

騒音レベルと路面性状値の関係性評価

常松 直志¹⁾ 美馬 孝之¹⁾ 加藤 幸治²⁾ 高平 正清²⁾

Evaluation of the Relationship between Noise Level and Road Surface Characteristics

Tadashi Tsunematsu Takayuki Mima Koji Kato Masakiyo Takahira

Road surfaces compliant with ISO 10844:2011-2021 are specified as road surfaces for external noise measurement tests. However, from extensive experiences, it has become clear that even the slightest differences in road noise factors can cause differences in road noise levels. Therefore, in this study, we constructed several trial pavements with different road surface characteristics and, the relationship between tire/road noise and road surface factors was evaluated.

KEY WORDS: Vibration, noise, and ride comfort, Exterior noise/noise regulation, ISO 10844, Texture (B3)

1. まえがき

自動車産業におけるカーボンニュートラルへの取組みの一つとして、車両の電動化が挙げられる。電気自動車(以下, EV)は交通騒音の低減が期待できるが、タイヤ/路面騒音の発生源である路面特性の影響評価も進めていく必要がある。

一方、車外騒音測定試験用路面として ISO 10844:2011-2021 (以下, ISO 10844) に準拠した路面 (以下, ISO 路面) が規定されている。しかし, ISO 10844 の規格に準拠して建設された ISO 路面においても, コースごとに路面性状値や環境条件, 供用年数が異なるため, 同一車両および同一タイヤを用いて騒音測定を実施した場合でも, 騒音レベル(dB) (以下, 騒音レベル) に差が生じている。

以上のことから, 本研究では, 異なる路面性状を有する試験施工路面を構築し, トレッドパターンの異なるタイヤを用いた走行試験により, 騒音レベルと路面騒音因子 (路面性状値) の関係性について評価した。

また, これらの試験結果から, 騒音レベルと関係の深い路面騒音因子の特定, また, 重回帰分析による各種路面騒音因子を用いた路面騒音の予測を行うことを目的としている。

2. ISO 路面の概要^{(1), (2), (3)}

ISO 路面の標準寸法を図 1 に示す。ISO 路面は, 走行路および伝ば領域に分類されており, 通過騒音の測定時には, 伝ば領域の中心ライン (PP') の任意の位置にマイクロフォンを設置し, 騒音レベルを測定する。また, 特徴的な条件として, 「試験路の中心から半径 50m の範囲は, 塀, 岩, 橋又は建物のような大きな反射物があるてはならない」とされている。これは, 反射物があった場合, それらの反射の焦点が試験路に集中し

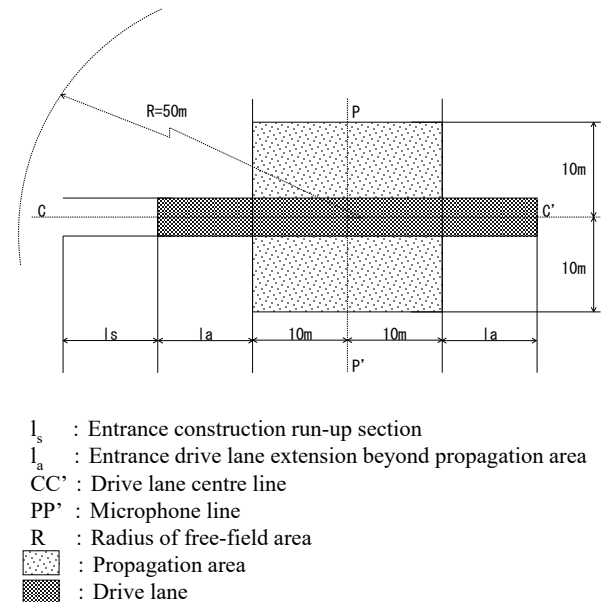


Fig.1 Standard dimensions for ISO road surfaces

た際に測定値に大きな影響を与える可能性があるためである。

なお, ISO 路面における代表的な要求事項を表 1 に示す。走行路と伝ば領域において要求事項は異なるが, 路面性状値である MPD や吸音率のほかにも, 縦横断勾配や凹凸量について規定されている路面となっている。

Table1 Typical requirements for ISO road surfaces

Requirements for the track		Drive lane	Propagation area
Slope	Gradient	$\leq 0.5\%$	-
	Cross fall	$\leq 1\%$	$\leq 2\%$
Longitudinal irregularity		$\leq 2\text{mm}$	$\leq 20\text{mm}$
Transverse irregularity		$\leq 3\text{mm}$	
Texture (MPD)		$0.5\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$	-
Sound absorption		$\leq 8\%$	$\leq 10\%$
Material properties of the drive lane		To be checked	-

1) 日本道路(株) (300-0028 茨城県土浦市おおつ野 1-4-1)

2) トヨタ自動車(株) (471-8572 愛知県豊田市トヨタ町 1)

3. 試験施工

本試験施工では、路面因子が騒音に与える影響について評価を行うため、表 2 に示す計 9 種類の路面性状が異なる評価路面を構築した。施工状況を図 2、構築した路面の路面性状値を表 3 に示す。本路面により、路面性状と騒音値の関係について検証を行った。

Table2 Road surface conditions for trial pavements

Type	MPD (mm)	Sound absorption (%)	BPN (20°C, wet)	
A (Norm)	Norm (Untreated)	Norm (Untreated)	Norm (Untreated)	
B	Norm (WJ)		Rather small small	
C				
D				
E	Rather large		Norm (Untreated)	
F	Large			
G	Norm (Untreated)	Large (Untreated)		
H		Medium (Re-compaction)		
I		Small (Re-compaction)		



Fig.2 ISO road surface construction status

Table3 Road surface property values

Type	MPD (mm)	Sound absorption (%)	BPN (20°C, wet)
A (Norm)	0.41	5.4	68
B	0.47	3.4	75
C	0.42	4.3	61
D	0.44	4.5	39
E	0.66	6.3	77
F	1.08	6.3	77
G	0.40	9.6	73
H	0.48	3.3	68
I	0.44	1.1	68

3.1. 路面テクスチャ

路面テクスチャと騒音値の関係を把握するため、水を高圧噴射することで骨材に被膜しているアスファルトやモルタル分を除去するウォータージェット (WJ) を用いた表面処理を実施し、テクスチャの異なる路面を構築した。なお、テクスチャは MPD で管理し、標準を含む計 4 工区に設定した (工区 A, B, E, F)。

3.2. すべり抵抗

路面のすべり抵抗と騒音値の関係を把握するため、表面研磨によりすべり抵抗の異なる路面を構築し、騒音値の評価を実施した。なお、すべり抵抗は BPN(wet)で管理し、標準を含む計 4 工区に設定した (工区 A, B, C, D)。

3.3. 吸音率

路面の吸音率と騒音値の関係を把握するため、完成後の路面を路面ヒーターで再加熱し、再転圧による吸音率の異なる路面を構築した。路面は標準を含む計 4 工区に設定した (工区 A, G, H, I)。

4. 騒音測定

4.1. 試験車両

本走行試験では、測定時のエンジン音の影響をできるだけ取り除くため、EV を使用した。また、騒音測定は、図 3 に示すシステムで実施した。

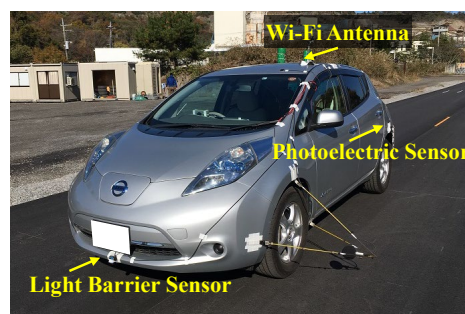


Fig.3 Noise Measurement System

4.2. 試験タイヤ

騒音測定には、4 種類のタイヤを使用した。なお、各タイヤの特徴は、以下に示すとおりである。

(1) スリックタイヤ

スリックタイヤ (以下, Slick) は、タイヤにトレッド溝がないタイプである。トレッド溝によるパターンノイズやエアポンピング音等の影響を極力少なく評価できる。

(2) 基準タイヤ

テストコース等の基準路面の評価において、一般に用いられている ASTM 基準タイヤ (以下, SRTT) である。トレッドパターンは、ラグ型 (タイヤの周方向に対して直角に溝が刻まれたパターン) とブロック型 (独立したブロックで形成されたパターン) の複合である。

(3) スポーツタイヤ

スポーツタイヤ (以下, Sports) は、幅広タイプのタイヤのため、路面との接地面積が大きい。トレッドパターンは、タイヤ中央部がスリック形状となっている。

(4) SUV 用タイヤ

SUV 用タイヤ (以下, SUV) は、トレッドパターンとして、ラグパターンおよびブロックパターンが細かく配置されているタイヤである。

4.3. 測定方法

走行試験測定状況を図 4 に示す。走行試験は、各路面で通過騒音による騒音レベルについて評価した。通過騒音は、車線中心部から 7.5m の位置にマイクロフォンを設置し、ピーク値による騒音レベルの評価を行った。なお、騒音レベルについて

は、1/3 オクターブバンド分析におけるオーバーオール値（周波数バンドごとの騒音レベルの総和をとった合成レベル）とし、定常走行試験と加速走行試験の2種類により評価した。また、測定は数日間行い、測定期間中の気温は5～16℃、湿度は40～80%程度であった。

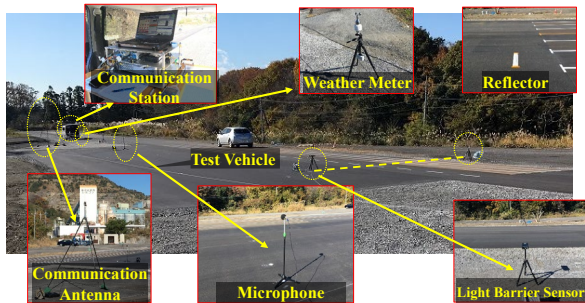


Fig.4 Noise measurement situation

5. 騒音測定結果

5.1. 走行試験別の騒音レベルの比較

(1) 定常走行試験

定常走行試験結果を図5に示す。試験タイヤごとに比較すると、Slick は騒音レベルの平均値が 58.0(dB)と最も低いものの、標準偏差は最も大きく、路面性状の影響を受けやすいことがわかる。一方で、SRTT や SUV は、騒音レベルの平均値は高い傾向にあるが、標準偏差は小さく、路面の影響は比較的小さい。Sports については、騒音レベルは高めであり、かつ路面性状の影響を受けやすい傾向が認められる。

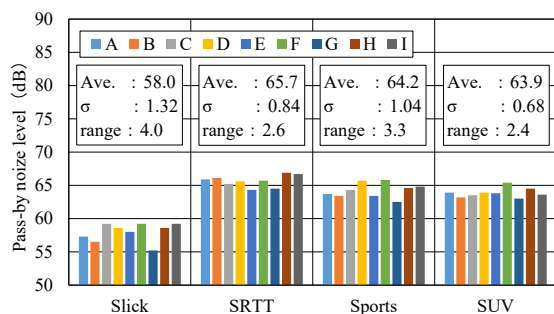


Fig.5 Noise measurement result (Constant speed driving)

(2) 加速走行試験

加速走行試験結果を図6に示す。タイヤの違いについては、定常走行とほぼ同様な傾向を示しているが、騒音レベルは定常走行よりも 1.5～4.0(dB)程度大きい値を示している。同一タイヤにおける標準偏差については、定常走行と比較して、Slick は加速走行のときの方が小さくなったが、SUV については加速走行のときの方が大きくなった。SRTT と Sports の標準偏差については、定常走行と同様な傾向が認められる。

5.2. 路面騒音因子と騒音レベルの比較

(1) 路面テクスチャ (工区 A, B, E, F)

MPD と騒音レベルの関係を図7および図8に示す。Slick, Sports, SUV については、MPD と騒音レベルに正の相関が認め

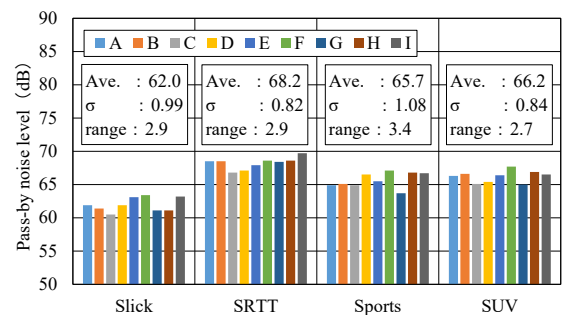


Fig.6 Noise measurement result (Accelerated driving)

られる。また、近似式の傾きより、加速走行よりも定常走行の方が、より影響度が高い傾向にあると推察される。一方、SRTT については、MPD と騒音レベルの関係性は認められない。

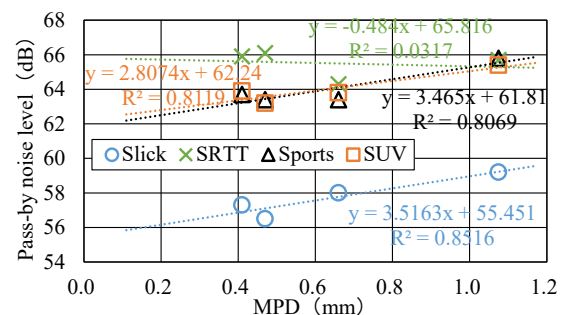


Fig.7 Relationship between MPD and Pass-by noise level (Constant speed driving)

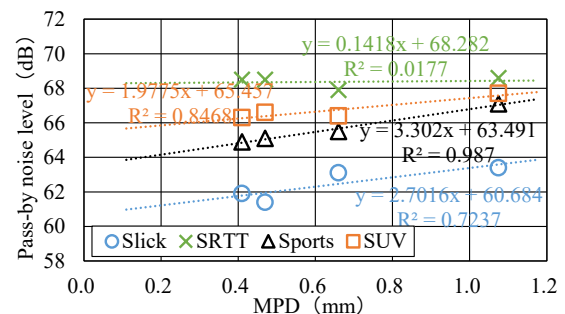


Fig.8 Relationship between MPD and Pass-by noise level (Accelerated driving)

(2) すべり抵抗 (工区 A, B, C, D)

BPN と騒音レベルの関係を図9および図10に示す。Sports については、BPN と騒音レベルに負の相関が認められ、相関係数も高い。また、Slick については、定常走行ではBPNの上昇により騒音レベルは低下傾向にあるが、加速走行では騒音レベルに大きな差は認められない。一方、SRTT と SUV については、定常走行では BPN が変化しても騒音レベルはほぼ一定となっており、加速走行では BPN の上昇により騒音レベルも上昇傾向にある。この結果より BPN と騒音レベルの関係は、タイヤの種類により傾向が異なることが確認された。これはタイヤのトレッドパターンの影響によるものと考えられる。

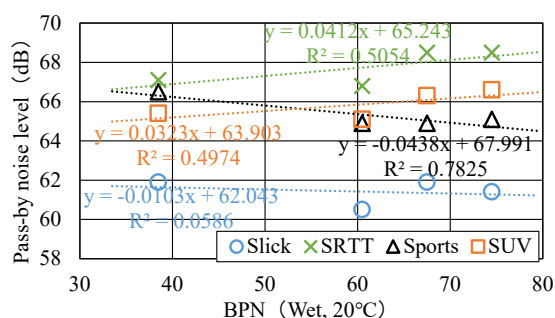
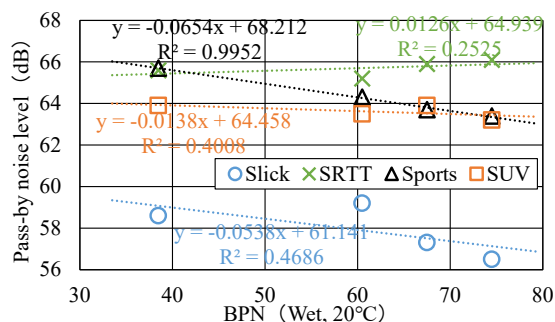


Fig.10 Relationship between BPN and Pass-by noise level
(Accelerated driving)

(3) 吸音率 (工区 A, G, H, I)

吸音率と騒音レベルの関係を図 11 および図 12 に示す。タイヤの種類および測定条件により寄与度は異なるが、いずれのタイヤも、吸音率の増加にともない騒音レベルは低下傾向にある。一方、加速走行時の Slick と SRTT については、吸音率の増加にともなって騒音レベルは低下傾向にあるが、相関係数は低い。なお、Slick については、加速走行試験時の 1/3 オクターブバンド分析における 1,000Hz の周波数帯の騒音レベルが突出している (図 13)。これは、試験車両に EV を用いているため、モーター音を拾っていると推察される。Slick の場合、タイヤ溝がなく他のタイヤと比較して騒音レベルが小さいため、試験車両のモーター音による影響が顕著に表れたことで、相関が低くなったと判断される。

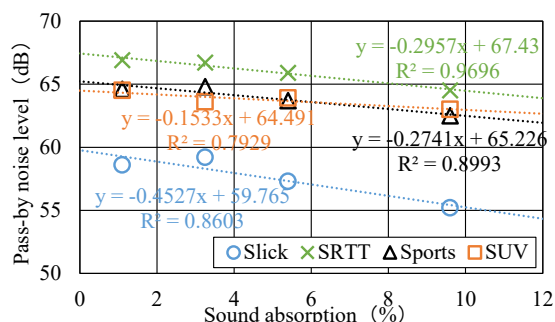


Fig.11 Relationship between Sound absorption and
Pass-by noise level (Constant speed driving)

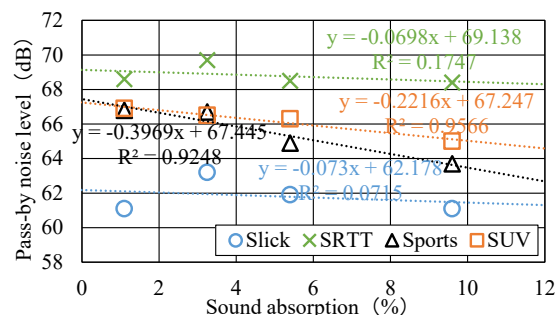


Fig.12 Relationship between Sound absorption and
Pass-by noise level (Accelerated driving)

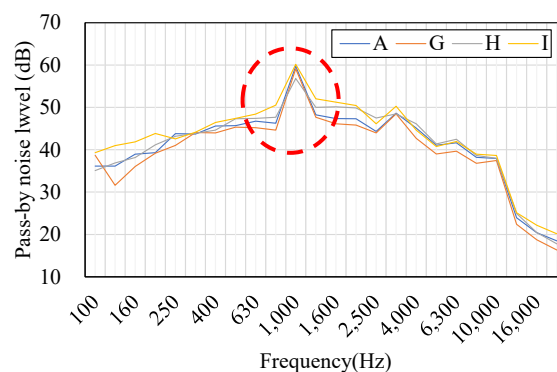


Fig.13 1/3 octave band analysis results
(Accelerated driving, Slick)

5. 3. 路面騒音因子を用いた重回帰分析

前節の評価結果を踏まえ、重回帰分析による路面騒音因子に関する騒音レベルの定量的評価を行った。通常、路面テクスチャは供用により変化してくるが、一般的な要因としては圧密または骨材飛散による場合が考えられる。そのため、同一 MPD においても、ポジティブ側かネガティブ側で得られる騒音値に差が生じることが想定される。そこで、図 14 に示すテクスチャの概念を表す指標であるシェイプファクタ (以下、g) を重回帰分析の因子の一つとして使用した。本指標は、100mm ごとのプロファイルデータを高い順に並び替え、中央値 (d/2) に対するプロファイル深さの百分率を g と定義している。つまり、g が小さいほどポジティブテクスチャ、g が大きいほどネガティブテクスチャであることを示したものである。

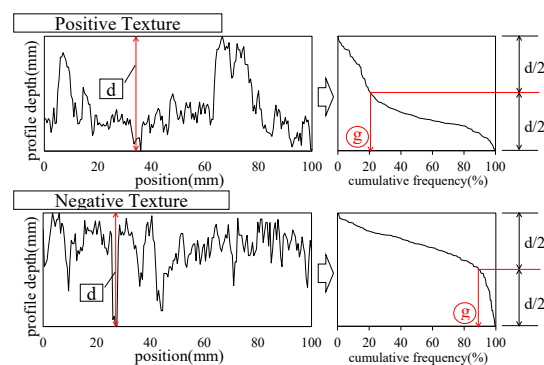


Fig.14 Concept of Shape Factor

本試験施工路面における MPD と g の関係を図 15 に示す。両者には負の相関が認められる。これは、表面処理を行うことによる路面の粗面化に伴い、テクスチャがポジティブ側になることを示唆したものであるが、再転圧により路面を加工した箇所は、他の路面と傾向が異なることがわかる。このことから、供用中の路面については、経年変化により同一 MPD においてもテクスチャの形状が異なることが予想されるため、騒音レベルにも影響を及ぼす可能性があるかと判断される。

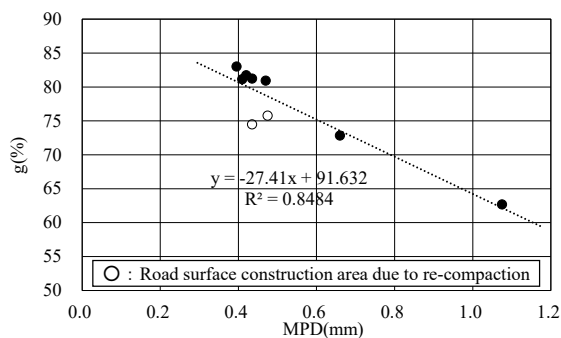


Fig.15 Relationship between MPD and g

g を路面因子として考慮した重回帰分析結果を図 16 および図 17 に示す。ここでは、重回帰分析の路面因子として MPD, g , BPN, 吸音率の 4 種類を使用した。

定常走行では、SRTT を除く 3 種類のタイヤについて、加速走行では Sports と SUV の 2 種類のタイヤについては概ね相関が認められた。SRTT については、定常走行、加速走行ともに相関が低い結果を示しているが、これは、トレッドパターンが複合されている影響により、エアポンピング音やパターンノイズが発生し、テクスチャや BPN との関係性が見出せなかったためと推察される。加速走行のときの Slick については、前述のとおり、タイヤ溝がなく他のタイヤと比較して騒音レベルが小さいため、EV のモーター音の影響が強く表れたため、予測式の精度が低くなったと考えられる。

6. まとめ

以上の評価結果をまとめると、以下のとおりである。

- ① Slick, Sports, SUV は、MPD と騒音レベルに正の相関が認められるが、SRTT においては、相関は認められない。
- ② Sports については、BPN と騒音レベルに負の相関が認められ、高い相関を有しているが、Slick, SRTT, SUV については相関が低い。
- ③ SRTT と SUV については、タイヤのトレッドパターンの影響により、BPN と騒音レベルの相関関係が低くなったと考えられる。
- ④ タイヤの種類により寄与度は異なるが、吸音率の増加にともない騒音レベルは低下傾向が認められ、路面の吸音率は支配的な路面騒音因子と判断される。
- ⑤ g を路面因子として考慮した重回帰分析結果から、定常

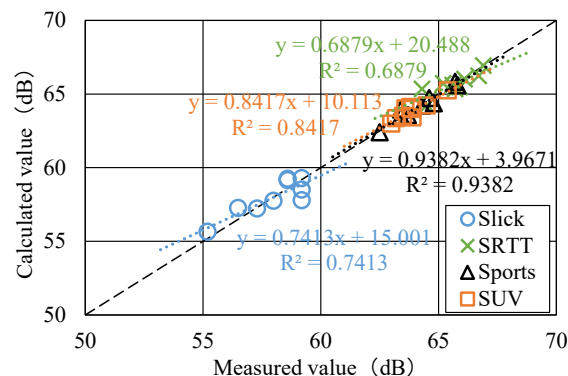


Fig.16 Results of multiple regression analysis
(Constant speed driving)

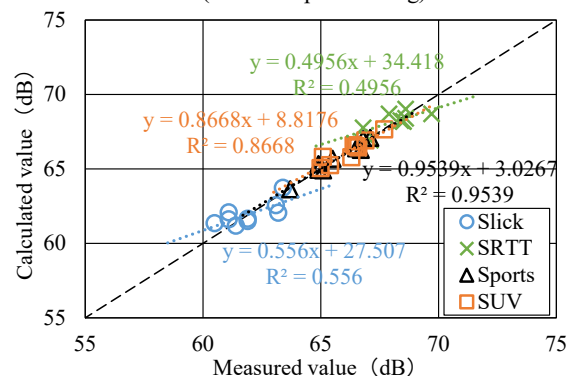


Fig.17 Results of multiple regression analysis
(Accelerated driving)

走行では SRTT を除く 3 種類のタイヤで、加速走行では Sports と SUV のタイヤで、概ね相関が認められる。

- ⑥ 重回帰分析で SRTT, Slick の相関が低くなった要因としては、SRTT についてはトレッドパターンが複合されている影響、Slick については、EV のモーター音の影響が顕著に表れたためと推察される。

試験施工により、異なる路面性状を有する路面を構築し、路面騒音因子と騒音レベルの関係について評価を行った。タイヤの種類により得られる評価値は異なるものの、一定の傾向を見出すことができたと考える。ただし、今回の評価結果から、とくにテクスチャ形状に関しては、さらに詳細な評価が必要と考える。今後は、周波数特性や波長成分、環境条件等の影響要因も考慮し、検討を進めていく所存である。

参 考 文 献

- (1) ISO 10844:2011-2021 Acoustics - Specification of test tracks for measuring sound emitted by road vehicles and their tyres
- (2) ISO 13473-1:2019 Characterization of pavement texture by use of surface profiles - Part 1: Determination of mean profile depth
- (3) JIS D 8301:2020 自動車及びタイヤの車外騒音測定のための試験用路面