

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7）～

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
三菱マテリアル (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7）～

(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
三菱マテリアル (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三菱マテリアル(株)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	3
2.1	対象とする損傷	3
2.1.1	段差および角欠け	3
2.1.2	空洞部	4
2.2	研究の手順	6
3.	補修材の基本物性	8
3.1	段差および角欠け(スラブリセットモルタル)	8
3.1.1	試験条件	8
3.1.2	施工性	9
3.1.3	強度特性	9
3.1.4	剥離抵抗性	12
3.1.5	収縮ひび割れ抵抗性	15
3.1.6	すり減り抵抗性	17
3.1.7	凍結融解抵抗性	19
3.1.8	凍結融解作用が剥離抵抗性に及ぼす影響	20
3.2	空洞部(LU-10T)	22
3.2.1	試験条件	22
3.2.2	施工性	22
3.2.3	強度特性	22
3.2.4	収縮ひび割れ抵抗性	25
4.	実施工による耐久性試験(舗装走行実験場)	26
4.1	概要	27
4.2	段差および角欠け	28
4.2.1	施工方法	29
4.2.2	試験項目	30
4.2.3	外観観察	31
4.2.4	きめ深さ	32
4.2.5	表面形状	33
4.2.6	すべり抵抗性(DF テスタ)	35

4.2.7	すべり抵抗性(BPN).....	36
4.2.8	環境作用	37
4.3	空洞部.....	38
4.3.1	施工方法	40
4.3.2	FWD 測定結果.....	41
4.3.3	充填可能な空隙寸法の調査.....	43
5.	本研究のまとめ.....	45
5.1	段差および角欠け	45
5.2	空洞部.....	46

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三菱マテリアル(株)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、三菱マテリアル(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
三菱マテリアル(株)	木元 大輔	セメント事業カンパニー セメント研究所 主任研究員	2021.4～2022.3
	針貝 貴浩	セメント事業カンパニー セメント研究所 研究員	2021.4～2022.3
	大塚 亮介	セメント事業カンパニー セメント研究所 研究員	2021.4～2022.3
	立川 龍之介	セメント事業カンパニー セメント研究所 研究員	2021.4～2022.3
	山田 和希	セメント事業カンパニー セメント研究所 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，2009.

第2章 研究内容

2.1 対象とする損傷

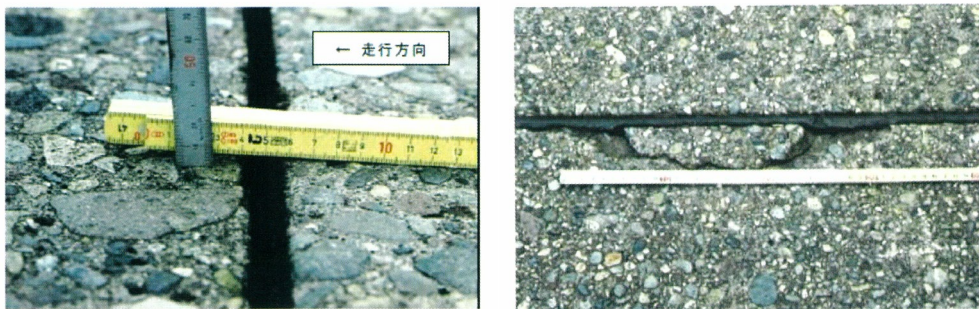
本研究では、「段差および角欠け」と「空洞部」の損傷を対象に各種検討を実施した。

2.1.1 段差および角欠け

(1) 概要

コンクリート舗装におけるコンクリート版とコンクリート版の段差や目地部の角欠けは、車両の走行性や安全性・快適性を損なうと共に、振動・騒音により沿道環境も悪化させるなど、コンクリート舗装の耐久性や構造機能を低下させていく重大な要因となる¹⁾。目地部の損傷における補修方法を確立することは、コンクリート舗装を維持する上でも重要である。

コンクリート版とコンクリート版の段差は、目地部やひび割れから浸入した雨水等により路盤の支持力が低下し、車両の繰返し荷重等が作用することで、路盤表面の細粒分が水と共に目地部からコンクリート版表面に噴出することで、コンクリート版下に空洞部が生じることが原因で発生する。角欠けは、施工時における過度なコテ仕上げ等により、コンクリート版に生じた部分的な材料分離によるものや、供用時において破損した目地部への異物等の混入、または車両の走行荷重によるたわみの増加により生じる。写真-2.1.1に段差と角欠けの一例を示す²⁾。



(a)段差

(b)角欠け

写真-2.1.1 段差および角欠けの一例²⁾

(2) 使用した補修材

段差および角欠けの補修材料として床版上面用断面修復材「スラブリセットモルタル」を使用した。表-2.1.1 にスラブリセットモルタルの概要を示す。スラブリセットモルタルは、ポルトランドセメント、珪砂、速硬材、混和材料、有機短繊維、粉末樹脂および凝結調整剤等をプレミックスした材料で、ブリーディングがなく、高い材料分離抵抗性、高耐久性、早期強度発現性を有した速硬性モルタルである。

表-2.1.1 床版上面用断面修復材「スラブリセットモルタル」の概要

分類	記号	特長	用途
セメント系	SRM	超速硬・高耐久性・早期強度発現性	床版上面補修・緊急補修工事

2.1.2 空洞部

(1) 概要

図-2.1.1 に目地下における空洞発生メカニズムを示す²⁾。飛散や剥奪した目地材、あるいはコンクリート版のひび割れ部などから浸入した雨水により路盤や路床が飽和状態にあるとき、交通荷重によるコンクリート版のたわみとその復元による作用によって、路盤表面のシルトや粘土等の微粒分の一部が水とともに目地あるいはひび割れからコンクリート版表面に噴出する場合がある。この現象はポンピング現象と呼ばれ、その結果としてひび割れ部の下や目地下に空洞（エロージョン）が生じ、路盤支持力が低下する。路盤支持力が低下することでコンクリート版の損傷が進行し、目地部周辺では段差や角欠け等の重大な破損につながる。

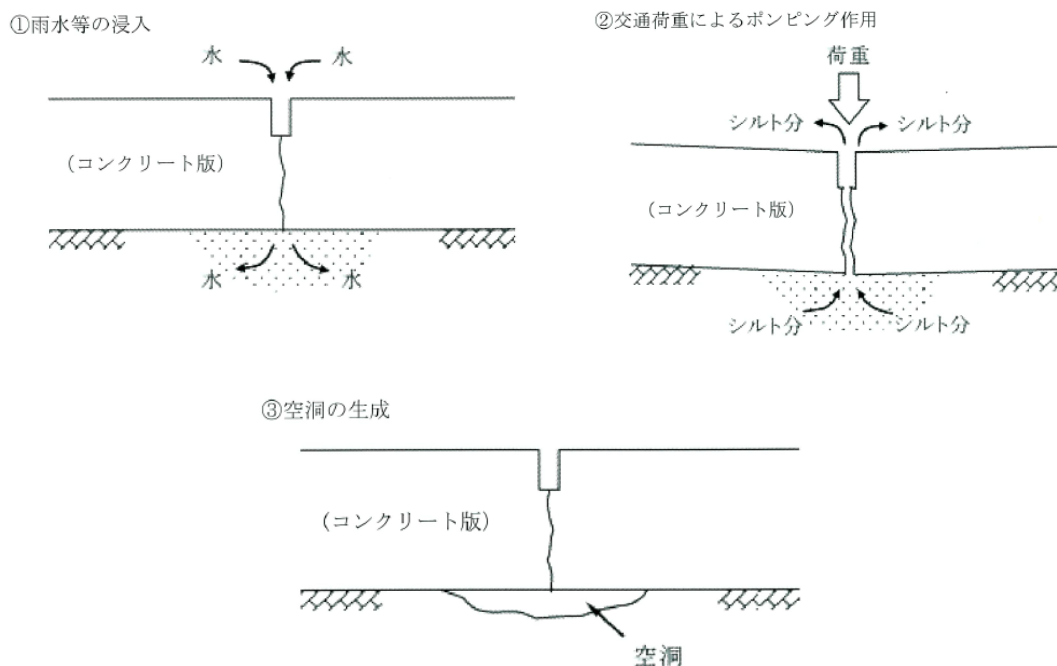


図-2.1.1 目地下における空洞発生メカニズム²⁾

(2) 使用した補修材

空洞部の補修材料として裏込め充填材「LU-10T」を使用した。表-2.1.2にLU-10Tの概要を示す。「LU-10T」は、ポルトランドセメント、速硬材、混和材料、有機短繊維および凝結調整剤等をプレミックスした材料で、PC版・RC版舗装用裏込めグラウト材として開発された製品である。優れた流動性と高い水中不分離性を有しているため、空洞部への充填は可能と考えられる。また、荷重に対する抵抗性も高いため、大型車両等の繰り返し荷重に対して高い抵抗性を発揮すると期待される。

表-2.1.2 裏込め充填材「LU-10T」の概要

分類	記号	特長	用途
セメント系	LU-10T	超速硬・水中不分離性・高耐久性	PC版・RC版舗装用裏込めグラウト

2.2 研究の手順

本研究では、屋内での基本物性と屋外での実施工による耐久性試験を実施した。表-2.2.1に段差および角欠けに関する試験項目を表-2.2.2に空洞部に関する試験項目を示す。

表-2.2.1 段差および角欠けに関する試験項目（補修材：スラブリセットモルタル）

材齢及びCo舗装との評価	性質		試験方法	記述する章等	
材料の評価	施工性	コンシステンシー	フロー試験	フロー試験(JIS R 5201)	3.1.2
		凝結時間	凝結試験	凝結時間試験(JIS R 5201)	
	強度特性	圧縮強度	圧縮強度試験, 静弾性係数試験	圧縮強度試験(JSCE-G 505) 静弾性係数試験(JIS A 1149)	3.1.3
		曲げ強度	曲げ強度試験	曲げ強度試験(JIS R 5201)	
	収縮ひび割れ抵抗性	寸法安定性	寸法安定性試験	寸法安定性試験(JSCE-K 561)	3.1.5
		線膨張率	線膨張率試験	線膨張率試験(JSCE-K 561)	
	※すり減り抵抗性		ラベリング試験	ラベリング試験(舗装調査・試験法便覧 B002)	3.1.6
	環境作用		きめ深さ	CTメーター(舗装調査・試験法便覧 S022-3)	4.2.5
			動摩擦係数	DFテスト(舗装調査・試験法便覧 S021-3)	
	※凍結融解抵抗性		凍結融解試験	凍結融解試験(JIS A 1148)	3.1.7
Co舗装との評価	剥離抵抗性	標準	プルオフ試験	プルオフ試験(JSCE-K 531-2013(表面被覆材の付着強さ試験方法))参考	3.1.4
		環境作用	プルオフ試験	プルオフ試験(JSCE-K 531-2013(表面被覆材の付着強さ試験方法))参考	4.2.8
		※凍結融解	凍結融解試験	凍結融解試験(JIS A 1148)	3.1.7
	プルオフ試験		プルオフ試験(JSCE-K 531-2013(表面被覆材の付着強さ試験方法))参考	3.1.8	
	疲労走行に対する耐久性		外観観察	目視, 打音	4.2.3
			きめ深さ	CTメーター(舗装調査・試験法便覧 S022-3)	4.2.4
			表面形状	MRP(舗装調査・試験法便覧 S028)	4.2.5
			すべり抵抗性	DFテスト(舗装調査・試験法便覧 S021-3)	4.2.6
				BPN(舗装調査・試験法便覧 S021-2)	4.2.7

※(国研)土木研究所・寒地土木研究所において実施

表-2.2.2 空洞部に関する試験項目（補修材：LU-10T）

材齢及びCo舗装との評価	性質			試験方法	記述する章等
材料の評価	施工性	コンシステンシー	JA 漏斗流下試験	PC グラウトの流動性試験方法(案)(JSCE-F 531-2018)	3.2.2
		凝結時間	凝結試験		
	強度特性	圧縮強度	圧縮強度試験, 静弾性係数試験	圧縮強度試験(JSCE-G 505)	3.2.3
		曲げ強度	曲げ強度試験	静弾性係数試験(JIS A 1149) 曲げ強度試験(JIS R 5201)	
	収縮ひび割れ抵抗性	寸法安定性 線膨張率	寸法安定性試験	寸法安定性試験(JSCE-K 561)	3.2.4
			線膨張率試験	線膨張率試験(JSCE-K 561)	
Co 舗装との評価	走行疲労に対する耐久性	たわみ量	フォーリングウェイト デフレクトメータ(FWD)によるたわみ量測定方法(舗装調査・試験法便覧 S047)	4.3.2	

参考文献

- 1) 佐藤信彦ほか：舗装の維持修繕，建設図書，p100，1992.5
- 2) 公益社団法人日本道路協会：コンクリート舗装ガイドブック 2016，pp.270-272，2016.3

第3章 補修材の基本物性

3.1 段差および角欠け(スラブリセットモルタル)

ここでは、段差および角欠けの補修に使用するスラブリセットモルタルの基本物性を示す。

3.1.1 試験条件

表-3.1.1にスラブリセットモルタルの配合を示す。水/スラブリセットモルタルは14.7%とし、各環境温度で始発時間が30分～50分程度となるように凝結調整剤（以下、セッター）の添加量を調整した。また、スラブリセットモルタルの寒冷環境下における耐久性の向上を目的に、スラブリセットモルタルに含浸材を塗布した場合の物性も調査した。含浸材には、成分の異なるケイ酸塩系およびシラン系のものを各1種類ずつ用いた。環境温度は標準温度として20℃の室内で各種試験を実施した。フレッシュ性状と強度特性については、冬季および夏季の施工を想定して環境温度5℃および35℃の環境下において実施した。表-3.1.2に含浸材の概要、表-3.1.3に試験水準を示す。

表-3.1.1 スラブリセットモルタルの配合

環境温度 (°C)	水/スラブリセットモルタル (%)	セッター添加量 (スラブリセットモルタル×%)
5	14.7	0.60
20		0.40
35		0.70

表-3.1.2 含浸材の概要

記号	主成分	標準使用量 (g/m ²)	物質の状態
含浸材 A	ケイ酸塩系含浸材	200.0	液体
含浸材 B	シラン・シロキサン系含浸材	200.0	ペースト

表-3.1.3 試験水準

記号	スラブリセットモルタル	ケイ酸塩系含浸材	シラン系含浸材
SRM	○	—	—
SRM+A	○	○	—
SRM+B	○	—	○

3. 1. 2 施工性

フロー試験および凝結試験を JIS R 5201:2015（セメントの物理試験方法）に準じて行った。表-3.1.4 にフローおよび凝結試験の結果を示す。各環境温度での始発時間が 30 分～50 分程度とした場合、フローは環境温度 20°C と 35°C では同等であるものの、5°C ではそれらに比べ小さくなる傾向にあった。スラブリセットモルタルに添加している混和剤の溶解度が環境温度により異なるためと考えられる。

表-3.1.4 フローおよび凝結

環境温度 (°C)	フロー(mm)	凝結(分)	
		始発	終結
5	176×174	45	53
20	204×203	33	41
35	201×200	42	53

3. 1. 3 強度特性

ここでは、圧縮強度、静弾性係数および曲げ強度の結果を示す。

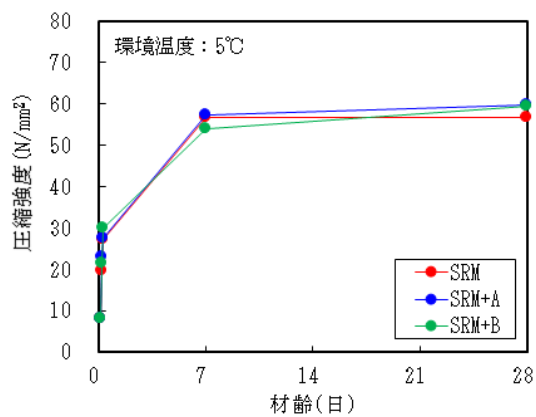
(1) 圧縮強度

圧縮強度は、JSCE-G 505-2018（円柱供試体を用いたモルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験方法（案））に準じて行った。材齢は、2 時間、4 時間、7 時間、7 日および 28 日とし、供試体は直径 50mm×高さ 100mm の円柱供試体を用いた。脱型はいずれの材齢も材齢 2 時間で行い、含浸材の塗布は脱型後直ちに行った。養生方法は、所定の材齢まで各環境温度で気中養生とした。

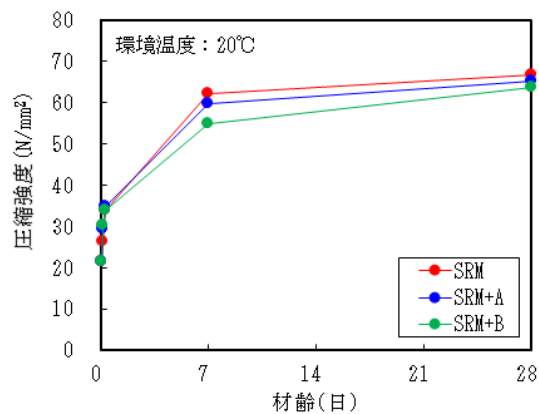
表-3.1.5 に圧縮強度の試験結果を、図-3.1.1 に各環境温度での圧縮強度の推移を示す。圧縮強度は、材齢 7 日で「SRM+B」がやや小さくなる傾向にあるものの、含浸材の有無および含浸材の種類が圧縮強度に及ぼす影響は小さいことが判った。いずれの水準およびいずれの環境温度においても、材齢 7 時間で交通開放時期の目安である 24N/mm² 以上¹⁾の圧縮強度を示した。

表-3.1.5 圧縮強度

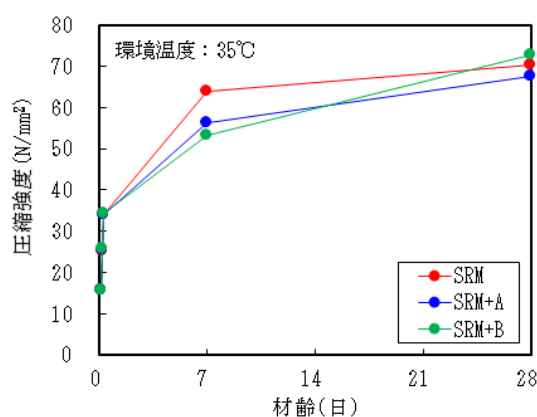
記号	圧縮強度(N/mm ²)														
	5°C					20°C					35°C				
	2h	4h	7h	7d	28d	2h	4h	7h	7d	28d	2h	4h	7h	7d	28d
SRM	8.07	19.7	27.2	56.5	56.6	21.5	26.2	33.8	62.2	66.8	15.8	25.2	34.2	64.0	70.4
SRM+A	8.07	22.9	27.6	57.1	59.8	21.5	29.4	34.8	59.6	65.1	15.8	25.5	34.1	56.4	67.4
SRM+B	8.07	21.4	29.8	53.8	59.3	21.5	30.2	33.7	54.9	63.8	15.8	25.9	34.5	53.2	72.9



(a)環境温度 5°C



(b)環境温度 20°C



(c)環境温度 35°C

図-3.1.1 各環境温度における圧縮強度の推移

(2) 静弾性係数

静弾性係数は、JIS A 1149:2017（コンクリートの静弾性係数試験方法）に準じて行った。材齢および供試体は圧縮強度と同様とした。表-3.1.6 に静弾性係数の試験結果を、図-3.1.2 に各環境温度における静弾性係数の推移を示す。静弾性係数は、圧縮強度と同様に、含浸材の有無および含浸材の種類が静弾性係数に及ぼす影響は小さく、各環境温度でほぼ同等に推移した。

表-3.1.6 静弾性係数

記号	静弾性係数(kN/mm²)														
	5°C					20°C					35°C				
	2h	4h	7h	7d	28d	2h	4h	7h	7d	28d	2h	4h	7h	7d	28d
SRM	8.47	14.3	18.2	25.8	26.7	15.8	19.2	20.9	28.1	27.7	14.3	17.2	21.7	27.0	28.7
SRM+A	8.47	17.2	20.1	27.1	28.4	15.8	20.2	20.2	27.5	28.4	14.3	17.0	22.0	27.5	28.0
SRM+B	8.47	15.7	19.6	25.8	29.0	15.8	20.5	20.8	26.3	27.7	14.3	17.9	21.1	28.0	29.1

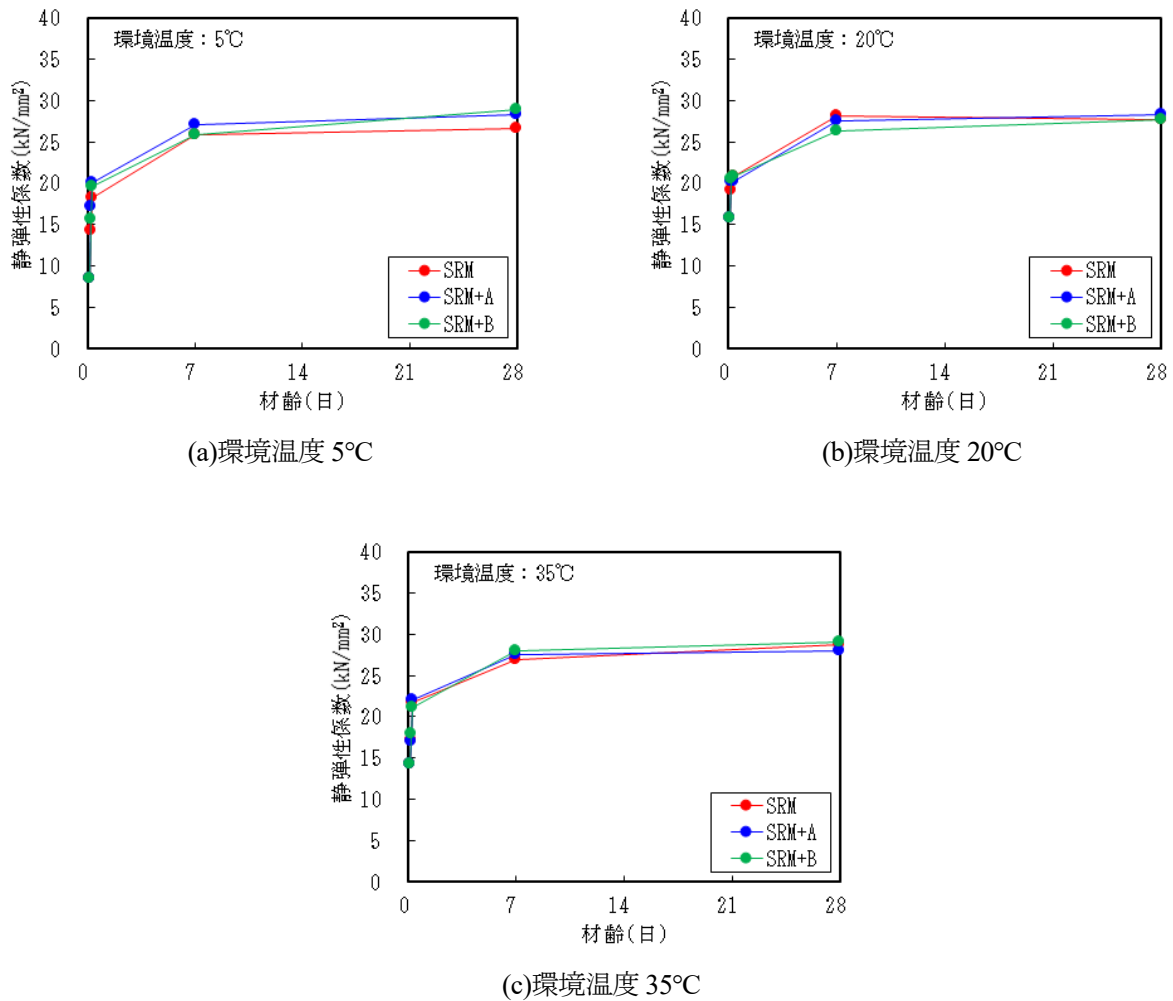


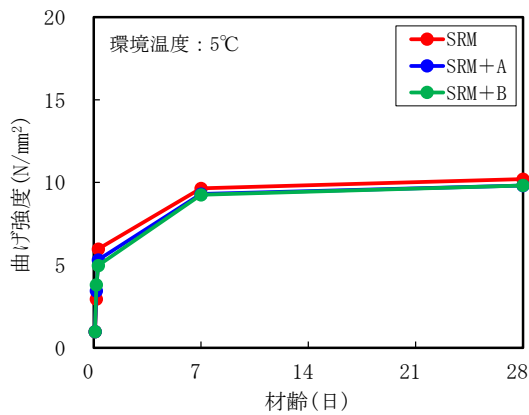
図-3.1.2 各環境温度における静弾性係数の推移

(3) 曲げ強度

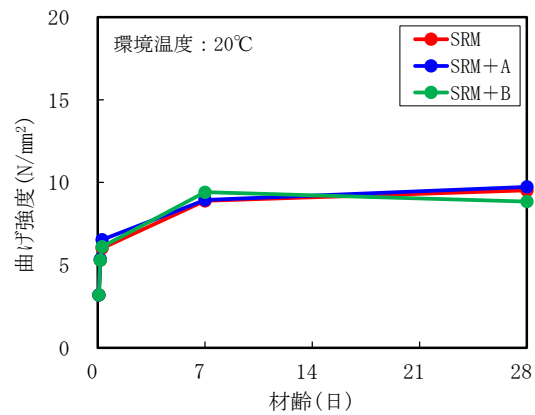
曲げ強度は、JIS R 5201:2015（セメントの物理試験方法）に準じて行った。材齢は、2時間、4時間、7時間、7日および28日とし、供試体は幅40mm×高さ40mm×長さ160mmの角柱供試体を用いた。脱型はいずれの材齢も材齢2時間で行い、含浸材の塗布は脱型後直ちに行った。養生方法は、所定の材齢まで各環境温度で気中養生とした。表-3.1.7に曲げ強度の試験結果を、図-3.1.3に各環境温度での曲げ強度の推移を示す。曲げ強度は、環境温度20°Cおよび35°Cでは含浸材の有無および含浸材の種類による影響は認められず、ほぼ同等に推移した。一方、環境温度5°Cでは「SRM+B」において材齢7時間までの早期材齢の強度発現性が小さくなったものの、早期材齢以降の曲げ強度は「SRM」および「SRM+A」と同等であった。また、いずれの水準およびいずれの環境温度においても、交通開放時期の目安である3.5N/mm²以上²⁾を材齢7時間で満足した。

表-3.1.7 曲げ強度

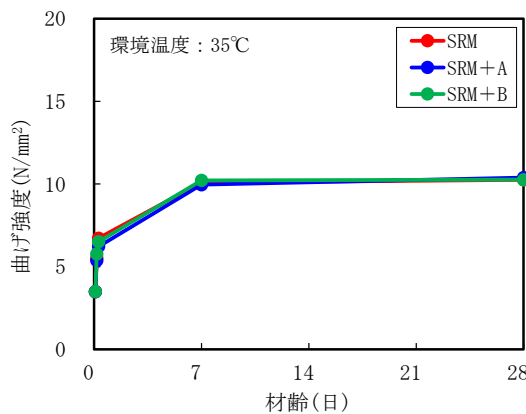
記号	曲げ強度(N/mm ²)														
	5°C					20°C					35°C				
	2h	4h	7h	7d	28d	2h	4h	7h	7d	28d	2h	4h	7h	7d	28d
SRM	1.0	2.9	6.0	9.6	10.2	3.2	5.3	6.0	8.9	9.5	3.5	5.5	6.7	10.1	10.3
SRM+A	1.0	3.4	5.3	9.3	9.8	3.2	5.4	6.5	8.9	9.7	3.5	5.4	6.2	10.0	10.4
SRM+B	1.0	3.8	5.0	9.3	9.8	3.2	5.3	6.1	9.4	8.8	3.5	5.8	6.5	10.2	10.3



(a)環境温度 5°C



(b)環境温度 20°C



(c)環境温度 35°C

図-3.1.3 各環境温度における曲げ強度の推移

3.1.4 剝離抵抗性

スラブリセットモルタルのプルオフ強度を測定した。プルオフ強度は JSCE-K 531-2013（表面被覆材の附着強さ試験方法）を参考に行った。試験は、図-3.1.4 に示す供試体を用い、40mm×40mm の鋼製治具を貼付け建研式接着力試験機を使用した。材齢は、4 時間、7 時間、7 日および 28 日とした。供試体の加工は、含浸材の塗布を材齢 1.5 時間で行い、供試体①（材齢 4 時間、7 時間、図-3.1.5(a)参照）の場合では、材齢 2 時間で脱型した後、補修材表面をディスクグラインダーで厚さ 1mm 程度研磨し切込みを入れ、補修材表面を十分に清掃し、2 液型エポキシ樹脂接着剤を用いて治具の取付けを行った。供試体②（材齢 7 日、28 日、図-3.1.5(b)

参照) については、材齢 24 時間で脱型した後、所定材齢の前日まで湿布養生し、その後の加工は供試体①と同様とした。プルオフ試験後の破壊位置の判定は、図-3.1.6 および表-3.1.8 に示すとおりとした。

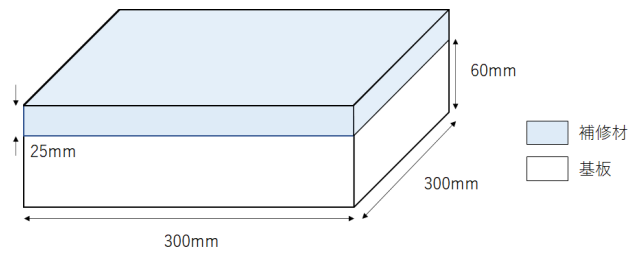


図-3.1.4 プルオフ供試体

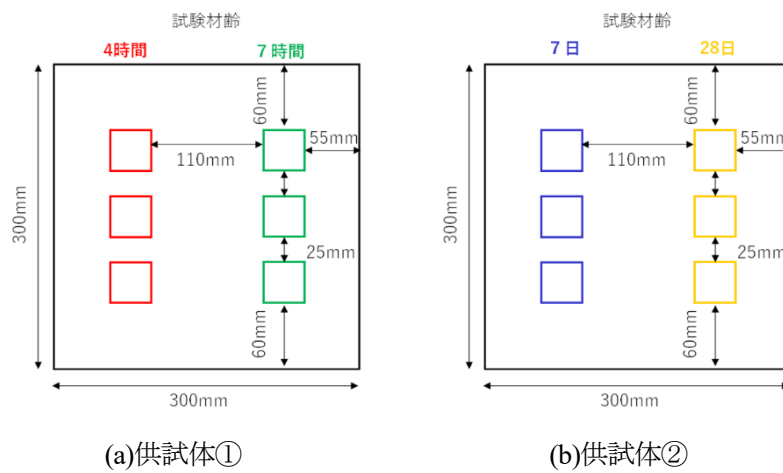


図-3.1.5 試験位置

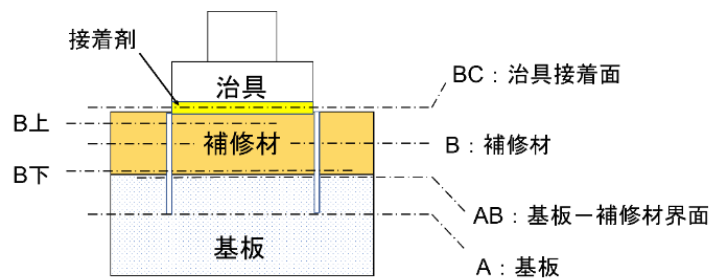


図-3.1.6 破壊位置の分類

表-3.1.8 破壊位置の判定

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

図-3.1.7～図 3.1.9 に各環境温度におけるプルオフ試験結果を示す。なお、試験時の破壊位置は色の違いで示した。時間材齢ではスラブリセットモルタルが湿潤状態にあるため治具の確実な取付けが難しく、各環境温度の 4 時間および 7 時間での破壊は BC (治具接着面) で発生した (環境温度 35°C の材齢 7 時間を除く)。時間材齢では含浸材の有無および含浸材の種類による影響は認められず 0.5~1.0N/mm² 程度の範囲であった。材齢 7 日以降においても含浸材の有無および含浸材の種類による影響は認められず、いずれも 2~3N/mm² 程度の範囲にあった。なお、A (基板) 破壊の場合、基板のプルオフ強度を示していることから、AB (基板と補修材の界面) の付着強度はこの値以上と考えられる。

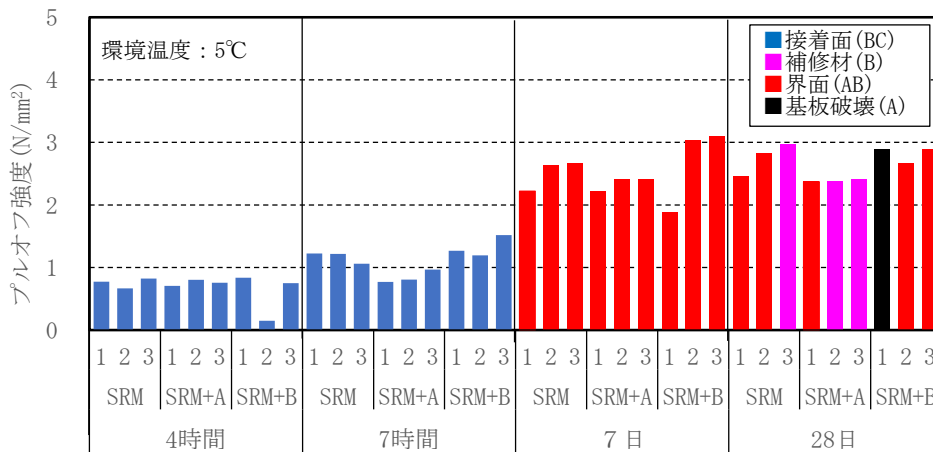


図-3.1.7 プルオフ強度 (環境温度 5°C)

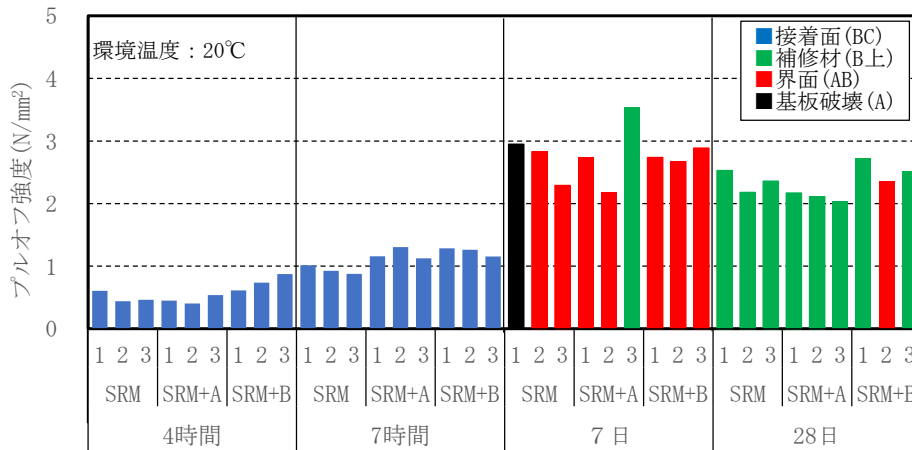


図-3.1.8 プルオフ強度（環境温度 20°C）

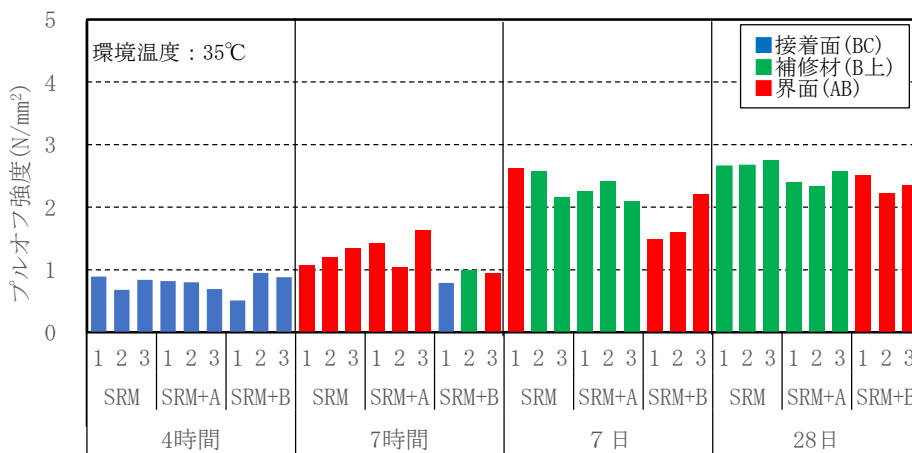


図-3.1.9 プルオフ強度（環境温度 35°C）

3. 1. 5 収縮ひび割れ抵抗性

ここでは、寸法安定性および線膨張率の結果を示す。寸法安定性および線膨張率は、JSCE-K 561-2013（コンクリート構造物用断面修復材の試験方法）に準じて行った。供試体寸法は幅 100mm×高さ 100mm×長さ 400mm の角柱供試体とし、内部に埋込型ひずみ計および熱電対を設置した。供試体は、自立できる硬さとなる材齢 2 時間で脱型をした後、含浸材を塗布し直ちにラップおよび厚手のビニール袋にて包んだ。ひずみの測定は補修材の打込み直後から材齢 28 日まで行った。なお、測定されるひずみにはセメントの水和反応に伴い発生する熱などに起因する温度ひずみが含まれるため、測定されたひずみから温度ひずみを差し引いたひずみを算出した。温度ひずみは、各材齢の温度と打設時の温度の差に線膨張率を乗じて求めた。寸法安定性は、測定されたひずみがほぼ収束した段階のひずみ量から温度ひずみを差し引いた値とした。

線膨張率の測定は、寸法安定性測定後の供試体を用いた。ひずみと温度の測定は供試体の中心温度が 20°C を起点に、10°C～60°C の範囲で 10°C ごと(20→30→40→50→60→50→40→30→20→10→20→30→40→50→60→50→40→30→20→10→20)に行い、2 サイクル実施した。

図 3. 1. 10 に材齢とひずみの関係を、表-3. 1. 9 に各水準の最大ひずみおよび寸法安定性を示す。「SRM」は最大 836×10^{-6} まで膨張し、その後膨張の状態で 822×10^{-6} で収束した。含浸材を塗布した「SRM+A」は 868×10^{-6}

程度まで膨張し、その後膨張の状態で 855×10^{-6} で収束、「SRM+B」は 812×10^{-6} まで膨張し、その後膨張の状態で 810×10^{-6} で収束した。いずれの水準においても材齢 5~6 時間程度で最大の膨張ひずみを示し、膨張した状態で収束する結果となった。寸法安定性は、「SRM」に比べ「SRM+A」は約 4%大きく、「SRM+B」は約 1%小さくなったが、大きな差は認められず、含浸材による影響は少ないと考えられる。

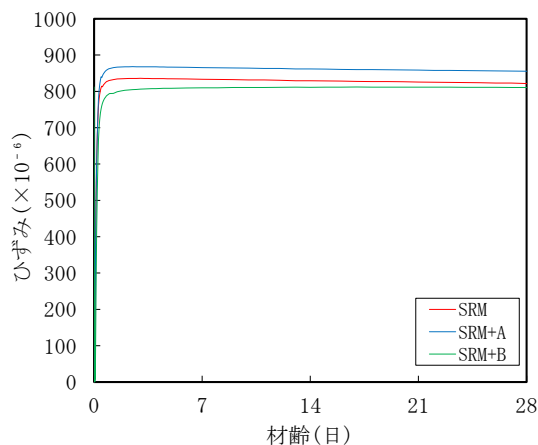


図-3.1.10 材齢と測定ひずみの関係

表-3.1.9 最大ひずみおよび寸法安定性

記号	最大ひずみ($\times 10^{-6}$)	寸法安定性($\times 10^{-6}$)
SRM	836 (膨張)	822 (膨張)
SRM+A	868 (膨張)	855 (膨張)
SRM+B	812 (膨張)	810 (膨張)

図-3.1.11 に温度とひずみの関係を、表 3.1.10 に各水準の線膨張率を示す。いずれの水準においても $16 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ となり含浸材による影響は確認されなかった。一般的なコンクリート ($10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)³⁾ と比較すると大きい結果となった。

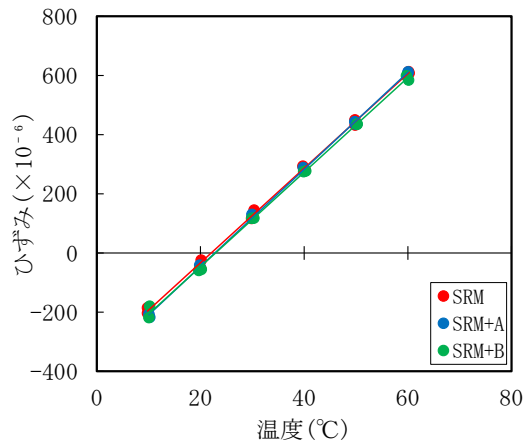


図 3.1.11 温度とひずみの関係

表-3.1.10 線膨張率

記号	線膨張率(×10 ⁻⁶ /°C)
SRM	16
SRM+A	16
SRM+B	16

3.1.6 すり減り抵抗性

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

国土交通省北海道開発局道路設計要領において、表層に用いるアスファルト混合物の配合設計におけるすり減り抵抗性の規格値があるため、本検討ではこれに準拠し、補修材のすり減り抵抗性の評価を行った。本試験は、（国研）土木研究所・寒地土木研究所において実施した。

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

本試験では1試料あたり3枚供試体を作製し、-10±1°Cに保った試験室に供試体を搬入し、試験に先立って4時間養生した。すり減り深さは、ラベリング試験1.5時間後に1供試体あたり3断面にて計測した。

また、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は同一の試験機にて実施した。図-3.1.12にラベリング試験結果の一例を示す。

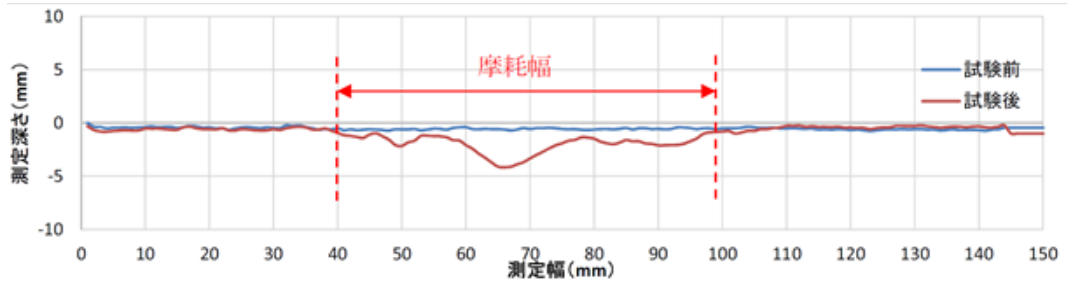


図-3.1.12 ラベリング試験結果の一例

供試体は、表 3.1.3 の試験水準に示す「SRM」、 「SRM+A」 および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「C-7」について、長さ 400mm×幅 150mm×厚さ 50mm の寸法で作製した。試験時の材齢は十分強度を発現した後に摩耗作用を受けることを想定し、28 日（20°C封かん養生）以上経過後に実施した。

図-3.1.13 にラベリング試験（往復チェーン型）の結果を示す。図には、試験を実施した 3 枚の供試体の平均値および最大値/最小値をプロットした。

試験の結果、「C-7」におけるすり減り量は 0.2cm² 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 1.3cm²以下を大きく下回り、耐摩耗性に優れることが分かる。

「SRM」のすり減り量は 1.1cm²程度であり、積雪寒冷地におけるすり減り量の規格値を満足していた。耐摩耗性の観点からは、規格値を満足しており、積雪寒冷地の車輪通過部などの補修に使用することに問題ないといえる。

一方、「SRM+A」は 1.5cm²程度であり、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。

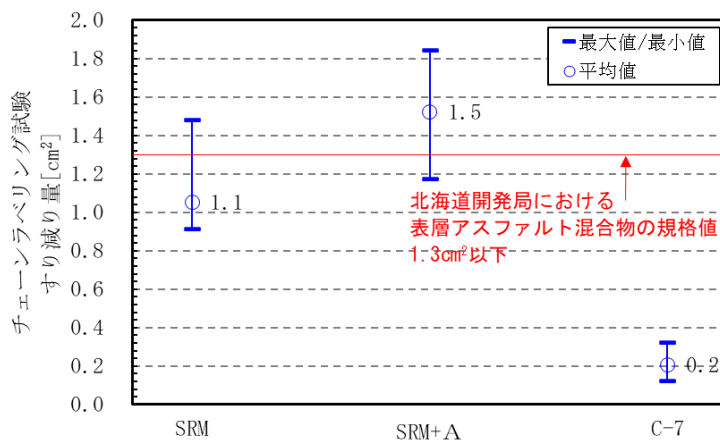


図-3.1.13 ラベリング試験結果

3. 1. 7 凍結融解抵抗性

積雪寒冷地のコンクリート舗装は、繰り返しの凍結融解作用を受けることから、補修箇所には凍結融解抵抗性の確保が必要と考えられる。ここでは、凍結融解試験により断面修復材の凍結融解抵抗性を確認した。本試験は、（国研）土木研究所・寒地土木研究所において実施した。

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。

供試体の寸法は幅100mm×高さ100mm×長さ400mmの角柱供試体とした。供試体は材齢2時間で脱型し、材齢1日まで20℃気中養生、材齢28日まで20℃水中養生をし、凍結融解作用を与えた。

凍結融解試験により得られた補修材の相対動弾性係数を図-3.1.14に示す。

試験の結果、「C-7」の相対動弾性係数は、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分かる。

「SRM」の相対動弾性係数は、サイクル数の増加に伴い徐々に減少し、100サイクルでは80%弱程度、300サイクルでは40%程度にまで低下しており、凍結融解抵抗性に課題があることが確認された。

一方、「SRM+A」の相対動弾性係数は、300サイクル終了後に90%弱程度と、表面含浸材を塗布しない場合「SRM」に比べ凍結融解抵抗性の大きな改善が確認された。

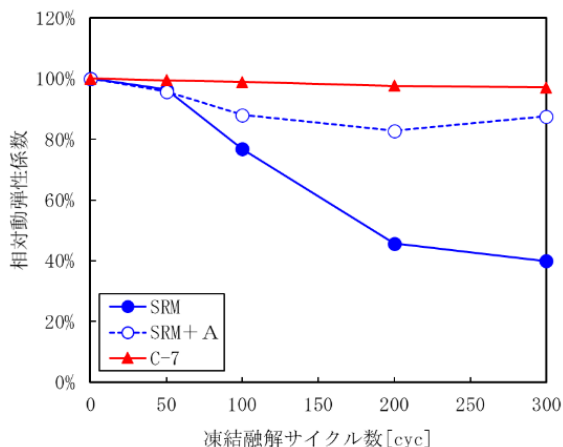


図-3.1.14 凍結融解試験による相対動弾性係数の変化

凍結融解試験により得られた補修材の質量減少率を図-3.1.15に示す。

試験の結果、「C-7」は、300サイクルの凍結融解後は若干スケー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分かる。

「SRM」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り質量の増加している傾向が伺えるが、その値は1%以下に収まっている。

「SRM+A」については、「SRM」に比べて、若干、質量減少率の変化量が減少しており、表面含浸材に

よる改善の影響が見られる。

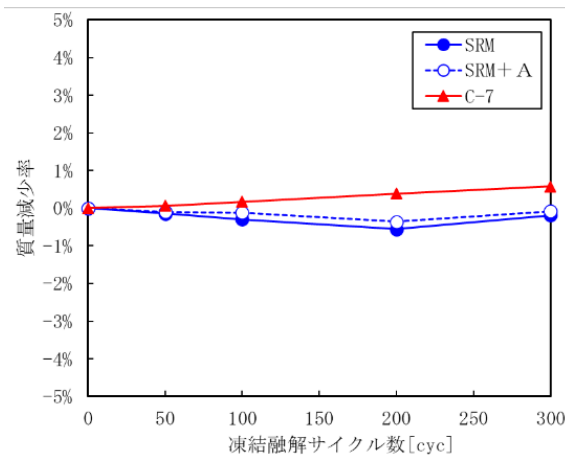


図-3.1.15 凍結融解試験による質量減少率の変化

3.1.8 凍結融解作用が剥離抵抗性に及ぼす影響

積雪寒冷地域では補修箇所において凍結融解作用を受ける。「3.1.7 凍結融解抵抗性」に示した補修材自体の凍結融解抵抗性に加えて、補修箇所全体の耐久性、特に凍結融解作用が剥離抵抗性に及ぼす影響も考慮する必要がある。ここでは、凍結融解作用が剥離抵抗性に及ぼす影響を評価した。本試験は、(国研)土木研究所・寒地土木研究所において実施した。

剥離抵抗性の評価はプルオフ試験で行い、「3.1.4 剥離抵抗性」と同じ方法とした。供試体は JIS A 1148:2010 (コンクリートの凍結融解試験方法) の「A 法：水中凍結融解試験方法」に準拠して凍結融解作用を与えるため、試験機に設置できる寸法として、図-3.1.16 のように補修材と基板を組み合わせ、100mm×100mm×400mm とした。なお、個々で使用した基板は、「C-7」を使用した。供試体は「3.1.6 凍結融解抵抗性」と同様に、材齢 2 時間後に脱型し、材齢 1 日まで 20°C 気中養生、材齢 28 日まで 20°C 水中養生をし、凍結融解作用を与えた。プルオフ試験は凍結融解 300 サイクル後に行い、プルオフ試験の位置は図-3.1.17 に示す 5 箇所とした。

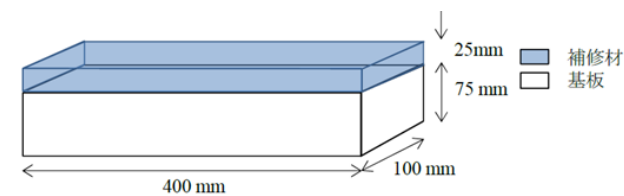


図-3.1.16 剥離抵抗性評価用供試体

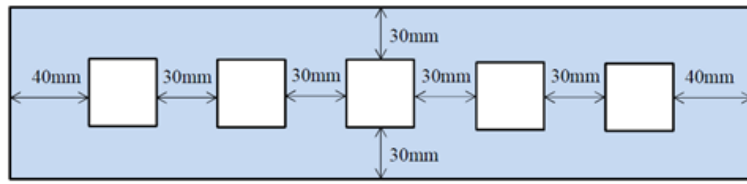


図-3.1.17 プルオフ試験位置

凍結融解試験前後のプルオフ試験結果および破壊面の位置を図-3.1.18 に示す。

試験の結果、「C-7」は300サイクルの凍結融解後の大きなプルオフ強度の低下は見られず、高い凍結融解抵抗性を有していることが分かる。

「SRM」における初期のプルオフ強度は2.7MPa程度の大きい値を示したが、凍結融解後には1.0MPaまで低下がみられ、凍結融解後の付着強度に課題が残る結果となった。

「SRM+A」においても、300サイクル後の付着強度の低下は見られるものの、「SRM」に比べてやや改善する傾向が確認された。

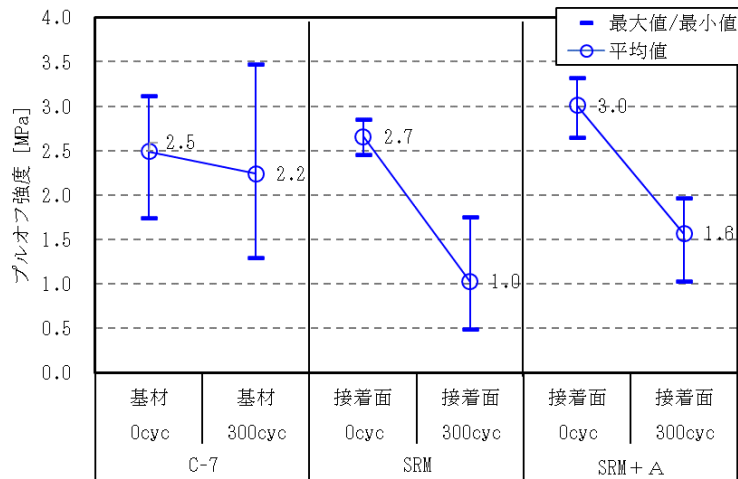


図-3.1.18 凍結融解前後のプルオフ強度の変化

3. 2 空洞部(LU-10T)

ここでは、空洞部の補修に使用する LU-10T の基本物性を示す。

3. 2. 1 試験条件

表-3.2.1 に LU-10T の配合を示す。水/LU-10T は 50.0% とし、各環境温度で始発時間が 50 分～60 分程度となるようにセッター添加量を調整した。環境温度は標準温度として 20°C の室内で各種試験を実施した。フレッシュ性状と強度特性については、冬季および夏季の施工を想定して環境温度 5°C および 35°C の環境下において実施した。

表-3.2.1 LU-10T の配合

環境温度 (°C)	水/LU-10T (%)	セッター添加量 (LU-10T×%)
5	50.0	1.35
20		1.22
35		1.32

3. 2. 2 施工性

流下時間および凝結時間を測定した。流下時間は、JSCE-F 531-2018 (PC グラウトの流動性試験方法 (案)) に準じて行った。凝結試験は JIS R 5201:2015 (セメントの物理試験方法) に準じて行った。

表-3.2.2 に流下時間および凝結試験の結果を示す。各環境温度での始発時間が 50 分～60 分程度とした場合、流下時間は環境温度が高くなるほど早くなる傾向にあった。スラブリセットモルタルと同様に、添加している混和剤の溶解度が環境温度により異なるためと考えられる。

表-3.2.2 流下時間および凝結時間

記号	環境温度 (°C)	流下時間 (秒)	凝結(分)	
			始発	終結
LU-10T	5	26.2	55	95
	20	20.4	60	72
	35	17.8	48	62

3. 2. 3 強度特性

ここでは、圧縮強度、静弾性係数および曲げ強度の結果を示す。

(1) 圧縮強度

圧縮強度は、JSCE-G 505-2018 (円柱供試体を用いたモルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験方法 (案)) に準じて行った。材齢は、2 時間、4 時間、7 時間、7 日および 28 日とし、供試体は直径 50mm×高さ 100mm の

円柱供試体を用いた。脱型はいずれの材齢も試験直前で行い、養生方法は各環境温度で封かん養生とした。

表-3.2.3に圧縮強度の試験結果を、図-3.2.1に圧縮強度の推移を示す。圧縮強度の傾向として、材齢7日程度までは環境温度が高いほど大きくなるものの、材齢28日では環境温度の違いによる圧縮強度の差は小さくなる傾向にあった。いずれの環境温度においても、材齢7日で交通開放時期の目安である 24N/mm^2 以上の圧縮強度を示した。

表-3.2.3 圧縮強度

環境温度 (°C)	圧縮強度(N/mm ²)				
	2h	4h	7h	7d	28d
5	4.27	6.76	8.54	29.4	43.4
20	5.10	8.07	10.2	39.9	50.8
35	9.44	9.59	11.0	42.0	45.5

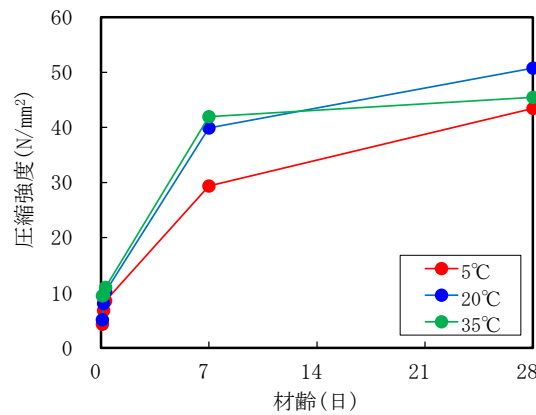


図-3.2.1 圧縮強度の推移

(2) 静弾性係数

静弾性係数は、JIS A 1149:2017 (コンクリートの静弾性係数試験方法) に準じて行った。材齢および供試体は圧縮強度と同様とした。

表-3.2.4に静弾性係数の試験結果を、図-3.2.2に静弾性係数の推移を示す。静弾性係数は、環境温度20°Cおよび35°Cはいずれの材齢も同等であったが、環境温度5°Cではそれらに比べ材齢7日程度まではやや小さくなる傾向にあった。材齢28日ではいずれの環境温度も同等となった。

表-3.2.4 静弾性係数

記号	環境温度 (°C)	静弾性係数(kN/mm ²)				
		2h	4h	7h	7d	28d
LU-10T	5	4.60	4.85	4.99	9.02	13.7
	20	5.04	5.06	5.22	12.6	13.8
	35	4.19	4.27	5.27	12.2	13.6

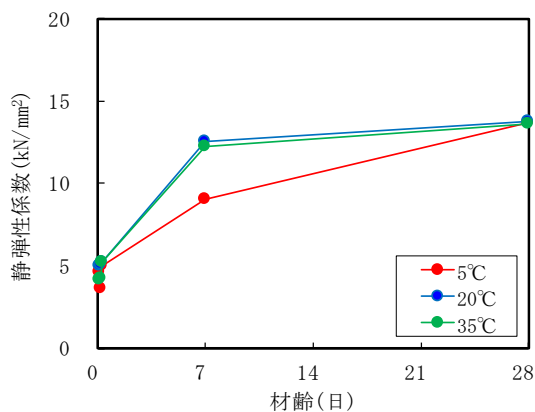


図-3.2.2 静弾性係数の推移

(3) 曲げ強度

曲げ強度は、JIS R 5201:2015（セメントの物理試験方法）に準じて行った。材齢は、2 時間、4 時間、7 時間、7 日および28 日とし、供試体は幅 40mm×高さ 40mm×長さ 160mm の角柱供試体を用いた。脱型はいずれの材齢も試験直前で行い、養生方法は各環境温度で封かん養生とした。

表-3.2.5 に曲げ強度の試験結果を、図-3.2.3 に曲げ強度の推移を示す。曲げ強度の傾向として、いずれの材齢においても環境温度 20°C の場合が最も大きく、次いで 35°C、5°C の順に小さくなる傾向にあった。なお、いずれの環境温度においても、交通開放時期の目安である 3.5N/mm² 以上²⁾を材齢 7 日で満足した。

表-3.2.5 曲げ強度

記号	環境温度 (°C)	曲げ強度(N/mm ²)				
		2h	4h	7h	7d	28d
LU-10T	5	1.5	2.3	2.5	4.7	6.5
	20	2.3	2.5	2.8	5.9	8.5
	35	2.3	2.4	2.6	5.0	7.7

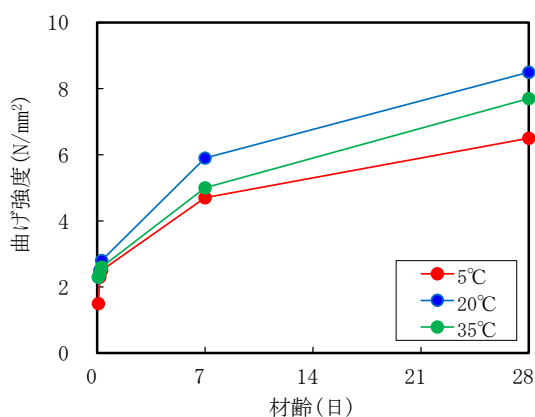


図-3.2.3 曲げ強度の推移

3. 2. 4 収縮ひび割れ抵抗性

ここでは、寸法安定性および線膨張率の結果を示す。寸法安定性および線膨張率は、スラブリセットモルタルと同様の方法で行った（3.1.5 収縮ひび割れ抵抗性参照）。脱型は自立できる硬さとなる材齢 24 時間で行った。

図-3.2.4 に材齢とひずみの関係を、表-3.2.6 に最大ひずみおよび寸法安定性を示す。試験の結果、材齢 2 時間程度で 191×10^{-6} まで膨張しその後収縮に転じたが、材齢 24 時間で脱型した後に再度膨張する傾向が認められた。これは、型枠により供試体の拘束が解かれたことで再度膨張したと考えられる。なお、膨張後は収縮に転じ -34.4×10^{-6} で収束した。

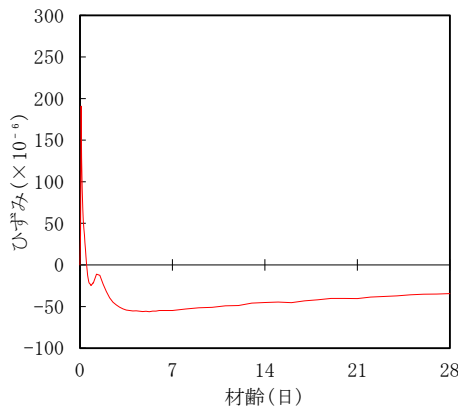


図 3.2.4 材齢とひずみの関係

表-3.2.6 最大ひずみおよび寸法安定性

記号	最大ひずみ($\times 10^{-6}$)	寸法安定性($\times 10^{-6}$)
LU-10T	191 (膨張)	-34.4 (収縮)

図-3.2.5 に温度とひずみの関係を、表-3.2.7 に線膨張率を示す。線膨張率は $16 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度となり、一般的なコンクリート ($10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)³⁾ と比較すると大きい結果となった。

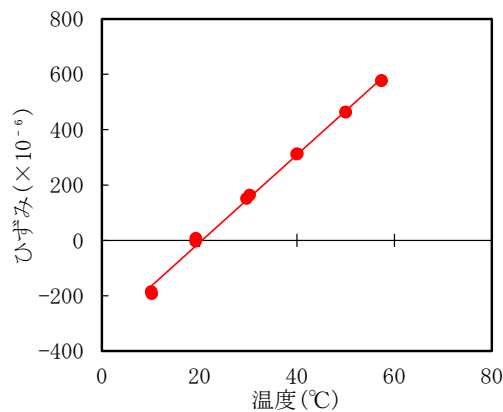


図 3.2.5 温度とひずみの関係

表-3.2.7 線膨張率

記号	線膨張率($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
LU-10T	16

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：舗装設計施工指針（平成 18 年版），pp.269-270, 2006.2
- 2) 公益社団法人日本道路協会：コンクリート舗装ガイドブック 2016, pp.171-172, 2016.3
- 3) 社団法人日本道路協会：舗装設計便覧（平成 18 年版），p.173, 2006.2

第4章 実施工による耐久性試験（舗装走行実験場）

4.1 概要

実施工による耐久性試験は、写真-4.1.1の土木研究所の舗装走行実験場を用いて実施した。舗装走行実験場は、写真-4.1.2の荷重車（33t、約324kN）を周回させることにより舗装面に繰返し輪荷重を付与することができる。4章では、コンクリート舗装版の目地部における段差および角欠け部の補修、およびコンクリート舗装版下に生じた空洞部の補修を舗装走行実験場の舗装面に対して実大スケールで実施し、その後に荷重車で繰返し輪荷重を付与したときの性状を追跡調査することにより、それぞれの補修箇所の耐久性について評価した。



(a) 舗装面

(b) 上空写真

写真-4.1.1 舗装走行実験場



写真-4.1.2 荷重車

4. 2 段差および角欠け

図-4.2.1にコンクリート舗装区間の構造および補修箇所の概要を示す。段差および角欠けの補修方法はいずれの場合も同一とし、補修箇所がゼロ擦り付けとならないよう補修箇所に幅40cm×長さ200cm×深さ5cmで端部にカッターを入れて段差を形成した。打設面処理は、「水湿し」および「プライマー+ボンド」を塗布したものの2種類とし、「プライマー+ボンド」を使用することによる補修面と補修材の付着性能の違いについて検討した。また、補修材の弾性変化や温度ひずみ等による損傷を防止するため、荷重車走行方向アプローチ側の施工面端部には施工後に加熱式注入目地材を設置した。耐久性の評価は、図中の測定箇所①～④の場所で行った。

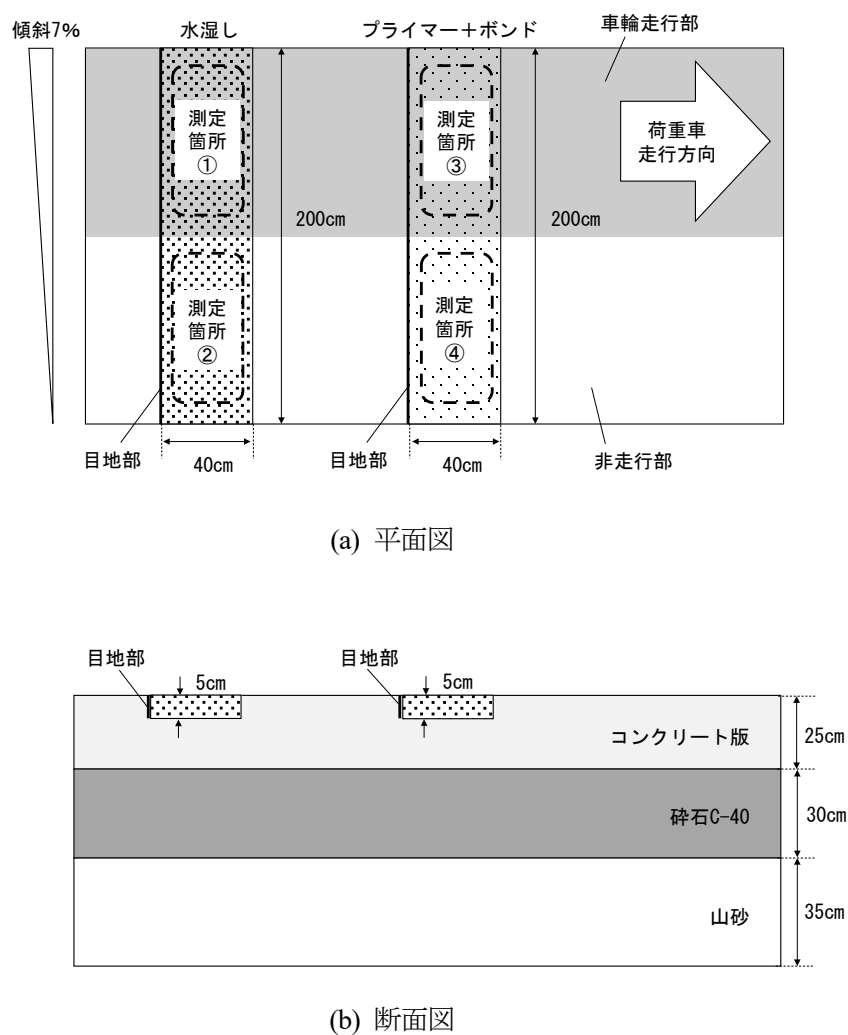


図-4.2.1 コンクリート舗装区間の構造および補修箇所の概要

4. 2. 1 施工方法

写真-4.2.1 に補修状況，表-4.2.1 に使用材料を示す。補修箇所は，補修面を電動ピックで 5cm 深さまで 研り，研り面の微粉等を十分に洗い流し表面に水分が残らない程度にした後（水湿し），スラブリセットモルタルを打設した。「プライマー+ボンド」を塗布する場合は，研り面の微粉等を十分に洗い流し表面が乾いた後，プライマーを塗布しその後ボンドを塗布した。スラブリセットモルタルの練混ぜは，水/スラブリセットモルタル=14.7%で練混ぜ量は1バッチあたり約 23L（25kg/袋×2 袋）とし，セッターを練混ぜ水に溶解させた後，ハンドミキサ(1300rpm)を回転させながらスラブリセットモルタルを緩やかに投入し，全量投入後に 3 分間行った。セッター添加量については，適切な施工性を確保するため，始発時間が 30 分程度となるように調整した。また，打設後の表面仕上げはコテ仕上げとした。



①補修箇所の研り



②研り作業後



③練混ぜ



④プライマー塗布



⑤ボンド塗布



⑥コテ仕上げ



⑦仕上げ後

写真-4.2.1 補修状況

表-4.2.1 使用材料

材料	種類	備考
補修材	スラブリセットモルタル	凝結時間 30 分程度になるようにセッター添加量を調整
プライマー	マイクロクラック補修用プライマー	—
ボンド	エポキシ樹脂	—
水	水道水	—

4.2.2 試験項目

表-4.2.2 に試験項目を示す。測定は、施工後から荷重車の 35 万輪走行時点まで 5 万輪ごとに実施した。

表-4.2.2 試験項目

調査項目	試験方法		評価指標	目標値
外観観察 (ひび割れ・浮き・剥離)	目視	—	ひび割れ、欠け等 ないこと	—
	打音	—	浮きがないこと	—
きめ深さ	CT メーター	舗装調査・試験法便覧 S022-3	MPD 値	—
表面形状	MRP	舗装調査・試験法便覧 S028	わだち掘れ	30mm 以下
すべり抵抗性	DF テスタ	舗装調査・試験法便覧 S021-3	動摩擦係数	0.32 以上
	BPN	舗装調査・試験法便覧 S021-2	BPN 値	60 以上

4. 2. 3 外観観察

写真-4.2.2 に荷重車 35 万輪走行後における測定箇所①～④の外観を示す。荷重車走行部の表面は、非走行部に比べて表面のペースト分が若干削れているものの、ひび割れや角欠け等の目立った損傷や劣化は認められなかった。打音による調査では、打設面の処理方法によらず全体的に浮きがない事を確認した。外観は、「水湿し」で補修した場合と「プライマー+ボンド」で補修した場合において明確な差は認められず、いずれも健全であった。

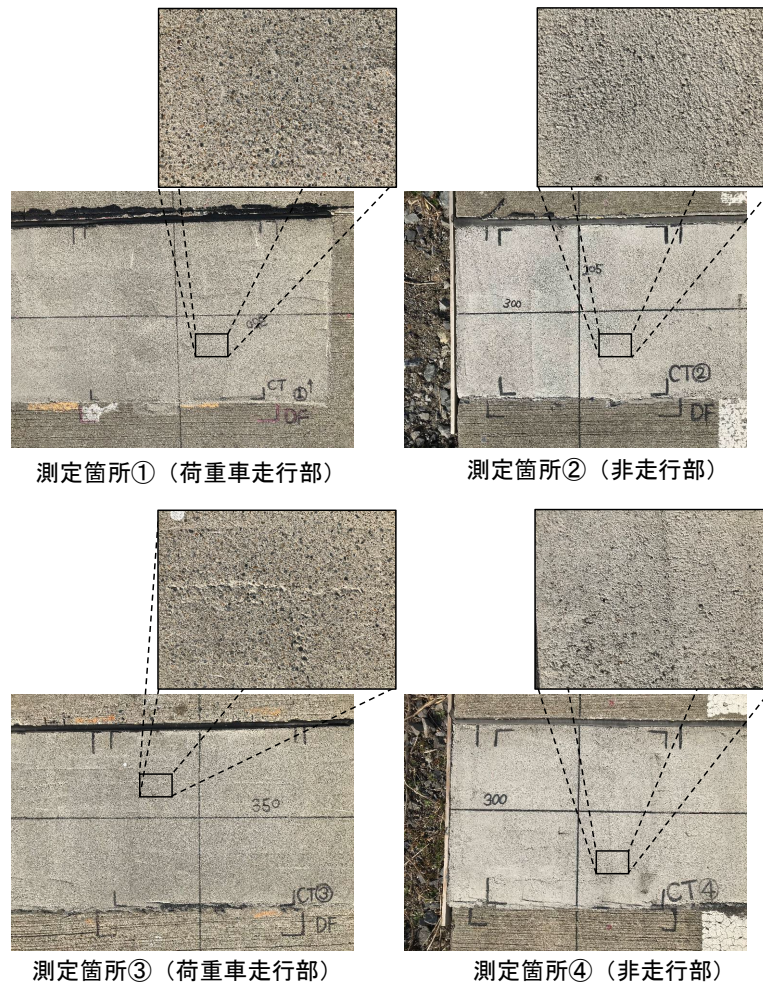


写真-4.2.2 外観状況 (荷重車 35 万輪走行後)

4. 2. 4 きめ深さ

補修箇所のきめ深さは、写真-4. 2. 3 に示す CT メーターを用いて舗装調査・試験法便覧 S022-3（回転式きめ深さ測定装置を用いた舗装路面のきめ深さ測定方法）から測定される平均プロフィール深さ(MPD)により評価した。

図-4. 2. 2 に各測定箇所の MPD 値の推移を、図-4. 2. 3 に MPD 値変化率の推移を示す。補修直後において、各測定箇所の MPD 値に差が認められ、最も大きい箇所で 0.54mm 程度、最も小さい箇所で 0.37mm 程度の最大 0.17mm 程度の差が生じた。これは、コテ仕上げ時に生じた微小な凹凸などの違いに起因するものと考えられる。MPD 値の変化率は、荷重走行部の測定箇所①および③においては最大 10%程度であり、非走行部の測定箇所②および④と比較して同程度であったことから、荷重車 35 万輪走行程度では補修面のきめ深さにはほとんど影響しないと考えられる。きめ深さは、「水湿し」で補修した場合と「プライマー+ボンド」で補修した場合において明確な差は認められなかった。



写真-4. 2. 3 CT メーターによる測定状況

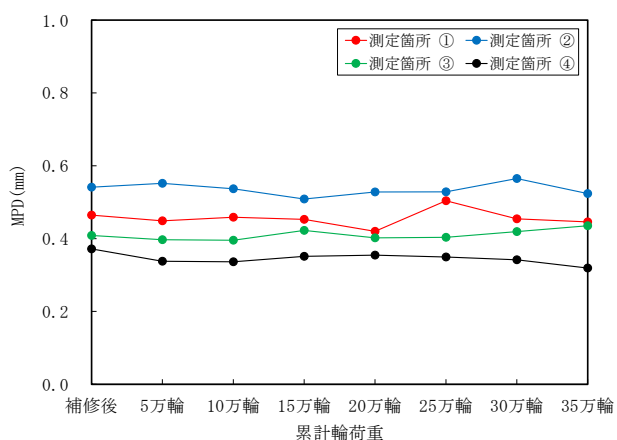


図-4. 2. 2 MPD 値の推移

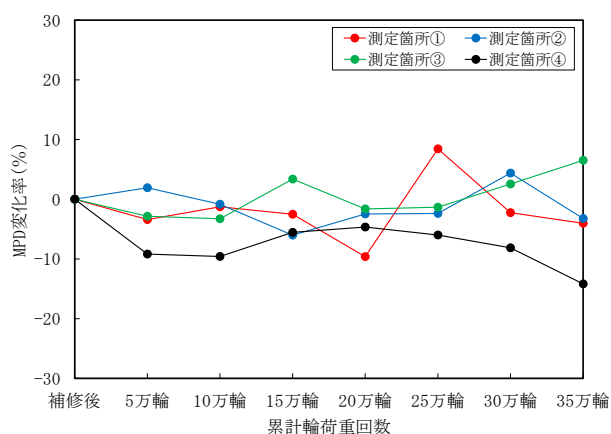


図-4. 2. 3 MPD 値変化率の推移

4. 2. 5 表面形状

平坦性は、写真-4. 2. 4 に示す MRP (マルチロードプロファイラ) を用いて補修箇所における路面の表面形状 (路面プロファイル) を測定した。図-4. 2. 4 に MRP による測定方向を示す。測定方向は、「水湿し」および「プライマー+ボンド」で打設面処理したそれぞれの補修箇所の表面形状を調査するため、荷重車走行方向の横断方向とした。図-4. 2. 5 に表面形状 (路面プロファイル) の変化を示す。わだち掘れ深さの目標値は、道路維持修繕要綱¹⁾の修繕要否判定基準である「30mm 以下」とした。補修直後と荷重車 35 万輪走行後の路面プロファイルデータは、荷重走行部および非走行部ともに重なり合う傾向を示しており変化は認められなかった。また、部分的なわだち掘れ深さの増加などもないことから、わだち掘れや断面の欠損などによる平坦性の低下は生じていないと考えられる。平坦性は、「水湿し」で補修した場合と「プライマー+ボンド」で補修した場合において明確な差は認められなかった。



写真-4. 2. 4 MRP による測定状況

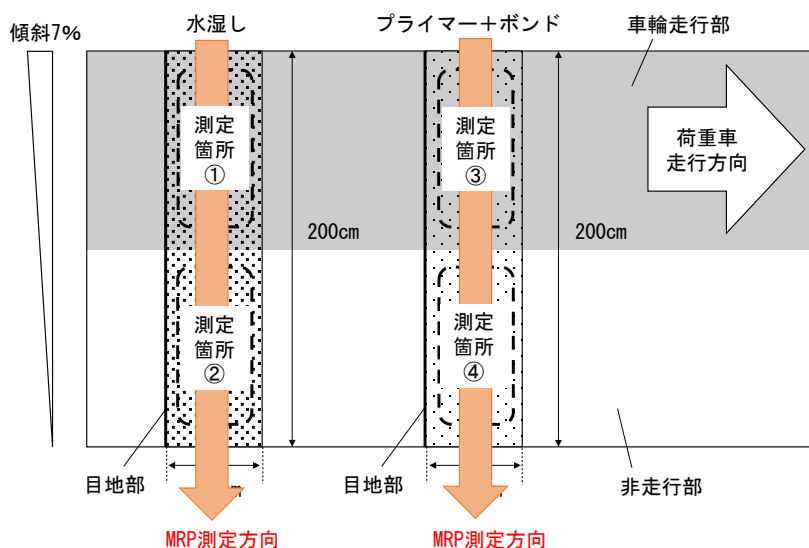
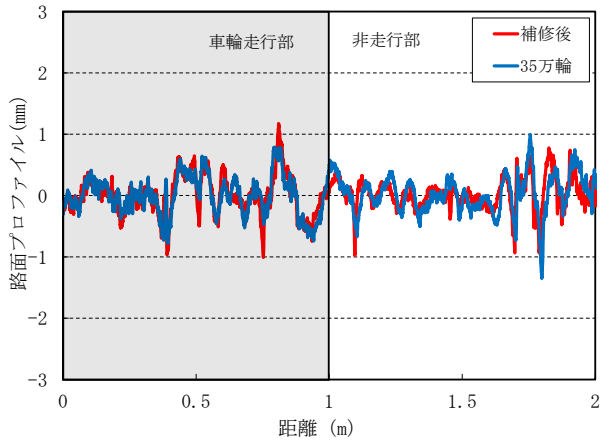
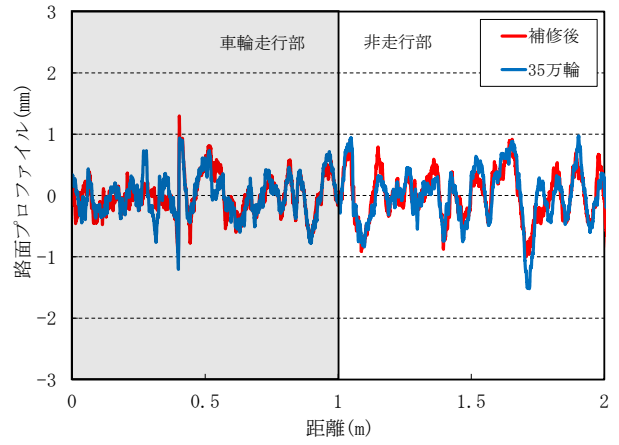


図-4. 2. 4 MRP 測定方向



(a) 水湿し



(b) プライマー+ボンド

図-4.2.5 表面形状 (路面プロファイル)

4. 2. 6 すべり抵抗性 (DF テスタ)

すべり抵抗性 (DF テスタ) は、写真-4. 2. 5 に示す回転式すべり抵抗測定器 (以下、DFT) を用いて舗装調査・試験法便覧 S021-3 (回転式すべり抵抗測定器による動的摩擦係数の測定方法) によって測定されるスリップ時速 60km/h の動摩擦係数 μ_{60} により評価した。道路維持修繕要綱¹⁾および補修維持修繕ガイドブック²⁾ に示されたすべり抵抗測定車によって測定される動摩擦係数は「0.25 以下 (60km/h)」の場合に維持修繕が必要と判断される。DFT によって測定される摩擦係数に換算した場合は「0.32 以下 (60km/h)」³⁾で維持修繕が必要と判断されることから、本試験の動摩擦係数 μ_{60} の目標値は、0.32 以上とした。

図-4. 2. 6 に動摩擦係数 μ_{60} の推移を示す。荷重走行部である測定箇所①および③では、累積輪荷重回数が増加しても動摩擦係数 μ_{60} はほとんど変化することがなく、35 万輪走行後も補修直後と同等の値を維持する結果となった。一方、非走行部である測定箇所②および④では、補修直後に比べ 35 万輪走行後は動摩擦係数 μ_{60} が 15%程度減少したものの目標値である 0.32 以上を満足した。動摩擦係数は、「水湿し」で補修した場合と「プライマー+ボンド」で補修した場合において明確な差は認められなかった。

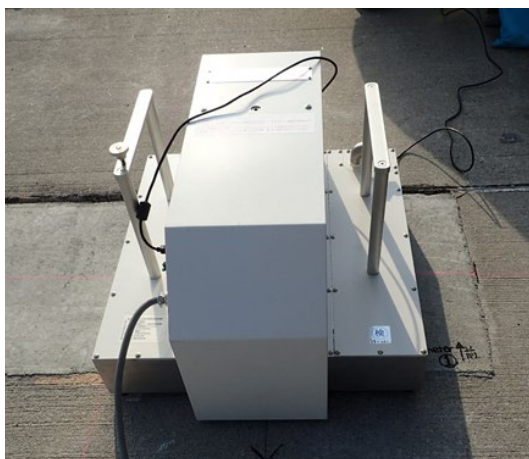


写真-4. 2. 5 DFT による測定状況

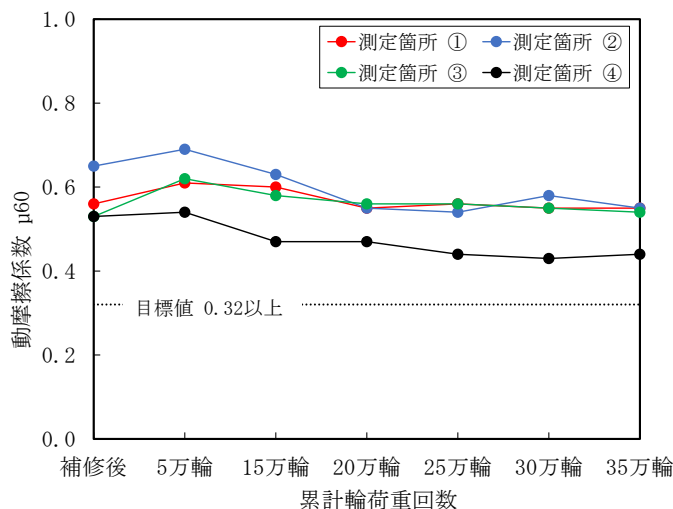


図-4. 2. 6 動摩擦係数 μ_{60} の推移

4. 2. 7 すべり抵抗性 (BPN)

すべり抵抗性は、写真-4. 2. 6 に示す振り子式スキッドレジスタンステストを用いて舗装調査・試験法便覧 S021-2 (振り子式スキッドレジスタンステストによるすべり抵抗測定方法) によって測定されるすべり抵抗値 (以下、BPN 値) により評価した。BPN 値の目標値は、NEXCO の舗装施工管理要領⁴⁾の出来形基準である 60 以上とした。なお、BPN 値は路面温度やゴムスライダの温度に影響され、一般に温度が高くなるほど小さくなるため、式 (4.2.1)の補正式により温度 20°Cの時の BPN 値に換算した値を用いた。

図-4. 2. 7 に BPN 値の測定結果を示す。累積輪荷重回数の増加に伴って BPN 値が減少する傾向があるものの減少量は小さく、すべての測定箇所目標値 60 以上を満足した。すべり抵抗性は、「水湿し」で補修した場合と「プライマー+ボンド」で補修した場合において明確な差は認められなかった。



写真-4. 2. 6 振り子式スキッドレジスタンステストによる測定状況

$$C_{20} = -0.0071t^2 + 0.9301t - 15.79 + C_t \quad (4.2.1)$$

- ここに、 C_{20} : 20°Cに補正した BPN 値
 C_t : 路面の表面温度 t°Cの時の BPN 値
 t : 路面の表面温度(°C)

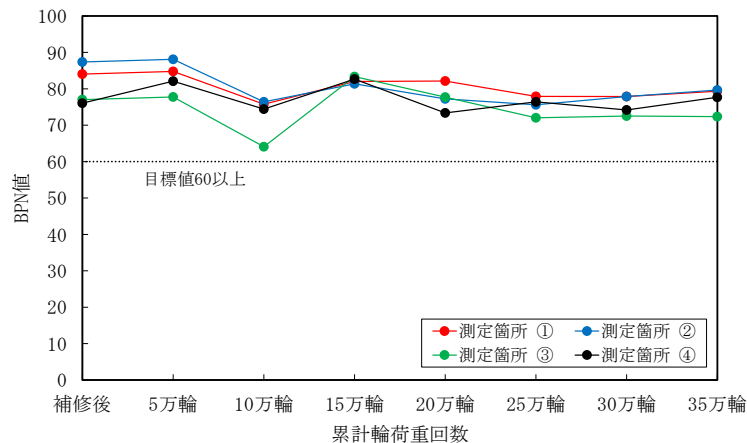


図-4. 2. 7 BPN 値の推移

4. 2. 8 環境作用

暴露環境下における含浸材の有無および含浸材の種類が補修材に及ぼす影響を調査した。暴露場所は土木研究所の舗装走行実験場内、暴露期間は2021年10月11日から2022年3月11日までの5ヶ月間とした。図-4.2.8に暴露試験用供試体の概要を示す。試験水準は表-3.1.3と同様の「SRM」、「SRM+A」および「SRM+B」とした。暴露は、供試体作製後（SRMを打設後に材齢24時間で脱型。「SRM+A」および「SRM+B」は材齢2時間後に含浸材を塗布）、材齢2日目から開始した。試験項目は、剝離抵抗性（プルオフ強度）、耐久性（きめ深さおよびすべり抵抗性（DFテスト））とした。

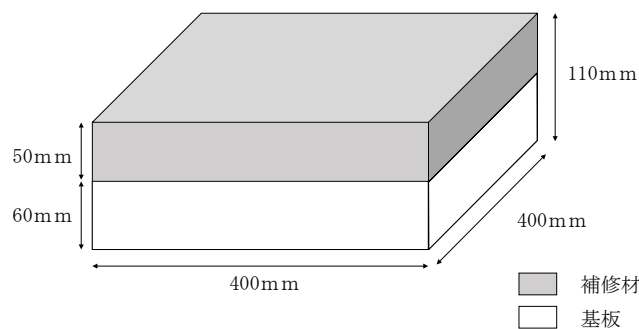
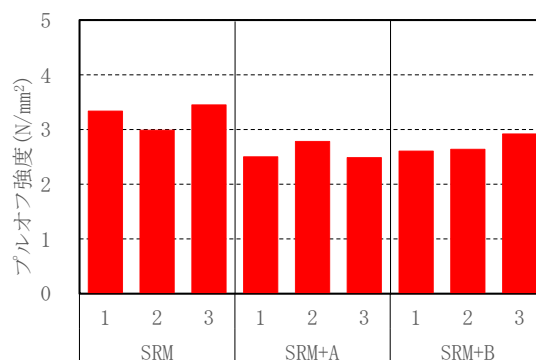


図-4.2.8 暴露試験供試体

(1) 剝離抵抗性（プルオフ強度）

プルオフ強度は「3.1.4 剝離抵抗性」と同様の試験方法で実施した。図-4.2.9にプルオフ強度の結果を示す。プルオフ強度は、SRMは3.0~3.3N/mm²程度、「SRM+A」および「SRM+B」は含浸材の種類による差は認められず、2.5~2.7N/mm²程度の範囲であり、含浸材を塗布した場合に0.6~0.8kN程度小さくなった。なお、すべての試験箇所においてAB（基板と補修材の界面）で破壊が発生していることから、スラブリセットモルタルの付着強度の値であると考えられる。また、「3.1.5 収縮ひび割れ抵抗性」の結果より、スラブリセットモルタルの線膨張率が一般的なコンクリートよりも大きいため、暴露環境において剝離抵抗性（プルオフ強度）が小さくなることが懸念されたが、「3.1.4 剝離抵抗性」の室内試験におけるプルオフ強度と同程度であったため、線膨張率が異なることによる剝離抵抗性への影響は低いと考えられる。



※全て AB（基板と補修材の界面）で破壊

図-4.2.9 プルオフ強度

(2) 耐久性 (きめ深さおよびすべり抵抗性 (DF テスタ))

きめ深さは「4.2.4 きめ深さ」、すべり抵抗性 (DF テスタ) は「4.2.6 すべり抵抗性 (DF テスタ)」と同様の試験方法で実施した。図-4.2.10 に暴露前後の MPD 値を、図-4.2.11 に暴露前後の動摩擦係数 μ_{60} を示す。MPD 値は全ての水準において同程度となり、含浸材の有無、含浸材の種類および5ヵ月間の暴露による影響は認められなかった。動摩擦係数は、「SRM」は暴露後に低下しているが、「SRM+A」および「SRM+B」は暴露後で大きくなった。これは、含浸材の塗布により暴露期間で供試体表面が緻密化したことが要因と考えられる。なお、動摩擦係数 μ_{60} の目標値である 0.32 以上は暴露前後とも全ての水準で満足した。

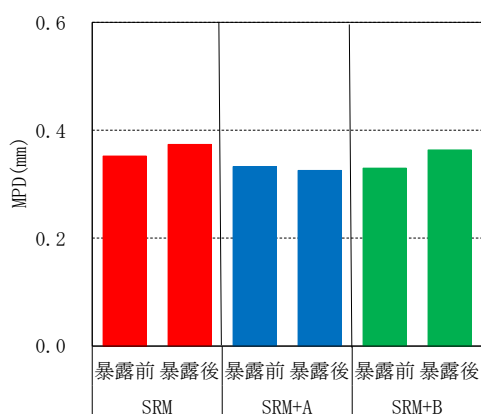


図-4.2.10 MPD 値

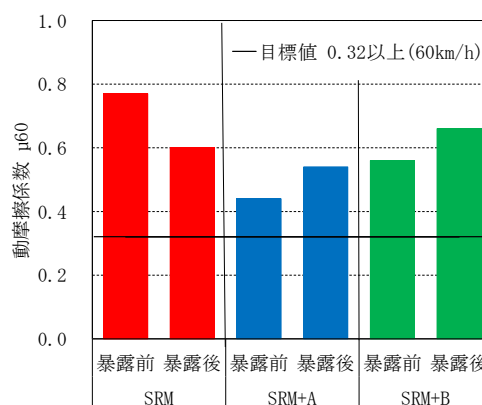


図-4.2.11 動摩擦係数 μ_{60}

4.3 空洞部

図-4.3.1 に模擬空洞部の模式図を、写真-4.3.1 に模擬空洞部の作製状況を示す。模擬空洞は、厚さ 25 cm のコンクリート版の目地部下にできたものをイメージし、路盤切削後に敷き詰めたトラロープ上に目地を設置し、打設したコンクリート版が硬化した後にトラロープを引き抜き、出来た空間を模擬空洞部とした。模擬空洞部の寸法は、幅 100cm×長さ 500cm×深さ 10cm とした。耐久性は、荷重車による輪荷重を 35 万輪まで与えた後のフォーリングウェイトデフレクトメータ (以下、FWD) の測定結果から得られたコンクリート版のたわみ量と荷重伝達率で評価した。FWD の測定点は全部で 6 箇所 (FWD①～⑥) とし、奇数番号の測定箇所 (FWD①, ③, ⑤) ではコンクリート版端部に荷重載荷した際のたわみ量を測定し、偶数番号の測定箇所 (FWD②, ④, ⑥) では目地を挟んだ隣のコンクリート版に荷重載荷した際のたわみ量を測定した。測定状況を写真-4.3.2 に示す。

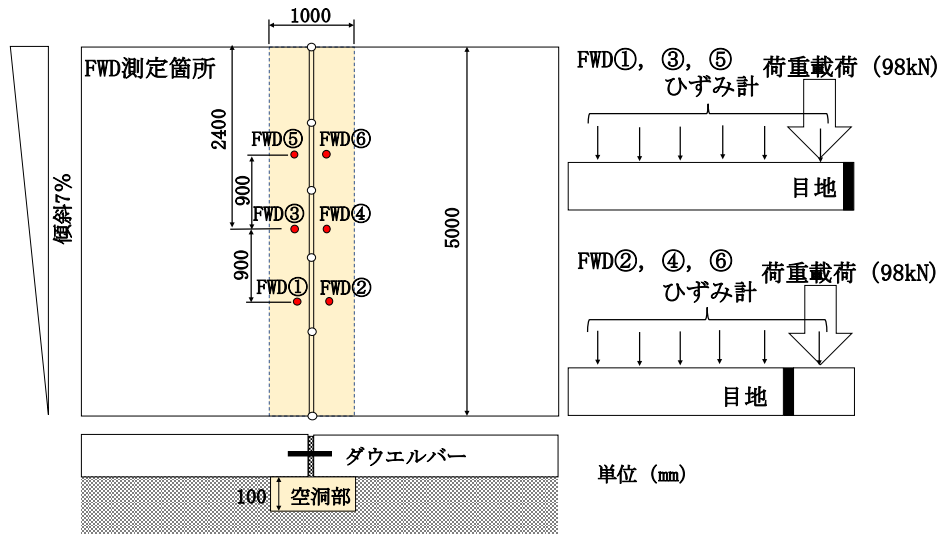


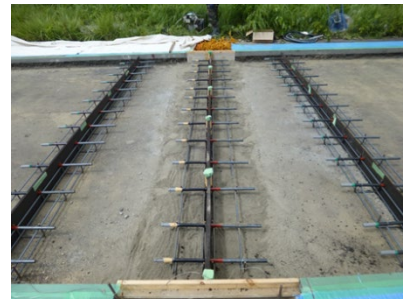
図-4.3.1 模擬空洞部の模式図



① 路盤切削



② トラロープ設置



③ 目地設置



④ コンクリート版打設



⑤ トラロープを引き抜き後



⑥ 模擬空洞内部

写真-4.3.1 模擬空洞部作製状況



写真-4.3.2 FWD 測定状況

4.3.1 施工方法

写真-4.3.3に模擬空洞部の補修状況を示す。本研究では自然流下にて空洞部を補修する事とした。「LU-10T」の練混ぜは、水/LU-10T=50.0%で練混ぜ量は1バッチあたり約40L(25kg/袋×2袋分)とし、セッターを練混ぜ水に溶解させた後、ハンドミキサ(1300rpm)を回転させながら「LU-10T」を緩やかに投入し、全量投入後に3分間行った。セッター添加量については、適切な施工性を確保するため、始発時間が50分~60分程度となるように調整した。

「LU-10T」の注入については、コンクリート版に7%の傾斜がある為、低い位置にある注入口から充填を開始した。注入口から「LU-10T」があふれ出ることを確認したら徐々に高い位置から充填し、全ての注入口から「LU-10T」があふれ出る状態で空洞部の充填を完了する事とした。



(a) 注入口位置



(b) LU-10T 練混ぜ状況



(c) LU-10T 注入状況



(d) LU-10T 硬化後

写真-4.3.3 模擬空洞の補修状況

4. 3. 2 FWD 測定結果

図-4.3.2 に各測定箇所のだわみ量，図-4.3.3 に荷重伝達率を示す。たわみ量は，輪荷重の載荷回数に伴って増加する傾向を示し，25 万輪走行後以降は補修前と同程度のだわみ量まで増加する箇所も確認された。荷重伝達率は 98kN の荷重載荷時のたわみ量から式(4.3.1)により算出される指標であり，80%以上⁵⁾であれば荷重伝達性能が十分と判断される。結果として，奇数番号の測定箇所(FWD①，③，⑤)と偶数番号の測定箇所(FWD②，④，⑥)における荷重載荷位置の違いによって荷重伝達率は異なる傾向を示したが，累計輪荷重回数 35 万輪ではすべての測定点で 80%以上を満足した。荷重伝達率はたわみ量による影響ではなく目地部に配置したダウエルバーの健全性によるものと考えられる。

以上の結果から，累積輪荷重回数 35 万輪では目地部のダウエルバーは健全性が保たれているものの，空洞補修箇所については繰返しの輪荷重の影響により再び空洞が発生している可能性が示唆された。補修箇所に再び空洞が生じたと仮定した場合，考えられる要因としては，写真-4.3.1⑥に示したようにコンクリート版下面の凹凸部や路盤の微細な箇所（空隙部 2mm 以下，4.3.3 充填可能な空隙寸法の調査参照）に「LU-10T」が十分に充填されておらず，コンクリート版が載荷される際にその未充填箇所を起点とし再空洞化が生じた，また，その未充填箇所が水路となりさらに再空洞化が進行したなどが考えられる。その他，寸法安定性試験において収縮側のひずみで収束していたことから，「LU-10T」が材齢の経過とともに収縮し再空洞化が生じた可能性も考えられる。今後，空洞部の補修方法（工法，材料）を実装するにあたっては，これらの課題に取り組む必要がある。

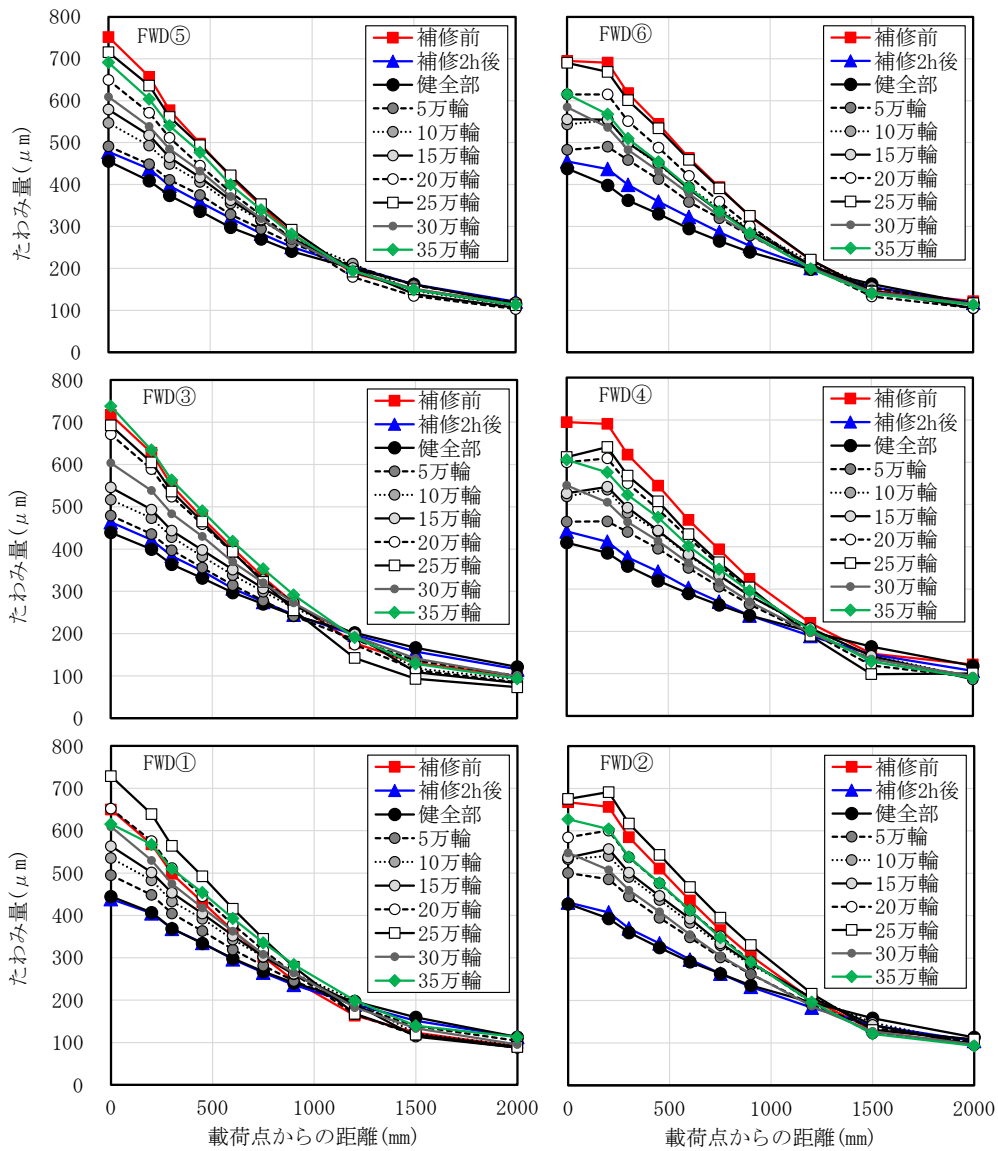


図-4.3.2 各測定箇所のたわみ量

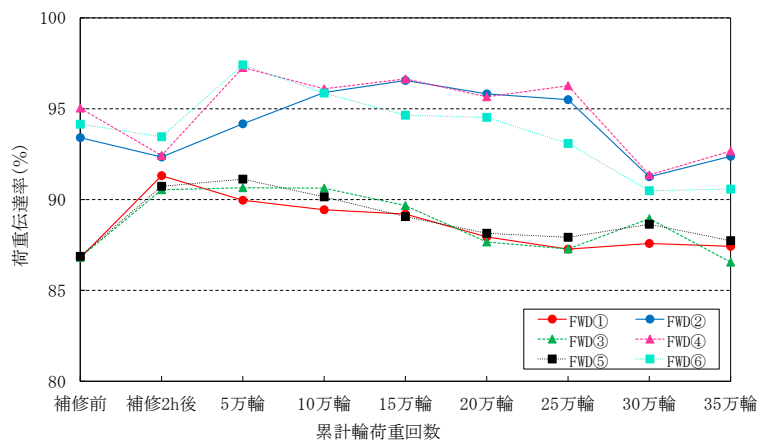


図-4.3.3 荷重伝達率

$$E_{ff} = \frac{D_{30}}{(D_0 + D_{30})/2} \times 100 \quad (\%) \quad (4.3.1)$$

ここに、 E_{ff} : 荷重伝達率 (%)

D_0 : 載荷点直下のたわみ量 (μm)

D_{30} : 載荷点から 300mm の位置のたわみ量 (μm)

4. 3. 3 充填可能な空隙寸法の調査

「4.3.2 FWD 測定結果」から、たわみ量が増加した要因として、空洞部への未充填箇所の影響が考えられた。そこで、「LU-10T」が充填可能な空隙寸法を調査するために簡易的な充填試験を行った。

写真-4.3.4に試験装置の外観、図-4.3.4に試験装置の寸法を示す。十分な水密性と剛性をもつ金属製の平板と透明なアクリル板の間に空隙寸法が調整できるスペーサーを設置し、空洞部を模擬した。空洞部にはアクリル板中央の漏斗から「LU-10T」を自然流下させた。充填性の評価は、空洞部に広がるフロー値で判断することとした。空隙寸法は 1mm, 2mm および 3mm の 3 水準とし、「LU-10T」の注入量は 350ml とした。

「LU-10T」の配合は、「表-3.2.1 LU-10T の配合」の環境温度 20°C と同様とした。

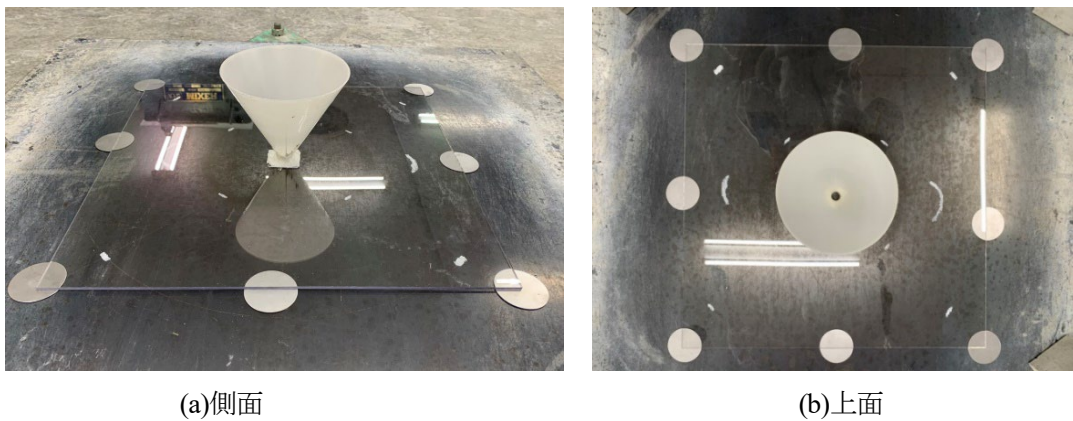


写真-4.3.4 試験装置の外観

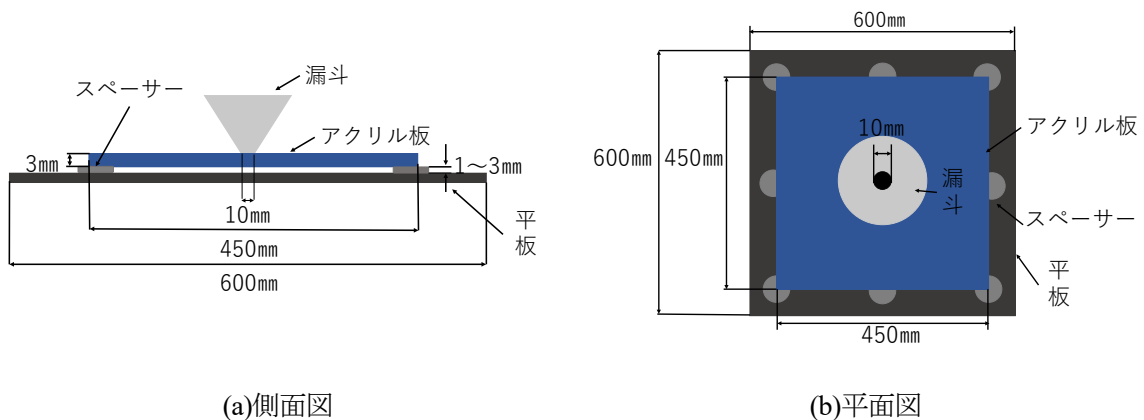
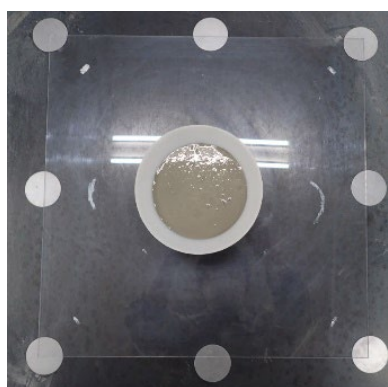


図-4.3.4 試験装置の寸法

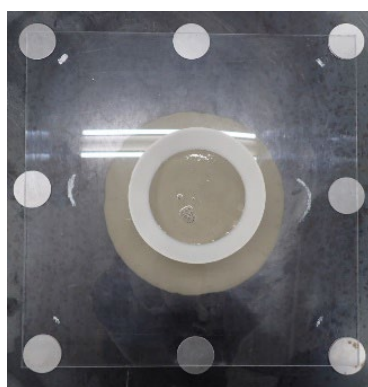
表-4.3.1 に試験結果, 写真-4.3.5 に各空洞寸法におけるフローの状況を示す。注入前の流下時間はいずれも同等であることを確認した。空洞寸法 3mm では「LU-10T」が漏斗に詰まることなく全量注入され, フローは 440mm 程度であった。一方, 空洞寸法 1mm および 2mm では「LU-10T」が漏斗に詰まり, フローはそれぞれ 105mm および 120mm となり, 空洞寸法 3mm のフローと比較すると 25%程度の広がりに留まった。以上の結果から, 「LU-10T」は 3mm 程度の空洞部には充填可能であるものの, 空洞部が 2mm 以下の場合では充填が困難と示唆された。

表-4.3.1 試験結果

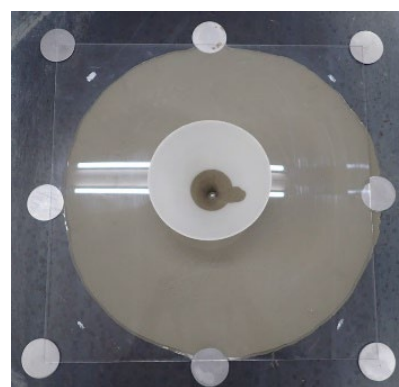
補修材	環境温度 (°C)	水/LU-10T (%)	空洞寸法 (mm)	流下時間 (秒)	フロー (mm)
LU-10T	20	50.0	1	20.3	105
			2	20.3	120
			3	20.8	440



(a)空洞 1mm



(b)空洞 2mm



(c)空洞 3mm

写真-4.3.5 各空洞寸法におけるフロー状況

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：道路維持修繕要綱, p93, 1978.7
- 2) 公益社団法人日本道路協会：舗装の維持修繕ガイドブック 2013, p55, 2013.11
- 3) 公益社団法人日本道路協会：舗装性能評価法-必須および主要な性能指標編-, pp.122-123, 2013.4
- 4) 東日本高速道路株式会社 中日本高速道路株式会社 西日本高速道路株式会社：舗装施工管理要領, p37, 2020.7
- 5) 公益社団法人日本道路協会：コンクリート舗装ガイドブック 2016, pp.287-288, 2016.3

第5章 本研究のまとめ

5.1 段差および角欠け

コンクリート舗装の目地部に生じた段差および角欠けについて、補修材「スラブリセットモルタル」の材料評価および舗装走行実験場における補修後の走行疲労に対する耐久性評価をした。その結果、明らかとなった事項を以下に示す。

・施工性および強度特性

JIS R 5201 によるフローが 200mm 程度あり、適切な施工が可能なコンシステンシーを有している。また、始発時間を施工時間が確保できる 30 分～50 分程度に調整することで、交通開放時間の目安となる圧縮強度 (24N/mm^2 以上) および曲げ強度 (3.5N/mm^2 以上) を材齢 7 時間程度で得ることができる。

・すり減り抵抗性

積雪寒冷地におけるすり減り量の規格値 1.3cm^2 以下を満足しており、積雪寒冷地の車輪通過部などの補修に使用することに可能であると考えられる。

・凍結融解抵抗性

相対動弾性係数は、100 サイクルでは 80%弱程度、300 サイクルでは 40%程度にまで低下しており、凍結融解抵抗性に課題がある。ただし、表面含浸材を併用することで 300 サイクル終了後に 90%弱程度となり凍結融解抵抗性が改善できる。

・剝離抵抗性

室内試験におけるプルオフ強度は、材齢 7 日以降で $2\sim 3\text{N/mm}^2$ 程度であった。300 サイクルの凍結融解後のプルオフ強度は、 1N/mm^2 程度までの低下がみられ凍結融解後の付着強度に課題がある。ただし、表面含浸材を併用することでやや改善する傾向がある。また、乾湿繰返しや温度変化などの環境作用を受けた暴露供試体のプルオフ強度は室内試験と同程度であり、基板とスラブリセットモルタルの線膨張率の違いによる影響はほとんどないものと考えられる。

・走行疲労に対する耐久性

荷重車 35 万輪走行後における補修箇所の外観観察では、ひび割れや角欠けおよび浮き等の目立った損傷や劣化は認められなかった。また、きめ深さ、表面形状、動摩擦係数およびすべり抵抗性の各耐久性状においても補修後からの変化はほぼ認められず健全な状態を維持していた。

5. 2 空洞部

コンクリート舗装の目地部下に生じた空洞部について、グラウト材「LU-10T」の材料評価および舗装走行実験場における補修後の走行疲労に対する耐久性評価をした。その結果、明らかとなった事項を以下に示す。

- ・施工性および強度特性

JSCE-F 531 による流下時間は 20 秒程度で、空洞部を自然流下で充填するコンシステンシーは有している。始発時間を施工時間が確保できる 50 分～60 分程度することで、交通開放時間の目安となる圧縮強度 (24N/mm^2 以上) および曲げ強度 (3.5N/mm^2 以上) を材齢 7 日程度で得ることができる。

- ・走行疲労に対する耐久性

荷重車 35 万輪走行後におけるコンクリート版のたわみ量は、補修前後で同程度となり再空洞化の可能性が示唆された。LU-10T の未充填箇所を起因とした劣化や、寸法安定性試験において収縮ひずみを示していたこと等が要因として考えられた。空洞部の補修 (工法, 材料) を実装するにあたっては、これらの課題に取り組む必要がある。荷重伝達率は 80% 以上を満足したが、たわみ量による影響ではなくダウエルバーの健全性によるものと考えられた。

共同研究報告書

Cooperative Research Report of PWRI

No. 574 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