

# 糸のループ形態についての一考察

内 山 生

## 1. 緒言

繊維とその一次元集合体である糸や紐が「わな」状にループを形成するとき、どのような軌跡を描くかは興味ある問題である。ニットやパイル織物あるいはループカーペットなどは、いずれも構造単位が「ループ」であり、それらの形態安定性に関連して実用的見地からも関心がもたれている。

本報告は、この問題について現象論的立場から一つの推論をこころみる。

## 2. 研究目的

ループ形状の問題はPeirce<sup>1)</sup>によって、はじめ幾何学的なモデルが提案された。ついで、Chamberlain<sup>2)</sup>やShinn<sup>3)</sup>によっても論ぜられたが幾何学的解折に止まり、力と変形に関する力学的要素は無視されている。ついでDoyle<sup>4)</sup>とMunden<sup>5)</sup>によって歪エネルギーの立場から解明がこころみられ、さらに弾性体の変形理論モデルがLeaf<sup>6)</sup>によって提案された。

Doyle<sup>4)</sup>とMunden<sup>5)</sup>は、ループは歪エネルギーが最小になるような形状に経時的に変化して、最終的に次式の実験式の成立することを編地を試料として実証した。

$$1/N = S = \frac{1}{C} \cdot \frac{1}{W} = l^2/K \dots \dots \dots (1)$$

N；編目密度，S；ループ1個の占める面積

C；コース密度，W；ウエール密度

l；ループ長さ，K；定数

他方，Leaf<sup>6)</sup>は弾性棒の大変形理論から糸軸曲線の軌跡は次式のエラスチカ曲線<sup>7)</sup>になるとの仮説を提案した。

$$\left. \begin{aligned} X &= n \{ 2E(k, \phi) - F(k, \phi) \} \\ Y &= 2nk \cos \phi \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

ただし，X,Yは糸軸曲線の直角座標上の一点Mの座標であり，

$n^2 = B/P$ ， $k = \sin \alpha / 2$ ， $\phi = \arcsin \{ \sin \theta / 2k \}$  である。ただしBは糸の曲げ剛性，PはX

軸上でループ端に作用する外力である。図1に $\alpha$ , Q, Pを示す。図1における $\alpha$ が与えられ、(2)式の $n$ がわかれば、 $E(k, \phi)$ と $F(k, \phi)$ はそれぞれ第2種および第1種楕円積分であるから、 $Q$ を変数としてエラスチカ曲線を(2)式から描くことができる。

しかるに、ループ長 $l$ は図1において、 $l = 4 \widehat{AB} = 4 \int_A^B ds = 4n \cdot F$ であり、 $l$ がわかれば、 $n$ は  $n = l / 4F(k, \frac{\pi}{2})$  として求めることができる。

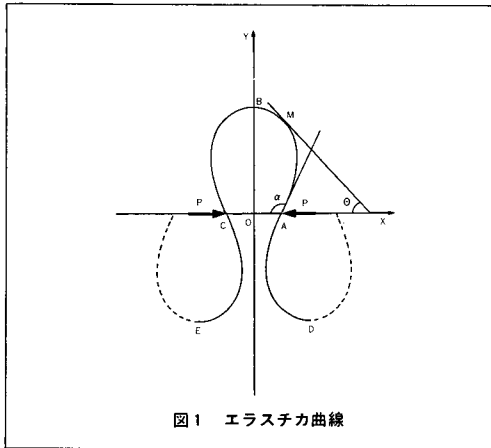


図1 エラスチカ曲線

さてDoyleとMundenの(1)式は編地設計に有用であり定数 $K=19$ のとき、編地の形態安定性をもっともよいと報告している。しかし、そのときのループ形態がどのようなになっているかには触れていない。そのときのループ形態がLeafの(2)式に従う軌跡をもつか否かを検討し、あわせてLeafモデルの適合性についても推論を加える。

### 3. 実験方法

試料糸は太番綿糸2種類とし、これをループ長を5段階に変化させて平編地を編成した。その明細と(1)式の $K$ 値を表1に示す。ただしゲージは一定とし引込量のみ変化させた。

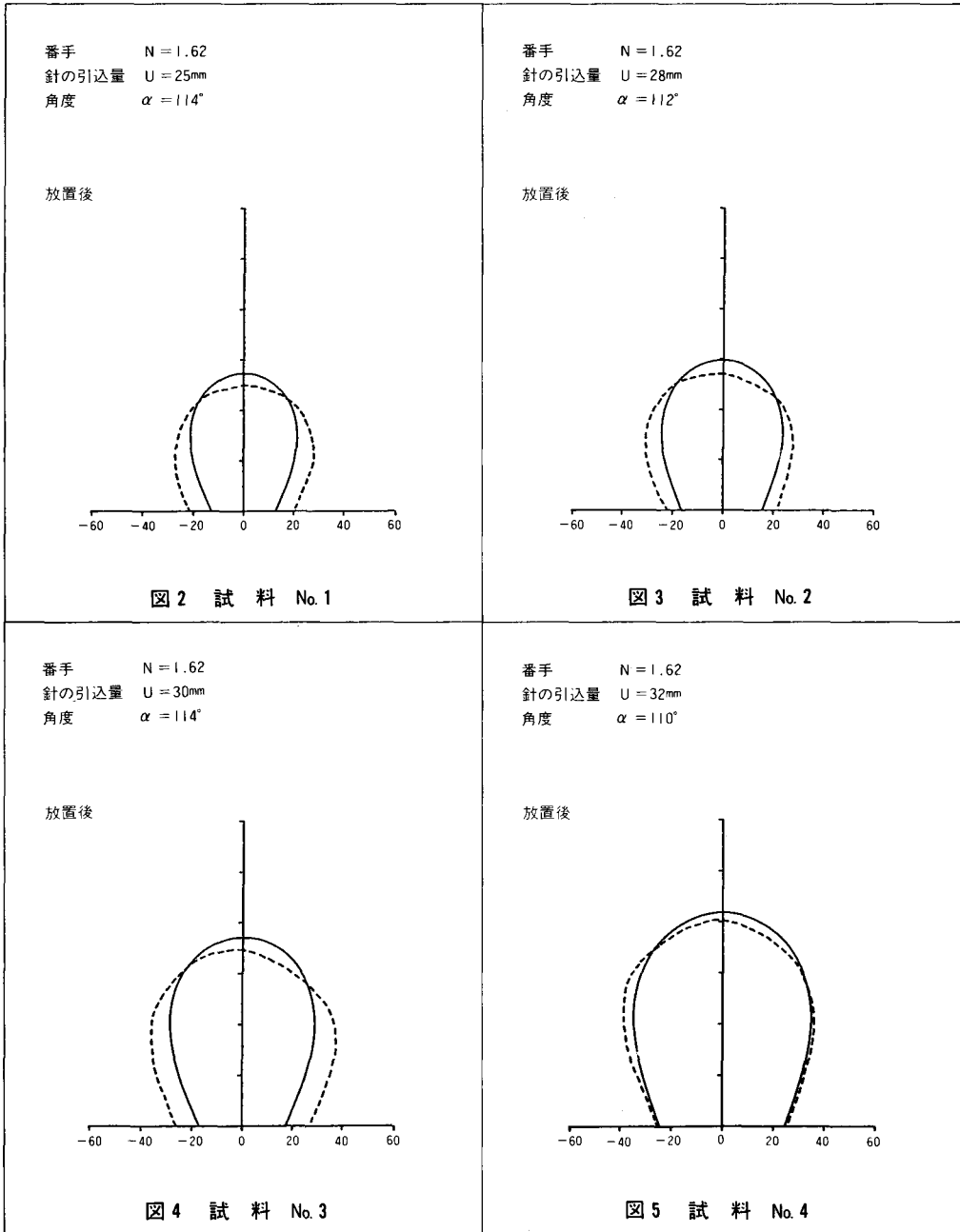
表1の試料を標準状態の室内に72時間放置し十分に放縮させ、形態が平衡状態に達した時点で倍率20倍で写真に撮る。この写真から図1の $\alpha$ を実測し、ループ長 $l$ も糸を沿わせて計測した。両者の値から(2)式によってエラスチカ曲線を描き実際のループ形態との異同を比較検討する。

表1 試料と $K$ の値

番手 N	No	針の引込量 U (cm)	ループ密度 n (目数/cm <sup>2</sup> )	ループ長 l (cm)	$k = n \cdot l^2$
1.62	1	2.5	8.25	1.50	18.56
	2	2.8	6.22	1.72	18.40
	3	3.0	4.63	1.99	18.34
	4	3.2	3.66	2.23	18.20
	5	3.4	2.89	2.41	16.79
0.80	6	2.7	6.39	1.78	20.25
	7	2.9	5.07	1.97	19.68
	8	3.1	4.08	2.22	20.11
	9	3.3	3.54	2.43	20.90
	10	3.5	3.04	2.64	21.06

### 4. 実験結果

図2から図11に結果を示す。図は倍率10で描き、点線が実測曲線であり実線が(2)式から求めた理論曲線である。図2～図6は番手1.62の場合を示し、図7～図11は番手0.8の場合を示す。



糸のループ形態についての一考察

番手  $N = 1.62$   
 針の引込量  $U = 34\text{mm}$   
 角度  $\alpha = 111^\circ$

放置後

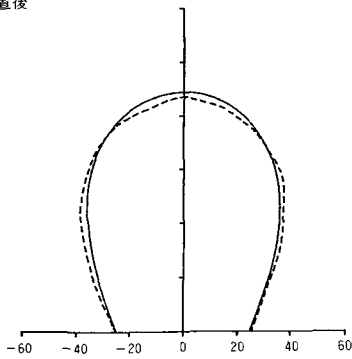


図6 試料 No. 5

番手  $N = 0.8$   
 針の引込量  $U = 27\text{mm}$   
 角度  $\alpha = 109^\circ$

放置後

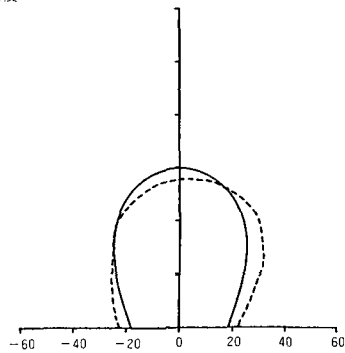


図7 試料 No. 6

番手  $N = 0.8$   
 針の引込量  $U = 29\text{mm}$   
 角度  $\alpha = 116^\circ$

放置後

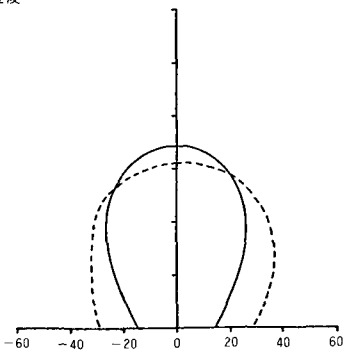


図8 試料 No. 7

番手  $N = 0.8$   
 針の引込量  $U = 31\text{mm}$   
 角度  $\alpha = 108^\circ$

放置後

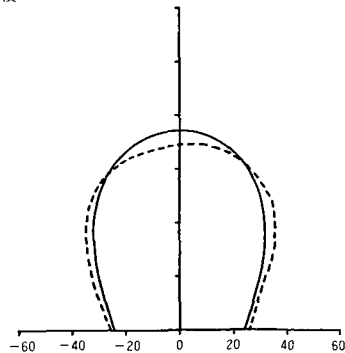


図9 試料 No. 8

糸のループ形態についての一考察

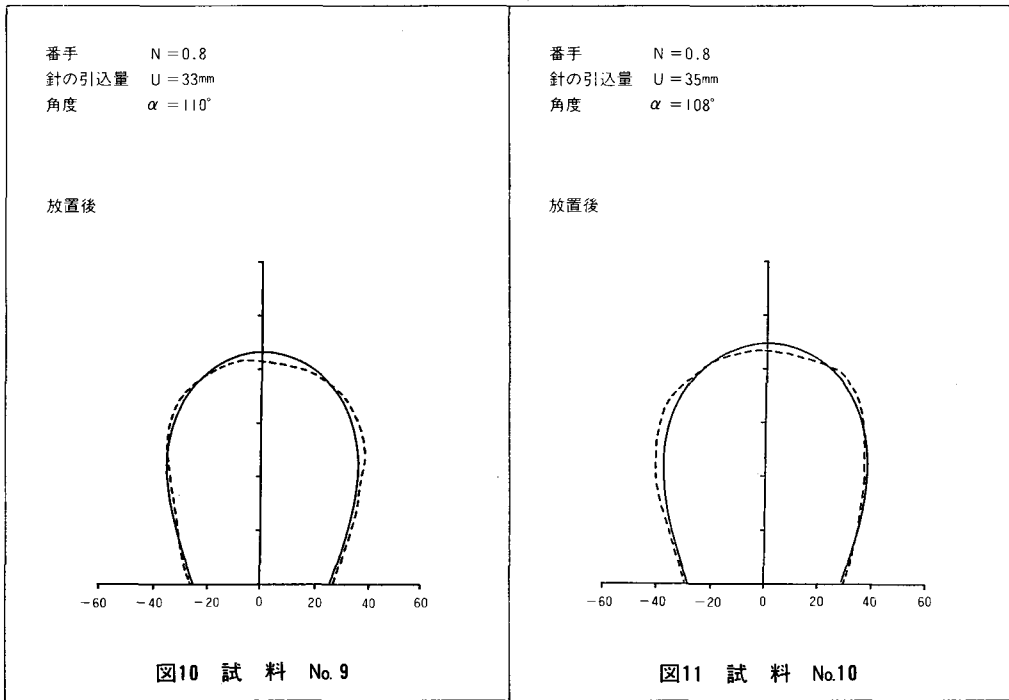


図2 から図11に示す実際のループ曲線（点線）とエラスチカ曲線（実線）とのずれの大きさを量的に評価するために次の方法を用いる。たて方向のずれを図のY軸上で測り、これを $\Delta l$ とし、よこ方向の最大ずれ量を $\Delta W$ とする。これの絶対値の和Eを両曲線の「ずれ量」とする。

また糸の曲げ剛性率が同じならば、ループを形成するときの曲げモーメントMは図1に示す力Pと糸の長さおよび断面積に比例すると仮定して、 $M \propto l / (N)^{-\frac{1}{2}}$ …………… (3)

ただし、 $l$ ；ループ長

$N$ ；糸の恒重式番手

とする。

表2に $E = |\Delta l| + |\Delta W|$ の量と、 $l / (N)^{-\frac{1}{2}}$ の値とを試料ごとに示す。

表2 試料のE値と $l / (N)^{-\frac{1}{2}}$ 値

試料No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$E =  \Delta l  +  \Delta W $	10	9	6	4	3	7	8	6	3	2
$l / (N)^{-\frac{1}{2}}$	1.9	2.2	2.5	2.8	3.0	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4

## 5. 考察

1) 図2から図11の実線と点線との「ずれ」を、目視によって判別すると、ループが安定化する形状はエラスチカ曲線とよく一致する場合と、一致しない場合とがある。一致しない場合、図のX軸方向に拡がりY軸方向に縮む円形に近づく。その逆の場合はない。この理由づけを考える方法として、エラスチカへの近似度Eとループの曲げモーメントMとの相関性を表2を用いて図示すると図12が得られる。

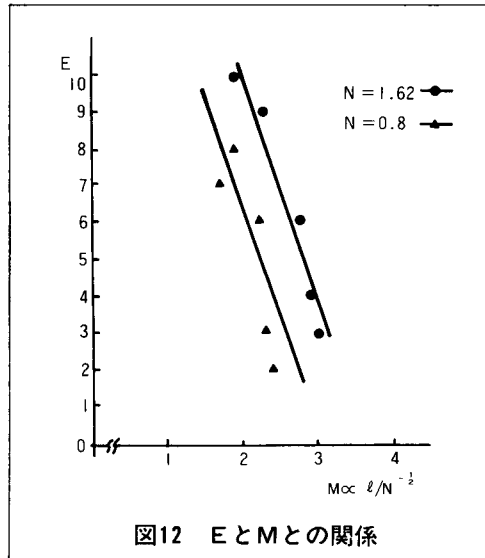


図12 EとMとの関係

図12からループ形状がエラスチカに近くなるほどループ長( $l$ )が大で、番手( $N$ )が大すなわち糸が細くなることがわかる。このことはループが長く、糸が細いと純曲げ力によってループが形成されるが、ループが短く糸が太いと糸軸に垂直方向の剪断力が働いて、曲げと剪断の複合変形となりエラスチカとならないことを示唆している。

剪断力が加わると、糸には曲げ変形のほかに、図1のB点とA点、B点とC点とに回転モーメントによる逆向きのトルクが生じて、エラスチカをY軸方向に偏平に変位させるものと思われる。

2) さらに図12は、2種類の糸それぞれが曲げモーメントMと評価値Eとの間に明らかに線型関係のあることを示している。すなわち $m$ を比例定数とし、Eを一定の値に取れんさせるときは次式が成立し図13が得られる。

$$|E| = m \cdot l \cdot N^{\frac{1}{2}} = \text{const. (min.)} > 0 \dots\dots (4)$$

従ってループをエラスチカ形態にするためには模式的に図13の曲線上に沿ってループ長 $l$ と番手 $N$ とを決めねばならないことがわかる。すなわち糸を弾性的に、もっとも安定な形でループにするためには、糸が細くなるほどループ長を短くする必要がある。この結論はMundenの実験式<sup>5)</sup>の結果とも一致する。

3) 本節のはじめに述べたように、この実験からループ形態が安定するのは必ずしも、エラスチカ曲線とは限らないことがわかる。Leaf<sup>6)</sup>も同じ実験結果を得てをり、その理由を図1のXY平面に垂直なZ軸方向のループの変形を無視した為であろうとし、新しいループモデル<sup>9)</sup>を提案している。しかし著者はこの点に関しては前述のように、単純曲げ変形が維持できず剪断力が導入されたためとの仮説をとるが今後の検討が必要である。

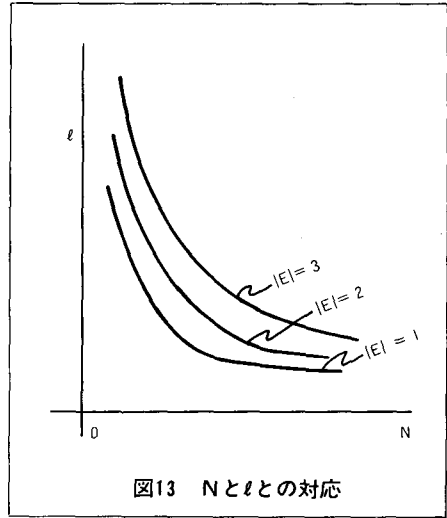


図13 Nとlとの対応

4) Mundenは編成後の編地を自然放置の状態安定化させると、(1)式のkがほぼ19になると報告していることは既に述べた。本実験の結果でも、試料はいづれもkがほぼ17から21の間で安定化している。そして注目すべきことは、図2から図11に見られるように、ループの形態に無関係にkが一定の値(19)のまわりに分布していることである。この事柄は表2のEの値ともkが無関係なことを示すものであり、図14にそれを図示する。

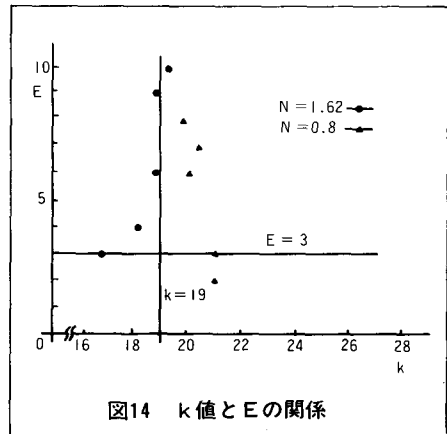


図14 k値とEの関係

すなわち編地が安定するのはループ形態に応じて、コース方向とウエル方向のループ数のバランスが取れていればよいこととなる。(1)式を変形した次式において、

$$K = l^2 \cdot C \cdot W$$

lを一定とすると、Kを一定にする条件はCとWとの2つの自由度のあることから上述のことが説明できる。

従来、kの値が一定のときはループ形態も相似則を保持していると考えていたことは間違いであることがわかる。

5) 本実験のループ安定化操作は自然放置のみである。伸縮あるいは温湯中での攪拌などによる積極的応力緩和操作が加えられるとき、図14に示す各試料の位置がk—E平面上をどのように移動するかは興味深い。しかし、この問題に関しては試料の熱・水分特性や編成時の張力履歴などのパラメータを考慮する必要がある。

すなわち試料の幾何学的ならびに機械的特性のほかに、熱や水分による糸の収縮・膨潤特性と、粘弾性的特性の熱・水分依存性も考慮することが必要である。

## 6. 結語

本報告は数年前に京都工芸繊維大学において行った実験データに基づいている。その実験の結果は日本繊維製品消費科学会の年次大会で発表<sup>10)</sup>したが、今回は別の観点、すなわちLeafのエラスチカ理論そのものの適合性を見直す立場から実験データを再検討したものである。この結果、ループの形成が単純弾性曲げ変形が支配的な場合と、これに剪断変形が加わる複合変形の場合とのあることを示唆し得たかと思う。しかし推論の域を出ず今後の検討が、さらに必要である。

## 文 献

- 1) F. T. Peirce ; Text. Res. J., 17, 123(1947)
- 2) Chamberlain ; 「Hosiery and Fabrics」1949)
- 3) Shinn ; Text. Res. J., 25, 270(1955)
- 4) Doyle ; J, Text. Inst., 44, T561 (1953)
- 5) Munden ; J. Text. Inst., 50, T448(1959)
- 6) Leaf ; J. Text. Inst., 46, T587(1955)
- 7) チモシエンコ ; 「材料力学上巻」オーム社(1957)
- 8) Leaf ; J. Text. Inst., 51, T49(1960)
- 9) たとえば、「繊維工学II編組」実教出版社(1965)
- 10) 日本繊維製品消費科学会年次発表会前刷P.13(1985)