

排水性舗装の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・石垣勉²・井上武美³

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 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)

³ フェロー会員 工博 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)

排水性舗装は騒音低減の機能を持つ舗装として、広く認知されている。筆者らは、路面テクスチャに着目して、排水性舗装のタイヤ／路面騒音との関係について研究を行っている。これまでの研究に用いたデータは、実道の本工事でのデータであるため、材料や施工などに係わる条件の違いが路面テクスチャやタイヤ／路面騒音に及ぼす影響が懸念された。本報文は、砕石などの材料やアスファルト混合物の製造あるいは施工に関して、同一可能な条件での試験舗装を行い、その舗装における路面テクスチャとタイヤ／路面騒音の関係を再検討したものである。その結果、タイヤ／路面騒音と良好な関係となるテクスチャの評価値を確認することができた。また、路面凹凸波形のパワースペクトル密度とタイヤ／路面騒音の 1/3 オクターブバンド音圧レベルとの相関分析も試みた。これらのテクスチャに係わる評価値は、タイヤ／路面騒音の特性を検討する上で有効な指標となることを示した。

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

1. はじめに

自動車の走行騒音におけるタイヤ／路面騒音の寄与は、例えば速度が 40km/h 以上の定常走行騒音の場合、乗用車で約 80%、大型車で約 60 % を占めるとされている¹⁾。したがって、道路交通騒音の低減には、この騒音を低減することが有効とされる根拠となっている。

排水性舗装は騒音低減の機能を持つ舗装として、広く認知され、その更なる低騒音化には、粗骨材の小粒径化、排水性の表層の増厚および2層排水性等が効果的であることが明らかにされてきている^{2),3)}。

筆者らは、路面テクスチャに着目して排水性舗装のタイヤ／路面騒音との関係について研究し、タイヤ／路面騒音と良好な関係となる新たな路面テクスチャの評価指標を提案した⁴⁾。しかし、その検討に用いたデータは、実道の本工事での測定データであるため、材料や施工などに係わる条件や地域特性の違いがあって路面テクスチャやタイヤ／路面騒音に及ぼす影響が懸念された。

そこで、それらの影響を極力少なくするため、本研究では砕石などの材料産地やアスファルト混合物の製造プラントおよび施工に関して可能な限り同一条件での試験舗装を実施し、路面凹凸波形とタイヤ／路面騒音の測定データを収集した。本報文は、路面凹凸波形から得られる路面テクスチャの各種評価値とタイヤ／路面騒音の関係を検討したものである。また、路面凹凸波形のパワースペクトル密度 PSD⁵⁾ (Power Spectral Density) とタイヤ／路面騒音の 1/3 オクターブバンド音圧レベルとの関係についても検討した。得られた路面テクスチャの評価値に関して、室内試験レベルの供試体のテクスチャとの関係についても言及したものである。

2. 研究概要

(1) 試験舗装は、表-1に示す4種類の排水性舗装で、各砕石の粒径範囲毎に2工区の計8工区(延長約100m、幅員3.5m／工区)で構成されている。ま

た、表中の空隙率と表層厚は、各工区6個のコア供試体による測定結果である。排水性(13)と排水性(10)は一層式とし、排水性(8)は一層式及び二層式、排水性(5)は二層式とした。一層式の工区は、これまでのタイヤ／路面騒音の性能規定工事での実績を考慮したケースである。また、二層式の工区は、更なる低騒音の効果があるとされている小粒径化や二層式の確認も兼ねたケースとした。なお、二層式の排水性舗装の上層は設計厚で2cm、下層は排水性(13)の混合物を用いて、設計厚で3cmとしている。

表-1 試験舗装の概要

排水性舗装種	排水性(13)		排水性(10)		排水性(8)		排水性(5)	
碎石粒径(mm)	13~5		10~5		8~5		5~2.5	
空隙率(%)	18.2	20.1	17.9	19.7	20.2	21.5	21.4	21.1
表層厚(mm)	53	50	46	47	47	53	53	50
備考	一層	一層	一層	一層	一層	二層	二層	二層

各排水性混合物の骨材の碎石、砂、石粉およびその混合物は、それぞれ同一箇所で作製されたものを用いた。また、バインダーについては一層式の工区、二層式の工区それぞれ同一のアスファルトを用いた。施工に関しては、一層式の工区、二層式の工区それぞれ同一の施工方法とした。

(2) タイヤ／路面騒音は、市販タイヤによるタイヤ近接騒音で、そのマイクロホン位置を図-1に示す。そのタイヤはトレッドパターンがリブ型で、サイズが205/70R14であり、乗用車装着で一般的なものである。このタイヤ／路面騒音は、既往の測定速度⁴⁾と同じ走行速度50km/hの等価騒音レベル(Leq: dB(A))とした。また、各排水性舗装種について、測定した等価騒音レベルの周波数分析も行った。

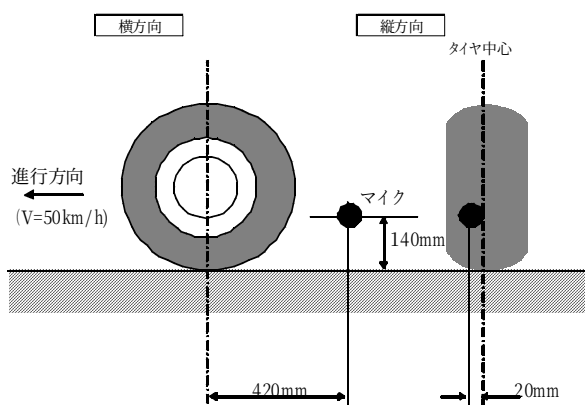


図-1 タイヤ近接音のマイク位置

(3) 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⁴⁾、テクスチャ測定装置⁴⁾で測定した。その測定結果からテクスチャの評価値は、きめ深さ(凹凸量の平均値)、凹凸量の標準偏差、MPD (Mean Profile Depth)⁶⁾および凹凸量2mmの累計延長比⁴⁾とした。このうち凹凸量2mmの累計延長比とは路

面の骨材の並び方を定量的に評価できると考えた指標で、凹凸量が2mm以下となる部分の累計延長を測定延長で除した値で示される。また、PSDの周波数分析は、測定した凹凸のプロファイルデータから代表的なものについて、プログラムソフトのロードラフ⁷⁾で行った。

(4) 試験舗装に隣接する密粒アスファルト舗装(新設)のタイヤ／路面騒音および路面テクスチャの結果を吸音効果のある排水性舗装と比較することで、排水性舗装のその騒音が低減する要因を考察した。

(5) 路面テクスチャの評価値とこれに使用した碎石単体およびホイールトラッキングの各供試体表面のテクスチャの評価値との関係を検討した。

3. 測定結果

表-2は、よるタイヤ／路面騒音の測定結果と路面テクスチャの各評価値の結果を示したものである。

表-2 タイヤ／路面騒音とテクスチャの測定結果

排水性舗装種	排水性(13)		排水性(10)		排水性(8)		排水性(5)	
空隙率(%)	18.2	20.1	17.9	19.7	20.2	21.5	21.4	21.1
騒音レベル(dB(A))	88.0	87.7	87.5	87.0	85.5	84.4	81	81.8
きめ深さ(mm)	1.85	2.14	1.81	1.89	1.66	1.81	0.98	0.96
標準偏差(mm)	1.02	1.17	1.02	1.26	0.91	1.21	0.63	0.60
MPD(mm)	1.90	1.64	1.62	1.79	1.55	1.66	0.91	0.88
累計延長比	0.61	0.54	0.62	0.63	0.67	0.66	0.87	0.92

タイヤ／路面騒音の騒音レベルは、各工区3回走行して、その平均値で示した。騒音レベルは、最大粒径が小さくなるほど低くなる傾向となり、既往の報告²⁾と同様な結果となっている。

最大粒径5mmの排水性(5)は、他の排水性の路面に比べてきめ深さ、標準偏差およびMPDが約1/2程度となっていることに特徴がみられる。

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-2に、凹凸量の標準偏差との関係を図-3に、MPDとの関係を図-4に、凹凸量2mmの累計延長比との関係を図-5に示す。なお、図-2～図-5には特殊タイヤによる既往の結果⁴⁾も併記した。また、各図とも回帰線の算出では既往結果のデータは対象外としている。

何れのテクスチャの評価値ともタイヤ／路面騒音とは相関が認められる結果となっている。従来のテクスチャの評価値のきめ深さや凹凸量の標準偏差およびMPDとタイヤ／路面騒音とは、それらの評価値が大きくなるとその騒音も大きくなる関係となっている。一方、凹凸量2mmの累計延長比が大きく

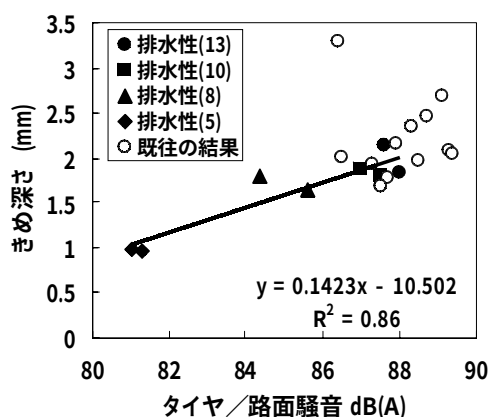


図-2 騒音レベルときめ深さの関係

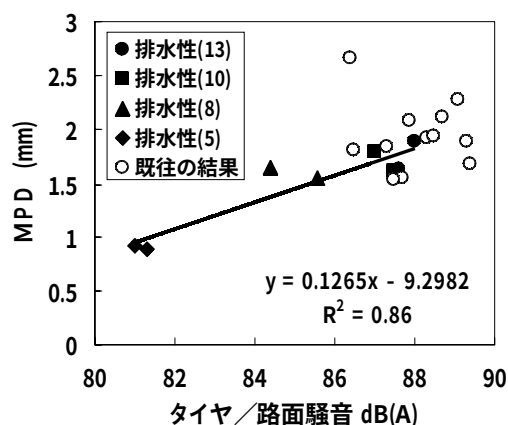


図-4 騒音レベルと MPD の関係

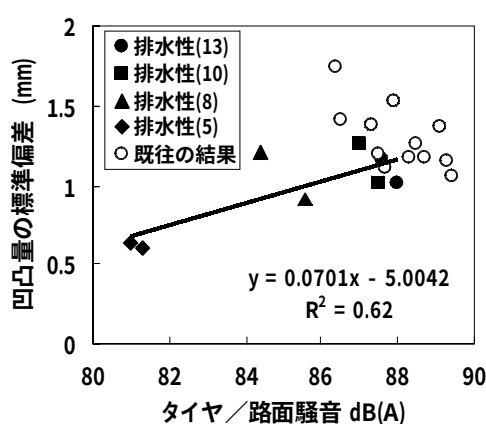


図-3 騒音レベルと標準偏差の関係

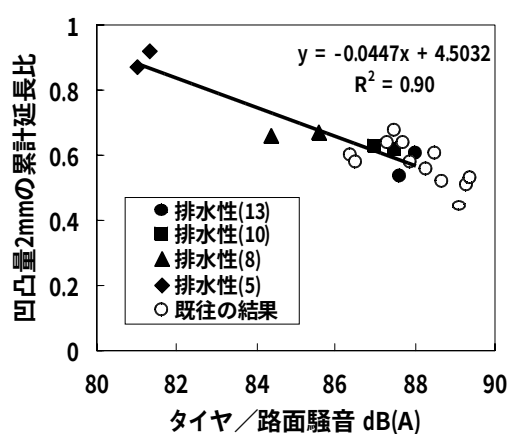


図-5 騒音レベルと MPD の関係

なるとその騒音は低くなる関係となっている。

タイヤ／路面騒音と路面テクスチャの関係に関する既往の結果と比較すると累計延長比との関係は、同様な傾向となっているが、きめ深さや標準偏差および MPD は逆の結果となっている。ここで逆の関係となった要因としては、既往の結果のタイヤが特殊タイヤといったタイヤ種類の相違とも考えられるが、排水性(5)のきめ深さ、凹凸量の標準偏差および MPD が他に比べ小さな値であり、既往では得られていないデータで、これらのデータが含まれていないもので関係をみたためである。この最大粒径の小さい排水性(5)は、碎石が密に並んでいることから、空隙率が同程度でも空隙径が小さく、その形状も曲がりくねっていて、路面の凹凸の変化が小さいためと推察される。

排水性舗装のタイヤ／路面騒音に関連した路面テクスチャの評価は、測定用タイヤが市販の乗用車用タイヤの場合、いずれの評価値でも可能と思われる。しかし、特殊タイヤによるタイヤ／路面騒音との整

合性等、その騒音特性の傾向にタイヤ種類の影響が少ないことを考慮すると、路面の骨材の並び方を評価する指標（本研究では凹凸量 2mm の累計延長比で評価）が妥当ではないかと考えられる。

5. タイヤ／路面騒音と PSD の関係

図-6は、舗装種毎にタイヤ／路面騒音を 1/3 オクターブバンド周波数分析した結果の例である。この図は、各舗装種ともコア供試体の空隙率が目標空隙率に近い工区の結果を示している。また、図には、試験舗装に隣接する密粒アスファルト舗装の結果も併記した。

この結果は、既往⁸⁾のごとく排水性舗装の舗装種の違いによる周波数特性に差が認められ、排水性(5)は他の排水性舗装に比べ、2000Hz 以下の広い周波数範囲で音圧レベルが低くなっている。また、排水性舗装と密粒アスファルト舗装を比較すると、い

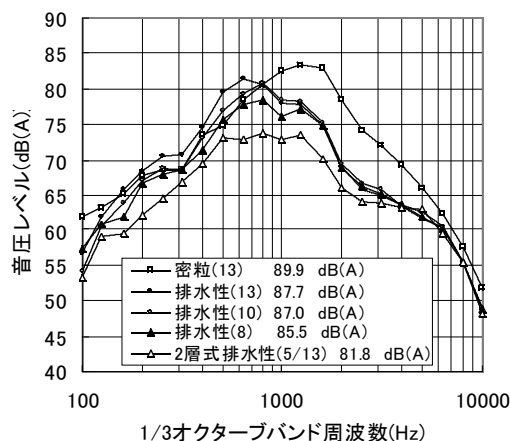


図-6 タイヤ／路面騒音の周波数分析結果例

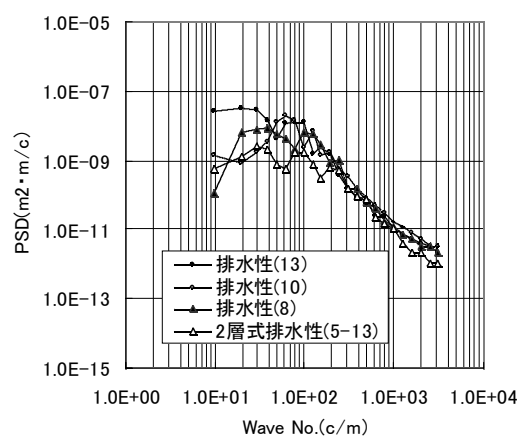


図-7 路面凹凸波形の PSD

れの排水性舗装も 800Hz を超える周波数域での音圧レベルが大きく低下している。一方、排水性(13)と排水性(10)は、800Hz 以下の周波数域で密粒アスファルト舗装の音圧レベルに対して同等以上となっている。

図-7は、舗装種毎に路面の凹凸波形の PSD を 1/3 オクターブバンドで求めた結果の例である。波数 (Wave No.) 200c/m 未満の波数域の PSD は、その波数以上のものと比べて、舗装種の違いによる変動が大きく異なる結果となっており、既往の結果⁹⁾と同様な傾向が得られた。排水性(8)と排水性(5)の PSD は、排水性(13)や排水性(10)に比べて、波数 50 ～ 80c/m の範囲で小さくなっている。これは、既往の結果⁹⁾と比較して、低い波数範囲での差となっている。

図-8は、タイヤ／路面騒音の 1/3 オクターブバンドの音圧レベルと路面の凹凸波形の 1/3 オクターブバンドの PSD の相関分析を行った結果である。図の X 軸は音圧レベルの 1/3 オクターブバンド周波数

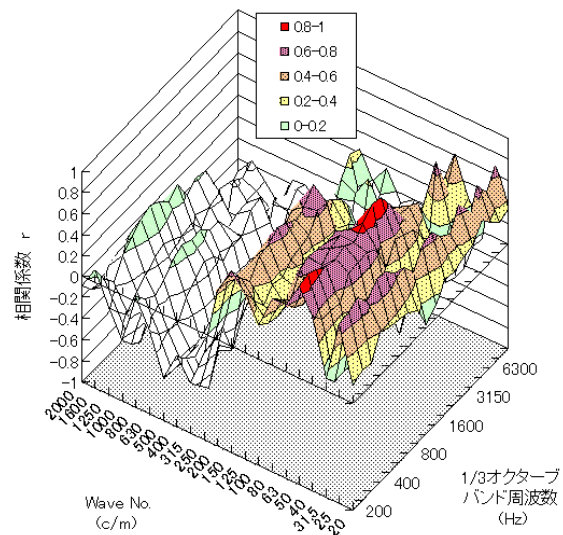


図-8 各周波数の音圧レベルと各波数の PSD との相関

で、Y 軸は PSD の Wave No. (波数)、Z 軸は各周波数毎に PSD と音圧レベルを対数回帰した相関係数 r である。この図は、その相関係数 r の分布を 3 次元等高線グラフで示したものである。また、図中の凡例は、正の相関係数 r を 0.2 毎の範囲で示している。

音圧レベルの周波数 200 ～ 8000Hz の全領域において、PSD の波数 20 ～ 250c/m 範囲では、各周波数の音圧レベルと各波数の PSD は正の相関を示している。このことは、PSD を小さくするほど、音圧レベルが低くなり、タイヤ／路面騒音が低下することになる。特に、タイヤ／路面騒音の音圧レベルがピークとなる周波数 630 ～ 2000Hz の音圧レベルは、波数 50c/m の PSD と相関係数 r が 0.7 以上で高い相関となっている。これは、路面のマクロテクスチャの評価となるきめ深さや MPD 等とタイヤ／路面騒音が正の相関関係となったことを裏付ける結果と考えられる。

図-9、図-10は、周波数分析の音圧レベルが高く、PSD の波数との相関係数が高い中から周波数 630Hz と 1250Hz の音圧レベルと波数 50c/m の PSD との関係を示したものである。波数 50c/m の PSD の値が 1 オーダー小さくなると、タイヤ／路面騒音のピーク周波数付近の音圧レベルが 3 ～ 5dB(A)程度低くなる。なお、波数 250c/m 以上の PSD と音圧レベルの相関は、負の相関係数となっていて、相関係数の高い音圧レベルの周波数域は 400Hz 以下の低周波域である。また、周波数 630 ～ 2000Hz の音圧レベルと PSD が負の相関関係となる回帰式の相関係数は、0.5 以下となっている。

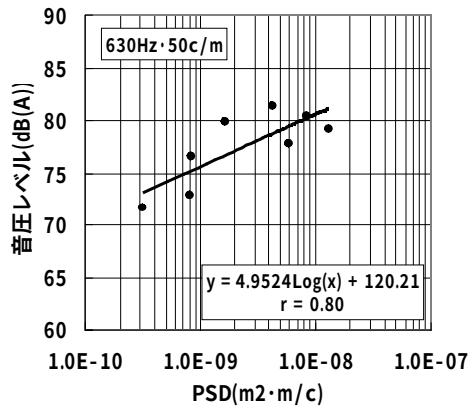


図-9 波数 50c/m の PSD と周波数 630Hz の音圧レベルの関係

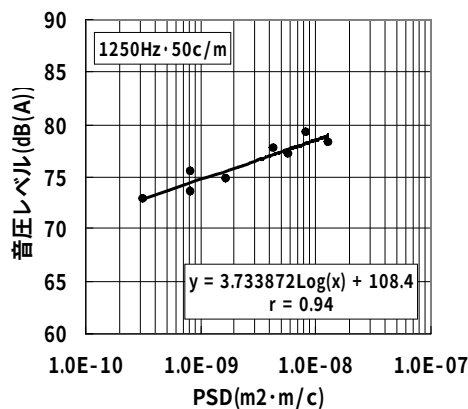


図-10 波数 50c/m の PSD と周波数 1250Hz の音圧レベルの関係

6. 排水性舗装のタイヤ／路面騒音の低減要因

図-11は、図-5の試験舗装の結果に新設の密粒アスファルト舗装(骨材の最大粒径 13mm)の結果を追記したものである。密粒アスファルト舗装と排水性(5)は、凹凸量 2mm の累計延長比がほぼ同じ値となっている。一方、タイヤ／路面騒音は、10dB(A)程度排水性(5)が低い結果であった。排水性舗装のタイヤ／路面騒音の低下は、主として舗装の空隙率によるエアポンピング音の抑制および伝搬過程での吸音によるものとされ、骨材の小粒径化は、トレッドパターン加振音や路面凹凸による加振音などの低下と考えられている²⁾。新設時の密粒アスファルト舗装の路面は、細骨材を敷き詰めた状態に近い仕上がり面となる。このことから、密粒アスファルト舗装は加振音などの振動音による騒音発生は排水性(5)と同程度ではないかと考えられる。

本研究で用いた市販タイヤの排水性(5)でのエアポンピング音と吸音による低減効果は、等価騒音レベルで 10dB(A)に近いのではないかと推測される。

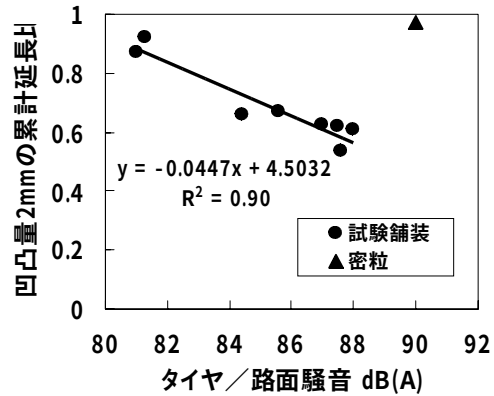


図-11 排水性舗装と密粒舗装の対比

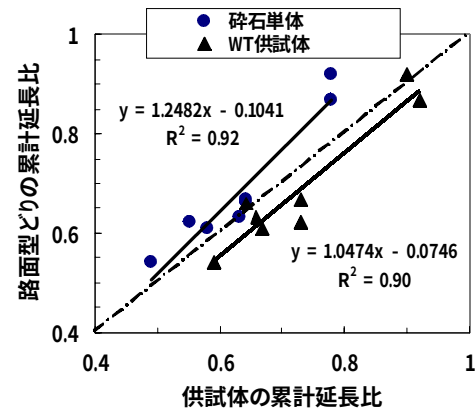


図-12 砕石単体の供試体と試験舗装路面の累計延長比の関係

7. 室内供試体のテクスチャの評価値と路面テクスチャの評価値との関係

上述の結果が得られたことから、低騒音を期待する排水性混合物の配合設計はどう進めればよいかなる。ここでは、使用骨材、供試体そして得られた舗装路面の関連をみることにした。試験舗装に使用した砕石を用いて、アスファルトでコーティングした砕石単体および排水性混合物のホイールトラッキング供試体を作成した。その表面の凹凸波形を路面の凹凸測定と同様に測定した。図-12は、凹凸量 2mm の累計延長比について、各供試体の結果と各工区の路面型取りの結果の関係を示したものである。各供試体と路面には高い相関が認められることから、供試体の累計延長比から排水性舗装の路面の累計延長比の予測が可能と考えられる。なお、砕石単体の値は、路面の値よりも若干小さな値となっているが、ホイールトラッキング供試体におけるその混合物の累計延長比は路面の累計延長比とほぼ同程度の値となっている。この結果、室内の配合設計で排水性舗

装のタイヤ／路面騒音が推測できると考えられる。

8. まとめ

今回の検討で得られた主な知見を以下に示す。

- (1)従来のテクスチャの評価値のきめ深さ、凹凸量の標準偏差、MPD とタイヤ／路面騒音の関係は正の相関となり、新たに考えた凹凸量 2mm の累計延長比とタイヤ／路面騒音の関係は、負の相関となることが認められる。
- (2)タイヤ／路面騒音の周波数分析した音圧レベルと路面の凹凸波形の PSD は、特定の周波数範囲と波数範囲において相関が認められ、その騒音の音圧レベルが大きくなる周波数 630 ～ 2000Hz の音圧レベルは、波数 50c/m の PSD と高い相関関係にある。
- (3)室内実験での砕石単体や排水性混合物の供試体の累積延長比の測定は、排水性舗装の路面の累計延長比の予測が概ね可能で、そのタイヤ／路面騒音の推測ができると考えられる。
- (4)排水性舗装のタイヤ／路面騒音の低減要因は、路面テクスチャの評価値や PSD からみた検討が可能と考えられる。

9. おわりに

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なってきていると再確認できたと考えている。今後は、他の種類の舗装についても、室内実験も含めテクスチャと吸音を考慮し

たより多くのデータ蓄積から、各種路面の騒音特性の研究へと検討を進めたい。また、タイヤ／路面騒音の更なる低減には、排水性舗装におけるその発生音の構成を検討し、低減可能な発生音のより有効な吸収機構の検討が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 日本自動車タイヤ協会：タイヤ道路騒音について、第 6 版、p.6、1997.
- 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) 井原務、井上武美：路面テクスチャとタイヤ／路面騒音に関する検討、土木学会舗装工学論文集、第 6 巻、pp.225-230、2001.
- 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) ISO 13473-1:1997, Characterization of Pavement Texture by Use of Surface Profiles — Part 1 : Determination of Mean Profile Depth, ISO, 1997.
- 7) RoadRuf User Reference Manual, The 1997 RPUG Annual Meeting, 1997.
- 8) 井原務、井上武美：排水性舗装の路面特性とタイヤ／路面騒音に関する基礎的研究、舗装、Vol.34、No.7、pp.23-27、2002.
- 9) 井原務、石垣勉、井上武美：路面テクスチャとタイヤ／路面騒音に関する基礎的研究(第 2 報)、土木学会第 57 回年次学術講演会投稿中、2002.

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

Tsutomu IHARA, Tsutomu ISHIGAKI, Takemi INOUE

Porous asphalt pavement has been widely applied in every road by recognizing its noise reduction properties. We have studied the relationship between characteristics of pavement surface texture and generation of tyre/road noise on porous asphalt pavement. Existing data analyzed in the last paper are somewhat dubious about different factors of used materials and execution of paving method because of existing porous asphalt pavement opened for traffics. This study was conducted in almost the same conditions of pavement materials, production method of porous asphalt mixtures and paving execution in experimented field. Test results obtained from this study show that an appropriate indicator of surface texture is found to make the generation of tyre/road noise clear. Another analyze is also done on the relationship between power spectrum density of pavement surface profile and power level in 1/3 octave band of tyre/road noise. These evaluation indicators of pavement surface texture are effective for consideration of tyre/road noise generation.