Relationship between Covering Tension and Composition of Covered Yarn

MORI Daisuke*, SHINTAKU Sukenori** and KINARI Toshiyasu **

*Industrial Research Institute of Ishikawa Prefecture, Kuratsuki Kanazawa, 920-8203, Japan

**Department of Mechanical Engineering, Kanazawa University, Kodatsuno, Kanazawa 920-8667, Japan

Received 26 May 2003; accepted for publication 30 January 2004

Abstract

It is often to make a composite yarn for design and development of new textile products at textile industry in Japan. Covering process is one of methods in which two or more yarns are combined. And then, a composition of covering and core yarns in a covered yarn is an important factor for affecting the quality and characteristic of fabric.

Covering tension is theoretically estimated for clarifying a relationship between the composition of covering and core yarns and manufacturing condition in covering process. The covering tension increases with increasing the angular velocity of spindle and the balloon height. The composition of covering and core yarns decreases with increasing the ballooning tension.

In order to prevent the covering tension from decreasing with the change of bobbin radius for the covering yarn, a method of controlling the angular velocity of spindle has an effect for keeping a constant composition of covering and core yarns in a covered yarn.

Key Words: Balloon, Tension, Twist, Angular velocity of spindle, Covered yarn

カバリング糸の巻付け張力とカバード糸の構成比の関係

森大介* 新宅救徳** 喜成年泰**

1. 結 言

繊維産業では繊維製品の高付加価値化を図るため、複数の異なった糸による複合化糸加工が盛んに行われている。複合化糸加工の一つとして、芯糸に別の糸を螺旋状に巻付けるカバリング加工がある。カバリング加工では、従来から芯糸にポリウレタン糸、カバリング糸に合成繊維を用いたストレッチ糸等が多く生産されており、また、最近ではカバリング糸に機能性フィルムのスリット糸等を用いたカバード糸の製造も行われている。

これらのカバード糸を用いた織物の風合いや品質を左右する要因として、カバード糸を構成する芯糸とカバリング糸の被覆状態がある。この被覆状態を評価する手法としては、カバード糸の捻数や捻角度を調べる方法もあるが、本研究では、カバード糸を芯糸とカバリング糸に分解した後、これらの質量測定から、長さに変換することにより芯糸に対するカバリング糸の長さの比（以下、カバード糸の構成比）を求めた。このカバード糸の構成比に影響を与える因子には、カバ

リング糸の巻付け張力と芯糸張力がある。著者の一人は、バルーニング中の糸が切断した場合に糸の切れ端は糸層にすべて巻付かず、一定の半径を保って回転することから、この半径をもって理論的にカバリング糸の巻付け張力を求めた[1-2, 4]。そこで、本研究はカバード糸の構成比とカバリング糸の巻付け張力の関係を明らかにするため、実機で芯糸張力を無視するに十分な剛性を有する糸を芯糸に用いてカバード糸を作製し、これらのカバード糸の構成比と理論的に求めたカバリング糸の巻付け張力の関係について調べた。一方、カバリング工程でカバリング糸の糸層半径の減少にともなうカバリング糸の巻付け張力が小さくなるためにカバード糸の構成比が増加するという問題がある。そこで、この問題を解決するため、巻付け張力の解析結果から糸層半径が変化した場合にカバリング糸の巻付け張力が一定となるスピンドル角速度を求め、糸層半径の変化に応じてスピンドル角速度を変えてカバリングする手法について検討した。この手法はスピンドル角速度が一定の場合と比較して、カバード糸の構成比を安定させる効果があることを確認したので以下

* 連絡先：石川県工業試験場 920-8203 金沢市鞍月 2 丁目 1 番地, E-mail: daisuke@irri.go.jp, Fax: 076-267-8090

** 金沢大学工学部 920-8667 金沢市小立野 2-40-20

に報告する。

2. 巻付け張力の解析

2.1 バルーン解析

カバリング系の巻付け張力は、カバリング系のバルーンの解析から求めることができる。図1に示すように、 x 軸および y 軸をポビンに対して直角平面上に、 z 軸はポビン軸上にとる。 $x=y=z=0$ の点をバルーンの頂点とし、バルーン頂点でのカバリング系の張力をカバリング系の巻付け張力とする。このバルーン解析で空気抗力と遠心力を考慮した式は、(1) ~ (3) となる[2-4]。

$$\frac{dP}{d(R^2)} = \left\langle P + \mu \left\{ R^2 - P^2(1-Q^2) \right\}^{1/2} \left(R^2 - P^2 \right)^{1/2} \right\rangle / \left\{ (1-Q^2)(1-R^2) \right\} \quad (1)$$

$$\frac{dQ}{d(R^2)} = \left\langle Q - \mu \left\{ R^2 - P^2(1-Q^2) \right\}^{1/2} P \left(R^2 - P^2 \right)^{-1/2} \right\rangle / (1-R^2) \quad (2)$$

$$\frac{d(z/\ell)}{d(R^2)} = \frac{Q}{2(1-Q^2)^{1/2}(R^2-P^2)^{1/2}} \quad (3)$$

ただし、

H : バルーン高さ[m]

T : 張力[N]

m : 糸の線密度[kg/m]

C_d : 糸の垂直な方向の空気抗力係数

D : 糸の直径[m]

ρ : 空気密度[kg/m³]

K : $C_d D \rho / 2$ [kg/m²]

P : バルーンを x, y 平面に投影した曲線の接線に回転中心より下した垂線の長さを ℓ で除した無次元長さ

Q : $d(z/\ell)/ds$ (s は線素)

ℓ : 仮想的に張力0となる半径[m]

μ : $K\ell/m$

R : r/ℓ (ただし、 $x^2+y^2=r^2$)

b : 糸層半径[m]

式(1), (2), (3)は、 P, Q, z, μ の初期値を与えてやれば、 R^2 を変数として、数値解析により解くことができる。 μ は1以上の値を用いて、 $R=0$ において $P=0, z=0$ とし、 Q の初期値を1以下の適当な数値を与えて計算する。 $R=P$ となるまで R の増加方向に計算し、その後、 $P=-P$ として R の減少方向に計算する。最初に $R=P$ になる場合における R (r/ℓ)の r は最大径であり、その後、 $R=P$ となる場合の R (r/ℓ)の r は、糸層半径の b と一致し、 R は b/ℓ となりこの点に糸層が存在すると考える。この点での Q の値は、糸が上方に向かって引き出される角度の正弦である。最初に $P=R$ となる点の R を R_1 、 R を減少方向にして再び $P=R$ となる点の R を R_2 とする。 R_1, R_2 及び μ は ℓ を含んでいるが、これらの値を互いに

除することにより、バルーンに関する無次元長さを得る。 $(z/\ell)/R_2$ はバルーン高さ H と糸層半径 b の比 H/b である。これが所定の値にならなければ、 Q の初期値を変えて再び計算する。 $\mu R_2 = Kb/m$ であるから、 H/b をパラメータとして、 ℓ/b と Kb/m の関係が求められ、これを図2に示した。

Fig.1 Covering apparatus

Fig.2 Relation between ℓ/b and Kb/m

2.2 巻付け張力の求め方

バルーンの解析により、後述するラッシングエンド半径 L 、糸層半径 b 、糸の線密度 m 、及び K の関係から、糸層半径とラッシングエンド半径を測定すれば、図4より、 K と糸層半径の積を糸の線密度で除した無次元量が求まる。この値から、図2よりバルーン中のカバリング糸が張力0となる半径を糸層半径で除した無次元長さが求まり、これと糸の線密度、スピンドル角速度及び糸層半径から式(4)より、巻付け張力を求めることができる[2,4]。

$$T = m \omega^2 b^2 (\ell/b)^2 / 2 \quad (4)$$

ただし,

ω :スピンドル角速度[rad/s]

2.3 K の算定方法

K を算定するには、 C_d と D を決定しなければならないが、バルーン中のカバリング糸は糸層から芯糸に巻付くまでにレイノズル数が変化し空気抗力係数に幅がある。また、 D については、投影機による直径ではなく、毛羽や燃の影響を考慮した空気抗力に対する直径を用いなければならない。そこで、ラッシングエンド半径を測定することで K を算定する手法を用いた[2]。

精紡、合糸、あるいはカバリング等の工程において、高速回転する糸が切れると、図3のようにボビン側の糸はすべて巻付かず、ある一定の半径を保ったまま回転する。この回転の中心から糸の先端までの半径 L をラッシングエンド半径といい、先端から糸層までの形状をラッシングエンド曲線という。この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 m 、糸層半径 b 、 K によって決まり、この関係を図4に示す[1]。

Fig.3 Lashing-end curve

Fig.4 Relation between L/b and Kb/m

2.4 ラッシングエンド半径の測定と巻付け張力の計算

K の算定は L を測定して決定する方法をとる。実験に使用した糸を表1に示す。実験は片岡機械工業(株)製カバリングマシンPFⅡ型を用いて、 $b=16\text{mm}$ のボビンに糸を数回巻付けて、スピンドル回転数 838rad/s で実験を行った。ラッシングエンド曲線の観察は、ストロボスコープを用いて直定規にて読み取った。実験結果及び図4から読み取った Kb/m と L/b の関係を表2に示す。この結果より、 K が求まり、図2の結果から、各 H/b の ℓ/b が決定し、式(4)よりカバリング糸の巻付け張力 T を求めることができる。表2より、 $b=32\text{mm}$ における Kb/m を求め、図4及び式(4)より巻付け張力を求めたので、その結果を図5に示す。スピンドル角速度の増加にともない、巻付け張力が増加することがわかる。また、糸層半径に対するバルーン高さの比が大きくなるとカバリング糸の巻付け張力も増加する。さらに、 $167\text{dtex}/32\text{f}$ と $184\text{dtex}/48\text{f}$ を比較すると、仮燃糸 $184\text{dtex}/48\text{f}$ の巻付け張力は、 H/b が小さい(a)では小さく、 H/b が大きい(b)では大きくなっているが、その両者の巻付け張力はほぼ同じ値となっている。これは、両者の線密度や糸の表面形状が異なっていることにより、巻付け張力は Kb/m によって決定する ℓ/b の値の影響を受けるため、両者の巻付け張力はほぼ同じ値になったと考えられる。

Table 1 Details of yarn sample

No.	Yarn type	No. of Filaments	Count(dtex)	Remark
I	Polyester	36	84	
II		32	167	
III		48	184	Textured Yarn

Table 2 L, b, m and K for yarn sample

No.	L	L/b	Kb/m
I	0.0630	3.94	0.167
II	0.0697	4.36	0.130
III	0.0640	4.04	0.166

3. 巻付け張力とカバード糸の構成比の関係

3.1 実験

3.1.1 実機による実験

前述したカバリング糸の巻付け張力はスピンドル角速度やバルーン高さなどから求まるので、実機により実験を行い、カバリング糸の巻付け張力がカバード糸に及ぼす影響について調べた。実験には、ラッシングエンド半径の測定と同様に片岡機械工業(株)製カバリングマシンPFⅡ型を用いた。ま

(a) Effect of yarn sample

(b) Effect of H/b

Fig.5 Calculated covering tension and angular velocity of spindle

た、カバード糸の構成比にはカバリング糸の巻付け張力だけでなく、芯糸張力も影響を及ぼすと考えられるが、本研究では巻付け張力だけを考慮するため、芯糸張力の影響を無視するに十分な剛性を有するナイロン 1022dtex/f のモノフィラメント糸を芯糸として用いた。また、カバリング糸には、表 1 の 3 種類の糸を使用した。さらに、 $b=32\text{mm}$ で一定とし、パール層高さをガイドにて調節し、スピンドル回転数を変えて実験を行った。実験条件を表 3 に示す。

Table 3 Experimental conditions of covering process

Covering machine	KATAOKA PF II
Core yarn	Nylon 1022dtex/f
Spindle velocity	419~1257rad/s
Ratio between radius of yarn layer and balloon height: H/b	2.5, 6

3.1.2 カバード糸の構成比

カバード糸の構成比を求める手法として、カバード糸を 10cm の長さにて切断し、図 6 のように芯糸とカバリング糸に分解した後、これらの質量をマイクロ天秤 (メトラ製 MT5)

によって 5 回測定して、その平均値を糸長に換算しカバード糸の構成比 (L_2/L_1) を求めた。

Fig. 6 Measurement for composition of covering and core yarns

3.1.3 巻付け張力の制御

前述のカバリング糸の巻付け張力の解析より、糸層半径が変化してもカバリング糸の巻付け張力が一定となるスピンドル角速度を求め、糸層半径の変化に応じてスピンドル角速度を変えてカバリングを行い、スピンドル角速度が一定の場合と比較を行った。前述の芯糸とカバリング糸を用い、初期時のスピンドル角速度を 838rad/s として実験を行った。初期時の巻付け張力は、巻付け張力の解析より求めた ℓb と式 (4) より 2.2cN と求まる。また、糸層半径を変化させた場合において、巻付け張力を一定とするスピンドル角速度も同じ方法で求めた。この糸層半径、スピンドル角速度及び巻付け張力の関係の一例を表 4 に示す。Case I は、スピンドル角速度が 838rad/s で一定のため、糸層半径の減少にともなって巻付け張力も小さくなっているが、Case II では、巻付け張力の解析を基に糸層半径の変化に応じてスピンドル角速度を変化させることにより、巻付け張力が一定となる。

Table 4 Relation between b , T and ω

b (mm)	Case I		Case II	
	ω (rad/s)	T (cN)	ω (rad/s)	T (cN)
32	838	2.2	838	2.2
30		2.1	858	
25		1.7	940	
17		1.2	1103	

ただし、 $H=100\text{mm}$, 84dtex/36f

3.2 結果と考察

図 7 にスピンドル角速度 838rad/s における撚数とカバード糸の構成比の関係を示す。撚数の増加にともなって L_2/L_1 は増加しており、その勾配は撚数が多くなるほど徐々に増加している。これは、芯糸にカバリング糸が螺旋状に巻付くため、撚数が多くなるに従って、カバード糸の構成比の増加率が大きくなるためと考えられる。また、スピンドルの角速度とカバード糸の構成比の関係を図 8 に示した。撚数が同じでもスピンドル角速度の増加にともないカバード糸の構成比は減少し、それぞれの撚数に応じて一定の値に近づいている。その減少率は撚数が多いほど大きくなっている。これは、スピンドル角速度の増加にともなってカバリング糸の巻付け張力が大きくなりカバリング糸が引っ張られた状態で芯糸に

Fig.7 L_2/L_1 and number of twist

螺旋状に巻付くことが原因である。一方、カバリング糸の巻付け張力の解析より、スピンドル角速度が同じならば、撚数が異なってもカバリング糸の巻付け張力は同じとなり、巻付け張力によるカバリング糸の単位長さ当たりの伸びも同じである。しかし、芯糸の単位長さに対するカバリング糸の長さは撚数が多いほど長くなるので、スピンドル角速度の増加に対する L_2/L_1 の減少率は撚数が多いほど大きくなると考えられる。これにより、撚数が同じであっても、スピンドル角速度が異なるとカバリング糸の巻付け張力が変わり、それにとまって L_2/L_1 も変化することにより、カバード糸の形状も異なることがわかる。

Fig.8 L_2/L_1 and angular velocity of spindle

図9に撚数が同じであってもカバリング糸の巻付け張力（スピンドル角速度）が異なることにより、カバリング糸が芯糸に螺旋状に巻付く状態が異なっている糸の外観を示す。図9の(a)と(b)を比較するとスピンドル角速度が速くカバリング糸の巻付け張力が大きい(a)ではカバリング糸のフィラメントが収束して巻付いているが、スピンドル角速度が遅くカバリング糸の巻付け張力が小さい(b)ではフィラメントは収束せずにバルキー性を保持しており、カバード

(a) 1257rad/s

(b) 419rad/s

Fig.9 Appearance of covered yarn

(Covering yarn:184dtex/48f, H/b : 2.5, 3000T/m).

糸の外観も太くなっている。このことから、カバリング糸の巻付け張力が変化するとカバード糸の構成比も異なり、カバード糸の形状が変化することがわかる。

図10は、糸種の違いによるスピンドルの角速度とカバード糸の構成比との関係を示す。糸種が異なっても図8と同様にスピンドル角速度の増加にとまって L_2/L_1 は減少している。スピンドル角速度が419rad/sにおいて3種類のカバリング糸の L_2/L_1 を比較するとその差はかなり大きい、スピン

Fig.10 L_2/L_1 and angular velocity of spindle

Fig. 11 L_2/L_1 and angular velocity of spindle

ドル角速度が 838rad/s 以上では、その差は小さくなっている。これはスピンドル角速度が 419rad/s における 3 種類のカバリング糸の巻付け張力は、他のスピンドル角速度の場合と比較すると最小となり、図 9 (b) より仮撚糸である 184dtex/48f のバルキー性が保持された状態で芯糸に螺旋状に巻付くので、他の 2 種類の糸と比較すると L_2/L_1 が最も大きくなったと考えられる。また、仮撚加工がされていない 167dtex/32f と 84dtex/36f を比較すると、スピンドル角速度が 419rad/s では 84dtex/36f の L_2/L_1 が大きくなっている。これは、167dtex/32f より 84dtex/36f の巻付け張力が小さいので、84dtex/36f は 167dtex/32f と比較して芯糸に対して柔らかく巻付くので、84dtex/36f の L_2/L_1 は 184dtex/48f より小さいが、167dtex/32f より大きくなったと考えられる。スピンドル角速度が 838rad/s 以上では、3 種類のカバリング糸は全て 419rad/s の場合と比較して大きい張力で引っ張られフィラメントが収束して芯糸に螺旋状に巻付くので、カバリング糸の直径が大きいほど L_2/L_1 は大きくなったと考えられる。

図 11 は、糸層半径を一定とし、バルーン高さを変化させて H/b を変えた場合のスピンドル角速度とカバード糸の構成比の関係を示す。 $H/b=6$ の場合におけるカバード糸の構成比は、 $H/b=2.5$ の値と比較して小さくなっている。これは、カバリング糸の巻付け張力の解析結果 (図 5 (b)) と一致しており、糸層半径が一定の場合、糸層半径とバルーン高さの比 H/b が大きくなるとカバリング糸の巻付け張力も大きくなり、カバード糸の構成比が小さくなることからわかる。カバリング糸の巻付け張力制御の有無による L_2/L_1 の違いを図 12 に示す。スピンドル角速度とバルーン高さが一定の場合、糸層半径の減少にともない、 L_2/L_1 が増加している。これは、式 (4) とカバリング糸の巻付け張力の解析結果より、バルーン高さが一定の場合、糸層半径 b の減少にともなう l/b の増加の影響より、 b の減少の効果が大きいため、カバリング糸の巻付け張力が減少することが原因である。また、(a)、(b) を比較すると全体的にバルーン高さが高い (b) の方がカバード糸の構成比が小さくなっていることがわかる。これは、図 11 の結果と同様に糸層半径が同じ場合、 H/b が大きいとカバリング糸の巻付け張力も大きくなることから原因

(a) $H=65\text{mm}$ (b) $H=100\text{mm}$ Fig. 12 Effect of control of spindle angular velocity for L_2/L_1

と考えられる。一方、スピンドル角速度を変えてカバリング糸の巻付け張力を一定とする手法を用いた場合は、 L_2/L_1 が糸層半径の変化の影響をあまり受けていないことがわかる。この結果から、カバリング糸の巻付け張力の解析より糸層半径の変化に応じてスピンドル角速度を変えてカバリングする手法は、糸層半径の減少により、 L_2/L_1 が小さくなることを防ぐ効果があることがわかる。

5. 結論

カバリング工程におけるカバリング糸の巻付け張力とカバード糸の構成比の関係を調べた結果、以下の結論を得た。

- (1) 撚数が同じであっても、スピンドル角速度の増加にともない、カバリング糸の巻付け張力は増加するためカバード糸の構成比は減少する。
- (2) 糸層半径が一定の場合、糸層半径とバルーン高さの比 H/b が大きくなると、カバリング糸の巻付け張力が大きくなるため、カバード糸の構成比は減少する。
- (3) バルーン高さが一定の場合、糸層半径とバルーン高さの比 H/b が大きくなるとカバリング糸の巻付け張力は

小さくなるため、カバード糸の構成比は増加する。これを防ぐため、カバリング糸の巻付け張力が一定となるようカバリング糸の巻付け張力の解析より糸層半径の変化に応じてスピンドル角速度を変えてカバリングする手法は、カバード糸の構成比を安定させるのに有効である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、適切なアドバイスを頂いた石川県工業試験場の新谷隆二氏と中島明哉氏、また、実験にご協力

いただいた金沢大学の大橋友雄氏、安藤陽星氏、今井裕也氏に感謝の意を表します。

References

- [1] Shintaku, S. Yoshimura, G. Iwaki, N.; *Seni-Gakkaishi*, 34, T316(1979)
- [2] Shintaku, S. Yoshimura, G.; *Seni-Gakkaishi*, 36, T75(1980)
- [3] C. Mack, E. L. Smart; *J. Text. Inst.*, 47, T394(1956)
- [4] Yamamoto, T. Shintaku, S.; *Seni-Gakkaishi*, 44, T40(1988)