0 = 40 \text{ mm}$ 、引張速度 $v = 0.14 \text{ mm/sec}$ として実験を行なった。得られた記録線図を、たてひずみ—よこひずみのスケールを付したグラフに書き直したものが、第4図である。

第4図は両ひずみの関係と、そのばらつき程度をあわせて表現するために、いくつかの試験結果を同一のグラ

(第4図)

切断伸度までのたてひずみ—よこひずみ線図
 $S_0 = 3.82 \times 10^5 \mu^2$, $d_0 = 349 \mu$, 1 010 den

(第5図)

切断伸度までのたてひずみ—よこひずみ線図
 $S_0 = 3.82 \times 10^5 \mu^2$, $d_0 = 349 \mu$, 1 010 den

フに書き表わしたものであるが、実験番号 No. 3 を除けば、他はほとんど重なってしまい、たて、よこ両ひずみの関係は、一様な傾向にあることが知られる。さらに両ひずみの関係を明瞭に示すために、代表的なカーブとみなせる実験番号 No. 4 のみを取り出したものが第5図である。

図から明らかなように、初めなめらかで、ほぼ直線状の両ひずみ線図が、 $(\Delta l/l_0) \times 100 > 11 \sim 13\%$ の高伸長域においては、そのなめらかさを失い、細かい凹凸を呈するようになる。この原因についてはのちほど考察することにするが、少なくともナイロン テグスのような高延伸の履歴をもつ繊維では、切断伸度の $\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ の伸度でたて、よこ両ひずみの関係が一様性を失うということはいえるであろう。

(2) 伸度 12.5% まで

前項の結果を考慮して、次に、伸び率 $(\Delta l/l_0) \times 100 = 12.5\%$ までの現象を検討した。供試々料は前項 (1) と同じであるが、引張速度を $v_1 = 0.14 \text{ mm/sec}$ (前項と同じ)、 $v_2 = 0.097 \text{ mm/sec}$ の2通りに取り、おのおの6回ずつの実験を行なった。そのカーブの一例を示すと、第

6図ようになる。グラフからわかるように、たてひずみ—よこひずみ線図は、この伸度レベル程度まではやや上に凸のおおむねなめらかな直線に近いカーブを描くことが再確認される。

(第 6 図)

伸度12.5%までのたてひずみ—よこひずみ線図
 $S_0 = 3.82 \times 10^5 \mu^2$, $d_0 = 349 \mu$, 1 010 den

(3) 引張速度による相違

次に引張速度による線図の変化をみるために、同じく市販のナイロン テグス (シルバースター, 6 厘柄) 原断面直径 $d_0 = 428 \mu$, 原断面積 $S_0 = 5.76 \times 10^5 \mu^2$, 繊度 1 450 den を使用し, 原長 $l_0 = 40 \text{ mm}$ とし, 引張速度を $v = 0.25, 0.17, 0.11, 0.08 \text{ mm/sec}$ の 4 段階に変え, 伸度レベル $(\Delta l/l_0) \times 100 = 12.5\%$ までの実験を行なった。各速度段階ごと, 実験回数 7, 都合 28 個の線図は, ほぼ同じ傾向にあり, 本実験程度の引張速度の相違は, たてひずみ—よこひずみの関係 (具体的にはポアソン比) に影響をおよぼさないことが知られた。

(第 7 図) 引張速度とポアソン比

$S_0 = 5.76 \times 10^5 \mu^2$, $d_0 = 428 \mu$, 1 450 den

3.2 ポアソン比

3.1 で得られた各種の線図について, よこひずみとたてひずみの比, すなわちポアソン比を算出する。一般に 2 次元座標の曲線の傾斜, すなわち両関数間の比を求める方法としては, Initial tangent modulus, Secant modulus, Tangent modulus, Cord modulus などの表現方法があり, またひずみの取り方にも (変化分)/(元の量) とする方法と, 大変形の場合の (変化後の量)/(元

の量) の対数とする方法などがある。したがってポアソン比にも, これらの組合せによって, 数値的にも異なる幾種かの表現方法があるが, それらの間には一定の関係にあるものが多いから, ここではプリミティブな段階として Secant modulus と, ひずみ = (変化分)/(元の量) の組合せによる表現を採用することにする。この場合のポアソン比は, 次のようにして求められる。

いま, 円柱状材料において

l_0 : 原長

Δl : 引張力による軸方向の伸び分

d_0 : 原断面直径

S_0 : 原断面積

Δd : 軸方向の伸びに伴う断面直径の減少分

ΔS : 断面面積の減少分

とすれば

$$S_0 / (S_0 - \Delta S) = d_0^2 / (d_0 - \Delta d)^2$$

$$1 / (1 - \Delta S / S_0) = 1 / \{1 - (2 \Delta d / d_0) + (\Delta d)^2 / d_0^2\}$$

右辺分母の $(\Delta d)^2$ の項を省略すれば

$$\Delta S / S_0 = 2 \Delta d / d_0$$

$$\therefore \Delta d / d_0 = \Delta S / 2 S_0$$

しかるにポアソン比は

$$\mu = (\Delta l / d_0) / (\Delta l / l_0)$$

よって

$$\mu = (\Delta S / 2 S_0) / (\Delta l / l_0)$$

で与えられる。

前節 3.1 のおのおの場合について, 上の式より計算したポアソン比の値を示せば, 第 1 表のようになる。

第 1 表の結果と, 第 4—7 図の線図を比較してみると

(第 1 表) 各条件におけるポアソン比

試料	原長 l_0 (mm)	原断面直径 d_0 (μ)	原断面積 S_0 ($\times 10^5 \mu^2$)	伸度レベル $(\Delta l / l_0) \times 100$ (%)	引張速度 v (mm/sec)	6—7 個のポアソン比の平均 $\bar{\mu}$
A	40	349	3.82	17.5	0.14	0.446
				20.0	0.14	0.371
				12.5	0.10	0.407
						0.386
B	40	428	5.76		0.25	0.390
					0.17	0.369
					0.11	0.412
					0.08	0.369

伸長に伴うよこひずみの模様を一層はっきりとはあくすることができる。すなわち伸度 12.5% レベルあたりまでの両ひずみ線図は、やや上に凸の傾向があるが、おおむね直線とみなされ、それらの中からもっとも確からしい曲線を描けば、第 1 表の $\bar{\mu}=0.385-0.386$ をこう配とする直線に近いものが得られるはずである。さらにこの伸度レベルを越えると、たてひずみに対するよこひずみの進行率は次第に変動を来たすとともに、全体として増加する傾向にあり、両ひずみ線図上の切断点と原点とをむすぶ直線のこう配 (Secant modulus) は 0.446 程度の値を示す。比較のために Arthur, Floyd¹⁾ の研究によるポアソン比の値を示すと、彼等是对数ひずみを用い、伸度 $100 \ln(l/l_0)=6\%$ レベルにおける対数ポアソン比 $\mu=-\ln(S/S_0)/2 \ln(l/l_0)$ の値として、平均 0.392 を得ている。対数ポアソン比は、普通ひずみから算出したものよりも大きく出るから、われわれが得た伸度 $100(d/l/l_0)=12.5\%$ のレベルにおけるポアソン $\mu=(dS/2S_0)/(dl/l_0)$ の値 0.385—0.386 に比してその相当性が認められよう。

3.3 部分変形の影響および線図の平均化への考え

第 4 図に示されるように、同一の試料、同一の条件においても、描くたてひずみ—よこひずみ線図には、多少の変動があり、かつ 11—13% 以上の伸度レベルでは、変動が特にいちじるしいが、これは降伏点の伝播および試料断面積感知ノズルの感知幅が狭いことにその一因があるものと思われる。すなわち第 2 図に示したように、本実験に使用したノズルでは、繊維試長 40 mm のうちおおむね 2 mm 幅における断面積を感知することになる。したがって急激な変形がたまたまこの感知帯を襲ったとき、断面積は縮小し記録ペンは大きく下がり、感知帯以外の場所で変形が進行しているときにはペンは動かないはずである。さらに延伸につれて、断面積を感知される繊維の場所は次々にずれることになる。一般に一樣でない変形の進行は、弾性限界を越えた範囲において起る降伏現象に見られるものであると言われているが、本実験において 11—13% 以上の伸度範囲におけるひずみ線図のいちじるしい変動は、上記の説明から十分うなずけるであろう。

したがって、ノズルの感知帯の幅を広くとる (たとえば感知点の数をふやし、これらは並列に空気マイクロの

回路に組み込む) ことによって、ある程度まで、両ひずみ線図を平均化しうることが予想される。

4. む す び

本実験によって次のことが明らかになった。

(1) 空気マイクロメータを応用することによって、伸長にともなう繊維の断面積変化の模様の追跡が可能であることがわかった。

(2) ナイロン テグスの場合には、切断伸度の $\frac{1}{2}-\frac{1}{3}$ の伸度レベルまでは、たてひずみに対するよこひずみの進行率はほぼ一定であり、したがって Secant modulus 表現によるポアソン比も平均 0.385—0.386 のほぼ一定値をとるが、それ以上の伸度レベルでは、よこひずみの進行率は変動を来たすとともに全体として増える傾向があり、切断伸度におけるポアソン比は 0.446 程度の値を示す。

(3) 変形の全域において、特に高伸長時の塑性変形領域においては、確率現象的な変形の伝播とみなされる降伏現象に起因するたてひずみ—よこひずみ線図の変動が見られる。

(4) 本実験の原理にもとづく、空気マイクロメータ応用の断面積測定装置においては、その感知ノズルの感知部分を長くすることによって、たてひずみ—よこひずみ線図を試料全般にわたって平均化したものとしてえられることが予想される。

本実験は、空気マイクロメータ応用の可否を検討することを、まず第一の目的とした。したがって試料も比較的測定の容易な断面積の大きいナイロン テグスを使用した。実験の結果、上記の可能性が確認されたので、今後はさらに荷重も同時に測定し、応力—たてひずみ—よこひずみの関係をも研究してみようと計画している。

文 献

- 1) Arthur L. Ruoff, Floyd I. Frank: Text. Res. J., p. 213 (1958-3)
- 2) 塚原鶴夫: 空気マイクロメータ, p. 37 (1954)
- 3) 小林 昭: 機械の研究, 11, 6, p. 830—832 (1959)
- 4) M. Reiner: レオロジーの基礎理論 (柳沢延房訳), p. 151 (昭34)