

切削面上に施工したアスファルト加熱型塗膜防水層の 各種性能照査試験

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地構造チーム ○三浦 之裕
角間 恒
畠山 乃

橋梁補修工事で実施する床版防水工では、舗装撤去に伴う切削痕を床版上に残したまま床版防水層を設置することが多いが、必ずしも切削面上での性能が確認された工法や材料が選択されていない現状がある。本稿では、道路橋床版防水便覧に基づき、切削面上に設置したアスファルト加熱型塗膜防水層の防水性能および接着性能に関する照査試験を行い、既設床版を対象にした防水工の性能確保状況や課題を整理した結果を報告する。

キーワード：床版、防水層、切削面、基本照査試験

1. はじめに

床版防水層(写真-1、以下、防水層)は、床版の防水を目的として床版と舗装との間に設置される層であり、これが的確に役割を果たすためには、床版、防水層、舗装が一体となった構造体として、防水性能、接着性能、耐久性能等の要求性能¹⁾を満足する必要がある。

橋梁補修工事で行う床版防水工(以下、防水工)に言及すると、防水層を設置する床版面の状態(不陸や凹凸、脆弱部等)が防水層の性能に大きく影響する。一方で、時間や費用等の施工制約により性能低下要因の排除を満足に行えない場合が多く、また、性能低下要因を排除する上での管理基準が不明確という課題も存在する。

著者らは、既設床版に設置する防水層の品質向上に向けた試験研究に取り組んでいる。これまで、防水層の性能低下要因として、舗装撤去により床版面に発生する切削痕に着目して、切削痕の性状がアスファルト加熱型塗膜防水層(以下、As 防水層)のせん断接着強度に与える影響を検証してきた²⁾。本稿では、その続報として、道路橋床版防水便覧¹⁾(以下、防水便覧)に規定される基本照査試験を基に、切削面に対するAs 防水層の適用性を総合的に評価した結果を報告する。加えて、実施工で想定される防水層の不具合要因の一つとして、プライマーや防水材の塗布状況(塗布量等)に起因する接着強度低下を検証した結果も併せて報告する。

2. 試験方法

(1) 概要

実橋における切削痕性状を反映した防水層供試体を製作し、防水便覧にて基本照査試験に位置付けられている



写真-1 床版防水層の設置状況

防水性試験 II、引張接着試験、水浸引張接着試験、せん断試験を実施した。これらの試験は、現行の北海道開発局道路設計要領(令和 6 年 4 月)³⁾(以下、道路設計要領)において、防水層の品質規格を証明するための試験項目にも位置付けられているものである。

(2) 使用材料

試験には、防水便覧を参考にして製作した平板供試体を使用した。コンクリートには JIS A 5371 の I 類に規定する普通平板(略号：N、呼び 300)を、防水層には、国土交通省北海道開発局(以下、北海道開発局)での施工実績が豊富な、プライマー、As 加熱型防水材、4 号珪砂からなる As 防水層を、舗装には道路設計要領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。なお、道路設計要領では、防水層の性能照査に使用する舗装として密粒度アスファルト混合物 13 を標準にしているが、著者らは、性能照査に当たっては実際の施工条件と同一の供試体構成により試験を行うのが望ましいと考えており、上記の供試体構成とした。

表-1 供試体一覧

ケース 名	供試体名	コンクリート			防水層 ^{※1}			舗装	試験方法 (23℃) ^{※2}			
		表面 種類	きめ深さ(mm)		プライマー 塗布量	防水材 塗布量	4号珪砂 散布量		防水性 Ⅱ	引張 接着	水浸引張 接着	せん断
			目標	実測								
A1	S0.0-1.0 _F -1.0	平滑	—	—	1.0	1.0	1.0	細密粒度 ギャップ アスコン 13F55 (改質Ⅱ型)	◎	○	◎	○
A2	C1.8-1.0 _F -1.0	切削	1.8	1.76～1.86	1.0	1.0	1.0		◎	◎	◎	○
A3	C2.0-1.0 _F -1.0	切削	2.0	1.96～2.08	1.0	1.0	1.0		◎	◎	◎	◎
A4	C2.3-1.0 _F -1.0	切削	2.3	2.20～2.50	1.0	1.0	1.0		◎	◎	◎	○
B1	C1.8-1.0 _w -1.0	切削	1.8	1.76	1.0(未乾燥)	1.0	1.0		—	◎	—	◎
B2	C1.8-1.5 _F -1.0	切削	1.8	1.81～1.91	1.5	1.0	1.0		—	◎	—	◎
B3	C1.8-1.5 _w -1.0	切削	1.8	1.76	1.5(未乾燥)	1.0	1.0		—	◎	—	◎
C1	C1.8-1.0 _F -1.8	切削	1.8	1.81	1.0	1.8	1.0		—	—	—	○
C2	C1.8-1.0 _F -3.0	切削	1.8	1.76	1.0	3.0	1.0		—	—	—	○
C3	C2.3-1.0 _F -1.8	切削	2.3	2.30～2.50	1.0	1.8	1.0		—	—	—	○
C4	C2.3-1.0 _F -3.0	切削	2.3	2.30	1.0	3.0	1.0		—	—	—	○

※1 使用した防水層の施工要領書に記載された標準量に対する倍率

※2 ○：既報²⁾の結果を再掲、◎：新たに試験を実施、—：試験未実施

(2) 供試体種類

表-1 に供試体一覧を示す。供試体は大きく三つのシリーズ（以下、シリーズ A、B、C）に分けて製作しており、防水層を設置するコンクリート面の性状、防水層を構成するプライマーや防水材の塗布条件をパラメータとした。なお、シリーズ A の一部およびシリーズ C は、既報²⁾の内容を再掲するものである。

全シリーズ共通の事項として、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た。また、4 号珪砂は、使用した防水層の施工要領書に記載された標準量を散布した。舗装の転圧はローラーコンパクタを用いて行い、締固め密度はマーシャル安定度試験における基準密度の 100±1%とした。このとき、切削面を対象にする供試体では、転圧方向をコンクリート平板の切削方向に一致させた。

a) シリーズ A

シリーズ A では、コンクリート面の性状をパラメータにし、プライマーおよび防水材は施工要領書に従って塗布した。コンクリート面の性状は平滑面と切削面に大別し、平滑面の供試体では、表面を研掃したコンクリート平板上に防水層を施工した。切削面の供試体では、定置式切削装置を使用して表面に切削痕を設置したコンクリート平板上に防水層を施工しており、コンクリート平板と切削ビットの接触状況を調整することで、切削痕性状（凹凸）を 3 水準に変化させた。切削痕性状は、サンドパッチング法⁴⁾に基づく表面きめ深さ（以下、きめ深さ）により管理し、その管理値を 1.8、2.0、2.3mm に設定した。なお、図-1 は、実橋において防水層設置面のきめ深さを調査した結果であり、路面切削機による舗装全層撤去後の床版面では、きめ深さが概ね 1.3~1.8mm に分布する²⁾。このことから、きめ深さ 1.8mm は実施工における標準的範囲の上限、2.0mm および 2.3mm は実施工よりも切削痕の凹凸が顕著な状態に対応している。

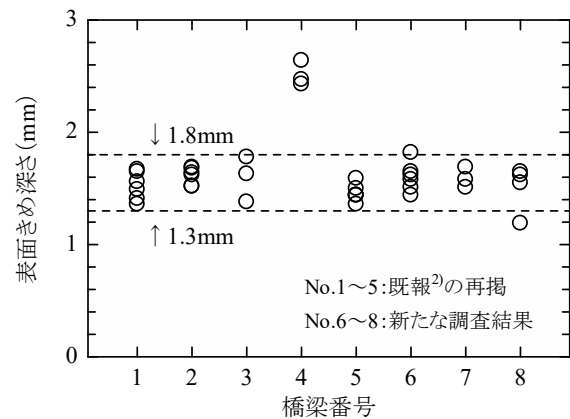


図-1 表面きめ深さの現地調査結果

b) シリーズ B

シリーズ B では、コンクリート面の性状をきめ深さ 1.8mm の切削面とし、プライマーの塗布量および乾燥状態を変化させた。これは、橋梁補修工事においては標準量を下回らないように材料使用量の管理が行われている実態があり、標準量に対して多量に塗布される場合があること、工程上の制約によりプライマーの乾燥工程を十分に確保できていない場合があること、といった施工実態を反映したものである。

プライマーの塗布量は、施工要領書に記載された標準量 (0.2kg/m²) の 1.0 倍および 1.5 倍の 2 水準とした。また、乾燥状態は、防水材塗布前に十分に乾燥させた場合とそうでない場合の 2 水準とし、後者では、プライマー厚が最も薄くなる切削痕の凸部でのみプライマーが乾燥した状態を目安にした。

c) シリーズ C

シリーズ C では、コンクリート面の性状をきめ深さ 1.8mm あるいは 2.3mm の切削面とした上で、防水材の塗布量を変化させた。防水材塗布量をパラメータにしたのは、シリーズ B と同様の理由である。

表-2 試験結果の概要（合否判定）

ケース名	供試体名	コンクリート			防水層			舗装	合否判定 (23℃) ※1, 2			
		表面種類	きめ深さ(mm)		プライマー塗布量	防水材塗布量	4号珪砂散布量		防水性Ⅱ	引張接着	水浸引張接着	せん断
			目標	実測								
A1	S0.0-1.0 _F -1.0	平滑	—	—	1.0	1.0	1.0	細密粒度ギャップアスコン13F55(改質Ⅱ型)	○(3/3)	○(3/3)	○(3/3)	○(3/3)
A2	C1.8-1.0 _F -1.0	切削	1.8	1.76～1.86	1.0	1.0	1.0		○(3/3)	○(3/3)	○(3/3)	○(3/3)
A3	C2.0-1.0 _F -1.0	切削	2.0	1.96～2.08	1.0	1.0	1.0		○(3/3)	○(3/3)	○(3/3)	○(3/3)
A4	C2.3-1.0 _F -1.0	切削	2.3	2.20～2.50	1.0	1.0	1.0		○(3/3)	○(3/3)	○(3/3)	△(5/6)
B1	C1.8-1.0 _w -1.0	切削	1.8	1.76	1.0(未乾燥)	1.0	1.0		—	○(3/3)	—	×(0/3)
B2	C1.8-1.5 _F -1.0	切削	1.8	1.81～1.91	1.5	1.0	1.0		—	○(3/3)	—	○(3/3)
B3	C1.8-1.5 _w -1.0	切削	1.8	1.76	1.5(未乾燥)	1.0	1.0		—	×(0/3)	—	×(0/3)
C1	C1.8-1.0 _F -1.8	切削	1.8	1.81	1.0	1.8	1.0		—	—	—	○(3/3)
C2	C1.8-1.0 _F -3.0	切削	1.8	1.76	1.0	3.0	1.0		—	—	—	○(3/3)
C3	C2.3-1.0 _F -1.8	切削	2.3	2.30～2.50	1.0	1.8	1.0		—	—	—	×(0/3)
C4	C2.3-1.0 _F -3.0	切削	2.3	2.30	1.0	3.0	1.0		—	—	—	×(0/3)

※1 合否判定基準（規格値）^{1), 3)}

防水性試験Ⅱ：漏水がないこと / 引張接着試験：強度 0.6N/mm²以上 / せん断試験：強度 0.15N/mm²以上かつ変位量 1.0mm 以上
 水浸引張接着試験：強度が水浸前の 50%以上（水浸前の強度として、A1 の引張接着強度平均値 1.3N/mm²を採用した）

※2 ○：全供試体が合格、△：一部供試体が合格×：全供試体が不合格（括弧内は、全供試体数に対する合格した供試体数の比を表す）

防水材の塗布量は、施工要領書に記載された標準量（1.2kg/m²）の 1.0 倍、1.8 倍、3.0 倍の 3 水準とした。

(3) 試験項目

防水便覧では、防水層の要求性能を確認するために最低限必要な試験（基本照査試験）として、防水性試験、ひび割れ追従性試験、引張接着試験、せん断試験、水浸引張接着試験、耐薬品性試験の 6 試験を定めている。このうち、ひび割れ追従性試験および耐薬品性試験は、既設床版に設置する場合に特有の性能低下が生じない試験であることから、本稿では、これらを除く 4 試験を試験温度 23±2℃の条件で実施した。

なお、防水性試験は試験法Ⅱに準じて実施した。また、せん断試験では、載荷方向を舗装転圧方向（コンクリート平板の切削方向）に一致させた。

3. 試験結果

(1) 合否判定

表-2 は試験結果の概要（合否判定）であり、以下に詳細を説明する。

a) 防水性試験Ⅱ

シリーズ A を対象にした本試験では、コンクリート面の性状によらず、全供試体が合格（漏水なし）となった。既往の試験事例⁹⁾では、As 防水層を切削面上に設置した場合に漏水が生じることが報告されているが、これとは異なる結果となった。これは、舗装を実施に即した細密粒度ギャップアスコンに変更した影響と考えられ、骨材貫入による防水層損傷のリスクが低い特徴⁹⁾により、舗装と防水層が複合して防水性能が発揮されたといえる。また、北海道開発局における現行の舗装・防水工（床版

面のきめ深さ、使用材料）を勘案したとき、本試験結果は、切削面上であっても As 防水層が所定の防水性能を発揮することを、室内試験の観点から示している。

b) 引張接着試験および水浸引張接着試験

引張接着試験では、多量のプライマーを塗布し、かつ、十分に乾燥させなかった B1（C1.8-1.5_w-1.0）を除き、接着強度の規格値を満足した。また、シリーズ A を対象にした水浸引張接着試験では、全ケースが合格となった。

図-2 に、両試験で得られた接着強度を示す。シリーズ A では、平滑面上と比較して切削面上で接着強度が小さく、きめ深さの増加とともに接着強度は低下した。写真-2 は、A1（S0.0-1.0₊-1.0）と A2（C1.8-1.0₊-1.0）とで破断面を比較した結果であり、コンクリート面を切削した場合に、主な破断箇所が防水材からコンクリートに移行したことがわかる。これは、切削時の衝撃によりコンクリートの骨材の剥離や緩み等が発生した影響であり、切削痕が深いほどコンクリート面が損傷し、接着強度の低下が大きくなったと考えられる。

水浸時の引張接着強度を見ると、水浸前と比較して切削に伴う接着強度の低下が顕著である。水浸引張接着試験は、床版内や舗装内に滞水が生じた場合にも著しく接着性能が低下しないことを照査するものであり、規格値を下回るほどではないものの、切削に伴う骨材の剥離箇所に水が浸透した場合には、接着性能が著しく低下することになる。

c) せん断試験

せん断試験では、全 13 ケースのうち、プライマーを未乾燥とした B1（C1.8-1.0_w-1.0）と B3（C1.8-1.5₊-1.0）、凹凸が著しい切削面に標準量を超える防水材を塗布した C3（C2.3-1.0₊-1.8）と C4（C2.3-1.0₊-3.0）の合計 4 ケースで全供試体が不合格、また、標準量の防水材を塗布した

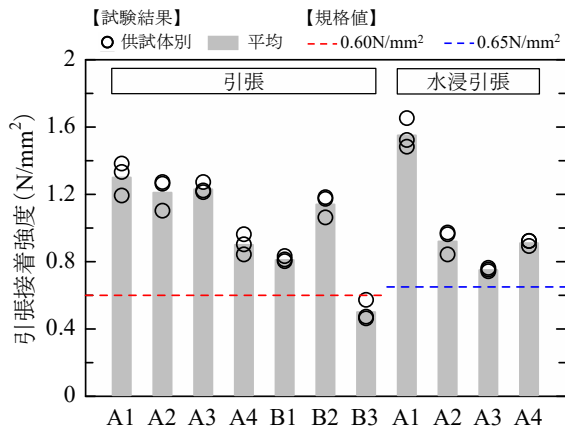


図-2 引張接着試験および水浸引張接着試験結果

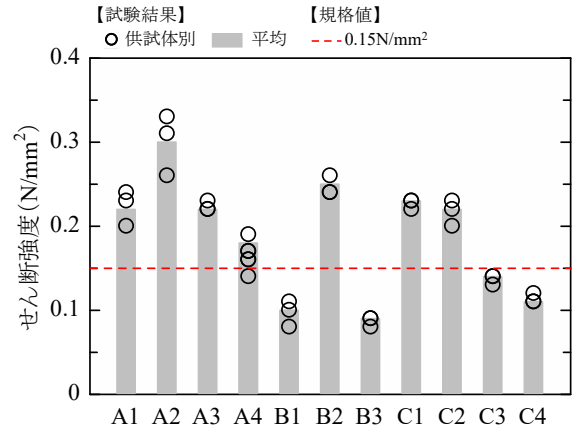
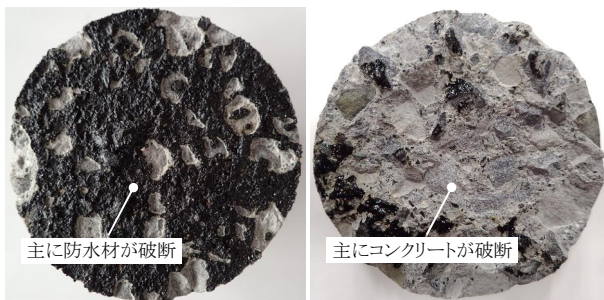


図-3 せん断試験結果



(a) S0.0-1.0±1.0

(b) C1.8-1.0±1.0

写真-2 引張接着試験後の破断面の状況

A4 (C2.3-1.0±1.0) でも一部供試体が不合格となった。

図-3 に、全ケースのせん断強度を示す。シリーズ A では、きめ深さ 1.8mm の A2 (C1.8-1.0d-1.0) をピークに、凹凸が大きくなるほどせん断強度が低下し、きめ深さ 2.3mm で一部供試体がせん断強度の規格値を下回った。また、シリーズ C では、きめ深さの増加および防水材塗布量の増加とともにせん断強度が低下した。これらは、切削痕の凹部において防水材の膜厚が大きくなったことが影響しており、既報²⁾では、接着性能を確保するための切削痕性状(きめ深さ)および防水材塗布量の上限管理の必要性を提案している。

(2) まとめ

以上を総合すると、北海道開発局における標準的な舗装・防水工(床版面のきめ深さ 1.8mm 以下、基層に細密粒度ギャップアスコンを使用)を想定した場合、防水層の施工要領書に準じた施工を行うことで、切削面上であっても As 防水層が防水便覧の基本照査試験(道路設計要領における品質規格)を満足する結果となった。

ただし、合否判定基準(規格値)は満足したものの、切削面上では、水浸時に引張接着強度の低下が顕著になること、きめ深さ 1.8mm を超えるとせん断強度が低下する等、防水層の性能低下リスクが残ることになる。そのため、防水層の品質向上に向けては、やはり切削面の下地処理の実施が望ましいは付け加えておく。

4. おわりに

本稿では、橋梁補修工事の中で実施する防水工について、道路橋床版防水便覧の基本照査試験に基づき、舗装切削痕の残る床版に対するアスファルト加熱型塗膜防水層の適用性を評価した。

その結果、北海道開発局における標準的な舗装・防水工であれば、室内試験の範囲において、既存の As 防水層が防水便覧に規定される基本的な性能を満足することを確認した。また、プライマーの乾燥不足、著しい切削痕、防水材の過剰塗布等、性能不満足に繋がるいくつかの施工条件を示した。

本稿は、多岐にわたる防水層の性能低下要因の一部を扱ったものであり、今後も引き続き、防水層の品質向上に向けた試験研究を進めていきたい。

謝辞：実橋における舗装切削痕性状の調査(令和 6 年度)に当たり、国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部 苫小牧道路事務所および網走開発建設部北見道路事務所にご協力いただきました。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) 日本道路協会：道路橋床版防水便覧、2007.
- 2) 角間恒、仁平陽一郎、畠山乃、山澤文雄：既設床版に適用する防水層の接着性能低下および防水工の施工実態の調査、寒地土木研究所月報、No.846、pp.24-30、2023.
- 3) 国土交通省北海道開発局：令和 6 年度 北海道開発局 道路設計要領、2024.
- 4) 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧、2019.
- 5) 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、土木学会第 72 回年次学術講演会、CS7-005、2017.
- 6) 星卓見、丸山記美雄、木村孝司：RC 床版上に施工する耐久性の高い基層用アスファルト混合物の検討、寒地土木研究所月報、No.763、pp.2-10、2016.