

# 回転する巻糸体周りの流れと動力損失

(第3報) 巻糸体の動力損失に及ぼすカバー形状の効果

金沢大学工学部	新	宅	救	徳(会員)
"	尾	田	十	八
"	山	崎	裕	之(会員)
"	伴	場	秀	樹(会員)

## The Flow Around the Rotating Pirn and Power Loss

### Part 3: Effects of the Cover Shapes on Power Loss to Rotate the Pirn

Sukenori Shintaku, Juhachi Oda, Hiroyuki Yamazaki, Hideki Banba

*Faculty of Engineering, Kanazawa University, Kanazawa*

#### Abstract

We performed some experimental tests and observations of the flow around the high speed rotating pirn in the first report, and we theoretically obtained this flow by using the FEM in the second report. The results showed that the theoretical values gave approximation to the experimental values. In this report, we analyzed the effects of the various cover shapes on power loss to rotate the pirn.

The results obtained are as follows:

1) In the two previous reports, we supposed two factors to produce the power loss, caused by the air pump effect and the shearing force between the rotating pirn and the cover. In this report, we considered another factor that the air flow inside of the cover collides with the surface of the rotating pirn. Especially in case of cylindrical covers, this effect is remarkable.

2) It is shown that the space in which the rotating pirn stirs the air around itself, is reduced by setting the covers and the effect generally makes the power loss decrease. The higher the cover becomes, the more the power loss decreases. On the contrary, when the height of the cover is smaller than that of the region in which the air blows out from the rotating pirn, the power loss is larger than that without the cover because it prevents the flow from blowing out.

3) The cover, of which the cross sectional shape is triangle and the base angles are 20 degree the same as the taper angle of the pirn, is most effective to reduce the power of all covers tested in this study.

(Received December 14, 1989)

#### 摘 要

**目的** 第1報で巻糸体周りの流れ状態の実験的な測定及び観察を行い、第2報でこの流れを有限要素法により理論的に求めて考察した結果、実験値と比較してほぼ一致した。そこで本報では、第1報の実験手法並びに第2報の解析法を用いて、巻糸体周りに種々の形状のカバーを設置して、カバーが巻糸体の動力損失に及ぼす効果を考察し検討する。

**成果** 本研究によって得られた結果を以下に示す。

1) カバー設置による巻糸体の動力損失に影響を与える因子として、前報に記したポンプ作用による因子と巻糸体とカバー間のせん断力による因子の他に、巻糸体とカバー間内で流体が巻糸体に衝突することによる抵抗による因子があり、円筒カバーはこの影響が大きいことが分かった。

2) 円筒カバー設置により巻糸体周りの流体の攪拌領域が減り、動力損失は小さくなった。そして、このカバー高さは大きいほど動力損失は小さくなった。しかし、カバー高さが巻糸体周りの流れの吹き出し幅よりも小さいとこれが吹き出し流れの障害

となるので、動力損失はカバーなしのときよりも大きくなった。

3) カバーに角度をつけた場合、その傾きが巻糸体テーパ部のそれと同じ角度のとき、動力的に他の本研究で試みたすべてのカバーも含めて最もよいことが分かった。

(平成元年12月14日受理)

## 1. 緒言

前2報において著者ら<sup>1,2)</sup>は、巻糸体周りの流れ状態の実験的な測定及び観察を行い、次にこの流れを有限要素法により理論的に求めて考察した結果、実験値と比較してほぼ一致した。そこで本報では、第1報の実験手法並びに第2報の解析法を用いて、巻糸体周りに種々の形状のカバーを設置して、カバーが巻糸体の動力損失に及ぼす効果を動力測定並びに流れ状態の観察から考察し検討する。

考察したカバーは図1に示すように、大きく分けて円筒カバーと断面形状が三角形のカバー（以下、三角カバーと略す）の2つである。前者のカバーについてはカバー高さ $h$ とカバーを支えるつばの長さ $l$ とその位置（カバー中央からの移動量） $p$ 並びにカバー内径 $D$ をパラメータとした。又、後者については、前報の底角 $\theta = 20 \text{ deg}$ の三角カバーを基準として、この $\theta$ をパラメータとした。以上の場合において、巻糸体の消費動力の測定と有限要素法によりカバー付きの巻糸体周りの流れ解析を行った。ここで、カバー内においては特別な仮定や計算手法及び特別な境界条件を用いていない。又、カバーが巻糸体に対して対称でないように設置された特殊な場合については流速測定を行った。

## 2. 実験及び解析項目

パラメータとしては、円筒カバーについては次の

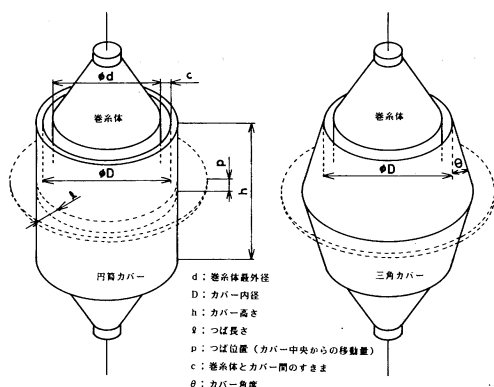


図1 実験及び解析した円筒カバーと三角カバー

項目(1)～(3)について、三角カバーについては項目(4)について、消費動力の測定及び流れ解析を行い、特にカバー内部は従来の方法による流速測定ができないので解析結果を考察し検討した。

### (1) カバー高さ $h$ の効果

巻糸体最外径 $d = 116 \text{ mm}$ に対して、内径 $D = 126 \text{ mm}$ （巻糸体とカバー間のすきま $c = 5 \text{ mm}$ ）の円筒カバーを用いて、カバー高さ $h$ を実験では20～200 mmの範囲で、又、解析では120～200 mmの範囲で変化させる。

### (2) カバーを支えるつば長さ $l$ 及びつば位置 $p$ の効果

カバー高さ $h = 200 \text{ mm}$ の円筒カバーにおいて、カバーを支えるつばの長さ $l$ を実験では30 mmのみについて、解析では0～80 mmの範囲で変化させる。又、つばの位置 $p$ を巻糸体中央より下方向に、実験、解析とも0～70 mmの範囲で移動させる。

### (3) 巻糸体とカバー間のすきま $c$ の効果

円筒カバーによるカバー高さ $h$ の効果の結果から、消費動力の最も少ないカバーについて、巻糸体とカバー間のすきま $c$ を実験では5～20 mm範囲で変化させ、解析では5 mmと15 mmの2種類について行う。

### (4) カバー角度 $\theta$ の効果

前報の底角 $\theta = 20 \text{ deg}$ の三角カバーを基準にして、三角形の底角 $\theta$ を実験、解析とも10～40 degまで10 degおきに变化させた4種類について行う。

## 3. 流れ解析の結果から導く動力の理論

巻糸体の動力損失に効果を及ぼす因子として、およそ次の3つの因子があることがこれまでの著者らの研究により分かっている。よって、以下に示すようなこれら3つの因子からなる動力項を加算して動力損失 $L_t$ を求める。

1. カバー外での流れのポンプ作用による動力 $L_p$ 。
2. カバー内での巻糸体とカバー間に生ずるせん断力による動力 $L_s$ 。
3. カバー内での巻糸体に向かう方向の速度ベク

トルによって生ずるブレーキ作用による動力  
 $L_b$ .

第1報では、1及び2について詳細に記述したので、ここでは因子3についてのみ述べる。

後に示す有限要素解析結果でも明らかなように、カバー内の流体は巻糸体に大きな速度で衝突している。これは、測定においても同様の傾向を示したが、第1報の手法によりこのせまいすきまに物体を挿入して流速を測定することは、カバー内の流れを乱し不安定にするために、本報では、解析結果のみからカバー内流れを考察する。又、解析においては、カバー内はこの内を流れが循環するような定常的二次流れと仮定する。そこで、図2(a)のような噴流が壁に衝突しているモデルを考え、これによる動力損失から本問題の $L_b$ の算出を考えよう。いま、壁に衝突している流体を完全流体と仮定し、又、衝突後の流体の行方についてはここでは考慮しないものとする。これより、水力学の平板に衝突する噴流の理論<sup>3)</sup>を用いてカバー内の流体が衝突によって巻糸体に及ぼす力 $N_r$ を算出できる。

即ち、図2(a)において、衝突する空気密度を $\rho$ 、流量を $Q$ 、衝突速度を $V$ 、衝突角を $\alpha$ とすると、この流体が壁に及ぼす力 $N_r$ は、

$$N_r = \rho \cdot Q \cdot V \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

である。ここで $N_r$ を算出するに当たって、対象となる面は巻糸体をいくつか $z$ 方向に分割した円筒の側面1つ1つについて計算し最後に加算する。次に、巻糸体を上からみた図2(b)のようなモデルを考える。ここで、空気とナイロン巻糸体間の摩擦係数 $\mu$ を巻糸体表面の周速によって整理した結果を図3に

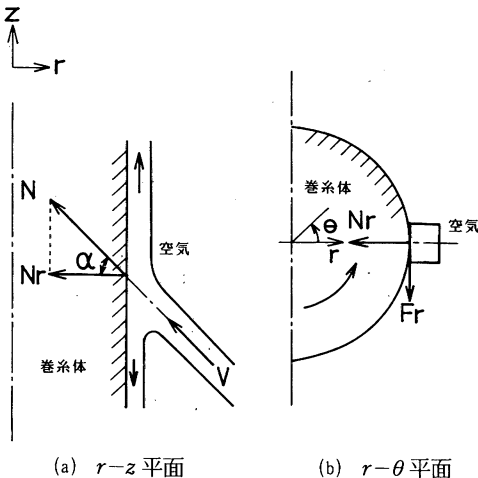


図2 巻糸体に衝突する流体

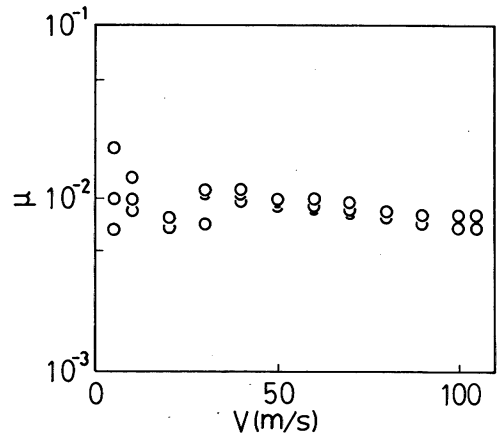


図3 空気とナイロン巻糸体間の摩擦係数 $\mu$

示す。これより $\mu$ は周速によらずほぼ一定値の0.01であったのでこの値を採用する。よって、巻糸体の半径を $r$ 、巻糸体の回転角速度を $\omega$ とすると、この噴流が及ぼす巻糸体回転のブレーキ作用による動力損失 $L_b$ は、

$$L_b = \sum_i F_{ri} \cdot r_i \cdot \omega = \mu \cdot \sum_i N_{ri} \cdot r_i \cdot \omega \quad (2)$$

より算出される。ここで、 $i$ はカバー内の巻糸体表面の $z$ 方向に分けられた要素である。

#### 4. 実験及び解析結果とその考察

ここで述べる全ての条件において、巻糸体は旭化成工業製の表面が滑らかな高さ420 mmのナイロン巻糸体(7.8 tex/13 F)で、回転数は7,000 rpmである。

##### 4.1 円筒カバーの動力と流れ

###### (1) カバー高さ $h$ の効果

カバー高さ $h$ を変化させて測定した動力結果を図4に、解析した流れ状態を図5に示す。又、図4には有限要素法による解析結果も3の動力因子別にして同時に示した。結果をみて分かるように、このような円筒カバーを設置した場合は、吹き出しのポンプ作用による動力 $L_a$ は1 W前後で非常に小さく、実験及び解析結果とも $h$ が大きいほど巻糸体の動力損失 $L_b$ は小さくなった。ただし流れ状態図をみて分かるように、円筒カバーすべてにおいてカバー内で巻糸体へ向かう方向の速度ベクトルは非常に大きく、よってブレーキ作用による動力 $L_b$ も大きくなり、これが $h$ が小さいほど大きくなるのが分かる。さらに $h=20$  mmのカバーを設置して動力を測定すると、カバーなしの21.05 Wよりも0.54

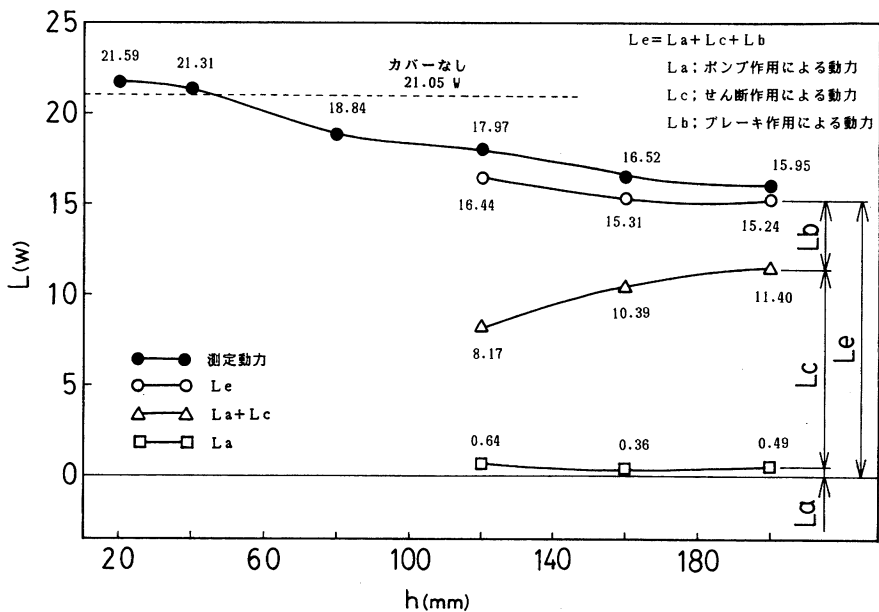


図4 カバー高さ  $h$  が動力  $L$  に及ぼす効果

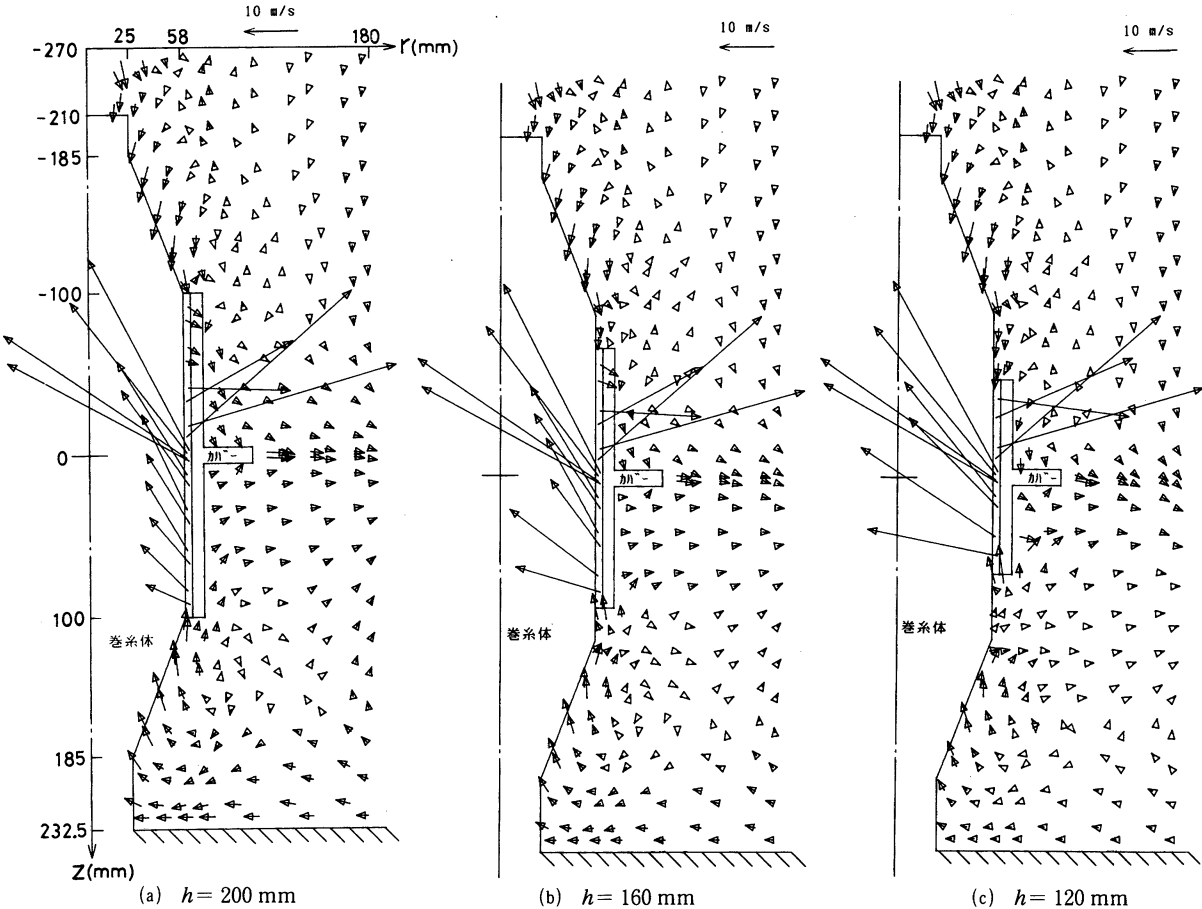


図5 カバー高さ  $h$  の変化による巻糸体周りの流れ

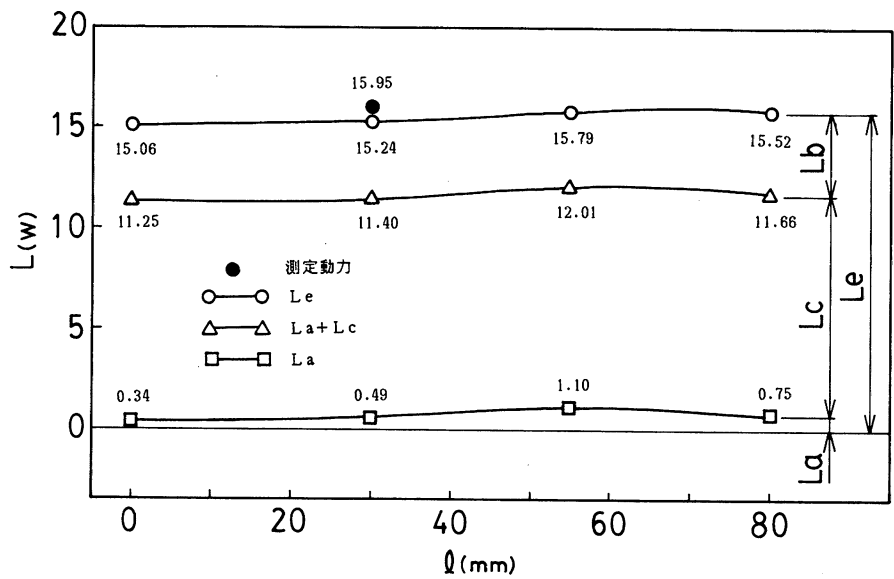


図6 つば長さ  $l$  が動力  $L$  に及ぼす効果 ( $h = 200\text{mm}$ )

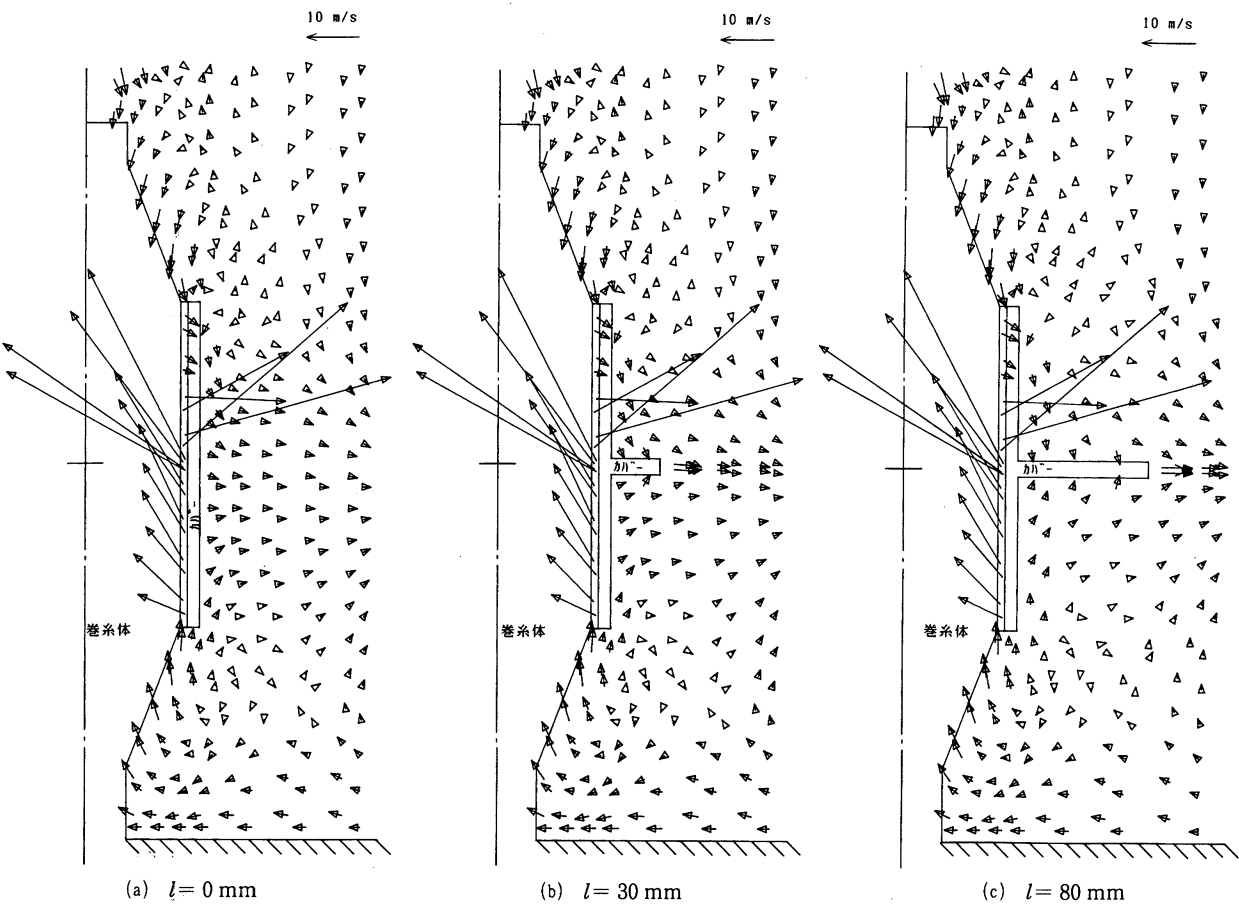


図7 つば長さ  $l$  の変化による巻糸体周りの流れ ( $h = 200\text{ mm}$ )

$W$  高い値を示した。これは  $h$  が吹き出し幅よりも小さいと、これが吹き出し流れの障害となるためと考えられる。リング精紡においては、リングの高さが 20 mm 位であるので、これが吹き出し流れの障害となって巻糸体の消費動力  $L$  を大きくしていると考えられる。

## (2) カバーを支えるつば長さ $l$ 及びつば位置 $p$ の効果

この実験結果はカバー高さ  $h = 200$  mm で、つば長さ  $l = 30$  mm の 1 つだけであり、よって解析結果を中心に図 6 に、解析した流れ状態を図 7 に示す。結果をみて分かるように、 $l$  による流れ状態や動力の差はほとんどなく、 $l$  が巻糸体の動力損失  $L_e$  に及ぼす効果はほとんどないと考えてよい。

次に、つばの位置  $p$  による動力の変化を示した解析及び実験結果を図 8 に、解析した流れ状態を図 9 に示す。この場合においても、 $p$  によってカバー内の流れ状態や  $L_e$  にほとんど変わりがないことが分

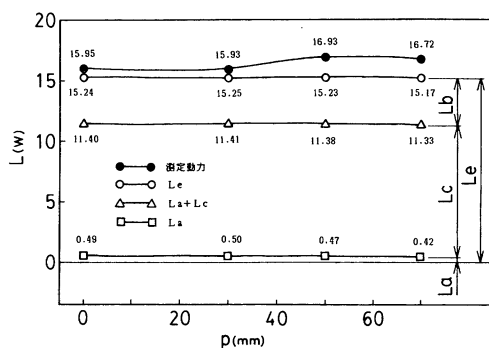


図 8 つば位置  $p$  が動力  $L$  に及ぼす効果 ( $h = 200$  mm)

かる。動力測定において、カバー高さ  $h < 200$  mm の他の場合においても同様の傾向がみられた。

以上より、 $h$  が巻糸体の回転による吹き出し幅よりも十分に大きい場合はカバー外の吹き出し流れはほとんどなくなるので、このカバー外に位置するつばが巻糸体のカバー内外部に及ぼす流れ状態の差は

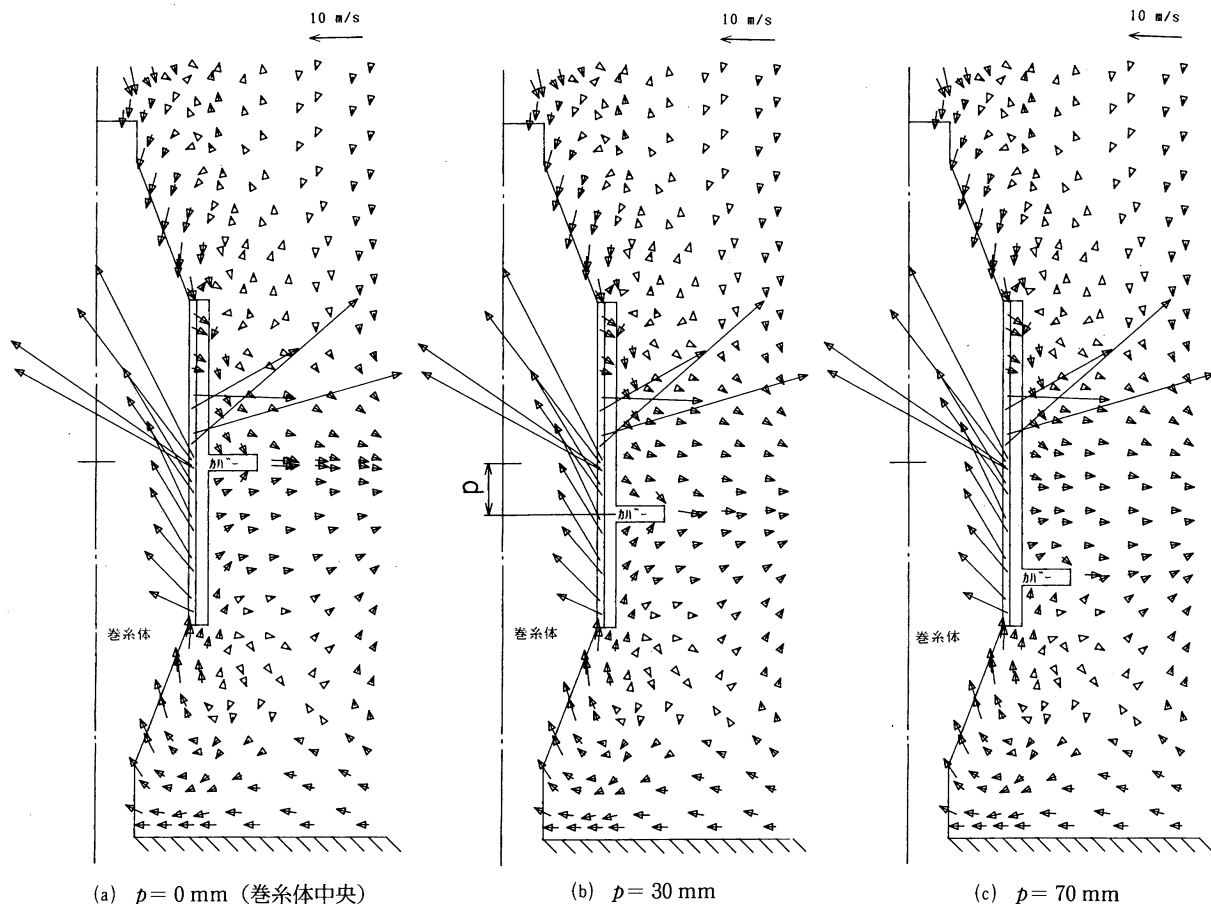


図 9 つば位置  $p$  の変化による巻糸体周りの流れ ( $h = 200$  mm)

ほとんどないといえる。よってこの流れ状態から算出される $L_c$ においても同様に、 $l$ や $p$ はほとんど影響しないことが分かる。

### (3) 巻糸体とカバー間のすきま $c$ の効果

巻糸体の円柱部をすべて覆ってしまうような高さ $h=200\text{ mm}$ のカバーにおいて、巻糸体とカバー間のすきま $c$ を変化させた場合の動力値の解析及び実験結果を図10に、解析した流れ状態を図11に示す。ここで $c$ が大きい場合の巻糸体とカバー間のせん断力はDorfman<sup>4)</sup>の実験値を参照した。 $c$ が大きいときにはカバー内は巻糸体の回転方向の流れがほとんどであり、他方向の流速は小さいことからブレーキ作用はほとんどなくなってしまふ。又、 $c$ が大きいために、巻糸体とカバー間のせん断力による動力 $L_c$ も小さくなる。しかしながら、カバー外への吹き出し流量が非常に大きくなるため、結果的に $c$ の小さい方がより動力損失 $L_c$ は小さくなる。これより $c$ はできるだけ小さい方がよいが、本実験では糸道や

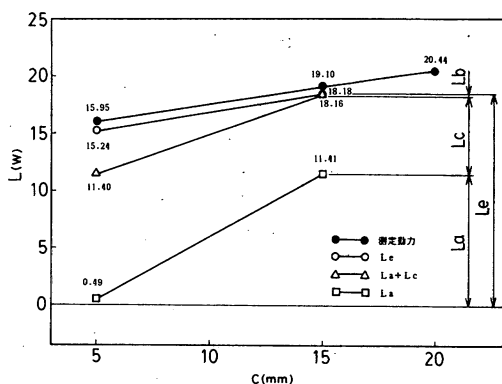


図10 巻糸体とカバー間のすきま $c$ が動力 $L$ に及ぼす効果 ( $h=200\text{ mm}$ )

バルーン形による制約条件及び巻糸体の交換のしやすさを考慮して、 $c=5\text{ mm}$ がすきまの限界と考えた。よって消費動力 $L$ が最大となる最終巻の巻糸体において $c=5\text{ mm}$ となるようなカバーがよいと思われる。

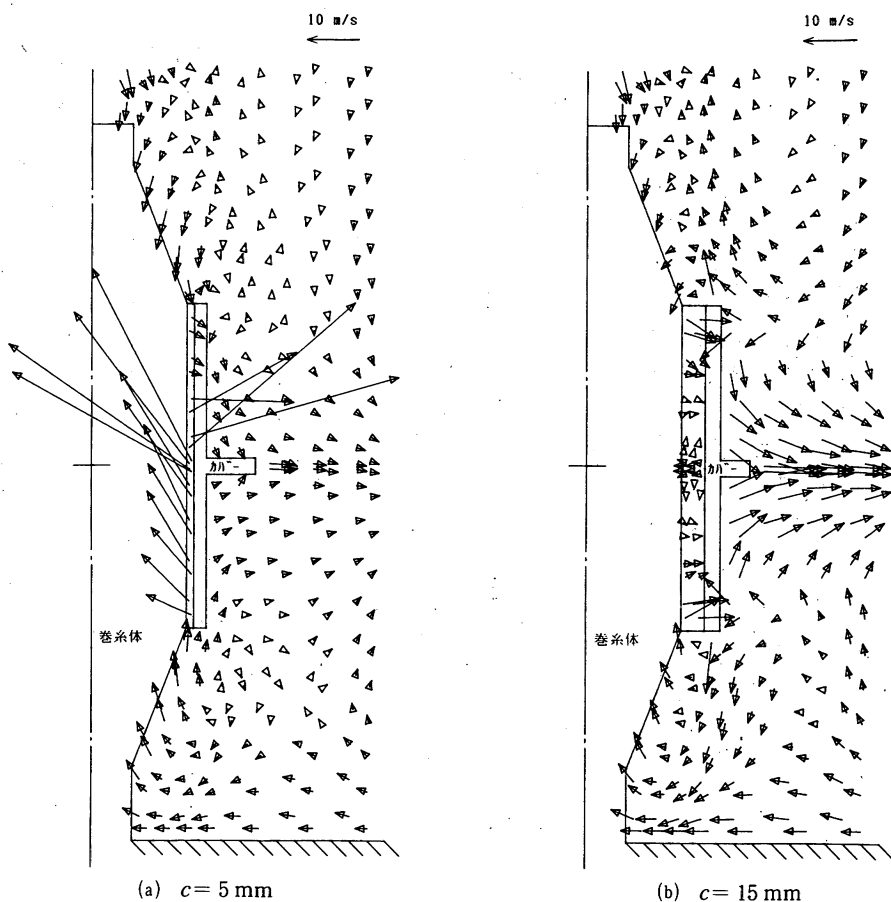


図11 巻糸体とカバー間のすきま $c$ の変化による巻糸体周りの流れ ( $h=200\text{ mm}$ )

## 4.2 三角カバーの動力と流れ

### (1) カバー底角 $\theta$ の効果

三角カバーの底角  $\theta$  を変化した場合の動力値の解析及び実験結果を図12に、解析した流れ状態を図13に示す。 $\theta$  が  $10 \sim 30$  deg のカバーはカバー外部の流れ状態にはほとんど変化はないが、 $40$  deg のカバーになると吹き出し流量が極端に多くなる。又、カバー内の流れにおいては、カバー高さ  $h$  が同じであるのでせん断による動力  $L_c$  は同じであるが、 $\theta = 10$  deg のカバーは円筒カバーに形状が似ているせいか、ブレーキ作用による動力  $L_b$  が極端に大きく、その他については  $1$  W 以下である。又、三角形カバーの典型的な場合として、高さ  $h = 200$  mm の円筒カバーに  $20$  deg のテーパをつけた場合にも同様にこの影響がみられ、結局テーパなしの場合より  $0.41$  W も動力  $L$  は大きくなった。このブレーキ作用が

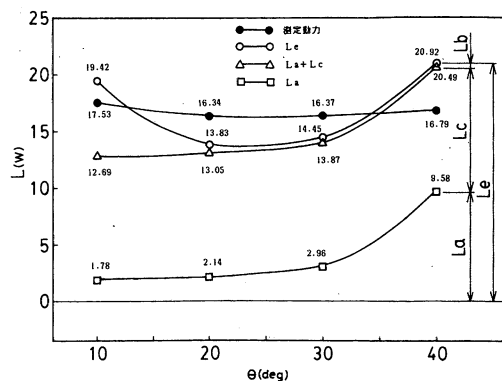


図12 三角カバーの底角  $\theta$  が動力  $L$  に及ぼす効果

大きいと巻糸体を押す方向に力が作用するので、カバーと巻糸体のすきまがせまいこともあってカバーと擦れあう危険性や振動の原因となるので、全体的に  $L_c$  が小さくても好ましいカバーとはいえない。

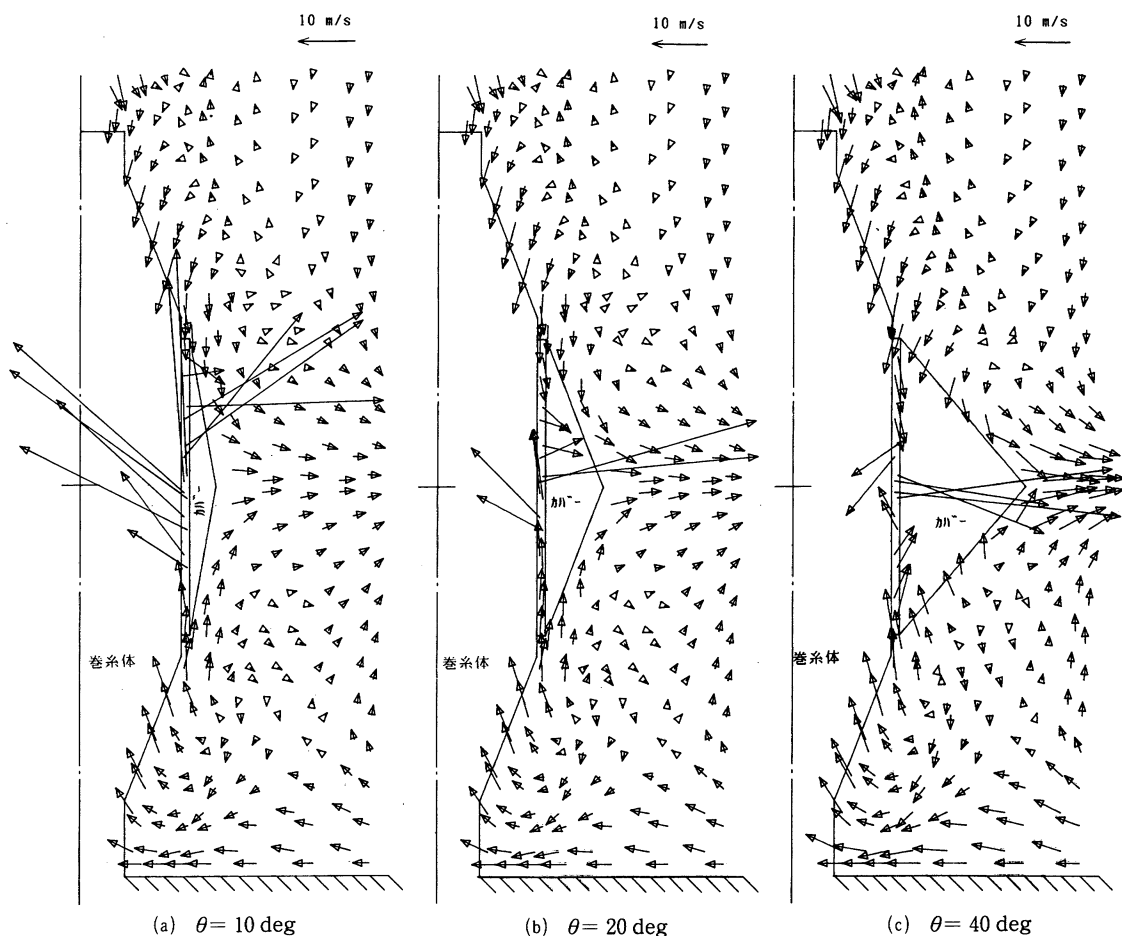


図13 三角カバーの底角  $\theta$  の変化による巻糸体周りの流れ



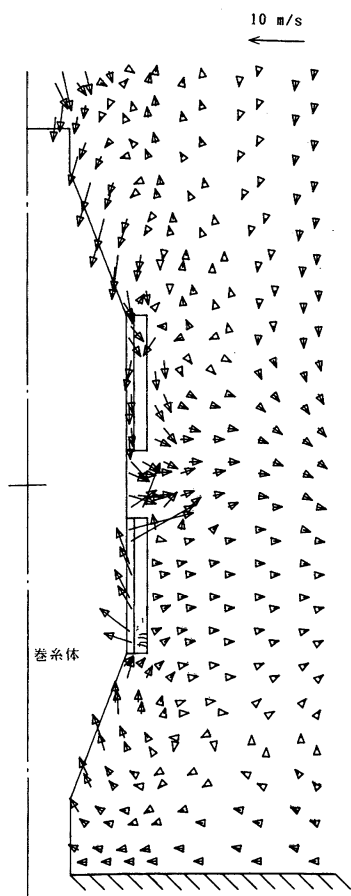
ここで、巻糸体のテーパ部に沿った形状の  $\theta = 20$  deg のカバーの動力  $L_c$  が最小値を示し、又、ブレーキ作用も小さいので回転において安定性があり、円筒カバーも含めて考察しても最良のカバーといえる。実験においても、この  $\theta = 20$  deg のカバーが三角カバー 4 種類の中で  $L$  は最小を示し、全カバーにおいても高さ 200 mm の円筒カバーについて低い値を示した。

### 4.3 特殊な場合の動力と流れ

円筒カバー及び三角カバーの以下に記した特殊な場合において動力測定と流れ解析を行った。

#### (1) 中央吹き出しカバーの効果

上述したカバーはすべて巻糸体周りの流れの吹き出しを抑えていたが、ここでは吸い込み流れのみを抑えるようなカバーの効果を検討するため、中央で吹き出すようなカバーを設置した場合の解析した流



$$L_e = L_a + L_c + L_b = 9.38 + 10.03 + 0.18 = 19.59 \text{ W}$$

図14 中央吹き出しカバーの巻糸体周りの流れ

れ状態を図14に示す。この場合、カバーの支持の仕方が難しいので実験は実施しておらず、従って解析結果のみを示す。この結果より動力損失  $L_e$  を求めると 19.59 W であり、巻糸体からの吹き出しを抑えていないといった理由から、予想どおり他の場合よりも高い値を示した。これより、吹き出しの中心となる巻糸体の中央はカバーした方がよいことが分かる。

#### (2) 円筒カバーを $z$ 方向に移動させた場合の効果

高さ  $h = 80$  mm の円筒カバーの中央を  $z$  の下方向に 40 mm 移動させて設置した場合の測定した流れ状態を図15に示す。この図より、流体の吹き出し位置がカバー及びつばによって強制的にカバー中心に変わっている様子が分かる。解析ではカバー位置がこのように中央からずれると発散しやすく、たと

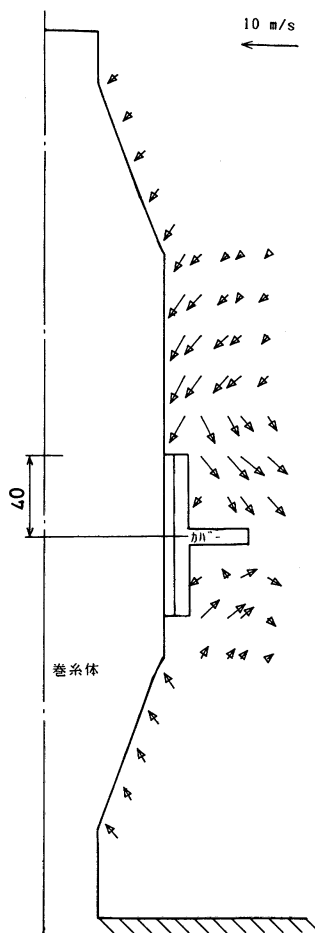


図15 カバーが  $z$  方向に移動させた場合の巻糸体周りの流れ (測定結果) ( $h = 80$  mm, 下方向の移動量 40 mm)

え収束しても動力値  $L_e$  はカバーなしよりも高くなる傾向があった。このことから、カバーを移動させた場合は流れが不安定になりやすく、あまりよいとはいえないと思われる。リング精紡においては、リングが常時上下に移動しているので巻糸体周りの流れは不安定で、動力にもこのリングが悪影響しているものと考えられる。上述してきたことも含めて、リング精紡においては底角  $\theta = 20 \text{ deg}$  の三角カバーを用いて、この内側でリングが上下に運動できるように設置することが望ましいと考えられる。

### (3) 三角カバーの内側表面が粗い場合の効果

底角が  $20 \text{ deg}$  の三角カバー内側に80番の紙やすりをつけて動力  $L$  を測定したところ、カバー内側表面がなめらかな状態に対して  $3.19 \text{ W}$  も高い  $19.53 \text{ W}$  を示した。このとき測定時において、カバー支持部が異常音を発して巻糸体の振動も大きく非常に危険を伴った。以上から、カバー内表面粗さの仕上げはたいへん重要な因子だといえる。

## 5. 結 言

巻糸体周りにカバーを設置することで、流れの攪拌領域を減らし、動力損失を減らすためのカバーの形状を考察し以下の結論を得た。

1) 巻糸体周りにカバーを設置すると、その動力損失はカバー外の流れのポンプ作用、巻糸体とカバー間のせん断作用及びブレーキ作用の3つの因子の影響があり、なかでもブレーキ作用による因子が大きいと巻糸体の回転振動の原因にもなり、この作用は円筒カバーにおいて大きいことが分かった。

2) カバー高さは大きいほど動力損失は小さくなった。又、カバー高さが吹き出し幅よりも小さいと動力損失はカバーなしのときよりも大きくなることがあった。

3) 巻糸体テーパ部に沿った底角  $\theta = 20 \text{ deg}$  の三角カバーは、今回実験及び解析した内で流れ状態及び動力損失の観点から考察して最もよいことが分かった。

なお、本研究の実験実施に当たって吉川徳重君の協力を得た。ここに記して感謝の意を表したい。

## 参考文献

- 1) 新宅ら; 繊維誌, 43, T 1 (1990)
- 2) 新宅ら; 繊維誌, 43, T 34 (1990)
- 3) 池森; “水力学”, p. 94, コロナ社 (1981)
- 4) Dorfman; “Hydrodynamic Resistance the Heat Loss of Rotating Solids”, p. 171, oliver and boyd, Los Angeles (1963)