

室内で計測した3次元データを用いた舗装のテクスチャに関する基礎的研究

日本道路(株) 技術研究所 ○池田 茜
山口大学大学院 中島 伸一郎
日本道路(株) 技術研究所 遠藤 桂

1. はじめに

2000年代以降、健康志向の流れが強まり、わが国ではジョギングやランニングを行うランナーが増加の一途をたどっている。舗装のユーザーとしてランナーは走行時に舗装に対しての感覚が敏感であり、「着地衝撃の大小」や「蹴り出しやすさ」、「足元の安定性」を重視している¹⁾。マラソンなど中長距離の道路競走に取り組むランナーに対して、走りやすい舗装に関するアンケート調査を実施した結果、密粒度舗装より排水性舗装の方が走りやすいという回答を得ると同時に、アスファルト舗装の種類による違いを感じていたり²⁾。著者らはランナーの舗装に対する感触を定量的に評価することを目標として研究を行っており、アスファルト舗装に対するランナーの感触の違いは、舗装テクスチャが寄与していることが示唆された²⁾。そこで、本研究はランナーの接地を考慮し、舗装テクスチャについて2次元データを用いた線での評価ではなく、3次元データを用いた面での評価方法について検討した。

2. 舗装テクスチャの面での測定

2.1 舗装テクスチャ（面粗さ）の測定方法

直径 100 mm の円柱舗装供試体を対象として面粗さの測定を行った。測定には光学式 3D 形状測定機（型式：VR-5000, KEYENCE 製, 以下, 3D スキャナ）を用いた。本測定機器は、高輝度 LED を内蔵した投光部より照射された構造化照明光により、400 万画素モノクロ C-MOS カメラに写し出された試料の縞投影画像から形状を測定するものである。得られた縞投影画像を使って、任意の部分の高さ（以下、標高）を測定し、csv ファイルで標高データを出力した。高さ方向の計測分解能は 0.1 μm である。

2.2 評価対象

本検討で対象とした舗装材料および舗装種類を 3D スキャナで測定した表面の外観を図-1 に示す。アスファルト舗装および簡易舗装の表層で用いられる混合物として、細密粒度ギャップアスファルト混合物³⁾、密粒度アスファルト混合物、砕石マスチックアスファルト混合物(5)、ポーラスアスファルト混合物(5)、開粒度アスファルト混合物(13)、ポーラスアスファルト混合物 (13)の 6 種類を対象とした（以下それぞれ、細密(13)、密粒(13)、SMA(5)、ポーラス(5)、開粒(13)、ポーラス(13)と示す。）。アスファルト混合物以外には、透水性レジンモルタルシステム工法⁴⁾を用いた舗装（以下、弾性舗装）、コンクリート舗装、陸上競技場の全天候型ウレタン舗装の表面形状の仕上げ方法が異なる 2 種類を対象とした。弾性舗装とは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とウレタン樹脂を混合したレジンモルタルを、開粒(13)の空隙に摺り込んだ舗装である。そのため、開粒(13)に比べて、凸部の形状を有することが特徴である。セメント・コンクリート舗装（以下、コンクリート舗装）の供試体はコンクリート舗装の示方配合⁵⁾を参考に、ほうき目仕上げとし、室内で作製した。陸上ウレタン舗装は、陸上競技場で使用されている全天候型舗装のポリウレタン系材料を用いた舗装である。陸上競技場のトラック走路のテクスチャは、仕上げ方法によって異なる。ウレタン材料をスプレーで吹き付けてエンボス形状を仕上げる舗装（以下、陸上スプレー）と砂骨ローラーを用いてエンボス形状を仕上げる舗装（以下、陸上ローラー）の 2 種類である。2 種類の舗装テクスチャは、ともに凸部を多く有しており、陸上スプレーに比べて陸上ローラーの方が、凸部の形状が

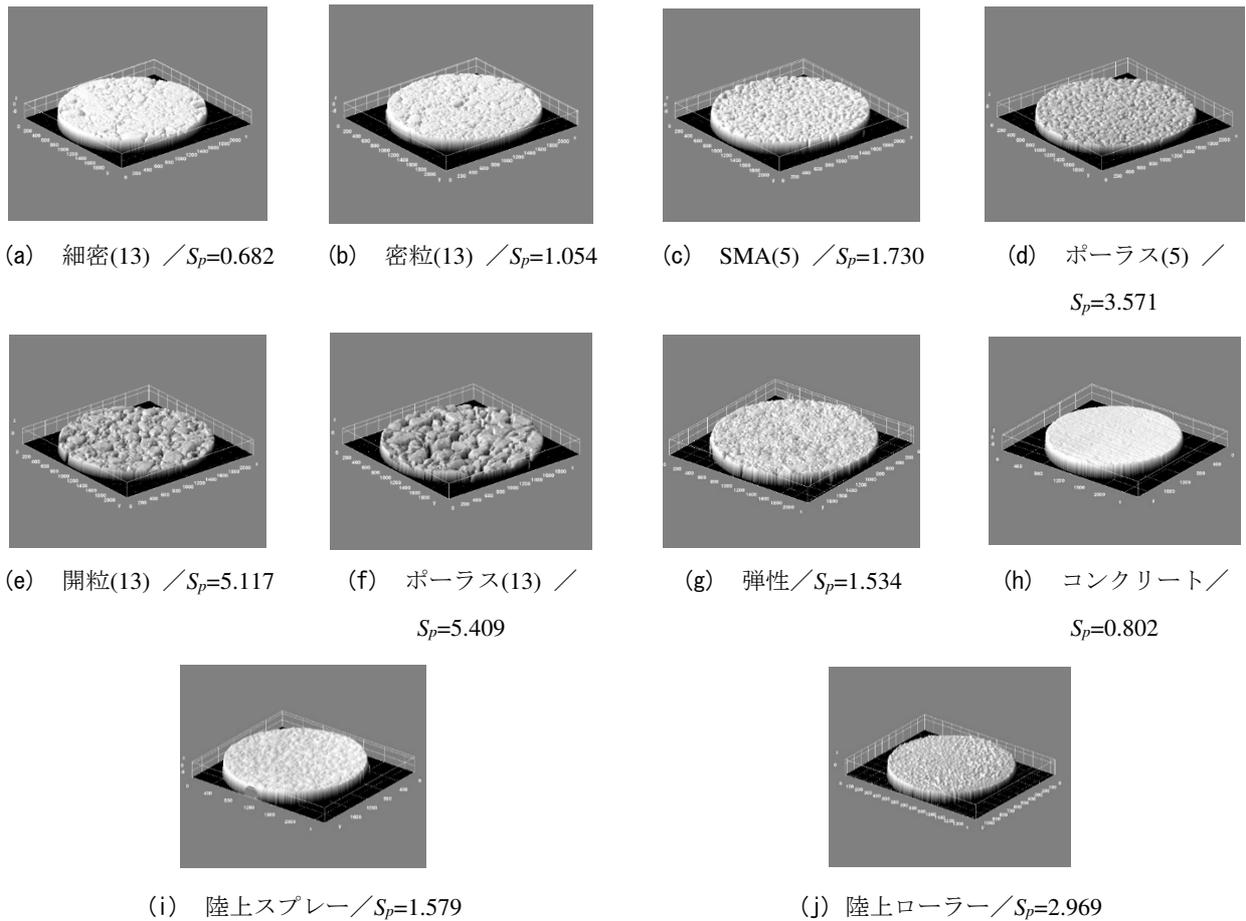


図-1 円柱供試体の外観（最大山高さ S_p を表記）

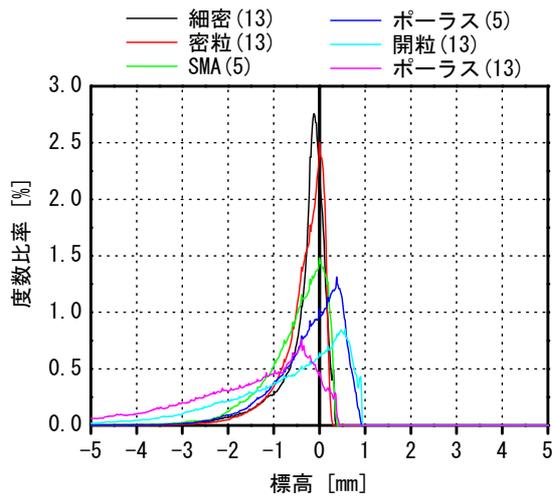
針山のようなテクスチャを多く有している。

3. 舗装テクスチャの面での評価

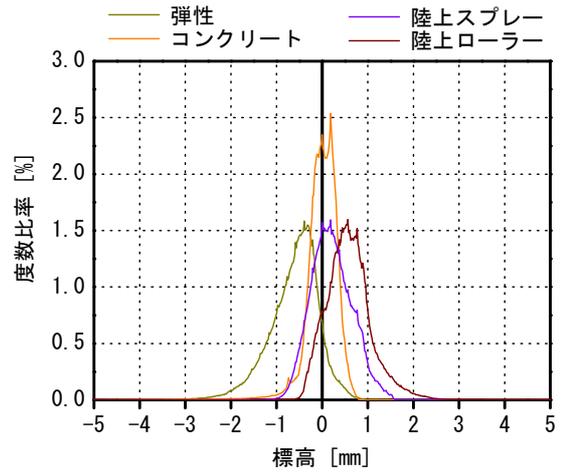
3.1 従来の指標に基づく舗装テクスチャの評価

図-2 に測定した標高度数分布を示す。横軸は標高を示し、マイナス値が深さ方向を示している。縦軸は総度数に対する度数の比率を示した。図-2(a)に示すアスファルト混合物の標高度数分布より、度数比率の最大値をみると細密(13)と密粒(13)は2.5~2.7%、SMA(5)やポーラス(5)は1.3~1.4%、開粒(13)やポーラス(13)は0.8%と小さい値を示す。度数比率の最大値が小さくなるにつれて、度数を有する標高の範囲が広がっている。すなわち、細密(13)と密粒(13)は0.5 mm~-0.5 mmの標高に偏っているため、鋭く尖った形状を示している。開粒(13)は標高1.0 mm~-5.0 mmと度数を有する標高の種類が多い。図-2(b)に示す標高度数分布より、コンクリート舗装の標高度数分布はアスファルト混合物の細密(13)や密粒(13)と同様に、度数比率の最大値が2.5%であり、度数を有する標高の範囲が1.0 mm~-1.0 mmと狭い。弾性舗装や陸上スプレー、陸上ローラーの標高度数分布は、度数比率の最大値が1.5%程度であり、度数を有する標高の範囲が陸上スプレーは3.5 mm~-5.0 mmと特に広い。

これらの標高度数分布を定量的に評価する指標がISO25178に示されているスキューネスとクルトシスである。スキューネスは標高度数分布の標高0.0 mmからの偏り度合いを示す指標であり、クルトシスは標高度数分布の尖り度合いを示す指標であり、正規分布の場合、クルトシスは約3.0の値を示す。度数分布曲線の尖り度合いが大きいほど、3.0より大きい値を示す。算出した結果を図-3に示す。



(a) アスファルト混合物

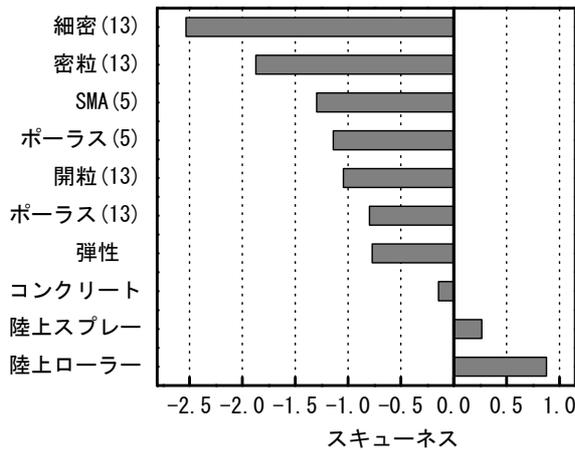


(b) アスファルト混合物以外の材料

図-2 標高度数分布

$$Z_{sk} = \frac{1}{Z_q^3} \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N Z_n^3 \right]$$

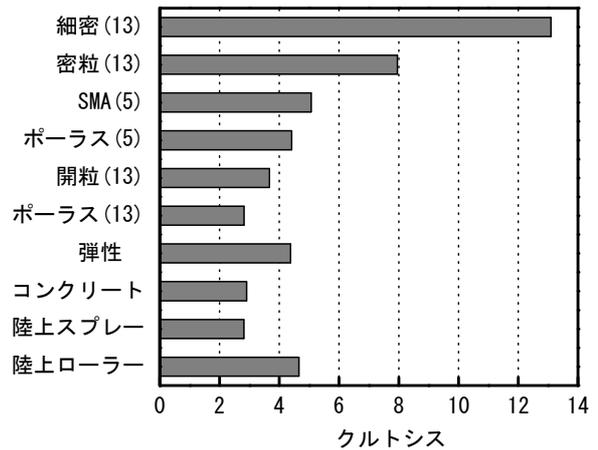
Z_{sk} : スキューネス
 Z_n : 標高 [mm]
 Z_q : 二乗平均平方根高さ [mm]



(a) スキューネス

$$Z_{ku} = \frac{1}{Z_q^4} \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N Z_n^4 \right]$$

Z_{ku} : クルトシス
 Z_n : 標高 [mm]
 Z_q : 二乗平均平方根高さ [mm]



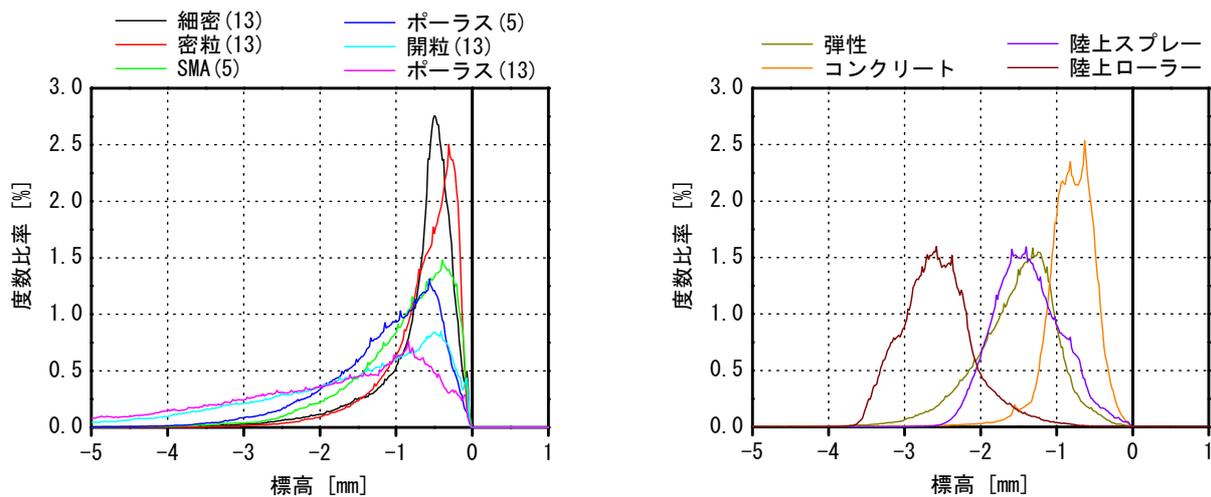
(b) クルトシス

図-3 面での評価指標の結果

す. 図-3(a)に示すスキューネスの結果より, 細密(13) を含めたアスファルト舗装に関しては, 負の値を示す標高の度数が多いため, スキューネスは負の値を示す. 図-2(b)に示す陸上スプレーや陸上ローラーに関しては, 正の値を示す標高の度数が多いため, スキューネスは正の値を示す. 次に, 図-3(b)に示すアスファルト混合物に関して, 細密(13)や密粒(13)は尖り度合いが大きいため, クルトシスは13.0および8.0と大きく, SMA(5)やポーラス(5), 開粒(13), ポーラス(13)の順に尖り度合いは小さくなり, クルトシスは約3.0に近い値を示した. 図-2(b)に示すアスファルト混合物以外に関しては, コンクリートと陸上スプレーは3.0程度であり, 弾性舗装と陸上ローラーは約4.5であった.

3.2 ランナーの接地を想定した舗装テクスチャの評価

舗装テクスチャの評価指標は, 車のタイヤが接地することを想定して, テクスチャを評価している. 本研究では車の70分の1程度の荷重しか有さないランナーを対象としている. そのため, ランナーのシューズ底面が舗装と接地するのは, 標高の最大値 (以下, 標高最大値) から数ミリしか影響しない



(a) アスファルト混合物

(b) アスファルト混合物以外の材料

図-4 標高最大値を基準とした場合の標高度数分布

と考えられる。すなわち、舗装の表面から見て、深さ方向（標高ではマイナス方向）に大きい値を示す標高の度数が多く有するが、シューズ底面は接することができない深さであるため、無効と判断される。これより、本研究は標高最大値を基準面した場合の標高度数分布で評価を行うこととした。標高度数分布は、同一の標高を有する度数すなわち接地点数を示している。基準面である標高 0.0 mm から標高度数の増加度合い、すなわち標高度数分布の標高ゼロからの曲線の勾配が大きい場合、接地点数すなわち接地領域の増加度合いが大きいことを示す。標高 0.0 mm から標高度数の増加度合いが小さい場合は、接地領域は緩やかに増加するという読み取り方が可能である。本研究では度数の累積値の総数に対する累積度数の比率が 0.1 % となる標高を基準面（標高=0）とした。標高最大値を基準面とした場合の標高度数分布を図-4 に示す。図-4(a) に示すアスファルト舗装について、密粒(13) は標高度数分布の標高ゼロからの曲線の勾配が最も大きく、細密(13), SMA(5), ポーラス(5), 開粒(13), ポーラス(13)の順に勾配が小さくなっている。図-4(b) に示す弾性舗装や陸上ウレタン舗装の場合、標高度数分布の曲線は標高ゼロから度数の増加度合いがアスファルト混合物に比べて極めて小さい。弾性舗装と陸上スプレーは標高-0.5 mm 以降、陸上ローラーは-1.0 mm 以降の標高において度数が増加傾向を示している。以上より、舗装テクスチャを面で測定した標高データの基準面を標高最大値とすることにより、アスファルト混合物のみならず他の舗装材料のテクスチャの特徴を把握することが可能である。

4. まとめ

本研究は、ランナーのシューズ底面が舗装テクスチャの最大標高値から接地することを加味した評価方法を検討した。その結果、標高度数分布によってアスファルト混合物のみならず他の舗装材料の舗装テクスチャを評価できることを示唆した。この評価方法により、ランナーが走行するコースの舗装に対してランナーの走りやすさを評価できる可能性を示した。

【参考文献】

- 1) 黒岩, 川上, 峰岸, 増山, 前川: 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, I_185-I_190, 2013.
- 2) 池田, 遠藤, 中島: 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, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.75, No.2, pp.I_49-I_56, 2019.
- 3) 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, 2017.
- 4) 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.
- 5) 公益社団法人 日本道路協会: コンクリート舗装ガイドブック 2010, 2016.