



常温施工可能な防水用補修材の性能向上に関する検討

前田道路(株) 技術研究所

// //

(国研)土木研究所 舗装チーム

富山 慶吾
牧野 幹
川上 篤史

1 はじめに

我が国の道路は、高度経済成長期に大量に整備され、現在、舗装ストック量は100万kmを超える膨大な量に達している。これらの舗装ストックは重要な社会インフラであり、適正に維持更新していかなければならないが、ストック量が膨大なため維持管理には多額の費用が必要となる。しかしながら、近年の舗装事業費は1990年をピークに減少傾向にあり、大幅な増加は期待できない。そのため、限られた予算で維持管理していかなければならず、効率的な維持管理手法の確立は業界全体の課題となっている。

舗装の効率的な維持管理手法の一つに、補修材の高度化が挙げられる。一般的に補修材は破損した箇所を一時的に補修するものであり、全面補修までの仮復旧として使われる。そのため使い勝手が良いものの、耐久性に関しては加熱アスファルト混合物に比べ劣るものが多い。補修材の耐久性を向上させ本復旧材として使用することができれば、効率的な維持管理手法の一つになると考える。

補修材の高度化が望まれるものの一つに、橋面舗装基層部の補修が挙げられる。橋面舗装では防水性の確保が重要となるが、防水機能を有する補修材はなく、加熱グースアスファルト混合物による補修や防水工を施した後に基層の施工が行わ

れている。しかし、加熱グースアスファルト混合物で補修する場合、材料を運搬・施工するには専用機械が必要であり、小規模補修では施工コストが著しく増加する。また、防水工の施工では養生時間が長いことから規制時間の限られた補修工事には不向きである。そのため筆者らは、低コストで簡易に施工可能な防水用の常温補修材の開発を行ってきた¹⁾。

本報文は、これまでに開発した防水機能を有する常温補修材(既存技術)の材料性状および供用性について報告するとともに、昨今の改質グースアスファルト舗装による長寿命化への取り組みやコンクリート床版への適用を受け、それらの補修への適用を図るため、本材料の性能向上を図った結果について報告する。

2 既存技術

2-1 技術概要

本材料は化学反応硬化型のバインダと単粒度碎石を主材料とする常温補修材¹⁾であり、単粒度碎石(通常5号碎石を使用)の間隙にバインダを充填することで、バインダと碎石が一体となり遮水性に優れた防水層を形成する。本バインダはアスファルトと特殊潤滑油(植物由来)を混合したも

のであり、流し込み直前に硬化材および水を混合することで充填に必要な可使時間を確保するとともに、充填後には化学反応により増粘して1時間程度の養生で上層部の表層施工が可能となる。硬化前のバインダ粘度は表-1に示すとおりであり、0℃で486mPa・sであるため十分な流動性が確保できており、振動を加えることなく表面よりバインダを流し込むだけで、骨材間隙に隙間なく充填することが可能である(写真-1、写真-2)。

表-1 バインダ粘度

バインダ温度 ℃	0	10	20	30
粘度 mPa・s	486	386	272	152



写真-1 流し込み状況

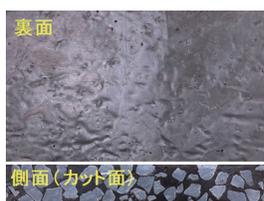


写真-2 充填状況

2-2 混合物の基本性状

本材料の代表的な混合物性状は表-2に示すとおりであり、一般的な加熱グースアスファルト混合物と比較して高い塑性変形抵抗性を有しており、その他の規格値も満足している。なお、本材料はバインダ充填後直ちに強度発現を開始し、施工7日で最終強度の約90%に達するため、ここでは常温で7日養生したときの性状を示す。

表-2 混合物の代表性状

項目	代表性状*	加熱グースアスファルト混合物の規格値**
動的安定度(60℃) 回/mm	4,800	300以上
貫入量(40℃) mm	1.2	基層1~4
曲げ破断ひずみ(-10℃)	8.2×10^{-3}	8.0×10^{-3} 以上
透水係数 cm/s	1×10^{-7} 以下	-

* 単粒度碎石は5号碎石を使用

** 本州四国連絡橋公団規格(1983.4)

2-3 供用性

本材料の供用性を評価するため、これまでに実際の鋼床版上の舗装のポットホールなどの補修を数箇所行ってきた。補修は基層(グースアスファルト舗装)に本材料、表層に一般的な加熱アスファルト混合物を用いて行った。補修後最長で約7年が経過しているが、舗装路面に骨材飛散などの軽

微な破損は見られるものの、ひび割れおよび新たなポットホールの発生などの重度の破損は確認できておらず、良好な状態を保っている。

3 性能向上を目指した検討

これまでの検討より、橋面舗装基層部の補修材として良好な結果が得られていることを確認した。しかし、舗装の長寿命化が求められるなか、補修材の性能向上が望まれており、グースアスファルト舗装においても耐久性を向上させた改質グースアスファルト混合物が開発され、現在数多く施工されている。改質グースアスファルト混合物は通常グースアスファルト混合物に比べ、高い塑性変形抵抗性とたわみ追従性を有しており、わだち掘れやひび割れなどの発生を軽減できる。そのような箇所への補修については、同程度の性能を有した材料の使用が好ましい。

本材料は、通常のグースアスファルト混合物と比較して高い塑性変形抵抗性を有しているものの、たわみ追従性については同程度である。実路での補修は現在までに大きな破損は見られず、耐久性については問題ないが、長期的な供用性を考慮すると改質グースアスファルト混合物と同程度まで性能を向上させることが好ましいと考える。

3-1 バインダ性状の向上

混合物の耐久性の向上を図るため、充填するバインダの改良を行った。本材料は表-2に示すように、高い塑性変形抵抗性を有しているため高温域での剛性は問題なく、長期的な耐久性を向上させるには、低温域のたわみ追従性を高める必要があった。

バインダの評価は、DSR試験により求められる複素弾性率 $|G^*|$ (硬さ)で行った。改良バインダは既存の従来バインダと比較して高温域での $|G^*|$ を低下させることなく、低温域の $|G^*|$ を低下させ、温度-複素弾性率曲線の傾きを緩やかにすることを目標とした。試験結果は図-1に示すとおりであり、改良バインダは従来バインダに比べて低温域の $|G^*|$ を低下できたことから、低温域のたわみ追従

性の向上が期待できる。一方で剛性に影響する高温域の|G*|も同様に低下したため目標には至らず、塑性変形抵抗性については再評価が必要である。

低温域の軟化が図れたため、さらにそのたわみ追従性をバイндаの曲げ試験により評価した。試験結果を表-3に示す。-10~10℃の範囲において従来バイндаに比べて曲げひずみが増加しており、このことから低温域でのたわみ追従性が向上したことが確認できた。

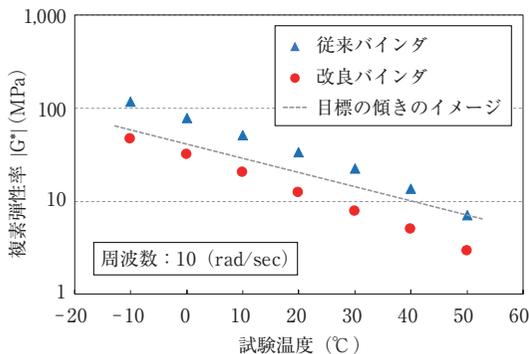


図-1 DSR 試験結果

表-3 バイндаの曲げ試験結果

項目	-10℃		0℃		10℃	
	曲げひずみ × 10 ⁻³	曲げ仕事量 kPa	曲げひずみ × 10 ⁻³	曲げ仕事量 kPa	曲げひずみ × 10 ⁻³	曲げ仕事量 kPa
従来バイнда	20	0.07	90	0.31	170	0.50
改良バイнда	120	0.39	170	0.34	破断しない	
					570以上*	0.81以上*

* 試験終了(強制終了)時の値から算出

以上より、高温域での剛性は低下したため混合物の塑性変形抵抗性の低下が予想されるが、低温域でのたわみ追従性は向上できたため、混合物のひび割れ抵抗性の向上に期待が持てる。塑性変形抵抗性については、既存の混合物試験の結果(表-2)から、高い性状を有しており若干の低下は許容できると考えられるため、本改良バイндаを用いて混合物の評価を行った。

3-2 混合物性状

本材料は、一般的に骨材に5号砕石を使用するため、ここでは5号砕石を使用した検討結果を示す。

(1) 基本性状

改良バイндаを使用した混合物(以下、改良混合物)の代表的性状を表-4に示す。改良混合物

は、従来バイндаを使用した混合物(以下、従来混合物)の性状(表-2)と比較して、たわみ追従性が向上することが確認できた。塑性変形抵抗性は低下が見られたものの、動的安定度は2,000回/mm程度であり、一般的な改質グースアスファルト混合物と同程度の高い水準を確保できている。また、1hr養生時の動的安定度は1,550回/mmであり、1hr程度養生すれば交通開放可能な強度に達することが分かる。

表-4 改良混合物の代表性状

項目	代表性状		改質グース混合物の一般的性状
	1hr 養生	7日 養生	
動的安定度(60℃) 回/mm	1,550	2,010	800 ~ 2,100
貫入量(40℃) mm	1.3		1.4 ~ 2.5
曲げ破断ひずみ(-10℃) × 10 ⁻³	15.2		10.4 ~ 14.3
透水係数 cm/s	1 × 10 ⁻⁷ 以下		-

(2) ひび割れ抵抗性

① 脆化点

混合物のたわみ追従性を評価するために、試験温度を変化させて曲げ試験を行った。試験結果を図-2に示す。改良混合物は従来混合物に比べて、各温度域で破断ひずみが大きくなるとともに脆化点が低温側に25℃移動したため低温域でのたわみ追従性の向上が図れた。このようにたわみ追従性が大幅に高まったため、ひび割れ抵抗性の向上が期待できる。

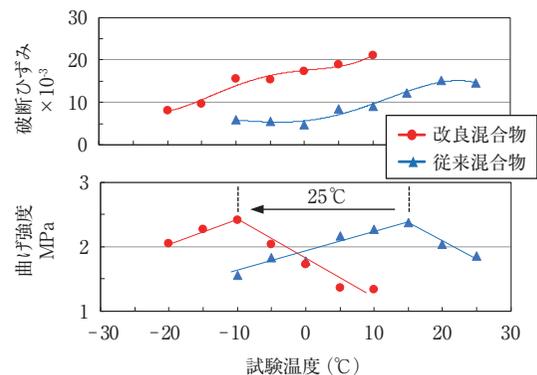


図-2 曲げ試験結果

② 疲労抵抗性

改良混合物は曲げ破断ひずみの向上が確認できたため、低温域でのひび割れ抵抗性の評価を行った。評価方法は0℃での繰り返し曲げ試験であり、結果を図-3に示す。改良混合物は従来混合物に

比べて破壊回数を大幅に向上させることができ、改質グースアスファルト混合物に近い疲労抵抗性を有していることが確認できた。

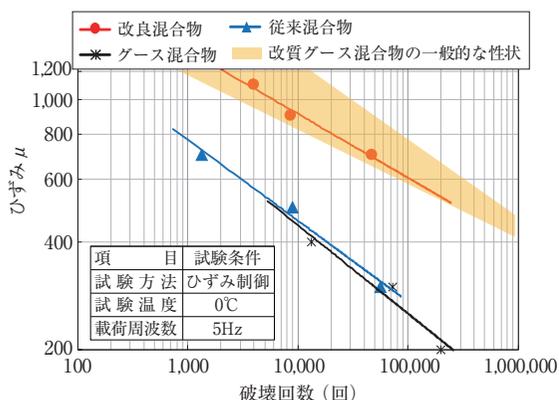


図-3 繰り返し曲げ試験結果

3-3 接着性

本材料は常温で施工するため、熱溶解で接着するアスファルト系の接着剤を用いた場合には十分な接着性が得られないことがある。そのため樹脂系の接着剤を検討した。試験結果は表-5に示すとおりであり、樹脂系の接着剤を使用することで規格値を満足する接着性が得られることが確認できた。

表-5 接着性の評価

試験温度	引張強さ (N/mm ²)		せん断強度 (N/mm ²)	
	試験値	規格値*	試験値	規格値*
23℃	0.90	0.6 以上	0.26	0.15 以上
-10℃	1.45	1.2 以上	1.10	0.8 以上

* 道路橋床版防水便覧 (2007.3)

3-4 施工事例

混合物性状を改良した本材料は、現在までに室内試験で良好な結果が得られ、実用化に至っている。現在は実路での供用性の確認を行っている最中である。橋梁部(鋼床版)における施工事例を以下に示す。

① 既設舗装の破損状況

補修箇所は神奈川県横須賀市内の道路橋であり、近隣に路線バスの営業所があるバス路線のため、頻繁に大型バスの往来が確認された。既設舗装の状態は、写真-3に示すように舗装の寄りによって舗装の厚さが薄くなっており、亀甲状のひび割れからは細粒分の吹出も確認された。



写真-3 破損状況

② 施工状況

表層および基層の破損箇所を撤去した後に、本材料の施工を行った。本材料は、施工に必要な量を管理しやすいように0.5m²(厚さ4cmの場合)を施工できる量を1セットとして小分けして、補修面積と厚さから必要量を準備した。

使用材料および施工フローは図-4に、施工状況は写真-4に示すとおりであり、床版面に接着剤を塗布した後に碎石を敷きならしてバインダを注入する。本材料の施工後には1hr養生し、表面が十分強度発現していることを確認して加熱アスファルト混合物の施工を行った。



図-4 使用材料・施工フロー



写真-4 施工状況

③ 供用状況

本施工は6月の下旬に行い一夏が経過し、現在供用期間は約6カ月である。夏場に懸念される流動による破損もなく、その他本材料に起因する路

面性状の変化は見られず良好な状態を維持している(写真-5)。



写真-5 約6カ月後の路面状況

4 コンクリート床版への適用

これまでの検討により、鋼床版基層部の補修材として有効であることが確認できたため、ここではコンクリート床版への適用について検討した。

道路橋コンクリート床版の防水はこれまでシート系や塗膜系の材料で行われてきたが、コンクリート床版の土砂化が顕著化しており、補修後早期に再劣化する傾向がみられている²⁾。その原因としては、路面からの雨水および凍結防止剤の侵入によるモルタルの破壊や塩害・凍害・アルカリシリカ反応などの複合的な劣化が考えられる。そのため防水性の高い材料で床版を保護する必要があり、コンクリート床版に適用可能なグースアスファルト混合物が施工され始めている。

そのような箇所の補修も本材料は有効であり、さらに現在加熱アスファルト混合物で施工されている箇所の補修についても、水密性を上げることで補修後の耐久性の向上が期待できる。グースアスファルト混合物をコンクリート床版に適用する場合、床版中の水分によるプリスタリングの発生が懸念されるが、本材料は常温で施工するため特に問題ないとする。

4-1 はく離抵抗性の向上

コンクリート床版を水から保護するためには耐水性の確保が重要である。特に舗装の小規模補修では周囲が施工継ぎ目となるため、水の浸入に対して容易に破損しない高いはく離抵抗性が求められる。そこで、本材料のはく離抵抗性について

水浸ホイールトラッキング試験機を用いて評価を行った。なお、比較用として一般的に補修に用いられているポリマー改質アスファルトⅡ型を使用した密粒度アスファルト混合物(以下、改質アスファルト混合物)と併せて試験を行った。

水浸ホイールトラッキング試験の試験条件を表-6に示す。供試体の厚さは橋面舗装の一般的な厚さとなるよう表・基層合わせて8cmとし、水浸深さは4cmとした。また、評価は供試体底面のはく離率で行った。

表-6 水浸ホイールトラッキング試験条件

項目		内容
供試体構成 (t=8cm)	①	表層 改質アスファルト混合物 基層 改良混合物
	②	表・基層 改質アスファルト混合物
水浸深さ		4cm(表・基層の界面)
試験温度		50℃

試験後の供試体底面のはく離状況を写真-6に示す。表・基層に改質アスファルト混合物を用いた供試体を24時間試験したところ、供試体底面にはく離が確認され(はく離率5.1%)、48時間経過時にははく離率が9.9%まで増加していた。一方で本材料は144時間試験を継続してもほとんどはく離が確認(はく離率2.5%)されず、耐水性に優れていることが確認された。

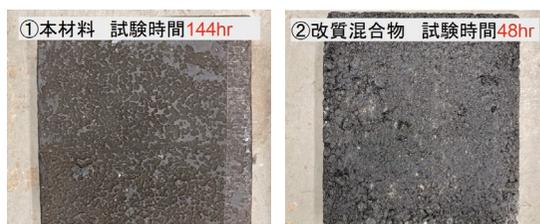


写真-6 供試体底面の状況

4-2 コンクリート床版との接着性

コンクリート床版は鋼床版とは異なり床版の水を完全に除去することは困難であり、残存する水分の量によっては、接着強度に影響を与えることがある。そこで、コンクリート床版の含水状態を変化させ、その時の接着性を引張試験で評価した。

供試体は、乾燥・湿潤・表乾状態にしたコンクリート平板に、鋼床版と同様の樹脂系接着剤を塗布して本材料を打ち継ぎ作製した。引張試験結果

を表-7に示す。コンクリート平板が湿潤状態の場合には引張強度が低く、規格値を満足することができないが、表乾状態であれば規格値を満足することから、表面が濡れている場合にはウエスなどで水分を拭き取り表乾状態とすることで接着性を確保できることが分かった。

表-7 引張試験結果

項目	床版面の含水状態				規格値*
	乾燥状態	湿潤状態	表乾状態		
引張強度 (N/mm ²)	23℃	0.93	0.21	0.81	0.6以上
	-10℃	1.64	0.19	1.32	1.2以上

* 道路橋床版防水便覧 (2007.3)

4-3 耐久性の評価

本材料の施工性および供用性を評価するために、(国研)土木研究所舗装走行実験場に模擬コンクリート床版を設け、試験施工を行った。

(1) 施工概要

本試験施工は、(国研)土木研究所との共同研究によるものであり、コンクリート床版上に施工した改質アスファルト舗装の補修材としての適用性を評価するものである。コンクリート床版上の舗装に発生した小規模の破損はこれまで加熱アスファルト混合物で補修されてきたが、補修後早期に破損することがあった。そのため、本試験施工では基層の改質アスファルト舗装の一部を本材料で打ち換え、荷重車を走行させて本材料の耐久性を検証した。

試験施工の概要を表-8に示す。本材料は、骨材に5号砕石および6号砕石をそれぞれ使用した工区を設け、①延長1m×幅1m(輪通過部)、②延長1m×幅5m(全幅員)に切り出した区画内を4cm厚さで施工した。なお、骨材は通常5号砕石を使用するが、施工厚が薄いなどの理由で5号砕石の使用が困難な場合に6号砕石を用いる。施工厚が3cm未満の場合、6号砕石を用いることが多

表-8 試験施工概要

施工場所	(国研)土木研究所舗装走行実験場
実験場概要	半径100mの円形、幅員5m、横断勾配7%
舗装構成	表層・基層：改質アスファルト混合物 各4cm 基層の部分補修：本材料(5号砕石または6号砕石を使用)
補修規模	① 延長1m×幅1m(輪通過部) ② 延長1m×幅5m(全幅員)

いが、ここではより過酷な条件で塑性変形抵抗性を評価するために4cm厚での評価を行った。また、本材料の施工後には表層に改質アスファルト混合物を施工した。

(2) 施工性

本材料のバインダは、骨材間隙を充填できるよう粘度を低くしているが、硬化速度が速いため、充填されたバインダは早期に増粘する。本試験施工箇所の路面は横断勾配が7%あり、充填直後にはバインダの下方流動が見られたが、増粘により速やかに流動が収まり、7%の急勾配でも問題なく施工できた。写真-7に施工直後の仕上がり状況を示す。

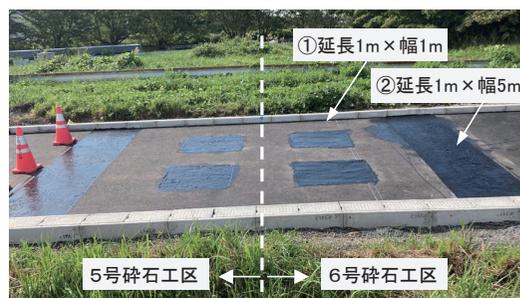


写真-7 仕上がり状況

(3) 供用性

本試験施工工区にて荷重車を走行させ、供用性の検証を行った。供用性はわだち掘れ量で評価を行い、現在までに49kN換算輪数で55万輪(交通量区分N5の約5年分)の走行が完了している。55万輪通過後の路面状況を写真-8に、路面の横断形状の測定結果の一例およびわだち掘れ量の測定結果をそれぞれ図-5、表-9に示す。なお、わだち掘れ量は所定の走行輪数ごとに横断形状をMRPで測定して、初期値から差し引くことで求めた。

横断形状の測定の結果、各工区とも最初の5万輪通過時に2~3mmのわだち掘れが発生しているが、それ以降のわだち掘れの進行は少なく、55万輪走行時点では3~5mm程度のわだち掘れ量であった。計測したわだち掘れ量は、表層混合物も含めたわだち掘れの合計のため、表層の改質アスファルト混合物も数mm程度わだち掘れが発生すると考えると、今回計測されているわだち掘れ量は問題ないレベルと判断できる。また、ひび割れや骨材飛散などもなく良好な路面状況であった。

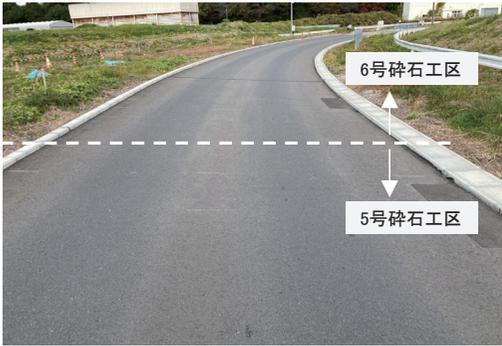


写真-8 供用状況 (55万輪通過後)

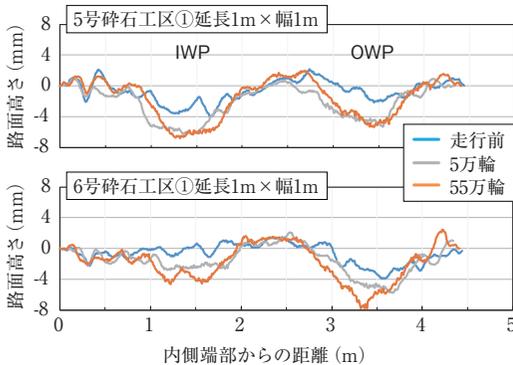


図-5 路面の横断形状測定結果

表-9 わだち掘れ量 (55万輪通過後)

項目	5号砕石工区		6号砕石工区		
	①幅1m	②幅5m	①幅1m	②幅5m	
わだち掘れ量 (mm)	IWP	3.4	3.8	3.7	4.0
	OWP	3.2	3.9	5.0	3.9

以上の結果、本材料で補修を実施したことによる供用性の低下は見られず、良好な状態を維持できていることから、コンクリート床版基層部の補修材としての有効性を確認することができた。

5 環境保全効果・コスト

本材料は小規模補修に適しているため、加熱ゲースアスファルト混合物を用いて補修を行った場合と比較して材料ロスが少なく、CO₂排出量削減効果にも期待が持てる。表-10はポットホールの補修に、本材料とゲースアスファルト混合物を用いた場合の材料の製造・運搬におけるCO₂排出量の試算例を示している。1回の施工で合計1m²のポットホールを補修する場合、本材料を用いることで約1,100kgのCO₂排出量を削減することが

表-10 CO₂排出量試算例

項目	本材料	ゲースアスファルト混合物
1m ² 当たりの使用量	2セット	3t (最小製造ロット)
材料 (上流スコープ3)	9.96kg-CO ₂ /m ²	15228kg-CO ₂ /m ²
製造燃料・動力 (スコープ1・2)	1.38kg-CO ₂ /m ²	9921kg-CO ₂ /m ²
クッキング運搬 (下流スコープ3)	なし	879.9kg-CO ₂ /m ²
合計	約11kg-CO ₂ /m ²	約1,130kg-CO ₂ /m ²
試算条件	材料 (バインダ+粗骨材) : 4.98kg-CO ₂ /セット 製造電力 : 0.69kg-CO ₂ /セット 製造条件 : 恒温槽5hr、使用量3.2kw (1回当たり10セット製造) 電力の原単位 : 0.433kg-CO ₂ /kwh	材料: 運搬距離45~155km (材料ごと) バインダの原単位: StAsで代用 製造温度: 200°C 製造温度上昇に伴う燃費 : 通常+2L/t 燃費上昇 クッキング運搬時間: 5hr クッカ車燃費: 42L/h 軽油原単位: 4.19kg-CO ₂ /L

できる。これは杉の木80本分の年間吸収量 (杉の木1本当たりの吸収量: 14kg-CO₂として算出) に相当し、補修面積が大きくなれば削減量は低下するものの、高いCO₂排出量削減効果があると言える。また、本材料の材料コスト (製造・運搬費を含む) は、通常ゲースアスファルト混合物と比較した場合、現場の条件により異なるが、3m²以下の施工量であれば本材料を使用した方が経済的となる。

6 おわりに

本技術により、橋面舗装基層部への補修材の適用が可能となり、小規模補修においては加熱ゲースアスファルト混合物に比べて環境面および材料コストで優位であることを確認した。これまで、補修コストの増大などの問題から適切な補修を行えなかった箇所において、本材料は低コストで耐久性を確保できる材料であり、膨大な舗装ストックを抱える我が国にとって、舗装の効率的な維持管理の一助になり得ると考える。

今後は、長期供用性を検証するとともに、更なる技術開発を行い、維持管理の合理化・効率化に寄与していきたいと考える。

【参考文献】

- 1) 畠山ほか: 小規模工事に対応したスラリー状常温アスファルト混合物、第32回日本道路会議、2017.11
- 2) 寺田ほか: 床版損傷が発生した橋面舗装の実態調査、舗装工学論文集75巻2号、pp.I-201~I-207、2019.12