解 説

複 合 材 料 研 究 と 感 性—VI.

——スポーツ材料と感性：スキー板の開発とその評価方法——

田 中 浩*

1. は じ め に

多くの複合材料は主に構造材として使われており、そこにどのような材料をもってくるかは、有限要素法などの材料力学的なアプローチによって定められる。

これは、複合材料以外の他の多くの工業用材料のように、「数字によって評価され、ある数字をクリアすれば採用が決まる」という評価検討～採用のプロセスと同じである。

フィラメントワインディング成形品やプレス成形品、そしてオートクレープ成形品など、そのほとんどが、材料力学的に評価検討された複合材料である。

ところが、スキー板の場合、そこに使われている材料のほとんどが、「材料力学的に評価検討され、採用された」というよりも、「滑走によるフィーリング評価によって評価検討され、採用された」ものである。

たとえば、構造材に用いられている GFRP (Glass Fiber Reinforced Plastics) シートとスキー板に用いられている GFRP シートが、全く同じグラスロービングで全く同じエポキシ樹脂による一方向材だとしても、それは違うプロセスを経て製品化されたものと考えてよい。

本報では、「スキー板に用いる材料をいかにして決めるのか」という「プロセス」の部分について述べる。

2. スキー板の構造と構成材料

2.1 スキー板の構造

代表的なスキー板の構造は、図1に示すようにサンドイッチ構造とボックス構造の二つである。最近ではモノコック構造（張殻外皮構造）と呼ばれるスキー板も出ている。モノコック構造のスキー板とボックス構造のスキ

ーキー板では製法は全く違うものの、材料力学的に見るとモノコック構造はボックス構造の変形タイプと考えてよいと思われる。

サンドイッチ構造とボックス構造については、国際規格 ISO6289 で、「そのスキー板の主たる荷重支持層 (load carrying layer) が、サンドイッチ状であるか、ボックス状であるか」によって分類をしている。

ここで言う荷重支持層とは、メタル層（たとえばジュラルミン）や FRP (Fiber Reinforced Plastics) 層を指す。

2.2 スキー板の構成材料

スキー板の構成材料は、各スキーメーカーでそれぞれ違いが、おおむね図1に示すような材料を用いている。スキー板は、熱可塑性樹脂、FRP そして金属材料と異種材料の集合体である。

また、スキー板は、図2に示すように、長さ方向に對する幅が、後端：広い～中央：狭い～先端：広いというように変化する。これをサイドカット（サイドカーブ）と言う。また、厚さについては、後端：薄い～中央：厚い～先端：薄いというように変化する。これを便宜上厚さ分布と呼ぶことにする。サイドカットは、スキーイングの際、希望する回転半径を得るため、また、厚さ分布はスキーヤーの位置する中央部の剛性が最も高くなるように配慮されたものである。

スキー板の設計は、長さに対して幅と厚さに変化する変断面の解析によって行われている。

3. スキー板の物性による評価

スキー板の物性の評価方法は、日本工業規格 JIS S 7019 に規定されている。この他、曲げ剛性分布による評価、ねじり剛性分布による評価、そして振動のモード解析など、その評価方法は各スキーメーカーで各様である。一例として、曲げ剛性分布グラフを図3に示す。

どのような評価をするかについては、スキーメーカー

* Hiroshi TANAKA: (株)有沢製作所第二製造部製造技術グループスキー板用材料担当 (943 新潟県上越市中田原 1)

(財)全日本スキー連盟公認 正指導員

No.	部 位	材 質
①	表 面 材	ABS (アクリロニトリル-ブタジエン-スチレン)
②	トップエッジ	ジュラルミン (アルミ)
③	サイドウォール	ABS (アクリロニトリル-ブタジエン-スチレン)
④	荷重支持層	ジュラルミン (アルミ) または FRP
⑤	芯 材	木材 (集成材、積層材) またはウレタンフォーム
⑥	ボトムエッジ	炭素鋼 (スチール)
⑦	滑走面材	高分子ポリエチレン

図 1 スキー板の構造と構成材料

ごとの違いはあるものの、おおむね図 4 に示すような特性要因でスキー板を評価解析する。

ここまでの話からすると、「スキー板の設計は有限要素法を使えばできるのではないか」と考えられる。そこで、当社では、通産省工業技術院と「官民連帯共同研究」

制度により有限要素法解析を試みた。図 5 は、その時の解析シミュレーションである。図 5-(a) は、スキー板構成材料の積層状態を表している。図 5-(b) は、各構成材料のワイヤーフレーム図である。

4. スキー板の感性による評価

スキー板の「感性」というのは、実際にスキーをした際の滑走フィーリングを指す。

スキー板の感性による評価方法については、ISO や JIS には規定されていない。その評価方法は、物性による評価以上に各スキーマーカーで各様である。

たとえば、当社においては、図 6 に示すような各テスターに対する Q&A 形式と、そのスキー板の第一印象についてコメントを問う記述形式によって評価を行っている。

Q&A としては、

- ・切れるスキーか、ずれるスキーか。(ねじり特性)
- ・エッジホールド感はターン弧のどの部分で得られるのか。(曲げ剛性分布)
- ・ターン最中ばたつきはないか。(振動特性)

というように、スキー板の設計意図に対してテスターの滑走フィーリングを探り出すような質問を用意する。

そして、第一印象というのは、先の Q&A とは全く別に、テスター自身の感性を尊重し、そのスキー板について特に強く感じられた滑走フィーリングをコメントしてもらう。

図 2 スキー板の形状

図 3 曲げ剛性分布

図 4 スキー板の物性的な評価

ここで言うテスターとは、財団法人全日本スキー連盟の正指導員や(元)国体選手で、非常に感性の高いスキーヤーである。筆者もこのテスターのひとりで自分で設計試作したスキー板やスキーマーカーと共同で開発を進めたスキー板について滑走テストをしている。

滑走テストの最中は、先入観を避けるためにテスター相互の情報交換は全くしない。コメントは、滑走テストが終わってからいっせいに出し合う。ところが、不思議と同じスキー板については、同じようなコメントが集まる。たとえば、あるスキー板については、「滑走中のばたつきが極めて少ない」、「高速道路でベンツに乗っているような静かな感じ」というように、振動についての共通のコメントが得られる。ここで得られる共通なコメントというのは、そのスキー板についてのひとつの「解」

図 5 有限要素法による解析

と言ってよいと考えられる。

スキーマーカーが威信をかけるモデルの場合、滑走テストだけでも2シーズン以上を費やす。滑走テストの時間的な隔たり、テスターの隔たりを超えて得られる共通なコメントこそが、そのスキー板の「解」に相当すると

図6 滑走によるフィーリングテスト

考えられる。そして、スキーマーメーカーは、多くのスキー板と同じような「一般解」ではなく、差別化された「特殊解」を求めている。

5. 物性による評価と感性による評価の違い

上級者をターゲットに絞ったスキー板の場合、「スキーイング時に切れ感がある」、「ターン最中、長い時間にわたってエッジホールド感を得られる」といったコメントを得られるスキー板が良いとされる。

ある時、何回かの滑走テストの結果をまとめてみたところ、良い評価が得られるスキー板は、概して、「曲げに対して柔らかくて、ねじれに強い（ねじり剛性が高い）」という物性的な傾向が得られた。

そこで、「曲げ剛性は〇〇、ねじり剛性は□□」という目標値を設定し、有限要素法やその他の力学的手法を用いて、テスターから良いコメントが得られるであろうと思われるスキー板を作ってみた。

しかし、結果的にはそのスキー板はテスターから不評で、実際に自分で滑ってみてもとても良いとは言えないものであった。「市販不可」の烙印を自分で設計したスキー板に付ける結果となった。同じテストの際、この力学的手法を駆使したスキー板に対する比較スキー板として適当に設計したスキー板を用意した。実は、この時の

テストでは、この適当に設計したスキー板が最も評価が高かった。「市販の可能性は高い」という評価結果で、それは自分も他のテスターと同意見であった。

この時の検討の流れの中には、

- ・テスターの滑走フィーリングのとらえ方の問題（情報を発するテスター側と情報を受ける設計者側の感覚のずれや情報の伝わり方のずれ）
- ・目標値のファクターの選択の問題
- ・目標値そのものについての問題

というようにいくつかの問題があろうかとは思ふ。しかし、1シーズンに何回もの滑走テストを重ねると、これらの問題は少しずつ解決されてくる。

たとえば、テスターと設計者の情報についてのずれは、滑走テストやディスカッションを重ねれば徐々に埋まってくる。

また、目標値について言えば、人間が感じている滑走性というのは曲げ特性なのか、ねじり特性なのか、あるいはスキー板全体の剛性（積分値的なもの）なのか、分布なのかによって設計要素が大きく変わってくる。しかし、これも、違った設計要素のスキー板を作り、滑走テストを繰り返せば、滑走フィーリングと設計の目標値との関係がある程度明らかになってくる。

ところが、実際には先に上げたようないくつかの問題を解決した上で、設計の目標値通りのスキー板を作ったとしても、それが、「こういうコメントを得られるであろう」というスキー板にはなっていないことが多い。これが、特性による評価と感性による評価の「違い」である。この「違い」は、理論とフィーリングの「差」とも言える。

6. スキー板の開発とは？

製品化のプロセスのひとつの考え方として、「分析-総合-評価」というステップがある。それぞれのステップにおいて、「どんな分析のし方をするか」、「どのようなアクションをもって総合とするか」また、「それは、どんな指標によって評価されるのか、そしてその判断基準は何か」については、それが、構造材料か、電気絶縁材料かといったその材料のジャンルによって違ってくる。また、別な見方をすれば、それが、フィラメントワインディングによるパイプか、ガラス/エポキシによる積層板かといったその材料のITEM（品種）によっても変わってくる。しかし、そこに一貫しているのは「数字」である。

ところが、スキー板用材料の場合、その「分析-総

合-評価」というプロセスの中に「数字」の部分と「感性」の部分の二つがある。「感性」の部分というのは、ファジカルで、エンジニアにとっては非常にやっかいなしろものである。「分析-総合-評価」というプロセスが、「数字」だけで進むほうが製品化を進めやすい。そのためには、滑走フィーリングの数値化を行う必要がある。スキーイングの運動の場面ごとに「フィーリングの数値化」を行うのである。

普通の工学的な考え方であれば、「フィーリングの数値化」によって得られた数値（物性の目標値）を目指して、有限要素法などの材料力学的な考え方で解析、設計をすることになる。しかし、この「フィーリングの数値化」という作業は非常に膨大な時間がかかる。

「フィーリングの数値化」にあたっては、ゲレンデの状況の変化（かつては、ゲレンデにコブが多かったが、最近は翌朝にはきれいに整備されたゲレンデで滑ることができる）や、スキーイングのテクニックの変化（かつては、ひねり～ずらしの要素によりターンを行っていたが、最近はスキーの滑走性を損なわないようズレの少ないターン運動を行う）といったことにも対処していかなければならない。スキーをする際の外部的な環境（たとえば、ゲレンデ状態、雪質）や内部的な環境（たとえば、スキーイングの運動要領）について、全てを勘案した「フィーリングの数値化」を行わなければならない。それぞれの環境は、ある1シーズンの中でもその時々で違って、かつ、年々変化しているのである。

言い換えると、その時に得た非常にフィット性の良い「フィーリングの数値化」のケーススタディは、永遠ではないということである。個人的な見解であるが、現在のスキー環境から察すると、ある時に得られたケーススタディは、2年程度しか適用されないのではないだろうか。となると、膨大な時間をかけて「フィーリングの数値化」を進めるより、「フィーリングの数値化」をある程度でとどめておいて、最終的なつめは、滑走テストによる方がベターであると考えられる。

ここで述べたように、「スキー板の開発とは、目標とする滑走フィーリング（感性の目標値）を目指して、滑走テストによってそのズレを埋めていく」というアクシ

ョンがとられる。このズレを埋めていくために、「こういうスキー板が向くはずだ」、「そのためには、△△のサイドカットにして、○○材料と□□材料の組合せが必要だ」というような設計の要素は、設計者の考えに委ねられる。ある意味ではトライアル&エラー的な要素が大きい。スキー板の場合、最終的な材料の決定は、滑走テスト（感性による評価）によってなされる。

しかし、そこには、それまでに得られたケーススタディが反映されているのである。そのケーススタディが、いかに豊富で多彩か、目標とする滑走フィーリングをどこまで「特殊解」とできるかということが、製品化のスピードや差別化の訴求力のキーになるのである。

7. む す び

「感性や感覚というのは、個人差があるのだから、滑走テストによってスキー板の開発を進めることは、そのテスターに向くスキー板を作ることになる。感性や感覚は、ある人の特例にすぎない」、「フィーリングの数値化によって、有限要素法解析といった高度な解析手法を使うことによって、必ず、『解』が得られるはずだ。『解』が得られないのはフィーリングの数値化が不十分なせいだ」というように考えていた。おそらく多くの人がそう考えると思う。しかし、自分で設計したスキー板がテスターから不評で、それが、実際に自分で滑ってみても評価が低いということが、何回も何回も繰り返されていくと、「必ず、『解』が得られるはずだ」という考えは徐々に薄らいでくる。自分もエンジニアの端くれなので、「解」が得られないというのは、結構屈辱的なものがある。しかし、こういったことが繰り返されていくと、「感性<工学的手法」という自分の中での位置付けが、「感性>工学的手法」に変わっていつてしまう。多くのスキーメーカーが滑走テストを重視しているのは、おそらく、こういった轍を踏んだ結果なのであろう。今では、人間の感性のほうが、物性よりもシビアに優位差をつけられるのではないかと思う。このような経緯を経て、現在は、スキー板の材料の開発を感性重視、感覚最優先で進めている。おそらく、スキー板用材料については、これから先も変わらない考え方だと思う。