第69回（2025年度）　北海道開発技術研究発表会論文

橋面防水工の性能低下に関する実規模実験と施工時留意事項の整理

（国研）土木研究所　寒地土木研究所　寒地構造チーム　○西村　敦史
角間　恒
佐々木　優太

既設床版を対象とした橋面防水工において、施工後の比較的早期に、床版下面の漏水や舗装損傷が発生する事例が少なくない。本稿では、実規模実験を実施し、施工環境条件および床版表面状態が防水層の接着性能に及ぼす影響を評価した。併せて、実験結果および既往の検討結果を踏まえ、施工時の留意事項を整理した。

キーワード：橋面防水工、実規模実験、施工時留意事項

1. はじめに

道路橋のコンクリート床版（以下、床版）や橋面舗装の耐久性能を確保するうえで、橋面防水工は極めて重要な役割を担っている。一方で、既設床版を対象とした防水工では、施工後の比較的早期に、床版下面の漏水や舗装損傷が発生する事例も少なくない。

これまでに著者らは、既設床版への橋面防水工を対象として、不具合要因の把握および性能改善を目的とした各種試験・検討を実施してきた[1~4]。

本研究では、これらの継続的な検討の一環として、防水工ヤードを用いた実規模実験を実施し、施工環境条件および床版表面状態が防水層の接着性能に及ぼす影響を評価した。併せて、実規模実験および既往の検討結果を踏まえ、施工時の留意事項を整理した。

なお、本研究では、北海道開発局道路設計要領[5]に規定されるアスファルト加熱型塗膜防水層を対象とした。

2. 実規模実験の方法

(1) 概要

実規模実験は、寒地土木研究所角山実験場（北海道江別市）にある防水工ヤードにおいて、二つのシリーズに分けて実施した。シリーズ1は、防水層施工時の施工環境条件（床版表面温度および含水率）に着目し、接着性能の基本的な評価を目的とした。また、シリーズ2は、施工環境が概ね適正であることを前提として、既設舗装撤去後の床版表面条件（表面研掃の有無や程度、高浸透型プライマーの使用、不陸）に着目し、接着性能の詳細な評価を目的とした。

表-1 に各シリーズおよびケースの試験条件を、**写真-1** に施工状況の一例を示す。

(2) ヤード施工手順

a) シリーズ１（施工環境条件の影響）

シリーズ1には、新設したヤードを使用した。まず、床版を模したコンクリート基盤（設計基準強度 24N/mm^2）を構築し、自走式床面研磨機（重量 385kg、研磨幅 650mm、回転数 600～1200rpm）を用いて、床版表面のレイタンスを除去した（**写真-1a**）。

防水層には、アスファルト系プライマー、アスファルト加熱型防水材および4号珪砂からなる一般的なアスファルト加熱型塗膜防水層（以下、一般防水）を使用し、施工環境条件として、防水層施工時の床版の表面温度および含水率を変化させた。表面温度および含水率は、「道路橋床版防水便覧」[6]（以下、防水便覧）に示されている施工上の目安（表面温度 5℃以上、含水率 10%以下）を参考に設定し、防水層の施工時期により表面温度を、床版表面への散水（**写真-1b**）により含水率を調整した。防水層施工直前に計測した床版の表面温度および含水率は、ケース 1A～1D でそれぞれ、20.0℃/4.4%、14.8℃/10.5%、2.6℃/6.8%、2.5℃/9.8%であった。

防水層施工後には、ヤード全面に改質 II 型密粒度アスファルト混合物（13）を厚さ 40mm で施工した。

b) シリーズ２（床版表面条件の影響）

シリーズ 2 では、既設ヤード[1]を改良して使用した。既設ヤードには、路面切削機（以下、切削機）を用いて表面の切削処理を行ったコンクリート基盤（設計基準強度 24N/mm^2）上に一般防水を施工し、舗装として改質 II 型密粒度アスファルト混合物（13）を厚さ 40mm で施工している。

今回の改良では、既設ヤードを複数の区画に分割し、各区画で床版表面の処理方法や使用する防水層（プライマー）の種類を変えた。区画 2A～2C では、まず橋梁補修工事内で実施する一般的な橋面防水工と同様、切削機を用いて既設舗装とともに床版表面を切削した。その後、

表-1 各シリーズにおける試験条件および試験項目一覧

シリーズ	ケース	床版条件		施工環境		構成		試験項目※1		
		処理方法	状態	表面温度	含水状態	防水層	舗装	引張	水浸引張	せん断
1（新設）	1A	研掃	平滑	5°C以上	乾燥	一般	密粒度アスコン	○	−	−
	1B				湿潤			○	−	−
	1C			5°C未満	乾燥			○	−	−
	1D				湿潤			○	−	−
2（既設）	2A	切削	凹凸	5°C以上	乾燥	一般	細密粒度アスコン	○	○	○
	2B(1)	切削＋研掃	凹凸(軽微)					○	○	○
	2B(2)		平滑					○	○	○
	2C	切削	凹凸			複合		○	○	○
	2D	切削＋剥ぎ取り	凹み			一般		−	−	○
	2BD	処理なし	段差					−	−	○

※1：「○」は試験実施、「−」は試験未実施

区画 2B では、手押し式床面研磨機（重量 72kg、研磨幅 280mm、回転数 600～1200rpm）を用いて床版表面の研掃を実施した（**写真-2a**）。このとき、研掃深さを調整することで、軽微な凹凸が残る状態、および、指触により凹凸が確認できない状態の二つの表面状態を設定した（**表-1** 中のケース 2B(1)および 2B(2)）。

区画 2D では、既設床版を傷めないよう、切削機とバックホウを併用して舗装を撤去した。具体的には、既設舗装 40mm のうち 30mm を切削機により撤去し、残る 10mm をバックホウにより剥ぎ取った。なお、区画 2D は本報告とは別の目的で施工した区画であったが、改良に際し、**写真-3** に示すように、床版表面に部分的な凹み（直径 70mm 程度、最大深さ 15mm 程度）が発生している箇所が観察された。また、区画 2B−2D の境界には、舗装撤去方法の違いに起因する段差（3.9～9.9mm、平均 6.6mm）が確認された。これらの床版表面の異常（以下、不陸）は、実際の補修工事においても頻発するものであり、本実験では、これらの不陸が防水層の接着性能に及ぼす影響についても併せて確認することとした（**表-1** 中のケース 2D および 2BD）。

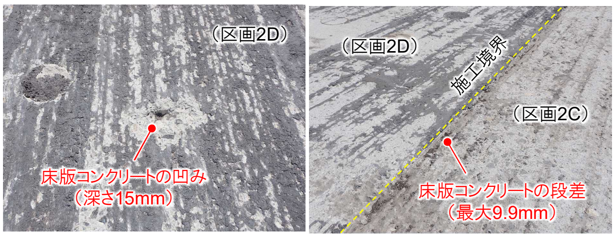
防水層には、区画 2A、2B、2D では一般防水を、区画 2C では、高浸透型のエポキシアクリレート系樹脂プライマーを併用した複合防水を施工した（**写真-2b**）。その後、ヤード全面に改質 II 型細密粒度ギャップアスファルト混合物（13F55）を厚さ 40mm で施工した。

a. レイタンス除去　　b. 散水

写真-1 施工状況の例（シリーズ 1）

a. 切削後の表面研掃（区画 2B）　　b. 高浸透型プライマーの塗布（区画 2C）

写真 2 施工状況の例（シリーズ 2）



a. 床版表面の凹み　　b. 床版表面の段差

写真-3 床版表面の異常箇所

(3) 性能照査方法

防水層の接着性能は、引張接着試験、水浸引張接着試験、せん断試験により評価した。シリーズ 1 では、現地ヤード上において引張接着試験を実施した。シリーズ 2 では、ヤードから採取した供試体を用いて、23°Cの実験室内で各試験を実施した。載荷速度は、いずれも防水便覧と同様とした。なお、試験項目はケースごとに異なり、その詳細は**表-1** に示す。

接着強度の判定は、防水便覧に示される合否判定基準（以下、判定基準）に基づきいたが、現地ヤード上で試験を実施したシリーズ 1 では試験温度が防水便覧と異なるため、試験直後の破断面で計測した温度により判定基準を補正した。

$$\sigma^* = \frac{\sigma_{23} - \sigma_{-10}}{23-(-10)} * \{t-(-10)\} \qquad 式(1)$$

ここで、σ^*：補正後の判定基準、σ_{23}：試験温度 23°Cでの判定基準、σ_{-10}：試験温度−10°Cでの判定基準、t：破断面の温度（°C）である。

また、試験後には破断面を観察し、破断箇所を区分した上で、各破断箇所の面積率を算出した。

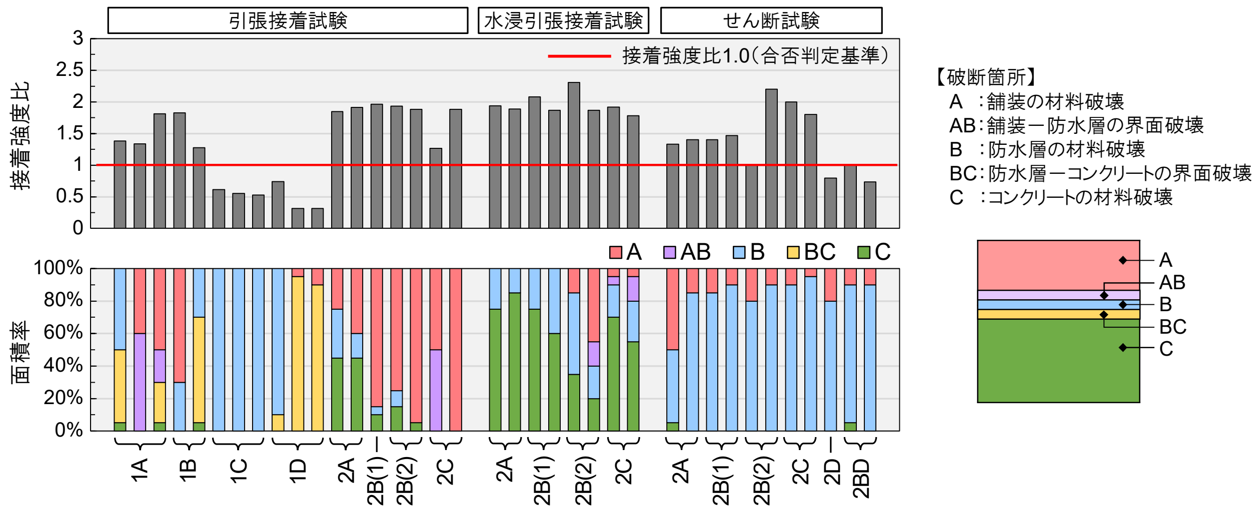


図-1 試験結果（上：接着強度比、下：破断箇所の面積率）

3. 実規模実験の結果

図-1 に、各ケースにおける接着強度比（接着強度/判定基準）および破断箇所の面積率を示す。なお、接着強度が判定基準未満、かつ、舗装材料破壊の面積率が100%となった供試体については、防水層の接着性能を正当に評価できないものとして整理から除外した。

(1) シリーズ 1（施工環境条件の影響）

5℃以上の条件（ケース 1A、1B）において含水率の影響を比較すると、含水条件の違いによる接着強度の低下は認められず、全ての供試体が合格となった。また、破断箇所の面積率は分散しており、破断モードの明確な差も確認されなかった。

5℃未満の条件（ケース 1C、1D）では、含水条件の違いによらず接着強度は判定基準を下回り、特に、高含水時に接着強度の低下が顕著になった。破断面の観察からは、5℃以上の条件では明確な破断モードが認められなかったのに対し、5℃未満の条件では、低含水時に防水層の材料破壊が、高含水時に防水層とコンクリートの界面破壊がそれぞれ支配的となった。これは、低温下では防水材の強度発現が十分でないこと、また高含水条件で界面の接着形成が阻害された可能性を示している。

(2) シリーズ 2（床版表面条件の影響）

a) 表面処理方法の影響

表面処理方法の違いに着目したケース 2A、2B(1)、2B(2)、2C では、全ての供試体が接着強度の判定基準を満足した。以下では、破断モードに着目して、接着性能に及ぼす表面処理方法の影響を整理する。

引張接着試験では、切削後の表面を未処理としたケース 2A において、コンクリートの材料破壊が 40%を占めたのに対し、研掃を行ったケース 2B(1)および 2B(2)では、コンクリートの材料破壊の割合は減少して舗装材破壊が支配的となった。複合防水を施工したケース 2C では、コンクリートの材料破壊は認められず、舗装材破壊または舗装－防水層の界面破壊が支配的であった。これより、切削により床版表面に損傷が発生するものの、研掃を行うことで表面状態が改善され、破断が舗装側へ移行することが示された。また、浸透系プライマーを併用した複合防水では、床版表面の補修効果がより高く、コンクリート材料破壊を抑制できることが確認された。

水浸引張接着試験では、全体としてコンクリートの材料破壊が支配的であり、切削のみのケース 2A、軽微な研掃を行ったケース 2B(1)、複合防水のケース 2C では、その面積率が 50～80%と高くなった。これは、切削により発生した表面の損傷に水が浸入したことによる影響と推察される。なお、本試験ではコア周面からの水の浸入を遮断しておらず、実際の現場条件とは水の浸入経路が異なる。このため、軽微な研掃を行ったケースや複合防水のケースでは、本試験結果のみから耐水接着性能を評価することには留意が必要である。一方、研掃により床版表面を平滑としたケース 2B(2)では、コンクリート材料破壊の面積率が 20～30%に留まっており、その要因として、研掃深さを増すことで表面損傷の除去範囲が広がったことが考えられる。これより、十分な研掃による床版補修は防水層の耐水接着性能の確保に有効であることが示唆される。

せん断試験では、全てのケースで防水材の材料破壊が支配的であり、表面処理方法の違いによる破断モードの顕著な差は認められなかった。

b) 不陸の影響

凹み箇所および段差箇所に着目したケース 2D および 2BD では、せん断接着強度が判定基準を下回った。破断モードは防水材の材料破壊が支配的であり、表面処理方法の影響に着目したケースと比較しても、不陸の有無による顕著な変化は認められなかった。これらの結果は、不陸箇所で防水材の膜厚が局所的に増加し、せん断載荷時の変形が大きくなったことで、防水材の材料破壊が生じやすくなったことが一因と考えられる。

NISHIMURA Atsushi, KAKUMA Ko, SASAKI Yuta

表-2 防水層の接着性能確保に関する施工時の留意事項

項目	留意事項
床版温度（低温期施工）	・ 外気温でなく床版表面温度で施工可否を判断する。また、床版表面を加温した後にも、施工中に再び温度が低下する場合があることに留意する。 ・ 材料特性の温度依存に応じた工程管理を行う（例：低温下ではプライマーの乾燥時間が長くなる）。 ・ 低温期施工における防寒囲いの設置、低温期施工を避ける工程設定を検討することが望ましい。
床版の含水状態	・ 床版表面に水膜がない状態で施工する。 ・ 床版表面を乾燥させた後も、歩道部や供用中車線等からの漏水で再び湿潤状態になる場合があるため、隣接部からの漏水防止処理を含めた管理を行う。
表面研掃・処理	・ 既設舗装の切削により床版表面に微細損傷が生じる場合があるため、研掃や複合防水等により、表面状態を改善することが望ましい。 ・ 耐久性確保の観点から、舗装撤去時に床版表面を切削しない、または切削深さを抑え、床版の損傷・かぶり低下を防ぐ施工とすることがより望ましい。
床版の不陸	・ 断面修復工や分割施工時の施工境界では、表面仕上げや切削深さのばらつきにより段差が生じやすく、防水層施工前に確認・解消しておく必要がある。また、既設舗装の除去不足も不陸の原因となるため、確実に除去する。 ・ 舗装撤去（伸縮装置・縁石周辺など）や床版表面の損傷除去に打撃工法を用いる場合、床版表面に局所的な凹みが生じないよう留意して施工する。

4. 施工時の留意事項

実規模実験の結果に加え、既往の検討結果[1~4]、橋面防水工の施工状況に関する現地調査・資料調査を踏まえ、防水層の接着性能を確保するために留意すべき事項を整理する（**表-2**）。

なお、ここで示す留意事項は、本研究で検討対象とした事項を中心に整理したものであり、施工時に留意すべき事項のすべてを網羅するものではない。

a) 床版温度（低温期施工）

床版表面温度 5°C未満で施工した場合に、防水層の接着性能が規格を満たさなかった。補修工事において、外気温で施工可否を判断する例もあるが、床版表面温度に基づく判断が必要がある。

b) 床版の含水状態

防水便覧で目安とされている床版コンクリートの含水率 10%未満の条件において、防水層の接着性能は規格を満足した。ただし、施工時に床版表面に水膜がある場合や、隣接部からの漏水で局所的に湿潤となる場合には、施工を避ける、隣接部からの漏水防止処理などの対応が必要である。

c) 表面研掃・処理

床版表面を切削した場合でも接着性能は規格を満足したが、破断面観察からは長期耐久性への悪影響が懸念される。防水層の信頼性を高めるためには、舗装撤去後の研掃の実施や複合防水の採用を検討することが望ましい。加えて、できる限り既設床版の切削を避ける施工方法を採用することが推奨される。

d) 床版の不陸

床版表面に凹みや段差等の不陸がある場合、防水層の接着性能は規格を満足しなかった。補修工事では、断面修復工や分割施工時の施工境界、打撃工法による舗装撤去・床版損傷除去を行った箇所に不陸が生じやすいため、防水層施工前に不陸を確認し、解消しておくことが重要である。

5. おわりに

本研究では、防水工ヤードを用いた実規模実験を実施し、施工環境条件および床版表面状態が防水層の接着性能に及ぼす影響を評価した。また、実規模実験および既往の検討結果を踏まえ、防水層の接着性能を確保するための施工時の留意事項を整理した。

今後は、本研究で整理した内容を踏まえ、橋面防水工の品質確保に資する施工時の留意事項を、技術資料として取りまとめる予定である。

参考文献

1) 仁平陽一郎、角間恒、山澤文雄：施工面状態に起因する床版防水工の性能低下について、第 66 回（2022 年度）北海道開発技術研究発表会発表論文集、pp.710-713、2023.
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) 角間恒、仁平陽一郎、山澤文雄、畠山乃：既設床版（切削面）に施工する防水層の品質管理方法に関する一検討、寒地土木研究所月報、No.859、pp.26-32、2024.
4) 三浦之裕、角間恒、畠山乃：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、第 68 回（2024 年度）北海道開発技術研究発表会発表論文集、pp.534-537、2025.
5) 国土交通省北海道開発局：令和 7 年度 北海道開発局 道路設計要領、2025.
6) 日本道路協会：道路橋床版防水便覧、2007.