

実物大試験によるコンクリート舗装補修箇所の耐久性評価

加藤祐哉・内田雅隆・古賀裕久・若林由弥

1. はじめに

コンクリート舗装は耐久性が高いが、長期の供用中には破損が生じることがある。コンクリート舗装では、目地部の角欠けなど軽微な破損が最も多く見られ、補修が行われている。補修材には様々な種類があり、特に交通規制時間が短く済むためアスファルト系の補修材が広く用いられているが、中には数日で再度の破損が生じて補修を繰り返す事例があるなど、補修箇所の耐久性には課題がある。

そこで土木研究所では、東京農業大学、(一社)セメント協会、コニシ(株)、大成ロテック(株)、太平洋セメント(株)、太平洋マテリアル(株)、秩父コンクリート工業(株)、日本道路(株)、三菱マテリアル(株)との共同研究で、主にセメント系および樹脂系補修材を対象とし、段差や角欠けの補修箇所の耐久性向上に必要な補修材の性質などを検討した。これに関して過去に水浸ホイールトラッキング試験機を用いた室内試験による耐久性の評価結果を紹介したが、本報文では荷重車を用いた実物大試験による検討結果を紹介する。

2. 耐久性評価の方法

2.1 実物大試験の概要

試験は、土木研究所（つくば市）の舗装走行実験場（写真-1）で行った。本施設は、試験走路上に33t（約324kN）の荷重車を走行させ、舗装の耐久性などを評価できるものである。

試験走路のコンクリート舗装区間の目地部に段差や角欠けを模擬した破損を形成し、補修材施工後に荷重車を走行させて耐久性の評価を行った。本施設の荷重車の車輪については、試験走路の形状が円形であることなどから、実際の車輪走行部は場所によって多少異なる。そこで、車輪が必ず全ての補修箇所の上を通過するように、各補修箇所の幅は2mと十分な値に設定した。

2.2 使用した補修材

段差補修用に表-1の5種類、角欠け補修用に表-2の5種類の補修材を用いた。弾性係数が比較的小さい（柔軟型）PCM-cや、線膨張率の大きいRM-bなど、種々の性質のものが含まれるよう選定した。

2.3 補修材の施工と試験期間

補修箇所は実際の事例を参考に、深さ1cmの模擬段差（図-1(a)、5種類）と深さ5cmの模擬角欠け（傾斜・ゼロすりつけあり）（図-1(b)、5種類）とし、小型切削機を用いて走行方向の長さが40cmのものを形成した。なお、補修材を施工する際には、弱点になりやすいゼロすりつけ（図-1(b)参照）を避けるために、カッターを入れて補修厚さを確保するこ



写真-1 舗装走行実験場（つくば市）
（左：上空からの全景、右：荷重車）

表-1 段差に用いた補修材

補修材		弾性係数 (GPa)*	線膨張率 (×10 ⁻⁶ /℃)	施工面の 処理方法
記号	種類			
PCM-a	ポリマーセメントモルタル	25.1	10.8	水湿し
PCM-b	ポリマーセメントモルタル	29.8	14.8	水湿し
PCM-c	柔軟型ポリマーセメントモルタル	3.8	12.2	水湿し
RM-a	エポキシ樹脂モルタル	18.3	15.7	プライマー
AsM	常温硬化型アスファルトモルタル	—	—	特になし

表中の色の分類：

赤：セメント系 緑：樹脂系 黒：アスファルト系（以降、同様）

※20℃封かん養生で材齢28日に測定

表-2 角欠けに用いた補修材

補修材		弾性係数 (GPa)*	線膨張率 (×10 ⁻⁶ /℃)	施工面の 処理方法
記号	種類			
PCM-b	ポリマーセメントモルタル	29.8	14.8	水湿し
PCM-d	ポリマーセメントモルタル	24.8	14.9	水湿し
RM-a	エポキシ樹脂モルタル	18.3	15.7	プライマー
RM-b	アクリル樹脂モルタル	10.5	38.5	特になし
As(13)	細粒度アスファルト混合物(13)	—	—	タックコート

※20℃封かん養生で材齢28日に測定

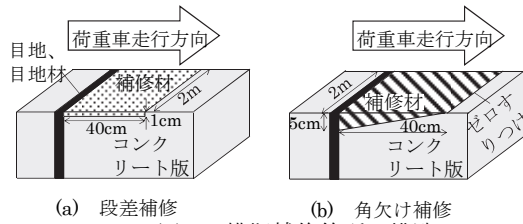


図-1 模擬補修箇所構造

表-3 荷重車の走行期間

荷重車の走行期間	施工後の経過日数	49kN換算輪数	累積走行台数(千回)
0 2017/12/21 (施工)	0	0	0
1 2018/1/30~3/5	40~74	10万	17
2 2018/4/16~5/11	116~141	20万	33
3 2018/6/26~6/29 (中断)	187~190	21.5万	36
2018/10/17~11/13	300~327	30万	50
4 2018/11/17~11/29 (中断)	331~343	32.4万	54
2019/1/7~1/31	382~406	40万	67

とが一般的であるが、今回は厳しい条件で補修箇所の耐久性を確認するため、角欠けは図-1(b)の形状とした。ただし、今回の検討の範囲では、ゼロすりつけ部に起因する変状はほとんど確認されなかった。

補修材を施工する際は、補修面の粗面を再現するために小型切削機による凹凸を残した状態とし、脆弱部の除去など十分に清掃して表-1および表-2に示す製造者指定の処理を施した上で施工した。補修材の施工は2017年12月に実施し、表-3に示す4つの期間（1期間あたり49kN換算で10万輪走行）に荷重車を走行させた。定期的に補修箇所を目視観察すると共に、打音によって補修材の浮きが疑われる箇所の有無を確認した。なお、3番目と4番目の期間には施設整備による走行中断期間がある。

3. 実物大試験で生じた外観変状

3.1 観察結果の概要

試験後の観察結果の概要を表-4に示す。PCM-a（段差用）、PCM-b（段差用、角欠け用）、PCM-b（角欠け用）では、補修材の表面に軽微なひび割れや、打音で浮きが疑われる異音が認められたが、軽微な変状の状態では概ね安定しているようであった。PCM-c（段差用）、RM-a（段差用、角欠け用）、RM-b（角欠け用）では、広範囲な浮きが疑われたり、補修材表面に幅0.3mm以上のひび割れが生じたり、部分的に欠けが生じたりするなど長期的に進展し得る変状が認められた。ただし、いずれも試験期間中に補修材が剥がれて補修効果が損なわれるような状態には至らなかった。AsM（段差用）とAs(13)（

表-4 補修箇所外観

段差用					角欠け用				
補修材	浮き	ひび割れ	欠け	摩耗	補修材	浮き	ひび割れ	欠け	摩耗
PCM-a	○	○	◎	◎	PCM-b	○	○	◎	◎
PCM-b	◎	○	◎	◎	PCM-d	○	○	◎	◎
PCM-c	△	△	△	◎	RM-a	○	△	○	◎
RM-a	△	△	◎	◎	RM-b	△	△	○	◎
AsM	◎	○	◎	△	As(13)	◎	◎	○	◎

凡例： ◎変状なし ○変状あり（軽微） △変状あり

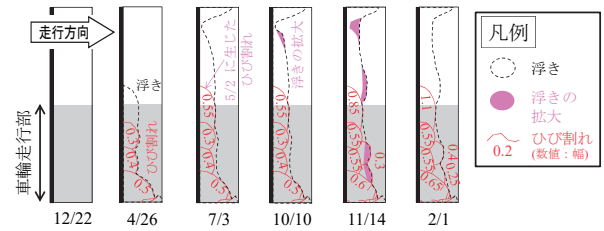


図-2 補修箇所の外観変化 (RM-b (角欠け用))

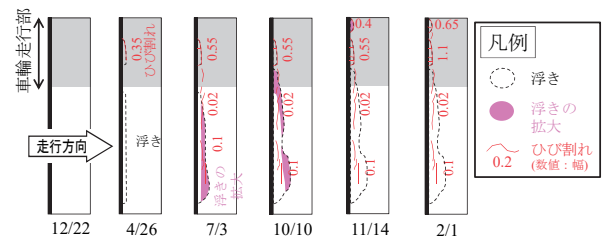


図-3 補修箇所の外観変化 (PCM-c (段差用))

角欠け用）では、若干の欠けや摩耗など軽微な変状に留まった。次項以降に、代表的な補修箇所の状況について示す。

3.2 RM-b（角欠け用）の変状

ひび割れが比較的目的立った補修箇所の例として、RM-b（角欠け用）の外観変化を図-2に示す。まず、2018年4月26日の打音調査で補修材の浮きが疑われる箇所と円弧状ひび割れが認められた。期間が経過すると、浮きが疑われる範囲が拡大し、その境界部を追うように新たなひび割れが生じた。この発生順序から、まず補修材とコンクリートの付着の喪失による浮きが生じ、その後の荷重車走行によってひび割れが生じたと考えられる。表面のひび割れ幅が比較的大きいことから、ひび割れが貫通しているおそれもある。ただし、調査時に触診した範囲では、円弧状ひび割れで囲まれた範囲が容易にはがれることはなく、本試験の範囲では補修断面は維持されていた。RM-b（角欠け用）より変状の範囲は狭いが、RM-a（段差用）でも同様な変状が見られた。

図-2に示した7月5日と10月10日の間は荷重車が走行していないが、打音調査で浮きが疑われる箇所がやや拡大していた。また、筆者らは同じ補修材を

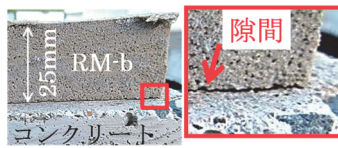


写真-2 暴露供試体 (RM-b) に生じた付着界面の隙間

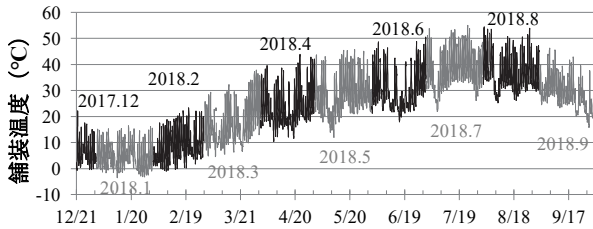


図-4 コンクリート舗装の温度 (深さ2.5cm)

用いた供試体の暴露試験を別途行っているが、RM-bを用いた供試体には写真-2に示すようにコンクリートとの付着界面に隙間が生じていた。RM-bとコンクリートの間に付着の喪失が生じた理由は明確ではないが、RM-bの線膨張率 (表-2) は $38.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と他の補修材よりも大きく、一般的なコンクリート ($10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度³⁾) との差が大きいこと、また、図-4に舗装走行実験場の補修箇所施工後のコンクリート舗装の温度 (補修箇所近傍で日照条件等が同様な箇所の表面から深さ2.5cmの値) を示すが、温度差10～20℃の温度変化が毎日作用しており、これらのことが、要因の1つとして考えられる。前回の報文²⁾で紹介した室内試験では、RM-bをはじめとしたセメント系、樹脂系補修材は付着の喪失やひび割れが生じなかったが、これは、室内試験は温度の変動がないため、温度変化のある暴露試験や実物大試験とは結果が異なると考えられる。

3.3 PCM-c (段差用) の変状

欠けが比較的目的立った補修箇所の例として、PCM-c (段差用) の外観変化を図-3に示す。4月26日の観察で浮きが疑われる箇所が確認され、車輪走行部には幅0.35mmのひび割れも確認された。7月3日には浮きの範囲が拡大すると共に、最初に生じたひび割れは幅が0.55mmに拡大して環状に進展し、付着が喪失して手で取り除けることを確認した (写真-3)。室内試験でも写真-4のような小規模な欠けが目地部に生じており²⁾、予め室内試験で確認することも有効と考えられる。

なお、輪荷重が直接作用しない部分にも浮きや微細なひび割れが生じた。線膨張率 (表-1) は $12.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と、一般的なコンクリートとの差は大きくなく、現時点ではこの浮きの原因は明確ではない。

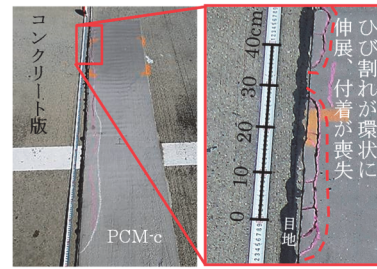


写真-3 付着の喪失状況 (PCM-c)

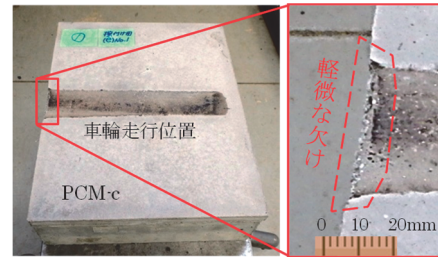
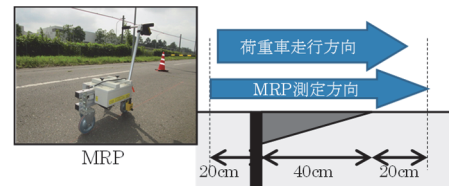
写真-4 目地部の欠け (PCM-c、室内試験結果²⁾)

図-5 MRP (マルチロードプロファイラ) と測定位置

4. 補修箇所の表面凹凸

4.1 表面凹凸の測定方法

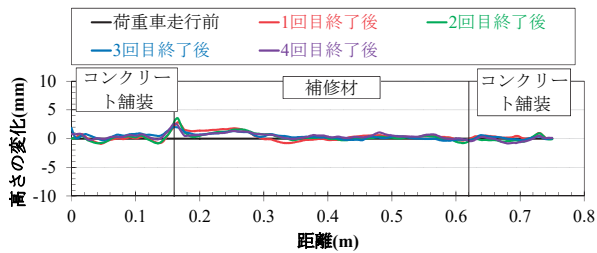
外観観察では顕著でない表面凹凸は読み取りにくいことから、図-5のマルチロードプロファイラ (MRP) で表面凹凸の変化を測定した。表面凹凸は、図-5に示すように補修箇所の前後20cmを含めて、荷重車走行方向と同じ方向に約80cm測定した。

4.2 表面凹凸の測定結果

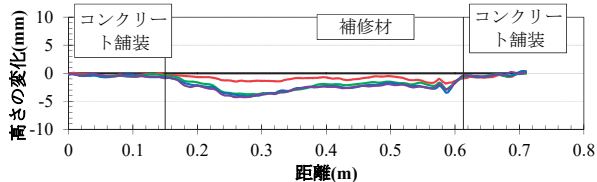
代表的な補修箇所の表面凹凸について、荷重車走行前に対する高さの変化を図-6に示す。樹脂系とセメント系の例としてRM-b (角欠け用) を示した。

RM-b (角欠け用) は、ひび割れや浮きが疑われる範囲が比較的大きかったもので、目地側にやや浮き上がるような変化が見られたが、荷重車の走行が増加してもほとんど高さは変化していなかった。他のセメント系、樹脂系補修材で補修した箇所もほとんど高さは変化しなかった。

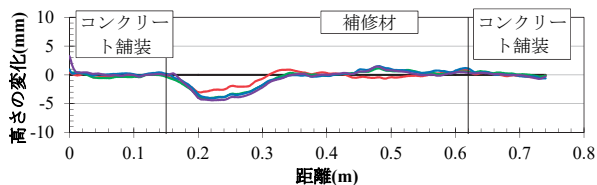
一方、アスファルト系については、夏期の走行中断期間があったが、走行回数の増加に応じて高さが低下し、変形を確認した。アスファルト系は室内



(a) RM-b (角欠け用)



(b) AsM (段差用)

(c) As(13) (角欠け用)
図-6 補修箇所の表面凹凸の変化

試験²⁾でも顕著なわだち掘れが生じている。

セメント系、樹脂系補修材は、輪荷重による変形は極めて生じにくいことが確認された。

5. まとめ

10種類の補修材を用い、荷重車走行により補修箇所の耐久性を評価した結果、次のことが分かった。

- (1) セメント系および樹脂系補修材を用いた補修箇所のうち半数は、試験期間において変状がほとんどないか軽微であり、概ね健全であった。
- (2) アスファルト系補修材は、今回の試験では浮きや剥離は生じなかったが、摩耗や輪荷重による変形が確認された。一方、セメント系および樹脂系補修材では摩耗や変形はほとんど生じず、

輪荷重による摩耗や変形に対する抵抗性が高いことが実物大試験でも確認された。

- (3) セメント系および樹脂系補修材を用いた補修箇所の半数は比較的変状が目立ったが、まず付着の喪失による浮きが生じ、その後にひび割れが生じる形態のものが多かった。
- (4) (3) に示した浮きは、荷重車の走行中断期間も範囲が拡大したものがあつた。原因は明確ではないが、線膨張率がコンクリートの線膨張率との差の大きな補修材で顕著であり、温度変化に伴う寸法変化が要因の1つとして考えられた。

6. 今後の検討課題

セメント系および樹脂系補修材において、補修箇所の耐久性を向上させるには、如何に付着を長期間維持するかが重要と考えられる。

付着が喪失した要因の1つに、コンクリート版との線膨張率の差が考えられたが、線膨張率があまり変わらない補修材にも浮いた事例があるため、引き続き検討が必要である。

また、今回の試験では模擬破損の脆弱部を除去したが、補修面の表面状態について検討していない。このため、表面状態が耐久性に及ぼす影響についても検討したいと考えている。

参考文献

- 1) 磯田卓也、上野千草、安倍隆二、木村孝司：積雪寒冷地における既設コンクリート舗装の破損および補修の現状、土木学会第71回年次学術講演会、pp.29~30、2006
- 2) 加藤祐哉、古賀裕久：コンクリート舗装の補修箇所の輪荷重による耐久性評価、土木技術資料、第60巻、第8号、pp.12~15、2018
- 3) 社団法人日本道路協会：舗装設計便覧、p.173、2006

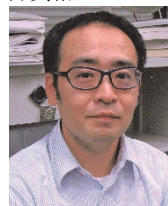
加藤祐哉

土木研究所先端材料資源
研究センター材料資源研
究グループ 研究員
KATO Yuya

内田雅隆

土木研究所道路技術研
究グループ舗装チーム 交
流研究員
UCHIDA Masataka

古賀裕久

土木研究所先端材料資源
研究センター材料資源研
究グループ 上席研究員
KOGA Hirohisa

若林由弥

国土交通省国土技術政策
総合研究所道路構造物研
究部道路基盤研究室 研
究官
WAKABAYASHI Yuya