

コンクリート舗装の長寿命化に向けた点検・診断・措置技術に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究機関：平 31～令 3

担当チーム：舗装チーム、寒地道路保全チーム

研究担当者：藪雅行、丸山記美雄、前川亮太、
星卓見、綾部孝之、佐藤圭洋、井谷雅司、上野
千草

【要旨】

コンクリート舗装は、表層にコンクリート版を用いた高耐久な舗装で、ライフサイクルコストの観点において優れている舗装である。国・地方ともに道路関係予算に制約のある中、コンクリート舗装を適材適所で採用するとともに、現存するコンクリート舗装を含め適切なメンテナンスサイクル（点検・診断・措置）のもと維持管理を実施することが重要となっている。本研究では、効率的な点検・診断・措置技術の適用性等について、各種検討を実施したので、その成果を報告する。

キーワード：コンクリート舗装、点検・診断、措置、メンテナンスサイクル、積雪寒冷地

1. はじめに

コンクリート舗装は、表層にコンクリート版を用いた高耐久な舗装であり、ライフサイクルコストの縮減に優れた舗装である。しかし、コンクリート舗装のシェアは昭和 40 年代には 30%以上であったが、近年では 5%程度となっている。その理由としては、我が国の高度成長期に急増する自動車交通に対応するためアスファルト舗装を活用したこと、初期コストが高いこと、養生時間が長いこと、ライフライン等の占用物件の更新における掘削が困難であること等が考えられる。

一方、国・地方ともに道路関係予算に制約のある今般、高耐久なコンクリート舗装を適材適所で活用する重要性が増している。国土交通省では平成 24 年の第 3 期国土交通省技術基本計画²⁾にて「コンクリート舗装等耐久性の高い素材の活用等によるライフサイクルコストの縮減を目指す」ことを掲げており、これを受けて平成 25 年以降の土木設計業務等共通仕様書³⁾では「基盤条件、環境条件、走行性、維持管理、経済性（ライフサイクルコスト）等を考慮し、舗装（アスファルト舗装／コンクリート舗装等）の比較検討のうえ、舗装の種類・構成を決定し、設計する」旨が示されるなど、コンクリート舗装を適材適所で有効に活用することが求められている。

また、平成 28 年に国土交通省により「舗装点検要領⁴⁾」が策定され、舗装の長寿命化・ライフサイクルコストの低減など効率的な修繕の実施に向け、舗装の適切な

点検・診断・措置といったメンテナンスサイクルを構築することの重要性が示された。コンクリート舗装においても例外ではなく、適切な点検・診断・措置を実施する必要があるが、様々な技術的課題が存在する。例えば、点検・診断においては、ダウエルバーの腐食など目視調査による健全性評価が困難である、交通規制を伴わない効率的な点検・診断技術が確立されておらず予防保全対応が困難、既存技術の制度向上等の課題がある。措置技術については、措置技術の施工後の耐久性、措置技術施工時の養生期間（交通規制時間）、コスト面等が課題として挙げられる。

本研究では、コンクリート舗装の長寿命化に向け、道路の維持管理で重要となる、点検・診断・措置技術について、現場での適用性や材料の耐久性等について各種検討を実施したので報告する。

2. 点検・診断・措置を要する損傷の実態調査

コンクリート舗装の適切なメンテナンスサイクル（点検・診断・措置）の構築には、対象となるコンクリート舗装の損傷メカニズムを十分に理解した上で実施する必要がある。コンクリート舗装の損傷の多くは、路面に現れるひび割れから生じるものであり、その要因は様々である。例えば、版中央部の横断ひび割れにおいては、普通コンクリート舗装では、繰り返し交通荷重による版の疲労ひび割れであることが多く、こうした構造的破損に

対してはコンクリート版の打替え等の措置が必要になる。同じひび割れでも、プラスチック収縮ひび割れは、コンクリート打設後に表面が乾燥することにより生じるひび割れであり、構造的損傷ではないため、供用に問題がなければ早急に措置が必要となる破損ではない。そのため、コンクリート舗装の損傷メカニズムを把握することは適切な点検・診断・措置技術の選定には不可欠である。

そこで、本研究では、コンクリート舗装の損傷について、文献調査にて破損メカニズムを整理し、損傷の種類毎に表(表-2.1)に整理するとともに、視覚でも分かりやすいようコンクリート舗装の損傷体系図(図-2.1)として樹形図にてとりまとめた。参考とした文献は国内外を含めコンクリート舗装の損傷についての記載が充実している以下①～⑧の技術基準類や技術図書とした。

【参考とした文献】

- ① 道路維持修繕要綱：(社) 日本道路協会、S57.3
- ② 舗装点検必携：(公社) 日本道路協会、H29.3
- ③ 舗装の維持修繕ガイドブック 2013：(公社) 日本道路協会、2013.11
- ④ コンクリート舗装ガイドブック 2016：(公社) 日本道路協会、2016.3
- ⑤ コンクリート舗装の補修技術資料 2010 年度版：(社) セメント協会、2011.3.31
- ⑥ コンクリート舗装の破損とパフォーマンス：松野三朗
- ⑦ CONCRETE PAVEMENT PRESERVATION GUIDE：U.S. Department of Transportation
Federal Highway Administration、September 2014
- ⑧ Concrete Pavement Guide, State of California Department of Transportation, 2015

表-2.1 コンクリート舗装の損傷の種類と発生要因の概要

損傷の日本語名		損傷の発生原因、要因	
ひび割れ	線状	1 横ひび割れ コンクリート版の疲労や温度応力によって生じる。 なお、初期ひび割れを内包する場合がある。	
		2 縦ひび割れ 疲労や路体の沈下によって生じる。また、二車線以上の幅の広いコンクリート版で縦目地を省略した場合にも生じることがある。	
		3 Y型ひび割れ・クラスタ型ひび割れ 主筋不足、締固め不足や材料分離等の施工の不良によって生じる。	
	その他	4 初期ひび割れ プラスチック収縮ひび割れ、沈下ひび割れ、温度ひび割れが複合することで生じる。	
		5 埋設構造物等の付近のひび割れ 埋設構造物付近の不同沈下によってコンクリート版がたわむことで生じる。	
		6 隅角ひび割れ 路体の支持力不足、ダウエルバーの破断等による荷重伝達機能低下により生じる。	
		7 亀甲状・面状ひび割れ 横ひび割れ、縦ひび割れおよび隅角ひび割れが交通荷重等によって複合的に進展することで生じる。	
		8 疲労ひび割れ 交通荷重による疲労によって生じる。	
		9 温度応力ひび割れ 外気温の変化に伴うコンクリート版内の温度応力によって生じる。	
		プラスチック収縮ひび割れ 乾燥によるひび割れ 乾燥ひび割れ	硬化前のコンクリート表面の乾燥によって生じる。
		11 収縮ひび割れ 連続鉄筋コンクリート舗装における損傷とみなさないひび割れとして扱われる。 収縮ひび割れはコンクリートの乾燥収縮や温度応力によって生じる。	
		12 Dクラック アルカリ骨材反応、凍結融解によるコンクリート版の膨張により目地部近傍に生じる。	
		13 円弧上ひび割れ 材料分離や施工の中断によって生じる。	
		14 沈下ひび割れ フリーディング過多のコンクリートを打ち込んだ際に鉄筋上部で生じる。	
		15 不規則ひび割れ コンクリート版内に異種構造物を設置した場合や目地位置が不適切な場合に生じる。	
目地	16 目地材のはみだし、飛散 夏期の高温によるコンクリート版の膨張により目地材のはみだし、交通の影響によって飛散する。		
	17 目地の閉塞 コンクリート版の膨張や版が動くことによって生じる。		
	18 目地材のはみだし 目地材が目地間隔の変形に追従できなかった場合に生じる。		
	19 目地部の角欠け 目地縁部の破損 目地部の過度な仕上げや材料分離、カッター位置とひび割れ誘導位置が離れている場合や荷重によるたわみの増大によって生じる。		
段差	20 版と版の段差 目地部との段差 目地部から侵入した雨水によると交通荷重によるポンピングで路盤が浸食されることで生じる。		
	21 隣接構造物との段差 隣接構造物との摩擦抵抗性の相違により生じる。		
	22 埋設構造物による段差 構造物付近の凹凸および版の段差 埋設構造物付近の不同沈下によって生じる。		
	23 アスファルト舗装との段差 アスファルト舗装の流動、圧密によって生じる。		
平坦性低下	24 わだち掘れ タイヤチェーンの走行によってコンクリート版の走行位置がすり減ることで生じる。		
	25 舗装の持ち上がり(隆起) 路床が凍上することによって盛り上がり、コンクリート版がせり上がることで生じる。		
	26 そり トンネル内など、水分供給が少ない環境下にてコンクリートの乾燥収縮が卓越し生じる。		
	27 縦断方向の平坦性低下 路体の支持力不足や不同沈下によって生じる。		
表面の損傷	28 ポップアウト 穴あき 局所的な材料分離や異物の混入、低品質粗骨材の凍結等によって生じる。		
	29 ボットホール パンチアウト Y型・クラスタ型ひび割れ等、ひび割れで囲われた箇所が交通荷重の影響により脱落したり、局所的な材料分離等で生じる。		
摩耗	30 はがれ スケーリング コンクリート版が硬化時や供用時に凍結融解作用を受けることで生じる。		
	31 ラベリング タイヤチェーンの影響により生じる。		
座屈	32 ポリッシング コンクリート版が走行やタイヤチェーンにより摩耗されることで生じる。		
	33 クラッキング 34 ブローアップ 夏期の高温などによってコンクリート版が膨張し、目地部が圧壊することで生じる。 夏期の高温などによってコンクリート版が膨張し、版がせり上がることで生じる。		
その他	35 タイヤ跡 重量物を積載した車両の影響により生じる。		
	36 アルカリ骨材反応による破損 アルカリ骨材反応による破損 アルカリ骨材、反応性骨材を有するコンクリートに水分が供給されることで生じる。		
	37 ポンピング ポンピングによるエロージョン 目地部やひび割れから雨水が路盤内に浸透し、交通荷重の影響によって生じる。		

最終的な
損傷形態

ひび割れ

ひび割れ以外

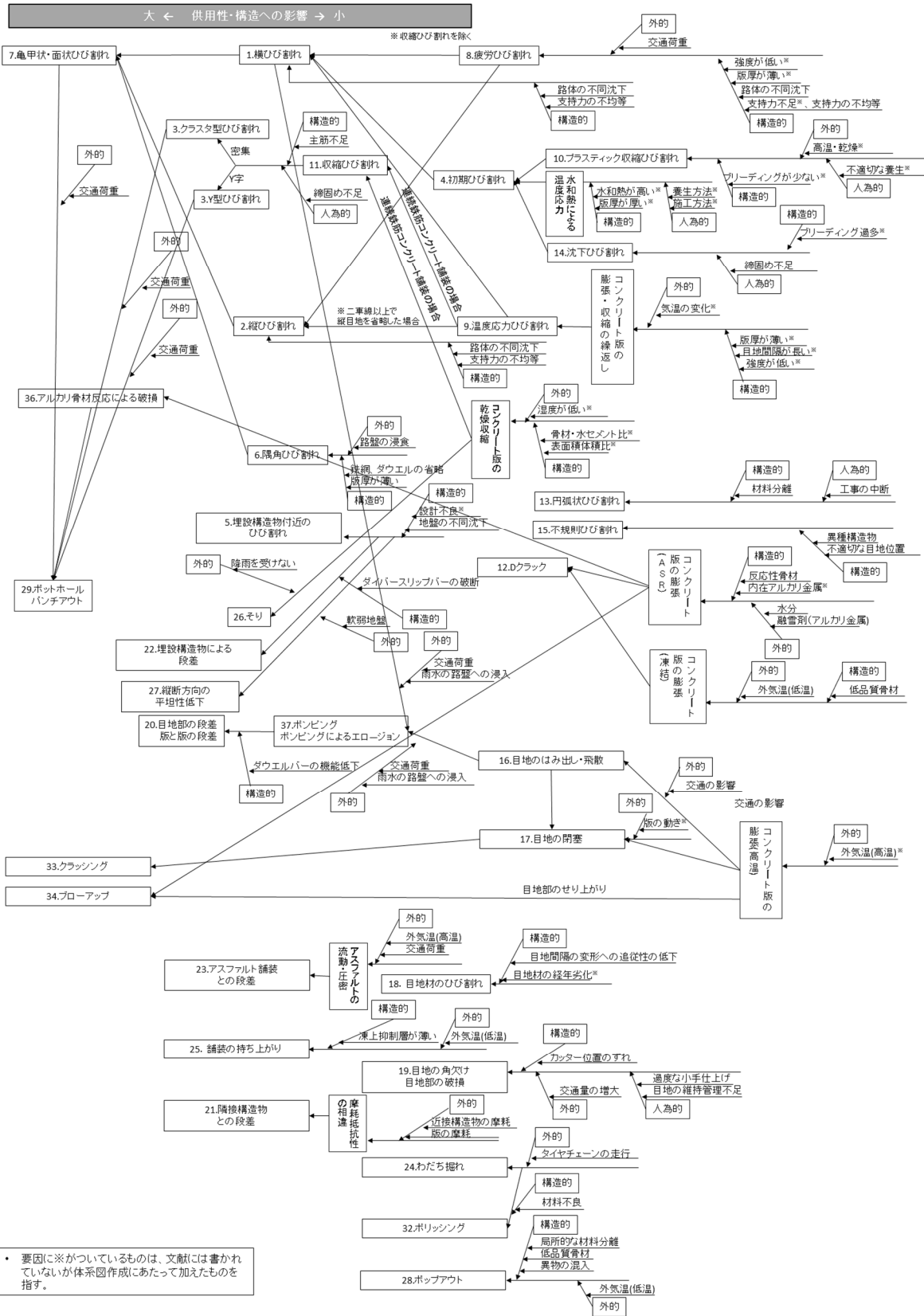


図-2.1 コンクリート舗装の損傷体系図

3. 点検・診断技術の検討

3.1 点検・診断技術の現状

舗装の点検・診断は、その後の適切な措置に繋がる重要な行為であり、舗装の損傷状況や損傷の前兆等を適切に捉えることが必要となる。ただし、コンクリート舗装の点検は、主に目視により実施されているとともに、診断については、コンクリート舗装が損傷により交通や沿道環境に影響が生じるレベルの損傷が確認された場合に、その補修工法の選定のため実施されているのが現状である。

本研究では、点検・診断技術の現状を把握するために、文献調査により各種技術の調査を実施した。参考とした文献は、コンクリート舗装の点検・診断技術の報告が多いと考えられる、以下の①～③とし、表-3.1～3.3に整理した。

- ① 日本道路会議論文集：(一社) 日本道路協会
- ② 土木学会年次学術講演会概要集：(公社) 土木学会
- ③ NETIS (新技術情報提供システム)：国土交通省

表-3.1 日本道路会議

項目	対象としている損傷等	採用している技術、手法
点検・診断	ひび割れ	ひび割れを有する箇所のFWDによるたわみ量の評価
	ひび割れ	画像認識技術を用いたひび割れの検出
	ひび割れ	Allによる画像診断
	ひび割れ、わだち掘れ	Allによる画像診断
	ひび割れ(疲労)	供試体による圧縮疲労試験結果を用いた疲労度の推定
	ひび割れ(アスファルト舗装)	MMSIによる路面の評価
	凍上による版の持ち上がり、ひび割れ	FWDによる支持力調査
	凍害	透気係数レント法
	目地部の角欠け	施工時における反発度シュミットハンマーによる強度推定、凝結時間
	目地部の角欠け	施工時における反発度シュミットハンマー、ゴルフボールによる強度推定
	目地部の角欠け	電磁波レーダー、FWD、エポキシ鉄筋、1 Day Pave
	ポリッシング(粗骨材の露出)	振り子式スキッドレジスタンステスト
	路面凍結時のすべり	DFテスター
	凍結防止散布に伴う凍害と塩害の複合劣化	すべり測定車
	段差	MMSIによる段差の測定
	トンネル内のすべり抵抗性の低下	DFテスター、機器分析によるコンクリート舗装表面の化学成分の定量
	ダウエルバーの腐食	電磁波レーダー
	コンクリート舗装下のRC床版の損傷	打音による剥離診断
	特になし	FWD、DFテスター、すべり抵抗測定車、タイヤ路面騒音測定車

表-3.2 土木学会年次講演会

項目	対象としている損傷等	採用している技術、手法
点検・診断	ひび割れ	画像を用いたひび割れの自動抽出システム
	ひび割れ	画像を用いたひび割れの自動抽出システム
	目地のみ出し・飛散、ひび割れ	目視調査
	路面の陥没、沈下	FWD、地中レーダ
	縦断方向の平坦性低下	ひずみ計を用いた路体の不同沈下量の推定
	縦断方向の平坦性低下	ひずみ計を用いた路体の不同沈下量の推定
	縦断方向の平坦性低下	路面性状測定車
	特になし	FWDによる健全性の調査
特になし	FWD	

表-3.3 NETIS

項目	対象としている損傷など	技術の概要
点検・診断	路面性状測定	高速走行時における舗装路面の画像撮影と路面性状の把握システム
	路面性状測定	生活道路に適用可能な小型路面性状調査システム
	路面性状測定	3DレーザセンサLCSを用いた高解像度の路面プロファイル
	路面性状測定	路面性状技術と路面下空洞調査技術の融合による一体型同時調査システム
	ひび割れ	解像度1mmで撮影した詳細な路面画像とGPS位置情報を取り入れた、コンパクトな道路画像撮影システム
	ひび割れ	画像を利用した「ひび割れ率」の算出にAIを活用した自動判読を取り入れ、路面評価等を効率化する「簡易PMS」を取り入れた路面評価システム
	ひび割れ	舗装路面の管理指標の一つである「ひび割れ率」を簡便かつ安価に計測・可視化
	路盤下の空洞	グラウンドカップル型アレイアンテナによる3Dレーダシステムを用いた路面下空洞、浅層埋設物探査システム

文献調査の結果、路面性状測定車、FWD、MMS、電磁波レーダ等の既存の技術を応用するものが多くみうけられた。様々なコンクリート舗装の損傷において、点検・診断での適用性について報告されているものの、実道での損傷に対する定量的な報告は少なく、その適用可能性についての知見が乏しいのが現状である。

そのため、本研究では土木研究所が所有する舗装走行実験場をフィールドとして、主な技術について点検・診断技術の適用可能性について検討した。また、積雪寒冷地特有の現象である凍上に関して、各種点検・診断技術を活用し、凍上による構造損傷の判定手法の検討を実施した。以降、検討結果を報告する。

3.2. 実大舗装等による検証

3.2.1 概要

実道におけるコンクリート舗装では、目地部を中心とした劣化・損傷が顕在化しており、効率的かつ適切な点検・診断技術の確立が求められている。そこで本研究では、土木研究所構内の舗装走行実験場(写真-3.1)において、実道でみられるようないくつかの損傷を対象に、最新の点検技術を用いることでそれらの損傷を検知・評価できるかを検証した。

検証対象となるコンクリート舗装は、①既設の普通コンクリート舗装工区(以下、既設CO舗装工区)と、目地部のダウエルバーの損傷や版下の空洞など、舗装体内部の損傷を再現した②模擬損傷工区(以下、模擬損傷工区)の2工区とした。以下に各工区の概要を示す。

3.2.2 試験工区の概要

(1) 既設コンクリート舗装工区

本工区は、2007年に版厚250mm、目地間隔5mで構築された普通コンクリート舗装である。舗装の促進載荷試験用荷重車(写真-3.2)の走行による49kN換算輪数は、2022年3月時点で累計550万輪であり、路面には疲労ひび割れや、目地部の角欠け、目地材のはみ出し等、実道でみられるような損傷が発生している。本工区では、上記のような一般車両の走行安全性や快適性に影響を及ぼし得る路面や目地部の損傷に対して、各種の点検技術の適用性について検証を行った。



写真-3.1 舗装走行実験場



写真-3.2 荷重車

(2) 模擬損傷工区の概要

本工区は、2021年に版厚250mm、目地間隔5m、目地部にダウエルバーの損傷と版下の空洞を再現して構築された普通コンクリート舗装である。本工区の概要を図-3.1に示す。本工区では、上記のようなコンクリート舗装の構造的破損に繋がりが得る損傷に対して、各種の点検技術の適用性について検証を行った。

本工区の目地部には、φ25mm、長さ750mmのダウエ

ルバーを13本配置しており、このうち5本のダウエルバーは、バーの損傷を再現したものを設置した。具体的には、No.2、3、4の3本のバーについては、あらかじめ防食塗装を紙やすりで削り取り、腐食を発生させたものを設置した(写真-3.3)。また、ダウエルバーの腐食がみられる現場においては、バーが腐食することによって表面が体積膨張し、その周囲に水平方向のひび割れが発生することがある。そこで腐食させた3本のダウエルバーの間に、発砲ポリエチレンビニルを図-3.1のように設置することで、水平方向のひび割れを再現した。加えて、No.5、10の2本については、ダウエルバーの中央をカッターで切断し、現場で生じるバーの破断を模擬した。このうちNo.10については切断面を接触させて設置し、No.5については切断面に発砲ポリエチレンシートを挟み込み、切断面が接触しないように設置した(写真-3.4)。

さらに、目地部の版直下には、ポンピング作用によって発生する空洞を再現するために、厚さ10mmの発砲目地版を設置した。また、隣接する工区には、空洞充填補修材の検証のために構築された延長1m、幅5m、厚さ100mmの大規模な実空洞が設置されており、それについても併せて検証を行った。

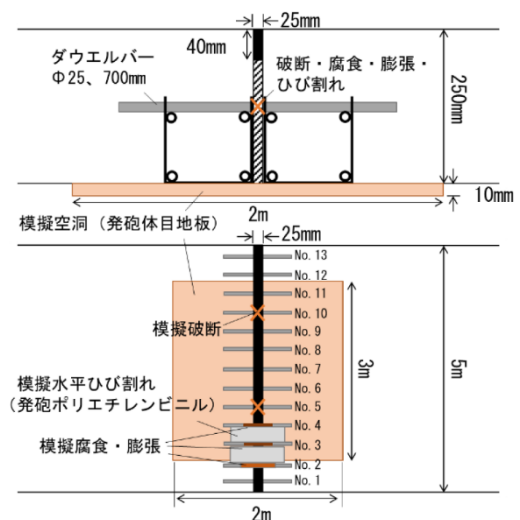


図-3.1 模擬損傷概要図(上:断面図、下:平面図)



写真-3.3 バーの腐食



写真-3.4 バーの破断

3.2.3 点検・診断技術の概要

3.2.2で示した損傷に対して本研究で対象とした点検・診断技術を表-3.4に示す。

本研究で使用する点検技術は表-3.4のとおり、専用車両に各種機器を搭載し、交通規制することなく損傷を検知する自走型のタイプと、交通規制内で舗装体内部の状態を詳細に調査するタイプがある。各技術の概要を以下に示す。

表-3.4 各損傷と対象とする点検技術

タイプ	写真	調査概要	検知対象
A		路面画像による目地部の評価、加速度計を搭載する計測車による段差の評価	【路面】 目地部の段差、目地材のはみ出しおよびせり出し
B		コンクリート舗装面のひび割れ、目地部の段差形状や目地形状の評価	【路面】 路面のひび割れ、目地部周辺における損傷・劣化（角欠け、段差）
C		電磁波レーダによる舗装版下の損傷検出	【路面下】 コンクリート版下の空洞
D		電磁波レーダによる鋼材腐食程度の評価	【路面下】 電磁波レーダによる鋼材腐食程度の評価
E		磁気ストリーム法による鋼材破断の評価	【路面下】 特殊な磁石により磁場をかけ鋼材の破断を調べる方法

(1) タイプA簡易型路面性状測定車

本技術は、ワンボックスタイプの簡易型の路面性状測定車である。車両の上部には路面撮影用のカメラを登載しており、このカメラで走行しながら5m毎に路面の写真を撮影することで目地部の損傷等を評価する。また、車両後輪の車軸には加速度計を搭載しており、この加速度計により、車両走行時に発生する鉛直方向の加速度を取得し、その加速度応答から目地部で発生する段差を評価する。具体的には、段差評価用の試験走路において、事前に加速度と段差量の関係式を作成しておき、この関係式を用いて現場で得られた加速度から段差量を推定し評価する。

(2) タイプB路面性状測定車

本技術は、ワンボックスタイプの路面性状測定車である。車両後方上部に設置されたレーザラインプロジェクタか

ら路面にレーザ光線を照射し、ひび割れやわだち掘れなどの路面の形状によって変形するレーザの反射光を、レーザラインプロファイルカメラで捉えることで、コンクリート表面のひび割れや目地部の状態を評価する。また、本技術で取得するプロファイルデータの測定間隔は、縦断4mm、横断1mmと、従来技術と比較してより詳細なデータ取得が可能である。このため、本技術では、詳細な路面プロファイルデータから路面のキメ深さの評価についても検討を行った。

(3) タイプC車載型電磁波レーダ

本技術は、ワンボックスタイプの車両に電磁波レーダを搭載した測定車である。電磁波レーダは、路面下空洞調査で広く活用されており、コンクリート版と路盤の境界面やCO版と空洞の境界面など、電気的性質が変化する境界面で反射する特性がある。この特性を活かし、車両の後方に設置されたレーダ装置から、走行しながら電磁波を路面に発信し、コンクリート版下で生じる電磁波の反射波を捉えることで、コンクリート版下の空洞の有無を評価する。

(4) タイプDハンディ型電磁波レーダ

本技術は、コンクリート版内部の鉄筋探査に広く活用されているハンディ型の電磁波レーダ装置である。電磁波を活用する点において、タイプCと原理は同様であるが、規制内で路面に接触させて低速で調査する手法であることから、タイプCよりも効率性は劣るものの詳細なデータ取得ができる。よって、本技術ではダウエルバー一本一本の電磁波の反射波を捉え、腐食によって生じ得る反射特性の違いから、ダウエルバーの腐食の有無を評価する。

(5) タイプE磁気ストリーム法

本技術は、コンクリート版目地部に設置されたダウエルバーの破断を、磁気ストリームと呼ばれる方法によって検知する技術である。磁気ストリーム法とは、コンクリート表面から特殊な磁石によってダウエルバーに磁場をかけ、破断によって生じる磁場（磁束密度）の変化を計測機で捉えることで破断の有無を評価する。この技術は従来、プレストレスコンクリート橋等において、内部鋼材の破断の有無を検知するために活用されており、本研究においてはコンクリート舗装に応用しその適用性を検証する。

3.2.4 検証結果

(1) タイプA簡易型路面性状測定車

1) 路面画像による目地部の評価

本技術により、既設コンクリート舗装工区で取得した路面画像を図-3.2に示す。この画像より、目地材のはみ出しと目地部の角欠けが確認された。実際に現場を確認すると、

画像から判別されたとおり目地材のはみ出しと角欠けが発生していることを確認した(写真-3.5)。このことから本技術により、目地部の損傷を検出できる可能性が示された。

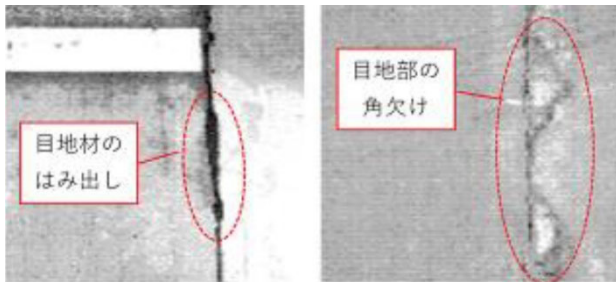


図-3.2 路面画像(左:目地材のはみ出し、右:角欠け)



写真-3.5 損傷写真(左:目地のはみ出し、右:角欠け)

2) 加速度による段差の評価

本技術により、既設コンクリート舗装工区で取得した加速度計の取得結果を図-3.3に示す。この結果より、目地部付近で、鉛直方向の加速度が大きくなっているのがわかる。これは、目地部を車両の後輪が通過したときに車体が上下方向に揺れていることを表している。すなわち、目地部に段差が発生していることが、このデータから読み取ることができる。この加速度を用いて加速度と段差量の関係式から推定した段差量は左後輪で9.2mm、右後輪で15.8mmであった。実際に現場を確認すると、輪跡部左側で約10mm、右側で約13mmの段差が発生していることがわかった。このことから本技術により、主に目地部で発生する段差を定量的に把握できる可能性が示唆された。

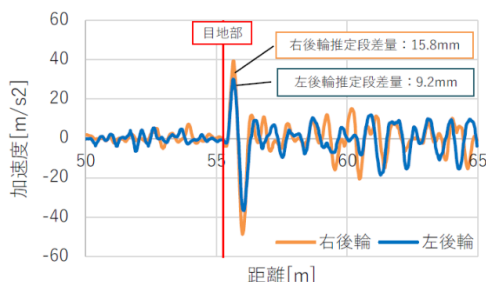


図-3.3 加速度と推定段差量

(2) タイプB路面性状測定車

1) プロファイルデータによる目地部の評価

本技術により、既設コンクリート舗装工区で取得した目地部の路面画像データを図-3.4に、プロファイルデータを図-3.5に示す。これらの図より、目地部には深さ約12mmの凹みが生じており、この形状から目地部が角欠けしていると推定された。実際に現場を確認すると、深さ約10mmの目地部の角欠けが発生しており、プロファイルデータとおおよそ整合が取れていることを確認した。このことから本技術により、目地部で発生する目地部の角欠けの深さや幅を定量的に評価できる可能性が示唆された。

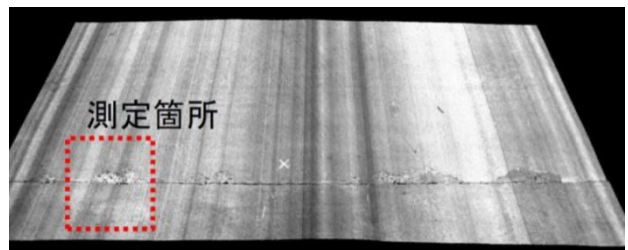


図-3.4 路面画像

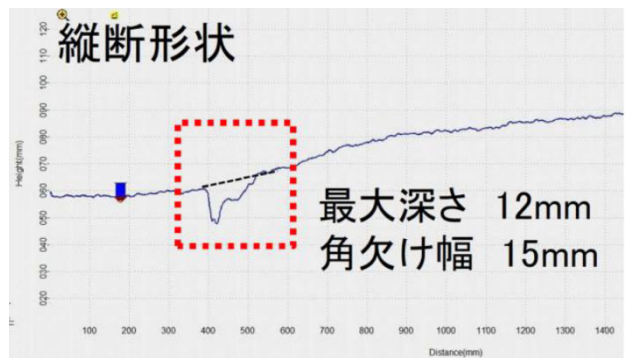


図-3.5 角欠け箇所の縦断プロファイル

2) プロファイルデータによる路面の評価

① ひび割れの評価

本技術により、既設コンクリート舗装工区で取得した路面画像データを図-3.6に示す。この図より、コンクリート版の版央に横断ひび割れが発生し、一部でひび割れが進展しコンクリート片が飛散していると推定された。実際に現場を確認すると、写真-3.6に示すように、版央に横断ひび割れが存在し、一部でコンクリート片の飛散も見られた。このことから本技術により、ひび割れを精度良く検出できる可能性が示唆された。

② キメ深さ (MPD) の評価

本技術により、既設コンクリート舗装工区で取得したMPDの測定結果を図-3.7に示す。この結果より、測定区間

のうち、工区2において、MPDが他よりも大きく路面のキメ深さが粗い結果となった。実際に現場を確認すると、写真-3.7に示すように、車両の輪跡部においてコンクリート舗装表面が摩耗し骨材が露出するポリッシングが発生していることがわかった。このことから本技術により、路面のキメ深さが粗い箇所についても検出できる可能性が示唆された。

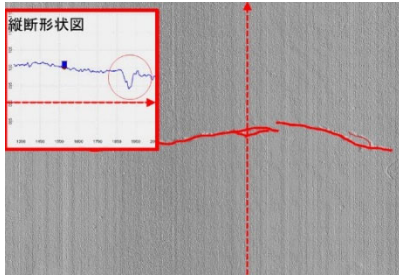


図-3.6 路面画像データ



写真-3.6 横断ひび割れ発生箇所の写真

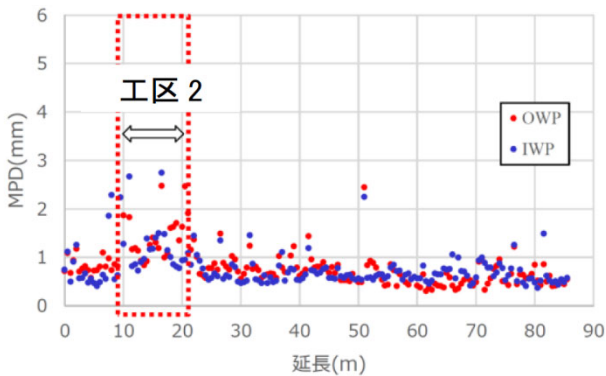


図-3.7 MPD測定結果



写真-3.7 工区2のポリッシング (左: 全景、見目: 近景)

(3) タイプC車載型電磁波レーダ

本技術により、模擬損傷工区で測定した結果を図-3.8

に示す。この図は、電磁波レーダで得られる反射波の強弱を白黒の濃淡で色付けしたコンター図であり、反射が強いほど白色となる。図は測定車の進行方向に沿って切り出した断面図である。この図より、図左側の空洞厚さが100mmある箇所においては、コンクリート版の底面付近(深さ25cm)において、コンクリート版と路盤の境界面の反射強度が健全部と比較して弱くなっているのがわかる。これは、コンクリート版下に空洞が存在することにより、電磁波の反射波が弱くなったと推定される。一方、図右側の厚さ10mmの発砲目地版で空洞を模擬した箇所においては、健全部と比較して電磁波の反射強度に明確な違いはみられなかった。これは発砲目地版が厚さ10mmと薄く、本技術の電磁波がこれを捉えるほどの分解能を有していないことが要因と推定される。このことから本技術により、厚さ100mm程度の空洞は検出できる可能性が示唆された一方で、厚さ10mmと比較的厚さが薄い空洞については、本技術では現時点で検出することが難しいことがわかった。

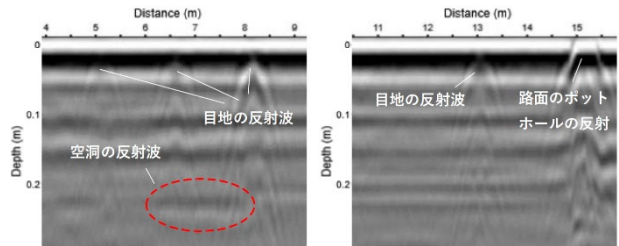


図-3.8 電磁波縦断画像 (左: 実空洞、右: 模擬空洞)

(4) タイプDハンディ型電磁波レーダ

本技術により、図-3.9に示すように腐食度の違う鉄筋を用いた供試体を準備して測定を行った。測定結果を図-3.10に示す。図は測定で得られる反射強度を示したものであり、鉄筋の腐食が進むほど反射強度が小さくなっていることがわかる。これは、ダウエルバーが腐食することによって比誘電率が低下し、この影響で電磁波の反射強度が小さくなったと考えられる。このことから、本技術により、ダウエルバーの腐食の有無を判断できる可能性が示唆された。

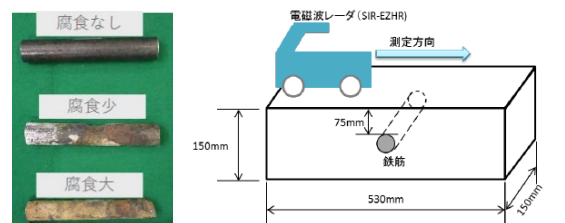


図-3.9 腐食度の異なる鉄筋と測定方法

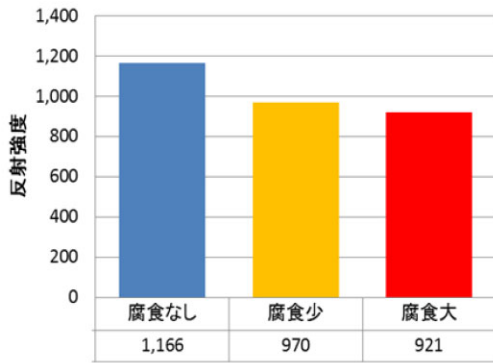


図-3.10 反射強度の比較

(5) タイプE磁気ストリーム法

本技術により、模擬損傷工区で測定した結果を図-3.11に示す。図の上側にダウエルバーの健全な状態を、図の下側には破断した状態の結果を示す。この図より、健全な状態であれば磁束密度の波形は滑らかな曲線で右肩上がりの形状になる。一方、破断した状態においては、磁場の波形がダウエルバーの中心付近で右下がりに乱れていることがわかる。これはバーの破断により、破断した位置で磁束密度が乱れていることを表している。すなわち、ダウエルバーの破断が生じていることが、この測定結果から読み取ることができる。このことから本技術により、ダウエルバーが破断した状況を推定できる可能性が示唆された。

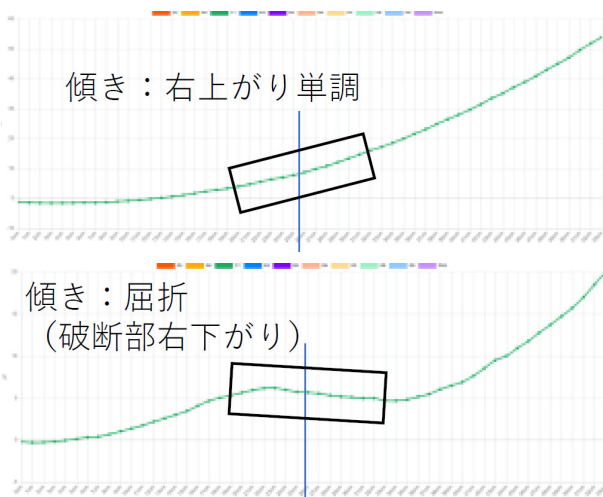


図-3.11 磁束密度測定結果 (上：健全、下：破断有)

3.2.5 まとめ

本研究では、土木研究所構内の舗装走行実験場において、現場でみられるコンクリート舗装の各種の損傷を対象に、5つの点検・診断技術の適用性について検証を行った。

検証の結果をまとめたものを表-3.5に示す。本研究の対象とした点検技術を用いることで、コンクリート舗装の各種の損傷を現場で検出し、評価できる可能性を見出した。

本研究で行った検証は、土木研究所構内の施設で行われたものであり、今後はこれら点検・診断技術の実用化に向けて、実道での適用性について引き続き検証を進めていく予定である。

表-3.5 検証結果

タイプ	手法	目地部		路面		路面下		
		目地の材角欠損け・	段差	ひび割れ	ポリッシング	空洞	ダウエルバーの腐食	ダウエルバーの破断
A	簡易型路面性状測定車	○	○	△	△	/	/	/
B	路面性状測定車	○	△	○	○	/	/	/
C	車載型電磁波レーダ	/	/	/	/	△	/	/
D	ハンディ型電磁波レーダ	/	/	/	/	/	○	/
E	磁気ストリーム法	/	/	/	/	/	/	○

【凡例】○:評価可能 △:条件によって評価可能 斜線:評価対象外

3.3 凍上ひび割れ判定手法の開発

コンクリート舗装は、供用に伴い劣化や疲労などにより損傷し、供用性が低下する場合がある。コンクリート舗装の損傷の形態は、路面性状の低下が主となる機能的損傷（例えば、すべり抵抗値の低下など）と、構造的損傷（疲労破壊や路床・路盤の支持力低下に起因するひび割れなど）に大別される。特に、積雪寒冷地では、凍上や融解期における支持力低下に起因する構造的損傷（写真-3.8）が発生するため、長期的に供用性能を維持するためには、損傷の原因を特定し、原因に応じた適切な対策を行うことが重要である。凍上によるひび割れを適切に判定し対策を行わなければ、補修後早期に破壊する可能性があるため、凍上を判定する手法の確立が必要である。ここでは、寒冷地特有の損傷である凍上に起因する構造的損傷を判別するために、これまで実施してきた調査結果を整理し示すとともに、凍上による構造的損傷の判定手法について検討を行った。



写真-3.8 凍上の影響と推察される縦断・横断ひび割れ
(構造的損傷)

3.3.1 凍上に起因する構造的損傷の判別

北海道の日本海側に位置する国道231号にて、構造的損傷とされる縦断・横断ひび割れが発生している区間を対象に、凍上に起因するひび割れの判別するため以下の調査を行った。調査区間の概要を表-3.6に、舗装構成を図-3.12に示す。調査区間の路床土はレキ質土であり、凍上試験を行った結果、凍上性の材料であることが確認された。

表-3.6 調査区間概要

Co舗装版厚 (cm)	供用年数 (年)	大型車交通量 (日/台)	路床土の凍上性	Co舗装版総数 (枚)
25	35	169	NEXCO凍上試験法(JHS112) 凍上率: 2.86% 凍結様式: 霜柱状凍結 凍上判定: 不合格	1606



図-3.12 調査区間概要

(1) 構造的損傷の発生と推移の調査

図-3.13に目指調査により構造的損傷と考えられるひび割れ（横断全幅に及ぶひび割れと横断方向に1/2以上の長さに及ぶひび割れを対象とした(写真-3.1)）の発生割合の推移を示す。2012年から徐々に構造的なひび割れが増加し、2018年には5%程度まで増加した。調査区間は路床土材料に凍上性が確認されており、凍上が原因で構造的破壊に至ったと推察される。

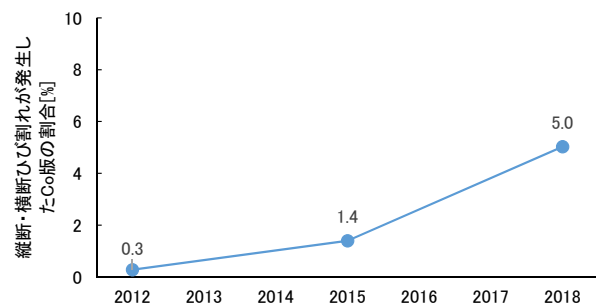


図-3.13 構造的損傷の発生割合の推移

(2) 凍結深さの算定

調査箇所近傍のAMeDASデータを用いて凍結指数を算出し、「寒冷地地盤工学」に示される「凍結指数と予測凍結深さの関係」の式より求めた凍結深さを図-3.14に示す。調査工区では路床土まで凍結が到達する冬を経験していることがわかる。

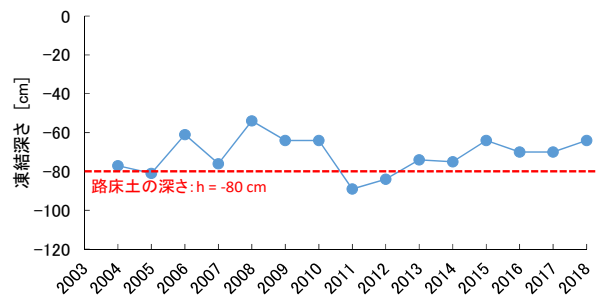


図-3.14 凍結深さ

(3) FWD 調査による D_0 たわみ量の調査

図-3.15 に凍上が疑われる箇所において、融解期である4月に健全なCo版と横断ひび割れのあるコンクリート版にて、版央部（横断ひび割れ部）および目地部でFWD試験（載荷荷重98kN）を実施した結果を示す。健全部における D_0 たわみ量は概ね150~250 μm の範囲にある。一方、ひび割れが発生しているCo版に着目すると版央部・目地部ともに健全部のたわみ量に比べてばらつきが大きく400 μm を超える大きなたわみ量も確認された。この結果は、融解期の支持力低下や凍上によるCo版と路盤の間に生じた隙間の影響と推察される。

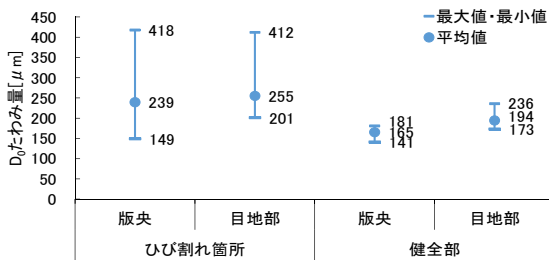


図-3.15 FWDによる D_0 たわみ量

(4) 疲労度の計算

表-3.7に調査区間におけるコンクリート版の疲労度を計算した結果を示す。調査時点で35年経過しているが疲労度は1.0に到達しておらず、供用48年で疲労度が1.0を超える計算結果となった。この結果から、調査区間においては輪荷重や温度による疲労以外の要因が作用したことが示唆される。FWD試験の結果から隙間の発生が示唆されたが、凍上により生じた隙間が疲労を促進した可能性が考えられる。

表-3.7 設計期間と疲労度

設計期間	疲労度
20年	0.41
35年(供用年数相当)	0.74
48年	1.01

(5) 凍上量の調査

レベル測量にて調査区間の凍上量を測定した結果、凍上量は2017年の調査では最大13mm、2021年の調査では最大17mmが観測された。

3.3.2 凍上によるひび割れ発生メカニズム

これらの結果より、路床が凍上性の材料で、路床まで凍結が入り、目地が欠損するなどにより路床に水が侵入しやすい条件の場合、図-3.16に示すように路床にアイスレンズが発達し、また融解期に周辺部の沈下などの影

響により路盤とCo版の間に空間が生じ、そこへ輪荷重が作用することにより、軽微な隙間であっても短期間に縦断・横断方向のひび割れに進展することが推察される。

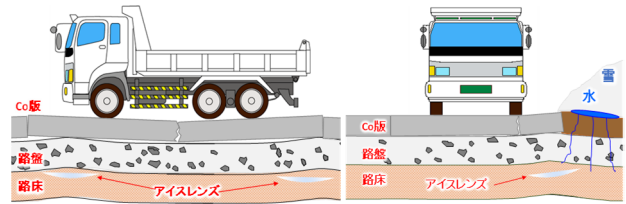


図-3.16 凍上の影響による縦断/横断ひび割れ発生メカニズム

3.3.3 凍上ひび割れ判定方法の検討

以上より構造的なひび割れが発生した場合に凍上ひび割れか否かを判定するための方法として、以下が考えられる。比較的簡易な調査から開始し、凍上による構造的損傷を判定するのがよい。

①凍結深さの判定

：置換厚さを超える凍結深さを経験している。

②疲労度の判定

：供用年数時点の疲労度が1.0を下回っている。

③凍上量の調査

：レベル測量や調査区間が広域の場合はMMSによる凍上量測量（詳細は3.4を参照）

④隙間の有無

：FWD試験による支持力低下、隙間の有無の推定

⑤路床土の性状

：路床土の凍上性の確認

これらの調査により構造的損傷の原因が凍上によるものかを判定し、損傷原因に応じた適切な対策を講じることにより、維持管理コストの縮減を図れるものとする。

3.4 凍上量調査へのMMSの適用性について

コンクリート舗装を長期的に利用するためには、適切な維持修繕を行う必要がある。特にコンクリート舗装版の構造的な破壊である横断ひび割れや縦断ひび割れは、損傷が進行し、角欠けや段差が生じる前に、適切な処置を行うことが求められる。このためにはひび割れの発生要因を特定し、それぞれに応じた措置を行うことが肝要である。構造的な損傷は、疲労、支持力不足、版下の空洞、施工不良など様々な要因があり、積雪寒冷地ではこれに加え凍上に起因する場合がある。ここでは、構造的なひび割れが発生した場合に、MMS測量等を用いて凍上による損傷か否かを判定する手法について検討した。

3.4.1 MMSによる凍上量測定方法の開発

凍上量は、凍上が発生する前の秋期の路面高と凍上が発生する冬期の路面高を計測し、その差分より求められる。従来方法としてレベル測量による方法があり、路面高さを正確に計測でき凍上量を求めることが可能であるが、写真-3.9に示すように計測にあたって供用中の道路上で実施する必要があり、交通規制が必要となる。また計測に時間を要するため、長い区間や面的な調査に適していない。MMS（モバイルマッピングシステム）は、走行する車両上から路面の三次元データを取得することが可能であり、交通規制を行わずに路面高を計測でき、長い区間や面的な計測に適した技術である。

ここでは、交通規制を極力行わずに凍上量を計測する技術の開発を目的として、MMSを用いた計測技術の適用性について検討した。



写真-3.9 レベル測量による凍上量測定

(1) MMSによる凍上量計測法

写真-3.10に示す計測装置（MMS-G6：三菱電機株式会社製）を用いて計測を行った。



写真-3.10 MMSによる計測に用いた計測装置

調査時期は2020年11月から2021年3月とした。詳細を表-3.8に示す。本調査では、レベル測量とMMS測量を実施しMMS測量の精度把握を行った。なお、調査期間において当該箇所埋設した熱電対温度計の計測デー

タより、最大凍結深さが置換厚より深いこと、および凍上試験より路床土が凍上性であることから凍上が発生する条件であったことを確認している。

表-3.8 調査箇所概要

コンクリート舗装延長(m)	240
調査延長(m)	60
供用年数(年)	1
置換厚(cm)	101
熱電対温度計による凍結深さ(cm)	112.2
初期値計測日	2021.11.19
凍上量計測日	2021.3.9

評価に用いる路面高さはコンクリート舗装版の横断方向の両端部から25cmと版中央の計3側線を縦断方向に連続して計測したデータを使用した。

本研究で用いるMMS測量では、衛星測位を利用して標高データを得るが、これは数cmの誤差が含まれるため、数cmオーダーで生じるコンクリート舗装の凍上量を計測する上で、この誤差は無視できない。凍上量計測では調査日の異なる標高データを重ね合わせて凍上量を求めることから、2度の計測の標高の誤差を解消するためにMMS測量で得られる標高データの補正を行う必要がある。そこで、ここではレベル測量より得られた路面高さの一部を基準点として用いMMS測量で得られる標高データを補正する手法の適用性を評価した。

(2) 調査結果

調査区間の最大凍上量はレベル測量で17mm、MMS測量で16mmとほぼ同程度であった。図-3.17にレベル測量によって計測したコンクリート舗装版上の54点の凍上量と、MMS測量による同座標の凍上量の差を示す。本調査箇所での誤差は最大で4mmであり、85%以上が ± 2 mmの範囲となった。このことから、MMS測量より得られる点の標高を補正することで、比較的精度良く凍上量を計測できることが明らかとなった。

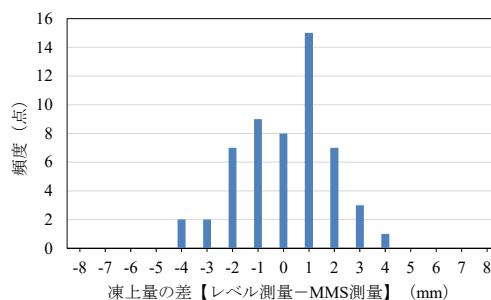


図-3.17 レベル測量とMMS測量の凍上量の差

4. 措置技術の検討

4.1 措置技術に関する現状

舗装の損傷に対する措置は、先に行う点検・診断結果を受けて実施するものであり、損傷に対して適切な措置を実施することが重要となる。ただし、コンクリート舗装の損傷時の措置は、点検・診断技術と同様に、コンクリート舗装が損傷により交通や沿道環境に影響が生じて初めて実施されているのが現状である。

まず、措置技術の現状を把握するために文献調査を実施した。参考とした文献は点検・診断と同様に以下の①～③とし、表-4.1～4.3に整理した。

- ① 日本道路会議論文集：(一社) 日本道路協会
- ② 土木学会年次学術講演会概要集：(公社) 土木学会
- ③ NETIS (新技術情報提供システム)：国土交通省

表-4.1 日本道路会議

項目	対象としている損傷等	採用している技術、手法
措置	ひび割れ	ポリウレタン樹脂を主成分とした補修材
	不同沈下に伴う縦断方向の平坦性低下、路盤下の空洞	完全付着型オーバーレイ工法
	目地部への異物のつまり	吸引機によるつまり物の除去
	目地部の段差、角欠け	ポリマーセメントモルタルによる補修材
	特になし	オーバーレイ工法

表-4.2 土木学会年次学術講演会

項目	対象としている損傷等	採用している技術、手法
措置	ひび割れ	RC床版へのコンクリート舗装の適用
	ひび割れ	ひび割れ注入
	ひび割れ	ポリウレタン樹脂補修材
	目地部の角欠け、段差	ポリマーセメントモルタルによる補修材
	ダウエルバーの機能低下	バーステッチ工法
	目地部の角欠け、ポットホール	エポキシ樹脂鉄筋、水膨張止水ゴム
	目地部の劣化(コンポジット舗装)	バーステッチ工法

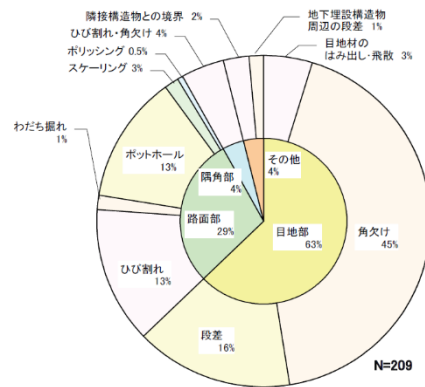
表-4.3 NETIS

項目	対象としている損傷など	技術の概要
		ひび割れ
措置	ひび割れ	速乾性と施工性に優れた舗装クラック速硬化性常温湿入防水材
	ひび割れ	ファイバー中空ビーズを配合して適度な粘度に調整したエポキシ・アクリル樹脂系の舗装ひび割れ補修材
	段差、凹凸	容易に素早く施工可能な段差修正材
	段差、凹凸	コテで施工可能な段差修正材
	段差、凹凸	舗装段差修正材
	目地のほみ出し	エンボス加工樹脂発泡目地板
特になし	ポリマーと速硬化性混和材を用いた高性能化によるコンクリート舗装等の長寿命化材料	

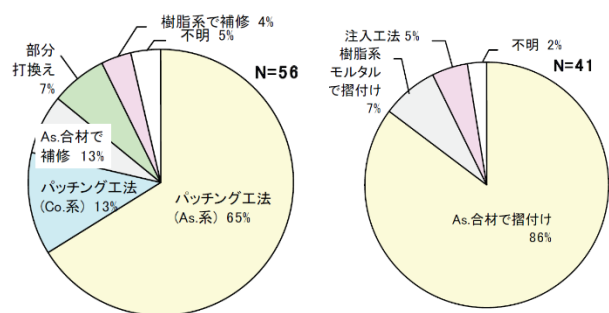
文献調査の結果、コンクリート舗装の損傷に対応したセメント系材料等での措置技術等の報告が確認できるが、その件数は少なく、実道における事例や耐久性評価事例については極めて少ないのが現状である。

次に、コンクリート舗装にひび割れや角欠け等の損傷が発生した場合の措置方法等について、国土交通省地方整備局等へアンケート調査を実施している事例がある⁵⁾。

図-4.1にアンケート結果を示す。アンケート結果によると、損傷形態は目地部の段差や角欠けが全体の63%となっており、補修方法としては多くがアスファルト系材料によるパッチングや擦り付けが多くを占め、耐久性の期待できるコンクリート系の材料による補修が少ないのが現状である。



破損形態の調査結果



補修方法：角欠け

補修方法：段差

図-4.1 アンケート結果 (上：破損形態の調査、下：補修方法)

上記アンケート結果は、平成25年の日本道路会議にて報告された内容であるが、現状においても写真-4.1に示すように、角欠け等の措置としてアスファルト混合物によるパッチングが実施されている事例がおおく、状況の大きな変化はないものと考えられる。



写真-4.1 アスファルト混合物での措置

コンクリート舗装が破損した場合の補修方法として、アスファルト混合物を用いた場合、早期に流動や飛散が生じることが懸念され、長期耐久性が期待できるセメント系等の材料を適切に活用することが、コンクリート舗装の長寿命化にとって重要である。補修にアスファルト系材料が用いられる要因としては、措置に使用する材料や工法が確立されておらず、耐久性の評価事例も少ないことが考えられる。また、セメント系材料による措置を実施したとしても、損傷や材料の特性に適合した施工がなされず結果的に早期に破損する事例もある。道路管理者、施工業者ともにコンクリート舗装が損傷した際の扱いが難しいと考えられていることも、コンクリート舗装が敬遠される要因となっている。

そのため、本研究では、実大舗装にて耐久性評価が可能な舗装走行実験場における舗装の促進載荷試験により、補修材料の耐久性評価を実施することとした。なお、補修材料については様々なものが存在することから共同研究を実施し、共同研究参加者が提案する材料による耐久性評価を実施した。また、材料毎にその特性を考慮した施工方法についてとりまとめることとした。なお、一部目地材については、積雪寒冷地の実道にて耐久性の調査を実施したので併せて報告する。

4.2 措置技術の耐久性評価

4.2.1 実大舗装等による検証①

本試験施工では、コンクリート舗装の目地部の損傷に着目した補修材料の耐久性の検証を実施することにした。耐久性の検証は、土木研究所の舗装走行実験場にて実施した。舗装走行実験場の中ループの既存コンクリート舗装の目地部における損傷を想定し、コンクリート系材料によるパッチングにより補修を実施し、舗装の促進載荷試験用荷重車にて交通荷重を繰り返し載荷し耐久性の確認を実施した。想定した目地部の損傷はひび割れと段差とし、補修材料及び補修断面は表-4.3及び図-4.2に示す通りとした。なお、追跡調査は目視によるひび割れの確認、打音による浮きの確認等を実施した。

なお、本試験施工はR2~4に実施した「コンクリート舗装の補修工法に関する研究」において実施したものであるが、本研究においても引き続き追跡調査を実施している。

表-4.3 補修材料

補修箇所	模擬損傷	補修材料種類	施工面の処理
1	角欠け	ポリマーセメントモルタル	水湿し
2		ポリマーセメントモルタル	水湿し
3		エポキシ樹脂モルタル	プライマ：エポキシ樹脂
4		アクリル樹脂モルタル	なし
5	段差	ポリマーセメントモルタル	水湿し
6		ポリマーセメントモルタル	水湿し
7		ポリマーセメントモルタル	水湿し
8		エポキシ樹脂モルタル	プライマ：エポキシ樹脂

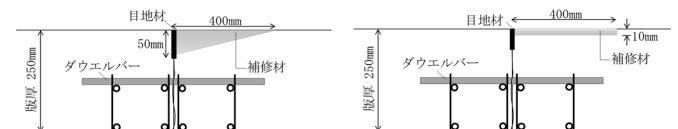


図-4.2 補修断面 (左：角欠け、右：段差)

荷重車走行による繰り返し載荷の結果、累積49KN換算輪数で10万輪~15万輪の供用早期に浮きが発生し、その後ひび割れが進展する結果となった(例えば図-4.3)。

損傷発生箇所はいずれの箇所も目地側であることが確認できる。また、損傷箇所の写真-4.2を見ると補修実施箇所の目地が既設目地よりも狭く、損傷が激しい範囲において目地材のはみ出しが確認できる。

これらの状況から、施工時にカッタにより補修材と隣接コンクリート舗装版との目地を設置したものの目地幅が5mm程度と狭かったため、コンクリート版の温度による膨張や荷重車走行による荷重により、補修箇所に隣接する舗装版と接触したことで大きな応力が作用し、早期に破損したものと考えられる。

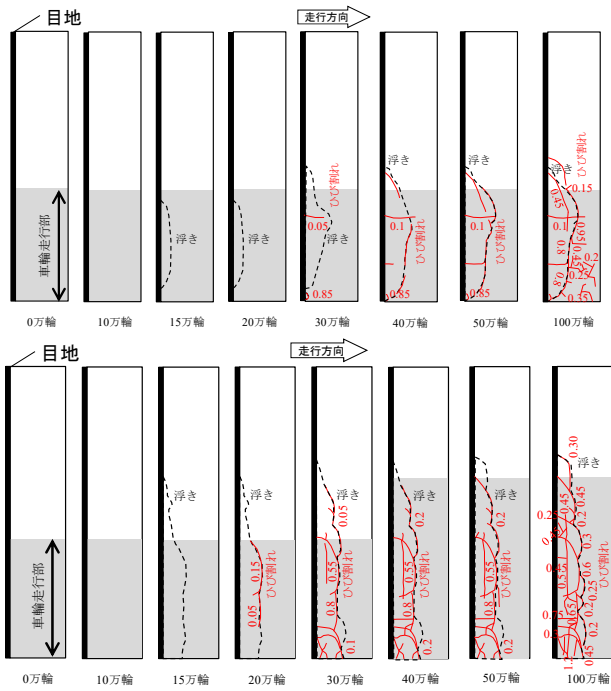


図-4.3 損傷の例（上：段差、下：角欠け）

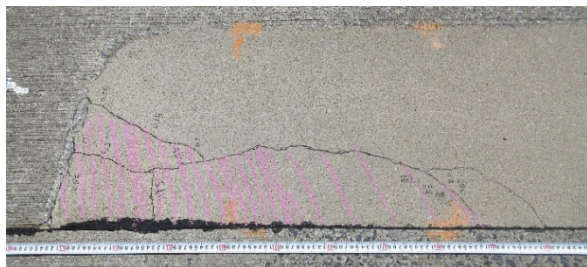


写真 4.2 損傷箇所例

4.2.2 実大舗装等による検証②

(1) 試験施工概要

本研究課題において新たに共同研究を立ち上げ、措置技術に関する耐久性試験を実施した。実施した試験については4.2.1で示したとおりで、荷重車走行による舗装の促進荷重試験により繰り返し荷重を載荷し耐久性を調査した。なお、走行輪数については、共同研究が終了するまでの期間に走行可能な35万輪とした。

(2) 試験施工を実施した措置技術

試験施工を実施した措置技術は表-4.4のとおりとし、舗装走行実験場に舗装した5.0m×5.0mのコンクリート舗装版15枚を用いて模擬損傷を製作し、図-4.3に示すように各措置技術を施工した。なお、採用した措置技術は目地部近傍の破損のみではなく、共同研究参加者から提案のあったものについても採用している。以下、各々の試験概要を示す。

表-4.4 措置技術一覧

施工箇所	損傷種類	工法	使用材料	母体との接着面の処理
①～⑥	角欠け (目地近傍)	パッチング	PC系	・プライマ (EP系) + 接着剤 (EP系) ・プライマ (EP系) + 接着材 (RU系) ・接着材 (EP系) ・水浸し
⑦～⑩	段差 (目地近傍)	パッチング	PC系	・プライマ (EP系) + 接着剤 (EP系) ・プライマ (EP系) + 接着材 (RU系) ・接着材 (EP系)
⑪～⑫	ポットホール (版中央)	パッチング	PC系	・プライマ (EP系) + 接着材 (RU系) ・接着材 (EP系)
⑬	路面の荒れ等 (版中央)	薄層切削OL	PC系	・接着材 (EP系)
⑭⑮	ひび割れ (版貫通)	部分打替え	PC系	・接着材 (EP系)
⑯⑰	ひび割れ (版中央)	ひび割れ注入	AS系SL系	・プライマ (EP系)
⑱～⑲	目地材の破損 (目地部)	目地材注入	AS系SL系	・プライマ (EP系)
㉑	空洞 (目地部版下)	空洞充填	PC系	-
㉒～㉒	・ひび割れ (ひび割れの進行抑制)	破損部注入	PU系	-
㉓～㉓	・亀甲状ひび割れ (破片の等飛)	破損部注入	PU系	-

※ポリマーセメント：PC、アスファルト：AS、シリコン：SL、エポキシ：EP、ゴム：RU

1) 角欠け・段差、ポットホール（工法：パッチング）

目地近傍に発生する角欠け、段差、版中央部に発生するポットホールをパッチングにて補修する場合の耐久性検証のため、表-4.4及び図-4.3に示す施工箇所にて、パッチングを実施した。

2) 路面の荒れ等（工法：薄層切削オーバーレイ）

路面の荒れ等の路面破損の補修工法である薄層切削オーバーレイ工法の耐久性検証のため、補修箇所⑬において、コンクリート版表面の荒れ等を想定して、薄層切削オーバーレイ（コンクリート版5cmを切削）を実施した。

3) ひび割れ（工法：部分打替え）

コンクリート版中央部等に発生する貫通ひび割れの強度回復を目的とした部分打替え工法の耐久性検証のため、図の補修箇所⑭、⑮において、コンクリート版のひび割れが版下まで進行した場合を想定して、コンクリート版の部分打替えを実施した。

4) ひび割れ、目地材の破損（工法：ひび割れ注入）

ひび割れ発生部や目地部の雨水進入の防止効果の検証のため、ひび割れ部は施工箇所⑯、⑰、目地部は施工箇所⑱～⑲において、ひび割れ注入材（目地材）を施工した。

5) 空洞（工法：空洞充填）

コンクリート版下の空洞補修工法の耐久性検証のため、図の施工箇所㉑において、人工的にコンクリート版下の空洞を製作し、空洞充填材を施工した。

6) ひび割れ、亀甲状ひび割れ（工法：破損部注入）

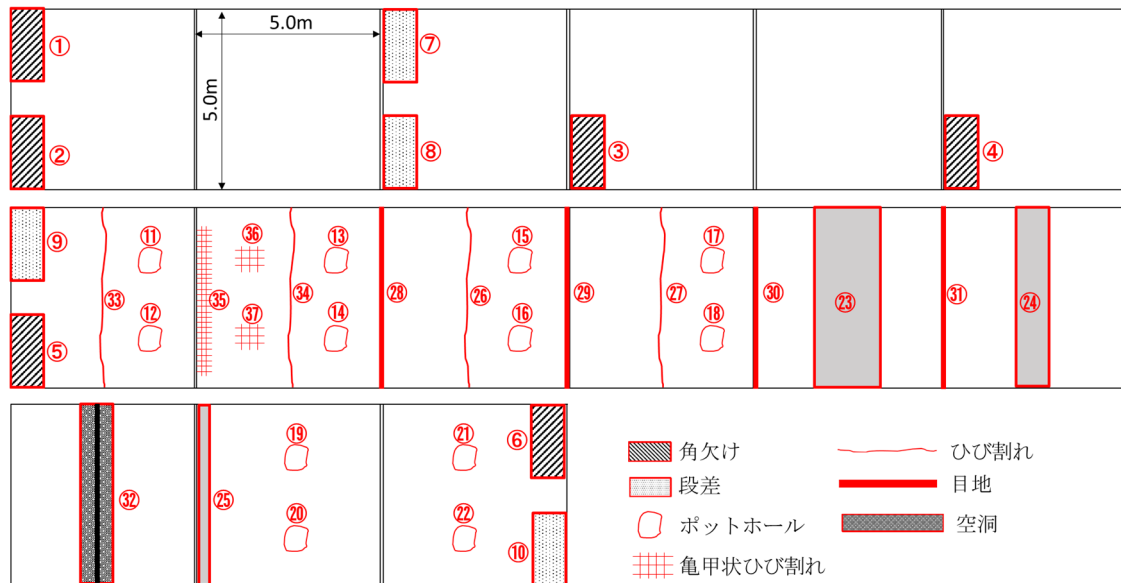


図-4.3 措置技術の施工箇所（舗装走行実験場中ループ、コンクリート舗装版：5.0m×5.0m）

コンクリート版にひび割れが発生した場合のひび割れ進行抑止の検証のため、図-4.3の施工箇所③にて人工的に版中央部の横断ひび割れを発生させ、ひび割れに接着が期待できる材料にてひび割れを接着した。また、亀甲状にひび割れが発生した場合のコンクリート片の破損防止の検証のため、図の施工箇所③⑤～③⑦にて亀甲状ひび割れを発生させ、横断ひび割れ同様の材料にて破損箇所を接着した。

(3) 施工時の留意事項

過去の知見を踏まえ、以下について施工時に留意することで施工を実施した。

- ・ 目地部の補修を実施する際は、隣接するコンクリート版と接触しないよう、適切な目地の処理を実施する。
- ・ 補修箇所の母体と補修材料の接着を確保するため、母体の状態を整えるプライマ及び補修材料と母体の接着を確保する接着剤を適切に塗布する。
- ・ 各々の材料特性に合致した品質管理、工程管理を適切に実施する。

(4) 追記調査

各々の措置技術に対し表-4.5 に示す追跡調査を実施した。

表-4.5 追跡調査項目

施工箇所	損傷種類	工法	追跡調査内容
①～⑥	角欠け (目地近傍)	パッチング	目視（ひび割れ確認）、打音（浮き確認）、表面形状、すべり抵抗
⑦～⑩	段差 (目地近傍)	パッチング	目視（ひび割れ確認）、打音（浮き確認）、表面形状、すべり抵抗
⑪～⑫	ポットホール (版中央)	パッチング	目視（ひび割れ確認）、打音（浮き確認）、表面形状、すべり抵抗
⑬	路面の荒れ等 (版中央)	薄層切削OL	目視（ひび割れ確認）、打音（浮き確認）、表面形状、すべり抵抗
⑭⑮	ひび割れ (版貫通)	部分打替え	目視（ひび割れ確認）、打音（浮き確認）、表面形状、すべり抵抗、たわみ量測定（荷重伝達率）
⑯⑰	ひび割れ (版中央)	ひび割れ注入	目視・指触（目地材の飛散、接着）
⑱～⑲	目地材の破損 (目地部)	目地注入	目視・指触（目地材の飛散、接着）
⑳	空洞 (目地部版下)	空洞充填	目視（空洞の進展）、たわみ量測定
㉑～㉑	・ ひび割れ（ひび割れの進行抑止）	破損部注入	目視（ひび割れ確認）、たわみ量測定
㉒～㉒	・ 亀甲状ひび割れ（破片の等飛）	破損部注入	目視（ひび割れ確認）、打音（浮き確認）

(5) 試験結果

1) 角欠け・段差、ポットホール（工法：パッチング）

35万輪走行時点で一部を除き、ひび割れ、浮き等の破損は発生しておらず、良好な状態を維持していることを確認した。また、版中央部のパッチングについても、ひび割れや浮き等の損傷はなく、良好な状態を維持していることを確認した。

なお、目地部の角欠けのパッチング箇所1箇所において走行5万輪時点で破損した工区があった。破損状況を写真-4.3に示す。走行早期にて亀甲状のひび割れが発生

しコンクリート片の飛散も確認できる。該当箇所は、8月の高温多湿の条件下で実施しており、補修材打を打設する際の敷きならし作業中に急激に硬化する状況であったことが確認されている。そのため、材料打設毎にコールドジョイントが発生し、その結果早期に破損したものと考えられる。



写真-4.3 破損状況（早期に破損した事例）

2) 路面の荒れ等（工法：薄層切削オーバーレイ）

走行輪数 35 万輪時点で、写真-4.4 に示すようにひび割れや浮き等の損傷はなく、良好な状態を維持していることを確認した。



写真-4.4 35万輪走行後の状況（施工箇所③）

3) ひび割れ（工法：部分打替え）

図-4.4 に施工箇所④における荷重伝達率の調査結果を示す。35 万輪走行時点で十分な荷重伝達が得られていることが確認できた。また、目視や打音調査においてひび割れや浮き等の損傷はなく、35 万輪走行時点では良好な状態を維持していることを確認した。

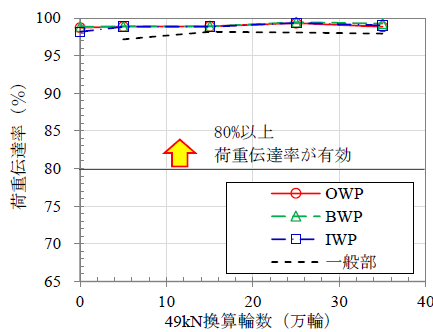


図-4.4 部分打替え部の荷重伝達率

4) ひび割れ、目地材の破損（工法：ひび割れ注入）

35 万輪走行時点で、写真-4.5 に示すように目地材と母体との接着やはみ出し等の不具合は確認されておらず、良好な状態を維持していることを確認した。



写真-4.5 35万輪走行後の状況（施工箇所②）

5) 空洞（工法：空洞充填）

図-4.5 に FWD たわみ量の調査結果を示す。走行輪数 5 万輪時点で、空洞充填箇所直上の FWD たわみ量が大幅に小さくなっており、補修効果が確認された。しかし、走行輪数の増加に伴い FWD たわみ量が増大し 20 万輪走行時点で補修前のたわみ量と同等になる結果が得られた。

施工箇所は 7% の横断勾配があり、勾配の高い側面から雨水が浸透し、コンクリート版と補修材との間に水みちがで補修材が破損したことにより補修効果が失われたものと考えられる。横断勾配の影響や雨水浸透による影響等について課題が残る結果となった。

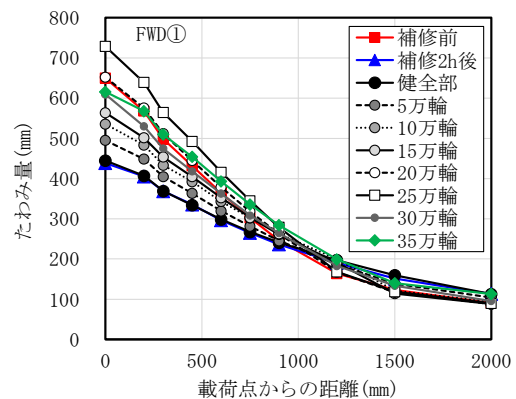


図-4.5 FWD たわみ量調査結果（施工箇所②）

6) ひび割れ、亀甲状ひび割れ（工法：破損部注入）

人工的に誘導したひび割れが発生し荷重伝達率が低下した走行 15 万輪時点で補修を実施した。施工後の荷重伝達率の調査結果を図-4.6 に示す。15 万輪走行後においても荷重伝達率が健全とされる 80%以上を維持しており、応急的に実施する技術としては十分な性能を有することを確認した。

また、亀甲状ひび割れに関しては、補修材施工後 35 万輪走行してもコンクリート片の飛散や損傷の進行が確認させず良好な状態を維持している。

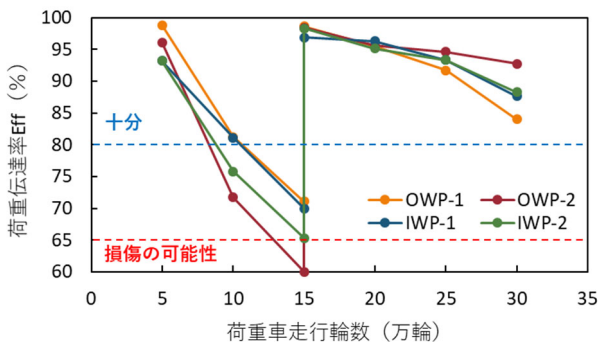


図 4.6 荷重伝達率 (施工箇所③)

(6) まとめ

措置技術の耐久性試験の結果を以下の知見が得られた。

- ・ 目地部周辺の角欠け・段差補修においては、補修材料打設時に、隣接するコンクリート版と接触しないよう適切に目地を設置することが重要であることが分かった。
- ・ 補修材料打設時の現場での環境条件 (気温等) を考慮した施工が重要であることが分かった。
- ・ 目地部周辺の角欠け・段差のパッチングにおいて、目地の適切な設置、母体の状態を改善する浸透性プライマ、補修材との接着を確保する接着剤を適切に用いることにより早期に破損せず良好な状態を維持していることが確認された。
- ・ その他、表面処理、部分打替え、目地材の試験施工結果から、早期に破損する現象は確認されず良好な状態を維持していることが確認された。

なお、本試験施工は共同研究で実施した成果であり、各技術の材料特性や仕様する際の注意事項等や施工手順等を共同得研究報告書でとりまとめ公表予定である。

4.3 積雪寒冷地のコンクリート舗装の目地材に関する試験施工

4.3.1 目地材の抜け出しとひび割れの現状

コンクリート舗装はアスファルト舗装よりも耐久性が高く、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。一方、目地部が構造上の弱点であり、目地材が抜け出した場合、目地部の角欠けや、雨水等が目地部へ浸入した場合ダウエルバーの腐食や路盤の支持力低下を招き、コンクリート舗装版の縦横断ひび割れを代表とする構造的な損傷に至る場合がある。さらに、積雪寒冷地においては、水の路床への供給や路盤路床材料の細粒化により、損傷が進行する可能性がある。

目地材の抜け出しと構造的な損傷であるひび割れとの関係を把握するため複数年に渡る現地目視調査を行ったところ、以下の傾向が確認された。

- (1) 目地材の抜け出しを存置することにより、コンクリート舗装版の構造的損傷が進む可能性があること。
- (2) 目地材が抜け出すと構造的損傷が発生しやすくなり、目地材が良好に残存していると損傷の進行が軽減されること。
- (3) 目地材の再充填することにより構造的損傷の進行を抑制できること。

目地材のコンクリート舗装の供用性に大きく関わっており、より高耐久な目地材の開発が望まれる。

4.3.1 試験施工による寒冷環境下での適用性検証

共同研究にて開発を行っている高耐久化が期待される以下の目地材料について、実道の新設のコンクリート舗装の目地材として試験施工を実施し、積雪寒冷地における適用性を評価した。

(1) 検証目地材料

本試験施工に用いた材料とその特徴を以下に示す。

1) 改質瀝青系タイプ

特徴：改質アスファルトタイプとすることで施工性の向上
 : 付着性や止水性の向上
 : 従来の高弾性タイプよりもコストダウン

2) シリコン系タイプ

特徴：常温での施工が可能
 : コーキングガンによる注入が可能で施工が容易
 : コンクリートとシリコンの相性がよく、付着が良い

(2) 試験施工位置

R229 島牧村栄浜工区 (図-4.7) の KP=181,188~181,300 (L=102 m)にて実施した。施工日は2021年9月6日であり、外気温は23.5℃であった。

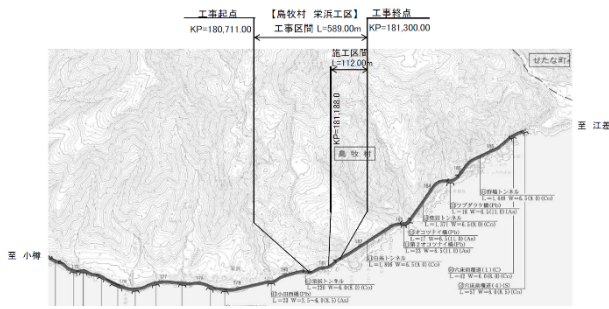


図-4.7 施工箇所

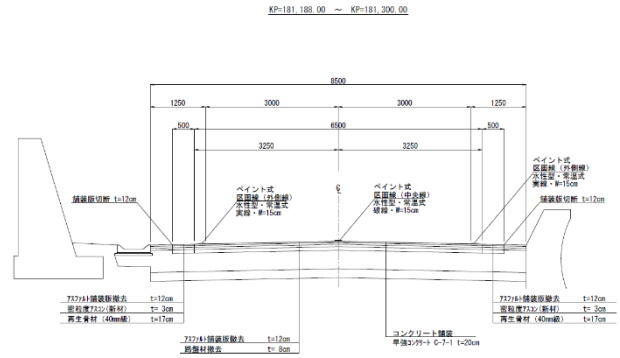


図-4.11 舗装定規図

(3) 施工箇所、目地詳細

舗装展開図、目地構造の詳細、試験施工断面を図-4.8～4.10に示す。

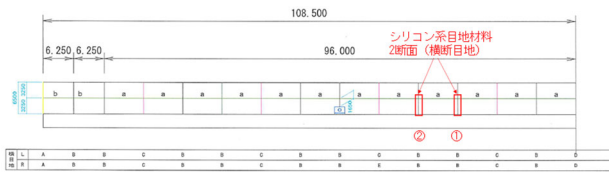
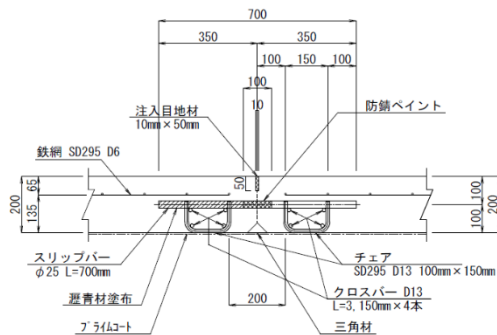


図-4.8 舗装展開図 (試験施工箇所)

横目地 (収縮目地 (カッタ目地))
Bタイプ S=1:20



横目地 (収縮目地 (カッタ目地)) 1箇所半断面当り

名称	規格	単位	目地タイプ		備考
			B		
目地延長		m	3.250		
スリップバー	φ25 L=700mm	本	10		
チェア	SD295 D13 100mm x 150mm	個	20		
クロスバー	SD295 D13 L=3, 150mm x 4本 x 2箇所	kg	25.07		W=0.995kg/m
注入目地材	高弾性タイプ (10mm x 50mm)	kg	1.74		W=1.070kg/m ³
三角材	木材 (50mm x 50mm x 1/2)	m	3.250		

図-4.9 目地構造の詳細 (Bタイプ)

(4) 施工状況

1) 瀝青系目地材

試験施工の状況を写真-4.6～4.9に示す。プライマを塗布後30分程度経過した後、180℃～200℃に熱した目地材をやかんにて注入を行った。瀝青系材料を加熱しすぎた場合、熱劣化の影響を受ける可能性があるため加熱時の温度管理が重要となる。また、熱の影響により注入後に冷却される影響で目地材は収縮するため、複数回に分けて注入を行った。施工性は一般的な瀝青系目地材と同様である。

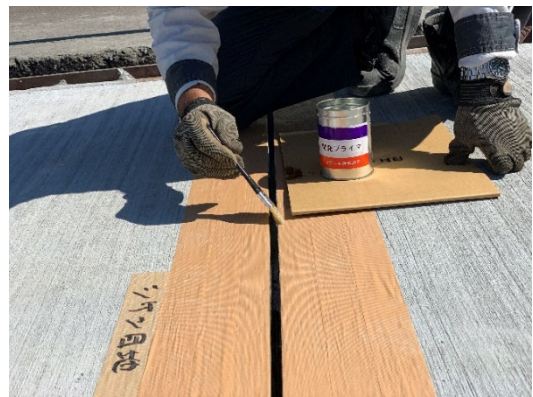


写真-4.6 プライマの塗布



写真-4.7 瀝青系目地材の加熱



写真-4.8 瀝青系目地材のやかん注入



写真-4.11 プライマの塗布

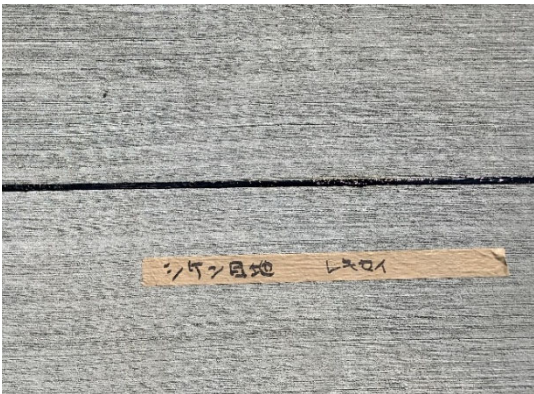


写真-4.9 瀝青系目地材の仕上がり状況



写真-4.12 シリコン系目地材注入状況

2) シリコン系目地材

試験施工の状況を写真-4.10~4.13 に示す。バックアップ材を深さ2cmの位置に挿入した、プライマを塗布後30分程度経過した後、シリコン目地材の注入を行った。注入には一般的なコーキングガンを使用することができるため、施工が容易であり、安全である。また、瀝青材料のような温度管理が必要なく、注入時の温度が常温なため、瀝青系目地材で見られるような注入後の材料の温度収縮による再注入などが必要なく、瀝青系に比べ施工面が容易となる。



写真-4.10 バックアップ材（設置（深さ2cm）



写真-4.13 シリコン目地仕上げ状況

(5) 施工後の供用性について

1) 改質瀝青系目地材

① 施工から2ヶ月経過後の状況（秋：11月調査）

写真-4.14 に施工から2ヶ月経過後の秋（11月）に観測した目地の状況を示す。まだ、冬を経験する前だが、目地材は非常に固く付着面付近での目地材の割れたような状態がほぼ全幅にわたり発生した。これは、コンクリー

ト版の温度収縮による目地部の膨張に目地材が追従することができずに、目地材自身が割れたことによるものと推察される。このような損傷は、近隣工区に施工された一般的な瀝青系目地材（高弾性目地材）のコンクリート舗装目地によく見られる損傷である。目地部の止水性能に課題が残る結果であり寒冷地での適用にあたっては課題が残るといえる。



写真-4.14 施工後2ヶ月目の目地の状況

②施工から半年経過後（一冬経過後）の供用性について（冬：3月調査）

施工6ヶ月経過後に観測した目地の状況を写真-4.15、4.16示す。冬期においてはコンクリート版が収縮するため、目地が開くことによる不着切れが懸念されたが、11月に発生した目地材自体の割れには変化がなく、新たな損傷は見られなかった。また、低温環境下（0℃程度）では、目地材は指で押した程度では変形せず、非常に固い状態であった。目地材の割れがコンクリート版の下部まで貫通しているかは確認できていないが、目地部の止水性能に課題が残る結果であり寒冷地での適用にあたっては課題が残るといえる。



図-4.15 施工から半年経過後（冬期）の目地の状況



写真-4.16 施工から半年経過後（冬期）の目地の状況

2) シリコン系目地材

①施工から2ヶ月経過後の状況（秋：11月調査）

写真-4.17に施工から2ヶ月経過後の秋（11月）に観測した目地の状況を示す。また、冬を経験する前でもあり、不着切れや抜け等の損傷は見られず、目地部の止水性能は確保されているものと想定され、目地部の健全性が確認された。



写真-4.17 施工後2ヶ月目の目地の状況

②施工から半年経過後（冬期）の供用性について（冬：3月調査）

写真-4.18の施工後から6ヶ月経過後に観測した目地の状況を示す。冬期においてはコンクリート版が収縮するため、目地が開くことによる不着切れが懸念されるが、約一冬経過した時点においても一部3cm程度の若干の付着切れ（下まで貫通はしていない）が確認されたが、下まで貫通するような不着切れや剥がれなども見られず、冬季の供用性にも問題がないと考えられる。

目地材は冬期においても非常に柔らかく、目地部の膨張収縮に追従することが想定される。付着性・止水性お

よび変形追従性いずれの観点からも、目地材として適した材料と考えられる。



写真-4.18 施工から半年経過後（冬期）の目地の状況

5. まとめ

本研究では、コンクリート舗装の点検・診断・措置技術について各種検討を実施した。得られた成果の概要を以下に示す。

- ・点検・診断・措置技術の選定時の参考資料として、文献等の調査を実施し、コンクリート舗装の破損メカニズムを「コンクリート舗装の損傷体系図」としてとりまとめた。
- ・舗装走行実験場の実大舗装に製作した模擬損傷にて、点検・診断技術（最新の5技術）の検証を実施し、各技術で判別可能なコンクリート舗装の損傷を把握した。これにより、コンクリート舗装の各種損傷を効率的に現場で検出し、評価できる可能性を見出した。
- ・点検・診断技術として期待されるMMSを用いて、積雪寒冷地における凍上の判別手法について検討を実施し、精度良く凍上量の判別が可能であることを確認した。
- ・舗装走行実験場の実大舗装にて、コンクリート舗装損傷時の措置技術について耐久性評価を実施した結果、一部を除き、目地部の処理やプライマ・接着剤等を適切に活用することで早期に破損しないことが確認された。
- ・コンクリート舗装において問題となっている目地材の破損について、積雪寒冷地の実道における試験施工を実施した結果、シリコン系材料が剥がれ等の損傷がなく早期に破損しないことを確認した。

点検・診断については各種計測技術が高度化しており今後新たな手法が開発されるものと思われる。また、措置技術については、長期耐久性について継続した調査が重要である。そのため、今後もコンクリート舗装の点検・診断・措置技術についての検討は必要に応じて継続する予定である。

【参考文献】

- 1)公益社団法人日本道路協会：コンクリート舗装に関する技術資料、平成21年8月
- 2)国土交通省：国土交通省技術基本計画～安心と活力のための明日への挑戦平成24年10月
- 3)国土交通省：土木設計業務共通仕様書（案）、令和4年3月
- 4)国土交通省：舗装点検要領、平成28年10月
- 5)上田他：直轄国道におけるコンクリート舗装の維持修繕の実態、第30回日本道路会議、平成25年11月

RESEARCH ON INSPECTION, DIAGNOSIS, AND MEASURES FOR EXTENDING THE LIFE OF CONCRETE PAVEMENT

Research Period: FY2020-2022

Research Group: Road Technology Research Group

Cold-Region Maintenance Engineering Research Group

Abstract: Concrete pavement is a highly durable pavement that uses a concrete slab for the surface layer, and is excellent in terms of life cycle cost. While road-related budgets are limited in both the national and local governments, concrete pavement should be adopted in the right place, and maintenance should be carried out under an appropriate maintenance cycle (inspection, diagnosis, measures) including existing concrete pavement. It is important. In this study, various studies were conducted on the applicability of efficient inspection / diagnosis / measures techniques, and the results are reported.

Keywords : Concrete pavement, Maintenance cycle, Snowy cold region, Inspection / diagnosis / measures