

3次元点群による損傷データを用いる Web 型道路維持管理システムの提案

村上 篤志*・窪田 諭**・安室 喜弘***

Atsushi MURAKAMI*, Satoshi KUBOTA**, and Yoshihiro YASUMURO***

Proposal of web-based road maintenance management system using damage data visualized in three-dimensional point cloud

Many of infrastructures were intensively developed during period of rapid economic growth. There are approximately 720,000 road bridges in Japan, the percentage of facilities that are more than 50 years old is expected to increase to 52% by 2029. There is concern that the demand for maintenance and management will increase in the future due to aging. Therefore, it is necessary to maintain road more efficiently and strategically. In road maintenance management, two-dimensional data are used. However, it is difficult to grasp the detailed structure of bridges and slopes and inspection points. There is a problem that inexperienced engineers may not have a correct understanding of the on-site situation. In this study, we propose a system that measures and visualizes road damage as three-dimensional point cloud data and visualizes it on a two-dimensional map, in order to improve the efficiency of maintenance work and to accumulate data.

Keywords: 道路維持管理 (road maintenance), 3次元点群データ (three-dimensional point cloud data), WebGIS, 情報システム (information system)

1. はじめに

我が国では、高度経済成長期に集中的に建設された道路構造物が多く存在する(国土交通省, 2020)。今後、それらの高齢化により、劣化、損傷などの不具合が多く発生することが予想されており、適切な道路維持管理の重要性が認識されている。地方公共団体では多くの施設の維持管理を行っているが、それらの施設の規模、構造、周辺環境や利用状況などは様々であり、維持管理・更新にあたって留意すべき事項もそれぞれ異なっている。このため、個々の施設特性を踏まえた維持管理・更新にあたっての留意事項を蓄積し、継承していくことが重要である(国土交通省社会資本整備審議会・交通政策審議会, 2013)。しかし、建設後長期にわたって運用されている道路構造物では、過去の点検、補修記録などの資料が蓄積されておらず、適切な維持管理の実現には課題がある。

道路維持管理を支援するために情報システムを開

発した研究として、窪田ほか(2018)は、紙の2次元地図と3次元プリンタを活用し、RFID(Radio Frequency Identifier)によって現場と事務所とで情報を共有する。ただし、3次元プリンタで出力するための手順に時間とコストを要する課題がある。江本ほか(2019)は、AR(Augmented Reality)によって点検時に必要な情報である橋梁の基本諸元データや点検・補修履歴、橋梁の3次元モデルを閲覧するシステムを提案した。しかし、橋梁と簡易な3次元モデルに可視化したのみで、損傷の詳細が可視化されていない点と3次元データの蓄積を含むシステムの運用方法について課題がある。

そこで、本研究では、道路維持管理業務の効率化とデータの蓄積を目的として、道路の舗装面と構造物の損傷を視覚表現に優れ、情報共有が容易な3次元点群データとして計測し、これを損傷の概要とともに2次元地図上に可視化するシステムを提案する。ここでは、3次元点群データの取得・処理方法、損

* 学生会員 関西大学大学院理工学研究科 (Kansai University Graduate School)

** 正会員 関西大学教授 環境都市工学部 (Kansai University)

〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 E-mail : skubota@kansai-u.ac.jp

*** 非会員 関西大学教授 環境都市工学部 (Kansai University)

傷の位置を地図上に可視化する方法を考察し検証する。本研究における道路の損傷は、ひび割れ、ポットホール、ガードレール損傷を対象とする。

2. 道路維持管理システムの設計

2.1. 道路維持管理の現状と課題

現状の道路維持管理は、大量採用世代の退職や道路管理に携わる技術職員の減少と不足が指摘されている中で、膨大な施設を点検し、運用することが要求されている。道路維持管理では、道路管理者が点検計画を策定し、点検する。ひび割れ、ポットホールなどの損傷が、住民からの通報、あるいは、職員によるパトロール点検によって発見された際に、補修工事が行われる。損傷は写真として保管・管理され、職員によって閲覧される。最近では、スマートフォンによって取得した画像から深層学習を用いて道路点検を行う仕組みが提案（前田ほか；2018）されている。しかし、2次元の写真では、現場で撮影した角度の決まった視点からしか損傷を確認することができず、損傷を複数の視点から確認するためには、複数の2次元データが必要となる。また、2次元データを用いた管理では、橋梁や法面の詳細構造や点検箇所を把握しづらいことや、点検者と補修担当者が異なる場合や経験の浅い技術者の場合に点検者が現場の状況を正しく理解できないことがある。適切な維持管理を行うためには、道路管理従事者の間で情報を共有することが重要であり、視覚表現に優れ、情報共有が容易な3次元データの利用が有効である。道路維持管理において、MMS (Mobile Mapping System) や地上型レーザスキャナによる3次元点群データを用いる手法が提案（土橋・長田；2020）されている。ただし、これらの手法では、データを構築する時間コストや機器が高価であることなどの課題がある。国土交通データプラットフォーム、My City Construction や東京都の PLATEAU などでは3次元点群データが公開されているが、我が国全域のデータは整備される途上である。

2.2. システム設計方針

本研究では、3次元データが我が国全域で整備されておらず、地方道路では十分に計測されていない



図-1 対象物

ことを考慮し、これを基盤とした地図を用いるのではなく、既存の2次元地図を基盤に、道路損傷の位置を管理するシステムを提案する。損傷は写真としてではなく、一つのデータで複数の視点から閲覧して、詳細な凹凸を確認できる3次元点群データとして閲覧する。システムでは、スタンドアロン型とWeb型のそれぞれのGISについて検討した。本研究では、事務所内で複数の職員が過去の損傷データを確認し、点検・補修現場で職員がデータを閲覧するため、Web型システムとして開発を行うこととする。道路管理者は3次元点群データをWeb上で閲覧する。損傷を3次元点群データで計測すると、周辺状況を把握することが困難であるため、将来的には全域の3次元データが整備され、それを基盤とすることを目標とする。

2.3. 3次元点群データの取得と処理

3次元点群データの計測方法としては、地上型レーザスキャナを用いる手法、カメラから映像または画像データを取得し SfM/MVS (Structure from Motion/Multi View Stereo) 処理により計測する方法、携帯型 LiDAR (Light Detection and Ranging) スキャナを用いて計測する方法などが挙げられる。地上型レーザスキャナを用いる方法は、正確な3次元点群データを計測できるが、1つのデータを計測するために15分から30分ほど時間がかかる。また、機器とデータ処理についての専門的な知識が必要である。

携帯型 LiDAR スキャナを用いる方法として、LiDAR が搭載されたスマートフォンやタブレット端末からアプリケーションを用いて3次元点群データを計測する方法を実験した。予備実験では、まず、

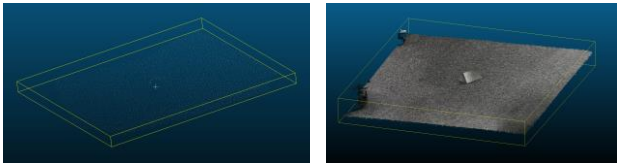


図-2 計測した点群データ
(左：3d Scanner App 右：SfM/MVS 処理)



図-3 中心間 0.5m のマーカ

Laan Consulting Corp 社製の 3d Scanner App を用いて、図-1 の三角柱を対象とし 3 次元点群データを計測した。実験より数十秒でデータを取得できるが、点群データ (図-2 左) から対象物を確認することができなかった。これは計測した点群データの密度が低いためである。次に、カメラで同じ対象物の映像または画像データを取得し、SfM/MVS 処理を行った。その結果を図-2 右に示す。携帯型 LiDAR スキャナを用いて計測する方法に比べ、計測と処理に時間を要するが、点群データの密度が高く対象物を目視で確認することができた。そこで、本研究では、アクションカメラやスマートフォンなどで撮影した損傷の動画あるいは画像を用いて、Agisoft 社製の Metashape を用いて SfM/MVS 処理により 3 次元点群データを構築する。

SfM/MVS 処理による 3 次元点群データは、点間の相対的な距離しか保持していない。道路管理者が損傷の大きさを把握するために、実寸に変更する。そこで、撮影時に長さの目印となるマーカを設置し、中心間の距離が 0.5m であるマーカ (図-3) と損傷の動画を撮影することを考えた。マーカは、長さを計測でき、画像に明確にうつる標尺や巻尺でもよい。3 次元点群データにうつるマーカを基に点群データ編集ソフト CloudCompare において Point picking の distance between 2points 機能を用いて、取得した 3 次元点群データの中にあるマーカの中心間距離を計

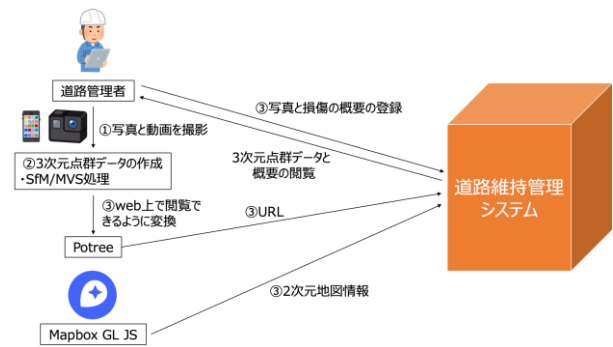


図-4 システム構成

測する。次に、Edit 機能の Multiply/Scale によって中心間距離をマーカの実寸である 0.5m となるように変更する。Scale の値は初期値では 1 に設定されているので、中心間距離をマーカの実寸である 0.5m となるように変更する。

3 次元点群データの閲覧には、既存の CloudCompare や Web で利用可能な 3D Point Studio などのビューワが用いられることが多い。しかし、これらのビューワは、開発する Web システムに組み込むことができないので、本研究では Web 上で 3 次元点群データを閲覧でき、システムに組み込むことができるオープンソースの 3 次元点群データのビューワである Potree を用いる。Potree で 3 次元点群データを閲覧するためには、Las ファイル形式の 3 次元点群データを PotreeConverter を用いて html ファイルに変換する。

2.4. 損傷の位置を地図上に可視化

3 次元点群データとして計測した損傷と損傷の概要を 2 次元地図上に可視化するために、損傷を発見した位置を特定する必要がある。そこで、本研究では、アクションカメラ GoPro を用いて GPS 機能をオンにして撮影した画像の EXIF 情報から、画像解析ツール GetGPSInfo によって緯度・経度情報を取得する。

3. システム開発

3.1. 開発環境

本システムは、設計方針に基づき 2 次元地図として Mapbox GL JS を用いて、XAMPP 上に開発する。Mapbox GL JS は、Web ブラウザ上で、2 次元およ



図-5 システム画面

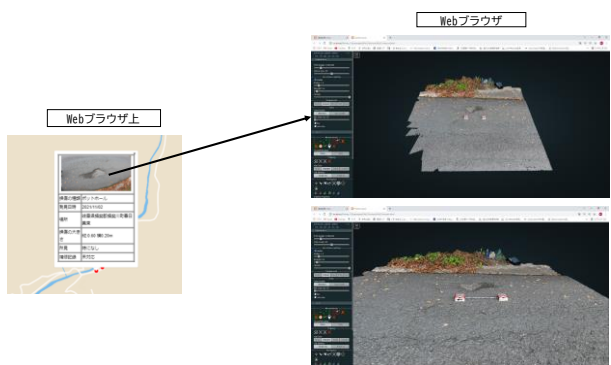


図-6 3次元点群データの表示

び3次元の自由にカスタマイズ可能な地図を生成することができるJava Scriptライブラリである。本システムは、2次元の地図としてOpenStreetMapを用いて開発した。

3.2. システム構成

本システムの構成を図-4に示す。道路管理者がシステムにデータを登録する流れは次のとおりである。

- ①パトロールで発見した損傷の動画を撮影する。
- ②動画データから3次元点群データを作成する。
- ③3次元点群データをPotreeConverterを用いて変換する際に設定するディレクトリと、アップロードするWebサーバのドメインから構成されるURLと写真、損傷の概要をMapbox GL JSを用いた2次元地図を表示したシステムに登録する。

道路管理者が、Webブラウザからシステムにアクセスし、上記の手順で登録したデータを閲覧する。本研究では、筆者がデータを登録した。

3.3. システム機能

本システムの画面構成を図-5に示す。本システム

の機能を次に開発する。

3.3.1. 3次元点群データと損傷の概要の閲覧機能

撮影した写真に付与されたEXIF情報を解析した緯度・経度を基に、損傷を発見した位置をマーカーを用いて2次元地図上に可視化する。本システムでは、緯度・経度を直接ソースコードに入力した。これをクリックすると図-6に示すポップアップが表示され、写真と損傷の概要を閲覧できる。ポップアップに表示される写真をクリックし、3次元点群データをPotreeで閲覧する。

3.3.2. ソート機能

Mapbox GL JSでは、地形情報、構造物情報、道路情報などを保持したLayerを重畳して2次元地図が描画される。Mapbox GL JS内のSymbol Layerをひび割れ、ポットホール、ガードレール、補修済みに対してそれぞれ1つずつ作成し、既存の地形情報などを保持したLayerに重畳して、2次元地図上にマーカーを可視化する。Symbol Layerの表示・非表示の切り替えにより、2次元地図上に表示される損傷の種類を変更する。

3.3.3. 住所検索機能

住所検索機能は、Mapbox GL JSのMapboxGeocoderを用いて実装した。検索ボックスに、地名もしくは施設名を入力し検索すると、その地点にマーカーが表示され、マーカーを中心とした地図が描画される。

4. システム評価

4.1. 評価概要

本システムの有用性を評価するために、元地方公共団体職員1名、道路舗装会社3名、建設コンサルタント2名、橋梁点検会社2名の計8名を対象に評価実験を行った(図-7)。システムに登録したデータは、ひび割れとガードレール損傷を各1箇所、ポットホールの2箇所を対象とする3次元点群データと損傷の概要である。登録したポットホールの3次元点群データの1つを図-8に示す。このデータの点数は15,419,750点、データサイズは735MBである。評価では、筆者がシステムの概要を説明した後、システムにアクセスし、画面操作を閲覧してもらった。そして意見交換を行い、計測された3次元点群デー

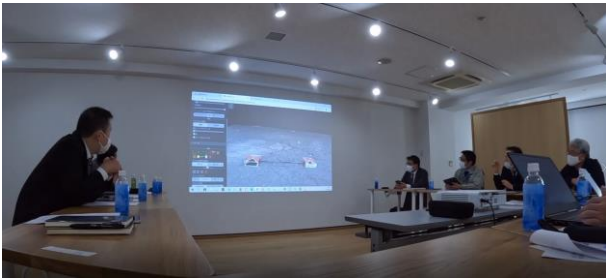


図-7 評価実験の様子



図-8 ポットホールの3次元点群データ

タとシステムの有用性の観点から優位点と課題を抽出した。

4.2. 評価結果

4.2.1. 3次元点群データについて

計測した3次元点群データに関して、3次元点群データから、深層学習などを用いて劣化予測や補修にかかるコストを算出できるとよいという意見を得た。一方で、維持管理において損傷を3次元化する必要があるのかとの指摘もあった。これについては、3次元点群データを多角的に動作させる画面を閲覧してもらい、損傷の細かな凹凸まで確認できるのは良いという意見を改めて得た。

4.2.2. システムの有用性について

システム機能の観点については、道路管理は3次元に加えて、過去の補修記録や点検記録とともに管理する4次元的管理が求められているという意見を得た。また、道路の舗装面と構造物だけでなく、橋梁やトンネルを対象とすると、地方公共団体ではより有用性があるという意見も得た。システム運用に関しては、静岡県浜松市や島田市などでは、住民が損傷を発見した際に通報するシステムの整備はされているが、通報されたデータの蓄積が行われてい

ないので、本システムを用いると良いという意見があった。今後は、システム化が進んでおらず、点検記録や補修記録などのデータの整備が進んでいない地方公共団体を対象とし、システムの実証実験を行い、現場の方からフィードバックを受け、より完成形に近づけていくとよいという意見もあった。

4.3. 考察

4.3.1. 3次元点群データによる損傷の可視化

3次元点群データを用いて道路構造物の損傷を可視化する方針について、評価実験では、損傷を3次元化することに疑問が呈された。しかし、3次元点群データを多角的に動作させる画面を閲覧してもらった結果、損傷の細かな凹凸まで任意の角度から確認できるのは良いという意見を得て有用性が示唆された。本研究では、損傷を3次元点群データとして計測し、それを蓄積することを目的とする。この蓄積した3次元点群データから差分解析を行えば、経年変化を確認することができると思う。また、意見にもあるように計測した3次元点群データから深層学習を用いて劣化予測や補修コストを算出できる可能性がある。このように、損傷を3次元化するだけでなく、過去の3次元点群データとともに管理する4次元的管理について検討する。

4.3.2. 道路維持管理システムの展開

本システムは、道路維持管理業務の効率化とデータの蓄積を目的として開発した。評価実験で、住民が損傷を発見した際に通報するシステムは整備されているが、通報されたデータの蓄積が行われていないので、本システムを用いると良いという意見があり、データを蓄積する有用性が示唆された。道路維持管理業務の効率化については、小規模かつデータの整備が進んでいない地方公共団体を対象として、本システムを用いて維持管理の実践を行い、改善を行って有用性を高める。評価実験から、道路は3次元でなく、過去の補修記録や点検記録もともに管理する4次元的管理が求められているという意見があった。現在のシステムは、1つのマーカに対して、1つのポップアップが表示される仕組みであるが、今後は過去の点検記録を登録できるように複数個ポップアップが表示される仕組みを追加する。また、

本システムは、データベースを使用せずに開発を行ったため、地図上に可視化する損傷が多くなると、ソースコードが煩雑になり、データを登録する際に時間がかかる。そのため、今後は、データベースを用いたシステム開発について検討する。さらに、1つの Web ブラウザでシステム画面と Potree が表示され 3 次元点群データを閲覧する方法と、ツールを使用せず、システム上で緯度・経度情報を取得することができる仕組みについても検討する。

5. おわりに

本研究では、道路維持管理業務の効率化とデータの蓄積を目的として、2 次元地図上に道路損傷位置を示し、3 次元点群データで表した損傷とその概要を閲覧する WebGIS を開発した。道路維持管理の専門家複数名による評価実験を行い、道路損傷を 3 次元点群データとして計測し、データを蓄積する有用性が示唆された。一方で、過去の補修記録や点検記録とともに管理する 4 次元的管理が要求され、新たなニーズが明らかになった。今後は、データベースを用いたシステム開発、システムの機能拡張のためにスタンドアロン型システムの開発と 4 次元の維持管理の方法について検討する予定である。

謝辞

システム評価実験にご協力いただいたアイセイ株式会社、株式会社アイ・エス・エス、株式会社ガイアート、株式会社エコワークの各位に感謝の意を表します。

参考文献

前田紘弥・檜山武浩・関本義秀・瀬戸寿一・小俣 博司 (2018) 機械学習とスマートフォンを用いた道路の損傷画像のリアルタイム検出と修繕対応基準における各特徴量の重要度比較。「交通工学論文集」, 4 (3), A1-A9.

江本久雄・小野智生・中村秀明・河村圭(2019)橋梁カードによる AR を用いた点検情報へのアクセスの効率化。「土木学会論文集 F3 (土木情報学)」, 75 (2), II_25-II_33.

窪田諭・廣田嘉一・星加匡敦・南賢樹・鈴木泉・渡邊大介・丸山明 (2018) 2 次元地図と 3 次元プリンタモデルを用いた道路維持管理システムの提案。「土木学会論文集 F5 (土木技術者実践)」, 74 (1), 1-10.

国土交通省社会資本整備審議会・交通政策審議会 (2013) 今後の社会資本の維持管理・更新のあり方についての答申。 <<https://www.mlit.go.jp/common/001023147.pdf>>

国土交通省 (2020) 国土交通白書。 <<https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r01/hakusho/r02/index.html>>.

土橋浩・長田隆信 (2020) インフラデータプラットフォームの活用インフラマネジメントから防災情報システムへ。「AI・データサイエンス論文集」, 1.1 (J1), 17-24.