

## RC 床版の不陸調整効果を有する浸透型防水材の開発

阪神高速道路(株)技術部技術推進室	松下 麗菜
阪神高速道路(株)技術部技術推進室	青木 康素
阪神高速道路(株)大阪管理局保全部保全審査課	谷口 惺
阪神高速道路(株)技術部技術推進室	西岡 勉

### 要 旨

舗装補修に伴う防水層設置では、舗装撤去時にやむを得ず床版を切削して、床版上面に微細なひび割れや脆弱部、不陸等が生じることがある。阪神高速道路で標準的に使用している防水層の 1 つに、加熱型アスファルト塗膜系防水層があるが、そのような損傷が生じた RC 床版上では十分な防水性を担保できない可能性がある。本研究では、床版上面のひび割れや脆弱部を補修し、床版の凹凸を滑らかにする浸透型防水材を開発した。開発材料の性能を室内試験により確認した結果、切削面の凹凸が滑らかになることにより、浸透型防水材の上に塗布する塗膜系防水材の膜厚が均一になることなどが明らかになった。

**キーワード:** 浸透型防水材, 複合防水層, 不陸調整, 防水性, 接着性

### はじめに

鉄筋コンクリート床版（以下、RC 床版）の疲労損傷は、橋面からの水の供給により促進することが確認されている<sup>1)</sup>。そのような課題を受けて、平成 14 年に道路橋示方書<sup>2)</sup>が改訂され、アスファルト舗装を施工する RC 床版上には防水層を設置することが原則となった。

舗装補修時の防水層設置では、舗装の切削を伴うため、やむを得ず床版を切削して床版上面に微細なひび割れや脆弱部、不陸等が生じることがある（写真-1）。また、過積載車を含む重量車両が繰返し走行することにより、床版上面にひび割れが生じることもある。阪神高速道路で標準的に使用している防水層の 1 つに加熱型アスファルト塗膜系防水層があるが、そのような損傷が生じた RC 床版上では、十分な防水性を担保できない可能性

があることを確認している<sup>3)</sup>。

そのような課題を受けて、床版表面のひび割れや脆弱部を補修し、さらに床版の凹凸を滑らかにする浸透型防水材を開発した。開発材料の性能を室内試験により確認し、2017 年の湾岸線リニューアル工事で試験施工を行った。2018 年からは、堺・西大阪線リニューアル工事等で本施工を開始



写真-1 舗装撤去後のRC床版上面

している。本稿では、開発材料に対する性能試験の結果について報告する。

## 1. 開発材料の概要

図-1 に示すように、開発した浸透型防水材は2層構成となっている。1層目は、2液混合型の水性エポキシ樹脂系材料である。主剤と硬化剤の混合後には、ひび割れに浸透しやすい低粘度（10～15 mPa/s/5～20℃）の液体となり、床版上面の微細ひび割れや脆弱部を補修する。有機溶剤系材料を用いると、残存アスファルト成分と反応してカットバック（有機溶剤によるアスファルトの軟化）の発生要因になり得るため、開発品は水性材料とした。

2層目は、1層目と同様のエポキシ樹脂に、早強ポルトランドセメントをベースとした粉体成分を混合した材料であり、過切削により生じた床版表面の凹凸を滑らかにする機能を有している。図-1のように、開発した浸透型防水材の上従来の塗膜系防水層を施工することにより、複合防水層を構成する。

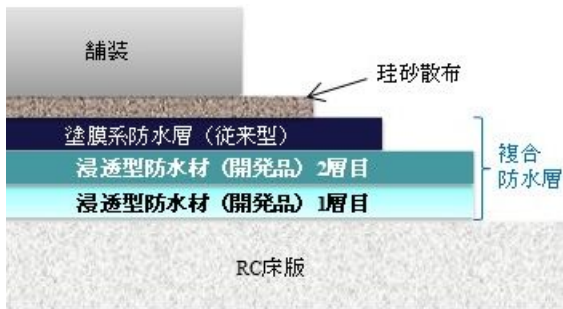


図-1 複合防水層の構成

## 2. 切削版を用いた防水層の性能試験

開発品の基本的な性能を確認するために、既設 RC 床版を対象とした床版防水マニュアル<sup>4)</sup>に規定されている A 種防水層（複合防水層）の性能照査試験を実施した。また、本材料は不陸調整機能を有することを特徴としているため、不陸調整効果を定量的に評価するための各種試験も実施した。本章ではそれらの試験結果を報告する。

### 2-1 供試体の作成方法

防水材を塗布するコンクリート板は、過切削により凹凸が生じた RC 床版を模擬するために、既設 RC 床版を対象とした床版防水マニュアル<sup>4)</sup>の規格に基づいて小型切削機により切削した。使用するコンクリート板は呼び強度が 27 N/mm<sup>2</sup> の JIS 平板とした。切削後のコンクリート板の例を写真-2 に示す。

図-2 には室内試験における防水材の塗布条件を示す。浸透型防水材を平滑板に塗布する際の標準塗布量は、1層目が 0.20 kg/m<sup>2</sup>、2層目が 0.75 kg/m<sup>2</sup> である。切削板に塗布するケースでは、



写真-2 切削後のコンクリート板

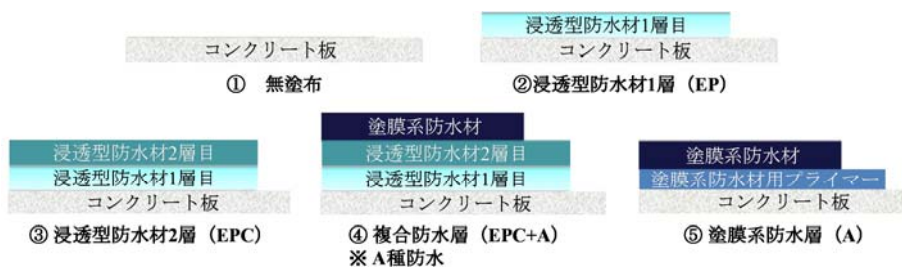


図-2 防水材の塗布条件

凹凸による見かけの表面積の増加を考慮して、1層目は 0.25 kg/m<sup>2</sup>、2層目は 1.0 kg/m<sup>2</sup> 塗布した。また、塗膜系防水材料用プライマーの塗布量は 0.40 l/m<sup>2</sup>、塗膜系防水材料の塗布量は 1.20 kg/m<sup>2</sup> とした。

## 2-2 基本性能の確認試験

開発材料の複合防水層としての基本性能を把握するために、床版防水マニュアル<sup>4)</sup>に規定されているA種防水層（複合防水層）の性能照査試験を実施した。防水マニュアル<sup>4)</sup>にしたがって、浸透性試験は浸透型防水材料2層（EPC）、その他の試験は複合防水層（EPC+A）を塗布した供試体に対して実施した。試験結果を表-1に示す。すべての試験項目において、阪神高速におけるA種防水（複合防水層）の規格を満足し、切削面上でも良好な防水性および接着性を持つことが確認された。

本検討においては、浸透型防水材料のひび割れへの浸透状況を確認するために、浸透型防水材料2層

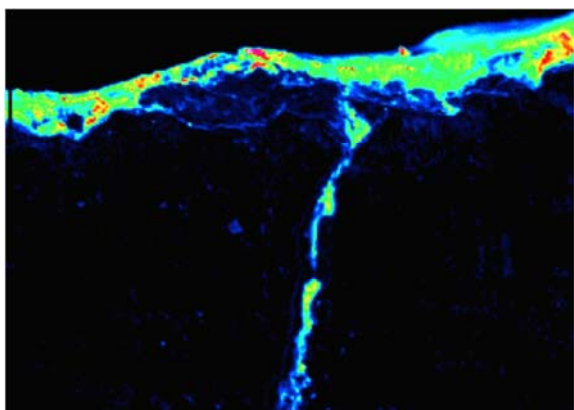


図-3 EPMA分析における炭素の分析結果  
(解析範囲 400×300 μm)

（EPC）を塗布した供試体に対して、EPMA分析<sup>7)</sup>も実施した。図-3に示すように、エポキシ樹脂に含まれる元素である炭素の分析結果から、浸透型防水材料がひび割れに浸透している様子を確認できた。

## 2-3 不陸調整効果の定量化

### (1) 防水材料塗布前後のきめ深さ測定

不陸調整効果を定量的に評価することを目的として、「回転式きめ深さ測定装置を用いた舗装路面のきめ深さ測定方法（SS022-3T）<sup>8)</sup>」に準拠し、浸透型防水材料塗布前後（無塗布およびEPC）のきめ深さ（MPD）を測定した。MPDとは、凹凸の程度を表す指標であり、MPDが小さいほど供試体表面が滑らかであることを意味する。本検討では、写真-3に示すように4枚の切削板を並べて測定した。切削板の継ぎ目の影響を除くために測定区間を8分割し、継ぎ目のない4区間の計測値で表面性状を評価した。MPDの計測は、防水材料塗布後十



写真-3 きめ深さの測定状況（CTメーター）

表-1 A種防水の性能照査試験<sup>4)</sup>の結果

試験項目	試験結果	A種防水の基準値	試験方法
防水性試験Ⅱ（凹凸面） <sup>*</sup>	漏水なし	漏水がないこと	防水便覧 <sup>5)</sup>
引張接着試験（凹凸面）	-10℃ 強度1.3 N/mm <sup>2</sup> 23℃ 強度0.7 N/mm <sup>2</sup>	強度1.2 N/mm <sup>2</sup> 以上 強度0.6 N/mm <sup>2</sup> 以上	
せん断試験（EU式） <sup>*</sup> （凹凸面）	23℃ 強度0.428 N/mm <sup>2</sup> 変位量5.50 mm	強度0.15 N/mm <sup>2</sup> 以上 変位量1.0 mm以上	阪神高速 <sup>4)</sup>
水浸引張接着試験（凹凸面）	1.0 N/mm <sup>2</sup>	水浸前の50%以上	防水便覧 <sup>5)</sup>
ひび割れ追従性試験Ⅱ	3.12 mm	追従限界ひび割れ幅0.3 mm以上	
浸透型防水材料の 浸透性試験	5℃ 30 mm 23℃ 41 mm	浸透深さ10 mm以上 浸透深さ10 mm以上	首都高 <sup>6)</sup>

※ 別途業務で実施

分に乾燥してから実施した。

表-2 に CT メーターによる MPD 計測結果の一覧を示す。浸透型防水材料を塗布した方 (EPC) が、無塗布と比べて MPD および MPD の標準偏差が小さくなり、下地表面の凹凸がなだらかになる傾向を確認できた。しかし、図-4 に示すように、MPD は計測した変位データ (CT メーター下面からコンクリート板までの距離) の回帰直線上の値と、凸部のうち最大の変位データとの差分を表しているため、下地表面の特異な一点に着目している可能性がある。そこで、本検討では変位データ (データ総数 512) の標準偏差も算出した。

図-5 に計測した変位データの分布を示す。変位データの標準偏差が小さいほど、供試体表面が滑らかであることを意味する。変位データの標準偏差は EPC が 1.06mm, 無塗布が 1.38mm であり、浸透型防水材料を塗布することによって、下地表面の凹凸が滑らかになることを確認できた。

### (2) 塗膜系防水材料の膜厚測定

浸透型防水材料で不陸調整をすることにより、塗膜系防水材料の膜厚がどのように変化するかを確認するために、デジタル式膜厚計で塗膜系防水材料の膜厚を計測した。機器の選定にあたっては、首都高速道路(株)の舗装設計施工要領<sup>6)</sup>を参考にした。測定箇所については、コンクリート平板 1 枚当たり、凹部と凸部でそれぞれ 20 点ずつを任意

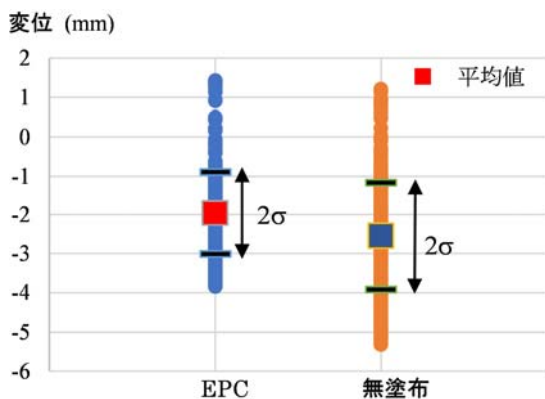


図-5 変位データの測定結果 (CTメーター)

に抽出した。

図-6 に、塗膜系防水材料の膜厚計測結果を示す。全ての供試体において、凹部よりも凸部での膜厚が小さくなった。また、複合防水層 (EPC+A) と塗膜系防水層 (A) を比較すると、塗膜系防水層の方が膜厚のばらつきが大きいことがわかる。塗膜系防水層 (A) については、凹部での膜厚が最大で 4.5 mm ある一方、凸部での膜厚が 0.2 mm しかない箇所もあった。複合防水層 (EPC+A) については、凹部の膜厚が最大で 3.2 mm, 凸部での膜厚は最小でも 0.9 mm であった。以上の結果より、浸透型防水材料を施工することで切削面の凹凸

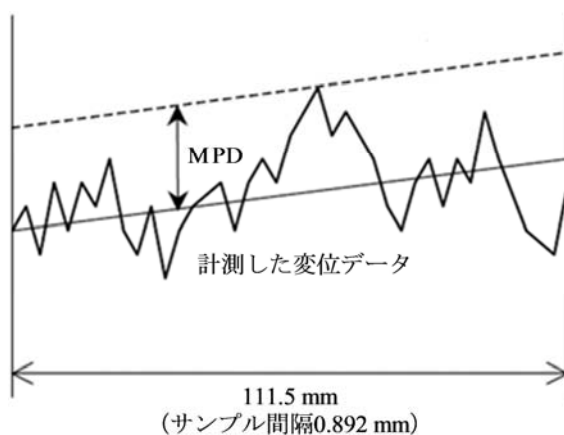


図-4 MPD の算出方法

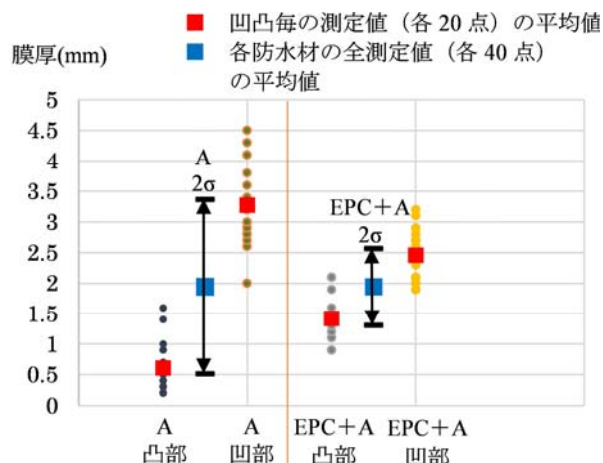


図-6 塗膜系防水材料の膜厚計測結果

表-2 きめ深さの測定結果 (CTメーター)

供試体の種類	MPDの平均	MPDの標準偏差	変位データの平均	変位データの標準偏差
EPC	1.33 mm	0.36 mm	-1.94 mm	1.06 mm
無塗布	1.99 mm	0.47 mm	-2.55 mm	1.38 mm

が滑らかになり、凸部でも塗膜系防水材の膜厚を1 mm程度確保することができたと考えられる。

防水層は車両による繰り返し荷重を受けるため、膜厚が極端に薄い部分から損傷し、漏水が発生する可能性がある。したがって、開発材料を塗布して不陸調整を行うことで、塗膜系防水材の膜厚が比較的均一になり、防水層の耐久性向上に寄与すると考えられる。

### (3) 建研式接着力試験

開発品を塗布して不陸調整を行うことにより、防水材の接着強度がどのように変化するかを確認するために、表面被覆材の付着強さ試験方法(案) (JSCE-K531-2013)<sup>7)</sup>に準拠して建研式接着力試験を実施した。アスファルト混合物は施工せずに、防水層にエポキシ系接着剤で治具を直接接着させた。また、防水材を塗布するコンクリート板については、切削後に水洗いとブラシで清掃した物(WB)と水洗いのみで清掃した物(W)の2種類を使用した。

図-7に試験結果(気温23℃環境および5℃環境)を示す。図中には、平板1枚当たり5点測定したのうち、最大値と最小値を除いた3点の平均値を示している。23℃環境の場合、塗膜系防水層(A)に比べて複合防水層(EPC+A)の方が接着強度は1.3~1.4倍大きくなった。5℃環境については、水洗い+ブラシ清掃で下地処理を行った場合(WB)に、複合防水層(EPC+A)の方が接着強度が1.6倍大きくなった。また、5℃、23℃ともに塗膜系防水材の凝集破壊(塗膜系防水材内部での破壊)が大半を占め、接着強度は23℃より5℃の方が大きくなった。これは、5℃では塗膜系防水層のアスファルトが硬質化したためと考えられる。5℃環境で、WB(水洗い+ブラシ)よりもW(水洗い)

の方が強度は高いが、破壊形態が塗膜系防水材の凝集破壊であったため、清掃方法の違いによる影響ではないと考えられる。

また、塗膜系防水層(A)と複合防水層(EPC+A)の接着強度に差が現れた理由としては、以下の2点が考えられる。1点目は、浸透型防水材により下地平坦性が改善したことである。塗膜系防水層のみでは膜厚のばらつきが大きくなり、膜厚の薄い箇所が局部的に破壊することにより、全体的な破壊に移行する可能性がある。複合防水層の場合は、塗膜系防水材の膜厚のばらつきが比較的小さくなるため、一様な引張抵抗性を確保でき、局部的な破壊が起こりにくくなると考えられる。2点目は、防水層施工後に確認された塗膜系防水層表面の気泡の数の違いである。写真-4に示すように、複合防水層(EPC+A)は気泡の発生が少なく、塗膜系防水層(A)は多くの気泡が見られた。これは、施工面に凹凸があると、凹部で気泡を巻き込みやすくなるためと考えられる。この気泡が塗膜系防水層の強度に影響を与えたと推察される。

### 3. 浸透型防水材を塗布したコンクリートの曲げ強度試験

浸透型防水材がひび割れに浸透することによって、床版の曲げ強度がどの程度回復するかを確認するために、浸透型防水材塗布前後に曲げ強度試験を実施した。

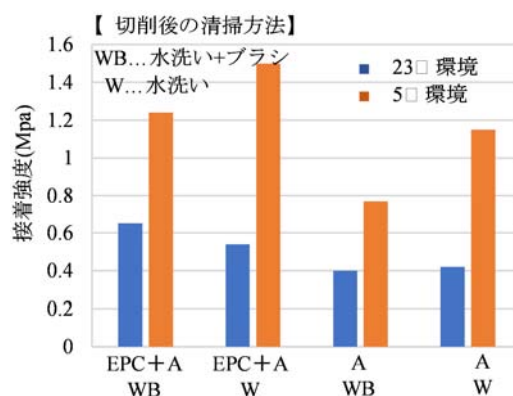


図-7 建研式接着力試験結果



(1) 複合防水層 (EPC+A), 23°C



(2) 塗膜系防水層 (A), 23°C



(3) 複合防水層 (EPC+A), 5°C



(4) 塗膜系防水層 (A), 5°C

写真-4 建研式接着力試験後の供試体 (切削後に水洗い+ブラシで清掃)

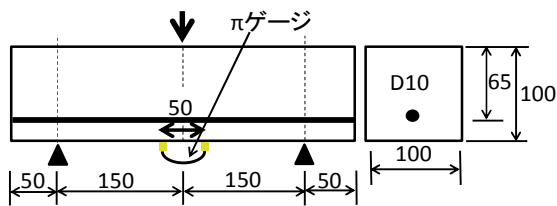


図-8 曲げ強度試験の供試体

表-3 曲げひび割れ発生荷重の回復率

塗布条件	回復率 (塗布後/塗布前)	
	ひび割れ幅 0.15 mm	ひび割れ幅 0.30 mm
EP	61.00%	86.30%
EPC <sub>A</sub>	66.50%	92.30%
EPC <sub>B</sub>	46.50%	77.40%

### 3-1 試験方法

北山らの検討<sup>8)</sup>を参考に、図-8 に示すようなD10 鉄筋 (SD295) を配置した曲げ試験用供試体を作製した。供試体に予め曲げひび割れを発生させた後に、浸透型防水材を供試体底面に塗布し、14 日後に再度曲げ試験を実施した。防水材塗布前のひび割れ幅は、約 0.15mm と約 0.30mm になるよう制御した。ひび割れ発生荷重を浸透型防水材塗布前 (ひび割れ導入時) と塗布後と比較することにより、浸透型防水材が曲げひび割れ発生強度に与える影響を確認した。

防水材の塗布条件は、浸透型防水材 1 層 (EP)、粉体に早強セメントを使用した浸透型防水材 2 層

(EPC<sub>A</sub>)、微粒子型特殊セメントを使用した浸透型防水材 2 層 (EPC<sub>B</sub>) の 3 条件とした。また、供試体数は各種類 3 体ずつとした。

### 3-2 試験結果

浸透型防水材塗布後のひび割れ発生位置は、ひび割れ導入時と同じ位置であった。表-3に曲げひび割れ発生荷重の回復率 (防水材塗布後のひび割れ発生荷重/防水材塗布前のひび割れ発生荷重) を示す。ひび割れ幅約 0.15 mm の場合、浸透型防水材を塗布することによって、曲げひび割れ発生荷重が 4~7 割程度回復した。ひび割れ幅約 0.30 mm の場合には、曲げひび割れ発生荷重が 7~9 割程

度回復した。また、ひび割れ幅によらずEPC<sub>A</sub>の回復率が高く、EPC<sub>B</sub>は他の2種類に比べ回復率が低い結果となった。使用したセメントの粒度分布や粒子の大きさおよび形状の違いが、防水材自体の引張強度に影響を与えたものと考えられる。なお、現在実施工している材料には、早強セメントを混合している (EPC<sub>A</sub>)。図-9には、0.15 mmのひび割れを導入したケースの荷重-平均ひび割れ幅関係を示す。図中には載荷初期 (荷重4 kNまで) の結果のみ示している。浸透型防水材塗布前後で曲線の傾きが大きく異なり、浸透型防水材を塗布したことで、載荷初期の剛性が向上したと考えられる。

しかし、本試験ではひび割れ幅を正確に制御することが難しいため、回復量の定量的な評価には課題が残っている。

#### 4. 実路での施工

2017年5月に「既設RC床版を対象とした床版防水マニュアル」を制定し、特に高い防水性が求められる場合はA種防水 (複合防水層) を適用することとした。本開発材料については、2017年に湾岸線リニューアル工事で試験施工を実施し、2018年からは堺・西大阪線リニューアル工事等で本施工を開始している。施工時の様子を写真-5に示す。

本開発材料を使用する場合には、浸透型防水材2層と塗膜系防水材の計3層を塗布しなければなら

ないため、施工時間が長くなることが課題である。今後は、施工時間の短縮についても検討していく必要がある。また、従来の塗膜系防水層と複合防水層の耐久性の違いについても検証していく必要がある。

#### 5. まとめ

既設 RC 床版上防水層の品質向上を目的として、不陸調整効果を有する浸透型防水材を開発し、その性能を各種室内試験により確認した。本検討で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 浸透型防水材と塗膜系防水材を組み合わせ

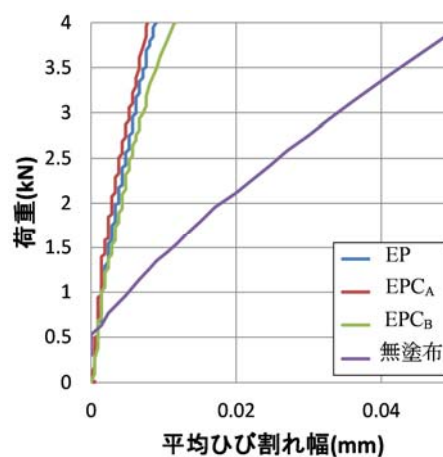


図-9 荷重-平均ひび割れ幅関係  
(載荷初期, ひび割れ幅 0.15mm)



(1) 浸透型防水材 1 層目



(2) 浸透型防水材 2 層目

写真-5 堺・西大阪線リニューアル工事での施工状況

た複合防水層とすることにより、切削板上でも高い防水性および接着性を発揮することを確認した。また、阪神高速における A 種防水の規格を満足することを確認した。

- (2) セメント系粉体を混合した浸透型防水材料を塗布することにより、切削面の凹凸が軽減され、浸透型防水材料の上に塗布する塗膜系防水材料の膜厚が均一になることを確認した。それにより、建研式接着力試験における接着強度が向上した。
- (3) ひび割れの生じた RC 梁に浸透型防水材料を塗布した結果、曲げひび割れ発生荷重が回復する結果が得られた。しかし、回復量の定量的な評価には課題が残っている。
- (4) 今後は、従来の塗膜系防水層と複合防水層の耐久性の違いについて検証していく必要がある。また、施工時間の短縮についても検討していく必要がある。

謝辞：本論文には、阪神高速道路（株）と（株）

アイゾールテクニカとの「含浸系防水材料の開発に関する共同研究」および「含浸系防水材料の開発に関する共同研究（その 2）」の成果の一部を示している。ここに記して謝意を表する。

#### 参考文献

- 1) 松井繁之：移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について，コンクリート工学年次論文報告集，1987.
- 2) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書，2002.
- 3) 谷口惺，西岡勉，小坂崇：舗装補修工事を想定した床版防水層の性能評価，阪神高速道路第 49 回技術研究発表会論文集，2017.
- 4) 阪神高速道路株式会社：既設 RC 床版を対象とした床版防水マニュアル，2017.
- 5) 公益社団法人日本道路協会：道路橋床版防水便覧，2007.
- 6) 首都高速道路株式会社：舗装設計施工要領，2015.
- 7) 土木学会：コンクリート標準示方書 規準編，2013. 公益社団法人日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，2007.
- 8) 北山良，片平博，渡辺博志：外来塩に対する鉄筋コンクリートのひび割れ補修効果の実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 27, No. 1, p. 1543-1548, 2005.

## DEVELOPMENT OF A PENETRATING-TYPE WATERPROOFING SEALER CAPABLE OF CORRECTING SURFACE UNEVENNESS

Reina MATSUSHITA, Yasumoto AOKI, Sei TANIGUCHI and Tsutomu NISHIOKA

Installing a waterproofing layer on existing bridge slabs during repair work sometimes requires cutting the slabs when removing the pavement, which may cause damage such as microcracks, vulnerable portions and uneven surfaces to them. One of the standard waterproofing sealers used on the Hanshin Expressway is of a heat-applied asphalt coating type. The sealers of this type may not have sufficient waterproofing performance on such damaged bridge slabs. As a solution to this problem, a penetrating-type waterproofing sealer has been developed that can repair microcracks, vulnerable portions and uneven surfaces of bridge slabs. Laboratory tests were conducted to verify the properties of the new sealer, and test construction was carried out in 2017. This paper summarizes the results of the laboratory tests.

松下 麗菜



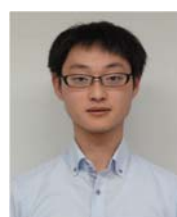
阪神高速道路株式会社  
技術部 技術推進室  
Reina Matsushita

青木 康素



阪神高速道路株式会社  
技術部 技術推進室  
Yasumoto Aoki

谷口 惺



阪神高速道路株式会社  
大阪管理局 保全部 保全審査課  
Sei Taniguchi

西岡 勉



阪神高速道路株式会社  
技術部 技術推進室  
Tsutomu Nishioka