



不陸を有するコンクリート床版への 樹脂防水一体型アスファルト舗装の 適用検討

東亜道路工業(株) 技術研究所

//

阪神高速道路(株) 技術部技術推進室

//

 佐川 聡
 設楽 直柔
 吉田 龍平
 青木 康素

1 はじめに

阪神高速道路では、道路橋床版(以下、RC床版)の防水層として主にアスファルト系塗膜防水材料(以下、塗膜防水材料)を採用しているが、防水層の性能は床版上面のきめ深さや不陸に大きく影響を受けることが確認されている^{1), 2)}。きめ深さや不陸が大きくなる要因として、構築時からのRC床版の不陸あるいは部分補修時の舗装切削などが考えられる³⁾。

過去の検討⁴⁾では、舗装補修時に切削機のビットにより床版表面に凹凸が発生し、標準的な塗布量では、所定の床版防水層の膜厚(以下、膜厚)を確保できないため凸部で膜厚が薄くなり、十分な防水性能を確保できないことが確認されている。そこで、切削したRC床版に各種素地調整を実施し、床版上面のきめ深さと膜厚の関係、および各種素地調整方法が防水性能に及ぼす影響を検討した。

その結果、研削機や薄層切削機による素地調整を行い、きめ深さを1.5mm以下(サンドパッチング法)に抑えることで、膜厚が局所的に薄くなる箇所が減少し、要求される防水性能に必要な膜厚を確保しやすくなることが分かった。また、漏水抑制のためには、阪神高速道路の既設RC床版を対象とした床版防水マニュアル⁵⁾(以下、床版防水マニュアル)で規定されているA種防水層では1.0mm、B種防水層では1.5mmの膜厚が必要であることを実験に

より確認した。しかしながら、防水材料の設計塗布量1.2mm(=1.2kg/m²)を考慮した場合、B種防水層ではきめ深さを1.5mm以下としても必要な膜厚の確保が困難であることが判明した。

このように、不陸を有するRC床版面において防水性能を十分に発揮させるためには、RC床版の素地調整、防水層の仕様変更、あるいは防水材料の使用量増加などの対策が考えられる。しかしながら、交通規制時間に制約がある都市高速道路においては、十分な素地調整の実施が困難な状況にある。また、防水層の仕様変更や防水材料の塗布量増加などの防水システムの変更は、橋面舗装の耐久性能に大きな影響を及ぼす可能性がある。

上記の課題を踏まえ、不陸を有するRC床版への新たな防水層の適用性について検討した(以下、本研究)。筆者らは、これまでゲースアスファルト舗装の代替工法として樹脂防水一体型アスファルト舗装(以下、樹脂防水)を開発してきた⁶⁾。樹脂防水は、防水材料がアスファルト混合物の空隙に浸透することで一体化し、ゲースアスファルトと同様に混合物自体で防水性能を発揮する特長を有している。これまで、添接板や添接ボルトなどの付属物の多く設置されている鋼床版において適用実績があり、その効果を実証してきた。このような特長から、樹脂防水は、不陸を有するRC床版においても適用性が高いもの

と考えた。

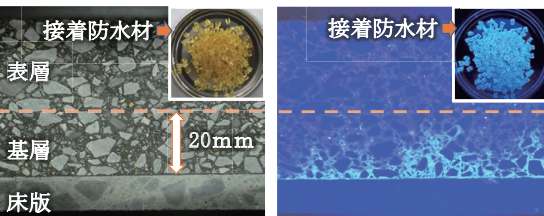
本研究では、RC床版に適用した場合の樹脂防水の防水性能について検討するとともに、防水システムの変更がアスファルト混合物の耐久性に及ぼす影響について把握するため、新たな評価方法の開発を行った。さらに、室内試験により得られた知見に基づき、樹脂防水の施工性を検証するため、実道RC床版において試験施工を実施した。本稿では、これら一連の結果について報告する。

2 開発工法の概要

開発した樹脂防水は、接着と防水を兼ねた熱可塑性植物系樹脂（以下、接着防水材）を床版に、多量に塗布した上に通常のアスファルト混合物（以下、混合物）を舗設する工法である。接着防水材の基本物性を表－1に示す。接着防水材は、一般的な塗膜防水材と比較して軟化点や粘度が低いという特徴を有する。このため、混合物の舗設時の熱により容易に熔融し、混合物底面に生じる空隙および混合物内部の空隙に充填される。接着防水材の浸透状況を図－1に示す。接着防水材は蛍光を示すことから、供試体の断面に紫外線を照射し浸透状況を確認した。混合物内部の空隙の状況により接着防水材の浸透状況にばらつきは生じるが、基層下部約20mmは接着防水材が浸透し、混合物下部で防水層を形成していることが分かる。さらに60℃における針入度が低いことから、夏期でも施工機械が走行しても防水材が損傷しにくい。

表－1 防水材の基本物性

項 目	塗膜防水材	接着防水材
軟化点 (℃)	107.0	80.0
180℃ 粘度 (mPa・s)	5405	611
60℃ 針入度 (1/10mm)	156	56
密度 (15℃) (g/cm ³)	1.016	0.970



(左：紫外線照射前 右：紫外線照射後)

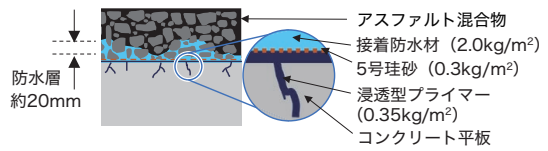
図－1 接着防水材の浸透状況

3 防水層としての性能評価

3-1 性能照査試験

不陸を有するRC床版上における樹脂防水の防水性能および接着性能を評価するため、床版防水マニュアル⁵⁾のA種防水に規定される性能照査試験を実施した。

樹脂防水の供試体の舗装構成を図－2に示す。樹脂防水は本来、エポキシ樹脂プライマーを使用するが、本研究ではA種防水の規定に準拠し、低粘度の浸透型プライマーを使用した。



図－2 樹脂防水の舗装構成

混合物は密粒度混合物(13) 改質Ⅱ型を用いた。混合物の転圧回数は、道路橋床版防水便覧⁷⁾に準拠し、締固め度が100±1%に達するのに必要な回数とした。また、舗設条件は床版防水マニュアル⁵⁾に準拠し、防水層の表面温度:6℃、混合物の舗設温度:155～159℃とした。

なお、コンクリート平板は、修繕時の床版を模擬し、きめ深さが2～3mmとなるよう切削したものを使用した。実測値は2.7～3.7mm程度であった。

3-2 性能照査試験結果

性能照査試験の結果を表－2に示す。すべての試験項目において基準値を満足する結果が得られた。このことから、樹脂防水の不陸を有するRC床版への適用が可能であることが確認された。

表－2 防水層としての性能照査試験結果

試験名	基準値	凹凸面	平滑面
防水性試験Ⅱ	漏水がないこと	漏水なし	—
引張接着試験	-10℃ 23℃	1.2 N/mm ² 以上 0.6 N/mm ² 以上	2.1 1.4
せん断試験 (EU 式)	-10℃ 23℃	0.8 N/mm ² 以上 0.5mm 以上 0.15 N/mm ² 以上 1.0mm 以上	2.6 1.8 1.00 1.3
水浸引張接着試験	水浸前の50%強度以上	110%	81%
ひび割れ追従性試験Ⅱ	0.3mm 以上	—	0.6
耐薬品性試験	異常のないこと	—	異常なし
局部変形性試験	0.1mL 以下	0.01	0.01

4 防水層上の混合物の性能評価

防水材の量や種類を変更することは、混合物の性能に大きな影響を与え、耐久性低下が懸念される。特に混合物の耐久性の一つであるはく離抵抗性については、橋面舗装のアスファルト舗装内に長期滞水しやすくなるため、ポットホールやアスファルト混合物のはく離が発生し、劣化が進行するケースが報告されている⁸⁾。

本章では、防水材が混合物のはく離抵抗性に与える影響を評価するため、防水層と混合物を組み合わせた耐久性試験について以下の検討を行った。

- ・はく離抵抗性への影響を評価するための新たな評価方法（以下、修正水浸 WT 試験）の検討
- ・防水材の種類の変更による混合物の耐久性への影響を明らかにするための塗膜防水材を用いた供試体（以下、塗膜防水）の評価
- ・防水材の塗布量による混合物の耐久性への影響を明らかにするための、通常の約1.3倍の塗布量（ 2.0kg/m^2 ）の塗膜防水材を用いた供試体（以下、増量塗膜防水）の評価

4-1 修正水浸 WT 試験の試験方法

(1) 供試体の概要

塗膜防水の構成は図-3に示すとおりであり、樹脂防水との違いは塗膜防水材と4号珪砂のみである。基層混合物に使用するバインダは、阪神高速道路において標準であるポリマー改質アスファルトⅡ型（以下、改質Ⅱ型）に加え、バインダの種類による混合物性状への影響を評価するためにポリマー改質アスファルトⅢ型-W（以下、改質Ⅲ型-W）を選定した。したがって、防水層3種類と基層混合物のバインダ2種類で、計6種類の供試体を作製した。また、実現場でのひび割れを模擬するため、作製した供試体の混合物層と防水層に、既往の研究⁹⁾の試験条件に合わせて、目地幅3mmのカッター目地を十字に入れた。

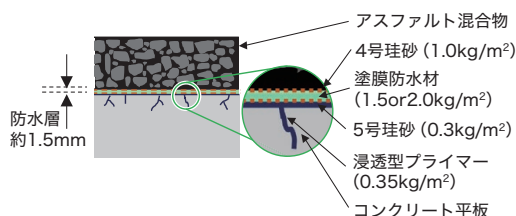


図-3 塗膜防水の舗装構成

(2) 試験条件

修正水浸 WT 試験の試験条件を表-3に、試験の概要を図-4にそれぞれ示す。修正水浸 WT 試験は、「舗装調査・試験法便覧¹⁰⁾ B004水浸ホイールトラッキング試験方法（以下、水浸 WT 試験）」を参照し、トラバース幅および水位を変更し、高負荷な条件に変更した試験である。試験後の供試体表面の目視観察と試験時の変形量の測定により評価する。変形量は、各単位時間における最大鉛直変形量により評価した。

表-3 修正水浸 WT 試験の試験条件

項目	試験条件
供試体寸法	$(300 \times 300 \times 50) + 35\text{mm}$
トラバース幅	125mm
水位	75mm
目地幅	3mm
試験温度	60℃
走行速度	42回/mm
走行方向	トラバース
試験時間	6h

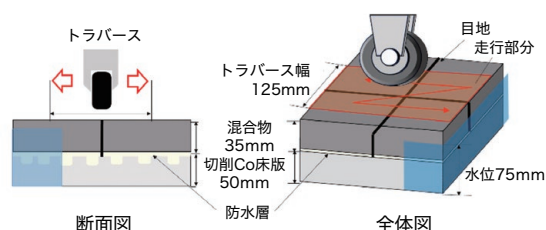


図-4 修正水浸 WT 試験の概要

修正水浸 WT 試験のトラバース幅は、予備検討より、水浸 WT 試験の条件の250mmの半分である125mmとした。これにより、トラバース負荷を与えつつ同一箇所における走行回数を増やすことで、混合物への負荷を増加させた。水位は水の影響を増大させるために供試体上面より10mm下とした。

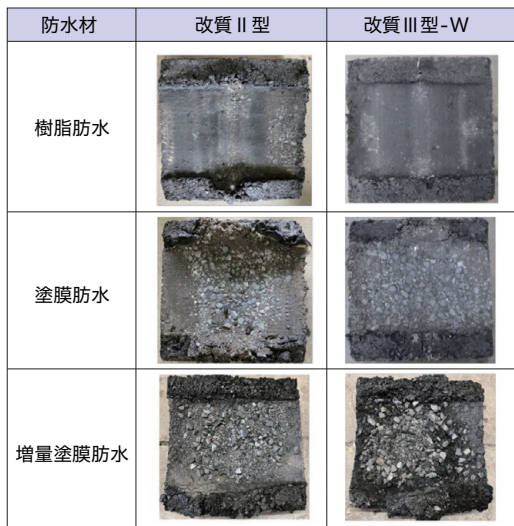
4-2 修正水浸 WT 試験の試験結果

修正水浸 WT 試験後の供試体を図-5に、変形量の推移を図-6にそれぞれ示す。

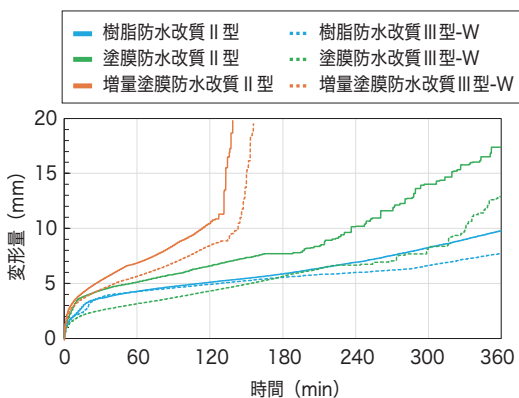
(1) 樹脂防水を用いた供試体の結果

試験後の供試体観察では、バインダの種類（改質Ⅱ型、改質Ⅲ型-W）によらず、目地部分や端部からのはく離は確認されたものの、供試体表面の骨材が露出するほどのはく離は生じなかった。

また、変形量は、両バインダともに試験開始から終了まで、時間とともにほぼ一定の速度で増加し続けた。



図－５ 修正水浸 WT 試験後の供試体表面の状態



図－６ 修正水浸 WT 試験による変形量の推移

(2) 塗膜防水を用いた供試体の結果

バインダの種類によらず、はく離による損傷が大きく、骨材表面が確認できるほどの露出が生じた。試験時の目視観察では、車輪走行による混合物の流動、走行負荷による目地部の細粒分の供試体表面への噴出が確認された。細粒分の減少により混合物の耐久性が低下し、大きなはく離が生じたと考えられる。この破壊現象は、実現場における損傷と類似^{11)、12)}している。

変形量の推移に着目すると、一定時間までは変形量がほぼ一定の速度で増加するものの、改質Ⅱ型は試験開始から約200分後、改質Ⅲ型-Wは試験開始から約300分後に変形量が急激に増加する変曲点が観測された。

この変曲点は、DWT (ダブルホイールトラッキング) 試験で観測されるはく離変曲点 (SIP : Stripping Inflection Point)¹³⁾と同様であると考えられる。

改質Ⅲ型-Wを用いた場合にSIPの発生が遅延した要因は、バインダである改質Ⅲ型-Wの優れた耐水性によるものと推測される。

(3) 増量塗膜防水を用いた供試体の結果

増量塗膜防水のSIPは、通常の塗膜防水よりも早期に発生した。このことから、塗膜防水材の増量は混合物のはく離抵抗性を低下させることが確認された。図－6より、他の工法と比較して初期の変形が大きいことから、耐流動性の低下が要因の一つであると考えられる。

(4) 試験結果のまとめ

以上の結果から、以下の知見が得られた。

- ・修正水浸 WT 試験により、防水材の種類および塗布量が混合物のはく離抵抗性に与える影響を評価できることが示された。
- ・樹脂防水は塗膜防水と比較して、混合物のはく離抵抗性に対する影響が小さいことが確認された。
- ・塗膜防水材は塗布量を増加させることで、混合物のはく離抵抗性を低下させることが明らかとなった。

4-3 防水材のはく離抵抗性に与える影響の検討

修正水浸 WT 試験の結果、防水材の種類によりはく離状況に顕著な差が見られた。試験時の供試体観察では、特に車輪走行により混合物が大きく変形した箇所で見られるはく離が観測された。このことから、混合物の流動変形と、混合物と床版界面に作用するせん断力が、混合物のはく離抵抗性に影響を及ぼしていると推測される。そこで、ホイールトラッキング試験および高温条件でのせん断試験により、防水材の種類が耐流動性およびせん断接着性に与える影響を評価した。なお、増量塗膜防水は、塗膜防水と同様の傾向になると推測されるため実施していない。

(1) 耐流動性の評価

混合物の耐流動性を評価するため、「舗装調査・試験法便覧¹⁰⁾ B003ホイールトラッキング試験方法」を実施した。試験に用いた供試体の材料構成は、修正水浸 WT 試験と同様である。また、比較として防水層を設置していない供試体の耐流動性も評価した。

WT 試験の結果を図－7に示す。結果から以下の知見が得られた。

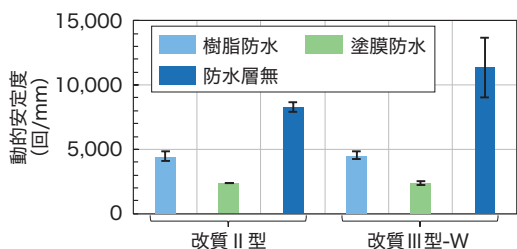


図-7 WT試験による動的安定度

- ・各防水材の比較では、バインダの種類によらず樹脂防水が高い動的安定度を示した。
- ・防水層を設けていない供試体と比較すると、防水層の存在により混合物の動的安定度は低下した。
- ・バインダ間の比較では、各防水材ともに改質Ⅱ型と改質Ⅲ型-Wで大きな差異は見られなかった。

これらの結果から、本条件下での混合物の耐流動性は、防水材による影響が大きいと考えられる。塗膜防水と比較して樹脂防水の耐流動性が大きい要因としては、表-1に示すように接着防水材は塗膜防水材と比較して軟化点が低いにもかかわらず軟化点以下での剛性が高く、この差が混合物の耐流動性に現れたためと推測される。

(2) セン断接着強度の評価

高温条件におけるセン断接着強度を評価するため、60℃の温度条件下で床版防水マニュアル⁵⁾に準拠したセン断試験(EU式)を実施した。なお、基層混合物のバインダは改質Ⅱ型とした。セン断試験の結果を図-8に示す。樹脂防水のセン断接着強度は、塗膜防水の2倍以上の値を示した。この要因としては、耐流動性と同様に、防水材自体の強度差が接着強度に表れたためと推測される。

(3) 防水材がはく離抵抗性に与える影響のまとめ

修正水浸WT試験において大きなはく離損傷を示した塗膜防水は、WT試験における流動変形も大きく、セン断試験における接着強度も小さいことが明らかになった。これらの結果から、防水層上の混合物のはく離抵抗性には、防水層上の混合物の耐流

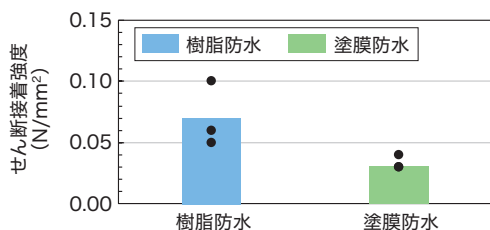


図-8 セン断試験(EU式)によるセン断接着強度

動性および高温時のセン断接着強度が影響することが示唆された。また、上記の耐流動性およびセン断接着強度は、防水材自体の高温時の強度による差と推測される。

5 樹脂防水の試験施工

5-1 試験施工の概要

室内試験により、不陸を有するRC床版上における樹脂防水の防水性能が規格を満足することが確認された。これを受けて、阪神高速道路の実橋梁において、不陸を有するRC床版における樹脂防水の試験施工を実施し、施工性の確認を行った。試験施工の概要を表-4に示す。

表-4 試験施工の概要

項 目	内 容
場 所	阪神高速 14号松原線喜連瓜破 IC 近く (松 P-474 ~ P-475 区間) 走行車線
施工日時	2024 年 4 月 9 ~ 10 日 (4月9日:既設の撤去 4月10日:防水工~表層工)
施工面積	幅 4.3 m 延長 29.15m 125.3m ²
舗装構成	- 表層: 密粒 (13) 改質Ⅲ型 t = 35mm - 基層: 密粒 (13) 改質Ⅲ型 t = 40mm - 床版防水: 浸透型プライマー 0.35 kg/m² 5号硅砂 0.3 kg/m² - 接着防水材 2.0 kg/m²

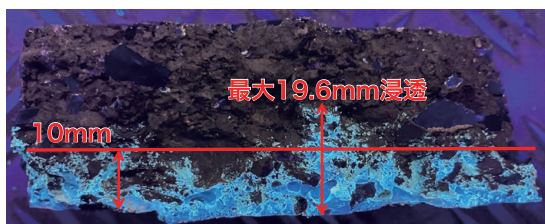
5-2 試験施工の結果

施工状況を図-9に示す。樹脂防水は、塗膜防水と同様の施工性を有するため、施工中および施工後の確認において、施工性に関する課題は見られなかった。



図-9 施工状況

施工後にコアを採取し、割裂した断面に紫外線を照射し、接着防水材の浸透状況を確認した。結果を図-10に示す。接着防水材が混合物の空隙に、下面から10~20mm程度まで浸透していることが確認され、室内評価と同様、防水材と混合物が一体化していることを確認した。このことから十分な防水性能を有していることが期待できる⁹⁾。

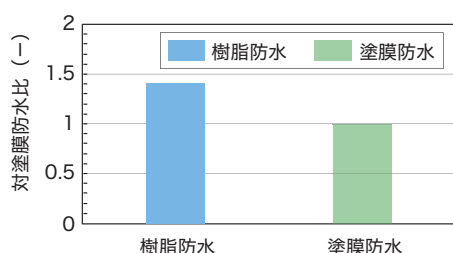


図一 10 接着防水材の浸透状況

6 樹脂防水の施工実績とコスト

樹脂防水は鋼床版およびRC床版併せて、約12,000m²の実績がある。供用期間は最長でも4年程度と短いため耐久性の検証には十分ではないが、現時点において大きな損傷は認められない¹⁴⁾。

塗膜防水の施工単価を基準とした各工法の単価比率を図一11に示す。なお、単価の算出は、プライマー工から基層工までの工程を対象とした。



図一 11 施工単価の比較

樹脂防水は、塗膜防水に比べ3割程度増加する。一方、修正水浸WT試験の結果から、樹脂防水の最終変形量は塗膜防水の半分程度となることが確認されており、樹脂防水の耐久性は塗膜防水の倍以上と考えられるため、特に重交通路線など耐久性が求められる路線では、LCC(ライフサイクルコスト)の削減が見込まれる。

7 まとめ

不陸を有するRC床版において、樹脂防水一体型アスファルト舗装の適用を検討して得られた結果を以下に示す。

- ・樹脂防水は床版防水マニュアル⁵⁾のA種防水の要求性能を満足することを確認した。
- ・修正水浸WT試験により、防水材の種類によって混合物のはく離抵抗性に差が生じることを確認した。
- ・防水材の塗布量を増やすことで、はく離抵抗性が

低下することが明らかとなった。

- ・WT試験より、防水材を用いることで混合物の耐流動性が低下するが、樹脂防水は塗膜防水に比べて低下の程度が小さかった。
- ・高温条件でのせん断試験より、樹脂防水は塗膜防水の2倍以上のせん断接着強度を有する。
- ・修正水浸WT試験とWT試験およびせん断試験には相関が認められ、防水材の高温時の強度が重要な因子であることが明らかとなった。
- ・不陸を有するRC床版上における樹脂防水の試験施工を実施し、施工性に問題がないことを確認した。
- ・施工後の抜き取りコアの観察により、接着防水材が混合物の空隙に充填され、防水材と混合物が一体化することで十分な膜厚が確保されていることを確認した。

本検討は、阪神高速道路(株)と東亜道路工業(株)による「橋面舗装に適用する樹脂防水一体型アスファルト舗装の性能評価に関する共同研究」の成果の一部である。

今後は、不陸を有するRC床版上での施工実績を蓄積し、実橋における長期的な耐久性の評価を実施するとともに、道路橋床版の耐久性向上に貢献できることを期待するものである。

【参考文献】

- 1) 宮永ほか：保全における床版防水の課題と措置、第七回道路橋床版シンポジウム論文報告集、pp.237-242, 2012。
- 2) 森ほか：コンクリート床版の表面粗さと水分量が防水性能へ与える影響検討、土木学会論文集E1(舗装工学)、Vol.78, No.2, pp.283-289, 2023。
- 3) 谷口ほか：塗膜系(アスファルト加熱型)床版防水の性能評価に関する検討、第九回道路橋床版シンポジウム論文報告集、pp.13-18, 2016。
- 4) 立花ほか：素地調整を施したコンクリート床版のきめ深さと床版防水層の膜厚に関する検討、土木学会論文集E1(舗装工学)、Vol.78, No.2, pp.290-297, 2023。
- 5) 小瀬ほか：「既設RC床版を対象とした床版防水マニュアル」改訂の概要、防水ジャーナル No.583, pp.70-76, 2020.6。
- 6) 麻上ほか：床版防水機能を有する樹脂防水一体型アスファルト舗装の空隙率と透水性状に関する検討、土木学会論文集E1(舗装工学)、Vol.78, No.2, pp.309-315, 2023。
- 7) (公社)日本道路協会：道路橋床版防水便覧、pp.122-149, 2007。
- 8) 阿部ほか：耐剥離性を向上したアスファルトの橋面舗装への適用、道路建設 Vol.511, pp.57-61, 1990.8。
- 9) 麻上ほか：床版防水機能を有する樹脂防水一体型アスファルト舗装の開発、第23回舗装技術に関する懸賞論文集、pp.81-87, 2022。
- 10) (公社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧第3分冊、2019。
- 11) 橋爪ほか：排水性舗装の基層以深の劣化を要因としたポットホール発生予測手法の一提案、土木学会論文集E1(舗装工学)、Vol.70, No.3, pp.17-24, 2014。
- 12) 岩淵ほか：東北地方のコンクリート床版の土砂化対策、土木研究所資料第4398号 道路橋コンクリート床版の土砂化対策に関する調査研究、pp.7-12, 2020。
- 13) 呉ほか：アスファルト混合物の耐水性とその評価方法の提案、改質アスファルト、Vol.58, pp.6-12, 2022。
- 14) 鈴木ほか：アスファルト舗装を用いた鋼床版補強工法の追跡調査結果、第35回日本道路会議、No.3061, 2023。