

騒音低減機能を有する舗装の性能向上に関する研究

研究予算：運営費交付金（道路勘定）

研究期間：平 21～平 23

担当チーム：舗装チーム

研究担当者：久保和幸，井谷雅司，渡邊一弘，
川上篤史

【要旨】

我が国では、1990年代からポーラスアスファルト舗装の普及が本格的に始まり、その騒音低減効果が優れていることから、騒音低減対策として広く普及している。一方、ポーラスアスファルト舗装は実道で供用することで空隙詰まりが発生し騒音低減効果が3年程度の早期に失われるとともに、機能回復車などによる機能回復作業を実施しても完全な回復効果が得られないのが現状である。そのため、より騒音低減機能の持続性が期待できる舗装技術が求められている。本研究では、コストを含めた騒音低減機能と機能の持続性との関係を把握するとともに、ポーラスアスファルト舗装以外の騒音低減機能を有する舗装技術について騒音性能を評価し、標準化に向けた検討を実施した。

その結果、文献調査により低騒音化が期待できる舗装技術は、ポーラスアスファルト舗装以外にも多数存在することが判明した。それぞれの低騒音舗装技術のライフサイクルコストを算出した結果、SMA系舗装のポーラスアスファルト舗装と同程度と安価であり、ポーラスアスファルト舗装の代替材料と成り得ることが判明した。また、文献調査では定量的に評価することが困難であった各種低騒音舗装技術の騒音低減効果を供試体レベル及び実道にて簡易に測定することのできる試験法（ゴム板転倒試験法）を開発することにより、多数存在する低騒音舗装技術の騒音低減効果を定量的に把握することができた。また、騒音測定結果の重回帰分析より最大粒径、連続空隙率、MPDのパラメータが騒音値に寄与することが判明した。さらに、促進載荷試験路面における試験施工より、粗面型小粒径薄層 SMA 舗装は、ポーラスアスファルト舗装ほど初期の騒音低減効果は期待できないものの、空隙つまりによる騒音低減効果の消失が発生しにくく、塑性変形抵抗力も大きいことが判明し、ポーラスアスファルト舗装の代替の低騒音舗装と成り得ることを提案することができた。

キーワード：低騒音舗装、ライフサイクルコスト、騒音評価試験法、SMA

1. はじめに

道路交通騒音の問題は、世界的な環境問題の一つであり、世界第2位の自動車保有台数を占める我が国にとって重要な課題である。沿道地域への騒音を抑制する方法としては、道路構造（盛土、切土、高架など）や遮音壁、街路樹などの音響的障害物の設置、低騒音舗装の敷設などが挙げられ、最近では低騒音舗装としてポーラスアスファルト舗装が多く施工されている。

ポーラスアスファルト舗装は、わが国では昭和62年度に東京都の環状7号線で初めて施工された。その後、排水性と低騒音を目的として各地で施工量が増加し、高速道路の60%以上でポーラスアスファルト舗装が施工されている。ポーラスアスファルト舗装は、道路交通騒音の低減や雨天時の走行安全性に優れていることが特徴である。

平成10年度からは舗装における性能規定工事が

施行され、低騒音性を主眼としたポーラスアスファルト舗装が数多く施工されている。

しかしながら、ポーラスアスファルト舗装は高空隙であることから、供用中に空隙の中に土砂や塵埃等が詰まったり、車両走行によって空隙や塵埃等が詰まったり、車両走行によって空隙つぶれが発生し、供用から3年程度で騒音低減効果が消失することが問題となっている。さらに、機能回復車（高圧洗浄）などによる機能回復作業を実施しても完全な回復効果が得られないのが現状である。そのため、より騒音低減機能の持続性が期待できる舗装技術が求められている。

本研究では、コストを含めた騒音低減機能と機能の持続性との関係を把握するとともに、ポーラスアスファルト舗装以外の騒音低減機能を有する舗装技術について騒音性能を評価し、技術提案に向けた検討を実施する。

表-1 収集文献数

種類	件数	発行年	件数
学会誌	43	2009	11
書籍	34	2008	4
その他 (業務報告書等)	7	2007	9
		2006	3
		2005	9
		2004	2
		2003	14
		2002	8
		2001	11
		2000	8
		1999以前・不明	5
合計件数	84	合計件数	84

2. 各種低騒音舗装技術に関する調査

国内外で使用および開発されている、低騒音舗装技術について調査するため、文献をもとに低騒音舗装技術の概要、コスト等の確認を行った。

収集とした文献は、学会や書籍等及び業務報告書等である。表-1に収集した文献の数量を示す。

2. 1 低騒音舗装技術の整理

文献調査から判明した各種低騒音技術の概要を表-2に示す。表中の「構造上の設計期間」は、文献をもとに設定したが、「舗装設計便覧」(平成18年2月、社団法人日本道路協会)では国道の舗装の設計期間の目安は20年とされていることから、「舗装の耐久性」は20年とした。ただし、表面処理「構造上の設計期間」とした。

今回の調査で、低騒音舗装技術として使用および開発されているものは多数あることが判明した(今回の調査では13技術)。各舗装の騒音低減効果及び

耐久性について、施工現場の交通量等の現場条件が異なるため、文献からは定量的に確認することが困難であった(各種低騒音舗装の騒音低減効果については後述)。

2. 2 各種低騒音舗装のコスト調査結果

文献調査より確認された各種低騒音舗装技術の初期コスト(材料費、施工費)および舗装の処分コスト(切削費、運搬費、中間処理費用等)について調査を行い、1回の打ち替えまでに要するコスト(1ライフサイクルコスト)の算出を行い、コスト的に有利な低騒音舗装の検討を行った。

コストは「建設物価」及び「土木工事積算基準マニュアル」をもとに算出を行った。また、初期コストの算出に当たっては、舗装の厚さにより材料費が異なることから、表層・基層を対象とした。また、表面処理工についても、下層と一体で性能を発揮するため、基層までを対象とした。また、コンクリート舗装は、設計方法・耐久性も異なり、上記の比較ができないため、表層のみを対象とした。算出したコストと図-1に示す。

①初期コスト

初期コストは、ポーラスコンクリート舗装および多孔質弾性舗装が他に比べ高い結果となったが、これは主に材料費が高額なことが原因である。また、砕石マスタックアスファルト(SMA)系の舗装はポーラスアスファルトと同程度のコストとなった。

②処分費

処分費は、ポーラスコンクリート舗装、小粒径骨材露出コンクリートの処分費が高額となっており、

表-2 騒音低減機能を有する舗装技術の概要

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
舗装種類	ポーラスアスファルト舗装	小粒径ポーラスアスファルト舗装	2層式ポーラスアスファルト舗装	ポーラスコンクリート舗装	表面処理工法(透水性樹脂モルタル充填工法)	表面付着材(高付着特殊ゴム)	砕石マスタック(SMA)舗装	小粒径SMA	機能性SMA	多孔質弾性舗装	マイクロサーフェシング	小粒径骨材露出コンクリート舗装	密粒度舗装
技術概要	ポーラスアスファルト混合物を表層あるいは表・基層などに用いる舗装	最大粒径13mm未満のポーラスアスファルト混合物を表層に配置した舗装	上層に粒径の小さな骨材、下層に通常の粒径の骨材を使用したポーラスアスファルト混合物を配置した舗装	特殊な湿和剤を用いるなどして高い透水性を有する樹脂モルタルを充填する工法	透水性樹脂モルタルの凹部に透水性を有する樹脂モルタルを充填する工法	排水性舗装の表面身ゴム粒子を配置する工法	施工後の表面付近のテクスチャーがポーラスアスファルト舗装に近く、それ以下は通常のSMAと同様に骨材間隙をアスファルトモルタルで充填した舗装	小粒径骨材を使用する場合もある	表面に粗いキメを持ち、下部は緻密で安定性の高い構造をしたSMAで積層寒冷地では排水性舗装と同様に低騒音舗装の位置づけで施工されている	床タイやなどを裁断して作られた繊維状または粒状のゴムチップをウレタンなどの樹脂で固めた舗装	舗装の表面処理工法。常温薄層工法	表層コンクリートに小粒径骨材(4~8mm)を用い、骨材露出させる工法。高いすべり抵抗性と騒音低減効果の持続性及び耐久性を有する。	通常のアスファルトコンクリート舗装
主な使用材料	・アスファルト ・骨材(最大粒径13.2mm)	・アスファルト ・骨材(最大粒径13mm未満)	・アスファルト ・骨材	・セメント ・骨材 ・湿和剤	・樹脂 ・人工骨材	・床タイや破砕(ゴムチップ)	・アスファルト ・骨材	・アスファルト ・骨材	・アスファルト ・骨材	・樹脂 ・ゴムチップ	・骨材 ・改質アスファルト乳剤 ・セメント ・分解調整剤	・粗骨材(5~10mm) ・細骨材(0~1.2mm) ・セメント ・湿和剤	・アスファルト ・骨材
舗装構成の例(比較的施工実績の多い断面)	表層(ポーラス): 5cm 基層(密粒): 5cm	表層(ポーラス): 3cm 基層(密粒): 5cm	上層(ポーラス): 2cm 中層(密粒): 5cm 下層(密粒): 5cm	上層(ポーラス): 20cm 中層(密粒): 5cm 下層(密粒): 5cm	樹脂モルタル充填 樹脂モルタル厚さ: 5cm 表層(密粒): 5cm 基層(密粒): 5cm	排水性舗装の表面 排水性舗装の表面厚さ: 5cm 表層(密粒): 5cm 基層(密粒): 5cm	砕石マスタック(SMA) 表層(SMA): 2.5~5cm 表層(密粒): 5cm 基層(密粒): 5cm	小粒径SMA 表層(SMA): 2.5cm 表層(密粒): 5cm 基層(密粒): 5cm	機能性SMA 表層(SMA): 4cm 表層(密粒): 5cm 基層(密粒): 5cm	多孔質弾性舗装 表層(多孔質): 2cm 表層(密粒): 5cm 基層(密粒): 5cm	マイクロサーフェシング 表層(粗粒): 10cm 表層(密粒): 5cm 基層(密粒): 5cm	小粒径骨材露出コンクリート 表層(小粒径): 10cm 表層(密粒): 5cm 基層(密粒): 5cm	密粒度舗装 表層(密粒): 5cm 基層(密粒): 5cm
適用可能な交通量区分	重交通 軽交通	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○
適用可能な箇所	重要寒冷地 交差点部 橋梁部	○ ○ ○	△ △ △	△ △ △	△ △ △	△ △ △	△ △ △	△ △ △	△ △ △	△ △ △	△ △ △	△ △ △	△ △ △
構造上の設計期間	10年~20年	10年~20年	10年~20年	20年~	10年~	10年~	10年~	10年~	10年~	3年	6.5年程度	20年~	10年~
舗装の耐久性	20年	20年	20年	20年	10年~	10年~	10年~	10年~	10年~	3年	6.5年程度	20年~	10年~
施工後から交通開放までに要する時間(表層のみを考慮)	数時間(表面50℃以下)	数時間(表面50℃以下)	数時間(表面50℃以下)	1~7日(設計強度発現後)	数時間(樹脂/バインダ硬化後)	数時間(樹脂/バインダ硬化後)	数時間(表面50℃以下)	数時間(表面50℃以下)	数時間(表面50℃以下)	数時間(表面50℃以下)	1~2日(樹脂/バインダ硬化後)	1~7日(設計強度発現後)	数時間(表面50℃以下)
騒音低減機能の持続性	5~10年	5~10年 薄層式は7年程度	5~10年	5年の実績有	5~10年	データなし	データなし	データなし	データなし	データなし	データなし	データなし	-

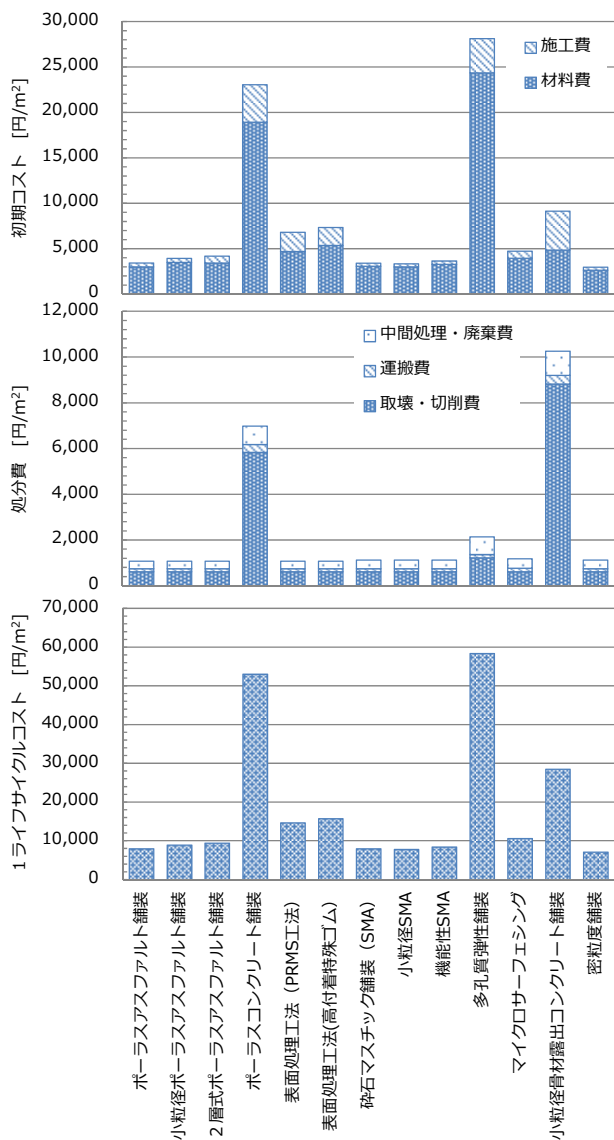


図-1 低騒音舗装の各種コスト

これは取壊・切削に係るコスト及び廃棄費用が高額であることが原因である。また、多孔質弾性舗装も若干処分コストが高い。

アスファルト系の舗装及び表面処理系の舗装は、ほぼ同一の廃棄コストとなることが判明した。

③ 1 ライフサイクルコスト

ここではライフサイクルコストとして初期コスト、処分費をもとに舗装から1回打替えまで費用を1 ライフサイクルコストとした。1 ライフサイクルコストで比較すると、密粒度舗装が最も安価である、SMA 系の舗装はポーラスアスファルト舗装と同様に密粒に次いでライフサイクルコストが安価であることがわかる。

また、コンクリート系舗装、多孔質弾性舗装はライフサイクルコストが密粒に比べ数倍も高額な舗装であることがわかった。

以上を勘案すると、コスト面ではライフサイクルコストがポーラスアスファルト舗装と同程度と安価な SMA 系の舗装がポーラスアスファルト舗装に変わり得る舗装として有力であるといえる。

3. 騒音評価試験法の開発と検証

文献調査により低騒音舗装技術は民間等により多数開発され、試験舗装での検証例なども報告されているが、それらの技術の騒音低減効果については事例ごとに評価指標が混在(例えば、タイヤ/路面騒音、環境騒音、パワーレベル等)しており、定量的な比較が困難であった。

各低騒音舗装の騒音低減効果を効率よく検証するためには、供試体を作成し、その低騒音性を迅速かつ精度よく評価できる室内試験法によることの方が、試験舗装によるよりも、時間や費用などの面でより望ましく合理的である。

現況で開発されている室内レベルでの騒音評価法としては、模擬タイヤ落下法等があるが、試験の再現性が悪く、また、発生する音質が実路面の騒音と異なるなど課題があることが、事前の検討の結果判明した。

そのため、室内レベルで騒音評価ができる試験法を開発し、各種低騒音舗装技術の騒音低減効果の検証を行った。

3. 1 簡易試験法の開発

簡易試験法の開発あたっては、以下の方針で実施することとした。

- ① 供試体はもとより実道でも騒音が評価できる試験法とすること
- ② RAC 車と同程度の騒音評価ができること
- ③ 再現性が良い試験法であること

以上を満足する試験法として、ゴム板転倒による騒音測定法を検討したので以下に報告する。

3.1.1 簡易試験法の評価原理と測定法

タイヤと路面との接触騒音は、タイヤが高速回転しているある瞬間 (Δt) を想定すると、ほぼ平らで一定面積のタイヤ片が舗装路面を叩く現象に近似し得る。したがって、平滑な舗装体表面に、タイヤ片に近似させた面積、形状、および材質の平滑版を一定の条件で倒し込み、この時に生じる発生音の大きさを所定の位置に設置した騒音計で測定・分析すれば、これによって舗装体とタイヤとの接触騒音の

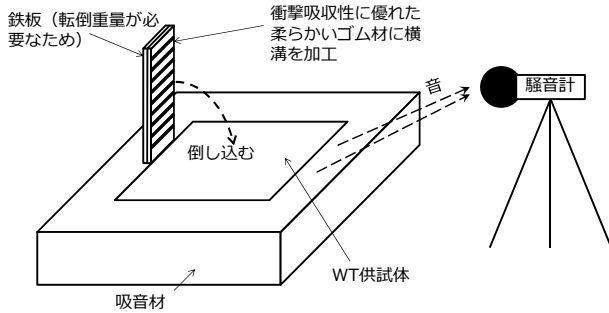


図-2 ゴム板転倒試験法の概念図



写真-1 ゴム板転倒試験状況

表-3 ゴム板諸元

仕様		単位	値	
ゴム	GP-35L (内外ゴム製)	硬度	°	32
		反発弾性	%	2
		比重	-	1.24
		静的せん断弾性率	Mpa	0.28
	寸法	mm	幅50×長さ200×厚さ20	
	溝切り寸法	間隔	mm	20
深さ		mm	4	
本数		本	横方向に10	
鉄板寸法		mm	幅50×長さ200×厚さ19	
総重量		g	1720	

大きさを dB(A)単位で評価することができる。この試験法を本報では、「ゴム板転倒試験法」と称する。

図-2 にゴム板転倒試験法の概念図を示す。また、試験状況を写真-1 に示す。各種低騒音舗装の WT 供試体 (30×30×5cm) に衝撃吸収性に優れた低硬度のゴム材料に鉄板を張り合わせたものを所定の位置から供試体に転倒させ、その時に発生する騒音を騒音計にて測定するものである。ゴム板には等間隔に横溝を入れており衝突時に発生する空気圧を逃がす構造としている。

使用するゴム板の諸元を表-3 に示す。ゴム板は実道でのわだち掘れの影響を受けにくいよう細長い構造とし、路面テクスチャに追従できるよう硬度の低いものを採用した。

試験法の決定には、形状、重量、ゴム質等のパラメータとした相当数の試験について検証を行い、

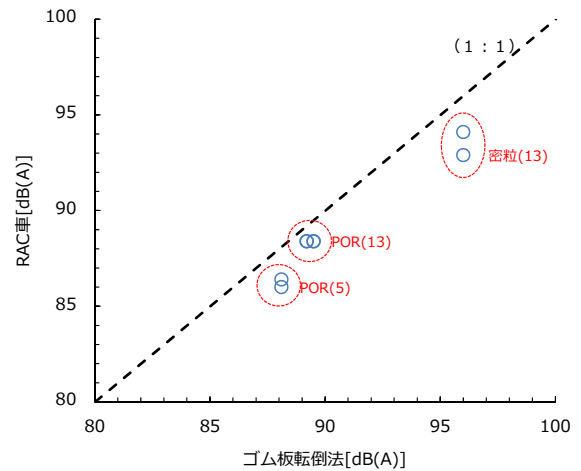


図-3 ゴム板転倒法と RAC 車による騒音値相関
RAC 車の騒音値に近似する結果が得られるものとした。

3.1.2 試験法の検証

試験法の効果を検証するため、土木研究所構内の路面騒音検定施設の検定路面にて測定した RAC 車で測定した騒音値とゴム板転倒試験法の測定結果を比較したものを図-3 に示す。検証した路面は、密粒度 (13mmTop)、ポーラスアスファルト舗装 (5mmTop,13mmTop) である。同図より、データ数は十分とは言いがたいが、両者は良い相関がみよめられる。

したがって、開発したゴム板転倒試験法は RAC 車と同等の騒音評価を簡易に行うことができる試験法であり、実路においても適用可能な試験法と判断される。

さらに、現在、性能規定工事の竣工検査および1年度の検査に用いられている RAC 車は、個々の台数が3台と少ないため、測定実施時期の調整が難しいことや、また、測定車が高価であるという問題もある。さらなるデータ蓄積等により開発した本試験法により RAC 車に代わり簡便に騒音値の測定が実施できる可能性も有り得ると考える。

3.2 各種低騒音舗装の騒音値の検証

開発した同試験法を用いて、文献調査により確認された低騒音舗装の供試体を作成し、騒音低減効果の比較検証を行った。測定結果を図-4 に示す。

アスファルト混合物については、密粒度が最も騒音値が大きく、粗面型 SMA、ポーラスアスファルト舗装の順に騒音値が小さくなる傾向が得られた。また、最大粒径が小さく、空隙率が大きい混合物ほど騒音値が小さくなる傾向である。

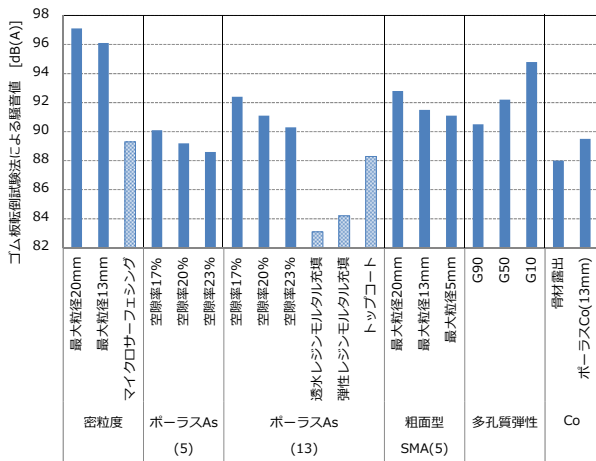


図-4 低騒音舗装供試体の騒音値

また、マイクロサーフェシング等の表面処理工は騒音を低下させるのに有効であることが伺える。

多孔質弾性舗装については、ゴムの配合割合が多いほど騒音値が小さくなる傾向が得られた。

コンクリート混合物では、骨材露出コンクリート、ポーラスコンクリートの騒音低減機能が大きいことがわかる。

3. 3 空隙つまりに対する耐久性の検証

ポーラスアスファルト舗装は経年変化に伴う空隙つまりにより騒音低減効果が失われることが既往の実例からもわかっている。そこで、空隙つまり現象を供試体にてシミュレートし、同試験法にて騒音評価を行い、空隙つまりによる騒音機能の持続性の検証を行った。

検証を行った供試体は、騒音低減効果が期待できる最大粒径 5mm (小粒径) のポーラスアスファルト舗装と粗面型 SMA である。

3.3.1 空隙つまりのシミュレート方法の概要

つくば市内の実道のポーラスアスファルト舗装にて機能回復車により回収された物質の粒度分布を調査し、それに類する粒度分布となるよう配合した空隙つまり物質を供試体に充填させ、空隙つまりをシミュレートした。空隙つまり物質の配合を表-4 に示す。

表-4 空隙つまり物質の配合

材料名	配合比 (%)
細砂	15
スクリーニングス	50
7号硅砂	10
石粉	25

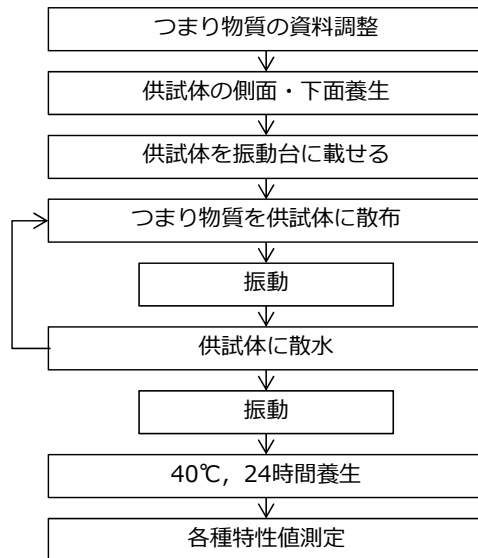


図-5 空隙つまりのシミュレート方法

す。

空隙つまり物質を供試体内に充填させる方法は、図-5 のフローに示すとおり、ホイールトラッキング供試体 (30×30×5cm) に、1 回の散布量を 1kg/m² の割合で空隙つまり物質を散布し、振動・加水して充填した。つまり度合いは 1 回の散布を 1 水準とし 3 水準実施した。

3.3.2 空隙つまりによる騒音性能への影響

図-6 に 3 水準まで空隙つまりシミュレートを行った排水性混合物及び粗面型 SMA 混合物の騒音値の推移を示す。ポーラスアスファルト舗装では、実道でも知られているとおり空隙つまりの増加により騒音低減効果が失われる傾向にあることがわかる。一方、粗面型 SMA では空隙つまりシミュレーションによる騒音値の低下がみられない。

このことより、粗面型 SMA は経年変化による空隙つまりが発生しにくく騒音性能が低下しにくい混合物であると考えられる。

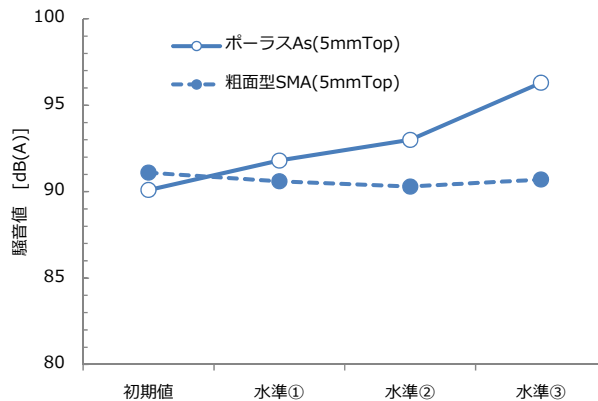


図-6 空隙つまりによる騒音値の推移

3. 4 重回帰分析による各種パラメータの感度分析

アスファルト系（密粒，排水性，粗面型 SMA）にて測定された騒音値を各要因（骨材の最大粒径，連続空隙率，MPD）に対して重回帰分析を行った。以下に重回帰分析結果を示す。

重相関係数：R：0.93

$$Y = 0.267X_1 - 0.189X_2 - 0.923X_3 + 91.7 \quad \dots(2)$$

ここに

Y：騒音値（dB(A)） X2：連続空隙率（%）

X1：最大粒径（mm） X3：MPD（mm）

図-7 に各要因が騒音に与える影響を示す。図から騒音に対しては，最大粒径がプラス側（大きくなる）要因であり，連続空隙率と MPD がマイナス側（小さくなる）要因であることがわかる。なかでも，最大粒径の影響が最も大きいことがわかる。騒音を低減するためには，骨材の最大粒径を小さくし，連続空隙率及び MPD（キメ深さ）を大きくすることが有効であることがこの分析から推察される。

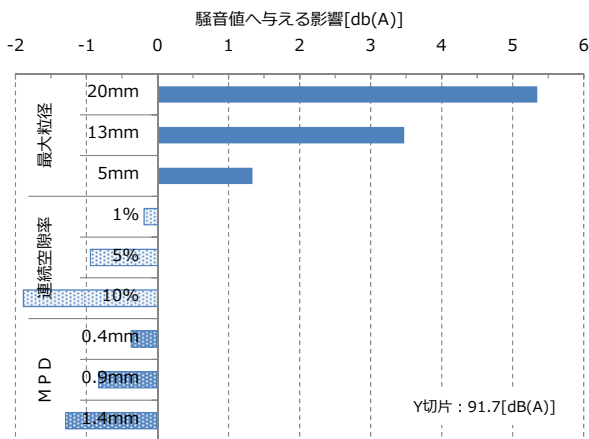


図-7 各要因が騒音に与える影響

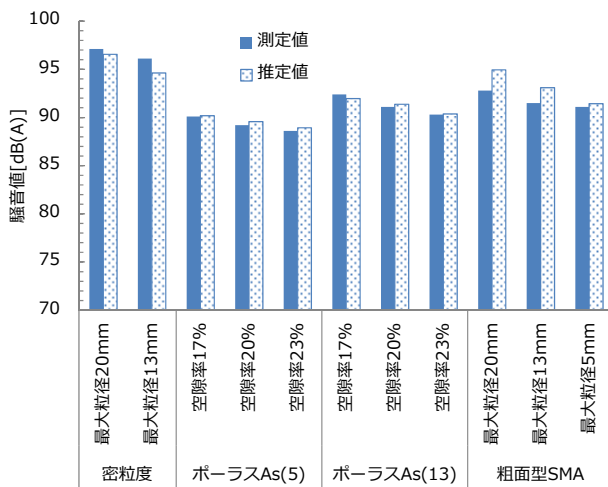


図-8 実測値と算定式による推定騒音値

また，本推定式と実測値を比較したものを図-8 に示す。推定式と実測値は概ね同等の値が得られていることが確認できる。

3. 5 騒音評価試験に関するまとめ

騒音評価試験に関する検討の結果，以下のことが判明した。

- ①簡易な騒音評価試験法として開発したゴム板転倒試験法は RAC 車の評価値と相関があり，また，供試体レベル及び実路面でも試験が可能であり，有効な試験法である。
- ②文献調査では困難であった各低騒音舗装技術の騒音低減効果について，ゴム板転倒試験法を用いることによって，各種低騒音舗装技術の騒音低減効果を定量的に評価することができた。
- ③粗面型 SMA は，ポーラスアスファルト舗装で問題となる空隙つまりによる騒音低減機能を消失しにくい。さらに，2 章で検討したライフサイクルコストは安価であり，ポーラスアスファルト舗装の代替材料と成り得る可能性がある。
- ④重回帰分析の結果より，騒音には骨材の最大粒径が最も寄与することが判明した。また，騒音を低減するためには，骨材の最大粒径を小さくし，連続空隙率及び MPD（キメ深さ）を大きくすることが有効である。

4. 持続可能な低騒音舗装の検討（粗面型小粒径薄層 SMA の提案）

先にも述べたとおり，低騒音舗装として普及しているポーラスアスファルト舗装の騒音低減効果は，施工後数年で著しく低下するという問題がある。そのため，持続可能な低騒音舗装として，空隙つまり・空隙つぶれが生じにくい構造の舗装により低騒音化を図る技術が有効と考える。

そこで上記の性能を有する舗装として粗面型小粒径薄層 SMA（5mmTop）に着目し，その騒音低減効果及び持続性を促進载荷試験路面で検討を行った。また，測定した騒音特性の変化から粗面型小粒径薄層 SMA の騒音低減メカニズムの検証を行った。

4. 1 粗面型小粒径薄層 SMA（5mmTop）とは

粗面型小粒径薄層 SMA の図-9 に示すとおり上部のキメ深さはポーラスアスファルト舗装と近似し，中～下部は，緻密な構成を持つ舗装であり，ポーラスアスファルト舗装の機能と SMA の耐久性を併せ

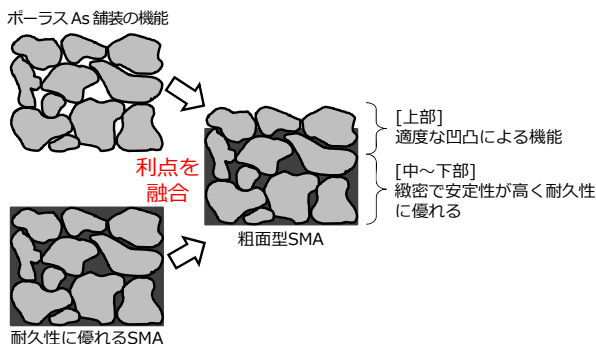


図-9 粗面型 SMA の概念図

持つ舗装である。SMA は、1980 年代後半に初めて欧州より導入され、北海道をはじめとした全国の積雪寒冷地では低温によるクラック抑止と耐摩耗効果を目的として数多く施工され、高耐久性舗装としての評価が定着している。

SMA の表面テクスチャをポラスアスファルト舗装のようにすることにより、水はね、水光りを低減する効果および凍結防止剤の残留遅延効果も期待できる。また、表面に形成される空隙によりエアポンピング音を低減することにより低騒音化機能の付加が期待できる。

さらに、骨材の最大粒径を 5mm とすることで 20～25mm 程度まで薄層化が可能となるため、材料コスト縮減や環境負荷軽減効果が期待される。また、薄層で施工できるため切削せずに既設舗装路面へのオーバーレイも可能となる。

4. 2 騒音低減効果の試験概要

車両走行による騒音特性の経年変化について把握することを目的とし、構内の促進載荷試験施設(写真-2)に密粒度舗装(13mmTop)、粗面型小粒径薄層 SMA 舗装(5mmTop)、ポラスアスファルト舗



写真-2 舗装の促進載荷試験場

装(13mmTop)の3種類の舗装工区を施工し、5t 換算走行輪数 80 万輪 (N₅交通で 8 年分に相当) まで載荷車両により促進載荷した際の騒音測定を実施した。試験舗装断面を図-10 に示す。

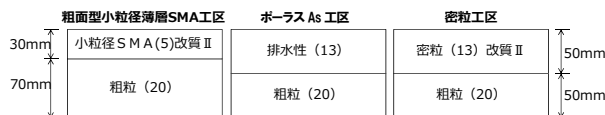


図-10 試験舗装断面

4. 3 粗面型小粒径薄層 SMA 混合物の配合

表-5 に粗面型小粒径薄層 SMA 混合物の配合を示す。配合の決定にあたっては、アスファルト量や空隙率を変化させた路面を試験施工し、ポラスアスファルト舗装に近い表面テクスチャが得られる配合とした。

表面に適度なきめ深さを確保するため、通常橋面の防水層に用いられている SMA よりも骨材粒度はやや荒目とした。また、目標空隙率は防水層に適用されている「防水 SMA (2～3%)」よりも大きく(5%)している。バインダには改質 II 型を使用し、動的安定度 (DS[回/mm]) は 7,000 が得られた。

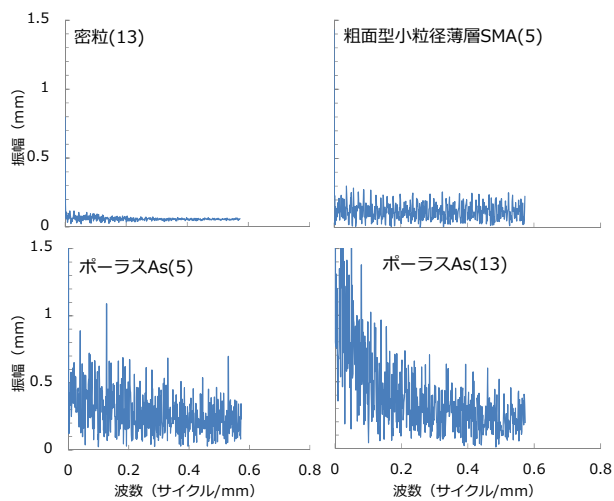
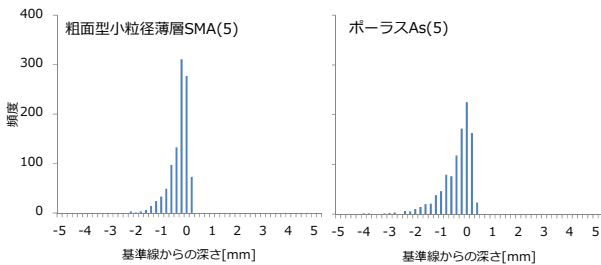
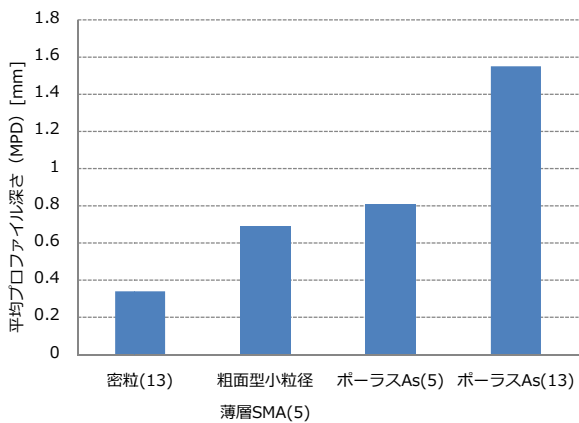
表-5 粗面型小粒径薄層 SMA の配合・特性値

配合名称	値	
配合割合 (%)	7号砕石	66.0
	細砂	23.0
	石粉	11.0
	植物繊維(外割)	0.3
通過質量百分率 (%)	13.2	100.0
	9.5	100.0
	4.75	94.1
	2.36	38.4
	0.6	28.9
	0.3	18.4
	0.15	12.4
	0.075	9.3
バインダの種類	ポリマー改質 II 型	
バインダ量	5.6	
空隙率	5.0	
マーシャル安定度(kN)	10.21	
動的安定度(回/mm)	7000	

4. 4 粗面型小粒径薄層 SMA の路面テクスチャ

粗面型小粒径薄層 SMA の表面の仕上がりを写真-3 に示す。ポラスアスファルト舗装のような表面凹凸が形成できることを確認した。

CT メータにて測定した平均プロファイル深さ (MPD) を図-11 に示す。これより粗面型小粒径薄層 SMA の MPD は 5mmTop のポラスアスファル



ト舗装より若干劣るもののほぼ同程度のキメ深さが形成されていると評価できる。

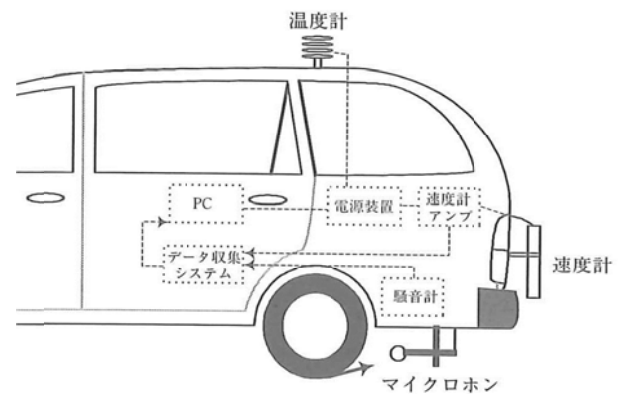
また、CTメータから得られた凹凸データより求めた基準線の深さからのヒストグラムおよびフーリエスペクトルは騒音値と相関があることが既往の調査より判明している。それぞれの図-12、図-13に示す。ヒストグラムより、粗面型小粒径薄層 SMA(5)は、排水性(5)よりも0.1mm程度の深さの頻度分布は多いが、概ねポーラスアスファルト舗装(5)と同程度の頻度分布が得られている。また、フーリエスペクトルは混合物の種類によって異なることが明らかである。密粒度混合物(13)は各周波数ともほぼ振幅がないが、これは、混合物に含まれるアスファルトモルタルが多く舗装表面が平坦に仕上がるためである。粗面型小粒径薄層 SMA(5)の場合、振幅は各周波数とも密粒度混合物(13)よりも大きくなるが、排水性混合物(5)と比較すると、密粒度と中間程度の振幅となることがわかる。

これらの結果から、粗面型小粒径薄層 SMA(5)は、ポーラスアスファルト舗装(5)と比較し、若干平坦ではあるが適度な凹凸が形成されているものと評価できると考える。

既往の研究によると、騒音を低減するためには、波数0.1~2.0サイクル/mmの振幅を大きくすることが有効とされているが、このことからテクスチャから評価すると粗面型小粒径薄層 SMA(5)は密粒(13)に比べ騒音低減に効果があることがあることが示唆される。

4.5 騒音測定方法

騒音測定は、普通タイヤによるタイヤ/路面騒音測定法(舗装調査・試験法便覧 S027-1T)と垂直入射吸音率測定を行った。



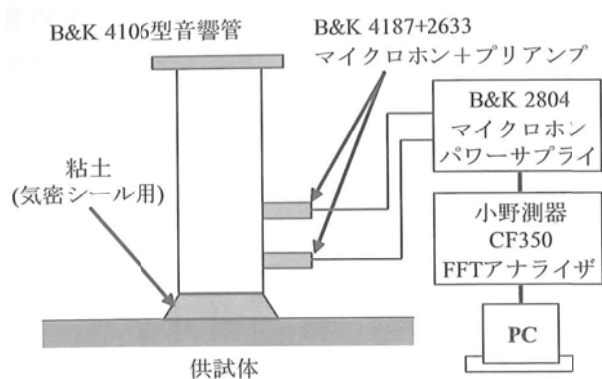


タイヤ/路面騒音は、図-14に示すようにタイヤの近傍に地盤高から13cm、左後輪タイヤ中心（マフラーのない方）から40cmの位置にマイクを取り付け、走行時に発生するタイヤ/路面騒音（オールパス値、1/3 オクターブ周波数）を測定するものである。測定状況を写真-4に示す。

また、タイヤ近接音の分析は、対象舗装区間において定常走行したデータを0.1sec間隔でサンプリングし、区間平均音圧レベルで整理した。

なお、路面段差の影響、走行速度が±0.5km/hを超えるデータ及び周辺暗騒音の影響を受けたデータは分析対象から除外した。また、現地測定回数は、有効データ3回とし、その音圧エネルギー平均値で整理した。

垂直入射吸音率の測定方法は2マイクロホン法とした測定機器、測定状況を図-15、写真-5に示す。



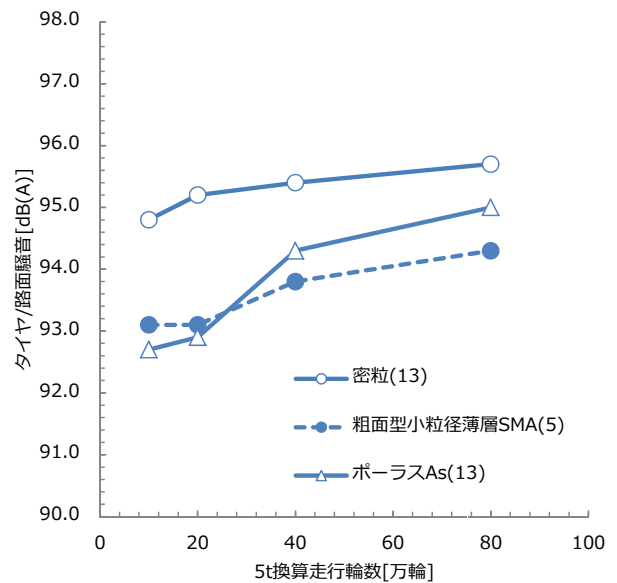
4. 6 測定結果

(1) タイヤ/路面騒音

図-16に5t換算輪数80万輪走行時（N₅交通で8年分に相当）までのタイヤ/路面騒音の推移を示す。初期（10万輪走行時、N₅交通1年経過程度）においては、密粒度舗装に比べて最も騒音低減効果が大き

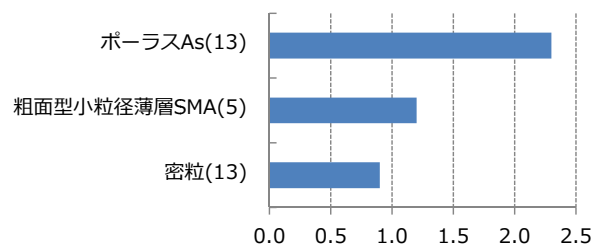


況



いのはポーラスアスファルト舗装である。粗面型小粒径薄層 SMA はポーラスアスファルト舗装には及ばないものの、騒音低減効果を有することが確認できた。

走行輪数の増加に伴い騒音値はすべての舗装において増加する傾向であるが、ポーラスアスファルト舗装ではその増加（騒音低減効果の消失）の度合いが大きい（図-17）。それに比べ、粗面型小粒径薄層 SMA では80万輪走行後（N₅交通で8年経過程度）は、ポーラスアスファルト舗装よりも騒音値が小さくなる結果となった。これは、粗面型小粒径薄層



量

SMA は騒音低減効果の持続性があることを示唆するものである。

(2) 1/3 オクターブ周波数

各路面の 1/3 オクターブ周波数の推移を図-18 に示す。また、粗面型小粒径薄層 SMA とポーラスアスファルト舗装について 10 万輪から 80 万輪走行での 1/3 オクターブ周波数別の騒音増加量を図-19 に示す。

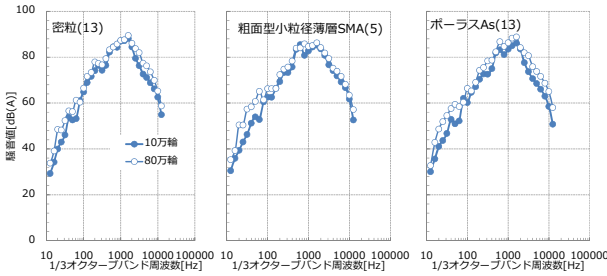


図-18 1/3 オクターブ周波数

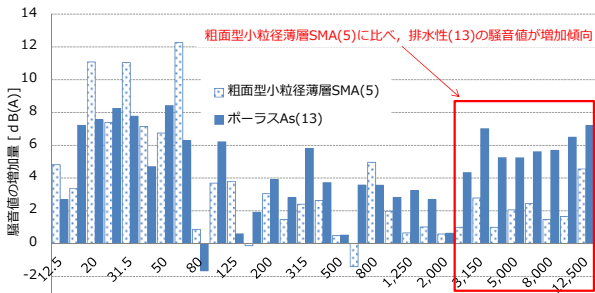


図-19 1/3 オクターブ周波数別の騒音増加量

主に 2,500Hz 以上の高周波数域にて、ポーラスアスファルト舗装の騒音値が増加しており、粗面型小粒径薄層 SMA がポーラスアスファルト舗装に比べて、特に高周波数域で騒音が低くなることを示す傾向となった。一般に空隙率が小さくなると高周波数域の騒音値が大きくなる傾向となることが報告されている。このことよりポーラスアスファルト舗装は空隙つまりが原因で騒音値が増加したことが伺える。また、粗面型小粒径薄層 SMA は空隙が少ない構造なため、空隙つまりに起因する騒音性能の低下は発生しにくいことが伺える。

(3) 垂直入射吸音率

各路面の垂直入射吸音率の推移を図-20 に示す。吸音特性は概して吸音率のピーク値によって評価されているが、この場合はピーク値がいずれの周波数域に属する場合であっても値が同等であれば吸音効果も同等と判定されることになり、正当な評価となりえない。そこで、図-21 に示す交通騒音の周波数

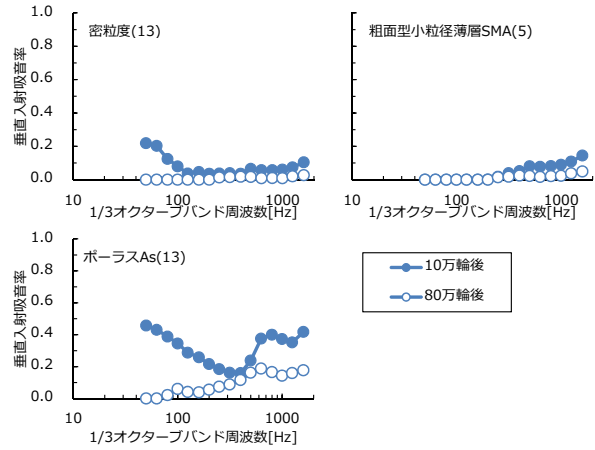


図-20 各路面の垂直入射吸音率の推移

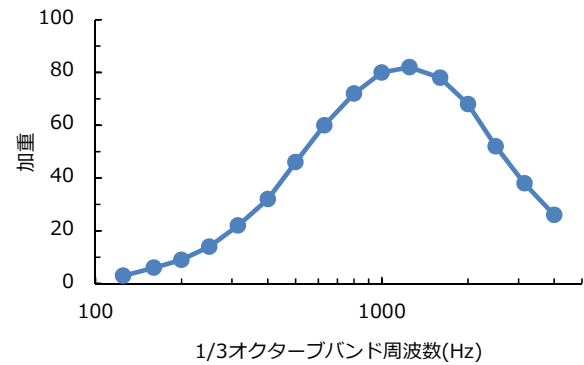


図-21 周波数別の加重

別エネルギーに相当する加重を吸音率に乗じて式(3)により「吸音指数」を算出し、人の聴覚に対応した吸音特性に関する評価を行った。

なお、吸音指数は値が大きいほど吸音効果が高いことを表している。

$$\text{吸音指数} = 10 \times \log \left(\sum 10^{(L_i/10)} \right) \dots (2)$$

Li: 各周波数の吸音率に加重を乗じた値

図-22 に算出した吸音指数を示す。吸音指数は、粗面型小粒径薄層 SMA と密粒の差はほぼ見られず、両舗装ともに吸音性能をほぼ有していないものといえる。一方、ポーラスアスファルト舗装は初期においては吸音性能を有しているが、80 万輪走行後には

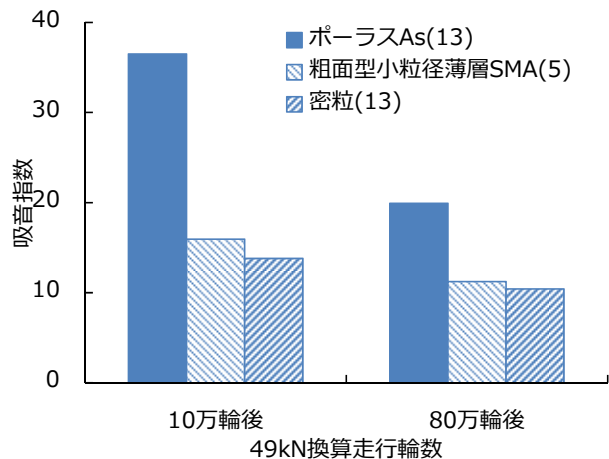


図-22 舗装別の吸音指数の推移

大きく吸音性能が低下していることがわかる。これは、空隙つまりが進行したためであり、騒音低減効果が失われた原因の一つと考えられる。

(4) わだち掘れ量の推移

図-23 に横断プロフィールメータにて測定した各舗装のわだち掘れ量の推移を示す。

すべての舗装路面において、経時変化とともにわだち掘れ量の増加がみられるが、粗面型小粒径薄層 SMA のわだち掘れ量は、他の舗装よりも小さく 10mm 程度であった。

通常の SMA 舗装は粗骨材のかみ合わせ効果等により塑性変形抵抗性に優れる舗装であるが、今回検討した粗面型小粒径薄層 SMA においても同様に塑性変形抵抗性に優れた効果が得られた。

4. 7 粗面型小粒径薄層 SMA に関して得られた知

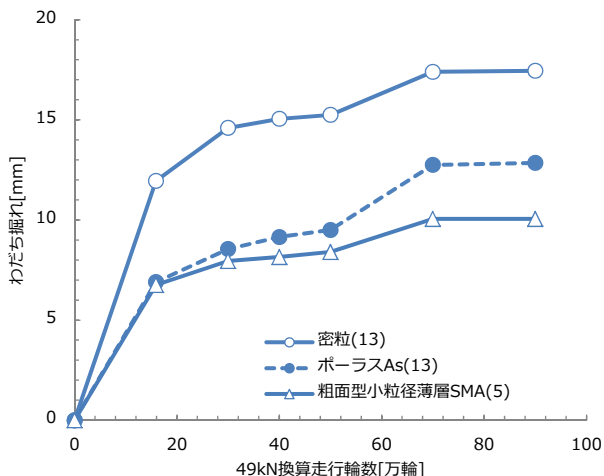


図-23 わだち掘れ量の推移

見

粗面型小粒径薄層 SMA はポーラスアスファルト舗装と比較すると、初期の騒音低減効果は及ばないものの、騒音低減能力が長時間持続する可能性があることが示唆された。さらに、塑性変形抵抗性についてもポーラスアスファルト舗装よりも優れた結果が得られた。

この結果より、ポーラスアスファルト舗装に変わる低騒音舗装として粗面型小粒径薄層 SMA の有効性が示唆された。

5. まとめ

本研究を通じて得られた成果は以下のとおりである。

1)騒音低減機能を有する舗装技術はポーラスアスファルト舗装以外にも文献調査より 13 種類程度

存在することが判明した。

2)各種低騒音舗装技術のライフサイクルコストを比較すると、SMA 系の舗装がポーラスアスファルト舗装と同等と安価であり、コスト面からはポーラスアスファルト舗装の代替候補と成り得る可能性が高いことがわかった。

3)騒音低減性能を供試体及び実道にて、簡易に評価することができる簡易な試験法として「ゴム板転倒試験法」を開発した。これにより、各種低騒音舗装技術の騒音性能を定量的に評価することができた。

4)同試験法による測定結果の重回帰分析の結果より騒音に寄与する要因は最大粒径、連続空隙率、MPD (キメ深さ) が大きく、なかでも、最大粒径の影響が最も大きいことが判明した。よって、騒音を低減するためには、骨材の最大粒径を小さくし、連続空隙率及び MPD (キメ深さ) を大きくすることが有効であることが推察された。

5)ポーラスアスファルト舗装にかわる低騒音舗装として本研究にて検討した粗面型小粒径薄層 SMA は、ポーラスアスファルト舗装と比較すると、初期の騒音低減効果は及ばないものの、空隙つまりによる性能低下が発生しないため、騒音低減能力が長時間持続する可能性があることが示唆された。塑性変形抵抗性についてはポーラスアスファルト舗装よりも優れた結果が得られた。

6)以上より、空隙つまり等による騒音性能の低下が懸念されつつも、低騒音舗装の代名詞としてポーラスアスファルト舗装がこれまで使用されてきたが、今回検討した粗面型小粒径薄層 SMA はポーラスアスファルト舗装の欠点を補うことができる舗装であり、低騒音舗装の選択肢の一つとなりうると考える。

参考文献

- 丸山ら：ポーラスアスファルト舗装による環境改善, PETROTHCH, 第 21 巻, pp.12~16, 1998.11
- (社)土木学会：環境負荷軽減舗装の評価技術 舗装工学ライブラリー 4, 2007.2
- 中村ら：小粒径排水性混合物の騒音低減効果の検討と適用方法の提案, 建設図書, 2000.9
- 溝渕：85dB(A)以下を目指した低騒音舗装の開発と検証, 道路建設, 2006.7
- 低騒音舗装研究会：低騒音舗装の概説, (財)建設物価調査会, (財)建設物価調査会, 2005.1

6)社日本道路協会：環境に配慮した舗装技術に関するガイドブック，舗装委員会 環境・再生利用小委員会，2009.6

A study on improvement of noise reduction effect

Budgeted : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2009-2011

Research Team : Road Technology Research Group (Pavement)

Author : Kazuyuki KUBO, Masashi ITANI,
Kazuhiro WATANABE, Atsushi KAWAKAMI

Abstract :

Drainage asphalt pavement is usually used in order to reduce traffic noise in Japan. However there is the problem that the effect of noise reduction could not last long. Therefore, the pavement technology is required that makes a function of the noise reduction longer.

Therefore, we did the following. 1) Investigate the kind of low noise pavement. 2) Evaluate the performance of low noise pavement. 3) Investigate the cost of low noise pavement. 4) Propose new low noise pavement.

As a result, The main results are as follows. 1) The noise of simple examination method (Rubber mat method) is approximated with the mechanism where the tire noise is generated. 2) As for the simplified examination method, the reproducibility of the examination is good. And, there is a possibility that the amount of the noise decrease on the low noise pavement can be measured accurately. 3) The clogging is not generated easily in SMA with a rude texture type. Therefore, there is a possibility that the noise decrease function continues for a long term.

Keywords: Noise reduction pavement, LCC, Noise evaluation test method, SMA