

ランナーが走りやすいと感じる舗装の開発

日本道路（株）技術研究所 池田 茜
日本道路（株）技術研究所 遠藤 桂
日本道路（株）技術研究所 常松 直志

1. はじめに

近年、マラソンは手軽に始められ、年齢を問わずに楽しめるスポーツとして 2007 年の第 1 回東京マラソン開催以降、人気が高まっている。国内の成人が週 1 回以上ランニング・ジョギングを実施する人数が 2006 年は 298 万人であったが 2016 年には 467 万人¹⁾に増加している。

ランナーの練習やマラソン大会の走路は車道用一般道路（以下、ロード用路面）を用いることが多く、近年、ロード用路面の「硬さ」が一因で、障害を発症する人が増加している²⁾。ランニングシューズは障害からランナーの足を保護する役目を担っており、現在はランナーの走る目的に応じた機能を持つシューズが販売されている。これは中長距離走を競技種目とし、より速く走ることを目的としているランナー（以下、中長距離ランナー）のみならず健康づくりのために日常的に楽しく走ることを目的としているランナー（以下、一般ランナー）が増加しているからである。中長距離ランナーはしっかりと路面を捉える「グリップ性」を、一般ランナーは着地時の地面反力を緩衝する「クッション性」を重視する傾向にあり、それに合わせてシューズの機能設計が行われている³⁾。

ランナーが受ける障害は衝撃に関係しているものの、障害を軽減させる目的での舗装に関する研究事例は少ない。黒岩ら⁴⁾は、中長距離ランナーは舗装の違いを感じ取っており、コンクリート舗装は走りやすく、アスファルト舗装は走りやすい、また、陸上競技場など走行専用の

場で用いられているウレタン舗装も走りやすいとアンケート調査より明らかにしている。その一方で土木学会主催の中長距離ランナーを含めたランナーが走りやすい舗装についての討論会では「北海道のアスファルト舗装は硬い」という意見が示され、筆者らも実際のランナーに同じ感想を聞いている。しかし、「走りやすい」や「硬い」は定性的で感性的な評価であり、例えば「グリップ性」がよいのか、「クッション性」がよいのか、など舗装側の定量的要因は明らかになっていない。そこで我々は舗装側からの視点で「グリップ性」や「クッション性」で舗装をランナーの走る目的に合わせて提案ができることを最終目標として研究を行っている。本検討では既往の検討^{5)~7)}では明らかになっていない以下の項目を目的とした。本研究では着地衝撃が小さく、蹴り出しやすい舗装を走りやすい舗装と仮定している。

- (i) 走りやすさを定量的に評価できる舗装の指標と条件を明らかにすること。
- (ii) 提案した舗装の指標と条件を加味してランナーが走りやすいと感じる舗装を開発すること。

2. 走りやすさを定量的に評価できる舗装の指標と条件に関する検討

ランナーが感じる走りやすさを定量的に評価する舗装の指標を明らかにすることを目的とし下記の手順で検討を行った。

- (1) 走行試験場（写真-1）に 4 種類のアスファルト舗装を施工し、舗装の調査と試験を行う。

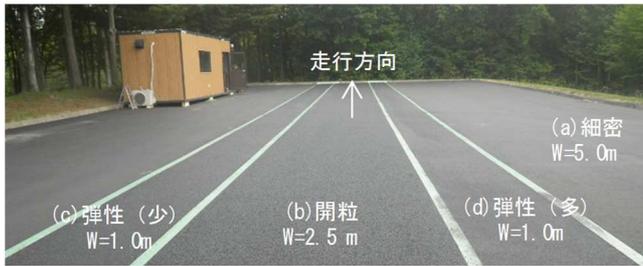


写真-1 走行試験場

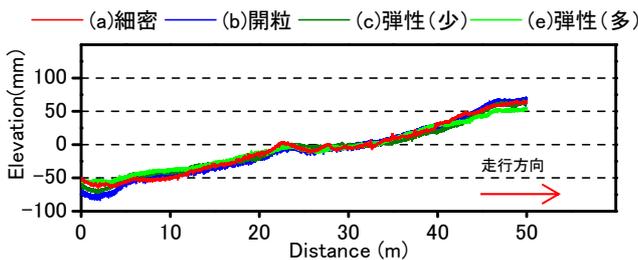


図-1 走行試験場の路面縦断プロファイル

- (2) 中長距離ランナーを対象とした走行試験を実施し、舗装に対するアンケート調査を行う。
- (3) 舗装試験結果とアンケート調査結果より、走りやすい舗装の評価指標および条件を明らかにする。

2-1 ランナー走行試験場の概要

2-1-2 走行試験場の概要

ランナーの走行試験を行う場所（以下、走行試験場）は幅員 16m、延長 55m である。2種類のアスファルト舗装を幅員約 5m ずつ施工した。そのうち開粒舗装区間の一部に 2-1-3 で示すような表面処理を施した 2種類の舗装を幅員 1m ずつ施工して 4種類のアスファルト舗装を用意した。舗装の施工厚さは 50mm とし、下層は路盤という断面構成とした。

図-1 に走行試験場の路面縦断プロファイルを示す。この縦断プロファイルはマルチロードプロファイラ（以下、MRP）を用いて走行方向に計測した結果に 250mm の移動平均フィルタをかけた値である。4種類の舗装ともに縦断勾配は約 0.3% である。レベルを用いて計測した横断勾配は約 1.6 ~ 2.0% の片勾配であった。よって、舗装の各区間の勾配の差はランナーの評価に影響しないものと考えた。

2-1-3 舗装の種類

走行試験の路面を写真-2 に示す。本試験は (a) 細密粒度ギャップアスファルト舗装⁸⁾（以下、細密舗装）、(b)

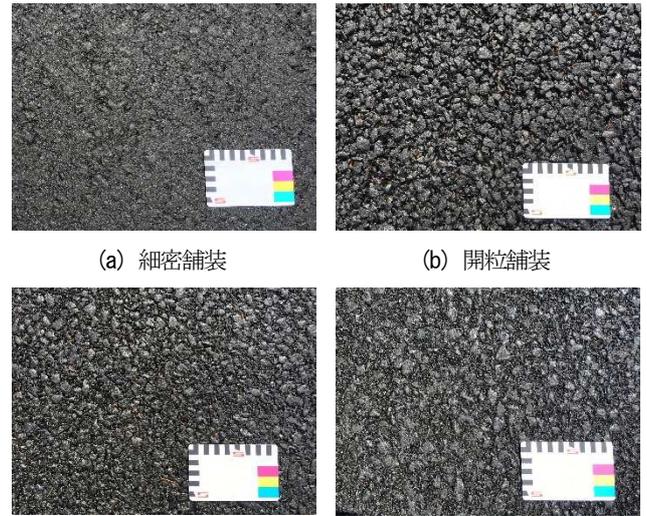


写真-2 本調査で使用した舗装種類

開粒度アスファルト舗装（以下、開粒舗装）、(c)(d) 開粒度舗装を母体とし、空隙にレジンモルタルを摺り込み、摺り込み量が 0.84 kg/m^2 （以下、弾性（少）舗装）と 1.69 kg/m^2 （以下、弾性（多）舗装）の計 4 種類の舗装を対象とした。弾性舗装は、開粒舗装を施工したのち、プライマを塗布し、廃タイヤをチップ化し、その表面を無機粉体と樹脂で特殊コーティングした骨材⁹⁾（以下、弾性骨材）とウレタン樹脂を混合したレジンモルタルを開粒舗装の空隙に摺り込んだ。レジンモルタルの配合として、ウレタン樹脂は弾性骨材の外割 16% とした。弾性骨材の粒径は約 1~2mm である。本研究では、弾性舗装は開粒舗装の空隙にレジンモルタルを充填したものであることから、アスファルト舗装の一種類であると定義する。

2-2 走行試験場の舗装に対する試験と結果

4種類のアスファルト舗装に対して試験を実施した。測定位置はランナーの走行開始位置から 10m、20m、30m の 3箇所とした。舗装の試験項目と方法を表-1 に示す。試験項目はランナーの走行に影響を与えると想定される項目⁴⁾とした。試験方法は歩行者系舗装に対して用いている試験¹⁰⁾を参考に選定した。試験結果を図-2~5 に示す。

表-1 舗装試験項目および条件

項目	試験方法 ¹¹⁾	測定値	頻度	備考
すべり抵抗	S021-3	動的摩擦係数	4回/測点	3測点の平均値
きめ深さ	S022-2T	MPD	1測線 (CL) / 混合物	起点0~30mの平均値
弾力性	S026-1	GB・SB係数	10回/測点	3測点の平均値

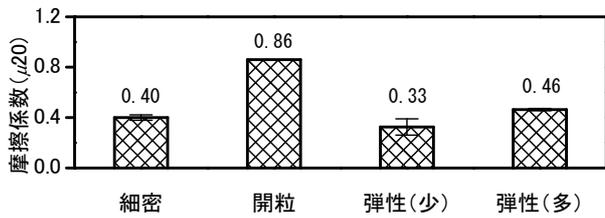


図-2 舗装試験結果【動的摩擦係数】とS.D.

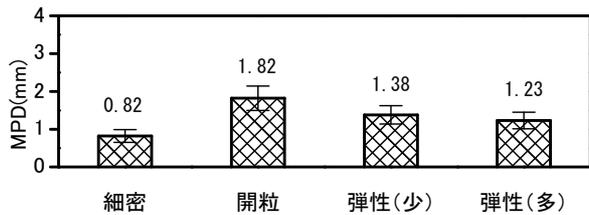


図-3 舗装試験結果【きめ深さ (MPD)】とS.D.

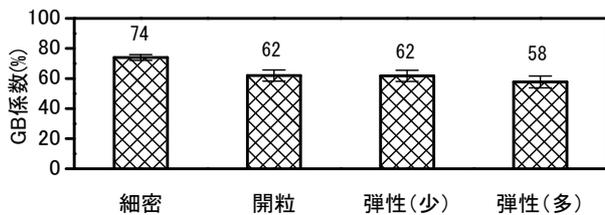


図-4 舗装試験結果【弾力性 (GB 係数)】とS.D.

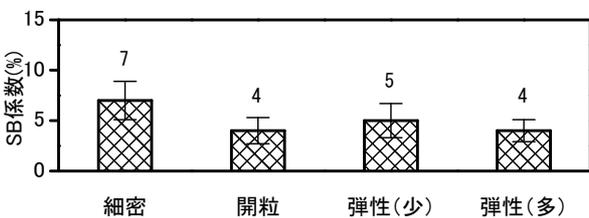


図-5 舗装試験結果【弾力性 (SB 係数)】とS.D.

2-2-2-1 すべり抵抗

DF テスタを用いて湿潤時の動的摩擦係数を測定した結果を図-2に示す。ここで、図に示した値は中長距離ランナーが目標として走行した速度である 20 km/h 時の動的摩擦係数とした。開粒舗装は路面に生じる水膜が標準的な水膜より、薄い状態で試験を行った 1 測点分の結果とする。図より、摩擦係数は開粒舗装、弾性(少)舗装、細密舗装、弾性(多)舗装の順に大きい値であった。

2-2-2-2 きめ深さ

路面のきめ深さは MRP を用いてプロファイルを測定し、その結果から平均プロファイル深さ(以下、MPD)^{12),13)}を求めた。MPDの結果を図-3に示す。図より、細密舗装は凹凸が少なく、平滑な路面であり、開粒舗装は凹凸が多く、粗い路面であるといえる。弾性舗装について、



写真-3 走行試験時の状況

弾性骨材の摺り込み量が多いと MPD が小さい傾向がみられた。よって、MPD は 4 種類の舗装で差が見られた。

2-2-3 弾力性

GB 試験の結果を図-4に示す。図より、細密舗装、開粒舗装と弾性(少)舗装は同値で、弾性(多)舗装の順で小さい値であった。SB 試験の結果を図-5に示す。図より、細密舗装、弾性(少)舗装、開粒舗装、弾性(多)舗装の順で小さい値であった。細密舗装は 4 種類の舗装のうち、最も衝撃吸収性が低く、反発弾性も低い¹¹⁾と言える。開粒舗装と弾性舗装は、衝撃吸収性に差が見られた。

2-3 走行試験とアンケート調査

4 種類のアスファルト舗装に対して、中長距離ランナーの走りやすさを明らかにすることを目的とした。そのため、中長距離ランナーを被験者として走行試験を実施し、アンケート調査を行った。走行試験時の状況を写真-3に示す。被験者には研究の目的および方法を十分説明するとともに、先入観をもたれないよう舗装に関する情報は伏せて、研究への参加に対する同意を得て実施した。

2-3-1 被験者の概要と走行条件

被験者は、18~27 歳(平均 21.4 歳)の中長距離ランナー計 10 名(男女各 5 名)とした。走行速度は被験者が中長距離走の競技時に走行する速度である約 20 km/h を目安にして走行してもらった。全長 55m のうち、走行開始位置から 30m を定速走行区間(以下、計測本区間)とし、以降 25m は惰行・制動区間とした。走行順序は写真-1の左から順に、①弾性(少)舗装、②開粒舗装、③弾性(多)舗装、④細密舗装とした。

2-3-2 アンケート調査項目と集計方法

アンケート調査の項目は、黒岩ら⁴⁾が実施したアンケート調査結果を参考として「着地衝撃の大小」と「蹴り出し」とした。[衝撃が小さい、どちらでもない、衝撃が大きい]と「蹴り出しやすい、どちらでもない、蹴り出しにくい」の各項目 3 段階評価とした。この 2 項目を、1 つ

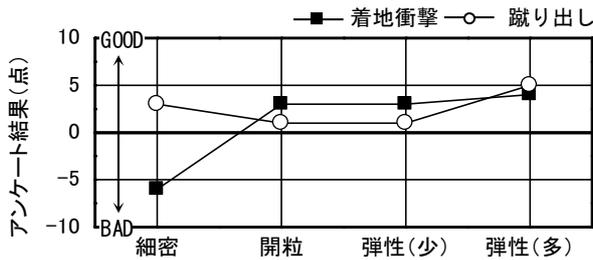


図-6 走行試験その1 (被験者数: 10名)

の舗装を走行した直後に回答してもらい、他の舗装との比較は行わずに各舗装を個別に評価してもらった。

以下、アンケート結果は「蹴り出しやすい、衝撃が小さい」を良い評価として1点、「どちらでもない」を0点、「蹴り出しにくい、衝撃が大きい」を悪い評価として-1点のポイントとし、全ての被験者の評価ポイントを合計した値を記載する。

アンケート結果は順序尺度であり、評価結果の順序は保障されるが各評価の差については保障されない。本研究ではこれを間隔尺度であると仮定して結果を示す。

2-3-3 アンケート調査の結果

アンケート調査結果を図-6に示す。図より、着地衝撃について、細密舗装は-6点、開粒舗装と弾性(少)舗装は3点、弾性(多)舗装は4点という結果が得られた。これより、細密舗装は着地衝撃が大きく、開粒舗装と弾性舗装は着地衝撃が小さいと感じていることがわかる。この結果は、2-2-3に示すGB試験結果と一致する。しかし、SB試験とは一致しない。よって、路面の定性的な「硬さ」は両舗装の弾性に加えて、他の要因によっても影響をうけると推察される。

蹴り出しについては、弾性(多)舗装が5点と4種類の中で最も蹴り出しやすい舗装であることがわかる。さらに細密舗装は3点と比較的蹴り出しやすいと感じている人が多い。開粒舗装も1点であったことから、アスファルト舗装は蹴り出しに関して特に問題はない舗装であるといえる。

2-4 舗装試験結果とアンケート調査結果の関係

ランナーの走りやすさはアンケート調査が主であり、アンケート結果を定量的な舗装の指標で評価できていないのが現状である。そこで舗装の指標とアンケート結果の関係より、舗装の試験結果で定量的に評価しうる指標を明らかにすることを目的とした。これを踏まえて、舗装試験結果とアンケート結果(個別評価)の関係図を図-7、図-8に示す。

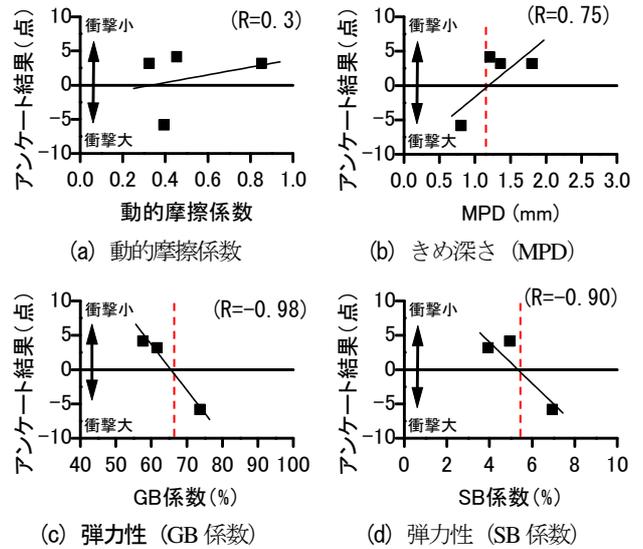


図-7 舗装試験結果とアンケート結果(着地衝撃)

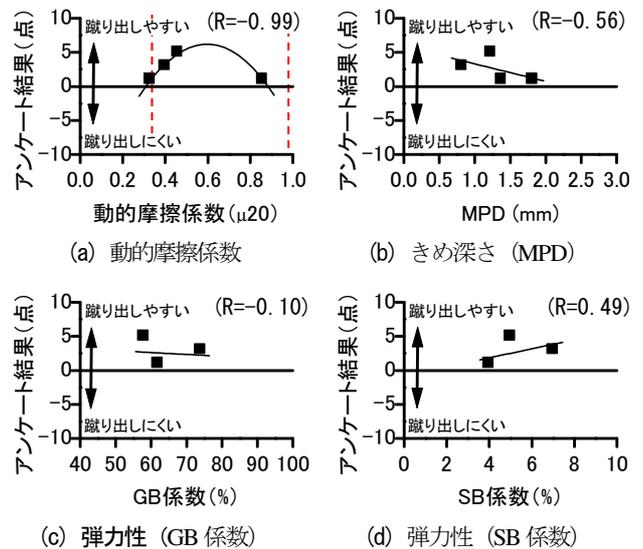


図-8 舗装試験結果とアンケート結果(蹴り出し)

2-4-1 着地衝撃との関係

図-7より、動的摩擦係数に関しては相関がみられない。MPDは1.2mm以上で着地衝撃を小さく感じる傾向が見られる。弾性については、GB係数65%以下、SB係数5.3%以下で着地衝撃を小さく感じる傾向がみられる。よって、本試験において、着地衝撃の大小の評価はGB・SB係数とMPDで定量的に評価できる可能性があると言える。

2-4-2 蹴り出しやすさとの関係

図-8より、動的摩擦係数は0.3~0.9の範囲で蹴り出しやすい傾向が見られる。下限があることは、動的摩擦係数が小さく、滑る路面は蹴り出しにくいであろうという一般的な性質を示しているものと考えられる。MPDおよ

びGB 係数, SB 係数については, 蹴り出しの評価との相関は低い。

2-5 着地衝撃と蹴り出しが良好な舗装の条件の提案

以上の結果を表-3 に示す。着地衝撃については GB・SB 係数, MPD で定量化でき, 蹴り出しについては動的摩擦係数で定量化できるといえる。着地衝撃が小さく, 蹴り出しやすい舗装がランナーにとって好ましい舗装であると考えれば, $MPD > 1.3 \text{ mm}$, GB 係数 $< 60\%$, SB 係数 $< 5.3\%$, $0.3 \leq \text{動的摩擦係数} \leq 0.9$ という条件が導き出せる。

表-3 走りやすい舗装の評価指標および範囲

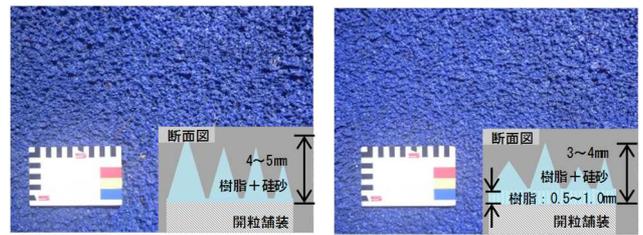
	着地衝撃小さい	蹴り出しやすい
動的摩擦係数	—	0.3 以上 0.9 以下
MPD	1.2 mm 以上	
GB 係数	65% 以下	
SB 係数	5.3% 以下	

3. 提案した舗装の指標および条件を加味した走りやすい舗装の開発

前章で提案した条件を満たす舗装としてアスファルトとは異なる材料であってもランナーにとって走りやすい舗装であるかを明らかにすることを目的とした。舗装材料は, 黒岩ら⁴⁾のアンケート調査で走りやすい舗装として挙げられていたウレタン舗装に着目した。ウレタン舗装とは陸上競技用トラックで一般的に使用されている¹⁴⁾ものでウレタン樹脂を用いた舗装である。ウレタン樹脂を用いた舗装(以下, エンボス舗装)を対象として, ランナーによる走行試験とアンケート調査を実施し検討を行った。

3-1 開発した舗装の概要

本検討で用いたエンボス舗装を写真-4 に示す。路面テクスチャと弾力性の異なる2種類とした。一つは5号硅砂入りウレタン樹脂を1層で敷均した後, 鎖骨ローラーを用いて凹凸を形成する(以下, ローラーエンボス)仕上げを行った舗装(以下, エンボス1層舗装)である。もう一つは, ウレタン樹脂のみを1層敷均した後, 5号硅砂入りウレタン樹脂を敷き均し, ローラーエンボス仕上げを行った舗装(以下, エンボス2層舗装)である。2種類のエンボス舗装は, 2-1で記載した調査実施箇所の開粒舗装を母体として, 幅員1m ずつ施工した。



(a) エンボス1層舗装 (b) エンボス2層舗装

写真-4 本調査で使用した舗装種類

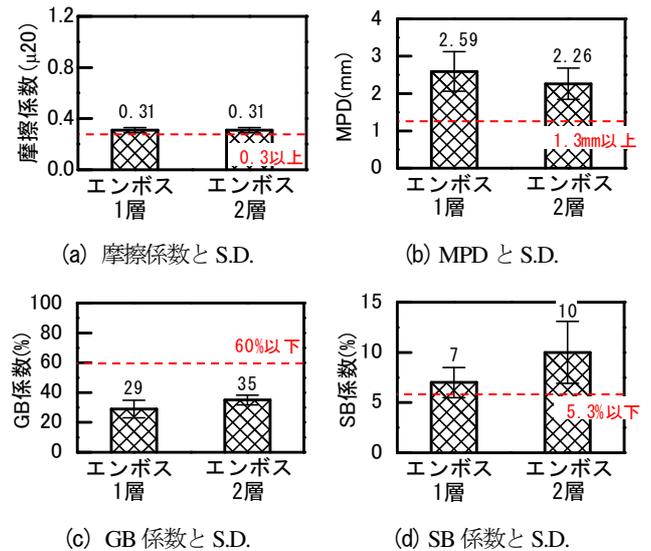


図-10 舗装調査結果



写真-5 走行試験時の状況

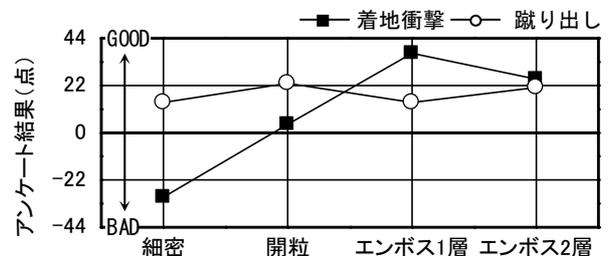


図-11 走行試験その2 (被験者数: 44名)

舗装の試験結果を図-10 に示す。図より, 2種類ともに表-3 に示した範囲を満足した舗装である。ただし, SB 係数

は5.3%以上の結果となり満たしていないが、ウレタン樹脂というアスファルト舗装と異なる材料を用いているためである¹¹⁾。

3-2 走行試験およびアンケート調査

3-2-1 調査の目的および概要

2種類のエンボス舗装と細密舗装、開粒舗装の計4種類の舗装に対するランナーの走りやすさを明らかにするため、走行試験を実施し、アンケート調査を行った。走行試験時の状況を写真-5に示す。アンケート調査の項目および結果の集計方法は2-3-2に記す内容で行った。

3-2-2 被験者および走行条件

被験者は18~36歳(平均21.2歳)の中長距離ランナー計44名(男性18名,女性26名)とした。走行速度は、約20km/hを目安として行った。走行順序は①細密舗装、②開粒舗装、③エンボス1層舗装、④エンボス2層舗装とした。

3-2-3 アンケート調査結果

アンケート調査結果を図-11に示す。エンボス舗装の両舗装を比較すると、GB・SB係数が小さく、MPDが大きい値であるエンボス1層はエンボス2層舗装よりも着地衝撃は小さいと感じていることがわかった。そして、エンボス舗装はアスファルト舗装よりも着地衝撃が小さく感じていたが、蹴り出しについては両舗装とも良い評価であった。以上より、材質の異なる舗装であっても、定量化した舗装の指標および範囲であれば走りやすい舗装と評価される。

4. まとめ

本研究は走りやすさを定量的に評価できる舗装の指標と条件を明らかにするため、中長距離ランナーを対象としたアンケート調査を実施した。本検討の成果は以下のとおりである。

- ・中長距離ランナーは、細密舗装は着地衝撃が大きく、開粒舗装は着地衝撃が小さい。蹴り出しについては、アスファルト舗装の種類によらず、蹴り出しやすいと感じていた。
- ・ランナーが走りやすいと感じる舗装は、舗装のきめ深さと弾力性で評価できると提案した。
- ・提案した舗装の評価指標を用いて、ランナーの走りやすい舗装としてエンボス舗装を開発した。
- ・中長距離ランナーは、エンボス舗装はアスファルト舗装よりも着地衝撃は小さい蹴り出しやすさは、エンボ

ス舗装もアスファルト舗装も蹴り出しやすいと感じている。

本検討では走りやすい舗装として、着地衝撃と蹴り出しやすさに着目した。しかし、走りやすさは他に安定感やフィット感についてコメントするランナーもいた。また、本検討において、舗装の定量的指標として、動的摩擦係数やきめ深さ、弾力性を取り上げたがこれら以外の指標で走りやすさを説明できる可能性もある。対象としたアスファルト舗装とウレタン舗装のみであった。ランナーが走行する路面の舗装は多種にわたる。そのため今後は本検討結果を検証していき、走る目的に合わせた舗装のメニュー化を目指して、研究を行っていく所存である。

参考文献

- 1) 笹川スポーツ財団; スポーツライフデータ 2016, 生産性出版, 2017.
- 2) 樽本つぐみ, 梶原洋子, 木村一彦, 小野伸一郎; 一般市民男子ランナーにおける障害の実態: 第10回加古川ハーフマラソン大会の実態調査から, 日本体育学会大会号, Vol.50, p.398, 1999.
- 3) 原野健一; 使用者の目的・スキルに対応したランニングシューズの機能設計, 日本ゴム協会誌, Vol.90, No.9, pp.433-438, 2017.
- 4) 黒岩拓馬, 川上篤史, 峰岸順一, 増山幸衛, 前川亮太; 中長距離走に適した舗装の評価方法に関する研究, 土木学会論文集E1(舗装工学), Vol.69, No.3, pp.L185-L190, 2013.
- 5) 小澤将希, 中島伸一郎, 池田茜, 遠藤桂; 中長距離ランナー用舗装の着地衝撃と路面の弾力性に関する研究, H30 土木学会中国支部研究発表会, V-4, pp.451-452, 2018.
- 6) 小澤将希, 中島伸一郎, 池田茜, 遠藤桂; 中長距離ランナー用舗装の蹴り出しやすさに関する基礎的検討, 土木学会第73回年次学術講演会, V-661, pp.1321-1322, 2018.
- 7) 池田茜, 遠藤桂, 小澤将希, 中島伸一郎; 中長距離ランナー用舗装の着地衝撃と路面のテクスチャに関する研究, 土木学会第73回年次学術講演会, V-662, pp.1323-1324, 2018.
- 8) 国土交通省北海道開発局, 平成29年度北海道開発局道路設計要領 第1集 道路 第5章 舗装1, pp.1.5.21-1.5.22.
- 9) 透水性レジンモルタルシステム工法協議会; PRMS 多機能工法技術資料【第1版】, 2012.
- 10) 土木学会舗装工学委員会 歩行者系舗装小委員会; 歩行者系舗装入門-安全で安心な路面を目指して-, 土木学会舗装工学ライブラリー11, 2014.
- 11) 社団法人日本道路協会; 舗装調査・試験法便覧, 1992.
- 12) ASTM Standards: E1845-09 Standard Practice for Calculating Pavement Macrotecture Mean Profile Depth, ASTM, 2010.
- 13) 土木学会舗装工学委員会 路面性状小委員会; 路面テクスチャとすべり, 土木学会舗装工学ライブラリー10, 2013.
- 14) 清賢二; 陸上競技用全天候トラック, 日本ゴム協会誌, Vol.83, No.5, pp.125-132, 2010.