

コンクリート舗装の目地部の点検・診断における課題と課題解決に向けた取組み

岩永真和・内田雅隆・藪 雅行

1. はじめに

コンクリート舗装は、アスファルト舗装と比較して、荷重や温度に対する耐久性が非常に高く、ライフサイクルコストの観点から有利な舗装であると考えられるが、国内におけるコンクリート舗装の普及率は数%程度¹⁾にとどまっている状況である。その要因としては、アスファルト舗装に比べて初期コストが高い、交通開放するまでに時間を要する、破損した場合の補修が困難等の課題があげられるが、供用中のコンクリート舗装に対して、構造的な健全性を定量的に評価する手法が明確に定まっておらず、維持管理が困難であることも要因の一つと考えられる。特に、コンクリート舗装の目地部は、浸水による目地金物の破断が原因で荷重伝達性能が低下する等、構造上の弱点になると考えられており、目地部の状態を評価する手法を確立することは喫緊の課題であるといえる。また、「舗装点検要領」においても、コンクリート舗装の管理においては、コンクリート舗装の破壊メカニズムから目地部の管理の重要性が指摘されている。このような背景のもと、土木研究所ではコンクリート舗装の目地部における健全性診断手法の構築に取り組んでいる。

本稿では、コンクリート舗装の目地部の点検・診断における課題と課題解決に向けた近年の取り組みを紹介する。

2. 目地部の点検・診断における課題

2.1 目地部の基本的な構造

我が国のコンクリート舗装の横目地の基本的な構造を図-1に示す。目地の荷重伝達能力を高めるために、コンクリート版の厚さ半分の位置にダウエルバー（丸鋼SR235：φ25mm、長さ700mm）を設置している。ダウエルバーの一端をコンクリート版に固定し、他端をもう一方のコンクリート版中で滑動させるようにするため、ダウエル

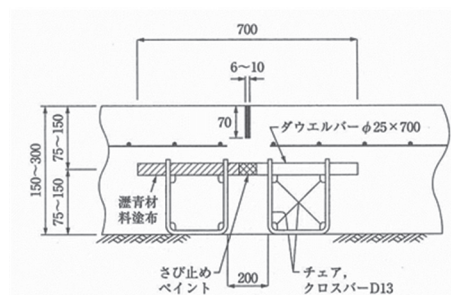


図-1 横目地の基本的な構造



図-2 左：路面損傷の例、右：構造損傷の例

バーの滑動側には瀝青材料を塗布し、目地位置に相当する中央部分には防食用のペイントを施している。また、目地位置にひび割れを確実に誘導するために、コンクリート舗装版の打設後の適切な時期にカッターで切削し溝（幅6~10mm、深さ版厚に応じて50~70mm）を設け、さらに路面からの水の侵入を防ぐ目的で、カットされた溝には目地材（瀝青材料）を注入している。

2.2 目地部の主な損傷と発生要因

目地部の主な損傷には、図-2に示すような目地材の損失（はみ出し、飛散）や目地部周辺の角欠け等の路面損傷と、版としての構造機能が損なわれている可能性が高い構造損傷がある。損傷の初期段階である目地材の飛散や角欠けを長期間放置すると、雨水等が目地内部へ侵入し、ダウエルバーの腐食・破断や路盤以下の層の支持力低下を誘発する。ダウエルバーが腐食・破断すると目地部の荷重伝達性能（交通荷重の分散性能）が低下するため、図-3に示すようなポンピング作用によって路盤表面の細粒分が噴出し、最終的にコンクリート版下の空洞や目地部の段差が発生する。この段差が進行するとコンクリート舗装版の構造的な破損にまで至り、当然のことながらその修繕には多大な労力や費用を必要とする。したがって、コンクリート版の持つ高耐久性を最大限発揮さ

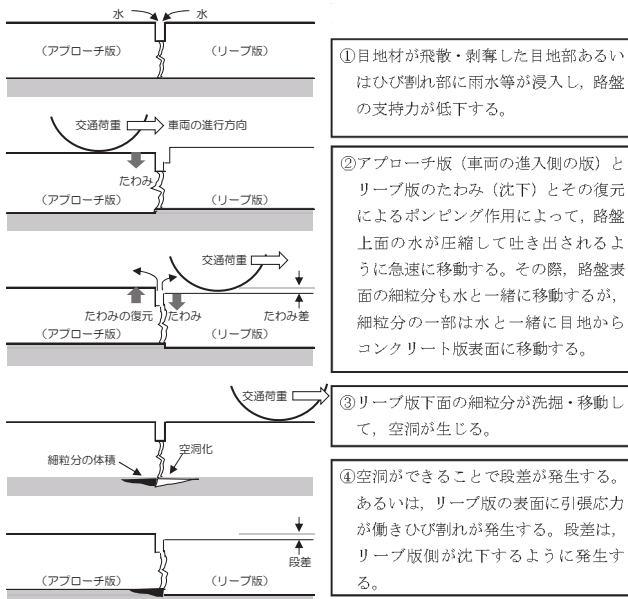


図-3 段差発生メカニズム

せる管理が重要であり、そのために版として使い続けることができるよう構造的弱点となる目地部を中心に点検・診断し、損傷の早期発見、その損傷状態に応じた適切な措置の実施が重要であるといえる。しかしながら、目地部周辺における損傷劣化は、内部の損傷が重篤化するまで路面に顕在化しにくいという特徴があり、内部の劣化状態を把握することが困難である場合が多い。そのため、内部の劣化状態や劣化段階を効率的に点検・診断する手法を確立することは喫緊の課題である。

2.3 現状の点検・診断方法とその課題点

コンクリート舗装の点検・診断方法には、直接目視、機器を用いたもの、FWD(Falling Weight Deflectometer)、開削等がある。

2.3.1 直接目視による点検・診断

徒歩や車上から目視による観察を行い、目地部の損傷状況やひび割れ状況、段差の程度を診断する。本手法は、特別な機器や交通規制を要しないため調査を実施するのは容易である。一方で、定性的評価であるため損傷の程度を概略でしか把握できないことや、路面状態をもとにして内部の損傷状態を推察する必要があるため点検・診断者の経験値や熟練度によって点検・診断精度が左右されることに課題がある。

2.3.2 機器による点検・診断

加速度計やレーザ変位計、撮影機材等を搭載した車両等を用いて、目地部の損傷状況やひび割れ状況、段差の程度を画像や数値で取得し、その点

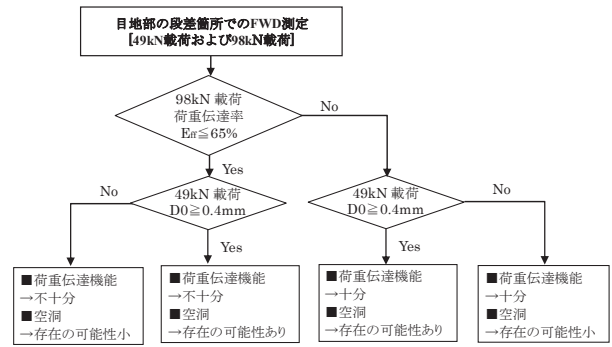


図-4 FWDたわみを用いた点検・診断フロー例²⁾

検記録をもとに診断するものであり、近年様々な技術が開発されている。基本的には交通規制を要しない、点検結果の記録保存が可能のため点検と診断を分業できる等の利点があり、効率的に点検作業が実施できる。今後は、診断精度の向上や、点検作業の効率化が図れるという特徴を活かした広域調査としての活用方法を構築することが課題であるといえる。

2.3.3 FWDによる点検・診断

FWDは重錘を落下させた際に生じる舗装路面のたわみ（以下「FWDたわみ」という。）を測定する装置であり、目地部の健全性を非破壊で詳細調査する方法としては、FWDたわみを用いるのが一般的である。点検・診断方法の具体的な例として現在広く用いられているフローを図-4に示す²⁾。本手法では、FWDによる49kN載荷時の荷重直下のたわみ量 D_0 から目地直下の空洞の有無を判定するとともに、98kN載荷時の D_0 および D_{300} から荷重伝達率 E_{ff} を式(1)で算出し目地部の健全性評価を行っている。

$$E_{ff} = \frac{D_{300}}{(D_0 + D_{300})/2} \times 100 \text{-----式(1)}$$

しかし、本手法における判定値は現場における少ないケースのデータを元に経験的に定められたものであり²⁾、理論的な検証は十分に行われていないのが課題である。

2.3.4 開削による点検・診断

路面の開削や切り取りコアの採取により損傷個所の内部劣化状態やその範囲を直接確認し、損傷要因の把握や修繕方法の選定等を行う。本手法は、直接評価できるという利点があるが、その反面交通規制を要することや、調査前後には開削復旧する必要があること等大がかりな調査となるため、非効率な手法であることが課題である。

3. 課題解決に向けた取組み

目地部の点検・診断における課題解決に向けて実施している検討内容の概要を以下に紹介する。

3.1 段差の定量的評価手法の検討

機器による点検・診断における課題解決に向けて、交通規制を要さずに効率的かつ、より精緻に段差を定量的に評価可能な技術の検討を行った。本検討では、段差の定量的評価技術の1つとしてMMS (Mobile Mapping System) に着目しその測定精度を確認した³⁾。

具体的な検討内容としては、土木研究所舗装走行実験場内のコンクリート舗装目地部を対象にして、実測値とMMSから算出した値の比較を行い、段差測定精度の確認を行った。MMSは車両に搭載された高密度レーザスキャナにより取得した膨大な3次元点群データの中から、同時に撮影した路面画像を使用して側線を特定し、段差を算出した。なお、レーザ特有の点群のバラツキを抑えるため、測線を中心に左右5cmの範囲内にある点群の平均をその測線の点とし、側線のプロフィールとしている。検討結果の一例として、実測値とMMSから算出した値の比較結果を図-5に示す。図-5より、MMSは実測値に対して2~3mm以内の比較的良好的な精度で測定が可能であることを確認した。今後は、段差の程度と目地内部の構造的な損傷の関係性の検討を進める予定である。

3.2 有限要素法による目地部評価手法の検討

FWDによる点検・診断における判定値に関する課題解決に向けた検討として、西澤ら⁴⁾と共に3次元有限要素法 (以下「3DFEM」という。) に基づいた構造モデルによって、FWDたわみから目地部の劣化過程を推定する診断方法を考案した。

本手法では、図-6に示すように3DFEMにより目地部の劣化過程を単純化した構造モデルを用いる。劣化過程は健全な状態からダウエルバーが破断しかつ路盤に空洞が発生している状態まで5段階に分類した。これらの劣化過程を考慮した構造モデルを用いて、コンクリート版、アスファルト中間層、路盤、路床の弾性係数を乱数にて発生させ、弾性係数の組合せごとにFWDたわみに相当するたわみを計算しデータベースを構築する。

本手法を用いた診断方法は、目地部にて実測されたFWDたわみに一致する計算FWDたわみを

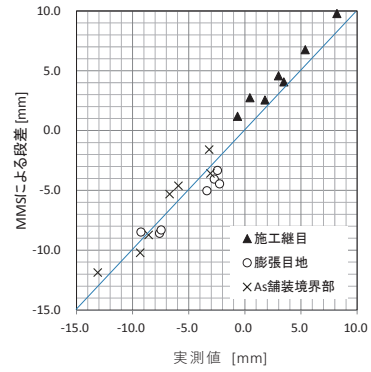


図-5 実測値とMMSの比較

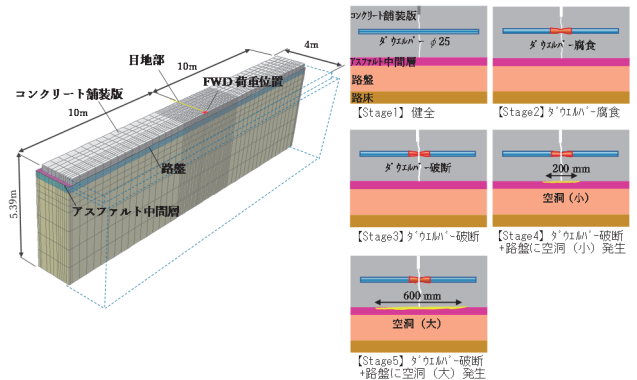


図-6 3DFEMに基づいた構造モデル

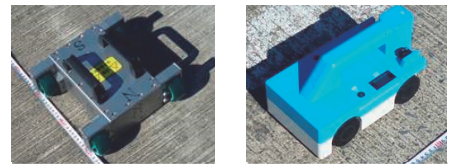


図-7 左：磁石ユニット、右：磁気計測ユニット

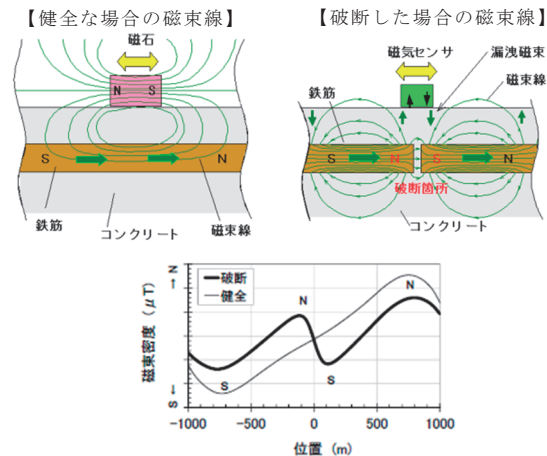


図-8 上：磁束線イメージ、下：磁束密度の計測例⁵⁾

データベースの中から探し出し、その計算FWDたわみに対応した各層弾性係数および劣化過程 (Stage) を逆解析結果として出力するという手順となる。この方法によれば目地部各層の弾性係数ばかりでなく、目地内部の劣化状態や劣化段階を非破壊で診断することが可能となるため、修繕工法を選定するための重要な情報を効率的に得る

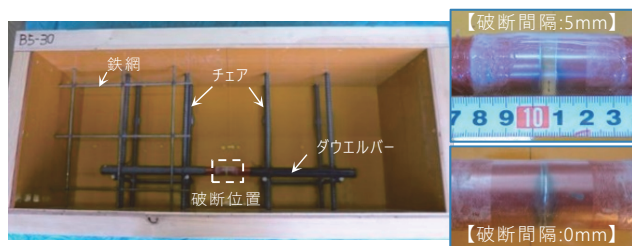


図-9 模擬供試体の状況（コンクリート打設前）

ことができる。今後は、実道への適用事例を積み上げ、対応する劣化構造モデルの精度向上を検討する予定である。

3.3 鋼材の健全性評価に着目した点検手法の検討

目地部の診断精度の向上を目的として、ダウエルバーの健全性をより直接的に評価する新たな技術の検討を行った。本検討では、既存の非破壊検査技術のうち、RC、PC構造物の鋼材破断調査で実績のある漏洩磁束法⁵⁾に着目し、目地内部のダウエルバーの破断検知に適用可能かを確認した。

漏洩磁束法は、鋼材が強磁性体であることを利用し、コンクリート表面から図-7に示す専用の磁石ユニットで内部の鋼材を磁化（着磁）し、鋼材から発生する漏洩磁束の有無を判定することで鋼材の健全性を評価する。図-8に示すように鋼材を磁石ユニットで着磁すると、その両端がS極、N極となる。鋼材に破断がある場合は、破断箇所の左右にN極、S極が現れる。これを磁気計測ユニットで測定することで、鋼材の破断有無を検出することが可能となる。

本検討では、図-9に示すようにダウエルバーの破断を模擬した供試体を作製し、測定値に及ぼす影響を実験的に検証した。検討結果の一例として、ダウエルバーが健全な条件と破断している条件における測定結果を図-10に示す。図-10より、破断したケースでは破断位置（距離500mmの位置）を中心にS字形の波形を示し、ダウエルバー破断

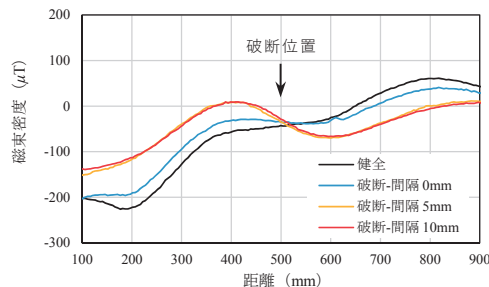


図-10 磁束密度測定結果（かぶり厚12.5cm）

を検知できる可能性が高いことを確認した。今後は、実験的検証をさらに進め、診断精度の向上に向けた検討（測定方法、分析方法等の改善）や現場適用条件の整理を進める予定である。

4. おわりに

本稿では、目地部の点検・診断に関する課題と土木研究所において近年実施している検討内容を紹介した。今後も、コンクリート版の持つ高耐久性性能を最大限発揮させる管理の構築を目的として、現状抱えている課題の解決に向けた検討を継続的に進めていき、道路管理者の点検・診断業務の効率化・省力化を図る技術を確立する所存である。

参考文献

- 1) 国土交通省：道路統計年報2018
- 2) (社)土木学会：舗装工学ライブラリー2FWDおよび小型FWD運用の手引き、pp.56～61、2002
- 3) 若林ら：MMSを用いたコンクリート舗装の段差評価に関する検討、第32回日本道路会議論文集、pp.3031～3021、2017.10
- 4) 西澤ら：コンクリート舗装横目地の劣化過程を考慮した逆解析による健全度評価手法の開発、土木学会論文集E1（舗装工学）、74巻2号、pp.42～51、2018
- 5) 廣瀬ら：漏洩磁束法によるポストテンション実橋におけるPC鋼材破断調査、プレストレストコンクリート工学会第23回シンポジウム論文集、pp.467～470、2014.10

岩永真和



土木研究所道路技術研究グループ舗装チーム主任研究員
Masakazu IWANAGA

内田雅隆



土木研究所道路技術研究グループ舗装チーム交流研究員
Masataka UCHIDA

藪 雅行



土木研究所道路技術研究グループ舗装チーム
上席研究員
Masayuki YABU