

舗装の点検診断へのMMSの活用に関する一検討

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路保全チーム ○佐藤 圭洋
丸山 記美雄

近年、舗装の点検診断へのMMSの活用に向けた研究に進展が見られる。そこで、舗装の点検診断へのMMSの活用に関する既往研究の動向を整理し、MMSによる計測を経年的に実施した。これらの経年データを基に、北海道の高規格幹線道路の排水性舗装における内部損傷や一般国道の密粒度系舗装におけるポットホールに至る損傷の把握に関する分析を行い、舗装の点検診断へのMMSの活用について検討を行ったので報告する。

キーワード：MMS、舗装、点検診断、3次元点群

1. はじめに

近年、舗装路面の点検診断へのモービルマッピングシステム（以下「MMS」という。）の活用に向けた研究に進展が見られる。そこで、舗装の点検診断へのMMSの活用に関する既往研究の動向を整理し、北海道の高規格幹線道路や一般国道においてMMSにより3次元点群等のデータを経年的に取得した。これらの経年データを基に、高規格幹線道路の排水性舗装における内部損傷や一般国道の密粒度系舗装におけるポットホールの損傷に至る損傷の把握等に関する分析を行い、舗装の点検診断へのMMSの活用について検討を行ったので報告する。

2. 既往研究の動向の整理

舗装の点検診断へのMMSの活用に関する研究事例の収集を行った^{1)~20)}。

表-1にこれらの既往研究の中で舗装損傷の把握や予測に有用と考えられる研究内容の概略を示す。主に、a)密粒度系舗装を対象として舗装の損傷箇所把握や予兆・予防への活用に向けた技術の開発を行っている研究と、b)高速道路の排水性舗装を対象にし、骨材飛散の評価やポットホール予測に関して局所沈下などに着目した新たな評価指標に関する研究の2つに大別することができた。

(1) 密粒度舗装への活用例

MMSにより取得されたデータの点検診断への活用に関する技術動向調査（中村ら、2022）¹⁾によれば、近年、道路の維持管理における点群データの活用技術は様々な場面での適用が検討され、技術的な進展が見られることがわかる。道路の法面や標識などの道路に関わる様々な構造物に対して点群データを活用して現地状況の把握や

表-1 既往研究の整理

対象	目的	MMS等の活用	MMS等との組合せ
密粒度系舗装のポットホール	予兆予防	3次元点群データの標高値から局所的な凹みを抽出	路面の流水滞水傾向
	補修箇所の抽出	3次元点群データの空間周波数分析を用いて、わだち掘れ量、平たん性、ポットホールの自動検出	高精細画像
排水性舗装の内部損傷	予兆予防	3次元点群データを短時間フーリエ変換し、局所劣化を検出 MMSとは異なる光切断法による路面高さデータから局所沈下量を算出	カラー画像から得られる色情報
	補修箇所の抽出	3次元点群データからの横断プロファイル等から仮想の3次元点群データを作成し、局所的な変状を検出 路面性状調査から平均プロファイル深さ(MPD)を算出し、骨材飛散や目詰まりを面的に評価	路面高さの標準偏差 横断プロファイル

変状などを確認することが可能であることが示されている。MMSの舗装路面の点検診断への活用に関しては、例えば、2時期の点群データを比較することで、補修前の路面の凹凸状況を点群データの高さ情報から面的に評価することが可能である¹⁾。

また、MMSで取得される点群データを活用して、路面センター図による路面凹凸の可視化、計測された凹部および凸部の体積に着目した研究が行われている（森石ら、2013）^{2),3)}。ここでは、MMSから算出される路面の凹凸体積の変化量とD₀たわみとの間には関連性があり、舗装全体の支持力が失われていると、その後の路面の変状が大きくなる傾向があることが示されている。また、3次元点群データが舗装の支持力調査を代替しうる可能性があり、今後の課題として、MMSにより取得される路面の凹凸の変化と、ひび割れやポットホールなどの損傷の進行との関連性についての検証が必要であることが述べられている。

このほか、3次元点群データの空間周波数分析を用い

て、わだち掘れ量、平坦性、ポットホールの自動検出を行う研究などがあった。

(2) 排水性舗装への活用例

路面性状調査車により舗装の変状箇所を面的に把握する技術として、排水性舗装の面的な骨材飛散評価手法が提案されている（林ら、2013）⁴⁾。路面性状調査車により高精度・高分解能の高さデータを測定出来れば、MPD（Mean Profile Depth：平均プロファイル深さ）の算出と、面的な定量評価が可能であるとしている。排水性舗装は、密粒度アスファルト舗装と違い、既存の評価指標であるひび割れ率では路面の評価が難しく、車両の走行に伴い舗装表面の骨材の飛散が急激に進展することがあるが、骨材飛散を面的にかつ迅速に定量評価する手法が確立されておらず、路面性状調査車によるMPD計測結果を用いて、骨材飛散を面的に評価することが可能であるとしている。

また、排水性舗装の基層以深の損傷を要因とするポットホール発生の予測手法に関する取り組みが行われている（野並、橋爪ら、2014）^{5), 6), 7)}。排水性舗装の排水基面上の滯水がひび割れや施工目地から路盤に浸入し、ひび割れの進展に伴い路盤の細粒分が噴出することで空隙が生じる。これにより生じた局所的な沈下領域が基層にくぼみを生じさせ、雨水等が滯水する。この水の介在が表層や基層の脆弱化を助長する。以上の見解から、排水性舗装のポットホール損傷形態では、水溜まり部となる局所沈下領域がポットホールの発生要因であるとしている。光切断法による形状測定とカラーラインスキャンカメラを利用して高精度に取得した路面の高さ情報を解析し、排水性舗装の特有の局所沈下量という新たな評価指標を提案するとともに、損傷要因に応じた損傷進行における成長曲線モデルを導くことで、ポットホール発生予測を行っている。

このほか、排水性舗装の内部損傷に関しては、3次元点群データを短時間フーリエ変換して局所変状を検出する手法²⁰⁾や、横断プロファイルから仮想の3次元点群データを作成し局所的な変状を検出する研究などがあった。

3. 舗装の点検診断へのMMSの活用に関する検討

北海道内の高規格幹線道路や一般国道において、MMS車両による計測を経年的に実施した。計測に用いたMMS車両を図-1に示す。MMS車両は、GPSと高精細画像、3次元レーザ点群を用いて路面性状が取得可能な測量システムを搭載している移動計測車両を用いた。機器の仕様は表-2に示すとおりである。本車両により、図-2に示すような舗装路面の3次元点群データを取得し、これららの3次元点群データの経年データを用いて、高規格



図-1 MMS 車両

表-2 MMS の機器の仕様

項目	仕様
計測車両	GNSS/IMU、オドメータ、デジタルカメラ、ラインカメラ、レーザースキャナを搭載した車両
GNSS解析	電子基準点を基地局とした後処理キネマティック解析
画像解像度	デジタルカメラから5m先での分解能が1cm以下
画像取得間隔	3m以下
レーザ点群密度	調査対象路面上で2000点/m ² 以上
レーザ測距精度	3mm (1σ)
レーザ計測範囲	全周囲50m以上
レーザ点群の属性	X, Y, Z, 反射強度
計測速度	一般車両の走行を妨げない通常走行速度



図-2 MMS 車両の計測による3次元点群データの取得

幹線道路の排水性舗装における内部損傷等の把握、および一般国道の密粒度系舗装のポットホールに至る前段階における損傷の把握に関する検討を行ったので、以下に述べる。

(1) 排水性舗装の内部損傷等の把握に関する検討

高規格幹線道路の排水性舗装区間に於いて、舗装の変状箇所や、基層、安定処理層の剥離により沈下している箇所などを把握するため、3次元点群データの差分解析を行い、測定の初年度およびその2年後にデータ取得した2時期の差分から舗装面の損傷を把握した。

図-3 に骨材飛散箇所の差分段彩図の一例を示す。差分段彩図とは標高の差分値ごとに異なる色を割り当てて地形の起伏を表現した図であり、標高が高くなった場所を暖色系（赤）、低くなった場所を寒色系（青）の色調で表現している。排水性舗装区間の骨材飛散が3次元点群データにより捉えられていることがわかる。

図-4 にひび割れ箇所の差分段彩図の一例を示す。本箇所は、測定の初年度およびその2年後のそれぞれの時点でタイヤ走行位置に局所的な沈下が見られ、2年間で進行している状況が伺える。測定初年度の1年後に行なった路面調査においてひび割れが確認されており、図中の囲み線内にひび割れが生じており、当該箇所を中心に路面の沈下が見られた。これらの状況から、ひび割れ部からの水の浸入に伴う路面沈下が生じている可能性がある。このように、MMSにより取得した3次元点群データを活用して、排水性舗装の骨材飛散のほか、基層の剥離や路盤・路床の変状が要因と推定される舗装内部の変状の進行を把握できる可能性があることを確認した。

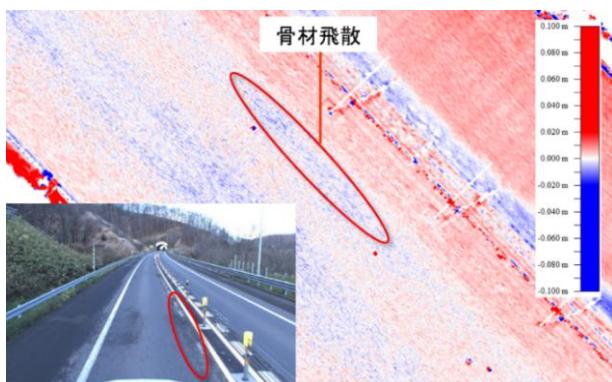


図-3 差分段彩図（骨材飛散箇所の例）

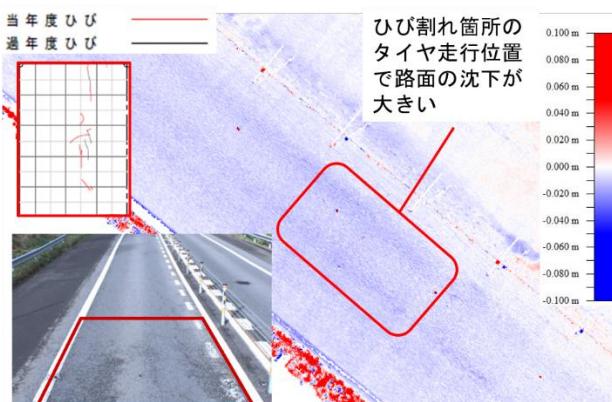


図-4 差分段彩図（ひび割れ箇所の例）

(2) 密粒度系舗装のポットホール損傷の把握に関する検討

一般国道の密粒度舗装区間において、ポットホールの損傷破壊に至る前の段階において、ポットホール等に拡大する可能性のある損傷箇所を面的に把握するため、MMSによる測定を表-3に示す区間ににおいて3箇年行い、

取得した3次元点群データを活用して図-5に示すようなポットホール損傷の把握に関する分析を行った。

表-4 に検討対象地点を示す。MMSにより取得した3次元点群データから、ポットホールになりやすい共通項を見つけるため、路面性状調査結果（2年目の6月に調査実施）から選定した舗装路面損傷地点を対象とした。例えば、地点No.1では、図-6に示す路面性状調査結果において舗装欠損箇所（緑色で示される箇所）がある舗装路面損傷地点を選定した。舗装路面損傷地点の経年の3次元点群データから、路面の高さ、横断・縦断形状、局所的な路面の凹凸、路面の高低差、過年度データとの比較による舗装損傷の進行の変化を把握した。

図-7に地点No.1の舗装路面の点群データの標高分布図、図-8に縦断面図を示す。標高分布図および縦断面図から、測定1年目において凹型損傷の特徴が明確に現れている箇所が存在していることがわかる。また、測定2年目においては補修が行われ凹型損傷の特徴が消失していることが把握可能である。また、測定3年目においては変状がないことがわかる。表-5に地点No.1～6の各地点に対する検討結果の一覧を示す。上記のとおり3次元点群データから得られる損傷の状態の推移を確認し、

表-3 検討対象区間

測定年	測定月	路線	舗装種別	測定延長
1年目	11月	一般国道 (北海道内)	アスファルト舗装 (密粒度舗装)	延長1,000m (上り線・下り線の両方向)
2年目	11月			
3年目	10月			



図-5 ポットホール箇所における3次元点群データの例

表-4 検討対象地点

No.	位置	上り・下り	箇所
1	起点側から296～298m	下り	2年目6月ポットホール確認箇所
2	起点側から304m	下り	2年目6月ポットホール確認箇所
3	起点側から484m	下り	2年目6月ポットホール確認箇所
4	起点側から885m	上り	2年目6月ポットホール確認箇所
5	起点側から569m	上り	2年目6月バッティング補修跡確認箇所
6	起点側から526m	上り	2年目6月バッティング補修跡確認箇所

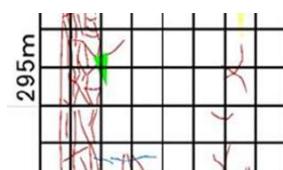


図-6 地点No.1の路面性状調査結果

損傷の成り立ちを推定して選定地点の損傷状態の評価を行った。例えば、測定1年目にはNo.1、No.4、No.6の地点

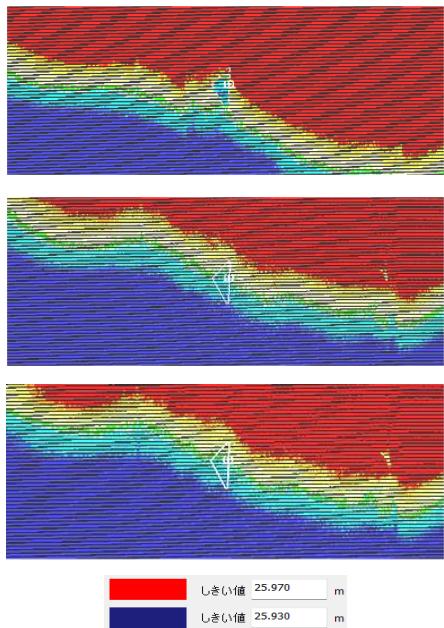


図-7 標高値分布図の一例（地点No. 1、上：測定1年目、中：測定2年目、下：測定3年目）

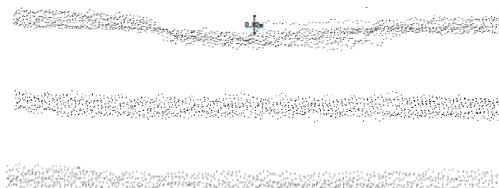


図-8 縦断面図の一例（地点No. 1、上：測定1年目、中：測定2年目、下：測定3年目）

表-5 分析結果の例

地点No.	損傷内容	標高値			縦断面形状		
		1年目	2年目	3年目	1年目	2年目	3年目
1	凹型損傷	特徴あり	補修確認	変状なし	凹み確認	補修確認	変状なし
2	凹型損傷	特徴あり	補修確認	変状なし	凹み確認	補修確認	変状なし
3	凹型損傷	特徴あり	補修確認	変状なし	凹み確認	補修確認	変状なし
4	凹型損傷	特徴あり	補修確認	変状なし	凹み確認	補修確認	変状なし
5 (OWP)	凹型損傷	特徴あり	補修確認	変状なし	凹み確認	補修確認	変状なし
5 (IWP)	凹型損傷	特徴あり	補修確認	変状なし	凹み確認	補修確認	変状なし
6	凹型損傷	特徴あり	補修確認	変状なし	凹み確認	補修確認	変状なし

地点No.	損傷の成り立ち	評価結果
1	ひび割れ箇所に対する外力や凍害等により生じた表層剥離	ポットホールに至る凹型損傷
2	バッキングとの段差ができたことによる窪地	ポットホールではない
3	周辺のバッキング補修の隙間部分にあたり、バッキングとの段差ができたことによる窪地	ポットホールではない
4	ひび割れ箇所に対する外力や凍害等による損傷	ポットホールに至る凹型損傷
5 (OWP)	わだち掘れやひび割れ箇所に対する外力や凍害等により生じた損傷	ポットホール
5 (IWP)	凍害等による舗装施工日地部の劣化に伴う表層剥離	ポットホール
6	ひび割れ箇所に対する外力や凍害等により生じた損傷	ポットホールに至る凹型損傷

は、ひび割れ箇所に対する外力や凍害ポットホールに至る凹型損傷であったと評価することができた。このように、ポットホールに至る路面の損傷の評価を3次元点群データ上で行うことが可能であることを確認した。

4. 積雪寒冷地特有のポットホール損傷に対する冬期路面性状測定としての活用の検討

冬期に発生するポットホールの損傷を把握することを目的として、MMS車両（GPSと高精細画像、3次元レーザ点群を用いて路面性状が取得可能な測量システムを搭載している移動計測車両）（図-9 参照）を使用し、道央圏の国道において測定を行った。測定は、11月中旬と、ポットホール発生後の3月上旬、3月中旬において、路面上に雪氷、融雪水等が存在していない日時において計3回計測（L=1,200m×上り線・下り線の計2車線）を行った。

図-10にゼロクロッシングの発生日と計測日を示す。ゼロクロッシングの発生日数は1冬期で計59日あった。11月中旬の計測日はゼロクロッシングの開始時期、3月上旬の計測日は厳寒期後にゼロクロッシングが増加して気象条件の厳しかった日、3月中旬の計測日は3月上旬の計測日の後、ポットホールの補修の実施を間に挟んだ日の日となっている。

表-6にポットホール発生区間の路面ひび割れ状況を示す。起点から100m区間を20mごとに路面画像を基にひび割れ状況の目視結果を示している。下り線よりも上り線



図-9 MMS 車両（左上：車両前方、右上：車両後方、下：車両後方の計測装置）

表-6 ポットホール発生区間の路面ひび割れ状況

	下り線	上り線
起点から0~20m	OWPに縦ひび割れあり	OWPに亀甲状ひび割れあり
起点から20~40m	OWPに縦ひび割れあり	OWPに亀甲状ひび割れあり
起点から40~60m	OWPに縦ひび割れあり	OWPに縦ひび割れあり
起点から60~80m	OWPに縦ひび割れあり	OWPに亀甲状ひび割れあり
起点から80~100m	OWPに縦ひび割れあり	OWPに縦ひび割れあり

※OWP : Outer Wheel Path (外側車輪走行位置)

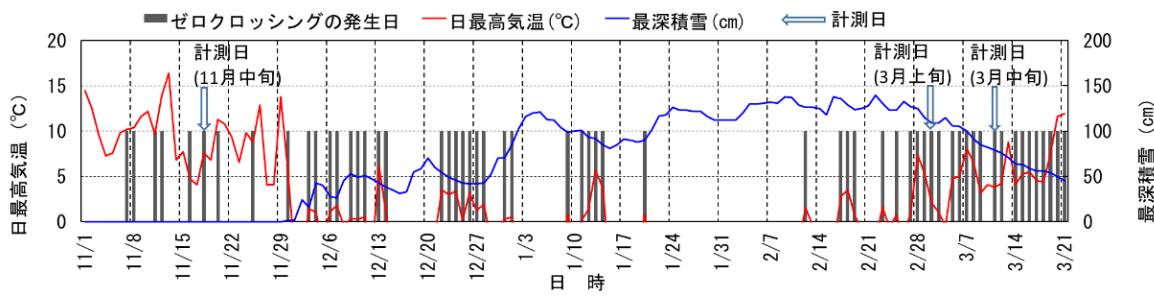


図-10 ゼロクロッシングの発生日と計測日

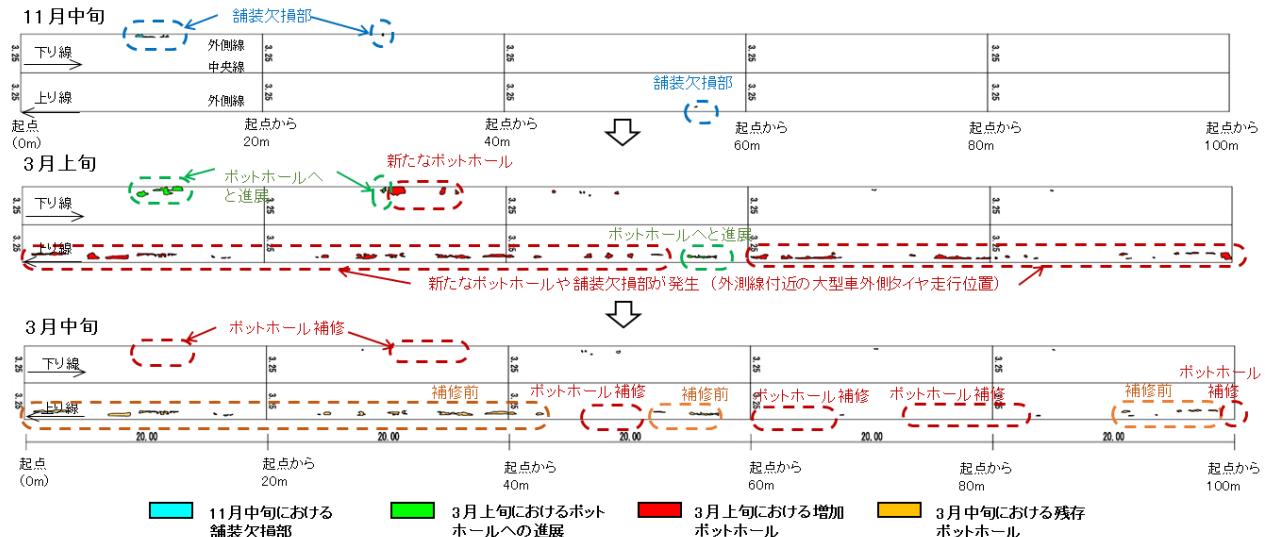


図-11 ポットホール発生状況の把握の一例 (起点側から 0~100m 区間)

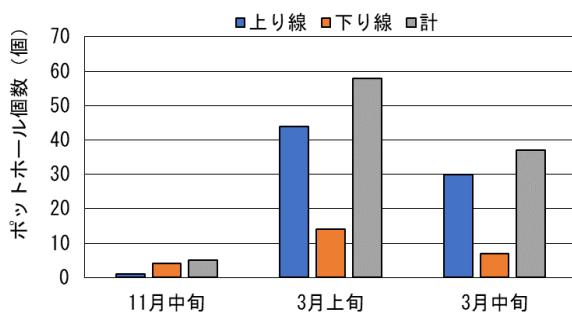


図-12 ポットホール発生区間におけるポットホールの個数
(100m 区間計)

側のほうに亀甲状のひび割れが多く発生している状況であった。

図-11にポットホール発生区間のポットホールの発生状況の一例を示す。上から順に11月中旬、3月上旬、3月中旬のポットホールの状況の推移を示している。11月中旬において起点側から0~40m区間の下り線および起点側から50~60m区間の上り線においていくつかの舗装欠損部（青点線枠内）が存在しており、3月上旬においてこれらの舗装欠損部が拡大し、ポットホール（緑点線枠内）へと進展していることがわかる。また、3月上旬の0~55m区間および60~100m区間の上り線側においても、冬

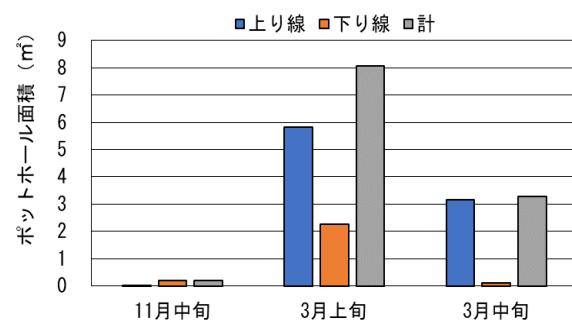


図-13 ポットホール発生区間におけるポットホールの面積
(100m 区間計)

期には、外側線付近の大型車外側タイヤ走行位置において、新たなポットホールが発生している。また、3月中旬には、50~100m区間ににおいてポットホールの補修が行われていることがわかる。

図-12にポットホール発生区間のポットホールの個数（100m区間計）、図-13にポットホール発生区間のポットホールの面積（100m区間計）を示す。11月中旬、3月上旬、3月中旬のポットホール発生区間におけるポットホールの個数について比較を行った。11月中旬にはポットホールはほとんど発生していない。ポットホール発生区間におけるポットホールの個数およびポットホールの

面積は、11月中旬に対して、3月上旬には上り線側で特に増加が著しく、個数は43個、面積では5.8m²と増加している。また、3月中旬のポットホールは、維持工事による補修が行われたため、個数、面積ともに減少している。このように、冬期に発生するポットホールの損傷をMMS車両を使用して測定を行うことで、冬期のポットホールの発生状況を一度にかつ面的に把握することができた。

5. まとめ

本検討では、MMSにより3次元点群データを経年取得し、舗装の点検診断への3次元点群データの活用に関する検討を行った。高規格幹線道路の排水性舗装区間ににおいて2時期の3次元点群データの差分解析を行い、舗装路面の変状箇所として、骨材飛散箇所のほか、ひび割れが発生している箇所において水の浸入に起因すると推定される路面の沈下などの変状の進行を把握することが可能であることを確認した。また、一般国道の密粒度舗装区間ににおいて経年の3次元点群データを用いて損傷進行箇所の分析を行い、ポットホールに至る舗装路面の損傷状態を評価することが可能であることを確認した。そのほか、冬期に発生するポットホールの損傷をMMS車両を使用して測定を行い、冬期のポットホールの発生状況を一度にかつ面的に把握した。今後も引き続きMMSによりデータを取得し、ポットホールに至る舗装損傷の推移や発生箇所の特徴などを把握していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 中村健二、今井龍一、塚田義典、梅原喜政、田中成典：点群データの利活用基盤 3D Point Studio の開発、AI・データサイエンス論文集 3巻(2022)J2号、2022.
- 2) 森石一志、中村博康、渡邊一弘：三次元点群データを用いた新たな路面評価手法の検討、土木学会論文集 E1(舗装工学)、Vol.69、No.3(舗装工学論文集第 18巻)、2013.
- 3) 森石一志、中村博康、渡邊一弘：実路における三次元点群データを用いた路面評価手法の実用性の検討、土木学会論文集 E1(舗装工学)、Vol.70、No.3(舗装工学論文集第 19巻)、2014.
- 4) 林詳悟、橋本和明、明石行雄：路面性状調査車による排水性舗装の骨材飛散評価手法の提案、土木学会第 68 回年次学術講演会、2013.
- 5) 野並健斗、橋本和明、明石行雄：基層以下の混合物損傷が原因で発生するポットホール対策の一考察、土木学会第 69 回年次学術講演会、2014.
- 6) 橋爪謙治、橋本和明、明石行雄、全邦釤：排水性舗装の基層以深の劣化を要因としたポットホール発生予測手法の一提案、土木学会論文集 E1 (舗装工学) 、Vol.70、No.3(舗装工学論文集第 19巻)、I_17-I_24、2014.
- 7) 橋爪謙治、橋本和明、全邦釤、中畠和之、石田哲也：排水性舗装におけるポットホール発生リスクに関する定量分析、土木学会論文集 E1 (舗装工学) 、Vol.72、No.3(舗装工学論文集第 21巻)、I_115-I_123、2016.
- 8) 渡邊一弘、久保和幸：舗装路面の新たな点検手法の動向と土木研究所の取組み、土木技術資料 57-8(2015)、2015.
- 9) 糸氏敏郎、関谷浩孝：点群データの取得条件と検知可能なポットホールの規模との関係の基礎分析、第 33 回日本道路会議、2019.
- 10) 糸氏敏郎、関谷浩孝、今野新、北川大喜、森田健司：点群データを活用した道路管理の効率化に向けた研究、国総研レポート 2019、p.113、2019.
- 11) 永田佳文、川村日成、高橋洋二、白石宗一郎、石田哲也、水谷司：MMS を用いた舗装の評価手法、雑誌舗装 2019 年 6 月号、Vol.54、No.6、pp.3-8、2019.
- 12) 川村日成、永田佳文、水谷司：MMS を用いた舗装の評価手法（その 1）、第 33 回日本道路会議、2019.
- 13) 野口雄悟、永田佳文、得能智昭、川村日成：MMS を用いた舗装の評価手法（その 2）、第 33 回日本道路会議、2019.
- 14) 川村日成、永田佳文、得能智昭、亀岡誠：点群データを活用した路面性状調査解析技術、令和 2 年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会、2020.
- 15) 佐野実可子、亀山修一、松井晋、櫻庭晃、小野寺晃：MMS で計測された点群データを用いたポットホール発生リスクの評価、第 27 回舗装工学講演会講演集、2022.
- 16) 佐野実可子、亀山修一、松井晋、櫻庭晃、小野寺晃：MMS の点群データを用いて舗装路面の損傷進行危険度を推定する方法、第 28 回舗装工学講演会講演集、2023.
- 17) 小松大誠、亀山修一、佐野実可子：MMS を用いた舗装の予防保全型維持管理、第 35 回日本道路会議、論文番号 3015、2023.
- 18) 江口幸利、川村彰、富山和也、高橋茂樹、遠藤慶三：横断プロファイルの3次元点群データ化による路面の変状評価に関する基礎的研究、土木学会論文集 E1 (舗装工学) 、Vol.73、No.3(舗装工学論文集第 22巻)、I_71-I_78、2017.
- 19) 坪井貞洋、加藤亮：ポーラスアスファルト舗装で生じる局部沈下の新たな検出・評価手法の開発、第 28 回舗装工学講演会講演集、2023.
- 20) 平野広隆、水谷司、石田哲也、安中智、鈴木清：短時間フーリエ変換に基づく空間周波数分析による舗装表面の局所劣化検出手法、土木学会論文集 E1 (舗装工学) 、Vol.74、No.3(舗装工学論文集第 23巻)、I_113-I_120、2018.