(昭和48年8月3日受理)

流体摩擦場における撚分布について

東京工業大学工学部 清水 二郎
 東京農工大学工学部 壁 矢 久 良
 東京工業大学工学部 鳥 海 浩一郎

TWIST DISTRIBUTIONS IN THE FIELD OF LIQUID FRICTION*

By Jiro Shimizu,** Hisayoshi Kabeya*** and Koichiro Toriumi**

**(Tokyo Institute of Technology, Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, Japan)

*** (Tokyo University of Agriculture and Technology, Faculty of Technology,
2-24-16 Naka-machi, Koganei-city, Tokyo, Japan)

The twist distributions along a yarn depends on the properties of the yarn and on the mechanism of yarn-twisting (false twister, open end spinning and ring spinning frame).

In this study, the twist distributions of yarn prepared under the various friction conditions are experimentally investigated, and numerically discussed for the yarn twisted in the high viscous fluid.

The following results are obtained:

- 1) It was recognized that the twist of the rotating yarn in the fluid distributes along the yarn axis, which is due to the fluid friction.
- 2) When the twist distribution of the rotating yarn in the fluid is measured under constant tension, the moment of fluid friction M_Y is described by the following equation, in which the flow of the fluid is treated as Couette flow.

$$M_Y = 4\pi h_Y \eta \Omega / (1/R_Y^2 - 1/R_P^2)$$

h_Y : yarn length in the fluid (cm)

η : viscosity (dyne-sec/cm²)

Ω : angular velocity (rad/sec)

R_Y : radius of the yarn (cm)

R_P : radius of the pipe (cm)

- 3) The rigidity of the yarn under constant tension is measured by using the apparatus showing in fig.3.
- 4) The rigidity of the yarn depends on twist and tension.

(Received August 3, 1973)

1. 緒 言

仮撚機、リング精紡機、オープンエンド精紡機など糸の加工機においては、それぞれ独特の加撚機構を有している。このような加撚機構における共通の問題点の一つとして、加撚子からの糸への撚の伝達機構の問題がある。従来、この種の機構では加撚子が比較的低速に回転し、糸が空气中に走行または停止の状態に加撚されるものが主であったが、仮撚機やオープンエンド精紡のロータ中の加撚機構では糸は常に周囲の界面との接触により撚の伝達を妨げられつつ加撚される。すなわち、このような加撚機構では糸の撚は常に加撚トルクと界面との接触による摩擦力とのバランスで分布し、また伝播しているといつてよい。

本研究は、このような撚伝達状態につき摩擦場の影響

*この報文を「糸の加撚機構に関する研究(第1報)・Studies on Yarn Twisting (Part 1)」とする。

について基礎的な解析を行なおうとするものである。

糸の加撚状態に関する研究は、田中道一¹⁾、K. Baird²⁾、黒崎新也他³⁾、J. J. Thwaites⁴⁾らの研究があり、1)、2)は空气中での撚の伝達速度に関するものであり、3)、4)は主として加撚子の機構に関するもので、撚の伝達におよぼす摩擦の影響に関するような基礎的研究は少ない。一方、糸の撚構造については多くの研究⁵⁾が報告されているが、糸のトルクやミグレションについてのもので、撚の伝達との関連においては報告されていない。

本報では、高摩擦場の一つとして摩擦因子が比較的単純な流体を対象として高粘性流体中で糸を加撚したときの撚の伝達、とくに定常状態における撚分布について検討した。

2. 実験方法および理論的検討

2.1 実験装置および方法

Fig.1は装置の概要である。透明アクリル円筒に粘性

流体を入れ、これに同心軸となるように円柱状重錘を吊した糸を下げ、シンクロナスモータによって上端を一定速度で回転する。この場合、糸には流体の粘性抵抗に釣合うモーメントが加えられ、一定の撚りがかけられる。粘性抵抗は重錘と糸自身に加わるもののため、上部ほど多くの撚りがかかる。撚分布は、糸の回転が定常状態に達した時点で上方より一定間隔 (15 cm) で写真撮影をして求めた。Fig.2 は装置の外観を示したものである。

糸の剛性率、表面構造の影響を考慮し、試料はモノフィラメント・マルチフィラメント・紡績糸の三種を用い、摩擦場としての流体は透明度のよいグリセリンを用いた。張力および回転速度は、試料糸に発生する snarl を防止するため適当な重錘が必要でありそれぞれ Table.1 のように定めた。

Fig.1 Twisting apparatus by high viscous liquid. The sample yarn with a cylindrical weight (R_w) is set up in the center of a transparent cylindrical pipe (R_p), which is filled up with viscous liquid. Continuous distributions of twist are given by balancing with twisting torque and viscous resistance of liquid.

Table 1 Experimental conditions

Sample	(a) nylon mono-f.(0.161 dia.) (b) nylon multi-f.(210d/24 x 6) (c) cotton spun yarn(0.E 20'S)
Revolution	25 , 50 , 100 , 200 r.p.m.
Liquid	glycerin 10 poise
Tension	1g , 2g , 3g , 5g
Condition	22±2°C 50±10% R.H

Fig.2 Experimental apparatus.

流体中への糸の浸漬長は 70 ~ 75 cm として前述のように定常状態で写真撮影を行ない、糸軸方向に 2 cm 毎に 4 cm 間の平均撚数を計測算出し、単位長当りに換算した。

撚数の観測のため、モノフィラメントでは繊維片面に黒色インクを塗布し、マルチフィラメントでは合糸の一部を染色し、紡績糸では 20 d/7 の染色マルチフィラメントを合せて加撚した。一般に加撚時における剛性率は撚数・張力に依存することが見出されたので、剛性率の測定は Fig.3 に示すように張力の変化は空気中に別途の重錘を吊して行なった。(大きな張力を与えるために流体中に大きな重錘を用いると、流体から受ける摩擦抵抗が増大し、過多の撚が糸にかけられ、snarl が発生する。)

2.2 実験に対する理論的検討

流体中で糸を回転・加撚したときの撚数の分布状態は各試料糸を円形断面の弾性体と仮定し、流体の運動を同心二重円筒内のクエット流と仮定すれば、定常状態における両者のモーメントのつり合いから以下のように解析される。

まず、Fig.4 に示すように中間の径 r における流体のずり速度 $\dot{\epsilon}$ は、角速度を ω として

$$\dot{\epsilon} = r \frac{d\omega}{dr} \quad (1)$$

である。ここでずり応力 $p = \eta \dot{\epsilon}$ およびモーメント $M = 2\pi r^3 h p$ を用いると (1) 式は、

$$d\omega = \frac{M}{2\pi\eta h} \frac{dr}{r^3} \quad (2)$$

となる。ただし η : 粘性係数, h : 円筒長

条件 $\omega = \Omega_0$ ($r = R_0$), $\omega = \Omega_i$ ($r = R_i$) から (2) 式を解いて回転粘性流体の M (dyne·cm) を求めると、

$$M = 4\pi\eta h \frac{\Omega_0 - \Omega_i}{(1/R_i^2 - 1/R_0^2)} \quad (3)$$

したがって、前述の実験装置では流体の粘性抵抗によって生ずる円柱重錘のモーメント M_W 、糸のモーメント

M_Y は (4), (5) 式となる。

$$M_W = 4\pi h_W \eta \Omega / (1/R_W^2 - 1/R_P^2) \quad (4)$$

$$M_Y = 4\pi h_Y \eta \Omega / (1/R_Y^2 - 1/R_P^2) \quad (5)$$

ここで, Ω : 角速度 (rad/sec)

h_W : 円柱重錘長 (cm)

h_Y : 糸と円柱重錘との接点からのモーメント算出点までの糸長 (cm)

R_P : 円筒内半径 (cm)

R_W : 円柱重錘半径 (cm)

R_Y : 糸半径 (cm)

一方、糸のモーメントと撚数との関係は、弾性体としての振り変形と考えると、(6) 式で表わせる。

$$M(x) = \pi^2 d^4 G n(x) / 16 \quad (6)$$

ここで $M(x)$: 重錘と糸との連結点からの距離 x 点において糸に加わるモーメント (dyne·cm)

$n(x)$: x 点での撚数 (T/cm)

d : 糸の直径 (cm)

G : 糸の剛性率 (dyne·cm²)

(6) 式での $M(x)$ は (4), (5) 式のモーメントの和であって $M(x) = M_W + M_Y$ となり、(5) 式中の糸長 $h_Y = x$ となる。(6) 式から明らかなように撚数 $n(x)$ は、糸径 d 、剛性率 G 、および M_W , M_Y 中に含まれる角速度 Ω に影響される。そこで、糸径 d および剛性率 G の撚数、張力依存性について測定した。

3. 実験結果と考察

3.1 測定例

糸に重錘を吊して流体中に浸漬し、上端を回転させ糸の回転が定常状態になったときの写真撮影結果例を Fig. 5(a)~(i) に示す。Fig. 5(a)~(e) は試料がマルチフィラメント、回転数が 25 r.p.m.、張力 2.5 g の場合の浸漬位置の違いによる撚数分布状態の写真であり、Fig. 5(f)~(i) は試料がマルチフィラメント、張力 3.0 g の回転数の違いによる撚数の状態を示したものである。浸漬長の大きくなるにつれて撚数は増加し、回転数の増加によって抵抗モーメント増加のために撚数が増加していることがわかる。

3.2 糸径と剛性率の測定

撚数と糸径との関係についての測定結果を Fig. 6(a), (b) に示す。糸径の測定は Fig. 7 に示す装置により一定張力下で加撚し、A, B 2 点を slide glass に接着し、万能投影機で計測した。糸径はマルチフィラメント・紡績糸いずれも撚数の増加とともにわずかではあるが減少してから増加する傾向がある。また張力の増加によって減少している。これは糸の内部圧力と撚角度による糸構造の変化から理解できる。しかしその変化は微小であるの

Fig. 3 Each yarn rigidity is measured by the same apparatus of fig. 1. In such a case, a large cylindrical weight is required to be set at a tail-end of the yarn in order to prevent to make snarl.

Fig. 4 Cylindrical shell model for the calculation of viscous resistance on the surface of a yarn. R_i is a radius of inner cylinder and R_o a radius of outer cylinder.

Fig.5 Twist changes

Fig. (a)~(b) : changes with the immersed length.

Sample : multifilament. Tension : 2.5g. Revolution : 25r.p.m.

Fig. (f)~(i) : changes at different revolutions.

Sample : multifilament. Tension : 3.0g.

で糸径は各条件下の算術平均として求め、スパンヤーンは 2.42×10^{-2} cm, マルチフィラメント 5.02×10^{-2} cm, モノフィラメント 1.61×10^{-2} cm とした。なお、モノフ

ィラメントについては径の変化についての測定は行っていない。

剛性率の測定結果を Fig. 8 (a), (b), (c) に示す。剛性率に関係する糸のトルクについては, Milton M. Platt⁶⁾ らや K. Baird²⁾, W. E. Morton⁷⁾ らの数多くの報告があり, いずれもトルクは糸を構成する繊維数, ヤング率, 張力, 捻数などによって影響されることを示している。剛性率を求める方法は, 捻の伝達速度²⁾, 流体回転⁸⁾ による方法などがある。

本実験では Fig. 3 に示した装置によって, 糸に付与される張力を任意に選び, 張力一定の条件下で回転数を変化させて, 糸に加わるモーメントとそのときの捻数とから (4), (6) 式によって $M_W = M(x)$ として剛性率を求めた。

Fig. 8(a) はスパンヤーン, (b) はマルチフィラメント 6

Fig. 6 Relations between diameters of yarn and twists under various tensions. Fig. 6 (a) : multifilament yarn. Fig. 6 (b) : spun yarn. Diameters of yarn decreases slightly with the increase of tension and decreases at first and then increase slightly with the increase of twist.

Fig. 7 The measurement of yarn diameters. A yarn is twisted under a given tension and is attached to the slide glass on the places between A and B. Twist is then measured by the profile projector.

Fig. 8 Relations between rigidities and twists. Fig. 8 (a) : spun yarn. Fig. 8 (b) : multifilament x6. Fig. 8 (c) : monofilament.

In fig. (a) and (b) rigidity increases with the increase of twist and tension, and in fig. (c) rigidity decreases. These experimental equations are obtained by the least square method.

本合糸, (c) はモノフィラメントの結果である。プロットは実験値であり, 最小自乗法により求めた実験式からの計算値を実線で示した。

スパンヤーンおよびマルチフィラメント糸では捻数ならびに張力の増加に対して剛性率は増加している。モノフィラメント糸の場合は捻数の増加で剛性率は減少して双曲線型を示している。モノフィラメントでは, 張力変化の範囲が小さいため張力要因による差は認められない。剛性率が捻の増加とともに減少していくのは繊維自身の変形量が増大し流動変形の領域になることから理解できる。スパンヤーン, マルチフィラメントでは, 捻および張力の増加で糸の内部圧が増加して, 剛性率は増加すると考えられる。なお, スパンヤーンの捻数は元捻数を 7.94 T/cm として算出している。(スパンヤーンは, 熱湯で1時間以上撚セットを行なっているが, その構造上の性質で張力が付加されると解撚される。)

最小自乗法により求めた各試料糸の剛性率 G (dyne/cm²), 捻数 n (T/cm), 張力 T (g) の関係の実験式は (7-a), (7-b), (7-c) 式で表わせた。

$$G_{SP} = (0.0337 \cdot T \cdot n - 0.212 T + 1.06 n - 7.36) \times 10^7 \quad (7-a)$$

$$G_{M6} = (0.0142 T \cdot n + 0.0316 T + 0.512 n + 1.30) \times 10^7 \quad (7-b)$$

$$G_{M0} = (\{2.7 / (n + 0.5)\} + 1.6) \times 10^9 \quad (7-c)$$

剛性率 G の添字 SP はスパンヤーン, $M6$ はマルチフィラメント6本合糸, $M0$ はモノフィラメントを意味する。

3.3 撚分布

流体摩擦場における回転中の糸の捻数分布の実験結果を Fig.9 ~ 11 に示す。Fig.9 はスパンヤーン, Fig.10 はマルチフィラメント糸, Fig.11 はモノフィラメント糸である。横軸は糸と重錘との連結点からのグリセリン流体中の浸漬糸長であり, 縦軸は 1 cm 当りの捻数である。プロット点は実験値で, 実線は (4), (5), (6), (7) 式から求めた理論値である。(a), (b), (c), (d) は張力, 1 g , 2 g , 3 g , 4 g の場合で重錘の形状は Table.2 に示した。張力の大きいものは重錘の抵抗モーメントが大のため糸の捻数は大きくなっており, 回転数の増加によっても捻数は増加している。また浸漬長の大きくなるにしたがって捻数は多くなっている。これは糸自身が流体摩擦によって受ける抵抗モーメントのためであり, いわ

Fig.9 Relations between twists and yarn length. The sample used is spun yarn. Fig. (a), (b), (c) and (d) show the cases when the tension is 5g, 3g, 2g and 1g respectively. Lines indicate the calculated values.

ば燃の伝達損失である。

Fig. 9～11 からわかるように、実験値と理論計算値とは一致した傾向が認められる。このことから流体中における定常状態の燃の伝達では、糸は流体の粘性による摩擦抵抗を受け、この場合にはクエット流として扱った(5)式にあてはまることが確認された。(5)式によれば、摩擦抵抗モーメントは流体の粘性係数、回転速度に比例し、糸径に対して管径を充分大きく考えれば糸径の二乗

に比例する。糸の燃数とモーメントの関係は(6)式で表わされるから、糸の燃数は糸径 d 、糸剛性率 G に依存する。糸径は一般に燃数と張力によって変化するが、ここでは一定値としていること、および剛性率の算出も糸径に依存していることなどから、計算値と実験値との絶対値の差が生じていると考えられる。しかし、浸漬長によって燃数の増加している傾向は一致していると考えられる。なお、本実験範囲では試料糸の形状の影響による顕著な差は認められなかった。なお、糸径は2,3例について測定した結果、グリセリン中では空気中に比べて約1.5倍の差が見られたが、計算値では空気中と同等として扱った。又剛性率についても、燃数観測からは顕著な差は認められなかったので同様に空気中の値として算出してある。

Table 2 Dimensions of cylindrical weight

Tension	Diameter	Length
1 g	3.0 mm	20.2 mm
2	3.45	30.4
3	4.0	34.4
5	5.5	30.15

4. 結 論

摩擦場が燃伝達状態に与える影響について実験を行な

Fig. 10 Relations between twists and yarn length. The sample used is multifilament. Fig. (a), (b), (c) and (d) show the cases when the tension is 5g, 3g, 2g and 1g respectively. Lines indicate the calculated values.

Fig. 11 Relations between twists and yarn length. The sample used is mono-filament. Fig. (a), (b) and (c) show the cases when the tension is 3g, 2g and 1g respectively. Lines indicate the calculated values.

った。高摩擦場の一つとして摩擦因子が比較的単純な流体を対象として高粘性流体中で糸を加熱したときの燃の伝達とくに定常状態における燃数分布の平衡状態について検討した。

高粘性流体としてグリセリンを用い、Fig.1の同心円筒回転装置により実験を行ない、つぎの知見を得た。

1) 流体中の回転糸は、流体摩擦の影響により糸長方向に燃数の分布のあることが確認された。

2) 一定張力下の流体中における定常回転中の糸の燃数分布を測定し、流体摩擦抵抗モーメントの大きさは、クエット流として扱った次式によって表わせた。

$$M_Y = 4\pi h_Y \eta \Omega / (1/R_Y^2 - 1/R_P^2)$$

3) Fig.3の装置によって、一定張力下における糸の剛性率が測定できた。

4) 糸の剛性率は、燃数・張力に依存することが確認された。

付記：本研究の一部は、昭和47年10月第6回繊維7学会連合研究発表会で講演した。

文 献

- 1) 田中道一；山形大学紀要（工学）**2**, 223, (1953)

- 2) K. Baird; *J. Text. Inst.*, **50**, T475, (1959)
- 3) 黒崎, 近田, 岡村; 織学誌, **24**, 573, (1968)
- 4) J. J. Thwaites; *J. Text. Inst.*, **61**, T116 (1970)
- 5) たとえば, 図師督; 織機誌, **6**, 226 (1953), J. W. S. Hearle; *J. Text. Inst.*, **52**, T197 (1961)
- 6) M. M. Platt, W. G. Klein and W. J. Hambrger *Text. Res. J.*, **28**, 1, (1958)
- 7) W. E. Morton and F. Permanyer; *J. Text. Inst.*, **40**, T371, (1949) P. Postle, P. Burton and M. Chaikin; *J. Text. Inst.*, **55**, T448, (1964)
- 8) 山崎, 岡林; 第25回繊維機械学会年次大会講演論文集 (1972)

〔補〕 燃損失の理論値の算出は $G = A \cdot n \cdot T + B \cdot n + C \cdot T + D$ とすれば (4), (5), (6) 式より

$$\pi^2 d^4 (A \cdot n(x) \cdot T + B \cdot n(x) + C \cdot T + D) \cdot n(x) / 16 = 4\pi h_W \eta \Omega / (1/R_W^2 - 1/R_P^2) + 4\pi x \eta \Omega / (1/R_Y^2 - 1/R_P^2)$$

$$\therefore n(x) = \frac{-f + \sqrt{f^2 - 4 \cdot e \cdot g}}{2e}$$

ただし, $e = \pi d^4 (A \cdot T + B) / 16$

$$f = \pi d^4 (C \cdot T + D) / 16$$

$$g = 4\eta \Omega \{ h_W / (1/R_W^2 - 1/R_P^2) + x / (1/R_Y^2 - 1/R_P^2) \}$$