(昭和30年10月28日受理)

タイヤコードの研究

東京工業大学 白 檉 侃・石川 欣 造

STUDY ON TIRE CORD

By Kan Shirakashi and Kinzo Ishikawa

Tire cords, whose results are known through the vibrator and rotor tests, are investigated by following ordinary mechanical tests :

For single fiber from the cord;

- 1, tensile test (room temperature and 110°C) and Young's modulus (static).

For fatigued fiber after vibrator test;

1. tensile test and Young's modulus (static).

For cord;

1. tensile test (room temperature and bone dry) and Young's modulus.
2. creep and recovery.
3. repeated elongation tensile test (normal condition and bone dry).

Good correlation for the fatigue tests is obtained in following tests :

Tensile test for single fiber and cord at normal conditions, creep recovery for cord, and repeated elongation tensile test at normal condition.

Recovery mechanism for mechanical deformation of fiber contribute to fatigue life of the rotor and vibrator tests.

(Received 28. 10. 1955)

1. 緒 言

自動車タイヤに使用されるタイヤコードの重要性は自動車工業の発展に伴って大となり、コードの研究も次第に進展をしてきた。特に戦時中米国において綿タイヤコードに代る人絹、ナイロンタイヤコード特に人絹の使用量の増大を来たしわが国においても綿タイヤコードに殆んど代って使用されている現状である。人絹タイヤコードの物理的な性質の検討は今次大戦中より戦後にかけて綿タイヤコードより人絹タイヤコードへの変換に関連して相当活潑に行われるようになった。タイヤコードの使用される状態を考慮に入れて動的な性質の解明、特に撓及び油剤等を考慮に入れた高分子固体としての粘弾性的性質の理論的解明の一端として多く行われているが実用面より考えた場合には Wakeham¹⁾の言にあるように如何なるものが最良のコードの条件であるか必ずしも判然としていない現状である。

コードを構成している単繊維の性質、それは勿論紡糸工程及びその原料に起因する重合度、重合度分布、結晶化度、配列度等に左右されて大きく変化する。ま

た油剤の量及び質、コードの撓数等の如き構成方法がかなり大きく影響する筈である。一方各タイヤ製造会社で色々と諸性質を総合して実用的な性能を判定する材料となっている各種の静的、動的な試験が行われている。耐疲労性が繊維の性質、コードの構成条件に応じて判然とした因果関係が分ればよいのであるが未だその点は容易に解決されそうもない。耐疲労性を試験する場合にもその方式に若干あり何れが良いかそれぞれの製造会社により判定基準が若干異っている。本実験では Goodrich 社の vibrator test と Rotor test を取上げることにした。rotor test は Goodrich の Budd²⁾ が発展させたものでタイヤが走行中に繰返し屈げ張力を受けるからこの影響を量的に測定することによりタイヤコードの実際面をとらえようとしたもので、一端を固定し他端に重錘のついたコードが自転及び公転のできる二つの屈げロールにより繰返し屈げ及び引張り応力を受けるように工夫されている。コードが繰返し屈げ応力を受けて終りに切断すると重錘が落ちてモーターの回路を切って機械を停止する。コードの構造中で滑りが起り繊維間の摩擦を生じて弱めるのであろうと考えられる。vibrator test も Goodrich 社

でとくに熱心に研究使用してきたもので Busse, Lessig 及び Loughborough³⁾ により作られた。その方式は試料の下端に重錘を吊し上端を固定しモーターにより毎分3600回程度上下に微小振動を行わせる、その際に試料は 170°C 程度に加熱を受けながら機械的な繰返しを受ける。疲労限度に達して切断が起るまでの時間(振動数)により判定する。この方式はその後、Wallen, Rosevear⁴⁾ により改良も試みられ詳細な検討が綿及び人絹コードについて行われている。何れも簡易に実験を何処でも行い得る訳には行かないのでわれわれは rotor test 及び vibrator test の結果の明瞭な試料について、これらのコードが普通の試験室で行い得る通常の試験方法で如何なる挙動を示すか検討し、その結果よりして通常の試験室では如何なる点に重点をおいて判定をすれば簡易に比較し得るか検討した。

2. 試 料

試料は何れも国産のレーヨンタイヤコードで A, B, C, D 及び S-1, S-2, S-3 の7種及び S-1, S-2, S-3 について vibrator test を行ったものを用いた。太さは何れも 1650d の2本撚合せたものである。

A, B, C, D の5封度及び10封度時の伸度、撚数は下記の如くであった。

試料 No.	5封度 時伸度 (%)	10封度 時伸度 (%)	時 間 撚 数	
			上 撚	下 撚
A	1.70	2.93	9.87	12.51
B	1.60	2.80	9.76	12.28
C	1.69	2.93	9.32	11.68
D	1.79	3.20	9.42	12.05

S-1, S-2, S-3 は試料量が少なかったので上記の値は測らなかったが大略近いものと考える。

試料 No.	Vibrator life	Rotor life
A	180	250
B	100	100
C	180	250
D	200	300
S-1	340	/
S-2	180	/
S-3	100	/

上記の値は最低値を 100 としたもので絶対値ではない、また A, B, C, D と S-1, S-2, S-3 の組とは組間に相対値の関係はない。

3. 実験結果及び考察

タイヤコードではその構成繊維が耐疲労性に如何に影響するかは現在のところ明確でなく単純な試験ではコードを構成する単繊維或いは単糸の性質よりもコードの構造による影響が大きいと述べられているものもあるが super cordura 等に見られるように優秀な性能を有する単繊維が現われればかなりの変動がもたらされるのを見ても分るように顕著に性質の差異が存する時にはコードの構造以上に大きな因子となることは当然であろう。本実験でもまず如何程の差異が単繊維に認められるか検討した。

(I) 単繊維

(a) 強伸度

単繊維用の強伸度試験機としては種々の型式のものがあるがなるべく忠実に挙動を測定できるものが望ましい。インダクタンスの変化を利用した一型式である振り磁歪効果を利用した引張試験機を既に試作してあった⁵⁾ のでそれを更に改良して安定度、感度ともに一段と向上したものをを使用した。切断強伸度の平均値を第1表に示す。

第 1 表

単 繊 維 の 切 断 強 伸 度

(常温)	試 料	A	B	C	D	S-1	S-2	S-3
強 度 (g/d)		3.07	2.73	3.78	3.23	3.74	3.57	3.40
伸 度 (%)		8.1	8.8	9.1	8.5	12.3	8.3	10.0
(絶乾)								
強 度 (g/d)		3.33	2.70	3.62	3.58	3.83	3.57	3.40
伸 度 (%)		9.0	9.3	8.5	9.0	12.5	8.2	10.3

常温の条件は 20°C, 70~80% R. H であり、絶乾は電気炉中で 105~110°C で十分に乾燥してからその中で引張試験を行った結果である。また第1図は強伸度曲線の一例である。強度を比較検討してみると C 及び S-1 が比較的大きな値を示し、B 及び S-3 が低い値を示し、特に B は低い。耐疲労試験の結果と比較すると耐疲労性の悪いもの、B 或いは S-3 が低いとは一致をするが耐疲労性の高いもの S-1 或いは D は必ずしも最強度の値を示す訳ではない。この点はコードの耐疲労性を増大するためには単純な引張試験の強度が少くとも或る程度の大きさを有していなければならぬが

し曲げ引張試験ではフィブリル相互間の滑脱を急激に生じそれがよりマクロな亀裂へと拡大して容易に破壊を来たして下うことは想像されるから結晶部分は比較的小さくてそれが分子の両端の固定端になるように適度の配列度を持った無定形部分の存在が望ましい。即ち結晶部分の量は少なくていわゆる lateral order⁶⁾の低い構造のものが望ましい。事実本実験試料の耐疲労性と質量——lateral order 間にはよい一致があるようである⁷⁾。このように常温の強度は考えられる。絶乾の値は大体常温のものと同様にしており特に述べることもないから極端に悪いコードの混入を防ぐには常温の正規条件による単繊維の強度試験により若干の判定は可能であろう。伸度の方は A, B, C, D の方は大差なく, S-1 は比較的大きい。破壊仕事量を考えれば S-1 が非常に大きいことが分る。

(b) ヤング率

タイヤコードの動的なヤング率は使用条件の動的なサイクル数を考慮に入れて高分子固体の動的性質の検討の観点から行われているが手許に適当な装置がなかったので静的なヤング率の測定を行った。

静的なヤング率はコードの場合に後記する如く荷重を加えて可逆的に伸縮できる範囲で伸びを読取顕微鏡で読んでもよいが単繊維では面倒であるので強伸度試験に使用した歪計を用いて感度を十分高くして応力の緩和の起らない範囲で荷重と伸長度の関係から求めた。

それを越した場合には他の因子が大きく影響してくることを示す。例えば非常に高度配列の重合度高く、比較的結晶化度の高いものは一方的な引張りに対しては優秀な性能を示すが vibrator test で行われるような繰返し荷重式は rotor test で行われるような繰返し

その値を第2表に示す。単位は何れも (kg/mm^2) である。

第2表
単繊維のヤング率 (kg/mm^2)

試料	A	B	C	D	S-1	S-2	S-3
(常温)	875	985	993	1020	1020	1110	930
(絶乾)	1120	1040	1030	1130	1170	1130	1115

それぞれの試料について若干の変動があり, A, S-3 が幾分小さな値を示すがこの場合には耐疲労性とは大きな関係はないようであり, 値のばらつきもかなりあり, 単繊維の静的なヤング率より耐疲労性を問題にするのはかなり困難である。

(c) 疲労試験後の単繊維の性質

vibrator test で破壊したコードを後述の定伸長繰返し切断したコードの単繊維の性質を何等の操作を受けていないものと比較検討した。vibrator test をした試料は切断点附近が熱による変化を受けているのでその附近は除いた。第3表にヤング率及び切断強伸度を示す。

第2図は強伸度曲線の代表的なものを示す。繰返し伸長切断した試料は切断後余り日時が経過していないが振動試験をした試料は数カ月放置された。

Load elongation curves of fatigued fibers.

第3表 疲労繊維の強伸度及びヤング率
強伸度(常温)

試料	繰返し切断				Vibrator test		
	A	B	C	D	S-1	S-2	S-3
強 度(g/d)	3.04	3.74	3.42	3.38	3.13	3.74	2.43

伸 度(%) 7.2 7.6 7.2 7.3 10.2 8.8 8.0
 ヤング率 (kg/mm²) 1205 1130 1200 1305 817 1290 890
 繰返し荷重を加えた試料では比較的周期が大きく、

大荷重が加えられて短時間に切断まで持って行っているのが一般の金属材料の歪硬化に類似した歪方向への組織の配向が若干誘起されヤング率の上昇を来たしたものであろう。切断強伸度はBの試料を除いては大差ないがBのみが相当の上昇を示している。これはBの試料には相当に極端な強度斑が存在するためと考えられる。伸度は何れも若干低下を来たし配向によりヤング率が若干増加したのを裏付けている。しかし vibrator test を経た試料では少し異っている。ヤング率は何れも低下している。S-2の試料は若干高く伸度の変化も殆んどない。

S-1, S-3の試料ではヤング率もA~Dと比較して少なく伸度、強度の低下も明瞭である。疲労した試料が少ないためにS-2の試料では比較的短時間で最弱部切断を来たしたか或いは油剤等の関係で耐熱性が幾分悪いとも考えられるが、170°C 附近で強伸度測定を行っていないから何れか確かなことは分らない。S-1, S-3の試料ではコードを構成している繊維が vibrator test で如何様に疲労するかを示唆している。

ヤング率、強伸度ともに低下を来たし、特にS-3では強度の減少が甚だしい。疲労してからかなり長時間を経過しているが Waller 等⁸⁾によれば人絹コードの場合には疲労は休止放置、加熱、吸湿による緩和処理を行っても回復しないとしている。この場合も休止放置では回復を示さない。これは結晶、非結晶領域を含めての繊維中の構造移動を来たすとともに繰返し数の非常な増加により、十分に各構造単位が荷重変形に対応した位置を取り得ずして、ひび割れのような構造が発生し、終局においては、極言すれば構造の分離のようなことが起り、ヤング率も強伸度も何れも低下を来たすのであろう。しかしこれ等の疲労による構造変化は電子顕微鏡による観察、吸着による表面積測定等の手段により裏付けを行う必要がある。

(II) コー ド

(a) 強 伸 度

磁歪効果を利用した大型引張試験機が本実験には間に合わなかったのでスーター式の引張試験機の記録部分を拡大したものを使用した。コードの場合は単繊維と異って撚が加えられているためにその影響が表われる。常温 (20°C, 70~80% R. H) 及び絶乾の場合の

強伸度を第4表に示した。

第4表 コー ドの強伸度

常 温

試 料	A	B	C	D	S-1	S-2	S-3
強 度(kg)	10.0	8.8	10.3	10.6	10.6	9.6	7.4
伸 度(%)	13.5	14.1	14.8	16.3	18.0	14.2	17.3

絶 乾

強 度(kg)	12.1	12.0	12.6	12.0	12.6	11.6	9.4
伸 度(%)	11.3	12.0	11.2	12.3	14.2	11.0	13.6

乾燥状態では強度値はS-3を除いては大きな差異は認められない。

Bの試料は単繊維の結果よりすれば相当に低い値になる筈であるが、乾燥の場合には他と比較して差異がない。常温では幾分低い値を示すが強度の最高、最低の幅が大きく単繊維の場合に考えられるような斑の多いことと非晶域部分における低分子部分の混在による構造欠陥が予想される。伸度の方は特に述べる点もなく単繊維の場合よりも何れも大きくなっているのは撚による糸体構造から考えられる。常温の引張強度は一応疲労試験の結果と一致している。これは疑結晶域、或いは lateral order の比較的低い部分の構成がかなりの役割りを演じてそれと水和量との関係を示唆しているものであろう。

(b) ヤング率及び衝撃破壊強度

静的なヤング率の測定のみ行なった。それは可逆の範囲で小荷重を加え変形量を読取顕微鏡で読んだ。その値は常温のみであるが第5表に示す。

第5表 コー ドのヤング率 (kg/mm²)

試 料	A	B	C	D	S-1	S-2	S-3
ヤング率	472	645	465	706	723	496	487

D及びS-1が若干大きな値を示すが他は必らずしも明確でない。静的なヤング率のみを求めたのであるがコードの実用面よりすれば或る程度の荷重が加わった際に何程の弾性的な性質を示すか検討することが望ましい。大型試験機の完成次第検討の予定である。

次いで衝撃破壊エネルギーを測定した。測定方法は振子式で試料のある場合とない場合の振子の振れ角度の差より算出した。測定結果を第6表に示す。衝撃破壊の時間は正確には測定しなかったが数分の1秒程度と考えられる。故に比較的大きな緩和時間を持った結合機構はこれに対応することができずに破壊されてしまう。

第6表 コードの衝撃破壊(吋, 封度)

試料	A	B	C	D	S-1	S-2	S-3
破壊値	23.1	27.6	23.2	28.8	31.7	23.2	22.7

タイヤが使用中に悪路等で急激な荷重変動を受けた際には一応これらの試験結果が指標になると思われるが本実験では rotor 及び vibrator の結果と比較しているから相当長時間に亘って各種の変動機構と緩和時間を有するものが寄与していると考えられるので疲労試験の結果と短い範囲のものだけが関与している衝撃引張ではその間に関連がないのは当然かも知れない。事実第6表の値はS-1が若干大きな値を示すのみで他は何れが可であるか明確ではない。Bの如き他の性能が必ずしも良好でない試料でもDに比較し得る程度の値を示しており、Bのコードにおける強度斑が比較的長い緩和時間をもった結合機構を有するものにより左右されていると考えてよいであろう。S-3の試料もS-2, A, C, 等と比較して同様なことが言えるであろう。

(c) クリープ及びその回復

タイヤコードはタイヤの膨脹力及び車体の重みで常に荷重を受けているからクリープを生じタイヤ生長の原因となるから他の繊維状物質のクリープ研究⁹⁾と併せて広く行われている¹⁰⁾。温度, 湿度, 荷重を広範に変えて伸長率より種々論じているがそれらが耐疲労性と如何なる関係にあるか明確でない。われわれの場合にはそれらの点を比較的容易に対比して考察するためと常温の強伸度試験の結果と併せて20°C, 70~80% R. H, 60分前後で荷重を2kg, 4kgと変えて測定し回復も60分測定した。その結果よりすると耐疲労性の大きな試料必ずしもクリープ量が少であるとは言えないが回復値の大きいものは耐疲労性も大きかった。回復し得るような比較的低いポテンシャル障壁を有する結合機構の移動が荷重により多く起るものが望ましい、時間と荷重の相異はあるから対応する機構は若干異なるかも知れないが流動を伴った結合の破壊が起らない方が耐疲労性を向上せしめると予想されるのと一応一致する。

(d) 繰返し伸長による切断

前項の考察で回復の機構の相異が比較的大きく耐疲労性に關連しているようであるから、スターの引張試験機を使用して繰返し伸長による切断を行った。繰返しは途中に休止時間を置かず連続して行った。定速伸長或いは定速荷重式の試験機であれば繰返し条件

を厳密に規定できるがスター式ではその点完全に規定できないから一応下部摺みを一定距離宛移動(200mm 試長について2.5mm 宛移動)して繰返しを行った。各荷重一伸長の履歴曲線の面積の総和を示したのが第7表で単位は任意でよい。乾燥後直ちに測定したものと常温(20°C, 70% R. H)で行ったものと両方の値を示す。

第7表 繰返し伸長による切断(単位任意)

乾燥

試料	A	B	C	D	S-1	S-2	S-3
測定値	144.5	132.5	135.2	131.5	224.1	147.9	74.1

常温

測定値	90.1	88.2	103.0	120.8	153.0	76.3	62.8
-----	------	------	-------	-------	-------	------	------

コードの強伸度測定の場合に乾燥状態の値は余り差異がなかったがこの場合にはS-1~S-3の試料では強度測定の差異よりも大きく表われたが、A, B, C, Dの方は強度同様余り差異が明瞭でない。しかし常温の測定値は明らかに差が表われており最もよく rotor test, vibrator test の結果と關連している。吸湿性は非晶部分に多分の関係を有し且つその構成は低重合度部分の影響が大きであろう。一方において疲労の挙動を考察してみると各微結晶間を貫通している重合度の大きな分子或いは非晶領域を構成しているが両端が微結晶中にあるような構造が荷重の大部分を受持つような場合には適当な吸湿によりセグメントが易動化され繰返し荷重を加えられても容易に破壊しないであろう。低分子部分が多く非晶部分を形成していると考えられる場合には結晶部分の滑脱も繰返し荷重により容易に起り得るしまたその回復は困難であろう。これらの点より考えれば常温で適当に含湿した時の繰返し伸長による切断の結果及び他の場合に比してよい關連を有していることが理解される。

4. 結 語

耐疲労性の良否を測定する一手段である vibrator 及び rotor test の結果の判明している試料を用いて構成繊維の強伸度, ヤング率及びコードのヤング率, 衝撃破壊エネルギー, 強伸度, クリープ及びその回復, 繰返し伸長による切断を乾燥時と常温(20°C, 70~80% R. H)の場合と併用し或いは常温のみの測定を行いこれらの試料では両 test の結果と常温時における強度及び繰返し伸長による切断がよい關連を有していることが分った。S-1の試料は何れの点からも極めて

優秀な性能を有しているがこのコードを構成している繊維の微細構造が如何様であるか、またS-3の試料の場合は全く逆の意味で更に検討が望ましい。何分にも限られた範囲の試料についての測定が大部分であるために今後更に広範囲の実験を行い更に裏付を行いたい。

試料を提供して戴きまた vibrator 及び rotor test を行って下さった横浜ゴム並びに日本化繊検査協会大阪中央検査所に感謝します。

また実験を熱心に行われた中村達生、伊藤一両君にも謝意を表します。本実験は文部省科学試験研究の一部分として行われ大部分を昭和29年春の繊維学会に発表した。

文 献

- 1) H. Wakeham ; *J. App. phys.*, 15, 388(1945)
- 2) C. B. Budd ; *Text. Res. J.*, 21, 174 (1951)
- 3) Busse Lessig Loughbarough ; *J. App. phys.*,

13, 715 (1942)

- 4) Waller, Rasevear; *J. App. phys.*, 17, 482(1946), *Text. Res. J.*, 19, 633(1949)

- 5) 石川, 石橋; 繊維誌, 9, 298 (1953)

- 6) 前田; 高分子 4, 413 (1955)

- 7) 前田; 繊維誌, 12, 6 (1956)

- 8) Waller, Rosevear ; *J. App. phys.*, 17, 698 (1946)

- 9) Press. ; *J. App. phys.*, 14, 224 (1943)

Leaderman; Elastic and creep properties of Filaments Material and other polymers (Washington, Textile Foundation 1943)

- 10) W. F. Busse. E. T. Lessig ; *J. App. phys.*, 13, 715 (1942)

J. H. Dillon, Prettyman ; *J. App. phys.*, 16, 159 (1945)

フランスにおける化繊織物生産高

(単位 1000ポンド)

	織 物	リ ボ ン	計
1954 計	48,340	2,529	50,869
1955 1~3	12,786	620	13,406
4~6	12,683	678	13,361
7~9	10,845	573	11,418
10~12	12,935	674	13,609
計	49,249	2,545	51,794
月 平 均	4,104	212	4,316
1956 1	4,226	215	4,441

(出所 : Bulletin des Soies et Soieries)

フランスにおける化学繊維生産計画(1957年に)

レーヨン, アセテート糸	170,000	千ポンド
レーヨン, アセテートステープル	140,000	"
合 成 繊 維	37,000	"

合成繊維生産計画の内訳

ポリアミド (Nylon, Rilsan)	24,900	千ポンド
ポリエステル (Tergal)	4,400	"
ポリアクリル (Crylor)	1,100	"
ポリビニル (Rhovyl)	6,600	"