

## (25) 砂防堰堤点検画像作成のための 画像合成に関する基礎研究

白 宇<sup>1</sup>・河村 圭<sup>2</sup>・山野 亨<sup>3</sup>・桐山 魁<sup>4</sup>・藤田 悠介<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 学生会員 山口大学大学院 創成科学研究科電気電子情報系専攻  
(〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)  
E-mail: b501vgv@yamaguchi-u.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 山口大学大学院 創成科学研究科電気電子情報系専攻  
(〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)  
E-mail: kay@yamaguchi-u.ac.jp, y-fujita@yamaguchi-u.ac.jp

<sup>3</sup> 正会員 中電技術コンサルタント株式会社 AI・IoTプロジェクト室長  
(〒731-0101 広島県広島市安佐南区八木 5-31-1)  
E-mail: yamano@cecnet.co.jp

<sup>4</sup> 非会員 中電技術コンサルタント株式会社 情報事業部  
(〒734-8510 広島市南区出汐 2-3-30)  
E-mail: kai.kiriyama@cecnet.co.jp

現在、砂防堰堤の定期点検は、点検に必要な知識を持った複数の技術者が目視や UAV により実施している。この成果物として変状写真が記録されるが、カメラの分解能また変状の大きさの問題により、変状の一部のみ、もしくは変状全体を撮影しているが細部が見えない写真となっていることが多く、時系列での比較が困難となっている。このため、著者らは、ひび割れ全体の高解像度写真の記録手法に関する研究を行った。具体的には、幅数ミリかつ延長数メートルのひび割れを分割撮影し、撮影画像を結合することで、ひび割れ全体の高解像度結合画像を作成する。さらに、幾何学変換で、正対画像を生成することにより、異なる角度から撮影された画像においても比較できる。これにより、定期点検間隔での経年変化の確認が容易となり定期点検の高度化が期待できる。

**Key Words:** *image processing, concrete structure, crack inspection, sabo dam*

### 1. はじめに

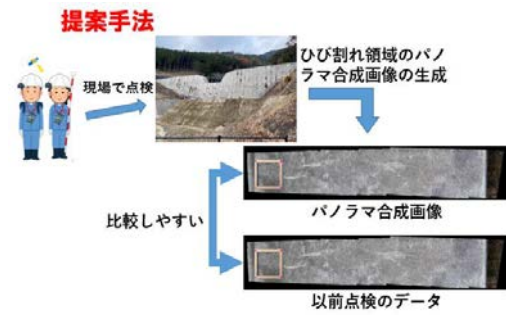
高度経済成長期に多くのコンクリート構造物が造られ、社会資本の整備が急速かつ大量に行われた。これらは、建設された時点から劣化が徐々に進行しており、現在、供用 50 年を越えるものが増加しており、その老朽化が社会問題となっている<sup>1)</sup>。このような背景から、主要な社会基盤施設の定期点検が義務化されている。コンクリート構造物の 1 つである砂防堰堤の定期点検では、漏水・湧水・洗掘・亀裂・破損・地すべり・ひび割れ等の有無などの施設状況及び施設の周辺状況が目視で確認されている<sup>2)</sup>。図-1(a)が示すように、現在の砂防堰堤の定期点検は目視点検であり、現場では点検に必要とされる知識と技能を持った複数の技術者によって、変状や損傷

が野帳や写真撮影により記録されている。しかし、検査技術者の不足、検査技術者間での結果の違い、検査の安全性、検査に時間がかかるなどの問題がある。また、現在の点検時の変状や損傷の撮影記録方法は、点検会社や点検者によって撮影条件が異なる。さらに、ひび割れ幅を記録するために、ひび割れの一部のみが撮影される場合や、ひび割れ全体(全景)を撮影しようとして、撮影対象からの距離が遠くなり、ひび割れ幅が確認できない状態で撮影記録されるという問題がある。劣化の進行を適切に把握するには、点検間隔での定量的な経年劣化記録が必要である。

本稿では、砂防堰堤の定期点検の高度化を目的とした、点検写真による外観経年劣化の比較を容易とする撮影記録方法を検討した。具体的には、ひび割れ発生領域にお



a 従来手法



b 提案手法

図-1 従来手法(a)と提案手法(b)

いて、ひび割れ幅を確実に記録すること、さらに、ひび割れ領域全体を撮影すること、撮影方向が分かることを必須の要件として、高分解能で撮影範囲を分割撮影し、撮影された複数枚の画像を合成することにより、ひび割れ全体の高分解能結合画像を作成する。ここで、図-1(b)には、本提案手法により作成されるひび割れ領域のパノラマ合成画像のイメージ図を示す。既存の写真記録と比較して、本手法では、高分解能でひび割れ全領域を撮影した正対画像が作成される。このように保存されたひび割れデータは、数年後でも現場で撮影した最新のひび割れデータと簡単に比較できることから、砂防堰堤の変状の進展を容易に見つけることができる。

## 2. コンクリート表面パノラマ合成画像作成手法

### (1) 撮影手法

本研究では、コンクリート表面を任意の角度で高解像度に撮影し、その画像を結合することで、ひび割れ全体の高分解像度画像を作成する手法を提案する。本節ではひび割れ領域の撮影手法を記述し、次節でパノラマ合成画像の作成方法を示す。なお、本研究の撮影面は平面であることを条件とし、撮影は携帯端末のカメラを利用する。点検者は、まず、図-2に示すように、四隅に赤い円マークを有する正方形の枠(二つの円の中心距離: 0.5m)を、ひび割れ端部のコンクリート表面上に設置する。枠は、撮影角度・被写体サイズを特定するために用いる。続いて、点検者は、携帯端末を用いて設置した枠が中心にな



図-2 撮影手法

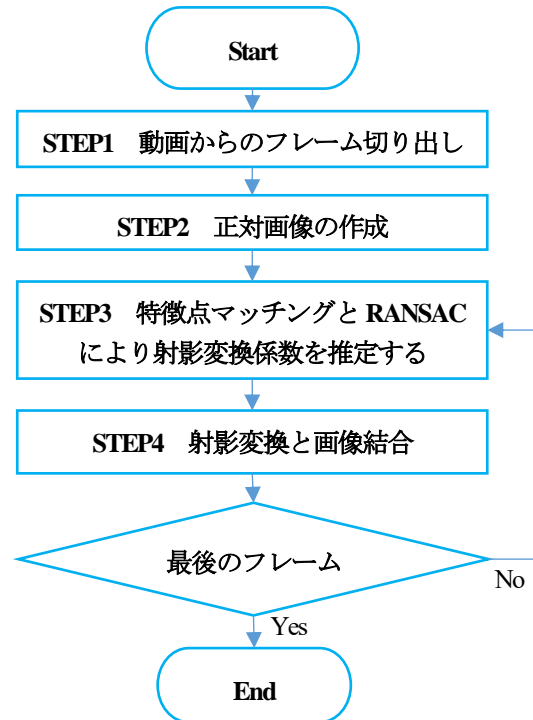


図-3 提案手法の流れ

るように撮影を開始し、ひび割れに沿って動画撮影する。ひび割れは面的に広がっていることもあるが、本研究は基礎研究であるため、一方向に伸展しているひび割れを対象とした。

### (2) 合成画像作成手法

図-3は合成画像の作成手順である。

STEP1: 動画から各フレームを切り出し、png形式の静止画像として保存する。

STEP2: 点検現場での撮影は、点検者は携帯端末を手で持って撮影することから、常に被写体に正対して撮影することはできない。そのため、本研究では、図-2に示す枠を利用して正対画像を作成し、枠が撮影されていない画像は、この正対画像を利用することで、正対したパノラマ合成画像を生成する。図-4には枠の正対化イメージを示す。また図-5は正対画像の作成手順である。なお、STEP3以降は、本ステップで正対化された画像を画像間結合開始の1枚目として、画像間結合を開始する。

STEP2.1: 枠が撮影された画像の正対画像化では、まず、画像の画素値をRGB形式からHSV形式に変更する。こ

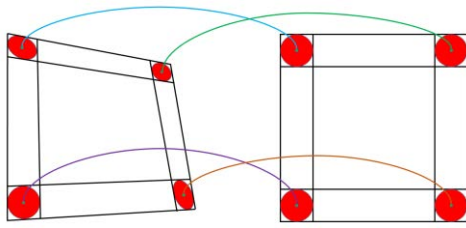


図4 撮影画像の正対化イメージ

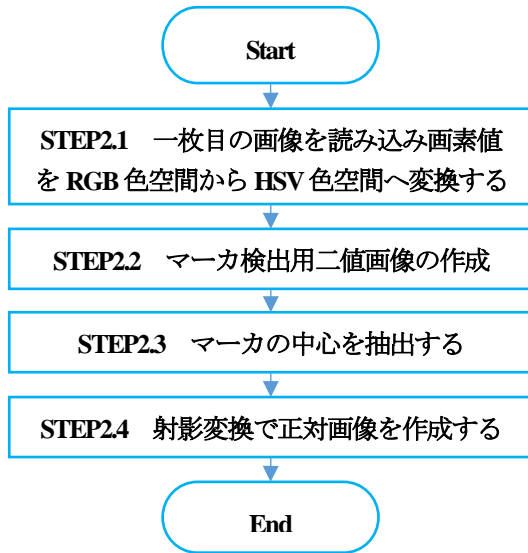


図5 正対画像の作成のフロー図

の形式のパラメータは、色調(H)、彩度(S)、明度(V)である。特定の色の範囲を、RGBの値で範囲指定することが難しいため、HSV色空間を使用した。本研究では、正対画像化のために設置する枠の四隅にある赤い円形マークを画像から抽出するために、HSV形式において赤色の範囲を数値として指定する必要があった。

STEP2.2: STEP2.1でRGBからHSVへ変更した画像から、式(1)に従って、二値画像を作成する。具体的には、赤い円の画素を白色(画素値:255)とし、それ以外の画素を黒色(画素値:0)とする。

$$I(x,y) = \begin{cases} 255, & (140,60,80) \leq h(x,y) \leq (180,255,255) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、座標 $(x,y)$ における画素値を $I(x,y)$ 、HSV色空間の $(H,S,V)$ の値を $h(x,y)$ と示す。式中のHSVの値は、事前実験によりHSV画像から赤色円形マークが抽出されるように設定した範囲である。図-6は、本ステップの画像処理イメージであり、右側画像はHSV変換した画像を式(1)により二値化した画像である。

STEP2.3: 円の中心座標を決定する処理を行う。具体的には、円の幾何学的特性から、円の幾何学的重心は円の中心が自明なので、STEP2.2で抽出された白色領域の重心を求めることで、赤色マークの中心座標とした。

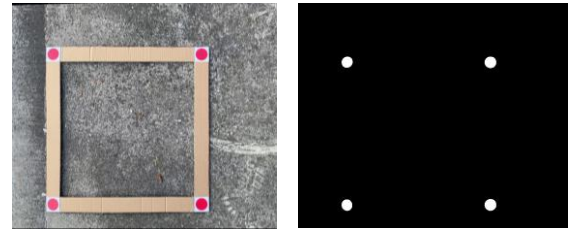


図6 マーカを抽出した二値画像  
(左:元の画像, 右:マーカの二値画像)

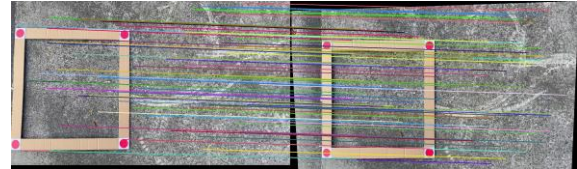


図7 特徴点マッチングの結果

STEP2.4: 設置枠は $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ の正方形であることから、同一の辺にある四隅の円の中心間の距離は同じである。したがって、STEP2.3で検出された4つの円の中心の座標を正方形の配置に復元することにより、正対画像を取得できる。具体的には、式(2)に示す射影変換により正対画像を生成する。

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

ここで、式中の $a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{21}, a_{22}, a_{23}, a_{31}, a_{32}, a_{33}$ は、行列 $3 \times 3$ の射影変換係数である。 $(x, y)$ は変換前の座標であり、 $(x', y')$ は変換後の座標である。なお、変換係数は、4カ所の変換前と変換後の座標ペアがあれば求まる。枠が撮影された画像では、STEP2.3で四隅の円マークの中心座標が求められ、生成したい正対画像中での4隅の円マーク中心座標は正方形の頂点に位置することから4カ所の座標ペアが決まり、変換係数が求まる。

STEP3: 本ステップでは、重なり領域を持つ隣接した2枚の画像を合成する。2枚の画像を合成するには、画像中の特徴点を抽出してマッチングさせる必要がある。本稿では、特徴量記述子として、AKAZE, SIFT, ORB手法を用いて画像合成の精度比較を行った。特徴点が抽出された後の2つの画像の特徴点のマッチング(図-7)には、総当たりマッチング(Brute-Force Matcher)を用いた。本マッチングは、結合先画像にある特徴点の特徴量と、結合元画像の全特徴点の特徴量のユークリッド距離計算を行い、最も距離が小さい特徴点を、対応する特徴点として選出する手法である。

STEP4: 本ステップでは、STEP3の結果として得られた2枚の画像間のマッチング結果と式(2)を利用して画像合成を行う。STEP2.4に記述したように、式(2)の変換係数は、対応している特徴点が最低4つ必要である。しかし、

表-1 ラップ率ごとの結合誤差(単位：m)

ラップ率	50%	60%	70%	80%	90%
AKAZE	0.11	0.38	0.18	0.1	0.09
SIFT	0.22	0.32	0.27	0.16	0.15

外れ値を考慮しながら、より多くの対応点を利用する方が、結合精度が高くなる。このため本研究では、RANSAC 手法を用いて、変換係数を求めた。なお、2枚の画像を結合し合成画像を生成する際の重なり領域の画素値は、結合元画像の画素値を用いた。

### 3. 実験

#### (1) 実験概要

本章では、2章にて提案した合成画像作成手法の検証結果を示す。本実験で使用した写真は、広島県広島市安佐南区八木地区の砂防堰堤のコンクリート表面である。本実験の被写体は、一方向に伸展している一本のひび割れであるため、ひび割れの端からもう一方の端まで伸展方向に沿って動画を撮影した。また、本実験の撮影では iPhone11 を使用した。撮影動画の解像度は 1920×1080pixel であり、フレームレートは 30fps である。手動での撮影のためカメラレンズとコンクリート表面の距離を一定に撮影することは難しいが、1.2mの距離を意識して撮影した。このため、コンクリート表面の画像分解能はおおよそ 0.8mm/pixel である。本実験では、合成画像作成への結合画像間のラップ率の影響を検証するために、ラップ率が 50%、60%、70%、80%、90%と異なる画像を合成し比較を行った。なお、本実験では、撮影画像より、設定したラップ率の画像を自動的に抽出することは困難であることから、目視での確認により結合処理を行う画像を抽出した。

#### (2) 実験結果

本実験では、特徴量記述子として AKAZE, SIFT, ORB 手法を用いて画像合成を行ったが、ORB では特徴点を得ることができず画像合成に失敗した。表-1 は、実際に現場計測したひび割れ延長方向のコンクリート面の長さ(2.62m)と、画像合成からコンクリート面の長さ推定した推定値を比較した結果である。すべてのケースで、0.1~0.3m程度の誤差が発生しているが、AKAZE, SIFT ともに、ラップ率が 90%の場合に最も誤差が小さくなった。表-1 と図-8の結果より、ラップ率が 60%周辺の延長誤差が大きいことから、今回の実験ではカメラの歪み補正を



a ラップ率 50%で合成された結果



b ラップ率 60%で合成された結果



c ラップ率 90%で合成された結果

図-8 AKAZE 特徴点検出手法の結果  
(ラップ率：50%(a), 60%(b), 90%(c))

行っていなかったことが誤差の原因の1つであると考えられる。また、特徴点が画像間の重なり領域に均等に分布していない場合も適切な射影変換係数を得ることができない原因となる。今後さらに原因を追究する必要がある。

### 4. おわりに

本稿では、ひび割れの経年劣化の比較を容易にする点検写真の撮影また記録手法を提案した。

特徴量記述子として AKAZE, SIFT を用いた場合は、コンクリート表面の画像間結合が可能であったが、今後、汎用性については検証する必要がある。さらに、画像間のラップ率によって合成画像の大きさが異なることから、画像変形の原因や結合画像形状の高精度化の検討を進める必要がある。

### 参考文献

- 1) 松村英樹：コンクリート構造物の点検・調査・診断の現状，コンクリート工学，Vol.39, No.6, pp.8-9, 2001.
- 2) 国土交通省砂防部保全課：砂防関係施設点検要領，<[https://www.mlit.go.jp/river/shishin\\_guideline/sabo/sabo\\_tenkenyouryou\\_202003.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/sabo/sabo_tenkenyouryou_202003.pdf)>(入手 2022.5.16).
- 3) 奥富正敏：デジタル画像処理[改訂第二版]，pp.189-190，日興美術株式会社，2015.