

スパンデックスの応力・伸長ひずみ曲線に 及ぼす温度、湿度、ひずみ速度の影響

金沢大学工学部 喜 成 年 泰 (会員)
 金沢大学工学部 新 宅 救 徳 (会員)
 金沢大学工学部 岩 木 信 男 (会員)
 金沢大学工学部 堀 純 也 (会員)

Effects of Temperature, Humidity and Strain Rate on Tensile Stress-Strain Curves of Spandex

Toshiyasu Kinari, Sukenori Shintaku, Nobuo Iwaki and Junnya Hori
Faculty of Technology, Kanazawa University, Kodatsuno, Kanazawa

Abstract

In order to investigate the effects of temperature, relative humidity and strain rates on the stress-strain curve of spandex yarn, tensile tests were performed under many kinds of conditions including impact tests.

Stress-strain curves of spandex yarn were obtained on 7 levels in temperature ranging from 243 K to 333 K. Making an approximation with a linear equation, the relation between the modulus E obtained at the temperature ranging from 273 K to 333 K and the temperature was $E = E_{20}(1 + K_T \Delta T)$. Where E_{20} was the modulus at 293 K in temperature ($= 1.0 \times 10^{-2}$ N/tex), K_T was the coefficient that gave the change in modulus with the change of 1 K in temperature ($= -1.8 \times 10^{-2}$ K⁻¹) and ΔT was the discrepancy in temperature from 293 K. Under 273 K in temperature, the increase in the modulus with the decrease in temperature was much larger than the slope of the approximate line.

In relative humidity ranging from 35 to 95% RH, 5 levels of tensile tests gave the following relation; $E = E_{65}(1 + K_H \Delta H)$, where E_{65} was the modulus at 65% RH ($= 8.0 \times 10^{-3}$ N/tex), K_H was the coefficient that gave the change in modulus with the change of 1% in relative humidity ($= 7.2 \times 10^{-3}$) and ΔH was the discrepancy from 65% RH.

Tensile tests on 7 levels in strain rates ranging from 1.67×10^{-3} to 147 s^{-1} were performed. The relation of $E = E_1(1 + K_V \log \epsilon)$ between the modulus and the strain rate was approximately expressed by a linear equation. Where E_1 was the modulus at 1 s^{-1} in strain rate ($= 1.0 \times 10^{-2}$ N/tex), K_V was the coefficient that gave the change in modulus with the change of one order in strain rate.

(Received June 7, 1994)

(Accepted for Publication October 3, 1994)

摘 要

目的 スパンデックスに対し、種々の温度、種々の湿度、衝撃域を含む種々のひずみ速度において引張試験を行って応力-ひずみ曲線を求め、応力-ひずみ曲線に及ぼす温度、湿度、ひずみ速度の影響を明らかにする。

成果 1) 243~333K (-30~60°C) の7種類の環境温度においてスパンデックスの応力-ひずみ曲線を求めた。273~333Kのモジュラス E を直線近似したところ、 $E = E_{20}(1 + K_T \Delta T)$ の関係を得た。ここで E_{20} は室温 293K におけるモジュラス ($= 1.0 \times 10^{-2}$ N/tex)、 K_T は環境温度 1K の変化に対するモジュラス変化の程度を表す係数 ($= -1.8 \times 10^{-2}$ K⁻¹)、 ΔT は 293K からの温度の差である。273K 以下での温度の減少に伴うモジュラスの増加はこの直線の傾きよりははかり大きかった。

2) 35~95%RH の5種類の相対湿度においてスパンデックスの応力-ひずみ曲線を求めた。この範囲でモジュラス E を直線近似したところ、 $E = E_{65}(1 + K_H \Delta H)$ の関係を得た。ここで E_{65} は 65%RH におけるモジュラス ($= 8.0 \times 10^{-3}$ N/tex)、 K_H は相対湿度 1% の変化に対するモジュラスの変化の程度を表す係数 ($= 7.2 \times 10^{-3}$)、 ΔH は 65%RH からの湿度の差である。

3) $1.67 \times 10^{-3} \sim 147 \text{ s}^{-1}$ の7種類のひずみ速度においてスパンデックスの応力-ひずみ曲線を求めた。この範囲でモジュラス E を直線近似したところ、 $E = E_1(1 + K_V \log \epsilon)$ の関係を得た。ここで E_1 はひずみ速度 1 s^{-1} におけるモジュラス ($= 1.0 \times 10^{-2}$ N/tex)、 K_V は 1けたのひずみ速度の変化に対するモジュラスの変化の程度を表す係数 ($= 1.2 \times 10^{-1}$) を表す。

(平成6年6月7日受理)

(平成6年10月3日審査終了)

1. 緒言

スパンデックスと総称されるポリウレタン系の高弾性繊維はスポーツ人口の拡大などによってますます身近なものになっている。ところで、スポーツウェアとして着用したとき、あるいはカバード糸製造を初めとする製布工程での糸のひずみ速度（変形速度）は $1s^{-1}$ 以上の動的な場合が多い。スパンデックスは高い弾性を利用されているが、ゴム同様、粘性の影響も大きく、機械的性質に及ぼす温度やひずみ速度の影響が大きいと考えられる。このような材料の力学的解析を行う場合、JISで規定されている標準状態（20℃、65%RH）における低ひずみ速度（ひずみ速度 $10^{-2}s^{-1}$ 程度）での引張試験によって得られる応力—ひずみ曲線に対して、引張条件（温度・湿度・ひずみ速度）の影響はどの程度かを把握しておく必要がある。

我々はこれまでポリエステルフィラメント糸の応力—ひずみ曲線に及ぼすひずみ速度の影響を明らかにしてきた^{1,2)}。本研究ではこれまで開発してきたポリエステルフィラメント糸に対する高速引張試験の手法をスパンデックスに適用する場合の問題点について検討し、さらにスパンデックスの応力—ひずみ曲線に及ぼす温度、湿度、ひずみ速度の影響を明らかにするために行った引張試験結果について報告する。

2. スパンデックスの応力—ひずみ曲線

スパンデックスの力学的特徴は、破断伸びが大きく、弾性率が低いことにある。図1(a)に試料長50mmのスパンデックス46.7tex（旭化成工業製ロイカ420D）糸を定速伸長型の万能試験機（オリエンテック製テンシロンRTM）によって引張速度500mm/minで引っ張った場合の公称応力—公称ひずみ曲線の全体図を示す。Aは自然長から初期ひずみを与えないで引張した結果である。公称ひずみ90%程度からは把持部でのすべりの影響がみられた。一方、一般の合繊フィラメント糸に対してJIS³⁾に規定されているテックスあたり2.94mN（デニールあたり1/30gf）に近い157mNの初荷重を与えて（弾性率の低いスパンデックスの場合には初荷重として適当ではないであろうが）同一条件で引張試験を行った結果がBである。Aの応力—ひずみ関係より、Bの場合の初期ひずみは65%程度と見積もられ

る。すなわち、Bの実験では自然長30mm程度の糸を引っ張っていることになり、Aの曲線とは大きく異なる形状を示している。このようにわずかの初荷重であっても引張試験結果に及ぼす影響は大きく、スパンデックスの応力—ひずみ曲線を求める上で注意を要する点であろう。これに対し、以下の関係より求めた真応力—対数ひずみ曲線を図1(b)に示す。すなわち、公称ひずみ、公称応力、対数ひずみ、真応力をそれぞれ ϵ_N , σ_N , ϵ_L , σ_A とすると、

$$\epsilon_L = \ln(1 + \epsilon_N) \quad (1)$$

$$\sigma_A = \sigma_N \cdot (1 + \epsilon_N) \quad (2)$$

ただしBの場合には（真応力の概念から当然のことであるが）、引張前に65%の初期ひずみを与えられているものと考えて、

$$\epsilon_L = \ln[1.65 \cdot (1 + \epsilon_N)] \quad (1')$$

$$\sigma_A = \sigma_N \cdot 1.65 \cdot (1 + \epsilon_N) \quad (2')$$

の関係より真応力—対数ひずみ曲線を求めた。図1(b)においてAの曲線では対数ひずみ2.3 ($\ln[1+9] = 2.3$) 以上のデータは把持部のすべりの影響によ

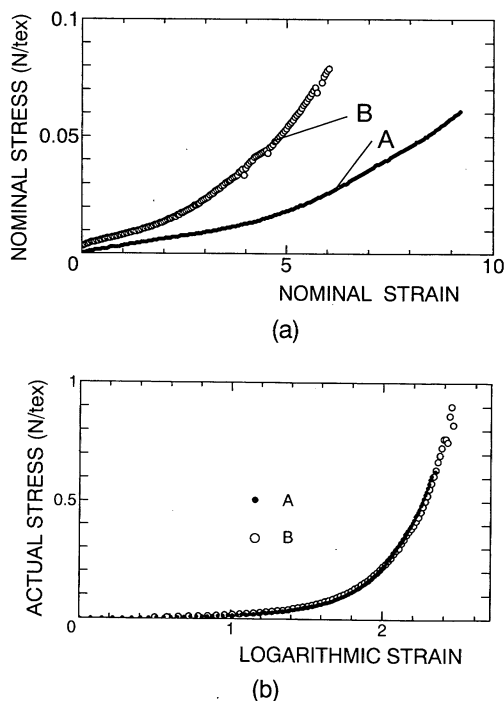


Fig. 1 Stress-strain curves of Spandex 46.7 tex yarn
 A : Tensile from natural length
 B : Tensile from 157mN in initial loading
 (a) Nominal stress—nominal strain curves
 (b) Actual stress—logarithmic strain curves

り、またBの曲線では対数ひずみ $0.5 (\ln [1+0.65] = 0.5)$ 以下のデータは初荷重の影響によりそれぞれ求められていないが、それ以外の部分では両曲線はほとんど一致しており、Bの手法によっても正しい応力-ひずみ曲線が求められることが分かった。

ところで、スパンデックスをカバード糸の芯糸として使用する場合、カバード糸製造工程で3倍程度のドラフト（対数ひずみでは1.4程度）を与えて糸を作成し、これを収縮させて製品とする^{4,5)}。この場合、製造工程の張力解析のためにも、また製品の力学的解析のためにも、糸の自然長に対して3倍程度のときの応力-ひずみ関係が重要な意味を持つ。Aの試験でもBの試験でも正しい応力-ひずみ曲線が得られるが、Aの場合には公称ひずみ900%程度（対数ひずみで2.3）以上の情報が得られず、Bの場合には公称ひずみ65%（対数ひずみで0.5）以下の情報が得られない。実験技術の上からはまったく予ひずみを与えないAの引張試験よりは一定の初荷重を与えるBの引張試験の方が再現性の良いデータを得やすい。しかも後述の衝撃引張試験ではある程度の初荷重を与える方が都合がよい。また、スパンデックスの材料強度を理論的に論ずる場合には真応力-対数ひずみ関係が重要になるが、加工工程等の現場で用いるためには公称応力-公称ひずみ関係の方が直感的に理解しやすい。しかも両関係はいつでも(1)および(2)式の関係を用いて変換することが可能である。以上のようなことから本研究では、以後Bの手法により引張試験を行い、その結果を公称応力-公称ひずみ曲線によって整理することにする。

3. スパンデックスの応力-ひずみ曲線に及ぼす環境温度の影響

スパンデックスの応力-ひずみ曲線に及ぼす温度の影響を知るために種々の環境温度において引張試験を行った。試料にはロイカ46.7tex (420D；無負荷状態で線密度を測定したところ47.2texであった)を用いた。試験は293K (20°C)、65%RHの恒温恒湿室中に、恒温槽（オリエンテック製TCF-R2型）を組み合わせた定速伸長型の万能試験機（オリエンテック製テンシロンRTM）を設置し、長さ50mm（初荷重を与えた状態で）の試料を速度50mm/minで引っ張った。このときのひずみ速度は $1.67 \times 10^{-2} \text{s}^{-1}$ (100%/min) となる。初荷重としてはボックスあたり2.94mNに相当する157mNを与えた。恒温槽内の温度は243, 253, 263, 273, 293,

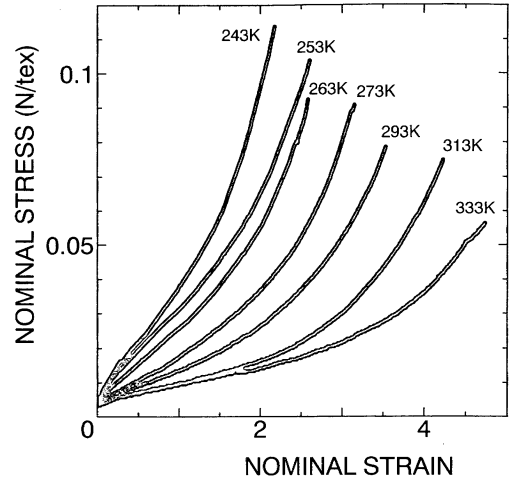


Fig. 2 Stress-strain curves of Spandex yarn for several kinds of temperature

313, 333K (-30, -20, -10, 0, 20, 40, 60°C) の7種類に設定した。引張試験は恒温槽内が所定の温度に達してから5min後に開始した。引張試験機から出力された荷重信号は、デジタルメモリー（岩崎通信機製DM-7100）を経て時間の関数としてパーソナルコンピュータ（NEC製PC9801DX）に取り込まれる。

図2に各環境温度におけるスパンデックスの応力-ひずみ曲線を示す。図中の293Kに対する曲線が図1(a)のBの曲線に比べて小さいひずみまでしか求められていないが、これは図2の各曲線を求める引張試験が恒温炉内用のチャックを用いて行われたため、エアチャックを用いた図1の実験よりは小さなひずみで把持部の滑りが生じたと考えられる。

各曲線は環境温度の減少に伴い、大きく立ち上がっている。温度の変化による応力-ひずみ関係の変化を簡便に表現するために以下のようにしてモジュラスEを導入した。すなわち、公称ひずみ150%（このとき糸は初荷重の影響により自然長に対して4.2倍に引き伸ばされている）と公称ひずみ50%の（同じく2.5倍に引き伸ばされている）ときの応力の差をEと定義する。これは前節で述べた自然長に対して3倍程度の応力-ひずみ関係を含み、しかも見掛け上、ひずみ1に対する応力値の差、すなわち曲線の変化率を表すことになる。各環境温度におけるモジュラスEを図3に示した。Eは環境温度の減少関数であることが分かる。図3の各測定点を直線で近似するにはかなり無理があるが、常温付近でのモ

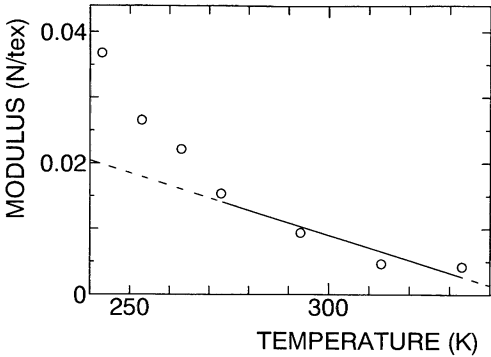


Fig. 3 Relation between modulus and temperature

ジュラスの変化を直観的に把握するため、273~333 Kにおける環境温度の変化 ΔT に対する E の変化を最小2乗法により直線近似したところ、以下の式を得た。

$$E = E_{20} (1 + K_T \Delta T) \tag{3}$$

ここで E_{20} は室温 293K におけるモジュラス、 K_T は環境温度 1K の変化に対する E の変化の程度を表す係数、 ΔT は 293K からの温度の差である。図3の実線から、 $E_{20} = 1.0 \times 10^{-2} \text{N/tex}$ 、 $K_T = -1.8 \times 10^{-2} \text{K}^{-1}$ が求められた。

E は環境温度の上昇に伴って直線的に減少し、273K 以下ではさらにその直線よりも減少の程度が大きくなった。より広い温度範囲でのスパンデックスの弾性率の変化を調べるために行った動的粘弾性の測定結果の一例を図4に示す。オリエンテック製レオパイブロン DDV01 を用い、41mN の初荷重を与えた試料長 20mm のロイカ 46.7tex 糸に振幅(ピーク—ピーク) $20\mu\text{m}$ の正弦波を加えた場合の各温

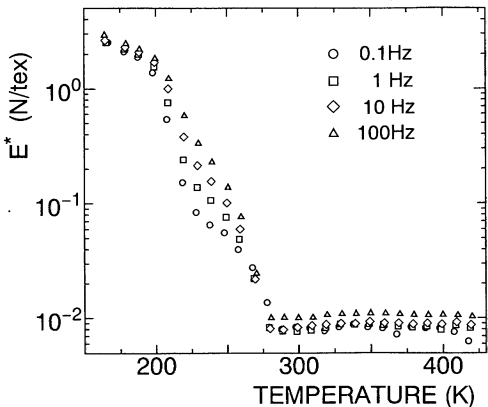


Fig. 4 Relation between complex modulus E^* and temperature

度における複素弾性率 E^* を求めた。測定温度範囲は 163~423K ($-110 \sim 150^\circ\text{C}$)、昇温速度は 2K/min に設定し、加振周波数は 0.1, 1, 10, 100Hz の 4 種類に設定した。図4の各測定点は 273K 以上ではほぼ一定(縦軸が対数目盛のため一定にみえるが、実際には温度の上昇に伴ってわずかに減少している)、173~273K ($-100 \sim 0^\circ\text{C}$) の範囲で温度の上昇に伴って大きく減少しており、223K (-50°C) 付近で最も大きく変化している。

図4の測定では再現性を優先して小さな初荷重で E^* を求めたため、図3と直接比較することはやや無理があるかもしれないが、図3の試験の結果においても、図4の 273K 以下での場合と同様な、温度の低下に伴う急激なモジュラスの上昇が観察されたものと考えられる。種々の初荷重における動的粘弾性のデータを含め、動的粘弾性と種々の温度・ひずみ速度における引張試験の関係については別の機会に詳しく論じたいと考えており、本報では(図3の結果の説明のための)一部の結果の報告にとどめる。

4. スパンデックスの応力—ひずみ曲線に及ぼす相対湿度の影響

スパンデックスの応力—ひずみ曲線に及ぼす相対湿度の影響を知るために種々の相対湿度において引張試験を行った。試料および温度・湿度以外の実験条件は前節と同様である(ただし恒温槽は用いていないので、試料の把持にはエアチャックを用いている)。室温は 293K (20°C) で一定に保ち、相対湿度を 35, 50, 65, 80, 95%RH および水中浸漬の 6 種類に変化させた。湿度は引張試験機の設置してある恒温恒湿室全体の湿度を制御することによって変化させ、室内が所定の湿度に達してから 2 時間後に引張試験を開始した。水中浸漬の試料は 20°C の水中に試料を 2hr 浸漬した後、試料が濡れたままの状態で行張試験を行った。

図5に各相対湿度におけるスパンデックスの応力—ひずみ曲線を示す。各曲線の差は前節の環境温度の場合ほど顕著ではないが、相対湿度の増加に伴って立ち上がっている。この差を定量的に表現するために温度の場合と同様に、各相対湿度におけるモジュラス E として図6に示した。前節の場合と同様に 35~95%RH における相対湿度の変化 ΔH に対する E の変化を最小2乗近似したところ、以下の式を得た。

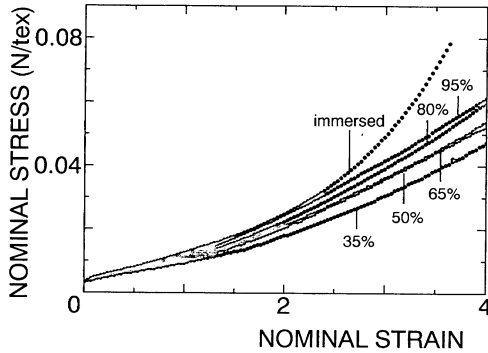


Fig. 5 Stress-strain curves of Spandex yarn for several kinds of relative humidity

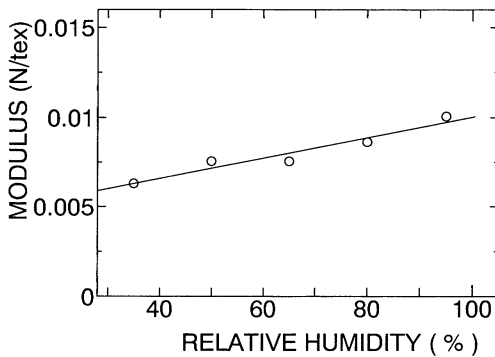


Fig. 6 Relation between modulus and relative humidity

$$E = E_{65} (1 + K_H \Delta H) \quad (4)$$

ここで E_{65} は 65%RH におけるモジュラス, K_H は相対湿度 1% の変化に対する E の変化の程度を表す係数, ΔH は 65%RH からの湿度の差である。図 6 の実線から, $E_{65} = 8.0 \times 10^{-3}$ N/tex, $K_H = 7.2 \times 10^{-3}$ が求められた。本報では相対湿度によるスパンデックスの吸湿度や自然長の増減等については検討していない。今後これらの点について新たなデータが得られた場合には改めて報告したい。

5. スパンデックスの応力—ひずみ曲線に及ぼすひずみ速度の影響

スパンデックスの応力—ひずみ曲線に及ぼすひずみ速度の影響を求めめるため、衝撃域を含む種々の引張速度において引張試験を行った。ひずみ速度は 1.67×10^{-3} , 1.67×10^{-1} , 1.67×10^1 , 19, 47, 98, 147 s^{-1} の 7 種類に変化させた。ひずみ速度が $1s^{-1}$ 以下の低速域での引張試験では定速伸長型の万能試験機 (オリエンテック製テンシロン RTM) を用い、長さ

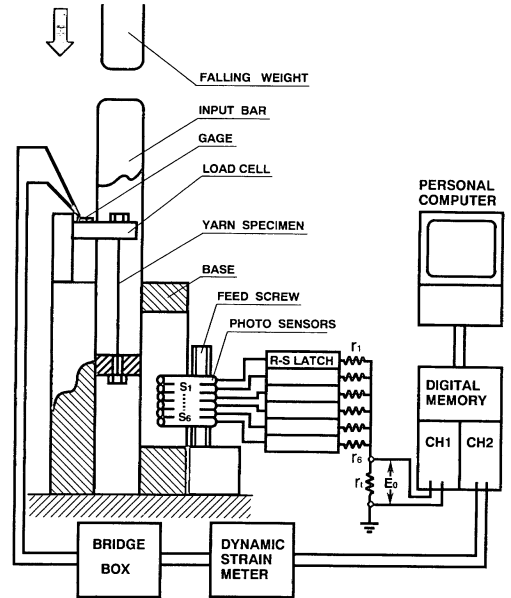


Fig. 7 Schematic diagram of impact tensile test

50mm の試料をそれぞれ 5, 50, 500mm/min の一定速度で引張った。ひずみ速度が $1s^{-1}$ 以上の高速域ではポリエステルフィラメント糸の場合^{1,2)}に準ずる方法で引張試験を行った。以下にその実験方法を簡単に述べる (詳細は文献 1, 2 参照)。図 7 に示すように、ロードセルと入力棒の間に、上下端をアルミ小片に接着した糸試料を取り付ける。一定の高さからガイドを介して重りを落下させ、入力棒に衝撃速度を与えて糸を引っ張る。ロードセルの固定端付近に貼付されたひずみゲージ (共和電業製 KSP-1-350) によって検出された荷重波形はブリッジボックス、動ひずみ計 (共和電業製 CDV-230C) を経てデジタルメモリー (岩崎通信機製 DM-7100) に記録される。入力棒下端が光電センサー列 $s_1 \sim s_6$ を横切った時間間隔をデジタルメモリーで計測することにより入力棒の平均落下速度を求め、これを時間積分して試料の伸びとした。

大変形のスパンデックスをアルミ小片に接着するには工夫を要した。すなわち、あらかじめひずみを与えずに糸を小片に接着した場合、引っ張りによる断面の減少により、公称ひずみ 100% 以下で糸が小片からすり抜けてしまった。このため、標点間 20mm のロイカ 46.7tex 糸を 3 本引き揃え、50mm に伸ばして固定し、これをエポキシ樹脂によってアルミ小片に接着した。樹脂が硬化した後、予ひずみを取り除いて 20°C, 65%RH の恒温恒湿室内で 24hr

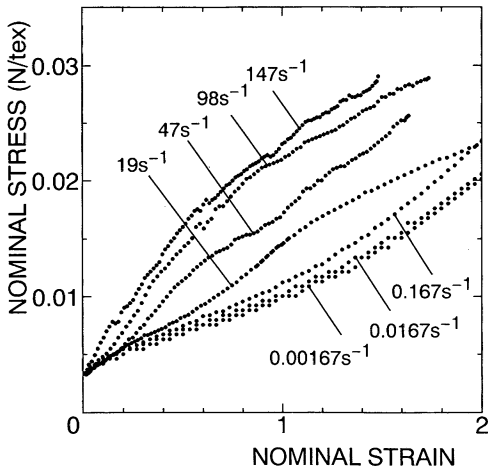


Fig. 8 Stress-strain curves of spandex yarn for several kinds of strain rate

弾性回復させた。この試料を衝撃引張装置に取り付けたとき、入力棒の自重 0.47N は試料糸 1 本当たり 157mN の初荷重に相当する。ただしこのときの引張前の試料長は 33mm であったので、他の引張試験とは実験条件が若干異なることになる。

図 8 に各ひずみ速度におけるスパンデックスの応力-ひずみ曲線を示す。高速引張試験でのスパンデックスの応力は公称ひずみ 2 までさえ求められていないが、これは接着部付近以外で破断した試料のデータを用いているため、チャッキングの影響ではなく、ひずみ速度の増加に伴って破断ひずみが減少したことによると考えられる。

各曲線はひずみ速度の影響を受けて変化している。この差を定量的に表現するために温度や湿度の場合と同様に、各ひずみ速度におけるモジュラス E として図 9 に示した。温度や湿度の場合と同様に、ひずみ速度の常用対数 $\log \dot{\epsilon}$ に対する E の変化を最小 2 乗法により直線近似したところ、次の式を得た。

$$E = E_1 (1 + K_v \log \dot{\epsilon}) \quad (5)$$

ここで E_1 はひずみ速度 $1s^{-1}$ におけるモジュラス、 K_v は 1 けたのひずみ速度の変化に対するモジュラスの変化の程度を表す係数を表す。図 9 の実線から、 $E_1 = 1.0 \times 10^{-2} N/tex$ 、 $K_v = 1.2 \times 10^{-1}$ が求められた。

6. 考察

(3) 式の $\Delta T = 0$ の場合と (4) 式の $\Delta H = 0$ の場合はそれぞれ環境温度 273K、相対湿度 65%RH、ひずみ速

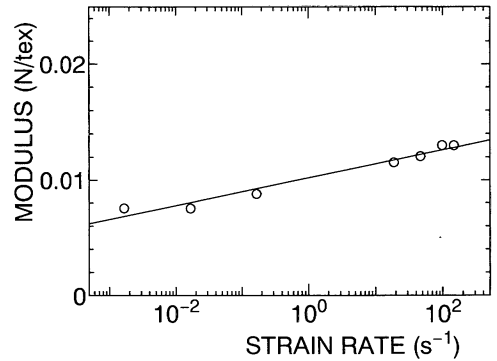


Fig. 9 Relation between modulus and strain rate

度 $1.67 \times 10^{-2} s^{-1}$ におけるモジュラスを表現しているので、同じであるべきであるが、上記チャッキングによる実験条件の違いの他、直線近似の影響を受け、2 割近く E の差が出ている。このように最も基本的な試験である引張試験においても、細かな実験条件の差によって結果に思わぬ差を生じてしまう。しかし、それぞれの実験条件では応力-ひずみ関係の再現性も比較的良好であり、(3)~(5)式はそれぞれの条件が応力-ひずみ曲線に及ぼす影響を知る上で有用であると考えられる。

これらの式の係数より、標準状態付近で 5.5K の環境温度の低下、14%の相対湿度の上昇あるいは 0.85 けたのひずみ速度の上昇によりスパンデックスの E が 1 割増加することが分かる。言い換えると、1 けたのひずみ速度の増加は 6.4K の環境温度の低下あるいは 16%の相対湿度の上昇に相当する。この関係によると、本報の最大のひずみ速度 $147s^{-1}$ は標準のひずみ速度 $1.67 \times 10^{-2} s^{-1}$ に対して 4 けた程度大きなひずみ速度であり、温度に換算すると、標準の 293K より 20K 低い 273K 程度での応力-ひずみ関係に相当することになる。図 3 において 273K 以下では温度の減少に伴うモジュラスの減少の割合が大きくなっており、さらに図 4 ではこの領域で周波数 (すなわちひずみ速度) の影響も大きく現われている。現有的実験装置ではこれ以上のひずみ速度を得ることは困難であり、モジュラスの急変が観察できなかったことは残念ではあるが、今後低温環境での衝撃引張試験等により、モジュラスの急変が確認された場合、改めて報告したいと考える。

7. 結 言

本研究ではスパンデックスの応力-ひずみ曲線に及ぼす温度、湿度、ひずみ速度の影響を明らかにす

るため、種々の温度、種々の湿度、衝撃域を含む種々のひずみ速度において引張試験を行い、応力-ひずみ曲線を求めた結果、以下の結論を得た。

1) 243~333K (-30~60°C) の7種類の環境温度においてスパンデックスの応力-ひずみ曲線を求めた。273~333K のモジュラス E を直線近似したところ、 $E = E_{20} (1 + K_T \Delta T)$ の関係を得た。ここで E_{20} は室温 293K におけるモジュラス ($= 1.0 \times 10^{-2}$ N/tex), K_T は環境温度 1K の変化に対するモジュラスの変化の程度を表す係数 ($= -1.8 \times 10^{-2} K^{-1}$), ΔT は 293K からの温度の差である。273K 以下での温度の減少に伴うモジュラスの増加はこの直線の傾きよりはかなり大きかった。

2) 35~95%RH の5種類の相対湿度においてスパンデックスの応力-ひずみ曲線を求めた。この範囲のモジュラス E を直線近似したところ、 $E = E_{65} (1 + K_H \Delta H)$ の関係を得た。ここで E_{65} は 65%RH におけるモジュラス ($= 8.0 \times 10^{-3}$ N/tex), K_H は相対湿度 1% の変化に対するモジュラスの変化の程度を表す係数 ($= 7.2 \times 10^{-3}$), ΔH は 65%RH からの湿度の差である。

3) $1.67 \times 10^{-3} \sim 147 s^{-1}$ の7種類のひずみ速度においてスパンデックスの応力-ひずみ曲線を求めた。この範囲のモジュラス E を直線近似したところ、 $E = E_1 (1 + K_V \log \dot{\epsilon})$ の関係を得た。ここで E_1 はひずみ速度 $1 s^{-1}$ におけるモジュラス ($= 1.0 \times 10^{-2}$ N/tex), K_V は 1 けたのひずみ速度の変化に対するモジュラスの変化の程度を表す係数 ($= 1.2 \times 10^{-1}$) を表す。

本研究の一部は平成4年度、5年度および6年度の日本繊維機械学会年次大会研究発表会において発表した。

なお、本研究は平成4年度日本繊維機械学会学術奨励金の援助を受けた。記して謝意を表す。また、実験に協力頂いた山本賢司君（現在の所属；村中医療器備）および赤星智也君に感謝する。

文 献

- 1) 喜成, 放生, 新宅, 岩木; 織学誌, 46, 311 (1990)
- 2) 喜成, 放生, 新宅, 岩木; 織機誌, 44, T118 (1991)
- 3) JIS L 1013 (1992)
- 4) 吉村, 新宅, 岩木, 高山; 織機誌, 23, T90 (1970)
- 5) 新宅, 喜成; 織機誌, 42, P239 (1989)