

網糸の研究 (III)

合成繊維の性質について(2)*

深沢文雄・増崎謙二

Study on the Netting-cords—III

On the Mechanical Properties of Synthetic-fiber—2

By

Fumio FUKAZAWA and Kenji MASUZAKI

In the previous paper about the series of this study, we reported the mechanical properties of Amilan and Saran. As the results of the experiment, the relation between Young's modulus and time is given by

$$\exp(E) = \gamma \exp(-\log t/\lambda) \quad \text{--- (A)}$$

where γ and λ are constants for the different matters, λ is called the relaxation of time. This paper deals with the mechanical properties of Vinylon which were observed under the similar experimental conditions. In the case of Vinylon, it was found that the equation (A) was applicable.

緒言

一般の金属等の弾性体の示す力学的性質と合成繊維のような高分子化合物が示す力学的性質とは非常に異なる。その差異は種々の原因によつて起るのであるが、特に時間によつて大なる影響を受けるからである。MAXWELL (1867), BOLTZMANN (1876), KUHN (1933) 等の考えによる緩和現象の緩和時間を考慮しなければならない。さきに著者等は昭和 27 年秋の北海道函館に於ける水産学会で、合成繊維のアミラン、サラン(塩化ビニリデン)について上記緩和時間を考慮してヤング率等の実験結果を発表した。従来ビニロン繊維は短繊維のものが多かつたのでその力学的性質をアミラン等と厳密に比較することが出来なかつたが今回長繊維のビニロンが入手出来たので、第一報と同様な静荷重の引張試験を行つた。勿論ビニロンも高分子化合物であるためアミラン等と同一の考慮の下に実験したのであるが理論は第一報で述べたのでここでは省略するが MAXWELL の関係式だけをあげると

$$d\sigma/dt = E d\varepsilon/dt - \sigma/\lambda$$

ε は歪、 σ は応力を示し E , λ は物質による常数である。 ε が一定なるときは σ は時間と共に指数函数的に減少するが時間が λ だけ経つと σ は元の値の $1/e$ となる。従つて λ は時間の次元を有する定数で緩和時間と名付けられるものである。

* 水産講習所研究業績 第81号。

実 験

本実験の資料は下関市日本漁網株式会社提供のビニロン280dで繊維の直径は
 $0.0261 \pm 0.00175 \text{mm}$

であつた。静荷重引張の測定にはキモグラフ、移動顕微鏡、カセットメータを使用した。

1) 歪 ϵ と時間 t との関係は(第1図)指数函数的変化をなし、 $d\epsilon/dt$ は各応力の大小によつて時間は異なるが大體一定値に達する。 $d\epsilon/dt$ の値を各繊維について比較してみる

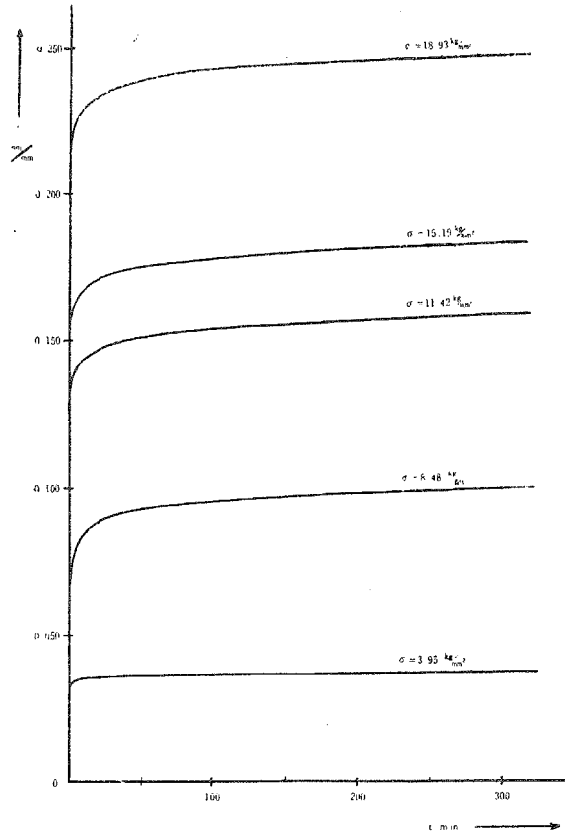


Fig. 1. Relation between strain and time of Vinylon.

と(第1表)アミラン、ビニロンはサランより速かに落ち着くことが示される。第1図に示される $\epsilon-t$ 曲線の実験式は

$$\epsilon = \lambda\sigma / (-\log t + \lambda r')$$

で表わされ、 λ 、 r' は物質による常数である。本実験式は第一報で得られたアミラン等の実験式と同一である。本実験で使用したビニロン繊維では

$$\lambda = 2.4 \times 10^{-3} \text{sec} \quad r' = 99.10$$

Table 1. Relation between σ and $d\epsilon/dt$.

Substance	σ (kg/mm ²)	$d\epsilon/dt$ (mm/min)	Time (min)
Amilan	16.7	2×10^{-5}	300
Saran	15.3	5×10^{-5}	300
Vinylon	15.2	1×10^{-5}	300

であつた。合成繊維では HOOK の法則を満足する弾性限界と考えられる部分は非常に小範囲で厳密に考えれば $\epsilon - t$ 或は $\epsilon - \sigma$ 曲線はゴムのそれらの曲線が示す S 字型の傾向を有するのであるが実用上に於ては第 1, 3 図に示すような曲線として差支えない。

2) $d\epsilon/dt$ と σ との関係は (第 2 図) $d\epsilon/dt$ が塑性域に於ては MAXWELL の式より応力 σ を一定におくと

$$d\epsilon/dt = \sigma / (\lambda E) \text{ 或は } \epsilon = Et/\lambda$$

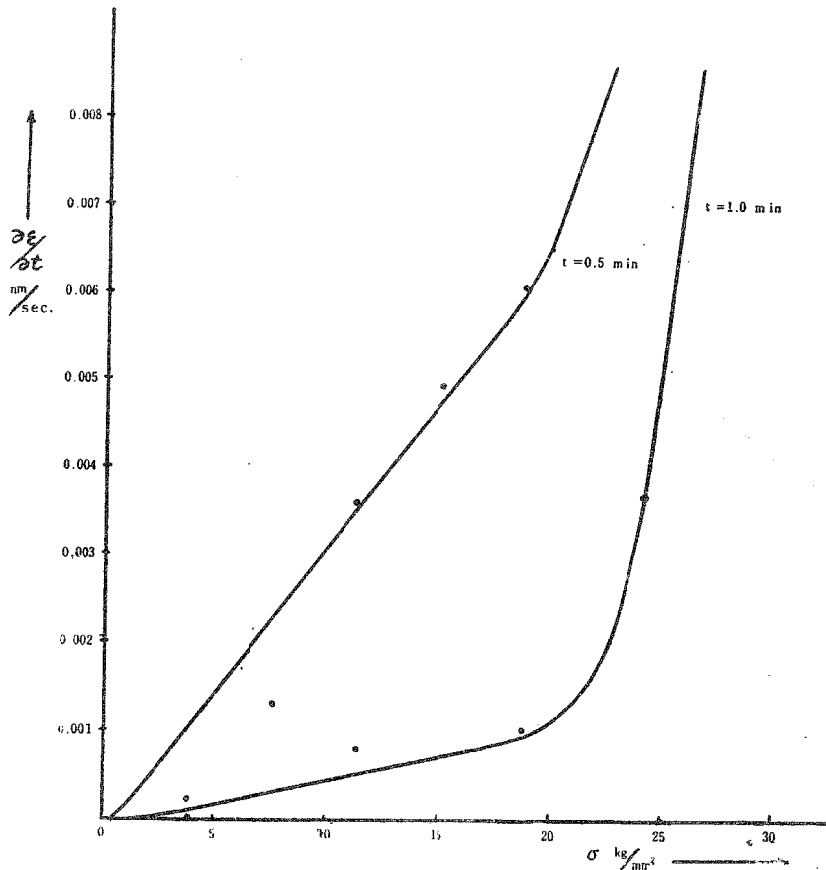


Fig. 2. Relation between stress and $d\epsilon/dt$.
•: observed value.

となり歪は一定の速さで増すことになる。歪が上式で与えられるときは匍匐は粘性流体の変形と同一種のもと考えられる。即ち NEWTON の粘性法則の式と一致する。NEWTON の関係式は

$$du/dt = 1/\eta \times Xy$$

で、 Xy は y 軸に垂直な層のズレを表わし η は粘性係数、 u は粘性流体の層流に於ける流れの速度である。一般に高分子化合物では

$$d\epsilon/dt = (\sigma - \sigma_0)^n / \eta, \quad \sigma_0: \text{下限降伏点}$$

の形で与えられ、これは OSTWALD によれば構造粘性と呼ばれる場合に相当するのである。ビロンの場合も $d\epsilon/dt - \sigma$ 曲線は σ が大となると粘性流の場合と同一で $n = 1$ となり、 σ の小さい範囲では $n > 1$ で σ の増加に従い n は 1 に近づくのである。 σ_0 下限降伏点は非常に小さい値であるので

$$d\epsilon/dt = (\sigma - \sigma_0)^n / \eta \approx \sigma^n / \eta$$

として計算すると η の値は
 ビニロン : $0.60-0.83 \times 10^7$ kg sec/cm³
 アミラン : $1.04-1.07 \times 10^7$ //
 サラン : $0.73-0.76 \times 10^7$ //
 (但し $t=1.0$ min)

となる。

3) 応力 σ と歪 ϵ との関係は (第3図) σ が $14-15$ kg/mm² の範囲内では大体直線関係を

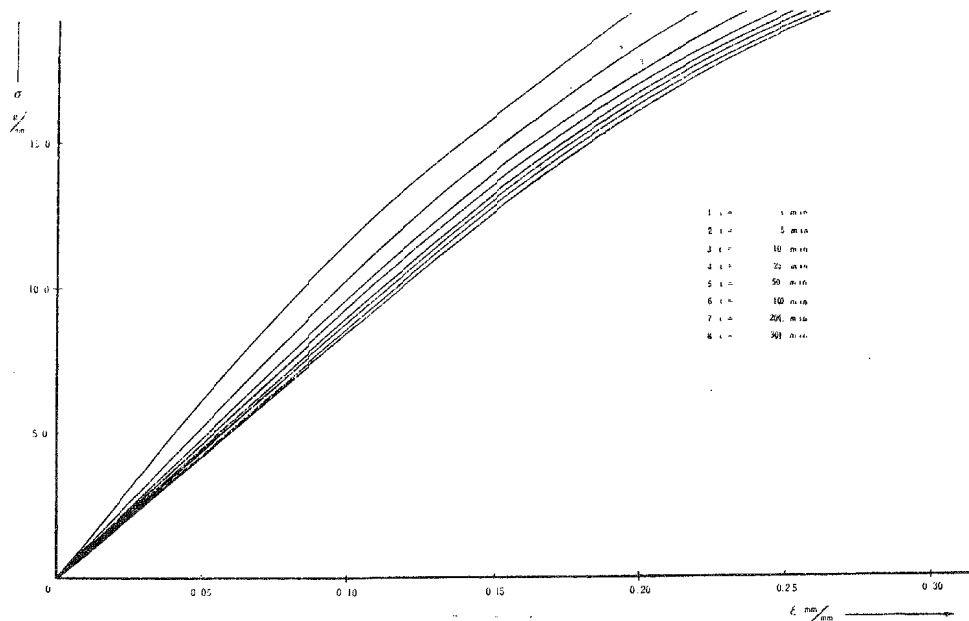


Fig. 3. Relation between strain and stress of Vinylon.

満足している。 $\epsilon - \sigma$ 曲線の実験式は実験 (1) のそれと同一な

$\sigma = - \epsilon \log t / \lambda + r'$
 で表わされる。即ち時間 t によつて $\sigma - \epsilon$ 関係が異なり、一般弾性体と比較して HOOK の法則を満足する範囲内に於て任意の時刻に対する $\epsilon - \sigma$ 曲線が得られる。

4) ヤング率 E と時間 t との関係は (第4図) 実験 (1), (3) で示されるように指数函数的変化でなければならない。今各応力に対する E が同一時

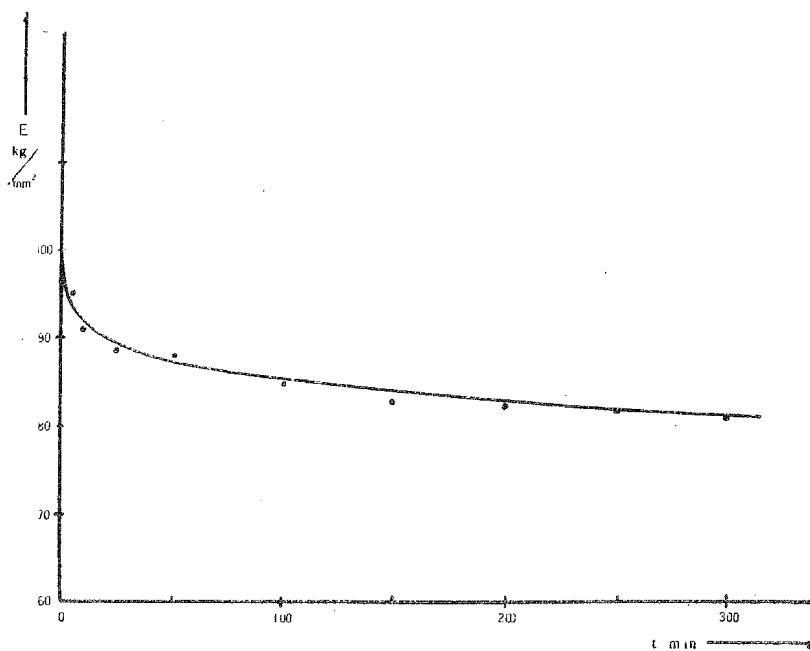


Fig. 4. Relation between Young's modulus and time of Vinylon.
 ∴ observed value.

刻に於ては一定であると考えれば実験(3)よりヤング率の時間的变化が求められる。その実験式はアミラン等と同様に

$$\exp(E) = \gamma \exp(-\log t/\lambda)$$

$$\text{但し } \log \gamma = \gamma' \log e$$

で表わされる。 λ , γ は物質による常数である。本実験で使用した試料では

$$\lambda = 2.4 \times 10^{-3} \text{ sec}$$

$$\log \gamma = 43.038$$

であつた。上式に於て $t \rightarrow 0$ に近づくときは、 $E \rightarrow E_{\infty}$ (瞬間的ヤング率) となる。即ち衝撃力の加えられた場合で、 $t \rightarrow \infty$ になるときは $E \rightarrow E_0$ (静的ヤング率) となる。

考 察

以上の実験結果と第 I 報の実験よりアミラン、ピニロン、サランのヤング率の時間的变化は実験式

$$\exp(E) = \gamma \exp(-\log t/\lambda)$$

で表わされ、この式よりの計算値と測定値とがよく一致することが判つた。一般に高分子化合物のヤング率としては、 $(E_0 + E_{\infty})/E_{\infty}$ の値で示している。即ち E_{∞} は準静的にセニメータにより衝撃破壊時の値をとり、 E_0 は音波の共鳴より求められる動的ヤング率をもつて近似的に用いている。然し実用上に於ては各時刻によるヤング率を用いるほうが正しい結果が得られる。更に我々が使用した今迄の試料による各繊維の常数值 (第2表) は λ について考えれば、

Table 2.

Substance	λ (sec)	γ'	$\log \gamma$
Amilan	1.93×10^{-3}	172.55	74.937
Saran	0.94×10^{-3}	120.50	52.332
Vinylon	2.42×10^{-3}	99.10	43.038

他の有機化合物の緩和時間の値が既往の文献によれば $0.3 \sim 1.7 \times 10^{-3} \text{ sec}$ 程度であるから、我々の得た値は大體妥当と思われる。 λ の性質としては λ が大になれば E の時間的变化の割合は小さくなるので、サランよりアミラン、ピニロンの dE/dt は小となる。 e^{-t} 曲線より見ると $d\epsilon/dt$ が一定と見做される迄の経過時間はアミラン、ピニロンが大體同一時間で一定となり、サランは両者に比べて約1.5倍の経過時間を必要とするので弾性体の性質としてはサランよりアミラン、ピニロンの方がよいように思えるが其の他の弾性的の性質を調べてみなければ簡単にその優劣を断定することは危険である。又一般に抗張力試験機では応力、歪の関係は荷重の積算及び時間の考慮が適確でないため緩和時間を考慮した場合に比較して大なる値を示す傾向にある。従つて合成繊維の弾性的性質を考究するときは何れの場合に於ても緩和現象を考慮しなくてはならない。

文 献

- 1) 岡 小天：1944. 無定形固体及液体の弾性、可塑性、粘性に関する最近の研究、物理学講演集

- (3) (文部省, 学術研究会議共編), 279~288, 丸善, 東京.
- 2) 関 小天: 1951. 高分子物理学概説, 分子物理学 (小谷正雄編), 170~196, 共立出版, 東京.
 - 3) 日本化学会: 1952. 化学便覧, 897~899, 丸善, 東京.
 - 4) 田内森三郎: 1949. 水産物理学, 朝倉書房, 東京.
 - 5) 俣野仲次郎: 1944. 繊維物理学, 紡織雑誌社, 大阪.
 - 6) 根岸道治. 伊藤平八郎: 1951. 繊維の衝撃引張りに関する研究, 第四報, 繊維の内部粘性係数と流動の緩和時間について, 繊維学会誌, 7 (7), 365~368.
 - 7) 深沢文雄. 増崎謙二: 1953. 網糸の研究 (I), 合成繊維の性質について (1), 日本水産学会誌, 18 (10), 472~477.