

排水性舗装の騒音低減効果とさらなる機能向上を目指して

並河良治* 吉永弘志** 山本裕一郎*** 久保和幸**** 加納孝志*****

1. はじめに

インターフェースに求められる機能は、それを介して連絡する異種のもの同士がそれぞれの機能を発揮できるようにすることが第一義であるが、その機能を発揮する際に周辺に何らかの影響を及ぼすような場合、その影響を小さくすることもインターフェースの機能として考慮すべきである。

舗装は、自動車と道路のインターフェースと位置づけられる。従って、舗装に求められる機能は、第一義に自動車が安全・快適に走行できる環境を提供することだと言える。すなわち、平坦であり、適当な滑り摩擦があり、また、耐久性を有するということである。しかし、車輪が舗装路面上を転動すると音が発生する。この音を“タイヤ/路面音”と呼び、その大きさは、速度が速くなるほど大きくなる。そして、道路交通騒音に占めるタイヤ/路面音の割合は乗用車では特に大きく、タイヤ/路面音を小さくすることが道路交通騒音を低減する極めて効果的な対策となる。

本報告では、環境に配慮したインターフェースとしての排水性アスファルト舗装（以下、排水性舗装）について、タイヤ/路面音を低減する舗装（低騒音舗装）としての観点から、その現状と普及に向けた取り組み、騒音低減メカニズム、性能向上及び維持に関する技術開発について紹介する。

2. 道路交通騒音の現状と対策状況

2.1 一般国道における道路交通騒音の現状

国土交通省が管理する直轄国道（約22,000km）のうち、「騒音の環境基準の類型指定」「騒音規制法に基づく地域の指定」のいずれかがなされている地域を通過する区間を対象に実施した騒音調査（道路環境センサス：平成18年度における評価延長は8,800km）の結果を図-1に示す。騒音状況は年々改善しているが、平成18年度においても約3割の区間で夜間の要請限度を超過している。

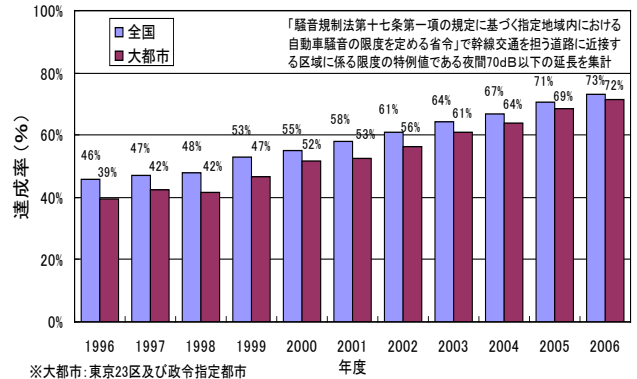


図-1 夜間要請限度達成率の推移(H18全国・延長ベース)

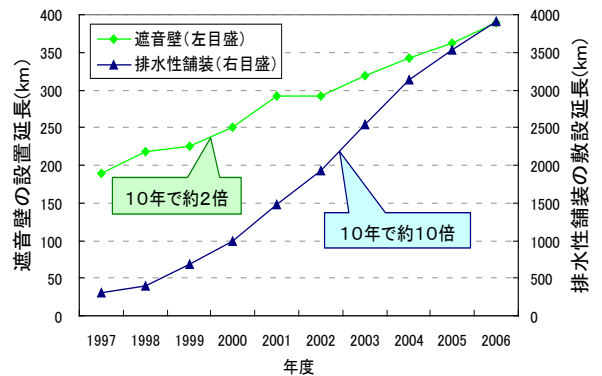


図-2 騒音対策延長の推移(道路環境センサス)

2.2 騒音対策の実施状況

道路交通騒音の改善方策は以下に大別される。

- ①発生源対策：低騒音舗装、交通量の抑制等
- ②伝搬時対策：遮音壁や環境施設帯の設置等
- ③受音点対策：建物の防音化等

これらの改善方策のうち、道路環境センサスに基づく直轄国道における排水性舗装の敷設延長（右目盛）と遮音壁の設置延長（左目盛）の推移を図-2に示す。最近10年間で排水性舗装の敷設延長が約10倍、遮音壁の設置延長が約2倍の伸びを示している。

3. 排水性舗装の普及

3.1 排水性舗装技術指針（案）¹⁾

排水性舗装が昭和62年に東京都の環状7号線において初めて施工された当時は、排水性舗装技術

Noise reduction effect and recent technology trend of the porous pavements

に関する統一的な基準はなく、排水性舗装の普及を図るために基準類の取りまとめが求められていた。このことを受け、(社)日本道路協会で検討が重ねられ、平成8年10月に排水性舗装の基本的な考え方とその標準を示した「排水性舗装技術指針(案)」(以下、指針案)が発刊された。

指針案では、排水性舗装用のアスファルト混合物(以下、排水性混合物)に使用する材料やその配合設計方法、製造・施工方法などが示され、排水性舗装は急速に普及していった。

3.2 舗装の構造に関する技術基準²⁾

平成13年6月に定められた「舗装の構造に関する技術基準」(以下、技術基準)では、これまで「仕様規定」となっていた舗装の技術基準が「性能規定」に移行したことが特徴として挙げられる。仕様規定は特定の材料や構造、工法などを指定するものであるのに対して、性能規定は目標とする性能を満足すれば材料や構造、工法を自由に選択できるものである。

前出の指針案では、標準的な排水性舗装の普及を目的として仕様が規定されたものとなっていたが、技術基準で性能規定の考え方が示されたことにより、排水性舗装においても技術的な選択の幅が広がった。



写真-1 特殊タイヤタイプの外観



写真-2 普通車タイプの外観

排水性舗装では、「騒音値」が性能指標として取り上げられ、その測定に舗装路面騒音測定車(以下、騒音測定車)が用いられている。

騒音測定車は、車内に特殊タイヤとマイクロフォンおよび記録機器類を搭載し、特殊タイヤと路面の間で発生する音を測定するタイプ(以下、特殊タイヤタイプ)と乗用車のタイヤ/路面音を測定するタイプ(以下、普通車タイプ)が開発されている³⁾。写真-1と写真-2に特殊タイヤタイプと普通車タイプの外観を示すが、特殊タイヤは排水性舗装の騒音低減効果を的確に評価するため特殊なトレッドパターンとなっている。

これらの騒音測定車の開発により、排水性舗装のタイヤ/路面音の大きさを定量的に評価することができるようになり、より騒音低減性能の高い排水性舗装の開発が推進された。

4. 排水性舗装の騒音低減メカニズム

自動車の走行騒音は、エンジン音やタイヤ/路面音、風切り音等から構成されるが、排水性舗装は主にタイヤ/路面音を低減する。

4.1 タイヤ/路面音の発生要因

タイヤ/路面音は以下に示す3つの発生要因から構成されると考えられている^{4) 5)}(図-3)。

①トレッドパターンエアポンピング音

タイヤが路面に接地する際、トレッドパターンの溝と路面が形成する気柱管内の空気がトレッドパターンの変形に伴って圧縮・膨張作用を受けることにより発生する音である。

②トレッドパターン加振音

トレッドパターンの横溝が路面に接地する際に受ける衝撃音、及びその衝撃によるタイヤ振動により放射される音である。

③タイヤ加振音

路面の凹凸によりタイヤ全体が振動する時に発生する音である。

4.2 排水性舗装の騒音低減メカニズム

排水性舗装がタイヤ/路面音を低減させるメカニズムとして、以下が挙げられる(図-3)。

i) エアポンピング音の発生抑制

排水性舗装の空隙が圧縮・膨張作用を受ける空気の逃げ場となり、上記①のエアポンピング音の発生が抑制される。

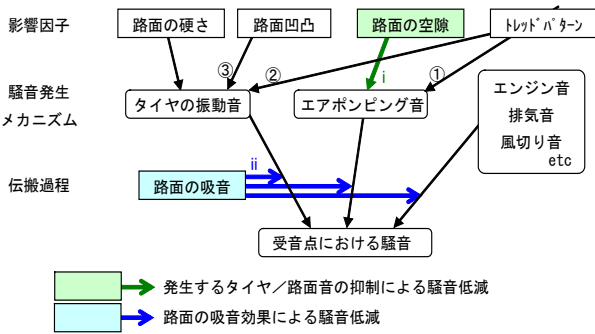


図-3 排水性舗装の騒音低減メカニズムと各要素の関係

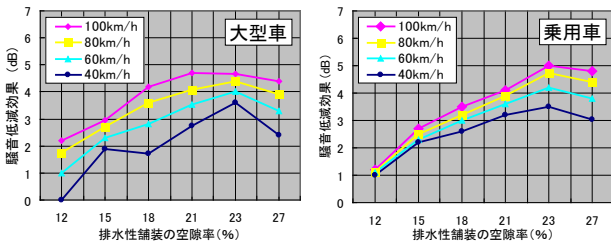


図-4 空隙率と騒音低減効果の関係⁶⁾

ii) 自動車騒音の路面反射の抑制(吸音効果)

路面と車体下面の間においてタイヤ/路面音やエンジン騒音等が多重反射する際、排水性舗装の空隙が吸音効果を発揮する。また、排水性舗装の表面に沿って自動車走行騒音が伝搬する際にも、この吸音効果により超過減衰が生じる。

4.3 騒音低減に影響を及ぼす要因

4.3.1 空隙率

排水性舗装の空隙率と定常走行時における騒音低減効果(密粒舗装との比較)の関係を図-4⁶⁾に示す。これらによると大型車、乗用車ともにすべての走行速度において空隙率23%の騒音低減効果が最も大きかった。一般的に空隙率が高いほど騒音低減効果が大きいと考えられるが、骨材粒径が13mmの場合、空隙率が27%まで大きくなると路面の凹凸が大きくなりタイヤ加振音が増大することを示唆していると考えられる。

4.3.2 骨材粒径

空隙率を20%、舗装厚を5cmとした場合における最大骨材粒径別の騒音低減効果(密粒舗装との比較)を表-1⁶⁾に示す。この結果から、最大骨材粒径が小さいほど騒音低減効果が大きくなっている。これは、骨材の粒径が小さいほど舗装表面の凹凸が小さくなるため、路面からタイヤに加わる衝撃力が小さくなりタイヤ加振音が低下することによると考えられる。

表-1 骨材粒径と騒音低減効果の関係⁶⁾

(単位: dB)

車種	走行速度	最大骨材粒径		
		10mm	13mm	20mm
大型車	80km/h	6.2	4.8	3.5
	100km/h	7.3	6.3	3.7
	120km/h	6.4	5.6	4.5
小型車	80km/h	8.5	5.5	2.4
	100km/h	9.2	6.4	3.4
	120km/h	9.8	6.6	3.0

表-2 舗装厚と騒音低減効果の関係⁶⁾

(単位: dB)

車種	走行速度	舗装厚		
		3cm	5cm	8cm
大型車	80km/h	4.4	4.8	5.5
	100km/h	4.5	6.3	6.8
	120km/h	5.1	5.6	6.2
小型車	80km/h	5.1	5.9	6.2
	100km/h	5.9	6.4	6.6
	120km/h	6.2	7.1	7.2

4.3.3 舗装厚

空隙率を20%、最大骨材粒径を13mmとした場合における排水性舗装の厚さと騒音低減効果(密粒舗装との比較)との関係を表-2⁶⁾に示す。舗装厚が8cmの場合にやや騒音低減効果が大きいものの、この結果からは舗装厚の違いによる大きな差はみられず、舗装厚は3~5cmの範囲で設定すればよいと考えられる。

5. 排水性舗装の新たな取り組み

5.1 騒音低減機能の向上技術

5.1.1 骨材の整粒化

粗骨材の整粒化とは、粗骨材の形状をできるだけ均一に整えることである。整粒化により粗骨材が単粒化されると、排水性混合物内に連続する空隙が増えるため吸音効果が向上し、騒音低減効果が大きくなる。

5.1.2 2層式排水性舗装

(1)概要

骨材を小粒径化することは、騒音低減には効果的だが、混合物の耐流動性の観点から層厚を大きく取ることができない。そこで、上層と下層に最大粒径の異なる排水性混合物を用いた2層式排水性舗装が開発された(写真-3)。

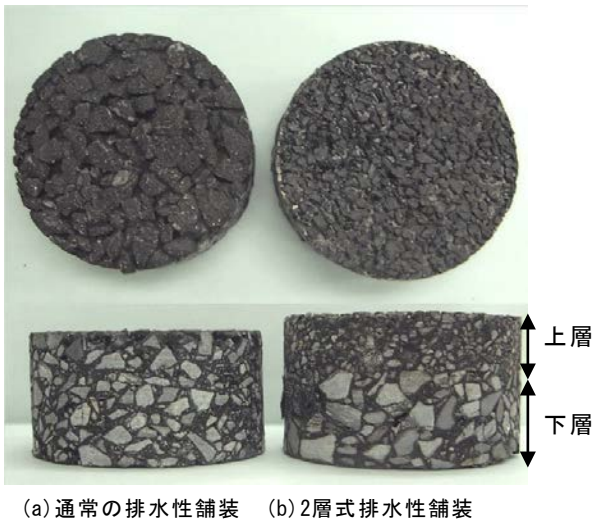


写真-3 通常の排水性舗装と2層式排水性舗装

この2層式排水性舗装は1984年頃から主にオランダで研究が進められ⁷⁾、日本では1999年頃から試験施工が開始されている。現在、わが国の2層式排水性舗装は、異なる2種類のアスファルト混合物を2層同時に施工するアスファルトフィニッシュを用いて施工されている^{8)・9)}。当該技術は、2層を同時に施工し、各層を薄層で施工できることから工期短縮とコスト縮減を図ることができる。

(2)騒音低減効果

乗用車走行時の騒音低減効果（密粒舗装との比較）を図-5に示す¹⁰⁾。2層式排水性舗装による騒音低減効果は全ての速度域において通常の排水性舗装による騒音低減効果を上回り、その差は0.9～3.4dBである。

ここで、80km/h走行時におけるA特性音響パワーレベル（騒音の発生量）の周波数分析結果を図-6に示す¹⁰⁾。通常の排水性舗装では、800Hz以上では舗装の空隙によるプラスの効果を確認できるものの、500～630Hzでは路面の粗さによるマイナスの効果がプラスの効果を相殺していると考えられる。一方、2層式排水性舗装では、通常の排水性舗装よりも路面が滑らかなため、500～630Hzにおいても、密粒舗装に対する騒音低減効果が確認できる。なお、この500～630Hzは、自動車の走行に伴う騒音における騒音レベルのピークとなる周波数帯域であり、騒音レベルのオーバーオール値（全周波数の合成値）の低減に大きく関わっている。

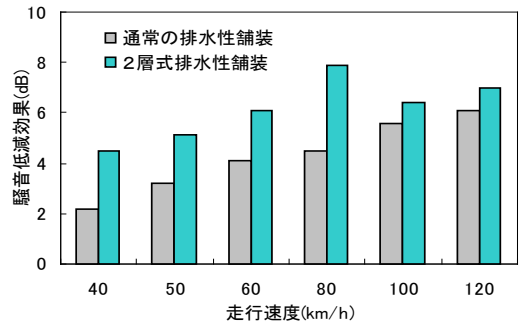
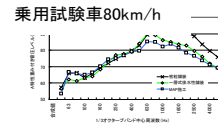


図-5 排水性舗装を走行する乗用試験車の騒音低減効果



1/3 オクターブバンド中心周波数(Hz)
図-6 乗用車のパワースペクトル

密粒舗装
通常の排水性舗装
2層式排水性舗装

(3)騒音低減効果の経年変化

2層式排水性舗装の騒音低減効果の経年変化については、中部地方整備局管内で調査した結果が報告されており¹¹⁾、通常の排水性舗装と同程度の騒音低減効果の低下が確認されている。国土技術政策総合研究所では全国7現場（経過年数3～5年、上層最大粒径5mmと8mm）のデータを収集しており、騒音低減効果の低下原因などについて解析を行っている。

5.1.3 多孔質弾性舗装

多孔質弾性舗装は、廃タイヤなどを裁断して作られる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ものである。高い連続空隙率と弾力性を有することから、エアポンピング音と共にタイヤ加振音を低減し、通常の排水性舗装などと比較して大きな騒音低減効果が得られる。図-7に多孔質弾性舗装の特殊タイヤ音によるタイヤ/路面音の測定結果の例を示す³⁾。

なお、多孔質弾性舗装は、効果の持続性とともにより耐久性について現在調査中である。

5.2 機能の持続性向上

排水性舗装は骨材飛散や空隙詰まりにより、騒音低減機能や透水機能が低下する。これらの対策

としては、排水性舗装表面に樹脂を塗布する方法（以下、樹脂塗布型）や表面付近の空隙部に透水性を有する樹脂モルタルを充填する方法（以下、樹脂モルタル充填型）が開発されている。図-8に排水性舗装の表面強化方法の概念を示す。樹脂塗布型は、特殊な樹脂を表面から散布・含浸させることにより、表面付近の骨材周辺に強固な樹脂硬化膜を形成させ、骨材間の結合力を強化するものである¹²⁾。また、樹脂モルタル充填型は透水性樹脂モルタルを排水性舗装の凹部にくさび状に充填することで、表面付近の骨材の動きを抑制するとともに、透水性樹脂モルタルのフィルター効果により土砂による空隙詰まりを抑制するものである¹³⁾。

5.3 排水性舗装の機能回復

排水性舗装は供用とともに、空隙部に土砂などが堆積し、透水機能と騒音低減機能が低下する。そのため、排水性舗装の機能を維持するためには、定期的に空隙部の堆積物を除去する必要がある。

堆積物の除去方法については、これまで多くの機関で検討が行われてきた¹⁴⁾。初期には、高圧水による洗浄とバキュームによる吸引を組み合わせたものが開発されたが、近年では水を使用せずエアブローによる方法などが検討されている¹⁵⁾、¹⁶⁾。図-9に機能回復車の概念の一例を示す。また、より効果的に機能回復を図るための機能回復作業の頻度についても検討されている¹⁷⁾。

5.4 排水性混合物の再生

排水性混合物には、ポリマー改質アスファルトH型（以下、改質H型）が用いられている。一般に、改質H型はストレートアスファルトに比べ粘度が高いため、通常の再生方法での対応では再生利用（リユース）が困難である。排水性混合物のリサイクルに関しては、これまでも多くの機関

で検討が行われてきたが、配合設計方法や再生骨材の配合率の限界値、供用性、長期の耐久性等が明らかになっていないなどの課題が残されていた。

このことから現在、排水性混合物の再生利用技

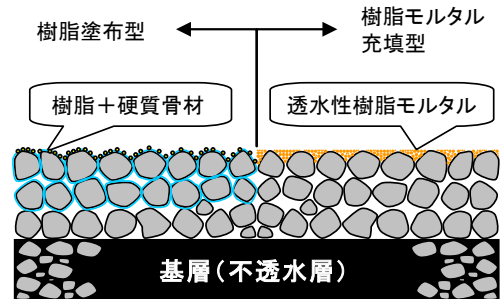


図-8 表面強化方法の概念

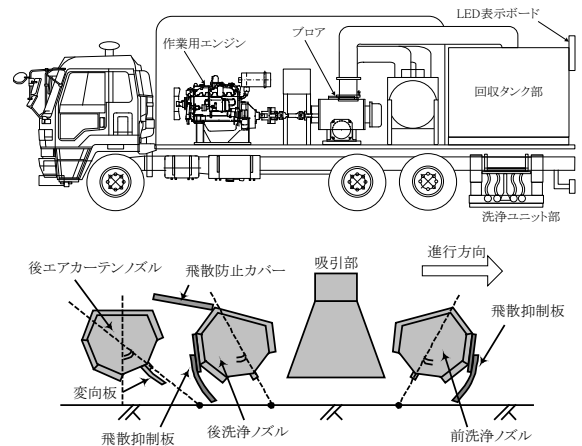


図-9 機能回復車全体と清掃ユニット部の概念の一例¹⁶⁾

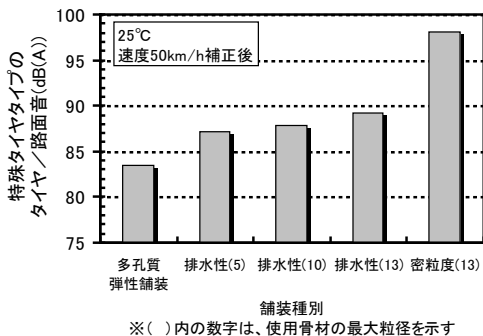


図-7 各種舗装のタイヤ/路面音測定例(一部加筆)³⁾

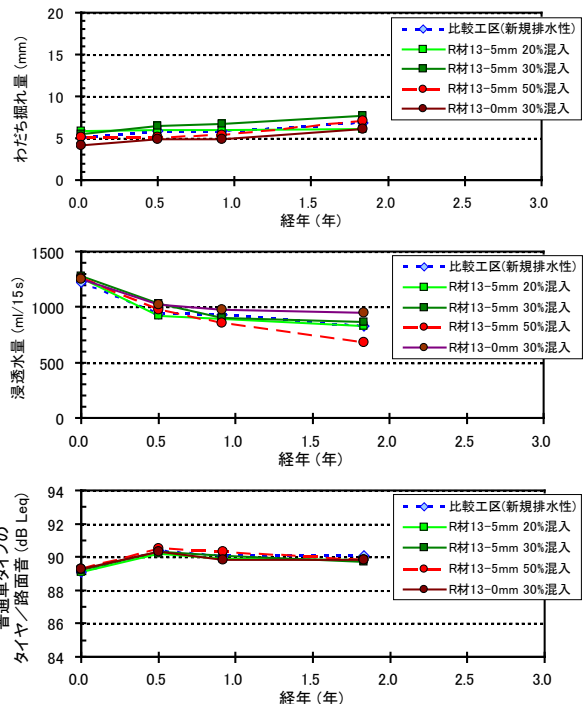


図-10 再生排水性舗装の供用性調査例(R176西宮)¹⁸⁾

術の確立を目的に再生骨材の粒度や混入率を変化させ全国5カ所で試験施工を行い、長期の耐久性等の確認を行っている¹⁸⁾。試験施工後2年経過時の調査では、密粒度舗装への再生利用や、再生骨材配合率30%までの再生排水性混合物については、耐久性などに問題は見られていない。図-10に追跡調査結果の一例を示すが、今後も追跡調査を継続して長期耐久性を確認する予定としている。

6. まとめ

本稿では、騒音低減効果に着目して主に排水性舗装の技術開発の状況を紹介した。排水性舗装は、排水機能や騒音低減機能の耐久性を向上させる点で更なる技術開発が求められている。現在、多孔質弾性舗装など新たな取り組みがなされているが、現状では排水性舗装に勝る対策がないため、当面、本舗装が騒音の発生源対策の主流と考えられる。

今後も低騒音舗装の性能向上、持続性の向上における技術開発を実施し、より静かな道路交通の実現を目指したい。

参考文献

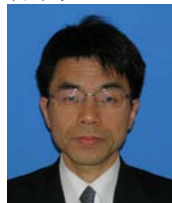
- 1) (社)日本道路協会：排水性舗装技術指針(案)、平成8年10月
- 2) (社)日本道路協会：舗装の構造に関する技術基準・道解説、平成13年7月
- 3) (独)土木研究所ほか：タイヤ路面騒音測定方法の開発共同研究報告書、整理番号第317号、平成17年3月
- 4) (社)日本自動車タイヤ協会：トラック・バス用タイヤ騒音試験報告書－騒音発生源と寄与率の把握、1986
- 5) (社)日本自動車タイヤ協会：タイヤ騒音試験報告書－音源別寄与解析、1991
- 6) 大西博文：排水性舗装の騒音低減に関する諸特性、自動車研究、第22巻、第12号、pp.579~584、2000
- 7) C.J.Padmos：Development of low noise surfacing in the Netherlands, International Conference on roadside noise abatement, pp.1-9, 1995
- 8) 内山鏡二郎、鈴木哲雄：マルチアスファルトペーパーを用いた2種混合物敷きならし工法、舗装、Vol.34、No.10、pp.3~7、1999
- 9) 斎藤徹、田中智彦、丑久保吾郎：2層同時舗設型アスファルトフィニッシュの開発、第24回日本道路会議一般論文集(C)、pp.18~19、2001
- 10) 小柴剛、上坂克巳、並河良治：実用化間近な二層式排水性舗装－その減音メカニズムと諸特性－、土木技術資料、Vol.44、No.3、pp.52~57、2002
- 11) 台本尊之、石川賢一、植田知孝、金木誠、福井時夫：一般国道における二層式排水性舗装の騒音低減効果持続性について(第4報)、日本音響学会講演論文集、pp.657~658、2006
- 12) 橋本修治、光安正純、橋本啓三郎：排水性トップコート工法の概要と適用事例、舗装、Vol.36、No.10、2001
- 13) 原富男、島原辰利、松野晃：透水性レジンモルタルシステム工法(PRMS工法)による排水性舗装表面の補強、舗装、Vol.36、No.10、2001
- 14) 久保和幸：排水性舗装の機能回復器の開発、舗装、Vol.31、No.9、pp.4~8、1996
- 15) 須田幸彦、佐久間孝司、菅沼多恵：低騒音舗装の維持清掃方法に関する検討－現道における機能維持のための試験清掃の報告－、舗装、Vol.41、No.5、pp.15~21、2006
- 16) 杉浦博幸、阿部忠行、稲垣竜興：排水性舗装の効率的な機能維持を目指して、第27回日本道路会議論文集、論文番号12078、2007
- 17) 小長井彰祐、伊藤正秀、新田弘之：コストパフォーマンスを考慮した排水性舗装機能回復手法の検討、舗装工学論文集第10巻、pp.205~212、2005
- 18) 佐々木巖、新田弘之、久保和幸：排水性舗装発生材を再生利用した直轄国道試験舗装の路面性状変化、第27回日本道路会議論文集、論文番号12P64、2007

並河良治*



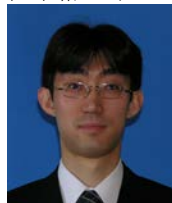
国土交通省国土技術政策総合研究所環境研究部道路環境研究室長
Yoshiharu
NAMIKAWA

吉永弘志**



国土交通省国土技術政策総合研究所環境研究部道路環境研究室主任研究官
Hiroshi
YOSHINAGA

山本裕一郎***



国土交通省国土技術政策総合研究所環境研究部道路環境研究室研究員
Yuichiro
YAMAMOTO

久保和幸****



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所道路技術研究グループ舗装チーム上席研究員
Kazuyuki
KUBO

加納孝志*****



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所道路技術研究グループ舗装チーム主任研究員
Takashi
KANOU