

1. 遮熱性舗装路面の騒音低減性能

Noise Reduction Performance of Pavement Surface in which Materials with a High Albedo was applied

技術支援課 田中 輝栄、大野 正宏（現 北多摩南部建設事務所補修課）、上野 慎一郎

1. はじめに

東京都（以下、都という）は、2001 年度から 2007 年度にわたって実施した路面温度上昇抑制の性能を有する遮熱性舗装に関する調査検証の結果に基づき遮熱性舗装設計施工要領（案）¹⁾（以下、要領という）を策定し、2008 年度から、現道に対する遮熱性舗装の本格導入を開始した。導入対象路線は、当初、都のヒートアイランド対策推進エリアにあり騒音低減対策を必要とする都道であったが、その後、対象路線は、センターコアエリアを中心とするエリアに拡大されている。また、2010 年 9 月からは 2007 年度版要領（以下、2007 年要領という）を改定し、2010 年度版要領（2010 年要領という）として現在に至っている²⁾。

本文は、路面温度上昇抑制性能を発揮させる遮熱材料の塗布が、遮熱性舗装の母体舗装となっている 13mmtop 低騒音舗装の騒音低減性能に影響を及ぼさないことを検証した結果を報告するものである。検証にあたっては、実施工事の施工管理データおよび追跡調査データに基づき、遮熱性舗装の騒音低減性能について定量的に整理した。

2. 試験施工に基づく要領作成

表-1 は、要領作成の基礎とした第一段階（2002 年モデルと呼ぶ）および第二段階（2006 年モデルと呼ぶ）の試験施工の概要である。

遮熱性舗装に先駆けて都道に導入していた「保水性舗装」は、降雨や散水により路面が保水された状態であれば、大きな路面温度上昇抑制の性能を発揮する。しかし、夏季の降雨だけでは保水状態を維持すること

は難しく、大きな効果を持続的に発揮させるために、低コストで効率的にかつ安全に路面に水を供給することが課題となっていた。これに対し、「遮熱性舗装」は、散水の必要がないため低いランニングコストで、路面温度上昇抑制の効果を期待するものである。

2002 年モデルは、優れた民間技術の掘り起こしとこの技術の開発促進を目的として「散水を必要としない舗装路面温度の上昇を抑制する新技術の官民共同実験」の一般公募により選定した 3 社 3 技術であり、2003 年 1 月、現道（中央区日本橋 昭和通り）において試験施工を実施し、3 か年の検証後、2002 年モデル遮熱性舗装調査研究結果として道路管理部に報告を行った。

引き続き、2006 年モデルとして、2007 年、「低騒音舗装の機能を損なわない遮熱性舗装に係わる技術の官民共同実験」の一般公募により 18 社 19 遮熱性舗装技術を選定し、現道（中央区築地 新大橋通り）において試験施工を実施し、追跡調査を行った。なお、これら現道での検証は、道路管理部、土木技術支援・人材育成センター（以下、センターという）、民間開発会社の共同で行ったものである。

以上、2007 年要領は、2002 年モデルに対する検証結果および 2006 年モデルに対する初期の検証結果に基づき設定したものであり、2010 年 8 月までの起工工事に適用した。

その後、2006 年モデルの追跡調査データおよび実道工事での施工管理データの検証を行った結果に基づき、2010 年要領として改定を行い、現在適用している要領となっている。

表-1 要領作成の基礎とした試験施工の概要

試験施工 のレベル 項目	(1)	(2)
	第一段階の試験施工 (2002年モデル)	第二段階の試験施工 (2006年モデル)
1 目的	散水を必要としない 舗装路面温度の上昇を抑制する新技術 の掘り起こし	低騒音舗装の機能を損なわない 遮熱性舗装に係わる技術 の掘り起こし
2 実施方法	現道における道路法第 24 条 による自費工事	現道における道路法第 24 条 による自費工事
3 施工時期	2002 (平成14) 年12月～ 2003 (平成15) 年 1月	2007 (平成19) 年5月1日～7月1日
4 施工箇所	主要地方道 日本橋芝浦大森線 (第316号) 昭和通り	主要地方道 東京市川線 (第50号) 新大橋通り
	中央区日本橋二丁目 地内 ～同区日本橋三丁目 地内 (第一建設事務所中央工区 管内)	中央区築地四丁目 地内 ～同区築地五丁目 地内 (第一建設事務所中央工区 管内)
5 適用技術	3技術 / 3社 (ただし、応募技術は、13技術/13社)	19技術 / 18社
	既存低騒音舗装路面 (2001年11月15日 施工完了) に対する遮熱材塗布工法 (遮熱性舗装技術) 結合材 ・MMA樹脂 2技術 ・セメントペースト 1技術	既存低騒音舗装路面 (2005年度施工) に対する遮熱材塗布工法 (遮熱性舗装技術) 結合材 ・MMA樹脂 16技術 ・その他の樹脂 3技術

3. 遮熱性舗装の施工規模と調査対象工事件数

(1) 施工規模

都が実施した遮熱性舗装の 2007 年度から 2011 年度までの 5 年間の施工規模は、施工延長が図-1、施工面積が図-2 に示すとおりである。

① 施工延長 (上り・下り車線別) は、累積 40km 弱である。

② 施工面積は、累積 450 千 m² 弱である。

(2) 調査対象工事件数

調査対象工事件数は、2007 年度から 2011 年度までの工事から抽出した表-2 に示すとおりである。

- ① 2007 年要領で実施された工事は、31 件である。
- ② 2010 年要領で実施された工事は、30 件である。
- ③ 2007～2011 年度までの工事から合計 61 件を調査対象として抽出した。

4. 騒音低減性能の調査概要

騒音低減性能の指標は、路面自身の騒音低減性能を把握比較するためにタイヤ/路面騒音とした。

(1) 測定車

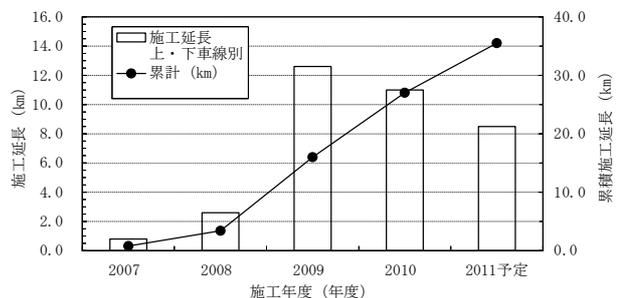


図-1 施工延長

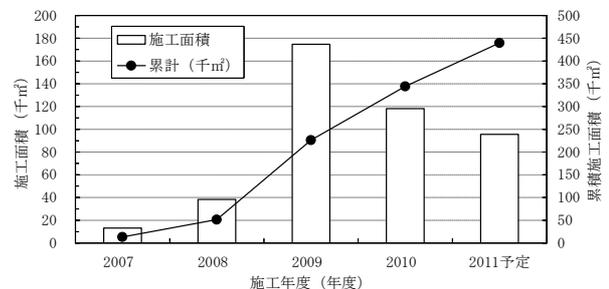


図-2 施工面積

タイヤ/路面騒音を測定する測定車を写真-1 に、測定部を写真-2 に示す。写真-2 に示す試験輪である特殊タイヤより発生するタイヤ/路面騒音は 30～60km/h

表-2 調査対象工事件数

施工年度	調査対象工事件数 (件)		備考
	2007	1	
2008	5		
2009	16		
2010	9	30	2010 要領
	9		
2011	21		
合計	61		

程度での測定が可能であり、また、市販リブタイヤに比べ広い周波数範囲で音圧レベル差が増幅されるので、街路における舗装路面に対して発生するタイヤ/路面騒音の変化を比較するのに適している。測定車の仕様は表-3のとおりである。

(2) 測定方法

測定は、舗装性能評価法((社)日本道路協会)の「騒音値を求めるための舗装路面騒音測定車によるタイヤ/路面騒音測定方法」³⁾を基本とし、表-4に示す測定条件により実施した。

- ① 測定する車線の全延長を対象に、測定車を一定速度で走行させ、舗装路面に対して特殊タイヤを2.45kNの荷重でかけて発生するエアポンピング音(特殊タイヤ音)をタイヤ近接部に設置したマイクロフォン(単一指向性マイク)で捉え、データレコーダに記録した。
- ② タイヤ/路面騒音は各3回測定を行い、再現性を確認し、解析を行った。
- ③ 測定したタイヤ/路面騒音は、A特性周波数重み付け音圧レベルとした。
- ④ 測定したタイヤ/路面騒音は、対象区間の約100mごとに0.1秒間隔でサンプリングし、サンプリングした全データを平均した等価騒音レベル(LAeq)により解析を行った。また、1/3オクターブバンドによる周波数分析を行った。



写真-1 タイヤ/路面騒音測定車の全景

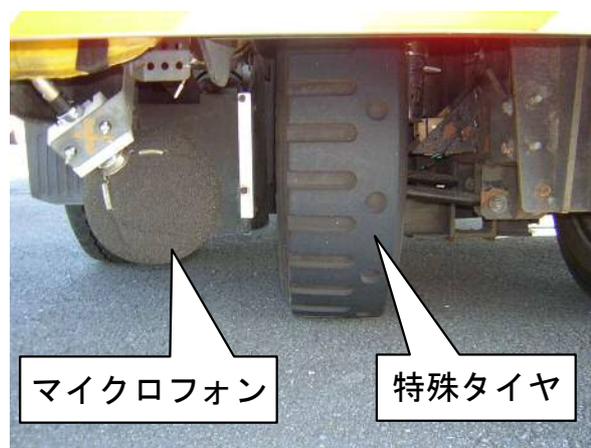


写真-2 タイヤ/路面騒音測定車の測定部

表-3 タイヤ/路面騒音測定車の仕様

項目		仕様
車両	総重量	2830 kg
	全長	571 cm
	全幅	194 cm
	全高	259 cm
	車種	メルセデスベンツ トランスポータTIN314
測定	測定項目	タイヤ/路面騒音
	タイヤ緒元	特殊タイヤ195/65R15
	測定輪の間隔	600 mm
	載荷質量	2.45 kN/タイヤ
	測定速度	50 km/h
	騒音測定器	JIS C 1502
	記録装置	データレコーダ
マイク	単一指向性 (風切り音防止フード付き)	

5. 騒音低減性能の調査結果

2007～2011 年度に施工した遮熱性舗装施工箇所の中で遮熱性舗装の母体となる 13mmtop 低騒音舗装から構築している舗装工事を対象として、かつ遮熱材料の塗布前と塗布後についてタイヤ/路面騒音を計測している 61 か所について調査した。なお、タイヤ/路面騒音の測定は工事 1 か所につき 2 区間、測定値は A 特性周波数で重み付けした音圧レベルである。

(1) 塗布前と塗布後のタイヤ/路面騒音の比較

1) 要領改定時期を考慮しない場合

遮熱材料の塗布前および塗布後のタイヤ/路面騒音のオールパスレベル（以下、AP レベルという）の度数分布を図-3、4 に示す。

横軸はタイヤ/路面騒音で dB を単位とする度数分布の階級、縦軸左は相対度数（実測度数/全度数）、縦軸右は累積相対度数を表す。なお、図に示す横軸の数値は、階級下限値である。

- ① 遮熱性舗装 61 か所（122 データ）の遮熱材料塗布前のタイヤ/路面騒音は、平均値 89.3 dB、最小値 88.0 dB、最大値 92.7 dB である。
- ② 遮熱性舗装 61 か所（122 データ）の遮熱材料塗布後のタイヤ/路面騒音は、平均値 88.9 dB、最小値 87.7 dB、最大値 91.5 dB である。
- ③ タイヤ/路面騒音は、平均値で、塗布後が塗布前より 0.4 dB 小さい。
- ④ 89 dB 未満までの累積相対度数は、塗布前 0.38、塗布後 0.68 で、塗布後が塗布前の約 1.8 倍である。

2) 要領改定時期を考慮した場合

(i) 2007 年要領による工事

2007 年要領により構築された遮熱性舗装の遮熱材料の塗布前のタイヤ/路面騒音の AP レベルの度数分布を図-5、6 に示す。

- ① 遮熱性舗装 31 か所（62 データ）の遮熱材料塗布前のタイヤ/路面騒音は、平均値 89.5 dB、最小値 88.3 dB、最大値 92.7 dB である。
- ② 遮熱性舗装 31 か所（62 データ）の遮熱材料塗布後のタイヤ/路面騒音は、平均値 89.1 dB、最小値 88.0 dB、最大値 91.5 dB である。
- ③ タイヤ/路面騒音は、平均値で、塗布後が塗布前より 0.4 dB 小さい。

表-4 タイヤ/路面騒音の測定条件

項目	適用
走行速度	50 km/hを基本（平均 50±0.5 km/h）
測定位置	各車線の外側車輪通過位置（OWP）
測定回数	対象車線毎に 3 回測定を基本
サンプリング間隔	0.1 秒毎
サンプリング個数	約 70 個/100m
騒音計	周波数補正回路 A 特性（風切雑音の影響考慮）
評価値	サンプリングした全データを平均した等価騒音レベル（LAeq）
路面状態と天候	降雨後1日以上経過した路面乾燥状態の晴天時

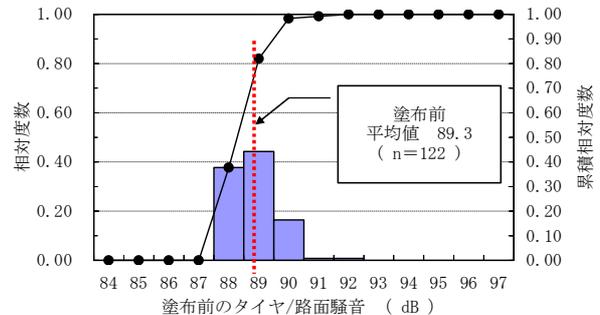


図-3 塗布前のタイヤ/路面騒音

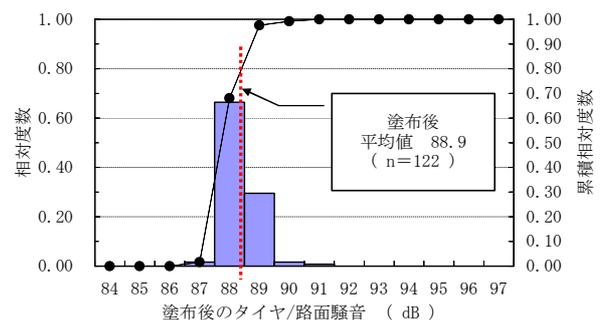


図-4 塗布後のタイヤ/路面騒音

- ④ 89 dB 未満までの累積相対度数は、塗布前 0.34、塗布後 0.56 で、塗布後が塗布前の約 1.6 倍である。

(ii) 2010 年要領による工事

2010 年要領により構築された遮熱性舗装の遮熱材料の塗布前および塗布後のタイヤ/路面騒音の AP レベル

の度数分布を図-7、8に示す。

- ① 遮熱性舗装 30 か所 (60 データ) の遮熱材料塗布前のタイヤ/路面騒音は、平均値 89.1 dB、最小値 88.0 dB、最大値 90.7 dB である。
- ② 遮熱性舗装 30 か所 (60 データ) の遮熱材料塗布後のタイヤ/路面騒音は、平均値 88.6 dB、最小値 87.7 dB、最大値 89.8 dB である。
- ③ タイヤ/路面騒音は、平均値で、塗布後が塗布前より 0.5 dB 小さい。
- ④ 89 dB 未満までの累積相対度数は、塗布前 0.42、塗布後 0.77 で、塗布後が塗布前の約 1.8 倍である。

(iii) タイヤ/路面騒音の平均値の差の検定

要領改定時期を考慮しない場合の塗布前と塗布後のタイヤ/路面騒音の平均値の差を統計論的に検定した結果を表-5 に示す。なお、平均値の差の検定にあたっては、塗布前と塗布後、それぞれの音圧実効値により算定した。

- ① 表-5 より、t 値 (自由度 121) は、13.4 である。
- ② $t_{0.01, 100}$ (危険率 1%、自由度 100) は、2.365 であることから、塗布前と塗布後の音圧実効値の平均値の差は高度に有意である。
- ③ ①と②より、塗布前と塗布後のタイヤ/路面騒音の騒音レベルの平均値の差 0.4 dB は、高度に有意である。
- ④ 以上のことは、要領改定時期を考慮した場合における同様の検定結果からも有意性が認められる。
- ⑤ ①~④から、遮熱材料の塗布後の舗装路面は、塗布前の舗装路面と同等以上の騒音低減性能を有すると判断する。

(2) 塗布後のタイヤ/路面騒音の周波数特性

1) 塗布直後の周波数特性

遮熱材料の塗布直後のタイヤ/路面騒音の 1/3 オクターブバンド分析による周波数特性を図-9 に示す。なお、図-9 には、比較のため、密粒度アスファルト舗装路面、保水性 (75%浸透) 舗装路面、13mmtop 低騒音舗装路面それぞれの施工直後の周波数特性を示す。

遮熱性舗装路面の特徴は、次のとおりである。

- ① AP レベルは、13mmtop 低騒音舗装路面より小さい。
- ② ピーク値は、各種舗装路面と同様に 1000 Hz 前後である。

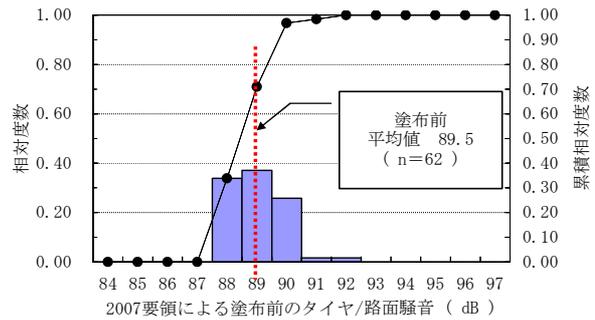


図-5 2007 要領による塗布前のタイヤ/路面騒音

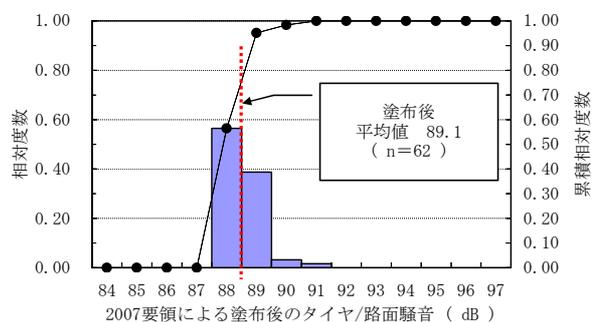


図-6 2007 要領による塗布後のタイヤ/路面騒音

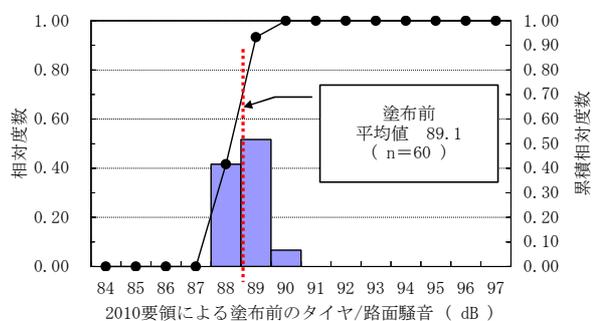


図-7 2010 要領による塗布前のタイヤ/路面騒音

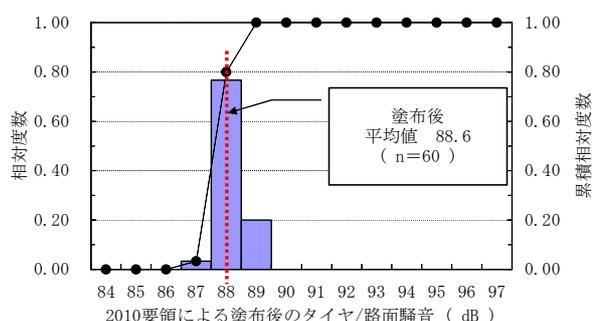


図-8 2010 要領による塗布後のタイヤ/路面騒音

表-5 塗布前と塗布後の音圧実効値の平均値の差の有意性

	塗布前	塗布後	差	自由度	t値	$t_{0.01;100}$
サンプル数	122			121	13.4	2.365
平均値	8.59×10^8	7.68×10^8	0.91×10^8			
標本標準偏差	1.58×10^8	1.20×10^8				

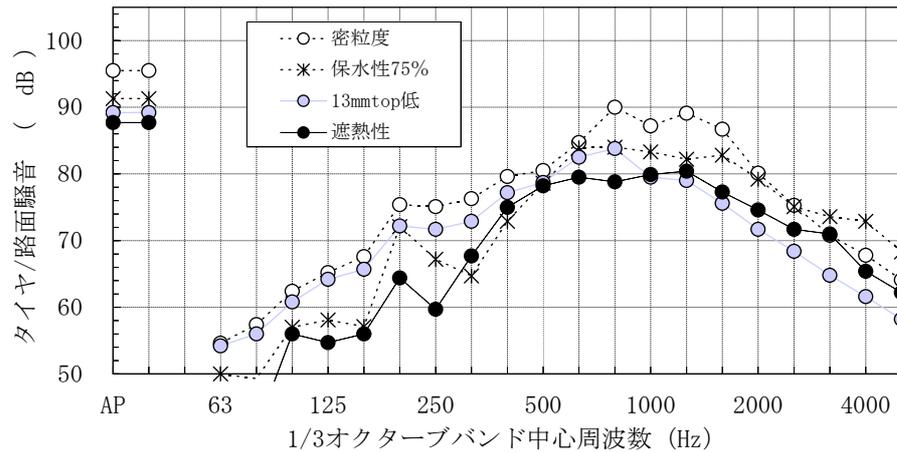


図-9 塗布直後の周波数特性

注：図中・左端上のマークは、各舗装路面のAPレベル

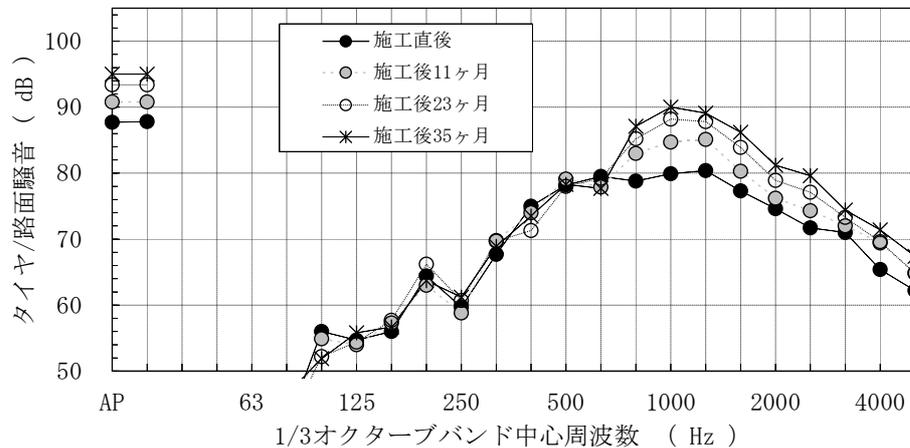


図-10 塗布後の周波数特性の推移

注：図中・左端上のマークは、各舗装路面のAPレベル

この周波数は、タイヤのトレッド溝と路面で形成される気柱の共鳴に一致し、タイヤのトレッド溝と路面の間に閉じ込められた空気が弾けることによって発生するエアポンピング音である⁴⁾。

③ 1000 Hz より低い周波数帯域では、13mmtop 低騒音舗装路面より小さい。

この周波数帯域は、路面凹凸やトレッドパターン加振により発生するタイヤ振動音にあたる。

- ④ 1000 Hz より高い周波数帯域では、13mmtop 低騒音舗装路面より大きい。

この周波数帯域は、タイヤと路面の接地摩擦振動音にあたる。

2) 塗布後の周波数特性

遮熱材料の塗布後のタイヤ/路面騒音の 1/3 オクターブバンド分析による周波数特性の推移を図-10に示す。図-10 は、塗布直後から 11、23、35 か月までの約 3 か年の追跡調査結果である。

- ① ピーク値は 1000 Hz 前後であるが、経過とともに音圧レベルが大きくなっている。
- ② 1000 Hz より低い周波数帯域では、音圧レベルに大きな差はみられない。
- ③ 1000 Hz より高い周波数帯域では、経過とともに音圧レベルが大きくなっている。
- ④ ①～③は、13mmtop 低騒音舗装路面の傾向と同様である⁵⁾。

6. まとめと考察

2007 年度から 2011 年度までの遮熱性舗装の 61 件の実施工事の施工管理データおよび追跡調査データに基づく騒音低減性能の調査結果から得られた知見をまとめると次のとおりである。

- ① 遮熱材料の塗布後の舗装路面の騒音低減性能は、塗布前の舗装路面に劣るものではなく、同等以上の騒音低減性能を有する。
- ② 塗布直後の周波数特性のピーク値は、13mmtop 低騒音舗装路面と同様 1000 Hz 前後であるが、1000 Hz より低い周波数帯域では小さく、高い周波数帯域では大きい。
- ③ 約 3 か年の追跡調査結果であるが、周波数特性の推移は、13mmtop 低騒音舗装路面と同様の傾向にある。
- ④ 遮熱材料の塗布前の舗装路面より塗布後の舗装路面、即ち、母体の 13mmtop 低騒音舗装路面より遮熱性舗装路面に対するタイヤ/路面騒音の AP レベルが同等以下であることに有意性が認められた。この理由については、周波数特性から次のように推測する。
- ・ 第一に、ピーク値となっている 1000 Hz 前後の音圧レベルが 13mmtop 低騒音舗装路面と同等であ

ることから、遮熱材料の塗布後もタイヤと路面により発生するエアポンピング音が同等である。

即ち、塗布前と塗布後とも空隙状況が同等である。

- ・ 第二に 1000 Hz より低い周波数帯域における音圧レベルが 13mmtop 低騒音舗装路面より小さいことから、遮熱材料を路面に塗布することが音の発生を促す路面凹凸をスムーズにしている。
- ・ 第三に、1000 Hz より高い周波数帯域における音圧レベルが 13mmtop 低騒音舗装路面より大きいことから、遮熱材料と共に散布されるすべり止め骨材がタイヤ摩擦振動音を増加させるように作用している。
- ・ 第一から第三により、結果、遮熱性舗装路面におけるタイヤ/路面騒音が同等以下となっている。即ち、遮熱材料の塗布後の舗装路面の騒音低減性能は、塗布前の舗装路面に劣るものではない。

7. おわりに

本文は、2007 年度から 2011 年度までに施工された遮熱性舗装に対する騒音低減性能の調査結果を取りまとめたものである。

道路敷地内における熱環境対策の技術として街路樹や壁面緑化などの緑化対策が有効であるが、舗装路面からの期待される技術として保水性舗装が 2001 年に初めて都道で試験施工されその後本格導入に至っている。保水性舗装は舗装本体に吸収した雨水などの水分を太陽光の作用による気化熱により路面温度上昇を抑制するものである。したがって、吸収水分が減少すると高い路面温度上昇抑制効果を維持することができなくなる。高い効果を維持するためには、散水など人工的な手法による水分供給が考えられるが、そのためのランニングコストが余分に必要となる。そのために新たに取り込んだ技術が、水分供給を必要としない路面温度上昇抑制技術である遮熱性舗装であり、試験施工検証の結果、2008 年度から本格導入を図ったものである。

しかし、遮熱性舗装は、低騒音舗装を母体としその表面を遮熱材料で覆う工法であるため、騒音低減性能の確保維持が課題となっていた。

以上の認識の下に、2007 年度から 2011 年度までの

実施工事の施工管理データおよび追跡調査データに基づき調査した結果、母体となる 13mmtop 低騒音舗装の騒音低減性能に劣るものではないことを明らかにした。

今後も、沿道環境に優しい路面温度上昇抑制性能をもつ舗装の性能維持向上のため、引き続き調査検討を実施していく。

最後に、この取りまとめに当って多大なるご協力を

いただいた当センターとの遮熱性舗装合同検証者である道路管理部保全課、施工現場対応でご苦労いただいた第一建設事務所補修課・工区、第二建設事務所補修課・工区、第三建設事務所補修課・工区、第四建設事務所補修課・工区、第五建設事務所補修課・工区、第六建設事務所補修課・工区の各位に対して、深甚なる感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 東京都建設局道路管理部 (2007) : 遮熱性舗装 (車道) 設計・施工要領 (案)
- 2) 東京都建設局道路管理部 (2010) : 遮熱性舗装 (車道) 設計・施工要領 (案)
- 3) (社) 日本道路協会 (2006) : 舗装性能評価法、54-62、平成 18 年 1 月、丸善 (株)
- 4) 山本貢平 (2000) : 道路交通における振動・音響発生とその対策技術、日本機械学会 Dynamic and Design Conference 2000 論文集、平成 12 年 9 月
- 5) 田中輝栄 (2008) : 騒音低減性能をもつ舗装のタイヤ/路面騒音、平 20 都土木技術センター年報、51-62