

レイヨンの樹脂加工法に関する研究 (第8報)

既報新万能型屈曲摩耗試験機による各種長繊維に関する基礎的研究*

齋藤 樽夫・増 永 稔・和田 倅

On the Treatment of Rayons with Synthetic Resins by Means of an Improved Method. (VIII)

Some Basic Studies on the Properties of Fibers as Revealed
by the New Poly-functional wear Tester Already Reported

Narao SAITO, Minoru MASUNAGA, Motomu WADA

In one of the foregoing papers on the present title, i. e. in the series (VI), the authors introduced a newly contrived poly-functional, versatile wear tester, together with the data on many kinds of samples and the interpretations thereof.

With a view to establishing a more rational evaluation of fibers as to an over-all wear rating if possible, and also obtaining some information which might give suggestions for the improvement of treatment of fibers and fabrics, the authors tried to start with basic studies on the properties of unspun fibers, and especially with those of the behaviours when the fibers are subjected to the so-called "T. N. S. Universal Tester", the poly-functional versatile one mentioned above.

A tensile fatigue tester was also used in parallel with the Tester.

Comparisons were made with the results of testing from 3 different kinds of testing mechanisms, and confirmed the former findings that in the long fiber (the unspun fiber) the mechanism of breaking the fiber structure is not always the same according as, and is particularly related to, the range of the strength of stress absorbed. And this absorption of stress by the fiber is quite specifically proper to itself according as the mode of structure of each fiber. These conditions determine each own characteristic curve as tested by the Tester.

The cycle n and the strength of (starting) stress f are in the relation $n = Ne^{-kf}$, where N and k are constants, and e the base of natural logarithm. N is given by the n , corresponding to the smallest value of f , effective in breaking the fiber in the ranges of f_s , in which k is a constant. And k is a constant so far as the mechanism of breaking the fiber is unchanged.

The nature or the meaning of k in the rheological or other physical sense is not well elucidated, but for the time being, under the present testing condition, a sort of theoretical over-all wear capacity can be expressed by the 3 dimensional model, taking $\ln n$, f , $1/k$, or $\ln n$, f , f , as factors, and assuming the smallest f , which is practically significant in breaking fibers in common.

Some practical consideration and discussion concerning discrimination of the results together with some suggestions are also given.

* 本報は日本化学会第9年会(1956年4月)に於いて発表したものの一部を敷衍したものであつて本屈曲摩耗試験機に関する第2報とする。

要 旨

著者の一部は先に新規の機構による万能型の繊維試験機を試作し、樹脂加工及未加工を含む各種の長繊維、長繊維及短繊維糸の織物、Blend織物等について得た、顕著な又特徴ある結果に関して、現象的説明と共に種々の吟味を行い又或程度實際的な意義を明かにした(本題研究第6報¹⁾)。

茲に本報は、試料のより正しい鑑定と試験結果の知見に基く改質加工法の改善とに寄与せんとする目的にて、第6報に引続き更に詳細な検討を加えた一連の研究の中特に長繊維についてのみ取扱つたものである。

内容の要約をのべると、同一繊維について切断試験機構を異にする3種の試験を行い、結果の種々の比較検討から、第6報に述べた「長繊維については荷重の強さの範囲によつて切断機構が変る事」を確認した。又いわゆる「特性曲線」の独自性について解明し繊維の性質に対する判定について考察した。「特性曲線」は一般式に包括し得る、但し各繊維は荷重の強さの範囲によつて式中の独自の恒数をもつ。

即ち切断に至る回数 n と初荷重の強さ f とは一般に $n = Ne^{-kf}$ なる関係が成立する事が見出された。但し k は f の或範囲内で切断機構が一定な間は恒数である。 N は一定の k を与える f の範囲内での切断に有効であつた最小の f に対応する n で与えられる。 k のもつ内容を強伸度及結節強伸度の Data から種々検討した。そのレオロジー的意義の解明は今後の研究に待つのであるが、さし当つて常温における屈曲と摩擦と引張とが同時に働く本試験機の条件の下で、各繊維の総合的耐久力の一種の相対的尺度は、実用上 f の最小限度を仮定すれば $\ln n, f, 1/k$, 又は $\ln n, f, f$ の立体模型によつて得られる。

尙判定の実際問題と関連して、又この種研究と改質法への示唆について二三考察した。

緒 言

周知の如く今日の繊維界は特に多事多端である。それは化繊の発達につれ在来の繊維が大なり小なり再検討、再出発を余儀なくされている一方化繊自身の余りにも急速な進展によるものである。

「綿」は昨年の不振に鑑み謂所“捲返し”運動を展開しつつある。一方合成系の急速な進出に驚いた「羊毛」は独自の機能的特徴を宣揚し、高級衣料と混用方式(Blending)とによつて自らの進路を益々開拓しようとしている。併し乍ら化繊の発展は更に著しく、特に最近新しく合成系が相ついで登場しつつあり、拙くすると合成系同志にも相当な競争も免れ難い情勢となつて来た。従つて各種の最終使用目的に対して少しでも機能的に優秀なものを合理的且経済的に生産する様管理しなければならぬであろう。即ち既存の繊維、或は新生の繊維について各種の性能を真に熟知しその本質を明確に把握して、夫々の正しい用途に向つて計画を誤らない事が此際最も重要な事柄であろう。

一方に於いて新繊維の特殊顕著な機能的性質は、新時代の要求に応ずべき幾多特定の個所に夫々重要な用途をみたますに至る事もあるであろう。けれども一般的な用途に於いて又は被服用として耐久力が大きい事、或は機械的に丈夫であるという事が有らゆる場合に於いて矢張りその実用的価値を決定する重大な一つの要素であるに相違ない。処がこの様な耐久力とか耐用年数というようなものを端的に予測したり表現したりする方法や計器は必ずしもそう簡単ではなく現在までの処未だ確立していない。例えば Stoll Quatermaster tester もその迅速試験が実用性と縁の遠いとの批判をうけており²⁾、最近は英国でも一部この改善法も提案されている位である³⁾。

この点著者の一部が先に報告した(第6報承前)万能型繊維試験機は繊維の実用性と最も重要

な関連をもつ性質、即ち耐屈曲摩耗性（特に樹脂加工品に於いては防皺性と関連して甚だ重要な性質であるが）について繊維個有の特徴が甚だよく發揮せられ夫々独自の「特性曲線」が得られる事及び織物加工上の欠点をも指摘し得る事等から繊維及び織物の改質の研究上甚だ重要である事が明かにせられたのであるが、上に述べた様な今日の繊維界の情勢に鑑みこの万能型試験機から、是等繊維及び織物の実用性の鑑定上更にどの様な有用な知見が得られるかを究め、又繊維個有の性質を更にどの程度詳しく究明し得るかどうか、そしてそれ等から繊維改質に関する何等かの示唆が得られるかどうかなどに関して色々と基本的に一層追求して行く事は最も重要な事と考えられる。特に高分子の構造と性質との問題が一般的にやかましくなつて来た今日でもあり、複雑な組織構造をもつ繊維の性質が試験結果に最も敏感に反映する様な試験方法やその結果の判定等に関する研究は時節柄特に重要且緊急の事柄と言わざるを得ないであろう。

尙又本研究は従来より著者の一人が主唱し進展して来た「構造改質的樹脂加工法」を大成し、任意に性質等を control し或は羊毛様機能に最も近い纖維素系改質纖維又は織物を獲得するに当つても自ら重要な一つの段階を形成するものである。

本報はこの計画に於いて漸く未処理の長繊維についてその一端を究明し得たのみであつて今後尙甚だ多くの研究を行うべきものが残されているのであるが、既に二三の重要な知見をもたらす事が出来たので茲に此種関係の続報としてまとめた訳である。その総括的な内容は先に「要約」に於いて簡単に記したが以下順次記載し考察を試みようとするものである。

実 験

下記の各種試料について記載実験条件の下で（1）屈曲摩耗試験を行い、（2）摩擦（3）伸張疲労試験を行い、又（4）一部片面屈曲摩耗試験を行い、尙考察上の参考のため強伸度をも測定した。

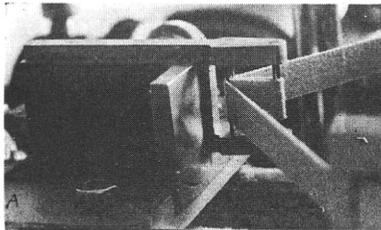
試 料： 何れも無熱、未処理、長繊維で、大体各種を代表するものを含んでいる。今それ等を列挙すると

| | |
|--|------------|
| Viscose rayon (bright) | 120 denier |
| // // (high tenacity, all skin タイヤコード用原絲) | 1650 // |
| // // (// // 普通タイヤコード用原絲) | 1650 // |
| Bemberg C-75 (セントル紡絲) | 75 // |
| // C-100 (// //) | 100 // |
| // H-40 (ハンク紡絲) | 40 // |
| // H-75 (// //) | 75 // |
| // R-75 (連続紡絲) | 75 // |
| Acetate rayon (bright) | 120 // |
| Amilan | 70 // |
| Terylene | 140 // |
| Vinylon | 100 // |
| Silk (未精練) | 12 // |
| Scoured Silk | |

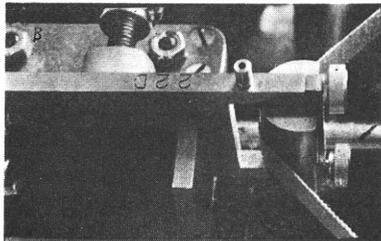
試料の準備、採取、調整：等は第6報（承前）に準ずる。試長は 20 cm,

測定試験機： 屈曲摩耗試験は第6報中の第2号機、エレメントは No.2 による（第1図A参照）。測定中の伸度は記録し得る様になつている。摩擦試験にはエレメントは半円型摩擦子（第1図B参照）を用いた。伸張疲労試験には第2図の様な試験機を用いた。これは水平の bar の一端に試料を固定しその他端は動き得る荷重を積んだ滑車に固定されている。bar は水平の位置より 45°

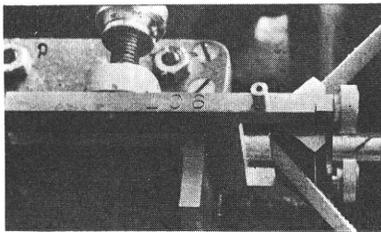
第 1 図



(A) 試料に屈曲と摩擦と引張りとは、同時に働く



(B) 試料に摩擦と引張りとは、同時に働く

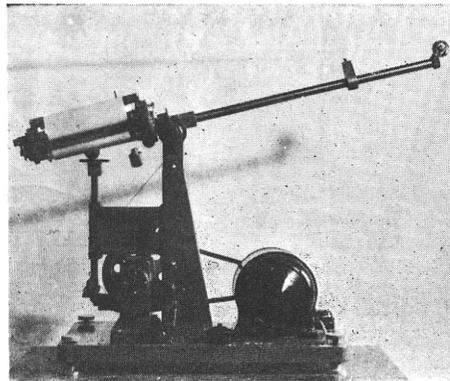


(C) 試料は主として片面屈曲., (及引張り, と摩擦)をうける

第6表は Viscose rayon, Acetate rayon, Bemberg, Amilan, 等の切断及び結節強伸度の数値及び各種の屈曲摩耗試験の恒数及び特徴である。

先づ各種の繊維についての測定結果を一目瞭然たらしめる為に第3図に示した。之は所謂 T. N. S 式の試験機で伸のレコーダーをつけずに行つた結果である。繊維材質の種類, 又同種

第 2 図



引張り疲労試験機

傾き再び水平となりこの操作を反復する。45°傾いた時に総荷重の1/2が、最高荷重として絲にかかる様になつてゐる。斯くして反復引張りに基く疲労による切断までの回数と繊維長とが記録し得る。

結 果 及 考 察

各種試料についての屈曲摩耗試験結果を荷重の強さと回数の対数とを图示すると第3図の通りである。第1~5表は同様ベンベルグ各種の試料についての屈曲摩耗試験中の伸をも測定した結果である。

第 1 表

| Bemberg C-75d. × 20本 R.H. 75% | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------------------|-------------------|-----|
| Load | | Cycle | Elongation (%) | | |
| (kg) | (g/d) | | (I ₁) | (I ₂) | (I) |
| 0.50 | 0.316 | 7750 | 1.1 | 1.7 | 2.8 |
| 0.75 | 0.472 | 3097 | 2.0 | 1.7 | 3.7 |
| 1.00 | 0.629 | 1655 | 3.1 | 1.4 | 4.5 |
| 1.25 | 0.787 | 764 | 3.9 | 1.6 | 5.5 |
| 1.50 | 0.945 | 264 | 5.4 | 1.4 | 6.8 |
| 1.75 | 1.11 | 75 | 6.5 | 1.1 | 7.6 |
| 2.00 | 1.26 | 23 | 7.9 | 0.9 | 8.8 |
| 2.25 | 1.42 | 6 | - | - | 9.4 |

第 2 表

| Bemberg H-75d. × 20本 R.H. 75% | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------------------|-------------------|-----|
| Load | | Cycle | Elongation (%) | | |
| (kg) | (g/d) | | (I ₁) | (I ₂) | (I) |
| 0.50 | 0.316 | 5071 | 1.0 | 1.8 | 2.8 |
| 0.75 | 0.472 | 1737 | 1.3 | 2.3 | 3.6 |
| 1.00 | 0.629 | 489 | 2.3 | 2.0 | 4.3 |
| 1.25 | 0.787 | 143 | 3.3 | 1.9 | 5.2 |
| 1.50 | 0.945 | 23 | 4.5 | 1.7 | 6.2 |

第 3 表

| Bemberg R-75d. × 20本 R.H. 75% | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------------------|-------------------|-----|
| Load | | Cycle | Elongation (%) | | |
| (kg) | (g/d) | | (I ₁) | (I ₂) | (I) |
| 0.50 | 0.316 | 1549 | 1.1 | 1.0 | 2.1 |
| 0.75 | 0.472 | 354 | 1.8 | 1.1 | 2.9 |
| 1.00 | 0.629 | 69 | 2.3 | 0.9 | 3.2 |
| 1.25 | 0.787 | 14 | 2.2 | 0.9 | 3.1 |
| 1.50 | 0.945 | 7 | 3.4 | 1.1 | 4.5 |

のものでもそれ等の製造条件の差異に応じて図中その形が甚しく特徴的である事が判る。この詳細な点に亘ると測定時の湿度は勿論、用いた試験子或は屈曲摩耗子（略してエレメント）等によつて異なる。従つてエレメントは嚴重に同一条件を確保しなければ比較試験の目的は達せられない事は明白である。併し或許容範囲内では各種繊維の重要な特徴の相対的關係は左程大きく変化するものでない事は実験的にも確かめられている。この大きい特徴とでもいうべきものは、寧ろ各繊維の本質と直接関連をもつものと考えられるのであつて、是等については茲で説明しようとするものである。

扱て本試験機に関する前報に於いては是等の結果の中長繊維について得られた幾つかの直線は切断に関する有効な機構が明かに変化して

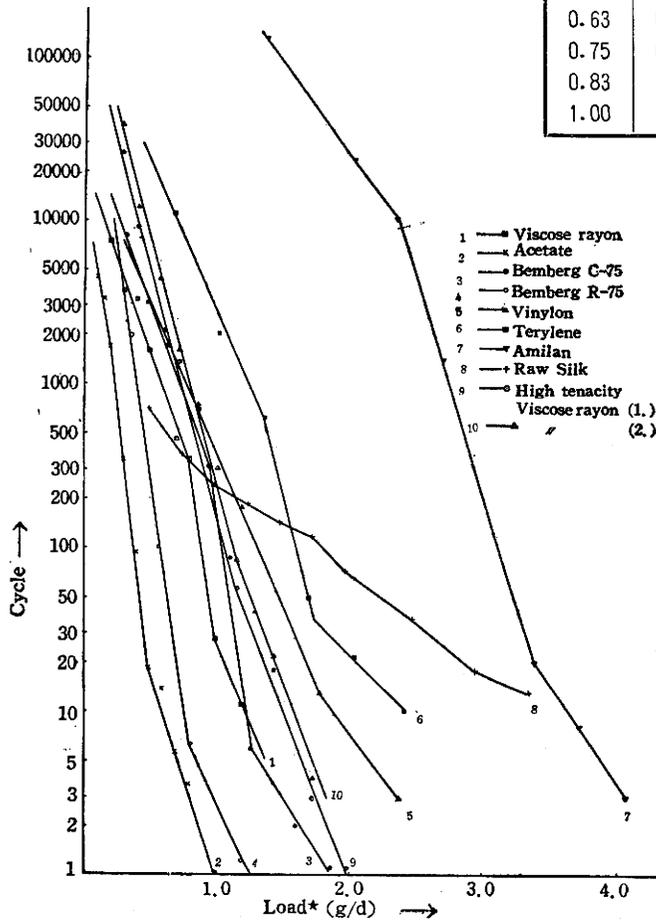
第 4 表

| Bemberg C-100d. × 20本 R.H. 76% | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------------------|-------------------|-----|
| Load | | Cycle | Elongation (%) | | |
| (kg) | (g/d) | | (1 ₁) | (1 ₂) | (1) |
| 0.50 | 0.236 | 8521 | 1.6 | 1.8 | 3.4 |
| 0.75 | 0.355 | 3297 | 1.7 | 1.7 | 3.4 |
| 1.00 | 0.473 | 1465 | 4.5 | 1.4 | 5.9 |
| 1.25 | 0.591 | 663 | 4.8 | 1.7 | 6.5 |
| 1.50 | 0.709 | 349 | 5.2 | 1.4 | 6.6 |
| 1.75 | 0.827 | 77 | 5.9 | 1.6 | 7.5 |
| 2.00 | 0.945 | 36 | 6.9 | 1.3 | 8.2 |

第 5 表

| Bemberg H-40d. × 20本 R.H. 74% | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------------------|-------------------|-----|
| Load | | Cycle | Elongation (%) | | |
| (kg) | (g/d) | | (1 ₁) | (1 ₂) | (1) |
| 0.50 | 0.591 | 1925 | 2.4 | 2.4 | 4.8 |
| 0.63 | 0.733 | 816 | 2.8 | 2.3 | 5.1 |
| 0.75 | 0.886 | 346 | 4.0 | 1.6 | 5.6 |
| 0.83 | 1.03 | 76 | 5.6 | 1.6 | 7.2 |
| 1.00 | 1.18 | 9 | 6.6 | 1.3 | 7.9 |

第 3 図



いる事を多くの証査から推定した。そこでそれらの關係を一層明確にするため従來の如く屈曲摩耗試験 (A) と摩擦試験 (B), 及び引張疲労試験 (C) とを二三種に亘る同一繊維について夫々試験し比較検討した。第 4 図は Viscose 及 Acetate rayon 等について得た結果である。是等から明かな事は (A), (B), (C) は夫々はつきりと異つてゐる。而も (A), (B), (C) は両者の繊維についてよく似てゐることである。(C) は (B) 及び (A) と較べると機械も別であつて、引張りの機構も嚴密には同じではないが切断に対する機構は間違いなく引張り疲労だけである。次に (B) は (A) に比すればエレメントが異なる外は (A) と同じ機械に依つた。このエレメント

はゆるやかに曲つた滑かな面をもつている(第1図B参照)。表面摩擦だけの試験は甚だむつかしく、茲では布が滑かな面上をすべるのであるが引張りの力なしには試料は面に密着しないので、従つてこの(B)では表面摩擦と引張りとが関係している。又(A)は既報の屈曲摩擦試験機で得られた主として屈曲と摩擦と引張りとが関与した結果である。

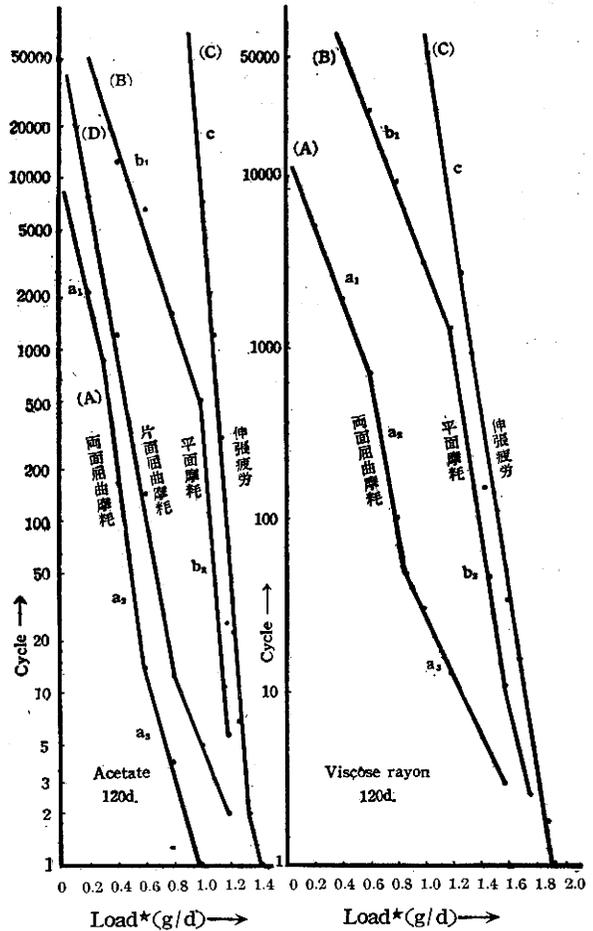
この第4図に於いて一寸目につく事は(C)は大体に於いて1本の直線、(B)は2本、そして(A)は3本からなつている事である。興味ある事にはそれは丁度それ等の試験機が主として関与している切断機構の数に等しい。今是等について更に考察してみる。先づ(C)をみると1回で切断した荷重の強さは丁度夫々繊維の強度と大体よく一致している。そしてこの強度の何%かづつ少い強さの引張りの力を繰返して繊維に与えた場合何回目に切れるかという関係を示しているのであつて、 $f(=g/d)$ と試験回数 n の対数とが一つの直線関係にあるということである。

次に(C)の(B)及び(A)との関係を論ずるに先づ *Viscose rayon* の場合数字を以つて説明を試みよう。今第4図に於いて約 2000 回の反復試験で切断が起るためには夫々の試験機構ではどのような張力の強さが必要であつたかを調べてみると、荷重の強さ $f(=g/d)$ は(A)では 0.39 (g/d), (B)では 1.09 (g/d), (C)では 1.28 (g/d) となつており、引張りだけで切断するには、張力が一番よけいに必要である事がわかる。又一方強力の強さが一定、例えば 0.6 (g/d) の処を縦にみるとそれぞれの機構に於ける切断のための回数は(A)では 730 回(実測), (B)では 25,000 回(実測)であるが(C)では少くとも 1,200,000 回以上と推定せられる。

斯くの如く引張りだけで繰返し張力を与えて切断しようとする時は必要な力は常に相当に大きく、張力が余り小さい範囲ではちよつと容易に切断が実現しない様な大きな反復回数(cycle)を要する事となり、或は実際的には切断しないと言う事になると考えてもよさそうである。事実強度の30%以下の力の強さでは引張りでは繊維は切れないといわれている。従つて切断が実際に実現する最小の f 点から cycle は無限大となり直線は垂直となりこれは問題外とする。この様な f 以下の f の範囲では(C)は存在しない。これが(C)直線が f の高い範囲に偏在している理由である。図をよくみると(C)直線は実際的には(A)の第3直線(a_3 と名付けるとする)が出現している f の範囲内に納まるようにみえる。

次に(B)をみると低中位の f の処では(C)の反復回数と較べて遙かに低く、且又 1300 回附近から直線は急に折れている。そして(C)直線の傾きに近づいて来ている。これはこの点から張

第 4 図

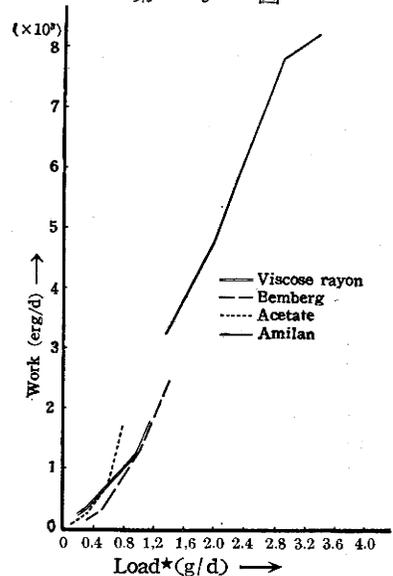


力が切断への決定的な因子として表れ出して来た事を示しているものである。事実先にも示した(B)の b_1 線上の約 2000 回の所では切断を決定的にした有力な因子は引張りでない事は明白である。何んとなれば若しそうならば b_2 線を内挿したところから計算出来る様に少くとも約 4500 回になつた筈である。(C)では事実 10000 以上になつている)従つて b_1 直線上の点は何れも表面摩擦の影響の強く表れた所であると考えられる。同様に a_1 線上での点についてみると、これは引張りと表面摩擦以外の因子に強く影響されている点であり、即ちそれは主として屈曲がもたらす影響に外ならないことになる訳である。尙 a_2, a_3 に至るに従つて事実引張りが益々増加しているのであるが a_2 では a_1 と同じ機構ではない事は明かで、ここ a_2 では張力の増加が切断効果に一層多く貢献しているのであるが、さりとてこの範囲の張力の大きさだけが直接原因では切断が起らない筈である。従つて a_2 では屈曲に加うるに張力の増加と共に表面摩擦が有効に働き、斯くして切断効果を生ずる速度の決定的な因子になつて表れてくる領域であろう。

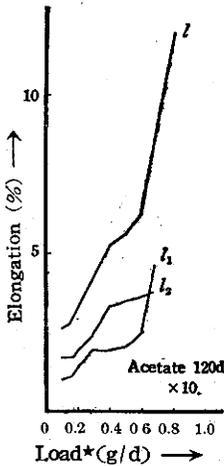
a_3 に於いてはもはや屈曲も摩擦も共に切断速度の決定的な因子とはならず張力の影響が決定的に働いている事は C_1 や b_2 の線と共に収斂せんとしている事からも首肯出来る。

以上(A)の三つの部分 a_1, a_2, a_3 に対して第6報(承前)で、種々推察した事がより明瞭になつたのであるが、是等の事は更に第5図に示された結果からも明かになるであろう。即ち(A)による測定中の伸は第6~11図の二三の例の如く算出出来る訳である。そこでそれ等の伸に対応する繊維の補正した張力を算出したものから繊維の切断に至るまでに引張りによつてなされた全仕事量(T.W)を計算し、種々の初荷重の強さ f に対して是等の値を調べて(T.W. - f) 図を描いたものが、第5図である。この図をみると、引張りのために切断までになされた全仕事量の大きさは f の範囲によつて著しく異なる事がわかる。即ち(A)の三つの部分に大体に於いて対応した直線群が得られており f の小さい方からの第1直線部では全仕事量は(ナイロン以外では)第2, 第3部に比し甚だ小さくその仕事の切断

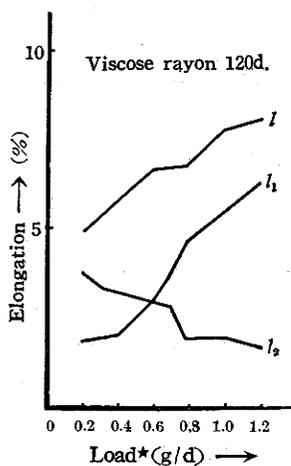
第 5 図



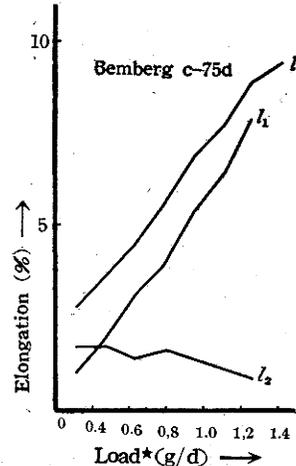
第 6 図



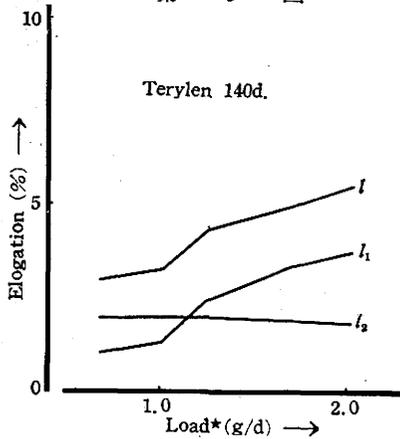
第 7 図



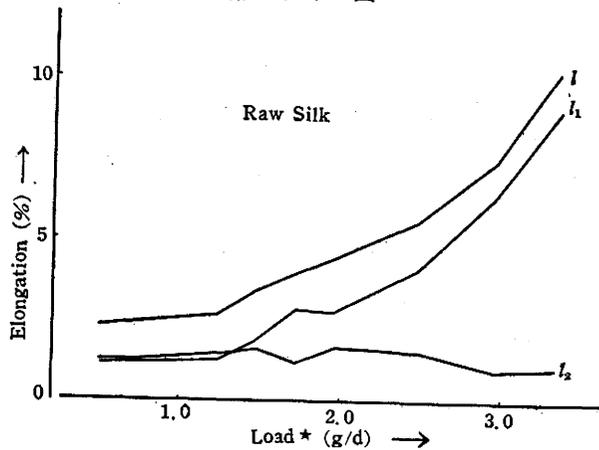
第 8 図



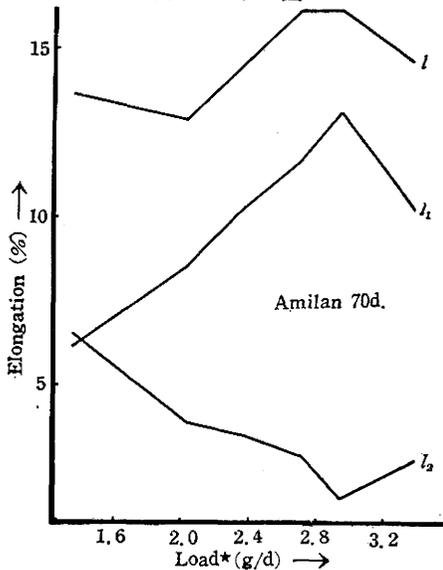
第 9 図



第 11 図



第 10 図



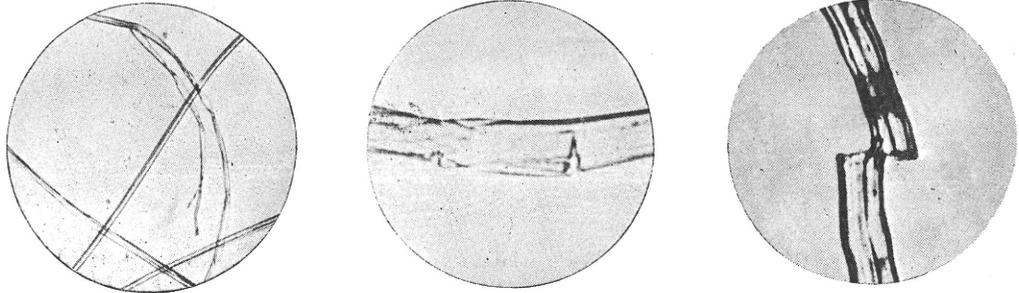
への貢献が夫々の繊維に於いて如何に微力であるかが容易に察せられる。従つてこの範囲内での切断を支配するものは、引張りが主として関与するもの以外の因子、即ち茲では屈曲に基く種々の疲労等に依ると考えられる。換言すると、この範囲の f による引張りだけでは幾ら回数を重ねても致命的な破壊や切断が起らないものが屈曲疲労という条件が主として働いたために起つたのである。次の直線部分では引張りによる仕事量は急昇し、引張りが急激に破壊乃至切断に貢献している事がわかる。併し茲でも引張りが直接それだけで切断の原因ではなく屈曲によつて傷つけられ、又張力増加による有効な摩擦によつて繊維破壊が致命的となつた領域である。即ちこれは a_2 の f の範囲と大体に一致している。次に第3直線部は張力だけでも充分に繊維を破壊し得た f の領域であるが引張りの全仕事量は最も大きく a_3 の

f の範囲とよく一致している。序乍ら茲に一寸興味ある事は同じく繊維素系である Viscose rayon と Bemberg とでは f の遙かに高い所では切断の全仕事量は全く一致している事である。

顕微鏡的観察から

尙上記の所説を一層具体的に示すものとして試料の切断箇所を顕微鏡写真によつて観察すると甚だ興味がある。即ち第12図は切断繊維の内 a_1 , a_2 及び a_3 各部に相当したものからの代表的な特徴を示すものである。第12図1, 2, 3 をみると先ず a_1 では繊維にかかる張力は低く、ゆるく、組織が屈曲されているのであるから、その間には組織構造の内の比較的弱い部分からこわれて行くのは自然である。従つて今引張強度としては相当に大きいが左右の結合の弱いような繊維、事実こういうのは紡糸の際に相当張力をかけたものなどによくあるのであるが、この様な繊維は低荷重での屈曲試験中恰も壁開する様にたて割れが生じて来る(第12図1, a_1 部参照)。この事はこの写真

第12図 繊維切断の機構を示唆する切断部の顕微鏡写真

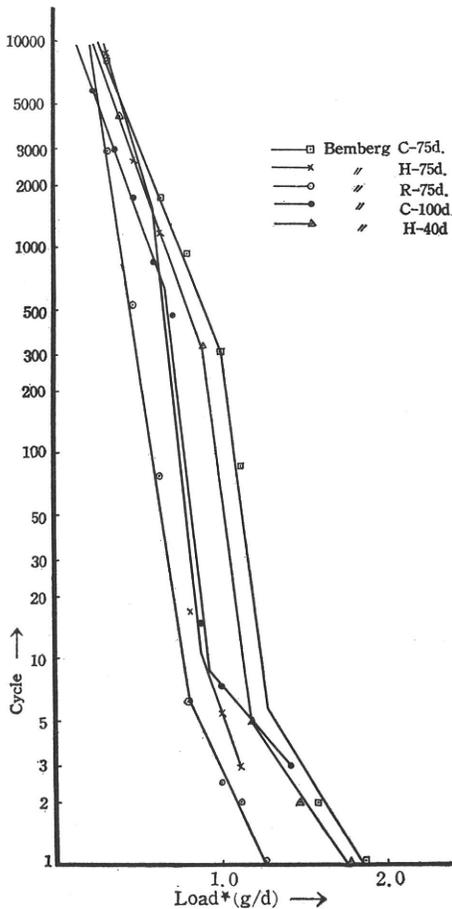


1. a₁部の繊維の切断部。繊維の縦のつながりよりも横のつながりの方が、より弱い場合に起る。
2. a₂部よりの繊維のわれ、及びその摩擦による損傷の状態。
3. a₂部とa₃部とのknickの点の繊維切断部。2の右の単純な∧の如きひび割れが、迅速に切断に発展せんとする処。

の様な Viscose rayon のみならず、Bemberg に於いても見られる

のであつて、R-75 が、強度は試験した5種の Bemberg 試料の中で最も高い(第6表参照)にも拘らず繊維素の水素結合による左右の結合が他の紡糸条件から得られたものよりも比較的弱いためであろうか、之等5種の屈曲摩耗試験結果の図をみれば(第13図参照) a₁部での屈曲の回数 n は極

第 1 3 図



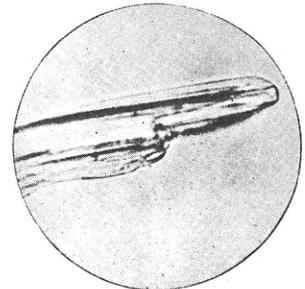
低い f ではより高いが、荷重増加による n の低下は急であつて 0.3 (g/d) 以上の f では他のどの Bemberg よりも低い値を示している。この様な繊維は水に依る膨潤も起り易い傾向がある。

次に a₂部について観察すると、第12図2の写真の

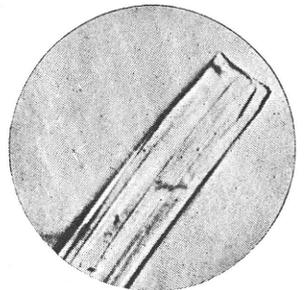
様に表面の摩擦で損傷した箇所(写真の左側のくぼみ)と屈曲によつて割れ、而もそれが摩擦によつて更に損傷したような  形のわれ(第12図2, a₂部の右側のわれ)が認められる事は甚だ興味がある。又 a₃部の初では第12図3の如くなつては a₂(第2直線)部終の  型のわれが更に発展したものであろう。

尙又長繊維織物での例では(ビス人絹平織)第14図 a₁及び a₃部の如く、a₁部では  図の如きわれになつては、こ

第 1 4 図



a₂部よりの繊維の切断部の状態。



a₃部よりの繊維の切断部の状態

これは矢張り弱い所が方々壊されて遂に繊維が破壊切断したものであつて、恐らく結晶部分と他の結晶部分とのつながりの如き場所があちこち切断したのではなからうか、何んとなればこのような場合は事実切断のための引張りの仕事は左程大きくなくて済む訳であるからである。これに対し、相当大きい引張りの仕事を費して切断した a_3 部の切断部は繊維方向と直角にすばりと切つた様になつてゐる。これは張力によつて或程度配列され、屈曲によつて特にわれやすい結晶部分などがわれ、それが發展して更に引きちぎられた結果のように思われる。或種の繊維では a_3 部が充分よく発現してこないものがあるが、これ等は上の考え方からもよく説明出来る。即ち強度も高く配列度も高いタイヤーコード原絲や BXFiber が特に a_1 部の傾斜が急であつて、 a_2 部がこれにつき、 a_3 部は出現しない事が第6報(承前)で観察されているが、これなどは a_2 部で出来たわれが容易に切断に發展し、特に a_3 部が出現する余地がなかつたものと考えられる。それ故に、特に屈曲にも強いナイロンでは a_3 部は明瞭に発現し、その傾斜もゆるやかであり、試験回数で1回の線との交点が即ち強度と殆んど一致している事は洵に興味ある対照であらう。本報での例をみてもビニロン(特に高強度の試料)もテリレンも共にナイロンよりも硬度の高い繊維であるが是等に於いては第3直線は余り明瞭に出ていないか或はほんのわづかさの兆を示しているに過ぎない。(そしてテリレンの場合第3直線らしいものを延長すると n が 0 ~ 0.5 回位の所で大体強度に一致している事になるから必ずしも不合理ではない訳である。第3図参照)

「特性曲線」と一般式

以上 a_1 , a_2 , 及び a_3 の各部について実験データ又は繊維切断の実状からも観察して種々考察して来たが、是等各部が荷重・回数グラフの上で如何なる形を呈するか、即ち各部が発現して来る場所、即ち荷重の強さの範囲と回数の高さ、及び直線の勾配等は一定の比較し得べき条件の下で得られる場合、各繊維に独自のものであつて、その個々の化学的構造と物理的組織構成とによつて定まるものである。その依つて来る所は繊維材質の分子の主原子価鎖の強さ、結晶度及び配列度等に基く縦の強さ、及び結合力その他による横の強さ、或は又粗密の度合やその分布状態如何によつて自ら定まる独自の組織構成が結局、屈曲、引張り、づれ、よちれ、伸び乃至疲労等に対する抵抗性に関して特有の差異が本質的に出来上つてゐるためである。従つて f の小さな値から段々に高めて試験してゆくと夫々の応力を吸収しその際の条件の下で最も弱い個所から壊れて来る。そして各繊維はどの様な f の範囲ではどの様な応力をどこに吸収するかによつて破壊や切断の機構が様ではなく、従つてどの繊維はどの切断破壊機構の下ではどの程度に強いとか弱いとかが顕れて来るのであつて、これが即ち「特性曲線」に外ならない。

茲に注意すべき事であるがこの屈曲摩擦試験機では屈曲と摩擦と引張りとが同時に働いてゐるのであるから3つの内どの一つでもが極端に強かつたり弱かつたりする様な場合は自然除外せらるべきである。即ちガラスやセンコの様な繊維は脆いため結局試験にならない。又くものずの繊維の様なものはたとえ弱くなくともすべらないであらうからすぐちぎられて仕舞うであらう。或は又膨潤したうどんの様な繊維だとすると引張りに堪えないから之も試験外である。実際ナイロンの様に屈曲にも、摩擦にも引張りにも強靱な繊維でこそ a_1 , a_2 及び a_3 が明瞭に得られたものと考えられる。従つて又繊維の特質によつては、或は樹脂加工効果如何では、是等三直線がきれいに出現しないものも大いにあり得ると考えられる。事実第3図に明かな如く種々の形を呈してゐるのであるが是等について正しく解析し得るためには繊維の性質に関して尚多くの他の平行的な研究を必要とするであろうが、それが可能となれば、すいぶん有用な知見が得られるであらうと考えられる。

今切断までの試験反復回数を n とし、繊維に働く初荷重の強さを $f [= (g/d)]$ とすれば (C)

は明かに大部分直線であるから、 $n = Ne^{-kf}$ なる式が成立する。茲に N と k とは恒数であつて、 N はこの繊維がこの機構で切断し得るために有効な f の最小値 f_1 の時の (仮想の) n である。又 k は単位 f を増す毎に如何に n の対数が低下するかという係数である。

この考え方を或種の制約の下に拡張すると (B) 及び (A) に於いても一般に $n = Ne^{-kf}$ で表わす事が出来る。即ちこの場合は k は一定の切断機構に相当する f の範囲内では一つの恒数であつて、 $\ln n - f$ 図では一つの直線となる。切断機構が変る他の f の範囲内では k は別な恒数となり、別な直線となる。又 N は k の一定な f の範囲内での f の最小値の時の n で表わす事が出来る。(k が刻々変化する範囲では直線の代りに曲線となる。之は紡績絲等の場合に起る)。

是等 k の値が繊維の如何なる物理的性質と対応するかは甚だ興味ある所であるが、是等の詳細な研究は今後の問題である。今 Acetate, Viscose rayon, Bemberg 及び Amilan の 4 種について求めた種々の数値をあげてみると、第 6 表の如くなる。

第 6 表

| 項 目 | 品 種 デニール と記号 | Acetate | Viscose | Bemberg | Amilan | Bemberg | | | | |
|------------------------------|--------------------|---------|---------|---------|--------|---------|------|------|-------|------|
| | | rayon | rayon | C-75 | 70 | C-75 | H-75 | R-75 | C-100 | H-40 |
| | | 120 | 120 | | | | | | | |
| 引 張 強 度 (g/d) | (g/d) | 1.41 | 1.91 | 2.15 | 4.98 | 2.15 | 2.18 | 2.20 | 1.77 | 2.00 |
| " 伸 度 (%) | (%) | 26.5 | 16.3 | 13.8 | 27.2 | 13.8 | 10.4 | 3.8 | 13.7 | 10.7 |
| 強度/伸度 × 100 | × 100 | 5.3 | 11.7 | 15.6 | 18.3 | 15.6 | 21.0 | 52.8 | 13.0 | 18.8 |
| 結 節 強 度 (g/d) _k | (g/d) _k | 1.16 | 1.52 | 1.90 | 4.71 | 1.90 | 1.37 | 1.82 | 1.47 | 1.61 |
| 結 節 伸 度 (%) _k | (%) _k | 18.3 | 11.3 | 10.6 | 21.2 | 10.6 | 6.5 | 3.2 | 8.7 | 7.7 |
| 結節強度/結節伸度 × 100 | × 100 | 6.3 | 13.4 | 17.9 | 22.4 | 17.9 | 21.0 | 58.5 | 17.0 | 20.8 |
| 結節強度/引張強度 × 100 | × 100 | 75.2 | 79.6 | 88.4 | 94.5 | 88.4 | 57.6 | 82.3 | 83.0 | 80.4 |
| 結節伸度/引張伸度 × 100 | × 100 | 69.1 | 69.4 | 77.1 | 77.9 | 77.1 | 62.8 | 84.1 | 63.4 | 72.3 |
| 引張強度 × 引張伸度 | × 引張伸度 | 37.1 | 31.12 | 29.68 | 135.5 | 29.68 | 22.7 | 8.36 | 24.25 | 21.4 |
| 結節強度 × 結節伸度(M) | × 結節伸度(M) | 21.22 | 17.17 | 20.15 | 99.8 | 20.14 | 8.91 | 5.82 | 12.78 | 12.4 |
| 屈曲摩耗試験第1直線の勾配 k ₁ | k ₁ | 3.06 | 2.38 | 2.10 | 1.37 | 2.18 | 2.74 | 4.19 | 2.20 | 2.62 |
| 屈曲摩耗試験第2直線の勾配 k ₂ | k ₂ | 6.37 | 4.47 | 3.30 | 2.66 | 3.37 | 3.55 | 1.53 | 5.60 | 5.25 |
| 屈曲摩耗試験第3直線の勾配 k ₃ | k ₃ | 2.54 | 2.01 | 1.05 | 0.97 | 1.05 | 1.58 | — | 2.10 | 1.21 |
| 引張疲労特性曲線の勾配 K | K | 12.10 | 6.30 | 6.17 | 4.92 | 6.10 | 5.72 | 5.40 | 7.12 | 6.55 |

又 Bemberg の種々の試料に関するデータは同表右側にあげた。この 5 種の「特性曲線」は第 13 図に掲げた。

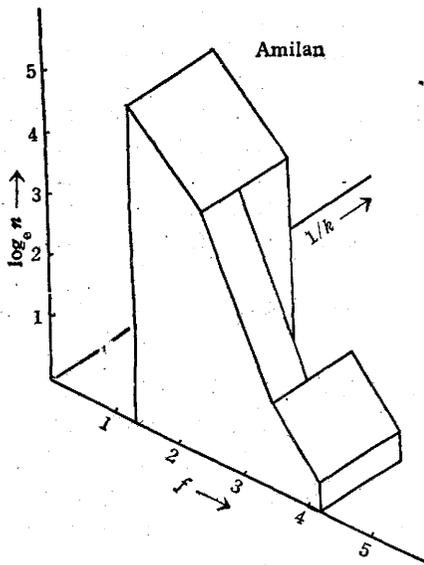
この表からわかる様に Acetate, Viscose, Bemberg, 及び Amilan について強伸度、結節強伸度等に関する種々の値と k_1 とを比較してみると、 k_1 は強伸度だけに関係しているものでない事は明かである。強度の大きいもの程 k_1 は小さいと一応みられるが必ずしもそうではない事は明かである。伸度も関係しているので、強度 × 伸度 の値と比較する方がよい訳であるが、それよりも寧ろ屈曲に関係のある結節強度 × 結節伸度 (= M) の値と k_1 とを較べる方がより合理的である。事実 M と k_1 とを比較すると M の大きいもの程 k_1 は小さい。この事は屈曲の耐久的な強さはその際の伸びにより大きいゆとりのあるもの程、荷重増強のために起る切断までの屈曲回数の減少率はより少いという事を意味していると考えられ当然の事であろう。これは Acetate の例外を除けば Bemberg 同志に於いても、其他を含めても全部に亘つて成立している。又引張強度の大きいもの程、K の値は小さい事を示しているが、これも K が引張りにだけ関与した恒数である事からも当然首肯できる。

繊維の性能判定と改質への示唆

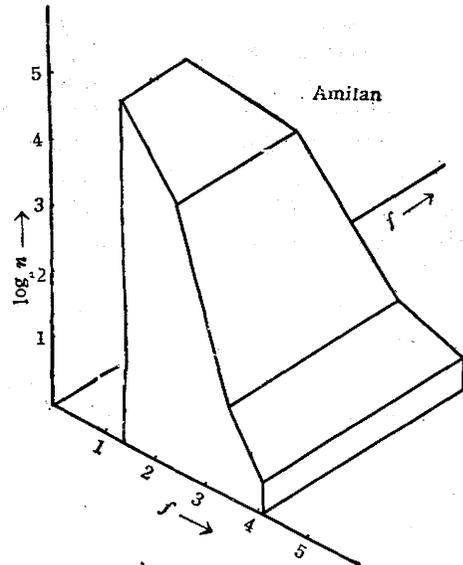
扱て上述した「特性曲線」の性質とその特数の値とから茲に二つの重要な事柄が起つて来る。一つは繊維の性能の判定であり、他の一つはそれ等の知見を基とし改質への何等かの示唆が得られるかどうかという事である。

今この様な「特性曲線」をみると屈曲と摩擦と引張りとが同時に働く条件の下で、特にどの程度の応力の範囲でどの程度の耐久性を示すかがほぼ察知出来る。曲線の形、位置及び特数から正確に判定し得るためには尙今後の研究が必要であるが、極おおざっぱに特徴的な性質と曲線上の特徴とを結び合せて考えてみると、甚だ定性的ではあるが、ナイロンと絹とが、特に絹が第3直線が f の高い範囲にあり、 k は甚だ小さい。両者に共通な特徴は耐衝撃強度が大きい事である。又屈曲や疲労によく耐える繊維は f の比較的低い所から中位までの範囲で n が高く且つ k は小さい。脆い繊維は f の極小さい所で n が低く k は大きいであろう。この試験機の機構を基礎として耐久性の大きいためには、試験回数 n が高い程、それも応力の少しでも高い処で尙高い程良い訳である。或は f の高い範囲で n がより大きく同時に k がより小さい程、或は $1/k$ がより大きい程尙良いという事であり、「特性曲線」の性質上 $\ln n$ と f と $1/k$ との、或は $\ln n$ と f と f との因子で表わす量で理屈上の総合的な耐久性の大小の尺度とする事が出来る。この事は $1/k$ は単位の $\ln n$ を低下するに必要な f であるからであり、又 f なる値で $\ln n \times f$ 耐えたものの $f \rightarrow 0$ から $f = f$ までの積分が総耐久力であるとの考えに帰する事ともなる訳である。要するにこの総量は理屈上の総耐久力の量であつて立体模型例えば第15図 a, b 等で表示出来る筈である。今之を實際問題に立脚して考

第15図(a)


 $\ln n, f, 1/k$, 立体図の1例

第15図(b)


 $\ln n, f, f$, 立体図の1例

察してみると、繊維製品特に衣料等に於いては日常使用中常に必ずしもこの試験と全く同一の機構の下で繊維の損耗が起るとは言えないであろう、が併し屈曲と摩擦と引張りとが同時に働くという条件は屢々起り得る処である。実用中では純粹に単独な因子が働いて繊維又は織物が損耗する場合の方が寧ろ却つて稀であるかも知れない。この意味では本試験条件の方が寧ろ dynamic な条件であり、而も f のどれかの範囲にはどこかに實際的な条件をも含んでいるかも知れないし、或種のも

のでは単独の因子で破壊する極限值をも指示してくれる。従つて実際問題と関連して適当に判断すれば事実大いに参考になるものがあると思われる。

特に衣料等に於いて特殊の個所の特別な傷み方、或は accidental な衝撃であるかき裂きとか、或は折目の割れとかいつたものに弱いようなものが「特性曲線」上如何なる特徴と相関関係があるかどうか等を調べる事も有意義であろうし、上述した特殊な傷み方を除けば、衣料の日常使用中繊維に働く応力の強さは左程大きいものでない事が多いと考えられる。而もこの様な時に於いても繊維の本質的な性質上の差異が実用上明瞭に露呈して来、布がだらつととか或はぐにやくになるとか、或は皺がより易いとかの特徴が曝露されるのが常ではなからうか。之等は繊維の耐屈曲の性質や疲労に対する本質的な、構造的弱点に基くものであつて、我々の試験に於いてはこの様な性質は a_1 部に於ける直線の高さ k_1 とによつて敏感に察知出来た。又日常は摩擦による損耗も多いであろうから之等に対する耐久性は a_1 及び a_2 の領域に於ける「特性曲線」の様相から大体は見当がつくものと思われる。又応力が可成高い条件の下での屈曲や摩擦に対する耐久性は a_3 に従つて伺える。

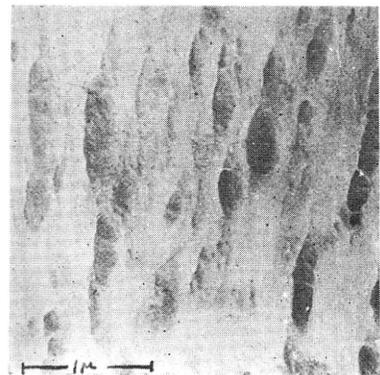
何れにしても本試験の結果と他の特徴ある試験機の結果とを比較検討して一方の特徴的データが他方の如何なる特徴と相通するかを調べる事、或は布の場合実地着用試験成績の特徴と比較して如何なる関連性をもつかを検討する事は最も興味ある問題である。既に一部実地家に依つて行われている由であるが、要するに本試験の (A) 式は結局 (B) 或は (C) 其他の単独試験等の数多くの結果から判定するよりも何れかと言えば便利であり且つ或意味に於いて實際的であろう。従つて一種の試験としてはより完全であるとも言ひ得るであろう。今参考のため片面屈曲の試験を行つてみたが (第4図 (D) 及び第1図エレメント D 参照) これでは屈曲と摩擦とが明瞭ではない。Stoll 式のいわゆる “Universal” 式も片面屈曲と摩擦とであるが大体この D の様な線が得られているに過ぎない⁴⁾。Stoll 式による一定の荷重を採用して迅速試験を行つたものが屢々実地試験の耐久性と合致しない事が批判せられていたが²⁾、これは (A) 式試験でならば当然顕著に出て来る筈の差異も (D) 式なるが故に表れて来ない事があり得る。従つて Stoll 式の如く荷重を任意に assume してその条件の下での迅速試験回数だけで甲乙を判定する事は真の特性の比較に不適当な場合のあり得る事が、固より自明であろう。英国でも既に Stoll 式の改良案が提出されている³⁾。今後絲及び織物についての試験に関する研究の進展と共に我国に於いても大いに考慮を要する問題である事は言うまでもない。

次に「特性曲線」から改質への示唆に関してであるが、上述したこの「特性曲線」各部に於ける結果と破壊乃至切断機構を考える時、種々の繊維の内部及び外部の構造が或程度よく見すかす事が出来、その弱点がどこにあるかが察せられる。これは繊維の改質上重要な事柄である。

先に掲げた Bemberg の 5 種の内では C-75 が屈曲が支配的な f の領域に於いても総合的耐久性に於いても最も優秀であろう事が察せられる。R-75 は増産を目録まれての結果であろうが、紡絲法其他に於いて尙改善の余地が多々ある事は明かである。改質加工としても前者の様な繊維の方が後者のよりも行い易いと思われる。

次に Acetate に関してであるが、或種のものでは文献によると第16図の様な孔だらけの繊維である事が報告せられているが⁵⁾、今日の Acetate には大なり小なりにこの様なものも多いであろう。この様な多孔性と強度も大きくないという事が、何故に Acetate が我々の取扱つた諸繊維の

第 16 図



Acetate rayon の縦断面

一寸見た処でも 15~25% 位もあるかと思われる孔の部分(黒い部分)が、全体に分布している。

内で最も K が大きく、又伸度の大きい割合に k が高いかを訓えてくれる。之を改質して K 及び k を小さくなる様にするためには結局この様な繊維構造を改める事が最も有効であろう事はいうまでもない。それには紡糸方法の改善と熱処理とが考えられる。

文 献

- 1.) 福井大学工学部研究報告. Vol. 4 No. 1, 73 (1955)
齊藤樞夫 外4名. レイヨンの樹脂加工に関する研究 (第6報)
- 2.) Gagliardi, D. D. and Nuessle, A. C; "The Relation Between Fiber Properties and Apparent Abrasion Resistance".
Am. Dyes. Repr., 40, 409 (1951)
- 3.) L. F. H. Breens & T. H. Morton; J. Soc. Dyers & Col., 71, 9, 513 (1955)
- 4.) G. Susich; Text. Res. J., 24, 3, 210 (1954)
- 5.) R. G. Scott & A. W. Ferguson; "The Application of Electron Microscopy to Synthetic Fibers"
Text. Res J., 26, 4, 294 (1956)