

# 高強度高弾性繊維の製織性評価

開発技術部 太田幸一、森実恵利

## 1. 緒 言

三河、三州、知多の各産地は綿織物を中心とした資材用織物の製造を手がけているが、景気の低迷の影響などから、各産地がこれまで手がけていない新しい機能性素材を用いた商品開発を行うことが急務となっている。この新しい素材のなかでアラミド系繊維に代表される高強度高弾性繊維が注目を浴びている。

高強度高弾性繊維は従来からスポーツ用品や航空機などの材料として幅広く使用されているが、最近では建築資材への応用が検討されている。従来の鉄鋼材による補強において、工事が大がかりになること、塩害などでさびやすいことなど、数多くの問題が発生していることから、阪神・淡路大震災以降、高強度高弾性繊維を使用した補強工事手法の採用事例に注目が集まっており、応用事例<sup>1),2)</sup>も数多く報告されている。高強度高弾性繊維を使用した補強材は、フィラメントを平行に並べシート状にしたものや、組み紐状に加工したものなどが存在し、施工時に樹脂を含浸させる複合材料として提供される。また、加工を容易にするために、強化繊維とマトリックス繊維を混合した成型前段階材料（プリプレグ、コミングルドヤーン<sup>3)</sup>など）も存在し、織物状の成型前段階材料も考えられている。

このような状況から、高強度高弾性繊維は今後従来の強化材としての需要だけでなく、建築補強材としての需要の増加が見込まれることから、高強度高弾性繊維を使用した資材織物の生産技術を産地に提供する必要性が生じてきた。

そこで、高強度高弾性繊維の中でも特にアラミド系繊維に注目し、産業資材および建築資材向けの複合材料の生産を視野に入れ、抱合力試験および織機部材との摩耗試験を行い製織性の評価を行った。

## 2. 実験方法

### 2.1 抱合力試験

アラミド繊維の製織性を判定するため、パラ系アラミド繊維フィラメント糸（帝人<sup>4)</sup>製テクノラ111tex {1000D} および167tex {1500D}）について抱合力試験機（蛭田理研<sup>5)</sup>製）にて平均抱合力数を測定した。比較のため綿73.8tex {8s/1} およびポリエステル115tex {10s/2} の糸についても同様の試験を行った。荷重および回転速度はすべての糸で同じ条件とした。また、通常は抱合力試験機への試験糸のかけ方は紡績糸とフィラメント糸とでは大きく異なっているが、比較のために綿糸を除き、フィラメント糸の場合として装置にセットした。

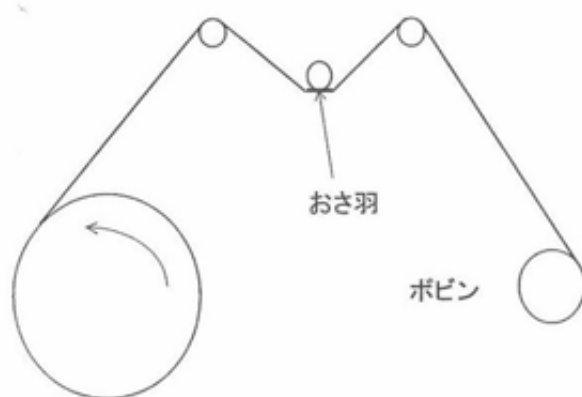
表1 抱合力試験条件

| 試 料         |                                             |          |       |
|-------------|---------------------------------------------|----------|-------|
|             | 種 類                                         | 太さ (tex) | 備 考   |
| A           | 綿紡績糸                                        | 73.8     | 8s/1  |
| B           | ポリエステル<br>紡績糸                               | 115      | 10s/2 |
| C           | アラミド繊維                                      | 111      | 1000D |
| D           | フィラメント糸                                     | 167      | 1500D |
| 試験条件        |                                             |          |       |
| 項 目         | 条 件                                         |          |       |
| 荷重          | 1.47N {150gf}                               |          |       |
| 回転速度        | 80rpm                                       |          |       |
| 試験糸の<br>かけ方 | 試料A：紡績糸の測定に基づく<br>試料B～D：フィラメントの<br>測定方法に基づく |          |       |

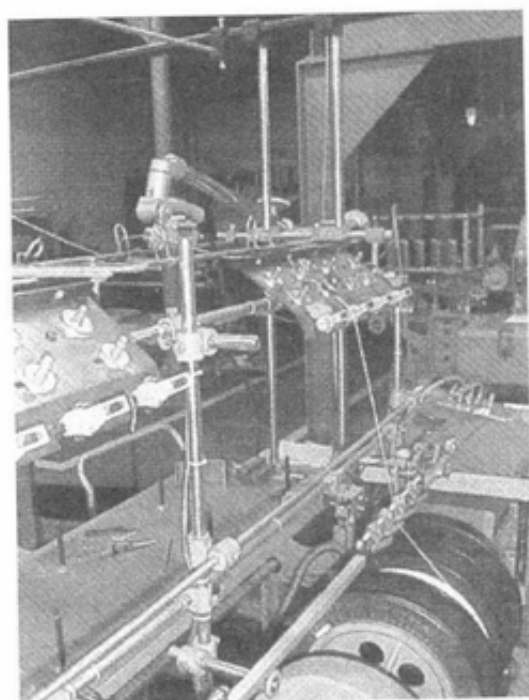
### 2.2 織機部材との摩耗試験

図1に示す試験装置により、アラミド繊維との摩擦を発生させ、摩擦によるおさ羽の損傷状態を確認した。試料は2.1と同じだが、22.2tex {200D} と細い。糸の供給・巻き取りにはジャンボワインダー（<sup>6)</sup>半田製作所パラレル4型）を使用し、糸速100m/min、平均張力0.98N {100gf} に調整した。180分間磨耗させた後、電

子顕微鏡によりおさ羽の磨耗状態を確認した。



(a) 試験装置



(b) 装置全景

図1 磨耗試験装置

### 2.3 製織試験

自動整経機（㈱スズキワーパー製NAS-5S）で整経を行い、小幅レピア織機（平野工機㈱製ES-10）にて製織を行った。通常は分割後に部分整経機で整経するが、アラミド繊維のワインダなどでの巻き返しは張力管理等が難しいので、ボビンから直接整経が行うことができる自動整経機を使用した。

織機は炭素繊維などの特殊素材用として小幅シャトル織機を改良しヨコ入れ機構をレピア方式にしたもので、タイミングなどをフィラメント糸用に調整している。

織物の規格は表2のとおりとした。織機のタテ糸の送り出し機構は積極式だが、設定したヨコ糸密度に追従しなかったため、積極送り出し機構を取り外し消極式とした。

表2 試織織物規格

| 項目     | 条件                 |
|--------|--------------------|
| たて糸総本数 | 248本               |
| 密度 たて  | 21本/2.54cm         |
| 密度 よこ  | 21本/2.54cm         |
| おさ通幅   | 28.7cm (11.30in)   |
| 整経長    | 30m                |
| 引込 地   | 1本                 |
| 引込 耳   | 2本                 |
| 素材 たて  | アラミド111tex (1000D) |
| 素材 よこ  | アラミド111tex (1000D) |
| 組織     | 平織                 |

## 3. 結果

### 3.1 抱合力試験

結果を図2に示す。111tex (1000D) のアラミド繊維は167tex (1500D) のものと比較して平均抱合力数が少ない値となっており、綿やポリエステルとあまり変わらない。これは、前者は加燃されており、糸表面がなめらかでないためと見られる。通常、平均抱合力数が10以上ならば製織可能とされることから、製織は可能と考えられる。

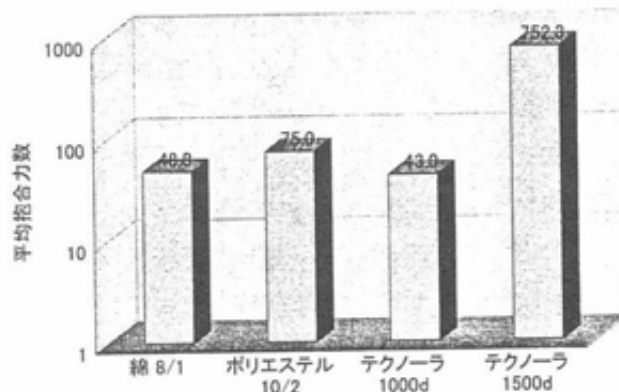


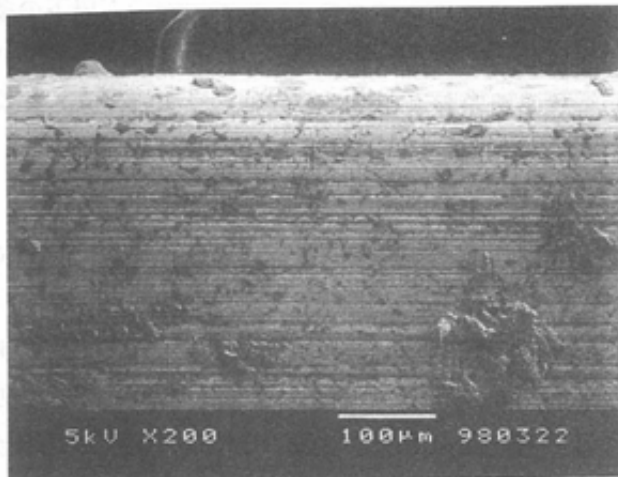
図2 抱合力試験結果

なお、抱合力試験での毛羽発生回数について、アラミド繊維は比較的低い値を示していた。織機に仕掛ける場合、ヘルドやおさなどで頻繁に糸がこすられ、毛羽が発生するおそれがあることを示している。実際、整経や製織時において、糸道上

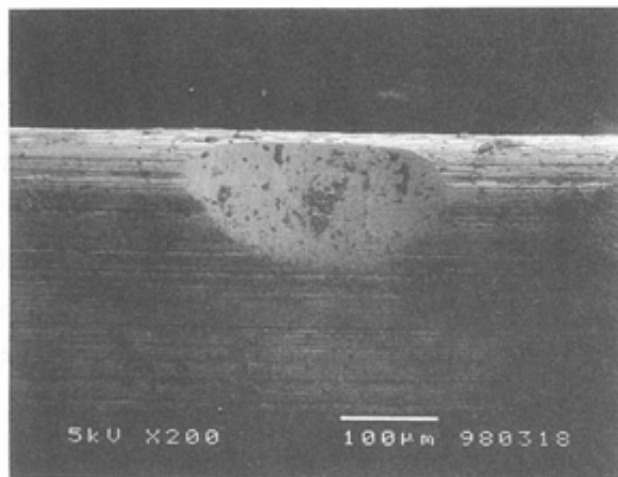
にアラミド繊維の微粉末が確認された。

### 3.2 織機部材との摩耗試験

図3に試験前と試験後のおさ羽の電子顕微鏡写真を示す。摩擦によりおさ羽が大きく摩滅することが確認された。使用した糸は22.2tex (200D)であり、直径は約0.15mmとなることから、糸の直径よりやや広い範囲が摩滅している。これは糸が進行に伴い横方向にぶれるためと見られる。



(a) 摩耗試験前



(b) 摩耗試験後

図3 おさ羽摩耗試験結果

### 3.3 製織準備および製織時の問題点

整経は滞りなく行われたが、糸の弾性率が高く伸度が低いため、ドラム巻き取りのガイドバー(図4)にわずかな曲がりが生じた。この現象はアラミド繊維以外でもモノフィラメントなど比較的剛直な糸の整経を行った時に確認されている。

また、製織についても現段階では大きな問題は発生していないが、図5に示すように、製織の進

行に伴いからみが織前方向に移動する現象が確認された。調査の結果、半綜統の微妙な調整不良による開口不良が原因であることがわかった。ヨコ糸に綿糸を使用した場合は未発生だったため、アラミド繊維は伸びが少ないため微妙な調整不良が影響するものと考えられる

図6に試織した織物を示す。

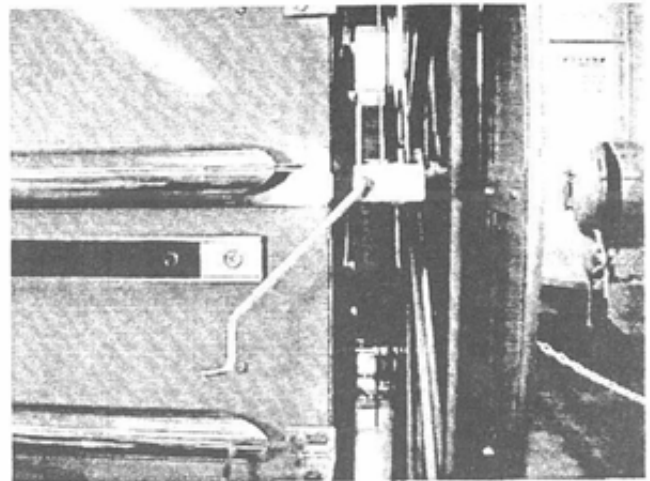


図4 ガイドバー

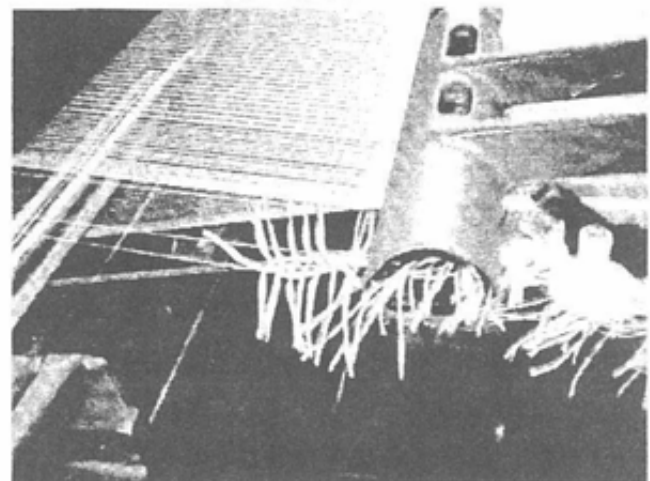


図5 試織時に発生した耳の不良

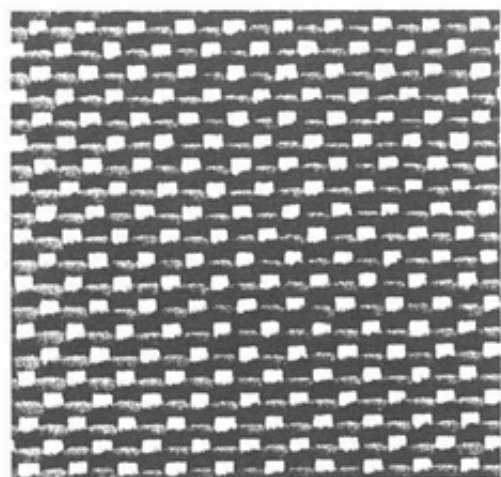


図6 試織した織物

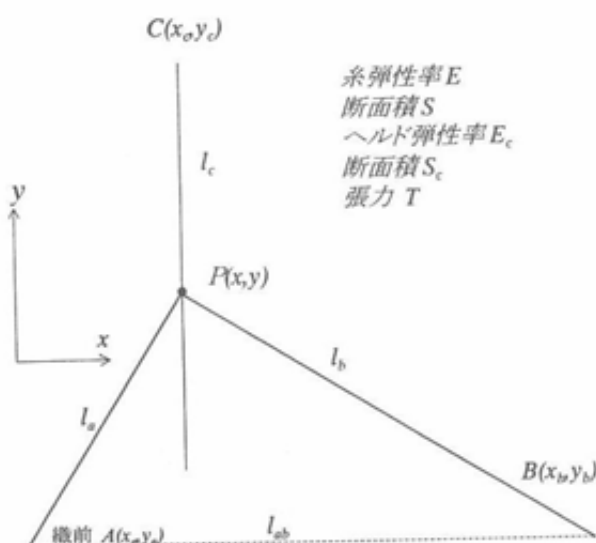


図7 開口時のたて糸挙動の力学モデル

## 4 考察

### 4.1 アラミド繊維の製織性

試験結果より、産地の現有設備として主流を占めている綿織機を、フィラメント織物用に調整することで、アラミド繊維の製織が可能になると考えられる。特に、アラミド繊維特有の物性によって起こる磨耗などの問題について対策を講じる必要があることが分かった。部材の磨耗についてはおさ羽の場合だけしか確認していないが、ヘルドなどほかの部材への影響も確認する必要があると考えられる。

また、整経機や織機の部材への影響については、短時間の製織での影響しか確認していないため、長時間製織における部材の消耗状態などを確認する必要があると考えられる。特に、無ひ織機に特有のヨコ糸カッターの摩滅が大きくなることが予想される。

### 4.2 製織時荷重のシミュレーション

高強度高弾性繊維は従来の繊維に比べ5倍以上の引張弾性率を持ち、破断伸度は小さい。このため、従来の繊維に比べ製織性の低下が考えられる。特に、高弾性率であることから開口時のタテ糸張力が非常に大きくなり、織機の各部材に加わる荷重も非常に大きなものとなることが予想され

る。そこで、開口時におけるタテ糸およびヘルドにかかる荷重を糸の物性値および力学的釣り合いの方程式を元にモデルを作成し、荷重のシミュレーションを行った。

開口時のヘルドとタテ糸との関係は図7に示すように、3カ所の固定点で  $A(x_a, y_a)$ 、 $B(x_b, y_b)$ 、 $C(x_c, y_c)$  で固定され、 $P(x, y)$  で釣り合いが保たれており、 $AP$ 、 $BP$ 、 $CP$  間の長さはそれぞれ  $l_a$ 、 $l_b$ 、 $l_c$  となっていると考えられる。この時、以下の条件が成立すると考えられる。<sup>4)</sup>

- タテ糸およびヘルドの弾性ひずみエネルギーの和がゼロとなること。
- メールの前後での糸の張力が等しいこと。
- メールの前後での糸の自然長の和が一定値に等しいこと。

これらの条件から、タテ糸の弾性率を  $E$ 、タテ糸の断面積を  $S$ 、ヘルドの弾性率を  $E_c$ 、ヘルドの断面積を  $S_c$ 、タテ糸の張力を  $T$  とすると次の5つの方程式が得られる。

$$F_1(x, y, l_a, l_b, T) = \frac{ES}{l_a} \left( 1 - \frac{l_a}{\sqrt{(x-x_a)^2 + (y-y_a)^2}} \right) (x-x_a) + \frac{ES}{l_b} \left( 1 - \frac{l_b}{\sqrt{(x-x_b)^2 + (y-y_b)^2}} \right) (x-x_b) + \frac{E_c S_c}{l_c} \left( 1 - \frac{l_c}{\sqrt{(x-x_c)^2 + (y-y_c)^2}} \right) (x-x_c) = 0 \quad (1)$$

$$F_2(x, y, l_a, l_b, T) = \frac{ES}{l_a} \left( 1 - \frac{l_a}{\sqrt{(x-x_a)^2 + (y-y_a)^2}} \right) (y-y_a) + \frac{ES}{l_b} \left( 1 - \frac{l_b}{\sqrt{(x-x_b)^2 + (y-y_b)^2}} \right) (y-y_b) + \frac{E_c S_c}{l_c} \left( 1 - \frac{l_c}{\sqrt{(x-x_c)^2 + (y-y_c)^2}} \right) (y-y_c) = 0 \quad (2)$$

$$F_3(x, y, l_a, l_b, T) = ES \left( \sqrt{(x-x_a)^2 + (y-y_a)^2} - l_a \right) - l_a T = 0 \quad (3)$$

$$F_4(x, y, l_a, l_b, T) = ES \left( \sqrt{(x-x_b)^2 + (y-y_b)^2} - l_b \right) - l_b T = 0 \quad (4)$$

$$F_5(x, y, l_a, l_b, T) = l_a + l_b - l_{a0} = 0 \quad (5)$$

上式をNewton-Raphson法で計算し、張力  $T$  を求めた結果を表3に示す。計算結果と実測値は異

なる値を示していた。これは、完全弾性体として計算していること、伸長に伴う断面積の減少を考慮していないこと、糸の弾性率として繊維の初期弾性率を使用していること、送り出し、イーピングモーションによる補正の効果を考慮していないことなどに起因するものと考えられる。

表3 開口時張力の数値計算結果

| 素材            | 張力N {gf}       |                               |
|---------------|----------------|-------------------------------|
|               | 計算値            | 実測値                           |
| 綿 10s         | 2.51<br>{256}  | 1.47<br>{150}                 |
| 綿 5s          | 8.79<br>{896}  |                               |
| アラミド<br>1000D | 66.9<br>{6820} | 4.41 ± 0.29<br>{449.8 ± 29.3} |

阪本、鴨川は、タテ糸と布を一種のパネと見なし、送り出し、開口、おさ打ち、巻き取りの運動が起こったときのビームをはじめテンションローラー系などタテ糸張力に関連する慣性系の運動からタテ糸張力の状態を求めている<sup>5),6)</sup>。

このバックレストの慣性モーメントなどの値が必要であるため、計算が非常に煩雑であるが、静的な取り扱いとは異なり。送り出し、イーピングモーションによる補正の効果を考慮した結果となっていることから、正確な開口時の張力を求めるためには阪本、鴨川のモデルのような動力学解析を用いたモデルを採用する必要があると考えられる。

## 5. ま と め

高強度高弾性繊維の一種であるパラ系アラミド繊維について、抱合力試験およびおさ羽の摩耗試験を行い製織性について評価を行い、アラミド繊維を使用した織物の試織を行った。アラミド繊維の弾性率が高く伸度が低いため、整経機や織機の部材に微小変形や摩滅などが発生することが確認されたが、これらの問題点についての対策を講じること、産地の現有設備での生産が可能と考えられる。今後も引き続き評価を行い、産地が新たな資材用織物を供給できるように努めたいと考えている。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、アラミド繊維をご提供くださいました帝人(株)テクノーラ事業部 橘高様に厚くお礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 岡本、蓮尾：織機誌，49，P407 (1996)
- 2) 東嶋：サイアス，1997，2，21号，23 (1997)
- 3) 松尾：織機誌，49，P393 (1996)
- 4) 山本：“パソコンで学ぶ非線形機械力学シミュレーション”，日刊工業新聞社 (1996)
- 5) 阪本、鴨川：織機誌，11，32 (1958)
- 6) 日本繊維機械学会編：「基礎繊維工学 [IV]」，275 (1969)