

多機能型排水性舗装と型押し式注意喚起舗装

藤 本 大 生

多機能型排水性舗装は、舗装表面付近が空隙 17% 程度の排水性舗装と同等の排水機能を有し、舗装下部は碎石マスチックアスファルト混合物と同等の防水性能を一層で併せ持つアスファルト舗装である。平成 23 年に白糸ハイランドウェイで実道施工を行って以来 H25 年 12 月までに、国土交通省、地方自治体、高速道路会社各社の新設、及び維持修繕工事において合計約 67,200 m² の施工実績をあげている。

一方、型押し式注意喚起舗装は舗装時に敷均しと転圧の作業工程を工夫することで、別途に縦溝や注意喚起用に加工する工程の短縮が図れるほか、切削廃材が発生しないので環境負荷軽減舗装としての特長を有している。

キーワード：環境負荷軽減，サーマルホッパ，視認性，凍結抑制，ブラックアイスバーン，トレッドマシーン，走行安全性

1. はじめに

近年、ポーラスアスファルト舗装下部の基層面の遮水機能低下に伴う、舗装の脆弱化が問題となっている^{1)~3)}。このような場合、遮水機能の高い基層の再構築を含めた修繕が必要となるが、維持修繕費の削減や、工事の長期化に伴う交通渋滞、利用者の時間損失などが制約となる場合もある。

一方、地球環境への関心の高まりから、舗装技術にも環境負荷軽減のニーズが高まってきている。また、日本国内でも地球温暖化対策や、周辺環境に配慮した多様な環境対応型舗装の技術開発がなされてきている。

このような背景から、防水機能を備えた多機能型排水性舗装の開発、また省資源で地球環境に配慮した注意喚起舗装の開発をしたので、ここに紹介する。

2. 多機能型排水性舗装

(1) 開発背景

ポーラスアスファルト舗装（以下、排水性舗装）は、路面の水はね防止や雨天時の視認性向上に優れた舗装として普及しており、車両走行の安全面においても有効な舗装として評価されている。また、積雪寒冷地では表面テクスチャ（路面の凹凸）を確保することで、薄いシャーベットやブラックアイスバーンの抑制効果

が見られるなど、『粗面系』という分類の凍結抑制舗装としても期待されてきている⁴⁾。

しかし前述にも示した通り、長年供用されていくうちに、空隙詰まりによる排水機能の低下に加え、浸透した水分によって下層にはく離が生じたり、修繕時に表・基層の打換えが必要になる等の不具合も顕在化してきている。さらに寒冷地では、舗装体内に残った水分が気温の低下に伴い氷結することで膨張し、舗装体が破壊するケースも見られている（写真—1 参照）。

このように寒冷地においては、排水性舗装は耐久性を損ない易いことから、排水機能等の効果は認められるものの採用は控えられる状況にある。また、排水性舗装は取り込んだ水分を直ちに排出する構造のため、凍結防止剤を散布しても流出しやすく、密粒度アスコ



写真—1 北海道の排水性路面状況

ンなどに比べて散布回数が多くなる問題もある⁵⁾。

これら寒冷地における排水性舗装の問題点を解決し、新たな凍結抑制舗装及び寒冷地における排水性舗装の代替えとして、多機能型排水性舗装を開発することとした^{6), 7)}。

(2) 開発目標

多機能型排水性舗装は、舗装表面が粗面でありながら、舗装体内部が密であることが必要であることから、混合物一層の施工で舗装の表面付近が寒冷地における排水性舗装（空隙率 17% 程度）と同等の排水性機能を有し、舗装下部は碎石マスタックアスファルト混合物（以下、SMA）と同等の防水性機能（透水係



図一 多機能型排水性舗装の概念

表一 性能指標の目標値

項目	多機能型排水性 社内目標値	参考値	
		排水性舗装	SMA
マーシャル突固め回数 (回)	両面50回	両面50回	両面50回
マーシャル安定度 (kN)	5.0以上	3.43以上	5.0以上
残留安定度 (%)	75以上	75以上	75以上
カンタプロ損失量 (-20℃) ^{※1} (%)	12以下	20以下	—
透水係数 ^{※2} (cm/sec)	1.0×10^{-7} 以下	1.0×10^{-2} 以上	1.0×10^{-7} 以下
動的安定度 (DS) (回/mm)	6,000以上	3,000以上	3,000以上
路面のキメ深さ (MPD) (mm)	1.2以上	—	—
浸透水量 (ml/15sec)	800以上 ^{※3}	1,000以上	—
すべり抵抗値 (BPN)	60以上	60以上	60以上

※1 寒冷地での使用の場合。一般地域での使用では20℃

※2 加圧透水試験による

※3 空隙率17%の排水性舗装の浸透水量相当

数 1×10^{-7} cm/s 以下) を、一層で可能にする構造を目標とした（図一 参照）。その他の舗装性能指標の目標値を表一に示す。

(3) 混合物性状

具体的な混合物の室内試験による性状を表二に示す。これより動的安定度 (DS) は目標値を大きく上回っており、耐流動性が高い混合物であることが分かる。さらにねじり抵抗試験結果から、空隙率 20% の一般的な排水性混合物のねじり骨材飛散率が 24.1% であるのに対し、多機能型排水性混合物は 0.8% であり、骨材飛散抵抗性が極めて高い混合物と言える。

(4) 舗装の機能

積雪寒冷地においては、路面から深い位置にまで空隙があると水分の凍結による破損が発生している事例があることから、路面付近の排水層厚は 10 mm 程度に抑えている。ただし、この排水層の厚さでは所定の浸透水量の確保が懸念されるため、排水機能の向上を目的として施工時において機械的に粗面仕上げとなるようアスファルトフィニッシャの改造を行っている（写真一 参照）。

また、この専用アスファルトフィニッシャには混合物の温度低下抑制対策として、ホッパを加温する改造（サーマルホッパ、写真一 3、図一 2、3 参照）も施してある。この専用フィニッシャで施工を行うことにより、舗装表面に縦溝が形成され排水性機能が向上し、後述するように走行時の視認性向上等の新たな効果が生まれている。

(a) 凍結抑制機能

室内で行った研究結果⁶⁾を基に、実道における凍

表二 多機能型排水性舗装の混合物性状の一例

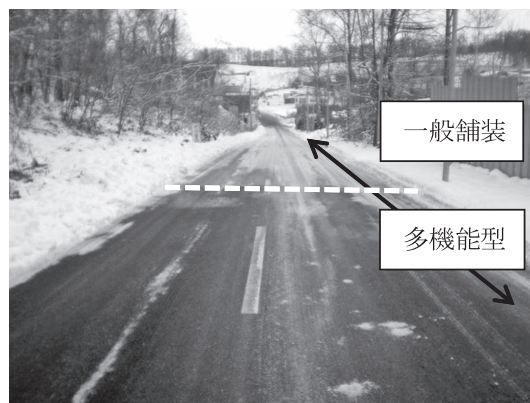
2.36mm 通過重量 百分率 (%)	As量 (%)	マーシャル試験									
		理論最大密度 (g/cm ³)	真空バック法		かさ密度		標準マーシャル		水浸マーシャル		
			真空バック かさ密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	かさ密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	安定度 (kN)	フロー値 (1/100cm)	安定度 (kN)	フロー値 (1/100cm)	残留安定度 (%)
23.9	5.4	2.478	2.249	9.2	2.372	4.1	7.33	32	7.23	41	98.6
社内基準値				8~11			5.0以上				75以上

2.36mm 通過重量 百分率 (%)	混合物の性状確認試験							
	カンタプロ試験		ホイールトラッキング試験		ねじり抵抗試験		加圧透水試験	ラベリング試験
	損失量 (20℃) (%)	損失量 (-20℃) (%)	路面 キメ深さ MPD (mm)	動的 安定度 DS (回/mm)	圧密 変形量 d ₀ (回/mm)	ねじり 骨材飛散率 (%)	透水係数 K15 (cm/s)	すり減り減量 (cm ³)
23.9	3.6	10.6	1.557	21,000	2,140	0.8	1×10^{-7} 以下	0.29
社内基準値	12以下	12以下	1.2以上	6,000以上		※排水性(空隙率20%) 24.1%	1×10^{-7} 以下	

転圧条件	現場試験結果					
	路面の キメ深さ MPD (mm)	現場 透水試験 浸透水量 (ml/15s)	すべり抵抗試験			
			BPN	DFTによる動摩擦係数		
			BPN ₂₀	μ ₄₀	μ ₆₀	μ ₈₀
初期転圧11回 二次転圧3回	1.825	855	73	0.43	0.41	0.43
社内目標値	1.2以上	800以上	60以上			



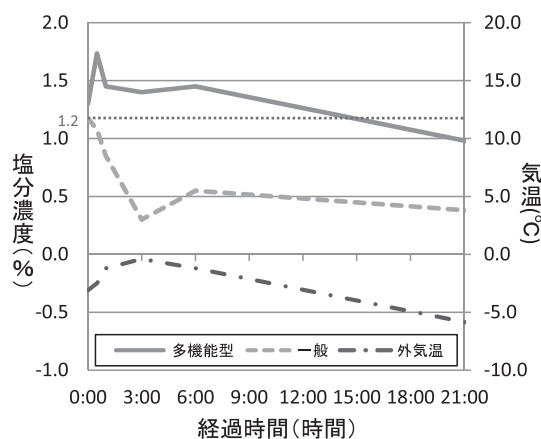
写真一 2 舗設状況



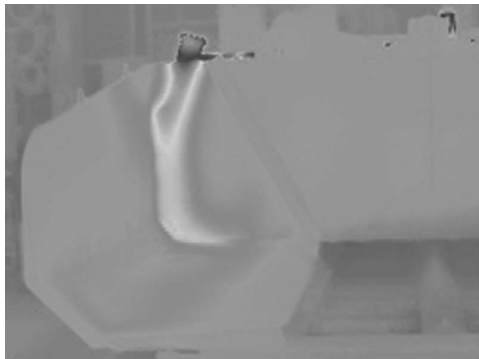
写真一 4 散布後 40 時間経過時路面状況



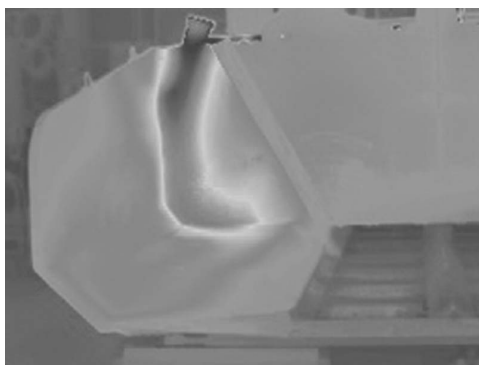
写真一 3 サーマルホッパ



図一 4 路面の塩分濃度測定結果



図一 2 サーマログラフ (10 分後)



図一 3 サーマログラフ (30 分後)

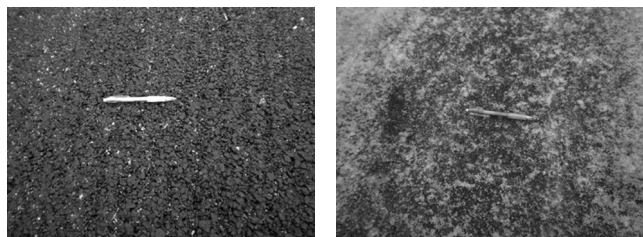
レイ、写真一 4) において調査を行った。

図一 4 は、現地で固形の凍結防止剤を 34 g/m^2 散布後、1, 2, 4, 6, 21 時間後に路面の塩分濃度を測定した結果である。測定結果より、多機能型排水性舗装と一般舗装(細粒ギャップアスコン (13F))ともに散布直後に溶け出して塩分濃度が上がるが、積雪や車両走行等の影響を受け、一般舗装では急速に塩分濃度が低下する。これに対し、多機能型排水性舗装は表面付近の空隙や縦溝に凍結防止剤が残存することにより、塩分濃度は緩やかに失われていくことがわかる。

既往の研究⁸⁾による有効塩分濃度 1.2% を基準として考えると、多機能型排水性舗装では 12 時間後の測定においても 1.2% の残留塩分濃度を保持していることがわかる。一方、一般舗装は散布直後に 1.2% となったが、それ以降回復することは無い状況であった。この事より、多機能型排水性舗装は凍結抑制効果(塩分残存率)が極めて高いことがデータによって証明された。

散布後の路面状況の変化を写真で見ると、写真一 4 は固形の凍結防止剤散布後 40 時間経過後の路面であるが、一般舗装路面に積雪があることに対し、多機能型排水性舗装の路面にはほぼ積雪が見られない。

結抑制効果を検証するため、札幌市豊平区(平成 23 年 12 月施工, $A = 284 \text{ m}^2$, $t = \text{平均 } 35 \text{ mm}$ オーバー

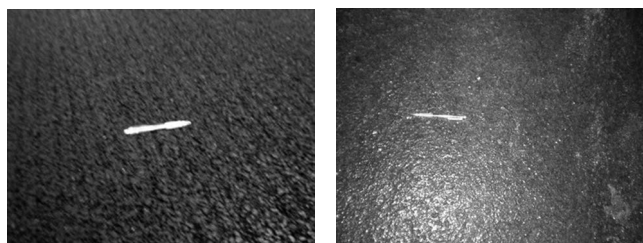


写真—5 散布後 40 時間経過時路面状況 (左：多機能型, 右：一般舗装)

また、路面を拡大してみると、写真—5 の通り一般舗装は凍結しており、2～3mm の氷版ができているが、多機能型排水性舗装路面は凍結しておらず、凍結防止剤が残存していた。

同様に、気温が下がり始めた夕方（48 時間経過）の路面（写真—6 参照）では、一般舗装は路面が凍結してブラックアイスバーン状態となっているのに対し、多機能型排水性舗装では路面が凍結しておらず、骨材がはっきり露出していた。このような状態は、77 時間経過まで確認されており、現場においても凍結抑制効果（塩分残存率）が高いことが確認された。

以上のことより、一般舗装に比べて凍結防止剤の散布回数を減らせると考えられ、冬期路面管理費を減らすことが可能となり、経済的に有利な舗装といえる。



写真—6 散布後 48 時間経過時路面状況 (左：多機能型, 右：一般舗装)

(b) 視認性向上機能

多機能型排水性舗装の縦溝は、太陽光や車両の照明光等の乱反射抑制の役割も果たしており、走行時の視認性が向上する。写真—7 は排水性舗装の夜間走行時、写真—8 は多機能型排水性舗装の夜間走行時である。排水性舗装は車両等の照明光が一様に乱反射しているのに対し、多機能型排水性舗装は縦溝が照明光等の乱反射を防ぎ、眩しさの低減作用を果たしている。また、縦溝の陰により路面が認識しやすくなっている。これは昼間走行時も同様であり、太陽光が排水性舗装では乱反射するのに対し、多機能型排水性舗装は縦溝が太陽光の拡散を防止し、視認性が向上している。

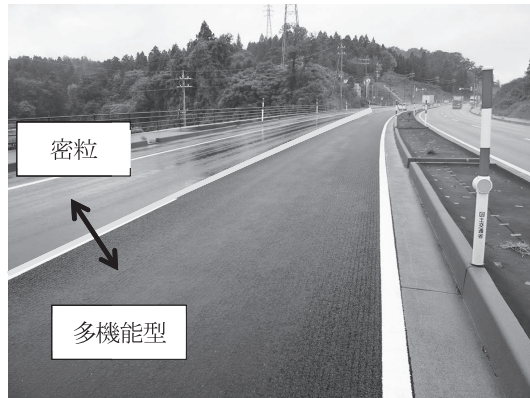
写真—9 は雨天時の多機能型排水性舗装路面である。なお、比較工区の密粒度舗装(左側:走行車線)は、



写真—7 夜間視認性 (FFP)



写真—8 夜間視認性 (排水性舗装)

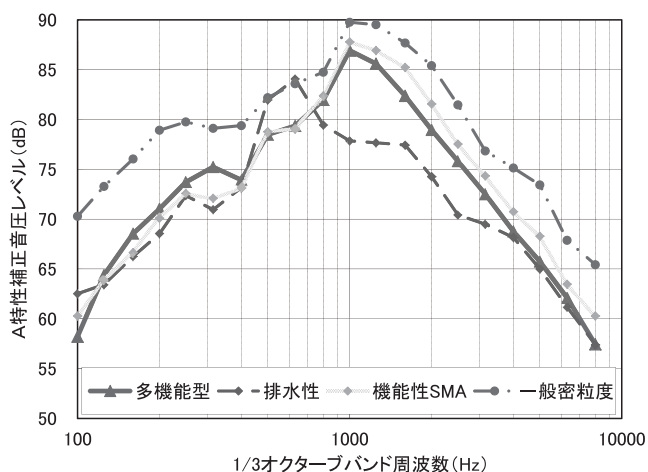


写真—9 雨天時の FFP 路面状況

ほぼ同時期に施工を行っているものである。密粒度舗装を見ると浮き水があることが路面の反射からも判る。それに対して、多機能型排水性舗装は表面水が表面付近の空隙と縦溝に浸透しているので視認性が向上している。このことから、浮き水による水はね、スモーク現象、ハイドロプレーニング現象等の抑制にも効果があると言える。

(c) タイヤ／路面騒音低減機能

多機能型排水性舗装の施工箇所において、簡易騒音測定車によるタイヤ／路面騒音の測定を行った。1/3 オクターブバンド周波数分析の結果を図—5 に示す。



図—5 タイヤ／路面騒音の周波数特性

結果より騒音低減に特化した排水性舗装には及ばないものの、機能性SMA系や密粒度舗装に比べると低減されることが判った。特に、一般的に使用されている密粒度舗装に比べると約4dBの低減となり、高いタイヤ／路面騒音低減効果を有していると言える。

3. 型押し式注意喚起舗装

(1) 開発背景

注意喚起舗装は代表的なものとして切削式⁹⁾・転圧式¹⁰⁾・隆起式¹¹⁾など分類が多岐にわたり、様々な規格で設置されている(表—3参照)。しかし、従来の注意喚起舗装は工程が煩雑で、施工単価が高く、隆起式の場合は除雪の際にブレードによって削り取られる等の問題がある。

このため、①工程が2～3工程と増加することは避ける。②普及技術には、1,000円/m以上になることはマイナスである。この2点を踏まえ、これらを改善した方法に着目した。注意喚起舗装をアスファルト混合物の敷均しと同時に施工することで工程を簡略化し、施工単価を抑えるために、型押し式注意喚起舗装を開発することとした。

表—3 注意喚起舗装の代表的な工法

代表的な工法等	施工単価	工程数	形状(mm)
切削式	1000円/m (建設物価誌)	舗装後切削 (2工程)	W(幅):350 T(深さ):12 L(長さ):150
マカダムローラ着脱式	170円/m	敷均し後転圧 (1工程)	W:300 T:20 L:25 (NEXCO仕様)
パイプ圧入式	-	敷均し後圧入 パイプ引抜作業 (2工程)	W:300 T:25 L:25
リブ式	1000円/m	舗装後塗布 (2工程)	W:125±10 T:7±1 L:25±5

(2) 開発目標

型押し式注意喚起舗装は、アスファルトフィニッシュに固定した回転ドラムに凸型の型枠(トレッドマシン、写真—10参照)を取り付け、AFの既存動力を利用し回転させて成形するもので、均等な間隔に成形することができる。環境への影響を考慮し、既存動力を利用して施工を行うため、①回転ドラムを回転させるためのCO₂は発生しない。②敷均しと同時に施工で行うため切削材が発生せず、環境負荷軽減を担っている。③適用道路の制限速度に応じた設定変更や、用途に合わせた横溝パターンへの変更が可能である。以上の3点と、前述した2点を開発ポイントにした。



写真—10 横溝の設置状況

(3) 舗装の機能

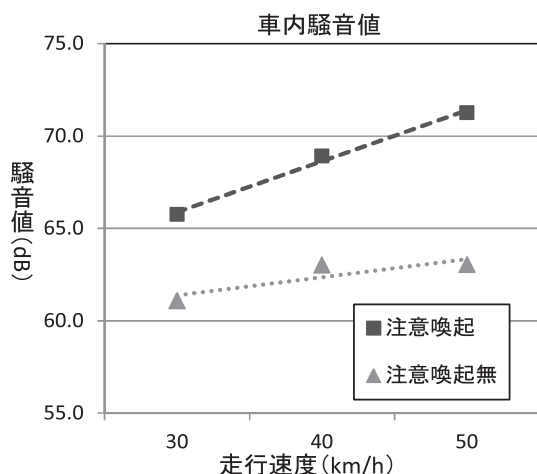
型押し式注意喚起舗装の形状の一例を表—4に示す。

表—4 横溝形状の一例

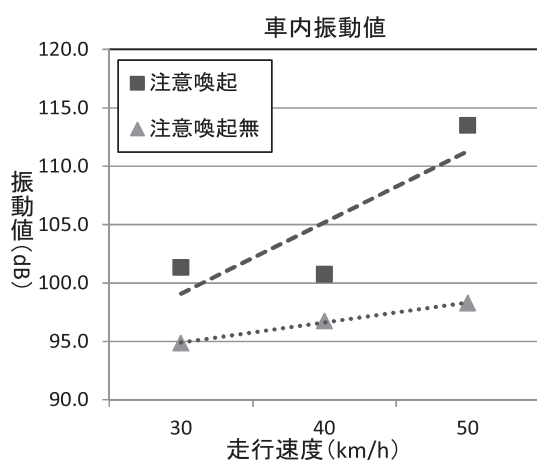
横溝形状(mm)			
溝横幅	溝縦幅	溝深さ	溝間隔
250	50	10~12	450

注意喚起舗装の評価としては、運転手に音や振動で注意を促すことから、定量化したデータ解析という観点から騒音レベルの評価は測定したデータの最大値を、振動レベルの評価は時間率振動レベル(L₁₀)を評価値とする。

試験結果を図—6,7に示す。車内騒音に関しては、ある程度の線形近似を求めることができた。しかし、車内振動は40km/hの値が最も低い値を示した。これは、タイヤの大きさや車両のサスペンション等の車両特性が大きく影響しているものと思われる。このため、それぞれについて、最小二乗法による線形近似直線を用いて推定した。その結果では、いずれの結果においても走行速度が速くなるほど騒音・振動レベルは大きくなる傾向となることが判った。



図—6 車内騒音レベル



図—7 車内振動レベル

比較として他土工法であるランブルストリップスの報告⁹⁾によると、車内騒音レベルは通常路面と比較して8～16 dB程度、車内振動レベルは同様に10 dB以上大きくなると報告されている。注意喚起舗装としては十分に機能しているが、沿道環境騒音を考慮するならば、ドライバーへの注意喚起は最低限に留め、周辺への影響を少なくすることが重要である。また、トレッドマシンは切削材を出さないため、環境負荷軽減工法であると言える。

4. おわりに

今回紹介した多機能型排水性舗装は北海道でも通用

する凍結抑制舗装として、また注意喚起舗装は作業工程が少ない、効果が高い、経済的、及び環境負荷軽減が図れることに着目して技術開発した経緯がある。

しかし、多機能型排水性舗装は開発から2年、型押し式注意喚起舗装は半年であるため、舗装としては短い供用時間である。それ故に、供用後の効果の検証や付加価値等をさらに精査しなければならない。現在のところ、北海道札幌市で施工した箇所においては2年経過後も健全な状態を保っている。

今後の課題としては、多機能型排水性舗装は凍結抑制機能や視認性の向上が図れる等、付加価値が実証されたので、さらなる機能の向上に努めていきたいと考えている。また、型押し式注意喚起舗装では中速度域での騒音・振動実験のみの評価であるため、高速度域での評価を追加試験として行う予定をしている。

JCM A

《参考文献》

- 1) 東 滋夫ほか：アスファルト混合物のはく離抵抗性評価方法に関する研究，道路建設，p.32，2004.1
- 2) 本松資朗ほか：既設基層混合物のはく離抵抗性の評価方法に関する研究，土木学会舗装工学論文集，第9巻，p.73，2004.12
- 3) 鎌田 修ほか：排水性舗装の側方流動破壊の発生要因と対応策に関する研究，土木学会舗装工学論文集，第11巻，p.99，2006.12
- 4) 吉井昭博ほか：粗面系凍結抑制舗装の効果に関する一検討，土木学会第66回年次学術講演会，V-413，2011.9
- 5) 寺田 剛ほか：排水性舗装の冬期路面管理について，土木技術資料52-11，p.36，2010.11
- 6) 齊藤一之：多機能型排水性舗装の開発，第12回北陸道路舗装会議，D-18，2012.6
- 7) 齊藤一之ほか：多機能型排水性舗装（フル・ファンクション・ペープ）の特長，平成24年度建設技術報告会，p.96，2012.10
- 8) 佐沢昌樹ほか：凍結抑制機能回復型凍結抑制舗装の開発と実用化，第23回日本道路会議，p.510，1999.10
- 9) 平澤匡介ほか：ランブルストリップスの設置効果と費用便益について，第10回北陸道路舗装会議，p.254，2006.6
- 10) 板東芳博ほか：注意喚起舗装の省力化施工について，第28回日本道路会議，32065，2009.10
- 11) 高森 衛ほか：高視認性区画線調査報告書（第2報），開発土木研究所月報No.484，p.11，1993.9

【筆者紹介】

藤本 大生（ふじもと まさき）
 (株)ガイアート T・K
 技術研究所

