タイヤコードの疲労に関する研究*

(第1報) 綿コード及びレイヨンコードの屈曲疲労試験

(昭和28年9月3日受理) 会 員 藤 野 清 久**

〃 熨 斗 秀 夫

〃 天 羽 廸 規

→ 摘 要 ←

研 究 目 的

- (1) レイヨンコードと綿コードとの屈曲疲労を比較する。
- (2) 屈曲疲労試験機の性能をしらべる。

研 究 結 果

(1) レイヨンコードの疲労寿命は綿コードに比較して、屈曲程度、屈曲と伸張との組合せ割合、荷重の大きさ等の試験条件によつて著しい影響を受ける。条件によつて綿コードよりすぐれている場合もあり不良の場合もあるが、レイヨンコードに対して特に悪い条件は、張力と曲げの曲率が共に大きい場合である。

(2) 本屈曲疲労試験機は実用的試験機としては勝れている。しかし試験機の構造条件によつて、測定された疲労寿命が甚しく変化する。のみならず異種のコードの比較値も変化する。故に実用的疲労抵抗の多寡は一つの試験条件のみでは判断出来ない。

1. 緒 言

タイヤコードの実用的疲労試験機として U. S. Rubber Company の Cord Fatigue Tester, The Firestone Snapcycle machine, Good Year Machine, Good rich Vibrator 等は比較的良く知られ、それらの比較検討は Venable によつて詳細に行われたが、標準試験機として採用される段階には到っていない。その後新しい考案になる振動改良型、圧縮型、屈曲型等が発表されているが、いずれが最も適切な値を与えるか未だ不明である。もとよりタイヤの中で特殊な環境の下に、各種の作用を受けているコードの疲労を、簡単な一種の試験機によつて評価しようとするのは困難なことであるが、その中で Budd の発表している屈曲型の疲労試験機はコードに対する作用がタイヤ中で実際コードが受ける作用と比較的近似しているように思われる。しかしこれは試験機の構造条件及び試験条件を各種変化することが出来、その各場合によつてコードに与える作用が異なるので、測定される疲労寿命も当然変化する。

本研究ではこの種の屈曲型疲労試験機について構造条件と試験条件とを色々変化してコードに異なつた作用を与え、綿コードとレイヨンコードに対してその疲労寿命を測定し、両コードの疲労特性を調査すると同時に屈曲型疲労試験機の性能をしらべた。

2. 試験機の構造とコードの受ける作用

(第1図) 試験機の図

* A Study on Fatigue of Tire-Cords.

(1st Report) Bending Fatigue Test of Cotton and Rayon-Cords.

** K. Fujino, Member. 京都大学工学部

H. Noshi, 京都工芸繊維大学

M. Amau, 〃

試験機の構造略図を第1図に示す。Buddの屈曲型疲労試験機をやや改造したものである。回転体 R に屈曲用小ローラ rr をとりつけ、これが小軸の上で自由に回転するようになっている。(Budd 試験機では rr の小ローラを積極回転せしめている) コードは図の如くとりつけ、一端を固定、一端にガイドローラ G を経て重垂 W を吊り下げる。 G を固定し、コードは G 上を滑るようにした。 GR の距離(中心間)は 20 cm, rr 距離(中心間)は 4 cm である。

屈曲ローラは大中小の3種を使用した。これを第1表

(第1表) 屈 曲 ロ ー ラ

	ローラ直径 r mm	ローラ軸直径 r' mm	$\mu' \frac{r'}{r}$
大	20	7	0.042
中	14	4	0.034
小	7	4	0.064

に示す。 R の回転は矢の方向としたが逆転も可能である。回転速度は 100~500 r.p.m. の範囲で変化するようにした。支え M の軸受けにはボールベアリングを使用し、 R の回転を確実にした。

この試験機は R の回転によつて屈曲小ローラがコードに折り曲げを与えるので、通常屈曲式といわれているがコードは単純な屈曲作用のみを受けるのではない。

(1) コードの伸張歪

rr の距離が十分小さく、 GR の距離に比較して無視出来る程度であれば、 R の回転により $GrrC$ の距離は変化しないが、本試験機の寸法ではその長さが最大約 0.5 % 変化する。($GrrC$ の最大は rr が水平になつた位置で生ずる) しかし G はコードの引張りに対して固定と同様に作用するから(後述)コードに約 0.5% の伸張歪を生じる。この歪は rr と GR との距離の比によつて自由に変えることが出来るが、本実験では歪 0.5% の場合についてのみ行つた。

(2) 重錘によつてコードに生じる張力

ガイドローラ G を固定する場合と自由に回転する場合とは、同じ重錘を使用してもコードに生じる張力 T_x は異なる。本試験機では G を固定したから重錘 W と T_x とは G に対するコードの摩擦によつて関係づけられる。故に

$$W = T = T_x \cdot e^{\mu\theta} \dots\dots\dots (1)$$

μ は G とコードの摩擦係数、 θ は G とコードとの接触角で $\pi/2$ である。屈曲作用によつてコードが伸び T_x が減少して $T_x < W/e^{\mu\theta}$ となれば、 W は摩擦に打勝つ

て滑りおるから、 GR 部分の最小張力は常に一定で $W/e^{\mu\theta}$ である。なおこの GR の部分は試料コードの中で最大張力を受ける部分である。

R の回転によるコードの伸張及び屈曲ローラを回転せしめるための張力によつて T_x が増加しても、 $T_x \leq W \cdot e^{\mu\theta}$ であれば W は引きあげられない。即ち引張りに対しては固定と同様である。

本装置ではコードの歪が小さく張力の増加が少ないから、 $W = 0.5 \text{ kg}$ 以上であれば W は引き上げられなかつた。

$e^{\mu\theta}$ の測定値は常態でレイヨンコード 1.87, 綿コード 1.97 であつた。但し μ は静摩擦係数である。故に同じ重錘でもレイヨンコードと綿コードとの張力はやや異なる。

(3) 屈曲ローラの作用

GR の距離が rr に比較して十分大でコードと屈曲ローラが全然滑らないものとすれば、 R と r との回転の関係は

$$n = \frac{R}{r} N \cdot \cos \theta \dots\dots\dots (2)$$

n は r の回転速度、 N は R の回転速度、 θ は R の回転角、 R, r は同名称ローラの半径を示す。

故に屈曲小ローラを積極回転してローラとコードとの滑りを完全になくするためには、屈曲小ローラを变速回転しなければならない。しかるに Budd の試験機では積極等速回転であるからコードとの間に滑りを生じ、更に滑りのために張力の変化も生じるわけである。

本試験機の如くローラを消極回転せしめるものでは、 $\mu' r'/r$ (μ' は屈曲ローラとその軸との摩擦係数、 r' は軸の半径) が小であれば、ローラはコードによつて回転せしめられる。しかしコードとローラとの接触角が小なる場合に滑りを生じる危険があるが、観察の結果ほとんど滑りは認められなかつた。この場合コードがローラを回転せしめるからコードに緊張側と弛緩側とを生じ、この張力の差はローラとコードとの接触角の変化によつて増減する。従つてコードはローラによる折り曲げと同時に、張力の繰返しも受ける。

3. 実 験

変化せしむべき試験機の構造条件及び試験条件は種々あるが、その中で次のものについて実験をした。

- (1) 屈曲ローラの大きさを变化した場合
- (2) 屈曲ローラを固定して摩擦による場合
- (3) 支え M の軸受けにボールベアリングを使用しない場合

- (4) 回転速度を変化した場合
- (5) 回転を逆転にした場合
- (6) 糸の太さを変化した場合

初めの3条件はコードの疲労特質の研究と試験機の性能試験とを兼ねたものであり、後の3条件は主として試験機の性能試験である。これらの各場合について荷重と疲労寿命の関係を測定した。試料コードの主な特性を第2表に示す。同表の上燃数はコードの単位長さ当りのも

(第2表) 試料コード

種類	構造	上燃 t. p. m.	中燃 t. p. m.	下燃 t. p. m.	強力 kg	伸度 %	結節強力 kg	コード ゲージ mm
レイヨン	1,650×2	450	—	420	8	22	3.9	0.82
綿	22/5/3	380	620	—	8.9	19	6	0.84

のであり、中燃（綿コード）及び下燃（レイヨンコード）は上燃を全部除去した時の単位長さ当りのものである。疲労試験及び引張り試験時の温度は $12^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度は $61\pm 1\%$ であり、回転方向は矢の方向（第1図）、回転速度 350 r. p. m. である。

(1) 屈曲ローラの大きさの影響

(第2図) レイヨンコードの疲労寿命に対する屈曲ローラの大きさの影響

(第3図) 綿コードの疲労寿命に対する屈曲ローラの大きさの影響

屈曲ローラを3種使用した場合（ローラ及びローラ軸は第1表に示す）の荷重と疲労寿命の関係を第2図（レイヨン）、第3図（綿）に示す。荷重と疲労寿命（繰返回数 N の対数）の関数は荷重が大きい範囲ではほぼ直線状をなす。即ち

$$W = A - B \log_{10} N \dots\dots\dots (3)$$

W は重錘、 A, B は常数、 N は切斷までの繰返回数である。但し W のかわりに T_z を用いると常数は異なつ

てくる。荷重が小さくなると疲労寿命が急激に増加し、疲労限界に類するものが認められるが明確ではない。綿コードにおいては限界は判別が一層困難である。レイヨンコードに対して小荷重の水平直

線部分と大荷重の斜の直線部分との交点を求め、仮に疲労限界を表わせば第3表の如くなる。

(第3表)

	屈曲ローラの直径 mm		
	7	14	20
レイヨンコード疲労限界 応力 g/d	0.25	0.5	0.6
同上に対する最小繰返回数	990	2,140	2,820
綿コード疲労直線 {	A	11.73	13.35
	B	2.66	2.66
レイヨンコード疲労直線 {	A	9.45	11.75
	B	2.65	2.65

屈曲ローラの径が増加する程、疲労限界応力が増加する。屈曲ローラの径が変わった場合、綿、レイヨンいずれも疲労直線部分の傾斜 B は変化せず、 A のみが増加して、疲労限界が増加する。しかし綿コードとレイヨンコードとの A の増加割合は異なる。

この実験範囲で綿コードの A の増加はローラ直径の増加にほぼ比例するが、レイヨンコードの場合はローラが小さい程増加が大である。即ちレイヨンコードは屈曲ローラが小なる時、ローラ径の影響が大きい。それぞれの A, B 値を第3表に示した。

実用試験機で屈曲ローラの選定に当つては、試験の速度化をはかるため、ローラの径を小にすることはレイヨンコードに対しては過小の値を、綿コードに対しては過大の値を示すことになる。綿及びレイヨンコードの B がほぼ等しいのはこの試験条件による偶然の一致であり、次に述べる如く軸受にボールベアリングを使用しない場合には明らかに相違する。

(2) 屈曲摩擦の場合

Budd は回転 ローラ を固定し完全摩擦を行つた場合と、屈曲ローラを積極回転した場合との疲労寿命の測定値は殆んど同一であつたと報告しているが、前述の如くこの積極式回転では常に一定量の摩擦を生じるから、このような結果を示したのであろう。

本試験機の如くローラが完全に回転しているものでは当然摩擦の有無による疲労寿命の変化が予想される。この影響を調べるために小ローラと同じ大きさの屈曲摩擦軸を用いその測定結果を第4図に示した。(点線はローラ回転の場合)

(第4図) 屈曲摩擦による疲労

レイオンコード一荷重の大なる場合、明らかに摩擦疲労寿命は小であるが、荷重が小さく疲労限界近くなると摩擦が存在する方が逆に大になる。これは屈曲軸とコードとの長時間の摩擦のためその部分に発熱し、レイオンコードが乾燥するためと思われる。疲労直線部の傾斜はローラ回転の場合とほぼ同一である。

綿コード一摩擦の場合と回転の場合とは甚だしく相違する。摩擦の場合荷重対 $\log N$ の関係はS字型となり、疲労寿命はいずれも回転の場合より小であるが、荷重5 kgの辺では摩擦の存在する場合とない場合との両者がほとんど一致している。

これは綿コードの毛羽による摩耗の特殊性を示すものと思われる。

又摩擦のある場合小荷重に対して綿コードが著しく疲労寿命が小さくなることは注目すべきである。

(3) 支え M 部の軸受にボールベアリングを使用しない場合

以上の実験は支え M 部の軸受(第1図)にボールベアリングを使用して R の回転を確実にしたが、ボールベアリングを使用せず通常のメタル軸受を使用した場合の実験結果を第5図に示す。(屈曲ローラは小と大)こ

(第5図)

レイオン及び綿コードの疲労寿命に対する屈曲ローラの大きさの影響(軸受けにボールベアリングを使用しない場合)

の場合軸受にややがたがあり、R の回転によるコードの歪が小になる。これは不正確な試験機による測定結果であつてそれ自身の意味は少ないが、試験機が摩耗した場合の誤差の予想と R の回転によるコードの歪の少ない場合の予想になる。いずれも疲労寿命は甚しく増加している。

一例を示せばレイオンコード重錘3 kg の場合、ベアリングのある時300~400回で切断するものが、ベアリングのない時は約10,000回で切断する。綿コード重錘3 kg でベアリングのある時1,000~2,000回で切断するが、ベアリングのない時7,000~8,000回で切断するという大きな変化を示す。屈曲程度は同じであるから軸受の不正が如何に大きい誤差を生じるかがわかる。ローラの大きさによる変化の関係はボールベアリングを使用した場合とほぼ近似しているが、変化程度は相当に小である。綿コード疲労直線部の傾斜 B はベアリングを使用した場合とほぼ等しいが、レイオンコードではベアリングを使用したものより小になり荷重の依存性が大となる。

(4) 回転速度の影響

ガイドローラを固定し、重錘を振動せしめない本試験の様式では、回転速度は疲労寿命に影響しない。但し実験した回転速度範囲は100~500 r. p. m. である。

測定結果を第4表のガイドローラ固定の欄に示す。しかしガイドローラを可動にし、ガイドローラと重錘との振動を許すと回転速度は疲労寿命に影響する。即ち回転数大なる場合ガイドローラと重錘とはほとんど振動しないが、回転数小なる場合は十分に振動しコードに働く作用が異なるためである。測定結果を第4表ガイドローラ

(第4表) 疲労寿命に対する回転速度の影響

重錘 kg	ガイドローラ固定				ガイドローラ可動			
	レイヨンコード		綿コード		レイヨンコード		綿コード	
	100 r.p.m.	500	100	500	100	500	100	500
2.5	468	437	—	—	500	490	—	—
3	298	280	2,170	1,990	178	282	1,621	1,870
3.5	184	180	1,280	1,310	80	170	578	1,430
4	—	—	940	998	—	—	330	810

可動の欄に示した。回転数が高くなる程疲労寿命は小であるがその減少程度は荷重によつて異なる。

(5) 逆転の影響

上述の実験では総べて R を矢の方向(第1図)に回転したから屈曲ローラの回転に対して T_x は緊張側である。

これを逆転せしめると T_x は遅緩側になる。故に遅緩側の最低張力が $W/2e^{\mu\theta}$ になるから全体の張力分布が正転の場合より大になる。従つて同じ重錘に対する疲労寿命の測定値は当然小になるはずである。レイヨンコードと綿コードについて小ローラで測定した結果を第2,3図に点線で示した。疲労直線部は平行に移動し、いずれも疲労寿命は小になるが、綿コードの減少程度はレイヨンコードよりやや多い。

(6) 糸の太さの影響

同じ屈曲を与えると糸が太い程外側の引張り歪と内側の圧縮歪とが大になるから、この屈曲試験でデニール当りの荷重が等しい場合、太い糸程、疲労寿命が小に示されることは予想される。レイヨンコード原糸(1,650 den.)を1,2,3,4本合撚したもの(撚常数はいずれも82/cm)についての実験結果を第6図に示す。(屈曲ローラは小)図に示した重錘の重さは1,650×2 den. 当りのもので

(第6図) 屈曲疲労に対する糸の太さの影響

ある。同じ den. 当りの荷重に対する疲労寿命はほぼ糸の太さに比例して減少し、(図の右上)疲労直線部は糸が太くなるにつれてほぼ平行に移動する。しかしこの関係は糸の種類によつて変化するから、この試験において太さの異なるコードの疲労寿命の比較には注意を要する。

(7) 綿コードとレイヨンコードとの疲労寿命の比較
以上測定した各種条件について、同一荷重に対する綿コードとレイヨンコードとの疲労寿命の比を第7図に示した。大体綿コードの疲労寿命の方が大である(比が1

(綿コードの疲労寿命)/(レイヨンコードの疲労寿命)

(第7図)

綿コードとレイヨンコードの疲労寿命の比較

より大)が、その比は屈曲ローラの大きさ、荷重の大きさ等によつて0.7~2.5の広範囲にわたつて変化する。この中のどれかが実際値と一致するはずであるが、この試験だけではその決定は出来ない。故に一条件の疲労試験によつて実用的疲労抵抗の大小を判断することは甚だ危険である。

図には同じ重錘に対する $\log N$ の比を示したが、その場合綿コードの最低張力(T_x)はレイヨンコードのそれよりやや小であるから、同じ T_x に対する比を示せば比の値は第7図のものよりやや小になる。

図から分るように一般に大なる張力を受けながら曲率の大なる屈曲を受けるとレイヨンコードは綿コードより著しく疲労に弱い。曲げの曲率が小になるに従つて次第に綿コードに接近する。しかし張力が小なる場合は曲げの曲率が大きくとも綿コードより強くなることもある。又小荷重で摩擦の条件が加わればレイヨンコードは綿コードよりも疲労に耐える。

4. 屈曲疲労試験機の批判

この型の屈曲式疲労試験は各種の作用を組合せた実際の疲労の試験として都合のよいものであるが、試験機のいかなる条件の測定結果がタイヤの実際寿命と比例するかということは本試験だけでは不明である。ローラの大きさ、歪と屈曲の組合せ、屈曲ローラの摩擦、荷重等の各種条件の適当な組合せによつて実際値に近いものが得られるはずである。がその決定は容易でない。

取り扱い上チャック切れのないこと、屈曲、伸張、摩擦等各種の組合せの試験を行えるという利点のために実用的試験機としては都合がよい。他方屈曲ローラの回転、又はコードの摩擦のための発熱が影響すること、太さの異なつたコードの比較が困難なこと、コードに作用する応力の正確な解析が困難なこと等の欠点のため、理論的な疲労の研究目的にはやや不都合である。

Budd の報告している積極回転式屈曲ローラの試験機は摩擦量を一定にする長所があるが、製作の困難、測定値の分散が大になる等の短所がある。

Budd の報告には変動係数(標準偏差/平均値%)が27%であると報告しているが、我々の実験ではローラ回転の場合の変動係数はレイヨンコード10~15%、綿コード20~25%であつた。屈曲摩擦の場合はレイヨンコードは25~30%、綿コードは70~90%であつた。

故に摩擦現象は分散を増加せしめるものと思われる。Budd の積極回転式では一定量の摩擦が入っているから変動係数がやや大きいのであろう。従つてこの点からいへば屈曲ローラを積極的に回転する必要はない。

5. 結 論

(1) レイヨンコードと綿コードとの疲労特性

レイヨンコードの疲労寿命は屈曲程度、屈曲と伸張との組合せ、荷重等に対して甚だ敏感である。故にレイヨンコードは使用条件のわずかの相違によつてもその寿命

に相当の差を生ずるものと予想される。レイヨンコードに対して特に悪い条件は大張力で曲率の大きい曲げを受ける場合である。

綿コードはレイヨンコード程条件に敏感でないから、綿タイヤは比較的安定なものと予想される。

(2) 試験機の性能試験

この種屈曲型疲労試験機は実用的試験機として都合よいが、試験機の構造条件、試験条件によつて疲労寿命の測定値は絶対値のみならず、比較値も甚しく変化するから、試験結果には各種試験条件を明らかにしなければならない。又一条件だけの試験で実用的な疲労抵抗の大きさを判断することは甚だ危険であつて、各種条件の下に試験を行い総合的に判断しなければならない。

試験機の精度は、疲労寿命の測定値に甚しく影響するが、本実験では回転速度はほとんど影響しなかつた。

文 献

- (1) Gastricum, M., U. S. Patent 1,923,296 (1933)
Bradshaw W. H., A. S. T. M. No. 136, 13 (1945)
- (2) Alten R. W. and Tegrotenhuis T. A., U. S. Patent 2,157,092 (1936)
- (3) Ray, F., U. S. Patent 2,235,622 (1941)
Mallory, G. D., U. S. Patent 2,412,524
- (4) Lessig E. T., U. S. Patent 2,240,505 (1941)
- (5) Venable C. S., A. S. T. M. Bull. No. 136, 17 (1945)
- (6) W. E. Rosevcare and R. G. Waller, Text. Res. J. (1949-10) P. 633,
(海外繊維技術文献集 1952-6)
- (7) M. W. Wilson, Text. Res. J. (1951-1) P. 47,
(海外繊維技術文献集 1952-2)
- (8) Chester B. Budd., Text. Res. J. (1951-3) P. 174, (海外繊維技術文献集 1952-1)