

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

Ⅲ 「早期交通開放技術の改善」編

2019年3月

国立研究開発法人土木研究所

学校法人東京農業大学

独立行政法人石川工業高等専門学校

学校法人北海道科学大学

一般社団法人セメント協会

太平洋セメント株式会社

日本道路株式会社

太平洋マテリアル株式会社

Copyright © (2019) by P.W.R.I.

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

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

コンクリート舗装の維持修繕工法の 改善に関する共同研究報告書

Ⅲ 「早期交通開放技術の改善」編

(国研) 土木研究所 つくば中央研究所 道路技術研究グループ (舗装)

グループ長	辻 保人
上席研究員	藪 雅行
主任研究員	岩永 真和
交流研究員	内田 雅隆
教授	小梁川 雅
教授	西澤 辰男
教授	亀山 修一
グループリーダー	吉本 徹
研究員	泉尾 英文
研究員	瀧波 勇人
研究員	伊藤 孝文

(学) 東京農業大学

(独) 国立高等専門学校機構 石川工業高等専門学校

(学) 北海道科学大学

(一社) セメント協会 研究所 コンクリート研究グループ

主任研究員	岸良 竜
-------	------

太平洋セメント(株) 中央研究所 第2研究部 コンクリート舗装技術チーム

太平洋セメント(株) 中央研究所 第2研究部 建設マテリアルチーム

研究員	丸田 浩
所長	中原 大磯
副主任研究員	弓木 宏之
研究員	藤井 洋志

日本道路(株) 生産技術本部 技術研究所

要 旨 :

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

コンクリート舗装に用いるセメント系材料は、所定の強度に達するまで、ある程度の養生期間が必要となる。そのため、コンクリート舗装の打ち換えなどの修繕に用いる場合、養生期間確保のために長期間の交通規制が必要となり、打ち換えなどの修繕が実施できない場合がある。

そこで、本WGではコンクリート舗装の打ち換えなどの修繕時に養生期間がこれまでより短く、早期交通開放可能な工法を提案することを目的に、既存の速硬性材料・工法をコンクリート舗装の打ち換えや局部打ち換えなどの修繕工法への適用性について検討した。

キーワード：コンクリート舗装，早期交通開放，速硬性材料

目 次

1.	はじめに	1
1.1	背景と研究目的	1
1.2	共同研究体制	1
1.3	研究概要	4
1.4	本報告書の構成	8
2.	1DAY PAVE を用いた早期交通開放技術の改善	9
2.1	材料、工法の特徴と課題	9
2.2	1DAY PAVE の課題改善に向けた事前検討 1 -コンクリート表面の硬さと粗面仕上げ時期の関係の検討	11
2.3	1DAY PAVE の課題改善に向けた事前検討 2 -コンクリート表面のテクスチャとすべり抵抗の関係	15
2.4	舗装走行実験場での施工試験（その 1）	21
2.5	粗面仕上げ方法の再検討	38
2.6	舗装走行実験場での施工試験（その 2）	44
2.7	1DAY PAVE の強度特性	51
2.8	まとめ	56
3.	速硬コンクリートを用いた早期交通開放技術	58
3.1	はじめに	58
3.2	材料、工法の特徴	58
3.3	舗装走行実験場での走行試験	66
3.4	まとめ	81
4.	ラテックス改質速硬コンクリートを用いた早期交通開放技術	82
4.1	はじめに	82
4.2	材料、工法の特徴	82
4.3	舗装走行実験場での走行試験	90
4.4	まとめ	110
5.	まとめ	112

1. はじめに

1.1 背景と研究目的

アスファルト舗装に比べ耐久性の高いコンクリート舗装を採用することで、舗装の長寿命化が図れ、維持修繕工事頻度の削減、ライフサイクルコストの縮減が期待されている。しかし、道路管理者からは、盛土部等への適用性や、破損した場合の維持修繕方法等について懸念があり、コンクリート舗装の採用が進んでいない。

コンクリート舗装の維持修繕時における懸念事項の一つに養生時間の確保が挙げられる。これは、コンクリートに用いるセメント系材料は、水和反応により強度発現するため、所定の強度に達するまで、ある程度の養生期間が必要となる。そのため、コンクリート舗装の打ち換えなどの修繕に用いる場合、養生期間確保のために長期間の交通規制が必要となり、打ち換えなどの修繕が実施できない場合がある。

このような背景のもと、本共同研究ではコンクリート舗装の打ち換えなどの修繕時に養生期間がこれまでより短く、早期交通開放可能な工法を提案することを目的に、既存の速硬性材料、工法をコンクリート舗装の打ち換え、局部打ち換えなどの舗装の修繕に適用できるよう検討を実施した。

なお、本報告書で用いる、「早期交通開放」であるが、所定の強度に達するまでの養生期間を1日以内、施工規模にもよるが養生期間に通常の施工期間を加えて、既存舗装版の切削、撤去など準備から修繕による打設、修繕後の復旧まで含めて、全施工工程が2～3日程度で完了すること、とした。

また、本研究は、「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」の中の一つのWG「早期交通開放技術の改善（早期交通開放WG）」で実施したものである。

1.2 共同研究体制

共同研究は、修繕工法WG、維持工法WG、早期交通開放WGの3WGを設置し、2016年3月～2019年3月まで実施した。本WGである早期交通開放WGの参加者を表-1.2.1～表-1.2.3に示す。

表-1.2.1 共同研究参加者（土木研究所）（早期交通開放WG）

機 関	氏 名	所 属・役 職	参 加 期 間
(国研)土木 研究所	久保 和幸	近畿地方整備局大阪国道事務所長 (元土木研究所 道路技術研究グループ)	2016.3～16.3
	藪 雅行	道路技術研究グループ 舗装チーム 上席研究員	2016.4～19.3
	渡邊 一弘	国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部 道路基盤研究室長 (元土木研究所 道路技術研究グループ)	2016.3～18.3
	岩永 真和	道路技術研究グループ 舗装チーム 主任研究員	2016.3～19.3
	若林 由弥	国土交通省 大臣官房 技術調査課 建設システム管理企画室 (元土木研究所 道路技術研究グループ)	2016.3～18.3
	高木 亮一	(株)安藤・間 (元土木研究所 交流研究員)	2016.3～16.3
	松本 健一	(株)太平洋コンサルタント (元土木研究所 交流研究員)	2016.4～17.3
	内田 雅隆	道路技術研究グループ 舗装チーム 交流研究員	2017.4～19.3

表-1.2.2 共同研究参加者（指定機関）（早期交通開放WG）

機 関	氏 名	所属・役職	参加期間
(学)東京農業大学	小梁川 雅	地域環境科学部 生産環境工学科 教授	2016.3～19.3
石川工業高等専門学校	西澤 辰男	環境都市工学科 教授	2016.3～19.3
(学)北海道科学大学	亀山 修一	工学部 都市環境学科 教授	2016.3～19.3
(一社)セメント協会	佐藤 智泰	研究所 コンクリート研究グループ グループリーダー	2016.3～17.3
	小宮山 慎一郎	普及部門統括リーダー	2016.3～19.3
	吉本 徹	普及部門 リーダー（需要開拓、普及活動担当）	2016.3～17.3
		研究所 コンクリート研究グループ グループリーダー	2017.3～19.3
	島崎 泰	普及部門 リーダー（需要開拓、普及活動担当）	2016.3～18.3
	佐々木 健一	普及部門 リーダー（需要開拓、普及活動担当）	2018.3～19.3
		研究所 コンクリート研究グループ 主任研究員	
	泉尾 英文	研究所 コンクリート研究グループ 研究員	2016.3～19.3
瀧波 勇人	研究所 コンクリート研究グループ 研究員	2016.3～19.3	
伊藤 孝文	研究所 コンクリート研究グループ 研究員	2017.3～19.3	

表-1.2.3 共同研究参加者（公募機関）（早期交通開放WG）

機 関	氏 名	所属・役職	参加期間
太平洋セメント(株)	梶尾 聡	第2研究部 コンクリート舗装技術チーム リーダー	2016.4～19.3
	杉山 彰徳	第2研究部 建設マテリアルチーム リーダー	2016.4～17.4
	肥後 康秀	第2研究部 建設マテリアルチーム リーダー	2016.4～19.3
	兵頭 彦次	中央研究所 第2研究部 コンクリート舗装技術チーム 主任研究員	2016.4～19.3
	久我 比呂氏	元 中央研究所 第2研究部 建設マテリアルチーム 主任研究員	2016.4～17.10
	浜中 昭徳	元 中央研究所 第2研究部 建設マテリアルチーム 主任研究員	2016.4～18.3
	岸良 竜	中央研究所 第2研究部 コンクリート舗装技術チーム 主任研究員	2018.3～19.3
	丸田 浩	中央研究所 第2研究部 建設マテリアルチーム 研究員	2018.3～19.3
太平洋マテリアル(株)	杉山 彰徳	開発研究所 土木・混和材料グループ 主席研究員	2017.4～19.3
	郭 度連	元 開発研究所 土木・混和材料グループ 副主席研究員	2016.4～17.8
	長塩 靖祐	開発研究所 土木・混和材料グループ 副主席研究員	2017.8～19.3
	中田 和秀	開発研究所 土木・混和材料グループ 研究員	2017.5～19.1
	岡田 明也	開発研究所 土木・混和材料グループ 研究員	2018.4～19.3
日本道路(株)	中原 大磯	生産技術本部 技術研究所 所長	2016.4～19.3
	弓木 宏之	生産技術本部 技術部 課長	2016.4～19.3
	藤井 洋志	生産技術本部 技術研究所 研究員	2016.4～19.3

(2019年3月現在)

1.3 研究概要

1.3.1 検討した早期交通開放技術・工法

検討した早期交通開放技術は、表-1.3.1に示す共同研究に参加している会社の3技術とした。打替え、局部打替え用に1DAY PAVE、速硬コンクリート (Facet® Concrete) (以下、FC)、薄層オーバーレイ用にラテックス改質速硬コンクリート (Latex Modified Facet® Concrete) (以下、LMFC®) の3技術を検討した。以下に、3技術の特徴を示す。

表-1.3.1 本研究で検討した早期交通開放技術

名称	実施会社	用途
1DAY PAVE	セメント協会	打ち換え、局部打ち換え用
速硬コンクリート (FC)	太平洋セメント(株)	打ち換え、局部打ち換え用
ラテックス改質 速硬コンクリート (LMFC®)	太平洋マテリアル(株) 日本道路(株)	薄層オーバーレイ用

(1) 1DAY PAVE

1DAY PAVE は、汎用材料を用い材齢1日以内の養生期間で交通開放可能となるコンクリート舗装である。1DAY PAVE は、早強ポルトランドセメントを使用し、水セメント比を35%程度に小さくするとともに高性能AE減水剤を使用することで、強度発現性を高めつつ、高い流動性と高い材料分離抵抗性を有している。

2018年12月現在、1DAY PAVEの試験施工も含めた施工実績は、約5万m²であり、認知度の向上とともに1DAY PAVEは一定の活用がなされている。

(2) 速硬コンクリート (FC)

FCは、速硬性混和材を使用し、材齢6~12時間で24N/mm²以上の圧縮強度を発現可能な速硬性を有するコンクリートである。専用の移動式プラントを使用せずに現場で製造可能であり、これまで高速道路の伸縮装置の取替えや部分補修、打替えなど、早期の強度発現性が求められる箇所の補修を中心に適用されている。

(3) ラテックス改質速硬コンクリート (LMFC®)

LMFC®は、速硬性混和材を使用しFCと同様に材齢6~12時間で24N/mm²以上の圧縮強度を発現可能な速硬性を有するポリマーセメントコンクリートである。さらに、ラテックス改質コンクリート用混和材を使用しているため、水や塩化物イオンなどの劣化因子の浸入抵抗性が高く、既設コンクリートとの付着性に優れている。プレミックス材料(フレキシブルコンテナパック)をコンパクトミキサで練り混ぜることで、現場での製造が可能である。LMFC®の適用事例としては、橋面舗装の補修工事への適用があるが、その実績はまだ少ないのが現状である。

1.3.2 各技術の課題と検討項目

今回検討した3技術は、上述の通り既に材料開発はされているが、コンクリート舗装に対する適用性については課題もある。詳細は2~4章に記載するが、本共同研究で検討した各技術の課題、検討項目の概要を以下に示す。

(1) 1DAY PAVE

【課題】

- ・高粉体量による粘性が高いため、通常のJIS舗装コンとは粗面仕上げ時期が異なること。
- ・1DAY PAVEのすべり抵抗性を向上させるための、適した粗面仕上げ方法が未確立なこと。
- ・ほうきの種類、養生剤有無などの異なる粗面仕上げ方法により形成した路面とすべり抵抗性及び車両通行によるすべり抵抗性の持続性が不明確であること。

【検討項目】

- ・適切な粗面仕上げ時期を判断するための、コンクリート表面硬さと粗面仕上げ時期及びすべり抵抗性の関係性。
- ・マイクロテクスチャがすべり抵抗性に与える影響。
- ・配合の違いがすべり抵抗性に与える影響と、すべり抵抗性の向上を目的とした骨材露出工法の適用性。
- ・ほうきの種類、養生剤有無など異なる粗面仕上げ方法により形成した路面とすべり抵抗性及び車両通行によるすべり抵抗性の持続性。

(2) FC、LMFC®

【課題】

- ・舗装用途での適用実績が少なく、車両走行によるすべり抵抗性や平坦性などの路面性状や疲労耐久性などが不明確であること。

【検討項目】

- ・車両走行によるすべり抵抗性、平坦性などの路面性状の把握（FC、LMFC®）。
- ・車両走行による既設コンクリートとの付着性能の把握（LMFC®）。

1.3.3 試験施工及び促進载荷試験

施工性の把握、必要な養生期間を確認するために、土木研究所舗装走行実験場内において舗装版を試験施工した。試験施工場所を図-1.3.1、試験施工の舗装断面を図-1.3.2に示す。

試験施工工区は各材料・工法で10m（幅員5m）とした。1DAY PAVE、FCは版央に横膨張目地を設け、版厚は25cmとした。LMFC®は、既設コンクリート舗装版を切削し、厚さ5cmで薄層オーバーレイを実施した。

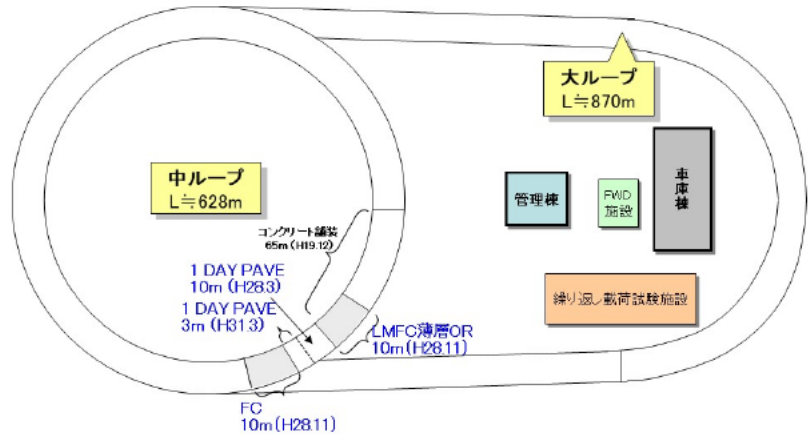


図-1.3.1 試験施工場所（土木研究所舗装走行実験場内）

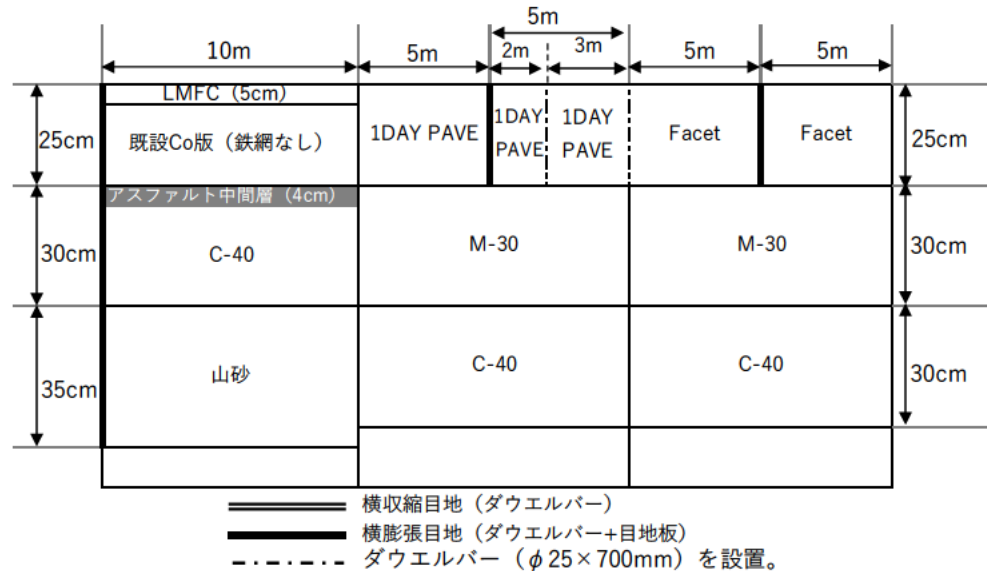


図-1.3.2 試験施工の舗装断面

試験施工終了後に、車両通行による所定の性能の経年変化を把握するために、表-1.3.2に示す条件にて荷重車による促進载荷試験を実施した。荷重車の様子を写真-1.3.1に示す。荷重車の運転は年間（年度をまたぐ）を4季に分け、49kN換算輪数で10万輪走行を1季毎に実施し、1年間に40万輪走行した。表-1.3.3に荷重車の走行時期と走行回数を示す。

表-1.3.2 荷重車の走行条件

項目	走行条件
設定走行速度	30km/h
同時走行台数	2～4台
タイヤ走行パターン	左右25cmの正規分布2σ
軸重 (図-1.3.3参照)	前軸重：69.1kN[7.05tf] 後前軸重：128.1kN[13.07tf] 後後軸重：127.1kN[12.97tf]
荷重車1台当たりの 49kN換算輪数	5.9959 $= (69.1/2/49)^4 + ((128.1/2/49)^4) + ((127.1/2/49)^4)$



写真-1.3.1 荷重車の様子



後後軸重：127.1kN (12.97tf)	後前軸重：128.1kN (13.07tf)	前軸重：69.1kN (7.05tf)
---------------------------	---------------------------	------------------------

図-1.3.3 荷重車の軸重

表-1.3.3 荷重車の走行時期と走行回数

年度	走行時期	荷重車通過回数	1DAY PAVE		FC、LMFC	
			累積荷重車通過回数	累積49kN換算輪数	累積荷重車通過回数	累積49kN換算輪数
			施工：2016/3/23		施工：2016/10/31~2016/11/8	
2016 (H28) 年度	16/9月~16/10/28	14874	14874	89183	—	—
	16/11/19~16/11/22	1757	16631	99718	1757	10535
	16/12月~17/1月	16678	33309	199717	18435	110534
	17/2月~17/3月	16679	49988	299723	35114	210540
	17/4月~17/5月	16678	66666	399723	51792	310540
2017 (H29) 年度	17/6/26~17/7/7	7060	73726	442054	58852	352871
	17/9/11~17/10/3	9619	83345	499728	68471	410545
	17/10/23~17/11/20	16679	100024	599734	85150	510551
	18/1/29~18/3/5	16678	116702	699734	101828	610551
	18/4/16~18/5/11	16678	133380	799733	118506	710550
2018 (H30) 年度	18/6/26~18/6/29	2492	135872	814675	120998	725492
	18/10/17~18/11/13	14187	150059	899739	135185	810556
	18/11/17~18/11/22	2492	152551	914681	137677	825498
	18/11/28~19/1/30	14186	166737	999738	151863	910555
	19/2/12~19/2/14	2283	169020	1013427	154146	924244

1.4 本報告書の構成

本報告書の内容は以下のとおりである。

2章では、「1DAY PAVE を用いた早期交通開放技術の改善」について記載した。1DAY PAVE の特徴、舗装走行実験場での試験施工では、施工性の確認及びすべり抵抗性を改善するために、配合面では単位粗骨材かさ容積の量、仕上げ補助剤の種類、施工面では箒目の仕上げタイミングを調整することで、すべり抵抗性の改善を検討した。

3章では、「速硬コンクリート（FC）を用いた早期交通開放技術」について記載した。FC の特徴を示したうえで、舗装走行実験場での試験施工では、施工性の確認及び荷重車走行による供用性を検討した結果を示した。

4章では「ラテックス改質速硬コンクリート（LMFC®）を用いた早期交通開放技術」について記載した。LMFC®の特徴を示したうえで、舗装走行実験場での試験施工では、施工性の確認及び荷重車走行による供用性調査及びオーバーレイ舗装を想定した付着性能について検討した結果を示した。

2. 1DAY PAVE を用いた早期交通開放技術の改善

2.1 材料、工法の特徴と課題

2.1.1 1DAY PAVE の特徴

コンクリート舗装は、耐久性が高いなど様々な長所を有する舗装であり、その適切な活用は良質なインフラ整備に大きく貢献するものと考えられる。しかしながら、コンクリート舗装にはいくつかの課題があることも事実であり、これらの課題がコンクリート舗装の適用範囲を制限していると考えられる。特にコンクリートは所定の強度発現を終えるまでに一定期間の養生を必要とする。そのために、交通開放までに時間を要することが適用の障害になっている。都市内、とりわけ交差点付近や重交通道路ではアスファルトの塑性流動によるわだち掘れが発生し、頻繁な補修が必要となっているが、このような箇所でコンクリート舗装を用いることができれば、補修回数が格段に削減することが可能となる。養生期間の短縮のために、特殊なセメントや混和剤を用いた超早強性のコンクリートも実用化されているが、これらは非常に高価であるという大きな欠点を有し、汎用的に用いられていないのが現状である。

このような背景のもと、汎用材料を用いた1日以内の養生期間で交通開放可能となるコンクリート舗装の開発がセメント協会で行われ、早期交通開放型コンクリート舗装（1DAY PAVE）と称し、2013年に新技術情報提供システム（NETIS）に登録された。この1DAY PAVE用コンクリートの特徴は、早強ポルトランドセメントを使用し、水セメント比を35%程度に小さくするとともに高性能AE減水剤を使用することで、強度発現性を高めつつ、高い流動性と高い材料分離抵抗性を有することである。

2018年12月現在、1DAY PAVEの試験施工も含めた施工実績は、約5万m²であり、認知度の向上とともに1DAY PAVEは一定の活用がなされ始めていると思われる。

2.1.2 1DAY PAVE の課題

1DAY PAVEは早期交通開放性を確保するために、水セメント比が一般の舗装用コンクリートに比べて小さい。したがって1DAY PAVEはセメント量が多く、粘性が高いフレッシュコンクリートになり易い。また、1DAY PAVEは比較的小規模工事を対象とし、人力施工を想定しており、施工性を考慮し、そのスランプは



(1) 早めに粗面仕上げを行った例
(テクスチャが適切に形成されていない)



(2) 遅めに粗面仕上げを行った例
(テクスチャが適切に形成されている)

写真-2.1.1 ほうきによる粗面仕上げのイメージ

18cm 以上に設定することが多い。一般に人力施工用の JIS に規定された舗装コンクリートのスランプは 6.5cm であり、それに比べると 1DAY PAVE のスランプは著しく大きい。したがって 1DAY PAVE の施工は JIS の舗装コンとはやや異なる。例えば、コンクリートの敷均しは、1DAY PAVE の場合は粘性があり高スランプのため、アジテータトラックの筒先から直接荷卸ししても材料分離は生じない。同様に、粗面仕上げ（ほうき目仕上げ）を実施するタイミングも異なる。もともとスランプが大きいコンクリートのため、通常の JIS の舗装コンと同じようなタイミングで粗面仕上げを行うと、写真 2.1.1 のように粗面が消滅する恐れがあり、走行安全性能が十分確保されない可能性もある。さらに、1DAY PAVE は高粉体量のためコンクリートの粘性が高くなりやすく、箒目が入りにくい等の原因となる場合がある²⁾。このようなことより、1DAY PAVE 特有の粗面仕上げ方法を検討するとともに、そのすべり抵抗性の持続性を調査することとした。また、1DAY PAVE はブリーディングが生じないため、環境条件によってはこて仕上げなどの施工性が悪くなる場合がある。その際、水を適度に散布することで仕上げ性が著しく向上するが、一般にコンクリートへの加水はタブー視されていることから標準化することは現状では厳しいと言える。そこで、水を主成分とした仕上げ補助剤を用いた場合のすべり抵抗性や強度への影響についても調査を実施した。

1DAY PAVE を取り扱う第 2 章では、上述の目的を達成するために、舗装走行実験場での施工を 2 回、また走行実験場への施工のための予備的な室内試験等を実施している。図-2.1.1 は、試験・調査の実施フローと第 2 章の構成を示す。

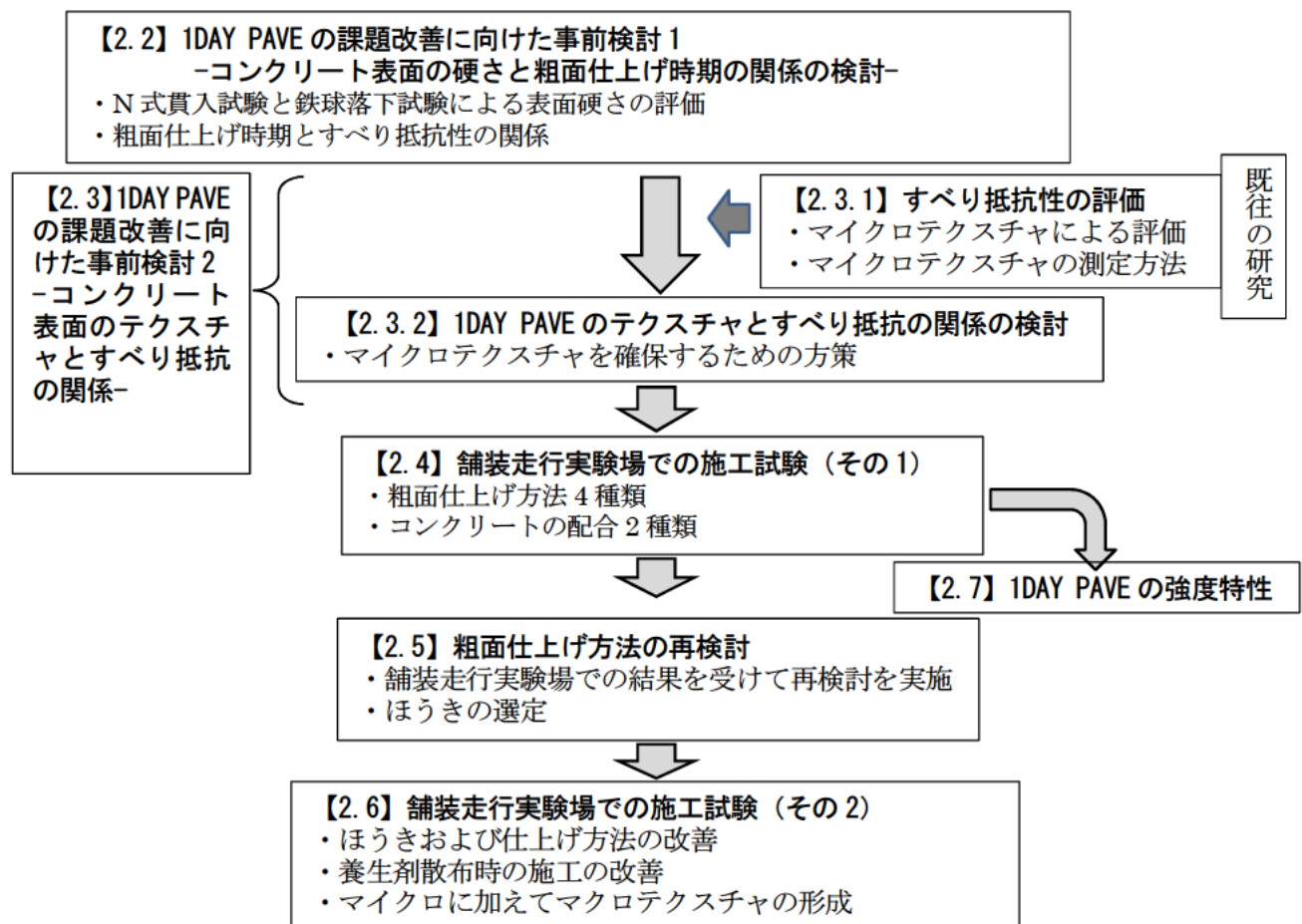


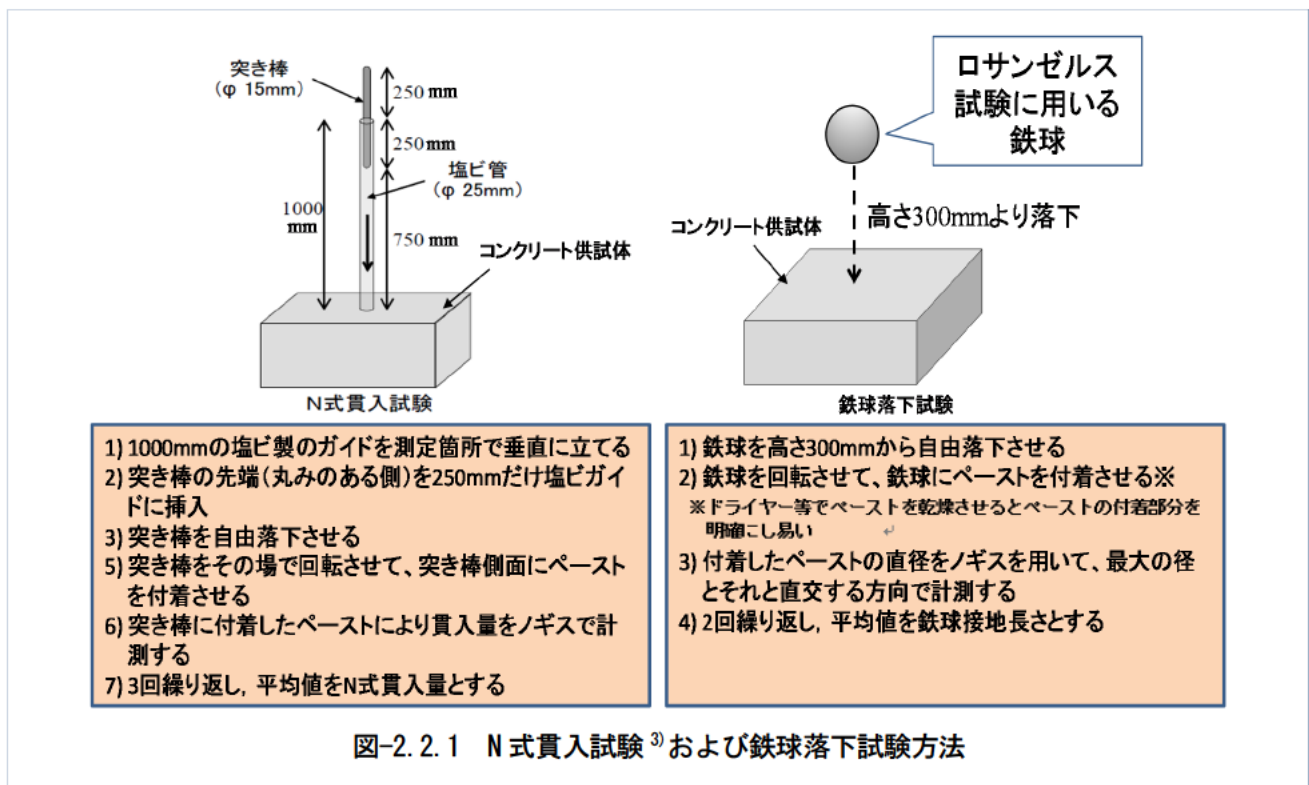
図-2.1.1 試験・調査の実施フローと第 2 章の構成

2.2 1DAY PAVE の課題改善に向けた事前検討1 -コンクリート表面の硬さと粗面仕上げ時期の関係の検討-

先述したように、1DAY PAVE 用のコンクリートは一般的な JIS 舗装コンクリートに比べてスランプが大きいいため、施工時の粗面仕上げのタイミングが異なると思われる。そこで、1DAY PAVE のコンクリート表面の硬さと粗面仕上げ時期の関係を明らかにするために、予備試験を実施した。

2.2.1 実験の概要

本実験におけるすべり抵抗値に与える影響要因を①粗面仕上げを行う時期・タイミング、②コンクリート表面の硬さ、③仕上げ補助剤散布の有無、として縦横が 390mm×550mm、深さ 140mm のプラスチック製コンテナを型枠に用いてコンクリート供試体を作製し、コンクリート表面の硬さと粗面仕上げ時期の関係を明らかにする実験を行った。ここで、②のコンクリート表面の強度は N 式貫入抵抗試験（以下、N 式貫入試験）および鉄球落下による接地長測定試験（以下、鉄球落下試験）により評価することとした。これら試験の手順を図 2.2.1 に示す。また、③の仕上げ補助剤の水準は、仕上げ補助剤を水とみなしたうえで、仕上げ時に散布した仕上げ補助剤がコンクリート表面から 5mm 浸透すると仮定し、その 5mm の層の水セメント比が 40%となる散布量を散布量「少」、水セメント比が 45%となる散布量を散布量「多」と定めた。仕上げ補助剤の散布量の水準を表-2.2.1 に示す。



なお供試体は、コンクリート表面硬さを調査するものと粗面仕上げ面のすべり抵抗を調査するものを別々に作製した。試験の水準は表-2.2.4 に示すとおりとし、試験に用いるほうきは写真-2.2.1 に示す、穂幅が約 1mm×約 1mm で、穂丈 14cm のポリプロピレン製のものに、同じ材質で穂幅が約 2mm×約 2mm の断面で同じ穂丈のものを 1cm 間隔で取り付けたもの（ほうきの厚み方向 1 段）を作製し使用した。これは（株）

佐藤渡辺の亀田氏より提供いただいたものである。ここでは、通常粗面仕上げに用いられる市販のコートブラシ等よりも硬いものを選定した。

表-2.2.1 仕上げ補助剤*の散布量の水準

散布量 (g)		
無	少	多
0	25	50

※AE 助剤マスターエア 303A を水で 50 倍希釈したもの

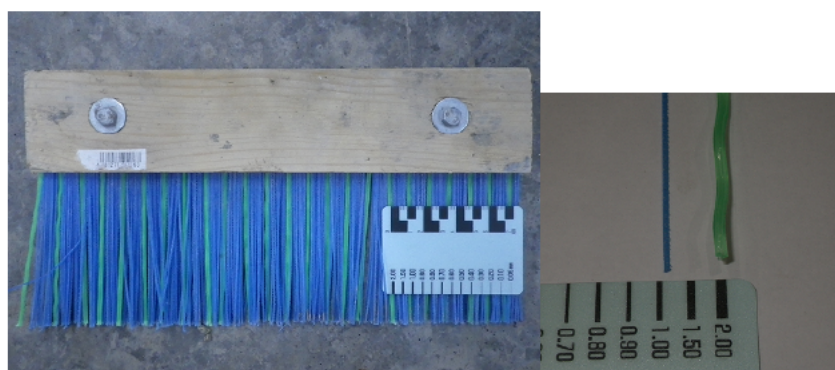


写真-2.2.1 使用したほうき

(2) コンクリートの配合

試験に用いたコンクリートの配合は、後述する舗装走行実験場で用いた 2 種類の配合のうち、粗骨材かさ容積が 0.6 のものを用いた。表-2.2.2 に主な使用材料を、表-2.2.3 にコンクリートの配合表を示す。

表-2.2.2 主な使用材料

材料	記号	種類
セメント	C	早強ポルトランドセメント (密度: 3.14g/cm ³)
細骨材	S	栃木県栃木市尻内町産砕砂 (表乾密度: 2.62g/cm ³)
粗骨材	G	栃木県栃木市尻内町産砕石 2005 (表乾密度: 2.64g/cm ³)
水	W	地下水
混和剤	SP	高性能 AE 減水剤 SF500H

表-2.2.3 コンクリートの配合

W/C (%)	粗骨材かさ容積 (m ³ /m ³)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
			W	C	S	G	SP
35	0.6	42.1	169	483	694	963	Cx0.85%

(3) 実験の手順

実験の手順は、以下のとおりである。

- 1) レディーミクストコンクリート工場で製造したコンクリートを屋外試験場にアジテータトラックにて運搬し、390mm×550mm×140mm のプラスチック製コンテナに入れ、一層で締め固める。締め固めは棒バイブレータで行い、その後こて仕上げを行う。そのとき、仕上げ補助剤を散布する供試体については

表-2.2.4 試験の水準

コンクリート表面硬さ 仕上げ補助剤散布量	硬さ：軟	硬さ：中間	硬さ：硬
なし	○	○	○
多	○	○	○
少	○	○	○

仕上げ補助剤を散布しながらこて仕上げを行う。

- 2) 表面仕上げ後から約20分間隔で3点ずつ供試体成形後2時間までN式貫入試験および鉄球落下試験を行う。試験位置は図-2.2.2に示すと通りの位置とし、右下より順次実施する。
- 3) 表面硬さが表-2.2.4に示した水準程度になった時点で、写真-2.2.1に示したほうきによる粗面仕上げを行う。ほうき目を入れた供試体の表面に“てかり”がなくなった後、ビニルシートおよび養生マットを用いて供試体表面を覆う。散水は行わない。
- 4) 材齢24時間を経過したことを確認し、粗面仕上げしたコンクリート表面のすべり抵抗を測定する。測定方法は、舗装調査・試験法便覧⁹⁾「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」に従う。

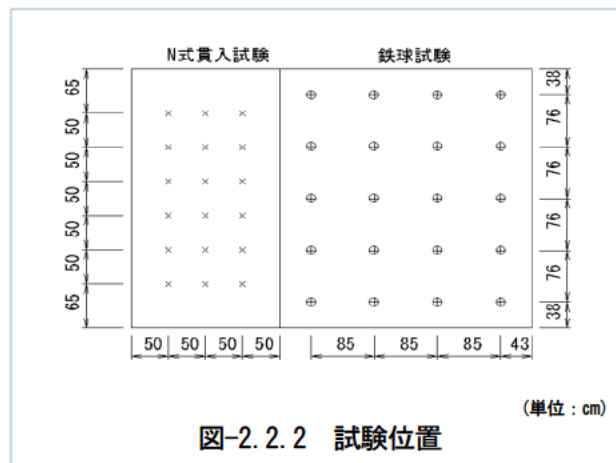


図-2.2.2 試験位置

(4) 試験結果

N式貫入試験および鉄球落下試験の結果を図-2.2.3および図-2.2.4に示す。これらの図から、N式貫入量および鉄球接地長ともに、経過時間と高い相関が認められ、コンクリート表面の硬化の程度を表す指標となり得ることが分かった。

また、N式貫入量および鉄球接地長と動的摩擦係数(60km/h時、以下、 μ_{60})の関係を図-2.2.5および図-2.2.6に示す。これらの図から、N式貫入量および鉄球接地長ともに値が小さくなると動的摩擦係数が高くなる傾向が認められる。すなわち、ほうき目を入れる時期を遅くする方がすべり抵抗性が向上することが分かった。また、仕上げ補助剤によるすべり抵抗性への影響が認められ、仕上げ補助剤を散布しない場合に比べて散布した方がすべり抵抗性は向上した。仕上げ補助剤の散布量に関しては、試験点数が少ないため、明らかにすることはできなかった。

これらの結果より、舗装走行実験場で施工する1 DAY PAVEの粗面仕上げの施工時期の目安は、試験者が施工し易いと判断した硬さ「適切」の範囲をN式貫入量では2.0～3.0cm、鉄球接地長では28.0～33.0mm（図2.2.5および図-2.2.6中の青帯の範囲）とし、やや表面が硬い印象がある「遅め」の範囲をN式貫入量では1.0cm～2.0cm、鉄球接地長では25.0～28.0mm（図2.2.5および図-2.2.6中の赤帯の範囲）とすることにした。

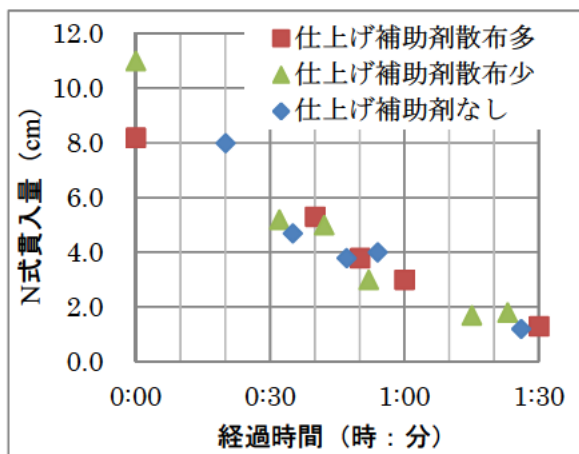


図-2.2.3 N式貫入試験の結果

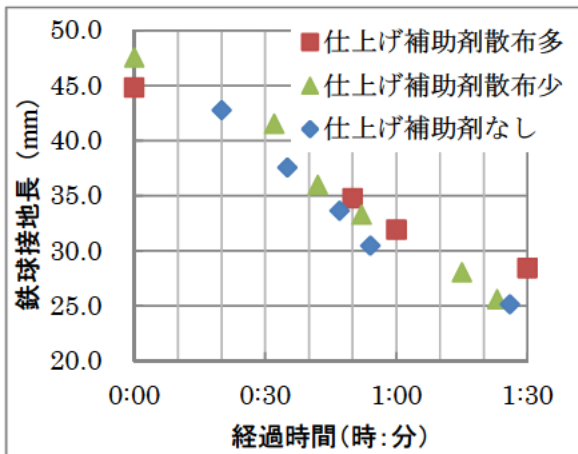


図-2.2.4 鉄球落下試験の結果

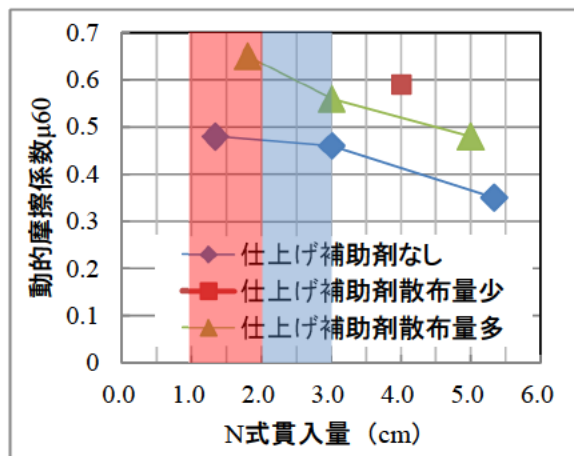


図-2.2.5 N式貫入量と動的摩擦係数の関係

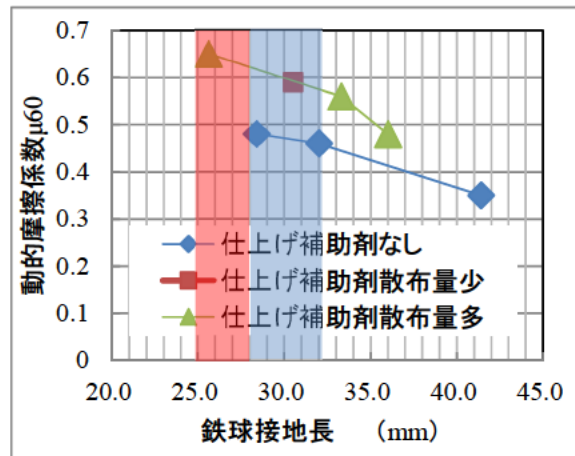


図-2.2.6 鉄球接地長と動的摩擦係数の関係

2.3 1DAY PAVE の課題改善に向けた事前検討 2 -コンクリート表面のテクスチャとすべり抵抗の関係-

2.3.1 既往の研究⁴⁾

(1) はじめに

タイヤのすべりは、路面とタイヤの間の水の存在が強く影響する。タイヤにより圧力を加えられた水は、比較的大きな凹部へ移動し、タイヤと路面が接触する。その接触部では摩擦が働く。すなわち、図-2.3.1に示すように、路面に存在する水膜の排除機構には主にマクロテクスチャ（路面波長 0.5~50 mm）が寄与し、摩擦機構には主にマイクロテクスチャ（路面波長 0.5mm 未満）が寄与しているものと考えられている^{5),6),7)}。これらのテクスチャは、粗面仕上げを行うタイミングや使用するほうき、コンクリートの配合などによって異なると考えられる。ここでは粗面仕上げによるテクスチャとすべり抵抗性の関係について、特にマイクロテクスチャに着目した実験的検討を行い、テクスチャとすべり抵抗性との関係とマイクロテクスチャの測定方法について述べる。

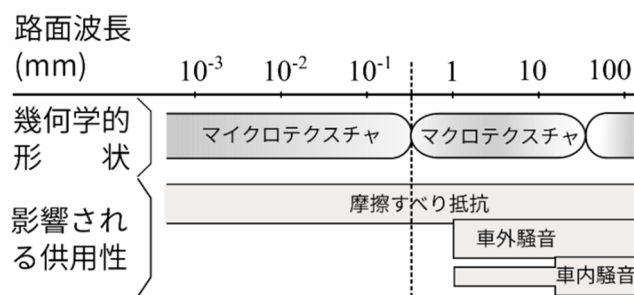


図-2.3.1 テクスチャ分類の概念図

(2) 試験方法の概要

1) 路面テクスチャの測定方法

本検討では、マクロおよびマイクロのテクスチャの定量化のため、光切断法による非接触 3 次元測定機を使用した。光切断法は、図-2.3.2に示すように、測定対象物にスリット光を照射し、対象物の凹凸に応じて歪んだ反射光を、画像解析により評価することでテクスチャを定量化する方法である。非接触であること、測定画像を連結することで広範囲の測定ができる等の特徴がある。本検討における測定条件は、レンズ倍率を 12 倍とし、測定領域を 50×50mm とした。この測定条件による測定間隔は走査する XY 方向で 24 μm、高さ (Z 方向) の表示分解能は 0.1 μm⁸⁾である。

2) 路面テクスチャの評価方法

路面のテクスチャの粗さを示す指標として、下記に示す面の算術平均高さ S_a (ISO 25178 準拠) を算出した。 S_a は、プロファイルの平均高さを基準に凸部および凹部の体積を足し合わせ、その体積を測定領域の面積で割った数値であり、高さとして示される指標であり、式 (2.3.1) のように表現できる。

$$S_a = \frac{1}{A} \int \int_A |Z(x, y)| dx dy \quad \dots \dots \dots \text{式 (2.3.1)}$$

ここで

- Sa : 平均高さ
- Z : 高さ
- A : 測定面積
- X : 走行方向座標
- Y : 幅員方向座標

計測した断面曲線から直接算出した Sa は、測定領域に含まれる全ての波長の凹凸を含むことから、波長の大きな凹凸による影響が大きいと考えられる。このため、これをマクロテクスチャによる Sa (Sa-ma) とした。また、図-2.3.3 に示す概念図のように計測した断面曲線にガウシアンフィルター処理を行い、波長 0.5mm を基準としたうねり曲線を算出し、このうねり曲線を計測断面曲線から差し引くことで、波長 0.5mm 未満の凹凸による粗さ曲線を算出した。その粗さ曲線から式 (2.3.1) より Sa を算出し、これをマイクロテクスチャによる Sa (Sa-mi) とした。

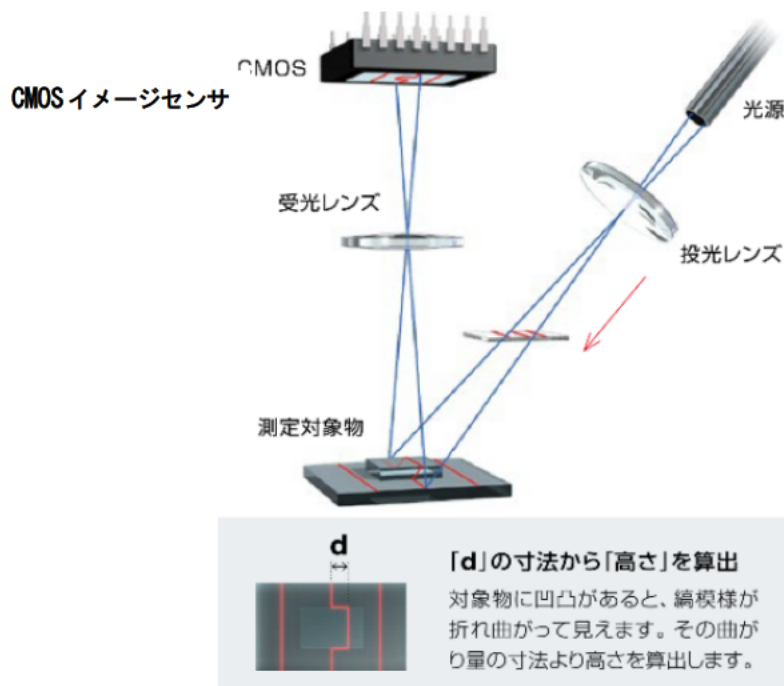


図-2.3.2 光切断法の測定原理⁷⁾

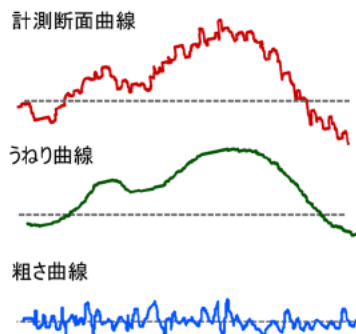


図-2.3.3 マイクロテクスチャの算出のためのうねり除去の例

3) 路面のすべり抵抗性の測定方法

すべり抵抗性の測定は、舗装調査・試験法便覧⁹⁾の 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」に準拠し、BPN の測定を行った。

4) テクスチャとすべり抵抗性との関係

粗面仕上げの時期、水セメント比および砂セメント比などを変化させ、テクスチャを変化させ、マクロテクスチャによる Sa (以下、Sa-ma)、マイクロテクスチャによる Sa (以下、Sa-mi) および BPN の計測を行った。供試体には、主にモルタルを用いたが、一部の結果でコンクリート供試体と実道のコア供試体を対象とした結果が含まれる。マクロテクスチャの Sa-ma とすべり抵抗性 (BPN) との関係を図-2.3.4 に、マイクロテクスチャの Sa-mi と BPN との関係を図-2.3.5 に示す。図に示す検討(i)および(ii)は、文献^{10,11)}のデータである。

図-2.3.4 から明らかなように、マクロテクスチャの Sa-ma と BPN には明確な関係性は認められない。一方、図-2.3.5 に示すように、マイクロテクスチャの Sa-mi の増加に伴って BPN が高くなることがわかる。これらの結果から、路面のすべり抵抗性を適切に確保するために重要なことは、十分なマイクロテクスチャを形成することであると考えられる。

図中のデータである検討(ii)の結果について、粗面仕上げ時期とテクスチャの形成状況を図-2.3.6 に、使用したほうきを写真-2.3.1 に示す。粗面仕上げ時期によって面の算術平均高さは異なり、仕上げ時期が遅いほどマクロテクスチャは小さくなった。これは、コンクリートの凝結にともない、ほうきによるマクロテクスチャの形成が困難となったためと考えられる。また、マイクロテクスチャ Sa-mi にも同様の傾向が認められるが、砂セメント比が 1.2 の場合は、接水後 3.5 時間までは仕上げ時期が遅いほど Sa が増加している。これらの結果から、モルタル表面の硬さとほうきの穂の硬さに応じて、適切な粗面仕上げ時期があるものと推察される。

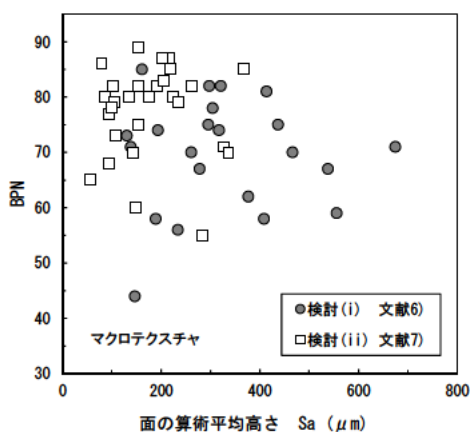


図-2.3.4 マクロテクスチャの Sa (Sa-ma) と BPN の関係

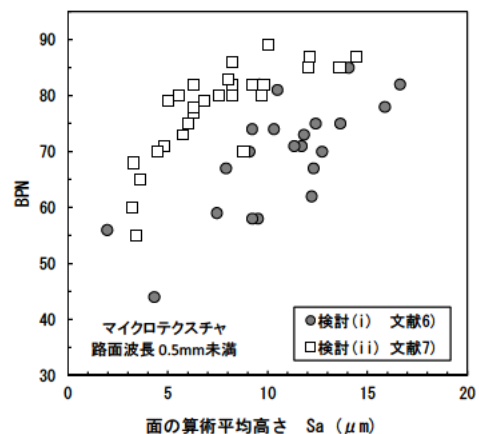


図-2.3.5 マイクロテクスチャの Sa (Sa-mi) と BPN の関係

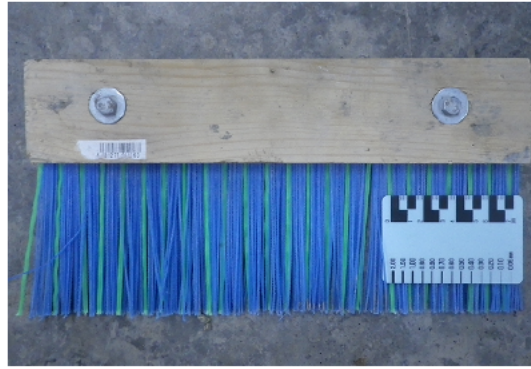
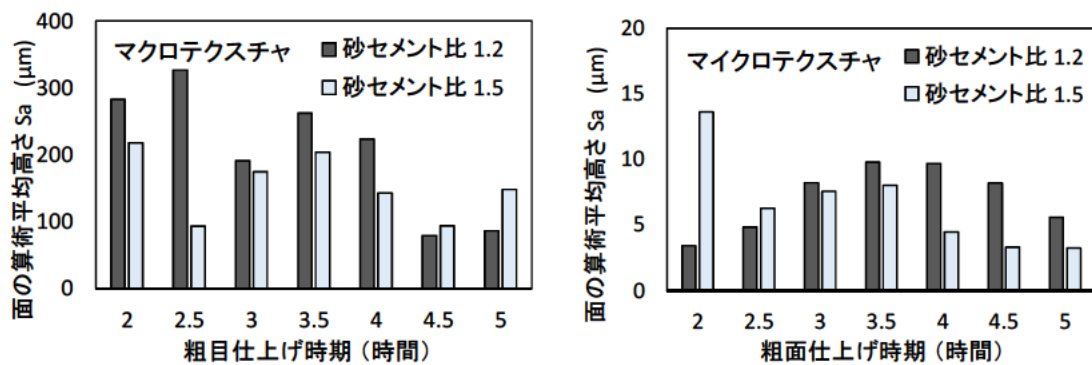


写真-2.3.1 粗面仕上げに用いたほうき



(a) マクロテクスチャの Sa (Sa-ma)

(b) マイクロテクスチャの Sa (Sa-mi)

図-2.3.6 粗面仕上げ時期と Sa の関係 (水セメント比 35%)

(3) 現場で測定可能なマイクロテクスチャ測定方法

先に紹介した非接触 3 次元測定機は、現場での使用が難しく供用中の路面のマイクロテクスチャを測定するには、現場からコア供試体を採取し、実験室まで運搬して測定しなければならない。今後、より多くの実用的なデータを蓄積するためには、供用中の路面のマイクロテクスチャを現場で測定できる方法が必要と考え、新たな測定方法を検討した。

新たな測定方法は、ラインレーザ変位計を用いることとした (レーザ法と称す)。線状のレーザを測定対象に照射し、センサヘッドを移動させてテクスチャを測定した。この時、ラインレーザが照射する測線の方向と移動方向を同一とし、連続する測定箇所を重複させた。この重複区間の形状を元に、各測定結果のずれを補正しながらデータの結合を行い、断面曲線を測定した。計測結果は線状のプロファイルであるため、前述の面の算術平均粗さ Sa と同様の概念で、線の算術平均高さ Ra を算出した。ラインレーザ変位計は、測定距離分解能が異なる 2 つのセンサヘッドを用いた。測定距離分解能が 10μm のセンサヘッドの特徴は、プロファイルの再現性は高いが、高さの測定範囲が±2.3mm と狭い。もう一方のセンサヘッドは、測定距離分解能が 20μm と低い、高さの測定範囲が±7.6mm と広いという特徴がある¹²⁾。

光切断法で測定した Ra とレーザ法で測定した Ra の比較を図-2.3.7 に示す。この図より、ラインレーザ変位計を用いたレーザ法は、切断法による測定結果と同様な結果を得ることができることを確認した。また、測定距離分解能が 10μm のセンサヘッドで測定した Ra の方が大きくなることから、分解能を高くすること

によって、より精度よくテクスチャを評価できることが分かった。光切断法の測定距離分解能は、本検討における測定条件では $24\mu\text{m}$ であるため、測定間隔 $20\mu\text{m}$ のセンサヘッドによる測定結果との相関がより高い結果となった。

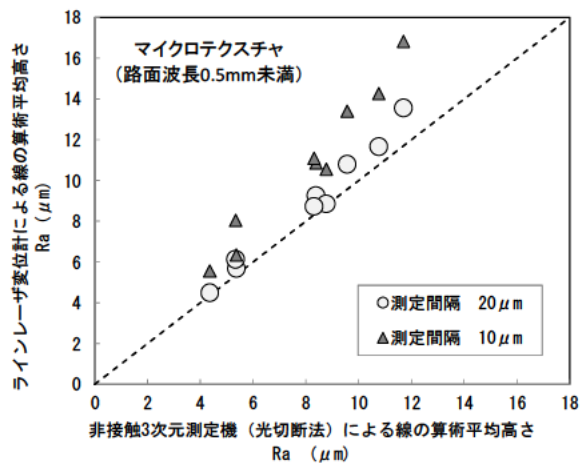


図-2.3.7 非接触3次元測定機とラインレーザ変位計による測定結果の比較⁸⁾

2.3.2 1DAY PAVE のテクスチャとすべり抵抗の関係の検討

2.2.1の試験で動的摩擦係数を測定したいくつかの供試体を対象にテクスチャの測定を行った。測定は、供試体から採取したコアを用いて、光切断法により測定した。図-2.3.8および図-2.3.9、表-2.3.5は、テクスチャの測定データからマクロテクスチャおよびマイクロテクスチャに着目した算術平均粗さ Sa-ma および Sa-mi と動的摩擦係数 μ_{60} の関係を仕上げ補助剤の有無で整理し示した。

これらの図から、既往の研究と同様にマクロテクスチャの Sa-ma と μ_{60} との間の相関関係は低いが、マイクロテクスチャの Sa-mi と μ_{60} は比較的高い相関関係が認められるとともに、ほうき目を入れる時期は遅めの方がすべり抵抗性が高い傾向が認められた。

以上より、仕上げ補助剤を用いたコンクリートの路面はマイクロテクスチャが形成し易く、すべり抵抗性が高い路面を確保し易くなると考えられる。

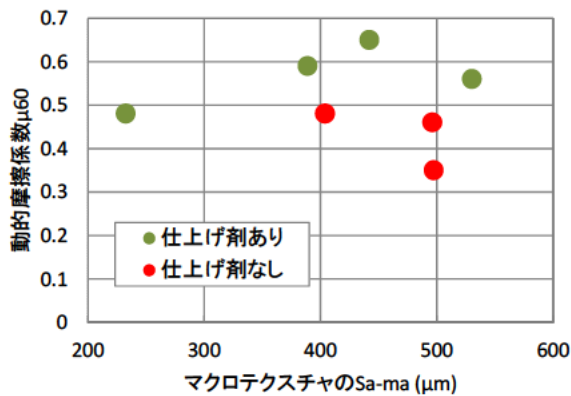


図-2.3.8 Sa-ma と動的摩擦係数の関係

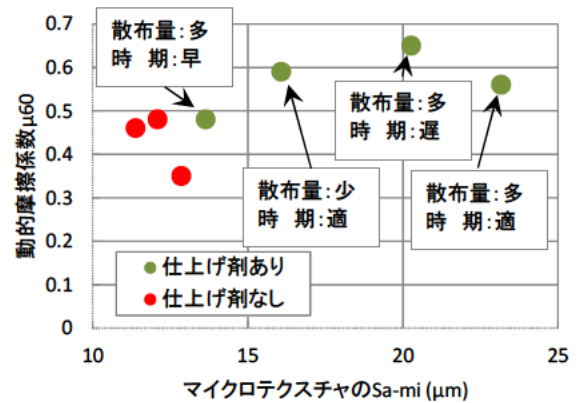


図-2.3.9 Sa-mi と動的摩擦係数の関係

表-2.2.5 試験結果

仕上げ補助剤の 散布量	仕上げの 時期	仕上げ時		動的摩擦係数				マクロ テクスチャ	マイクロ テクスチャ
		N式 貫入量 (cm)	鉄球 接地長 (mm)	20km/h (μ_{20})	40km/h (μ_{40})	60km/h (μ_{60})	80km/h (μ_{80})	Sa-ma (μm)	Sa-mi (μm)
なし	早	5.3	41.4	0.35	0.35	0.35	0.4	497.58	12.86
	中	3.0	32.0	0.44	0.44	0.46	0.49	496.28	11.39
	遅	1.3	28.4	0.47	0.46	0.48	0.5	404.16	12.1
多	早	5.0	36.0	0.49	0.47	0.48	0.52	232.8	13.65
	中	3.0	33.3	0.54	0.55	0.56	0.61	530.3	23.17
	遅	1.8	25.6	0.63	0.63	0.65	0.67	442.26	20.27
少	中	4.0	30.5	0.56	0.56	0.59	0.64	388.98	16.08

2.4 舗装走行実験場での施工試験(その1)

2.4.1 施工概要

2.2の検討結果を実証するために、土木研究所所有の舗装走行実験場に1DAY PAVEを施工し、荷重車の走行輪数が1DAY PAVEのすべり抵抗性の持続性(耐久性)に及ぼす影響を調査した。1DAY PAVEの施工は2回実施し、第1回目の施工は2016年3月23日、第2回目の施工は2019年3月14日に行った。ここでは第1回目の施工と荷重車の走行輪数(以下、通過輪数)が49kN換算輪数で100万輪までのすべり抵抗性結果について述べる。

1DAY PAVEの施工面積は50m²(幅員5m×延長10m)、コンクリートの配合は粗骨材かさ容積をパラメータに2種類とした。粗面仕上げはそれぞれの配合に対して4種類実施した。施工した1DAY PAVEの平面図を図-2.4.1に示す。配合No1とNo2の境界は目地を設け、ダウエルバーで補強し、厚さ約20mmの仕切り板を設置し、配合No1とNo2のコンクリートを完全に分離した。コンクリートの版厚は25cmとした。また、本舗装と隣接する既設のコンクリート舗装および既設のアスファルト舗装との境界は突合せ目地とし、目地補強は行っていない。なお、隣接するアスファルト舗装はその後コンクリート舗装(Facet)に打換えられたが、目地部補強は行っていない。

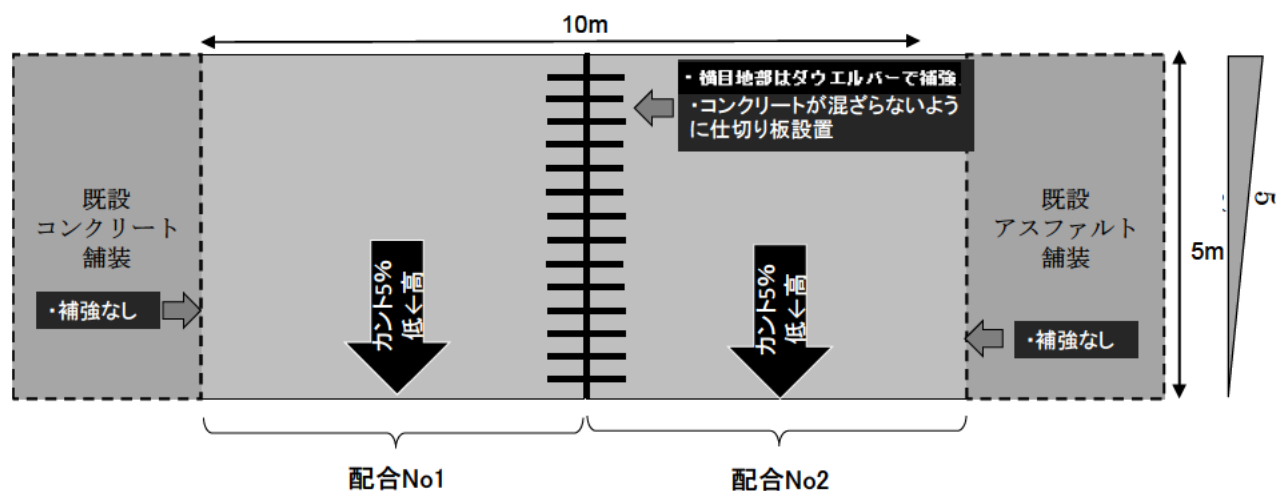


図-2.4.1 舗装走行実験場に施工した1DAY PAVE試験舗装(平面図)

(1) コンクリートの配合

一般に舗装用コンクリートは直接車両からのすり減り作用を受けるため、粗骨材量が一般のコンクリートよりも多く、文献¹³⁾によれば、砕石を用いる場合の単位粗骨材かさ容積の標準値は0.73m³/m³である。一方、1DAY PAVE用コンクリートのスランプは舗装用コンクリートに比べて著しく大きく、このようなスランプを有する普通コンクリートは通常、細骨材率 s/a で配合設計する。その値は45%前後であることを勘案して、今回の試験に用いたコンクリートの配合は、粗骨材かさ容積を0.6および0.7m³/m³の2種類とした。また、セメントは早強ポルトランドセメントを用い、水セメント比は35%とした。目標スランプは、舗装走行実験場の横断勾配5%を勘案して、当該コンクリートの施工性を日本道路(株)の合材プラント内ヤードで確認し、15cmとした。目標空気量は4.5%とした。これらの配合条件により配合設計を行った。主な使用材料は表

-2.4.1 に、コンクリートの配合を表-2.4.2 に示す。現着時のスランプおよび空気量、材齢 24 時間および材齢 7 日の曲げ強度試験結果は表-2.4.3 に示す。生コンの製造は小山レミコン(株)下妻工場で行った。また、施工は日本道路(株)が行った。写真-2.4.1 に現着時のスランプ試験の状況を示す。単位粗骨材かさ容積が $0.7\text{m}^3/\text{m}^3$ の配合のコンクリートは、スランプの形状からわかるようになかなか荒々しかった。一般にスランプが 15cm と軟練りの場合、s/a は 45%程度以上であるため、そのようなコンクリートのスランプ形状に慣れている技術者の一部には、本コンクリートのスランプの形が悪いことより問題のある配合であると懸念される可能性があるが、敷均しや締固め、表面仕上げなどの施工性は、単位粗骨材かさ容積が $0.6\text{m}^3/\text{m}^3$ と同様に全く問題なかった。



(1) 単位粗骨材かさ容積 $0.6\text{ m}^3/\text{m}^3$ (配合 1) の場合 (2) 単位粗骨材かさ容積 $0.7\text{ m}^3/\text{m}^3$ (配合 2) の場合
写真-2.4.1 スランプ試験状況

表-2.4.1 主な使用材料

材料	記号	種類
セメント	C	早強ポルトランドセメント (密度: $3.14\text{g}/\text{cm}^3$)
細骨材	S	栃木県栃木市尻内町産砕砂 (表乾密度: $2.62\text{g}/\text{cm}^3$)
粗骨材	G	栃木県栃木市尻内町産砕石 2005 (表乾密度: $2.64\text{g}/\text{cm}^3$)
水	W	地下水
混和剤	SP	高性能 AE 減水剤 SF500H

表-2.4.2 コンクリートの配合

配合	W/C (%)	単位粗骨材かさ容積 (m^3/m^3)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m^3)				
				W	C	S	G	SP
No1	35	0.6	42.1	169	483	694	963	0.85%※
No2	35	0.7	32.4	169	483	535	1123	0.75%※

※セメント量に対する質量百分率

表-2.4.3 主な試験結果

配合	現着時のフレッシュ性状		曲げ強度(N/mm ²)	
	スランプ(cm)	空気量(%)	材齢 24 時間 (現場養生)	材齢 7 日 (標準養生)
No1	14.5	3.8	4.68	8.24
No2	13.5	3.8	4.59	8.34

(2) コンクリートの打設および締固め、平たん仕上げ、こて仕上げ方法

コンクリートの施工方法は人力施工とした。荷下ろしは、アジテータトラックの筒先より直接行った。荷下ろしされたコンクリートはスコップおよびバックホウにより敷均しされ、フレキシブルパイププレートにより締め固められた。平たん仕上げは簡易フィニッシャを用いて実施した。その後一部のコンクリートは仕上げ補助剤を散布し、こて仕上げを実施した。

(3) 粗面仕上げおよび養生方法

粗面仕上げ方法は、配合 No1 および No2 とともに、表-2.4.4 に示す 4 種類の方法で行った。その区割りは図-2.4.2 に示すとおりである。こて仕上げ後の粗面仕上げの時期は、2.2. 事前検討 1 で行った N 式貫入試験および鉄球落下試験結果により定めた。これら試験は、コンクリート版の打設と同時に作製した、縦横が 390mm×550mm、深さ 140mm のプラスチック製コンテナを型枠としたコンクリート供試体を用いて実施した。また、粗面仕上げ時に使用したほうきは 2.2. 事前検討 1 と同一の材質で、幅約 1.0m のものとした。粗面仕上げ方法の主な手順を以下に記す。

標準工法は、仕上げ補助剤を用いなかった。粗面仕上げの時期は、「適切」とし、粗面仕上げ後、被膜養生剤をメーカー規定量散布した。その後表面がある程度硬化したことを確認し、ビニルシートを敷設した。

骨材露出工法のほうき目を入れる時期も標準工法と同様に、「適切」とした。粗面仕上げ後、骨材露出のために凝結遅延剤マスターポゾリス No.89 (BASF 社製) を 190mL/m² 散布し、ビニルシートを敷設した。

提案工法 1 はほうきによる粗面仕上げの施工時期を「適切」に、提案工法 2 は「遅め」とした。その具体的な評価方法とその基準値は表-2.4.4 に示した。この基準値に従い粗面仕上げを行った後、表面がある程度硬化したことを確認し、水分の逸散を防止するためにビニルシートを敷設した。

ビニルシートを全面に敷設した上に、スポンジタイプの養生マットを 2 重で敷設し、さらにブルーシートで覆った。また、骨材露出工法の箇所においては、NEXCO 試験法 235-2001 「骨材露出工法における表面硬さの測定方法」に準じて、コンクリート表面硬さを測定し、硬さが 35 に達した時点でデッキブラシを用いて骨材を露出させた。なお、仕上げ補助剤の使用量は、いずれの場合も 2.2. 事前検討 1 で規定した「少」に相当する量を、散布器を用いて散布した。「少」にした理由は、それ以上撒いてもコンクリート表面を伝って排水されるためである。

表-2.4.4 粗面仕上げの種類ごとの評価方法とその基準値

工法名	仕上げ補助剤の使用	ほうきによる粗面仕上げの施工時期の目安			その他薬剤の使用
		指標	評価方法と基準値		
			N式貫入試験	鉄球落下試験	
標準	不使用	適切	2.0~3.0cm	28.0~33.0mm	被膜養生剤を使用
骨材露出	不使用	適切	2.0~3.0cm	28.0~33.0mm	凝結遅延剤を使用
提案1	使用※	適切	2.0~3.0cm	28.0~33.0mm	不使用
提案2	使用※	遅め	1.0~2.0cm	25.0~28.0mm	不使用

※散布量：116mL/m²散布。仕上げ補助剤を水とみなし、こて仕上げにより、コンクリート表面から5mmまで仕上げ補助剤が浸透すると仮定し、W/Cが40%になるよう散布量を決定した。

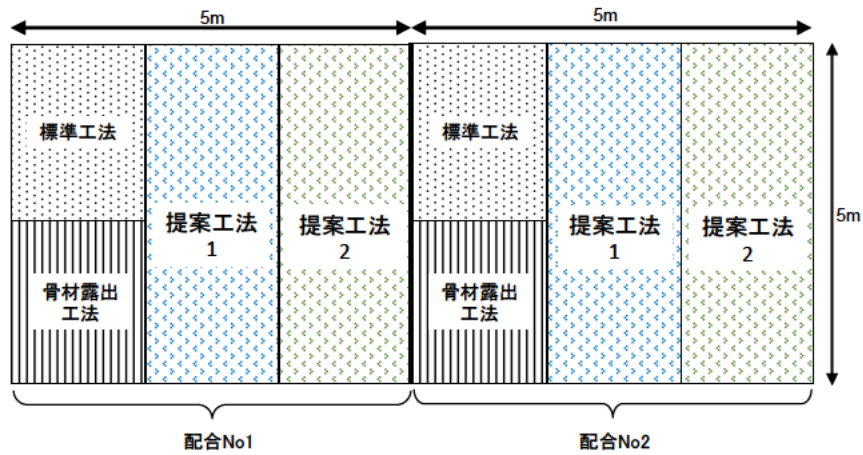


図-2.4.2 粗面仕上げ方法の種類と区割り（平面図）

本試験施工の施工フロー（主に提案工法）を図-2.4.3に示す。また、N式貫入試験および鉄球落下試験結果と粗面仕上げ時期を表-2.4.5に示す。

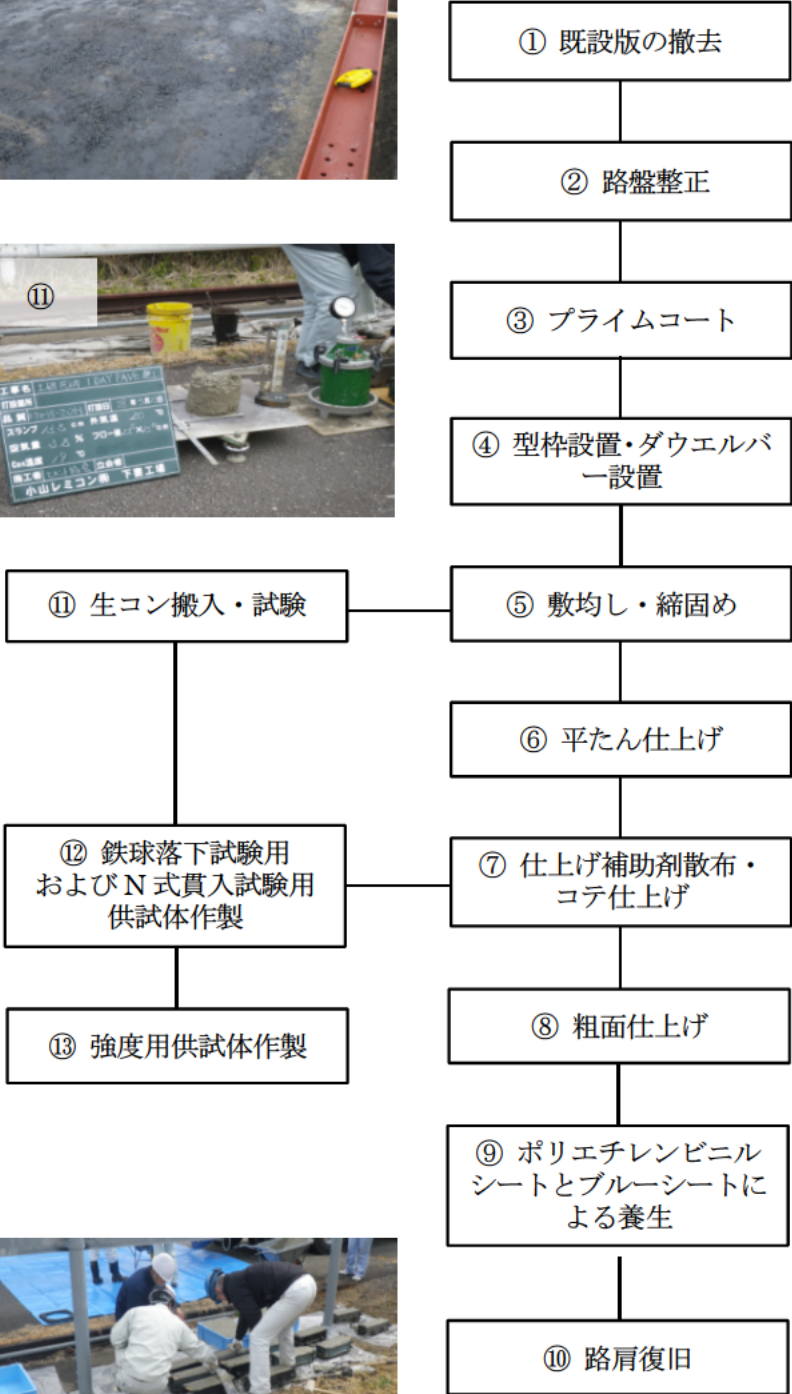
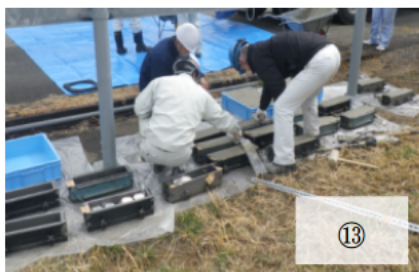


図-2.4.3 施工フロー

表-2.4.5 N式貫入試験および鉄球落下試験結果と粗面仕上げ時期

コンクリート	粗面仕上げ種類	時刻	経過時間	N式貫入量 (cm)	鉄球接地長 (mm)	粗面仕上げ (○のとき実施)
配合 No1 (粗骨材かさ 容積 0.6)	標準	9:20	0:00	-	-	
		9:53	0:33	6.5	-	
		10:00	0:40	-	39.09	
		10:15	0:55	3.2	34.08	
		10:25	1:05	2.7	29.79	○ (標準)
	提案 1 および 提案 2	9:37	0:00	-	-	
		10:10	0:33	7.5	44.71	
		10:28	0:51	6.0	-	
		10:40	1:03	3.2	-	
		10:41	1:04	-	36.45	
		10:49	1:12	2.8	-	
		10:50	1:13	-	34.08	
		10:59	1:22	2.5	-	
		11:00	1:23	-	30.86	○ (提案 1)
		11:11	1:34	2.0	-	
		11:12	1:35	-	27.91	
		11:21	1:44	1.0	-	
		11:22	1:45	-	25.83	○ (提案 2)
		配合 No2 (粗骨材かさ 容積 0.7)	標準	11:57	0:00	-
12:21	0:24			5.5	-	
12:22	0:25			-	39.35	
12:37	0:40			4.0	-	
12:38	0:41			-	34.08	
12:51	0:54			2.7	-	
12:52	0:55			-	28.37	○ (標準)
13:06	1:09			1.3	26.92	
提案 1 および 提案 2	12:08		0:00			
	12:35		0:27			
	12:40		0:32	7.2		
	12:41		0:33	-	45.14	
	12:53		0:45	5.8		
	13:04		0:56	3.8	37.99	
	13:15		1:07	2.8	34.98	
	13:22		1:14	2.3	30.46	○ (提案 1)
	13:31		1:23	-	27.69	
	13:41		1:33	1.2		
	13:42		1:34	-	24.26	○ (提案 2)

※N式貫入量の範囲：2.0～3.0cm（標準および提案工法1）、1.0～2.0cm（提案工法2）

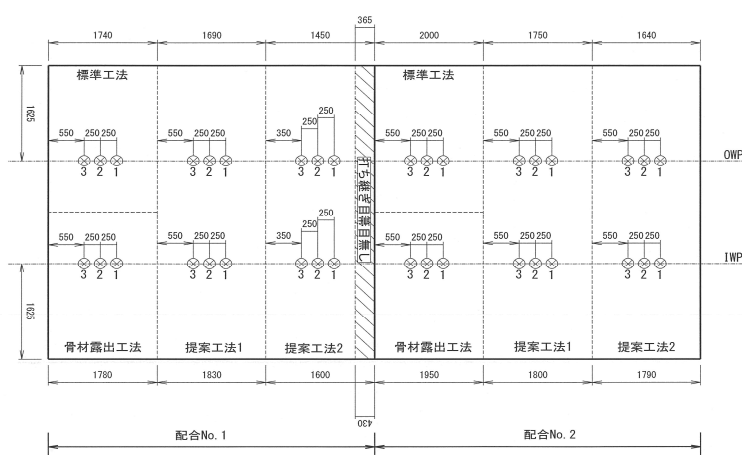
※鉄球接地長の範囲：28.0～33.0mm（標準および提案工法1）、25.0～28.0mm（提案工法2）

2.4.2 走行試験の概要

走行試験の概要は、1.3.3 に示したとおりである。

2.4.3 すべり抵抗性の測定方法とテクスチャの測定方法

すべり抵抗の測定については、舗装調査・試験法便覧⁹⁾「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」に準じ、動的摩擦係数を測定した。マクロテクスチャ測定は、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」に準じた。マイクロテクスチャの測定は、走行試験前の初期値測定時にレーザ法の機材を調達できなかったため、換算輪数 8.5 万回時に、配合 No1 のみ、非走行位置（版幅員方向縁部から 500mm の位置）からコア供試体を採取して、2.3.1 に示した光切断法でマイクロテクスチャを測定し、初期値とみなした。



(単位:mm)

図-2.4.4 測定箇所の詳細

2.4.4 試験結果および考察

(1) 曲げ強度に及ぼす仕上げ補助剤の影響

仕上げ補助剤の使用が曲げ強度に及ぼす影響を確認した。その確認試験の概要は、試験舗装と同じ規定量の仕上げ補助剤を散布した寸法 100mm×100mm×400mm の曲げ供試体と仕上げ補助剤を使用しない供試体とを用いて、載荷面（引張応力が発生する面）を打設底面にして曲げ強度試験を行い、曲げ強度を比較した。養生条件は現場養生、材齢は 27 時間である。なお、載荷面を打設底面にした以外は、JIS A 1106 の試験方法に準じた。試験の結果を表-2.4.6 に示す。本表より、仕上げ補助剤の使用は曲げ強度の低下要因にならないことが認められた。

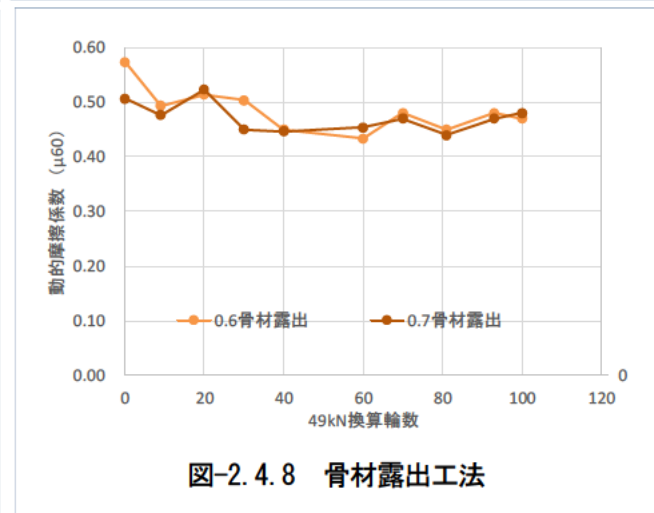
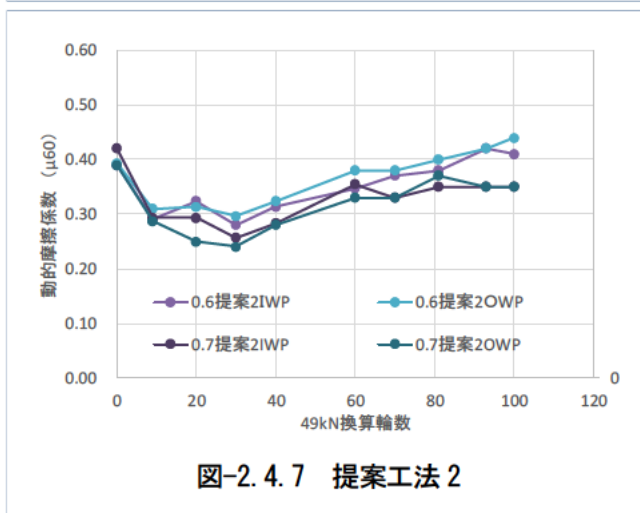
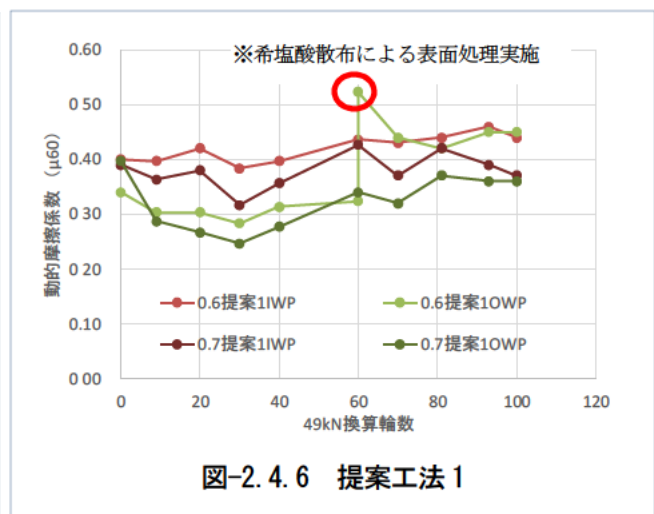
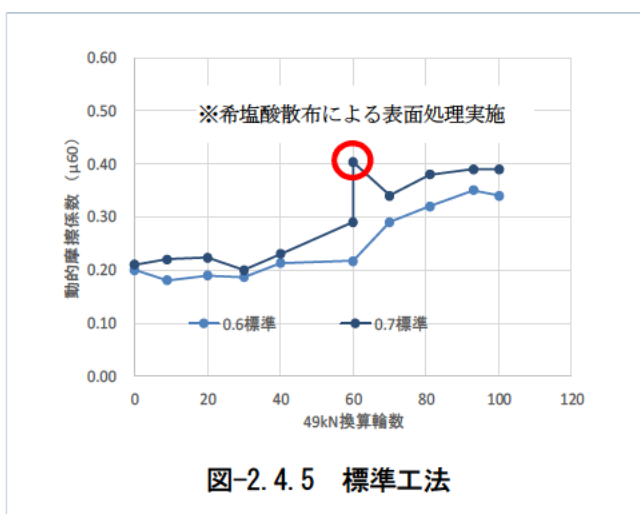
表-2.4.6 曲げ強度試験結果

配合	仕上げ補助剤	曲げ強度 (現場養生、27 時間材齢)
配合 No1	なし	5.30N/mm ²
	あり	5.46N/mm ²
配合 No2	なし	5.33N/mm ²
	あり	5.62N/mm ²

(2) 走行試験に伴うすべり抵抗の経時変化

ここでは、走行試験開始から約2年、荷重車通過回数が49kN換算輪数で100万輪までのデータについて取りまとめた結果と考察を述べる。

まず粗面仕上げの種類ごとの速度60km/hの動的摩擦係数(以下、 μ_{60})と49kN換算輪数の関係を図-2.4.5～図-2.4.8に示した。図-2.4.5は標準工法(仕上げ補助剤:なし、粗面の施工時期:適、膜養生剤使用)の場合であり、図-2.4.6は提案工法1(仕上げ補助剤:あり、粗面の施工時期:適)、図-2.4.7は提案工法2(仕上げ補助剤:あり、粗面の施工時期:遅)および図-2.4.8は骨材露出工法の場合である。なお、いずれの図もコンクリートの配合は単位粗骨材かさ容積が0.6および0.7 m^3/m^3 の結果を併記するとともに、提案工法1および2はOWPとIWPの測定結果を併記した。また、図中の※は動的摩擦係数測定後、希塩酸を用いて表面処理を実施し、直ちに動的摩擦係数を測定した結果である。



これらの図から以下のことが明らかになった。

- 1) 各粗面仕上げの種類にかかわらず、単位粗骨材かさ容積の違いによるすべり抵抗性への影響はほとんど認められなかった。
- 2) 標準工法の μ_{60} の初期値は、著しく小さく、0.2～0.21であった。しかし、走行実験の経過輪数増大に伴いすべり抵抗性は向上し、49kN換算輪数で100万輪時では、 μ_{60} は0.34～0.39となった。

- 3) 提案工法1の走行試験前の $\mu 60$ は、2.2.事前検討1で実施した小規模実験で得られた $\mu 60$ よりもやや小さく0.39~0.42であった。走行試験開始後、通過輪数が49kN換算で30万輪程度まで、OWPで測定した $\mu 60$ は低下する傾向であった。しかし、IWPのそれはほとんど低下しなかった。40万輪以降では測定位置にかかわらず、すべり抵抗性は概ね増加傾向を示し、100万輪時で $\mu 60$ は0.36~0.44となった。
- 4) 提案工法2の走行試験前の $\mu 60$ は0.39~0.42で、提案工法1と同様、2.2.事前検討1よりもやや小さい値だった。走行試験開始後、通過輪数が49kN換算で20万輪から30万輪程度までは、コンクリートの種類や測定位置にかかわらず、 $\mu 60$ は小さくなる傾向を示した。その後は、標準工法や提案工法1と同様に、すべり抵抗性は増加傾向を示し、100万輪時で動的摩擦係数 $\mu 60$ は0.35~0.47となった。
- 5) 骨材露出工法の動的摩擦係数 $\mu 60$ は、初期値から100万輪走行後まで終始高い値を示し、その値は0.43~0.57であった。

このように提案工法1および2は、走行開始後初期の段階で、一部を除いて、一時的にすべり抵抗は低下するが、その後通過輪数が増加に伴いすべり抵抗は増加することがわかった。すべりに関する維持修繕要否判断の目標値は、舗装維持修繕要綱¹⁴⁾によれば、交通量の多い一般道路、湿潤状態、時速60km/hの条件下ですべり摩擦係数は0.25であり、今回の試験結果と比較すると特に走行開始初期で課題が残ったといえる。

提案工法1および2の走行前 $\mu 60$ が、2.2.事前検討1で得られた $\mu 60$ よりも小さかったので、その原因について考察した。

図-2.4.9は、光切断法によるマイクロテクスチャ Sa-mi の測定結果と $\mu 60$ （走行前）の関係を示したものである。ここで、提案工法1および2の $\mu 60$ は、IWPとOWPからの測定結果の平均値を用いた。この図から、これまでと同様に動的摩擦係数とマイクロテクスチャには相関が認められた。そこで、この結果を2.2.事前検討1で得られた結果と比較した。図-2.4.10は、図-2.4.9に図-2.3.9の結果をプロットしたものである。この図からわかるように、今回の施工ではマイクロテクスチャの生成量が少ないために、動的摩擦係数が小さくなったことが明らかになった。

マイクロテクスチャの生成が少ない理由は、ほうきによる粗面仕上げの施工不良がその一つであると思われる。事前検討と舗装走行実験場への施工とでは、粗面仕上げに用いたほうきの種類は同一である。しかし、

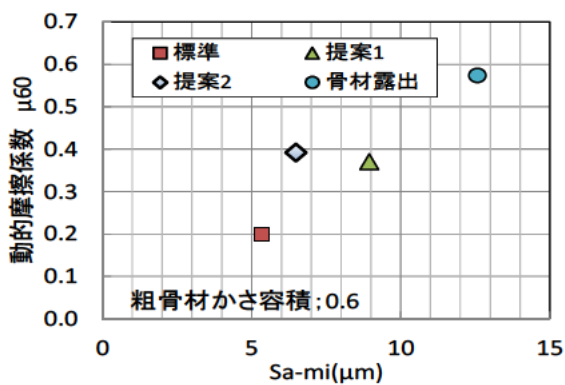


図-2.4.9 $\mu 60$ と Sa-mi の関係（走行前初期値）

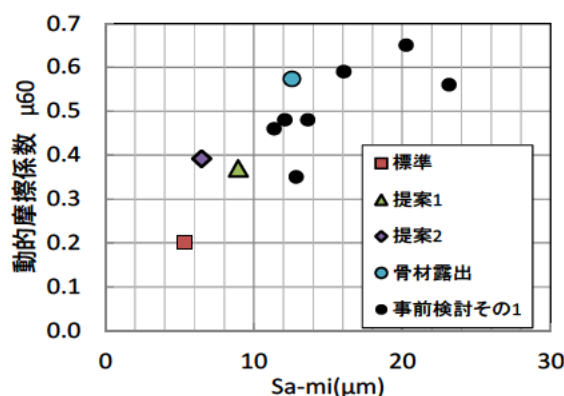


図-2.4.10 $\mu 60$ と Sa-mi の関係
(事前検討1との比較)

舗装走行実験場での粗面仕上げの状況は図-2.4.3⑧の状況写真で明らかのように、作業者が持ったほうきに

より粗面仕上げを行う際、作業台の高さや位置の影響で、十分力が入るような姿勢が確保できなかったことがあげられる。これにより、コンクリート表面に十分なマイクロテクスチャを含む粗面を作れなかったものと思われる。

また、標準工法において走行前の $\mu 60$ は0.2程度であり、提案工法よりもさらに小さかった。この理由として考えられることは、提案工法と同様に粗面仕上げによるマイクロテクスチャが生成されなかったことに加えて、膜養生剤散布後のビニルシート敷設時期が早かったため、膜養生剤の散布でやや軟化したコンクリート版表面のモルタル分にビニルシートが接触し、粗面が平滑化した可能性があると思われる。

また先に述べたように、**図-2.4.6**に示す提案工法1での $\mu 60$ は、IWPでは通過輪数が増加してもほとんど低下することはなかったが、OWPでは30万輪までは低下傾向であった。この理由について検討を行った。

コンクリートの配合No1で提案工法1によるIWPのコンクリート表面を**写真-2.4.2**に、OWPのコンクリート表面を**写真-2.4.3**に示す。これらの写真から、OWPのコンクリート表面はIWPのそれに比べると、明らかにマクロテクスチャが少ないことがわかる。ここで、 $\mu 60$ （左軸）およびCTメータによる平均プロフィール深さ（MPD、右軸）と通過輪数との関係を**図-2.4.11**、**図-2.4.12**に示した。ここで、**図-2.4.11**はIWPでの測定結果であり、**図-2.4.12**はOWPでの測定結果である。

図-2.4.11より、IWPのMPDは、概ね走行前初期値が0.4~0.5mmであり、通過輪数の増加によりやや下がり、49kN換算輪数100万輪では0.3mm程度であった。 $\mu 60$ は、配合2（かさ容積0.7）の30万輪通過時の測定結果を除けば、概ね0.4~0.5と良好であった。一方、**図-2.4.12**のOWPのMPDは0.2mm程度と小さく走行による低下もほとんどないが、**写真-2.4.3**に示すように、元々凹凸がなかったため、変化がなかったものと思われる。このような表面形状の場合は、通過輪数が30万輪までは、一時的とはいえ、 $\mu 60$ は0.25程度まで低下する。同様に、**図-2.4.13**に示す提案工法2の場合も、提案工法1のOWPと同じように、MPDが0.2~0.3mmと小さく、 $\mu 60$ も通過輪数30万輪までは低下し、一時的ではあるが、0.3を下回った。このように、マクロテクスチャもある程度存在しなければ、すべり抵抗も走行安全性を失う域まで低下する可能性が示唆された。また、IWPとOWPとでコンクリート表面テクスチャが異なる理由として考えられることは、幅員5mの区間をIWP側からOWP側にほうきを引き、粗面仕上げするため、OWPに向かうに従い、ほうきにモルタル残さが付着し、OWP側で粗面生成が阻害されたものと考えられる。これはほうきの厚みが不足していたことも一因と思われる。

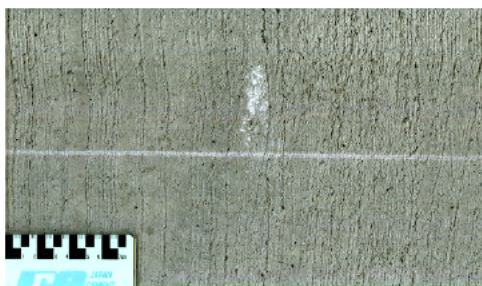


写真-2.4.2 配合 No. 1, 提案工法 1, IWP



写真-2.4.3 配合 No. 1, 提案工法 1, OWP

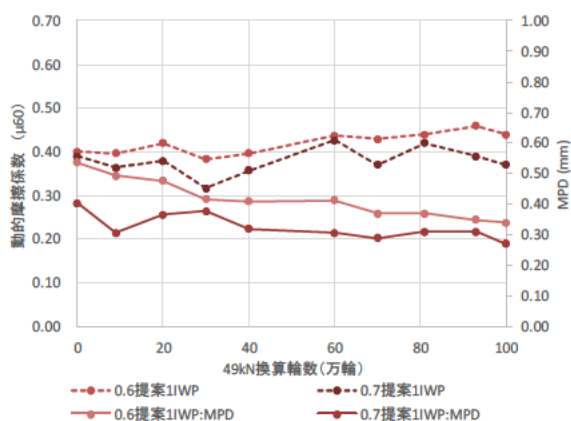


図-2.4.11 $\mu 60$ および MPD と通過輪数の関係
(提案工法 1、測定位置 IWP)

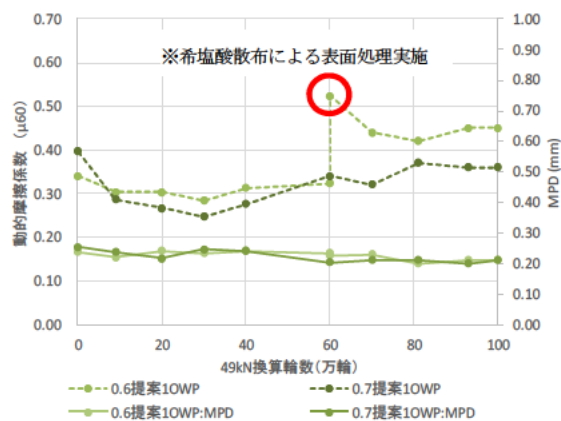


図-2.4.12 $\mu 60$ および MPD と通過輪数の関係
(提案工法 1、測定位置 OWP)

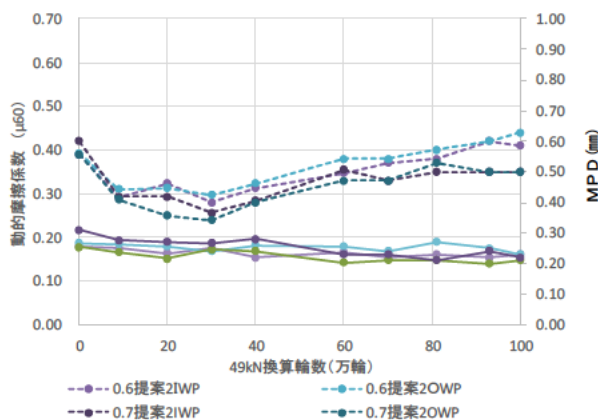


図-2.4.13 $\mu 60$ および MPD と通過輪数の関係
(提案工法 2、測定位置 IWP および OWP)



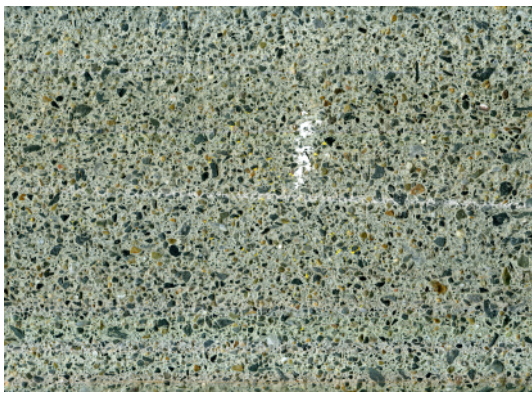
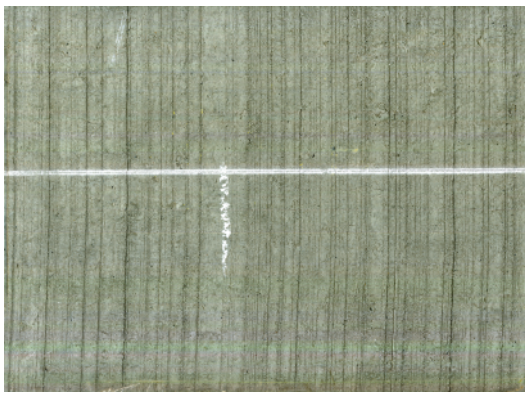
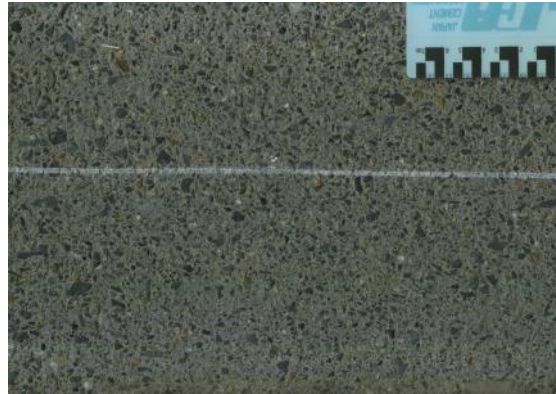
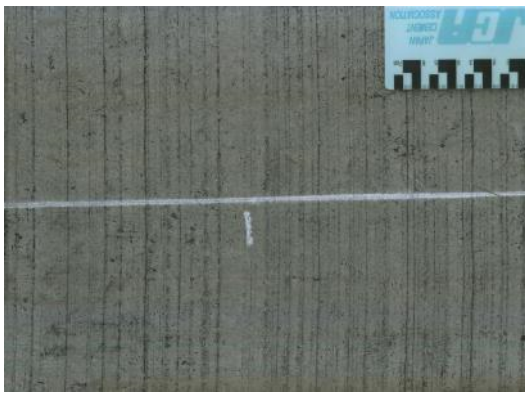
2.4.5 今後の課題


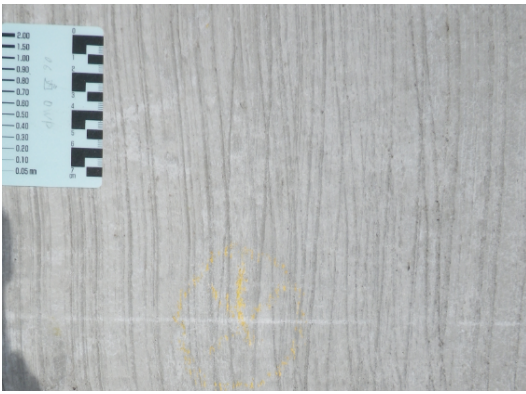
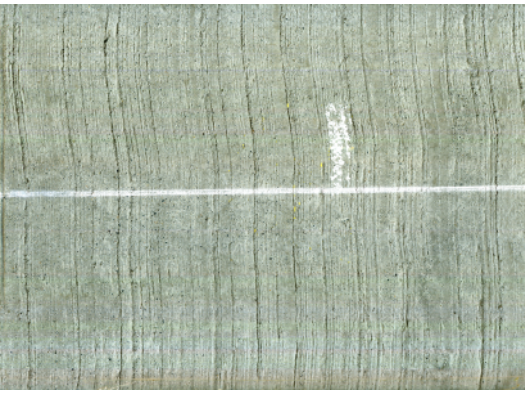
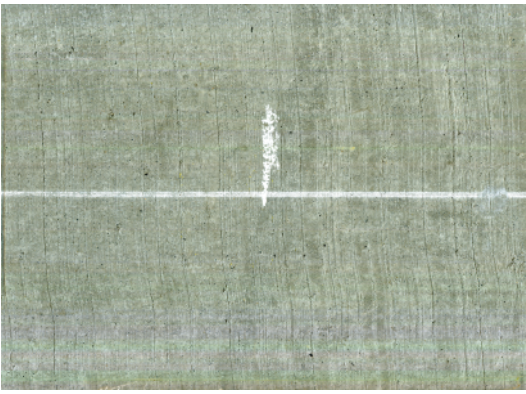

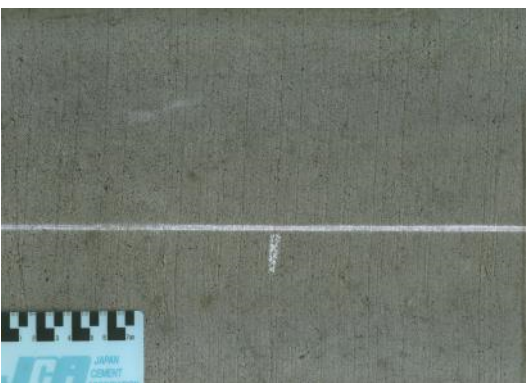
以上のように、2.2 事前検討1 で得られた知見の検証を舗装走行実験場で行ったが、いくつか課題が残った。その課題を列記すると以下のとおりである。

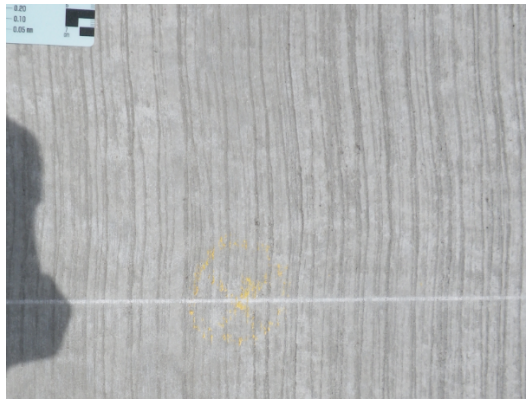
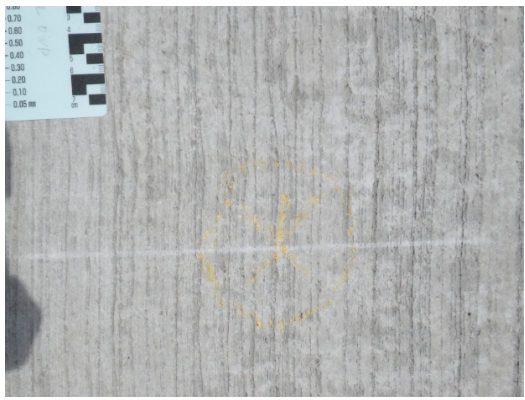
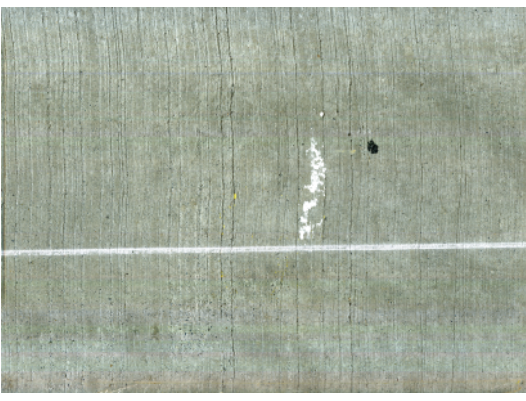
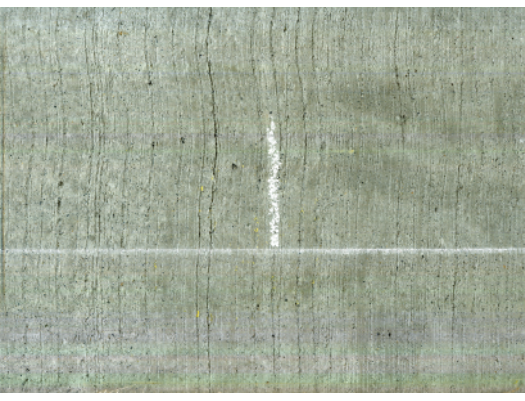
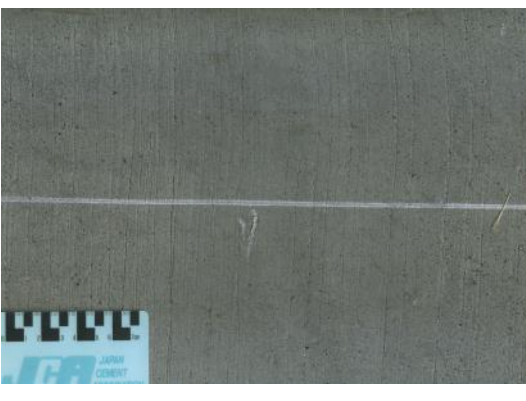
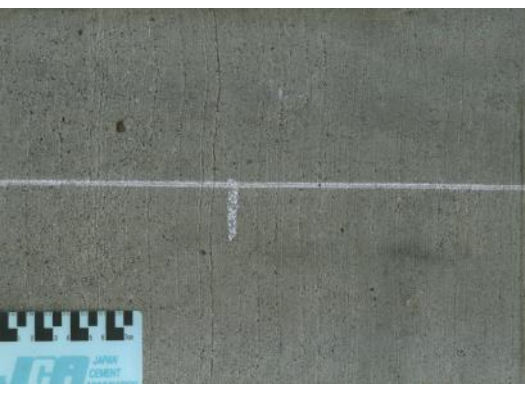
- (1) ほうき自体の重さや引き方、足場の状態など考慮していなかったため、予想した粗面が得られなかった。
- (2) 粗面仕上げ工法が同じであっても、OWP と IWP とでコンクリート表面のテクスチャやすべり抵抗性が異なった。これは幅員方向 5m にほうきを引くと、モルタル残さがほうきに付着するなどコンクリート表面の粗面生成にムラができた可能性がある。また、ほうきの厚みが不足していたことも一因と思われる。
- (3) 粗面仕上げ面の保護を目的にビニルシートを敷設したが、敷設が早すぎると粗面をつぶす可能性がある。
- (4) ほうきの種類は特殊なものではなく、市販されている一般品で確認することで、汎用的になる。
- (5) 適切なすべり抵抗性とその持続性を確保するには、マイクロテクスチャを形成するだけでなく、マクロテクスチャも適切に形成する必要がある。

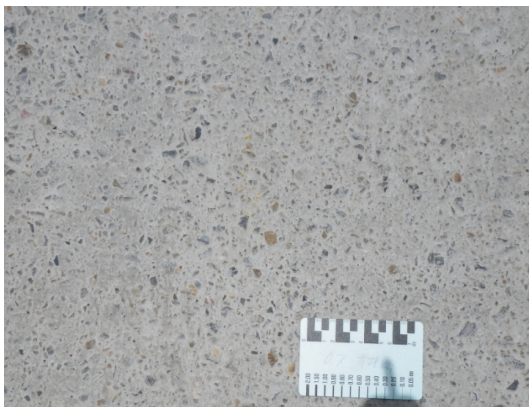

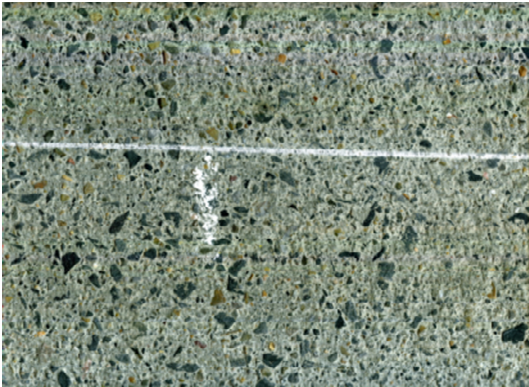
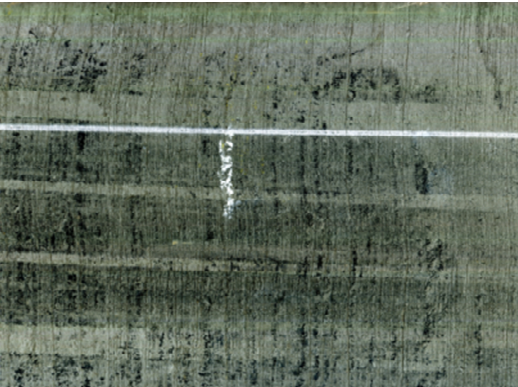


2.4.6 付録


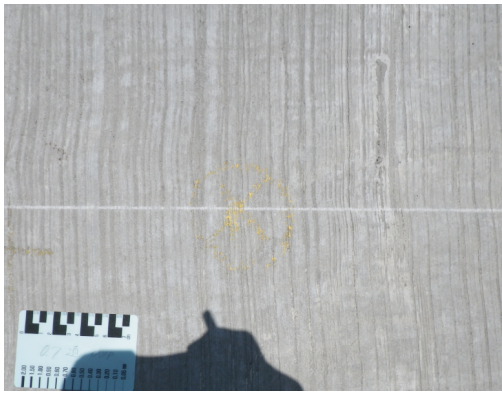


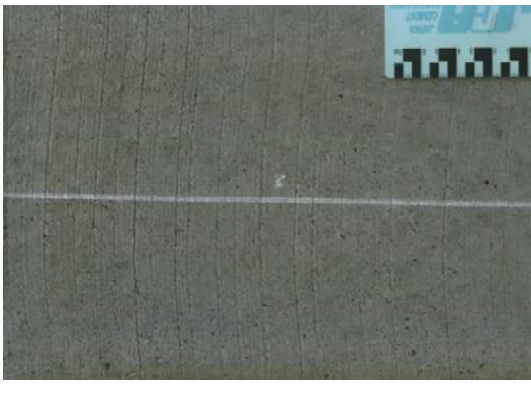

粗面仕上げの工法別に、コンクリート表面のテクスチャの状況を写真で示す。


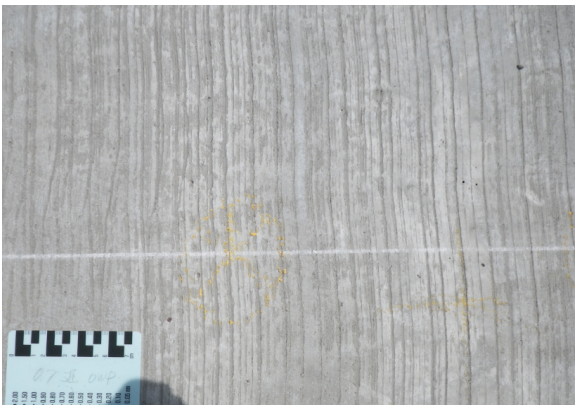

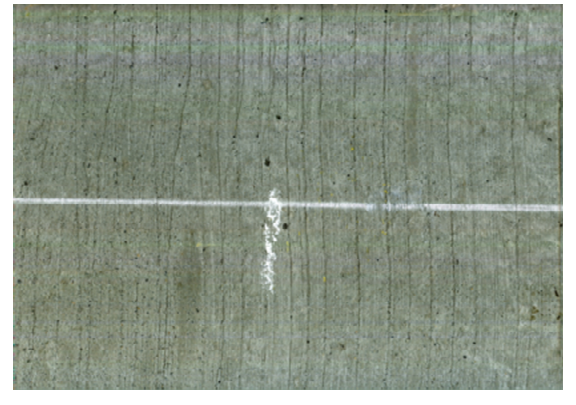
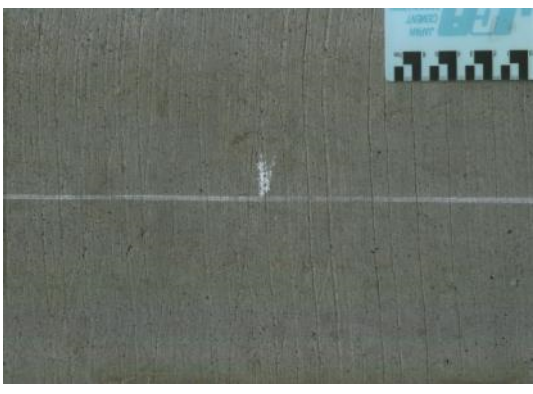

49kN 換算 輪数	配合 No.1 (かさ容積 0.6)	
	骨材露出工法 (IWP)	標準工法 (OWP)
0 万輪		
30 万輪		
82 万輪		

49kN 換算 輪数	配合 No.1 (かさ容積 0.6) 提案工法 1	
	IWP	OWP
0 万輪		
30 万輪		
82 万輪		

49kN 換算 輪数	配合 No.1 (かさ容積 0.6) 提案工法 2	
	IWP	OWP
0 万輪		
30 万輪		
82 万輪		

49kN 換算 輪数	配合 No.1 (かさ容積 0.7)	
	骨材露出工法 (IWP)	標準工法 (OWP)
0 万輪		
30 万輪		
82 万輪		

49kN 換算 輪数	配合 No.1 (かさ容積 0.7) 提案工法 1	
	IWP	OWP
0 万輪		
30 万輪		
82 万輪		

49kN 換算 輪数	配合 No.1 (かさ容積 0.7) 提案工法 2	
	IWP	OWP
0 万輪		
30 万輪		
82 万輪		

2.5 粗面仕上げ方法の再検討

2.4 舗装走行実験場での施工試験（その1）の結果、路面のすべり抵抗性を適切に確保するにはマイクロテクスチャを十分に形成する必要があること、その路面性状を持続させるためには適切なマクロテクスチャが必要であることなどが分かった。一方で、いくつかの検討課題が明らかとなった。まず、形成したテクスチャにムラが生じており、IWP と OWP におけるすべり抵抗性が異なった。これに対しては、粗面仕上げの方法や使用するほうきの再検討を行った。次に、養生剤を散布した路面では、その後の養生によって形成したテクスチャが潰され、適切なすべり抵抗性を確保できなかった。そこで、養生方法について再検討を行った。

2.5.1 実験概要

舗装走行実験場での施工試験にあたり試練りを行い、コンクリートのフレッシュ性状や仕上げ性を確認することとした。また、粗面仕上げに使用するほうき、仕上げ時期などを確認した。型枠の内寸は、幅 800mm×高さ 70mm×長さ 1.6m とし、型枠内に打設した 1DAY PAVE を 4 区画に分けて、各区画で仕上げ時期などを適宜変更した。なお、仕上げ時期におけるコンクリート表面の硬さは、鉄球落下試験（図-2.2.1）によって評価した。

(1) コンクリートの配合

コンクリートは、2.4 舗装走行実験場での施工試験（その1）と同一の工場における製造が出来なかったため、廣瀬建材株式会社において製造した。水セメント比 (W/C)、目標スランプおよび空気量は前回と同様とし、W/C を 35%、目標スランプを 15±2.5cm および目標空気量を 4.5±1.5%とした。粗骨材のかさ容積の指定は行わず、当該工場における出荷実績をもととした。主な使用材料を表-2.5.1 に、コンクリートの配合を表-2.5.2 に示す。

表-2.5.1 主な使用材料

材料	記号	種類
セメント	C	早強ポルトランドセメント（密度：3.13g/cm ³ ）
細骨材	S	茨城県行方市産山砂・神栖市産川砂 混合砂（3:7）（表乾密度：2.60g/cm ³ ）
粗骨材	G	茨城県つくば市産砕石 2005（表乾密度：2.67g/cm ³ ）
水	W	地下水
混和剤	SP	高性能 AE 減水剤 SF500S

表-2.5.2 コンクリートの配合

W/C (%)	粗骨材かさ容積 (m ³ /m ³)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
			W	C	S	G	SP
35	0.64	39.0	165	471	649	1041	Cx0.80%

(2) コンクリートの打設から粗面仕上げまでの作業工程

打設から粗面仕上げまでの作業工程を写真-2.5.1 に示す。アジテータトラックより荷降ろしたコンクリー

トは、手押し車を使用して運搬し、打設後にスコップを使用して敷きならした。振動パイブレータで締め固めた後、アルミスクリードで平たん仕上げを行い、さらにこて仕上げを行った。打設を完了した後、適宜、鉄球落下試験と指触により、コンクリートの表層の硬さを確認した。表層の硬さが変化したことを判断し、粗面仕上げを行った。

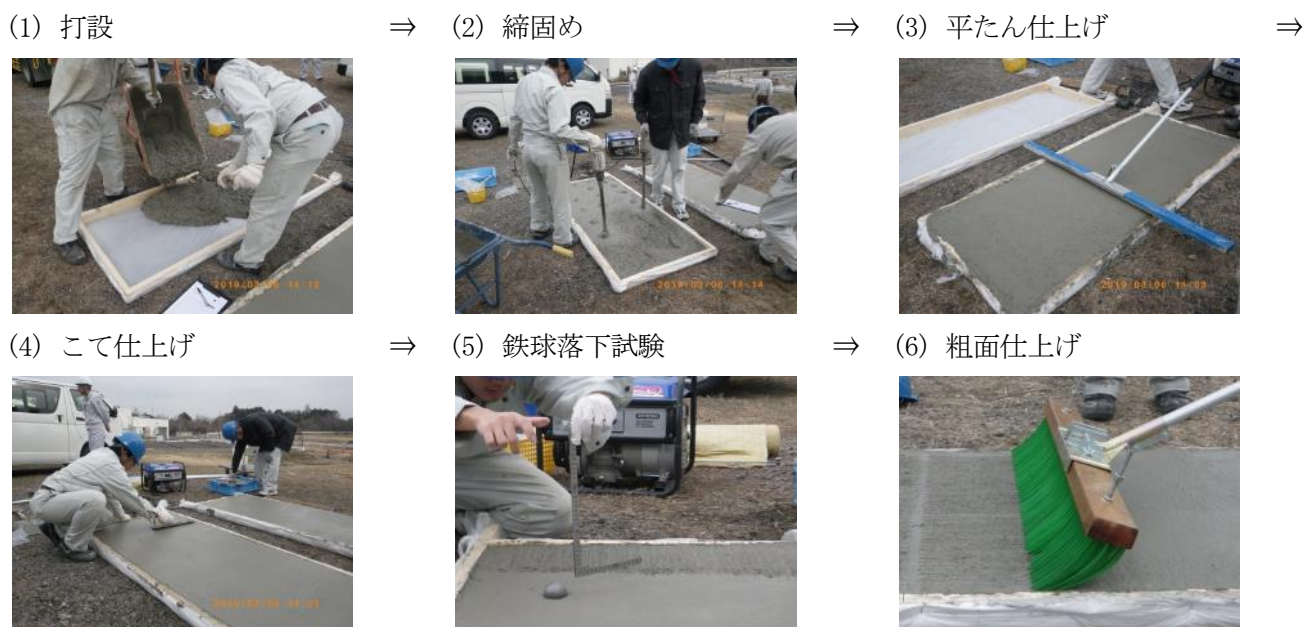


写真-2.5.1 打設から粗面仕上げまでの作業工程

(3) 使用したほうきおよび各区画の仕上げ方法

2.4 舗装走行実験場での施工試験（その1）において使用したほうきは穂列が薄い（写真-2.3.1）ため、穂先に付着したペーストがテクスチャ形成を阻害してしまい、幅員5mの路面をほうきで引ききることができなかつたと考えられる。そのため、ほうきの引き始めであるIWP側に比べて、引き終わりのOWP側ではテクスチャの性状が良くなかつた。そこで、穂列の幅が厚い（前後方向に厚い）ほうきを使用することとし、また、特製のほうきではなく市販されているほうきを使用することとした。本検討では、写真-2.5.2と写真-2.5.3に示す2種類のほうきを使用した。どちらもナイロン製だが、ほうき（1）の穂丈が10cmに対して、ほうき（2）は15cmの穂丈である。また、ほうき（1）は、形状の異なる2種類の穂を混合している。

前回、テクスチャにムラが生じたため、粗面仕上げの方法について検討を行った。前回は、作業台の上から人力で荷重を加えてほうきを引いたが、作業台の移動などによって荷重を一定とすることが難しかった。そこで今回は、写真-2.5.4に示すように、ほうきの柄を伸ばしてほうきを引く動作のみで仕上げることにし、荷重はほうきの自重とした。もし、ほうきのみでの自重で荷重が足りない場合は、ほうきに錘をのせて荷重を加えることとした。

粗面仕上げを行う時期は、表層の硬さを判断しながら適宜定め、各区間の仕上げ状況は図-2.5.1に示すとおりとなった。区画2と区画3は、粗面の仕上げ時期が異なる。その他の区画では、表層が硬くなりほうき目が付き難い場合の対応として、散水と再こて仕上げを行うことやほうきの荷重を増やすことを試みた。ほうき（2）の区画1は、参考としてこて仕上げのみの路面を形成した。

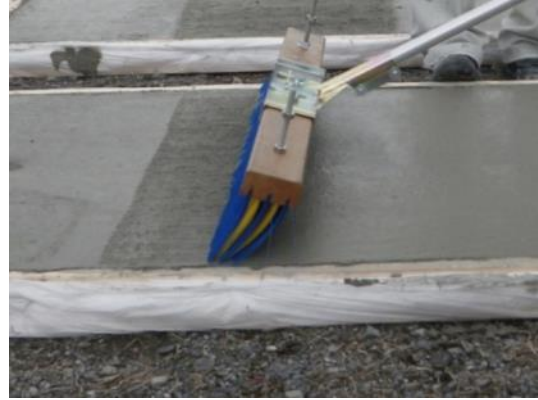


写真-2.5.2 ほうき (1) 穂丈：短 (10 cm)



写真-2.5.3 ほうき (2) 穂丈：長 (15cm)



(1) 前回



(2) 今回

写真-2.5.4 粗面仕上げ方法

区画 1	区画 2	区画 3	区画 4
打設から	打設から	打設から	打設から
2.3 時間	1 時間	1.7 時間	2.3 時間
錘有り	錘無し	錘無し	錘無し
			再度こて

ほうき (1) 穂丈：短

区画 1	区画 2	区画 3	区画 4
こて仕上	打設から	打設から	打設から
げのみ	1 時間	1.7 時間	2.2 時間
	錘無し	錘無し	錘無し
			再度こて

ほうき (2) 穂丈：長

図-2.5.1 各区画の仕上げ状況

2.5.2 実験結果

(1) コンクリートのフレッシュ性状

生コンクリートの荷卸し時のフレッシュ性状を表-2.5.3に示す。スランプが21.5cm、空気量が5.5%であった。スランプは、目標値の範囲外であったが、舗装走行実験場での本施工においては配合の調整を行うこととし、試練りの本実験ではこのコンクリートを使用することとした。

表-2.5.3 コンクリートのフレッシュ性状

配合	現着時のフレッシュ性状	
	スランプ(cm)	空気量(%)
-	21.5	5.5



写真-2.5.5 スランプ試験結果



写真-2.5.6 空気量試験結果

(2) 鉄球落下試験結果と粗面仕上げ状況

鉄球落下試験によりコンクリート表層の硬さを評価した結果を、図-2.5.2および図-2.5.3に示す。時間の経過とともに鉄球接地長が短くなっており、セメントの水和の進行にともない表層が硬くなっていることが分かる。その表層の硬さによって、粗面仕上げによるテクスチャの形成状況は異なると考えられる。各区画の仕上げ時期を図に併記し、その時期におけるテクスチャの形成状況を写真-2.5.7および写真-2.5.8に示す。打設からの時間の経過とともにテクスチャのきめが細かくなり、その後、粗面は付き難くなった。この場合、再こて仕上げにより表層を軟らかくすることで、テクスチャを形成すること可能となった。

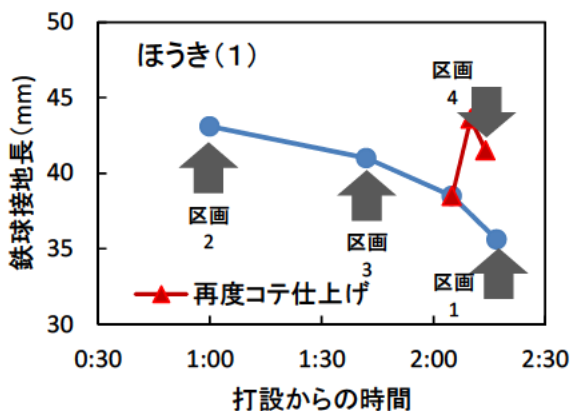


図-2.5.2 鉄球落下試験結果 (ほうき (1))

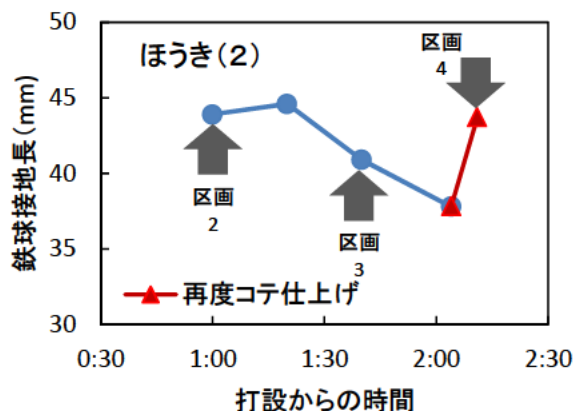


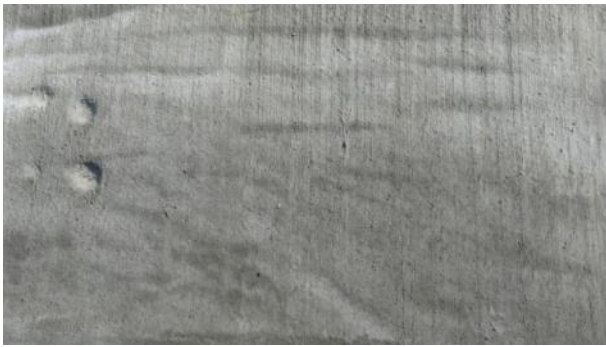
図-2.5.3 鉄球落下試験結果 (ほうき (2))



区画1 荷重増（錘）



区画2 打設から1時間



区画3 打設から1.7時間



区画4 再こて仕上げ

写真-2.5.7 ほうき（1）による粗面仕上げ状況



区画1 粗面仕上げ無し



区画2 打設から1時間



区画3 打設から1.7時間



区画4 再こて仕上げ

写真-2.5.8 ほうき（2）による粗面仕上げ状況

(3) すべり抵抗性との関係

仕上げ状況が異なる各区画の動的摩擦係数 μ_{60} を表-2.5.4 に示す。また、図-2.5.2 と図-2.5.3 に μ_{60} の数値を書き加えたものを図-2.5.4 と図-2.5.5 に示す。こて仕上げのみの区画を除き、いずれの区画においても適切にすべり抵抗性が確保されていた。打設からの時間が経過し、表層の硬化が進むことでテクスチャが付き難くなると、それに応じてすべり抵抗性は低くなった。ただし、区画3から区画4にかけての時間の経過では、再こて仕上げを行うことでテクスチャを形成できたため、十分なすべり抵抗性を確保することができたと考えられる。また、錘を使用して荷重を増加させた区画1においても、すべり抵抗性は確保されていた。コンクリートの表層の硬さに応じて、ほうきの荷重を設定することも、適切な粗面仕上げを行うためのひとつの要因であると考えられる。

表-2.5.4 動的摩擦係数 (μ_{60})

区画	区画 1	区画 2	区画 3	区画 4
仕上げ状況	打設から 2.3 時間	打設から 1 時間	打設から 1.7 時間	打設から 2.2 時間 再こて仕上げ
ほうき (1) 穂丈：短	※錘有り 0.44	0.61	0.45	0.46
ほうき (2) 穂丈：長	※こて仕上げ 0.18	0.56	0.58	0.44

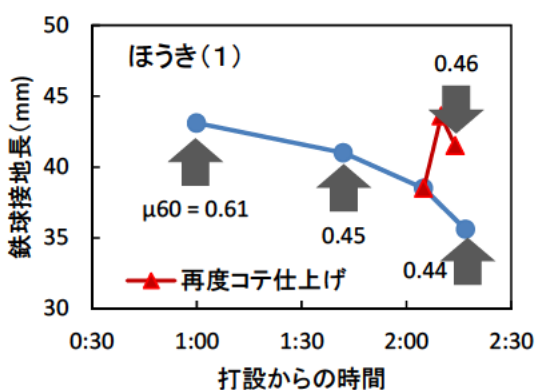


図-2.5.4 鉄球接地長さ と μ_{60} (ほうき (1))

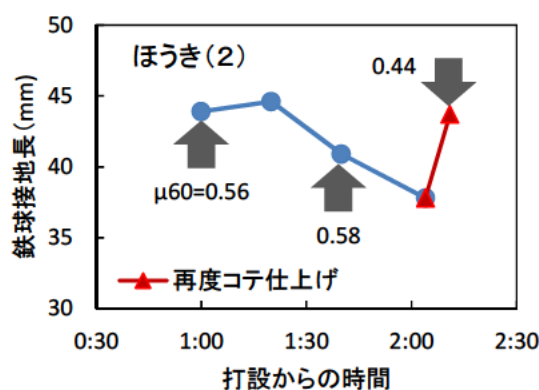


図-2.5.5 鉄球接地長さ と μ_{60} (ほうき (2))

2.5.3 まとめ

いずれの粗面仕上げにおいても適切にすべり抵抗性が確保され、仕上がりを目視で判断するとほうき (2) による仕上げが良かった。また、今回の仕上げ方法により、ムラなくテクスチャを仕上げることができた。仕上げ時期は、鉄球接地長で 40~44mm が適切であると判断した。前回は 28~33mm であり、この差は使用するほうきが異なったためである。特に、今回使用したほうきは、穂の剛性が柔らかいことが影響したと考えられる。本施工では、ほうき (2) の使用が良いと考えられるが、当日のコンクリートの性状によって適宜判断することとした。また、コンクリート表層の硬化が進みすぎてテクスチャが付き難くなった場合は、再こて仕上げやほうきの荷重を増やすことで、適切なテクスチャを形成できるように対応できることが明らかとなった。

2.6 舗装走行実験場での施工試験（その2）

2.6.1 施工概要

2.4 舗装走行実験場での施工試験（その1）の結果をうけ、粗面仕上げ方法および養生剤を使用した養生方法の再検討を行った。その検討結果を、舗装走行実験場での施工試験において検証を行った。本施工試験における主な確認事項は、再検討した方法によって、幅員5mにわたり均一なテクスチャを形成すること、形成したテクスチャを養生剤の散布とその後の養生によって潰さないようにすること、マイクロテクスチャだけでなくマクロテクスチャも適切に確保することである。

(1) コンクリートの配合

水セメント比（W/C）、目標スランプおよび空気量は、W/Cを35%、目標スランプを15±2.5cmおよび目標空気量を4.5±1.5%とした。試練りの結果を受けて、表-2.6.1に示すように、混和剤の添加量を少なくしてスランプの調整を行った。生コンクリートの受入時のフレッシュ性状は、表-2.6.2に示すように、スランプが16.5cm、空気量が4.7%であり目標値を満足した。

表-2.6.1 コンクリートの配合

W/C (%)	粗骨材かさ容積 (m³/m³)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)				
			W	C	S	G	SP
35	0.64	39.0	165	471	649	1041	Cx0.70%

表-2.6.2 コンクリートのフレッシュ性状

現着時のフレッシュ性状	
スランプ(cm)	空気量(%)
16.5	4.7



写真-2.6.1 スランプ試験結果

(2) コンクリートの打設および締固め、平たん仕上げ、こて仕上げ方法

コンクリートの打設などは、人力施工で行った。アジテータトラックの筒先から打設箇所へ、直接コンクリートを打設し、フレキシブルバイブレータで締固めを行った。その後、スクリーンおよびこてを用いて、平たん仕上げおよびこて仕上げを行った。各工程の作業状況を、図-2.6.1の施工フロー内に示す。

(3) 粗面仕上げの方法

試練りの結果、鉄球落下試験による鉄球接地長が40~44mmとなった時期に粗面仕上げを行うこととし、ほうきは穂丈の長いほうき（2）（写真-2.5.3）を使用する予定であった。しかし、打設終了直後にお

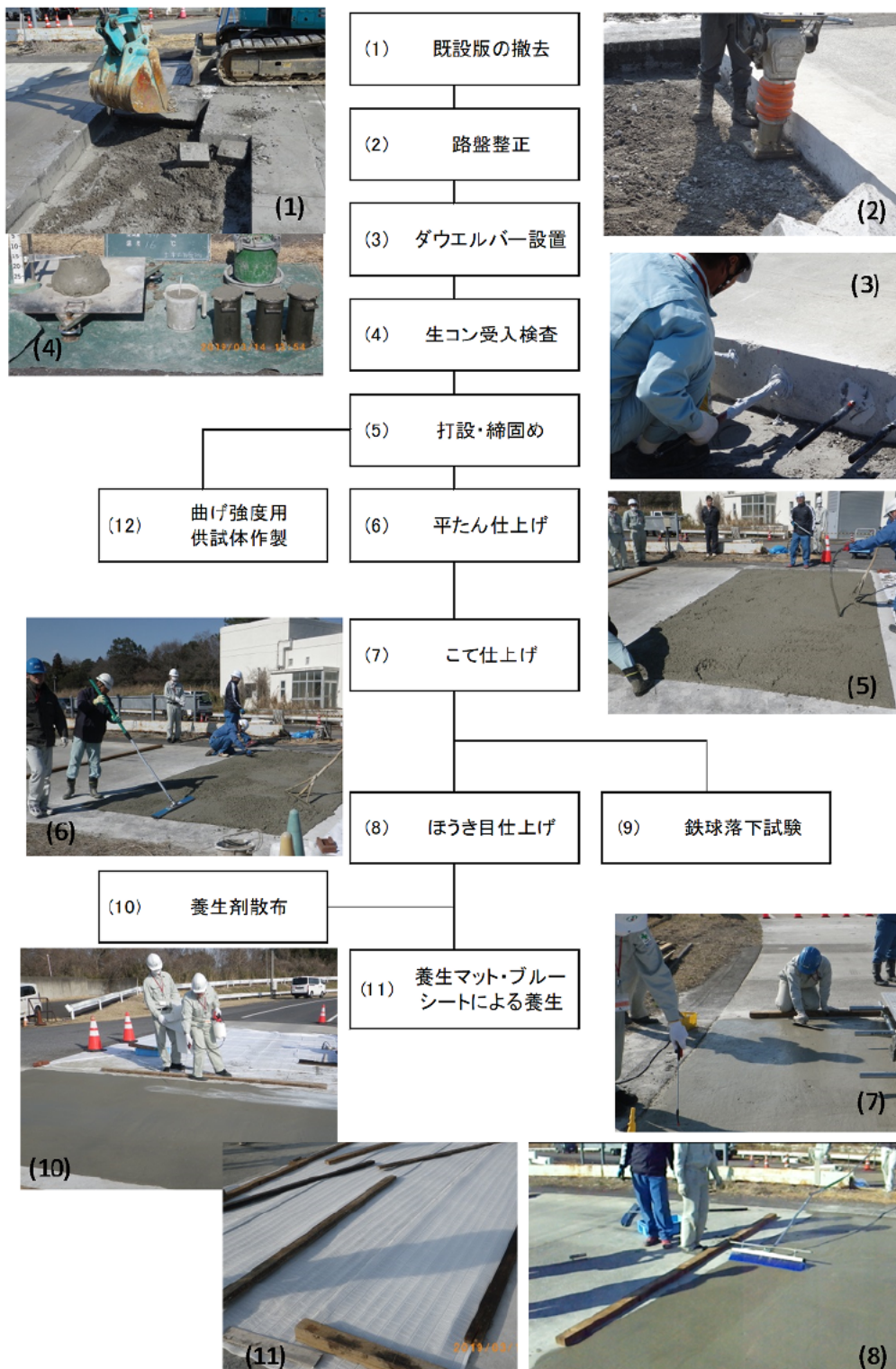


図-2.6.1 施工フロー

いて、鉄球接地長が 36mm であり想定したよりも接地長が短く、つまり、コンクリートが硬い状況であった。そのため、当初予定していたほうき（2）による粗面仕上げでは、適切な粗面の形成が難しいと判断した。そこで、穂丈が短いほうき（1）を使用することとし、また、ほうきには錘（4kg）を載せて荷重を増加させることとした。粗面仕上げ状況を、写真-2.6.2 に示す。この方法で仕上げた区画を基準として、その他の

区画では次に示す方法で仕上げを行った。区画2と3では、散水と再こて仕上げを行い、コンクリートの硬さを改善した後に、区画1と同様の粗面仕上げを行った。散水と再こて仕上げにより、鉄球接地長は39mmと僅かに向上した。区画2では、穂先がより短いほうき(3)を使用して仕上げを行った。ただし、錘を付けられる構造となっていないため、人力にて最大限かけられる荷重をかけ、また、ほうきの柄が短いためIWPとOWPを別々に仕上げた。各区画の仕上げ方法を図-2.6.2に、粗面仕上げの状況を写真-2.6.4に示す。



ほうき(1)を使用

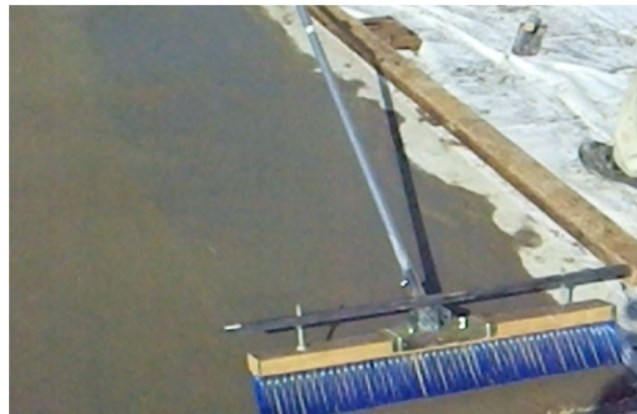


写真-2.6.2 粗面仕上げ状況(区画1,2,3)

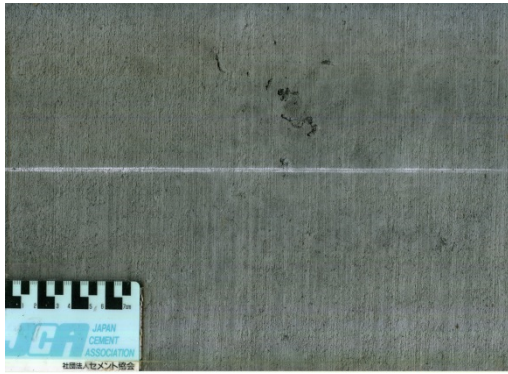


写真-2.6.3 区画2で使用したほうき(3)

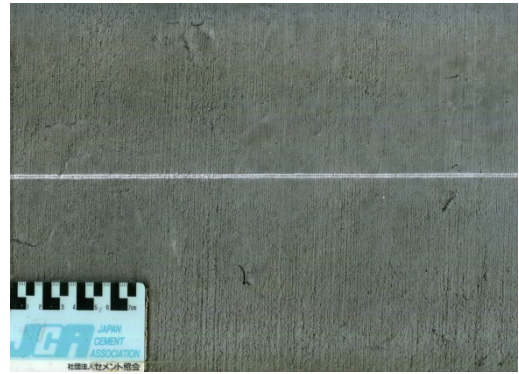
	区画1	区画2	区画3	区画4
OWP	基準 仕上方向 ↑	ほうき 仕上方向 ↓	再こて 仕上方向 ↑	養生剤 仕上方向 ↑
IWP		ほうき 仕上方向 ↑		
	←750mm→	←750mm→	←750mm→	←750mm→

区画	仕上げ 打設から	ほうき	再こて 仕上げ	養生剤
1	基準	1時間	(1) + 錘	無し
2	ほうき	1.7時間	(3)	有り
3	再こて	1.5時間	(1) + 錘	有り
4	養生剤	1.5時間	(1) + 錘	有り

図-2.6.2 各区画の仕上げ方法



区画1 基準 IWP



区画1 基準 OWP



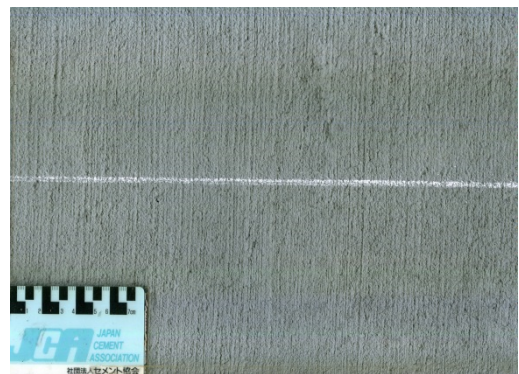
区画2 ほうき IWP



区画2 ほうき OWP



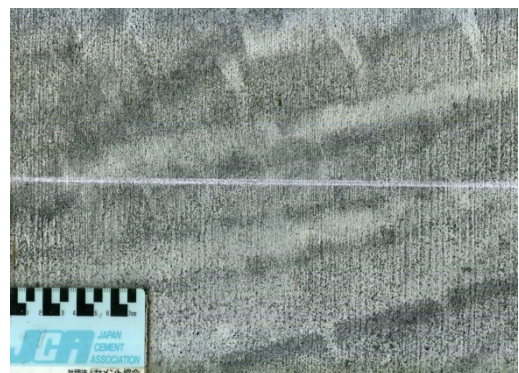
区画3 再こて IWP



区画3 再こて OWP



区画4 養生剤 IWP



区画4 養生剤 OWP*

*養生終了後の重車両の走行によるタイヤ跡

写真-2.6.4 各区画の粗面仕上げ状況

(4) 養生方法

養生は、版の保温を目的に養生マットを敷設し、その上をブルーシートで覆った。なお、区画4では、合成樹脂タイプの被膜形成型養生剤を散布した後、養生マットなどを敷設した。養生剤を散布した直後に養生マットを敷設すると、形成したテクスチャを潰してしまう可能性がある。そのため区画4では、他の区画と比較して遅い時期に、養生マットを敷設した。



写真-2.6.5 養生剤の散布状況



写真-2.6.6 養生マットの敷設状況

2.6.3 試験項目

(1) 曲げ強度

材齢 1、7 日において、JIS A 1106 に準拠して曲げ強度試験を実施した。100×100×400mm の角柱型枠にコンクリートを打設し、材齢 1 日まで現場養生を行った後、脱型して標準水中養生を行った。各材齢において 3 本の供試体を試験し、平均値を算出した。

(2) すべり抵抗性

舗装調査・試験法便覧⁹⁾「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」に準拠し、路面のすべり抵抗性を評価した。測定箇所は、各区画の IWP および OWP とした。測定は 4 回行い、2 回目から 4 回目までの測定値の平均値を算出した。

(3) 路面のテクスチャ

舗装調査・試験法便覧⁹⁾「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」に準拠し、平均プロファイル深さ MPD を測定した。また、2.3.1(3)に示す、現場で測定可能なマイクロテクスチャ測定方法により、路面のテクスチャを評価した。測定箇所は、各区画 4 箇所の、IWP および OWP とした。測定数は各測定箇所 6 回とし、測定長さは 200mm とした。測定結果から、2.3.1(3)に示す方法で、マクロテクスチャとマイクロテクスチャによる線粗さ Ra を算出した。

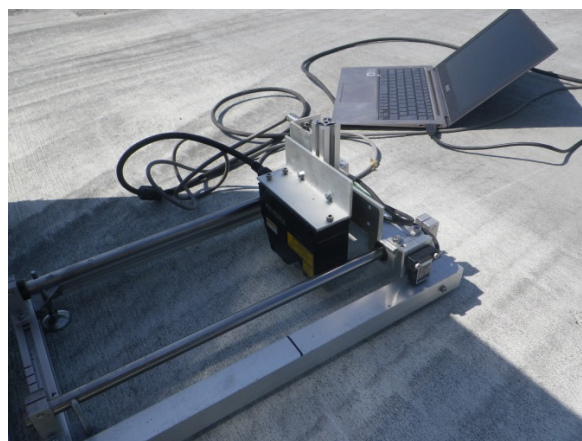


写真-2.6.7 ラインレーザ変位計による路面テクスチャの測定状況

2.6.4 試験結果

(1) 曲げ強度試験結果

現場養生した供試体の材齢1日における曲げ強度は4.22MPaであり、コンクリート舗装の養生終了の目安である3.5MPaを満足していることを確認した。その後も強度は増加し、標準養生した供試体では、材齢7日で8.09MPaであった。

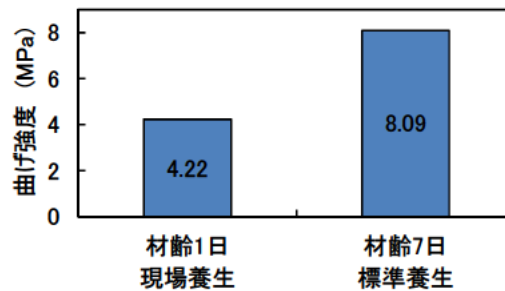


図-2.6.3 曲げ強度

(2) すべり抵抗性

各区画における路面の動的摩擦係数 μ_{60} を表-2.6.3に示す。基準とする区画の μ_{60} は、IWPが0.37、OWPが0.38であった。IWPとOWPですべり抵抗性が同程度であり、ムラのない均一なテクスチャが形成されているものと考えられる。この基準の区画は、コンクリートが硬めの状態で仕上げた粗面であるが、穂先が短いほうきを使用し荷重を増加させたことで、すべり抵抗性を確保することができた。再こての区画では、散水とこて仕上げを再度行い、コンクリートの硬さを僅かに改善したが、 μ_{60} は基準の区画と同程度であり、硬さの改善によるすべり抵抗性への影響は小さかった。養生剤を散布した区画においても、すべり抵抗性が確保されており、本施工では形成したテクスチャを潰すことはなかった。養生剤を散布する場合は、散布する時期やその後の養生方法についてより一層の配慮が必要となる。

表-2.6.3 動的摩擦係数 μ_{60}

区画		動的摩擦係数 μ_{60}	
		IWP	OWP
1	基準	0.37	0.38
2	ほうき	0.42	0.33
3	再こて	0.38	0.36
4	養生剤	0.36	0.49

(3) 路面のテクスチャ

各区画における路面のMPDを表-2.6.4に、ラインレーザ変位計で評価したマクロおよびマイクロテクスチャによる線粗さRaを表-2.6.5に示す。前回試験結果から、すべり抵抗性を持続させるには適切なマクロテクスチャが必要であることが分かった。MPDが0.2mm程度の路面では、すべり抵抗性が一時的に低下する現象が認められ、MPDが0.4mm以上の路面では認められなかった。表-2.6.4に示す本施工の路面では、全ての路面で0.4mm以上であり、十分なマクロテクスチャを形成することができた。また、IWPとOWPも同程度に確保できていることから、ムラのない均一なテクスチャが形成されているものと考えられる。基準の区画におけるMPDが0.4mm程度であるのに対して、再こての区画のMPDは0.5mm程度であった。再度こて仕上げを行い、コンクリートの硬さを改善したため、テクスチャが付き易くなったものと考えられる。また、マイクロテクスチャも、表-2.6.5に示すように概ね形成されていることが確認された。

表-2.6.4 MPDの測定結果

区画		MPD (mm)	
		IWP	OWP
1	基準	0.43	0.42
2	ほうき	0.40	0.41
3	再こて	0.59	0.48
4	養生剤	0.41	0.33

表-2.6.5 マクロテクスチャおよびマイクロテクスチャによるRaの結果

区画		線粗さ Ra (μm)			
		マクロテクスチャ		マイクロテクスチャ 路面波長 0.5mm 以下	
		IWP	OWP	IWP	OWP
1	基準	572.6	328.1	11.1	12.4
2	ほうき	392.3	369.5	6.7	8.3
3	再こて	647.0	643.5	10.6	11.4
4	養生剤	372.6	215.3	11.8	7.9

2.6.5 まとめ

粗面仕上げにおいて、ほうきの穂にかかる荷重をほうきの自重とし、人力による動作はほうきを引くのみとすることで、幅員 5m の版においても均一なテクスチャを形成することができた。また、粗面仕上げを行う適切な時期を過ぎてしまい、コンクリートが硬くなってしまった場合には、ほうきに錘をつけて荷重を増加させることや、散水と再度のコテ仕上げを行いコンクリートの硬さを改善させることにより、テクスチャが形成し易くなることが分かった。養生剤を散布する場合は、散布する時期やその後の養生方法についてより一層の配慮が必要となることを確認した。本施工による路面は、概ねマイクロテクスチャが形成されており、またマクロテクスチャについても、前回試験と比較して適切に形成されていることを確認した。

2.7 1DAY PAVE の強度特性

1DAY PAVE は、先述の通り、24 時間以内の養生期間で交通開放可能となる強度発現性を有するコンクリート舗装である。したがって、1DAY PAVE の目標曲げ強度は材齢 24 時間で配合強度の 70%としている。具体的には、配合強度を 5N/mm^2 とする場合、目標の曲げ強度は 3.5N/mm^2 となる。通常のコンクリートの配合設計では、通常 20°C の環境下での強度発現性より水セメント比を決めるが、1DAY PAVE の場合は、打設から養生時の外気温やコンクリートの温度の影響を受けことより、水セメント比の設定が困難である。

この課題に対し、コンクリートの強度が積算温度に高い相関があることより、曲げ強度と積算温度の関係を事前に求めておき、実際のコンクリート版の温度を測定することで、コンクリート版の強度を推定する方法が有効であると報告されている¹⁵⁾。

そこで、データの蓄積を目的に、2.4 舗装走行実験場での施工試験（その 1）において、コンクリート温度を測定し、実際のコンクリート版の曲げ強度の推定を行った。

2.7.1 実験の概要

2.4 舗装走行実験場での施工試験（その 1）において、コンクリート版の施工を行う際に、熱電対を埋設し、コンクリート版の温度を測定した。また、同時に施工した曲げ強度用供試体にも熱電対を埋設し、供試体のコンクリート温度を測定した。

また、セメント協会研究所の実験室において、コンクリート版の施工と同じ材料を用いて、曲げ強度用供試体を複数作製、養生温度および試験材齢を変えることにより、積算温度と曲げ強度の関係を求めた。

これらの試験結果より、コンクリート版の施工時の現場養生した供試体の実強度と積算温度による推定強度の比較を行い、その推定精度を確認するとともに、コンクリート版の曲げ強度を推定した。

図-2.7.1 はコンクリート版に埋め込んだ熱電対の位置を示したものである。配合 No1 のみ 3 か所（図中の(1)~(3)）に設置し、厚さ方向に 3 段（路盤から 23cm（上）、13cm（中）、3cm（下））埋め込んだ（写真-2.7.1 参照）。

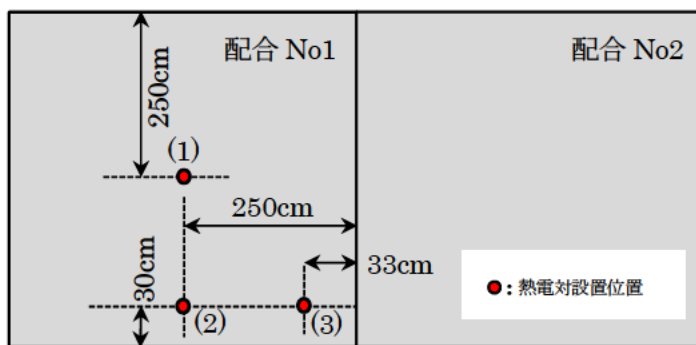


図-2.7.1 熱電対設置位置（平面図）

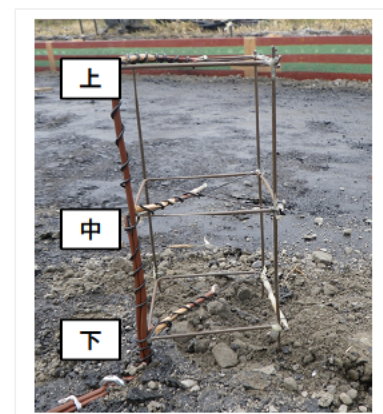


写真-2.7.1 熱電対の設置状況

2.7.2 主な実験結果

(1) 舗装走行実験場で施工した 1DAY PAVE の温度

図-2.7.2~図-2.7.4 は各熱電対埋設位置のコンクリート版の温度の測定結果を厚さ方向 3 段毎に、材齢約

1.5日まで示したものである。また、図-2.7.5は現場養生した供試体の材齢1日までの温度測定結果を示した。なお、これらの図には外気温の参考値として、気象庁アメダスデータによる地点つくば（館野）のデータを併せて示した。これらの図から、コンクリート版の温度は以下のような傾向が認められた。

- ① 温度の最大値は、熱電対の設置場所により多少異なるが、概ね材齢0.5日（3/23 22時ごろ）で45～50℃程度まで上昇した。一方、現場養生供試体の最高温度は材齢0.2～0.4日（3/23 15時～19時半ごろ）で22～26℃程度までであり、実際のコンクリート版と現場養生の供試体との間には非常に大きな温度履歴の差が認められ、現場養生供試体での強度管理方法の是非が懸念される。また、温度の上昇はセメントの水和反応による水和熱であるが、コンクリート版と供試体との温度差は、コンクリート版の容積が供試体のそれよりもはるかに大きく、体積表面積比の相違によるものである。
- ② コンクリート版の厚さ方向の温度の差異については、最も温度が上昇した箇所は厚さ方向中央（路盤面から13cm）で、次いで表面近傍（路盤面から23cm）、最も低い温度は路盤面近傍箇所（路盤面から3cm）であった。コンクリート版表面近傍の温度から保温養生の効果は認められたが、路盤面近傍の温度が他の箇所に比べて最大7℃程度小さくなった原因は路盤面の温度が低かったためと思われる。また、初期ひび割れの原因となる厚さ方向の温度差は、材齢0.5日頃の最大温度の頃で、その後温度差は小さくなった。
- ③ 養生終了は、図示したとおり、材齢1.1日程度（3/24 14時ごろ）であり、その後養生を終了した（養生マットを外した）ため、厚さ方向の温度差は大きくなった。

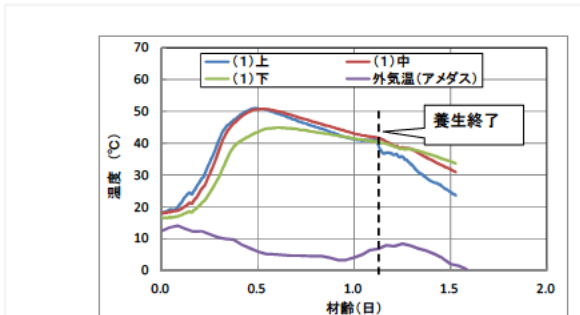


図-2.7.2 コンクリート版温度測定結果(1)

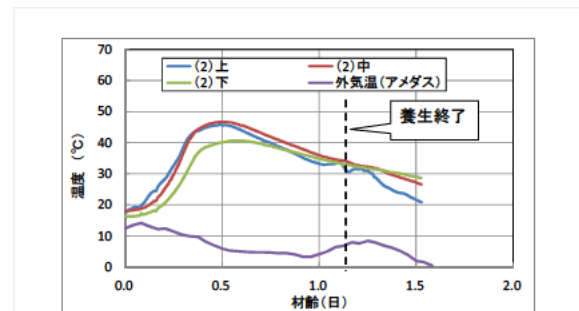


図-2.7.3 コンクリート版温度測定結果(2)

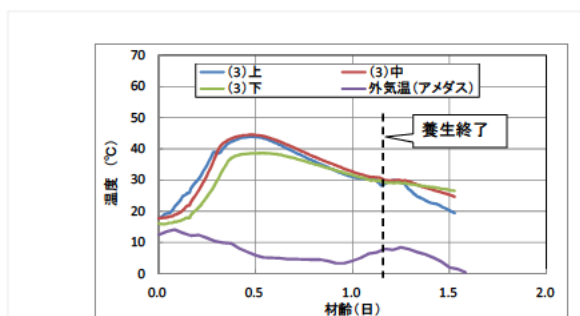


図-2.7.4 コンクリート版温度測定結果(3)

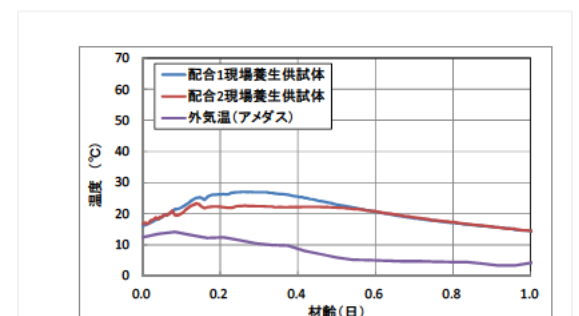


図-2.7.5 現場養生供試体の温度測定結果

(2) 現場養生供試体による曲げ強度

現場養生供試体による曲げ強度の試験結果を表-2.7.1に示す。目標曲げ強度の3.5N/mm²以上を満足した。また、粗骨材かさ容積が異なる配合No1とNo2とでは強度にほとんど差はなかったが、配合No2の方が供

試体ごとの強度のばらつきがやや大きかった。

表-2.7.1 曲げ強度試験結果（現場養生、材齢 24 時間）

配合	供試体 No	積算温度 (°C・h)	供試体ごとの曲げ強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (平均値) (N/mm ²)
配合 No1	1	748.4	4.96	4.68
	2		4.74	
	3		4.34	
配合 No2	1	703.7	4.15	4.59
	2		5.18	
	3		4.44	

(3) 強度と積算温度の関係、曲げ強度の推定

曲げ強度と積算温度の関係を求めるために、舗装走行実験場の 1DAY PAVE で用いた、セメント以外のコンクリート材料（細骨材、粗骨材、混和剤）を入手し、セメント協会研究所の室内で実験を実施した。

コンクリートの配合は、舗装走行実験場の 1DAY PAVE で使用した 2 配合のうち、単位粗骨材かさ容積が 0.6m³/m³の配合 No1 とした。室内試験においては、空気量調整のために AE 助剤の使用量を変化させたが、そのほかの材料は表-2.4.2 と同じ配合（単位量）とした。練り混ぜは容量 100L の強制 2 軸タイプのミキサを用いた。空練りは 30 秒、練り混ぜは 90 秒である。その結果、スランプは 18.0cm、空気量は 4.5%であった。

主な試験項目は、10×10×40cm 供試体による曲げ強度試験とし、養生温度は 10°C、20°C および 35°C とし、試験材齢を表-2.7.2 に示すようにして積算温度を 1000°C・h 前後を密にして積算温度と曲げ強度の関係を求めた。コンクリートの温度は、供試体の試験区間外に熱電対を埋め込み、インターバル 10 分として、データロガーを用いて計測した。積算温度 M とコンクリート温度 θ の関係式を式 (2.7.1) に示す。

$$M = \sum (\theta + 10) \cdot \Delta t \quad \dots \text{式 (2.7.1)}$$

ここに、 M : 積算温度 (°C・h)

θ : コンクリートの温度 (°C)

t : 温度 θ の作用する時間 (h)

表-2.7.2 試験の水準

養生方法	材齢 (時間)	概略の積算温度 (°C・h)
封緘養生、35°C	6	270
封緘養生、10°C	24	480
封緘養生、20°C	24	720
封緘養生、10°C	48	960
封緘養生、成り行き※	24	-

※屋外で養生した。その他、水中養生 2 日、7 日の曲げ強度試験も実施した

また積算温度 M と曲げ強度 f_b の関係については、文献^{16) 17)}より式 (2.7.2) を用いた。

$$f_b = a \times \exp\left(\frac{-b}{M}\right) \quad \dots \text{式 (2.7.2)}$$

ここに、 f_{bk} : コンクリートの曲げ強度 (N/mm²)

a および b : 実験定数

曲げ強度試験の結果を表-2.7.3 に示す。

表-2.7.3 試験結果

養生方法	材齢 (h)	積算温度 (°C・h)	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げ強度の平均値 (N/mm ²)
封緘養生、35°C	6.5	268.8	0.90	0.92
			0.95	
			0.90	
封緘養生、10°C	24.5	552.0	2.43	2.38
			2.64	
			2.07	
封緘養生、20°C	24.2	813.6	5.00	5.16
			5.05	
			5.44	
封緘養生、10°C	48.7	1048.8	5.31	5.08
			4.74	
			5.20	
封緘養生、成り行き	24.7	597.6	3.54	3.49
			3.29	
			3.64	
水中養生、20°C	48.2	(1550.4)	6.84	7.36
			7.81	
			7.44	
	166.8 (7日)	(5164.8)	8.36	8.58
			8.15	
			9.23	

これらの結果のうち、水中養生を除いた曲げ強度試験結果による積算温度と曲げ強度の関係を、式 (2.7.2) を用いて求め、図-2.7.6 に示した。

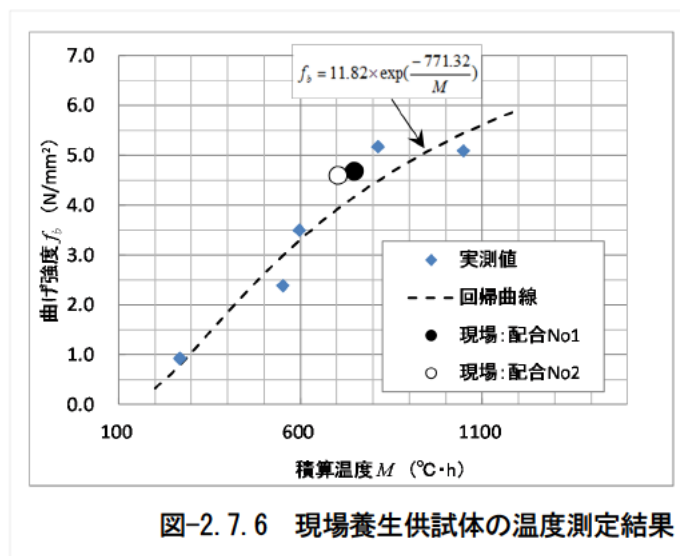


図-2.7.6 現場養生供試体の温度測定結果

この図から、これまでの研究結果と同様に、曲げ強度と積算温度との間には高い相関が認められた。この回帰曲線によれば、目標曲げ強度 3.5N/mm² を得るための積算温度は 630°C・h であり、設計曲げ強度

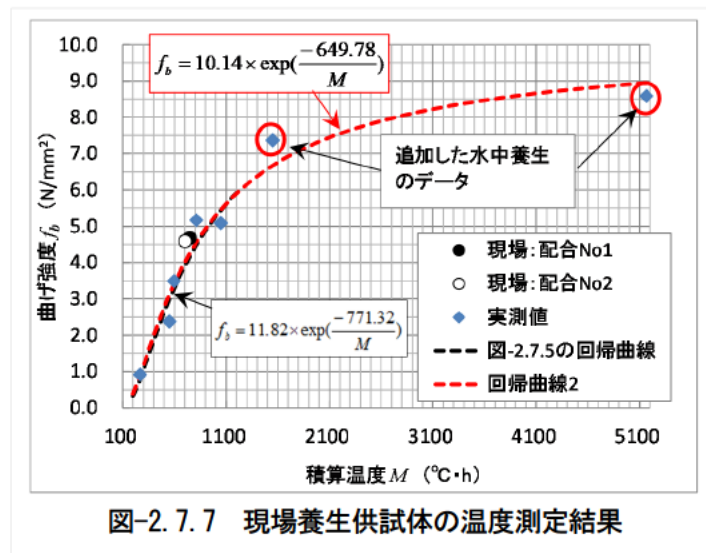
4.5N/mm²を得るための積算温度は 815°C・h であった。このような関係を事前に求めておけば、実際のコンクリート版打設時に温度さえ測定しておけば、迅速かつ簡単に曲げ強度を推定することが可能となる。

また 1DAY PAVE の曲げ強度と積算温度の関係を調査・研究している既往の文献^{15),17),18)}より、目標強度 3.5 および 4.5 N/mm²を満足するための積算温度を算出し比較したものを表-2.7.4 に示す。この表から、使用セメントの種類と水セメント比が同じであっても、目標とする強度に対する積算温度はかなりの幅があることがわかる。したがって、曲げ強度と積算温度の関係は、使用材料の影響を受けることより、施工前の試し練り時等で個別に求める必要があることが明らかになった。

表-2.7.4 目標強度を満足するための積算温度の推定値 (°C・h)

文献名	目標曲げ強度		備考
	3.5 N/mm ²	4.5 N/mm ²	
本報告	630°C・h	815°C・h	HPC 使用、水セメント比 35%
文献 15)	540°C・h	650°C・h	HPC 使用、水セメント比 32%
文献 17)	540°C・h	730°C・h	HPC 使用、水セメント比 35%
文献 18)	520°C・h	850°C・h	HPC 使用、水セメント比 35%

なお、図-2.7.6 に示した回帰曲線は、表-2.7.3 に示した水中養生を行った場合の強度試験結果を除外して作成したものであったが、これらのデータを追加して曲げ強度と積算温度の関係を求めたものが図-2.7.7 である。この図が示すように、水中養生の比較的材齢の大きいデータを追加しても交通開放の目安となる積算温度 1,000°C・h 前後の曲げ強度と積算温度の関係にはほとんど影響がないことがわかった。



2.8 まとめ

1DAY PAVE は水セメント比が通常の JIS 舗装用コンクリートに比べて小さいため、ブリーディングがほとんど生じない粘性の高いフレッシュコンクリートであることより、すべり抵抗性を確保するための粗面仕上げの方法も通常の JIS 舗装用コンクリートとは異なることが考えられる。そこで、1DAY PAVE を用いた舗装走行実験場での試験施工および走行実験等を通して、持続性を含めたすべり抵抗性の確保のために様々な検討を行った。以下にここで得られた知見を示す。

- 1) 骨材露出工法により仕上げた路面は、すべり抵抗性が高く、その持続性も良好であった。
- 2) ほうき目仕上げによる路面のテクスチャは、使用するほうきの特性に加えて、コンクリートの硬さによっても仕上がりが異なる。コンクリートの硬化状況に応じて、適切な仕上げ時期がある。
- 3) コンクリートの硬さの変化は、N 式貫入試験や鉄球落下試験によって評価できる可能性がある。鉄球落下試験の方が、表層の変化をより評価していると考えられる。
- 4) ほうき目仕上げは、ほうきにかかる荷重をほうきの自重と錘によって調整し、人力はほうきを引く作業のみとすることで、概ね均一なテクスチャを形成することができた。
- 5) 粗面仕上げにおいて、仕上げ補助剤を使用してこて仕上げを行うことで、マイクロテクスチャが形成し易くなり、すべり抵抗性を確保し易くなる。
- 6) ほうき目仕上げの適切な仕上げ時期を過ぎてしまい、コンクリートの表層が硬くなりすぎた場合は、仕上げ補助剤の散布と再コテ仕上げを行うことで、表層の硬さを改善して適切にテクスチャを形成することができた。
- 7) コンクリートが硬い場合は、剛性の高い穂や穂先の短いほうきを使用すること、また、ほうきに錘をのせるなどして穂にかかる荷重を増加させることで、適切にテクスチャを形成できる可能性がある。
- 8) ほうき目仕上げ後、養生剤散布などの養生によって、ほうき目仕上げで形成したテクスチャを潰さないように留意する必要がある。
- 9) マイクロテクスチャが大きい方がすべり抵抗性が高いが、すべり抵抗性の持続性を得るためには適切なマクロテクスチャも必要であると考えられる。
- 10) 舗装走行実験場のコンクリート舗装に重車両を走行させた本試験では、通過輪数 30 万輪（49kN 換算輪数）以降にすべり抵抗性の回復が確認された。
- 11) 単位粗骨材かさ容積による、すべり抵抗性とその持続性への影響はほとんど認められなかった。
- 12) 希塩酸により路面を処理することで、すべり抵抗性を回復させることができた。
- 13) 積算温度と曲げ強度の高い相関性を確認した。両者の関係は、材齢 7 日の曲げ強度も含めて、指数関数型の回帰曲線によって示すことができた。
- 14) 積算温度と曲げ強度の関係性は、使用材料や配合によって異なることが確認された。

参考文献

- 1) NETIS ホームページ (<https://www.netis.mlit.go.jp/netis/>)、KT-130044-VE「早期交通開放型コンクリート舗装 (1DAY PAVE)」
- 2) 一般社団法人 セメント協会：早期交通開放型コンクリート舗装 1DAY PAVE 製造施工マニュアル、p2、(2016) <https://www.netis.mlit.go.jp/netis/>
- 3) コンクリートライブラリー103「コンクリート構造物におけるコールドジョイント問題と対策」、土木学会(2000)
- 4) 泉尾英文ほか：コンクリート舗装の路面テクスチャとすべり抵抗性に関する検討、セメントコンクリート、No.864, pp36-40 (2019.2)
- 5) PIARC : Optimization of Surface Characteristics, PIARC Technical Committed on Surface Characteristics, Report to XVIIIth World Road Congress,Brussels,Belgium (1987)
- 6) 土木学会 舗装工学委員会：舗装工学ライブラリー10 路面テクスチャとすべり、p.2 (2013)
- 7) 斉藤和夫、ジョン J.ヘンリー：舗装路面の粗さとすべり抵抗の関係に関する研究、交通工学 Vol.23、No.6、pp.19-27 (1988)
- 8) KEYENCE：ワンショット 3D 形状測定機 VR-3000 シリーズカタログ、p.11 (2015)
- 9) 舗装調査・試験法便覧、〔第 1 分冊〕、公益社団法人日本道路協会 (2019)
- 10) 泉尾英文ほか：舗装路面のテクスチャとすべり抵抗性に関する一検討、第 71 回セメント技術大会講演要旨集、pp.186-187 (2017)
- 11) 水井唯宇太ほか：コンクリート舗装のすべり抵抗性に対する路面テクスチャの影響、第 72 回セメント技術大会講演要旨集、pp.174-175 (2018)
- 12) KEYENCE ホームページ (<https://www.keyence.co.jp/products/measure/laser-positioning/lj-v/>)、超高速インラインプロファイル測定器 LJ-V7000 シリーズ
- 13) コンクリート舗装ガイドブック 2016、pp.303-311、日本道路協会 (2016)
- 14) 道路維持修繕要綱、p.93、日本道路協会 (1978)
- 15) 吉本徹：交通開放のための強度確認方法と普通コンクリート舗装の目地部補修、舗装、Vol.48、No.10、pp27-32 (2013)
- 16) 宍倉大樹：積算温度方式による高強度コンクリートの圧縮強度推定に関する基礎的研究、建材試験情報 6 Vol.49, No6, pp.6-11(2013)
- 17) 泉尾英文ほか：早期交通開放型コンクリート舗装 (1DAY PAVE) の強度管理および施工ひび割れ照査の検討、セメント・コンクリート論文集/71 巻 1 号、pp. 280-287 (2017)
- 18) 井口舞ほか：早期交通開放型コンクリート舗装の管理供試体の養生方法に関する検討、第 71 回セメント技術大会講演要旨、pp.172-173 (2017)

3. 速硬コンクリートを用いた早期交通開放技術

3.1 はじめに

速硬性混和材を使用した Facet® Concrete（以下、FC）は、材齢 6～12 時間で 24N/mm^2 以上の圧縮強度を発現可能な速硬性を有するコンクリートである。専用の移動式プラントを使用せずに現場で製造可能であり、これまで高速道路の伸縮装置の取替えや部分補修、打替えなど既存構造物の補修を中心に適用されてきた。

FC は、現場で比較的簡易に製造でき、かつ早期の強度発現が期待できることから、早期交通開放が求められる舗装の修繕工法、特に損傷が生じた舗装の打替え工法への適用が有効であると考えられる。しかし、現状は舗装用途での適用実績は少なく、すべり抵抗性や平坦性などの路面性状や、疲労耐久性など舗装に必要とされる性能については不明確である。

そこで、コンクリート舗装の打替え工法への FC の適用性を評価することを目的に、土木研究所構内で試験施工を行い、FC の施工性や交通開放までに必要な養生期間を確認した。また、荷重車による促進載荷試験を実施し、車両走行による舗装の路面性状の変化を測定し耐久性を評価した。

3.2 材料、工法の特徴

3.2.1 工法の概要

FC は材齢 6～12 時間で 24N/mm^2 以上の圧縮強度が得られる速硬性を有するコンクリートである。コンクリートに速硬性混和材を混入することで、短時間での高い強度発現を可能にしている。FC の製造においては、移動式バッチャープラントを必要としない点に大きな特徴がある。具体的には、通常のレディーミクストコンクリートを購入し、現場到着後受入れ検査した後に速硬性混和材を投入する方法や、あらかじめ速硬性混和材を含む所定の材料が配合されたプレミックス材料（フレキシブルコンテナパック使用）を用いた方法により製造される。FC は速硬性を有するコンクリートであるが、現場で製造することができることから、作業時間を確保し易いといった利点もある。

適用事例としては、高速道路の集中工事期間中の伸縮装置の取替えや部分補修、打替えなどの既存構造物の補修を中心に適用されている。その他、道路修繕工事、橋梁補修工事などの早期交通開放を要する工事に主に適用されている。

3.2.2 FC の概要

(1) 使用材料および配合の一例

表-3.2.1 に、FC の使用材料の一例を示す。FC では、コンクリートに速硬性を付与するために、特殊カルシウムアルミネート特殊硫酸塩系の速硬性混和材が使用される。また、可使時間を確保するために、オキシカルボン酸系の硬化時間調整剤が使用される。その他の材料は通常のレディーミクストコンクリート工場で使用されている材料が使用可能である。

表-3.2.2 に FC の配合の一例を示す。速硬性混和材(記号：F)の使用量は、ベースコンクリート（F 混入前のコンクリート） 1m^3 に対して約 140kg である。

表-3.2.1 使用材料の一例

材料	記号	種類
セメント	C	普通ポルトランドセメント (密度 : 3.16g/cm ³)
速硬性混和材	F	Facet® : 特殊カルシウムアルミネート特殊硫酸塩系 (密度 : 2.93g/cm ³)
水	W	水道水
細骨材	S	山砂 (表乾密度 : 2.61g/cm ³)
粗骨材	G	砕石 (表乾密度 : 2.64g/cm ³)
混和剤	Ad	AE 減水剤 (リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体)
硬化時間調整剤	Re	オキシカルボン酸系

表-3.2.2 配合の一例

W/C (W/B*)	単位量 (kg/m ³)					外割添加 (kg/m ³)		
	W	C	S	G	Ad	F	W	Re
51.9 (38.5*)	174	335	830	926	C×0.7%	143	10	3.35

*水結合材比を示す。

(2) コンクリートの基本物性の一例

① フレッシュ性状

図-3.2.1 に、スランプの経時変化の一例を示す。硬化時間調整剤を適切に使用することにより、可使用時間を確保することができる。図-3.2.2 に、凝結時間の一例を示す。可使用時間を 120 分程度確保した場合には、始発 : 150 分、終結 : 170 分程度である。

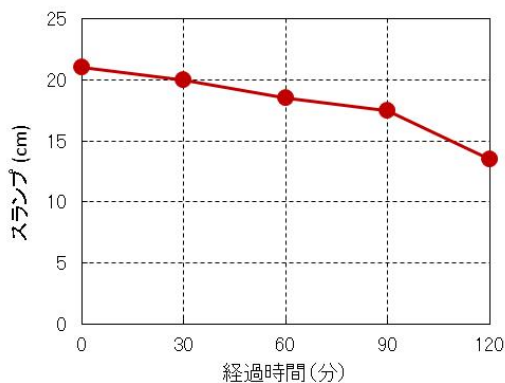


図-3.2.1 スランプの経時変化の一例

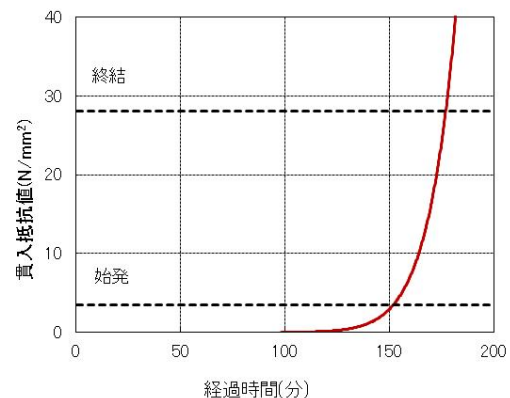


図-3.2.2 凝結時間の一例

② 硬化性状

図-3.2.3 に、圧縮強度の一例を示す。圧縮強度は材齢 6 時間で 24N/mm^2 以上が得られており、材齢 28 日では 70N/mm^2 程度の結果が得られている。図-3.2.4 に、曲げ強度の一例を示す。可使時間を 120 分程度確保した場合は材齢 6 時間では 3N/mm^2 程度、材齢 28 日では 7N/mm^2 程度の結果が得られている。図-3.2.5 に圧縮強度と静弾性係数の関係の一例を示す。図中の線は 2017 年土木学会コンクリート標準示方書【設計編】¹⁾ に示されている設計値の値である。圧縮強度と静弾性係数の関係は普通コンクリートの場合の関係と同程度である。

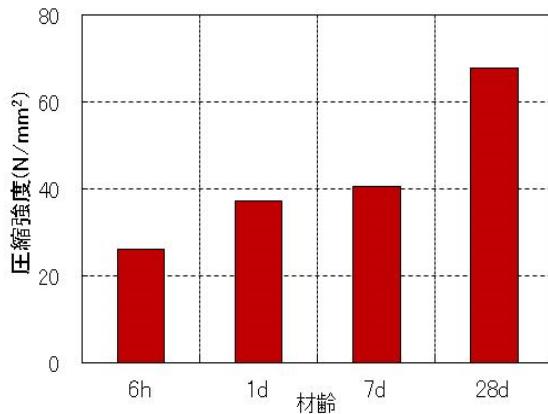


図-3.2.3 圧縮強度の一例

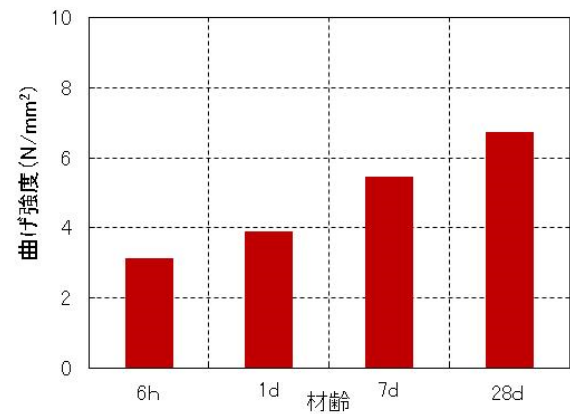


図-3.2.4 曲げ強度の一例

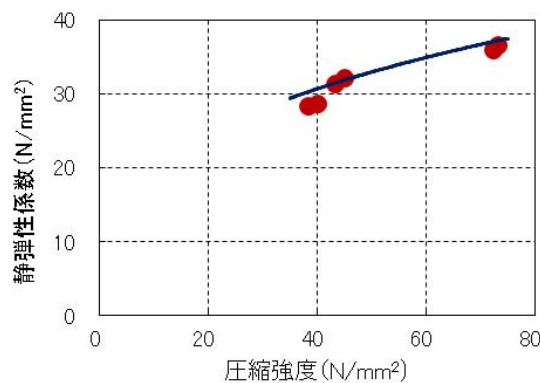


図-3.2.5 圧縮強度と静弾性係数の関係の一例

③ 耐久性

図-3.2.6 に乾燥収縮ひずみの一例を示す。乾燥収縮ひずみは材齢 6 ヶ月後で 470×10^{-6} 程度である。図-3.2.7 に凍結融解抵抗性の一例を示す。凍結融解抵抗性は 300 サイクル経過後も相対動弾性係数で 80% 以上確保されている。図-3.2.8 に塩分浸透深さの一例を示す。塩分浸透深さは JSCE-G572-2007 に準拠し、浸漬 4、13 および 26 週において硝酸銀噴霧法で浸透深さを測定したものである。材齢 26 週後の塩分浸透深さ 6mm 程度である。なお、図中の PL は表-3.2.2 に示す速硬性混和材を混和する前のベースコンクリート（普通コンクリート）の結果である。

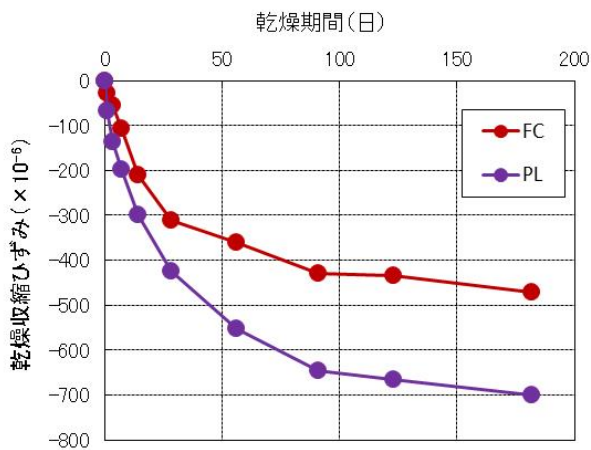


図-3.2.6 乾燥収縮ひずみの一例

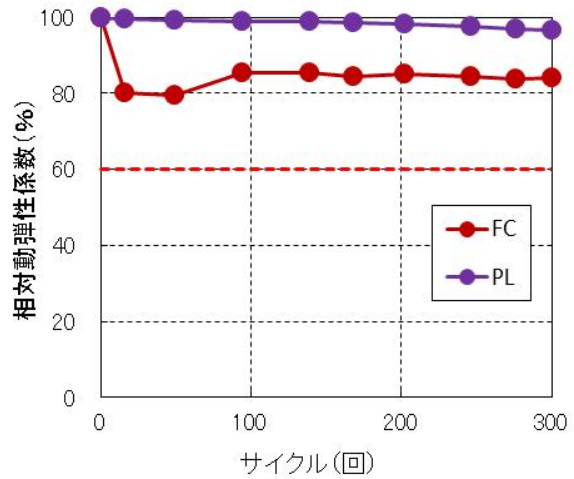


図-3.2.7 凍結融解抵抗性の一例

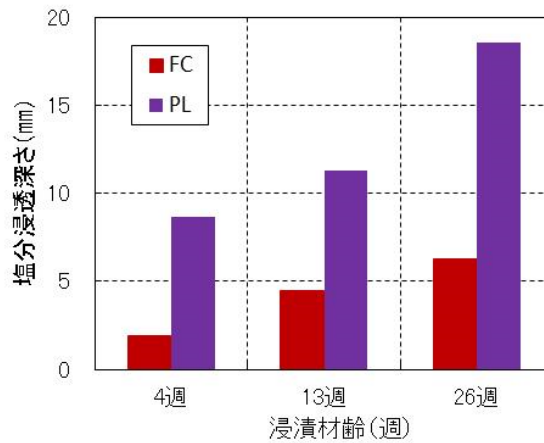


図-3.2.8 塩分浸透深さの一例

(3) コンクリートの製造方法

FCは3種類の製造方法があることから、その3種類について示す。

① アジテータ車混和方法

図-3.2.9にアジテータ車混和方法の方法例を示す。通常のレディーミクストコンクリートを購入し、現場到着後受入れ検査した後に、図-3.2.9に示すように直接アジテータ車に硬化時間調整剤・速硬性混和材を投入し、速硬コンクリートを製造する方法である。

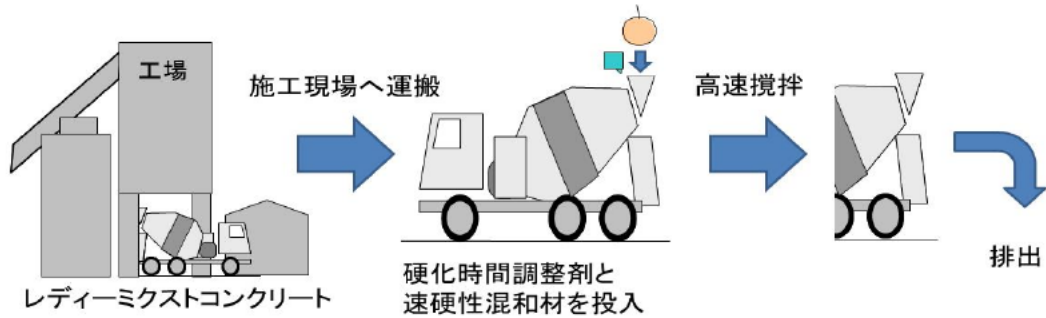


図-3.2.9 アジテータ車混和方法²⁾

② レディーミクストコンクリート小分けによるコンパクトミキサ方法

図-3.2.10 にレディーミクストコンクリートを小分けし、コンパクトミキサでの製造方法例を示す。ここでは容積法の例（ポイントゲージを利用した方法）を示す。コンパクトミキサは現場に設置される。この製造方法はレディーミクストコンクリートに硬化時間調整剤・速硬性混和材を投入する方法であるが、少量ずつ製造可能となるため、小規模や少量現場への適用に優れており、使用後の清掃や洗浄も容易となる利点がある。なお、図-3.2.10 に示すように質量法（バケットにコンクリートを受けその重量確認する方法）で製造する方法例もある（レディーミクストコンクリート受入れ後は容積法の④の手順と同様となる）。

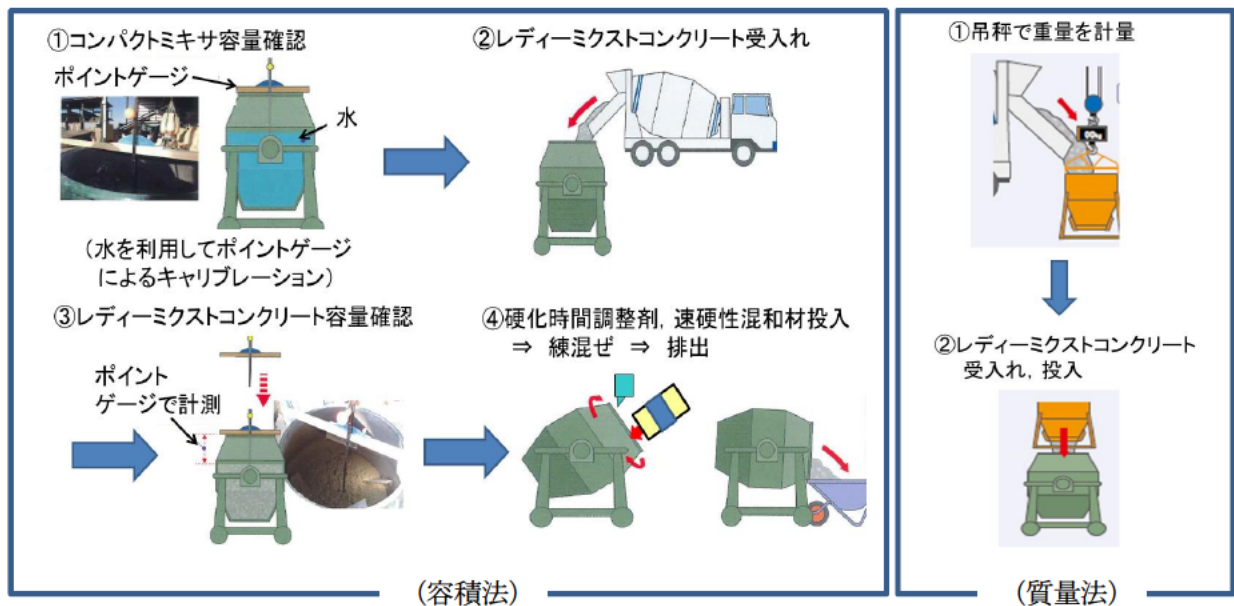


図-3.2.10 レディーミクストコンクリート小分けによるコンパクトミキサ方法²⁾

③ プレミックス材料（フレキシブルコンテナパック使用）によるコンパクトミキサ方法

図-3.2.11 にプレミックス材料（フレキシブルコンテナパック使用）によるコンパクトミキサでの製造方法例を示す。ここでは骨材が絶乾状態の場合の例を示す。この製造方法はフレキシブルコンテナパックにあらかじめ適正な配合量のセメントと骨材が入っており、計量などは必要としない。また、この方法も小規模

や少量現場への適用に優れており、使用後の清掃や洗浄も容易となる利点がある。なお、骨材が表乾状態の場合もある。

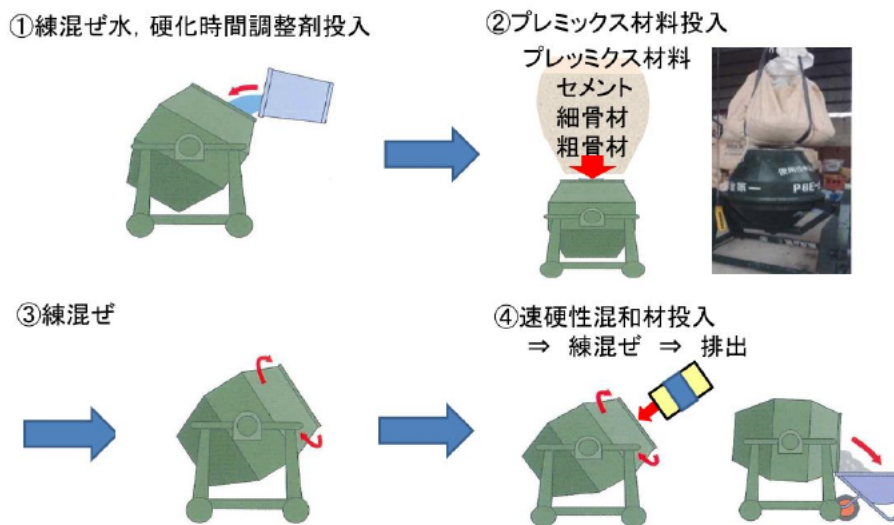


図-3.2.11 プレミックス材料（フレキシブルコンテナパック使用）によるコンパクトミキサ方法²⁾

3.2.3 施工方法

(1) 施工フロー

FC を用いたコンクリート版の打換えは、既設舗装版を撤去した後に路床や路盤の状態に応じて路床の置き換え、路床・路盤の安定処理工法を適用する。現場条件に応じて工種は異なるが、ここでは標準的な施工フローを図-3.2.12に示す。

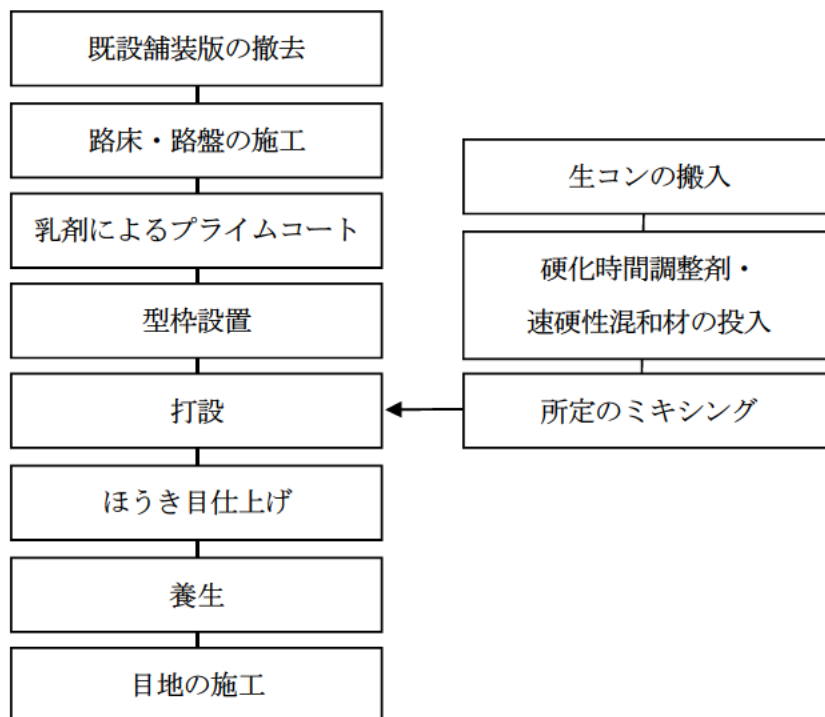


図-3.2.12 FC 施工フロー

(2) 施工時間

規制時間などの目安として本工法の施工時間の例を表-3.2.3に示す。FCは、通常のコンクリート舗装と同様の施工方法で、短時間に交通開放強度が得られる特徴を有する。交通開放までに要する時間は21.5時間程度であり、一般的なコンクリート材料の養生時間と比較した場合、早強コンクリートと比較しても大幅に規制時間を短縮できる可能性がある。なお、打換え面積は50m²（厚さ250mm、無筋）として算出しており、実際の施工では、数量や現場条件などを考慮してタイムスケジュールを計画する必要がある。

表-3.2.3 交通開放までに要する時間の例

工種	細目	所要時間（時間）		
		FC	普通コンクリート	早強コンクリート
撤去工	既設舗装版	3		
路床・路盤工	路床・路盤整正	1		
準備工	プライムコート	0.5		
	型枠設置	1		
舗装工	打設	2		
	養生	12 ^{※1}	168（7日） ^{※2}	72（3日） ^{※2}
	目地施工	1		
復旧工	路肩など	1		
合計		21.5	177.5	81.5

※1：表-3.3.5 曲げ強度試験結果を参考に設定
 ※2：配合強度の70%以上に達する一般的な養生期間

(3) 施工機械

本工法の主な工種は、既設舗装版の撤去、路床・路盤の施工、コンクリートの打設、養生、目地の施工であり、現場条件を考慮した上で各工種に適した施工機械を選択する必要がある。ここでは、主要施工機械の例を表-3.2.4に示す。なお、FCの製造は前述のアジテータ車に速硬性混和材を投入する方法を、FCの打込みはコンクリートポンプ車を使用することを想定している。

表-3.2.4 主要施工機械の例

機械名	数量	備考
バックホウ	2	ブレーカー、バケット仕様
転圧ローラ	1	4t コンバインドローラなど
アジテータトラック	4	材料運搬
クレーン	1	速硬性混和材投入用
コンクリートポンプ車	1	打設
高周波バイブレータ	1	締固め
簡易フィニッシャ	1	敷きならし、締固め

(4) 主要材料

表-3.2.5 に、本工法における主要材料の例を示す。

表-3.2.5 主要材料の例

材料名	製造・供給
レディーミクストコンクリート	-
速硬性混和剤	太平洋マテリアル
凝結時間調整剤	太平洋マテリアル
被膜養生剤	太平洋マテリアル
先送りモルタル	-
アスファルト乳剤	-
セメント（路盤安定処理材）	-

3.3 舗装走行実験場での走行試験

3.3.1 はじめに

既存構造物の補修を中心に使用されている FC は、製造に専用の設備を必要とせず、短時間での強度発現が期待されることから、損傷した舗装の打換えといった修繕工事に適用した場合、交通への影響を軽減できる可能性がある。しかし、現状では舗装に適用した事例は少なく、材料の製造、施工性、車両走行による路面性状の変化、耐久性などの知見を得ることは重要である。そこで、土木研究所の舗装走行実験場において試験施工を実施し、FC の施工性や交通開放までに必要な養生期間を確認した。また、荷重車による促進載荷試験を実施し、車両走行による舗装の路面性状の変化を評価した。

3.3.2 施工概要

(1) 試験施工実施期間

平成 28 年 10 月 31 日～平成 28 年 11 月 8 日（打設：平成 28 年 11 月 4 日）

(2) 施工数量

5m（幅員）×10m（延長）=50m²、250mm（厚さ）

(3) 主要材料

FC の試験施工で使用した主要材料を表-3.3.1 に示す。

表-3.3.1 主要材料

材料名	仕様	製造・供給	数量
レディーミクストコンクリート	普通 30 12 20 N	小山レミコン	15 m ³
速硬性混和材	特殊カルシウムアルミネート 特殊硫酸塩系	太平洋マテリアル	2250 kg
硬化時間調整剤	オキシカルボン酸系	太平洋マテリアル	—
被膜養生剤	パラフィンエマルジョン	太平洋マテリアル	—
先送りモルタル	-	小山レミコン	0.5m ³
アスファルト乳剤	PK-4	日本道路	21L
セメント（路盤安定処理材）	普通ポルトランドセメント	日本道路	—

(4) コンクリート配合

表-3.3.2 に、FC の配合を示す。

表-3.3.2 FC の配合

Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					外割混和剤 (kg/m ³)		
			W	C	S	G	Ad	F	Re	W
20	48	44.6	165	344	793	992	3.44	150	4.94	10

(5) 施工フロー

図-3.3.1に、本試験施工の施工フローを示す。本試験施工では、レディーミクストコンクリート工場から出荷したコンクリートをアジテータトラックで運搬し、現場到着後に硬化時間調整剤・速硬性混和材を投入して、所定時間のミキシングを行うことでFCを製造した。



図-3.3.1 FCの実施施工フロー

(6) 実施時間工程

本試験施工では各工種を数日に分けて施工したが、実際の施工は交通規制時間を考慮して連続した施工になる。そこで、各工種に要した施工時間を連続したものとして、実施時間工程として整理した。表-3.3.3に実施時間工程表を示す。なお、試験施工では、目地の施工は反発硬度測定で適切な時期を判断し、FC 打設後のシート養生は4時間実施した。

実施時間工程表より、撤去工から路肩復旧まで約13時間で完了することがわかった。本試験施工では、供試体の強度試験を最短で材齢12時間で実施しており、シート養生を12時間としても、21時間程度の規制で交通開放可能であることが確認された。

表-3.3.3 実施時間工程表(FC)

工種	細目	8	10	12	14	16	18	20	22	24
撤去工	既設舗装版	—								
路盤工	路床・路盤 (セメント安定処理)	—								
準備工	プライムコート			—						
	型枠設置				—					
舗装工	打設					—				
	養生					—				
	目地施工							—		
復旧工	路肩復旧							—		

3.3.3 走行試験の概要

舗装走行実験場の舗装断面は図-1.3.2に示した通りである。下層路盤(C-40、厚さ30cm)、上層路盤(M-30、厚さ30cm)上にFCを版厚25cmで敷設した。施工後、車両通行による所定の性能の経年変化を把握するために、荷重車による促進載荷試験を実施した。促進載荷条件は、表-1.3.2に示したとおりである。荷重車の運転は年間(年度をまたぐ)を4季に分け、49kN換算輪数で10万輪走行を1季毎に実施し、1年間に40万輪走行した。荷重車の走行時期と走行回数は表-1.3.3に示したとおりであり、2016~2018年度にかけて実施された促進載荷試験期間中の累積の49kN換算輪数は、92.4万輪であった。

3.3.4 試験結果および考察

(1) FC のフレッシュ性状

FC のフレッシュ性状試験結果を表-3.3.4 に示す。本試験施工で使用した FC のフレッシュ性状は、各項目で目標値を満足することが確認された。

表-3.3.4 FC のフレッシュ性状試験結果

試験項目	測定値	目標値
スランプ (cm)	12.5	12±3
空気量 (%)	1.9	—
コンクリート温度 (°C)	24.3	35 以下

(2) FC の圧縮強度および曲げ強度

試験施工時に作製した供試体を用いて、硬化コンクリートの強度試験を実施した。FC の圧縮・曲げ強度試験結果を表-3.3.5 に示す。なお、材齢 24 時間までは型枠内養生とし、材齢 24 時間以降は 20°C 水中養生とした。

FC の曲げ強度は材齢 12 時間で 4.6N/mm² と目標値の 3.5N/mm² 以上を満足し、目標とする早期交通開放性を確保していることが確認された。

表-3.3.5 FC の圧縮・曲げ強度試験結果

材齢	FC	
	圧縮強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)
6 h	25.9	—
12 h	36.3	4.6
24 h	38.5	4.7
7 d	48.1	—
28 d	64.8	7.6
目標値	—	3.5 (12h)

(3) 施工性

コンクリート版の打換えを想定した本試験施工では、FC の製造から施工まで特殊な施工機械を必要とせず、通常のコンクリート舗装の施工編成で完了することができた。具体的には、アジテータトラックを用いた FC 製造やコンクリートポンプ車による圧送、簡易フィニッシャによる敷きならし、ほうき目仕上げなど、問題なく施工することが出来た。また、端部などを鏝でならず際は、通常のコンクリートと比較して材料に粘性があるものの、仕上げ補助剤を用いることで作業性を改善することができた。

(4) すべり抵抗性

FC を供用した後のすべり抵抗性を評価するため、所定回数の荷重車走行後に DF テスタを用いて動的摩擦係数 (μ_{60}) の測定を実施した。動的摩擦係数測定位置を図-3.3.2 に、結果を表-3.3.6、図-3.3.3 に示す。

FC の動的摩擦係数測定の結果、初期値は 0.4~0.6 程度を示し、測定箇所に係わらず荷重車の走行に伴い 49kN 換算輪数 21 万輪まで低下し、その後 0.5~0.6 程度まで増加する傾向を示した。これは、被膜養生剤に含まれるパラフィンが荷重車の走行に伴い消失したことや、風雨や砂塵により路面表面にほうき目（マクロテクスチャ）以外のマイクロテクスチャが形成されたことに起因すると考えられる。その後、92.4 万輪まで若干の減少傾向を示したが、0.45 程度に収束していることが確認された。

本調査の結果、調査期間を通して動的摩擦係数は道路維持修繕要綱³⁾に示される「維持修繕の要否判断の目標値」0.25 以上が確保されたことから、十分なすべり抵抗性を有していることが確認された。

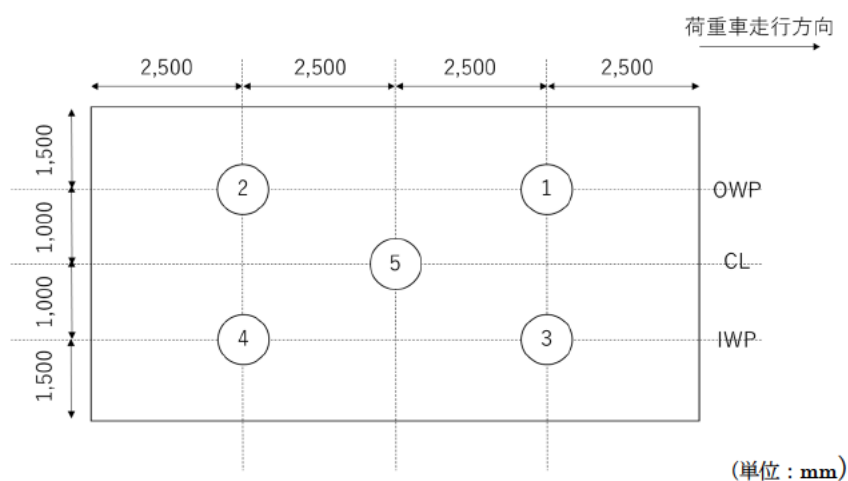


図-3.3.2 動的摩擦係数測定位置

表-3.3.6 動的摩擦係数測定結果

測定位置		動的摩擦係数 (μ_{60})						平均値
		0 輪	11 万輪	21 万輪	31 万輪	51 万輪	92.4 万輪	
OWP	①	0.43	0.37	0.31	0.31	0.50	0.42	0.44
	②	0.57	0.49	0.36	0.42	0.63	0.45	
IWP	③	0.46	0.33	0.35	0.38	0.51	0.43	0.42
	④	0.59	0.36	0.34	0.36	0.54	0.43	
CL	⑤	—	—	0.46	0.44	0.58	0.51	0.50
平均値		0.51	0.39	0.36	0.38	0.55	0.45	—

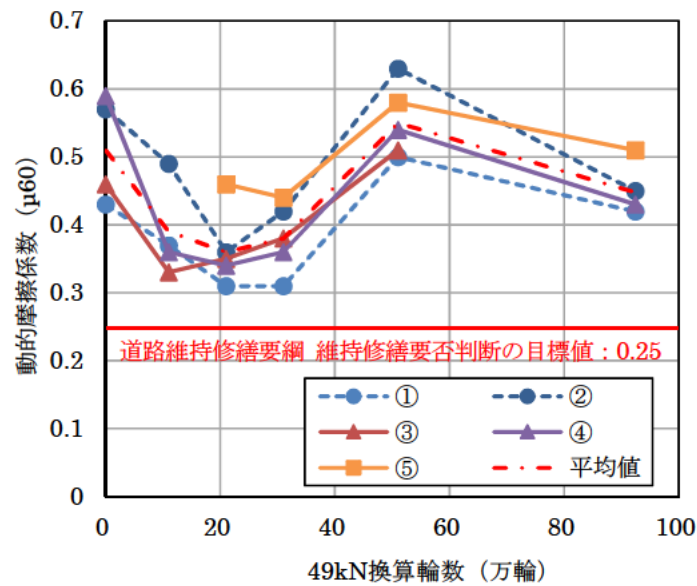


図-3.3.3 動的摩擦係数測定結果

(5) 路面のきめ深さ

前節と同様に、所定回数の荷重車走行後に路面のきめ深さをCTメータで測定した。その結果を表-3.3.7および図-3.3.4に、路面の状態を写真-3.3.1に示す。なお測定位置は図-3.3.2と同様である。

路面のきめ深さは若干の減少傾向を示したが、0.45~0.5mm程度の間で推移しており、大きな変化がなく、目視観察と併せて荷重車走行によるほうき目の消失などが無いことを確認できた。

表-3.3.7 きめ深さ測定結果

測定位置		MPD (mm)					平均値
		11万輪	21万輪	31万輪	51万輪	92.4万輪	
OWP	①	0.47	0.45	0.45	0.44	0.42	0.45
	②	0.50	0.44	0.47	0.47	0.48	
IWP	③	0.61	0.58	0.54	0.50	0.51	0.50
	④	0.56	0.56	0.50	0.54	0.48	
CL	⑤	—	0.49	0.56	0.53	0.51	0.52
平均値		0.53	0.50	0.51	0.50	0.48	—

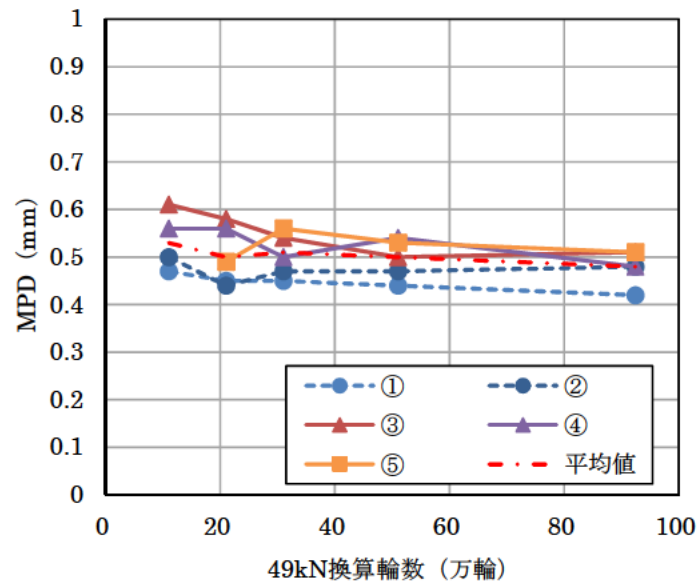


図-3.3.4 きめ深さ測定結果

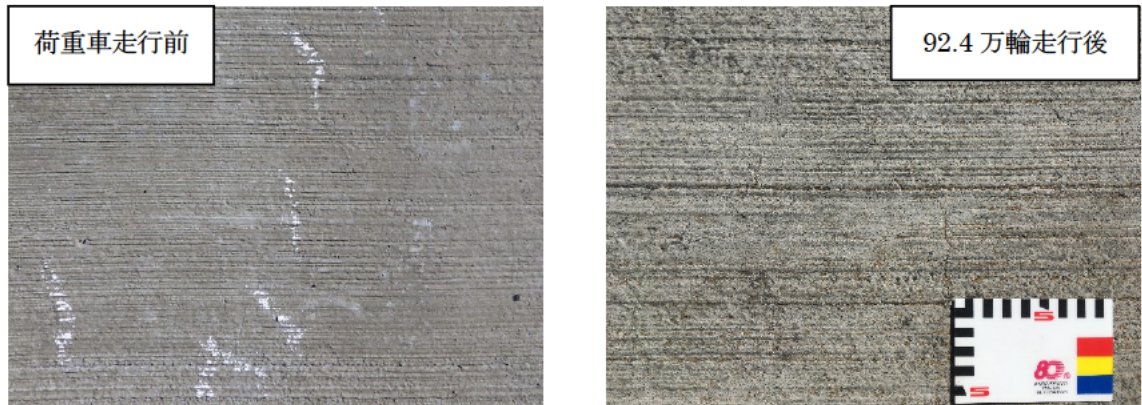


写真-3.3.1 荷重車走行によるほうき目の変化

(6) 横断形状

荷重車走行に伴う摩耗によるわだち掘れへの影響を検討するため、MRP を用いてわだち掘れ量の測定を実施した。測定位置を図-3.3.5、測定結果を表-3.3.8 および図-3.3.6 に、測定した横断形状を図-3.3.7 に示す。

FC 路面のわだち掘れ量は 2~4mm 程度で推移しており、初期値から顕著な変化は確認されなかった。「舗装の維持修繕ガイドブック 2013」⁴⁾によると、わだち掘れ量による工法選定上の区分 L(わだち掘れ量 20mm 以下) に該当し、これは最も軽微な損傷程度である。その中でも低い値を示していることから、FC の路面は優れた耐摩耗性を有すると考えられる。

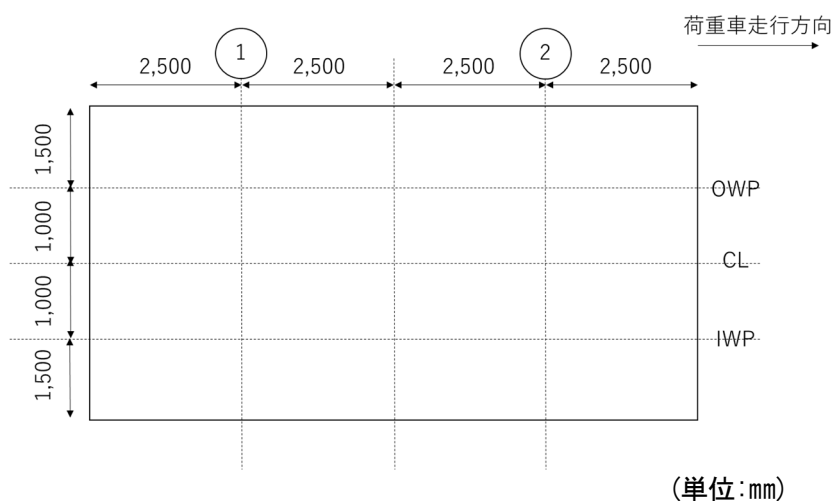


図-3.3.5 横断形状測定位置

表-3.3.8 わだち掘れ量測定結果

測定位置	わだち掘れ量 (mm)				
	11 万輪	21 万輪	31 万輪	51 万輪	92.4 万輪
①	2	4	2	3	2
②	3	4	3	2	4

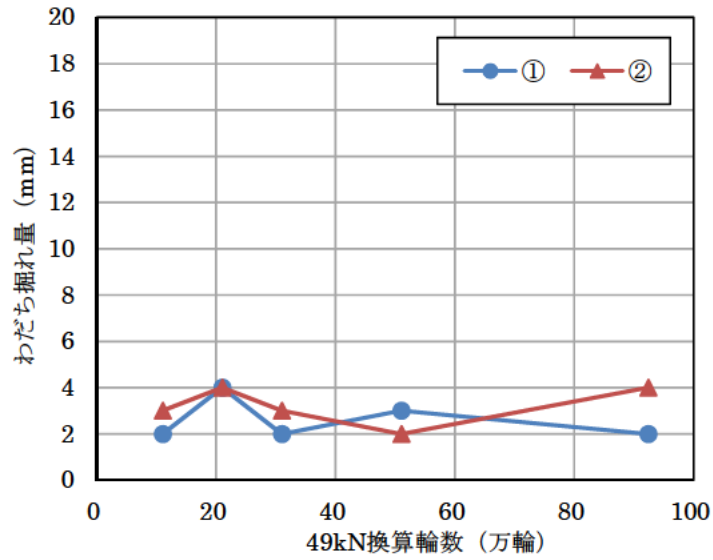


図-3.3.6 わだち掘れ量測定結果

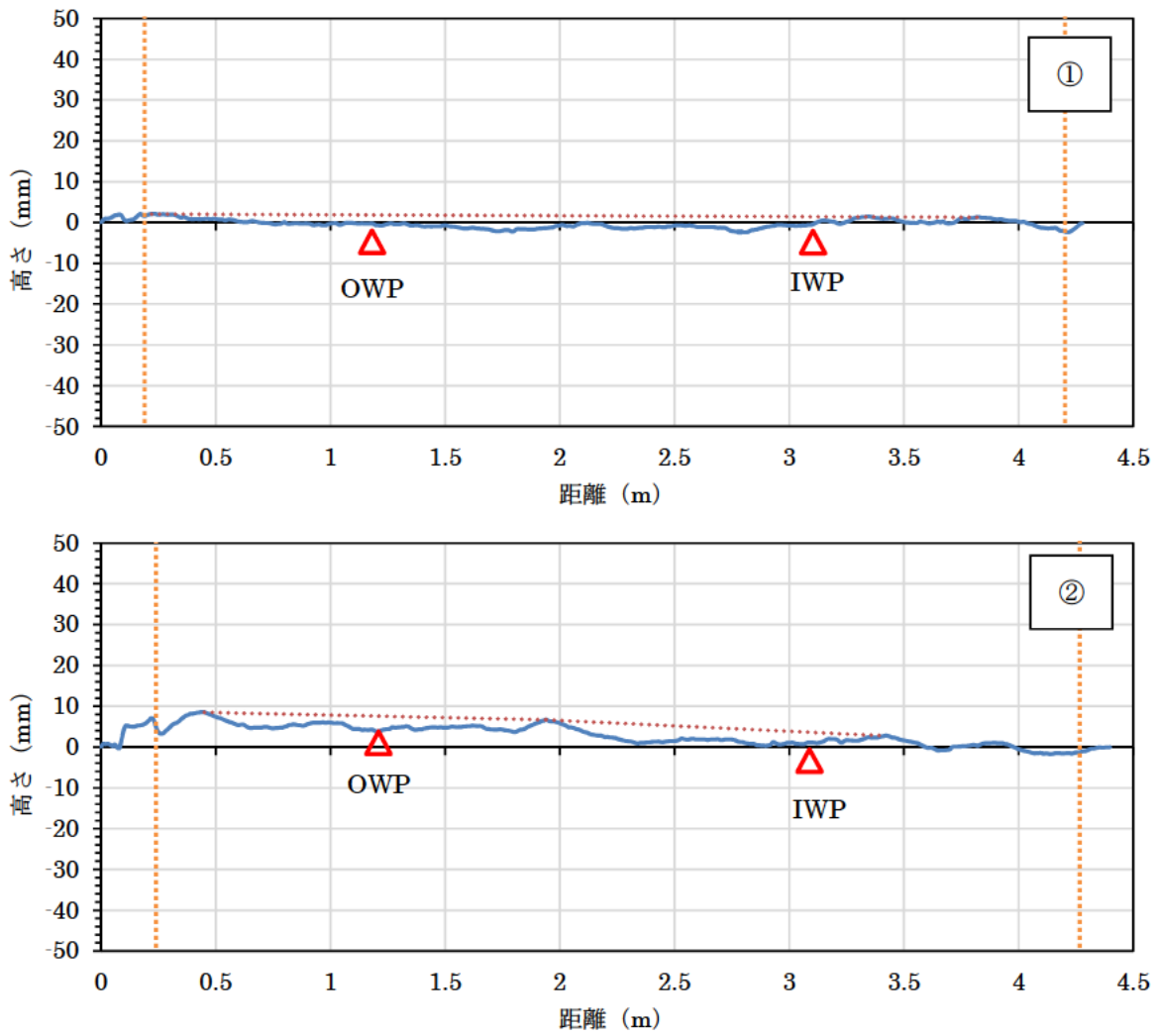


図-3.3.7 92.4万輪走行後の横断形状

(7) 路面外観

FC 施工後に路面外観の目視観察を実施した。外観全景を写真-3.3.2 に示す。

路面に幅 0.3mm、長さ数 cm 程度のプラスチック収縮ひび割れの発生が確認された。観察されたプラスチック収縮ひび割れを写真-3.3.3 に、施工当日の気象条件を表-3.3.9 に示す。気象庁のデータによると施工時の気象条件は、湿度が低く最大風速 6.7m/s であった。このことから、コンクリート表面の水分が蒸発しやすい条件であったことが、プラスチック収縮ひび割れ発生の一因として考えられる。

追跡調査では、新たなひび割れの発生やひび割れ幅の増加、舗装版の角欠けなどは確認されず、荷重車の走行に支障が生じることもなかった。また、92.4 万輪走行後にひび割れ部から採取したコアの断面（写真-3.3.4）を観察したところ、ひび割れの深さは表面から 5mm 程度であった。したがって、今回生じたひび割れはコンクリートのごく表面にとどまるものであり、舗装の構造的な性能に影響を及ぼすものではないと考えられる。



写真-3.3.2 FC 全景

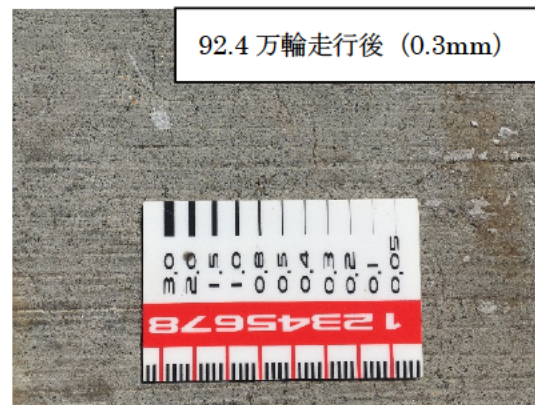
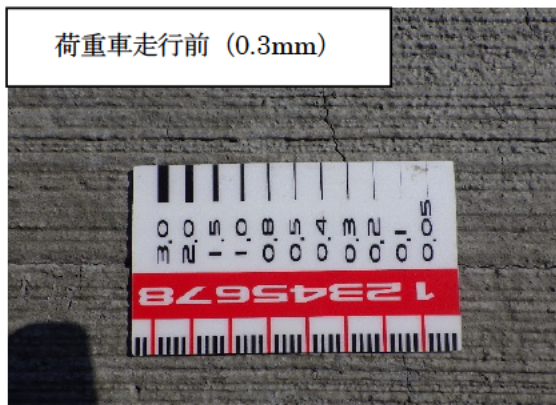


写真-3.3.3 観察されたプラスチック収縮ひび割れ

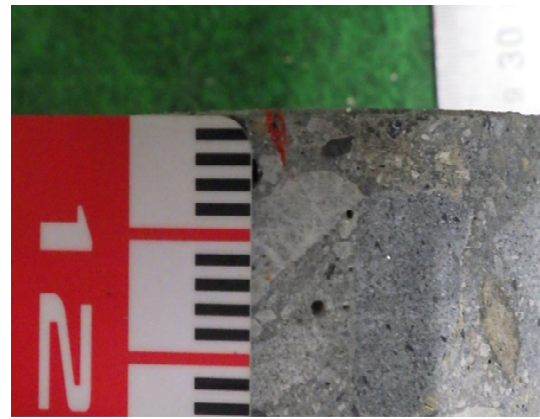
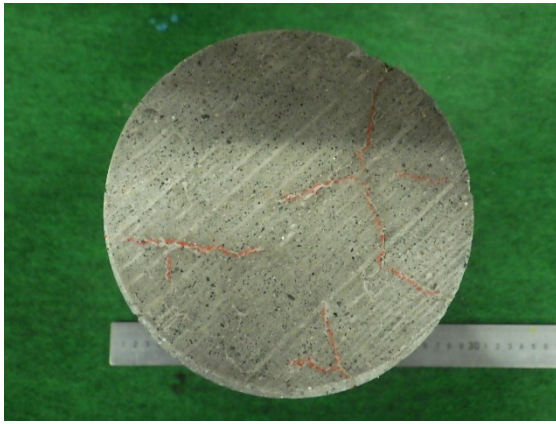


写真-3.3.4 ひび割れ部から採取したコア

表-3.3.9 FC 施工時の気象条件

日付	時間	降水量 (mm)	気温 (°C)	湿度 (%)	平均風速 (m/s)	最大風速 (m/s)	風向
11月4日	14時頃	0	17.7	30	3.0	6.7	北西

※湿度は測定値、それ以外は気象庁のデータより

3.3.5 初期ひび割れの発生要因と抑制策の検討

3.3.5.1 室内試験

(1) 試験概要

試験施工において、コンクリートの打込み直後にひび割れの発生が確認された。この原因として、施工時の風速等から、コンクリートの打込み後に乾燥作用を受けたことによるプラスチック収縮ひび割れによるものと推定された。そこで、FC の初期ひび割れ発生時における乾燥作用の影響を確認することを目的に、室内における促進試験を実施した。

表-3.3.10 に使用材料を、表-3.3.11 に FC の配合およびフレッシュ性状を示す。初期ひび割れ試験には、図-3.3.8 に示すボルトにより定着を確保した4辺拘束の鋼製型枠⁵⁾を用いた。コンクリートの打込みは、20℃、60%RH 条件下で行い、コンクリートの打込み後、扇風機にて送風することで、乾燥の影響を再現した。なお、コンクリートの打込みの後、金鋺仕上げを行った後に養生剤として CK を 100g/m² 散布した。送風はコンクリートの打込み 30 分後から開始し、送風時間は 180 分間とした。送風完了後、ひび割れ長さおよびひび割れ幅をクラックスケールで測定した。ひび割れの評価は、ひび割れ面積（ひび割れ長さ×幅の総和）により評価した。

表-3.3.10 使用材料 (FC)

材料		製造者
FC	プレパック材料	太平洋マテリアル(株)
	Facet® (速硬性混和材)	
	硬化時間調整剤	
養生剤	被膜養生剤、キュアキーパー® (記号：CK)	

表-3.3.11 配合およびフレッシュ性状 (FC)

コンクリート種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				外割添加 (kg/m ³)		フレッシュ性状	
			W	C	S	G	F	Re	スランプ (cm)	空気量 (%)
FC	48.4	46.3	172	355	774	947	152	5.07	15.0	1.9

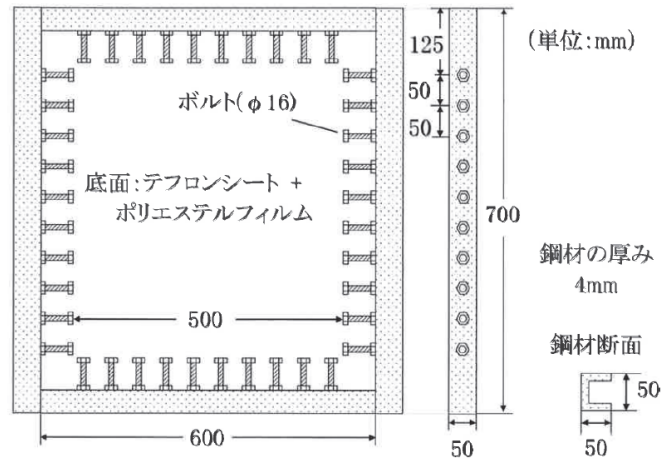


図-3.3.8 鋼製拘束型枠³⁾

(2) 試験結果

図-3.3.9にFCのひび割れ面積を示す。風速0m/sの場合はひび割れが生じなかったのに対し、風速3m/sの場合は、ひび割れの発生が確認された。一般にコンクリートは、打込み直後に急激な乾燥作用を受けた場合に、水分逸散によりひび割れが発生する可能性が高いことがよく知られているが、FCにおいても同様の傾向にあることが確認された。前述のとおり、試験施工時の気象条件は相対湿度が低く、最大風速6.7m/sであり、強い乾燥作用を受けていたと考えられることから、試験施工時にひび割れが発生した要因は、プラスチック収縮ひび割れである可能性が高いと推察された。

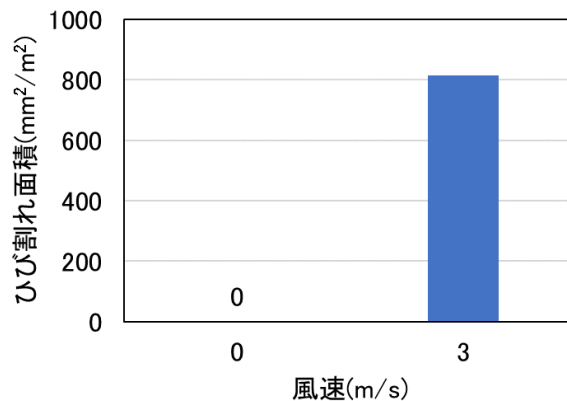


図-3.3.9 FCひび割れ面積

3.3.5.2 施工試験

(1) 試験概要

後述の4章のLMFC[®]の検討において、塗布型収縮低減剤(以下、CS)の初期ひび割れ抑制効果を示している。FCに適用した場合も同様の効果が期待できることから、CSの初期ひび割れ抑制効果について、屋外にて検証試験を実施した。検証試験は、平成31年3月8日に実施した。コンクリートの使用材料は表-3.3.10と、配合は表-3.3.11と同一である。また、施工は、3.3の舗装走行実験場での試験施工とおおむね同様の方

法で実施した。図-3.3.10 に施工平面図を示す。幅員 3m、延長 6m とし、FC の厚さは 20cm とした。表-3.3.12 に試験水準を示す。養生剤として、CK および CS を使用し、使用量はいずれも 100g/m² とし、金鋺仕上げ後に散布した。また、金鋺仕上げ前の敷きならし、締固めの際に、仕上げ補助として CK を 100g/m² 散布した。実測した施工時の環境は、9.2℃、36%RH、最大風速 3m/s 程度であり、前述の土木研究所での試験施工時に比べて相対湿度は同程度であるものの気温は低く、最大風速も小さかった。

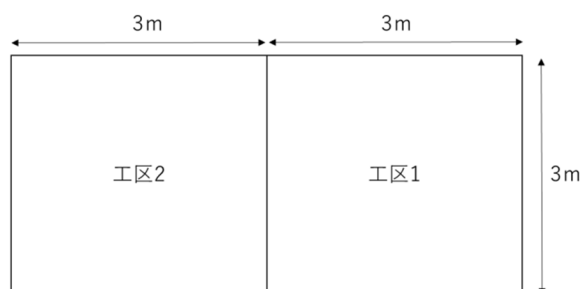


図-3.3.10 平面図

表-3.3.12 試験水準

工区	配合	仕上げ補助剤および養生剤種類と散布量	
		仕上げ補助剤	養生剤
1	FC	CK、100g/m ²	CK、100g/m ²
2			CS、100g/m ²

(2) 試験結果

工区 1、2 とともに FC の施工性は良好で、土木研究所での試験施工と同様であった。打設完了後の各工区の状況を写真-3.3.5～3.3.7 に示す。

コンクリートの打込み後、日なたと日陰の部分で FC の硬化の程度に差があったものの CK、CS とともにいずれのコンクリート版においてもひび割れの発生は確認されなかった。最大風速が 3m/s 程度であり、舗装走行実験場での試験施工時(最大風速 6.7m/s)よりも乾燥の影響が小さかったためと考えられる。CS のひび割れ抑制効果を明確にすることはできなかったが、FC の施工においては、施工時の環境によってはプラスチック収縮ひび割れが生じる可能性があると考えられ、水分逸散抑制等の対策を講じてひび割れ発生の防止に努めることが望ましいと考えられた。

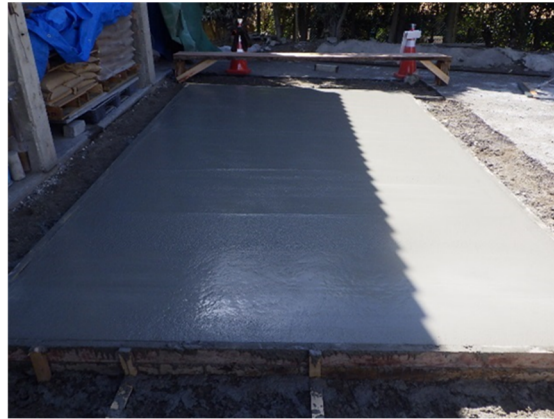


写真-3.3.5 FC 打設後の全景



写真-3.3.6 工区1 ほうき目仕上げ後の状況

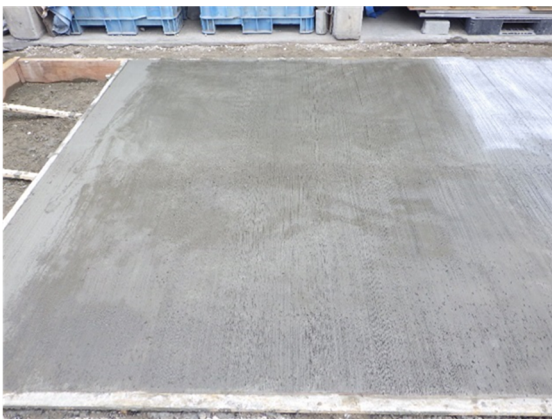


写真-3.3.7 工区2 ほうき目仕上げ後の状況

3.4 まとめ

コンクリート舗装の打替え工法へのFCの適用性を評価することを目的に、土木研究所構内で試験施工を行い、施工性や必要な養生期間を確認した。また、車両通行による所定の性能の経年変化を把握するために荷重車による促進載荷試験を実施した。得られた知見は、以下のとおりである。

- 1) FC の曲げ強度は材齢 12 時間で 4.6N/mm^2 となり、目標値の 3.5N/mm^2 以上を満足した。撤去工～路肩復旧まで約 13 時間（養生 4 時間）で完了し、交通開放まで 12 時間の養生を実施しても 21 時間程度の規制で交通開放可能であることが確認された。
- 2) FC の施工性は、材料の製造、簡易フィニッシャを用いた敷きならしなど、特殊な機械等を必要とせず、通常のコンクリート舗装と同様の施工編成で施工可能であった。コンクリートの供給は、コンクリートポンプ車での圧送が可能で、材料分離などは見られなかった。また、人力を要する箇所でも、仕上げ助剤を使用することで良好な施工性を確保できた。
- 3) 動的摩擦係数測定の結果、初期値は 0.4～0.6 程度であり、目標値の 0.3 以上を満足した。その後の荷重車の走行にともない、動的摩擦係数は一旦低下した後に増加に転じ、調査終了時（92.4 万輪）は 0.45 程度となった。調査期間を通じて目標値の 0.3 以上が確保され、十分なすべり抵抗性を有していることが確認された。路面のきめ深さの測定および目視観察から、荷重車走行によるほうき目の消失など生じていないと考えられた。
- 4) FC 路面のわだち掘れ量は 2～4mm 程度と極めて小さい値で推移し、初期値から顕著な変化は確認されず、FC の路面は優れた耐摩耗性を有すると考えられた。
- 5) 目視観察の結果、路面に幅 0.3mm、長さ数 cm 程度のプラスチック収縮ひび割れの発生が確認されたものの、その後のひび割れの増加や伸展、舗装版の角欠けなどは確認されず、今回生じたひび割れは、舗装の構造的な性能に影響を及ぼすものではないと考えられた。
- 6) 室内試験の結果、一般的なコンクリートと同様に、FC は打込み直後に乾燥作用を受けるとプラスチック収縮ひび割れが生じる可能性があることが確認され、舗装走行実験場にて発生した初期ひび割れも同様のものである可能性が高いと推察された。

以上の結果から、FC を用いたコンクリート舗装の打替え工法は、規制時間 21 時間程度で施工することが可能であり、その後の供用性も良好であることが確認された。ただし、施工時の環境によっては、プラスチック収縮ひび割れが生じる可能性があり、養生剤の使用や打込み後早期にシートをかけるなどの対策を講じて防止に努めることが望ましいと考えられた。

参考文献

- 1) 公益社団法人土木学会：コンクリート標準示方書 【設計編】、2017
- 2) 太平洋マテリアル株式会社：速硬性混和材 Facet カタログ
- 3) 社団法人日本道路協会：道路維持修繕要綱、1978.7
- 4) 公益社団法人本道路協会、舗装の維持修繕ガイドブック 2013、2013.11
- 5) 高木亮一、石田征男、岸良竜、畷田聖史：コンクリート舗装のプラスチック収縮ひび割れに配合条件が及ぼす影響、土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集、V-464, pp.927-928, 2013

4. ラテックス改質速硬コンクリートを用いた早期交通開放技術

4.1 はじめに

速硬性混和材を使用したラテックス改質速硬コンクリート Latex Modified Facet® Concrete（以下、LMFC®）は、FCと同様に材齢6～12時間で24N/mm²以上の圧縮強度を発現可能な速硬性を有するポリマーセメントコンクリートである。プレミックス材料（フレキシブルコンテナパック）をコンパクトミキサで練り混ぜることで、現場での製造が可能である。

LMFC®の適用事例としては、橋面舗装の補修工事への適用があるが、その実績はまだ少ないのが現状である。LMFC®は、現場で比較的簡易に製造が可能で、短時間での強度発現が期待できる。また、水や塩化物イオンなどの劣化因子の浸入抵抗性が高く、コンクリートとの付着性に優れることから、早期交通開放性および既設コンクリート舗装との一体性が求められる薄層オーバーレイ工法のような舗装の修繕工法への適用が有効であると考えられる。一方、現状は舗装用途での適用実績は少なく、すべり抵抗性や平坦性などの路面性状や、疲労耐久性など舗装に必要とされる性能については不明確であることが課題として挙げられる。

本章では、コンクリート舗装の薄層オーバーレイ工法へのLMFC®の適用性を評価することを目的に検討を行った結果を報告する。具体的には、土木研究所構内で試験施工を行い、LMFC®の施工性や交通開放までに必要な養生期間を確認した。また、荷重車による促進載荷試験を実施し、車両走行による舗装の路面性能の変化を評価した。

4.2 材料、工法の特徴

4.2.1 工法の概要

LMFC®は速硬性混和材とラテックス改質コンクリート用混和剤を使用し、速硬性と高耐久性を併せ持ったポリマーセメントコンクリートである。FCと同様に材齢6～12時間で24N/mm²以上の圧縮強度を得ることが可能である。ラテックス改質コンクリート用混和剤を使用することにより、付着特性や物質透過性の向上、乾燥収縮ひずみの低減などが期待されるものである。製造はプレミックス材料（フレキシブルコンテナパック）を用いた方法となる。

適用事例としては、橋面舗装の補修工事への適用がある。その他、水や塩化物などの劣化因子の浸入が想定される場所など緊急の補修工事や早期交通開放性かつ既存部材との一体性が求められるような道路修繕工事での適用が期待されている。

4.2.2 コンクリートの概要

(1) 使用材料および配合の一例

表-4.2.1に、LMFC®の使用材料の一例を示す。LMFC®では、コンクリートに速硬性を付与するために、特殊カルシウムアルミネート特殊硫酸塩系の速硬性の混和材を使用し、可使時間を確保するために、オキシカルボン酸系の硬化時間調整剤が使用される。また、付着特性や物質透過性の向上を目的に、SBR系のラテックス改質コンクリート用混和剤が使用される。

表-4.2.2にLMFC®の配合の一例を示す。水セメント比は35.8%、ポリマーセメント比は16.1%である。

また、速硬性混和材（記号：F）の使用量は、ベースコンクリート（F 混入前のコンクリート）1m³ に対して約 140kg である。

表-4.2.1 使用材料

材料	記号	種類
セメント	C	普通ポルトランドセメント（密度：3.16g/cm ³ ）
速硬性混和材	F	Facet®：特殊カルシウムアルミネートと特殊硫酸塩系（密度：2.93g/cm ³ ）
水	W	水道水
細骨材	S	山砂（表乾密度：2.61g/cm ³ ）
粗骨材	G	碎石（表乾密度：2.64g/cm ³ ）
硬化時間調整剤	Re	オキシカルボン酸系
ラテックス	L	SBR 系（固形分 45%）

表-4.2.2 配合

W/C (W/B* ¹)	P/C* ² (P/B* ³)	単位量 (kg/m ³)					外割添加 (kg/m ³)	
		W	L	C	S	G	F	Re
35.8 (25.1* ¹)	16.1 (11.3)	54	120	335	830	926	143	3.35

*1：水結合材比、*2：ポリマーセメント比、*3：ポリマー結合材比を示す。

(2) コンクリートの基本物性の一例

①フレッシュ性状

図-4.2.1 にスランプの経時変化の一例を示す。硬化時間調整剤を適切に使用することにより、可使時間を確保することができる。図-4.2.2 に凝結時間の一例を示す。可使時間を 120 分程度確保した場合には、始発：170 分、終結：185 分程度である。

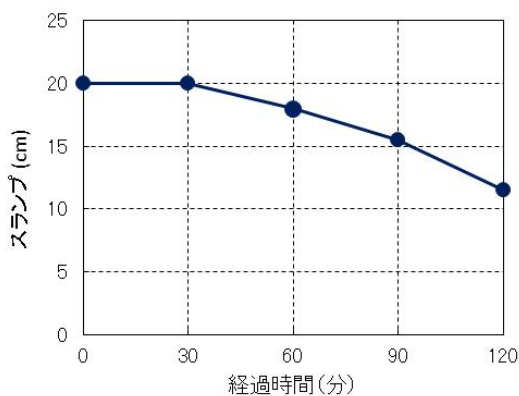


図-4.2.1 スランプの経時変化の一例

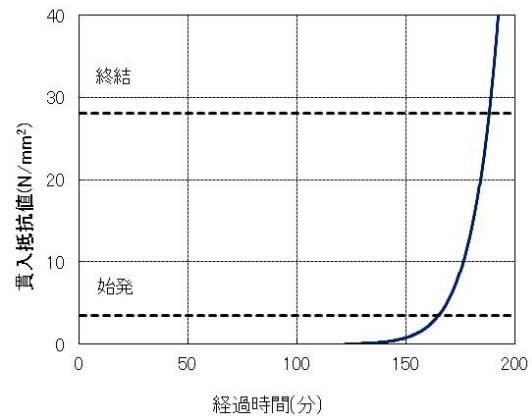


図-4.2.2 凝結時間の一例

②硬化性状

図-4.2.3 に圧縮強度の一例を示す。圧縮強度は材齢 6 時間で 24N/mm^2 以上が得られており、材齢 28 日では 65N/mm^2 程度の結果が得られている。図-4.2.4 に曲げ強度の一例を示す。可使時間を 120 分程度確保した場合は材齢 6 時間では 4N/mm^2 程度、材齢 28 日では 8N/mm^2 程度の結果が得られている。図-4.2.5 に圧縮強度と静弾性係数の関係の一例を示す。図中の線は 2017 年土木学会コンクリート標準示方書【設計編】¹⁾ に示されている設計値の値である。圧縮強度と静弾性係数の関係は普通コンクリートの場合の関係よりもやや低い傾向にある。これはラテックスによる影響と考えられる。表-4.2.3 に付着強度の一例を示す。本結果は所定の強度が得られた W/C52% の普通コンクリートの上に LMFC[®] を打設し、LMFC[®] 打設後材齢 28 日で試験を実施した結果であり、付着面の直径 $\phi 10\text{cm}$ 、深さ 10cm の直接一軸引張試験の結果である。付着強度は 3N/mm^2 程度得られている。

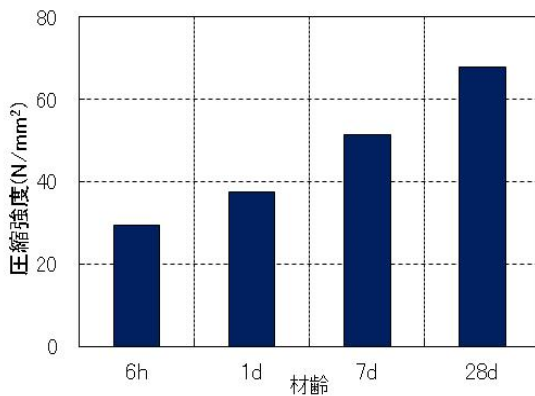


図-4.2.3 圧縮強度の一例

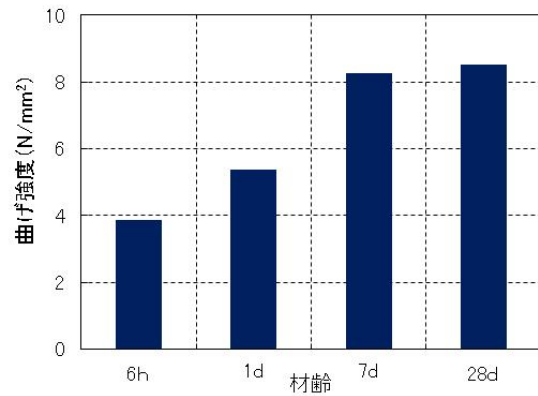


図-4.2.4 曲げ強度の一例

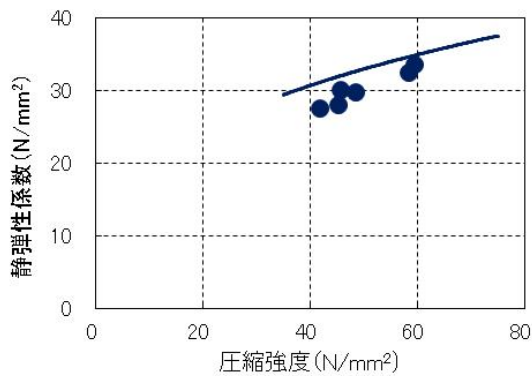


図-4.2.5 圧縮強度と静弾性係数の関係の一例

表-4.2.3 付着強度の一例

No.	材齢 28 日付着強度 (N/mm ²)
1	3.25
2	3.25
3	3.25
4	2.87
5	2.25
6	3.00
平均	2.98

③ 耐久性

図-4.2.6に乾燥収縮ひずみの一例を示す。乾燥収縮ひずみは材齢6ヶ月後で 270×10^{-6} 程度である。図-4.2.7に凍結融解抵抗性の一例を示す。凍結融解抵抗性は300サイクル経過後も相対動弾性係数で90%以上確保されている。図-4.2.8に塩分浸透深さの一例を示す。塩分浸透深さはJSCE-G572-2007に準拠し、浸漬4、13および26週において硝酸銀噴霧法で測定深さを測定したものである。材齢26週後の塩分浸透深さ4mm程度である。図-4.2.9に透水量を示す。透水試験はJIS A 6909に準じ、口径75mmの漏斗による透水量試験である。透水量は168時間(材齢7日)経過後、1mL程度と少ない結果にある。なお、図中のPLは3章で示したベースコンクリート(普通コンクリート)の結果である。

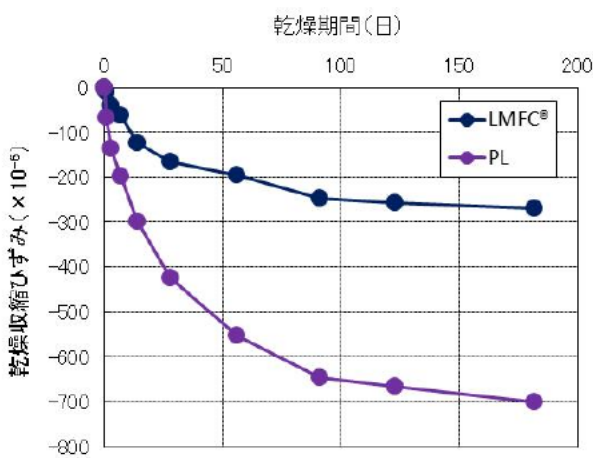


図-4.2.6 乾燥収縮ひずみの一例

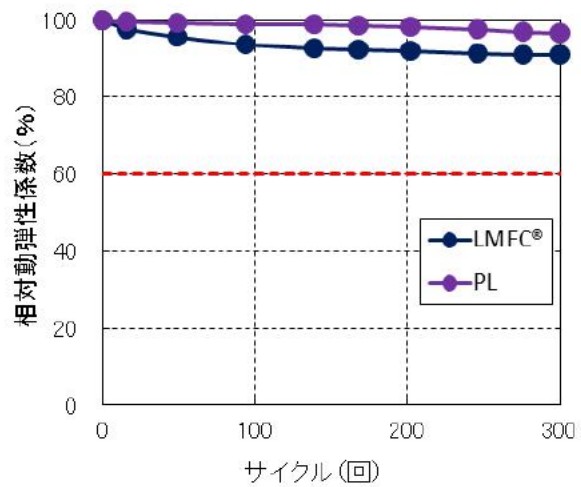


図-4.2.7 凍結融解抵抗性の一例

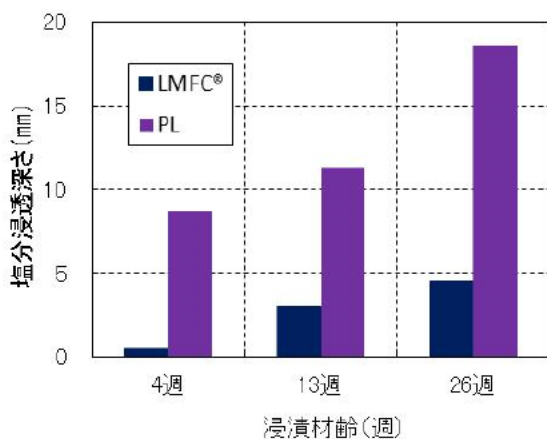


図-4.2.8 塩分浸透深さの一例

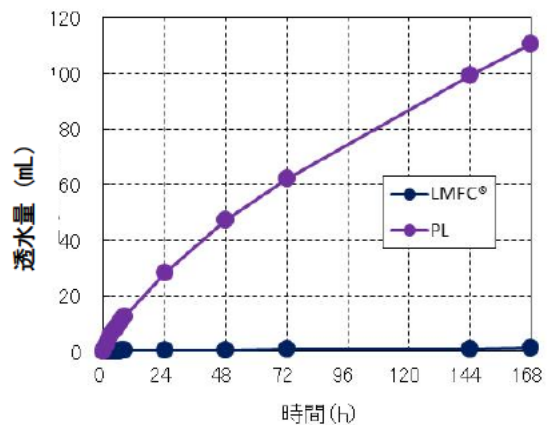


図-4.2.9 透水量の一例

(3) コンクリートの製造方法

図-4.2.10にLMFC®の製造方法を示す。LMFC®はプレミックス材料(フレキシブルコンテナパック使用)によるコンパクトミキサでの製造方法となる。この製造方法はフレキシブルコンテナパックにあらかじめ適正な配合量のセメント、速硬性混和材および骨材が入っており、計量などは必要としない。小規模や少量現場への適用に優れており、使用後の清掃や洗浄も容易となる利点がある。FCと同様に、骨材は絶乾状態と表乾状態の場合がある。

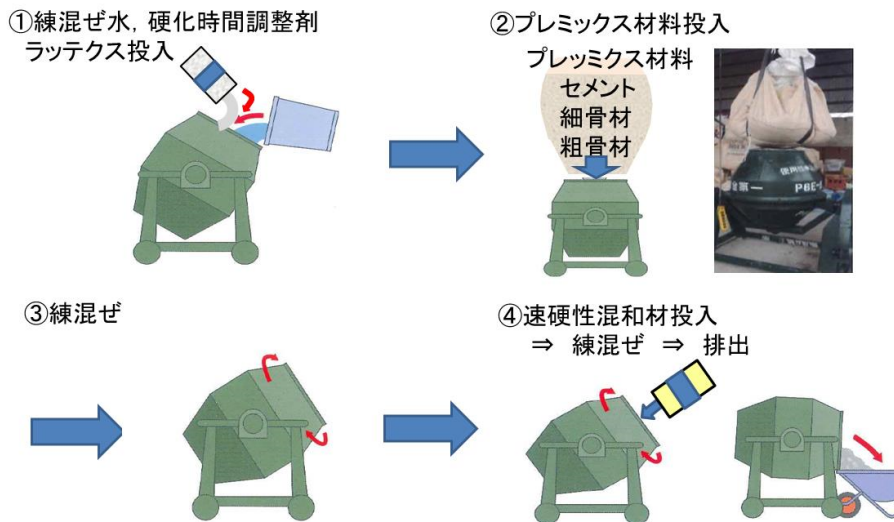


図-4.2.10 LMFC®の製造方法

4.2.3 施工方法

(1) 施工フロー

本工法では、損傷した既設コンクリート版の表面を 5cm 程度切削した後、打設面の研掃や脆弱部の撤去を実施し、当該材料による薄層オーバーレイを適用する。現場条件に応じて工種は異なるが、ここでは標準的な施工フローを図-4.2.11 に示す。

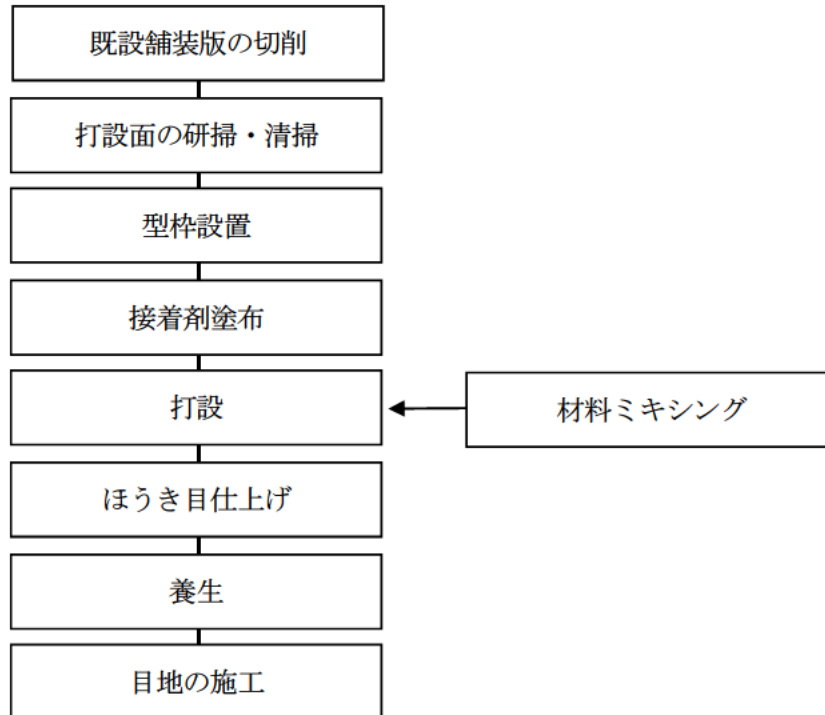


図-4.2.11 LMFC®施工フロー

(2) 施工時間

規制時間の目安となる本工法の施工時間の例を表-4.2.4 に示す。LMFC®は既設コンクリート版を切削した後、簡易フィニッシャなどの施工機械で敷きならし締固めることで施工することができる。また、FC と同様に短時間の養生で交通開放強度に達するため、一般にコンクリートのオーバーレイに用いられる繊維補強コンクリート（SFRC や PFRC）と比較して、交通に及ぼす影響を抑えることができる。なお、切削オーバーレイの面積は 50m²（厚さ 50mm）として算出しており、実際の施工では、数量や現場条件などを考慮してタイムスケジュールを計画する必要がある。

表-4.2.4 交通開放までに要する時間の例

工種	細目	所要時間（時間）		
		LMFC®	SFRC（早強セメント）	超早強セメント
撤去工	既設舗装版	2		
準備工	研掃・清掃	2		
	型枠設置	0.5		
	接着剤塗布	0.5	0.5※1	
舗装工	打設	1		
	養生	12※2	168（7日）※3	48※3
	目地施工	0.5		
復旧工	路肩など	1		
合計		19.5	175.5	55.5

※1：必要に応じて施工される

※2：表-4.3.5 曲げ強度試験結果を参考に設定

※3：一般的な養生期間^{3) 4)}

(3) 施工機械

本工法の主な工種は既設舗装版の撤去、打設面の研掃、コンクリートの打設、養生、目地の施工である。現場条件を考慮した上で各工種に適した施工機械を選択する必要があるが、ここでは主要施工機械の例を表-4.2.5に示す。

表-4.2.5 主要施工機械の例

機械名	数量	備考
切削機	1	既設舗装版撤去
ショットブラスト	1	研掃
ハイウォッシャー	1	清掃
傾胴ミキサ	1	材料混練
タイヤショベル	1	材料運搬
簡易フィニッシャー	1	敷きならし、締固め

(4) 主要材料

表-4.2.6 に主要材料の例を示す。

表-4.2.6 主要材料の例

材料名	製造・供給
プレパック材料	太平洋マテリアル
速硬性混和材	太平洋マテリアル
硬化時間調整剤	太平洋マテリアル
被膜養生剤	太平洋マテリアル
ラテックス	太平洋マテリアル
ニッシンボンド	日進化成

4.3 舗装走行実験場での走行試験

4.3.1 はじめに

LMFC®は、FCと同様に短時間での強度発現が期待され、使用材料に由来して付着特性や物質透過性が向上し、乾燥収縮ひずみが低減していることから、損傷したコンクリート版の切削オーバーレイなど薄層での修繕工事に適用可能であると考えられる。現状では橋面舗装などの部分的な断面補修に適用されているものの、表層材料とした適用事例は少なく、材料の製造、施工性、車両走行による路面性状の変化、耐久性などの知見を得ることは重要である。そこで、試験施工により施工性や供用性について検討することとした。具体的には、FCと同様に土木研究所の舗装走行実験場において試験施工を行い、LMFC®の施工性や交通開放までに必要な養生期間を確認した。また、荷重車による促進載荷試験を実施し、車両走行による舗装の路面性能の変化を評価した。

4.3.2 施工概要

(1) 試験施工実施期間

平成28年10月31日～平成28年11月8日（打設：平成28年11月4日）

(2) 施工数量

5m（幅員）×10m（延長）＝50m²、50mm（厚さ）

(3) 主要材料

LMFC®の試験施工で使用した主要材料を表-4.3.1に示す。

表-4.3.1 主要材料

材料名	仕様	製造・供給	数量
プレパック材料	普通ポルトランドセメント、 細骨材、粗骨材混合品	太平洋マテリアル	2.88 m ³
速硬性混和材	特殊カルシウムアルミネート 特殊硫酸塩系	太平洋マテリアル	2250 kg
硬化時間調整剤	オキシカルボン酸系	太平洋マテリアル	—
被膜養生剤	パラフィンエマルジョン	太平洋マテリアル	—
ラテックス	SBR系（固形分45%）	太平洋マテリアル	324 kg
ニッシンボンド	2液型エポキシ樹脂系接着剤	日進化成	11.2 kg

(4) コンクリート配合

LMFC®の配合を表-4.3.2に示す。

表-4.3.2 LMFC®の配合

Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					外割混和剤 (kg/m ³)	
			W	C	S	G	L	F	Re
20	35.9	40.5	51	340	742	1167	111	154	2.47

(5) 施工フロー

本試験施工の施工フローを図-4.3.1に示す。

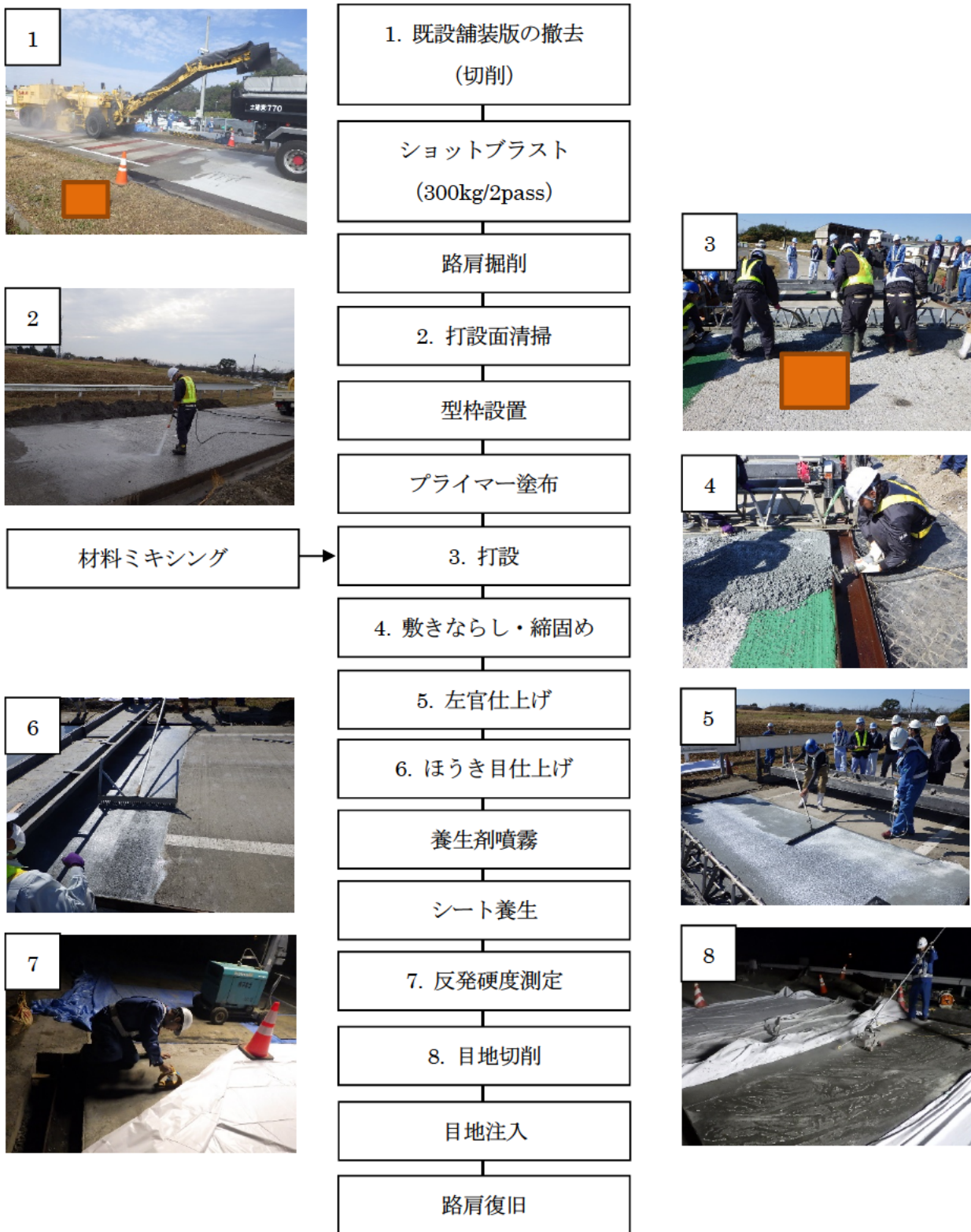


図-4.3.1 LMFC®の実施施工フロー

(6) 実施時間工程

LMFC®の実施時間工程を表-4.3.3に示す。前章と同様に、本試験施工の各工種の施工時間を連続した作業工程としてまとめたものである。

実施時間工程より、既設舗装の切削から路肩復旧まで約13時間で完了することがわかった。また、目地の施工は反発硬度測定で適切な時期を判断し、LMFC®打設後のシート養生は4時間実施した。本試験施工では、供試体の強度試験を最短で材齢12時間(表-4.3.5)で実施しており、シート養生を12時間としても、21時間程度の規制で交通開放可能であることがわかった。

表-4.3.3 LMFC®実施時間工程表

工程	細目	8	10	12	14	16	18	20	22	24
撤去工	既設舗装版(切削)	■								
準備工	ショットプラスト (300kg/2pass)		■							
	路面清掃			■						
	型枠設置			■						
	プライマー塗布				■					
舗装工	打設					■				
	養生					■				
	目地施工							■		
復旧工								■		

4.3.3 走行試験の概要

試験走行の舗装断面は、図-1.3.2に示した通りである。上層路盤(C-40、厚さ30cm)、アスファルト中間層4cm上に設置された既設コンクリート版(厚さ25cm)を5cm切削した後、LMFC®を用いた薄層オーバーレイを実施した。施工後、車両通行による所定の性能の経年変化を把握するために、荷重車による促進載荷試験を実施した。促進載荷条件は、表-1.3.2に示したとおりである。荷重車の運転は年間(年度をまたぐ)を4季に分け、49kN換算輪数で10万輪走行を1季毎に実施し、1年間に40万輪走行した。荷重車の走行時期と走行回数は表-1.3.3に示したとおりであり、2016~2018年度にかけて実施された促進載荷試験期間中の累積の49kN換算輪数は、92.4万輪であった。

4.3.4 試験結果および考察

(1) コンクリートのフレッシュ性状

LMFC®のフレッシュ性状試験結果を表-4.3.4に示す。本試験施工で使用したLMFC®のフレッシュ性状は、各項目で目標値を満足することが確認された。

表-4.3.4 フレッシュ性状試験結果 (LMFC®)

試験項目	測定値	目標値
スランプ (cm)	3.5	5±1.5
空気量 (%)	2.3	—
コンクリート温度 (°C)	16.1	35 以下

(2) コンクリートの圧縮強度および曲げ強度

試験施工時に作製した供試体を用いて、硬化コンクリートの強度試験を実施した。LMFC®の圧縮・曲げ強度試験結果を表-4.3.5に示す。LMFC®の曲げ強度は材齢 12 時間で 7.7N/mm²と目標値の 3.5N/mm²以上を満足し、早期交通開放性を有することが確認された。

表-4.3.5 圧縮・曲げ強度試験結果 (LMFC®)

材齢	LMFC®	
	圧縮強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)
6 h	35.4	—
12 h	43.5	7.7
24 h	47.4	7.8
7 d	61.9	—
28 d	62.1	10.7
目標値	—	3.5 (12h)

(3) 施工性

本試験施工では、材料製造に傾胴ミキサを、敷きならしや締固めに簡易フィニッシャを用いることで問題なく実施することができた。端部など特に十分な締固めを要する箇所では、壁打ちバイブレータを用いて入念な締固めを実施した。鏝でならず際は、材料の粘性が高くコンシステンシーも高めであったことから仕上げ助剤を用いた。その結果、人力による作業性を確保することが出来た。

(4) 付着強度

薄層オーバーレイ工法での適用を目的とする LMFC®には、既設コンクリート版との一体化（付着）が要求される。特にコンクリート版の端部は、温度応力や水などの作用による剥離・反りが発生する可能性の高い箇所とされ構造上の弱点になりやすい。そのため、LMFC®舗設後、所定回数の荷重車走行後に施工箇所からコアを採取して付着強度試験を実施した。なお、最終調査時には車輪通過部からもコアを採取し、輪荷重による付着強度への影響についても検討した。コア採取位置を図-4.3.2 に、供試体の破断位置を図-4.3.3、試験結果を表-4.3.6、表-4.3.7、図-4.3.4、図-4.3.5 に示す。ここで、表中の「-」は試験前に破断して試験不可となった供試体を意味し、図-4.3.4 および図-4.3.5 は、コア採取位置の付着強度の平均値を整理したものである。付着強度試験の条件は日本アスファルト乳剤協会の試験方法⁵⁾に準拠し、試験速度 60mm/min で実施した。

付着強度試験の結果、版端部の付着強度はプライマーの塗布に係わらず、概ね目標とする付着強度の 1.0N/mm² 以上（上面増厚工法設計マニュアルを参考⁶⁾）を満足したが、②、⑥、⑦、⑧から採取したコアの一部で目標値を下回る結果を示した。また、プライマーを塗布した部分は、塗布していない箇所に対して高い付着強度を示した。車輪通過部では、主に終点付近（⑫、⑬より終点側）の一部で目標値を下回る結果であったが、プライマーを塗布した箇所では目標値を満足する結果であった。

十分な付着強度が得られなかったコアの試験前の状態を写真-4.3.1 に示す。コアの断面を観察すると、基盤コンクリートとの界面にモルタルが充填されていない部分（空隙）が確認された。このことから、簡易フィニッシャの振動締固めに対し、設定したコンシステンシーが適当ではなかったため締固め不足が生じた結果、一部の箇所でモルタルの充填不良が生じ、付着強度の低下につながったものと考えられる。しかし、目視観察の結果では、版端部からの反りや剥離などは確認されず、健全な状態を維持していることが確認されている。

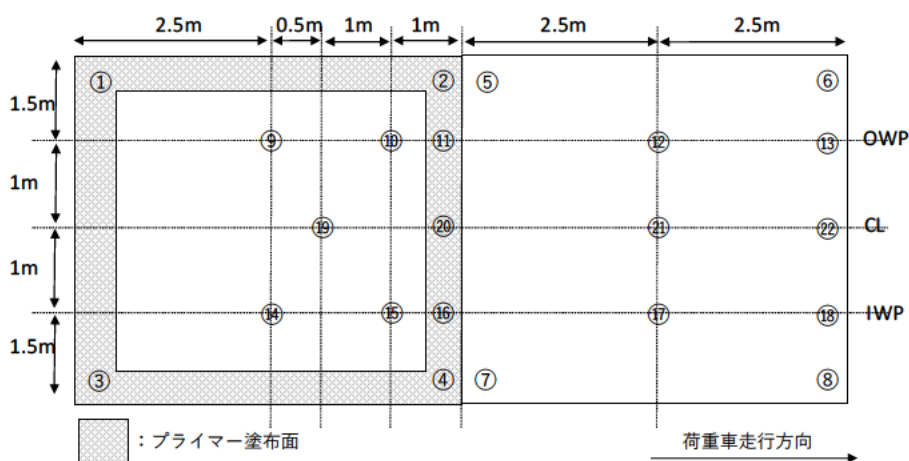


図-4.3.2 コア採取位置

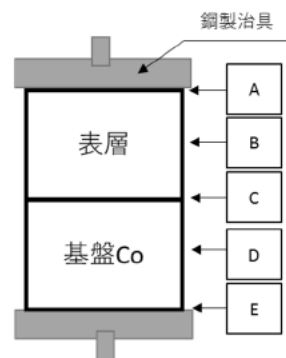


図-4.3.3 供試体破断位置

表-4.3.6 版端部から採取したコアの付着強度試験結果

プライマー	コア採取位置	49kN 換算輪数					
		0 輪		11 万輪		92.4 万輪	
		付着強度 (N/mm ²)	破断位置	付着強度 (N/mm ²)	破断位置	付着強度 (N/mm ²)	破断位置
あり	①	2.3	A	2.3	C	2.0	C
		2.1	C	1.9	D		
		2.0	A	2.2	B		
	②	2.2	D	2.4	B	0.7	B
		2.0	B	2.5	B		
		2.5	D	2.5	D		
	③	1.5	A	1.8	D	1.9	C
		2.4	C	2.5	D		
		2.2	A	2.0	B		
	④	2.1	C	2.3	D	2.0	B
		2.2	D	2.2	B		
		2.5	D	2.3	A		
なし	⑤	1.3	A	1.8	C	1.6	C
		1.5	C	1.5	C		
		1.7	C	1.5	C		
	⑥	1.6	C	1.2	C	1.6	C
		1.5	C	0.7	C		
		1.7	C	-	-		
	⑦	0.4	A	1.3	C	1.3	E
		1.9	C	1.1	C		
		1.8	C	1.5	C		
	⑧	1.6	C	2.5	C	-	-
		0.9	C	0.4	C		
		-	-	1.7	C		

※：「一」試験不可の供試体

表-4.3.7 走行位置から採取したコアの付着強度試験結果

コア採取位置			49kN 換算輪数	
			92.4 万輪	
			付着強度 (N/mm ²)	破断位置
OWP	プライマー なし	⑨	1.4	C
			1.6	C
		⑩	1.0	C
	プライマーあり	⑪	2.1	D
	プライマー なし	⑫	1.2	C
			1.9	C
		⑬	-	-
			1.1	C
	0.1	C		
IWP	プライマー なし	⑭	-	-
			1.2	C
		⑮	1.9	C
	プライマーあり	⑯	1.7	D
	プライマー なし	⑰	-	-
			-	-
		⑱	0.7	C
			0.5	C
	-	-		
CL	プライマーなし	⑲	0.7	C
	プライマーあり	⑳	2.0	C
	プライマーなし	㉑	0.7	C
		㉒	1.5	C

※:「-」試験不可の供試体

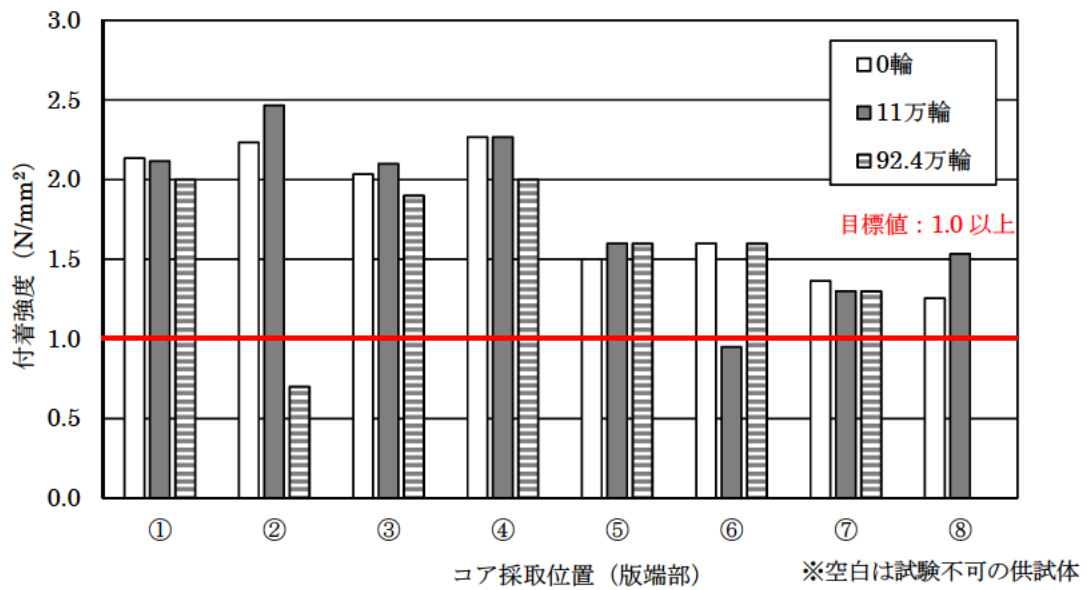


図-4.3.4 版端部から採取したコアの付着強度

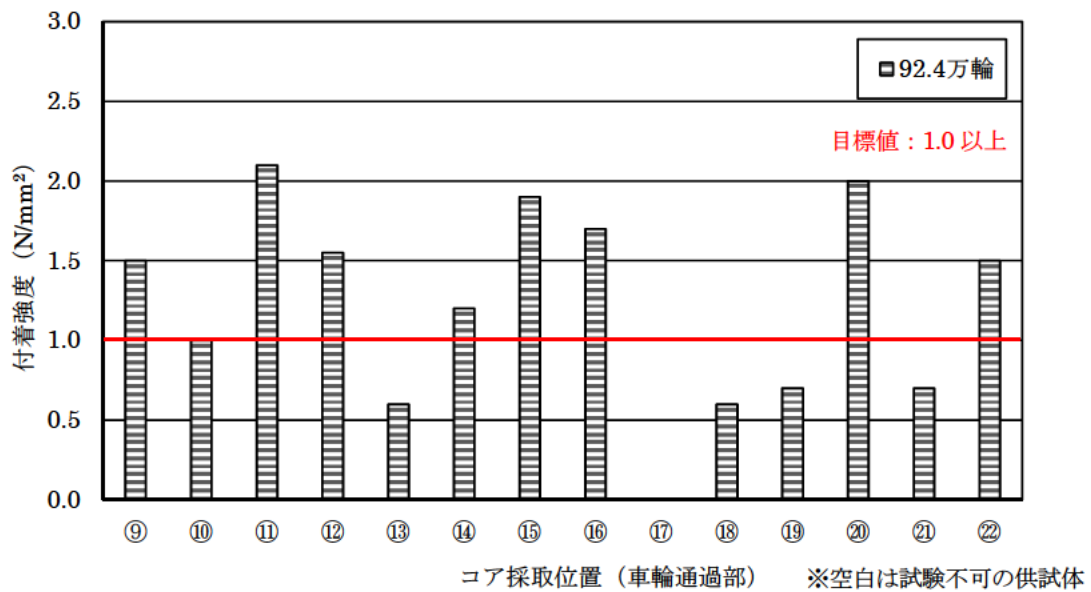


図-4.3.5 車輪通過部から採取したコアの付着強度

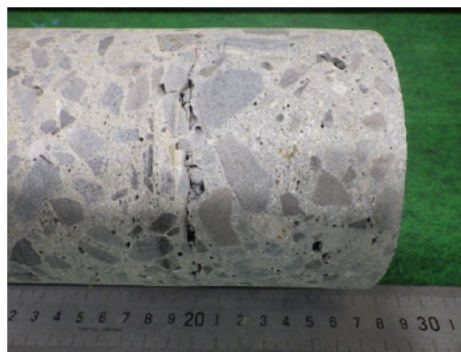
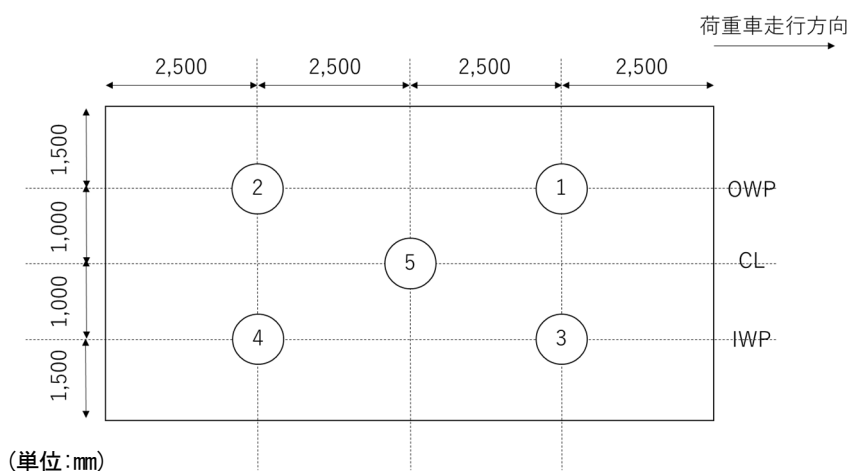


写真-4.3.1 付着強度不足箇所から採取したコア (採取位置㉑)

(5) すべり抵抗性

LMFC®供用後のすべり抵抗性を評価するため、所定回数の荷重車走行後に DF テスタを用いて動的摩擦係数 (μ_{60}) の測定を実施した。動的摩擦係数測定位置を図-4.3.6 に、結果を表-4.3.8、図-4.3.7 に示す。

LMFC®の動的摩擦係数測定の結果、初期値は約 0.3~0.4 程度で目標の 0.25 を概ね満足する結果であった。また、測定箇所に係わらず荷重車の走行に伴い、動的摩擦係数は一時増加する傾向を示し、調査終了時では 0.45 程度であることが確認された。これは、初期養生に使用した被膜養生剤に含まれるパラフィンが荷重車の走行に伴い消失したことや、風雨や砂塵などにより路面表面にほうき目（マクロテクスチャ）以外のマイクロテクスチャが形成されたことに起因すると考えられる。本調査では、車両の走行に伴って動的摩擦係数が



増加し、所定のすべり抵抗性を確保できることが確認された。

図-4.3.6 動的摩擦係数測定位置

表-4.3.8 動的摩擦係数測定結果

測定位置		動的摩擦係数 (μ_{60})						平均値
		0 輪	11 万輪	21 万輪	31 万輪	51 万輪	92.4 万輪	
OWP	①	0.33	0.42	0.44	0.53	0.56	0.47	0.45
	②	0.27	0.38	0.41	0.47	0.57	0.49	
IWP	③	0.33	0.43	0.51	0.57	0.66	0.45	0.46
	④	0.28	0.37	0.38	0.49	0.60	0.50	
CL	⑤	0.38	0.43	0.44	0.49	0.58	0.50	0.47
平均値		0.32	0.41	0.44	0.51	0.59	0.48	

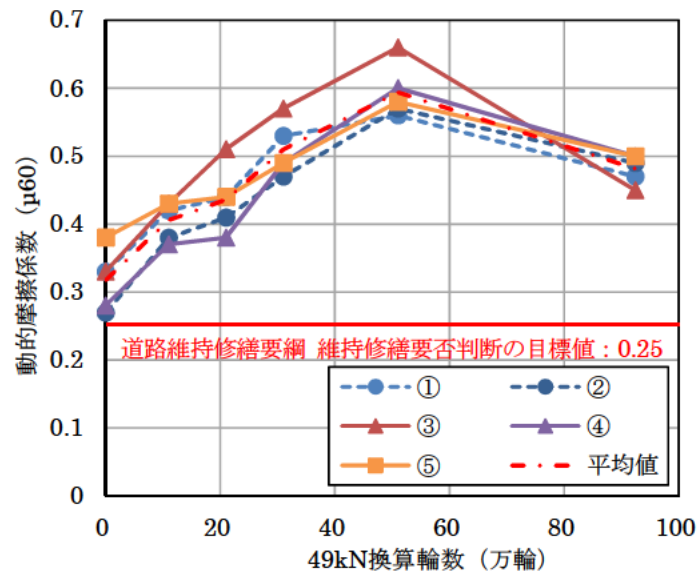


図-4.3.7 動的摩擦係数測定結果

(6) 路面のきめ深さ

前節と同様に、所定回数の荷重車走行後に路面のきめ深さをCTメータで測定した。その結果を表-4.3.9および図-4.3.8に、路面の状態を写真-4.3.2に示す。なお測定位置は図-4.3.6と同様である。

路面のきめ深さは0.4~0.6mm程度の間で推移し、大きな変化がなく、目視観察の結果からも荷重車の走行によるほうき目の消失などはないことが確認された。

表-4.3.9 きめ深さ測定結果

測定位置		MPD (mm)					平均値
		11万輪	21万輪	31万輪	51万輪	92.4万輪	
OWP	①	0.63	0.43	0.54	0.55	0.54	0.48
	②	0.55	0.39	0.43	0.38	0.39	
IWP	③	0.65	0.44	0.58	0.58	0.48	0.50
	④	0.53	0.40	0.45	0.43	0.41	
CL	⑤	0.39	0.40	0.46	0.36	0.39	0.40
平均値		0.55	0.41	0.49	0.46	0.44	

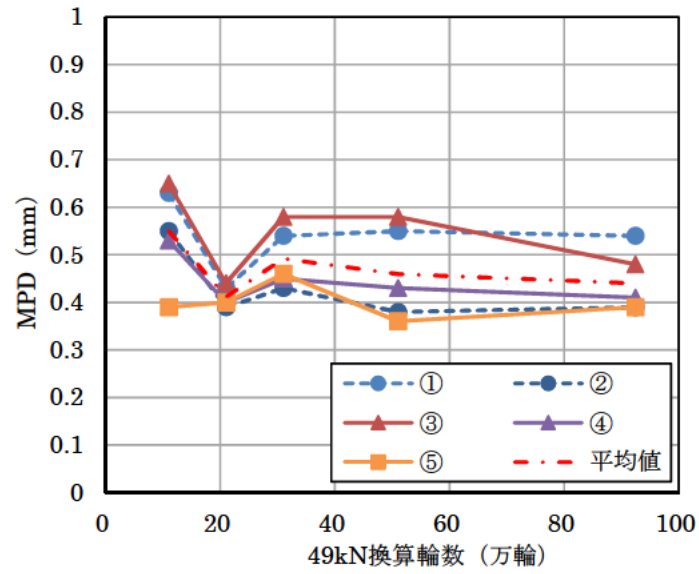


図-4.3.8 きめ深さ測定結果

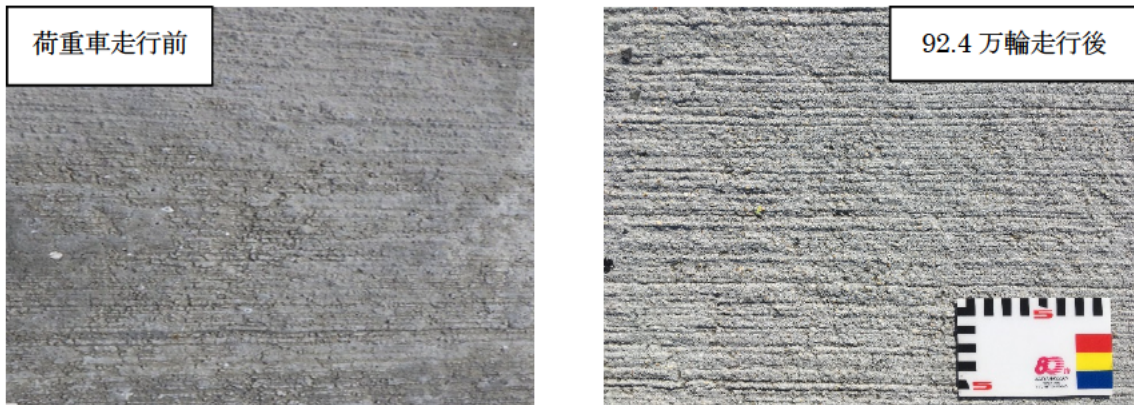


写真-4.3.2 荷重車走行によるほうき目の変化

(7) 横断形状

荷重車走行に伴う摩耗によるわだち掘れへの影響を評価するため、MRP を用いてわだち掘れ量の測定を実施した。測定は、両端から 2.5m の位置での 2 測線で行った。測定位置を図-4.3.9、測定結果を表-4.3.10 および図-4.3.10 に、測定した横断形状を図-4.3.11 に示す。

わだち掘れ量測定の結果、LMFC®路面のわだち掘れ量は、2～4mm 程度で推移しており、初期値から大きな変化がないことが確認された。「舗装の維持修繕ガイドブック 2013」⁷⁾によると、わだち掘れ量による工法選定上の区分 L (わだち掘れ量 20mm 以下) に該当し、最も軽微な損傷程度である。その中でも低い値を示していることから、LMFC®の路面は優れた耐摩耗性を有すると考えられる。

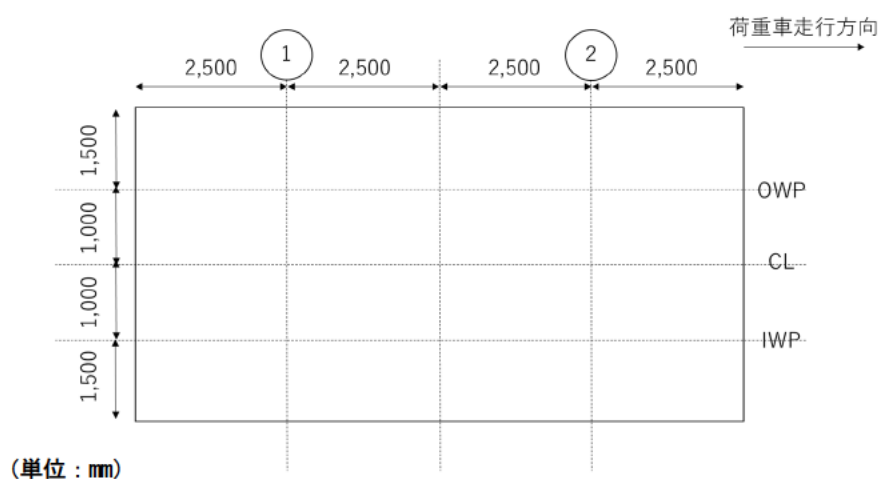


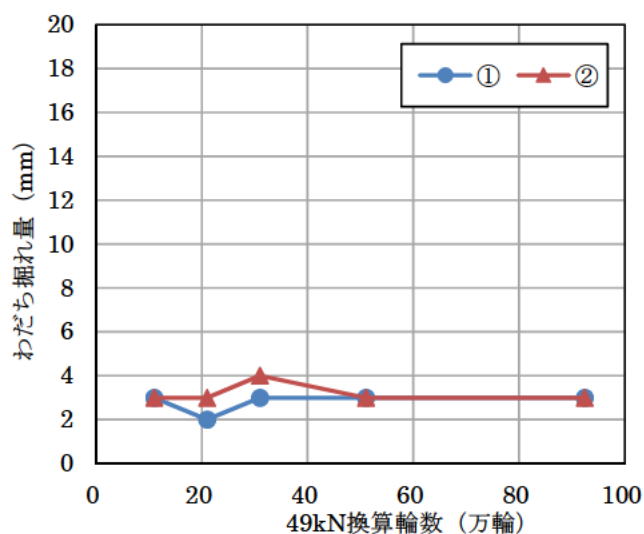
図-4.3.9 横断形状測定位置 (①と②)

表-4.3.10 わだち掘れ量測定結果

測定位置	わだち掘れ量 (mm)				
	11 万輪	21 万輪	31 万輪	51 万輪	92.4 万輪
①	3	2	3	3	3
②	3	3	4	3	3

図

-4.3.10



わだち掘れ量測定結果

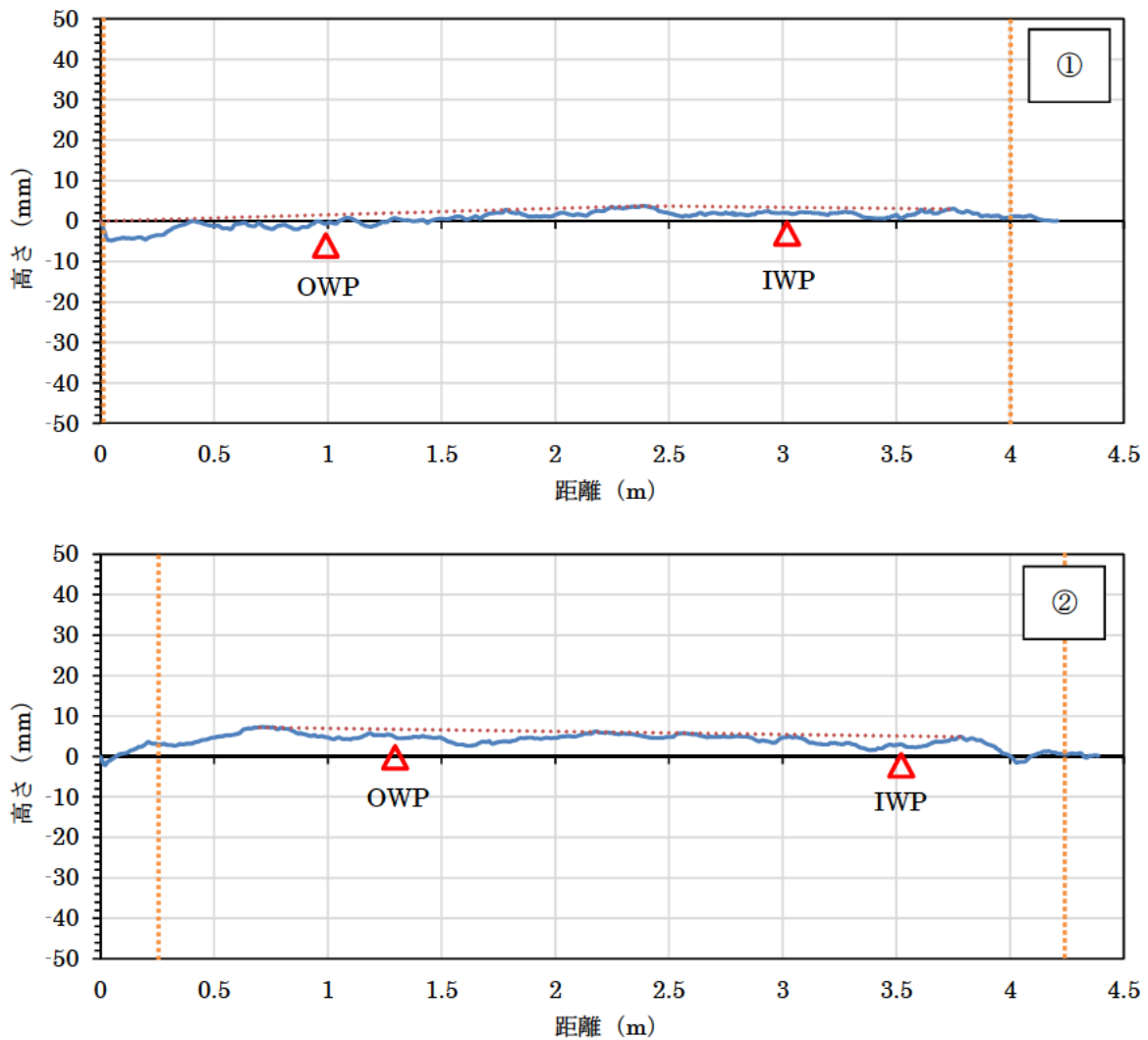


図-4.3.11 わだち掘れ量測定結果

(8) 路面外観

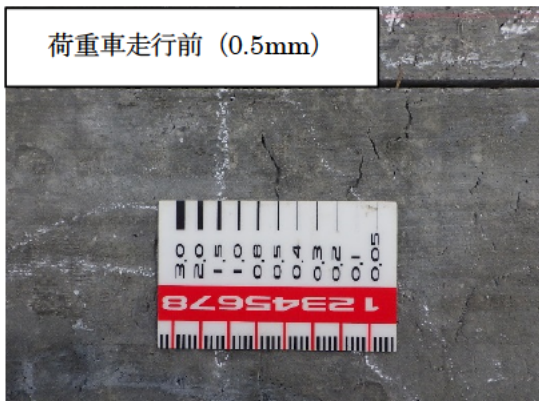
LMFC®施工後に路面外観の目視観察を実施した。外観全景を写真-4.3.3に示す。

目視観察の結果、幅 0.5mm、長さ数 cm 程度のプラスチック収縮ひび割れの発生が確認された。観察されたプラスチック収縮ひび割れを写真-4.3.4に、施工当日の気象条件を表-4.3.11に示す。気象庁のデータによると施工時の気象条件は、湿度が低く最大風速 9.0m/s であった。このことから、コンクリート表面の水分が蒸発しやすい条件であったことがプラスチック収縮ひび割れ発生の一因だと考えられる。

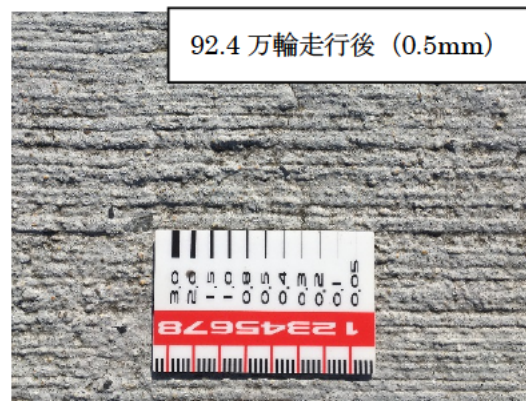
その後の追跡調査では、FC と同様に新たなひび割れの発生やひび割れ幅の増加、舗装版の角欠けなどは確認されず、荷重車の走行に支障が生じることもなかった。また、ひび割れ部より採取したコア断面の観察結果(写真-4.3.5)より、ひび割れ深さは 8mm 程度であった。したがって、今回生じたひび割れはコンクリートのごく表層にとどまるものであり、舗装の構造的な性能に影響を及ぼすものではないと考えられる。



写真-4.3.3 LMFC®全景



荷重車走行前 (0.5mm)



92.4 万輪走行後 (0.5mm)

写真-4.3.4 観察されたプラスチック収縮ひび割れ

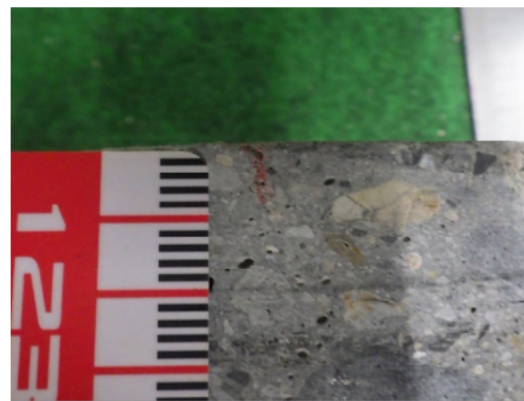
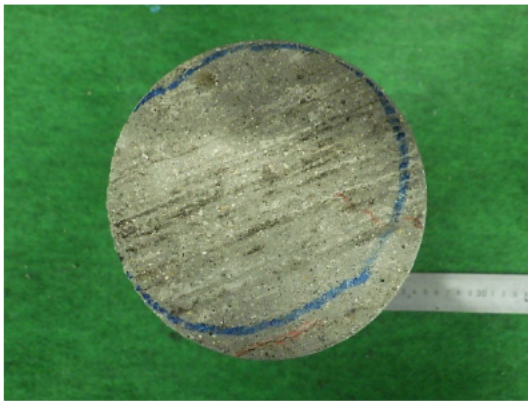


写真-4.3.5 ひび割れ部から採取したコア

表-4.3.11 LMFC®施工時の気象条件

日付	時間	降水量 (mm)	気温 (°C)	湿度 (%)	平均風速 (m/s)	最大風速 (m/s)	風向
11月4日	11時頃	0	16.1	37	4.8	9.0	北西

※湿度は測定値、それ以外は気象庁のデータより

4.3.5 初期ひび割れの発生要因と抑制策の検討

4.3.5.1 室内試験

(1) 試験概要

試験施工において、コンクリートの打込み直後にひび割れの発生が確認された。この原因として、施工時の風速等から、コンクリートの打込み後に乾燥作用を受けたことによるプラスチック収縮ひび割れによるものと推定された。そこで、LMFC®の初期ひび割れ発生時における乾燥作用の影響および抑制方法を確認することを目的に、室内における促進試験を実施した。

表-4.3.12 に使用材料を、表-4.3.13 に配合を示す。なお、試験は、3章の3.3.5.1と同様の方法で実施した。養生剤は、被膜養生剤(CK)および塗布型収縮低減剤(CS)を使用し、CKは金鍍仕上げ前および金鍍仕上げ後に、CSは金鍍仕上げ後に散布した。

表-4.3.12 使用材料

材料		製造者
LMFC®	プレパック材料	太平洋マテリアル(株)
	Facet® (速硬性混和材)	
	ラテックス	
	硬化時間調整剤	
養生剤	被膜養生剤キュアキーパー® (以下、CK)	
	塗布型収縮低減剤クラックセイバー® (以下、CS)	

表-4.3.13 配合およびフレッシュ性状

コンクリート種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)					外割添加 (kg/m³)		フレッシュ性状	
			W	C	S	G	L	F	Re	スランプ (cm)	空気量 (%)
LMFC®	35.9	40.5	51	340	742	1167	111	154	3.21	4.5	2.0

(2) 試験結果

図-4.3.12 に注水からのひび割れ伸展状況の一例を示す。図には、試験時の風速を 3m/s とし、養生剤を金鰻仕上げ前に 100g/m² 散布した時の結果を示している。なお、図中の点線は始発時間（140 分）を示している。ひび割れは注水から約 45 分（送風開始から 15 分）後から発生し、急激にひび割れ面積が増加した後に、80 分程度経過した頃より伸展が緩やかになり、始発前の 120 分後以降はひび割れの伸展がみられなくなった。なお、図は省略するが注水から 24 時間後においてもひび割れの伸展は確認されなかった。

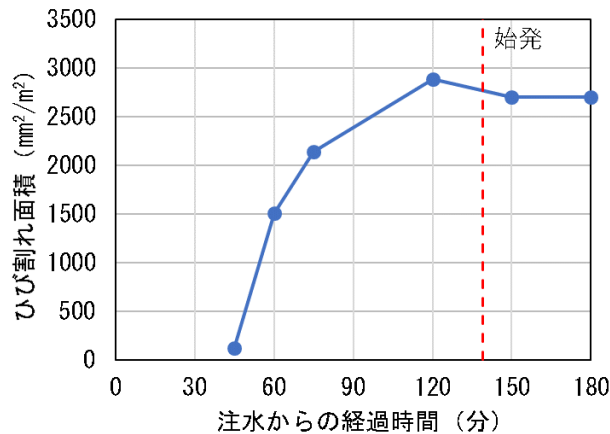


図-4.3.12 ひび割れ伸展状況

図-4.3.13 にひび割れ面積を示す。養生剤の使用量は 100g/m² としたが、金鰻仕上げ前と後の 2 回散布する場合の仕上げ後については 200g/m² とした。まず、養生剤無散布の場合について着目すると、風速 0m/s の場合、ひび割れが発生しなかった一方、風速 6m/s の場合はひび割れの発生が確認された。一般にコンクリートは、打込み直後に急激な乾燥作用を受けた場合に、水分逸散によりひび割れが発生する可能性が高いことがよく知られているが、LMFC[®]においても同様の傾向にあることが分かる。前述のとおり、試験施工時の気象条件は相対湿度が低く、最大風速も 9.0m/s であり、強い乾燥作用を受けていたと考えられることから、試験施工時にひび割れが発生した要因は、プラスチック収縮ひび割れである可能性が高いと推察される。

CK を使用した場合は、ひび割れ面積は無散布より小さくなり、ひび割れ抑制に一定の効果を有していることが分かる。ひび割れ抑制効果は養生剤の散布時期により異なり、金鰻仕上げ後(図中、CK 後)より、金鰻仕上げ前(図中、CK 前)に使用した方が、ひび割れ抑制効果が高かった。この効果は、既往の文献⁹で報告されている効果と一致するものであり、仕上げ補助剤として養生剤を使用した場合にも初期ひび割れ抑制効果が期待できることを示している。また、養生剤を金鰻仕上げ前後(図中、CK 前後)の 2 回使用した場合は風速 3m/s ではひび割れは発生せず、更にひび割れ抑制効果が高くなっていた。

CS を使用した場合は、6m/s の環境下においてもごくわずかなひび割れが確認されたのみであり、高いひび割れ抑制効果を有していた。

図-4.3.14 に水分逸散量を示す。図は、金鰻仕上げ後に CK および CS を 0、100g/m² 散布した時のもので

ある。風速 6m/s の場合、風速 0m/s と比べて水分逸散量が大きくなるものの、CK および CS を使用することで無散布よりも水分逸散量が小さくなった。水分逸散量の抑制効果は、CK より CS が大きく、このことはひび割れ面積の結果とも符合している。したがって、CK および CS のひび割れ抑制効果は、コンクリートの水分逸散の抑制によるものと考えられる。

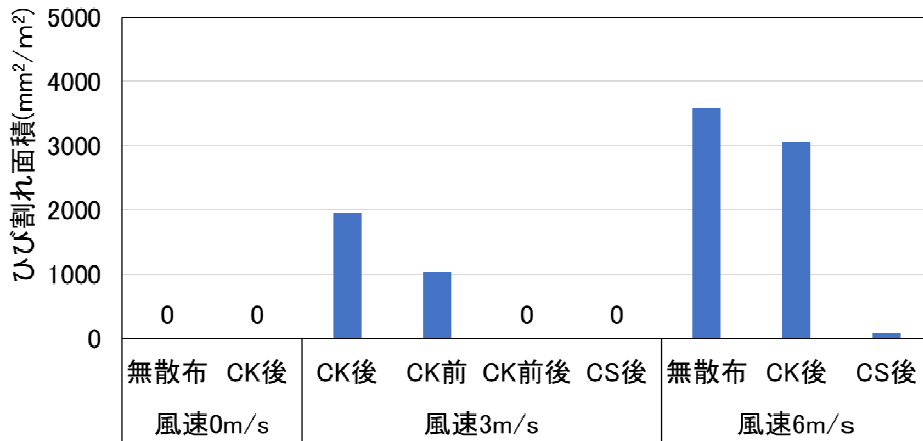


図-4.3.13 ひび割れ面積

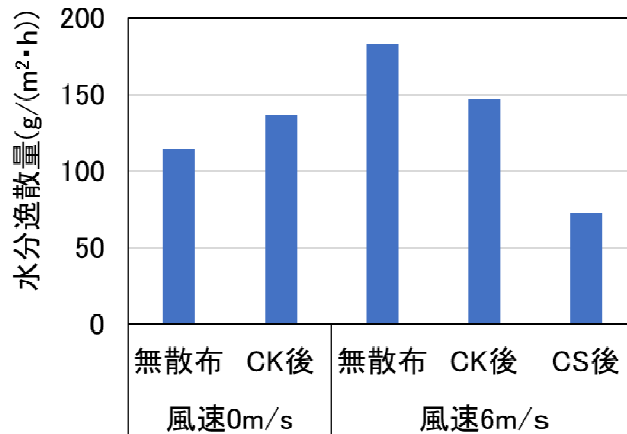


図-4.3.14 水分逸散量

4.3.5.2 施工試験

(1) 試験概要

CS の初期ひび割れ抑制効果について、屋外にて検証試験を実施した。試験は、平成 31 年 3 月 8 日に実施した。コンクリートの使用材料は表-4.3.12 と、配合は表-4.3.13 と同一である。また、施工は、4.3.2 の舗装走行実験場での試験施工とおおむね同様の方法で実施した。図-4.3.15 に施工平面図を示す。幅員 3m、延長 6m とし、基層コンクリート上に厚さ 5cm の LMFC[®] を設けた。なお、基盤コンクリートは事前に洗い出し処理を施した。

表-4.3.14 に試験水準を示す。養生剤として、CK および CS を使用した。使用量はいずれも 100g/m² とし、金鍍仕上げ後に散布した。また、金鍍仕上げ前の敷きならし、締固めの際に、仕上げ補助として CK を 200g/m² 散布した。実測した施工時の環境は、10.6°C、35%RH であり、最大風速は 5m/s 程度であった。前述の土木研究所での試験施工時に比べて湿度は同程度であるものの、気温および最大風速は若干低い値であった。

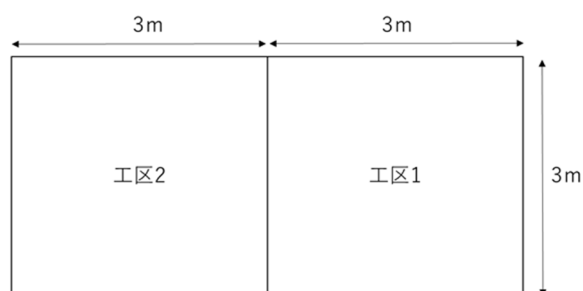


図-4.3.15 平面図および断面図

表-4.3.14 試験水準

工区.	配合	仕上げ補助剤および養生剤種類と散布量	
		仕上げ補助剤	養生剤
1	LMFC®	CK、200g/m ²	CK、100g/m ²
2			CS、100g/m ²

(2) 試験結果

工区 1、2 ともに土木研究所での試験施工と比べて LMFC® のコンシステンシーは大きく、簡易フィニッシャで敷きならし・締固めた後方で、表面のモルタル分が不足し粗骨材が露出している箇所が散見されたため人力などで修正を施した。写真-4.3.6～4.3.9 に、打設完了後の各工区の状況を示す。

コンクリートの打込み終了後、CK を使用した場合は、散布後 30 分程度経過した頃に版端部付近にひび割れの発生が確認された(写真-4.3.8)。一方、CS を散布した場合にはひび割れの発生が確認されなかった。このことから、実際の施工条件においても CS が初期ひび割れ抑制効果を有していることが確認された。ただし、CS は凝結遅延効果を有していることから、コンクリート表層部の硬化が遅れる傾向がみられた。ほうき目仕上げで形成される路面テクスチャの保持性や、すり減り抵抗性などについて、今後検討を行う必要があると考えられる。



写真-4.3.6 LMFC®打設後の全景



写真-4.3.7 工区1 打設後の饅ならし状況



写真-4.3.8 ひび割れ発生状況



写真-4.3.9 工区2 初期養生剤散布後の状況



4.4 まとめ

コンクリート舗装の薄層オーバーレイ工法への LMFC®の適用性を評価することを目的に、土木研究所構内で試験施工を行い、施工性や必要な養生期間を確認した。また、車両通行による所定の性能の経年変化を把握するために荷重車による促進載荷試験を実施した。得られた知見は、以下のとおりである。

- 1) LMFC®の曲げ強度は材齢 12 時間で 7.7N/mm^2 となり、目標値の 3.5N/mm^2 以上を満足した。撤去工～路肩復旧まで約 13 時間（養生 4 時間）で完了し、交通開放まで 12 時間の養生を実施しても 21 時間程度の規制で交通開放可能であることが確認された。
- 2) LMFC®の施工性は、材料の製造に傾胴ミキサ、敷きならしおよび締固めに簡易フィニッシャを使用することで問題なく施工することが出来た。また、人力および端部の施工は、バイブレータと仕上げ助剤を使用することで、良好な施工性を確保することが出来た。
- 3) LMFC®と既設コンクリート舗装版の付着強度は、プライマーの有無に関わらずおおむね目標とする付着強度の 1.0N/mm^2 以上を満足したものの、主として施工終点付近で一部目標を満足しない箇所も認められた。簡易フィニッシャによる振動締固めに対して、コンクリートのコンシステンシーが大きく、充てん不良が生じたことが一因と考えられた。コンクリート版端部からの LMFC®の反りや剥離などは生じておらず、おおむね LMFC®と既設コンクリートとの一体性は良好と考えられるが、付着性の更なる向上には、施工方法に応じて適切なコンシステンシーを設定することが必要であると考えられた。
- 4) 動的摩擦係数測定の結果、初期値は約 0.3～0.4 程度で、目標値の 0.3 以上を概ね満足した。その後の荷重車の走行にともない、動的摩擦係数は増加する傾向であり、調査終了時（92.4 万輪）は 0.45 程度となった。調査期間を通じて目標値の 0.3 以上が確保され、十分なすべり抵抗性を有していることが確認された。路面のきめ深さの測定および目視観察から、荷重車走行によるほうき目の消失など生じていないと考えられた。
- 5) 路面のわだち掘れ量は 3～6mm 程度と極めて小さい値で推移し、初期値から顕著な変化は確認されず、LMFC®の路面は優れた耐摩耗性を有すると考えられた。
- 6) コンクリートの打込み直後に、路面に幅 0.5mm、長さ数 cm 程度のひび割れの発生が確認されたものの、その後のひび割れの増加や伸展、舗装版の角欠けなどは確認されず、今回生じたひび割れは、舗装の構造的な性能に影響を及ぼすものではないと考えられた。
- 7) 室内試験の結果、一般的なコンクリートと同様に、LMFC®は打込み直後に乾燥作用を受けると、プラスチック収縮ひび割れが生じる可能性があることが確認され、舗装走行実験場にて発生した初期ひび割れも同様のものである可能性が高いと推察された。また、プラスチック収縮ひび割れの抑制方法として、塗布型収縮低減剤の散布が有効であると考えられた。

以上の結果から、LMFC®を用いたコンクリート舗装の薄層オーバーレイ工法は、規制時間 21 時間程度で施工することが可能であり、その後の供用性も良好であることが確認された。ただし、施工時の環境によっては、プラスチック収縮ひび割れが生じる可能性があることから、養生剤の使用や打込み後早期にシートをかけるなどの対策により防止に努めることが望ましいと考えられた。

参考文献

- 1)公益社団法人土木学会：コンクリート標準示方書 【設計編】、2017
- 2)太平洋マテリアル株式会社：速硬性混和材 Facet カタログ
- 3)公益社団法人土木学会：舗装工学ライブラリー16 コンクリート舗装の設計・施工・維持管理の最前線、2017
- 4)社団法人日本道路協会：舗装施工便覧（平成18年版）、2006
- 5)一般社団法人日本アスファルト乳剤協会：アスファルト乳剤、2015
- 6)財団法人高速道路調査会：上面増厚工法設計施工マニュアル、1995
- 7) 公益社団法人本道路協会、舗装の維持修繕ガイドブック 2013、2013.11
- 8) 高木亮一、石田征男、郭度連:コンクリート舗装の初期ひび割れ抑制を目的とした養生剤利用技術の検討、第30回日本道路会議論文集、pp.3142-3143、2013

5. まとめ

本共同研究では、コンクリート舗装の修繕時に養生期間がこれまでより短い早期交通開放可能な工法を、より汎用的に適用することを目的に、打替え工法には「1DAYPAVE」、「速硬性コンクリート (FC)」の適用性、薄層オーバーレイ工法には「ラテックス改質速硬コンクリート (LMFC®)」の適用性を検討した結果、以下のことがわかった。

【1DAY PAVE】

- 1) 1DAY PAVE の曲げ強度は材齢 24 時間で 4.2~4.6N/mm²程度を示し、目標値の 3.5N/mm²以上を満足した。
- 2) 荷重車走行 (49kN 換算輪数 100 万輪) によるすべり抵抗性とその持続性を検討した結果、以下の知見を得た。
 - ・骨材露出工法により仕上げた路面は、すべり抵抗性が高く、その持続性も良好であった。
 - ・単位粗骨材かさ容積による、すべり抵抗性とその持続性への影響は、現在 (49kN 換算輪数 100 万輪) のところほとんど認められなかった、
- 3) すべり抵抗性を確保するための検討を行った結果、以下の知見を得た。
 - ・ほうき目仕上げによる路面のテクスチャは、使用するほうきの特性に加えて、コンクリートの硬さによっても仕上がりが異なる。コンクリートの硬化状況に応じて、適切な仕上げ時期がある。
 - ・ほうき目仕上げは、ほうきにかかる荷重をほうきの自重と錘によって調整し、人力はほうきを引く作業のみとすることで、概ね均一なテクスチャを形成することができた。
 - ・粗面仕上げにおいて、仕上げ補助剤を使用してこて仕上げを行うことで、マイクロテクスチャが形成し易くなり、すべり抵抗性を確保し易くなる。
 - ・ほうき目仕上げの適切な仕上げ時期を過ぎてしまい、コンクリートの表層が硬くなりすぎた場合は、仕上げ補助剤の散布と再コテ仕上げを行うことで、表層の硬さを改善して適切にテクスチャを形成することができた。
 - ・ほうき目仕上げ後、養生剤散布などの養生によって、ほうき目仕上げで形成したテクスチャを潰さないように留意する必要がある。
 - ・マイクロテクスチャが大きい方がすべり抵抗性が高いが、すべり抵抗性の持続性を得るためには適切なマイクロテクスチャも必要であると考えられる。

【速硬コンクリート (FC)】

- 1) FCの曲げ強度は材齢12時間で 4.6N/mm^2 となり、目標値の 3.5N/mm^2 以上を満足した。
- 2) 舗装走行実験場での試験施工の結果、施工面積 50m^2 (幅員5m、版の長さ10m)の場合、撤去工～路肩復旧まで約13時間(養生4時間)で完了し、交通開放まで12時間の養生を実施しても21時間程度の規制で交通開放可能であることが確認された。
- 3) 荷重車走行(49kN換算輪数92.4万輪)による供用性(すべり抵抗性、きめ深さ、わだち掘れ量)は、路面調査の結果、良好であることを確認した。ただし、施工時の環境によっては、プラスチック収縮ひび割れが生じることがあり、養生剤の使用や打込み後早期にシートをかけるなどの対策によりひび割れ発生の防止に努めることが望ましいと考えられた。

【ラテックス改質速硬コンクリート (LMFC®)】

- 1) LMFC®の曲げ強度は材齢12時間で 7.7N/mm^2 となり、目標値の 3.5N/mm^2 以上を満足した。
- 2) 舗装走行実験場での試験施工の結果、施工面積 50m^2 (幅員5m、版の長さ10m)の場合、撤去工～路肩復旧まで約13時間(シート養生4時間)で完了し、交通開放まで12時間の養生を実施しても21時間程度の規制で交通開放可能であることが確認された。
- 3) 荷重車走行(49kN換算輪数92.4万輪)による供用性(すべり抵抗性、きめ深さ、わだち掘れ量)は、路面調査の結果、良好であることを確認した。ただし、施工時の環境によっては、プラスチック収縮ひび割れが生じることがあり、養生剤の使用や打込み後早期にシートをかけるなどの対策によりひび割れ発生の防止に努めることが望ましいと考えられた。
- 4) LMFC®と既設コンクリート舗装版の付着強度は、プライマーの有無に関わらずおおむね目標とする付着強度の 1.0N/mm^2 以上を満足しており、主として施工終点付近で一部目標を満足しない箇所も認められたものの、コンクリート版端部からのLMFC®の反りや剥離などは生じておらず、おおむねLMFC®と既設コンクリートとの一体性は良好と考えられた。簡易フィニッシャーによる振動締固めに対して、コンクリートのコンシステンシーが大きく、充てん不良が生じたことが一部でみられた付着強度低下の一因と考えられた。コンクリート版端部からのLMFC®の反りや剥離などは生じておらず、おおむねLMFC®と既設コンクリートとの一体性は良好と考えられるが、付着性の更なる向上には、施工方法に応じて適切なコンシステンシーを設定することが必要であると考えられた。

共同研究報告書

Cooperative Research Report of PWRI

No. 515 March 2019

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所企画部業務課

〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 電話 029-879-6754