

点群データの取得条件と検知可能な路面ポットホールの規模との関係の基礎分析

糸氏敏郎・今野 新・関谷浩孝

1. はじめに

国土交通省ではレーザスキャナにより点群データの取得を行うシステムであるMMS (Mobile Mapping System) 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殊車両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。この取り組みの中で、各地方整備局等は道路管理用車両等を用いて大量の点群データを取得しており、取得した点群データにより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。

本報文では、道路管理業務を日々行っている国道事務所 (以下「現場事務所」という) へのヒアリングの結果、活用ニーズが高いポットホールの検知を対象として、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・形状との関係を分析したのでその結果を報告する。

2. 点群データの取得

2.1 ポットホールの形状

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に1.5m間隔で作成した。現場では様々な形状や深さのポットホールが発生するため、平成27・28年に現場事務所が発生した事例を参考に平均的な20cm、30cmの円形及び短径10cmかつ長径40cmの楕円形とした。深さも同様に現場の事例を参考に5cm及び10cmとした。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パターンを設けた。

2.2 MMS搭載車両の走行条件

走行位置は、「ポットホールが同一車線にある場合」、「隣接車線にある場合」及び「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-1)。走行速度は、「都市部の平均旅行速度」、「地方部の平均旅行速度」、「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 (図-2)。

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) の比較を図-3に示す。

2.3 MMSの種類

MMSの性能による違いを分析するため、多くの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。) を用いてMMSの性能による違いを分析した。本研究に用いたMMSの諸元を表-3に示す。

表-1 ポットホールの種類 (円形)

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

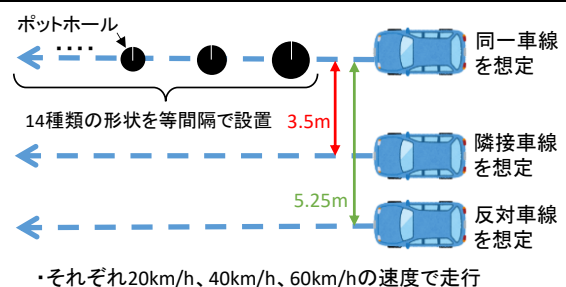


図-1 走行条件イメージ

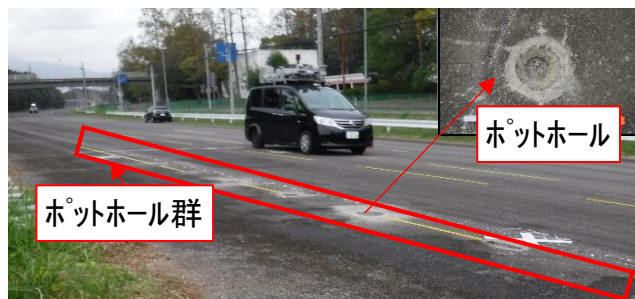


図-2 試験走路での点群データ取得状況

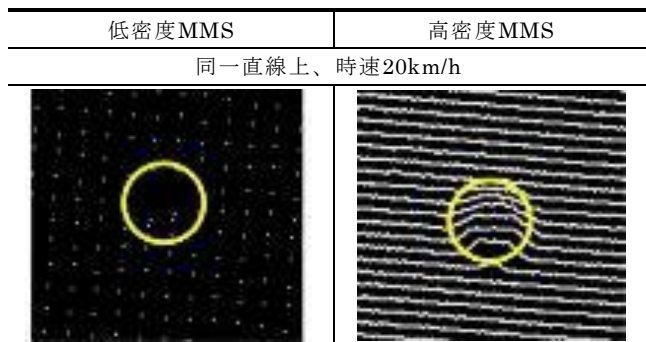


図-3 MMSの性能による取得した点群データの比較 (平面図) (すり鉢状 直径20cm 深さ5cm)

表-3 本研究で用いた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

3. ポットホールの検知手法

3.1 ポットホールの検知手法の比較

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、RANSAC法²⁾、主成分分析 (PCA)、スキャンライン追跡の3種類 (図-4) を検討した。この際、それぞれの手法によりポットホールと判断した領域の中心を点群データ上にピンで明示した画像 (以下「ポットホール検知画像 (図-5)」という。) を比較し、道路管理業務に最適な検知手法を決定した。

全ての走行パターンでポットホール検知画像を作成したところ、以下の傾向が明らかになった。

- ・14種類のポットホールのうち、正確な位置に検知できた個数は、主成分分析 (PCA)、RANSAC法、スキャンライン分析の順に多い。

- ・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 (誤検知) が多く存在する。

本研究では道路管理業務への適用を念頭においており、ポットホールを多く検知できることだけでなく、誤検知が少ないことが重要であることから、RANSAC法を用いることとした。

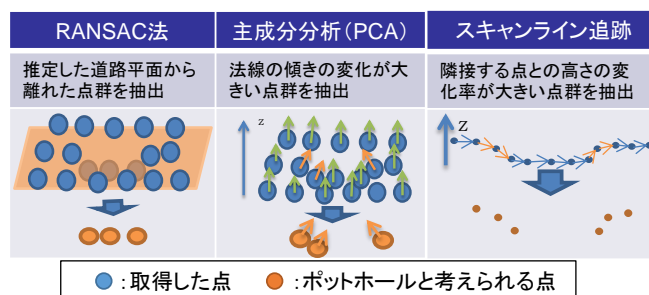


図-4 ポットホールの検知手法

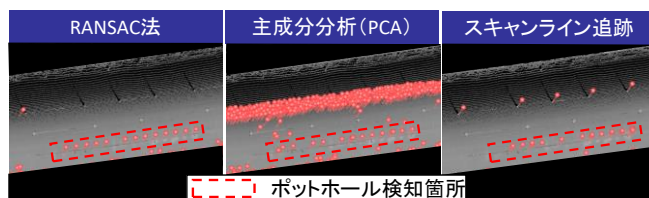


図-5 ポットホール検知画像 (40km/hの場合の例)

3.2 RANSAC法の最適パラメータの検討

RANSAC法を基に、図-6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」であり、点群から道路面の平面を推定する際に、平面との距離が閾値 (平面判定距離) 以内の点の数を計測する際に使用する。この点の数が最も多かった平面について、平面判定距離以内の全ての点に最小二乗法を用いて確定平面を決定する。もう1つは、「平面除去距離」であり、上記の確定平面から一定の距離以上離れた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の深さよりも浅い必要がある。また、MMSに搭載したレーザの測距精度 (2mm、6mm) より余裕をもった1cmを基準とし、これに加え5mmと2cmの3種類の値を検討するパラメータとして設定した。また、「平面除去距離」も同様の理由で5mm、1cm、2cmの3種類の値を検討するパラメータとして設定し、合計9パターンを用いて、それぞれの場合における再現率及び適合率を基に最適な値を決定する。ここで、再現率は14種類のポットホールのうち検知できた割合を示し、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を示す。

一例として、低密度MMSを用いた場合における、隣接車線を40km/hで走行した際のパターン別のポットホール検知画像、再現率及び適合率を表-4に示す。表-4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。一方、平面除去距離が2cmのときは、平面判定距離が5mm（パターン3）もしくは1cm（パターン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。

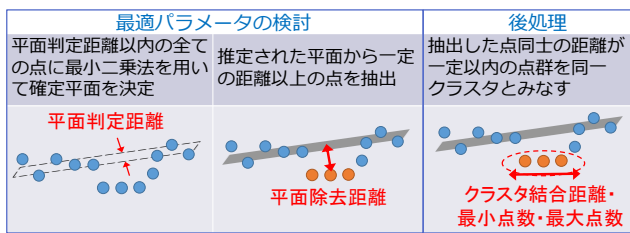


図-6 RANSAC法

表-4 パターン別ポットホール検知画像

		平面判定距離		
		5mm	1cm	2cm
平面除去距離	5mm	 【パターン1】 F値:7%	 【パターン4】 F値:7%	 【パターン7】 F値:8%
	1cm	 【パターン2】 F値:31%	 【パターン5】 F値:24%	 【パターン8】 F値:22%
	2cm	 【パターン3】 F値:65%	 【パターン6】 F値:73%	 【パターン9】 F値:59%

しかし、パターン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走行時はパターン6（平面判定距離1cm、平面除去距離2cm）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時の最適なパターンを決定し、ポットホールの検知を行った。

3.3 後処理

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Nmin～Nmax（クラスタ最少点数～クラスタ最多点数）までのクラスタを同一ポットホール内のクラスタと判断する（図-7）。すなわちこのクラスタリングでは、図-6の右枠内に示す3つのパラメータを利用して分析を行った。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、「クラスタ最少点数」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ポットホールの直径を超えることはないため、15cm及び20cmの2種類の値を検討するパラメータとして設定した。また、クラスタ最少点数はポットホール内に照射される最小の点数を考慮し1点、2点及び3点の3種類の値を検討するパラメータとして設定し同様に最適な値を決定した。その結果、クラスタ最少点数は3点、クラスタ結合距離は15cmの値を採用した。なお、クラスタ最大点数は最大の点群密度を考慮し5,000点に固定した。

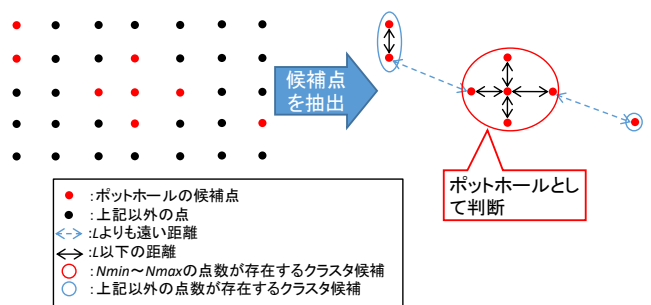


図-7 クラスタリング方法

4. 分析結果

14種類のポットホールのうち、本報文では、すり鉢形状の直径20cm、深さ5cmのポットホールについての分析結果を述べる。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ポットホールが検知可能か分析した。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-5及び表-6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、すり鉢形状の直径20cm、深さ5cmのポットホールが検知できるか、という観点で分析した。表-5と表-6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以下で走行する必要がある。
- (ii) 隣接車線上のポットホールは、低速20km/hで走行すると2回の走行中1回は検知可能。ただし高密度MMSを用いると、40km/hで走行しても2回とも検知可能。
- (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。

表-5 低密度MMSの検知結果

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 走行	20km/h	○	△	×
	40km/h	○	×	×
	60km/h	△	×	×

表-6 高密度MMSの検知結果

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	○	×	×

5. まとめ

本研究では現場事務所の活用ニーズが高いポットホールの検知を対象とし、MMSの性能（点群密度）、計測時の走行位置及び速度等の取得条件と検知可能な規模との関係に関する分析を実施した。この結果、直径20cm、深さ5cmのすり鉢状のポットホールに対して、低密度MMSを用いた場合、20km/hでは2回の走行中1回のみ隣接車線まで検知できること及び高密度MMSを用いた場合、40km/hでは2回とも検知可能等の知見を得た。

今後、各地方整備局等が保有するMMSを道路管理業務に利用するため、以下の2点についても研究を継続する必要がある。

- 1) 実際の現場に存在する複雑な形状のポットホールや他の路面変状に対する応用の可能性。
- 2) MMSで同時に取得される画像データと点群データとを併用し、変状等の検知精度を向上する方策。

そのため、本年度、各地方整備局等が全国で取得する三次元点群データ等を用いて、これらの課題の検証方法について検討を行う。

参考文献

- 1) 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>
- 2) 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

糸氏敏郎



国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本情報基盤研究室 主任研究官
Toshirou ITOUJI

今野 新



研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本情報基盤研究室 研究員、現 国土交通省中国地方整備局岡山河川事務所防災情報課長
Arata KONNO

関谷浩孝



研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本情報基盤研究室長、現 道路交研究部高度道路交通システム研究室長
Hirotaka SEKIYA