歩道計測型MMSを用いた歩道空間の バリア評価手法

江守 央¹・佐田 達典²・岡本 直樹³・岩上 弘明⁴

¹正会員 日本大学助教 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

E-mail: emori.hisashi@trpt.cst.nihon-u.ac.jp

²正会員 日本大学教授 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

E-mail: sada.tatsunori@nihon-u.ac.jp

³学生会員 日本大学大学院 理工学研究科社会交通工学専攻 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

E-mail: csna15003@g.nihon-u.ac.jp

⁴正会員 株式会社ニコン・トリンブル (〒144-0035 東京都大田区南蒲田2-16-2 テクノポート三井生命ビル)

E-mail: iwakami.hiroaki@nikon-trimble.net

近年, MMSによる3次元点群データの活用が注目をされている. 特に道路空間においては, 道路上から見える路面・道路構造物・周辺の樹木などの点群データを取得することにより道路の基礎情報として道路計画等に活用されつつある. 一方, 歩道空間においては, 超高齢社会を迎えた我が国では移動円滑化促進が必要とされており, 歩道空間の平坦で連続的な移動が求められている. このようなバリアフリーに向けた整備において, 歩道の状況を的確に把握することは重要な課題とされている. このようなことから本稿では, 歩道を歩行しながら計測する歩道計測型MMSを用いて計測した歩道空間の3次元点群データより, 歩道空間のバリア評価を実施し, その有用性について考察する.

Key Words : laser scanner, barrier-free design, point cloud data, sidewalk, mobile mapping system

1. はじめに

近年, Mobile Mapping System : 移動計測車両測量システム (以下, MMS) から得られた3次元点群データ (以下, 点群データ) による地物の現況把握に関する取組や検討が急速に進められている. これらの技術開発は高度化が進められており, 例えば, 村山ら¹⁾の「モービルマッピング技術の基本性能検証実験」による精度検証に代表されるように計測技術の応用に向けた研究が盛んに行われている. このMMSの多くは自動車載型であり, GNSS衛星による測位, 高精度ジャイロによる慣性航法システム, デジタルカメラによる画像計測, およびレーザ計測など機器を構成して計測する技術である.

このようなMMSで取得された点群データの活用の一つに道路空間に応用する例があるが, そのうち歩行空間に着目すると, これまでの自動車載型による車道側からの計測で取得した点群データには大量のデータがある. しかし, 車道からの計測では, 樹木や柵などのオクルージョンによる影響により歩道空間に関する詳細を得ることが難しいと考えられてきた.

一方, 超高齢化社会を迎えつつある我が国において, 移動の連続性を確保するためには歩行空間にバリアのない平坦性を確保することは急務であり, 歩道空間の計測が今後の整備やメンテナンスの視点からも必要である. また, このような歩道の移動円滑化については「高齢者, 障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律」²⁾に基づき, 各地の市町村など自治体では基本構想策定を行ないバリアフリーに向けた整備計画を行なっている. この策定にあたっては, 高齢者や障がい者などの住民の参加によるワークショップによって合意形成を得ることが一般的である. このワークショップでは, 参加者の相互理解を深め, 実効性のある議論ができるような工夫として, 目視によるバリアチェックとなるまち歩きが実施される. しかし, このようなまち歩きには時間的制約や天候, 参加者の体調などによって正確な意見の聴取や議論ができない場合があることが課題とされている. このような場面において, 歩道空間を計測した点群データの可視化技術による活用も想定できる.

以上の視点から, 歩道のバリア評価について, 例えば, 牧ら³⁾は「歩道の凹凸評価方法に関する研究」によって

歩道の快適性評価の一つとして、車椅子に取り付けた加速度計による振幅積分値から分析を行っているなど、知見は増えつつある。しかし、この手法は簡易的に広範囲で評価を行う場合には適さない。また、MMSの歩道空間への活用とそのデータ取得については、江守ら⁵⁰⁾は手押し台車型MMSの基本的な性能について水準測量および車両型MMSとのデータ比較を行っている。この観測精度の検証により、車両型MMSよりも歩道空間での活用には有用なデータが取得できることを明らかとした。しかし、歩道空間を短時間に網羅的に行いつつ、障害物となり得る凹凸の内容を把握する課題は未だに残っている。さらに、合意形成手法における情報技術の活用については、田中ら⁷⁾の「インターネット利用による合意形成支援システムの研究」においてワークショップの実践にWebシステムを導入し、従来の手法と比較して成果を挙げているなど、情報技術の活用事例が増えつつある。しかし、MMSで取得された点群データの活用を行なった事例は極めて少ない状況にある。

そこで、本研究では歩道計測型MMSで取得した点群データを用いて、歩道空間のバリア評価を簡易的に行う手法として、歩道空間の路面バリア状況の可視化手法の検討を行うことを目的とする。

2. 点群データ計測実験

(1) 計測機器について⁹⁾

本研究で使用した歩道計測型MMSは図-1に示すとおり、ニコン・トリンプル社のレーザスキャナであるTrimble MX2とGNSS装置、慣性計測装置、デジタルカメラ等の機器を手押し台車に搭載した装置である。また、各装置に電力を必要とするためバッテリーを装備している。この機器は、人間が歩道を手押しで概ね3-4km/hの速度で歩行し計測し、3次元位置情報等の高精度ジオリファレンス空間データを点群として収集するものである。

図-1 歩道計測型MMSの概要と計測風景

a) Trimble MX2_Dual laser head

レーザの照射によって毎秒72,000点の点群を取得するシステムであり、点群データは200Hzで出力するため記憶装置としてPCを搭載している。また、仕様書⁹⁾によると水平精度は0.020-0.050m、鉛直精度は0.130-0.240mとされており、0.010mごとの点群密度のデータが取得できる。そのため本研究の簡易的なバリア評価に対しては十分な点群データが所得できる。

b) GNSS装置と慣性計測装置

慣性計測装置は3軸の高精度加速度センサを内蔵した慣性航法装置で、GNSSの位置情報をシームレスに補完することが可能である。

これにより、点群データの位置情報を取得することが可能となる。

c) デジタルカメラ

6方向に搭載したデジタルカメラによってレーザで取得した各点群データと位置情報のマッチングを行うことで、取得した点群データそれぞれの色情報を取得することができる。

これにより、点群データの色情報を取得することが可能となる。

以上より得られた点群データを解析ソフトRiSCAN PRO 2.0 RIEGLsにより解析を行うことにより、空間全体および選択する部分の可視化などが可能であるため、様々な活用が想定されている。

(2) 点群データ取得実験概要

2015年5月16日午後の2時間（天候：雨のち晴れ）に計測ルートが約400mの歩道を1往復（測定距離は800m）歩道計測型MMSにより点群データ取得実験を行った。実験場所は図-2に示す千葉県船橋市、日本大学理工学部船橋キャンパス付近の歩道から計測を行った。この歩道はインターロッキングブロックの舗装面で街路樹、ベンチ、ポラード、標識が設置されており、根上がりや舗装面の劣化などがみられる。

図-2 計測実験場所

```

graph LR
    A[作成した区間ことこのデータセット] --> B[分析区間のバリアチェック]
    A --> C[等高線の作成]
    B --> D[一バリアの種類と位置確認  
目視による検出]
    C --> E[等高線の作成  
一高さを色の明度で表現する]
    D --> F[評価]
    E --> F
  
```

作成した区間ことこのデータセット

分析区間のバリアチェック

一バリアの種類と位置確認
目視による検出

等高線の作成
一高さを色の明度で表現する

評価

一フィルタリング一
選定した区間を選択

一解析データセット作成一
選択区間の抽出

一高さ合わせる一
標高の平均値から上下0.05mとする

1 177

表-1 目視による区間ごとのバリアの種類と検出数

バリア種類	バリアの長さ	0~10m	10~20m	20~30m	30~40m	40~50m	50~60m	60~70m	70~80m	80~90m	90~100m	計
歩道面の凹凸	2cm程度	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2
マンホール	5cm程度	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	4
根上がり	5cm程度	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
ボラード/ベンチ	1m程度	3	3	2	2	3	5	4	5	4	4	35
街路樹/標識	5m程度	2	0	0	0	0	2	0	0	1	0	5
計		6	3	3	2	4	11	5	5	5	4	48

図-7 目視によるバリアチェックの例 (50-60m区間)

(0.05m程度)部分が凹んでいる箇所などが目視できた。また、歩道路面のインターロッキングブロックの劣化により「凹凸」(0.02m程度)が生じている箇所などが散見された。

(2) 分析区間ごとの可視化とバリア評価の結果

分析区間を10mごとにデータを作成した上で、Cycle値は1, 2, 3, 4, 5, 10と6つのパターンで可視化しバリア検出を実施した。以下図-8から図-17に各区間の評価結果を示す。これは、前述の分析区間のバリアチェック検出結果と6パターンのCycle値で出力した画像を比較して、それぞれのバリアが確認できるかを評価したものとなる。バリア検出の基準として色相差の違いを暖色と寒色の差があるものを目視による判断で検出を行なった。また、歩道自体の縦横断勾配については、例えば図-8のCycle値10のように色相差が波状に表現されるが、その上で色相差のある部分を検出することとする。

その結果、各区間に存在する「ボラード」はどのCycle値で表現した画像でも概ね検出できたものの、「凹凸」や「マンホール」は全てをで確認することが難しいことが伺えた。一方、図-13の50-60m区間や図-14の60-70m区間に存在する大きく路面を盛り上げた状態である「根上がり」はCycle値が4, 5で出力することで確認することができた。

さらに、6パターンのCycle値で出力された画像比較すると、Cycle値が上がるにつれ路面の横断勾配や傾斜

が顕著に現れることとなるため、Cycle値10以上では評価がし難いことが伺えた。また、緩やかな勾配も色相差として表現されることから、不明なバリアとして検出されることも確認できた。

また、歩道計測型MMSで取得された点群データを使用したことで、これまでの車両型MMSで車道側から取得された点群データと異なり、例えば「ボラード」などの影などの影響が少なく歩道面の評価が可能であることがわかった。

図-8 Cycle値ごとのバリア評価 (0-10m区間)

図-9 Cycle値ごとのバリア評価 (10-20m区間)

図-10 Cycle値ごとのバリア評価 (20-30m区間)

図-11 Cycle値ごとのバリア評価 (30-40m区間)

図-15 Cycle値ごとのバリア評価 (70-80m区間)

図-12 Cycle値ごとのバリア評価 (40-50m区間)

図-16 Cycle値ごとのバリア評価 (80-90m区間)

図-13 Cycle値ごとのバリア評価 (50-60m区間)

図-17 Cycle値ごとのバリア評価 (90-100m区間)

図-14 Cycle値ごとのバリア評価 (60-70m区間)

(3) Cycle値ごとのバリア評価の結果

以上の分析区間10mごとに行なったCycle値1, 2, 3, 4, 5, 10の6つのパターンでの評価として、バリアの種類ごとに検出した総数を表-2に示す。総数ではCycle値1, 2, 3, 4, での検出に大きな差は無いことがわかり、Cycle値5以上では、バリア以外の緩やかな傾斜などが不明な地物として表現されることがわかった。

また、「マンホール」や「根上がり」などの0.05m程度のバリアにはCycle値4が検出数から最も適していることが同える。これは、本研究では解析データセットに高さ0.1mを用いており、0.025mで1サイクルとなる色相であるCycle値4が適していたと考えられる。

表-2 Cycle値ごとのバリアの種類と検出総数

バリア種類	バリアの高さ	Cycle1	Cycle2	Cycle3	Cycle4	Cycle5	Cycle10
歩道面の凹凸	2cm程度	1	1	1	1	0	0
マンホール	5cm程度	1	1	1	4	2	1
根上がり	5cm程度	1	1	1	2	1	0
ボラード/ベンチ	1m程度	33	33	35	35	34	22
街路樹/標識	5m程度	5	5	5	5	4	1
計		41	41	43	47	41	24
不明		1	1	1	2	5	12

一方、「凹凸」などより微細な0.02m程度のバリアや、標識など平面上では小さな地物については、Cycle値5以上では検出し難く、さらにデータの誤差などの色相差が生じて、不明な検出もされることがわかった。

5. まとめと今後の課題

本研究では、超高齢社会に対応する歩行者の移動連続性確保のための凹凸などの歩行上のバリアの把握を行うため、歩道計測型MMSで取得された点群データの活用の一つとして可視化手法の検証を行った。その結果、歩道から取得された点群データを用いることで、バリアの有無を簡易的に表現出来ることが伺えた。これは、これまでの車両型MMSで取得されたデータでは得られない歩道からの計測により、オクルージョンによる影響を受けにくい状態での計測が行えたことが考えられる。また、この点群データの可視化の際に、歩道路面上の「凹凸」などの0.02m程度のバリアの検出には少なくともCycle値は4以下として、さらに「マンホール」や「根上がり」などの高低差0.02m程度のバリアの検出にはCycle値4とすることが最適である。つまり、検出すべきバリアの高さが1サイクルとなるCycle値とすることが必要であることが確認できた。

本研究では、横断歩道や歩車道境界部などの段差などは対象外としているが、移動の連続性を考慮すると重要であり、その分析に至っていないため、今後は対象として分析する必要があると考える。

謝辞

今回、本研究にご協力いただいた日本大学理工学部交通システム工学科4年加瀬田光平君に心より謝意を表します。

参考文献

- 1) 村山盛行, 佐田達典, 金網淳次, 清水哲也, 丹野貴之, 岡田雅人: モービルマッピング技術の基本性能検証実験, 土木情報利用技術論文集, vol.18, pp.117-124, 2009.
- 2) 国土交通省, バリアフリー・ユニバーサルデザイン総合政策 HP: <<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/barrierfree/>>, (入手 2016.10.20) .
- 3) 牧恒雄, 竹内康, 松田誠: 歩道の凹凸評価方法に関する研究, 第1回舗装工学講演会講演論文集, vol.18, pp.151-158, 1996.
- 4) 石田眞二, 亀山修一, 福原敏彦, 笹原篤: 逐次2角法を用いた小型プロファイラによる歩道の平坦性測定, 土木学会舗装工学論文集, Vol.7, pp.16-1-16-8, 2002.
- 5) 江守央, 佐田達典, 今村一紀, 小川達也, 岩上弘明: 手押し台車型 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, Vol.71 No.2, 1186-1191, 2015.
- 6) 江守央, 佐田達典, 岡本直樹, 長野貴文: 歩道計測型 MMS を用いた歩道空間の平坦性評価に関する研究, 土木情報学シンポジウム講演集 Vol.41, pp.63-64, 2016.
- 7) 田中 恵, 深町 駿平, 伊藤 孝紀, 伊藤 孝行, 秀島 栄三: インターネット利用による合意形成支援システムの研究 - AICHI 街づくりデザインリーグを事例とする-, 日本建築学会大会学術梗概集(関東), pp.899-900, 2015.
- 8) 国土技術研究センター: 増補改訂版 道路の移動等円滑化整備ガイドライン, 大成出版社, 2011.
- 9) Trimble_HP : <<http://www.trimble.com/Imaging/Trimble-MX2.aspx>>, (入手 2016.6.20) .
- 10) 船戸智也, 佐田達典: モバイルマッピングシステムを用いた道路構造物データの抽出手法に関する研究, 応用測量論文集, Vol.23, pp.68-79, 2012.

(2016. 10. 27 受付)

STUDY ON UNEVENNESS EVALUATION METHODS OF THE SIDEWALK PAVEMENT SURFACE BY MOBILE MAPPING SYSTEM FOR SIDEWALK MEASUREMENT

Hisashi EMORI, Tatunori SADA, Naoki OKAMOTO and Hiroaki IWAKAMI

Utilization of three-dimensional (3D) point group data collected for mobile mapping systems (MMS) has received wide-spread attention recently. Particularly in road spaces, people use such data from road planning and maintenance as basic information after obtaining point group data of roads, road structures, and nearby trees and vegetation, which often have a complex configuration. However, Japan's super-aging society needs advanced facilities for smooth travel over sidewalk spaces, which must be flat and even to allow the continuous travel of pedestrians. Moreover, evaluating sidewalk space cir-

cumstances properly is a necessary aspect of barrier-free construction. Nevertheless, because of obstruction by roadside trees, fences, and other features, 3D point group data that are commonly collected by in-car MMS have not shown sidewalk space conditions. For this study, the authors collected 3D point group data of sidewalk spaces using a hand-driven MMS while walking in the area. We evaluated sidewalk surface irregularities to assess the usefulness of data provided by the system.