

点群と EXIF データを用いた GSD 推定による農道橋舗装部のひび割れ幅評価

Estimation of Crack Width for Pavement of Rural Road Bridge

by GSD Estimation with Point Cloud and EXIF Data

○田上慧華*・田中熙**・柴野一真**・鈴木哲也***

○Keika TAGAMI*, Hiromu TANAKA**, Kazuma SHIBANO**,

and Tetsuya SUZUKI***

1. はじめに

近年、農道橋の点検においてひび割れの自動検出に向けた試みが多く行われている。コンクリート構造物の損傷度把握には実際のひび割れ幅を測定し、補修が必要かどうか評価する必要がある。補修の判断基準としてはひび割れ幅 0.2 mm が用いられている¹⁾。既往研究では、深層学習を用いて画像からひび割れを検出する仕組みが検討されてきた²⁾。そこで本研究では、UAV で取得した点群データと画像の EXIF (Exchangeable Image File Format) 情報から各画像の GSD (Ground Sample Distance) を導出した。推定した GSD により画像中のひび割れ幅を推定し、実測値と比較することでひび割れ幅の推定精度を検証することを試みた。

2. 計測および解析方法

2.1. 対象構造物と取得データ

本研究では、新潟県柏崎市に位置する栃倉大橋を対象として調査を行った。栃倉大橋は平成 8 年供用開始した 2 径間連続鋼鈑桁橋である。可視画像と点群データの取得は、計測に用いた UAV である Matrice 350 RTK (DJI 社) に搭載された Zenmuse L1 (Livox 社) により行った。Zenmuse L1 の技術仕様については、焦点距離 8.8 mm、画像の画素数 5472×3468 pixel、センサーサイズ 13.2×8.8 mm である。UAV による計測では橋の両端が写る高度で条件をそろえる

ため、地表面からの高度を約 5 m に保ち飛行させた。ひび割れ幅の計測には、近距離からスマートフォン iPhone SE (3rd generation) に搭載されたカメラを用いて、24 個のひび割れを撮影した。各ひび割れにつき 3 箇所ずつひび割れ幅を計測した。画像からひび割れ幅を推定する際には GSD を用いた。GSD の導出式を式 (1) に示す。

$$GSD = \frac{H \times \frac{SW}{ImW}}{F} \times 100 \quad (1)$$

ここで、GSD：地上画素寸法 (cm/pixel)，H：UAV の高度 (m)，SW：センサーサイズ (mm)，ImW：画像サイズ (pixel)，F：焦点距離 (mm) である。GSD は 1 ピクセルの長さを実際の長さの比を表す指標であり、画像からひび割れ幅を特定する基準となる。

2.2. 解析方法

UAV によって取得した画像と点群データの座標をマッチングさせ、地表面から UAV までの高度を画像ごとに求めることで GSD を算出した。UAV 画像とスマートフォン画像のピクセル数の比からスマートフォン画像の GSD を求め、ひび割れ幅のピクセル数と GSD から実際のひび割れ幅を算出し実測値と比較した。座標のマッチングに際して、画像の座標系を地理座標系の WGS84 から点群データの座標系である投影座標系の UTM Zone 54N に変換した。点群と画像の座標のマッチングには kd 木を用い、各画像の座標から最も近くにある点

* 新潟大学農学部 Faculty of Agriculture, Niigata University

** 新潟大学大学院自然科学研究科 Graduate School of Science and Technology, Niigata University

*** 新潟大学自然科学系 (農学部) Institute of Agriculture, Niigata University

キーワード：キャリブレーション, UAV, GPS, 農道橋舗装部, GSD 推定

を求めた。kd 木は，多次元空間を分割して二分木構造に変換する手法であり，点群から任意の点の最近傍点を効率的に探索することができる。マッチングさせた画像と最近傍点の高度差により対象点から UAV までの高度を求め，求めた高度とカメラパラメータから UAV 画像の GSD を算出した。スマートフォン画像の GSD について，各スマートフォン画像に対応する UAV 画像を用い，同じ距離に対するピクセル数の比を求めることにより算出した。計測に用いた UAV 画像とスマートフォン画像の例を Fig.1 に示す。ピクセル数の計測について，UAV 画像はキャリブレーションによって歪みを補正した画像を使用した。スマートフォン画像から現地で計測した箇所を画像中から特定し，ImageJ を用いてひび割れ幅のピクセル数を記録した。これにより求めたピクセル数と GSD によってひび割れ幅の予測値を算出し，実測値と比較した。

3. 結果および考察

スマートフォン画像の GSD 推定により求めたひび割れ幅の予測結果を図-2 に示す。図-2 は予測値と実測値の関係を散布図で示し，誤差が 0 である $y = x$ ，そこから $\pm 1\text{mm}$ の範囲を示したものである。相関係数は 0.973，決定係数は 0.948 であり，強い正の相関がみられた。予測値は全て誤差 1mm の範囲に収まっている。UAV とスマートフォンの各画像における GSD の統計値を表-1 に示す。UAV 画像の GSD は平均 0.195 cm/pixel，スマートフォン画像の GSD は平均 0.023 cm/pixel であり，スマートフォン画像の GSD は UAV 画像よりも小さく，ひび割れ幅をより高精度に推定できる。UAV とスマートフォンの画像からの予測値の誤差の統計量を表-2 に示す。UAV 画像の標準偏差は 0.618 mm，スマートフォン画像は 0.326 mm であり，GSD が小さいほど誤差が小さくなると考えられる。



UAV スマートフォン
Fig.1 UAV 画像とスマートフォン画像
UAV image and smartphone image

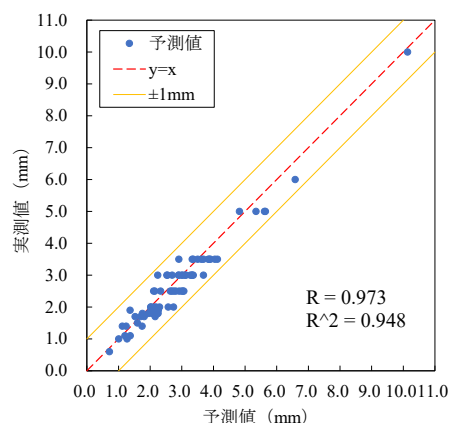


Fig.2 予測値と実測値の分布

Distribution of predicted and measured values

Table 1 撮影機器による GSD の基本統計量
Basic statistics of GSD by imaging equipment

撮影機器	平均値	中央値	標準偏差	最大	最小	データ数
UAV	0.195	0.194	0.025	0.241	0.155	15
スマートフォン	0.023	0.022	0.005	0.032	0.016	24

Table 2 撮影機器による誤差の基本統計量
Basic statistics of errors by imaging equipment

撮影機器	平均値	中央値	標準偏差	最大	最小
UAV	0.286	0.276	0.618	2.174	-0.938
スマートフォン	0.144	0.144	0.326	0.738	-0.762

4. おわりに

本研究では，点群データと画像の EXIF 情報から GSD 推定を行い，ひび割れ幅を予測した。その結果，地上から UAV までの高度から GSD 推定によってひび割れ幅を予測することができるという示唆された。

引用文献

- 1) 日本コンクリート工学会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針 2013.
- 2) 田中熙，柴野一真，鈴木哲也：ハイブリッド AI による農道橋床版部の損傷検出の高精度化，農業農村工学会誌，93(1)，pp.3-6，2025.