

# 静岡大学と「新技術開発」にチャレンジ！

## 静岡大学との共同研究 「画像からコンクリート構造物のひび割れを自動検出するシステム」

(株)建設コンサルタントセンター 高野 隼行

### 1. はじめに

当社は令和3年度に静岡大学 工学部 電気電子工学科 応用画像処理研究室と共同研究を行った。県内で建設コンサルタントと地元の大学が共同研究を行った希少な試みと考える。今回の発表では、この共同研究についてどのような経緯で、どのような研究を行ったのか紹介する。

### 2. 共同研究の経緯・着手までの流れ

ここでは、どのような経緯で共同研究を始めることとなったのか、共同研究を着手するまでの流れを述べる。

#### 2-1. 当社 ICT への取り組み

当社では、2016年より社内に ICT 推進室を設立して、UAV 空撮、3次元測量、CIM 等に取り組んできた。この ICT 推進室の活動の一環で、上向きカメラ搭載型 UAV を導入した。

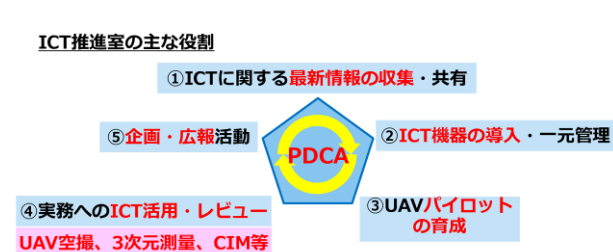


図-1 当社 ICT 推進室の主な役割

写真-1 上向きカメラ搭載型 UAV (M210RTK)

#### 2-2. 「UAV による橋梁床版調査」の実務への活用

2018年に以下のような内容で、上向きカメラ搭載型 UAV を橋梁補修設計に活用した。

- ・ 静岡県下田土木事務所発注の「老朽化した床版の長寿命化を目的」とした橋梁補修設計の業務。急峻な崖地形で、上向きカメラ搭載型 UAV を活用し、床版全体を撮影して、損傷状況をオルソ画像で記録した。
- ・ 結果、床版全体のオルソ画像から、損傷状況（ひび割れ等）を正確に記録することができた。



写真-2 UAVによる桁下の撮影

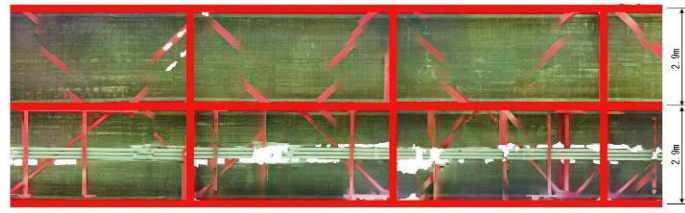


写真-3 床版全体のオルソ画像

### **2-3. 静岡県の新技術・新工法登録への取り組み**

当社では、実務で有効活用できた上記技術「上向きカメラ搭載型 UAV による橋梁床版調査」を、2019 年に静岡県の新技術・新工法へ登録しようと試みた。新技術登録のため、新技術の登録申請書の作成および当時の建設技術企画課と協議を行った。

結果、当技術については、自社で独自開発したと明確に言える部分が無い（当社独自の  $+\alpha$  の開発を求められた）ため、登録は見送りとなった。

### **2-4. 新技術交流イベントでのマッチング**

当社では「UAV による橋梁床版調査」について、2018 年より静岡県が主催する『新技術交流イベント』に出展している。

出展時のアンケートで、出展者側からの要望（ニーズ）を記載する機会があった。当時、橋梁点検等の損傷図作成の実務でひび割れのトレース作業等に苦勞しており、当アンケートで「画像から自動でひび割れを検出する技術」を要望した。

アンケートの結果、当時の静岡県建設技術企画課の担当者から、同イベントに出展していた、「静岡大学の応用画像処理研究室」を紹介して頂いた。同研究室は、画像計測技術を専門に研究しており、「3次元画像計測を応用した道路法面の土砂災害発生の予兆検知技術」で出展していた。



写真-4 2021年の出展ブース



写真-5 2022年出展ブース

### **2-5. 共同研究着手までの流れ**

ここでは、新技術交流イベントで静岡大学とマッチング後、どのような流れで共同研究着手に至ったのか紹介する。

#### **(1) 大学との協議**

まず、大学との協議を行った。開発したい技術の内容（コンクリート構造物の画像からのひび割れの自動検出、ひび割れ幅・長さの判別等）を説明し、その実現可能性について相談した。

結果、「建物の損傷を画像で計測する」研究を以前したことがあり、実現の可能性があ

ることが確認された。これが、「UAVによる橋梁床版調査」の当社独自開発の技術になると見込み、共同研究着手が決定した。

#### (2) 共同研究の仕様書の作成

共同研究に着手するため、仕様書を作成して、事前に大学側と研究開発するシステムイメージの共有を図った。

#### (3) 共同研究の契約

共同研究の契約書を作成し、役割分担、費用負担、研究成果の取扱いに関する事項などを定めた。

#### (4) 学生の卒業論文の研究テーマになる

本共同研究は、学生（学部生1名、修士1名）の研究テーマとなった。

また、本共同研究の成果は、土木学会「構造工学委員会」の主催する第2回・第3回のAI・データサイエンスシンポジウムに論文投稿（当社共同執筆者）されている。

### **3. 共同研究の内容**

ここでは、研究の体制（当社と静岡大学の役割分担）や、共同研究を実際に行った際の課題と解決策について述べる。また、実際に開発したシステムの内容および、参考ケースでの検証結果についても説明する。

#### **3-1. 共同研究の役割分担**

共同研究の当社と静岡大学の役割分担は、下記のとおり。

##### 1) 当社の作業

①教師データ（撮影画像）の提供、②システムの検証

##### 2) 静岡大学の作業

①学会や全国の大学教授とのネットワークを通じた、最先端の研究の収集・把握

②システムの研究開発

#### **3-2. システム開発の課題と解決策**

##### (1) 使用するAIの選定

課題) ひび割れの検出は、様々な条件（多種多様なひび割れの形状、コンクリート面の色彩、打継目やジャンカ、撮影画像の明暗・解像度・ピント・対象までの距離等）に左右されるため、条件に合うひび割れの検出手法（AI）を選定することが課題であった。

解決策)

・画像からひび割れを検出する手法は、現在数多くの研究が進む分野である。大学側で、土木学会の論文等から類似研究を調査して、各種の手法を試行・検討した。

・検討の結果、今回の開発目的へ適応性が高いAIと判断された「セマンティックセグメンテーション（ディープラーニングの1手法）」を本共同研究のひび割れの検出手法とした。

## (2) ひび割れ幅の情報を持たせたい

課題) ひび割れの画像から、幅を検出することが課題であった。

解決策)

- ・ ひび割れの検出手法の「セマンテックセグメンテーション」によりひび割れ幅の検出が可能となった。
- ・ 検出したひび割れ幅毎に、色分けして出力できるシステムとした。

### ◆ ひび割れ幅の検出方法

ひび割れ幅は、画素分解能（1ピクセルの実延長）を利用することで検出できる。図-2のように、1ピクセル（1画素）単位でひび割れの有無を検出する（=着色部が検出したひび割れを示す）。

1ピクセルのサイズは、下記例のとおり、カメラの解像度および撮影対象のサイズ(or 撮影距離)が分かるとひび割れ幅を算定することができる。

例) 縦方向 3456ピクセルのカメラを使用して、縦方向 450mmの範囲を撮影する。

(1ピクセル =  $450/3456 \approx 0.1\text{mm}$ )  $\Rightarrow$  (2ピクセル = 約 0.2mm 幅のひびわれ)

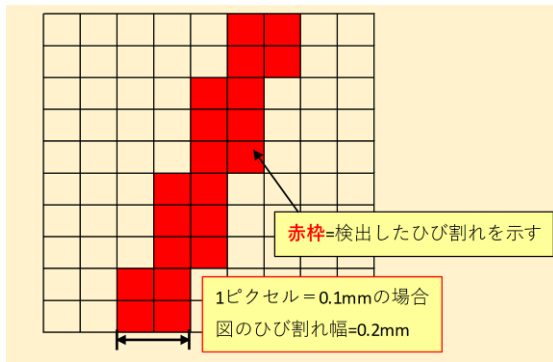


図-2 ひび割れ幅の検出イメージ図

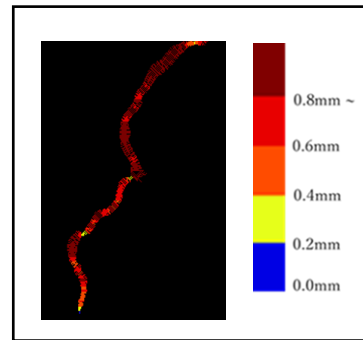


図-3 ひび割れ幅毎に色分けして出力

## (3) ひび割れのCAD化

課題) 検出したひび割れを自動でCAD化することが課題であった。

解決策)

- ・ システムでひび割れを自動で座標リスト（SIMAデータ）に出力できるようにした。  
当社所有の測量CADにSIMAデータを取り込むことで、自動でCAD化できる。

### 3-3 開発したシステム

ひび割れの自動検出からCADデータ化までの一連の流れをシステムとして開発した。

以下に開発したシステムの一連の流れを示す。

#### (1) SfMソフトで撮影画像のオルソ画像化

- ① 現場で対象を撮影する。撮影画像をオルソ画像化するため、ラップ率 50%程度を確保する。
- ② 撮影した画像は、SfMソフトに取り込み、オルソ画像化する。

## (2) システムでひび割れの自動検出

- ① Web クラウド上で、システムを起動する。Web クラウドは、Google Colab (※1) を使用した。
- ② オルソ画像を取り込み、画像の前処理を実行する。ひび割れの検出作業は、高度な画像処理が要求されるため、画像を分割することで、画像処理の負担を減らす。
- ③ 前処理した画像から、AI によりひび割れを自動検出する。

(※1) Google Colab は、Google が提供する、Web クラウド上でプログラミングの記述・実行ができるサービス。Google Colab の GPU を使用するため、使用 PC の性能に作用されずに、システムを使用できる。

## (3) ひび割れの CAD 化

- ① システムで自動検出完了後、検出したひび割れの画像および座標リスト (SIMA データ) を出力する。
- ② SIMA データを当社測量 CAD に取り込むことで、自動でひび割れが図面化される。  
⇒ SIMA データは、ひび割れの座標が、ひび割れ毎に区画分けされているため、ひび割れ毎のポリラインを自動で図面化できる。

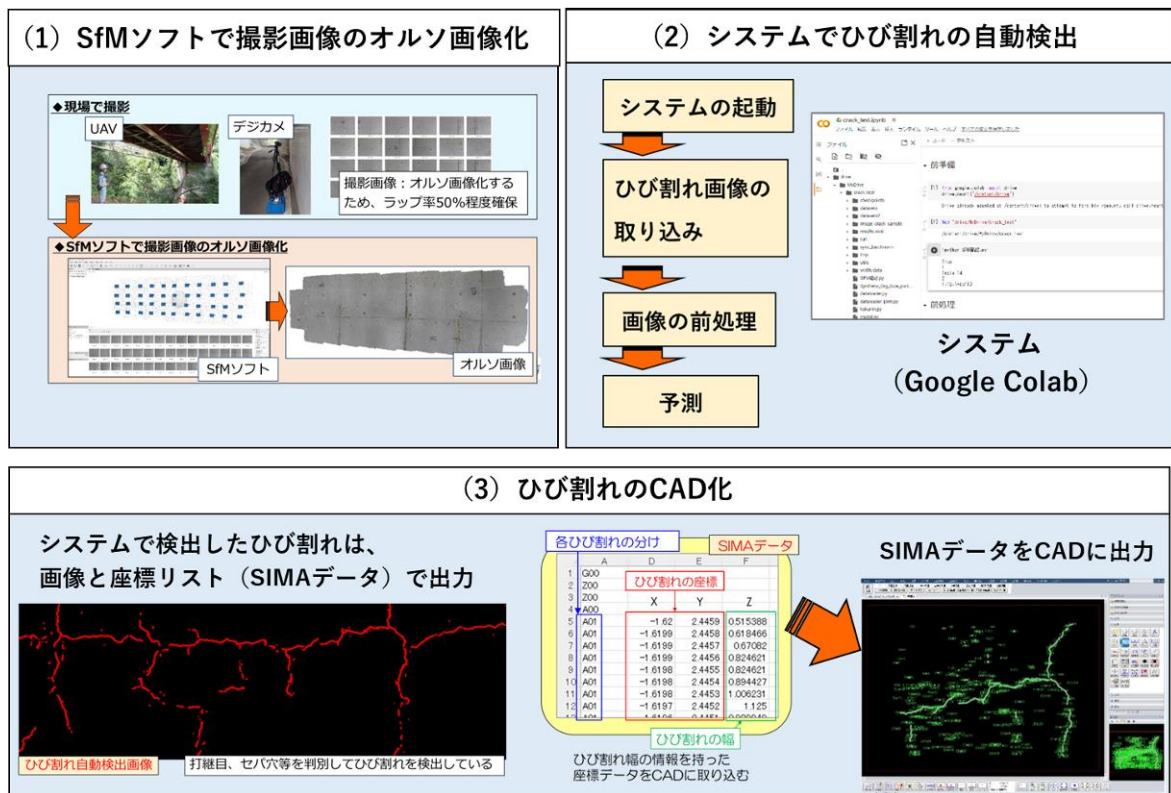


図-4 「画像からコンクリート構造物を自動検出するシステム」作業の流れ

## 3-4 システムの検証

開発したシステムについて、参考3ケースで検証を行った。検証対象および検証結果について、「図-システムの検証対象」「システムの検証結果」に示す。

また、検証結果から得られたシステムの総評を下記にまとめる。

## ◆システムの総評

参考ケースでは、幅 0.1mm~0.2mm のひび割れを 9 割検出できた。

また、現状のシステムでは、以下の課題がある。

- ①ドメインの違い(撮影対象や環境の違い)によりひび割れの検出精度に差がある。
- ②画像処理の高速化(現段階では、検証②=3m×1mサイズのオルソ画像程度が、システムの処理の限界【処理時間=50分程度】)
- ③システムの操作性の向上
- ④座標リスト(SIMAデータ)からCAD図変換の省力化



検証対象	
<p>◆<b>構造物①</b></p> <p><u>比較的日当たりの良い</u> BOXカルバート側面のひび割れ</p> <p>・検証①(写真) ・検証②(オルソ画像)</p> 	<p>◆<b>構造物②</b></p> <p><u>暗い、汚れが目立つ</u> BOXカルバート頂版のひび割れ</p> <p>・検証③(写真)</p> 

図-5 システムの検証対象

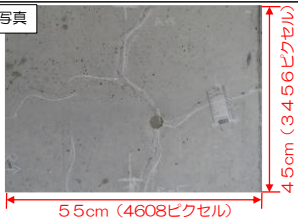


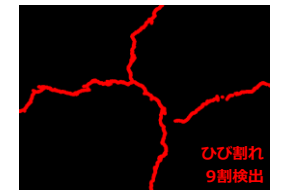
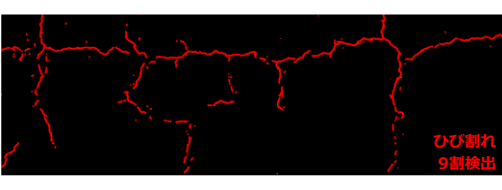
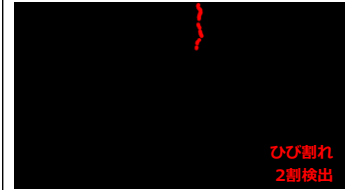
検証①	検証②	検証③
構造物①	構造物①	BOXカルバート(興津)
画像処理・解析時間=10分程度	画像処理・解析時間=50分程度	画像処理・解析時間=10分程度
<p>写真</p>  <p>5.5cm (4608ピクセル) × 4.5cm (3456ピクセル)</p>	<p>オルソ画像</p>  <p>3.00m (25706ピクセル) × 1.00m (9106ピクセル)</p>	<p>写真</p>  <p>65cm (5472ピクセル) × 4.5cm (3078ピクセル)</p>
 <p>ひび割れ 9割検出</p>	 <p>ひび割れ 9割検出</p>	 <p>ひび割れ 2割検出</p>
幅0.1~0.2mmのひび割れをほぼ検出できている。	オルソ画像にしたもので、サイズが大きいくひび割れの検出に時間がかかる。	画像上の0.2~0.3mmのひび割れの内、2割程度を検出できている。

図-6 システムの検証結果

## 4. 今後の予定

本共同研究を終えて、今後の予定は、前回の「UAVによる橋梁床版調査」に、今回共同開発した「画像からコンクリート構造物のひび割れを自動検出するシステム」を当社独自の+αとすることで、今年度の新技術・新工法登録を目指している。

また、本システムそのものは、橋梁以外のコンクリート構造物にも適用可能であるため、今後実務の中で試行・検証していきたいと考えている。