

## 論文

## 床版の切削状態と防水材塗布量の違いが各種強度や防水性能に及ぼす影響

山澤文雄\*, 中村拓郎\*, 松田伸吾\*, 安中新太郎\*

\* (国研) 土木研究所寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1-34)

既設床版の切削面に適用する床版防水技術の開発を目的に、コンクリート平板の表面条件および防水材の種類や塗布量が防水層の性能に与える影響について接着強度試験や防水性試験などの基礎的な性能確認試験により確認した。その結果、防水材の種類によっては切削面におけるせん断強度が改善されること、また、防水材の塗布量を増やすことにより、防水層に負荷がかかる状況においても防水機能を維持できる可能性を示した。

キーワード: 既設床版, 切削溝, 防水材, 塗布量

## 1. はじめに

道路橋のコンクリート床版で発生する劣化の多くは路面から浸入する水に起因することから、床版の耐久性を確保するためには、遮水性に優れた舗装の採用や防水層の設置によって床版への水の浸入を防ぐ防水機能が適切に発揮される必要がある。

既設床版における防水層の施工に対しては、舗装切削時に床版面に発生する切削溝<sup>1)</sup>やマイクロクラック<sup>2)</sup>が与える防水層の接着性や防水性の影響に関する検討が行われており、例えば、東・中・西日本高速道路株式会社においては、床版の下地処理方法の標準化や、床版表面の粗さに関する基準値および床版表面を平滑にする不陸調整材に関する規定が定められている<sup>3)</sup>。また、既報<sup>4)</sup>において、施工試験等の結果を基に防水層施工時の下地処理(研掃等)の重要性を示してきたが、一方で実際の補修工事においては、施工時間や費用等の制約から下地処理が実施されない場合が多くみられる。

本研究では、切削溝が防水層の性能に与える影響を把握するとともに、既設床版の舗装切削面に適用する床版防水技術の開発を目的に、アスファルト加熱型塗膜系防水材の基本的な性能確認試験を行った。

## 2. 試験概要

## 2.1 試験ケース

試験には既設床版の舗装切削状況(写真-1)を想定したコンクリート平板とともに比較のため新設床版を想定したコンクリート平板を用いた。また、それらの平板上にはアスファルト加熱型塗膜系防水材を塗布したのち舗装を施工し、その後各種の性能試験を実施した。

表-1には各種試験のケース一覧を図-1には試験フ

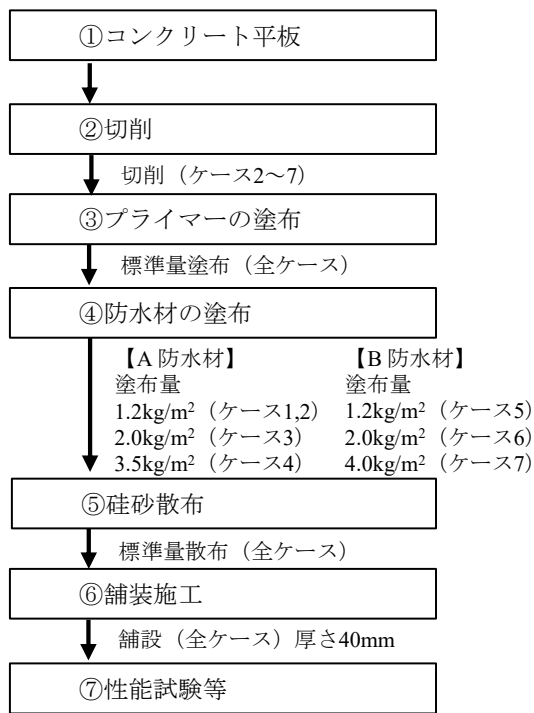


写真-1 既設床版の舗装切削状況

表-1 試験ケース一覧

ケース	平板表面	防水材	塗布量 (kg/m <sup>2</sup> )	舗装材料	
				引張接着・せん断試験	防水性試験Ⅱ
					通常   WT後
1	平滑	A	1.2	細密粒度 ギャップAs	-
2	切削		1.2		密粒度As
3			2.0		粗粒度As
4			3.5		粗粒度As
5		B	1.2	密粒度As	
6	2.0		粗粒度As		
7	4.0		密粒度As		

ローを示す。コンクリート平板表面の状況(切削面, 平滑面), 防水材の種類および塗布量を変化させた7ケースについて、防水便覧に準拠した引張接着試験およびせん断試験を実施した。また、防水層の防水性能を確認する試験として防水性試験Ⅱを実施した。防水性試験Ⅱは防水便覧に準拠した供試体に対し行うとともに、供用に



引張接着試験, せん断試験,  
防水性試験II, ホイールトラッキング試験

図-1 試験フロー

よる防水機能の影響を確認するため、ホイールトラッキング負荷試験後の供試体にも実施した。

ケース1は新設床版を想定した平滑なコンクリート平板に、プライマー、一般的に使用されている防水材（以下、A）および珪砂を標準量施工し、舗設を行っている。ケース2から7は既設床版の切削状況を想定したもので、そのうちケース2から4はAの防水材を、ケース5から7は平滑面のせん断接着強度をAの防水材の3倍となる様に配合調整した防水材（以下、B）を、それぞれ標準量および増量し塗布している。なお、本研究における各材料の標準量は、プライマー 0.2kg/m<sup>2</sup>、防水材 1.2kg/m<sup>2</sup>、珪砂 0.70kg/m<sup>2</sup> とした。いずれのケースもプライマー、珪砂は標準量を施工し、アスファルト混合物は基準<sup>5)</sup>に従い厚さ40mmを施工した。

## 2.2 使用材料および施工状況

コンクリート平板はJIS A 5371 に定められた平板を使用し、表面に切削溝を加工した切削供試体とともに表面を未加工の平滑供試体を使用した。切削供試体は、切削溝形状を溝幅12mm程度、表面粗さ（きめ深さ）を2mm程度となるように定置式切削装置（写真-2）を用いて製作した。

写真-3には製作した切削供試体および平滑供試体を示す。なお、切削供試体のきめ深さはサンドパッチング法<sup>6)</sup>で測定しており、平均値は2.3mm（表-2参照）となった。

アスファルト加熱型塗膜系防水材は、一般的に使用さ



(a)定置式切削装置外観 (b)切削ビット  
写真-2 定置式切削装置



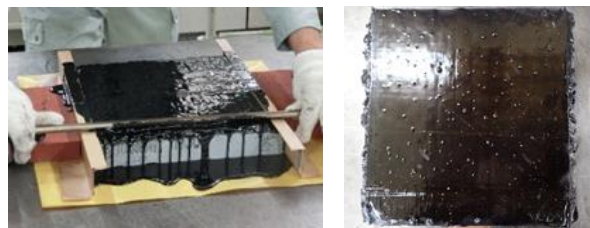
(a)切削面 (b)平滑面  
写真-3 平板供試体の表面状況



(a) 防水材塗布(刷毛) (b) 塗布完了  
写真-4 防水材塗布状況 (塗布量 1.2kg/m<sup>2</sup>)



(a) 防水材塗布(刷毛) (b) 防水材流し込み



(c) 均一に敷均し (d) 塗布完了  
写真-5 防水材塗布状況 (塗布量 4.0kg/m<sup>2</sup>)

れているAおよび配合調整したBを使用した。ケース1, 2, 5の塗布量は標準量(1.2kg/m<sup>2</sup>)とした。ケース3, 6の塗布量については未塗布部が生じない最低塗布の量を確認する予備試験を実施し、切削面に対して平滑面の1.63倍となったことから、標準量(1.2kg/m<sup>2</sup>)の約1.63倍



の2.0kg/m<sup>2</sup>とした。ケース4, 7の塗布量は切削溝が防水材により埋められる量を加味し、塗布面が平滑となる3.5kg/m<sup>2</sup>, 4.0kg/m<sup>2</sup>とした。

写真-4, 5には防水材塗布状況の一例を示す。防水材を標準量から2.0kg/m<sup>2</sup>塗布する場合(ケース1, 2, 3, 5, 6)は、刷毛を使用し防水材を塗布した。切削面が平滑となる量を塗布した場合(ケース4, 7)は、刷毛を使用し防水材を塗布した後、さらに防水材を流し込み金属製のアングル材と棒を用いて防水材が均一になる様に施工した。

表-2にはコンクリート平板の表面状況ときめ深さ、防水材塗布後の膜厚およびきめ深さを示す。なお、ケース3, 6の防水材の膜厚・きめ深さは未測定である。防水材の膜厚は切削溝の上端の3点を測定した平均値であり、平滑面に標準量塗布したケース1と比較すると、切削面に標準量塗布したケース2, 5の膜厚は約0.6倍に、切削面が平滑となる量を塗布したケース4, 7の膜厚は約2倍となった。

アスファルト混合物は各種試験に対して違う舗装材料を使用した。引張接着試験およびせん断試験の舗装材料は国土交通省北海道開発局において橋面舗装の基層として標準的に使用されてい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。防水性試験IIの舗装材料は複数の地方整備局で橋面舗装の基層として多用されている密粒度アスファルト混合物(13)(ポリマー改質アスファルトII型)を使用し、舗装の粗さの影響を確認するために舗装材料としては粗粒度アスファルト混合物(20)(ポリマー改質アスファルトII型)を使用した。アスファルト混合物の舗設はローラーコンパクタを用い、マーシャル安定度試験における締固め度が100±1%になるまで転圧した(写真-6)。なお、転圧方向は切削方向に平行とした。

### 2.3 試験方法

防水便覧<sup>5)</sup>に定める以下の試験を行った。引張接着試験(写真-7(a))は、床版防水層と床版および舗装との引張接着性能を確認するために行った。試験は載荷速度約毎秒0.1N/mm<sup>2</sup>で鉛直方向に接着界面または材料が破壊するまで実施し、破壊時の最大荷重を計測、破壊状況を確認した。なお、試験温度は23±2℃とし、供試体数は各ケース3個とした。

せん断試験(写真-7(b))は、床版防水層と床版および舗装とのせん断性能を確認するために行った。試験は載荷速度約毎分1mmで接着界面または材料が破壊するまで実施し、破壊時の最大荷重および最大荷重時における変位量を計測、破壊状況を確認した。なお、試験温度は23±2℃とし、供試体数は各ケース3個とした。

防水性試験II(写真-7(c))は、切削平板の床版防水層の防水性能を確認するために行った。試験は供試体コアの上面および側面をエポキシ樹脂で密封後、防水性試験

表-2 試験体状況(平板・防水材)

ケース	平板		防水材			
	表面状況	きめ深さ(mm)	防水材	塗布量(kg/m <sup>2</sup> )	膜厚(mm)	きめ深さ(mm)
1	平滑	-	A	1.2	1.2	0.7
2	切削	2.4		0.8	1.4	
3		2.3		-	-	
4		2.3		3.5	2.3	0.3
5		2.4		1.2	0.7	2.0
6		2.3	2.0	-	-	
7		2.1	4.0	2.5	0.3	



(a) 転圧状況

(b) 舗設完了

写真-6 舗設状況



(a) 引張接着試験

(b) せん断試験



(c) 防水性試験II

(d) ホイールトラッキング負荷試験

写真-7 試験状況写真

の加圧部内を検査液で満たし、コンプレッサにより0.5MPaの圧力をかけ減水量を測定、試験後の供試体円柱を中心軸に沿いふたつに割裂し浸透状況を確認し漏水の判定を行った。試験温度は23±2℃とし、供試体はφ100mmのコア各ケース3個を使用した。また、供用中の交通荷重が床版防水層に与える影響を確認するため、ホイールトラッキング負荷試験(写真-7(d))を行った。防水性試験IIにはホイールトラッキング負荷試験後の供試体を用いるケースも加えた。この場合、φ100mmのコアを試験輪走行位置から各2箇所ずつ採取している。さらにホイールトラッキング負荷試験の際には耐流動性を確

認するため塗布量に対する動的安定度を測定した。ホイールトラッキング負荷時試験温度は  $60 \pm 0.5^\circ\text{C}$  とし、120 分間転圧方向と同一方向を走行して試験を行った。

### 3. 試験結果

#### 3.1 引張接着試験結果

図-2 に引張接着試験結果を示す。なお、治具の接着部で破壊が生じた供試体（ケース 1, 5 の各 3 体のうち 1 体）については図中から除外した。引張接着強度は平板表面が平滑なケース 1 が最も大きくなっているが、いずれのケースも防水便覧の基準値  $0.60\text{N}/\text{mm}^2$  以上<sup>5)</sup>を満足している。

図-3 には各試験における破断状況の判断に用いた破断状況対照表および試験概要図を、表-3 には引張接着試験後の供試体の破断状況を示す。ここでは平板の表面状態により破断面の状況、位置の傾向の違いが分かる。平板表面が平滑な場合（ケース 1）の破断面の位置は舗装材破壊および床版防水層の破壊であった。平板表面を切削した場合（ケース 2 から 7）の破断面の位置はコンクリートの破壊および床版防水層とコンクリートの界面破壊であった。これらについては切削面近傍において切削に伴い、コンクリート中にマイクロクラックが発生し強度が低下していることが推察され、コンクリート側の破壊が支配的になったとため考えられる。一方、塗布量の違いによる引張接着強度への明確な影響は認められなかった。

#### 3.2 せん断試験結果

図-4 にはせん断試験結果（せん断強度）を示す。A の防水材料を使用したケースで比較すると、平滑面に防水材料を標準量塗布したケース 1 のせん断強度は防水便覧の基準値  $0.15\text{N}/\text{mm}^2$  以上<sup>5)</sup>を満足している。しかし、切削面に防水材料を標準量塗布したケース 2 のせん断強度は平均

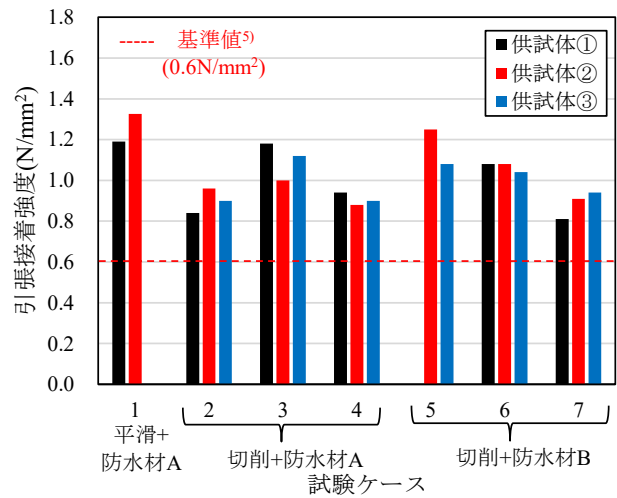
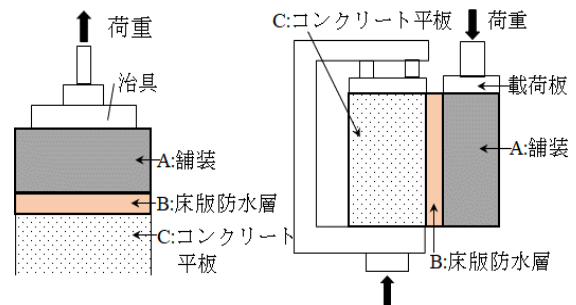


図-2 引張接着試験結果 (23°C)

項目	破壊状況
A	舗装材破壊
AB	舗装と床版防水層の界面破壊
B	床版防水層の破壊
BC	床版防水層とコンクリートの界面破壊
C	コンクリートの破壊



(a) 引張接着試験 (b) せん断試験

図-3 破壊状況対照表および試験概要図

表-3 引張接着試験の破断状況

ケース		1	2	3	4	5	6	7
破断状況	供試体①							
	供試体②							
	供試体③							
破断面の位置	供試体①	A: 舗装材破壊	BC: 床版防水層とコンクリートの界面破壊	C: コンクリートの破壊	BC: 床版防水層とコンクリートの界面破壊	—	C: コンクリートの破壊	C: コンクリートの破壊
	供試体②	B: 床版防水層の破壊	BC: 床版防水層とコンクリートの界面破壊	C: コンクリートの破壊	C: コンクリートの破壊	BC: 床版防水層とコンクリートの界面破壊	C: コンクリートの破壊	C: コンクリートの破壊
	供試体③	—	BC: 床版防水層とコンクリートの界面破壊	C: コンクリートの破壊	BC: 床版防水層とコンクリートの界面破壊	BC: 床版防水層とコンクリートの界面破壊	C: コンクリートの破壊	C: コンクリートの破壊

値では基準値以上となるが、3個の供試体のうち1個の供試体は基準値を満足していない。また、防水材料を増量し塗布したケース3,4のせん断強度はいずれの供試体も基準値を満足していない。一方、切削面にBの防水材料を使用したケース5,6,7のせん断強度は、いずれの供試体においてもせん断強度は基準値を大きく上回っている。このことから、切削面に防水材料を施工する場合には、Bの様にせん断接着強度を改善した防水材料を使用することが有効であると分かった。

表-4にはせん断試験後の供試体の破断状況を示す。なお、破断状況の判断には、図-3の破壊状況対照表を用いた。せん断試験の破壊面の位置は、使用した防水材料の種類により異なっており、Aの防水材料を使用したケースにおいては床版防水層あるいは舗装と床版防水層の界面が破壊した。Bの防水材料を使用したケースにおいては一例を除き舗装と床版防水層の界面あるいは舗装材が破壊している。これはBの防水材料のせん断強度の改善により、最弱面が舗装と防水層との界面および舗装材側に移行したためと考えられる。

図-5にはせん断試験において荷重が最大となった時点の変位量を示す。最大荷重時の変位量は、いずれのケースにおいても基準値の1.0mm以上<sup>5)</sup>を満たしている。また、標準量よりも塗布量を増やしたケース(3,4,6,7)の変位量はそれぞれの防水材料を標準量塗布したケースの変位量より大きい傾向を示している。特にAの防水材料を使用したケース3,4の変位量はケース2の変位量の2倍程度となっており、その傾向が顕著である。こうした傾向は舗装の轍の生じやすさ等に影響を及ぼすことから、防水材料の塗布量を増やす場合には注意が必要である。

### 3.3 防水性試験Ⅱ結果

表-5に防水性試験Ⅱの結果を、写真-7には防水試験時に漏水のあったケース2の供試体の割裂後の状況を示

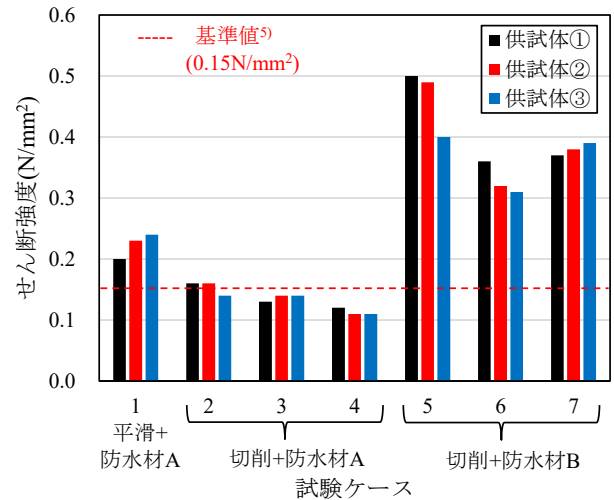


図-4 せん断試験結果 (せん断強度) (23°C)

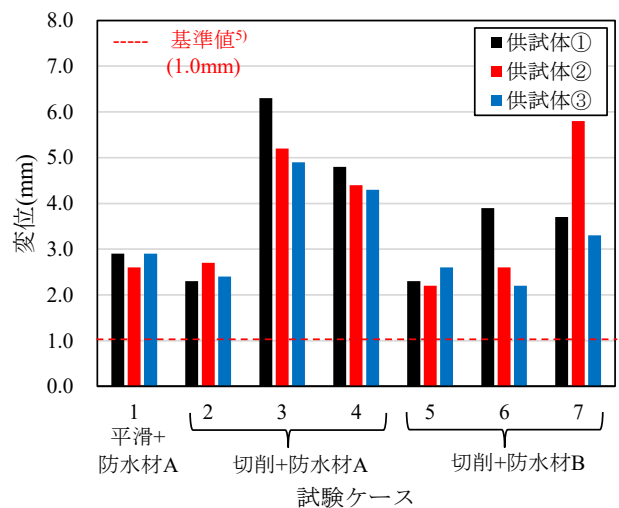


図-5 せん断試験結果 (変位) (23°C)

表-4 せん断試験の破断状況

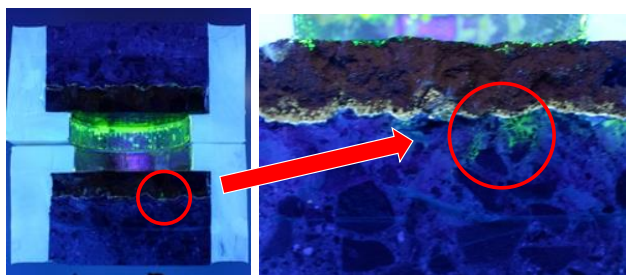
ケース	1	2	3	4	5	6	7	
破断状況	供試体①							
	供試体②							
	供試体③							
破断面の位置	供試体①	B: 床版防水層の破壊	B: 床版防水層の破壊	AB: 舗装と床版防水層の界面破壊	B: 床版防水層の破壊	B: 床版防水層の破壊	AB: 舗装と床版防水層の界面破壊	A: 舗装材破壊
	供試体②	B: 床版防水層の破壊	B: 床版防水層の破壊	AB: 舗装と床版防水層の界面破壊	B: 床版防水層の破壊	AB: 舗装と床版防水層の界面破壊	AB: 舗装と床版防水層の界面破壊	A: 舗装材破壊
	供試体③	B: 床版防水層の破壊	B: 床版防水層の破壊	AB: 舗装と床版防水層の界面破壊	B: 床版防水層の破壊	AB: 舗装と床版防水層の界面破壊	AB: 舗装と床版防水層の界面破壊	A: 舗装材破壊



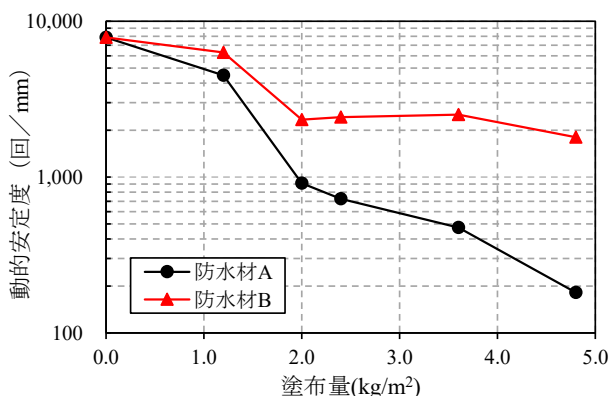
表一5 防水性試験Ⅱの結果

ケース	平板表面	防水材	塗布量 (kg/m <sup>2</sup> )	密粒度As		粗粒度As	
				通常	WT履歴有	通常	WT履歴有
2	切削	A	1.2	合格 (漏水無)	合格 (漏水無)	合格 (漏水無)	不合格 (漏水有)
3			2.0	-	-	合格 (漏水無)	合格 (漏水無)
5		1.2	合格 (漏水無)	合格 (漏水無)	合格 (漏水無)	不合格 (漏水有)	
6		2.0	-	-	合格 (漏水無)	合格 (漏水無)	
7		4.0	合格 (漏水無)	合格 (漏水無)	-	-	

WT：ホイールトラッキング負荷試験



写真一7 防水性試験後の供試体の一例  
ケース2 (漏水有)



図一7 塗布量と動的安定度の関係 (60°C)

す。なお、試験は塗布量の少ないケースから行い。合格した場合には、確認のためのケース7 (密粒度) 以外は塗布量を増やす試験を割愛した。密粒度アスファルト混合物(13)を使用した場合は、防水便覧に準拠し製作した供試体、ホイールトラッキング負荷試験後の供試体のいずれにおいても漏水は認められなかった。粗粒度アスファルト混合物(20)を使用した場合は、防水便覧に準拠し製作した供試体に漏水は認められなかった。しかし、ホイールトラッキング負荷試験後の供試体において防水材塗布量を標準量としたケース2, 5の供試体の1つに防水層の界面において漏水が確認された。一方で防水材の塗布量を増やしたケース3, 6の供試体に漏水が認められなかったことから、防水材の塗布量を増やすことにより、防水層に負荷がかかる状況においても防水機能を維持できる可能性があることが分かった。

### 3.4 ホイールトラッキング負荷試験結果

図一7には密粒度アスファルト混合物(13) (ポリマー改質アスファルトⅡ型) を使用した場合の防水材塗布量と動的安定度の関係を示す。ここに示すように、防水材の種類により同定期安定度の低下傾向が異なることが分かった。また、動的安定度は塗布量が同じ場合には、Bの防水材のほうがAの防水材よりも大きい。また、Aの防水材の動的安定度は塗布量が増えると減少傾向にある。一方、せん断接着強度を高めたBの防水材の動的安定度は塗布量2.0kg/m<sup>2</sup>で減少するが、さらに塗布量を増やしても大きく減少せず、この点においても優れている。ただし、塗布量の増加による動的安定度の低下傾向は認められるため、実際の現場で塗布量を増量して使用する際には交通条件やバインダーの種類などに留意する必要がある。

### 4. おわりに

本研究は、切削溝が防水層の性能に与える影響を把握するとともに、既設床版の舗装切削面に適用する床版防水技術の開発を目的とし、防水材の性能や使用量に係る基本的な評価試験を行った。

本研究より、既設床版 (切削上面) であっても、せん断強度を改善した防水材を増量塗布することによって、平滑面に一般的な防水層を施工した場合と同等の接着性能を確保できる可能性が示され、また防水性能についても塗布量を増やすことにより、負荷がかかる状況においても防水機能を維持できる可能性を示すことができた。今後、現場適用に向けた施工性等を確認する予定である。

### 参考文献

- 1) 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回年次学術講演会講演概要集, CS7-005, 2017.
- 2) 米来哲之, 豊田雄介, 沼田政稔, 田中伸介: 床版下地処理方法が防水層の接着に及ぼす影響に関する一考察, 土木学会第72回年次学術講演会講演概要集, CS7-006, 2017.
- 3) 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: 構造物施工管理要領, 2019.7
- 4) 澤松俊寿, 三田村浩, 西弘明: 積雪寒冷地における床版防水の性能低下要因に関する一検討, 寒地土木研究所月報, No.712, pp.17-23, 2012.
- 5) 日本道路協会: 道路橋床版防水便覧, 2007.
- 6) 日本道路協会: 舗装調査・試験法便覧 (第1分冊), 2007.6

(2020年7月17日受付)