

施工面状態に起因する床版防水工の性能低下について

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地構造チーム ○仁平 陽一郎
角間 恒
山澤 文雄

既設の鉄筋コンクリート床版では、予防保全として防水層を設置したにもかかわらず、設置後数年で漏水が生じることがある。本研究では、既設床版に施工した防水層の早期の性能低下要因として、舗装の切削撤去時に床版に発生する切削面に着目し、切削面が防水層の接着性能の低下に及ぼす影響を調査するための室内および実規模試験を実施した。

キーワード：床版、防水層、切削面、接着性能

1. はじめに

道路橋を構成する主要部材である床版のうち、鉄筋コンクリート床版（以下、床版）では、上面から浸入した水が各種の材料劣化や疲労損傷を発生・促進させる。そのため、劣化損傷が顕在化した床版や防水層が未設置の床版では、橋梁補修工事内で劣化損傷の抑制や予防保全を目的とした防水層の設置が行われるが、設置から数年程度で漏水が生じるなど、所定の性能が発揮されないことがある。

防水層の性能低下要因は、設計・施工要因、供用環境要因に大別される（表-1）。このうち、設計・施工要因に関しては、既設床版を対象にした場合に特有の性能低下が明確になっていないことに加え、交通規制を伴うなど様々な制約条件下での施工であるが故、性能低下要因の完全な排除が困難であるといった課題もある。こうした中、高速道路会社では、舗装切削撤去に伴う切削形状が発生した床版面（以下、舗装切削面）における防水層の性能低下を明らかにし¹⁾、施工方法や施工管理基準の改善を図っている²⁾。ただし、管理者によって使用する材料や防水工にかけられる費用・時間は異なることから、管理実態に応じて対策手法を選択できるようにするのが望ましい。

寒地構造チームではこれまでに、北海道開発局での施工実績が豊富なアスファルト加熱型塗膜系防水を対象に、舗装切削面に施工した場合の性能低下やその対策手法を検討してきた³⁾。本稿では、既報³⁾に新たな試験結果を追加することで、舗装切削面に対する防水層の課題を改めて整理する。また、費用的・時間的制約下でも適用できる、防水層の性能低下の抑制手法を提案することを最終目的に、そのための基礎データの収集として、舗装切削面の形状に関する現地調査、および、実橋の切削形状を反映させた実規模施工ヤードにおける防水層の性能検証試験を実施した結果を報告する。

表-1 防水層の性能低下要因の例

要因	性能低下要因の例	
設計・施工	材料	防水層の種類、舗装の種類
	施工面状態	含水量、凹凸、レイタンス、ひび割れ、脆弱部、残留アスファルト・防水層、塵、埃
	施工	防水層の施工温度、舗装の施工温度、舗設機械の走行、施工の均一性
供用環境	構造特性	道路線形、縦横断勾配
	環境特性	交通荷重、気象、凍結防止剤散布量

2. 防水層の接着性能低下に関する室内試験

(1) 概要

舗装切削面が防水層の接着性能に与える影響を確認するための試験を実施した。舗装切削面において防水層の接着性能が低下することは既報³⁾で報告しており、本稿では、これに新たな試験結果を追加して、現場における課題を再整理した。

(2) 試験方法

a) 使用材料

一連の検討には、試験室内で製作した床版コンクリート、防水層、舗装材料からなる試験体を使用する。床版コンクリートには JIS A 5371 に準ずるコンクリート平板を、防水層には北海道開発局での施工実績が豊富なアスファルト加熱型塗膜系防水を、舗装材料には、北海道開発局の道路設計要領（令和 4 年 4 月）における標準的な基層材料である細密粒度ギャップアスファルト混合物 13F55（ポリマー改質アスファルト II 型）を使用した。

b) 試験ケース

表-2 に試験ケースの一覧を示す。本検討では、床版コンクリート表面の切削形状の有無および防水材の塗布量を試験パラメータとした。

ケース 1 は、切削形状を除去した状態への防水工を想定し、コンクリート平板表面を加工せずに直接防水層を

表-2 試験ケース一覧

ケース	床版		防水材		舗装
	表面	きめ深さ (mm)	塗布量 ^{※1}	膜厚 ^{※2} (mm)	
1	平滑	—	1.0	1.20	細密粒度 ギャップ
2	切削	2.0~2.5		0.75 (0.7~0.8)	
3			1.25 (1.2~1.3)		
4			2.25 (2.2~2.3)		

※1：使用材料のカタログ値に対する比率

※2：ケース2および4は切削溝の凸部での計測値、ケース3はケース2および4からの推定値



(a) 平滑面

(b) 切削面

写真-1 コンクリート平板の表面

施工したものである(写真-1(a))。ケース2~4は、定置式切削装置を用いてコンクリート平板表面に切削形状を設けた後、防水層を施工したものである(写真-1(b))。切削形状は、幅12mm程度、高さ4mm程度、サンドパッチング法⁹⁾により計測した表面のきめ深さは2.0~2.5mm(平均2.3mm)であり、NEXCO総研による調査事例⁹⁾から、凹凸の程度が比較的大きい状態を設定した。

防水材の塗布量は、ケース1~2では標準量として使用した材料のカタログ値を塗布し、ケース3~4ではカタログ値の1.7~3.0倍に増加させた。塗布量を増加させたケースを対象にしたのは、橋梁補修工事ではカタログ値を下回らないように工事受注者が塗布量を管理している実態があり、カタログ値に対して極端に多くの防水材が塗布される場合があることを想定してのものである。

防水層は、コンクリート表面温度23°C、含水率2%程度の条件で施工し、プライマーの塗布量および養生砂(珪砂)の散布量は、全てのケースで一定とした。

舗装の転圧はローラーコンパクタを用いてコンクリート平板の切削方向に行い、締固め度は、マーシャル安定度試験における締固め密度の100±1%とした。

c) 照査方法

道路橋床版防水便覧⁹⁾に準じて、引張接着試験およびせん断試験による接着性能の照査を行った。引張接着試験は、試験温度23±2°Cの下、各ケース3体に対して引張接着強度および破壊箇所を記録した。せん断試験は、試験温度23±2°Cの下、各ケース3体に対してせん断接着強度、最大荷重時の変位量(以下、最大変位)、破壊箇所を記録した。なお、せん断試験における载荷は、舗装の転圧方向(切削方向)に実施した。

主な破壊箇所

A: 舗装材料、B: 防水層、C: 床版コンクリート、D: 治具接着部

AB: 舗装~防水層界面、BC: 防水層~床版コンクリート界面

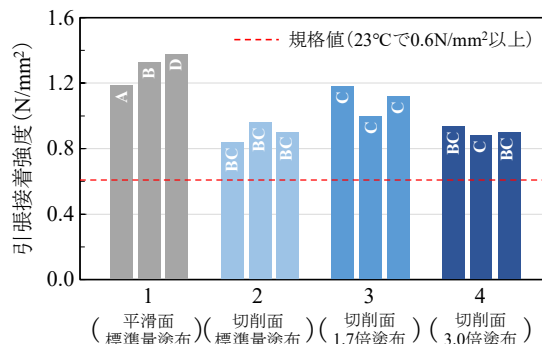


図-1 引張接着試験結果

(3) 試験結果

a) 引張接着試験

図-1に各ケースの引張接着強度を主な破壊箇所とともに示す。ケース1では、試験治具の接着部で破壊した試験体があったが、引張接着強度が規格値を満たしており、試験結果の評価対象から除外していない。

平滑面を対象としたケース1では、引張接着強度が1.19~1.38N/mm²であり、主な破壊箇所は、舗装材、防水層、治具接着部であった。切削面を対象としたケース2~4では、全ての試験体で引張接着強度が規格値0.6N/mm²を上回ったが、ケース1と比較して引張接着強度は低下し、破壊箇所がコンクリートあるいは防水材~コンクリート界面となった。舗装切削面では、切削時の衝撃によってコンクリート表面にマイクロクラックが発生することが指摘されている⁹⁾が、本試験においても、切削時にマイクロクラックが発生したことで、コンクリート表面付近での引張強度が低下した可能性が考えられる。また、コンクリート表面付近の強度が引張接着強度を支配する要因になることで、防水材塗布量と引張接着強度との間に相関関係は見られなかった。

b) せん断試験

図-2に各ケースのせん断接着強度および最大変位を主な破壊箇所とともに示す。また、図-3にせん断接着強度と最大膜厚の関係を示す。ここでいう最大膜厚は各試験体内での膜厚の最大値であり、ケース1は膜厚の平均値、ケース2~4は切削形状の凸部での膜厚の平均値に切削形状の大よその高さ4.0mmを加えた値とした。

平滑面を対象としたケース1では、せん断接着強度0.20~0.24N/mm²、最大変位2.60~2.90mmであり、いずれも規格値を満たしている。一方、切削面に対して標準量を塗布したケース2では、せん断接着強度0.14~0.16N/mm²であり、平均値0.15N/mm²こそさくろうじて規格値を満たしたが、試験体個別には規格値を下回ったものがあつた。また、防水材塗布量を増加したケース3~4では、全ての試験体でせん断接着強度が規格値を下回った。切削面でせん断接着強度が低下するのは、切削形状の凹部において防水材の膜厚が厚い箇所が形成される

ことで、塗膜のせん断流動に対する抵抗性が低下するためであり、**図-3**からは最大膜厚の増加に比例してせん断接着強度が低下することがわかる。なお、せん断試験では、主に防水層あるいは舗装～防水層界面で破壊が生じており、引張接着試験とは異なり、切削によって破壊箇所が大きく変化することはなかった。

3. 切削形状の現地調査および実規模施工ヤードにおける防水層の性能低下の検証

(1) 概要

前章より、きめ深さ 2.0～2.5mm 程度の切削面では、防水層の引張およびせん断接着性能が低下することを確認した。一方、これは切削面の凹凸が顕著な状態を想定したものであり、必ずしも一般国道における舗装切削面の実態を反映した知見ではない可能性がある。

そこで本章では、橋梁補修工事に際して舗装切削面のきめ深さを調査するとともに、実橋で計測した切削形状を反映させた実規模施工ヤードにおいて、防水層の性能低下に関する基礎的な試験を実施した。

(2) 実橋の舗装切削面におけるきめ深さの調査

a) 調査方法

北海道開発局が管理する道路橋のうち、令和 4 年度に床版防水工を施工する橋梁 2 橋 (A 橋、B 橋) を抽出し、サンドパッチング法により舗装切削面のきめ深さを調査した。1 橋当たりの調査箇所数は 6 箇所とし、いずれも大型舗装切削機により舗装を撤去した後の床版上から、目視により切削形状が確認できる箇所を選定した。

b) 調査結果

図-4 にきめ深さの調査結果を示す。A 橋では 1.36～1.67mm (平均 1.52mm)、B 橋では 1.52～1.69mm (平均 1.61mm) であり、2 橋の舗装切削面では、きめ深さが同程度となっていた。舗装切削面のきめ深さについては、これまでに道路管理者によるいくつかの調査事例があり、前述した実橋を対象とした NEXCO の調査のほか、模擬床版を対象にした調査結果として、阪神高速道路からは 1.80mm⁶⁾、東京都からは 1.42～1.50mm (平均 1.46mm)⁷⁾ という値が報告されている。これらを踏まえると、A 橋および B 橋での調査結果は、舗装切削面における平均的なきめ深さを表していると考えられる。

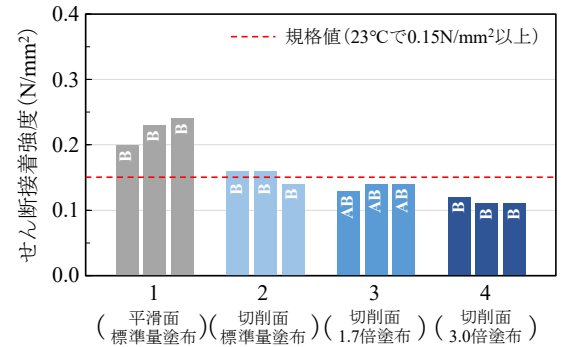
(3) 舗装切削面による接着性能低下の実規模検証

a) 実規模施工ヤード

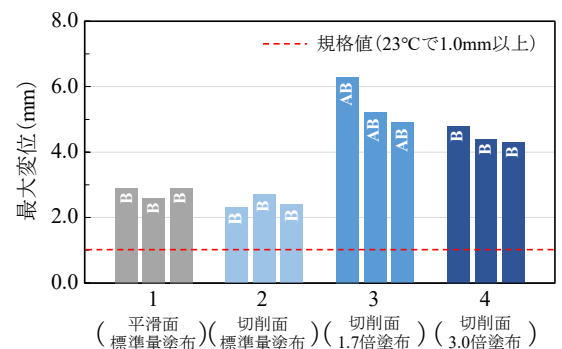
寒地土木研究所角山実験場の屋外防水工ヤード (幅 3.0m、延長 21.0m) において、切削面に起因する引張接着性能低下に関する実規模検証を行った。使用した防水層 (プライマー、防水材、養生砂) は 2 章と同様であり、使用量はカタログ値と同程度としている。

元々のヤードは平成 22 年に製作しており、床版コン

主な破壊箇所
A: 舗装材料、B: 防水層、C: 床版コンクリート、D: 治具接着部
AB: 舗装～防水層界面、BC: 防水層～床版コンクリート界面



(a) せん断接着強度



(b) 最大変位

図-2 せん断試験結果

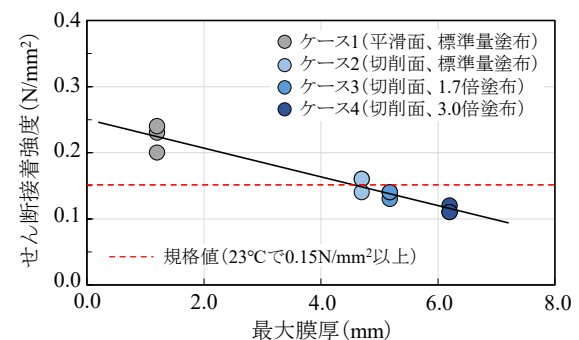


図-3 せん断接着強度と最大塗膜の関係

クリート (設計基準強度 24N/mm²、厚さ 160mm)、防水層、舗装 (粗粒度アスコン(20)、厚さ 40mm) で構成される。防水層は、ダイヤモンド研掃機を用いてコンクリート表面の不陸等を除去した後、コンクリート表面温度 6.8°C の条件で施工されている。

この既存ヤードに対し、令和 2 年に、小型切削機を用いて舗装を切削撤去し、防水層および舗装 (密粒度アスコン(13F)、厚さ 40mm) を施工した (写真-2)。舗装切削面のきめ深さは 1.36～1.59mm (平均 1.46mm) であり、実橋での計測結果 (図-4) と同程度である。また、防水層はコンクリート表面温度 33.0°C の条件で施工した。

以降では、平成 22 年に製作したヤードを平滑面ヤード、令和 2 年に改良したヤードを切削面ヤードと呼ぶ。

b) 引張接着試験

平滑面ヤードおよび切削面ヤードにおいて、建研式引張接着試験機を用いた原位置試験により、防水層の引張

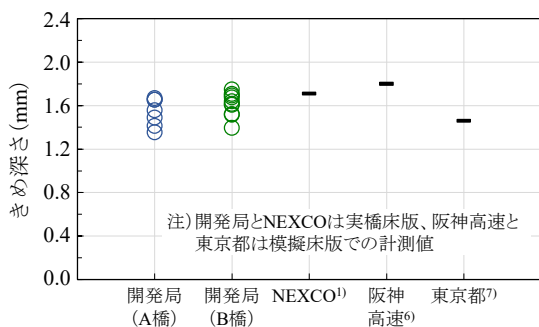


図4 きめ深さの計測結果



(a) 既存舗装の切削 (b) 防水材の塗布
写真-2 屋外防水工ヤードの製作状況

主な破壊箇所

A: 舗装材料, B: 防水層, C: 床版コンクリート, D: 治具接着部
AB: 舗装～防水層界面, BC: 防水層～床版コンクリート界面

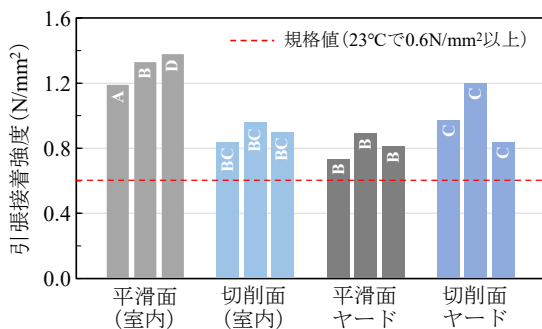


図5 引張接着試験結果(屋外防水工ヤード)

接着性能を確認した。試験数量は各ヤード3箇所である。ヤード毎に試験温度が異なっており、試験直後に計測した破壊面の温度を基に、試験結果を23°Cでの値に補正して性能を評価している。

図-5に引張接着強度を主な破壊箇所とともに示す。図中の「平滑面(室内)」および「切削面(室内)」は、標準的な量を塗布した場合の室内試験結果(図-1中のケース1および2)を再掲している。

平滑面ヤードでの引張接着強度は0.73~0.89N/mm²であり、本稿で試験を実施した中で最も接着強度が小さくなった。また、試験体の破壊は全て防水層の材料破壊によるものであった。本ヤードの防水層は使用材料の施工要領書に基づいて施工し、引張接着強度は規格値を満たしたが、施工時のコンクリート表面温度の低下により本来の性能が発揮されなかったと考えられる。

切削面ヤードでの引張接着強度は0.84~1.20N/mm²、試験体の破壊は全てコンクリートの破壊によるものであり、コンクリート表面のきめ深さによらず、引張接着性能は室内試験(2章)と同程度となった。このことから、

切削面に施工した防水層の引張接着性能の低下は、切削面の形状ではなく切削により発生するコンクリート表面の微細な損傷に起因するものと考えられる。

以上より、引張接着性能に関しては、本稿の範囲において、全ての試験体が接着強度の規格値を満足していることから、舗装切削面への施工が著しい性能低下をもたらすものではないと考えられる。ただし、床版コンクリートの状態や切削機の仕様の影響を受ける可能性があることから、今後、追加の検証をしていきたい。

4. おわりに

本稿では、既設床版における防水層の性能低下に関する検討として、舗装を切削撤去した後の床版面に施工した防水層の接着性能の低下を検証した。それにより得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 舗装切削面では防水層の引張接着性能が低下する。これは、舗装切削時にコンクリート表面に発生する微細な損傷に起因するものであり、切削面の形状には依存しないと考えられる。
- 2) 舗装切削面では、切削面の凹部での局所的な膜厚の増加によってせん断接着性能の低下が生じる。せん断接着性能の低下は膜厚の増加に比例することから、防水層施工時には、膜厚確保を目的とした過剰な防水材塗布は避ける必要がある。

今後は、実規模施工ヤードを活用して、舗装切削面における防水層のせん断接着性能の低下を明らかにするとともに、性能低下を抑制する防水層の設計・施工方法を検討していきたい。

謝辞：実橋における舗装切削面の調査では、小樽開発建設部岩内道路事務所、室蘭開発建設部浦河道路事務所にご協力いただいた。ここに付記し、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 米来ら:既設橋における床版防水工の課題と対応、第10回道路橋床版シンポジウム論文報告集、pp.281-284、2018。
- 2) 東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社:舗装施工管理要領、2020。
- 3) 山澤ら:既設床版(舗装切削面)に適用する床版防水技術に関する基礎的試験、北海道開発技術研究発表会、管-14、2019。
- 4) 日本道路協会:舗装調査・試験法便覧、2019。
- 5) 日本道路協会:道路橋床版防水便覧、2007。
- 6) 神下ら:コンクリート床版の素地調整方法が防水層の性能に与える影響に関する実験的検討、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、第21巻、pp.33-378、2021。
- 7) 前田ら:道路橋床版の薄層上面増厚工法における増厚材の材料特性に関する検討、第12回道路橋床版シンポジウム論文報告集、pp.307-312、2022。