

舗装技術専門委員会報告
Report of the Committee on Pavement
R-35

天王山古戦橋におけるコンクリート試験舗装最終報告（京都府）
— 供用 5 年 —

**Final Report on 5 Years Experimental Application of Concrete Pavement
on RC Decks of Tennozan-Kosenkyo Bridge in Kyoto**

2023 年 3 月
(Mar. 2023)

一般社団法人 セメント協会
Japan Cement Association

序

高度成長期に建設された橋梁では、路面のひび割れから水や塩化物イオンが浸透することによって RC 床版の鉄筋腐食による劣化・損傷が進展するケースが見受けられる。そのため、車両の輪荷重を直接支える床版の耐久性確保、それによる交通の安全性維持を目的に予防保全を含めた早期対策が重要視され、道路橋示方書では、2002 年の改訂で全ての橋梁に防水層を設置することが義務付けられた。

しかし、維持管理費や人材が不足している地方自治体ではそうした対応が難しい場合も考えられる。特に小規模で交通量が少ない橋を多く管理している市町村では、RC 床版上に用いる橋面舗装は一般にアスファルト混合物を用いる場合が多く、防水工やアスファルト舗装の打ち換えを一定期間毎に繰り返すことは合理的ではないと考えられる。

一方、RC 床版上へコンクリート舗装を適用すれば、床版と一体化させることにより床版の剛性や耐荷力の向上のみならず床版への水の侵入防止も期待できる。

そこで、セメント協会舗装技術専門委員会と土木学会鋼構造委員会道路橋床版の複合劣化に関する研究小委員会ならびに太平洋セメント株式会社は、RC 床版上へのコンクリート舗装の適用性を評価することを目的に、京都府大山崎町の協力を得て、同町にある天王山古戦橋の RC 床版上の既設アスファルト舗装の打換え時期にあたり、ラテックス改質コンクリートで打換える試験施工を行った。その結果、急勾配箇所でのコンクリート床版上に硬練りのラテックス改質コンクリート舗装を施工する場合、剥離が生じることなく一体化した構造にするには、打継ぎ面となる床版上面の全体に接着剤を塗布することが望ましいことが示唆された。

本書が今後、コンクリート床版上のアスファルト舗装をコンクリート舗装に打換え工事をする際の一助になれば幸いである。

2023 年 03 月
一般社団法人セメント協会
舗装技術専門委員会
委員長 小梁川 雅

舗装技術専門委員会

委員長	小梁川 雅	東京農業大学
副委員長	玉滝 浩司	UBE 三菱セメント株式会社
委 員	西澤 辰男	石川工業高等専門学校名誉教授
	上野 敦	東京都立大学
	前島 拓	日本大学
	古賀 裕久	国立研究開発法人土木研究所
	藪 雅行	国立研究開発法人土木研究所
	松本大二郎	株式会社高速道路総合技術研究所
	弓木 宏之	日本道路株式会社
	村岡 克明	株式会社N I P P O
	児玉 孝喜	鹿島道路株式会社
	五島 泰宏	大成ロテック株式会社
	小関 裕二	大林道路株式会社
	坂本 寿信	株式会社佐藤渡辺
	永渕 克己	世紀東急工業株式会社
	入江 一次	全国生コンクリート工業組合連合会
	了道 久	日鉄セメント株式会社
	新見 龍男	株式会社トクヤマ
	岸良 竜	太平洋セメント株式会社
	安久 憲一	住友大阪セメント株式会社
	廣川 誠一	一般社団法人セメント協会
事務局	中山 英明	一般社団法人セメント協会
	吉本 徹	一般社団法人セメント協会
	野田 悦郎	一般社団法人セメント協会
	佐々木健一	一般社団法人セメント協会
	泉尾 英文	一般社団法人セメント協会

舗装技術専門委員会 橋面舗装WG

WGリーダー	岸良 竜	太平洋セメント株式会社
旧 WGリーダー	梶尾 聡	太平洋セメント株式会社
委 員	小梁川 雅	東京農業大学
	弓木 宏之	日本道路株式会社
	村岡 克明	株式会社N I P P O
	伊藤 清志	鹿島道路株式会社
	越川 喜孝	大成ロテック株式会社
	小関 裕二	大林道路株式会社
	遠藤 大樹	住友大阪セメント株式会社
旧委員	今吉 計二	東京都土木技術支援人材育成センター
	菅野 勝一	株式会社高速道路総合技術研究所
	田中 敏弘	株式会社高速道路総合技術研究所
	菅野 厚行	日本道路株式会社
	白井 悠	株式会社N I P P O
	安久 憲一	住友大阪セメント株式会社
事務局	佐々木健一	一般社団法人セメント協会
旧事務局	瀧波 勇人	一般社団法人セメント協会
	吉本 徹	一般社団法人セメント協会
	佐藤 智泰	一般社団法人セメント協会
	島崎 泰	一般社団法人セメント協会

目 次

1. はじめに	1
2. 試験舗装	2
2.1 施工箇所概要	2
2.2 舗装構造および施工	3
2.3 LMC（ラテックス改質コンクリート）	6
3. 調査方法	7
3.1 概要	7
3.2 材料（LMC）に関する試験	7
3.3 舗装の供用性に関する調査	8
4. 調査結果および考察	10
4.1 材料（LMC）に関する試験	10
4.2 既設床版の健全性	12
4.3 わだち掘れ	12
4.4 平たん性	13
4.5 すべり抵抗性	14
4.6 ひび割れおよび剥離	15
4.7 コンクリートテストによる舗装と床版の付着の評価	21
5. 補修	27
6. まとめ	29
参考文献	29

1. はじめに

国内の橋梁は 2012 年の時点で約 16 万橋（延長 15m 以上について）が供用されており、その半分以上が市町村道である。市町村管理の橋梁は、その約 2 割が供用 50 年を経過しており、今後 10 年程度で全体の半数が供用 50 年に達する状況である¹⁾。しかし、維持修繕に十分な予算が確保できない市町村も少なくない。

市町村が管理する橋梁では鉄筋コンクリート（以下、RC）床版を用いることが多く、その上面に用いる橋面舗装には一般にアスファルト混合物を用いる場合が多い²⁾。これらの橋面舗装では、床版への雨水や凍結防止剤の侵入を防ぎ、RC 床版の劣化を抑制することを目的とした防水層等が必要であり、橋梁の長寿命化において重要な役割を担っている。

この防水層は、アスファルト舗装の打換えに伴い更新が必要となる。市町村道の RC 床版は一般的なアスファルト塗膜防水層を採用している場合が多い³⁾が、道路橋床版の上面にアスファルト舗装を用いる維持更新では、10～20 年程度の間隔でアスファルト舗装と防水層の両方の更新が必要となる。

一方、RC 床版上面にコンクリート舗装を適用すると、実質的なかぶり厚の増加と共にコンクリート舗装と RC 床版とを一体化させることによる床版の剛性や耐荷力が向上し、高耐久化が期待できる。

以上のことより、セメント協会舗装技術専門委員会と土木学会鋼構造委員会道路橋床版の複合劣化に関する研究小委員会ならびに太平洋セメント株式会社は、京都府大山崎町の協力を得て、同町の天王山古戦橋の RC 床版上の既設アスファルト混合物の打換え時期にあたり、表基層混合物をコンクリートで打換える試験舗装を行った。本報は、試験舗装箇所の施工と施工後 5 年までの橋面コンクリート舗装の供用性調査結果について報告するものである。

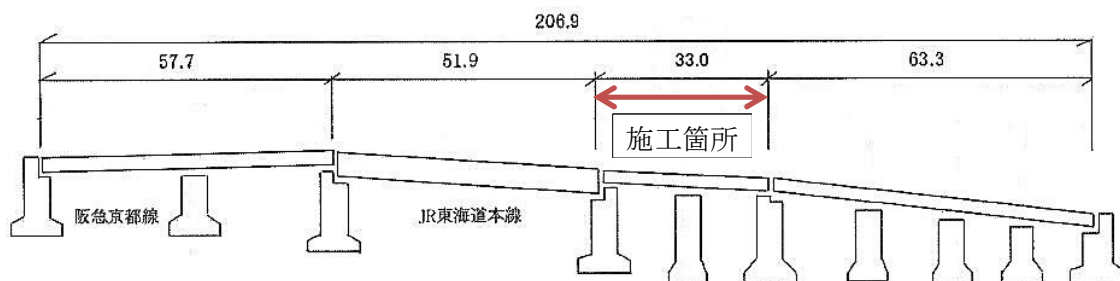
2. 試験舗装

2.1 施工箇所概要

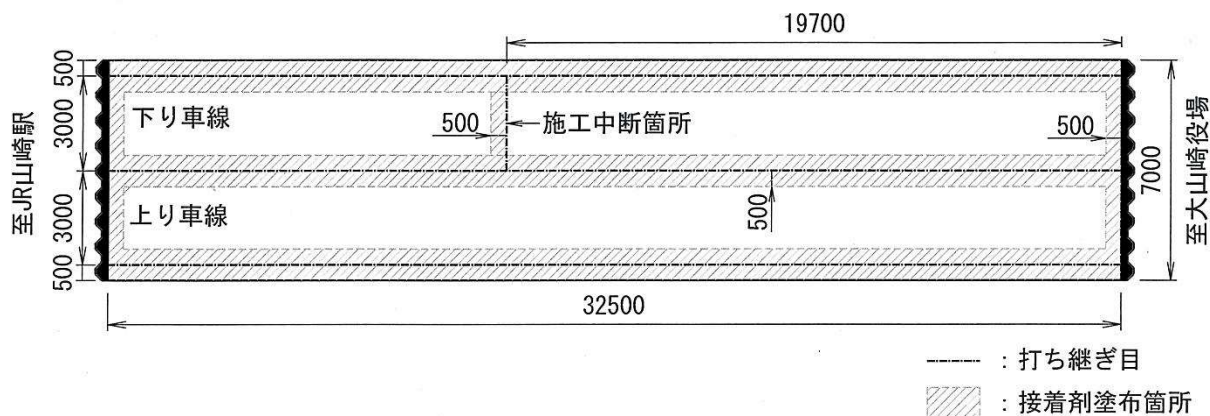
試験舗装は、図－1 に示す天王山古戦橋で行った。天王山古戦橋は、延長 206.9m の RC 床版を有するプレートガーダー橋で、JR 東海道本線および阪急京都線を跨ぐ跨線橋である。コンクリート舗装の施工箇所は、図－2 に示す天王山古戦橋の中央部 2 径間の連続桁の箇所である。施工箇所は幅員が 7m、延長は 32.5m であり（図－3）、縦断勾配が 10.5%～10.8%と大きいことが特徴である。



図－1 現場位置 (Map data ©2016 Google)



図－2 天王山古戦橋側面図 (単位 : m)



図－3 平面図 (単位:mm)



天王山古戦橋概要
 全長:206.9m
 構造:プレートガーダー橋
 竣工:1993年
 設計荷重:道示(1980)TL-20
 施工力所:延長33m、幅員7m、
 勾配11%

写真－1 施工前の天王山古戦橋

2.2 舗装構造および施工

橋面舗装に用いるコンクリートに求められる性能は、付着強度の確保、ひび割れの抑制、床版変形への追従性の確保、早期強度の確保である。本施工では、米国や韓国の事例を参考に検討を重ね、ラテックス改質コンクリート（Latex Modified Concrete、以下 LMC）を橋面舗装に適用した。

既設アスファルト舗装（層厚 50mm）の打換えを前提とするため、コンクリート舗装の設計版厚は 50mm とした。また、RC 床版と一体化する設計であるため目地は設けていない。RC 床版と舗装の付着を確保するために、既設アスファルト舗装切削後にショットブラストによる研掃（投射密度 150kg/m²）を実施した。その後、エポキシ系接着剤（塗布量：1.4kg/m²）を、路肩端部から 500mm の幅で額縁状に塗布した（図－3、写真－10）。コンクリートの打込みは現場の制約により 3 日間（2016 年 8 月 7 日～9 日）に分けて行い、初日に下り車線、二日目に上り車線と下り車線の間詰、三日目に上り車線の間詰を行った（表－1、図－4）。間詰箇所では、接着剤を打継ぎ部となる LMC の側面および底面の全面に塗布し、LMC の打込みは、日中の高温を避けるために夜間に実施した（表－2）。なお、下り車線の施工中に材料供給が間に合わず、一時打込みが中断し打ち継ぎ箇所が生じたため、施工再開時に当該箇所では額縁状に接着剤を塗布した（図－3）。

LMC は傾胴ミキサで製造し、打込み箇所にはタイヤショベルで運搬した。LMC の敷き均しは人力、締固めおよび荒仕上げはエア駆動式の簡易フィニッシャにて行った。本線部分の粗面仕上げは横フレッシュグルーピングを採用し、間詰部は箒目仕上げとした⁴⁾。養生は、シート養生とし打込み後約 20 時間程度で養生終了とした。施工状況は写真－2～写真－15 の通りである。

表－1 施工日程

8 月 3 日	既設アスファルト舗装切削工
	床板研掃工（ショットブラスト）
8 月 7 日	下り車線コンクリート打込み
8 月 8 日	上り車線コンクリート打込み
	下り車線間詰コンクリート打込み
8 月 9 日	上り車線間詰コンクリート打込み

表－2 コンクリート打込み日の気象

	気温（℃）			天候
	最高	最低	平均	
8 月 7 日	37	27	31	晴れ
8 月 8 日	36	27	30	晴れ
8 月 9 日	35	26	30	晴れ一時曇り

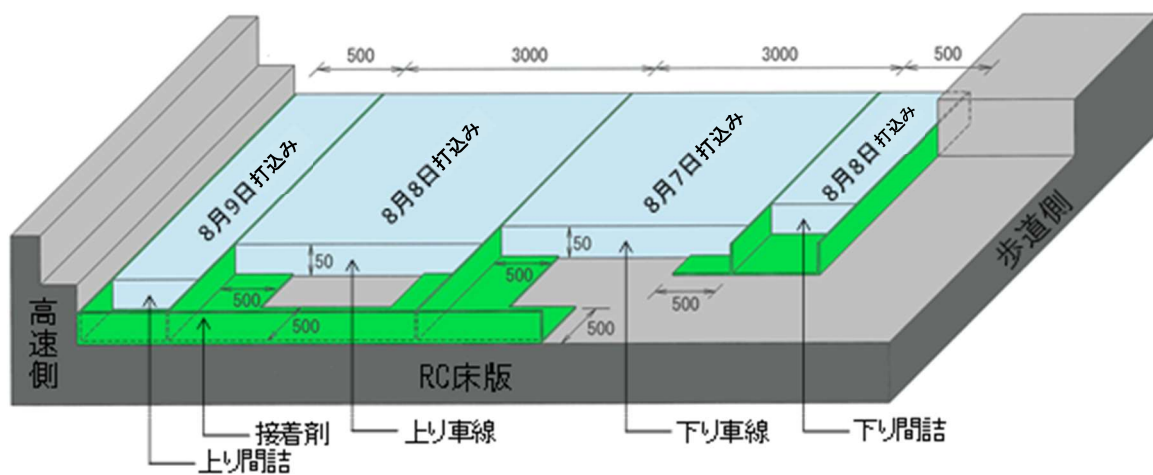


図-4 舗装断面図



写真-2 施工前



写真-3 既設アスファルト舗装切削工



写真-4 既設アスファルト舗装切削後



写真-5 床版研掃工



写真-6 研掃後の床版



写真-7 型枠設置



写真-8 コンクリートの練混ぜ



写真-9 フレッシュ性状の試験



写真-10 接着剤塗布および打込み



写真-11 表面均し



写真-12 横フレッシュグルーピング



写真-13 養生工（上り車線と下り間詰、
下り車線は養生終了）



写真-14 施工終了（8月10日）



写真-15 供用中（9月3日）

2.3 LMC（ラテックス改質コンクリート）

今回、コンクリート舗装に用いた LMC は、セメントコンクリートに高分子材料（ゴムラテックスポリマー）を添加したものであり、配合は表－3 に示す通りである。配合は事前の試験施工により選定し、現場の急勾配（11％程度）に対応するために低スランプかつ、チクソトロピー性（振動を与えると流動し、振動を止めると流動しなくなる性質）が強いコンクリートとなっている。また、高分子材料を添加することにより、付着強度の確保、ひび割れ発生の抑制、床版の変形に対する追従性確保を図っている。なお、施工当日のフレッシュ性状は、スランプが 0.5～2.5cm、空気量 2.5～2.7％、コンクリート温度 33～35℃であった。

表－3 コンクリートの配合

水 セメント比 (%)	ポリマー セメント比 (%)	目標 スランプ (cm)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)		
				セメント、混和材、 細骨材混合物 ※)	ポリマー 混合液	粗骨材
38.6	14.7	2.5	45	1179	157	1073

※) プレミックス品

3. 調査方法

3.1 概要

本検討では、表－4 に示すコンクリート舗装施工前の事前調査、材料（LMC）に関する試験、コンクリート舗装施工後の舗装の供用性に関する調査を行った。施工後の供用性に関する調査は竣工時（2016 年 8 月末）、供用 3 ヶ月（2016 年 12 月）、1 年（2017 年 8 月）、1.3 年（2017 年 12 月）、2 年（2018 年 8 月）、3 年（2019 年 9 月）、4 年（2020 年 9 月）、5 年（2021 年 9 月）にて実施した。なお、供用 4 年時はひび割れおよびコンクリート舗装と床版の付着についてのみ調査した。

表－4 調査項目、方法および実施時期

調査項目		調査方法	実施時期
事前調査	既設 As 舗装の平たん性	試験法便覧 S028 準拠（MRP）	施工前
	床版の健全	目視調査	施工前
材料に関する試験	圧縮強度	JIS A 1108 準拠	材齢 1 日、28 日、121 日
	静弾性係数	JIS A 1149 準拠	
	付着強度	建研式引張試験準拠	材齢 1.5 日、28 日
舗装の供用性に関する調査	ひび割れ	試験法便覧 S209 準拠（目視）	竣工時、供用 3 ヶ月、供用 1 年、供用 1.3 年、供用 2 年、供用 2.3 年、供用 3 年、供用 4 年、供用 5 年
	わだち掘れ	試験法便覧 S030 準拠（MRP）	竣工時、供用 1 年、供用 2 年、供用 3 年、供用 5 年
	平たん性	試験法便覧 S028 準拠（MRP）	竣工時、供用 1 年、供用 2 年、供用 3 年、供用 5 年
	すべり抵抗	試験法便覧 S021-3 準拠（DFT）	竣工時、供用 1 年、供用 2 年、供用 3 年、供用 5 年
	舗装と床版の付着	コンクリートテスト（打音）	竣工時、供用 1 年

3.2 材料（LMC）に関する試験

施工した LMC の圧縮強度、静弾性係数、付着強度について試験した。供試体は、施工時に現場で成型し、18 時間程度現場封緘養生した後に試験所へ運搬し、各材齢まで気中養生した後に試験を実施した。付着強度試験は、約 50×40cm の模擬床版上に厚さ 4cm で LMC を打込みした供試体を用いた。模擬床版は、圧縮強度 33MPa、粗骨材最大寸法 20mm のコンクリートを用いて作製し、現場と同様のショットブラスト処理を行った。LMC の締固めは壁打ちバイブレータを用いた。模擬床版は 2 枚用意し、接着剤の有無の影響を評価した（写真－16 参照）。



（接着剤無し）



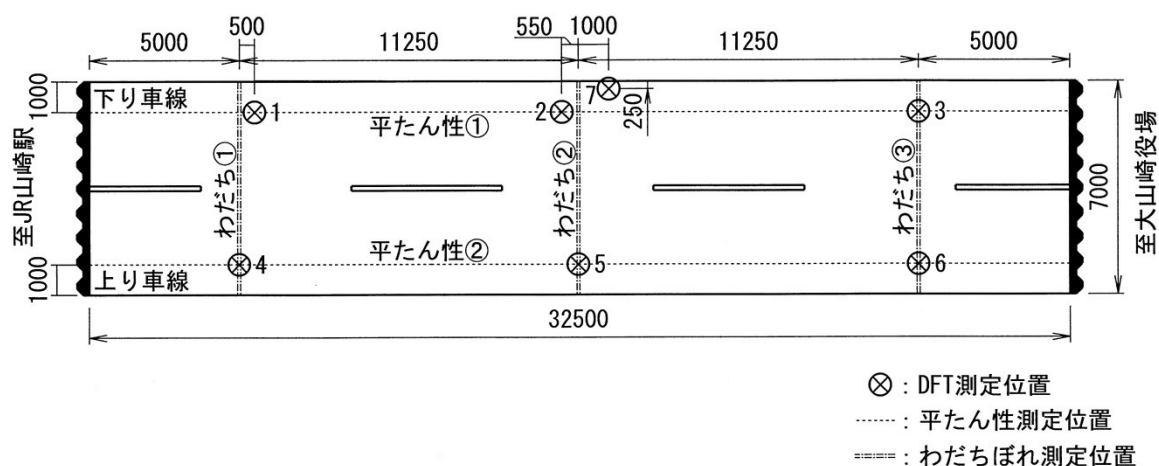
（接着剤有り）

写真－16 付着試験用模擬床版

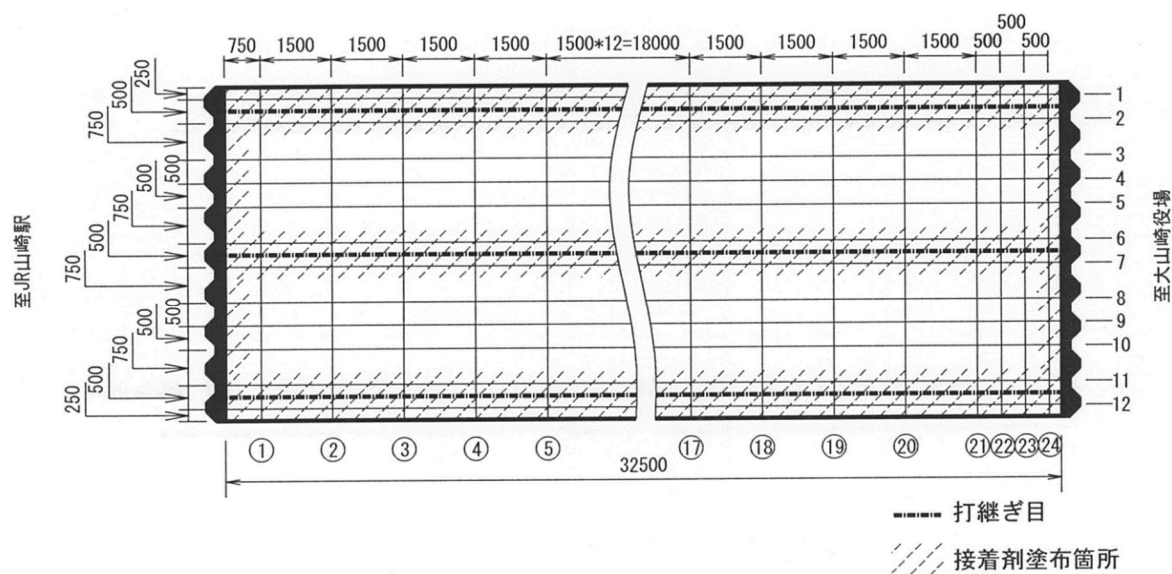
3.3 舗装の供用性に関する調査

舗装の供用性に関する調査について、わだち掘れ、平たん性、すべり抵抗性は図－5 に示す位置で、舗装と床版の付着（コンクリートテスト（打音））は図－6 に示す平面図の縦横線の交点（横断方向 12 点×縦断方向 21 点、合計 252 点）で測定した。ただし、竣工時の調査後にドットラインが施工されたため、初期（竣工時）調査と供用 3 ヶ月調査のすべり抵抗およびコンクリートテストの測定位置は一部で若干異なっている。

供用 2 年調査においては、後述の供用 1.3 年時に実施した補修工事の良否を判断するため、Single i 工法による微破壊調査を実施した。Single i 工法とは、コンクリート内部のひび割れ等を確認するための小径微破壊コンクリート内部検査手法である。最初に極小口径（φ 5mm）で穿孔を行い（写真－17）、特殊カラー樹脂を注入して（写真－18）硬化後に同位置に 2 次穿孔（φ 9mm）を行い（写真－19）、i-SCOPE（高性能内視鏡）でコンクリート内部のひび割れの状況を観察する（写真－20 および 22）。これにより、床版とコンクリート舗装の界面のひび割れ（剥離）が可視化できる。調査後は、調査孔の埋め戻しを行い現状復旧を行った（写真－21）。



図－5 供用性調査箇所（単位：mm）



図－6 コンクリートテスト測定箇所（縦線と横線の交点）

②②～②④は供用 1.3 年の補修時より追加



写真-17 1次穿孔(φ5mm)



写真-18 特殊カラー樹脂注入



写真-19 2次穿孔(φ9mm)



写真-20 孔内の確認と記録



写真-21 検査後の検査孔の穴埋め充填



写真-22 可視化したひび割れ

4. 調査結果および考察

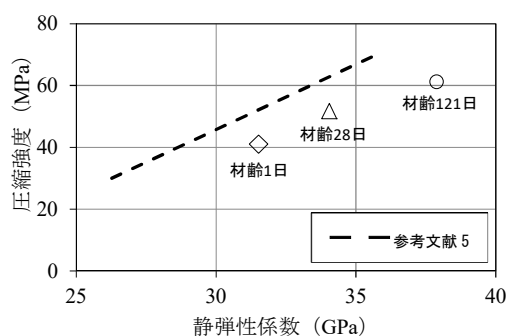
4.1 材料（LMC）に関する試験

LMC の材料試験結果を表－5 に示し、圧縮強度と静弾性係数の関係を図－7 に示す。圧縮強度は、材齢 1 日で 41.0MPa であり、材齢 121 日では 61.2MPa まで増加した。図－7 に今回の試験結果と参考文献⁵⁾ に示されている圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。図中の点線は、参考文献⁵⁾ より抽出した全国の約 800 個のデータを一次近似したものであり、平均的なコンクリートにおける両者の関係を示していると考えられる。図より、今回用いた LMC は平均的なコンクリートと比較して圧縮強度に対して静弾性係数が大きい傾向があった。これは、現場の勾配に対応するために粗骨材が多い配合としたことが一因と考えられる。

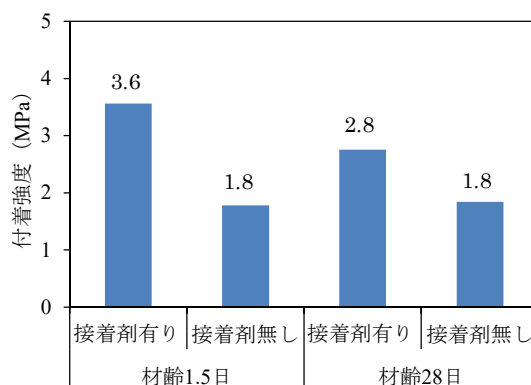
付着強度（図－8）は、材齢 1.5 日において接着剤が無い場合（写真－24）でも 1.8MPa、有る場合（写真－23）では 3.6MPa であり、NEXCO 構造物施工管理要領⁶⁾で定める打込み工法用断面修復材の付着強度 1.5MPa 以上を満足した。なお、接着剤有りにおいて、材齢 1.5 日より材齢 28 日の付着強度は低下しているが、これは、引張試験後の剥離箇所が治具界面となった試験体が 5 体中 3 体と多く（写真－25、表－6）、有効なデータ数が少なくなったことが一因である。

表－5 LMC の材料試験結果

材 齢 (日)		1	1.5	28	121
圧縮強度 (MPa)		41.0	-	51.7	61.2
静弾性係数 (GPa)		31.5	-	34.1	37.9
付着強度 (MPa)	接着剤無	-	1.8	1.8	-
	接着剤有	-	3.6	2.8	-



図－7 LMC の強度と静弾性係数の関係



図－8 LMC の付着強度



写真-23 材齢 1.5 日、接着剤有り



写真-24 材齢 1.5 日、接着剤無し



写真-25 材齢 28 日、接着剤有り



写真-26 材齢 28 日、接着剤無し

表-6 付着強度試験データ

	材齢1.5日				材齢28日			
	接着剤有り		接着剤無し		接着剤有り		接着剤無し	
	付着強度 (MPa)	破壊箇所	付着強度 (MPa)	破壊箇所	付着強度 (MPa)	破壊箇所	付着強度 (MPa)	破壊箇所
①	3.12	母材	1.85	界面	3.41	母材	2.37	界面
②	2.80	母材	1.96	界面	2.08	母材	2.00	界面
③	3.12	母材	1.88	界面	2.61	治具界面	1.62	界面
④	3.79	LMC	1.60	界面	3.45	治具界面	1.59	界面
⑤	4.96	母材	1.64	界面	3.94	治具界面	1.62	界面
平均	3.56		1.78		2.75		1.84	

4.2 既設床版の健全性

施工前の既設 RC 床版の健全性について、既設アスファルト舗装切削後に目視調査を実施した。写真－27 に示すように RC 床版上面にひび割れや砂利化等の損傷は認められなかった。なお、写真下部の赤丸部分は中央分離帯の撤去跡である。写真－28 に示すように、床版からは等間隔で鉄筋の露出が確認された。これらの鉄筋は、おそらく床版コンクリートの打込み高さを管理するための高さ表示鉄筋であると推察されるが詳細は不明である。



写真－27 既設 RC 床版の様子



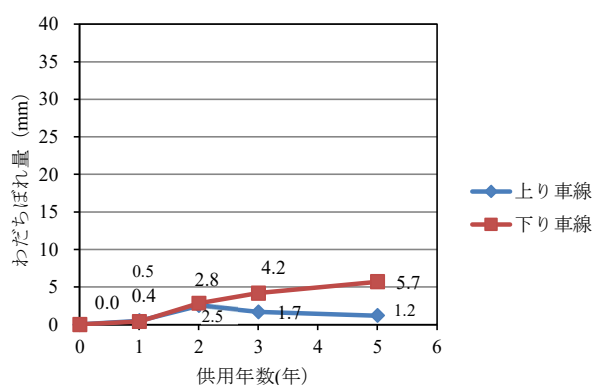
写真－28 床版より露出している鉄筋

4.3 わだち掘れ

わだち掘れの測定結果を表－7 および図－9 に示す。わだち掘れは、竣工時を初期値（わだち掘れ量 0mm）とし、供用 1 年以降の測定結果は竣工時との差分をわだち掘れ量として整理した。供用 5 年時においてもわだち掘れ量は最大で 5.7mm に留まり、車両の走行に問題となるようなわだち掘れは認められなかった。

表－7 わだち掘れの測定結果（3 側点の平均値）

	わだち掘れ量 (mm)				
	竣工時	供用 1 年	供用 2 年	供用 3 年	供用 5 年
上り車線	0.0	0.5	2.5	1.7	1.2
下り車線	0.0	0.4	2.8	4.2	5.7



図－9 わだち掘れの測定結果

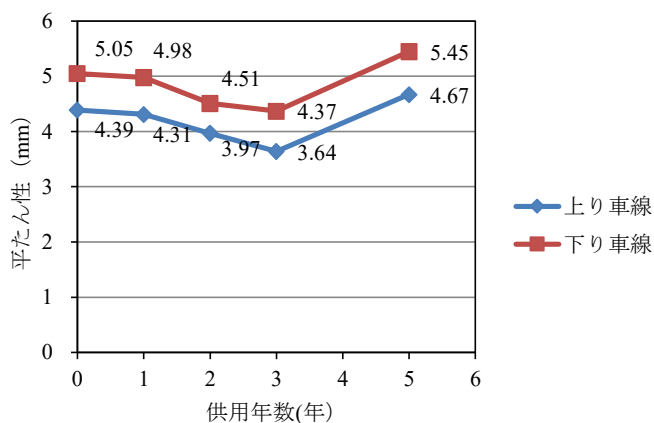
4.4 平たん性

平たん性は、各車線の OWP（Outer Wheel Path）で測定した。測定結果を表－8、図－10 に示す。測定延長が 33m と短いため、平たん性の値自体を論じることは困難であるが、相対的にみると、施工前の既設アスファルト舗装よりコンクリート舗装施工後は平たん性が 2mm ほど大きくなった。これは、①簡易な施工機械による人力施工であること、②LMC の練混ぜが重力式ミキサによるバッチ処理となったことにより材料供給が不連続となったこと、③一般にアスファルト舗装では仕上げ方向が縦方向（車両進行方向）であり、アスファルト舗装の方がコンクリート舗装より平たん仕上げが容易であること、等が考えられる。平たん性の改善には、施工面では薄層用フィニッシャの採用、橋梁用ペーバの採用と縦型仕上げ装置の併用が、材料製造面では、連続的な製造と供給、施工に適したコンシステンシーの設定が必要であると考えられる。

なお、平たん性は、供用 5 年経過時点においてほぼ変化せずに初期値と同程度であり、4～5mm と比較的大きな値であるものの道路利用者からの苦情は無いとのことから、平たん性の増加は車両走行に支障が生じない範囲のものと考えられる。

表－8 平たん性の測定結果（3 側点の平均値）

	平たん性 σ_{3m} (mm)					
	施工前	竣工時	供用 1 年	供用 2 年	供用 3 年	供用 5 年
下り車線	3.10	5.05	4.98	4.51	4.37	5.45
上り車線	2.17	4.39	4.31	3.97	3.64	4.67



図－10 平たん性の測定結果

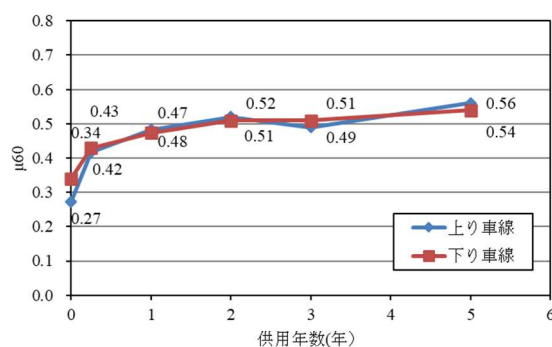
4.5 すべり抵抗性

すべり抵抗性は図－5 の測定位置 No.1～7 の 7 箇所で測定した。No.7 は間詰部であり車両の通行が無い箇所であるため、竣工時のみ測定した。測定結果を表－9 および図－11 に示す。なお、図－11 は、上下車線 3 箇所ずつの結果を平均した値の経年変化を示している。動的摩擦係数 $\mu 60$ の値は、竣工時が上り 0.34、下り 0.27 と比較的低い値であったが、供用に伴い増加する傾向が認められた。竣工時のすべり抵抗性が低くなったことについては、施工時に表面仕上げ助剤として LMC の材料であるポリマー混合液を散布したことが原因である可能性がある。竣工時は、路面に残存したポリマーの影響ですべり抵抗性が低くなったものの、供用に伴う車両の走行や雨水の影響により路面のポリマー膜が消失することで、すべり抵抗性が回復したと考えられる。なお、供用 1 年時点では 0.47 程度と十分なすべり抵抗性を有しており、安全性に問題は認められなかった。

箒目仕上げとした間詰部の動的摩擦係数 $\mu 60$ は、竣工時においても 0.55 の高い値を示した。これは事前の模擬施工における表面仕上げ方法の検討から、今回の試験施工では急勾配箇所に確実に路面凹凸を形成できる仕上げ方法として、横フレッシュグルーピングを採用した(写真－12)。一方、車両通行の無い間詰部では箒目仕上げとしており(写真－29、写真－30)、本線部と間詰部の竣工時のすべり抵抗性の差は、表面仕上げ方法の違いが可能性として考えられる。

表－9 すべり抵抗性の測定結果（3 測定の平均値）

	すべり抵抗性 $\mu 60$					
	竣工時	供用 3 ヶ月	供用 1 年	供用 2 年	供用 3 年	供用 5 年
下り車線	0.27	0.42	0.48	0.52	0.49	0.56
上り車線	0.34	0.43	0.47	0.51	0.51	0.54



図－11 すべり抵抗性測定結果（DFT）



写真－29 横フレッシュグルーピング仕上げの様子



写真－30 間詰部の箒目仕上げの様子

4.6 ひび割れおよび剥離

ひび割れ調査は竣工時（2016年8月末）と供用3ヶ月、1年（夏季）、1.3年（冬季）（上り車線のみ）、2年（夏季）、2.3年（冬季）、3年、4年、5年で実施した。竣工時の路面にはひび割れは認められなかったものの（写真-31）、打込み後2～3週間が経過した時点ではヘアクラックが確認され（写真-32）、一部ではひび割れ幅0.2mm程度のひび割れも認められた（写真-33および写真-34）。

図-12～図-21に、供用3ヶ月（2016年12月）から供用5年調査（2021年9月）におけるひび割れ図を示す。図中の赤線は、各調査時に新たに確認されたひび割れを示している。なお、ひび割れは、長さ20cm以上のものを示した。概して、供用3ヶ月の時点（2016年12月）ではひび割れはほとんど認められなかったが、これ以降の供用3年（2019年9月）までは調査の度に新たなひび割れの発生が確認された。供用3年（2019年9月）から5年（2021年9月）にかけては新たなひび割れの確認は少なくなる傾向であり、ひび割れの進展が鈍化しつつあることが窺える。確認されたひび割れ幅は、全て0.3mm以下であり、平均ひび割れ幅は供用3ヶ月（2016年12月）で0.25mm、供用1年（2017年8月）で0.15mmであった。なお、図に示した以外にもプラスチック収縮ひび割れと思われるひび割れが散見された。概ねこれらのひび割れは、ひび割れ幅は0.2mm程度で、横断方向のひび割れ長さは1m以下と比較的短かった。

供用1年（夏季）調査（2017年8月）では、上り車線の4箇所ではコンクリート舗装と床版の剥離が確認されたため（図-13）、早期の補修（詳細は「5.補修」を参照のこと）を供用1.3年（冬季）（2017年12月）に実施した。しかし、図-14の8-⑩と10-⑳付近の小さい剥離2箇所では、供用2年（夏季）調査時（2018年8月）にほとんど樹脂注入が出来てなかったことが確認された（図-15）。供用2年（夏季）（2018年8月）と図-16に示す供用2.3年（冬季）（2018年12月）との調査結果を比較すると、剥離面積の減少が認められた。これは、外気温の変化に伴うLCMおよびRC床版の膨張、収縮によるものと考えられ、剥離面積が減少する冬季は補修に適さないと判断した。このため、再度の補修は供用3年（夏季）（2019年9月）に実施することとした。

供用3年（夏季）（2019年9月）の調査結果を図-17に、補修の結果を図-18に示す。図-18の紫のハッチング箇所は、樹脂注入を行ったものの翌日も剥離が確認された箇所を示しており、十分な補修が行えなかった箇所である。これらの箇所は、供用1.3年（冬季）（2017年12月）の補修時に十分な樹脂注入が出来なかった箇所と一致する。これは、剥離箇所の隙間が小さいため、供用1.3年（冬季）（2017年12月）、供用3年（夏季）（2019年9月）のいずれの補修においても十分な樹脂注入が出来なかったものと考えられる。

供用4年（夏季）（2020年9月）の調査結果は図-19に示す通りであり、供用3年補修後（2019年9月）の8-⑩と10-⑳付近の小さい剥離が再度確認されたものの、全体的に大きな剥離は認められなかった。比較的大きな剥離である5-⑨、8-㉑のサーモグラフィー測定画像を写真-35に示す。写真の通り、周辺と明確な温度差は認められていない。調査前日は雨天であったが、剥離箇所に低温傾向は認められず雨水は侵入していないと考えられる。また、他の剥離箇所においても同様に剥離と周囲において明確な温度差は認められなかった。

供用5年（夏季）（2021年9月）の調査結果を図-20に示す。供用4年（夏季）の調査からのひび割れおよび剥離の進展は少なかった。

剥離は主に接着剤未塗布箇所を確認された。一方、前述の模擬床版を用いたLMCの付着強度

試験においては、接着剤無しの試験体においても十分な付着強度が得られている。試験舗装区間で剥離が生じたのは、急勾配に対応するために低スランプとした硬練りの LMC に対して、施工で用いたエア駆動式簡易フィニッシャでは締固めが不十分であったことが一因として考えられる。

以上に鑑み、急勾配でのコンクリート床版上に硬練りの LMC を施工する場合は、接着剤は版全体に塗布することが望ましいと考えられる。



写真-31 路面の様子（施工後 2 日）



写真-32 路面の様子（施工後 3 週間）



写真-33 路面の様子（施工後 2 週間）



写真-34 路面の様子（施工後 3 週間）

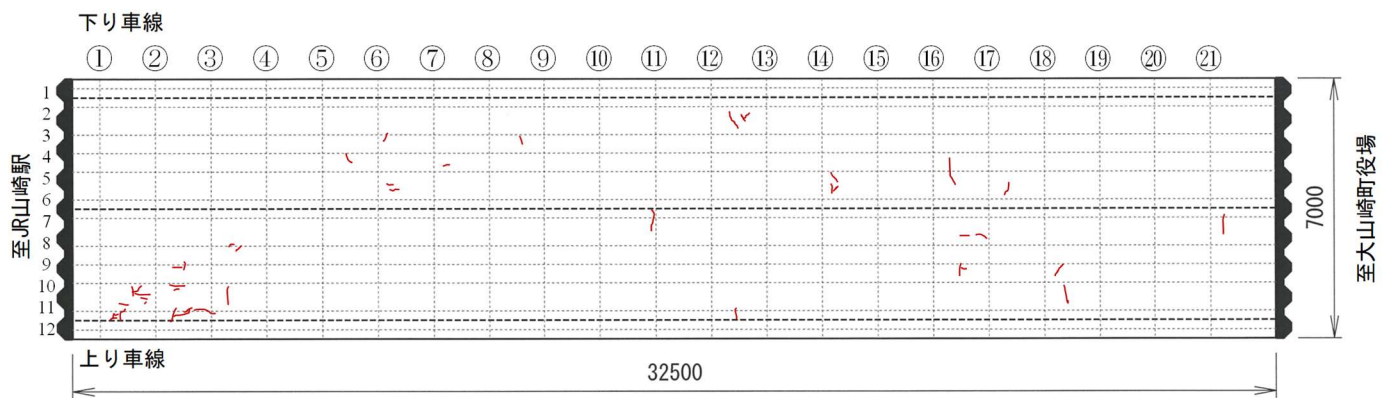


図-12 供用3ヶ月ひび割れ図 (2016年12月)

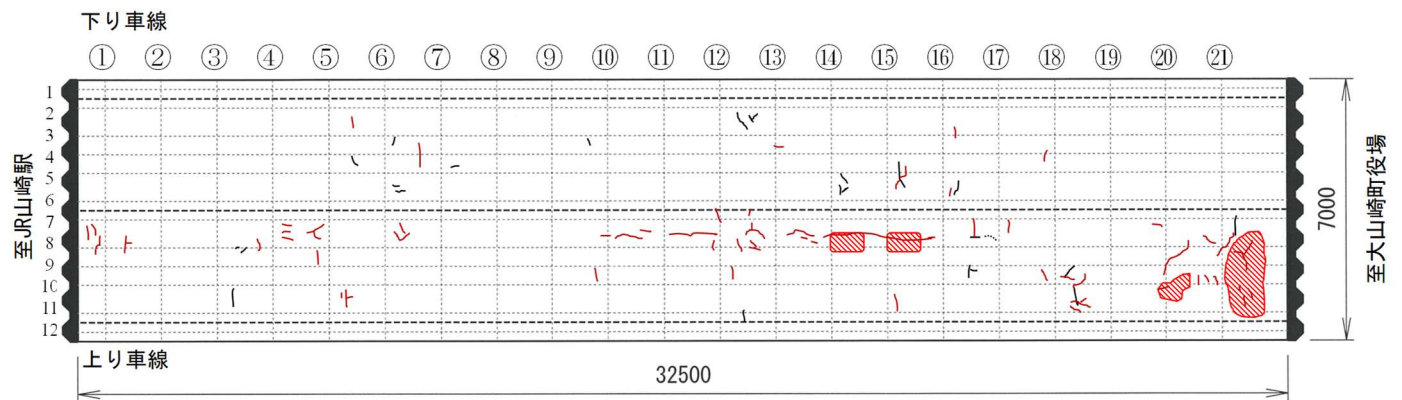


図-13 供用1年(夏季)ひび割れ図 (2017年8月)

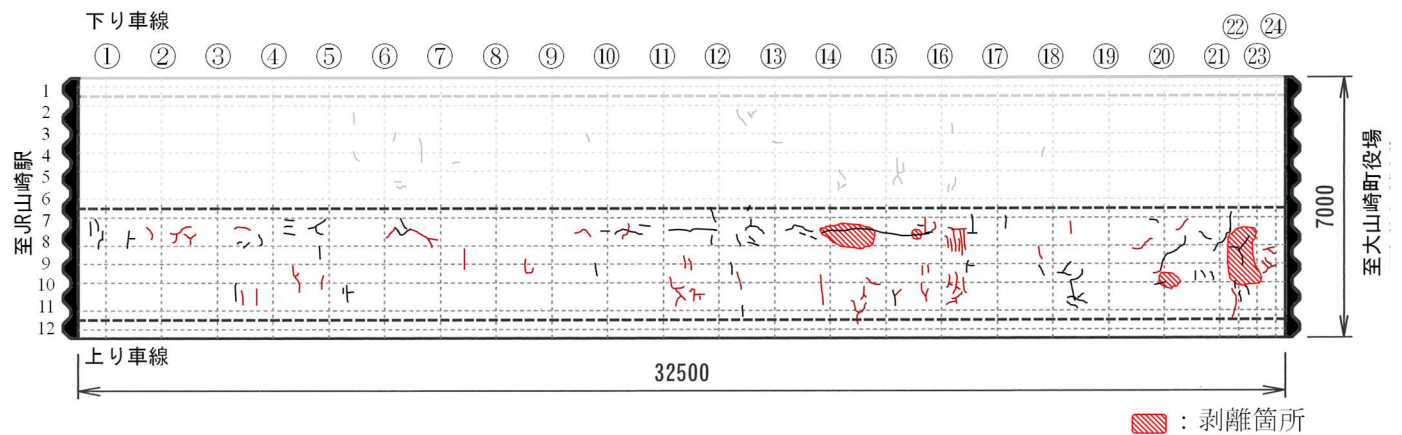


図-14 供用1.3年(冬季)ひび割れ図 (2017年12月)

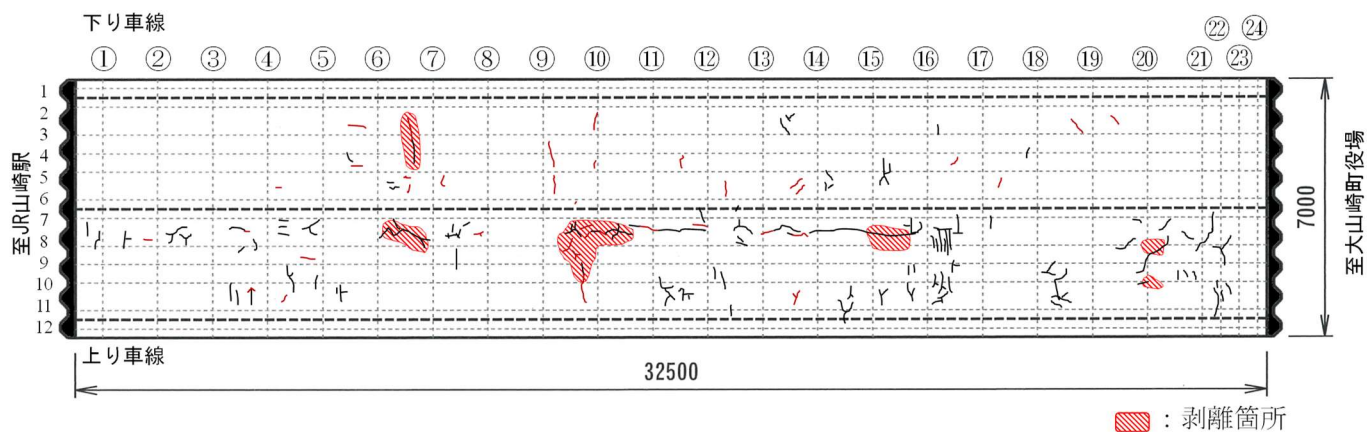


図-15 供用2年（夏季）ひび割れ図（2018年8月）

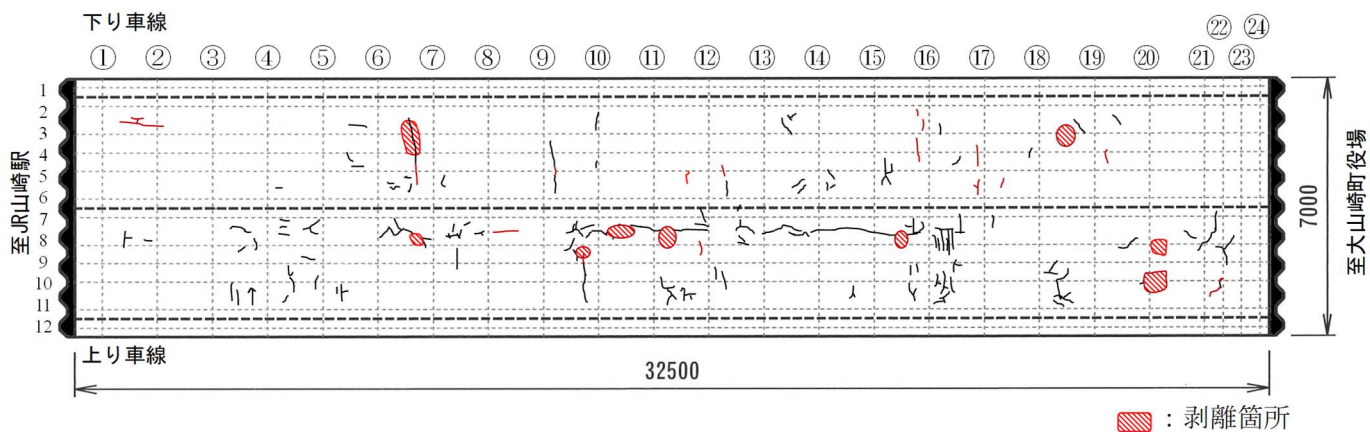


図-16 供用2.3年（冬季）ひび割れ図（2018年12月）

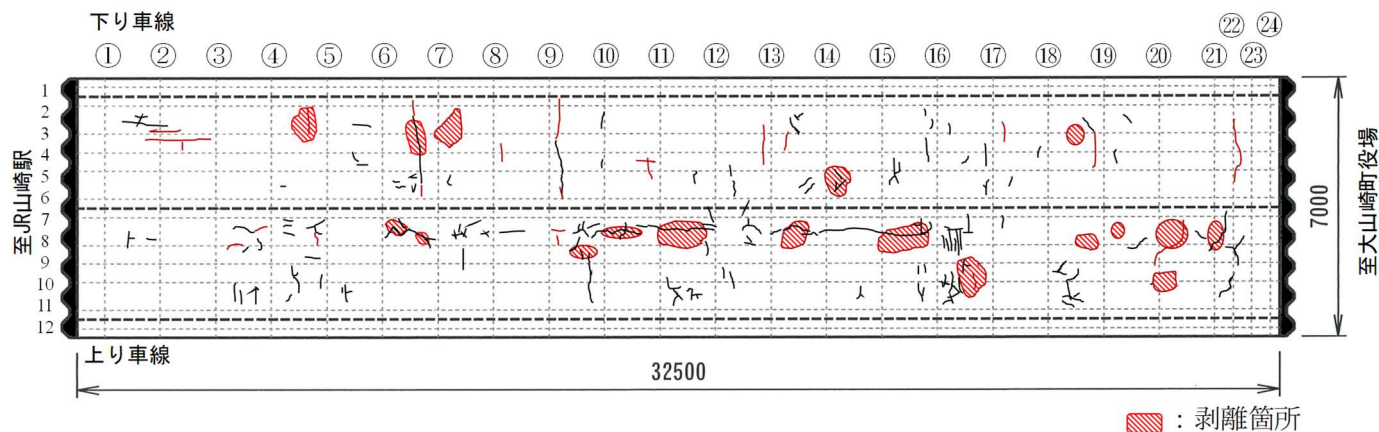


図-17 供用3年（夏季）ひび割れ図（2019年9月）

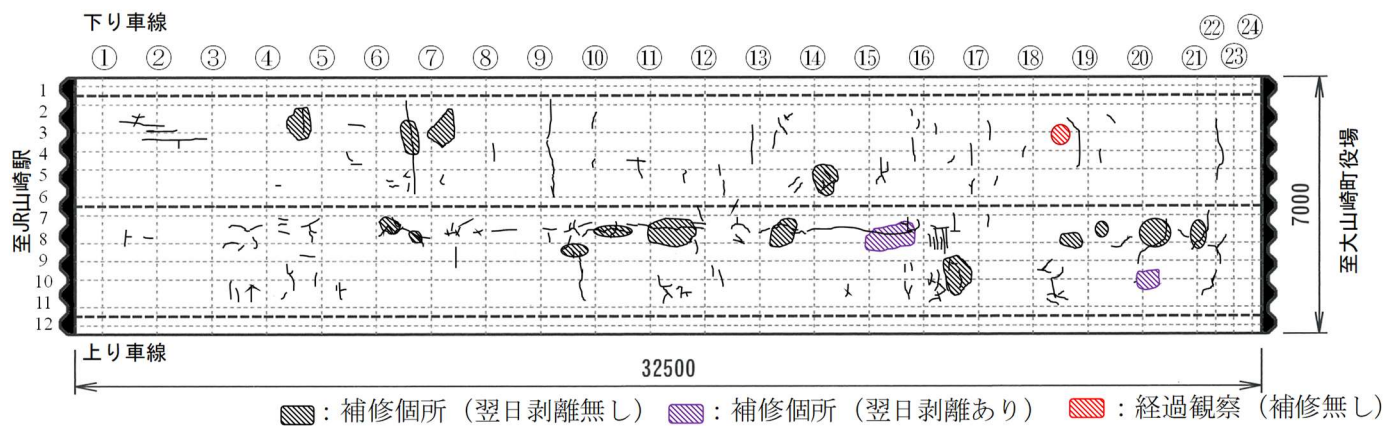


図-18 供用3年補修後 (2019年9月)

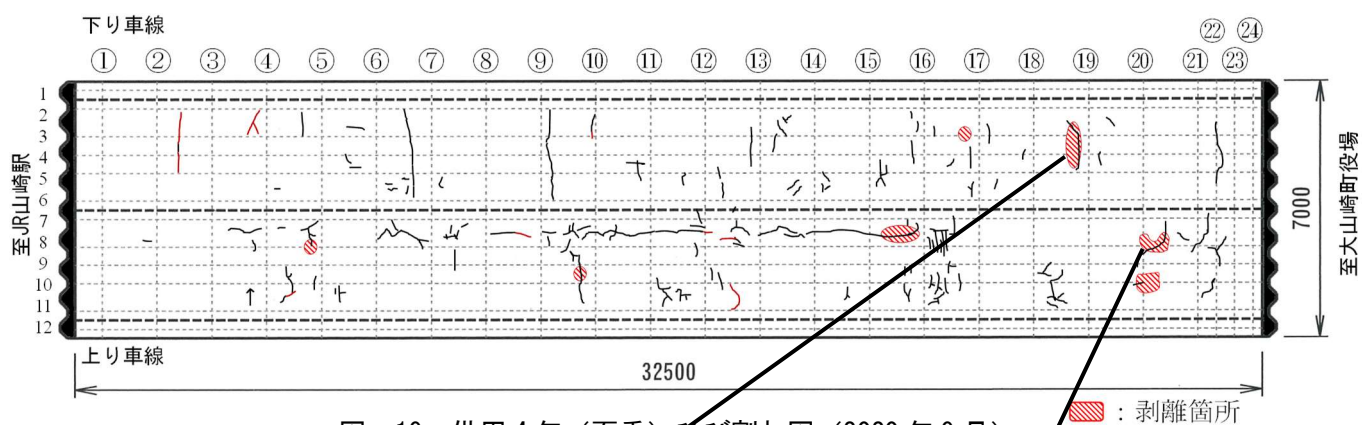


図-19 供用4年 (夏季) ひび割れ図 (2020年9月)

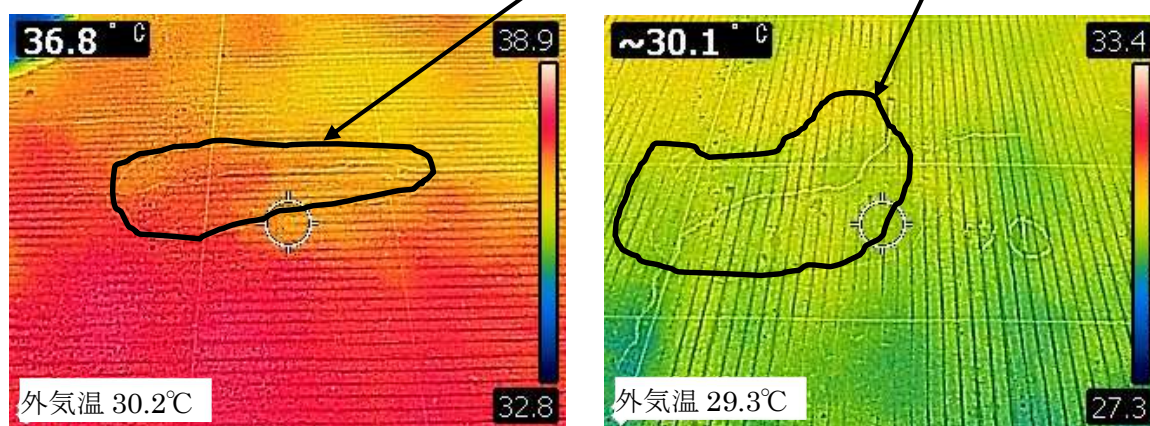


写真-35 剥離部の温度分布 (黒枠は剥離部分)

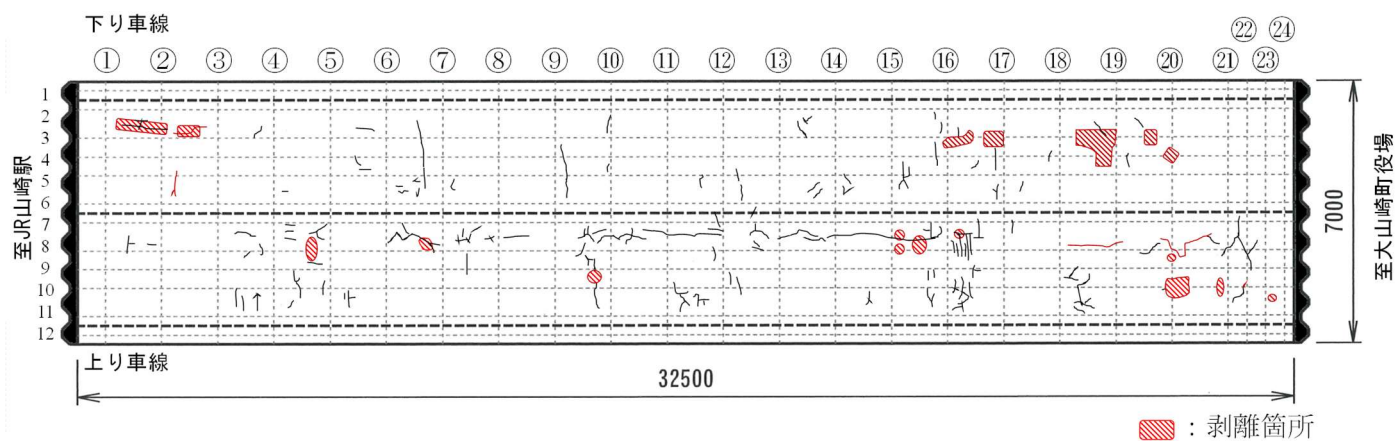


図-20 供用5年(夏季)ひび割れ図(2021年9月)

4.7 コンクリートテストによる舗装と床版の付着の評価

コンクリートテストを用いて舗装と床版の付着の評価を試みた。コンクリートテストは加速度計が内蔵されたハンマーでコンクリート表面を打撃することにより、コンクリートの健全性を評価する試験機である。ハンマーでコンクリートを打撃し、ハンマーがコンクリートを押すときと、コンクリートがハンマーを押し返すときの加速度の変化を測定する。この時に得られる加速度変化の波形によって、コンクリートの健全性や剥離層の有無を判断する。また、通常の打音検査と同様に打撃音による調査（以後、打音調査と称する）も同時に行える試験機である。なお、供用1年では下り車線のみ赤外線カメラによる調査も行っている。既往の調査により、打音時の加速度計出力の最大値が4250以下の箇所は、剥離している可能性が示唆されている。

供用1年時の調査結果を図-21に示す。図中の赤いハッチングが剥離箇所を示し、青いハッチングは赤外線カメラ調査による低温部分を示している。竣工および供用3ヶ月の時点では、剥離は認められなかったが、供用1年では上り車線の一部で剥離が認められた。剥離箇所は、ジョイントの付近1箇所、車輪走行位置3箇所の4箇所であった。また、赤外線カメラによる調査では下り車線の一部に低温箇所（剥離し剥離面に水の浸入が疑われる箇所）が認められたが、打音調査では明確な異常は確認出来なかった。

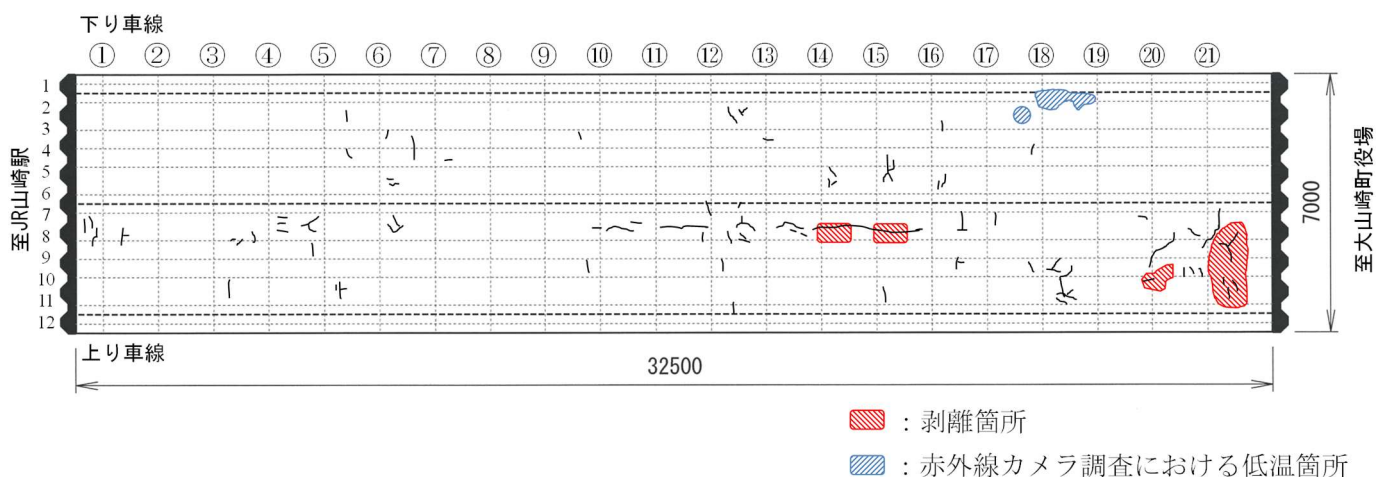


図-21 打音調査結果（黒線はひび割れを示す）

コンクリートテストによる健全部の測定例（取扱説明書に記載されているもの）を図-22に示し、図-23、図-24に剥離面がある場合の測定例（取扱説明書に記載されているもの）を示す。このように健全部はピークが高く、左右対称な波形が得られ、剥離がある場合はピークが小さくなる、波形がブロードになる、波形に乱れが生じるようになる等の特徴が現れることが示されている。そこで今回は、測定波形の代表値として、測定のピーク値および、ピーク値／波形の幅（以後、鋭度と称す）について評価した（図-26参照）。また、コンクリートテストによる測定は、人がハンマーで測定対象を打音することから、ばらつきを考慮し、一測点につき約20回程度測定した。測定結果からは、図-25に示すように、同一測点の測定でも異常値らしき波形が認められる場合がある。そのため、一測点で得られた約20個のピーク値および鋭度について95%有意のスミルノフ・グラブス検定を行い異常値を排除し、平均した値を結果として整理した。

竣工時、供用3ヶ月、供用1年のピークと鋭度の分布を図-28に示す。ピークと鋭度の分布は調査年ごとに低い箇所傾向が異なっており、常に低い箇所は認められなかった。また、ピークと鋭度の分布はほとんど同じ傾向を示しており、この関係は図-27に示す通りである。このため、ピーク値と鋭度はほぼ同じ評価をしていると言える。参考までに各調査におけるピーク値と鋭度の平均値とそのばらつきを表-10に示す。

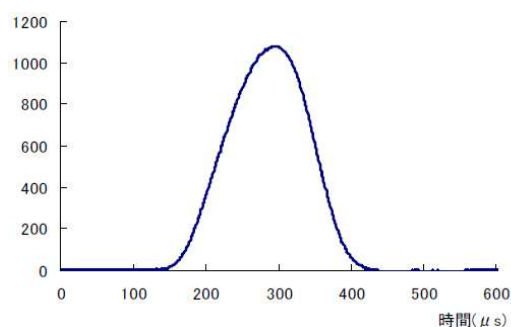


図-22 健全部の測定結果例

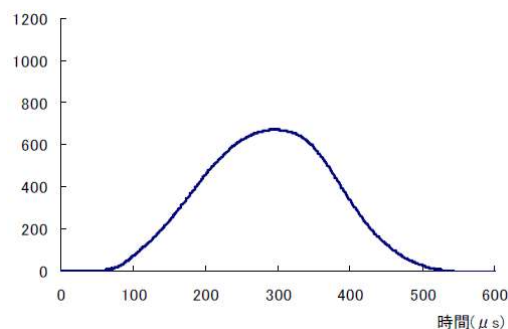


図-23 剥離箇所の測定結果例①

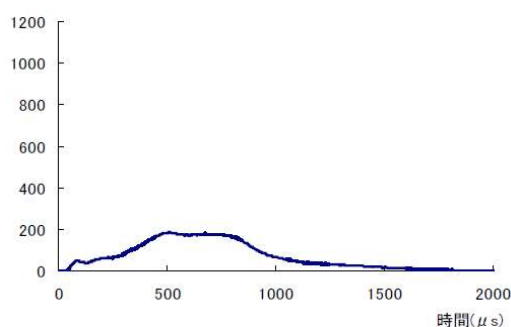


図-24 剥離箇所の測定結果例②

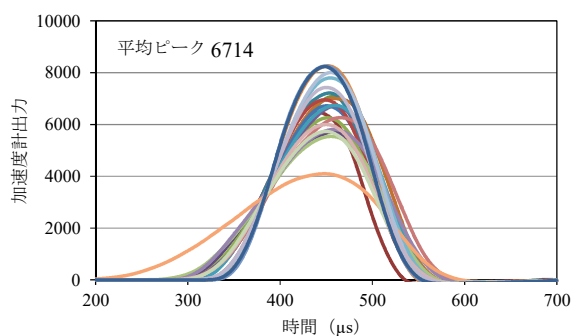


図-25 同一測定の測定例

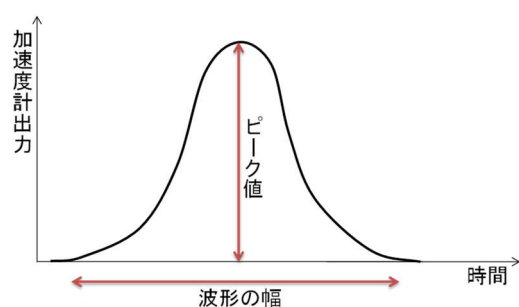


図-26 波形の整理

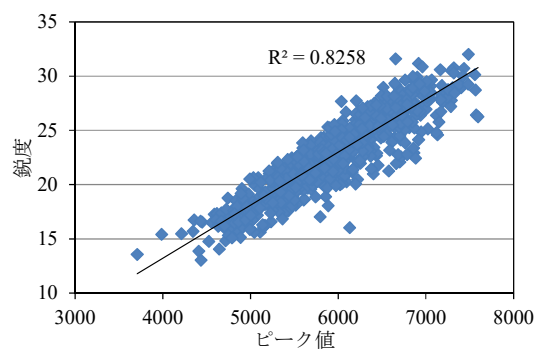


図-27 ピーク値と鋭度の関係

表-10 各調査でのピーク値と鋭度の平均とばらつき

調査時期	ピーク値		鋭度	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
竣工時	5848	702	21.2	3.5
供用3ヶ月	5940	760	22.8	3.8
供用1年	5980	584	23.8	3.3

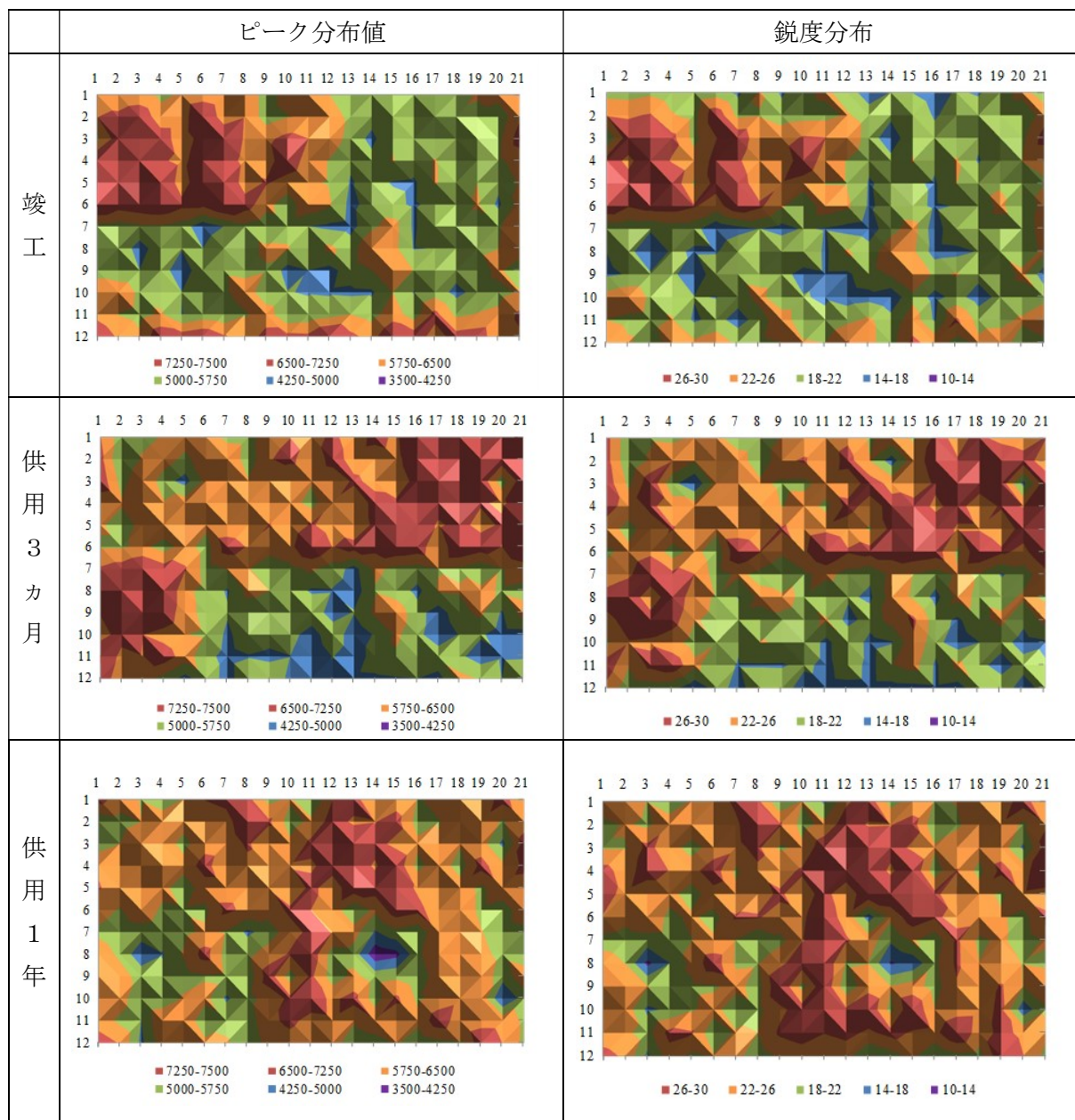


図-28 ピーク値及び鋭度の分布

各調査における、ピーク値の出現頻度を図－29～図－31 に示す。ピーク値が低いデータの数に注目すると、竣工時、供用 3 ヶ月時は 4250 以下のデータは認められなかったが、供用 1 年では 4250 以下のデータが認められた。この 4250 以下のデータは打音調査で剥離が認められた箇所と合致している。打音調査の結果、供用 1 年で剥離が認められた測定点は、8－⑭、8－⑮、10－⑳ の 3 箇所であり、これらの箇所のピーク値は、3707～4215 であった（図－32～図－34 参照）。よって、コンクリートテスタによる調査では加速度計出力が 4250 以下の場合、層間剥離が疑われることが示唆されたが、これについては今後さらなるデータの蓄積や再現実験等により確認していく必要がある。

なお、供用 1 年ではコンクリートテスタの繰返し精度を検討するために同一箇所を 2 回測定しており、結果は図－35 に示す通りである。

供用 1 年の赤外線カメラによる観察で付近と比べて低温だった箇所は 252 点の測点とは別に測定を行った。結果は図－36、図－37 に示す通りであり、コンクリートテスタの調査では異常は確認出来ず、打音調査も同様であった。

最後に、参考までに供用 1 年調査で、コンクリートテスタの測定結果およびピーク値が平均値に近かった 9－⑬の測定結果、剥離はなかったがピーク値の低かった 3－㉔の測定結果を図－38、図－39 に示す。

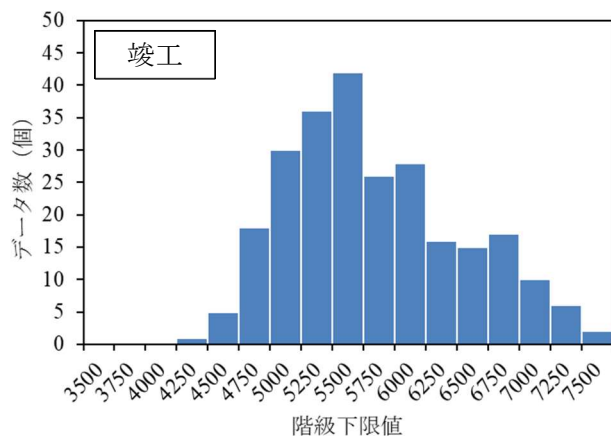


図-29 竣工時調査のピーク値の出現頻度

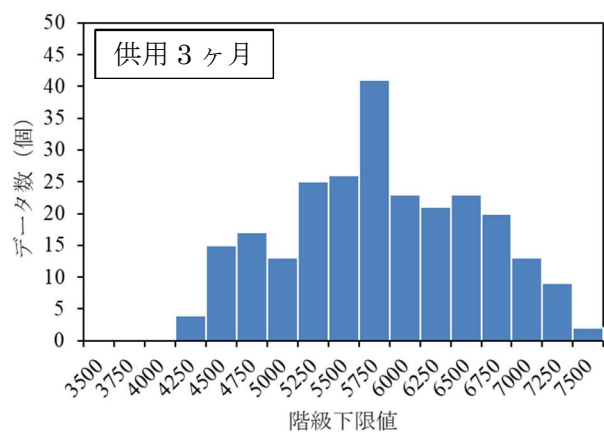


図-30 供用3ヶ月調査のピーク値の出現頻度

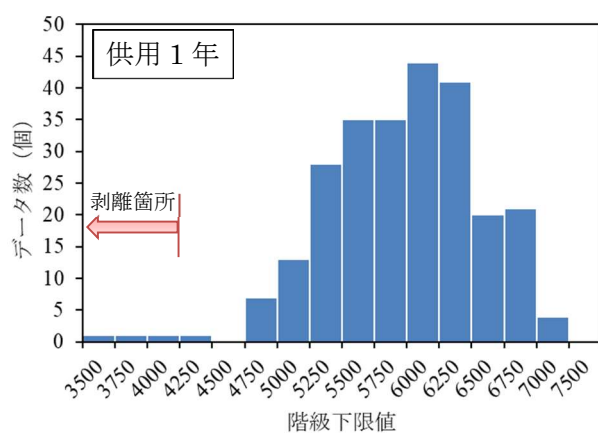


図-31 供用1年調査のピーク値の出現頻度

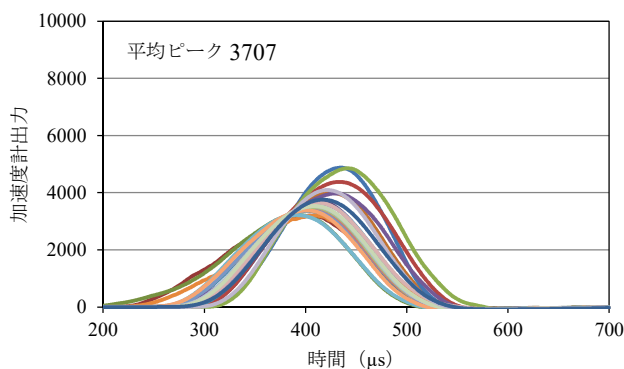


図-32 8-⑭の測定結果

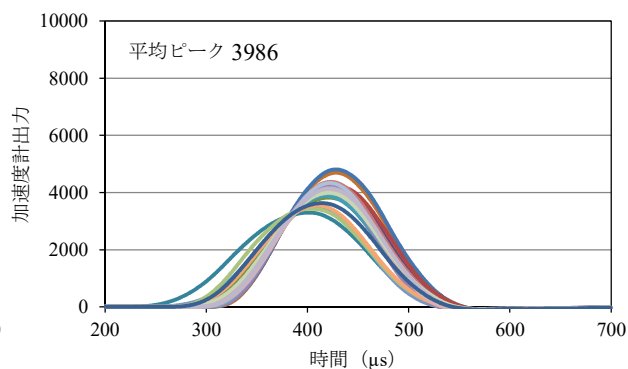


図-33 8-⑮の測定結果

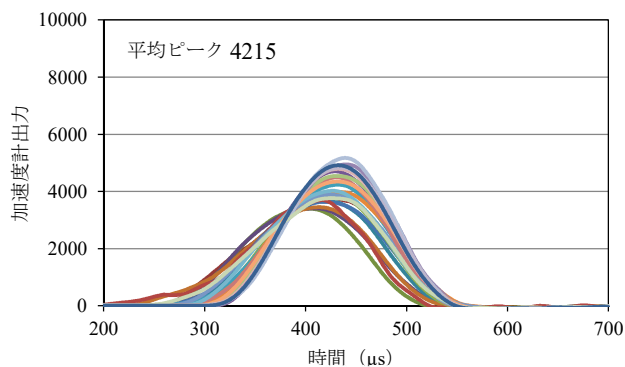


図-34 10-⑳の測定結果

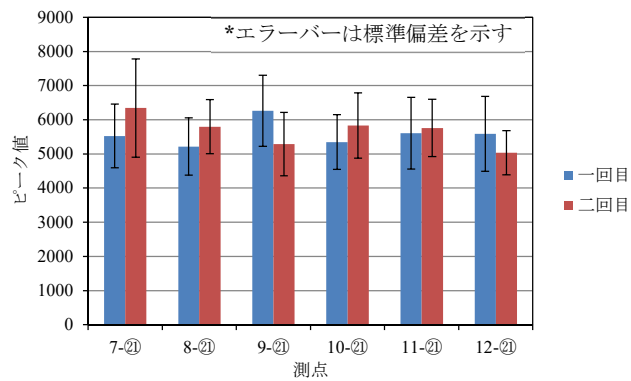


図-35 繰返し精度の検討

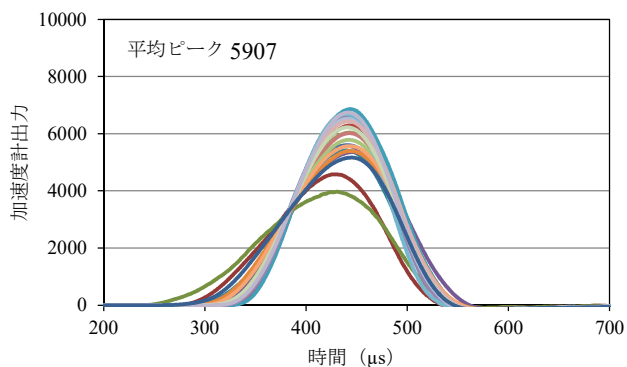


図-36 赤外線カメラ低温部の測定結果①

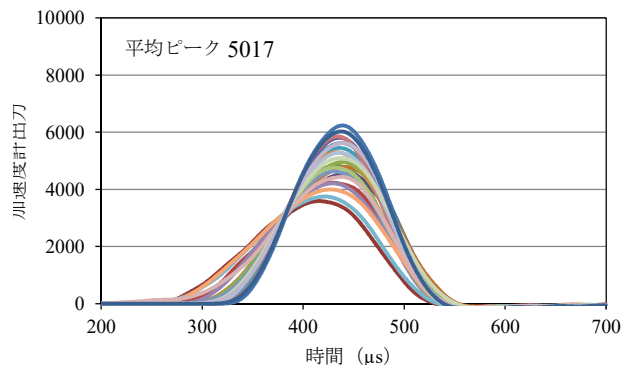


図-37 赤外線カメラ低温部の測定結果①

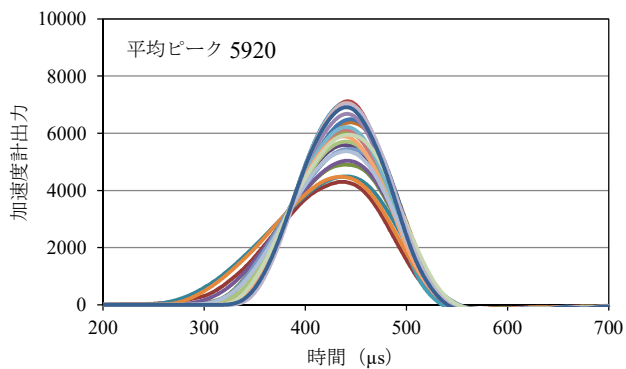


図-38 9-13の測定結果

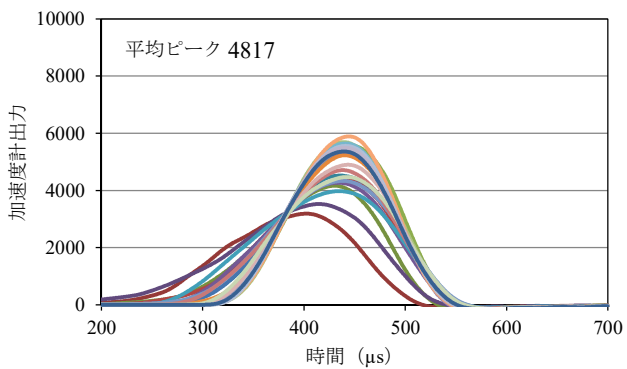


図-39 3-20の測定結果

5. 補修

供用 1 年調査において上り車線の一部に舗装と床版との剥離が認められた。ポットホールに至ることを懸念し、供用 1.3 年（冬季、2017 年 12 月）、供用 3 年（夏季、2019 年 9 月）に樹脂注入による補修工法（NETIS : KT-140110-A）を用いた補修工事を実施した。補修前後で打音による剥離調査を行ったところ、注入直後では注入箇所には剥離は認められなかった。

供用 1.3 年における補修手順を図-50 に示す。



図-40 供用 1.3 年における補修手順

① 剥離調査

両口ハンマーにて舗装を打音し、音によって剥離箇所を調査した。

② 補修箇所の決定

剥離調査結果より、補修を行う剥離箇所を選定し、樹脂注入等に使用する穴の穿孔位置を決定した。

③ 接着剤注入孔削孔

②で決定した、位置においてコンクリートドリルで舗装を削孔した。穴の深さは、舗装と床版との継ぎ目より深い7cm程度とした。この時中央の一点は剥離面の洗浄に使用するため、径が大きいものとなる。



写真-36 削孔完了状況

④ 剥離面洗浄

③で削孔した中央の穴より、0.5MPa程度の圧力で水を注入し、舗装と床版の界面を洗浄する。この時、ひび割れや他の削孔から噴き出す水が清水となるまで洗浄を継続する。洗浄後に圧縮空気を導入し水を排水する。

ただし、今回の施工では水が剥離面にほとんど入らず、ひび割れや他の削孔からの水の噴出は確認出来なかった。これは、剥離面のひび割れ幅が非常に狭いことが原因である可能性がある。(削孔をのぞき込んでも目視では剥離を確認出来なかった)



写真-37 本来の洗浄状況例（他現場）

⑤ 接着剤注入

水を入れた穴を木片で塞ぎ、周辺の小径孔より接着剤を8MPa程度の圧力で圧入する。今回は、水中接着型・速硬エポキシ接着剤「アルファテック 342」を使用した。圧入を行いながら、路面を両口ハンマーにて打音し音の変化により剥離面に注入されたことを確認する。そして、他の削孔より接着剤が流出したことも合わせて確認し、作業終了とした。

作業中、いくつかの注入孔からは接着剤の圧入が出来なかった。今回用いた工法はNETISではひび割れ幅0.04mm以上の場合に適用可能となっているため、場所によっては剥離幅が0.04mm以下となっていたことが示唆される。

⑥ 注入完了

注入完了後、養生（交通規制のみ）を行い翌日の昼ごろに交通開放した。本来であれば、注入完了後数時間で交通開放する予定であったが、当日の気温が低く（日平均気温7.4℃）硬化が遅れたため翌日（日平均気温3.1℃）となった。

6. まとめ

RC 床版へのコンクリート舗装の適用性を評価することを目的に、京都府大山崎町の天王山古戦橋において試験施工を行い、供用 5 年までの供用性を評価した。

材料試験の結果から、本検討で使用した LMC は早期強度に優れ、材齢 1.5 日で十分な付着強度を発現することを確認した。

路面の供用性については、既設のアスファルト舗装と比較して平坦性の測定値が大きくなったが、道路使用者からの苦情は無いことから、平坦性については車両走行に支障は生じない範囲のものと考えられた。供用に伴うわだち掘れの進行は、ごく軽微なものであった。また、動的摩擦係数は供用に伴い増加する傾向が認められ、供用 5 年時点でも十分なすべり抵抗性を維持していることを確認した。これらの結果から、LMC を用いたコンクリート舗装は、車両走行の観点からは所要の路面性状を維持していると考えられた。一方、供用 1 年調査から供用 3 年調査にかけて、舗装の一部にひび割れおよび剥離が認められた。このため、供用 1 年時、供用 3 年時に、樹脂注入による補修工事を行った。その後の供用 4 年調査、供用 5 年調査の結果から、これらの補修箇所では剥離はすべて解消出来なかったものの、剥離範囲の減少が図られ、剥離の進展も小さいことが確認された。なお、舗装と床版の剥離は主に接着剤の未塗布箇所が生じたことから、急勾配箇所でのコンクリート床版上に硬練りの LCC を施工する場合は、打継ぎ面となる床版上面の全面に接着剤を塗布することが望ましいと考えられる。

参考文献

- 1) 玉越隆史、横井芳輝：国土技術政策総合研究所資料 No.822 平成 25 年度道路構造物に関する基本データ集、2015.01
- 2) (公社) 日本道路協会：舗装施工便覧、p.176、2006.2
- 3) (公社) 土木学会：道路橋床版の橋面コンクリート舗装、2016.11
- 4) 梶尾聡、橘吉宏、瀧波勇人、阪口純一：ラテックス改質コンクリートを用いた橋面コンクリート舗装、舗装 Vol 52 、No.10、2017.10
- 5) (公社) 土木学会：コンクリート標準示方書（昭和 61 年制定）改訂資料、コンクリートライブラリー第 61 号、p.230、1986.10
- 6) 東日本高速道路（株）、中日本高速道路（株）、西日本高速道路（株）：構造物施工管理要領、2009.7

謝辞

本試験施工を行うにあたり、大山崎町、研掃工で株式会社フタミ、LMC 製造で太平洋マテリアル株式会社、施工および調査で日本道路株式会社の多大なるご協力を賜りましたこと、ここに謝意を申し上げます。

ISBN978-4 88175 175-6 C3358

舗装技術専門委員会報告 R-35

2023 年 3 月 31 日 発行

一般社団法人セメント協会
東京都中央区新富 2 丁目 15 番 5 号
RBM 築地ビル 2 階
電話 03 (5540) 6171 (代)

発行所 一般社団法人セメント協会 研究所
東京都北区豊島 4 丁目 17 番 33 号
電話 03 (3914) 2691 (代)

