ポリエチレンおよびナイロンにおける 縦パルス波の伝播について*

(昭和35年9月27日受理) 会 員 末 松 宗 雄**

摘 要

目 的

ナイロン、ポリエチレン等の合成繊維は延伸によって多くの特性が大きく変わる。本報告では20°C 真空中で未延伸長繊維を延伸しながら縦パルス波の伝播速度を測定し、伸び率に対する伝播速度の変化を求めた。

成 果

未延伸ポリエチレン、ナイロン長繊維は3つの異なった延伸状態があり、それぞれ次の特性がある。

- (1) 伸び率 0~30% 程度の初期粘弾性伸び：ここでは伝播速度はほとんど一定で変らない。
- (2) ネックが生じ、ネックが移動する型の伸び：ここではネックの前後で伝播速度は不連続に大きくなり、それぞれ一定速度である。
- (3) ネックが消えて第2期の粘弾性伸び：ここでは速度は伸び率に対して急激に増大するが、なおここでも不連続的な増大をする。
- (4) 強伸度曲線と速度—伸度曲線は状態が変わるところが大体一致する。

1. 結 言

未延伸のポリエチレンおよびナイロンを延伸すると物理的特性が非常に大きく変化する。特に弾性波の伝播速度はその延伸率により大きく変わることがわかる。

本報告では20°Cの真空恒温そうの内で延伸しながらおののの伸び率で縦パルス波の伝播速度を測定した。

繊維は一般に張力が小さい場合は弾性波の伝播速度が小さいが、張力が大きくなると急激に伝播速度が増大する。ポリエチレンおよびナイロンにおいても張力により伝播速度は急激に増大する。しかし繊維がネックを生ずると、ネックが終るまでは伝播速度は一定になることがわかった。

2. 測 定 方 法

実験に用いた測定装置は第1図で先に“糸における縦波の伝播について”¹⁾に用いたものと同じであって、試料の両端を発振子、受圧子に固定し縦パルス波を試料に送るようにした。ポリエチレンおよびナイロンは割合に波動の減衰が大きいのでくり返し反射波はあまり大きくなく、この方法による減衰率の測定は困難のようである。

(第 1 図)

3. ネックが生じた前後の速度

未延伸繊維を十分ゆっくり延伸した場合の荷重伸長曲線は第2図のようになる。ポリエチレンはAB間では粘弾性的の伸びを行ない、Bでネックが生じてBC間にはネックを生じながらの伸びであり、CD間はネックを生じた

* Phase Velocity of Longitudinal Pulse Wave in Polyethylene and Nylon Filaments.

** M. Suematsu, Member. 群馬大学工学部

ままネックが移動する型の伸びである。D点でネックがなくなり、再び粘弾性的伸びを始める。DE間は粘弾性的伸びで、E点で切断する。ナイロンではポリエチレンと同様な延伸をするがAB間で初期の粘弾性的伸びを行ない、Bでネックが生じ、あまり張力の減少を見ないでネックの移動の型の伸びをする。D点でネックがなくな

(第 1 表)

試料	太さ (d)	処 理	試 長 (mm)	パルス周波数	温 度 (°C)	備 考
ポリエチレン	189	未 延 伸	約 600	2.89×10^3	20	真空 20 hr 後に行なう
ナイロン	14.6	〃	約 700	〃	20	真空 20 hr 後に行なう

り、Eでは単繊維が1本切断したことを示し、残りが粘弾性的伸びをする。次いでF、G、H、I、J、Kにて単繊維が1本ずつ切断して糸全体が切断する。

延伸率0から切断するまでの縦波の伝播速度を測定すると第3図のようになる。これは発振子と受圧子の間の平均の速度を縦軸とし、繊維に加

えた荷重を横軸にとってある。荷重を増してゆくと第2図の曲線AB間では速度はあまり変化しないが、BC間で荷重が減少し、速度が大きくなる。CD間は荷重が一定で平均速度が大きくなり、DE間では速度と荷重はともに大きくなる。伸び率と速度の曲線は第4図のようになる。第2図でCD間はネックが移動する場合における

平均速度であるから、ネックを形成した後の部分とネックを形成する前の部分に分けてそれぞれの部分 x, y の速度 v_x, v_y を第5図のように考えて、ネックの前後の伸長率を計算すると次のようになる。

$$\frac{x_1}{v_x} + \frac{y_1}{v_y} = t_1, \quad x_1 + y_1 = l_1$$

$$\frac{x_2}{v_x} + \frac{y_2}{v_y} = t_2, \quad x_2 + y_2 = l_2$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\frac{x_n}{v_x} + \frac{y_n}{v_y} = t_n, \quad x_n + y_n = l_n$$

(第 5 図)

ただし t は縦パルス波が試料を伝播する時間、 l は試料の長さである。

これより $v_x, v_y, t_1, t_2, \dots, t_n$ に測定値を代入して

$$\left| \frac{x_1 - x_2}{y_1 - y_2} \right| = \gamma_{12}$$

$$\left| \frac{x_1 - x_n}{y_1 - y_n} \right| = \gamma_{1n}$$

を求めれば第6図のようになり、 γ の値が大体一定であることがわかる。よってネックの移動の型をしながら伸長するときは、ネックの前後で速度はそれぞれほとんど一定であるといえることができる。

(第 6 図)

4. 測定の結果

測定試料および条件は第1表の通りである。未延伸ポリエチレンおよびナイロンを伸び率0から切断まで延伸した場合における速度の変化は第7～10図となる。

第7図はポリエチレンの荷重—速度曲線である。伸び

(第7図) ポリエチレン

率0より初期粘弾性的伸びの間には速度は荷重に対して大体一定であるが、ネックが生じてネックの移動の型による伸長が始まると、速度は急に増大し始めネックがなくなって、第2次の粘弾性的伸長をはじめると、荷重に対して速度は急速に増大する。最高 4000 m/sec 程度まで増大して切断する。荷重に対する速度の増加は大きい。第8図はナイロンの荷重—速度曲線である。ナイロンの場合はポリエチレンと異なり、荷重0の場合に相当速い速度 1400 m/sec 程度である。しかし初期粘弾性的伸びの間は速度は大体一定である。ネックを生じてネッ

(第8図) ナイロン

(第9図) ポリエチレン

(第10図) ナイロン

クが移動する範囲の伸びに対しては速度が急に増加するがネックが消えて第2期の粘弾性的伸びが生ずる程度の伸びでは速度は3200 m/sec程度で荷重に対する増加は小さくなる。また延伸したナイロンの場合は荷重とともに速度は増加するが、大体未延伸で第2期粘弾性の部分に相当する増加の様子を表わし、荷重速度曲線は平行な曲線である。

第9図はポリエチレンの伸び率速度曲線群で伸び率0~250%の範囲ではそれぞれの曲線は大体平行であり、伸び率250~400%ぐらい、伸び率400~600%ぐらいの2個の範囲の平行線分で示されるように折点が表われる。この中で伸び率40~250%の範囲はネックが移動する型の伸びで第2図のCD間に相当するのであるが、伸

び率250~400%程度の伸びと伸び率400~600%程度の伸びとは、第2図でも明らかに異なった型式である。なお第2図のDE間は伸び率500~1200%となっているが、これはインストロン型試験機で資料を保持する取手の部分から試料が伸び出してくるために起るずれで、取手よりくり出す部分を取り除けば1200%が600~700%に担当することがわかるが、面倒なので中間値の補正はしなかった。よって見掛けの伸びが大きく出ている。

延伸に対する密度の変化は第11, 12図のようになる第10図はポリエチレンの伸び率密度曲線である。同じ伸

(第11図) ポリエチレン 18°C (16~20°C)

(第12図) ナイロン

(第 13 図)

び率で上下の 2 つの丸は試料 5~10 本の最大、最小密度で黒丸は最も多く分布した部分の密度である。伸び率 0% で密度 0.95 g/cm^3 程度のポリエチレンは伸び率 0~30% 程度の初期粘弾性的伸びの範囲では多少増加する傾向があるが、ネックを生じて伸び始めると密度が部分的に変化し、分布範囲が急に大きくなり、全体として密度は小さくなる。伸び率 250% 程度で密度のばらつきが小さくなり、全体として密度が増加し、伸び率 600% 程度で密度は 0.92 g/cm^3 程度となる。

ナイロンでも第 12 図のように伸び率 0% で 1.165 g/cm^3 程度の密度が 0~30% の伸び率の間は大体一定であるが、伸び率が 30% 程度から大きくなると大きな範囲にばらついてくる。しかし伸び率が大きくなると次第にばらつきが小さくなり、伸び率 300% で 1.125 g/cm^3

程度になる。

これから明らかなように伸び率に対する密度の変化に比べて伸び率に対する速度の変化は非常に大きな増加をすることがわかる。

この密度と速度からヤングの弾性率 E を

$$E = \rho V^2$$

ただし ρ は密度、 V は速度

より求めて、グラフにすると第 13 図のようになる。この曲線より E は初期粘弾性伸びの間はほとんど一定で変わらないが、伸び率 30% 程度からほとんど直線的に伸び率に対して増大することがわかる。特にポリエチレンでは E の増大が折線的に増大することが明らかである。ナイロンの場合はポリエチレンほどに明らかでないが、やはり折線的に増大するようである。それらの伸び率— E 曲線の折点は、第 2 図の強伸度曲線の伸長状態が変わるのと同じである。

5. 結 言

ポリエチレンおよびナイロンの未延伸長繊維を 20°C の真空中で延伸すれば

- (1) 初期粘弾性的伸び
- (2) ネックを生じネックが移動する型の伸び
- (3) ネックが消えて第 2 期の粘弾性的伸び

に分けられる。

(1) の場合は縦波の伝播速度はほとんど変わらない。(2) のネックが生じた状態ではネックの前後でそれぞれ一定の伝播速度である。(3) の第 2 期の粘弾性的伸びにおいては縦波の伝播速度はポリエチレンでは次第に大きくなるが、ナイロンでは伸びに対して変化しなくなっていくということがわかった。

文 献

- 1) 末松宗雄: 本誌, 11, 8, 34 (1958)
- 2) 由本碩亮: 東洋レーヨン集報, 11, 4, 133 (1956)