

床版防水に配慮した橋面舗装の打ち換え技術に関する研究（1）

研究予算：運営費交付金（重点研究）

研究期間：平 28～令 1

担当チーム：舗装チーム

研究担当者：藪 雅行、寺田 剛

【要旨】

道路橋 RC 床版の損傷は、大型車の繰返し走行による疲労が主たる劣化原因と考えられてきた。しかし近年では、疲労の影響だけでなく、塩害、凍害、アルカリ骨材反応といった材料劣化を伴う複合的な劣化事例が見られている、これらの劣化の発生、促進には、路面からの雨水や凍結防止剤散布に由来する塩水の浸入が多大な影響を与えることから、床版の損傷を防ぐには橋面の防水対策は極めて重要となっている。橋面舗装は、ある程度の遮水性を有しており、防水層とともに RC 床版の耐久性を確保する上で重要である。その一方、水の浸入が原因とみられる橋面舗装の劣化や床版の損傷が発生している。そこで、本研究では、橋面舗装の遮水性と床版の損傷に関する実態調査、遮水性を考慮した橋面舗装の打ち換え技術の検討、並びに水密性を高めた新しい橋面舗装の開発などを行った。

その結果、水の浸入経路は、舗装端部と歩道・地覆・伸縮装置といった構造物の界面、施工打継目部、舗装の貫通ひび割れであること、橋面舗装の部分修繕を行う場合は防水性の確保が重要であることなどが分かった。また、水密性を高めた新しい床版防水用橋面舗装材として新たなグースアスファルト混合物と新たな塗膜系床版防水層を開発した。これらの調査結果から橋面舗装の防水対策案をとりまとめた。

キーワード：コンクリート床版、損傷、土砂化、橋面舗装、密度試験、透水試験

1. はじめに

橋面舗装については、実質的にある程度の遮水性を有しており、防水層とともに RC 床版の耐久性を確保する上で重要な役割を果たしている。しかし、舗装自体の劣化等によって舗装の打ち換えを行う場合、その打ち換え直後の舗装はある程度水が浸透する傾向にある。また、施工品質の確保が容易でない舗装の打継目や端部目地部は防水の弱点になりやすい。その結果、床版の劣化と舗装の劣化が相乗的に進行し、橋面舗装や床版の耐久性の急速な低下を招いている事例として写真-1 および写真-2 の土砂化や床版の抜け落ち等が大きな問題となっている^{1),2)}。ここで、土砂化とは、コンクリートの骨材とセメ

ントペーストが分離している状態を指し、この結果コンクリートは脆く崩れやすくなり、重大な事象に至るケースも見られている³⁾。

土砂化の原因としては、湿潤状態にある床版上での繰返し交通荷重による疲労、凍結融解による凍害、凍結防止剤散布による塩害、ASR 等による複合劣化等が考えられるが、いずれも床版への水分の浸入が発生、促進に影響を及ぼしている^{1), 4)}。

そのため、土砂化の発生、促進を防ぐためには、水の浸入経路に対応した橋面舗装の防水対策が重要であり、床版防水に配慮した橋面舗装の適切な打ち換え技術を確立する必要がある。

そこで、床版への水の浸入経路を明らかにすることを目的に、道路橋橋面舗装の防水性に関する実態調査として、1) 床版劣化に及ぼす舗装の損傷状況の分析、2) 橋面舗装打ち換え時の施工方法に関するアンケート調査、3) 実橋における床版が損傷している橋面舗装の実態調査を行った。また、実態調査から端部や施工打継目及び舗装のひび割れ等から水が浸入し、防水層の損傷や床版土砂化を増進させることが分かったため、4) 遮水性を考慮した橋面舗装の打ち換え技術の検討、並びに5) 水密



写真-1 床版の
土砂化の例 1



写真-2 床版の
土砂化の例 2

性を高めた新しい橋面舗装の開発を行った。以上の調査結果から、6) 橋面舗装の防水対策案をとりまとめた。

2. 研究結果

2. 1 床版劣化に及ぼす舗装の損傷状況の分析結果

2016年に土木研究所において調査、整理した「平成28年度 RC 床版劣化調査報告書」⁵⁾を用いて、橋面舗装と RC 床版の損傷状態の関係を整理した。調査報告書には、土砂化が発生した24橋のRC床版について橋梁点検結果を基に床版と舗装の損傷が調査、整理されている。その調査から床版が損傷（ひび割れ、漏水、遊離石灰、浮き、剥離、鉄筋露出）している橋面舗装の損傷位置を整理した。その結果を図-1に示す。その結果、床版が損傷している橋面舗装の損傷位置は、舗装端部（水下側及び水上側を合わせた割合）が最も多く、次いで中央部に多く発生していた。打継目でも床版が損傷している結果であったが、舗装の端部、伸縮装置付近、施工打継目から雨水が浸入し、床版が損傷したものと考えられる。

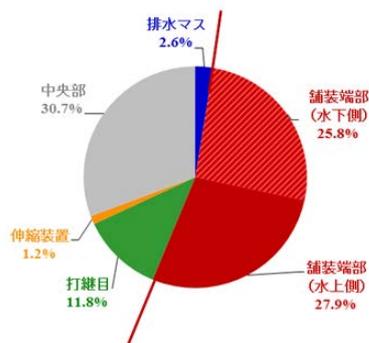


図-1 床版が損傷している橋面舗装の損傷位置

2. 2 橋面舗装打換え時の施工方法に関するアンケート調査結果

橋面舗装を打換える時にどのような施工方法を行っているか、道路管理者（5 地方整備局）には発注している仕様について、及び6つの施工会社には実施している方法についてアンケート調査を実施した。その結果を表-1に示す。その結果、「橋面舗装を打ち換える場合、タックコートを散布するか」聞いたところ、全ての道路管理者及び施工会社とも、タックコートを散布していた。

「歩道部や地覆部及び施工打ち継ぎ目の処理方法」について聞いたところ、歩道部や地覆部は、道路管理者及び施工会社とも、成型目地材を用いて施工を行っているが、施工打継ぎ部では、施工会社は、成型目地材の施工を行っている」と回答した会社が半数であっ

たが、道路管理者は成型目地材の施工を使用と回答したところはなく、処理方法としてタックコートと回答している。タックコートは長期接着性はないと考えられるため、防水性の観点からは成型目地材の適用についての検討が望まれる。

表-1 橋面舗装打換え時の施工方法に関するアンケート調査結果（複数回答あり）

	アンケート項目	処理方法	道路管理者	施工会社
①	既設舗装にタックコート散布の有無	—	散布 100% (5/5)	散布 100% (6/6)
②	歩道部や地覆部の処理方法	成型目地材	80% (4/5)	50% (3/6)
		タックコート	20% (1/5)	67% (4/6)
		未処理	0%	17% (1/6)
③	施工打ち継ぎ目の処理方法	成型目地材	0%	50% (3/6)
		タックコート	50% (5/5)	83% (4/6)
		未処理	0%	17% (1/6)

2. 3 実橋における床版が損傷している橋面舗装の実態調査^{6)、7)、8)}

2. 3. 1 概要

北海道・東北・北陸地方の9橋を対象に、橋面舗装の防水性に関する実態調査として、舗装路面及び舗装切削後の床版上面の損傷状態に確認するため目視調査を、水の浸入経路の調査するためコア採取を行い、舗装の透水性や遮水性を確認するため採取したコアの性状試験を行った。調査を実施した順に A 橋～I 橋とし、橋梁の諸元を表-2に、位置図を図-2に示す。

橋梁の建設年度は、1950年代～1970年代のものが多く、設計時に適用された道路橋示方書では、床版防水層の設置が義務付けられていないものもある。なお、A、B、C 橋は、後年の補修時に床版防水層が敷設されている。さらに、アスファルト舗装部は2層構成が現在では標準となっているが、C、D、E、G、H、I 橋は概ね6cmのアスファルト舗装1層構成であった。

2. 3. 2 調査内容

各橋梁にて実施した調査項目を表-3に示す。C 橋から I 橋については、舗装路面および、舗装切削後の床版上面の損傷状態について目視調査を行った。

また、A 橋から I 橋までの全ての橋梁において、舗装コアの採取を行った。コアの採取位置は、水の浸入経路となりうる箇所と比較のため水の浸入のない健全部とした。コア採取位置のイメージは、図-3に示すとおりである。健全部としては、ひび割れ等の損傷が

表-2 調査対象橋梁の諸元

橋梁	所在地	建設年度	形式	橋長	車道幅員	橋面舗装構成	
						舗装	防水層
A	秋田県にかほ市	不明	3径間連続鉄桁橋	90m	11m	細粒度G 粗粒度	4cm 4cm シート防水
B	新潟県糸魚川市	1975年	PCボス騰T桁橋	30.6m	8m	密粒度 密粒度	5cm 6cm 塗膜防水
C	新潟県村上市	1972年	ランガーアーチ橋	120m	6.5m	密粒度	6cm シート防水
D	富山県富山市	1969年	逆T式橋台RC柱橋脚	88m	7.5m	密粒度	6cm なし
E	富山県富山市	1972年	ボス騰T桁ランガー橋	426m	9m	密粒度	6cm なし
F	北海道苫小牧市	1998年	2,3径間連続非合成鉄桁橋	371.2m	5m	密粒度 密粒度	5cm 5cm シート防水
G	北海道日高市	1954年	単純鋼トラス橋, 単純合成鉄桁橋	400.6m	5.5m	密粒度	6cm なし
H	宮城県仙台市	1973年	3径間連続非合成鉄桁橋	101.0m	7m	密粒度	6cm シート防水
I	宮城県石巻市	1959年	単純ゲルバー鉄桁橋, 鋼ランガーアーチ橋	367.7m	6m	密粒度	6cm シート防水

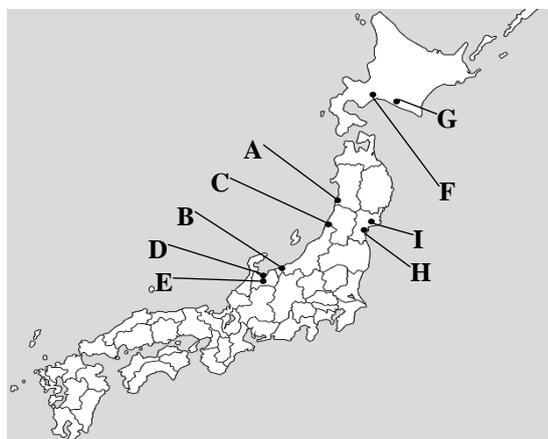


図-2 調査対象橋梁位置図

ない①非車輪通過部 (BWP)、②車輪通過部 (OWP、IWP)、水の浸入経路となりうる箇所としては、③歩道側 (地覆側) 端部、④施工打継目部、⑤伸縮装置近傍、⑥ひび割れ近傍・直上とした。

コア採取後、室内にてコアの密度試験および加圧透水試験を実施し、採取位置①～⑥ごとの試験結果の比較を行った。

また、C、D橋については、コア採取時の舗装と床版の付着状況および、開孔部への水の浸入の有無について目視観察を行った。さらにG、H、I橋についてはコア削孔部の床版上面の含水量を電気抵抗式水分計で測定した。なお、水分量はカウント値で測定しており、カウント値の目安は図-4のとおりである。

なお部分補修が行われていたG及びH橋については、各橋梁毎に詳細な考察を行い、それ以外の橋はまとめて考察を行った。

表-3 調査項目

調査項目	A橋	B橋	C橋	D橋	E橋	F橋	G橋	H橋	I橋
目視調査	舗装路面	-	-	○	○	-	○	○	-
	床版上面	-	-	○	○	-	○	○	-
舗装コア採取	開孔部観察	-	-	○	○	-	-	-	-
	床版上面含水量測定	-	-	-	-	-	○	○	○
	密度試験	○	○	○	○	○	○	○	○
	加圧透水試験	○	○	○	○	○	○	○	○

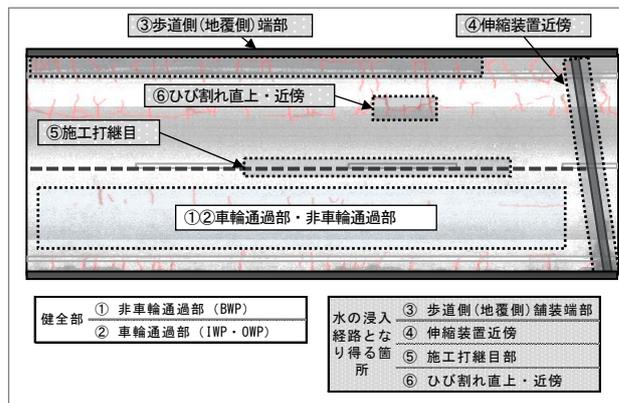


図-3 舗装コア採取位置イメージ図 (D橋の例)

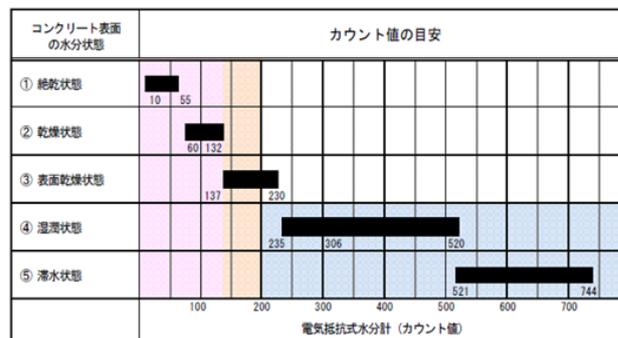


図-4 カウント値の目安

2. 3. 3 調査結果

(1) 路面および床版の損傷状況の目視調査結果

目視調査を行ったC、D、E、G、橋における舗装路面および舗装切削後の床版上面の様子をそれぞれ写真-3、写真-4、写真-5に示す。また、C橋については図-5に修繕前の舗装路面の損傷状況を示す。

C橋については、調査の4年前に舗装の切削オーバーレイを実施していたため、舗装路面に大きなひび割れやわだち掘れといった損傷は見られなかったが、ひび割れや水、泥水、石灰の噴出、パッチング等の補修跡、舗装損傷、ジャンカの発生が見られ、写真-3左上に示すように舗装打継目から泥水が発生していることから、水の浸入が床版にも及んでいる様子が伺える。また、図-5で分かるとおり、舗装の損傷が発生した箇所は舗装端部がほとんどであった。

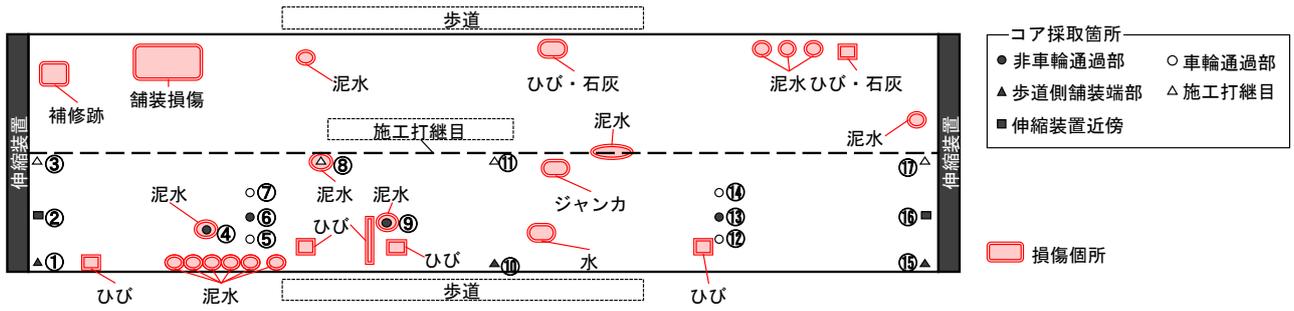


図-5 修繕前の舗装路面の損傷状況 (C橋)



写真-6 G橋 目視調査結果



写真-3 C橋 目視調査結果



写真-4 D橋 目視調査結果



写真-7 H橋 目視調査結果



写真-5 E橋 目視調査結果

また、舗装切削時において、舗装と歩車道ブロックの接着不良 (写真-3 右上)、防水層の接着不良による剥がれや劣化 (写真-3 左下)、床版の湿潤状態 (写真-3 右下) が見られた。特に、歩道側端部においては、歩車道ブロックの下面から水の浸入が見られ、近傍の床版上面が湿潤・状態となっていた。

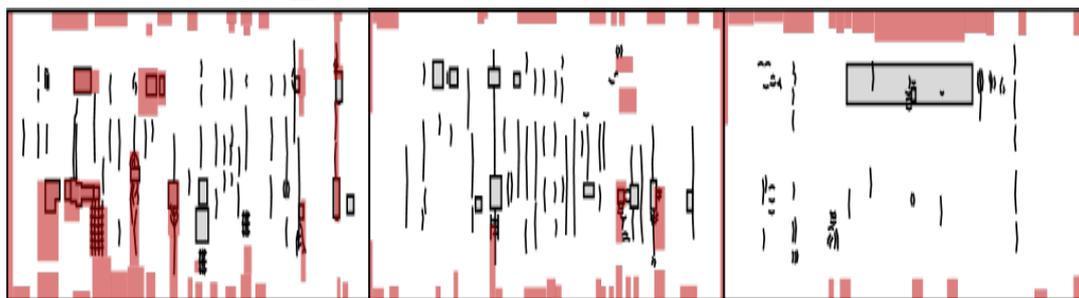


図-6 G橋路面損傷図と土砂化箇所の関係
(黒線：ひび割れ、■：補修 (パッチング)、赤：土砂化)

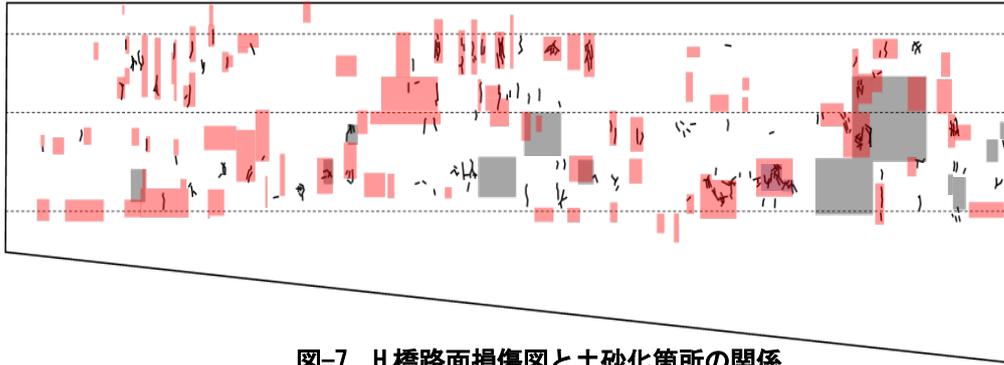


図-7 H橋路面損傷図と土砂化箇所の関係
(黒線：ひび割れ、■：補修（パッチング）、赤：土砂化）

舗装切削後、床版上面の状況を目視により観察したところ、土砂化進行や滞水箇所が多数確認され、鉄筋が露出している箇所（写真-3 右下）も確認された。これらことから、施工継目や端部の経年劣化による接着不良の隙間から水が浸入し、防水材の接着不良、剥がれにより床版が湿潤し土砂化に至ったものと思われる。

D橋については、舗装路面に線状ひび割れが多く見られた（写真-4 左）。D橋では、地覆側端部1か所、施工打継目部2か所にて、部分的に舗装の切削を行い床版上面の調査を行った。切削を行った3か所の床版上面は、いずれも、土砂化等の損傷は見られず、概ね健全な状態であったが、地覆側端部については床版の滞水、湿潤、変色等が見られた（写真-4 右）。

E橋については、舗装路面の施工打継目沿いに格子状の大きなひび割れが多数見られ（写真-5 左）、歩道側端部のひび割れからは一部、泥水が噴出している箇所もあった。アスファルト舗装と床版上面の間に防水層は設置されていなかったが、舗装切削時、層間は概ね良好に付着していた。床版上面については、歩道側端部における歩車道ブロック下面から水の浸入が確認され、近傍の床版は滞水・湿潤状態となっていたが、その他の場所では土砂化等の大きな損傷もなく、概ね健全な状態であった（写真-5 右）。

G橋については、車輪走行部に多数の補修跡が見られ、舗装厚が薄く床版面が露出している個所も散見された（写真-6 左）。床版面は、地覆側端部や舗装補修部等に土砂化が多数見られた（写真-6 右、図-6）。

H橋については、舗装路面はひび割れ等の損傷や補修跡が多数見られた（写真-7 左上）。部分補修箇所は繰返し損傷しており（写真-7 左下）、部分補修箇所をめくると床版は土砂化が激しく（写真-7 右下）、床版面は、広範囲で土砂化が見られ、特に路面

にひび割れや舗装補修があった箇所や施工打継目にて発生が確認された（写真-7 右上、図-7）。

（2）コア開孔部観察の結果

D、E橋の調査時には、コア削孔時の開孔部の観察を行い、舗装と床版の付着および開孔部への水の浸入の有無を確認した。コア開孔部の目視観察の結果を表-4 および写真-8 に示す。表-4 中の付着は、コア採取時に、舗装と床版が付着しているものを良、全く付着していないものを不良とした。また、表-4 中の破壊面は、コア採取時に、どこの層界面で剥離または破壊したか示したものである。

非車輪通過部については、D橋、E橋とも舗装と床版上面が良好に付着しており、開孔部への浸水も見られなかった。

歩道（地覆）側端部、伸縮装置近傍については、D橋、E橋とも舗装と床版と接着強度が小さくコア開孔部への水の浸入が見られた（写真-8 左上、右上）。施工打継目部については、D橋では良好な接着、E橋では接着不良であったが、2橋とも水の浸入が見られた。

表-4 開孔部目視調査結果

採取位置	D橋			E橋			
	付着	破壊面	水の浸入	付着	破壊面	水の浸入	
非車輪通過部	1	良	AS層-床版界面	無	良	床版表面部	無
	2	良	AS層-床版界面	無	良	床版表面部	無
	3	-	-	-	良	床版表面部	無
歩道側（地覆側）端部	1	不良	AS層-床版界面	有	不良	AS層-床版界面	有
	2	不良	AS層-床版界面	有	不良	AS層-床版界面	有
	3	-	-	-	不良	AS層-床版界面	有
施工打継目部	1	良	AS層-床版界面	有	不良	AS層-床版界面	有
	2	良	AS層材料	有	不良	AS層-床版界面	有
	3	-	-	-	不良	AS層-床版界面	有
伸縮装置近傍	1	-	-	-	不良	AS層-床版界面	有
	2	-	-	-	不良	AS層-床版界面	有
	3	-	-	-	不良	AS層-床版界面	有
ひび割れ	直上	良	AS層材料	無	良	AS層	有
	近傍	-	-	-	良	AS層-床版界面	有
	近傍	-	-	-	良	床版表面部	有



写真-8 コア開孔部における浸水状況

ひび割れ部については、2橋とも接着は良好であった。D橋のひび割れは路面から底面まで貫通しておらず水の浸入も見られなかったのに対し（写真-4 左下）、E橋でのひび割れは舗装路面から底面まで貫通しており、水の浸入が見られた（写真-5 右下）。

(3) コア採取箇所の床版上面含水量測定結果

G、H、I橋で水の浸入の有無を調べるため、コア削孔部で測定した床版上面の含水量の結果を図-8～図-10に示す。

その結果、G橋、H橋は非車輪通過部では、カウン

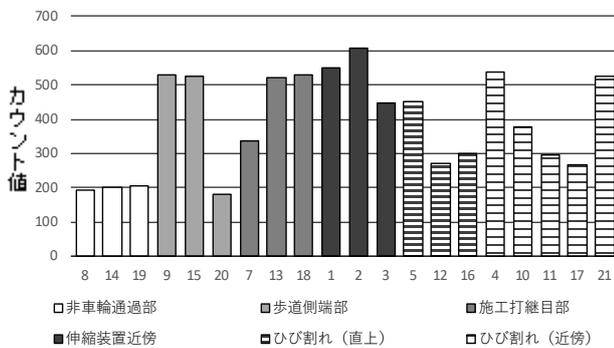


図-8 コア採取箇所の床版上面水分量 (G橋)

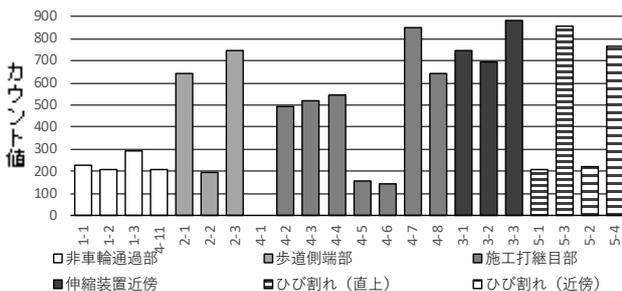


図-9 コア採取箇所の床版上面水分量 (H橋)

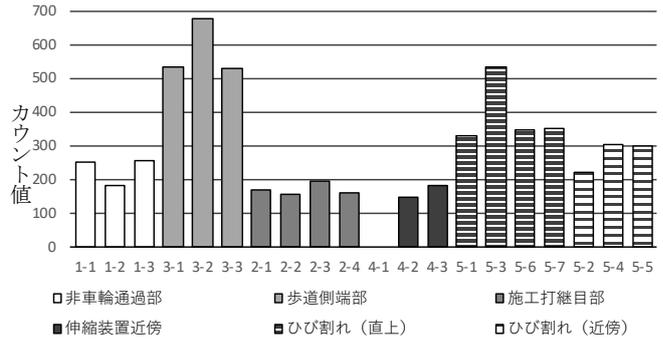


図-10 コア採取箇所の床版上面水分量 (I橋)

ト値 230 程度以下と乾燥状態となっているが、その他の箇所では概ね 230～600 程度と水分量が高くなっている。I橋では、歩道側端部、ひび割れ部の水分量が高くなっており、その他の箇所では 230 以下の表乾程度となっていた。

(3) コアの室内試験結果

A、B、C、D、E、F、G、H、I橋で採取した舗装コアの密度試験および、加圧透水試験の結果をそれぞれ図-11、図-12に示す。なお、それぞれの棒グラフは採取したコア毎の結果を示しているが、棒グラフのない箇所はコア採取を行っていない。

図-11より、比較的近年に舗装を打ち換えたC橋については、採取場所による密度の差が小さい結果となっている。その他のA、B・D～I橋については、差の大小はあるものの、歩道(地覆)側端部、施工打継目部、伸縮装置近傍での密度が相対的に小さい傾向が見られる。

図-12の加圧透水試験の結果より、非車輪通過部及び車輪通過部のコアは、概ね透水係数が 10^{-7} cm/sec以下という結果になっている。工学的にほぼ不透水とされる水工用アスファルト混合物の透水係数が 10^{-7} cm/sec以下であることから⁹⁾、これらの舗装コアはほぼ不透水であるといえる。A、B橋については、密度が相対的に小さくなっていった歩道側端部等のコアの透水係数が $10^{-7} \sim 10^{-4}$ cm/sec程度と高くなっている。舗装が2層構造になっており、空隙率の高い粗粒度アスファルト混合物を使用しているA橋の基層は、表層に比べて透水係数がやや高い傾向を示している。ひび割れ直上のものについては 2.5×10^{-3} cm/sec程度もしくは、ひび割れからの透水により測定不可という結果であった。F、G、H、I橋では、密度の小さくなっていった歩道(地覆)側端部、施工打継目部、伸縮装置近傍のコアの透水係数が高くなっている傾向が見られる。

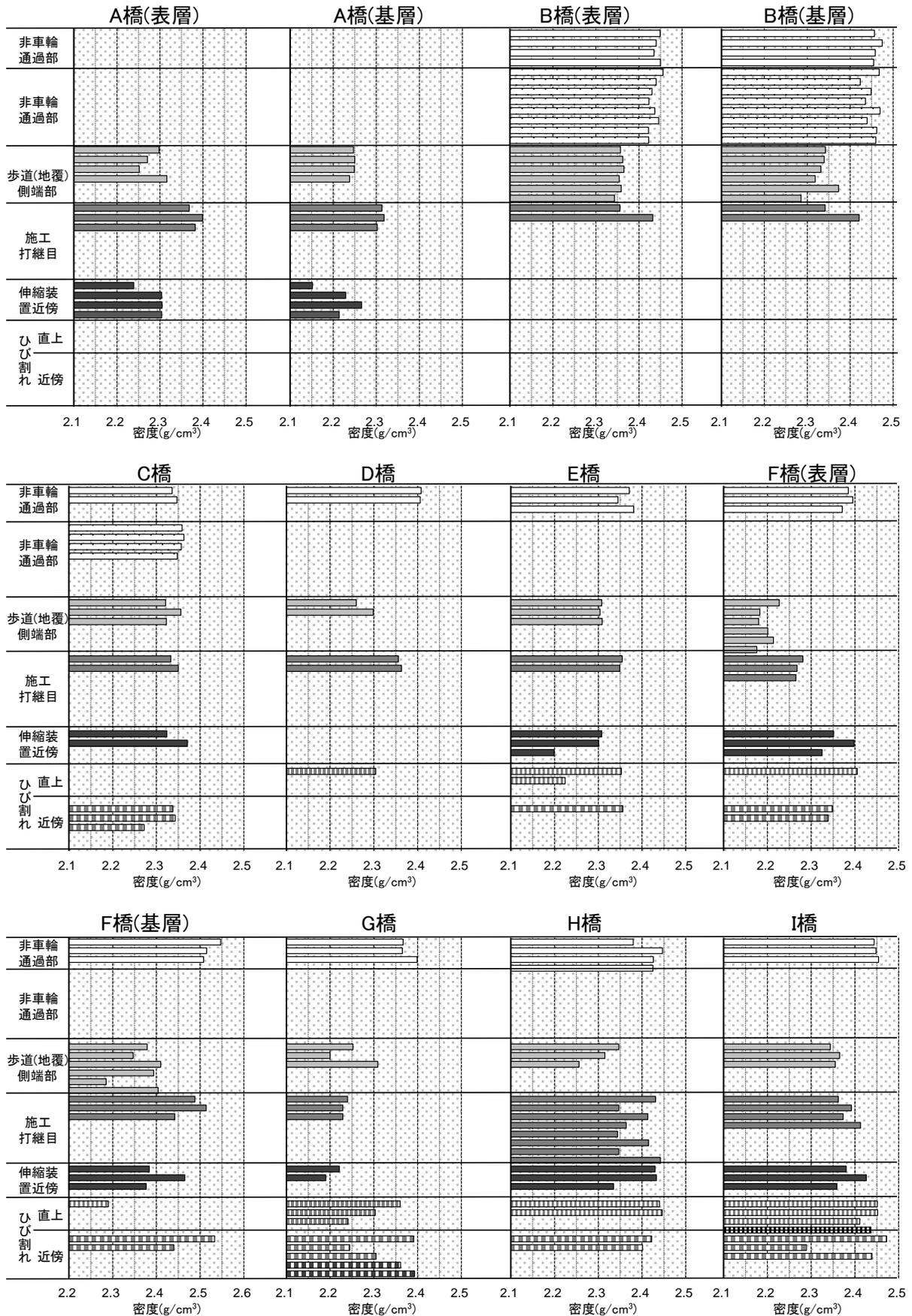


図-11 採取コアの密度試験結果

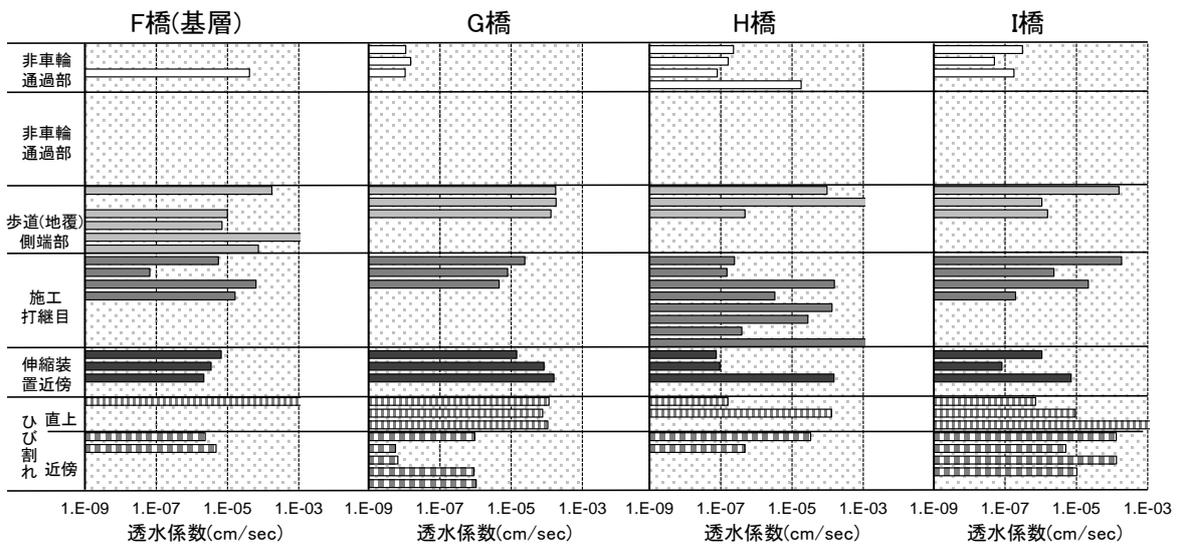
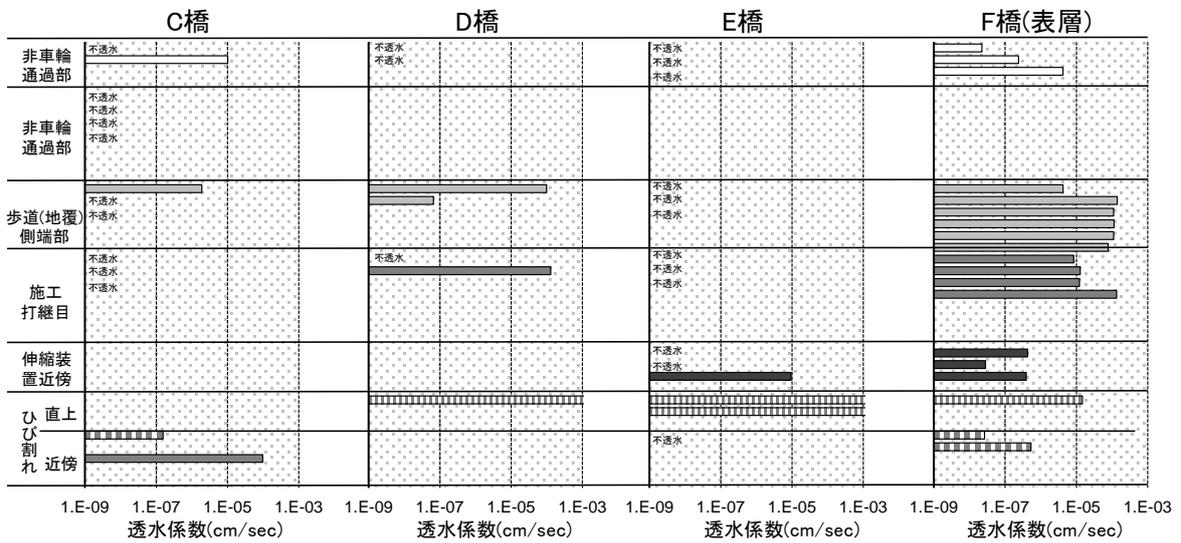
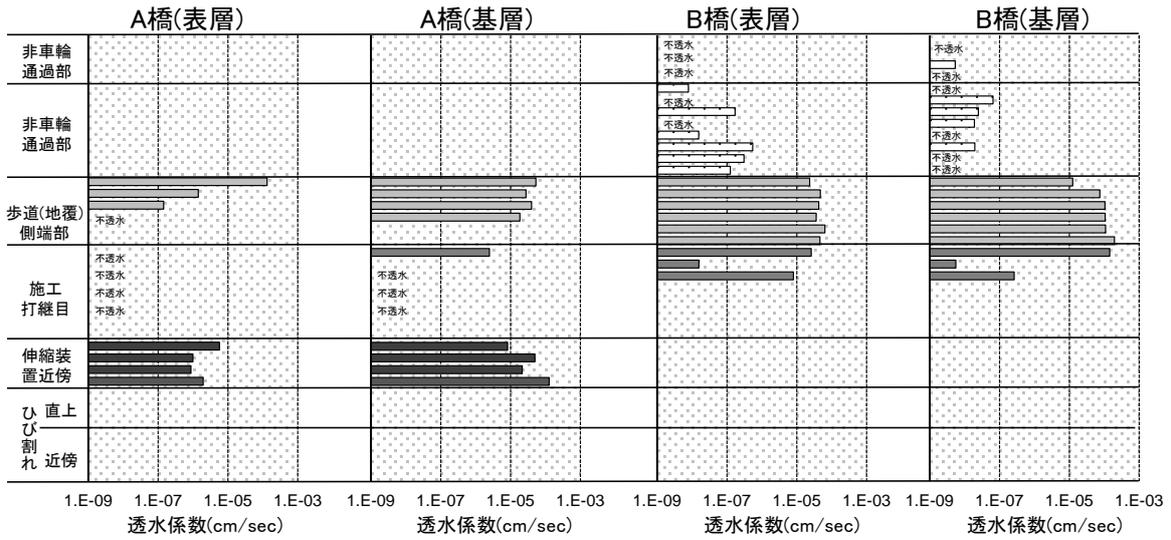


図-12 採取コアの加圧透水試験結果

2. 4 遮水性を考慮した橋面舗装の打ち換え技術の検討¹⁰⁾

2. 4. 1 検討内容

実橋における床版が損傷している橋面舗装の実態調査の結果では、土砂化の損傷が発生した箇所の主な水の進入経路は、舗装の歩道（地覆）側端部と施工打継目及び貫通ひび割れであることが分かった。そこで、舗装の端部と施工打継目等から水が浸入しない防水対策工法について、防水効果の検討を行った。舗装の端部と施工打継目（縦断方向、横断方法）を模擬した3種類の供試体を作製し、4種類の防水対策工法について、端部と施工打継目（縦断方向）は供用中の環境条件を模擬した供用劣化試験を行った後、透水試験を実施し、施工打継目（横断方法）は走行を模擬した水浸ホイールトラッキング試験の走行試験を行った後、透水試験を実施した。

2. 4. 2 試験した防水対策工法

表-5に示すように、比較のためのタックコートのみ、未対策工法と従来工法として塗膜系の床版防水材及び止水を高める対策工法と

表-5 試験した防水対策工法

工法名	使用材料
未対策	・タックコート(PK-4)のみ
従来工法	・床版プライマー ・塗膜系床版防水材 ・網状ルーフィング(端部の試験のみ使用)
I型成型目地材	・従来工法 + ・成型目地材(I型)
L型成型目地材	・従来工法 + ・成型目地材(L型)

して従来工法にI型とL型の成型目地材をプラスした4種類の防水対策工法について試験した。

2. 4. 3 供試体の作製

4種類の防水対策工法について、舗装の端部と施工打継目を模擬した供試体(300×300×50または100mm)を作製した。図-13に端部、図-14に施工打継目の供試体を示す。なお、一例としてL型成型目地材の端部を模擬した供試体を図-15に、施工打継目を模擬した供試体を図-16に示す。

2. 4. 4 供用劣化試験

端部と施工打継目（縦断方向）用に作製した供試体に供用中の環境の変化を模擬して23℃水中16時間→60℃気中4時間→10℃水中4時間のサイクルを6回繰り返すことにより供試体に負荷を与えた。

2. 4. 5 走行試験

施工打継目（横断方向）用に作製した供試体は、

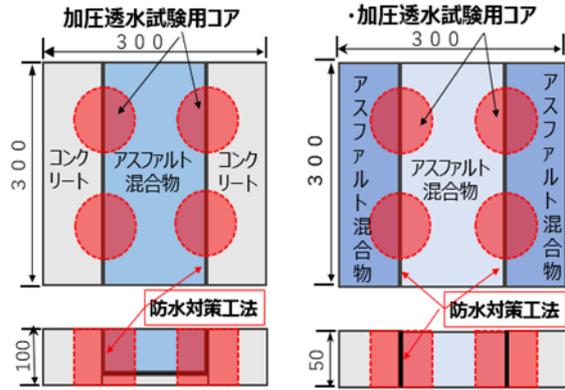


図-13 端部を模擬した供試体

図-14 施工打継目を模擬した供試体

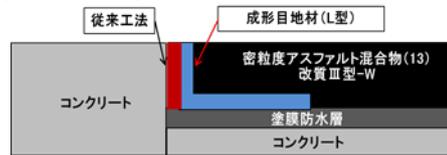


図-15 L型成型目地材の端部を模擬した供試体

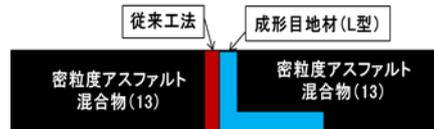


図-16 L型成型目地材の施工打継目を模擬した供試体

横断方向の施工継ぎ目の上を自動車が行くことを模擬して、水浸ホイールトラッキング試験を実施した。試験条件は従来（60℃6時間のトラバース走行）より厳しい条件（40℃24時間のトラッキング走行）として供試体に負荷を与えた。

2. 4. 6 確認試験

供用劣化試験と走行試験を行った後、防水対策工法の防水性能を確認するため、φ10cmのコアを切り取り加圧透水試験（舗装調査・試験法便）⁴⁾を行い3個のコアの平均で透水係数を求めた。なお、防水対策工法を施工した目地以外のコアの表面は樹脂でコーティングし透水しないようにした。

2. 4. 7 試験結果

(1) 端部の加圧透水試験結果

試験結果を図-17に示す。図中に水理用アスコンの目標値 $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ の位置を赤の破線で示しているが、一般的に $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 以下であれば不透水であるといえる。この結果、タックコートのみ未対策は透水係数が大きく透水しており、従来工法もわずかではあるものの不透水ラインである 10^{-7} を上回り透水した。

これに対して、止水を高める対策工法である I 型と L 型の成型目地材は、 10^{-7} 以下と透水しておらず防水効果のある結果となった。

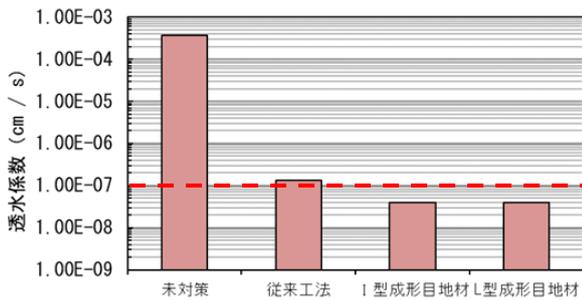


図-17 端部の加圧透水試験結果

(2) 施工打継目(縦断方向)の加圧透水試験結果

試験結果を図-18に示す。この結果、I型とL型の成型目地材は未対策及び従来工法に比べ、透水係数は小さく防水効果のある結果となった。成型目地材により措置された縦断方向の施工打継目は、不透水である $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ より大きいものの、アスファルト混合物の透水係数 $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ と同程度である。

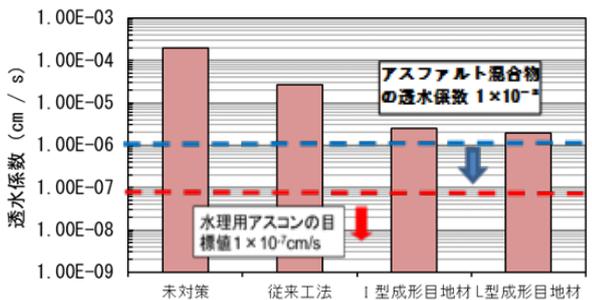


図-18 施工継目(縦断方向)の加圧透水試験結果

(3) 施工打継目(横断方向)の加圧透水試験結果

試験結果を図-19に示す。この結果、I型とL型の成型目地材は未対策及び従来工法に比べ、透水係数は小さく、L型よりI型の成型目地材の方が不透水である $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ より小さく防水効果のある結果となった。I型よりL型の方が透水係数が大きくなったのは、L型の方が底面部の接地面積が大きく走行試験によって動きやすくなったのが原因と思われる。

2. 5 水密性を高めた新しい橋面舗装の開発^{10)、11)}

道路橋床版はコンクリート床版と鋼床版に大別され、床版防水としては、コンクリート床版では、床版と舗装との間に床版防水層が、鋼床版では、床版上に水密性に優れたグースアスファルト混合物(以

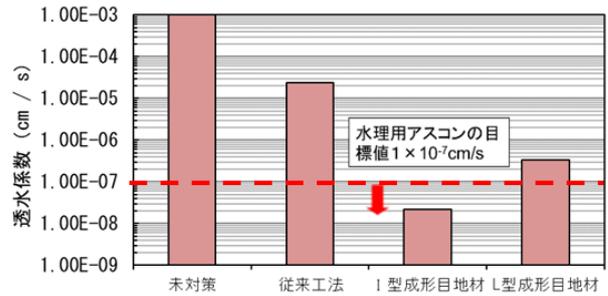


図-19 施工継目(横断方向)の加圧透水試験結果

下、グース)が一般的に使用されている。しかしながら、コンクリート床版では、床版防水層の接着不良や材料の劣化などによる床版上面への雨水の浸入を原因とした床版損傷が発生している。また、鋼床版では、施工時に発生する臭気、夏季における耐流動性の低下、およびブリスタリングの発生といった問題が生じている。このような課題を解決するために、大成ロテック(株)、東亜道路工業(株)、日本道路(株)、(株)NIPPO及びJXエネルギー(株)と平成28年10月～令和2年3月まで「未利用アスファルト材料を用いた床版舗装の適用性に関する共同研究」を行っており、コンクリート床版及び鋼床版へ適用できる新たな橋面舗装材料の開発を行った。

2. 5. 1 開発した橋面舗装材料

グースの課題である流動によるわだち掘れや特有の臭気や煙による周辺環境への影響などの課題を解決するため及びコンクリート床版へのグースの利用を行うことを目的に、未利用アスファルト材料を活用した新たな橋面舗装材料として、TLAを使用しないグースアスファルト混合物(以下、開発グース)4種と、特殊樹脂を用いた塗膜系床版防水層(以下、開発防水層)1種を開発した。開発にあたり室内での配合や混合物試験による混合物性状の確認と試験施工による施工性とわだち掘れ等の耐久性の確認を行った。開発した橋面舗装材料の特徴を以下に述べる。

2. 5. 2 開発したグースアスファルト混合物の特徴

今回開発した4種類の開発グースA、B、C、Dの構成を図-20に、室内試験による混合物性状試験の結果を表-6に示す。参考までに、従来用いられているグースの舗装施工便覧⁵⁾に示される目標値を示す。開発グースは耐流動性、臭気、ブリスタリングの要因となる施工温度等の改善が図られるように、いずれの性状もグースの目標値を上回るように独自の開発目標値を設定した。

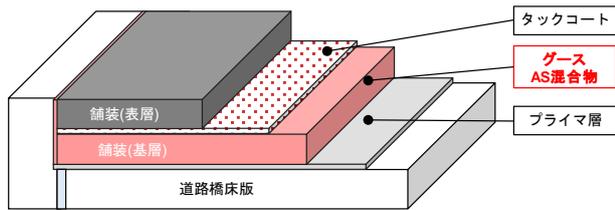


図-20 開発したグースの構成

表-6 開発グースの混合物性状

	適用箇所		バインダ原料	臭気レベル	舗設時温度(°C)	施工性 リュエル流動性(秒)	耐流動性 動的安定度(回/mm)	安定性 貫入量(mm)	可撓性 曲げ破断ひずみ(10%)
	CON床版	鋼床版							
従来グース	-	○	天然AS(TLA)	約600	約240	3~20	300以上	1~6	8以上
グースA	○	○	石油生成物	約400	約220	15	103	1.4	8.2
開発グースB	○	○	ポリマー改質AS	約150	約185	15	1286	1.3	7.7
グースC	○	-	ポリマー改質AS	約300	約180	19	1872	2.1	13.6
グースD	-	○	天然AS(アスフン)	約100	約240	10	417	-	9.5

(1) グース A

グース A は、石油の精製過程で発生する副産物をバインダの原料として用いている。本材料は、TLA に比べ臭気が低く、製造温度を 20°C 程度低減できるので鋼床版のみならずコンクリート床版への適用も可能である。さらに従来グースの動的安定度が 300 回/mm であるのに対し、1,033 回/mm と耐流動性も向上している。また、従来の TLA グースに比べバインダの添加量を少なくすることができる。その他の性状は従来グースに比べ改善されている。

(2) グース B、C

グース B、C は、バインダに特殊な改質剤を添加したバインダーを開発している。開発バインダーはプレミックスタイプなので、アスファルトタンクへの貯蔵、ローリーでの直接供給が可能である。TLA に比べ臭気と煙を大幅に低減でき、施工時の温度を 180°C 程度まで下げることができるのでグース A と同様に、コンクリート床版への適用が可能である。耐流動性も向上しており、動的安定度はグース B は 1,286 回/mm、グース C は 1,872 回/mm である。その他の性状も従来グースに比べ改善されている。

(3) グース D

グース D は、インドネシアで産出される天然ロックアスファルトの「アスフン」をバインダの原料としている。アスフンは TLA と同等の物理的性状を持ちながら臭気が少ない。また、TLA に比べ埋蔵量が多く、日本への輸送距離も短い等の経済的な利点もある。グースの性状としては、動的安定度が従来グースと同程度の 417 回/mm である。それ以外の性状も従来グース

と同程度である。

2. 5. 3 開発した塗膜系床版防水層の特徴

図-21 に開発した塗膜系床版防水層（以下、開発防水層）の構成を示す。開発防水層は、熱可塑性の特殊植物性樹脂を原料とした防水材料を用いている。本防水材料は、塗布量 1.0~3.0kg/m² と大量に塗布することで、基層舗設時にアスファルト混合物の空隙へ浸透し、高い接着性能および防水性能が得られ、基層には一般的な橋面舗装用基層混合物である砕石マッシュアスファルト混合物（以下、SMA）を適用しながら、従来グースと同等の防水性能が期待できる。また通常のアスファルト混合物の舗設と同じ機械編成で、橋面基層を施工することができる。

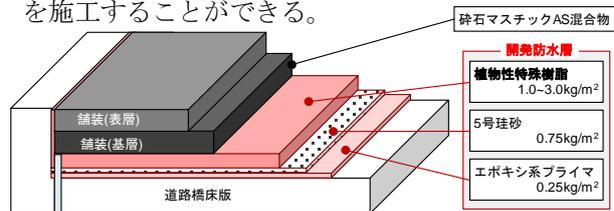


図-21 開発した塗膜系床版防水層の構成

2. 5. 4 試験施工

(1) 試験施工の概要

開発した開発グースと開発防水層の施工性および、防水性、耐久性等の確認を目的として、土木研究所舗装走行実験場内の模擬鋼床版および模擬コンクリート床版上に実物大の試験舗装を構築した。写真-9 に試験舗装を構築した舗装走行実験場と試験工区を示す。構築後に荷重車による促進載荷試験を行い舗装の耐久性評価を行った。図-22 にコンクリート床版工区、図-23 に鋼床版工区の試験舗装の平面図と側面図を示す。なお、グース B は、バインダの成分配合を試験的に変えた 4 種類のグース B①~B④を舗設した。

(2) 施工状況

1) 開発グースの施工状況

写真-10 に開発グースの施工機械を示す。開発グースの施工は特殊な機械を必要とせず、従来のグースと同じグースクッカー車およびグースフィニッシャーで施工が可能である。施工性を確認するためのリュエル流動性試験と臭気の計測を行った。それぞれの測定状況を写真-11 に示す。

表-7 に測定したリュエル流動性の値とその時のグースの温度、図-24 に温度と流動性の関係を示す。



写真-9 舗装走行実験場

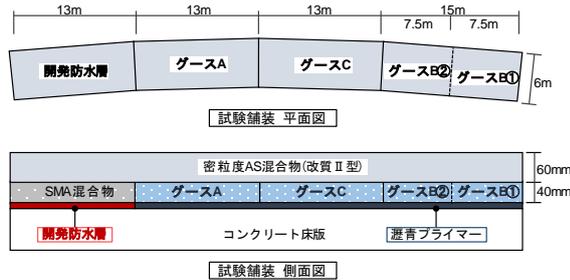


図-22 コンクリート床版工区における試験舗装

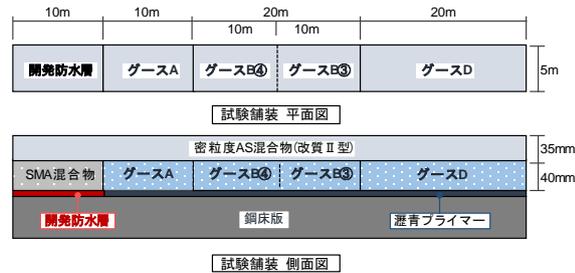


図-23 鋼床版工区における試験舗装



写真-10 グース施工機械



写真-11 施工時材料性状測定状況

表-7 開発グース施工時の温度と流動性の測定値

グース種類	グース A	グース A	グース B①	グース B②	グース B③	グース B④	グース C	グース D
適用箇所	CON	鋼	CON	CON	鋼	鋼	CON	鋼
舗設時温度 (°C)	220	244	211	185	185	185	200	227
リュエル流動性 (秒)	18	16	4.7	16	22	29	12	14

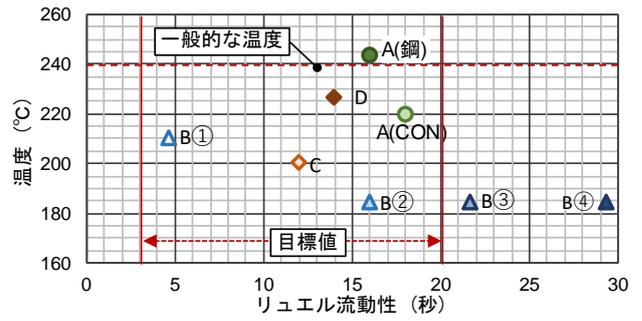


図-24 開発グース施工時の温度と流動性の関係

なお、図-24 中の目標値は舗装施工便覧に示されている一般的なグースの目標値である。グース A の鋼床版工区の施工では、舗装時の目標温度の 220°C でリュエル流動性を測定したところ粘度が高かったため 240°C 程度まで温度を上げて施工を行った。なお、コンクリート床版工区の施工時には 220°C で良好な流動性が得られ施工性も問題なかった。また、グース B③および、B④については、開発グース中最も低い温度 185°C で材料を排出したが、粘度が高くリュエル流動性は目標を下回る結果であった。その他のグースは概ね目標温度にて目標の流動性が確認された。

臭気の測定は、材料の排出口、敷均し面で行なった。その結果、開発グースの臭気レベルは、従来よりも概ね低いことが確認された。しかし、測定値は風向きなどにより値が安定せず、屋外での定量的な評価方法については今後検討する必要がある。

写真-12 に開発グースの施工状況を示す。鋼床版工区においては、概ね良好な施工性と仕上がりが確認された。コンクリート床版工区においては、従来のグースの舗設温度より低減し施工を行ったものの、一部において写真-13 に示す微小なブリスタリングが発生した。これは施工時における床版の含水比が高かったことが要因と考えられ、コンクリート床版への施工時には、床版の含水比が適用範囲であるかの確認が必要である。



写真-12 開発グース施工状況

写真-13 発生した微小なブリスタリング

2) 開発防水層の施工状況

写真-14 に開発防水層の施工状況を示す。開発防水

層は、プライマー塗布および珪砂散布後に防水材の塗布の順序にて施工される。防水材の塗布方法は、一般的なアスファルト系塗膜防水材と同様に、材料を専用の溶融釜にて高温に溶融しながらレーキによる塗布で行った。なお、防水材の塗布量は 3.0kg/m^2 とした。防水材は、塗布後 30 分程度養生することで完全に固化し、固化後は、重機が走行しても損傷はみられなかった。



写真-14 開発防水層施工状況

(3) 開発グースと開発防水層の試験結果

試験施工に用いた開発グースと開発防水層の性状を確認するため、混合物試験を実施した。試験に用いた供試体は、施工時に排出された材料を用いて現場で供試体を作製するとともに舗設後の切取りコアを採取して試験に供した。図-24 に試験結果を示す。なお、図-24 中の目標値は、舗装施工便覧および床版防水便覧に示されている一般的な材料の目標値である。

1) ホイールトラッキング試験

鋼床版工区におけるグース A は、施工時に粘度が高くなっていることが確認されたが、動的安定度 (以下、DS) についても著しく高い値を示している。グース B は、①~④と配合の違いにより DS も 1800 程度から 200 程度まで異なる結果となった。グース B④とグース D の DS は目標値を下回る結果となったが、その他の開発グースの DS は全て目標値を大きく上回り 700 以上であった。

ス D の DS は目標値を下回る結果となったが、その他の開発グースの DS は全て目標値を大きく上回り 700 以上であった。

2) 貫入試験

施工時の粘度の高くなっていた鋼床版工区のグース A、グース B①および、グース B②の貫入量は、目標値よりもやや小さい値となっている。その他の開発グースの貫入量は、目標値を満足する結果となっている。

3) 曲げ試験

鋼床版工区のグース A は、貫入試験結果と同様に曲げ破断ひずみについても、目標値よりやや値が小さく、その他の開発グースの曲げ破断ひずみは、目標値を満足する結果となっている。

4) 加圧透水試験

現場より採取した切取りコアを用いて加圧透水試験を実施した結果、測定した全ての材料について不透水という結果が得られた。

5) 引張接着強度試験

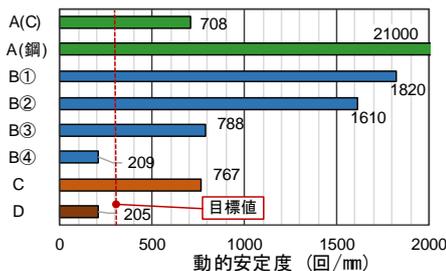
引張接着強度試験については、コンクリート床版工区のものは切取りコア、鋼床版工区のものは現場採取試料より作成した供試体を用いて試験を行った。 -10°C におけるグース B④、グース C および、グース D の試験結果は目標値を下回っていたが、その他の全ての引張接着強度は目標値を上回る値であった。

(4) 舗設後の現場試験結果

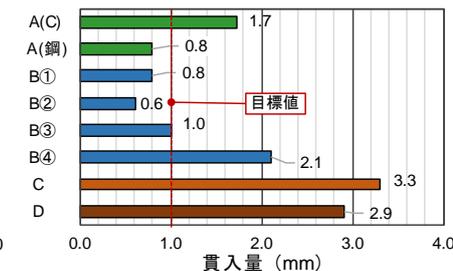
1) グースの透気試験

開発グース舗設後に、舗装体の遮水性を確認するための現場透気試験を行った。グース B①、グース B②についてはパーマトル透気試験にて透気係数を測定し、その他の開発グースは真空透気試験にて透気量を測定した。写真-15 に透気試験状況、表-8 に透気試験結果を示す。表より、いずれの舗装体も透気係数、透気量は十分に小さく、遮水性の高い舗装であることが確認された。

(1) ホイールトラッキング試験結果



(2) 貫入試験結果



(3) 曲げ試験結果

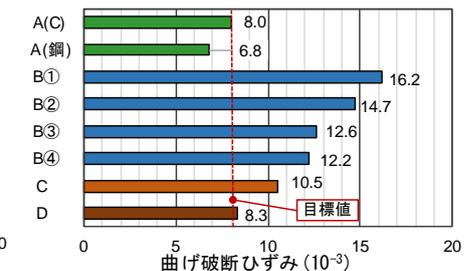


図-24 各種室内試験結果



写真-15 透気試験状況

表-8 透気試験結果

グース	グースA	グースA	グースB①	グースB②	グースB③	グースB④	グースC	グースD	目標値
施工箇所	CON	鋼	CON	鋼	CON	鋼	CON	鋼	
透気係数 (m ²)	-	-	0.00	0.00	-	-	-	-	0.01
透気量 (MPa/分)	0.002	0.002	-	-	0.002	0.002	0.000	0.000	0.003

2. 5. 5 促進載荷試験

表層舗設後に、写真-16 に示す荷重車を用いた耐久性試験を行った。測定項目は、横断方向のわだち掘れ量と、目視によるひび割れ率とし、所定の走行輪数ごとに測定を行った。なお、走行輪数は輪荷重 49kN 換算輪数としている。鉛直変位の測定は写真-17 に示すマルチロードプロファイラを用いて行った。

図-25 にコンクリート床版工区における走行輪数とわだち掘れ量の関係、図-26 に鋼床版工区における走行輪数とわだち掘れ量の関係を示す。鋼床版は 4 万輪の結果であるが全ての材料で 4mm 以下、コンクリート床版工区は 50 万輪までの結果は、全ての工区において概ね 6mm 以下程度であり、夏季の走行も行ったがアスファルト混合物の流動はほとんど発生していなかった。また、ひび割れ率についても、全ての工区において 0% であった。



写真-16 荷重車による耐久性試験



写真-17 わだち掘れ量測定状況

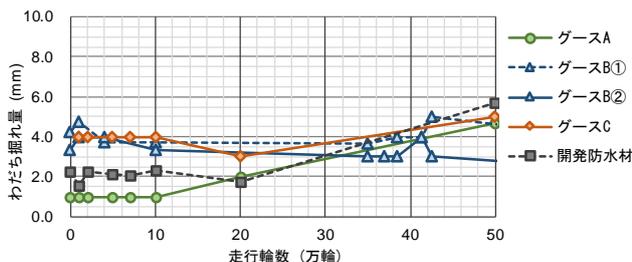


図-25 走行輪数とわだち掘れ量の関係 (コンクリート床版工区)

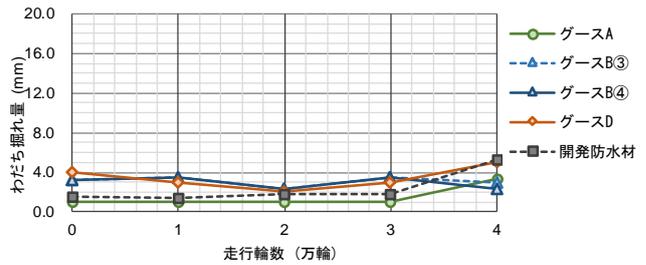


図-26 走行輪数とわだち掘れ量の関係 (鋼床版工区)

2. 6 橋面舗装の防水対策の提案

実橋における床版が損傷している橋面舗装の実態調査及び水密性を高めた新しい橋面舗装の開発新しいの浸入経路を基に、橋面舗装の(1) 新設・修繕時、(2) 点検・診断時のそれぞれについて、防水対策を提案する。

(1) 新設・修繕時の対策案

新設・修繕時における、防水対策案のイメージを図-27 に示す。防水対策案として水密性・耐久性の高い舗装の適用と、水密性・耐久性の高い目地材の適用が有効であると考えている。

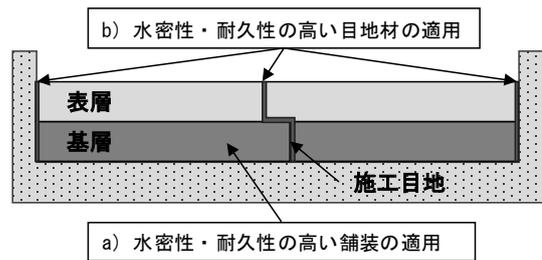


図-27 新設・修繕時の防水対策イメージ

水密性の高い基層用混合物の適用については、2. 5にて述べた新たな橋面舗装の適用が考えられる。

また、今回の調査結果より、舗装端部と構造物の界面は、主要な水の浸入経路であることが分かった。建設年度の古い橋梁の橋面舗装においては、舗装端部の目地材が未設置の場合や、目地材が設置されていても、経年劣化により所定の性能を発揮していないものが散見された。このことから、目地材については水密性および耐久性の高い適切な材料を選定し設置する必要があると考える。

また、今回調査を行った橋面舗装の施工打継目については、目地材設置等の防水対策は見られなかった。施工打継目についても、水の浸入経路であることが想定されることから、舗装端部と同様に水密性および耐久性の高い目地材の設置が必要と考える。

(2) 点検・補修時の対策

点検・補修時の防水対策のイメージを図-28 に示す。今回の調査の結果、舗装を貫通したひび割れは水の浸

入経路であることが分かった。従って、水の浸入を防止するためには、橋面舗装のひび割れの発生・進行を抑制するための措置を適切に実施することが求められる。これらを効果的に行うためには、ひび割れの状況と舗装の遮水性との関係を明確にし、橋面舗装の管理手法を構築していくことが必要と考える。

また維持工法についても、水密性の確保および、ひび割れ進行の抑制に効果的な工法を選定する必要がある、これらの適切な評価方法が必要と考える。

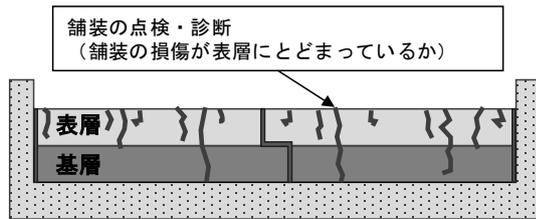


図-28 点検・診断時の防水対策イメージ

3. まとめ

(1) 床版劣化に及ぼす舗装の損傷状況の分析結果

・調査の結果、床版が損傷している橋面舗装の損傷位置は、舗装端部が最も多く、中央部や打継目でも床版が損傷している結果であった。舗装の端部、伸縮装置付近、施工打継目から雨水が浸入し、床版が損傷したと思われる。

(2) 橋面舗装打換え時の施工方法に関するアンケート調査結果

・歩道部や地覆部は、道路管理者及び施工会社とも、成型目地材を用いて施工を行っているが、施工打継目部では、施工会社は、成型目地材の施工を行っているとは回答した会社が半数であったが、道路管理者は成型目地材の施工を使用とは回答したところはなく、処理方法としてタックコートと回答している。タックコートは長期接着性はないと考えられるため、防水性の観点からは成型目地材の適用についての検討が望まれる。

(3) 実橋における床版が損傷している橋面舗装の実態調査結果

実態調査から以下のことが分かった。

- ・水の浸入経路は、舗装端部と歩道・地覆・伸縮装置といった構造物の界面、施工打継目部、舗装の貫通ひび割れである。
- ・舗装路面に泥水の噴出等が見られる場合、床版上面の土砂化といった損傷の発生が考えられる。
- ・舗装端部からの床版への水の浸入により、床版防水層の剥離、劣化が生じている。

- ・舗装端部等にて施工時の締固め不足により、密度の低下と遮水性の低下が生じている。
- ・橋面舗装の部分修繕を行う場合は、舗装の損傷箇所下の床版では土砂化が発生している場合や土砂化が発生する可能性が高い状況にあるため、防水性の確保が重要である。

(4) 遮水性を考慮した橋面舗装の打ち換え技術の検討

- ・端部の防水性を高めるにはI型とL型の成型目地材は、防水効果があり有効と思われる。
- ・縦断方向の施工打継目は、I型とL型の成型目地材は未対策及び従来工法に比べ、透水係数は小さく防水効果のある結果となった。
- ・横断方向の施工打継目にはL型よりI型の成型目地材の方が防水効果のある結果となった。
- ・今後更に改良や耐久性、持続性等の確認を行い止水性を高めた端部及び打継ぎ用の防水対策工法について提案していく予定である。

(5) 水密性を高めた新しい床版防水用橋面舗装材の開発

- ・従来のグースと同じ施工機械にて開発グースの施工を行い、良好な施工性と仕上がりが確認された。
- ・開発グースをコンクリート床版に適用する場合には、ブリスタリングの発生を抑制するため、床版の含水比を確認する必要がある。
- ・開発防水材は、一般的な塗膜系防水材と同等の施工性が確認された。
- ・室内試験の結果、各材料の性状は、一般的なグースや床版防水層の目標値を概ね満足する結果が得られた。
- ・開発グースの耐流動性については、一部の混合物を除き、従来グースの目標値に対して2倍以上のDSが得られ、耐流動性の向上が確認された。
- ・舗設された開発グースの遮水性を現場にて直接測定した結果、高い遮水性が確認された。
- ・実際の供用を模擬した荷重車による促進載荷試験の結果、輪荷重49kN換算で鋼床版は4万輪、コンクリート床版工区は50万輪までの結果、夏季の走行も行ったが全ての材料で4mmと6mm以下程度であり、ひび割れも発生していなかった。促進載荷試験はさらに継続していく予定であるが、上記の走行輪数までは、良好な耐久性が確認された。

(6) 橋面舗装の防水対策案

- ・新設・補修時、床版防水層に代わり、基層部に水密性・耐久性の高いRC床版用グースアスファルト混

合物を適用する。

- ・新設・補修時、舗装端部および、施工打継目に、水密性・耐久性の高い目地材を適用する。
- ・点検・補修時の管理方法について、土砂化防止の観点から、ひび割れ状況と遮水性の関係を考慮した橋面舗装の管理手法の構築が必要と考える。
- ・補修時において、遮水性や耐久性を考慮した維持工法を選定する。

謝辞

本研究において実施した橋面舗装の実態調査は、北海道開発局、東北地方整備局、北陸地方整備局および富山県富山市関係各位の協力を得て実施した。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 村越潤、田中良樹：道路橋 RC 床版の劣化形態の多様化と防水対策、土木施工、Vol.55、2014.
- 2) 赤平勝也、佐々木博臣、菊池淳：複合劣化による鉄筋コンクリート床版の抜け落ち損傷事例について、第八回道路橋床版シンポジウム論文報告集、pp.37-40、2014
- 3) 赤平勝也、佐々木博臣、菊池淳：複合劣化による鉄筋

コンクリート床版の抜け落ち損傷事例について、第八回道路橋床版シンポジウム論文報告集、pp.37-40、2014

- 4) 藤原英之：道路橋コンクリート床版の「土砂化」に関する調査報告、J-BEC レポート 2014、Vol.10、pp.11-17、2014
- 5) 平成 28 年度 RC 床版劣化調査報告書：土木研究所橋梁構造研究グループ業務報告書、平成 29 年 6 月
- 6) 寺田剛、渡邊真一、藪雅行：床版損傷が発生した橋面舗装の実態調査、土木学会論文集 E1 (舗装工学)、Vol. 75、No. 2、pp. I_201-I_207、2019
- 7) 渡邊真一、寺田剛、藪雅行、宇津徳浩、杉谷真司：橋面舗装の遮水性に関する現地調査結果、第 33 回日本道路会議、2019
- 8) 寺田剛、渡邊真一、藪雅行：床版が損傷している橋面舗装の実態調査、舗装、Vol. 55、No. 4、pp. 11-15、2020. 4
- 9) 土木学会：舗装工学ライブラリー8 アスファルト遮水壁工、p. 43、丸善、2012
- 10) 寺田剛、渡邊真一、藪雅行：新しい橋面舗装の開発に向けた取り組み、土木技術資料、Vol. 61、No. 7、pp. 26-31、2019. 7
- 11) 寺田剛、渡邊真一、藪雅行：新しい橋面舗装の開発状況の紹介、アスファルト、Vol. 62、No. 235、pp. 23-29、2019. 12

A Study on bridge pavement replacement technology considering floor slab waterproofing

Research Period : FY2016-2019

Research Team : Road Technology Research Group
Pavement Research Team

Author : YABU Masayuki, TERADA Masaru

Abstract : In this study, we conducted a survey on the water impermeability of bridge surface pavement and damage to floor slabs, examined the replacement technology of bridge surface pavement considering water impermeability, and developed a new bridge surface pavement with increased watertightness.

As a result, it was found that the water intrusion route was the boundary between the pavement edge and the expansion/contraction device, the construction joint, and the penetration crack in the pavement.

In addition, we have developed a new guss asphalt mixture and a new coating system floor slab waterproofing layer as a new floor slab waterproofing bridge pavement material with enhanced watertightness.

Based on these survey results, a Waterproof measures for bridge surface pavement was compiled.

Key words : concrete floor board, damage, gravelization, bridge surface pavement, density test, water permeability test