

路面性状からのタイヤ／路面騒音 の予測に関する検討

橋本喜正¹・新田弘之²・吉田武³

¹正会員 株式会社ガイアートクマガイ 技術研究所（〒300-2445 茨城県筑波郡谷和原村小絹216-1）
（元独立行政法人土木研究所交流研究員） E-mail: yhashimo@gaeart-k.com

²正会員 工修 独立行政法人土木研究所（〒305-8516 茨城県つくば市大字南原1番地6）
E-mail: hnitta@pwri.go.jp

³工修 独立行政法人土木研究所（〒305-8516 茨城県つくば市大字南原1番地6）
E-mail: yoshi968@pwri.go.jp

タイヤ／路面騒音と路面性状の関係が明らかになれば路面性状の改善の方向性が明確になり有効性が高い。タイヤ／路面騒音は、様々な路面性状の中でも路面テクスチャとの関係が強いと考えられるが、これまでテクスチャ評価値として用いられてきたMPD、キメ深さ等はタイヤ／路面騒音には相関性が認められないという報告もあり、騒音を考慮した路面評価方法が確立していないのが現状である。

そこで、本研究ではタイヤ／路面騒音の測定が可能な室内試験機を用いて、タイヤ／路面騒音と関連のある各種路面性状との比較検討を行った。その結果、テクスチャ評価値である接触部分比と現場透水量の両方を考慮することにより、タイヤ／路面騒音が予測できることがわかった。

Key Words : tire / road noise, road surface properties, road surface texture,
tire/road contact partial ratio , water permeability

1. はじめに

タイヤ／路面騒音は路面のテクスチャと密接な関係があるといわれている¹⁾。しかし、路面テクスチャの評価値として従来使用されてきたキメ深さや、**図-1**のように定義されるMPD（Mean Profile Depth）²⁾等は、タイヤ路面騒音には相関性が低いという報告もあり、路面の縦断凹凸量の標準偏差や累積延長比の提案などもあるものの³⁾、現状ではタイヤ／路面騒音との関係を視野に入れた路面評価法は確立していない。

そこで、本研究ではタイヤ／路面騒音とテクスチャをはじめとした各種路面評価値との関係を明らか

にするために、室内レベル実験装置を用い、路面性状の異なる供試体で騒音測定を行った。その結果、テクスチャと透水量の両方を考慮することでタイヤ／路面騒音の予測が可能になることがわかった。

2. 試験機器及び測定方法の概要

(1) 供試体

室内試験において検討した15種類の供試体を**表-1**に示す。これらの供試体のサイズはいずれも80cm×80cmで厚さは5cmである。また、実際のタイヤ近接音と室内試験の関係を見るために、屋外での試験舗装体とこれと同じ合材から作製した室内用供試体を作製した。これを**表-2**に示す。

(2) 騒音測定

供試体のタイヤ／路面騒音の測定は、室内レベルで供試体のタイヤ／路面騒音の発生と測定が可能な「騒音シミュレータ（**写真-1**）」を用いて行った。

この試験機は、供試体上に小型ラグタイヤ（**写真-1** 右下枠内）を半径約40cmの円軌跡上で回転走行させ、そこから発生するタイヤ／路面騒音を供試体中央に設置した騒音計によって測定をするものである。

今回用いた騒音値として、荷重3水準、速度3水準の9種類の測定騒音値の平均値を用いた。これを

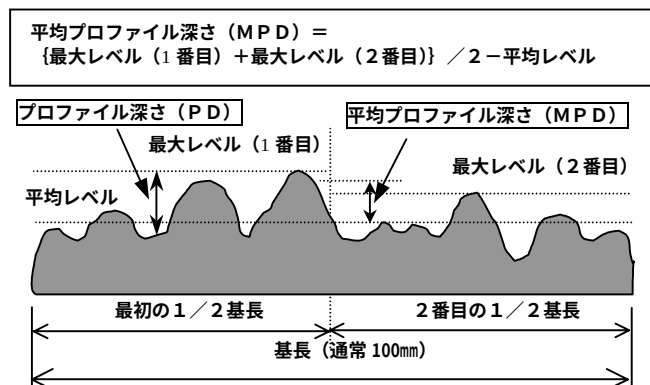


図-1 MPDの定義

表-1 室内試験検討供試体

粗骨材 最大粒径(mm)	全空隙率 (%)	アスコン 種別
5~2.5	20, 25, 30	排水性
8~5	20, 25	排水性
10~5	23	排水性
13~5	16, 20, 24, 28	排水性
13~8	23	排水性
20~13	30	排水性
13~5	20	PRMS*
13~5	—	密粒
13~5	—	SMA*

* PRMS: 透水性レジンモルタルシステム

SMA: 砕石マスチックアスファルト

表-2 屋外及び室内検討舗装体

粗骨材 最大粒径(mm)	全空隙率 (%)	アスコン 種別
13~5	—	密粒
13~5	17	排水性
13~5	20	排水性
10~5	20	排水性
5~2.5	23	排水性



写真-1 騒音シミュレータ外観と使用タイヤ

以下「騒音平均」とする。

一方、屋外における騒音測定は 50km/h 定常走行の普通乗用車の左後輪におけるタイヤ近接音を測定した。なお騒音の評価は、等価騒音レベル $L_{eq}(dB(A))$ によって行った。

(3) 路面性状測定

路面のテクスチャの測定は、回転式テクスチャメータ (CTメータ) によって行った。この装置は、レーザ変位計を路面上 80mm の位置で半径 142mm の円軌跡上を回転するアームに設置し、このアームを DC モータで回転させる構造をもっている。これを用いサンプリング間隔 0.225mm で舗装表面の凹凸測定を行った。

表-3 試験条件概要

測定機器と内容	項目	条件
騒音シミュレータ 騒音測定	タイヤ種類	小型ラグ
	タイヤ外径	223mm
	タイヤ空気圧	100kPa
	回転半径	40cm
	回転周速度(km/h)	40, 50, 60
	載荷荷重(kN)	1.2, 0.84, 0.58
	騒音評価値(dB(A))	速度、荷重の 9 種平均値 L_{eq}
普通乗用車 騒音測定	車種	2000cc ハン
	タイヤ種類	185-R14 ラジアル
	速度(km/h)	50
	騒音評価値(dB(A))	L_{eq}
CTメータ テクスチャ測定	マイク設置位置	タイヤ中心より 36cm 地上高 18.5cm
	測定距離/1路面	5m
	サンプリング間隔	0.225mm
	スポット径	0.07mm
	測定範囲	±15mm
現場透水量 試験器 現場透水量測定	分解能	3 μ m
	止水材幅	40mm
	有効径	150mm

舗装の透水能は現場透水量試験器を用いて 400ml の水が流下する時間を測定した。既往の文献により⁴⁾ 現場透水量試験は有効径と止水材 (特殊パテ) 幅を一定にしなければ精度の高い測定が行えないとの報告があったことから、パテの幅、厚さと有効径を一定に出来る現場透水量試験器を用いて試験を行った。

今回の測定では全てパテ幅 40mm、有効径 150mm、パテ厚さ 9mm で行った。設置時の押しつけ力は 550N とし、1 秒間載荷した。

それぞれの試験条件概要を表-3に示す。

3. 路面評価方法

タイヤ/路面騒音の発生メカニズムを大きく分類するとタイヤが路面の凹凸によって加振する事によって発生するタイヤ加振音、タイヤと路面との間に挟まれた空気の膨張・収縮によって生じるエアポンピング音が主因子と言われており¹⁾、さらに多孔質材料によっては発生騒音の吸音といった効果も加えられる。

タイヤ/路面騒音を考慮した路面評価法を検討するにあたり、タイヤと路面の接触部分と非接触部分とでは騒音のメカニズムが異なると考え、これらを分けて考えることとした。

タイヤと路面の接触する部分の平坦性が悪いとタイヤの振動が大きくなることから、接触部分におけるテクスチャはタイヤ加振音に関連性があると考え、“①路面全体に対するタイヤ接触部分の比率”と、

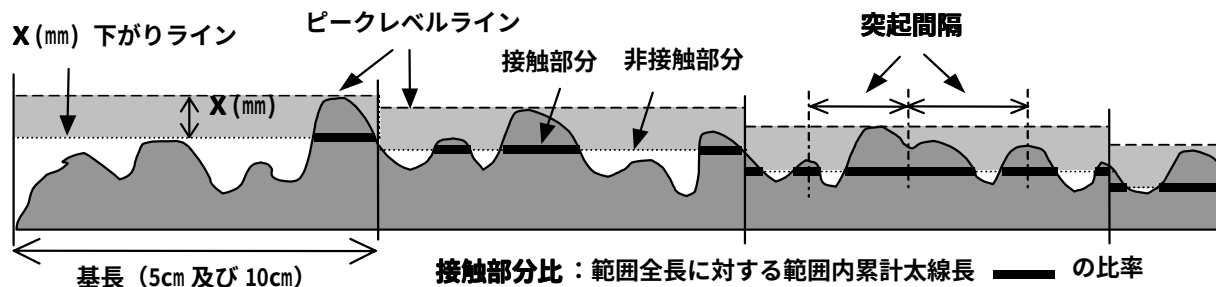


図-2 テクスチャ評価値の求め方とピークレベル補正方法

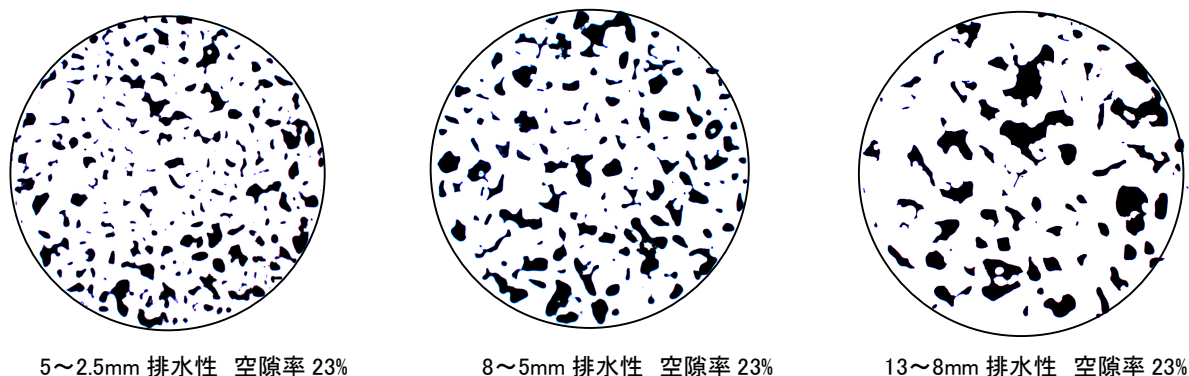


写真-2 舗装表面拓写真

“②接触部分の中心から次の接触部分の中心までの間隔”を評価値とした。

(1) 接触部分比と突起間隔

①, ②の2つの評価値の求め方であるが, タイヤ接触部分を厳密に測定するのは非常に困難なため, 図-2に示すように舗装表面からXmm下がった部分までを接触部分と仮定する方法をとることとした。従って, この接触部分は必ずしも実際に接触する部分ということではない。このタイヤが接触する下がり幅は実車による目視によって最大3mm程度であったため0.25mm～3mmまでの間で7水準検討を行うこととした。この方法によって得られた, 仮定した接触部分の全長に対する比率を接触部分比とした。また, 仮定した接触部分の中心から隣り合う接触部分の中心までの距離の平均値を突起間隔とした。

(2) ピークレベル補正

接触部分比や突起間隔は, 路面の表面のライン(以後ピークレベル)をどこに設定するかが重要となる。このため, 本研究においてはテクスチャ測定時の測定機械の設置不良や路面のメガテクスチャなどによる影響を排除し, かつテクスチャの特性を損なわないために, MPDを求める際に用いられている, ある決まった長さの範囲(基長)におけるプロファイルの最大値をピークレベルとする補正を行った。この基長は走行している車のタイヤの径と路面のマクロテクスチャの範囲の波長とでおおよそ定める必要があり, 通常路面で生じる最大突起間隔(3～4cm程

度)からタイヤと路面との縦方向の接触部分長(大型車で30cm程度)の間が適当と考え, 今回の検討においては基長をMPDと同様の10cmと, その半分の5cmの2種類を用いて評価を行うこととした。

(3) 接触部分と突起間隔のイメージ

舗装の表面に黒の塗料を薄く塗布し, 版画のように表面に紙を置き, ゴム板を一定圧力で上から押し当てて舗装表面の凹凸を写し取ったものを写真-2に示す。この写真の黒の塗料が付いた部分が接触部分, 白い部分が非接触部分のイメージである。骨材粒径が大きい方が突起の数が少なく, また突起間の距離が大きくなっていることがわかる。上記の接触部分比はこの全面積に対する黒色の部分の比率で, 突起間隔は黒点の中心から隣接する黒点の中心との距離というように考えることができる。

(4) 非接触部分の特性

非接触部分はタイヤと路面の接触時に空気の逃げ道などになることから, タイヤ路面騒音のエアポンピング音や吸音効果に関連性があると考え, これらの特性を評価する指標として, 装置が簡易であり現場に適用しやすいという観点から現場透水量試験による透水量(ml/s)を評価値とした。この透水量は現場透水量試験における400ml流下時間(s)を計測し, これを1秒あたりの透水量に換算したものである。

(5) その他の路面性状

今回の研究においては, 比較のために上記の路面

評価値である接触部分比，突起間隔，現場透水量以外に，MPD，キメ深さ，凹凸の標準偏差も検討した．ここで，舗装のキメ深さはサンドパッチング法で行うことが排水性舗装においては難しいためMPDと同様にレーザプロファイラによって測定した凹凸データを単純に平均したプロファイル深さとした．凹凸の標準偏差についても同様にレーザプロファイラによって測定した凹凸データを用いて計算を行った．

以後MPD，キメ深さ，凹凸の標準偏差の3つの評価値を従来テクスチャ評価値と称する．

4. 騒音シミュレータの有用性の確認

本検討に用いた騒音シミュレータはタイヤ径などで実際の道路条件と異なる部分があるため，まず，屋外の試験舗装での騒音測定結果との関係を調査した．

室内用供試体を騒音シミュレータで測定した騒音値と屋外における普通乗用車による測定による騒音値（オールパス）との関係図を図-3に示す．

データ数が5個と少ない点はあるものの，騒音シミュレータによる騒音値と現場において測定された普通乗用車の騒音値にはある程度の正の相関関係が見られており，またタイヤ種類や径が異なっているもののタイヤ／路面騒音の発生原理（ゴムタイヤが回転しながら路面上を走行する）に関しては同じ性質であると考えられることから，騒音シミュレータと普通乗用車によるタイヤ／路面騒音の特性には関連性があるものと考えられる．

騒音シミュレータと普通乗用車による騒音の周波数特性を検討した結果を図-4に示す．ここで図のAPはオールパス値を示す．これによれば騒音シミュレータの発生音の周波数特性と，普通乗用車による発生音の特性はこの条件（速度，荷重）においては同じ傾向ではないことがわかる．すなわち騒音シミュレータの発生音の方が普通乗用車のものと比較して1000Hz以上の周波数域において高く，500Hz以下の周波数域において低くなる傾向が見られる．これは使用タイヤが小さいことが影響していると考えられる．周波数特性においては特にタイヤが影響しているものと考えられるため，さらに屋外での一般走行車両における周波数特性に近づくタイヤを検討していく必要があると思われる．しかし，この騒音シミュレータを用いて路面騒音の検討を行うことは，図-3の結果でもわかるように騒音値のオールパス値を用いて行う場合には意味があると考えられる．

室内供試体の騒音シミュレータによる発生騒音の代表的な舗装種別周波数特性を図-5に示す．ここで用いた騒音値は騒音平均であるが，速度や荷重が異なるとこの曲線の形は異なる．しかし，今回測定した荷重と速度の範囲では，この速度と荷重の変化に対して全く周波数特性が異なるというわけではな

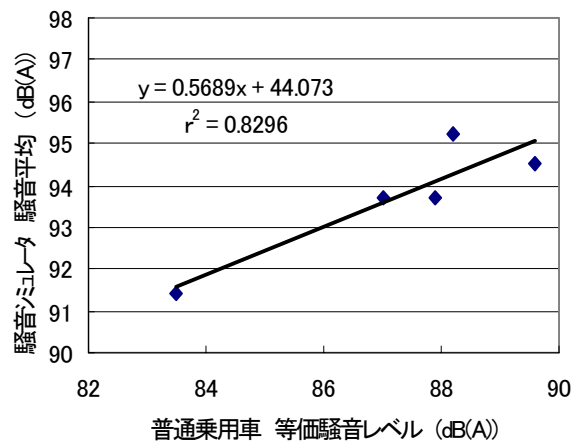


図-3 騒音シミュレータ騒音—普通乗用車騒音関係

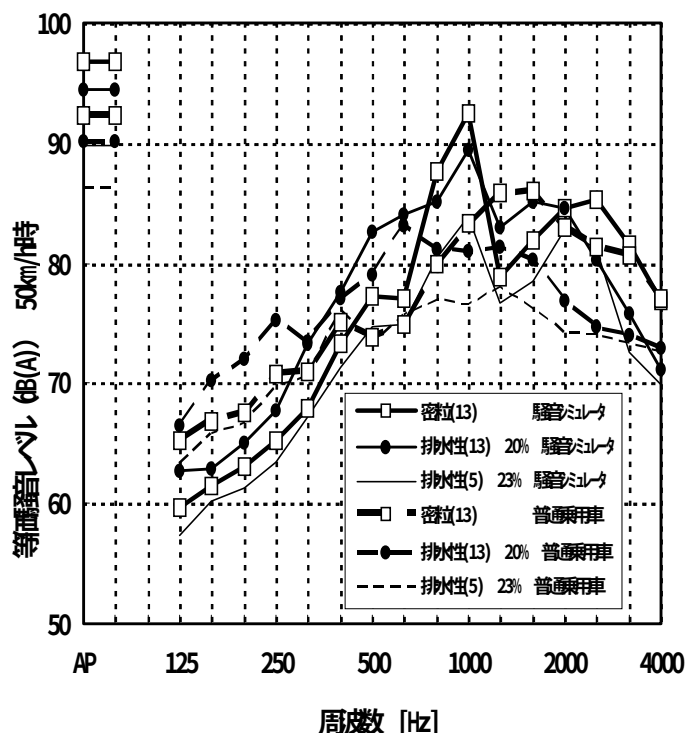


図-4 騒音シミュレータ屋外騒音周波数特性比較

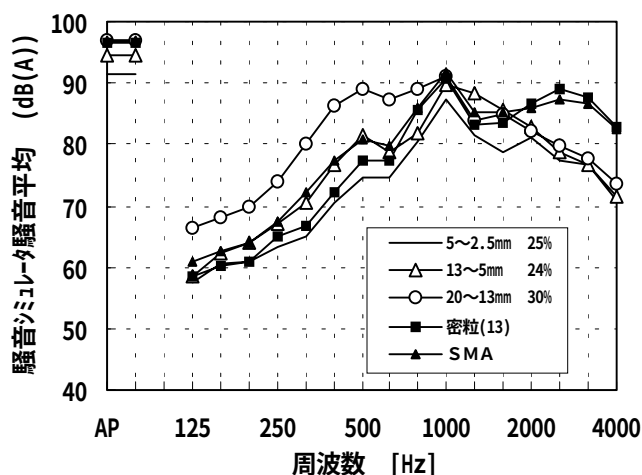


図-5 騒音シミュレータ騒音周波数特性

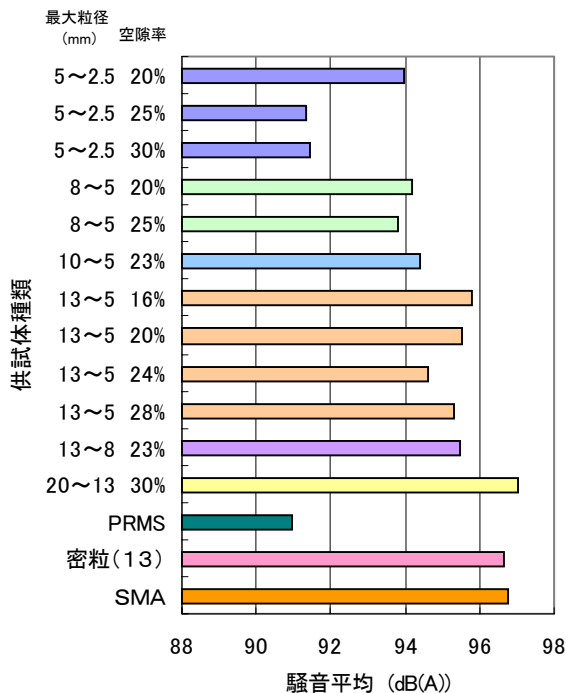


図-6 騒音シミュレータ騒音

く、曲線の舗装ごとの相対的な傾向はほぼ同様であった。

この図から、1000Hzより低周波の部分においては表面のキメが粗い排水性舗装の粗骨材粒径が大きいものやSMA等において騒音が大きくなり、2000Hzより高周波域においては密粒(13)やSMAのように透水性が低いものにおいて騒音が大きく、排水性舗装はこれらより低くなる結果を得た。

このことは、周波数帯域やパターンは若干異なるものの、低い周波数領域におけるタイヤ加振音、高い周波数領域におけるエアポンピング音の特性を反映しているものと考えられ、騒音シミュレータの騒音発生メカニズムは屋外での車両走行騒音と関連があることがわかる。

従って、以後この騒音シミュレータを用いてタイヤ/路面騒音と路面評価値との関係の検討を進めることとした。

5. 結果と考察

(1) 騒音測定結果

騒音シミュレータを用いて測定した騒音値（騒音平均）を図-6に示す。

この結果から、排水性舗装の場合には同空隙率の比較においては粗骨材粒径が大きいほど騒音が大きくなる傾向が読み取れる。また、同じ粗骨材粒径のものでも空隙率が変化すると騒音値が異なることがわかる。

(2) テクスチャ測定結果

CTメータを用いて前出の条件にて測定したテクスチャデータを図-7, 8, 9に示す。なお、接触部

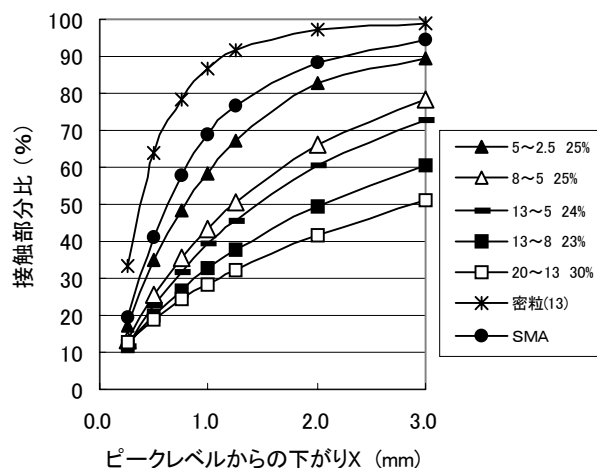


図-7 テクスチャ（接触部分比）測定結果

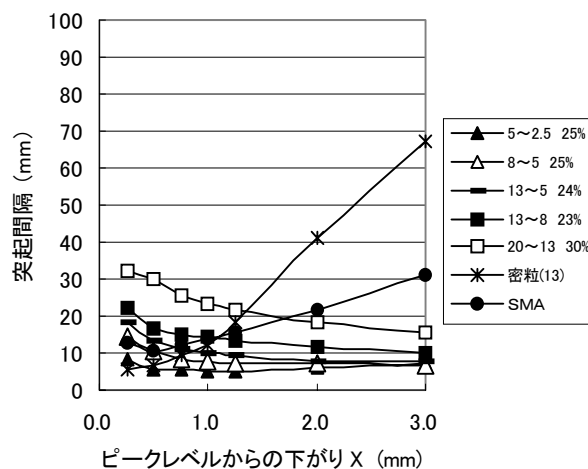


図-8 テクスチャ（突起間隔）測定結果

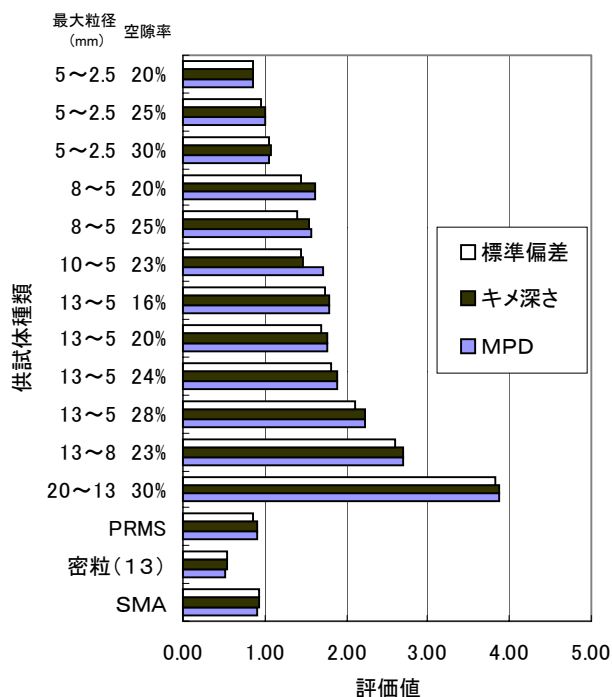


図-9 テクスチャ（従来テクスチャ）測定結果

分比及び突起間隔は代表的なデータを抜粋している。

接触部分比は供試体別にはっきりとした差が見られることがわかる。傾向として密粒やSMAのように表面に平らな部分が多いものは接触部分比が大きくなる。図-7は抜粋データのため7種類の舗装しか示していないが、全ての15種類の比較では、排水性舗装では空隙率が同じであれば最大粒径が小さいものが、最大粒径が同じであれば空隙率が小さいものが接触部分比が大きくなるという傾向が見られた。ピークレベルからの下がりXが1～2mmの辺りで最もはっきりとした差が得られる。この範囲から大きくなっても小さくなくても差が小さくなる傾向にある。

突起間隔はピークレベルからの下がりXが0.25mmで供試体ごとの差がより良く確認できる。下がりXが大きくなるにつれて排水性舗装以外の供試体は突起間隔が急激に大きくなり、排水性舗装はほとんど差が見られなくなる。

排水性舗装以外のものと排水性のものの傾向が明確に異なっているが、これは排水性舗装以外の2種類のきめ深さが小さいため、接触しているとみなされる部分が合わさって一つ一つの突起延長が長くなったためと考えられる。

MPD、キメ深さ、凹凸の標準偏差はほとんど同じ値となり、傾向はどれもほぼ同じく骨材粒径が大きくなるほど評価値が大きくなっていく傾向が認められる。

(3)現場透水量測定結果

現場透水量の測定結果は図-10に示すように、排水性舗装の場合最大粒径が大きいもの、同じ最大粒径の場合空隙率が大きいもののほうが透水能が大きい傾向にある。なお、SMAは舗装体自体の透水は

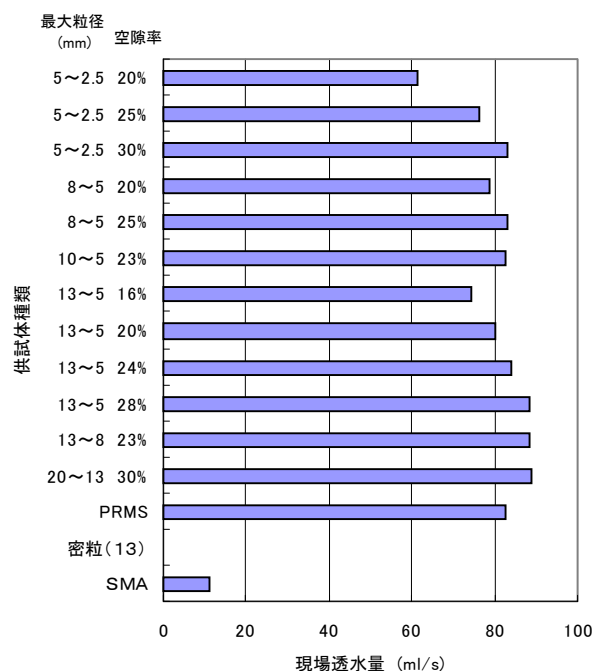
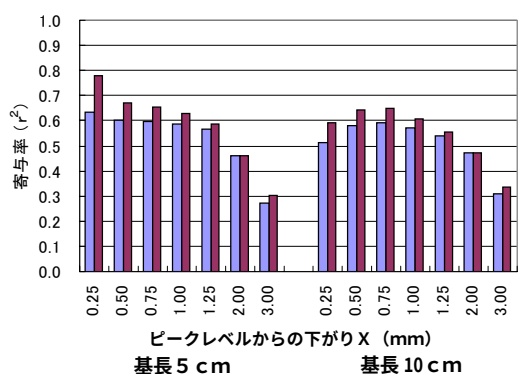
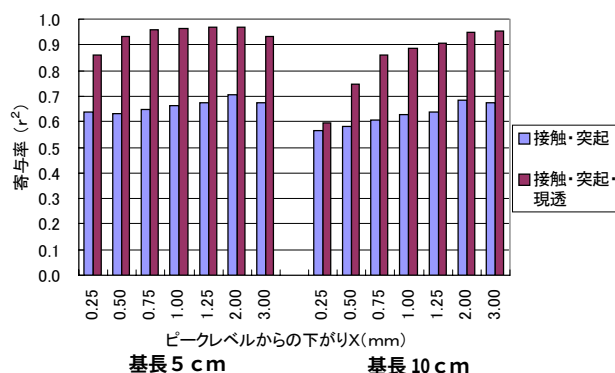


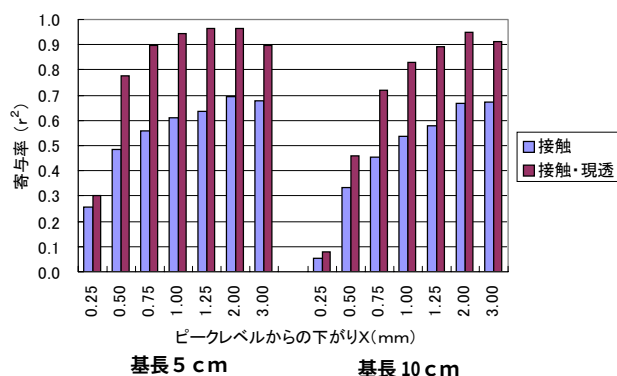
図-10 現場透水量測定結果



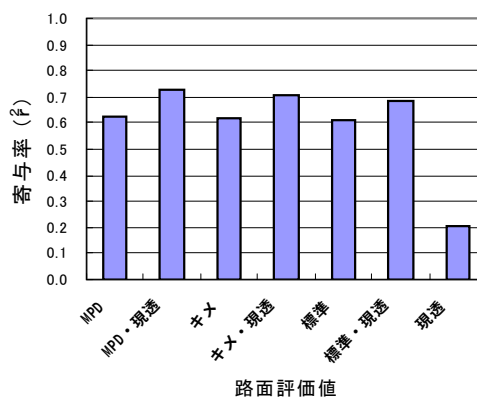
a) 突起間隔，現場透水量と騒音の相関



c) 接触部分比，突起間隔，現場透水量と騒音の相関



b) 接触部分比，現場透水量と騒音の相関



d) 各従来路面評価値と騒音との相関

図-11 各路面評価値と騒音との寄与率 (r^2) 排水性舗装のみの場合

ないが、表面の凹凸が大きいことから現場透水試験器のパテと舗装表面の凹凸の間隙から水がしみ出した。現場透水量はエアポンピング音への影響があるという前提を考慮し、このしみ出した水を透水量に含めた。

(4)騒音と路面評価値の関係

目的変数を騒音値に、説明変数を路面評価値とし、回帰分析を行った。図-11に排水性舗装以外のPRMS、SMA、密粒(13)を除いた供試体のみのデータでの突起間隔、接触部分比、MPD、キメ深さ、凹凸の標準偏差、現場透水量と騒音値の寄与率(r^2)を示す。ここで、グラフ内凡例の「突起」は突起間隔を、「接触」は接触部分比を、「現透」は現場透水量を、「キメ」はキメ深さを、「標準」は凹凸の標準偏差をそれぞれ示すものである。

排水性舗装のみにおける騒音値と各種路面評価値との回帰分析による相関は、現場透水量を回帰分析の変数に加えない場合には最大値でも $r^2=0.70$ であるが、現場透水量を加えた場合には最大値が $r^2=0.97$ と非常に相関が高くなる結果が得られた。

この結果から、ここで検討した6つの路面評価値の相関は、現場透水量を変数に加えることにより、どの評価値においても単独での相関と比較して大幅に相関が高くなることがわかる。特にピークレベルからの下がりXが2mmの場合における接触部分比

と現場透水量の2変数における評価は非常に高い相関が得られた。

図-12にこの条件における関係のグラフを示す。

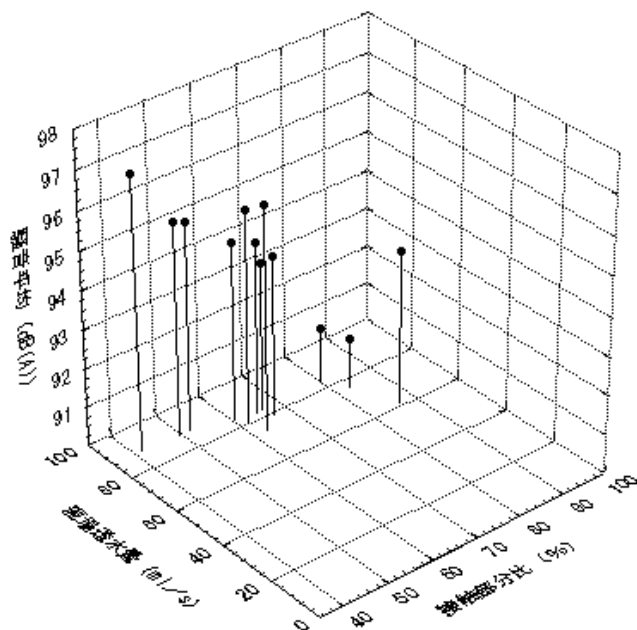
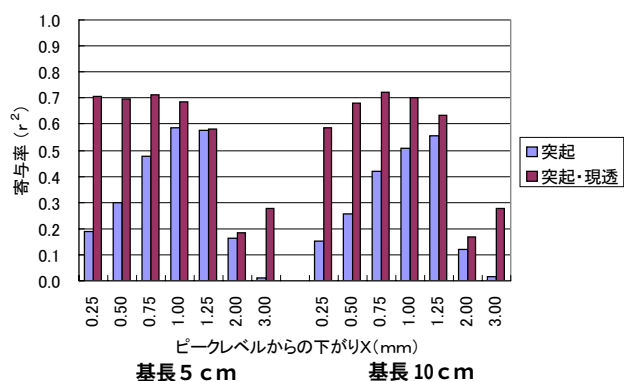
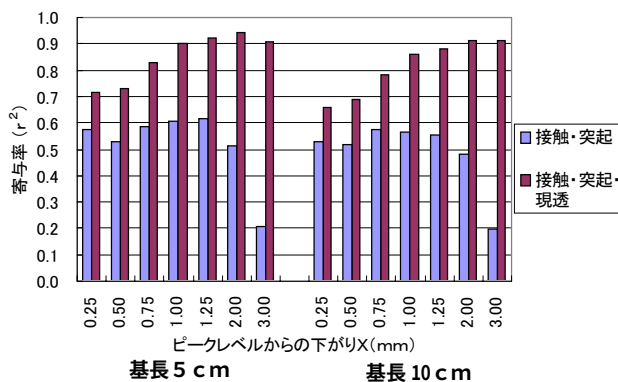


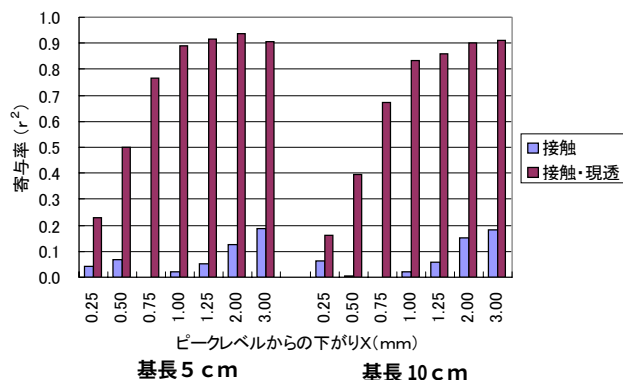
図-12 接触部分比、現場透水量—騒音平均との関係



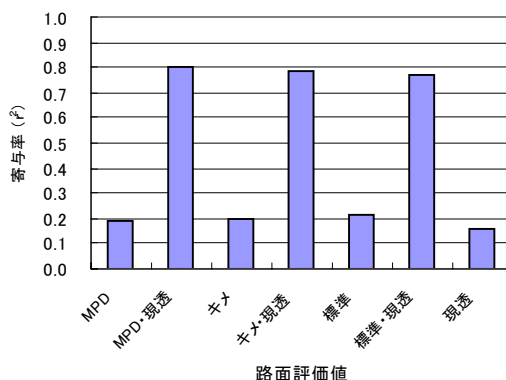
a) 突起間隔、現場透水量と騒音の相関



c) 接触部分比、突起間隔、現場透水量と騒音の相関



b) 接触部分比、現場透水量と騒音の相関



d) 各従来路面評価値と騒音との相関

図-13 各路面評価値と騒音との寄与率 (r^2) 全舗装の場合

このグラフから、接触部分比が高いほど、透水量が多いほど騒音値が低くなっていくものと予想される。
この条件の重回帰式を次の式 (A) に示す。

$$\text{騒音平均} = a \times (\text{接触部分比}) + b \times (\text{現場透水量}) + c \quad (\text{A})$$

(a : -0.18 , b : -0.18 , c : 120.3)

MPD、キメ深さ、凹凸の標準偏差も現場透水量を変数に加えることである程度の相関は得られ、最大が $r^2 = 0.73$ 程度となった。

一方、接触部分比、現場透水量に突起間隔を加えて3変数にした場合は相関は同様に高くなるものの、2変数との大きな違いは見られなかったことから、予測式の簡略化のため2変数とした。また、寄与率(r^2)の最大値は基長5cmの時であることからピークレベル補正時の基長は10cmより5cmを使用して解析をすることとした。

次に、排水性舗装以外のPRMS、SMA、密粒(13)を加えた全ての供試体のデータにおける前出の各評価値と騒音値の寄与率(r^2)を図-13に示す。排水性舗装以外のものを加えると現場透水量を変数に含めない単独での騒音値との相関はどれも低くなるといえる。特に排水性舗装のみにおいてはやや強い相関のあった接触部分比も低下している。

しかし、排水性舗装のみの場合と同様に現場透水量という変数を加えると、どの評価値においても大幅に相関が高くなることがわかる。

また排水性舗装以外のデータも含めた場合においても接触部分比と現場透水量の2変数における評価が最も適切であるという結果となった。

図-14にこの条件における関係のグラフを示す。この3次元グラフから、それぞれの点は1つの面上にあるように見え、これら2変数と騒音の関係が高いことがわかる。

また、この条件の重回帰式を次の式 (B) に示す。

$$\text{騒音平均} = a \times (\text{接触部分比}) + b \times (\text{現場透水量}) + c \quad (\text{B})$$

(a : -0.15 , b : -0.09 , c : 111.3)

以上の結果から、接触部分比と現場透水量の2変数における重回帰分析による評価指標を用いることがタイヤ/路面騒音を考慮した路面評価に最も有効であるという結論を得た。また、排水性舗装以外のものをふくめた評価においても高い相関が得られるということが明らかとなった。

6. 結論

本研究から以下の知見が得られた。

(1) 騒音シミュレータによる騒音値と現場において測定された普通乗用車のオールパス騒音値にはある程度の正の相関関係があり、周波数特性も舗装別の特徴の違いを捉えていることから、騒音シミュレー

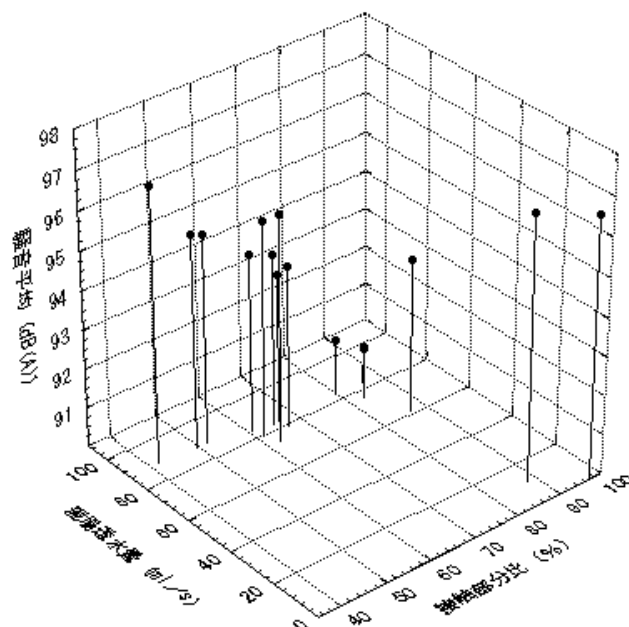


図-14 接触部分比、現場透水量—騒音平均との関係

タによるタイヤ/路面騒音の評価は有用と考えられる。

(2) 接触部分比を求める場合、ピークレベル補正時の基長は10cmよりも5cmのほうが騒音予測精度が高くなる。

(3) 路面評価値である接触部分比と現場透水量という2つの説明変数によって、各種のアスファルト舗装においても比較的高い精度で騒音値の予測ができる可能性がある。

7. あとがき

今回、路面性状としてテクスチャ評価値である接触部分比と現場透水量という2つを用いることにより、タイヤ/路面騒音を予測することができた。これによりどのようなアスファルト舗装においても高い精度でタイヤ/路面騒音の推定が行える可能性があるということが明らかになった。

今後の課題としては、コンクリート舗装や多孔質弾性舗装といった弾性の異なるものへの適用性の確認や、空隙つまりをを起こした舗装への適用性の確認、現場透水量のかわりに舗装体の吸音率を用いる方法等の検討が考えられる。

参考文献

- (財)建設物価調査会 低騒音舗装研究会：改訂低騒音舗装の概説，2001.12
- 井上武美：講座 路面の評価（第4回）路面性状に関する国際委員会の動き—PIARC/ISO—，舗装，2001.11
- 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，2001.12
- 増山幸衛ら：排水性舗装の透水能力測定法に関する研究，土木学会舗装工学論文集 第6巻，2001.12

PREDICT OF TIRE / ROAD NOISE FROM ROAD SURFACE PROPERTIES

Yoshimasa HASHIMOTO, Hiroyuki NITTA, Takeshi YOSHIDA

If a tire / road contact noise can be predicted from road surface properties, the directivity of an improvement of properties becomes clear and is effective various road surfaces.

On this research we examined towards establishment of a tire / road contact noise, and various road surface properties with relation using the indoor examination machine.

As a result, it becomes clear that tire / road noise can be predicted from both tire/road contact partial ratio and on-site water permeability.