

Effect of Heat Development Caused by High Speed Tensile Deformation on the Stress-Strain Curve Polyester Filament Yarn

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00009940

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



ポリエステルフィラメント糸の高速引張過程に 発生する熱が応力—ひずみ曲線に及ぼす影響

金沢大学工学部 喜 成 年 泰 (会員)
" 放 生 明 廣
" 新 宅 救 徳 (会員)
" 岩 木 信 男 (会員)

Effect of Heat Development Caused by High Speed Tensile Deformation on the Stress-Strain Curve of Polyester Filament Yarn

Toshiyasu Kinari, Akihiro Hojo,
Sukenori Shintaku and Nobuo Iwaki

Faculty of Technology, Kanazawa University, Kanazawa

Abstract

In this paper, a new constitutive equation considering the effect of temperature rise during extension at high strain rates and high strains for polyester multi-filament yarn was proposed. The numerical results derived from this constitutive equation were compared with the experimental data.

Though the over-stress theory had well explained the stress-strain curves at low strain rates, the calculated stress had become larger than the experimental data with increasing strain and strain rate at high strain rates. This seemed to be influenced by softening with temperature rise in filaments during extension. It seemed that the deformation proceeded too rapidly to transfer the generated energy so that the deformation proceeded adiabatically. In this paper, therefore, we introduced the effect of temperature rise into the constitutive equation, by estimating the temperature rise in filaments during extension and measuring the degree of softening with temperature rise. The constitutive equation considering the effect of temperature rise well explained the stress-strain curves of polyester multi-filament yarn at wide range of strain rate from 10^{-3} s^{-1} to 10^2 s^{-1} .

(Received November 15, 1990)

摘 要

目的 ポリエステルマルチフィラメント糸に対して高ひずみ速度、大ひずみ域においても適用可能な、変形中の温度上昇を考慮した構成式を提案し、実験結果と比較検討する。

成果 過応力モデルによる構成式はひずみ速度が小さく、引張が等温的に進行する場合には有効であるが、高ひずみ速度においては、応力の計算値はひずみが大きくなるにつれ、また、ひずみ速度が大きくなるにつれ、実験値よりも大きくなった。これは糸が衝撃的に引張を受けた場合、変形により発生したエネルギーの移動のための時間がなく、変形が断熱的に進行することによって糸が軟化するためであると考えられた。そこで本報では引張過程中のフィラメント内部での温度上昇を概算し、また、あらかじめ温度上昇による糸の軟化の程度を測定しておくことによって、高ひずみ速度における構成式に温度上昇の効果を導入した。温度上昇を考慮した構成式はひずみ速度 $10^{-3} \text{ s}^{-1} \sim 10^2 \text{ s}^{-1}$ の応力—ひずみ曲線をよく表現することができた。

繊維機械学会誌 第44巻 第6号 頁T118~T125 (1991)より再録

1. 緒言

近年、繊維機械の高速化に伴って加工工程中における糸の運動速度が大きくなり、糸が衝撃的な張力を受ける機会が増えてきた。このため繊維の動的挙動を明らかにすることが重要であり、応力—ひずみ関係に及ぼすひずみ速度の影響を明らかにし、ひずみ速度依存性を考慮した構成式を導く必要がある。

そこで我々は、糸の衝撃引張試験装置を試作し、ポリエステルマルチフィラメント糸について種々の引張速度における応力—ひずみ曲線を求め、過応力模型¹⁾に基づき、ひずみ速度の影響を考慮した構成式を提案した²⁾。そしてこの構成式は低ひずみ速度 (10^{-2} s^{-1} まで) における応力—ひずみ挙動を良く表現することができ、ひずみ速度依存性を考慮した構成式として有効であることが確認された。しかし、高ひずみ速度 ($10^{-1} \sim 10^2 \text{ s}^{-1}$) においては、応力の実験値はひずみが大きくなるにつれ、また、ひずみ速度が大きくなるにつれ、計算値よりも小さくなった。これは糸が衝撃的に引張を受けた場合、変形により発生したエネルギーの移動のための時間がなく、変形が断熱的に進行し、フィラメント内部で温度が上昇することによって糸が軟化し、あるひずみにおける応力が計算された値よりも小さくなるためであると考えられた。高ひずみ速度の引張試験において破断面が熔融状態を示すことは Stone ら³⁾ によって早くから報告されている。また井谷ら^{4,5)} は引張速度による破断面形状の変化について詳しく報告している。さらに Hall⁶⁾ は引張試験中の糸の温度変化を熱力学的考察から概算している。

本研究においては、先に報告した²⁾ポリエステルマルチフィラメント糸に対して Hall⁶⁾ の手法を利用して引張過程中的糸の温度上昇を概算し、高ひずみ速度、大ひずみ域においても適用可能な構成式を提案し、実験結果と比較検討する。

2. 実験装置および実験方法

2.1 種々のひずみ速度における引張試験

図1に試験装置の概要を示す。試験装置は荷重を測定するための片持ちはり形のロードセル、糸に引張速度を与えるための中をくり抜いたアルミ製入力棒およびこれらを保持するためのベースから成っている。糸試料の上下端にアルミ小片をエポキシ樹脂で接着し、上端の小片がロードセルの上面に、下端

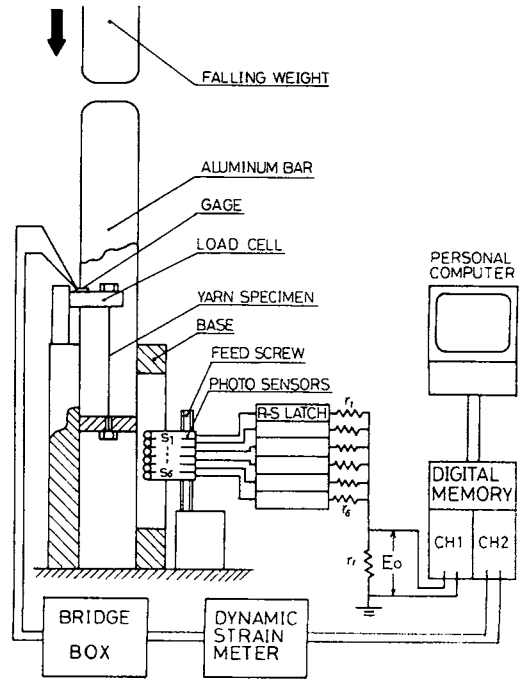


Fig. 1 Schematic diagram of measurement system.

の小片が入力棒の下面に接するように、それぞれのスリットを利用して取付け、入力棒を下方へ押し下げることによって糸を引張する。ロードセルの固定端付近には荷重を検出するためのひずみゲージ (共和電業製 KSP-1-350) を貼り付けた。このひずみゲージを図に示すように動ひずみ計 (共和電業製 CDV-230C) に接続し、その出力をデジタルメモリ (岩崎通信機製 DM-7100) で測定する。

また、糸試料の伸びを知るためにアルミ棒下端の変位を光電式近接センサ (立石電気製 EE-SPZ 形ファイバ付変調光フォトマイクロセンサ) を上下1例に並べ、アルミ棒下端が各センサを横切った時間をデジタルメモリに記録した。センサ s_i の位置 x_i はあらかじめ静的な試験によって求められている。よってアルミ棒下端がセンサ s_i を通過した後センサ s_{i+1} を通過するまでの間の平均速度 V_i は

$$V_i = (x_{i+1} - x_i) / (t_{i+1} - t_i) \quad (1)$$

より求められ、各センサ間での速度は一定として変位を求めた。

なお、デジタルメモリに記録したデータはただちにパーソナルコンピュータ (NEC 製 PC-9800 Vm2) に取り込み、必要な処理を施した。

引張速度は表1に示す6種類に設定した。条件番

Table. 1 Strain Rate

Term number	①	②	③	④	⑤	⑥
Tensile speed (m/s)	1.67×10^{-4}	1.67×10^{-3}	1.67×10^{-2}	0.415	2.17	3.76
$\dot{\epsilon}$ (s ⁻¹)	3.33×10^{-3}	3.33×10^{-2}	3.33×10^{-1}	8.30	43.4	75.2

号①～③の低速度での実験では、定速引張試験機（東洋測器製テンシロン UTM-Ⅲ型）を利用して入力棒を押し下げることにより試料を定速で引張した。④～⑥の高速域ではガイドを介して重りを落下させ、アルミ棒に衝撃速度を与え、糸を引張した。

糸試料は前報²⁾と同様のポリエステル連続マルチフィラメント糸 11.1tex/36fil を用いた。これはレギュラの糸に比べて結晶化度が約 40%、配向性が約 2% 低い³⁾と考えられる糸である。試料長は 50 mm とした。また、試料は繊維の標準状態 (20°C, 65% RH) 中に 12 時間以上放置し、その条件下で実験を行った。

2.2 種々の雰囲気温度における静的な応力—ひずみ曲線

温度上昇が応力—ひずみ曲線に及ぼす影響を求め、構成式中に温度依存性を導入するため、273～333K (0～60°C) の各雰囲気温度において実験に用いた糸の引張試験を行った。試験はオリエンテック製テンシロン RTM-100 型引張試験機に TCF-R2 型恒温槽を組み合わせ、恒温槽内が所定の温度に達した後 3 分間経過後に行った。このときの試料長は 200 mm、引張速度は 40 mm/min でひずみ速度は $3.33 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ となる。これは表 1 中で最も小さな①と同じひずみ速度である。

3. 理論

3.1 ひずみ速度依存性および温度依存性を考慮した構成式

ひずみ速度依存性を考慮した構成式は²⁾

$$\dot{\epsilon} = \dot{\sigma}/E + (\sigma - g[\epsilon]) / (E \cdot K[*]) \quad (2)$$

と書かれる。 σ は応力、 ϵ はひずみ、ドットは時間に関する微分、[*] は引数“*”の関数であることを示す。 $g[\epsilon]$ はひずみ ϵ において ϵ や σ の影響を受けないときの応力で ϵ のみの関数であり、平衡応力と呼ぶ。また E は瞬間弾性係数、 $K[*]$ は速度依存の程度を表す係数であり、 K が応力やひずみに依存せず、一定値を取る場合には線形粘弾性模型の 1 つである 3 要素模型に対応する式となる¹⁾。右辺第 2

項に含まれる $\sigma - g[\epsilon]$ は平衡応力からのずれを表し、過応力と呼ぶ。 $g[\epsilon]$ と $K[*]$ が求めれば(2)式を数値計算することができ、任意の $\dot{\epsilon}$ における応力—ひずみ曲線を求めることができる。 $g[\epsilon]$ および $K[*]$ の関数形および各係数は 24 時間の応力緩和試験結果から以下のように決定した（詳細は文献(2)を参照）。なお、本報では応力としては、引張により体積変化がないものとして、引張過程中の織度で荷重を除いた真応力 (N/tex) を、ひずみとしては対数ひずみをそれぞれ用いることにする。

$$g[\epsilon] = E\epsilon - \int_0^\epsilon \int_0^\epsilon F\left(\frac{\eta}{\epsilon^*}\right) d\eta d\epsilon \quad (3)$$

$$F(x) = -\frac{d^2g}{d\epsilon^2} = Ax^{2n-1} \cdot \exp\left\{-\left(a^2x^2 + b^2x^{-2}\right)\right\} \quad (4)$$

$$K = K_0 \exp\{-K_1[\epsilon](\sigma - g[\epsilon])\} \quad (5)$$

$$K_1 = P_0 + P_1/\epsilon$$

ただし x は $d^2g/d\epsilon^2$ の絶対値が最大値を示すときのひずみを ϵ^* として $x = \epsilon/\epsilon^*$ で与えられる¹⁾。本試料の 293 K における応力—ひずみ曲線を記述するための適当な定数は $\epsilon^* = 0.006$ 、 $A = 863 \text{ N/tex}$ 、 $a = 0.164$ 、 $b = 0.726$ 、 $K_0 = 86,400 \text{ s}^{-1}$ 、 $P_0 = 51.1 \text{ tex/N}$ 、 $P_1 = 2.81 \text{ tex/N}$ であった。

以上では糸の応力はひずみとひずみ速度の関数として表されているが、ポリエステルフィラメント糸においては、後で述べる 4. 1 の実験結果からも明らかのように、応力—ひずみ曲線に及ぼす温度の影響は小さくない。このため(2)式への温度の影響を導入する必要がある。構成式(2)式の中で温度にも依存すると考えられるのは $K[*]$ 、 $g[*]$ および $E[*]$ である。ここではなるべく簡単に温度の影響を導入するため $g[*]$ と $E[*]$ のみが温度の関数となると考え、ひずみ速度 $3.33 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ での静的な応力—ひずみ曲線の計算値が図 4 の実験値と一致するように、

$$g[\epsilon, T] = g[\epsilon, 293] \{1 + J'(T - 293)\} \quad (6)$$

$$J' = -0.008 \quad (1/K)$$

$$E[T] = E[293] \{1 + J'(T - 293)\} \quad (7)$$

とおいた。ここで(6)式中の $g[\epsilon, 293]$ は(3)式の $g[\epsilon]$ 、(7)式中の $E[293]$ は(2)式中の E で、 $E[293] = 8.82 \text{ N/tex}$ である。

3.2 引張過程中の糸の温度上昇

次に変形進行中の繊維のエネルギー収支について考える。図2に示すように、長さ L 、半径 r の円筒状の糸が時間 dt 間に F の張力で dL の引張を受け、

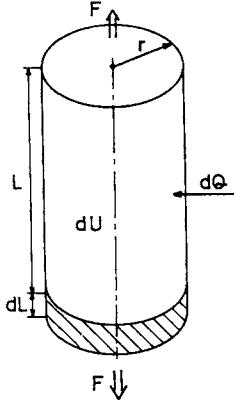


Fig. 2 Heat generated in and lost from uniform cylinder during extension.

周りから dQ の熱量を受け取る場合を考える。なお変形は体積一定で進行すると考える。この時熱力学第一法則から

$$dU = dQ + FdL \quad (8)$$

ここで dU は繊維の内部エネルギーの変化であり、一方で、

$$dU = (\partial U / \partial L)_T dL + (\partial U / \partial T)_L dT \quad (9)$$

の関係が成立する。また、繊維の温度 T が繊維全体で一様であり、周囲の空気温度を T_0 とすれば、

$$dQ = -2\pi r L h (T - T_0) dt \quad (10)$$

ここで h は熱伝達率である。(9)、(10)式を(8)式に代入すると

$$[F - (\partial U / \partial L)_T] dL - (\partial U / \partial T)_L dT - 2\pi r L h (T - T_0) dt = 0 \quad (11)$$

ここで(11)式中の各量を単位質量当たり、単位面積当たり、単位長さ当たりの量で書き換える。すなわち、単位面積当たりの力を s とすれば、

$$F = \pi r^2 s \quad (12)$$

単位質量当たりの内部エネルギーを u 、繊維の密度を ρ とすれば、

$$U = u \pi r^2 L \rho \quad (13)$$

定容比熱を c_v とすると、

$$(\partial U / \partial T)_L = c_v \pi r^2 L \rho \quad (14)$$

また、長さ dL の変化は、

$$dL = L d\epsilon \quad (15)$$

となる。(12)~(15)式を(11)式に代入し、 $(T - T_0)$ を T' と書くと

$$\begin{aligned} (s - (\partial U / \partial \epsilon)_T \cdot \rho) d\epsilon - \rho c_v dT' \\ - 2h(T'/r) dt = 0 \end{aligned} \quad (16)$$

(16)式を T' について解くために以下の置き換えを行う。

$$(dT'/d\epsilon) + \beta'(\epsilon) T' = \alpha(\epsilon) \quad (17)$$

ただし

$$\alpha(\epsilon) = \frac{(s/\rho) - (\partial u / \partial \epsilon)_T}{c_v} \quad (18)$$

$$\beta'(\epsilon) = 2h/(c_v \cdot r \cdot \rho \cdot \dot{\epsilon}) \quad (19)$$

上記の1階線形微分方程式を解くと、ひずみ0から ϵ_1 までの繊維中の温度上昇 T' は次式で与えられる。

$$T'(\epsilon_1) = [\int_0^{\epsilon_1} \alpha(\epsilon) \cdot \beta(\epsilon) d\epsilon] / \beta(\epsilon_1) \quad (20)$$

ただし

$$\beta(\epsilon) = \exp\left[\int_0^{\epsilon} \beta'(\xi) d\xi\right] \quad (21)$$

これは糸のひずみ速度、ひずみ、応力、外気の温度等によって糸の温度を表した式であり、式中で使われている各定数は $\rho = 1380 \text{ kg/m}^3$ 、 $c_v = c_p = 1.34 \times 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}^{\text{7}}$ 、 $T_0 = 293 \text{ K}$ である。11.1 tex の糸が図2のような円柱状であるとすれば $r = 5.06 \times 10^{-5} \text{ m}$ となる。

次に(18)および(19)式中の関数 s 、 h および $(\partial u / \partial \epsilon)_T$ について考える。糸が図2のような円柱状であると仮定すれば、 s (Pa) は、(2)式の数値解析から得られる σ (N/tex) と次の関係が成り立つ。

$$s = 10^6 \cdot \rho \cdot \sigma \quad (22)$$

h は流れ状態の関数であり、加瀬⁹⁾や穴原¹⁰⁾など冷却過程における繊維の熱伝挙動についての研究は数多い。しかしここでの引張速度はこれらの研究対象よりレイノルズ数の小さな場合が多く、また高速引張の場合においても糸の周囲は定常の流れではなく、過渡状態であるので、定数 $h = 38.5 \text{ J/(m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s)}$ ($9.2 \times 10^{-4} \text{ cal/(cm}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{s)}^{\text{11}}$) を採用することにした。

一方、 u としては弾性エネルギーのみを考える。図3に示すようにひずみ ϵ 、までの $(\partial s / \partial \epsilon)$ が定義 E' であり、 ϵ_1 ($\epsilon_1 > \epsilon_0$) において引張力を取り去った場合、傾き E' でひずみ ϵ_0 まで弾性回復すると考える。この場合、図中の u の部分が弾性エネルギーの形で繊維の内部エネルギーとして蓄積され、 H の部分が熱として消散してしまうか、または糸の温度上昇に使われることになる。この場合の単位質量当たりの内部エネルギー u は、

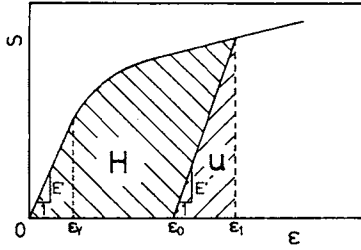


Fig. 3 Work in unit volume caused by tensile deformation.

$$u = \frac{F \cdot L(\epsilon_1 - \epsilon_0)}{2} \cdot \frac{1}{\pi r^2 L \rho} = \frac{s^2}{2E' \rho} \quad (23)$$

で与えられる。これを ϵ で偏微分すると

$$(\partial u / \partial \epsilon)_T = [s / (E' \cdot \rho)] \times (ds / d\epsilon) \quad (24)$$

となる。 $\epsilon_1 < \epsilon_v$ の場合は $(\partial u / \partial \epsilon)_T = s / \rho$ となり、(18) 式の $\alpha(\epsilon) = 0$ 、すなわち、弾性域において温度上昇がないことを示す。

実験に用いた糸については、①のひずみ速度において E' に沿った弾性回復が確認されたので、内部エネルギーの変化として(24)式を採用することにした。また本報では $\epsilon_v = \epsilon^* = 0.006$ とした。

4. 実験結果および考察

4.1 種々の雰囲気温度における静的な応力—ひずみ曲線

$\dot{\epsilon} = 3.33 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ での種々の雰囲気温度における静的な応力—ひずみ曲線を図4に実線で示す。図よりこの温度範囲では雰囲気温度 T と糸の応力 σ の間には、基準の温度 (293 K) のときの応力を σ_{293} とすると、

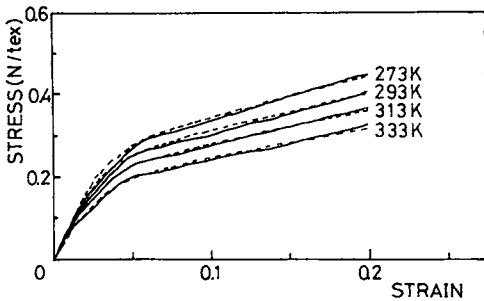


Fig. 4 Stress-strain curves of polyester yarn at $\dot{\epsilon} = 3.33 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ for various temperature. Solid lines are experimental data, dotted lines are calculated from eqs.(6) and (7).

$$\sigma = \sigma_{293} \{1 + J(T - 293)\} \quad (25)$$

$$J = -0.0055 \quad (1/K)$$

という比較的簡単な関係が成立することが分かった。

一方、(6)、(7)式を(2)式に代入して $\dot{\epsilon} = 3.33 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ での各温度における応力—ひずみ曲線を計算した結果を図4に破線で示す。図中の実線と破線を比べると、 g 、 E のみが温度の関数となると考えた本方法により、応力—ひずみ曲線に及ぼす温度の影響を十分表現できることが分かる。(25)式中の J と(6)および(7)式中の J' の差は、本来考慮しなければいけない K [*] への温度の影響を g [*] および E [*] のみに含めてしまったことによって生じたと考えられる。しかし K [*] への温度の影響を求めるためには膨大な量の実験を必要とするため本方法が実用的であると考え、本報では温度の影響としては(6)および(7)式のみ (すなわち $\dot{\epsilon} = 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ での K [*] への温度の影響を g [*] および E [*] に含めた式)を採用した。

4.2 種々のひずみ速度における応力—ひずみ曲線

(18)~(21)および(25)式により見積った、各ひずみ速度における糸の温度上昇を図5に示す。これを見る

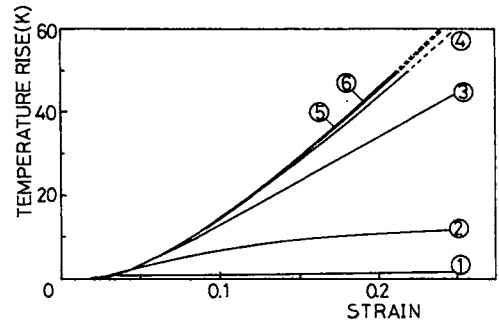


Fig. 5 Estimated temperature rise during extension at various strain rates.

と、ひずみ速度の小さな①では引張中の温度上昇はほとんど見られず、②でもほぼ等温的に引張が進行しており、20% ひずみにおける温度上昇は10°C程度である。これに対してひずみ速度が①の100倍となる③では数パーセントのひずみレベルから温度上昇の影響が現れ、10%のひずみにおいては温度上昇は10°C以上となる。さらにひずみ速度の大きな④、⑤、⑥では引張はほぼ断熱的となり、10%のひずみにおける温度上昇が15°C程度、20%のひずみにお

ける温度上昇が45°C程度見積られた。Hall⁶⁾はひずみ速度 3 s^{-1} 以上で完全断熱変形と仮定し、内部エネルギーの変化を無視して10%ひずみにおける温度上昇を20°C程度と見積もっているが、本報における実験結果もこれとほぼ一致している。

さらにひずみが20%を越えると温度上昇は50°C以上と見積もられ、ポリエステル糸のガラス転移点を越えることになるので、この部分の温度上昇の見積りは、前節で仮定した定数の変化や転移時の吸熱反応を無視したものである。このためこの部分の計算値は破線で示した。

各ひずみ速度における引張試験結果より得られた25%ひずみまでの応力-ひずみ曲線を図6に示す。⑤と⑥では20%ひずみ以前で破断しているが、①~④では30%程度のひずみで破断している。しかし25%以上のひずみではネッキングなど、本報の理論で考慮していない要素の影響が現れやすいと考えられるため、ひずみ25%以下の範囲で実験値と理論値との比較を行う。図6において、小ひずみで

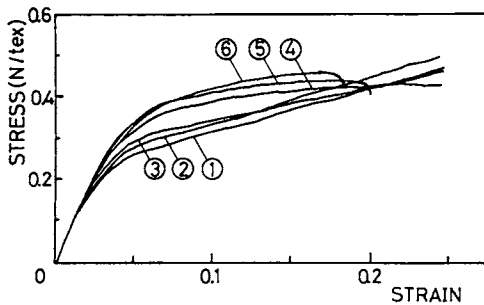


Fig. 6 Experimental stress-strain curves of polyester yarn at various strain rates.

は、各ひずみ速度における一定ひずみレベルに対する応力の差は認められないが、降伏点付近ではひずみ速度の増加に伴って応力も大きくなっている。これに対して降伏点を越えてひずみが増加して行くと、一定ひずみレベルに対する応力は一定の傾向を見せなくなる。

このような各ひずみ速度における応力-ひずみ曲線を説明するため、本報では g 関数として、温度上昇の影響を考慮した(6)および(7)式を用い、(2)式をルンゲ・クッタ法により数値計算した。数値計算は前述のことから、25%ひずみで打ち切った。各ひずみ速度に対する結果を図7に示す。両図を見比べると、数値計算結果は実験結果をよく表現しているといえる。特に図6で、②と③の曲線の上下関係が逆

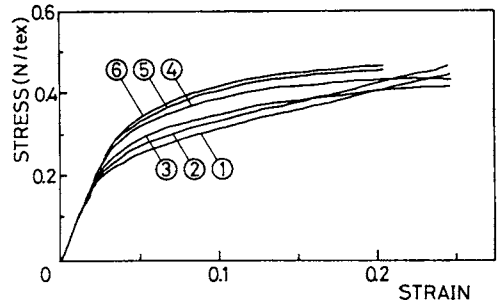


Fig. 7 Calculated stress-strain curves of polyester yarn at various strain rates considering temperature rise.

転する所などもほぼうまく説明できている。

これらのことをより詳しく調べるために、各ひずみ速度における応力-ひずみ曲線の実験値および温度上昇を考慮した場合(g 関数が(6)式、 E が(7)式)としない場合(g 関数が(3)式)のそれぞれの計算値を図8~図13に示す。図5よりほぼ等温変化と見なせる①(図8)では2つの計算値に差が見られない

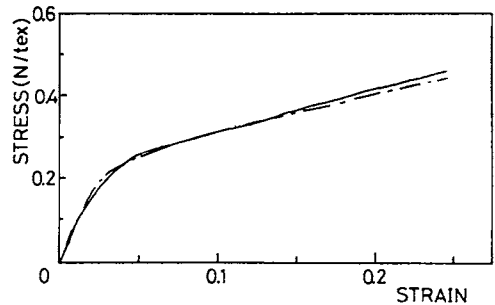


Fig. 8 Stress-strain curves of polyester yarn at $\dot{\epsilon} = 3.33 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$. Solid line is experimental one, dash-dotted line is theoretical one.

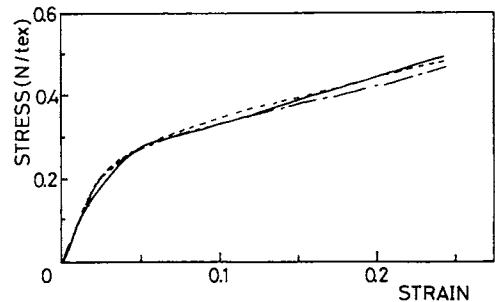


Fig. 9 Stress-strain curves of polyester yarn at $\dot{\epsilon} = 3.33 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$. Solid line is experimental one, dash-dotted line is theoretical one considering temperature rise and dotted line is theoretical one without temperature rise.

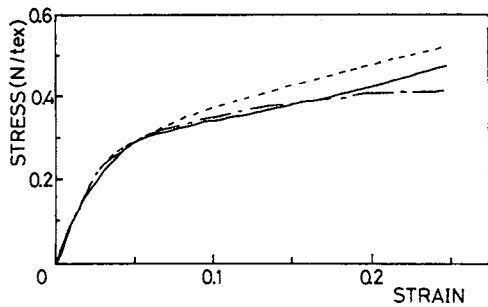


Fig. 10 Stress-strain curves of polyester yarn at $\dot{\epsilon} = 3.33 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$.
The lines are the same as shown in Fig. 9.

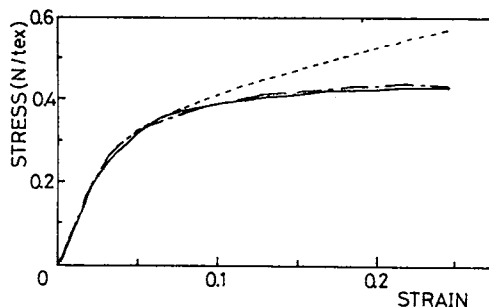


Fig. 11 Stress-strain curves of polyester yarn at $\dot{\epsilon} = 8.3 \text{ s}^{-1}$.
The lines are the same as shown in Fig. 9.

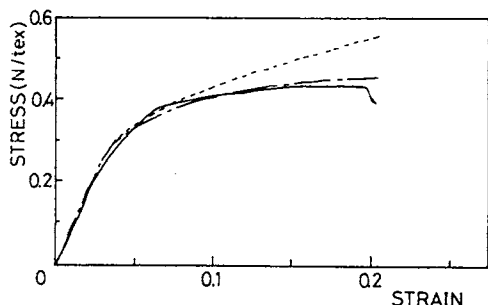


Fig. 12 Stress-strain curves of polyester yarn at $\dot{\epsilon} = 43.4 \text{ s}^{-1}$.
The lines are the same as shown in Fig. 9.

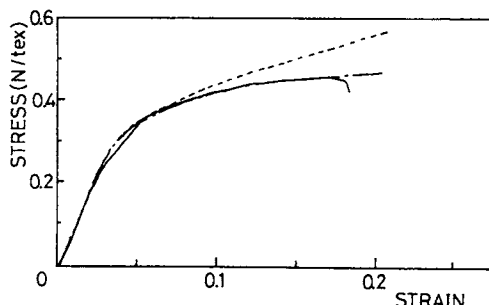


Fig. 13 Stress-strain curves of polyester yarn at $\dot{\epsilon} = 75.2 \text{ s}^{-1}$.
The lines are the same as shown in Fig. 9.

め計算値の曲線は1本だけ示した。また②(図9)でも引張中の温度上昇が小さいので2つの計算値の差は小さい。そしてそれらの曲線はいずれも実験結果ともよく一致している。それ以上のひずみ速度(図10~図13)では、温度上昇を考慮した計算値は大ひずみにおいて、(6)および(7)式で示した糸の軟化により、温度上昇を考慮していない計算値よりも小さな応力を示す。そしてそれらは各ひずみ速度に対して実験値を良く表現している。

5. まとめ

本研究においてはポリエステルマルチフィラメント糸に対して高ひずみ速度、大ひずみ域においても適用可能な構成式を提案し、実験結果と比較検討した。

過応力モデルによる構成式はひずみ速度が小さく、引張が等温的に進行する場合には有効であるが、高ひずみ速度においては、応力の計算値はひずみが大きくなるにつれ、また、ひずみ速度が大きくなるにつれ、実験値よりも大きくなった。これは糸が衝撃

的に引張を受けた場合、変形により発生したエネルギーの移動のための時間がなく、変形が断熱的に進行することによって糸が軟化するためであると考えられた。そこで本報では引張過程中的フィラメント内部での温度上昇を概算し、また、あらかじめ温度上昇による糸の軟化の程度を測定しておくことによって、過応力モデルに基づく構成式に対し、高ひずみ速度における温度上昇の効果を導入した。

温度上昇を考慮した構成式はひずみ速度 $10^{-3} \text{ s}^{-1} \sim 10^2 \text{ s}^{-1}$ の応力-ひずみ曲線を良く表現することができた。

なお、この研究は1990年日本繊維機械学会北陸支部研究発表会において発表した。

また本報をまとめるに当たり、有益なご助言をいただきました金沢大学工学部 茶谷明義先生並びに石川県工業試験場 山本孝氏に謝意を表します。さらに実験に協力いただいた金沢大学大学院 原篠義之君に感謝します。

参考文献

- 1) M. C. Liu, E. Krempl; J. Mech. Phys. Solids, 27, 377 (1979)
 - 2) 喜成, 放生, 新宅, 岩木; 織学誌, 46, 311 (1990)
 - 3) W. K. Stone, H. F. Schifer, G. Fox; Text. Res. J., 25, 520 (1955)
 - 4) 井谷, 和田, 浅田, 清水; 織学誌, 24, 43 (1968)
 - 5) 井谷, 和田, 浅田, 清水; 織学誌, 24, 48 (1968)
 - 6) I. H. Hall; J. Appl. Polymer Sci., 12, 739 (1968)
 - 7) M. C. Liu, E. Krempl, D. C. Nairn; Trans. ASME Ser. H, 98, 322(1976)
 - 8) 山本, 新宅, 喜成; 織学誌, 45, 42 (1989)
 - 9) 加藤, 松尾; 織機誌, 18, 188 (1965)
 - 10) 穴原, 池内, 藤田, 北洞; 織機誌, 35, 38 (1982)
 - 11) 山本, 新宅, 喜成; 織学誌, 44, 457 (1988)
-