

報告 荷重車を用いたコンクリート舗装補修箇所の耐久性検証

加藤 祐哉*1・内田 雅隆*2・古賀 裕久*3・若林 由弥*4

要旨：コンクリート舗装のパッチングによる補修箇所が比較的短期間で剥離する場合があります。補修箇所の耐久性向上が求められている。筆者らは補修材に求められる性質などを検討するために、荷重車の走行による耐久性の検証を行っている。その結果、ポリマーセメント系や樹脂系の補修材は変形がほとんど生じなかったが、補修材に浮きが生じ、その後輪荷重の作用によりひび割れが生じた場合があった。また、荷重車の走行停止期間においても浮きやひび割れの拡大が確認され、輪荷重以外の環境作用などでも変状が進行する場合があった。

キーワード：コンクリート舗装, 補修材, 耐久性検証, 輪荷重, 温度変化, 線膨張率

1. はじめに

コンクリート舗装は長寿命で耐久性が高く、ライフサイクルコストの低減が期待できる。しかし、目地部に角欠けなどの破損が生じると補修が必要になる。この補修には、従来からアスファルト混合物が用いられることが多いが、剥離などの再劣化が比較的短期間で生じる場合があり、補修箇所の耐久性向上が求められている。

しかし、補修材の付着等に関する検討は、試験室において供試体レベルで行われることが多く、舗装の補修箇所を想定した実物大の耐久性の検証はほとんど例がない。

そこで、目地部の角欠けや段差などの補修を対象に、補修箇所の耐久性向上のために補修材に求められる性質などを検討する目的で、荷重車の走行による耐久性の検証を行っている。現在までに得られた結果を報告する。

2. 荷重車走行による耐久性検証

2.1 実験施設

補修箇所の耐久性評価のために、土木研究所（つくば市）にある舗装走行実験場にて、荷重車を用いた耐久性の検証を行った。舗装走行実験場は、写真-1 に示すように、試験走路上に荷重車を走行させることで、舗装の耐久性の調査などを行う施設である。

2.2 使用した補修材

今回使用した補修材は、角欠け補修用5種類（表-1）と段差すりつけ用5種類（表-2）とした。内訳は、ポリマーセメント系4種類、樹脂系2種類、従来から用いられているアスファルト系補修材2種類である。なお、PCM-cは弾性係数が他のポリマーセメントモルタルよりも小さな柔軟型のものである。また、PCM-bおよびRM-aは角欠け補修と段差すりつけの両方に用いた。As(13)は表-3、表-4に示す材料、配合率の細粒度アス



写真-1 舗装走行実験場（つくば市）

表-1 角欠け補修用補修材

記号	補修材	弾性係数* (GPa)	施工面の処理等
	種類		
PCM-b	ポリマーセメントモルタル	29.8	水湿し
PCM-d	ポリマーセメントモルタル	24.8	水湿し
RM-a	エポキシ樹脂モルタル	—	エポキシプライマー塗布
RM-b	アクリル樹脂モルタル	—	なし
As(13)	細粒度アスファルト混合物(13)	—	タックコート塗布

※20℃封かん養生を行い、材齢28日目にて試験した値

表-2 段差すりつけ用補修材

記号	補修材	弾性係数* (GPa)	施工面の処理等
	種類		
PCM-a	ポリマーセメントモルタル	26.2	水湿し
PCM-b	ポリマーセメントモルタル	29.8	水湿し
PCM-c	ポリマーセメントモルタル(柔軟型)	3.8	水湿し
RM-a	エポキシ樹脂モルタル	—	エポキシプライマー塗布
AsM	常温硬化型アスファルトモルタル	—	なし

※20℃封かん養生を行い、材齢28日目にて試験した値

*1 土木研究所 先端材料資源研究センター（正会員）

*2 土木研究所 道路技術研究グループ 舗装チーム

*3 土木研究所 先端材料資源研究センター（正会員）

*4 国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部 道路基盤研究室(元土木研究所 道路技術研究グループ 舗装チーム)

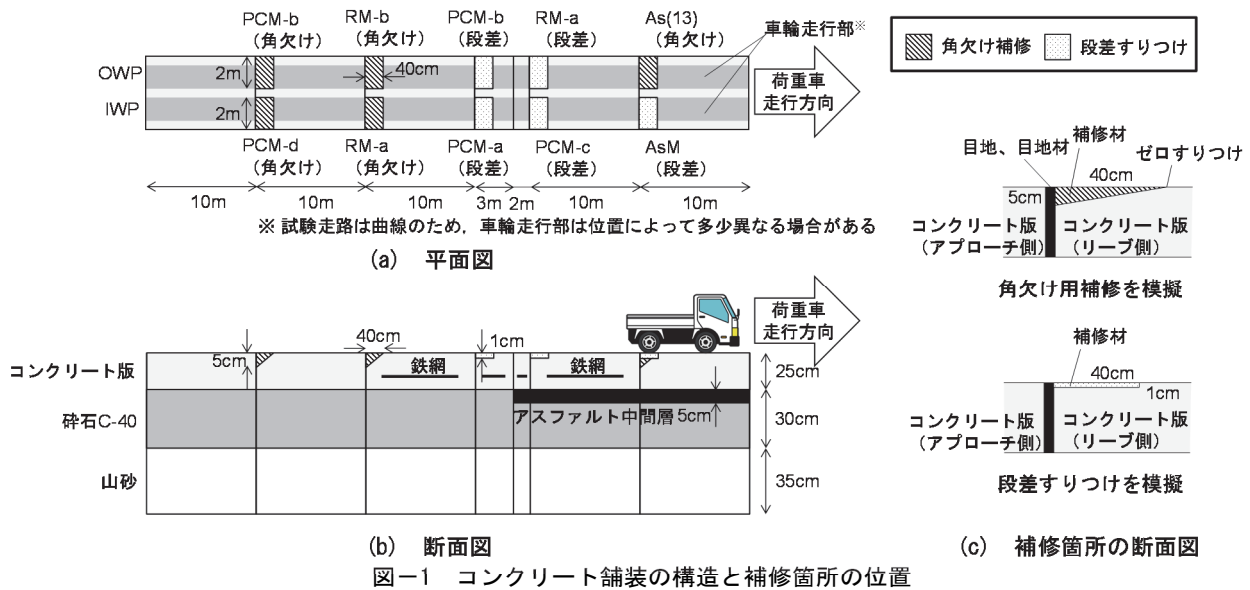


表-3 As(13)の使用材料

材料名	見掛密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)
6号碎石(砂岩)	2.683	0.70
7号碎石(砂岩)	2.675	1.05
粗砂(砕砂)	2.648	1.50
細砂(洗砂)	2.677	2.95
石粉	2.753	0.10
As(ストレートアスファルト 60-80)	-	-

表-4 As(13)の配合率

材料	骨材					As
	6号碎石	7号碎石	粗砂	細砂	石粉	
配合率(%)	21.5	15.9	27.1	23.4	5.6	6.4



(a) 模擬角欠け



(b) 模擬段差

写真-2 模擬破損

ファルト混合物(13)であり、それ以外の補修材はプレミックス品である。

2.3 耐久性の評価方法

試験走路の図-1、表-5、表-6に示す構造、配合、基本性状のコンクリート舗装区間の目地部(ダウエルバーあり)に、模擬破損を形成、補修材を施工した上で33t(約324kN)の荷重車を30km/hで走行させ(約25秒に1台通過する頻度)、耐久性の評価を行った。模擬破損は、実際の破損事例を参考に、深さ5cmの角欠けを模擬したもの(写真-2(a)、傾斜・ゼロすりつけあり)および、深さ1cmの段差を模擬したもの(写真-2(b))の2種類で、いずれも幅40cmの小型切削機を用いて図-1に示す

表-5 舗装コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単量(kg/m ³)				
		W	C	S	G	混和剤
40.5	38.1	149	368	682	1151	3.94

C:早強ポルトランドセメント, Gmax:20mm

表-6 舗装コンクリートの基本性状

施工	スランプ	空気量	曲げ強度(材齢7日)
2007年12月	6.0cm	4.9%	5.60MPa

表-7 荷重車の走行期間

荷重車走行期間	施工後の経過日数	累積走行回数(千回)	累積輪荷重(10 ⁶ kN)
2017/12/21(補修材施工)	0	0	0
2018/1/30 ~ 3/5	40 ~ 74	17	2.7
2018/4/16 ~ 5/11	116 ~ 141	33	5.4
2018/6/26 ~ 6/29	187 ~ 190	36	5.8

位置に形成した。なお、車輪の走行位置は毎回同じ位置ではなく、左右に25cmの範囲で振れるように制御されている。更に曲線の試験走路であることから車輪走行部は位置によって多少異なるため、車輪が必ず補修箇所を通過するように補修箇所の幅を約2mとした。

補修材を施工する際は、小型切削機による凹凸を残した状態で施工面を十分清掃し、表-1および表-2に示す補修材製造者が指定した処理を施した。As(13)は150℃で混合した後にプレートコンパクターを用いて転圧し、それ以外の補修材はこてを用いて施工した。

補修材の施工は、2017年12月に実施し、表-7に示す期間の昼間に荷重車を走行させた。また、荷重車走行に伴う補修材の変状を定期的に目視観察すると共に、ハンマーによる打音によって、付着切れによる補修材の浮きの有無を確認した。荷重車の走行は、2018年6月29

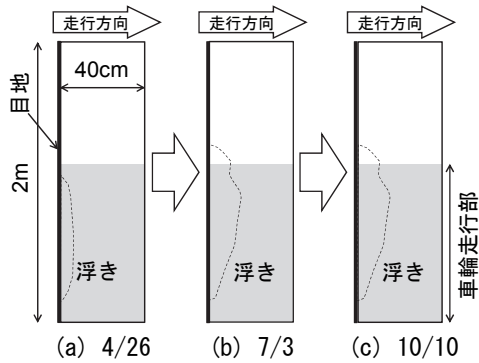


図-2 補修材の外観 (PCM-b(角欠け補修))

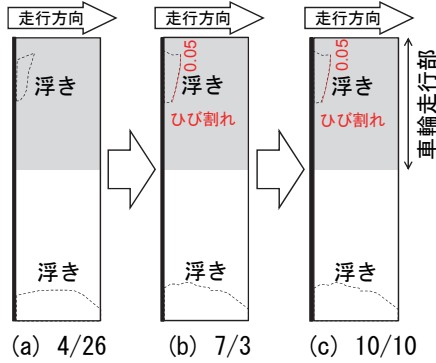


図-6 補修材の外観 (PCM-a(段差すりつけ))

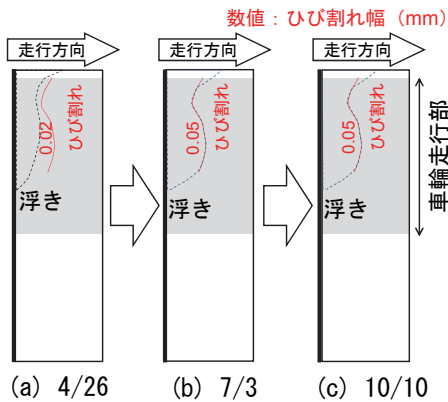


図-3 補修材の外観 (PCM-d(角欠け補修))

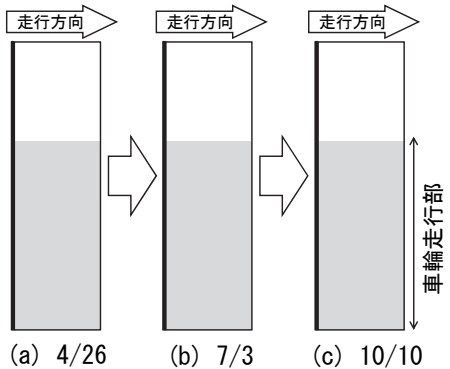


図-7 補修材の外観 (PCM-b(段差すりつけ))

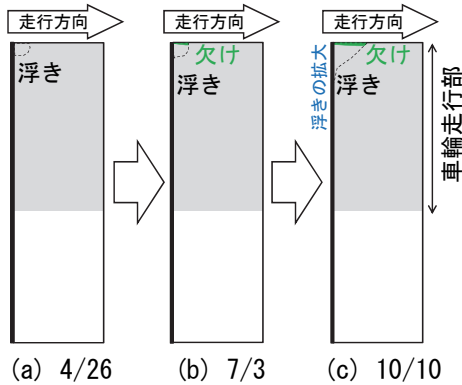


図-4 補修材の外観 (RM-a(角欠け補修))

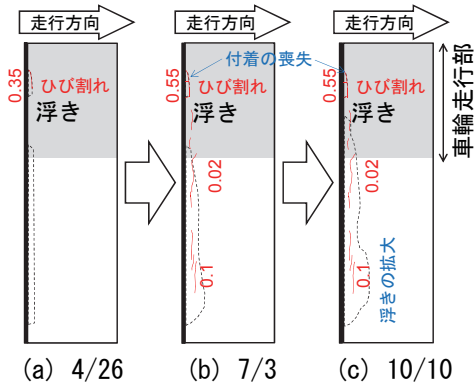


図-8 補修材の外観 (PCM-c(段差すりつけ))

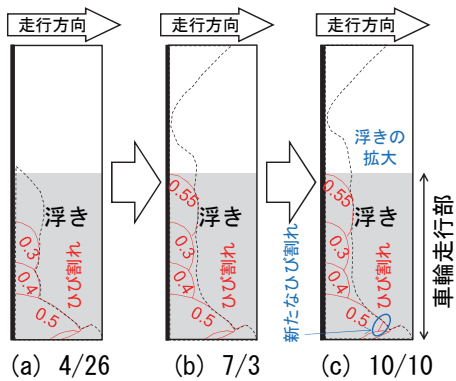


図-5 補修材の外観 (RM-b(角欠け補修))

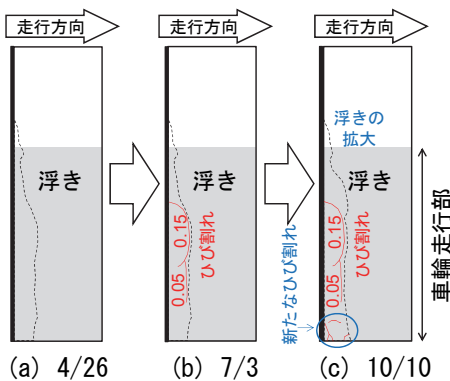


図-9 補修材の外観 (RM-a(段差すりつけ))

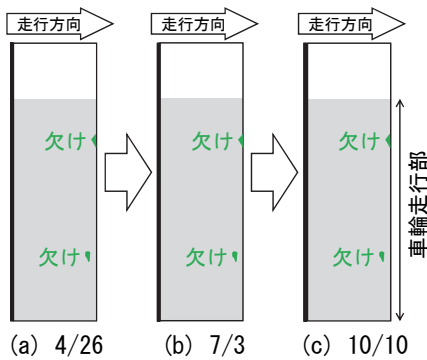


図-10 補修材の外観 (As(13) (角欠け補修))

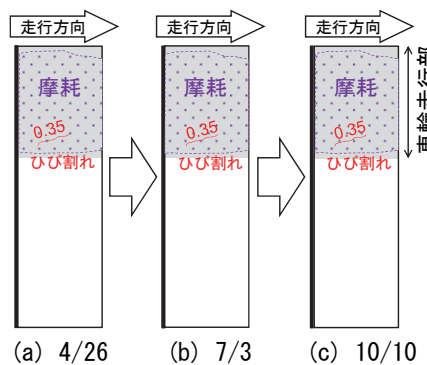


図-11 補修材の外観 (AsM(段差すりつけ))

日で一旦停止したが、補修材の外観観察および浮きの確認はその後も実施した。

3. 補修材の変状観察

3.1 変状観察結果の概要

各補修材の変状観察結果を図-2～図-11に示す。なお、図中の灰色の部分は車輪走行部を示している。本検討の範囲で最新の状況(10月10日)を見ると、RM-b(角欠け補修)は幅が0.3mm程度以上の顕著なひび割れや浮きが生じ、PCM-c(段差すりつけ)は補修材の一部が手で容易に取り除けるような状態となったが、補修材の飛散には至らなかった。その他には、浮きが生じた後に幅0.1mm程度以下のひび割れが生じたり、若干の欠けや表面の摩耗が生じたりするなど軽微な変状に留まったものが6箇所、一部に浮きが生じたのみに留まったものが1箇所、全く変状の生じなかったものが1箇所あった。今回、一部を除き、補修材の浮きが生じているのは主に目地側(荷重車の進入側)となっていたが、この理由は明確ではなく、今後の検討課題である。

3.2 RM-b(角欠け補修)の変状

最も顕著な変状が生じたのは、図-5に示すRM-b(角欠け補修)であり、4月26日(累積走行26千回)の観察で、補修材の浮きと、幅0.3～0.5mm程度の円弧状ひび割れが確認された。この時点で、浮きの生じた部分にはひび割れの生じていない箇所もあったが、再度5月2

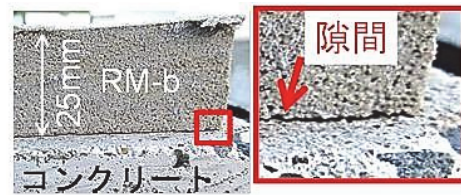


写真-3 暴露供試体に生じた界面の隙間 (RM-b)

表-8 角欠け補修用補修材の線膨張率

補修材		線膨張率 (10 ⁻⁶ /°C)
記号	種類	
PCM-b	ポリマーセメントモルタル	14.8
PCM-d	ポリマーセメントモルタル	14.8
RM-a	エポキシ樹脂モルタル	16.5
RM-b	アクリル樹脂モルタル	36.0
As(13)	細粒度アスファルト混合物(13)	—

表-9 段差すりつけ用補修材の線膨張率

補修材		線膨張率 (10 ⁻⁶ /°C)
記号	種類	
PCM-a	ポリマーセメントモルタル	14.0
PCM-b	ポリマーセメントモルタル	14.8
PCM-c	ポリマーセメントモルタル(柔軟型)	12.2
RM-a	エポキシ樹脂モルタル	16.5
AsM	常温硬化型アスファルトモルタル	—

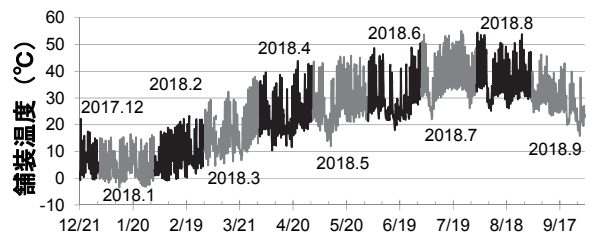


図-12 コンクリート舗装の温度 (深さ2.5cmの温度)

日(累積走行29千回)に観察すると、浮きの生じていない部分との境目付近に新たなひび割れが確認された。まず浮きが生じた後に輪荷重が作用したことでひび割れが生じたものと考えられる。7月3日(累積走行36千回)の観察では、浮きの生じた部分がさらに拡大していた。

一方、走行停止した後の7月3日と10月10日の観察結果を比較すると、浮きの生じた部分の拡大や新たなひび割れ(図中の青丸の位置)が確認できる。荷重車の走行が停止した状態でも変状の進行が確認されたことから、荷重車による輪荷重以外の要因によっても変状が進行したのと考えられる。

また、筆者らは今回と同一の補修材を基板コンクリートに塗布した供試体を作製し、2018年4月から同じつくば市内に暴露しているが、16ヶ月経過した段階で付着界面を観察すると、RM-bを用いた供試体の付着界面に、浮きによると考えられる隙間が観察された(写真-3)。

今回用いた補修材の線膨張率を表-8および表-9に示すが、RM-bは他の補修材や一般的なコンクリート(10

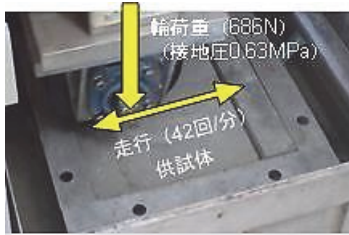


写真-4 水浸ホイールトラッキング試験機

×10⁻⁶/°C)程度)と比較して線膨張率が大きいことから、温度変化による寸法変化の差も大きく、コンクリート版との界面における付着切れが生じやすかったおそれがある。ただし、温度変化が補修材の付着に及ぼす影響については、さらに供試体に温度変化を作用させるなどの実験的検討による検証が必要と考えられる。なお、舗装走行実験場のコンクリート舗装区間の表面から2.5cm深さの位置の温度を図-12に示すが、温度差10~20°Cの温冷繰返しが毎日作用していることを確認している。

3.3 PCM-c (段差すりつけ) の変状

図-8に示すPCM-c (段差すりつけ) は、4月26日の観察で、車輪走行部の目地側に浮きと幅0.35mm程度のひび割れが確認された。また、車輪走行部ではない箇所においても、目地側に浮きが確認された。7月3日の観察では、浮きの生じた部分が拡大するとともに、最初に生じたひび割れは幅が0.55mm程度に拡大し、さらに浮きの生じた部分に環状に進展して付着が完全に喪失していた。飛散はしていないもの手で容易に取り除ける状態となっていた。筆者らは別途、室内輪荷重試験(目地部の角欠け補修または段差すりつけを模擬した供試体を作製し、写真-4の水浸ホイールトラッキング試験機を用いて60°C水浸、1時間の試験を実施)を検討したところ、PCM-cのみ、目地部に若干の欠けが生じた結果が得られており²⁾、今回の荷重車走行による検証でも欠けが生じやすい傾向が示されたものと考えられる。

なお、7月3日の観察では、車輪走行部ではない位置で浮きの生じた部分に幅0.1mm程度以下の微細なひび割れが認められたが、この原因は明確ではない。さらに、10月10日の観察では、RM-b (角欠け補修)と同様に、走行停止後の浮きの生じた部分の拡大が確認された。

3.4 アスファルト系補修材の変状

図-10に示すAs(13) (角欠け補修) は4月26日の観察でゼロすりつけ側の一部に若干の欠けが確認された。また、図-11に示すAsM (段差すりつけ) は4月26日の観察で一部に幅0.35mm程度のひび割れが、表面には走行による摩耗と考えられる細骨材の露出が確認された。As(13)、AsM共に10月10日まで外観上、顕著なわだち掘れなどの目立った変状の進行は読み取れなかった。



写真-5 マルチロードプロファイラ (MRP)

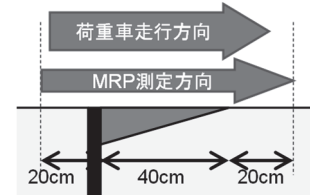


図-13 MRPによる表面の凹凸の測定位置

3.5 その他の補修材の変状

図-3に示すPCM-d (角欠け補修) は補修材の一部(目地側)に浮きと、幅0.05mm程度のひび割れが確認された。図-6に示すPCM-a (段差すりつけ)、図-9に示すRM-a (段差すりつけ) は、浮きの生じていない部分との境目付近に幅0.05~0.15mm程度のひび割れが確認された。これらは、3.2で述べたRM-b (角欠け補修)と形態が類似しており、同様の変状が生じていると考えられる。

図-7に示すPCM-b (段差すりつけ) は変状が生じなかったが、同じ補修材を用いた図-2に示すPCM-b (角欠け補修) は浮きを確認した。なお、本検討の範囲ではひび割れは生じなかった。

図-4より、RM-a (角欠け補修) は4月26日の観察で目地側に補修材の浮きが確認されたが、7月3日までには、若干の欠けを確認した。さらに、10月10日の観察で、走行停止後の浮きの生じた部分の拡大が確認された。

4. 変形抵抗性の評価

4.1 評価方法

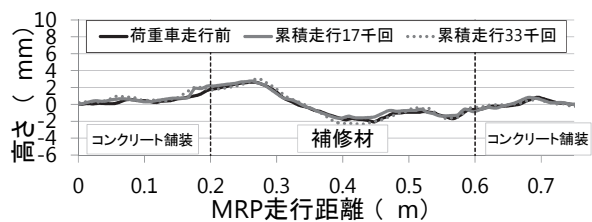
荷重車の走行による補修材の外観観察に加え、変形抵抗性の評価を定期的実施した。変形抵抗性は、写真-5のマルチロードプロファイラ(以下、MRP)を用いて補修材表面の凹凸を測定することで評価した。また、測定は図-13に示すように、荷重車走行方向と同じ方向に測定し、補修材の前後20cmを含めて測定した。

4.2 表面の凹凸の測定結果

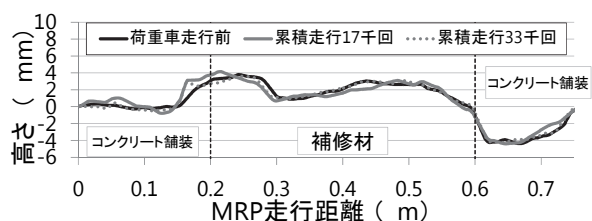
MRPによる凹凸の測定結果を図-14に示す。ポリマーセメント系については代表例としてPCM-b (段差すりつけ)とPCM-c (段差すりつけ)を、樹脂系については代表例としてRM-b (角欠け補修)を示した。また、アスファルト系については、As(13)とAsMの双方を示した。

変状が確認されなかったPCM-b (段差すりつけ) およびひび割れや浮きの生じたPCM-c (段差すりつけ) は、荷重車の走行回数が増加してもほとんど表面の凹凸に差は確認されなかった。他のポリマーセメント系およびRM-b (角欠け補修)を除く樹脂系も同様であった。

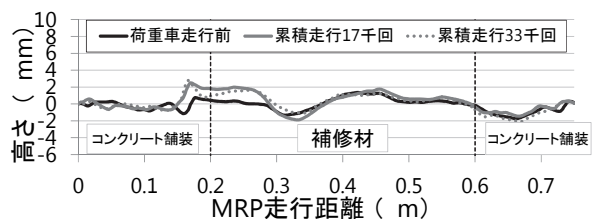
最も顕著な変状の生じたRM-b (角欠け補修)も大部分は表面の凹凸に差が確認されなかったが、補修材手前側が、走行回数が増加すると浮き上がるような変化が確



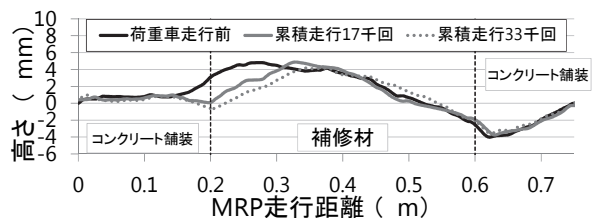
(a) PCM-b(段差すりつけ)



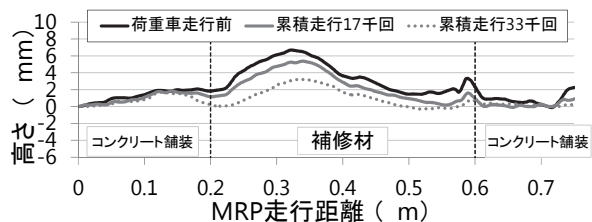
(b) PCM-c(段差すりつけ)



(c) RM-b(角欠け補修)



(d) As(13)(角欠け補修)



(e) AsM(段差すりつけ)

図-14 補修材の表面凹凸測定結果

認められた。これは、図-5 に示すような浮きと顕著なひび割れによるものと考えられる。

一方、As(13)は走行回数が増加すると、荷重車の進行方向に変形していることが分かる。また、AsMは走行回数が増加すると、補修材の高さが低くなっていることが分かる。図-11 では摩耗による細骨材の露出が確認され

ていることから、高さが低くなったと考えられる。別途検討した水浸ホイールトラッキング試験機(写真-5)を用いた室内輪荷重試験²⁾でも、高温で軟化するアスファルト系補修材は顕著なわだち掘れが生じたが、ポリマーセメント系および樹脂系補修材はほとんど変形しなかった。荷重車走行による検証でも同様の傾向が示されたものと考えられ、ポリマーセメント系および樹脂系の補修材は、アスファルト系補修材に比べて輪荷重による変形抵抗性が高いことが確認された。

5. まとめ

舗装走行実験場の試験走路に模擬破損を形成して補修材を施工し、荷重車の走行により補修箇所の耐久性を検証した結果、これまでに次のことが分かった。

- (1) 補修箇所の一部に付着切れによると考えられる補修材の浮きが生じ、その後、浮きの生じた部分に輪荷重が作用することでひび割れが生じるといった順で変状が生じていることが想定された。
- (2) 補修材の浮きは目地側(荷重車の進入側)に生じやすく、一方、ゼロすりつけ部は概ね健全であった。
- (3) 荷重車の走行停止後においても、補修材の浮きが生じた部分の面積が拡大したり、新たなひび割れの発生が確認されたりする結果が得られた。このことから、荷重車の輪荷重以外の要因によっても変状が進行することが確認された。
- (4) (3)の要因として、線膨張係数の大きい補修材の状況から、日々の温度変化による寸法変化が付着切れの原因となったおそれがある。
- (5) アスファルト系補修材は、荷重車の走行回数の増加に伴い、変形が確認された。ポリマーセメント系および樹脂系補修材ではほとんど変形せず、高い変形抵抗性が確認された。

謝辞

本研究は、東京農業大学、セメント協会、コニシ、大成ロテック、太平洋セメント、太平洋マテリアル、秩父コンクリート工業、日本道路、三菱マテリアルとの共同研究として行ったものである。模擬破損の形成、補修材の提供ならびに施工に多大なる協力を頂いたので、ここに謝意を示す。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：舗装設計便覧，p.173，2006
- 2) 加藤祐哉，若林由弥，川島陽子，古賀裕久：コンクリート舗装補修箇所の輪荷重に対する耐久性評価，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第18巻，pp.173-178，2018