

# 3次元点群データを用いた 道路橋の損傷抽出とヒートマップ表示

関 和彦<sup>1</sup>・山口 愛加<sup>2</sup>・窪田 諭<sup>3</sup>

<sup>1</sup>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 (Corresponding Author)

アイセイ株式会社 技術開発部 (〒116-0013 東京都荒川区西日暮里2丁目40番3号)

<sup>2</sup>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

<sup>3</sup>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

我が国の人口減少と少子高齢化により、熟練を有する橋梁点検技術者の不足を招くことは必至である。適切な予算配分を行い橋梁の長寿命化修善計画を策定するために、その状態を把握する基盤となる点検データの品質向上および平準化は重要な課題である。そのうえで、損傷進行状況を適切に把握し的確な診断および適切な対策の計画を実施しなければならない。

本研究では、橋梁の点検現場作業を支援することを目的として、橋梁の3次元点群データの差分によるヒートマップにより損傷箇所を可視化し、点検技術者が損傷を発見することを支援する技術を提案した。そして、提案技術の適用可能性を複数の実橋梁で実験した。点検技術者による評価を実施し、現場支援技術への要求事項および課題を整理した。

**Key Words :** bridge inspection, three-dimensional point-cloud data, heat map, structure from motion

## 1. はじめに

我が国には、橋長2m以上の道路橋が約73万橋ある。その多くが高度経済成長期以降に建設されており、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は2008年から2018年の10年間で3倍に増加している<sup>1)</sup>。一方、建設後80年を経過しても適切な補修、補強により、大きな損傷なく使われている橋梁も多く存在する。

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、5年に1度の定期点検が規定された<sup>2)</sup>。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計画を検討することの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。定期点検は他の維持管理事業

者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。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いる。これらのことから、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な対応ができるようになる。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、橋梁全体の損傷を簡単に把握でき、原因究明や診断に役立つと考えられる<sup>3)~7)</sup>。

橋梁の維持管理段階での3次元データ活用に言及している既往研究としては、山岡ら<sup>4)</sup>が維持管理での活用を考慮したCIMモデルの要件をまとめている。この研究では、設計段階で作成されたCIMモデルを維持管理の段階で活用するためにデータに変換して比較検証した。しかし、維持管理現場でCIMモデルを用いた実証実験が行われていないことが課題である。また、二宮ら<sup>5)</sup>は3次元点群データを用いた点検手法を提案した。この点検手法にて期待できる効果として、近接目視の作業時間短縮、近接目視による損傷記録の充実化、継続的な損傷管理の高

度化を整理した。橋梁以外の土木構造物の維持管理段階における3次元点群データの活用事例として、永田ら<sup>8)</sup>は、舗装のわだち掘れや平坦性、ひびわれ・ポットホール・パッチングを自動検出するシステムを開発した。窪田ら<sup>9)</sup>は、3次元点群データを基盤とした河川維持管理の業務プロセスを提案した。中村ら<sup>10)</sup>は、道路工事完成図書に含まれる完成平面図のCADデータの道路地物の情報に基づき、道路地物単位の3次元点群データを抽出する手法を開発した。梅原ら<sup>11)</sup>は、3次元点群データを用いてブロック塀の倒壊の危険度を判定する手法を提案した。

本研究では、橋梁の点検現場業務を支援するために、橋梁の損傷を効率的に発見し、損傷の経年変化、位置、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。ここでは、欠損部を凹、うきを凸と表現する。そこでは、橋梁の異なる二時期の3次元点群データの差分解析、または、3次元点群データと基準平面との差分解析から損傷を抽出し、その凹凸を表すヒートマップを作成して、損傷を可視化する。3次元点群データの取得には、カメラによる写真測量、または、地上設置型レーザスキャナ（Terrestrial Laser Scanner：以下、TLSと言う）を用いる。

張ら<sup>12)</sup>は、異なる時期に計測した同一の建築物の3次元点群データの変位分析によって、損傷部位を精密に検出する手法を提案し、評価した。しかし、橋梁には比較対象の面が複数存在し、それらの面が異なる大きさや角度となっているため、手法をそのまま適用できない課題がある。本研究では、この課題を考慮してヒートマップの作成方法を考案し、実証実験を行いヒートマップの作成における留意点を整理する。

橋梁定期点検の実務上の課題として、2巡目以降の点検では、前回実施された損傷図面や損傷写真などの点検調書を事前に確認する。現地にて、それら損傷の対策の

実施有無、進行の有無、進行程度を確認する。ただし、損傷図面を手掛かりに損傷を探しても、即座にその損傷を発見できないことがある。これは、2次元の平面図や断面図に損傷の発生箇所を簡略的に図示しているため、損傷の寸法や位置が正確ではない。さらに、間違った箇所を記録していることも少なくない。また、損傷の進行性を定量的に評価することが難しいという課題がある。そこで本研究では、橋梁の異なる二時期の3次元点群データの点群と点群を最近傍点の差分量をヒートマップ表示する比較方法を示す。比較対象とする点群データが存在しない場合を想定して、3次元点群データと比較対象とする仮想の基準平面を作成し、点群データにその基準平面を重畳し差分量を算出し、ヒートマップ表示して損傷箇所を可視化する。これにより、損傷発生箇所をよりの確に伝達でき、現地における点検作業時間の短縮が望める。さらに、損傷の大きさや深さなどの情報を定量的に把握できる。これらを市販ソフトウェアではなく、フリーのソフトウェアで実現し、実務上の課題を解決することを目指す。

## 2. 損傷箇所の抽出とヒートマップによる可視化

### (1) ヒートマップの作成方法と損傷箇所の可視化

3次元点群データから損傷を抽出し、ヒートマップを作成するフローを図-1に示す。橋梁の計測には、カメラとTLSを用いる。カメラで撮影した画像あるいは動画を用いる場合は、一定間隔で画像を切り出し、画像から形状を復元する SfM (Structure from Motion) /MVS (Multi View Stereo) 技術 (以下、SfMと言う) を用いて3次元点群データを生成する。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、状況を2つ設定した。一つは対象橋梁の過去の3次元点群データがある場合、もう一つは過去の3次元点群データがない場合であ

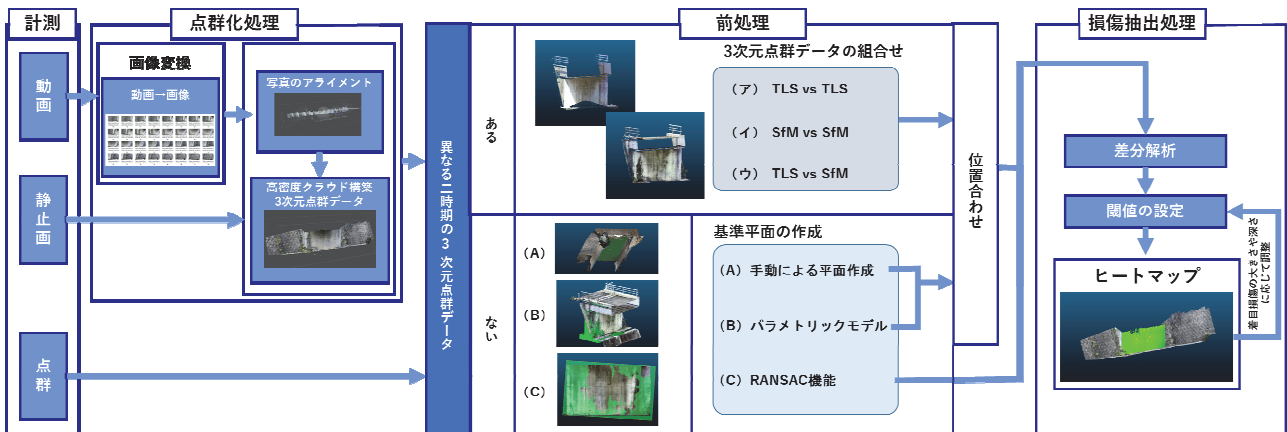


図-1 損傷抽出とヒートマップ作成のフロー

る。過去の3次元点群データがある場合には、過去と現在との3次元点群データの差分を比較する。その方法として、表-1に示す3次元点群データの取得方法による組合せパターン（ア）二時期のTLSによる3次元点群データの差分解析、パターン（イ）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去で異なる場合を想定して、パターン（ウ）TLS点群データとSfM点群データとを比較する。

過去の3次元点群データがない場合は、基準となる平面を作成し、基準平面と3次元点群データとを比較する。基準となるデータは、橋梁が建設された当時の状態が3次元点群データで残されていることが望ましいが、当時のデータがないことが多い。本研究では、計測した3次元点群データから基準となる平面を作成する方法を新規に提案し、その有効性を検証する。基準平面の作成方法は次の3種類である。作成パターン（A）3次元点群データから任意の点を3点選択して仮の平面を作成し、それを基準平面として利用する。任意の3点は、構造物が健全で、損傷を抽出したい箇所を含む領域から選択する。選択する3点は差分解析で損傷を抽出したい箇所を包含する広い領域になるように選択する。パターン（B）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<sup>13)-16)</sup>を用いる。パターン（C）ロバスト推定のアルゴ

リズムの1つであるRANSAC（Random Sample Consensus）機能<sup>17)</sup>を用いて3次元点群データから平面を生成する。

パターン（A）と（C）は、計測した点群データの座標を利用して基準平面を作成するため、位置合わせは不要である。パターン（B）では、パラメトリックモデルの任意の面にある頂点と計測点群データの任意の点を選択し、位置合わせをする。過去の3次元点群データがない場合のヒートマップ作成パターンを表-2に示す。表では、3次元点群データに基準平面を重畳したイメージと作成方法および位置合わせの違いについて整理した。損傷は重ね合わせた2つのデータの差分を色の変化で表現する。図-2に差分と色の関係について示す。重畳した3次元点群データに対して閾値を設定して、基準となる面もしくは座標より凹であれば青く、凸であれば赤く表現する。

(2) 検出対象の損傷

提案方法を用いて見付け出す対象の損傷は、橋梁定期点検要領より、コンクリート部材のうき、剥離・鉄筋露出、および、ひびわれとする。

表-1 3次元点群データの取得方法による組合せパターン（過去の3次元点群データあり）

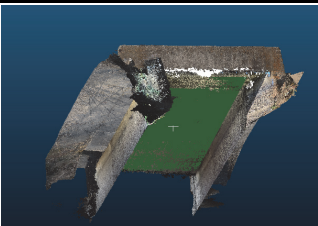
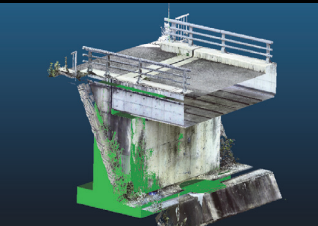
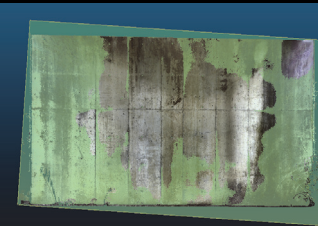
組合せパターン	計測種別	
	過去	現在
(ア)	TLS	TLS
(イ)	カメラ (SfM)	カメラ (SfM)
(ウ)	TLS	カメラ (SfM)

3. 実証実験

(1) 実験概要

大阪府泉南市の童子畑橋（図-3）を対象に、提案方法の適用可能性を検証した。対象橋梁の橋台前面縦壁に損傷を疑似的に表現するために、コンクリートのう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貼り付けた（図-4）。貼り付け前を過去のデータ、貼り付け後を現在のデータと想定した。カメラでは、橋台の

表-2 ヒートマップの作成パターン（過去の3次元点群データなし）

	作成パターン (A) 手動による平面作成	作成パターン (B) パラメトリックモデル	作成パターン (C) RANSAC
イメージ			
作成方法	3次元点群データから特徴点を3点選択し、基準平面を手動で作成する。	3次元パラメトリックモデルで作成した面を基準平面として利用する。パラメトリックモデルの頂点と3次元点群データの特徴点を関連づけて位置合わせを実施する方法。	任意のエリアを指定して抽出された3次元点群データを元にRANSAC機能を用いて基準平面を作成する。
位置合わせ	解析対象面ごとに、特徴点を選択する作業が必要。位置合わせは不要。	任意の平面で実施することで複数の平面を一括で解析可能。	不要。

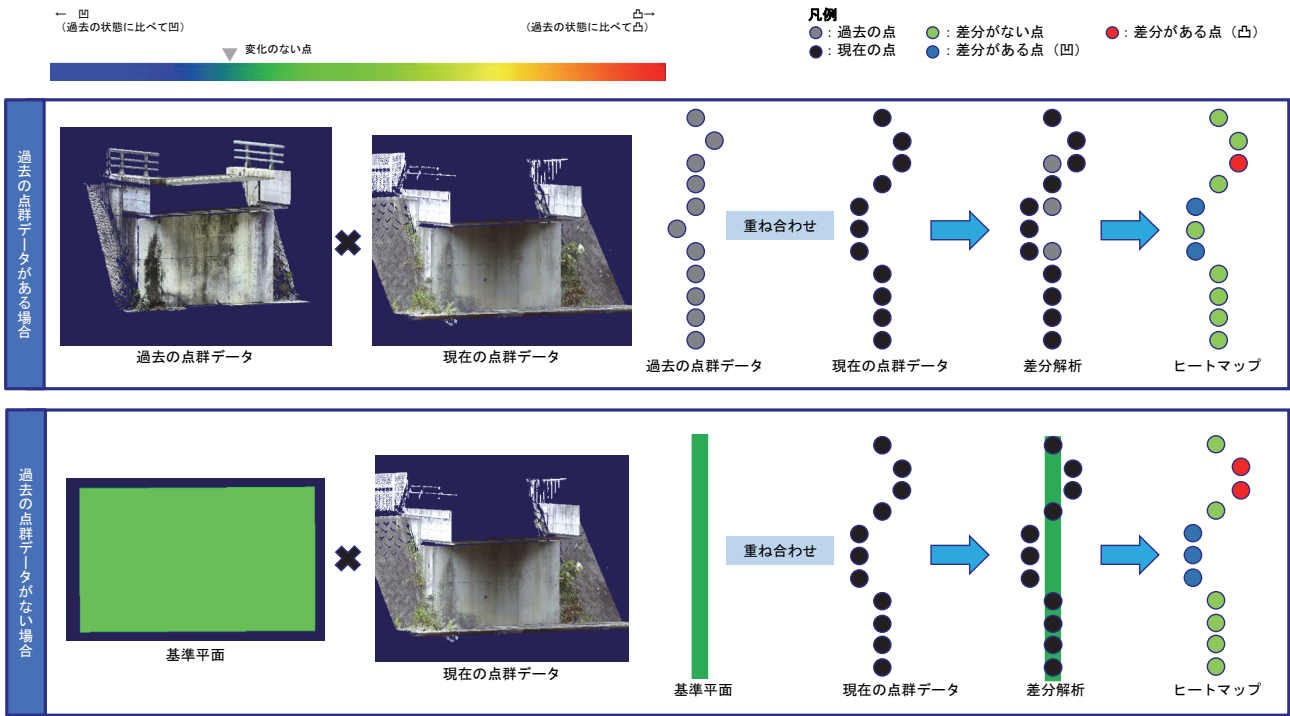


図-2 構造物表面の差分量とヒートマップのカラーとの関係



図-3 実証実験フィールド (大阪府童子畑橋 側面写真)

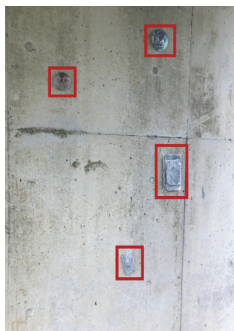


図-4 童子畑橋の橋台壁に貼り付けた紙粘土とウォールステッカー

正面にカメラを向け、真横を移動しながら動画を撮影した。動画から0.5秒間隔で画像を取り出し、Agisoft社製のMetashapeを用いてSfM処理を行った。TLSでは、貼り付けた損傷の正面に設置し計測を行い、データ処理ソフトウェアFARO SCENEを用いて3次元点群データを構築した。

計測で使用した機器の設定および距離や計測面とTLSの入射角度などの計測条件については、学内で実施した予備実験の結果をもとに、対象との距離は15m以内、分解能は1/4、品質係数を4倍とした。分解能は計測のデータ間隔を表し、分解能をあげることで、点密度が大きくなり、点間ピッチが小さくなるため、ノイズを低減することができる<sup>18)</sup>。品質係数は、計測ノイズに影響する信号強度を高めるために、スキャンポイントあたりの計測時間を設定する値である。3次元点群データの点密度と点間ピッチの違いにより、位置合わせの精度に影響があるため、計測時に位置合わせとなる箇所をあらかじめ想定しておき、点密度が大きくなる距離、分解能および品質係数を設定することが重要である。検証では、表-1と表-2に示した作成と組合せの全パターンについてヒートマップを作成して結果を整理した。

## (2) 使用機器およびソフトウェア

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Focus 3D X330を、カメラとしてGoPro社製のGoPro Hero9 Blackを用いた。3次元点群データの操作および差分解析には、オープンソースの3次元点群処理ソフトウェアであるCloudCompare<sup>19)</sup>を利用した。

## (3) ヒートマップ表示による損傷箇所の可視化

ヒートマップの作成は、はじめに二時期の3次元点群データの対になる特徴点を3箇所以上選択し、CloudCompareのAligns機能を利用して位置合わせをする。

次に、異なる二時期の3次元点群データがある場合は、それぞれの3次元点群データの中で二点間の距離が最小となる近傍点を検索し、その距離を差分とする。この計算には、Compute Cloud to Cloud Distance機能を利用する。また、異なる二時期の3次元点群データがない場合は、作成パターン(A)、(B)、(C)で作成した基準平面と3次元点群データの最小距離を計算し差分とする。この計算には、Compute Cloud to Mesh Distance機能を用いる。

(4) 実験結果

a) 異なる二時期の3次元点群データによる差分析

童子畑橋で3次元点群データの取得方法による組合せパターン(A)、(イ)、(ウ)で作成したヒートマップを表-3に示す。2つの3次元点群データの位置合わせには、ICP (Iterative closest point : 以下、ICPと言う) アルゴリズム<sup>20)</sup>を利用する。これは、3次元点群データ間で点と点の対応づけと相対的な位置姿勢を更新しながら、繰り返し計算により、対応点間の距離の総和を最小にするアルゴリズムである。はじめに、それぞれの3次元点群データにある特徴点として、4箇所以上を目視で確認して選定する。本研究では、橋台堅壁の前面と側面の交差する線分上や堅壁前面にある施工目地などを特徴点として選定した。次に、緑から赤へむかって差分量が大きくなるように色を設定した。表-3より疑似損傷を貼り付けた箇所が周りの領域とは異なり、明るい緑で描画されていることがわかる。TLSによる3次元点群データによるヒートマップを用いて、損傷を色の変化によって可視化することができた。組合せパターン(イ) SfM点群データ同士の比較結果は、組合せパターン(A)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による3次元点群データ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の変化した。これは、TLSによるデータに比べてSfMによるデータの精度が劣ることが原因と考えられる。組合せパターン(ウ) TLSとSfM点群データを利用した場合も組合せパターン(A)、(イ)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、ヒートマップから損傷を可視化できた。ただし、SfMによる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できなかった。

b) 異なる二時期の3次元点群データがない場合の差分析

過去の3次元点群データがない場合として、現在のSfMによる3次元点群データから基準平面を作成する方法を検証する。童子畑橋で作成パターン(A)、(B)、(C)で作成したヒートマップを表-4に示す。パターン(A)は、SfMで生成した3次元点群データにCloudCompareのPrimitive factory機能で作成した基準平面を使い損傷を可視化した結果である。この機能は、3次元点群データと同一空間内に平面や球体および直方体などのオブジェクトを任意に作成する。基準平面は、3次元点群データ上で、損傷が発生していない箇所3点を選択して作成した。表-4より、ヒートマップに周囲と比べて青くなっている箇所を確認でき、コンクリートが欠損しているため凹んでいると考えられる。

パターン(B)では、3次元パラメトリックモデルで作成した面を基準平面として利用する。複数の面を同時に解析でき、3次元のパラメトリックモデルがあれば対象部位が平面でなくても比較できる。位置合わせは、二時期の3次元点群データがある場合と同様に、特徴点を選定して実施する。

表-3 異なる二時期の3次元点群データがある場合のヒートマップ作成結果 (童子畑橋右岸側橋台)

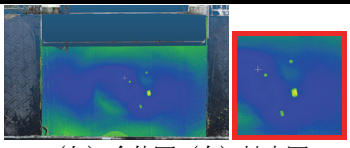
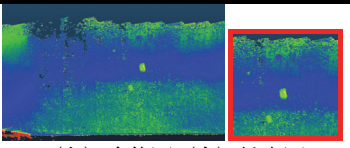
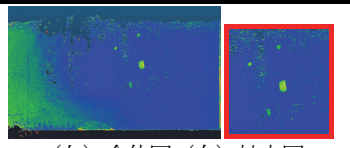
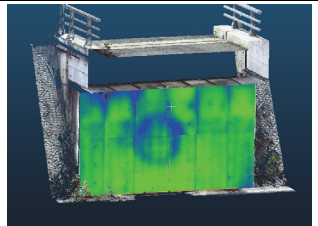
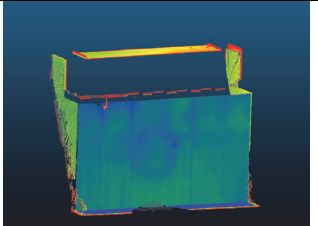
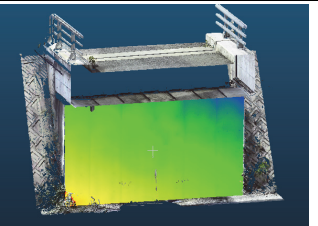
疑似損傷	組合せパターン(A) (TLS/TLS)	組合せパターン(イ) (SfM/SfM)	組合せパターン(ウ) (TLS/SfM)
あり	 (左) 全体図 (右) 拡大図	 (左) 全体図 (右) 拡大図	 (左) 全体図 (右) 拡大図

表-4 異なる二時期の3次元点群データがない場合のヒートマップ作成結果 (童子畑橋右岸側橋台)

疑似損傷	作成パターン(A) 手動による平面作成	作成パターン(B) パラメトリックモデル	作成パターン(C) RANSAC
なし			

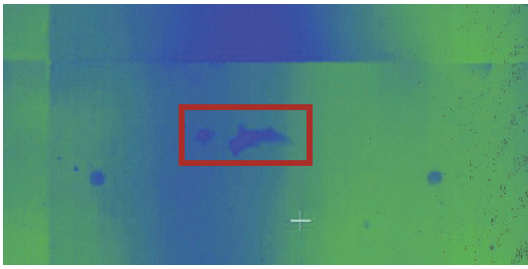


図-5 確認された損傷箇所  
作成パターン (B) の拡大表示

パターン (C) 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。パターン (A), (B), (C) のいずれも損傷をヒートマップで確認できた。パターン (B) のヒートマップを拡大したものを図-5に示す。着目する部位や損傷に応じて閾値を変化させ、損傷を抽出しやすくなると考える。

## 4. 考察

### (1) 損傷の抽出とヒートマップ表示

本研究では、図-1のフローに従って、損傷を抽出しヒートマップを作成した。実験の結果、疑似損傷を貼り付けた位置あるいは剥離している位置とヒートマップの色の変化している位置が一致しており、コンクリートのうきや欠損をヒートマップによって可視化できることが示唆された。これにより、提案方法は妥当であったと考える。ただし、ひびわれがある位置のヒートマップでは色の変化が見られなかったため、コンクリートのひびわれを可視化できなかった。うきや欠損のように凹凸がある損傷はヒートマップによって可視化できるが、ひびわ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ことがわかった。

組合せパターン (イ) と (ウ) のヒートマップでは、疑似損傷を貼り付けていない箇所にも色の変化が見られた。これは、TLSとSiMとの3次元点群データの精度の違いによるものと考えられる。カメラによる計測は、計測者や計測方法によってデータの精度が変化する。カメラを用いての計測は、データの完全性と網羅性を高めるため、オーバーラップ率を80%、サイドラップ率を30%程度にすること、カメラの計測ルートや計測速度などの計測方法を詳細に規定する必要がある。また、TLS点群データはSiM点群データより計測精度が良いため、TLSを基本として計測し、TLSが設置できない場所や計測に危険が伴うような場合にカメラを用いて計測する運用が考えられる。

異なる二時期の3次元点群データによって解析するこ

とにより、経年変化を見ることができ、損傷の発生時期を特定できる可能性がある。異なる二時期の3次元点群データがない場合には、損傷を可視化するために基準平面と3次元点群データの位置合わせに時間を要することがある。基準平面を作成する方法では、該当する構造物の面が一樣に平面であることを前提として損傷を可視化する。現在の計測データから作成する基準平面の精度は、計測データの精度に依存する。本研究で使用したTLSの計測器械誤差が $\pm 2\text{mm}$ の精度があることについて留意する必要がある。

損傷抽出では、前回点検時に既に発生していた損傷と前回点検時には存在していなかった損傷とが、区別なく可視化される。そのため、橋梁定期点検において、損傷が前回点検時より進行していることを判断することは難しい。ただし、3次元点群データを定期点検時に計測することにより、次の点検時には過去のデータと比較でき、損傷の変化量および進行性を定量的に表すことができる。今後は、検証ケースを増やし、計測方法と計測データの関連性および定量化の適用範囲を明確にする。

ヒートマップの閾値については、損傷を発見しやすいようにデータごとに変更したが、橋梁を同じ基準で評価するためには閾値を一定にする必要がある。ただし、SiM点群データが実際の大きさ異なるため、閾値を一定にすると損傷を可視化できない場合がある。解決策として、SiM点群データに位置情報を持たせることを考える。また、これにより損傷を定量評価できると考える。

### (2) 3次元点群データの作成パターンについて

本節では、異なる二時期の3次元点群データがある場合とない場合の留意点を整理する。

#### a) 異なる二時期の3次元点群データによる差分解析

異なる二時期に計測した3次元点群データ(表-5)について、点密度、点間ピッチおよびそれらを位置合わせした際の位置合わせ精度を示すRMS値を表-6に整理した。TLS点群データでは、入射角が浅く、対象物までの距離が15m以上となると点間ピッチは90mmとなり、位置合わせが難しい結果となった。そのRMS値は0.0959mと大きくなっており、差分解析の結果から損傷を抽出することが難しかった。SiM点群データでは、点間ピッチは1mmから5mm程度の値で位置合わせ精度は0.0158mとなり、特徴点を選択することは容易であった。ただし、点密度が過度になってしまい3次元点群データの位置合わせの操作性が落ちることがあるので、注意が必要である。現場環境により適切な計測箇所を設定できないときは、複数の計測データを合成して、点密度を高くすることが有効である。また、狭隘なためTLSを設置できない箇所では、カメラの撮影データによりSiM点群データを生成する。

表-5 計測方法と点間ピッチの関係

計測種別	計測の概要	点間ピッチ
TLS	計測距離15m 分解能1/4 品質係数4倍 入射角: 5° ~ 11°	90mm
TLS	計測距離5m 分解能1/4 品質係数4倍 入射角: 40° ~ 50°	2mm
カメラ (SfM)	計測距離1m 動画 広角モードOn 高密度クラウド設定: 最高	1mm
カメラ (SfM)	計測距離1m 動画 広角モードOn 高密度クラウド設定: 最低	5mm

表-6 RMS値の関係

比較パターン	RMS値(m)
TLS[90mm]/ TLS[2mm]	0.0959
TLS[2mm]/ カメラ (SfM) [1mm]	0.0158
TLS[2mm]/ カメラ (SfM) [5mm]	0.0367

※[]内は、点間ピッチ

b) 異なる二時期の 3 次元点群データがない場合の差分解析

比較する過去の 3 次元点群データがない場合には、得られたデータから基準平面を作成する。提案方法は、平面で構成される部位に適用できる。面が直交する部位に関しては、それぞれの面で基準平面を作成し差分解析することが可能である。この適用限界として、アーチ橋など曲面の部位を持つ構造物が考えられる。また、橋梁のような多くの部材で構成される構造物では、作成する基準平面が大量になってしまうため、効率良く基準平面を作成できることが望ましく、3 次元点群データから自動で面抽出を行う RANSAC の活用が効果的である。また、本研究で提案したパラメトリックモデルを活用すれば、面抽出が不要となるため、差分解析を効率よく行える。

(3) 他の実験現場への適用

提案方法を埼玉県鴻巣市にある無名橋で検証した。本橋梁は、橋長 2.0m、幅員 4.5m 程度の小規模橋梁である。図-6 に床版下面のオルソ画像を示す。図-6 より、床版下面に広範囲にコンクリートの剥落箇所を確認できる。この橋梁は過去のデータがなかったことから、作成パターン (C) RANSAC による方法を検証した (図-7)。3 次元点群データは、SfM 処理により生成した。図-7 より



図-6 無名橋床版下面のオルソ画像

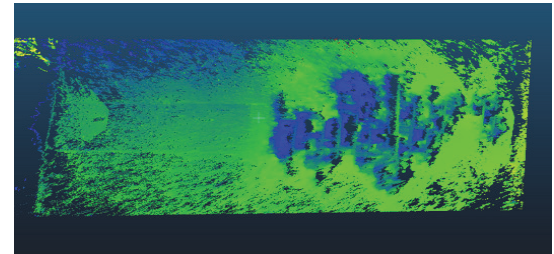


図-7 無名橋 作成パターン(C)のヒートマップ

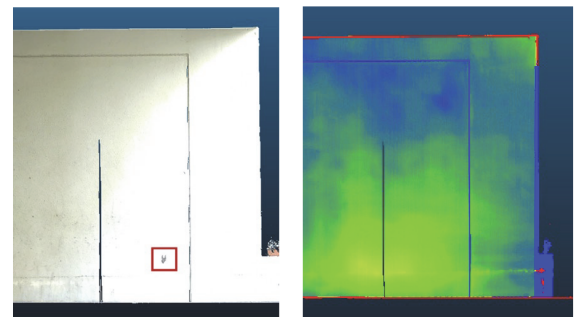


図-8 第4実験棟3次元点群データ (左) とヒートマップ (右)

床版下面に大きな剥離・鉄筋露出が発生している箇所が青色で表示されていることを確認できる。

さらに、関西大学千里山キャンパスの実験棟壁面では作成パターン (A) によりヒートマップを作成した。図-8 に示す 3 次元点群データの赤枠部分では、剥離と疑われる箇所を確認したが、ヒートマップでは色の変化が見られない。壁面を目視したところ、この箇所は汚れであることを確認した。提案方法では、色の違いを差分として捉えないため、ヒートマップ表示では抽出されなかった。

(4) 橋梁の点検現場業務支援に関して

提案方法では、3次元点群データを解析し異常箇所から損傷を抽出し、ヒートマップ表示して点検時に注視すべき箇所を抽出する。これを定期点検の本調査前に実施する現地踏査時に使い、点検の実施計画策定の支援および効率化につながると考える。

しかし、地方公共団体では点検実施者の橋梁や損傷についての知識が十分でないこと、点検を簡易化して点検精度が低下することや、一巡目と二巡目の点検で大きく結果が異なり、過去に確認された損傷を見逃すことが課

題となっている。橋梁の3次元モデルを構築すれば、データ上の任意の箇所へ損傷や点検結果を記録し、3次元維持管理システムに展開することができる。ヒートマップまたは3次元モデルとして損傷のデータを記録して現地に持参することにより、過去に確認された損傷を見逃すリスクが減ると考える。また、ヒートマップから損傷の度合いを定量的に評価すれば、点検者による評価のばらつきが軽減されると考える。

## (5) 点検技術者による提案方法の評価

### a) 評価の実施概要

点検技術者が現場でヒートマップを活用して点検作業を実施することの有用性について、点検技術者を対象に現場での実装を想定した意見交換による評価を実施した。評価は道路構造物とくに橋梁やトンネルの点検・調査実績が豊富な会社にて実施し、点検技術者計4名が参加した。参加した点検技術者は、経歴が20年以上1名、10年目1名、5年未満2名という構成であった。評価会では、本提案方法の説明プレゼンテーションおよび操作デモンストレーションを実施した。操作デモンストレーションでは、童子畑橋の橋台堅壁前面における差分解析結果を用いた。

### b) 評価結果

評価会であがった意見を以下に示す。

- 現地踏査時に着目すべき箇所をヒートマップで点検技術者に示せば、ヒートマップを用いない点検よりも現場作業の効率化、時間短縮につながる。
- 5年毎の定期点検において、10年前、5年前、そして現在との経年変化を3次元点群データの重量によって解析することにより、損傷の傾向を把握し、点検に活かすことができる。さらに損傷箇所の定量化ができ、適切な補修・補強設計が可能となる。ただし、古い損傷に目がいきすぎないように点検時に注意が必要である。
- 実務経験が浅い場合には、ヒートマップ表示による支援効果が高いと思われる一方、実務経験が豊富な場合は見つけるだけの支援だけではなく、定量的な評価も必要である。
- 計測時に機械を設置する場所や天候によって結果が異なると制約が大きく一般的に使うことが難しい。ただし、計測方法や機種の設定方法および解析方法を整理しガイドラインを策定することにより、その制約は解消されると考えられる。

以上の意見より、3次元点群データの解析による橋梁点検現場の支援は、経験の浅い点検技術者には役立つということがわかった。経験の浅い点検技術者は、2次元の図面と実構造物の位置関係および損傷の進行性の有無を判断することに時間を要する。これをヒートマップ表

示によって支援すれば、注目すべき箇所を示す一次スクリーニングとなる。ただし、提案方法によって判別できるコンクリート部材に生じる数 cm 以上の大きさのうきや欠損は、熟練した技術者であれば容易に発見できるものである。現場環境が高所や桁下空間が狭く人が侵入することができないなどの問題で近接することが困難な場所・部位において活用する方法をさらに検討する必要がある。

定期点検においてヒートマップを活用するためには、実証実験を増やし、精度検証を高め、損傷の大きさや深さなどを定量的に評価できることが不可欠である。本評価では、ヒートマップの使用有無による実験を行っていないため、今後の複数の点検技術者を対象に評価する必要がある。

## 5. おわりに

本研究では、点検技術者が橋梁点検の現場作業を効率的に行うために、定期点検の前に行われる現地踏査時に、TLS とカメラを用いて計測した3次元点群データを基に損傷を抽出し、それをヒートマップで表示する方法を提案した。構造物の損傷箇所を2つのデータの差分量としてヒートマップ表示して、わかりやすく表現する方法を開発し、さらに基準となる過去の3次元点群データがない場合の対処法について基準平面の作成方法を3つあげ、それぞれについて整理した。また、異なる二時期の3次元点群データによって差分解析するとき、TLS を用いて計測する際に対象構造物との距離を15m 以内かつレーザーの入射角を20° 以上となるように器械を設置して計測することで点間ピッチが10mm 以内と小さくなり位置合わせの効率よくできることがわかった。

橋梁を対象に TLS とカメラで計測を行い、3次元点群データの解析によって損傷を抽出し、ヒートマップで可視化できることを検証した。その結果を活用する方法について、中小規模の2橋の解析結果を用いて経験年数の異なる4名の点検技術者への評価を実施し、課題や留意事項を整理した。今後は、ひびわ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、3次元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。実証実験をさらに増やし精度検証を進めて、適用範囲を整理する。また、作成し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、橋梁の維持管理の情報を適切に共有できる方法を模索する。

謝辞：本研究の一部は、科研費(20K04652) および2020、2021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。

## REFERENCES

- 1) 国土交通省：老朽化対策の取り組み, <<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/torikumi.pdf>>, (入手 2022.9.10) [Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: Measures to prevent aging, <<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/torikumi.pdf>> (accessed 2022-9-10)]
- 2) 国土交通省道路局国道・技術課：平成 26 年 6 月橋梁定期点検要領, <[https://www.city.hekinan.lg.jp/material/files/group/32/yobo3\\_1\\_6.pdf](https://www.city.hekinan.lg.jp/material/files/group/32/yobo3_1_6.pdf)>, (入手 2022.9.10) [Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: Bridge periodic inspection procedure, <[https://www.city.hekinan.lg.jp/material/files/group/32/yobo3\\_1\\_6.pdf](https://www.city.hekinan.lg.jp/material/files/group/32/yobo3_1_6.pdf)> (accessed 2022-9-10)]
- 3) 清水智弘, 吉川眞, 瀧浪秀元, 御崎哲一, 高橋康将, 中山忠雅, 内田修, 近藤健一：3D モデルを用いた橋梁維持管理システムの開発, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.69, No.2, pp.I\_45-I\_53, 2013. [Shimizu, T., Yoshikawa, S., Takinami, N., Misaki, N., Takahashi, Y., Nakayama, T., Uchida, O. and Kondo, K.: Development of Bridge Management System using Three-Dimensional Model., *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. F3(Civil Engineering Informatics)*, Vol.69, No.2, pp.I\_45-I\_53, 2013.]
- 4) 山岡大亮, 青山憲明, 谷口寿俊, 藤田玲, 重高浩一：維持管理での利用を想定した橋梁の 3 次元データモデル標準の策定, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.71, No.2, pp.I\_204-I\_211, 2015. [Yamaoka, D., Aoyama, N., Taniguchi, H., Fujita, R. and Shigetaka, K.: Development of the Three-Dimensional Data Model Standard of the Bridge which Assumed the Use by Maintenance., *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. F3(Civil Engineering Informatics)*, Vol.71, No.2, pp.I\_204-I\_211, 2015.]
- 5) 山岡大亮, 青山憲明, 川野浩平, 重高浩一, 関谷浩孝：維持管理での活用を目的とした橋梁の CIM モデル作成コストの検証, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.72, No.2, pp.I\_21-I\_28, 2016. [Yamaoka, D., Aoyama, N., Kawano, K., Shigetaka, K. and Sekiya, H.: Verification of How to Create the CIM model of the Bridge which Assumed the Use by the Maintenance., *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. F3(Civil Engineering Informatics)*, Vol.72, No.2, pp.I\_21-I\_28, 2016.]
- 6) 二宮建, 榎本真美, 下川光治, 服部達也, 新田恭士：橋梁 3 次元データを活用する橋梁点検手法の提案とプロトタイプを用いた効果検証の報告, 土木学会論文集 F4(建設マネジメント), Vol.76, No.2, pp.I\_32-I\_46, 2020. [Ninomiya, T., Enomoto, M., Shimokawa, M., Hattori, T. and Nitta, Y.: Report on proposal of bridge inspection method utilizing 3D data and effectiveness verification using prototype system., *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. F4(Construction and Management)*, Vol.76, No.2, pp.I\_32-I\_46, 2020.]
- 7) 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](http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bunya/cals/pdf/guidebook_bridge_cim.pdf)>, (入手 2022.9.10) [Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism National Institute for Land and Infrastructure Management: Bridge maintenance using a 3D model, <[http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bunya/cals/pdf/guidebook\\_bridge\\_cim.pdf](http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bunya/cals/pdf/guidebook_bridge_cim.pdf)> (accessed 2022-9-10)]
- 8) 永田佳文, 得能智昭, 川村日成, 石田哲也, 水谷司：3 次元点群データを用いた舗装の評価手法, Infr aDoctor による路面性状調査の精度検証, 検査技術, Vol.26, pp.18-22, 2021. [Nagata, Y., Tokuno, T., Kawamura, H., Ishida, T. and Mizutani, T.: An innovative pavement evaluation method using 3D point cloud data., *Journal of Inspection Engineering (Tokyo)*, Vol.26, pp.18-22, 2021.]
- 9) 窪田諭, 河合悠希, 榎屋貴司, 牧野友軌, 角谷涼, 曾我部由子, 安室喜弘：3 次元データを用いた河川維持管理システムの開発とそのモバイル展開, インフラメンテナンス実践研究論文集, Vol.1, No.1, pp.452-460, 2022. [Kubota, S., Kawai, Y., Masuya, T., Makino, T., Kadotani, R., Sogabe, Y. and Yasumuro, Y.: River maintenance management system based three-dimensional data and expanding to mobile device., *Journal of Japan Society of Civil Engineers, (Infrastructure Maintenance Practice and Research)*, Vol.1, No.1, pp.452-460, 2022.]
- 10) 中村健二, 寺口敏生, 梅原喜政, 田中成典：完成平面図に基づいた点群データの地物抽出技術に関する研究, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.73, No.2, pp.I\_424-I\_432, 2017. [Nakamura, K., Teraguchi, T., Umehara, Y. and Tanaka, S.: Research concerning extracting objects from point cloud data based on road completion drawing., *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. F3(Civil Engineering Informatics)*, Vol.73, No.2, pp.I\_424-I\_432, 2017.]
- 11) 梅原善政, 塚田義典, 田中成典, 上月康則, 下鳴恒彰, 平野順俊：点群データを用いたブロック塀の高さと傾きに基づく危険度判定に関する研究, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.78, No.2, pp.I\_113-I\_121, 2022. [Umehara, Y., Tsukada, Y., Tanaka, S., Kozuki, Y., Shimonaru, T. and Hirano, N.: Research concerning method for risk judgement of block wall based on height and inclination., *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. F3(Civil Engineering Informatics)*, Vol.78, No.2, pp.I\_113-I\_121, 2022.]
- 12) 張君沛, 北山耕平, 碓崎賢一, 荒木俊輔, 向井智久：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. [Cho, J., Kitayama, K., Kakizaki, K., Araki, S. and Mukai, T.: Study on detection method of damaged part by displacement analysis of 3D point cloud in two stages of building., *Proceedings of the 2019 Kyushu Chapter Joint Conference (72nd Joint Conference)*, pp.198-199, 2019.]
- 13) 国土交通省国土技術政策総合研究所：データ交換を目的としたパラメトリックモデルの考え方(素案), <<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001335572.pdf>>, (入手 2022.9.10) [Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism National Institute for Land and Infrastructure Management: Concept of parametric model for data exchange (draft), <<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001335572.pdf>> (accessed 2022-9-10)]

- 01335572.pdf> (accessed 2022-9-10)]
- 14) 平澤江梨, 青山憲明, 寺口敏生, 芦原興利, 関谷浩孝: パラメトリックモデルによる 3D モデル作成方法, 土木技術資料, Vol.61, No.3, pp.56-57, 2019. [Hirasawa, E., Aoyama, N., Teraguchi, T., Ashihara, O. and Sekiya, H.: How to create a 3D model using a parametric model., *Civil Engineering Data*, Vol.61, No.3, pp.56-57, 2019.]
  - 15) 窪田諭, 塚田義典, 梅原喜政, 田中成典: 点群データを用いた橋梁パラメトリックモデルの生成に関する研究, 情報処理学会論文誌, Vol.62, No.5, pp.1234-1245, 2021. [Kubota, S., Tsukada, Y., Umehara, Y. and Tanaka, S.: Research for Generating Parametric Model of Bridge Using Point Cloud Data., *IPSJ Journal*, Vol.62, No.5, pp.1234-1245, 2021.]
  - 16) 窪田諭, 井上明日香, 関和彦, 安室喜弘: 既設橋梁の点群データに基づく 3次元パラメトリックモデルの構築, インフラメンテナンス実践研究論文集, Vol.1, No.1, pp.224-232, 2023. [Kubota, S., Inoue, A., Seki, K. and Yasumuro, Y.: Construction of three-dimensional parametric model based on point cloud data of existing bridge., *Journal of Japan Society of Civil Engineers, (Infrastructure Maintenance Practice and Research)*, Vol.1, No.1, pp.224-232, 2023.]
  - 17) 山岡晋也, 金井理, 伊達宏昭: RANSAC による屋内環境レーザ計測点群の BIM 構成要素への効率的なマッチングと差分点抽出, 2013 年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集, pp.641-642, 2013. [Yamaoka, S., Kanai, S., and Date, H.: Efficient Matching of Indoor Laser-scanned Point Cloud to BIM Components by RAN SAC and Extraction of the Difference Points., *Proceedings of the 2013 Autumn Meeting of the Japan Society for Precision Engineering*, pp.641-642, 2013.]
  - 18) 山口浩平, 鈴木航作, 松田浩, 伊勢田幹太, 合田寛基: 橋梁復元設計における 3D 計測の利活用について, 構造工学論文集, Vol.66A, pp.684-693, 2020. [Yamaguchi, K., Suzuki, K., Matsuda, H., Iseda, K. and Goda, H.: Utilization of 3D measurement in bridge restoration design., *Journal of Structural Engineering*, Vol. 66A, pp.684-693, 2020.]
  - 19) Telecom ParisTech and the R&D division of EDF: CloudCompare - 3D point cloud and mesh processing software Open Source Project, <<http://www.danielgm.net/cc/>>, (accessed 2022-9-10).
  - 20) Besl, P. J. and McKay, N.D. : A method for registration of 3-D shapes, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.14, No.2, pp.239-256, 1992.

(Received March 15, 2022)  
(Accepted August 17, 2023)

## DAMAGE EXTRACTION AND HEAT MAP DISPLAY OF HIGHWAY BRIDGES USING 3D POINT CLOUD DATA

Kazuhiko SEKI, Aika YAMAGUCHI, and Satoshi KUBOTA

It is inevitable that a decrease in the working population will lead to a shortage of skilled bridge inspectors due to the declining population, low birthrate and aging population. It is important to improve and equalize the quality of the inspection data, which is the basis for understanding the condition of bridges, in order to allocate an appropriate and optimal budget and to formulate a life-extension repair plan. In addition, it is necessary to grasp the progress of the damage appropriately, to make an accurate diagnosis, and to plan appropriate countermeasures.

In this study, we proposed a technique to support the inspection of bridges in the field (external work) by visualizing damaged area using heat maps based on 3D point cloud data of the bridge to be inspected, and by finding damage in the heat maps to support the bridge inspectors. The proposed method was evaluated by infrastructure engineers, and the requirements and issues for the field support technology were summarized.