

(68) 橋梁の 3 次元点群データを用いた ヒートマップによる損傷の可視化

山口 愛加¹・関 和彦²・窪田 諭³

¹ 学生会員 関西大学大学院 理工学研究科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3 丁目 3 番 35 号)

E-mail: k422541@kansai-u.ac.jp

² 学生会員 関西大学大学院 理工学研究科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3 丁目 3 番 35 号)

E-mail: k078673@kansai-u.ac.jp

³ 正会員 関西大学教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3 丁目 3 番 35 号)

E-mail: skubota@kansai-u.ac.jp

高度経済成長期以降に建設された社会基盤施設の老朽化により維持管理需要が高まる一方で、点検技術者の不足が問題となっている。橋梁点検においては、点検対象となる橋梁や部位が膨大にあるため、全ての橋梁のうち、より詳細な点検を行う対象の橋梁を明確にする一次スクリーニングの技術が必要である。本研究では、橋梁の点検業務の効率化と点検者の安全の確保のために、詳細な目視点検の対象とする橋梁を把握することを目的として、橋梁の 3 次元点群データからヒートマップを作成し損傷を可視化する方法を提案した。実橋などにおける検証結果から、3 次元点群データからヒートマップを作成し、対象部位の凹凸によって損傷を可視化できることが示唆された。

Key Words: bridge inspection, maintenance, three-dimensional point cloud data, heat map

1. はじめに

我が国に約 73 万ある橋梁のうち、7 割以上の約 48 万橋が市町村道にある¹⁾。高度経済成長期以降に建設された橋梁が急速に高齢化し、2029 年には建設後 50 年を経過した橋梁の割合は全体の 52%となる。地方公共団体が管理する橋梁では、老朽化などの影響で通行規制を実施している数が 2008 年から 2018 年の 10 年間で 3 倍に増加した²⁾。2014 年には、道路利用者や第三者への被害の回避、落橋など長期にわたる機能不全の回避、長寿命化への時宜を得た対応などの橋梁に係る維持管理を適切に行うために必要な情報を得ることを目的として、橋梁の 5 年に 1 度の定期点検が規定された。定期点検では、目視点検を基本とした状態の把握と次回定期点検までの措置方針の参考とするための対策区分の判定や健全性の診断を行う。加えて、過去の点検結果を活用することや、維持管理の計画を検討することに参考にできるように、外観形状や損傷程度の状態データを取得する。さらに、定期点検は他の点検との役割分担のもとで、互いに情報を共有しながら適切に行われる必要があり、点検結果や補修などの情報を引き継ぐことが重要である³⁾。

しかし、点検対象となる橋梁や部位が膨大にあるため、

点検者が手間と時間を要しており、全ての橋梁のうち、より詳細な点検を行う対象の橋梁を明確にする一次スクリーニングの技術が必要である。また、高所にある橋梁は、点検車を出して点検するが、コスト、交通規制と安全面の課題があり、点検車を使用する計画を立てるために事前に損傷の状況を簡易に把握することが求められる。

国土交通省は、建設現場の生産性向上を目指し、全ての建設生産プロセスにおいて ICT や 3 次元データなどを活用する i-Construction を推進している。橋梁の点検に関する情報を 3 次元データ上で共有することにより、業務の効率化や緊急時に迅速に対応できると考える。また、橋梁の維持管理に 3 次元データを用いることにより、損傷の位置や連続性、橋梁全体の損傷を容易に把握できることから原因究明に役立つと考えられる⁴⁾。張⁵⁾や齊藤⁶⁾らは 3 次元点群データより、建物を対象に震災前後の損傷発見やコンクリートスラブの精度評価を行っているが、橋梁の維持管理には適用していない。

そこで、本研究では、橋梁の点検業務の効率化と点検者の安全の確保のために、橋梁の損傷を効率的に発見し、損傷の経年変化、位置、および橋梁全体の損傷を視覚的に把握することを目的として、橋梁の 3 次元点群データから面的な凹凸の損傷を見付け出す方法を提案する。そ

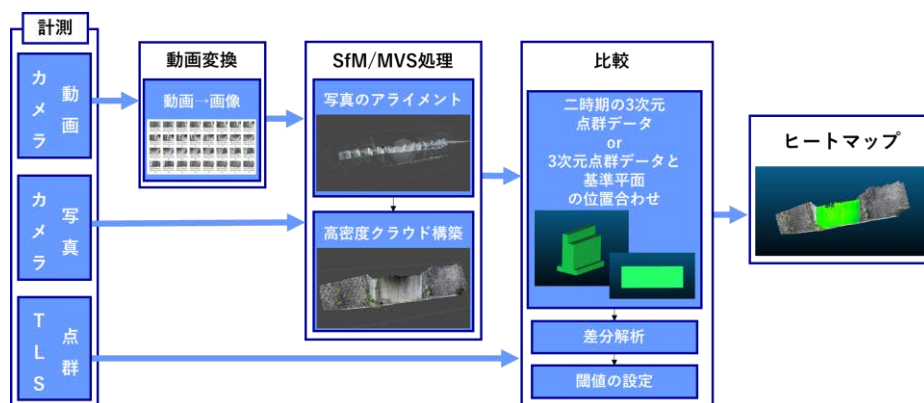


図-1 ヒートマップ作成のフロー

ここでは、橋梁の3次元点群データからヒートマップを作成し、損傷を可視化する。3次元点群データの取得あるいは生成には、地上設置型レーザスキャナ（Terrestrial Laser Scanner：以下、TLSと言う）、または、カメラによる写真測量を用いる。

2. 提案方法

(1) ヒートマップによる損傷の可視化

3次元点群データを用いてヒートマップを作成するフローを図-1に示す。橋梁の点検対象部位をTLS、または、カメラで計測する。TLSによる3次元点群データはそのまま利用し、カメラで撮影した動画は一定間隔で画像に切り出し、SfM（Structure from Motion）/MVS（Multi-View Stereo）処理により、3次元点群データを構築する。3次元点群データからヒートマップを作成するためには、点群処理ソフト CloudCompare を用いる。まず、Aligns 機能により、取得した二時期の3次元点群データの特徴点を手動で選択し位置合わせを行い重畳する。次に、Compute cloud / cloud distance あるいは、Compute cloud / mesh distance 機能により、重ね合わせたデータの差分比較を行いヒートマップを作成する。3次元点群データに対して閾値を設定して、現在の点群データが凹であれば緑から青で、凸であれば黄から赤で表現する。

(2) 現場状況の設定

橋梁の3次元点群データからヒートマップを作成するために、二時期の3次元点群データの取得について現場状況を2つ設定した。一つは対象橋梁の過年度の3次元点群データがある場合、もう一つは過年度の3次元点群データがない場合である。

過年度の3次元点群データがある場合は、過年度と現在の3次元点群データの差分を比較する。その方法として、①二時期のTLSによる3次元点群データの差分解析、②二時期のSfMによる3次元点群データの差分解析に加

えて、計測方法が現在と過年度で異なる場合を想定して③TLSの3次元点群データとSfMの3次元点群データとの差分解析を行う。

過年度の3次元点群データがない場合は、損傷がない面を疑似的に再現する基準となる平面を作成し、平面と3次元点群データとを比較する。基準平面は、橋梁が建設された当時の状態が望ましいが、当時のデータや図面がない場合は現在の計測データから作成する。基準平面は、④Cloud Compare の Primitive factory 機能を使う方法、⑤対象橋梁に対応して構築された3次元パラメトリックモデルを用いる方法、⑥RANSAC 機能を用いて点群データから面を生成する方法によって作成する。

(3) 使用機器

本研究では、橋梁の3次元点群データを取得するために、TLSとしてFARO社製のFocus3D X330を、カメラとして点検時の作業性を考え、簡易に利用できるGoPro社製のGoPro Hero9 Blackを用いた。

(4) 対象の損傷

ヒートマップを用いて見付け出す対象の損傷は、橋梁定期点検要領⁷⁾より、コンクリート部材の浮き、剥離・鉄筋露出、および、ひび割れとする。

3. 検証実験

(1) 実験概要

第2章の提案手法を検証するために、大阪府泉南市の童子畑橋、埼玉県鴻巣市の無名橋と関西大学内にある実験棟の壁面を対象に実験を行った。過年度の3次元点群データがある場合を想定して、童子畑橋では、方法①二時期のTLSによる3次元点群データの差分解析と方法③TLSとSfMそれぞれの3次元点群データとの差分解析、関西大学では方法②二時期のSfMによる3次元点群データの差分解析を行う。過年度の3次元点群データがない場

合として、童子畑橋と無名橋では方法④Cloud CompareのPrimitive factory機能により基準平面を作成する方法、童子畑橋では方法⑤対象橋梁に対応して構築された3次元パラメトリックモデルを用いる方法と方法⑥RANSAC (RANDOM Sample Consensus) 機能を用いて3次元点群データから面を生成する方法によって差分解析を行う。

(2) 過年度の3次元点群データがある場合

過年度の3次元点群データがある場合の検証では、損傷を疑似的に表現するために、図-2のようにコンクリートの浮きに見立てた厚さ約 1~2cm の紙粘土とウォールステッカーを橋台に貼り付けた。貼り付け前を過年度のデータ、貼り付け後を現在のデータとした。

a) 二時期のTLSによる3次元点群データの差分解析

童子畑橋の方法①二時期のTLSによる3次元点群データの差分解析によるヒートマップを図-3に示す。橋台の中央に緑、黄、赤色に変化した箇所が4箇所見られる。この位置が疑似損傷を貼り付けた位置と対応しているため、ヒートマップで損傷を可視化できることを確認した。また、図-3の赤枠で囲った箇所は黄色や赤色に変化している。これは、疑似損傷が他の疑似損傷より 1mm 厚かったことによるものであり、凹凸の度合いを色の変化で可視化できることを確認できた。

b) 二時期のSfMによる3次元点群データの差分解析

方法②二時期のSfMによる3次元点群データの差分解析結果を図-4に示す。図より、方法①と同様に疑似損傷を貼り付けた箇所に色の変化が見られたが、TLS点群同士の比較と比べて疑似損傷を貼り付けた箇所以外にも色が変化した。これは、SfMの3次元点群データの精度が劣るため、2つのSfMの3次元点群データがばらつき、凹凸があらわれたことが原因と考えられる。

c) TLSの3次元点群データとSfMの3次元点群データとの差分解析

方法③TLSの3次元点群データとSfMの3次元点群データとの差分解析結果を図-5に示す。方法①、②と同様に、疑似損傷を貼り付けた箇所に色の変化が見られ、ヒートマップで損傷を可視化できることを確認できた。ただし、SfM点群データは橋台の上部を計測できていないため、橋台全体の損傷を比較することができなかった。

(3) 過年度の点群データがない場合

a) Primitive factory機能を使う方法

図-6は、童子畑橋のTLS点群データに方法④Primitive factory機能で作成した基準平面を位置合わせし作成したヒートマップである。右岸側橋台の中央の赤枠で囲った箇所が青色に変化しており、コンクリートの剥離が生じていると考えられる。図-7左は無名橋のSfM点群データに方法④Primitive factory機能で作成した基準平面を位置

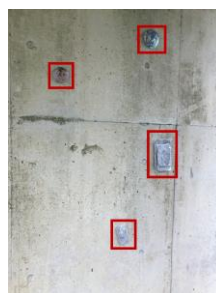


図-2 童子畑橋の橋台
堅壁に貼り付けた
疑似損傷

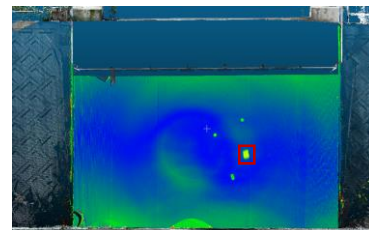


図-3 童子畑橋における方法①
によるヒートマップ

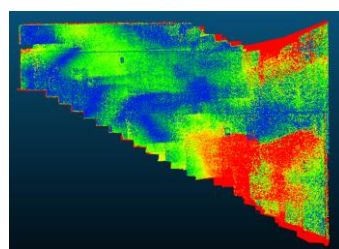


図-4 実験棟壁面における方法②によるヒートマップ

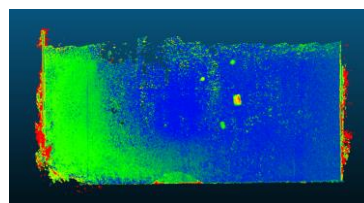


図-5 童子畑橋における方法③によるヒートマップ

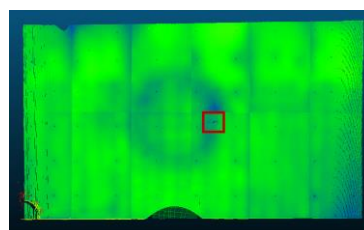


図-6 童子畑における方法④によるヒートマップ

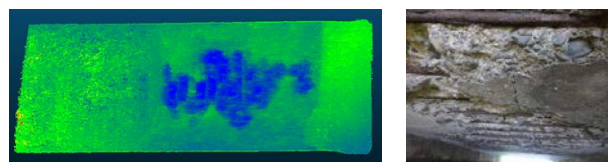


図-7 無名橋における方法④による
ヒートマップ (左) と床版下面 (右)

合わせし作成したヒートマップである。周囲と比べて青くなっている箇所を確認できる。現地写真 (図-7 右) において床版の下面にコンクリートの剥離を広く確認できた。

b) 3次元パラメトリックモデルを用いる方法

方法⑤3次元パラメトリックモデルを用いた検証は、

童子畑橋の TLS による 3 次元点群データで行った (図-8) . パラメトリックモデルは, 箱桁, 床版と逆 T 型橋台のテンプレートを組み合わせて寸法を点群データに合わせた 3 次元モデルである. この方法では, 複数の面を同時に比較でき, 3 次元パラメトリックモデルがあれば対象部位が平面でなく, 点群データから面を生成できなくても比較できる.

c) RANSAC 機能を用いて 3 次元点群データから面を生成する方法

⑥RANSACによる面を用いる方法は, 童子畑橋の TLS による 3 次元点群データで行った (図-9) . この方法では, 3 次元点群データから対象面にあった基準平面を自動的に生成できるため, 点群データと基準平面との位置合わせが不要である. しかし, 対象部位に対して損傷の割合が大きい場合は, 基準平面を作成できない可能性がある. 方法④, ⑤, ⑥のいずれも損傷をヒートマップで確認することができた.

4. 考察

第 3 章の検証実験の結果, 過去の点群データがある場合では, 疑似損傷を貼り付けた位置が実際と一致した. 過去の点群データがない場合では, コンクリートが剥離している位置とヒートマップで色が変わっている位置が一致した. これらより, コンクリートの浮きと剥離のように凹凸がある損傷を可視化できることが示唆された. ただし, ひび割れがある位置に色の変化が見られなかったため, ひび割れのような凹凸がない, または小さい損傷は可視化できない.

ヒートマップの有用性について, 検証実験において, 図-10 の赤枠部分で示すように点群データから剥離と思われる箇所を発見したが, ヒートマップを作成したところ, 同じ箇所に色の変化が見られない場合があった. 現地の状況を確認したところ, これは剥離ではなく汚れであったため, ヒートマップは損傷を適切に可視化できる可能性があると言える.

5. おわりに

本研究では, 橋梁定期点検の前に行われる現地踏査時に計測した 3 次元点群データを基にヒートマップを作成し, 損傷を可視化する方法を提案し検証した. 今後は, ひび割れのような凹凸の少ない損傷をヒートマップで可視化し発見することや, 点群データに位置情報を持たせ損傷を定量的に評価する方法を検討する. また, 作成し

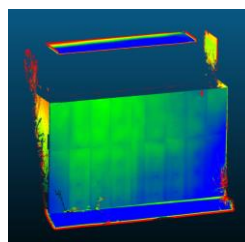


図-8 方法⑤による
ヒートマップ

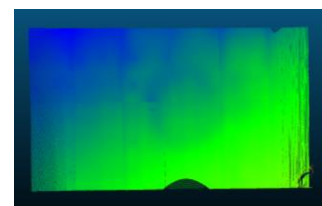


図-9 方法⑥による
ヒートマップ

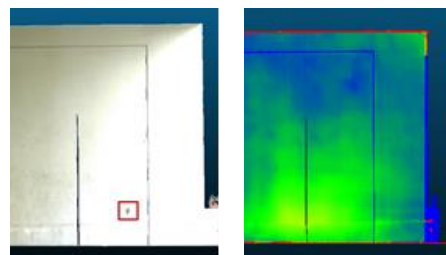


図-10 実験棟の点群データ (左) とヒートマップ (右)

たヒートマップや定期点検の結果を 3 次元モデルに対応させることによって, 橋梁の維持管理情報を適切に共有する方法を模索する.

謝辞: 本研究の一部は, 科研費 (20K04652) および 2020 年度関西大学大学院理工学研究科高度化推進研究費によって行った.

参考文献

- 1) 国土交通省: 道路を取り巻く状況, <<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/douroshizai/pdf01/3.pdf>>, (入手 2020.9.7) .
- 2) 日本道路協会: 老朽化対策の取り組み, <<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/torikumi.pdf>> (入手 2020.9.7) .
- 3) 国土交通省道路局: 平成 26 年 6 月橋梁定期点検要領, <<https://www.mlit.go.jp/common/001044574.pdf>>, (入手 2021.1.21) .
- 4) 国土交通省国土技術政策総合研究所: 3 次元モデルを利用した橋梁の維持管理, <http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bunya/cals/pdf/guidebook_bridge_cim.pdf>, (入手 2020.9.7) .
- 5) 張君沛他: 建物の二時期の三次元点群の変位分析による損傷部位の検出手法に関する研究, 2019 年度電気・情報関係学会九州支部連合大会 (第 72 回連合大会) 講演論文集, pp.198-199, 2019.
- 6) 齊藤亮介他: 高平滑性コンクリートスラブの施工—八戸長根室内スケート場建設工事—, コンクリート工学, Vol.58, No.7, pp.513-518, 2020.
- 7) 国土交通省道路局国道・技術課: 平成 31 年 3 月橋梁定期点検要領, <https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo3_1_6.pdf>, (入手 2021.1.21) .