

コンクリート床版の表面粗さと水分量が 防水性能へ与える影響検討

森重和¹・小瀬詠理²・角裕介³

¹ (一財)阪神高速先進技術研究所調査研究部

² 阪神高速技術(株)深江浜事業所

³ 技術部技術推進室

要約

道路橋床版防水便覧では降雨直後やコンクリート床版打設直後2週間以内は、残存水分による接着力低下を懸念し、床版防水層を実施しないようにとの記述がある。しかし、阪神高速道路で実施しているような大規模修繕工事を対象とした場合、水分量を低下させるために2週間の工程を確保することは現実的ではない。そこで、本稿では、数種類の素地調整方法を試行した模擬コンクリート床版を用いて、床版の凹凸の程度（表面粗さ）が床版水分量の経時変化へ与える影響を確認するとともに、供試体を用いた付着性試験より、床版の表面粗さと水分量が防水層の性能へ与える影響について評価した。

キーワード: 素地調整, コンクリート床版, きめ深さ, 床版防水, 水分量

1. はじめに

湿潤状態のコンクリート床版は、乾燥状態に比べて疲労耐久性が著しく低下することが知られている¹⁾。道路橋床版の長期耐久性を確保するため、床版防水層を設ける必要がある²⁾が、雨水等の水分が床版へ浸透するのを防止する床版防水層の性能は、下地となるコンクリート床版上面の状態に影響を受けると考えられている³⁾。

防水工施工前における床版の乾燥状態の確認方法については、道路橋床版防水便覧⁴⁾において、一般的に高周波容量式水分計を用いて、水分量10%以下で管理されているものの、凹凸面における測定精度には課題があるとされている⁵⁾。また、文献⁶⁾によると電気抵抗式水分計によるカウント値200以下となれば床版面は乾燥状態であると評価できるとしている。さらに、床版面に水分が残存している状態で防水層を施工した場合、床版との接着が低下するといわれており⁵⁾、床版上水分量の測定方法と管理値については、見直しが必要となる可能性がある。

よって、本実験では、数種類の素地調整方法を試行した模擬コンクリート床版を用いて実施した、素地調整方法（表面粗さ）が床版上水分量の経時変化へ与える影響確認と、供試体を用いて実施した付着性試験より、素地調整方法と水分量が床版防水層の接着性へ与える影響について検討した。なお、素地調整方法の違いによる防水層の性能や床版の凹凸低減効果については、文献⁶⁾にて明らかになっている。

2. 素地調整方法が床版上の水分量の経時変化へ与える影響確認試験

(1) 素地調整方法の水準

本検討で用いた素地調整機械一覧を表-1に、素地調整方法と機械の設定を表-2に示す。本実験は模擬コンクリート床版を作製した後に床版を切削し、各種素地調整を実施した面における水分量の経時変化を測定した。水分量の測定範囲は0.5 m×0.5 mとした。

表-1 素地調整機械一覧

各工法	機械外観	工法概要
スチール ショット ブラスト 工法 (SSB工法)		<ul style="list-style-type: none"> 超高速で鉄球を撃ちつけて処理し、投射密度により、施工能力の調整が可能 鉄球と研掃屑を吸引・回収し清掃する
ダイヤモンド 小型 研削機 (研削機)		<ul style="list-style-type: none"> ダイヤモンドブレードの回転による処理で、研削後に清掃作業は別途必要 凹凸面には対応不可 施工後は表面が平滑化する
薄層 切削機		<ul style="list-style-type: none"> 平ビットによる薄層切削処理でmm単位で切削が可能 切削後同時吸引のため清掃が容易 施工後は表面が平滑化する

表-2 素地調整水準と機械設定条件

床版面	素地調整種類	設定、使用刃	
平滑面	処理なし		
切削面	処理なし		
	SSB(大)	投射密度	150 kg/m ²
	SSB(中)	投射密度	100 kg/m ²
	SSB(小)	投射密度	50 kg/m ²
	研削	ダイヤモンドブレード	
	薄層切削	専用平ビット	

表-3 水分計の種類と評価指標

測定方法	高周波容量式水分計	電気抵抗式水分計
測定状況		
評価指標	水分量 (%)	カウント値

表-4 水分量測定条件

項目	内容
測定箇所	5箇所/1素地調整方法
測定時間 (分)	0 (散水直後), 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 180, 240

表-5 水分量測定時の環境条件

測定項目	単位	測定結果		
		最大	最小	平均
気温	℃	12.0	7.3	9.9
湿度	%	46.9	35.7	40.2
風速	m/s	13.0	9.0	11.0
床版面温度	℃	3.8	2.0	2.8
天候		晴れ		

(2) 水分量の調整と測定方法

素地調整方法が床版上の水分量の経時変化に与える影響を評価するため、床版上水分量を調整した。本実験では、一様な湿潤状態とするため0.5 l/m²の水を散布することとした。

本実験における水分量の経時変化の測定には、電気抵抗式水分計と高周波容量式水分計を用いた。測定に用いた水分計の種類と評価指標を表-3に、測定条件を表-4に、水分量を測定した当日の環境条件を表-5に示す。

(3) 水分計測定機器間における結果の比較

平滑面処理なしにおける水分量測定結果を表-6と図-1に示す。高周波容量式水分計は、水分量が多いほど、1箇所の測定に時間を要し、写真-1に示すような明らかな湿潤状態にも関わらず、水分量は6~7%と防水工実施の目安とされる10%以下⁴⁾を示したことから、本試験の測定に不向きであると判断し、以降の測定には使用しないこととした。

表-6 水分量測定結果 (平滑面処理なし)

経過時間 (分)	電気抵抗式水分計 カウント値						高周波容量式水分計 水分量					
	①	②	③	④	⑤	平均	①	②	③	④	⑤	平均
散水前	87	73	76	88	92	83	4.7	4.2	3.9	5.0	4.7	4.5
0	375	536	529	361	380	436	※	※	※	6.6	7.2	6.9
10	368	523	523	369	378	432	4.3	9.0	※	6.1	5.0	6.1
20	527	453	531	531	397	488	※	5.4	※	※	5.2	5.3
30	535	475	533	520	319	476	※	7.5	※	7.5	4.5	6.5
40	508	536	534	485	278	468	※	6.1	※	7.5	4.5	6.0
50	484	365	536	346	174	381	7.0	6.0	※	7.3	4.5	6.2
60	239	340	537	505	284	381	5.8	5.8	8.2	5.0	4.6	5.9
70	152	290	517	326	245	306	5.3	4.9	6.2	5.8	4.7	5.4
80	143	536	525	202	147	311	3.8	4.6	5.5	5.0	4.6	4.7
90	118	391	419	177	139	249	4.7	4.8	5.1	5.0	4.6	4.8
100	123	178	345	259	142	209	4.5	4.8	4.9	5.0	4.6	4.8
110	136	179	367	172	147	200	4.9	4.9	4.9	5.0	4.6	4.9
120	135	173	281	110	131	166	4.2	4.9	5.0	5.0	4.7	4.8
180	127	134	124	130	141	131	5.1	4.7	4.2	5.0	4.6	4.7
240	133	111	119	120	125	122	4.5	4.7	4.8	4.8	4.6	4.7

※測定が困難であった箇所

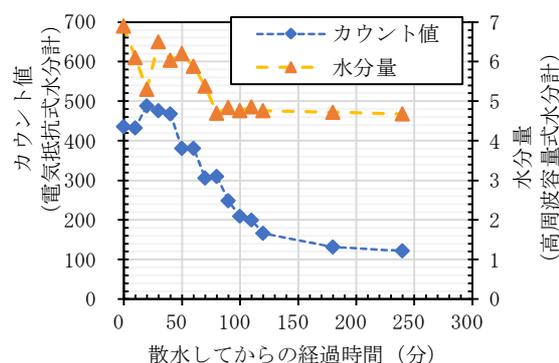


図-1 水分量測定結果 (平滑面処理なし)

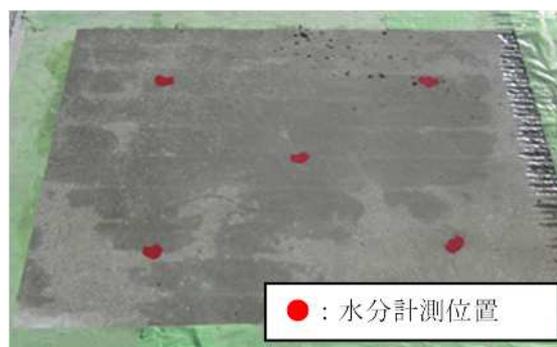


写真-1 散水直後の表面状態 (平滑面処理なし)

(4) 水分量の測定結果

各素地調整方法における水分量の経時変化を測定した結果を図-2に示す。水分量の測定は電気抵抗式水分計で統一した。乾燥状態の目安とされているカウント値200と素地調整方法との関係を整理した結果を表-7に示す。カウント値200以下へ最も早く到達した素地調整水準は切削面+SSB (大)の工区であった。一方、平滑面+処理なしについては、切削面+SSB (大)と比べて2倍近くの時間を要した。これは、切削や素地調整により、床版面の表面積が増加し、凹凸の程度が大きくなったことが影響しているものと考えられる。本実験における外気温は約10℃と、比較的低温環境下で実施した結果であったが、夏場等の気温が高く、日射による影響が考えられる環境下においては床版面が乾燥するまでの時間は早くなると考えられる。

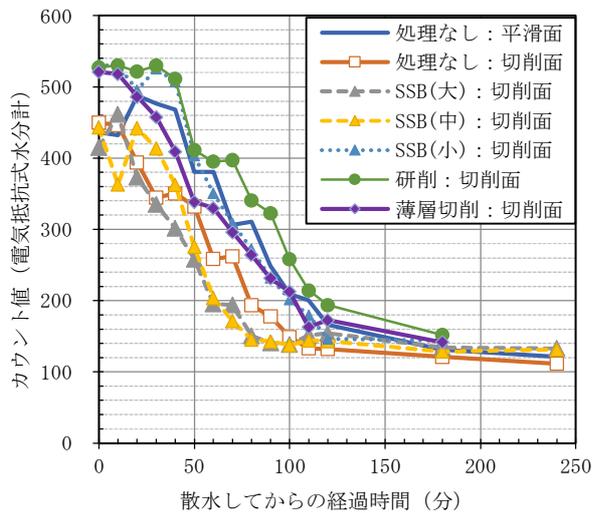


図-2 素地調整別の水分量の経時変化

表-7 素地調整と乾燥までに要する時間との関係

項目	平滑面		切削面				
	処理なし	処理なし	SSB (大)	SSB (中)	SSB (小)	研削	薄層切削
サンドパッチングきめ深さ (mm)	0.2	1.8	1.9	1.9	1.9	0.7	0.9
カウント値200以下となる経過時間 (分)	110	75	58	72	101	115	103

(5) 実験結果のまとめ

本実験に用いた高周波容量式水分計は床版上の不陸による影響で測定できない場合があることや散水直後の水分量測定に時間を要すること、また、明らかに湿潤状態であるにも関わらず、水分量は6~7%を示し現場での計測に不向きであったことから、測定方法は電気抵抗式水分計で統一した。素地調整方法の違いにより、床版上水分量の経時変化は異なる傾向を示し、散水してから乾燥までに要する時間が最も短かったのは、切削+SSB (大)であった。

3. 床版上の水分量が防水層の性能へ与える影響確認試験

(1) 素地調整方法の水準

実験に使用した下地コンクリート版は、床版の圧縮強度を満足する設計基準強度27 N/mm²のJISコンクリート平板とした⁷⁾。本実験水準を表-8に示す。平滑面と切削面のそれぞれについて検討を実施した。また、切削時に発生するコンクリート切削屑の有無が接着性へ与えている影響を評価するため、処理なし(ダスト有:未洗浄)についても検討した。表面粗さと水分量が引張接着強度へ与える影響を確認するため、素地調整を実施した後にサンドパッチング法によるきめ深さを測定した。

表-8 実験水準

床版面状態	素地調整方法	備考
平滑	処理なし	
	SSB処理	投射密度50kg/m ²
	研削面	電動工具による研削
凹凸面	処理なし(ダスト無)	清掃を実施
	処理なし(ダスト有)	清掃を実施せず
	SSB処理	投射密度50kg/m ²
	研削面	電動工具による研削

表-9 水分量の状態と目標とするカウント値

床版面状態	状態の詳細	目標とする含水状態写真
乾燥状態	<ul style="list-style-type: none"> 床版表面に水膜が存在しない 最後に発生した降雨から時間が経過しており、床版表面全体が白色 床版表面に薄紙を附着させても、濡れない状態 	<p>目標カウント値: 200未満</p>
表面乾燥状態	<ul style="list-style-type: none"> 床版表面に水膜が存在しない コンクリート内部に水分が残存している状態であり、含水状態による色の濃淡がある 床版表面に薄紙を附着させると、濡れが認められる状態 	<p>目標カウント値: 200~400</p>
湿潤状態	<ul style="list-style-type: none"> 床版表面に水膜が存在し、光の反射が認められる状態 コンクリート表面に水分が残存している状態であり、全体が濃い灰色 床版表面に薄紙を附着させると、全体が濡れる状態 	<p>目標カウント値: 400以上</p>

(2) 水分量の調整と測定方法

水分量については、表-9に示すように防水層を施工するのに最も望ましい「乾燥状態」、降雨直後で床版表面に水膜がある状態の「湿潤状態」、および湿潤状態から、表面の水を除去した状態の「表乾状態」とし、水分量の調整には電気抵抗式水分計のカウント値を用いた。なお、目標とするカウント値は、「乾燥状態」で200未満、「表乾状態」で200~400、「湿潤状態」で400以上とした。

(3) 床版防水層用接着剤

床版上水分量を調整した後に直ちに床版防水用接着剤(以下、プライマー)を塗布した。本実験では、表-10に示す阪神高速道路にて使用実績のある2種類のプライマーを使用した。

(4) 引張接着強度の測定

引張接着強度の測定は建研式引張試験を用いた。試験に使用する治具の大きさは40 mm×40 mmとし、エポキシ系接着剤により、治具とプライマーを塗布した面とを接着した。

表-10 プライマーの仕様

種別	名称	使用量	備考
A種	浸透型防水材	0.5 (kg/m ²)	二液混合型
B種	溶剤型プライマー	0.2 (ℓ/m ²)	

(5) 素地調整別の水分状態と引張接着強度の関係

素地調整別の水分状態と引張接着強度の関係について、A種プライマーの結果を図-3に、B種プライマーの結果を図-4に示す。プライマーの種類に関係なく、切削面処理なし（ダスト有）における湿潤状態の引張接着強度は低く、A種プライマーの引張接着強度は基準値⁸⁾（Φ100 mmにおける基準値：1.2 N/mm²）を満足しなかった。この要因としては、床版面に残存するダスト分が接着を阻害したことによるものと考えられる。

(6) きめ深さと引張接着強度の関係

サンドパッチング法によるきめ深さと引張接着強度との関係について、A種の結果を図-5に、B種の結果を図-6に示す。A種プライマーについては、床版との引張接着強度の基準値⁸⁾（Φ100 mmにおける基準値：1.2 N/mm²）を示している。試験結果より、乾燥状態ではきめ深さに関係なく基準値を満足するものの、表乾状態、湿潤状態では基準を満足しない結果であった。B種のプライマーについては、水分量が多く、かつきめ深さが大きいほど引張接着強度の低下が大きい結果であった。

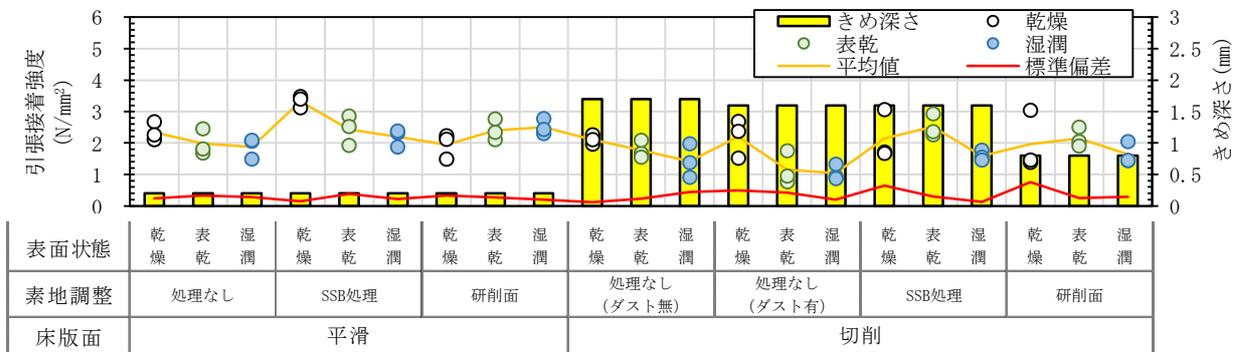


図-3 素地調整別の引張接着強度の関係 (A種)

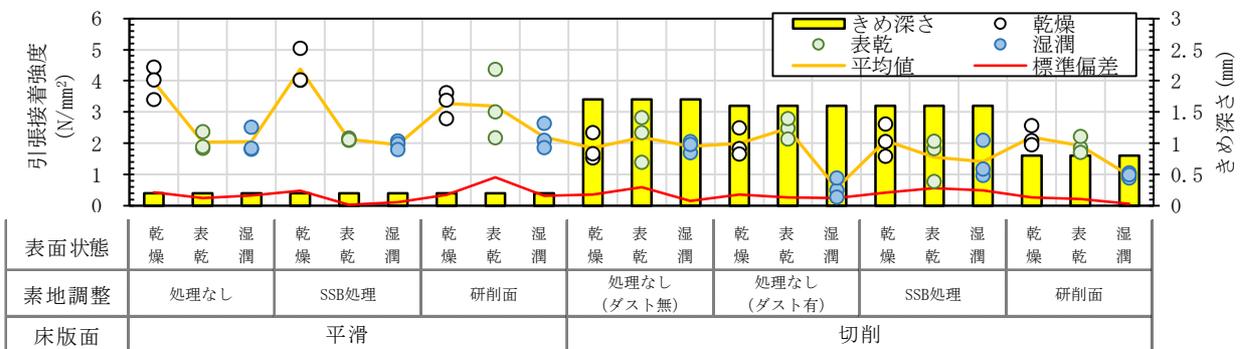


図-4 素地調整別の引張接着強度の関係 (B種)

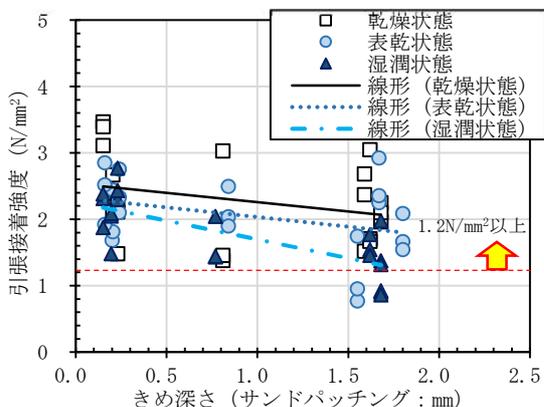


図-5 きめ深さと引張接着強度の関係 (A種)

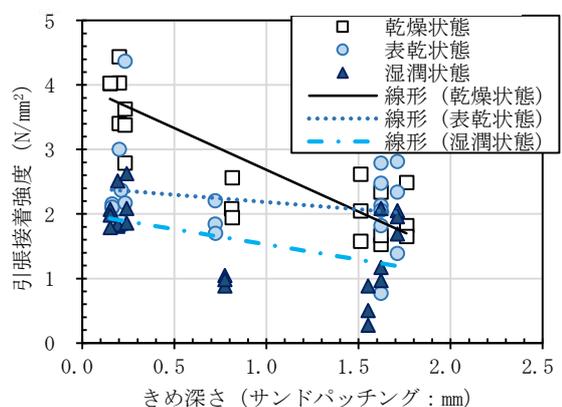


図-6 きめ深さと引張接着強度の関係 (B種)

(7) 水分状態と引張接着強度の関係

電気抵抗式水分計で測定したカウント値と引張接着強度の関係について、A種プライマーの結果を図-7に、B種プライマーの結果を図-8に示す。A種プライマーについて、乾燥状態では基準値をすべて満足するものの、表乾状態、湿潤状態では基準値を満足しないものがあった。特に切削面処理なし（ダスト有）においては引張接着強度の低下が著しい。B種のプライマーの引張接着強度においても、水分量が多くなるほど引張接着強度が低下する傾向であった。また、破壊形態を確認すると、水分量が多いほど、プライマー付近での破壊が多く、水分の存在によりプライマーの硬化不良が発生している可能性が考えられる（写真-2）。

(8) 実験結果のまとめ

本試験結果より、A種プライマー、B種プライマーともに水分量が多いほど、引張接着強度が低下する傾向であった。コンクリート版を切削する際に発生するダストが残存し、かつ水分量が多い場合において引張接着強度が著しく低下した。A種プライマーとB種プライマーの引張接着強度を満足させるためには、電気抵抗式水分計のカウント値200以下となる乾燥状態で防水層を施工することが望ましいといえる。

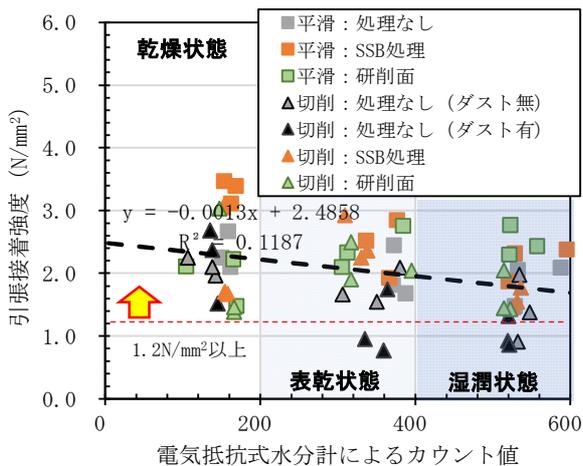


図-7 きめ深さと引張接着強度の関係 (A種)

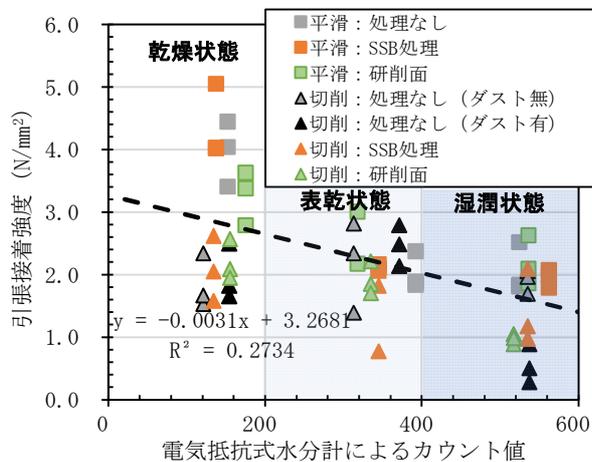


図-8 きめ深さと引張接着強度の関係 (B種)



写真-2 切削面処理なし（ダスト有）の破壊状態

4. まとめ

検討結果をまとめると以下のとおりである。

- 高周波容量式水分計は、床版上の不陸が大きい箇所や水分量が多い箇所での測定には不向きである。
- SSB処理を実施した面、かつ投射密度が大きいほど、床版表面は早く乾燥する。
- コンクリート版を切削する際に発生するコンクリート屑が残存し、かつ水分量が多い場合において引張強度が著しく低下する。
- プライマー種類に関係なく、水分量が多いほど引張接着強度が小さくなる。A種プライマーに定められている基準値1.2 N/mm²以上を満足させるためには、床版面は乾燥状態（カウント値200以下）であることが必要である。

以上のことから、床版面の清掃状況と水分量がコンクリート床版と防水層の付着性に与える影響は大きい。そこで、コンクリート床版面の水分量を測定する水分計には、床版不陸の凹凸状態に影響されず、かつ精度の高い電気抵抗式水分計測器の使用を推奨する。また、水分量の基準値としては、乾燥状態を示す、カウント値200以下が望ましい。

参考文献

- 1) 松井繁之：移動荷重を受ける道路橋RC床版の疲労強度と水の影響について，第9回コンクリート工学年次論文報告集，p627-632，1987。
- 2) (公社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編，2017.11。
- 3) 宮永憲一，松井隆行，後藤昭彦，青木圭一：保全における床版防水の課題と措置，第七回道路橋床版シンポジウム論文報告集，2012。
- 4) (公社)日本道路協会：道路橋床版防水便覧，2007。
- 5) 谷倉泉，榎園正義，後藤昭彦：床版防水工における水分計の適用性に関する研究，土木学会構造工学論文集，Vol.59A，2013。
- 6) 神下竜三，小瀬詠理，青木康素：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，阪神高速道路第53回技術研究発表会論文集，2021年5月。
- 7) 阪神高速道路株式会社：土木工事共通仕様書，2020。
- 8) 小瀬詠理，青木康素，松下麗菜：「既設RC床版を対象とした床版防水マニュアル」改訂の概要，防水ジャーナル，No.583，2020.6。