

中長距離ランナーが走りやすいと感じる舗装の テクスチャ指標に関する研究

池田 茜¹・遠藤 桂¹・中島 伸一郎²

¹正会員 日本道路株式会社 生産技術本部 技術研究所 (〒146-0095 東京都大田区多摩川2-11-20)

E-mail : akane.ikedata@nipponroad.co.jp

²正会員 山口大学准教授 大学院創成科学研究科 (〒755-8611 宇部市常盤台2-16-1)

中長距離ランナーが快適かつ安全に走行するためには「蹴り出しやすい」、「足裏への負担が少ない」路面が求められる。これを考えるとき、舗装材料の力学特性としての剛性や摩擦係数は重要であるが、路面のテクスチャについても、ランナーの感じ方は異なることが予想される。本研究では、テクスチャが走りやすさに与える影響を明らかにすることを目的として、走行試験とアンケート調査を実施した。その結果、テクスチャ指標として、MPDと歪度（スキューネス*Rsk*）および尖度（クルトシス*Rku*）が着地衝撃および蹴り出しやすさと関係があることが明らかになった。この関係性を用いて数種の異なる舗装路面について、走りやすさの観点から分類を行った。

Key Words : *pavement, running, texture, MPD, skewness, kurtosis*

1. はじめに

2002年に健康増進法が制定され、国民の健康志向が高まっている。年齢を問わず、手軽に始められる運動の一つとして、ランニングが挙げられる。ランニングの走路は一般道路や河川敷、公園、遊歩道を用いることが多い。近年は公園においてランニング走路が設けられ、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を対象として衝撃緩和機能が付与された舗装が用いられていることもある。これは走路の「硬さ」が要因で、障害を発症する人が増加している¹⁾ことが背景にある。一方で、競技タイムの向上を目的としている大学の部活や実業団所属のランナー（以下、中長距離ランナー）は、競技時の走路はスピードを出すために硬すぎず、柔らかすぎないという中程度の硬さが好ましい²⁾とされている。ランナーの体型や走行目的に応じたシューズがあるのと同様に、舗装についてもランナーの走行目的やレベルに応じた種類や性状を明らかにしたいというのが本研究の動機である。

2. 本研究の課題と目的

(1) 舗装に対するランナーの感性

黒岩ら³⁾のアンケート調査によれば、中長距離ランナーは舗装の違いを感じて走行しており、調査した6種類の舗装の中では、走りやすい舗装はウレタン舗装とアス

ファルト舗装とし、走りやすいと感じる理由は「蹴り出しやすい」、「足裏への負担が少ない」ためであることを挙げている。すなわち、走りやすさとは蹴り出しやすさと着地衝撃の大きさに代表されるといえる。

また黒岩ら³⁾の調査によると、中長距離ランナーはアスファルト舗装のうち、密粒度アスファルト舗装と排水性舗装の違いは感じて走行していることが明らかになっている。平成21年度土木学会年次講演会研究討論会「ランナーのための道路舗装」において、北海道のアスファルト舗装は本州のアスファルト舗装より硬く感じるというコメントがあった。これより、中長距離ランナーは舗装種類の違いに対してきわめて感受性が鋭いことがわかる。一方で、北海道のアスファルト舗装はストレートアスファルトを使用する場合は主に針入度80-100のアスファルトを用いているため、針入度60-80のアスファルトを用いている本州のアスファルト舗装よりは「軟らかい」材料を使用していることから、中長距離ランナーが感じる舗装の硬さは単に材料や強度だけでは説明できない。

ランナーの路面への接地圧は車両走行に比べて、はるかに小さいことを考慮すると、舗装のごく表面部分の力学的・物理的条件がランナーの走りやすさに影響すると考える。例えば、同じ剛性を持つ舗装材料でも路面の凹凸度合い、すなわちテクスチャによって、ランナーの着地衝撃の大きさや蹴り出しやすさという感じ方は変化する可能性が考えられる。

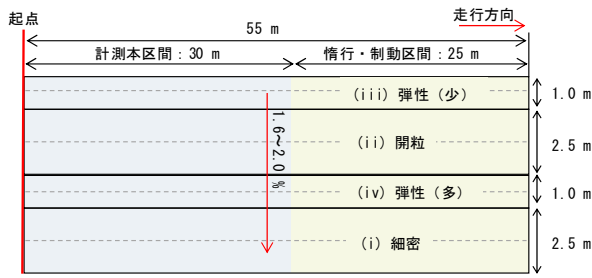


図-1 走行試験場の平面図

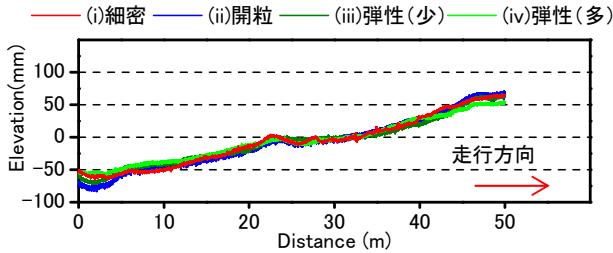


図-2 走行試験場の路面縦断プロファイル

(2) 本研究の目的

以上を踏まえ、本研究では路面テクスチャがランナーの走りやすさに与える影響を明らかにすることを目的とし、4種類の舗装での走行試験とアンケート調査を行った。さらに、本研究では路面テクスチャに着目し、アンケート結果で得られた着地衝撃の大小や蹴り出しやすさを定量的に評価できるテクスチャの指標を明らかにし、走りやすい舗装のテクスチャ範囲を検討した。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定義することとした。

なお本論文では、テクスチャに焦点を当てており、温度による舗装剛性の差は考慮しない。

3. 調査方法

テクスチャの異なる4種類の舗装を走行試験場に施工し、中長距離ランナーによる走行試験とアンケート調査を実施した。そして、走行試験場の路面プロファイルを測定し、テクスチャに関するパラメータを取得し、アンケート結果による走りやすさ評価との関係を分析した。

(1) 走行試験場概要

中長距離ランナーの走行試験場の平面図を図-1に示す。走行試験場は、幅員7m、延長55mである。舗装の施工厚さは50mmとし、下層は既設路盤という断面構成とした。図-2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およそ0.3mm間隔

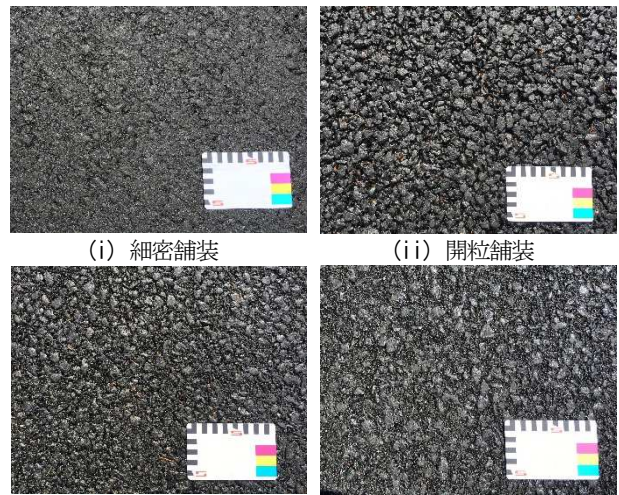


写真-1 本調査で使用した舗装種類

表-1 本調査で使用した舗装材料

混合物の種類	【細密舗装】 細密粒度 ギャップアスファルト混合物 (改質II型)	【開粒舗装】 開粒度アスファルト混合物 (改質II型)	
	配合割合 (%)		
6号碎石	37.0	66.6	
7号碎石	16.1	7.9	
粗目砂	7.8	16.2	
細目砂	23.4	-	
石粉	9.9	4.8	
As量 (%)	5.8	4.5	
合成粒度 (%)	フルイ目		
	26.5 mm		
	19.0 mm	100.0	100.0
	13.2 mm	97.8	98.5
	4.75 mm	34.0	64.4
	2.36 mm	22.5	46.9
	0.60 mm	11.8	34.0
	0.30 mm	8.7	23.3
密度 (g/cm ³)	0.15 mm	6.1	12.1
	0.075 mm	4.8	9.2
	密度 (g/cm ³)	2.373	2.053
	理論密度 (g/cm ³)	2.453	2.499
空隙率 (%)	3.3	17.8	

表-2 舗装試験結果

弾性性能	GB係数 (%) SB係数 (%)	細密	開粒	弾性 (少)	弾性 (多)
		74	62	62	58
すべり抵抗性	DFT(20)	0.40	0.86 [※]	0.33	0.46

※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値である。

で計測した結果に250mmの移動平均フィルタをかけた値である。測定した結果、4種類の舗装ともに縦断勾配は約0.3%であった。横断勾配はオートレベルを用いて計測し、約1.6~2.0%の片勾配であり、一般道路と同程度以下である。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。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。走行試験場の路面を写真-1に、舗装材料の詳細を表-1に、試験結果を表-2に示す。

図-1に示すように、全幅員7mのうち、2.5mは細密粒度ギャップアスファルト舗装⁴⁾(以下、細密舗装)、4.5mは開粒度アスファルト舗装(以下、開粒舗装)である。開粒舗装4.5m幅の両脇には、1mの幅で弾性舗装を施工した。ここで、弾性舗装は開粒舗装の表面空隙にレジンモルタルを摺り込んだ舗装とした。レジンモルタルはウレタン樹脂に弾性骨材(廃タイヤチップの表面を無機粉体と樹脂で特殊コーティングした骨材⁵⁾で、粒径は約1~2mm)を混合したものである。今回は、弾性骨材が少なめ(摺り込み量0.84kg/m²、以下、弾性(少)舗装)と多め(摺り込み量1.69kg/m²、以下、弾性(多)舗装)の走行レーンを設けた。ウレタン樹脂の量は弾性骨材の外割16%である。以上、細密舗装、開粒舗装、弾性(少)舗装、弾性(多)舗装という4種類のコースを走行試験場に設けた。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) 路面プロファイル計測

MRPを用いて計測したプロファイルを0.5mm間隔で出力し、基底長100mmごとに勾配補正を行い、テクスチャ指標の算出を行った。本検討では、ランナー調査箇所計測した延長50mのうち、計測本区間である30m、各舗装の幅員の中央線上で計測したプロファイルを用いた。

テクスチャの評価指標として、平均プロファイル深さ(以下、MPD)がISO13473-1^{6,7)}で規定されている。MPDは基底長100mmを中心から2分割し、それぞれの区間の最大値と平均線との差を算出した値となる。MPDは50mmを単位区間とした最大高さを抽出したものであることから、路面の凹凸形状の全ての特徴を表しているとは言えない。本研究では、2次元プロファイルの計測データからMPDに加えて、JIS B 0601-2001に規定されている高さパラメータ指標のうち、最大山高さ、最大谷深さ、最大高さ、算術平均粗さ、二乗平均平方根高さ、スキューネス(偏り度、Skewness, *Rsk*)、クルトシス(尖り度、Kurtosis, *Rku*)の7つの指標も算出した。高さパラメータ指標も、MPDと同様に基底長100mmごとに勾配補正を行い、算出した。

(3) アンケート調査

4種類のアスファルト舗装に対して、中長距離ランナーを被験者として走行試験を実施し、“走りやすさ”に関するアンケート調査を行った。走行試験およびアンケートを実施するにあたり、被験者には研究の目的および方

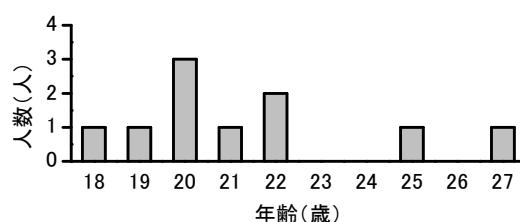


図-3 被験者の年齢分布

法を事前に十分に説明し、参加への同意を得た。なお、舗装材料に対して先入観なくアンケートに答えられるよう、舗装に関する情報は被験者には伏せて実施した。被験者は走行試験を実施する前に、走行試験場以外の箇所それぞれ、5分程度ウォーミングアップを行ってから、走行試験を実施した。

a) 被験者について

被験者は、18~27歳(平均21歳)の中長距離ランナー(競技タイムの向上を目的としている大学の部活や実業団所属のランナー)計10名(男女各5名)とした。図-3に被験者の年齢分布を示す。

シューズは、被験者が普段、一般道路を走行する競技時に履いているものとした。シューズを統一すると、普段走行している際の感覚と異なることが懸念されたためである。シューズのアウトソールの硬さはゴム硬度計CS型を使用して測定した。シューズの重量は140.5±13.8g、ソール厚さは13.6±2.3mm、シューズのアウトソールの硬さはかかと51±7、つま先63±5であった。本検討においては、シューズは被験者ごとに異なるが、各人が普段から競技に使用しているものという観点では統一的であると考えた。

b) 走行条件

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20km/hを目安にして走行してもらった。

走行順序は、弾性(少)舗装、開粒舗装、弾性(多)舗装、細密舗装とした。走行回数は、1種類の舗装を1回ずつ計4回とした。走行時の気温は21~23℃、路面温度は28~32℃であった。

c) アンケート調査項目と集計方法

アンケート調査項目は、黒岩ら³⁾が実施したアンケート調査結果を参考とし、「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。アンケート結果は「衝撃が小さい、蹴り出しやすい」を良い評価と

表-3 MPD と路面テクスチャ指標の関係

評価指標	相関係数 (R)	回帰直線
最大山高さ	1.00	$y=1.0874x+0.0667$
最大谷深さ	0.95	$y=2.199x-0.7132$
最大高さ	0.97	$y=3.2864x-0.6464$
算術平均粗さ	0.98	$y=0.6992x+0.3693$
二乗平均平方根高さ	0.97	$y=0.8557x-0.4258$
Rsk	-0.37	$y=-0.1503x-0.3933$
Rku	-0.73	$y=-1.1784x+5.4003$

して1点, [どちらでもない] を0点, [衝撃が大きい, 蹴り出しにくい]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。

ここで, 感覚の良否は順序尺度⁸⁾であるため, +1点・0点・-1点という等間隔での点数化が妥当なものであるかどうかは議論の余地があるが, 今回は間隔尺度⁸⁾と捉えて定量化した。

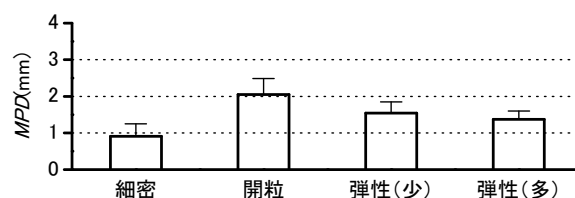
4. 路面テクスチャおよびアンケート調査結果

(1) 路面テクスチャ結果

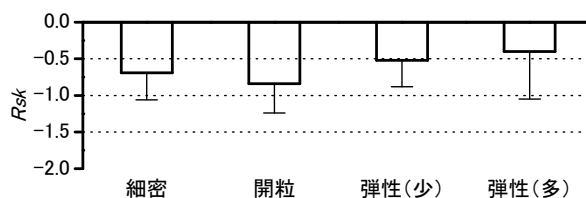
JIS B 0601-2001 に規定されている高さパラメータ指標と MPD の関係を表-3 に示す。Rsk と Rku 以外の指標は MPD との相関係数 R が 0.95~1.00 であり, MPD と相関は高いことがわかる。Rsk と Rku は MPD と相関が低く, 独立した指標と判断できる。そこで本研究では, ランナーの走りやすさを定量的に評価する指標として MPD と Rsk, Rku の 3 つの指標を検討することとした。ここで, 付録 1 に示すように, Rsk は平均線に対し表面の凹凸の偏り具合を表し, Rku は面の凹凸のシャープさ (振幅分布曲線の鋭さ) を表している。

MPD と Rsk, Rku の結果を図-4 に示す。MPD は, アスファルト舗装の 4 種類のうち, 細密舗装が最も小さく, 開粒舗装が最も大きい。これは路面の空隙によるものである。弾性舗装は開粒舗装よりも小さく, 弾性 (少) 舗装より弾性 (多) 舗装の方が小さい。これは路面の空隙がレジンモルタルによって充填されていることを表している。

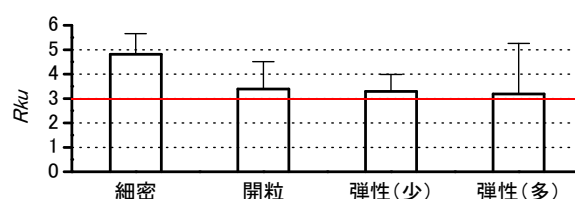
Rsk について, 全ての舗装で負の値を示していることから, アスファルト舗装の 4 種類は下に凸が多い, つまりネガティブテクスチャを持つ路面であることがわかる。開粒舗装が-0.84 と最も大きな値を示し, 弾性 (多) 舗装が-0.40 と最も小さい値を示している。弾性 (多) 舗装の Rsk が細密舗装よりも小さい値である。これはレジンモルタルが空隙を充填し, 空隙に充填できないレジンモルタルは盛り上がった状態であるため, 細密舗装よりも上に凸な路面が部分的に存在することによるものである。



(i) MPD



(ii) Rsk



(iii) Rku

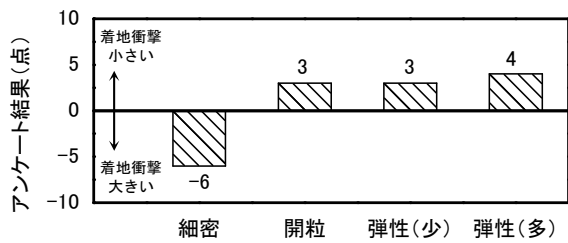
図-4 路面テクスチャ結果

Rku について, 細密舗装は 4.81 と最も大きな値であり, 高さ分布が一部に集中した平滑な舗装であることがわかる。開粒舗装と弾性 (少) 舗装, 弾性 (多) 舗装は 3.0 に近い値を示しており, 高さ分布に偏りのない, 正規分布に近い舗装であることがわかる。

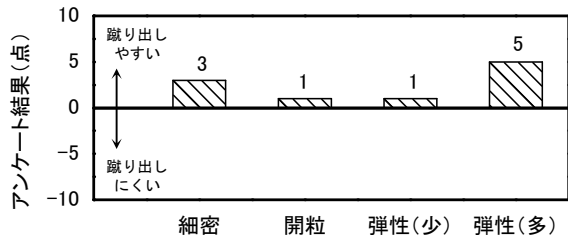
(2) アンケート調査結果

被験者の着地の仕方は, 走行中に撮影していた動画で判別した。その結果, かかと着地が 3 名, つま先着地が 1 名, 全面着地が 6 名であった。被験者によって着地の仕方は多種多様であり, 着地の仕方によって接地面積が異なり, 感じ方も変わってくると考えられる。本調査については, 被験者に普段走行している際の感覚で舗装による評価を行ってもらった。そのため, 着地の仕方によらず, アンケート結果は集計を行った。

アンケート調査結果を図-5 に示す。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い, 開粒舗装と弾性舗装は着地衝撃を小さいと感じていることが明らかになった。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。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。以上より, ランナーは, 細密舗装について着地衝撃を大きく, 蹴り出しやすいと感じている。開粒舗装について

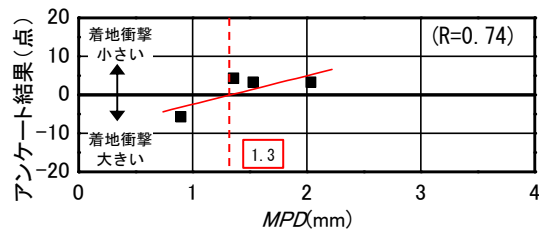


(i) 着地衝撃の大きさ

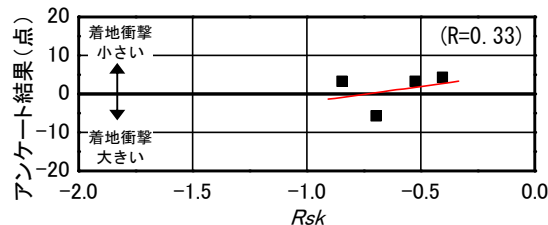


(ii) 蹴り出しやすさ

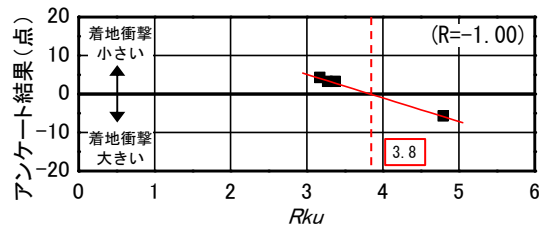
図-5 アンケート調査結果



(i) MPD



(ii) Rsk



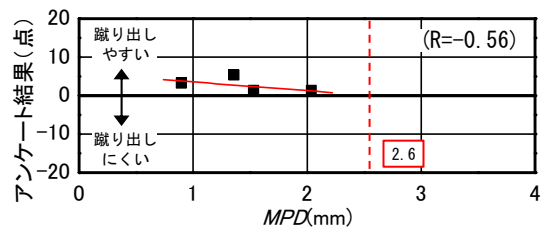
(iii) Rku

図-6 路面テクスチャとアンケート結果の関係(着地衝撃)

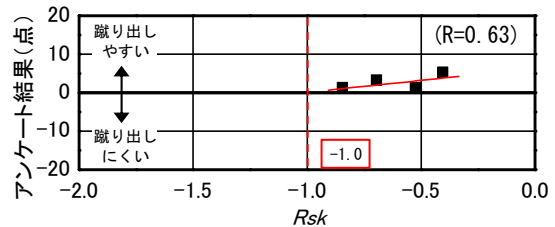
着地衝撃を小さく、蹴り出しにくいと感じている。弾性(少)舗装は開粒舗装と同様の結果が得られた。弾性(多)舗装は着地衝撃も小さく、蹴り出しやすいと感じており、4種類の舗装のうち、最も走りやすいと感じていた。

(3) 路面テクスチャとアンケート調査結果の関係

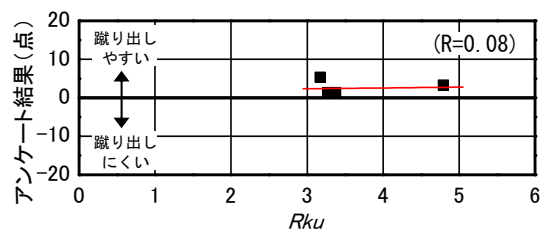
テクスチャと着地衝撃の大きさに関するアンケート結



(i) MPD



(ii) Rsk



(iii) Rku

図-7 路面テクスチャとアンケート結果の関係(蹴り出し)

果との関係を図-6に示す。着地衝撃の大きさに関して、MPDとRskは大きい値を示すほど、Rkuは小さい値を示すほど、着地衝撃を小さいと感じることがわかる。すなわち、着地衝撃を小さく感じる路面とは、路面の凹凸高さが大きく(MPDが大きい値ほど良い)、ポジティブテクスチャを持つ(Rskが大きい値ほど良い)、路面の高さ分布に偏りが無い(Rkuが小さいほど良い)ことである。

次に、テクスチャと蹴り出しやすさに関するアンケート結果との関係を図-7に示す。蹴り出しやすさに関して、MPDは小さな値を、Rskは大きい値を示すほど、蹴り出しやすいと感じることがわかる。Rkuは相関が見られなかった。すなわち、蹴り出しやすいと感じる路面とは、路面の凹凸高さが小さく(MPDが小さい値ほど良い)、ポジティブテクスチャを持つ(Rskが大きい値ほど良い)ことである。

テクスチャと着地衝撃の大きさや蹴り出しやすさのアンケート結果との相関係数をみると、着地衝撃の大きさについてはMPDとRkuとの相関が高く、蹴り出しやすさについてはMPDとRskとの相関が高い。よって、着地衝撃の大きさを評価するには路面の凹凸高さのみならず、凹凸の高さ分布も含めて評価する必要があると推察する。そして、蹴り出しやすさについては路面の凹凸高さのみならず、路面の形状の偏りも含めて評価するのが好ましいと考える。

表-4 走りやすい舗装の評価指標および範囲

	MPD	Rsk	Rku
着地衝撃 小さい	$1.3 \leq MPD$	—	$Rku \leq 3.8$
蹴り出し やすい	$MPD \leq 2.6$	$-1.0 \leq Rsk$	—
走りやすい	$1.3 \leq MPD \leq 2.6$	$-1.0 \leq Rsk$	$Rku \leq 3.8$

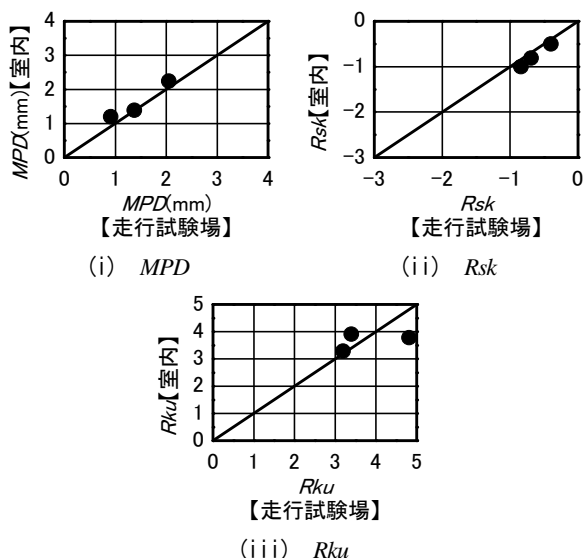


図-8 走行試験場と室内供試体の路面テクスチャ

以上の結果をまとめ、走りやすい舗装のテクスチャ範囲を表-4に示す。図-6および図-7において、アンケート結果の値（縦軸）が負の値を示すということは走りにくい（着地衝撃が大きい、蹴り出しにくい）と感じた被験者が多いことを意味する。本研究は走りやすい（着地衝撃が小さい、蹴り出しやすい）舗装を研究の対象としていることから、アンケート結果の値（縦軸）が正の値を示すテクスチャの範囲を読み取った。

その結果、MPDは1.3mm以上、Rskは-0.7以上、Rkuは3.8以下であれば着地衝撃を小さいと感じる。MPDは2.6mm以下、Rskは-1.0以上であれば蹴り出しやすく感じる。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定義していることから、走りやすい舗装はMPDが1.3mm以上2.6mm以下、Rskは-1.0以上、Rkuは3.8以下の範囲（案）とした。

次章では、この判断基準をその他の種類の舗装にも適用し、走りやすさの観点から各種舗装を分類した。

5. 路面テクスチャの室内検討

(1) 室内にて検討した舗装の種類

走行試験場の舗装種類に加えて、主に一般道で用いられている舗装種類を室内検討の対象とした。検討した舗

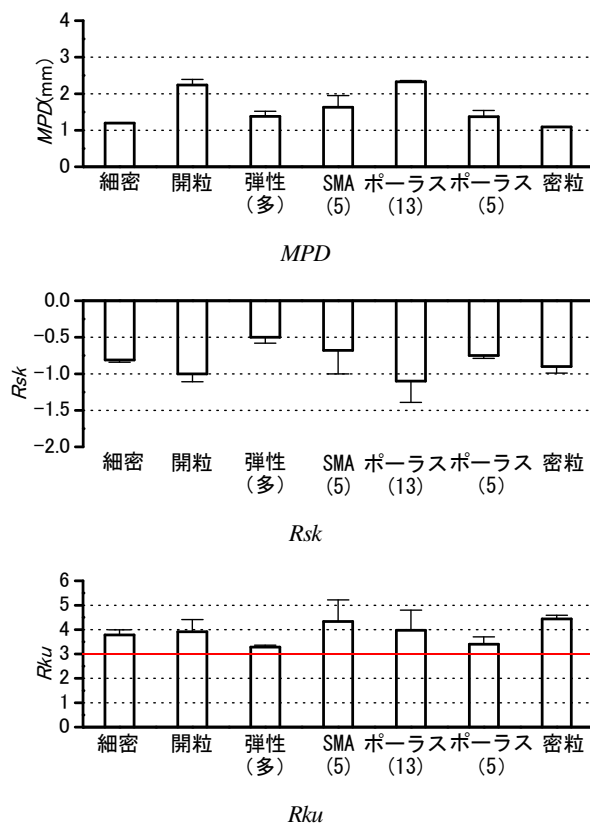


図-9 室内供試体の路面テクスチャ結果

装種類は、細密舗装、開粒舗装、弾性（多）舗装、砕石マスタックアスファルト舗装(5)（以下、SMA(5)舗装）、ポーラスアスファルト舗装(13)（以下、ポーラス(13)舗装）、ポーラスアスファルト舗装(5)（以下、ポーラス(5)舗装）、密粒度アスファルト舗装（以下、密粒舗装）の7種類である。

(2) 計測方法および算出方法

ホイールトラッキング試験用供試体（300mm×300mm×50mm）（以下、室内作製供試体）を4枚作製し、MRPを用いて各供試体の幅員の中央線上で計測したプロフィールを用いてテクスチャの計測を行った。計測した後、計測データのプロフィールを用いて、テクスチャ指標の算出を行った。供試体1枚あたり計測延長は300mmである。300mmのうち、前後50mmを除く200mmの計測データのプロフィールを基底長100mmごとに勾配補正を行った。

テクスチャ指標はMPD、Rsk、Rkuの3つの指標とした。1種類あたり、4供試体作製しているため、4供試体の平均値を代表値として以下に示す。

(3) 路面テクスチャ結果

まず、室内で作製した舗装供試体のうち走行試験場と同種類の舗装は、細密舗装と開粒舗装、弾性（多）舗装の3種類である。そこで、室内供試体が走行試験場の路

表-5 中長距離ランナーが走りやすいと感じる舗装種類

	<i>MPD</i>	<i>Rsk</i>	<i>Rku</i>
着地衝撃 小さい	開粒 弾性(多) SMA(5) ポーラス(13) ポーラス(5)	弾性(多) SMA(5) ポーラス(5)	細密 弾性(多) ポーラス(5)
蹴り出し やすい	細密 開粒 弾性(多) SMA(5) ポーラス(13) ポーラス(5) 密粒	細密 開粒 弾性(多) SMA(5) ポーラス(5) 密粒	—
走りやすい	開粒 弾性(多) SMA(5) ポーラス(13) ポーラス(5)	弾性(多) SMA(5) ポーラス(5)	細密 弾性(多) ポーラス(5)

面を再現しているかを確認した。走行試験場と室内供試体の路面テクスチャの関係を図-8に示す。*MPD*と*Rsk*、*Rku*は現場と室内供試体において1:1の正の相関があり、室内で作製した供試体は現場の路面を再現できていると判断した。

室内供試体の路面テクスチャ結果を図-9に示す。*MPD*については、細密舗装と密粒舗装は7種類の中では小さい値を示している。開粒舗装とポーラス(13)舗装は2.0mm程度の値を示し、7種類の中では大きい値を示している。弾性(多)舗装とポーラス(5)舗装は細密舗装や密粒舗装と、開粒舗装やポーラス(13)舗装の間の値を示している。

路面の凹凸の偏り度合いを示す指標である*Rsk*は7種類すべて負の値であることから、谷となる部分が多い路面すなわちネガティブなテクスチャであることがわかる。弾性(多)舗装は7種類の中で最も大きな値であり、ポーラス(13)舗装は最も小さい値である。よって、弾性(多)舗装は凸な路面に近づいており、ポーラス(13)舗装は凹部が多いことがわかる。

路面の高さの分布種類の偏り度合いを示す指標である*Rku*は、開粒舗装とSMA(5)舗装、ポーラス(13)舗装、密粒舗装が*Rku*=3.9~4.4の値を示しており、高さ分布が一部に集中していることがわかる。弾性(多)舗装、ポーラス(5)舗装は*Rku*=3.0程度と高さ分布が正規分布に近いことがわかる。以上より、アスファルト舗装において、細密舗装と密粒舗装のように、*MPD*が同程度の値であった場合でも、*Rsk*や*Rku*の値が異なることから、凹凸の高さは同程度であっても、凹凸の形状や高さ分布が異なることが明らかになった。ランナーが感じる着地衝撃の大きさや蹴り出しやすさに関しては、*MPD*のみならず*Rsk*や*Rku*の指標を含めて評価することによって、どのような路面が好ましいのかが明らかになると考える。

(4) 走りやすさの観点からの舗装の評価

室内で検討した7種類の舗装について、表-4の基準に照らし合わせて分類した。中長距離ランナーが走りやすいと感じる舗装種類を表-5に示す。

着地衝撃を小さいと感じる舗装は弾性(多)舗装とポーラス(5)舗装である。蹴り出しやすいと感じる舗装は、細密舗装と開粒舗装、弾性(多)舗装、SMA(5)舗装、ポーラス(5)舗装、密粒舗装であった。まとめると、ポーラス(13)舗装といった空隙が多い舗装は着地衝撃を小さく感じる傾向にあるが、蹴り出しにくい。細密舗装や密粒舗装といった密実な舗装は蹴り出しやすいが、着地衝撃を大きく感じる傾向にある。したがって、着地衝撃が小さく、蹴り出しやすい、すなわち走りやすい舗装は弾性(多)舗装とポーラス(5)舗装と推察する。

今回の検討を通して、*Rsk*と*Rku*の指標は、*MPD*のみでは把握できない、ランナーの走行に寄与する路面の特徴を表現しうることが明らかになった。凹凸の中でも凸側(突起側)の寄与が大きく(*Rsk*が正側に大きい)、高さ分布が均一な路面よりも、様々な高さの分布が存在する(*Rku*が3に近い)ほうが、ランナーは走りやすいと感じている。この観点から、弾性(多)舗装やポーラス(5)舗装は、ランナーは走りやすいと感じる可能性は高い。この妥当性については、今後の実験の中で検証していく予定である。

6. まとめ

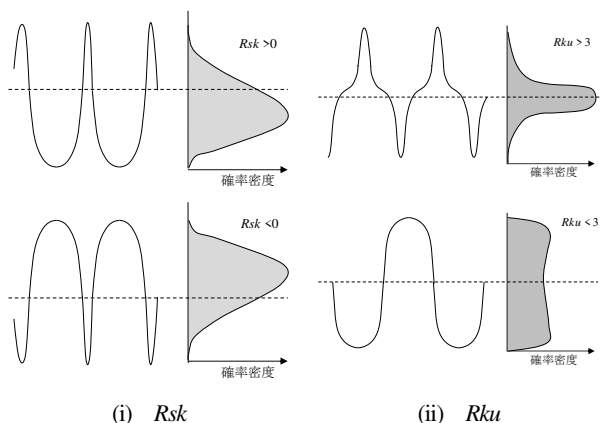
本研究は中長距離ランナーが感じる走りやすさを定量的に評価する指標を明らかにすることを目的とし、路面テクスチャに着目して検討を行った。その結果を以下に示す。

- ・アスファルト舗装においては、従来からの指標である*MPD*に加えて、*Rsk*、*Rku*という指標での評価ができることを明らかにした。
- ・これら3つの指標で、ランナーのアンケート調査結果を定量的に評価できることがわかった。
- ・*MPD*と*Rsk*、*Rku*の指標で走りやすい舗装の範囲を明らかにした。
- ・以上の結果、走りやすい舗装は弾性(多)舗装、ポーラス(5)舗装と推察した。

本結果は中長距離ランナーの走りやすい舗装の評価指標として、路面のテクスチャに限定した結果である。そのため、今後、すべり抵抗や路面の硬さといった評価指標も加味し、中長距離ランナーが走りやすいと感じる舗装をより詳しく明らかにしていく必要があると考えている。

付録1 Rsk と Rku について^{9), 10)}

Rsk (スキューネス, 偏り度) のパラメータは平均線に対し表面の凹凸の偏り具合を表している。平均線に対し上側に偏る (凸の形状となる) 場合はマイナスの値となり, 下側に偏る (凹の形状) となる場合はプラスの値で示される。 Rku (クルトシス, 尖り度) のパラメータは, 面の凹凸のシャープさ (振幅分布曲線の鋭さ) を表し, 面が平均したシャープさを持つ場合 $Rku = 3$ となり, ポリッシングのような面の鋭さがない場合は $Rku < 3$ となり, 鋭い凹凸の場合は $Rku > 3$ となる。



付図-1 各パラメータの説明図¹⁰⁾ (JIS B 0601-2001 から引用)

参考文献

- 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.
- 清賢二: 陸上競技用全天候トラック, Vol.83, No.5, pp.125-132, 2010.
- 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.185-I_190, 2013.

- 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.
- 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.
- ASTM Standards: E1845-09 Standard Practice for Calculating Pavement Macrottexture Mean Profile Depth, ASTM, 2010.
- 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.
- 田中豊, 脇本和昌:多変量統計解析法, 株式会社現代数学社, pp.138-139, 1987.
- 宮下勤:もう一度復習したい表面粗さ, 精密工学会, Vol.73, No.2, 2007.
- KEYENCE:表面粗さ測定入門 線粗さ編, キーエンスウェブサイト, <https://www.keyence.co.jp/ss/products/microscope/roughness/line/parameters/> (2019.9.5 参照)

(2019.9.5 受付)

PAVEMENT SURFACE TEXTURE INFLUENTIAL ON RUNNING PERFORMANCE OF MEDIUM-TO-LONG- DISTANCE RUNNERS

Akane IKEDA, Katsura ENDO and Shinichiro NAKASHIMA

Running or jogging is one of the easy exercises for all the people regardless their ages. From the past research, runners feel comfortable when they run on pavements in the aspect of pushing off with their feet and touchdown impact. However, it does not figure out what are associated indices with pavement. The authors found that surface texture is highly related with runners feeling and/or sense when running. And then surface texture indices including *MPD*, skewness and kurtosis are proposed to evaluate the pavement condition that runners feel comfortable. Also, the authors propose what type of asphalt pavement is preferable for runners.