高強度高弾率繊維を使用した産業資材用織物の製品化技術

開発技術部　廣瀬繁樹、藤田浩文*

1. はじめに

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率繊維が注目を浴びている。高強度高弾性率繊維は汎用繊維に比べ強度・弾性率等が高いため、従来からさまざまな用途に幅広く使用され、今後もますますの需要の増加が期待されており、同繊維を用いた新商品開発のための技術指導が強く要望されている。

高強度高弾性率繊維を強化材として利用した繊維複合材料は、軽量で高強度・高剛性を有し、主に航空・宇宙分野などでの各種構造材として素材開発が始まり、スポーツ・レジャー用品、土木・建築分野へとその用途も拡大している。しかしながら、配向繊維で強化された複合材料に従来から用いられてきたマトリックスは、エポキシ樹脂や不飽和ポリエステル樹脂などの硬化反応に時間を要する熱硬化型であり、また素材積層作業の自動化が困難なため生産性に劣り成形コストが高くなることから、自動車や車両といった輸送機器など量産用途への展開は難しかった。ところがこの生産性を飛躍的に向上できる素材として近年脚光を浴びているのが、熱可塑性樹脂をベースマトリックスとする連続繊維強化の複合材料である。熱可塑性樹脂は室温での保存が容易で取り扱い性に優れ、また短時間の加熱で成形可能になり、射出成型の場合と同様、成形と同時に型内で冷却されるため成形時間の短縮化が図れる。樹脂はPP、PVCなどの汎用グレードからPEI、PEEKなどの超エンプラ樹脂まで耐熱性、耐衝撃性など用途に応じて幅広い特性の樹脂が選択できる。

以上、熱可塑性樹脂をマトリックスとする複合材料は、成形時間の短縮により高生産性、高品質を実現できる利点を持つが、一般に融液粘度が高いため流動性および含浸性が悪い。樹脂の流動性および含浸性を向上させる方法として強化材に樹脂の浸透する空間を作成しておく方法がある。

そこで、本研究では、同繊維を使用して、樹脂の浸透できる空隙を備えることによって流動性および含浸性を向上させた高強度織物を一般的な衣料用の織機にて製織し、この織物を強化材として熱可塑性複合材料に応用することを試みた。

2. 実験

2.1 試料

従来から樹脂補強用として種々の繊維材料が使用されているが、なかでも強力、弾性率、耐熱性、寸法安定性、エネルギー吸収性に優れるアラミド系繊維は、複合材料以外にも土木・建築資材や防護用衣服などさまざまな用途に利用されている。そこで、アラミド系繊維の一種である、帝人株式会社製のパラ系アラミド繊維テクノーラ糸（マルチフィラメント）3種類を試料とした。

テクノーラ糸；200d、1000d、1500d

2.2 実験方法

2.2.1 抱合力試験

アラミド糸の製織性を調べるため、抱合力試験機（蛭田理研株式会社製）にて平均抱合力数を測定した。

（撚数と抱合力との関係）

撚糸したアラミド糸の製織性を判定するため、アラミド糸1500dについて下記の条件で平均抱合力数を測定した。

測定条件　荷重；90g、回転速度；80回／min

撚糸回数　0、10、20、50、100回／m

＊ 愛知県新産業振興課

（サイジング条件と抱合力との関係）

ユニサイザーKS-5N（株式会社梶製作所製）にてサイジングしたアラミド糸および未処理のアラミド糸について下記の条件で平均抱合力数を測定した。なお、サイジング剤として、サイジング剤A（PVA、水溶性ワックス）、サイジング剤B（平滑剤、ポリグリコール系水可溶性合成ワックス）、サイジング剤C（平滑剤、高分子共重合物と高分子ポリグリコールの配合品）、の3種類について検討した。

テクノーラ 200d

荷重および回転速度；60g、60回／min

テクノーラ 1000d

荷重および回転速度；120g、80回／min

2.2.2　単糸の引張試験

JIS L 1013およびL 1095で引張強度試験を行い、単糸引張強さおよび伸び率を測定した。

2.2.3　織物の引張強度試験

JIS L 1096 A法（ラベルドストリップ法）で高強度織物の引張強度試験を行った。試験片幅は1.7cm（試験片幅内の糸本数約12本）とした。

また、測定結果より、強度有効率ηを次式で求めた。

$$\eta = \frac{S}{ns}$$

ここで、Sは織物の強力、nは糸数、sは糸1本の平均強力を表す。

2.2.4　高強度織物の製織

複合材料の強化材とする高強度織物を製造するために、アラミド糸を自動整経機（株式会社スズキワーパー製NAS-5S）にて整経し、一般の衣料用織機である力織機（平野織機株式会社製NW型）にて製織を行った。

2.2.5　複合化方法

中部化学機械製作所（株）製Tダイ TN-30によりペレット状の熱可塑性樹脂（ポリプロピレン樹脂）からフィルムを2枚作成する。次に、製織した高強度織物を作成した2枚のフィルムではさみ、ヒートプレス機にて再び加熱、加圧して複合材料を作成した。

3.　結果

3.1　単糸の引張強度試験

単糸の引張強さおよび伸び率を測定した結果を表1に示す。

表1　単糸引張強度

試料	引張強さ	伸び率
	平均(N)	平均(%)
200d	53.588	5.1647
1000d	243.22	5.5943

3.2　アラミド糸の製織性

（撚糸条件と抱合力との関係）

抱合力試験を行った結果を図1に示す。撚糸回数が増加すると、抱合力数は、徐々に減少していった。これは、加撚されることにより、平滑性が損なわれるためと考えられる。しかしながら、撚数があまりに少ないとフィラメントの集束が乱れて、製織準備工程および製織工程で、ガイドや綜絖、筬などに摩擦接触し、マルチフィラメント糸を構成するフィラメントが切断しやすい。フィラメントが1本でも切断すると、毛羽立ち、運転を停止せざるを得なくなるため生産性が低下し、アラミド糸が本来有する優れた機械的特性を十分に発揮できない。そのため、フィラメントの集束が乱れないように適度な撚りをかける必要がある（この試験糸の場合、20～30回／m前後の撚数が適当とおもわれる）。

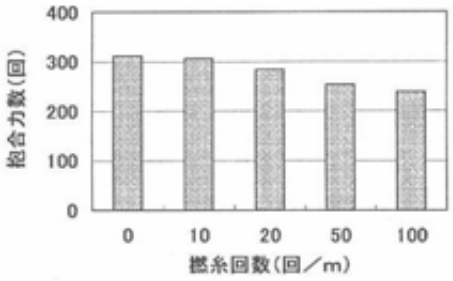

図1　撚糸回数と抱合力との関係

（サイジング条件と抱合力との関係）

平均抱合力数を測定した結果を図2に示す。アラミド繊維200d、1000dともに未処理のアラミド繊維に比較して、サイジングを施したものは平均抱合力数が大きくなっておりその効果が確認され

たが、3種のサイジング剤の中でもPVAを主成分とするサイジング剤Aよりもサイジング剤Bやサイジング剤Cといった平滑剤の方が格段に大きく、アラミド糸の製織性に関しては被覆効果よりも平滑性に大きく影響されると思われる。

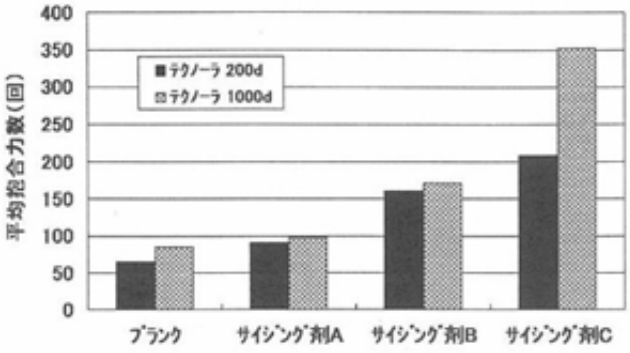

図2　サイジング条件と抱合力との関係

3.3　製織

アラミド糸は伸度が非常に小さいため製織が困難であるが、図3（経密度36本／10cm）に示すとおり、織機の調整を十分にすれば製織することが可能であった。しかしながら、密度の粗い平織物（経密度72本／10cm）を製織すると織機の巻き取り部分で目ずれが発生した（図4）。この目ずれは品質の低下を招く。また、粗密度の平織物は非常に不安定で変形しやすく、取り扱いに細心の注意が必要となる。そこで、同じ経密度でからみ組織（図5）による製織を試みた（また、経密度36本／10cmのからみ織物も製織した）。からみ織とは、地経糸とからみ経糸とが1組となり、からみ経糸は緯糸1本または数本ごとにその位置を変えて組織し、緯糸と緯糸との間にからみ目をつくった織物である。2組の経糸がからんでいるので、組織点における糸同士の摩擦抵抗によって組織がしまり、粗い密度に織られても目寄がしないという特徴をもつ。この織物は図6に示すからみ綜絖などの特殊な装置によって織り上げる。本研究では、応用できる組織に制限があるが、開口は容易で、からみたてゆるめ装置を必要としないなどの利点を持った複式法にて製織を行った。製織したからみ織物を図7に示す。目ずれの発生もなく安定しており、品質の低下を抑制し、取り扱いも容易で均整な物性を持った高強度織物を製織することができた。図8はからみ織物を2重織（袋織）で製織したものであり、片側の端を切断すれば2倍の幅を持ったからみ織物となるなどの応用も考えられる。

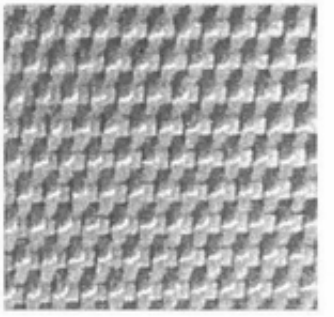

図3　平織（密）

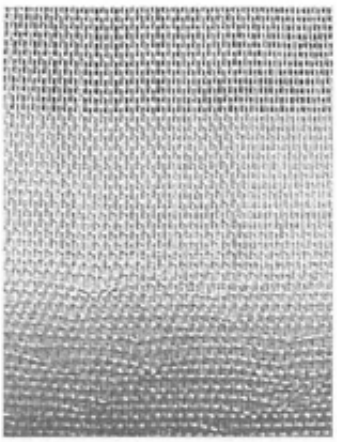

図4　平織（粗）

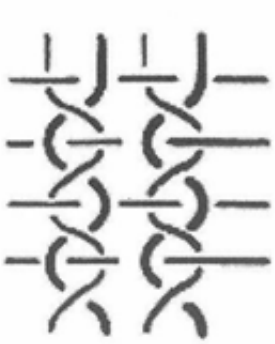

図5　からみ組織

図6　からみ綜絖

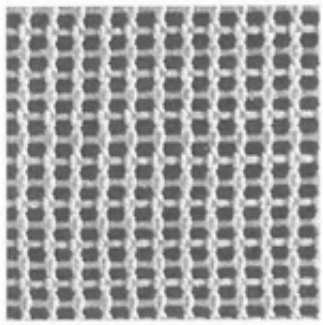

図7　からみ織物

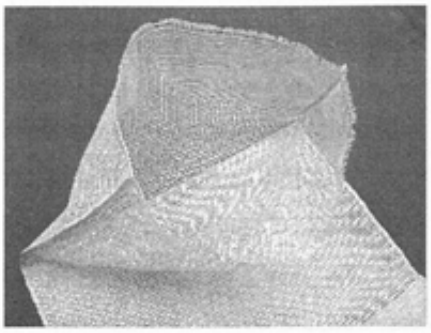

図8　袋織

3.4　高強度織物の引張強度

図9は製織した高強度織物の引張試験を行った結果である。中心の平織1と表示している値は、平織で製織した高強度織物をごく普通に試験機にセットして測定した結果で、平織2と表示している値は目ずれがなくすべての糸がきれいに完全に並んだ状態になるように引張り整えて細心の注意を払ってセットした際の値である。平織2は、強度有効率が82%と非常に優れた値であり、この値が最高の性能を発揮したときの値であると考えられる。平織1の強度低下の原因は織物が不安定であり、目ずれによって品質が低下したためとおもわれる。からみ織の引張強度は、平織2の値には及ばないが、通常の状態でセットした平織の結果よりは大きな値を示した。

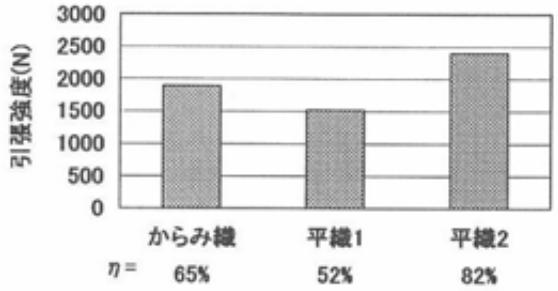

図9　高強度織物の引張強度

なお、試験片幅1.7cmでの引張方向の構成本数は12本であることから、ns =2919(N)として強度有効率を計算した。

3.5　複合材作成

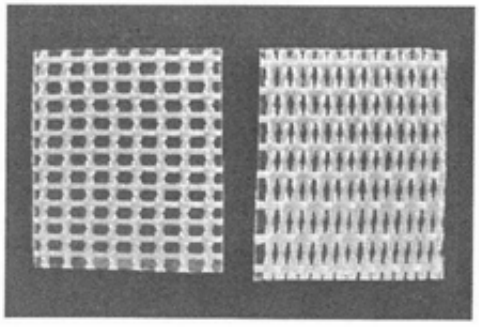

図10　複合材料

製織した高強度織物を2枚の熱可塑性樹脂を溶かしたフィルムではさみ、加熱、加圧して作成した複合材料を図10に示す（左の強化材が経密度36本／10cm、右の強化材が72本／10cm）。熱可塑性樹脂の流動性もよく、繊維間にきれいに樹脂が流れ込み、短時間の成形時間にもかかわらず比較的容易に複合材料を作成することができた。

4.　まとめ

熱可塑性複合材料の強化材として、成形の際に樹脂の流動性および含浸性に優れた繊維間に隙間を有する高強度織物を一般的な衣料用の織機にて製織することを試み、次のことが明らかになった。

アラミド糸の製織性を調べたところ、平滑性に大きく影響されることがわかったが、収束性も考慮しなければならない。

アラミド糸は伸度が非常に小さいため製織が困難であるが、密度の高い織物を製織する場合には衣料用の織機でも調整を十分にすれば製織することが可能であった。しかしながら、繊維間に隙間を有する密度の粗い平織織物を製織すると、織物が非常に不安定であるため織機の巻き取り部分で目ずれが発生した。そこで、からみ組織にて製織したところ目ずれの発生を防ぐことができ、樹脂の流動性および含浸性に優れながら、品質もよく、安定で取り扱いも容易な複合材料の強化材を得ることができた。これらの強化材は、熱可塑性樹脂をマトリックスとする複合材料からなるヘルメットなどの繊維強化複合材料などに利用できるだけでなく、パラグライダーのリブクロスのようなスポーツ分野などで空孔を必要とする素材にも応用可能と思われる。