

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5）～

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
世紀東急工業 (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5）～

(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
世紀東急工業（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世紀東急工業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	ひび割れ補修材に求められる性質	3
2.1	本研究で用いた補修材	3
2.2	本研究で実施した検討項目	6
第3章	屋内供試体試験	9
3.1	ひび割れ補修材の施工性の評価	9
3.2	環境負荷下での耐久性	12
3.3	屋内供試体試験結果まとめ	14
第4章	屋外実物大試験	19
4.1	試験用コンクリート舗装の構築	19
4.2	試験方法	20
4.3	模擬損傷の生成と補修材の施工	21
4.4	補修箇所の外観の変化	28
4.5	すべり抵抗性の変化	31
4.6	荷重伝達率の変化	31
4.7	屋外実物大試験結果まとめ	32
第5章	本研究のまとめ	34
5.1	屋内供試体試験のまとめと考察	34
5.2	屋外実物大試験のまとめと考察	35

付録1. クラックリペアの取り扱いについて

付録2. 本研究で新たに用いた試験方法

付録3. 強度回復技術を用いた補修材の養生時間の決定方法 (案)

付録4. バックデータ

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世紀東急工業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、世紀東急工業(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
世紀東急工業(株)	原 毅	技術研究所 主任研究員	2020.10~2022.3
	鈴木 祥高	技術研究所 主任研究員	2020.10~2021.3
	木内 浩暉	技術研究所 研究員	2021.4~2022.3

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 ひび割れ補修材に求められる性質

2.1 本研究で用いた補修材

本研究で用いたひび割れ補修材は、「舗装版の強度回復による補修技術」（以後、強度回復技術と表記）を用いたクラックリペアである。

クラックリペアは、ひび割れ内を自然流下で注入できる極低粘度を実現したポリウレタン系ひび割れ補修材で、比較的初期のコンクリート舗装版のひび割れ補修において、補修材注入用シリンダやシール材の設置等の準備工を必要とせず、ひび割れ箇所を一体化して強度を回復させることで、従来の防水とは異なる目的の道路維持作業を可能とする応急補修材として開発された。

その後、適用例を重ねた結果、次のような目的に使用可能と考えられることが分かった。

- ① 隅角部のひび割れを接着し、コンクリート片の飛散を防止し、安全性を確保する
- ② 異物の混入などによる初期の意図しないひび割れに対し、施工不良箇所を原因ごと接着し、ひび割れの成長を抑制する
- ③ 亀甲割れしたコンクリート片同士を接着することでポットホールへの成長を抑制する

これらの効果により、新たにコンクリート片の飛散防止、ひび割れの拡大防止を目的とした道路維持作業が実施可能となると考える。

2.1.1 クラックリペアの物性

クラックリペアの成分を表-2.1.1に、安定性を表-2.1.2～表2.1.3に、硬化後の物性を表-2.1.4に示す。

表-2.1.1 クラックリペア A 液（主材）・B 液（硬化剤）の成分

A 液（主材）	ポリオール
B 液（硬化剤）	イソシアネート

表-2.1.2 クラックリペア A 材（主材）の安定性

↓検査項目	検査時期→	50°C1 週	50°C2 週
	製造直後	(常温 3 ヶ月相当)	(常温 6 ヶ月相当)
粘度(mPa・s/25°C)	9	9	10
比重(25°C)	0.94	0.95	0.95
水酸基価(mgKOH/g)	304	306	305

表-2.1.3 クラックリペアB液（硬化剤）の安定性

検査時期→ ↓検査項目	製造直後	50°C1 週 (常温 3 ヶ月相当)	50°C2 週 (常温 6 ヶ月相当)
粘度(mPa・s/25°C)	13	13	14
比重(25°C)	1.09	1.09	1.09
アミン当量	210	213	214

表-2.1.4 クラックリペアの硬化後の物性

検査時期→ ↓検査項目	製造直後	50°C2 週 (常温 6 ヶ月相当)
引張強度 (N/mm ²)	32.2 (伸び率 15%)	—
曲げ強度 (N)	708 N	881 N

引張強度条件

<JIS A 6021-3 号ダンベル, n=3 で実施>

配合：主剤／硬化剤=8mL／8mL

養生条件：20～25°C×2 日間, その後 50°C×3 日

引張速度：50mm/min

曲げ強度条件

<3 点曲げ強度試験> ※n=3 で実施

配合：主剤／硬化剤=8mL／8mL ・骨材：けい砂 7 号/8 号=1：1 80 g

サンプルサイズ：4 cm×12cm×1 cm(約 80 g)

養生条件：20～25°C×1 週間

測定条件 ・支点間距離：50 mm ・速度：2 mm/min

開発の過程でクラックリペアをコンクリートに用いた場合の接着強度は接着したコンクリート供試体の曲げ強度試験で、耐久性は接着したコンクリート供試体の曲げ疲労試験を行い確認した。

次に接着したコンクリート供試体の作成方法、曲げ強度試験の測定条件、曲げ疲労試験の測定条件を示す。

接着したコンクリート供試体の作成方法

通常の JIS A 1106：2018 曲げ試験用供試体（100*100*400mm）に対し、曲げ試験に準拠した载荷を実施し試験体を割裂

供試体を一定のひび割れ幅で固定、周囲をシーリングし、ひび割れ表面と想定した供試体上

面から補修材を滴下浸透で注入

曲げ強度試験の測定条件

JIS A 1106 : 2018 に準拠した試験を実施

注入完了後 7 日養生 ・ 支点間距離 : 300 mm ・ 載荷速度 : 1kN/s (手動調整)

曲げ疲労試験の測定条件

舗装調査・試験法便覧²⁾B070 に準拠した試験を実施

上限応力 : 補修前の曲げ強度の 90%~70% ・ 下限応力 : 0.29MPa

繰返し荷重 : 5Hz 正弦波 ・ 繰返し回数 : 200 万回 (目標)

開発過程で実施した試験の結果を図-2.1.1, 図2.1.2 に示す。

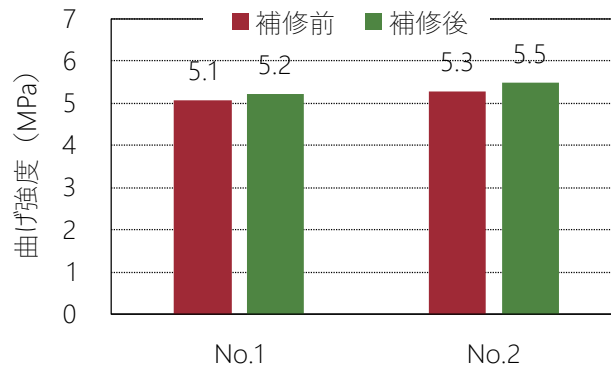


図-2.1.1 接着後曲げ強度試験結果 (社内資料に基づいて作成)

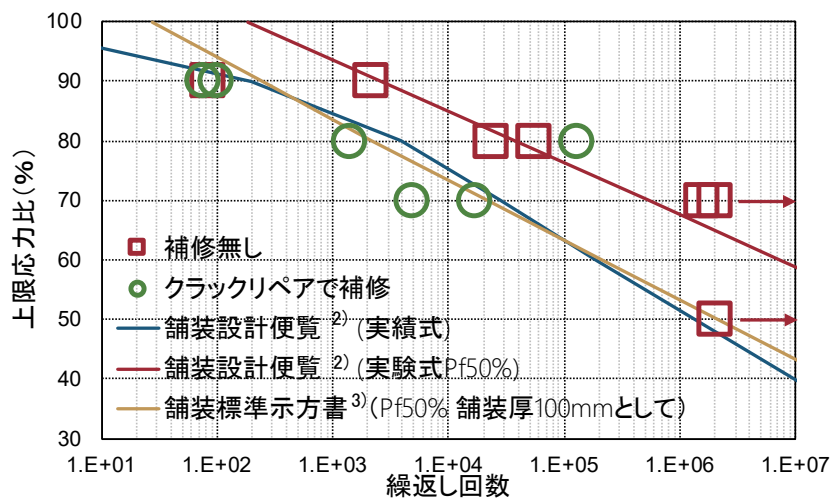


図-2.1.2 接着後繰返し曲げ強度試験結果 (社内資料に基づいて作成)

いずれの結果も接着面とは異なる位置で破断したことから、クラックリペアの接着強度、耐久性は供試体に用いたコンクリートを上回ると考えられる。

2. 2 本研究で実施した検討項目

本研究の実施前から、前述したようなクラックリペアの基礎的な性能は把握していたが、使用に適したひび割れの状態及び環境負荷が作用する際の耐久性については解明されていなかった。

また、開発時に行った強度試験は一般的な曲げ試験（JIS A 1106）に準じた4点载荷の室内試験による結果であり、舗装に加わる輪荷重を再現したものではなかった。

以上をうけて本研究で実施した検討項目を、表-2.2.1に示す。

表-2.2.1 本研究の検討項目

実施環境	項目	備考
屋内	施工性	可使時間・養生時間・適用可能なひび割れ幅
供試体試験	環境負荷に対する耐久性	乾湿繰返し環境・凍結融解環境
屋外	模擬損傷に対する適用性	横断ひび割れ・隅角部ひび割れ・亀甲ひび割れ
実物大試験	輪荷重に対する耐久性	最大35万輪走行
	補修箇所のすべり抵抗性	(補修実施後の追加項目)

2. 2. 1 屋内供試体試験の検討項目について

強度回復技術は、既存の規格に準拠することが難しかったため、評価項目が類似する規格を参考に、屋内供試体試験の各検討項目に適した試験方法を本研究の過程で決定した。

屋内供試体試験で実施した試験を次の表-2.2.2に示す。

可使時間を測定する試験方法は、接着剤の規格であるJIS K 6870:2008「6.4 方法3」を参考に、目的に合致すると考えられた指標を測定する試験を行った。

接着という性能を考慮し、接着力が失われる時期を測定する「6.5 方法4」に準じた試験も行ったが、接着力が失われる時期は補修材の流動性もほとんど失われていることから、ひび割れに浸透することが必須である本研究における可使時間とは異なる評価項目と判断し、試験方法と結果、及び考察は別途付録2.1.2に掲載した。

養生時間の検討は、補修材の硬化の度合いと時間の関係から可使時間を求める試験方法を試みた際に、得られた硬度-時間の関係が安定していたことから、硬度の変化が殆ど無くなる時期を補修材の物性が安定する時期と見なし、養生時間を定量的に決定する方法として提案した。なお、JIS K 6253:1997に用いる硬度計は測定針に反力を得て測定するため、測定可能な状態は常に可使時間を過ぎていることが分かり、この方法では可使時間は求められないと本研究では結論している。

本研究で取り扱った強度回復技術に対応する補修材の浸透性試験は、類似する舗装補修材の試験方法「舗装試験・調査法便覧¹⁾D012T」を参考にして強度回復技術の使用場面に適した試験方法を決定した。

環境負荷下での耐久性は、乾湿環境と、凍結融解を一定繰り返した後、曲げ強度試験を行い、環境負荷を与えていない供試体との強度を比較することで評価した。

表-2.2.2 屋内供試体試験の試験項目

検討項目	試験方法	得られる結果
可使用時間	JIS K 6870:2008「6.4 方法3」を参考 付録2.1 付2.1.1「塗布感覚法」に基づいて実施	粘度上昇時間 整形限界時間
養生時間	JIS K 6253:1997「Type D」を参考 付録2.2「養生時間決定のための試験方法」に基づいて実施	ショア硬度Dと 時間の関係
適用 ひび割れ幅	舗装調査・試験法便覧 ¹⁾ D012Tを参考 付録2.3「強度回復技術を用いた補修材の浸透性試験」に 基づいて実施	底面到達時間 全面浸透時間
環境負荷下 での耐久性 1	乾湿繰返し環境負荷後の曲げ強度試験：JIS A 1106 準拠 乾湿繰返し：2018年制定コンクリート標準示方書 ⁴⁾ 「コンクリートの乾燥湿潤試験方法（案）」を参考	乾湿繰返し環境 負荷後の 曲げ強度
環境負荷下 での耐久性 2	凍結融解繰返し環境負荷後の曲げ強度試験：JIS A 1106 準拠 凍結融解：舗装調査・試験法便覧 ¹⁾ B069 A法 準拠	凍結融解環境 負荷後の 曲げ強度

2.2.2 屋外実物大試験の検討項目について

屋外実物大試験で実施した試験を次の表-2.2.3に示す。

表-2.2.3 屋外実物大試験で実施した試験

検討項目	試験方法	備考
耐久性1 変状観察	目視、及び写真撮影	--
耐久性2 荷重伝達率	測定：舗装調査・試験法便覧 ¹⁾ S047 「フォーリングウエイトデフレクトメータ（FWD） によるたわみ量測定方法」準拠 算出：舗装工学ライブラリー2 「FWDおよび小型FWD運用の手引き ⁵⁾ （4.6）式」準拠	模擬横断ひび割れ生成 直後（5万輪走行後） から実施
すべり 抵抗性	舗装調査・試験法便覧 ¹⁾ 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」準拠	5万輪走行後・ 35万輪走行後のみ

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，2019.3.
- 2) (社)日本道路協会：舗装設計便覧，p.180，2006.2.

- 3) 土木学会：2014年制定舗装標準示方書，pp.152-153，2014.10.
- 4) 土木学会：コンクリートの乾燥湿潤試験方法（案），2018年制定コンクリート標準示方書 [規準編]，関連規準，pp.607-609，2018.10.
- 5) 舗装工学ライブラリー2「FWD および小型 FWD 運用の手引き」，土木学会，2002.12.

第3章 屋内供試体試験

屋内供試体試験では、ひび割れ補修材が持つ性能の評価と、コンクリート基板に用いた場合の性能の評価を行った。

3.1 ひび割れ補修材の施工性の評価

ひび割れ補修材を用いる場合に重要となる施工性を評価する項目として、可使時間、養生時間、及び適用ひび割れ幅を評価した。

3.1.1 可使時間

可使時間1については、付録2.1の付2.1.1「塗布感覚法」に示す試験方法に従って試験を行い、その結果から評価を行った。

(1) 試験方法

試験方法は、一定の平面に広げた補修材をスパチュラ（へら状の物）で触れた時の補修材の挙動を観察するものである。参考としたJIS K 6870「6.4 方法3」では可使時間を「塗り広げられなくなる時間までの経過時間」と定義していたが、強度回復技術を用いた補修材を使用する状況では、その状態で補修材を滴下浸透させることは困難であることから、新たに評価項目として「液面の回復速さとスパチュラに伝わる反力から、粘度が増加したと感ずる時間」を粘度上昇時間、元々の可使時間を整形限界時間と定義し、それぞれを計測した。

(2) 試験結果

図-3.1.1に塗布感覚法の試験結果を示す。

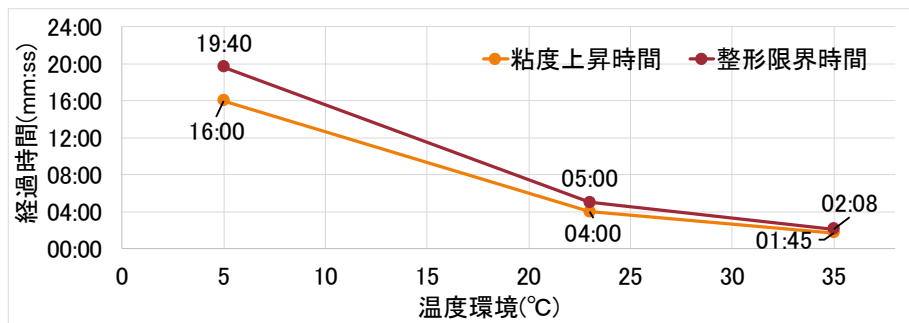


図-3.1.1 塗布感覚法試験結果

粘度上昇時間は5℃環境下で16分、23℃環境下では4分、35℃環境下では2分弱となった。
 また、整形限界時間は5℃環境下で20分弱、23℃環境下では5分、35℃環境下では2分強であった。

3. 1. 2 養生時間

養生時間は、付録2.2「養生時間決定のための試験方法（硬度-時間測定法）」に示す試験方法に従って試験を行い、その結果を用いて付録3「強度回復技術を用いた補修材の養生時間の決定方法（案）」に示す解析方法によって算出した。

(1) 試験方法

試験方法は、補修材の硬度をJIS K 6253:1997「Type D」に準拠して24時間にわたり測定するものである。

(2) 試験結果

各温度条件での時間と硬度の関係と、それを基に算出した養生時間を図-3.1.2～図-3.1.4に示す。

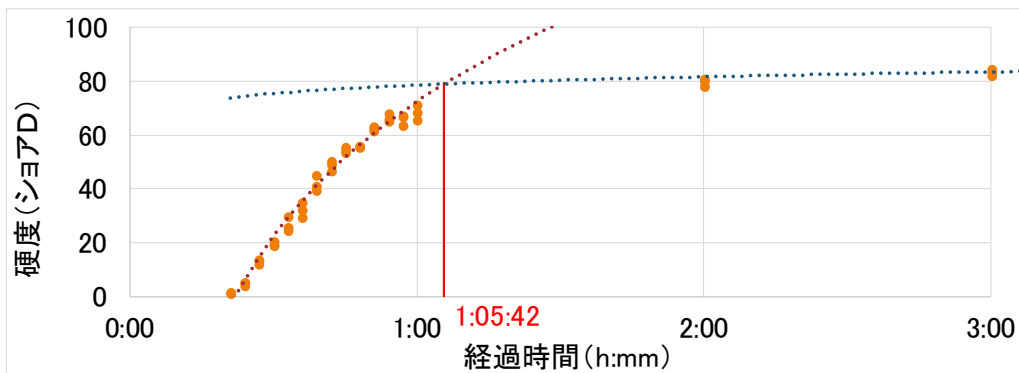


図-3.1.2 硬度試験結果 (5℃環境)

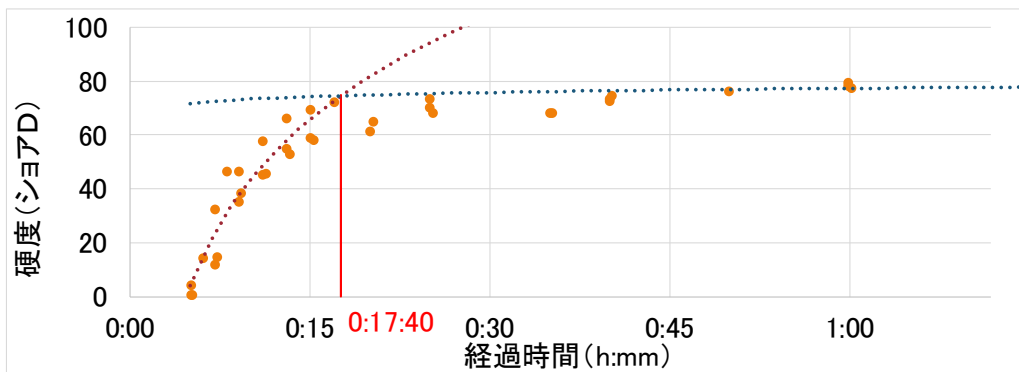


図-3.1.3 硬度試験結果 (23℃環境)

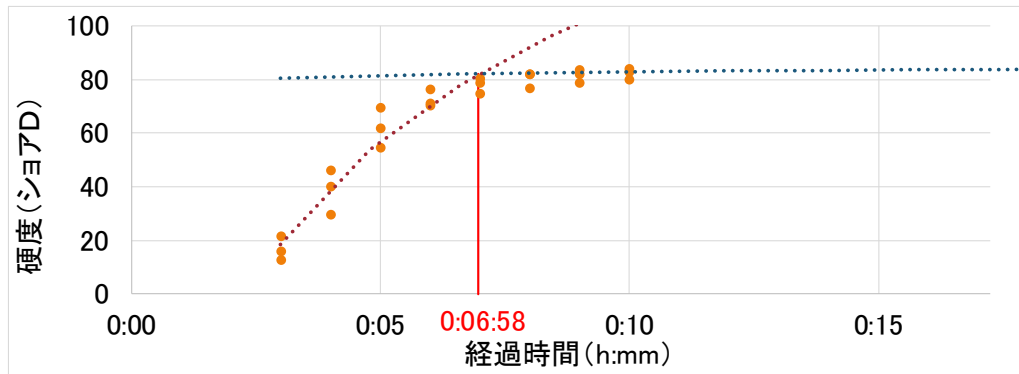


図-3.1.4 硬度試験結果 (35°C環境)

いずれの環境温度でも急速に硬度が上昇した後、ある程度の時間の経過後はほとんど硬度の変化がなくなる結果となった。試験結果より算出した養生時間は、5°C環境下では1時間5分42秒、23°C環境下では17分40秒、35°C環境下では6分58秒となった。

3. 1. 3 適用可能なひび割れ幅

適用するひび割れ幅は、付録2.3「強度回復技術を用いた補修材の浸透性試験」に示す試験方法に従って試験を行い、その結果から評価を行った。

(1) 試験方法

試験方法は、薄い板を平滑な2枚の板で挟み込むことで、模擬ひび割れに相当するすきま(幅0.5mm)を作り、そのすきまを一定の距離流下する時間を測定するものである。

(2) 試験結果

以下の図-3.1.5に浸透性試験の結果を示す。5°C環境下では底面まで到達するまで平均で21.5秒、23°C環境下では9.7秒、35°C環境下では6.7秒となった。

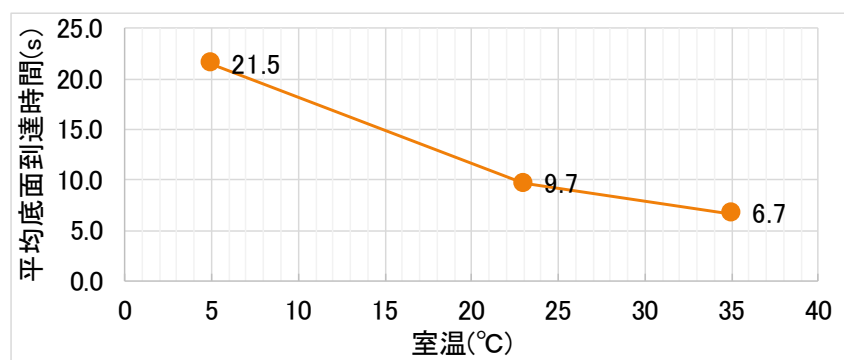


図-3.1.5 浸透性試験結果

3. 2 環境負荷下での耐久性

補修材をコンクリート基板に用いた際の性能について、23℃環境下で養生した場合の曲げ強度や耐久性は2.1.「本研究で用いた補修材」に示したが、本研究ではこれまでに明らかになっていなかった、環境負荷が作用する場合の性能の変化について確認した。

本研究で行った各種曲げ強度試験の流れを図-3.2.1に示す。

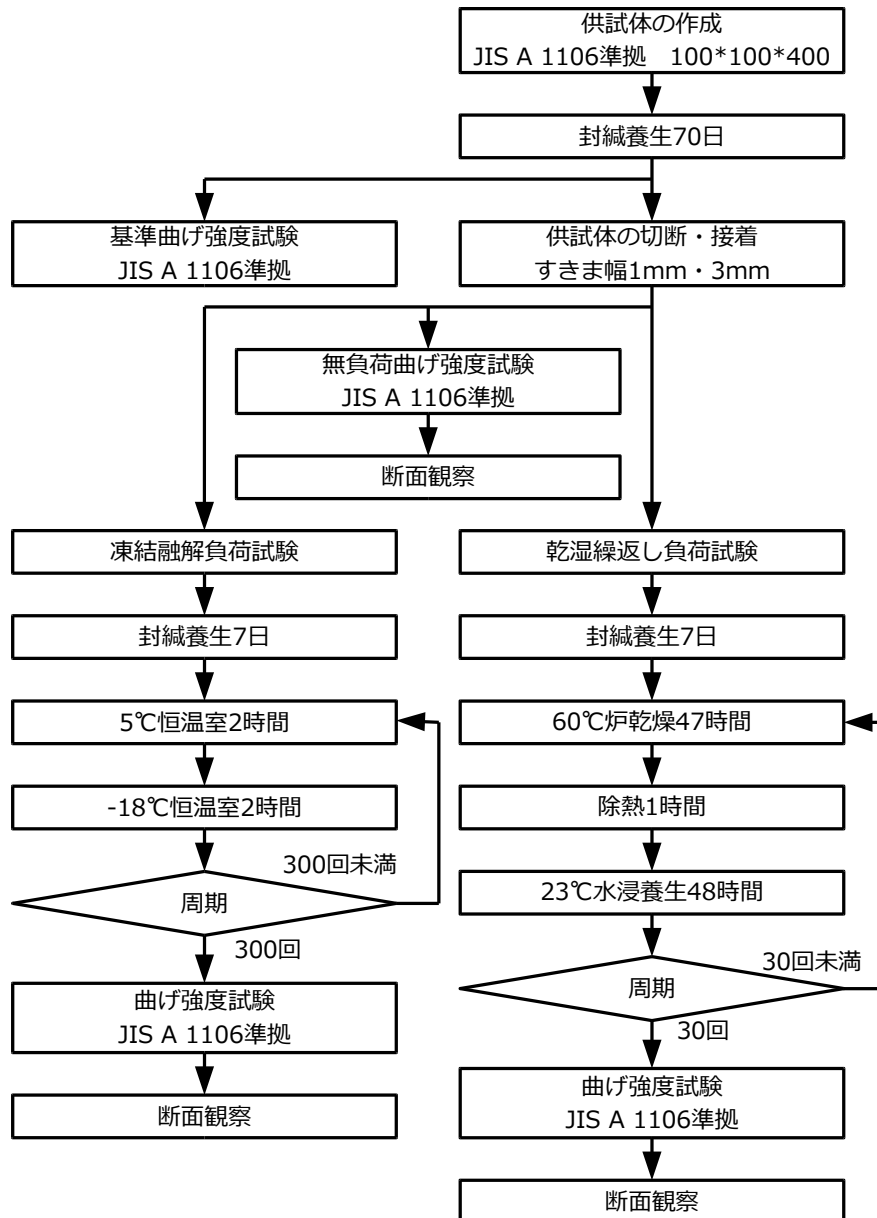


図-3.2.1 各種曲げ強度試験の流れ

3. 2. 1 乾湿繰り返し環境が接着性に与える影響

補修材でコンクリート供試体を接着し、乾湿繰り返し環境に置いた後に曲げ強度試験を行い、環境負荷の無い供試体との差を確認した。

基準強度、無負荷及び乾湿繰り返し環境負荷を与えた供試体の曲げ試験の結果の平均値を図-3.2.2に示す。

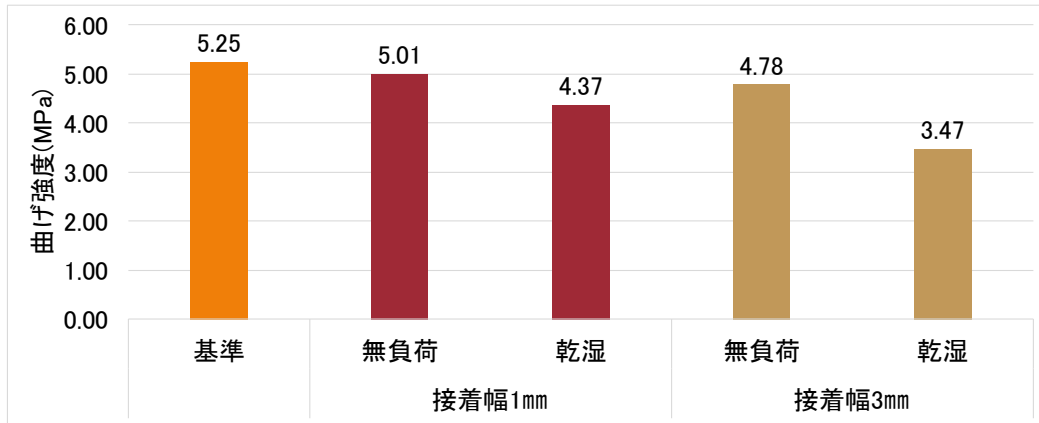


図-3.2.2 平均曲げ強度試験結果 (乾湿繰り返し環境)

乾湿繰り返し環境負荷を与えた場合の平均曲げ強度は、接着幅 1 mmでは 4.37MPa、接着幅 3 mmでは 3.47MPa となった。接着幅によらず、基準強度と比較して、無負荷の供試体も乾湿繰り返し環境に置いた供試体も曲げ強度が低下しているが、特に乾湿繰り返しを受けた供試体の曲げ強度は、基準強度の7割程度まで強度が低下していることや、接着幅が大きい方が強度低下の割合が大きいことが確認された。

3. 2. 2 凍結融解作用が曲げ接着性に及ぼす影響

補修材でコンクリート供試体を接着し、凍結融解環境に置いた後に曲げ強度試験を行い、環境負荷の無い供試体との変化を確認した。

基準強度、無負荷及び凍結融解を受けた供試体の曲げ試験の結果の平均値を図-3.2.3に示す。

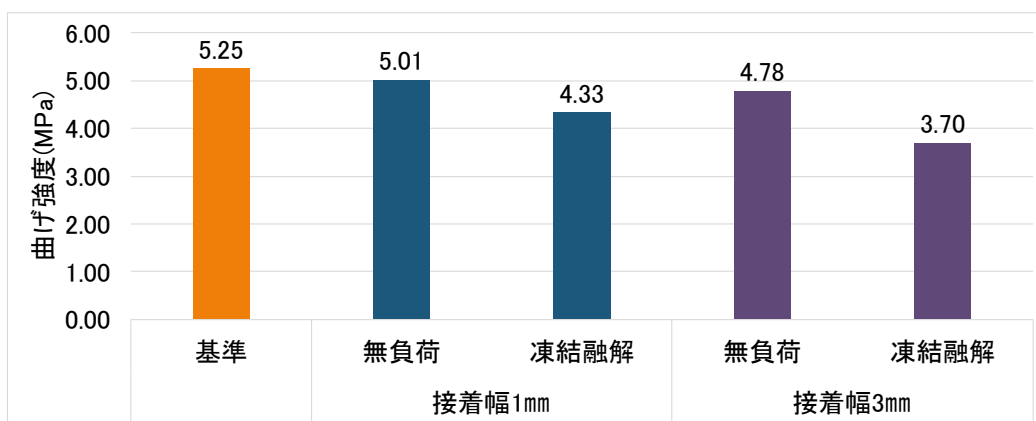


図-3.2.3 平均曲げ強度試験結果（凍結融解環境）

凍結融解環境負荷を与えた場合の平均曲げ強度は、接着幅 1 mm では 4.33MPa、3 mm 幅接着では 3.70MPa となった。無負荷の場合と比較した相対的な強度の低下は、乾湿繰り返し環境と同じく環境負荷をかけた供試体が多くなっている。また、環境負荷をかけた供試体は接着幅 3 mm の場合、基準強度の 7 割程度まで強度が低下していたのも乾湿繰り返し環境と同様であった。

3.3 屋内供試体試験結果まとめ

屋内供試体試験により、クラックリペアの可使用時間や、環境負荷がある場合の耐久性能の変化などを明らかにした。

各検討項目毎の試験結果を、次にまとめる。

3.3.1 可使用時間

本研究ではクラックリペアの可使用時間として、粘度上昇時間および、整形限界時間の 2 種類の規格を測定した。

本研究で得られた粘度上昇時間、および整形限界時間を表-3.3.1 に示す。

表-3.3.1 クラックリペアの可使用時間

	5℃	23℃	35℃
粘度上昇時間	16 分	4 分	1 分 45 秒
整形限界時間	19 分 40 秒	5 分	2 分 8 秒

この結果から、夏期にクラックリペアを用いる場合、表面の仕上げは注入の終了から 2 分以内で終えなければならず、広い面積の補修は困難となることが分かった。

3. 3. 2 養生時間

クラックリペアの養生時間を表-3.3.2に示す。

表-3.3.2 クラックリペアの養生時間

	5℃	23℃	35℃
養生時間	65分45秒	17分40秒	6分58秒

この結果から、冬期でもクラックリペアを用いた補修は作業終了後1時間程度で規制解除が可能と分かった。また、夏期の補修では、移動規制、緊急規制下での補修も可能と考えられる。

3. 3. 3 適用ひび割れ幅

本研究で得られた結果として底面到達時間を用いたが、この指標は補修材が距離19cmの底面に到達するまでの時間であり、試験結果のとりまとめでは適用場面に柔軟に対応するため補修材浸透速度として、式(3.3.1)で求められる数値を用いる事を考えている。

$$V_p = b / T_r \dots\dots\dots (3.3.1)$$

ここに V_p : 補修材浸透速度 (cm/sec)
 b : 底面までの距離 (cm) 本研究においては $b = 19(\text{cm})$
 T_r : 底面到達時間 (sec)

この指標を用いてクラックリペアの適用ひび割れ幅を評価する場合、式(3.3.2)を満たす関係であれば適用可能と考えられる。

$$V_p \geq b / T \dots\dots\dots (3.3.2)$$

ここに V_p : 評価対象とするひび割れ幅の補修材浸透速度 (cm/sec)
 b : 補修対象の舗装厚 (cm)
 T : 使用環境の温度における粘度上昇時間 (sec)

本研究では、すきま幅0.5mmのクラックリペアの補修材浸透速度は、現在一般に用いられるコンクリート舗装の最大厚さ35cmの場合、底面に到達するために必要な速度を大きく上回っていた。

このことから、クラックリペアの適用ひび割れ幅0.5mmは余裕を持った数値と考えられる。

ただし、本来このような試験を行う目的は適用可能な限界の幅を求めることであり、試験方法としては、限界までひび割れ幅を狭めていく絞り込み手順や、限界の判定方法なども整理する必要があり、今後の課題となっている。

本研究の結果から求めた、舗装厚 35cm ひび割れ幅 0.5mm におけるクラックリペアの補修材浸透速度と補修材底面到達限界速度の関係を図-3.3.1 に示す。

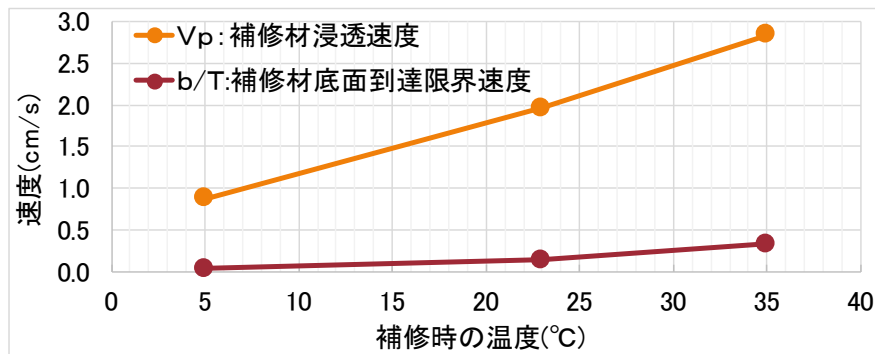


図-3.3.1 補修材浸透速度と補修材底面到達限界速度の関係 (舗装厚 35cm ひび割れ幅 0.5mm)

3.3.4 環境負荷下での耐久性

試験結果から、環境負荷を受けると強度が低下する傾向と、接着幅の違いで強度が低下する量に差違が生じることを確認した。

このように、強度低下と接着幅の違いで結果に差違が生じた原因を考察するため、破壊断面の観察を行った。なお、破壊状態の表現方法はコンクリート構造物補修用有機系ひび割れ注入材の試験方法(案) (JSCE-K541-2018) に従った。

代表的な破壊断面の状況を写真-3.3.1~3.3.6 に示す。

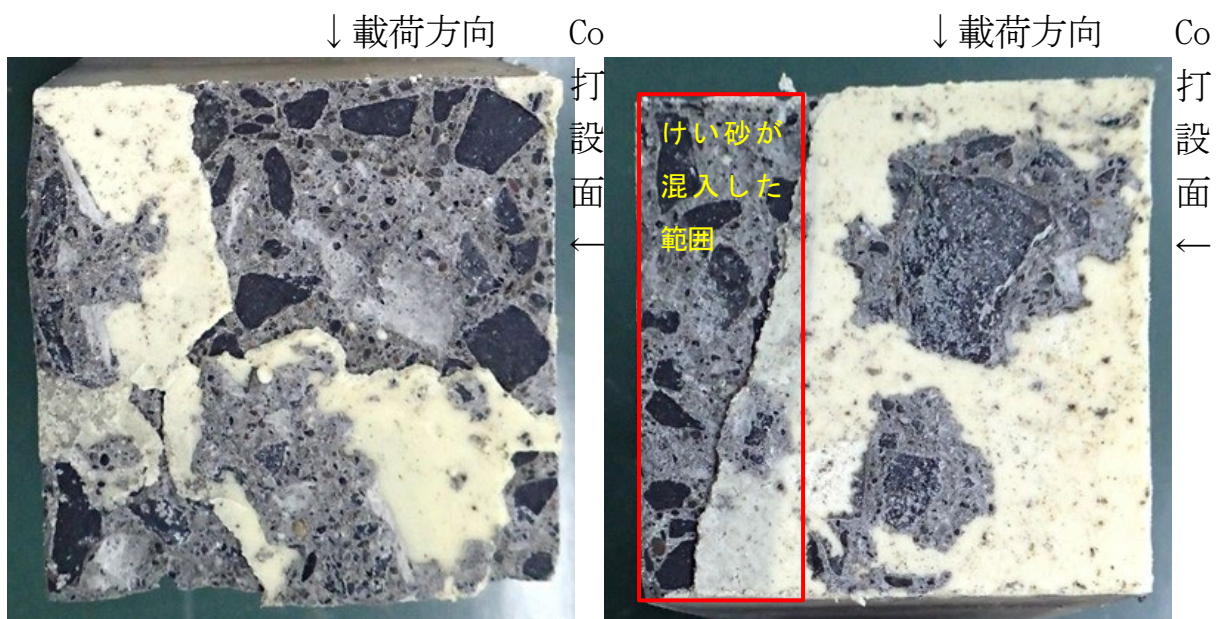


写真-3.3.1 接着幅 1mm 無負荷環境

モルタル破壊 27%: 界面破壊 73%

写真-3.3.2 接着幅 3mm 無負荷環境

モルタル破壊 39%: 界面破壊 61%

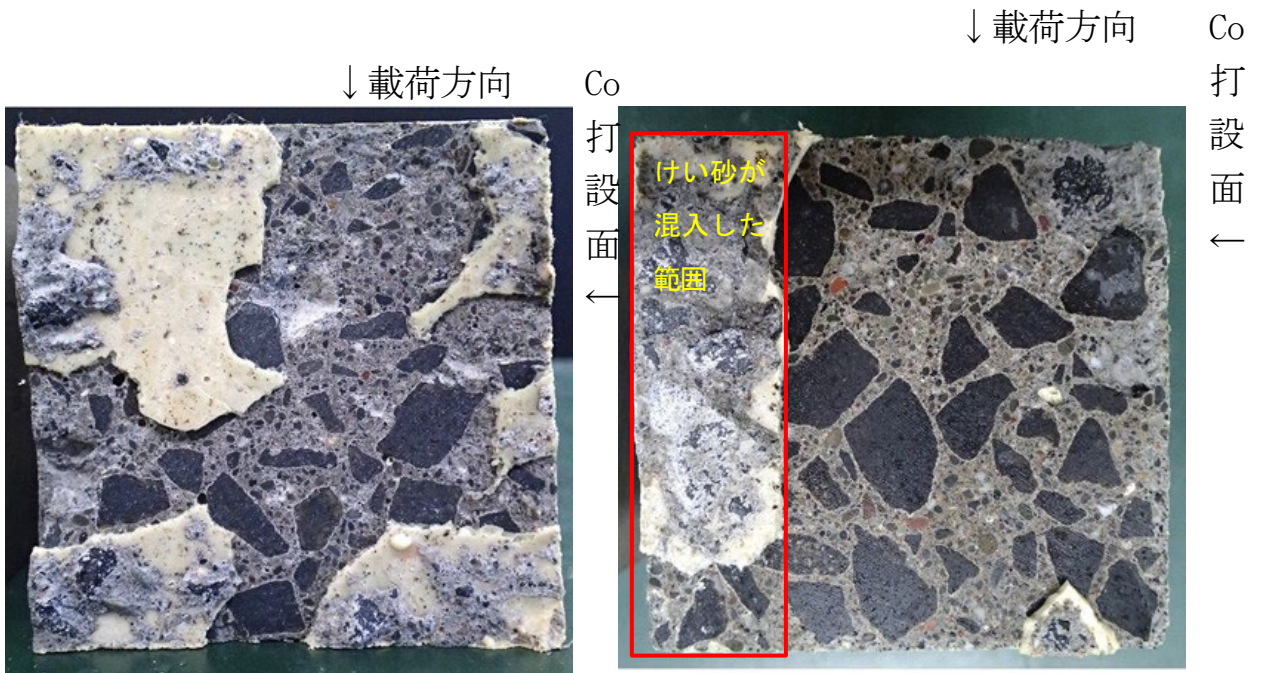


写真-3.3.3 乾湿繰り返し環境 接着幅 1 mm
モルタル破壊 19%:界面破壊 81%

写真-3.3.4 乾湿繰り返し環境 接着幅 3 mm
モルタル破壊 20%:界面破壊 80%

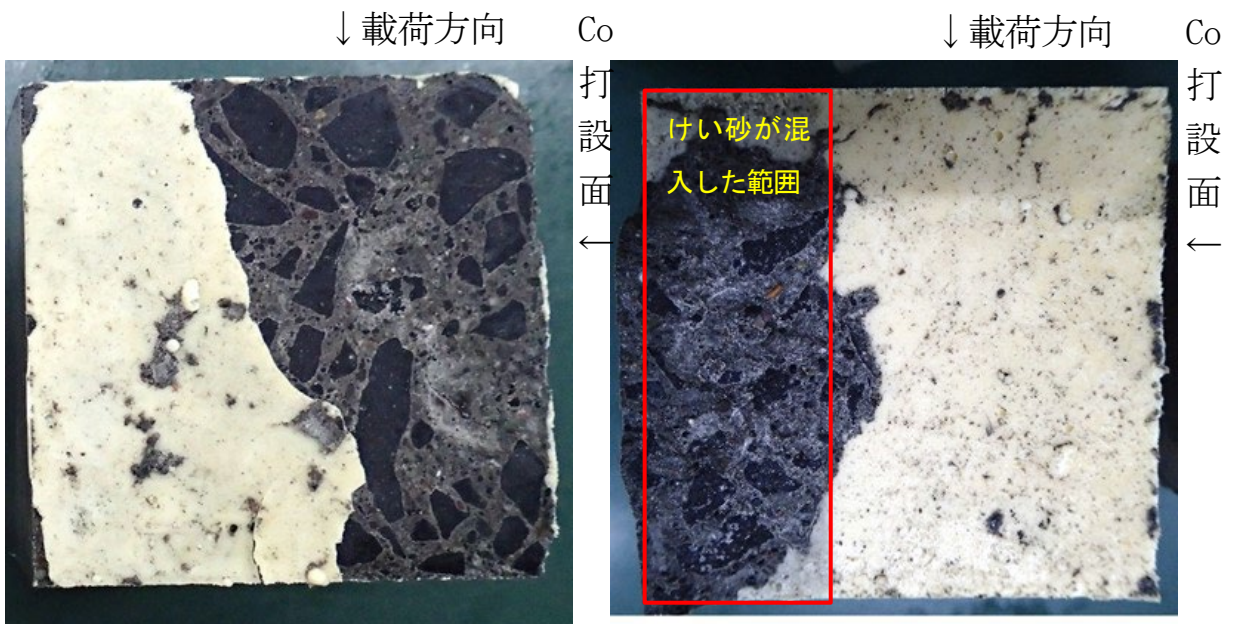


写真-3.3.5 凍結融解環境 接着幅 1 mm
モルタル破壊 11%:界面破壊 89%

写真-3.3.6 凍結融解環境 接着幅 3 mm
モルタル破壊 35%:界面破壊 65%

いずれの供試体の破壊も接着面の界面破壊か供試体モルタル破壊によるもので、補修材の凝集による破壊は見られなかった。ただし、乾湿繰り返し環境の接着幅 3mm の供試体では接着面に水分の浸透が見られ、界面破壊と言うよりは、試験前から環境負荷により接着面が分離していたと考えられる。

また、接着幅 3mm の供試体には打設面反対側にけい砂が混入した灰色に変色した層が形成されているが、その周辺に集中してモルタル破壊が起きており、けい砂を混合したことによる何らかの効果が考えられる。

本研究の結果を元に、環境負荷による影響で強度の低下が生じたと言えるのか、平均値の多重比較で一般に用いられるテューキー法²⁾で考察した。

テューキー法による多重比較の結果を表-3.3.3に示す。

表-3.3.3 テューキー法による多重比較結果

検定統計量 t_{ij}	凍結	乾湿
無負荷	0.88(有意差あり)	0.98(有意差あり)
凍結	-	0.10(有意差なし)
乾湿	-	-

※検定統計量 $t_{ij} < 0.54$ の場合、有意差はない

この結果から、クラックリペアを用いた補修は環境負荷により強度低下するものと考えられるが、凍結融解と乾湿繰り返しでは傾向に差が無く同じ性質の試験を行ったと考えられることから、本研究で行った試験では、乾湿、凍結融解の環境負荷ではなく、-18℃から 60℃までの温度変化の環境負荷が支配的であったと捉えるべきで、低温、高温どちらへの負荷も同様に強度低下の傾向があったと考える。

温度変化による強度低下の原因としては、ポリウレタンの線膨張率がコンクリートの 10 倍程度になる場合があることから、接着面に温度応力が生じて試験前に界面破壊が生じていた事が考えられる。

また、接着幅 3mm の供試体において、けい砂を混合させた層で界面破壊が生じにくかったことは、けい砂を混合することで補修材の温度収縮量が抑えられたと推測される。

このような、温度変化に対する性質や、けい砂を混合することで起きる現象の仕組みについては今後明らかにしていきたい。

参考文献

- 1) 土木学会: 2018 年制定コンクリート標準示方書【基準編】、土木学会、2018.10、p.488.
- 2) 石村貞夫: 分散分析のはなし、東京図書、1992.2、pp.146~148. の記述を基に算出

第4章 屋外実物大試験

屋外実物大試験では、クラックリペアをコンクリート舗装版の模擬損傷に適用した場合の有効性、耐久性を評価することを目的に、舗装走行実験場で模擬損傷を作って補修、促進載荷試験を行った。

4.1 試験用コンクリート舗装の構築

試験用コンクリート舗装に使用した材料、施工位置、寸法、目地配置等について、以下に示す。

4.1.1 材料一覧

試験用コンクリート舗装に用いた材料を表-4.1.1に示す。

表-4.1.1 試験用コンクリート舗装に用いた材料

材 料	規 格
普通セメントコンクリート	普通セメント (呼び強度 4.5 スランプ 6.5cm 空気量 4.5% JIS A 5304 準拠)
ダウエルバー	$\phi=25\text{mm}$ L=700mm 400mm ピッチ

4.1.2 施工位置、寸法、目地等配置

屋外実物大試験に用いたコンクリート舗装の施工位置を図-4.1.1に、コンクリート舗装版の寸法、目地配置等を図-4.1.2に示す。

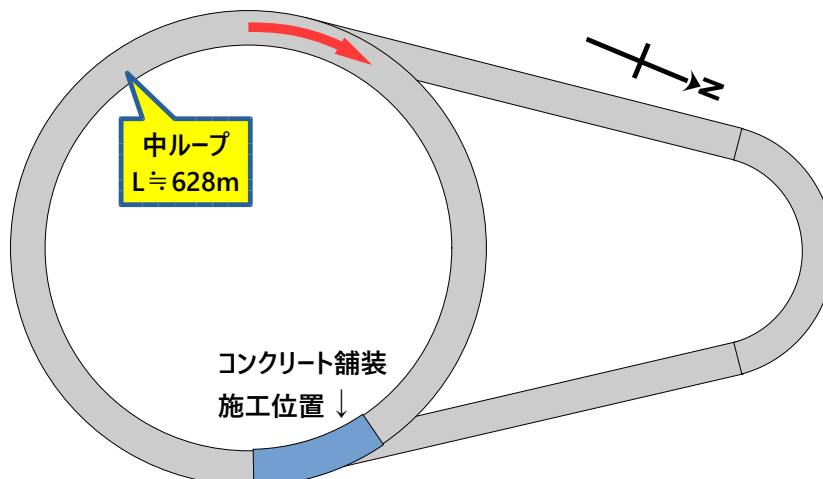


図-4.1.1 舗装走行実験場におけるコンクリート舗装の施工位置

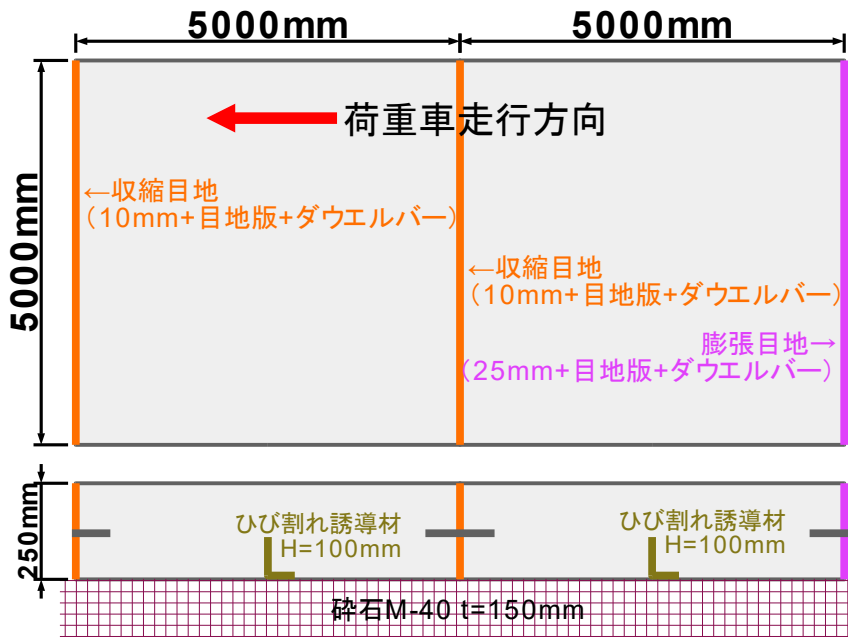


図-4.1.2 コンクリート舗装版の寸法・目地配置等

4.2 試験方法

屋外実物大試験は、次に示す試験箇所、荷重車走行条件、試験期間・項目で行った。

4.2.1 試験箇所

図-4.1.2 で示したコンクリート舗装版に生成した模擬損傷の種類と位置を図-4.2.1 に示す。

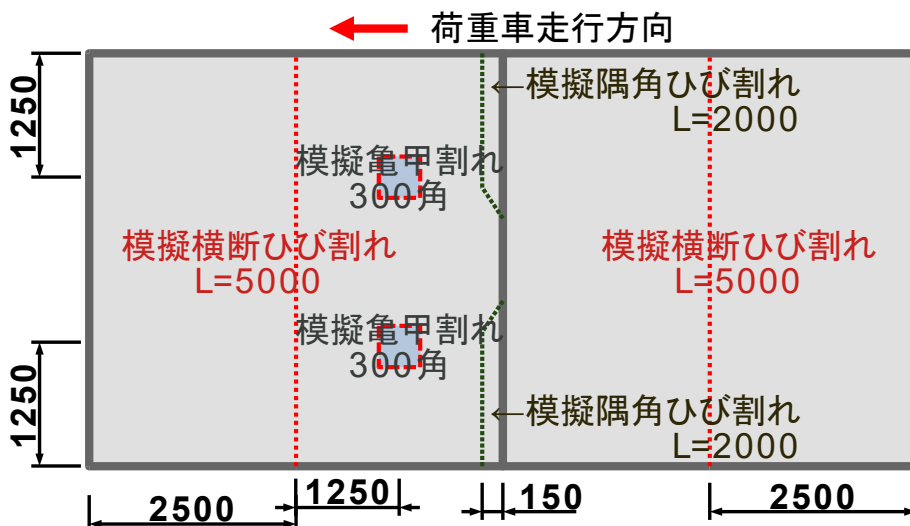


図-4.2.1 コンクリート舗装版の模擬損傷生成箇所 (単位: mm)

4. 2. 2 荷重車走行条件

模擬損傷を走行する荷重車の走行条件を49kN換算輪数で表すと次の通りとなる。

走行間隔：5万輪/月

走行回数：35万輪

荷重車の走行状況を写真-4.2.1に示す。



写真-4.2.1 荷重車走行状況

4. 2. 3 試験期間と調査項目

屋外実物大試験の調査項目ごとの追跡調査日等を表-4.2.1に示す。荷重車が5万輪走行する度に追跡調査を実施した。

表-4.2.1 屋外実物大試験の試験期間

	令和3年8月			9月			10月			11月		
表面観察			●30日						●15日		●8日	●30日
荷重伝達率									●8日		●8日	●30日
すべり抵抗性									●15日			
特記			隅角部補修						5万輪走行後		10万輪走行後	15万輪走行後

	令和3年12月			1月			2月			3月		
表面観察			●20日			●20日			●15日			●11日
荷重伝達率			●20日			●20日			●15日			●11日
すべり抵抗性												●11日
特記			20万輪走行後			25万輪走行後			30万輪走行後			35万輪走行後

4. 3 模擬損傷の生成と補修材の施工

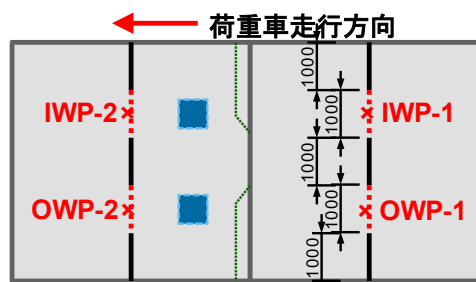
本研究で扱う「舗装版の強度回復による補修技術」は、ひび割れが発生した後それほど時間が経過していない初期の補修を想定しているため、損傷箇所の除去などは行っていない明確なひび割れに対して補修を行うことから、そのようなひび割れを生成する方法から検討し、試験箇所で開催している。

4. 3. 1 模擬横断ひび割れの生成と補修

模擬横断ひび割れの位置と測点を図-

4.3.1に示す。

模擬横断ひび割れ設置の手順は次の通り。



..... 模擬横断ひび割れ ——— カッター切断部

図-4.3.1 模擬横断ひび割れの配置と測点(単位：mm)

- ① コンクリート打設前に模擬横断ひび割れ予定箇所の設置幅員 5m の全幅に、長さ 1m のひび割れ誘発材をそれぞれ 50 mmほど重ね結束線を用いて連結して設置した (写真-4.3.1)。
補修材の効果を確かめるため、通常舗装厚の 1/2 (125mm) 以上とするところ、高さ 100mm の物を使用。
- ② コンクリート打設
通常の誘発目地の施工と同様に舗設
- ③ コンクリートの養生完了後に、わだち部以外をカッターで切断 (写真-4.3.2)
カッターは、わだち部を避けた箇所を幅 1m、深さ 150mm 切断 (図-4.3.1 参照)
- ④ 荷重車走行 5 万輪毎にひび割れ発生状況を観察
走行 5 万輪後、10 万輪後の荷重伝達率 (4.6 に詳述) は 70%以上有り、補修は見送り
- ⑤ 荷重車走行 15 万輪後に補修実施
ひび割れ幅 0.8 mm、荷重伝達率 60%台を確認し、補修を実施 (写真-4.3.3)

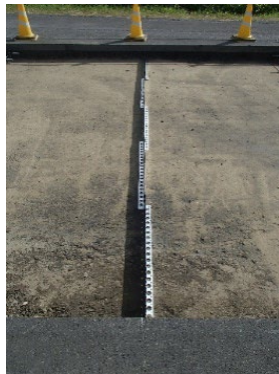


写真-4.3.1 ひび割れ誘発材 (左: 外観 右: 設置状況)

写真-4.3.2 舗装切断状況



補修前



補修後

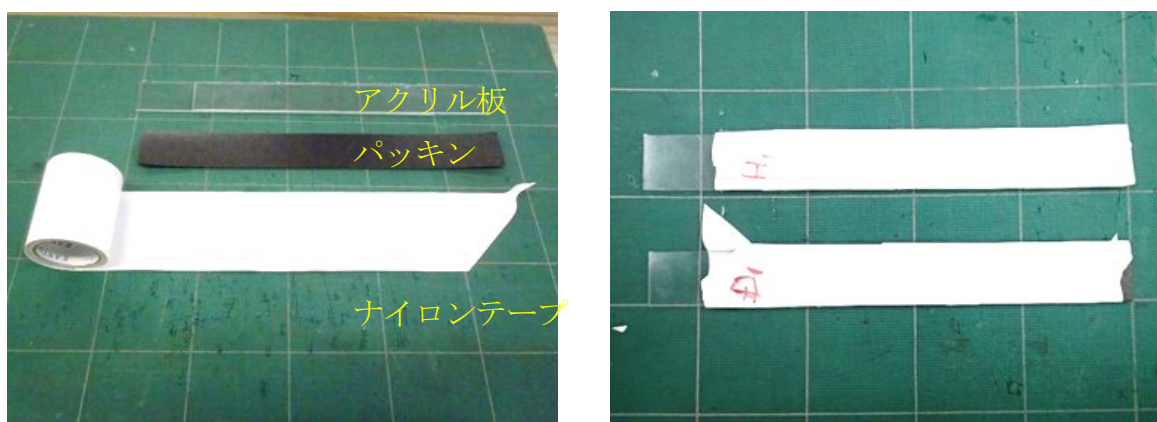
写真-4.3.3 模擬横断ひび割れ部補修状況

4. 3. 2 模擬隅角部ひび割れの生成と補修

コンクリート舗装版目地部に意図的に隅角ひび割れを誘発するため、石材を加工する際に用いられる「矢穴法」¹⁾を参考にし、事前に供試体を作成し実用性を確認した。矢穴法は石材に矢穴を形成し、その矢穴に金矢と呼ぶくさび状の金具を打ち込むことで内部から石材に引っ張り応力を加え、意図した箇所にひび割れを誘発させる方法である。

今回コンクリートに矢穴を形成するために用いた型枠は、アクリル板をパッキンで挟み、それをナイロンテープで巻いた構造となっている。アクリル板は矢穴の厚さの調整、パッキンは形成する矢穴の表面の平滑化、ナイロンテープは型枠全体を一体化する効果を持たせている。

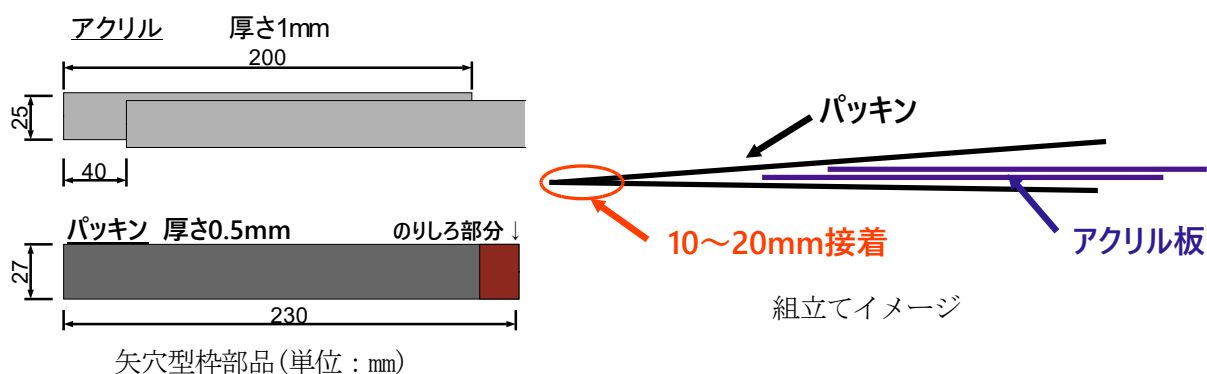
矢穴を形成するために用いた型枠の外観等を写真-4.3.4に、型枠の構造を図-4.3.2に示す。



使用部材

組み立てた矢穴型枠

写真-4.3.4 矢穴型枠

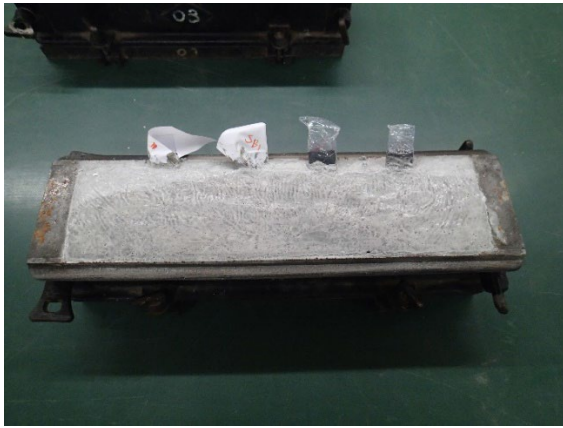


矢穴型枠部品(単位: mm)

図-4.3.2 矢穴型枠の仕組み

この型枠をコンクリート養生後に引抜くことで矢穴を形成した。

供試体を作成し金矢法の効果を室内実験で確認したときの状況を写真-4.3.5に示す。



脱型前状況



実験後の割裂状況

写真-4.3.5 ひび割れ誘導実験状況

金矢法による模擬隅角ひび割れ生成効果が確認されたため、試験用舗装の施工に適用した。

金矢用型枠の設置平面図，横断面図を図-4.3.3に，金矢用型枠の設置，補修作業フローを図-4.3.4に示す。

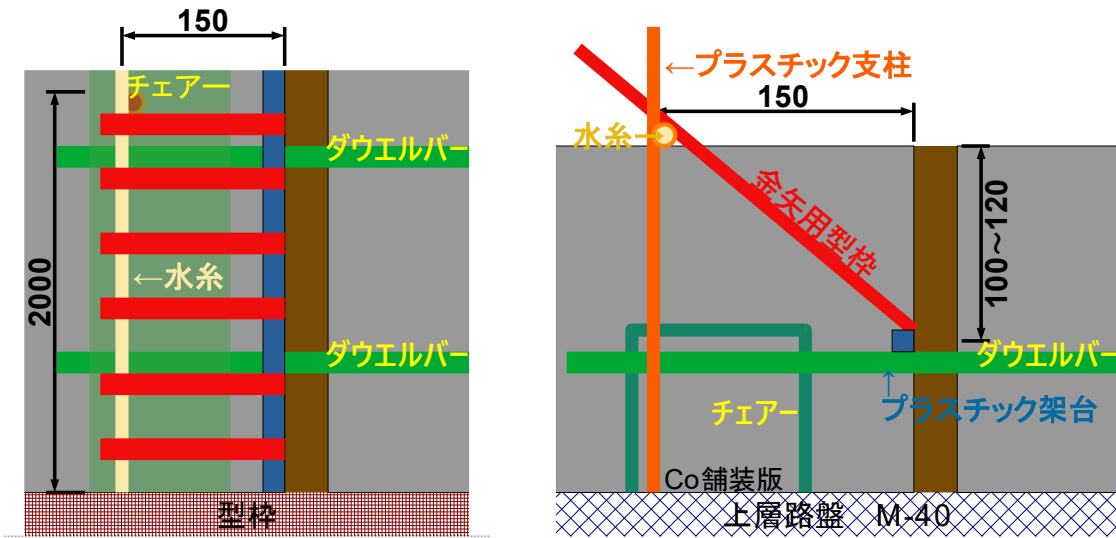
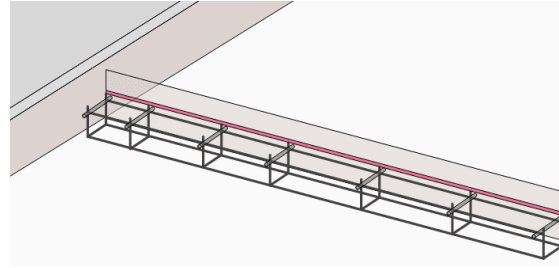
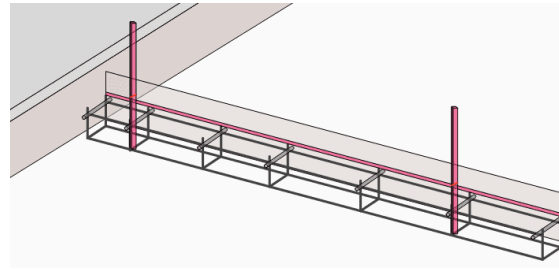


図-4.3.3 金矢用型枠の設置平面図・横断面図(単位：mm)

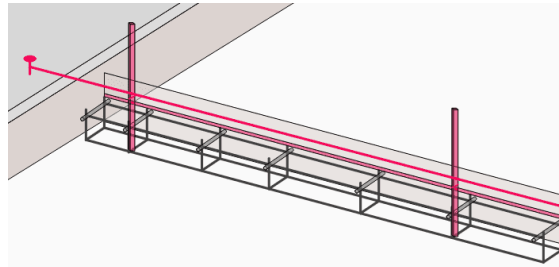
①目地板に矢穴用型枠の架台を接着



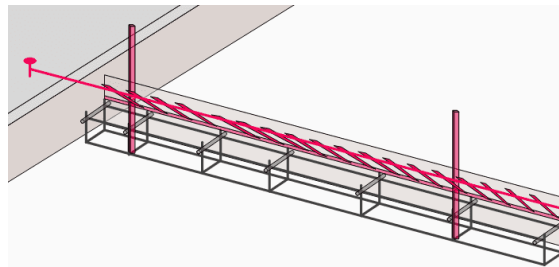
②プラスチックの支柱をチェアーに設置



③Co仕上がり高さで水糸を通す



④ ③で通した水糸と①の架台に型枠を置く



⑤ ④の状態を維持しつつコンクリートを打設



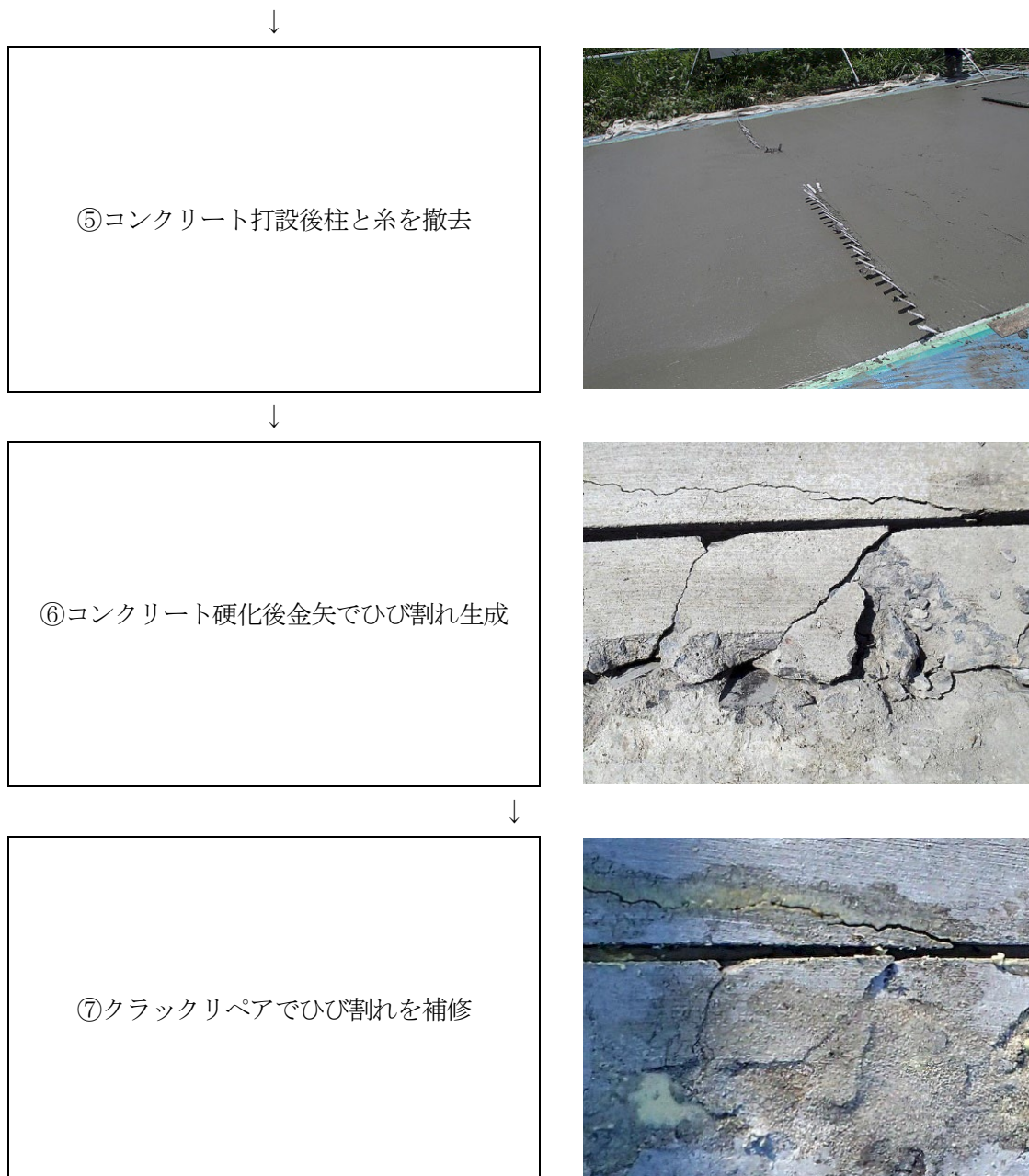


図-4.3.4 模擬隅角ひび割れ生成，補修作業フロー

試験用コンクリート舗装の模擬隅角ひび割れは室内実験の結果と異なり，上記工程⑥のように細かく割れてしまった。

これは，金矢用型枠設置箇所周辺がコンクリートフィニッシャーを通過させられなかったため，広い範囲が手仕上げとなり，金矢周辺に骨材が均等に分散しなかったことや，金矢用型枠が密集するため細かい仕上げ作業になりモルタル分の集中も生じた結果，表面近くのコンクリートの強度にばらつきが生じた結果と考えられる。

4. 3. 3 模擬亀甲ひび割れの生成と補修

コンクリート硬化後、模擬亀甲ひび割れ生成箇所（図-4.3.5）をカッターの切り込みで四角く囲い、その内側をハンマードリルで砕き、模擬亀甲ひび割れを2か所で生成した。補修はひび割れ生成直後に実施することとし、1箇所では表面にけい砂を混入させてモルタル状にして補修を行い、他方ではけい砂を使用せずにクラックリペアを流し込むだけで仕上げた。

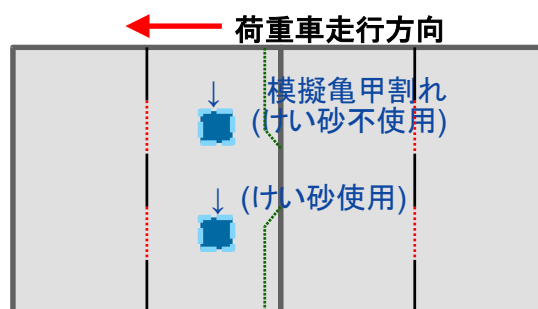


図-4.3.5 模擬亀甲ひび割れ位置

模擬亀甲ひび割れの生成と補修のフローを図-4.3.6に示す。

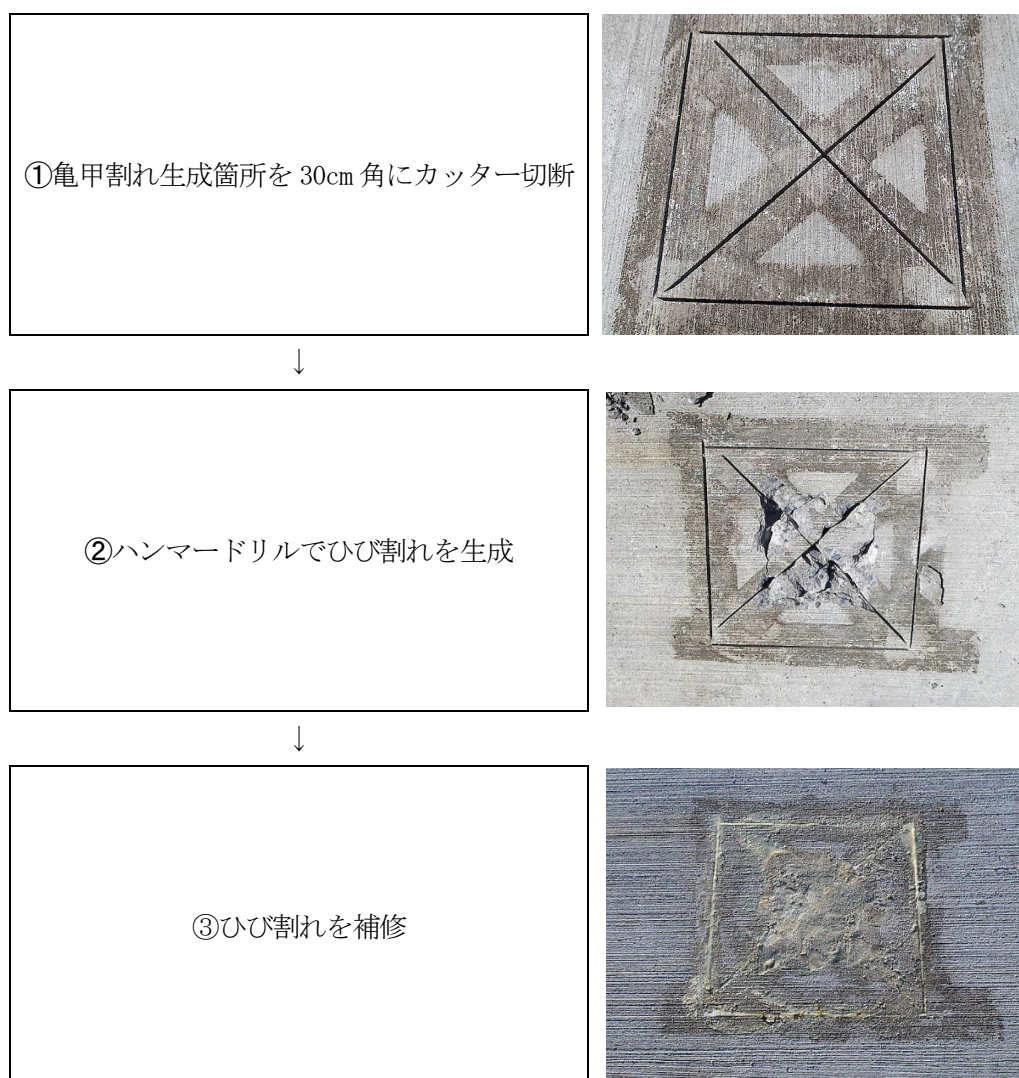


図-4.3.6 模擬亀甲ひび割れの生成，補修作業フロー

4. 4 補修箇所の外観の変化

模擬損傷の生成直後から 35 万輪走行後の調査までの、補修された箇所の外観の変化を取りまとめた。

4. 4. 1 模擬隅角ひび割れ箇所の外観変状

模擬隅角ひび割れ箇所の外観変状について、代表箇所の定点画像を写真-4. 4. 1 に、35 万輪走行後に特徴的な変状を生じていた箇所を写真-4. 4. 2 に、撮影位置を図-4. 4. 1 に示す。

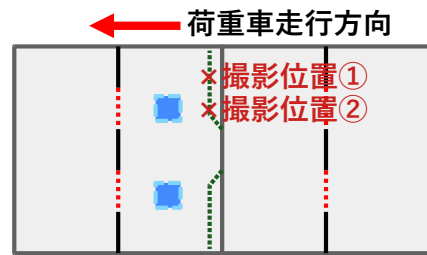


図-4. 4. 1 撮影位置（隅角部）



写真-4. 4. 1 模擬隅角ひび割れ箇所の外観変状

（撮影位置① : 左：補修前 中：補修直後 右：35 万輪後）

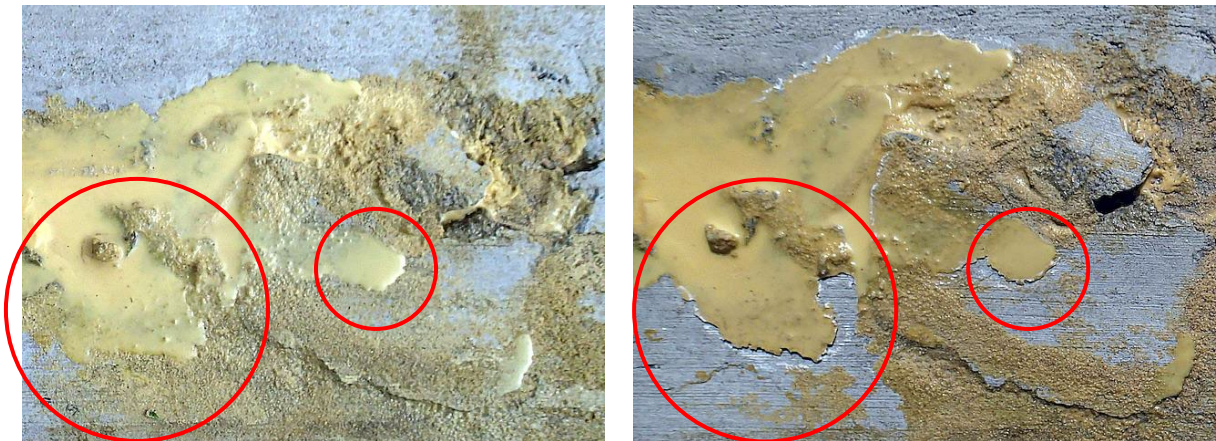


写真-4. 4. 2 模擬隅角ひび割れ箇所の外観変状

（撮影位置② 円内左：はみ出した補修材 右：舗装から剥がれた状態を保っている）

模擬隅角ひび割れ箇所は 8 月の施工となり、2 分前後で硬化（3.1.1.「可使時間 1」参照）する環境下であったことから、舗装表面が開いたひび割れの補修では表面を仕上げる時間が無く、美観とテクスチャ的に劣る仕上がりとなった。

表面に多くの凹凸が生じたことから、何らかの応力集中が生じると考えられたが、35万輪走行後まででは接着面の破断や、舗装片の飛散などは起きなかった。

また、多くの補修材を補修対象外の舗装表面に漏らしてしまったことから、その影響による損傷も考えられたが、荷重車の载荷によって漏れた補修材と舗装表面の接着部分に剥がれが生じた程度で収まった。

4.4.2 模擬横断ひび割れ箇所の外観変状

模擬横断ひび割れ箇所の外観変状について、代表箇所の定点画像を写真-4.4.3に、35万輪走行後に特徴的な変状を生じていた箇所を写真-4.4.4に、撮影位置を図-4.4.2に示す。

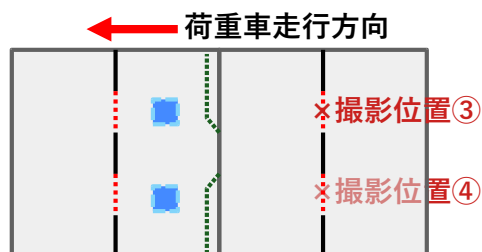


図-4.4.2 撮影位置（横断）



写真-4.4.3 模擬横断ひび割れ箇所の外観変状

(撮影位置③ : 左:補修前 中:補修直後 右:35万輪後)

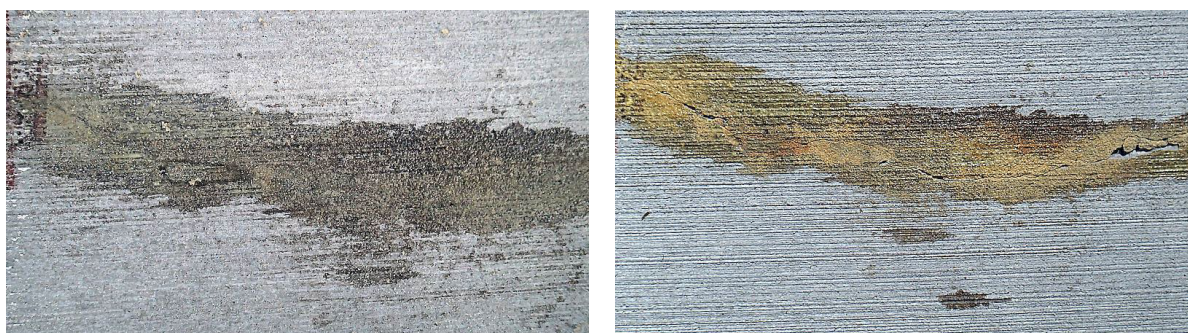


写真-4.4.4 模擬横断ひび割れ箇所の外観変状

(撮影位置④ : 左:補修直後 右:35万輪後)

模擬横断ひび割れ箇所は、当初予定していた量の補修材では注入量が不足し、撮影位置④付近などで全面に注入接着できていない箇所が生じた。当該箇所では、35万輪走行後までに角のコンクリートの薄い層と補修材が同時に欠けて飛散しているが、これは他の箇所に比べて荷重車の走行でひび割れ

の角同士が当たる挙動が激しくなったためと考えられる。

この傾向が続けば損傷の進行も有り得る為、程度によっては再補修を考えていたが、ひび割れが開く等の損傷が進行する傾向はなく、再補修が必要な状況にはならなかった。

4. 4. 3 模擬亀甲ひび割れ箇所の外観変状

模擬亀甲ひび割れ箇所は、上述したようにけい砂を用いた箇所（撮影位置⑤）と流し込みのみで補修した箇所（撮影位置⑥）がある。

それぞれの外観変状について、全面の定点画像を写真-4.4.5 に、35 万輪走行後に特徴的な変状を生じていた箇所を写真-4.4.6 に示す。

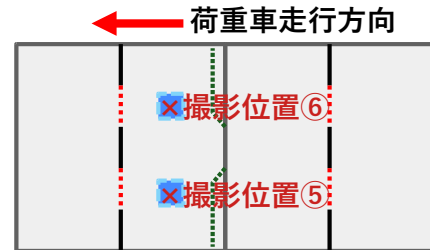


図-4.4.3 撮影位置（亀甲）



写真-4.4.5 模擬亀甲ひび割れ箇所の外観変状（けい砂有り）
（撮影位置⑤）：左：補修前 中：補修直後 右：35万輪後

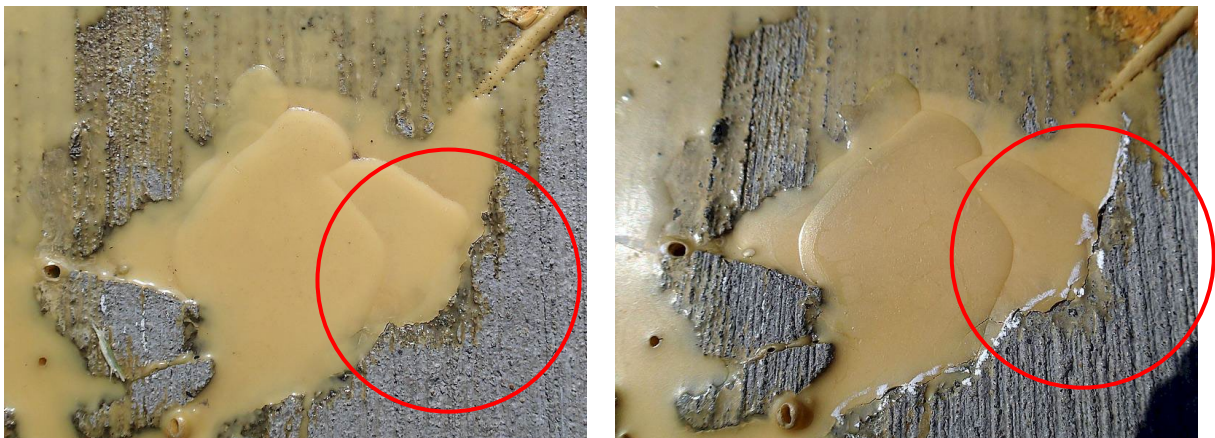


写真-4.4.6 模擬亀甲ひび割れ箇所の外観変状（けい砂無し）
（撮影位置⑥）左：補修直後 右：35万輪後 円内に界面破壊が生じている

整形時にけい砂を使用した箇所は、紫外線の暴露によって黄変が進行した以外指摘できるような変状がなかったが、流し込みのみで補修した箇所は、5万輪走行後から接着面の界面破壊が生じていた。

けい砂を使用した箇所には見られないことや、室内試験の結果（3.3.4 参照）から考えると、けい砂を混合することで界面破壊を防止する何らかの効果が生じると考えられる。

ただし、界面破壊箇所のすきまの広がりなどの損傷の進行はなく、飛散の危険性もなかったことから、35万輪走行後の段階では再補修は行わなかった。

4.5 すべり抵抗性の変化

模擬亀甲ひび割れ箇所において行ったすべり抵抗試験の結果をとりまとめた。

4.5.1 すべり抵抗性変状結果

模擬亀甲ひび割れ部のすべり抵抗の測定結果を図-4.5.1に示す。

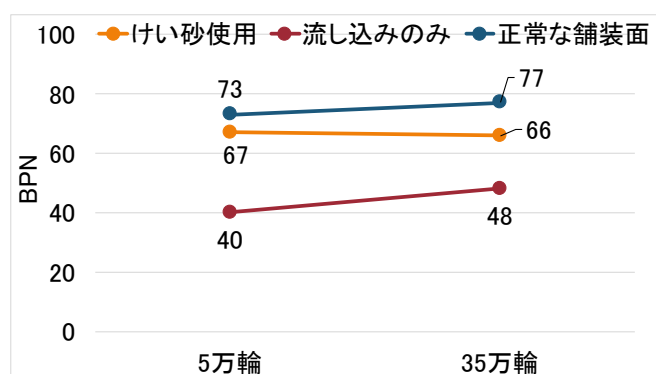


図-4.5.1 すべり抵抗測定結果

5万輪走行後の段階で流し込みのみで補修した亀甲割れ部は BPN40、けい砂仕上げを行った箇所は BPN 67、通常のコンクリート舗装表面は BPN 73 であった。この結果から、クラックリペアにけい砂を混合すると、混合しない場合に比べて硬化した面が粗面になり、BPNが増加したと考えられる。

35万輪走行後の段階ではけい砂仕上げ箇所は BPN 66、流し込みのみの補修部は BPN 48、通常のコンクリート舗装表面は BPN 77 となった。どの箇所も明確な変化とは言えず、荷重車走行による載荷ではすべり抵抗性に変化はなかったと考える。

4.6 荷重伝達率の変化

模擬横断ひび割れ箇所において FWD 測定を行い、得られたたわみ量から荷重伝達率を算出した。

荷重伝達率は、模擬横断ひび割れが生成された5万輪走行後から測定を開始している。

4. 6. 1 荷重伝達率測定結果

測定結果から算出した模擬横断ひび割れ部の平均荷重伝達率を図-4.6.1に示す。

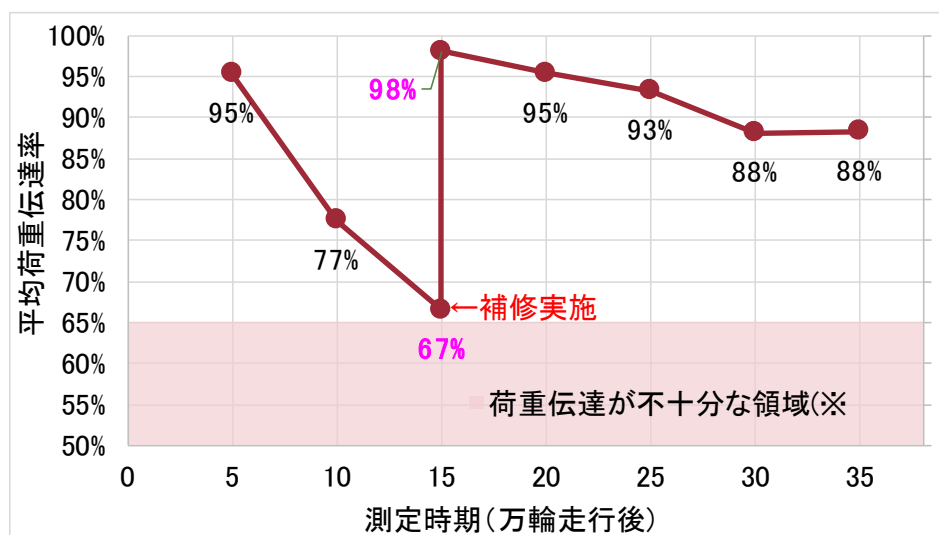


図-4.6.1 平均荷重伝達率の変化

※土木学会²⁾による区分

5万輪走行後の段階で全箇所90%以上あった荷重伝達率は15万輪走行後の段階で65%を下回る箇所が生じた。このことから荷重伝達ที่ไม่十分な状態が生じていると判定し、補修を行った。

補修後の荷重伝達率は全て95%を超えており、施工直後に近い状態に回復した。

その後走行輪数の増加に伴って荷重伝達率は下降する傾向にあったが、35万輪走行後の調査でも荷重伝達率は80%以上であり、健全な状態を維持していた。

4. 7 屋外実物大試験結果まとめ

屋外実物大試験により、クラックリペアをコンクリート舗装版の模擬損傷に適用した場合の耐久性などを明らかにした。

各検討項目毎の試験結果を、次にまとめる。

4. 7. 1 耐久性1 変状観察

補修面が車輪通過部にある程度の面積が露出してしまう場合、補修表面が平滑になるため、安全性の観点からけい砂を使用したうえで表面仕上げを行う必要がある。

ひび割れ箇所にクラックリペアを注入することで荷重伝達率の改善効果が期待できる。ただし、温

度収縮の影響により、冬季に界面破壊を引き起こし荷重伝達率が低下することが考えられるが、これも再注入を行うことで再度回復効果が期待できる。

表面近くに生じた施工不良などによる亀甲ひび割れ箇所では、クラックリペアを用いた補修によって、ポットホールへの進行の防止が期待できる。

4. 7. 2 すべり抵抗性

硬化した骨材が混合されていないクラックリペアが路面に露出している場合、その BPN は 40 前後になると考えられるが、けい砂を適度に混入して露出面を整形した場合、BPN は 60 程度まで向上した。

クラックリペアは元々初期のひび割れの接着による強度回復を目的としていたため、開発の段階では、すべり抵抗について全く注意を払うことはなかったが、亀甲ひび割れを一体化させたいときなどは、広い面積に硬化したクラックリペアが露出する可能性は充分ある。

このような場合、一般的に舗装に求められるすべり抵抗性能³⁾である BPN60 以上の値を得るために、広い面積に露出したクラックリペアに対して、けい砂を混合して整形仕上げを行うことが望ましいことが分かった。

4. 7. 3 耐久性 2 荷重伝達率

荷重車走行 5 万輪の段階で横断ひび割れは発現していたが荷重伝達が不十分な状態²⁾まで達していないこともあったため、荷重伝達が不十分な状態に至った荷重車走行 15 万輪後に補修を行った。このため、荷重車走行 35 万輪後の FWD の測定は、補修から 20 万輪後に相当する

荷重車走行による振動や負荷で界面破壊が進行することで荷重伝達率は減少傾向にあったと考えられるが、35 万輪走行後も荷重伝達率は 80%以上と良好な状態を継続しており、対策をしていない 15 万輪後までと比較して低下の速度は緩やかであった。

参考文献

- 1) 高柳俊介：「高島石の石切り技術」，研究紀要 第7号，山形県埋蔵文化財センター，pp.77-96，2015.3.
- 2) 舗装工学ライブラリー2「FWD および小型 FWD 運用の手引き」，土木学会，2002.12.
- 3) 舗装工学ライブラリー10「路面テクスチャとすべり」，土木学会，p.84-表 2.11，2013.3.

第5章 本研究のまとめ

5.1 屋内供試体試験のまとめと考察

屋内供試体試験では、以下の結果が得られたことから、結果に対する考察を行った。

結果1 本研究では、JIS K 6870 に代表される既存の接着剤の規格ではコンクリート舗装の補修に使用する場面にそぐわない事が多く、付録 2.1～3 にまとめた試験方法を提案することとなった。

提案した方法に基づき、クラックリペアの可使時間、養生時間、適用ひび割れ幅を示すことが出来た。

考察 今回は、コンクリート構造全般に用いられる温度条件3点（5℃・23℃・35℃）を用いて検討したが、夏期のコンクリート舗装はさらに高温となることも考えられるため、さらなる高温域の温度条件について試験が必要と考える。

結果2 乾湿繰り返し、および凍結融解環境がクラックリペアの接着強度に及ぼす影響について検討したが、結果的にこの2種類の試験は、大きく温度変化する環境に対してのクラックリペアの耐久性を調べることとなったと考えられる。

温度変化が大きい環境に対してのクラックリペアの曲げ強度は、低温、高温ともに低下傾向にあった。

考察 曲げ強度は低下する傾向であったが、環境負荷を与えただけで断裂することはなく、コンクリートクラックリペアとの温度収縮率の違いによる界面破壊によって少しずつ接着された面積が減少して強度が低下したと考えられることから、緊急時の強度回復を目的とするのであれば十分な性能を持っていると考える。

また、けい砂が混入された面の界面破壊が抑制されていたことから、界面破壊の防止方法として、けい砂の利用方法を検討する必要があると考える。

以上の結果と考察から、次のような課題が明らかになった。

- ・ 接着剤の可使時間と異なる可使時間評価が必要であり、暫定的に粘度上昇時間と整形作業可能時間を指標としたが、試験方法の妥当性の評価は、今後の施工事例の増加による補完が必要。
- ・ コンクリートクラックリペアとの温度収縮率の違いによると思われる界面破壊現象の対策としての、けい砂の使用方法の確立。

5. 2 屋外実物大試験のまとめと考察

屋外実物大試験では、以下の結果が得られたことから、結果に対する考察を行った。

結果 1 実物大実験による、模擬ひび割れに対する補修の効果と、補修後 20 万輪走行後までの輪荷重載荷に対する耐久性を調査した結果、補修直後は供用開始時同様にまで回復するが、その後徐々に荷重の伝達を失っていくことが分かった。

しかし、荷重伝達の低下は、ひび割れを放置した場合に比べて緩やかであり、補修が必要となるまでの時間を延伸する効果はあった。

考察 荷重伝達の低下は屋内供試体試験における環境負荷に対する耐久性の試験結果とも合致していることから、荷重伝達を失う仕組みも温度収縮率の違いによる界面破壊によるものと考えられる。

今後、温度変化の少ない長大トンネル内などでの事例を通じて、この点についてさらに検討していく必要がある。

結果 2 クラックリペアの仕上げにけい砂を用いた場合の、界面破壊の抑制と、すべり抵抗値の増加が確認された。

考察 本研究計画時のクラックリペアにけい砂を混合する目的は、クラックリペアの粘度を上げて流失を制御することだったため、上記のような効果に対する検討は予定しなかった。

しかし、今回の知見により大きな特長となりうることが分かったため、その効果を整理し検証する必要があると考える。

以上の考察から、次のような課題が明らかになった。

- ・ 実道の種々の条件の下で実施したクラックリペアによる補修事例の収集し、強度回復技術を用いた補修材にとって、より効果を発揮する状況、使用が不適切な状況を整理。
- ・ クラックリペアの仕上げにけい砂を用いる時に期待できる効果の整理と検証。

本研究を通じて、クイックリペアを用いたコンクリート舗装の応急補修工法の有効性について、一定程度確認することができた。今後は、当該工法の適用性やけい砂の使用等について継続した検討を実施する予定である。

付録1 クラックリペアの取り扱いについて

本研究で用いたひび割れ補修材クラックリペアはポリウレタン系の補修材であり、従来の防水を目的としたひび割れ補修材とは取り扱いについて異なる点があることから、以下に開発に際して想定したクラックリペアの利用目的と、標準的な施工手順、取り扱いに際しての注意事項を示した。

付1.1 クラックリペアの使用目的について

クラックリペアの開発において想定した使用目的と、適用性について判断する指標を示す。

クラックリペアの開発当初の目的は安全性向上であったが、試用で得た知見などから、現在は大きく次に示す3種類の目的に適合していると考えられる。

目的1「コンクリート片の飛散防止による安全性確保」

コンクリート舗装の目地部などに生じた角欠けを接着し、元々の舗装版と一体化させることで、コンクリート片の飛散を抑制し、それが原因で生じる事故の防止を目的とする

目的2「初期の意図しないひび割れの成長抑制」

異物の混入や、ダウエルバーのチェア周辺の締固め不良、養生初期に行ったカッター作業によって強度が不足している箇所からひび割れが生じている場合、異物や強度が不足する箇所全体を接着し、ひび割れの進行、再発生を遅らせる

目的3「亀甲ひび割れのポットホールへの成長抑制」

亀甲ひび割れが生じている箇所の、細分化したコンクリート片をクラックリペアで面的に一体化させることにより、コンクリート片の挙動を抑制し、亀甲ひび割れ箇所のポットホールへの成長を抑制する

路面の損傷状況等から、クラックリペアによる補修の適合性を判断するフロー図を図-付1.1.1に示す。

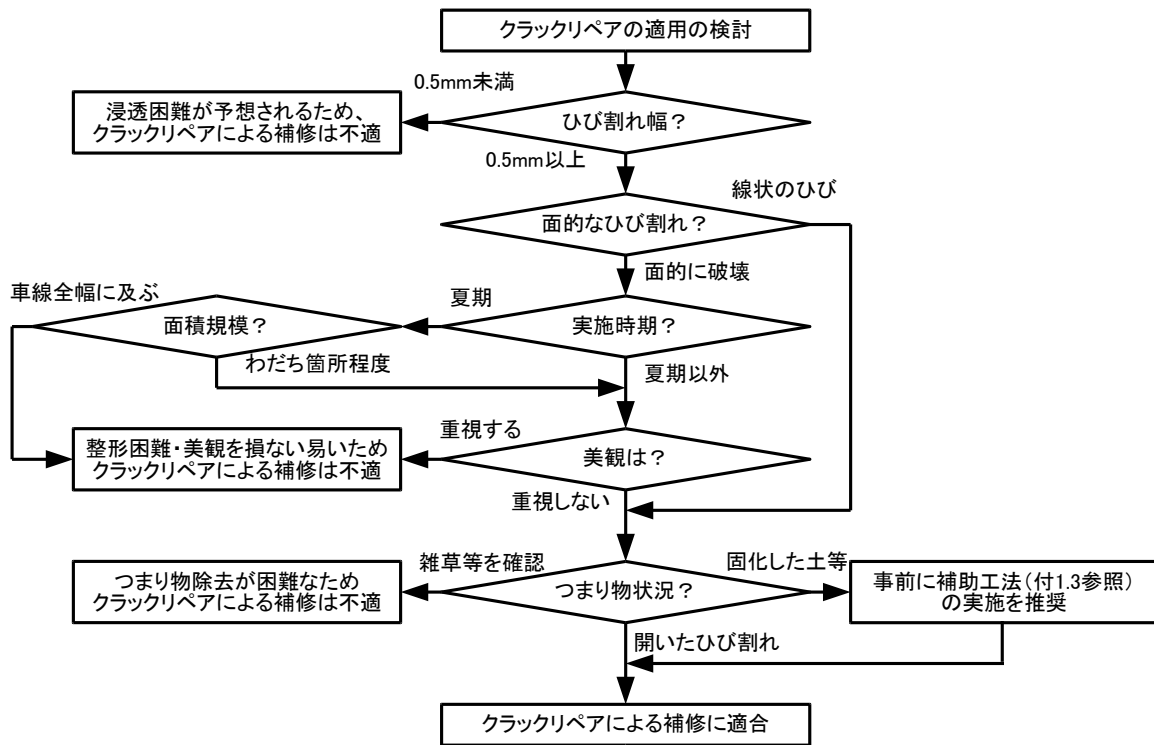


図-付 1.1.1 目的に対する適合性判断フロー

付 1.2 標準的な施工手順と注意点

一般的な施工手順を図-付 1.2.1 に示す。

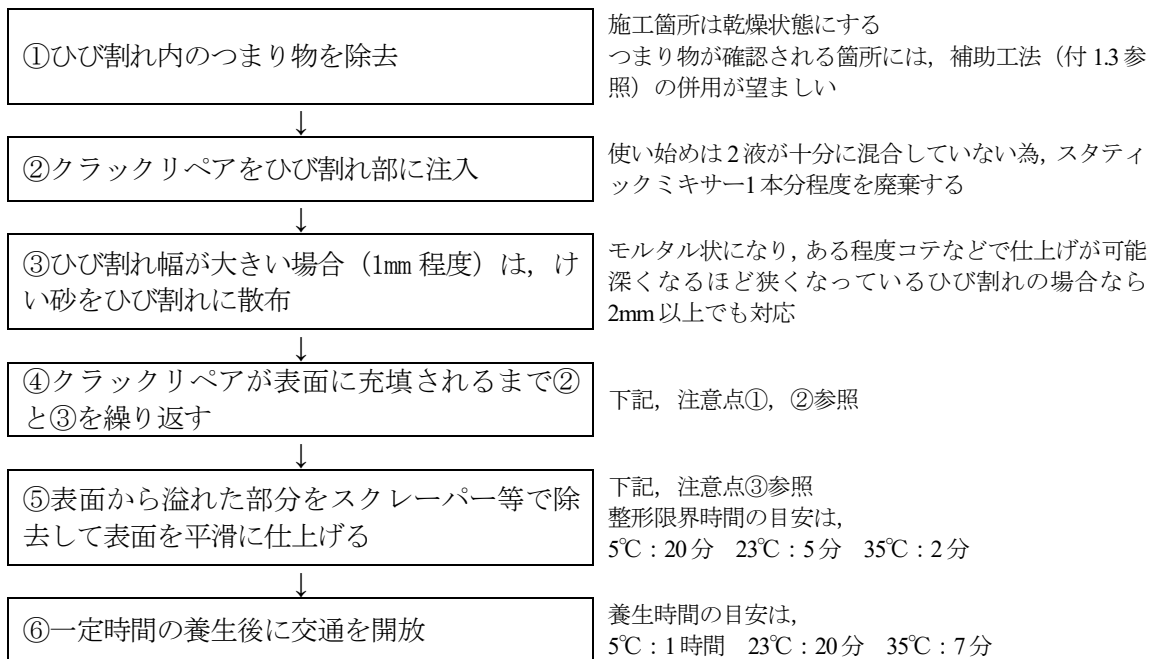


図-付 1.2.1 一般的な施工手順と注意点

各施工手順における注意点は次の通り。

注意点① 極低粘度が特長のクラックリペアであるが、反面、貫通したひび割れの直下にエロージョンが生じていたり、舗装外部までの水みちが出来てしまっているような環境では、つながっている空間に際限なく流失する可能性もある。流失の可能性が有り得る環境ではクラックリペア注入時の液面上昇の具合などを監視し、流失しているようであれば、けい砂を併用して粘度を上げ、流失先を塞いだ後に本注入を行うと言った対策が必要である。

注意点② 極低粘度という特性から、これまでの補修材と同じ感覚で使用すると、容易にひび割れから補修材を漏らしてしまう。特に補修延長が長く縦横断勾配の影響を受ける箇所では注入箇所より低い位置で補修材の漏れが生じる。そのため、最も低い位置の補修箇所から注入し、表面にけい砂を用いてクラックリペアの粘度を高めてから高い位置の注入に移る、と言った対策が必要である。

注意点③ クラックリペアが健全部に溢れた場合、硬化する前に拭き取れば目立たないが、硬化してしまった場合、削り取るしか除去方法がない。しかし一般的なテープ養生程度では、極低粘度のためクラックリペアがテープと舗装の間に浸透し、養生の効果が無い可能性もある。美観を重視する状況であれば厳重な養生を施すことも出来るが、クラックリペアは簡易な取り扱いが特長であることから、用途としては不適と考える。

付 1. 3 補助工法（ひび割れつまり物除去工法）について

クラックリペアは、ひび割れへの滴下浸透のみでひび割れ面に補修材を行き渡らせてコンクリート版を接着するため、ひび割れ内につまり物が滞留している場合には補修材がひび割れ面に浸透せず接着しないことが、開発時に確認されていた。

反面、従来のひび割れを瀝青材などで充填する工事では、コンプレッサーによって表面の塵埃を吹き飛ばす事があるが、これは表面に落ちている大きな塵のような物には効果があるが、乾いた泥のように固まった土埃などは、表面からの加圧ではより強固に詰まってしまう可能性があり、本来推奨できない手順と考える。

そこで、クラックリペアによる補修の補助工法として、つまり物を吸引によって除去する工法を用意した。

付 1. 3. 1 使用機材

クラックリペア用のひび割れつまり物除去工法には、専用のひび割れつまり物除去装置を用いる。これは、ある程度の深さのつまり物を吸引することを目的に作られている。

ひび割れつまり物除去装置の諸元を表-付 1. 3. 1 に、外見を写真-付 1. 3. 1 に示す。

表-付 1.3.1 装置諸元

項目	諸元
重量	21kg(吸引機を除く)
寸法(縦×横×高)	660×330×800 (mm)
吸引機	TOHIN TPV-1 (真空度 30kPa 程度の 吸引機であれば適用可)



写真-付 1.3.1 装置外観

付 1.3.2 施工手順

補助工法の施工の流れと注意事項を図-付 1.3.1 に示す。

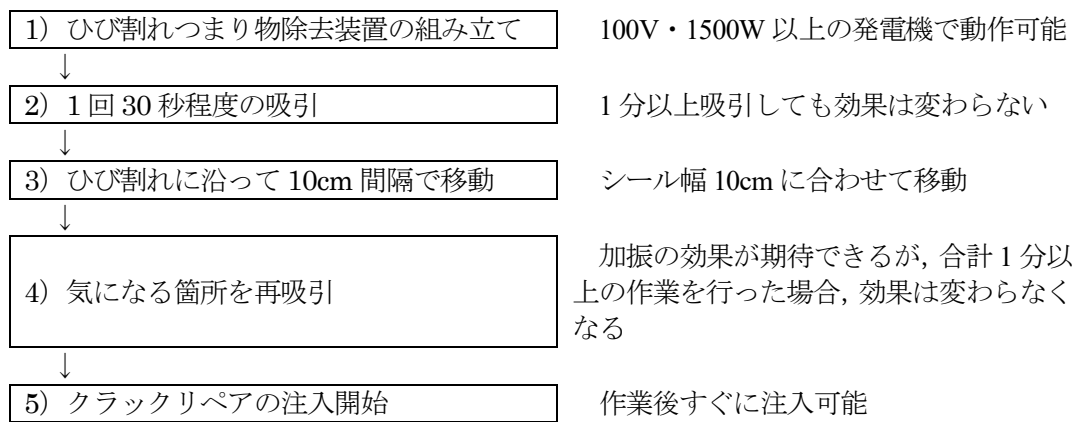


図-付 1.3.1 補助工法の施工の流れと注意事項

付 1. 4 化学的物性についての注意事項

クラックリペアはポリウレタン系の薬品であることから、化学的な観点から使用するにあたり注意すべき点を次に示す。

- ① 極低粘度であるため誤飲の可能性などが考えられるが、毒性以外にも硬化することによる種々の危険性が考えられることから、人体への摂取は絶対に防止するよう、手順の周知徹底を図ること。
- ② 硬化したポリウレタンは皮膚とのなじみが良く、特に爪に付着すると全く剥がれないので爪が伸びきるまで付着したままになる。
このため、舗装表面の整形など手指への付着等が考えられる工程がある場合は、保護眼鏡、ゴム手袋を装備し、人体への付着を防止すること。
- ③ 湿気の無いところで保存すること。
- ④ 使い始めたカートリッジを作業の中断などで放置してスタティックミキサー内で硬化が始まった場合、スタティックミキサーを交換したとしてもシリンダ内に液が逆流している可能性が高く、ごく微量の逆流でもシリンダ内で硬化が始まるため、カートリッジの再使用は困難となる。
- ⑤ 未開封の保存の目安は6ヶ月程度だが、ある程度カートリッジからも溶剤が揮発していくため、開封後のクラックリペアは急速に変質し、性能が維持できない。

付録 2 本研究で新たに用いた試験方法

付 2. 1 可使時間決定のための一連の試験方法について

本報告書「2.2 本研究で実施した検討項目」に示した経緯から、次に示す補修材の可使時間を決定する試験方法を提案する。

可使時間を決定する試験方法の候補が複数あったため、ここでは全ての候補の試験方法と、得られる結果についての考察を記載した。

本研究で検討した可使時間を決定する試験方法の候補を表-付 2. 1. 1 に示す。

表-付 2. 1. 1 検討した可使時間を決定する試験方法の候補

試験方法	求める要素	参考にした規格
塗布感覚法	ヘラなどで補修材を塗り広げることが困難になるまでの使用開始からの時間	JIS K 6870:2008 6.4 方法 3 (以後 JIS K 6870 方法 3 と表記)
フィルム転写法	平面に塗布した補修材にフィルムを密着させて剥がした際に補修材が転写しなくなるまでの使用開始からの時間	JIS K 6870:2008 6.5 方法 4 (以後 JIS K 6870 方法 4 と表記)
温度-時間測定法	反応熱によって変化する補修材の温度-時間の関係	JIS A 6024:2015 JIS K 6870:2008 6.6 方法 5

付 2. 1. 1 塗布感覚法（補修材を使用する場面に適合した可使時間試験方法）

本試験方法は、反応を開始した補修材が粘度を増加させ、最終的に整形が不可能と考えられるまでの時間を測定するが、参考にした「JIS K 6870 方法 3」も官能的な測定を許容していたため、本試験方法でも官能的な判断としている。ただし、疑義が生じたときの検討素材として動画による記録を必須とした。

また、「JIS K 6870 方法 3」では、塗り広げられなくなるまでの時間を測定項目としていたが、強度回復技術の補修材は、ひび割れに浸透しなくなれば既に所期の性能は失われていると考えたため、感覚的に粘度が増加し始めた時間も記録の対象としている。

(1) 必要器具

本試験方法は「JIS K 6870 方法 3」を参考に決定しているが、補修材は硬化後に除去できないことから、直接触れる機材は使い捨て可能な素材に変更した。

- ① シャーレ（容易に液面に触れることが可能な大きさで、試験条件下で腐食・劣化・変形を起こさないもの。本研究ではφ80のポリメチルペンテン製の物を用いた）

② スパチュラ（ヘラ状で、試験条件下で腐食・劣化・変形を起こさないもの。本研究では低発泡ポリプロピレン製の物（写真-付 2.1.1）を用いた）

③ 計時装置（動画で表示部が確認できる程度の大きさの物）

※ 動画撮影機材のバックアップとして用意したが、常に動画記録を続ける手順であれば不要

④ 動画撮影機材

10 フレーム/秒の以上の間隔で、反応終了までの時間以上の動画記録が可能なカメラを用いる

（本研究ではOM デジタルソリューションズ株式会社製「TG-2」を使用）

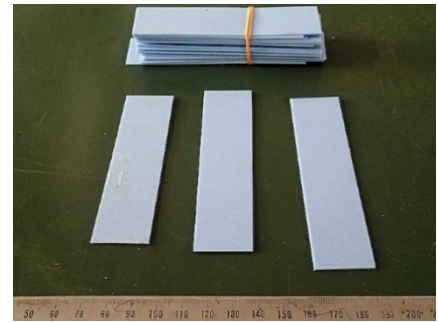


写真-付 2.1.1 スパチュラ（例）

(2) 測定水準

測定水準は、環境水準（測定温度）を 5, 23, 35 (°C) の 3 種、測定の繰返し回数を 3 回とする

(3) 測定方法

試験は、補修材をシャーレに流し込み、経過時間毎にスパチュラで触れたときの触感を評価する方法を用いる。

全ての実験は環境温度で安定させた恒温室内で実施する。

当日試験する補修材は 1 時間以上前から恒温室内で養生する。

1) 機材準備

① 機材への養生

試験対象の補修材の除去のしやすさで、養生の程度を決める。

硬化後の除去が困難な補修材の場合は、飛散する可能性のある機材全てに養生シートを展開する必要がある。

② シャーレ

清浄な物を用いる。硬化後脱型が可能で完全に前の試料が除去出来る素材であるなら、連続使用も可。

また、試験結果への影響は微少と考えられることから、シャーレの蓋も用いて良いと考える。

③ スパチュラ

ヘラ状の物であれば何でも良い。クラックリペアの製造者が自主的に行った試験では割り箸を用いている。

④ 計時装置

表示部を動画撮影機材に向けて置く。測定前に動画を再生し、表示の読み取り（写真-付 2.1.2）を確認



写真-付 2.1.2 表示の状況

認する。

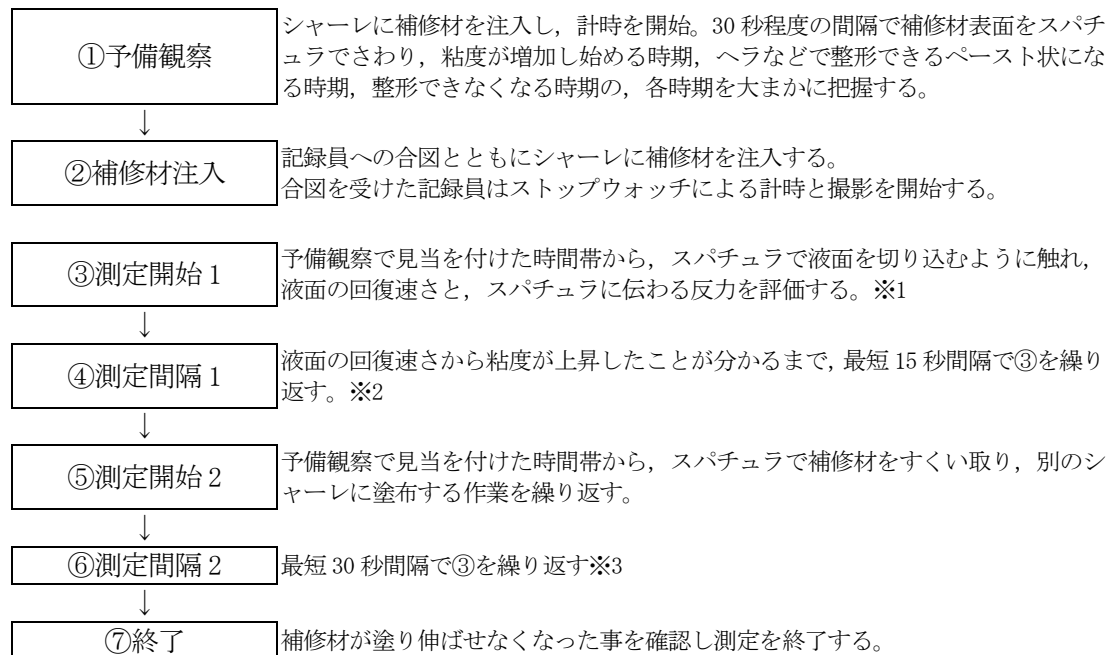
⑤ 動画撮影機材

シャーレの中の様子が観察できるフレームに画角を調整する。計時装置も用いるときは、計時装置の表示も確認する。

光の反射などを拾わないように留意し、恒温室の明るさによっては照明装置を追加設置する。

2) 測定

測定は、**図-付 2.1.1**の流れに従って行う。



※1 主に液面の回復速さで評価すれば、回復の様子も動画で残せるため、より客観的と考える。

※2 本研究では、スパチュラの接触、結果撮影、スパチュラ拭き取りの流れを焦らず行えば約 15 秒かかった。

※3 本研究では、補修材のすくい上げ、シャーレへの塗り伸ばし、結果撮影、スパチュラ拭き取りの流れを焦らず行えば約 30 秒かかった。

図-付 2.1.1 測定の流れ

3) データ整理

データは、粘度が上昇したことを確認するまでにかかった時間を粘度上昇時間、補修材が塗り伸ばせなくなった時間を整形限界時間として記録する。

3 回の測定値と、その平均値を記録する。

(4) 可使時間の判定

補修材の可使時間は、**表-付 2.1.2**に従って判定する。また判定した状態のビデオ画面を**写真-付 2.1.3**に示す。

表-付 2.1.2 可使時間の判定基準

状況	判定
液面の回復速さとスパチュラに伝わる反力から、粘度は変わっていないと感じる	可使時間内
液面の回復速さとスパチュラに伝わる反力から、粘度が増加したと感じる	可使時間外
スパチュラによって、液面を意図した形状に整形できる	整形可能
液面が硬化し、スパチュラでは意図した形状に整形できない	整形不可能



写真-付 2.1.3 判定時の状態 (左：可使時間外 右：整形不可能)

以上に述べた基準は、ある程度官能に頼った試験であり、測定者の個人差が生じることは理解しているが、実際の使用局面における可使時間の意味が「何らかの理由で補修を中断してから、使用中だったカートリッジを用いた補修の継続が可能な時間」と言う、正確である必要性があまり感じられない状況であったため、目安として使えれば良いと判断した。

今後、客観的な判定が可能な方法が見つかれば、新たに提案していきたい。

付 2.1.2 フィルム転写法 (補修材が接着力を失うまでの時間)

本試験方法は、一定の平面に広げた補修材が硬化し始めるまで待ち、液面にフィルムを接触させたときにフィルムに補修材が転移するかどうかを観察するものである。参考とした「JIS K 6870 方法 4」では可使時間を「初期混合した時間から、接着剤層の表面が粘着性を失う時点までの経過時間」と定義していたが、強度回復技術を用いた補修材を使用する状況では、その状態は接着しなくなる状態であることから、この可使時間は付着限界時間と定義して計測した。

また、対象とするフィルムが付着しなければ、その時間を記録すれば良いが、液面の一部だけ硬化が推進されるなど、液面の状態が全て同等と限らないため、実際に試験を行っている場面では接着力を失った時間を確定しづらかった。このように疑義が生じたときの検討素材として動画による記録を必須とした。

「JIS K6870 方法 4」では、接着力を失うまでの時間を可使時間としていたが、前項「付 2.1.1 塗布感覚

法」で述べたように、強度回復技術の補修材は、ひび割れに浸透出来なければ所期の性能は失われていると考えることから、この試験法では可使時間は求められないと判断する。

なお、この試験法で得られる付着限界時間は「養生に失敗して接着面が界面破壊を起こしてしまったときに、圧着などを行うことで再接着可能な時間」と解釈できるが、現実の場面で遭遇しにくい状況であり、実用性に乏しいことから、この試験を用いる意義は希薄であると考ええる。

(1) 必要器具

本試験方法に用いる器具は「JIS K 6870 方法4」を参考にしている。

① シャーレ：「付 2.1.1 (1) 必要器具」と共通

※「JIS K 6870 その4」では接着性を確認するために補修材を広げる台として 200mm 四方のアルミ板を規定していたが、200mm 四方の面積と、アルミ素材の必要性が分からなかったことと、補修材が除去できない可能性を考え、使い捨て前提の器具に変更した。

② フィルム：(本研究では、0.08mm 厚のポリエチレン製ゴミ袋を 100mm 四方に切断して使用 写真-付 2.1.4)

③ 計時装置：「付 2.1.1 (1)必要器具」と共通

④ 動画撮影機材：「付 2.1.1 (1)必要器具」と共通

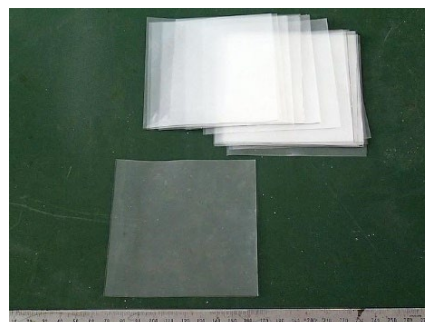


写真-付 2.1.4 使用したフィルム

(2) 測定水準

測定水準は、環境水準（測定温度）を 5, 23, 35 (°C) の 3 種、測定の繰返し回数を 3 回とする

(3) 測定方法

試験は、補修材をシャーレに流し込み、経過時間毎に液面にフィルムを接触させ、フィルムに転移しなくなった時間を記録する。

全ての実験は環境温度で安定させた恒温室内で実施する。

当日試験する補修材は 1 時間以上前から恒温室内で養生する。

1)機材準備

① 養生：付 2.1.1 (3)測定方法と共通

② シャーレ：付 2.1.1 (3)測定方法と共通

③ フィルム：使い捨てになるので、想定した試験回数分は用意する。

※ 本研究では、予備観察で転移確認開始時間を補修材が黄変し始める時期に設定し、それから 1 分間隔で 10 分間行えば転移しないほど固まると言う判断で予備を含め 12 枚/回を準備した。

- ④ 計時装置：付 2.1.1 (3)測定方法と共通
- ⑤ 動画撮影機材：付 2.1.1 (3)測定方法と共通

2)測定

測定は、**図-付 2.1.2** の流れに従って行う。

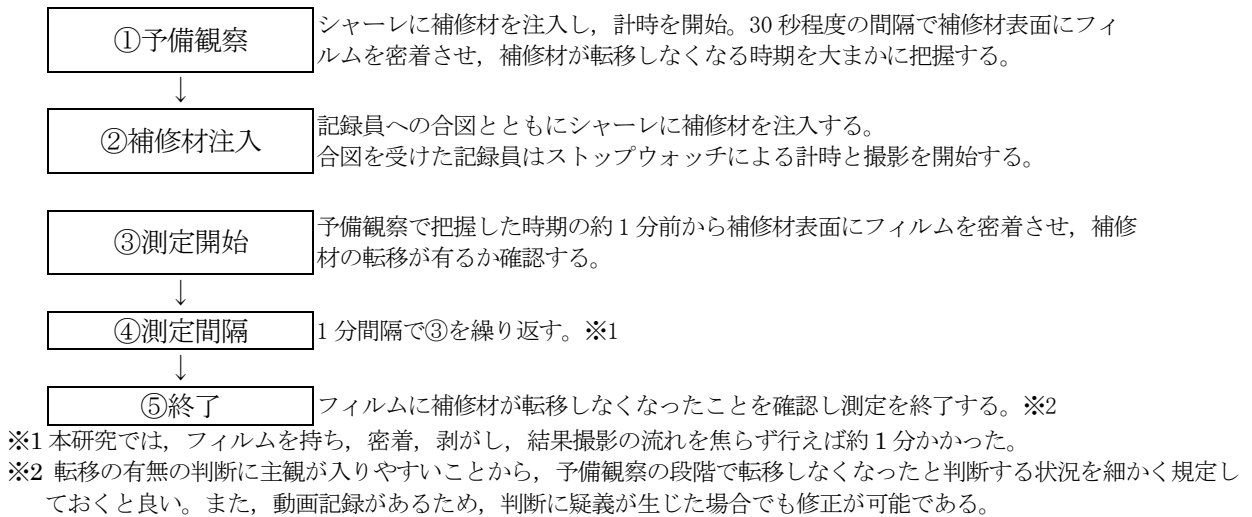


図-付 2.1.2 測定の流れ

3)データ整理

データは、注入開始からフィルムに補修材が転移しなくなったことを確認するまでにかかった時間を付着限界時間として記録する。

3 回の測定値と、その平均値を記録する。

(4) 接着力を失う時間の判定

補修材が接着力を失う時間は、付着限界時間の平均値とした。

参考として本研究で行ったフィルム転写法の試験結果を、**図-付 2.1.3** に示す。

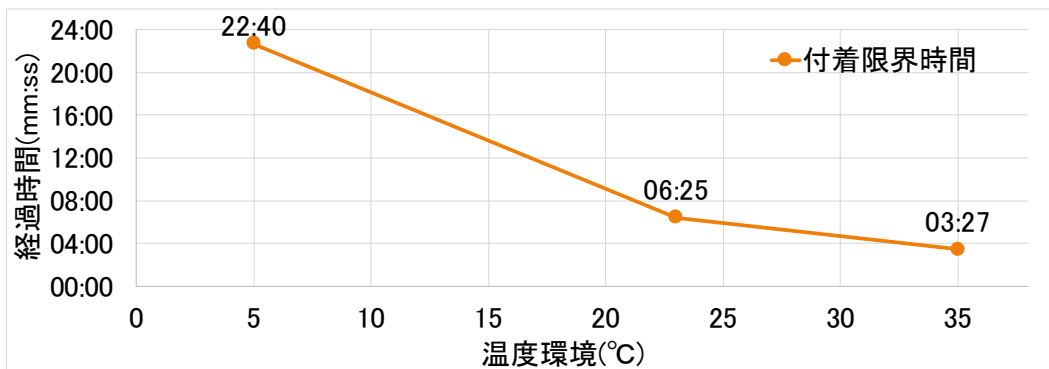


図-付 2.1.3 フィルム転写法試験結果

付着限界時間は5℃環境下で22分40秒、23℃環境下では6分25秒、35℃環境下では3分27秒となった。客観的な判定という面では「付2.1.1. 塗布感覚法」よりも優れていると考えるが、冒頭に述べたように、付着限界時間を利用する場面が考えにくいことから、本試験方法の検討・改良は今後行わない予定である。

付2.1.3 温度-時間測定法（補修材の化学反応がピークに達する時間）

本試験方法は、補修材が化学反応を起こす際の反応熱により、補修材の温度が上昇することから、その変化の特徴を数値化し、補修材の性質と関連付けることで可使用時間を決める方法である。

参考にした試験規格の1つ「JIS A 6024:2015」では、可使用時間は次の式で定義されている。

$$T_1 = t_1 \times 0.7 \quad \dots \dots \text{(式1)}$$

$$T_2 = t_2 \times 0.5 \quad \dots \dots \text{(式2)}$$

ここに、 t_1 ：試料の発熱温度が急激に立ち上がる場合の立ち上がりまでの経過時間（分）

t_2 ：試料の発熱温度が急激に立ち上がらない場合の最高発熱温度到達時間（分）

T_1 ：試料の発熱温度が急激に立ち上がる場合の可使用時間（分）

T_2 ：試料の発熱温度が急激に立ち上がらない場合の可使用時間（分）

このように温度変化を2種類に大別し、その中で可使用時間を何らかの変化が現れる時間に対する割合で示すことは、この規格の策定時に補修材の温度と使用に適する状態との何らかの関係データの蓄積が行われたと考えられたことから、この試験法で補修材の可使用時間を得るためには塗布感覚法の結果と関連付ける必要があると考えた。

しかし、塗布感覚法で補修材の可使用時間は得られるため、温度-時間法で補修材の可使用時間を求める意味が現状では無いことから、本研究では供試体数1で試験を行った後に試験を中止した。

本研究では試用に止まったが、今後数多くの強度回復技術を用いた補修材が作成され、細かな用途に合わせて細分化されていけば、必要な性能があることを証明する方法の規格として、製造者が合同でこのような試験方法を検討する時期が来ると考える。

(1) 必要器具

本試験方法に用いる器具は「JIS K 6870:2008 6.6 方法5」を参考にしている。

① シャーレ：「付2.1.1 (1)必要器具」と共通

※「JIS K 6870 その4」では接着性を確認するために補修材を広げる台として200mm四方のアルミ板を規定していたが、200mm四方の面積と、アルミ素材の必要性が分からなかったことと、補修材が除去できない可能性を考え、使い捨て前提の器具に変更した。

② 保温箱：恒温室の空調の気流で測定数値が不安定になる事を防ぐ為に使用

※ 本研究では、発泡スチロール製の薄板を加工し、シャーレを囲った。(写真-付 2.1.5)

- ③ 温度計測用ロガー一式: 1回/秒の間隔で、反応終了までの時間以上のデータ記録が可能なロガーを用いる

(本研究では江藤電気株式会社製「サーミックロガー Model 2300A」を使用)

- ④ 計時装置: 「付 2.1.1 (1)必要器具」と共通

※開始時間のバックアップとして用いており、③が起動停止の明確な機材であれば不要。

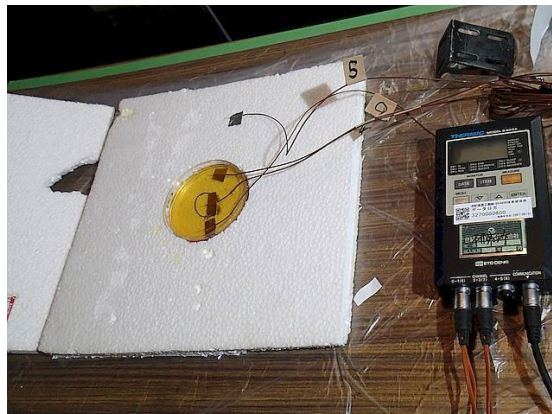


写真-付 2.1.5 保温箱外観

(2) 測定水準

測定水準は、環境水準(測定温度)を 5, 23, 35 (°C) の 3 種、測定の繰返し回数を 3 回とする

※ 本研究では、前述のような理由から 1 回で中止した。

(3) 測定方法

試験は、補修材を熱電対を付けたシャーレに流し込み、シャーレを保温箱に収納し、ロガーで 2 時間程度の温度変化を測定するという方法である。

全ての実験は環境温度で安定させた恒温室内で実施する。

当日試験する補修材は 1 時間以上前から恒温室内で養生する。

1) 機材準備

① 養生

※ 付 2.1.1 (3)測定方法と共通

② シャーレ

※ 付 2.1.1 (3)測定方法と共通

③ 保温箱: 熱電対が剥がれないように、ケーブルの取り回しに留意する。

④ 計時装置: 保持方法などは特になく、落下、汚損の心配が無いように置く事とする。

2)測定

測定は、**図-付 2.1.4**の流れに従って行う。

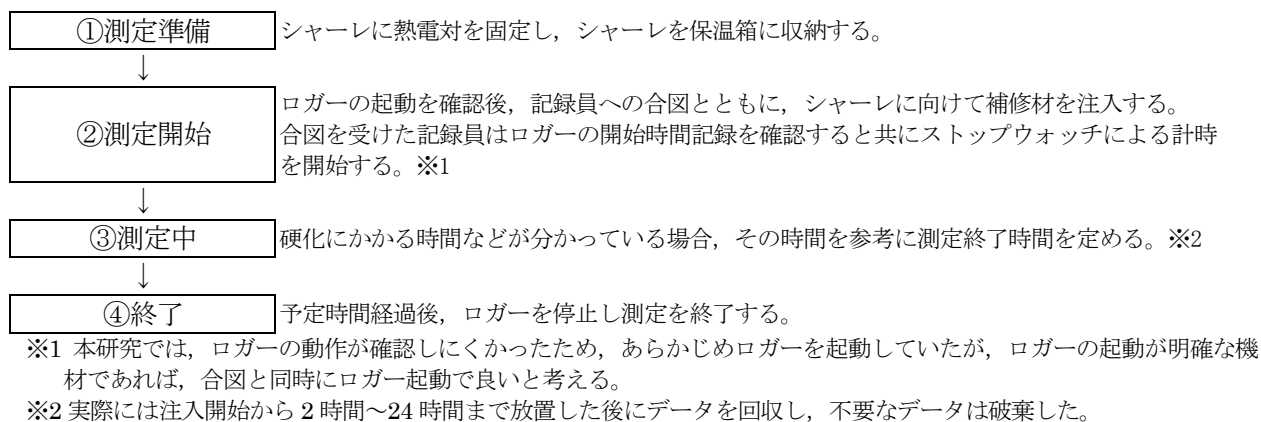


図-付 2.1.4 測定の流れ

3)データ整理

データは、注入開始から温度変化が明確にピークを越えた時間までを用いる。

記録は、3回の測定値と、その平均値とする。

(4) 得られる結果について

本試験方法で得られる結果は、補修材の反応が時間とともにどのように変化するかピークに達する近傍の時間である。

客観的な判定という面では「付 2.1.1 塗布感覚法」よりも優れていると考えるが、クラックリペアの場合、反応のピークに達したときには明らかに可使時間は超えていることから、「JIS K 6870 6.6 方法5」に示された定義「温度変化がピークに達する時間」は準用できず、「JIS A 6024:2015」に示された定義「温度変化がピークに達する時間の50%または70%」と同様の定義となると考える。

今後、強度回復技術を用いた補修材全般に対する規格として用いる事は考えられるが、本研究では測定方法の予備的な検討に止まると考える。

付 2. 2 養生時間決定のための試験方法 (硬度-時間測定法)

本報告書「2.2. 本研究で実施した検討項目」に示した経緯から、次に示す補修材の養生時間を決定する試験方法を提案する。

付 2. 2. 1 必要器具

- ① シャーレ (JIS K 6253:1997 「Type D」) に準拠した測定が可能な面積を持ち、試験条件下で腐食・劣

化・変形を起こさないもの。本研究ではφ80のポリメチルペンテン製の物を用いた)

※ 離型性の良い材質であれば、再使用が可能

② 硬度計 (JIS K 6253:1997「Type D」準拠。試験対象が固化したときの硬さ次第では「Type A」を用いる事もあり得る)

③ 計時装置 (動画で表示部が確認できる程度の大きさの物)

④ 動画撮影機材

10 フレーム/秒の以上の間隔で、反応終了までの時間以上の動画記録が可能なカメラを用いる (本研究ではOMデジタルソリューションズ株式会社製「TG-2」を使用)

付 2. 2. 2 測定水準

測定水準は、環境水準 (測定温度) を 5, 23, 35 (°C) の 3 種, 測定時の繰返し回数を 3 回とする

付 2. 2. 3 測定方法

本試験における硬度の測定方法は、JIS K 6253:1997「Type D」に準拠した。

全ての実験は環境温度で安定させた恒温室内で実施する。

当日試験する補修材は、少なくとも 1 時間前から恒温室内で養生する。

(1) 機材準備

① 機材への養生

試験対象の補修材の除去のしやすさで、養生の程度を決める。

硬化後の除去が困難な補修材の場合は、飛散する可能性のある機材全てに養生シートを展開する必要がある。

② シャーレ

清浄な物を用いる。硬化後脱型が可能で完全に前の試料が除去出来る素材であるなら、連続使用も可。

また、試験結果への影響は微少と考えられることから、シャーレの蓋も用いて良いと考える。

③ 計時装置

表示部を動画撮影機材に向けて置く。測定前に動画を再生し、表示の読み取りを確認する。

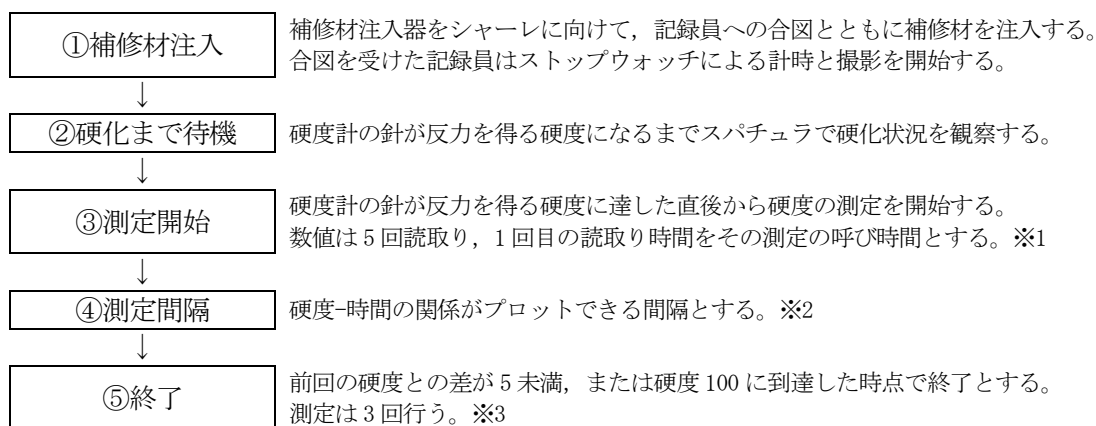
④ 動画撮影機材

測定していることが確認できるフレームに画角を調整し、計時装置の表示も読み取り可能か確認する。

光の反射などを拾わないように留意し、恒温室の明るさに対応できない場合、照明装置を追加設置する。

(2) 測定

測定は、図-付 2. 2. 1 の流れに従って行う。



※1 あらかじめ間隔を決めていても、不慮の停滞で間隔を維持出来なくなることがあるため、測定開始から測定間隔5分以上になるまでは測定の呼び時間は動画を確認して決定した。

なお、余裕を持って計時装置の読取りが出来る測定間隔になれば、動画撮影は不要となる。

※2 本研究では、数値の読取りを5回行うと測定を1分間隔より短く出来なかったため、開始から5測定程度を1分間隔、以後2分、5分、10分、1時間の間隔で数回繰り返す、勤務終了時間直前を測定した後は24時間後を測定して終了した。

※3 本研究における5℃環境、23℃環境では時間をずらして3個のシャーレに注入し、それぞれ別個の測定と出来たが、35℃環境のように、固化するまで5分かからないような場合は、シャーレ1個ずつをある程度固化するまで測定してから次の測定を開始した。

図-付 2.2.1 測定の流れ

(3) データ整理

本研究では、硬度は5回の読取り値の平均を用いた。しかし、測定対象によっては、最大、最小値を破棄した方がよいほどばらつく可能性もあるため、ここでは特に定めない。

得られた数値は、次項で述べる養生時間の決定に用いる硬度の平均値-測定の呼び時間の関係の近似式を求めるため、表計算ソフトなどの、近似式計算処理が可能なソフトに記録する。

付 2. 2. 4 養生時間の決定について

本研究では養生時間を決定するための算出方法について、付録 3「強度回復技術を用いた補修材の養生時間の決定方法 (案)」に取りまとめた。

なお、上述したように硬度-時間の関係を用いており、硬度と接着力の関係を明らかにした上で養生時間を定義したわけではないので、厳密には合理的な養生時間の決定法とは言えない。しかし、補修材の性質がある程度変化しなくなる時間を求める方法を決めるという視点から、養生時間を簡易で客観的に決定する考え方の一つとして参考にしていただきたい。

付 2. 3 強度回復技術を用いた補修材の浸透性試験

本報告書「2.2 本研究で実施した検討項目」に示した経緯から、次に示す補修材の浸透性を評価する試験方法を提案する。

付2.3.1 必要器具

本試験方法は「舗装試験・調査法便覧 D012T」を参考にして、機材の寸法、材質等は入手性なども加味して決定しており、合理的な検討の結果ではないことを明記しておく。

- ① 透明板（ガラス・アクリル等の剛性の高い板）：幅 200mm×長 200mm×厚 8mm×2 枚（試験環境下で腐食・劣化・変形を起こさないもの）
※ 厚さ 8mm とした理由は入手性の良さであったが、変形等の影響を感じた場面はなかった
- ② 板固定具：クランプ等、固定出来れば種類・材質等に規格無し。脚を含む
- ③ シール材：試験条件のすきま幅と同じ厚みを有するもの（すきま幅 0.5mm で試験する場合は 0.5mm 厚）
※ 本研究では低発泡ポリプロピレン製のパッキング材を使用
- ④ あおり用接着テープ：透明で板の角などに対する形状追従性が良い物
※ 試験環境下で腐食・劣化・変形を起こさないもの。本研究では幅 50mm の PP テープを使用
- ⑤ 動画撮影機材：10 フレーム/秒の以上の間隔で、反応終了までの時間以上の動画記録が可能なカメラを用いる（本研究では OM デジタルソリューションズ株式会社製「TG-2」を使用）

付2.3.2 測定水準

測定水準は、環境水準（測定温度）を 5, 23, 35（℃）の 3 種、測定の繰返し回数を 3 回とする。

付2.3.3 測定方法

全ての実験は環境温度で安定させた恒温室内で実施する。

当日試験する補修材、および補修材に接触する機材は 1 時間以上前から恒温室内で養生する。

(1) 機材準備

- ① シール材をコの字に配置できるように加工（写真-付 2.3.1）
※本検討で用いた「万能パッキン」の寸法が幅 480mm*長 50mm*厚 0.5mm だったため、底面から 50mm の位置に継ぎ目が生じたが、試験中に都合は生じなかった。
- ② シール材を透明板で挟む
- ③ 透明板底面と、両側面を接着テープで養生
- ④ 透明板を脚とともにクランプ等で固定、垂直に立てる
（写真-付 2.3.2）
- ⑤ 板上面に接着テープを巻き、あおりを形成する（写真-付 2.3.3）



写真-付 2.3.1 シール材配置

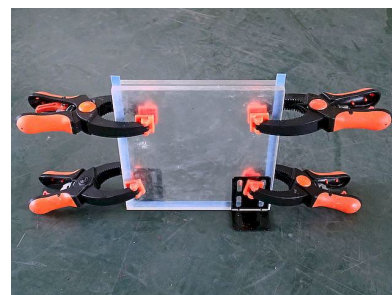


写真-付 2.3.2 組立てた機材

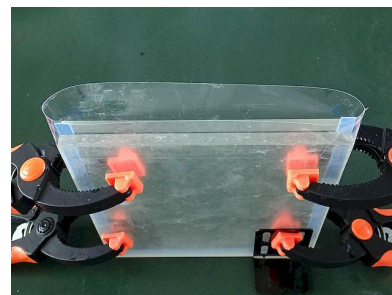


写真-付 2.3.3 あおり材状況

(2) 測定

測定は以下の方法で行う。

なお、すきまに浸透する補修材液面が複雑に変化することに起因する誤判定を想定し、動画による記録データを基本とする。現状の評価は目視で行うが、今後自動で行えればその方が好ましいと考える。

① 補修材注入器をすきま開口部端部に押し当て、合図とともに注入を開始する。

※ この時、すきま開口部にまんべんなく広げようとしないこと。

極低粘度の補修材の場合、すきま内に残る空気の様子が無くなると、すきま全体に浸透しなくなるのが分かっている。

② 補修材が広がるにつれ液面が上昇、板頂部に達して、補修材が板全面に行き渡った状態で試験を終了、記録を停止する。

③ 記録停止後、機材を分解、洗浄して継続使用可能であれば再度機材を組み直す。継続使用不可であれば、その機材は破棄し別途機材に交換する。

④ 測定を3回行う。

(3) データ整理

試験の動画を画像編集ソフトで確認する。

画像編集ソフトは、通常1コマ編集が可能であることから、コマ数＝経過時間を知ることが出来る。

この機能で、注入開始から補修材が全面に行き渡るまでの時間を把握、試験結果として記録する。

付 2. 3. 4 使用可能ひび割れ幅の判定

使用可能なひび割れの幅は、表-付 2. 3. 1 に従って判定する。

表-付 2. 3. 1 使用可能なひび割れの幅の判定基準

状況	判定
すきまのどこかで補修材の浸透が止まり、全面に広がらない	使用不可
補修材浸透速度が補修材底面到達限界速度を下回る※	使用不可
上記以外	使用可

※ 「3. 3. 3 適用するひび割れ幅」に示した指標

全面に行き渡る時間を用いた評価については、注入位置の移動速度などで容易に結果が変わってしまうため、全面に行き渡る時間は評価に用いない事とした。

新たな製品の使用可能ひび割れ幅を決定する場合は、この実験の前に安価な材料で作ったスリットで本試験で試みるすきま幅をある程度把握しておき、そのすきま幅で使用可能と判定された場合、試験するすきま幅を狭めて限界を求めるといった手順を想定している。

付録3 強度回復技術を用いた補修材の養生時間の決定方法（案）

本報告書「2.2 本研究で実施した検討項目」に示した経緯から、次に示す補修材の養生時間を決定する算出方法を提案する。

付3.1 養生時間算出の手順

3.3 で示したように、クラックリペアの硬度はいずれの温度環境でも急激に硬度が上昇する反応期とその後の反応が緩やかに進行する安定期の2段階に分かれていることがわかった。

そこで、本研究においてクラックリペアの養生時間を算出する方法として、過渡期と安定期でデータを分け、それぞれの近似線の交点をクラックリペアの反応が安定し始める時間、すなわち養生が不要となる時間と考えた。

考え方を模式化した図を図-付3.1.1に示す。

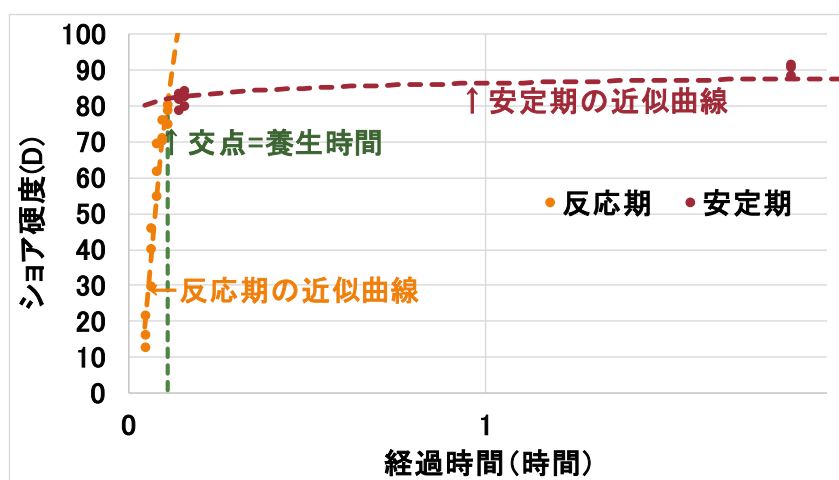


図-付3.1.1 養生時間算出の考え方

次に養生時間を算出するまでの手順を述べる。

はじめに、使用するデータ範囲や近似方法(線形近似、対数近似、累乗近似、多項式近似)を検討するために、次の前提事項を定めた。

- ・ 使用するデータ範囲は時間要素で3点以上とした。
- ・ 近似計算に使用するデータは反応期のデータは始点から、安定期のデータは終点からのデータを用いたが、反応期と安定期の境界はデータの重複を認めた。
- ・ 近似法は反応期、安定期共に1種類に決めるが、反応期、安定期で異なっても良い。
- ・ 多項式近似の場合に生じたが、近似曲線が大きく波打つなど、実情と合致しないと判断した近似曲線は検討から除外した。

なお、この前提事項は実用上適切な工数で計算可能という点と、使用するツールを Microsoft 社の Excel としたことによるもので、その他の手法との比較結果で決定したものではない。

この前提事項に従い近似曲線を決定する手順を図-付 3.1.2 に示す。

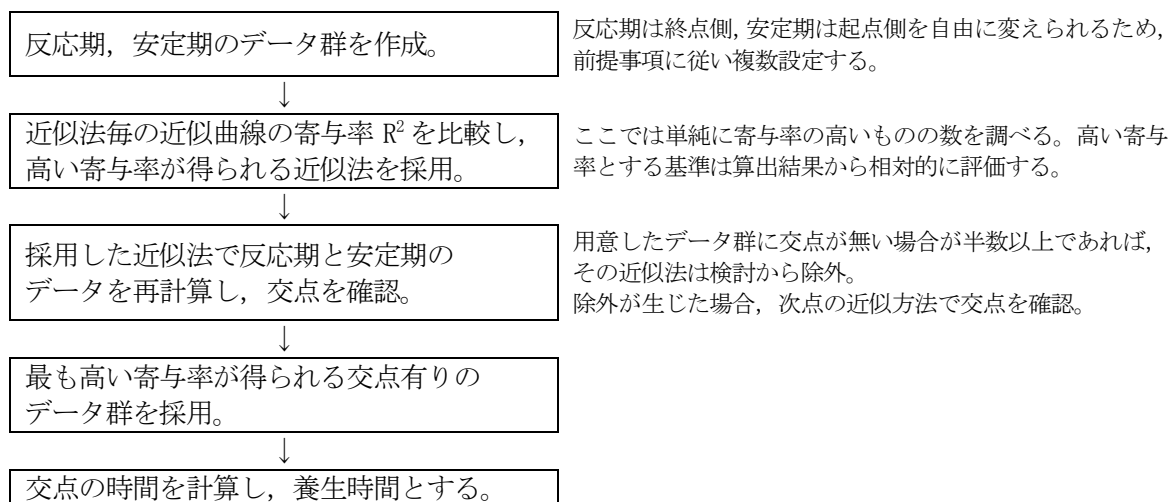


図-付 3.1.2 近似曲線決定の手順

付 3. 2 養生時間算出に用いた近似式

上記手順を試みた結果、反応期、安定期共に対数近似法が最も多く高い寄与率が得られたため、全て対数近似法を用いた近似曲線とした。

本検討で使用したデータ範囲と近似式を表-付 3.2.1 に示す。

表-付 3.2.1 近似曲線データ

	温度環境	使用データ範囲	近似式	寄与率
反応期	5°C	21m~57m	$y = 73.322 \ln(x) + 302.27$	0.9840
	23°C	5m~15m	$y = 55.875 \ln(x) + 320.59$	0.8896
	35°C	3m~7m	$y = 75.372 \ln(x) + 483.74$	0.9407
安定期	5°C	3h~24h	$y = 4.4865 \ln(x) + 92.843$	0.9786
	23°C	40m~24h	$y = 2.2286 \ln(x) + 84.488$	0.7266
	35°C	9m~24h	$y = 1.9663 \ln(x) + 92.443$	0.7718

※近似式の x 座標の値の単位は時間で 1 日を 1.0 としている。(1sec=1.0/24*60*60)

「3.1.3 養生時間」で示した結果は、以上の近似式を用いて算出した。

本研究では、クラックリペアが明確な反応期と安定期の特徴を示す製品であった為、このような算出方法を用いる事が出来たが、他の「強度回復技術を用いた補修材」の場合でも、この方法が応用できるのであれば、是非活用していただきたい。

付録 4. バックデータ

付 4. 1. 屋内供試体試験：可使時間

表-付 4. 1. 1 粘度上昇時間，整形限界時間，および付着限界時間

試験温度(°C)	粘度上昇時間(mm:ss)				整形限界時間(mm:ss)				付着限界時間(mm:ss)			
	測定1	測定2	測定3	平均	測定1	測定2	測定3	平均	測定1	測定2	測定3	平均
5	12:00	16:00	20:00	16:00	15:00	21:15	22:45	19:40	22:00	22:50	23:50	22:40
23	04:00	04:00	04:00	04:00	05:00	05:15	04:45	05:00	06:45	06:00	06:30	06:25
35	01:45	01:45	01:45	01:45	02:15	02:10	02:00	02:08	03:20	03:30	03:30	03:27

付 4. 2. 屋内供試体試験：養生時間

表-付 4. 2. 1 底面到達時間・全面浸透時間

試験温度(°C)	底面到達時間(秒)				全面浸透時間(秒)			
	測定1	測定2	測定3	平均	測定1	測定2	測定3	平均
5	18.9	23.3	22.3	21.5	44.6	54.5	45.1	48.1
23	8.3	10.1	10.6	9.7	19.5	27.0	25.7	24.0
35	8.0	5.7	6.3	6.7	38.2	19.2	20.6	26.0

表-付 4.2.2 クラックリペアの硬度-時間

経過時間 (hh:mm:ss)	硬度 (シヨアド)	経過時間 (hh:mm:ss)	硬度 (シヨアド)	経過時間 (hh:mm:ss)	硬度 (シヨアド)	経過時間 (hh:mm:ss)	硬度 (シヨアド)	経過時間 (hh:mm:ss)	硬度 (シヨアド)	経過時間 (hh:mm:ss)	硬度 (シヨアド)
0:21:00	1.4	0:30:00	20.6	0:39:00	45.2	0:51:00	63.2	1:00:00	65.8	21:00:00	92.0
0:21:00	1.6	0:30:00	19.2	0:42:00	49.2	0:51:00	61.6	1:00:00	68.6	24:00:00	93.0
0:21:00	1.2	0:33:00	24.6	0:42:00	46.6	0:51:00	62.6	2:00:00	80.2	24:00:00	93.4
0:24:00	4.2	0:33:00	30.0	0:42:00	50.4	0:54:00	65.4	2:00:00	81.2	24:00:00	93.0
0:24:00	5.4	0:33:00	25.8	0:45:00	55.8	0:54:00	66.2	2:00:00	78.4		
0:24:00	5.2	0:36:00	32.2	0:45:00	54.6	0:54:00	68.2	3:00:00	84.6		
0:27:00	12.2	0:36:00	35.0	0:45:00	53.6	0:57:00	67.2	3:00:00	83.6		
0:27:00	13.8	0:36:00	29.4	0:48:00	55.8	0:57:00	67.0	3:00:00	82.4		
0:27:00	13.2	0:39:00	41.2	0:48:00	56.0	0:57:00	63.8	21:00:00	91.4		
0:30:00	19.6	0:39:00	39.4	0:48:00	55.6	1:00:00	71.2	21:00:00	92.4		

室温23℃

経過時間 (hh:mm:ss)	硬度 (シヨアド)	経過時間 (hh:mm:ss)	硬度 (シヨアド)	経過時間 (hh:mm:ss)	硬度 (シヨアド)	経過時間 (hh:mm:ss)	硬度 (シヨアド)	経過時間 (hh:mm:ss)	硬度 (シヨアド)
0:05:00	4.4	0:09:15	38.6	0:17:00	72.6	0:40:15	75.0	18:00:00	84.6
0:05:00	0.8	0:11:00	57.8	0:20:00	61.8	0:50:00	76.6	24:00:00	82.6
0:05:05	1.0	0:11:00	45.6	0:20:15	65.2	1:00:00	78.4	24:00:00	84.8
0:06:00	14.6	0:11:15	45.8	0:25:00	73.8	1:00:00	79.6	24:00:00	83.4
0:07:00	32.6	0:13:00	66.4	0:25:00	70.6	1:00:15	77.6		
0:07:00	12.2	0:13:00	55.0	0:25:15	68.6	2:00:00	80.6		
0:07:15	14.8	0:13:15	53.2	0:35:00	68.4	2:00:00	82.4		
0:08:00	46.6	0:15:00	69.8	0:35:15	68.6	2:00:15	81.8		
0:09:00	46.8	0:15:00	59.2	0:40:00	72.8	18:00:00	81.6		
0:09:00	35.6	0:15:15	58.2	0:40:00	73.6	18:00:00	85.2		

室温35℃

経過時間 (hh:mm:ss)	硬度 (シヨアド)	経過時間 (hh:mm:ss)	硬度 (シヨアド)	経過時間 (hh:mm:ss)	硬度 (シヨアド)
0:03:00	12.8	0:06:00	76.2	0:09:00	78.8
0:03:00	21.8	0:06:00	71.0	0:10:00	84.2
0:03:00	16.2	0:07:00	79.0	0:10:00	82.8
0:04:00	29.8	0:07:00	80.4	0:10:00	80.0
0:04:00	46.0	0:07:00	74.8	2:00:00	88.4
0:04:00	40.2	0:08:00	82.0	2:00:00	91.6
0:05:00	54.8	0:08:00	82.0	2:00:00	90.8
0:05:00	69.6	0:08:00	76.6	24:00:00	90.4
0:05:00	62.0	0:09:00	83.6	24:00:00	92.2
0:06:00	70.4	0:09:00	82.0	24:00:00	90.6

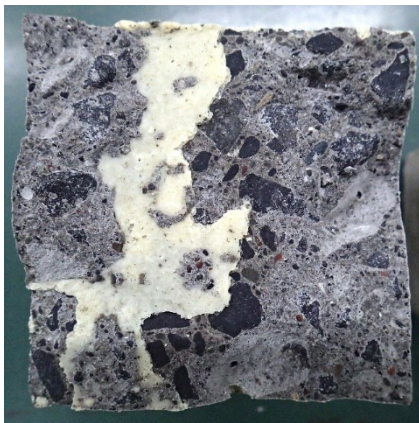
付 4. 3. 屋内供試体試験：環境負荷下での耐久性

表-付 4. 3. 1 曲げ強度（環境負荷の無い供試体）

供試体No.	基準供試体 材齢78日			環境負荷無し：材齢78日					
	21	22	23	すきま幅1mm			すきま幅3mm		
曲げ強度(MPa)	5.57	4.87	5.31	5.00	4.96	5.07	5.09	4.86	4.39

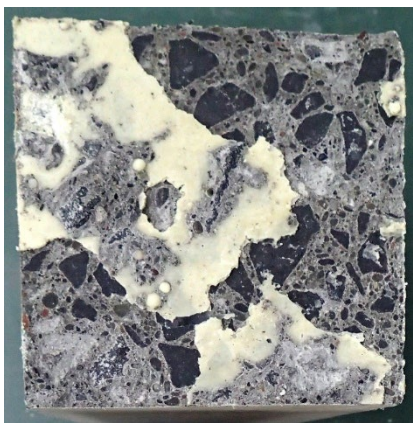
表-付 4. 3. 2 曲げ強度（環境負荷をかけた供試体）

供試体No.	乾湿繰り返し：材齢204日						凍結融解：材齢132日					
	すきま幅1mm			すきま幅3mm			すきま幅1mm			すきま幅3mm		
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
曲げ強度(MPa)	5.02	4.06	4.04	3.07	3.97	3.38	4.14	4.26	4.60	4.07	3.60	3.42



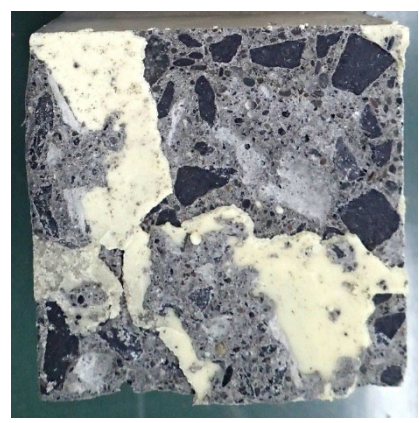
No. 1

モルタル破壊 57% 界面破壊 43%



No. 2

モルタル破壊 33% 界面破壊 67%



No. 3

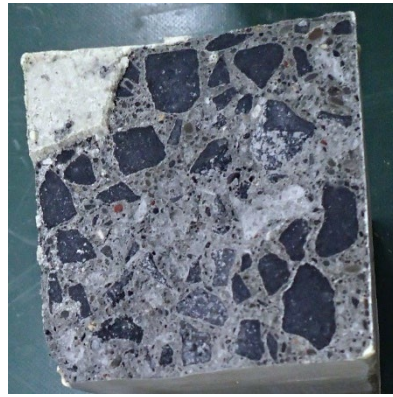
モルタル破壊 27% 界面破壊 73%

写真-付 4. 3. 1 破壊断面観察写真：無負荷供試体・接着幅 1 mm



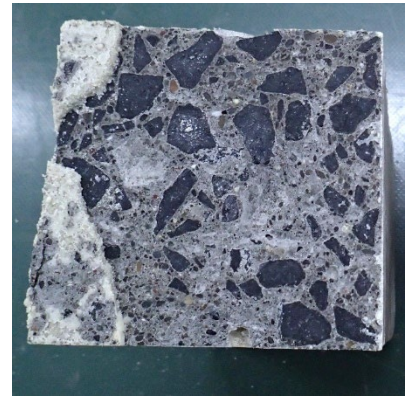
No. 4

モルタル破壊 39% 界面破壊 61%



No. 5

モルタル破壊 33% 界面破壊 67%



No. 6

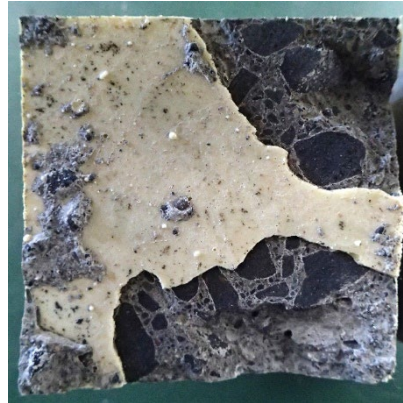
モルタル破壊 39% 界面破壊 61%

写真-付 4. 3. 2 破壊断面観察写真：無負荷供試体・接着幅 3 mm



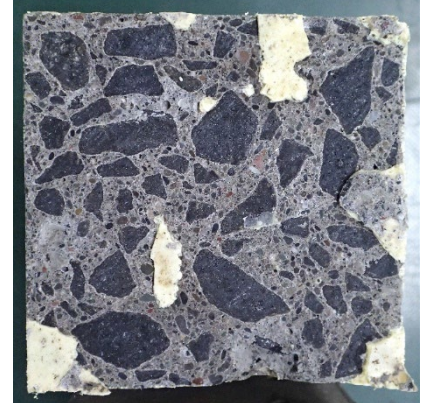
No. 7

モルタル破壊 19% 界面破壊 81%



No. 8

モルタル破壊 29% 界面破壊 71%



No. 9

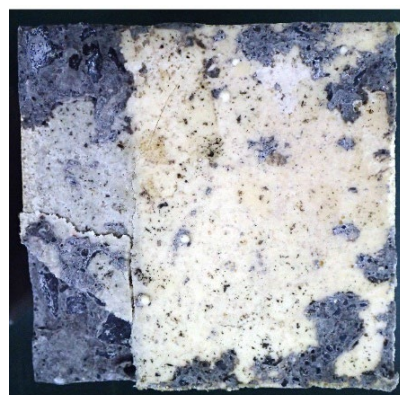
モルタル破壊 25% 界面破壊 75%

写真-付 4. 3. 3 破壊断面観察写真：乾湿繰り返し環境負荷供試体・接着幅 1 mm



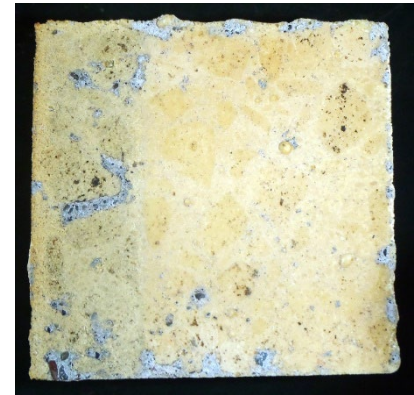
No. 10

モルタル破壊 24% 界面破壊 76%



No. 11

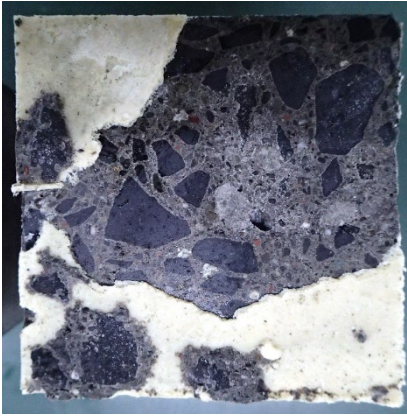
モルタル破壊 30% 界面破壊 70%



No. 12

モルタル破壊 4% 界面破壊 96%

写真-付 4. 3. 4 破壊断面観察写真：乾湿繰り返し環境負荷供試体・接着幅 3 mm



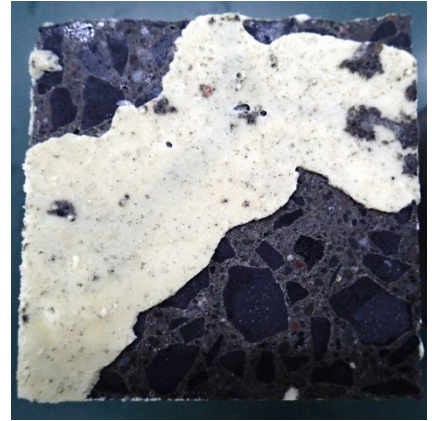
No. 13

モルタル破壊 17% 界面破壊 83%



No. 14

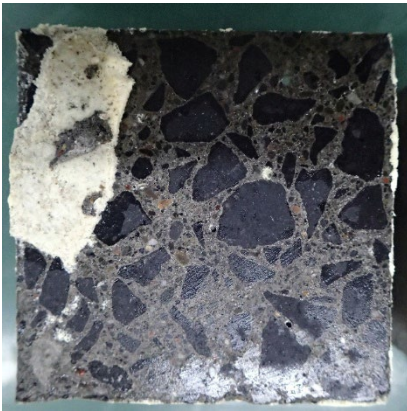
モルタル破壊 11% 界面破壊 89%



No. 15

モルタル破壊 2% 界面破壊 98%

写真-付 4.3.5 破壊断面観察写真：凍結融解環境負荷供試体・接着幅 1 mm



No. 16

モルタル破壊 6% 界面破壊 94%



No. 17

モルタル破壊 10% 界面破壊 90%



No. 18

モルタル破壊 35% 界面破壊 65%

写真-付 4.3.6 破壊断面観察写真：凍結融解環境負荷供試体・接着幅 3 mm

付 4. 4. 実物大試験

表-付 4. 4. 1 荷重伝達率

走行回数	OWP1-1	OWP1-2	OWP1-3	平均	OWP2-1	OWP2-2	OWP2-3	平均
5万輪	98.5%	99.0%	98.8%	98.8%	95.9%	96.0%	96.3%	96.1%
10万輪	80.8%	81.0%	81.9%	81.2%	71.3%	71.6%	72.2%	71.7%
15万輪補修前	70.7%	71.4%	71.1%	71.1%	59.9%	60.1%	60.1%	60.0%
15万輪補修後	99.0%	98.3%	98.5%	98.6%	98.3%	98.4%	98.5%	98.4%
20万輪	95.4%	96.1%	95.6%	95.7%	95.9%	96.1%	95.6%	95.9%
25万輪	91.5%	91.8%	91.9%	91.7%	94.6%	94.6%	94.7%	94.6%
30万輪	84.1%	83.8%	84.2%	84.0%	92.6%	92.6%	92.8%	92.7%
35万輪	76.1%	74.1%	77.3%	75.8%	96.1%	96.5%	96.7%	96.4%
	IWP1-1	IWP1-2	IWP1-3	平均	IWP2-1	IWP2-2	IWP2-3	平均
5万輪	93.4%	93.2%	93.0%	93.2%	93.1%	93.2%	93.4%	93.2%
10万輪	75.5%	75.8%	76.2%	75.8%	81.5%	79.9%	81.9%	81.1%
15万輪補修前	64.9%	65.4%	65.5%	65.3%	69.6%	70.1%	70.1%	70.0%
15万輪補修後	98.4%	98.3%	98.4%	98.3%	96.3%	97.2%	97.1%	96.9%
20万輪	94.8%	94.8%	95.0%	94.9%	95.1%	95.4%	94.9%	95.2%
25万輪	92.8%	93.6%	93.4%	93.3%	93.4%	93.4%	93.2%	93.3%
30万輪	88.4%	88.0%	88.3%	88.3%	87.6%	87.5%	87.7%	87.6%
35万輪	91.5%	91.8%	91.3%	91.5%	90.0%	89.5%	89.0%	89.5%

表-付 4. 4. 2 すべり抵抗値

		BPN測定値				路面温度 (°C)	20°Cに 補正した BPN
		1	2	3	平均		
5万輪 走行後	けい砂あり	59	59	59	59	34	67
	流し込みのみ	35	31	29	32	34	40
	コンクリート	65	64	65	65	34	73
35万輪 走行後	けい砂あり	63	59	60	61	29	66
	けい砂なし	43	44	36	41	32	48
	コンクリート	70	69	73	71	30	77

e. o. f.

共同研究報告書

Cooperative Research Report of PWRI

No. 572 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