



床版防水性能を有する樹脂防水一体型 アスファルト舗装の開発

東亜道路工業(株) 技術研究所 麻上 淳平
 // 設楽 直柔
 // 平戸 利明
 (国研)土木研究所 川上 篤史

1 はじめに

広域な道路ネットワークを形成するうえで、橋梁は要所に設置されている。これらの橋梁を延命化するための補修工事による交通規制は非常に大きな経済損失となるばかりか、通行止めなどとなった場合には地域を孤立させることにもなりえる。これらのことから、更なる長期供用を見据えた長寿命化に資する技術に注目が高まっている。

特に、橋梁の床版は交通荷重の影響を受け、そこに水が介在することで疲労耐久性が著しく低下すること¹⁾、さらに修繕を繰り返すほど機能回復が困難となり補修サイクルが短くなることが報告されており²⁾、補修サイクルをできるだけ延ばすことが求められる。そのため、床版上に設ける床版防水層とその上の舗装には、交通荷重の衝撃作用から保護する耐久性能と確実な防水性能が要求される。

近年では、道路橋床版における防水機能の確実性を高めるため、床版防水材料の複層化や瀝青材以外の反応系樹脂といった高性能な材料の使用が図られている^{3)、4)}。

さらに、防水機能を有するグースアスファルト舗装(以下、グース)の適用範囲の拡大が検討されている⁵⁾。しかしながら、複雑化された材料あるい

は特殊な機械を用いる工法では、汎用性が低いこと、規制時間が長くなること、あるいは外気温などの環境条件に大きく影響を受けやすいなどの課題がある。また、グースは混合物内部への滞水を極力少なくし、かつ混合物と床版の界面での空隙が少ないことから、優れた防水性能を期待できるが、特殊な施工機械が必要である点、さらに重交通路線となる橋面舗装に要求される耐流動性が一般的なアスファルト混合物よりも低い点が懸念される。

上述した課題を鑑みて、汎用性の高い施工機械を用いて、グースと同程度まで混合物自体の防水性能を高め、さらにポリマー改質アスファルトを用いた混合物の耐流動性や、はく離抵抗性を備える全く新しい床版防水工法として、樹脂防水一体型アスファルト舗装(以下、開発工法)を開発した。本報では、開発工法の性能と実橋における施工実績について述べる。

2 樹脂防水一体型アスファルト舗装の概要

開発工法では、接着と防水の役割を兼ねた植物系熱可塑性樹脂(以下、接着防水材)を床版に塗布

し、密粒度アスファルト混合物(13)(以下、密粒(13))を基層として舗設する。開発工法は、接着防水材を多量(設計量 2.0 kg/m^2)に塗布することを特長とする。この接着防水材の融点は 80°C 程度であり、基層舗設時に混合物と接触すると容易に熔融し、混合物下面の空隙を充填するとともに混合物へ浸透する。接着防水材が混合物自体に浸透・充填することで防水性能を付与するように材料設計したものである(図-1)。施工は一般的な施工機械で実施可能である。図-2に本工法を含む床版防水工法の防水概念図を示す。

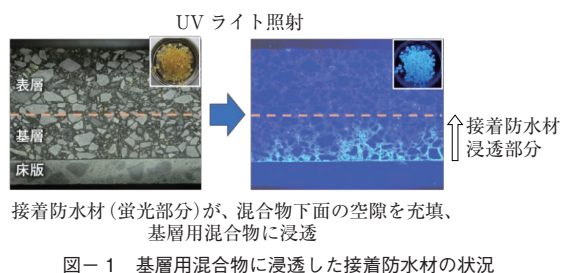


図-1 基層用混合物に浸透した接着防水材の状況

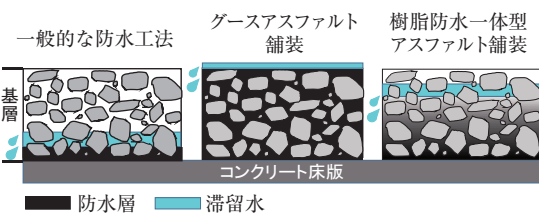


図-2 各床版防水工法の防水概念図

一般的な床版防水工法は、シートや塗膜防水材が床版と混合物の界面に存在するため、雨水は防水層の直上に滞留しやすいことになる。この場合に防水層と混合物の接着が不十分であると、アスファルトのはく離などの不具合の原因になることが報告されている⁶⁾。また、これらの防水材は厚みが $1\sim 3\text{ mm}$ 程度と薄く、防水層のみで止水することから、アスファルト混合物の舗設時における防水層の損傷や、滞水の影響による付着切れによる損傷が報告されている⁷⁾。一方、混合物中の空隙が極めて少ないグースでは、混合物中を雨水が浸透しないため、界面に滞水させにくいと考えられる。

開発工法は、床版に塗布した接着防水材が混合物に浸透し、床版との界面付近に生じやすい空隙

を充填することで床版防水機能を有する舗装となる。これによりグースと同様に混合物による防水層を形成し、弱点となりやすい界面での滞水を抑制することを期待したものである。

3 開発工法の舗装構成

表-1に材料構成を、図-3に開発工法の舗装断面を示す。開発工法は、目的に応じて使用するバインダや混合物を変更することが可能となる。また、開発工法はコンクリート床版でも鋼床版でも適用可能とするように、接着防水層はどちらの部材においても高い接着性を示す。

表-1 開発工法の材料構成

| 項目 | | 内容 |
|------|----------|--|
| ※防水層 | プライマー | エポキシ系プライマー(2液反応硬化型) $0.25\sim 0.40\text{ kg/m}^2$ |
| | 珪砂 | 5号珪砂 0.75 kg/m^2 |
| | 接着防水材 | 熱可塑性植物樹脂 $2.0\sim 3.0\text{ kg/m}^2$ |
| 基層 | コンクリート床版 | 密粒度(改質Ⅲ型-W) |
| | 鋼床版 | 密粒度(高たわみ性改質アスファルト) 目的:グース代替 高剛性SMA(特殊バインダ) 目的:鋼床版補強 |
| 表層 | | 要求性能に応じて選定 |

※床版の種類あるいは不陸に合わせて調整

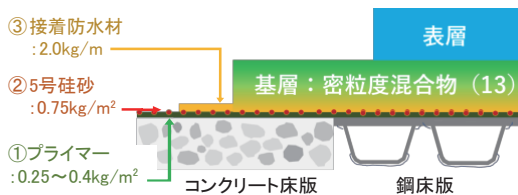


図-3 開発工法の舗装断面

4 開発工法の使用材料

4-1 接着防水層

床版と混合物の接着を確実にするため、温度により強度が低下せず、鋼材にもコンクリート床版にも接着性能が高く、さらにプリスタリングを抑制できるエポキシ系プライマーを選定した。5号珪砂はプライマーと接着防水層の間のせん断抵抗性を高めている。プライマーの上に塗布する接着

防水材は、植物由来の熱可塑性樹脂である。プライマーの塗布量は、床版の種類および不陸の状態に応じて調整する。

表-2に接着防水材と一般的な塗膜アスファルト防水材の代表的な物理性状、表-3に開発工法における防水層の道路橋床版防水便覧に準じた基本照査試験結果を示す。いずれの項目も防水層としての基本照査試験の基準値を満足する。接着防水材は60℃程度まで塗布面に粘着性を示さない。

写真-1にコンクリート版に防水層を構築し、ホイールトラッキング試験により走行させた状況を示す。一般的な塗膜アスファルト防水材では、試験温度60℃で走行を繰り返すうちに試験輪に付着するが、接着防水材では、試験輪を繰り返し走行させても変形は見られるが、試験輪に付着していないことが分かる。このことから、多量に塗布した接着防水材は施工機械の走行に対し影響を受けにくいと判断できる(写真-2)。

表-2 防水材の基本物性

| 項目 | アスファルト防水材 | 接着防水材 |
|---------|-------------------------|-------|
| 密度(15℃) | g/cm ³ 1.033 | 0.95 |
| 軟化点 | ℃ 110.0 | 80.0 |
| 180℃粘度 | mPa・s 1,500 | 600 |

表-3 基本照査試験結果

| 試験項目 | 試験温度 | 鋼床版 | コンクリート床版 | 品質規格 |
|------------|------|---------------------------|----------|-------------|
| 防水性試験 II | 23℃ | 漏水無 | | 漏水がないこと |
| ひび割れ追従性 II | -10℃ | - | 0.4 mm | 0.3 mm 以上 |
| 引張接着試験 | -10℃ | 1.6 MPa | 1.4 MPa | 1.2 MPa 以上 |
| | 23℃ | 1.0 MPa | 1.4 MPa | 0.6 MPa 以上 |
| せん断試験 | -10℃ | 1.7 MPa | 1.2 MPa | 0.8 MPa 以上 |
| | | 1.3 mm | 2.3 mm | 0.5 mm 以上 |
| | 23℃ | 1.21 MPa | 0.89 MPa | 0.15 MPa 以上 |
| | | 1.3 mm | 2.3 mm | 1.0 mm 以上 |
| 水浸引張接着試験 | 23℃ | 88.00% | 86.00% | 水浸前の50%以上 |
| 耐薬品性試験 | 23℃ | 3%NaCl水溶液 | 異常なし | 異常がないこと |
| | | 飽和Ca(OH) ₂ 水溶液 | 異常なし | |



(左から、温度測定状況、接着防水材、塗膜防水材)
写真-1 防水層上のホイールトラッキング走行試験



写真-2 接着防水材上での舗設状況

4-2 基層用アスファルト混合物

基層に用いる混合物の種類は施工性を考慮して密粒度混合物とし、床版の種類に応じてポリマー改質アスファルトも選択可能である。

コンクリート床版には、耐水性と耐流動性に優れたポリマー改質アスファルトⅢ型-W(以下、改質Ⅲ型-W)、鋼床版には、たわみ追従性に優れた特殊なポリマー改質アスファルト(以下、高たわみ性改質アスファルト)をそれぞれ標準とする。鋼床版の疲労対策を目的とした場合には、基層用混合物に剛性の高い高剛性砕石マスチックアスファルト混合物(高剛性SMA)を用いる⁸⁾。表-4に使用するバインダおよび開発工法に各々のバインダを使用した際の混合物の代表性状を示す。

表-4 バインダおよび混合物の代表性状

| 試験項目 | | 改質Ⅲ型-W | 高たわみ性改質アスファルト |
|--------|---------------|--------------------------|---------------|
| バインダ性状 | 軟化点 | ℃ 70.0 以上 | 75.0 以上 |
| | 伸度(15℃) | cm 30 以上 | 50 以上 |
| | タフネス(25℃) | N・m 16 以上 | - |
| | 粗骨材のはく離面積率 | % 5 以下 | 5 以下 |
| | フラース脆化点 | ℃ -12 以下 | -25 以下 |
| | 針入度(25℃) | 1/10mm 40 以上 | 100 以上 |
| 混合物性状 | 動的安定度(60℃) | 回/mm 3,000 回以上 | 1,500 回以上 |
| | 曲げ破断ひずみ(-10℃) | ×10 ⁻³ 6.0 以上 | 8.0 以上 |
| | はく離面積率* | % 0 | 0 |

※水浸ホイールトラッキング試験

一般に、防水層は混合物の性状である耐流動性や、たわみ追従性に影響を与えることが知られているが、開発工法では、いずれのバインダを使用した場合も、動的安定度1,500回/mm以上を有し

ている。また、基層混合物に高たわみ性アスファルトを用いた場合、曲げ破断ひずみは、グースと同程度の値を有している。さらに、はく離抵抗性を高めたポリマー改質アスファルトを用いており、耐水性にも優れている。

5 橋面舗装用基層混合物としての性能評価

上述したように開発工法は、個々に用いるバインダと混合物に浸透・充填させた接着防水材を組み合わせることにより性能を発揮する。ここでは、樹脂を浸透させた混合物の空隙率を踏まえた防水性能および耐水性に着目してそれぞれ試験を行い、塗膜アスファルト防水、グースと比較検証した結果について述べる。表-5に評価に使用した供試体の材料の構成を、表-6に基層用混合物(密粒(13)、グース)の容積特性をそれぞれ示す。混合物の舗装厚は40mmとした。

表-5 供試体構成

| 項目 | No.1 | No.2 | No.3 |
|-----------|---|---|----------------------------|
| 工 法 | 開発工法 | 塗膜 アスファルト防水 | グース |
| 混 合 物 | 密粒 (13) | | グース |
| バ イ ン ダ | 改質Ⅲ型-W 5.1% | 改質Ⅲ型-W 5.1% | 硬質アスファルト 8.3% |
| 舗 設 温 度 | 165℃ | 165℃ | 240℃ |
| 防 水 材 | 接着防水材 2.0kg/m ² | アスファルト防水材 1.2kg/m ² 4号硅砂 1.0kg/m ² | なし |
| プ ラ イ マ ー | エポキシ樹脂 0.4kg/m ² 5号硅砂 0.75kg/m ² | 溶剤系 0.4L/m ² | 溶剤系 0.4L/m ² |

表-6 混合物の容積特性

| 項目 | 密粒 (13) | グース | |
|------|-------------------|-------|-------|
| かさ密度 | g/cm ³ | 2.369 | 2.360 |
| 空隙率 | % | 4.5 | 2.0 |
| 飽和度 | % | 72.2 | 90.0 |

5-1 防水性能の評価

道路橋床版防水便覧における防水性能の評価では、防水機能を付与した混合物を適切に評価することは難しいと判断し、開発工法における接着防水材が浸透した混合物に対し、(1)空隙充填効果

(空隙率の算出)、(2)透水係数を把握することで混合物としての防水性能を評価した。供試体は、JIS A 5371に準拠したコンクリート平板を模擬床版として、防水層を設置後、20℃で養生し、その上から混合物を打設して作製した。また、接着防水材の塗布量による影響を考慮し、塗布量を1.0、2.0、3.0 kg/m²と変化させた。さらに空隙を目視観察することを目的とし、非破壊で内部を観察できる産業用CTスキャンに着目し、撮影を行った。各試験における供試体作製フローを図-4に示す。

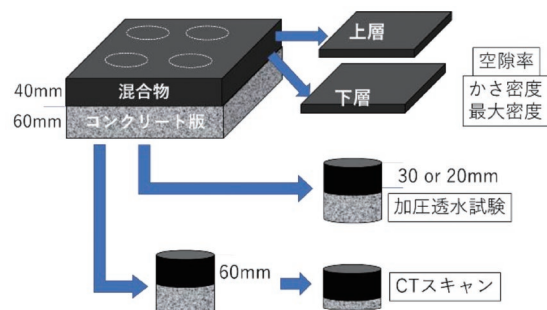


図-4 供試体作製フロー

(1) 混合物の空隙充填効果

防水材の浸透した混合物の空隙率は、混合物のかさ密度と最大密度を測定することで算出した。開発工法と塗膜アスファルト防水の供試体は、コンクリート平板と防水層の界面で切断し、切断面に残存したコンクリートを研掃により除去したのち、混合物を上層、下層に分割した。グースは、分割せずに試験に用いた。各層のかさ密度と最大密度は、舗装調査・試験法便覧に準拠して測定し、式(1)に従って空隙率を算出した。

$$\text{空隙率 (\%)} = \left(1 - \frac{\text{かさ密度}}{\text{最大密度}}\right) \times 100 \dots\dots\dots \text{式 (1)}$$

図-5に空隙率の算出結果を示す。比較対象であるグースは空隙率が全層通して2%程度であった。上層の結果に着目すると、接着防水材の塗布量が2.0 kg/m²を超えた時点で空隙率の低下が観測され、3.0 kg/m²では3.2%にまで低下した。塗膜アスファルト防水では上層が4.5%であり、防水層なしの場合と同程度であった。下層に着目す

ると、開発工法は 1.0 kg/m^2 以上でグースと同等の2%程度、 2.0 kg/m^2 以上で1%程度まで低下することを確認した。また、塗布量 2.0 kg/m^2 以上では、顕著な空隙率の低下は確認されなかった。

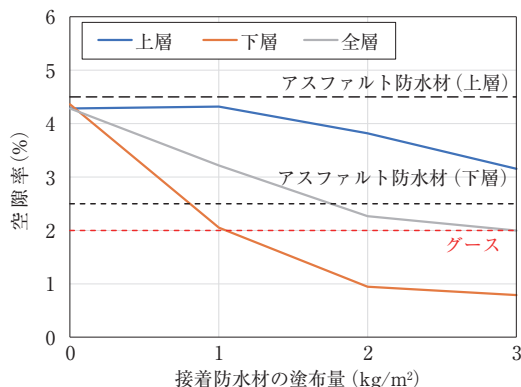


図-5 接着防水材の塗布量と空隙率の関係

(2) 透水係数の評価

供試体は、直径100 mmのコアを切り出した後、混合物表面から20 mmまたは30 mmの部分分割して上部のみを使用した。試験は舗装調査・試験法便覧に準拠して透水圧力0.5 MPaで実施し、透水係数を算出した。

図-6に透水係数の結果を示す。グースでは供試体の厚みに関わらず不透水であった。また、塗膜アスファルト防水における透水係数は、上部20 mmでは $1.9 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 、上部30 mmでは $2.2 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ であり、透水が確認された。一方、開発工法では上部20 mmの結果に着目すると、接着防水材の塗布量が 1.0 kg/m^2 のときは、防水層がない場合と同様であったが、 2.0 kg/m^2 から低下し、 3.0 kg/m^2 で不透水の見込みである $1.0 \times$

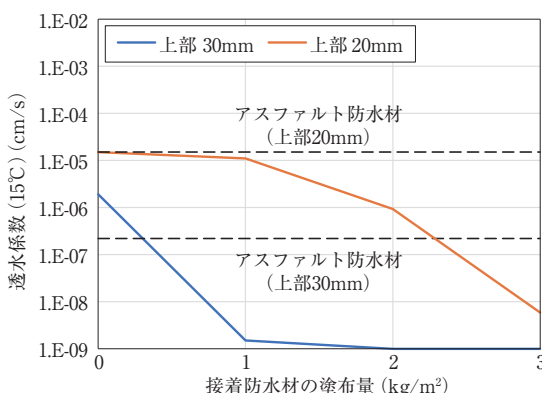


図-6 接着防水材の塗布量と透水係数の関係

10^{-7} cm/s を下回った。また、上部30 mmでは接着防水材の塗布量に関わらず不透水であった。

以上より、塗布量 1.0 kg/m^2 以上で、混合物底面から10 mm以上内部に浸透し、不透水層を形成していると考えられる。

(3) CTスキャンによる内部観察

混合物内部の空隙を可視化するために、供試体を産業用CTスキャン(撮影装置:日本ベーカーヒューズ(株)製 phoenix v|tomelx m300、ボクセルサイズ: $67.3 \mu\text{m}$ 、解析ソフト:ポリウムグラフィックス(株)VGSTUDIO MAX)を用いて撮影した。また、接着防水材は熱可塑性樹脂であるため、舗設温度によって混合物への浸透量が変わることが考えられる。このことを考慮して、開発工法と塗膜アスファルト防水の供試体は通常温度舗設条件(床版 20°C 、混合物 165°C)に加え、冬季の施工を想定した低温舗設条件(床版 5°C 、混合物 150°C)でも供試体を作製した。

各供試体のCTスキャンによる撮影結果および撮影した断面位置の模式図を図-7に示す。ここでは、コンクリート平板面から10 mmの位置を上方から撮影した断面と、中心軸を通り側方から撮影した断面を示す。なお、供試体内部に生じた空隙は、画像では黒色で表示される。

開発工法では、側方断面をみると、低温、通常温度舗設ともに、混合物表面の近傍にのみ空隙が観測され、床版上面から混合物の中心部には空隙が見られなかった。上方断面においても空隙は観測されなかった。

一方、塗膜アスファルト防水では、低温舗設条件において、いずれの断面においても混合物の中心部に連続空隙が観測された。グースの場合は、連続空隙はなく、混合物全体に気泡状の独立空隙が観測された。以上より開発工法は、締固め度が低下し、空隙率が高くなりやすい低温舗設条件であっても、接着防水材が床版から10 mm以上混合物内部に浸透し、空隙を充填していると考えられる。この結果は先述した空隙充填効果や透水係数の評価と矛盾しない。

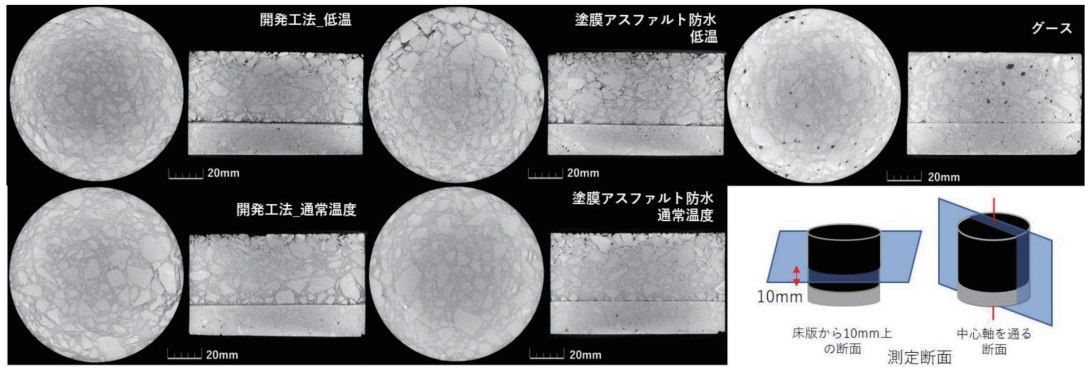


図-7 CT スキャン撮影結果

5-2 耐水性能

橋面舗装では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⁹⁾。本現象の主な要因として舗装下面に存在する空隙への浸水による影響、舗装と床版の接着性能、混合物自体の耐流動性やはく離抵抗性などが考えられるが、明確な関係は明らかとなっていない^{6), 9)}。そこで開発工法の耐水性能を評価するため、水浸ホイールトラッキング試験機を利用した耐水性試験を実施した。

表-7に試験条件を示す。供試体はコンクリート平板上に打設し、さらにひび割れを再現した目地を設置した。比較として、塗膜アスファルト防水についても同様に試験を行った。また、混合物自体の耐流動性やはく離抵抗性の影響を確認するために、バインダにポリマー改質アスファルトII型を使用した場合についても試験を実施した。

表-7 水浸ホイールトラッキング試験条件

| 項目 | 内容 |
|------|----------------|
| 試験温度 | 60℃ |
| 試験時間 | 6h |
| 水位 | 供試体上部1cmまで浸水 |
| 目地状況 | 深さ40mm (右写真参照) |

図-8に試験後の供試体表面および各混合物の動的安定度と、60℃における混合物とコンクリート面のせん断強度を示す。塗膜アスファルト防水を用いた供試体ではバインダの種類に関わらず混合物が砂利化し、コンクリート平板が露出した。開発工法の供試体では、バインダを改質II型とし

| 防水材 | 改質II型 | 改質III型-W |
|----------------|----------------------------|----------------------------|
| アスファルト防水材 | | |
| 動的安定度 せん断強度 | 1,152回/mm 0.03MPa (60℃) | 2,780回/mm 0.02MPa (60℃) |
| 接着防水材 | | |
| 動的安定度 せん断強度 | 1,181回/mm 0.09MPa (60℃) | 3,800回/mm 0.10MPa (60℃) |

図-8 試験後の供試体表面

た場合、試験後でも端部からのはく離は確認ができるものの混合物自体の破壊には至らず、砂利化は起こらなかった。また、改質III型-Wの場合は、試験後もアスコンのはく離はみられず健全な状態を維持していた。これらのことから、砂利化の進行は混合物の動的安定度よりも60℃における防水材の接着強度特性による影響が大きいと考えられる。以上より、高温時の接着強度が高い開発工法は、高温においても混合物とコンクリート床版を確実につなぎとめていると考えられる。

6 開発工法の施工実績とコスト

表-8にこれまでの施工実績を、図-9にグースの施工単価を基準とした各工法の単価比率を示す。

供用期間が最長でも2年程度と短いため耐久性の検証には十分ではないが、開発工法を適用した路線のいくつかについては追跡調査を実施しており、現時点において大きな損傷は認められない¹⁰⁾。

開発工法はグースよりもコストは高くなるが、特殊施工機械を使用しないため汎用性が高い。図-10に示すように、従来の塗膜アスファルト防水とほぼ同様の工程で施工が可能である。このことから、大規模から小規模の補修工事に柔軟に対応可能である。

表-8 施工実績

| 年月日 | 床版の種類 | 橋梁名 | 目的 | 面積 m ² |
|---------|-------|---------------|-------|-------------------|
| 2020/9 | 鋼床版 | 阿武隈大橋 | 床版補強 | 5,197 |
| 2021/7 | 鋼床版 | 福岡高速5号線 | グース代替 | 299 |
| 2021/9 | 鋼床版 | ハルニレ橋 | 鋼床版補強 | 299 |
| 2021/10 | 鋼床版 | 東京外環自動車道 幸魂大橋 | 鋼床版補強 | 120 |
| 2022/10 | 鋼床版 | 山本跨線橋 | グース代替 | 680 |

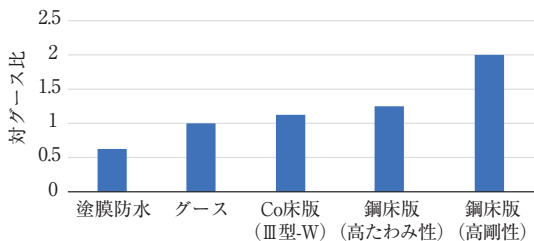


図-9 コスト比較 (対グース比)



図-10 施工工程

7 まとめ

開発工法のまとめを以下に示す。

- ・一般的な施工機械を用いてグースと同様に混合物による防水層を形成し、弱点となりやすい界面での滞水を抑制することが期待できる工法を開発した。
- ・開発工法を用いることで、基層下部20 mmの空隙率を1%程度まで低下させることが可能となる。このことから、床版と舗装界面の空隙から進行する損傷に対し有効となる工法を見出した。
- ・CTスキャンによる観察から、開発工法は舗設温度が低下した場合においても混合物に10 mm以上浸透し、空隙を充填していることを確認した。
- ・開発工法により、コンクリート版と混合物界面の接着性能が低いことで生じるはく離や砂利化に対する抵抗性を向上させることを確認した。

【参考文献】

- 1) 松井：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 Vol.9、No.2、pp.627-632、1987。
- 2) 国土交通省 HP：実効的なメンテナンスサイクルの確立に向けて <https://www.mlit.go.jp/common/001258711.pdf>
- 3) 高橋茂樹：高速道路における床版防水の取り組みと今後の方針、防水ジャーナル、No.571、pp.60-64、2019。
- 4) 蒲ほか：コンクリート床版の高浸透型防水材料の開発、舗装 Vol.50、No.8、pp.16-21、2015。
- 5) 田中ほか：床版防水性能を有する橋面舗装の開発、土木学会論文集 E1 (舗装工学)、Vol.72、No.3、pp.69-75、2016。
- 6) 加藤ほか：橋梁コンクリート床版防水工の高度化に対応したレベリング層用混合物の検討、道路建設、Vol.739、No.7、pp.64-70、2013。
- 7) 野村ほか：道路橋における鉄筋コンクリート床版の防水工に関する研究 (その2)、生産研究、Vol.53、3、pp.58-61、2001.3
- 8) 佐々木ほか：高剛性アスファルト混合物による鋼床版補強工法の開発、第21回舗装技術に関する懸賞論文集、pp.1-8、2019。
- 9) 阿部忠行、峰岸順一：耐はく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
- 10) 麻上ほか：阿武隈大橋における鋼床版補強用アスファルト混合物の施工事例、第34回日本道路会議、No. 3140、2021.11。