

# コンクリート床版の素地調整が防水性能に与える影響評価

(一財) 阪神高速先進技術研究所調査研究部 森 重和  
 前 (一財) 阪神高速先進技術研究所調査研究部 立花 徳啓  
 阪神高速道路(株)技術部技術推進室 角 裕介

## 要 旨

水がコンクリート床版の疲労耐久性を著しく低下させることが判明してから、床版防水に対する関心が高まっている。当社においても、道路橋における床版の長期耐久性を確保することを目的として制定した、「既設 RC 床版を対象とした床版防水マニュアル（2020 年 5 月）」で、防水材料に関する基準が整理されている。一方で、床版防水工施工時の水分管理をはじめとする、コンクリート床版上面の状態管理に関する課題に対しては、切削時に生じる床版面の凹凸の考慮等、詳細な検討ができていない。そこで本検討では、コンクリート床版上の素地調整方法がコンクリート床版防水材の防水性能へ与える影響について確認するため各種実験を実施し、床版面のきめ深さと水分量に関する管理値（案）を検討した。本稿は、これら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について検討した結果をとりまとめたものである。

**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

## はじめに

阪神高速道路では、床版建設時の不陸等の影響により、舗装補修時に舗装を撤去する際、切削機によって既設コンクリート床版を部分的に切削する事例がある<sup>1)</sup>。コンクリート床版を切削すると、床版表面に凹凸が発生するため床版防水層の膜厚（以下、膜厚）が部分的に薄くなり十分な防水性能を確保できない可能性がある。また、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<sup>2)</sup>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<sup>3)</sup>。

そこで本稿では、模擬コンクリート床版を用いて実施した、素地調整方法が膜厚へ及ぼす影響確

認と素地調整方法が床版上水分量の経時変化へ与える影響確認、供試体を用いて実施した、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確認結果について報告する。

## 1. 素地調整方法がアスファルト塗膜防水材の膜厚へ及ぼす影響確認試験

### 1-1 使用材料

本実験で使用した材料の一覧を表-1 に示す。

表-1 使用材料一覧

材料種類	詳細
模擬床版	コンクリート配合：27-8-25-N 幅：6 m, 延長：34 m, 厚さ：200 mm
床版防水材料	A種防水材, B種防水材
アスファルト混合物	配合：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 厚さ：35 mm

本実験に際して作製した厚さ 200 mm の模擬床版上ではアスファルト舗装を 35 mm 舗設後、舗装切削機を用いて床版表面を切削処理した。

阪神高速道路では床版防水層に用いる床版防水材料として、過切削等による床版上面の微細なひび割れや脆弱部、凹凸を考慮したA種防水材と、上記を想定していないB種防水材が規定されている<sup>4)</sup>。メーカー指定の塗布量は、床版上面の凹凸に関係なく 1.2 kg/m<sup>2</sup> としているが、凹凸面では膜厚を確保することが困難であり、現場の施工実態と整合を図るため、防水材料の塗布量を 2.0 kg/m<sup>2</sup> に増加させた(図-1)。防水材料の塗布には厚さが均一になるよう、ローラー刷毛やレーキを用いた。

### 1-2 素地調整方法

本実験で使用した素地調整機械の一覧を図-2に、各種素地調整機械の機械条件および施工能力を表-2に示す。なお、床版上面の表面粗さはサンドパッチング法により測定した。

### 1-3 膜厚と防水性能の測定方法

アスファルト塗膜防水層の膜厚は、模擬コンクリート床版より切り出した供試体を用いて、側面をデジタル膜厚計で測定した。膜厚と防水性能の関係は、道路橋床版防水便覧<sup>2)</sup>に記載されている防水性試験IIにより評価した。

項目	A種防水材	B種防水材
構成断面図		
材料名1	浸透型防水材料	溶剤型プライマー
使用量 (kg/m <sup>2</sup> )	平滑面: 0.5, 凹凸面: 0.5	平滑面: 0.2, 凹凸面: 0.2
材料名2	珪砂	As塗膜防水材料
使用量 (kg/m <sup>2</sup> )	平滑面: 0.25, 凹凸面: 0.25	平滑面: 1.2, 凹凸面: 2.0
材料名3	As塗膜防水材料	珪砂
使用量 (kg/m <sup>2</sup> )	平滑面: 1.2, 凹凸面: 2.0	平滑面: 0.7, 凹凸面: 0.7
材料名4	珪砂	
使用量 (kg/m <sup>2</sup> )	平滑面: 1.0, 凹凸面: 1.0	

図-1 防水材料の構成

## 1-4 実験結果

### (1) きめ深さと膜厚の関係

各工区のきめ深さと膜厚を測定した結果を図-3に示す。研削機および薄層切削機で素地調整することできめ深さを低減できることを確認した。膜厚の標準偏差は切削面と比較し平滑面の方が小さい。切削面をウォータージェット工法(以下、WJ工法)およびスチールショットブラスト工法(以下、SSB工法)で処理した場合と切削面-無処理の膜厚の標準偏差に有意な差は確認されなかった。一方、切削面における研削面および薄層切削面の標準偏差は 0.30~0.58 と WJ工法およびSSB工法の 0.51~1.58 と比較して小さく、膜厚のばらつきが小さくなることを確認された。

各工法	機械外観	工法概要
ウォータージェット工法 (WJ工法)		<ul style="list-style-type: none"> <li>超高压水による処理で水圧の調整により、施工能力が調整可能</li> <li>作業時に汚水が発生</li> <li>過切削によるマイクロラックの除去が可能</li> </ul>
スチールショットブラスト工法 (SSB工法)		<ul style="list-style-type: none"> <li>超高速で鉄球を打ちつけて処理し、投射密度により、施工能力の調整が可能</li> <li>鉄球と研掃屑を吸引・回収し清掃する</li> </ul>
ダイヤモンド小型研削機 (研削機)		<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>凹凸面には対応不可</li> <li>施工後は表面が平滑化する</li> </ul>
薄層切削機		<ul style="list-style-type: none"> <li>平ビットによる薄層切削処理でmm単位で切削が可能</li> <li>切削後同時吸引のため清掃が容易</li> <li>施工後は表面が平滑化する</li> </ul>

図-2 素地調整機械一覧

表-2 素地調整機械の機械条件と施工能力

素地調整方法	設定, 使用刃		施工能力 (m <sup>2</sup> /分)
WJ(小)	水圧	150 MPa	1.6
WJ(中)	水圧	200 MPa	1.6
WJ(大)	水圧	230 MPa	1.6
SSB(小)	投射密度	50 kg/m <sup>2</sup>	7.1
SSB(中)	投射密度	100 kg/m <sup>2</sup>	3.4
SSB(大)	投射密度	150 kg/m <sup>2</sup>	2.3
研削	ダイヤモンドブレード		0.5
薄層切削	専用平ビット		0.4

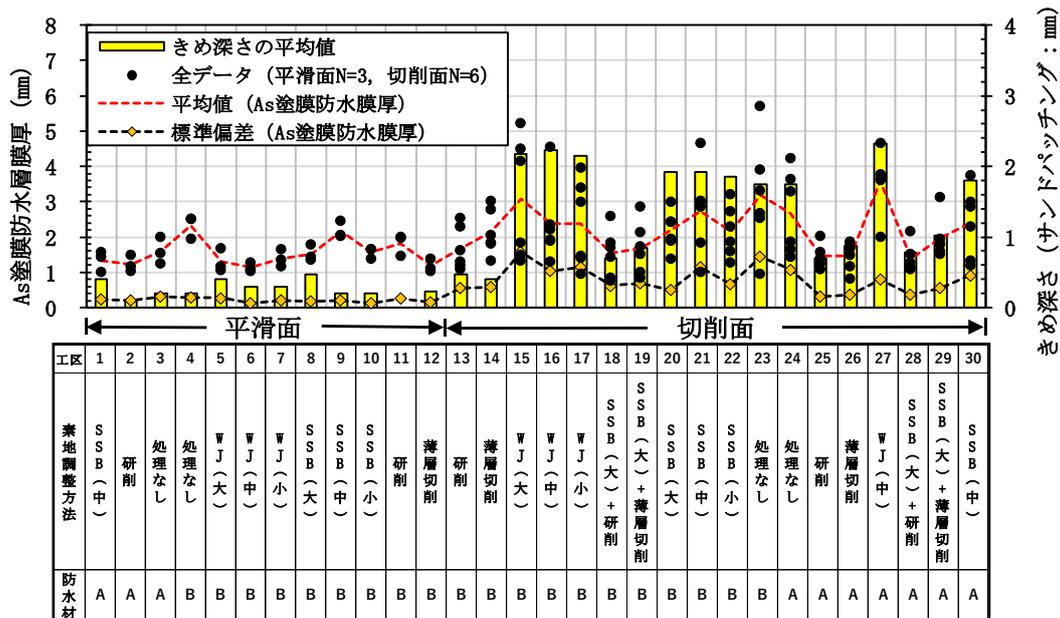


図-3 各工区のきめ深さと膜厚

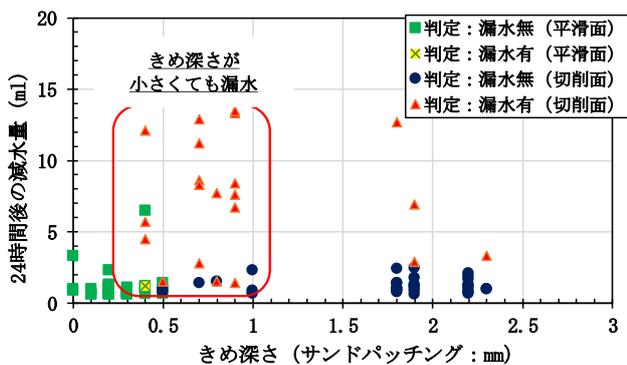


図-4 きめ深さと減水量の関係

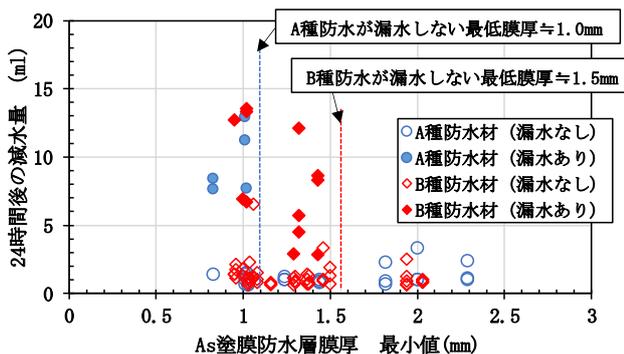


図-5 膜厚と減水量の関係

## (2) きめ深さと防水性能の関係

きめ深さと防水性試験II結果との関係を図-4に示す。なお、漏水の有無は試験後の供試体についてブラックライト照査によって目視観察した結果を示している。平滑面の供試体では漏水している箇所は殆ど認められなかったが、切削面の供試体

で漏水が多く認められた。また、素地調整によってきめ深さを低減した箇所でも漏水が確認されたが、きめ深さを低減することで減水量は減少した。

## (3) 膜厚と防水性能の関係

膜厚が薄いほど、防水性能が低下し、漏水が発生しやすいと仮定して、素地調整を実施した各工区の膜厚の最小値と防水性試験IIの24時間後の減水量との関係を整理した(図-5)。その結果、防水性試験IIで漏水しないためには、A種防水材で約1.0mm以上、B種防水材で約1.5mm以上の膜厚が必要であることが確認できた。

## (4) きめ深さの基準値

膜厚を確保する観点できめ深さの基準値について検討した。きめ深さと膜厚との関係について、平滑面、切削面できめ深さ1.5mm未満、切削面できめ深さ1.5mm以上の3グループに整理した結果を図-6に示す。ここで、図-6に示す切削面の結果は、設計塗布量1.2kg/m<sup>2</sup>に対し2.0kg/m<sup>2</sup>と実使用量が多いことから、式(1)により実使用量を考慮した補正を行った。さらに、補正後の膜厚を用いて、きめ深さと補正後の平均膜厚の関係を整理した。各グループの補正後の膜厚の平均値と膜厚の標準偏差を整理した結果を図-7に示す。

$$\text{補正後の膜厚} = \text{実測の膜厚} \times \frac{\text{設計塗布量}}{\text{実測塗布量}} \quad (1)$$

平均膜厚はきめ深さ 1.0 mm で 1.62 mm, きめ深さ 2.0 mm で 1.66 mm であった。ここで, As 塗膜防水層の膜厚が正規分布すると仮定して, As 塗膜防水層膜厚が 1.0 mm, 1.5 mm を満足する確率を算出した結果を表-3 に示す。A 種の As 塗膜防水層最低膜厚 1.0 mm 以上を満足する確率は, きめ深さ 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm で 70% を超える。一方で, B 種の膜厚 1.5 mm 以上を満足する確率は, 55% 程度となっている。よって, B 種防水層については, As 塗膜防水層膜厚を満足するためには塗布量を増加させる等の対策が必要であると考えられる。ここで, 膜厚の平均値を 1.2 mm (メーカー指定塗布量 1.2 kg/m<sup>2</sup> に基づく) とした際の各グループの関係を図-8 に示す。B 種防水層を構成する As 塗膜防水材の塗布量を増加させたとしても, きめ深さ 1.5 mm 以上では, 膜厚を確保できない可能性がある。よって, 塗布量を増加させることによる対応のみでは, 防水性能を確保することが困難であるといえる。As 塗膜防水材の塗布量が同一の場合, きめ深さが大きいほど As 塗膜防水材の膜厚が薄くなる箇所が多くなり, 防水性能を満足しない危険性が高まることになる。各膜厚測定結果が正規分布すると仮定して, 膜厚の平均値に対して薄くなる確率を整理した一覧表を表-4 に示す。切削面におけるきめ深さ 1.5 mm を境として, 膜厚を確保できる確率が大きく異なることから, きめ深さの基準値は 1.5 mm 以下とすることが望ましいと考えられる。

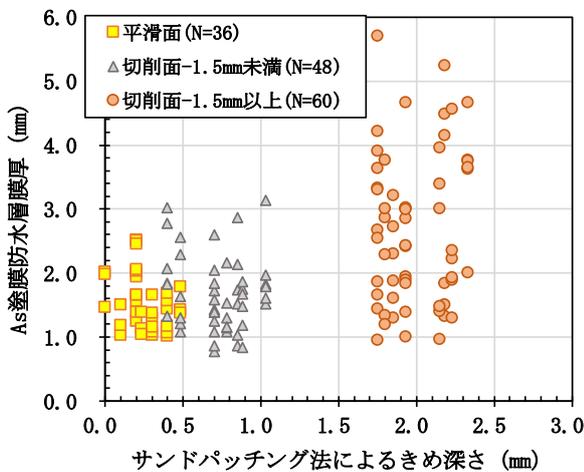


図-6 きめ深さと膜厚の関係 (実測)

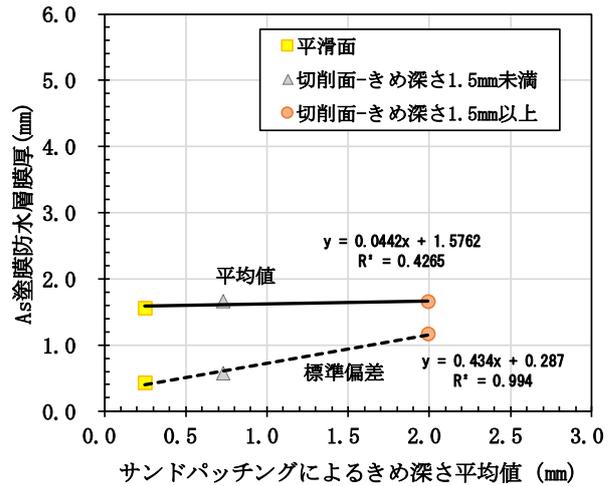


図-7 きめ深さと膜厚の関係 (膜厚の平均値)

表-3 各防水材の最低膜厚を満足する確率 (%)

項目	最低膜厚	サンドパッチング法によるきめ深さ		
		1.0mm	1.5mm	2.0mm
A種防水材	1.0 mm	81	75	71
B種防水材	1.5 mm	56	56	55

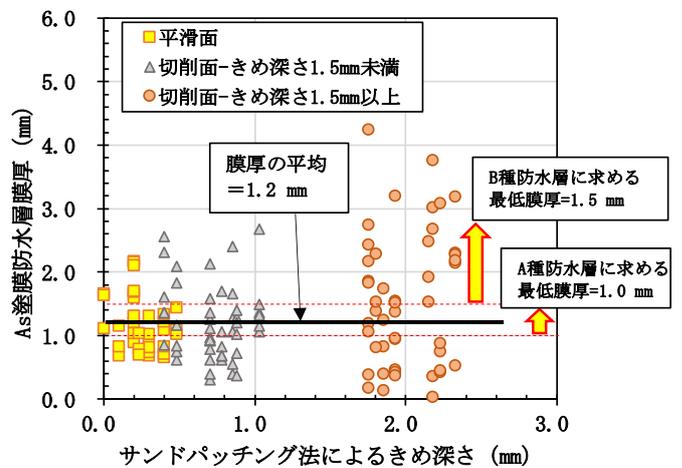


図-8 きめ深さと膜厚の関係  
(膜厚の平均値を 1.2 mm へ補正)

表-4 各膜厚が平均値よりも薄くなる確率

膜厚測定グループ	σ	各膜厚を下回る確率(%)		
		平均値 -0.5 mm	平均値 -1.0 mm	平均値 -1.5 mm
平滑面	0.42	12.0	1.2	0.1
切削面 きめ深さ1.5 mm未満	0.57	19.2	4.2	1.0
切削面 きめ深さ1.5 mm以上	1.16	33.3	19.5	10.0

## 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

### 2-1 素地調整方法の水準

本実験で用いた素地調整水準と機械の設定条件を表-5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、5点の水分量測定と均一な散布管理が可能な0.5m×0.5mとした。

### 2-2 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、写真-1に示すような床版表面全体に水膜が存在する湿潤状態とするため0.5ℓ/m<sup>2</sup>の水を散布した。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(表-6)。

### 2-3 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図-9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<sup>2)</sup>を示したことから、本試験の測定には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。

### 2-4 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-10に示す。水分量の測定は電気抵抗式水分計で統一した。その結果、平滑面と同様にカウント値200付近で変化点が見られ、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、日射による影響が考えられる夏場等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。

表-5 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 <sup>2</sup>
	SSB(中)	投射密度	100 kg/m <sup>2</sup>
	SSB(小)	投射密度	50 kg/m <sup>2</sup>
	研削	ダイヤモンドプレート	
	薄層切削	専用平ビット	

表-6 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

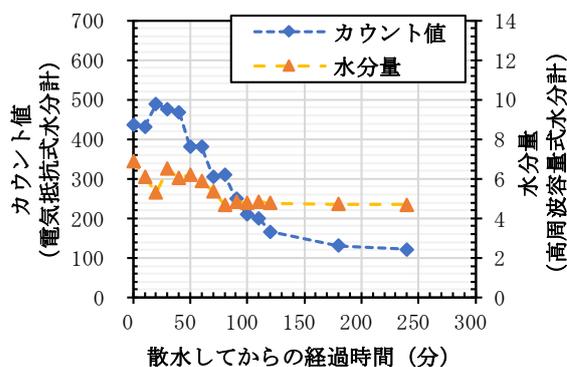


図-9 水分量測定結果 (平滑面処理なし)

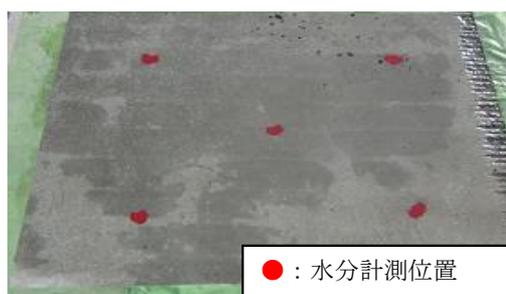


写真-1 散水直後の表面状態 (平滑面処理なし)

### 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

#### 3-1 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/mm<sup>2</sup> の JIS コンクリート平板とした<sup>5)</sup>。本実験水準を表-7 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。

#### 3-2 水分量の調整と測定方法

水分量については、表-8 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。

#### 3-3 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。本実験で使用したプライマーは、阪神高速道路にて使用実績のある浸透型防水材（A 種）と溶剤型プライマー（B 種）の 2 種類とした。

#### 3-4 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を接着した。

#### 3-5 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

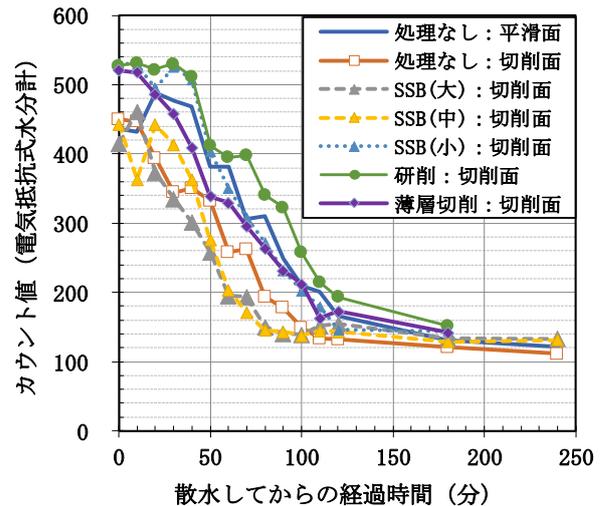


図-10 素地調整別の水分量の経時変化

表-7 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 <sup>2</sup>
	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 <sup>2</sup>
	研削面	電動工具による研削

表-8 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"> <li>床版表面に水膜が存在しない</li> <li>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</li> <li>床版表面に薄紙を付着させても、濡れない状態</li> </ul>	<p>目標カウント値：200未満</p>
表面乾燥状態	<ul style="list-style-type: none"> <li>床版表面に水膜が存在しない</li> <li>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</li> <li>床版表面に薄紙を付着させると、濡れが認められる状態</li> </ul>	<p>目標カウント値：200~400</p>
湿潤状態	<ul style="list-style-type: none"> <li>床版表面に水膜が存在し、光の反射が認められる状態</li> <li>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</li> <li>床版表面に薄紙を付着させると、全体が濡れる状態</li> </ul>	<p>目標カウント値：400以上</p>

強度との関係について、A種プライマーの結果を図-11に、B種プライマーの結果を図-12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<sup>4)</sup>(φ100mmにおける基準値：1.2N/mm<sup>2</sup>)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、湿潤状態では基準値を満足しない結果であった。B種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。

### 3-6 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-13に、B種プライマーの結果を図-14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、プライマーの凝集破壊やプライマーとコンクリートの界面破壊が多く、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。

## 4. まとめ

検討結果を踏まえ、床版面のきめ深さと水分量に関する管理値(案)を検討した。

コンクリート床版上の素地調整方法がコンクリート床版防水材の防水性能へ与える影響について確認するための各種実験を実施した結果、防水性能を確保するためには膜厚のばらつきを低減し所定の膜厚を確保することが重要であることが確認され、膜厚のばらつきを低減するためには、サンドパッチング法によるきめ深さで「1.5mm以下」とすることが必要であり、研削機および薄層切削

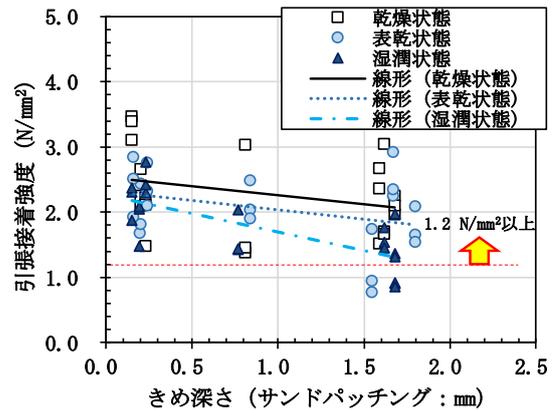


図-11 きめ深さと引張接着強度の関係 (A種)

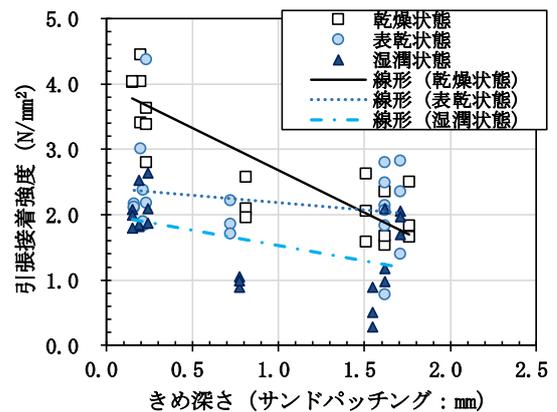


図-12 きめ深さと引張接着強度の関係 (B種)

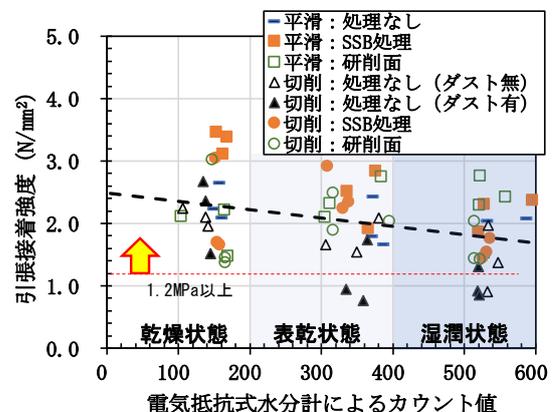


図-13 水分状態と引張接着強度の関係 (A種)

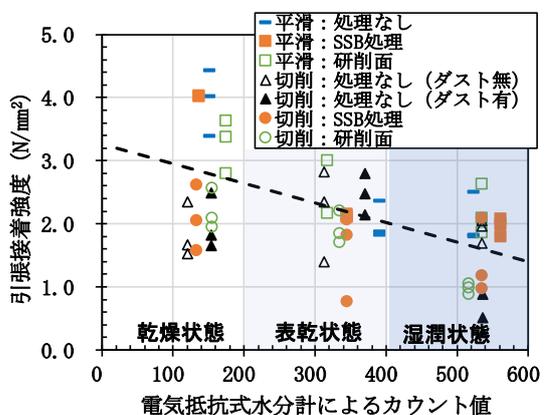


図-14 水分状態と引張接着強度の関係 (B種)

機で素地調整することできめ深さを低減できることが分かった。また、床版上水分量が防水性能へ与える影響について検討した結果、所定の付着強度を確保するためには床版面の水分量が重要であることが確認され、電気抵抗式水分計でカウント値 200 以下となる乾燥状態で施工することが望ましいと判断される結果となった<sup>6),7)</sup>。よって、管理値（案）は表-9 のとおり設定した。

ただし、阪神高速道路における RN 工事での運用を見据えた場合、機械編成や工程の確保に関し

表-9 きめ深さと水分量に関する管理値（案）

項目	試験方法・測定器	管理値（案）
床版面のきめ深さ	サンドパッチング法	1.5 mm以下
床版面の水分量	電気抵抗式水分計	カウント値200以下

て、課題が挙げられることから、まずは実橋において試験施工を実施し、品質規格値としての適用性について検討する必要があると考える。

#### 参考文献

- 1) 谷口惺，篠田隆作，小坂崇：塗膜系（アスファルト加熱型）床版防水の性能評価に関する検討，第九回道路橋床版シンポジウム論文報告集，pp.13-18, 2016.
- 2) (公社)日本道路協会：道路橋床版防水便覧，2007.
- 3) 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, 2013.3.
- 4) 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.
- 5) 阪神高速道路株式会社：土木工事共通仕様書，2020.
- 6) 森重和，角裕介，曾我恭匡，立花徳啓：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，土木学会舗装工学論文集，pp.283-289, 2023.
- 7) 立花徳啓，森重和，角裕介，曾我恭匡：素地調整を施したコンクリート床版のきめ深さと床版防水層の膜厚に関する検討，土木学会舗装工学論文集，pp.290-297, 2023.

## INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF SURFACE PREPARATION OF CONCRETE FLOOR SLABS ON WATERPROOF PERFORMANCE

Shigekazu MORI, Norihiro TACHIBANA and Yusuke SUMI

Since it was found that water significantly reduces the fatigue durability of concrete slabs, interest in slab waterproofing has increased. Hanshin Expressway has established the Floor Slab Waterproofing Manual for Existing RC Slabs (May 2020), a compilation of in-house standards for waterproof materials. On the other hand, no detailed studies have been made on the issues related to the management of the concrete floor slab top surface condition, such as moisture control during floor slab waterproofing work. One of such issues is the consideration to be given to the unevenness of the floor slab surfaces that occurs during the cutting process. In the current study, various experiments were carried out to determine how the waterproof performance of the concrete slab waterproofing material would be affected by the base preparation method applied to the concrete floor slab, and the proposed control values for profile depth and moisture content in the slab surface were investigated. This paper summarizes the results of the study on the effects of surface roughness and water content of concrete slabs on the waterproof performance.

森 重和



(一財)阪神高速先進技術研究所  
調査研究部  
Shigekazu MORI

立花 徳啓



前 (一財)阪神高速先進技術研究所  
調査研究部  
Norihiro TACHIBANA

角 裕介



阪神高速道路株式会社  
技術部 技術推進室  
Yusuke SUMI