原著論文

ソール曲率分布に基づいたランニングシューズ屈曲性評価手法†

村上 治* 磯部 真志* 西脇 剛史*

An Evaluation Method of Flexibility for Running Shoes
based on Sole Curvature Distribution

Osamu MURAKAMI*, Masashi ISOBE* and Tsuyoshi NISHIWAKI*

Abstract

Flexibility is one of the important properties of running shoes. This function has been evaluated by the bending stiffness of the shoe sole. However, this evaluation method seems to be insufficient because it cannot consider the deformation behaviors of the human foot and the shoe sole. The human foot can flex at the metatarsophalangeal joint only. This indicates that deformation of shoe sole must be considered. In this study, a new evaluation method for the flexibility of running shoes based on shoe sole deformation is proposed. In this method, curvature distributions of the plantar surface and shoe soles were measured at heel 100 mm up. The proposed flexibility is evaluated from the comparison. The influences of groove position and depth upon the sole curvature distribution were measured by both the experiment and the finite element method. Then, based on the analytical results, several shoes were made and these were evaluated by sensory evaluation test. From these results, it is suggested that matching the maximum flexion point of the shoe sole with that of plantar surface is important.

Key words : Shoe Sole, Sole Flexion, Sole Curvature Distribution, Plantar Surface, Finite Element Method

1. 緒 言

今日、健康指向、余暇時間の増大にともない、ジョギングは誰でも気軽に楽しめるスポーツとして人々の日常生活に定着し、その愛好者数は飛躍的に増大しつつある。そのためランニングシューズの研究開発において、衝撃緩衝性、安定性等、従来より関心が持たれてきた諸機能に加え、屈曲性もシューズの履き心地に影響を与

える機能として注目されるようになった。

従来、シューズ屈曲性は「曲がりやすさ」という言葉に示されるように、ソール曲げ剛性で評価されてきた¹⁾。高い曲げ剛性は、ランニング中における足部への負担の増大を引き起こすと言われている²⁾。一方、屈曲性を検討する際に足とソールの変形状態を考慮することも重要であると考えられる³⁾。従来の評価基準ではよいとされる曲げ剛性の低いシューズにおいても、足の

†原稿受付 1998年3月3日

1997年10月 スポーツ工学シンポジウム1997にて発表

*株式会社アシックススポーツ工学研究所

〒651-2271 兵庫県神戸市西区高塚台 6-2-1

*ASICS Corporation, 6-2-1, Takatsukadai, Nishi-ku, Kobe, Hyogo, Japan (651-2271)

屈曲に適合した変形を行わない場合、ランナーにとって快適なシューズとは言い難い。換言すれば、従来の「曲りやすさ」による評価から「曲がりかた」による評価手法へと転換することにより、ランナーにとってより快適なランニングシューズの開発が可能になると予測できる。しかしながら、従来の研究ではソールの変形状態に関する考察はなされていない。

本研究は、ランニングシューズ屈曲性に関し、足およびソールの変形状態に着目した新たな屈曲性評価手法の提案を目的とする。足裏面およびソールの変形を曲率分布として表現することにより、両者の関係について議論した。また、有限要素法によりソール底面の溝位置および深さが、ソール屈曲変形に与える影響に関して検討した。さらに、官能検査を行い、溝深さおよび位置の違いが、人間が感じるシューズ屈曲性に与える影響を考察した。

2. 曲率分布測定

2.1 足裏面曲率分布測定

足長254 mmの被験者1名に対し、踵端部100 mm上昇時における足部外郭形状を採取し、Fig.1に示すような樹脂モデルを作製した。本被験者の足長および、踵部後端から足の長軸に沿って測定した第1ならびに第5中足骨骨頭までの距離はそれぞれ254 mm, 184 mm, 166 mmであり、日本

Fig.1 Photograph of a foot model used in curvature measurement

人成年男子の平均足形状⁴⁾と同一とみなしうるものである。作製した樹脂モデルの第1趾ならびに第5趾足裏面の形状を、非接触三次元形状測定機により測定し、足の長軸方向に沿って隣接する3点の座標値より曲率を算出した。

2.2 ソール曲率分布測定

測定にはソール底面に複雑な意匠が施されていない、市販のマラソン用シューズ(以後Normalと称す)を使用した。ソール屈曲状態を変化させることを目的として、ソール底面に溝を設けた。溝幅および長さはそれぞれ3 mm, 40 mm一定とし、溝位置ならびに深さを変化させた。シューズは3種類とし、屈曲前の第1および第5中足骨頭位置(以後、それぞれMP#1, MP#5と称す)の直下に深さ7 mmの溝を設けたタイプ(以後Model00-07と称す)、Model00-07の溝深さを10 mmに変更したタイプ(以後Model00-10)、Model00-10の溝位置を後方へ10 mm移動したタイプ(以後Model10-10)を作製した。なお、表記はMP#1およびMP#5からの距離と溝深さを並記することによりモデル名とした。Fig.2にModel00

Fig.2 Schematic illustration of test shoes, Model00-10

-10のソール底面図を示す. 先の被験者にシューズを着用させ, 足の踵端部を100 mm上昇させた状態で, ソール側面に6 mm間隔で配置した格子状のマークをカメラ撮影した. Fig.3にModel00-10使用時の第5趾側におけるソール変形状態を示す. ソール側面の格子点位置をディジタル化し, 隣接する3点の座標値から中央の格子点における曲率を算出した.

Fig.3 Photograph of Model00-10 sole deformation in MP#5 direction, at heel 100 mm up.

2. 3 結果

Fig.4(a)にMP#1近傍, Fig.4(b)にMP#5近傍の足裏面曲率分布を示す. なお, 図中の縦線は, MP#1およびMP#5の位置を示す. 第1趾足裏面ではMP#1の後方に, 第5趾足裏面ではMP#5の前方に曲率ピーク位置がみられた.

Fig.4(c), (d)にそれぞれ第1趾側ならびに第5趾側のソール曲率分布を示す. Normalにおいて, 第1趾側, 第5趾側ともに二つのピークが足裏面の曲率ピークを挟むように現われた. 本測定

で使用したシューズは, 従来の曲げ剛性による評価において屈曲性がよいとされるものである. しかしながら, Fig.4に示されるように, Normalおよび足裏面の曲率ピーク位置はそれぞれ異なっていることが確認された. ソールに溝を設けた場合, 曲率ピークが溝位置へ移動し, さらにModel00-07とModel00-10との比較より曲率ピ

Fig.4 Curvature distributions of plantar surface and shoe sole at heel height of 100mm, obtained from experimental measurement.

(a)1st phalanx ; (b)5th phalanx ; (c)MP#1 side of shoe sole ; (d)MP#5 side of shoe sole

ークの大きさは溝深さに影響を受けることが確認された。

3. 考 察

前節において、屈曲時のソール変形状態を実測により示した。従来のシューズ評価においては、溝位置、深さ等の影響を検討する際に、シューズの試作、実測に頼らざるを得なかった。一方、有限要素法に代表される数値解析手法を用いて、ソール変形状態を予測することが可能となれば、開発サイクルの短縮、コストの低減に有効であると思われる。そこで、有限要素法を用いたソールの屈曲解析を行い、測定結果との比較により解析の妥当性を検証した後に、溝位置および深さが曲率分布に与える影響を検討した。

3. 1 有限要素法を用いたソール曲率評価手法

解析に用いたモデルはFig.5に示すように、測定に用いたシューズのソール部分のみを立体要素によりモデル化したものである。材料物性として、測定に使用したマラソンシューズのミッドソール材料である、SRIS-C硬度67のEVAスポ

ンジの初期弾性率を与えた。一般にソールは製靴工程において、アッパー部との接着により下に凸の変形が発生し、特に前足部には初期曲率が見られる。本研究においては、ソール前足部上面を熱収縮させることにより、製靴時における初期変形を模した。さらに、圧力分布測定装置(F-SCAN, テックスキャン社製)を用い、走行中に踵後端が100 mm上昇した時の足裏とソール間の圧力分布を測定し、Fig.5中に示したソール前足部上面に圧力分布を与えるとともに、ソール底面に踵端部の変位が100 mmとなるような面外荷重を加えた。

本解析モデルを用い、先に述べた測定用シューズModel00-07, Model00-10, およびModel10-10の屈曲解析を行った。Table 1に、第1趾側における各シューズの曲率ピーク位置および曲率ピーク値の解析結果ならびに測定結果を示す。解析結果と測定結果の間に、ピーク位置およびピーク値により対応がみられ、本解析手法は妥当なものであると判断した。

本解析手法を用い、溝位置、深さがソール曲率分布に与える影響に関して検討した。測定と同様に溝位置および深さを变化させた、Model100

Fig.5 Finite element model of shoe sole

(a)Overview of a shoe sole model with loading condition. In this analysis, the pressure distribution and thermal shrinkage are applied on the top surface.

(b)Shoe sole model after deformation

-05, Model00-07, Model06-05, Model06-07, Model20-05, Model20-07の6タイプのモデルを作成し, 解析を行った. Fig.6に解析により得られた第1趾側曲率分布を示す. Fig.6に示される

ように, 曲率ピーク位置は溝位置に依存し, 曲率ピークの値は溝深さに依存することが確認された.

Table 1 Comparison of analytical results and experimental results.

	Max. curvature position			Max. curvature		
	Ana. [mm]	Exp. [mm]	err [%]	Ana. [1/mm]	Exp. [1/mm]	err [%]
Model00-07	88.7	86.7	2.4	1.31×10^{-2}	1.13×10^{-2}	16.0
Model00-10	88.9	89.2	-0.4	1.53×10^{-2}	1.74×10^{-2}	-11.9
Model10-10	99.2	98.5	0.7	1.99×10^{-2}	1.71×10^{-2}	16.6

$$\text{err} = (\text{Ana.} - \text{Exp.}) / \text{Exp.} [\%]$$

Fig.6 Curvature distributions in MP#1 side, obtained from analysis.

(a)Model00-05 ; (b)Model00-07 ; (c)Model00-10 ; (d)Model06-05 ;

(e)Model06-07 ; (f)Model10-10 ; (g)Model20-05 ; (h)Model20-07 ; (i)Model20-10

Vertical line indicates maximum curvature position in plantar surface.

Table 2 List of subjects participated in sensory evaluation test.

Subject	Age	Height [cm]	Weight [kg]	Foot length [mm]	L1 [mm]	L5 [mm]
# 1	31	172	65	254	184	166
# 2	32	172	62	253	181	164
# 3	31	171	110	260	183	170

* L 1 : Length between heel end and first metatarsal head

* L 5 : Length between heel end and fifth metatarsal head

3. 2 官能検査

次に、曲率ピーク位置および曲率ピーク値の違いが、人間の感じる屈曲性に与える影響を検討することを目的として、先に述べた計9タイプのシューズを用いた官能検査を行った。官能検査の方法は一対比較法⁵⁾とし、被験者は健康な成人男子3名とした。Table 2に各被験者の体格、足部サイズを示す。被験者に、与えられた二つのシューズに関し、どちらのソールが屈曲性に優れるか、0点から2点の3段階で比較評価させた。すべての組み合わせに関して比較を行い、得られた結果を分散分析により有意水準5%で評価した。

官能検査の結果、全被験者においてModel10-

10の評価が最も高く、次にModel00-10, Model06-07が同等であり、他のシューズに関しては、その評価に差異がみられなかった。

Fig.7(a)に、一対比較試験によって得られた各シューズの評価値と第1趾側ソール曲率ピーク位置の関係を示す。ソール曲率ピーク位置が、爪先側から足裏面曲率ピーク位置へ移動するにつれて評価値が上昇し、同ピーク位置よりも踵側では評価が低下する傾向がみられた。Fig.7(b)

Fig.7 Sensory evaluation results.

(a) Relationships between ratings obtained from paired comparison test and maximum curvature position of shoe soles. Vertical line shows maximum curvature position in plantar surface.

(b) Relationships between ratings obtained from paired comparison test and maximum curvature in shoe soles.

に、シューズ評価値と第1趾側曲率ピーク値の関係を示す。曲率ピーク値が同等のシューズに対して異なった評価がなされており、両者の関係には一定の傾向がみられなかった。したがって、人間の感覚においては、曲率ピーク位置が、曲率ピーク値よりも感度が高いと考えられる。上記の議論により、シューズ屈曲性を評価する際に、ソール変形状態に関する考慮が必要であることが確認された。

3.3 低硬度材料による曲率分布への影響

既に述べたように、溝位置および深さがソール変形に影響を与えることを示した。本節において、これら以外にソール変形に影響を与える要素として、ソールに異硬度材料を挿入することを試み、異硬度材料の挿入状態がソール変形に与える影響を解析により検討した。

解析においては低硬度材料の使用を想定し、Fig.8に示すように、その挿入位置をソール長軸方向に沿って変化させることにより曲率分布への影響を検討した。低硬度材料の物性値は、先の解析で使用した弾性率の1/5とした。

第1趾側の解析結果をFig.9に示す。低硬度材料の挿入位置が爪先側から踵側へ移動するに

もない、曲率ピーク位置も移動させることが明らかとなった。したがって、低硬度材料の挿入によって屈曲性を向上させるには、その挿入位置を足裏面曲率ピーク位置の近傍に設定する必要があることが明らかとなった。しかしながら、低硬度材料の挿入のみでは、溝を設けた場合と比較してその曲率ピーク値は小さいため、溝加工などを併用する必要があると考えられる。

Fig.8 Schematic illustrations of analytical model of shoe sole. Hatched area indicates soft material.

Fig.9 Influence of insertion position of soft material on curvature distribution in shoe sole. Vertical line indicates maximum curvature position in plantar surface.

4. 結 言

従来、曲げ剛性によって評価されてきたランニングシューズ屈曲性に関し、足とソールの変形状態に着目した評価手法を提案するために、曲率分布測定を行った。その結果、市販のマラソンシューズと足裏面では、その曲率ピーク位置が異なることを示した。さらに、有限要素法によるソール屈曲解析を行い、溝位置および深さが曲率分布に与える影響を検討した。さらに、曲率分布が異なるシューズを用いた官能検査により、足とソールの曲率ピーク位置を適合させることが、シューズ屈曲性を向上させるために重要であることを示した。

参 考 文 献

- 1) 川上篤志, 他: シューズの屈曲性がヒトの身体に及ぼす影響, 第16回バイオメカニズム学術講演会(1995)予稿集, pp.37-40, 1995.
- 2) P.R.Cavanagh: The Running Shoe Book, Anderson World Inc., pp.144-145, 1980.
- 3) 石塚忠雄「新しい靴と足の医学」, 金原出版, pp.117, 1992.
- 4) 日本工業規格 靴のサイズ JIS S 5037-1994, pp.12-13, 1994.
- 5) 日科技連官能検査委員会編「官能検査ハンドブック」, 日科技連, pp.379-385, 1973.