解 説

《ユーザーが複合材料に期待するもの》

スポーツ用品 III. ゴルフクラブ

林 敬次郎*, 深山 忠宏**

1. はじめに

近年新素材開発の時代になりスポーツ品も木材、金属、天然皮革などの単一素材から炭素繊維やニューセラミックスなどを強化材とした混成（ハイブリッド）複合材料がスポーツ品の開発に重要な役割を果たすようになった。

たとえば、炭素繊維、ガラス繊維、アラミド繊維、ボロン繊維、炭化ケイ素繊維、ポリエチレン繊維、チタンセラミック繊維、炭化ケイ素ウィスカー、チタン酸カリウィスカー、ジルコニア焼結体、炭化ケイ素粒子、アモルファス金属繊維などが強化材として使用され良好な結果が得られている。

FRP のマトリックス（母材）としては、熱硬化性樹脂の場合はエポキシがほとんどであり、熱可塑性樹脂の場合は ABS、ナイロン、ポリウレタン、ポリカーボネートなどが使用されている。他に将来性のあるものとして高融点のポリイミド、ピークなどがある。

最近では、各種ニューセラミックスを強化材とし、アルミ合金をマトリックスとした FRM も採用されつつある。

スポーツ品の素材に要求される機能・特性のなかで最も重要なのはいかに軽薄短小化が図れるか、すなわちいかに設計の自由度を大きくできるかであり、優れた物理的特性をうまく応用し商品の特徴づけることが、市場において長期間商品の優位を保ち、シェア拡大に貢献することとなるのである。

2. ゴルフクラブの素材

クラブをシャフトとヘッドに分けて近年使用されている素材を紹介し、問題点と今後期待するところについて述べたい。

* Keijiro HAYASHI, ** Tadahiro FUKAYAMA : ミズノ株式会社養老工場 (503-13 岐阜県養老郡養老町高田 307-5)

A. シャフト

(1) スチール

スチールシャフトに要求される特性は高い引張り強度 ($160 \sim 180 \text{ kgf/mm}^2$) と靱性である。軽いシャフトほど、より高強度、高靱性の素材が使用されている。

(2) アルミニウム合金・チタン合金

1960年代後半に入ってアルミニウム合金製シャフトが市場に出たが、素材の比強度・比弾性率が小さく、スチールシャフトと変わらない重量 ($105 \sim 110 \text{ g}$) となり、また、打球時の手応えが悪いということで姿を消した。

1970年代中ごろにはアルミニウム合金に代わって航空機用素材というふれこみでチタン合金が出現したが、品質が不安定で高価であったため姿を消した。

しかし、チタン合金のほうは、最近素材、製法が改良され、その独特の外観と打球感から、市場に浸透しつつある。

(3) CFRP

1972年に CFRP シャフトが開発され、今日の新素材ブームの引き金となった。CFRP シャフトは現在ではすっかり市場に定着したが、その理由は何といっても軽いということである。

シャフトの重量を軽くすると、クラブを振ったときに感じる重さ（スイングウェイトバランス）を同じにするためにはヘッドを重くすることになる。ヘッドを重くできるということは打球時にボールに与えるエネルギーを大きくでき、また、クラブ全体の重量が軽くなり、クラブを速く振れるため、ボールはますますよく飛ぶということになる。

現在では、CFRP シャフトの重量は 50 g (43 インチ長) を切るところまでできている。

シャフトを構成する素材としては、炭素繊維を基盤にアラミド繊維、ボロン繊維、アモルファス金属繊維、炭化ケイ素ウィスカーなどをハイブリッド化したものがある。しかし、比強度、比弾性の点から、炭素繊維が主要

材料とならざるをえない。

シャフトに要求される特性は次のようなものである。

- 1) 重量-軽いほど良い。
- 2) フレックス (しなりの程度)
- 3) トルク (振れにくさ) - 振れの大きいものはボールの方向にばらつきを生じやすい。
- 4) 調子 (キックポイントともいう。どの部分で大きく曲がるか)
- 5) 打球感 (振動特性など)

CFRP シャフトの製法はエポキシ樹脂をマトリクスとした CFUD プリプレグを、テーパ状のマンドレルに巻着するのが一般的である。しかし、マンドレルに巻着する際、徐々に繊維の角度が変化することが避けられない。このため、反りを生じたり、円周方向で微妙にフレックスが異なるという問題点を有している。繊維が放射状に並んだプリプレグが万一できれば面白いと考える。

CFRP シャフトの性能向上を図る場合、今後大きな課題となるのは超高弾性炭素繊維をうまく応用できるかである。シャフトの軽量化を図るためには弾性率の大きい炭素繊維が必要であるが現状をみる限り、比強度が小さいため、その分を他の炭素繊維で補わざるをえず、思い切った軽量化を実現できない。超高弾性炭素繊維の欠点として、マトリクスとの濡れの悪さも強度低下の一因として考えられ、繊維の強度向上とあわせて、今後の改良を期待したい。

炭素繊維全般に、耐衝撃性に劣るということがいえる。ゴルフクラブヘッドのネック部に設けた穴にシャフトを挿入、接着するが、ボールをミスショットした場合、ネック端部に応力集中があり炭素繊維が圧縮応力を受けて、シャフトが破断しやすい。炭素繊維の圧縮強度自体の改良を図るか、それが不可能であれば、シリコンカーバイド繊維など耐衝撃性の優れた繊維とのハイブリッド UD プリプレグを作ってはどうか考えるが効果は期待できないであろうか。

B. ヘッド

a. ウッドヘッド

ウッドヘッドは従来のパーシモン、イタヤカエデ、ブッシュなどの木材の他に、下記のものがある。

(1) ステンレス鋼・銅合金

ロストワックス精密鋳造法で作った本体とソール部分を溶接で一体化する。ヘッドの慣性モーメントが大きく打球の方向性はよいが、体積は小さく安心感に欠ける。カン高い金属的な打球音を緩和するため、内部に発泡体を注入する。

(2) アルミニウム合金

成形方法は種々あり、ダイカスト法では製造コストを合理化できる。比強度の点ではステンレス鋼に劣るが肉厚分布や構造を配慮すればステンレス鋼のヘッドより体積を大きくできる。

(3) マグネシウム合金

1988年1月米国市場に出現したもので、パーシモンヘッドの体積の 15% も大きいもので、安心感が得られ、慣性モーメントも大きい。しかし鋳造コストが高く、また、防食方法に配慮が必要である。

(4) 純チタン・チタン合金

比強度に優れ、大きなヘッドができるが、鋳造がむずかしく、プレス鍛造で作った部品を溶接したもののみ市場に出ている。溶接による形状のばらつき、材料と製造のコストなどの問題点がある。

(5) CFRP

CFRP ウッドヘッドは 1982 年、筆者らが初めて市場に送り出したものである。主材料は炭素繊維の長繊維と熱硬化性エポキシ樹脂で金型にソール部と心材の発泡体とともにセットし加熱プレス成形する方法である (図 1)。パーシモンヘッドと同等の体積ではるかに大きな慣性モーメントとよい打球感が得られた。

その後、成形方法も改良されてコストダウンが図られている。

ここ数年は、熱可塑性樹脂に炭素繊維の短繊維を混入した射出成形のヘッドも市場に多く出現している。熱可塑性樹脂としては、接着剤・塗料の接着性とコストの点から ABS 樹脂が多用されている。

(6) シリコンカーバイド粒子強化アルミ合金

筆者らとニューセラミックスメーカーが共同で開発したもので、1988 年の米国での国際 SAMPE (先端材料

図 1 CFRP ウッドヘッドの断面

図2 CFRP-ニューセラミックス複合アイアンヘッドの断面

技術協会)に展示した注目を集めた。特殊な方法でアルミ合金溶湯中にセラミックス粒子を均一に分散させ高压鋳造するものである。素材の強度が大きく、パーシモンヘッドと同等の大きさでもハードヒッターに対応できる。パーシモンヘッドの安定感・打ちやすさ・打球感と、メタルヘッドの方向性を備えている。

b. アイアンヘッド

(1) 低炭素鋼

プレス鍛造で作り、研磨加工後、鍍金を施す。重量配分の設計が限られ、慣性モーメントが小さく上級者向となる。

(2) ステンレス鋼・銅合金

ロストワックス精密鋳造法で作るため、重量配分の設計が容易で、慣性モーメントを大きくでき、かつ低重心にもでき、扱いやすいヘッドとなる。

(3) CFRP

ロストワックス精密鋳造法で作った芯体と CFRP を複合した形のもので、筆者らが開発したものを図2に示す。特徴は下記のとおりである。

① ジルコニアのプレートが、衝撃を支え、反発性を高める。

② 炭化ケイ素の FRP がフェイスの摩耗を減少する。

③ 銅合金のソール部がいわゆる低重心化を実現し、ボールが上がり、バックスピン数が抑えられるため飛距離が増大する。

(4) 純チタン

プレス鍛造ヘッドが市場に出ている。非常に大きなヘッドとなっており、方向性が良い。成形・研磨加工に難点がある。

(5) FRM

全体がシリコンカーバイドウィスカー強化アルミニウ

ム合金で作られた非常に大きなヘッドが市場に出ている。ウィスカー自体と成形コストが高く高価な商品となっている。

ヘッドに要求される特性は次のようなものである。

- 1) 強度—打球により変形や破損が生じないこと。
- 2) 重量配分—慣性モーメントが大きく、低重心であること。
- 3) 耐摩耗性—フェイス部・ソール部が損傷しにくいこと。
- 4) 大きさ—あまり小さくないこと。
- 5) 打球感—とくに打球音に違和感がないこと。

ヘッドの素材としては、重量配分の設計が容易となるよう、比強度、比弾性の大きいものが望ましいが成形時の品質のばらつき、他の部品との接着性、表面処理被膜との密着性に問題のないことも必要条件として挙げられる。

ただ、ヘッドはシャフトと異なり、素材としては比強度、比弾性が大きいことの他に、比重が小さいことが望ましい。それはとくにウッドヘッドにおいて比重の大きい素材では重量の点から肉厚を小さくせざるをえず、断面二次モーメントが不足し、打球時にフェイスが変形したり割れたりということが生じるからである。また、重量配分を自由に設計するということもむずかしくなる。アラミド繊維などもマトリクスレジンとの濡れ性が改良されれば、比重が小さいため、もっと使用範囲を拡大するものと考えられる。その他低比重のウィスカーをアルミニウム合金に均一分散させ、ダイカストで連続生産できる FRM 材料を期待される。

また、マトリクスとしては、熱硬化性エポキシ樹脂では、耐衝撃性が劣り、また、成形時間の短縮という点からも、熱可塑性樹脂に期待したい。あわせて、強度、弾性率の向上の点から、できるだけ繊維長の長いまま (10 mm 以上) 成形できる素材と成形方法の検討をお願いしたい。

4. おわりに

ゴルフクラブの開発は複合材料の進化に負うところが大きい。本稿では、現状の問題点や期待を率直に述べた。すぐには実現不可能なことばかりであろうが、複合材料への期待がいかに大きいかをお汲み取りいただくようお願いしたい。