

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

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 社会資本情報基盤研究室
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1)
E-mail: itouji-t86ps@mlit.go.jp

²正会員 国土交通省 岡山河川事務所 防災情報課 (〒700-0914 岡山県岡山市北区鹿田町2-4-36)
元 国土交通省 国土技術政策総合研究所 社会資本情報基盤研究室
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 社会資本情報基盤研究室
(〒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 社会資本情報基盤研究室
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 社会資本情報基盤研究室
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、各地方整備局等にMMS (Mobile Mapping System) を導入し、点群データの収集を進めている。本研究では、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「路面損傷の確認」のうち発生頻度が高いポットホールの検知を対象とした。具体的には、国土技術政策総合研究所の試験走路に模擬的なポットホールを作成し、計測時の走行位置、速度及びMMSの性能等の取得条件と検知可能な規模との関係を分析した。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は検知可能であることや、性能が高いMMSを用いれば40km/hまで走行速度を大きくしても検知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ため、道路管理業務量が多くなり、人手が不足することが懸念されている。そのため、道路管理業務の一層の高度化・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、高性能な機材の開発が進められている。例えば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⁾。これにより、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点群データを取得することが期待されている。そこで、MMSで取得した点群データを用いて、路面損傷等の確認が可能であれば、道路管理業務の高度化・効率化に繋がる。しかし、検知したい事象に対してどのような走行条件等で点群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。

本研究では、路面損傷の確認のうち、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して、取得条件（MMSの性能及び走行条件）と検知可能なポットホールの規模との関係を分析した。

分析方法は、以下のとおりである。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て点群データを取得する。次に、点群データの分析に多く用いられることが多いRANSAC法を用いてポットホールと推定される箇所を検知する。さらに、確認用に手押し型MMSを用いた計測により取得した正確なポットホールの箇所と検知した箇所を比較し、正しく検知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取得条件毎にどのような特徴があるかを分析する。

本稿では、第2章にて既往研究との位置づけを示し、第3章にてポットホールの種類、点群データの取得条件及び理論値による実測値の妥当性を示す。さらに、第4章にてポットホールの検知手法を示し、第5章にて分析結果を示す。そして最後に第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

点群データを用いて路面損傷を計測する研究として、いくつかの取組みがあげられる。森石⁴⁾らは、MMSで取得した点群データを利用して作成したコンター図より路面損傷を確認し、「凹凸体積」という手法を用いて路面損傷を評価している。江守⁹⁾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⁶⁾らは、MMSで取得した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出した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。しかし、上記の研究内容では、計測結果の精度評価が多く、取得条件と検知可能な路面損傷の規模との関係については分析していない。これに対し本研究では、様々な種類のポットホールに対して取得条件毎に点群データを計測し、検知可能なポットホールの規模との関係を分析する。

走行位置や走行速度による検知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、走行速度や設置位置毎に標定点用ターゲット板（ベニヤ板に反射板を貼り付けたもの）をMMSで取得し、標定点用ターゲット版に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。しかし、岡本らは、標定点ターゲット板のみを対象としており、路面損傷のように道路上の実際の地物で確認していない。

また、MMSの性能による検知状況の違いを分析していない。これに対し本研究では、道路上に存在する路面損傷を対象とした。さらにMMSの性能の違いによる影響を分析した。

3. 点群データの取得

本章では、ポットホールの種類と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及び表-2に示す14種類の模擬的なポットホールを試験走路上にエアピック等を用いて1.5m間隔で作成した。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道路で発生した事例をもとに、直径20cm、30cm及び40cmの円形並びに短軸10cmかつ長軸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及び10cmとした。ポットホールの形状は、「円柱状」及び「すり鉢状（レーザの平均的な入射角である45°を傾斜角とする。）」の2パターン設けた。

(2) 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及び高密度MMSの外観を図-1及び図-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

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	○	○	○	-



図-1 MMS-AT220(低密度MMS)



図-2 MMS-X500ZL(高密度MMS)

表-3 本研究で用いる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 Profiler 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/m ² (計測距離5m)	2,000点以上/m ² (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

※路面に当たるのは下向きに設置された1台のみ

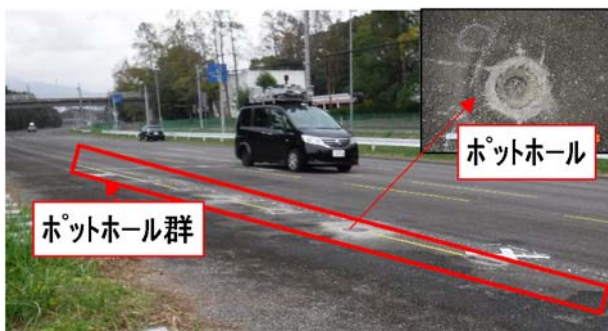


図-3 試験走路での点群データ取得状況

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で取得した点群の一例(同一車線, 走行速度20km/h)を図-4に示す。なお, 分析の対象は舗装面のみとした。

b) 走行条件

走行位置は, 「a)ポットホールが同一車線にある場

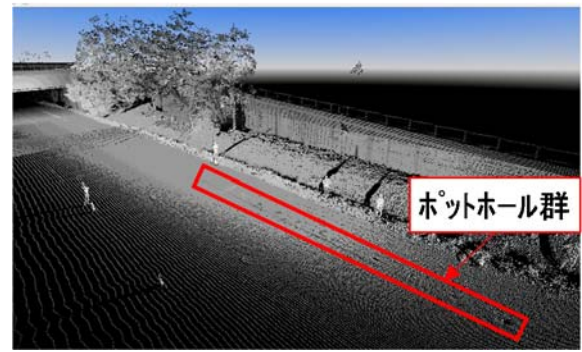


図-4 取得した点群データ
(低密度MMS, 同一車線, 走行速度20km/h)

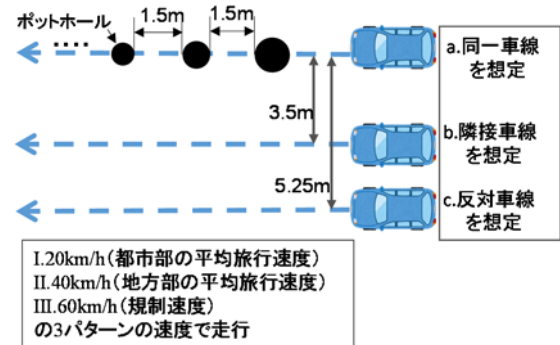


図-5 走行条件イメージ

低密度 MMS	走行位置		
	同一車線	隣接車線	反対車線
20km/h			
40km/h			
60km/h			

図中, 黄色の円はポットホールの位置(目安)

図-6 低密度MMSで取得した点群データ(平面図)
(すり鉢状 直径20cm 深さ5cm)

合」, 「b)隣接車線にある場合」及び「c)中央分離帯を挟んで反対車線にある場合」の3パターンを想定し, 道路構造令を基にそれぞれポットホールから0m, 3.5m及び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及び60km/hの3パターンとした。これらの走行条件の組合せ計9パターンをそれ

ぞれ2回計測した。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、これらのデータの断面図を図-8に示す。

(3) 理論値による実測値の確認

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。第3章の取得条件で計測した路面に照射される点数が、この理論的に算出した点の間隔から求めた点数と大きな相違がないか確認する。以下では、MMSのスキャンレートを T [Hz]とする。

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。

$$d = \frac{1}{T} \times \frac{v}{3.6} \quad (1)$$

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。

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

ここで、 θ は式(3)で求める。

$$\tan\theta = \frac{x}{H} \quad (3)$$

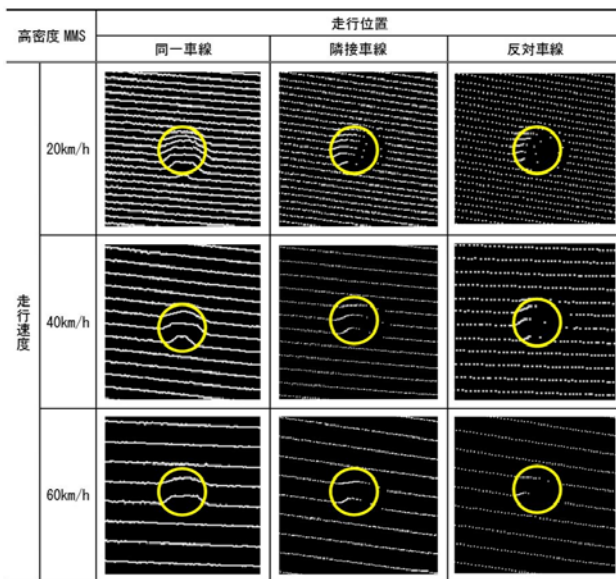


図-7 高密度MMSで取得した点群データ（平面図）
（すり鉢状 直径20cm 深さ5cm）

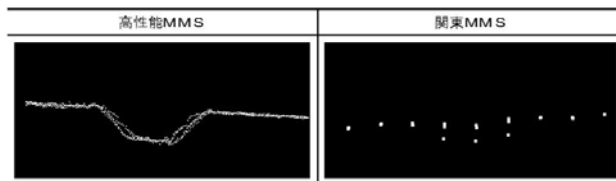


図-8 取得した点群データ（断面図）
（すり鉢状 直径20cm 深さ5cm 20km/h 同一車線）

表-3の3段目に示すスキャンレート T 、レーザ照射位置の路面の高さ H [m]、発射レート f [Hz]及び図-5に示す走行速度 v [km/h]と走行位置 x [m]を用いると、路面に照射される点数が試算可能となる。例として、低密度MMSを用いて直径20cmのポットホールに照射される点数を見ると、点数の理論値及び実測値で大幅な違いが無いことが確認できた。

4. ポットホールの検知手法

(1) ポットホールの検知手法の決定

第3章の走行条件等で取得した点群データから、ポットホールを検知する手法として、主にRANSAC法、主成分分析 (PCA)、スキャンライン追跡の3つ（図-10）が挙げられる。ポットホールと判断した箇所がわかる点群データである「ポットホール検知画像」を用いて、この中から道路管理業務に用いるのに最適なポットホールの検知手法を決定した。

一例としてポットホールと同一車線上を40km/hで走行して取得した点群データを用いた検知手法別の「ポットホール検知画像」を図-11に示す。図-11より、以下のこ

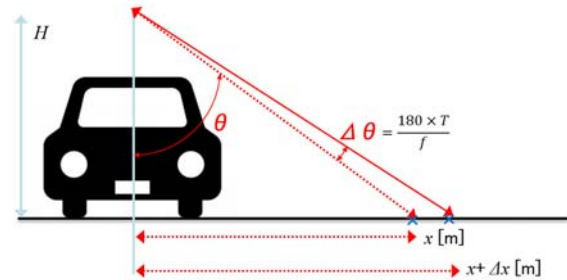


図-9 点間距離(横断方向)の幾何学的関係

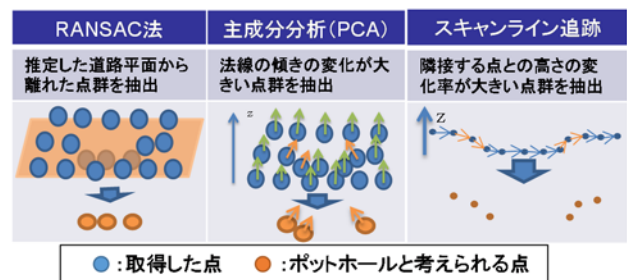


図-10 ポットホールの検知手法

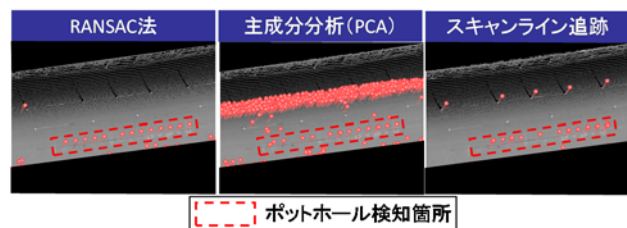


図-11 ポットホール検知画像
（同一車線上を40km/hで走行）

とが明らかになった。

- 14種類のポットホールのうち、正確な位置に検知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、ポットホールではない箇所を誤ってポットホールと判断した箇所（以下、「誤検知」という。）が多く存在する。

また、他の取得条件の場合も、同様の傾向であった。以上より、道路管理業務に使用するにあたり最適なポットホールの検知手法は、ポットホールを比較的多く検知でき、誤検知が少ないRANSAC法とした。

(2) 確認用データの取得

手押し型 MMS を用いて点群データ（以下、「確認用データ」という。）を取得し路面上のポットホールの正確形状を特定した。

手押し型 MMS 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 1m 離れた位置から計測した。なお、ポットホールの正確な位置を求めるために、計測場所から 1.5m 以上離れた位置に事前にトータルステーションを設置した（図-13）。

後述の検知方法によりポットホールと判断した箇所が上記の形状の内側にあった場合に、ポットホールを正しく検知したとみなした。

表-4 Leica ProScanの諸元

商品名	Leica 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）	12mm+10ppm (計測距離 12m以内)
反射強度	取得可



図-12 ProScan

(3) 検知方法

ポットホールの検知は、前処理、RANSAC法による処理、後処理の順で行った。

a) 前処理

試験走路を一度走行して取得した点群データから全てのポットホールの候補点を検知するのは、計算量が膨大になるため、領域を分割した。領域切出しの方法を図-14に示す。横断方向・走行方向に領域切りサイズの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及び計算速度から、領域切出しのパラメータはそれぞれ回数を2回（横断方向に5分割）、サイズを5mとした。

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知するものである。1つは、「平面判定距離」で

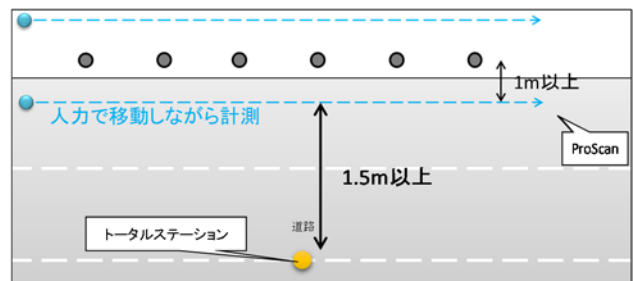


図-13 手押し型MMS計測方法

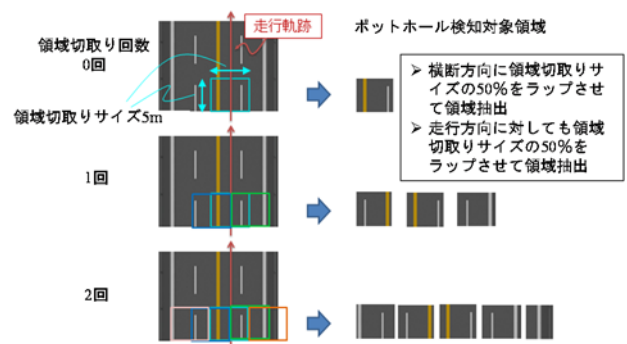


図-14 領域切出し方法

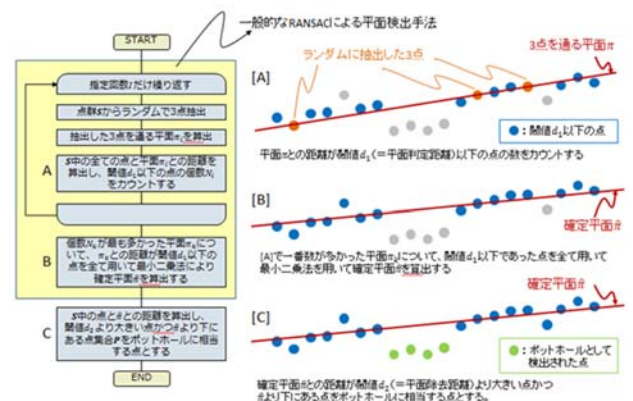


図-15 RANSAC法

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、上記の平面に含まれない点を抽出する際に使用する。

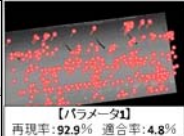
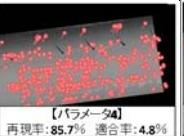
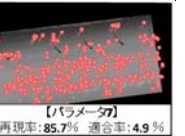
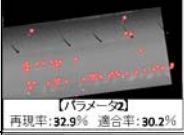
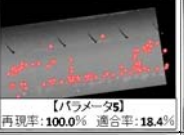
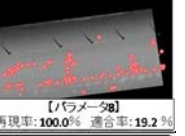
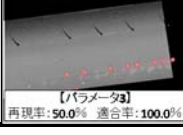
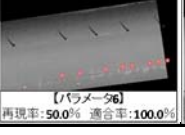
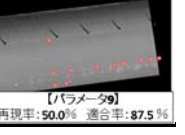
「平面判定距離」は、想定したポットホール深さよりも浅い値である必要がある。さらに、MMSに搭載したレーザの測距精度より余裕をもった1cmを基準とし、これに加え5mmと2cmの3パターンを設定した。また、「平面除去距離」も同様の理由で1cmを基準とし、これに加え5mmと2cmの3パターン設置し、合計9パターンの組合せを設定し、それぞれの場合における再現率及び適合率から最適なパラメータを決定する。なお、再現率とは14種類のポットホールのうち、この検知方法によりポットホールと判断した割合、適合率はポットホールと判断した箇所のうち、確認用データの路面上の円内にあった箇所の割合である。

一例として、低密度MMSを用いた場合、隣接車線を40km/hで走行した際のパラメータ別の「ポットホール検知画像」、再現率及び適合率を表-5に示す。表-5を見ると、平面除去距離が1cmや5mmの時は適合率が低いことがわかる。その反面平面除去距離が2cmのときは、平面判定距離が5mm及び平面除去距離が2cm（パラメータ3）もしくは平面判定距離が1cm及び平面除去距離が2cm（パラメータ6）の時に再現率50.0%となり、再現率が高く、適合率も100.0%と誤検知がない。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及び高密度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法より求めたポットホールの候補点が正しく検知されたかを判断するために、ク

表-5 パラメータ別ポットホール検知画像、再現率及び適合率（隣接車線、速度40km/h）

		平面判定距離		
		5mm	1cm	2cm
平面除去距離	5mm	 【パラメータ1】 再現率: 92.9% 適合率: 4.8%	 【パラメータ4】 再現率: 85.7% 適合率: 4.8%	 【パラメータ7】 再現率: 85.7% 適合率: 4.9%
	1cm	 【パラメータ2】 再現率: 32.9% 適合率: 30.2%	 【パラメータ5】 再現率: 100.0% 適合率: 18.4%	 【パラメータ8】 再現率: 100.0% 適合率: 19.2%
	2cm	 【パラメータ3】 再現率: 50.0% 適合率: 100.0%	 【パラメータ6】 再現率: 50.0% 適合率: 100.0%	 【パラメータ9】 再現率: 50.0% 適合率: 87.5%

ラスタリングをした。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扱う。クラスタ候補のうち、点数が N_{min} ~ 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）。すなわ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、以下の観点からそれぞれ低密度MMSは15cm、高密度MMSは10cmと設定した。

- ・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であり、これよりも大きくする必要がある。
 - ・計測したポットホールの最小直径は20cmである。
- また、「クラスタ最小点数」は、以下の観点からそれぞれ低密度MMSは3点、高密度MMSは50点と設定した。
- ・計測したポットホールの最小直径20cm内の点数の理論値が低密度MMSで3.5点、高密度MMSで74点であり、これらより少なくする必要がある。

「クラスタ最大点数」は、MMSの性能から最大と想定される5,000点と設定した。

参考として、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知画像や再現率、適合率の変化を分析した。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、ごく僅かであるためポットホールの検知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、ポットホールは検知しやすくなるものの、適合率が下がるため、誤検知が多くなる。

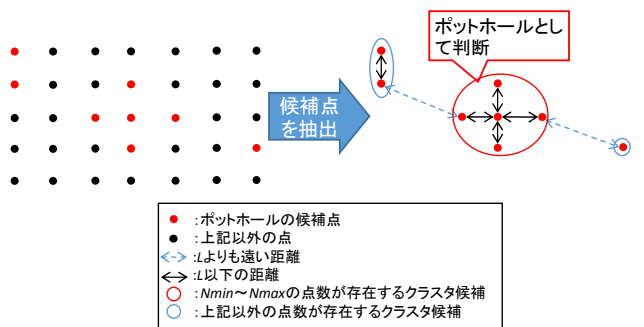
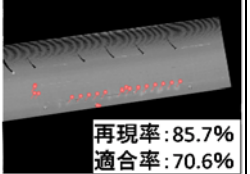
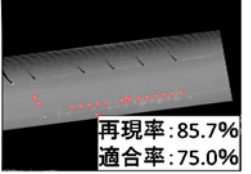
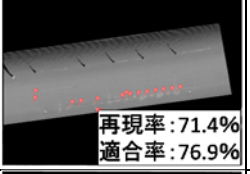
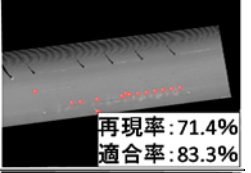
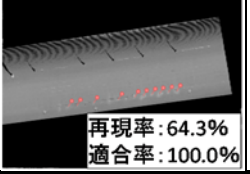
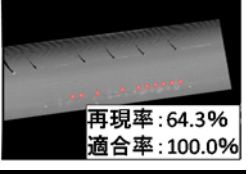


図-16 クラスタリング方法

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%

5. 分析結果

本章では、前章で示した検知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) 点群データの取得条件と検知結果

14種類のポットホールのうち、本稿は2種類（すり鉢形状の直径20cm, 深さは5cmと10cm）の結果を述べる。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この2種類のポットホールが検知可能か分析した。走行条件は、図-5に示す3パターンの走行速度及び3パターンの走行位置とした。今回は、2種類のMMS共に走行条件毎に2回取得したため、2回検知した場合に「○」、1回のみ検知した場合に「△」、1回も検知しない場合に「×」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知できるか、という観点で分析した。

直径20cm, 深さ5cm及び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知するには、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で走行すると検知できる可能性がある。た

表-8 低密度MMSの検知結果（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回検知 △ : 2回中1回検知 × : 検知せず

表-9 高密度MMSの検知結果（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	○	×	×

表-10 低密度MMSの検知結果（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の検知結果（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	○	×	×

だし高密度MMSを用いると、40km/hで走行しても確実に検知可能。

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

(2) 形状の違いによる検知のしやすさ

低密度 MMS を用いた場合のすり鉢状と円柱状の検知結果（走行速度 60km/h を除く）について、表-12 に示す。表-12 よりすり鉢状よりも円柱状の方が検知しやすいと考えられる。さらに、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有する。このため、前者の方が検知可能な点の数が多くなり、検知

表-12 円筒状とすり鉢状の検出結果

深さ	走行位置	走行速度	円柱状	すり鉢状
5cm	同一車線 (0m)	20km/h	○	○
		40km/h	○	○
	隣接車線 (3.5m)	20km/h	○	△
		40km/h	○	×
	反対車線 (5.25m)	20km/h	○	×
		40km/h	×	×
10cm	同一車線 (0m)	20km/h	○	○
		40km/h	○	△
	隣接車線 (3.5m)	20km/h	○	△
		40km/h	△	×
	反対車線 (5.25m)	20km/h	×	×
		40km/h	×	×

しやすいと考えられる。この傾向が正しいかどうか確認するために、有意差検定を行う。本研究では低密度MMSに限定して分析する。

ポットホールの深さは5cm及び10cmの2種類とし、直径はいずれも20cmとする。走行条件は、図-5に示す3パターンの走行位置毎に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。すなわち、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 n_1 とすり鉢状のサンプル数 n_2 はいずれも12とする。これらの母集団に対して式(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知数を表す。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。

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

$x_1=9$ 、 $x_2=6$ 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知率は高いことが示された。

7. まとめ

本研究では、現場事務所の活用ニーズが高い「路面損傷の確認」のうち発生頻度が高いポットホールの検知を対象とし、計測時の走行位置や速度等の取得条件と検知可能な規模との関係を分析した。ポットホールの一例として、深さは5cm及び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知するための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。

- 同一車線上のポットホールを確実に検知するには、40km/hで走行する必要がある。
- 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で走行すれば検知する可能性がある。高密度MMSを用いれば40km/hまで走行速度を大きくしても確実に検知可能。
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、複雑な形状であるため、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では画像データも取得可能である。点群データと併用し、検知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。

参考文献

- 1) 金子幸司, 加賀谷篤大, 富樫健司: 三菱モービ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/kisyajournal/kisyajournal20170106.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ィール計測手法の検討, 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.

(2019.2.28 受付)