

点群データの取得条件と検出可能なポットホールとの関係に関する基礎分析

糸氏 敏郎¹・今野 新²・関谷 浩孝³・北川 大喜⁴・森田 健司⁵

¹非会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所（〒305-0804 茨城県つくば市旭1）
E-mail: itouji-t86ps@mlit.go.jp

³正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所（〒305-0804 茨城県つくば市旭1）
E-mail: konno-a85aa@mlit.go.jp

³正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所（〒305-0804 茨城県つくば市旭1）
E-mail: sekiya-h92tb@mlit.go.jp

⁴非会員 エイト日本技術開発株式会社 国土インフラ事業部（〒164-8601 東京都中野区本町5-33-11）
元 国土交通省 国土技術政策総合研究所
E-mail: kitagawa-da@ej-hds.co.jp

⁵非会員 三菱電機株式会社 社会システム事業本部（〒100-8310 東京都千代田区丸の内2-7-3）
元 国土交通省 国土技術政策総合研究所
E-mail: Morita.Kenji@ak.MitsubishiElectric.co.jp

国土交通省では特車通行許可の審査の迅速化等に向けて、各地方整備局等の道路管理用車両にセンシング装置を搭載し、点群データの収集を進めている。このデータを道路管理の高度化・効率化にも活用することを見据え、現場事務所の活用ニーズが高い「路面変状の確認」のうち発生頻度が高いポットホールの検出を想定して基礎分析を行った。国土技術政策総合研究所の試験走路に模擬的にポットホールを作成し、計測時の走行位置や速度等の取得条件と検出可能な規模との関係を明らかにするための実験を行った。この結果、例えば直径が20cmで深さが5cmのすり鉢状のポットホールであれば、20km/hで走行すれば隣接車線までの範囲内は検出可能であることや、性能が高いMMSを用いれば40km/hまで走行速度を高めることが可能である等の知見を得た。

Key Words : point cloud data, Mobile Mapping System, road management, pothole, ransac

1. はじめに

我が国の社会資本ストックは高度経済成長期に集中的に整備され、今後急速に老朽化することが懸念されている。道路管理業務においても一層の高度化・効率化が求められている。一方で、三次元計測技術の進展により、移動計測車両による高精度な空間情報を取得することができるMMS (Mobile Mapping System) による測量技術が実用化されており、様々な分野で活用事例が増えつつある。MMSを開発している企業では、着脱性・操作性の向上や小型化・点群の高密度化を図っている^{1) 2)}。

国土交通省では、低コストのMMSを各地方整備局等に導入し、交差点形状等の三次元点群データを収集することで特車通行許可の自動審査システムの強化を図り、手続きの迅速化に向けた取り組みを進めている³⁾。この

取り組みにより、今後は道路管理用車両等を用いて各地方整備局等が大量の三次元点群データを取得することが期待されている。もし、MMSにより取得した三次元点群データより、路面損傷や不法占用物等の把握が可能であれば、道路管理業務の高度化・効率化に繋がる。しかし、検出したい事象に対してどのような条件でデータを取得する必要があるかについては明らかにされていない。

本論文では、路面変状の確認のうち、道路管理者の活用ニーズが高い「ポットホール」を基礎分析の対象とする。三次元点群データは、機材の性能が異なる複数のMMSを用いて、走行位置や走行速度を変化させて取得する。

分析方法は、まず試験走路上に模擬的なポットホールを作成し、ポットホール周辺を複数の条件で走行し、三次元点群データを取得する。次に、アルゴリズムを用い

てポットホールと推定される箇所を検出する。さらに、検出した箇所と確認用に地上レーザ計測により取得した正しいポットホールの箇所を比較し、正しく検出しているかどうかを確認する。最後に、ポットホールの形状や走行条件ごとにどのような特徴があるかを分析する。

本論文では、第2章にて既往研究と本研究の位置づけを示し、第3章にてポットホールの種類や三次元点群データの取得条件、MMSの性能、点間距離との関係について示す。さらに、第4章にてポットホールの検出手法を示し、第5章にて分析結果を明記し、最後に第6章にてまとめと今後の課題を示す。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

路面変状を計測する研究として、森石ら⁴⁾の研究、江守ら⁵⁾の研究、井上ら⁶⁾の研究がある。森石らは、MMSで取得した三次元点群データを利用して作成したコンター図より路面の変状を確認し、「凹凸体積」という手法を用いて路面の変状を評価している。江守らは、手押し台車型MMSを用いて歩行空間の路面を計測し、精度を検証している。また、そのMMSを用いて視覚障害者誘導用ブロックを対象に分析している。井上らは、MMSで取得した三次元点群データから作成した路面縦断プロファイルの精度を検証している。また、そのプロファイルから算定したIRI（路面状態を総合的に評価する指標）を路面性状測定車により算出したIRIと比較検証している。

走行位置や走行速度による検出状況の違いを確認した研究として、岡本ら⁷⁾の研究がある。岡本らは、三次元点群データを走行速度や設置位置、評定点用ターゲット板のサイズごとにMMSで取得し、評定点のレーザが照射される最小のサイズと、座標値の精度が最も良くなるサイズを求めている。

路面変状を計測する研究は、計測結果の精度評価が多く、計測条件と検出可能な路面変状の規模との関係については分析していない。これに対し本論文は、様々な種類のポットホール、走行速度及び走行位置ごとに三次元点群データを計測し、検出可能なポットホールの規模との関係を分析している。

岡本ら⁷⁾は、走行位置や走行速度による検出の違いについて、評定点ターゲット板を対象としているが、路面変状のように実際に道路上に存在する地物で確認していない。また、MMSの機材による検出状況の違いを分析していない。これに対し本論文は、道路上に存在する路面変状を対象とし、さらにMMSの機材による検出状況の違いも分析した。

3. 分析方法

本章では、基礎分析の対象とするポットホールの種類と三次元点群データの取得条件について述べる。MMSの性能が異なると、取得する三次元点群データの間隔も異なるため、MMSの性能と点間距離との関係についても述べる。

(1) ポットホールの種類

表-1と表-2に示す14種類のポットホールを試験走路に1.5m間隔で設置した。ポットホールの大きさは、平成27・28年に関東地方整備局管内の一部の道路で発生した事例をもとに、直径10cm、20cm、30cmの円形及び短軸10cm、長軸40cmの楕円形とした。ポットホールの深さも同様に現場の事例を参考に5cm、10cmとした。ポットホールの形状は円柱状及びレーザの平均的な入射角である45°を傾斜角とする、すり鉢状とした。

(2) 三次元点群データの取得条件

a) MMSの種類

関東地方整備局が保有するMMS-AT220（以下、低密度MMSという）と、比較のために高性能なMMS-X500ZL（以下、高密度MMSという）を用いた。低密度MMSと高密度MMSの外観を図-1と図-2に示し、諸元を表-3に示す。また、国土技術政策総合研究所の試験走路での点群データの取得状況を図-3に、低密度MMSで取得した点群データを図-4に示す。

b) 走行条件

それぞれ2回計測した。走行位置は、「a)ポットホールが同一車線にある場合」、「b)隣接車線にある場合」、「c)中央分離帯を挟んで反対車線にある場合」の

表-1 ポットホールの種類（円形）

円形		深さ			
		5cm		10cm	
		円柱状 	すり鉢状 	円柱状 	すり鉢状 
直径	20cm	○	○	○	○
	30cm	○	○	○	○

表-2 ポットホールの種類（楕円形）

楕円形 長径 40cm 短径 10cm		深さ			
		5cm		10cm	
		円柱状 	すり鉢状 	円柱状 	すり鉢状 
進行方向		○	○	○	-
横断方向		○	○	○	-

3種類を想定し、道路構造令を基にそれぞれポットホールから0m, 3.5m, 5.25m離れた位置とした(図-5)。走行速度は、「Ⅰ.都市部の平均旅行速度」,「Ⅱ.地方部の平均旅行速度」,「Ⅲ.制限速度」を想定し、全国道路・街路交通情勢調査を基にそれぞれ20km/h, 40km/h, 60km/hの3種類とした。低密度MMS及び高密度MMSで取得した点群データ(すり鉢状の直径20cmかつ深さ5cmのポットホール)をそれぞれ図-6及び図-7に示す。また、このデータの断面図(高密度MMS, 低密度MMS)を図-8に示す。

(3) MMSの性能と点間距離の関係

MMS で取得する点の間隔は、進行方向と横断方向に分解して理論的に算出可能である。以下では、MMS の性能の一部であるスキャンレートを T [Hz]とする。

※路面に当たるのは下向きに設置された1台のみ
進行方向の点間距離 d [m]については、MMS の走行速度を v [km/h]とすると、1秒間に照射される点数と MMS の移動量の関係から式(1)で求める。

$$d = \frac{1}{T} \times \frac{v}{3.6} \tag{1}$$

横断方向の点間距離 Δx については、図-9 に示す幾何学的関係等から式(2)で求める。

$$\tan\left(\theta + \frac{180 \times T}{f}\right) = \frac{x + \Delta x}{H} \tag{2}$$

ここで、 θ は式(3)で求める。

$$\tan\theta = \frac{x}{H} \tag{3}$$

表-1 と表-2 の2段目に示すスキャンレート T および図-5に示す走行速度 v と走行位置 x を用いると、路面に照



図-1 MMS-AT220(低密度MMS)



図-2 MMS-X500ZL(高密度MMS)



図-3 試験走路での三次元点群データ取得状況



図-4 取得した三次元点群データ

表-3 本論文で用いるMMSの諸元

商品名	MMS-AT220 (低密度 MMS)	MMS-X500ZL (高密度 MMS)
LiDAR 機種名	SICK LMS511×2台	Z+F Profilor 9012×1台
発射レート(最大) [スキャンレート]	27.1KHz×1台※ [100Hz]	1,016KHz [200Hz]
1台当りの点群密度	50点/m2 (計測距離5m)	2,000点以上/m2 (計測距離5m)
計測距離 (実行)	65m	118m
測距精度(1σ)	6mm	2mm
反射強度	取得可	取得可

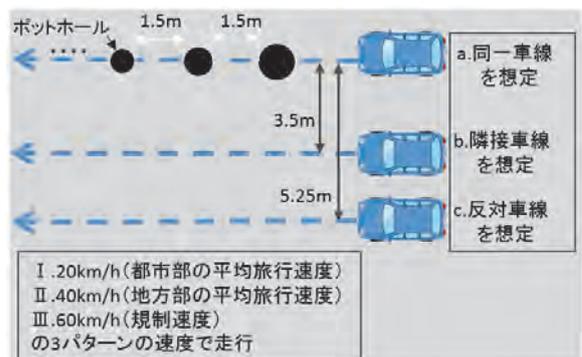


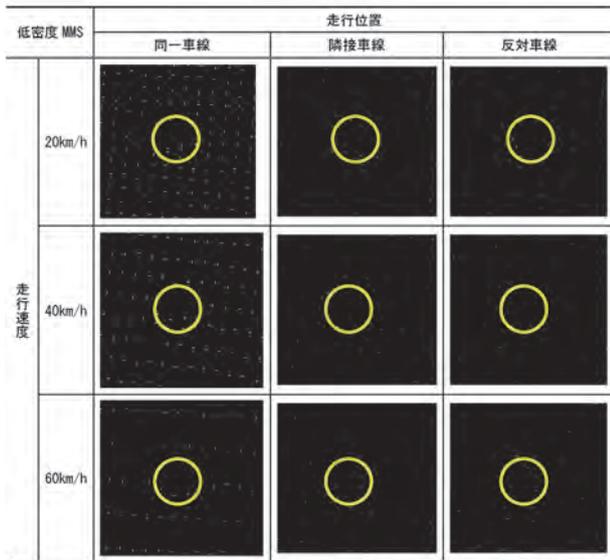
図-5 走行条件イメージ

射される点数が試算可能となる．5 章にて，試算値と実測値の比較について述べる．

4. ポットホールの検出手法

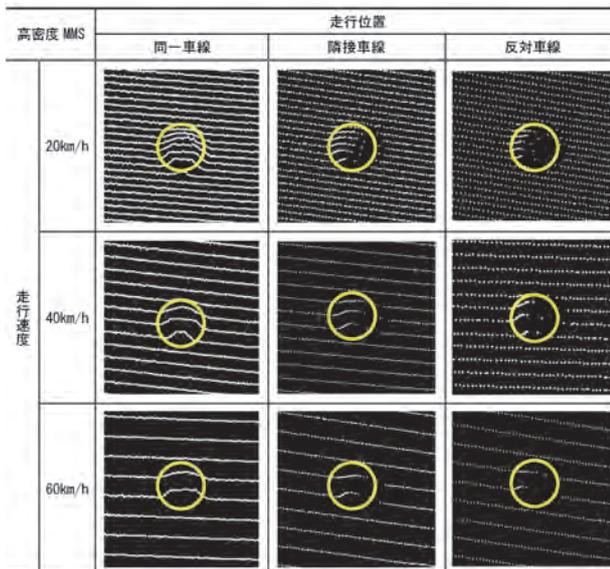
(1) アルゴリズムの決定

第3章の(1)より取得した三次元点群データから，ポッ



図中，黄色の円はポットホールの位置（目安）

図-6 低密度MMSによる三次元点群データの取得例
(すり鉢状 直径20cm 深さ5cm)



図中，黄色の円はポットホールの位置（目安）

図-7 高密度MMSによる三次元点群データの取得例
(すり鉢状 直径20cm 深さ5cm)

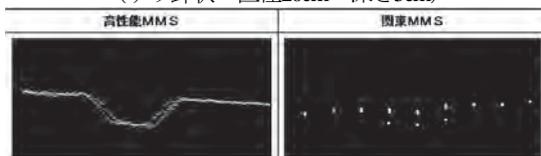


図-8 三次元点群データの取得例（断面図）
(すり鉢状 直径20cm 深さ5cm 20km/h 同一車線)

トホールを検出するために利用するアルゴリズムとして，主にRANSAC法，主成分分析(PCA)，スキャンライン追跡の3種類が挙げられる（図-10）．取得した三次元点群データにポットホールと判断した箇所を記した14種類のポットホール検出画像を用いて，この3種類の中から道路管理業務に用いるのに最適なアルゴリズムを決定した．

一例として同一直線を40km/hで走行して取得した三次元点群データを用いた，アルゴリズム毎の14種類のポットホール検出画像を図-11に示す．図-11を始めとし，全ての走行条件において以下のことが明らかになった．

- ・14種類のポットホールのうち，検出できたポットホールの個数は，主成分分析（PCA），RANSAC法，スキャンライン分析の順で多い．
- ・主成分分析（PCA）は，誤検出が路面上に多く存在する．

以上より，道路管理業務に使用するために当たって最適なアルゴリズムは，ある程度ポットホールを検出でき，誤検出の大半は植栽部分となったRANSAC法とした．

(2) 確認用データの取得

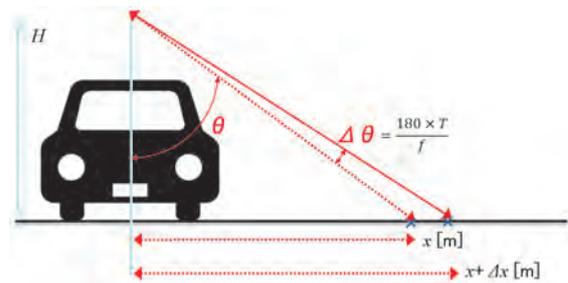


図-9 点間距離(横断方向)の幾何学的関係

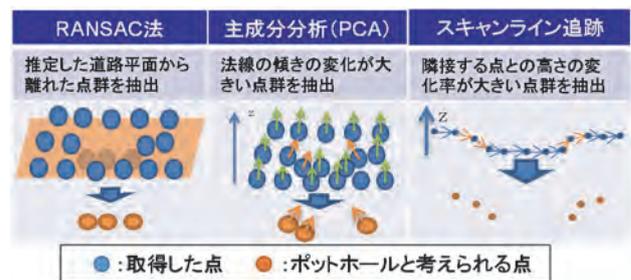


図-10 アルゴリズムの内容

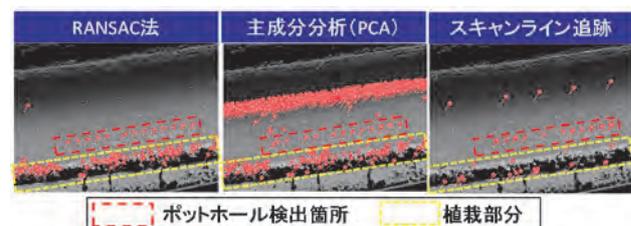


図-11 アルゴリズム別14種類のポットホール検出画像
(同一直線上かつ40km/hで走行)

地上設置型レーザを用いて点群データ（以下「確認用データ」という。）を取得しポットホールの正確な位置を特定した。後述のアルゴリズムによりポットホールと判断した箇所が確認用データのポットホールの位置にあった場合に、ポットホールを検出したとみなした。

地上型レーザスキャナはライカジオシステムズ（株）の「Leica ProScan」（表-4、図-12）を使用し、ポットホールを囲むように人力で移動しながら計測した。計測位置はポットホールから1m以上を離れ、さらに計測場所から1.5m以上離れた位置にトータルステーションを設置した（図-13）。

(3) 検出方法

ポットホールの検出方法として、前処理、RANSAC法による処理、後処理の順で処理をした。なお、本論文では三次元点群データの取得場所は周囲にビル群等が少ない試験走路であり、位置情報の取得が良好であったため、位置情報の処理については紙面の都合から割愛する。

a) 前処理

試験走路を一度走行して取得した三次元点群データを一回でポットホールの候補点を検出するのは、計算量が膨大になるため、いくつかクロッピング処理を行なった。領域切出しの方法を図-14に示す。本論文では、指定サイズの50%をオーバーラップ分割し、最遠である反

対車線におけるポットホール位置と計算速度を試みて、領域切出しのパラメータは全て領域切取り回数を2回、領域切取りサイズを5mとした。なお、植栽部分等、分析が不要な領域については、ポットホール検出画像をもとに、分析範囲の対象から除外した。

b) RANSAC法による処理

RANSAC法⁹⁾を基に、図-15のような手順で処理する。この処理は、2つのパラメータからポットホールの候補点を検出するものである。1つは、「平面判定距離」であり、点群から道路面の平面を推定する際に使用する。もう1つは、「平面除去距離」であり、ポットホールとして検出される点の最小の深さを意味する。

「平面判定距離」は、想定したポットホールの深さよりも浅い距離であり、MMSに搭載したレーザの測距精度が1cm程度であるため、1cmを基準の候補とし、これに加え5mmと2cmの3種類を設定した。また、「平面除去距離」も同様の理由で1cmを基準の候補とし、これに加え5mmと2cmの3種類を設定した。以上より各パラメータ3種類、即ち9種類の組合せを設定し、それぞれの場合において再現率と適合率から最適なパラメータを決定する。なお、再現率とは14種類のポットホールのうち、検出できたポットホールの割合、適合率はポットホールと判断した箇所のうち、正解の割合である。

一例として、低密度MMSにおける隣接車線を40km/hで走行した際のパラメータ別の再現率と適合率を表-5に示す。なお、参考としてポットホール検出画像も表-6に示す。表-9を見ると、平面除去距離が1cm、5mmの時は適合率が低い。平面除去距離が2cmのとき、パラメータ

表-4 Leica ProScanの諸元

商品名	ProScan
LiDAR機種名	Leica ScanStation P16
発射レート (最大) [スキャンレート]	1,000KHz
1台当りの点群密度	最小 15,625/m ²
計測距離 (実行)	40m
測距精度 (1σ)	1.2mm+10ppm (計測距離 12m 以内)
反射強度	取得可



図-12 ProScan



図-13 地上型レーザスキャナ計測方法

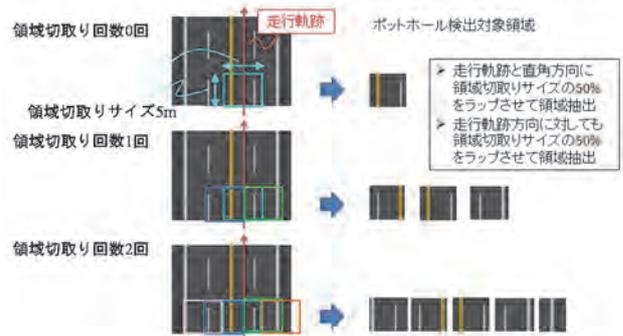


図-14 領域切出し方法

3 (平面判定距離 : 1cm, 平面除去距離 : 5mm) とパラメータ6 (平面判定距離 : 1cm, 平面除去距離 : 2cm) が再現率50.0%となり, 比較的ポットホールを検出でき, 適合率も100.0%と誤検出がない。しかし, パラメータ3は「平面判定距離」が5mmであり, 表-3にて示したように低密度MMSの測距精度が6mmと差が少ないため, 結果が安定しないことが予想される。そのため, 40km/h走行時はパラメータ6を最適値とした。同様の方法で, 低密度MMSの20km/h, 60km/hと高密度MMSの20km/h, 40km/h, 60km/h時の最適なパラメータを決定した。

c) 後処理

最後に後処理として, RANSAC法にてポットホールの候補点が正しく検出されたかを判断するために, クラスタリングを実施した。具体的には, それぞれの点同士の距離がL (クラスタ結合距離) 内である点集合をクラスタ候補として検出する。クラスタ候補のうち, 点数が $N_{min} \sim N_{max}$ (クラスタ最少点数~クラスタ最多点数) までのクラスタの重心をポットホールの箇所と判断する (図-16)。即ちこのクラスタリングでは, 3つのパラメータを利用する。1つ目は, 「クラスタ結合距離」であり, 同一クラスタとみなす点間距離の最大値を表す。2つ目は, 「クラスタ最小点数」であり, 同一クラスタとみなす点の最小数を表す。3つ目は, 「クラスタ最大点数」であり, 同一クラスタとみなす点の最大数を表す。

「クラスタ結合距離」は, 以下の観点から低密度

MMSは15cm, 高密度MMSは10cmと設定した。

- ・三次元点群データのうち最大点間距離は低密度MMSでは12cm, 高密度MMSでは8cmであること。
- ・計測したポットホールの最小直径は20cmであること。「クラスタ最小点数」は, 以下の観点から低密度MMSは3点, 高密度MMSは50点と設定した。
- ・直径20cm内の点数の理論値が低密度MMSで3.5点, 高密度MMSで74点であること。
- ・計測したポットホールの最小直径は20cmであること。「クラスタ最大点数」は, MMSの機材の性能から最大と想定される5,000点と設定した。

なお参考に, 低密度MMSにおける「クラスタ結合距離」及び「クラスタ最小点数」の値を変更した際のポットホール検出画像や再現率, 適合率の変化を検証した。クラスタ結合距離は20cm, クラスタ最小点数は2点, 1点で設定した。変更した結果 (表-7) から, 以下の傾向を確認できた。

- ・「クラスタ結合距離」を大きくした場合, 適合率も高くなるものの, ごくわずかであるためポットホールの検出に大きく影響しないと考えられる。
- ・「クラスタ最小点数」を小さくした場合, 再現率が高くなり, ポットホールは検出しやすくなるものの, 適合率が下がるため, 誤検出の箇所が多くなる。

表-6 パラメータ別のポットホール検出画像 (隣接車線, 速度40km/h)

		平面判定距離		
		5mm	1cm	2cm
平面除去距離	5mm			
	1cm			
	2cm			

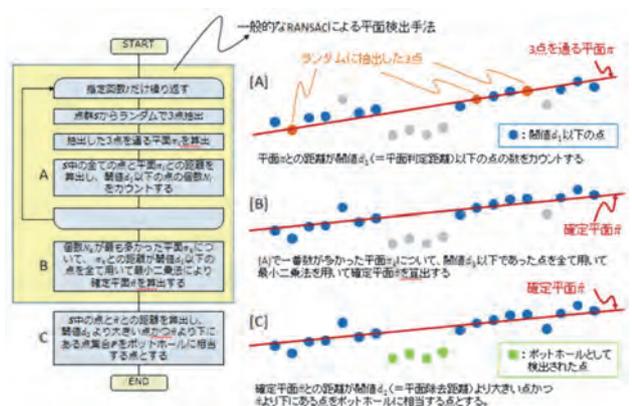


図-15 RANSAC法

表-5 パラメータ別再現率と適合率 (隣接車線, 速度40km/h)

		平面判定距離			
		5mm	1cm	2cm	
平面除去距離	5mm	再現率	92.9%	85.7%	85.7%
		適合率	4.8%	4.8%	4.9%
	1cm	再現率	32.9%	100.0%	100.0%
		適合率	30.2%	18.4%	19.2%
	2cm	再現率	50.0%	50.0%	50.0%
		適合率	100.0%	100.0%	87.5%

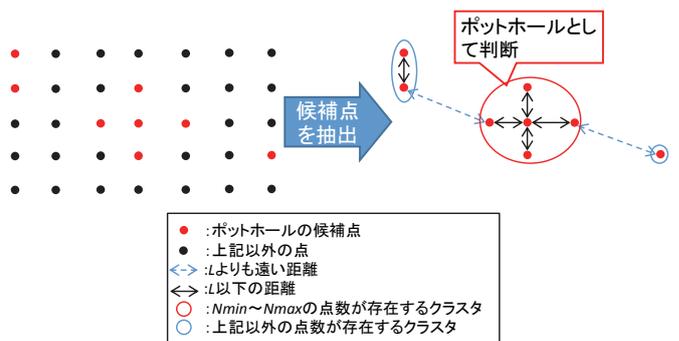


図-16 クラスタリング方法

5. 分析結果

本章では、前章で示した検出手法を用いた分析結果の一例として、2種類のポットホールに対する分析結果を示す。また、ポットホールの形状の違いによる有意差検定の結果も示す。

(1) 三次元点群データの取得条件と検出結果

対象とするポットホールの種類は、すり鉢形状の直径20cmとし、深さは5cmと10cmの2種類とした。取得条件は、2種類のMMS（低密度MMS、高密度MMS）を用いて、走行条件を変えた場合にポットホールが検出可能か分析した。走行条件は、図-2に示す3種類の走行速度及び3種の走行位置とした。今回は、2種類のMMSともに走行条件毎に2回取得し、1回以上検出した場合に「○」、1回も検出しない場合に「×」とした。この結果を表-8から表-11に示す。

結果について、低密度MMSでどの速度で走行すれば今回対象としたポットホールが検出できるか、という観点で分析した。また、低密度MMSの代わりに高密度MMSを用いると、第3章の(3)の試算により、同一のポットホールを対象とする際に、より大きい速度で走行しても検出可能と考えられる。

直径20cm、深さ5cm、すり鉢状のポットホールについては、表-8と表-9を比較することで、次のことを明らかにした。

- (i)同一車線上のポットホールを確実に検出するには、中速(40km/h)で走行する必要がある。
- (ii)隣接車線上のポットホールについては、低速

(20km/h)で走行すると検出する可能性がある。ただし高性能MMSを用いると、中速(40km/h)で走行しても確実に検出可能。

(iii)反対車線上のポットホールは、低速(20km/h)で走行した場合でも検出できない。

(2) 点群の理論値と実測値の比較

例として、低密度MMSを用いて直径20[cm]のポットホールに照射される試算値と実測値を表-12に示す。実測値は試算値に収まることを確認した。実測値には、データを取得する実環境による影響から、試算値を下回るものと考えられる。

(3) 形状の違いによる影響

円柱状のポットホールの底面は、すり鉢のポットホールのそれよりも広がりをもつ。このため、前者の方が検出可能な点の数が多いことから、検出しやすいと考えられる。そこで、同一の規模の円柱状とすり鉢状のポットホールを対象に、走行条件を変えて有意差検定⁹⁾を行う。ただし、形状の違いによる影響が大きい場合に有効な手法であるため、低密度MMSに限定して分析する。

ポットホールの深さは5cmまたは10cmの2種類とし、直径はいずれも20cmとする。走行条件については、図-2に示す3種類の走行位置毎に20km/hと40km/hの2パターンの速度で合計6パターンとする。60km/hの場合はデータの一部が欠損していたため分析の対象外とした。つまり、2種類のポットホールで6パターンの走行条件となるため、円柱状のサンプル数 m とすり鉢状のサンプル数 n はいずれも12とする。これらの母集団に対して

表-7 後処理パラメータ別評価指標等
(隣接車線, 速度40km/h)

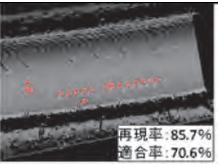
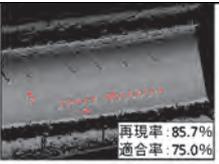
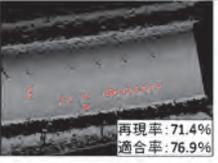
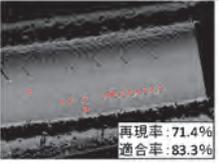
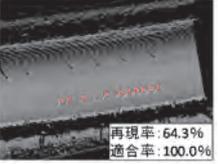
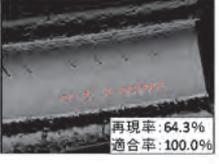
		クラスタ結合距離	
		15cm	20cm
クラスタ 最小点数	1点	 再現率: 85.7% 適合率: 70.6%	 再現率: 85.7% 適合率: 75.0%
	2点	 再現率: 71.4% 適合率: 76.9%	 再現率: 71.4% 適合率: 83.3%
	3点	 再現率: 64.3% 適合率: 100.0%	 再現率: 64.3% 適合率: 100.0%

表-8 低密度MMSの検出結果 (すり鉢, 深さ5cm)

低密度MMS		走行位置		
		同一車線 (0m)	隣接車線 (3.5m)	反対車線 (5.25m)
走行速度	20km/h	○	△	×
	40km/h	○	×	×
	60km/h	△	×	×

【凡例】(表-8から表-11まで共通)

○: 2回中2回検出 △: 2回中1回検出 ×: 検出せず

表-9 高密度MMSの検出結果 (すり鉢, 深さ5cm)

高密度MMS		走行位置		
		同一車線 (0m)	隣接車線 (3.5m)	反対車線 (5.25m)
走行速度	20km/h	○	○	×
	40km/h	○	○	×
	60km/h	○	×	×

式(1)から t 値を求める。

$$t = \frac{\frac{x_1}{n_1} - \frac{x_2}{n_2}}{\sqrt{p(1-p)\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad (1)$$

ここで、 x_1 と x_2 はそれぞれ円柱状とすり鉢状の検出数を表す。また、 p は円柱状とすり鉢状の両方のサンプルをまとめて計算した値として、式(2)で求める。

$$p = \frac{x_1 + x_2}{n_1 + n_2} \quad (2)$$

すり鉢状の検出結果については、表-7と表-9に示すとおりである。円柱状の検出結果について、表-13と表-14に示す。 $x_1=9$, $x_2=6$ という結果から、 $t=1.27$ となり5%水準で有意となった。つまり、すり鉢状より円柱状の方が検出率は高いことが示された。

5. まとめ

本論文では、道路管理業務の一つである路面変状の確認のうち、道路管理者の活用ニーズが高い「ポットホー

表-10 低密度MMSの検出結果 (すり鉢, 深さ10cm)

低密度MMS		走行位置		
		同一車線 (0m)	隣接車線 (3.5m)	反対車線 (5.25m)
走行速度	20km/h	○	△	×
	40km/h	△	×	×
	60km/h	×	×	×

表-11 高密度MMSの検出結果 (すり鉢, 深さ10cm)

高密度MMS		走行位置		
		同一車線 (0m)	隣接車線 (3.5m)	反対車線 (5.25m)
走行速度	20km/h	○	○	△
	40km/h	○	×	×
	60km/h	○	×	×

表-12 低密度 MMS を用いた点数
(上段: 実測値, 下段: 試算値)

面積:直径 20[cm]	同一車線	隣接車線	反対車線
20[km/h]	12 (12)	8 (9)	4 (6)
40[km/h]	7 (11)	3 (7)	2 (4.5)
60[km/h]	3 (8)	2 (6)	1 (3)

注: 試算では、円周率 $\pi=3$ とする等の近似を行っている

ル」の検出を想定し、三次元点群データを用いて計測時の走行位置や走行速度等の走行条件と検出可能な規模との関係について分析した。ポットホールの一例として、深さは5cmまたは10cmの2種類とし、直径はいずれも20cmのすり鉢状を対象とした。この結果、2種類のポットホールを検出するための三次元点群データの取得条件について、以下に例示されるような知見を得た。

- 直径が20cmで深さが5cmのすり鉢状のポットホールが隣接車線にある場合、20km/hで走行すれば確実に検出可能。高密度MMSを用いれば40km/hまで走行速度を高めても検出可能。
- また、深さの異なる2種類のポットホールを対象に6パターンの走行条件で有意差検定を行った結果では、円柱状のポットホールはすり鉢状のポットホールより検出しやすい。

また、今後道路管理業務にMMSで取得するデータを利用するための研究をさらに進める課題等として、以下の3点を挙げる。

- ポットホールは、円柱状またはすり鉢状とは限らない、複雑な形状である。そこで、実際に発生したポットホールでも検証する必要がある。
- MMSを運転する際、渋滞や雨天等の外的影響を受けると考えられる。道路管理者によるパトロールで検証を行う等、より実践的な検証が必要である。
- MMSでは画像データも取得可能である。三次元点群データと併用し、検出精度を向上する方法を研究していきたい。

謝辞: アイサンテクノロジー(株)の藤野宏明氏にはMMSで取得する点間距離についてご教示いただきました。ここに記して感謝申し上げます。

表-13 低密度MMSの検出結果 (円柱, 深さ5cm)

低密度MMS		走行位置		
		同一車線 (0m)	隣接車線 (3.5m)	反対車線 (5.25m)
速度	20km/h	○	○	○
	40km/h	○	○	×

表-14 低密度MMSの検出結果 (円柱, 深さ10cm)

低密度MMS		走行位置		
		同一車線 (0m)	隣接車線 (3.5m)	反対車線 (5.25m)
速度	20km/h	○	○	×
	40km/h	○	○	×

参考文献

- 1) 金子幸司, 加賀谷篤大, 富樫健司: 三菱モバイルマッピングシステム”MMS-G”試作機の海外の検証, 三菱電機技報, Vol.93, No.2, pp.15-18, 2019.
- 2) 株式会社トプコン: Mobile Mapping System IP-S3 HD1, <https://www.topcon.co.jp/positioning/products/product/3dscanner/IP-S3_HD1_J.html>, (入手 2019.2.28)
- 3) 国土交通省 国土技術政策総合研究所: 車両搭載センシング技術を活用した道路基盤地図データの収集実験の開始について, <<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/kisya/journal/kisya20170106.pdf>>, (入手 2019.2.28)
- 4) 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, pp.I_33-I_40, 2014.
- 5) 江守央, 佐田達典, 今村一紀, 小川達也, 岩上弘明: 手押し車型 MMS を用いた歩道空間の計測に関する実験, 土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol.71, No.2, pp.II_86-II_91, 2015.
- 6) 井上浩一, 鈴木達朗, 阿部亮吾, 藤木三智成, 西山哲: 標準的な移動計測車両を用いた路面縦断プロファイル計測手法の検討, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.73, No.3, pp.I_63-I_70, 2017.
- 7) 岡本直樹, 佐田達典, 池田隆博: モバイルマッピングシステムにおける標定点用ターゲット板のサイズの検討, 土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol.71, No.2, pp.II_34-II_41, 2015.
- 8) Fischler, M.A. and Bolles, R.C.: Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography, Communications of the ACM, vol.16, no.24, pp.381-395, 1981.
- 9) 宮川公男: 基本統計学[第 4 版], 有斐閣, p.259, 2015.

(2019.2.28 受付)