解 説

《ユーザーが複合材料に期待するもの》

スポーツ用品—I. スキー・ラケット

棚 橋 良 次*

1. はじめに

今日、スキーをはじめラケットやゴルフクラブ等のスポーツ用具に、複合材料が用いられるようになったのは、品質・性能の追求に複合材料が最も適した材料であったことにほかならない。

金属等に比較して、複合材料の比強度、比弾性率がいちだんと大きいことが軽量高剛性構造の設計を可能にし、さらには各種繊維がハイブリッド化によって相互補完し合い強度および使用性能の追求にきめの細かい設計を可能にした。このように複合材料の活用は、一口でいえば設計の自由度を増したことで、軽量高剛性構造を踏まえた最適複合構造の具現に大きな役割を果たすに至っている。

一方、スポーツは余暇時間が増えた今日、一般大衆のものとして普及し、さらには一個人がいろいろなスポーツをレジャーとして幾つもこなす時代になった。

スポーツ用具もその影響を受け、高い値段のものから、手頃に入手できるものまで、それぞれの要求性能に応えた多様な仕様で提供する時代になった。

また、低成長時代に入りものがあり余っている昨今、マーケティングの上にニューシーズを搭載して商品化しても、市場に受け入れられるか否かはわからない不透明さがあり、企業は需要予測と生産計画が常に連動し、フレキシブルに対応する必要に迫られている。

2. スポーツ用具に使われる複合材料

2.1 スキーの成形法と複合材料

スキーの場合、大別して二形態の複合材料の使い方があ。一つはプリプレグやウエット樹脂を含浸した繊維を他の構成部材（表面材、滑走面材、スチールエッジ等）と一緒に型の中にセットして、加熱加圧して、複合一

化する成形法と、いま一つはブルトルジョン法で連続成形した FRP で、心材をサンドイッチする成形法である。

この両者について検討する。

前者のプリプレグやウエット樹脂含浸繊維の成形法は設計の自由度が大きいので、きめの細かい性能中心の設計に適している。そのため、競技用や上級用のスキーにこの製法がよく採用されている。

きめの細かさについて例をあげる。

- 1) 複合材料のハイブリッド化（各種繊維の層内ハイブリッドや層間ハイブリッド等）
 - 2) 繊維の種類と繊維形態（ロービング、クロス、マット、UD プリプレグで方向の選択等）
 - 3) 複合材料の最適配置
- 等が自由にできることである。

複合材料のハイブリッド化では、現在の主流は依然としてガラス繊維で、カーボン、アラミド、シリカ等の繊維もハイブリッドの形態で使われている。

ガラスが主流の理由は、他の先端複合材料のみで作ると軽量すぎるために高速において安定性が得られにくい。それに対して、ガラスは安定した高性能が得られやすいよさがある。

繊維は、ロービング、クロス、マット等、いろいろな組合せで、最適化が図られる。このときの主要な設計物理量は、曲げと捩れの剛性分布と振動特性である。

最近では軽量化のトレンドがあり、CFRP のみで性能を向上させる努力がなされており、一部にオールカーボンに近いスキーも市場に出はじめている。

マトリックスについてはエポキシ樹脂が主体である。エポキシ樹脂がおもに使用される理由は、硬化収縮率が、3.8~4.8% と小さく、FRP が強靱なことである。しかも硬化収縮率の 80~90% はゲル化前の硬化収縮で樹脂配合物が流動状態にあるため内部歪として残る割合が低いこと等が挙げられる。

* Ryoji TANAHASHI: ヤマハ (株) スポーツ事業部
(432 浜松市西山町 1370)

図1 中芯材をプリブレグで巻いて各種素材を最適配置した複合一体成形スキー

後者のブルトルージョンによる連続成形法によってできるFRPは、ロービング、クロス、マット等の繊維形態が考えられるが、テンションが常に掛かる関係上、マットの場合の単独は困難でロービングと抱合させて作る必要がある。スキーの上下強度部材として作る場合は、それぞれのFRPの中にスキーとしての強度、性能上の諸要素を織り込んだものとして製造することになる。

この製法の狙いは、合理的に安く作ることであるので、普及モデルの多くにこの製法が採用されている。

ブルトルージョンでできたFRPに、表面材としてABSシートやフェノール積層板を接着しFRPの保護とデザインを可能にする機能を与え、一方下面材には、ポリエチレンシートを貼って、強度部材と滑走性の機能を与える。このようにしてできた上面部材と下面部材を型にセットできるように加工する。加工の終わった下面部材をスチールエッジやサイド材と一緒に金型にセットし、その上に上面部材をおく。上面部材と下面部材の間にはスキーの厚さ分布を定める心材の入るキャビティが、金型の助けを借りて形成される。上蓋(上金型)をセットし、ポリウレタンのA液(ポリオール)とB液(イソシアネート)を一定の比率で配合し攪拌してインジェクトする。混合液は重合反応で発熱発泡して、キャビティを埋め尽くし、心材を形成すると同時に上下面部材やスチールエッジ、サイド材等との接着剤の役割も果たす。

この製法は合理的であり、流れ作業にのりやすいが、上下面部材のFRPの中に多様な構成を組み込む自由度

が少ない。また他部材との接着も、ポリウレタンの発泡樹脂を通して行なう関係上、強度不足になりがちのところを物理的投錨効果等を利用して、補っている。ここらが性能中心のプリブレグによる製法と、合理的製法中心のブルトルージョンFRPによる製法の本質的な差である。図1、図2参照。

2.2 ラケットの成形法と複合材料

FRPを主体としたラケットに話を限って述べる。今日のラケット製法は、軽量発泡心材(比重0.1以下)にプリブレグをすし巻き状にし、金型に入れて成形する方法と、心材の替りにチューブを使って、同様に巻いて金型に入れて内圧を掛け、中空構造に作る製法の二つが主流である。

前者には2種類あって、その一つは発泡体の弾性変形と粘性流動圧を利用した方法で、安定した圧力を掛けるのがむずかしい。すし巻き状の被成形体の体積は、圧力を得るために金型寸法より少し大きめに設計する結果、繊維が泳ぎ、強度や剛性が理想値から少々下がる。

いま一つの方法は、発泡体心材の二次発泡の性質を利用する方法で、所定の寸法で心材を作り、型に入れて加熱後心材が二次発泡し内圧が発生する製法である。この製法のほうが品質上安定する可能性がある。

次に後者の場合は、チューブに内圧を掛けて金型壁に沿わせるために、外表面は均一なものができるが、中空の内側は壁がチューブのため定まらない。よって均一な肉厚を作るには困難である(図3参照)。

図2 上面材 (ABS シート+FRP+アルミ板)と下面材 (ポリエチレン+FRP)を前もってそれぞれ接着加工し、型にセットしてウレタンを注入発泡するインジェクションスキー

図3 各種 FRP 素材をハイブリッド化した軽量・高剛性構造

ADD BALANCE : アドバランス, BUMPER GUARD : バンパーガード, GRAPHITE : カーボンファイバー, CERAMIC FIBER : セラミックファイバー, FIBERGLASS : グラスファイバー, BORON : ボロンファイバー, POLYURETHANE FOAM CORE : ポリウレタンフォームコア, CERAMIC "WHISKER" MATRIX : セラミックスウイスキー入りエポキシ

繊維の種類については、カーボン繊維が主体でアラミド、ガラス、セラミック、ボロン等とのハイブリッド化が、性能・品質・コスト面から追求されている。

次にラケットの要求特性からみると、最近のラケットはオーバーサイズといって、打球面積が従来ラケットの

約 1.5 倍になり、ガットテンションが 1.2~1.4 倍に張る必要が生じてきた。そのためフレーム剛性をアップする必要がある。また一方、打球面積の増加は、具体的にはラケットフレームの体積の増加を意味する。よって従来と同じ材料構成では重くてラケットにならない。ここ

に軽量高剛性が強く求められるゆえんがある。

現在得られる材料の中では、比弾性の最も大きい CFRP がラケットの設計に最も自由度の大きい材料であるといえよう。

以上で、現在の製造法とそれぞれのもつ自由度、問題点等について述べた。よってこの現実を踏えて、本稿の課題である「ユーザーが複合材料に期待するもの」について筆者の考えを述べてみたい。

3. 複合材料に期待するもの

スポーツ用具市場からの要請に応えるメーカー側の課題は

- 1) 製造コストの低減
- 2) 品質・性能の向上
- 3) 少量・多品種の生産体質
- 4) 市場変動に柔軟に対応できる生産体質

である。

複合材料の製法、物性値、および他材料との組合せによる用具の製法において、期待される複合材料の在り方が定まる。

それでは複合材料の構成要素であるマトリックス、繊維、および複合材料としての物性値を検討する。

3.1 マトリックス樹脂

テニス・スキーに使われている樹脂は、汎用タイプのエポキシ樹脂である。汎用タイプといっても主剤と硬化剤の選択によって多数考えられるので、ここでは製造面および品質面からの要求を掲げる。

- 1) 成形時間が短い
- 2) 成形温度が低い
- 3) 粘度-硬化時間特性がある粘度値から急に立ち上がりを示す特性をもつ
- 4) 樹脂の破断歪が少なくとも繊維補強材より十分に大きい(約 3% 以上)。
- 5) 繊維補強材によくぬれ、十分な接着力を有する。
- 6) 長期にわたって、応力、温湿度、紫外線等の外的環境に耐える

- 7) 比弾性、破断歪の大きい樹脂

1), 2) が実現すれば金型やプレス等の設備投資が少なく、製造コストが安くつく。また少量多品種の生産やフレキシブルな生産にも必要不可欠な条件である。

3) に関しては、成形時の金型からの樹脂のフローの問題で、重量はばらつきを押えるために重要である。

4), 5), 6) に関しては、強度を中心とした品質の問題である。

繊維が同じでもマトリックス樹脂の選択により、層間剪断強度で 20~30% の差が生じている。これらのおもな理由は、マトリックス樹脂の繊維界面での強度の差であると思われる。とくに昨今の軽量高剛性化したラケットはフレーム形状を厚くしているの、FRP への負荷が大きく厳しい条件下にある。

7) については、マトリックスの弾性率が 500~1,000 kg·f/mm² ぐらいのものが存在すれば、これは強度以外に、フィーリング的にも新しい世界が生まれ、関心ももてるのである。

3.2 繊維

繊維については、カーボン、アラミド、シリカ、超高分子ポリエチレン、ボロン、チラノ等の繊維があるが、今後さらに多様な素材が生まれてくることは設計者にとって楽しいことである。その理由は一口でいえば、設計の自由度が増して、品質・性能上の最適化が図れるからである。もう少し具体的に説明すると、CFRP のみで作った場合と、AFRP のみで作った場合の性能上およびフィーリング上の世界はまったく別である。GFRP においても他の素材においても同様である。よって、それぞれの異なった世界をハイブリッド化することによって、さらによいものが生まれる可能性がでる。

次に繊維とマトリックス樹脂の界面接着強度は、ガラス、カーボン、アラミドの順で、ガラスがいちばん強い。CFRP も厳しい条件下ではさらに強い層間剪断強度が必要である。その他の素材においても表面の接着処理がきわめて重要で、ガラス繊維と同等の界面接着強度が期待される。

3.3 FRP の物性値

FRP の物性値としては、複素弾性率の周波数特性、静的強度、疲労特性、衝撃特性などが考えられる。このなかで、設計者の期待としては、各種 FRP の複素弾性率の周波数特性である。これは用具の振動特性の基本であり、設計上の重要な物理量であるが、公的データが見当たらないのが現実である。

3.4 FRTP について

現在使っているエポキシ樹脂をマトリックスとした FRP は用具の設計上十分に物性をもっているが、さらに大きな破断歪(5% 以上)のものが得られれば、設計の自由度は増して、性能は向上する。繊維の破断歪も同様にいえるが、配向の選択で不足分は逃げる自由度があるので、まずは長繊維の FRTP をスポーツ用として、廉価に供給できるようにお願いしたい。

現在は航空・宇宙関係の高価な耐熱性と強度を重視し

た FRTP が中心であるにすぎない。

のである。

4. あとがき

スキー・ラケットについて、性能と製法の両面から複合材料の果たす役割や問題点を述べた。

複合材料の最大のメリットは設計の自由度が大きいことであるが、成形工程における諸条件によりばらつきが発生しやすい問題点をもっている。これはプリプレグのライフ、型構造、成形条件、最適複合化のために複雑な材料構成にすること、手作業等が全部インテグレートして入ってくるためである。

一つの要求性能とそれを具現する構造体の間には、数多くの技術が総合的に整って初めてよい用具が生まれる

参 考 文 献

- 1) 内田盛也編著：先端複合材料の設計と加工，工業調査会，東京（1987）。
- 2) 植村益次，福田 博監修：ハイブリッド繊維強化複合材料，(株)シーエムシー，東京（1986）。
- 3) 社団法人強化プラスチック協会・編集委員会：FRP 30 年の歩み，東京（1984）。
- 4) 複合材料技術集成編集委員会：複合材料技術集成，産業技術センター，東京（1976）。
- 5) 林 毅編：軽構造の理論とその応用，上下巻，(財)日本科学技術連盟，東京（1966）。
- 6) 竹鼻三雄監修：FRP，生産と技術，(株)プラスチック・エージ，東京（1971）。

解 説

《ユーザーが複合材料に期待するもの》

スポーツ用品 II. 釣 竿

鈴 江 浩 康*

1. 緒 言

現在の釣竿の構造は、端的に表現すると、長繊維強化プラスチック（以下 FRP）の（直交）積層パイプであるといえる。補強繊維の種類は、ガラス繊維（以下 GF）、カーボン繊維（以下 CF）をはじめとして、アラミド（以下本稿ではケブラーと表現する）やアルミナ等の繊維も用いられ多岐にわたる。今後もさらに種々の材料が採用されていくと思われる。現状ではおそらくこれほど多くの材料を用いて FRP 化し、商品を構成しているものはほかにないといっても過言ではあるまい。今後どういった材料が釣竿に必要なのかについては、まず現状を知る必要があろう。

2. これまでの流れ

2.1 FRP 化

FRP のなかでも長繊維強化材は、その物性において

* Hiroyasu SUZUE：ダイワ精工(株)フィッシング生産本部 (203 東久留米市前沢 3-14-16)

極度の異方性を示す。したがって金属材料のような等方性の材料を扱っていると気づかない問題に遭遇することも多々あろう。すなわち、繊維方向の物性は魅力的だが、その直交方向の物性とのアンバランスからある意味では使いづらい材料である。ではなぜ釣竿がこれほどまで FRP 化されたのか、その答は竹竿の中に見いだすことができる。図1を見てわかるように、竹は柔組織といわれる軟らかい組織を、維管束が長手方向に貫いた一方向繊維強化材である。さらにある間隔で節を形成し、曲げに対する座屈の補強をしている。これこそ正に、FRP 化された釣竿の構造そのものではあるまいか。すなわち釣竿は元々繊維強化材だったのである。釣竿の FRP 化は、その構造を大きく変化させてきたのではなく、より物性の高い材料へ置き換えられてきたものといえる。

2.2 構造材料としての補強繊維

現在の開発の主流は、PAN 系の CF である。CF の弾性率 24 t/mm^2 クラスのものから、 50 t/mm^2 を超える超高弾性率まで約 5t おきにスバックを設定し、これを使いこなしている。強度についても同じ弾性率の領域