

14.1 高機能防水システムによる床版劣化防止に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：寒地基礎技術研究グループ（寒地構造）

研究担当者：西 弘明、今野久志、佐藤孝司、佐藤 京、西城能利雄、角間 恒

【要旨】

RC 床版の劣化損傷を防ぎ円滑な交通を確保するためには、凍結融解や輪荷重の繰返し作用に対して、舗装、防水層および床版の三位一体の構造をもって劣化損傷を抑止し、さらに橋面に流入した水を速やかに排水するための排水設備までを含めた耐久性の高い床版防水システムの構築が重要である。

本研究では、積雪寒冷環境や重交通路線に適用可能な耐久性に優れる床版防水システムの開発を行う。まず、現地調査や施工試験等により防水層の性能低下要因およびそれらの影響度を整理・分析し、防水層を設計・施工する際の留意事項を取りまとめた。また、床版防水システムに関する新しい性能評価手法として、ランダムホイールトラッキング負荷試験に基づき、舗装の変形速度の観点から防水層の性能を評価する方法を提案した。さらに、橋面上に設置される排水ますについて、従来構造の有する問題点を整理し、細部構造を改善した排水ますを提案した。最後に、積雪寒冷地に適用できる床版防水システムの設計・施工マニュアル（案）を取りまとめた。

キーワード：床版防水システム、RC 床版、性能評価手法、高耐久排水ます

1. はじめに

道路橋における鉄筋コンクリート床版（以下、RC 床版）の劣化要因は、主に大型車輪荷重の繰返し走行による疲労であり、ひび割れを介した床版内部への水の浸入が床版の劣化を 50～300 倍にまで加速する可能性があることが報告されている¹⁾。また、積雪寒冷地において冬期に散布する凍結防止剤や海岸から近い橋梁にもたらされる飛来塩分は、床版内部へ塩化物イオンを供給し、塩害による鉄筋の腐食を通して床版上面側コンクリートの剥離に起因する舗装路面のポットホールを引き起こす場合がある。さらに、冬期に気温が氷点下となる地域では、床版コンクリートに浸入した水の凍結融解によって床版上面側のコンクリートの損傷を発生させ、砂利化や床版の抜け落ちに至った例も報告されている²⁾。その他、近年では、反応性骨材を含んだ RC 床版において、水の供給によりアルカリシリカ反応が生じて床版の劣化損傷が顕在化した事例もある³⁾。

このように、RC 床版の様々な劣化損傷に床版内部への水の浸入が大きく関わっており、床版の長寿命化を図る上で床版内部へ水を浸入させないことが重要になる。しかしながら、橋面全面への床版防水層（以下、防水層）の設置が基準化されたのは平成 14 年改訂の道路橋示方

書⁴⁾からであり、多くの既設橋梁で防水層が未設置か部分的な設置にとどまっている。また、建設年次が比較的新しい防水層が設置されている橋梁においても床版下面に漏水や白色析出物が確認されており、防水層の低機能が懸念されている。このため、道路橋床版の劣化損傷を防ぎ、安全で円滑かつ快適な交通を確保するためには、供用中の作用に対してアスファルト舗装（以下、舗装）、防水層および床版の三位一体の構造をもって床版の劣化損傷を抑止し、さらに橋面に流入した水を速やかに排水するための排水設備までを含めた耐久性の高い床版防水システムの構築が重要になる。

本研究は、橋梁の予防保全的な維持管理を行う上で不可欠になる、積雪寒冷環境や重交通路線に適用可能な耐久性に優れる床版防水システムの開発を行う。まず、現地調査による防水層の劣化損傷状況の分析を基に、積雪寒冷環境や重交通路線における防水層の性能低下要因やそれらの影響度を整理・分析し、防水層を設計・施工する際の留意事項を取りまとめる。次に、主に重交通路線を対象とした防水層の耐久性評価手法を検討するため、各種防水層についてランダムホイールトラッキング負荷試験を実施し、舗装の変形速度の観点から防水層の性能を評価する方法を提案した。また、橋面排水機能にも着

目し、橋面上に設置される排水ますについて、従来構造の有する問題点を分析した結果を基に、細部構造を改善した排水ますを提案した。最後に、本研究に関する一連の成果を基に、床版防水システムを設計・施工する際の照査方法や留意事項を解説する技術資料として「積雪寒冷地用床版防水工設計・施工マニュアル(案)」を取りまとめた。

2. 防水層の現地調査と性能低下要因の整理

2.1 概要

本章では、防水層の現状把握を目的として北海道内の橋梁における現地調査を実施し、その結果を基に積雪寒冷地における防水層の性能低下要因を整理した。

2.2 防水層の現地調査 1

2.2.1 調査橋梁

本調査では、北海道を道東、道南、道央、道北の4つの地域に区分し、各地域4橋ずつの計16橋を対象とした。調査橋梁は、道路橋設計施工要領の変遷や橋梁架設年あるいは床版防水工補修施工年を考慮した以下の条件の下でランダムに選定した。

- 1) 防水層の主要変遷毎にグループ分けを行う。
- 2) 橋梁架設年あるいは防水工補修年について約5年毎のグループに分ける。
- 3) 昭和61年以前の橋梁は、道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計施工資料⁹⁾の発行前であり、防水層が設置されていない可能性が高いことから対象から除外する。
- 4) 交通量(路線)、自然環境にはよらない。

なお、防水層の種類としては、道東C橋ではゴム溶剤型塗膜防水層が、その他ではアスファルト加熱型塗膜防水層が使用されていた。その他特筆すべき事項として、道南D橋は供用開始前に調査を実施したこと、道央A橋およびB橋には排水性舗装が使用されていたことを挙げる。

2.2.2 調査方法

(1) 目視調査

調査対象橋梁のうち、舗装の補修跡・ひび割れ・ポットホール、床版下面のひび割れ・白色析出物・漏水、床版コンクリートのはく離・はく落、排水設備の排水不良等が認められ、かつ、その程度が大きい橋梁について、舗装を撤去した後に床版コンクリートおよび防水層の状況を目視調査した。

(2) 引張接着試験

防水層の接着状態を確認するため、原位置における引

張接着試験を実施した。試験は1橋あたり3箇所で行い、それぞれ橋梁端部付近(縦断勾配が低い箇所)、中間支点上付近、支間中央付近の輪荷重走行帯とした。1箇所当たりの試験体数は3体とした。

試験方法は道路橋床版防水便覧⁹⁾に準拠した。ただし、試験は原位置において実施し、試験温度が道路橋床版防水便覧に示されている試験温度23°Cおよび-10°Cと異なるため、次式により23°Cおよび-10°Cの規格値を線形補間した σ_{at} を用いて接着状態を評価した。

$$\sigma_{at} = \frac{\sigma_{a(23)} - \sigma_{a(-10)}}{23 - (-10)} (t - (-10)) + \sigma_{a(-10)} \quad (1)$$

ここに、 σ_{at} ：試験直後の供試体破断面の温度で補正した引張接着強度の規格値、 $\sigma_{a(23)}$ ：23°Cにおける規格値

(=0.6N/mm²)、 $\sigma_{a(-10)}$ ：-10°Cにおける規格値 (=1.2

N/mm²)、 t ：試験直後の供試体破断面の温度である。以後、単に「規格値」という場合には、 σ_{at} のことを指す。

また、破断位置に応じて破壊モードを舗装の材料破壊

(A)、舗装と防水層の界面破壊(AB)、防水層の凝集破壊、防水層と床版の界面破壊(BC)、コンクリートの材料破壊(C)の5つに分類した。

2.2.3 調査結果

(1) 目視調査の結果

図-1～図-3に防水層の目視調査結果の一例を示す。

図-1に示す橋梁においては、伸縮装置の近傍で舗装が100mm×200mm程度の範囲で欠損し、防水層が露出した状況であった。当該箇所の防水層は図-1(b)のように容易にめくることができ、防水層と床版との接着が全く確保されておらず、このような箇所から水が浸入するものと考えられる。

図-2は、伸縮装置近傍において舗装を撤去した状態であり、防水層はカッターで切断すると、容易に床版から取り除くことができ、防水層と床版の接着が全く確保されていない。防水層の下には、伸縮装置での防水層の立ち上がり部から浸入したと考えられる滞水が見られ、床版上面には凍害によるコンクリートの脆弱化が確認された。

図-3の橋梁においても図-2とほぼ同様に、伸縮装置部において防水層がはく離し、直下の間詰めコンクリートが脆弱化した状態であった。本橋梁では補修工事で防水層が設置されたが、防水層と床版コンクリートがはく離した箇所の一部において、床版コンクリートの上面にアスファルトの残留が見られており、これも防水層と床版コンクリートの接着を阻害した要因の一つとして考えら



(a) 伸縮装置近傍の防水層のまくれ (b) (a) の矢印の方向からの状況

図-1 防水層の損傷状況①



(a) 防水層の接着性の低下

(b) 床版コンクリートの脆弱化

図-3 防水層の損傷状況③

図-2 防水層の損傷状況②

れる。

(2) 引張接着試験の結果

図-4 および表-1 に、調査橋梁 16 橋における引張接着試験結果を示す。なお、道東 B 橋の No.1 および No.2 については、コア採取時の不良が見られたことから参考値として図示し、防水層の接着性の評価からは除外する。

a) 試験結果の概要

図-4 に示す試験結果のうち 30 箇所（全体の約 65%）が規格値を満たしておらず、また、未供用の道南 D 橋を除くと 43 箇所のうち 30 箇所（全体の 70%）が規格値未満の値を示していた。調査橋梁をランダムに抽出したことを踏まえると、既設橋梁の防水層の多くで接着性能が低下していることが予想される。

b) 調査位置に着目した整理

橋梁端部 (No.1) では、15 箇所中 11 箇所 (全体の 73%) が規格値未満であり、また、未供用の道南 D 橋 No.1 を除くと約 79% の箇所で規格値を満たしていない。橋梁一般部 (No.2 および No.3) では、30 箇所中 19 箇所 (全体の 61%) が規格値未満であり、未供用の道南 D 橋 No.2 および No.3 を除くと約 67% の箇所で規格値を満たしていない。

以上より、橋梁端部 (No.1) で特に引張接着強度が小さい傾向にあるが、端部では橋面勾配の関係から床版上に水が滞りやすく、伸縮装置での輪荷重による衝撃荷重も大きいため、防水層の接着強度が低下したものと考えられる。また、橋梁一般部 (No.2 および No.3) では、

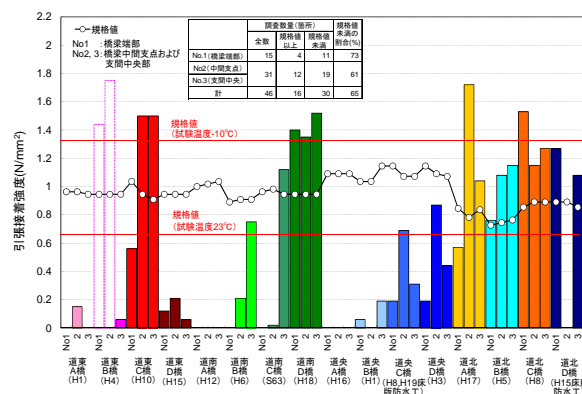


図-4 引張接着試験結果

表-1 引張接着試験結果の概要

	調査数量 (箇所)			NG の割合 (%)
	全数	OK	NG	
No.1	15	4	11	73
No.2	31	12	19	61
No.3				
計	46	16	30	65

一部で規格値以上の値を示しているものの、約 70% が規格値未満となっており、多くの橋梁では位置によらず防水層の接着性能が低下していると考えられる。

c) 破壊モードに着目した整理

引張接着試験において舗装の材料破壊 (A) を示したものの中には、舗装の損傷が顕著であり引張接着強度がほぼゼロのものがあった。また、排水性舗装が使用され

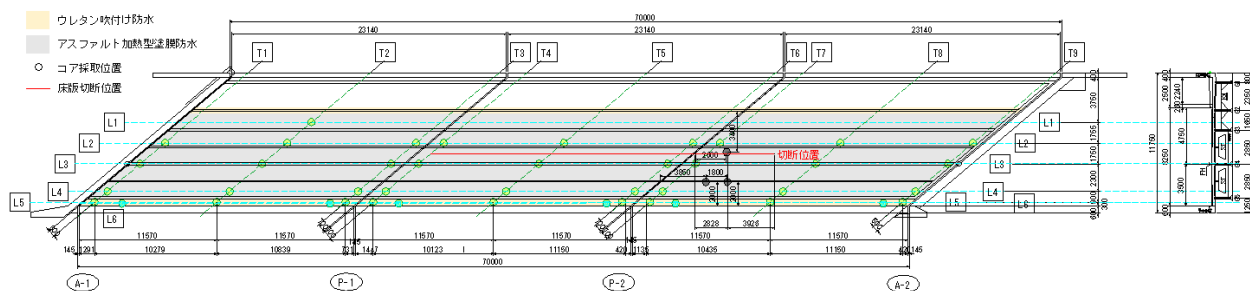


図-5 コア採取位置

ている道央B橋では、表層と基層の間で一体性が確保されていなかったことから、水の浸透による基層の劣化が疑われ、これらが防水層の接着性能にも悪影響を及ぼしていた可能性がある。

界面破壊 (AB、BC) のうち、規格値以上の値を示した道北B橋の橋梁一般部 (No.1) は、架橋より15年が経過した時点での試験であったが、防水層の接着性能の低下は少なく十分な防水性を有していた。一方で、サンドイッチ床版の道東D橋では、鋼板と防水層の付着が低下している状態であった。

本調査においては、コア抜きの際に舗装と防水層の界面が分離した箇所も認められた。このうち、道南A橋では縦断勾配が6%程度あるため橋梁端部で滞水しやすく、橋梁端部では舗装が大きく損傷し、床版上面には常時水が流れている状態であった。このことは、防水層の接着性能を確保するためには適切な排水処理が必要であることを示している。

2.3 防水層の現地調査2

2.3.1 調査橋梁

調査橋梁の諸元を表-2に示す。対象橋梁は3径間単純非合成鋼板桁の河川橋であり、都市部の重交通路線と比較して大型車交通量は少ないものの、積雪寒冷地特有の凍結融解作用を受ける環境下にある橋梁といえる。

架橋年次は昭和40年であり、供用開始から平成24年の本調査までに46年間供用されていた。平成19年には床版上面コンクリートの部分補修に併せて床版防水層が設置されている。このときの施工記録によると、地覆および車歩道境界部の幅50cmには反応樹脂型 (ウレタン樹脂) の塗膜系防水層 (以下、ウレタン吹付け防水層) が、それ以外の車道部にはアスファルト加熱型の塗膜系防水層 (以下、アスファルト加熱型塗膜防水層) が使用されている。

2.3.2 調査方法

(1) 目視調査

舗装を撤去した状態で防水層および排水設備の状況を

表-2 橋梁諸元

交差物件	河川
大型車交通量	778台/日 (上下線合計)
設置環境	積雪寒冷地
最低温度	-22.5℃ (1976年からの年最低気温の平均)
上部工形式	単純非合成鋼板桁 ・橋長: 22.50m×3連 ・幅員: 車道 8.25m+歩道 2.5m
架設年次	昭和40年 (46年間供用)
適用基準	昭和39年鋼道路橋設計示方書
設計床版厚さ	18cm
補修履歴	昭和62年 ・橋軸方向に短冊状の鋼板接着 ・縦桁増設 平成元年 ・歩道橋加幅 (既設床版と一体) 平成19年 ・床版上面コンクリートの部分補修 ・床版防水層 (5年間供用)

目視により調査した。

(2) 引張接着試験

舗装、防水層、床版コンクリートからなるコアを採取し、引張接着試験を実施した。コアの直径は100mmとし、図-5に示す位置について46本のコアを採取した。コアの採取位置は表-3のように、輪荷重の影響と水の影響の大小が異なると位置として、橋軸方向に6測線 (L1~L6)、橋軸直角方向に9測線 (T1~T9) を設定した。試験方法は道路橋床版防水便覧⁹⁾に準拠し、23℃に調整した室内において試験を実施した。本試験においては防水層の引張接着強度に着目し、試験において舗装の材料破壊の発生を避けるために、採取したコアは舗装を10mm残して切断して試験に供した。

2.3.3 調査結果

(1) 目視調査の結果

図-6 (a) は、図-5に示したT1測線 (伸縮装置近傍) とL2測線 (輪荷重の車輪間) の交点で採取したコアの

表-3 コアの採取位置

方向	測線	位置	輪荷重の影響	水の影響
橋軸方向	L1	歩道近傍	小	大
	L2	輪荷重の車輪間	小	中
	L3	センターライン	小	小
	L4	輪荷重走行帯	大	中
	L5	地覆近傍	小	大
	L6	排水ます近傍	小	大
橋軸直角方向	T1, T4, T7	伸縮装置近傍 (A1側)	大	大
	T2, T5, T8	支間中央	小	小
	T3, T6, T9	伸縮装置近傍 (A2側)	大	大

状況であり、削孔中に舗装と床版コンクリートが分離した。コンクリート側の破断面には固着した泥状の付着物が認められ、破断面は長期にわたって水環境に曝されていたと考えられる。図-6 (b) は T1 測線 (伸縮装置近傍) と L5 測線 (地覆近傍) の交点で採取したコアの状況である。この箇所では、舗装、ウレタン吹付け防水層、コンクリートが相互に分離し、さらに周辺箇所においても同様の状態であった。当該コアは地覆端部から 300mm の位置で採取したものであり輪荷重の影響が小さいことから、付着の消失には、施工時の要因や供用中の滞水・凍結融解が影響していたと推察される。なお、コアの観察からはコンクリートのひび割れや砂利化は認められず、コア採取位置周辺の床版コンクリート上面がややスケールリングしていた程度であった。

図-6 (c) は車歩道境界近傍の舗装撤去後の状況であり、排水ます周辺で防水層の付着が消失していた。また、防水層が歩道の縁石に立ち上げて設置されていたが、防水層と縁石には隙間が認められ、防水層下側への水の浸入経路となっていた。この隙間は、縁石同士の突合せ位置で顕著に生じていたことから、歩道マウントアップから浸透・流出する水が立ち上げ部での防水層の剥がれの要因になっていたと考えられる。

(2) 引張接着試験の結果

a) 供試体採取位置に着目した分析

図-7は橋軸直角方向 (T1~T9) の引張接着強度の分布であり、道路橋床版防水便覧⁶⁾における規格値である 0.6N/mm²を破線で併記している。また、表-4は引張接着強度の頻度の一覧である。試験を実施した46箇所のうち76%が規格値未満、46%が引張接着強度ゼロであった。また、橋軸直角方向の位置 (橋軸方向測線L2~L6) に着



(a) 削孔中に分離したコアの破断面 (T1-L2)



(b) 削孔中に分離したコアの側面 (T1-L5)



(c) 車歩道境界近傍の防水層の状況

図-6 防水層の状況

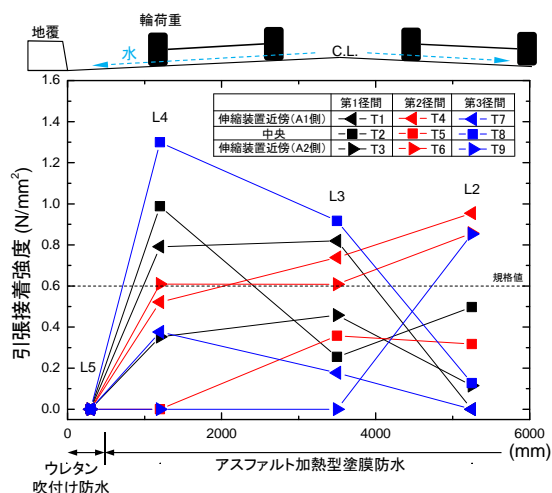


図-7 引張接着試験結果

目すると、地覆近傍 (L5) および排水マス近傍 (L6) では全てが引張接着強度ゼロであり防水層の機能が全く保持されていない状態である。輪荷重走行帯 (L4) では56%、センターライン (L3) では64%、車輪間 (L2) では70%

表-4 引張接着試験結果の概要

	ウレタン吹付け防水層			アスファルト加熱型塗膜防水層				合計	
	排水ます近傍 (L6 測線)	地覆近傍 (L5 測線)	小計	輪荷重走行帯 (L4 測線)	C.L (L3 測線)	車輪間 (L2 測線)	歩道近傍 (L1 測線)		小計
総数	6	9	15	9	11	10	1	31	46
規格値以上 ($\sigma \geq 0.6 \text{ N/mm}^2$)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	4 (44%)	4 (36%)	3 (30%)	0 (0%)	11 (36%)	11 (24%)
規格値未満 ($\sigma < 0.6 \text{ N/mm}^2$)	6 (100%)	9 (100%)	15 (100%)	5 (56%)	7 (64%)	7 (70%)	1 (100%)	19 (65%)	35 (76%)
$\sigma = 0 \text{ N/mm}^2$	6 (100%)	9 (100%)	15 (100%)	2 (22%)	1 (9%)	3 (30%)	0 (0%)	6 (20%)	21 (46%)

が規格値未満であり、図-7からもわかるとおり輪荷重走行帯において引張接着強度がやや高い傾向も認められる。これは、輪荷重の繰返し走行により舗装が転圧されたことが、付着強度が増加する方向に作用したことが要因として考えられる。

b) 防水層の材料に着目した分析

図-8 はアスファルト加熱型塗膜防水層およびウレタン吹付け防水層に対して引張接着強度および破壊モードを示したものである。まず、全数 (N=46) に対する引張接着強度の平均は 0.30 N/mm^2 であり規格値を大きく下回っていた。

アスファルト加熱型塗膜防水層の全数 (N=31) に対する引張接着強度の平均は 0.45 N/mm^2 であった。規格値 (0.6 N/mm^2) 以上のもの (N=11) については、その平均は 0.86 N/mm^2 であり、破壊モードは防水層の凝集破壊 (B) が最も多く約 50%を占めている。これに対して規格値未満のものは引張接着強度の平均が 0.23 N/mm^2 であり、破壊モードは凝集破壊 (B) の割合が約 30%であった。規格値未満のものでは凝集破壊の割合が減少する一方、その他の破壊モードの割合が増加し、特に床版コンクリートの材料破壊 (C) の増加が顕著である。これは、床版コンクリートの脆弱部を除去しきれずに防水層を施工した可能性や、供用中における床版コンクリートへの水が浸入および凍結融解によりコンクリートの脆弱化が生じていたことが要因として挙げられる。

全ての供試体で引張接着強度ゼロであったウレタン吹付け防水層では、舗装と防水層の界面破壊 (AB) が大きく卓越している。また、舗装の界面破壊 (AB) および防水層とコンクリートの界面破壊 (BC) の同時発生も約 30%発生している。このように、ウレタン吹付け防水層では各材料間の界面、特に舗装と防水層の界面において、付着が確保されていない状況であった。ウレタン吹付け防水層に対するコア採取位置は、地覆近傍 (L5 測線) および排水マス近傍 (L6 測線) の輪荷重が通過することが

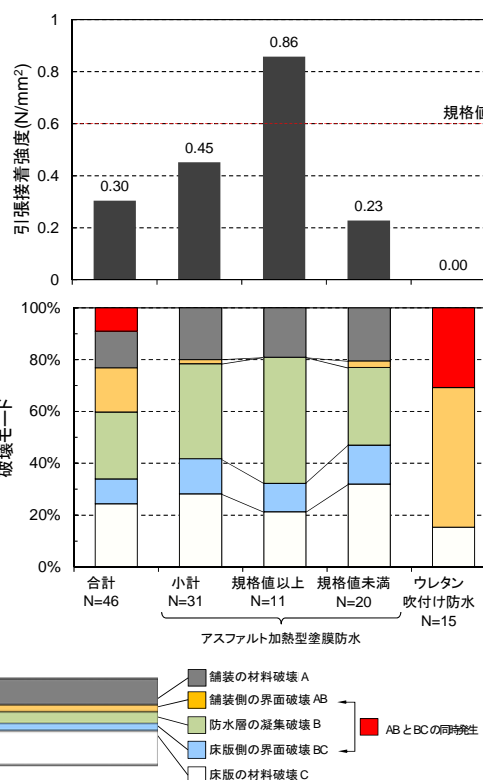


図-8 引張接着強度の頻度

少ない箇所であることから、ウレタン吹付け防水層の接着性能の低下には、滞水や凍結融解等の供用中の環境要因や施工的な要因が挙げられる。

2. 4 防水層の性能低下要因の整理

現地調査結果をまとめると、防水層の現状について次のことがいえる。

- 1) 供用開始後数年が経過した橋梁を含め、架設年によらず多くの橋梁で防水層の性能低下が生じている。
- 2) 伸縮装置や地覆の近傍、排水性舗装を使用した橋梁のように、供用中に滞水環境となりやすい場合には、防水層の接着性能の低下が顕著になる。
- 3) 補修工事で床版防水層を設置した既設橋梁では、コンクリート部の処理不良(舗装の残留やコンクリー

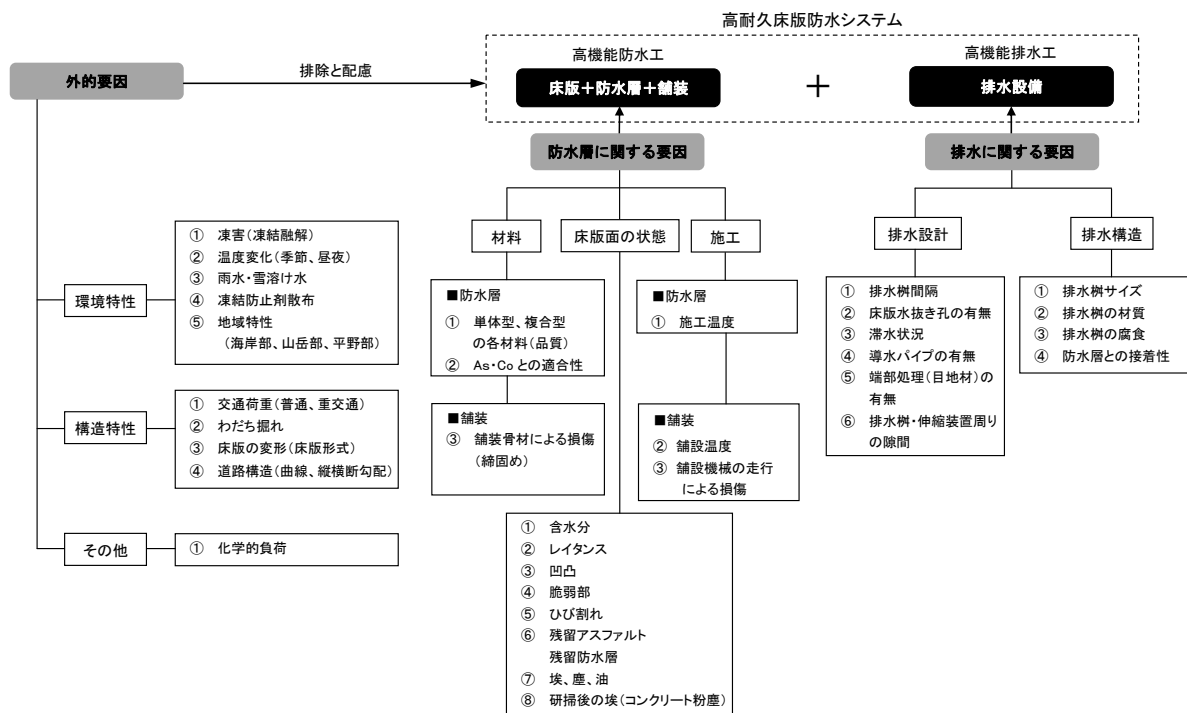


図-9 床版防水システムにおける性能低下要因

ト脆弱部の除去不足)が防水層の機能を低下させる要因になっている。

以上の調査結果等を参考に床版防水システムにおける性能低下要因を細分化すると図-9 のようになる。図のように、床版防水システムは、材料の製造から供用終了に至るまでの様々な段階で性能低下が生じる可能性があり、設計・照査・施工および維持管理に当たっては、これら多くの性能低下要因を排除しなければならない。図-9 の中で、積雪寒冷地において防水層に特に影響を与える要因やその問題点として以下が挙げられる。

(1) 環境特性に起因する外的要因

積雪寒冷地特有の外的要因は、現行の防水層の性能評価において想定しているより大きい(あるいは想定していない)。例えば、道路橋床版防水便覧^⑩では、防水層の材料試験における低温側の試験温度は-10℃となっており、調査を実施した地域の冬期の気温には対応できていない。また、凍結融解の繰返し作用は考慮されていない。したがって、こうした主に積雪寒冷地の環境特性に起因した外的要因に対する耐久性を評価することが求められる。

(2) 床版面の状態を含めた防水層の施工

防水層施工前の床版面の状態は、床版と防水層の一体化に大きく影響を与える。積雪寒冷地においては床版上面コンクリートが凍害により劣化している場合が多く、

供用後に防水層が施工される橋梁では、特に床版面の処理不足が防水層の性能低下要因になりやすい。

(3) 排水設備

防水層の接着不良が、舗装内や防水層上の滞水箇所が生じやすいことは明らかである。このことより、排水設備の構造や設計上の問題、経年劣化等による排水設備の機能低下により水を速やかに排出できていないことが、現状の床版防水システムでの課題として挙げられる。

3. 防水層の性能低下要因の影響度分析

3.1 概要

2章で整理した防水層の性能低下要因の影響度を把握するため、屋外ヤードにおける施工試験や室内試験を実施した。性能低下要因として、図-9のうち「施工」、「床版面の状態」、「環境特性」に着目し、中でも特に積雪寒冷地での影響度が大きいと考えられる①防水層施工時の温度、②床版面の研掃の有無、③防水層敷設後の凍結融解作用、および、現地調査における防水層の不具合箇所で見られた④床版面の滞水を試験要因として抽出した。各要因の影響度の検証方法を表-5に示す。

3.2 施工時温度および床版面研掃の影響度

防水層施工時の温度および床版面研掃の有無の影響度を分析するため、屋外試験ヤードにおいて施工試験を実施した。

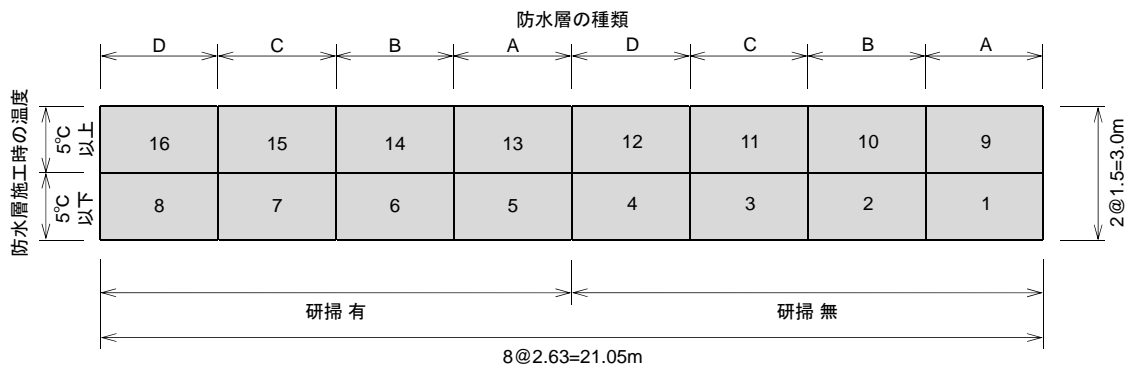


図-10 施工ヤードの概要

表-5 防水層の性能低下要因影響度の検証方法

性能低下要因	検証方法
防水層施工時の温度	施工試験および引張接着試験
床版面の研掃の有無	
防水層敷設後の凍結融解作用	凍結融解試験および引張接着試験
床版面の滞水	水浸状態でのせん断疲労試験

3.2.1 試験方法

(1) 施工ヤード

施工ヤードの概要を図-10 に示す。施工ヤードは 3.00m×21.05m の大きさとし、基礎砂利上に床版を模擬した厚さ 160mm のコンクリートを打設した。コンクリートの配合は、北海道の国道橋の RC 床版に一般的に用いられる、設計基準強度 24N/mm²、スランプ 8cm、最大骨材寸法 25mm とした。コンクリート硬化後、コンクリートを打設した半分の面積にあたる 3.00m×10.52m についてコンクリート表面の研掃を実施し、残りの半分は表面を未処理（研掃無）とした。研掃には図-11 に示す小型研掃機（研削加重 300kg、研削ディスク速度 600～1200rpm）を用い、コンクリート表面のレイタンスを確実に除去できるように 2mm 程度の厚さを削り取った。

防水層には、材料特性や構成の異なる 4 種類（図-10 に示す A～D）を用いた。具体的には、A：アスファルト加熱型塗膜系、B：浸透系複合防水、C：反応樹脂型塗膜系（ウレタン樹脂）、D：反応樹脂型塗膜系（メタクリル樹脂）の 4 種類である。

防水層の施工は外気温の低下する冬期（2011 年 3 月 7～9 日）に実施し、施工温度は防水層施工時の目安である 5°C⁶⁾を基準として、5°C以上および 5°C未満の 2 種類となるようにした。試験ヤードには床版コンクリート全体を覆うように防寒仮囲いを設置し、図-10 の 9～16 の区画についてはジェットヒータによる温度養生を実施し



(a) コンクリート表面の研掃の状況



(b) 小型研掃機

図-11 コンクリート表面の研掃

た状態で、1～8 の区画については仮囲いの一部を開放して外気に曝した状態で防水層を施工した。なお、放射温度計で測定した防水層施工時の床版上面温度は、1～8 の区画の平均が 2.8°C、9～16 の区画の平均が 7.0°Cであった。また、高周波容量式水分計で測定した防水層施工前のコンクリートの水分量は平均で 6.2%であった。

防水層施工後には、厚さ 40mm で粗粒度アスファルト（改質Ⅱ型）を打設した。

(2) 引張接着試験

防水層とコンクリートおよび舗装との接着性を確認するため、道路橋床版防水便覧⁶⁾に準じて引張接着試験を実施した。試験は施工直後の 2011 年 3 月 14～19 日に実施し、試験体数は 1～16 の区画についてそれぞれ 3 本ずつとした。なお、本試験は原位置において実施したため、式 (1) により規格値の補正を行った。

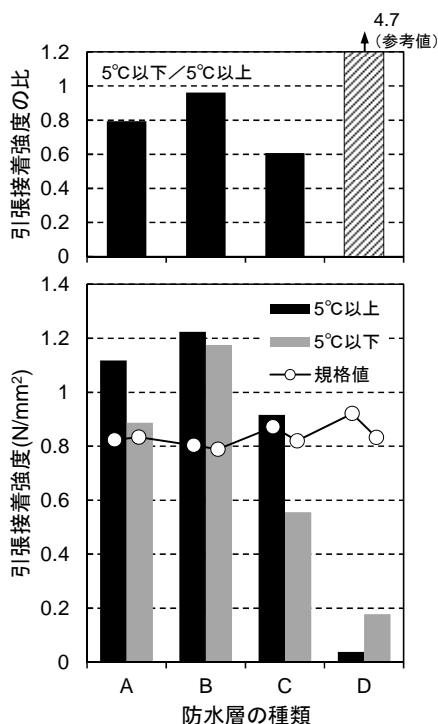


図-12 引張接着強度と防水層施工時の床版面温度の関係 (研掃有)

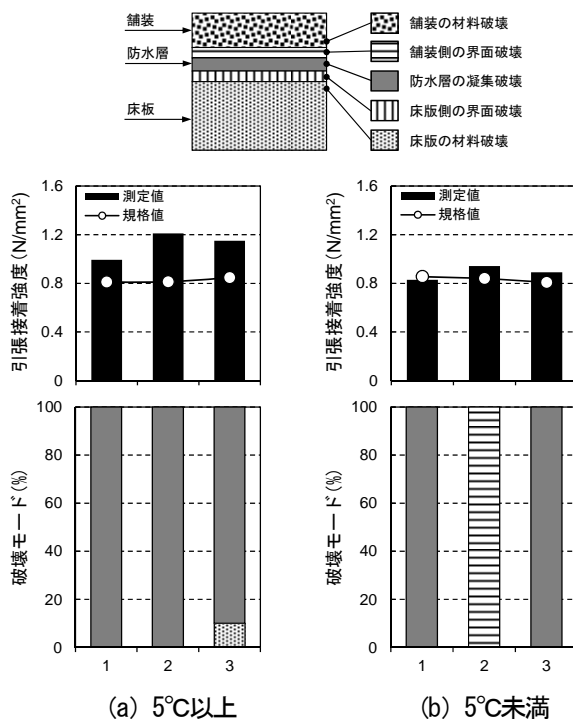


図-13 破壊モードと防水層施工時の床版面温度の関係 (防水層A、研掃有)

3.2.2 試験結果

(1) 防水層施工時の床版上面温度の影響

図-12は、防水層施工時の床版上面温度に着目して引張接着試験の結果を整理したものであり、図中の下段は、各区画で実施した3本の試験結果の平均を、上段は防水層施工時の床版上面温度5°C以上のケースの引張接着強度に対する5°C以下のケースの比である。なお、放射温度計で測定した引張接着試験直後の供試体破断面の温度は平均で約10.0°Cであった。図-12より、防水層Dを除くと温度が低いほど引張接着強度が小さい。5°C以上に対する5°C以下のケースの引張接着強度の比は、防水層A~Cでそれぞれ0.79、0.96、0.61であり、防水層Cでは5°C以上では規格値を満足しているが、5°C以下では下回る結果となった。

図-13は破壊モードの例として、防水層A(研掃有)の結果を示す。図より、5°C以上のケースでは、3試験体ではほぼ防水層の凝集破壊を示しているのに対し、5°C以下のケースでは3試験体中の1つが舗装側の界面破壊、2つが防水層の凝集破壊になっている。凝集破壊の2試験体に言及すれば、防水層施工時の床版上面温度が低温になることに伴う引張接着強度の低下には、防水層の材料自体の強度低下が影響していると考えられる。

本試験結果で特筆すべきは、施工時温度が5°C以下のケース(平均2.8°C)と5°C以上(平均7.0°C)のケース

において両者の差は4.2°Cとそれほど大きくないものの、引張接着強度に大きな影響を与えていることである。このことは、防水層の接着強度は防水層施工時の気温に影響され、特に低温下の施工においては温度管理を確実にを行う必要があることを示している。また、防水層の種類によって引張接着強度が大きく異なり、施工時温度等の環境条件によっては寒冷地には適さない材料がある可能性もあり、寒冷地での防水層の適用に当たっては、施工条件を踏まえた材料の選定が重要になる。

(2) 研掃の影響

図-14は、床版コンクリートの研掃有無に着目して引張接着試験の結果を整理したものであり、下段は各区画で実施した3本の試験結果の平均を、上段は研掃有のケースの引張接着強度に対する研掃無の比を示す。図-14より、防水層Dを除くと研掃有のケースより研掃無のケースの引張接着強度が小さいことがわかる。研掃有に対する研掃無のケースの引張接着強度の比は、防水層A~Cでそれぞれ0.89、0.86、0.12である。

図-15に破壊モードの例として、研掃の有無により引張接着強度が顕著に異なる防水層Cの結果を示す。図より、研掃有のケースでは舗装の材料破壊および舗装側の界面破壊が卓越するのに対し、研掃無では床版側の界面破壊および床版の材料破壊が顕著になっている。これは、研掃有では床版上面のレイタンスが取り除かれたのに対

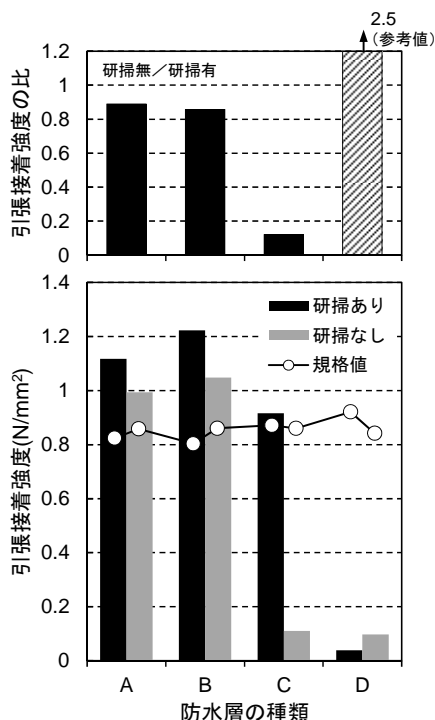


図-14 引張接着強度と研掃有無の関係（防水層施工時の床版面温度 5°C以上）

し、研掃無では床版上面のレイトンスが弱層となり小さな附着強度しか発揮されなかったことを示し、防水層の附着強度を確保するためには、防水層施工前の床版上面の処理が非常に重要であることを示している。このことは、新設床版に限らず既設床版への防水層設置時においても同様であり、例えば、凍害により上面のコンクリートが劣化した床版においては、防水層の附着を確保するために脆弱化したコンクリートを確実に取り除くことが重要になる。

3.3 供用中の凍結融解作用の影響度

供用中の凍結融解作用による防水層の接着性能の低下を把握するため、舗装、防水層、コンクリートからなるコア試験体に対し、凍結融解負荷後の引張接着試験を実施した。

3.3.1 試験方法

(1) 試験体

試験には、舗装、防水層、床版コンクリートからなる縦 300mm×横 300mm×厚さ 100mm（舗装 40mm、防水層、コンクリート 60mm）の平板から採取したφ100mmのコアを使用した。舗装は密粒度アスファルト混合物（改質Ⅱ型）13F、防水層はアスファルト加熱型塗膜防水層とし、コンクリートは北海道の国道橋のRC床版に一般的に用いられる配合とした。なお、凍結融解過程において舗装上面および床版下面からのみ水が

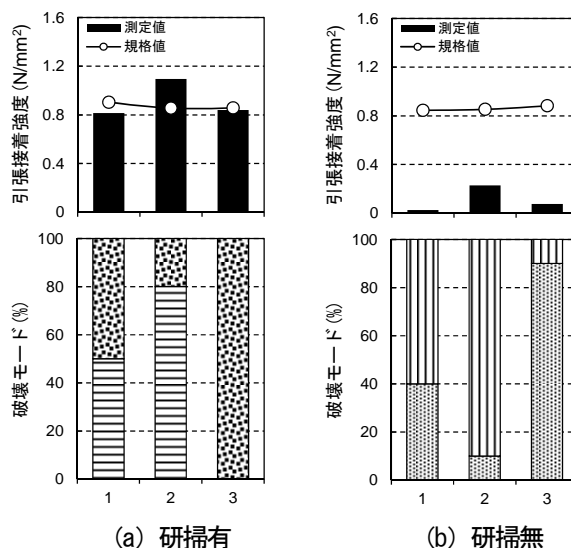
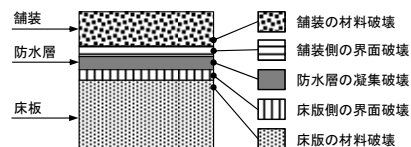


図-15 破壊モードと研掃有無の関係（防水層C、防水層施工時の床版面温度 5°C以上）

浸入することを許すことにし、供試体側面全周を瀝青系のテープで止水した。

(2) 凍結融解負荷および引張接着試験

凍結融解は空中凍結水中融解により実施した。試験前には、試験体の空隙を水で飽和させるため、試験体を常温水で満たした真空脱気装置に入れ、0.02MPa以下で120分間減圧した。凍結融解における最低温度は-10°C、最高温度は5°Cとした。本検討においては凍結融解サイクル数を試験パラメータとし、凍結融解0、3、10、30、100、300サイクルの後、道路橋床版防水便覧^⑥に準ずる引張接着試験により防水層の性能低下を評価した。引張接着試験は、試験体周面の止水テープを除去し、舗装を厚さ10mmに切除した後に、試験温度23°Cにて実施した。

3.3.2 試験結果

図-16には、試験結果として各試験体の引張接着強度 σ_b 、各ケースにおける試験体3本の平均値 σ_{bm} および0サイクルの引張接着強度 σ_{bm0} に対する σ_{bm} の比($=\sigma_{bm}/\sigma_{bm0}$)を示す。凍結融解0~100サイクルにかけてはサイクル数の増加に伴い引張接着強度が低下するが、100~300サイクルにかけては引張接着強度に有意な差は見られない。また、300サイクルまでにおける引張接着強度の最低値は、100サイクルでの0.83N/mm²($\sigma_{bm}/\sigma_{bm0}=79\%$)である。

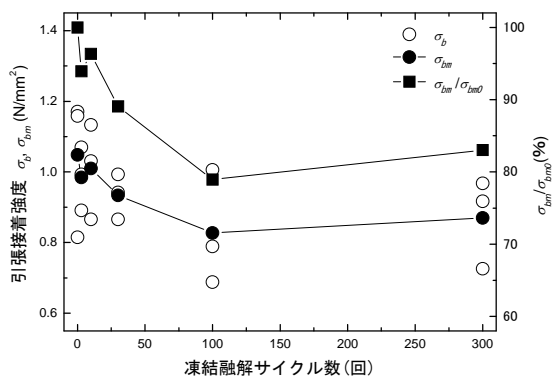


図-16 引張接着強度と凍結融解サイクルの関係

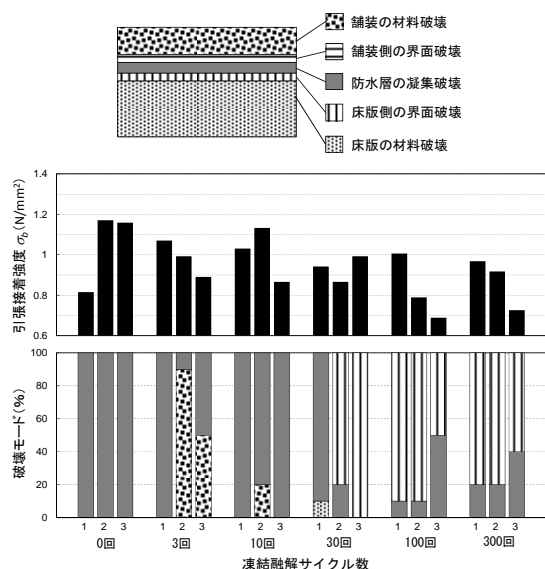


図-17 破壊モード

各試験における破断面の破壊モードを図-17に示す。0～10 サイクルまでは防水層の凝集破壊または舗装の材料破壊が卓越するが、その後は10～100 サイクルにかけて床版側の界面破壊へ移行し、100～300 サイクルでは破壊モードはほぼ同程度の割合に収束している。ここで、凝集破壊から床版側の界面破壊へ移行した期間（10～100 サイクル）は、図-16 の引張接着強度が大きく低下した期間と対応する。当初は防水層が試験体の中で最弱部であったが、凍結融解の進行とともに防水層とコンクリートの界面（床版側の界面）付近において特に劣化損傷が進行し、引張接着強度が低下したものと考えられる。このことは、凍結融解抵抗性を確保する観点からも防水層施工前の床版上面の処理が重要であることを示している。

3.4 供用中の滞水の影響度

防水層の損傷事例の多い伸縮装置や地覆近傍に着目し、滞水環境での舗装、防水層、コンクリートからなる構造体の疲労耐久性を検討するために、水浸状態でのせん断



図-18 せん断疲労試験機的全景

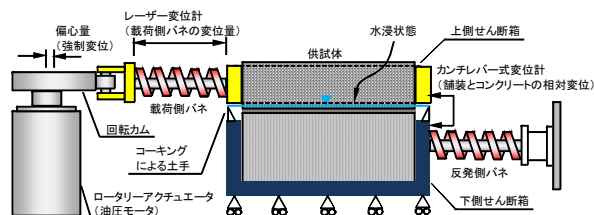


図-19 せん断疲労試験装置の概要

疲労試験を実施した。

3.4.1 試験方法

(1) 試験体

試験には、舗装、防水層、床版コンクリートからなる縦 300mm×横 300mm×厚さ 100mm（舗装 40mm、防水層、コンクリート 60mm）の平板から切出した縦 150mm×横 150mm の試験片を使用した。舗装は 13mm トップの碎石マスチックアスファルト（SMA）として、バインダにはストレートアスファルトを使用した。防水層には、北海道の国道橋において伸縮装置端部での適用実績が比較的多いウレタン吹付け防水層を用いた。コンクリートには JISA 5371 に基づくコンクリート平板を使用した。

(2) せん断疲労試験

a) 試験装置

試験には、図-18 および図-19 に示すせん断疲労試験装置を使用した。本装置は偏心回転するカムによる強制変位付与部と試験体の防水層部分に水平せん断応力をバネの力で与えるユニットから構成され、回転カムを中心に3つのユニットを放射状に配置することにより3つのユニットについて同時に試験を実施することが可能である。

ユニットは試験体の前後にバネを設けた構造となっており、試験体の舗装部分に載荷側バネが、コンクリート部分に反発側バネが接続される。なお、試験体に安定した荷重を加えるために、載荷側（回転カム側）と反発側にそれぞれ2本のバネが並列に設置されている。

表-6 せん断疲労試験のケースおよび結果の概要

	水の条件	作用せん断応力 τ (N/mm ²)	破壊時載荷 N (回)	τ に対して文献8)の乾燥 状態のS-N曲線から求め た破壊時載荷回数 N_u (回)	N/N_u
D-1	乾燥	0.054	1,096,193 (未破壊)	656,032	1.67
D-2		0.057	526,201	489,307	1.08
W-1	水浸	0.047	123,778	1,184,413 (乾燥の場合)	0.11
W-2		0.057	35,169	375,164 (乾燥の場合)	0.09

油圧式のロータリーアクチュエータによるカムの回転運動は載荷側バネの並進往復運動に変換され、この並進往復運動が載荷側バネを介して供試体舗装部に水平力の繰返しを与える。回転カムの中心はロータリーアクチュエータの回転中心に対して δ_L だけ偏心しており、このとき防水層に作用する最大せん断応力は次式により与えられる。

$$\tau = \frac{k\delta_L}{A} \quad (2)$$

ここに、 τ は作用せん断応力、 k はバネ定数、 A は供試体の断面積である。

b) 試験手順

試験体を上下のせん断箱に設置し、箱内での水平の動きを抑制するためにボルトで固定する。水浸状態で実験を実施する場合には、防水層が水浸するまで下側せん断箱に注水した。その後、回転カムを作動させ、試験体が破壊した時点で試験を終了し、破断面の観察から破壊モードを分類した。

試験中は、レーザー変位計により載荷側バネの変位量を、カンチレバー式変位計により舗装とコンクリートの相対水平変位を測定した。

c) 試験ケース

表-6に実験ケースを示す。ここでは、水の条件をパラメータとして乾燥状態および水浸状態の2種類についてそれぞれ2体ずつ試験を実施した。作用せん断応力 τ は、舗装、ウレタン吹付け防水層、床版に対する既往の有限要素解析結果 τ_0 を参考に0.05N/mm²程度に設定した。なお、各試験体において作用せん断応力に差異があるのは、各載荷ユニットのバネ定数のばらつきによるものである。

3.4.2 試験結果

表-6に試験終了時の載荷回数(以下、破壊時載荷回数)を、図-20に作用せん断応力と破壊時載荷回数の関係を示す。図中には既往のせん断疲労試験結果から得られているウレタン吹付け防水層の乾燥状態におけるS-N曲線 θ を併記した。なお、D-1は試験体の破壊前に至らな

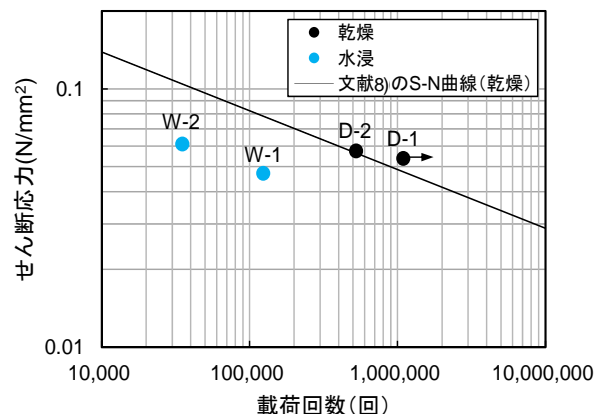


図-20 作用せん断応力と破壊時載荷回数の関係

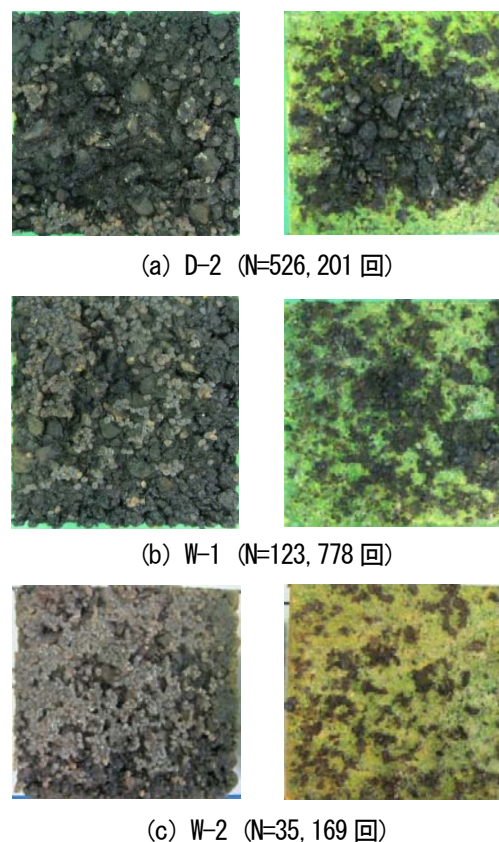


図-21 試験体破断面の状況
(左：舗装側、右：コンクリート側)

かったことから、試験終了時の載荷回数（52万回）を参考値として示す。図-20より、乾燥状態で試験を実施したD-2は53万回程度で破壊し、その結果は既往のS-N曲線と概ね一致する。一方、水浸状態ではW-1が12万回、W-2が3.5万回で破壊しており、乾燥状態と比較して破壊時載荷回数が著しく低下している。表-6には、既往の乾燥状態のS-N曲線⁹から求めたD-1～W-2の破壊時載荷回数 N_u および N_d に対する本試験の破壊時載荷回数 N の比（ $=N/N_u$ ）を併記する。これより、乾燥状態では N/N_u が1程度またはそれより大きな値を示しているのに対し、水浸状態では N/N_u が0.1程度であり、水浸状態では乾燥状態に比べてせん断疲労耐久性が1/10に低下している。

図-21は試験終了後の試験体破断面の状況であり、左が舗装側の面を、右がコンクリート側の面を示し、コンクリート側の黄緑色の部分が防水層である。なお、D-1については供試体が未破壊であるため示していない。写真より、乾燥状態ではD-2の1体のみではあるが、コンクリート側の面に舗装が付着しており舗装の材料破壊が卓越している傾向にある。一方で水浸状態のW-1およびW-2では、コンクリート側の面に舗装の付着が少なく舗装と防水層の界面破壊が卓越している。こうした破壊モードの変化の要因として、水の影響により舗装と防水層の界面における摩擦係数が低下することや、界面付近の舗装骨材がせん断挙動する際に界面に浸入した水の水圧上昇により破壊の進展が助長されること等が考えられる。

以上の結果より、滞水環境では舗装と防水層の界面破壊が卓越し、防水層のせん断疲労耐久性が著しく低下することになる。したがって、防水層の長期の耐久性を確保するためには、舗装内部および防水層上に長期間滞水させないことが肝要であり、そのためには、雨水や融雪水を速やかに排除するための排水計画や排水設備が極めて重要になる。

3.5 床版防水システムの設計・施工時の留意事項

3.5.1 概要

以上の施工試験および環境作用を考慮した試験の結果を基に、床版防水システムを設計・施工する上で特に留意が必要になる項目を整理した。

3.5.2 施工時の留意事項

(1) 床版上面の脆弱部や塵等の適切な除去

新設時において床版上面の塵、埃、ノロおよびレイタンス等は、防水層の接着性能に悪影響を与える。既設床版においても床版上面コンクリートに凍害等で劣化損傷した脆弱部がある場合、既設コンクリートの破壊により

防水層の性能が消失することになる。したがって、防水層の敷設前には、研掃機等により床版上面コンクリートにある脆弱部を適切に除去する必要がある。

また、床版上面の不陸（凹凸）が大きい箇所に防水層を施工する場合に、塗膜系防水層では凸部で防水層が薄くなる、シート系防水層では凹凸に追従できないことなどにより接着性能の低下が生じることになる。そのため、脆弱部除去に加え凹凸を極力減らす観点からも、丁寧な研掃が必要になる。

(2) 舗設時の適切な温度管理

舗装敷設時の温度管理を怠れば、防水層と舗装間の良好な付着が得られず、舗装の早期はく離に繋がる。したがって、気温の低下する時期や時間帯を避け、適切な温度で施工する必要がある。

3.5.3 供用時の環境作用に対する留意事項

供用中の舗装内部および防水層上の滞水およびこれらを要因とする舗装の劣化損傷は、防水層の付着の消失を助長する。したがって、防水機能の早期低下およびそれに伴う床版の劣化損傷を生じさせないためには、舗装内部および防水層上に長期間滞水させない排水計画を図ることが重要になる。

4. 舗装の塑性変形特性に着目した防水層の性能評価技術の開発

4.1 概要

床版防水システムの一構成要素としての防水層の役割を考えると、「床版の劣化因子（水、塩化物）の浸入・侵入を防ぐ」「防水層がはく離・破断しない」といった従来型の防水層自体の性能のみならず、「舗装の塑性変形を助長しない」という付加的な性能が求められることになる。一方で、現行の防水層の性能照査において舗装の挙動に着目して防水層の性能が照査されることはなく、舗装の耐久性確保のために防水層が保有すべき性能は明確ではない。本章では、ランダムホイールトラッキング負荷試験⁹による舗装の耐久性に着目した防水層の新しい性能評価手法について検討した。

4.2 試験方法

4.2.1 試験体

試験には、縦300mm×横300mm×厚さ100mm（舗装40mm、コンクリート60mm）の平板供試体を使用した。舗装には密粒度アスファルト混合物（改質II型）13Fを、コンクリートにはJISA 5371に基づくコンクリート平板を使用し、防水層には図-22に示す5種類を使用した。

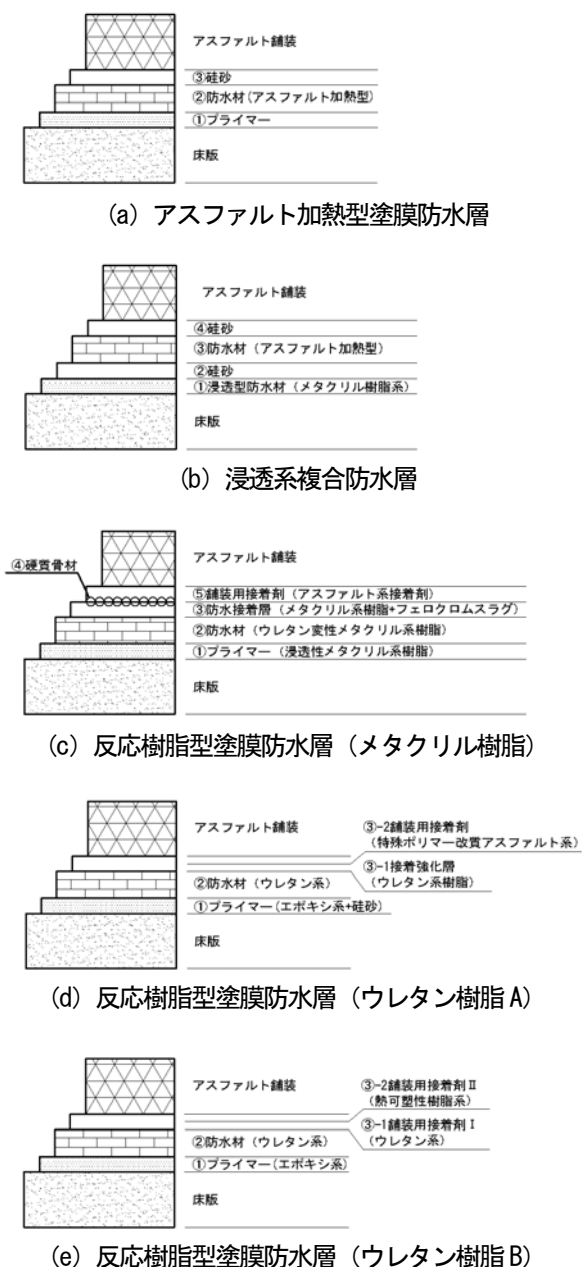


図-22 防水層の構成

また、試験体には舗装厚さの全長にわたってφ3.0mmのハンダを挿入し、試験終了後に試験体を切断して舗装内部の変形状況を観察できるようにしている。

4.2.2 ランダムホイールトラッキング負荷試験

(1) 試験装置

試験には、図-23 および図-24 に示すランダムホイールトラッキング負荷試験機を使用した。本試験機は、輪荷重の繰返し作用を与える小型輪荷重走行試験機と試験体を走行直角方向に移動させる精密位置決めテーブルから構成され、輪荷重が路面を押さえながらその走行位置が変化する実交通荷重の荷重条件を再現することができる。

小型輪荷重走行試験機は、道路橋床版の疲労耐久性評



図-23 ランダムホイールトラッキング負荷試験機の全景

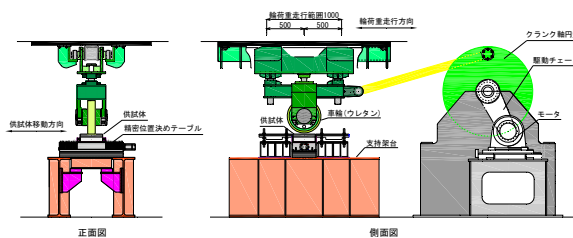


図-24 ランダムホイールトラッキング負荷試験機の概要

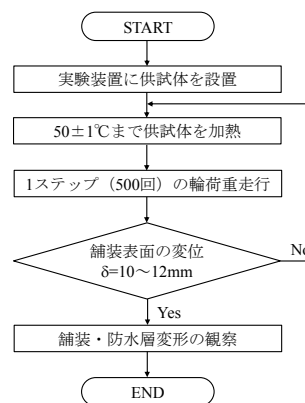


図-25 試験手順

価に用いられるクランク式の輪荷重走行試験機であり、油圧により最大40kNの鉛直荷重を载荷した状態で車輪を繰返し走行させること可能である。走行範囲は1mで、1分間に48回(24往復)の輪荷重走行を作用させることができる。車輪は外径が480mm、幅が102mm、外周部分がウレタン製である。

精密位置決めテーブルは、ACサーボモータによりそのテーブル部を水平方向へ運動させる機構を備え、テーブル部の上に固定した供試体を輪荷重走行方向に対して直交方向に移動させることにより相対的に異なる走行位置で輪荷重の繰返し走行を与える。精密位置決めテーブルの運動は、車輪が供試体上を通過した後、再度供試体に到達するまでの間に供試体の移動が1回行われる。移動のストロークは最大で340mm、移動の最高速度およ

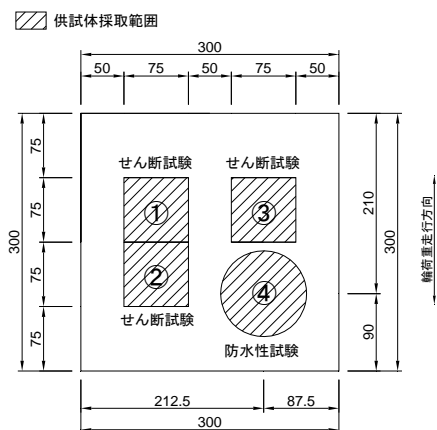


図-26 せん断試験および防水性試験のための試験片採取位置

び位置決め精度はそれぞれ 500mm/sec および 0.02mm である。

(2) 試験手順

試験手順を図-25 に示し、以下にその詳細を説明する。

a) 試験温度

本試験では、舗装の流動変形を促進するために、赤外線ヒータの放射熱により供試体を高温に保った状態で輪荷重走行を実施した。試験温度は、放射温度計を用いて計測した舗装表面 9 点での平均温度により管理し、平均温度が所定値に達したことを確認した上で輪荷重走行を開始した。このときの平均温度は、夏期の走行を想定して $50 \pm 1^\circ\text{C}$ とした。

b) 試験体移動プログラム

本試験では、ある正規分布に従う確率分布の下で走行位置を変える実交通荷重の荷重条件¹⁰⁾を踏まえ、輪荷重の走行位置が正規分布に基づいてランダムに決定されるように試験体を移動させた。試験体移動プログラムは、乱数正規分布に基づいており、その平均を 0mm (試験体中央)、標準偏差を 70mm とした。これは、車線幅 B に対し、車輪走行位置がセンターラインからの平均距離 $\mu=0.7B$ 、標準偏差 $\sigma=0.1B$ の正規分布に従うとする旧建設省土木研究所による報告¹⁰⁾を再現するものである。

輪荷重走行は、原則 500 回を 1 ステップとして実施し、試験体の移動がランダムとなるよう 1 ステップ毎に新しい移動プログラムを作成した。なお、試験温度の管理は 1 ステップが終了する毎に行う。

試験は、舗装表面中央の鉛直変位が 10~12mm に達した時点、あるいは、1 ステップ当たりの鉛直変位増分が極端に小さくなり舗装の変形が収束したと判断できる時点で終了した。

表-7 試験ケース

試験	ケース	防水層の種類
I	Case1	アスファルト加熱型塗膜防水層
	Case2	浸透系複合防水層
	Case3	反応樹脂型塗膜防水層 (メタクリル樹脂)
	Case4	反応樹脂型塗膜防水層 (ウレタン樹脂 A)
	Case5	反応樹脂型塗膜防水層 (ウレタン樹脂 B)
II	—	アスファルト加熱型塗膜防水層 ※防水材の配合等により接着特性を変化させた 9 試験体

c) 支持条件および荷重荷重

試験体の支持条件は、床版コンクリート部は 4 辺側方固定支持および下面全面の鉛直方向固定支持とする。防水層部と舗装部は固定しない。

輪荷重の大きさは 10kN とした。このときの接地圧は $2.0\text{N}/\text{mm}^2$ 程度であり、床版の設計荷重 (T 荷重) である接地圧 $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ と比較すると、過大な荷重が作用する荷重条件である。

d) 測定項目

本試験では、1 ステップの輪荷重走行が終了する毎にデジタルノギス (測定精度 0.01mm) により舗装表面の鉛直変位および水平変位を測定した。ただし、1 ステップでの変位増分が小さい場合には測定を省略している。

e) 輪荷重走行後の残存性能評価

後述する試験 I においては、輪荷重走行後の試験体から試験片を採取し、道路橋床版防水便覧⁹⁾に準ずるせん断試験および防水性試験 II を実施し、防水層の残存性能を確認した。試験片の採取位置は図-26 のとおりであり、せん断試験は 3 試験片、防水性試験 II は 1 試験片に対して実施した。

(3) 試験ケース

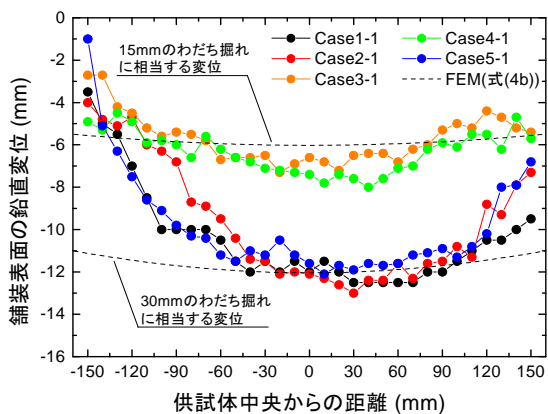
試験ケースを表-7 に示す。

a) 試験 I

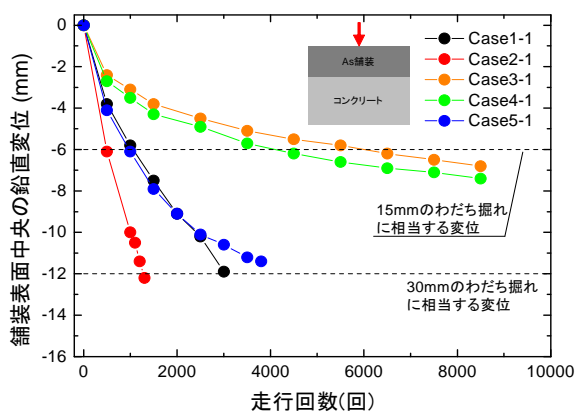
試験 I では、供用中の輪荷重走行に対する舗装、防水層、床版からなる構造体の耐久性評価手法の開発を目的として、表-7 に示す 5 種類の防水層に対して試験を実施した。

b) 試験 II

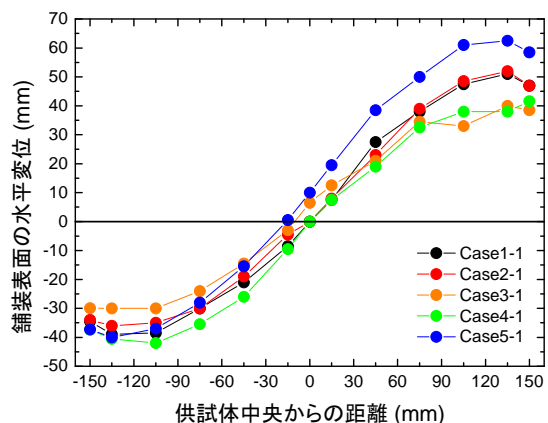
試験 II では、防水層の接着特性が舗装の塑性変形抵抗性に与える影響を評価することを目的とする。本試験では、国土交通省北海道開発局が管理する国道橋において標準的に使用されているアスファルト加熱型塗膜防水層に着目し、アスファルト加熱型防水材におけるアスファルト混合物の配合等の調整によりせん断接着特性を意図



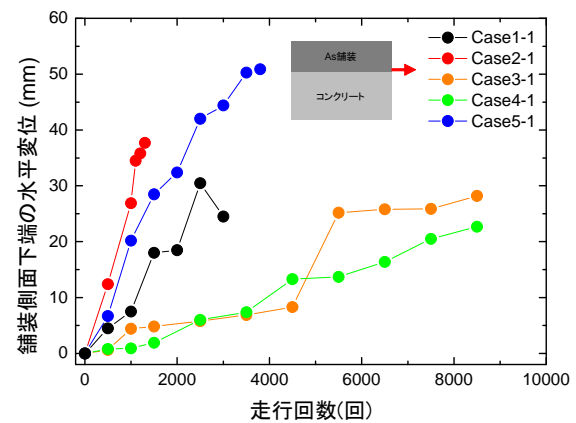
(a) 試験終了時における舗装表面の鉛直変位分布



(b) 舗装表面の鉛直変位と走行回数との関係



(c) 試験終了時における舗装表面の水平変位分布



(d) 舗装側面下端の水平変位と走行回数との関係

図-27 舗装の変位 (試験 I)

的に変化させた試験体 9 体を使用した。なお、9 体におけるせん断接着強度の範囲は $0.15 \sim 0.76 \text{ N/mm}^2$ である。

4.3 試験 I の結果

4.3.1 舗装の変位

(1) 鉛直変位

図-27 (a) は舗装表面の鉛直変位の分布である。鉛直変位の分布は走行回数によらず同様の形状を示したことから、ここでは試験終了時の結果を示した。なお、Case 3 および Case 4 では、8,500 回の輪荷重走行終了時に輪荷重走行 1 ステップ (500 回) あたりの鉛直変位量の増分が極端に小さくなったため、変形が収束したと判断し走行を終了した。その他のケースでは中央の鉛直変位が 12 mm となった時点で輪荷重走行を終了した。

図-27 (b) は舗装表面中央の鉛直変位と走行回数の関係である。舗装表面の鉛直変位分布が供試体中央付近をピークとした凸型を示したことから、ここでは舗装表面中央を代表値とした。図より防水層の種類によって鉛直変位の発生量は大きく異なり、Case 3 および Case 4 は他のケースと比較して発生する鉛直変位の量が小さい。

なお、Case 2 は試験体加熱用の赤外線ランプの不調により舗装上面の温度が 54°C 程度となっていたために、他のケースと比べて舗装剛性が低下して鉛直変位が大きくなったものと考えられる。

(2) 水平変位

図-27 (c) は試験終了時における舗装表面の水平変位の分布である。防水層の種類によらず分布形状は同様であり、供試体中央から $\pm 100 \text{ mm}$ 程度の範囲を直線とした S 型の分布形状を示している。図より鉛直変位の大きい Case 1、Case 2 および Case 5 と鉛直変位の小さい Case 3 および Case 4 を比較すると、舗装表面の水平変位では鉛直変位ほどの差異が認められない。これは、両者で舗装内部の変形モードが同一でないことを示していると考えられる。

図-27 (d) は舗装側面下端の水平変位と走行回数の関係である。舗装下端の水平変位は舗装表面中央の鉛直変位と傾向は類似しており、Case 1、Case 2 および Case 5 において水平変位の量が大きい。このことより、鉛直変位の量は舗装下端の変位すなわち舗装と防水層の相対変

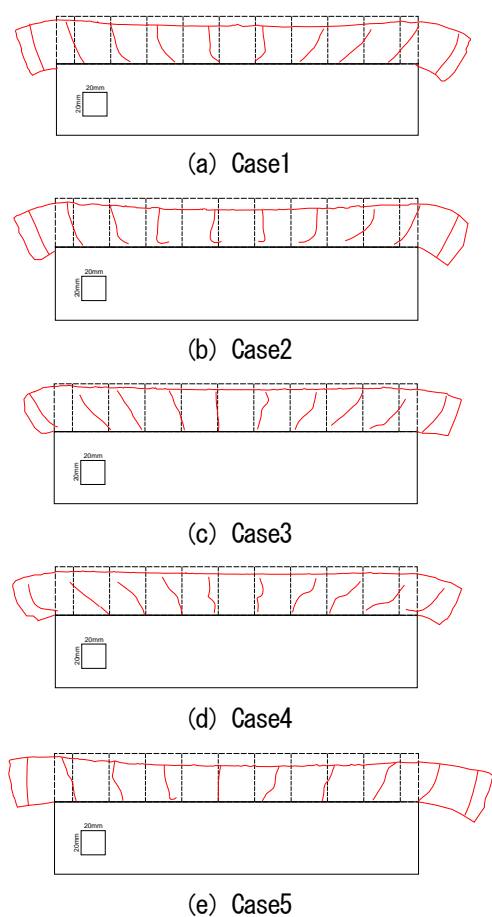


図-28 切断面の変形図 (試験 I)

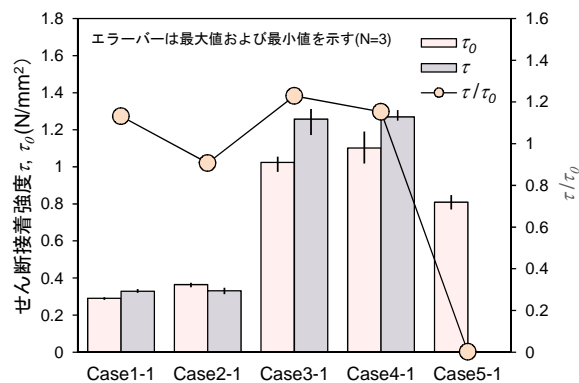
位と相関があることが示される。

4.3.2 切断面の変形状況

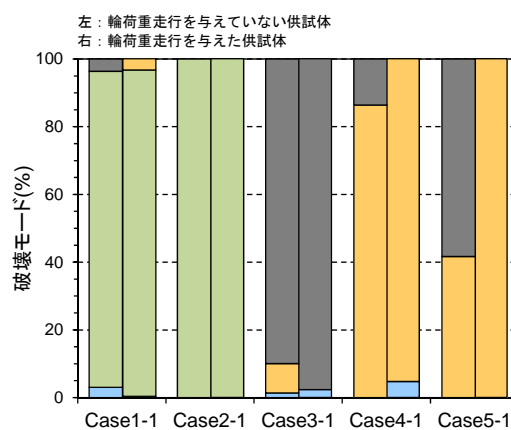
図-28 は試験終了後の試験体切断面の変形図である。変形図は試験体中央において走行直角方向に断面を切断し、切断面の変形状況を図化したものであり、実験前の設計上の位置を黒い破線で、実験後の実測位置を赤線で示している。

図-28 より、防水層の種類によらず供試体の中心に対してほぼ対象に外側に向かって舗装が変形していることがわかる。舗装の下端部分に着目すると、鉛直変位が大きいグループ (Case 1、Case 2 および Case 5) と鉛直変位が小さいグループ (Case 3 および Case 4) に分類すると、前者は舗装下端が水平方向に比較的大きく変位しており、後者は試験体の両端を除き舗装下端の水平変位が発生していないかわずかである。このことより、舗装表面の鉛直変位と舗装下端の水平変位には強い相関があり、実橋において供用中に著しい舗装の変形が認められる場合には、舗装との界面を含めた防水層の接着性能の低下が発生している可能性があることを示している。

舗装下端に水平変位が生じた Case1、Case2 および



(a) せん断接着強度



(b) 破壊モード

図-29 輪荷重走行後のせん断試験の結果

Case5 の変形に着目すると、Case5 においては図-22 に示した接着剤 II (熱可塑性樹脂シート) と舗装の界面でずれてはく離した形跡が認められた一方、Case1 および Case2 では界面はく離の形跡は認められず、舗装下端の水平変位がアスファルト塗膜層自体のせん断変形によってもたらされている。これは、アスファルト塗膜材の温度依存性により高温時のせん断剛性の低下が影響したものと考えられる。このことから、本試験に用いた防水層においては、舗装下端が水平方向に変位するメカニズムが、Case1 および Case2 のように防水層の層内でせん断変形が発生するモードと、Case5 のように舗装と防水層の界面がずれるモードに大別できると考えられる。

4.3.3 輪荷重走行後の残存性能

(1) せん断試験

図-29 は輪荷重走行を与えた試験体および当該試験体と同ロットで製作した輪荷重走行を与えていない試験体

表-8 輪荷重走行後の防水性試験Ⅱの結果

ケース	判定
Case1	漏水なし
Case2	漏水なし
Case3	漏水なし
Case4	漏水なし
Case5	漏水なし

のせん断試験の結果を示したものである。せん断試験は各3体について実施した。

図-29 (a) はせん断接着強度を示したものであり、 τ は試験終了後のせん断接着強度、 τ_0 は同ロットで製作した輪荷重走行を与えていない試験体のせん断接着強度である。図より、Case5を除いて輪荷重走行によりせん断接着強度が増加する傾向があり、輪荷重走行の繰返しに伴う鉛直応力によって舗装と防水層の周辺で構造が緻密になったことにより、せん断接着強度の増加がもたらされたものと考えられる⁹⁾。一方、Case5は輪荷重走行を与えた後のせん断接着強度がほぼゼロである。破断面の目視観察によると破断は舗装と防水層の界面で発生しており、輪荷重走行試験終了時の試験体切断面において視認した付着切れの位置と一致する。ここで特筆すべきは、Case1 および Case2 において τ/τ_0 が1程度の値を示していることである。これは、輪荷重走行によって図-28のようにアスファルト塗膜層に大きなせん断変形が生じても、そのせん断接着強度が保持されていることを示している。

図-29 (b) にはせん断試験時の破壊モードを示す。図より、Case5を除き、輪荷重走行前後で破壊モードが大きく変化するような傾向は見られない。Case5では、輪荷重走行を与えていない試験体において舗装の材料破壊(A)が60%、舗装と防水層の界面破壊(AB)が40%であるのに対し、輪荷重走行を与えた試験体においては舗装と防水層の界面破壊(AB)が100%になっている。

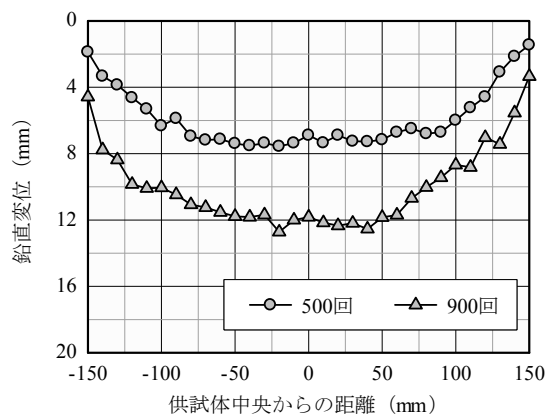
(2) 防水性試験

表-8 は輪荷重走行を与えた試験体に対する防水性試験Ⅱの結果であり、全てのケースにおいて漏水は認められず、輪荷重走行を与えても防水性が確保されている結果が得られた。

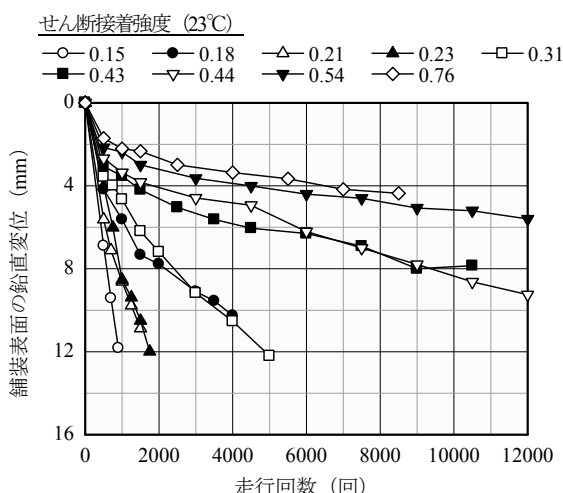
4. 4 試験Ⅱの結果

4.4.1 舗装変位と走行回数の関係

図-30 (a) に、舗装表面の鉛直変位分布の一例を示す。図より、試験Ⅰと同様に舗装表面では中央付近を頂点とした凹形の変形性状を示し、走行回数の増加とともにそ



(a) 舗装表面の鉛直変位分布 (せん断接着強度 0.15N/mm²のケース)

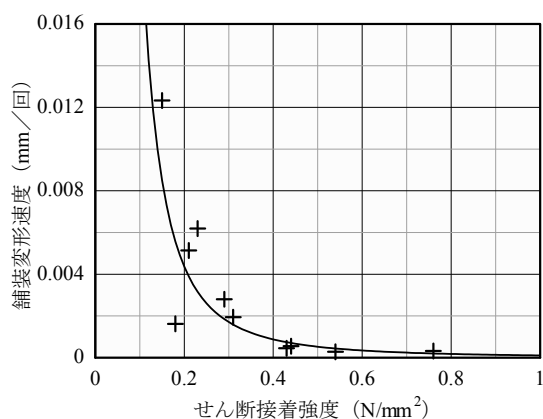


(b) 舗装表面の鉛直変位と走行回数の関係

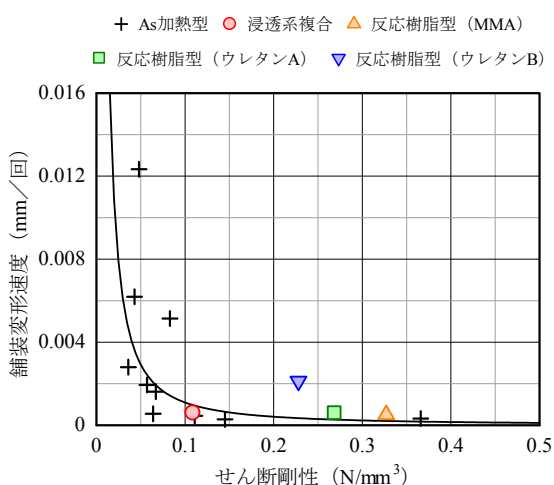
図-30 舗装の変位 (試験Ⅱ)

の形状を保持したまま変位が増加する。同様の変形性状は、防水層のせん断接着特性によらず全ての供試体で共通するものであった。

図-30 (b) に、舗装表面の鉛直変位と走行回数の関係を示す。ここでは、図-27 (b)と同様に、試験体中央での計測値を鉛直変位の代表値とした。図より、鉛直変位の増加にはせん断接着強度の影響が明確に表れており、せん断接着強度が大きくなるほど鉛直変位の増加が抑制されている。また、鉛直変位増加の過程により全試験体を二つのグループに大別できる。一つはせん断接着強度が0.4N/mm²未満の試験体群であり、これらでは、走行回数に概ね比例して鉛直変位が線形的に増加し、試験終了条件である変位10~12mmに達する。もう一つは、せん断接着強度が0.4N/mm²以上の試験体群であり、これらでは、最初の1ステップ目で生じる鉛直変位に対して2ステップ目以降での鉛直変位増加が小さく、走行回数の増加に対して概ね一定の勾配を保持して変位が増加



(a) 舗装変形速度とせん断接着強度の関係
(試験Ⅱ)



(b) 舗装変形速度とせん断接着強度の関係
(試験Ⅰ、Ⅱ)

図-31 舗装変形速度とせん断接着特性の関係

するようになる。さらに、せん断接着強度が特に大きいケースでは、走行回数の増加に伴う舗装の変位増加が極端に小さくなり、本試験の走行回数の範囲内において鉛直変位が一定値に収束する傾向が見られる。

4.4.2 舗装変形に与える防水層の接着性能の影響

上記の試験結果に基づき、舗装の耐久性と防水層せん断接着特性との関係を整理する。ここでは、舗装の耐久性を表す指標として、図-30 (b) における走行回数 500 回以降での鉛直変位—走行回数関係を直線近似したときの傾き（以下、舗装変形速度）に、せん断接着特性として、せん断接着強度およびせん断剛性（せん断試験におけるせん断接着強度とせん断接着強度時変位の比）に着目する。なお、せん断接着試験は試験温度 23℃、ランダムホイールトラッキング負荷試験は試験温度 50℃で実施されたものであるが、本検討では防水層の構成が同一であることから、試験温度が変化しても試験体間のせん

断接着特性の相対関係は変化しないと仮定して結果を整理した。

図-31 (a) に舗装変形速度とせん断接着強度の関係を示す。図より、せん断接着強度が増加するにつれて舗装の変形速度が低下することがわかる。また、両者の間には概ねべき乗関係が成立し、せん断接着強度が小さい領域では舗装変形速度がせん断接着強度に大きく依存するが、せん断接着強度が 0.4N/mm² を超える範囲では強度の増加に対する舗装変形速度の低下が鈍くなり、一定値に収束する傾向がある。

図-31 (b) に舗装変形速度とせん断剛性の関係を示す。舗装変形速度とせん断剛性との関係では、全体的な傾向は図-31 (a) と同様であり、せん断剛性が小さい範囲ではせん断剛性のわずかな増加により舗装変形速度が大きく低下し、せん断剛性 0.1N/mm³ 程度を境に舗装変形速度が概ね一定となる。また、図中には各種防水層を対象とした試験Ⅰの結果を併記しており、試験中に防水層のはく離が生じた Case5 を除き、舗装変形速度とせん断剛性の関係が防水層の種類によらないことがわかる。

以上の結果からは、せん断接着強度とせん断剛性のどちらが舗装の変形特性を決める支配的要因であったかは明確ではないが、アスファルト加熱型塗膜防水層を使用した試験Ⅰの Case1 および Case2 において、防水層に大きなせん断変形が生じた場合であっても舗装と防水層と床版が一体性を喪失するような破壊には至らず、輪荷重走行後にも道路橋床版防水便覧⁶⁾に規定されるせん断接着強度や防水性を満足していたことを踏まえると、舗装の耐久性を評価するためのせん断接着特性としては、舗装と防水層と床版からなる構造体のせん断剛性がより重要になるといえる。

4.5 防水層の接着性能評価に関する提案

4.5.1 舗装の塑性変形に着目した防水層の性能推奨値

以上の試験結果では、舗装表面の鉛直変位の大きさと舗装下端の水平変位には強い相関があることが認められた。これは、舗装、防水層およびコンクリートからなる構造体の変形特性の観点からは、防水層が舗装下端での境界条件としての役割を果たしていることを意味する。そのため、構造体として舗装の塑性変形に対する高い抵抗性を確保するためには舗装に耐流動性の優れた材料を用いるだけでなく、防水層および防水層と舗装との界面においてせん断接着強度と一定程度のせん断剛性が要求される。

また、試験Ⅱの結果からは、舗装変形速度と舗装、防水層、床版からなる構造体のせん断剛性の間には明確な

相関関係が成立し、せん断剛性が $0.1\text{N}/\text{mm}^3$ 以上になるときに舗装変形速度が収束することが明らかとなった。

以上のことより、実交通荷重の作用を想定した防水層の接着性能の評価には既存の性能評価手法であるせん断試験を適用でき、その中では従来のせん断接着強度およびせん断接着強度時の変位だけでなく、両者の比で表すせん断剛性も追加の照査項目とするのが望ましい。また、そのときの合否判定の目安としてせん断剛性 $0.1\text{N}/\text{mm}^3$ を挙げ、特に道路機能としての重要性が高い主要幹線道路や維持管理上のリスクが大きい重交通路線に架かる道路橋など、防水層により高い性能が要求される場合には、舗装の耐久性確保の観点から上記のせん断剛性 ($0.1\text{N}/\text{mm}^3$ 以上) を満たすことを推奨する。

4.5.2 防水層選定時の留意事項

現行の試験規格 Θ を満足する防水層全てが、防水層の要求性能を十分に満足するとは限らない。実際に、本試験に用いた防水層はいずれも現行の規格を満足するものであるが、試験 I における Case5 のように、防水層の材料や構成によっては早期にはく離するものもある。Case5 の例に関して言えば、 50°C という高温環境が防水層の早期にはく離を引き起こしたと推察されるが、現行の性能照査においては高温下での接着性能を照査する方法がない。したがって、床版防水システムの設計においては、ランダムホイールトラッキング負荷試験のような供用中に置かれる環境を考慮した試験を通して、想定される環境下において防水層を構成する材料の特性や防水層の接着特性の極端な変化がないことが確認されている防水層を選定することが重要になる。

5. 高耐久排水ますの提案

5.1 概要

橋面舗装や防水層上への長期の滞水は、ポットホールなどの舗装の損傷や防水層の早期の接着性能の低下を招くことから、床版には橋面上の水を排水するための排水設備が配置される。特に積雪寒冷地では、床版コンクリートへの漏水が凍害や塩害の原因になること、春先の雪解け時期には舗装および床版に水が供給されやすい環境になるなど、舗装および床版の耐久性を確保する上で、排水ますが確実に機能することがより一層重要になる。

一方、既設橋梁においては、橋面上の滞水、ならびにこれにより助長されたと考えられる舗装や防水層の劣化損傷が確認されている。また、代表的な排水設備である排水ますにおいて、排水ます自体の劣化損傷や機能不全が顕著であり、床版の維持管理上の課題になっている。

以上より、床版の劣化損傷要因となる橋面上の水を確実に排水できる排水ますについて各種の検討を実施した。具体的には、排水ますの劣化損傷状況を基に従来の排水ますが有する問題点の分析を行い、その結果から現状の問題点に対する細部構造を改善した排水ます（以下、高耐久排水ます）を提案した。

5.2 排水ますの劣化損傷状況と問題点

国土交通省北海道開発局が管理する国道橋に関する橋梁定期点検結果を基に、排水ますの劣化損傷事例の整理および問題点の分析を行った。以下では、劣化損傷の種類を三つに大別し、代表的な事例とともに従来の排水ますの問題点を説明する（図-32、図-33）。

(1) 排水ますと床版の一体性・止水性の不足

図-32 (a-1) は、排水管の腐食および排水管周りの床版コンクリートの剥落した事例であり、剥落部周辺のコンクリートには白色析出物が見られている。図-32 (a-2) は、排水管の腐食が進行し、破断に至った事例である。こうした劣化損傷は、排水ますと床版の一体性の不足およびそれに伴う止水性の不足により発生した漏水が、排水管の腐食や周辺コンクリートの脆弱化の要因となったものである（図-33 (a)）。

(2) 橋面水に対する排水能力の不足

図-32 (b-1) は、排水ますの土砂詰まりにより排水能力が低下した事例である。また、図-32 (b-2) の事例では、土砂詰まりに加えて排水ますの周辺が湿潤する様子が見られており、排水ますの機能不全により舗装内が滞水環境となりやすいことを示す。こうした不具合は、橋面上の水を排水する水抜き孔の断面が小さいこと、橋軸方向に直交する面への水抜き孔の設置が1箇所のみであることによる排水能力の不足が要因となって生じる（図-33 (b)）。また、排水ますの構造によっては床版コンクリート上面より高い所に水抜き孔が位置する場合もある。

(3) 排水ますと床版防水層の接続不良

図-32 (c) は、排水ます周辺の舗装を撤去した状態を示しており、床版防水層と床版コンクリートとの界面ではく離が生じた事例である。排水ますと床版防水層の接続不良により橋面水が適切に排水管に導入されない場合、排水ます近傍での滞水が舗装や防水層の劣化損傷を助長するほか、排水ますと床版防水層の間に隙間がある場合には、床版防水層の下側への水の浸入を許し、床版の耐久性低下を招くことになる（図-33 (c)）。

5.3 高耐久排水ますの提案

上記で整理した従来の排水ますの問題点に基づき、細部構造を改善した高耐久排水ますの提案を行った（図-34、



図-32 排水ますに関する代表的な劣化損傷状況

(a : 排水ます自体の劣化損傷、b : 排水能力の低下、c : 排水能力不足に起因した副次的な劣化損傷)

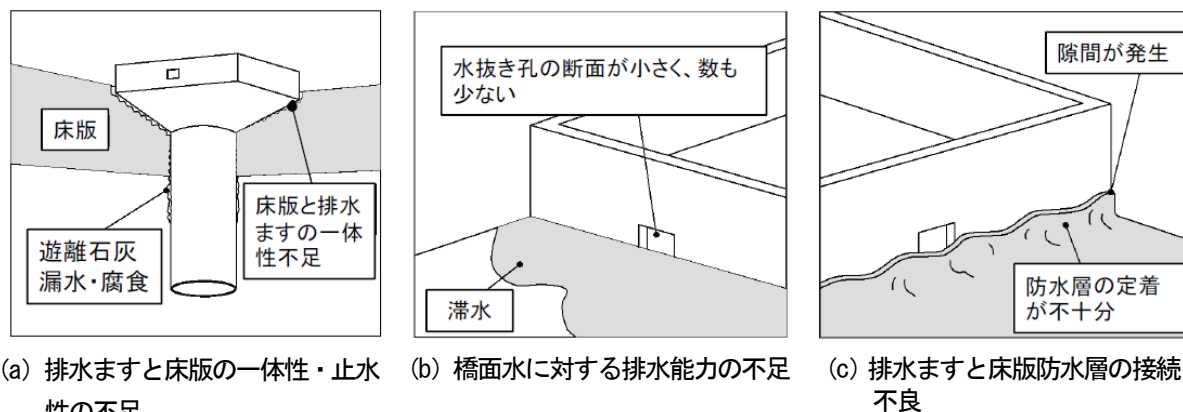


図-33 従来の排水ますにおける問題点

図-35)。主な改善点を図-36 に示し、以下にその解説をする。

(1) 排水ますと床版の一体性・止水性の向上

排水ますと床版の一体性を向上させるため、鉄筋取付け用リブを設け、定着用の鉄筋を介して床版と排水ますの定着を強化する構造とする (図-36 (a))。また、排水ます周辺に生じる床版コンクリートの初期ひび割れ等が導水経路となるのを防ぐため、排水ます周辺では床版防水層に浸透系防水材料を使用し、床版自体にも防水機能を与えるものとする (図-36 (b))。

(2) 橋面水に対する排水能力の強化

橋面水に対する排水性を強化するために、断面の大き

な水抜き孔をますの3面に2個ずつ設ける。また、水抜き孔近傍における目詰まりを抑制するために、従来の排水ますにはない排水溝を新たに設ける (図-36 (c))。

(3) 排水ますと床版防水層の接続性向上

排水ます周辺において床版コンクリート上面に水勾配を設置することで床版上面水を排水溝へ速やかに導水できる構造とする (図-36 (c))。

5. 4 高耐久排水ますの性能確認試験

提案した高耐久排水ますについて、排水ます本体の疲労耐久性、排水ますと床版の一体性および排水ます周辺の止水性を確認するために定点疲労載荷試験を実施した。

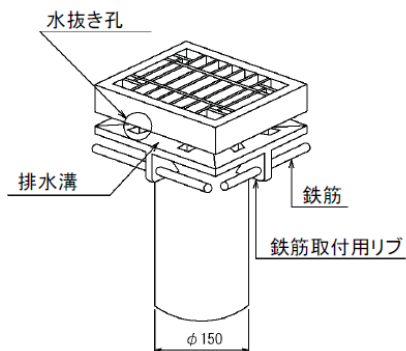


図-34 高耐久排水ますの概要



図-35 高耐久排水ますの外観

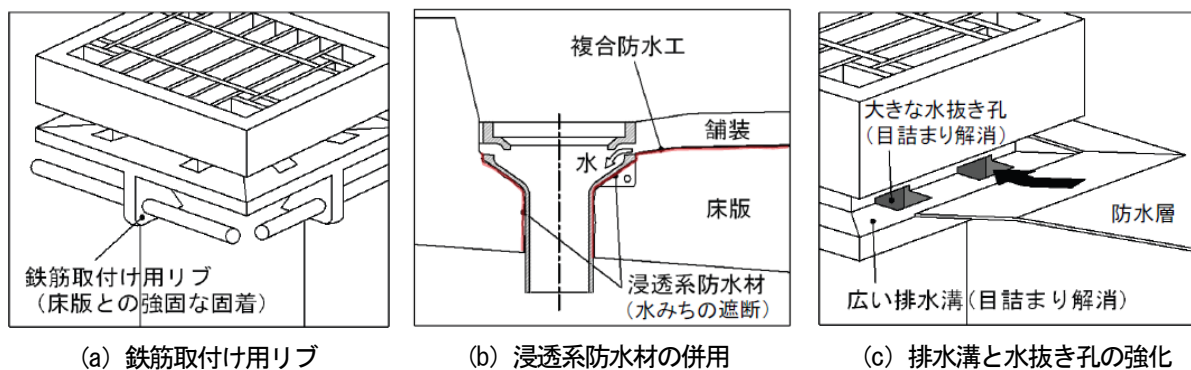


図-36 高耐久排水ますの特徴

5.4.1 試験方法

(1) 試験体

図-37 に試験概要図を示す。本試験では、既設橋での排水ますの交換を想定し、昭和 31 年鋼道路橋設計示方書¹¹⁾に基づいて試験体の設計を行った。排水ますの仕様を表-9 に示す。排水ますの周囲には、排水ますの設置に際して欠損する鉄筋量と同等の補強鉄筋（ループ鉄筋）を配置した。また、排水ますと床版部の隙間にはアクリル樹脂系の浸透系防水材を浸透させ、RC 床版部の上面には浸透系防水とアスファルト加熱型塗膜防水からなる複合防水を施工した。

(2) 荷重方法

荷重方法は定点疲労荷重とし、表-10 およびの図-38 ように荷重点 3 箇所について実施した。図-39 に試験状況を示す。なお、排水ます周辺の止水性を確認するため、荷重は水張り状態で実施することとし、漏水発生の確認を容易とするために蛍光塗料により水を着色している。荷重点 1 および 2 は、輪荷重が排水ますに直接荷重される場合を想定したものであり、鉄板を介して排水ますのふたの縁上に荷重する。荷重点 3 は、床版支間中央への輪荷重荷重を想定したものであり、床版のたわみ振動に起因した排水ます周辺のがたつき等を確認する。疲労荷重は周波数 10Hz の正弦波形により制御した。このとき

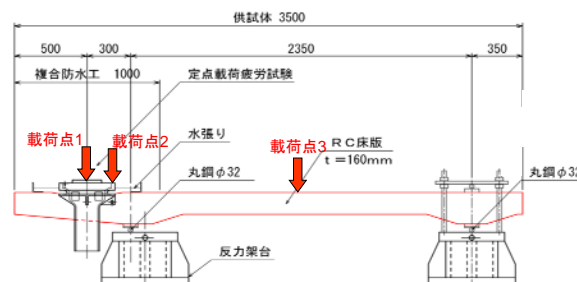


図-37 試験概要図

表-9 排水ます、防水層の仕様

排水ます	铸铁 (FC250), 溶融亜鉛めっき
コンクリート	設計基準強度 24N/mm ²
補強鉄筋	SD345
防水層	複合防水層 ・浸透系防水 ・アスファルト加熱型塗膜防水

の最大荷重は、荷重点 1 および 2 では、TL-25 の後輪タイヤ 1 本 (50kN) が荷重される場合を想定し、これに排水ます周辺の段差による衝撃の影響を考慮して衝撃係数 1.4 を掛け合わせた 70kN とした。荷重点 3 では、既設床版に TL-25 荷重を荷重した場合と同等のたわみが発生する荷重 50kN とした。荷重点によらず最小荷重は

表-10 試験条件および試験結果の一覧

	実験条件			実験結果	
	載荷位置	載荷荷重 (kN)	載荷回数 (万回)	水条件	排水ますの疲労き裂の発生 (床版下面)
載荷点1	排水ますの枠 (橋軸直角方向)	70	100	水張り	なし
載荷点2	排水ますの枠 (橋軸方向)	70	100		なし
載荷点3	床版支間中央	50	200		なし

5kN とした。載荷回数は載荷点 1 および 2 にそれぞれ 100 万回ずつとし、排水ますには合計で 200 万回載荷することとした。載荷点 3 は 200 万回とした。一般に排水ますは地覆近傍に設置され、排水ます上を TL-25 相当の荷重が通過する頻度は少ないことから、本試験の荷重条件は実際と比較して過酷なものである。

(3) 排水ますの損傷および漏水の確認方法

試験中は、目視観察により漏水の有無を確認した。また、試験終了後には目視観察および浸透探傷試験により排水ます本体の疲労き裂発生の有無を確認した。

5.4.2 実験結果

表-10 に試験結果の概要を、図-40 に試験終了後の排水ます内部および床版下面の排水管周辺の状況を示す。実験終了後に実施した浸透探傷試験の結果、排水ますには疲労き裂の発生は見られなかった。また、床版下面において排水管周辺からの漏水も見られなかった。これらのことより、提案した高耐久排水ますでは、供用中の輪荷重作用に対して、排水ます自体の疲労耐久性および排水ますと床版の一体性が十分に確保されるものであると考えられる。

5. 5 既設橋における排水ます交換時の留意事項

RC 床版の劣化損傷では凍害など水に起因する劣化損傷が多くを占めるが、その中でも排水設備の不良の件数は最も多い。床版の長寿命化は、耐久性の高い床版材料・構造を採用するだけでなく、適切な防水と排水が組み合わさることで達成されるものであり、既設床版の補修工事においてはより機能高い排水設備への交換を含めて対策方針を検討するべきである。ここでは、橋梁の維持管理事業において今後その数が増加すると考えられる既設橋の排水ますの交換について、施工時に特に留意が必要になる事項を整理する。

(1) 床版コンクリートの取壊し・既設排水ますの撤去

はつり施工機械を用いて既設排水ます周辺のコンクリートをはつり取る際、既設床版への影響に配慮してコンクリートの取壊し範囲が小さくなるように検討を行う。また、新旧コンクリートの打継界面の付着が良好となる

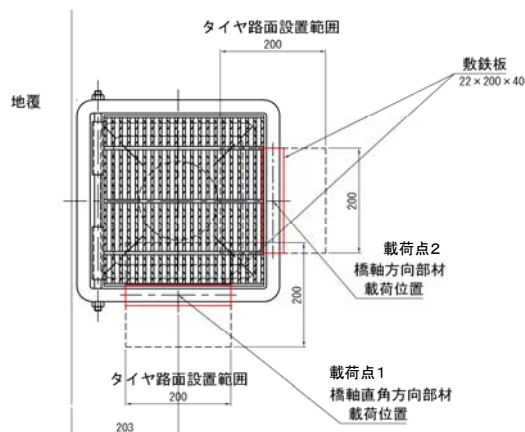


図-38 載荷位置の詳細 (載荷点 1、2)



図-39 試験状況

よう、コンクリート脆弱部等がある場合には確実に除去する。

(2) 補強鉄筋・型枠の設置

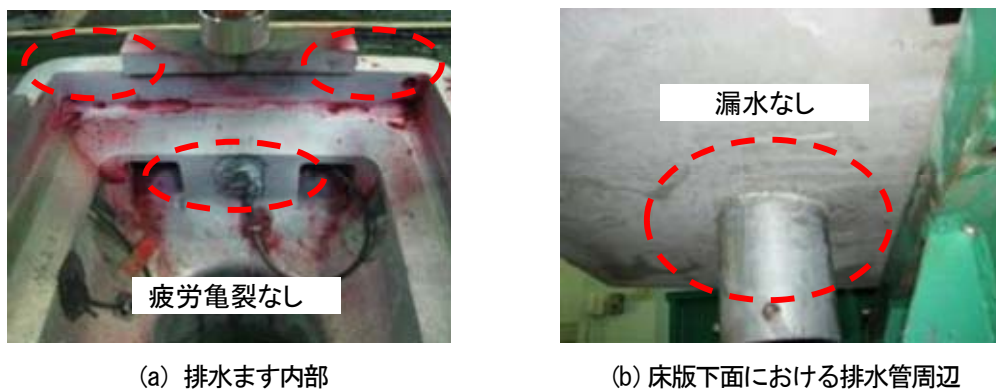
排水ますを設置するために欠損した鉄筋と同等以上の補強鉄筋（ループ鉄筋）を配筋する。補強鉄筋は乾燥収縮による斜めひび割れ対策として有効に機能するよう設置する（図-41 (a)）。

(3) 排水ますの設置

排水ますと床版を強固に定着させるために、図-41 (a) のように定着用鉄筋をリブに取り付ける。

(4) 排水ます周辺のコンクリート打設

コンクリート打設の際には、排水ますとコンクリート床版を強固に定着させるために、排水ます下部の締め固めを確実にを行う必要がある。また、橋面水をスムーズに



(a) 排水ます内部

(b) 床版下面における排水管周辺

図-40 試験終了後の試験体の状況



(a) 補強鉄筋の設置

(b) 排水ます周辺の勾配

(c) 防水層施工前の養生

(d) 舗設前の養生

図-41 排水ます交換施工時の留意事項

排出できるよう、図-41 (b) のようにコンクリートに排水勾配を付けて仕上げる。

(5) 床版防水

防水層の施工前には、排水溝に防水層材料が流入しないように配慮し、排水ますの周囲に図-41 (c) のようにテープ等で養生を行うのがよい。床版コンクリートの初期ひび割れ等が導水経路となるのを防ぐために、排水ます周囲のコンクリートに浸透系防水材を浸透させる。アスファルト塗膜系防水材は、流し込んで施工すると排水勾配が埋まって平坦となりやすいため、刷毛塗りで施工するのが望ましい。

(6) 舗設

舗設時には、排水溝をアスファルト合材で閉塞しないよう配慮する必要がある。この場合、図-41 (d) のように排水ますの周囲を鋼板等で養生した状態で基層を舗設するのがよい。

6. 床版防水システムの設計・施工マニュアル(案)

最後に、上記の検討結果を基に、「積雪寒冷地用床版防水工設計・施工マニュアル(案)」を取りまとめた。本マニュアル(案)では、耐久性に優れる床版防水システムを構築するために、床版防水を設計する際の要求性能の照査方法および防水層の選定方法に加え、新設および既

設の床版に対する床版防水の設計・施工上の留意事項について解説している。また、凍結融解に対する性能を確認するための試験方法や、床版防水システムの品質を確保するための施工管理方法等について記載した。

7. まとめ

本研究では、道路橋RC床版の長期健全性確保において重要な役割を担う床版防水システムについて、積雪寒冷環境および重交通路線において適用できる耐久性に優れる床版防水システムを開発し、その性能評価技術の提案を行った。その成果を以下に要約する。

- 1) 北海道内での防水層に関する現地調査の結果、防水層が設置された多くの橋梁において、設置年次によらず防水層の機能不全が生じていることを確認した。また、構造や道路線形上の理由で滞水が生じやすい箇所、床版面の処理不足が考えられる箇所において防水層の付着消失が顕著であることを確認した。
- 2) 積雪寒冷地において特に防水層の性能低下への影響が大きいと考えられる要因として「防水層施工時の温度」「床版面の研掃の有無」「防水層敷設後の凍結融解作用」「床版面の滞水」を挙げ、これらが防水層の接着特性に与える影響を分析した。その結果を基に、床版防水システムを設計・施工する上での留意事項を整

理した。

- 3) 床版防水システムに関する新しい性能評価手法として、ランダムホイールトラッキング負荷試験を基に、舗装の耐久性に着目して防水層の接着性能を評価する方法を検討した。その結果、舗装、防水層、床版からなる構造体として舗装の塑性変形に対する抵抗性を確保するためには、せん断剛性を照査項目として追加することが望ましく、その合否判定の目安としてせん断剛性 $0.1\text{N}/\text{mm}^3$ を採用することを提案した。
- 4) 床版防水システムの重要な構成要素である排水ますに着目し、橋梁定期点検結果を基に、排水ますの劣化損傷状況の把握および従来型排水ますの問題点の整理を行った。その結果から、細部構造を改善した高耐久排水ますを提案し、載荷試験による性能確認を行った。また、既設橋梁において排水ますを交換する際の留意事項を整理した。

参考文献

- 1) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理、森北出版株式会社、2007
- 2) 澤松俊寿、岡田慎哉、山崎達也：一般国道 275 号志寸川橋の床版陥没について、第 56 回北海道開発技術研究発表会、

2012

- 3) 五島孝行、大田孝二、梶尾聡、鈴木康範、井戸康清、島田守：アルカリ骨材反応で損傷した道路橋床版の調査、土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集、pp.835-836、2013
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編、2002.
- 5) 日本道路協会：道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計施工資料、1986
- 6) 日本道路協会：道路橋床版防水便覧、2007
- 7) 小浦貴明、大西弘志、松井繁之：道路橋床版防水システムの付着耐久性評価、土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集、pp.311-312、2005
- 8) 小浦貴明、大西弘志、松井繁之：道路橋床版における防水システムの付着耐久性評価手法の開発、土木学会第 59 回年次学術講演会講演概要集、pp.249-250、2004
- 9) 松井繁之：ランダムトラバースホイールトラッキング試験機による床版+防水工+舗装の耐久性評価、平成 17 年度～平成 18 年度科学研究費補助金基盤研究 C 研究成果報告書、2007
- 10) 建設省土木研究所：設計活荷重に関する研究（交通荷重の実態と橋梁設計への適用）、土木研究所資料第 701 号、1971.
- 11) 日本道路協会：鋼道路橋設計示方書・同解説、1956

STUDY ON HIGHLY-DURABLE SLAB WATERPROOFING SYSTEM FOR KEEPING PERFORMANCE OF BRIDGE DECK SLABS

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Cold-Region Construction

Engineering Research Group
(Structures)

Author : NISHI Hiroaki

KONNO Hisashi

SATO Koji

SATO Takashi

SAIJOH Norio

KAKUMA Ko

Abstract : Bridge concrete slabs have been affected by water and water-related degradation such as salt damage, frost damage and alkali silica reaction. This study developed the high durable waterproofing system which can be especially applied to concrete slabs constructed in snowy cold region a/o heavy traffic routes. Firstly, the degradation factors of the performance of waterproofing layer were investigated based on in-situ surveys and several tests focusing on degradation factors on construction method. Secondly, new method for the evaluation of the adhesion property of waterproofing layer using random wheel trucking test was proposed. The test can simulate deformation of asphalt pavement under actual wheel running condition, and adhesion property is evaluated by deformation rate of pavement. Thirdly, new-type high-durable catch basin for concrete slabs was proposed and the fundamental performance was validated by fatigue test. Finally, design and construction manual for waterproofing system applied to snowy cold region, which explains performance verification method and notes for design and construction steps of waterproofing system, was arranged.

Key words : Waterproofing system, RC slabs, Performance evaluation method, High-durable catch basin