抄織糸・紙糸の引張り強さに関する 研究(第1報)*

糸の性質の弾性力学的解析の方針と表示

山 田 都 一**

Studies on the Breaking Strength of Japanese Paper Yarn and Paper Yarn (No. I) The Principle and Formulation of Analysis of Elastic Properties of Japanese Paper Yarn and Paper Yarn

Kuniichi Yamada

(Okayama Shujitsu Junior College, Okayama, Japan)

The ratio of lengthwise (machine direction) strength of raw paper of Japanese paper yarn to strength in its right angle direction is 6~1.5 : 1 in case of common raw paper, but it is 10~15 : 1 in case of raw paper of Japanese paper yarn.

Therefore Japanese paper yarns can be considered paper yarns made by twisting fibers arranged lengthwise.

Consequently Japanese paper yarns can be considered approximately a collective body of innumerable thin fibers in the shape of a helical spring, of which pitch angle and radius of pitch circle change continuously from inside to outside.

From this above principle formulae for approximation of radius of pitch circle, pitch angle and quantity of plastic deformation during twisting, and besides, radius of pitch circle and pitch angle in case of very thin paper are derived.

I. 序

紙糸と称されているものはその種類がすこぶる多い。その上、原紙も各種の洋紙・和紙にわたっているため、ますます種類が多くなっている。

一般に、糸の全部が、または、大部分が紙からできている糸・コード・ひもなどを紙糸 (Twisted Paper, Paper Yarn) と称している。それに対して、抄織糸とは、繊維工業試験所の定義に従えば、「こうぞ・みつまた・桑・マニラ麻その他の植物原料などを化学的および物理的に処理し、抄織織物用として独自の目的のもとに、水流を利用し、繊維の損傷機会をきん少にし、繊維を長さの方向にむかせて抄造したもので、形式的には在来の抄紙機を応用してはいるが、理論的には一般抄紙から離脱した紡績学上の新分野を確立したもので、独自の微少短繊維利用方法である」とある。

つまり、紙本来の使命をもつ原料をそのまま利用す

ることから離れて、新しい抄造方式を採用して織物専用の抄織を造り、これを撚りさらに製織するから、従来の原料の生産理念と内容が一新されたので、これは在来の紙ではなく「抄織」であり、それによってつくられた糸・織物であるから、「抄織糸」・「抄織織物」と呼ばれたのである。

本研究は、抄織糸および紙糸に関する既発表の報告^{1)・23)}をまとめる意味で、抄織糸および紙糸の糸構造を検討し、糸の性質、とくに引張り強さを弾性力学的に研究しようとするものである。

II. 抄織糸および紙糸の構造について

紡績糸についての糸の構造・糸の引張り強さについては、種々研究されているが、その主なものは、日本では、藤野清久教授の説²⁴⁾と、我妻直夫技官の説²⁵⁾とがある。

抄織糸・紙糸は平らな切玉テープを撚って作られるが、完成した糸をほぐして、展開して見ると紙テープの面はもはや平面ではなく、曲面になっている。とく

* 原稿受付 37. 4. 9

** 岡山就実短期大学

に原紙が薄い場合、あるいは、給湿して撚糸張力を大きくしてある場合は、この傾向が著しい。これは抄織糸・紙糸が撚り加工の途中で、テープの外側がそ性的に引張られる結果である。

糸に撚るとき、切玉の中から真上にテープを取り出すときと、切玉からそのまま接線方向へテープを取り出す場合とでは、抄織糸の研究(第23報)「切玉からのテープのとり出し方について」²⁰⁾で述べたように、薄い抄織糸の場合、給湿して張力を加えて撚るときは、糸の強力に差がないが、クラフト紙などのように厚い紙の場合は、切玉の中から真上に取り出されて撚られる方が、テープの縁に引裂き力が働かず、糸体のおりあいもよく糸が強いので、切玉の中からテープを真上に取り出したような、いわゆる「こより」のような糸構造(第1図参照)であると、まず仮定する。

第 1 図 ※

抄織糸・紙糸の原紙は、抄織糸の研究(第25報)「原

第 2 図

紙の縦・横の強力比が糸の強力におよぼす影響について」²¹⁾などで述べたように、抄織方向の引張り強さとそれに直角方向の強さととの比は、普通の紙糸原紙では(6~1.5):1、抄織原紙では10:1前後で、はなはだしいものは16:1を越える場合もあるから、抄織糸の切玉テープは近似的には第2図のように繊維を平行に引きそろえたものと見ることができ、さらに、第1図のようにして糸に作りあげられたと見ることができる。

普通の紙糸でも、糸になったものは短かい長さでは、上述のように近似的に見なすことができる。

ところが、原料のみつまた、マニラ麻あるいはパルプ類は、紙にすかれる前にこう解される。こう解されるとけば状のものがでて、紡績糸や絹糸などの単繊維に比較して非常に取り扱いにくいものとなるので、紡績糸などの単繊維と区別するために、第3図(1)に示すような単繊維の束を1つの単一物と考えて、これを「繊維のエレメント」(厚さ t 、幅 dw ——ただし、 dw の大きさは無限に小さい——とする)と名付け、このエレメントが集合して、すなわち、無限の縦繊維

第 3 図

が集合して切玉テープを形成し、さらに抄織糸を形成するものとした。

以上のことから、抄織糸・紙糸は紡績糸の糸構造に関する我妻説のように、円すいに巻いたら線形を取りながら、『近似的には内層から外層に行くにつれてピッチ角およびピッチ半径が連続的に変化するつる巻パネの形状をした無数の繊維のエレメントの集合体(円筒)』と見ることができ(この点は我妻説と異なる)。

したがって、藤野説にもあるように、繊維はおおむね内層・中立層・外層の3層を構成していて、切玉テープの縁の一方はいつも糸の中心部にあり、他の縁はいつも糸の表面(円筒の表面)にある。この点が我妻説とは異なる。

しかし、現実には切玉テープ中の繊維は、前述のような平行状態には並んでいないので、撚られてできた糸は上述のモデル糸のようにはならないで、藤野説に

近くなり、糸体構造中の繊維はおおむね内層も外層も中立層も通っていて、糸中の繊維1本当たりの果す役割は対等と考えられる。また、前述のようにしてできたモデル糸の捻数よりはさらに多い捻を実際には加えることが多いので、非常に複雑な糸の構造となるのである。

III. 抄紙糸・紙糸の性質の弾性力学的解析の方針

抄紙糸・紙糸の強伸度曲線は第4図(1)に示すようになっている。これを説明し易いようにかくと(2)のようになる。すなわち、変形の小さい部分では傾斜はゆるやかであるが、変形がある値に達すると、その傾斜は急になる。

第 4 図

前述のように抄紙糸・紙糸の構造を仮定すれば、傾斜がゆるやかなOAの範囲では糸を構成するテープの各層の間には、微小な間げきが存在し、各層は互に自由なら線状の板バネのように作用しているものと考えられる。この範囲の剛性を第1種の剛性と名付けることにする。

さらに、変形が増大してABの部分に達すると、各層は互に堅く密着するために、各層はそれぞれ他の層から大きい接触圧力を受ける。したがって、この状態では各層はあたかも、内圧を受けながら変形する線状の板バネのような作用をしているものと解釈することができる。この部分の剛性を第2種の剛性と呼ぶことにする。

IV. ピッチ半径・ピッチ角の表示

第5図は抄紙糸の糸軸に直角な方向の断面図である。

いま、

R_0 : 抄紙糸の中空部の半径 (捻り始めの半径)

第 5 図

t : 紙の厚さ

θ : 断面内での巻付角

R : 任意の繊維のエレメントのピッチ半径 (原点から紙の中心線までの距離)

とすれば、紙が1回巻き付くことに、 R は t ずつ増すことになるから、断面は次のようなアルキメデスのらせん形をとるものとみなせる。

$$R = \left(\frac{t}{2\pi} \right) \theta + R_0 \quad (1)$$

断面において、紙の切口の長さ (紙の中心線に沿って測った長さ) を l とすれば、

$$(dl)^2 = (Rd\theta)^2 + (dR)^2$$

$$\therefore dl = \left(\frac{t}{2\pi} \right) \left\{ 1 + \left(\theta + \frac{2\pi R_0}{t} \right)^2 \right\}^{1/2} d\theta \quad (2)$$

$$\therefore l = \frac{t}{4\pi} \left[\theta \sqrt{1 + \theta^2} - \frac{2\pi R_0}{t} \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi R_0}{t} \right)^2} + \log \left\{ \theta + \sqrt{1 + \theta^2} \right\} - \log \left\{ \frac{2\pi R_0}{\pi} + \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi R_0}{t} \right)^2} \right\} \right] \quad (3)$$

ただし、

$$\theta = \theta + \frac{2\pi R_0}{t}$$

(3)式を使って逆に巻角 θ を l の関数として表わすことができる。

$$\theta = f_1(l)$$

次に、抄紙糸が捻られる過程を考察すると、切玉テ

ープは第1図に示すように糸のたて軸と $(\pi/2 - \beta_0)$ の角度をなす方向に張られながら巻き付けられる。

いま、

w : 切玉テープの前縁からテープの幅の方向に測った距離

w_0 : テープの幅

とすれば、前述の l と w との関係を近似的に次のようにおくことができる。

$$l = w \operatorname{cosec} \beta_0 \dots\dots\dots (5)$$

(1)式に(4)式を代入して R を l の函数としてあらわすことができる。すなわち、

$$R = f_2(l) \dots\dots\dots (6)$$

さらに、(5)式を代入すると、

$$R = f_3(w) \dots\dots\dots (7)$$

すなわち、切玉テープの前縁から w の距離にある紙の繊維が抄紙糸に撚られた場合に形成するつる巻パネのピッチ半径を知ることができる。次に、

p_0 : テープの前縁線が形成するつる巻パネのピッチ (単位 mm など)

β_0 : 同上のピッチ角、つまり、前縁が塑性引張りを起こさないとするば、抄紙糸を撚るときにテープを引く方向と一致する。

p : テープの前縁から w の距離にある繊維のエレメントが形成するつる巻パネのピッチ。

β : 同上のピッチ角

とすれば

$$p_0 = 2\pi R_0 \tan \beta_0$$

$$p = 2\pi R \tan \beta$$

抄紙糸では切玉テープの前縁線が形成するつる巻パネのピッチも後縁線が形成するつる巻パネのピッチもすべて等しいから、

$$p_0 = p$$

$$\therefore R_0 \tan \beta_0 = R \tan \beta$$

よって、 $C' \equiv \cot \beta$ とおけば

$$C' \equiv \cot \beta = \frac{R_0}{R} \cot \beta_0$$

(7)式によって R は w の函数 $f(w)$ で与えられるから

$$C' \equiv \cot \beta = \frac{\cot \beta_0}{R_0} f_3(w) \dots\dots\dots (9)$$

(9)式によって、ピッチ角 β は w の函数として表わすことができる。

次に、第6図に示すように、

S_0 : 前縁線の1ピッチに相当するテープの実長 (撚り加工前の切玉テープの長さに等しい)

S : 前縁線から w の距離にある繊維のエレメン

第 6 図

トの1ピッチに相当する実長 (塑性引張りを受けて S_0 よりも長くなっている)

$$S_0 = 2\pi R_0 \sec \beta_0$$

$$S = 2\pi R \sec \beta$$

よって、撚り加工によって生じた伸び歪 ε は

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{S - S_0}{S_0} = \frac{R \cos \beta_0}{R_0 \cos \beta} - 1 \\ &= \frac{\sin \beta_0}{\sin \beta} - 1 \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

β は(9)式によって w の函数として与えられるから、各繊維のエレメントの撚り加工によって与えられる伸び歪 ε を計算することができる。 w が増すにつれて、ピッチ半径 R が増大するので β は小さくなるから、前縁から遠ざかるにしたがって ε は増大する。

V. 紙の厚さがきわめて薄い場合の近似式

紙の厚さが中空半径に比較して小さい場合、すなわち、 $R_0 \gg t$ の場合には、計算が簡単になり(3)式は

$$l \doteq \left(\frac{t}{4\pi} \theta + R_0 \right) \theta \dots\dots\dots (2')$$

とおける。したがって(4)式は

$$\begin{aligned} \theta &= f_1(l) \doteq \frac{2\pi}{t} \left(\sqrt{R_0^2 + \frac{tl}{\pi}} - R_0 \right) \\ &\dots\dots\dots (4') \end{aligned}$$

特に、 $R_0^2 \gg tl$ の場合には、次のようにおける。

$$\theta \doteq \frac{l}{R_0} \dots\dots\dots (4'')$$

よって、(6)式は

$$R=f_2(l) \doteq R_0 \left(1 + \frac{tl}{2\pi R_0^2}\right) \dots\dots\dots(6')$$

となり, (5)式を代入することによって,

$$R=f_3(w) \doteq R_0 \left(1 + \frac{tw}{2\pi R_0^2 \sin \beta_0}\right) \dots\dots\dots(7')$$

また, (9)式より

$$C' \equiv \cot \beta \doteq \left(1 + \frac{tw}{2\pi R_0^2 \sin \beta_0}\right) \cot \beta_0 \dots\dots\dots(9')$$

とおくことができる。

VI. 結 び

抄紙糸原紙は抄紙方向の強さとそれに直角な方向の強さとの比は普通 (10~15) : 1 であるから, 繊維のエレメントをたての方向へ引き揃えたものを撚ったとみなすことができる。また, 紙糸の場合も糸になったものは短かい長さでは, 上述のように見なすことができるから, 抄紙糸・紙糸は近似的に内層から外層に行くにつれて, ピッチ角 β およびピッチ半径 R が連続的に変化するつる巻パネの形をした無数の繊維のエレメントの集合体とみなすことができる。この方針にしたがって, ピッチ半径・ピッチ角・加撚中のそ性変形の量, および, 原紙のきわめて薄い場合のピッチ半径・ピッチ角の近似式を求めた。

最後に, 種々御指導頂いた東京工業大学白樫侃教授・石川章一教授・前田弘邦教授・中原一郎教授, 千葉大学文理学部大和田信教授に深謝する。

文 献

- 1) 佐藤・山田:抄紙糸の研究(第1報)本誌, 6, 4 (1952)
- 2) 同 : 同(第2報)本誌, 7, 1 (1953)

- 3) 同 : 同(第3, 4報)織学誌, 8, 10 (1952)
- 4) 同 : 同(第5報)山陽技誌, 8, 2 (1954)
- 5) 山田: 同(第6報)山陽技誌, 10, 1 (1956)
- 6) 山田: 同(第7報)本誌, 9, 9 (1955)
- 7) 山田: 同(第8報)本誌, 9, 9 (1955)
- 8) 山田:蓮池 同(第9報)本誌, 10, (1956)
- 9) 山田: 同(第10報)織学誌, 13, 9 (1957)
- 10) 山田: 同(第11報)織学誌, 13, 9 (1957)
- 11) 山田: 同(第12報)樹脂加工, 5, 9 (1956)
- 12) 山田: 同(第13報)織学誌, 14, 4 (1958)
- 13) 山田: 同(第14報)樹脂加工, 6, 1 (1957)
- 14) 山田: 同(第15報)本誌, 11, 1 (1957)
- 15) 山田: 同(第16報)山陽技誌, 11, 1 (1957)
- 16) 山田: 同(第17報)織学誌, 15, 7 (1957)
- 17) 山田: 同(第18, 19報)織学誌, 15, 7 (1959)
- 18) 山田: 同(第20報)織学誌, 15, 10 (1959)
- 19) 山田: 同(第21, 22報)織学誌, 15, 11 (1959)
- 20) 山田: 同(第23報)本誌, 13, 6 (1959)
- 21) 山田: 同(第24報)本誌, 13, 6 (1959)
- 22) 山田: 同(第25報)本誌, 13, 9 (1959)
- 23) 山田: 同(第26報)織学誌, 16, 3 (1960)
- 24) 藤野清久:糸の機械的性質, 紡織雑誌社 (1942)
- 25) 我妻直夫:繊維の物性と紡績理論, 織工誌 (1960)

注 ※) 前縁以外は, B_1, B_2 点で折曲る。 β_0 の方向に引かれた切玉テープが巻き付くときに紙が伸びて β すなわち β_1, β_2 などの pitch angle で巻き付く。

高速抄紙機のストックインレット

(642 頁より)

design and operation" Tappi Feb 1959

- 16) M. O. Neilson "The paper machine headbox and slice" PPMC March 1938
- 17) 10)に同じ
- 18) 10)に同じ
- 19) 9)に同じ

20) 14)に同じ

- 21) A.R. Murphy & G.H. Webster "Investigation of wet-end flow problem" PPMC July 1958
- 22) P. E. Wrist "The paper making process as a filtration problem" PPMC May 1959