

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6）～

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
早川ゴム (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6）～

(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
早川ゴム (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早川ゴム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

1.	はじめに	1
1.1	背景・目的	1
1.2	共同研究体制	2
2.	研究内容	4
2.1	対象とする損傷	4
2.2	提案する材料および工法	6
2.3	研究の手順	7
3.	室内材料試験	9
3.1	試験方法	9
3.1.1	エポキシ系プライマー	9
3.1.2	ゴム系接着剤	10
3.1.3	断面修復材	18
3.1.4	既存コンクリートと断面修復材とを用いた複合材料	20
3.2	試験結果	27
3.2.1	エポキシ系プライマー	27
3.2.2	ゴム系接着剤	31
3.2.3	断面修復材	41
3.2.4	既存コンクリートと断面修復材とを用いた複合材料	49
3.3	材料試験のまとめ	53
4.	実大供試体試験	56
4.1	試験概要	56
4.2	施工方法	58
4.2.1	損傷形成および補修方法	58
4.2.2	施工性の検討	64
4.2.3	試験項目および試験方法	65
4.3	耐久性試験の結果	66
4.3.1	各断面修復材の材齢別強度	66
4.3.2	走行試験後の変状	67
4.4	実施工による耐久性試験のまとめ	69
5.	本研究のまとめ	70

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、耐久性に優れる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¹⁾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早川ゴム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、その結果を報告するものである。

1. 2 共同研究体制

本共同研究は、(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、早川ゴム(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
早川ゴム(株)	大友 鉄平	事業開発グループ 土木技術チーム	2020.4~2022.3
	飯島 直	土木止水材グループ 市場開発チーム	2020.4~2022.3
	今出 陣	材料技術グループ 材料技術チーム	2020.4~2022.3
	一反田 康啓	事業開発グループ 土木技術チーム	2020.4~2022.3
	岡本 光弘	事業開発グループ 土木技術チーム	2020.4~2022.3
	平岡 淳二	土木止水材グループ 市場開発チーム	2020.4~2022.3
	岩戸 幸蔵	土木止水材グループ 市場開発チーム	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，丸善，2009.

第2章 研究内容

2.1 対象とする損傷

本報告に関して対象とする損傷は、コンクリート舗装面におけるポットホール、目地部のひび割れ、角欠けおよび段差とした。

ポットホールは、コンクリート版の表面に生じる小穴のことであり、施工時に局部的に生じた材料分離や異物の混入、吸水膨張する品質の悪い粗骨材の使用等が原因で生じる¹⁾。

目地部のひび割れ・角欠けは、施工時の過度なコテ仕上げなどによる部分的な材料分離、収縮目地においてひび割れの誘導位置とカッター切削位置のずれ等が原因で生じる²⁾。また、段差は、供用に伴う車両の繰返し荷重によって目地構造が破損し、浸入した雨水等で路盤が洗堀されて隣接版との段差が発生するものであり、コンクリート版の構造的な破損へと繋がるものである²⁾。



写真-2.1.1 ポットホールの補修²⁾ (アスファルト混合物で補修)



写真-2.1.2 発生したひび割れおよび角欠けと補修後の状況（右）



写真-2.1.3 発生した段差²⁾

2. 2 提案する材料および工法

損傷が発生した場合、損傷箇所を取り除き補修材料で復旧することになるが、実道においてはアスファルト混合物で補修されていることが多く、補修後、早期に流動や破損に至ることが懸念される。そのため、補修材料としては、長期耐久性が期待できるセメント系材料にて適切な手法（補修箇所を長期に保持するためのプライマーや接着剤の塗布）により実施することがコンクリート舗装の長寿命化にとって重要であるものと考えられる。

対象とする損傷部に対して使用する材料は、早川ゴム（株）が独自に開発したゴム系接着剤³⁾と、一般的に用途展開されている浸透性エポキシ系プライマーである。なお、接着剤とプライマー塗布後に断面修復材を施工するが、ポットホールと角欠けにはポリマーセメントモルタル（以下 PCM）, 段差には PCM と比べて弾性係数の小さい PCM 柔軟型（以下 PCM-F）を使用した。

これまで補修現場において使用されている接着剤はエポキシ系の材料が一般的であり、「構造用接着剤」が用いられてきた。本研究にて新たに提案する接着剤はゴム系の接着剤であるため、「弾性接着剤⁴⁾」となっている。弾性接着剤は、ゴムの硬さを有しながらも、伸びを有するいわば反応型シーリング材の中で高弾性率タイプのものである。弾性接着剤は構造用接着剤と比べて力学的性能（機械的強度）は劣るものの、長所として、①外部応力を吸収すること、②熱膨張係数差の大きい異種材料の接着で生成する熱応力を緩和すること、③接着界面に応力が集中しにくいこと、④表面強度の低い材料（石膏ボード、珪カル板、ALC など）が接着可能であること等が挙げられる。したがって、弾性接着剤であるゴム系接着剤は、「強い接着よりも、剥がれない接着」がコンセプトとなっており、本研究にて対象としている外部応力が大きく繰り返し作用する損傷箇所において、エネルギー吸収力が大きいことによる緩衝材のような役割が期待できると考えている。

表-2.2.1 損傷箇所に使用するプライマー、接着剤および断面修復材

接着剤種別	材料	材料種別	備考
弾性接着剤	プライマー	2液型エポキシ系	マイクロクラック浸透型
	接着剤	2液型ゴム系	—
断面修復材		PCM（ポットホール、角欠け） PCM-F（段差）	ポリマーセメント系

2. 3 研究の手順

本研究では、室内材料試験および実大供試体試験を実施した。室内材料試験では材料の基本的な物性について、実大供試体試験では実道を想定した環境にて耐久性を評価した。

室内材料試験では、エポキシ系プライマー、ゴム系接着剤、断面修復材およびそれら複合材料について評価した。実大供試体試験では、複合材料を用いて走行試験を実施し、走行輪数ごとに断面修復材の変状（ひび割れ、浮き、剥離等）を目視にて確認した。

表-2.3.1 室内材料試験の評価項目

材料	評価項目
エポキシ系プライマー	混合粘度
	硬度
	曲げ強度
	浸透性
	指触乾燥時間
ゴム系接着剤	粘度
	浸透性
	指触乾燥時間
	硬度
	圧縮強度、圧縮弾性率
	曲げ応力
	引張接着強さ
	圧縮せん断接着強さ
断面修復材	モルタルフロー試験、凝結時間試験／フレッシュ性状
	耐久性試験／輪荷重、磨耗、凍結融解への耐久性、環境作用の影響
既存コンクリートと断面修復材との複合材料	繰返し荷重試験／接着箇所の付着性
	凍結融解試験／接着箇所の付着性
	ホイールトラッキング試験／接着箇所の付着性
	X線造影撮影試験（荷重試験、ホイールトラッキング試験）／接着箇所の付着性、ひび割れの検出
	プルオフ試験／接着箇所の付着性
	プルオフ試験／凍結融解 300 サイクル後における接着箇所の付着性

表-2.3.2 実大供試体試験の評価項目

材料	試験項目／評価項目
既存コンクリートと断面修復材とを用いた複合材料	実環境を想定した走行試験（全35万輪）／目視による変状観察

参考文献

- 1) 日本道路協会：コンクリート舗装ガイドブック，pp.276，2016.
- 2) 国土交通省 道路局 国道・防災課：舗装点検要領，pp.34-36，2017.
- 3) 大友鉄平，武田三弘，一反田康啓，岡本光弘：コンクリート床版のポットホールを対象としたゴム系の接着型補修材料に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.42，No.1，pp.1390-1395，2020.
- 4) 中島常雄：接着剤・粘着剤の極限にせまる，高分子，第43巻7月号，pp.469-472，1994.

第3章 室内材料試験

3.1 試験方法

3.1.1 エポキシ系プライマー

(1) 混合粘度

【初期混合粘度の測定条件】

- ・5℃：BH型回転粘度計4号ローター100rpmの条件にて測定した。
- ・20℃，35℃：BH型回転粘度計3号ローター100rpmの条件にて測定した。

なお、プライマーに関しては経時的な粘度の測定を不可とした。プライマーは、主剤と硬化剤とを混合した時点から硬化反応が進行するが、硬化反応は発熱を伴いその熱を利用してさらに硬化反応が進行する。室内の試験条件では蓄熱により現場条件と異なる結果が得られるため、本検討において測定不可としている。

(2) 硬度

5℃，20℃および35℃ともJIS K 6253-3 デュロメータ硬さに準じて、初期値および5秒後に測定した。20℃と35℃は7時間後と7日間後に、5℃は7時間後と7日間後と28日後に測定している。

(3) 曲げ応力

【JIS K 7171 プラスチックー曲げ特性】

試験条件：養生23℃×7日間，載荷速度 $v=2\text{mm/min}$ にて測定した。

(4) 浸透性

【舗装調査・試験法便覧 D012T 注入材の浸透性試験方法】

あらかじめ測定温度条件（5℃，20℃，35℃）に設定した恒温槽内（20℃はエアコン調整室内）に主剤とガラス製試験器具を静置し，試験温度まで加温および冷却した。硬化剤は測定温度によらず，23±2℃に静置したものを使用した。主剤および硬化剤を所定の質量比で量り取った後に23±2℃で混合し，手攪拌を行った。混合後，ガラス製試験器具内に注入し，硬化させた。なお，現場における練混ぜ時間を想定したため，注入は混合5分後から開始している。

硬化後，ガラス製器具の幅50mmピッチ位置の浸透深さ（ l_1 ， l_2 ， l_3 ）を測定し，その平均から浸透深さを算出した。

(5) 指触乾燥時間

【JIS A 1439 建築用シーリング材の試験方法】

- ・タックフリー試験

あらかじめ測定温度条件（5℃，20℃，35℃）に設定した恒温槽内（20℃はエアコン調整室内）に主剤とガラス板を静置し，試験温度まで加温および冷却した。硬化剤は測定温度によらず，23±2℃に静

置したものを使用した。主剤および硬化剤を所定の質量比で量り取った後に $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ で混合し、手攪拌を行った。混合後、ガラス板に垂らし、各温度環境で静置した。なお、指触確認は3点以上行い、指に付着しない時間を計測した。

3. 1. 2 ゴム系接着剤

(1) 粘度

【JIS K 6833-1 プラスチック—液状、乳濁状又は分散状の樹脂—ブルックフィールド形回転粘度計による見掛け粘度の測定方法を参照 ※独自試験】

・硬化速度測定方法

主剤および硬化剤を量り取った後に $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ で混合し、手攪拌を行った。BH II 型粘度計を用いて硬化中の粘度を継続的に測定した。 5°C および 35°C 環境は 100mL のガラス瓶に充填してウォーターバス中で測定し、 20°C 環境は 100mL のディスポカップに充填して $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 環境にて測定した。使用したローターは7号、回転数は 10rpm とした。

(2) 硬度

【JIS K 6253-3 加硫ゴム及び熱可塑性ゴム -硬さの求め方- 第3部：デュロメータ硬さ】

・硬さ測定方法

主剤および硬化剤を所定の質量比で量り取った後に $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ で混合し、手攪拌を行った。混合後 6mm×25mm×25mm の金型キャビティ内に流し込んだ。油圧プレスにて 2.0MPa で3回バンピングをした後、2.0MPa で1日保持した。1日後金型から硬化物を取り出し、1日毎にタイプ A 硬度計を用いて測定した (n=3)。なお、完全硬化の参考として、 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ ×7日養生後 50°C 環境で7日養生したサンプルも作製した。

(3) 浸透性 ※プライマーと同方法

【舗装便覧 D012T 注入材の浸透性試験方法】

あらかじめ測定温度条件 (5°C , 20°C , 35°C) に設定した恒温槽内 (20°C はエアコン調整室内) に主剤とガラス製試験器具を静置し、試験温度まで加温および冷却した。硬化剤は測定温度によらず、 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ に静置したものを使用した。主剤および硬化剤を所定の質量比で量り取った後に $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ で混合し、手攪拌を行った。混合後、ガラス製試験器具内に注入し、硬化させた。なお、プライマーと同様に現場における練混ぜ時間を想定したため、注入は混合5分後から開始している。

硬化後、ガラス製器具の幅 50mm ピッチ位置の浸透深さ (l_1 , l_2 , l_3) を測定し、その平均から浸透深さを算出した。

(4) 指触乾燥時間 ※プライマーと同方法

【JIS A 1439 建築用シーリング材の試験方法】

・タックフリー試験

あらかじめ測定温度条件 (5°C , 20°C , 35°C) に設定した恒温槽内 (20°C はエアコン調整室内) に主

剤とガラス板を静置し、試験温度まで加温および冷却した。硬化剤は測定温度によらず、 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ に静置したものを使用した。主剤および硬化剤を所定の質量比で量り取った後に $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ で混合し、手攪拌を行った。混合後、ガラス板に垂らし、各温度環境で静置した。なお、指触確認は3点以上行い、指に付着しない時間を計測した。

(5) 圧縮強さ（最大圧縮応力）および圧縮弾性率

【JIS K 7181 プラスチック—圧縮特性の求め方】

・圧縮試験方法

主剤および硬化剤を所定の質量比で量り取った後に $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ で混合し、手攪拌を行った。混合後、 $4\text{mm}\times 10\text{mm}\times 10\text{mm}$ の金型キャビティ内に流し込んだ。油圧プレスにて 2.0MPa で3回バンピングをした後、 2.0MPa で1日保持した。その後金型から硬化物を取り出し、 $23\pm 2^{\circ}\text{C}\times 7$ 日養生した。完全硬化の参考として、 $23\pm 2^{\circ}\text{C}\times 7$ 日養生後、 50°C 環境で7日養生したサンプルも作製した。

変位制御により圧縮試験を実施した。その変位量は $1\text{mm}/\text{min}$ 、試験環境 20°C 、 $n=3$ とし、式(3.1.1)より圧縮強さ（最大圧縮応力）を、式(3.1.2)より圧縮弾性率を算出した。圧縮弾性率は変位計でのひずみ測定ができないため、呼びひずみを用いた。

(3.1.1)

σ_M : 圧縮強さ（最大圧縮応力）[MPa]

F_M : 最大圧縮力 [N]

A : 応力をかける前の試験片の断面積 [mm^2]

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (3.1.2)$$

E_c : 圧縮弾性率 [MPa]

σ_1 : 圧縮ひずみ値 $\varepsilon_1(0.0005)$ において測定される圧縮応力 [MPa]

σ_2 : 圧縮ひずみ値 $\varepsilon_2(0.0025)$ において測定される圧縮応力 [MPa]

(6) 曲げ強さ（最大曲げ応力）

【JIS K 7171 プラスチック—曲げ特性】

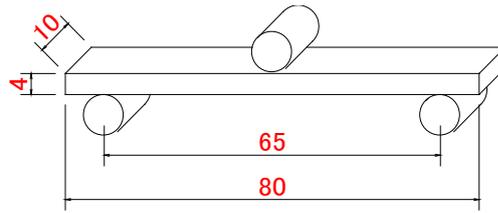
・曲げ試験方法

主剤および硬化剤を所定の質量比で量り取った後に $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ で混合し、手攪拌を行った。混合後、 $4\text{mm}\times 10\text{mm}\times 80\text{mm}$ の金型キャビティ内に流し込んだ。油圧プレスにて 2.0MPa で3回バンピングをした後、 2.0MPa で1日保持した。その後、金型から硬化物を取り出し、 $23\pm 2^{\circ}\text{C}\times 7$ 日養生した。完全硬化の参考として、 $23\pm 2^{\circ}\text{C}\times 7$ 日養生後、 50°C 環境で7日養生したサンプルも作製した。

変位制御により曲げ試験を実施した。その変位量は $2\text{mm}/\text{min}$ 、試験環境 20°C 、 $n=3$ とし、式(3.1.3)より曲げ強さ（最大曲げ応力）を算出した。

$$\sigma_M = \frac{3F_M L}{2bh^2} \quad (3.1.3)$$

σ_M : 曲げ強さ (最大曲げ応力) [MPa]
 F_M : 最大試験力 [N]
 L : 支点間距離 [mm]
 b : 試験片の平均幅 [mm]
 h : 試験片の平均厚さ [mm]



単位 : mm

図-3.1.1 曲げ試験の供試体寸法

(7) 引張接着強さ

【JIS K 6849 接着剤の引張り接着強さ試験方法を参照 ※独自試験】

- ・被着体の調製

図-3.1.2 に示すように、離型紙管中にモルタルを充填し、23±2℃にて7日間養生した。接着面をワイヤーブラシにてケレン処理を施したものを被着体とした。

表-3.1.1 被着体モルタルの配合 (既設コンクリートを想定)

	水	セメント	砂
重量 [g]	100	200	600

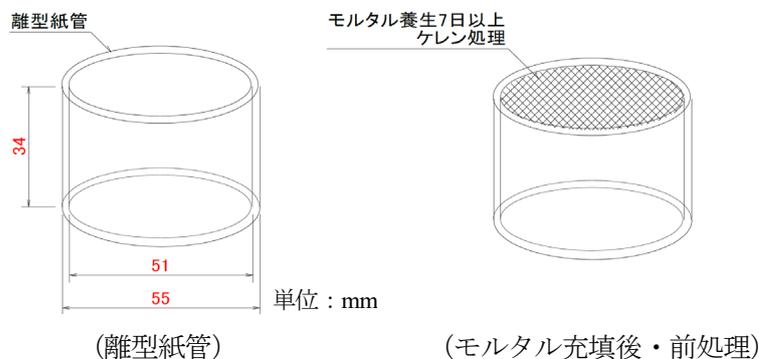


図-3.1.2 引張接着試験用被着体

- ・試験供試体の調製

プライマーの主剤および硬化剤を所定の質量比で量り取った後に 23±2℃で混合し、手攪拌を行った。その後モルタル被着体に 500g/m² 塗布した。

次に、接着剤の主剤および硬化剤を所定の質量比で量り取った後に 23±2℃で混合し、手攪拌を行った。その後プライマーを塗布した試験体に接着剤を 900g/m² 塗布した。なお、プライマー塗布から接着剤塗布までの養生時間を 30 分としている。

さらにモルタルとの接着面積を制御するために、両面シリコーン処理した離型紙を $\phi 40\text{mm}$ の穴空けをし、接着剤の塗布面に設置した。その上から離型紙管を設置し、モルタルを充填した。モルタルの配合は表-3.1.2 とし、接着剤を塗布した 60 分後に打設を行い、 $23\pm 2^\circ\text{C}$ にて 7 日間養生したものを接着試験体とした。なお、完全硬化の参考として、 $23\pm 2^\circ\text{C}\times 7$ 日養生後、 50°C 環境で 7 日養生したサンプルも作製した。

表-3.1.2 新設モルタルの配合 (補修コンクリートを想定)

	水	ジェットセメント	標準砂	遅延剤 (セッター)
重量[g]	1,225	2,500	7,500	25

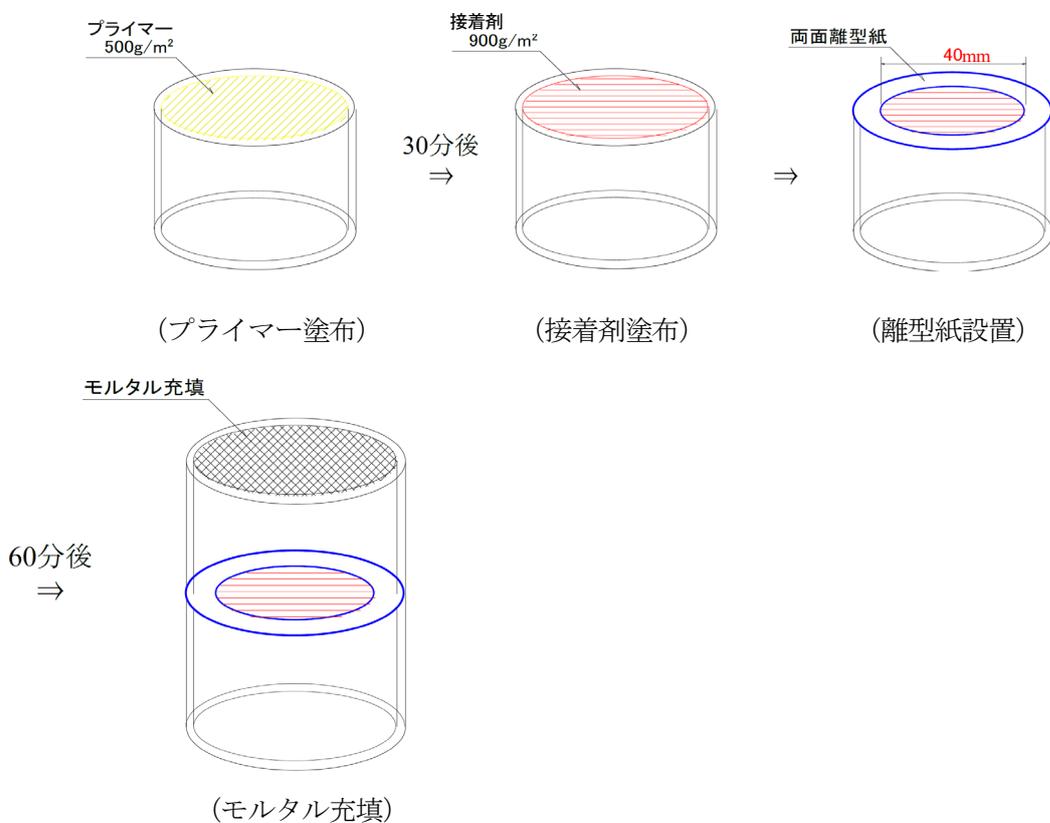


図-3.1.3 試験供試体の作製方法

・耐水試験

【JIS K 6857 接着剤の耐水性試験方法】

作製した接着供試体は、表-3.1.3に示すJIS K 6857の処理条件Fに準じて浸漬処理を施した。なお、最初の浸漬処置は48hから72hに変更している。浸漬後、濡れたままの状態にて後述と同様の引張試験を行い、式(3.1.4)から保持率を算出している。

$$R = \frac{Y}{X} \times 100 \quad (3.1.4)$$

R：耐水接着強さ保持率

X：常態接着強さ

Y：耐水接着強さ

常態：標準状態における平均接着強さ

耐水：前処理した試験片の平均接着強さ

JIS K 6857より抜粋

表-3.1.3 耐水性試験の処理条件F

処理時間(h)	処理温度(°C)	水分条件
72	20±1	水に浸漬
8	60±3	乾燥
16	20±1	水に浸漬
8	60±3	乾燥
16	20±1	水に浸漬
8	60±3	乾燥
16	20±1	水に浸漬

・接着強さ試験

常態の接着試験については、作製した接着試験体に引張試験用の治具を瞬間接着剤によって固定し、1日以上養生したものを試験体とした。

耐水試験のサンプルに関しては、最後の乾燥時に接着剤で治具を取り付けた後に治具ごと最後の浸漬を行い、試験体とした。

変位制御により引張試験を実施し、その変位量は1mm/minにて試験体に負荷を与えた。また、式(3.1.5)より、最大引張力から接着強さを算出した。なお、試験体数はn=3、試験環境は常温23°Cにて測定を行った。

$$S = \frac{P}{A} \quad (3.1.5)$$

S：引張接着強さ [MPa]

P：最大荷重 [N]

A：接着面積 [m²]

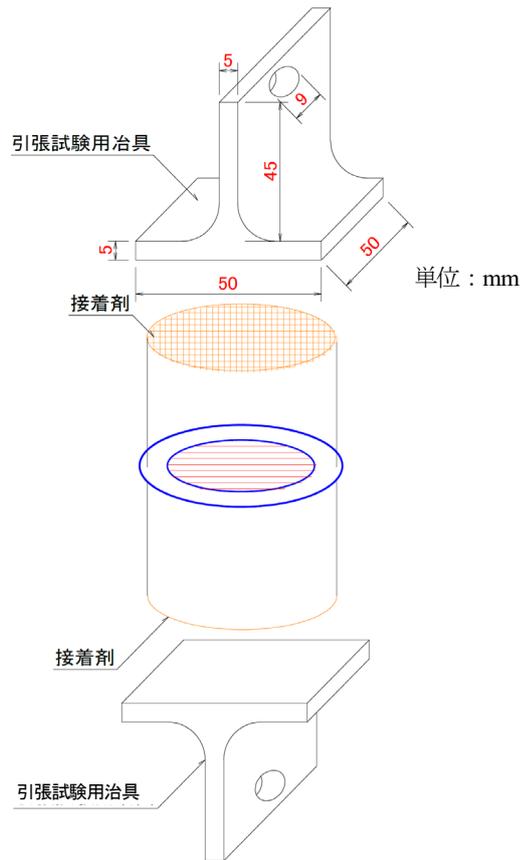


図-3.1.4 接着試験用治具の取り付け状況

(8) 圧縮せん断接着強さ

【JIS K 6852 接着剤の圧縮せん断接着強さ試験方法を参照 ※独自試験】

・被着体の調製

被着体として、図-3.1.5 のモルタルテストピースを使用した。寸法は、10mm×50mm×50mm であり、JIS A 1439 建築用シーリング材の試験方法に規定されている耐久性試験用の被着体である。表面処理は行わず、非接着部として 5mm マスキングテープにて保護したものを試験体とした。

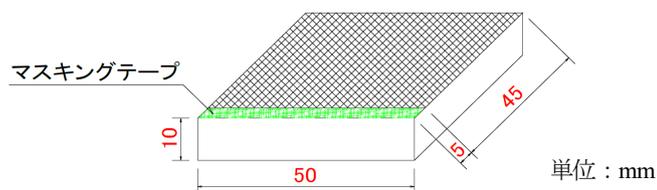


図-3.1.5 圧縮せん断接着試験体

・試験体の調製

プライマーの主剤および硬化剤を所定の質量比で量り取った後に $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ で混合し、手攪拌を行った。その後モルタル被着体に $500\text{g}/\text{m}^2$ 塗布した。次に、接着剤の主剤および硬化剤を所定の質量比で量り取った後に $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ で混合し、手攪拌を行った。その後プライマーを塗布した試験体に接着剤を $900\text{g}/\text{m}^2$ 塗布した。なお、プライマー塗布から接着剤塗布までの養生時間を 30 分としている。

新設モルタルは充填量を制御するために、被着体に型枠を取り付けた。モルタルの配合は表-3.1.4 とし、接着剤を塗布してから 60 分後に打設した。また、 $23\pm 2^{\circ}\text{C}\times 7$ 日養生したものを接着試験体とした。なお、完全硬化の参考として、 $23\pm 2^{\circ}\text{C}\times 7$ 日養生後、 50°C 環境で 7 日養生したサンプルも作製した。

さらに、 $23\pm 2^{\circ}\text{C}\times 7$ 日間養生に関しては、引張接着試験と同様に耐水性試験も評価している。

表-3.1.4 新設モルタルの配合 (補修コンクリートを想定)

	水	ジェットセメント	標準砂	遅延剤(セッター)
重量[g]	1,225	2,500	7,500	25

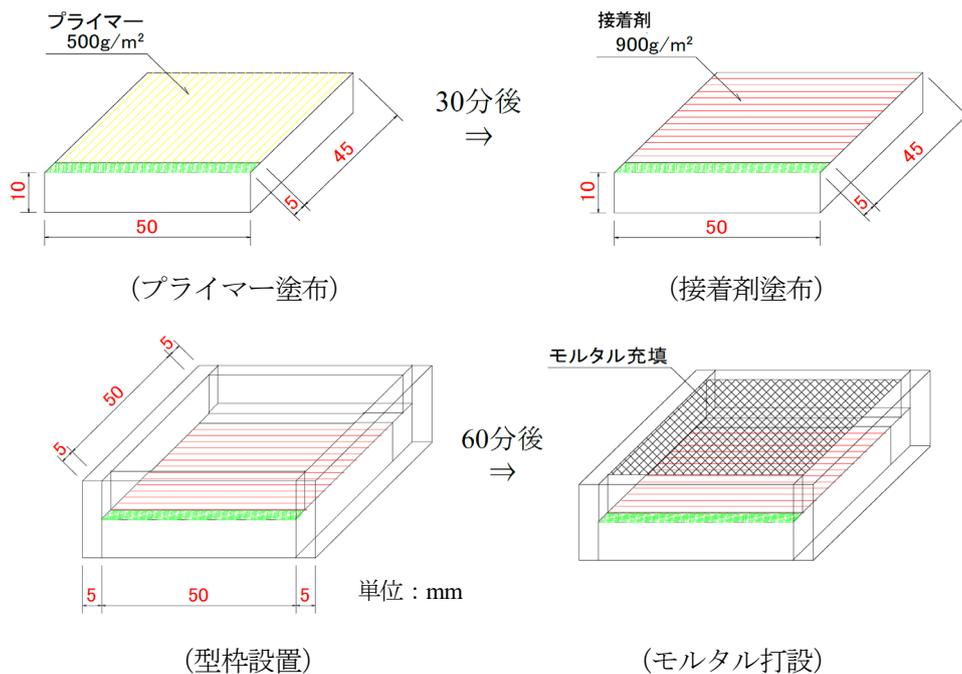


図-3.1.6 供試体の作製方法

・接着強さの測定

作製した試験体を圧縮試験用治具に取り付けた。変位制御により圧縮せん断試験を実施し、変位量は1mm/minで新設モルタル側に負荷を与え、最大圧縮力から接着強さを式(3.1.6)に代入して算出した。なお、試験体数はn=3、試験環境は常温23℃にて測定を行った。

$$S = \frac{P}{A} \quad (3.1.6)$$

S: 圧縮せん断接着強さ [MPa]

P: 最大荷重 [N]

A: せん断面積 [mm²]

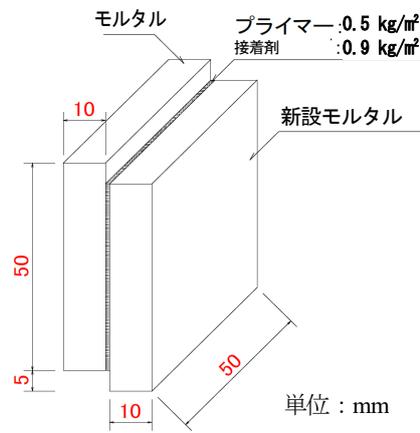


図-3.1.7 圧縮せん断接着用の試験体

3. 1. 3 断面修復材

本研究に用いる断面修復材の性状を把握するため、材料単体のフレッシュ性状や硬化性状に加え、既設コンクリート舗装版を模擬した供試体との接着確認試験を実施した。各試験項目と試験方法を表-3.1.5に示す。

なお、本研究における供試体作製と試験データの収集については、日本道路株式会社技術研究所と共同で実施し、成果の一部を用いて実験を遂行している。

表-3.1.5 断面修復材の性状確認項目¹⁾

項目	考慮すべき性質	試験項目	試験方法	試験規格など
フレッシュ性状	施工性	コンシステンシー	フロー試験	JIS R 5201
		凝結時間	凝結時間試験	JIS A 1147
硬化性状	輪荷重などへの 耐久性	圧縮強度	圧縮強度試験	JSCE-G 505
		曲げ強度	曲げ強度試験	JIS R 5201
		静弾性係数	静弾性係数試験	JIS A 1149
	摩耗への耐久性	すり減り抵抗性	ラベリング試験	舗装調査・試験法 便覧 B002
	環境作用の影響	寸法安定性	寸法安定性試験	JSCE-K 561
		線膨張係数	線膨張率試験	JSCE-K 561
	凍結融解への 耐久性	質量減少率	凍結融解試験	JIS A 1148
		相対動弾性係数		舗装調査・試験法 便覧 B065

(1) フレッシュ性状

断面修復材には、様々な条件の現場にて、適切に作業することができる施工性が要求される。そのため、施工性の評価として材料を練混ぜてから補修箇所への投入、左官等による敷きならしの容易さといった観点から、断面修復材2種類（PCM、PCM-F）のコンシステンシーと凝結時間に関する試験を実施した。

(2) 硬化性状（輪荷重への耐久性）

角欠けや段差の補修後、適切な養生時間を確保することで、輪荷重への耐荷性を確保することができる。しかし、現道における交通規制が長期化することで利用者への負担が大きくなるため、早期に交通開放することができる迅速な強度発現性が断面修復材には要求される。そこで、既往の研究²⁾にて断面修復材の強度発現性を圧縮強度試験、曲げ強度試験および静弾性係数試験によって確認した。

(3) 硬化性状（磨耗への耐久性）

積雪寒冷地では、冬期の雪氷路面によるスリップに対してタイヤチェーンの装着による車両交通の安全性確保が実施される。タイヤチェーンは、舗装に対して衝撃と磨耗による作用を及ぼし、舗装面の磨耗によって路面機能が低下する。コンクリート舗装における断面修復材は、すり減り抵抗性（磨耗抵抗性）を有する材料を選定する必要があるため、チェーンラベリング試験によって補修材の耐摩耗性を評価した。なお、国土交通省北海道開発局道路設計要領において、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（ラベリング値 1.3cm^2 以下）があり、本検討ではこれに準拠した。

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磨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枚供試体を作成し、 $-10\pm 1^\circ\text{C}$ に保った試験室に供試体を搬入し、試験に先立って4時間養生する。ラベリング試験1.5時間後に1供試体あたり3断面にてすり減り深さを計測する。試験にあたっては、ラベリング試験機の差異による試験結果の誤差（機械誤差）の影響を排除するため、すべての供試体の試験を同一の試験機にて試験を実施した。

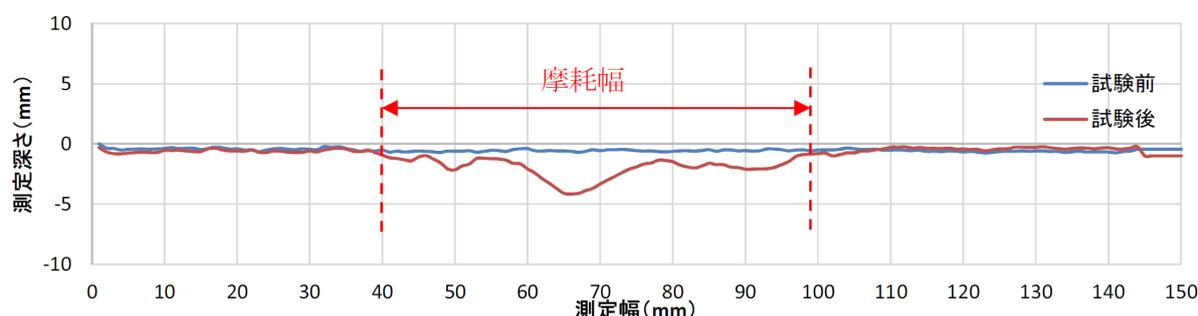


図-3.1.8 ラベリング試験結果の例

供試体は、長さ400mm，幅150mm，厚さ50mmを断面修復材のみで作製し、試験に用いた。なお、試験時の材齢は十分強度を発現した後に磨耗作用を受けることを想定し、28日（ 20°C 封かん養生）経過後に実施した。

(4) 硬化性状（環境作用の影響）

角欠けや段差補修などの小規模措置に用いられる材料は、局部的かつ薄層で用いられることが想定される。そのため、気温や湿度の変化による膨張収縮挙動が損傷した既設コンクリート舗装との接着性に影響を与えることが考えられる。

そこで、材料単体の膨張収縮挙動を把握するため、同一供試体を用いて寸法安定性試験と線膨張係数試験を実施した。なお、寸法安定性試験で測定されたひずみは、線膨張率を乗じて求めた温度ひず

みを差し引いている。また、線膨張率は供試体の中心温度が 20℃から 60℃、60℃から -20℃、-20℃から 20℃への温度変化を 1 サイクルとして 10℃ごとにひずみと温度を測定し合計 2 サイクルとした。

(5) 硬化性状（凍結融解への耐久性）

積雪寒冷地で使用される補修材は、冬期に凍結融解など厳しい環境作用にさらされることが想定される。そこで、断面修復材の凍結融解試験を実施して、質量減少率および相対動弾性係数について確認し、凍結融解抵抗性を確認した。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^{3) 4)}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の関係に高い相関性があることを示した研究⁵⁾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。供試体の寸法は $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 400\text{mm}$ の角柱供試体とした。供試体は材齢 2 日で脱型し、材齢 28 日まで水中養生を行い、封かん養生終了後に繰返しの凍結融解作用を与えた。

3. 1. 4 既存コンクリートと断面修復材とを用いた複合材料

(1) 繰返し載荷試験後における付着性評価

供試体は、 $100\text{mm} \times 150\text{mm} \times 1200\text{mm}$ とし内部に鉄筋（D6，D13 : SD345）を配置して曲げ引張破壊の先行型とした（図-3.1.9）。既設コンクリートは 30-18-20-N，スランプ 18cm，空気量 4.8%，気中養生 28 日の圧縮強度が 28N/mm^2 である。

供試体上面の中央部には、ポットホールを想定した $70\text{mm} \times 100\text{mm} \times 150\text{mm}$ の補修箇所を設けている。また、ポットホールの深さは、50~100mm 程度が多いことから 70mm としている。なお、補修面は凹凸を形成するためワイヤーブラシによる削り作業を行った。補修は、エポキシ系プライマーおよびゴム系接着剤を塗布し、その後一般的に使用されている断面修復材（超速硬セメント系材料）を打ち込んだ。また、接着剤の効果を検証するため、プライマーや接着剤を塗布せず断面修復材のみを打ち込んだ供試体（無対策）も作製し、比較を行っている。

なお、載荷はプライマー塗布の時点から開始しており、接着剤塗布と補修材料の打ち込み時にも載荷を継続している。これは、道路等の補修現場を想定し振動下における作業が現実的であると考えたためである。載荷条件としては、4 点曲げ載荷、載荷回数 100 万回、周波数 2Hz，静的強度の 20~25%

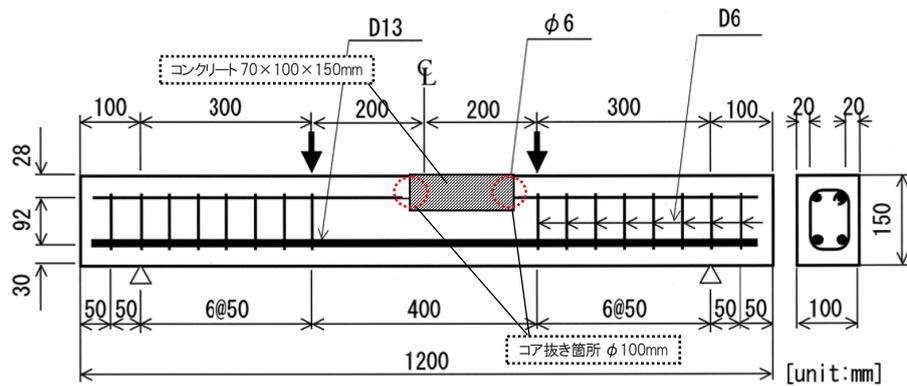


図-3.1.9 載荷試験用の供試体

とした。載荷終了時には、断面修復材と既設コンクリートとの界面箇所（打継箇所）を側面よりφ100mmでコア抜きをし、厚さ10mmずつにスライスした後に付着状態を評価した。

(2) 接着箇所のコア抜き供試体を用いた凍結融解試験

繰返し載荷試験後にはコア抜きをして10mmにスライスした供試体を作製した。その供試体を用いて凍結融解試験を実施し、付着箇所の目視観察を行った。凍結融解試験は、JIS 1148 A法に準拠した温度履歴20°C8時間～-20°C16時間を1サイクルとし、水中凍結水中融解を35サイクル実施した。35サイクル終了後、X線画像を用いて新旧コンクリートの付着を目視確認した。なお、供試体の厚さは、造影剤が供試体全面に浸透可能な10mmとしており、造影剤液中に60分間浸漬後X線撮影を行った。

(3) ホイールトラッキング試験後における付着性評価

供試体は、寸法300mm×300mm×80mmとして内部に鉄筋を配置しない。また、既設コンクリートは前述(1)と同配合である。供試体上面の中央部には、25mm×100mm×150mmの補修箇所を設けてエポキシ系プライマーおよびゴム系接着剤を塗布し、断面修復材（気中養生13日・圧縮強度38N/mm²）を打ち込んでいる。また、ホイールトラッキング試験でも接着剤を塗布せず断面修復材のみを打ち込んだ供試体を作製し、比較を行っている。なお、断面修復材として超速硬モルタルを選定しているが、理由として、補修深さが浅いため断面修復材にコンクリートを使用した場合、骨材が露出する可能性があるためである。

さらに上面には、20mm×300mm×300mmのアスファルトを積層し、ホイールトラッキングを開始している（図-3.1.10）。ホイールトラッキングは、日本道路協会「舗装調査・試験法便覧B003」に準じて行った。試験条件は、室内温度60±1°C、走行時間60分、接地圧0.63N/mm²とした。なお、試験輪は供試体中心に置き、走行方向を転圧方向と同一とする。試験終了後はアスファルトを剥がし、既設コンクリートと断面修復材との付着状況を目視観察した。

ホイールトラッキング後の供試体はコア抜きを行わず、走行方向かつ垂直方向に厚さ10mmでカットし、その後造影剤の液中に浸漬させた。液中には60分間浸漬後、X線撮影を行った。

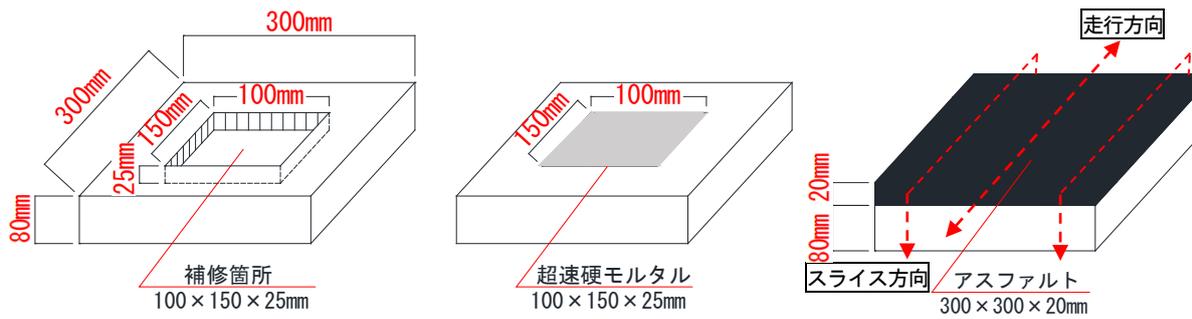


図-3.1.10 ホイールトラッキング用の供試体

(4) X線造影撮影法によるひび割れの検出

X線造影撮影法は、コンクリートに造影剤を浸透させることによって、内部に発生したひび割れや空隙を検出することができる方法⁹⁾である。この方法を用いることによってひび割れや空隙の検出以外にも、その発生量を定量化することができる。

X線撮影によって得られる透過画像の濃淡は、供試体を透過し検出体に到達したX線量(X線透過線量)によって決まる。造影剤のような吸収係数が高い物質の箇所ではX線透過線量が少なく、結果としてひび割れや空隙に造影剤が浸透した場合、白く映し出される傾向にある(図-3.1.11)。



図-3.1.11 X線造影撮影の一例

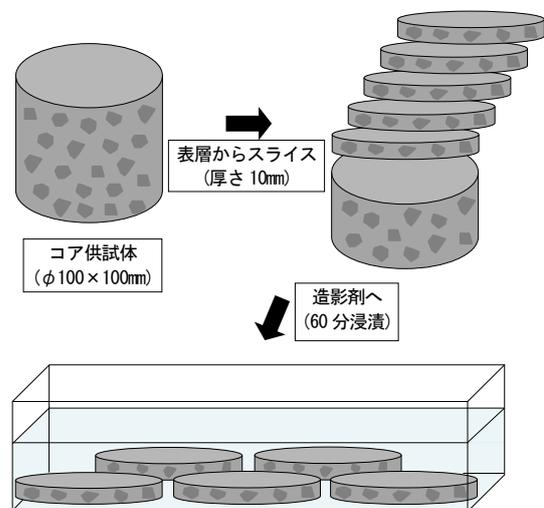


図-3.1.12 X線造影撮影用の供試体

(5) 接着性確認のためのプルオフ試験

本検討では、既設コンクリート舗装版を模擬した供試体の接着性確認試験を実施した。それぞれの試験項目と方法を表-3.1.6に示す。

表-3.1.6 複合材料を用いた接着性の確認項目¹⁾

項目	考慮すべき性質	試験項目	試験方法
接着性	引張作用への耐久性	接着強度	プルオフ試験
	凍結融解への抵抗性		凍結融解試験後のプルオフ試験

(6) プルオフ試験用の供試体

過去の共同研究では、土木研究所構内で実施した措置試験において、既設コンクリートと断面修復材との接着不足と考えられる破損が確認されている²⁾。そこで、プルオフ用の供試体として、目荒らししたコンクリート JIS 平板および打設コンクリート供試体を母材としてエポキシ系プライマーとゴム系接着剤を積層塗布し、角欠け補修用の PCM と段差補修用の PCM-F を打設した。その後、5℃、20℃および35℃のように養生温度を変化させプルオフ試験を行った。

また、接着低下には、水分や雰囲気温度などが及ぼす影響が考えられるため、打設コンクリート供試体を母材として、接着剤および断面修復材を施して凍結融解試験を実施した。

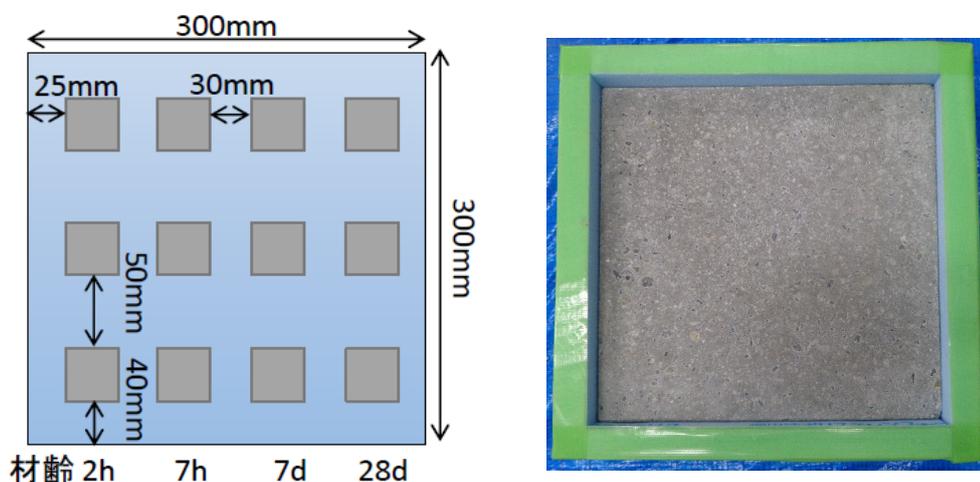


図-3.1.13 コンクリート JIS 平板

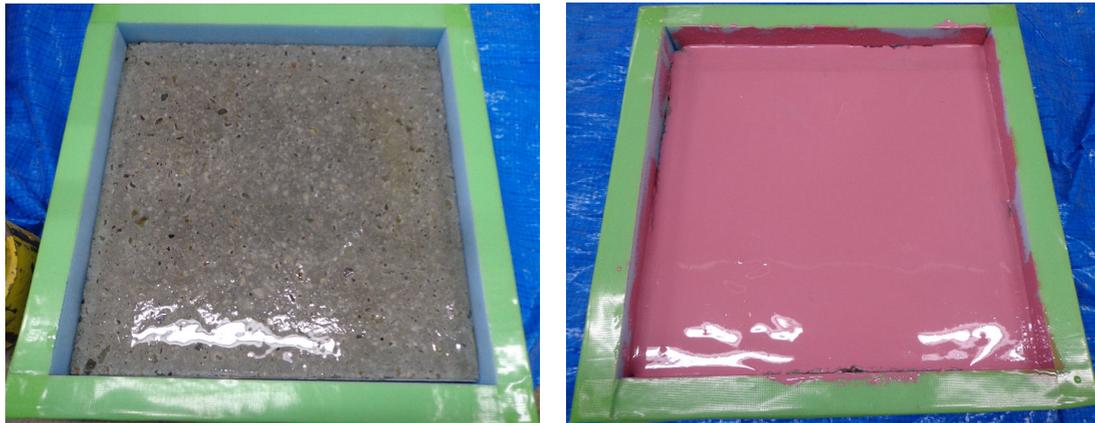


写真-3.1.1 エポキシ系プライマー塗布（左）とゴム系接着剤塗布（右）

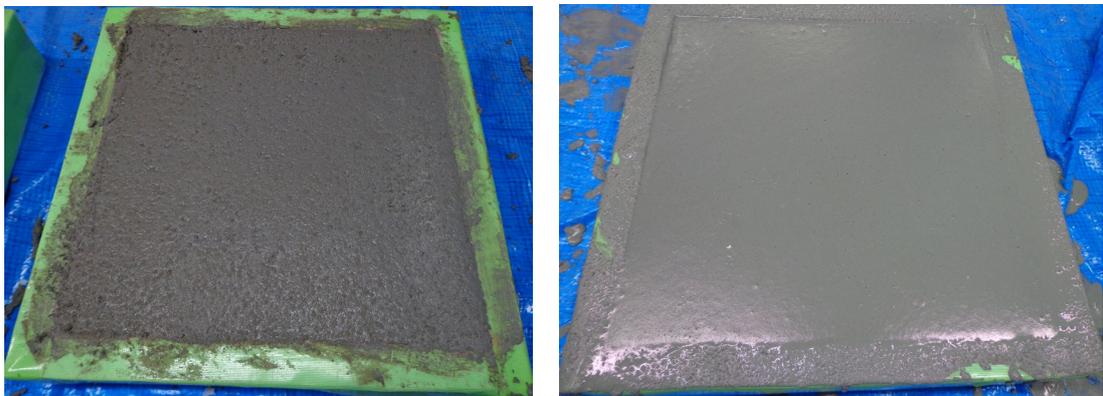


写真-3.1.2 断面修復材の打設（左：PCM, 右：PCM-F）

(7) 凍結融解（300 サイクル）後におけるプルオフ試験

積雪寒冷地を想定して各種材料を用いて凍結融解試験前後のプルオフ試験を実施し、接着強度の評価を行った。本試験では、打設コンクリート供試体の上面にプライマー、接着剤および断面修復材を施工し、20℃の室内で28日間気中養生を行った。その後、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凍結融解試験を300サイクル行い、プルオフ試験を実施した。

供試体は JIS A 1148: 2010「コンクリートの凍結融解試験方法 A 法：水中凍結融解試験方法」に準拠し、図-3.1.14のように補修材と基板を組み合わせて100mm×100mm×400mmとした。なお、使用した基板は、寒冷地で使用されている凍結融解抵抗性に優れた配合とした。プルオフ試験は図-3.1.15に示す5箇所とした。

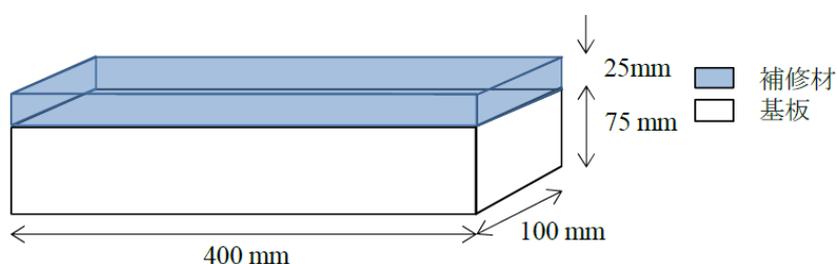


図-3.1.14 凍結融解用供試体

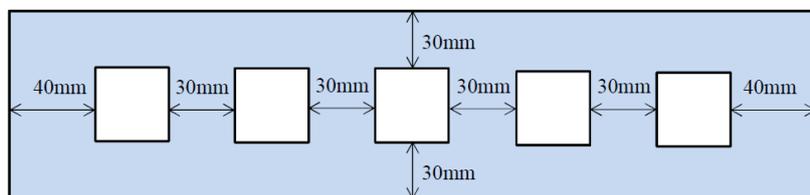


図-3.1.15 プルオフ試験位置・凍結融解用



写真-3.1.3 凍結融解用供試体



写真-3.1.4 エポキシ系プライマー塗布



写真-3.1.5 ゴム系接着剤塗布



写真-3.1.6 断面修復材の打設 (左: PCM, 右: PCM-F)

3. 2 試験結果

3. 2. 1 エポキシ系プライマー

(1) 混合直後の粘度

5℃, 20℃および35℃条件時において, 主剤と硬化剤の混合直後に測定した結果を示す。結果として, 温度が高い条件ほど混合粘度の値が小さくなる傾向が確認できた。また, 本実験では低温環境下を想定した5℃条件で測定を行ったが, 他の温度条件に比べて粘度が大きいことや反応遅延の可能性があるのであることから, 適切ではないことがある。

表-3.2.1 プライマーの混合粘度

活性水素当量	76	計算値
添加量(phr)	40	各主剤に対して
混合直後の粘度(mPa·s)	110	35℃条件時、140gスケール
	201	20℃条件時、140gスケール
	537	5℃条件時、140gスケール

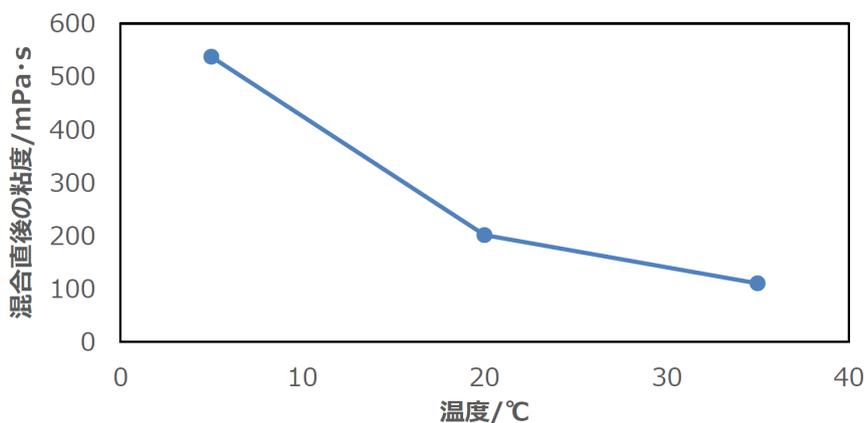


図-3.2.1 各温度帯の混合直後の粘度

(2) 硬度

5℃、20℃および35℃条件時において、主剤と硬化剤の混合直後に測定した結果を示す。結果として、7時間では温度が高い条件ほど硬度の値が大きくなり、7日間では同程度の値が確認できた。

なお、35℃環境下では7時間経過で十分な硬度が得られたものの、20℃環境下では最大硬度の半分程度であった。硬化はしているものの、十分な硬度が得られるまで養生時間が必要と考えられる。5℃では7時間経過しても未硬化であり、数時間での硬化は困難であると考えられる。

表-3.2.2 プライマーの硬度

35℃評価			
硬 度	7hrs	81-78	JISK6253 3 デュロメーター硬さ タイプD 初測値および5秒後
	7days	83-81	
20℃評価			
硬 度	7hrs	32-12	JISK6253 3 デュロメーター硬さ タイプD 初測値および5秒後
	7days	84-82	
5℃評価			
硬 度	7hrs	未硬化	JISK6253 3 デュロメーター硬さ タイプD 初測値および5秒後
	7days	81-79	
	28days	83-81	

(3) 曲げ応力

本実験では、曲げ応力、曲げ弾性率ともに表-3.2.3の結果が得られた。JIS A 6024:2015 建築補修用及びエポキシ樹脂、含浸接着エポキシ樹脂の品質において曲げ強さが40MPa以上であることから、使用したエポキシ系プライマーは一般的な曲げ性能を満足すると考えられる。

表-3.2.3 プライマーの曲げ応力および曲げ弾性率

23℃評価			
物性	曲げ応力 (MPa)	84.4	養生条件：23℃×7days JIS K7171準拠 v=2mm/min
	曲げ弾性率 (MPa)	2260	

(4) 浸透性

表-3.2.4 に温度別の浸透深さを、写真-3.2.1 に浸透性試験後の外観を示す。5℃、20℃および35℃いずれの温度においても浸透深さは100mmであり、問題なく浸透することが確認された。

表-3.2.4 プライマーの浸透性 (単位 : mm)

20℃

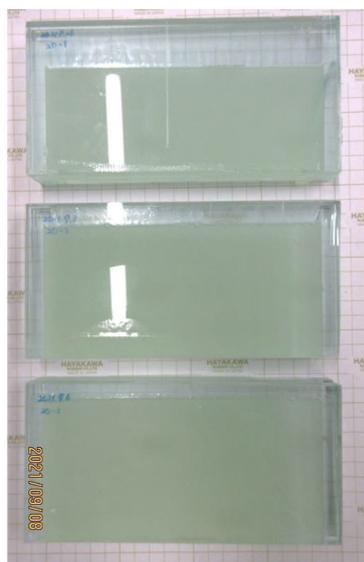
	11	12	13	浸透深さ
n = 1	100	100	100	100
n = 2	100	100	100	100
n = 3	100	100	100	100
	平均			100

35℃

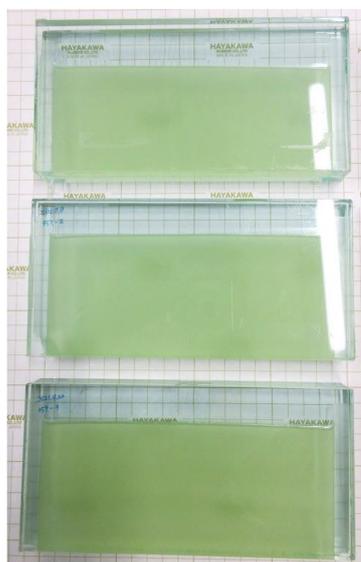
	11	12	13	浸透深さ
n = 1	100	100	100	100
n = 2	100	100	100	100
n = 3	100	100	100	100
	平均			100

5℃

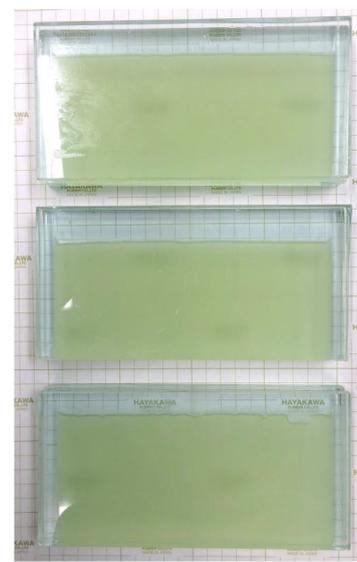
	11	12	13	浸透深さ
n = 1	100	100	100	100
n = 2	100	100	100	100
n = 3	100	100	100	100
	平均			100



(20℃)



(35℃)



(5℃)

写真-3.2.1 プライマー・浸透性試験後の外観

(5) 指触乾燥時間（タックフリー試験）

図-3.2.2 に環境温度における経過時間と指触による評価結果を示す。環境温度が高くなるにつれ、指触乾燥時間は短くなる傾向が示された。ゴム系接着剤の塗布はプライマーの乾燥前に行う必要があり、夏場 35°C では約 70 分以内、春秋 20°C では約 170 分以内に行う必要がある。5°C では指触乾燥に 10 時間以上必要であり、低温環境になるほど作業可能時間が長くなる。しかし、低温環境では硬化反応は進みにくく、完全に硬化しない場合がある。硬化不良となったプライマーは性能を発揮することができないため、低温環境では作業可能時間は長くなるものの、硬化の観点から適切ではないことがある。

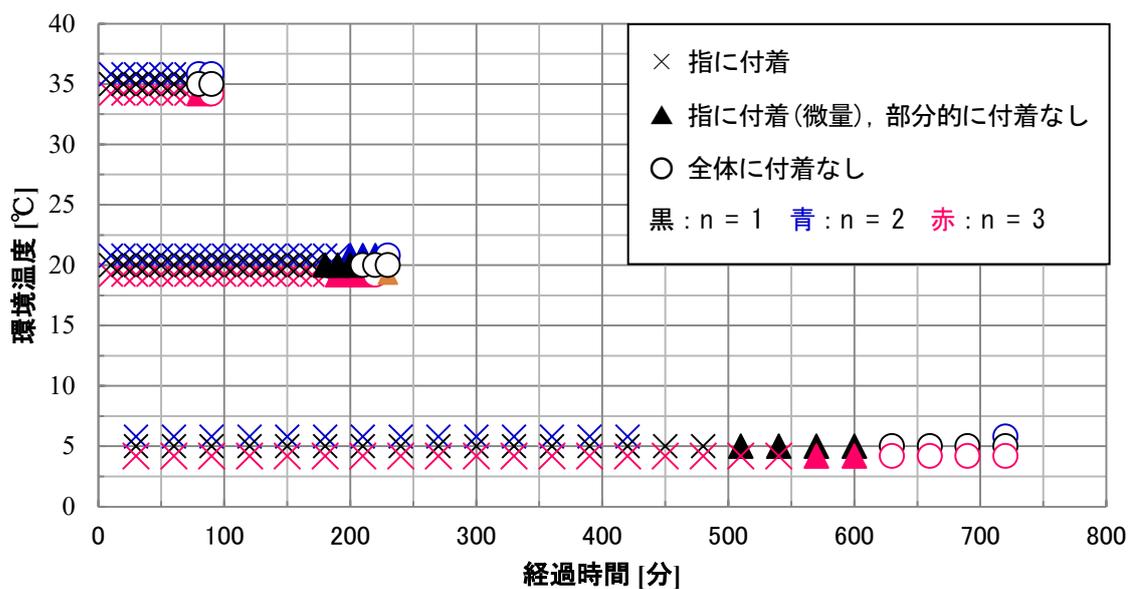
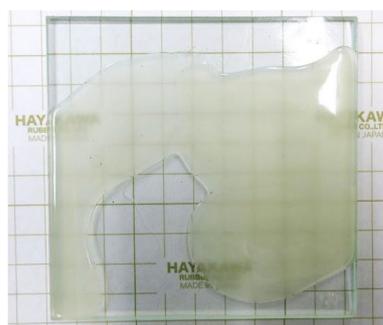


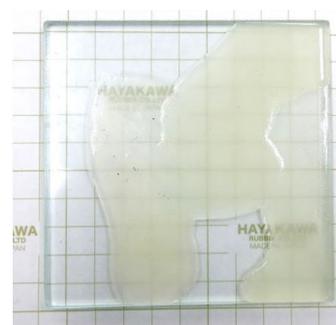
図-3.2.2 各温度下での指触乾燥時間（プライマー）



(20°C)



(35°C)



(5°C)

写真-3.2.2 指触乾燥試験後の外観（プライマー）

3. 2. 2 ゴム系接着剤

養生条件の 23°C×7 日, 50°C×7 日は JIS A 1439 建築用シーリング材の試験方法, 5.17 耐久性試験の試験体養生条件 (2 成分形) であり早川ゴム㈱の液状ゴム製品の養生条件である。また, 液状ゴム製品は, 橋梁用伸縮装置の弾性シール材に使用されている。なお, 圧縮強さ (最大圧縮応力), 曲げ強さ (最大曲げ応力) および接着強さに関しても同様である。

(1) 粘度

試験結果を図-3.2.3 に示す。環境温度が 20°C および 35°C の場合は粘度上昇の程度にほとんど差が見られないが, 5°C の場合は 20°C および 35°C の場合と比較して, 粘度の上昇が緩やかであることが確認された。

本研究で使用したゴム系接着剤は, 主剤および硬化剤の混合後, 15 分から 20 分程度で粘度が高くなり作業性が著しく低下する。また, その際の粘度は 50,000mPa・s 程度であった。図-3.2.3 から, 主剤および硬化剤の混合後, 粘度が 50,000mPa・s に到達するまでの時間は, 5°C では 18 分, 20°C および 35°C では 15 分であった。

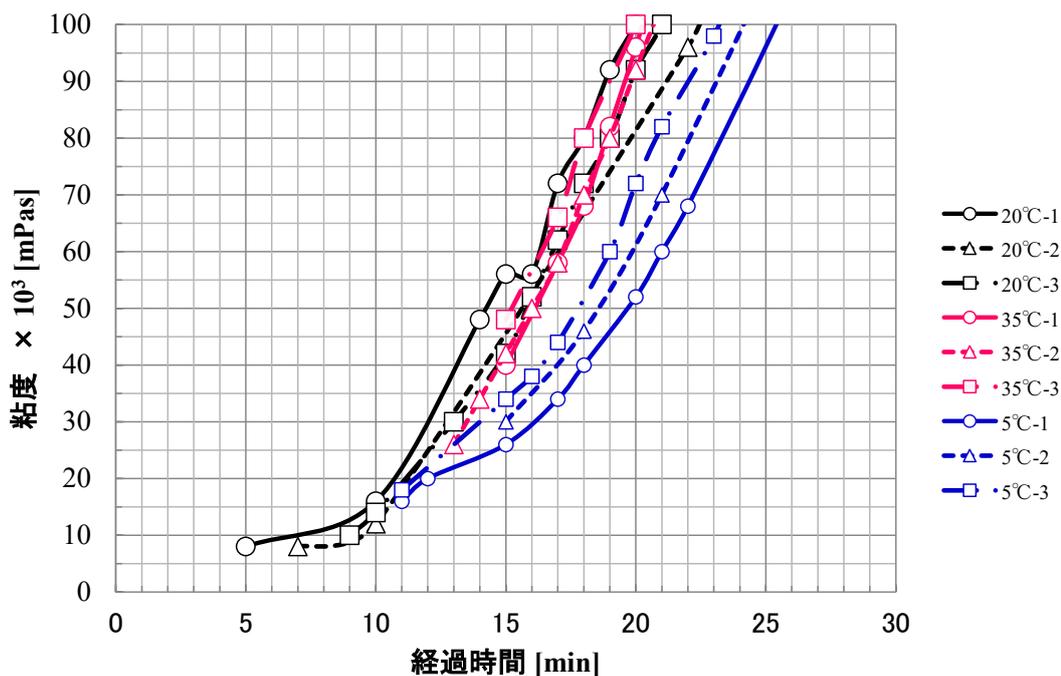


図-3.2.3 各温度下での粘度変化 (主剤・硬化剤の混合後, 接着剤)

(2) 硬度（硬さ測定方法）

試験結果を表-3.2.5 および図-3.2.4 に示す。養生時間が長くなるにつれゴム系接着剤は硬くなり、5日後から硬度が変化しない。完全硬化の目安として50°C×7日追加養生した値も同程度であり、23°C×5日程度でゴム系接着剤は硬化し性能を発揮することが確認された。

表-3.2.5 養生時間における硬度

養生時間	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	23°C×7日 50°C×7日
硬さ (type-A)	33	49	51	52	61	61	60	63

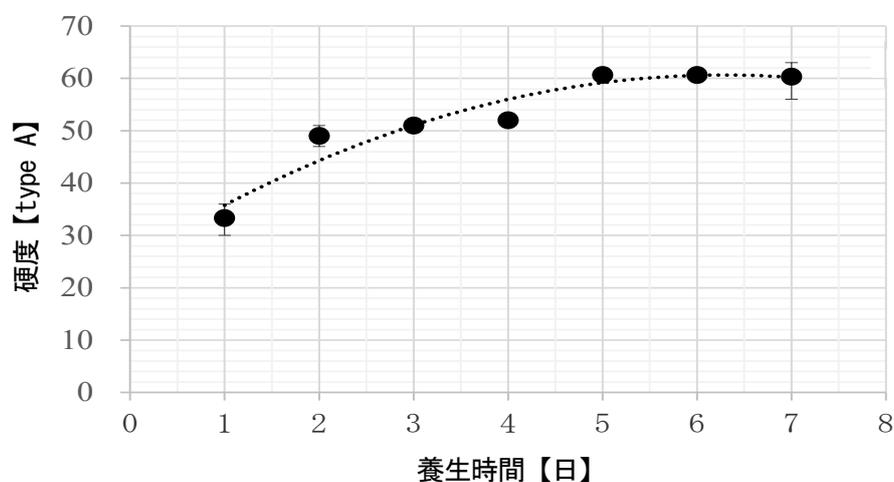


図-3.2.4 硬度測定結果（ゴム系接着剤）

(3) 浸透性

表-3.2.6 に温度別の浸透深さを、写真-3.2.3 に浸透性試験後の外観を示す。プライマーと同様、5℃、20℃および35℃いずれの温度においても浸透深さは100mm であり、問題なく浸透することが確認された。

表-3.2.6 接着剤の浸透性 (単位 : mm)

20℃

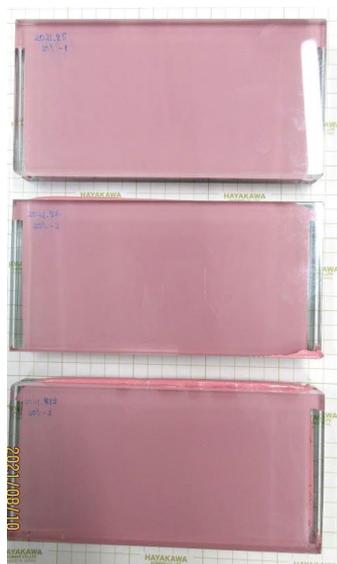
	l1	l2	l3	浸透深さ
n = 1	100	100	100	100
n = 2	100	100	100	100
n = 3	100	100	100	100
	平均			100

35℃

	l1	l2	l3	浸透深さ
n = 1	100	100	100	100
n = 2	100	100	100	100
n = 3	100	100	100	100
	平均			100

5℃

	l1	l2	l3	浸透深さ
n = 1	100	100	100	100
n = 2	100	100	100	100
n = 3	100	100	100	100
	平均			100



(20℃)



(35℃)



(5℃)

写真-3.2.3 接着剤・浸透性試験後の外観

(4) 指触乾燥時間（タックフリー試験）

図-3.2.5 に環境温度における経過時間と指触による評価結果を示す。環境温度が高くなるにつれ、指触乾燥時間は短くなる傾向が示された。断面修復材の施工はゴム系接着剤の乾燥前に行う必要があり、夏場 35℃では約 50 分以内、春秋 20℃では約 100 分以内となる。5℃では指触乾燥に 6 時間以上必要であり、低温環境になるほど作業可能時間が長くなる。しかし、プライマーと同様に低温環境では硬化反応は進み難く、完全に硬化することが難しい。硬化不良となった接着剤は性能を発揮することができないため、低温環境では作業可能時間は長くなるものの、硬化の観点から適切ではないことがある。

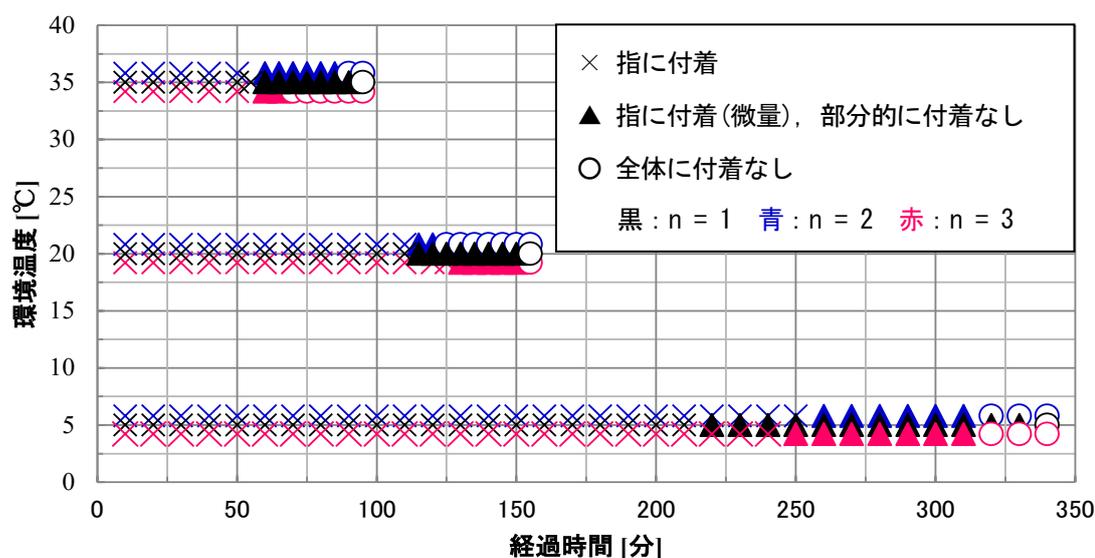


図-3.2.5 各温度下での指触乾燥時間（接着剤）



(20℃)

(35℃)

(5℃)

写真-3.2.4 指触乾燥試験後の外観（接着剤）

(5) 圧縮強さ（最大圧縮応力）および圧縮弾性率

図-3.2.6 に圧縮試験時の応力-ひずみ曲線を示す。圧縮試験では、圧縮率 60%、圧縮荷重 1000N まで載荷したが破壊に至らなかったため、圧縮強さ（最大圧縮応力）を算出できなかった。50°C×7 日の追加養生を行った場合、応力-ひずみ曲線を見ると、常温で養生のみ行った場合よりも高い値を示しており、硬化が進んでいると考えられる。

図-3.2.7 に圧縮弾性率算出区間を拡大した応力-ひずみ曲線を示す。また、算出した圧縮弾性率を表-3.2.7 および図-3.2.8 に示す。圧縮弾性率は、3つの試験体においてばらつきが見られ、信頼性の点で課題がある。JIS K 7181 は硬質および半硬質プラスチックの圧縮特性を求める試験方法である。硬質プラスチックは曲げもしくは引張弾性率が 700MPa より大きいものであり、半硬質プラスチックは 70~700MPa の間にあるものである。接着剤の硬化物の曲げ弾性率は数 MPa 程度であり、規格適用範囲外の材料となる。そのため、試験結果自体に信頼性が低く、圧縮強さ（最大圧縮応力）や圧縮弾性率の大小は比較できないと考えられる。

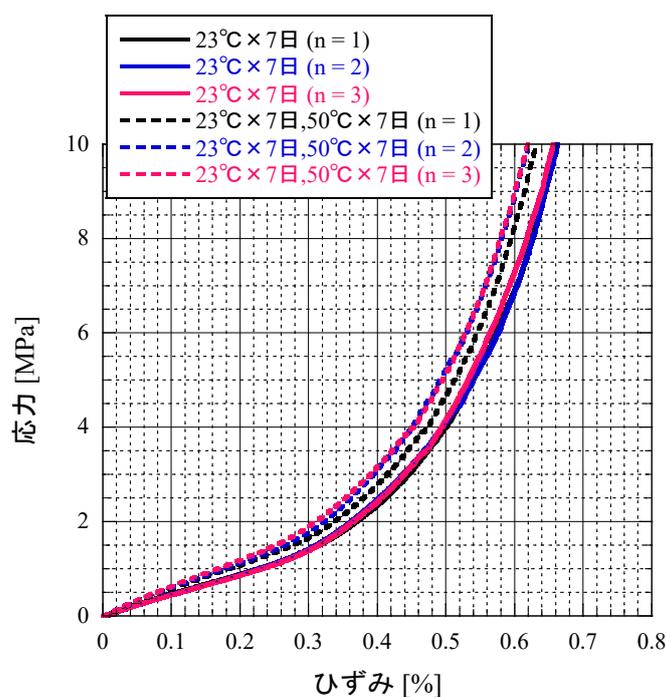


図-3.2.6 接着剤の応力-ひずみ曲線

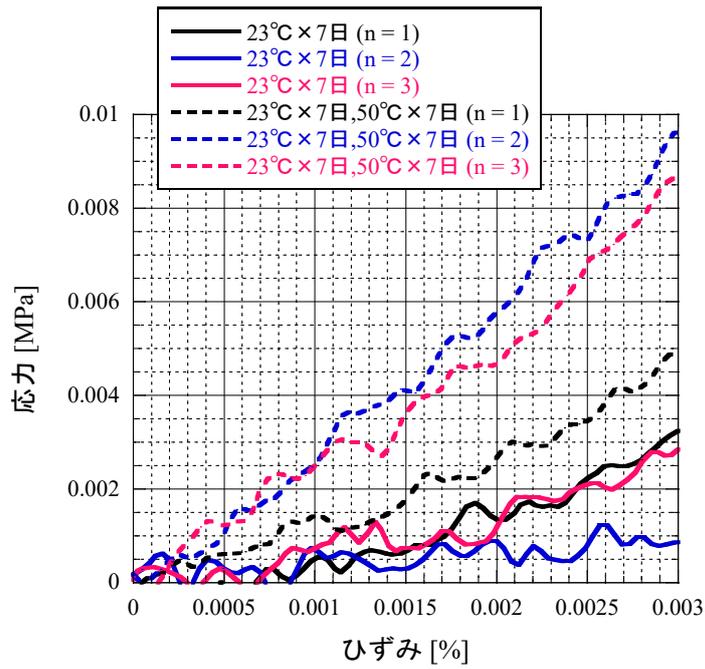


図-3.2.7 接着剤の応力-ひずみ曲線 (圧縮弾性率算出区間拡大)

表-3.2.7 接着剤の圧縮弾性率

養生時間	23°C × 7日	23°C × 7日 50°C × 7日
圧縮弾性率 (MPa)	0.76	2.46

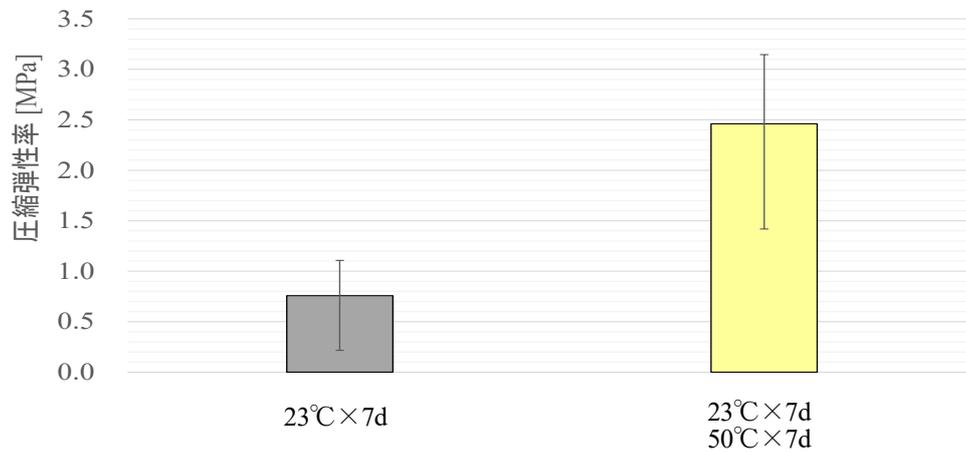


図-3.2.8 接着剤の圧縮弾性率

(6) 曲げ強さ（最大曲げ応力）

図-3.2.9 に曲げ試験時の応力-ひずみ曲線を示す。写真-3.2.5 に示すように、曲げ試験において圧子変位量が 15mm 以上であっても破壊に至らなかった。

曲げ応力を算出した結果を表-3.2.8 および図-3.2.10 に示す。50°C×7 日の追加養生後のケースが変位-曲げ応力曲線、曲げ強さ（最大曲げ応力）ともに低い値を示した。通常、硬化が進むとともに強度や硬度が上昇する傾向であるが、曲げ強度では逆の結果となった。試験体は、現場作業での製品状態を評価する目的から、気泡を除去する後工程を施していない。そのために硬化物中には気泡が存在しており、その大きさや数を制御することはできないため気泡による影響が現れた結果と考えられる。また、JIS K 7171 の曲げ試験は、圧縮試験と同様に硬質および半硬質プラスチックの曲げ特性を求めるといった試験方法である。接着剤の硬化物は適用範囲外のため、試験結果自体に信頼性が低く曲げ試験において変位-曲げ応力曲線や曲げ強さ（最大曲げ応力）の大小は比較できないと考えられる。

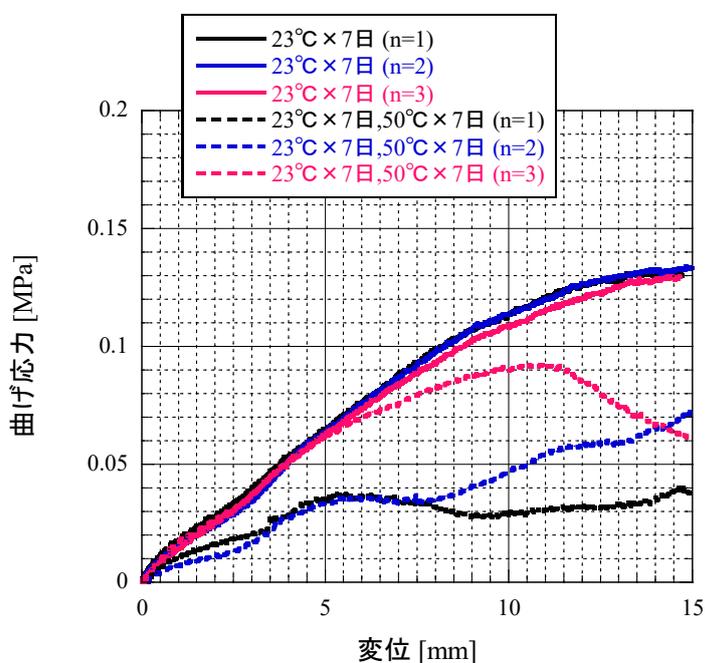


図-3.2.9 接着剤の応力-変位曲線

表-3.2.8 接着剤の曲げ応力

養生条件	23°C×7日	23°C×7日 50°C×7日
最大曲げ応力 (MPa)	0.13	0.07

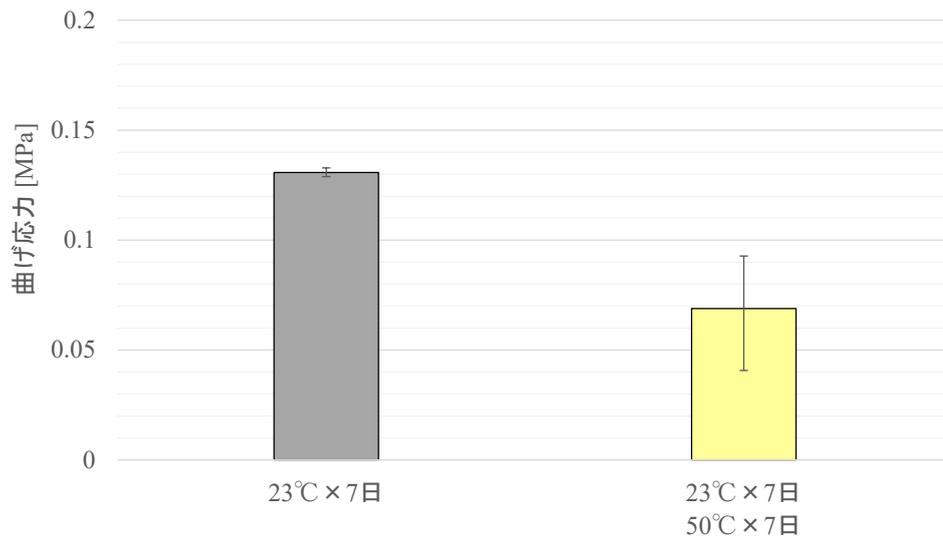


図-3.2.10 接着剤の曲げ応力



(圧子変位前)



(圧子 15mm 変位後)

写真-3.2.5 曲げ試験の状況

(7) 引張接着強さ (耐水試験, 接着強さ試験)

接着剤の引張接着強さは 0.5MPa 程度であった。50°C×7 日の追加養生のケースは、23±2°C×7 日養生の接着強さより向上しているため、硬化が進んでいると考えられる。耐水試験後の引張接着強さは、23±2°C×7 日養生後の約 79%程度であり、水分の影響によって直ちに破損することはないが、長期的な影響に関しては今後検討する必要がある。

接着剤なしと比較すると接着剤使用時には引張接着強さが劣るものの、脆性的な破壊は抑えられる傾向がある。最大荷重後もある程度、靱性的挙動を示しており、補修部に発生する変形に追従する能力は有すると考えられる。なお、破壊形態としては全て凝集破壊となることから、接着剤の破壊強度が接着強度であると言える。

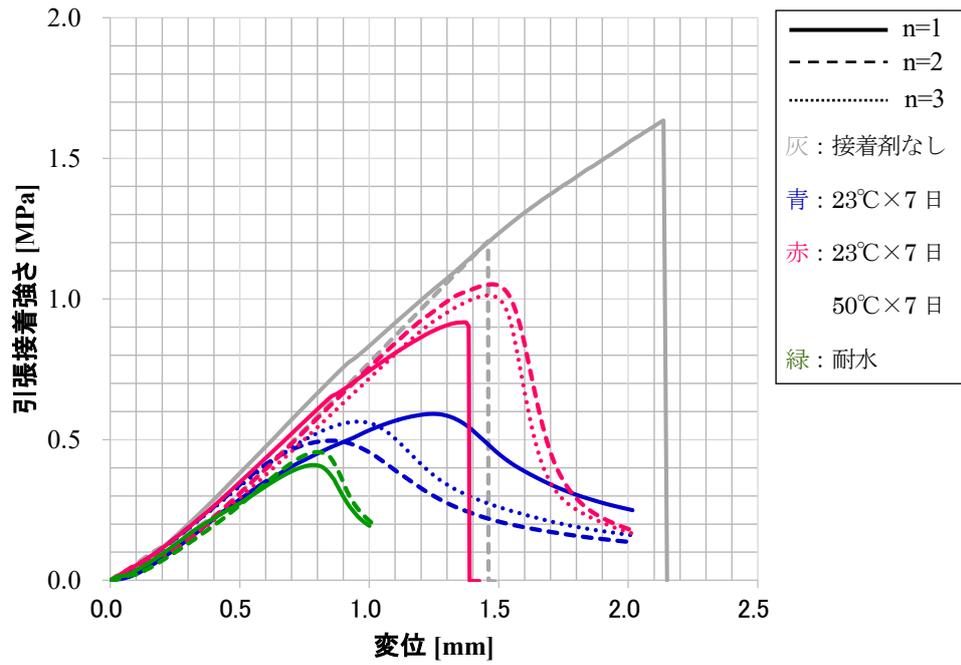


図-3.2.11 接着剤の引張接着試験時における応力-変位曲線

表-3.2.9 引張接着強さ

養生条件	接着剤なし	20°C×7日	20°C×7日 50°C×7日	耐水
引張接着強さ (MPa)	1.42	0.55	0.99	0.43

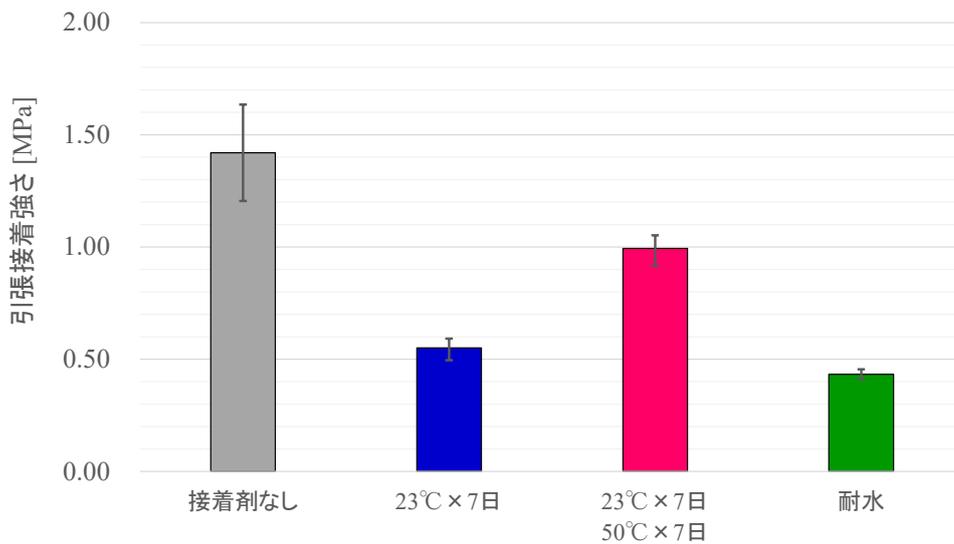


図-3.2.12 引張接着強さ

(8) 圧縮せん断接着強さ

圧縮せん断接着強さは、接着剤を使用した方が高くなった。引張接着試験同様に 50°C×7 日の追加養生したものは、23±2°C×7 日養生の接着強さより向上しているため、硬化が進んでいると考えられる。

耐水試験後の値は、23±2°C×7 日養生後の約 85%保持しており、これも引張接着試験結果と同様に短期的な使用に問題がないと考えられる。

接着剤使用時は、接着剤なしと比較すると破断に至るまでの変位量が大きく、変形に対する追従性は高いことが分かる。また、最大荷重後も急激な破損とはならず、粘り強さを発揮している。

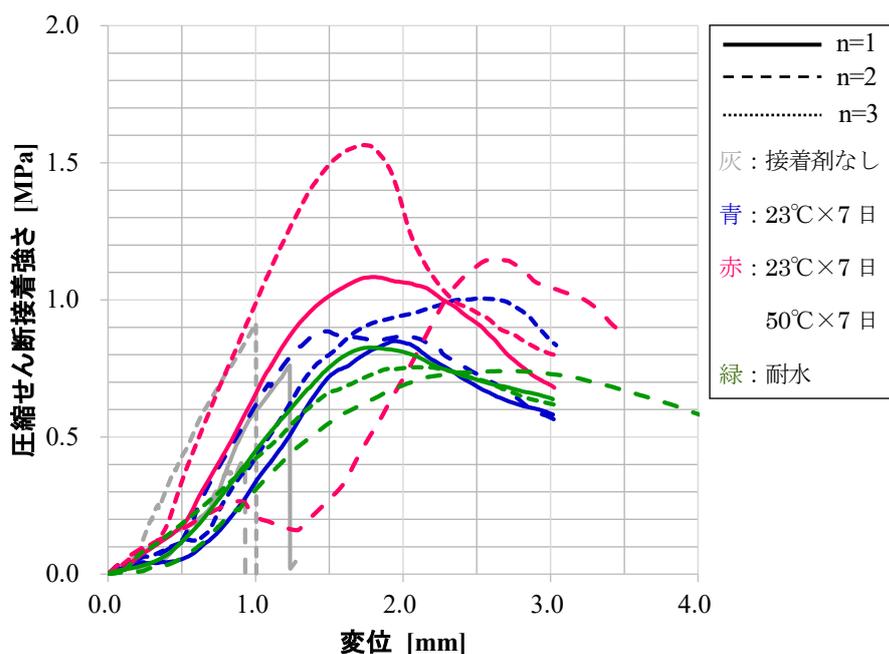


図-3.2.13 接着剤の圧縮せん断接着試験時における応力-変位曲線

表-3.2.10 圧縮せん断接着強さ

養生条件	接着剤なし	23°C×7日	23°C×7日 50°C×7日	耐水
圧縮せん断接着強さ (MPa)	0.70	0.91	1.27	0.77 保持率：85%
最大荷重時の変位量 (mm)	1.1	2.0	2.1	2.2

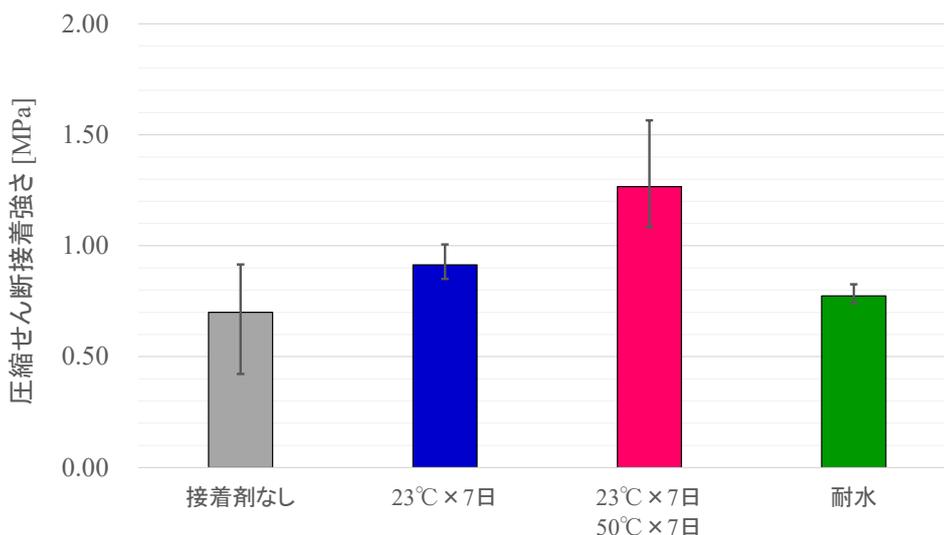


図-3.2.14 圧縮せん断接着強さ

3. 2. 3 断面修復材

(1) フレッシュ性状

試験結果を表-3.2.11 および表-3.2.12 に示す。モルタルフロー試験の結果より PCM の 5°C、20°C および 35°C の 0 打フロー値は PCM-F と比較して小さな値を示し、15 打フロー値についても PCM-F の 0 打フロー値より小さな値を示した。柔軟型についてはスラリー状である。ただし、どちらの材料もいずれの温度条件においても練混ぜや左官作業性に問題なく、供試体作製を行える施工性であった。

凝結時間については、PCM-F が 35°C の条件で始発から終結までの時間が 10 分台であったが、室内において供試体作製など問題なく行うことができた。しかし、5 から 20°C までの 40 分台と比較して、顕著に短い時間で硬化が進むことがわかった。すなわち、温度の影響を受けやすいため実際の施工に際しては、材料の保管方法や施工場所の日射条件などに配慮する必要があると考えられる。

表-3.2.11 モルタルフロー試験の結果¹⁾

材料	コンシステンシー					
	0 打フロー値 (mm)			15 打フロー値 (mm)		
	5°C	20°C	35°C	5°C	20°C	35°C
PCM	100~107	101	101~103	133~137	131~135	129~131
PCM-F	152~153	158~160	154~156	—	—	—

表-3.2.12 凝結時間試験の結果¹⁾

材料	凝結時間 (始発~終結) (分)		
	5°C	20°C	35°C
PCM	51~64	36~47	53~73
PCM-F	42~54	40~47	12~17

(2) 硬化性状（輪荷重への耐久性）

試験結果を表-3.2.13、表-3.2.14 および表-3.2.15 に、材齢との関係を図-3.2.15、図-3.2.16 および図-3.2.17 に示す。圧縮強度試験、曲げ強度試験の結果より、PCM の強度は材齢2 時間から 28 日の範囲において材齢とともに増加し、PCM-F は各温度とも材齢7 日の段階で強度発現がほぼ完了する傾向を示した。また、PCM-F は、温度条件による強度発現に顕著な差がなく、PCM では、5℃の条件において強度の発現が低く推移した。このことから、現場での強度発現を適切に確保するためには、温度条件に配慮した養生時間の確保や低温条件での施工時に保温対策を実施するなどの必要があると考えられる。

静弾性係数について PCM は、圧縮強度、曲げ強度の結果と同様に特に若材齢で大きく増加し、材齢7 日以降で収束する傾向を示した。一方、柔軟型は弾性係数が低い値のまま変化なく推移した。

表-3.2.13 断面修復材の圧縮強度試験結果¹⁾

材料	温度	圧縮強度 (MPa)											
		5℃				20℃				35℃			
		材齢	2h	7h	7d	28d	2h	7h	7d	28d	2h	7h	7d
PCM		10.2	29.8	34.9	39.8	26.9	33.5	44.4	50.2	26.1	35.6	47.0	59.8
PCM-F		0.8	1.2	2.3	2.6	0.8	1.5	2.5	2.5	1.0	1.1	2.8	3.0

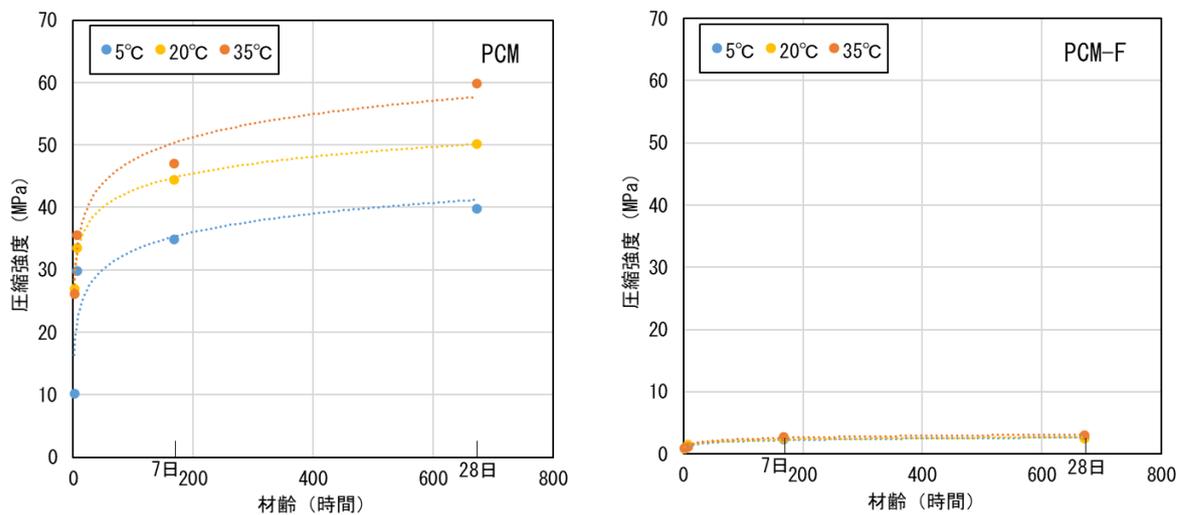


図-3.2.15 材齢と圧縮強度との関係¹⁾

表-3.2.14 断面修復材の曲げ強度試験結果¹⁾

材料	曲げ強度 (MPa)												
	温度	5°C				20°C				35°C			
	材齢	2h	7h	7d	28d	2h	7h	7d	28d	2h	7h	7d	28d
PCM		1.6	9.5	10.0	12.1	5.4	10.9	13.6	15.0	5.7	9.4	15.0	16.4
PCM-F		0.6	0.9	1.5	1.8	0.6	1.2	1.5	1.7	0.8	1.0	2.0	3.0

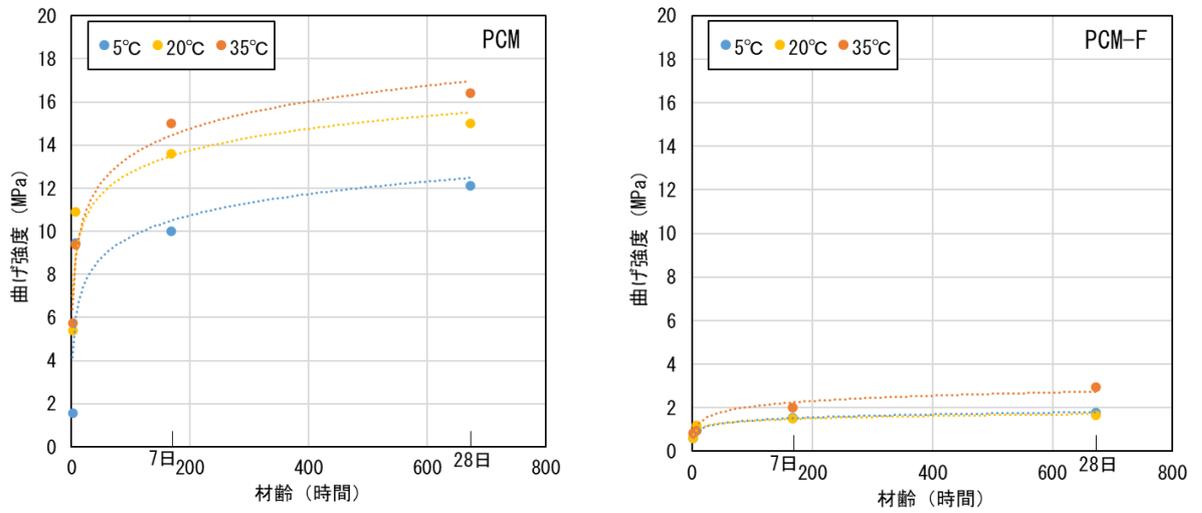


図-3.2.16 材齢と曲げ強度との関係¹⁾

表-3.2.15 断面修復材の静弾性係数試験結果¹⁾

材料	静弾性係数 (GPa)												
	温度	5°C				20°C				35°C			
	材齢	2h	7h	7d	28d	2h	7h	7d	28d	2h	7h	7d	28d
PCM		12.1	21.5	23.2	25.3	21.7	22.4	24.9	24.8	18.2	19.7	22.8	24.3
PCM-F		2.0	—	2.5	3.4	—	3.2	4.0	3.8	2.2	2.6	3.5	3.3

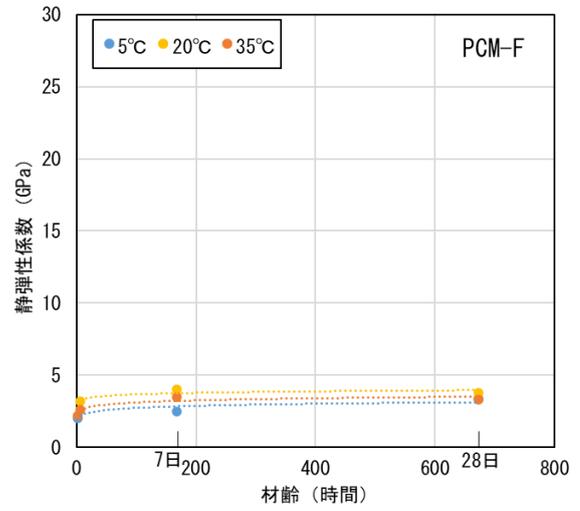
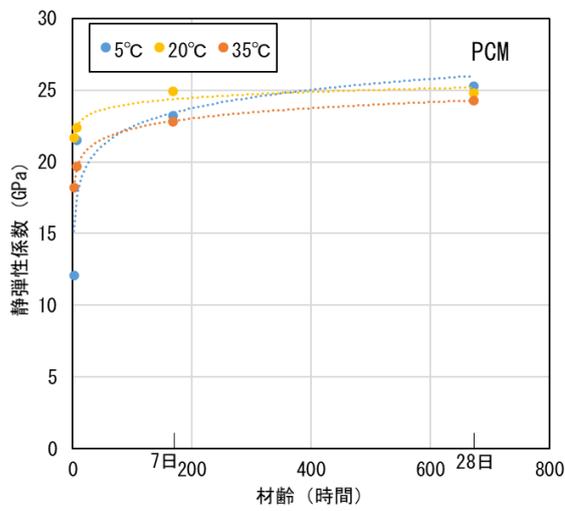


図-3.2.17 材齢と静弾性係数との関係¹⁾

(3) 硬化性状（磨耗への耐久性）

図-3.2.18 にラベリング試験（往復チェーン型）の結果を示しており、3 枚の供試体の試験結果の平均値および最大値／最小値をプロットしている。打設コンクリート供試体は、北海道開発局道路設計要領に規定される積雪寒冷地用のコンクリート舗装の配合で打設した供試体である。すり減り量は 0.2cm^2 と北海道開発局における表層アスファルト混合物の規格値 1.3cm^2 以下を大きく下回り、耐摩耗性に優れることがわかる。

一方、PCM-F のすり減り量は 2.0cm^2 程度であり、PCM は 1.7cm^2 程度といずれの断面修復材も積雪寒冷地におけるすり減り量の規格値を上回っていた。積雪寒冷地の車輪通過部などの補修に使用することを想定すると、耐摩耗性の改善が今後の課題といえる。

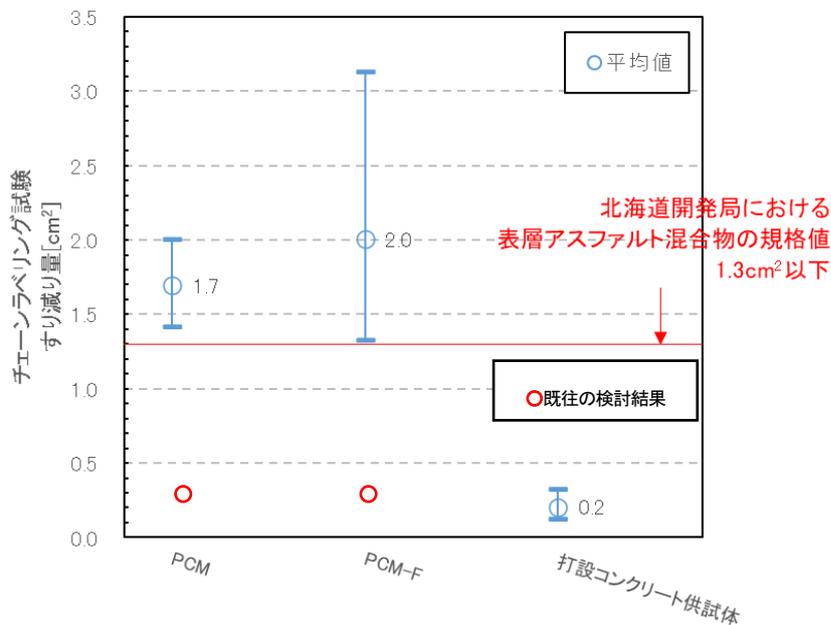


図-3.2.18 チェーンラベリング試験による断面修復材のすり減り量¹⁾

(4) 硬化性状（環境作用の影響）

寸法安定性試験の結果を表-3.2.16、線膨張係数試験の結果を図-3.2.19に示す。断面修復材はどちらも膨張を示し、PCMに比べてPCM-Fの方が大きな膨張量となった。どちらも材齢1日程度で膨張し、その後はほぼ寸法変化量が収束した状態であった。

また、材料自体の寸法変化が収束した状態で実施した線膨張係数試験の結果、 $12\sim 15\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ の線膨張係数であることがわかった。一般的なコンクリートの線膨張係数は $10\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度とされており、比較すると若干大きな値を示すことが確認された。

表-3.2.16 寸法安定性試験の結果¹⁾

補修材	寸法安定性 ($\times 10^{-6}$)	備考
PCM	90	膨張
PCM-F	1,030	膨張

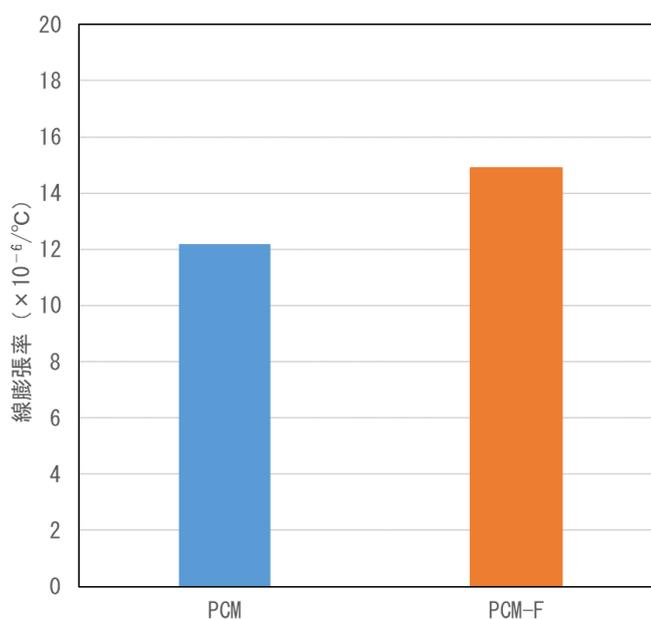


図-3.2.19 線膨張係数試験の結果¹⁾

(5) 硬化性状（凍結融解への耐久性）

断面修復材の相対動弾性係数を図-3.2.20 に示す。寒冷地用のコンクリート舗装の配合で打設した供試体（打設コンクリート供試体）は 300 サイクルの凍結融解後も相対動弾性係数の低下は見られず、高い凍結融解抵抗性を有していることがわかる。

PCM-F の相対動弾性係数は、凍結融解作用が加わることに減少し、300 サイクル後には 80%弱まで低下し、凍結融解抵抗性に課題があることが確認された。

PCM の相対動弾性係数は、サイクル数の増加に伴いわずかに増加したものの、大きな相対動弾性係数の低下が見られず、高い凍結融解抵抗性を有していることが確認された。

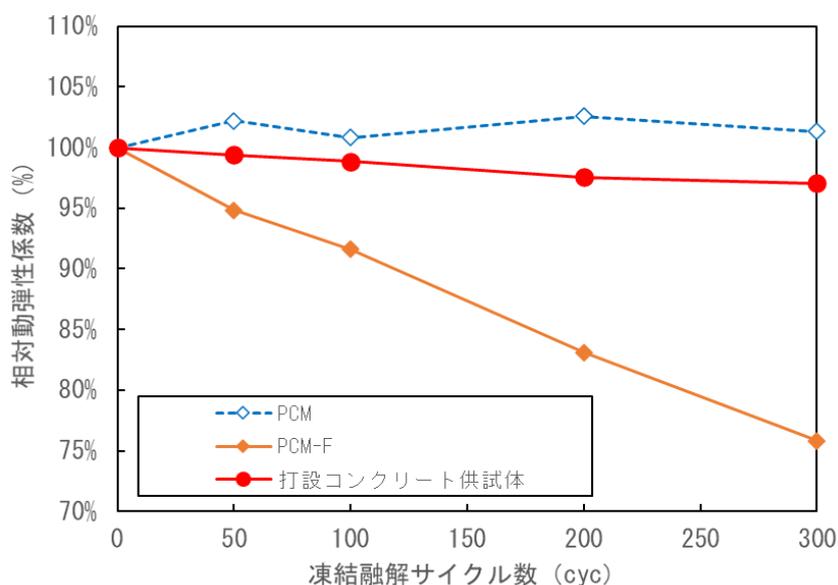


図-3.2.20 凍結融解作用による相対動弾性係数の推移¹⁾

凍結融解試験により得られた断面修復材の質量減少率を図-3.2.21 に示す。寒冷地用のコンクリート舗装の配合で打設した供試体（打設コンクリート供試体）は300サイクルの凍結融解後若干スケールリングがみられたが、質量減少率は1%以下であり、高い凍結融解抵抗性を有していることがわかる。

PCM-Fの質量減少率は負の値（質量が増加）であり、供試体内部への水分量の増加による質量の増加傾向が伺える。PCMの質量減少率はほぼ変化はなく、高い凍結融解抵抗性を有していることが確認された。

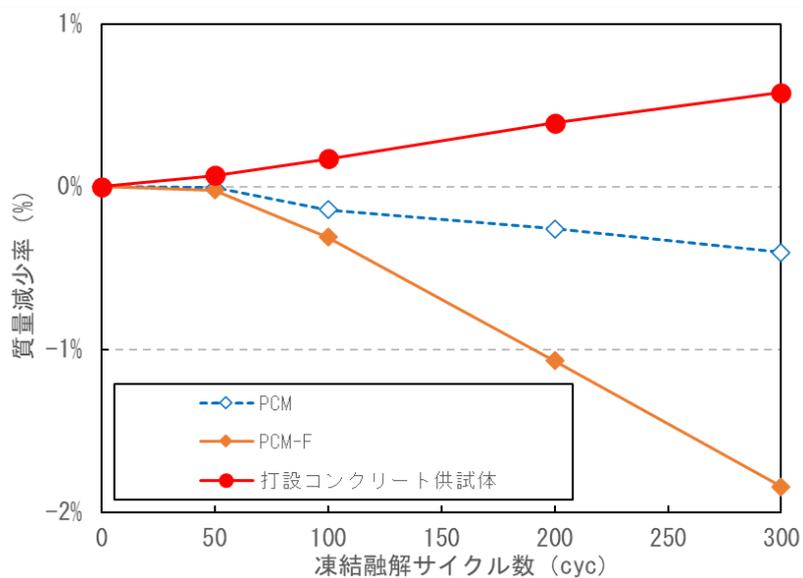


図-3.2.21 凍結融解作用による質量減少率の推移¹⁾

3. 2. 4 既存コンクリートと断面修復材とを用いた複合材料

(1) 繰返し载荷試験後における付着性評価

新旧コンクリートの界面部分を無対策（前述 3.1.4 (1) 参照）とし断面修復材にて補修した供試体は、付着部分に白い線上のひび割れが発生し、界面で剥離しているものと考えられる（図-3.2.22）。このケースは、元々付着力が小さいかもしくは繰返し载荷によって付着が早期になくなり、時間の経過とともに補修コンクリートの剥離や剥落につながるものと考えられる。一方、ゴム系接着剤にて接着した供試体（図-3.2.23）は、界面箇所が黒く画像化されて、新旧コンクリートの付着の剥離が発生していないものと考えられる。このように、接着剤を塗布することで、既存コンクリートと断面修復材との付着性が向上することが確認された。

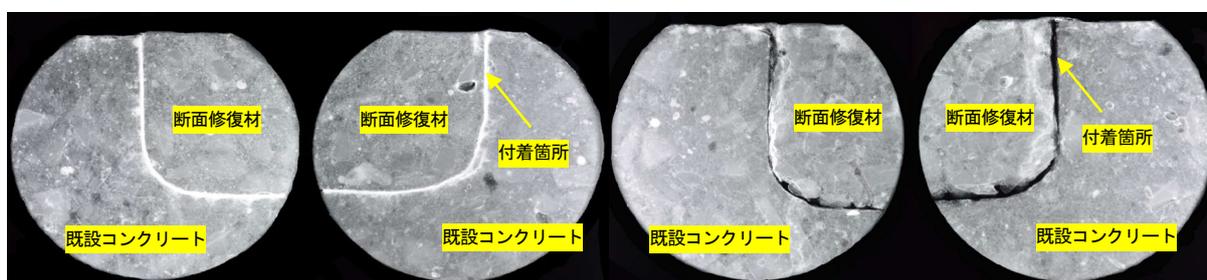
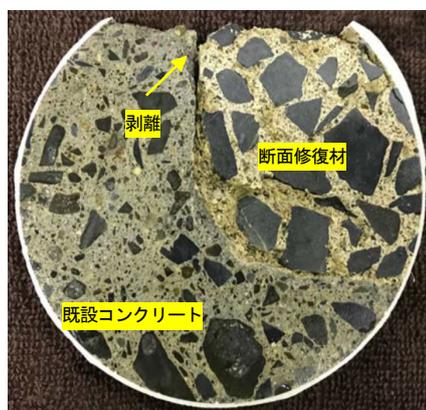


図-3.2.22 界面箇所の X 線画像（無対策）

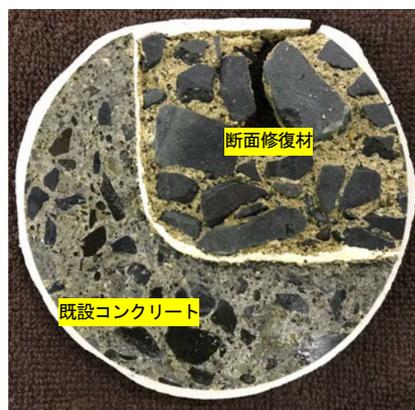
図-3.2.23 界面箇所の X 線画像（接着剤使用）

(2) 接着箇所のコア抜き供試体を用いた凍結融解試験

写真-3.2.6 に凍結融解を 35 サイクル繰返した後の供試体の外観を示す。無対策の供試体は、凍結融解 1 サイクル後から新旧コンクリートの付着部分にひび割れが発生し、最終的に断面修復材の剥離が生じた。一方、接着剤を使用した供試体では、35 サイクル時においても新旧コンクリートの付着箇所にひび割れや剥離が生じておらず、接着剤の有効性が確認された。



(無対策)



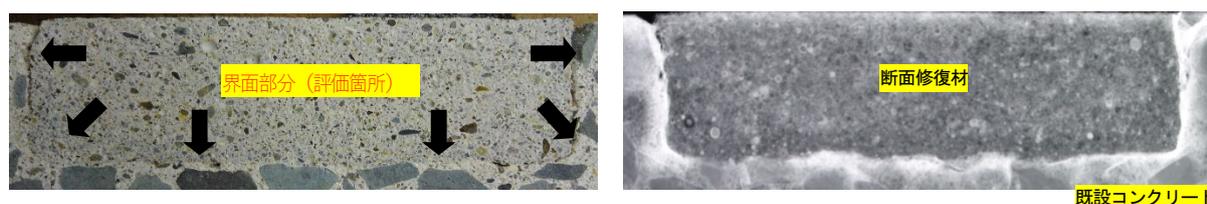
(接着剤使用)

写真-3.2.6 凍結融解後の供試体・35 サイクル時

(3) ホイールトラッキング試験後における付着性評価

無対策の供試体は、繰返し載荷試験後と同傾向であり、既存コンクリートと断面修復材との剥離が確認された。これは、元々付着力が小さく、ホイールトラッキングによって付着が早期になくなったためと考えられる。載荷を受ける環境では、新旧コンクリートの付着性向上の施策が必要であり、断面修復材のみの補修では再劣化が発生しやすいと考えられる。

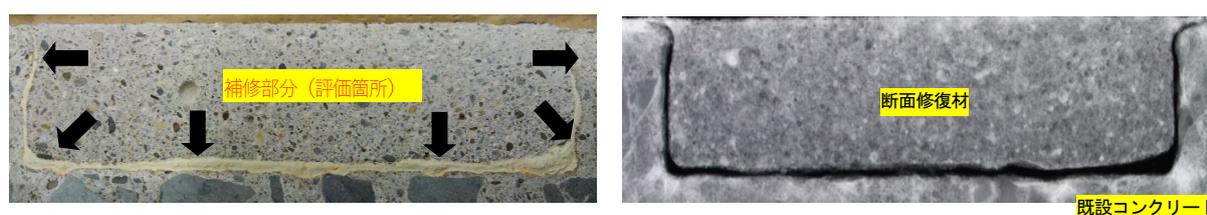
一方、ゴム系接着剤の供試体では、既存コンクリートと断面修復材との界面付近にひび割れが見られず、付着が維持されている。ホイールトラッキング試験においても、接着剤の有効性が確認された。



(スライスした供試体の写真)

(X線画像)

写真-3.2.7 無対策（断面修復材のみ）の供試体



(スライスした供試体の写真)

(X線画像)

写真-3.2.8 ゴム系接着剤を使用した供試体

(4) 接着性（引張作用への耐久性）

プルオフ試験の結果を図-3.2.24、図-3.2.25、図-3.2.26 および図-3.2.27 に示す。結果として、接着剤や断面修復材の種類に係わらず、材齢7日まで接着強度が増加し、その後28日まで収束する傾向を示した。エポキシ系接着剤を用いた場合、プルオフ試験の破壊形態は断面修復材自身の凝集破壊であり、JIS コンクリート平板と断面修復材は良く付着していた。断面修復材の種類に着目すると、PCMはPCM-Fよりも高い接着強度を示した。これはエポキシ系接着剤の効果が補修材種によって変わっているのではなく、断面修復材そのものの強度による差が現れていると考えられる。また環境温度が高くなるほど接着強度が高くなっているが、これも断面修復材の硬化が高温ほど促進された結果と考えられる。

一方、ゴム系接着剤を使用した場合、断面修復材によらず接着強度に差は見られなかった。また環境温度による差もなく、エポキシ系接着剤とは異なる結果となった。プルオフ試験の破壊形態は接着剤の凝集破壊であり、こちらもよく付着していた。しかしながら、接着強度の絶対値はエポキシ系と

比較して低く、ゴム系接着剤そのものの強度が低いことが原因である。単純な引張での接着強度はエポキシ系接着剤に劣るが、ゴム系接着剤の開発コンセプトが「強い接着よりも、剥がれない接着」であり、緩衝材としての役割を期待しているため単純に悪いと判断していない。

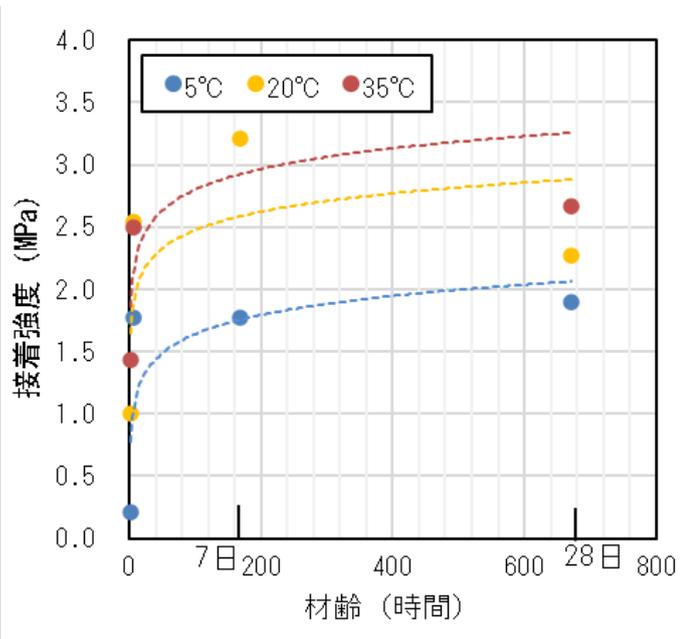


図-3.2.24 エポキシ系接着剤を使用したPCMの接着強度¹⁾

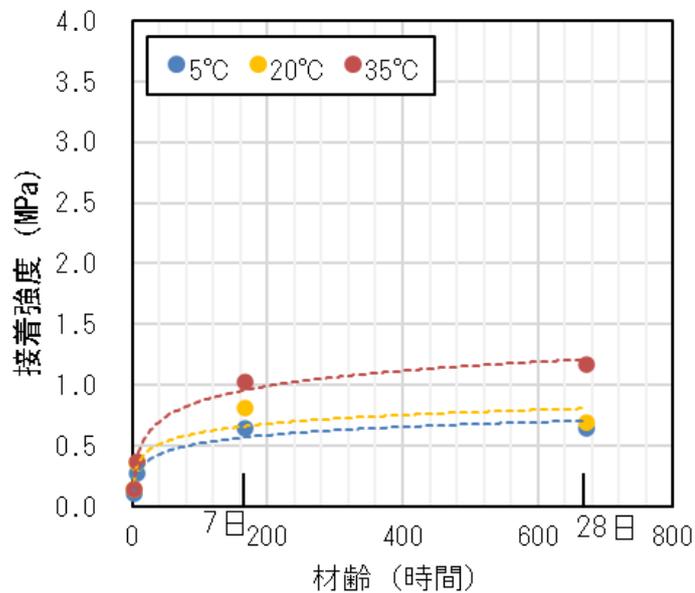


図-3.2.25 エポキシ系接着剤を使用したPCM-Fの接着強度¹⁾

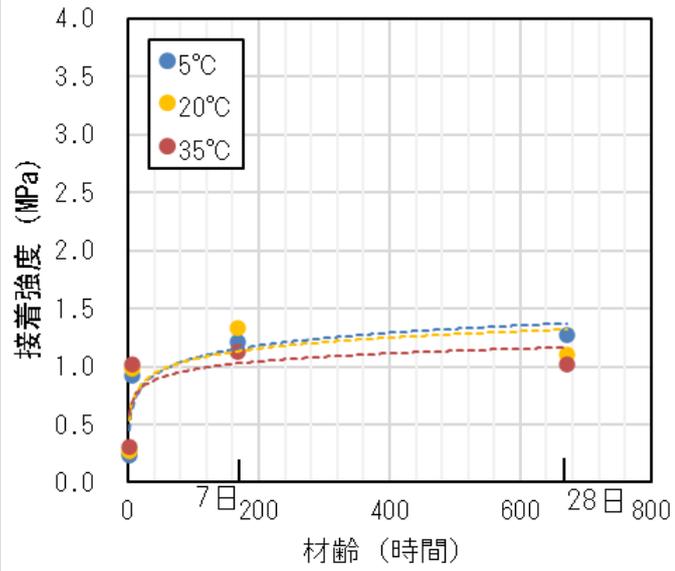


図-3.2.26 ゴム系接着剤を使用した PCM の接着強度¹⁾

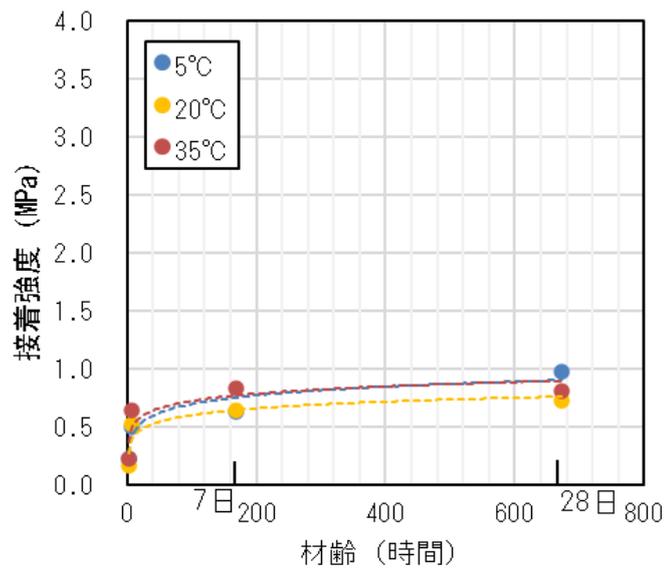


図-3.2.27 ゴム系接着剤を使用した PCM-F の接着強度¹⁾

3. 3 材料試験のまとめ

■エポキシ系プライマーに関して

- 1) 練混ぜ直後における混合粘度は、温度が高い条件ほど値が小さくなる傾向であった。
- 2) 硬度は、塗布後 7 時間において温度が高い条件ほど値が大きくなり、7 日間ではいずれも同程度であった。
- 3) 曲げ応力および曲げ弾性率を測定した結果、23°C 環境下では想定通り発現する。
- 4) 浸透性は、いずれの温度においても問題なく浸透することが分かった。
- 5) 指触乾燥時間（タックフリー試験）は、環境温度が高くなるにつれ、指触乾燥時間が短くなる傾向であった。また、低温環境では硬化反応は進み難く完全に硬化することが難しいため、作業環境を考慮する必要がある。

■ゴム系接着剤に関して

- 1) 粘度は反応が進むことにより上昇するため、塗布は混合後 15～20 分で困難になる。粘度測定結果から作業可能時間（仮）とした場合、5°C では約 18 分、20°C および 35°C では約 15 分であった。
- 2) 硬度は養生時間が長くなるにつれ接着剤が硬くなり、5 日後から硬度が変化しない。完全硬化の目安として、23±2°C×5 日程度で接着剤が硬化し性能を発揮する。
- 3) 浸透性は、いずれの温度においても問題なく浸透することが分かった。
- 4) 指触乾燥時間（タックフリー試験）は、環境温度が高くなるにつれ、指触乾燥時間は短くなる傾向であった。また、低温環境になるほど作業可能時間が長くなるが、硬化物の物性への影響（硬化不良）が懸念されるため、適切でないことがある。
- 5) 圧縮強さ（最大圧縮応力）および圧縮弾性率は、圧縮率 60% および圧縮荷重 1000N まで载荷したが破壊に至らなかったため算出できなかった。圧縮特性は、50°C×7 日の追加養生後に応力-ひずみ曲線、圧縮弾性率ともに上昇しており、23±2°C×7 日養生より硬化が進んでいると考えられる。
- 6) 曲げ強さ（最大曲げ応力）は、圧子変位量が 15mm 以上であっても破壊に至らなかった。圧縮 50°C×7 日の追加養生後のケースが変位-曲げ応力曲線、最大曲げ応力ともに低い値を示した。硬化が進むとともに強度や硬度が上昇する傾向であるが、曲げ強度では逆の結果となった。試験体は、現場作業での製品状態を評価する目的から、気泡を除去する後工程を施していないため硬化物中に気泡が存在し、その影響が現れたと考えられる。また、JIS K 7171 の曲げ試験は、硬質および半硬質プラスチックの圧縮特性を求める試験方法であり、接着剤の硬化物の曲げ弾性率が 0.01～0.02MPa 程度のため、変位-曲げ応力曲線や曲げ強さ（最大曲げ応力）の大小は比較できないと考えられる。
- 7) 引張接着強さは 0.5MPa 程度であり、これまでの結果（0.4～0.8MPa 程度）と同等であった。耐水試験後の値は、室温 7 日養生後の約 79% 程度であり、水分の影響によって直ちに破損すること

はないが長期的な影響に関しては今後検討する必要がある。

接着剤未使用のものと比較をすると接着剤使用時には引張接着強さが劣るものの、脆性的な破壊は抑えられる傾向がある。破壊形態としては全て凝集破壊となることから、接着剤の破壊強度が接着強度であると言える。

- 8) 圧縮せん断接着強さは、接着剤を使用した方が高くなり、引張接着試験結果とは異なる結果となった。耐水試験後の値は、 $23\pm 2^{\circ}\text{C}\times 7$ 日養生後の約85%保持しており、これも引張接着試験結果と同様に短期的な使用に問題がないと考えられる。接着剤なしと比較して接着剤使用時には、破断に至るまでの変位量が大きく、変形に対する追従性は高いと考えられる。

■断面修復材に関して

- 1) PCM-FはPCMと比較すると流動性が高く、温度依存性は低い。
- 2) PCMはPCM-Fと比較すると、温度変化による凝結時間への影響が小さく、PCM-Fの場合 35°C 程度の高温条件下では凝結開始が10分程度のため、施工に際して配慮が必要となる。
- 3) PCMの圧縮および曲げ強度は、材齢7時間でコンクリート舗装の交通開放強度を十分に満足する。
- 4) PCM-Fの材齢28日における圧縮および曲げ強度は、それぞれコンクリート舗装の交通開放強度に到達しない。
- 5) 耐摩耗性は、試験結果のばらつきや過去の結果を鑑みて、引き続き検討が必要である。
- 6) PCMは凍結融解による影響を受けにくいだが、PCM-Fは質量減少および相対動弾性係数の減少が確認された。

■既存コンクリートと断面修復材とを用いた複合材料に関して

- 1) 繰返し載荷試験による付着性評価について無対策の供試体は、付着部分に白い線上のひび割れが発生したが、接着剤使用の供試体では確認できなかった。接着剤を使用することで付着性が向上することが確認された。
- 2) 接着箇所のコア抜き供試体を用いた凍結融解試験において無対策の供試体は、凍結融解直後から付着箇所にひび割れが確認でき、最終的に断面修復材の剥離が生じた。一方、接着剤使用の供試体では、35サイクル時においても付着箇所にひび割れや剥離が生じておらず、接着剤の有効性が確認された。
- 3) ホイールトラッキング試験による付着性評価について無対策の供試体は、既存コンクリートと断面修復材との剥離が確認された。一方、接着剤使用の供試体では、界面箇所にひび割れが確認できず、付着が維持されていた。
- 4) プルオフ試験の結果について、接着剤や断面修復材の種類にかかわらず材齢7日まで接着強度が増加し、28日までに収束する傾向を示した。エポキシ系接着剤を用いた場合、破壊形態は断面修復材自身の凝集破壊であり、JISコンクリート平板と断面修復材が良く付着していた。一方、ゴ

ム系接着剤を使用した場合、破壊形態は接着剤の凝集破壊であり、よく付着していた。接着強度の絶対値はエポキシ系と比較して低かったが、緩衝材としての役割を期待しているため単純に悪いと判断していない。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人土木研究所他：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～点検・診断技術編（その3）～～措置技術編（その2）～，第569号，2022.3
- 2) 国立研究開発法人土木研究所他：：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，第514号，pp.34-41，2019.
- 3) 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.
- 4) 大浜嘉彦：レジン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.
- 5) 杉田英明，藤本浩，熊谷秀春，水賢治：石炭灰を用いたレジン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，Vol.12-1，pp.139-144，1990.
- 6) 武田三弘，大塚浩司：X線造影撮影法によるコンクリートの性状評価手法の開発と応用，土木学会論文集 E2，Vol.68，No.3，pp.146-156，2012.

第4章 実大供試体試験

4.1 試験概要

実施工による耐久性試験は、（国研）土木研究所の敷地内にある舗装走行実験場にて実施した。図-4.1.1、図-4.1.2、写真-4.1.1に示すように、実験場には模擬損傷を施した試験工区を設置し、荷重車を用いた走行試験を行った。

補修工法はパッチングとし、使用材料は新たに提案する弾性接着剤（エポキシ系プライマー＋ゴム系接着剤）とした。なお、補修は真夏の環境下（8月）に実施している。

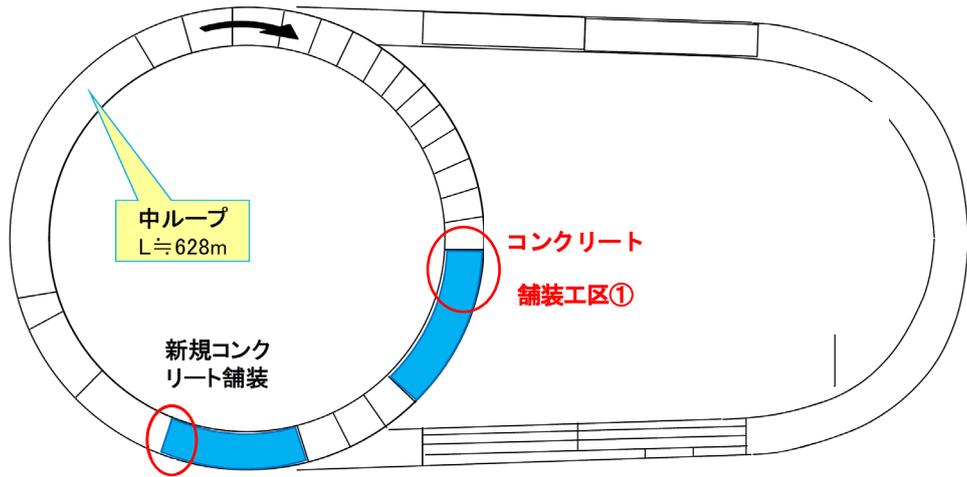
補修の対象は形状の異なるポットホール2箇所と角欠けおよび段差とし、調査方法は目視による変状調査とした。調査は、既存コンクリートと断面修復材との界面もしくは断面修復材に発生するひび割れや断面修復材の浮き、剥離を確認している。

なお、荷重車の走行条件と走行実績は表-4.2.1に示すとおりであり、49kN換算輪数で35万輪まで試験を実施した。

表-4.2.1 荷重車の走行条件と走行実績

年度	走行期間	累積荷重車走行台数	累積49kN換算輪数
R3年度	9.21～10.12	8,339	49,999
	10.22～11.2	16,679	100,005
	11.12～11.24	25,018	150,004
	12.3～12.15	33,357	200,004
	1.4～1.19	41,696	250,003
	1.27～2.10	50,035	300,003
	2.22～3.9	58,374	350,002

※荷重車軸重：前輪軸重：69.1kN、後前輪軸重：128.1kN、後後輪軸重：127.1kN



コンクリート
舗装工区②

図-4.1.1 走行試験場のコンクリート舗装区間



写真-4.1.1 荷重車による促進載荷試験

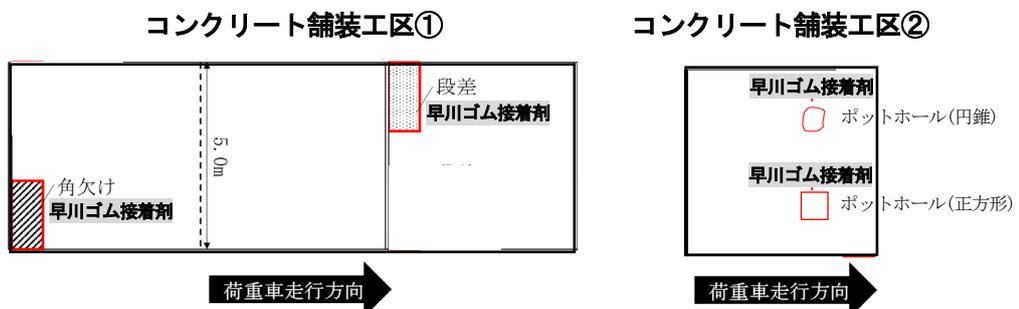


図-4.1.2 コンクリート舗装工区

4. 2 施工方法

4. 2. 1 損傷形成および補修方法

(1) 模擬損傷の形成方法

- 1) 模擬損傷形成箇所の位置決めを行う。
- 2) 指定された箇所にて、ポットホール（直径 50cm，正方形 50cm×50cm），角欠けおよび段差（長方形 200cm×40cm）のマーキングを行う。
- 3) マーキングに沿って、カッターで切り込みを入れる。成形箇所の深さは、ポットホール 5cm，角欠け 5cm，段差 2cm とした。なお，ゼロ擦り付け箇所はカッターを使用しない。
- 4) ブレーカーもしくは電動ピックでコンクリートを研り，模擬損傷を成形する。
- 5) 研り取ったコンクリートガラは，所定の場所に廃棄する。
- 6) 刷毛や掃除機等で削りカスを除去する。

表-4.2.2 各損傷箇所の寸法

損傷	損傷寸法
ポットホール	φ50mm×h0～50mm ※円錐形状
	500mm×500mm×50mm
角欠け	2000mm×400mm×50mm
段差	2000mm×400mm×20mm

(2) 模擬損傷の補修方法

- 1) プライマーの主剤と硬化剤を重量比 100:40 の割合で量り取る。損傷部への塗布量は 500g/m² とし，塗布面積に応じてその都度調製する。量り取ったプライマーを約 1 分混合する。練りあがりの目安は色ムラがなく，均一に淡黄色になっていることを目視にて確認する。
- 2) 刷毛で塗布し，最低 30 分養生する。塗布時間は 5 分/m² 程度とし，全面に塗布できていることを確認する。使用量は，プライマー塗布前後の重量差から算出する。
- 3) 接着剤の主剤と硬化剤を重量比 100 : 17.4 の割合で量り取る。損傷部への塗布量は 900g/m² とし，塗布面積に応じてその都度調製する。量り取った接着剤を約 1 分混合する。練りあがりの目安は色ムラがなく，均一にピンク色になっていることを目視にて確認する。
- 4) 刷毛で塗布し，塗布完了後は直ちに断面修復材を打設する。塗布時間は 5 分/m² 程度とし，全面に塗布できていることを確認する。使用量は，接着剤塗布前後の重量差から算出する。

※塗布量の目安：接着剤は膜厚 1mm 程度とするため 1.4kg/m²，プライマーは接着剤の半分程度（44%～56%）

- 5) 断面修復材の練り混ぜ

練り混ぜには水を一切使用せず、専用混和液のみで行う。作業の可使時間が30分となるように環境温度に応じた量の凝結遅延剤を予め専用混和液に添加して練り混ぜる。練り混ぜ時間の目安はハンドミキサーで90～120秒、モルタルの練り上げ状況を見てさらに20～30秒の範囲で練り混ぜを行う。

6) 断面修復材の打設

練り混ぜが終了したPCMは直ちに打設する。左官鏝で円滑に仕上げる。暑中施工で表面の皮張りが早く鏝仕上げが困難な場合は、専用混和液の2～5倍の希釈液を50～100g/m²散布して仕上げる。

7) 養生

直射日光や風などによるPCMの急激な乾燥を防ぐため、シート等で覆って養生を行う。

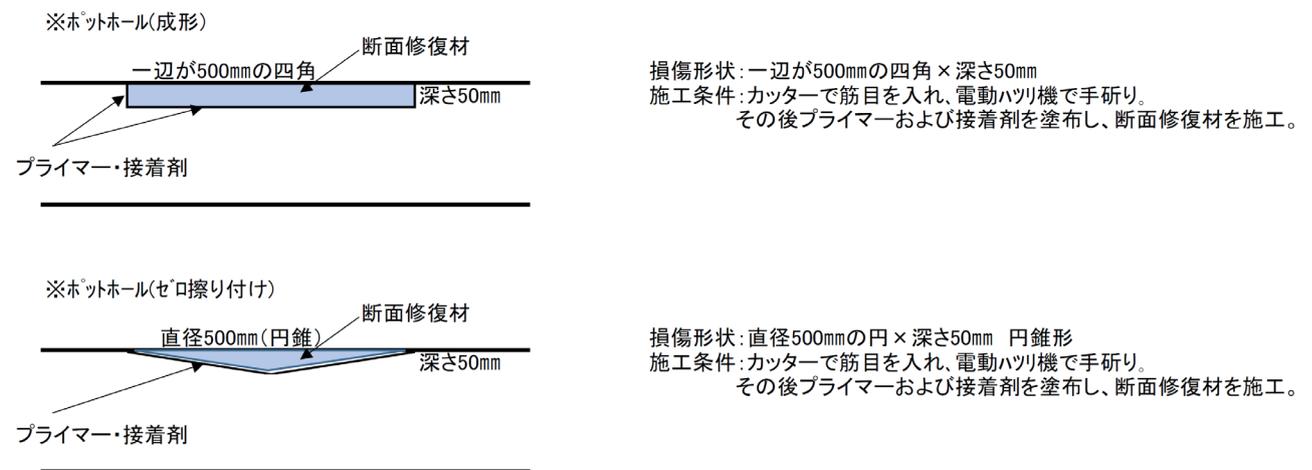


図-4.2.1 補修範囲の成形と補修手順 (ポットホール)

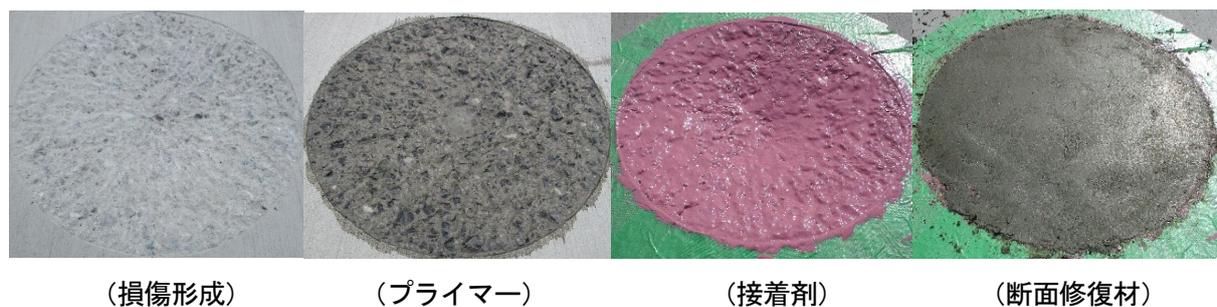


写真-4.2.1 ポットホールの施工状況 (φ50cm×h0cm～5cm)

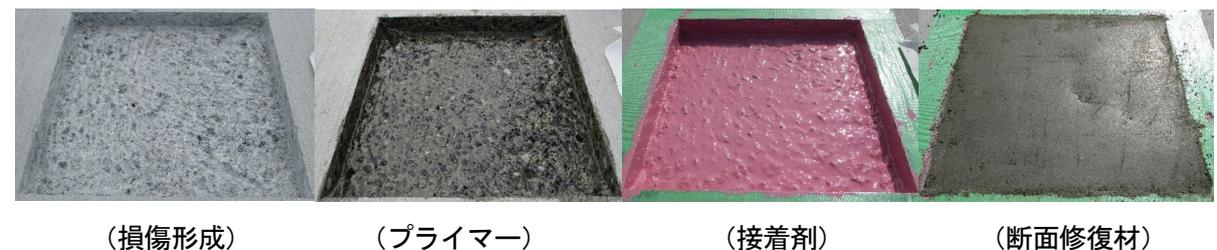


写真-4.2.2 ポットホールの施工状況 (50cm×50cm×h5cm)

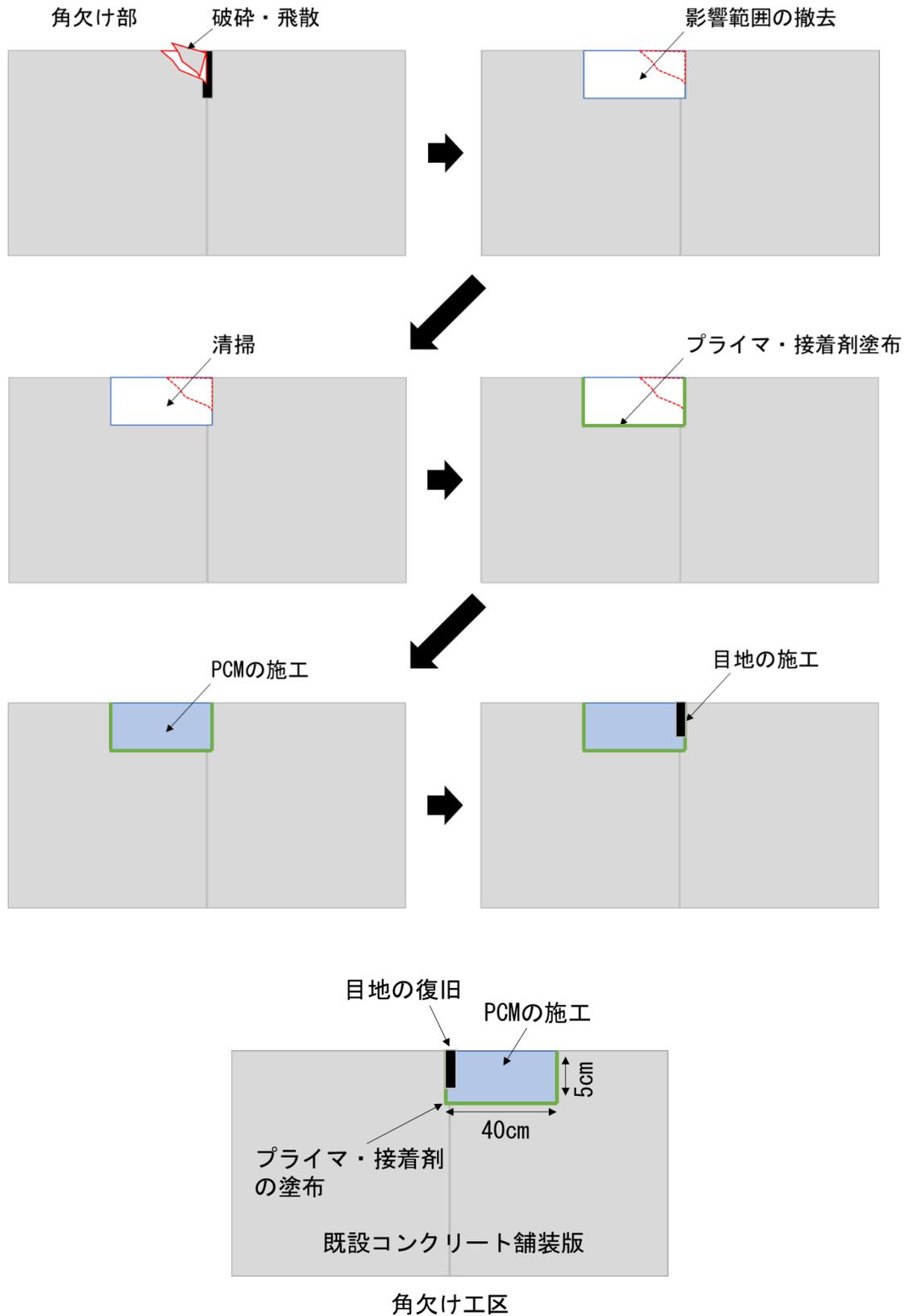


図-4.2.2 補修範囲の成形と補修手順（角欠け）¹⁾

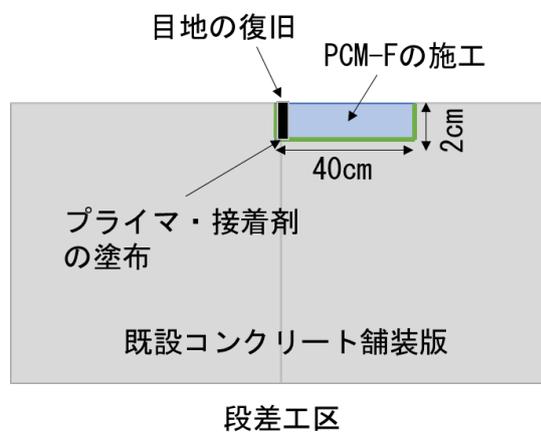
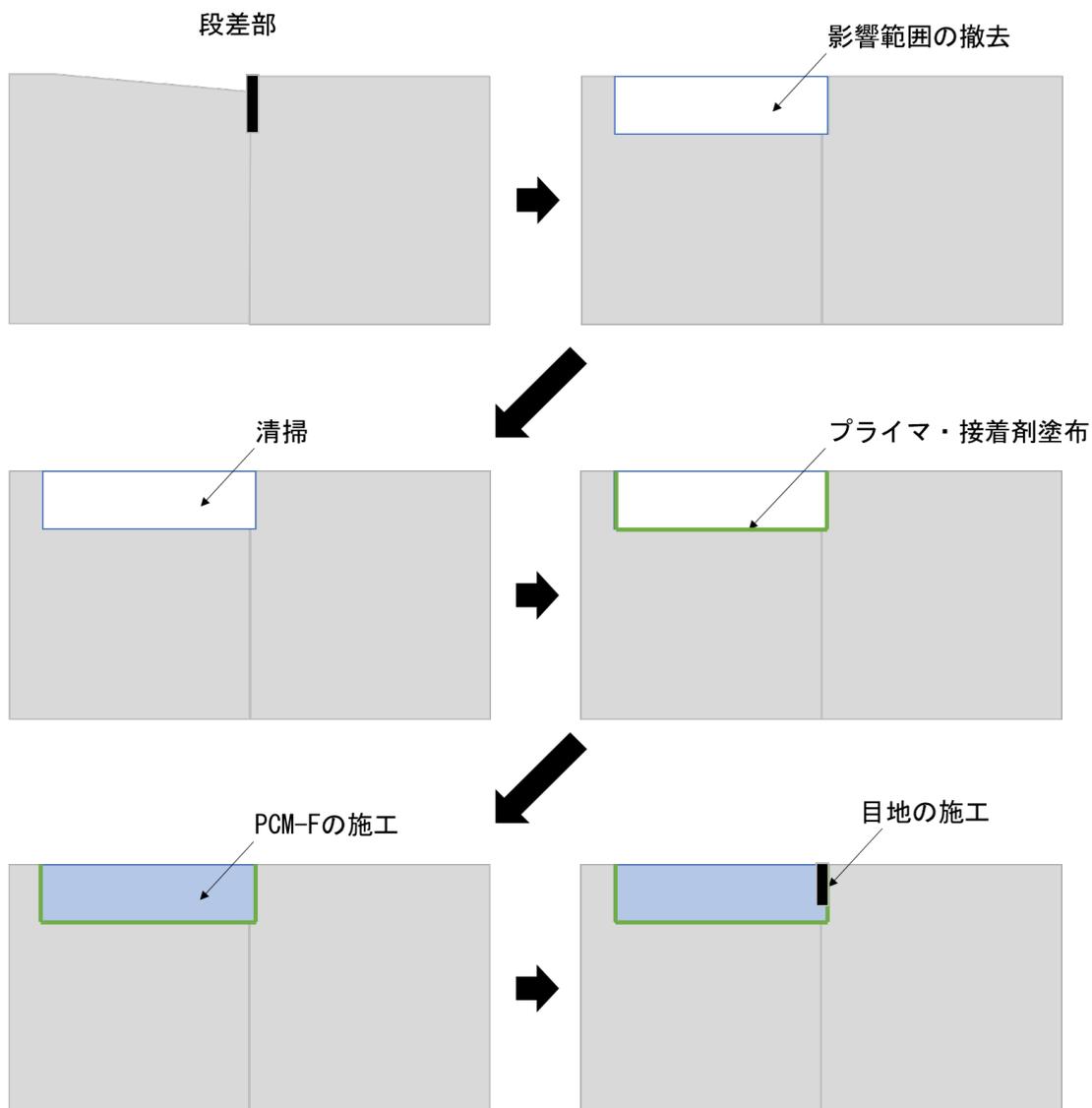


図-4.2.3 補修範囲の成形と補修手順（段差）¹⁾



(損傷形成)

(プライマー)

(接着剤)

(断面修復材)

写真-4.2.3 角欠けの施工状況 (200cm×40cm×h5cm)



(損傷形成)

(プライマー)

(接着剤)

(断面修復材)

写真-4.2.4 段差の施工状況 (200cm×40cm×h2cm)

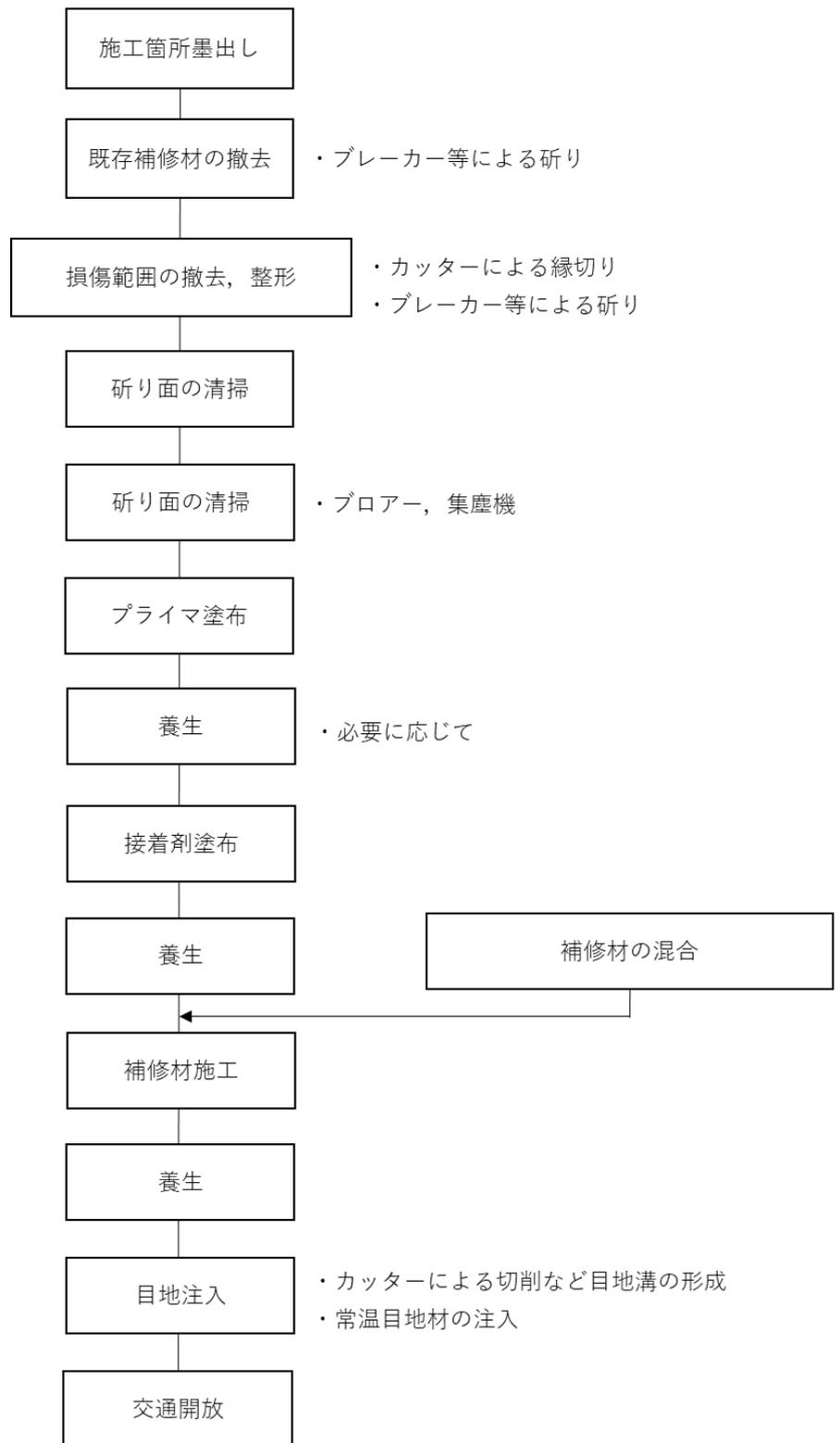


図-4.2.4 実大供試体における施工のフロー¹⁾

4. 2. 2 施工性の検討

真夏の環境下において施工を行ったが、エポキシ系プライマーおよびゴム系接着剤に関しては特に問題なく完了し、交通規制も早期に開放できると思われる。また、その後に打設したPCMおよびPCM-Fについても同様に問題はなかった。

なお、これらの技術は、温度条件等により可使用時間や性能発揮までに必要な養生時間が異なるものの、損傷部撤去から交通開放までおおよそ6~8時間程度で完了することを確認している。

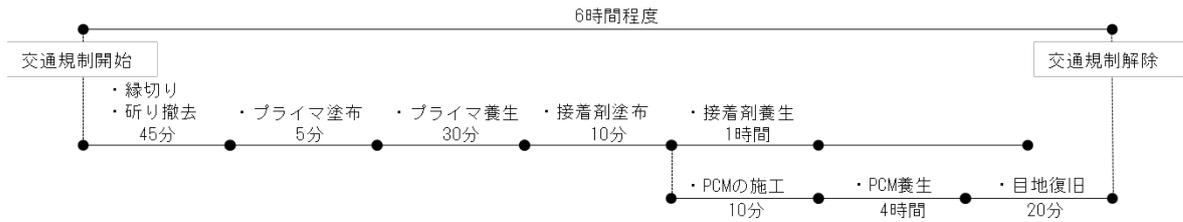


図-4.2.5 PCM, エポキシ系プライマーおよびゴム系接着剤を用いた場合の交通規制時間の一例¹⁾

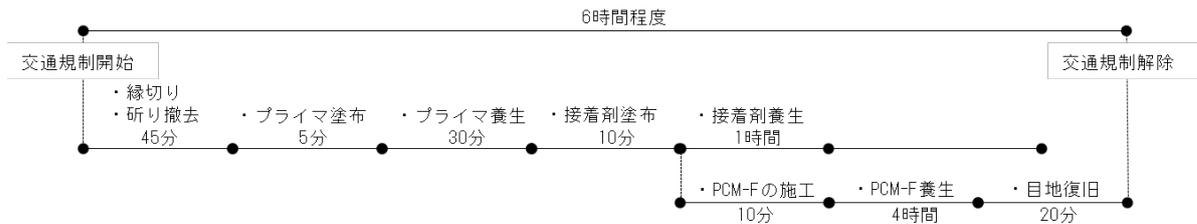


図-4.2.6 PCM-F, エポキシ系プライマーおよびゴム系接着剤を用いた場合の交通規制時間の一例¹⁾

4. 2. 3 試験項目および試験方法

(1) 耐久性（補修効果）の確認方法

走行試験後は、走行輪数ごとに目視による断面修復材の変状（ひび割れ、浮き、剥離等）を確認した。また、作業開始から交通開放までの合計時間を算出し、交通規制時間の例を示した。

(2) その他の確認事項（任意）

今後は、模擬損傷の研り、各養生時間、プライマー、接着剤、断面修復材の使用量、補修直後の出来高、目視による凹凸の有無、ひび割れの有無、指圧による硬さ程度の把握等のデータ蓄積を行う事により、本技術の更なる性能発揮や作用効率を向上させることが期待できると考えられる。

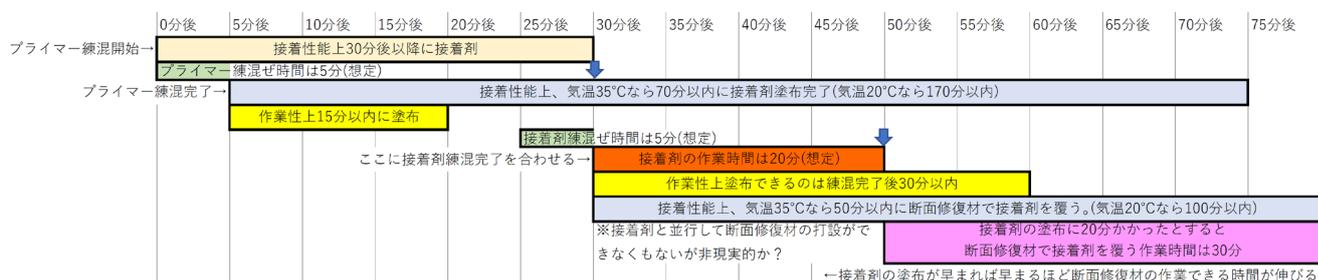


図-4.2.7 施工時のタイムスケジュール（例）

4. 3 耐久性試験の結果

4. 3. 1 各断面修復材の材齢別強度

下図は、走行試験場において作製した断面修復材（PCM, PCM-F）の曲げ強度および圧縮強度である。PCMの曲げ強度および圧縮強度は想定値を示したが、PCM-Fはきわめて小さい結果となった。

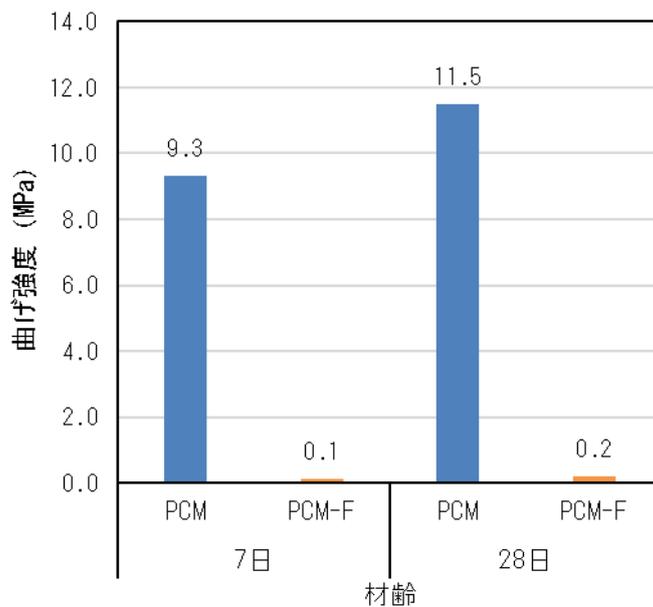


図-4.3.1 PCMとPCM-Fの曲げ強度試験結果¹⁾

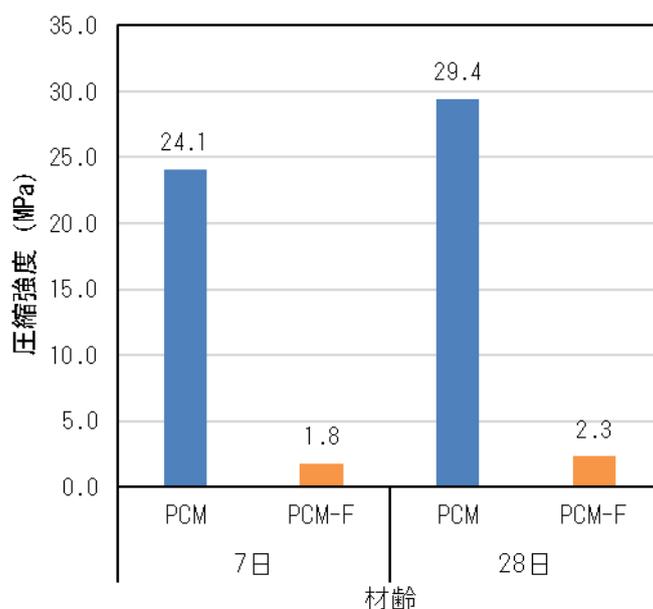


図-4.3.2 PCMとPCM-Fの圧縮強度試験結果¹⁾

4. 3. 2 走行試験後の変状

(1) ポットホール

円状はゼロ擦り付けを想定（深さ 0cm～5cm）し補修を行った。走行数 5 万輪後において、断面修復材上面に円状に沿ったひび割れが発生した。また、ひび割れはゼロ擦り付け付近にのみ発生し、中央部にはひび割れが確認できなかった。その後走行数を増やすごとにひび割れは進展したが、35 万輪後でも断面修復材の浮きや剥離に至らなかった。

四角状は深さを 5cm に統一し補修を行った。35 万輪後においても、断面補修材のひび割れ発生や浮きおよび剥離は確認できなかった。

なお、写真は走行数 500 輪、20 万輪および 35 万輪の結果を示しており、実験初期から終了時の結果を比較している。



(500 輪)

(20 万輪)

(35 万輪)

写真-4.3.1 ポットホールの経時変化 ($\phi 50\text{cm} \times h 0\text{cm} \sim 5\text{cm}$) ※ゼロ擦り付け有り



(500 輪)

(20 万輪)

(35 万輪)

写真-4.3.2 ポットホールの経時変化 ($\square 50\text{cm} \times 50\text{cm} \times h 5\text{cm}$)

(2) 目地近傍の角欠け

35万輪終了後においても、断面修復材のひび割れや剥離等の変状は確認できなかった。

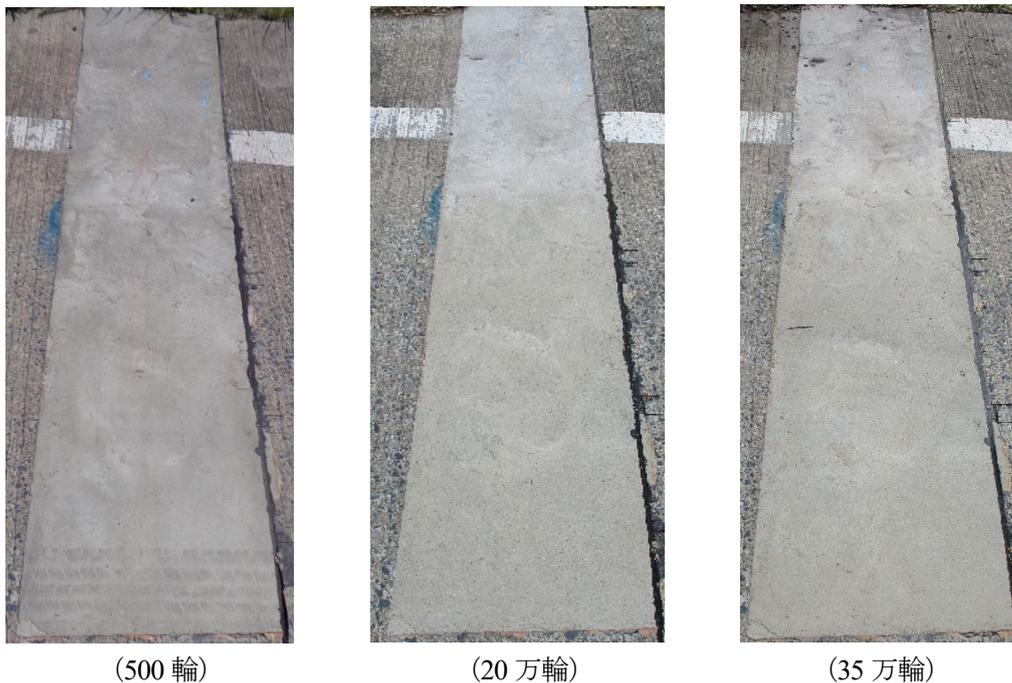


写真-4.3.3 目地近傍の角欠け (200cm×40cm×h5cm)

(3) 目地近傍の段差

角欠け同様、35万輪終了後においても、断面修復材のひび割れや剥離等の変状は確認できなかった。

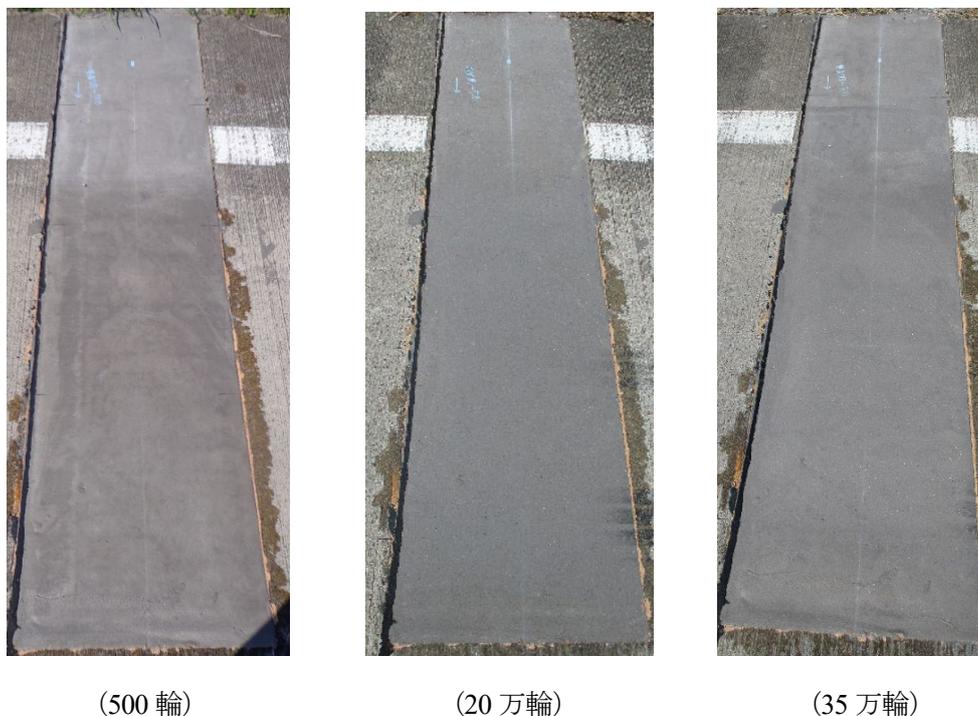


写真-4.3.4 目地近傍の段差 (200cm×40cm×h2cm)

4. 4 実施工による耐久性試験のまとめ

1) 断面修復材の圧縮強度および曲げ強度

圧縮強度および曲げ強度ともに PCM-F は PCM に比べて大きい値を示し、コンクリート舗装の設計基準強度と同等の値を示した。

2) 走行試験区の変状確認（500 輪～35 万輪）

ポットホールに関しては、ゼロ擦り付け箇所にひび割れが確認できたが、浮きや剥離は確認されなかった。また、ポットホールにおいて深さを確保し補修した箇所ではひび割れ、浮きおよび剥離等は確認されなかった。

角欠けおよび段差の箇所に関しては、断面修復材 PCM および PCM-F 問わず、ひび割れ、浮きおよび剥離などの変状が一切確認できず良好な結果を示した。また、各補修箇所に関して 35 万輪走行後においても、断面修復材の表面におけるわだちなど目視的な変状が確認されなかった。

以上の結果から、本研究で対象とした補修工法では、早期に再破損しないことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人土木研究所他：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～点検・診断技術編（その3）～～措置技術編（その2）～，第569号，2022.3

第5章 本研究のまとめ

本研究は、コンクリート舗装におけるポットホール、隅角部のひび割れ、角欠けおよび段差を対象として、ゴム系接着剤と浸透性エポキシ系プライマーを併用した補修工法の有効性を確認した。

補修現場において、主にエポキシ系の「構造用接着剤」が使用されているが、本研究ではゴム系の「弾性接着剤」を使用した。弾性接着剤は、構造用接着剤と比べて力学的性能（機械的強度）は劣るものの、外部応力を吸収する、熱膨張係数差の大きい異種材料の接着で生成する熱応力を緩和する、接着界面に応力が集中しにくい、表面強度の低い材料（石膏ボード、珪カル板、ALC など）が接着可能等の特徴が挙げられ、「強い接着よりも、剥がれない接着」を実現することを期待している。

本研究では、プライマー、接着剤、断面修復材およびそれらを複合した材料の基本性状を検証するための室内材料試験を実施した。さらに、実道における施工性および耐久性を検証することを目的に、（国研）土木研究所構内にある舗装走行試験場において実大供試体試験を実施した。

室内材料試験の結果として、プライマーでは、粘度と温度との関係、硬度と経過時間との関係、曲げ応力および曲げ弾性率の測定結果、浸透性と温度との関係、指触乾燥時間と温度との関係が明らかとなった。また、接着剤では、粘度と温度との関係、硬度と経過時間との関係、浸透性と温度との関係、指触乾燥時間と温度との関係、圧縮強さ（最大圧縮応力）および圧縮弾性率の測定結果、曲げ強さ（最大曲げ応力）の測定結果、引張接着強さの測定結果、圧縮せん断接着強さの測定結果が明らかとなった。断面修復材では、PCM-F と PCM の流動性、凝結時間、材齢別の圧縮および曲げ強度、耐摩耗性、凍結融解抵抗性が明らかとなった。既存コンクリートと断面修復材との複合材料では、繰返し載荷時の付着性、凍結融解抵抗性、ホイールトラッキング時の付着性、プルオフによる接着性に関して接着剤有無による比較を行い、接着剤の有効性が明らかとなった。

実大供試体試験の結果として、ポットホールでは、ゼロ擦り付け箇所にひび割れが確認できたものの、浮きや剥離は確認されなかった。角欠けおよび段差の箇所では、断面修復材 PCM および PCM-F 問わず、ひび割れ、浮きおよび剥離などの変状が一切確認できなかった。また、各補修箇所に関して 35 万輪走行後においても、断面修復材の表面に変状が確認されなかったことから、本研究で対象とした補修工法では、早期に再破損しないことが明らかとなった。

今後も土木研究所の舗装走行実験場での追跡調査を行い、長期間の耐久性について確認を行う予定である。

共同研究報告書

Cooperative Research Report of PWRI

No. 573 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