〔60〕 三酢酸セルロース皮膜の破断に関する研究

第1報 高速引張り試験機の試作

(1960年1月28日受理)

中村孝一*・今野英雄*

要 旨 0.8~4 m/sec の引張り速度で、セルロース誘導体皮膜の引張り試験を行なうことが可能な装置を試作した。この装置によって、破断強伸度・降伏点および破断エネルギーなどの実測が可能である。

1. 緒 言

各種高分子物の破断強伸度が、引張り速度によって変わることは、よく知られた事実である。したがって、引張り速度が遅い(数 cm/min 程度)通常のショッパーなどで求めた強伸度から、高速度で衝撃的に力が加わった場合の挙動を予測することはあまり意味がない。そこで、それぞれの目的とするタイム・スケールに応じた測定が必要となる。

近年、三酢酸セルロース(以下三酢と略称)皮膜が映画用フィルムベースとして工業化され、使用されるに至って、その耐衝撃性が問題となった。一般の営業用映写機にあっては、フィルムは毎秒 3.6 m/sec の引張り速度で引張り力を受ける。したがって、その場合における強伸度を知るためには、そのタイム・スケールの近傍での測定が必要である。そこで筆者らは、主としてセルロース誘導体皮膜の測定を主目的として、0.8~4 m/sec の引張り速度が得られ、荷重-伸度曲線を記録できる衝撃引張り試験機を試作した。従来市販されているものは、繊維用あるいは、プラスチック用として設計されたものが多く、写真フィルム用として、必ずしも適当ではないからである。

2. 装置の概要

2.1 原理

初等力学の教えるところによると、空気の抵抗がないものとする、 h なる高さから自然落下する物体の速度 v は重力の加速度を g とすれば、(1)式で与えられる。

$$v = (2gh)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

したがって v が 0.8~4 m/sec となるためには、 h が 3.3~82 cm でなければならない。すなわち、この場合、重錘を落すことによって簡単に必要とする速度が得られることがわかる。さらに Timoshenko¹⁾ によると次のようになる。 h なる高さから重量 W なる重錘が自由落下し、試料が弾性限界内で δ だけ伸長して停止したとすると、重錘が行なう仕事は $W(h+\delta)$ であって、それが全

第1図 原理図

部試料のひずみエネルギーに変換したとすると、 A を試料の断面積、 E をヤング率、 l を試長とすれば、弾性エネルギーは(2)式で表わされるので、(3)式の関係が成立する(第1図A)。この際、弾性率 E は伸長速度によらないと仮定する。

$$\text{弾性エネルギー} = \frac{A \cdot E \cdot \delta^2}{2l} \quad (2)$$

$$W(h+\delta) = \frac{A \cdot E \cdot \delta^2}{2l} \quad (3)$$

静荷重による伸びを δ_{st} とすれば、(4)式が成立する。

$$\frac{W \cdot l}{A \cdot E} = \delta_{st} \quad (4)$$

(3) と (4) 式から $W \cdot l / A \cdot E$ を消去し(1)式を用いれば(5)式が誘導される。

$$\delta = \delta_{st} + \left(\delta_{st} + \frac{v^2}{g} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

h に比較すると δ_{st} は非常に小さいので(5)式は、(6)または(6')式のようにになる。

$$\delta = \left(\frac{\delta_{st} \cdot v^2}{g} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$$\delta = \left(\frac{W \cdot l \cdot v^2}{A \cdot E \cdot g} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6')$$

* 小西六写真工業株式会社化学研究部(東京都南多摩郡日野町)

また、 δ だけ伸長した際の引張り応力 σ は (7) 式で与えられる。

$$\sigma = \left(\frac{E \cdot W \cdot v^2}{g \cdot A \cdot l} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

σ および δ が、それぞれの破断強伸度よりも大であれば試料は切断する。また、当然のことではあるが、試料が切断するためには重錘のする仕事 $W(h+\delta)$ が試料の破断エネルギーよりも大きいことが必要である。したがって、試料の試長、断面積、ヤング率、初引張り速度、強伸度または破断エネルギーの値がわかれば、必要とする重錘の目方を知ることができる。筆者らは測定対象をセルロース誘導体に置いたので、従来の文献値などから大体の値を推定し落下重錘の重量を決定した。実際の場合、第2図のように試料をつけるのであるが、試料および試料に衝撃力を伝達する棒は質量を持っている。したがって、速度 v で落下する質量 W/g が静止の質量 W_1/g に衝突し、両者が一体となって動く場合の両質量の合速度は

$$v_a = \frac{W \cdot v}{W + W_1} \quad (8)$$

で与えられる。第1図(B)に示したように、衝撃の間上端は停止し、下端は重錘と同一速度で動くのであるから、(8)式で合速度を計算するには棒の実際の質量のかわりに対応質量を考えねばならない。Coxの研究によれば、対応質量は実際の質量の $1/3$ である。すなわち、衝撃の瞬間、重錘および棒の下端は(9)式で表わされる速度で動く。

$$v_a = \frac{W \cdot v}{W + \frac{W'}{3}} \quad (9)$$

ただし W' はロード・セルの可動部分・試料および衝撃伝達棒の重量の和を示す。実際問題として伝達棒に比較して他の重量は無視しうる程度に小さい。 W に比較して棒の重量が十分小となるごとく設計すれば、 v_a と v はほとんど等しくなるが、空気の抵抗も存在するので、棒の下端の速度は理論から予想されるよりも常に小で、試料下端の引張り速度はさらに小となる。したがって理論的に引張り速度を求めることは困難で、後で述べるように実測することにした。

実際には、第1図(B)に示すように上端を固定してロード・セルを吊り下げ、その下に試料をつける。試料の下部に試料に衝撃力を伝える細い鋼鉄の棒を下げ、それについているツメに重錘が引かれるようになっている。さらにその下には試料が切断して下に落ちた場合の衝撃緩和用のばねがある。試料の下端には一端を固定した π ゲージを装着する。 π ゲージにより伸度と時間の関係をロード・セルにより力と時間の関係を記録する。

第2図 装置概要図

2.2 構造

構造の概要を第2図、写真を第3図に示す。以下図および写真につき述べる。

(A)は重錘の位置を変更するためのレバーである。

(B)は重錘落下用のレバーで、これを下に下げることによって、重錘が落下する。

(C)は重錘を上上げるハンドルであって、このハンドルを回転することによって(N)のバネによって回転が(M)の歯車に伝達され(E)の巻き上げラックを上に進めることが可能である。

(D)はステー・ガイドであって重錘はこれに沿って落下するが、重錘は直接これには触接しない。

(E)は重錘上下用ラックであって、この下に(F)および(G)の重錘が装着する。

(H)は安全カバーであって、これを閉じなければ重錘は下に落ちない。

(I)この中に衝撃伝達バー(O)が入っている保持筒で、表面に重錘の高さを示す目盛を刻んである。

(J)装置を水平に保持するための調整ネジである。

(K)カバー内に入っていて、外部より見えないが、ロード・セルであって試料にかかる力を検出する。

(L)は試料であって、標準試長は 10 cm に取るが

第3図(A) 装置の写真

第4図 ストレイン・メーター・ブロック・ダイアグラム

第3図(B) πゲージ

2~15 cm まで変更できるごとくし、試料幅は最大 3.5 cm である。

(M)は重錘の上下を巻き上げラックに伝達する歯車である。

(N)(O)は、いずれも鋼製の棒であって、重錘の上下と衝撃力を伝達する。

(P)は重錘を引かけ、試料を伸長するために棒の下に付けたツメである。

第3図(B)にπゲージの図を示す。この一端を(L)なる試料の裏側の装置の一部分に固定し、他端を試料クランプの下部にかけることによって試料の伸長に比例した不平衡電圧を検出することが可能である。πゲージはリン青銅板を半円形に彎曲したものに2枚のストレイン・ゲージを接着したもので、その両端間距離に比例した不平衡電圧が出るようになっている。重量が 10 g 以下にできるので慣性が小で、下部クランプの運動に十分追従できうる。

第4図にストレイン・メータおよび電磁オシロのブロックダイアグラムを示す。ロード・セルにより荷重と時間、πゲージにより伸びと時間の関係を同時に電磁オシロにより、記録しうる。

3. 実験と考察

3.1 落下高さと引張り速度の関係

重錘の落下速度は理論的に予想される速度よりも実際のそれは低くなることはすでに述べたが、実験的に重錘を落下させる高さと試料の引張り速度の関係を検討した。すなわち、膜厚 0.1 mm、幅 15 mm、試長 100 mm の三酢酸セルロースを付し、3.4 kg の重錘を落下せしめた場合の試料の初引張り速度を求めた。πゲージにより検出され

第5図 伸びと時間の関係

た伸びと時間との関係を第5図に示す。図において $\tan \theta$ が初引張り速度である。このようにして得た初引張り速度と高さの関係を第6図に示す。すなわち大体において、高さの平方根と直線の関係にあるが $v=(2gh)^{1/2}$ から予想されるよりも低い。また、第5図において引張り速度は 0.015 秒まではほとんど一定であることがわかる。

3.2 応力-ひずみ曲線

第7図に 3.1 m/sec の引張り速度で引張った場合の荷重と時間の関係を記録した。第5図によって伸度と時間

第6図 (高さ)²と初引張り速度の関係

第7図 荷重と時間の関係

第8図 応力-ひずみ曲線

の関係がわかるので、第5, 7図から荷重-伸度曲線を得ることが可能である。また、Poisson 比を 0.4 と仮定して、伸度と断面収縮の関係を求め、荷重-伸度曲線を応力-ひずみ曲線に書き変えたのが第8図である。

第7図から抗張力、荷重が0になる時間(切断時間)から第5図で破断伸度を求めることができる。応力-ひずみ曲線の積分から破断エネルギーを求めることも可能である。

4. 結 語

ストレイン・ゲージを利用し、かつ、重錘の落下によって、引張り伸長を与えることによって 0.8~4 m/sec の初引張り速度で試験を行なうことができる引張り試験機を試作することができた。この試験機によって、抗張力、伸度、降伏点および破断エネルギーを求めることができる。

付 記： 本研究を遂行するにあたって種々ご教示を仰いだ東工大金丸教授、植松氏、当社化学研究部利根部長、手島次長、安藤主任研究員に深謝する。

文 献

- 1) S. Timoshenko: 材料力学(北畠・片山訳) コロナ社(1952年)
- 2) H. Cox: *Trans. Cambridge Phil. Soc.*, 73 (1849)

Studies on Fracture of Cellulose Triacetate Films

I. An Impact Tensile Tester

By Koichi Nakamura* and Hideo Konno*

An apparatus was constructed in order to measure the tensile properties of cellulose derivatives films at rate of extension from 0.8 to 4 meters per second. The essential feature of instrument is to record automatically the load and the extension by the strain gauges and the electromagnetic oscillograph. The extension of specimen is given by falling weight.

* Konishiroku Photo Ind. Co. Ltd. Chemical Research Division (Hinomachi, Minamitamagun, Tokyo)