

路面テクスチャとタイヤ / 路面騒音に関する検討

井原務¹・井上武美²

¹ 正会員 日本舗道株式会社 技術研究所 (〒140-0002 東京都品川区東品川 3-32-34)

² 正会員 工博 同上

排水性舗装の更なる低騒音化として、粗骨材の小粒径化や2層排水性等が効果的であることが明らかにされてきた。しかし、低騒音化に関する路面凹凸との関係が明らかにされていることが少ないといった問題が残されていた。本研究では、これまでに得られたタイヤ / 路面騒音とその測定した箇所の路面凹凸のテクスチャに関する評価値との関係を検討した。その結果、タイヤ / 路面騒音と良好な関係となる新たなテクスチャの評価値をみいだすことができた。また、砕石の粒径範囲とテクスチャのパワースペクトル密度の変化についても検討した。さらに、低騒音化を目的とした砕石選定や混合物の配合等の検討にテクスチャの測定が有効であることも示した。

Key Words : porous pavement, surface texture, tyre/surface noise, power spectral density

1. はじめに

近年、舗装工事の一部には、性能規定への移行に伴い、騒音に関する性能規定工事が発注されている。この工事では、騒音の規定がタイヤ / 路面騒音の低騒音化であることから、低騒音舗装として実績のある排水性舗装が適用されている。また、現在では、排水性舗装のタイヤ / 路面騒音の低減値の実績を踏まえて、それをさらに低減できる技術提案を期待した舗装工事の試行¹⁾も行われている。

既往の排水性舗装の更なる低騒音化としては、粗骨材の小粒径化、表層の増厚および2層排水性等が効果的であることが明らかにされてきた^{2),3)}。

しかし、粗骨材の小粒径化は機能の維持や舗装としての耐久性に懸念があり、また、どの程度まで最大粒径を小さくできるかといった課題や、低騒音化に関するテクスチャとの関係が明らかにされていることが少ないといった問題が残されていた。

そこで、本研究では CPX (Close-Proximity) 法⁴⁾に類似した路面騒音測定車で得られたタイヤ / 路面騒音とテクスチャの評価値との関係および良好な関係が得られる新たな評価値の可能性について検討した。また、砕石選定に関連した室内試験レベルでのテクスチャ試験および評価方法を検討し、測定した

テクスチャについて、路面プロファイルの評価に用いられているパワースペクトル密度 PSD⁵⁾ (Power Spectral Density) を計算して、その変化の特性や PSD の路面テクスチャへの適用の可能性も検討した。

2. 研究概要

(1) タイヤ / 路面騒音を測定した排水性舗装は、砕石の粒径範囲が 13 ~ 8mm, 13 ~ 5mm, 10 ~ 5mm および 8 ~ 5mm の4種類の12の施工区間で、何れも目標空隙率が 20 %の舗装である。それらの舗装の排水性混合物の層厚は 40mm (1層) ~ 150mm (2層) である。

(2) タイヤ / 路面騒音は、特殊タイヤを装着した路面騒音測定車⁶⁾の走行速度 50km/h における等価騒音レベル (Leq: dB(A)) により評価している。なお、特殊タイヤは 1000Hz 付近の音圧を増幅させる円形と矩形の溝が刻まれている。

(3) 排水性舗装の路面の凹凸は特殊なパテを用いて、型取りによって採取した。採取した型取り供試体の1例を写真-1に示す。その供試体の凹凸は、写真-2に示すテクスチャ測定装置により1つの供試体当たり3測線をサンプリング間隔 0.1mm で測定し

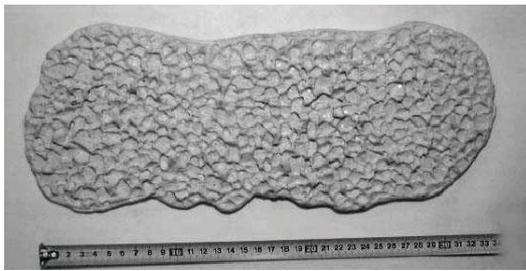


写真-1 特殊パテによる型取り供試体例

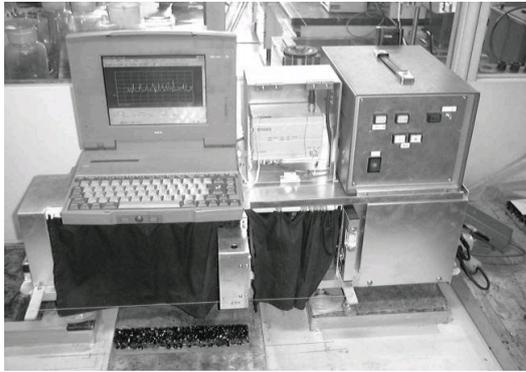


写真-2 テクスチャ測定装置の外観

た．この装置は，レーザ変位計とデータ収集ユニットおよびノートパソコンから構成されている．レーザ変位計はモータにより 1mm/s の速度で移動させ，その移動範囲は 300mm である．なお，レーザ変位計の仕様はスポット径が 0.07mm，測定範囲が ±15mm，分解能が 3 μ m となっている．

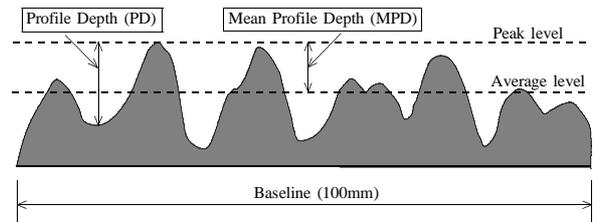
(4) 測定した路面凹凸のテクスチャの定量的な評価値は，きめ深さ(凹凸量の平均値)，凹凸量の標準偏差および図-1のように定義される M P D (Mean Profile Depth)⁷⁾とした．

(5) 舗装路面の低騒音化に関して，碎石の形状とその並び方が図-2⁸⁾のように示されており，低騒音の順は a，c，b，d になるとされている．この並び方を定量的に評価すると考えた指標は，図-3に示すように，凹凸量 1mm と 2mm および 3mm におけるそれぞれの累計延長(点線の合計長さ)を測定長さで除した値の累計延長比とした．

(6) タイヤ/路面騒音と前述のテクスチャの各評価値との関係を検討した．

(7) 碎石単体をアスファルトでコーティングして作製した供試体のテクスチャの評価値と路面の型取り供試体の評価値との関係を検討した．

(8) 路面および室内供試体の凹凸データ(波形)をプログラムソフトのロードラフ⁹⁾を用いて PSD の周波数分析を行った．その分析結果から排水性混合物の碎石の粒径範囲の違いや碎石単体と混合物供試体の PSD の特性を検討した．



Estimated Texture Depth (ETD)
ETD=0.2+0.8 MPD

図-1 M P D の定義

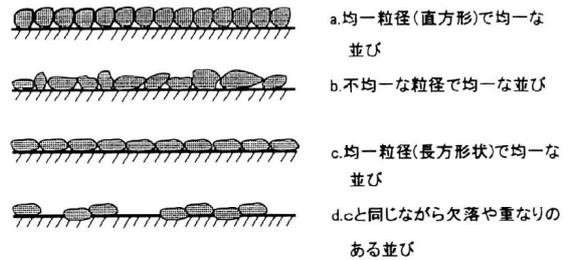
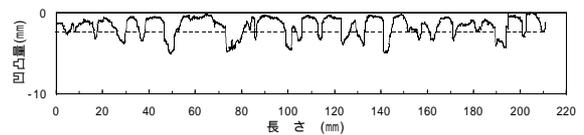


図-2 碎石の形状とその並び方(イメージ)



累計延長比 = (点線部の延長) / 測定長さ

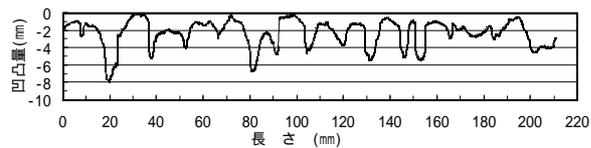
図-3 累計延長比の求め方

3. テクスチャの測定結果

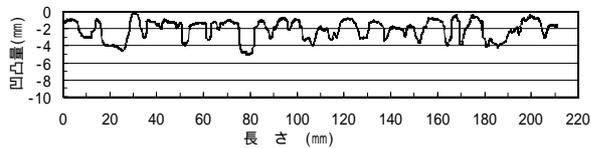
排水性舗装の路面から採取した特殊パテの型取り供試体の凹凸波形の例を図-4に示す．排水性混合物に用いた碎石の粒径範囲において，13 ~ 8mm の凹凸波形は，他の3種のそれと比べ，凹凸波形の振幅が大きく，凸部の間隔も広がっている．一方，碎石の最小の粒径が 5mm で同じ3種については，それらの凹凸波形の相違が小さいと認められる．

この波形の凹み部は，路面の空隙径の大きさの一部も表していると考えられる．同じ目標空隙率で製造された混合物の路面の空隙径は，碎石の最大粒径よりもその最小の粒径の大きさによって影響されるものと推察される．

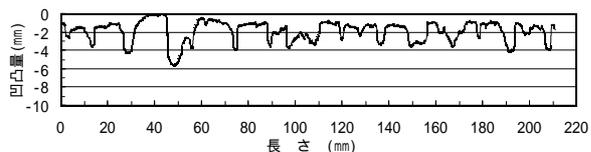
また，アスファルトでコーティングした碎石単体の供試体における凹凸波形の一例を図-5に示す．この波形は 図-4の型取り供試体の凹凸波形に比べて，変化が鋭角的で，凹み部が狭くなっている．これは，碎石単体の供試体には砂や石粉の細粒分がないことや供試体表面をレーザ変位計で直に測定したことが



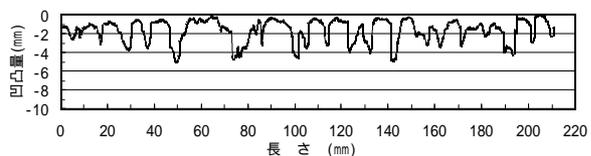
混合物に用いた砕石 13 ~ 8mm



混合物に用いた砕石 13 ~ 5mm

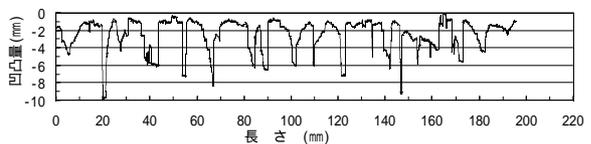


混合物に用いた砕石 10 ~ 5mm



混合物に用いた砕石 8 ~ 5mm

図-4 型取り供試体の凹凸波形の例



コーティングした砕石 10 ~ 5mm

図-5 砕石単体供試体の凹凸波形の例

ら、凹み部を正確に測定しているための相違と考えられる。

4. タイヤ/路面騒音とテクスチャの関係

タイヤ/路面騒音ときめ深さとの関係を図-6に、凹凸量の標準偏差との関係を図-7に、および MPD との関係を図-8に示す。テクスチャの評価とタイヤ/路面騒音と相関が認められる指標は凹凸量の標準偏差となった。その関係は、路面凹凸の標準偏差が大きくなるとタイヤ/路面騒音が低くなる関係となった。一方、路面凹凸の平均の深さあるいは凸部との差で評価されるきめ深さと MPD は、タイヤ/路

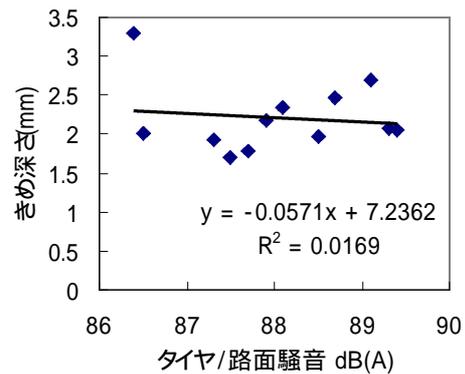


図-6 騒音レベルときめ深さの関係

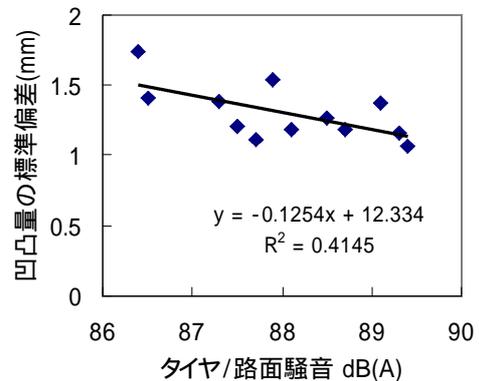


図-7 騒音レベルと標準偏差の関係

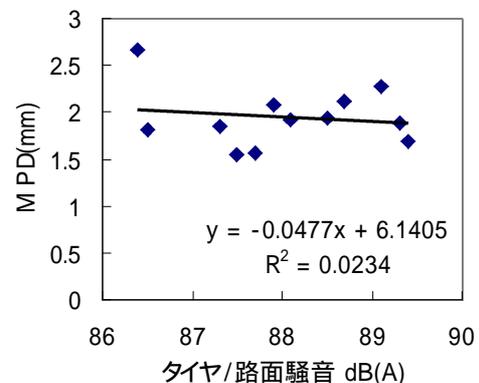


図-8 騒音レベルと MPD の関係

面騒音を構成するエアポンピング音や加振音等¹⁰⁾の低減に対して影響度合いが低いものと推察される。

なお、同一供試体における3測線の凹凸量の標準偏差の変動係数は15%程度である。

つぎに、タイヤ/路面騒音と凹凸量が1mm, 2mm および3mmでの累計延長比との関係をそれぞれ図-9~図-11に示す。タイヤ/路面騒音と相関が認められる評価は、凹凸量が2mmでの累計延長比とな

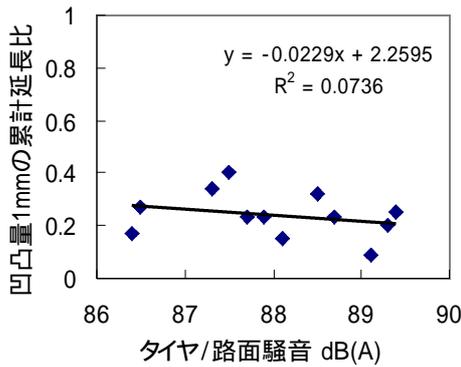


図-9 騒音レベルと凹凸量 1mm の累計延長比の関係

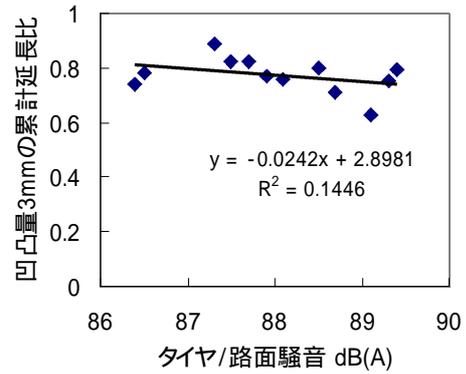


図-11 騒音レベルと凹凸量 3mm の累計延長比の関係

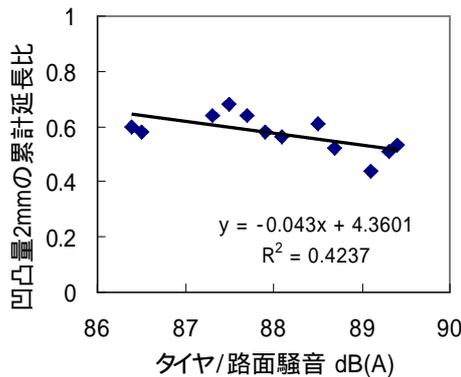


図-10 騒音レベルと凹凸量 2mm の累計延長比の関係

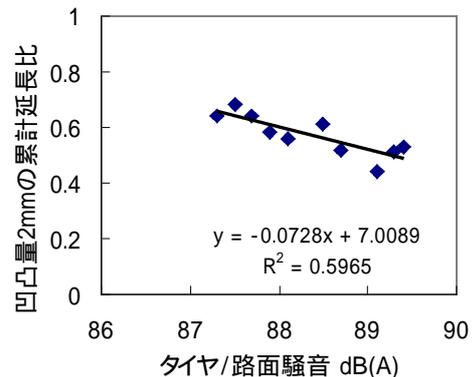


図-12 通常の工法で施工した箇所における騒音レベルと凹凸量 2mm の累計延長比の関係

った。また、排水性舗装の路面に特殊処理を施した 2 箇所を除いて、通常の工法で施工した箇所での関係は、図-12のように高い相関性となった。タイヤ/路面騒音は、凹凸量が 2mm での累計延長比が大きくなると低くなる関係となった。これは、路面とタイヤ表面の接触深さが起因しているものではないかと推測され、その累計延長比は路面の碎石の並びが均一で凸部が平坦であるほど大きくなると考えられる。このことは、前掲の図-2の低騒音の順番を裏付けるもので、タイヤと路面の衝撃による加振音の発生を抑えることができるためと推察される。

また、この累計延長比がほぼ 1 となる密粒度アスファルト舗装は、エアポンピング音等の発生を抑制できないためにタイヤ/路面騒音が大きくなる¹¹⁾ことから、加振音とエアポンピング音の発生を最も小さくさせる累計延長比が存在する可能性があると考えられる。モデル的な一例として、路面の凹凸波形の凹み部を空隙と考えると、立方体に近い碎石を用いた空隙率 20%の排水性混合物の路面は、累計延長比が 0.8 程度となる。碎石をキュービックにする粒形改善は、累計延長比が大きくなると考えられ、タイヤ/路面騒音の低減において有効な対策と思わ

れる。

なお、同一供試体における 3 測線の累計延長比の変動係数は凹凸量 1mm が 25%程度で、凹凸量 2mm および 3mm が 15%程度である。

タイヤ/路面騒音とテクスチャの関係の検討結果から、排水性舗装の低騒音機能の向上には、排水性混合物に粒形改善された碎石を用いて、その並びが均一で平坦となる配合と施工を行うことが有効と考えられる。

5. 碎石単体の累計延長比の特性

タイヤ/路面騒音を測定した排水性舗装で、混合物に用いた碎石が入手できた 4 種類について、その碎石単体による供試体を作製して、凹凸波形を測定した。凹凸波形の測定例は前掲の図-5の通りである。

図-13は、凹凸量 2mm での累計延長比における碎石単体からの結果と路面の型取りからの結果との関係を示したものである。試験個数が少ないといった問題があるが、両者にはある程度の関係が認めら

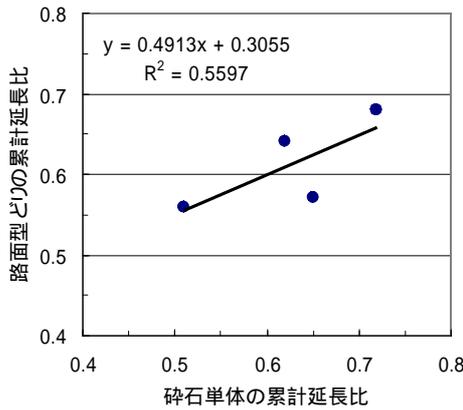


図-13 砕石単体と路面の累計延長比の比較

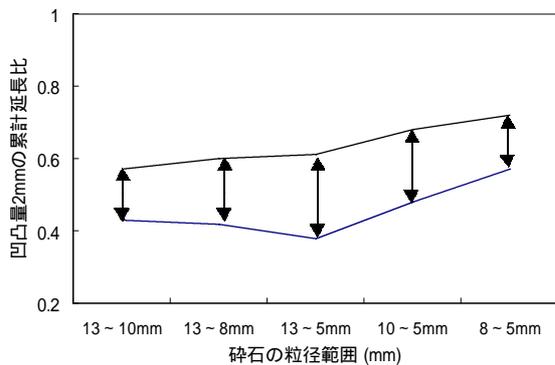


図-14 砕石の粒径範囲における累計延長比の変動

れ、砕石単体の累計延長比から排水性舗装の累計延長比の予測が概ね可能と思われる。砕石単体での供試体によるテクスチャの測定は、低騒音を目的とした排水性混合物に用いる砕石の選定の一試験になると考えられる。

また、砕石の製造で粒形改善された砕石を含め6種類の砕石について、それぞれ5つの粒径範囲に調整し、砕石単体での供試体の凹凸波形を測定した。図-14は、各砕石の粒径範囲において、6種類の供試体の凹凸量2mmでの累計延長比の変動幅を示したものである。砕石の最大粒径を小さくするほど累計延長比は大きくなる傾向が得られた。このことは、タイヤ/路面騒音が低下することとなり、既往の報告²⁾と整合することから累計延長比による評価が妥当な指標に相当するものと考えられる。

6. テクスチャのパワースペクトル密度

図-15は、4種類の砕石の粒径範囲において、路面の型取り供試体の凹凸波形のパワースペクトル密

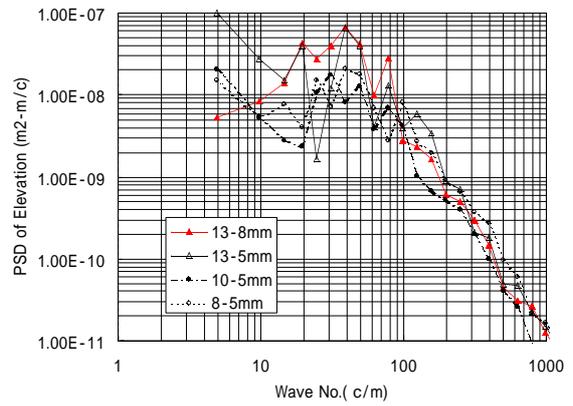


図-15 砕石の粒径範囲における PSD

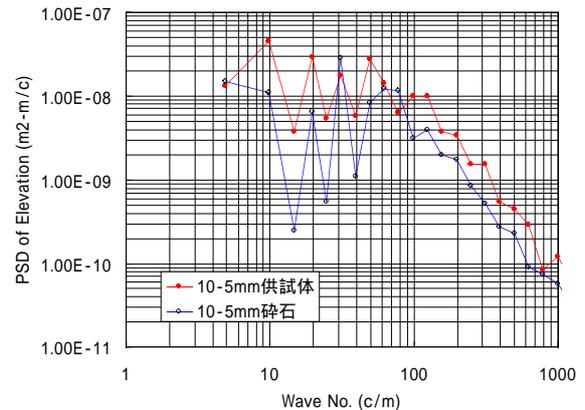


図-16 砕石単体と混合物供試体における PSD

度 (PSD) を計算した結果である。周波数 200c/m 以上 (波長 5mm 以下) の周波数域の PSD は、その周波数以下のものと比べ、砕石の粒径範囲の違いによる差が小さかった。これは、何れの排水性混合物にもほぼ同じ粒径の細骨材が用いられていることからこのような結果になったと考えられる。一方、周波数 100c/m 以下 (波長 10mm 以上) の周波数域では、砕石の最大粒径が大きいとピーク (折れ線の凸部) となる PSD も大きくなる傾向となった。特に、50c/m 以下 (波長 20mm 以上) の周波数域の PSD の差は顕著であった。この結果は、低騒音化に関して、波長域 10 ~ 50mm (周波数域 100 ~ 20c/m) の振幅を小さくすることが有効とされていること⁸⁾に対して、低周波側となっている。

また、砕石単体の供試体とその砕石を用いた排水性混合物のホイールトラッキング供試体の凹凸波形の PSD を図-16に示す。両者の PSD は、その値としては相違しているが、その変化 (PSD の凹凸と周波数) の傾向がほぼ同様となった。排水性舗装の低騒音化を目的として、室内試験レベルでの凹凸波形の測定から PSD による検討も可能と考えられる。

7. まとめ

タイヤ/路面騒音とテクスチャの関係について検討し、低騒音化に対応した砕石選定や配合の確認を室内試験のテクスチャ測定による可能性を検討した。今回の検討で得られた知見は以下の通りである。

- (1)排水性混合物に粒形改善した砕石を用いて、その並びが均一となる配合と施工を行うことで、更なる低騒音化に対応が可能である。
- (2)タイヤ/路面騒音と関連性の高かったテクスチャの評価値は凹凸量の標準偏差である。
- (3)本検討で砕石の並びの評価値と考えた累計延長比は、タイヤ/路面騒音との相関が認められ、低騒音を目的とした砕石選定に有効な一指標となる。
- (4)砕石単体の供試体の累積延長比から排水性舗装の路面の累計延長比の予測が概ね可能である。
- (5)排水性舗装の低騒音化に関して、テクスチャの測定から累計延長比やテクスチャの PSD の計算による室内検討が可能と考えられる。

8. おわりに

現在、我が国では低騒音舗装に関して、騒音の性能規定値を満足する方向での検討と更なる低騒音化への技術開発が進められている。本研究では、テクスチャに着目して、タイヤ/路面騒音との関連づけを検討し、有効なテクスチャの評価値をある程度明らかにできたと考える。また、今後の室内試験レベルでの検討方法の方向性を示せたと思われる。今後、より多くのデータ蓄積から更には確かな指標の検討を進めたい。なお、タイヤ/路面騒音は測定に用いるタイヤのトレッドパターンの影響や、また、テクスチャ特性が騒音への影響とすべり抵抗やタイヤ摩耗

では逆の影響を及ぼす懸念がある。舗装の性能への影響が大きいテクスチャ特性の調和のとれた選定が今後の課題とも考えている。

参考文献

- 1) 上野進一郎：道路舗装工事における総合評価落札方式の試行，舗装，Vol.36，No.6，pp.33-35，2001。
- 2) 低騒音舗装研究会：低騒音舗装の概説，(財)建設物価調査会，pp.32-33，1996。
- 3) 竹田敏憲，安田等，牧野靖史，峰岸順一：機能向上を指向した各種低騒音舗装の街路への適用性，舗装，Vol.35，No.6，pp.7-13，2000。
- 4) ISO/CD 11819-2:Acoustics - Measurement of the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise - Part 2:The close - proximity method, ISO, 2000。
- 5) 秋本隆，姫野賢治，川村彰，福原敏彦：舗装路面の絶対プロファイルデータ収集システムの開発，土木学会論文集，No.606/V-41，pp.13-20，1998。
- 6) 阿部忠行：話題 路面騒音測定車，舗装，Vol.35，No.7，pp.32-33，2000。
- 7) ISO 13473-1:1997，Characterization of Pavement Taxture by Use of Surface Profiles - Part 1：Determination of Mean Profile Depth，ISO，1997。
- 8) Sandberg,U：Design and Maintenance of Low Noise Road Surfacing，Proceedings of the 3rd International Symposium on Pavement Surface Characteristics，pp.335-350，1996。
- 9) RoadRuf User Reference Manual, The 1997 RPUG Annual Meeting, 1997。
- 10) 橋秀樹：低騒音舗装について，騒音制御，Vol.25，No.3，pp.115-116，2001。
- 11) 明嵐政司，仲柴二三夫，長谷部正基：排水性舗装の騒音低減要因に関する研究，交通工学，Vol.29，No.6，pp.31-40，1994。

A STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN SURFACE TEXTURE AND TIRE/ROAD NOISE

Tsutomu IHARA, Takemi INOUE

The use of coarse aggregates of smaller diameter or twin layers in porous pavement have been found to be effective in reducing tire/surface noise. However, a problem of few researches for establishment of the relation between surface texture and low tire/surface noise till remains. In this research, relations between tire/surface noise measured up to now and the surface texture of porous pavement sections were evaluated. Relationship between a range of coarse aggregate size and variation in power spectral density of the surface texture was also evaluated. Measurement of surface texture can be effective in proper selection of aggregates or mix design for the purpose of reducing tire/surface noise.