

巻糸体の半径方向ヤング率変化の測定と評価

金 沢 大 学 工 学 部 新 宅 救 徳 (会 員)
 " 尾 田 十 八
 " 谷 義 則 (会 員)
 旭化成繊維テクノリサーチ(株) 奥 野 登 起 男 (会 員)

Measurement and Evaluation of Radial Young's Modulus Distribution in Yarn Package

Sukenori Shintaku*, Juhachi Oda*, Yoshinori Tani*, Tokio Okuno**

*Department of Mechanical Engineering, Kanazawa University, Kanazawa

**Asahi Chemical Textiles & Fibers Techno Research Co., Ltd., Ishikawa

Abstract

Distributions of radial Young's moduli were estimated by pushing the side faces of two kinds of yarn packages. One is made by twisted polyester yarn, the other is nylon-6 yarn package.

The method of measuring radial Young's modulus is deduced from the relation between load acting on package and displacement of screw in package, for various yarn layer thicknesses and winding tensions.

1) Compression load (P) acting on nylon-6 yarn package is linear to displacement (U).

2) Radial Young's modulus for polyester twisted yarn package is increased for the package formed under constant winding tension, and radial Young's modulus is constant for the package formed under controlled winding tension.

3) Radial Young's modulus for the nylon-6 yarn package is linear to winding tension.

These results show the necessity of the distribution of radial Young's modulus in yarn package in the stress-strain distribution.

(Received April 24, 1990)

摘 要

目的 ポリエステル撚糸巻糸体あるいはナイロン巻糸体の一方の側面を押し付け、もう一方の側面での受ける荷重を、糸層厚さや巻張力を変えて形成した巻糸体について測定することによって、半径方向ヤング率の分布を推定した。

成果 1) ポリエステル撚糸巻糸体での圧縮荷重 (P) と変位量 (U) の関係は直線とみなすことができる。

2) ポリエステル撚糸巻糸体の半径方向ヤング率は巻張力一定として形成した巻糸体については糸層累積とともに大きくなるが、巻張力制御を行った巻糸体については糸層厚さに関係なく一定となる。

3) ナイロン巻糸体の半径方向ヤング率は巻張力に比例して大きくなる。

以上より、巻糸体内部の応力・ひずみ解析では、この半径方向ヤング率の変化を考慮する必要性のあることが分かった。

(平成2年4月24日受理)

1. 緒 言

一般の巻糸体形成では、巻糸体内部の過剰な圧縮や形崩れを防止するために、巻張力の力学的制約が

あり、又、ワインダ機構上の寸法的制約も加わっている。さらに、糸を巻く紙管強度や材質選定のために、巻糸体の特性把握が必要とされている。それらの特性の中で、糸長軸方向のヤング率の測定は容易

であるか、巻糸体としての半径方向のヤング率あるいは糸1本の半径方向のヤング率を求めることは大変困難である。これまでに、巻糸体の半径方向ヤング率について、中島¹⁾らは糸を束ねた状態で横方向から片縮して推定する方法を示しており、加圧量とともに半径方向ヤング率 (E_r) か円周方向ヤング率 (E_θ) に近づくとしている。又、川端²⁾らは撚糸の圧縮特性を調べ、変位量と加圧力が両対数上で直線となるとしているか、巻糸体としてはなく糸束を取り出して測定したもので、糸か引っ張りを受けた状態ではないため、実際のものの近似でしかないと思われる。さらに、樋口³⁾らは繊維塊の受ける力か変形量としてのひすみに対して片対数で表した場合に直線状になることを報告しているか、このひすみは大きい範囲を対象としたもので、実際的ではない。又、平井⁴⁾らは巻糸体表面のたわみは付加荷重に比例するとし、硬度か半径 r の増加に伴い双曲線的に減少することを示しているか、この実験では巻張力形状を考慮しておらず、又、巻糸体の半径方向ヤング率の推定まで考察した結果については示されていない。

そこで、本報においては、紙管の強度設計や糸巻量の設定の際に必要な巻糸体の半径方向ヤング率 E_r について、その測定方法を示し、そしてポリエステル撚糸巻糸体 (直径 129 mm, 軸径 93 mm) とナイロン巻糸体 (直径 58 mm, 軸径 25 mm) について、糸層厚さ Δr (軸表面から糸層表面までの距離) や巻張力を変えて、それらの巻糸体内部の E_r 分布を実験的に求めた結果を示す。

2. 実験装置及び実験方法

本報で用いる実験装置は図1に示すように、片側にねしの押し付け棒、もう1つの片側にロードセルを一直線になるように設置してある。まず、巻糸体①を図中の左右方向に滑らかに動く調整棒④によって釣り下げ、巻糸体①の側面にロードセル③の受圧部及び加圧ねし②の先端部が軽く接触する程度に調整棒④を左右方向にすらし、又、加圧ねしを調整する。この状態を初期状態とし、これより加圧ねしを回し、そのときのロードセルに加わる荷重を応力緩和か現れないような短時間のうちに測定する。

ただし、加圧ねしは1/6回転ずつ回わし、そのことによって0.25 mmだけ移動する。又、加圧ねし先端部の径とロードセル受圧部の径は $\phi 8$ mm で同じにしてある。測定する巻糸体としては、特異の異なる

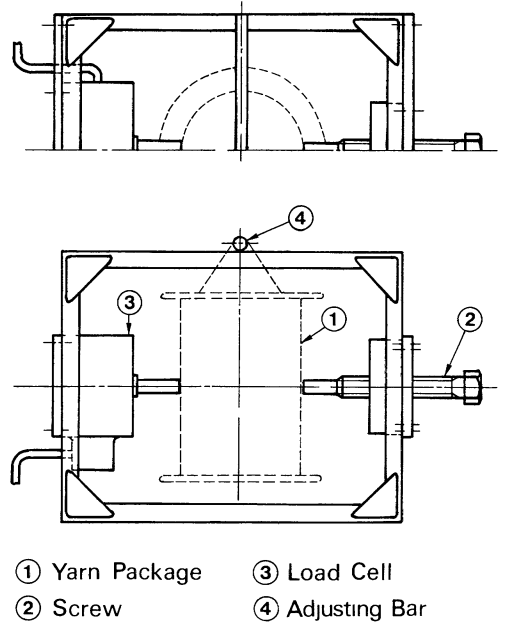


Fig. 1 Detail drawing of device for measuring E_r .

Table 1 Twisted Polyester Yarn

	A	B	C
ヤング率 (MPa)	8418	7938	8026
実撚り数 (T/m)	1595	1578	1571
撚り縮み率 (%)	6.02	5.98	5.90
テニール (D)	78.0	77.6	80.2
結晶化度 (%)	25	27	35

る3種類のポリエステル糸 (表1参照) による撚糸巻糸体と4種類の巻張力 (3, 10, 17, 25 gf) で形成したナイロン巻糸体について測定している。

3. 実験結果及び考察

3.1 巻糸体の圧縮荷重と変形量の関係

図2の(a), (b)は巻張力一定と巻張力制御⁵⁾によって形成したポリエステル糸Aの撚糸巻糸体について、ロードセルの測定荷重 (P) と加圧ねしによる変位量 (U) との関係を糸層厚さをパラメーターとして示したものである。ただし、巻張力制御とは巻糸体形成終了時に円周方向に残留する応力分布か内外層の任意の位置で一様となるような巻張力で巻き取りを行うことであり、その巻張力曲線⁶⁾を図3に示す。図2より、各糸層厚さ (Δr) に対して P と U は

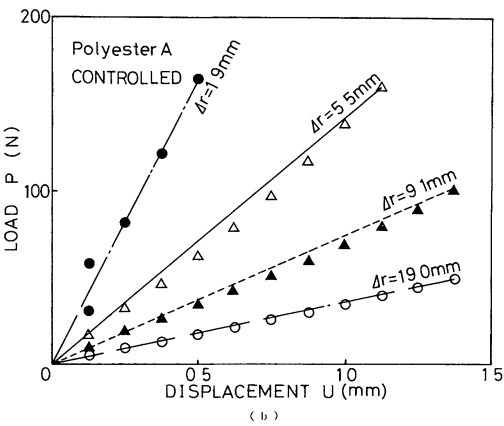
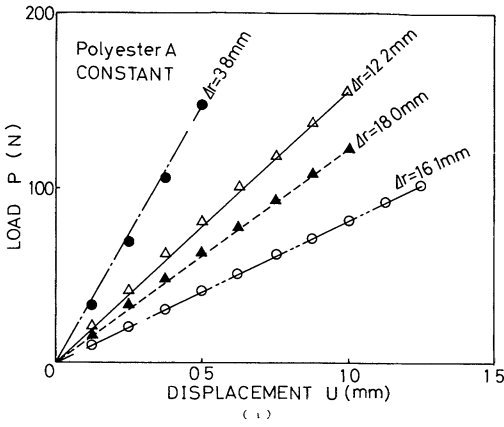


Fig 2 Relation between radial load and displacement for twisted yarn package
(a) constant winding tension
(b) controlled winding tension

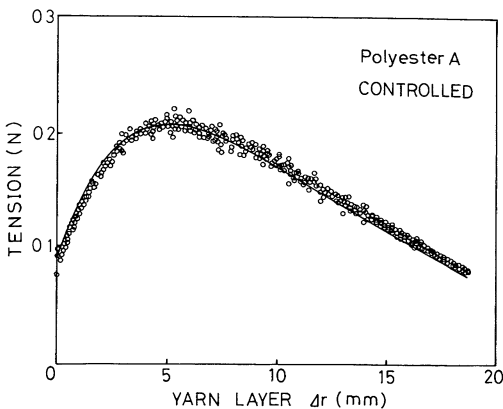


Fig 3 Winding tension curve which control residual circumferential stress to be constant in all layers for yarn package

ほぼ直線と見なすことかできる。

3.2 巻糸体の半径方向ヤング率について

1) E_m' , E_m の算出方法

まず、図4に示すように微小厚さの n 個の円筒要素からなる巻糸体を考え、図中の各糸層内では同じヤング率を持つと仮定する。又、巻糸体への圧縮荷重と変位量が直線で近似できるとし、その傾き (P/U) を K_n とする。さらに、加圧棒先端の断面積を

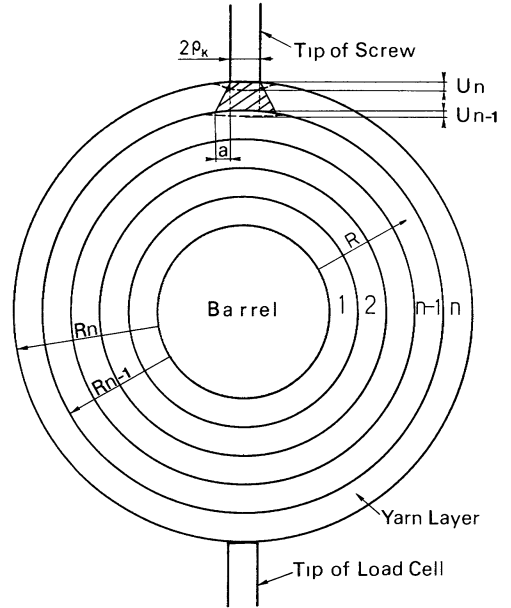


Fig 4 Relation between tip of screw and load cell at cross-section of yarn package

A 、又、心筒表面から第 n 層までの距離を R_n とし、第 n 層まで糸層を累積したときの巻糸体半径方向の平均ヤング率 E_m' を次式で定義する。

$$E_m' = \frac{P/A}{U/R_n} \tag{1}$$

(1)式では、加圧ねじの影響は加圧ねじ先端の面積部分のみとしているが、尾田⁹⁾らか示したように、ホルト・ナット結合体が被締め付け体に力を及ぼす被締め付け域は広がりを持ち、その広がりには被締め付け体の材質によることが知られている。そこで、加圧ねじの影響する範囲を考えて、各層におけるヤング率としての E_m の算出を行う。

まず、加圧ねじ先端が巻糸体側面を押したときに、その最外層内での力の影響する範囲が、図5に示すように広がり幅 a を持つ円錐形の領域と仮定する。又、最外層 (第 n 層) の外側では、半径方向

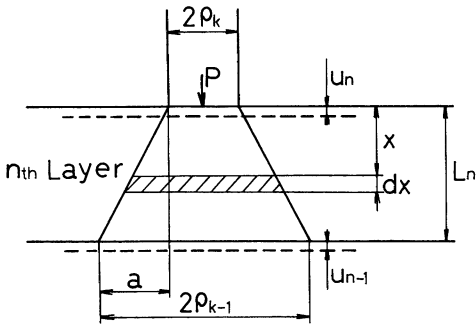


Fig 5 Transmitting area of radial compression load

変位 u_n が生じ、又、この最外層と第 $(n-1)$ 層との境界面では、 u_{n-1} の半径方向変位が生じるものとする。このとき、第 n 層のみか半径方向に変形する量は $u_n - u_{n-1}$ で表され、加圧ねしによる力の影響域は第 n 層において円錐状に広がることから、第 n 層の半径方向の変位量 $(u_n - u_{n-1})$ は次式で与えられる。

$$u_n - u_{n-1} = \int_0^{L_n} \frac{P}{\pi E_m (\rho_k + ax/L_n)^2} dx \quad (2)$$

ただし、 E_m 第 n 層の半径方向ヤング率

P 加圧ねしによって加えられる力

ρ_k 加圧ねし先端断面の半径

L_n 第 n 層の厚さ ($=R_n - R_{n-1}$)

a 広がり幅

x 加圧ねし先端からの距離

ここで、 $L_n = R_n - R_{n-1}$ と置き換え、(2)式を x について積分し、その結果から E_m を導くと次式が得られる。

$$E_m = \frac{P(R_n - R_{n-1})}{\pi a(u_n - u_{n-1})} \left(\frac{1}{\rho_k} - \frac{1}{\rho_k + a} \right) \quad (3)$$

上式を E_m' を用いて表すために、(3)式を変形する。まず、(1)式において、 U は u_n に相当するので、(1)式より U を導き、さらに加圧ねし先端の面積は $A = \pi\rho_k^2$ であるので、

$$u_n = U = PR_n / (E_m' \pi \rho_k^2) \quad (4)$$

となる。又、第 n 層の外周側を加圧したとき第 n 層と第 $(n-1)$ 層の境界面での加圧ねしによる影響域 ρ_{k-1} は次式となる。

$$\rho_{k-1} = \rho_k + a \quad (5)$$

ここで、(4)式からの u_n と u_{n-1} を(3)式に代入して、(5)式の関係 considering、整理すると次式が得られる。

$$E_m = \frac{(R_n - R_{n-1})E_m' E_{m-1}'}{R_n E_{m-1}' \frac{\rho_k + a}{\rho_k} - R_{n-1} E_{m-1}' \frac{\rho_k}{\rho_k + a}} \quad (6)$$

即ち、上式の E_m が第 n 層まで形成したときの巻糸体内部の第 n 層の半径方向ヤング率となる。このとき(1)式から E_m' 、 E_{m-1}' については既知であるので、 E_m' の値は E_m' 、 E_{m-1}' を(6)式に用いることによって求められる。これら E_m' と E_m の違いは、まず、 E_m は第 n 層まで巻糸体を形成したときの巻糸体全体についての平均的な半径方向ヤング率 (内層から外層に至る半径方向ヤング率は一定と考えている) であり、又、 E_m は各層ごとの変位量 (剛性) を考慮することによって求められる第 n 層での半径方向ヤング率を表すものである。

ii) E_r' 、 E_r の分布

さて、これより糸層累積に伴う E_r' 、 E_r の分布を求める。まず、図2(a)、(b)の測定結果より、各糸層厚さに対する P/U を求め、(1)式より E_r' を計算した結果を図6(a)、(b)に示す。図6(a)より、巻張力一定

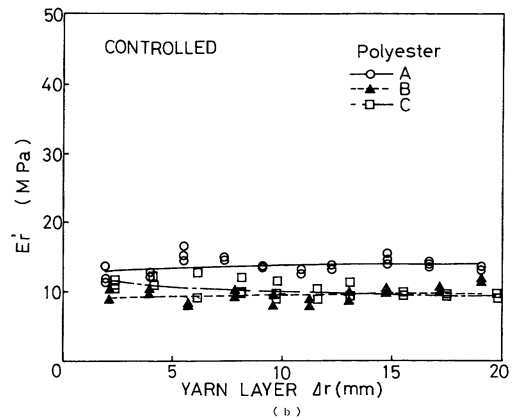
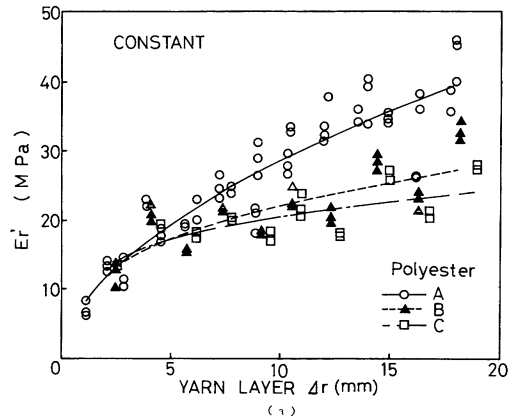


Fig 6 Relation between E_r' and yarn layer thickness for twisted yarn package (a) constant winding tension (b) controlled winding tension

て形成した巻糸体の E_r' 糸層を累積していくに従って大きくなり巻糸体は固くなることか分かる。しかし、図 6 (b)に見られるように、巻張力制御を行って形成した巻糸体の E_r' は内層から外層にかけて一定となっている。この E_r' の測定では、巻糸体形成を一旦終了してから、今度は逆に糸を解しよしていき、糸層をある程度減してから P と U の測定を行っている。よって、内層側は外層の糸層による締め付けを加えられた後の特性を示すことになる。このことを考えると、巻張力一定で形成した巻糸体は内層側の糸層の剛性が低下する傾向にあり、これは圧縮によって糸の集束度が低下していることを示すものである。しかし、巻張力制御を行った場合には内外層の特性かほぼ均一になることか示されており、巻張力制御を行うことによって内外層による品質差のない巻糸体形成か可能となることを示すのである。又、糸種による特性の違いは、B糸とC糸かほぼ同じ傾向となり、A糸か若干大きくなっており、糸長軸方向ヤング率の影響か現れたといえる。

次に、図 7 (a), (b)は、図 6 (a), (b)の A糸についての E_r' を(6)式に用いて計算した半径方向ヤング率 E_r を示したものであり、ここでは加圧ねしによる力の影響域としての広がり幅 a を 0 から L_n まで変えてある。これらの図より、 E_r の変化の様子は a の大きさによって変わり、例えば広がり幅 a か大きい場合には、全体のヤング率は小さくなる傾向を示している。しかし、 a か $L/20$ より小さい場合(実際の巻糸体ではこのような場合に相当していると考えられる)、 E_r は巻張力一定の巻糸体については糸層厚さとともに増加する傾向か見られ、巻張力制御を行った巻糸体については、ほぼ横ばいになっている。巻張力制御を行った場合に E_r か増加しないのは、先

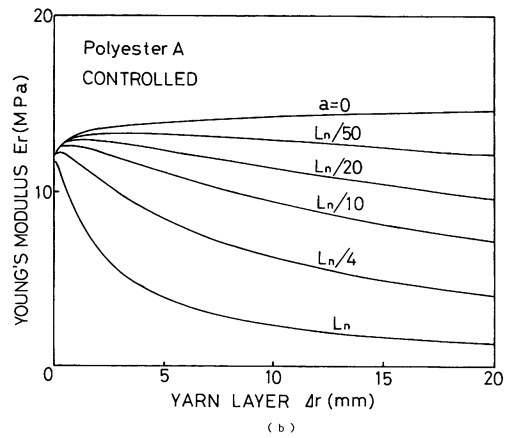


Fig 7 Relation between E_r and yarn layer thickness for twisted yarn package for various radial stress
(a) constant winding tension
(b) controlled winding tension

の図 3 に示したように巻張力曲線か凸状となっているために外層ほど巻張力か小さくなり、そのため外層部ほど巻糸体自体か柔らかくなるためと思われる。以上より、本報における E_r の推定から、撚糸巻糸体の各糸層の半径方向ヤング率 E_r は円周方向ヤング率 E_θ に比べて小さく、又、巻張力制御時にはさらに小さくなるといえる。

3.3 半径方向ヤング率と巻張力の関係

ここでは、半径方向ヤング率と巻張力の関係をナイロン巻糸体について測定した結果から考察する。まず、図 8 は巻張力を 3 (0.029), 10 (0.098), 17 (0.167), そして 25 gf (0.245 N) 一定の 4 条件で形

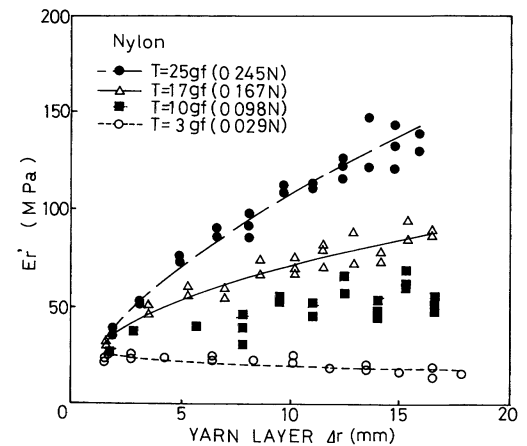
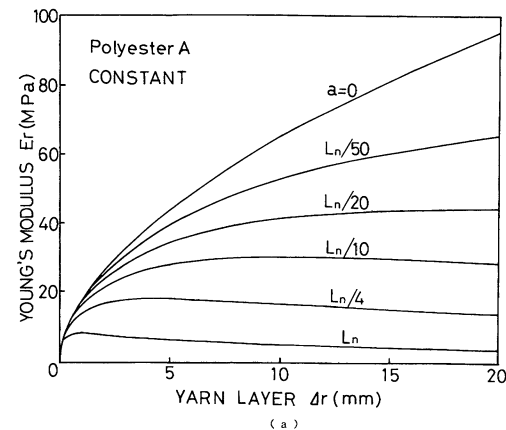


Fig 8 Relation between E_r' and yarn layer thickness for nylon-6 yarn package



成したナイロン巻糸体について、 E_r' を計算した結果を示したものである。この図より、糸層厚さとともに E_r' は増えており、巻張力か大きいほど E_r' の値やその増加する傾きか大きくなっている。この中で、巻張力か小さい3gfの場合は、糸層厚のは増加に従い E_r' はわすかであるか低下する傾向にある。この理由としては、巻張力か3gfの場合内外層での P/U の差か大きく、糸層か内部を圧縮する力によって生じる変形量か糸層累積に比例して大きくなり、 E_r' か糸層厚さに対して低下する傾向を持つためと考えられる。又、巻張力か10, 17, 25gfの場合、図9より巻糸体形成終了時の巻糸体外半径か巻張力に比例して小さくなり、糸層内の空孔か減少していること、さらに巻糸体の E_r' か糸層累積に従い大きくなっているなどのことから、巻張力か大きいほど巻糸体は固くなることか考えられる。

次に、図10(a)~(d)は図8の E_r' の結果を(6)式に用い、加圧ねしによる力の広かり幅 a を0から L_n ま

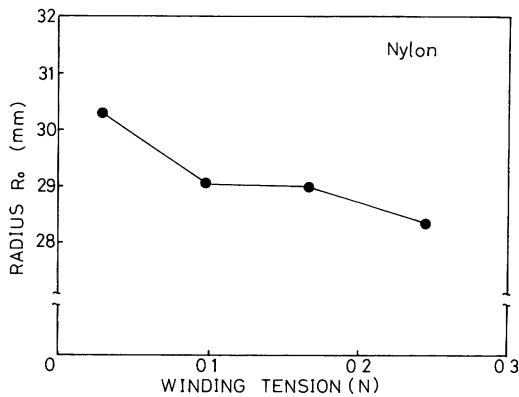


Fig 9 Relation between external radius and winding tension for nylon-6 yarn package

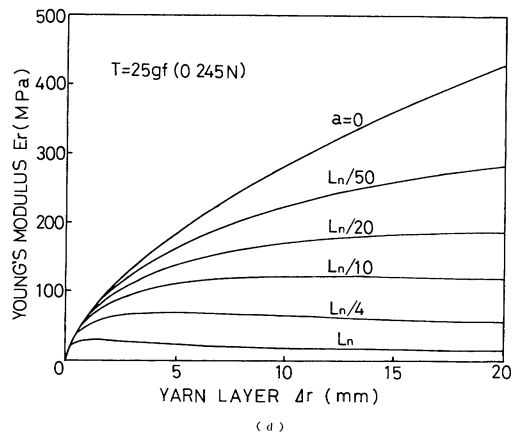
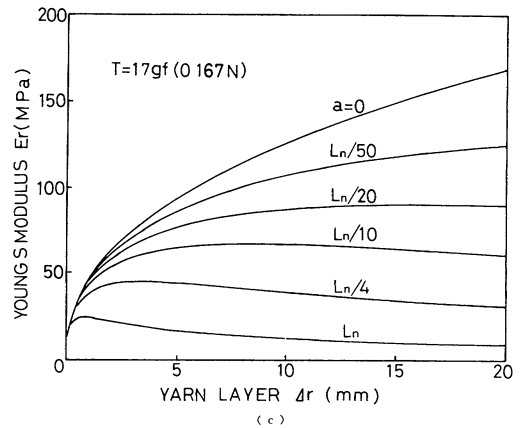
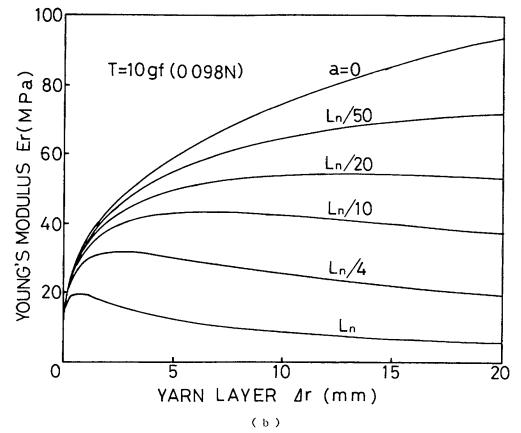
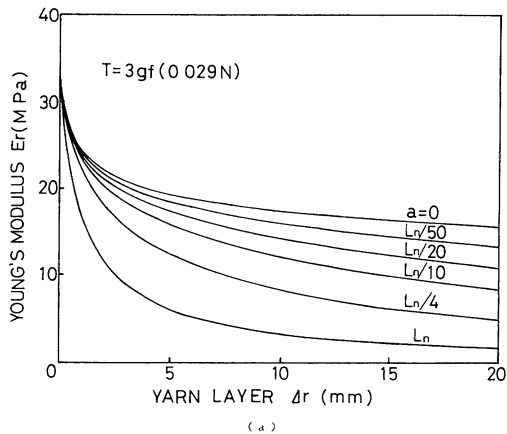


Fig 10 Relation between E_r and yarn layer thickness for nylon-6 yarn package
(a) $T = 3 \text{ gf}$ (b) $T = 10 \text{ gf}$ (c) $T = 17 \text{ gf}$ (d) $T = 25 \text{ gf}$

て変えた場合についての半径方向ヤング率 E_r を示したものである。この図より、張力か3gfと小さい場合には糸層厚さとともにヤング率か小さくなる傾向かあるか、張力か大きくなるに従い、糸層厚さと

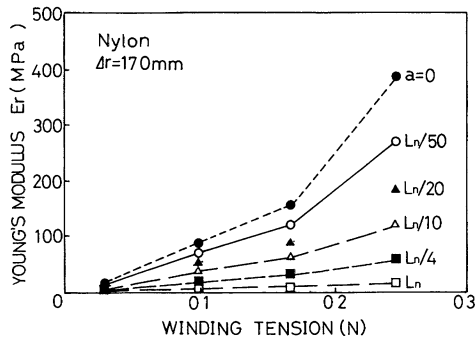


Fig 11 Relation between E_r and winding tension for nylon-6 yarn package

ともにヤング率が增加する傾向へと変化している

又、図11は図10において、糸層厚さ $\Delta r = 17$ mm (巻糸体形成終了時の糸層厚さに近い値) の位置での E_r を巻張力ことに示したものであり、いずれの広がり幅についても巻張力に比例して E_r が大きくなっていくことが示されている

ここで、巻糸体内部のヤング率の分布が r 方向に特異的に変化する理由を考察してみる。巻糸体を構成する糸層は糸張力が一定であれば、任意の糸層厚さにおいて形成された直後の E_r は等しいと考えることかできる。しかし、巻糸体形成終了時の E_r 分布は、内外層において異なった値をとる。その原因は、外側に累積していく糸層による締め付けの影響と考えられ、この影響には、1つは圧縮による円周方向の張力緩和と、そしてもう1つは半径方向の圧縮応力の変化が考えられる。まず、前者の影響としては、張力緩和によってフィラメント間の収束力が低下し糸自体の半径方向ヤング率が低下すると考えられる。次に、後者の影響については糸層の半径方向の圧縮応力の変化が糸層内の空孔量を変化させ、かつ引っ張り状態にある糸の半径方向圧縮力がこれに組み合わさることによりヤング率変化が生じると考えられる。この組み合わせは、糸層に作用する圧縮力が弱い場合、糸自体よりも、空孔が減少して糸層が変形を起こすと考えられ、圧縮力増加とともに空孔が減少してゆくと、次に糸自体の半径方向の変化が起これると考えられる。これらの圧縮形態が糸層の E_r に与える影響について考えると、まず空孔量のみ

が減少した場合、これは糸層内においてより糸が密な状態へと変化することから E_r は増加すると考えられる。次に、糸自体が変形する場合、糸断面は多数のフィラメントが集中して円形状を成していると考え、糸断面が円形状を保ちながら変形している間は糸としての半径方向ヤング率の変化は小さいか、糸の変形量が大きくなりすぎると糸断面の円形状態がつぶれてしまうためヤング率が低トすると考えられる

4. 結 言

本報告では、ポリエステル換糸巻糸体とナイロン巻糸体の半径方向ヤング率を推定する方法を考え、次のことを明らかとした

- 1) ポリエステル換糸巻糸体での外表面での圧縮荷重 (P) と変位量 (U) の関係はほぼ直線となる
- 2) ポリエステル換糸巻糸体の半径方向の平均ヤング率は巻張力一定として形成した巻糸体については糸層累積とともに大きくなるか、巻張力制御を行った巻糸体については糸層厚さに関係なく一定となる
- 3) ナイロン巻糸体の半径方向ヤング率は巻張力に比例して大きくなる

以上より、巻糸体内部の半径方向ヤング率は、巻張力、糸種によってその値が異なり、さらに糸層厚さとともに変化する。ゆえに、巻糸体内部の応力・ひずみ解析では、この半径方向ヤング率の変化を考慮する必要性があることが明らかとなった

最後に本研究を遂行するに際し、当時金沢大学工学部の卒業研究生であった平野敬君に多大なる協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表する

参考文献

- 1) 中島達夫, 大田計正, 高木久弥 織機誌, 20, No 9, T 226 (1967)
- 2) 川端季雄, 丹羽雅子, 河合芳子 織機誌, 31, No 5, T 74 (1978)
- 3) 樋口健二, 清水信一, 織機誌, 13, No 12, 850 (1960)
- 4) 平井恒夫, 津久間新, 織機誌, 19, No 12, T 291 (1966)
- 5) 新宅敦徳, 尾田十八, 奥野登起男 織学誌, 46, No 3, 115 (1990)
- 6) 頼口靖幸, 尾田十八, 室津義定, 「機械設計工学1」, 培風館, p 74 (1982)