

コンクリート舗装の点検・診断・措置
技術に関する共同研究報告書

～措置技術編（その4）～

2022年3月

(国研) 土木研究所
(学) 東京農業大学
(学) 北海道科学大学
(独) 石川工業高等専門学校
(一社) セメント協会
コニシ (株)

Copyright © (2022) 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点検・診断・措置 技術に関する共同研究報告書

～措置技術編（その4）～

(国研) 土木研究所
(学) 東京農業大学
(学) 北海道科学大学
(独) 石川工業高等専門学校
(一社) セメント協会
コニシ (株)

要 旨：

厳しい予算制約の下で、耐久性やライフサイクルコストの観点から、コンクリート舗装の活用が期待されており、平成28年に通知された舗装点検要領では、点検、診断、措置、記録から成る一連のメンテナンスサイクルを効率的に回していく重要性が示されている。これまでもコンクリート舗装の点検・診断及び措置に関する技術開発が行われてきたが、実道における広範調査への適用可能性や耐久性、交通開放までの所要時間等の点で課題を抱えている。

本共同研究では、コンクリート舗装の損傷メカニズムに基づく点検・診断技術及び措置技術に関する検討を行った。本報告書は共同研究の公募機関であるコニシ株式会社から提案のあった措置技術について、各種検討を実施したので、その結果について報告するものである。

キーワード：コンクリート舗装、点検、診断、措置、補修、舗装のメンテナンスサイクル

目 次

第1章	はじめに	1
1.1	背景・目的	1
1.2	共同研究体制	2
第2章	研究内容	3
2.1	対象とする損傷	3
2.2	既往の研究および今回提案する措置技術	3
2.2.1	既往の研究をふまえた提案技術	3
2.2.2	角欠け補修	4
2.2.3	段差補修	6
2.3	研究の手順	8
第3章	材料試験（室内試験等）	9
3.1	材料試験の試験項目・条件および適用材料	9
3.2	試験方法	10
3.2.1	プライマーおよび接着剤の材料試験方法	10
3.2.2	母体を用いた複合材料の試験方法	13
3.3	試験結果	19
3.3.1	プライマーの試験結果	19
3.3.2	接着剤の試験結果	21
3.3.3	母体を用いた複合材料の試験結果	24
3.4	材料試験のまとめ	27
第4章	試験施工および荷重車の走行による耐久性試験	28
4.1	試験施工の概要	28
4.2	試験施工および耐久性試験の方法	30
4.2.1	試験施工の流れ	30
4.2.2	補修面の粗さ・形状の測定	31
4.2.3	施工性の確認	31
4.2.4	施工した補修材料の曲げ強度および圧縮強度	31
4.2.5	耐久性および供用性の評価	31
4.3	試験施工および耐久性試験の結果	32
4.3.1	補修面の粗さ・形状の測定結果	32
4.3.2	施工性の確認結果	33
4.3.3	施工した補修材料の曲げ強度および圧縮強度	36
4.3.4	耐久性および供用性の評価結果	37
4.4	試験施工および耐久性試験のまとめ	43
第5章	本研究のまとめ	44

第1章 はじめに

1.1 背景・目的

厳しい予算制約の下で、舗装の長寿命化、ライフサイクルコストの低減が求められており、平成28年に国土交通省から通知された舗装点検要領では、効率的な修繕の実施を行うための点検、診断、措置、記録から成る一連のメンテナンスサイクルを効率的に回していく重要性が示されている。

現在、わが国ではアスファルト舗装が利用される割合が多いが、ライフサイクルコスト低減の観点から、近年、耐久性に優れたコンクリート舗装を適材適所で活用していく重要性が高まっている。コンクリート舗装は、直轄国道において約50年間大規模更新を行うことなく供用した事例があるなど、適切な維持管理を行うことによって、アスファルト舗装よりもライフサイクルコストを低減することができると考えられる。

適切な維持管理を行うためには、舗装のメンテナンスサイクルを効率的に回していく必要がある。これまでも、コンクリート舗装のマネジメントに関する技術開発が行われてきた。しかしながら、点検・診断分野では、実道における広範調査への適用可能性や構造上の弱部である目地部周辺の健全性評価等に関して課題がある。また、措置分野では、実道における耐久性や交通開放までの所要時間等に関して課題がある。これらの課題を克服することによって、ライフサイクルコスト低減の観点から、コンクリート舗装の活用が促進されるものと期待される。

そこで、本共同研究では、コンクリート舗装の損傷メカニズムに基づく点検・診断技術および措置技術に関する検討を行った。本報告書は共同研究の公募機関であるコニシ株式会社から提案のあった措置技術について、各種検討を実施したので、その結果について報告するものである。

1. 2 共同研究体制

本共同研究は、土木研究所、(学)東京農業大学、(学)北海道科学大学、(独)石川工業高等専門学校、(一社)セメント協会、コニシ(株)の体制で実施した。本共同研究の参加者を表-1.2.1に示す。

表-1.2.1 共同研究参加者

機関	氏名	所属・役職	参加期間
(国研)土木研究所	藪 雅行	道路技術研究グループ(舗装) 上席研究員	2020.4~2022.3
	寺田 剛	道路技術研究グループ(舗装) 総括主任研究員	2020.4~2021.3
	綾部 孝之	道路技術研究グループ(舗装) 研究員	2020.4~2022.3
	横澤 直人	道路技術研究グループ(舗装) 研究員	2021.10~2022.3
	枝廣 直樹	道路技術研究グループ(舗装) 交流研究員	2020.10~2022.3
	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	2020.4~2022.3
	伊藤 憲章	寒地保全技術研究グループ(寒地道路保全) 総括主任研究員	2020.4~2022.3
	星 卓見	寒地保全技術研究グループ(寒地道路保全) 主任研究員	2020.4~2022.3
	井谷 雅司	寒地保全技術研究グループ(寒地道路保全) 研究員	2020.4~2022.3
	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	2020.4~2022.3
	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	2020.4~2022.3
(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	2020.4~2022.3
(学)北海道科学大学	亀山 修一	工学部 都市環境学科 教授	2020.4~2022.3
(独)石川工業高等専門学校	西澤 辰男	環境都市工学科 教授	2020.4~2022.3
(一社)セメント協会研究所	吉本 徹	コンクリート研究グループ リーダー	2020.4~2022.3
	野田 悦郎	コンクリート研究グループ 特別研究員	2020.4~2022.3
	泉尾 英文	コンクリート研究グループ サブリーダー	2020.4~2022.3
	瀧波 勇人	コンクリート研究グループ 研究員	2020.4~2021.3
コニシ(株)	辻本 仁	浦和研究所 研究開発第四部第三グループ主任研究員	2020.4~2022.3
	秋本 政邦	浦和研究所 研究開発第四部第二グループ主任研究員	2020.4~2022.3
	工藤 高弘	浦和研究所 研究開発第四部第二グループ	2020.4~2022.3

参考文献

- 1) 日本道路協会：コンクリート舗装に関する技術資料，2009

第2章 研究内容

2.1 対象とする損傷

コンクリート舗装の破損は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時間で再補修が必要となる場合が多い。このため、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および補修方法が求められている。

そこで、本研究では目地部の角欠けおよび段差を対象とした。

2.2 既往の研究および今回提案する措置技術

2.2.1 既往の研究をふまえた提案技術

2016年から2019年に行われた「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（補修技術の改善）」において、角欠けや段差の補修を検討し、室内での材料試験ならびに土木研究所の舗装走行実験場での試験施工および大型荷重車の走行による載荷試験を実施した。その結果、荷重車の走行による載荷試験において、補修材の浮きおよびひび割れが発生するという課題が明らかとなった。

荷重車の走行後に実施した試験施工箇所の付着試験において、浮きが生じていた部分の破壊箇所は、既設コンクリート版と補修材の界面ではなく、既設コンクリート版の表層であることが確認された。

道路橋のコンクリート床版の断面修復において、手持ち式動力工具（ブレーカ等）を用いてはつり処理をした場合に、既設コンクリートに微細なひび割れ（マイクロクラック）が発生する。このひび割れを残したまま断面修復を行った場合、付着強度が低下して一体化が図られず、再劣化の原因となることが知られている。

そこで、本研究では、コンクリート舗装の補修箇所においても同様の現象が発生していると考え、微細ひび割れに浸透して含浸補強する効果を有する超低粘度の浸透性エポキシ樹脂系プライマーである「ボンドマイクロクラック補修用プライマー」を塗布した後で、コンクリートの打継ぎ用接着剤である「ボンドE2000」を塗布してから補修材料を施工することで、下地と補修材の一体化を図ることを検討した。

また、前回の共同研究の試験施工では、目地部分を再建しなかったため補修材料が隣接する既設コンクリート版と突き合わされた状態となっていたこと、また、断面形状についてもゼロ擦り付けが生じており構造上の弱点となっていたことから、目地部の再建および補修箇所の断面形状について着目し、改良した措置技術を提案する。

2. 2. 2 角欠け補修

表-2.2.1 に角欠け補修に使用する材料を示した。プライマーおよび接着剤には先述のエポキシ樹脂系の材料を、補修材にはポリマーセメントモルタル（以下、PCM-a）を選定した。

表-2.2.2 にプライマーおよび接着剤の外観および性状を示した。

表-2.2.1 角欠け補修に使用する材料

工程	名称	成分
プライマー	ボンド マイクロクラック補修用プライマー	2液型エポキシ樹脂系プライマー
接着剤	ボンド E2000	2液型エポキシ樹脂系接着剤
補修材	PCM-a	ポリマーセメントモルタル

表-2.2.2 本提案で使用するプライマーおよび接着剤の外観および性状

	ボンド マイクロクラック補修用プライマー		ボンド E2000	
	主剤	硬化剤	主剤	硬化剤
外観			 	 
	無色透明液体	淡黄色透明液体	黄色粘稠液体	青色液体
主成分	エポキシ樹脂	ポリアミン類	エポキシ樹脂	ポリアミン類
内容量	500 g	100 g	750 g	150 g
比重	1.1±0.1	1.0±0.1	1.4±0.1	1.0±0.1
配合比	主剤：硬化剤=5：1（質量比）		主剤：硬化剤=5：1（質量比）	

図-2.2.1 に角欠け補修の手順を示した。角欠けの補修の場合、①損傷の影響範囲の撤去、②補修断面の脆弱部や塵埃の除去、③プライマーおよび接着剤の塗布、④ポリマーセメントモルタル（PCM-a）の打設、⑤目地部の再建、という手順で補修を行う。

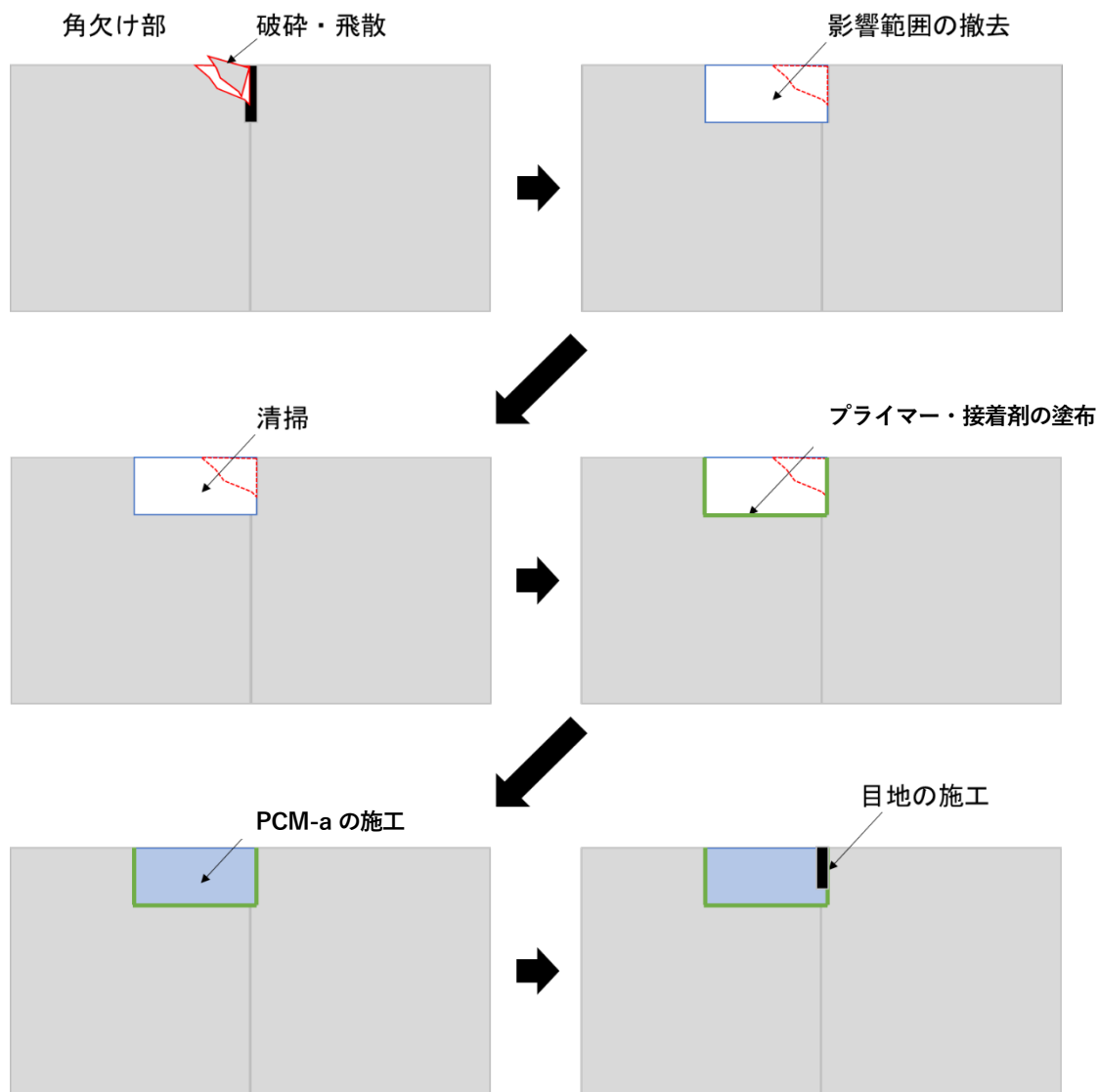


図-2.2.1 角欠け補修の手順

2. 2. 3 段差補修

表-2.2.3 に段差補修に用いる使用材料を、図-2.2.2 に段差補修の手順を示した。

薄層での施工が予想される段差補修の補修材には、角欠け補修に用いる補修材よりも弾性係数の小さい柔軟型のポリマーセメントモルタル（以下、PCM-b）を選定した。

表-2.2.3 段差補修に用いる使用材料

工程	品名	成分
プライマー	ボンド マイクロクラック補修用プライマー	2液型エポキシ樹脂系プライマー
接着剤	ボンド E2000	2液型エポキシ樹脂系接着剤
補修材	PCM-b	柔軟型ポリマーセメントモルタル

段差補修の場合、ゼロ擦り付けが生じないように補修範囲を計画し、①損傷の影響範囲の撤去、②補修断面の脆弱部や塵埃の除去、③プライマーおよび接着剤の塗布、④ポリマーセメントモルタル（PCM-b）の打設、⑤目地部の再建、という手順で補修を行う。

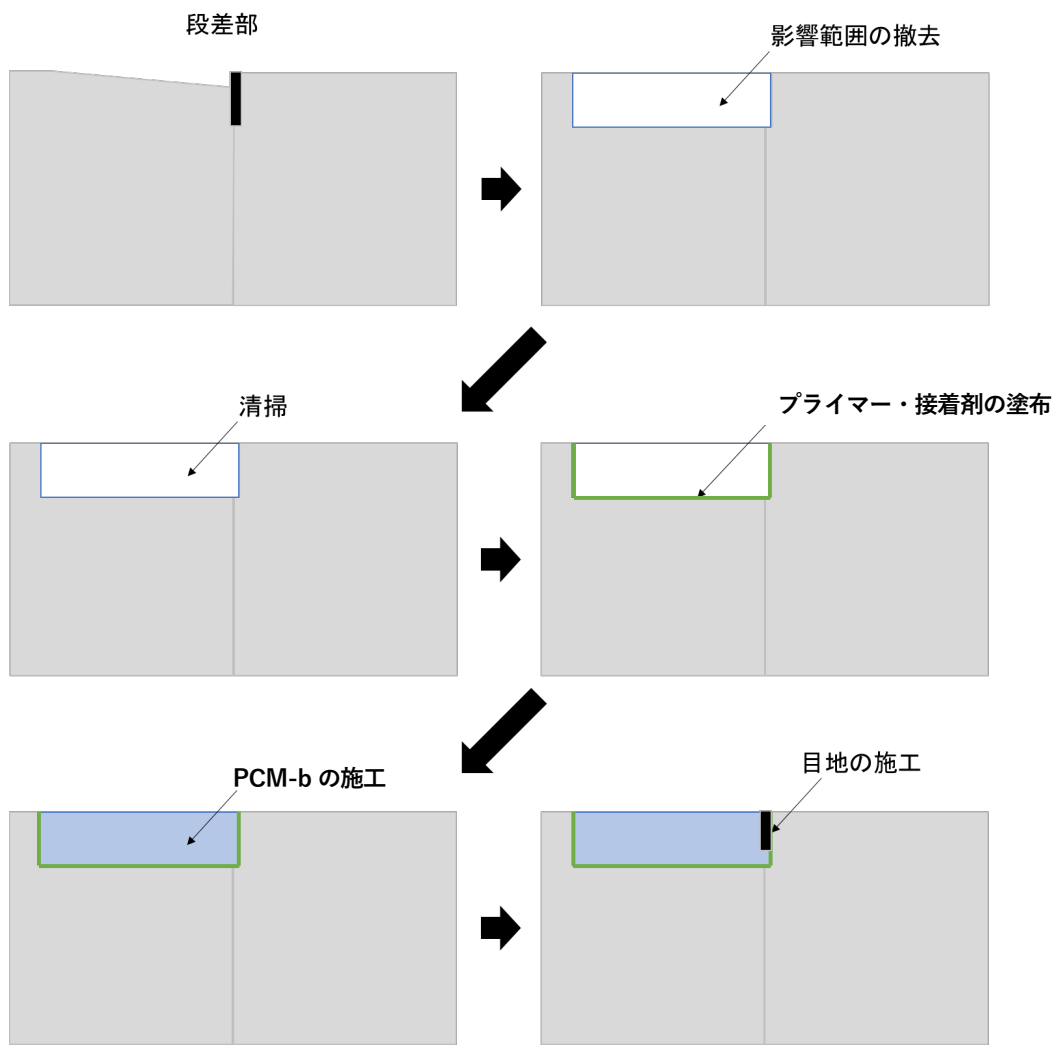


図-2.2.2 段差補修の手順

2. 3 研究の手順

本研究では、はじめに、補修に使用する材料の基本的な性質を把握することを目的とした室内材料試験を行い、プライマーおよび接着剤について、粘度、浸透性、可使時間、硬化時間といった施工性に関する項目や、圧縮強度、曲げ強度などの強度特性を確認した。また、母体に対して補修材を施工した複合材料としての性質を把握するため、はく離抵抗性および凍結融解抵抗性の評価を行った。これらの試験は、基本的には通常期の施工を想定して23°Cで試験を行ったが、一部の試験では、実環境での施工を想定し、冬期および夏期の使用を想定した5°Cおよび35°C雰囲気においても供試体作製や試験を実施した。

次に、土木研究所の舗装走行実験場に設置した模擬損傷に対して試験施工を実施して施工性や規制時間の確認を行った。その後、試験施工箇所に対して荷重車の走行による載荷試験を実施し、車両走行に伴う耐久性の確認を行った。

なお、本研究では補修材料の選定ならびに補修方法の検討について日本道路（株）に助言をいただいた。複合材料での評価や試験施工についても共同で行っており、試験結果も共通したものとなっている。

参考文献

- 1) (国研) 土木研究所他：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，共同研究報告書第514号，pp.107-116，2019.

第3章 材料試験（室内試験等）

3.1 材料試験の試験項目・条件および適用材料

表-3.1.1 に材料試験の試験項目および試験条件を示した。

プライマーに用いる「ボンド マイクロクラック補修用プライマー」は通年タイプの材料であるが、接着剤に用いる「ボンド E2000」は、使用時期に応じて W（冬用）、S（春秋用）、SS（盛夏用）の3タイプがあり、それぞれ使用推奨温度は 5～20℃、10～35℃、20～40℃である。室内試験の試験条件や適用する材料は、この使用温度域を考慮して表の通りとした。

表-3.1.1 材料試験の試験項目および条件

試験項目				試験条件 養生条件	プライ マー	接着剤		
						W	S	SS
材料試験 プライマー 接着剤	施工性	粘度	粘度試験	5℃	○	○	10℃	—
				23℃	○	○	○	○
				35℃	○	—	○	○
		浸透性	浸透性試験	5℃	○	○	10℃	—
				23℃	○	○	○	○
				35℃	○	—	○	○
	可使時間	発熱温度上昇法	5℃	○	○	10℃	—	
			23℃	○	○	○	○	
			35℃	○	—	○	○	
	硬化時間	RCI 法	5℃	○	○	10℃	—	
			23℃	○	○	○	○	
			35℃	○	—	○	○	
強度特性	圧縮強度	圧縮強度試験	23℃7d	○	○	○	○	
			圧縮弾性率	23℃7d	○	○	○	○
	曲げ強度	曲げ強度試験	23℃7d	○	○	○	○	
複合材料の評価① PCM-a	はく離抵抗性	標準	プルオフ試験 材齢 2h,7h,7d,28d	5℃	○	○	○	—
				20℃	○	○	○	○
				35℃	○	—	○	○
		環境作用	暴露試験+プルオフ試験	—	—	○	—	
		凍結融解作用	300 サイクル	—	—	○	—	
複合材料の評価② PCM-b	はく離抵抗性	標準	プルオフ試験 材齢 2h,7h,7d,28d	5℃	○	○	○	—
				20℃	○	○	○	○
				35℃	○	—	○	○
		環境作用	暴露試験+プルオフ試験	—	—	○	—	
				凍結融解作用	300 サイクル	—	—	○

3. 2 試験方法

3. 2. 1 プライマーおよび接着剤の材料試験方法

(1) 粘度試験

本提案で使用するプライマーおよび接着剤の施工性の評価のため、JIS K 6833-1 : 2008「接着剤——一般試験方法—第1部：基本特性の求め方」に基づいて粘度を測定した。

本提案でプライマーおよび接着剤として使用する「ボンド マイクロクラック補修用プライマー」および「ボンド E2000」はどちらも2液型のエポキシ樹脂系の材料であり、主剤と硬化剤を所定の配合比（どちらも質量比で主剤：硬化剤=5：1）で混合して使用する。

粘度試験は使用環境での作業性を評価することを目的として行うことから、通常期の施工を想定した23℃に加えて、冬期および夏期の使用を想定した5℃（春秋用は10℃）および35℃雰囲気において、主剤と硬化剤をそれぞれ測定する温度に静置して調温し、所定の配合比で混合した直後の粘度を測定した。

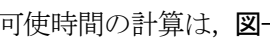
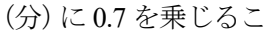
(2) 浸透性試験

本提案で使用するプライマーおよび接着剤の浸透性を、(公社)日本道路協会「舗装調査・試験法便覧」D012T「注入材の浸透性試験方法」に基づいて、スリット幅を7 mmとして試験を行った。試験は通常期の施工を想定した23℃に加えて、冬期および夏期の使用を想定した5℃（春秋用は10℃）および35℃雰囲気において実施した。

(3) 可使時間

本提案で使用するプライマーおよび接着剤はどちらも2液型のエポキシ樹脂系の材料である。主剤と硬化剤を所定の配合比で混合することで硬化反応が始まるが、この反応は発熱反応であり、一定以上反応が進行すると急激に温度が上昇する。この温度の上昇後は樹脂の粘度が上がって施工性が悪くなるだけでなく、接着性が悪化するため、適切な施工のためには可使時間以内に施工を完了させることが重要である。

そこで、JIS A 6024 : 2015「建築補修用および建築補強用エポキシ樹脂」5.31 可使時間に基づいて本提案で使用するプライマーおよび接着剤の可使時間の測定を行った。この測定方法は、エポキシ樹脂系接着剤の硬化反応が発熱を伴うことを利用しており、総量300 gの試験用試料を調製後、直ちに自動記録装置付き温度計のスイッチを入れ、熱電対を試料の中心部に挿入して発熱温度を計測し、その温度が最高温度に達した後に計測を終了する。

可使時間の計算は、-3.2.1のように試料の発熱温度が急激に立ち上がる場合は、立ち上がり点までの時間(分)に0.7を乗じることで算出する。-3.2.2のように試料の発熱温度が急激に立ち上がらない場合は、最高発熱温度到達時間(分)に0.5を乗じることで算出する。

試験は通常期の施工を想定した23℃に加えて、冬期および夏期の使用を想定した5℃（春秋用は10℃）および35℃雰囲気において実施した。

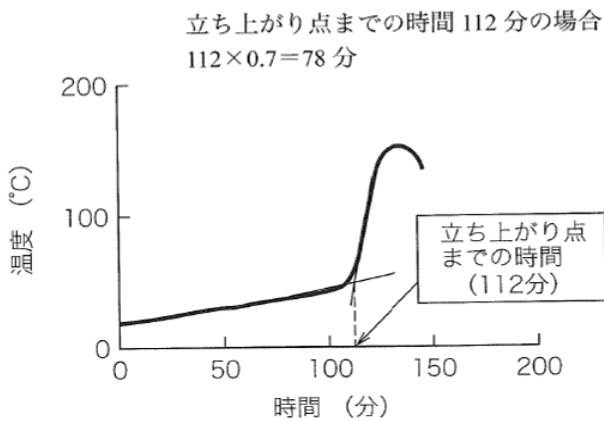


図-3.2.1 急激に立ち上がる場合¹⁾

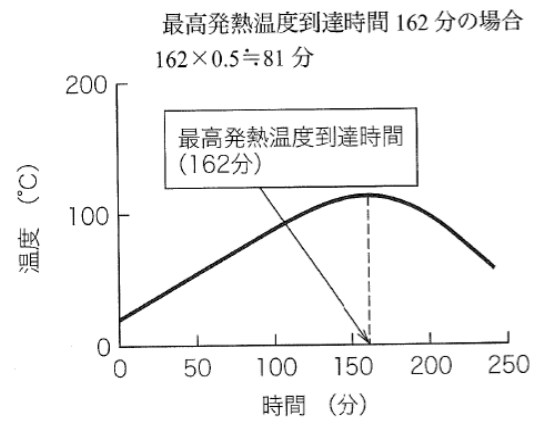


図-3.2.2 急激に立ち上がらない場合¹⁾

(4) 硬化時間

本提案で使用するプライマーおよび接着剤の硬化時間を，建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」試験方法 (3) 硬化時間に基づいて測定した。この試験方法はドラインレコーダーを用い，塗膜の厚みを 1 mm として測定を開始してから硬化が進み，針跡が残らなくなるまでの時間を硬化時間とする。図-3.2.3 にその判定例を示す。

試験は通常期の施工を想定した 23°C に加えて，冬期および夏期の使用を想定した 5°C (春秋用は 10°C) および 35°C 雰囲気において実施した。

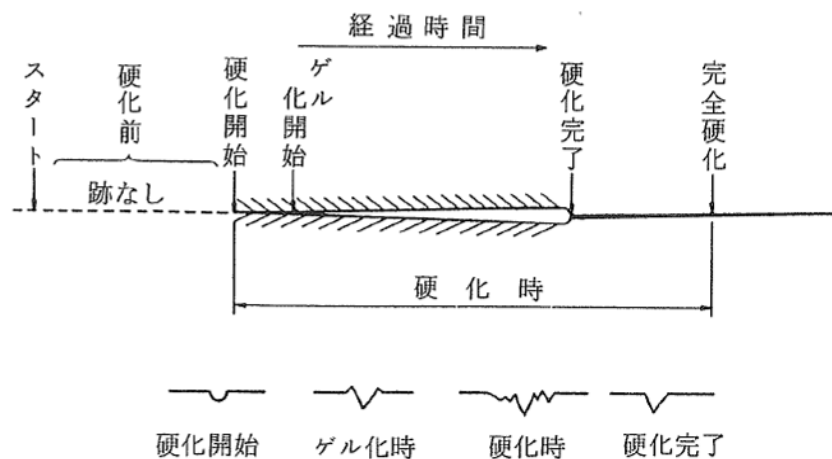


図-3.2.3 硬化時間の判定例²⁾

(5) 圧縮強度および圧縮弾性率

本提案で使用するプライマーおよび接着剤の圧縮強度および圧縮弾性率を，JIS K 7181 : 2011「プラスチック圧縮特性の求め方」に基づいて測定した。

プライマーおよび接着剤の調温，試験体の作製および養生，試験はいずれも 23°C で行い，養生期間は 7 日間とした。

(6) 曲げ強度

本提案で使用するプライマーおよび接着剤の曲げ強度を、JIS K 7171 : 2008「プラスチック—曲げ特性の求め方」に基づいて測定した。

プライマーおよび接着剤の調温、試験体の作製および養生、試験はいずれも 23℃で行い、養生期間は 7 日間とした。

3. 2. 2 母体を用いた複合材料の試験方法

(1) はく離抵抗性

1) 試験方法

本提案での施工仕様に基づいて作製した試験体について、はく離抵抗性に関する検討を行った。

補修箇所から補修材が容易にはく離すると、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、はく離抵抗性は補修材に求められる重要な性質の一つと考えられる。

補修材のはく離抵抗性を、JSCE-K 561-2013「コンクリート構造物用断面修復材の試験方法」の「5.8 付着強度」に基づいて評価した。この試験方法は表-3.2.1 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。



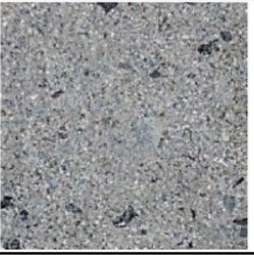
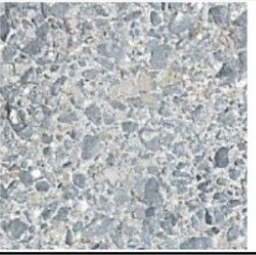
表-3.2.1 JSCE-K 561-2013 で規定する基板の条件

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 : 25 mm 以下 曲げ強度荷重 : 12 kN 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 : 12 kN 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

2) 基材の作製

本研究では、基板には JIS A 5371 : 2016 の附属書 B 推奨仕様 B-1 平板 B-1.2 に規定される普通平板 N を使用した。表面粗さの状態は、前回共同研究での検討結果³⁾を参考に、表-3.2.2 の「砂目」の状態とした。

表-3.2.2 補修材施工面の表面粗さの検討³⁾

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、表面をワイヤー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、ニードルスクレーラ(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

3) 補修材の施工

基板表面を清掃し、プライマー塗布、接着剤塗布を行い、補修材を打設して供試体を作製した。供試体の形状は図-3.2.4に示す通りである。また、写真-3.2.1から写真-3.2.4に試験体作製の様子を示した。

プライマーおよび接着剤の塗布量は、プライマーは塗布量 200 g/m²、接着剤は 800 g/m²とした。プライマーの標準塗布量は 500 g/m²であるが、標準塗布量は下地に凹凸があることを想定しており、平滑面に対しては凹凸のある面よりも少ない塗布量で十分であることをふまえて塗布量を決定した。

本提案で使用するプライマーは通年タイプの材料であるが、接着剤は、使用時期に応じて春秋用、冬用、盛夏用の3タイプがある。それぞれのタイプについて、本研究で補修材として使用した2種類のポリマーセメントモルタル(PCM-a および PCM-b) とのはく離抵抗性を確認した。

実際に使用される環境を考慮して、冬用は 5°C および 20°C、春秋用は 10°C、20°C および 35°C、盛夏用は 20°C および 35°C で試験体の作製および養生を行い、それぞれ所定の材齢でプルオフ試験を実施した。

補修材の施工厚さは、角欠け補修用、段差補修用を区別せず、どちらも 25 mm 厚とした。

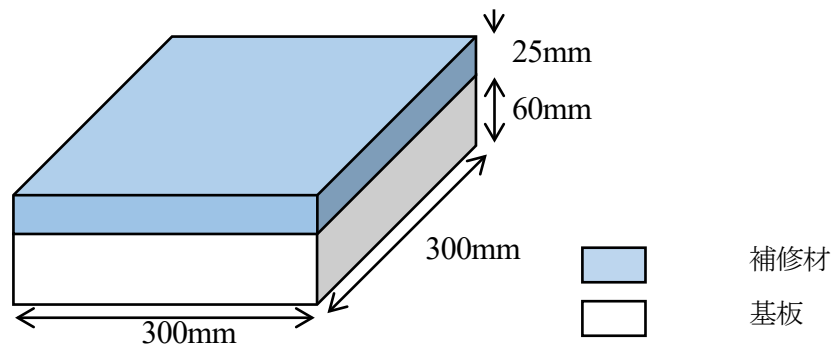


図-3.2.4 はく離抵抗性試験の供試体形状

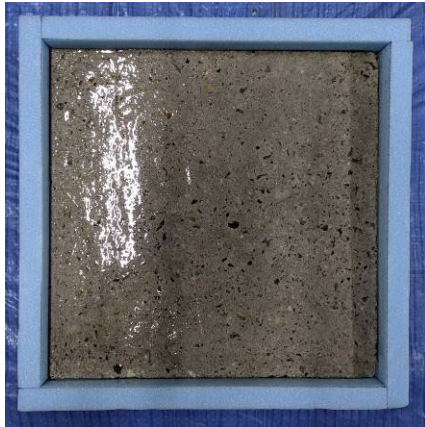


写真-3.2.1 プライマー塗布後

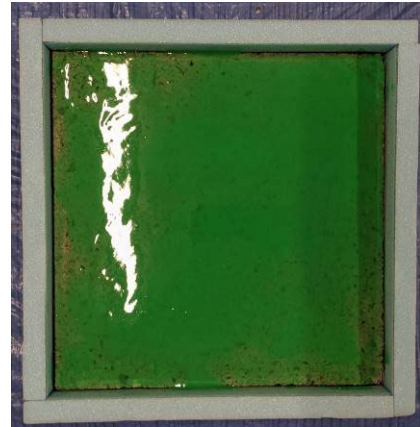


写真-3.2.2 接着剤塗布後



写真-3.2.3 PCM-a 打設後

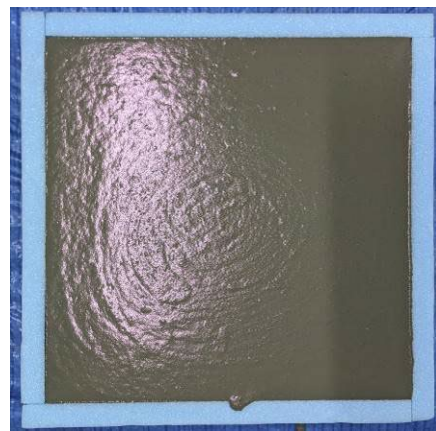


写真-3.2.4 PCM-b 打設後

4) 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、 40×40 mm 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。プルオフ試験の位置は図-3.2.5 に示す通りとした。

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 1 mm 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 10 mm 程度に達するまで治具の周囲に切り込みを入れ、プルオフ強度を測定した。

プルオフ試験は、補修材施工後の 2 時間後、7 時間後、7 日後、28 日後に行った。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 時間または材齢 7 時間から測定した。

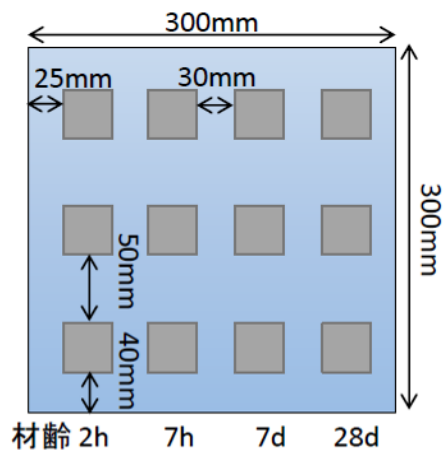


図-3.2.5 プルオフ試験の試験位置

5) はく離抵抗性の評価条件

補修材の標準的なはく離抵抗性は、20℃の室内で補修材の練り混ぜ、供試体の作製、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いため、本研究では気中養生とした。

また、冬期および夏期の施工および供用を想定したはく離抵抗性の評価も行った。補修材の練り混ぜ、供試体の作製、気中養生、プルオフ試験の温度はそれぞれ5℃および35℃とした。

(2) 凍結融解作用が剥離抵抗性に及ぼす影響

1) 概要

積雪寒冷地域では補修箇所は凍結融解作用を受ける。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。

2) 試験方法

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-3.2.6**のように補修材と基板を組み合わせて $100 \times 100 \times 400$ mm とした。基板には、寒冷地で使用されている凍結融解抵抗性に優れた配合の打設コンクリート（通用「C-7」配合）を使用した。

各補修材施工後の供試体は 20°C の室内で 28 日間気中養生を行った後、材齢 56 日まで 20°C 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。

凍結融解 300 サイクル後にプルオフ試験を行った。プルオフ試験の位置は**図-3.2.7**に示す 5 箇所とした。

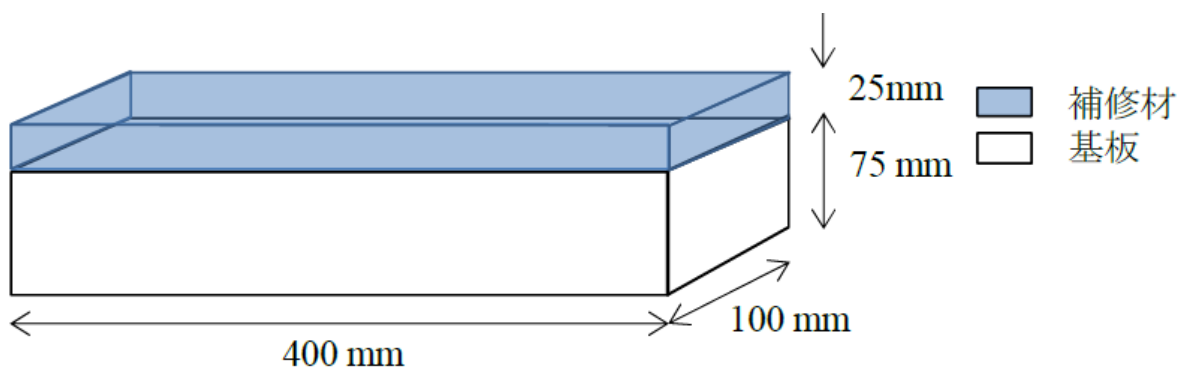


図-3.2.6 凍結融解抵抗性評価用供試体の形状

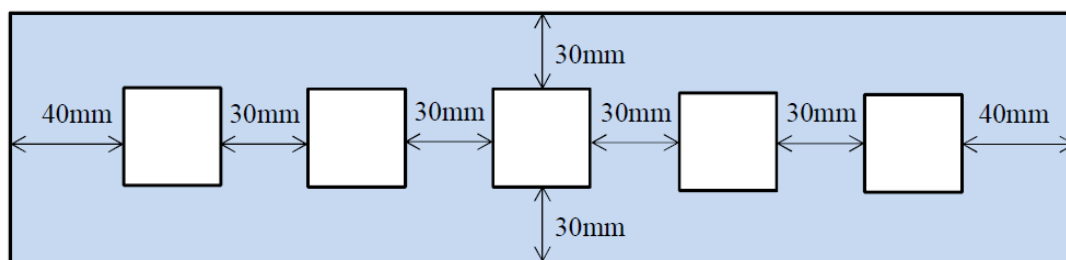


図-3.2.7 プルオフ試験の位置

3) 使用材料

母材に対して、プライマーを塗布量 200 g/m^2 、接着剤を塗布量 800 g/m^2 で塗布した。

接着剤は春秋用の「ボンド E2000S」を用いて試験体を作製した。補修材は、角欠け補修に用いる PCM-a、および段差補修に用いる PCM-b それぞれ試験体を作製し、試験を行った。

3.3 試験結果

3.3.1 プライマーの試験結果

(1) 粘度試験

図-3.3.1にボンド マイクロクラック補修用プライマーの粘度試験結果を示した。横軸は測定温度を、縦軸は混合粘度を示している。高温ほど粘度が低く、低温ほど粘度が高くなる傾向にあるが、5°Cでも150 mPa・sほどであり、使用温度の下限においても、NEXCOの「浸透性接着剤の性能照査項目(案)」における浸透性能の基準値「混合液の粘度が200 mPa・s以下であること」を満たしており、5°Cでも低粘度のプライマーとしての性質を保っていることが確認された。

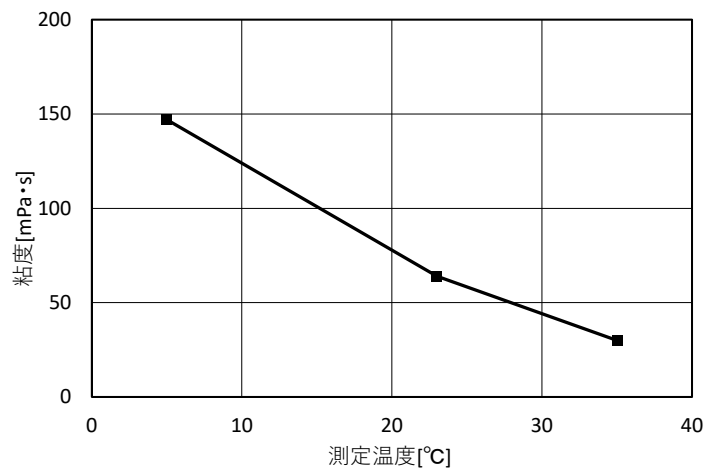


図-3.3.1 ボンド マイクロクラック補修用プライマーの粘度試験結果

(2) 浸透性試験

図-3.3.2にボンド マイクロクラック補修用プライマーの浸透性試験結果を示した。使用が想定される温度域において、十分な浸透性を示すことを確認した。

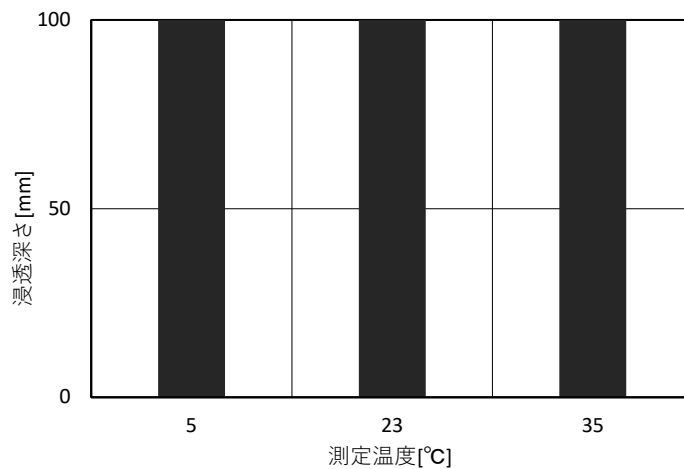


図-3.3.2 ボンド マイクロクラック補修用プライマーの浸透性試験結果

(3) 可使時間

図-3.3.3 にボンド マイクロクラック補修用プライマーの可使時間の測定結果を示した。可使時間は使用温度が高くなるほど短くなる傾向があること、および35℃では20分程度の可使時間を有することが確認された。

主剤、硬化剤ともに低粘度であり、混合および塗布にはほとんど時間を必要としないことから、夏場の施工においても十分な可使時間を有すると考えられるが、可使時間を超過したプライマーを使用することは施工不良につながるため、事前に混合している場合には塗布前にプライマーの温度を確認し、急激な発熱が始まっていた場合は使用を取り止める必要がある。

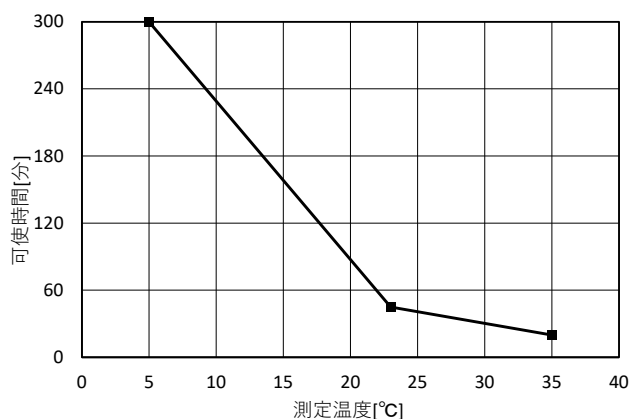


図-3.3.3 ボンド マイクロクラック補修用プライマーの可使時間の測定結果

(4) 硬化時間

図-3.3.4 にボンド マイクロクラック補修用プライマーの硬化時間試験結果を示した。硬化時間は使用温度が高いほど短く、低いほど長くなる傾向が確認された。

この試験結果はプライマー単体で1 mm厚で塗布されたときの硬化時間であり、実際の施工ではプライマーの上に施工される接着剤や補修材の硬化時の発熱によってプライマーの硬化が促進され、今回測定した硬化時間よりも短くなると想定される。しかしながら、低温では硬化が遅くなる傾向があり、硬化が完了していない状態で交通荷重がかかってしまうと、期待された接着性を発揮できず下地と補修材との一体性が失われる恐れがあるため、交通開放の判断は慎重になされる必要がある。

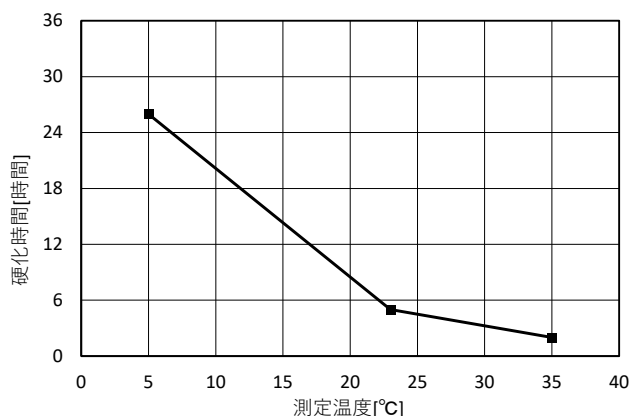


図-3.3.4 ボンド マイクロクラック補修用プライマーの硬化時間試験結果

(5) 圧縮強度、圧縮弾性率および曲げ強度試験結果

表-3.3.1 にボンド マイクロクラック補修用プライマーの圧縮強度および曲げ強度試験結果を示した。補修の対象となるコンクリートと比較して、十分に高い圧縮強度および曲げ強度を有することが確認された。

表-3.3.1 ボンド マイクロクラック補修用プライマーの圧縮強度および曲げ強度試験結果

試験項目	試験方法	試験・養生条件	単位	測定値
圧縮強度	JIS K 7181 : 2011	23℃・7日間	N/mm ²	69.9
圧縮弾性率	JIS K 7181 : 2011	23℃・7日間	N/mm ²	2.1×10 ³
曲げ強度	JIS K 7171 : 2008	23℃・7日間	N/mm ²	50.3

3.3.2 接着剤の試験結果

本項では、接着剤の材料試験の結果を示す。先述の通り、接着剤は使用時期に応じて春秋用、冬用、盛夏用の3タイプがある。タイプごとの比較をするために3タイプ併せて示した。

(1) 粘度試験

図-3.3.5 にボンド E2000 の粘度試験結果を示した。横軸は測定温度を、縦軸は混合粘度の測定値を示している。いずれのタイプにおいても、高温では粘度が低く、低温では粘度が高くなる傾向が確認された。粘度は高い方が塗り広げにくく、低い方が塗り広げやすくなるが、冬用（E2000W）は春秋用（E2000S）や盛夏用（E2000SS）と比べて低い粘度を示しており、低温での作業性に優れていることが確認された。

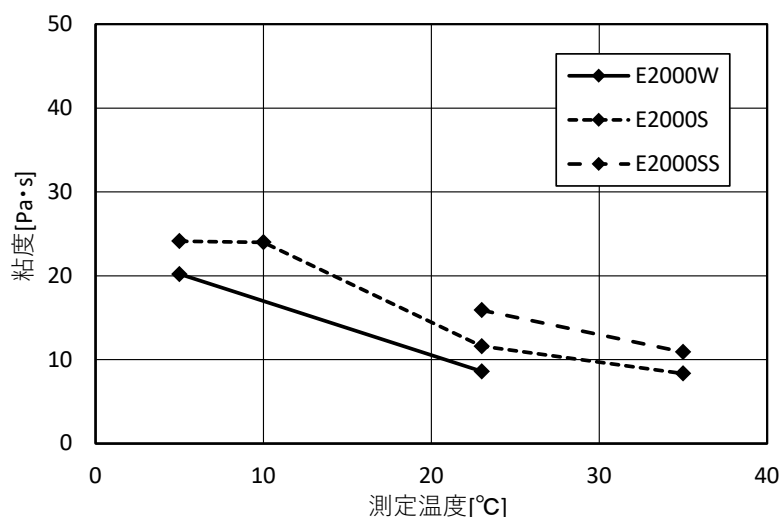


図-3.3.5 ボンド E2000 の粘度試験結果

(2) 浸透性試験

図-3.3.6 にボンド E2000 の浸透性試験結果を示した。冬用は 5℃および 23℃，春秋用は 10℃，23℃および 35℃，盛夏用は 23℃および 35℃で浸透性試験を実施した。いずれのタイプ，温度においても 100 mm 浸透しており，使用が想定される温度域において十分な浸透性を示すことを確認した。

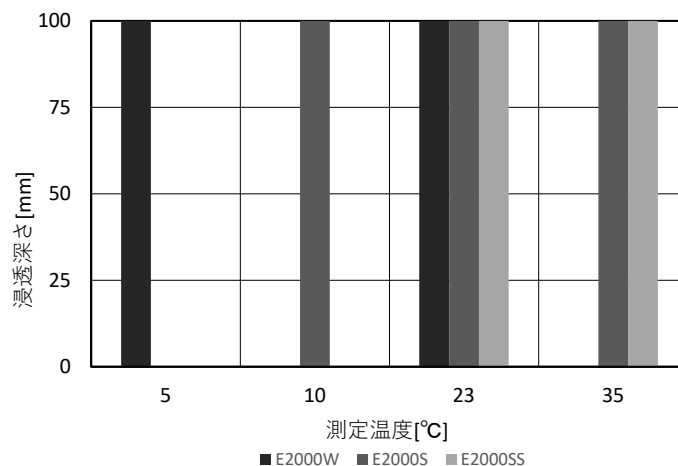


図-3.3.6 ボンド E2000 の浸透性試験結果

(3) 可使時間

図-3.3.7 にボンド E2000 の可使時間の測定結果を示した。冬用は 5℃および 23℃，春秋用は 10℃，23℃および 35℃，盛夏用は 23℃および 35℃で可使時間を測定した。いずれのタイプでも可使時間は温度が高いほど短くなる傾向にあること，同じ温度では冬用，春秋用，盛夏用の順に可使時間が長いことが確認された。

可使時間を超過した材料の使用は施工不良につながるため，特に使用温度域の上限付近で使用する際には材料の温度を確認し，急激な発熱が始まっていた場合は使用を取り止める必要がある。また，適切な施工のためには，使用環境温度に応じて適したタイプの接着剤を用いる必要がある。

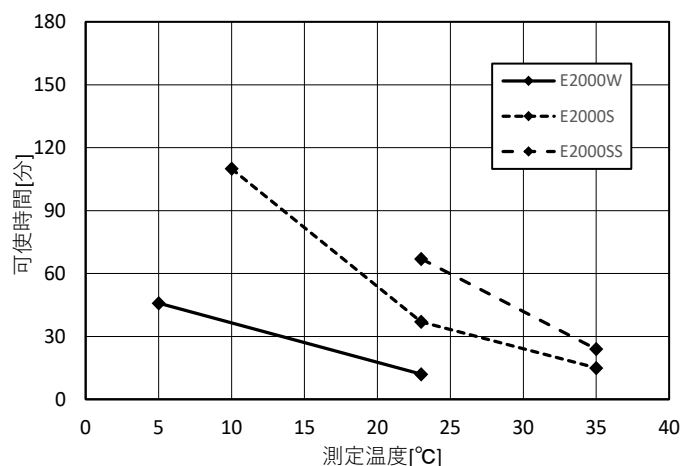


図-3.3.7 ボンド E2000 の可使時間の測定結果

(4) 硬化時間

図-3.3.8 にボンド E2000 の硬化時間の測定結果を示した。冬用は 5°C および 23°C，春秋用は 10°C，23°C および 35°C，盛夏用は 23°C および 35°C で硬化時間を測定した。いずれのタイプでも，使用温度が高いほど短く，低いほど長くなる傾向が確認された。

この試験結果は接着剤単体で 1 mm 厚で塗布されたときの硬化時間を示しており，実際の施工とは条件が異なるが，低温では硬化が遅くなる傾向があることが確認された。硬化が完了していない段階で規制が解除され交通荷重がかかってしまうと，期待された接着性を発揮できず下地と補修材との一体性が失われる恐れがあるため，特に使用温度域の下限で使用されるとき交通開放の判断は慎重になされる必要がある。

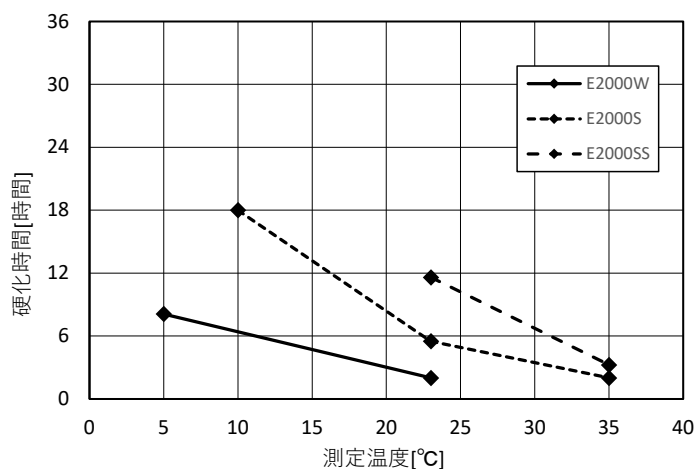


図-3.3.8 ボンド E2000 の硬化時間の測定結果

(5) 圧縮強度，圧縮弾性率および曲げ強度試験結果

表-3.3.2 にボンド E2000 の圧縮強度および曲げ強度試験結果を示した。ここまでの評価から，タイプごとに粘度や可使時間，硬化時間には違いが確認されたが，硬化物の物性については大きな違いがないことが確認された。

表-3.3.2 ボンド E2000 の圧縮強度および曲げ強度試験結果

試験項目	試験方法	試験・養生条件	単位	冬用	春秋用	盛夏用
圧縮強度	JIS K 7181 : 2011	23°C・7日間	N/mm ²	119	110	113
圧縮弾性率	JIS K 7181 : 2011	23°C・7日間	N/mm ²	4.6×10 ³	4.8×10 ³	4.5×10 ³
曲げ強度	JIS K 7171 : 2008	23°C・7日間	N/mm ²	70.4	72.1	65.9

3. 3. 3 母体を用いた複合材料の試験結果

(1) はく離抵抗性

図-3.3.9 から図-3.3.14 に接着剤のタイプ／補修材の種類ごとにプルオフ強度の推移を示した。

補修材の種類に着目すると、PCM-a は PCM-b と比較して高い接着強度を示した。これは、PCM-b の場合、材料自体の強度発現が小さいためであるが、PCM-b の破壊状態は、いずれも補修材の凝集破壊となっており、接着性に関しては問題ないと判断される。

PCM-a で強度の立ち上がりに注目すると、材齢 2 時間の時点で十分な強度が出ていた条件は春秋用の 35℃ で施工・養生したものだけであった。他の条件では破壊箇所はコンクリート基板と補修材との界面破壊であり、接着剤に未硬化の部分があることが確認され、2 時間以内に交通開放をすることは難しいと考えられる。

材齢 7 時間ではプルオフ強度は 1.0 N/mm² を超えて、破壊状態も補修材の凝集破壊となる条件が増えている。一方で、冬用の 5℃ や盛夏用の 20℃ など、推奨使用温度域の下限となる条件では、強度は 1.0 N/mm² を超えていたが、破壊箇所の状態を確認すると、補修材のコンクリート基板側であり、プライマーや接着剤と補修材とが混ざり、完全に硬化しておらず柔らかい部分が存在していた。

春秋用の 5℃ では 7 時間後の時点で冬用の 5℃ よりも高い接着強度が確認されたが、これは基板やプライマー、接着剤、補修材の施工は 20℃ で行ったため、相対的に硬化が進行しやすくなり、強度発現においては有利に働いたためと考えられる。

材齢 7 日、28 日では、いずれの条件でも十分な接着強度が出ており、破壊状態も補修材やコンクリート基板の破壊であったことから、本研究で使用した基板ならびに補修材料の接着性が良好であることが確認された。

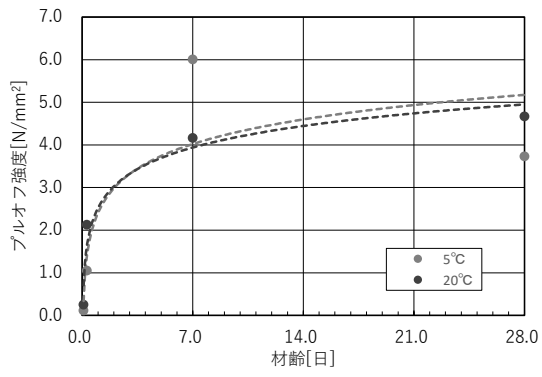


図-3.3.9 冬用/PCM-a のプルオフ強度の推移

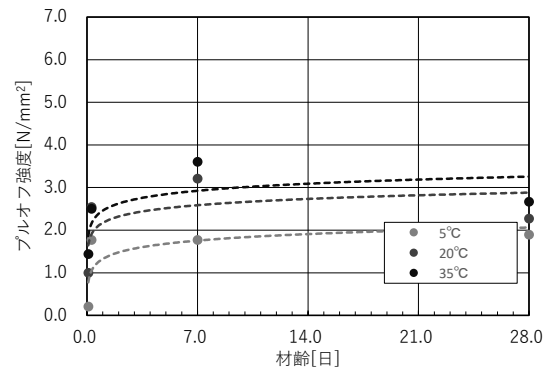


図-3.3.10 春秋用/PCM-a のプルオフ強度の推移

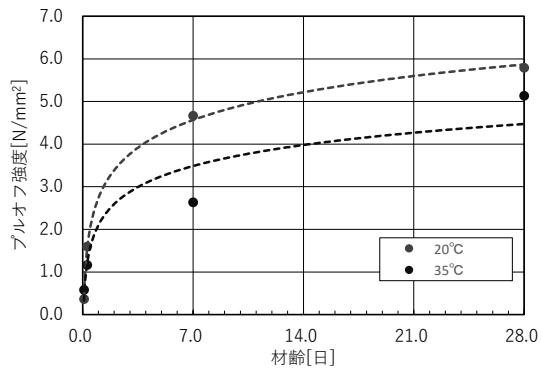


図-3.3.11 盛夏用/PCM-a のプルオフ強度の推移

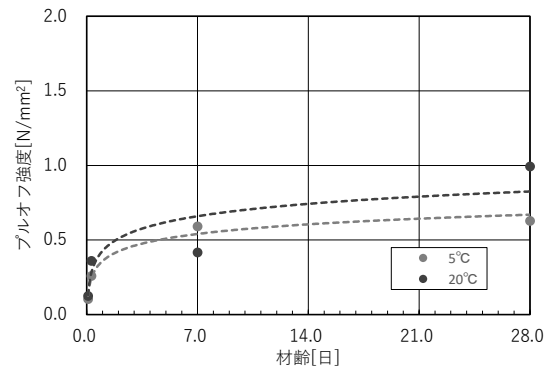


図-3.3.12 冬用/PCM-b のプルオフ強度の推移

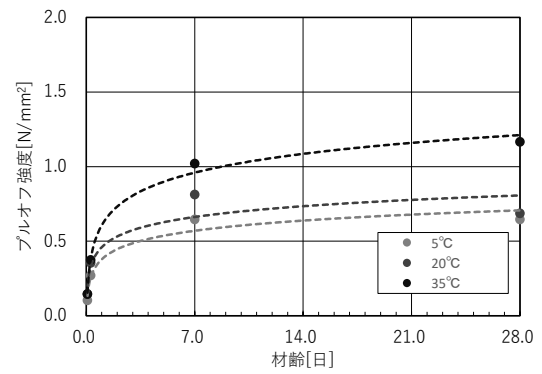


図-3.3.13 春秋用/PCM-b のプルオフ強度の推移

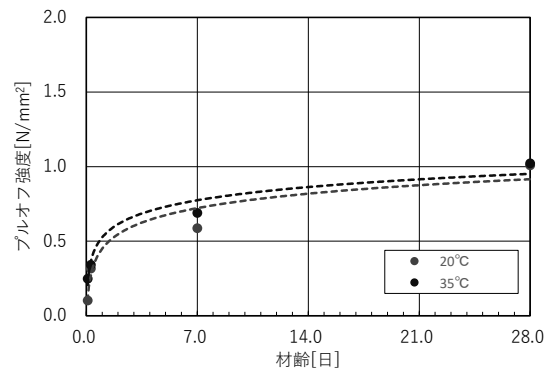


図-3.3.14 盛夏用/PCM-b のプルオフ強度

(2) 凍結融解作用が剥離抵抗性に及ぼす影響

コンクリート基板単体および基板に PCM-a あるいは PCM-b を施工した試験体について、凍結融解試験前後に測定したプルオフ強度を図-3.3.15 に示した。

寒冷地用のコンクリート舗装の配合で打設した供試体は 300 サイクルの凍結融解後のプルオフ強度の大きな低下は見られず、高い凍結融解抵抗性を有していることが分かった。

プライマーとして「マイクロクラック補修用プライマー」、接着剤として「E2000S」を使用して PCM-a を施工した仕様では、凍結融解による付着強度の低下は見られるものの、初期、300 サイクル後どちらも母材コンクリートと同等以上の付着性能が確認されており、高い凍結融解抵抗性を有していることが確認された。

プライマーとして「マイクロクラック補修用プライマー」、接着剤として「E2000S」を使用して PCM-b を施工した仕様では、プルオフ強度は母材単体に比べて落ちるが、凍結融解によるプルオフ強度の低下は見られなかった。

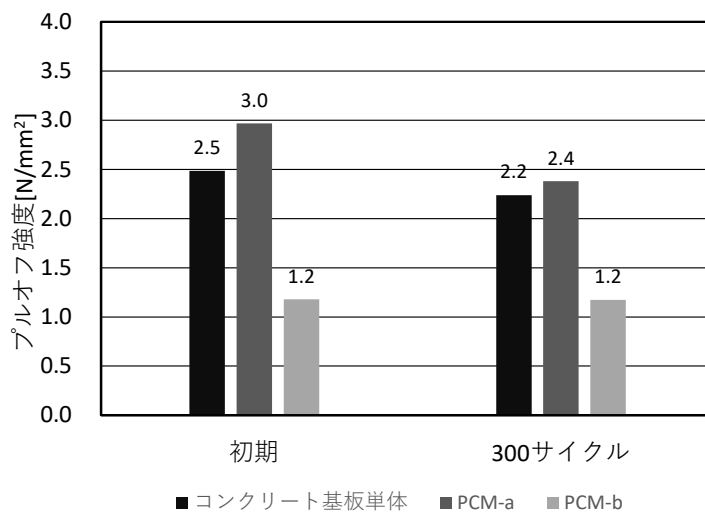


図-3.3.15 凍結融解試験前後のプルオフ強度の変化

3. 4 材料試験のまとめ

本研究で提案する角欠けおよび段差の補修方法に使用するプライマーおよび接着剤の基本的な性質を確認し、コンクリート基板に対して補修材と合わせて施工した際のプルオフ強度ならびに凍結融解抵抗性を確認した。

本提案で使用するプライマーおよび接着剤はどちらも2液型のエポキシ樹脂系の材料であり、使用する気温によって可使時間や硬化性が大きく変わる。施工不良を防ぐためにも、使用時期や気温の違いによる性質の違いを把握し、適切なタイプを使用することが重要である。

特に、使用温度域の上限近くでの材料の可使時間ならびに使用温度域の下限近くでの材料の硬化時間に注意する必要があると考える。

コンクリート基板に対してプライマーおよび接着剤を塗布して補修材を施工してプルオフ試験を行うと、PCM-aはプルオフ強度が大きかったが、柔軟型ポリマーセメントモルタルであるPCM-bは比較的小さな強度で破壊していた。しかし、破壊位置はいずれも補修材であり、補修箇所全体が大きな塊状に破損、飛散することは無かったことから、どちらの補修材も母材との接着性に問題はないと考える。

凍結融解に対する抵抗性の評価については、PCM-a、PCM-bのどちらも、高い凍結融解抵抗性を有していることが確認された。

参考文献

- 1) JIS A 6024 : 2015 「建築補修用および建築補強用エポキシ樹脂」
- 2) 建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」付属資料2. 補修材料規格試験方法(案) p.275, 1989.
- 3) (国研)土木研究所他: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, 共同研究報告書第514号, pp.134-141, 2019.

第4章 試験施工および荷重車の走行による耐久性試験

4.1 試験施工の概要

試験施工を実施した箇所を図-4.1.1に、それぞれの損傷に対する施工断面を図-4.1.2に、試験施工での評価項目を表-4.1.1に示した。

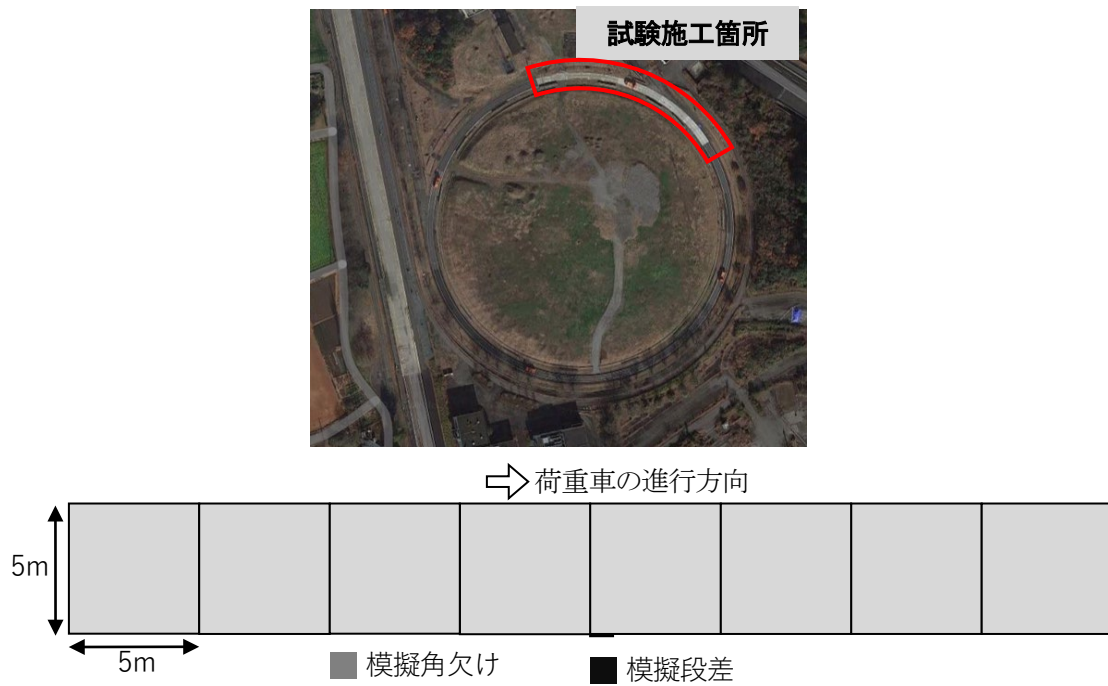


図-4.1.1 試験施工実施箇所

写真は国土地理院撮影の空中写真（2021年撮影）を加工して作成した

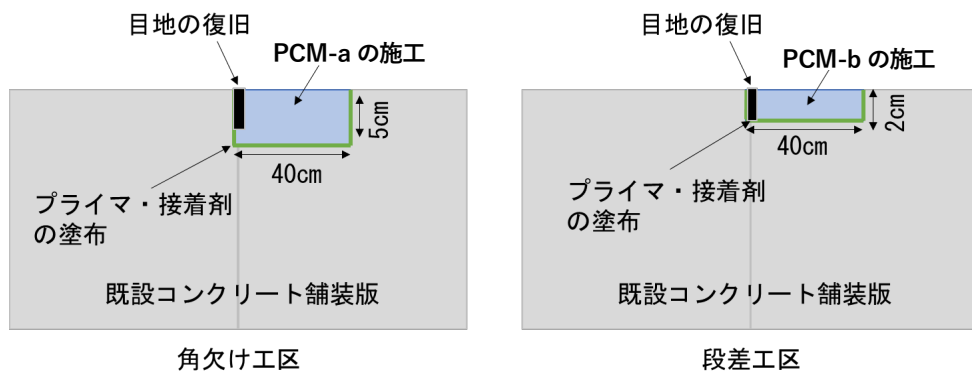


図-4.1.2 損傷に対する施工断面

表-4.1.1 試験施工での評価項目

段階	評価項目	評価方法	試験規格・試験方法
施工前 (補修面)	施工面粗さ・形状	きめ深さ	レーザープロファイラ
		面形状測定	レーザーสキャナ
施工時	施工性	目視	—
		施工時間記録	—
硬化性状	補修材強度	圧縮強度	JSCE-G-505
		曲げ強度	JIS R 5201
供用性	ひび割れ	目視	—
	浮き, はく離	打音	—
	耐摩耗性	横断形状	舗装調査・試験法便覧 S030
	すべり抵抗性	すべり抵抗値 (BPN)	舗装調査・試験法便覧 S021-2
		動的摩擦係数	舗装調査・試験法便覧 S021-3
		きめ深さ	舗装調査・試験法便覧 S022-3T

4.2 試験施工および耐久性試験の方法

4.2.1 試験施工の流れ

試験施工では、実際の現場を想定して各措置技術の施工フローや所要時間などを確認した。

補修材として、角欠け補修ではPCM-aを、段差補修ではPCM-bを使用しているが、補修材の種類にかかわらず施工方法は同様である。図-4.2.1に角欠け補修および段差補修の施工フローを示した。



図-4.2.1 角欠け補修および段差補修の施工フロー

4. 2. 2 補修面の粗さ・形状の測定

補修面の粗さや形状は補修材料との接着力に影響を及ぼすことが考えられるため、レーザープロファイラ（CTメータ）およびレーザースキャナを用いて表面粗さと形状の測定を実施した。

4. 2. 3 施工性の確認

各工区における補修材の施工性を目視にて確認した。また、現場では一般交通等への影響を最小限に補修を行う必要があることから、試験施工において各工程の施工時間を記録した。

4. 2. 4 施工した補修材料の曲げ強度および圧縮強度

試験施工時に作製した供試体を用いて、補修材の曲げ強度および圧縮強度試験を実施した。

4. 2. 5 耐久性および供用性の評価

コンクリート舗装の長期供用性を確保するために補修材に求められる重要な要求性能は、ひび割れなど再破損を生じない耐久性を有することである。本試験施工では、大型荷重車による走行を49kN換算で35万輪まで実施することで補修材に負荷を与えて耐久性を評価し、大型荷重車49kN換算5万輪走行ごとに、以下の調査を実施することで供用性の評価を行った。

(1) ひび割れ

目視によるひび割れの発生の有無を調査した。

(2) 浮き

打音による浮きの有無を調査した。

(3) 耐摩耗性

舗装調査・試験法便覧 S030「舗装路面のわだち掘れ量測定方法」に基づいて、横断プロファイルメータによるわだち掘れ量を測定し、その変化を観察することで補修材の耐摩耗性を評価した。

(4) すべり抵抗性

補修箇所ですべり抵抗性を評価するために、舗装調査・試験法便覧 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」に基づいて、すべり抵抗値（BPN）の測定、および、舗装調査・試験法便覧 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」に基づいて、動的摩擦係数の測定、ならびに、舗装調査・試験法便覧 S022-3T「回転式きめ深さ測定装置を用いた舗装路面のきめ深さ測定方法」に基づいて、きめ深さの測定を行った。

4.3 試験施工および耐久性試験の結果

4.3.1 補修面の粗さ・形状の測定結果

補修面の粗さおよび形状の測定結果を表-4.3.1ならびに図-4.3.1および図-4.3.2に示す。表面のきめ深さおよび形状測定の結果、角欠けを模擬した工区では4.7 mm程度のテクスチャが形成されており、表面の凹凸が大きいことがわかった。また、写真-4.3.1に示すように粗骨材の周辺構造が疎（豆板状態）であることが確認された。段差を模擬した工区では1.2 mm程度のテクスチャが形成されており、比較的平滑な補修断面であった。

表-4.3.1 補修面の粗さ測定結果

損傷	補修材種類	MPD (mm)
角欠け	PCM-a	4.65
段差	PCM-b	1.22

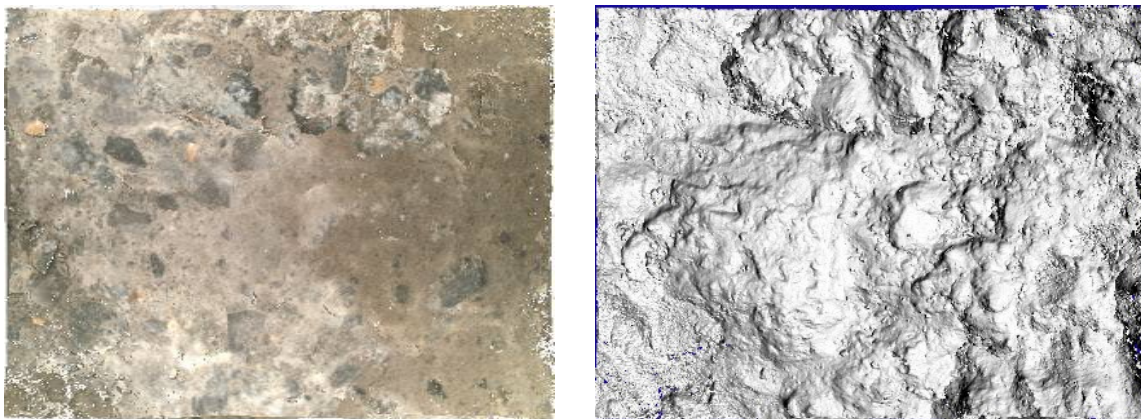


図-4.3.1 PCM-aの補修面の形状（角欠け補修）

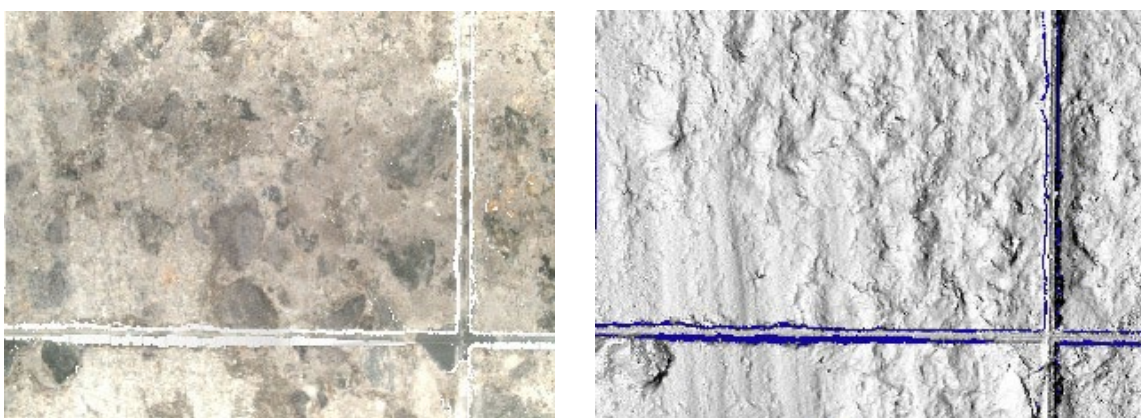


図-4.3.2 PCM-bの補修面の形状（段差補修）



写真-4.3.1 目視で確認された補修面の空隙部

4.3.2 施工性の確認結果

施工時間に係わる記録を表-4.3.2 から表-4.3.4 に示す。それぞれの施工性の評価結果を表-4.3.5 に、施工時の状況を写真-4.3.2 から写真-4.3.7 に示す。

PCM-a を用いた角欠けの補修にかかる作業時間は一箇所当たり約 2 時間であった。補修材や接着剤の強度発現を加味すると、6 時間から 8 時間程度の交通規制時間を要すると見込まれる。

PCM-b を用いた段差の補修にかかる作業時間は、一箇所当たり約 1.5 時間から 2.5 時間であった。補修材や接着剤の強度発現を加味すると、7 時間程度の交通規制時間を要すると見込まれる。

PCM-a の施工性は、試験施工時の気象条件（夏期昼間）ではコンシステンシーが大きくなって適切な補修作業が難しくなるケースがあるため、直射日光を避けた材料保管や凝結遅延剤を用いた可使時間の調整などに配慮する必要がある。

PCM-b は、試験施工時の気象条件（夏期昼間）でも適切な流動性があり、施工に際して特別な配慮などは不要であった。

表-4.3.2 各使用材料の所要時間

材料種類	混合・練り混ぜ時間	次工程に移行するまでの所要時間
プライマー	30 秒	直後に接着剤塗布
接着剤	30 秒	直後に補修材打設
PCM-a	90~120 秒	目地切削まで 2~6 時間養生
PCM-b	90~120 秒	目地切削まで 2~6 時間養生

表-4.3.3 角欠け補修の工程ごとの所要時間

工程	開始時刻	～	終了時刻	所要時間 (分)
撤去部縁切り	8 : 15	～	8 : 30	15
撤去部はつり	8 : 30	～	9 : 10	40
補修面調査	9 : 10	～	9 : 30	20
プライマー塗布	9 : 55	～	降雨のため中断	—
接着剤塗布	11 : 15	～	11 : 25	10
補修材打設	11 : 20	～	11 : 35	15
目地切削・注入	15 : 40	～	16 : 00	20
所要時間合計				2 時間
接着剤養生時間 6 時間を加味した所要時間				8 時間

表-4.3.4 段差補修の工程ごとの所要時間

工程	開始時刻	～	終了時刻	所要時間 (分)
撤去部縁切り	8 : 30	～	8 : 45	15
撤去部はつり	9 : 15	～	9 : 30	15
補修面調査	9 : 30	～	9 : 45	15
プライマー塗布	12 : 30	～	12 : 35	5
接着剤塗布	12 : 35	～	12 : 45	10
補修材打設	12 : 50	～	13 : 00	10
目地切削・注入	16 : 05	～	16 : 25	20
所要時間合計				1 時間 30 分
接着剤養生時間 6 時間を加味した所要時間				7 時間 30 分

表-4.3.5 角欠け補修および段差補修の施工性評価

損傷	補修材種類	目視評価
角欠け	PCM-a	練り混ぜ 90 秒の打設初期のバッチでコンシステンシーが大きく、流動性の確保が困難であった
段差	PCM-b	問題なく施工ができた



写真-4.3.2 プライマー塗布状況



写真-4.3.3 接着剤塗布状況



写真-4.3.4 PCM-aの練り混ぜ状況



写真-4.3.5 PCM-bの練り混ぜ状況



写真-4.3.6 目地切削状況



写真-4.3.7 目地材注入状況

4. 3. 3 施工した補修材料の曲げ強度および圧縮強度

試験施工時に作製した供試体を用いて実施した曲げ強度および圧縮強度試験の結果を図-4. 3. 3 および図-4. 3. 4 に示す。

PCM-a の材齢 7 日における曲げ強度および圧縮強度は交通開放強度に達しているが, PCM-b は曲げ強度と圧縮強度ともに小さい値を示した。この材料の特徴は室内試験の結果と一致するが, 現場で作製した供試体を用いて確認した曲げ強度および圧縮強度は, それぞれ室内試験の結果よりも小さい値を示した。

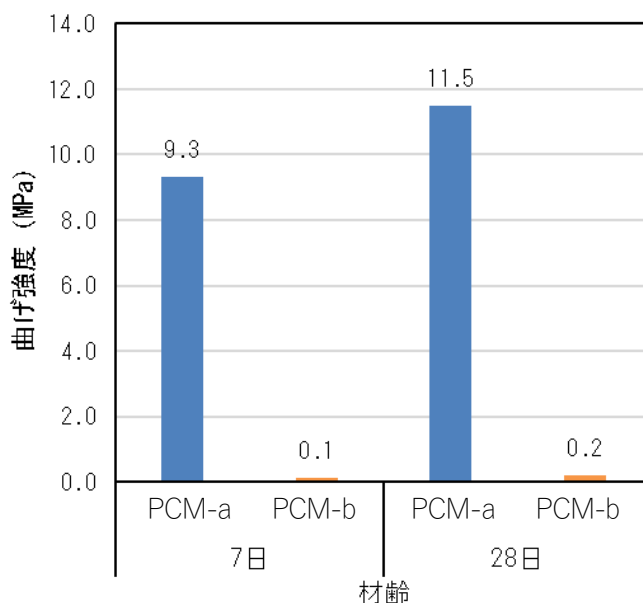


図-4. 3. 3 PCM-a と PCM-b の曲げ強度試験結果

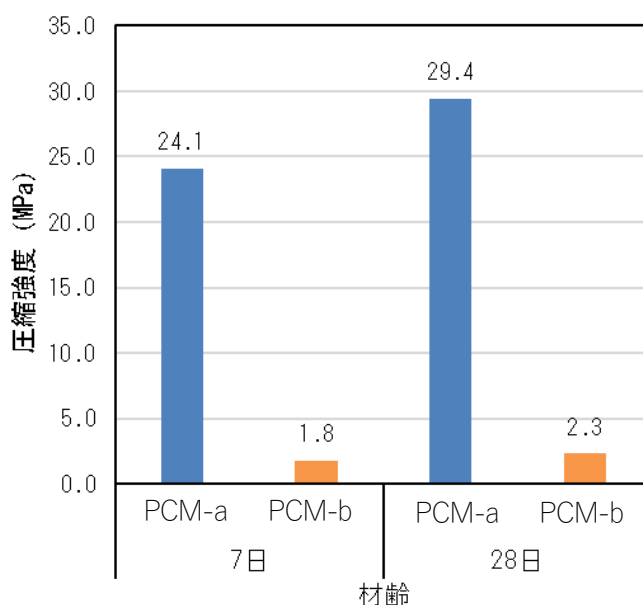


図-4. 3. 4 PCM-a と PCM-b の圧縮強度試験結果

4. 3. 4 耐久性および供用性の評価結果















(1) ひび割れ

表-4.3.6 に大型荷重車 49kN 換算 5 万輪走行ごとに実施した目視観察の結果を示す。

角欠け補修を行った箇所では、施工時の PCM-a のコンシステンシー増加による影響で、仕上がりに凹凸や材料の締固め不足、コールドジョイントのようなものがあり、浮きや微細なひび割れ等の発生が認められた。そこで、応急的な措置として常温で硬化する 1 液湿気硬化型のエポキシ樹脂系含浸補強材を塗布して再補修を行った。その結果、20 万輪走行後まで顕著な変化は確認されなかったが、25 万輪走行後の調査では浮きおよびひび割れの拡大ならびに補修材の一部での表面部分のはく離および消失などが確認された。ただし、過去の共同研究¹⁾で課題となった端部や補修面からのはく離などはなく、補修面に施したプライマーや接着剤の効果が示されたと考える。

本研究ではエポキシ樹脂系のプライマーおよび接着剤を用いた仕様を提案しているが、ゴム系接着剤を用いて同じ PCM-a を施工した工区や、段差補修を行った工区では補修材は健全な状態で保たれており、過去の共同研究¹⁾に比べて補修材の耐久性向上が示された。これは、接着剤に関する対策のみならず、補修断面の工夫（ゼロ擦り付けをしない）や目地の復旧による止水効果の確保など、本研究で実施した複数の耐久性向上に関する対策による複合的な効果の可能性が高いと考えられる。

表-4.3.6 外観の目視観察の結果

49kN 換算輪数	PCM-a	PCM-b
初期		
5 万輪		
10 万輪		
15 万輪		
25 万輪		
30 万輪		
35 万輪		

(2) 浮き

ひび割れ調査時に打音による浮きの調査を実施した。

角欠け補修を行った工区では大型荷重車による促進載荷試験前の初期の調査において、補修材表面のはく離に起因すると思われる打音が確認された。この浮きは、浸透型クラック補修材による再補修後にも確認された。その他の工区では促進載荷試験後についてもはく離や浮きによる打音結果は確認されなかった。

(3) 耐摩耗性

図-4.3.5 および図-4.3.6 に、大型荷重車 49kN 換算 35 万輪走行後に測定した角欠け補修工区および段差補修工区それぞれの横断形状を示した。この横断形状からわだち掘れ量を求め、その変化を観察することで補修材の耐摩耗性を評価した。図-4.3.7 に 5 万輪走行ごとに測定した各工区のわだち掘れ量の推移を示した。先述した通り、PCM-a を施工した工区では初期から浮きやひび割れの発生が認められており、25 万輪走行後の調査では補修材の欠損が認められた。PCM-a 自体の耐摩耗性を示すため、ゴム系接着剤を用いて同じ PCM-a を施工した工区のデータも掲載する。

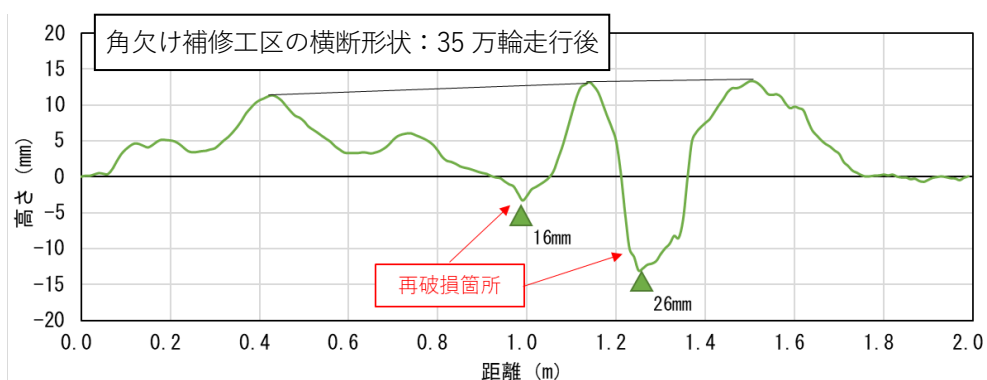


図-4.3.5 角欠け補修工区の横断形状

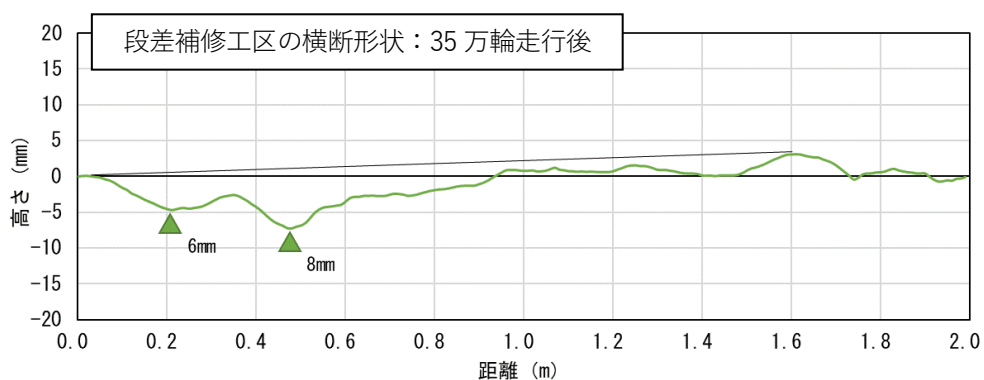


図-4.3.6 段差補修工区の横断形状

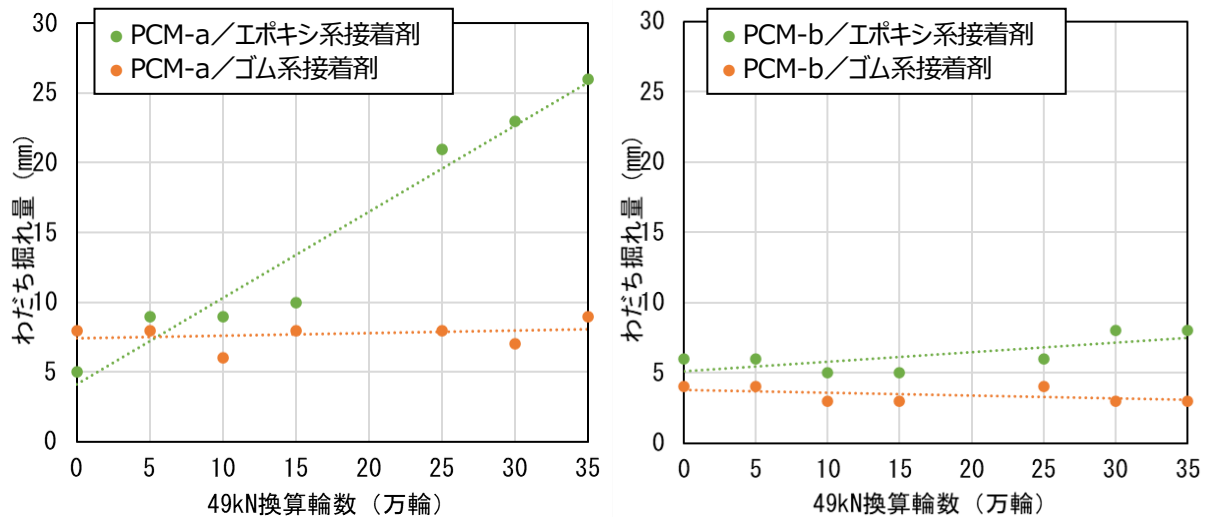


図-4.3.7 各工区のわだち掘れ量の推移 (左：PCM-a, 右：PCM-b)

横断形状測定によるわだち掘れ量の評価の結果、PCM-a/エポキシ系接着剤の工区以外では初期値から大きな変化は確認されず、路面観察の結果からも目立った摩耗わだち掘れや変形によるわだち掘れは確認されなかった。PCM-a/エポキシ系接着剤工区では、補修材に生じたひび割れの進展によるわだち掘れ量の増加が確認された。

(4) すべり抵抗性

図-4.3.8 から図-4.3.13 に、大型荷重車 49kN 換算 5 万輪走行ごとに実施した BPN、動摩擦係数、きめ深さの測定結果を PCM-a、PCM-b それぞれについて示した。

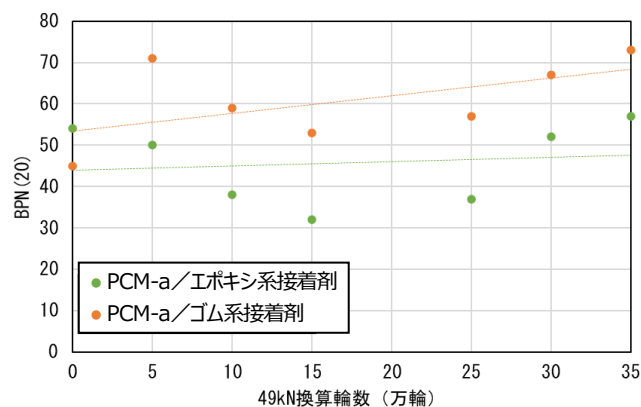


図-4.3.8 PCM-a の BPN 測定結果の推移

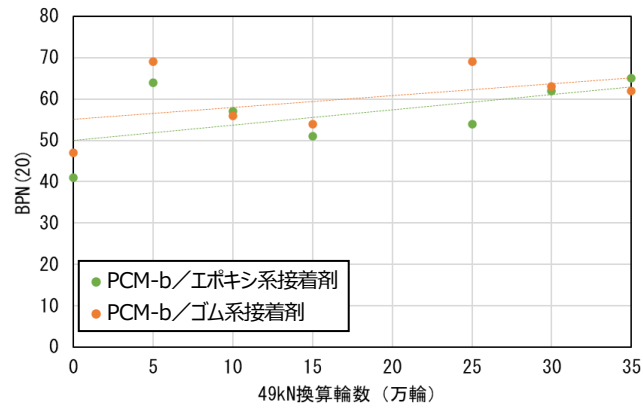


図-4.3.9 PCM-b の BPN 測定結果の推移

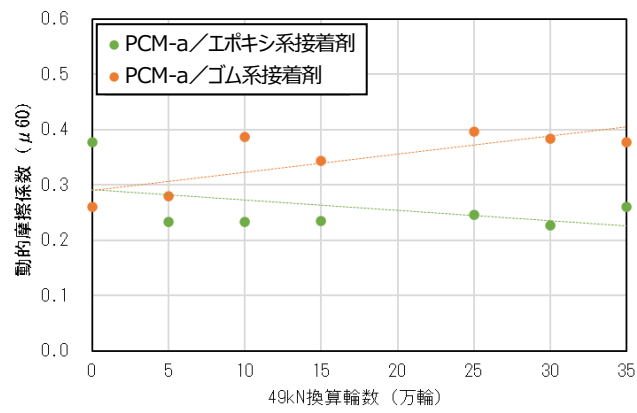


図-4.3.10 PCM-a の動的摩擦係数測定結果の推移

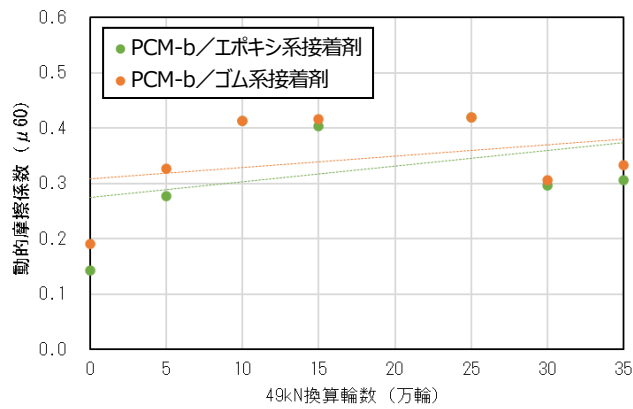


図-4.3.11 PCM-b の動的摩擦係数測定結果の推移

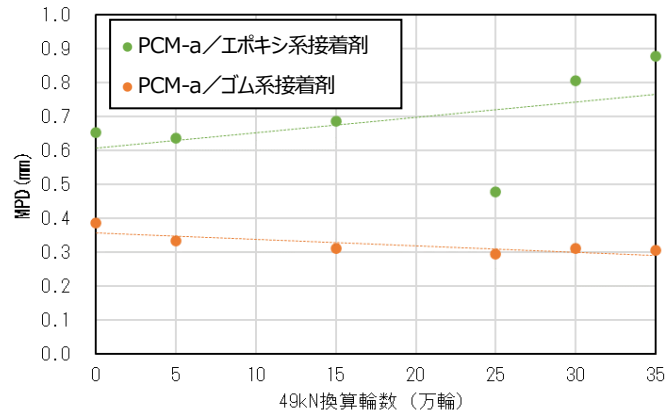


図-4.3.12 PCM-a のきめ深さ測定結果の推移

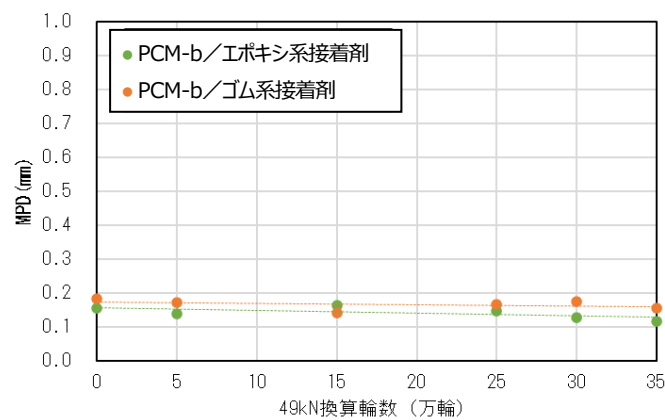


図-4.3.13 PCM-b のきめ深さ測定結果の推移

PCM-a に着目すると、ゴム系接着剤の BPN は初期値が 45 程度であり、35 万輪走行時で 75 程度と増加傾向を示し、動的摩擦係数は 0.25 から 0.35 (μ_{60}) 程度まで増加傾向を示した。また、きめ深さは 0.4 から 0.3 まで低下傾向を示した。一方で、PCM-a/エポキシ系接着剤の工区では BPN および動的摩擦係数がゴム系接着剤工区より低い値を示しているが、これは初期のひび割れ補修時に浸透・塗布した浸透型接着剤の影響と考えられ、PCM-a の特性や仕上げによる差ではないと考える。

PCM-b に着目すると、BPN と動的摩擦係数は緩やかな増加傾向を示し、BPN は 45 程度から 65 程度に、動的摩擦係数 (μ_{60}) は 0.15 程度から 0.35 程度に変化した。MPD は顕著な変化がなく、おおよそ 0.15 程度で推移した。

局所的な損傷に対するすべり抵抗性の要求性能値については別途検討が必要であるが、本検討において、大型荷重車の走行に特段影響はなかった。

4. 4 試験施工および耐久性試験のまとめ

本研究で実施した試験施工の結果をまとめると次の通りである。

- ・PCM-a を用いた角欠けの補修にかかる作業時間は一箇所当たり約 2 時間であり，補修材や接着剤の強度発現を加味すると，6 時間から 8 時間程度の交通規制時間を要する。
- ・PCM-b を用いた段差の補修にかかる作業時間は，一箇所当たり約 1.5 時間から 2.5 時間であり，補修材や接着剤の強度発現を加味すると，7 時間程度の交通規制時間を要する。
- ・PCM-a の施工性は，試験施工時の気象条件（夏期昼間）ではコンシステンシーが大きくなって適切な補修作業が難しくなるケースがあるため，直射日光を避けた材料保管や凝結遅延剤を用いた可使時間の調整などに配慮する必要がある。
- ・PCM-b は，試験施工時の気象条件（夏期昼間）でも適切な流動性があり，施工に際して特別な配慮などは不要であった。
- ・PCM-a は PCM-b より強度発現が速く，コンクリート舗装の設計基準強度と同等の強度発現を示した。
- ・PCM-a とエポキシ系接着剤の工区では，PCM-a の施工性に起因した表面部分のひび割れおよびはく離が確認された。

以上の結果，補修断面の工夫（ゼロ擦り付けの無い断面）やプライマーおよび接着剤の使用および既設目を復旧することによって，49kN 換算で 35 万輪走行後においても，補修材として用いた PCM-a や PCM-b の再破損は確認されず，耐久性向上を図ることができた。

参考文献

- 1) (国研) 土木研究所他：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，共同研究報告書第 514 号，pp.107-116，2019.

第5章 本研究のまとめ

本研究では、コンクリート舗装に生じる代表的な損傷である角欠けおよび段差の補修方法を検討した。

前回共同研究「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 補修技術の改善」では、試験施工箇所では荷重車の走行によって浮きが生じ、最終的にはひび割れが発生した。浮きが生じた原因として、補修材とコンクリートの付着が喪失したことが考えられたが、荷重車の走行が完了した後に切り込みを入れて付着試験を実施したところ、補修材とコンクリートとの界面破壊ではなく、既設コンクリートの薄層での破壊が生じていた。筆者らはその原因を、模擬損傷を作製する際に用いられたブレーカによって、母体となるコンクリート床版に微細ひび割れが発生したためと考えた。

本研究では、下地と断面修復材の一体化を図ることを目的として、微細ひび割れに浸透して含浸補強する効果を有する超低粘度の浸透性エポキシ樹脂系プライマーである「ボンド マイクロクラック補修用プライマー」を塗布した後で、コンクリートの打継ぎ用接着剤である「ボンド E2000」を用い、断面修復材を施工する工法を提案した。

また、角欠け補修箇所ではゼロ擦り付けが生じない断面形状とすること、角欠け補修および段差補修で、補修材の施工後に目地部分を復旧する工法として、補修材が隣接する既存のコンクリート版に直接突き合わされた状態とならないようにすることで、49 kN 換算で35万輪走行後についても、浮きやひび割れは確認されなかった。

また、実大規模の試験施工を実施することで、これらの工法が損傷部の撤去から交通開放まで、おおよそ6時間から8時間程度で完了することを確認した。

なお、本研究では補修材の選定ならびに補修方法の検討について日本道路（株）に助言をいただいた。複合材料での評価や試験施工についても共同で行っており、試験結果も共通したものとなっている。

共同研究報告書

Cooperative Research Report of PWRI

No. 571 March 2022

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