

織物の二・三の性質に関する要約とコメント

内 山 生

1 はじめに

織物の性質，たとえばカバーファクター，引張り強伸度，曲げ剛性などについては今から約50年前に欧米において基礎的研究が確立された。この分野における最近の多彩な研究，すなわち多変量解析手法による風合いの定量化やコンピュータによるドレープ形態の推定なども1920年代に提案された知見が研究を進めるときの作業仮説として，当時の提案そのままの形で採用されている場合が多い。

しかし，その当時の知見は当然ながら，ある前提条件のもとに提出されたものであり，これを無批判に適用することは危険である。近時，学会誌その他にも，そのような例が散見される。本稿では織物の性質の中から，比較的よく利用されながら適用の是非に疑問を抱くことが多い二・三の物性について述べる。

2 カバーファクター

織物でも編物でもカバーファクターは布の単位面積に対する，その中に占める糸の正射影面積の比として次式で定義される¹⁾。

$$s/S = d_1 n_1 / S + d_2 n_2 / S - (d_1 d_2) (n_1 n_2) / S \quad (1)$$

S ; 布の単位面積

s ; S 中に占める糸の正射影面積

d_1, d_2 ; 経，緯糸の直径

n_1, n_2 ; 単位面積 S 中に存在する経，緯糸の本数

従って織物の場合は(2)式の右辺第1項は経糸のみによる面積被覆率，第2項は緯糸のみによる被覆率，第3項は経，緯糸が重なる面積を差引く修正項を示している。

いま糸を綿番手で示すとすると，番手の定義から，

$$840 \times \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times m = 1/N$$

ただし， d ; 糸直径， m ; 糸密度， N ; 番手とすると，上式から

$$d=1/\sqrt{N} \cdot 1/\sqrt{840 \times \frac{\pi}{4} \times m} \text{ となる。仮りに,}$$

$$m=1.19 \text{ [lb/yd}^3\text{] とすると,}$$

$$\sqrt{840 \times (\pi/4) \times m}=28=K$$

とおいて、 $S=1$ とすると、(1)式右辺の第1項は $d_1 \cdot n_1/S=n_1/28\sqrt{N_1}$ となる。

カバーファクタが最大のときは、 $d_1 n_1=S$ であるから、 $n_1/\sqrt{N_1}=28$ となる。この $n_1/\sqrt{N_1}$ の値をもって、経糸カバーファクタと定義する。同様に緯糸のカバーファクタは、 $n_2/\sqrt{N_2}$ となる。経、緯糸の交差点によるカバーファクタは(1)式右辺の第3項から、 $n_1 \cdot n_2/28^2 \sqrt{N_1} \sqrt{N_2}$ となる。しかし、経、緯糸の場合に被覆率に28を乗じた値を、カバーファクタと定義したから、それに揃えて、交差点のカバーファクタに28を乗じた、 $n_1 \cdot n_2/28 \sqrt{N_1} \sqrt{N_2}$ を交差点のカバーファクタとする。

従って(1)式を書き直すと、

$$\text{カバーファクタ} = n_1/\sqrt{N_1} + n_2/\sqrt{N_2} - n_1 \cdot n_2/28 \sqrt{N_1} \cdot \sqrt{N_2} \quad (2)$$

となり最充填織物のカバーファクタは(2)式から28の数値が得られる。

フィラメント織物のカバーファクタは、糸の太さ表示が番手(恒重式)でなく、デニール(恒長式)となるので、次式のように示される。

$$\text{カバーファクタ} = n_1 \sqrt{D_1} + n_2 \sqrt{D_2} \quad (3)$$

ただし、 n_1, n_2 ; 経、緯糸本数/cm

D_1, D_2 ; 経、緯糸のデニール

ただし、(3)式は(2)式右辺の第3項に該当する交差点の要素は、その影響が小さいと見做して無視している。

上述のことから明らかなように、(2)式が成立し、最大カバーファクタが28となるのは、糸密度が 1.19 (lb/yd³) のときに限られ、最近の新しい構造をもつ糸にあっては、カバーファクタの式の常数は別途に考える必要がある。

3 曲 げ 剛 性²⁾

図3-1は布が曲げられるときのモデル図を示す。中立軸 XX' までの曲率半径が R で、 OB から ρ なる微小角度を持つ直線 OO' を考える。曲げによって、中立軸 XX' から OO' 線上の外側に y なる距離で Δx の伸びが生じて、このときの応力が σ であるとすれば、伸びヤング率が E のとき、 $\sigma = E \cdot \Delta x / XX'$ が成立する。同時に、 $XX' / R = \Delta x / y$

$$\text{よって,} \quad 1/R = (\Delta x / XX') (1/y) = (\sigma/E) (1/y) \quad (1)$$

応力 σ はモーメントを M 、断面2次モーメントを I とすれば、

$$\sigma = (M/I)y \text{ であるから,}$$

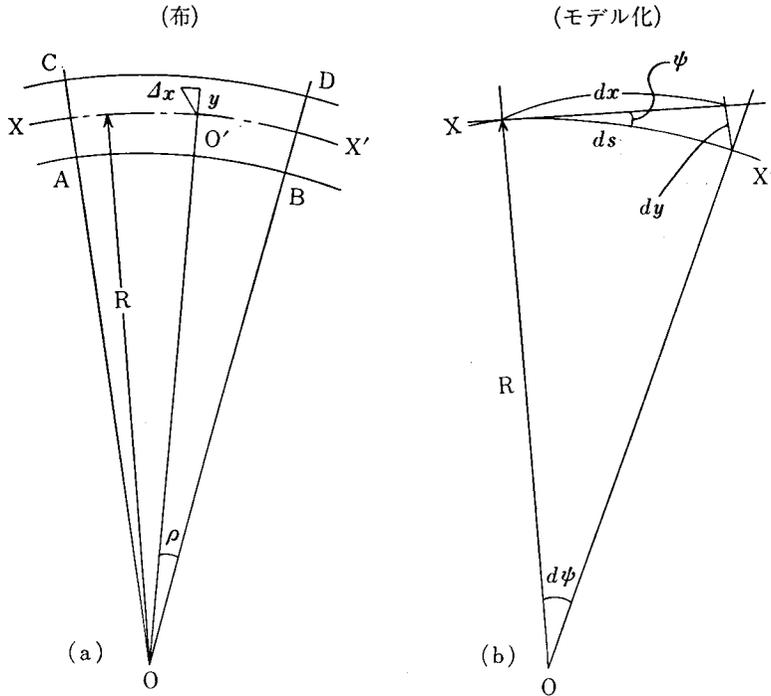


図 3-1 曲げ変形のモデル図

$$1/R = M/EI \quad (2)$$

次に曲げによる円周方向の変位 dx に対する直径方向の変位量 dy の関係を求めるため、図 3-1(b)のように(a)をモデル化して考える。図において、

$$\tan \phi = dy/dx \doteq \phi, \quad ds \doteq dx, \quad R \cdot d\phi = ds$$

$$\text{よって,} \quad 1/R = d\phi/ds = d\phi/dx = (d/dx)(dy/dx) = d^2y/dx^2 \quad (3)$$

(3)式を(2)式に代入すれば、

$$d^2y/dx^2 = M/EI \quad (4)$$

この(4)式が曲げの基礎方程式である。

布の一端を固定して他端を垂下させるときの(4)式の解を求めてみる。記号を図 3-2 のようにきめる。即ち、固定端から x なる距離を P 点とし、先端 Q までの試料長を l とする。布の単位長当たりの荷重を ω とすれば、PQ の荷重は $\omega(l-x)$

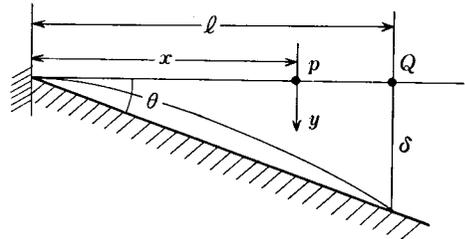


図 3-2 カンチレバー曲げ

で、これが集中荷重として PQ の中央部 $\frac{1}{2}(l-x)$

に作用するものとする。従って P 点に関するモーメントを M とすれば、

$$M = \frac{1}{2} \omega (l-x)^2$$

このMを(4)式に代入して積分し、 $x=0$ で $dy/dx=0$ なる境界条件を適用して再積分すると、

$$y = (\omega/24EI)(6l^2x^2 - 4lx^3 + x^4)$$

$x=l$ のとき y は最大値 δ となり、

$$\delta = \omega l^4 / 8EI$$

布の曲げ剛性を EI で評価するときは、

$$EI = \omega l^4 / 8\delta = \omega l^4 / 8l \tan \theta$$

ωl は布の重量 W と等しいから、

$$EI = Wl^2 / 8 \tan \theta \quad (5)$$

(5)式は布の曲げ剛性の測定に利用される式である。 θ をあらかじめ一定、例えば 45° にしておき、この斜面上に l がいくらの長さのとき Q 点が接触するかを測れば、(5)式を用いて布の曲げ剛性が計算できることになり、JIS はこの原理に従っている。従って(5)式が成立するのは弾性限界内の変形に限って可能であることに注意する必要がある。

4 引裂き破壊³⁾

伸長破断の場合は数十本の糸に同時に力が働いて破断するが、小さな欠損個所を起点として伝播的に力が働いて破断が進行する場合もあり、その例として引裂破壊がある。これは織物の実用過程においては、伸長破壊よりも、むしろ多く見られる破壊形式である。引裂きテストの様式は大きく分けて、小さい裂け目を中央にして両側の布片を左右に引張る方式と、裂け目を上下に割りながら舌片を引張る方式とがある。前者はトラペゾイド法、後者はタング法といわれ、図 4-1 はタング法を示す。

図 4-1 を力学モデルに置換えると、タングとデルとが平行に連結され、それがテールとシリーズにつながって、図 4-2 のように示すことが出来る。図の記号は次に示す内容を指す。

- K_T ; テールのスプリング定数
- K_D ; デルのスプリング定数
- K_t ; タングのスプリング定数
- K ; 系全体としてのスプリング定数
- x_T ; テールの伸び (引裂かれる距離)
- x_D ; デルの伸び
- x_t ; タングの伸び

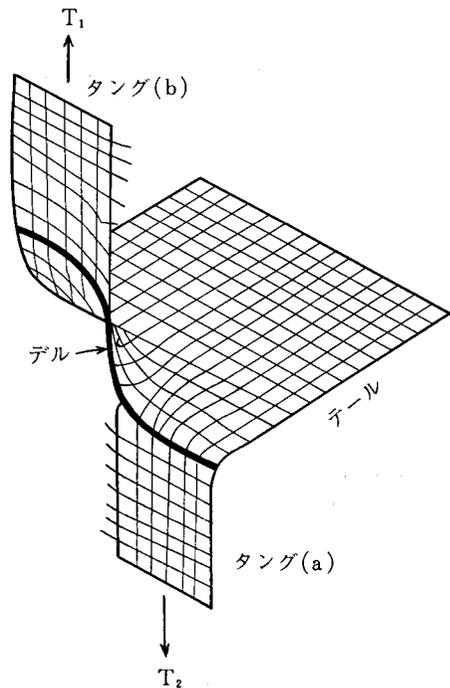


図 4-1 引裂き破壊

$K_D + K_t = K_0$ とおけば、糸にかかる力と変位は

$$K \cdot x = K_T \cdot x_T = K_0 \cdot x_t \quad (1)$$

$$x = x_T + x_t \quad (2)$$

(2)式を(1)式に代入すると、

$$K(x_T + x_t) = K_T x_T \quad (3)$$

(1)式より、 $x_T = K_0 x_t / K_T$ これを(3)式に代入して、

$$K \left\{ \left(\frac{K_0 x_t}{K_T} \right) + x_t \right\} = K_T K_0 x_t / K_t \quad (4)$$

よって $1/K = (1/K_T) + (1/K_0)$ (4)

(4)式は試料が弾性体で、引裂変形に伴って構造のずりや伸びが起らない場合を仮定している。織物を引裂く場合には、引裂方向と直交する糸が、ずれを起こしてデルの部分に集中し、さらに伸びの大きい糸では引裂応力を周辺の糸も負担する。このため、ずり変形のない場合に比べて、大きい引裂力が発生し、数本の糸が切断すると同時に破断点が進行し、再び糸のずりが起こる過程を繰り返す。上述のことから、(4)式が成立するのは図4-3のA領域のみで、A領域から右の引裂曲線は布の構造条件が大きく影響する。従って、破断点の移動距離と引裂力とは図4-3のような鋸歯状を示す。この傾向は織物の組織があらくて糸がずれやすく、糸の伸びが大きいほど顕著となる。逆に組織が強固で糸の伸びが少ない織物や硬化仕上げをした試料では引裂力が小で、その凸凹部の差が小さくなることに注目すべきである。

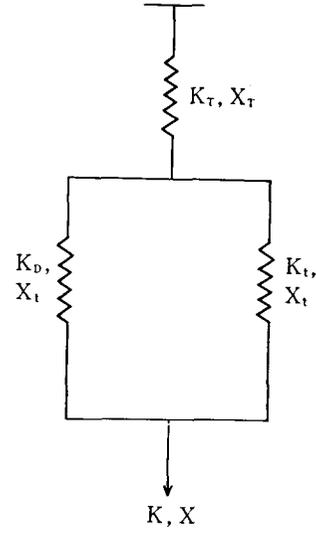


図 4-2 引裂きの力学モデル

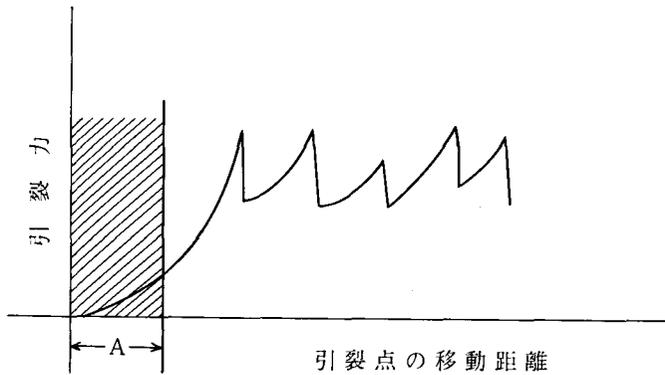


図 4-3 引裂力のモデル

5 摩 耗 現 象

布を硬い物体で摩擦すると、摩擦回数が増加するにつれて、布表面が変形する。さらに摩擦を重ねると布表面が損耗して布が薄くなり遂には穴があく。摩耗現象は少ない回数の摩擦で発

生ずることはあまりなく、多数回の繰返し摩擦で起こるので広い意味での耐久性能とも考えられる。

摩擦力を説明する原理には^{4),5),6)}摩擦理論の立場からの古典的凹凸説と、比較的新しい凝着説とがある。凹凸説では物体の表面は微小な凹凸が連続しており、摩擦力 F は凸面に垂直な分力 R に比例すると考える。すなわち比例定数としての摩擦係数 μ は見かけの接触面積や荷重、速度等とは無関係と考える。

このような凹凸説に立てば、表面の小さい突起が、摩擦仕事により破壊除去される現象が摩耗と考えることが出来る。従って引張切断に要するエネルギーの大きい、強伸度の大きい繊維からなる織物の耐摩耗性は大きいはずであり、これを裏付ける報告⁵⁾もある。

しかし、粗い面よりも滑らかな面の方が摩擦力が大きいとか、荷重が小になると摩擦係数が増大するなどの、凹凸説では説明しにくいような事実もあらわれて、凝着説が登場する。凝着説は2物体が圧着されると、突起点が接圧力で塑性変形し接着面積が拡大されるとともに融着すると考える。この状態で両物体間に平行な相対変位を与えると、融着接合部に剪断力が発生し、これが摩擦力に他ならないとするのが凝着説である。摩擦熱が大きかったり、熱軟化温度の低い物体の場合には接着面積は大になり、流動現象が起る。従って凝着説の場合には摩擦力により凸部が、剪断破壊を受け除去されて摩耗現象が起こることとなる。

凝着説に基づく摩擦力は、摩擦される物体の剪断力、圧力、融着面積の関数として与えられ、繊維高分子物質の場合には弾性変形と塑性変形との中間的変形、即ち、粘弾性的変形をすることが確かめられている。

布の場合には素材繊維の種類や糸と布の構造によって、凹凸説に近い摩耗挙動を示す場合と凝着説に似た挙動を示す場合とがあると思われる。布の摩擦摩耗に影響を与える⁴⁾2, 3の要因について述べる。

- ・被摩擦体が布の場合、その張力が大きいほど、また摩擦子の圧力の大きいほど、布は早く摩耗する。
- ・織物や編物の耐摩耗性には一般に異方性が見られる。たとえば朱子織物では浮き糸の方向に平行な摩擦力は小さいが、これと直角方向の摩擦力は大になり、耐摩耗性は弱い。
- ・織編物においてはカバーファクタの大きいほど耐摩耗性は大きい。カバーファクタが同一ならば、糸が細く密度の大きいほど摩擦力は小さい。糸の太さが同一でも構成繊維が細いほど摩擦力は小さくなる。
- ・布を構成する糸の撚の影響は、撚の多いほど耐摩耗性は向上するが、ある限度を過ぎると、かえって耐摩耗性は劣化する。
- ・繊維素材は耐摩耗性に大きく影響し、伸長弾性回復性が優れ、脆くない繊維ほど耐摩耗性は良い。

上述の事から、従来の摩耗試験法の他に、素材特性と使用条件に対応した実用的試験法の開

発が要望される。

6 疲労現象

疲労とは破壊応力よりも、はるかに小さい弾性限界内の応力でも、それが繰返し加えられると遂には永久変形や破断に至る現象をいう。布の疲労で特徴的なことは粘弾性的挙動である。金属材料等の疲労破壊は構造的破壊であるが、繊維高分子材料の疲労にあっては構造的破壊のほかに、分子レベルでの粘弾性的変形も追加される。構造的破壊が発生した後は初期性能を再び回復することは出来ないが、繊維高分子材料の粘弾性的変形は適当な処置、例えば吸湿加熱操作で歪をある程度は回復させることのできる場合がある。

布の疲労現象は引張り、曲げ、圧縮、ねじり、摩擦、さらにこれらの複合された変形力など、さまざまな応力に関して起こるが、実用的には引張り、曲げ、圧縮、摩擦などにより、身近に経験される。

疲労破壊試験や耐疲労性の予測は一般の破壊試験と比べると厄介である。この理由は破壊個所の分布と、破壊の進行過程がともに確率的であることに起因する。従って耐疲労性を評価する破壊までの応力の繰返し回数即ち疲労寿命の代わりに疲労限度を、しばしば評価値とする。疲労寿命は測定の際ばらつきが大きい⁷⁾が、疲労限度は疲労寿命のばらつきを取れんして一定値を得ることができる。即ち、縦軸に繰返し応力の大きさをとり、横軸に繰返し応力に対応する疲労寿命の対数をとる時の曲線が横軸とほぼ平行となる時の応力の大きさを疲労限度という。この曲線をS-N曲線といい、図6-1にモデル的に示す。

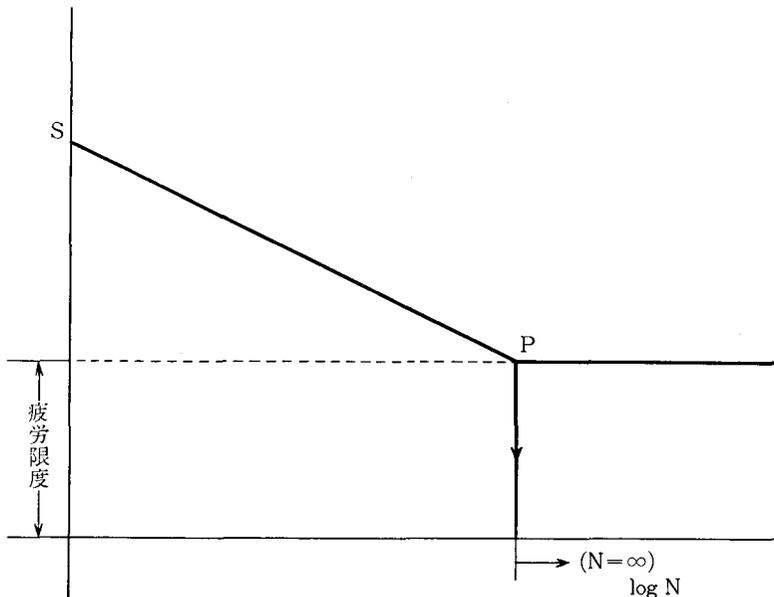


図 6-1 S-N 曲線

図6-1の縦軸のSは繰返応力、横軸のNは繰返し回数で、P点から右の領域では繰返し寿命の変化に対する応力の変化が無視出来るほど小さい。従ってP点の力即ち疲労限度より小さい繰返し応力に対しては疲労寿命は無限に近くなることとなる。疲労限度のNの値は一般に 10^7 以上とされる。

布の場合は、繰返し応力による永久変形は、分子レベルの繊維の粘弾性的性質による解釈⁸⁾よりも、繰返し応力による変形量の蓄積増大が変形の弾性限界を越えることの方が支配的であろう。変形量の少ないうちは、糸の弾性的変形に止まるが、変形量の増大に伴って布の構造的ずれや糸自体の塑性変形に発展し永久変形になるものと思われる。

被服材料においては、従来耐久テストとその評価法とは不十分な点が多い。繰返し応力を受ける縫目やボタンかがりの糸などは新しい見地からの試験法の開発が必要である。

7 おわりに

織物のドレープ、曲げ及び引裂きに用いられる式の意味と導入の条件について、追計算を行った。また現象の解釈が難しいとされる織物の摩耗と疲労とについて、二、三の文献にもとづいてまとめた。

理解や記述の不十分な個所について、御指摘や御指導をいただければ有難いと思う。

文 献

- 1) F. T. Peirce; J. Text. Inst., T45 (1927)
- 2) S. チェモシエンコ; 材料力学上巻 (1957)
- 3) 織機学会編; 基礎繊維工学Ⅲ (1967)
- 4) 繊維学会編; 繊維物理学 (1968)
- 5) W. J. Hamburger; Text. Res. J. Vol 15, 169 (1945)
- 6) H. G. Howell, et al; Friction in Textiles (1959)
- 7) たとえば L. E. Nielsen; Mechanical Properties of Polymers
- 8) 織機学会編; 被服科学総論上巻 (1980)