

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

神下竜三¹・小瀬詠理²・青木康素³

¹ (一財) 阪神高速先進技術研究所調査研究部
² 技術部技術推進室

要約

道路橋コンクリート床版の疲労耐久性確保の観点から、床版上に防水層を設けている。阪神高速道路における舗装補修時の現状として、コンクリート床版を部分的に切削してしまうことがあり、床版表面に脆弱部やマイクロクラックが発生、これらが防水層とコンクリート床版との接着性を低下させる可能性がある。そのため、防水層施工前の床版に対し、素地調整を実施することで、これらの劣化部を取り除き、防水層に求められる性能を適切に発揮させることが耐久性を確保する上で有効と考えられる。本検討では、防水層施工前のコンクリート床版表面の素地調整方法を確立することを目的として、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ついて、実験的検討を実施した。

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, 切削

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⁾。

阪神高速道路における舗装補修時の床版防水の現状を整理すると、建設時のコンクリート床版の不陸の影響で、部分的に過切削が発生するのが現状である。舗装撤去時に舗装切削機によって既設コンクリート版を部分的に切削する事例が多いことが明らかとなっている⁴⁾ (写真-1)。



写真-1 切削された床版の表面状態

コンクリート床版を切削すると、床版厚が薄くなり疲労耐久性が低下することに加えて、コンクリート表面に脆弱部と微細なマイクロクラックが発生する。これらは防水層用接着剤の付着性を低下させる要因となり、防水層の施工時には素地調整を行い、これらの劣化部を取り除く、もしくはそれらの影響を小さくし、防水層に求められる性能を適切に発揮させる必要がある。

本検討は防水層施工前の適切な素地調整の方法を確立することを目的として、床版を模擬したコンクリート版を作製し、コンクリート床版の素地調整方法が床版防水層の性能に与える影響について実験的検討を実施した。なお、本実験は過切削を考慮した切削面のほか、建設時を想定した平滑面においても実験的検討を実施しているが、本稿では、切削面の結果を中心に述べる。

2. 実験の概要 (模擬床版)

(1) 使用材料

模擬床版に使用するコンクリートの配合は阪神高速道路の床版コンクリートでの実績を考慮して呼び強度 27N/mm^2 、スランプ 8 cm 、粗骨材寸法 25 mm の普通セメント使用のコンクリート (27-8-25-N) とし、床版厚は道路橋示方書・同解説⁵⁾に示す最小厚 160 mm を参考に、本実験で使用する模擬床

版が無筋であることを考慮して200mmとした。模擬床版は、湿潤養生を実施した舗装切削機を用いて床版表面を切削処理した。

使用する防水材料は阪神高速道路で使用実績のある防水材料である。阪神高速道路では舗装補修時の防水層として、過切削による凹凸とマイクロクラックを考慮したコンクリート床版面における各種性能を満足したA種と、凹凸面を想定していないB種の防水材が規定されている⁹⁾が、本検討ではB種防水材を中心に実験を行った。各防水材の構成を図-1に示す。凹凸部においては、平滑部と同様の塗布量とするとAs塗膜防水層の膜厚（以下、膜厚）を確保することが困難なため、現場での一般的な施工実態と整合を図るため、塗布量を増加させている。なお、膜厚については、デジタル式膜厚計により、舗設をしていない局部変形試験用供試体の採取箇所から3点/工区の頻度で膜厚を測定した。

使用するアスファルト混合物は阪神高速道路のコンクリート床版上の基層混合物の標準であるポリマー改質アスファルトⅡ型を使用した密粒度アスファルト混合物とした。

本実験で使用した材料の一覧を表-1に示す。

(2) 素地調整方法

本実験で使用する素地調整機械の一覧表を表-2に示す。過切削で問題となるマイクロクラックを完全に除去するためには、ウォータージェット（以下、WJ）工法による処理が必要である。スチールショットブラスト（以下、SSB）工法は、コンクリート床版表面の脆弱部を除去する。ダイヤモンド小型研削機（以下、研削機）は、平滑面の異物を除去する作業には有効であるが、過切削面などの凹凸面に存在する異物を除去することは困難である。薄層切削機はmm単位の切削が可能であるが、2mm切削時の標準速度は2m/minであり、2mm以上深く切削すると施工速度が低下する。

表-1 使用材料一覧

材料種類	詳細	
模擬床版	配合：27-8-25-N 厚さ：200mm	
床版防水材料	A種	微細なひび割れや脆弱部、不陸等が生じている床版上において所定の性能を発揮する防水材料
	B種	床版の脆弱部や不陸、ひび割れ等がないもしくは軽微な状態の床版上において、所定の性能を発揮する防水材料
アスファルト混合物	配合：改質Ⅱ型使用密粒度As混合物 (13mm ^{top}) 厚さ：35mm	

表-2 素地調整機械一覧

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"> 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 作業時に汚水が発生 過切削によるマイクロクラックの除去が可能
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-3 素地調整水準

工区	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	素地調整方法	研削	薄層切削	WJ (大)	WJ (中)	WJ (小)	SSB (大)	SSB (大)	SSB (大)	SSB (中)	SSB (小)	処理なし	処理なし	研削	薄層切削	WJ (中)	SSB (大)	SSB (大)
防水材種類	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A
防水材塗布量 (kg/m ²)	1.2	1.2	2.0	2.0	2.0	1.2	1.2	2.0	2.0	2.0	2.0	1.2	1.2	2.0	1.2	1.2	2.0	

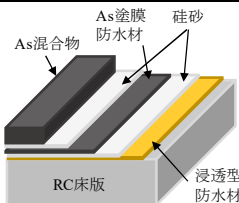
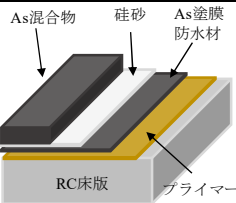
項目	A種防水材料	B種防水材料
構成断面図		
材料名1	浸透型防水材料	溶剤型プライマー
使用量 (kg/m ²)	平滑面：0.5 凹凸面：0.5	平滑面：0.2 凹凸面：0.2
材料名2	珪砂	As塗膜防水材料
使用量 (kg/m ²)	平滑面：0.25 凹凸面：0.25	平滑面：1.2 凹凸面：2.0
材料名3	As塗膜防水材料	珪砂
使用量 (kg/m ²)	平滑面：1.2 凹凸面：2.0	平滑面：0.7 凹凸面：0.7
材料名4	珪砂	-
使用量 (kg/m ²)	平滑面：1.0 凹凸面：1.0	-

図-1 防水材料の構成

本実験では、模擬床版を切削した切削面において、表-3に示す素地調整水準を設定した。各水準の施工範囲は連続して素地調整作業が可能な範囲として、幅1m×奥行6mとした。また、本実験で使用した素地調整機械の中で、WJ工法は水圧により、SSB工法は投射密度により、素地調整の程度を調整できることから、WJ工法とSSB工法については、(大)、(中)、(小)の3段階の施工条件を設定した。

表-4 表面粗さ測定方法

測定名	機械外観	方法
舗装路面のきめ深さ測定方法		舗装調査・試験法便覧S022-1 サンドパッチング法
型取りゲージによる最大凹凸量測定方法		型取りゲージによる
回転式きめ深さ測定装置を用いた舗装路面のきめ深さ測定方法		舗装調査・試験法便覧S022-3T CTメータ法

表-5 防水層性能確認試験項目

性能確認項目	試験名	試験方法
舗設直後の防水性	防水性試験Ⅱ	防水便覧 [※]
引張接着性	引張接着試験	防水便覧 [※]
せん断接着性	せん断試験(EU式)	床版防水マニュアル ⁶⁾
水浸時の引張接着性	水浸引張接着試験	防水便覧 [※]
局部変形に対する耐久性	局部変形性試験	防水便覧 [※]

※：道路橋床版防水便覧³⁾

表-6 防水層性能確認試験の基準値

試験名	基準値	通常の性能確認試験を実施する際の下の状態	
		A種	B種
防水性試験Ⅱ	漏水がないこと	凹凸面	平滑面
引張接着試験	強度 1.2N/mm ² 以上(-10°C) 0.6N/mm ² 以上(23°C)	平滑、凹凸面	平滑面
	せん断試験(EU式)	強度 0.8N/mm ² 以上(-10°C) 0.15N/mm ² 以上(23°C)	平滑、凹凸面
変位量 0.5mm以上(-10°C) 1.0mm以上(23°C)		平滑、凹凸面	平滑面
水浸引張接着試験	強度 水浸前の50%以上(23°C)	平滑面	平滑面
局部変形性試験	透水量0.1ml以下	平滑面	平滑面

(3) 表面粗さの測定方法

床版面の表面粗さが防水層の性能へ与える影響を定量的に評価するために、本実験では素地調整後の表面粗さを表-4に示す方法で測定した。サンドパッチング法とCTメータ法は舗装調査・試験法便覧⁷⁾(以下、試験法便覧)に記載の方法である。CTメータ法については、AからHまでの分割した区間ごとのプロファイル深さから平均プロファイル深さ(MPD)を算出することの他に、レーザーセンサから得られた変位より標準偏差を算出し、表面粗さの評価を行った。

一方、型取りゲージによる方法は試験法便覧に記載されている試験方法ではないが、現場管理の容易さを考慮して、本実験に適用することにした。

(4) 防水層性能確認試験

素地調整が防水層の性能へ与える影響を評価するために、各種性能確認試験を実施した。防水層性能確認試験用供試体は、室内試験で作製された供試体と同様に評価できるように、ダンプトラックやアスファルトフィニッシャが防水層上を通過していない箇所から切り出した。

本実験で実施した性能確認試験項目を表-5に、基準値の一覧表を表-6に示す。各試験結果より基準値を満足する素地調整方法と凹凸量との関係を整理することにした。

表-7 素地調整機械の機械条件と施工能力

素地調整種類	設定、使用刃		施工能力(m ² /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 ²	7.1
SSB(中)	投射密度	100 kg/m ²	3.4
SSB(大)	投射密度	150 kg/m ²	2.3
研削	ダイヤモンドプレート		0.5
薄層切削	専用平ビット		0.4

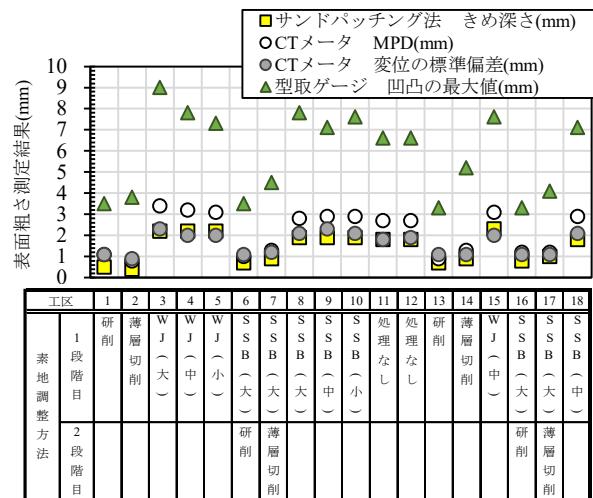


図-2 表面粗さ測定結果

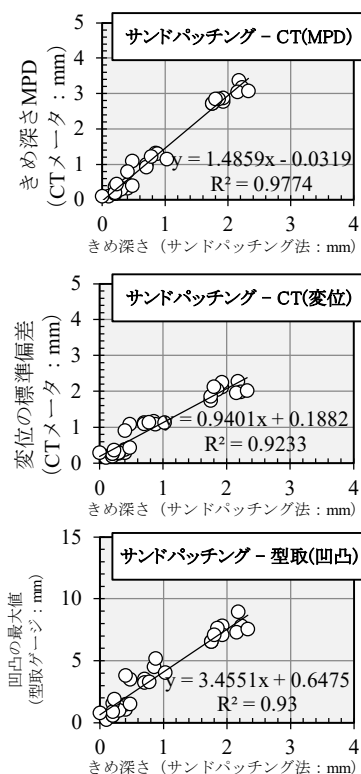


図-3 表面粗さ測定結果の相関関係

3. 実験結果

(1) 素地調整結果

本実験で使用した素地調整機械の機械条件と素地調整を実施した際の施工能力を表-7に示す。SSB工法は、文献³⁾を参考に、阪神高速道路での施工を想定した投射密度100kg/m²を(中)とし、(中)に対して機械条件を変更した3条件を設定した。WJ工法については、As塗膜防水層の除去を想定した水压200MPaを(中)とし、(中)に対して機械条件を変更した3条件を設定した。施工能力を測定した結果、WJ工法は水压による調整のため、施工能力が一定であるのに対し、SSB工法は機械の進行速度等によって投射密度を調整するため、投射密度に応じて施工能力が異なる。本実験の条件では薄層切削機や研削機は施工能力が小さい結果となった。

各工区の表面粗さを測定した結果を図-2に示す。サンドパッチング法によるきめ深さは0.4~2.3mm程度であった。過去に阪神高速道路上の床版が過切削された面にて、サンドパッチング法によるきめ深さを測定した結果、1.63~2.08mm(平均1.79mm)であった。本実験における模擬床版上の切削面-処理なし工区のきめ深さは1.7~1.8mmであったことから、現場における表面粗さを概ね再現できたものと考えている。

また、切削面に発生した凹凸を低減する効果については、WJ工法とSSB工法では認められず、薄層切削機や研削機による作業が必要となる結果であった。

表-8 防水層性能確認試験結果一覧

工区		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
素地調整種類		研削	薄層切削	WJ(大)	WJ(中)	WJ(小)	SSB(大)+研削	SSB(大)+薄層切削	SSB(大)	SSB(中)	SSB(小)	処理なし	処理なし	研削	薄層切削	WJ(中)	SSB(大)+研削	SSB(大)+薄層切削	SSB(中)	基準値	
防水材種類		B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A		
きめ深さ(mm)		0.5	0.4	2.2	2.2	2.2	0.7	0.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	0.7	0.9	2.3	0.8	0.8	1.8		
防水性試験Ⅱ (漏水無:○, 漏水有:△, ×)			△	×	○	○	×	×	○	△	△	△	○	△	×	△	△	○	○	漏水無	
引張 接着強度	N/mm ²	-10℃	2.3	2.3	2.8	2.8	2.7	3.0	2.2	2.5	2.4	2.5	1.7	2.2	2.5	2.0	2.1	2.2	2.2	2.2	1.2以上
		23℃	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
せん断 接着強度	N/mm ²	-10℃	3.21	3.60	3.38	3.03	2.60	2.81	2.60	3.37	3.04	2.81	2.68	3.11	3.39	2.54	2.20	1.78	2.03	2.30	0.8以上
		23℃	0.42	0.54	0.53	0.44	0.38	0.39	0.42	0.39	0.34	0.42	0.36	0.37	0.53	0.46	0.27	0.35	0.35	0.31	0.15以上
せん断試験 変位量	mm	-10℃	1.6	1.5	1.7	1.8	2	1.8	1.6	1.6	1.7	1.8	1.6	1.7	1.6	1.4	1.8	1	1.2	1.7	0.5以上
		23℃	4.5	3.7	3.3	3.6	4.7	4.3	4.5	2.6	5.5	3.5	3.9	3.1	1.3	1.7	5.1	2.8	4.3	3.7	1.0以上
水浸引張 接着試験	N/mm ²	23℃	1.1	1.1	1.2	1.3	1.1	1.2	0.9	1.2	1.2	1.1	0.9	1.2	1.4	1.4	1.5	1.4	1.4	1.3	
		%	110	110	109	130	110	120	90	109	109	110	90	120	127	140	136	140	140	130	50以上
局部 変形性試験	ml		0.0	—	-0.1	-0.5	0.3	-1.0	0.8	0.5	0.8	-0.1	—	0.1	0.0	-0.3	0.0	-0.3	-0.3	-0.6	0.1以下

■箇所は基準を満足していない箇所を示す。

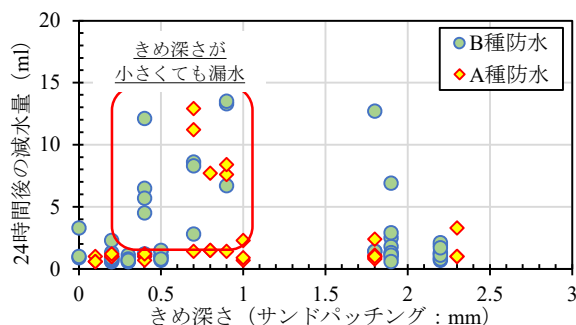


図-4 きめ深さと防水性試験Ⅱの減水量の関係

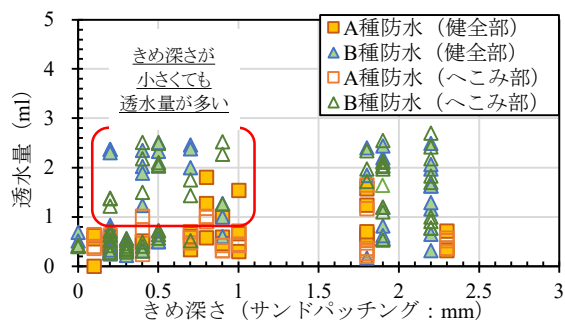


図-5 きめ深さと局部変形性試験透水量の関係

次に、本実験で実施した表面粗さ測定結果間の相関関係を図-3に示す。表面粗さ測定結果間の相関係数R²値はすべて0.9を超えており、相関関係が認められる結果となった。本実験では、一般的に実施されているサンドパッチング法、CTメータ法に加えて、簡易的な方法である型取りゲージによる方法を実施したが、簡易的な方法においても、一般的な測定方法で得られた表面粗さと高い相関関係が認められたことから、床版の表面粗さを現地で管理する方法として適用できる可能性があると考えられる。

(2) 防水層性能確認試験結果

防水層性能確認試験結果の一覧を表-8に示す。表中には、防水材塗布量とサンドパッチング法におけるきめ深さの結果を併記している。試験結果より、引張接着試験、せん断試験、水浸引張接着試験については、すべての工区で基準値を満足した。これは、本実験で作製した模擬床版の強度が高い（切削時の圧縮強度36.9N/mm²）ことで、切削時に脆弱部がそれほど発生しなかったためと推察している。一方、防水性試験Ⅱと局部変形性試験では一部の工区において基準値を満足しなかった。

きめ深さと防水性試験Ⅱにおける24時間経過後の減水量との関係を図-4に示す。防水材種類と24時間減水量に着目すると、B種防水については、きめ深さの大小に関わらず、漏水が発生した。

局部変形性試験は切削面における透水量が大きく、7日間測定することが困難な箇所が存在した。それらの計測結果については、1日透水量の結果を用いて7日透水量を算出した。きめ深さと局部変形性試験における透水量との関係を図-5に示す。図中には、健全部とへこみ部（Φ11.3mmの突起を3箇所有する鋼製へこみ試験治具を各種防水層上に24時間静置して得られる凹部）の透水量をプロットしている。試験結果より、B種防水についてはきめ深さの大小に関わらず、透水量が多い工区が存在し、防水性試験Ⅱと同様の傾向を示した。

切削面では、きめ深さが大きいほど、膜厚を確保することが困難であり、本実験ではAs塗膜防水材塗布量を増加させることで対応したが、床版面のきめ深さの程度により膜厚にばらつきが生じ、防水層の性能に影響を与えたものと考えている。

一方、きめ深さが小さい工区は、素地調整により、凹凸を低減したものの、マイクロクラック等の脆弱部を完全に除去できなかったことが要因となり、防水性能に影響を与えたものと考えている。

4. 素地調整の現場管理方法の検討

実験結果より、切削の有無や素地調整により形成された床版の表面粗さが、防水層の防水性能へ影響を与えている可能性が示唆される結果となった。床版面の表面粗さを現場で管理することを想定し、舗装調査試験便覧⁷⁾に記載があり、かつ現場作業が容易な方法であるサンドパッチング法によるきめ深さに着目して、表面粗さの検討を行った。

防水層性能確認試験結果（表-8）より、防水性能に関する試験については、一部の工区において、試験結果が基準値を満足しなかった。そこで、床版の表面粗さの程度により、As塗膜防水層膜厚が変化し、結果として防水性能が確保できない可能性を想定し、きめ深さと膜厚との関係を整理した。

(1) きめ深さと膜厚の関係

切削面では実施した素地調整方法によって、異なるきめ深さが得られた。特にきめ深さ1.5mm付近を境として、きめ深さが異なる2つのグループに区

別できる可能性を示したことから、本検討では「切削面-きめ深さ1.5mm未満」と「切削面-きめ深さ1.5mm以上」のグループに分けて膜厚を整理した。きめ深さと膜厚の関係を図-6に示す。表中には平滑面の結果も併せてプロットしている。きめ深さが大きいほど膜厚が大きい傾向にある。これは、きめ深さが大きいと凸部における膜厚の確保が困難となるため、塗布量の増加により対応しているためと推察する。そこで、膜厚のばらつきに着目するため、膜厚の平均値が0mmとなるように実測値を補正した結果を図-7に示す。きめ深さが大きいほど、膜厚のばらつきが大きい傾向が確認できた。

防水性能の確保には膜厚が重要であると考えられることから、図-7に示す膜厚の測定値が正規分布すると仮定して、膜厚の薄い箇所が発生する確率を算出した結果を表-9に示す。きめ深さ1.5mm以上のグループでは、膜厚の薄い箇所が発生する可能性が高いこと、きめ深さの低減によって膜厚のばらつきを抑制できることが明らかとなった。以上より、現場におけるきめ深さの目標値として「きめ深さ1.5mm以下」が望ましいと考える。

(2) 表面粗さの測定頻度

表面粗さについては、舗装の高さや幅と異なり、目視によって表面粗さの状態を確認することが可能であることから、現場での管理方法として目視によって表面粗さが大きい箇所を選定し、その測定値が基準値以下であることを確認することが考えられる。

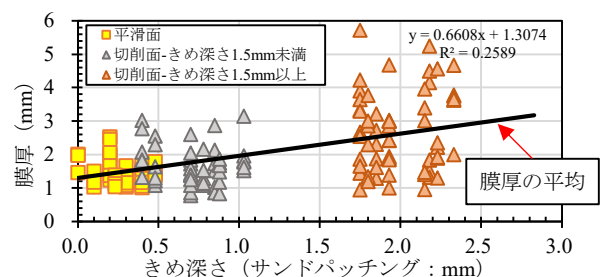


図-6 きめ深さとAs塗膜防水層膜厚の関係

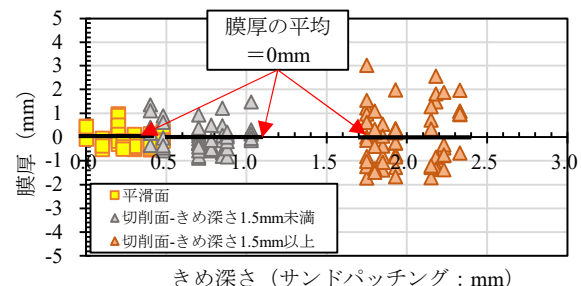


図-7 きめ深さと膜厚のばらつきの関係

表-9 膜厚の薄い箇所が発生する確率

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

(3) 表面粗さの低減方法

コンクリート床版上の表面粗さが基準値を超過した場合、素地調整を実施して表面粗さを低減する必要がある。本実験では表-2に示す方法の素地調整方法を実施し、その中で表面粗さの低減効果が認められたのは研削機と薄層切削機であった。ただし、これらの機械における施工能力は表-7に示すように小さいこと、防水層の各種性能へ与える影響についても留意する必要がある。

(4) 表面粗さの低減が困難な場合について

コンクリート床版上の表面粗さについて、防水性能を確保するための基準値や表面粗さを低減するための素地調整方法について整理したが、工事における交通規制に制約を受け、作業時間に余裕がない場合は、表面粗さの低減等の対応が困難となる可能性が考えられる。そこで、素地調整ができない場合のやむを得ない措置として、表面粗さが基準値を超えた場合において、防水層の膜厚を確保することで対応できる方法について検討した。

きめ深さと膜厚のばらつきを関係を示した図-7に対し、アスファルト塗膜防水材料を設計塗布量（本検討の防水材料では $1.2\text{kg}/\text{m}^2$ ）塗布した場合における膜厚の分布を図-8に示す。きめ深さが大きい場合、膜厚が 0mm 以下を示す箇所が存在し、塗布量を増加させる必要があることがわかる。きめ深さ 1.5mm 以上のグループの最低膜厚が 0mm を超えるように、塗布量について検討したところ、図-9に示すように平均膜厚 2.0mm とする必要がある。アスファルト塗膜防水材料の塗布量を $1.2\text{kg}/\text{m}^2$ から $2.0\text{kg}/\text{m}^2$ とすることで、膜厚の確保が可能となるものの、平均膜厚が 2.0mm となることはアスファルト混合物の耐流動性低下が懸念される⁹⁾ことから、舗装を含め、塗布量増加が及ぼす影響について引き続き検討が必要であると考えている。

5. まとめ

検討結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 切削面に発生した凹凸を低減する効果について、WJ工法やSSB工法では認められなかったが、研削機や薄層切削機によって低減できることを確認した。
- 2) 種々の表面粗さ測定方法を実施したところ、測定方法間で高い相関性が認められた。
- 3) きめ深さが大きいほど、アスファルト塗膜防水層の膜厚も大きくなり、かつばらつきもおおきくなる傾向を示した。きめ深さが大きい工区では、膜厚を確保するために塗布量を調整することや、表面の凹凸によって膜厚がばらつくことが考えられる。
- 4) きめ深さと膜厚の関係より、きめ深さが 1.5mm 以上では、膜厚の薄い箇所が発生する可能性が高い。

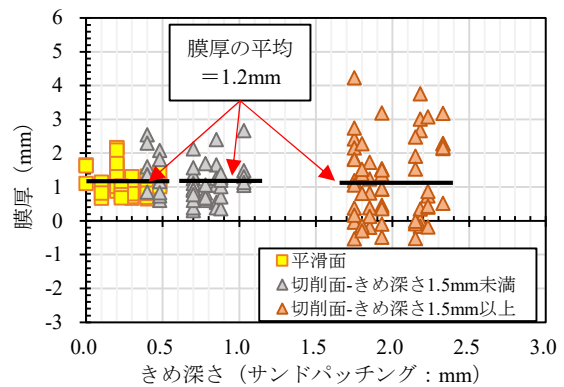


図-8 きめ深さと膜厚の関係（標準塗布量）

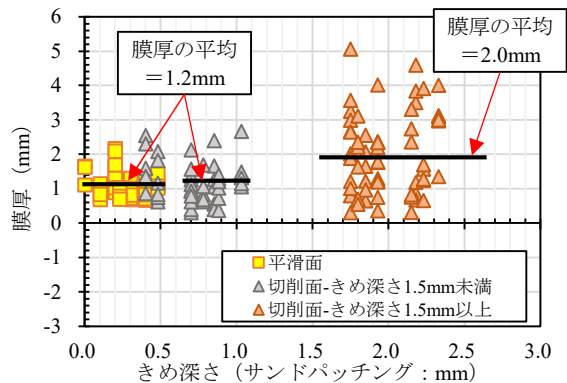


図-9 きめ深さと膜厚の関係（塗布量の検討）

本検討により、コンクリート床版上の素地調整方法が防水層の性能に与える影響、ならびに素地調整方法や素地調整実施後の表面粗さの管理方法についての知見を得ることができた。今後は、試験施工等により、本検討で得られた知見の妥当性について検証を行い、現場で適用可能な素地調整方法と管理方法を提案したい。

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) 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，2016。
- 5) (公社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋・コンクリート部材編，2017.11
- 6) 阪神高速道路株式会社：既設RC床版を対象とした床版防水マニュアル，2020.5
- 7) (公社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，2019
- 8) (公社)日本道路協会：道路橋床版防水便覧，2007
- 9) 山本一貴，染谷厚徳，南部貴則：レベリング層の塑性変形抵抗性の低下を抑制した改質アスファルト塗膜系防水材料の開発，第33回日本道路会議，2019