連続繊維糸の引張り性質に対する撚りの影響*

(第2報) 粘 弾 性 の 考 察

(昭和29年2月1日受理) 会 員 藤 野 清 久**

〃 熨 斗 秀 夫

→ 摘 要 ←

研 究 目 的

連続繊維を引揃えた単糸について、引張り性質に対する撚りの影響を考察して一般的な法則を導き、これを実験結果と比較して適否を確かめた。第2報は粘弾性的に取扱ったものである。

研 究 結 果

撚糸構造から撚りの増加による粘性係数減少率を理論的に求めると、ほぼ弾性係数減少率に等しく、近似的に次式で示される。

$$C = 1 - \frac{(T_0 R)^2}{0.037}$$

C は粘弾性係数減少率

弾性係数、粘性係数の両変化率がほぼ近似しているから複媒質の繊維模型を用いて理論的に計算すれば、応力歪曲線、応力緩和、クリープ、弾性度、切断強力等に対する撚りの影響を一般法則として求めることが出来た。しかしナイロン、アミラン、ビスコース人絹、生糸の実験結果と比較すれば総合的な一致率は72%であった。

1. 緒 言

連続繊維単糸の種々の引張り性質に対する撚りの影響について、第1報では完全弾性と仮定し、その仮定内で許容し得る性質を明らかにしたが、本報では前報と同様に撚糸構造から出発して理論的に粘性係数変化率と撚数との関係を計算し、弾性係数、粘性係数の両変化率を合せ考えることによって、種々の粘弾性的性質と撚数との関係を計算の上で求め、その適否を4種の糸の実験値について検討した。

2. 粘性係数の変化

第1報において糸軸方向の外力と撚糸内各繊維の繊維軸方向の応力との関係を求めるため撚糸構造から次式を導いた。

$$P_R = \frac{2Z}{R^2} \int_0^R \sigma_r \cdot \cos 2\theta_r \cdot r \cdot dr \quad \dots\dots\dots (1)$$

P_R = 糸軸方向に作用する外力、 Z = 糸の空間を除去した繊維のみの断面積、 R = 糸の半径、 σ_r = 糸軸から r の距離にある繊維の弾性変形による繊維軸方向の応力、

θ_r = 糸軸から r の距離にある繊維が糸軸となす角、 r = 糸の中の任意の半径

粘性係数の変化率を求めるため繊維が完全粘性流動(ニュートン流動)をなすものと仮定する。繊維の弾性はフックの法則に従う完全弾性として取り扱えるが、粘性はニュートン流動では十分説明し得ないことが指摘されている²⁾。しかし本報では一応ニュートン流動と仮定した場合の粘性係数が撚りによっていかに変化するかを考える。糸の構造に関しては前報の仮定と全く同様とする。このような仮定の下において、 σ_r を繊維の粘性流動による繊維軸方向の単位面積当りの抵抗力と考えることによって完全弾性の場合に求めた(1)式が、そのまま完全粘性の場合に適用出来る。即ち σ_r を本報では次のように考える。

$$\sigma_r = \eta \cdot \frac{d\epsilon_r}{dt} \quad \dots\dots\dots (2)$$

η = 粘性係数、 $d\epsilon_r/dt$ = 繊維の歪速度

しかし弾性変形を取り扱う場合と粘性流動を取り扱う場合では繊維の歪について次のような相違がある。即ち弾性変形の場合、繊維の歪は繊維の初めの長さを基準に

* Effect of Twist on Tensile Properties of Continuous Filaments Yarns. (Ⅱ) Visco-Elastic Calculation.

** K. Fujino, Member. 京都大学工学部

H. Noshi, 〃 京都工芸繊維大学

するが粘性流動の場合は、歪速度は燃糸の状態にある繊維の長さを基準にする。今、 T =燃糸の単位長さ当りの熱数、 l_0 =燃糸の長さ、 Δl_0 =燃糸の伸び、 l_r =燃糸の中心から r の距離にある繊維の長さ、 $\Delta l_r=l_r$ 繊維の伸び、 θ_r =糸軸から r の距離にある繊維が糸軸となす角とし、この燃糸を一定歪速度 v で引伸ばし糸の歪が ε になった時、 l_r 繊維の歪が ε_r になったものとすれば、燃糸構造から次のような結果が導かれる。(第1図)

(第 1 図)

$$l_r = l_0 / \cos \theta_r, \quad l_r + \Delta l_r = (l_0 + \Delta l_0) / \cos \theta_{re}$$

θ_{r0} , θ_{re} は糸の歪が 0, ε の時の θ_r

$$\varepsilon_r = \Delta l_r / l_r, \quad \varepsilon = \Delta l_0 / l_0$$

$$\cos \theta_{r0} = 1 / \sqrt{1 + 4\pi^2 (Tr)^2}$$

$$\cos \theta_{re} = (1 + \varepsilon) / \sqrt{(1 + \varepsilon)^2 + 4\pi^2 (Tr)^2}$$

$$\therefore \varepsilon_r = \sqrt{\frac{(1 + \varepsilon)^2 + 4\pi^2 (Tr)^2}{1 + 4\pi^2 (Tr)^2}} - 1$$

$$\therefore \frac{d\varepsilon_r}{dt} = \frac{(1 + \varepsilon) d\varepsilon / dt}{\sqrt{\{1 + 4\pi^2 (Tr)^2\} \{ (1 + \varepsilon)^2 + 4\pi^2 (Tr)^2 \}}}$$

$$\text{又 } \cos^2 \theta_{re} = (1 + \varepsilon)^2 / \{ (1 + \varepsilon)^2 + 4\pi^2 (Tr)^2 \}$$

(1) 式の $\cos^2 \theta_r$ には $\cos^2 \theta_{re}$ が相当するから (1) 式は

$$P_R = \frac{\eta \cdot v \cdot 2Z(1 + \varepsilon)^3}{R^2} \times \int_0^R \frac{r \cdot dr}{\sqrt{\{1 + 4\pi^2 (Tr)^2\} \{ (1 + \varepsilon)^2 + 4\pi^2 (Tr)^2 \}}}$$

$$v = d\varepsilon / dt$$

故に

$$\eta_c = \frac{(1 + \varepsilon)^2}{2\pi^2 (Tr)^2}$$

$$\times \left\{ \frac{(1 + \varepsilon) \sqrt{1 + 4\pi^2 (Tr)^2} - \sqrt{(1 + \varepsilon)^2 + 4\pi^2 (Tr)^2}}{\varepsilon(\varepsilon + 2) \sqrt{(1 + \varepsilon)^2 + 4\pi^2 (Tr)^2}} \right\}$$

..... (3)

$$\eta_c = P_R / (\eta \cdot v \cdot Z)$$

η_c は η, v, Z が各 1 なる場合の粘性流動による抵抗力であり、無燃りの糸の粘性係数 (繊維の粘性係数) を 1

とした場合の燃糸の粘性係数である。故に η_c は燃りによる粘性係数減少率を示すもので、 TR と ε の関数である。しかし (3) 式の TR の T は燃り縮んだ燃糸の単位長さ当りの熱数であるからこれを糸の初めの単位長さ当りの熱数 T_0 に改める。

T と T_0 の関係は

$$T = T_0 / (1 - S) \quad (3')$$

S は燃縮率(正)で前報の理論燃縮率を用いる。(3),

(3') 式から計算した $\eta_c, \varepsilon, T_0 R$ の関係を第2図に示す。この計算範囲では ε の増加によって η_c はほぼ直線的に増加する。故に η_c は、 $\eta_c = m\varepsilon + \eta_0$ として示される。なお $\varepsilon = 0$ の場合の η_c (これを η_0 とする) は (3) 式では不定であるが第2図の直線を延長して求めた。

(第2図) 粘性係数変化率

(1), (2), (3), (4), (5) はそれぞれ $T_0 R$ が 0, 0.049, 0.091, 0.12, 0.14 のもの

(第3図) 粘弾性係数変化率

(1), (2), はそれぞれ $\varepsilon = 0, 0.3$ の粘性係数変化率
(1'), (2'), はそれぞれ $\varepsilon = 0, 0.3$ の弾性係数変化率

$\eta_0, \eta_c(\varepsilon = 0.3), m$ と $T_0 R$ との関係を第3図に示す。
(実線) 弾性係数減少率と比較するため、 $E_0, E_c(\varepsilon = 0.3)$ を点線で同図に示した。

3. 粘弾性的性質(静的)の變化

弾性係数及び粘性係数両減少率は計算曲線よりみれば $T_0 R = 0.13 \sim 0.14$ の範囲では極く近似し、 $T_0 R$ との関係はほぼ拋物線状をなすから、近似的に両減少率はそれ

それ次式で示される。又この範囲がほぼ実在する燃りの範囲である。

$$(T_0 R)^2 = 4a(1 - E_c), \quad (T_0 R)^2 = 4a'(1 - \eta_c)$$

a, a' は常数

計算曲線から a は 0.009 (E_0 の場合) と 0.012 ($E_{0.3}$ の場合), a' は 0.007 (η_0) と 0.009 ($\eta_{0.3}$) を得る。各場合の a, a' の平均を取り、弾性、粘性両係数減少率を等しいとしてこれを C で示せば

$$C = 1 - \frac{(T_0 R)^2}{0.037} \quad (4)$$

このように両変化率がほぼ等しいから適当な繊維模型を用いて計算すれば、種々の粘弾性的性質に対する燃りの影響を理論的にほぼ知ることが出来る。

(1) 応力歪曲線

模型は第4図の如き線形3要素模型を採用する。

E_1, E_2 = 弾性係数,
 η = 粘性係数, σ_3 = 全体の応力, ε = 全体の歪,
 ε_1 = ピストンの歪とする。

このような模型による
 応力歪曲線, 応力緩和,
 その他種々の現象は一般
 に計算されている。

(第4図)

歪速度一定の引張りによる応力歪曲線は

$$\sigma_3 = \eta \cdot v \left(1 - e^{-\frac{E_1}{\eta} \cdot \frac{\varepsilon}{v}} \right) + E_2 \varepsilon \quad (5)$$

$$v = d\varepsilon / dt$$

この模型のような糸が燃りによって変化すると当然 E_1, E_2, η のいずれも C の率で減少する。故に加熱された糸では

$$\sigma'_3 = C \left\{ \eta \cdot v \left(1 - e^{-\frac{E_1}{\eta} \cdot \frac{\varepsilon}{v}} \right) + E_2 \varepsilon \right\}$$

σ'_3 は燃糸の歪が ε の場合の応力

故に

$$\sigma'_3 = C \cdot \sigma_3 \quad (6)$$

即ち歪速度が等しい場合、等しい歪に対する応力は燃りの増加によって無燃の場合の C 倍に減少する。 ($C < 1$)

(2) 切断強力

前報の結果によれば切断伸度は燃りによってほとんど変化しない。故に燃りによる切断強力の変化はほぼ一定歪における応力の変化である。従って切断強力は燃りの

増加により無燃の場合の C 倍に減少する。

(3) 応力緩和

一定歪 ε からの応力緩和は次式で示される。

$$\sigma_3 = \varepsilon (E_2 + E_1 \cdot e^{-\frac{E_1}{\eta} t}) \quad (7)$$

故に燃糸においては

$$\sigma'_3 = C \cdot \varepsilon (E_2 + E_1 \cdot e^{-\frac{E_1}{\eta} t})$$

故に各時間において

$$\sigma'_3 = C \cdot \sigma_3 \quad (8)$$

即ち等しい歪を等時間保持した場合の応力緩和は燃りの増加によって無燃の場合の C 倍に減少する。

又初め等しい応力を生ずる歪を等時間保持した場合の応力緩和は燃りによって変化しない。なぜならば (7) 式のように引張り時間を無視すれば、等しい応力を与える歪は燃りの増加により無燃の場合の $1/C$ 倍に増加するからである。

(4) クリープ

一定応力 σ_3 によるクリープは次式で示される。

$$\varepsilon = \frac{\sigma_3}{E_2} \left(1 - \frac{E_1}{E_1 + E_2} e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (9)$$

$$\tau = \frac{(E_1 + E_2) \eta}{E_1 \cdot E_2}$$

故に燃糸においては

$$\varepsilon' = \frac{\sigma_3}{C E_2} \left(1 - \frac{E_1}{E_1 + E_2} e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

ε' は燃糸の応力が σ_3 なる場合の歪

故に各時間において

$$\varepsilon' = \frac{1}{C} \varepsilon \quad (10)$$

即ち等しい応力による等時間のクリープは燃りの増加によって無燃の場合の $1/C$ 倍に増加する。

又初め等しい歪を与える応力による等時間のクリープは燃りによって変化しない。なぜならば等しい歪に対する応力は燃りの増加によって無燃の場合の C 倍に減少するからである。

(5) 弾性回復、弾性余効及び伸びの弾性度

弾性回復部分 ($\varepsilon - \varepsilon_1$) は次式で示される。

$$(\varepsilon - \varepsilon_1) = \frac{1}{E_1} (\sigma_3 - E_2 \varepsilon) \quad (11)$$

故に等しい歪からの弾性回復は燃りに影響されない。弾性余効は次式で示される。

$$\varepsilon = \varepsilon_0 e^{-\frac{E_2}{\eta} t} \quad (12)$$

ε_0 は除重直後の残留伸び

故に等しい歪からの弾性余効は燃りによって影響されない。従って等時間後の伸びの弾性度 (弾性回復/全伸び) は燃りによって影響されない。

4. 実験結果との比較

試料及び燃りは前報と同じものである。実験時の温湿度は

応力歪曲線, 切断強力に対しては

湿度 60% 温度 20°C

応力緩和, 弾性度に対しては // 85% // 15°C

クリープに対しては // 65% // 28°C

(1) 応力歪曲線

ナイロン, アミラン, ビスコース人絹, 生糸の応力歪曲線と等歪の応力変化率を第5, 6, 7, 8図に示す。H. T. セリグラフによる引張り試験であって歪速度は厳密には一定でない。(引張り速度 50 mm/min) 図の右方が等歪の応力変化率であり, 点線が理論値 C である。等歪の応力はいずれも燃りの増加により減少するがその減少率は必ずしも理論と一致しない。

ビスコース人絹, 生糸はほぼ理論値と一致するが, ナイロンは理論値より変化が甚だしく理論と不一致であ

(第5図) ナイロン (120 den.) の応力歪曲線及び等歪の応力変化率

(1), (2), (3), (4) はそれぞれ燃数 0/m, 500/m, 1000/m, 1500/m

(第6図) アミラン (110 den.) の応力歪曲線及び等歪の応力変化率

(1), (2), (3), (4) はそれぞれ燃数 0/m, 500/m, 1000/m, 1500/m

り, アミランは10%歪の場合理論値と一致するが他の歪では不一致である。

(2) 切断強力

切断強力変化率を第9図に示す。点線が理論値 C である。ナイロン, ビスコース人絹はほぼ理論値に近似しているが, 他は相違している。

(3) 応力緩和

一定時間の応力緩和は次の方法で求めた。H. T. セリ

(第7図) ビスコース人絹 (120 den.) 応力歪曲線及び等歪の応力変化率

(1), (2), (3), (4) はそれぞれ燃数 0/m, 500/m, 1000/m, 1500/m

(第8図) 生糸 (126 den.) 応力歪曲線及び等歪の応力変化率

(1), (2), (3), (4) はそれぞれ燃数 0/m, 500/m, 1000/m, 1500/m

(第9図) 強力変化率

グラフ(第10図)においてピストン P を降下せしめると、試料糸は引張られて記録ペン O が降下し記録シリンダ S は矢の方向に回転する。ペン O は荷重伸び曲線 OB をえがく。今所要の荷重を与えてペンが B 点にきた時、ピストン P 及び記録レバー l を停止せしめる。その停止の状態、即ち一定歪の状態を一定時間(この実験では5 min 間)持続せしめる。5 min 後 l のレバーを自由にすると試料糸の応力が減少しているから、レバーは上昇するが、ピストンは停止しているから S は回転しないので、ペンは垂直線 BC をえがく。レバーが停止すれば(C 点)ただちにピストンを降下せしめると再び試料糸は引張られてペンは CG の荷重伸び曲線をえがく。この $OBCG$ 曲線から応力緩和を求める。(第11図) B から横軸(歪軸)に垂線を下し、 FC の延長との交点 D を求めると BD が5 min 間の応力緩和である。この理由は上述の操作により、応力緩和のためペンが B から上昇し、糸の上方の掴み K が停止しておればペンは正確な応力緩和 BD をえがくはずであるが、試験機の構造上 K が僅

か上昇する。故に糸は僅か伸びてペンは BC 直線をえがく。この糸の伸びは CE である。これは D まで応力緩和した糸を CE だけ引き伸ばして C 点にペンが記録されたのと同様である。ペンが BC を記録するとただちに引張りを再開して CFG 曲線をえがかしめると、 CD は FC の延長上にある。しかるに FC はほとんど直線状であるから、これを延長して D 点を求めると BD は応力緩和を示す。

この方法によって撚数 0, 500, 1000, 1500 (各 1 m 当り)のナイロン、生糸について、種々の引張り歪で5 min 間保持した応力緩和を第12, 13図に示す。図の右側は(撚糸の応力緩和)/(無撚糸の応力緩和)の比で、いずれもほぼ理論通りに減少している。ビスコース人絹、アミランについては(1500/m 撚糸応力緩和)/(無撚糸応力緩和)の比を第1表に示す。理論値ではこの比が 0.59 になるからアミランはほぼ近似し、ビスコース人絹は相当に相違する。

(第10図) H. T. セリグラフ

(第11図)

(第12図) ナイロン 5 min 間応力緩和
(1), (2), (3), (4) はそれぞれ撚数 0/m, 500/m, 1000/m, 1500/m

(第13図) 生糸 5 min 間応力緩和
(1), (2), (3), (4) はそれぞれ撚数 0/m, 500/m, 1000/m, 1500/m

(第 1 表)

等歪を 5 min 間保持した場合の応力緩和に対する
燃りの影響
(1500/m 燃糸応力緩和)/(0/m 無燃糸応力緩和)

引張り歪 (%)	4	8	12	16	24'
種 類					
アミラン	—	0.48	—	0.59	0.60
ビスコース人絹	0.77	0.78	0.77	—	—

次に燃数 0/m, 1500/m の各種の糸について種々の引張応力における歪を 5 min 間保持した時の応力緩和を第 14 図に示す。ナイロン、アミラン、ビスコース人絹は燃数の増加にかかわらず応力緩和はほぼ等しく、理論値と一致している。生糸は燃りが多い程応力緩和がやや大であるが、引張り応力が大なる場合は等しくなる。

(第 14 図) 5 min 間の応力緩和

(1), (2), (3), (4) はそれぞれビスコース人絹、アミラン、ナイロン、生糸

(第 15 図) 単位 (mm)

(第 2 表)

等応力による 5 min 間のクリープに対する燃りの影響
(1500/m 燃糸クリープ)/(0/m 無燃糸クリープ)

引張り応力 g/den	0.8	0.75	1.0	1.25	1.75	2	2.25	3
種類								
ビスコース人絹	1.89	1.43	1.32	1.25	—	—	—	—
生 糸	—	2	—	1.74	1.58	—	1.48	—
ナイロン	1.79	—	—	2.06	2.12	—	2.25	2.35
アミラン	1.54	1.47	—	1.50	1	0.68	0.92	—

(4) クリープ

クリープの測定は第 15 図のようなレバー装置を使用した。A が支点で自由に回転する。重錘 W を除去すれば、レバーは任意の傾きでバランスするように調節してある。

故に糸が伸びてレバーが傾いても糸には常に一定の張力が作用する。糸の試長は 5 cm であり、伸びはクリープを合計して 2.5 cm 程度が最大であるから、(最大はアミラン) この程度では B 点の円弧はほぼ直線とみなし得る。糸の伸び及びクリープは C 点の下りを読取顕微鏡で読み取った。レバー D の降下は H. T. セリグラフのピストンに固定したバー E によって行った。即ちバー E の上にレバー D をのせ、E を降下せしめる。レバーは重錘によって糸を引張る。E は降下をつづけるからやがて E と D は離れ糸には一定荷重が作用する。E と D が離れてから 5 min 間のクリープを測定した。D と E の接触中はブザーを鳴らし、離れると回路が開いてブザーを停止するようにした。しかしこの場合も引張りに相当の時間を要するから (E の降下速度 100 mm/min) 理論式のクリープとはやや実験誤差を生ずる。

この方法によって種々の引張り応力で 5 min 間保持した場合のクリープについて (1500/m 燃糸クリープ)/(無燃糸クリープ) の比を第 2 表に示す。1/C=1.7 であるからビスコース、生糸、ナイロンはほぼ理論値に近似しているがアミランは甚しく相違している。

次に種々の引張り歪において、初めその歪を与える応力で 5 min 間保持した場合のクリープを第 16 図に示す。燃数は 0/m, 1500/m 間である。ビスコース人絹、生糸のクリープは燃りの増加によってほとんど変化せず理論

(第 16 図) 5 min 間のクリープ

(1), (2), (3), (4) はそれぞれビスコース人絹、ナイロン、生糸、アミラン

値と一致する。ナイロン、アミランは理論と一致しない。即ちナイロンは撓りが多い程クリープが多く、アミランは10.5%より小さい歪では撓りが多い程クリープが多く、10.5%より大なる歪では撓りが多い程クリープは少ない。

(5) 伸びの弾性度

除重5 min 後の弾性回復を全伸びで除した伸びの弾性度%を第17図に示す。撓数は0/m, 1500/mである。

(第17図) 5 min後の弾性度

(1), (2), (3), (4) はそれぞれナイロン、アミラン、生糸、ビスコース人絹

生糸以外は撓りの増加にかかわらず弾性度は等しく理論と一致する。生糸は撓りが多い程弾性度が大きであり理論値と一致しないが、実用的性質としては注目すべきである。

(6) 総合比較

各種の引張り性質について、全体としてどの程度の一致を示すかを検討する。理論的結果を次の如く(A), (B)……で示す。

(A) 応力歪曲線において等歪に対する応力は撓りの増加によって、無撓の場合の C 倍に減少する。($C < 1$)

(B) 切断強度は撓りの増加によって無撓の場合の C 倍に減少する。

(C) 等歪を等時間保持した場合の応力緩和は撓りの増加により無撓のもの C 倍に減少する。

(D) 初め等応力を与える歪を等時間保持した場合の応力緩和は撓りに影響されない。

(E) 等応力による等時間のクリープは撓りの増加によって無撓の $1/C$ 倍に増加する。

(F) 初め等歪を与える応力による等時間のクリープは撓りに影響されない。

(G) 等歪から等時間後の伸びの弾性度は撓りに影響されない。

これらの理論結果と実験結果との総合比較を第3表に示す。比較には便宜上理論と実験とのほぼ一致するものを3, 近似するものを2, 相違するものを1とし、全部

(第3表)
理論値と実験値との総合比較

	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	一致率 (%)
ナイロン	1	2	3	3	2	1	3	72
アミラン	2	1	2	3	1	1	3	62
ビスコース人絹	3	2	1	3	2	3	3	81
生糸	3	1	3	2	2	3	1	72

一致するものとしての得点21点に対する各糸の得点の割合%を以て一致率とした。一致率の最高はビスコース人絹で81%, 最低はアミランで62%, 平均72%である。あまり良好な一致とはいえない。それは実験が実用的なものであるための不備, 即ち引張りにおいて歪速度が一定でないこと及び応力緩和, クリープ, 弾性度の測定において, 歪又は応力を与えるべき時間が無視出来ない程大であること等のため理論値との比較に無理のあることが考えられる。

理論としては模型の E_1 , E_2 , η の変化に特別の仮定を工夫すれば更に良好な一致を見る理論結果を得るのではなかろうかと考えられる。

5. 結 言

撓糸構造から理論的に計算して粘性係数減少率と撓数の関係を求めた。これは前報に求めた弾性係数減少率とほぼ近似しているから両変化率を等しいとみなし、繊維模型を用いて、各種粘弾性的引張り性質と撓りの関係を理論的に求めた。これをナイロン、アミラン、ビスコース人絹、生糸の実験結果と比較すれば全般的な一致率は72%であった。従って理論の仮定、及び実験の不備についてなお検討を要するが、比較的良好な一致を示すビスコース人絹(81%)に対しては、理論的な一連の結果はほぼ目安とすることが出来る。

終りに実験に協力していただいた北田君に謝意を表する。

この研究は文部省科学試験研究費の一部で行ったものである。

文 献

- 1) 藤野清久, 熨斗秀夫: 本誌 5, 567, (昭和27-10)
- 2) 例えば
George: Halsev: J. App. Phys., 18, 1072, 1947-2
- 3) 藤野清久, 熨斗秀夫: 本誌 4, 385, (昭26-7)
- 4) 例えば
Advnce in Colloid Science Volume. II
H. Mark, E. J. W. Verwey, (1950)
(Fatigue Phenomena in High Polymers: J.
H. Dillon, P. 278)

連続繊維単系の引張り性質に対する撚りの影響

粘弾性係数の変化(説明)

1. 基本的な考え

(1) 弾性係数の変化

第1図において A は固定, S は弾性スプリング, B は軸が固定しそのまわりに自由に回転するローラとする。スプリングは垂直軸に α の傾きをなす。今 D を引張って B のローラを経てスプリングを伸ばす, D を引張る力を f とすれば

$$f = F \cdot \cos \alpha$$

(第 1 図)

F はスプリングをスプリングの方向に引張る時の力である。

スプリングの歪を ε , 弾性係数を E とすれば

$$F = E \cdot \varepsilon$$

$$\therefore f = E \cdot \varepsilon \cdot \cos \alpha$$

$$= E' \cdot \cos \alpha \cdot \varepsilon$$

$$E' \cdot \cos \alpha = E' \quad \text{とすれば}$$

$$f = E' \cdot \varepsilon$$

故にスプリングの弾性係数は E であるが, 力 f とスプリングの歪の関係を考えると E' が弾性係数であるのと同じ関係である。即ちスプリングとローラを機構として組合せたから, この機構に関して f 方向の力と歪の関係に対する弾性係数は E' である。撚糸の弾性係数の変化は基本的にこの機構と同じである。

(2) 粘性係数の変化

第1図のスプリングのかわりに粘性流動をなすピストン S を置く。(第2図) ピストンはニュートン流動をなすものとする。その他の関係は全く同様とすると, ピストンの方向に引張る力 F は

$$F = \eta \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} \quad \frac{d\varepsilon}{dt} \text{ 歪速度}$$

$$\eta \text{ は粘性係数}$$

D 方向の力 f は

$$f = F \cdot \cos \alpha = \eta \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} \cdot \cos \alpha$$

$$\eta \cdot \cos \alpha = \eta' \quad \text{とすれば}$$

$$f = \eta' \cdot \frac{d\varepsilon}{dt}$$

全く弾性係数の変化と同じ関係になる。即ち粘性係数は弾性係数と同じ割合で変化するわけである。

このように弾性とニュートン流動を別々に取り扱うことは何等異議がない。

繊維を線形の模型的に取り扱う場合は, その組合せには種々のものがあるがいずれもスプリングとニュートン流動のピストンの組合せである。

故にその一つ一つのスプリング, ピストンを取り出して傾きによる変化を考えれば上述の如く変化する。換言すれば組合せはどのようになっても各スプリングとピストンは上述の如く変化するのである。従ってこの変化したスプリング, ピストンを再び適当な模型に組立てて撚糸の挙動を考えるという方法である。

2. 撚糸にやや近い場合

(1) 弾性変形

初めの繊維は AC であり, 撚りになったため AB に伸ばされる。 B はローラではなく繊維は B に固定され, B は摩擦のない直垂のスリットを上方に引きあげられるという関係である。故に歪の基準は AC であり, α は B の上昇によって変化するためやや数式的な関係は異なるが基本的な考えは同じである。

(2) 粘性流動

粘性流動の場合は初めの長さ AC が撚りのため AB に引き伸ばされると AB が基準の長さになる。即ち AB の長さに対する歪速度を考えると弾性変形の場合と異なるだけである。

3. 撚糸の場合

撚糸の場合は中心から外層まで繊維が存在するため, 積分しなければならないこと, 傾きのための繊維断面の変化, 繊維と繊維の空間等が計算に入っているだけである。

(第 2 図)