伸縮加工糸に関する研究*

(第1報) 伸縮加工糸の構造およびその伸縮機構について

(昭和40年6月22日受理)

安 塚 勝 三**

→ 摘 要 ←

目 的

よりひずみを利用して作られた伸縮加工糸の伸縮性についてモデル的に検討すると同時に、クリンプ構造との関連において伸縮加工糸の伸縮性、かさ高性を考察した。

成 果

伸縮加工糸は解ねん操作により生ずる反転ループやスナール構造によって伸縮性を発揮し、反転ループとしてはスタテック特異曲率点によるものとダイナミック特異曲率によるものとの2種類がある。隣接反転ループ間にはつぎの理論式で示すクリンプのヘリカル数がみられるが、これはダイナミックな特異曲率点によるものである。

$$N = \frac{9\pi^2 \rho n r^3 10^5}{D(l-e)} \cdot \frac{(4+3\mu) \cos^2 \alpha}{1 + \mu \sin^2 \alpha}$$

$$\text{ただし} \quad r = \left\{ (4\pi D / 9\rho 10^5) + (l-e)^2 / n^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{2\pi}$$

ρ : 繊維の比重, α : より角, D : デニール, μ : ポアソン比, n : 熱固定されたより数, l : より数 n の原繊維長, r : 反転ループ半径, e : より縮み量, N : 隣接反転ループ間のクリンプのヘリカル数。

しかし実際の伸縮加工糸ではクリンプのヘリカル数はスタテック特異曲率点のためにばらつきを示す。スタテック特異曲率点を持たないようなより構造の加工糸モデルでは反転ループ構造はダイナミック特異曲率点だけの作用により形成されるために、隣接反転ループ間のクリンプのヘリカル数は一定となる。スナール構造や反転ループの伸縮性に比べると隣接反転ループ間のクリンプによる伸縮性は非常にわずかである。

1. 緒 言

よりひずみを用いた伸縮加工糸を構成するフィラメントに対するモデルとして、ヘリカル数 n のスプリングに逆方向に旋回 n を与えて、順方向ヘリカル要素 (S_i) と逆方向ヘリカル要素 ($-S_{i+1}$) の交互に生じた第1図に示すモデルが提案されている。

(第1図) スプリングの逆転モデル

しかし実際の加工糸は第2図のようなスナール構造^{2,3,4)}を呈し、その機構は第3図に示すように順方向ヘリカル要素とそのスナール要素を伴い、前者モデルと異なっている。すなわち実際の加工糸ではその構成フィラメントは順方向ヘリカル要素 S_i , S_{i+1} とスナール構造要素 $D_i(s)$ より成る複要素 $C_i = S_i D_i(s) S_{i+1}$ の集まり, $A = \{C_i\}$ と考えることができる。そこで加工糸の伸縮性を理解するために、フィラメントモデルとしてスナール構造を考え、これを検討した。

2. 実験方法

2.1 スナールモデルA

実際の加工糸のフィラメント構造を顕微鏡測定すると⁵⁾隣接スナール間の順方向ヘリカル数は2から7の範囲で

* Stretch Yarn. Part 1: Structure and Stretching Mechanism of Stretch Yarn.

** Katsumi Yasuzuka. 日本レイヨン株式会社

(第2図) マルチ伸縮加工糸の顕微鏡写真にみるスナールリング現象

(第3図) 伸縮加工糸のスナールリングモデル

分布してスナール構造を形成しているので、このモデルにできるだけ近い状態を得るために3.1 mmφのガラス棒を軸にしてフィラメント径0.46 mm (1600 d) のナイロンにヘリカルピッチ20 mm のひずみを付与し、170°C×5 min の乾熱処理によってそのひずみを固定する。

(第1表) モデル試料明細

試料		No.	1	2	3	4	5	6	7	8
モデル B	複要素数 $C_i=1$	$D_1(s)$	0	$\frac{1}{2}$	1	2	3	4	5	—
	スナール要素 $D_i(s) = D_1(s)$									
モデル C	複要素数 $C_i=2$	$D_1(s)$	$\frac{1}{2}$	1	1	1	2	3	3	3
	スナール要素 $D_i(s) = D_1(s) + D_2(s)$	$D_2(s)$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	2	2	1	2	3
モデル D	複要素数 $C_i=3$	$D_1(s)$	$\frac{1}{2}$	1	1	2	2	3	—	—
	スナール要素	$D_2(s)$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	1	2	1	—	—
	$D_i(s) = D_1(s) + D_2(s) + D_3(s)$	$D_3(s)$	$\frac{1}{2}$	1	1	2	2	3	—	—

その後順方向ヘリカル要素 $S_i + S_{i+1} = 8$ となし、スナール数0 (ヘリカルのみで反転ループのない場合) $\frac{1}{2}$, 1, 2, 3, 4, 5 の場合の各スナール要素 $D_0(s)$, $D_{1/2}(s)$, $D_1(s)$, $D_2(s)$, $D_3(s)$, $D_4(s)$, $D_5(s)$ を作り、これらをモデル試料Aとしその伸縮状態をUゲージを用いて検討する。

2.2 スナールモデルB, C, D

つぎに順方向ヘリカル要素 $S_{i-1} + S_i + S_{i+1} = 12$ の場合についてスナール要素 $D_i(s)$ より構成される複要素 C_i のモデルとして第1表に示す各組み合わせ試料を作り、Uゲージを利用して伸縮状態を検討する。なお試料は2.1の場合と同様にして作成する。

3. 実験結果および考察

3.1 伸縮加工糸の構成要素について

伸縮加工糸を構成するフィラメントを顕微鏡観察すると第3図に示すように順方向ヘリカル要素 S_i, S_{i+1} とそのスナール要素 $D_i(s)$ より成る複要素 $C_i = S_i, D_i(s), S_{i+1}$ を単位とする集合 $A = \{C_i\}$ であると考えることができよう。ここで S_i は位置 i におけるヘリカル方向を意味し、 $D_i(s)$ は複要素 C_i におけるスナール方向およびスナール数を代表する。伸縮加工糸においては、よりひずみ—熱固定—解ねんひずみ、の操作により得られる複要素 C_i の構成要素はいずれも加ねんひずみの方向であって、しかもスナール構造 $D_i(s)$ が観察されるだけで、スプリングモデルの場合のようにヘリカルの逆転現象¹⁾はほとんど生じない。すなわち複要素 C_i は熱固定されてトルク的に安定した順方向ヘリカル要素に解ねん操作によってそのねじりトルクを発生させ、このトルク^{2,3,4)}は特異曲率点を中心に順方向ヘリカルに逆転ヘリカル構造を与えることなく、順方向スナールを誘発させている。

(第2表) 実際の伸縮加工糸とスプリングモデルの比較

	実際の伸縮加工糸を構成するスナールモデルの場合	スプリングモデルの場合
複要素 C_i C'_i	$C_i = S_i \quad D_i(s) \quad S_{i+1}$	$C'_i = S_i \quad D'_i(S, Z) \quad Z_{i+1}$
結合要素 $D_i(s)$ $D'_i(S, Z)$	加ねんひずみと同方向のスナール現象	スナール現象はみられず S, Z の反転ループ状を呈す
結合要素に隣接するヘリカル逆転の有無	複要素 C_i を構成する結合要素に隣接するヘリカルはいずれも加ねん方向のヘリカル要素 $S_i, S_{i+1} \dots$ である	結合要素 $D'_i(S, Z)$ を中心に S_i と Z_{i+1} の相反する方向のヘリカルが交互に繰り返される
伸縮性の主効果	結合要素 $D_i(s)$ のスナール効果による	要素 S_i および Z_{i+1} のスプリング効果に基づく
C_i および C'_i の形態

この複要素 C_i の機構は同方向のトルクを有する2本の固定化されたヘリカルひずみを逆ヘリカル方向に合ねんし、そのトルクによりモーメントの安定な状態にするための、いわゆる合ねんにおける安定より条件を満足させるような機構²⁾と同様である。

また伸縮加工糸のフィラメント構造は複要素 C_i の集合 $A = \sum_{i=1}^{e-1} (C_i U C_{i+1})$ で表われ、 A はスナール要素を直列に結合したものに他ならない。さらにスナール要素の機構が合ねんの安定より条件を満足すると考えられるので、 $N = \sum_{i=1}^e D_i(s) = a n/2$ ^{2,3,4)} が成立することも理解される。ただし N はマルチフィラメントヤーンを構成するフィラメント単糸に順方向よりひずみを与えて、熱セット後解ねんひずみの状態でフィラメントの中央に安定より張力を付してフィラメントの各特異曲率においてスナールingの生じないようにフィラメントを2つ折りにしてトルク的に安定するより数を示す。

他方スプリングモデルにおいては第1図に示すごとく順方向ヘリカル要素と逆方向ヘリカル要素が交互にみられ、その結合要素 $D'_i(S, Z)$ はスナールing構造を示さない。すなわちスプリングモデルでは要素 $D'_i(S, Z)$ の伸縮効果はきわめて少なく、伸縮性に対する主な効果は順、逆両ヘリカルでになっているといえる。第2表は実際の伸縮加工糸とスプリングモデルを比較したものである。

3.2 実際の伸縮加工糸のフィラメントにおけるスナール要素 $D_i(s)$ とスプリングモデルにおける結合要素 $D'_i(S, Z)$ の関係について

伸縮加工に用いられる加ねんひずみは非常な強ねんではあるが、加工糸の糸質性能を考慮すると外層繊維においてより角 39° ないし 43° までが限度である。したがってスプリング構造に近いヘリカルひずみを構成フィラメントに対し均一に付与することはむずかしい。またマルチフィラメントヤーンの場合には構成フィラメントの層間移動⁴⁾が生じるために、ヘリカル曲率が一定でない。ところでフィラメントのより角が小さければ、特異曲率点を核とする複要素 C_i の構成要素は順方向ヘリカルとなり逆転ヘリカルは生じない。その代わりにスナール要素が生じることをすでに述べた。

熱固定を行なった順方向ヘリカルひずみのフィラメントを解ねんすると、各ヘリカル部分にトルクが生じ特異曲率点においてこのトルクが安定状態を呈し反転ループとなるが、より角が大きいとヘリカル径に対する同ピッチが小さくなるので、各ヘリカル部分で反転ループが生じやすくなり逆転スプリング構造となる。逆により角が小さいと、同径に対するピッチが大きくなるので、特異曲率点では反転ループが生じるとしてもトルク的に安定なスナール要素が形成されやすくなる。

すなわち熱固定を受けた順方向加ねんひずみが解ねんされると、より角の関係により複要素 C_i と C'_i に分か

(第4図) 複要素 C_i と C_i' の臨界角の関係

れる。第4図はナイロン6のフィラメント 1600d を用いて複要素 C_i と C_i' に対する分岐のより角を各種ヘリカル径のモデルについて測定した結果を整理したものである。この結果によるとより角 $\varphi > \text{Ang.1}$ の場合は複要素 C_i' となり、より角 $\varphi < \text{Ang.2}$ の場合は複要素 C_i となる。また $\text{Ang.1} < \text{より角} < \text{Ang.2}$ の場合は C_i と C_i' の共存となる。複要素 C_i と C_i' に対する分岐のより角を臨界より角と呼ぶことにする。臨界より角はフィラメント素材が同じであってもヘリカル径が大きいほど増加する傾向にあり、この観点からマルチフィラメントより成る一般の伸縮加工糸用のよりひずみを考えると、第4図に示す臨界より角よりもかなり大きいより角が必要である。またこのより角以上によりひずみを与えなければ、第1図のような複要素 C_i' は得られない。このために一般には第3図に示すような複要素 C_i としてのスナール構造となる。すなわち普通のよりひずみを利用した伸縮加工法では臨界より角以上のひずみを構成フィラメントに均一に与えることは、より機構的にも加工糸の性能的にもむずかしく、そのために伸縮加工糸としては複要素 C_i としてのスナール形態をとらざるを得ない。しかし加ねん数が多いほど臨界より角に近づくから、伸縮加工糸としては複要素 C_i から C_i' に近づき、 C_i と C_i' の共存の状態を呈しスナール要素が減少して加工糸に丸味加わる。

3.3 スナール要素 $D_i(s)$ の伸縮性について

第5, 6, 7, 8図はスナール要素 $D_i(s)$ としてのモデル試料A, B, C, Dに対する応力—伸び率曲線を示した実験結果である。

この結果によるとスナール要素に対する応力—伸び率曲線において、応力変化の開始位置はスナール数 N_i が多くなるほど伸び率の低い領域に移動し究極的には N_i の増加につれて伸び率0の位置で変形が開始される。ただし $[i]$ はスナール数の整数を意味する。ところで $D_i(s)$ が密なスナール構造の場合には鋭い極値現象を呈し、ルーズな場合はなだらかな極値現象を示す傾向がみられ、一般にスナール数の多いようなモデルは変形初期においてなだらかな極値現象があり、変形後期におよんで鋭い極値現象となる。

一方スナール要素をもたない、いわゆるスプリングモデルの伸長変形においてはこれら極値現象はまったく現われないことより、これはスナール要素モデル特有の現象といえる。この極値変化の生じるのは伸長過程においてスナールが瞬間的に反転することによるものである。スナール数が多いほど極値現象は低伸長域に移動し、その極値数も増加する。このように1個のスナールの解消が1個のジグザグ状の応力変化を生じ、スナール数の大小はこの応力変化の高低には直接影響されない。

(5図) モデルAの応力—伸び率曲線

(第6図) モデルBの応力-伸び率曲線

3.4 スナール要素 $D_i(s)$ よりなる複要素 C_i の直列モデルについての伸縮性

第9図は普通の伸縮加工糸、第10図は複要素 C_i 、第11図は C_i の直列モデルについて、それぞれ応力-伸長曲線を概略示したものである。普通の伸縮加工糸の応力-伸長曲線は第9図のように広い伸長域で直線的に変化するが、スナール要素では第10図に代表されるように直線的な変化域はきわめて少なくジグザグ状の断続的な応力変化域が大部分である。一方 $D_i(s)$ の直列モデル $\Sigma D_i(s)$ の伸長特性はスナール要素のスナール数が変化したことと等価であり第11図のようにジグザグ回数が増加する。

3.5 スナール要素 $D_i(s)$ よりなる複要素 C_i の並列モデルについての伸縮性

スナール数の異なる要素が並列となった

場合にはジグザグ状極値現象の発生頻度は多くなるが、モデル間の平均化が行なわれるためにジグザグ状の極値差が少なくなり結果的にはジグザグ状の断続的变化は目立たなく、理想モデルに近い変化を示す。第12図はその一例として $D_i(s)=5$ 、 $D_i(s)=2$ の各モデルおよびその並列モデルについての応力-伸長曲線を示したものである。

ところで普通の伸縮加工糸の場合には複要素がフィラメント数だけ並列したモデルとみなせるから、各構成フィラメントの複要素におけるスナール数が考えられるので、このスナール数に応じた平均化が行なわれ理想的スプリングモデルに近い挙動を呈する。しかし複要素がスナール要素から形成される限り、その応力-伸長曲線に対するジグザグ状の極値現象を完全になくした理想モデルは得られず、必然的に第13

(第7図) モデルCの応力-伸び率曲線

(第8図) モデルDの応力-伸び率曲線

(第9図) 伸縮加工糸 (マルチ フィラメント) の応力-伸び率曲線

(第10図) スナール要素 $D_i(s)$ の応力-伸び率曲線 (第11図) 結合要素 (スナール) $D_i(s)$ の直列モデルに対する応力-伸び率曲線 (第12図) 結合要素 $D_i(s)$ の並列モデルに対する応力-伸び率曲線 (第13図) 直列結合モデル $\sum m_i c_i / \sum m_i$ の応力-伸び率曲線

図のような形態となる。一方スナール要素からなる複要素の並列モデルでは伸長初期になだらかなジグザグ現象を示すが、これはスナール要素が伸長初期ではルーズな構造にあるためである。普通の伸縮加工糸では構成フィラメント間の立体障害の影響を受けているために、加工糸としては無緊張状態であってもスナール要素はち密な構造をなしているのでジグザグ状極値現象は比較的生じやすいものと思われる。

3.6 市販伸縮加工糸とモデルとの関係

一般の市販伸縮加工糸について応力-伸び率の関係をみるとモデルとして扱ったほどはっきりとした断続的な変化は示さず、比較的スムーズな変化をするが、この主因としてはスナール構造の相異にあると考えられる。

普通の市販伸縮加工糸は加工糸としてのトルクを消すために、異方向トルクを有する加工糸を2本合ねんして見かけ上のトルクを解消し、同時にその抱合力によってスナール数がいちじるしく減少し外観的にも丸味のある優れた状態にある。たとえば 70 d/24/2, 70 d/34/2, 70 d/36/2, 100 d/24/2, 100 d/34/2, 各ナイロン伸縮加工糸の場合には任意のスナール数は $\frac{1}{2}$ から 2 回で頻度は 1 回以下の不完全なスナールが多い。しかもこの傾向は構成フィラメント数が多く、フィラメント単糸径の細いねじれ剛さの小さな加工糸ほど強く、不完全なスナール要素が多い。したがってこのような状態の加工糸では伸長変形に対してスナールの反転現象の生じる割合は比較的少なく、しかも構成フィラメントの並列による極値

現象の平均化が行なわれるために比較的スムーズな変化となり、見かけ上は極値現象のない理想状態に近い変化になるものと思われる。

また加工糸を再熱処理して伸縮性をモデファイした加工糸ではスナールはほとんどなくなるので、この場合の応力—伸び率曲線には断続的な極値変化はみられない。

しかし構成フィラメント数が少なく、フィラメント単糸径の大きい市販加工糸、たとえば 30 d/7/1, 70 d/7/1, 70 d/12/1, 70 d/16/1, 各ナイロン加工糸の場合にはスナール要素 1 個当りのスナール数は 1 から 7 回程度の範囲で分布し、その結果スナール数の分布を考慮した並列モデルに近い断続的なジグザグ状の変化を示すことは実験的に把握している。また同一原糸（デニール、フィラメント数）の場合であっても、乾熱処理による仮より加工糸に比べ、湿熱処理による加ねん—セット—解ねん法の加工糸は一段とスナール数が多く、前記モデルに近い断続的な変化を示す。これら加工法のタイプによる応力—伸び率変化の違いはセット機構の相異によるものと思われる。

このように一般の市販加工糸の場合本実験のモデルに見るほど明確に断続的な応力—伸び率変化がみられるとは限らない。よりひずみを利用した伸縮加工糸は本質的に断続的な変化をする傾向があるが、スナールの構造によって見かけ上検出されたり、されなかったりする。

3.7 スプリングモデルと伸縮加工糸の関係について¹⁾

よりひずみを用いて熱可塑性繊維に伸縮性を与える機構についてすでに述べたので、つぎに解ねん操作によって形成される反転ループ、スナール構造、隣接反転ループ間の距離、ダイナミック特異曲率点とスタテック特異曲率点の関係を追求した。

ナイロンガットをガラス棒に巻き付けて熱固定によってひずみを固定し n 個のヘリカルを有するスプリングモデルを考え、このスプリングをスパイラル方向と反対に n 回転させて、いわゆる 0 解ねん状態にすると伸縮加工糸のスプリングモデルが得られる。

実際の伸縮加工糸の製造過程において強ねん状態で熱固定したヤーンはほとんど伸縮性を示さないが、0 解ねんされた加工糸は非常な伸縮性を示す。第 14 図はこの関係を示したものである。

すなわち実際の伸縮加工糸における伸縮特性は、第 14 図 (b) のような反転ループ構造^{2,3,4)}によって起こる。また反転ループ間に波状構造がありスナール構造を形成する

(第 14 図) スプリングモデルと伸縮加工糸 (スナールリング) モデルのフローチャート

ためにいちじるしい高バルキ性を発揮する。

3.8 伸縮加工糸を構成するフィラメント単糸について

マルチフィラメントヤーンに強ねんひずみを与えて熱固定しても構成フィラメント単糸にスプリング構造を与えることはむずかしく単なる波状のひずみを与えるにとどまる。この波状構造では伸縮性は少なく、この糸の伸縮性はスナールの核となる反転部のねじれ応力特性に依存する。

(第 15 図) 伸縮加工糸のフィラメントモデル

反転ループ部はより数、フィラメント単糸のデニール、フィラメント数、などによって影響され、より数を増せば単位長さ当りの反転部の数が増加して伸縮性が向上する。さらに反転部の増加によりスナールが分散されて加工糸としての丸味が増し外観がよくなる。一方隣接反転部間の距離ならびに波状ヘリカルピッチが小さくなるからバルキ性が減って弾力性が向上する。フィラメント単糸デニールを増せば、ねじれ剛性が大きくなり反転部の最大ねじれ応力が増加するために、伸縮性が向上し伸縮加工糸としては硬さが増し、腰のあるものとなる。反面隣接反転ループ間の波状ピッチ数が増し、バルキ性が大きくなり、スナールリング現象が顕著になって外観は不良となる。

3.9 反転ループ部のねじれ応力について

反転ループ部のねじれ応力を考察するに当たりつぎの仮定を設けることにする。

仮定1：反転ループ部の力学的挙動は弾性限界内の機構であるとする。

仮定2：反転ループは近似的に円とみなす。

第16図は第15図のモデル中、とくに反転部を拡大して示したものである。フィラメントの断面AおよびBにループの接平面と垂直方向に P_1 を作用させて、熱固定

(第16図) 伸縮加工糸のルーピングモデル

前の加ねんひずみの状態にもどすときの力と解ねん操作により反転ループを形成するのに要する力は等しいと考えて、フィラメント断面AおよびBから φ の位置Qにおける曲げモーメント M 、ねじれモーメント T は

$$M = P_1 r \sin \varphi \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$T = P_1 r (1 - \cos \varphi) \quad \dots\dots\dots (2)$$

Q点のひずみ量 δ は

$$\begin{aligned} \delta &= 2 \int_{\varphi=0}^{\varphi=\pi} \frac{Mr^2}{EI} \sin \varphi \, d\varphi \\ &+ 2 \int_{\varphi=0}^{\varphi=\pi} \frac{Tr^2}{GIP} (1 - \cos \varphi) \, d\varphi \\ &= \pi r^3 P_1 (1/EI + 3/GIP) = \pi r^3 P_1 (1/EI + 3/2GI) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ところで反転ループ状態から熱固定されたものの加ねんひずみ状態に引き伸ばすときの最大ひずみ量は

$$h = (l - e)/n \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし l : 原長, n : より数, e : より縮み

(3) 式を (4) 式で置き換えてフィラメント単糸当りのねじれ応力は

$$P_1 = 2GEI(l - e)/\pi nr^3(2G + 3E) \quad \dots\dots (5)$$

3.10 隣接反転ループ間の波状ヘリカル数、ループ径、フィラメント単位長当りの反転ループ数について

実際の伸縮加工糸を構成するフィラメント単糸は、隣接反転ループ間で第15図に示すような波状のクリンプを形成し、解ねん操作によって誘発する曲げ、ねじれは反転ループ部分でスナールを発生して、疑安定状態をとる。したがって波状ヘリカルに対してはこれらねじれ応力は無視できると考えられる。そこで下記の仮定のもとに推論を試みよう。

仮定1：隣接反転ループ間の波状ヘリカルに対しては解ねん操作による曲げ、およびねじれ応力は無視できる。

仮定2：熱固定されたよりひずみを解ねんすることによってフィラメント単糸は曲げ、ねじれを受けてモーメント的に疑安定化した反転ループ構造をとるが、仮定1に基づいて反転ループは、解ねん操作によりフィラメントが曲げ、ねじれを受ける個所で発生する。

(第17図) 熱固定後の加ねんひずみを受けたフィラメントモデル

第17図に示すような熱固定された加ねんモデルを解ねんする場合、ヤーン軸まわりに軸ねじり力 f を作用させるときの任意フィラメント位置Sにおけるエネルギー関係から

$$T \theta \frac{1}{2} = M^2 l_1 / 2EI + T^2 l_1 / 2GIP \quad \dots\dots\dots (6)$$

一方S点における $M = fR \cos \alpha$ および $T = fR \sin \alpha$ の関係より (6) 式の θ は

$$\theta = \frac{fR l_1}{\sin \alpha} \left(\frac{\cos^2 \alpha}{EI} + \frac{\sin^2 \alpha}{GIP} \right) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$l_1 = 2\pi RN \sec \alpha \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここで l_1 : 隣接する反転ループ間の波状ヘリカル数の伸長

N : 隣接する反転ループ間の波状ヘリカル数

$$I = \pi d^4 / 64 \quad I_P = \pi d^4 / 32$$

(7), (8) 式より

$$\theta = \frac{256NR^2f}{d^4} \cdot \frac{\theta l}{\sin 2\alpha} \cdot \left(\frac{\cos^2 \alpha}{E} + \frac{\sin^2 \alpha}{2G} \right) \quad \dots\dots\dots (9)$$

ところで、解ねん操作によるヤーン軸まわりの軸ねじり力 f によって反転ループが生じるためには $\theta = 2\pi$ であるから、隣接する反転ループ間の波状ヘリカル数 N は

$$N = \frac{\pi d^4 \cdot \sin 2\alpha}{128 R^2 \cdot f} \cdot \frac{1}{\left(\frac{\cos^2 \alpha}{E} + \frac{\sin^2 \alpha}{2G} \right)} \quad \dots\dots\dots(10)$$

一方ヤーン軸まわりの軸ねじり力 f によって生じるヤーン軸方向の応力 S は曲げモーメント M と $M = SR \sin \alpha$ の関係にあると考えられる。

$$S = \frac{M}{R \sin \alpha} = f \cdot \cot \alpha \quad \dots\dots\dots(11)$$

(5) 式の P_1 と(11)式の S が同じ値を満足するとき反転ループ現象が発生すると考えられるからこれを整理すると

$$f = \frac{2GEI(l-e)\tan\alpha}{\pi nr^3(2G+3E)} \quad \dots\dots\dots(12)$$

(10) 式と(12) 式より

$$N = \frac{9\pi^2 \rho nr^3 \cdot 10^5}{2GED(l-e)} \cdot \frac{(2G+3E)}{(1/E + \tan^2 \alpha/2G)} \quad \dots\dots\dots(13)$$

一方 $E = 2G(1+\mu)$ の関係より

$$N = \frac{9\pi^2 \rho nr^3 \cdot 10^5}{D(l-e)} \cdot \frac{(4+3\mu)\cos^2 \alpha}{1+\mu \sin^2 \alpha} \quad \dots\dots\dots(14)$$

反転ループ部を完全な円形とみなしたときのループ半径 r を求めると

$$r = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{4\pi D}{9\rho \cdot 10^5} + \frac{(l-e)^2}{n^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots(15)$$

(14) 式より単位長さ当りの反転ループ数 n_u は

$$n_u = \frac{D(1+\mu \sin^2 \alpha)}{9\pi^2 \rho r^3 10^5 (4+3\mu) \cos^2 \alpha} \quad \dots\dots\dots(16)$$

以上述べた論点から 100 d/24 f ナイロン糸を用いて伸縮加工糸を試作した場合の理論値と実際値を比較検討してみよう。 $D=100$ d, $f=24$, $l=100$ cm, $n=2600$ tpm, $E=2.6 \times 10^4$ kg/cm², 加ねん前後ならびに熱固定前後において等体積変化すると仮定して $\mu = \frac{1}{2}$, $G = \frac{E}{3}$ この数値を(15) 式に代入すると反転ループ半径 $r=0.07$ mm, 一方隣接する反転ループ間の波状ヘリカル数 N は(14) 式により $N \approx 4$ である。また無緊張状態の伸縮加工糸を伸長するのに要する荷重は前述のフィラメント単糸が24本並列しているとして(5) 式より $P \approx 5.3$ g/100 d である。

熱固定した加ねんより数 2600 tpm を0 解ねんして伸縮加工糸とした 100 d/24 f ナイロン糸を顕微鏡測定すると反転ループ半径 r は完全な円形を示すことは少なく、

長径 $2r_1$, 短径 $2r_2$ はそれぞれ $2r_1 \approx 0.12$ mm $\times 2$, $2r_2 \approx 0.08$ mm $\times 2$, 前後の値を示す。同じく隣接反転ループ間の波状ヘリカル数は2から7程度の範囲で変動している。またフリー状態の伸縮加工糸を原糸状態(ノークリンプ状態)まで伸長するのに必要な荷重は実測によると7から8 g/100 d である。

こうして実測値と理論値を比較してみるとかなり近い値を示すことがわかるが、ここに記する理論値は理想的に取り扱って得られたもので、実際には補正が必要と考える。そのうち主なものを以下に述べる。

補正1: 理論式を導くに当って反転ループ径、隣接反転ループ間の波状ヘリカル数、スナール現象、などはいずれも理想の場合を考えてきたが、実際には統計的な見地から、これらの諸現象になんらかの分布を考慮する必要がある。

補正2: 伸縮加工においてよりひずみ、熱固定などの物理処理を受けて繊維は見かけ上、 E , G , μ , ρ , 断面形状などに変化が生じるので、この補正を必要とする。

補正3: 理論式は伸縮加工糸の構成フィラメント単糸について検討したものであり、実際の伸縮加工糸ではフィラメント相互間の立体障害を考慮に入れて、いわゆる構成フィラメント間のもつれによる影響を補正する必要がある。たとえばフリー状態の伸縮加工糸を引き伸ばすに要する荷重は理論値 $P \approx 5.3$ g/100 d に対して実測値7から8 g/100 d が得られ、このもつれによる影響がかなり大きいことを予想させる。

3.11 理論反転ループとダイナミック特異曲率点との関係

伸縮加工糸の単糸フィラメントは理論上からは(14) 式で示す波状ヘリカルごとに反転ループ構造を形成することによって加工糸特有のバルキ性と伸縮性を発揮することになる。しかし実際の製造過程では既報で述べたように加ねん工程において構成フィラメントはヤーン中で層間移動を起こし熱固定後にスタテック特異曲率点を形成し、解ねん操作を経て伸縮加工糸となると反転ループの核となる。したがって実際の伸縮加工糸では本報で導いた理論的反転ループ構造と同時にスタテック特異曲率点による反転ループ構造が存在することになる。一方理論的反転ループ構造は加ねんひずみによるヘリカルが規則的であるとして導いたものであるから、ダイナミック特異曲率点による反転ループ構造に他ならない。一般にスタテック特異曲率点は規則的には形成されないし、ま

た伸縮加工糸としてはスタテック特異曲率点による反転ループと理論的反転ループ構造としてのダイナミック特異曲率点によるものとが共存するため、すでに述べたように隣接反転ループ間の波状ヘリカル数 N は2から7と一定値を示さず不規則になるものと考え、これに対しスタテック特異曲率点を形成してないような構造ではダイナミック特異曲率点だけの要因により反転ループが生じることになるので、理論式(14)にもとづいて規則的な反転ループが形成されるから均一なクリンプ波形のものが得られる。またスプリングモデルを用いて0解ねん状として伸縮加工糸のモデルとすると順逆スプリングの反転が規則的に生じるのもスプリングにスタテック特異曲率点がないためである。もしスプリングモデルに故意に任意の位置にスタテック特異曲率点を作った場合には、このような規則的反転現象は生じないことは当然である。

3.12 伸縮加工糸のバルキ性

バルキ性は加工糸として欠くことのできない要素であるが、一般に言われているバルキ性はきわめて漠然としたものであり主観的要素が大きい。ここでバルキ性を定量的に表現するために、つぎのように定義する。

モノフィラメントの径を a 、反転ループ構造としてのこの加工糸のバルキ径を b とするときの伸縮加工糸(単糸)のバルキ性 V_s とすれば

$$V_s = \frac{b}{a} \times 100 \quad \dots\dots\dots (17)$$

またマルチフィラメントの径を A 、伸縮加工糸のバルキ径を B としてこの加工糸のバルキ性を V とすれば

$$V = \frac{B}{A} \times 100 \quad \dots\dots\dots (18)$$

単位長さ当りの反転ループ数 n_m は理論値としてのダイナミック特異曲率点にもとづく(16)式 n_u とスタテック特異曲率点による n_s との和として表わされ、また緊張条件により伸縮加工糸の長さが変化するからこの長さを $L(t)$ とすると隣接反転ループ間の平均距離 s は近似的に(19)式で表わすことができる。

$$s = \frac{L(t)}{n_u + n_s} = L(t) / \{ D(1 + \mu \sin^2 \alpha) / 9 \pi^2 \rho r^3 \cdot 10^5 (4 + 3 \mu) \cos^2 \alpha \} + n_s \} \quad \dots\dots\dots (19)$$

したがって

$$b \doteq \{ (hN)^2 - L^2(t) / (n_u + n_s)^2 \}^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (20)$$

ただし h : 熱固定された加ねんひずみのピッチ。

ところで伸縮加工糸 $L(t)$ の全展長を L とし、 $L(t)$ から L の状態までの変化割合を ε とすると

$$L(t) = \frac{L}{1 + \varepsilon}$$

(17)式と(20)式より伸縮加工糸のフィラメント単糸に対するバルキ性は容易に表わすことができるが、実際問題としてフィラメント単糸径 a は加工糸のバルキ径 b に比べてきわめて小さいから、(20)式だけをバルキ性と考えてもよいであろう。

ところでマルチフィラメント構造の伸縮加工糸のバルキ性は、フィラメント間の立体障害を受けて応力が内在するために、(20)式の $L(t)$ がモノフィラメントのストレッチヤーンの場合に比べてかなり大きくなるため、バルキ径 b はモノフィラメントの場合よりかなり小さい。したがってモノフィラメントとマルチフィラメントの伸縮加工糸のバルキ性は同一に論ずることはできないが、おのおの相対的な関係は満足すると考えられる。したがって(20)式によって加工条件、繊維素材などによるバルキ性の変化を推測することができる。

繊維素材のヤング率、剛性が大きいと(13)式より隣接反転ループ間の波状ヘリカル数 N が多くなり単位長さ当りの反転ループ数 n_u が減少するために、スナール現象がいちじるしくなり、外観は悪くなるが(20)式よりバルキ性が向上する。熱固定された加ねんより数が多くなると N が少なくなり、 $(n_u + n_s)$ が増加することになり、そのためにスナールが少なくなって伸縮加工糸としては丸味が増し、外観のきれいなものとなるが、バルキ性は少なくなる。また $L(t)$ を変化させる要因としてフィラメント相互間の立体障害があり、具体的には解ねん時のオーバ数、解ねんされた伸縮加工糸をトルク的に安定させるための合ねんより数が考えられ、これら解ねんオーバ、合ねんより数が多くなるほどバルキ性は減少する。

(第18図) マルチ伸縮加工糸における加ねんより数とスナール現象を示した顕微鏡写真

文 献

- 1) 淵野, 伸道, 須永; 織学誌, 12, 10, 887 (1956)
- 2) 木村, 米山, 安塚; 織学誌, 19, 10, 788 (1963)
- 3) 木村, 米山, 安塚; 織学誌, 20, 2, 76 (1964)
- 4) 木村, 米山, 安塚; 織学誌, 20, 2, 82 (1964)
- 5) 木村, 米山, 安塚; 織学誌, 19, 7, 508 (1963)
- 6) 安塚; 本誌投稿中
- 7) 安塚; 本誌投稿中