複合材料講座

FRP 構 成 素 材 入 門 第2章 構成素材と種類 --有機繊維 (アラミド繊維)--

小 菅 一 彦*

1. アラミド繊維とは

アラミド繊維は、ナイロンと同類のポリアミド繊維に 属し、"アミド結合-CO-NH-を介して結びついた芳香族 基-C₆H₄-からなる合成高分子で、核アミド結合の85% 以上が2個の芳香環と直接結合しており、核アミド基の 50%以下がイミド基で置換されていてもよい"とISO 2076-1977 で定義されている。芳香族環にアミド結合の 付く位置により、パラ系とメタ系に分類される。図1に ポリアミド繊維の分類を示す。パラ系アラミド繊維は、 単独重合系と共重合系に分類される。単独重合系パラア ラミド繊維のみが, 紡糸条件等により弾性率などの異な る繊維を得ることができる。一方, 共重合系パラ系アラ ミド繊維は、繊維軸方向に配向を高めるために、紡糸後 に延伸を必要とし、異なる弾性率の繊維を得ることが困 難なようである。図2に単独重合系パラアラミド繊維 KEVLAR® の繊維構造モデルを示す。繊維軸方向には共 有結合,ポリマー主鎖のアミド基間には水素結合,水素 結合で形成されるシート間にはファンディアワールス力 が働いているが、一様な繊維構造ではなく、PPTAポリ マーが緻密にパッキングされたドメインの集合体から繊 維が形成されていると推測される。紡糸条件によりドメ イン内の微細構造・大きさが変化し、物性に反映されて いるものと推測される。アラミド繊維間の物性比較を表 1に示す。繊維強化複合材用に多く使用されているのは, パラ系アラミド繊維で、高強度・高強力であるとともに、 耐熱性が良いことも理由に挙げられる。

繊維形態としては,図3に示すようにフィラメント,ステープル,フロックおよびパルプがあり,これらを更に加工した撚糸,組み紐,紡績糸,織物,フェルト,ペーパーがある.

2. パラ系アラミド繊維の用途

パラ系アラミド繊維の大部分が複合材として使用されており、フロックやパルプを使用した複合材もあるが、繊維強化の意味合いは少ない。繊維強化樹脂体としての複合材としては、現状、フィラメントの使用が圧倒的に多い。

(1) ゴム資材用途

タイヤに代表されるゴム資材用途に多く使用されてお り、パラ系アラミド繊維の高強力・高弾性率・柔軟性お よび錆びない特徴が活かされている。ゴム資材への展開 に当たっては、ゴムとの接着技術がポイントになる。パ ラ系アラミド繊維も,レーヨン,ナイロン,ポリエステル 繊維などと同じように、RFL(R:レゾルシン、F:ホル ムアルデヒド, L: ラテックス) を主剤とした接着剤で処 理される。レーヨン(-OH 基), ナイロン(-NHCO 基)で は、繊維表面の-OH 基や-NHCO 基と RFL 層-COOH 基との間で水素結合が形成されており、図4に示す RFL 処理だけで十分な接着力が得られている。 しかし、パラ 系アラミド繊維はアミド基(-NHCO基)を有しているも のの水素結合が殆ど形成されず、RFL 層に対して反応に 乏しく接着力が不十分である。そのために、表面不活性 なポリエステル繊維で採用されているのと同様な方法に て, エポキシ水溶液を繊維表面に塗布し, エポキシ樹脂 層を介在させて RFL 層間の接着力を図る方法が多く採 用されているようであるり。

(2) 熱硬化性樹脂用途

光ファィバーケーブル (FOC) のテンションメンバー 用として、フィラメントを引き揃えて熱硬化性等の樹脂 を含浸して加熱硬化しロッド形状にして使用されてお り、パラ系アラミド繊維の非電導・高弾性率・低クリー プの特徴が活かされている。

土木・建築分野においては、鉄筋代替コンクリート補強材用として、パラ系アラミド繊維にエポキシ樹脂を含浸させ加熱硬化したものがロッド形状で使用されてお

^{*} Kazuhiko Kosuge: 東レ・デュポン(㈱常務理事 新 事業推進室技術統括(103-0023 東京都中央区日本 橋本町 1-1-1)

芳香族ポリアミド (アラミド) 繊維

定義: 「アミド結合を介して結びついた芳香族基より成る合成高分子で、各アミド結合の85%以上が 2個の芳香環と直接結合しており、各アミド基の50%以下がイミド基で置換されていても良い」 (ISO, 2076-1977)

パラ系アラミド繊維

単独重合系 (PPTA), (剛直性高分子): **KEVLAR**®, TWARON®

【NH—CO→NH—CO→CO→

共重合系; (半剛直性高分子): Technora®

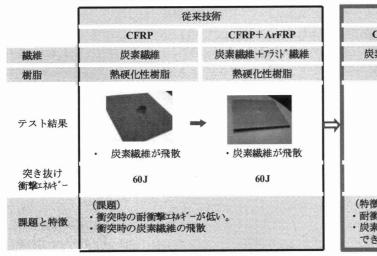
・単独重合系PPTAにエーテル結合を含むジアミンを共重合化させ、規則性を乱して半剛直性とした。

メタ系アラミド繊維



図 1 ポリアミド繊維の分類

表 1 落錘型グラフィックインパクトテスト結果





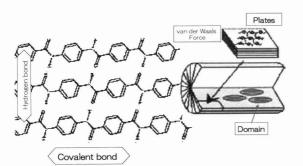


図 2 KEVLAR® 繊維の構造









ィラメント ステープル フロッ

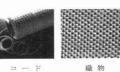






図 3 各種製品形態

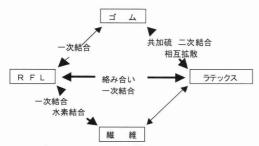


図 4 ゴム-RFL-繊維界面の結合1)

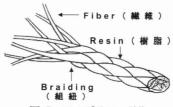


図 5 フィブラロッド2)

り,パラ系アラミド繊維の非電導・非磁性・高強度・高 弾性率・低クリープ・錆びない特徴が活かされている。 また, 含浸エポキシ樹脂を短時間で熱硬化させるのに耐 えられる観点から, 耐熱性の高いパラ系アラミド繊維が 採用されている。コンクリート補強用 AFRP ロッド材へ の展開に当たっては、アラミド繊維ロッドの耐アルカリ 性の確保とコンクリートとの付着力を確保することがポ イントとなる。そのために、パラ系アラミド繊維を組紐 状にし, エポキシ樹脂を組み紐内部まで充分含浸させる 工夫がなされている (FiBRA® Bar)、組み紐状に編む ことにより、図5に示すように規則正しい凹凸状が形成 される。小さな滑り域では表面に砂を付着させることに より, 異形鉄筋と同等以上の付着性能を示す。 伝達性能 が問題となるプレテンション用緊張材のように大きな滑 り域での付着強度が要求される補強材については、砂な しのロッド材が適用されている。エポキシ樹脂が、組紐 に上手く含浸し加熱硬化して, アラミド繊維へのアルカ リ性溶液の接触を防いでいる。

理化学研究所ゲノム化学総合研究センター内に設置された世界最大の NMR (核磁気共鳴施設) 棟の基礎コンクリートの補強材では、非磁性の特徴が活かされている。 NMR は強力な磁界を発生する為、周辺に用いられる材料は磁化しない材料が求められる。

非導電用途としては、地球シミュレーター棟の基礎があり、コンピューターシミュレーション時のノイズによるエラーを防ぐために、FiBRA® Rod が鉄筋代替として

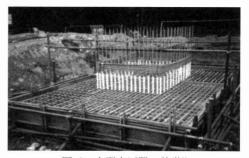


図 6 大型変圧器の基礎2)



図 7 枕木2)

採用された。世界最高性能のコンピューターシミュレーションを支えている。その他に、大型変圧器の基礎(図 6)、引留め鉄構、枕木(図 7)などがある²⁾.

(3) 熱可塑性樹脂用途

地球温暖化対策に効果的な自動車の軽量化による自動車走行時の CO₂ 削減に関し、炭素繊維強化樹脂体の適用が挙げられるが、耐衝撃性が低い等により自動車用途への展開が限定されている。耐衝撃性を向上させるためにパラ系アラミド長繊維強化熱可塑性樹脂体との組み合わせが研究されている。パラ系アラミド長繊維織物の高強度と適度な伸度をもつタフネスの特徴が活かされている。応力が加わった時のパラ系アラミド長繊維の伸びを損なわないようにすることが肝要であり、伸度のある熱可塑性樹脂の適用が必須となる。熱硬化性樹脂では、繊維の伸びを抑制してしまい、パラ系アラミド長繊維織物の一点にて衝撃を受けて、衝撃吸収力の緩和にはならない。衝撃力を衝撃点中心とする織物面状に受けることで衝撃力を緩和している。

参考文献

- 1) 出口孝雄,塚本光一:接着の技術誌,**24**,3 (2004),50-54.
- 2) ファイベックス社 FiBRA® のパンフレット.