スポーツシューズの要求機能と使用素材

Requirement Properties and Materials Used in Sport Shoes

西 脇 剛 史

1. はじめに

近年、少子高齢化が叫ばれる中、スポーツを楽しむ人口は増加の傾向にある。特に、世界的にも数多くのマラソン大会が開催されつつあるように、ランニングの愛好者数は顕著な伸びを示している。ランニングはもとより、様々なスポーツシーンに欠くことのできないスポーツシューズの果たすべき役割を再考してみると、競技者のスキルにも依存するが、概して以下の3点が挙げられる。

1. 使用者を怪我から守ること
2. 使用者の能力を最大限に引き出すこと
3. 使用者の使用環境を良好に保つこと

これらの役割を実現するために、スポーツシューズには様々な機能が付与されており、とりわけ、繊維が重要な役割を担っている。

本報では、一般的なスポーツシューズの構造と要求機能を概説した後、要求機能を発現させるべく行われている繊維部材の設計について述べると共に、スポーツシューズ独自の繊維部材の評価手法についてまとめる。

2. スポーツシューズの構造

用途や使用者のスキルに合わせて、スポーツシューズの構造は大きく変化するが、一般的なスポーツシューズとして、ランニングシューズの構造を図1に示す。シューズはアッパーと呼ばれる甲被部とソールと呼ばれる部位に大別される。さらに、ソールはミッドソールとアウターソールに分けることができる。このため、実際に路面と接触するのはアウターソールである。ミッドソールも様々な部材を含む場合が多い。ソールのねじれ変形を制御するために、中足部にはシャンクと呼ばれる樹脂プレートが挿入されており、踵部や前足部には走行接地時、蹴りだし時にそれぞれ発生する地面反力を緩和すべく、ゲルなどの減衰能に優れた異材が挿入されることもある。ミッドソール本体は樹

図1 スポーツシューズの部位名称

脂(主としてEVA、Ethylene vinyl-acetate)フォームで、アウターソールはラバー(主として、BNR、Butadiene と Natural rubber のブレンド)やラバーフォームが用いられることが多い。

アッパーはヒールカウンター、爪先補強、ハトメ飾り、ハトメ、シューレースなどから構成されており、繊維材が最も多く使用されている部位でもある。ヒールカウンターとは踵部の保形性を目的にアッパー内部に挿入された樹脂部材である。爪先補強やハトメ飾りは主に人工皮革が用いられている。また、シューレースも重要な繊維部材である。

図2はシューズを構成するパーツをまとめたものである。一つ一つの詳細な解説は割愛するが、後述する機能性発現、製靴過程の短縮など様々な観点から、ほぼ最適化されたパーツ構成となっている。スポーツシューズの種類によって変化はあるものの、およそ50から100ものパーツで構成されている。

3. スポーツシューズの要求機能

既述のスポーツシューズが果たすべき役割を基に、要求機能は8項目に分類できると著者は考えている。表1に機能性と具体的な内容、さらには設計対象となる部位をまとめる。屈曲性とは前足部を接地させた状態で、踵部を上昇させた際に求められる機能であり、如何に足の屈曲状態に追従できるかが、使用者の能力を最大限に引き出す上で重要となる。スポーツシューズ購入時に、前足部の曲げ剛性を気にする方が多いが、剛性の大小は別の意味を持つ。前足部ソール曲げ剛性を増大させたシューズほど走行、歩行では疲労が少ないことが明らかとなっている¹⁾。安定性とは様々なシーンで生じる足部、脚部関節の過度な変形を抑

TSUYOSHI NISHIWAKI
(株)アシックス スポーツ工学研究所
機能研究部 部長 工学(京都工芸繊維大学)
〒651-2271 神戸市西区高塚台6-2-1
Tel: 078-992-0820 Fax: 078-992-0819
E-mail: nishiwaki-ts@asics.co.jp
〈専門〉不均質系構造物の数値解析、複合材料設計、動的特性評価技術の開発
〈趣味〉魚釣り、読書

図2 スポーツシューズの構成パーツ例

制することである。関節の過度な変形は、スポーツ障害の要因となる。これらの変形はソールの中足部でのねじれ変形を伴う場合が多いため、中足部のねじれ剛性を図1中のシャंकと呼ばれる樹脂部材を挿入することで向上させることが効果的である²⁾。6分/kmの走行を例に取れば、個人差はあるものの、踵部接地時において、体重の2.5-3倍の、蹴りだし時においては体重の3-4倍もの地面反力が発生する。これら大きな地面反力を繰り返し受けることも様々障害の要因となるため、これら地面反力の緩和も重要な機能といえる。反力緩和は運動エネルギーをミッドソールのひずみエネルギーに変換し、この変形の過程においてなされるため、変形しやすいソール構造が衝撃緩衝性には有効である。25℃ 雰囲気下1時間のランニングにおいて片足で15ccの発汗があると一般的に言われており、その結果、靴内温度も40℃を超え、湿度も100%に到達する。高温多湿はマメの発生要因とも言われており、これらを制御する通気性も重要な要求機能といえる。シューズの総重量を軽減させることは使用者の疲労を軽減させるだけでなく、使用材料を減らすことにより環境負荷をも低減させる。耐久性を向上させることも、使用者の経済的負担のみならず環境負荷をも低減させることができるため、重要な機能といえる。使用者のスキルを問わず、全てのスポーツシーンにおいて重要となるのが、グリップ性とフィット性である。前者は転倒などによる怪我を予防し、後者は快適な環境を保つだけでなく、能力の最大化のためにも不可欠な機能といえる。

4. 要求機能発現のための設計

表1に示したように、繊維、若しくは繊維構造体が主な設計対象となる機能は、通気性、軽量性、フィット性である。本章では、各機能発現のための構造・材料についてまとめてみたい。

4.1 通気性

靴内温湿度を制御するためには外気と靴内で空気の循環

表1 スポーツシューズの要求機能と設計対象部位

機能性	求められる機能	主な設計対象部位
屈曲性	蹴りだし時（踵上昇時）の足沿いのよさ	ソール前足部
安定性	接地中の足部、脚部関節の過度な動きを抑制	ミッドソール中足部
衝撃緩衝性	接地開始時の地面反力の緩和	ミッドソール踵部
通気性	シューズ内の温湿度を制御	アッパー
軽量性	シューズ重量軽減	ソール+アッパー
耐久性	シューズの使用可能期間の増大	ソール+アッパー
グリップ性	路面環境を問わず、スリップによる怪我の抑制	アウトソール
フィット性	はき心地の向上	アッパー

を起こす必要がある。このためアッパーには、通気性が高く、必要とされる強度や剛性も有するポリエステル繊維を用いたラッセル編みやダブルラッセル編み構造などが一般的に使用されている。編み構造による通気性の向上だけでなく、単繊維断面を十字型あるいは扁平型にする³⁾ことで繊維間の空隙を大きくさせ、軽量化のみならず毛細管現象を利用することで高い吸汗・速乾性を実現している。さらに、酸化チタンなどのセラミックス粉末をポリエステルに混合し、繊維に加工することにより、紫外線を防止し、シューズ内の温度上昇をより効率的に制御する試みも見られる。アッパーのみならず、多層構造であるソールに孔や空気の流入経路を設けるベンチレーションシステムも効果を発揮している。

4.2 軽量性

既述したように、アッパーに使用される繊維の断面を変化させ空隙を大きくすることでシューズ重量を低減させる試み以外に、アウトソールにも繊維材を適用することで重量軽減が計られている。図3はラバー性アウトソールの重量を軽減させることを目的に開発された新規アウトソールである。ポリエステル不織布をベースとしラバーやポリウレタンチップを離散的に接着することで、グリップ性を維持しつつ軽量化を実現したソールである。前足部の曲げ剛性は、ソール材料の弾性率とソール厚に依存することは周知の事実である。特に厚みは圧縮変形を無視すれば厚さの3乗に比例することから、曲げ剛性の低減はアウ

図3 不織布を用いたアウターソール

ターソールに屈曲溝を入れることで制御せざるを得なかった。しかしながら本構造をアウターソールに適用することで、曲げ剛性の制御をより簡便に行えるという効果も得られている

4.3 フィット性

フィット性に影響を及ぼす因子として、ラストと呼ばれる製靴時に用いられる足型の形状、使用されるアッパーの剛性分布が挙げられる。図4は足長が同一で足幅や周囲長を変化させることで、より多くの方々のフィット性を改善すべく開発されたラストの一例である。図5は、図1に示したシューズのアッパーの展開図である。裁断された繊維材や人工皮革を縫製することで、大パーツを作成し、それらを特定の箇所(図中破線部など)で縫製することにより、二次元パーツから三次元的なアッパーを形成する。この形成過程において、パーツには複雑な応力場が生じるため、

図4 製靴時に使用されるラストと形状例

図5 スポーツシューズアッパーの展開図
(破線は縫製ラインを示す)

材料選択を間違えた場合、足に沿った三次元アッパーが形成できなくなる。一方、完成の仕上がりにだけ着目した場合、シューズとしてのフィット性⁴⁾が発現し難くなる場合も多い。両者を満足させる繊維材料の選択、新規材料の開発が求められ続けている。

一方、シューレースがフィット性に果たすべき役割も無視できない。シューレースを結ぶことによりアッパーに張力が生じ、フィット性を調整することができる。厳密に言えば、使用者の足形状は千差万別であるため、ラストの形状に変化をもたせるだけでは、全ての使用者に適したアッパーは実現しない。このため、シューレースの張力を各自に調節することで、アッパーに発生する応力場を調整し、足とアッパーの空隙を制御することが可能となる⁵⁾。また、記録を競う競技では、競技中のシューレースの解けはあってはならない。このため、結節の解け難さもシューレースにとって重要な機能といえる。これを受け、図6に示したように、様々な組み構造、断面形状を有するシューレースが開発され、競技種目に合わせて採用されている。一例を挙げれば、競技中のシューレースの調整が難しく、結節の引き解けを避けねばならないマラソンシューズでは平型の断面を有するシューレースが採用されている。

図6 様々なシューレース

5. 繊維材料に関する評価

繊維材料が受け持つ主要機能の設計概要を紹介したが、最後にその他のシューズアッパー用繊維製品に関する多くの評価法の中から、堅牢度試験と強度試験について簡単にまとめる。

5.1 堅牢度試験

堅牢度試験は、染色、洗濯、耐候など様々な分野で行われている。染色堅牢度試験とは、一般に言われる靴下などへの「色移り」を評価するための手法である。人工汗液に浸漬されたアッパー材料を、綿、ナイロン、ポリエステルなどの白布と硬質樹脂板の間に積層し(図7(a))、60℃の乾燥機中に一定時間放置した後取り出し、白布の汚染程度を調査することによって、堅牢度を評価するものである。さらに、洗濯時の色移りや色あせを測定する洗濯法や、日光による色変化を測定するキセノン燈光を用いた耐候試験(図7(b))などもアッパー材料の選択時や試作シューズの評価時には常時行われている。

5.2 各種強度試験

シューズに使用される繊維製品には、実使用環境下にお

(a) 染色堅牢度試験サンプル

(b) 耐光堅牢度試験機

図7 堅牢度試験

(a) 滑脱抵抗試験

(b) ミューレン型破裂試験

図8 強度試験

いて様々な応力が加わる。このため、通常の引張り強度測定に加え、カットストリップ法と呼ばれる引裂試験、縫目の強度を測定する滑脱抵抗試験(図8(a))、つま先などの局所的な面圧に対応した破裂試験(図8(b))、ソールなどとの異材との接着強度を測定する接着はく離試験などが行われており、耐久性の向上が図られている。

6. おわりに

シューズにおいて繊維や繊維製品が果たしている役割と、要求特性、さらには繊維製品の評価方法について簡単に紹介した。図9は50年前に発売されたマラソンシューズである。つま先に通気口があげられており、通気性の向上に工夫が見られるものの、アッパー全体が均一な繊維材料で構成されていることがわかる。図1と比較して明らかに、繊維の進化がシューズを進化させるといっても過言

ではなく、コストと性能のバランスに優れた繊維の開発、並びにそれを支える製造技術のさらなる革新が望まれる。シューズの実設計の場に身を置く者の立場としては、繊維製品の数値解析に必要なモデル化手法の確立が急務であると感じている。繊維製品は、異方性、非線形性に加え、引張り剛性は有するものの圧縮剛性は0に等しく、曲げ応力を伝達させないといった特殊な特徴を有している。これらを考慮する数値解析手法を確立することで、ソールとアッパーを統合化した数値モデルによるシューズ全体のシミュレーションが可能となり、履き心地と機能性を両立させるシューズがより短期間に、低コストで実現できると考える。従来のような繊維構造を等価な剛性を有する均質要素に置き換えるのではなく、繊維の構造、織りの構造を直接考慮するモデル化がなされ、その結果、様々な特性を有するシューズを提供することで、スキルを問わず、全てのスポーツを楽しむ方々の一助になれば、これに勝る喜びはない。

参考文献

- 1) Nishiwaki, T., Sports Technology, 1, 1, pp. 76-82 (2008).
- 2) 西脇、磯部、中部、スポーツ工学シンポジウム講演予稿集、pp.29-32(2004).
- 3) (株)クラレホームページ、<http://www.kuraray.co.jp/e-next/html/comfort>
- 4) 西脇、繊維学会誌、pp. 178-183(2008).
- 5) 花田、西脇、繊維製品消費科学、45, 10, pp. 41-47 (2004).

図9 50年前に発売されたマラソンシューズ