

ラッシングエンド曲線とラッシングエンド半径の求め方について

新 宅 救 徳* 吉 村 元 一* 岩 木 信 男*

A Study of Lashing End Curve and Lashing End Radius

by

Sukenori SHINTAKU, Genichi YOSHIMURA and Nobuo IWAKI

Abstract

A lashing end curve is formed by the portion of the yarn attached to the bobbin when the yarn breaks in unwinding from the bobbin or winding to the bobbin. A lashing end radius is the distance from the rotating center to the end of the yarn held away from the bobbin. The lashing end curve and the lashing end radius are determined by the radius of the bobbin, the mass per unit length of the yarn and the air-drag. In this paper, the theoretical equations are derived from the equations for ballooning. The convenient equation is produced to obtain the lashing end radius from the bobbin radius, the mass per unit length of the yarn and the yarn diameter for the air-drag where the drag coefficient is 1.2 and the ratio of the diameter for the air-drag to that of the profile projector is taken 1.8~2.2 for the cotton yarn and 1.0~1.1 for the continuous filament yarn.

1. ま え が き

回転している糸層より糸を解じょしていくときや、回転している糸層に糸を巻き取っていくとき、糸が切断すると糸層側の糸端はすべて糸層に巻き付かず、ある一定の半径を保ったまま回転する。回転の中心から糸の先端までの半径をラッシングエンド半径といい、先端から糸層までの糸のなす曲線をラッシングエンド曲線という。ラッシングエンド半径およびラッシングエンド曲線は糸の線密度、糸層径と空気抗力によって決まる¹⁾²⁾。ラッシングエンド曲線を表わす理論式はバルーニング解析³⁾に用いられる式の二次元の場合に相当するが、この関係は明らかにされていない。そこで本研究ではこの関係を明らかにすると共にラッシングエンド半径を求める実用式について述べる。

バルーニングの解析やラッシングエンド半径の解析には、糸の空気抗力が重要な働きをするが糸の空気抗力は複雑である。抗力係数はレイノルズ数によって決まるが、バルーニングやラッシングエンド半径の解析の場合、糸径と速度の決め方に難しい点がある。糸径の場合、糸を滑らかな円柱と考えるが、そのときに投影機で測定した径に表面の形態や毛羽の影響を考慮した分を加えたものを空気抗力に対する糸径としなければならない⁴⁾。糸の空気に対する速度をみると、糸の空気流に対する傾きが

* 機械工学科

半径によって異なるので簡単には速度を決められない。過去にはラッシングエンド半径と糸層径の和の半分的位置における値¹⁾やラッシングエンド半径の 0.7 倍の位置の値²⁾を用いた報告がある。しかし、いずれも回転数や糸種により変るので実用的には複雑である。本研究では糸径に対してはフィラメント糸のときには投影機による直径の 1.0~1.1 倍の値を、また綿糸のときには投影機による直径の 1.8~2.2 倍の値を用い、抗力係数はすべて 1.2 として実験値と理論値を比較検討した結果を報告する。これらの結果は精紡機や織物準備機的设计において糸層と機枠または糸層相互の間隔を決定する場合やバルーニングによる張力を検討する場合に役立つものと思われる。

2. 理論式

2.1 バルーニングの式とラッシングエンド曲線の式

バルーニングの式は座標を回転軸と共に回転させている。糸が長さ方向に移動する場合コリオリの力を考慮に入れた式も報告されているが⁵⁾⁶⁾、本研究の場合、糸が長さ方向に移動しないので、C. Mack の式を用いる³⁾。

$$\frac{d}{ds} \left(T \frac{dx}{ds} \right) + mx\omega^2 + K\omega^2 \left\{ x^2 + y^2 - \left(x \frac{dy}{ds} - y \frac{dx}{ds} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \left\{ y + \frac{dx}{ds} \left(x \frac{dy}{ds} - y \frac{dx}{ds} \right) \right\} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{d}{ds} \left(T \frac{dy}{ds} \right) + my\omega^2 + K\omega^2 \left\{ x^2 + y^2 - \left(x \frac{dy}{ds} - y \frac{dx}{ds} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \left\{ -x + \frac{dy}{ds} \left(x \frac{dy}{ds} - y \frac{dx}{ds} \right) \right\} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{d}{ds} \left(T \frac{dz}{ds} \right) + K\omega^2 \left\{ x^2 + y^2 - \left(x \frac{dy}{ds} - y \frac{dx}{ds} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \frac{dz}{ds} \left(x \frac{dy}{ds} - y \frac{dx}{ds} \right) = 0 \quad (3)$$

T : 張力

z : 回転軸上にとった座標

x, y : 回転軸に垂直な平面上にとった座標

m : 糸の線密度

K : 単位長さあたりの空気抗力を KV^2 としたときの定数。 V は糸と空気の相対速度

ω : 回転角速度

ds : 線素

ラッシングエンド曲線では $dz=0$ であるから、 $(ds)^2=(dx)^2+(dy)^2$ となり

$$\left(x \frac{dy}{ds} - y \frac{dx}{ds} \right)^2 + \left(x \frac{dx}{ds} + y \frac{dy}{ds} \right)^2 = x^2 + y^2 \quad (4)$$

が成立する。したがって

$$\left\{ x^2 + y^2 - \left(x \frac{dy}{ds} - y \frac{dx}{ds} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \left\{ y + \frac{dx}{ds} \left(x \frac{dy}{ds} - y \frac{dx}{ds} \right) \right\} = \left(x \frac{dx}{ds} + y \frac{dy}{ds} \right)^2 \frac{dy}{ds} \quad (5)$$

となり、式 (1) は次式となり、同様に式 (2) はその次の式となる。

$$\frac{d}{ds} \left(T \frac{dx}{ds} \right) + mx\omega^2 + K\omega^2 \frac{dy}{ds} \left(x \frac{dx}{ds} + y \frac{dy}{ds} \right)^2 = 0 \quad (6)$$

$$\frac{d}{ds} \left(T \frac{dy}{ds} \right) + my\omega^2 - K\omega^2 \frac{dx}{ds} \left(x \frac{dx}{ds} + y \frac{dy}{ds} \right)^2 = 0 \quad (7)$$

式 (6) に dx/ds , 式 (7) に dy/ds を乗じて加えると

$$\frac{dx}{ds} \frac{d^2x}{ds^2} + \frac{dy}{ds} \frac{d^2y}{ds^2} = 0$$

であるから, 次式となる。

$$\frac{dT}{ds} + m\omega^2(x \frac{dx}{ds} + y \frac{dy}{ds}) = 0 \quad (8)$$

式 (6) に $-dy/ds$, 式 (7) に dx/ds を乗じて加えると

$$T(\frac{dx}{ds} \frac{d^2y}{ds^2} - \frac{dy}{ds} \frac{d^2x}{ds^2}) - m\omega^2(x \frac{dy}{ds} - y \frac{dx}{ds}) - K\omega^2(x \frac{dx}{ds} + y \frac{dy}{ds})^2 = 0 \quad (9)$$

となる。

$r^2 = x^2 + y^2$ とすると

$$\begin{aligned} (\frac{dx}{ds} \frac{d^2y}{ds^2} - \frac{dy}{ds} \frac{d^2x}{ds^2}) r dr &= (\frac{dx}{ds} \frac{d^2y}{ds^2} - \frac{dy}{ds} \frac{d^2x}{ds^2}) (x \frac{dx}{ds} + y \frac{dy}{ds}) \\ &= x \frac{d^2y}{ds^2} - y \frac{d^2x}{ds^2} + (y \frac{dx}{ds} - x \frac{dy}{ds}) (\frac{dy}{ds} \frac{d^2y}{ds^2} + \frac{dx}{ds} \frac{d^2x}{ds^2}) = x \frac{d^2y}{ds^2} - y \frac{d^2x}{ds^2} \end{aligned} \quad (10)$$

となり, また

$$\frac{d}{r dr} (x \frac{dy}{ds} - y \frac{dx}{ds}) = (x \frac{d^2y}{ds^2} - y \frac{d^2x}{ds^2}) \frac{ds}{r dr} \quad (11)$$

となるから

$$\frac{dx}{ds} \frac{d^2y}{ds^2} - \frac{dy}{ds} \frac{d^2x}{ds^2} = \frac{d}{r dr} (x \frac{dy}{ds} - y \frac{dx}{ds}) \quad (12)$$

となる。式 (12) を式 (9) に代入して付号を変え, 式 (4) を用いると

$$T \frac{d}{r dr} (y \frac{dx}{ds} - x \frac{dy}{ds}) - m\omega^2 (y \frac{dx}{ds} - x \frac{dy}{ds}) + K\omega^2 \{r^2 - (y \frac{dx}{ds} - x \frac{dy}{ds})^2\} = 0 \quad (13)$$

となる。また式 (8) より l を定数とすると

$$T = m\omega^2(l^2 - r^2)/2 \quad (14)$$

を得る。式 (13) に式 (14) を代入して無次元化をするため

$$y dx/ds - x dy/ds = Pl, \quad r/l = R, \quad Kl/m = \mu, \quad v^2 = 4\mu^2(1 - R^2)$$

とおくと, 式 (13) は

$$\frac{dP}{d(v^2)} = (\frac{\mu}{v^2} - \frac{1}{4\mu}) - \frac{\mu}{v^2} P^2 - \frac{1}{v^2} P \quad (15)$$

となる。式 (15) は C. Mack が別の方法で求めた式¹⁾と一致しており, 著者らがさらに別に求めた結果とも一致している。それらを比べると P に相当するものが $R r d\theta/ds$ ($d\theta$: r と x のなす角) と $R \sin \sigma$ (σ : 接線と r のなす角) であり, これらは同一のものであることがすぐ解る。いま P と r の関係を図 1 に示す。 $|y dx/ds - x dy/ds|$ は任意の点 (x, y) で接線をひき, この接線に原点より下した重線の長さになることは解析幾何より明らかである。式 (15) の解法を述べる。

$W = 2\mu P + 1, v^2 = w$ とおき式 (15) に代入すると,

$$\frac{dW}{dw} = \frac{4\mu^2 + 1}{2w} - \frac{1}{2} - \frac{W^2}{2w} \tag{16}$$

となる。 $4\mu^2 + 1 = \nu^2$ とおき、さらに $W = 2w d(\log U)/dw = 2w dU/Udw$ とおくと

$$\frac{dW}{dw} = 2\frac{1}{U} \frac{dU}{dw} + 2w \left\{ -\frac{1}{U^2} \left(\frac{dU}{dw}\right)^2 + \frac{1}{U} \frac{d^2U}{dw^2} \right\} \tag{17}$$

となるから、式 (16) は

$$\frac{d^2U}{dw^2} + \frac{1}{w} \frac{dU}{dw} + \frac{1}{4w} \left(1 - \frac{\nu^2}{w}\right) U = 0 \tag{18}$$

となる。これは、その解が円柱関数に帰着される微分方程式である⁷⁾。すなわち J_ν を第 1 種ベッセル関数 Y_ν を第 2 種ベッセル関数とすると、 E, F を定数として

$$U = EJ_\nu(\sqrt{w}) + FY_\nu(\sqrt{w}) \tag{19}$$

が解となる。 M を定数として式 (19) を P と ν にもどすと $J'_\nu(\nu), Y'_\nu(\nu)$ をそれぞれ ν の微分をあらわすことにすれば

$$2\mu P = \frac{\nu \{J'_\nu(\nu) + MY'_\nu(\nu)\}}{J_\nu(\nu) + MY_\nu(\nu)} - 1 \tag{20}$$

となる。 $\nu = 0$ で $|P| \leq 1$ でなければならないから $M = 0$ とおいたものが解となる。

$$2\mu P = \frac{\nu J'_\nu(\nu)}{J_\nu(\nu)} - 1 \tag{21}$$

ここで $J_\nu(\nu)$ は第 1 種ベッセル関数であり $J'_\nu(\nu)$ は ν による微分をあらわす。式 (21) をベッセル関数の漸化式を用いて変形し、直接級数の形であらわすと次式となる。

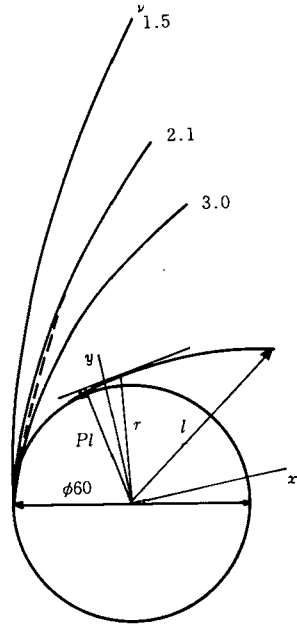
$$2\mu P = \left\{ (\nu-1) - \frac{(\nu-1)(1-R^2)}{2} - \frac{(\nu-1)^2(1-R^2)^2}{8(\nu+2)} - \frac{(\nu-1)^3(1-R^2)^3}{16(\nu+2)(\nu+3)} - \frac{(5\nu+11)(\nu-1)^4(1-R^2)^4}{128(\nu+2)^2(\nu+3)(\nu+4)} - \frac{(14\nu+38)(\nu-1)^5(1-R^2)^5}{512(\nu+2)^2(\nu+3)(\nu+4)(\nu+5)} - \dots \right\} \tag{22}$$

2.2 ラッシングエンド曲線

理論と実験を直接比較するには式 (22) ではできないが、 Pl は図 1 に示されるようにラッシングエンド曲線の任意の点で引いた接線に原点より下した垂線の長さであるから、 P の理論値と実験値の比較はできる。それを図 2 に示す。式 (22) を極座標になおすために以下のようにする。

$$d\theta = \frac{xdy - ydx}{r^2} = \left(x \frac{dy}{ds} - y \frac{dx}{ds}\right) \cdot ds/r^2 \tag{23}$$

$rdr = xdx + ydy$ であるから次式の関係がある。



..... 綿糸 30s 7,650rpm

図 1 ラッシングエンド曲線

$$Pl = y \frac{dx}{ds} - x \frac{dy}{ds}$$

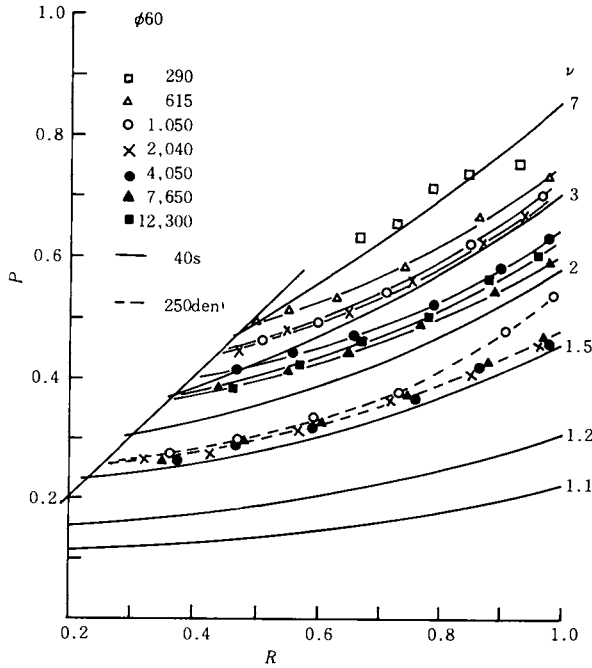


図2 PとRの関係 ($Pl = y \frac{dx}{ds} - x \frac{dy}{ds}$)

$$\frac{rdr}{ds} = \left\{ r^2 - \left(x \frac{dy}{ds} - y \frac{dx}{ds} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \tag{24}$$

θ の増加する方向を普通と逆にとれば、次式となる。

$$d\theta = Pl \cdot d(r^2)/2r^2 \left\{ r^2 - (Pl)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = \frac{Pd(R^2)}{2R^2(R^2 - P^2)^{\frac{1}{2}}} \tag{25}$$

式 (22) を式 (25) に代入して $d(R^2)$ で積分できるようにすれば、ラッシングエンド曲線を極座標で表わせる。そのために式 (22) を簡単な式で置き換えることにする。実際に多く現われる ν の値は1以上6以下である。そこで誤差を約1%許すことにすれば式 (22) の $(1-R^2)^5$ の項は無視できる。今ボビンの接点からラッシングエンド半径までの全体にわたって近似するために R^4 の代りに $(R^2-0.125)$ 、 R^6 の代りに $(R^2-0.333)$ 、 R^8 の代りに $(R^2-0.25)$ を式 (22) に代入する。そして式 (22) の代りに

$$P = A + BR^2 \tag{26}$$

を考える。そうすると式 (26) を式 (25) に代入して積分を行うことが可能になる。定数 A, B を ν であらわすと

$$A = \frac{1}{\sqrt{\nu^2-1}} \left\{ \frac{\nu-1}{2} - \frac{(\nu-1)^2}{8(\nu+2)} \left(\frac{7}{8}\right) - \frac{(\nu-1)^3}{16(\nu+2)(\nu+3)} \left(\frac{19}{24}\right) - \frac{(5\nu+11)(\nu-1)^4}{128(\nu+2)^2(\nu+3)(\nu+4)} \left(\frac{2}{3}\right) \right\} \tag{27}$$

$$B = \frac{1}{\sqrt{\nu^2-1}} \left\{ \frac{\nu-1}{2} + \frac{(\nu-1)^2}{8(\nu+2)} + \frac{(\nu-1)^3}{16(\nu+2)(\nu+3)} + \frac{(5\nu+11)(\nu-1)^4}{128(\nu+2)^2(\nu+3)(\nu+4)} \right\} \tag{28}$$

を得る。式 (22) の値と式 (27), (28) より得られる A, B を式 (26) に入れて求めた P の値を、 $\nu=1.5, 2.1, 3.0$ の場合に比較した結果を表1に示した。式 (22) の代りに式 (26) を用いても実用上は十分であ

表1 式(27)(28)による式(26)と理論式(22)のPの比較

ν 3.0			ν 2.1			ν 1.5		
R	A0.317 B0.396	Equ.(22)	R	A0.279 B0.320	Equ.(22)	R	A0.216 B0.232	Equ.(22)
1.0	0.713	0.7071	1.0	0.599	0.5957	1.0	0.448	0.4472
0.9	0.638	0.6386	0.9	0.538	0.5384	0.9	0.404	0.4031
0.8	0.570	0.5750	0.8	0.484	0.4858	0.8	0.364	0.3657
0.7	0.511	0.5167	0.7	0.436	0.4383	0.7	0.330	0.3310
0.6	0.460	0.4646	0.6	0.394	0.3963	0.6	0.300	0.3007
0.5	0.416	0.4192	0.5	0.359	0.3601	0.5	0.274	0.2748
0.4	0.380	0.3810	0.4	0.318	0.3173	0.3	0.237	0.2368
0.372	0.372	0.3716	0.309	0.309	0.3079	0.23	0.228	0.2279

るといえる。式(26)を式(25)に代入して整理すると以下のようになる。

$$d\theta = \frac{(A + BR^2)d(R^2)}{2R^2 \{R^2 - (A + BR^2)^2\}^{\frac{1}{2}}}$$

$$\theta = \frac{1}{2} \left[\sin^{-1} \left\{ \frac{(1-2AB)R^2 - 2A^2}{R^2 \sqrt{1-4AB}} \right\} - \sin^{-1} \left\{ \frac{(1-2AB) - 2B^2R^2}{\sqrt{1-4AB}} \right\} \right]_1^R \quad (29)$$

式(29)は $R = A + BR^2$ になる R まで計算できるが、 $R = A + BR^2$ となる R の値が糸層に接する点にあたる。

2.3 ラッシングエンド半径

糸層径とラッシングエンド半径の比について考える。 $r^2 d\theta = (x dy - y dx)$ を P の定義の式に代入すれば $-R r d\theta / ds = P$ を得る。したがって $P = R$ になることは $r |d\theta| = ds$ となることであり、糸層に接することになる。糸層半径を b とすれば $P = R$ になる R は b/l と書ける。式(22)の ν をパラメータとして $R = 1$ より 0 まで計算すれば途中で $P = R$ となる R の値が存在する。したがって $\nu \rightarrow \mu \rightarrow b/l$ の値が関係づけられる。 $\mu = Kl/m$ であるから $\mu \cdot b/l = Kb/m$ となり、 b/l と Kb/m の関係を求めることができる。今糸径(糸種)と糸層径を与えて K, b と m を計算し、ラッシングエンド径 l を求めようとする式の上ではすべて l を含んでいるので直接求めることができない。そこで μ の値をいくつか与えて $\mu \rightarrow \nu \rightarrow b/l$ を計算し、 l/b と Kb/m の関係を求めたのが図3の破線である。これに代る実用的な式を求めてみる。その結果

$$\frac{l}{b} = 1.05 + 1.20 \left(\frac{m}{Kb} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (30)$$

を一例として得た。この式(30)は $0.1 < Kb/m < 1.5$ の範囲で誤差は最高約5%であり、実用的には十

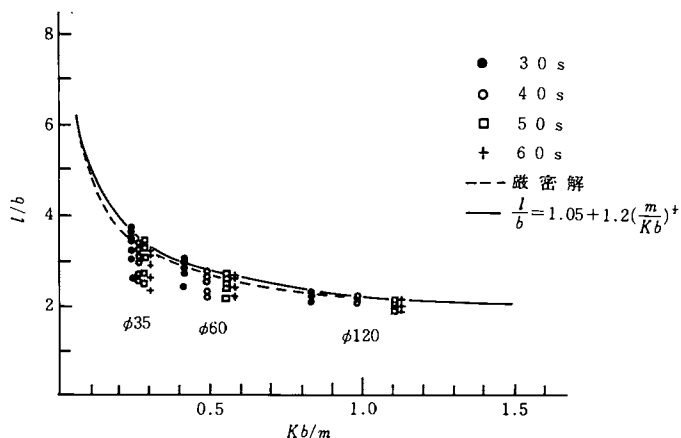


図3 綿糸のラッシングエンド半径

分である。

3. 実験方法と試料

本実験で使用した糸を表2に示す。綿糸を中心に撚りのあるポリエステルフィラメント糸と太いナイロン糸を綿糸と比較するために用いた。糸層の径は $\phi 35$, $\phi 60$ と $\phi 120$ を用いた。回転数は290, 615, 1050, 2040, 4050, 7650と12300 rpmであるが条件によっては実験のできないものもあった。ラッシングエンド曲線を見るにはストロボを用いて観察した後、写真撮影を行った。1本の糸につき3回撮影を行い、糸を取り換えて5回行った。すなわち同一回転、同一糸層径、同糸種で15枚撮影した。写した曲線に5~6ヶ所適当にとって接線を引き、この接線に回転中心から垂線を下した。ラッシングエンド半径は写真撮影後測定し、写真でも確認した。

表2 実験で使用した糸

糸種	線密度(kgf·s ² /m ²)	直径(m)
綿糸 30 s	1.95×10^{-6}	2.0×10^{-4}
綿糸 40 s	1.59×10^{-6}	1.6×10^{-4}
綿糸 50 s	1.20×10^{-6}	1.3×10^{-4}
綿糸 60 s	0.94×10^{-6}	1.1×10^{-4}
ポリエステル糸 250den	3.03×10^{-6}	2.0×10^{-4}
ナイロン糸 1,420den	15.7×10^{-6}	5.3×10^{-4}

4. 実験結果と考察

4.1 ラッシングエンド曲線について

綿糸40sのPとRの関係を図2に示した。また250denの関係も綿糸の下の方に示した。綿糸30s, 50s, 60sについて得られた結果も ν の大小はあっても40sと同様な傾向であった。糸層径 $\phi 35$, $\phi 60$ の290rpmおよび615rpmの一部の場合、糸が波を打つように揺れる現象が現われたり、ポピンとの接点部分に比べ糸の先端部がかなり下に下がったりするのが観察された。これは糸の曲げ剛性や重力が無視できなくなるためと考えられる。そこで糸層径35mmの綿糸60sの場合の遠心力の最大値と重力の比を計算してみると290rpmで約3:1, 615rpmで約17:1となり、この程度では重力を無視できない。回転数12300rpmでは実験装置が振動して実験結果はあまり得られなかった。

綿糸とポリエステル糸の場合のラッシングエンド曲線を比較すると、綿糸の場合、糸層付近になるに従い ν の大きい方へずれている。このように先端に移るに従い空気抗力 KV^2 のKの値が小さくなるのは、糸と空気の相対速度が大きくなると糸表面のおうとつが平均化され毛羽も空気に沿うようになり、いわゆる空気抗力に対する糸径が小さくなるためと考えられる。また毛羽も空気に沿うようになると一般に無視されている摩擦抗力の影響も大きくなることが考えられる。ポリエステル糸の場合、回転数による差はほとんどなく ν 一定の線に沿っている。ただ先端部で ν の大きい方へずれることがあった。これは先端部では撚りがもどって広がりそのため空気抗力が大きくなったと考えられる。ナイロン糸もポリエステル糸と同じであった。

ラッシングエンド曲線を直角座標で比較してみると図1のとおりである。綿糸の $\nu=2.1$ の場合、糸の先端付近で一致させると中央部より、わずかに糸層側へ入る。ポリエステル250denの場合($\nu=1.5$)、ほとんど重ってしまい図の上では区別がつかない。したがって近似式(26)はラッシングエンド曲線をあらわすのに十分使用することができる。

4.2 ラッシングエンド半径について

表3に実験で得られたラッシングエンド半径の実長を示す。これをみると、綿糸では回転数が高くなるにつれ、また糸が太くなるにつれラッシングエンド半径は大きくなっている。ポリエステル糸とナイロン糸では615rpmを除き、回転数によらず一定である。

表3 ラッシングエンド半径の実長

単位 mm

糸 層		糸 層 回 転 数 (rpm)						
糸 種	φ	615	1,050	2,040	4,050	7,650	12,300	
綿 糸 30 s	35	46	52	56	61	64	66	
	60	71	80	91	84	93	85	
	120	123	129	133	135	136	—	
綿 糸 40 s	35	44	47	52	53	58	60	
	60	65	70	76	82	85	80	
	120	110	125	128	129	131	—	
綿 糸 50 s	35	43	48	52	51	56	61	
	60	62	69	76	74	79	80	
	120	110	119	121	128	122	—	
綿 糸 60 s	35	40	45	50	54	53	56	
	60	57	67	72	74	76	82	
	120	105	113	119	123	126	—	
ポリエステル糸 250den	35	86	86	85	86	92	—	
	60	106	123	127	125	126	—	
	120	128	188	187	191	188	—	
ナイロン糸 1,420den	35	121	123	129	130	126	—	
	60	171	176	178	168	166	—	
	120	238	237	227	239	244	—	

ラッシングエンド半径と糸層径の比 l/b を $K \cdot b/m$ から求めるとき、 K をどのように求めるかが問題となる。空気の比重量 γ 、重力加速度 g 、糸直径 D 、空気抗力係数 C_n とすると K は

$$K = C_n \cdot D \cdot \gamma / 2g$$

であるが C_n と D を以下のようにする。ラッシングエンド曲線では糸層との接点から先端に至るまでレイノルズ数が変わるから、抗力係数に幅がある。一般的にはレイノルズ数に選択の幅がある場合の円筒の空気抗力を求めるとき、抗力係数を1.2にするのが大体妥当であるとされているので、ここでは1.2とする。また D については、投影機による直径でなく空気抗力に対する直径を用いなければならない¹⁾。綿糸の空気抗力に対する直径の投影機による直径に対する比は1.7¹⁾や30 sで1.8²⁾であると報告されているが表4に示す値を用いた。ポリエステル糸とナイロン糸では投影機による糸直径を用いた。図3に綿糸の場合、図4にポリエステル糸とナイロン糸の場合の結果を示した。綿糸の場合、回転数が低いとラッシングエンド半径は小さいが、ポリエステル糸の場合、回転数によらずほぼ一定で式(30)によく一致している。ナイロン糸の場合式(30)より上に出ている。実際、糸層を回転させる場合5000rpm以上が多いのでラッシングエンド径を求める場合式(30)を適用することができる。

表4 糸の空気抗力に対する直径と投影直径の比

糸種 \ 糸層径	φ 35	φ 60	φ 120
綿糸 30 s	1.8	1.8	1.8
綿糸 40 s	2.0	2.2	2.2
綿糸 50 s	2.0	2.3	2.2
綿糸 60 s	2.0	2.0	2.2
ポリエステル糸 250den	1.0	1.0	1.0
ナイロン糸 1,420den	1.1	1.1	1.1

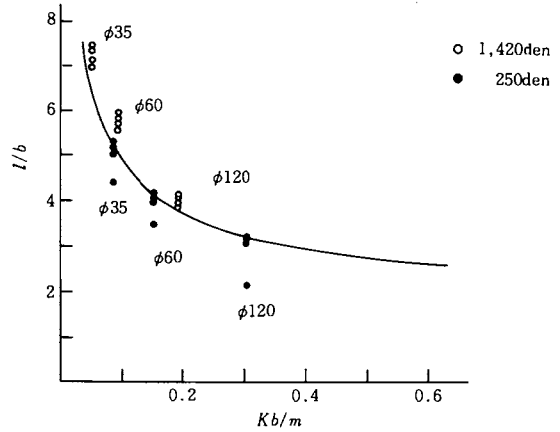


図4 フィラメント糸のラッシングエンド半径

5. 結 果

過去に発表されてきたバルーニングの式とラッシングエンド曲線の式および糸の空気抗力について検討した結果以下の結論を得た。

- (1) バルーニングの式からラッシングエンド曲線を求めることが明らかになった。
- (2) ラッシングエンド曲線を直角座標に描く場合、近似式を用いれば簡便であり、その定数と糸の空気抗力、線密度と糸層直径の関係が明らかになった。
- (3) ラッシングエンド半径を求める実用式として、次の式を用いることができる。

$$\frac{l}{b} = 1.05 + 1.20 \left(\frac{m}{Kb} \right)^{\frac{1}{2}}$$

ただし l ：ラッシングエンド半径， b ：糸層半径， m ：糸の線密度， K は糸単位長さあたりの空気抗力を速度の2乗に比例するとしたときの定数で求め方を(4)に示す。

- (4) $K = C_n D \gamma / 2g$ であるが抗力係数 C_n として1.2，糸の直径 D として投影機による直径に綿糸では1.8~2.2乗じたもの，またフィラメント糸では1~1.1を乗じたものである。 γ は空気の比重， g は重力加速度である。

以上報告するにあたり、実験および計算に協力いただきました牧本光洋氏、渡辺雅信氏に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) C. Mack, E.J.L. Smart ; *J. Text. Inst.*, 47, T394
- 2) 新宅, 吉村, 岩木; 織学誌, 34, T316
- 3) C. Mack ; *J. Text. Inst.*, 44, T483
- 4) 岩木, 吉村, 新宅, 沢柳; 織学誌, 34, T24
- 5) D.G. Pad field. ; *Proc. Roy. Soc.* A245, 382
- 6) D.G. Pad field. ; *J. Text. Inst.*, 47, T301
- 7) 森口, 岩波全書数学公式III, 161

(昭和53年10月25日受理)