

コンクリート舗装の維持修繕工法の 改善に関する共同研究報告書

Ⅱ 「補修技術の改善」編

2019年3月

国立研究開発法人土木研究所

学校法人東京農業大学

一般社団法人セメント協会

コニシ株式会社

大成ロテック株式会社

太平洋セメント株式会社

日本道路株式会社

太平洋マテリアル株式会社

秩父コンクリート工業株式会社

三菱マテリアル株式会社

Copyright © (2019) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

コンクリート舗装の維持修繕工法の改善に関する共同研究報告書

Ⅱ 「補修技術の改善」編

(国研)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	西 崎 到
	上 席 研 究 員	古 賀 裕 久
	主 任 研 究 員	佐 々 木 巖
	研 究 員	川 島 陽 子
	研 究 員	加 藤 祐 哉
(国研)土木研究所 つくば中央研究所 道路技術研究グループ (舗装)	上 席 研 究 員	藪 雅 行
	主 任 研 究 員	岩 永 真 和
	交 流 研 究 員	内 田 雅 隆
(国研)土木研究所 寒地土木研究所 寒地保全技術研究グループ (寒地道路保全)	上 席 研 究 員	丸 山 記 美 雄
	研 究 員	上 野 千 草
	研 究 員	佐 藤 圭 洋
(学)東京農業大学	教 授	小 梁 川 雅
(一社)セメント協会 研究所 技術情報グループ	グ ル ー プ リ ー ダ ー	島 崎 泰
ユニシ(株) 浦和研究所 研究開発第 4 部	研 究 員	熊 谷 慎 祐
大成ロテック(株) 生産技術本部	課 長 代 理	長 山 清 一 郎
太平洋セメント(株) 中央研究所 第 2 研究部	主 任 研 究 員	岸 良 竜
	研 究 員	丸 田 浩
日本道路(株) 生産技術本部	課 長	弓 木 宏 之
	研 究 員	藤 井 洋 志
太平洋マテリアル(株) 開発研究所 機能性材料グループ	研 究 員	赤 江 信 哉
秩父コンクリート工業(株) 技術開発部	技 術 開 発 部 長	清 水 進
三菱マテリアル(株) セメント事業カンパニー セメント研究所	主 任 研 究 員	高 原 幸 之 助

要 旨 :

本共同研究では、コンクリート舗装の維持修繕工法の改善を目的に、3つのWGを設置し検討を実施しており、本報告書は、その中のひとつのWGである「維持工法WG」にて実施した補修技術に関する検討結果を取りまとめたものである。

コンクリート舗装は、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が、普及が進んでいない。その要因として、破損した場合の補修の困難さ、補修箇所の耐久性の低さなどの維持管理上の課題が挙げられる。そこで、補修箇所の耐久性向上のために求められる補修材の性質や評価方法などを検討する目的で研究を行った。

本報告は、目地部に生じた段差や角欠けなどの軽微な破損に対する補修について検討し、明らかとなった事項を報告・提案するものである。

キーワード：コンクリート舗装，軽微な破損，補修，パッチング，補修箇所の耐久性

目 次

1.	はじめに	1
1.1	コンクリート舗装の補修の実態と課題	1
1.1.1	コンクリート舗装の補修の実態把握	1
1.1.2	道路管理者に対する補修の現状に関する聞き取り調査	3
1.1.3	コンクリート舗装の補修に関する課題の整理	4
1.2	研究の範囲と目的	4
1.3	共同研究体制	6
2.	補修材に求められる性質	9
2.1	概要	9
2.2	本研究で実施した検討項目	9
3.	使用した補修材の基本的性質	13
3.1	研究に用いた補修材	13
3.2	補修材単体の基本的性質	14
3.2.1	フレッシュ性状	14
3.2.2	強度特性	15
3.2.3	寸法変化に関する性質	23
3.2.4	凍結融解抵抗性	27
3.3	まとめ	29
4.	剥離抵抗性	31
4.1	概要	31
4.2	剥離抵抗性の評価方法	31
4.2.1	概要	31
4.2.2	基板の作製	31
4.2.3	使用した補修材	32
4.2.4	補修材の施工	33
4.2.5	プルオフ強度の測定方法	34
4.3	補修材の標準、夏期、冬期に応じた剥離抵抗性	34
4.3.1	評価方法	34
4.3.2	試験結果	35
4.3.3	まとめ	40

4.4	湿潤環境の影響	41
4.4.1	概要	41
4.4.2	試験方法	41
4.4.3	試験結果	42
4.4.4	まとめ	44
4.5	乾湿繰返し・温度変化の影響	44
4.5.1	概要	44
4.5.2	試験方法	44
4.5.3	試験結果	45
4.5.4	まとめ	51
4.6	凍結融解作用の影響	51
4.6.1	概要	51
4.6.2	試験方法	51
4.6.3	試験結果	52
4.6.4	まとめ	58
4.7	まとめ	58
5.	輪荷重に対する耐久性	61
5.1	概要	61
5.2	評価試験方法	62
5.3	試験後の外観	65
5.3.1	擦付け用	65
5.3.2	角欠け用	65
5.4	輪荷重が剥離抵抗性に及ぼす影響	70
5.4.1	擦付け用	70
5.4.2	角欠け用	71
5.5	まとめ	73
6.	すり減り抵抗性	75
6.1	概要	75
6.2	測定方法	75
6.3	供試体の作製方法	76
6.4	測定結果	77
6.5	まとめ	77

7.	すべり抵抗性	79
7.1	概要	79
7.2	評価方法および使用材料	79
7.3	補修材施工状況	83
7.4	試験結果	84
7.5	まとめ	86
8.	暴露試験	87
8.1	概要	87
8.2	試験方法	87
8.3	外観の変化	90
8.4	暴露供試体の剥離抵抗性	96
8.5	まとめ	101
9.	屋外実物大試験	103
9.1	概要	103
9.2	屋外実物大試験の概要	103
9.2.1	試験の概要	103
9.2.2	使用した補修材	105
9.2.3	補修材の施工と試験期間	106
9.3	外観の変化	107
9.3.1	観察結果の概要	107
9.3.2	変状観察結果	107
9.3.3	暴露供試体による確認	116
9.4	補修箇所の表面凹凸の変化	119
9.4.1	表面凹凸の測定方法	119
9.4.2	表面凹凸の測定結果	119
9.5	すべり抵抗性の変化	125
9.5.1	概要	125
9.5.2	すべり抵抗性の評価結果	126
9.6	まとめ	127
10.	まとめ	129

資料 1.	剥離抵抗性の評価方法の検討結果	134
資 1.1	概要	134
資 1.2	基板の検討	134
資 1.3	供試体の作製方法	137
資 1.4	プルオフ強度の測定方法	138
資 1.5	プルオフ強度の測定結果	139
資 1.6	まとめ	140
資料 2.	輪荷重に対する耐久性の評価方法の検討結果	143
資 2.1	概要	143
資 2.2	予備検討	143
資 2.3	模擬目地を有する供試体の検討	145
資 2.3.1	輪荷重載荷時の目地部の挙動	145
資 2.3.2	長時間の輪荷重載荷による沈下量の変化の確認	147
資 2.3.3	まとめ	147
資 2.4	試験条件の検討	148
資 2.4.1	輪荷重載荷時間の検討	148
資 2.4.2	試験温度の検討	149
資 2.4.3	水浸の検討	151
資 2.5	まとめ	152
資料 3.	寒冷地における輪荷重に対する耐久性評価の検討	153
資 3.1	概要	153
資 3.2	検討内容	153
資 3.2.1	供試体の形状	153
資 3.2.2	試験方法	154
資 3.3	試験結果	155
資 3.3.1	擦付け用補修材の試験結果	155
資 3.3.2	角欠け用補修材の試験結果	157
資 3.3.3	輪荷重の影響比較	159
資 3.3.4	凍結融解の影響	160
資 3.3.5	補修材の評価	160
資 3.4	まとめ	161

1. はじめに

1.1 コンクリート舗装の補修の実態と課題

コンクリート舗装は耐久性が高く、舗装の長寿命化やライフサイクルコスト (LCC) の低減が期待できる。しかし、我が国の道路舗装に占めるコンクリート舗装のシェアは 5%程度で、ほとんどがアスファルト舗装であり¹⁾、普及が進んでいないのが現状である。

コンクリート舗装を管理する道路管理者に、コンクリート舗装の長所と短所についてアンケート調査を行うと、表-1.1.1 に示す結果となった。回答の中に「破損した場合の補修が困難」があり、普及の障害の1つにコンクリート舗装の維持管理上の課題があることが分かる。

表-1.1.1 道路管理者が考えるコンクリート舗装の長所と短所について

長所	短所
<ul style="list-style-type: none">・アスファルト舗装に比べて供用寿命が長い・アスファルト舗装に比べて LCC の削減が可能・アスファルト舗装に比べて夜間視認性が高い・アスファルト舗装に比べて路面温度が低い・骨材、セメントの安定供給が可能	<ul style="list-style-type: none">・目地があるため乗り心地が良くない・破損した場合の補修が困難・交通騒音、振動、乗り心地の悪化・公共占用施設の埋設工事が困難・アスファルト舗装に比べて初期コストが高い・交通開放するまでの時間が長い

1.1.1 コンクリート舗装の補修の実態把握

研究を開始するにあたってコンクリート舗装の補修の実態把握を目的に、過去に行われた北海道内のコンクリート舗装区間を対象とした軽微な破損の発生状況観察結果を示す。これは平成 24 年に調査した区間に対して、平成 27 年に同区間を再確認したものである。観察を行った区間は、北海道内の一般国道の明かり部において、延長が比較的長く、アスファルト混合物によるオーバーレイが行われていない約 10.8km の区間である。

(1) 破損状況

破損状況は図-1.1.1 に示すとおりであった。目地部の破損（角欠けなど）が最も多く、穴あきがそれに続いて多い。また、平成 24 年の調査では破損数は 227 件であるのに対し、平成 27 年の調査では 773 件と破損件数の増加が確認された。破損別では、目地部の破損件数は 113 件から 447 件に増加しており、他の破損と比べて増加割合が高かった。

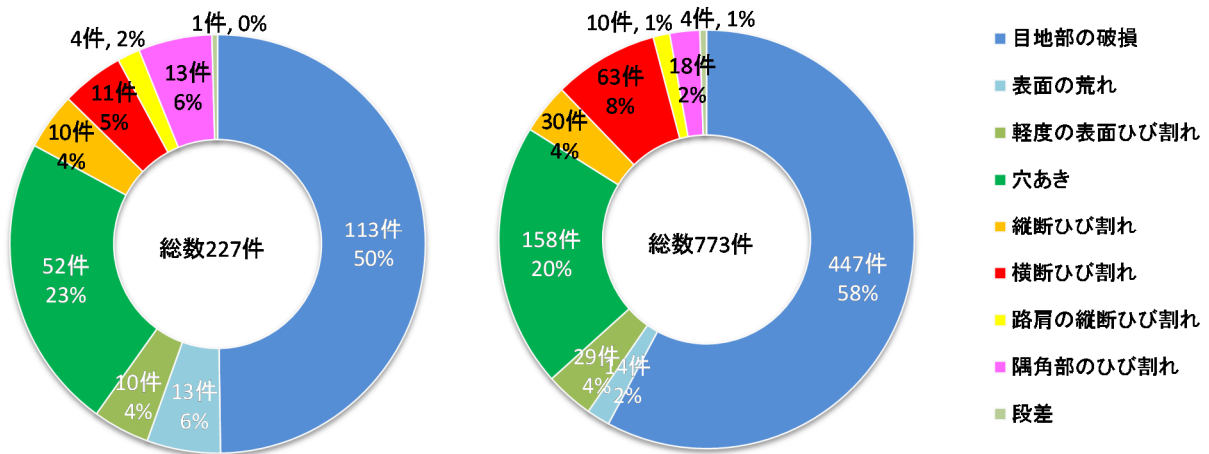


図-1.1.1 破損件数 (左：平成 24 年、右：平成 27 年)

(2) 補修箇所の状態

軽微な目地部の破損（段差や角欠けなど）や舗装の穴あき等は、補修材でこれを埋めること（パッチング）により補修されるのが一般的である。補修箇所の状態は表-1.1.2 に示すとおりであった。ここでは、補修材にひび割れや剥離・飛散が発生していないものを「良好」、ひび割れが軽度、もしくは剥離・飛散が 20%程度以下のものを「概ね良好」、それ以外を「不良」と定義し、評価を行った。

表-1.1.2 コンクリート舗装の補修箇所の状態

		H24	H27
アスファルト系補修材による補修が全補修件数に占める割合		86%	90%
セメント系補修材による補修が全補修件数に占める割合		14%	9%
アスファルト系補修材による補修箇所の状態	良好	12%	19%
	概ね良好	44%	38%
	不良	44%	44%
セメント系補修材による補修箇所の状態	良好	47%	78%
	概ね良好	29%	15%
	不良	24%	7%

平成 24 年、平成 27 年ともに、アスファルト系補修材が約 9 割を占めた。また、補修箇所の状態が「不良」と判断された箇所は、アスファルト系補修材による補修箇所では両年度とも 4 割以上であるのに対し、セメント系補修材による補修箇所では 1～2 割程度と補修材の種類によって状態に差異が見られた。

補修箇所の耐久性を確認するため、平成 24 年に確認した補修箇所を平成 27 年に再度目視調査した結果を表-1.1.3 に示す。アスファルト系補修材による補修箇所は「良好」を長期的に維持できるものは少なく、「良好」および「概ね良好」の状態を維持している箇所は約 3 割であり、「不良」と判断された箇所が約 5 割、補修材が完全に散逸した箇所や再補修箇所が約 2 割であった。セメント系補修材による補修箇所は「良好」および「概ね良好」の状態を維持している箇所が約 5 割であり、アスファルト系補修材の場合と比べて良好な状態を長期間維持できるものが多かった。

表-1.1.3 補修材の残存状況

補修箇所の状態		アスファルト系補修材	セメント系補修材
平成 24 年度	平成 27 年度		
良好	→ 良好	3 件 (3%)	4 件 (24%)
良好	→ 概ね良好	7 件 (6%)	2 件 (12%)
概ね良好		24 件 (21%)	2 件 (12%)
良好	→ 不良	3 件 (3%)	1 件 (6%)
概ね良好		23 件 (20%)	2 件 (12%)
不良		33 件 (28%)	2 件 (12%)
完全に散逸		7 件 (6%)	0 件 (0%)
再補修		17 件 (15%)	4 件 (24%)

1.1.2 道路管理者に対する補修の現状に関する聞き取り調査

次に、1.1.1 とは異なる区間の一般国道の道路管理者に対し、コンクリート舗装の補修の現状について聞き取り調査を行った。

聞き取りを行った 3 つの管理事務所では、日常的な補修は常温アスファルト合材（以下、常温合材）を用いて行っているが、常温合材での補修が早期に破損する場合や、補修箇所の延命が必要と判断された場合には加熱アスファルト合材（以下、加熱合材）を使用していた。

また、主な補修箇所は目地部であり、角欠けなどをパッチングで補修する事例が多かった。また、常温合材でパッチングを行っても、数日後に補修材が剥離し、常温合材による再補修を繰り返すような事例があった。そのような補修箇所について、カッターを入れた上で超速硬コンクリートを用いてパッチングを行ったところ、2 年経過しても良好な状態を維持した事例もあるが、目地を跨ぐ場合において、超速硬コンクリートで補修を行っても、目地を入れなかったため大きなひび割れが生じてしまった事例（写真-1.1.1）や、樹脂系補修材を用いて薄層補修を行ったものの、1 年程度で浮きが生じた事例（写真-1.1.2）もあった。

このように、道路管理者はコンクリート舗装の破損に対する補修に苦慮している現状が確認できた。



写真-1.1.1 目地部を跨いだ補修事例（後ににひび割れが発生）



写真-1.1.2 浮きの生じた樹脂系補修材

また、補修や管理における道路管理者の要望や意見は次のとおりであった。

- ① 日常的な応急処置のための補修材が必要
- ② ゼロすりつけが可能な、施工性に優れる補修材が望ましい

- ③ セメント系補修材は耐久性が高いが、養生に伴う交通規制が長時間に及ぶことが懸念されるため、施工時間や硬化時間の短くて済むものが望ましい
- ④ 短期間で破損せず、恒久的な対策として利用できる補修材が望ましい
- ⑤ 補修頻度が低減すれば、人件費や作業中の事故等のリスクも低減できるため、高い耐久性が確保できれば多少高コストでも採用する

1.1.3 コンクリート舗装の補修に関する課題の整理

コンクリート舗装の破損は、角欠けなど、特に目地部に多く発生しており、パッチングで補修が行われることが多い。パッチングに用いる補修材は常温合材や加熱合材などのアスファルト系補修材が多く用いられている傾向があるが、アスファルト系補修材は比較的短期間で再補修が必要となる場合が多い。このため、現場からは、施工性に優れ、交通規制時間が短くて済み、より耐久性の高い補修材が求められている。

市場にある舗装用補修材には、アスファルト系やセメント系、樹脂系のものなどがある。しかし、現在の技術図書類には、現場の条件に応じて適切な補修方法を用いる、程度の記述に留まっている。補修箇所の耐久性などを確保するために求められる補修材の性質やその評価方法は、基準類などには明示されていないのが現状である。今後、コンクリート舗装を普及させ、効率的に維持管理を行うためには、補修材に求められる性質や評価方法などについて、整理する必要があると考えられる。

1.2 研究の範囲と目的

本研究では、コンクリート舗装の補修の実態調査を受けて、日常的な対応を必要とするような軽微な破損に対する補修を対象として実施することとした。

コンクリート舗装に生じる破損は、角欠けなどの目地部に生じるものが大半を占めることから、角欠けや段差などの目地部の損傷を対象とし、パッチングや段差擦り付け工法に用いられる補修材について、その耐久性向上のために求められる性質や評価方法などを検討した。

また、セメント系や樹脂系の補修材は、アスファルト系補修材と比べて高い耐久性が期待できるとされているが、その補修効果は整理されておらず、養生時間などの課題が懸念されていることから、これらの補修材の普及促進を目指すために、セメント系や樹脂系の補修材を主な対象として、従来のアスファルト系補修材と比較検証を行うことで、求められる性質などを検討することとした。

本研究報告書の構成は図-1.2.1に示すとおりである。

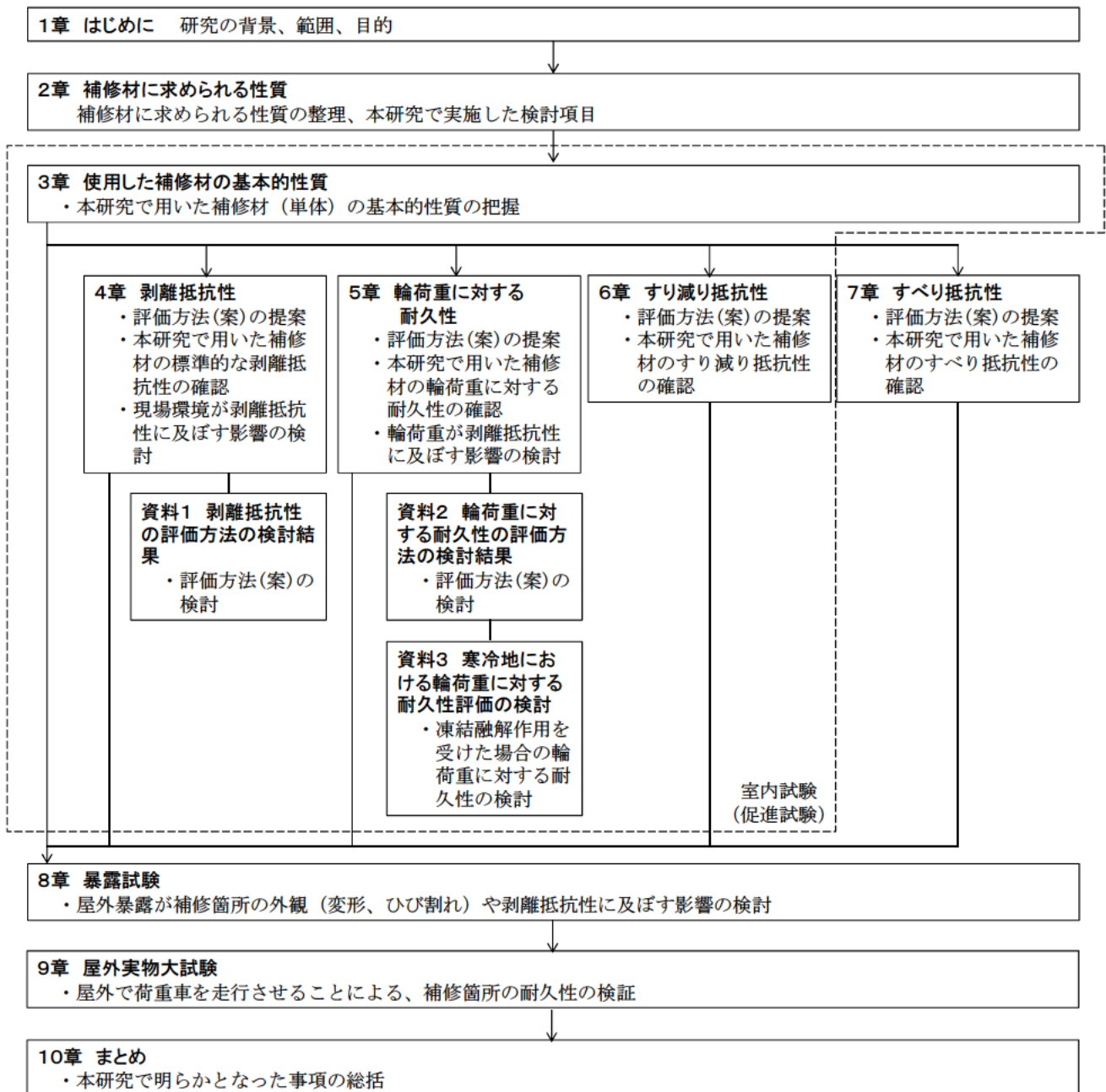


図-1.2.1 本研究報告書の構成

1.3 共同研究体制

共同研究は、修繕工法 WG、維持工法 WG、早期交通開放 WG の 3WG を設置し研究を行った。本 WG である維持工法 WG の参加者を表-1.3.1～表-1.3.3 に示す。

表-1.3.1 共同研究参加者（土木研究所）（維持工法 WG）

機 関	氏 名	所 属・役 職	参 加 期 間
(国研)土 木研究所	西崎 到	材料資源研究グループ 上席研究員	2016.3～19.3
	古賀 裕久	材料資源研究グループ 上席研究員	2016.4～19.3
	森濱 和正	元 材料資源研究グループ 総括主任研究員	2016.4～16.12
	佐々木 厳	材料資源研究グループ 主任研究員	2016.3～19.3
	川島 陽子	材料資源研究グループ 研究員	2016.3～19.3
	加藤 祐哉	材料資源研究グループ 研究員	2016.4～19.3
	木村 孝司	元 寒地保全技術研究グループ (寒地道路保全) 上席研究員	2016.3～18.3
	丸山 記美雄	寒地保全技術研究グループ (寒地道路保全) 上席研究員	2016.3～19.3
	安倍 隆二	元 寒地保全技術研究グループ (寒地道路保全) 主任研究員	2016.3～18.3
	井谷 雅司	元 寒地保全技術研究グループ (寒地道路保全) 研究員	2016.3～18.3
	佐藤 圭洋	寒地保全技術研究グループ (寒地道路保全) 研究員	2018.4～19.3
	上野 千草	寒地保全技術研究グループ (寒地道路保全) 研究員	2016.3～19.3
	田中 俊輔	寒地保全技術研究グループ (寒地道路保全) 研究員	2016.3～19.3
	久保 和幸	元 道路技術研究グループ (舗装) 上席研究員	2016.3～16.3
	藪 雅行	道路技術研究グループ (舗装) 上席研究員	2016.4～19.3
	渡邊 一弘	元 道路技術研究グループ (舗装) 主任研究員	2016.3～18.3
	岩永 真和	道路技術研究グループ (舗装) 主任研究員	2018.4～19.3
	若林 由弥	元 道路技術研究グループ (舗装) 研究員	2016.3～18.2
	高木 亮一	元 道路技術研究グループ (舗装) 交流研究員	2016.3～16.3
	松本 健一	元 道路技術研究グループ (舗装) 交流研究員	2016.4～17.3
内田 雅隆	道路技術研究グループ (舗装) 交流研究員	2017.4～19.3	

表-1.3.2 共同研究参加者（指定機関）（維持工法 WG）

機 関	氏 名	所 属・役 職	参 加 期 間
(学)東京 農業大学	小梁川 雅	地域環境科学部 生産環境工学科 教授	2016.3～19.3
(一社)セ メント協 会研究所	島崎 泰	技術情報グループ グループリーダー	2016.3～19.3

表-1.3.3 共同研究参加者（公募機関）（維持工法 WG）

機 関	氏 名	所属・役職	参加期間
コニシ (株)	熊谷 慎祐	浦和研究所 研究開発第4部 研究員	2016.3～19.3
大成ロテ ック(株)	平川 一成	元 生産技術本部 技術研究所 課長代理	2016.3～19.3
	長山 清一郎	生産技術本部 技術部 技術推進室 課長代理	2018.1～19.3
太平洋セ メント (株)	梶尾 聡	第2研究部 コンクリート舗装技術チーム リーダー	2016.4～19.3
	杉山 彰徳	元 第2研究部 建設マテリアルチーム リーダー	2016.4～17.4
	肥後 康秀	第2研究部 建設マテリアルチーム リーダー	2017.4～19.3
	兵頭 彦次	第2研究部 コンクリート舗装技術チーム 主任研究員	2016.4～19.3
	久我 比呂氏	元 第2研究部 建設マテリアルチーム 主任研究員	2016.4～17.10
	浜中 昭徳	元 第2研究部 建設マテリアルチーム 主任研究員	2016.4～18.3
	岸良 竜	第2研究部 コンクリート舗装技術チーム 主任研究員	2018.3～19.3
	丸田 浩	第2研究部 建設マテリアルチーム 研究員	2018.3～19.3
日本道路 (株)	中原 大磯	生産技術本部 技術研究所 所長	2016.3～19.3
	加藤 学	元 生産技術本部 技術研究所 主任研究員	2016.3～16.3
	工藤 朗	元 生産技術本部 技術研究所 副主任研究員	2016.3～16.3
	川上 聖	生産技術本部 技術研究所 副主任研究員	2016.3～16.3
	弓木 宏之	生産技術本部 技術部 課長	2016.4～19.3
	藤井 洋志	生産技術本部 技術研究所 研究員	2016.4～19.3
太平洋マ テリアル (株)	佐竹 紳也	元 開発研究所 混和材料グループ 主席研究員	2016.4～17.3
	杉野 雄亮	元 開発研究所 混和材料グループ 研究員	2016.4～16.5
	赤江 信哉	開発研究所 機能性材料グループ 研究員	2017.4～19.3
秩父コン クリート 工業(株)	清水 進	技術開発部長	2016.4～19.3
	瀧川 景隆	技術開発部	2016.4～19.3
三菱マテ リアル (株)	中山 英明	元 セメント事業カンパニー セメント研究所 主任研究員	2016.3～17.3
	黒岩 義仁	元 セメント事業カンパニー セメント研究所 主任研究員	2016.3～17.3
	徳永 健二	元 セメント事業カンパニー セメント研究所 主任研究員	2016.3～16.12
	木元 大輔	セメント事業カンパニー セメント研究所 副主任研究員	2016.3～19.3
	木村 祥平	セメント事業カンパニー セメント研究所 研究員	2016.3～19.3
	山根 康隆	元 セメント事業カンパニー セメント研究所 研究員	2016.3～16.9
	高原 幸之助	セメント事業カンパニー セメント研究所 主任研究員	2017.1～19.3

参考文献

- 1.1) 社団法人 日本道路協会：コンクリート舗装に関する技術資料、p.2、2009.8

2. 補修材に求められる性質

2.1 概要

舗装設計施工指針には、舗装の路面に必要とされる機能の1つとして安全な交通の確保があり、それに対応する舗装の性能に平坦性がある²⁾。コンクリート舗装の一部に角欠けや段差などが生じると路面の平坦性が損なわれるため、平坦性の回復を目的に補修が行われる。

補修材には適切に、平坦に施工できる作業性が求められる。また、補修を行う際はあらかじめ警察と交通規制方法や規制時間を協議し、予定の規制時間内に施工を完了しなければならない。交通規制時間は施工に支障を与えない範囲で短い方が良いため、補修材の硬化時間は適度に短い方が望ましい。

補修はあくまでも応急的な処置だが、近年は道路の維持管理に関する予算が厳しい状況であり、切削オーバーレイや舗装打換えなどの大規模な修繕は容易に行えなくなりつつある。そのため、補修箇所にもできる限り、長期間健全な状態を保持できるような耐久性が求められる状況になってきている。補修箇所の平坦性を維持するために、補修材には容易に剥離したり、輪荷重などによって容易に変形したりしないことが求められる。また、寒冷地域では、補修材自体の凍結融解抵抗性も必要と考えられる。更に、チェーンなどによる厳しい供用環境にさらされることも考慮し、すり減り抵抗性も必要と考えられる。

交通安全性の観点からは、補修箇所にはすべり抵抗性も必要と考えられる。

これらの性質をまとめると表-2.1.1に示すとおりとなる。

表-2.1.1 補修材・補修箇所の要件と補修材に求められる性質の例

補修材・補修箇所の要件		補修材へのニーズ	求められる補修材の性質	記述する章
補修材の 施工性	適切な作業性	所定の作業時間に平坦に施工できる	コンシステンシーなど	3章
	適切な硬化時間	所定の交通規制時間内に硬化する	硬化時間	3章
補修箇所の 耐久性	寒冷地域の耐久性	凍結融解作用で容易に破損しない	凍結融解抵抗性	3章
	平坦性の維持	補修材が容易に剥離しない	剥離抵抗性（環境作用）	4章 8章
			剥離抵抗性（輪荷重）	5章
		輪荷重で補修材が容易に変形しない	輪荷重に対する耐久性 （変形抵抗性）	5章
	適切な耐荷性	輪荷重で補修材が容易に破損しない	輪荷重に対する耐久性 （耐荷性能）	5章
すり減り抵抗性	車両の走行や、チェーン、除雪車両等によって容易にすり減らない	すり減り抵抗性	6章	
補修箇所の 走行安全性	すべり抵抗性	すべりにくい	すべり抵抗性	7章

2.2 本研究で実施した検討項目

表-2.1.1に示した補修材に求められる性質について、本研究で実施した検討項目を表-2.2.1に示す。各項目の詳細については、各章等に記述する。

表-2.2.1 本研究で検討した補修材や補修箇所の性質

補修材・補修箇所の要件		補修材の性質		試験方法	記述する章等	
補修材の 施工性		適切な作業性	フレッシュ 性状	コンシステンシー	・フロー試験 (JIS R 5201)	3章 3.2.1
		適切な硬化時間		凝結時間	・凝結時間試験 (JIS A 1147)	3章 3.2.1
補修箇所の 耐久性	補修材の 基本的性質	適切な耐荷性	強度特性	圧縮強度	・圧縮強度試験 (JSCE-G 505)	3章 3.2.2 (2)
				曲げ強度	・曲げ強度試験 (JIS R 5201)	3章 3.2.2 (3)
				静弾性係数	・静弾性係数試験	3章 3.2.2 (4)
		平坦性の 維持	寸法変化に 関する性質	長さ変化率	・長さ変化試験 (JIS A 1129)	3章 3.2.3 (2)
				寸法安定性	・寸法安定性試験 (JSCE-K 561)	3章 3.2.3 (3)
				線膨張率	・線膨張率試験 (JSCE-K 561)	3章 3.2.3 (4)
	寒冷地域の 耐久性	凍結融解抵抗性		・凍結融解試験 (JIS A 1148)	3章 3.2.4	
	補修箇所 の性質	平坦性の 維持	剥離抵抗性	常温	・プルオフ試験	4章 4.3
				高温・低温	・プルオフ試験	4章 4.3
				湿潤環境	・プルオフ試験	4章 4.4
				乾湿繰返し、 温度変化	・乾湿繰返し試験+プルオフ 試験	4章 4.5
				凍結融解作用	・凍結融解試験 (JIS A 1148) +プルオフ試験	4章 4.6
				種々の環境 作用	・暴露試験+プルオフ試験	8章 8.3、8.4
・屋外実物大試験					9章	
輪荷重		・室内輪荷重試験+プルオフ 試験	5章 5.4			
		・屋外実物大試験	9章			
		輪荷重に対 する耐久性	変形抵抗性	・室内輪荷重試験 ・屋外実物大試験	5章 5.3 9章	
耐荷性能	・室内輪荷重試験 ・屋外実物大試験		5章 5.3 9章			
すり減り抵 抗性	すり減り抵抗性		・ラベリング試験 (舗装調査・ 試験法便覧 B002)	6章		
補修箇所 の走行安 全性	すべり抵抗 性	すべり抵抗性	・回転式すべり抵抗測定器に よるすべり試験 (舗装調 査・試験法便覧 S021-3)	7章		
			・振り子式スキッドレジスタ ンステストによるすべり試 験 (舗装調査・試験法便覧 S021-2)	9章		
			・実物大耐久性実験+回転式 すべり抵抗測定器によるす べり試験 (舗装調査・試験 法便覧 S021-3)			

参考文献

- 2.1) 社団法人日本道路協会：舗装設計施工指針、平成18年版、p.28、2006.2

3. 使用した補修材の基本的性質

3.1 研究に用いた補修材

本研究では、主に目地部に生じる角欠けや段差の補修を対象とした。それらに対する補修箇所の耐久性を確保するために求められる補修材の性質を検討する目的で、表-3.1.1 に示す段差擦付け用（以下、擦付け用）補修材と表-3.1.2 に示す主に角欠けやポットホールなどの比較的厚めの補修に適した補修材（以下、角欠け用）を用いた。本章では、今回使用した補修材の基本的性質を示す。

表-3.1.1 研究に用いた補修材（擦付け用）

分類	記号	補修材の種類	凝結（硬化）調整剤、季節対応品の有無
セメント系	PCM-a	ポリマーセメントモルタル	無
	PCM-b	ポリマーセメントモルタル	有
	PCM-c	ポリマーセメントモルタル（柔軟型）	無
樹脂系	RM-a	エポキシ樹脂モルタル	有
アスファルト系	AsM	常温硬化型アスファルトモルタル	無

表-3.1.2 研究に用いた補修材（角欠け用）

分類	記号	補修材の種類	凝結（硬化）調整剤、季節対応品の有無
セメント系	PCM-b	ポリマーセメントモルタル	有
	PCM-d	ポリマーセメントモルタル	有
樹脂系	RM-a	エポキシ樹脂モルタル	有
	RM-b	アクリル樹脂モルタル	無
アスファルト系	As(13)	加熱合材 （細粒度アスファルト混合物（13））	無
	ColdAs	常温合材（骨材最大粒径 3mm）	無

セメント系の補修材として、ポリマーセメントモルタル（PCM-a、PCM-b、PCM-c、PCM-d）の4種類、樹脂系の補修材として、エポキシ樹脂モルタル（RM-a）とアクリル樹脂モルタル（RM-b）の2種類を用いた。なお、PCM-bとRM-aは、擦付け用にも角欠け用にも適用可能なため、両方に用いた。PCM-cは他のポリマーセメントモルタルと異なり、強度や弾性係数の小さな柔軟型のポリマーセメントである。これらに加えて、現場でよく使用されているアスファルト系の補修材として、AsM（常温硬化型アスファルトモルタル、擦付け用）、As(13)（加熱合材（細粒度アスファルト混合物（13））、角欠け用）、ColdAs（常温合材、角欠け用）の3種類を比較用として用いた。

加熱合材のAs(13)は、表-3.1.3 に示す材料を用い、表-3.1.4 に示す配合率で加熱混合したものである。混合温度は150℃とした。また、常温合材のColdAsは、市販品を用いた。その他の補修材は市販のプレミックス品で、製造者の指定する方法で練り混ぜて作製したものである。

表-3.1.3 As(13)の使用材料

材料	密度 (g/cm ³)			吸水率 (%)
	表乾	かさ	見掛	
6号碎石 (砂岩)	2.652	2.634	2.683	0.70
7号碎石 (砂岩)	2.629	2.602	2.675	1.05
粗砂 (砕砂)	2.585	2.547	2.648	1.50
細砂 (洗砂)	2.554	2.481	2.677	2.95
石粉	—	—	2.753	0.10
アスファルト (ストレートアスファルト 60-80)	—	—	—	—

表-3.1.4 As(13)の配合率

材料	骨材					アスファルト
	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

3.2 補修材単体の基本的性質

本研究で用いた補修材の基本的な性質を把握するために、コンシステンシーや凝結時間などのフレッシュ性状や、圧縮強度、曲げ強度、静弾性係数などの強度特性、寸法変化に関する性質（長さ変化試験、寸法安定性試験、線膨張率試験の結果）、凍結融解抵抗性を確認した。

本研究では、混合温度が 150°C の As(13)を除き、標準的な温度環境として 20°C の室内で練混ぜ（ColdAs は市販の状態のまま使用）および各種試験を行った。また、フレッシュ性状と強度特性については、夏期の施工を想定して 35°C（暑中コンクリートにおける打込み時のコンクリート温度の上限 35°C を参考³⁾¹⁾）、冬期の施工を想定して 5°C（寒中コンクリートにおける打込み時のコンクリート温度の下限 5°C を参考³⁾²⁾）の環境でも練混ぜや試験を行い、確認した。なお、セメント系、樹脂系補修材（市販のプレミックス品）は、夏期または冬期に使用する場合は、製造者により凝結（硬化）調整剤の練混ぜや季節対応品の使用が指定されているものがあるため、35°C または 5°C で試験を行う場合はそれらを使用した。

3.2.1 フレッシュ性状

製造者の示した補修材のコンシステンシー（モルタルフローの値）や凝結時間等のフレッシュ性状（セメント系補修材のみ）は、表-3.2.1 および表-3.2.2 に示すとおりである。

表-3.2.1 セメント系補修材（擦付け用）のフレッシュ性状

補修材	コンシステンシー						凝結時間（始発～終結）(分)		
	0 打フロー (mm)			15 打フロー (mm)					
	5°C	20°C	35°C	5°C	20°C	35°C	5°C	20°C	35°C
PCM-a	—	—	—	—	165	—	31~43	32~40	39~55
PCM-b (注水 15 分後)	—	—	—	174 (151)	178 (146)	163 (129)	46~68	47~53	41~47
PCM-c	152~153	158~160	156~154	—	—	—	42~54	40~47	12~17

表-3.2.2 セメント系補修材（角欠け用）のフレッシュ性状

補修材	コンシステンシー						凝結時間（始発～終結）（分）		
	0 打フロー（mm）			15 打フロー（mm）			5℃	20℃	35℃
	5℃	20℃	35℃	5℃	20℃	35℃			
PCM-b (注水 15 分後)	—	—	—	174 (151)	178 (146)	163 (129)	46～68	47～53	41～47
PCM-d	100～107	101	101～103	133～137	131～135	129～131	51～64	36～47	53～73

コンシステンシーについては、5℃、20℃、35℃における練混ぜや供試体の作製、左官作業による平たん仕上げは問題なく行えるものであった。樹脂系やアスファルト系補修材についてはデータがないが、これらも練混ぜ、供試体作製、平たん仕上げ（As(13)と ColdAs はローラコンパクタによる締固め）は問題なく行えた。

セメント系の凝結時間については、PCM-c の 35℃の凝結時間（始発、終結）が 10 分台と比較的短かったが、仕上げなどの作業時間に支障がでるほどではなかった。また、データのない樹脂系やアスファルト系補修材の凝結時間については、いずれも 20℃および 35℃では 2～3 時間程度で硬化した。5℃では RM-a を除き 2～3 時間程度で硬化した。これらは、少なくとも 3 時間程度の規制時間内に、練混ぜから交通開放などの補修作業に適用できるものと考えられる。なお、5℃の環境における RM-a は、2 時間では半硬化の状態（指で軽くこすっても跡が残らない程度）であった。

本研究で用いた補修材は、作業性や硬化時間にほとんど問題はないと考えられるが、これらの性質が適切かどうかは補修を行う箇所の状況や施工方法等を総合的に勘案して検討すべきと考えられる。

3.2.2 強度特性

(1) 概要

ここでは、補修材の強度特性（圧縮強度、曲げ強度、静弾性係数）について、材齢 2 時間、7 時間、7 日、28 日の値を示す。

(2) 圧縮強度

1) 測定方法

圧縮強度は、JSCE-G 505-2013「円柱供試体を用いたモルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験方法（案）」により測定したものである。なお、アスファルト系補修材については、供試体の作製が容易な AsM のみ、同じ方法で試験を実施した結果を比較・参考として示す。

2) 測定結果

表-3.2.3 および表-3.2.4 に、補修材の圧縮強度を示す。また、図-3.2.1～図-3.2.3 に 5℃、20℃、35℃における各材齢の圧縮強度を示す。

表-3.2.3 補修材（擦付け用）の圧縮強度

補修材		圧縮強度 (MPa)											
		5℃				20℃				35℃			
分類	記号	2h	7h	7d	28d	2h	7h	7d	28d	2h	7h	7d	28d
セメント系	PCM-a	14.0	24.4	41.9	49.7	25.7	31.9	43.0	48.9	23.8	29.2	50.6	62.0
	PCM-b	11.4	17.6	46.8	58.2	13.9	24.0	53.7	70.6	11.6	29.7	63.2	75.9
	PCM-c	0.8	1.2	2.3	2.6	0.8	1.5	2.5	2.5	1.0	1.1	2.8	3.0
樹脂系	RM-a	7.8	7.8	56.3	73.5	48.4	58.4	98.9	102.3	66.2	98.9	99.0	103.0
アスファルト系	AsM	(0.2)	(0.2)	(0.4)	(0.7)	(0.1)	(0.1)	(0.2)	(0.3)	(0.0)	(0.1)	(0.1)	(0.1)

表-3.2.4 補修材（角欠け用）の圧縮強度

補修材		圧縮強度 (MPa)											
		5℃				20℃				35℃			
分類	記号	2h	7h	7d	28d	2h	7h	7d	28d	2h	7h	7d	28d
セメント系	PCM-b	11.4	17.6	46.8	58.2	13.9	24.0	53.7	70.6	11.6	29.7	63.2	75.9
	PCM-d	10.2	29.8	34.9	39.8	26.9	33.5	44.4	50.2	26.1	35.6	47.0	59.8
樹脂系	RM-a	7.8	7.8	56.3	73.5	48.4	58.4	98.9	102.3	66.2	98.9	99.0	103.0
	RM-b	27.3	37.9	49.9	62.0	44.9	46.8	52.7	61.5	47.5	46.4	55.4	56.9

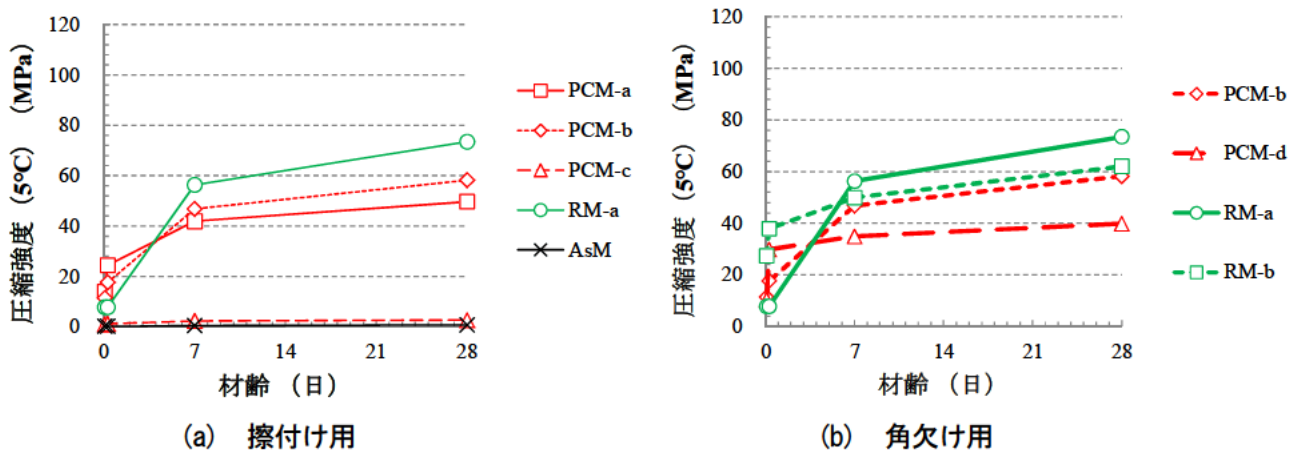


図-3.2.1 補修材の材齢と圧縮強度の関係（練混ぜ・養生・試験温度5℃）

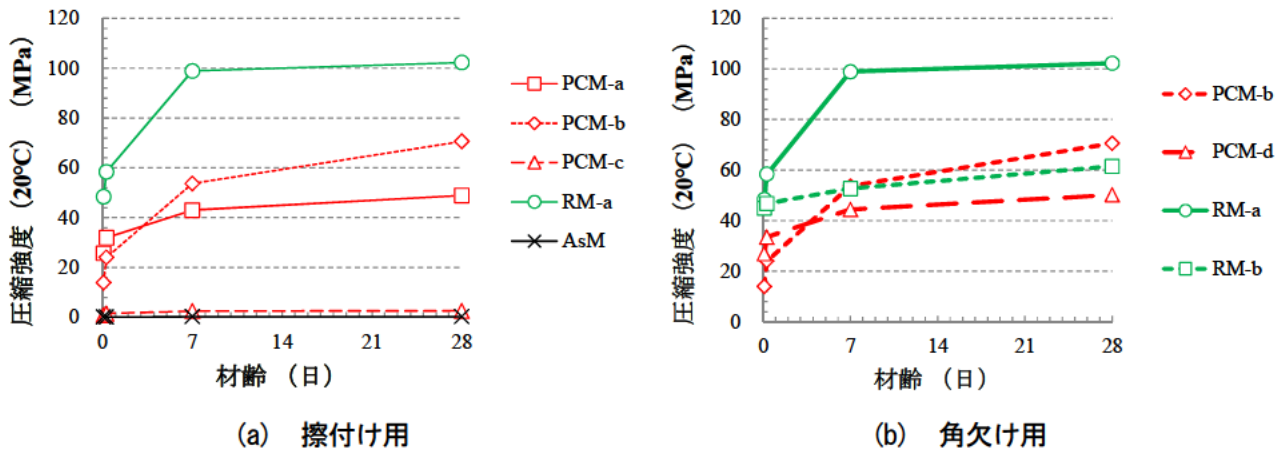


図-3.2.2 補修材の材齢と圧縮強度の関係（練混ぜ・養生・試験温度 20°C）

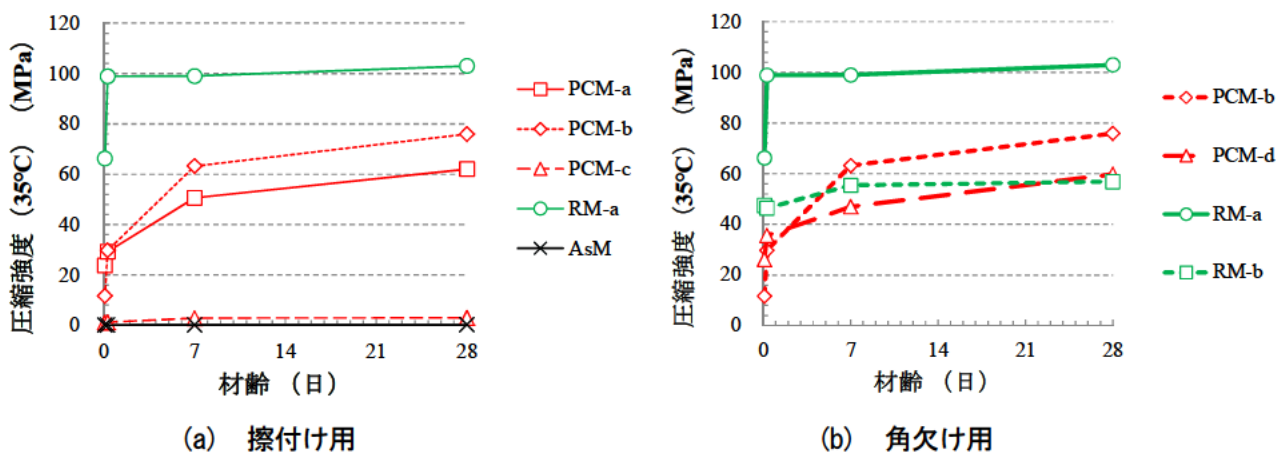


図-3.2.3 補修材の材齢と圧縮強度の関係（練混ぜ・養生・試験温度 35°C）

圧縮強度は、概ね AsM、PCM-c（柔軟型）、他のセメント系、樹脂系の順で大きい傾向を示した。

セメント系および樹脂系補修材は、温度が高いほど圧縮強度が大きい傾向を示した。特に樹脂系補修材は、材齢 2 時間、7 時間の早期材齢においても高い圧縮強度を示し、強度発現が早い傾向を示した。

AsM は、温度が高いと軟化する性質のため測定強度は小さくなり、温度が低いと硬くなる性質のため測定強度は大きくなった。

今回用いた補修材においては、樹脂系補修材はセメント系補修材よりも大きな圧縮強度を示すものが多かった。また、いずれの補修材も材齢 28 日までの範囲において、材齢が進むと圧縮強度が増加している。

(3) 曲げ強度

1) 測定方法

曲げ強度は、JIS R 5201: 2015「セメントの物理試験方法」の「11 強さ試験」により測定したものである。また、AsM についても比較・参考として同じ方法で試験を実施した結果を示す。

2) 測定結果

表-3.2.5 および表-3.2.6 に、補修材の曲げ強度を示す。また、図-3.2.4～図-3.2.6 に5℃、20℃、35℃における各材齢の曲げ強度を示す。

表-3.2.5 補修材（擦付け用）の曲げ強度

補修材		曲げ強度 (MPa)											
		5℃				20℃				35℃			
分類	記号	2h	7h	7d	28d	2h	7h	7d	28d	2h	7h	7d	28d
セメント系	PCM-a	3.4	6.4	8.5	8.5	4.8	5.7	8.0	9.1	4.2	4.6	7.5	8.5
	PCM-b	1.6	4.4	7.5	9.0	3.6	6.9	8.4	9.2	3.1	5.4	8.9	11.2
	PCM-c	0.6	0.9	1.5	1.8	0.6	1.2	1.5	1.7	0.8	1.0	2.0	3.0
樹脂系	RM-a	17.9	19.6	34.0	39.0	36.5	40.1	41.0	42.0	40.0	41.4	42.0	42.5
アスファルト系	AsM	(0.2)	(0.2)	(0.5)	(1.2)	(0.0)	(0.1)	(0.4)	(0.3)	(0.0)	(0.1)	(0.1)	(0.1)

表-3.2.6 補修材（角欠け用）の曲げ強度

補修材		曲げ強度 (MPa)											
		5℃				20℃				35℃			
分類	記号	2h	7h	7d	28d	2h	7h	7d	28d	2h	7h	7d	28d
セメント系	PCM-b	1.6	4.4	7.5	9.0	3.6	6.9	8.4	9.2	3.1	5.4	8.9	11.2
	PCM-d	1.6	9.5	10.0	12.1	5.4	10.9	13.6	15.0	5.7	9.4	15.0	16.4
樹脂系	RM-a	17.9	19.6	34.0	39.0	36.5	40.1	41.0	42.0	40.0	41.4	42.0	42.5
	RM-b	26.5	25.0	26.4	23.3	26.1	27.8	30.7	31.6	23.4	26.3	28.9	29.7

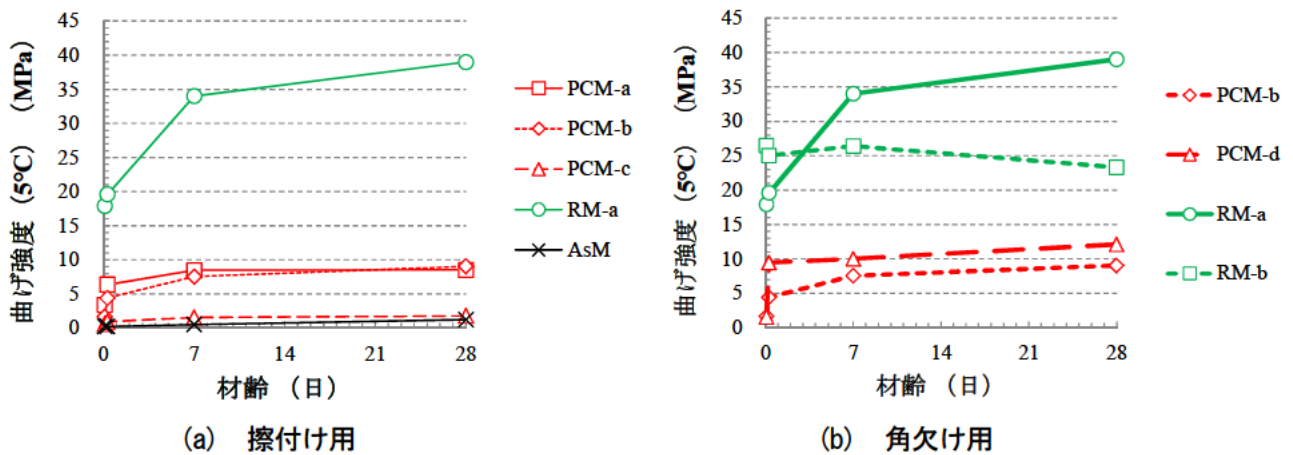


図-3.2.4 補修材の材齢と曲げ強度の関係（練混ぜ・養生・試験温度5℃）

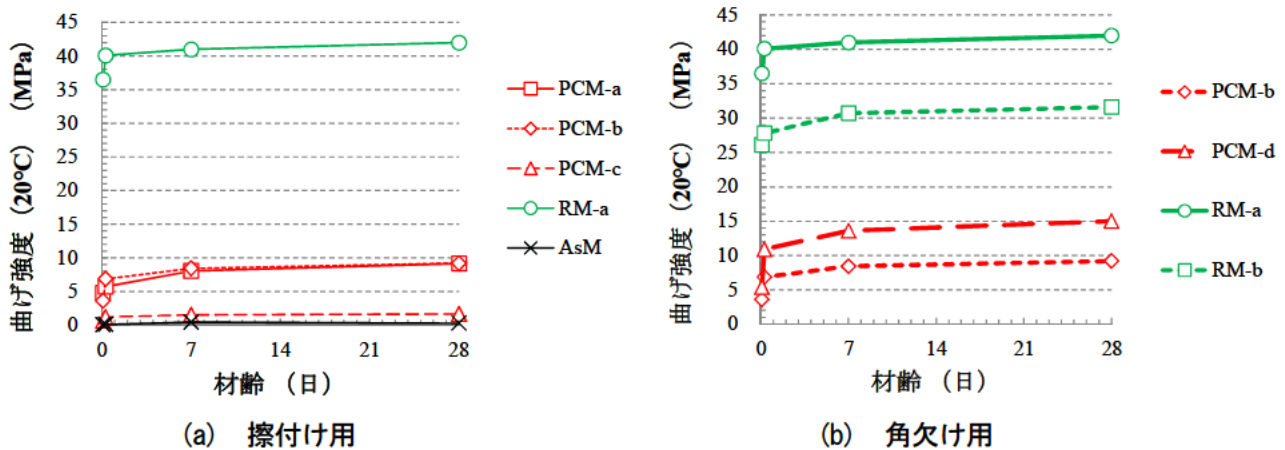


図-3.2.5 補修材の材齢と曲げ強度の関係（練混ぜ・養生・試験温度 20°C）

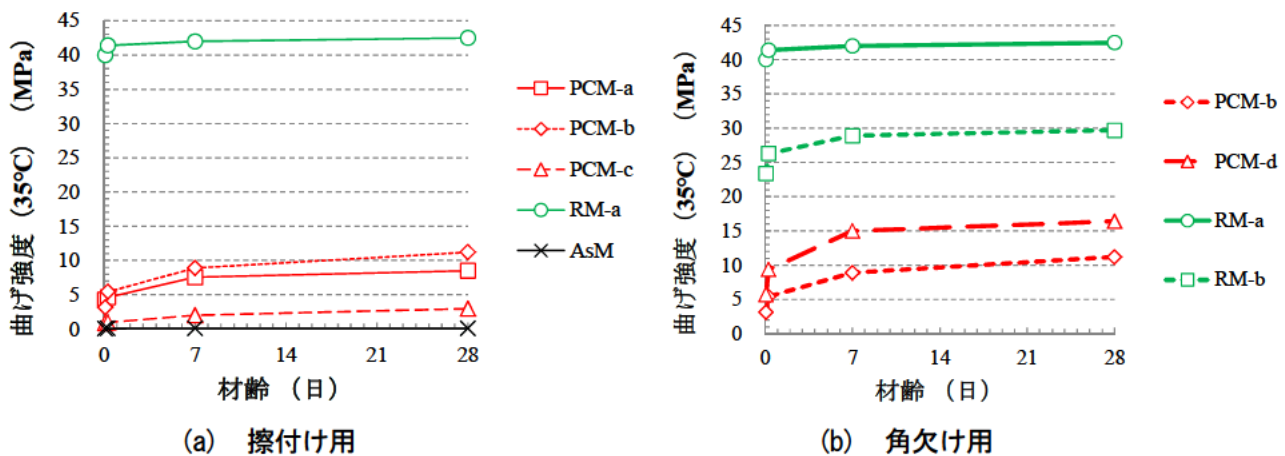


図-3.2.6 補修材の材齢と曲げ強度の関係（練混ぜ・養生・試験温度 35°C）

曲げ強度は圧縮強度と同様、概ね AsM、PCM-c（柔軟型）、他のセメント系、樹脂系の順で大きい傾向を示した。

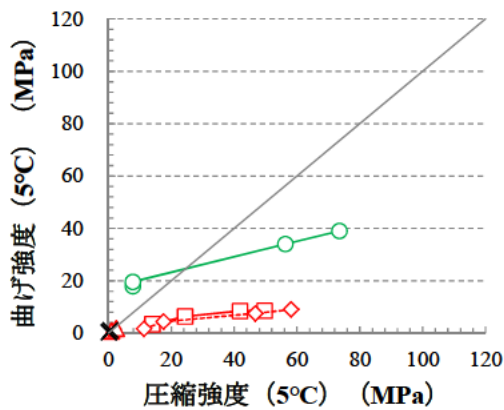
RM-b は温度条件によらず曲げ強度はほぼ同程度だったが、その他の樹脂系補修材およびセメント系補修材については、温度が高いほど曲げ強度が大きい傾向を示した。

AsM についても、温度が高いと測定強度は小さく、温度が低いと測定強度は大きい傾向を示した。

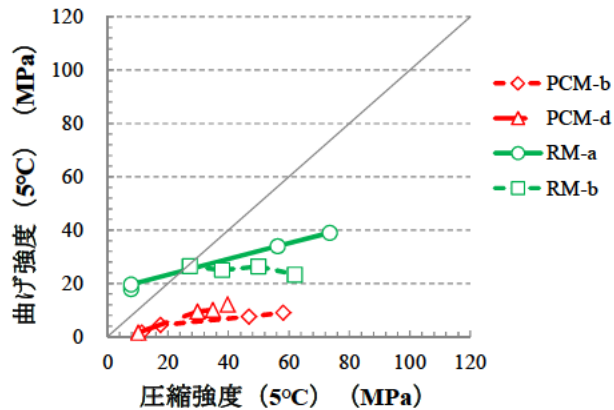
今回用いた補修材においては、樹脂系補修材はセメント系補修材よりも大きな曲げ強度を示すものが多かった。また、いずれの補修材も材齢 28 日までの範囲において、材齢が進むと曲げ強度が増加している。

次に、圧縮強度と曲げ強度の関係を図-3.2.7～図-3.2.9 に示す。

いずれの温度においても、セメント系補修材の曲げ強度は、圧縮強度の 1 割～3 割程度を示している。樹脂系補修材の曲げ強度は、圧縮強度の 3 割～5 割程度であり、曲げ強度/圧縮強度の比が大きい傾向がある。

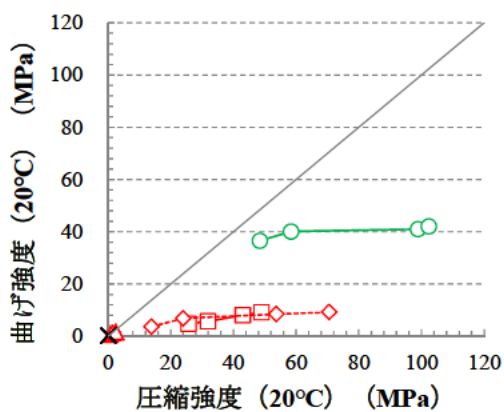


(a) 擦付け用

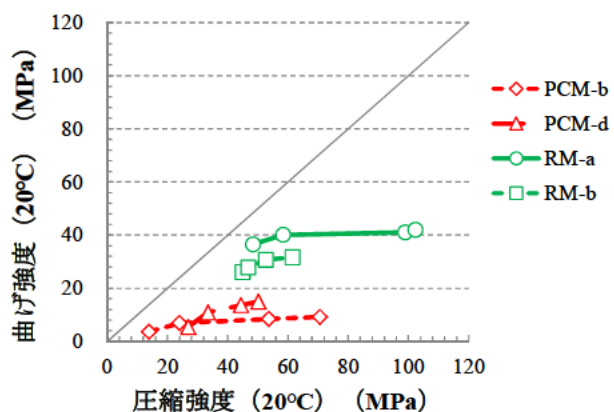


(b) 角欠け用

図-3.2.7 圧縮強度と曲げ強度の関係 (練混ぜ・養生・試験温度 5°C)

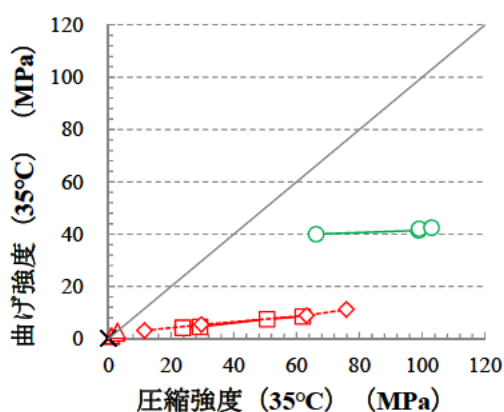


(a) 擦付け用

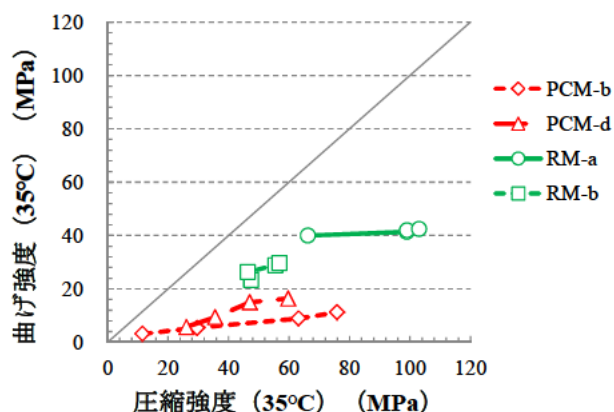


(b) 角欠け用

図-3.2.8 圧縮強度と曲げ強度の関係 (練混ぜ・養生・試験温度 20°C)



(a) 擦付け用



(b) 角欠け用

図-3.2.9 圧縮強度と曲げ強度の関係 (練混ぜ・養生・試験温度 35°C)

(4) 静弾性係数

1) 測定方法

静弾性係数は、JIS A 1149: 2017「コンクリートの静弾性係数試験方法」を参考に、JSCE-G 505-2013「円柱供試体を用いたモルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験方法（案）」の直径 50mm×高さ 100mm の円柱供試体を用いて測定したものである。また、AsM についても同じ方法で試験を実施した結果を比較・参考として示す。

2) 測定結果

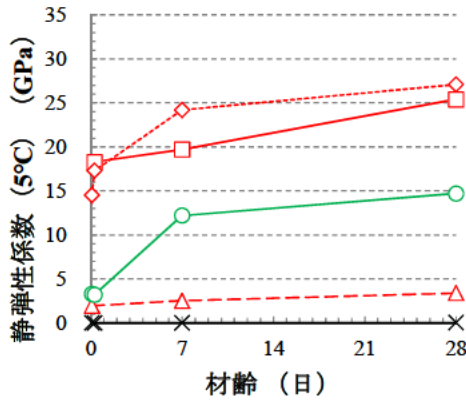
表-3.2.7 および表-3.2.8 に、補修材の静弾性係数を示す。また、図-3.2.10、図-3.2.11、図-3.2.12 に 5℃、20℃、35℃における各材齢の静弾性係数を示す。

表-3.2.7 補修材（擦付け用）の静弾性係数

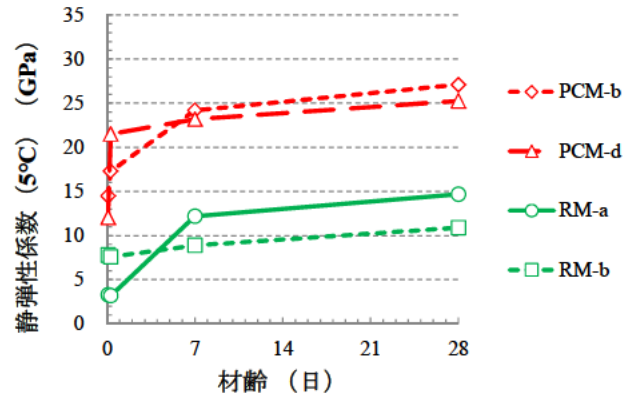
補修材		静弾性係数 (GPa)											
		5℃				20℃				35℃			
分類	記号	2h	7h	7d	28d	2h	7h	7d	28d	2h	7h	7d	28d
セメント系	PCM-a	—	18.3	19.7	25.4	19.7	20.6	19.8	25.1	20.1	19.9	21.5	26.8
	PCM-b	14.5	17.3	24.2	27.1	13.6	17.5	25.8	29.8	11.4	19.3	28.0	30.4
	PCM-c	2.0	—	2.5	3.4	—	3.2	4.0	3.8	2.2	2.6	3.5	3.3
樹脂系	RM-a	3.3	3.2	12.2	14.7	6.7	9.2	17.6	18.3	8.7	15.7	16.0	16.2
アスファルト系	AsM	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)

表-3.2.8 補修材（角欠け用）の静弾性係数

補修材		静弾性係数 (GPa)											
		5℃				20℃				35℃			
分類	記号	2h	7h	7d	28d	2h	7h	7d	28d	2h	7h	7d	28d
セメント系	PCM-b	14.5	17.3	24.2	27.1	13.6	17.5	25.8	29.8	11.4	19.3	28.0	30.4
	PCM-d	12.1	21.5	23.2	25.3	21.7	22.4	24.9	24.8	18.2	19.7	22.8	24.3
樹脂系	RM-a	3.3	3.2	12.2	14.7	6.7	9.2	17.6	18.3	8.7	15.7	16.0	16.2
	RM-b	7.8	7.6	8.9	10.9	7.9	7.9	9.9	10.5	7.6	6.8	9.8	8.7

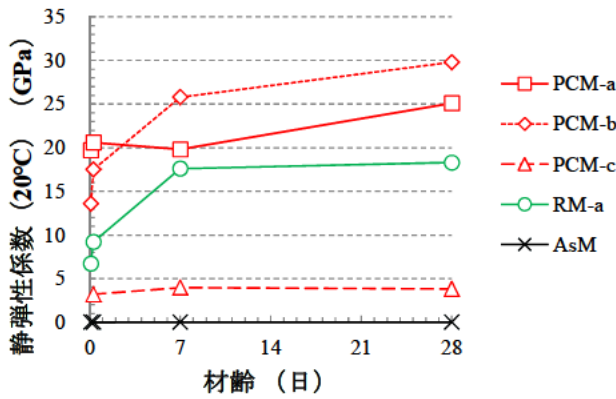


(a) 擦付け用

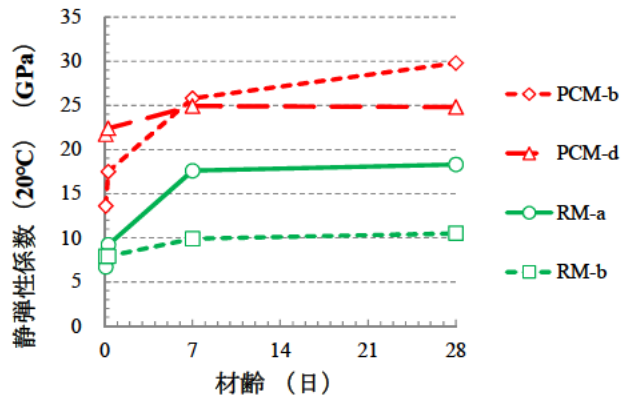


(b) 角欠け用

図-3.2.10 補修材の材齢と静弾性係数の関係 (練混ぜ・養生・試験温度 5°C)

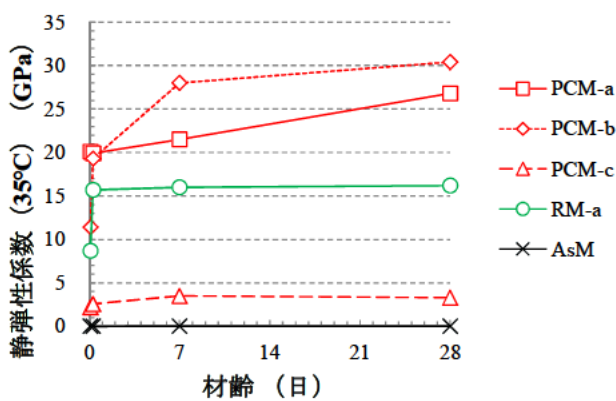


(a) 擦付け用

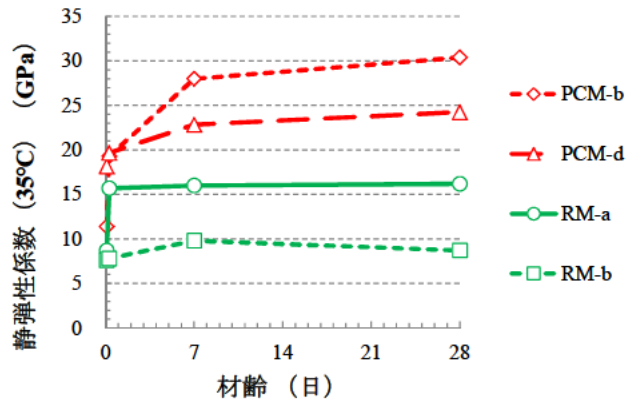


(b) 角欠け用

図-3.2.11 補修材の材齢と静弾性係数の関係 (練混ぜ・養生・試験温度 20°C)



(a) 擦付け用



(b) 角欠け用

図-3.2.12 補修材の材齢と静弾性係数の関係 (練混ぜ・養生・試験温度 35°C)

今回用いた補修材においては、圧縮強度および曲げ強度の関係と異なり、PCM-cを除くセメント系補修材は樹脂系補修材よりも静弾性係数が大きい傾向を示した。柔軟型ポリマーセメントモルタルのPCM-cは、材

齢 28 日において 3.3~3.8GPa 程度と他の 3 種類のセメント系補修材と比べて小さな値を示した。セメント系補修材および樹脂系補修材は、材齢 28 日までの範囲において、材齢が進むと静弾性係数も増加している。また、温度が上昇すると静弾性係数もやや大きくなる傾向を示した。AsM について同じ方法で静弾性係数を求めてみると、ほとんどゼロであり、材齢との関係は明確ではなかった。

3.2.3 寸法変化に関する性質

(1) 概要

ここでは、用いた補修材の寸法変化に関する性質を確認するために、長さ変化率、寸法安定性、線膨張率について示す。

(2) 長さ変化率

1) 試験方法

長さ変化試験は、JIS A 1129-3: 2010 「モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法—第 3 部：ダイヤルゲージ方法」の附属書 A (参考) 「モルタル及びコンクリートの乾燥による自由収縮ひずみ試験方法」で行った。アスファルト系補修材については実施しなかった。

今回用いた補修材は、3 時間の交通規制時間、材齢 2 時間程度で交通開放できる程度の硬化時間を有することから、供試体寸法は 40mm×40mm×160mm とし、材齢 2 時間までに脱型して材齢 2 時間で基長を測定して基準とした (材齢 2 時間以降の長さ変化率)。材齢 2 時間における測定が困難な場合は、可能な限り早い材齢で基長を測定し、基準とした。その後は、7 時間、1 日、3 日、7 日、14 日、28 日、56 日、91 日、182 日に測長を行った。また、測長時に供試体質量を測定し、質量変化率も確認した。

2) 試験結果

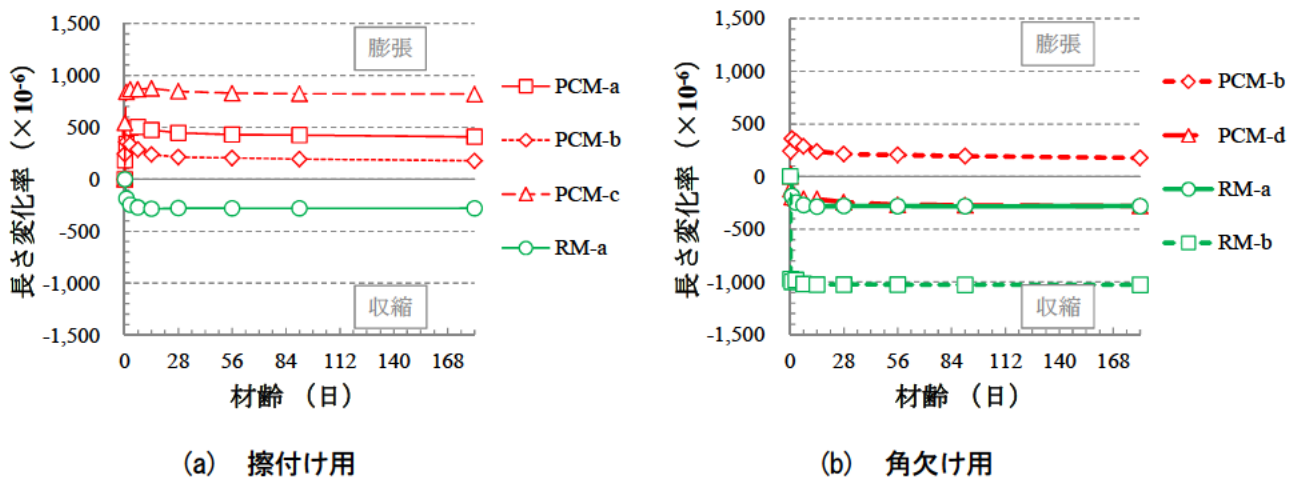


図-3.2.13 補修材の材齢と長さ変化率の関係

図-3.2.13に材齢と長さ変化率の関係図を示す。なお、RM-aのみ材齢2時間において測定中の収縮量が大きく測定が困難だったことから、材齢7時間で基長を測定して基準とした値(材齢7時間以降の長さ変化率)である。

長さ変化がほぼ終了した時点を確認すると、PCM-dおよびRM-aは 280×10^{-6} 程度まで、RM-bは $1,030 \times 10^{-6}$ 程度まで収縮した。

一方、PCM-a、PCM-b、PCM-cには、初期の材齢において一度膨張し、その後収縮していく挙動を示す材料であった。3者とも、混和材として膨張材が含まれていると考えられる。また、いずれも膨張後の収縮は材齢182日の時点ではほぼ終了していたが、基準の材齢2時間における寸法よりも大きい状態であった。

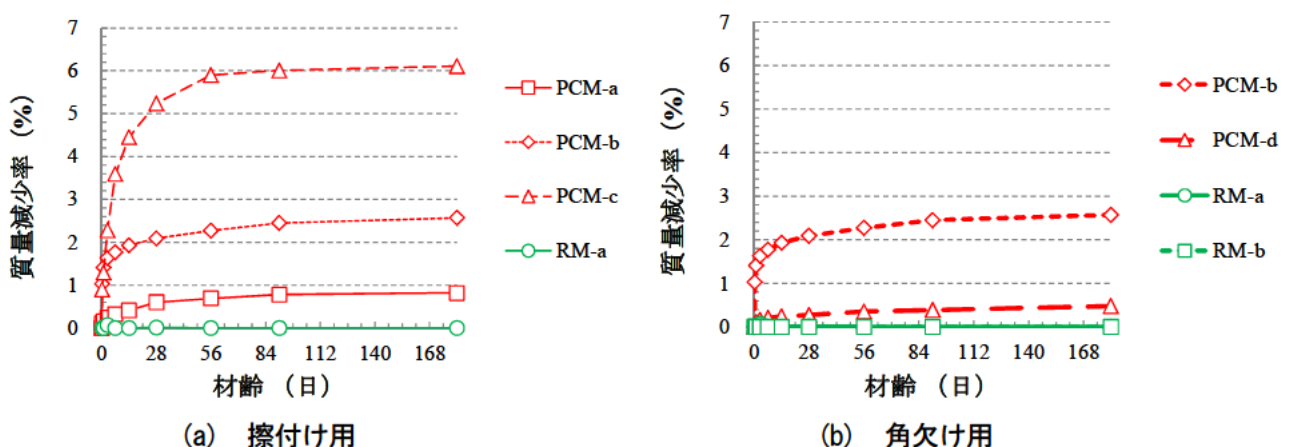


図-3.2.14 補修材の材齢と乾燥に伴う質量減少率の関係

図-3.2.14に材齢と乾燥に伴う質量減少率の関係図を示す。セメント系補修材については、材齢が進むのに伴って乾燥によると考えられる質量減少が確認された。補修材によってその大きさは様々で、特にPCM-c

の質量減少は大きく、PCM-dの質量減少は小さかった。

樹脂系補修材のRM-aおよびRM-bについては、質量変化がほとんどなかった。樹脂系補修材は水を用いていないため蒸発による質量減少は生じないと考えられる。また、結合材の樹脂に含まれる揮発成分の詳細は不明であるが、それらの揮発による質量減少もほとんどなかったものと考えられる。

(3) 寸法安定性

1) 試験方法

寸法安定性試験は、JSCE-K 561-2013「コンクリート構造物用断面修復材の試験方法(案)」の「5.9 寸法安定性」で行った。アスファルト系補修材については実施しなかった。

供試体寸法は100mm×100mm×400mm(PCM-cのみ40mm×40mm×160mmを用いたデータ)とし、内部に埋込み型ひずみ計および熱電対を設置した。ひずみの測定は、補修材の打込み直後より行った。また、材齢24時間で脱型し、直ちにアルミ箔粘着テープで供試体をシールした。

測定されるひずみには、セメントの水和熱や樹脂の硬化に伴い発生する熱などに起因する温度ひずみが含まれるため、測定されたひずみから温度ひずみを差し引くこととした。温度ひずみは、各材齢の温度と打設時の温度の差に、(4)に示す線膨張率を乗じて求めた。なお、線膨張率は初期の材齢で大きい、その後収束することが知られており³³⁾、測定されたひずみがほぼ収束した段階のひずみ量から温度ひずみを差し引いた値を寸法安定性とした。

2) 試験結果

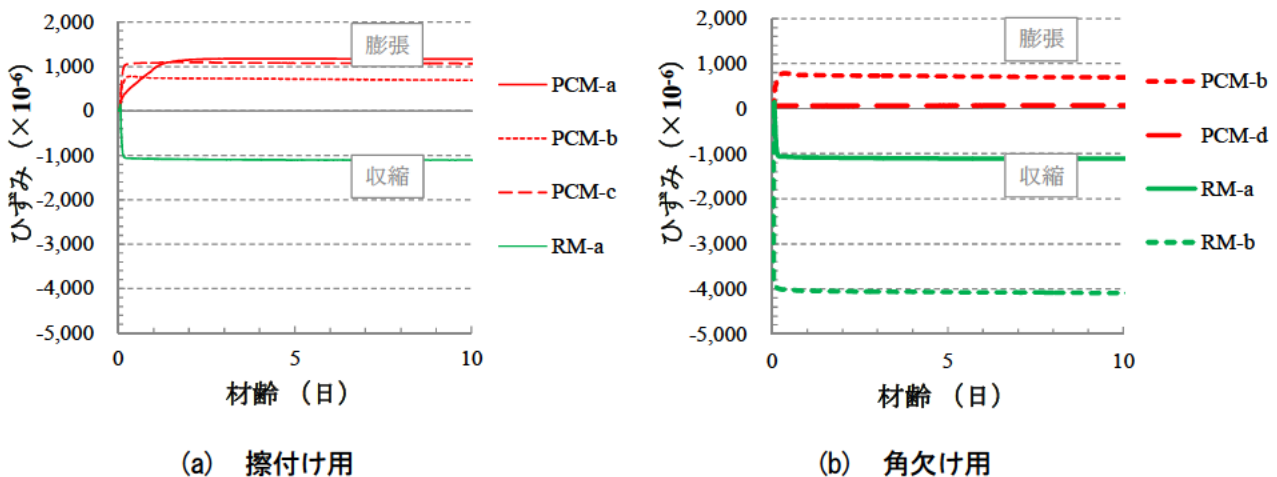


図-3.2.15 補修材の材齢と測定ひずみ(温度ひずみを差し引いた値)の関係

図-3.2.15に材齢と、測定ひずみ(温度ひずみを差し引いた値)の関係を示す。

ひずみの変化がほぼ収束した時点を確認すると、樹脂系のRM-aは $1,100 \times 10^{-6}$ 程度まで、RM-bは $4,100 \times 10^{-6}$ 程度まで収縮した。(2)に示した長さ変化率と比較するといずれも収縮量が大きい値を示した。

一方、セメント系補修材は、膨張を示した。PCM-aは材齢4日で $1,180 \times 10^{-6}$ 程度まで膨張し、その後収縮して $1,160 \times 10^{-6}$ 程度に膨張した状態で収束した。PCM-bも材齢7時間で 780×10^{-6} 程度まで膨張し、その後収縮して 660×10^{-6} 程度に膨張した状態で収束した。PCM-cも、材齢1日程度で $1,090 \times 10^{-6}$ 程度まで膨張し、

その後収縮して $1,030 \times 10^{-6}$ 程度まで膨張した状態で収束した。PCM-d は材齢 1 時間程度で 71×10^{-6} 程度まで膨張し、その後も若干膨張を続けて材齢 60 日頃に 90×10^{-6} 程度の膨張ではぼ収束した。PCM-d の膨張量は少なく、ほとんど寸法の変化がなかった。(2) に示した長さ変化率と比較すると、乾燥収縮の影響を除外しているため、長さ変化率に比べて膨張量が大きい傾向を示している。

測定ひずみがほぼ収束した段階の寸法安定性は、表-3.2.9 に示すとおりであった。

表-3.2.9 補修材の寸法安定性

補修材		寸法安定性 ($\times 10^{-6}$)
セメント系	PCM-a	1,160 (膨張)
	PCM-b	660 (膨張)
	PCM-c	1,030 (膨張)
	PCM-d	90 (膨張)
樹脂系	RM-a	-1,100 (収縮)
	RM-b	-4,100 (収縮)

(4) 線膨張率

1) 試験方法

本研究で用いた補修材の線膨張率は、JSCE-K 561-2013「コンクリート構造物用断面修復材の試験方法(案)」の「5.10 線膨張率」で実施した。線膨張率の測定は、(3) の測定ひずみが収束した後に、同一の供試体を使用して測定した(セメント系補修材と樹脂系補修材)。ひずみと温度の測定は、供試体の中心温度が $20^{\circ}\text{C} \rightarrow 30^{\circ}\text{C} \rightarrow 40^{\circ}\text{C} \rightarrow 50^{\circ}\text{C} \rightarrow 60^{\circ}\text{C} \rightarrow 50^{\circ}\text{C} \rightarrow 40^{\circ}\text{C} \rightarrow 30^{\circ}\text{C} \rightarrow 20^{\circ}\text{C} \rightarrow 10^{\circ}\text{C} \rightarrow 0^{\circ}\text{C} \rightarrow -10^{\circ}\text{C} \rightarrow -20^{\circ}\text{C} \rightarrow -10^{\circ}\text{C} \rightarrow 0^{\circ}\text{C} \rightarrow 10^{\circ}\text{C} \rightarrow 20^{\circ}\text{C}$ を 1 サイクルとして 10°C ごとに行い、2 サイクル実施した。

2) 試験結果

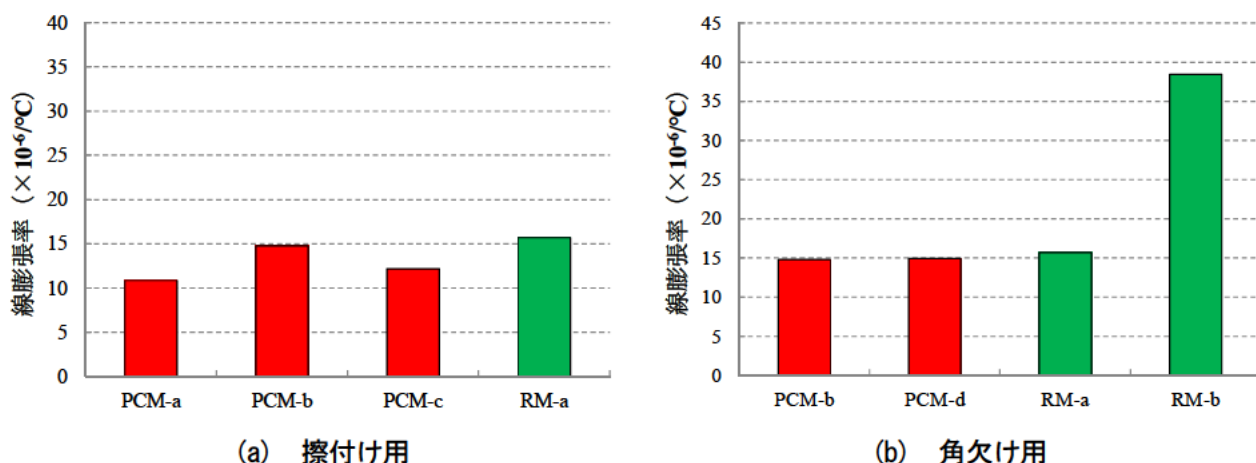


図-3.2.16 各補修材の線膨張率

図-3.2.16 に各補修材の線膨張率を示す。RM-b の線膨張率は $38.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であり、他の補修材 ($10.9 \sim 15.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) や一般的なコンクリート ($10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}^3$) に比べて大きい値を示した。

3.2.4 凍結融解抵抗性

(1) 概要

寒冷地域のコンクリート舗装は、繰返しの凍結融解作用を受けることから、補修箇所には凍結融解抵抗性の確保が必要と考えられる。ここでは、用いた補修材の凍結融解抵抗性を確認した。

(2) 凍結融解試験

1) 試験方法

補修材の凍結融解抵抗性の評価方法として、例えばセメント系補修材（本研究で用いたものは全てポリマーセメントモルタル）については、JIS A 1171: 2016「ポリマーセメントモルタルの試験方法」の7.11「凍結融解に対する抵抗性試験」で、JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」の「A法：水中凍結融解試験方法」に従って300サイクル行う、と規定されていることから、本研究でも同様の方法で凍結融解抵抗性の評価を行った。

樹脂系補修材については、凍結融解抵抗性の評価方法として特に定められた方法がないが、過去に樹脂コンクリートの凍結融解抵抗性を同様の方法（ASTM C290）で評価した事例^{35) 36)}があり、また、寸法 $\phi 75\text{mm} \times \text{H}150\text{mm}$ の円柱供試体を用いて ASTM C666 (JIS A 1148 制定時に参考とした試験方法で、ほぼ同様の方法) により凍結融解作用を与え、所定のサイクルにて相対動弾性係数と圧縮強度比を示すとともに、圧縮強度と動弾性係数に高い相関性があることを示した研究³⁷⁾も行われている。そのため、本研究では樹脂系補修材についてもセメント系補修材と同様、JIS A 1148 の A 法を凍結融解抵抗性の評価方法として用いた。

アスファルト系補修材についても、凍結融解抵抗性の評価方法として特に定められた方法がなく、相対動弾性係数とアスファルト系材料の強度特性や耐久性に関わる指標との関係を検討した事例がほとんどないことから、アスファルト系補修材については、比較・参考として同じ方法で試験した結果を示すこととした。

なお、ColdAs は完全に硬化しない材料であり、凍結融解試験装置への設置・取出し時に供試体が崩壊するため、試験は行わなかった。

供試体は、寸法 100mm×100mm×400mm の角柱供試体とした。供試体は、材齢 2 日で脱型し、材齢 28 日まで 20℃の環境における封かん養生を行った。その後の供試体は、材齢 56 日まで（28 日間）20℃の水中養生を行い、終了後に繰返しの凍結融解作用を供試体に与えた。

2) 試験結果（相対動弾性係数）

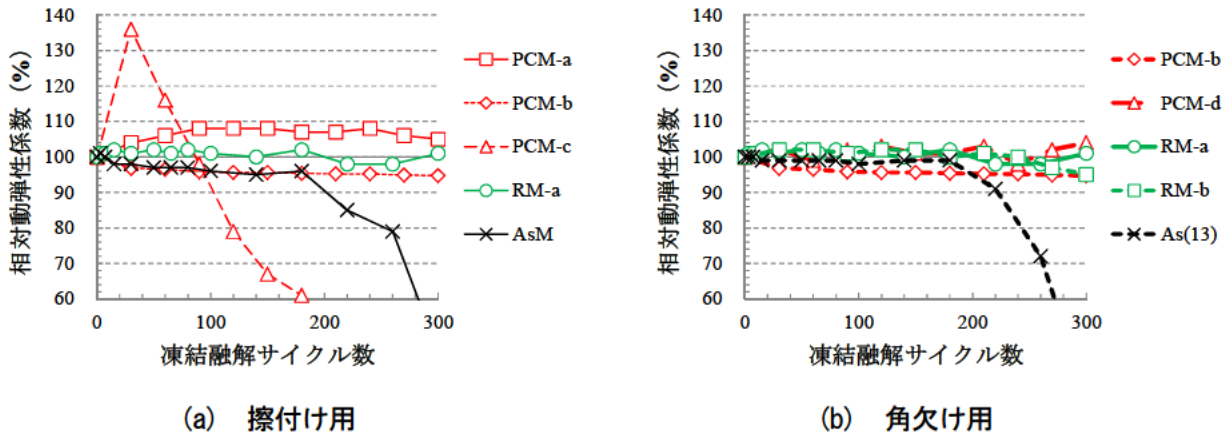


図-3.2.17 各補修材の凍結融解試験結果（相対動弾性係数）

凍結融解試験より得られた補修材の相対動弾性係数を図-3.2.17に示す。

PCM-c は、相対動弾性係数が一旦増加した結果が得られたが、その後は減少し、凍結融解 210 サイクル終了時点で 60%を下回ったため、試験を終了した。アスファルト系補修材については、AsM は凍結融解 180 サイクルまで、As(13)は凍結融解 220 サイクルまでは相対動弾性係数は 90%以上であったが、その後急激に減少し、いずれも凍結融解 300 サイクルで相対動弾性係数が 60%を下回った。

一方、RM-a と PCM-d は、いずれも凍結融解 300 サイクルまでに、相対動弾性係数はほとんど低下しなかった。PCM-a は、凍結融解 300 サイクルまでの範囲で相対動弾性係数が 100～108%程度であり、100%から減少しなかった。PCM-b および RM-b は、凍結融解 300 サイクルにおける相対動弾性係数が 95%程度と高い値を示した。これらの補修材は凍結融解抵抗性を有していると評価できるものであった。

3) 試験結果（質量減少率）

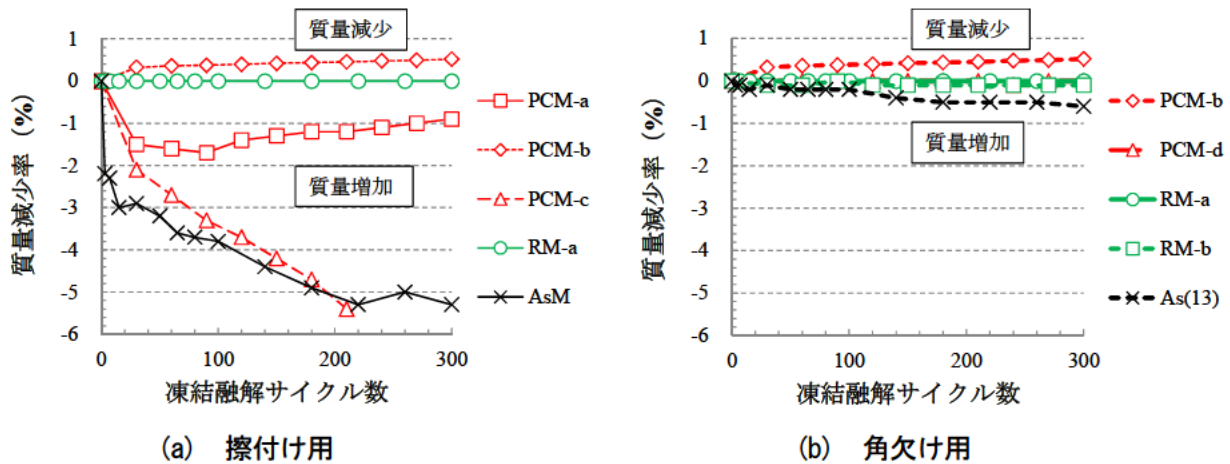


図-3.2.18 各補修材の凍結融解試験結果（質量減少率）

凍結融解試験より得られた補修材の質量減少率を図-3.2.18に示す。

PCM-bの質量減少率は、凍結融解300サイクルで0.5%であり、スケーリングの発生も確認された。

PCM-a、PCM-c、AsM、As(13)の質量減少率は負の値、つまり質量が増加した。特にAsMとPCM-cは質量の増加が凍結融解200サイクル程度で5%程度に達した。PCM-aやAsMは供試体にスケーリングなどの目立った変状は確認されなかった。また、PCM-cは供試体にひび割れや膨張が確認されたが、わずかにスケーリングが発生した。図-3.2.17と比較すると、特にPCM-c、AsM、As(13)は凍結融解300サイクルまでに、相対動弾性係数が60%を下回ったことから、供試体の脆弱化によって内部に水分が多く浸入したものと考えられる。

一方、PCM-d、RM-a、RM-bの質量減少率は、凍結融解サイクルが増加してもほぼゼロのままであった。

3.3 まとめ

本研究で用いた補修材の基本的な性質を記述したが、強度の高いものや低いもの、当初は一度膨張してから収縮に転じるものや当初から収縮するもの、凍結融解抵抗性が高いと評価できるものと凍結融解抵抗性が小さい結果が得られたものなど、性質は様々であった。これらの性質の異なる補修材を用いて、補修材に求められる性質の検討を行い、次章以降に記述することとした。

参考文献

- 3.1) 公益社団法人土木学会：コンクリート標準示方書 [施工編]、pp.169～174、2018.3
- 3.2) 公益社団法人土木学会：コンクリート標準示方書 [施工編]、pp.161～168、2018.3
- 3.3) 公益社団法人日本コンクリート工学会：マスコンクリートのひび割れ制御指針改訂調査委員会報告書、pp.25～26、2014.6
- 3.4) 社団法人日本道路協会：舗装設計便覧、p.173、2006
- 3.5) 岡田清・久良喜代彦・小林和夫・守武秀憲：ポリエステルコンクリートの土木構造物への適用に関する基礎的研究、コンクリート・ジャーナル、Vol. 5、No. 11、pp.12～18、1967.11

- 3.6) 大浜嘉彦：レジコンクリートの凍結融解に対する抵抗性、昭和44年度建築研究所年報、pp.304～305、1970.12
- 3.7) 杉田英明・藤本浩・熊谷秀春・水賢治：石炭灰を用いたレジコンクリートの性状について、コンクリート工学年次論文報告集、12-1、pp.139～144、1990

4. 剥離抵抗性

4.1 概要

本章では、補修材の剥離抵抗性に関する検討結果について示す。

補修箇所から補修材が容易に剥離すると、回復した平坦性が失われて道路利用者への被害に繋がることが懸念される。そのため、剥離抵抗性は補修材に求められる重要な性質の1つと考えられる。そこで、補修材の剥離抵抗性に関する検討を行った。

4.2 剥離抵抗性の評価方法

4.2.1 概要

補修材の剥離抵抗性を評価する方法には、例えば JSCE-K 561-2013 「コンクリート構造物用断面修復材の試験方法（案）」の「5.8 付着強度」がある。この方法は表-4.2.1 に示す平板を試験用基板（以下、基板）に用いるもので、型枠底面側を 150 番研磨紙で十分に研磨し、断面修復材を接着させて、引張により断面修復材の付着強度（本研究では、破壊位置によらずプルオフ強度、特に基板界面で破壊した場合を補修材の付着強度と呼ぶこととする）を測定するものである。

表-4.2.1 JSCE-K 561-2013 で規定する基板の条件

平板の種類	寸法 (mm)	使用コンクリートの条件	備考
コンクリート打設により作製する場合	300×300×60	W/C：50%以下 空気量：5%以下 粗骨材最大寸法：25mm 以下 曲げ強度荷重：12kN 以上	JSCE-K 561-2013 5.8 表 2
市販の平板を用いる場合	呼び 300 (300×300) 厚さ：30 または 60 または 80	曲げ強度荷重：12kN 以上	JIS A 5371: 2016 の附属書 B の推奨仕様 B-1 平板の B-1.2 に規定される普通平板 N

実際の補修面は凹凸があり、平滑ではない場合がほとんどである。土木研究所資料第 4343 号「コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル（案）」には、表面粗さが異なるとプルオフ強度に差が生じた結果が示されている⁴¹⁾。そこで本研究では、JSCE-K 561-2013 「コンクリート構造物用断面修復材の試験方法（案）」の「5.8 付着強度」を基本とし、表面を砂目状とした基板を用いてプルオフ試験を行って剥離抵抗性を評価した。具体的な試験方法は、4.2.2 以降に記述する。また、基板コンクリートの表面粗さなどの試験条件については、プルオフ強度に及ぼす影響などを事前検討で調査した結果、決定した。その事前検討の詳細については巻末の資料 1 に記述する。

4.2.2 基板の作製

舗装コンクリートを模擬した表-4.2.2、表-4.2.3、表-4.2.4 に示す材料、配合、基本性状のコンクリートを用いて、寸法 300mm×300mm×40mm の平板を作製し、基板とした。コンクリートの打設 1 日後に脱型し、

平板の型枠底面側をワイヤーブラシまたはディスクグラインダーを用いて、表面に細骨材が露出する程度まで素地調整を行い、「砂目」の状態とした。その後は、20℃の水中養生を材齢 28 日まで行った。

表-4.2.2 基板に用いたコンクリートの材料

材料名		密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)
C	普通ポルトランドセメント	3.16	—
S	山砂	2.56	0.39
G	硬質砂岩砕石 (5号と6号を質量比 1:1 で混合、Gmax=20mm)	2.67	1.79

表-4.2.3 基板に用いたコンクリートの配合

W/C (%)	単位粗骨材 かさ容積	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
			W	C	S	G
49.2	0.72	39.6	145	295	728	1158

表-4.2.4 基板に用いたコンクリートの基本性状

目標スランプ*	5.0cm
目標空気量*	4.5±1.0%
圧縮強度 (標準養生、材齢 28 日)	49.0MPa
曲げ強度 (標準養生、材齢 28 日)	5.60MPa
曲げ強度荷重 (標準養生、材齢 28 日)	18.9kN

※適宜、AE 減水剤、AE 剤を添加して調整

4.2.3 使用した補修材

表-4.2.5 に示す擦付け用補修材 5 種類と表-4.2.6 に示す角欠け用補修材 6 種類を用いた。As(13)は表-4.2.7 に示す材料、表-4.2.8 に示す配合率で加熱混合 (混合温度 150℃) したものである。これらは、3 章の表-3.1.1 および表-3.1.2 に示す補修材と同じものである。また、これらの補修材を補修面に施工する際は、表-4.2.5 および表-4.2.6 に示す方法 (製造者の指定する方法) で処理を行った。

表-4.2.5 使用した補修材 (擦付け用)

分類	記号	補修材の種類	凝結 (硬化) 調整剤、季節対応品の有無	施工面の処理方法
セメント系	PCM-a	ポリマーセメントモルタル	無	水湿し
	PCM-b	ポリマーセメントモルタル	有	水湿し
	PCM-c	ポリマーセメントモルタル (柔軟型)	無	水湿し
樹脂系	RM-a	エポキシ樹脂モルタル	有	エポキシプライマー塗布
アスファルト系	AsM	常温硬化型アスファルトモルタル	無	なし

表-4.2.6 使用した補修材（角欠け用）

分類	記号	補修材の種類	凝結（硬化）調整剤、季節対応品の有無	施工面の処理方法
セメント系	PCM-b	ポリマーセメントモルタル	有	水湿し
	PCM-d	ポリマーセメントモルタル	有	水湿し
樹脂系	RM-a	エポキシ樹脂モルタル	有	エポキシプライマー塗布
	RM-b	アクリル樹脂モルタル	無	なし
アスファルト系	As(13)	加熱合材 (細粒度アスファルト混合物 (13))	無	タックコート塗布
	ColdAs	常温合材（骨材最大粒径 3mm）	無	なし

表-4.2.7 As(13)の使用材料

材料	密度 (g/cm ³)			吸水率 (%)
	表乾	かさ	見掛	
6号砕石（砂岩）	2.652	2.634	2.683	0.70
7号砕石（砂岩）	2.629	2.602	2.675	1.05
粗砂（砕砂）	2.585	2.547	2.648	1.50
細砂（洗砂）	2.554	2.481	2.677	2.95
石粉	—	—	2.753	0.10
アスファルト (ストレートアスファルト 60-80)	—	—	—	—

表-4.2.8 As(13)の配合率

材料	骨材					アスファルト
	6号砕石	7号砕石	粗砂	細砂	石粉	
配合率 (%)	21.5	15.9	27.1	23.4	5.6	6.4

4.2.4 補修材の施工

水中養生終了後の基板を十分清掃し、プライマー塗布や水湿しなどの処理を行って補修材を施工して供試体を作製した。供試体の形状は図-4.2.1に示すとおりである。補修材の施工厚さは主に薄層の補修を対象とする擦付け用については10mm厚とし、角欠け用は25mm厚とした。

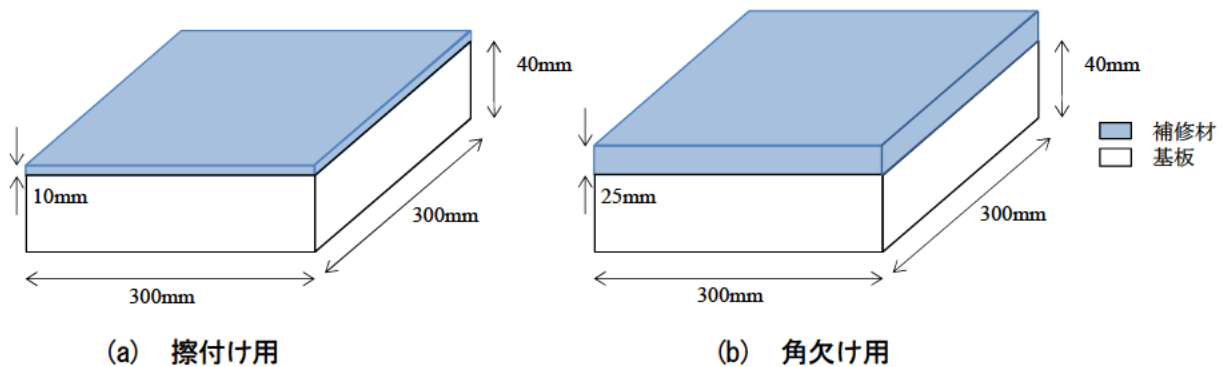


図-4.2.1 剥離抵抗性評価用供試体

4.2.5 プルオフ強度の測定方法

プルオフ強度の測定方法は、JSCE-K 561-2013 5.8を参考に、40mm×40mmの鋼製治具および建研式接着力試験機を用いたプルオフ試験とした。治具の接着は、補修材表面をディスクグラインダー等で厚さ1mm程度研磨した後に十分に清掃し、2液型エポキシ樹脂系接着剤を用いて行った。接着剤が十分に硬化した後、基板に深さ10mm程度に達するまで治具の周囲に切込みを入れ、プルオフ強度を測定した。

プルオフ試験後の破壊位置は、図-4.2.2および表-4.2.9のとおりに分類した。なお、補修材の凝集破壊については、補修材の上部1mm程度の薄層で破壊した場合を「B上」、界面付近の補修材下部1mm程度の薄層で破壊した場合は「B下」と分類した。

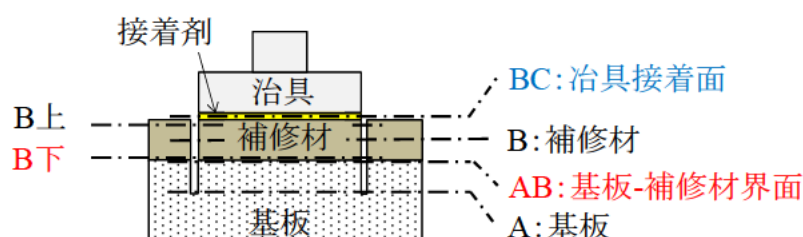


図-4.2.2 破壊位置の分類

表-4.2.9 破壊位置の分類

記号	破壊位置
A	基板破壊
AB	基板と補修材の界面破壊
B下	補修材の凝集破壊（下部1mm以下程度の薄層で破壊した場合）
B	補修材の凝集破壊
B上	補修材の凝集破壊（上部1mm以下程度の薄層で破壊した場合）
BC	治具接着面破壊

4.3 補修材の標準、夏期、冬期に応じた剥離抵抗性

4.3.1 評価方法

補修材の標準的な剥離抵抗性は、20℃の室内で補修材の練混ぜ、供試体の作製（As(13)のみ練混ぜ温度や転圧温度は150℃）、気中養生、プルオフ試験を行い評価した。舗装用補修材は通常、施工後および硬化後の湿潤養生などは行われなため、本研究では気中養生とした。

また、夏期および冬期の施工や供用を想定した剥離抵抗性の評価も行った。補修材の練混ぜ、供試体の作製、気中養生、プルオフ試験の温度は35℃および5℃（As(13)除く）とした。

プルオフ試験の材齢は、補修材施工後の2時間、7時間、7日、28日目に行った。なお、補修材が硬化せず材齢2時間の試験が困難な場合は、材齢3時間で試験を実施した。材齢3時間でも試験が困難な場合は、材齢7時間から試験を開始した。プルオフ試験の位置は図-4.3.1に示すとおりとした。

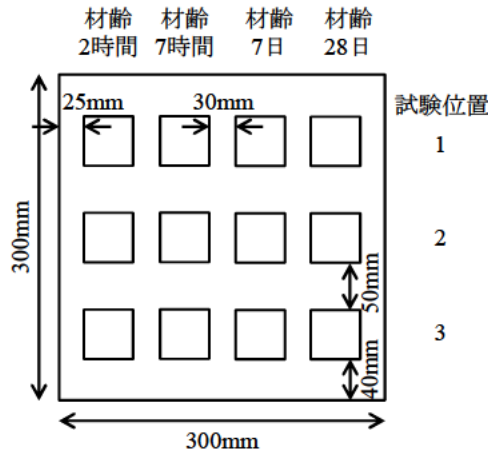


図-4.3.1 試験位置

4.3.2 試験結果

補修材のプルオフ試験結果を図-4.3.2～図-4.3.12に示す。

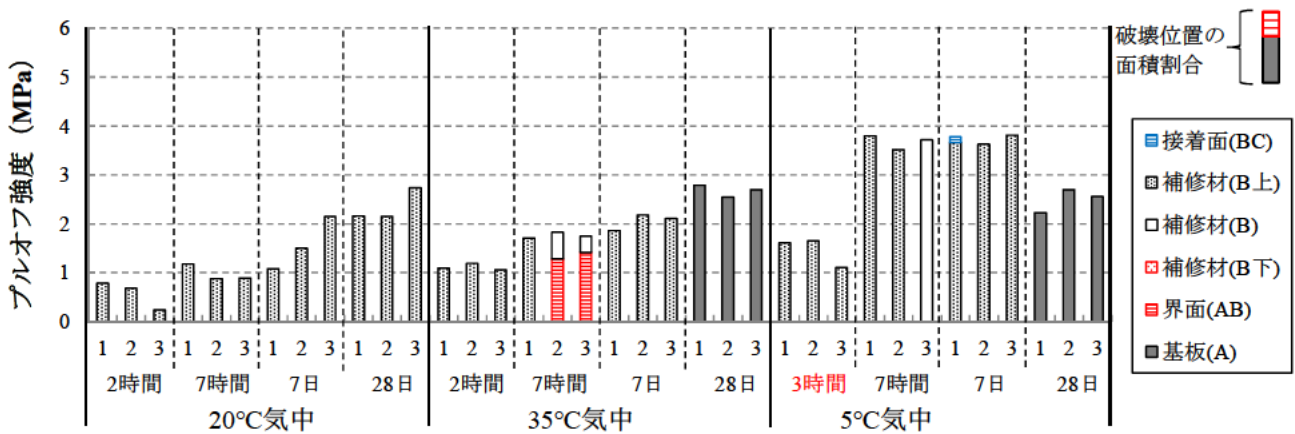


図-4.3.2 プルオフ試験結果 (PCM-a・擦付け用)

PCM-a (擦付け用) は、補修材の上部薄層(B上)で破壊することが多かった。これらの値は補修材のプルオフ強度を示している。材齢が進んで補修材の強度が増加すると、プルオフ強度も増加する傾向を示した。また、35°Cおよび5°Cの材齢28日のプルオフ強度は2~3MPa程度であり、破壊位置は基板(A)であった。これらは基板のプルオフ強度を示しており、界面の付着強度はこの値以上と考えられる。付着強度が基板のプルオフ強度以上を示した場合は、補修材(B上)や(B)で破壊した場合でも十分な付着を有していると考えられる。

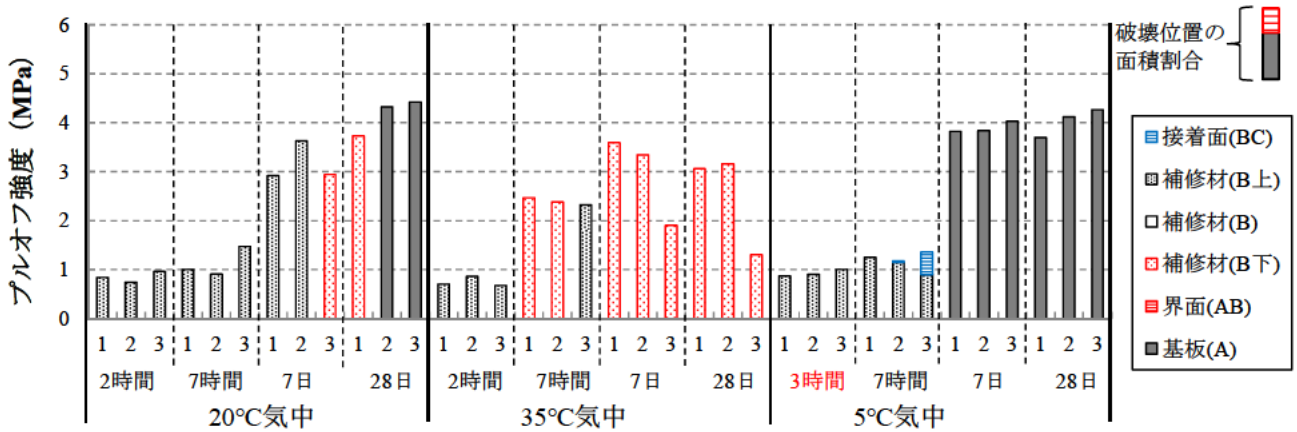


図-4.3.3 プルオフ試験結果 (PCM-b・擦付け用)

PCM-b (擦付け用) は、材齢 7 時間までは補修材の上部薄層(B 上)で破壊することが多かった。材齢が進んで補修材の強度が増加すると、補修材のプルオフ強度も増加する傾向を示した。また、材齢が進むと界面付近の補修材の下部薄層(B 下)や基板(A)で破壊するように破壊位置が変化した。基板(A)で破壊したものは基板のプルオフ強度を示しており、界面の付着強度はこの値以上と考えられることから、十分な付着が得られていると考えられる。

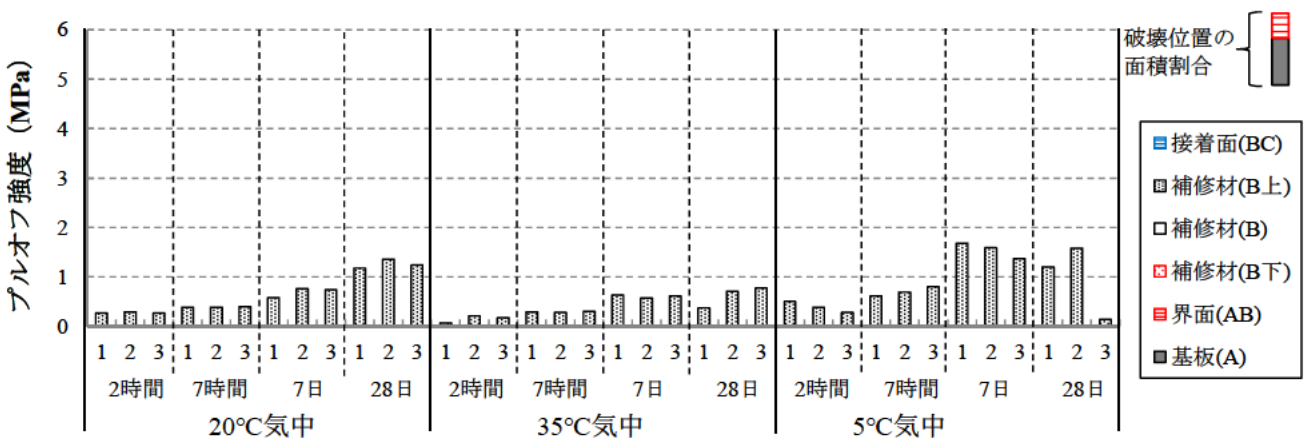


図-4.3.4 プルオフ試験結果 (PCM-c・擦付け用)

PCM-c (擦付け用) は、プルオフ強度が材齢 28 日においても 2MPa 未満であり、他のセメント系と比べて小さい値であった。また、破壊位置は全て補修材の上部薄層(B 上)であった。ただし、補修材の上部薄層(B 上)で破壊した場合は、大きな凹みが生じたり、大きな塊が飛散したりするような懸念が少ないと考えられる。

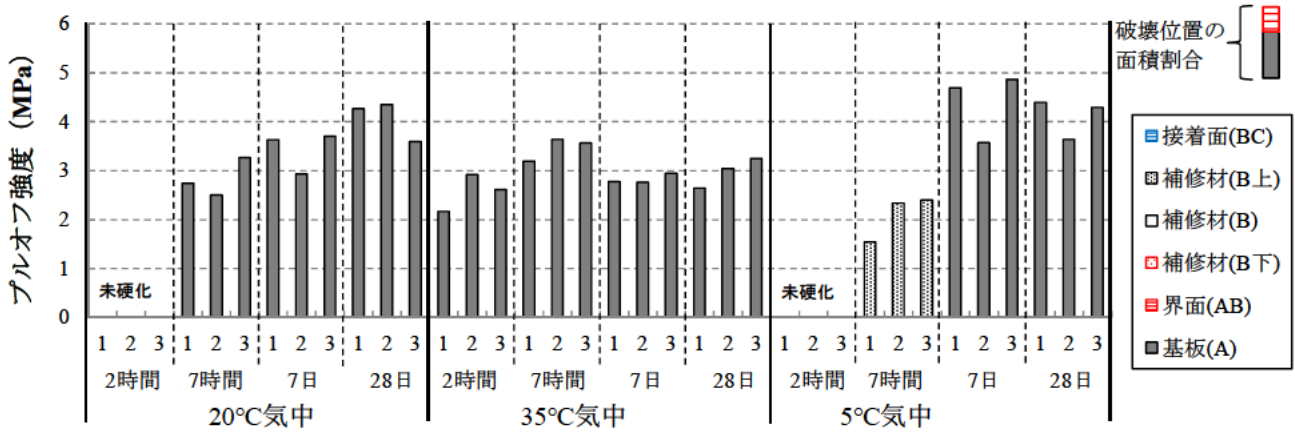


図-4.3.5 プルオフ試験結果 (RM-a・擦付け用)

RM-a (擦付け用) は、20°Cおよび5°Cでは材齢2~3時間では未硬化で試験ができなかった。35°Cでは材齢2時間で2MPa以上のプルオフ強度を示し、破壊位置は基板(A)であった。また、硬化すれば、初期材齢から高い強度を示していた。5°Cでは補修材(B上)の破壊が確認されたが、強度発現に時間を要したためと考えられる。

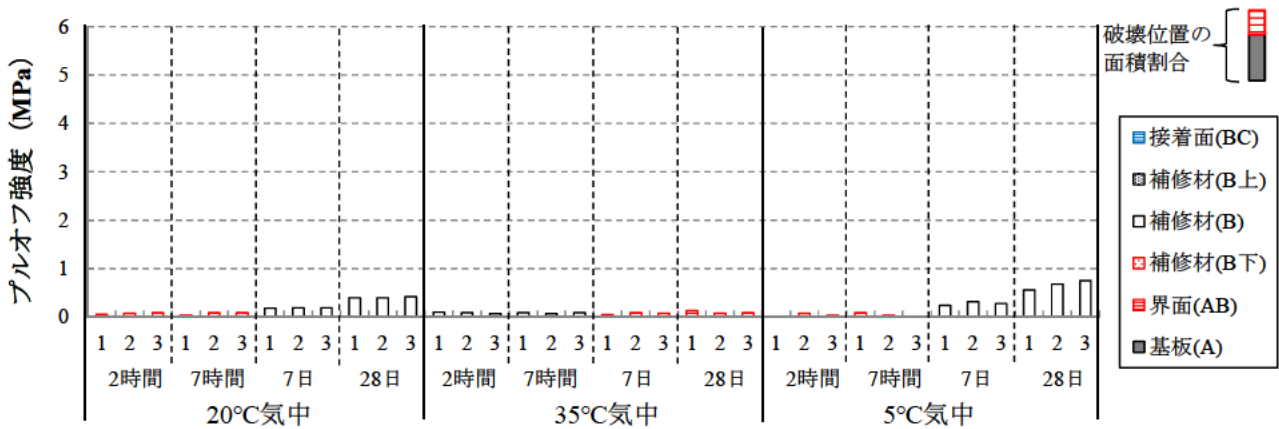


図-4.3.6 プルオフ試験結果 (AsM・擦付け用)

AsM (擦付け用) は、高温では軟化するため20°Cよりも35°Cのプルオフ強度が小さく、低温では硬化するため20°Cよりも5°Cのプルオフ強度が大きい傾向を示した。破壊位置は界面(AB)または補修材(B)であった。基板(A)や補修材上部薄層(B上)では破壊せず、プルオフ強度もセメント系や樹脂系に比べて小さいと考えられる。

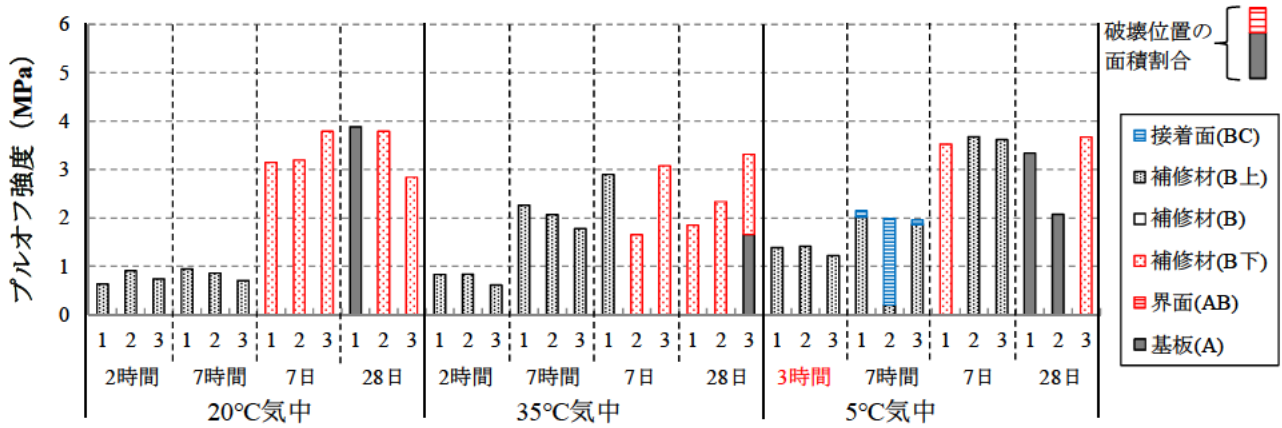


図-4.3.7 プルオフ試験結果 (PCM-b・角欠け用)

PCM-b (角欠け用) は、材齢 7 時間までは補修材の上部薄層(B 上)で破壊することが多かった。材齢が進んで補修材の強度が増加すると、補修材のプルオフ強度も増加する傾向を示し、下部薄層(B 下)や基板(A)で破壊するように変化した。破壊位置が基板(A)のものは基板のプルオフ強度を示すため、界面の付着強度はこの値以上であり、十分な付着は得られていると考えられる。

PCM-b (擦付け用) (図-4.3.3) と比較した場合、プルオフ強度に大きな差はなかったが、厚さ 25mm の方 (厚い方) が補修材で凝集破壊しやすい傾向を示した。

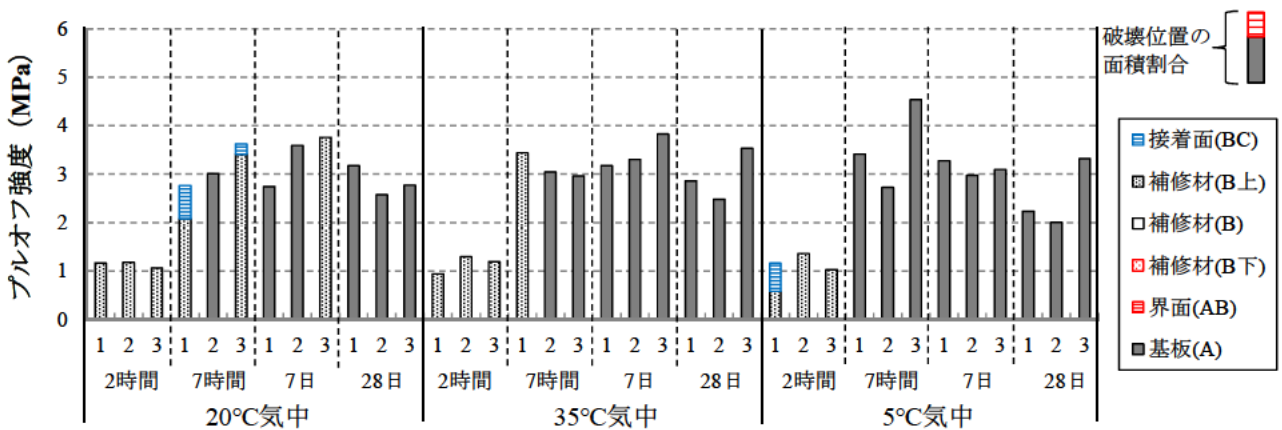


図-4.3.8 プルオフ試験結果 (PCM-d・角欠け用)

PCM-d (角欠け用) は、初期材齢では補修材の上部薄層(B 上)で破壊することが多く、材齢が進んで補修材の強度が増加すると、補修材のプルオフ強度も増加する傾向を示し、基板(A)で破壊するように変化した。他のセメント系補修材よりも早い材齢から基板(A)で破壊するようになる傾向があった。

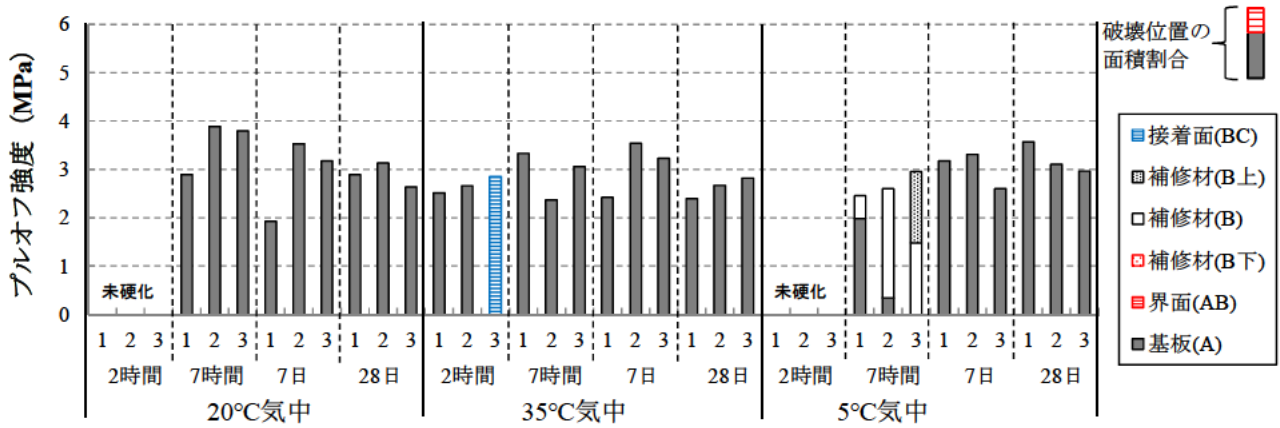


図-4.3.9 プルオフ試験結果 (RM-a・角欠け用)

RM-a (角欠け用) は、20℃および35℃では材齢2～3時間では未硬化で試験ができなかったが、35℃では材齢2時間でもプルオフ強度が2MPa以上を示した。破壊位置はほぼ基板(A)であり、界面の付着強度はこの値以上と考えられる。また、硬化すれば、初期材齢から高い強度が得られていると考えられる。5℃の場合は、強度発現に時間を要するため、材齢7時間では補修材(B上)の破壊が確認された。

RM-a (擦付け用) (図-4.3.5) と比較した場合、プルオフ強度に大きな差は確認されず、ほとんどが基板(A)で破壊しており、両者の間には目立つ傾向の差は確認されなかった。

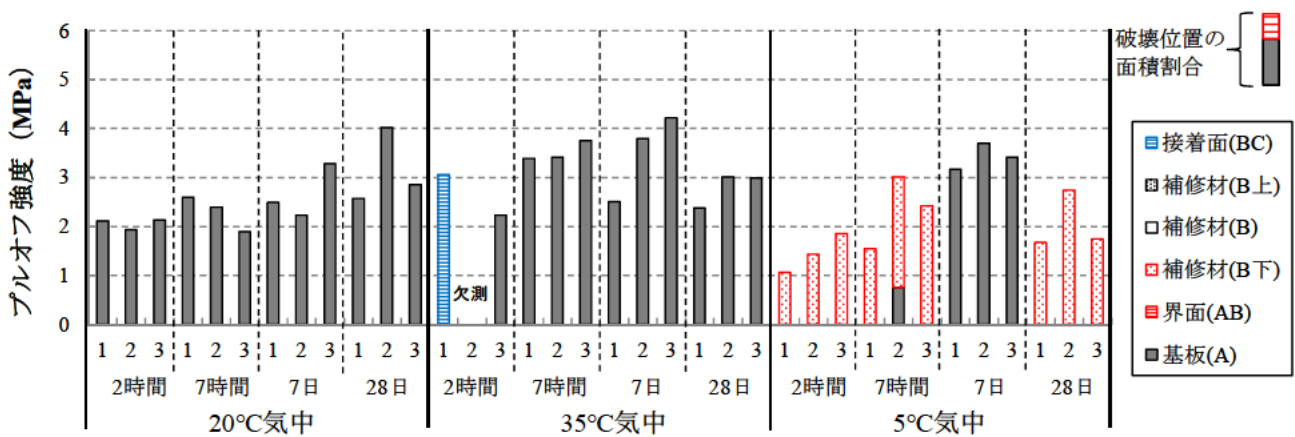


図-4.3.10 プルオフ試験結果 (RM-b・角欠け用)

RM-b (角欠け用) は、20℃および35℃では材齢2時間でもプルオフ強度が2MPa以上を示し、破壊位置は基板(A)であった。界面の付着強度はこの値以上と考えられる。また、硬化すれば、初期材齢から高い強度が得られていると考えられる。5℃の場合は、強度発現に時間を要するため、補修材(B下)の破壊が確認された。

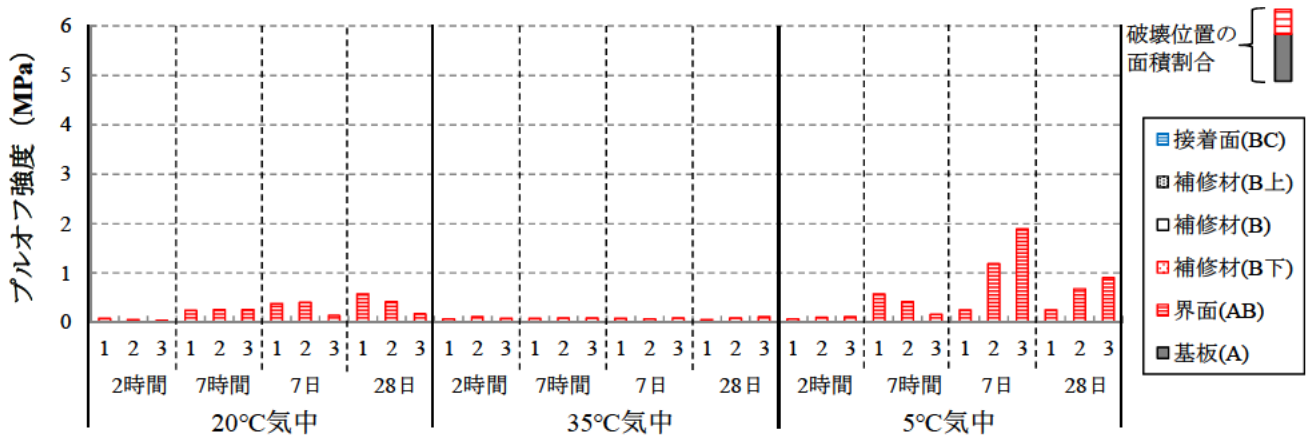


図-4.3.11 プルオフ試験結果 (As(13)・角欠け用)

As(13) (角欠け用) は、高温では軟化することから 20℃よりも 35℃のプルオフ強度が小さく、低温では硬化することから 20℃よりも 5℃のプルオフ強度は大きい傾向を示した。下地にタックコートを塗布したが、破壊位置は全てタックコート部、つまり界面(AB)であり、得られたプルオフ強度は界面の付着強度を示していると考えられる。

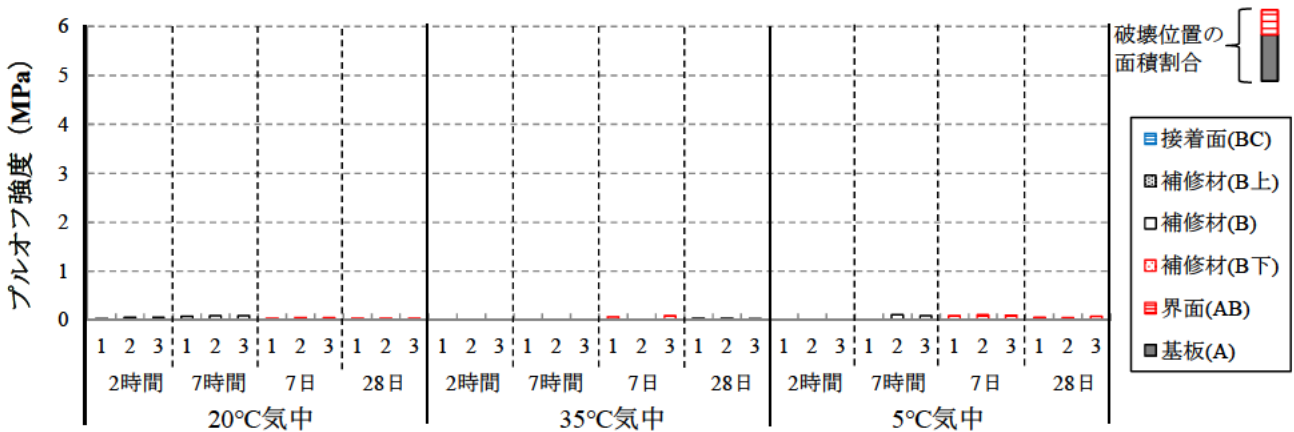


図-4.3.12 プルオフ試験結果 (ColdAs・角欠け用)

ColdAs (角欠け用) は、温度によるプルオフ強度の差はほとんど確認できず、いずれもプルオフ強度は非常に小さかった。破壊位置は、界面(AB)または補修材(B)であった。

本研究で用いたセメント系や樹脂系の剥離抵抗性は、柔軟型ポリマーセメントモルタルの PCM-c も含めて、従来から用いられているアスファルト系補修材と比べると、プルオフに対する剥離抵抗性は高いと考えられる。

4.3.3 まとめ

①ColdAs を除き、材齢の増加に伴ってプルオフ強度が増加する傾向を示した。

- ②アスファルト系はセメント系や樹脂系と比べてプルオフ強度は小さく、ColdAs はほとんどゼロであった。
- ③セメント系補修材（PCM-c 以外）のプルオフ強度は、初期材齢では小さいが、材齢が進むと 2MPa 以上まで増加した。また、PCM-a を除き基板(A)で破壊するようになる傾向を示した。
- ④樹脂系については、初期材齢からプルオフ強度が大きく、基盤(A)で破壊する傾向を示した。
- ⑤基板(A)で破壊した場合、界面の付着強度は基板のプルオフ強度以上と考えられ、付着強度は十分大きいと考えられる。
- ⑥柔軟型ポリマーセメントモルタルの PCM-c は、材齢 28 日でもプルオフ強度が 2MPa 未満と、他のセメント系と比べて小さく、破壊位置は補修材(B 上)であった。なお、他のセメント系についても、初期材齢においてはプルオフ強度が小さく、破壊位置は(B 上)である。
- ⑦補修材(B 上)で破壊した場合、得られた値は補修材のプルオフ強度を示しており、基板のプルオフ強度や界面の付着強度よりも小さいと考えられる。しかし、破壊位置は補修材の表面薄層部なため、大きな凹みや大きな塊の飛散が生じず、補修材のすり減りが顕著でなければ、道路利用者への被害の恐れは少ないと考えられる。
- ⑧比較用に用いた従来のアスファルト系補修材は、夏期は軟化してプルオフ強度が小さくなり、冬期は硬化してプルオフ強度が大きくなる傾向があった。また、セメント系、樹脂系補修材に比べ、プルオフ強度の値は小さかった。破壊位置は界面(AB)または補修材(B)となることが多かった。
- ⑨セメント系、樹脂系補修材の夏期および冬期の剥離抵抗性については、樹脂系補修材に冬期の強度発現の遅れが確認されたものの、著しくプルオフ強度が低下するような顕著な変化はなかった。今回用いたセメント系、樹脂系補修材は、いずれの季節においても、剥離抵抗性に著しい変化は生じないものであった。
- ⑩補修材に求められる剥離抵抗性について、プルオフ試験を行った際、プルオフ強度が基板(A)で破壊する程度の値（他の破壊位置でも同等以上は可）が得られるか、プルオフ強度が小さい場合でも確実に表層部の薄層(B 上)で破壊することが望ましいと考えられる。

4.4 湿潤環境の影響

4.4.1 概要

アスファルト混合物には、水によって骨材とアスファルト被膜が剥離することで破損に至る現象があるが、従来から用いられているアスファルト系補修材についても、補修材の破損や界面からの剥離が降雨による湿潤環境下で生じやすいと考えられる。今回用いた補修材についても、コンクリート版との界面における剥離抵抗性を確認するため、補修材の湿潤環境下における剥離抵抗性の評価を行った。

4.4.2 試験方法

剥離抵抗性の評価は、4.3 の検討と同じ試験方法で行った。供試体は 20℃の環境で補修材を練混ぜて施工し、補修材施工後 7 時間までは 20℃の室内で気中養生とした。7 時間後からは、湿潤環境が付着強度に及ぼす影響を評価するために 20℃の水中養生に切り替え、材齢 7 日および 28 日にプルオフ試験を行った。治具の接着のため、プルオフ試験 1 日前に水中より取り出し、表面の乾燥後に治具の接着および切込みを行った。

4.4.3 試験結果

水中養生後のプルオフ試験結果（材齢 7 日、28 日）を気中養生後のプルオフ試験結果（材齢 2 時間～28 日）と合わせて図-4.4.1～図-4.4.11 に示す。

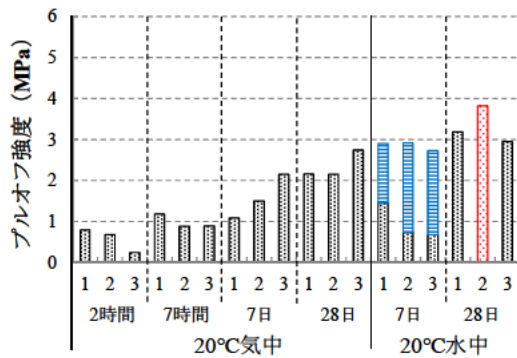


図-4.4.1 気中養生および水中養生後のプルオフ強度 (PCM-a・擦付け用)

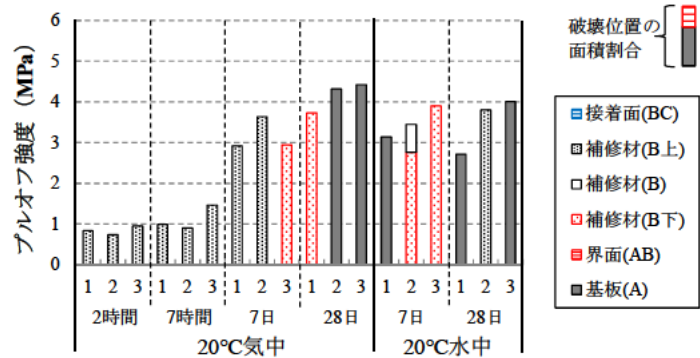


図-4.4.2 気中養生および水中養生後のプルオフ強度 (PCM-b・擦付け用)

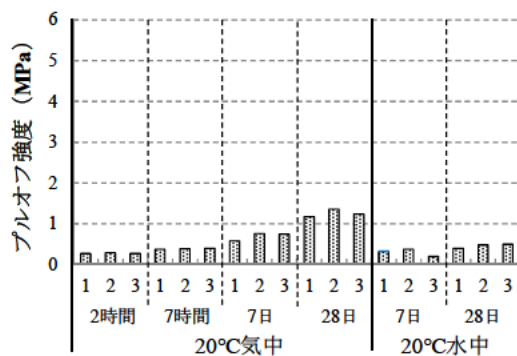


図-4.4.3 気中養生および水中養生後のプルオフ強度 (PCM-c・擦付け用)

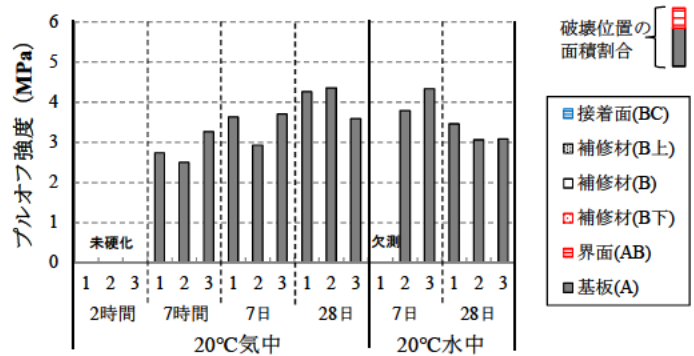


図-4.4.4 気中養生および水中養生後のプルオフ強度 (RM-a・擦付け用)

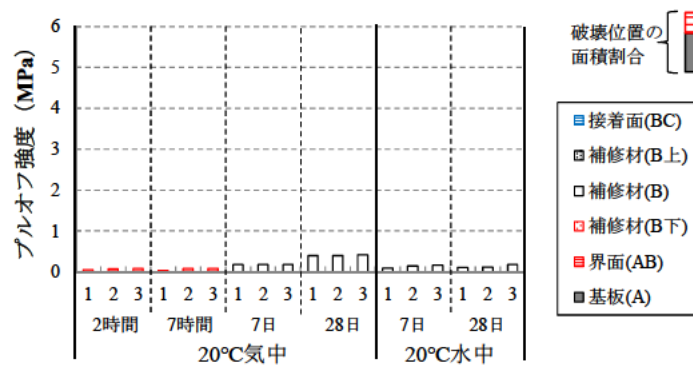


図-4.4.5 気中養生および水中養生後のプルオフ強度 (AsM・擦付け用)

アスファルト系の AsM は、水浸によってプルオフ強度の低下が確認された。破壊位置は補修材(B)であり、

水浸によって補修材のプルオフ強度に影響が生じたと考えられる。

セメント系および樹脂系については、柔軟型ポリマーセメントモルタルのPCM-cのみ、水浸によるプルオフ強度（破壊位置は補修材(B上)）の低下が確認された他は、水浸の影響は確認されなかった。

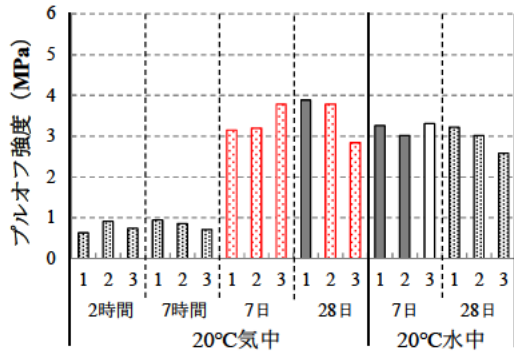


図-4.4.6 気中養生および水中養生後のプルオフ強度 (PCM-b・角欠け用)

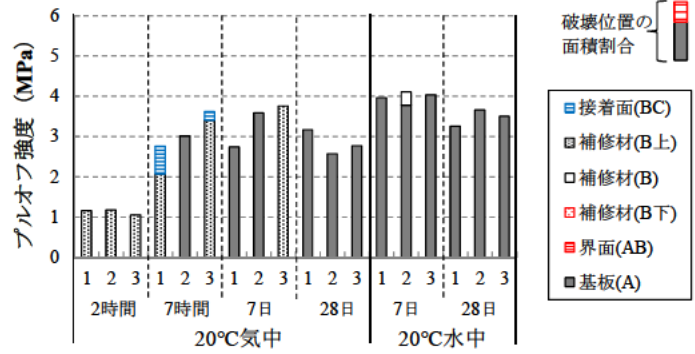


図-4.4.7 気中養生および水中養生後のプルオフ強度 (PCM-d・角欠け用)

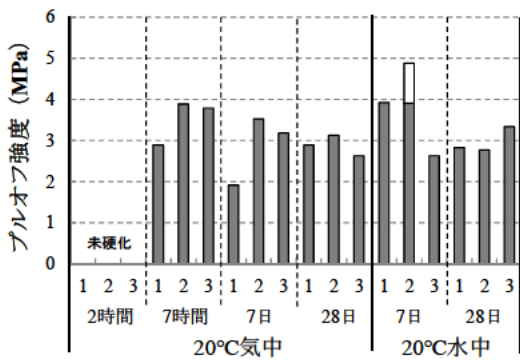


図-4.4.8 気中養生および水中養生後のプルオフ強度 (RM-a・角欠け用)

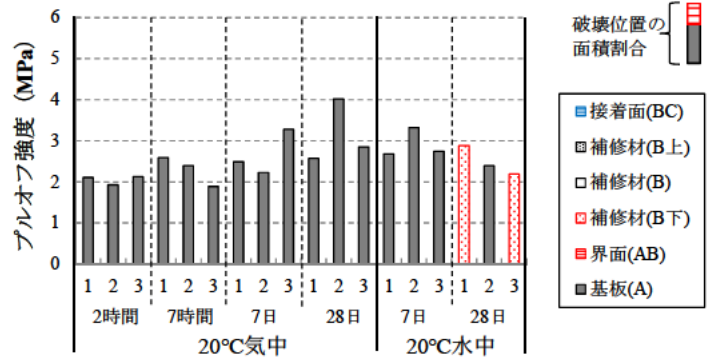


図-4.4.9 気中養生および水中養生後のプルオフ強度 (RM-b・角欠け用)

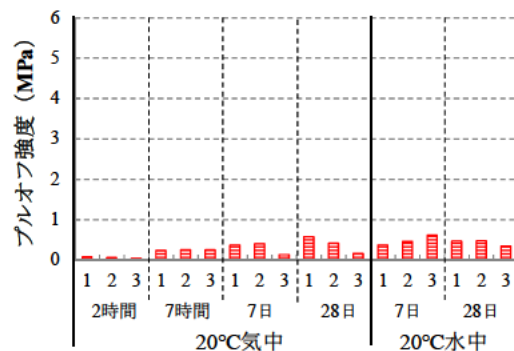


図-4.4.10 気中養生および水中養生後のプルオフ強度 (As(13)・角欠け用)

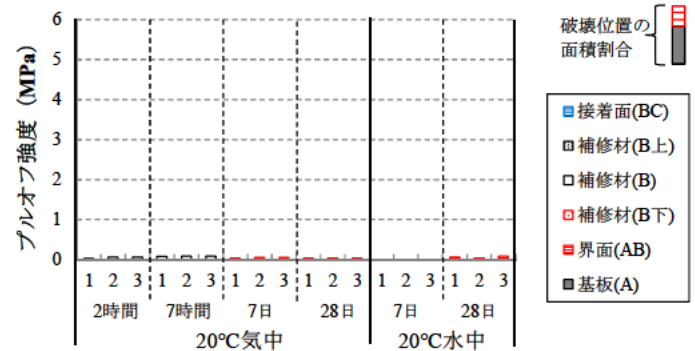


図-4.4.11 気中養生および水中養生後のプルオフ強度 (ColdAs・角欠け用)

アスファルト系の As(13)および ColdAs は、水浸の有無について目立ったプルオフ強度の差は生じなかつ

た。セメント系および樹脂系についても、水浸の影響は確認されなかった。

4.4.4 まとめ

- ①水浸による剥離抵抗性への影響については、アスファルト系補修材では As(13)および ColdAs には目立った差が生じなかったが、AsM には水浸によるプルオフ強度の低下が確認された。破壊位置は補修材(B)であり、水浸によって補修材のプルオフ強度に影響が生じたと考えられる。
- ②セメント系および樹脂系補修材では、PCM-c (柔軟型ポリマーセメントモルタル) のみ、水浸によるプルオフ強度の低下が確認された。その他の補修材については、水浸の影響は確認されなかった。

4.5 乾湿繰返し・温度変化の影響

4.5.1 概要

4.3 では標準的環境 (温度 20℃)、夏期、冬期における剥離抵抗性を、4.4 では湿潤環境の影響を検討した結果を示した。ただし、実際の環境では乾湿繰返しや温度変化が作用しており、コンクリート版や補修材に繰返し寸法変化が生じている。これらが補修材自体の耐久性や付着強度へ影響を及ぼすことが考えられる。ここでは、補修材の乾湿繰返しや温度変化が剥離抵抗性に及ぼす影響について評価を行った。

4.5.2 試験方法

プルオフ試験方法は 4.3 の検討と同じ方法としたが、供試体は図-4.5.1 に示すように、補修材と基板を組み合わせて、寸法が 100mm×100mm×400mm となるように作製した。

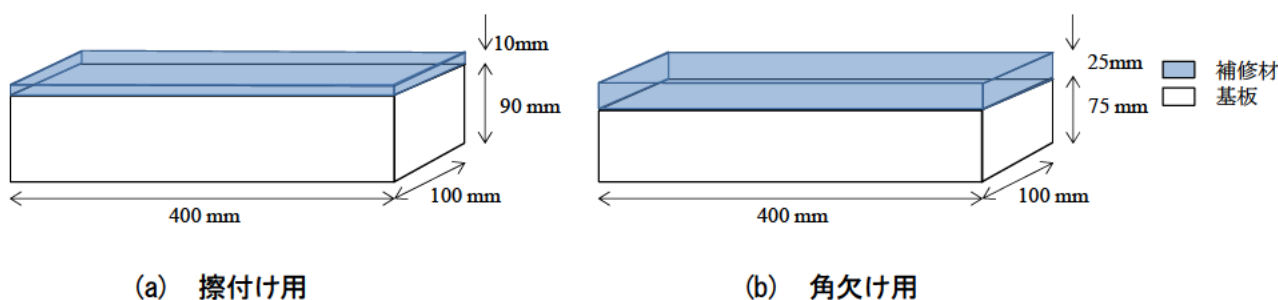


図-4.5.1 剥離抵抗性評価用供試体

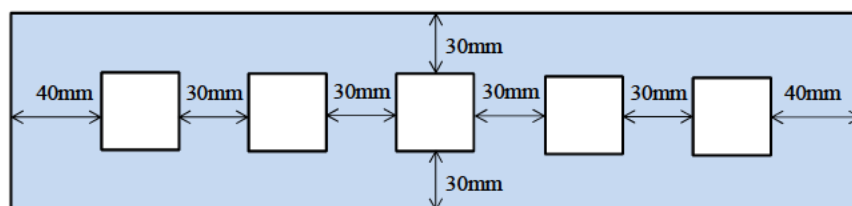


図-4.5.2 試験位置

各補修材を施工後の供試体は、20℃の室内で7日間気中養生を行い、乾湿繰返しを作用させた。乾湿繰返しの方法については、断面修復材の乾燥湿潤試験方法(案)(80℃で47時間 → 自然放置1時間 → 20℃の水中に48時間 のサイクルを10サイクル)⁴²⁾を参考とし、60℃で47時間 → 自然放置1時間 → 20℃の水中に48時間 のサイクルの乾湿繰返しを作用させた。なお、60℃⇄20℃の温度変化も同時に作用することになる。また、アスファルト舗装の夏期における路面温度は60℃程度に達するが、アスファルト系補修材も同様に60℃程度に達すると考えられるため、乾燥温度は80℃を60℃に変更している。

検討した乾湿繰返し(温度変化)は、10、20、30サイクルとし、供試体は各1体作製した。なお、As(13)を用いた供試体については、転圧の際に基板コンクリートが破損したため、試験は30サイクルのみ行った。また、ColdAsを用いた供試体は、突き固めの際に全ての供試体の基板コンクリートが破壊したため、今回の試験は行わなかった。

所定のサイクルの乾湿繰返し後のプルオフ試験は、図-4.5.2に示す5箇所で行った。

4.5.3 試験結果

乾湿繰返し(温度変化)後の補修材のプルオフ試験結果を標準環境(20℃気中養生)におけるプルオフ試験結果(材齢7日まで)と合わせて図-4.5.3～図-4.5.8、図-4.5.10～図-4.5.13に示す。また、今回用いた補修材は、30サイクルまでに、乾燥収縮等に伴うひび割れなどの外観変状は生じなかった。

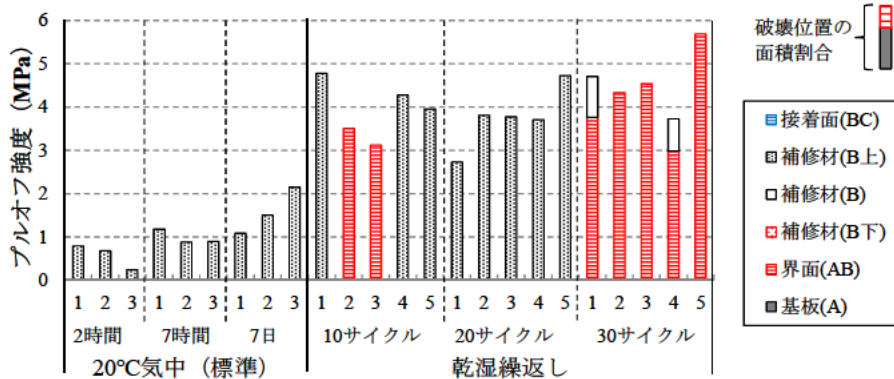


図-4.5.3 乾湿繰返し後のプルオフ試験結果 (PCM-a・擦付け用)

PCM-a(擦付け用)については、本試験による影響が確認された。20サイクルまでは破壊位置などに明確な違いは生じていなかったが(10サイクルに一部界面(AB)が見られる)、30サイクルではほぼ界面(AB)で破壊する結果が得られた。破壊位置には明確に変化が生じたが、プルオフ強度の大きさは20サイクルまでの値とあまり変わらなかった。

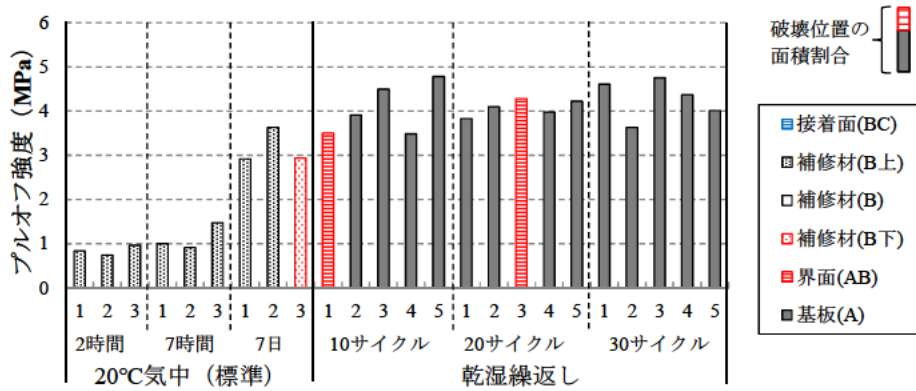


図-4.5.4 乾湿繰返し後のプルオフ試験結果 (PCM-b・擦付け用)

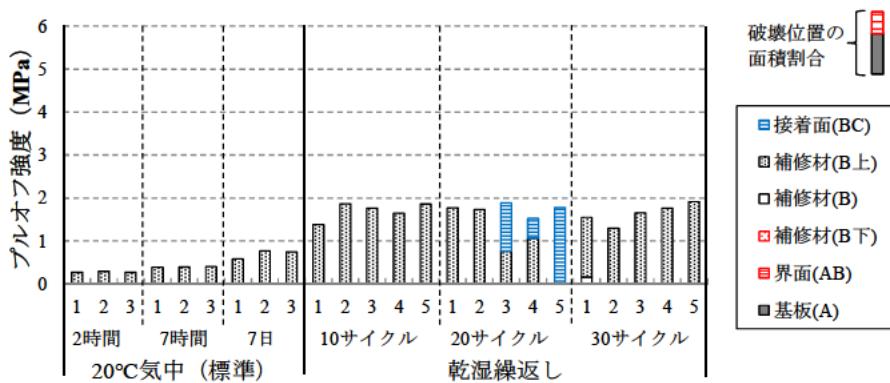


図-4.5.5 乾湿繰返し後のプルオフ試験結果 (PCM-c・擦付け用)

PCM-b (擦付け用) およびPCM-c (擦付け用) は、一部に界面(AB)で破壊した箇所を含むが、概ね基板(A) または補修材上部薄層(B上)で破壊し、サイクル数が増加してもプルオフ強度の結果にはあまり差は生じず、影響はほとんど確認できなかった。

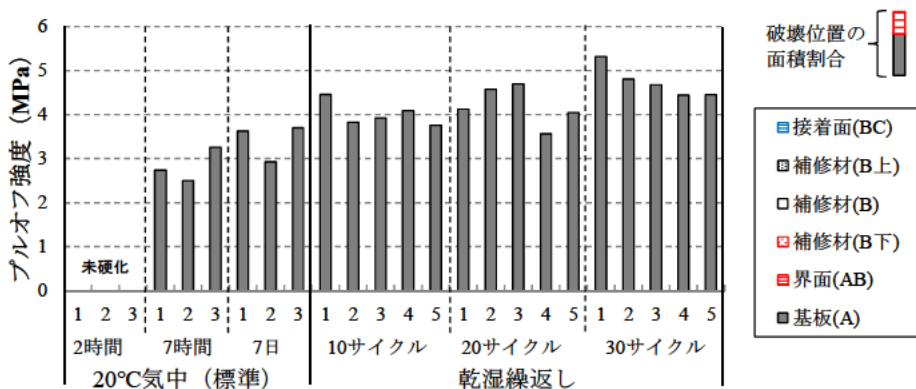


図-4.5.6 乾湿繰返し後のプルオフ試験結果 (RM-a・擦付け用)

RM-a (擦付け用) は、乾湿繰返しによる影響は今回の試験ケースでは確認されなかった。

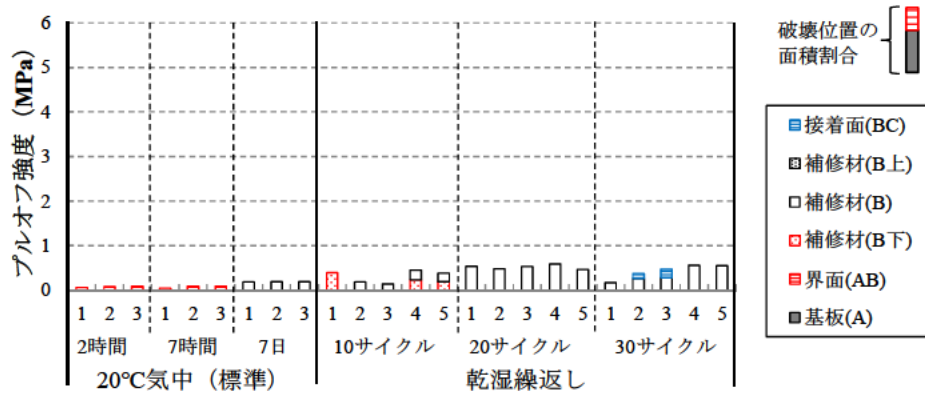


図-4.5.7 乾湿繰返し後のプルオフ試験結果 (AsM・擦付け用)

AsM (擦付け用) は、プルオフ強度が 20°Cにおける材齢 7 日までのプルオフ強度よりやや増加したが、破壊位置などに変化は確認されなかった。また、サイクル数が増加してもプルオフ試験結果にあまり差は確認されず、影響が確認できなかった。

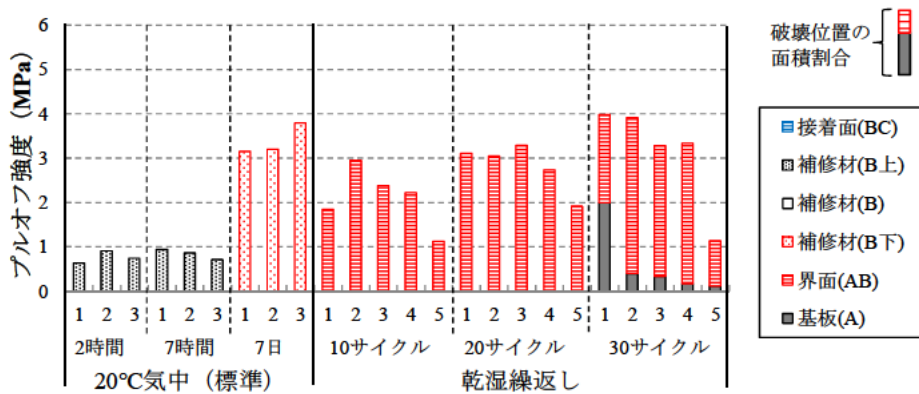
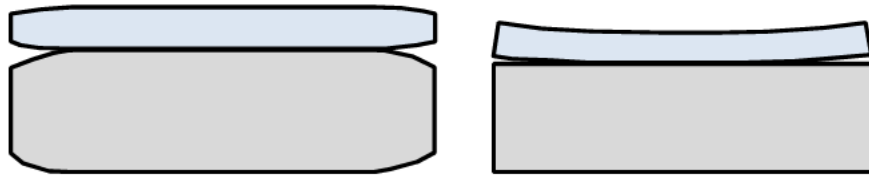


図-4.5.8 乾湿繰返し後のプルオフ試験結果 (PCM-b・角欠け用)

PCM-b (角欠け用) は、本試験による影響が明確に確認された。10 サイクルの時点で、界面(AB)で破壊する結果が得られた。20、30 サイクルの結果はあまり明確ではないが、10 サイクルでは供試体の両端側のプルオフ強度が小さいことが分かる。本試験と同様に、断面修復材を施工した供試体で屋外暴露を行った既往の研究では、付着界面を跨ぐように設置したパイ型変位計によって付着界面の開きが日々変化している状態を測定しており、乾燥収縮 (温度変化) によって両端部の付着界面が開く挙動になると考えられることを述べている⁴³⁾。今回の試験結果も同様の挙動が生じていると考えられる。

補修材厚さが 10mm と薄い場合 (擦付け用) ではプルオフ強度はほとんど低下せず、破壊位置もほとんどが基板(A)であり、30 サイクルで界面(AB)となっており、PCM-b (角欠け用) とは異なる結果が得られている。補修材の厚さが大きいほど、乾湿繰返し・温度変化の影響を受けやすいと考えられる。



(a) 温度変化による膨張イメージ (b) 乾燥収縮のイメージ

図-4.5.9 温度変化や乾燥収縮による挙動イメージ^{4.3)}

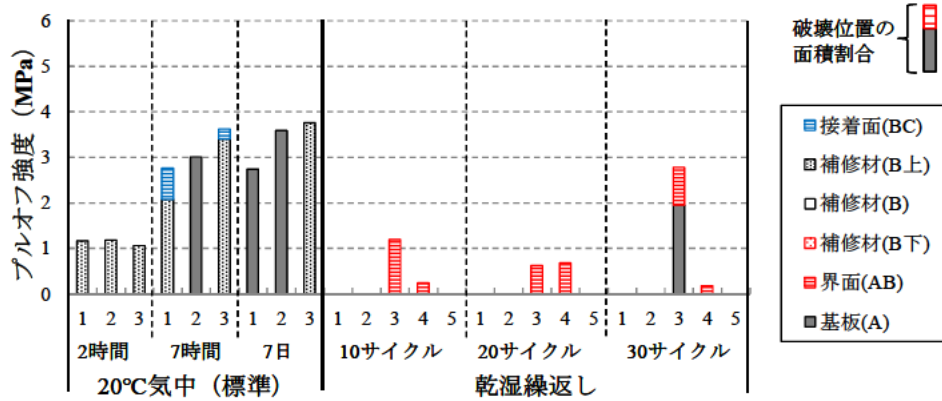


図-4.5.10 乾湿繰返し後のプルオフ試験結果 (PCM-d・角欠け用)

PCM-d (角欠け用) は、本試験による影響が明確に確認された。10 サイクルの時点で著しくプルオフ強度が低下し、ほぼ界面(AB)で破壊する結果が得られた。また、供試体の両端部 (1、2、5 番) はプルオフ試験前の切断時の時点で、界面(AB)から剥離しており、界面における付着強度は非常に小さいものと考えられる。PCM-b (角欠け用) と同様、両端部の付着強度が小さくなる傾向を示したと考えられる。

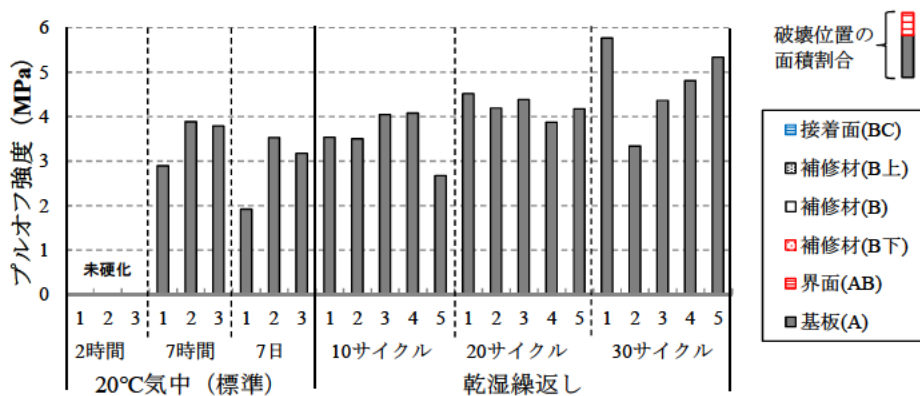


図-4.5.11 乾湿繰返し後のプルオフ試験結果 (RM-a・角欠け用)

RM-a (角欠け用) は、乾湿繰返しによる影響は今回の試験ケースでは確認されなかった。また、RM-a (擦付け用) (図-4.5.6) と比較すると、補修材の厚さによらず、結果に目立った差は見られなかった。

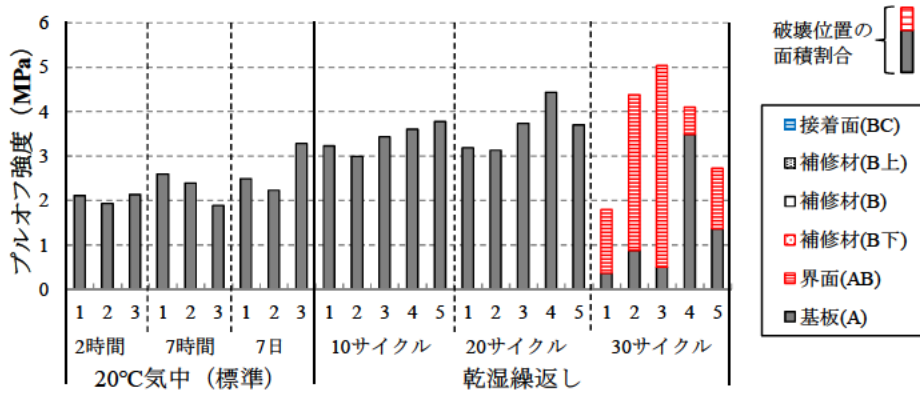


図-4.5.12 乾湿繰返し後のプルオフ試験結果 (RM-b・角欠け用)

RM-b (角欠け用) は、本試験による影響が明確に確認された。20 サイクルまでは破壊位置などに明確な違いは生じていなかったが、30 サイクルの試験結果は、大部分が界面(AB)で破壊するものが多くなった。また、供試体の両端側 (1番と5番) のプルオフ強度が小さく、中央部 (2~4番) が大きい傾向を示した。

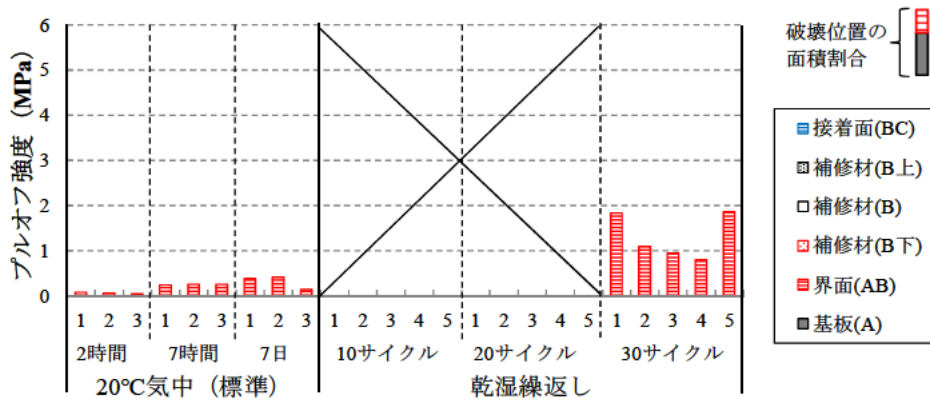
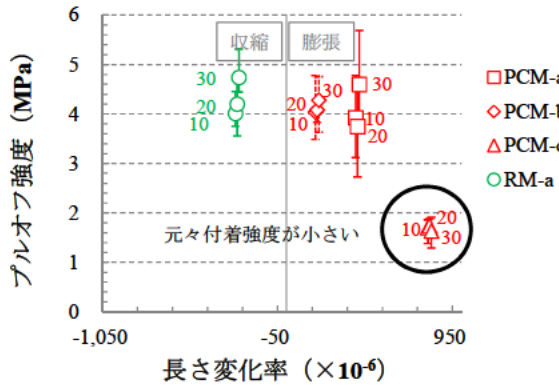


図-4.5.13 乾湿繰返し後のプルオフ試験結果 (As(13)・角欠け用)

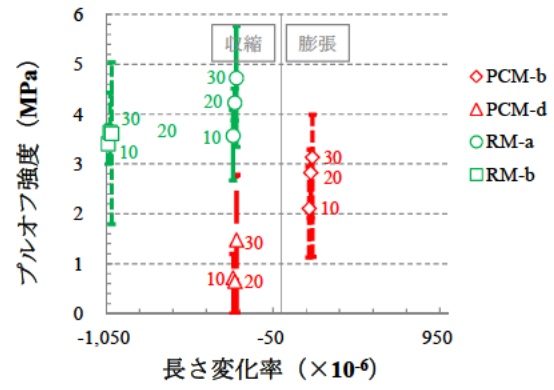
As(13) (角欠け用) は、30 サイクルのみ試験を行ったが、プルオフ強度が 20°Cにおける材齢 7日までのプルオフ強度とくらべて大きな値を示し、プルオフ強度の低下は確認されなかった。また、破壊位置は全てタックコート部 (界面(AB)) であり、乾湿繰返し (温度変化) 後も変化は確認されなかった。

本試験の乾湿繰返しは、乾湿以外にも、60°C⇄20°C の温度変化を伴う。そこで、3.2.3 で示した補修材の長さ変化率 (収束後の値) の他、寸法安定性 (収束後の値)、線膨張率の値と乾湿繰返し (温度変化) 後のプルオフ試験結果を比較した。そのグラフを図-4.5.14、図-4.5.15、図-4.5.16 に示す。

PCM-c (擦付け用) は元々プルオフ強度の低い補修材であることを考慮すると、長さ変化率、寸法安定性、線膨張率と乾湿繰返し (温度変化) 後のプルオフ試験結果との間には、明確な関係は見られなかった。



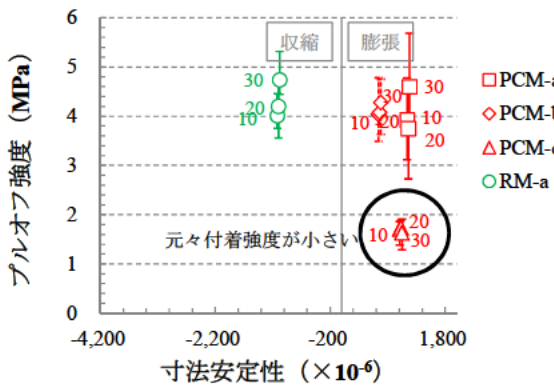
(a) 擦付け用



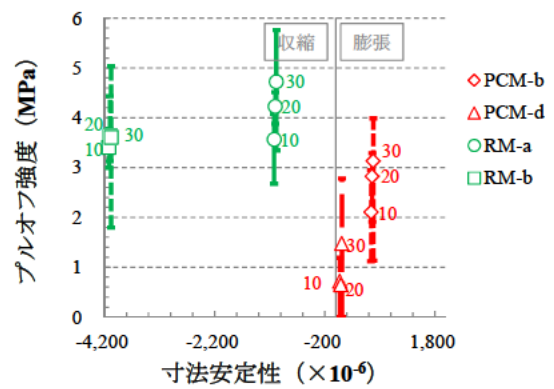
(b) 角欠け用

数字は乾湿繰返しサイクル数

図-4.5.14 補修材の長さ変化率と乾湿繰返し後のプルオフ試験結果の比較



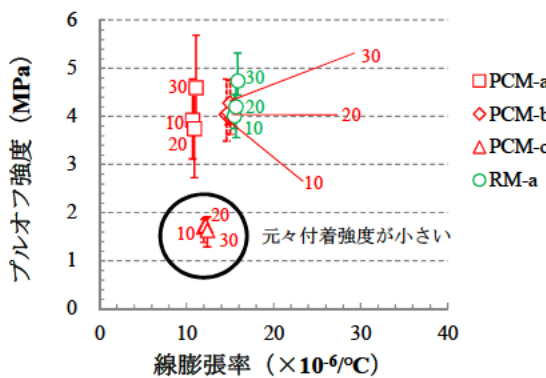
(a) 擦付け用



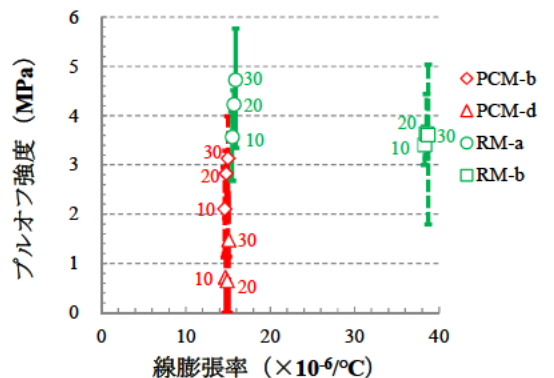
(b) 角欠け用

数字は乾湿繰返しサイクル数

図-4.5.15 補修材の寸法安定性と乾湿繰返し後のプルオフ試験結果の比較



(a) 擦付け用



(b) 角欠け用

数字は乾湿繰返しサイクル数

図-4.5.16 補修材の線膨張率と乾湿繰返し後のプルオフ試験結果の比較

4.5.4 まとめ

乾湿繰返し（温度変化）30 サイクルまでの範囲において、次のことが分かった。

- ①PCM-a（擦付け用）は30 サイクルで破壊位置が界面(AB)となったが、プルオフ強度の大きさは10、20 サイクルの場合と同等で3MPa 以上あり、界面の付着強度は30 サイクルでも十分大きいと考えられる。
- ②PCM-b（角欠け用）および RM-b（角欠け用）は、乾湿繰返しにより、破壊位置が界面(AB)となることに加え、供試体両端側のプルオフ強度が小さくなる傾向を示した。PCM-d（角欠け用）は著しくプルオフ強度が低下し、供試体両端側はプルオフ試験前に界面(AB)で剥離したことから、同様の傾向を示したと考えられる。
- ③プルオフ試験結果に影響の生じた PCM-b（角欠け用）は、同じ補修材で厚さの小さい PCM-b（擦付け用）にはあまり変化が生じなかった。補修材の厚さが大きい場合は影響を受けやすいと考えられる。
- ④今回の乾湿繰返し（温度変化）によってプルオフ試験結果に影響の出たものと出なかったものについて、長さ変化率および寸法安定性、線膨張率との関係は確認できなかった。

4.6 凍結融解作用の影響

4.6.1 概要

寒冷地域では補修箇所は凍結融解作用を受ける。3.2.4 に示した補修材自体の凍結融解抵抗性に加えて、補修箇所全体の耐久性、特に凍結融解作用が剥離抵抗性に及ぼす影響も考慮する必要がある。ここでは、凍結融解作用が剥離抵抗性に及ぼす影響を評価した。

4.6.2 試験方法

プルオフ試験方法は4.3 の検討と同じ方法とした。供試体は JIS A 1148: 2010「コンクリートの凍結融解試験方法」の「A 法：水中凍結融解試験方法」に準拠して凍結融解作用を与えるため、試験機に設置できる寸法として、図-4.5.1 のように100mm×100mm×400mm とした。

各補修材施工後の供試体は4.3 と同様に20℃の室内で28 日間気中養生を行った後、材齢56 日まで（28 日間）20℃の水中に浸漬して水分を含ませて、繰返しの凍結融解作用を与えた。As(13)を用いた供試体については、転圧の際に基板コンクリートが破損したため、ColdAs は完全に硬化せず、凍結融解試験装置に縦に設置する際に補修材が崩壊するため、試験は実施しなかった。

凍結融解50、100、300 サイクルでプルオフ試験を行った。プルオフ試験の位置は図-4.5.2 に示す5 箇所とした。このため、供試体は50、100、300 サイクルまで凍結融解を行えるよう、3 体作製した。また、凍結融解3、30、50、80、100、150、300 サイクルで外観観察を行い、スケーリングの有無などを確認した。

4.6.3 試験結果

凍結融解試験における補修材のスケーリング発生状況を表-4.6.1に示す。

表-4.6.1 凍結融解試験時における補修材のスケーリング発生状況

補修材の種類		凍結融解サイクル							
		0	3	30	50	80	100	150	300
擦付け用	PCM-a	変状なし	変状なし	表面	表面	表面	表面	表面	表面
	PCM-b	変状なし	変状なし	表面	表面	表面	表面	表面	表面
	PCM-c	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	端部 界面剥離	—	—	—
	RM-a	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし
	AsM	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし
角欠け用	PCM-b	変状なし	変状なし	表面	表面	表面	表面	表面	表面
	PCM-d	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし
	RM-a	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし
	RM-b	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし

アスファルト系の AsM、樹脂系の RM-a および RM-b、セメント系の PCM-d は、凍結融解 300 サイクルまで補修材の外観に変化は生じなかった。3.2.4 の図-3.2.17 および図-3.2.18 で補修材のみの凍結融解試験結果を示したが、PCM-d、RM-a、RM-b は凍結融解 300 サイクルまで質量減少がゼロであり、AsM は質量が増加したもののスケーリングや膨れ等の外観変化は確認されなかった。本試験においてもスケーリング等の発生は確認されなかったと考えられる。

セメント系の PCM-a と PCM-b は、凍結融解 30 サイクルの時点で表面にスケーリングの発生を確認した。それぞれの 300 サイクルまでの供試体（10cm×10cm×40cm）の外観写真を写真-4.6.1 および写真 4.6.2 に示す。今回はスケーリング量の定量的評価は行わなかったが、外観上、PCM-b の方がスケーリングの規模が大きかった。

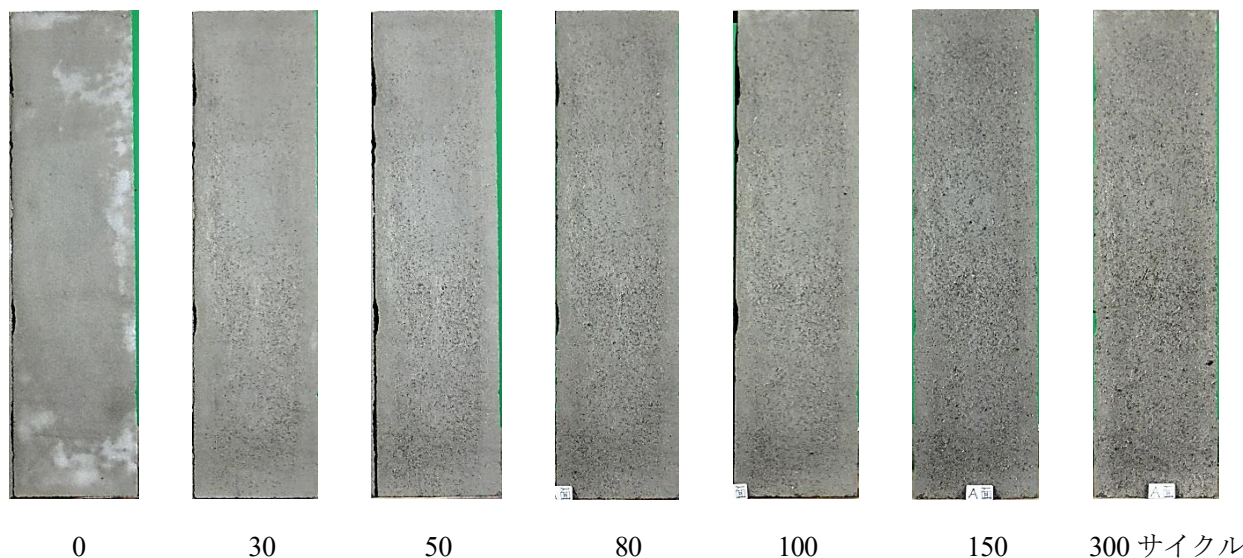


写真-4.6.1 PCM-a（擦付け用）の凍結融解試験における外観の変化

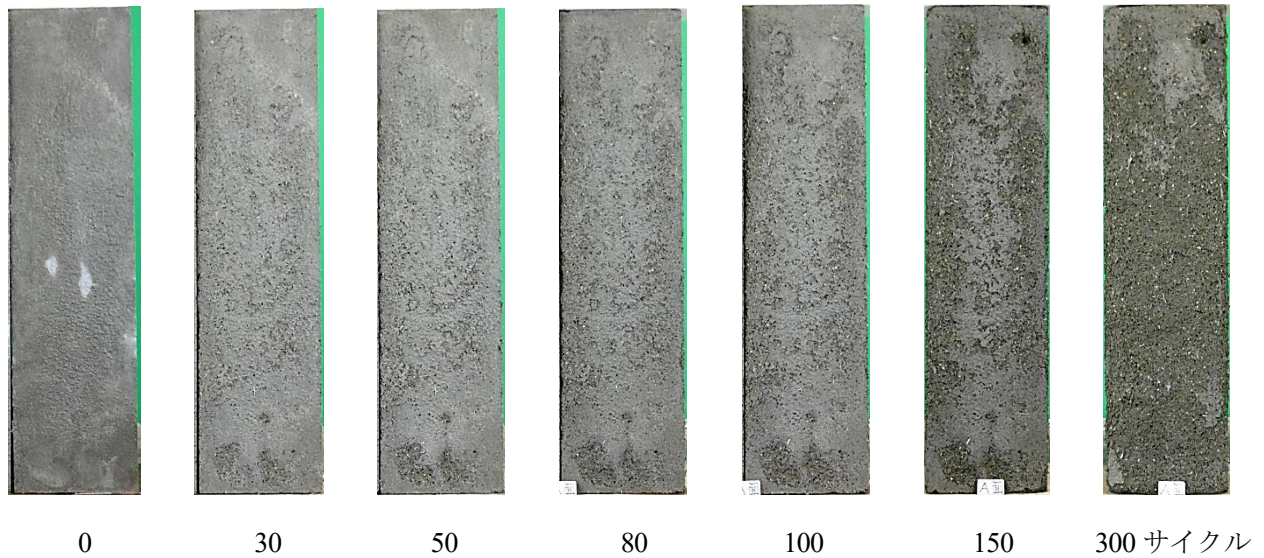


写真-4.6.2 PCM-b（擦付け用）の凍結融解試験における外観の変化

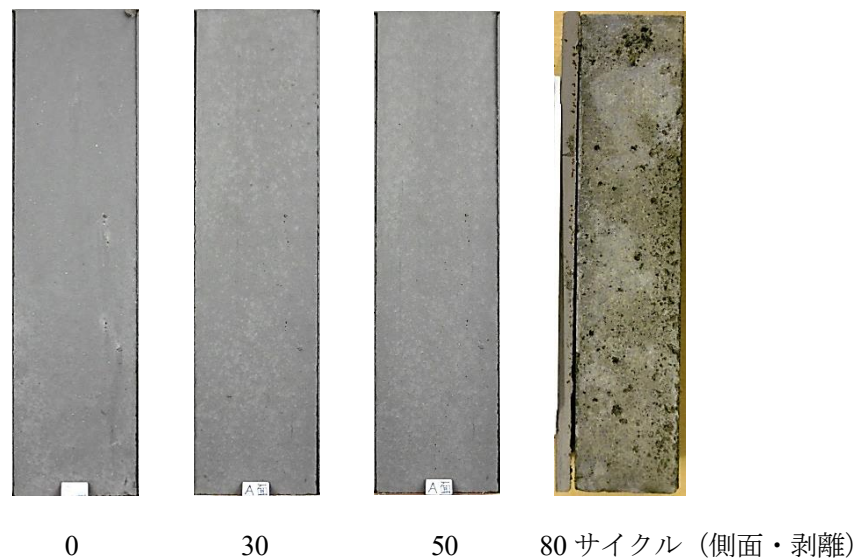


写真-4.6.3 PCM-c（擦付け用）の凍結融解試験における外観の変化

柔軟型ポリマーセメントモルタルの PCM-c は、50 サイクルまで表面にスケーリング等は確認されなかったが、80 サイクルで、補修材の端部にわずかなスケーリングが生じ、更に界面から補修材全体が剥離した。80 サイクルまでの外観写真は写真-4.6.3 のとおりである。3.2.4 の図-3.2.17 および図-3.2.18 より、PCM-c は凍結融解抵抗性が小さいと評価されたが、剥離抵抗性にも凍結融解作用の影響が生じたと考えられる。

次に、凍結融解後の補修材のプルオフ試験結果を標準環境（20℃気中養生）におけるプルオフ試験結果（材齢 28 日まで）と合わせて図-4.6.1～図-4.6.9 に示す。

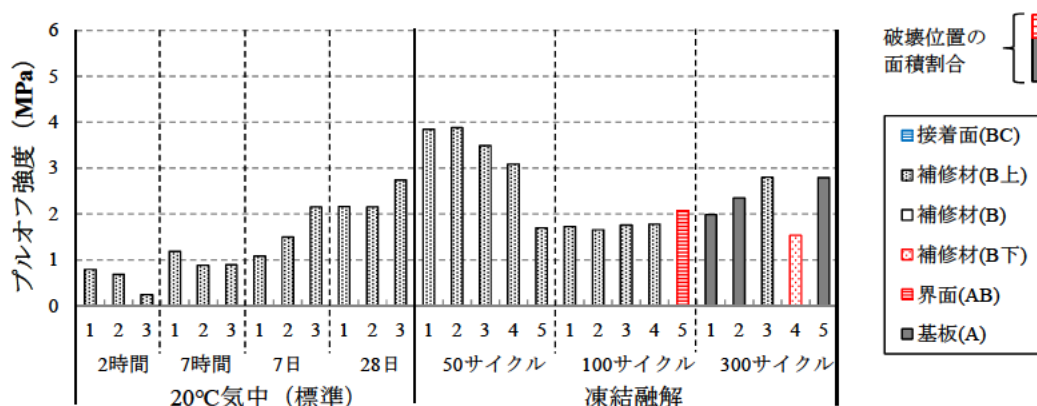


図-4.6.1 凍結融解後のプルオフ試験結果 (PCM-a・擦付け用)

PCM-a (擦付け用) については、凍結融解 50 サイクル目のプルオフ強度は標準環境よりも大きい結果が得られているものの、100 および 300 サイクルのプルオフ強度は、標準環境におけるプルオフ強度と同等であった。PCM-a もスケーリングが生じているが、PCM-b に比べると軽微であり、今回の試験の範囲では、補修材のプルオフ強度に影響が生じるほどではなかった。プルオフ試験の際に 1mm 程度研磨してから治具の接着を行うが、脆弱化した部分が研磨で除去されたことが考えられる。

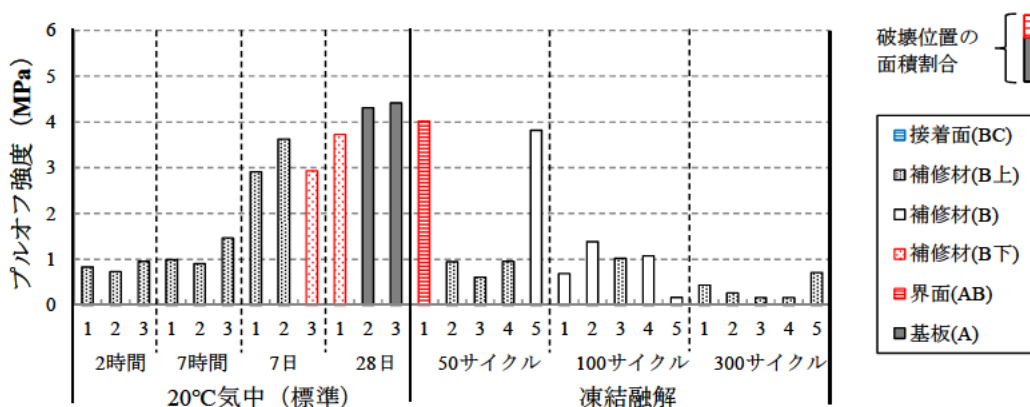


図-4.6.2 凍結融解後のプルオフ試験結果 (PCM-b・擦付け用)

PCM-b (擦付け用) は、プルオフ強度が標準環境よりも低下しており、明らかに凍結融解作用による影響を受けていることが分かる。写真-4.6.2 より、凍結融解作用によってスケーリングが生じているが、補修材の脆弱化が生じていたものと考えられる。補修材上部薄層(B 上)で破壊した場合と補修材(B)で破壊した場合があったが、後者の場合は、大きな凹みや剥離した補修材が大きな塊となって飛散することが懸念される。

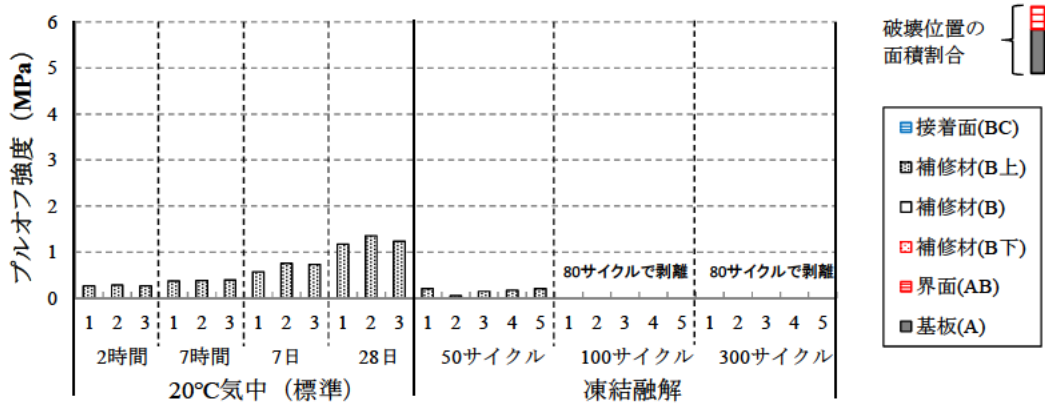


図-4.6.3 凍結融解後のプルオフ試験結果 (PCM-c・擦付け用)

PCM-c (擦付け用) は、50 サイクルでプルオフ強度が著しく低下し (破壊位置は補修材(B上))、80 サイクルで補修材全体が界面から剥離した。PCM-c は補修材単体としての凍結融解抵抗性が小さく、凍結融解作用で付着にも影響が生じたと考えられる。

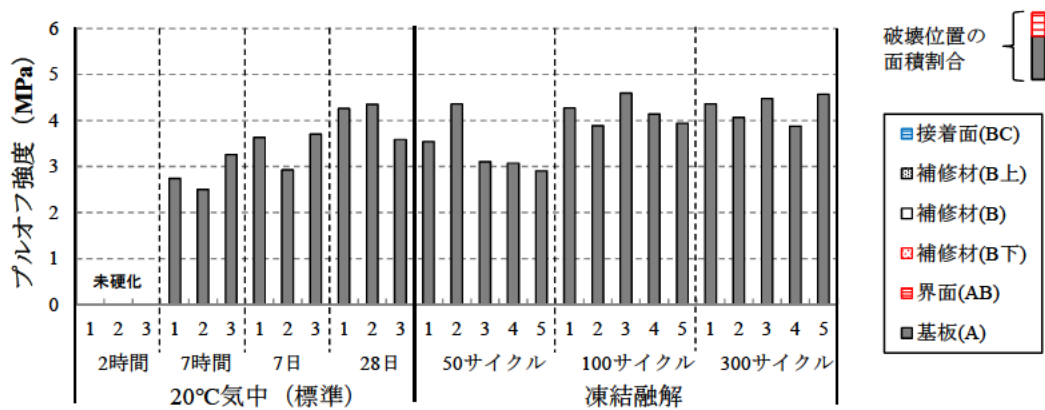


図-4.6.4 凍結融解後のプルオフ試験結果 (RM-a・擦付け用)

RM-a (擦付け用) は、凍結融解が作用してもプルオフ試験結果に大きな差は確認されなかった。3.2.4の結果より、RM-a は凍結融解抵抗性が高い結果が得られているが、凍結融解作用を受けても十分な剥離抵抗性を示し、プルオフ強度が低下するなどの影響はなかった。

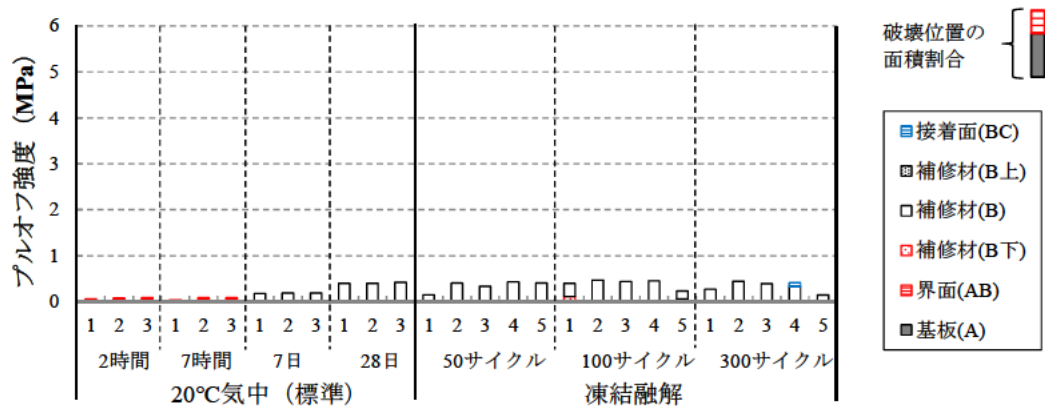


図-4.6.5 凍結融解後のプルオフ試験結果 (AsM・擦付け用)

AsM (擦付け用) は、凍結融解が作用しても標準環境におけるプルオフ試験結果と大きな差は生じなかった。破壊位置は標準環境の結果と同様に補修材(B)であり、界面の付着強度は補修材のプルオフ強度以上確保できており、凍結融解作用による剥離抵抗性への影響は確認されなかった。なお、AsM はセメント系および樹脂系補修材と同じ方法で凍結融解試験を行った結果、300 サイクルまでに相対動弾性係数が 60%を下回っている (図-3.2.17) が、補修材のプルオフ強度が低下といった影響も本試験結果には現れなかった。

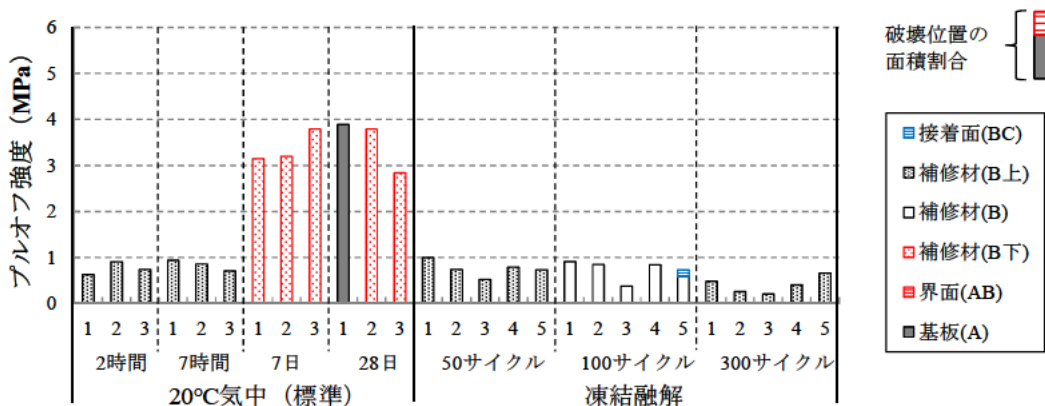


図-4.6.6 凍結融解後のプルオフ試験結果 (PCM-b・角欠け用)

PCM-b (角欠け用) は、擦付け用と同様、凍結融解作用による影響を受け、プルオフ強度が標準環境よりも低下した。

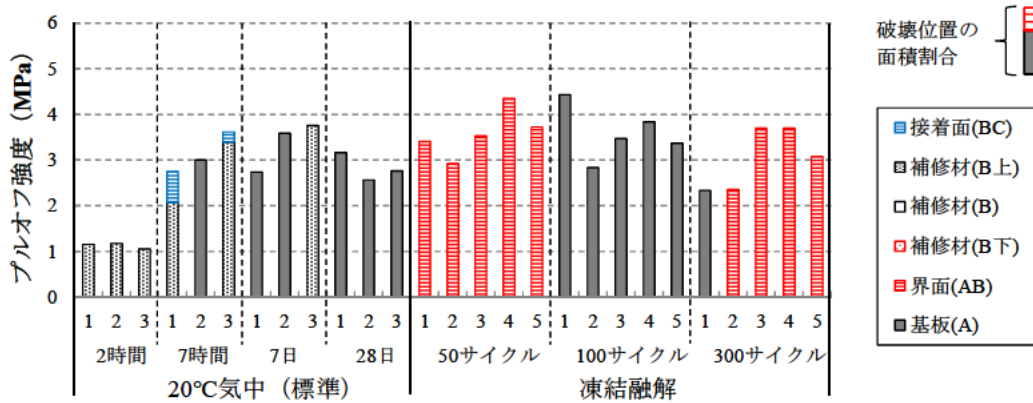


図-4.6.7 凍結融解後のプルオフ試験結果 (PCM-d・角欠け用)

PCM-d (角欠け用) は、補修材のみの凍結融解抵抗性が高く、スケーリングも見られなかったが、プルオフ強度の大きさは2MPa以上を示し、高い状態を維持した。50 サイクルおよび300 サイクルは界面(AB)で破壊した箇所があったが、基板(A)で破壊した場合と値は同等であり、基板のプルオフ強度程度の十分な付着強度と考えられる。凍結融解作用による剥離抵抗性への影響は、ほとんど生じなかったと考えられる。

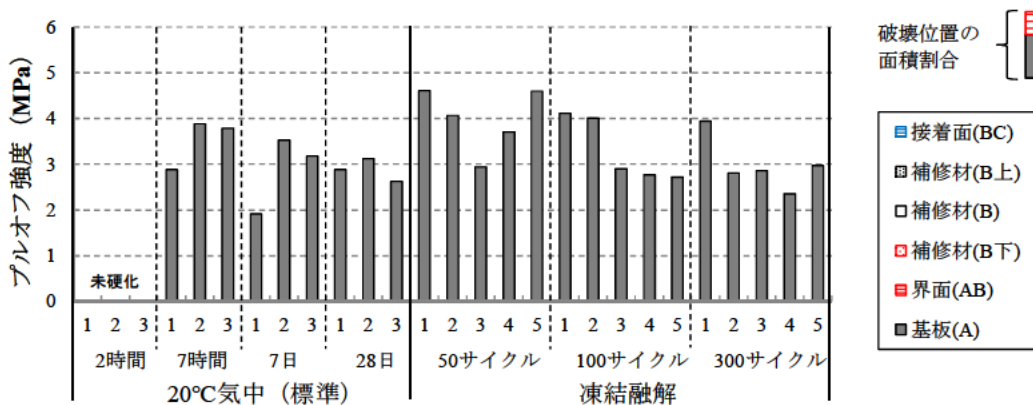


図-4.6.8 凍結融解後のプルオフ試験結果 (RM-a・角欠け用)

RM-a (角欠け用) についても、凍結融解作用を受けても十分な剥離抵抗性を示し、低下するなどの影響はなかった。擦付け用との比較についても、両者に目立った差は確認されなかった。

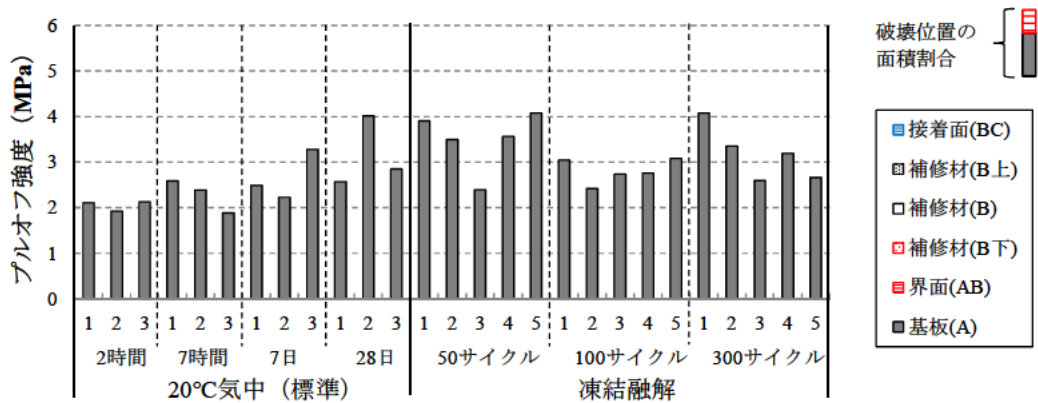


図-4.6.9 凍結融解後のプルオフ試験結果 (RM-b・角欠け用)

RM-b (角欠け用) も、凍結融解が作用してもプルオフ試験結果に大きな差は確認されず、十分な剥離抵抗性を示した。

4.6.4 まとめ

凍結融解 300 サイクルまでの範囲において、次のことが分かった。

- ①プルオフ試験の結果より、アスファルト系補修材の AsM と樹脂系補修材には、プルオフ強度の低下や破壊位置の変化は確認されなかった。
- ②PCM-c (擦付け用) は 50 サイクルでプルオフ強度が著しく低下し、80 サイクルで補修材全体が界面から剥離した。PCM-c は単体としての凍結融解抵抗性が小さく、凍結融解作用で付着にも影響が生じたと考えられる。
- ③PCM-b (擦付け用、角欠け用) は、補修材のプルオフ強度が低下した。表面にスケーリングが生じており、表層の劣化が影響を与えた可能性がある。他の補修材では、PCM-a (擦付け用) でもスケーリングが生じていたが、PCM-b と比較して軽微であり、プルオフ強度に顕著な低下は生じていなかった。今回はスケーリング量の定量的評価を行わなかったため、スケーリング量と補修材のプルオフ強度との関係性検討については今後の課題であるが、スケーリング量が多い場合は注意する必要がある。
- ④PCM-d (角欠け用) は 50、300 サイクルで界面(AB)破壊が生じたが、プルオフ強度の低下しておらず、基板(A)で破壊した 100 サイクルの値と同等なことから、界面の付着強度に低下などの影響が及んでいないと考えられる。
- ⑤補修材単体の凍結融解抵抗性が小さい補修材は、凍結融解作用が剥離抵抗性に影響を及ぼしたが、単体で凍結融解抵抗性を有すると見なせる補修材についても、スケーリングが生じたものには補修材の破壊によってプルオフ強度が低下する場合があることが分かった。

4.7 まとめ

- ①プルオフ試験を行うと、アスファルト系のものはプルオフ強度が非常に小さく、セメント系および樹脂系のものは、アスファルト系に比べてプルオフ強度は大きかった。また、樹脂系は初期材齢からプルオフ強

度が大きい特徴があった。

- ②柔軟型ポリマーセメントモルタルは、比較的小さな強度で破壊するが、破壊位置は補修材(B 上)であり、補修箇所全体が大きな塊状に破損、飛散することはなかった。
- ③補修材単体の線膨張率と剥離抵抗性の関係は明確ではなかったが、乾湿繰返し・温度変化を作用させると補修材の剥離抵抗性が低下するものもあった。
- ④補修材単体として凍結融解抵抗性の小さいものは、凍結融解作用により剥離抵抗性に影響が生じた。補修材単体として凍結融解抵抗性を有すると評価される補修材でも、表面にスケーリングが生じた材料では、補修材部分で破壊し、プルオフ強度が著しく低下したことがあったことから、凍結融解作用が厳しい場所で適用する場合には、耐久性上の留意が必要と考えられる。

参考文献

- 4.1) 国立研究開発法人土木研究所：コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル（案）、土木研究所資料第4343号、p.III-39、2016.8
- 4.2) 国立研究開発法人土木研究所：コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル（案）、土木研究所資料第4343号、pp.III-49～III-53、2016.8
- 4.3) 片平博・古賀裕久：屋外に暴露した断面修復材の付着強度の変化とその要因検討、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.495～500、2018.10

5. 輪荷重に対する耐久性

5.1 概要

本章では、補修箇所の輪荷重に対する耐久性に関して、室内試験で検討した結果について示す。

補修箇所は、輪荷重の載荷などによって変形や欠け、剥離などの損傷が生じると平坦性が失われる。そのため、輪荷重に対する耐久性は補修材に求められる重要な性質の1つと考えられる。そこで、補修材の輪荷重に対する耐久性に関する検討を行った。

検討には、表-5.1.1に示す擦付け用補修材5種類と表-5.1.2に示す角欠け用補修材5種類を用いた。As(13)は表-5.1.3に示す材料、表-5.1.4に示す配合率で加熱混合（混合温度150℃）したものである。これらは、3章の表-3.1.1および表-3.1.2に示す補修材と同じものであるが、応急措置用のColdAsは長期間の輪荷重載荷を想定したものではないことから、今回の検討には用いなかった。また、これらの補修材を補修面に施工する際は、表-5.1.1および表-5.1.2に示す方法（製造者の指定する方法）で処理を行った。

表-5.1.1 使用した補修材（擦付け用）

分類	記号	補修材の種類	凝結（硬化）調整剤、季節対応品の有無	施工面の処理方法
セメント系	PCM-a	ポリマーセメントモルタル	無	水湿し
	PCM-b	ポリマーセメントモルタル	有	水湿し
	PCM-c	ポリマーセメントモルタル（柔軟型）	無	水湿し
樹脂系	RM-a	エポキシ樹脂モルタル	有	エポキシプライマー塗布
アスファルト系	AsM	常温硬化型アスファルトモルタル	無	なし

表-5.1.2 使用した補修材（角欠け用）

分類	記号	補修材の種類	凝結（硬化）調整剤、季節対応品の有無	施工面の処理方法
セメント系	PCM-b	ポリマーセメントモルタル	有	水湿し
	PCM-d	ポリマーセメントモルタル	有	水湿し
樹脂系	RM-a	エポキシ樹脂モルタル	有	エポキシプライマー塗布
	RM-b	アクリル樹脂モルタル	無	なし
アスファルト系	As(13)	加熱合材 （細粒度アスファルト混合物（13））	無	タックコート塗布

表-5.1.3 As(13)の使用材料

材料	密度 (g/cm ³)			吸水率 (%)
	表乾	かさ	見掛	
6号砕石（砂岩）	2.652	2.634	2.683	0.70
7号砕石（砂岩）	2.629	2.602	2.675	1.05
粗砂（砕砂）	2.585	2.547	2.648	1.50
細砂（洗砂）	2.554	2.481	2.677	2.95
石粉	—	—	2.753	0.10
アスファルト （ストレートアスファルト 60-80）	—	—	—	—

表-5.1.4 As(13)の配合率

材料	骨材					アスファルト
	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

5.2 評価試験方法

舗装材料の輪荷重に対する耐久性を評価する既存の室内試験には、アスファルト混合物に用いる「ホイールトラッキング試験」や「水浸ホイールトラッキング試験」がある（舗装調査・試験法便覧参照）。これらは、温度 60°C の環境で、686±10N の輪荷重（接地圧 0.63MPa）の輪荷重を 42 回/分の速度で往復走行させることで繰り返し載荷する試験である。これらに用いる水浸ホイールトラッキング試験機は、舗装関係企業の研究所等では一般的であることに加え、大型車の接地圧よりやや大きい⁵⁾0.63MPa の接地圧を載荷できるため、これを活用した室内輪荷重試験を検討することにした。

供試体は可能な限り実際の状況を模擬するために、模擬目地を設けたものを作製することとした。また、既往の研究⁵²⁾によると、49kN (5tf) の輪荷重を 2 輪（軸荷重 98kN）、普通コンクリート舗装版を模擬したモデルに載荷させた場合、横目地の最大鉛直変位が 0.15mm 程度と計算された結果が得られているが、このような目地部の変位も耐久性に影響を及ぼすと考えられる。そこで、供試体は図-5.2.1 および図-5.2.2 に示す形状の、目地部の段差および角欠けの補修状況を模擬したものを作製した。基板 1 と基板 2 を用いて幅 10mm の模擬目地を設け、シリコンゴム板を敷いて輪荷重を載荷した際に目地部の最大鉛直変位が 0.15mm 程度となるように作製したものである。なお、輪荷重載荷後にプルオフ試験を行うために、模擬目地は片側に寄せた形状としている。

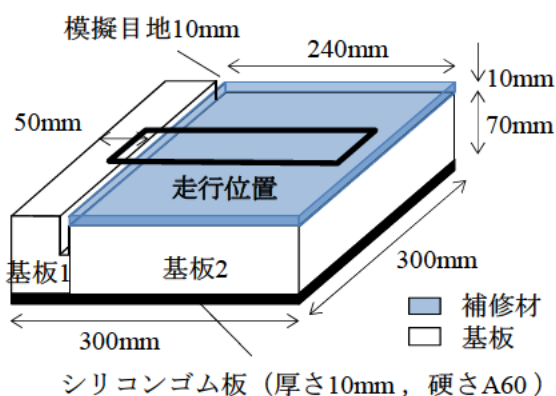


図-5.2.1 供試体形状（擦付け用）

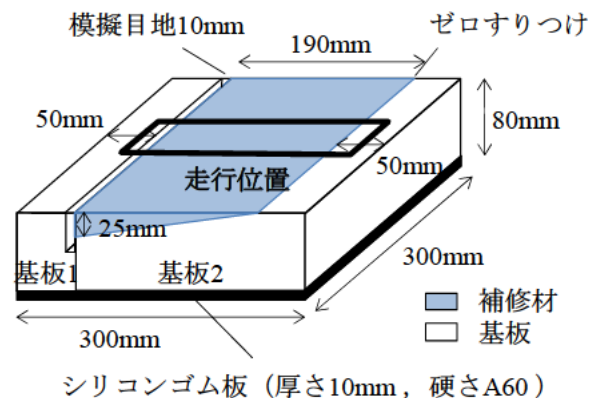


図-5.2.2 供試体形状（角欠け用）

基板は、表-5.2.1、表-5.2.2、表-5.2.3 に示す材料、配合、基本性状のコンクリートを用いて作製した。4章の検討で用いたコンクリートと同じものである。補修材施工面が型枠底面となるように型枠を作製し、打設 1 日後に脱型して基板 2 の補修材施工面をワイヤーブラシまたはディスクグラインダーを用いて、表面

に細骨材が露出する程度まで素地調整を行い「砂目」の状態とした。その後、20℃の水中養生を材齢 28 日まで行い、補修材を施工した。

表-5.2.1 基板に用いたコンクリートの材料

材料名		密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)
C	普通ポルトランドセメント	3.16	—
S	山砂	2.56	0.39
G	硬質砂岩碎石 (5号と6号を質量比1:1で混合、 Gmax=20mm)	2.67	1.79

表-5.2.2 基板に用いたコンクリートの配合

W/C (%)	単位粗骨材 かさ容積	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
			W	C	S	G
49.2	0.72	39.6	145	295	728	1158

表-5.2.3 基板に用いたコンクリートの基本性状

目標スランプ*	5.0cm
目標空気量*	4.5±1.0%
圧縮強度 (標準養生、材齢 28 日)	49.0MPa
曲げ強度 (標準養生、材齢 28 日)	5.60MPa
曲げ強度荷重 (標準養生、材齢 28 日)	18.9kN

※適宜、AE 減水剤、AE 剤を添加して調整

表-5.2.4 室内輪荷重試験の条件

供試体形状	擦付け用：図-5.2.1 角欠け用：図-5.2.2
試験材齢	補修材施工後 7 日目
試験温度	60℃
輪荷重	686±10N (接地圧：0.63MPa)
試験時間 (走行回数)	1 時間 (2,520 回)
水浸の有無	あり、水面は供試体表面の位置
水浸ホイールトラッキング試験機の仕様	車輪：ゴム製ソリッドタイヤ ゴムの硬さ：A84±4 (20℃) A78±2 (60℃) 走行速度：42 回/分
シリコンゴム板の仕様	厚さ：10mm 硬さ：A60

また、車輪が目地部を通過した際に生じる変位を再現するために、供試体の下には、厚さ 10mm、硬さ (タイプ A デュロメータ硬さ) A60 のシリコンゴム板を敷いた。

試験の条件は表-5.2.4 に示すとおりとした。

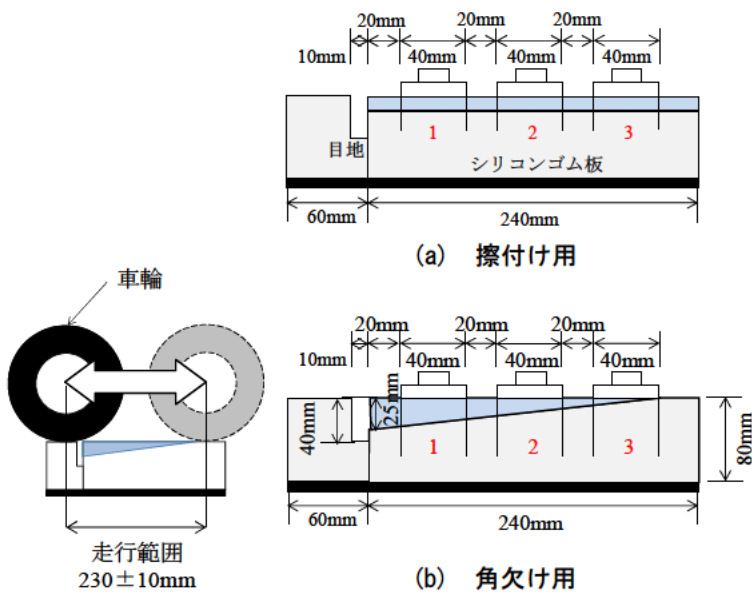


図-5.2.3 車輪の走行範囲

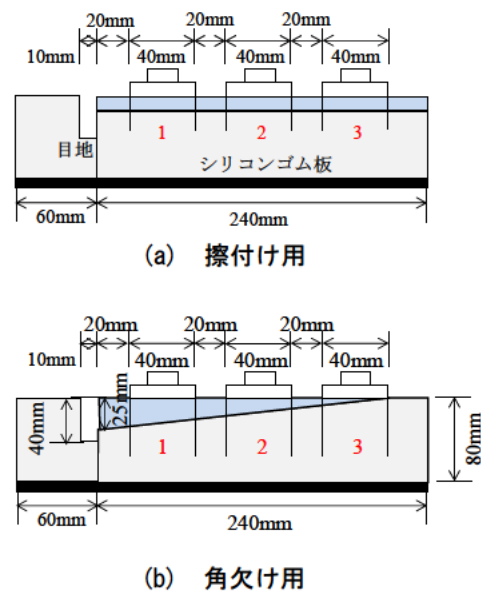


図-5.2.4 プルオフ試験位置(側面図)

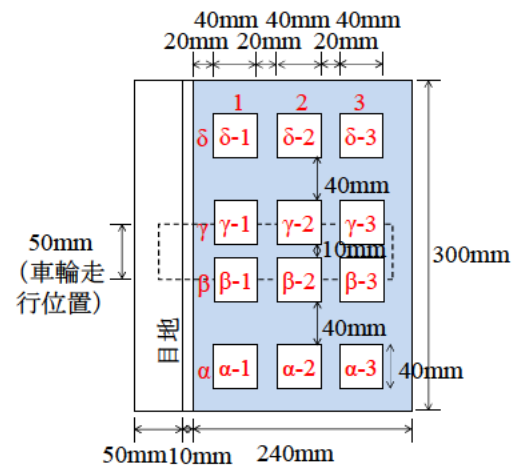


図-5.2.5 プルオフ試験位置(平面図)

走行範囲（水浸ホイールトラッキング試験機は $230 \pm 10\text{mm}$ の範囲に設定）は図-5.2.3 に示すように、必ず目地およびゼロすりつけ部（角欠け用）を通過するような位置としている。

補修材施工後は 20°C の室内で気中養生を行い、7 日目に輪荷重を載荷することとした。試験手順は、具体的には次に示すとおりとした。

- ① 供試体とシリコンゴム板を 60°C の高温室内で 12 時間養生する（輪荷重載荷の 13 時間程度前に）。
- ② 水浸ホイールトラッキング試験機に供試体とシリコンゴム板を設置し、供試体上面まで 60°C の温水を満たし、1 時間養生する。
- ③ 水浸ホイールトラッキング試験機による輪荷重の繰返し載荷を 1 時間行う（載荷回数：2,450 回）。この際、車輪は常に同じ位置を往復走行するように設定する（通常の水浸ホイールトラッキング試験は、車輪の走行位置が走行方向の横断方向に少しずつ変化する「トラバース走行」を行う）。
- ④ 繰返し載荷後、補修材に生じた変状の観察を行い、図-5.2.4 および図-5.2.5 に示す位置でプルオフ試験を行う。プルオフ試験の位置は、車輪走行の影響が及ぶと考えられる走行影響箇所 6 箇所（図-5.2.5 の β 列および γ 列）と、車輪走行の影響が及ばないと考えられる非走行箇所 6 箇所（図-5.2.5 の α 列および δ 列）である。

本研究で行ったこれらの試験方法や試験条件、供試体形状については、事前検討の結果により決定したものである。試験方法決定のための事前検討結果については、巻末の資料 2 に記述する。

5.3 試験後の外観

室内輪荷重試験前後の供試体の外観写真を表-5.3.1、表-5.3.2、表-5.3.3に示す。また、各供試体のわだち掘れ深さを図-5.3.1および図-5.3.2に示す。

5.3.1 擦付け用

アスファルト系のAsMは顕著なわだち掘れが生じた。試験温度60℃で軟化し、輪荷重による塑性流動によって補修材が両側に盛り上がり、盛り上がった部分からのわだち掘れ深さは10mm程度以上であった。セメント系と樹脂系は車輪の跡が汚れとして残る程度で、変形はほとんど生じなかったが、PCM-cのみ目地部に深さ2mm程度の欠け(写真-5.3.1)が生じた。アスファルト系が顕著に変形する条件においても、セメント系と樹脂系はほとんど変形せず、高い変形抵抗性を確認できた。

5.3.2 角欠け用

アスファルト系のAs(13)は顕著なわだち掘れやゼロすりつけ側への流動、目地側へのふくらみ、亀裂などの変形が生じ、補修材全体が界面から剥離した。セメント系および樹脂系は、ゼロすりつけ部に軽微な欠けが生じたり表層部分の一部に剥離が見られたりした(写真-5.3.2および写真-5.3.3)他は、変状はほとんど生じなかった。

表-5.3.3.1 室内輸荷重試験の試験前後の外観写真（擦付け用、セメント系および樹脂系）


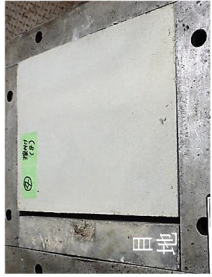




















		PCM-a		PCM-b		PCM-c	
		No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2
供試体							
試験前							
試験後							
		PCM-a		PCM-b		PCM-c	
		No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2
供試体							
試験前							
試験後							

表-5.3.2 室内輸荷重試験の試験前後の外観写真（角欠け用、セメント系および樹脂系）













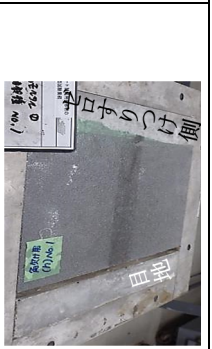










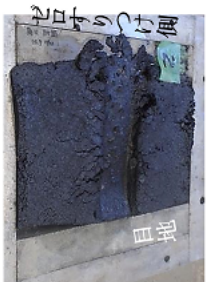
供試体	PCM-b		PCM-d	
	No.1	No.2	No.1	No.2
試験前				
試験後				
供試体	RM-a		RM-b	
	No.1	No.2	No.1	No.2
試験前				
試験後				

表-5.3.3 室内輪荷重試験の試験前後の外観写真（比較用アスファルト系）

供試体	AsM		As(13)	
	No.1	No.2	No.1	No.2
試験前				
試験後				

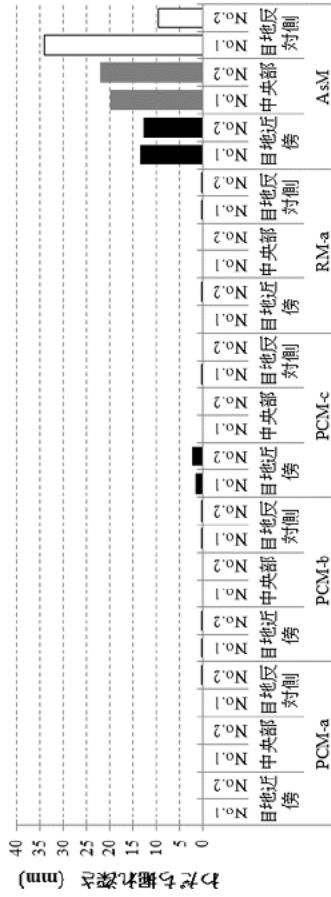


図-5.3.1 試験後のわだち掘れ深さ（擦付け用）

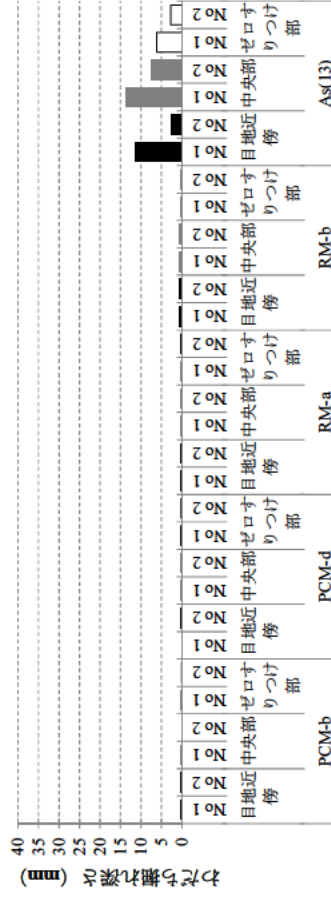


図-5.3.2 試験後のわだち掘れ深さ（角欠け用）



写真-5.3.1 目地部に生じた欠け(PCM-c)

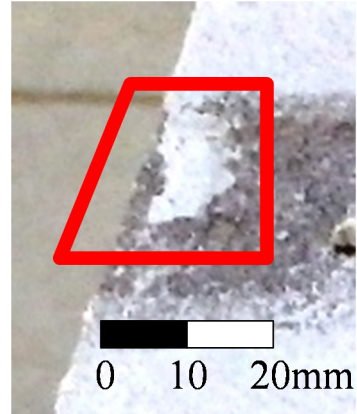
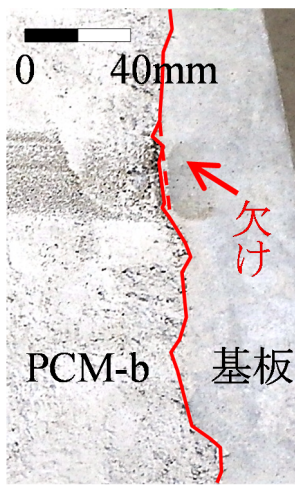


写真-5.3.2 目地近傍に生じた剥離(RM-b 供試体 No. 2)



(a) PCM-b



(b) PCM-d

写真-5.3.3 ゼロすりつけ部に生じた欠け

5.4 輪荷重が剥離抵抗性に及ぼす影響

5.4.1 擦付け用

室内輪荷重試験後に、目立った変形の生じなかったセメント系と樹脂系補修材について、輪荷重の繰返し載荷が剥離抵抗性に及ぼす影響を確認するためにプルオフ試験を実施した。結果を図-5.4.1～図-5.4.4に示す。

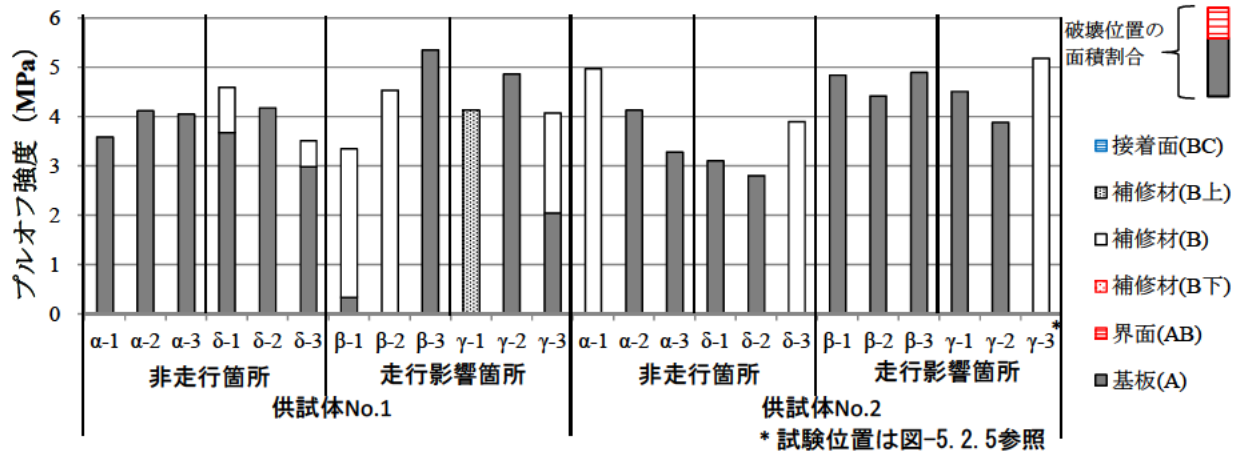


図-5.4.1 室内輪荷重試験後のプルオフ試験結果 (PCM-a (擦付け用))

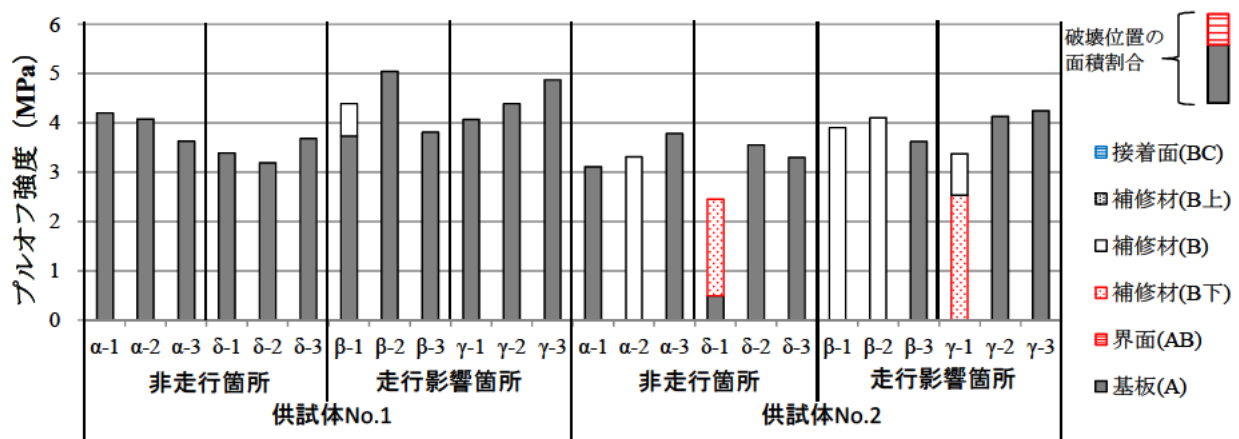


図-5.4.2 室内輪荷重試験後のプルオフ試験結果 (PCM-b (擦付け用))

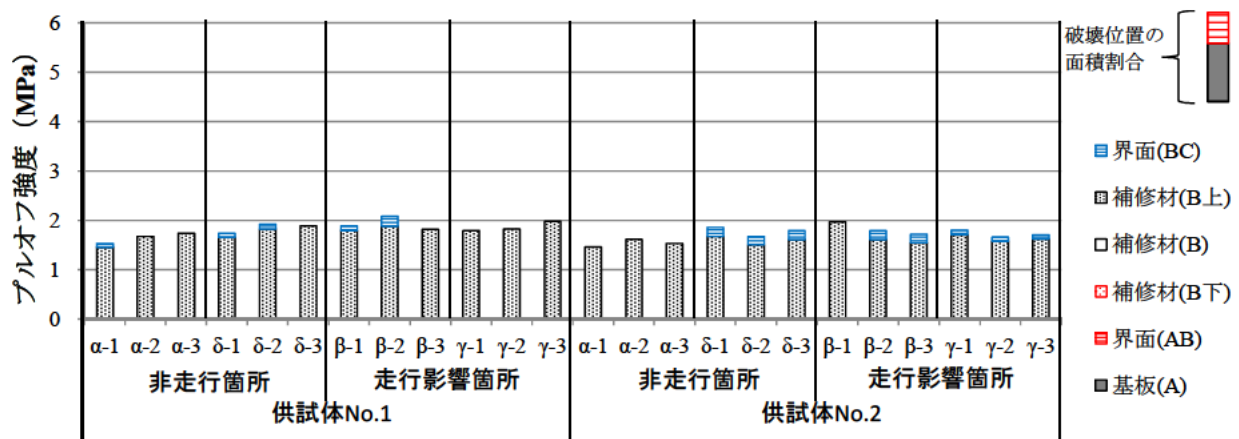


図-5.4.3 室内輪荷重試験後のプルオフ試験結果 (PCM-c (擦付け用))

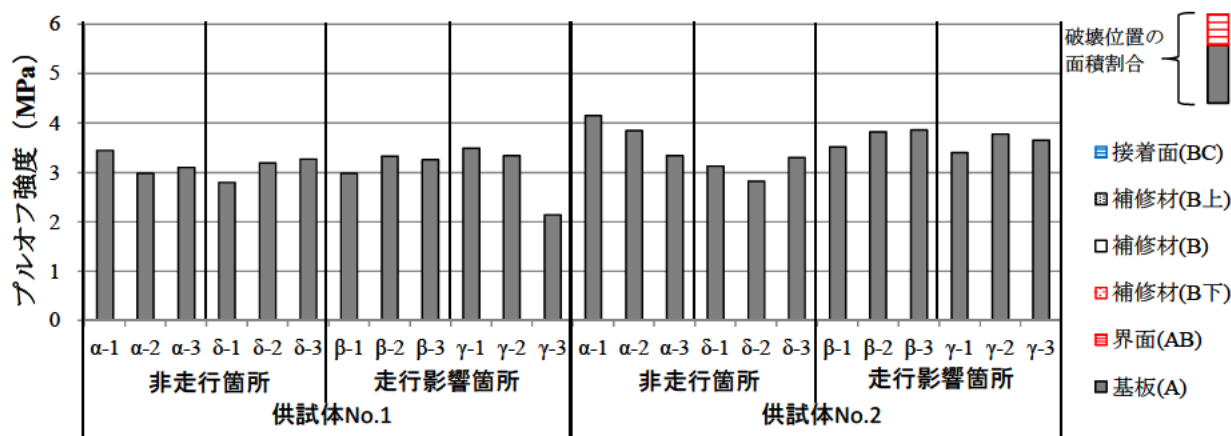


図-5.4.4 室内輪荷重試験後のプルオフ試験結果 (RM-a (擦付け用))

PCM-a、PCM-b、RM-a は、走行影響部、非走行部共に、プルオフ強度は2MPa 以上、大部分が3MPa 以上であった。破壊位置は基板(A)または補修材(B) (一部に(B 下)、(B 上)) であり、これらの値は基板や補修材のプルオフ強度を示していると考えられる。界面の付着強度は基板のプルオフ強度以上と考えられることから、輪荷重載荷後も十分な付着が保持できており、走行影響部と非走行部に差が生じなかったと考えられる。また、試験位置は目地側から○-1、○-2、○-3 (○にはα~δが入る) と番号を付けた (図-5.2.5 参照) が、試験位置とプルオフ強度の間には目立った傾向は認められなかった。PCM-c も走行影響部と非走行部に差は見られなかった。ただし、他の補修材と異なりプルオフ強度は2MPa 以下で、全ての位置が補修材表面薄層(B 上) で破壊した。これらの値は補修材のプルオフ強度を示しているが、基板のプルオフ強度や界面のプルオフ強度よりも小さいと考えられ、補修材の表面薄層で破壊する性質があると考えられる。通常、低いプルオフ強度で界面(AB)や補修材(B)で破壊する場合、大きな凹みや大きな塊の飛散が生じやすいと考えられるが、PCM-c は補修材表面薄層(B 上)で破壊しているため、大きな凹みや大きな塊の飛散が生じにくく、すり減りが激しくなければ道路管理上問題とならない可能性があると考えられる。

これらの結果より、輪荷重載荷後も十分な付着強度を維持しているもの、または、補修材表面薄層で破壊する性質のあるもの、などの理由により、繰返し荷重による付着への影響は確認されなかった。

5.4.2 角欠け用

目立った変形の生じなかったセメント系と樹脂系補修材について、室内輪荷重試験後に実施したプルオフ試験の結果を図-5.4.5~図-5.4.8に示す。

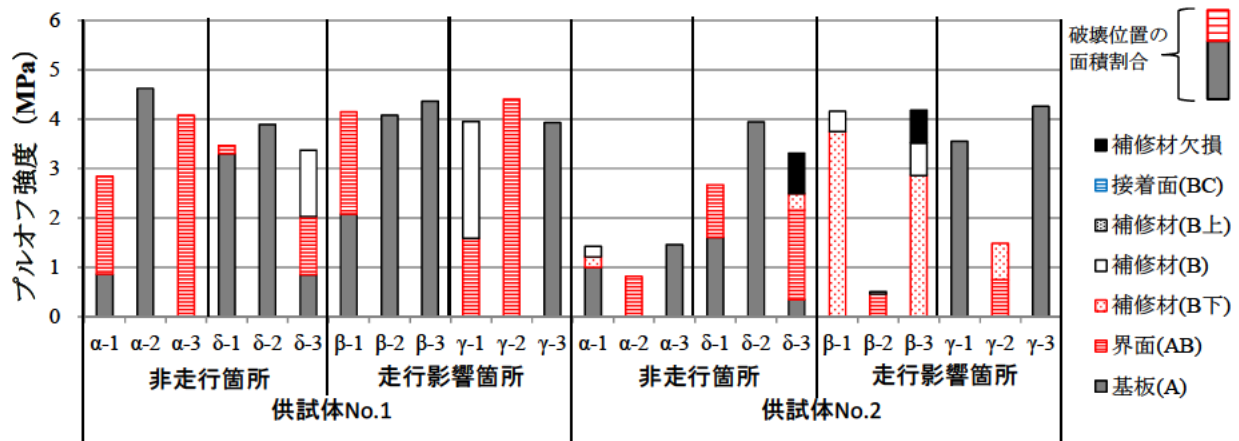


図-5.4.5 室内輪荷重試験後のプルオフ試験結果 (PCM-b (角欠け用))

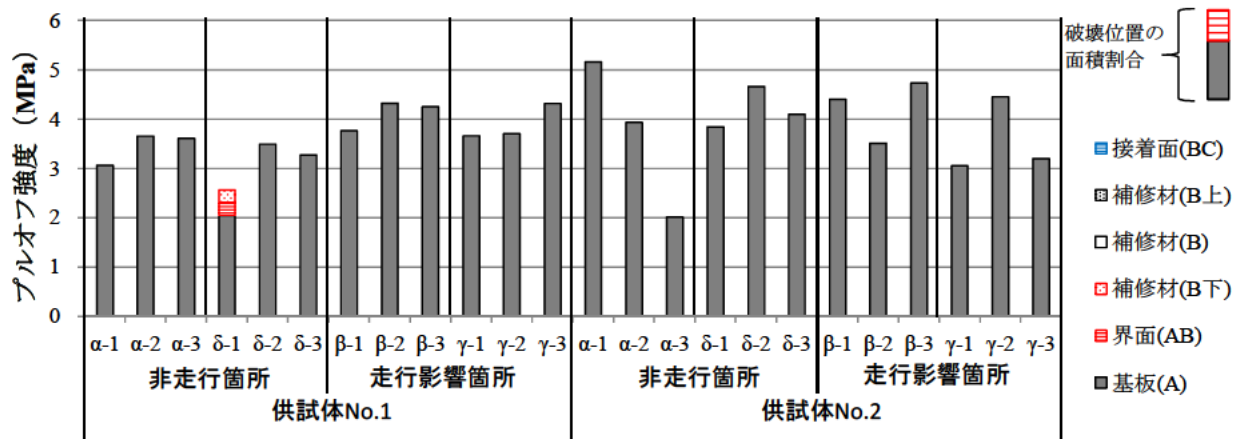


図-5.4.6 室内輪荷重試験後のプルオフ試験結果 (PCM-d (角欠け用))

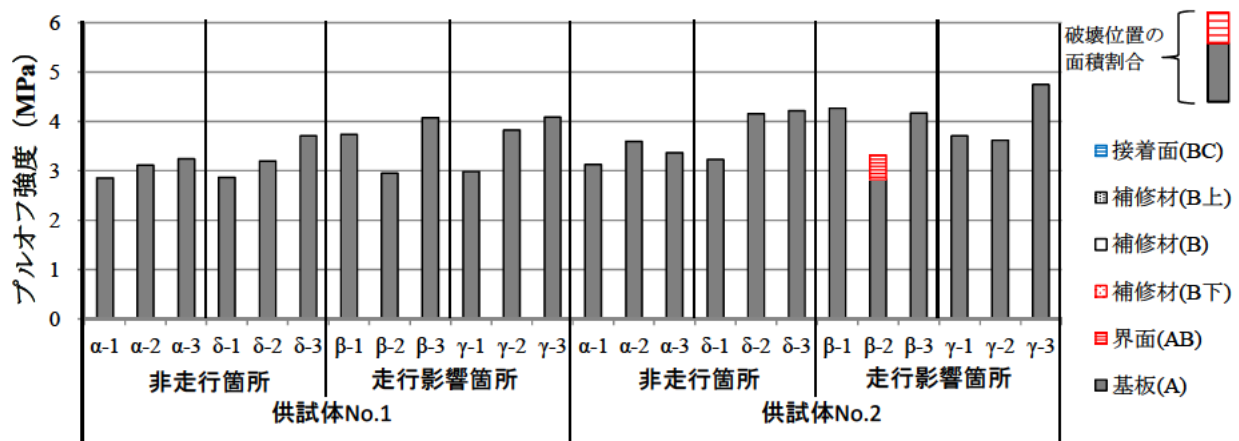


図-5.4.7 室内輪荷重試験後のプルオフ試験結果 (RM-a (角欠け用))

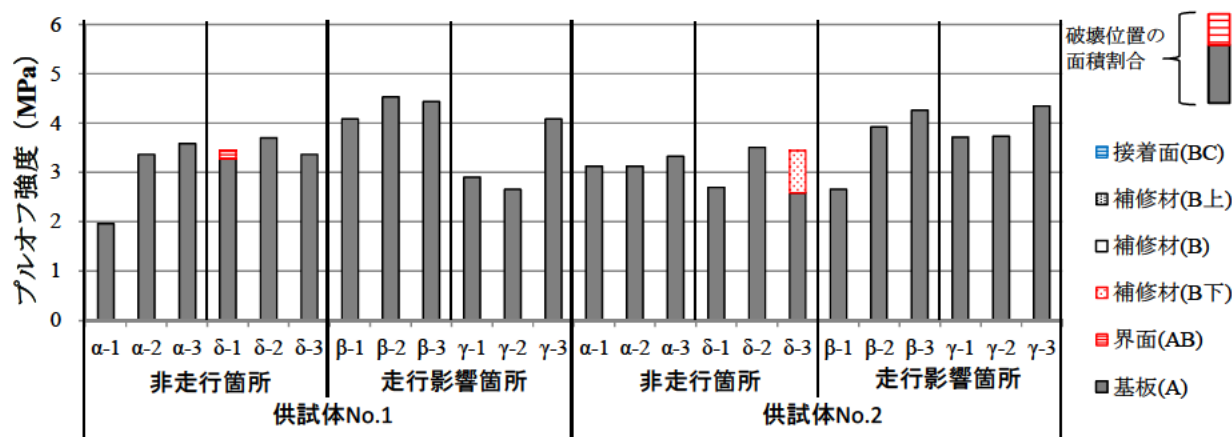


図-5.4.8 室内輪荷重試験後のプルオフ試験結果 (RM-b (角欠け用))

角欠け用の供試体はプルオフ試験位置によって補修材厚さが変化するが、今回用いた補修材についてはPCM-bの供試体No.2を除き、プルオフ強度に差は生じず、走行影響部、非走行部共にプルオフ強度は2MPa以上、大部分が3MPa以上を示した。破壊位置は位置により基板(A)や補修材(B)、界面(AB)があり、輪荷重載荷後も十分な付着強度を維持したと考えられる。

PCM-bの供試体No.2は、著しく小さな値で界面(AB)破壊するものが見られたり、3MPa以上の値で基板(A)で破壊するものが見られたりするなど、理由は明確ではないが、不安定な結果が得られた。

5.5 まとめ

- ①試験温度 60°Cで輪荷重を載荷した場合、比較用のアスファルト系補修材は顕著なわだち掘れや亀裂、界面のズレが生じたが、セメント系および樹脂系補修材ではわだち掘れなどの大きな変形は生じず、夏期などアスファルト系補修材が顕著に変形する条件においても高い変形抵抗性を有することが確認された。
- ②今回の試験からは、輪荷重載荷後も十分な付着強度を維持しているもの、または、補修材表面薄層で破壊する性質のあるもの、などの理由により、繰返し荷重による付着への影響は確認されなかった。

参考文献

- 5.1) 日本道路協会：舗装性能評価法—必須および主要な性能指標編一、pp.46～47、2013
- 5.2) 坂本康文・七五三野茂・源厚：コンクリート舗装の目地部段差量推定式の検証と精度向上に関する検討、土木学会論文集E1 (舗装工学)、Vol.67、No.3 (舗装工学論文集第16巻)、pp.I-181～I-187、2011

6. すり減り抵抗性

6.1 概要

本章では、補修材のすり減り抵抗性に関する検討結果について示す。

寒冷地の表層舗装においては、冬期間にタイヤチェーン等を装着した車両が走行することから、これらに対するすり減り抵抗性（摩耗抵抗性）を有する必要がある。コンクリート舗装の補修材においても同様であり、補修材の選定にあたっては、すり減り抵抗性を有する材料を選定する必要がある。

国土交通省北海道開発局道路設計施工要領において、表層に用いるアスファルト混合物の配合設計におけるすり減り抵抗性の規格値があるため、本検討ではこれに準拠し、補修材のすり減り抵抗性の評価を行った。

6.2 測定方法

舗装調査・試験法便覧に記載される B002「ラベリング試験方法」の、往復チェーン型の試験機を用いた試験で補修材のすり減り抵抗性を評価した。この試験は、試験機に据え付けられた供試体（長さ：400mm、幅：150mm、厚さ：50mm）が水平方向に往復運動（1分間に66往復）し、チェーンを付けた車輪（外径：250mm、幅：100mm）が回転しながら供試体に近づき、その表面をチェーンで剥離摩耗するような機構となっている。

本試験では1試料あたり2枚供試体を作製し、 $-10\pm 1^{\circ}\text{C}$ に保った試験室に供試体を搬入し、試験に先だって4時間養生する。ラベリング試験1.5時間後に1供試体当たり3断面にてすり減り深さを計測する。すり減り量は、摩耗深さと摩耗幅を計測し、平均摩耗深さに摩耗幅を掛けて算出することとなっている。なお、アスファルト系以外の補修材の場合、ラベリング試験を実施してもすり減り量が小さく、摩耗幅を適切に計測できない場合があるため、ここでは摩耗幅を60mmと固定し、評価を行うこととした。

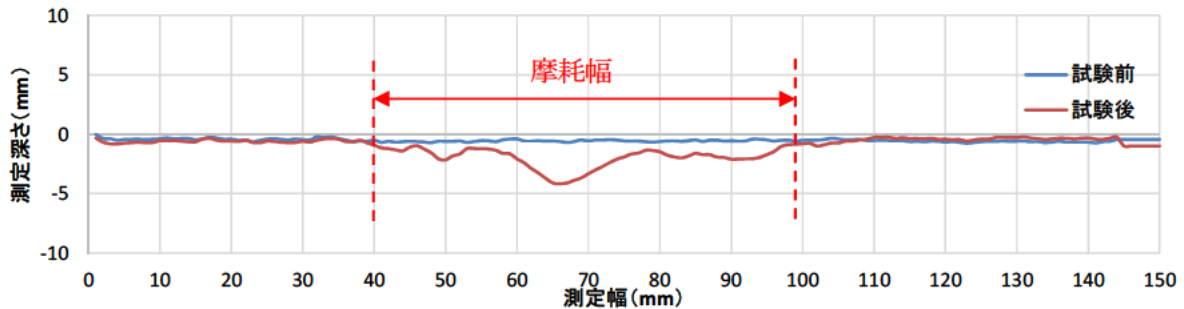


図-6.2.1 ラベリング試験結果の例（アスファルト系）

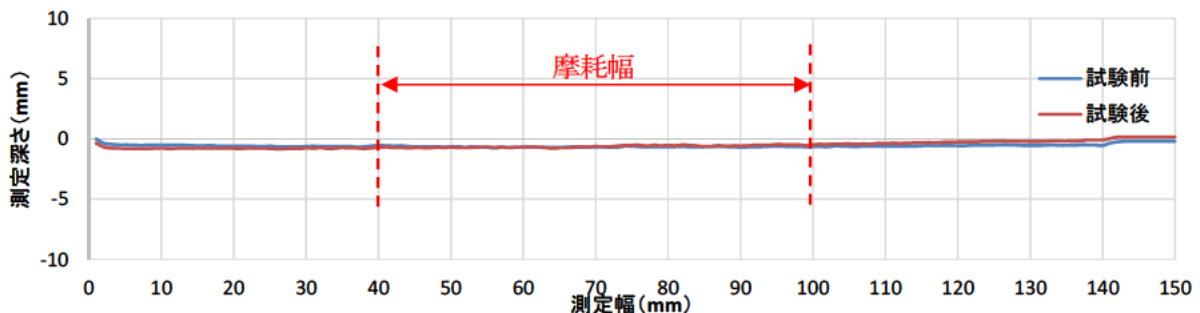


図-6.2.2 ラベリング試験結果の例（樹脂系）

6.3 供試体の作製方法

表-6.3.1 に示す擦付け用補修材 5 種類と表-6.3.2 に示す角欠け用補修材 5 種類を用いた。なお、これらは 3 章の表-3.1.1 および表-3.1.2 に示す補修材と同じであるが、ColdAs は完全に硬化しない材料であることから、すり減り抵抗性の検討は行わなかった。また、As(13)は表-6.3.3 に示す材料、表-6.3.4 に示す配合率で加熱混合（混合温度 150℃）したものである。

表-6.3.1 使用した補修材（擦付け用）

分類	記号	補修材の種類	凝結（硬化）調整剤、季節対応品の有無	施工面の処理方法
セメント系	PCM-a	ポリマーセメントモルタル	無	水湿し
	PCM-b	ポリマーセメントモルタル	有	水湿し
	PCM-c	ポリマーセメントモルタル（柔軟型）	無	水湿し
樹脂系	RM-a	エポキシ樹脂モルタル	有	エポキシプライマー塗布
アスファルト系	AsM	常温硬化型アスファルトモルタル	無	なし

表-6.3.2 使用した補修材（角欠け用）

分類	記号	補修材の種類	凝結（硬化）調整剤、季節対応品の有無
セメント系	PCM-b	ポリマーセメントモルタル	有
	PCM-d	ポリマーセメントモルタル	有
樹脂系	RM-a	エポキシ樹脂モルタル	有
	RM-b	アクリル樹脂モルタル	無
アスファルト系	As(13)	加熱合材 （細粒度アスファルト混合物（13））	無

表-6.3.3 As(13)の使用材料

材料	密度 (g/cm ³)			吸水率 (%)
	表乾	かさ	見掛	
6号砕石（砂岩）	2.652	2.634	2.683	0.70
7号砕石（砂岩）	2.629	2.602	2.675	1.05
粗砂（砕砂）	2.585	2.547	2.648	1.50
細砂（洗砂）	2.554	2.481	2.677	2.95
石粉	—	—	2.753	0.10
アスファルト （ストレートアスファルト 60-80）	—	—	—	—

表-6.3.4 As(13)の配合率

材料	骨材					アスファルト
	6号砕石	7号砕石	粗砂	細砂	石粉	
配合率 (%)	21.5	15.9	27.1	23.4	5.6	6.4

擦付け用補修材については薄層で使用されることが前提であるため、長さ 400mm、幅 150mm、厚さ 40mm

のコンクリート供試体を作製し、試験面側（表面は細骨材が露出する程度まで素地調整を行い「砂目」の状態とした）に補修材を10mmの厚さで施工し供試体とした。また、これらの補修材を補修面に施工する際は、表-6.3.1に示す方法（製造者の指定する方法）で処理を行った。

角欠け用補修材については、長さ400mm、幅150mm、厚さ50mmの供試体を補修材のみで作製し、試験に用いた。なお、試験時の材齢は28日（20℃封かん養生）である。

6.4 測定結果

ラベリング試験より得られたすり減り量を図-6.4.1に示す。アスファルト系の補修材のすり減り量が大きく、次いでセメント系、樹脂系の順にすり減りは小さくなる傾向が見られた。表層アスファルト混合物にすり減り量の規格値を設けている北海道開発局では、1.3cm²以下が規格となっているが、今回検討を行った補修材は全てこの規格を満たす結果となった。

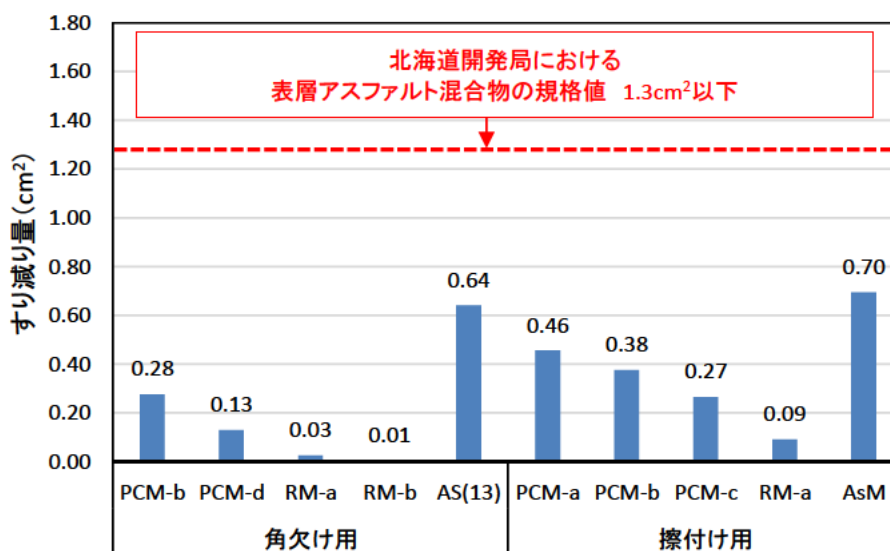


図-6.4.1 すり減り量

6.5 まとめ

コンクリート舗装用の補修材は、車輛走行の影響を受けるため、寒冷地において用いる場合にはすり減り抵抗性を有していることが求められる。本検討では、ラベリング試験を用いた評価を試みたが、アスファルト混合物同様に適切に評価を行えたと考える。また、今回検討に用いた補修材は、北海道開発局が表層アスファルト混合物に設けているすり減り量の規格値を十分に満足しており、すり減り抵抗性を有していると評価できる。

7. すべり抵抗性

7.1 概要

本章では、補修材のすべり抵抗性に関する検討結果について示す。

舗装には、走行安全性の観点から所要のすべり抵抗性確保が求められる。補修箇所的位置によっては車輪が通過することを考慮すると、補修材にもすべり抵抗性を考慮する必要があると考えられる。そこで、補修材のすべり抵抗性の評価を行った。

すべり抵抗性の検討は、後述のとおり**写真-7.1.1**に示す舗装走行実験場（土木研究所内）に施工した補修箇所で行ったが、9章で記述する荷重車走行による屋外実物大試験で引き続き用いる。また、荷重車の走行がすべり抵抗性に及ぼす影響についても検討し、その結果も9章で記述する。



(a) 上空写真

(b) 荷重車

写真-7.1.1 舗装走行実験場（土木研究所内、茨城県つくば市）

7.2 評価方法および使用材料

写真-7.1.1に示す舗装走行実験場の試験走路上に補修材を施工した模擬補修箇所を設け、そこで補修材のすべり抵抗性を評価した。舗装走行実験場は、試験走路上に**写真-7.1.1(b)**に示す荷重車（33t）を走行させることで、舗装の耐久性調査を行う施設である。今回は、試験走路のコンクリート舗装区間の目地部（ダウエルバーあり）に、段差や角欠けを模擬した模擬破損を小型切削機により形成し、補修材を施工し、その補修箇所ですべり抵抗性評価を行うこととした。

すべり抵抗性の評価は**表-7.2.1**に示す擦付け用補修材5種類と**表-7.2.2**に示す角欠け用補修材5種類について行った。これらは3章の**表-3.1.1**および**表-3.1.2**の補修材と同じものであるが、荷重車の走行に長期間耐えることが困難と考えられる常温合材 ColdAs は検討から除いた。また、As(13)は**表-7.2.3**の材料、**表-7.2.4**の配合率で加熱混合（混合温度 150°C）したものである。これらの補修材を補修面に施工する際は、**表-7.2.1**および**表-7.2.2**に示す方法（製造者の指定する方法）で処理を行った。コンクリート舗装区間の構造および模擬破損の形成位置を図-7.2.1に、模擬破損に補修材を施工した箇所の寸法を図-7.2.2に示す。

表-7.2.1 使用した補修材（擦付け用）

分類	記号	補修材の種類	凝結（硬化）調整剤、季節対応品の有無	施工面の処理方法
セメント系	PCM-a	ポリマーセメントモルタル	無	水湿し
	PCM-b	ポリマーセメントモルタル	有	水湿し
	PCM-c	ポリマーセメントモルタル（柔軟型）	無	水湿し
樹脂系	RM-a	エポキシ樹脂モルタル	有	エポキシプライマー塗布
アスファルト系	AsM	常温硬化型アスファルトモルタル	無	なし

表-7.2.2 使用した補修材（角欠け用）

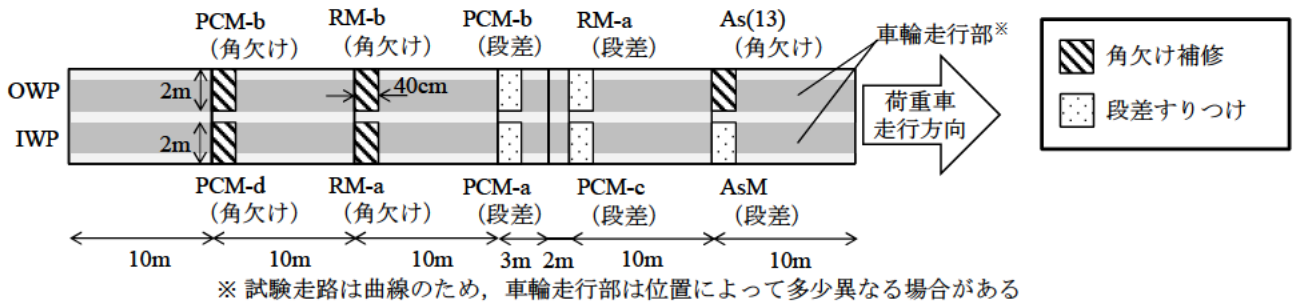
分類	記号	補修材の種類	凝結（硬化）調整剤、季節対応品の有無	施工面の処理方法
セメント系	PCM-b	ポリマーセメントモルタル	有	水湿し
	PCM-d	ポリマーセメントモルタル	有	水湿し
樹脂系	RM-a	エポキシ樹脂モルタル	有	エポキシプライマー塗布
	RM-b	アクリル樹脂モルタル	無	なし
アスファルト系	As(13)	加熱合材 （細粒度アスファルト混合物（13））	無	タックコート塗布

表-7.2.3 As(13)の使用材料

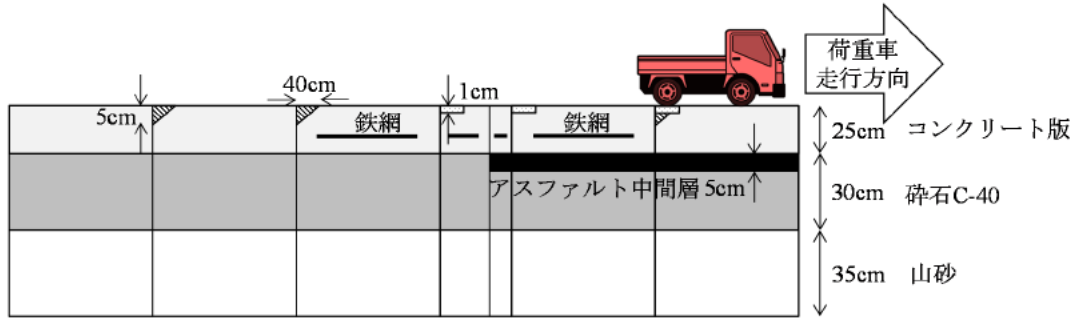
材料	密度 (g/cm ³)			吸水率 (%)
	表乾	かさ	見掛	
6号砕石（砂岩）	2.652	2.634	2.683	0.70
7号砕石（砂岩）	2.629	2.602	2.675	1.05
粗砂（砕砂）	2.585	2.547	2.648	1.50
細砂（洗砂）	2.554	2.481	2.677	2.95
石粉	—	—	2.753	0.10
アスファルト （ストレートアスファルト 60-80）	—	—	—	—

表-7.2.4 As(13)の配合率

材料	骨材					アスファルト
	6号砕石	7号砕石	粗砂	細砂	石粉	
配合率 (%)	21.5	15.9	27.1	23.4	5.6	6.4



(a) 平面図



(b) 断面図

図-7.2.1 コンクリート舗装区間の構造および模擬破損の形成位置

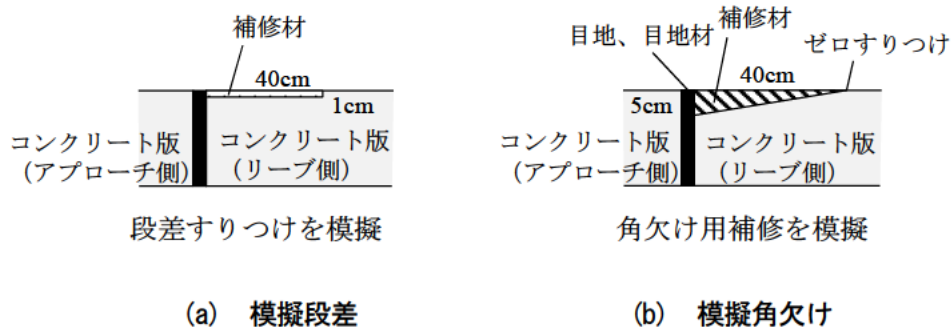


図-7.2.2 補修箇所の寸法

舗装路面のすべり抵抗性の評価方法として、舗装調査・試験法便覧に記載される S021-1「すべり抵抗測定車によるすべり抵抗測定方法」や S021-2「振り子式スキッドレジスタンステストによるすべり抵抗測定方法」(写真-7.2.2)、S021-3「回転式すべり抵抗測定器による動的摩擦係数の測定方法」(写真-7.2.1)がある。これらの試験方法について、現在、各試験方法から得られた測定値をいずれかに換算して、統一的に評価するまでには至っておらず、すべり試験は測定対象の条件に応じて選定する必要がある⁷¹⁾。今回の模擬破損を用いた補修箇所は幅 40cm 程度であるため、ここでは S021-3「回転式すべり抵抗測定器による動的摩擦係数の測定方法」(写真-7.2.1)を用いて補修材のすべり抵抗性の評価を行った。また、国内で広く行われている S021-2「振り子式スキッドレジスタンステストによるすべり抵抗測定方法」(写真-7.2.2)によるすべり抵抗値 (BPN) も併せて測定した。

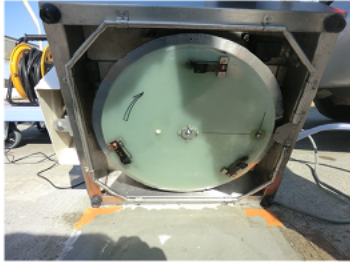


写真-7.2.1 回転式すべり抵抗測定器による
動的摩擦係数の測定状況



写真-7.2.2 振り子式スキッドレジスタンステスト
によるすべり抵抗測定状況

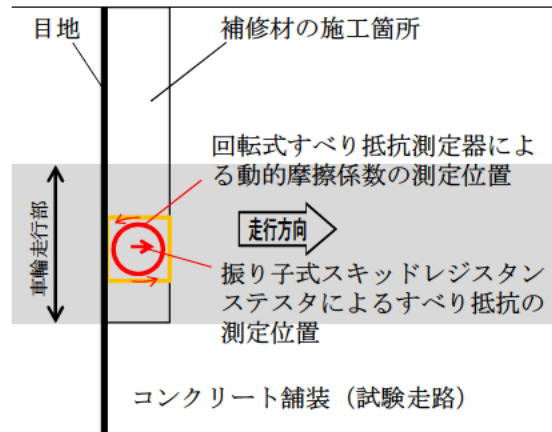


図-7.2.3 すべり試験の測定位置 (OWPのみ)

補修材のすべり抵抗性の測定は、図-7.2.3に示すように、補修箇所の中から9章で記述する荷重車の走行位置を必ず含む位置で行った。ここでは、補修材の施工1日後（平成29年12月22日）および、1ヶ月程度経過した際のすべり抵抗性の変化の有無を確認するために、施工26日後（荷重車による輪荷重載荷はない）で行った。

7.3 補修材施工状況

補修材の施工1日後の状況を写真-7.3.1および写真7.3.2に示す。写真の枠は、図-7.2.3に示したすべり試験の位置である。



(a) PCM-a (擦付け用)

(b) PCM-b (擦付け用)

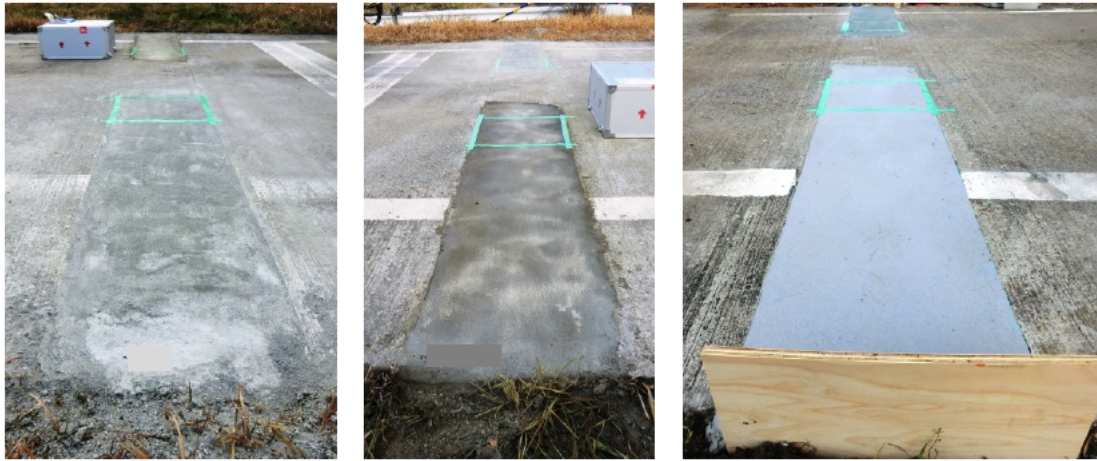
(c) PCM-c (擦付け用)



(d) RM-a (擦付け用)

(e) AsM (擦付け用)

写真-7.3.1 補修材施工状況 (擦付け用)



(a) PCM-b (角欠け用) (b) PCM-d (角欠け用) (c) RM-a (角欠け用)



(d) RM-b (角欠け用) (e) As(13) (角欠け用)

写真-7.3.2 補修材施工状況 (角欠け用)

7.4 試験結果

施工1日後および26日後における、回転式すべり抵抗測定器による動的摩擦係数の測定結果（40km/hの動的摩擦係数 μ_{40} 、60km/hの動的摩擦係数 μ_{60} 、80km/hの動的摩擦係数 μ_{80} ）を図-7.4.1および図-7.4.2に示す。

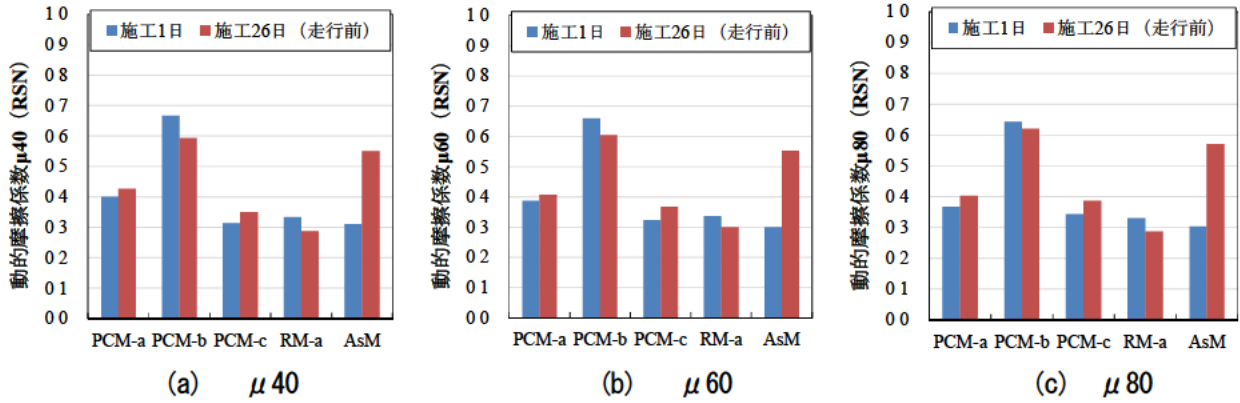


図-7.4.1 動的摩擦係数（擦付け用補修材）

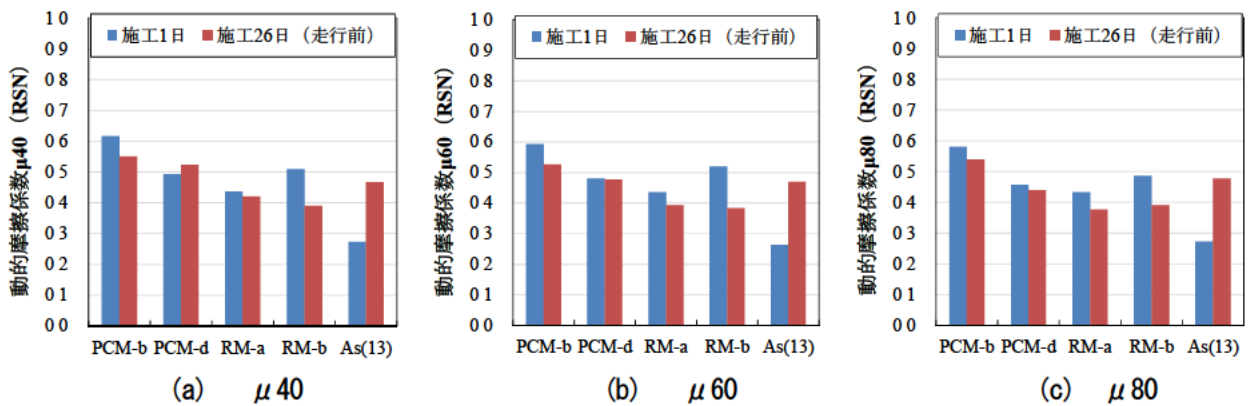


図-7.4.2 動的摩擦係数（角欠け用補修材）

各補修材とも、動的摩擦係数は速度が大きい方が若干小さくなる傾向があるが、大きな差はなかった。また、速度により、補修材の動的摩擦係数の大小関係は変わらなかった。

施工1日後の動的摩擦係数は、0.25～0.65程度であり、PCM-bが最も値が大きかった（すべり抵抗性が大きかった）。道路維持修繕要綱では、維持修繕要否判断の目標値として、S021-1「すべり抵抗測定車によるすべり抵抗測定方法」で得られるすべり摩擦係数が0.25（交通量の多い一般道の場合は60km/h、自動車専用道路の場合は80km/hのときの値）を挙げている⁷²⁾。また、S021-3「回転式すべり抵抗測定器による動的摩擦係数の測定方法」で測定した動的摩擦係数は、測定方法の違いから前述のすべり摩擦係数とは異なるが、舗装性能評価法によると、40km/hおよび60km/hの場合で両者の相関性が認められるとされ⁷³⁾、60km/hの場合すべり摩擦係数0.25は動的摩擦係数では0.32程度となる。今回のすべり抵抗性の測定結果は、アスファルト系補修材は維持修繕要否判断の目標値と同等以下であったが、セメント系、樹脂系補修材は維持修繕要否判断の目標値と同等以上であった。

施工26日後に動的摩擦係数を測定すると、セメント系および樹脂系補修材は、施工1日後の値と同程度か、若干小さい値を示した。一方、アスファルト系補修材（AsM、As(13)）は、施工1日後の値と比べて顕著が増加を示した。アスファルト系補修材は、施工直後と比べて表面の油分が揮発してくるため、すべり抵抗性が増加したものと考えられる。逆に言えば、施工直後は若干すべり抵抗性が低い状態となりやすい傾向があ

ると考えられる。

また、振り子式スキッドレジスタンステストによるすべり抵抗測定結果（20℃補正 BPN）は、図-7.4.3 および図-7.4.4 に示すとおりとなった。

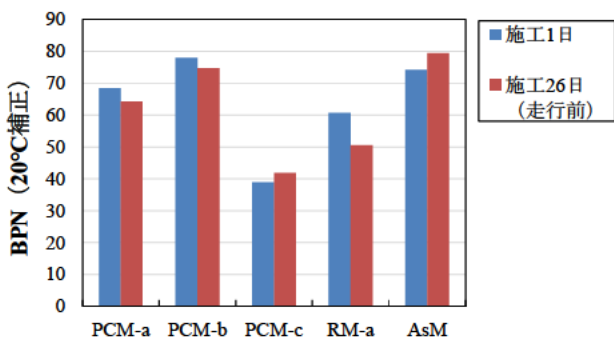


図-7.4.3 BPN (20℃補正) (擦付け用補修材)

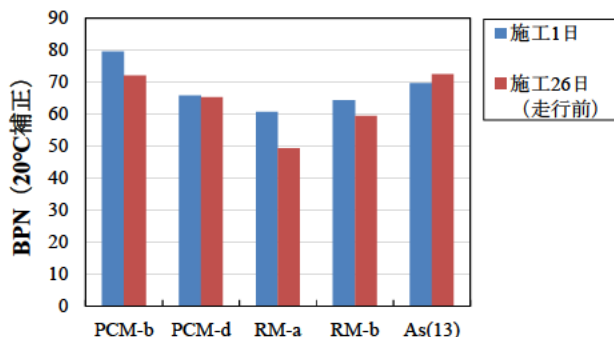


図-7.4.4 BPN (20℃補正) (角欠け用補修材)

施工1日後のBPNは、PCM-c（擦付け用）が38.9と最も小さく（すべり抵抗性が小さく）、その他の補修材は60以上であった。また、アスファルト系補修材のBPNが回転式すべり抵抗測定器の場合と比べて、大きな値を示した。アスファルト系補修材を除くと、角欠け用補修材の結果は回転式すべり抵抗測定器による結果と傾向がほぼ同様であったが、擦付け用補修材の結果はPCM-a、RM-aのBPNがPCM-bのBPNと比較的近い値を示す等、若干傾向が異なった。BPNは一直線ですべり抵抗性を測定したものであり、回転式すべり抵抗測定器による測定とは測定位置や測定方向が厳密には異なるため、傾向の異なる結果が得られたと考えられる。

施工から26日経過後のBPNは、施工1日後に比べてほぼ同等か、若干低い値を示し、その差は小さいものが大半であった。アスファルト系補修材は、回転式すべり抵抗測定器による動的摩擦係数と同様、若干増加する傾向を示した。

7.5 まとめ

- ①すべり抵抗性は、補修材の種類のみならず、施工の仕方によっても変わりうるが、今回の条件においては一部、維持修繕要否判断の目標値以下を示すものもあった。
- ②アスファルト系補修材は、施工から26日経過した時点の動的摩擦係数は、施工直後よりも増加する傾向を示した。セメント系および樹脂系補修材は、施工直後と26日経過後の値は同等か若干小さい値を示すものがあったが、アスファルト系補修材の変化に比べれば小さかった。

参考文献

- 7.1) 公益社団法人日本道路協会：舗装性能評価法—必須および主要な性能指標編一、pp.105～106、2013.4
- 7.2) 社団法人日本道路協会：道路維持修繕要綱、pp.67～68、p.93、1978.7
- 7.3) 公益社団法人日本道路協会：舗装性能評価法—必須および主要な性能指標編一、pp.122～123、2013.4

8. 暴露試験

8.1 概要

本章では、暴露供試体を用いた検討結果について示す。

3章～6章までは、補修材の性質を評価するため、試験室において各種性質の測定や促進試験による検討結果について記述した。促進試験は、材料の評価を短時間で行う方法として一般的であるが、実際の環境は乾湿繰返し、温度変化、凍結融解、紫外線などの環境作用が複合的に生じていること、厳しい環境変化などにさらす促進試験中での劣化と実際の環境で生じる劣化メカニズムが同一と言えるか、という点で疑問が残る。そこで、暴露試験を並行して行うこととした。

8.2 試験方法

暴露試験に用いる暴露供試体は、表-8.2.1に示す擦り付け用補修材5種類と、表-8.2.2に示す角欠け用補修材6種類を用い、図-8.2.1に示す寸法のものである。このうち、As(13)は表-8.2.3に示す材料、表-8.2.4に示す配合率で加熱混合（混合温度 150℃）したものである。また、これらの補修材を補修面に施工する際は、表-8.2.1および表-8.2.2に示す方法（製造者の指定する方法）で処理を行った。

表-8.2.1 使用した補修材（擦り付け用）

分類	記号	補修材の種類	凝結（硬化）調整剤、季節対応品の有無	施工面の処理方法
セメント系	PCM-a	ポリマーセメントモルタル	無	水湿し
	PCM-b	ポリマーセメントモルタル	有	水湿し
	PCM-c	ポリマーセメントモルタル（柔軟型）	無	水湿し
樹脂系	RM-a	エポキシ樹脂モルタル	有	エポキシプライマー塗布
アスファルト系	AsM	常温硬化型アスファルトモルタル	無	なし

表-8.2.2 使用した補修材（角欠け用）

分類	記号	補修材の種類	凝結（硬化）調整剤、季節対応品の有無	施工面の処理方法
セメント系	PCM-b	ポリマーセメントモルタル	有	水湿し
	PCM-d	ポリマーセメントモルタル	有	水湿し
樹脂系	RM-a	エポキシ樹脂モルタル	有	エポキシプライマー塗布
	RM-b	アクリル樹脂モルタル	無	なし
アスファルト系	As(13)	加熱合材 （細粒度アスファルト混合物（13））	無	タックコート塗布
	ColdAs	常温合材（骨材最大粒径 3mm）	無	なし

表-8.2.3 As(13)の使用材料

材料	密度 (g/cm ³)			吸水率 (%)
	表乾	かさ	見掛	
6号碎石(砂岩)	2.652	2.634	2.683	0.70
7号碎石(砂岩)	2.629	2.602	2.675	1.05
粗砂(砕砂)	2.585	2.547	2.648	1.50
細砂(洗砂)	2.554	2.481	2.677	2.95
石粉	—	—	2.753	0.10
アスファルト (ストレートアスファルト 60-80)	—	—	—	—

表-8.2.4 As(13)の配合率

材料	骨材					アスファルト
	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

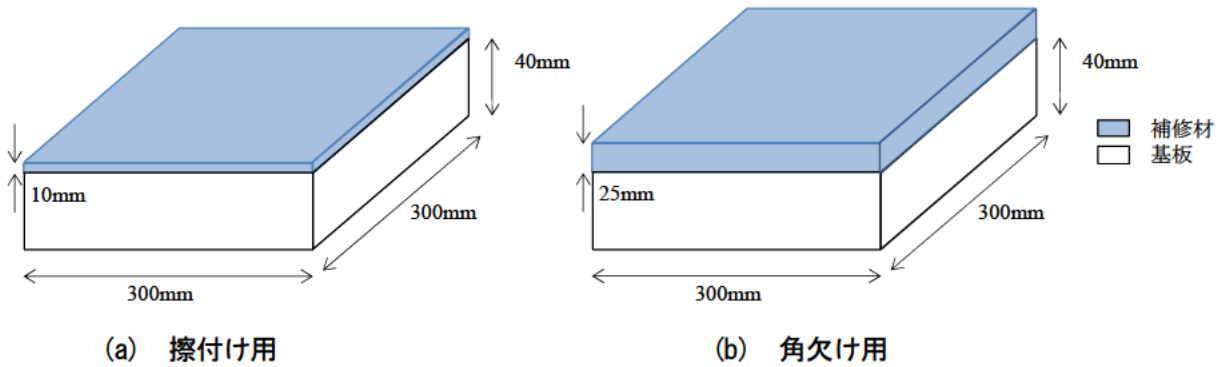


図-8.2.1 暴露供試体

本研究において、暴露場所は2箇所とした。1箇所は、標準的環境として茨城県つくば市とした。もう1箇所は、紫外線量の多い沖縄県大宜味村(つくばの約1.6倍の紫外線量⁸¹⁾)とした。つくば市と大宜味村に隣接する名護市の気象庁観測による気温を図-8.2.2、日降水量を図-8.2.3に示すが、名護の方が年間の平均気温と年間降水量は多い環境である。

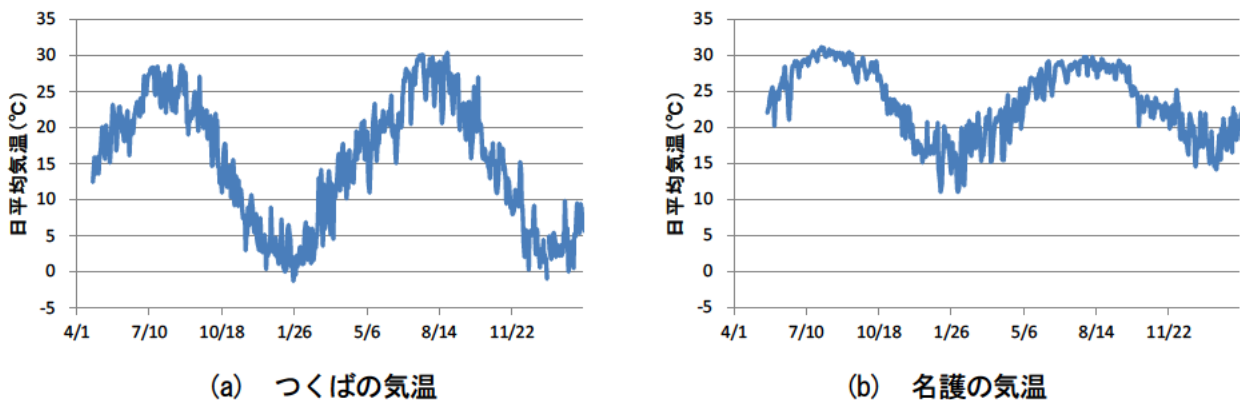
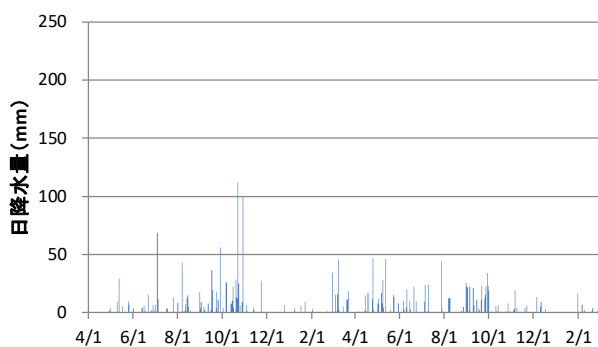
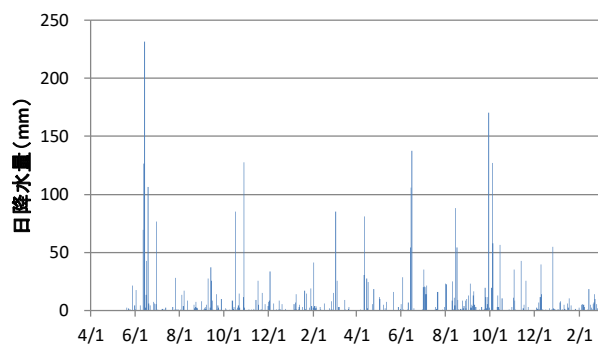


図-8.2.2 暴露場所付近の気温(気象庁データ)



(a) つくばの降水量



(b) 名護の降水量

図-8.2.3 暴露場所付近の降水量（気象庁データ）

暴露は、補修材の材齢が 28 日以降となった状態（養生は 20℃気中養生）で開始した。つくば市では平成 29 年（2017 年）4 月 24 日より、大宜味村では平成 29 年（2017 年）年 5 月 18 日より暴露を開始した。

暴露中に補修材に生じる変状について、定期的に補修材の外観調査（ひび割れなどの変状の発生の有無の観察）を行った。また、定期的にプルオフ強度を測定して、剥離抵抗性の変化を調査した。

8.3 外観の変化

つくば市内に暴露した供試体の、暴露開始時と暴露9ヶ月目、18ヶ月目の外観写真を表-8.3.1 および表-8.3.2 に示す。また、大宜味村内に暴露した供試体の、暴露開始時と暴露18ヶ月目の外観写真を表-8.3.3 および表-8.3.4 に示す。

外観の変化については、暴露18ヶ月目までの期間において、つくばに暴露したAs(13)の一部に若干のひび割れが生じた他は、補修材の表面にひび割れなどの変状は見られなかった。

表-8.3.1 暴露供試体（つくば市内）の外観写真（擦付け用）

写真上方：南





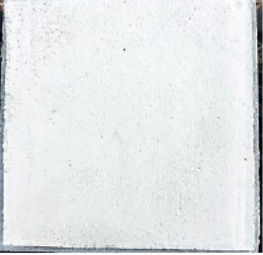








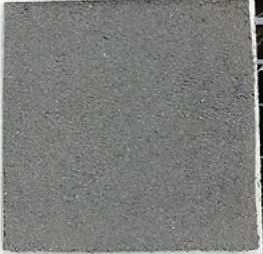

補修材	暴露開始時	暴露9ヶ月目	暴露18ヶ月目
PCM-a			
PCM-b			
PCM-c			
RM-a			
AsM			

表-8.3.2 暴露供試体（つくば市内）の外観写真（角欠け用）

写真上方：南




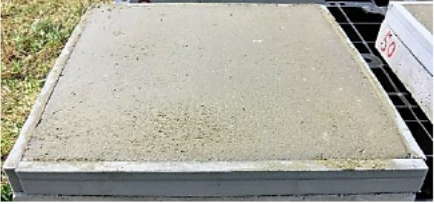


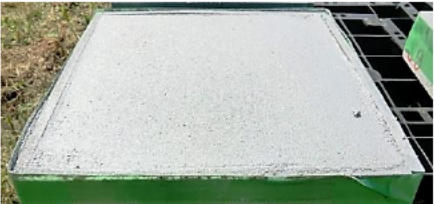


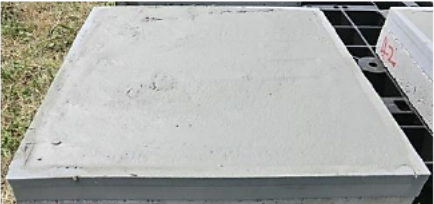




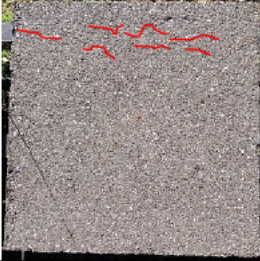
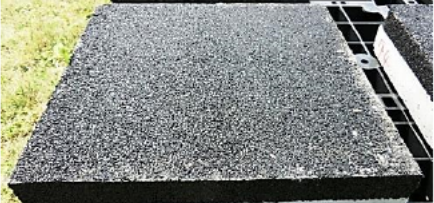


補修材	暴露開始時	暴露9ヶ月目	暴露18ヶ月目
PCM-b			
PCM-d			
RM-a			
RM-b			
As(13) 赤線：ひび割れ			
ColdAs			

表-8.3.3 暴露供試体（大宜味村内）の外観写真（擦付け用）

写真上方：南





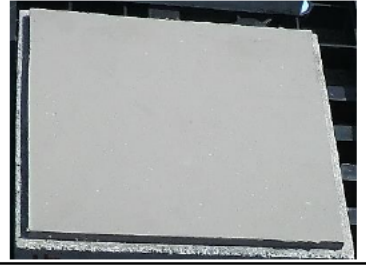






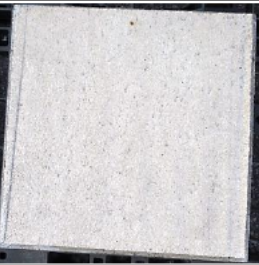
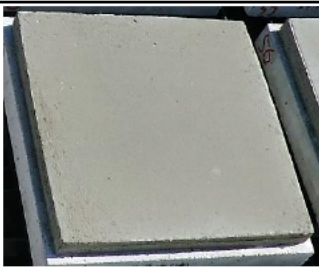
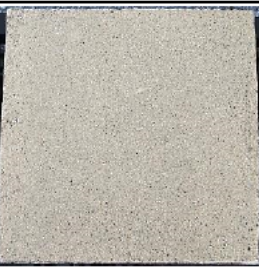

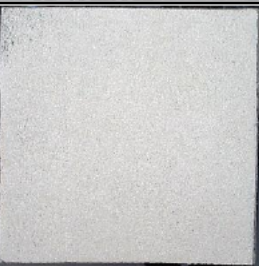
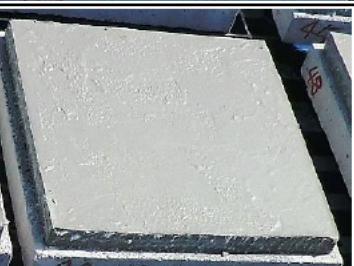





補修材	暴露開始時	暴露 18 ヶ月目
PCM-a		
PCM-b		
PCM-c		
RM-a		
AsM		

表-8.3.4 暴露供試体（大宜味村内）の外観写真（角欠け用）

写真上方：南

補修材	暴露開始時	暴露 18 ヶ月目
PCM-b		
PCM-d		
RM-a		
RM-b		
As(13)		
ColdAs		

次に、暴露12ヶ月目と暴露16ヶ月目の暴露供試体の側面の写真(つくば市内の暴露供試体のみ)を表-8.3.5 および表-8.3.6 に示す。

補修材と基板の界面を観察すると、大部分の補修材には変化は見られなかったが、樹脂系補修材の RM-b (角欠け用) に、暴露12ヶ月目の時点で供試体の隅角部の界面に隙間が生じているのが確認できた。また、暴露16ヶ月目には、界面に生じた隙間の範囲が拡大していた。

表-8.3.5 暴露供試体(つくば市内)の側面写真(擦付け用)























補修材	暴露12ヶ月目	暴露16ヶ月目
PCM-a		
PCM-b		
PCM-c		
RM-a		
AsM		

表-8.3.6 暴露供試体（つくば市内）の側面写真（角欠け用）

補修材	暴露 12 ヶ月目	暴露 16 ヶ月目
PCM-b		
PCM-d		
RM-a		
RM-b 赤枠の範囲に隙間		
As(13)		
ColdAs		

8.4 暴露供試体の剥離抵抗性

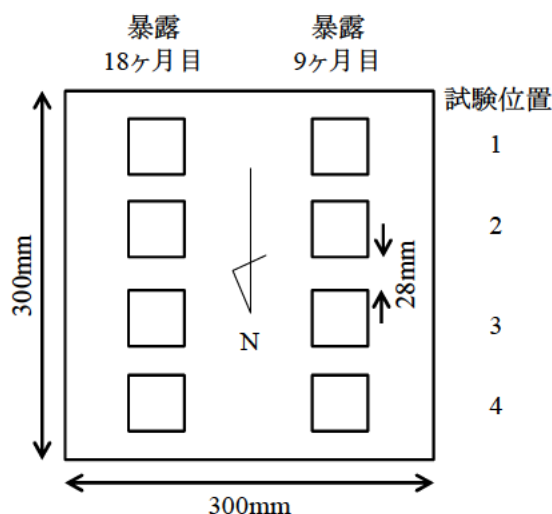


図-8.4.1 暴露供試体のプルオフ試験位置（9ヶ月目および18ヶ月目）

暴露供試体のプルオフ強度を暴露9ヶ月目と18ヶ月目に測定を行った。プルオフ試験の位置は、図-8.4.1に示すように、1回の測定で4箇所とした。

プルオフ試験結果を標準環境（20℃の室内で気中養生）の材齢28日までのプルオフ試験結果と合わせて図-8.4.2～図-8.4.11に示す。なお、擦付け用のPCM-aおよびPCM-bの大宜味暴露9ヶ月目のプルオフ試験結果は、いずれも接着面(BC)で破壊したが、試験時に接着剤の硬化が不十分だった可能性が考えられたため、欠測扱いとした。また、常温合材のColdAsは、プルオフ試験前の切込み作業時に補修材が界面から剥離した。

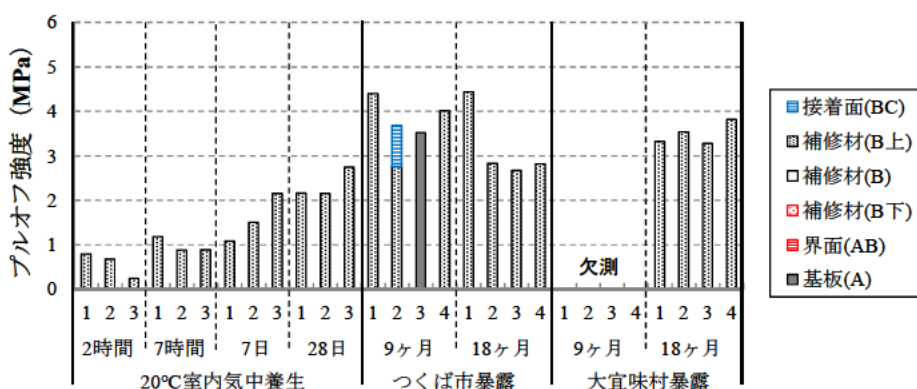


図-8.4.2 暴露後のプルオフ試験結果（PCM-a・擦付け用）

PCM-a（擦付け用）は、つくば、大宜味共に、18ヶ月目時点でプルオフ強度3MPa程度以上、破壊位置は補修材(B上)であった。基板のプルオフ強度程度の付着が得られていたと考えられる。つくば、大宜味の2箇所の間は、この時点では確認されなかった。つくばの結果より、9ヶ月目から18ヶ月目にかけて、プルオ

フ強度にやや低下傾向が見られた。

4.5の乾湿繰返し（温度変化）試験の結果（図-4.5.3）では、30サイクルで界面破壊(AB)しやすい結果になったが、暴露試験においても今後同様の傾向を示すのか明らかにするために、引き続き測定が必要である。

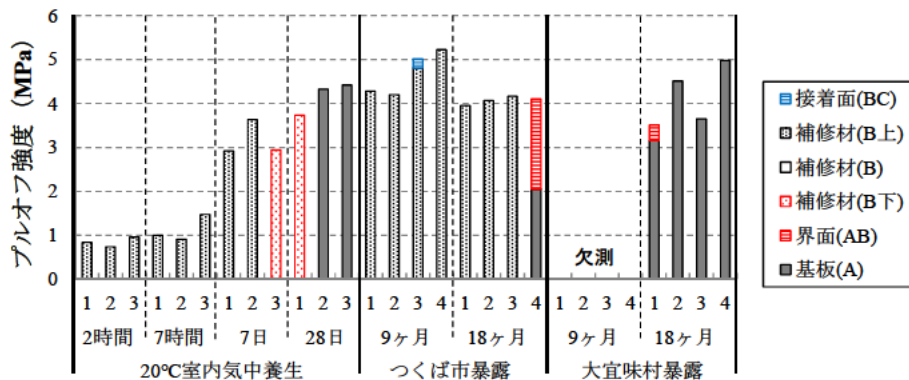


図-8.4.3 暴露後のプルオフ試験結果（PCM-b・擦付け用）

PCM-b（擦付け用）は、つくば、大宜味共に、18ヶ月目時点でプルオフ強度は4MPa程度以上、破壊位置はつくばが概ね補修材(B上)、大宜味が基板(A)であった。基板のプルオフ強度程度の付着が得られていたと考えられる。破壊位置の差はあったものの、つくば、大宜味の2箇所の差は、この時点では目立ったものではなかった。また、つくばの結果から、プルオフ強度に低下傾向は見られなかった（4.5の乾湿繰返し（温度変化）試験の結果（図-4.5.4）でも、特に変化の見られなかった補修材である）。

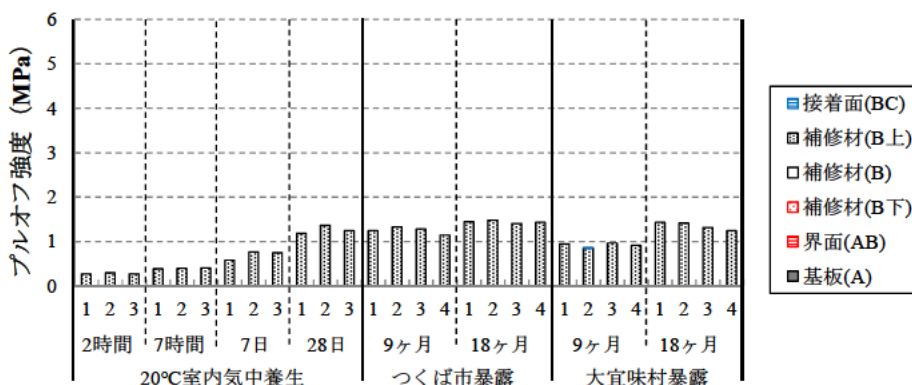


図-8.4.4 暴露後のプルオフ試験結果（PCM-c・擦付け用）

PCM-c（擦付け用）は、つくば、大宜味共に、18ヶ月目時点でプルオフ強度は1.5MPa程度であり、これまでの検討で行ったプルオフ試験と同様、他のセメント系補修材と比べて値は小さかった。破壊位置は補修材(B上)であった。つくば、大宜味の2箇所の差は、この時点ではなかった。また、プルオフ強度に低下傾向は見られなかった（4.5の乾湿繰返し（温度変化）試験の結果（図-4.5.5）でも、特に変化の見られなかった補修材である）。

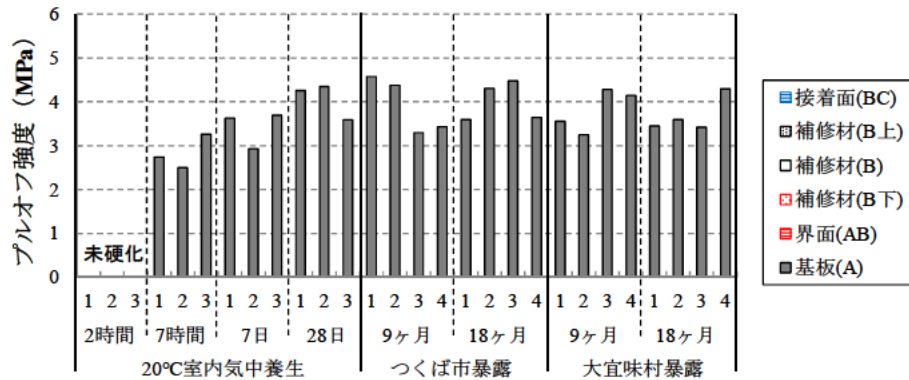


図-8.4.5 暴露後のプルオフ試験結果 (RM-a・擦付け用)

RM-a (擦付け用) は、つくば、大宜味共に、18ヶ月目時点でプルオフ強度は3MPa以上、破壊位置は全て基板(A)であった。つくば、大宜味の2箇所は、この時点ではなかった。また、プルオフ強度に低下傾向は見られなかった(4.5の乾湿繰返し(温度変化)試験の結果(図-4.5.6)でも、特に変化の見られなかった補修材である)。

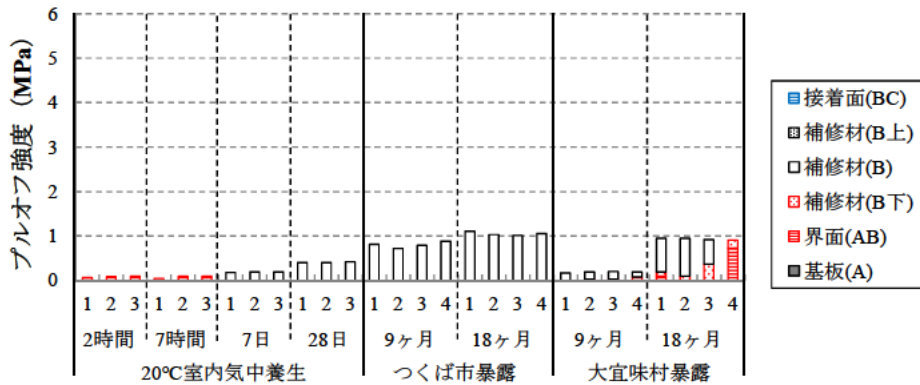


図-8.4.6 暴露後のプルオフ試験結果 (AsM・擦付け用)

AsM (擦付け用) は、つくば、大宜味共に、18ヶ月目時点でプルオフ強度は1MPa以上、破壊位置はほぼ補修材(B)であり、大宜味の4番のみ界面(AB)であった。つくば、大宜味の2箇所は、破壊位置が一部異なるものの、プルオフ強度の差はこの時点ではなかった。また、プルオフ強度に低下傾向は見られなかった(4.5の乾湿繰返し(温度変化)試験の結果(図-4.5.7)でも、特に変化の見られなかった補修材である)。

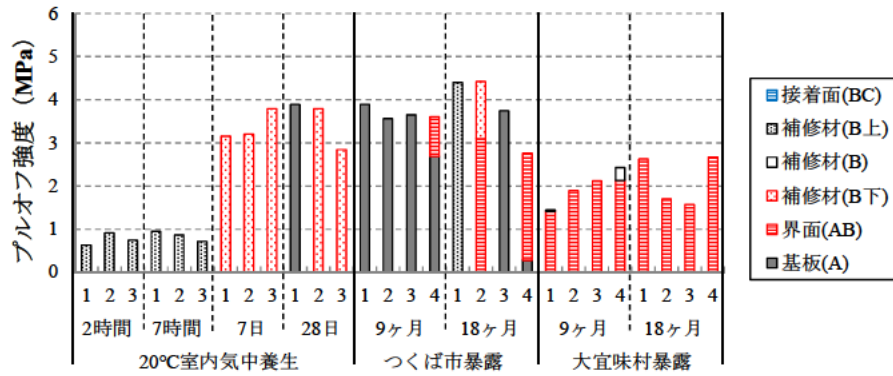


図-8.4.7 暴露後のプルオフ試験結果 (PCM-b・角欠け用)

PCM-b (角欠け用) は、9ヶ月目の時点でつくばと大宜味でプルオフ強度に差が生じた。破壊位置については、つくばでは18ヶ月目で界面破壊(AB)が見られるようになり、大宜味では9ヶ月目の時点で全ての試験位置で界面破壊(AB)であった。

4.5の乾湿繰返し(温度変化)試験の結果(図-4.5.4および図-4.5.8)より、補修材の厚さが10mm(擦付け用)と25mm(角欠け用)では、後者にプルオフ強度の低下と界面(AB)における破壊が認められたが、暴露試験においても同様に、施工厚さの大きい方がプルオフ試験結果に影響が生じやすい結果が得られた。特に大宜味において顕著であった。

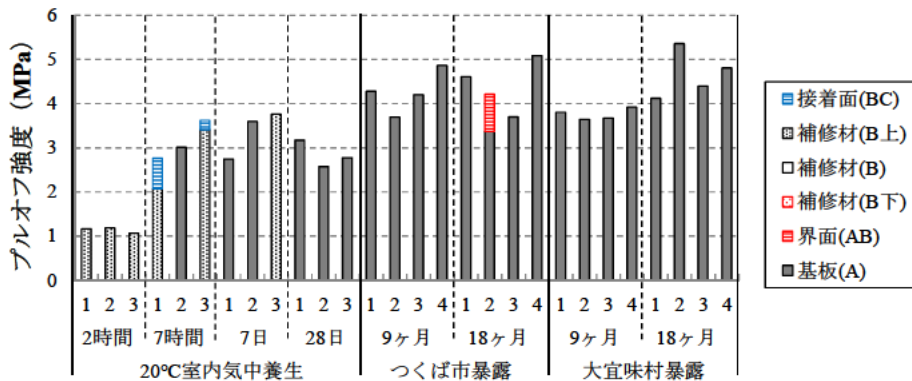


図-8.4.8 暴露後のプルオフ試験結果 (PCM-d・角欠け用)

PCM-d (角欠け用) は、つくば、大宜味共に、18ヶ月目時点でプルオフ強度は3MPa以上、破壊位置はほぼ基板(A)であった。つくば、大宜味の2箇所の差は、この時点ではなかった。また、プルオフ強度に低下傾向は見られなかった。

しかし、4.5の室内の乾湿繰返し(温度変化)試験の結果(図-4.5.10)では、プルオフ強度は著しく低下した。この補修材のみ、乾湿繰返し(温度変化)試験と現在までの暴露試験の結果が全く異なる傾向を示しており、原因の調査は今後の検討課題である。

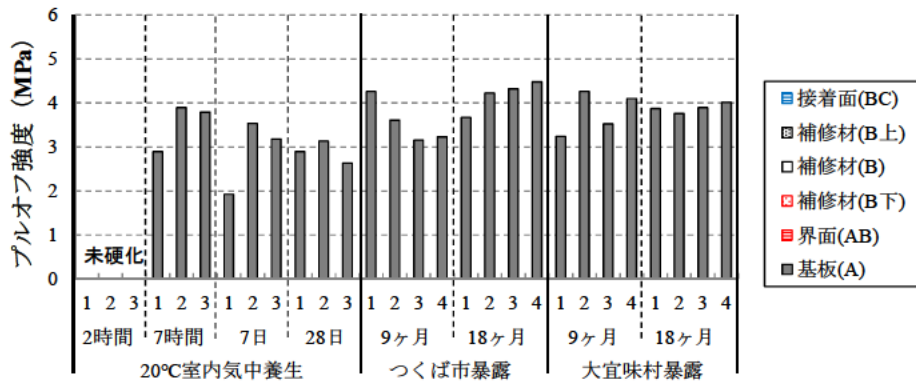


図-8.4.9 暴露後のプルオフ試験結果 (RM-a・角欠け用)

RM-a (角欠け用) は、擦付け用と同様、つくば、大宜味共に、18ヶ月目時点でプルオフ強度は3MPa以上、破壊位置は全て基板(A)であった。つくば、大宜味の2箇所の差は、この時点ではなかった。また、プルオフ強度に低下傾向は見られなかった (4.5の乾湿繰返し (温度変化) 試験の結果 (図-4.5.11) でも同様)。

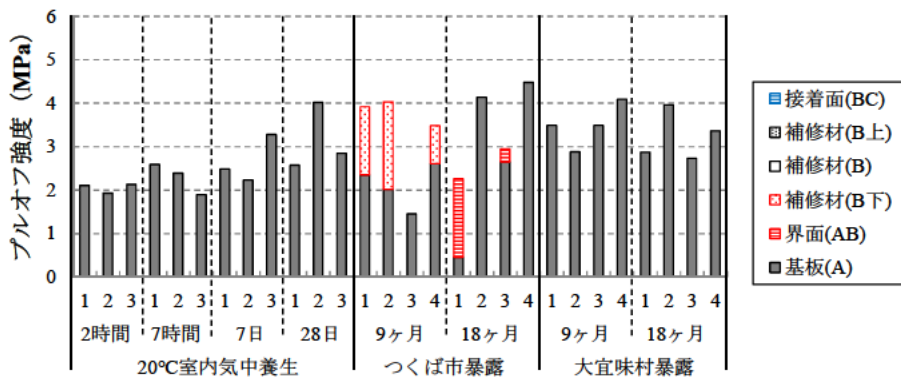


図-8.4.10 暴露後のプルオフ試験結果 (RM-b・角欠け用)

RM-b (角欠け用) は、大宜味では18ヶ月目時点でプルオフ強度が3MPa程度以上を示し、破壊位置も基板(A)であった。プルオフ強度の低下傾向は見られなかった。

つくばでは、18ヶ月目までの時点で、3MPa以上のプルオフ強度を示すものが多く、破壊位置も大部分が基板(A)であったが、一部小さなプルオフ強度を示すものもあった。9ヶ月目の3番のプルオフ強度は小さいが、破壊位置は基板(A)であり、補修材の付着強度が低下したことを示すものではなかった。また、18ヶ月目では界面(AB)で破壊するものが現れた。

4.5の乾湿繰返し (温度変化) 試験の結果 (図-4.5.12) では、30サイクルで界面破壊(AB)しやすくなるなど、付着に影響が生じたことから、今後、暴露供試体にも影響が生じるか否かを明らかにするために、引き続き測定が必要である (つくばでは、18ヶ月目で影響が出始めている可能性も考えられる)。

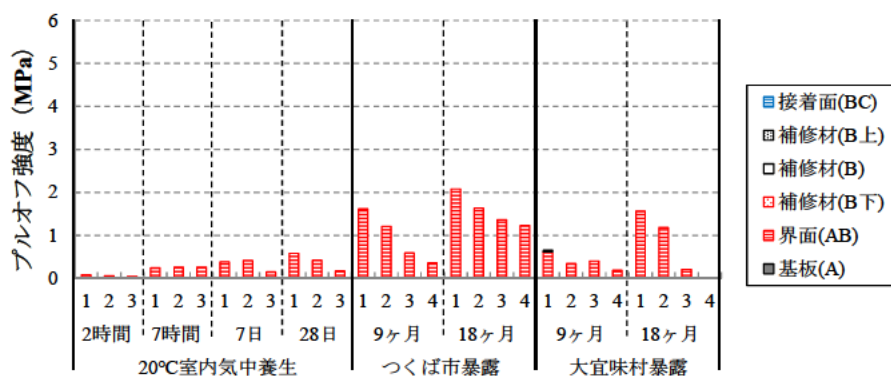


図-8.4.11 暴露後のプルオフ試験結果 (As(13)・角欠け用)

As(13) (角欠け用) は、つくば市暴露、大宜味暴露共に、また、9ヶ月目、18ヶ月目共に、1番 (南側) のプルオフ強度が最も大きく、4番 (北側) のプルオフ強度が最も小さい値を示す傾向が得られたが、場所によってプルオフ強度の大きさに差が生じている理由は、現時点では明確ではない。破壊位置はいずれも界面(AB) (タックコート部分) であった。

8.5 まとめ

- ①暴露 18ヶ月目までの補修材の外観変化は、As(13)の一部に若干のひび割れが生じた他は、補修材の表面にひび割れなどの変状は見られなかった。また、側面を観察すると、RM-b は基板との界面付近に隙間が生じていた。
- ②暴露 18ヶ月目までの補修材の剥離抵抗性については、概ね室内乾湿繰返し試験の結果と同様の傾向を示しているが、PCM-d (角欠け用) のみ異なる傾向を示した。引き続き暴露を行い、影響が生じるか検討を続ける必要がある。

参考文献

- 8.1) 佐々木巖・山口勝之・西崎到：屋外暴露試験によるストレートアスファルトの紫外線劣化、土木学会第59回年次学術講演会講演概要集、5-543、pp.1083～1084、2004.9

9. 屋外実物大試験

9.1 概要

本章では、屋外実物大試験による検討結果について示す。

屋外で33tの荷重車を走行させることができる土木研究所の舗装走行実験場を用いて、実物大試験を行い、3章～6章で示した室内試験や8章で示した供試体の暴露試験と結果を比較することで、補修箇所の耐久性について検証を行った。

9.2 屋外実物大試験の概要

9.2.1 試験の概要

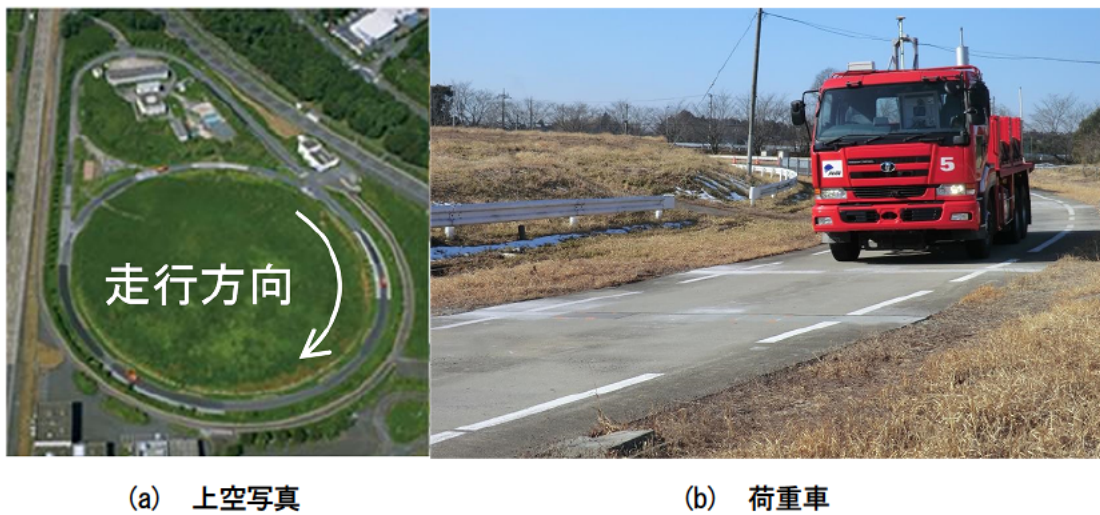


写真-9.2.1 舗装走行実験場

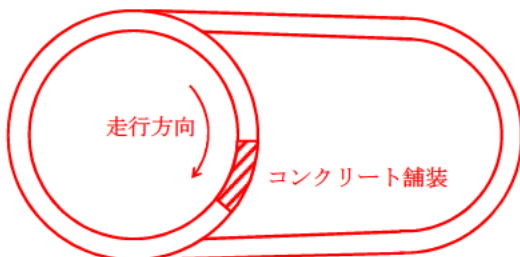


図-9.2.1 コンクリート舗装区間の位置



写真-9.2.2 模擬段差



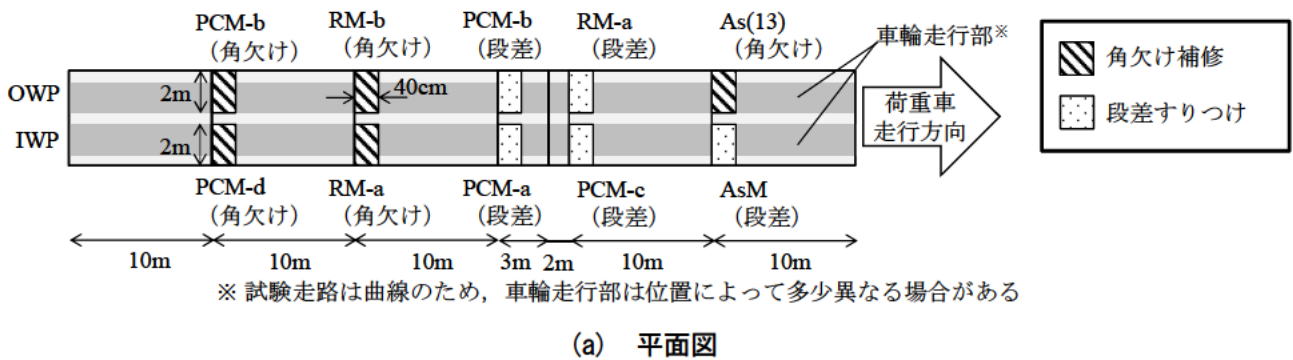
写真-9.2.3 模擬角欠け

舗装走行実験場は、写真-9.2.1に示すような、荷重車(33t、約324kN)を試験走路上に走行させることで、舗装の耐久性などを評価できるものである。

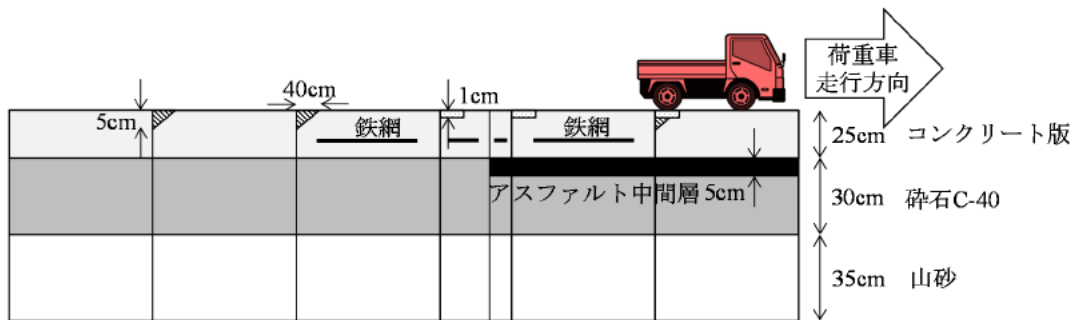
7章では補修材のすべり抵抗性を評価するために、図-9.2.1に示す試験走路のコンクリート舗装区間の目地部に段差や角欠けを模擬した破損(写真-9.2.2および写真-9.2.3)を形成して補修材を施工した。引き続きこれらを利用し、荷重車を走行させて耐久性の評価を行った。コンクリート舗装区間の構造は図-9.2.2に、模擬破損の寸法は図-9.2.3に示すとおりである。また、試験走路の舗装コンクリートは、表-9.2.1に示す配合、表-9.2.2に示す基本性状のコンクリートである。

補修箇所は、実際の事例を参考に、深さ 1cm の模擬段差と深さ 5cm の模擬角欠け（傾斜・ゼロすりつけあり）の 2 種類とし、小型切削機を用いて長さ 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を避けるために、カッターを入れて補修材の厚さを確保するこ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、図-9.2.3(b)に示す形状とした。

荷重車の車輪は毎回同じ位置を通らず、左右 25cm の範囲で触れるように制御されている。また、試験走路の形状は円形であり、車輪走行部は位置によっても多少異なる。そこで、車輪が必ず補修箇所を通過するように、各補修箇所の幅を 2m としている。



(a) 平面図



(b) 断面図

図-9.2.2 コンクリート舗装区間の構造および模擬破損の形成位置

表-9.2.1 舗装コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(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-9.2.2 舗装コンクリートの基本性状

施工	平成 19 年 12 月
スランプ	6.0cm
空気量	4.9%
曲げ強度 (材齢 7 日)	5.60MPa

表-9.2.5 As(13)の使用材料

材料	密度 (g/cm ³)			吸水率 (%)
	表乾	かさ	見掛	
6号碎石 (砂岩)	2.652	2.634	2.683	0.70
7号碎石 (砂岩)	2.629	2.602	2.675	1.05
粗砂 (砕砂)	2.585	2.547	2.648	1.50
細砂 (洗砂)	2.554	2.481	2.677	2.95
石粉	—	—	2.753	0.10
アスファルト (ストレートアスファルト 60-80)	—	—	—	—

表-9.2.6 As(13)の配合率

材料	骨材					アスファルト
	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

9.2.3 補修材の施工と試験期間

補修材の施工は、補修材の粗面を再現するために小型切削機の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-9.2.3 および表-9.2.4 に示す製造者指定の処理を施した上で施工した。施工は、As(13)のみ 150℃で混合した後にプレートコンパクタで転圧し、その他の補修材はこてを用いて行った。補修材の施工は2017年12月21日に実施し、表-9.2.7 および図-9.2.4 に示す期間の昼間に荷重車(33t)を30km/hで走行させて(約25秒に1台通過する頻度)、補修箇所には輪荷重を作用させた。荷重車の走行は、累積の輪荷重が約 $2.7 \times 10^6 \text{kN}$ となるまで、一定期間行うこととし、2019年1月31日までに4回の走行を行った。なお、3番目と4番目の期間のうち、2018年6月30日～10月16日と2018年11月30日～2019年1月6日は施設整備により、荷重車の走行が一時中断している。

表-9.2.7 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)
0	2017/12/21 (施工)	0	0	0
1	2018/1/30～3/5	40～74	17	2.7
2	2018/4/16～5/11	116～141	33	5.4
3	2018/6/26～6/29 (中断)	187～190	36	5.8
	2018/10/17～11/13	300～327	50	8.1
4	2018/11/17～11/29 (中断)	331～343	54	8.8
	2019/1/7～1/31	382～406	67	10.8

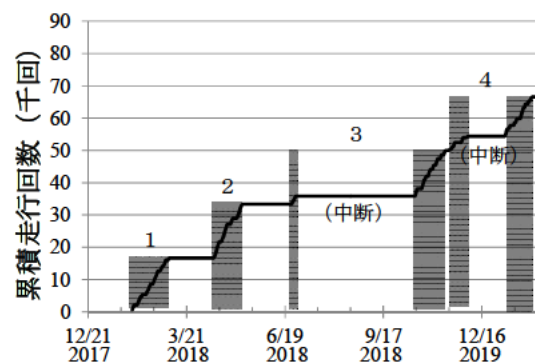


図-9.2.4 荷重車の走行期間

9.3 外観の変化

9.3.1 観察結果の概要

表-9.3.1 観察結果の概要

補修材		浮き	ひび割れ	欠け	摩耗	凡例	
擦付け用	PCM-a	○	○	◎	◎	◎	ほとんど変状なし
	PCM-b	◎	○	◎	◎	○	軽微な変状
	PCM-c	△	△	△	◎	△	長期的に伸展し得る変状あり
	RM-a	△	△	◎	◎		
	AsM	◎	○	◎	△		
角欠け用	PCM-b	○	○	◎	◎		
	PCM-d	○	○	◎	◎		
	RM-a	○	△	○	◎		
	RM-b	△	△	○	◎		
	As(13)	◎	◎	○	◎		

試験後の観察結果の概要を表-9.3.1に示す。セメント系および樹脂系補修材で補修した8箇所のうち4箇所は、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安定しているようであった。残る4箇所では、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、長期的に伸展し得る変状が認められた。ただし、いずれも、表-9.2.7に示す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。アスファルト系補修材を用いた2箇所は、外観観察の上では若干の欠けや摩耗などの軽微な変状に留まった。次項以降に、詳細な状況を示す。

9.3.2 変状観察結果

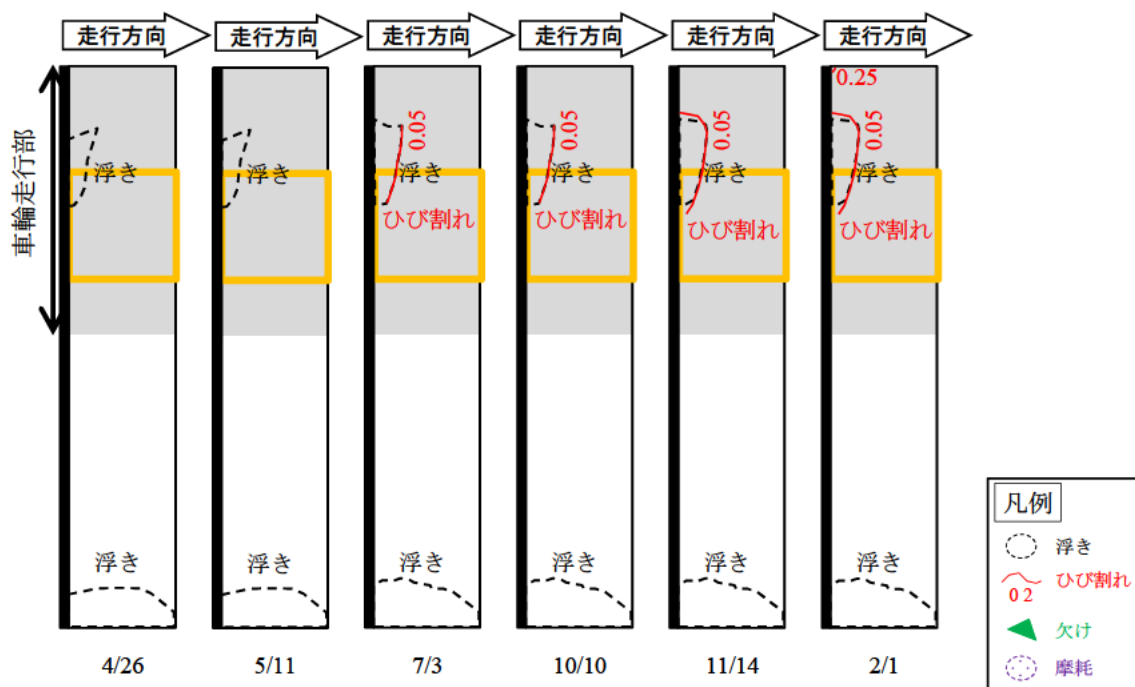


図-9.3.1 補修材の外観 (PCM-a (擦付け用))

PCM-a（擦付け用）の外観変化（スケッチ）を図-9.3.1に示す。軽微な変状が生じた箇所の事例の1つである。2018年4月26日の観察で浮きが疑われる箇所が確認され、その後の7月3日に、浮きが疑われる箇所の境界部に微細なひび割れが確認された。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。その後、浮きが疑われる範囲やひび割れ長さはわずかに拡大したが、大きな変化はなかった。

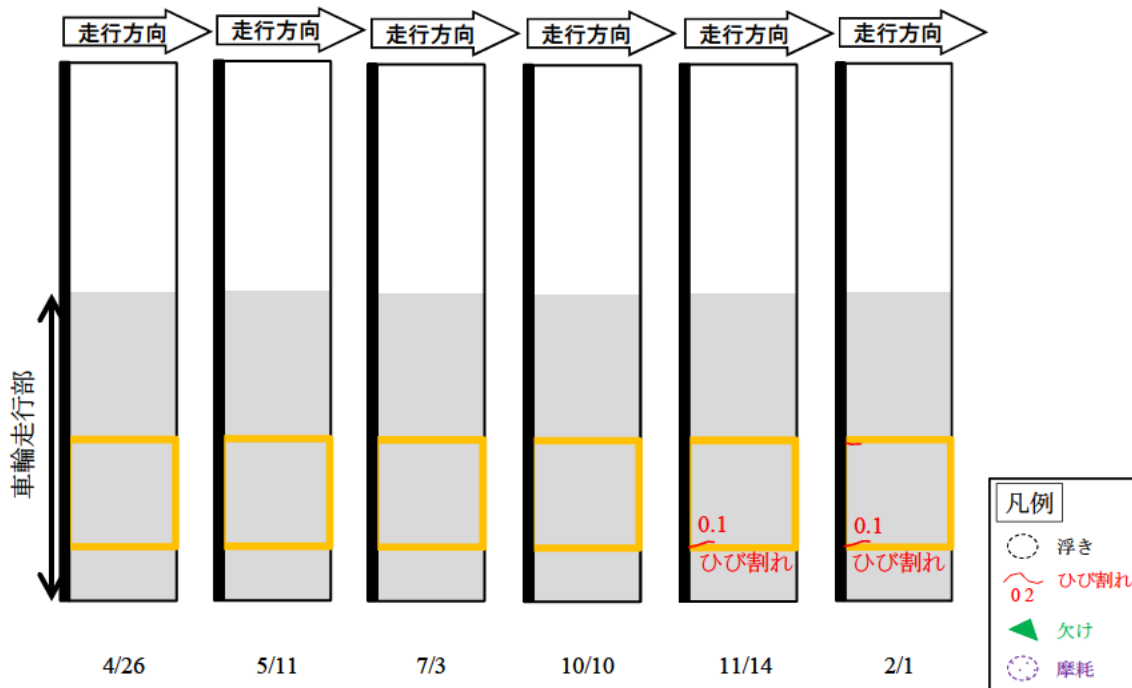


図-9.3.2 補修材の外観（PCM-b（擦付け用））

PCM-b（擦付け用）の外観変化（スケッチ）を図-9.3.2に示す。今回の試験の範囲で、最も変状が生じなかった箇所の事例である。2018年11月14日の観察で微細なひび割れが確認されるまでは、変状が生じていなかった。その後も大きな変化はなく、依然として僅かな変状に留まっている。

2018年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日には浮きが疑われる箇所の範囲が拡大した。また、最初に生じたひび割れは幅が0.55mmに拡大して環状に伸展し、付着が喪失して手で取り除ける状態、つまり補修材は飛散していないが欠けが生じた状態となったことを確認した(写真-9.3.1)。5章に示した室内輪荷重試験でも写真-9.3.2のような小規模な欠けが目地部に生じており、同様の結果が得られていた。この点は室内試験で再現できたため、予め室内試験で確認することも可能と考えられる。

また、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。暴露16ヶ月目までの暴露供試体では、付着界面には特に隙間などは確認されていない(表-9.3.2)。また、図-3.2.16に各補修材の線膨張率を示しているが、PCM-cは $12.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であり、後述のRM-bと比べて一般的なコンクリート($10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度⁹⁾⁾との差は大きくない。現時点では、PCM-c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ため、引き続き検討が必要である。

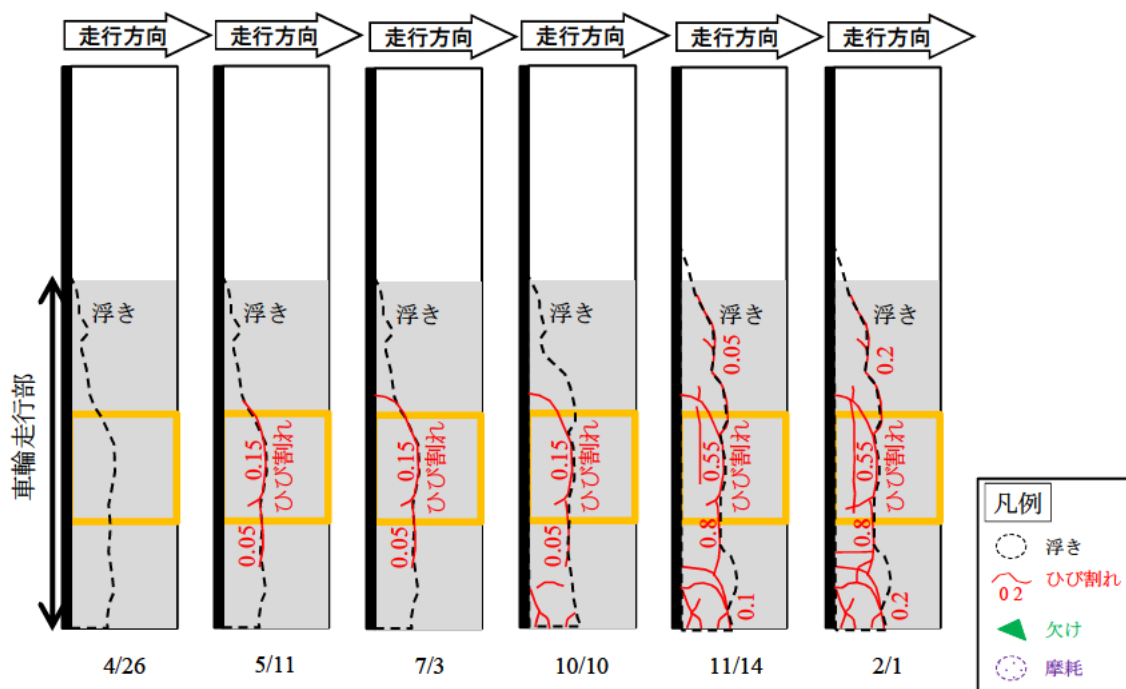


図-9.3.4 補修材の外観 (RM-a (擦付け用))

表-9.3.3 暴露供試体 (つくば市内) の側面写真 (RM-a、擦付け用)

補修材	暴露 12ヶ月目	暴露 16ヶ月目
RM-a (擦付け用)		

RM-a（擦付け用）の外観変化（スケッチ）を図-9.3.4 に示す。ひび割れが比較的に目立った箇所的事例である。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が認められた。5月11日には、浮きが疑われる箇所の境界部にひび割れが生じた。この発生順序から、PCM-a（擦付け用）と同様に、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。

7月3日と10月10日の間は荷重車が走行していないが、浮きが疑われる箇所がやや拡大していた。暴露16ヶ月目までの暴露供試体では、付着界面には特に隙間などは確認されていない（表-9.3.3）。また、図-3.2.16より、RM-aの線膨張率は $15.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であり、後述のRM-bと比べて一般的なコンクリート（ $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度⁹⁾¹⁾との差は大きくない。RM-a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ため、引き続き検討が必要である。

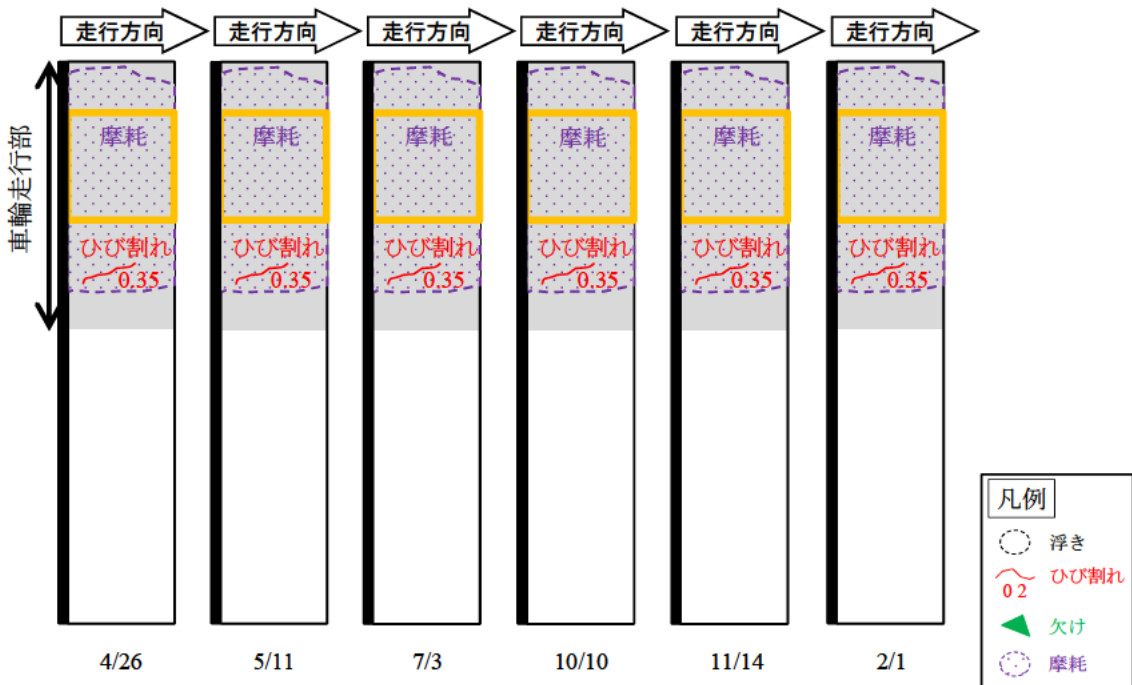


図-9.3.5 補修材の外観（AsM（擦付け用））

AsM（擦付け用）の外観変化（スケッチ）を図-9.3.5 に示す。2018年4月26日の観察で、幅0.35mm程度のひび割れと、荷重車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。その後は外観上、変状の変化は確認できなかった。

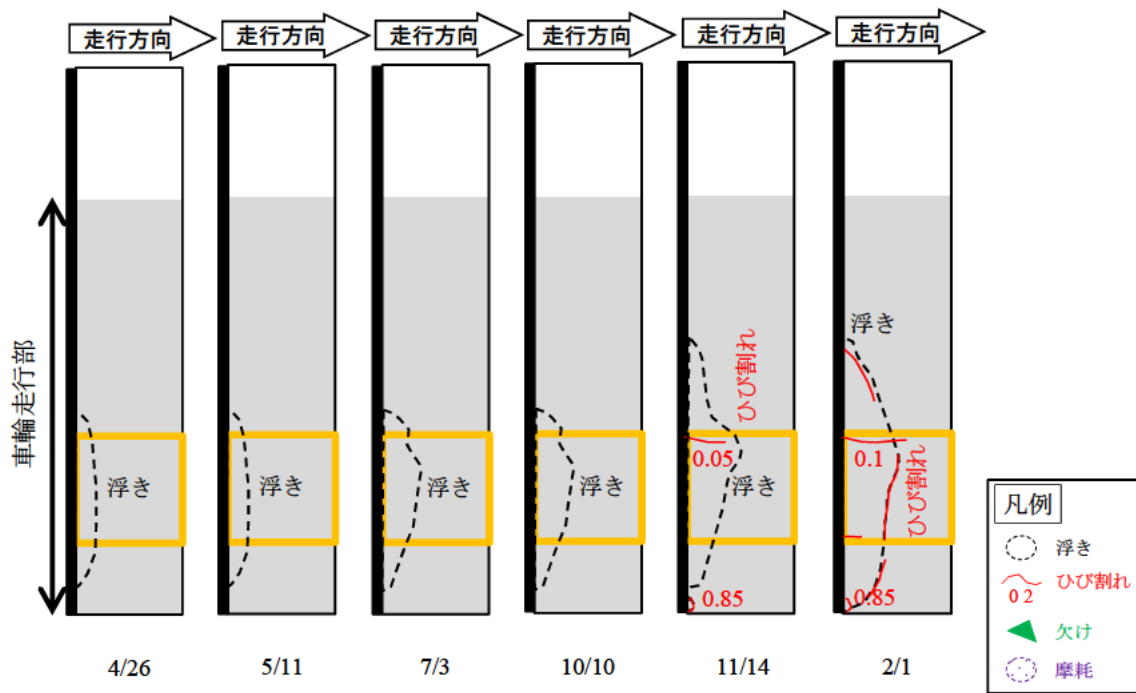


図-9.3.6 補修材の外観 (PCM-b (角欠け用))

PCM-b (角欠け用) の外観変化 (スケッチ) を図-9.3.6 に示す。軽微な変状が生じた箇所の事例である。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が確認された。その後は浮きが疑われる範囲は少し広がったが、大きな変化はなかった。また、11月14日に軽微なひび割れ、ごく一部に環状にひび割れが伸展して付着が喪失した箇所が確認されたが、依然として軽微な変状に留まっている。図-9.3.2と同様、PCM-bは今回の試験では比較的変状が軽微であった。

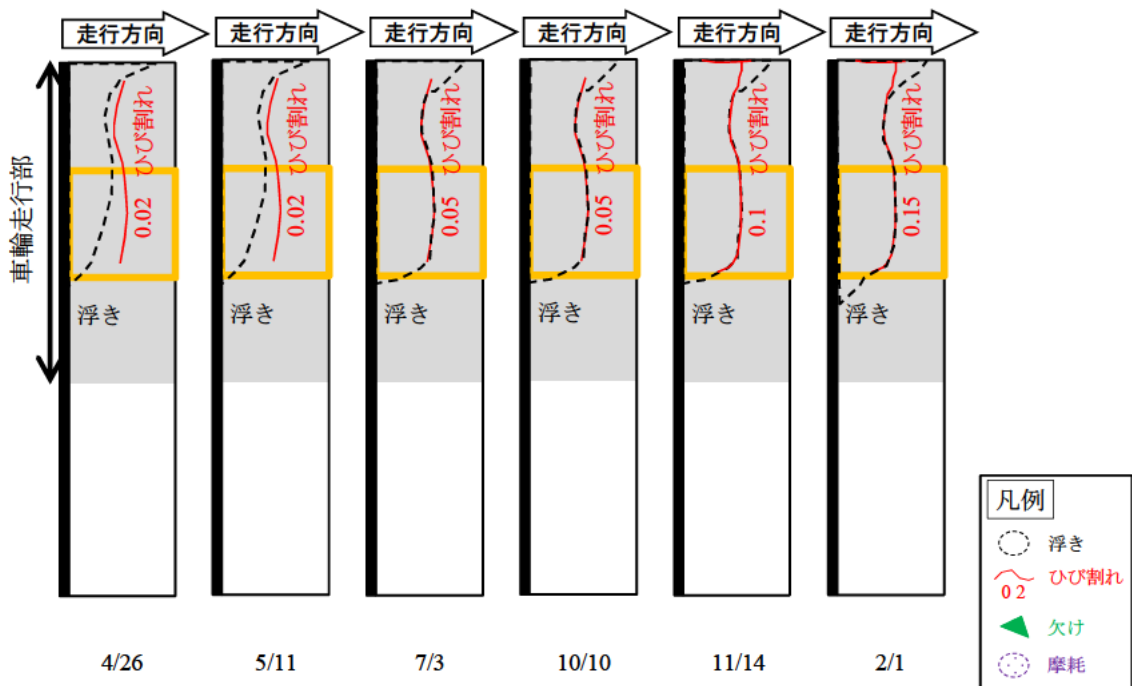


図-9.3.7 補修材の外観 (PCM-d (角欠け用))

PCM-d（角欠け用）の外観変化（スケッチ）を図-9.3.7 に示す。軽微な変状が生じた箇所の事例である。2018年4月26日の観察で極めて微細なひび割れと、浮きが疑われる箇所が確認された。その後浮きが疑われる範囲は少し広がったが、大きな変化はなかった。また、期間を経て表面のひび割れ幅はやや大きくなったようにも見えるが、依然として軽微なひび割れに留まっている。

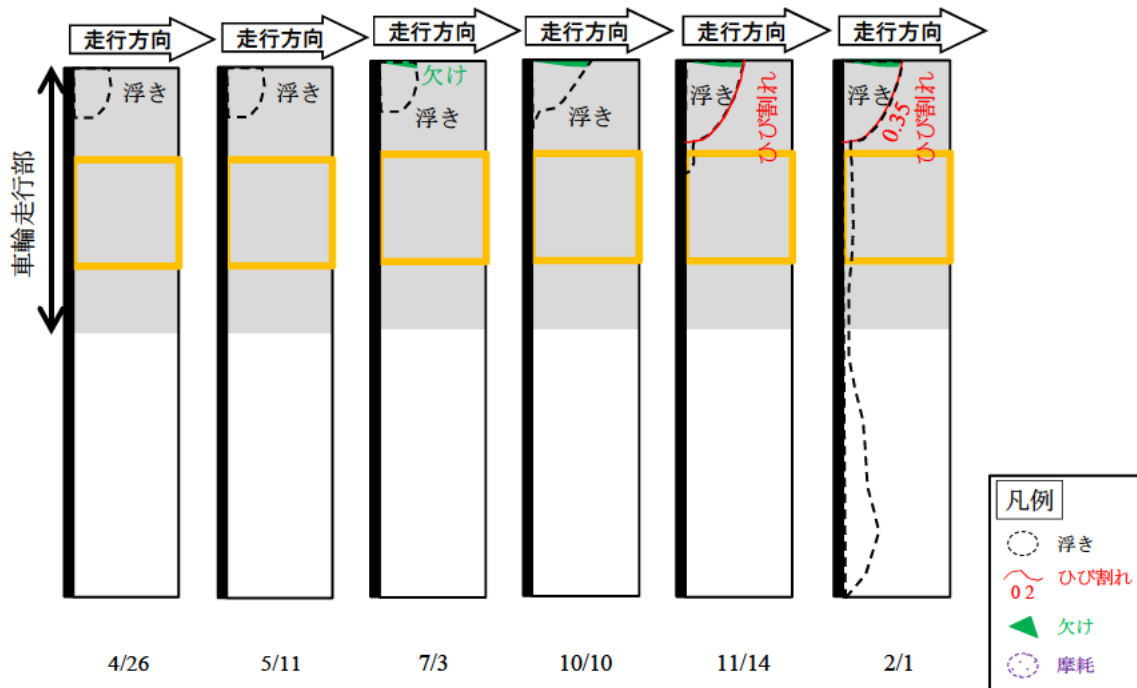


図-9.3.8 補修材の外観（RM-a（角欠け用））

表-9.3.4 暴露供試体（つくば市内）の側面写真（RM-a、角欠け用）

補修材	暴露 12 ヶ月目	暴露 16 ヶ月目
RM-a (角欠け用)		

RM-a（角欠け用）の外観変化（スケッチ）を図-9.3.8 に示す。軽微な変状が生じた箇所の事例である。2018年4月26日の打音調査で隅角部に浮きが疑われる箇所が確認された。その後浮きが疑われる範囲は少し広がったが、大きな変化はなかった。11月14日に、浮きが疑われる範囲の境界部にひび割れの発生が確認された。PCM-a（擦付け用）、RM-a（擦付け用）と同様、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。

また、2019年2月1日の観察では、目地部に沿って輪荷重が直接作用しない部分にも浮きが疑われる箇所が確認された。RM-a（擦付け用）と同様に、暴露16ヶ月目までの暴露供試体では、付着界面には特に隙間などは確認されていない（表-9.3.4）ため、現時点ではこの浮きの原因は明確ではない。

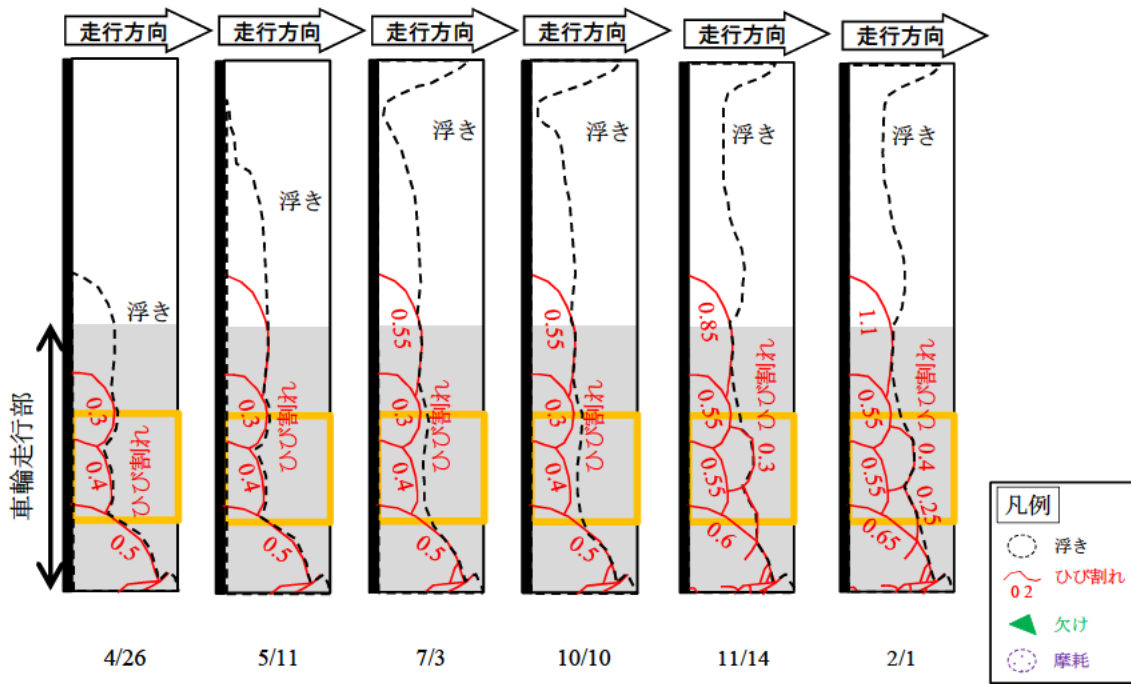


図-9.3.9 補修材の外観 (RM-b (角欠け用))

表-9.3.5 暴露供試体 (つくば市内) の側面写真 (RM-b、角欠け用)

補修材	暴露 12 ヶ月目	暴露 16 ヶ月目
RM-b (角欠け用) 赤枠の範囲に隙間		

RM-b (角欠け用) の外観変化 (スケッチ) を図-9.3.9 に示す。ひび割れが比較的目立った箇所の事例である。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、まず補修材との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。

7 月 3 日と 10 月 10 日の間は荷重車が走行していないが、浮きが疑われる箇所がやや拡大していた。暴露 16 ヶ月目までの暴露供試体では、コンクリートとの付着界面に隙間が生じていた (表-9.3.6)。RM-b とコンクリートの中に付着の喪失が生じた理由は明確ではないが、図-3.2.19 より、RM-b の線膨張率は $38.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 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⁹⁾) との差が大きいこと、舗装走行実験場のコンクリート舗装には温度差 $10 \sim 20^{\circ}\text{C}$ の温度変化が毎日作用している (図-9.3.10) ことが、要因の 1

つとして考えられる。なお、5章に示した室内輪荷重試験では、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は生じなかったが、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屋外実物大試験とは結果が異なると考えられる。

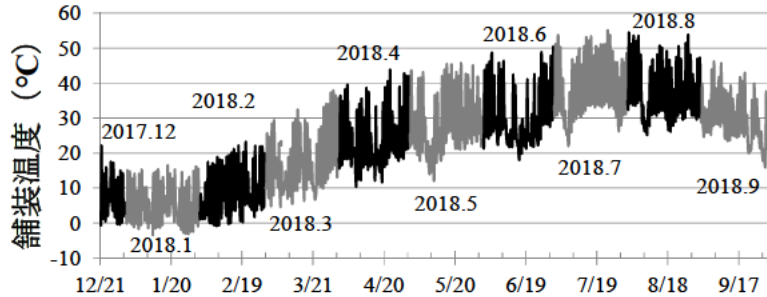


図-9.3.10 コンクリート舗装（試験走路）の温度（深さ 2.5cm）

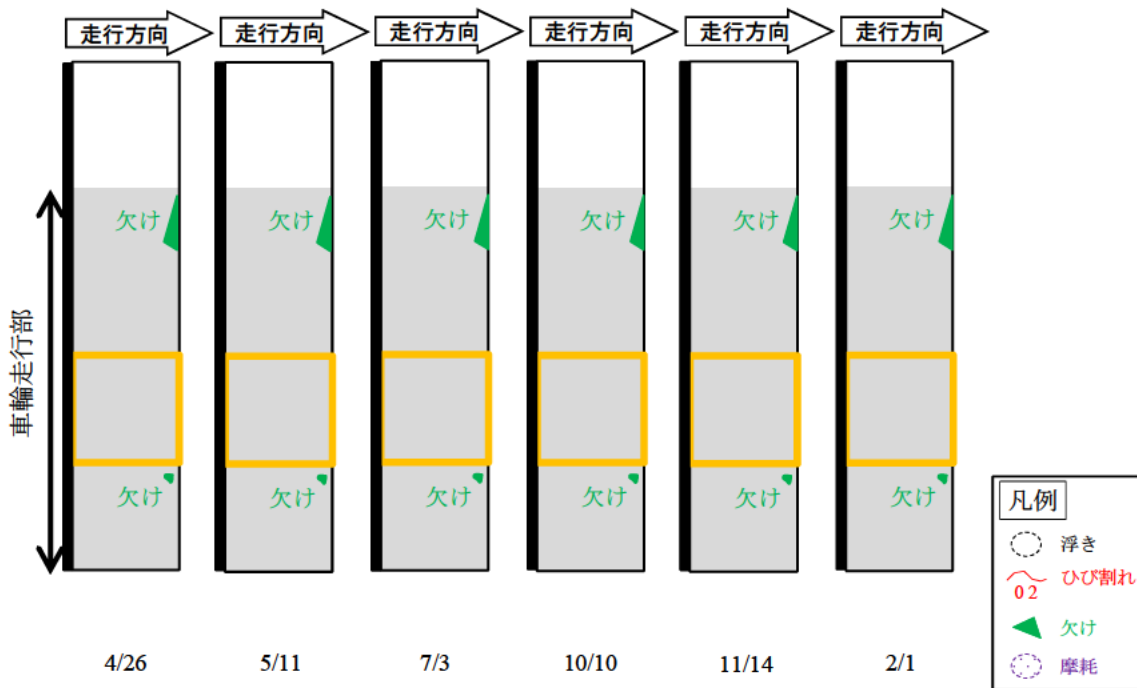


図-9.3.11 補修材の外観（As(13)（角欠け用））

As(13)（角欠け用）の外観変化（スケッチ）を図-9.3.11に示す。2018年4月26日の観察で、ゼロすりつけ側（図の右側）に軽微な欠けが確認された。その後は外観上、変状の変化は確認できなかった。

アスファルト系補修材は、夏期の走行において、わだち掘れなどの顕著な変形が発生することを予測していたが、今回の実験では、施設の不具合で夏期の走行が中断していたことから、目立ったわだち掘れなどの変形は生じなかった。

9.3.3 暴露供試体による確認

(1) 界面の動きの測定方法

9.3.2で記述したように、浮きが疑われる箇所が最も顕著に確認されたRM-b（角欠け用）は、線膨張率が最も大きく、一般的なコンクリートの線膨張率との差も大きい。そのため、コンクリートと補修材の付着の喪失が生じやすかった要因の1つと考えられる。その傾向を確認するために、セメント系および樹脂系補修材を対象に、暴露中の暴露供試体のコンクリート基板と補修材の界面の動きを測定した。

コンクリート基板と補修材の界面の動きの測定は、断面修復材を基板コンクリートに施工した供試体で屋外暴露を行った既往の研究⁹⁾を参考に、**図-9.3.12**に示すように、基板と補修材の界面を跨ぐようにパイ型変位計を設置することで行った。なお、パイ型変位計は暴露供試体の東側および西側の2箇所に設置した。測定は、2018年11月30日から12月20日頃まで実施した。

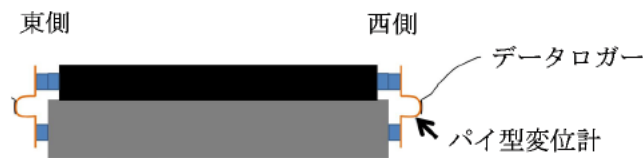


図-9.3.12 パイ型変位計による界面の動きの確認方法

(2) 測定結果

RM-b（角欠け用）を用いた暴露供試体の表面温度（補修材表面および基板下部）と日雨量は**図-9.3.13**に示すとおりであり、RM-b（角欠け用）の表面で温度差10～29℃、コンクリート基板下面で温度差7～15℃の温度変化が生じており、暴露供試体の高さによっても温度変化に差が生じている状況であることが分かる。

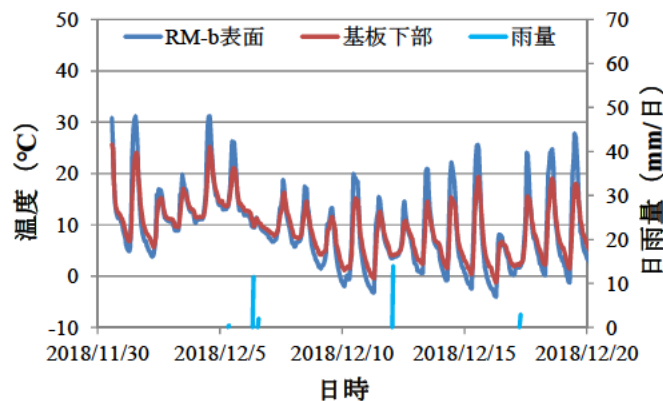


図-9.3.13 暴露供試体の温度と雨量

また、暴露供試体の界面端部の変位を測定した結果を**図-9.3.14**～**図-9.3.21**に示す。

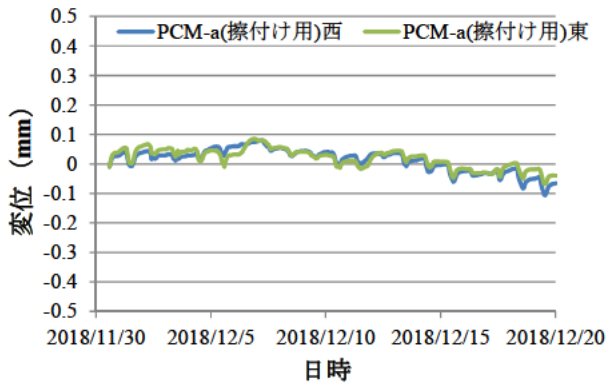


図-9.3.14 PCM-a(擦付け用)を用いた暴露
供試体の界面の動き

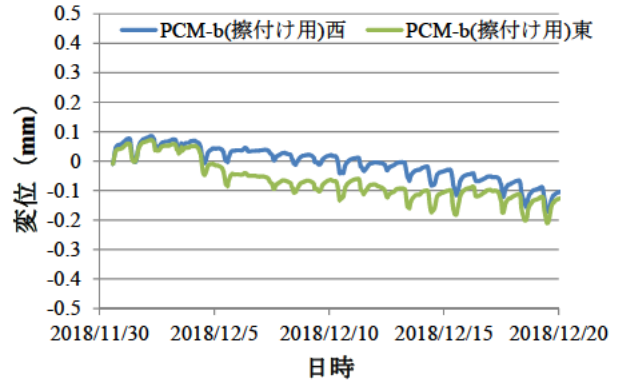


図-9.3.15 PCM-b(擦付け用)を用いた暴露
供試体の界面の動き

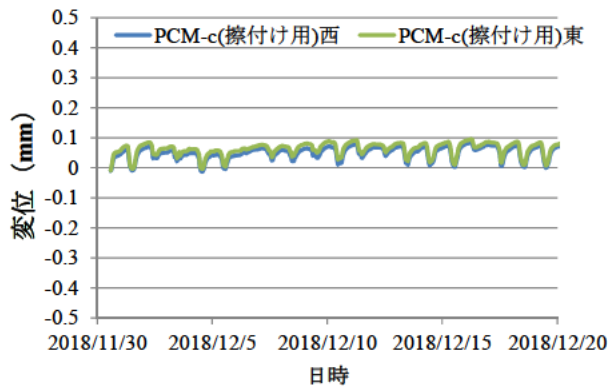


図-9.3.16 PCM-c(擦付け用)を用いた暴露
供試体の界面の動き

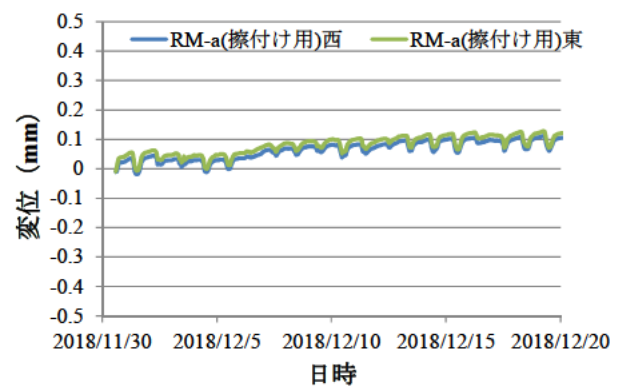


図-9.3.17 RM-a(擦付け用)を用いた暴露
供試体の界面の動き

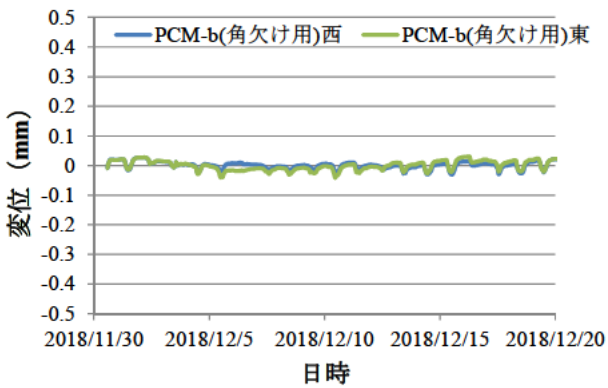


図-9.3.18 PCM-b(角欠け用)を用いた暴露
供試体の界面の動き

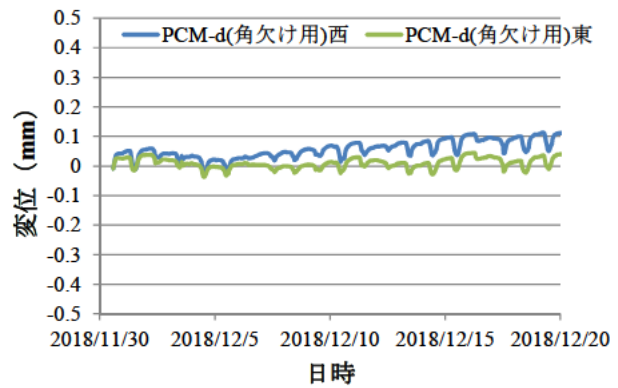


図-9.3.19 PCM-d(角欠け用)を用いた暴露
供試体の界面の動き

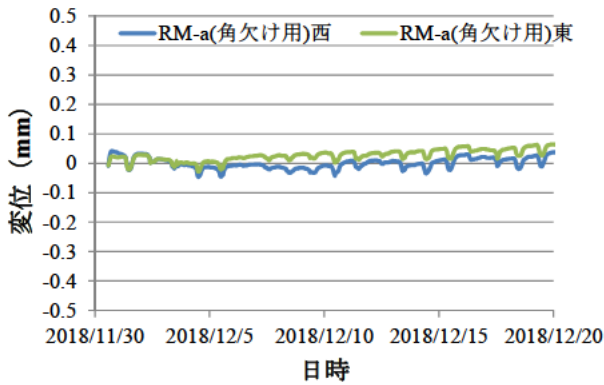


図-9.3.20 RM-a（角欠け用）を用いた暴露
供試体の界面の動き

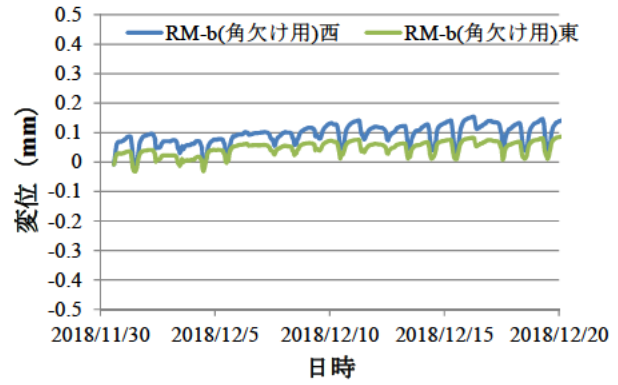


図-9.3.21 RM-b（角欠け用）を用いた暴露
供試体の界面の動き

表-9.3.6 暴露供試体の界面の最大変位量と屋外実物大試験で生じた浮きの規模の比較

暴露供試体に用いた 補修材の種類		最大変位量 (mm)		屋外実物大試験で生 じた浮きの規模
		西側	東側	
擦付け用	PCM-a	0.05	0.07	○
	PCM-b	0.08	0.07	◎
	PCM-c	0.08	0.09	△
	RM-a	0.06	0.07	△
角欠け用	PCM-b	0.05	0.05	○
	PCM-d	0.07	0.06	○
	RM-a	0.05	0.05	○
	RM-b	0.12	0.07	△

図-9.3.14～図-9.3.21 から読み取った界面の最大変位量と屋外実物大試験で生じた浮きの規模を比較した結果を表-9.3.6 に示す。

PCM-b（擦付け用）、PCM-b（角欠け用）、RM-a（擦付け用）など、屋外実物大試験との関係が明確でないものがあるが、コンクリートとの線膨張率の差が顕著なものは、暴露供試体の界面の変位も比較的大きかった。本結果からも、補修材とコンクリートの線膨張率の差は大きくない方が望ましいと考えられる。

9.4 補修箇所の表面凹凸の変化

9.4.1 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、写真-9.4.1 に示すマルチロードプロファイラ（以下、MRP）を用いて表面凹凸の変化を測定した。表面凹凸は、図-9.4.1 に示すように、補修箇所的前後 20cm を含めて、荷重車走行方向と同じ方向（縦断方向）に約 80cm 測定し、更に、横断方向に約 360cm 測定した。

測定は、荷重車の走行開始前および、表-9.2.7 に示す 1 番目～4 番目の各走行期間終了後に行った。



写真-9.4.1 マルチロードプロファイラ (MRP)

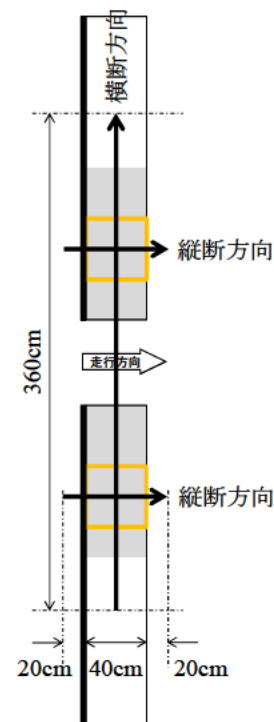


図-9.4.1 MRPによる凹凸測定位置

9.4.2 表面凹凸の測定結果

(1) 縦断方向

各補修箇所の縦断方向の MRP 測定結果について、荷重車走行前に対する高さの変化を図-9.4.2～図-9.4.11 に示す。

9.3 でひび割れや浮きが疑われる範囲が比較的大きかった RM-b（角欠け用）については図-9.4.10 に示すが、目地部にやや浮き上がるような変化が見られたが、全体的に、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は、ほとんど高さは変化しなかった。

一方、アスファルト系補修材については図-9.4.6 および図-9.4.11 に示すが、夏期の走行中断期間があったものの、走行回数の増加に応じて高さの低下が確認でき、摩耗や変形していることが分かる。5章に示した室内輪荷重試験でも、顕著なわだち掘れが生じている。

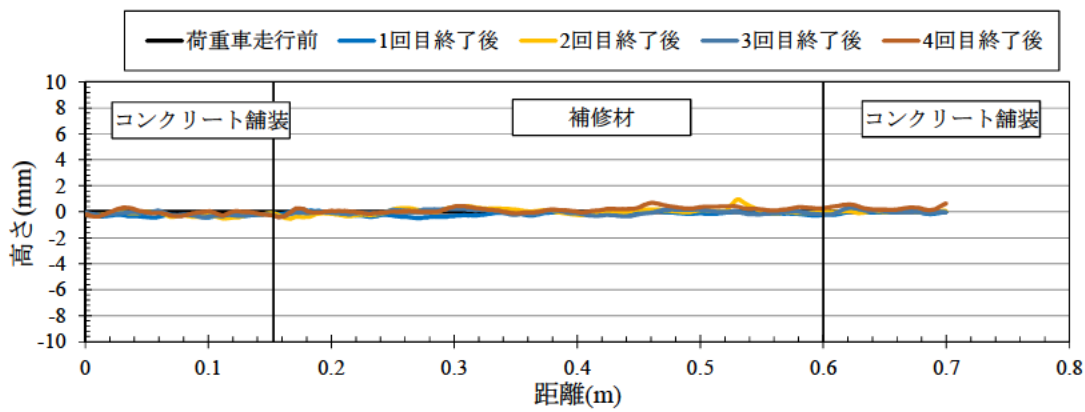


図-9.4.2 荷重車走行前に対する高さの変化 (PCM-a (擦付け用))

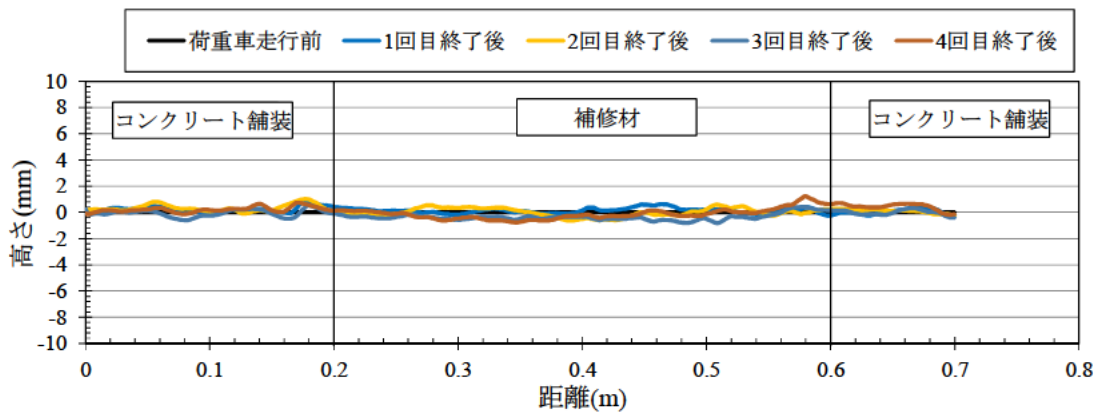


図-9.4.3 荷重車走行前に対する高さの変化 (PCM-b (擦付け用))

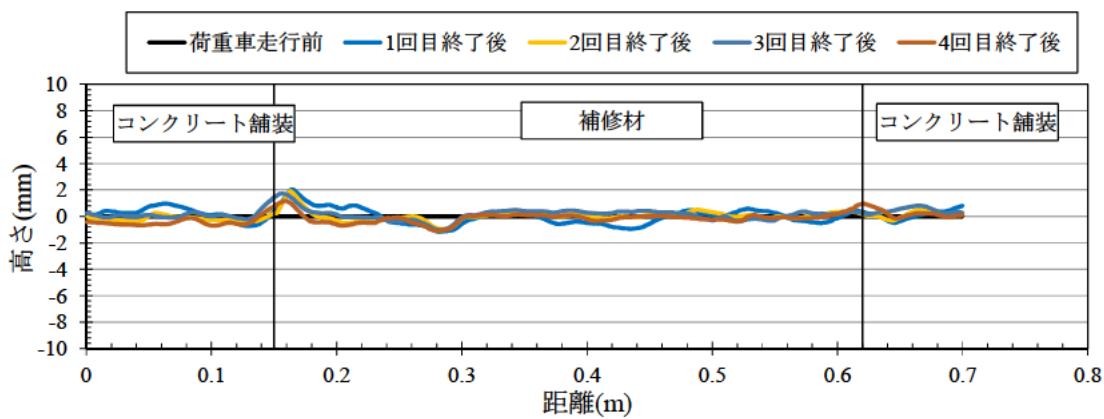


図-9.4.4 荷重車走行前に対する高さの変化 (PCM-c (擦付け用))

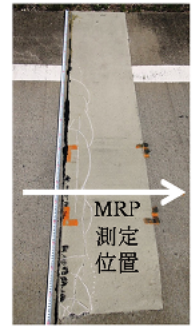
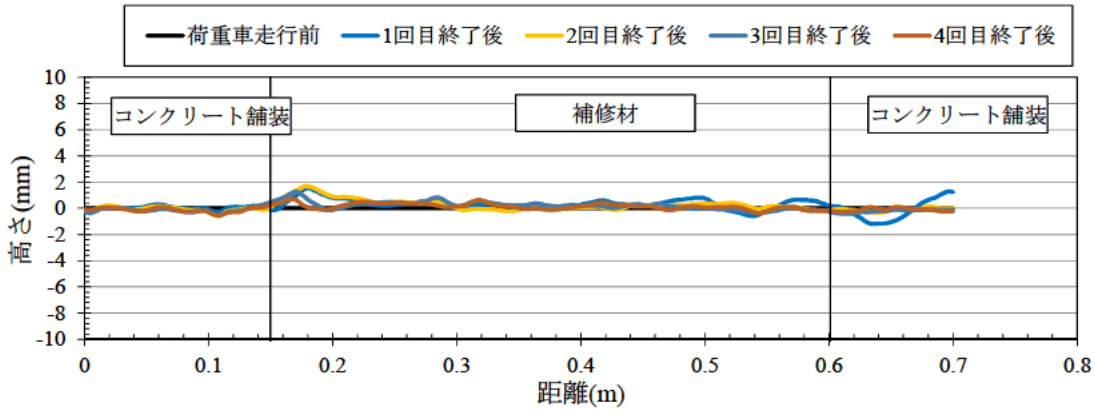


図-9.4.5 荷重車走行前に対する高さの変化 (RM-a (擦付け用))

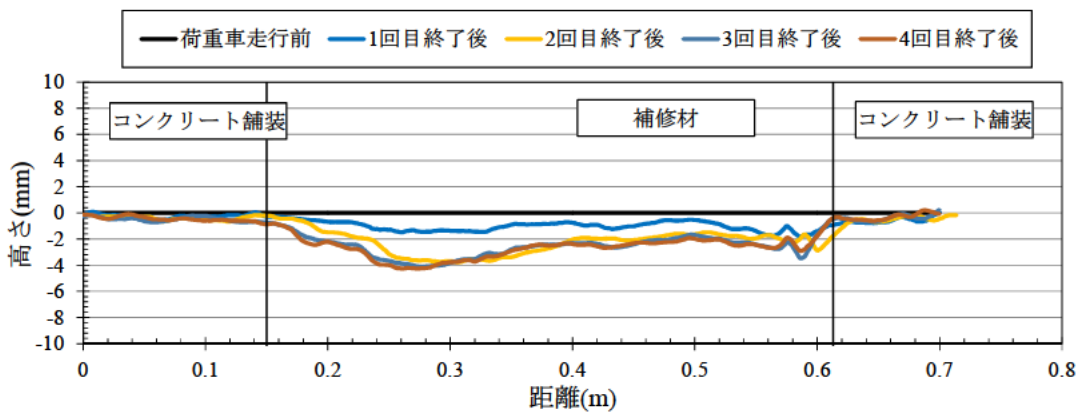


図-9.4.6 荷重車走行前に対する高さの変化 (AsM (擦付け用))

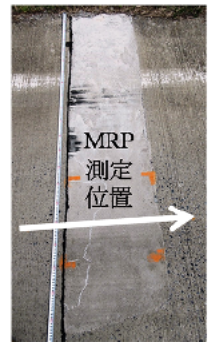
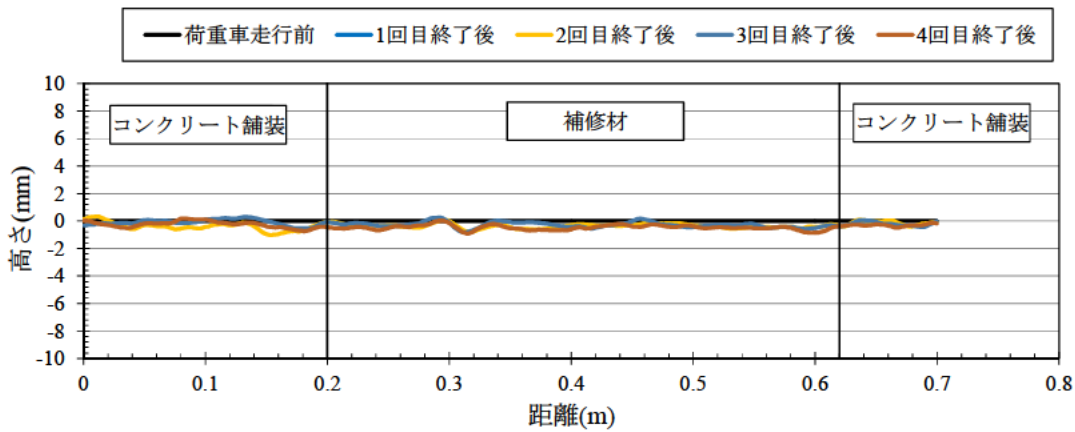


図-9.4.7 荷重車走行前に対する高さの変化 (PCM-b (角欠け用))

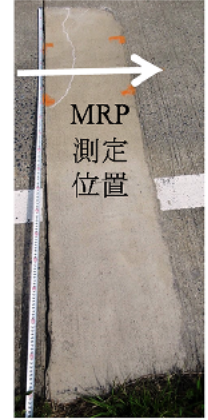
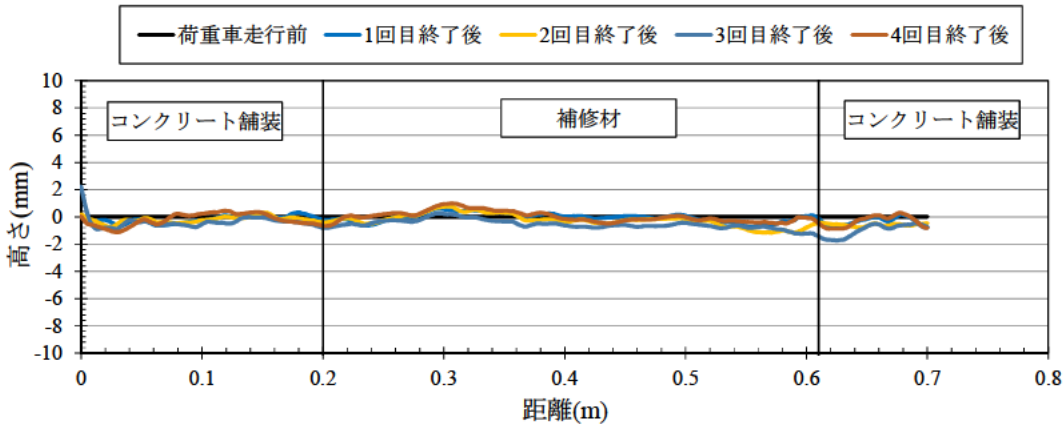


図-9.4.8 荷重車走行前に対する高さの変化 (PCM-d (角欠け用))

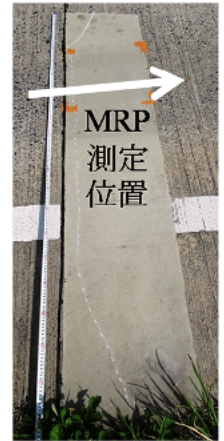
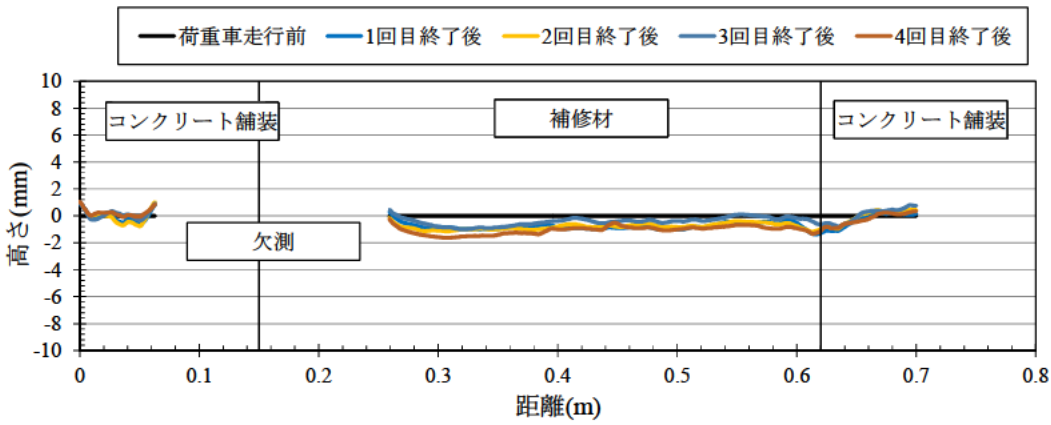


図-9.4.9 荷重車走行前に対する高さの変化 (RM-a (角欠け用))

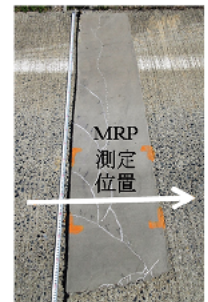
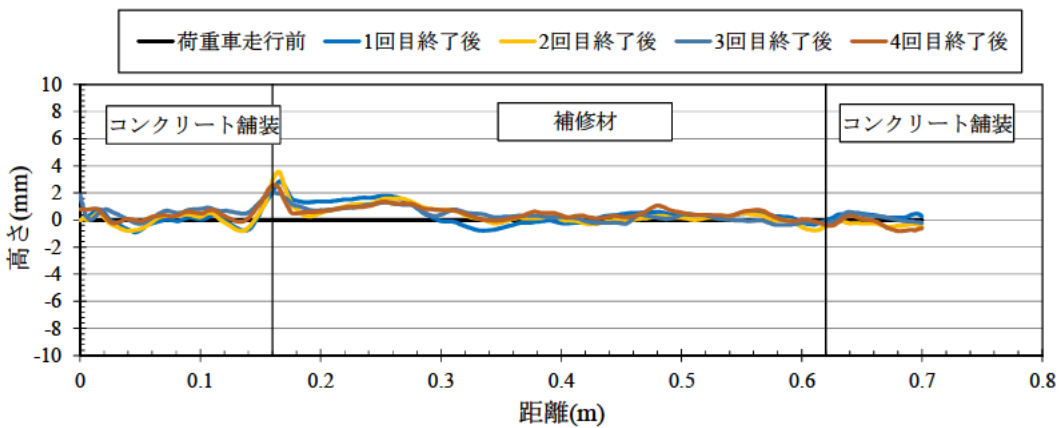


図-9.4.10 荷重車走行前に対する高さの変化 (RM-b (角欠け用))

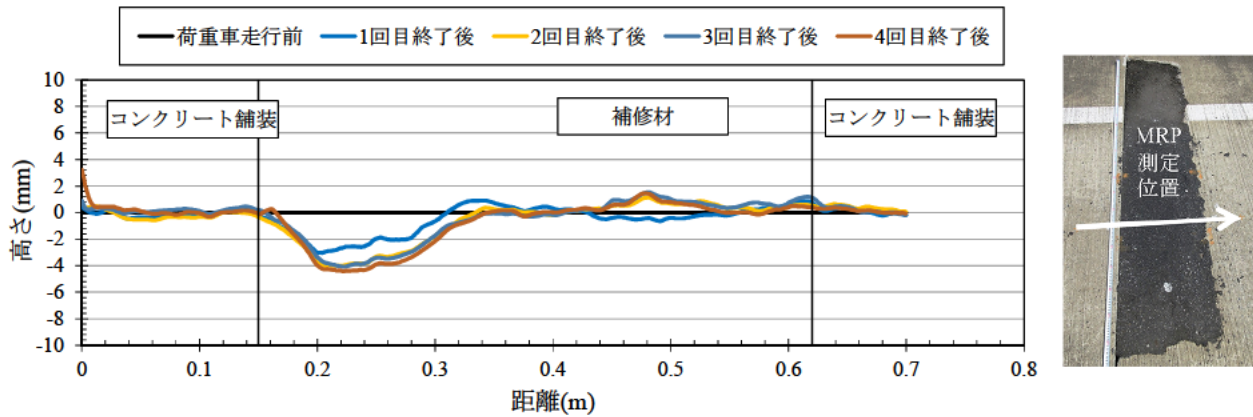


図-9.4.11 荷重車走行前に対する高さの変化 (As(13) (角欠け用))

(2) 横断方向

各補修箇所の横断方向の MRP 測定結果について、荷重車走行前に対する高さの変化を図-9.4.12～図-9.4.16 に示す。

試験走路横断方向の MRP 測定結果からも、アスファルト系補修材は走行回数が増加すると、高さに変化しており、変形しているのが確認された。一方、セメント系および樹脂系補修材は、RM-b (角欠け用) にやや浮き上がるような変化が見られた他は、走行回数が増加してもほとんど高さの変化が生じなかった。浮きやひび割れなどは生じたが、補修材自体の変形はほとんど生じず、アスファルト系補修材と比べると、変形抵抗性は高いことが本実験からも確認された。

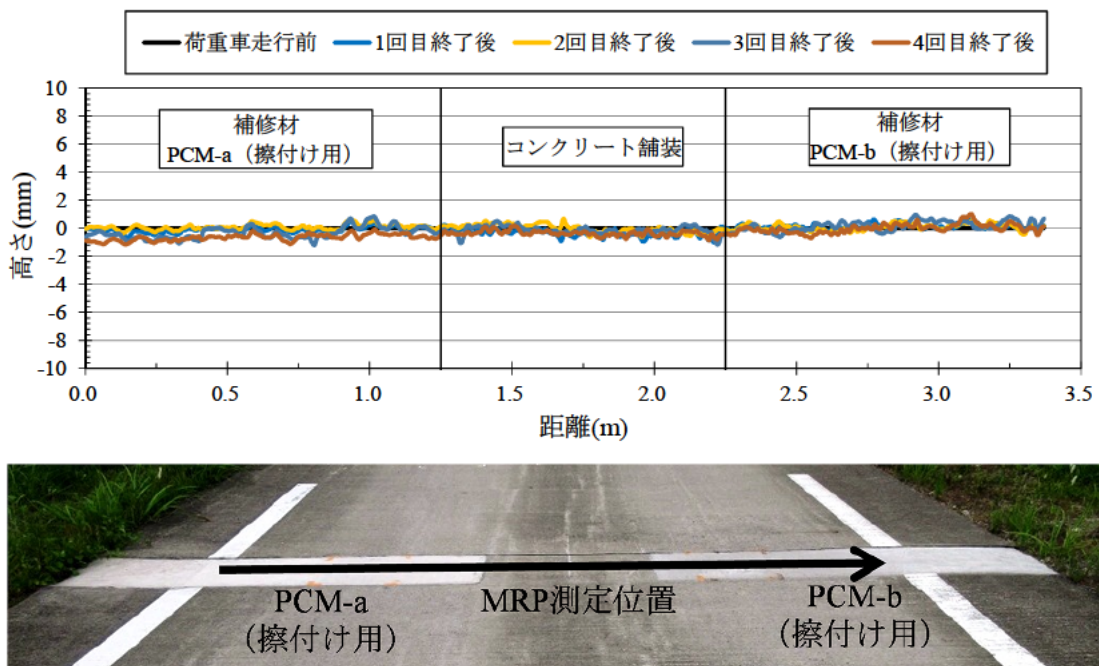


図-9.4.12 荷重車走行前に対する高さの変化 (横断方向) (擦付け用 PCM-a、PCM-b)

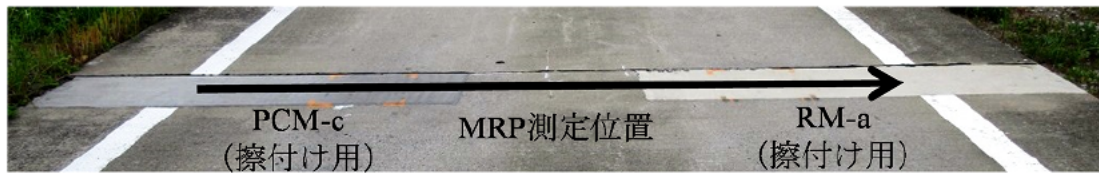
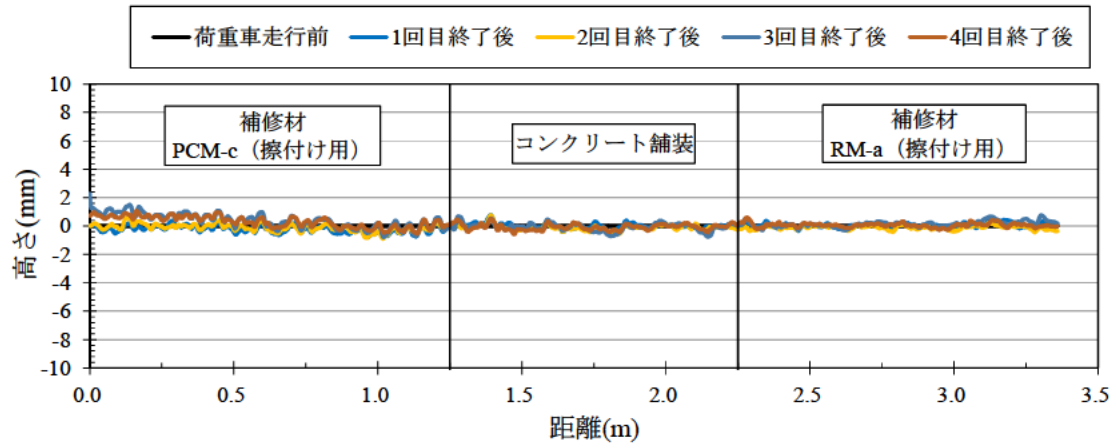


図-9.4.13 荷重車走行前に対する高さの変化（横断方向）（擦付け用 PCM-c、RM-a）

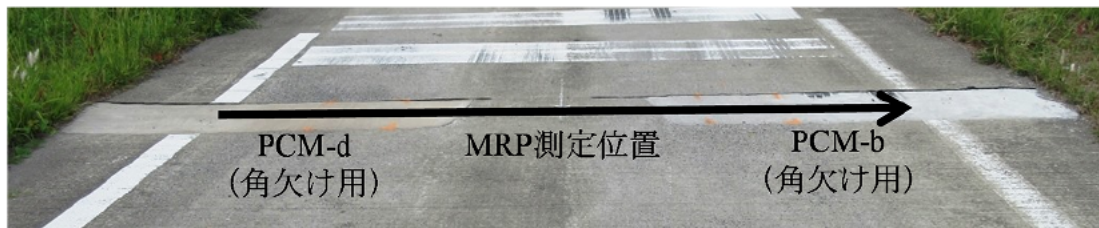
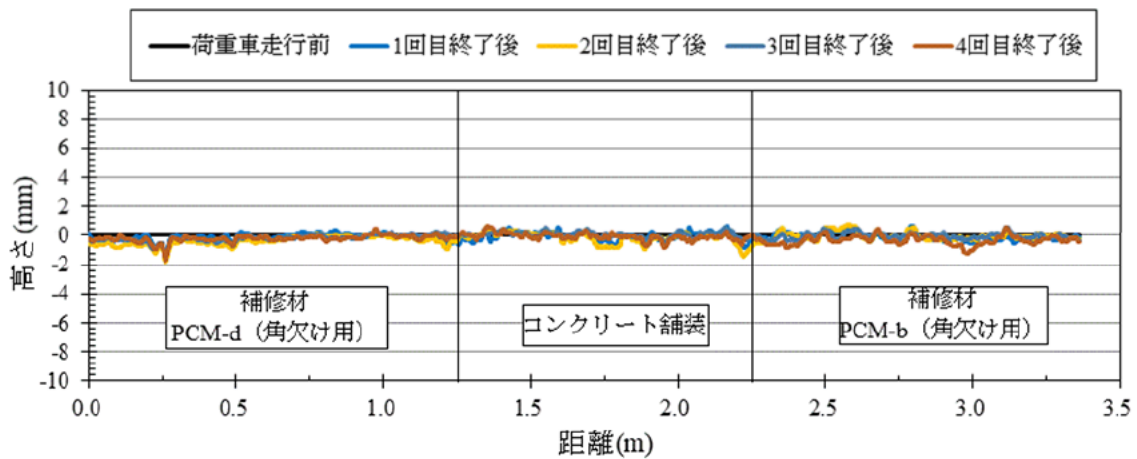


図-9.4.14 荷重車走行前に対する高さの変化（横断方向）（角欠け用 PCM-d、PCM-b）

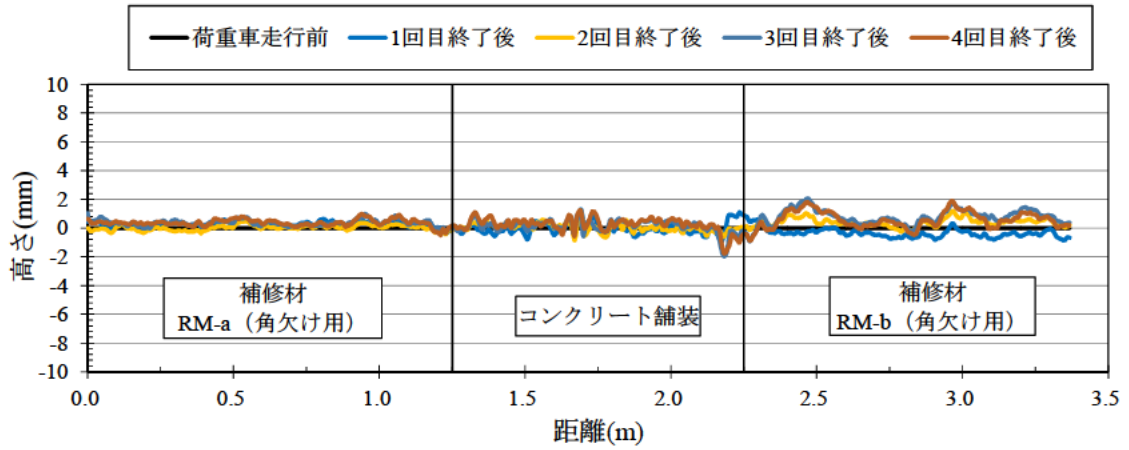


図-9.4.15 荷重車走行前に対する高さの変化（横断方向）（角欠け用 RM-a、RM-b）

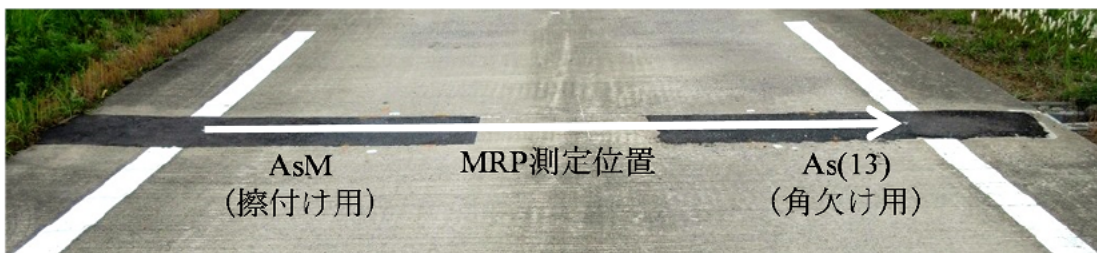
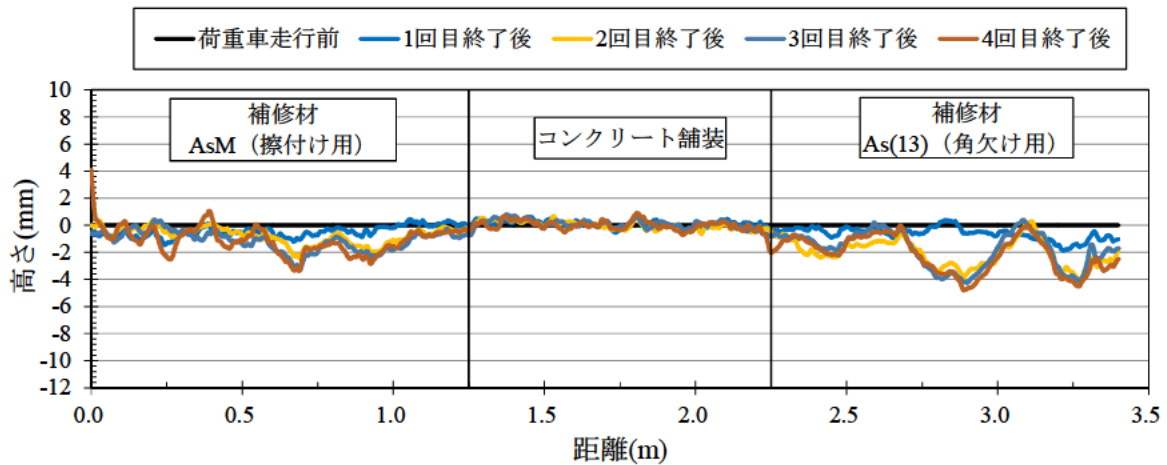


図-9.4.16 荷重車走行前に対する高さの変化（横断方向）（AsM（擦付け用）、As（13）（角欠け用））

9.5 すべり抵抗性の変化

9.5.1 概要

7章で記述した補修材のすべり抵抗性（荷重車走行前）について、荷重車の走行に伴う変化を評価した。すべり抵抗性は、舗装調査・試験法便覧に記載される S021-3「回転式すべり抵抗測定器による動的摩擦係数

の測定方法」で測定した。測定状況を写真-9.5.1に示す。



写真-9.5.1 回転式すべり抵抗測定器による動的摩擦係数の測定状況

9.5.2 すべり抵抗性の評価結果

荷重車走行前（平成30年1月16日、施工26日後）および、荷重車走行後の動的摩擦係数（40km/hの動的摩擦係数 μ_{40} 、60km/hの動的摩擦係数 μ_{60} 、80km/hの動的摩擦係数 μ_{80} ）を図-9.5.1および図-9.5.2に示す。

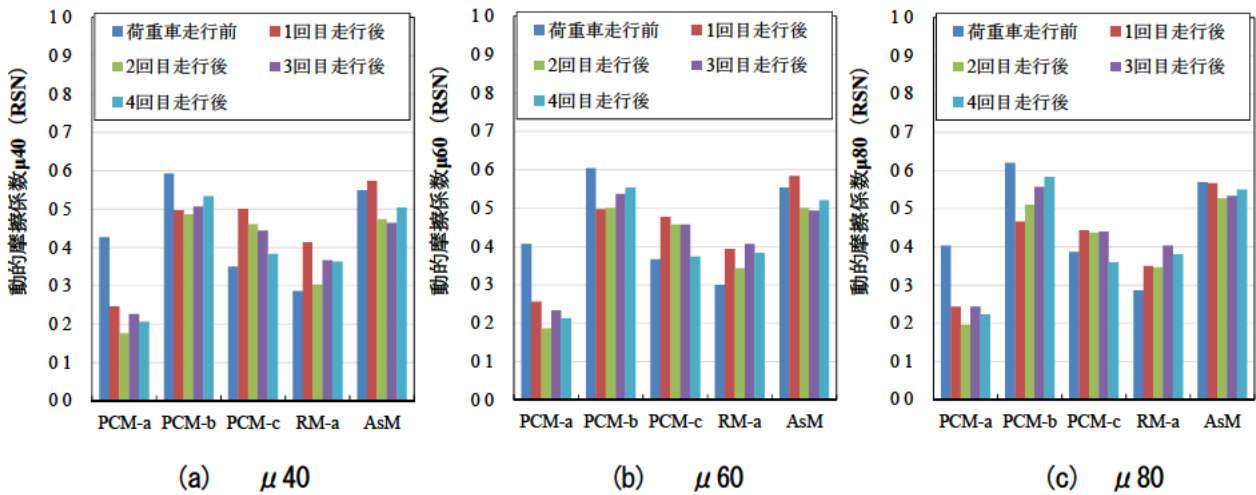


図-9.5.1 動的摩擦係数（擦付け用補修材）

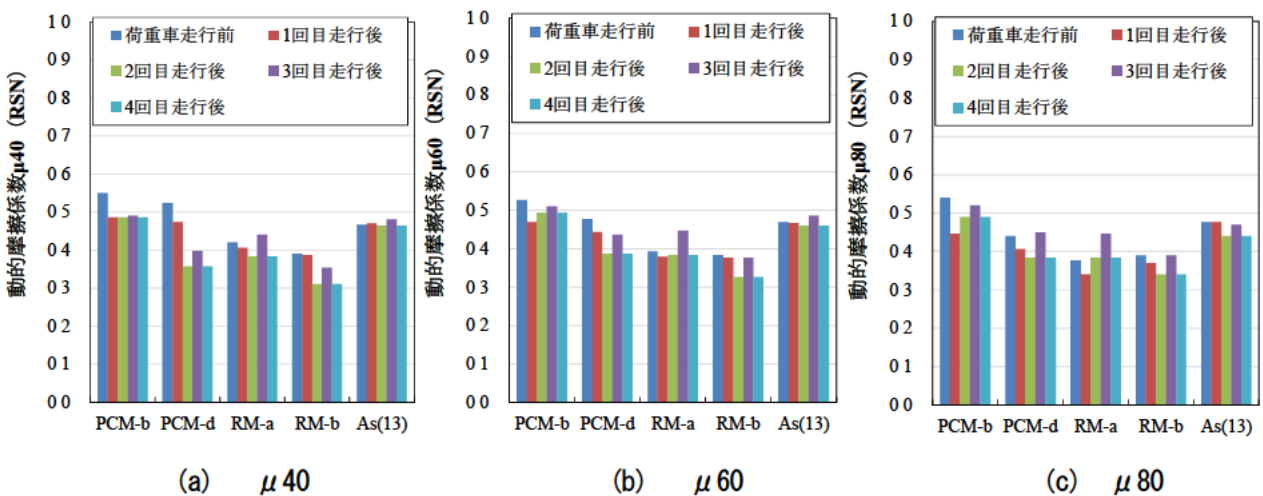


図-9.5.2 動的摩擦係数（角欠け用補修材）

μ_{40} 、 μ_{60} 、 μ_{80} の大きさは、いずれの補修材でも大きな差はなかった。

荷重車走行前の μ_{60} は、いずれも 0.38 以上であった。道路維持修繕要綱に示される維持修繕要否判断の目標値⁹³⁾として、舗装調査・試験法便覧に記載される S021-1 「すべり抵抗測定車によるすべり抵抗測定方法」で測定したすべり摩擦係数 0.25 を設定している。今回測定に用いた回転式すべり抵抗測定器で測定された μ_{60} は、測定方法が異なるため両者は異なるが、舗装性能評価法によると、すべり摩擦係数 0.25 は、 $\mu_{60} \approx 0.32$ となる⁹⁴⁾。すべり抵抗性は施工の仕方の影響を受けると考えられるが、荷重車走行前ではこの基準を満足していると評価できた。

次に、荷重車の走行に伴う変化を確認すると、角欠け用補修材では、走行回数の増加に伴い、PCM-d と RM-b の μ_{60} がやや低下傾向を示し、4 回目の走行後は、RM-b の μ_{60} が 0.32 程度となったが、顕著な低下は生じなかった。

擦付け用は、PCM-a と PCM-c が 1 回目の走行後に、AsM が 2 回目の走行後に μ_{60} が低下し、その後は目立った低下は生じなかった。荷重車走行によるすり磨きですべり抵抗性が低下したと考えられるが、すべり抵抗性の低下は比較的初期に起こり、その後は目立った変化が生じない特性があると考えられる。

一方、擦付け用の PCM-c のように、1 回目の走行後に μ_{60} が増加し、その後は目立った変化が生じない特性を持つものもあった。

9.6 まとめ

- ①屋外実物大試験を行った結果、輪荷重に対する変形抵抗性や、目地部の欠けの生じやすさについては、室内輪荷重試験と同様の結果が得られた。
- ②セメント系および樹脂系補修材は、室内輪荷重試験では剥離抵抗性に影響が生じなかったが、屋外実物大試験では補修材の浮きが疑われる箇所が生じ、その後にひび割れが生じる事例が多かった。荷重車の走行中断期間にも変状が進行し、線膨張率の特に大きな補修材の浮きが顕著だったことから、輪荷重よりも環境変化による補修材の寸法変化も影響する可能性のあることが分かった。
- ③今回施工した補修箇所のすべり抵抗性については、走行回数の増加に伴って、あまり変化しないもの、初期に低下するものや増加するものなど様々であった。特にすべり抵抗性が大きく低下する傾向を示すような場合は、すべり抵抗性を向上させる措置が必要となる。補修箇所の規模が大きく、車両の交通安全性に影響を及ぼすと考えられるような場合は、使用する補修材や施工方法についてすべり抵抗性に関する特徴を事前に確認しておくことが望ましいと考えられる。

参考文献

- 9.1) 社団法人日本道路協会：舗装設計便覧、p.173、2006.2
- 9.2) 片平博・古賀裕久：屋外に暴露した断面修復材の付着強度の変化とその要因検討、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.495～500、2018.10
- 9.3) 社団法人日本道路協会：道路維持修繕要綱、pp.67～68、p.93、1978.7
- 9.4) 公益社団法人日本道路協会：舗装性能評価法—必須および主要な性能指標編一、pp.122～123、2013.4

10. まとめ

コンクリート舗装の特に目地部に生じた段差や角欠けなどの軽微な破損について、その補修箇所の耐久性向上のために求められる性質や評価方法などを検討した。その結果、明らかとなった事項を以下に示す。

(1) 求められる補修材の性質

補修材には、補修箇所を平たんに施工できるような適度な作業性が必要と考えられる。また、施工に必要な時間の確保と計画の交通規制時間内に施工を完了し、交通開放させることを両立するために、適切な硬化時間も求められる。耐久性上は、容易に剥離したり、輪荷重などによって容易に変形したりしないことが求められる。寒冷地においては、凍結融解抵抗性やチェーンなどによるすり減り抵抗性、交通安全上の観点からすべり抵抗性が必要と考えられる。

これらの、補修材に求められる性質をまとめると、表-10.1.1 に示すとおりとなる。また、今回検討した結果から、表-10.1.1 の性質を評価する方法として表-10.1.2 に示す試験方法が有効と考えられた。

表-10.1.1 補修材・補修箇所の要件と補修材に求められる性質の例

補修材・補修箇所の要件		補修材へのニーズ	求められる補修材の性質
補修材の 施工性	適切な作業性の確保	所定の作業時間に平たんに施工できる	コンシステンシーなど
	適切な硬化時間の確保	所定の交通規制時間内に硬化する	硬化時間
補修箇所の 耐久性	寒冷地域の耐久性確保	凍結融解作用で容易に破損しない	凍結融解抵抗性
	平たん性の維持	補修材が容易に剥離しない	剥離抵抗性（環境作用） 剥離抵抗性（輪荷重）
		輪荷重で補修材が容易に変形しない	輪荷重に対する耐久性 （変形抵抗性）
	適切な耐荷性の確保	輪荷重で補修材が容易に破損しない	輪荷重に対する耐久性 （耐荷性能）
すり減り抵抗性の確保	車両の走行や、チェーン、除雪車両等によって容易にすり減らない	すり減り抵抗性	
補修箇所の 走行安全性	すべり抵抗性の確保	すべりにくい	すべり抵抗性

表-10.1.2 補修材に求められる性質の評価方法の例

補修材・補修箇所の要件		求められる補修材の性質	評価方法	評価の指標
補修材の 施工性	適切な作業性の 確保	コンシステンシーなど	・フロー試験 (JIS R 5201) (セ メント系) など	・モルタルフローの値 (セメ ント系)
	適切な硬化時間 の確保	硬化時間	・凝結時間試験 (JIS A 1147) (セメント系) など	・凝結時間 (セメント系)
補修箇所の 耐久性	寒冷地域の耐久 性確保	凍結融解抵抗性	・凍結融解試験 (JIS A 1148) など	・相対動弾性係数 ・質量減少率 ・スケーリング量
	平坦性の維持	剥離抵抗性 (環境作用：凍結融解)	・凍結融解試験 (JIS A 1148) など	・補修材単体の相対動弾性係 数 ・補修材のスケーリング量
			・凍結融解 (JIS A 1148) を 作用させた供試体による プルオフ試験	・プルオフ強度と破壊位置
		剥離抵抗性 (環境作用：乾湿繰返し・温 度変化)	・乾湿繰返し・温度変化の促 進試験後にプルオフ試験*	
			・暴露供試体等によるプルオ フ試験 ・現場試験施工による確認な ど	・プルオフ強度と破壊位置 ・浮きの観察 ・浮きの観察
	剥離抵抗性 (輪荷重)	・室内輪荷重試験後にプルオ フ試験*		
	輪荷重に対する耐久性 (変形抵抗性)	・材料、配合等の確認 ・室内輪荷重試験	・標準型のセメント系、樹脂 系補修材 (変形抵抗性は十分 と見なせる) ・変形、損傷等の観察	
	適切な耐荷性の 確保	輪荷重に対する耐久性 (耐荷性能)	・屋外実物大試験、現場試験 施工による確認など	・変形、損傷等の観察
すり減り抵抗性 の確保	すり減り抵抗性	・ラベリング試験 (舗装調 査・試験法便覧 B002)	・すり減り量	
補修箇所の 走行安全性	すべり抵抗性の 確保	すべり抵抗性	・回転式すべり抵抗測定器に よるすべり試験 (舗装調 査・試験法便覧 S021-3)	・動摩擦係数
			・振り子式スキッドレジスタ ンステスタによるすべり 試験 (舗装調査・試験法便 覧 S021-2)	・BPN 値

※ 今回の検討の範囲では課題が残り、評価方法等が確立できなかったもの

(2) コンシステンシーおよび硬化時間

適切な補修を行うために、補修材の施工性確保が求められるが、補修を行う箇所の状況や施工方法を総合的に勘案したうえで、適切な練混ぜおよび施工ができるようなコンシステンシーと、計画の交通規制時間内に交通開放できるような適度な硬化時間のあるものを用いると良い。

本研究で用いた補修材の中で、セメント系補修材については、コンシステンシーとしてモルタルフローの値（JIS R 5201）と凝結時間（JIS A 1147）が示されていたが、試験室における練混ぜや供試体作製、補修箇所への施工を行う上で、作業性と硬化時間にほとんど問題はないものであった。セメント系補修材については、コンシステンシーを JIS R 5201 など、凝結時間を JIS A 1147 など確認すると良いと考えられる。

コンシステンシーや硬化時間は示されていなかった樹脂系、アスファルト系補修材についても、本研究においては作業性と硬化時間にほとんど問題ないものであった。フレッシュ性状が提示されていない場合は、少量を用いて事前に作業性や硬化時間に問題がないことを確認すると良いと考えられる。

(3) 凍結融解抵抗性

寒冷地域で補修を行う際は、補修材自体の凍結融解抵抗性が求められる。

凍結融解抵抗性を確認する方法の例として、JIS A 1148 の A 法がある。JIS A 1148 の場合、通常、凍結融解 300 サイクル終了時点で相対動弾性係数が 60%以上であれば、凍結融解抵抗性を有すると評価される。また、補修箇所の平坦性維持を考慮すると、質量減少率やスケーリング量は少ない方が望ましい。

ただし、相対動弾性係数と実際の寒冷地における耐久性の関係は必ずしも明確になっておらず、引き続きデータを収集する必要があると考えられる。

(4) 剥離抵抗性

1) プルオフ試験の望ましい結果

補修材には、供用中に容易に剥離しないことが求められる。

剥離抵抗性を確認する方法として、プルオフ試験が挙げられる。プルオフ試験の結果については、界面の付着強度が基板コンクリートのプルオフ強度以上であることが望ましい。一方、従来から用いられているアスファルト系補修材は比較的低い強度で補修材の部分で破壊することが多いが、そのような材料でも補修箇所がまとめて剥がれない性質であれば、適用できる可能性はあると考えられる。補修材がどのような設計思想によるものか、確認すると良いと考えられる。

2) 凍結融解が剥離抵抗性に及ぼす影響

凍結融解が剥離抵抗性に及ぼす影響を確認する方法として、JIS A 1148 に準じて凍結融解を繰り返し作用させた供試体を用いたプルオフ試験が挙げられる。

なお、補修材単体の凍結融解試験（JIS A 1148）で凍結融解抵抗性が低いと評価された補修材は、凍結融解作用を受けた場合に界面から剥離しやすくなる結果が得られ、剥離抵抗性の低下に注意が必要である。

補修材単体の凍結融解試験で、相対動弾性係数を指標として凍結融解抵抗性を有すると評価できた補修材でも、表面のスケーリングが生じると、低いプルオフ強度で補修材で破壊したことがあった。スケーリング量と補修材のプルオフ強度の関係に関する検討は今後の課題であるが、凍結融解試験中の質量変化にも注意が必要と考えられる。

3) 乾湿繰返し・温度変化が剥離抵抗性に及ぼす影響

線膨張率がコンクリートの線膨張率と大きく異なる補修材は、暴露試験や屋外実物大試験の結果、環境作用により剥離抵抗性が低下するおそれのあることが分かった。特に補修面積が広い場合には留意が必要と考えられる。

一方で、室内乾湿繰返し（温度変化）試験結果との関係は明確ではなかった。乾湿繰返し・温度変化が剥離抵抗性に及ぼす影響を確認する室内試験については、今後も検討が必要である。現時点では、確認方法として、暴露供試体や屋外への試験施工箇所などの付着状況観察により確認することが挙げられる。

4) 輪荷重が剥離抵抗性に及ぼす影響

室内輪荷重試験後の付着試験を行った結果、今回用いた補修材は、繰返しの輪荷重による付着への影響は確認できなかった。また、屋外実物大試験では、室内輪荷重試験では付着に影響の出なかった補修材にも、浮きが疑われる箇所が発生した。補修材の剥離抵抗性に対しては、輪荷重よりも温度変化などの環境作用の方が大きな影響を及ぼす可能性のあることが分かった。

現時点では、輪荷重が剥離抵抗性に及ぼす影響の確認はできておらず、今後の検討課題である。

(4) 輪荷重に対する耐久性（変形抵抗性および耐荷性）

補修材には、繰返し車両が走行しても容易に変形や破損しないことが求められる。

輪荷重による変形抵抗性や耐荷性を確認する方法として、室内輪荷重試験が有効であり、わだち掘れや目地部の欠けがほとんど生じないことが望ましい。本研究で実施した室内輪荷重試験および屋外実物大試験では、柔軟型ポリマーセメントモルタルでは目地部に軽微な欠けが確認されたが、その他のセメント系補修材と樹脂系補修材は、わだち掘れや欠けなどの変形はほとんど生じなかった。なお、標準型のセメント系補修材と樹脂系補修材については、十分な変形抵抗性を有していると見なしてもよいと考えられる。

(5) すり減り抵抗性

寒冷地域においては、冬期間にタイヤチェーン等を装着した車両が走行することから、補修材にはすり減り抵抗性が求められる。

すり減り抵抗性を確認する方法として、ラベリング試験（舗装調査・試験法便覧 B002）が挙げられる。北海道開発局では、表層アスファルト混合物のすり減り抵抗性の規格値として、ラベリング試験より得られるすり減り量が 1.3cm^2 以下を規定しているが、本研究で用いた補修材のすり減り抵抗性は、いずれも満足していた。

(6) すべり抵抗性

補修箇所の上を車両が通行する場合があるため、補修箇所にはすべり抵抗性が求められる。

すべり抵抗性を確認する方法として、回転式すべり抵抗測定器によるすべり試験（舗装調査・試験法便覧 S021-3）や振り子式スキッドレジスタンステストによるすべり試験（舗装調査・試験法便覧 S021-2）が挙げられる。どちらの試験法も国内で広く普及しており、すべり抵抗性回復のための維持修繕要否判断などに用いられる。すべり抵抗性の確認は、どちらかの方法で行うとよい。

補修箇所のすべり抵抗性は補修材表面の仕上げ方法によっても変わると考えられるが、車両の走行ですべり抵抗性が低下するものもあったことから、特に補修箇所の規模が大きく、すべり抵抗性が車両の交通安全性に影響を及ぼすような場合は、補修材や表面の仕上げ方法等のすべり抵抗性に関する特徴を事前に確認しておくのが望ましいと考えられる。

資 料

資料 1. 剥離抵抗性の評価方法の検討結果

資料 2. 輪荷重に対する耐久性の評価方法の検討結果

資料 3. 寒冷地における輪荷重に対する耐久性評価の検討

資料 1. 剥離抵抗性の評価方法の検討結果

資 1.1 概要

補修材の剥離抵抗性を評価する方法として、例えば JSCE-K 561-2013「コンクリート構造物用断面修復材の試験方法(案)」の「5.8 付着強度」がある。この方法は、表-資 1.1.1 に示す条件を満足するどちらかの平板を試験用基板（以下、基板）に用い、型枠底面側を 150 番研磨紙で十分に研磨し、断面修復材を接着させて供試体を作製し、付着強度（本研究では、破壊位置によらずプルオフ強度、特に基板界面で破壊した場合を補修材の付着強度と呼ぶこととする）を測定するものである。

表-資 1.1.1 JSCE-K 561-2013 で規定する基板の条件

平板の種類	寸法 (mm)	使用コンクリートの条件	備考
コンクリート打設により作製する場合	300×300×60	W/C : 50%以下 空気量 : 5%以下 粗骨材最大寸法 : 25mm 以下 曲げ強度荷重 : 12kN 以上	JSCE-K 561-2013 5.8 表 2
市販の平板を用いる場合	呼び 300 (300×300) 厚さ : 30 または 60 または 80	曲げ強度荷重 : 12kN 以上	JIS A 5371: 2010 の附属書 B の推奨仕様 B-1 平板の B-1.2 に規定される普通平板 N

実際のコンクリート舗装の破損箇所における補修材施工面は凹凸があり、平滑ではない場合がほとんどであることから、土木研究所資料第 4343 号「コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル(案)」では、コンクリートの表面粗さとプルオフ強度の関係を検討しており、その結果、表面粗さによってプルオフ強度に差が生じる結果を示している^{資11)}。

そこで本研究では、剥離抵抗性の評価を行う前に、基板に用いるコンクリートの種類や表面粗さがプルオフ強度に及ぼす影響を調査し、補修材の剥離抵抗性評価に適した評価方法の検討を行った。

資 1.2 基板の検討

基板に用いるコンクリートとして、表-資 1.2.1、表-資 1.2.2、表-資 1.2.3 に示す材料、配合、基本性状のコンクリートを用いた。これは、表-資 1.1.1 に示す JSCE-K 561-2013 で規定する基板に使用するコンクリートの条件も満足している。また、このコンクリートは、土木研究所で別途実施した共同研究「骨材資源を有効活用した舗装用コンクリートの耐久性確保に関する共同研究」で用いた舗装コンクリートと同じ製造者のセメント、同じ産地の骨材、同じ配合のコンクリートであり、表-資 1.2.4 に示す凍結融解抵抗性および収縮特性を有するものである^{資12)}。

表-資 1.2.1 基板に用いたコンクリートの材料

材料名		密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)
C	普通ポルトランドセメント	3.16	—
S	山砂	2.56	0.39
G	硬質砂岩碎石 (5号と6号を質量比1:1で混合、 Gmax=20mm)	2.67	1.79

表-資 1.2.2 基板に用いたコンクリートの配合

W/C (%)	単位粗骨材 かさ容積	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
			W	C	S	G
49.2	0.72	39.6	145	295	728	1158

表-資 1.2.3 基板に用いたコンクリートの基本性状

目標スランプ※	5.0cm
目標空気量※	4.5±1.0%
圧縮強度 (標準養生、材齢28日)	49.0MPa
曲げ強度 (標準養生、材齢28日)	5.60MPa
曲げ強度荷重 (標準養生、材齢28日)	18.9kN





※適宜、AE減水剤、AE剤を添加して調整

表-資 1.2.4 基板に用いたコンクリートの凍結融解抵抗性および収縮特性^{資12)}

凍結融解抵抗性	相対動弾性係数 (凍結融解300サイクル)	93%
	質量減少率 (凍結融解300サイクル)	1.9%
収縮特性	乾燥収縮率 (26週目)	630×10 ⁻⁶ 程度
	線膨張率	11.5×10 ⁻⁶ /°C

本章では、このコンクリートを用いて300mm×300mm×40mmの平板を作製し、補修材施工面について表-資1.2.5に示す4種類の表面粗さとなるように素地調整を行い、基板を作製した。また、作製した代表的な基板の表面凹凸をレーザー変位計で測定した結果は図-資1.2.1に示すとおりである。

表-資 1.2.5 補修材施工面の表面粗さの検討

表面粗さの種類	平滑	砂目	粗目	洗出し
外観 (150mm×150mm)				
きめ深さ ^{※※}	—	0.16mm	0.46mm	1.30mm
素地調整方法	コンクリートの硬化後、150番研磨紙で十分に研磨し、滑らかに仕上げる	コンクリート打設1日後に、表面をワイヤブラシやディスクグラインダで細骨材が露出するまで目荒らしする	コンクリートの硬化後、ニードルスケーラー(写真-資1.2.1)で打撃を与え、砂目と洗出しの中間程度に目荒らしする	コンクリートの打設後、補修材施工面となる面に凝結遅延剤を塗布し、1日後に洗出しを行い粗骨材を露出させる

※※表面粗さの目安となる指標で、土木研究所資料第4343号 附属資料C「砂を用いたコンクリート表面のきめ深さ試験方法(案)」^{資13)}により測定した



写真-資 1.2.1 ニードルスケーラー

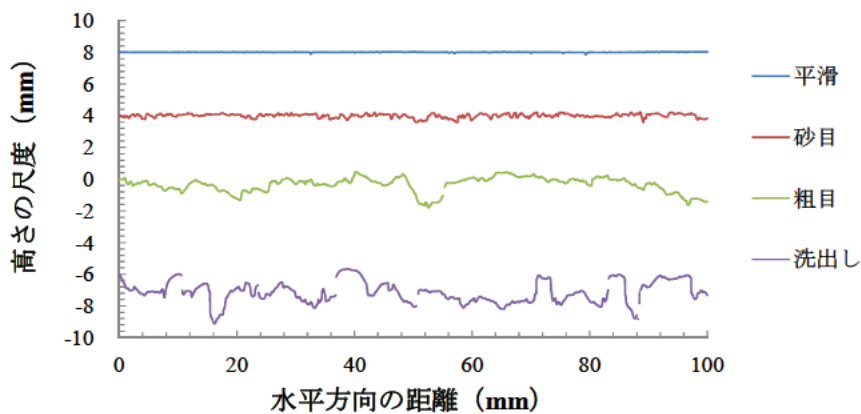


図-資 1.2.1 基板の表面凹凸のレーザー変位計による測定結果の例

なお、コンクリート舗装に角欠けなどの損傷が生じる場合は、路面側(打設面側)に生じるため、補修材

施工面は打設面側とするのが自然であるが、5章で検討する供試体の作製しやすさを考慮し、型枠底面側を補修材施工面とした場合に生じる影響についても検討した。

また、平坦な形状の基板を用いて供試体を作製し、剥離抵抗性の評価を行う場合は、コンクリートを打設して基板を作製した場合に比べて、表-資 1.1.1 に示す条件を満足した市販の平板（以下、JIS 平板）を基板として用いた方が、試験にかかる労力低減が期待できるため、JIS 平板（300mm×300mm×60mm）を用いた場合についても検討した。この場合は、JSCE-K 561-2013 5.8 に準拠し、型枠底面側を補修材施工面とした。また、JIS 平板のコンクリートは十分に硬化しているため、凝結遅延剤を用いた「洗出し」および、弱材齢時のワイヤーブラシ等による「砂目」は作製が困難なため、「平滑」と「粗目」のみとした。

今回の基板の検討ケースを整理すると、表-資 1.2.6 のとおりとなる。

表-資 1.2.6 基板の検討ケース

基板	補修材施工面	表面粗さ
打設基板(表-資 1.2.2 に示す配合のコンクリートを用いて作製した平板) (300mm×300mm×40mm)	打設面側	平滑
		砂目
		粗目
		洗出し
	型枠底面側	平滑
		砂目
		粗目
		洗出し
JIS 平板 (300mm×300mm×60mm)	型枠底面側	平滑
		粗目

資 1.3 供試体の作製方法

素地調整後の基板を 28 日間、20°C 水中で養生を行い、養生終了後に補修材を 10mm 厚に施工して供試体を作製した。補修材には、標準的なポリマーセメントモルタルとして、表-資 1.3.1 および表-資 1.3.2 に示す材料、配合のポリマーセメントモルタルを用いた。基本性状は表-資 1.3.3 に示すとおりである。

供試体の作製においては、基板の供試体施工面を十分清掃し、水湿し処理により表面乾燥飽和状態とし、補修材を厚さ 10mm に塗布した。塗布の初期段階には、補修材を表面に薄くこすりつけ、十分な塗り込み（しごき）を行った。補修材の施工後は、20°C の室内で所定の期間養生した。

表-資 1.3.1 用いた補修材の材料

材料名	
C	普通ポルトランドセメント
S	珪砂（4号と7号を質量比7:3で混合）
VE	増粘剤（セルロースエーテル系）
DF	消泡剤（粉末型、非イオン・シリコン配合タイプ）
P	粉末樹脂（オールアクリル重合系）

表-資 1.3.2 用いた補修材の配合

W/C (%)	P/C (%)	単位量 (kg/m ³)					
		W	C	S	VE	DF	P
45	7.0	271	602	1203	0.72	1.44	42.1

表-資 1.3.3 用いた補修材の基本性状

	材齢 7 日	材齢 28 日	試験方法
曲げ強度	5.09MPa	5.95MPa	JIS R 5201: 2015 (20℃封かん養生)
圧縮強度	22.2MPa	33.4MPa	

資 1.4 プルオフ強度の測定方法

プルオフ強度の測定は、JSCE-K 561-2013 5.8 を参考に行った。治具は 40mm×40mm の鋼製治具とし、補修材表面を十分に清掃した上で、2 液型エポキシ樹脂系接着剤で補修材表面の試験位置（図-資 1.4.1）に接着した。接着剤が十分に硬化、基板に深さ 10mm 程度に達するまで治具の周囲に切込みを入れ、建研式接着力試験機を用いてプルオフ強度を測定した。ここで用いた補修材は速硬タイプではないため、試験は補修材施工からの材齢 7 日および 28 日で行った。

プルオフ強度の測定後は、破壊位置を図-資 1.4.2 および表-資 1.4.1 に示すように分類した。なお、補修材の凝集破壊については、特に補修材の上部 1mm 以下程度の薄層で破壊した場合を「B 上」と表記することにした。

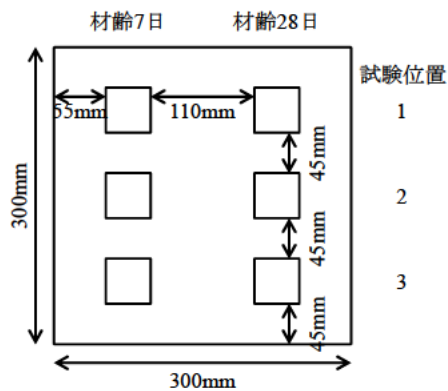


図-資 1.4.1 試験位置

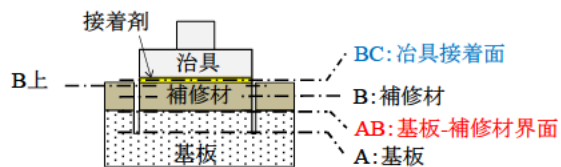
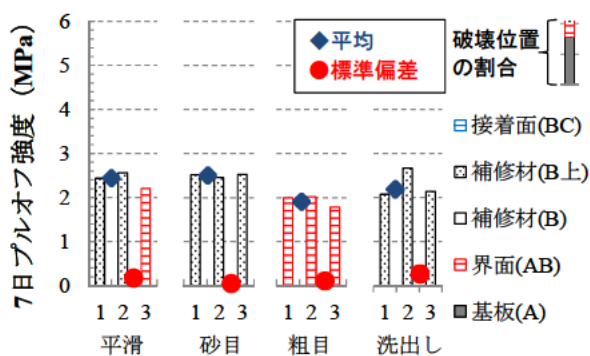


図-資 1.4.2 破壊位置の分類

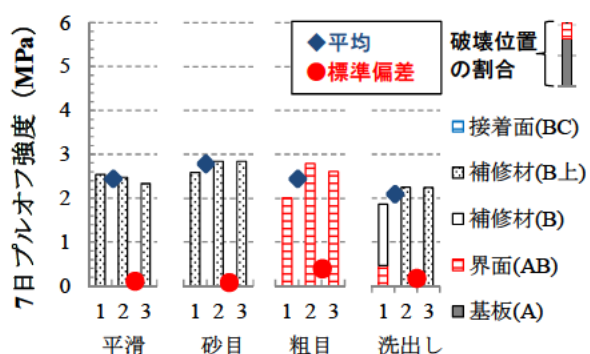
表-資 1.4.1 破壊位置の分類

記号	破壊位置
A	基板破壊
AB	基板と補修材の界面破壊
B	補修材の凝集破壊
B 上	補修材の凝集破壊（上部 1mm 以下程度の薄層で破壊した場合）
BC	治具接着面破壊

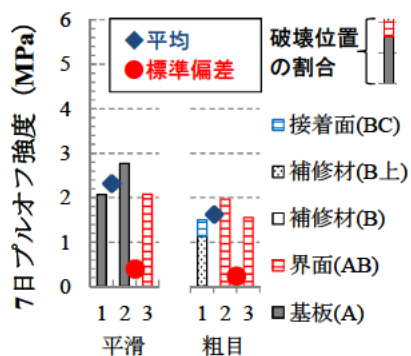
資 1.5 プルオフ強度の測定結果



(a) 打設基板（補修材施工：打設面側）

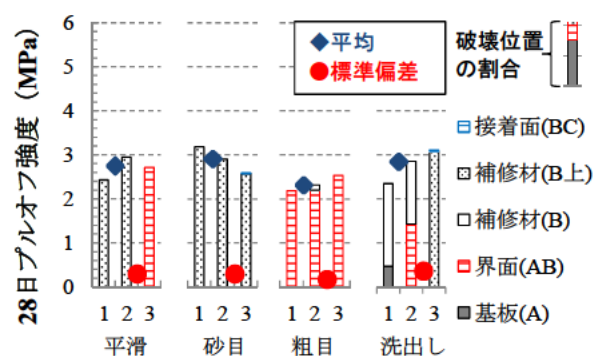


(b) 打設基板（補修材施工：型枠底面側）

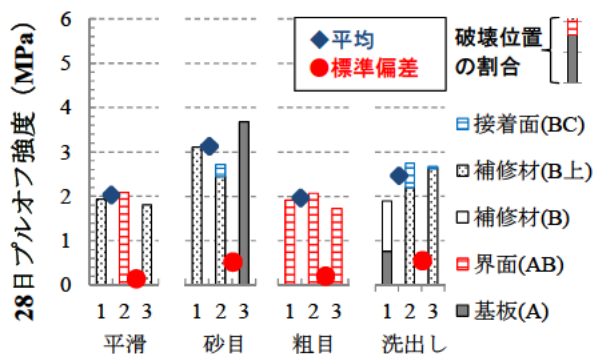


(c) JIS 平板（補修材施工：型枠底面側）

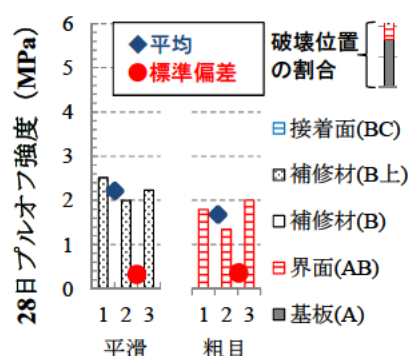
図-資 1.5.1 7日プルオフ強度と破壊位置



(a) 打設基板（補修材施工：打設面側）



(b) 打設基板（補修材施工：型枠底面側）



(c) JIS 平板（補修材施工：型枠底面側）

図-資 1.5.2 28日プルオフ強度と破壊位置

材齢 7 日および 28 日におけるプルオフ強度の測定結果を図-資 1.5.1 および図-資 1.5.2 に示す。グラフの凡例は破壊位置を示しており、1 つの破壊断面に破壊位置が複数混在したのものについては、破壊位置の割合をグラフで表現した。3 種類の基板の結果を比較すると、材齢 7 日の JIS 平板の平滑で基板(A)の破壊が見られた他は、顕著な差は確認されなかった。

破壊位置については、全体的に補修材(B)、特に補修材の上部薄層(B 上)で破壊したものが目立った。付着界面における補修材の付着強度は、これらの値以上であると考えられる。

試験位置の一部に、基板(A)で破壊したものがあつた (JIS 平板・平滑・材齢 7 日の 1 番と 2 番、コンクリート打設で作成した基板・砂目・材齢 28 日の 3 番)。付着界面における補修材の付着強度は、これらの値以上であると考えられる。

表面粗さが「粗目」の場合は、ほとんどの試験位置で、界面(AB)で破壊した。破壊面を観察すると、「粗目」の場合は、基板のごく表層部で破壊していた。「粗目」はニードルスケーラーによる打撃で素地調整を行ったため、マイクロクラックなどが発生した可能性が考えられ、基板表層部が脆弱化した恐れがある。このため、ブレーカーなどによるはつり作業を行った場合で、プライマー等による脆弱化したコンクリート版の補強の評価を行うなどの場合であれば良いが、補修材の付着強度を評価する目的の場合は適さないと考えられる。

「洗出し」の場合は、最も現場の補修面に近いと考えられるが、写真-資 1.5.1 のように、破壊位置が界面(AB)と補修材(B)が混在するなど、同じ試験位置でも場所によって破壊位置にばらつきのあるものがあつた。また、プルオフ強度も他の表面粗さに対して比較的ばらつきが大きかった。基板に用いた粗骨材の最大寸法は 20mm であり、今回の 40mm×40mm の試験面積に対して大きく、粗骨材の露出状態の差が影響した恐れがある。

表面粗さが「平滑」の場合は、破壊位置の多くは補修材(B 上)または基板(A)だが、一部で界面(AB)が見られた。また、打設基板の型枠底面側を補修材施工面とした場合においては、材齢 28 日の平均プルオフ強度が材齢 7 日のものよりも小さかった。ポリマーを含まないセメントモルタルを断面修復材として用いた既往の研究^{資 1.4)}では、「平滑」では養生期間中に断面修復材の剥離が生じた例が報告されており、不安定な結果が生じやすい可能性があると考えられる。

表面粗さが「砂目」の場合は、プルオフ強度のばらつきは特に材齢 7 日では小さかった。表-資 1.2.2 に示す配合のコンクリートを用いて型枠底面側を補修材施工面とした基板において、材齢 28 日の試験結果の一部に基板(A)における破壊が確認された他は、補修材(B 上)における破壊で、試験結果が最も安定していた。得られた強度は他の表面粗さの場合と同等以上であり、表面粗さに起因する欠陥が生じにくいと考えられる。

資 1.6 まとめ

資 1.5 の結果より、打設基板 (補修材施工面：打設面側および型枠底面側) と市販の JIS 平板を比較すると、これらを用いたプルオフ試験の結果には顕著な差は確認されなかった。5 章では、角欠けを模擬した複雑な形状の供試体を検討することも考慮し、本研究における剥離抵抗性の評価には、打設基板の型枠底面側を補修材施工面としたプルオフ試験用の基板を使用することとした。

補修材施工面の表面粗さについては、最も安定したプルオフ試験結果の得られた「砂目」とすることとした。



界面破壊(AB)

写真-資 1.5.1 材齢 28 日のプルオフ強度と破壊位置 (打設面を洗出し、材齢 28 日)

参考文献

- 資1.1) 国立研究開発法人土木研究所：コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル（案）、土木研究所資料第4343号、p.III-39、2016.8
- 資1.2) 独立行政法人土木研究所ほか：骨材資源を有効活用した舗装用コンクリートの耐久性確保に関する共同研究報告書 I 各種粗骨材の舗装コンクリートへの適用性 (2) 舗装コンクリートの耐久性試験、共同研究報告書第462号、pp.8～35、2015.3
- 資1.3) 国立研究開発法人土木研究所：コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル（案）、土木研究所資料第4343号、pp.III-41～III-44、2016.8
- 資1.4) 片平博・渡辺博志：付着面の表面粗さが断面修復材の付着強度に与える影響、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム論文集、第14巻、pp.265～270、2014.10

資料 2. 輪荷重に対する耐久性の評価方法の検討結果

資 2.1 概要

補修材の耐久性として、走行中の車輪から受ける輪荷重に対する変形抵抗性や、付着の確保などの耐久性が求められるが、補修したコンクリート舗装版の耐久性について実験で検討した事例はほとんどなく、検証する方法も明らかになっていない。そこで、補修箇所に輪荷重を載荷した際の耐久性を評価する手法を検討した。

舗装が輪荷重を受ける際の耐久性評価を目的とした室内試験として、例えば、舗装調査・試験法便覧に記載される B003「ホイールトラッキング試験」や B004「水浸ホイールトラッキング試験」がある。いずれもアスファルト混合物に対する試験法であり、前者は夏期の高温時において、アスファルト混合物の輪荷重による流動のしやすさを、後者は水浸走行によるアスファルト混合物の剥離（骨材とアスファルト層の水分による剥離）に対する耐久性を評価するものである。試験装置（水浸ホイールトラッキング試験装置）は、表-資 2.1.1 に示す仕様のものであるが、接地圧 0.63MPa の輪荷重を繰返し載荷させることができることから、本試験装置を用いて補修箇所の輪荷重に対する耐久性評価試験を検討することとした。

表-資 2.1.1 水浸ホイールトラッキング試験装置の仕様

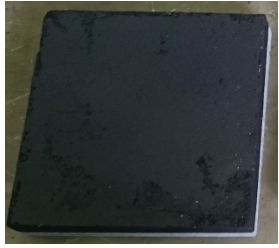
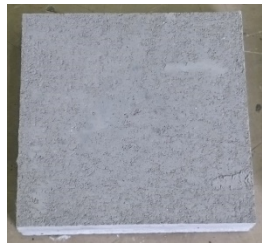
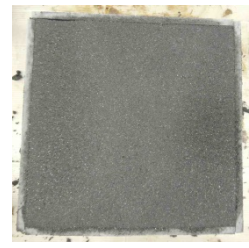
試験温度	60℃に設定可能
試験輪	ゴム製ソリッドタイヤ ゴムのタイプ A デュロメータ硬さ：A84±4 (20℃) A78±2 (60℃)
輪荷重	686±10N (接地圧 0.63MPa)
走行速度	42 回/分
水浸設備	あり

資 2.2 予備検討

まずは、舗装調査・試験法便覧の B003「ホイールトラッキング試験方法」を行い、輪荷重に対する耐久性評価に利用可能か、予備検討を行った。

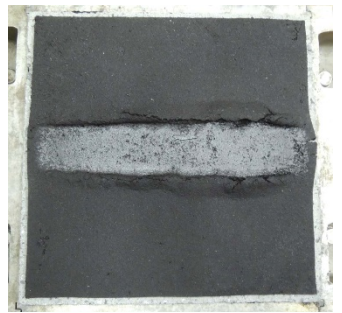

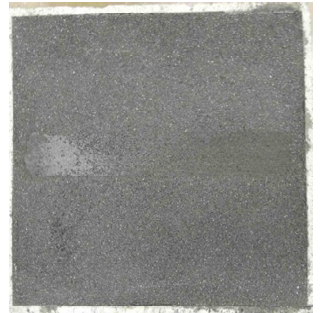
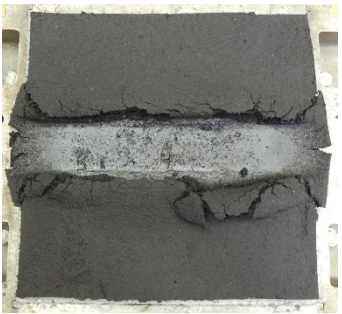
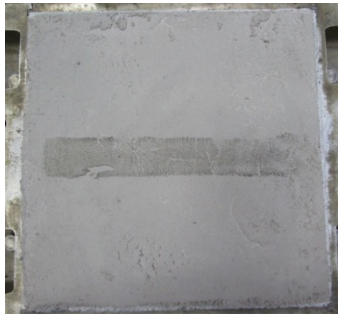
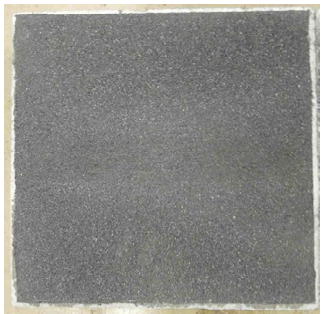
予備検討には、表-資 2.2.1 に示す常温硬化型アスファルトモルタル、ポリマーセメントモルタル、エポキシ樹脂モルタルの 3 種類の市販の補修材（プレミックス品）を用いた。供試体は、JIS A 5371 : 2016「プレキャスト無筋コンクリート製品」附属書 B「舗装・境界ブロック類」推奨仕様 B-1「平板」の B-1.2 に規定する寸法 300×300×60mm の普通平板を基板として用い、表面をディスクグラインダーで細骨材が露出するまで目荒しを行い、「砂目」の状態とした面に補修材を 5mm 厚および 15mm 厚で施工したものとした。供試体作製後、室内で 3 日間静置し、ホイールトラッキング試験を 60 分間実施した。

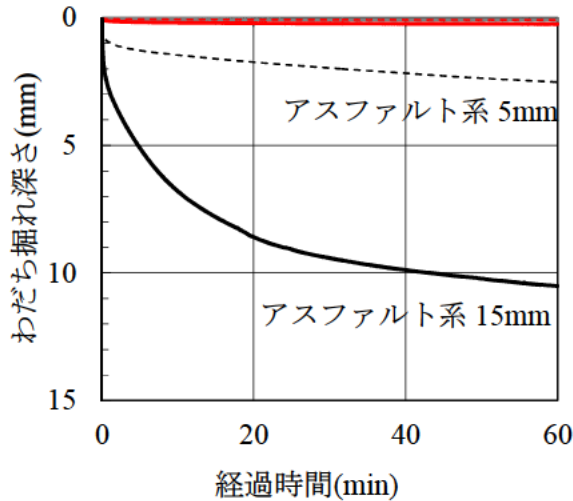
表-資 2.2.1 予備検討に用いた補修材

補修材の種類		常温硬化型アスファルト モルタル	ポリマーセメント モルタル	エポキシ樹脂 モルタル
施工面の処理方法		なし	なし	エポキシプライマー塗布
基本的 性質	圧縮強さ	—	2~4MPa	4MPa 以上
	曲げ強さ	—	1~2MPa	—
	静弾性係数	—	2~4GPa	—
	可使時間 (こて作業可能な時間)	約 5 分 (10~15℃室内)	約 20 分 (10~15℃室内)	約 30 分 (10~15℃室内)
基板に施工後の表面外観				

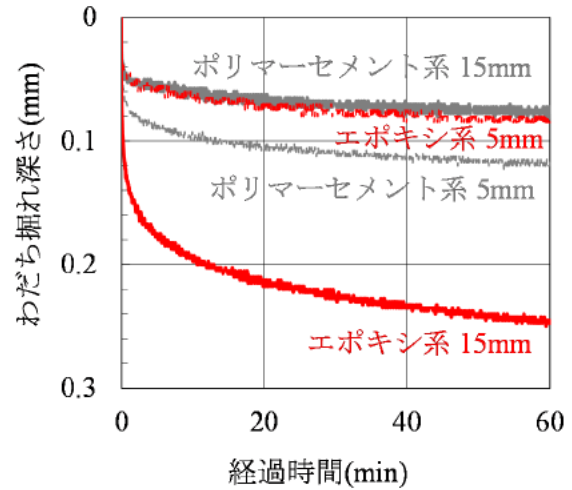
ホイールトラッキング試験後の供試体外観を表-資 2.2.2 に、車輪走行位置中央部のわだち掘れ深さの経時変化を図-資 2.2.1 に示す。

表-資 2.2.2 ホイールトラッキング試験後の外観

施工厚さ	常温硬化型アスファルト モルタル	ポリマーセメント モルタル	エポキシ樹脂 モルタル
5mm			
15mm			



(a) 0～15mm



(b) 0～0.3mm^{*}

※(a)の縦軸 0～0.3mm の部分の拡大図

図-資 2. 2. 1 経過時間とわだち掘れ深さの関係

常温硬化型アスファルトモルタルには顕著なわだち掘れが生じ、また、施工厚さが厚いほどわだち掘れ量も大きかった。また、補修材は完全に剥離せず、基板コンクリートに圧着しているような状態であった。一方、ポリマーセメントモルタルおよびエポキシ樹脂モルタルは、試験温度 60℃程度ではほとんど軟化しないことから、今回の試験結果についてもわだち掘れ深さは非常に小さく、目立った変形は生じなかった。試験温度 60℃のホイールトラッキング試験では、夏期におけるわだち掘れなどの変形抵抗性の確認として利用できると考えられる。

資 2. 3 模擬目地を有する供試体の検討

コンクリート舗装の段差や角欠けなどの破損は目地部に生じるが、車両通過時の目地部の挙動も補修材に影響が及ぶと考えられる。そこで、模擬目地を有する供試体を用いた試験を検討した。

資 2. 3. 1 輪荷重載荷時の目地部の挙動

図-資 2. 3. 1 に示すように、2 つの基板から構成される幅 10mm の模擬目地を設けた平板を作製し、厚さ 10mm で硬さ (タイプ A デュロメータ硬さ) が A40、A50、A60、A70 の 4 種類のシリコンゴム板を底に敷いて、ホイールトラッキング試験機による輪荷重載荷を行った。その際の模擬目地の挙動を確認するために、レーザー変位計を用いて模擬目地近傍の沈下量を測定した。シリコンゴム板は、225℃の環境で 72 時間保持した場合の硬さの変化が A2 程度の、硬さの耐熱性に優れるものを用いた。

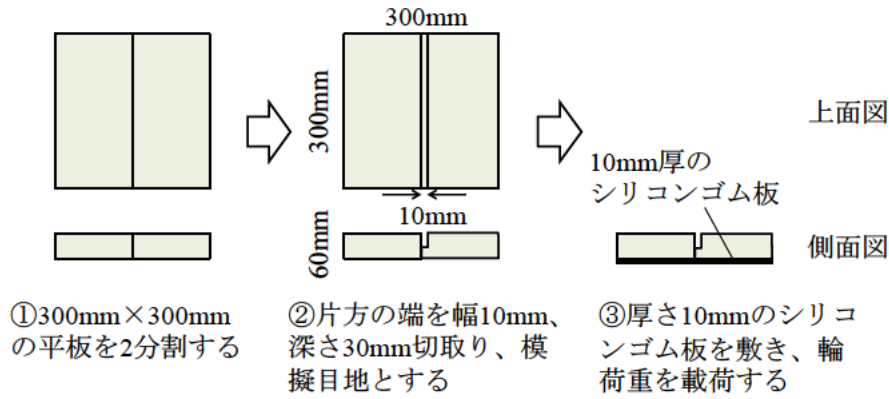


図-資 2.3.1 模擬目地を設けた平板とシリコンゴム板による目地部の挙動変化の測定

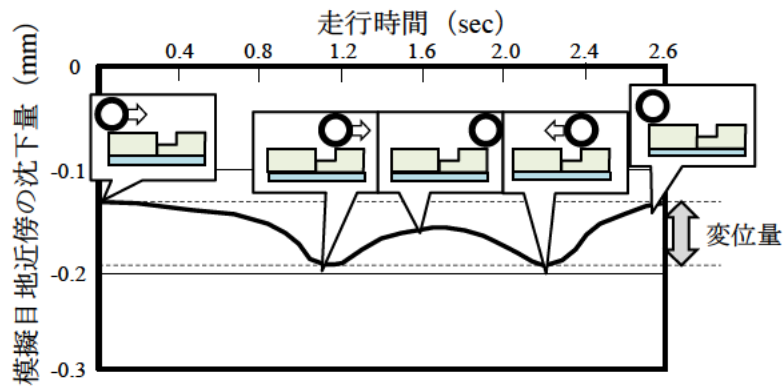


図-資 2.3.2 輪荷重載荷位置と模擬目地近傍の沈下量との関係

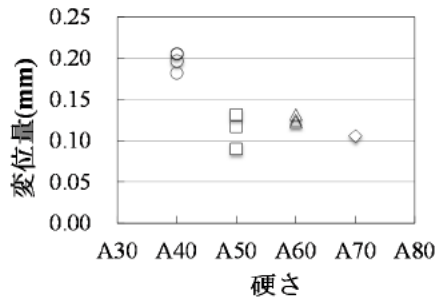


図-資 2.3.3 シリコンゴム板の硬さと変位量の関係

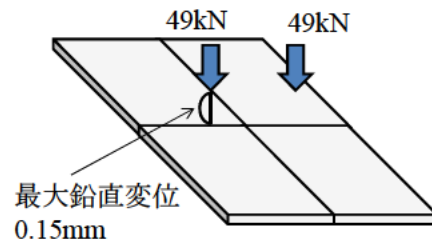


図-資 2.3.4 坂本らの研究における解析モデルへの荷重イメージ^{資2.1)}

輪荷重を載荷した倍の模擬目地近傍の沈下量と車輪の位置関係は、図-資 2.3.2 に示すとおりとなったが、沈下量の最大値と最小値の差を模擬目地に生じる「変位量」として取り扱った。温度 20℃ の環境で輪荷重載荷を行った場合の、用いたシリコンゴム板の硬さと模擬目地の変位量との関係を図-資 2.3.3 に示す。

硬さが大きい（シリコンゴムが硬い）ほど変位量が小さくなる傾向を示した。ここで、坂本らの研究^{資2.1)}では、ダウエルバーとタイバーで連結した普通コンクリート版を模した解析モデルに、縦目地中央部にダブルタイヤ1輪当たり 49kN (5tf)（ダブルタイヤは1輪と数える）の輪荷重、および 1.84m 外側に同じダブル

タイヤ1輪当たり49kNの輪荷重、計98kN(10tf)の軸荷重(道路法の定める最高限度)を載荷させた場合、縦目地部の最大鉛直変位が0.15mm程度となった解析結果が得られている。今回の実験条件においては、硬さA50およびA60のシリコンゴム板を用いた場合に、0.15mm程度の最大鉛直変位が得られた。

資 2.3.2 長時間の輪荷重載荷による沈下量の変化の確認

長時間の繰返し載荷が沈下量に及ぼす影響を確認するために、24時間の繰返し載荷を行った結果を図-資 2.3.5に示すが、硬さA60の方が長時間の載荷による目地近傍の沈下量の変化が少なかった。

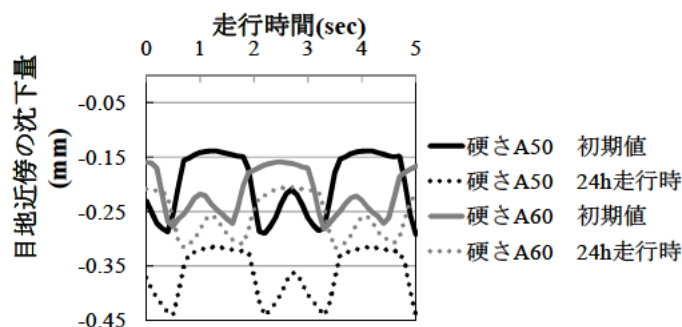


図-資 2.3.5 24時間載荷を行った場合の、目地近傍の沈下量の変化

資 2.3.3 まとめ

これらの検討結果より、輪荷重載荷時の目地部の挙動を再現するために、2つの基板から構成される模擬目地を有する平板を用い、底には硬さA60、厚さ10mmのシリコンゴム板を敷くことを標準とすることとし、図-資 2.3.6(擦付け用)および図-資 2.3.7(角欠け用)に示す形状の供試体(基板1および基板2より構成)を作製することとした。なお、輪荷重載荷後のプルオフ試験を検討するため、基板1よりも基板2の方を大きくしている。また、模擬角欠けは市販の平板を加工して形成することは困難であり、更に資料1の検討結果より型枠底面側と打設面側でプルオフ試験の結果にあまり差がないことから、基板は表-資 1.2.1、表-資 1.2.2、表-資 1.2.3に示す材料、配合、基本性状のコンクリートを用いて製作することとし、補修材施工面は型枠底面側となるように型枠を作製した。また、補修材施工面はディスクグラインダーを用いて「砂目」の状態に仕上げることにした。

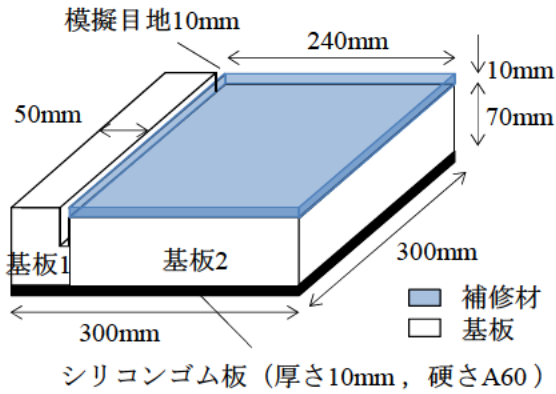


図-資 2.3.6 供試体形状 (擦付け用)

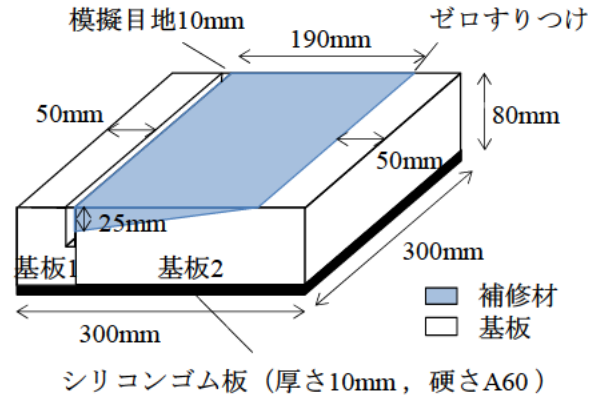


図-資 2.3.7 供試体形状 (角欠け用)

資 2.4 試験条件の検討

資 2.4.1 輪荷重載荷時間の検討

セメント系補修材や樹脂系補修材では、表-資 2.2.2 および図-資 2.2.1 より、標準的なホイールトラッキング試験ではわだち掘れ等の変形はほとんど生じなかった。そのため、模擬目地を有する供試体で標準的なホイールトラッキング試験を行っても、ほとんど変化が生じないことも考えられたことから、輪荷重載荷時間の検討を行った。ここでは、資料 1 で用いた表-資 1.3.1、表-資 1.3.2、表-資 1.3.3 に示す材料、配合、基本性状のポリマーセメントモルタルを補修材として用い、図-資 2.3.6 の供試体 (擦付け用) を作製した。補修材施工後、20℃の室内で 28 日以上養生後、標準的なホイールトラッキング試験の条件 (試験温度 60℃、載荷時間 1 時間)、および、載荷時間を 24 時間とした条件で輪荷重の繰返し載荷を行った。

輪荷重載荷後の補修材は、両条件ともわだち掘れや目地部の破損などの目立った変化は生じなかったため、車輪の走行位置 (走行部) においてプルオフ試験を行った。プルオフ試験は、JSCE-K 561-2013 5.8 を参考に、治具は 40mm×40mm の鋼製治具とし、補修材表面をディスクグラインダーで軽く研磨した後に、図-資 2.4.1 に示す 3 箇所で行った。破壊位置は、図-資 2.4.2 および表-資 2.4.1 のとおり分類した。

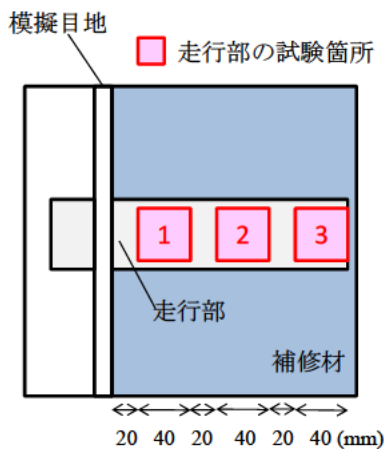


図-資 2.4.1 プルオフ試験の位置

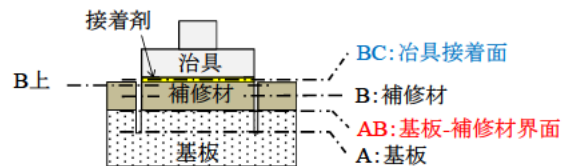


図-資 2.4.2 破壊位置の分類

表-資 2.4.1 破壊位置の分類

記号	破壊位置
A	基板破壊
AB	基板と補修材の界面破壊
B	補修材の凝集破壊
B上	補修材の凝集破壊（上部 1mm 以下程度の薄層で破壊した場合）
BC	治具接着面破壊

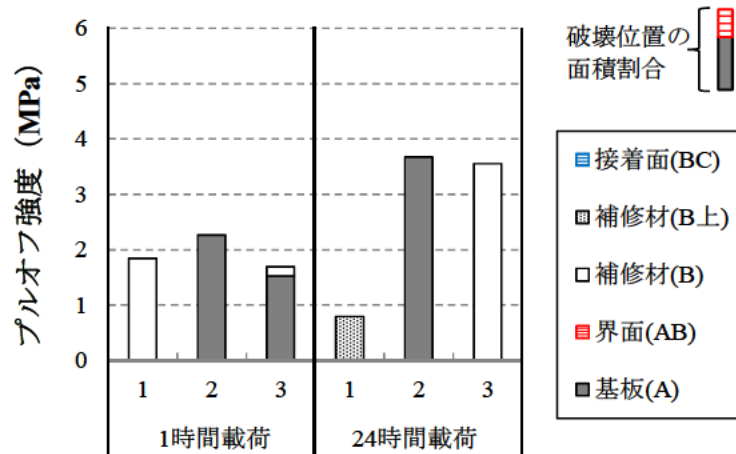


図-資 2.4.3 走行部のプルオフ試験結果

プルオフ試験の結果を図-資 2.4.3 に示す。荷重時間 1 時間の場合のプルオフ強度は、位置によらずほぼ 2MPa 程度であり、基板(A)または補修材(B)で破壊した。荷重時間 24 時間の場合のプルオフ強度は、目地に近い 1 番の位置が 1MPa 未満と低く、2 番と 3 番は 3MPa 以上を示した。2 番と 3 番は基板(A)または補修材(B)で破壊したが、1 番は補修材の上部薄層(B上)で破壊した。

以上の結果より、目地に最も近い位置は、補修材に影響が生じた可能性が考えられる。それ以外の位置については、24 時間までの範囲では、荷重時間の長い方がプルオフ強度が高い結果が得られたことから、基板と補修材の密着性が高まったものと推察される。

資 2.4.2 試験温度の検討

高温時に軟化しないと考えられるセメント系などの補修材では、常温でも評価できる可能性があると考えられたため、資 2.4.1 で用いた補修材を使用し、常温 (20℃) における輪荷重の繰返し荷重を検討した。試験は標準のホイールトラッキング試験の条件 (60℃、荷重時間 1 時間) と試験温度を常温とした条件 (20℃、荷重時間 1 時間) で行った。



(a) 試験温度 20°C、載荷時間 1 時間



(b) 試験温度 60°C、載荷時間 1 時間

写真-資 2.4.1 輪荷重の繰返し載荷後の供試体外観（試験温度の検討）

輪荷重載荷後の供試体外観を写真-資 2.4.1 に示すが、補修材はいずれもわだち掘れや目地部の破損などの目立った変化は生じなかった。

次に、図-資 2.4.4 に示す位置でプルオフ試験を行った。今回は、非走行部のプルオフ試験も行い、輪荷重の繰返し載荷が付着に及ぼす影響を確認した。また、図-資 2.4.3 の結果より、走行部のプルオフ試験結果について、試験位置全体が走行部内の場合、密着性が高まると推察されるプルオフ強度の増加が考えられることから、走行部中心を避け、輪荷重による補修材の側方への動きが若干生じることを想定し、側方にずれた位置の「走行影響部」でプルオフ試験を行った。

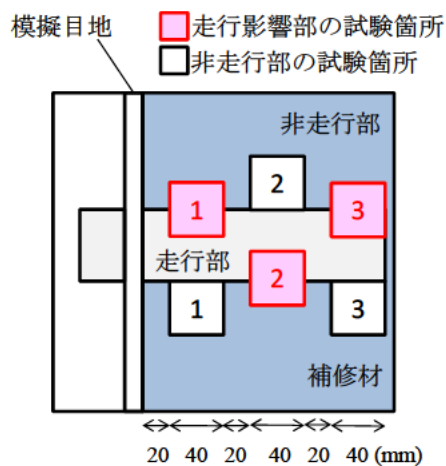


図-資 2.4.4 プルオフ試験の位置

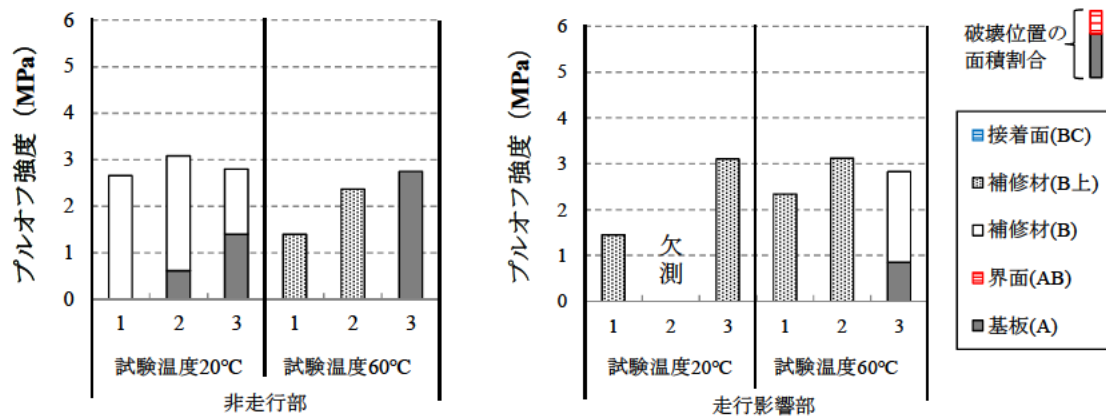


図-資 2.4.5 プルオフ試験の結果（試験温度の検討）

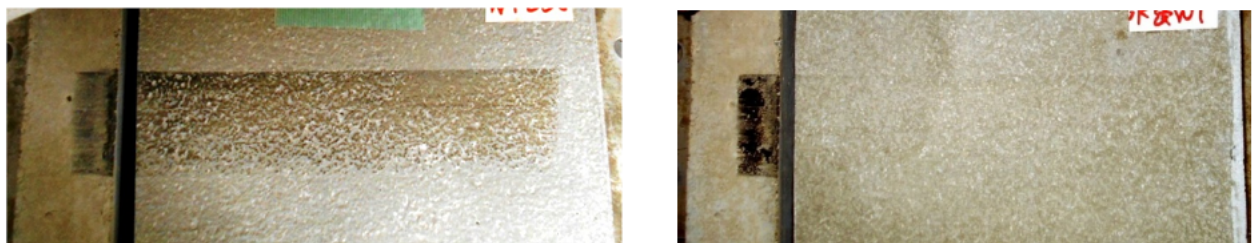
図-資 2.4.5 にプルオフ試験結果を示す。なお、20°Cの走行影響部における2番の位置については、プルオフ試験前の切込み作業時にミスが生じたため、欠測扱いとした。

非走行部では、20°Cでは基板(A)または補修材(B)で破壊し、試験位置とプルオフ強度の差は小さく、いずれも3MPa程度であった。60°Cでは目地から離れた3番は基板(A)、1番および2番は補修材の上部薄層(B上)で破壊し、目地に近い1番のプルオフ強度が若干小さかった。

走行影響部では、20°Cでは補修材の上部薄層(B上)で破壊し、非走行部と比較して破壊位置にやや差が生じた。60°Cでは目地から離れた3番は基板(A)および補修材(B)、1番および2番は補修材の上部薄層(B上)で破壊し、破壊位置については非走行部とあまり傾向に差は認められなかった。また、試験温度によらず、目地に近い1番のプルオフ強度が小さい傾向を示した。

資 2.4.3 水浸の検討

雨天時を想定し、水浸状態における試験を検討した。補修材は資 2.4.1 で用いた補修材を使用し、水浸状態とした試験（60°C、載荷時間は1時間）を行った。なお、水浸状態の繰返し載荷は、通常の水浸ホイールトラッキング試験の条件（60°C、載荷時間6時間、トラバース走行{走行方向の90°方向に走行位置を変える}あり）ではなく、水浸状態であること以外は標準のホイールトラッキング試験の条件と同じとした（走行位置は常に同じとした）。また、水面の位置は供試体表面とした。



(a) 試験温度 60°C、載荷時間 1 時間、水浸なし (b) 試験温度 60°C、載荷時間 1 時間、水浸あり

写真-資 2.4.2 輪荷重の繰返し載荷後の供試体外観（水浸の検討）

輪荷重載荷後の供試体外観を水浸なしの結果と合わせて写真-資 2.4.2 に示すが、補修材はいずれもわだち

掘れや目地部の破損などの目立った変化は生じなかった。

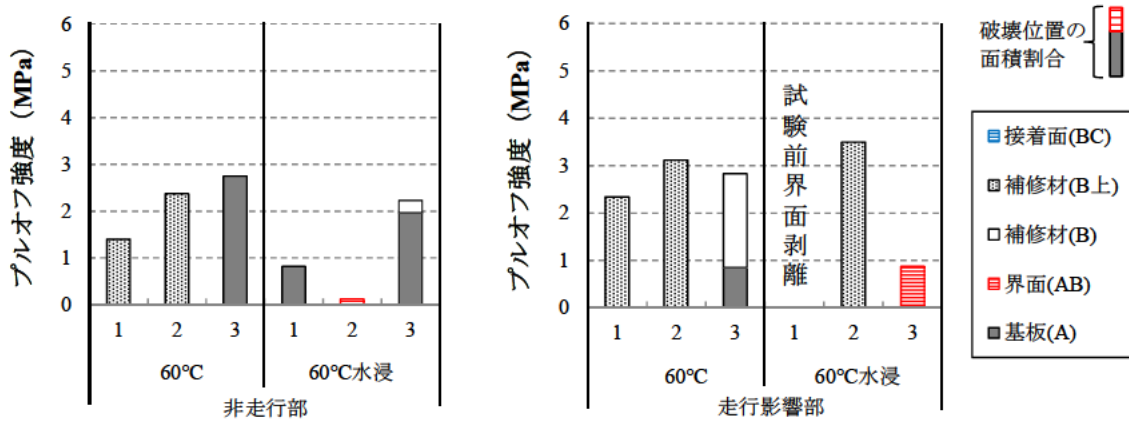


図-資 2.4.6 プルオフ試験の結果（水浸の検討）

次に、資 2.4.2 と同様、図-資 2.4.4 に示す位置でプルオフ試験を行った。図-資 2.4.6 にプルオフ試験結果を示す。

水浸の場合は、走行影響部のみならず非走行部についても、低い値で界面(AB)破壊したものや、試験前に界面剥離したのが見られるなど、付着に明確な影響が出た。プルオフ試験後に試験箇所周辺の打音調査を行うと、界面(AB)破壊した箇所の周辺は音が響かず、付着がほぼ失われていたものと考えられる。水浸で試験を行うことで、基板界面に水が浸入し、補修材の剥離が生じやすくなったものと考えられる。

資 2.5 まとめ

資料 2.2 の予備検討結果より、標準的なホイールトラッキング試験で、夏期の高温環境下における補修材の輪荷重に対する変形抵抗性は評価できることが確認できた。また、資 2.3 および資 2.4 の検討結果より、60°C程度で軟化しないセメント系補修材については、模擬目地を有する供試体を用い、試験温度 60°C、水浸あり、載荷時間 1 時間の条件（標準的なホイールトラッキング試験に水浸状態を加えた条件）で界面における付着に影響を確認することができた。このことから、輪荷重に対する補修箇所の耐久性の評価は、模擬目地を有する供試体の使用し、標準的なホイールトラッキング試験と水浸状態を組み合わせた試験条件で輪荷重の繰返し載荷を行い、載荷後にプルオフ試験を組み合わせる室内輪荷重試験で行うこととした（5章で記述）。

なお、資 2.4.2 の検討結果より、非走行部でも目地に近い 1 番の位置のプルオフ強度が小さい結果が得られたものがあった。図-資 2.4.4 に示す非走行部は車輪走行部に隣接していたため、影響を受けた可能性が考えられることから、非走行部の試験位置は、車輪走行部から離れた位置で今後は検討を行うこととした。

参考文献

資2.1) 坂本康文・七五三野茂・源厚：コンクリート舗装の目地部段差量推定式の検証と精度向上に関する検討、土木学会論文集E1（舗装工学）、Vol.67、No.3（舗装工学論文集第16巻）、pp.I-181～I-187、2011

資料3. 寒冷地における輪荷重に対する耐久性評価の検討

資3.1 概要

現場のコンクリート舗装用補修材には、温度変化などの環境作用と輪荷重による作用を同時に受けることになる。例えば、寒冷地では、凍結融解に対する耐久性と輪荷重に対する耐久性を確保することが、容易に破損、剥離しないために重要と考えられる。そこで、寒冷地における輪荷重に対する耐久性を評価する手法について検討することとした。

資3.2 検討内容

資3.2.1 供試体の形状

5.2に示す室内輪荷重試験と凍結融解試験（JIS A 1148のA法）を併用し、凍結融解作用後における輪荷重に対する耐久性を評価する方法について検討した。

供試体は、5章で用いた供試体と同様、コンクリート舗装の目地部を補修した状況を模擬したもので、段差補修を模擬した擦付け用供試体（表-5.1.1の補修材を使用）を図-資3.2.1、角欠け補修を模擬した角欠け用供試体（表-5.1.2の補修材を使用）を図-資3.2.2に示す形状とした。ここで、土木研究所寒地土木研究所が所有する平板用の凍結融解試験装置に設置するために、5章で用いた供試体（厚さが80mm）の形状を維持し、厚さを50mmとしたものを作製・使用した。基板は5章と同様、表-5.2.1、表-5.2.2、表-5.2.3に示す材料、配合、基本性状のコンクリートを用いて作製し、補修材施工面が型枠底面となるように型枠を作製し、打設1日後に脱型して基板2の補修材施工面をワイヤーブラシまたはディスクグラインダーを用いて、表面に細骨材が露出する程度まで素地調整を行い「砂目」の状態とした。その後、20℃の水中養生を材齢28日まで行い、補修材を施工した。

また、ホイールトラッキング試験機に設置して輪荷重の繰返し载荷を行う際は、車輪が目地部を通過した際に生じる変位を再現するために、供試体の下には、厚さ10mm、硬さA60のシリコンゴム板を敷いた。

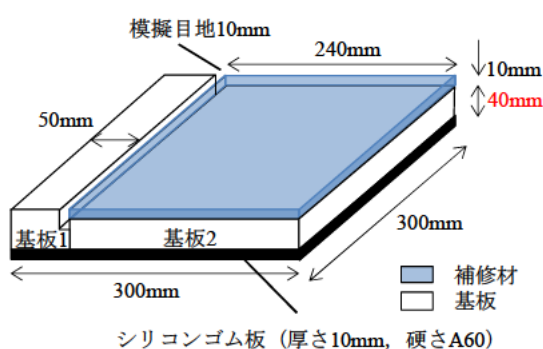


図-資3.2.1 供試体形状（擦付け用）

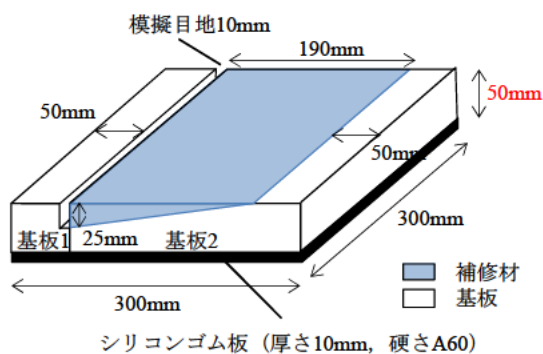


図-資3.2.2 供試体形状（角欠け用）

資 3.2.2 試験方法

試験手順を図-資 3.2.3 に示す。凍結融解試験 50 サイクルと室内輪荷重試験 10 分 (686±10N の輪荷重 (接地圧 : 0.63MPa) を 420 回載荷) を交互に 6 回行い、その後、プルオフ試験を実施し、破壊位置とプルオフ強度を確認した。

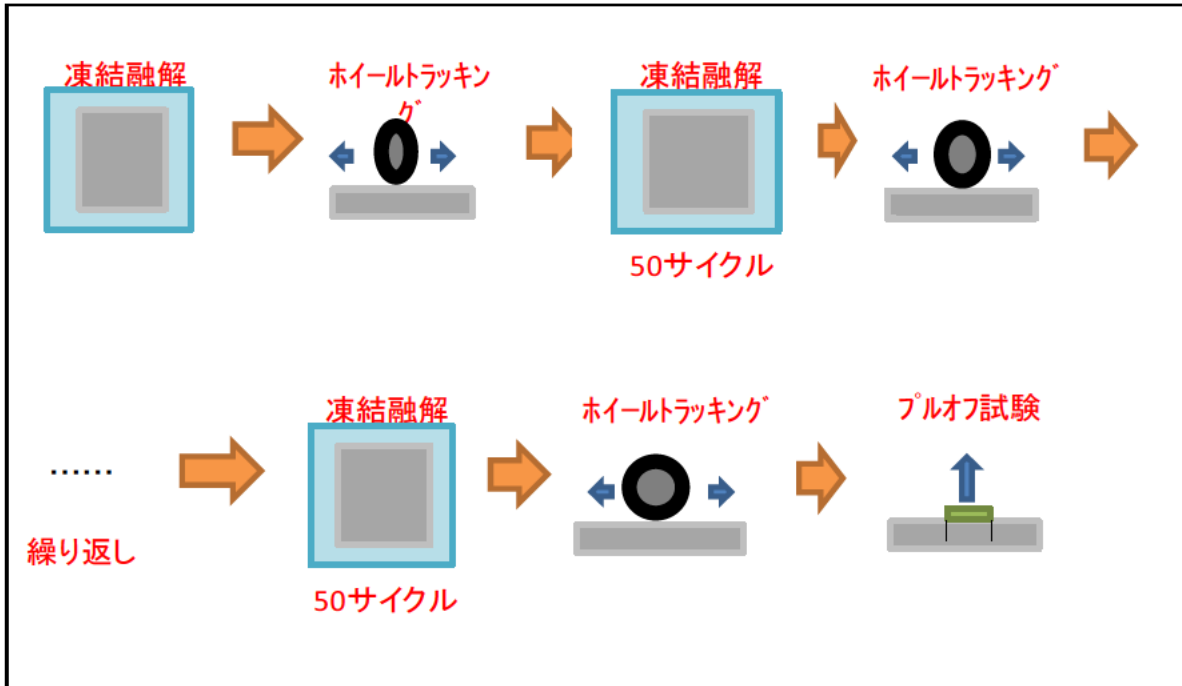


図-資 3.2.3 試験手順

(1) 室内輪荷重試験

試験条件は、5章では試験温度 60℃、水浸あり、トラバース走行なしの条件としたが、ここでは融解期における凍結融解作用を受けた後の耐久性を評価したいため、試験温度は常温 (20℃程度)、水浸あり、トラバース走行なしの条件で試験を実施した。

(2) 凍結融解試験

凍結融解試験は、JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」の「A 法：水中凍結融解試験方法」に準拠して実施した。試験に用いる供試体は、補修材施工後、材齢 28 日まで 20℃の環境で気中養生し、その後 28 日間 20℃の水中養生を行って十分に水分を浸透させた状態のものとした。凍結融解の温度サイクルは、5℃→-18℃→5℃の条件である。

(3) プルオフ試験

凍結融解作用及び輪荷重が補修材のプルオフ強度に及ぼす影響を評価するために、JSCE-K 561-2013「コンクリート構造物用断面修復材の試験方法 (案)」の「5.8 付着強度」を参考に、40mm×40mm の鋼製治具を用いてプルオフ試験を行った。

試験位置は、図-資 3.2.4 に示すように、輪荷重の影響のある走行影響部 6 箇所 (β-1~3、γ-1~3) と、輪荷重の影響の少ないと考えられる非走行部 6 箇所 (α-1~3、δ-1~3) とした。

プルオフ強度の測定後は、破壊位置を図-資 3.2.5 および表-資 3.2.1 に示すように分類した。

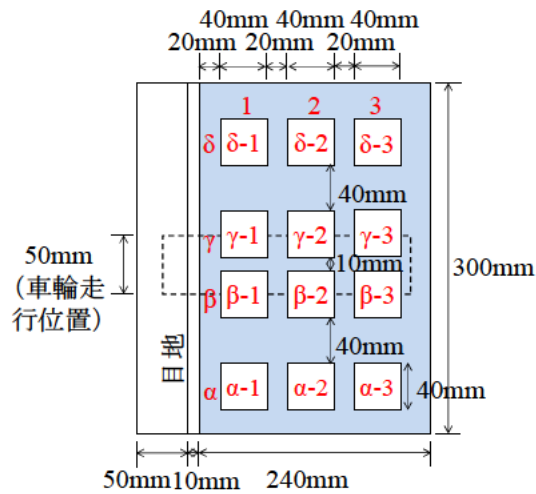


図-資 3. 2. 4 プルオフ試験位置

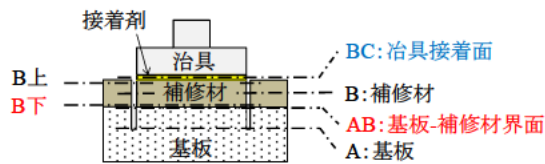


図-資 3. 2. 5 破壊位置の分類

表-資 3. 2. 1 破壊位置の分類

記号	破壊位置
A	基板破壊
AB	基板と補修材の界面破壊
B 下	補修材の凝集破壊 (下部 1mm 以下程度の薄層で破壊した場合)
B	補修材の凝集破壊
B 上	補修材の凝集破壊 (上部 1mm 以下程度の薄層で破壊した場合)
BC	治具接着面破壊

資 3. 3 試験結果

資 3. 3. 1 擦付け用補修材の試験結果

プルオフ試験結果を図-資 3. 3. 1～図-資 3. 3. 5 に示す。

柔軟型の PCM-c が凍結融解試験中に界面から全体が剥離したが、その他の補修材は凍結融解累計 300 サイクル+輪荷重載荷累計 60 分後も基板への付着が確認された。AsM は、プルオフ強度の平均が 0.14MPa と他の補修材よりも小さく、破壊位置は補修材(B)、(B 下)であった。PCM-b は、プルオフ強度の平均が 0.29MPa と AsM に次いで小さく、破壊位置は補修材(B 上)と接着面(BC)の割合が高かった。PCM-a は、プルオフ強度の平均が 0.92MPa であり、破壊位置は基板(A)または補修材(B 上)の割合が高く、RM-a は、プルオフ強度の平

均が 1.56MPa であり、破壊位置は全て基板(A)であった。

以上より、補修材によってプルオフ強度および破壊位置の違いが現れることが確認された。

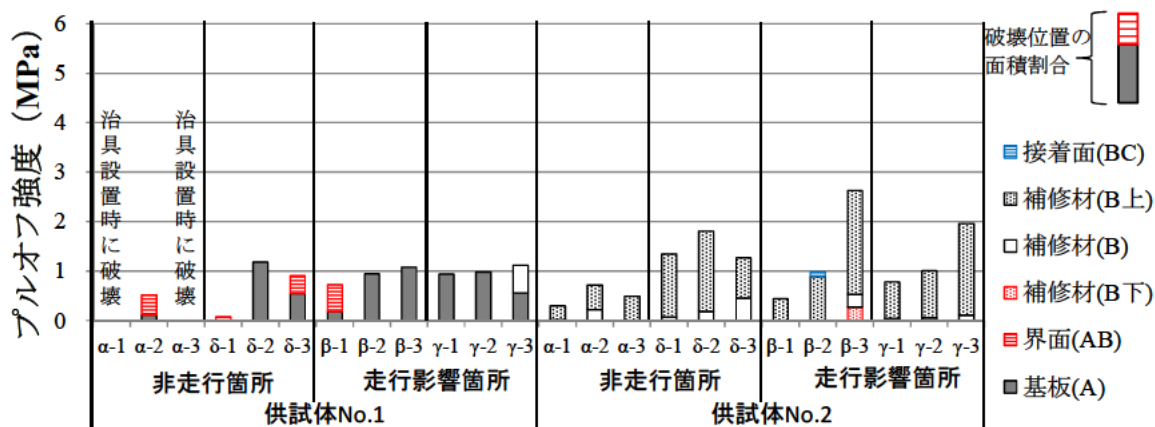


図-資 3. 3. 1 凍結融解試験＋室内輪荷重試験後のプルオフ試験結果 (PCM-a (擦付け用))

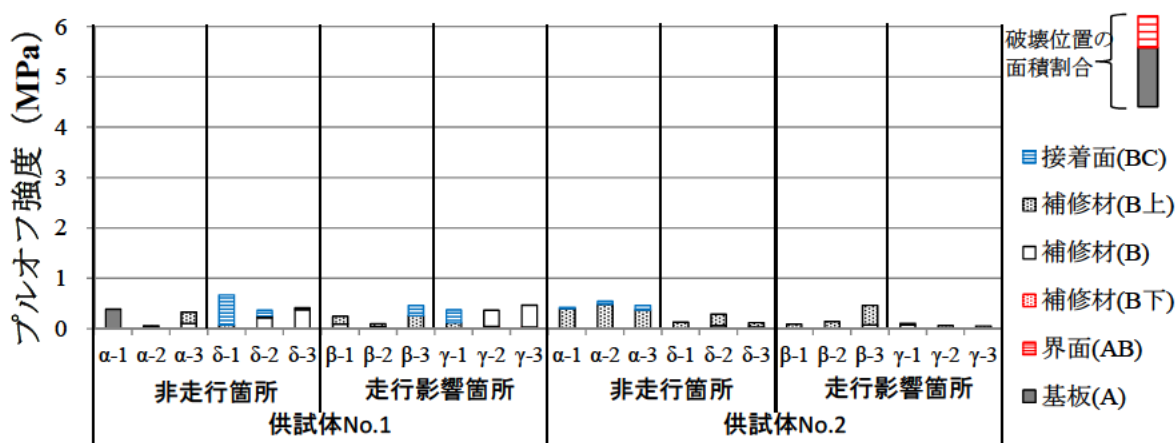


図-資 3. 3. 2 凍結融解試験＋室内輪荷重試験後のプルオフ試験結果 (PCM-b (擦付け用))

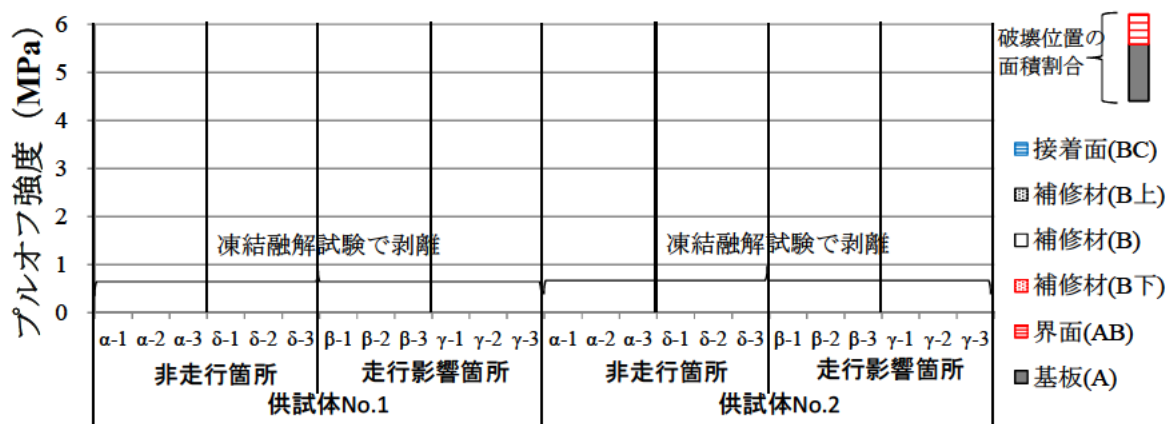


図-資 3. 3. 3 凍結融解試験＋室内輪荷重試験後のプルオフ試験結果 (PCM-c (擦付け用))

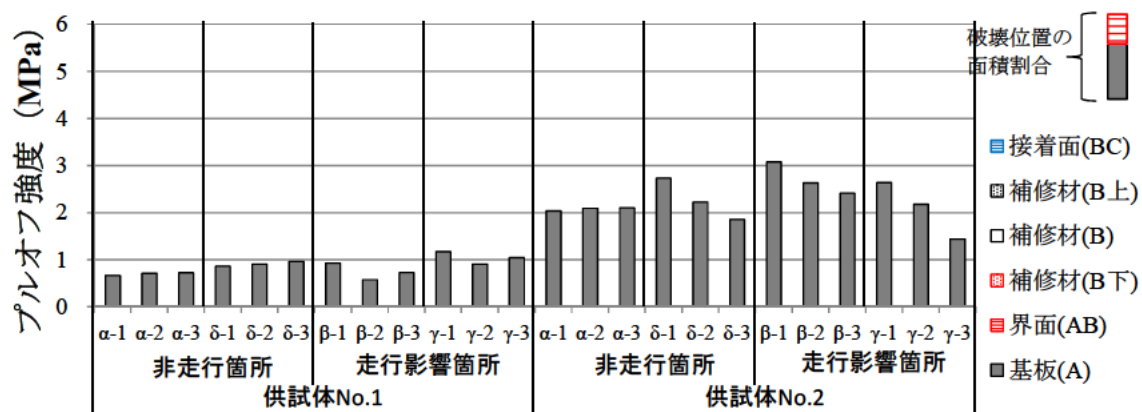


図-資 3.3.4 凍結融解試験+室内輪荷重試験後のプルオフ試験結果 (RM-a (擦付け用))

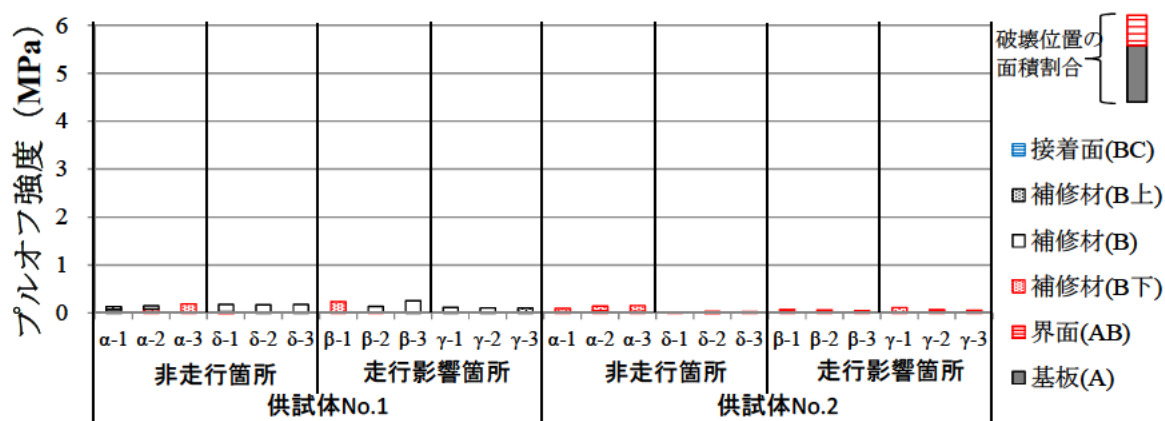


図-資 3.3.5 凍結融解試験+室内輪荷重試験後のプルオフ試験結果 (AsM (擦付け用))

資 3.3.2 角欠け用補修材の試験結果

プルオフ試験結果を図-資 3.3.6～図-資 3.3.10 に示す。

As(13)が凍結融解試験中に剥離したが、その他の補修材は試験終了後も基板への付着が確認された。PCM-b はプルオフ強度の平均が 0.14MPa と他の補修材と比較して値が小さく、破壊位置は補修材(B 上)が大半を占めた。PCM-b、RM-a、RM-b はプルオフ強度の平均が 0.8MPa 程度であり、破壊位置は基板(A)であった。角欠け用補修材の場合も、補修材によってプルオフ強度および破壊位置に違いが確認された。

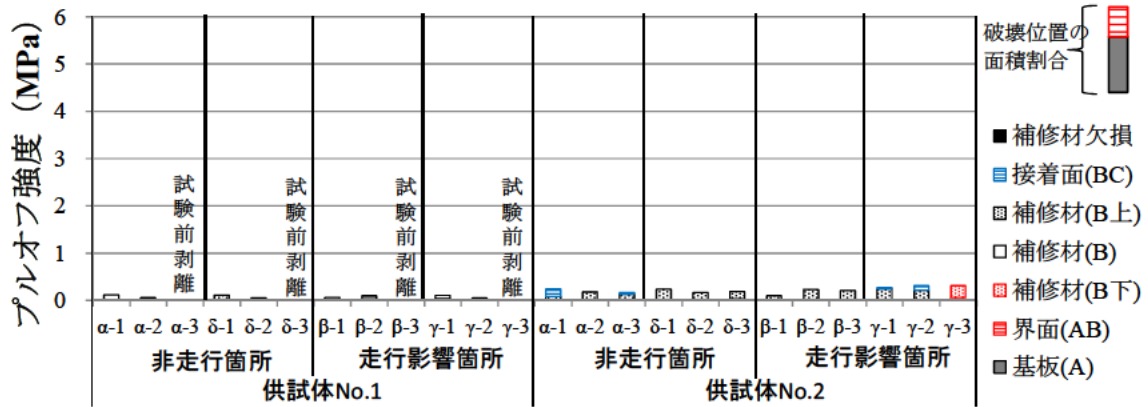


図-資 3.3.6 凍結融解試験+室内輪荷重試験後のプルオフ試験結果 (PCM-b (角欠け用))

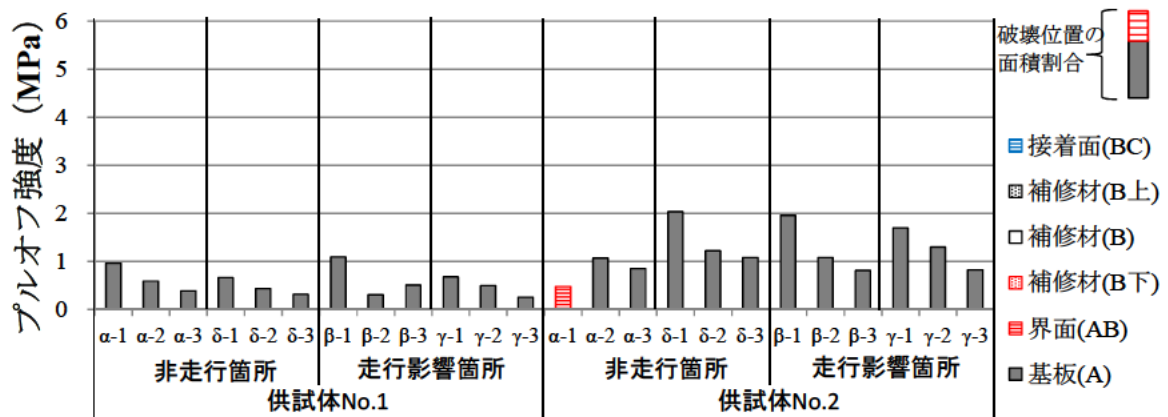


図-資 3.3.7 凍結融解試験+室内輪荷重試験後のプルオフ試験結果 (PCM-d (角欠け用))

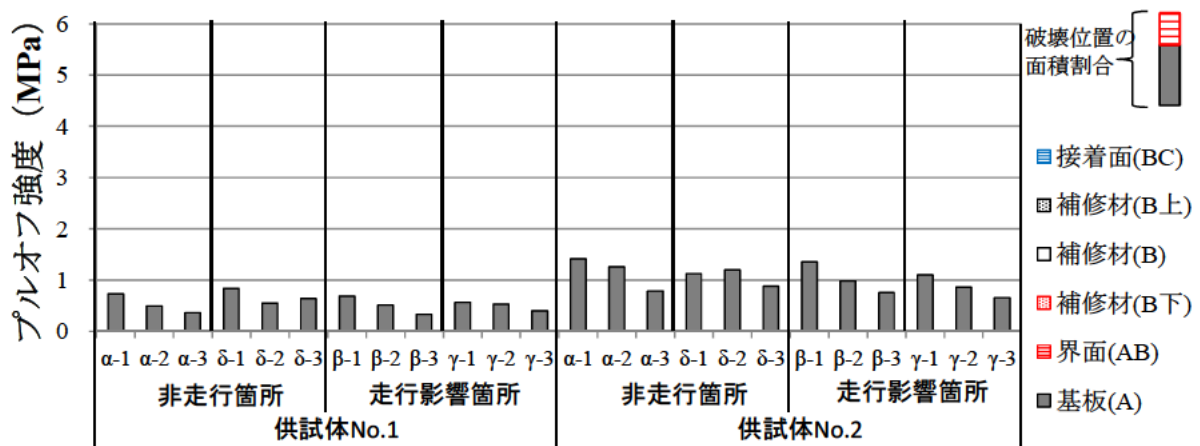


図-資 3.3.8 凍結融解試験+室内輪荷重試験後のプルオフ試験結果 (RM-a (角欠け用))

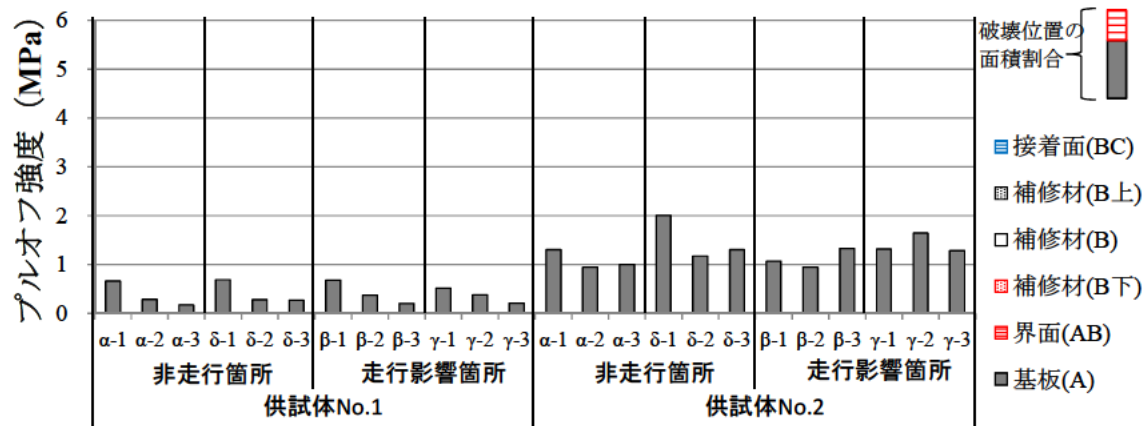


図-資 3.3.9 凍結融解試験+室内輪荷重試験後のプルオフ試験結果 (RM-b (角欠け用))

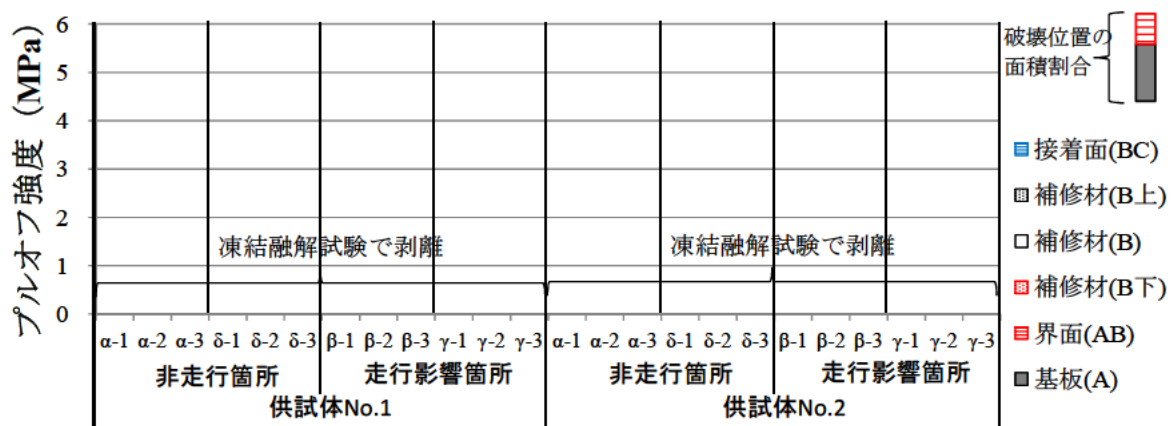


図-資 3.3.10 凍結融解試験+室内輪荷重試験後のプルオフ試験結果 (As (13) (角欠け用))

資 3.3.3 輪荷重の影響比較

擦付け用および角欠け用補修材のプルオフ強度を走行影響箇所と非走行箇所と比較した場合、同じ箇所でも多少のばらつきはあるものの、今回の試験においては両者に明確な差は見られなかった。

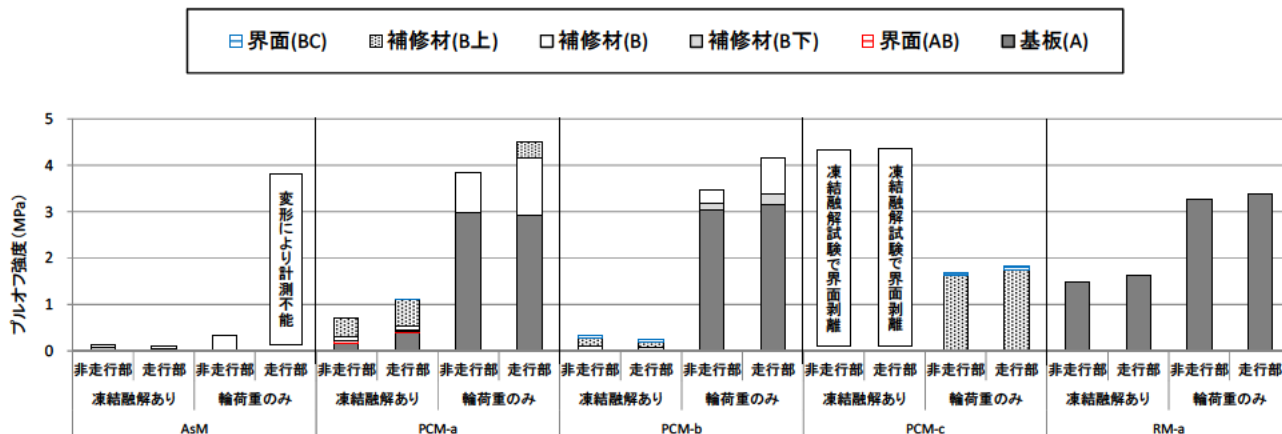


図-資 3.3.11 凍結融解+輪荷重と輪荷重のみの場合の、プルオフ強度の比較（擦付け用）

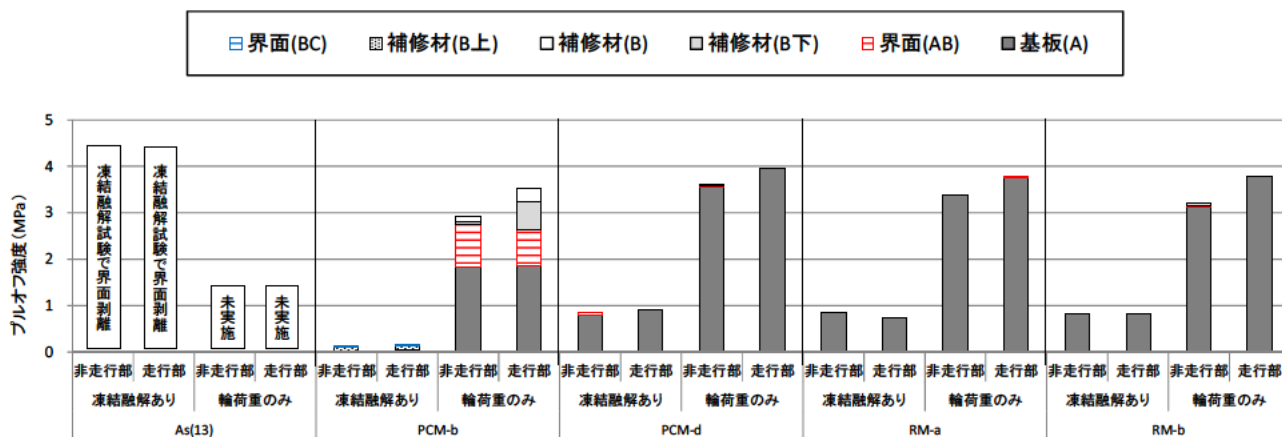


図-資 3.3.12 凍結融解+輪荷重と輪荷重のみの場合の、プルオフ強度の比較（角欠け用）

資 3.3.4 凍結融解の影響

凍結融解作用の影響を確認するために、5章の結果と比較した。試験結果を図-資 3.3.11 および図-資 3.3.12 に示す。

擦付け用の RM-a、角欠け用の PCM-d、RM-a、RM-b は、破壊位置が基板(A)と違いはないもののプルオフ強度に違いが見られた。これは、凍結融解作用により基板コンクリートのプルオフ強度が低下したためと考える。一方、擦付け用の PCM-a、PCM-b、角欠け用の RM-b においては凍結融解作用の有無による破壊位置にも違いが見られた。また、PCM-c については、輪荷重のみでは剥離が生じないが、凍結融解作用によって剥離が生じた。

凍結融解作用の有無によって、補修材の破壊位置が異なる場合があることが確認されたことから、寒冷地域を対象とする補修材には凍結融解後の評価が必要と考える。

資 3.3.5 補修材の評価

擦付け用の RM-a、角欠け用の PCM-d、RM-a、RM-b は基板(A)での破壊であり、凍結融解を受ける環境下

において補修材の付着性能に問題ないとする。また、PCM-a、PCM-b については、補修材(B 上)での破壊のため、一度に大きな塊となって剥がれることはなく、すり減りが顕著でなければ適用できると考える。一方、凍結融解のみで剥離したものや、補修材(B) または(B 下)で破壊した補修材は、塊となって飛散する可能性があり、凍結融解作用を受ける環境下に適さないと判断される。

なお、凍結融解ありの基盤コンクリートのプルオフ強度が大きく低下している傾向があり、今回は基板の凍結融解抵抗性が不足していた可能性が考えられる。凍結融解作用を受ける環境下で輪荷重に対する耐久性を評価する際は、補修材の付着強度を適切に評価するためには、供試体に用いる基板コンクリートの凍結融解抵抗性を十分に確保することが重要と考えられる。

資 3.4 まとめ

輪荷重試験と凍結融解試験を併用することにより、輪荷重試験のみの場合とは異なる位置で破壊が生じる場合があることが確認されたことから、凍結融解作用を受ける環境下に用いる補修材の評価に本手法は有用となると考えられる。

共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
No. 514 March 2019

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754

