

ドローンと AI を活用した、コンクリート構造物の幅 0.1mm 程度のひび割れ検出

株式会社トップライズ 法人会員 ○ 長崎 清 植木 淳平
株式会社スカイフォトサービス 高橋 和泉 井上 博也

1. はじめに

わが国のインフラ老朽化対策において、コンクリート構造物のひび割れ点検は重要である。ひび割れ点検は近接目視を原則としているが、例えば高い橋脚等において安全を確保しながら近接目視を実施するためには多大なコストが必要になると考えられる。

このように近接目視が難しいケースにおいて、ドローンと AI を活用することにより、コンクリート構造物の幅 0.1mm 程度のひび割れを検出するための実証実験を行ったので、その有効性と実用性について報告する。

2. 実証実験の流れ

本実証実験は、図－1 の流れで実施することとした。

各作業の概要は表－1 の通りである。



図－1 実証実験の流れ

表－1 各作業項目の概要

	作業項目	場所	作業概要
1	飛行撮影	現場	写真上で幅 0.1mm のひび割れを判読できるように、飛行撮影を実施
2	精度管理		撮影した画像が AI 解析に使用可能か否かを検査、不合格の場合は再撮影
3	画像処理	内業	オルソモザイク（撮影した写真同士を結合した 1 枚の正射投影画像）を作成
4	AI 解析		オルソモザイクを AI で解析し、ひび割れを検出
5	目視検査		写真を大きく拡大して AI 解析結果を目視で検査し、必要な修正を実施

3. 飛行撮影

3.1 使用するドローン、カメラと主な性能

使用するドローン、カメラを図－2 に、ドローンとカメラの主な性能を表－2 に示す。

ドローン (DJI Matrice350RTK)	ドローン搭載用カメラ (DJI ZenmuseP1)
	

図－2 使用したドローンとカメラ

表－2 ドローン、カメラの主な性能

機種	主な性能
ドローン DJI Matrice350RTK	① 飛行時間：約 25 分～30 分（ZenmuseP1 を登載し安全を考慮した場合） ② 機体保護のため、胴体に標準搭載のセンサーで 6 方向の検知、測位を可能

	③ 最大風圧抵抗：12m/秒
カメラ DJI ZenmuseP1 動画では解像度が粗くなるため、静止画での撮影を採用	① フルサイズセンサー（36mm×24mm） ② 有効画素数：45MP ③ ピクセルサイズ：4.4μm ④ 静止画写真サイズ：横 8192P、縦 5460P ⑤ レンズ焦点距離：35mm フルサイズセンサーカメラを使用する主な理由は以下の通りである。 ア）広いダイナミックレンジで、明暗差のあるひびの影を克明に映す。 イ）受光量が多く低ノイズなため、AIの微細な変状識別率を高める。

- 3.2 撮影時の画像解像度、離隔距離1（カメラレンズとコンクリート構造物の距離）、静止画1枚の撮影範囲
飛行撮影にあたり、画像解像度、離隔距離1、写真1枚の撮影範囲の値は以下の通りとなる。

表－3 画像解像度、離隔距離、撮影範囲

項目	値	算出根拠、計算式
画像解像度	0.3mm	検出する最小ひび割れ幅である0.1mmの3倍の値（木本，松田（2019）は、画像解像度の1/5～1/3の幅のひび割れ検出が可能であることを実証）
離隔距離1	2.4m	離隔距離1＝画像解像度÷ピクセルサイズ×レンズ焦点距離 ＝0.3÷(4.4÷1000)×35＝2386mm＝約2.4m
静止画1枚の撮影範囲	4.0m ²	撮影範囲＝(横のピクセル数×画像解像度)×(縦のピクセル数×画像解像度) ＝(8192×0.3÷1000)×(5460×0.3÷1000)＝4.02m ² ＝約4.0m ²

表－3から写真1枚の撮影範囲は4.0m²と小さいため、コンクリート構造物を表現するためには、高精度のデジタルオルソを作成する必要がある。そのためには十分なオーバーラップ、サイドラップをとって大量の静止画を撮影する必要がある。また、デジタルオルソにおける画像解像度をほぼ均一にするために、カメラはコンクリート構造物と正対するようにして、離隔距離1を合わせて撮影する必要がある。

このような課題を解決するために、「FLIGHTS CONTROL」（株式会社 FLIGHTS）を使用することとした。

3.3 FLIGHT CONTROL の使用

FLIGHTS CONTROL は DJI Matrice350RTK の胴体に標準搭載されている各種の機体センサーを用いて、ドローンの飛行と撮影を制御する自動飛行撮影アプリで、Matrice350RTK のプロポ（送信機）にインストールして使用するものである。FLIGHTS CONTROL から得られる機能と効果は表－4の通りである。

表－4 FLIGHTS CONTROL により得られる機能と効果

	機能と効果
1	上下方向への自律（自動）飛行（コースの始点へのドローンの移動，となりのコースへのドローンの移動は操縦士がプロポで操作する必要がある。→ 高い操縦技術とノウハウが求められる。）
2	ドローンを自動的に撮影位置に静止（ホバリング）させ，自動的に撮影を実施（これにより，一定でかつ十分なオーバーラップ，サイドラップを確保した撮影が可能になる）
3	機体センサーと構造物の距離（離隔距離2）が一定になるように，ドローンの位置を自動的に制御（カメラレンズは機体センサーから0.1m手前にあるため，離隔距離2＝2.4＋0.1＝2.5mとなる）
4	カメラがコンクリート構造物と正対する方向になるように，カメラの方向を自動的に制御

4. 精度管理

株式会社 FLIGHTS は FLIGHTS CONTROL の他に、ZenmuseP1 で撮影した静止画の品質を検査できる精度管理アプリを提供している。精度管理アプリを搭載した PC を現地に持参し、撮影データを PC に全てアップロードし、表－5に示した項目を検査することで、その場で再撮影が必要な否かを確認できる。

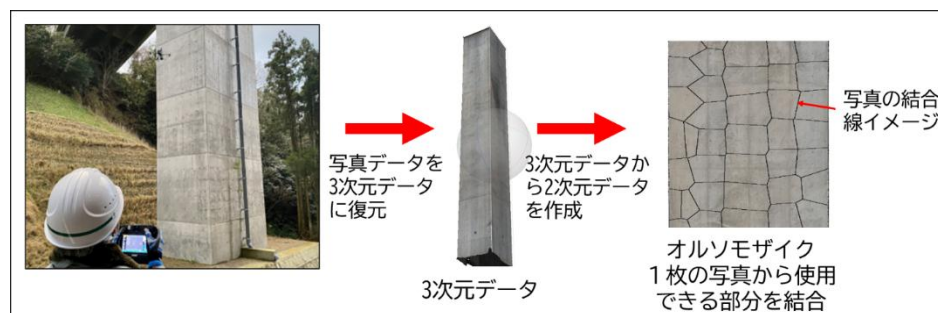
精度管理アプリはその場で再撮影の必要性を確認でき、必要な場合は速やかに再撮影を実施できることから作業効率化に繋げられる。本実証実験ではこの精度管理アプリを使用することとした。

表－5 精度管理アプリの検査項目

- ① 撮影箇所のもレ、② ピンボケ、ブレの有無、③ 撮影時の日照条件、④ 撮影対象面での解像度、⑤ 撮影角度、⑥ 撮影ラップ率 → ①から⑥まで全て合格の画像のみを採用し残りは再撮影をする

5. 画像処理

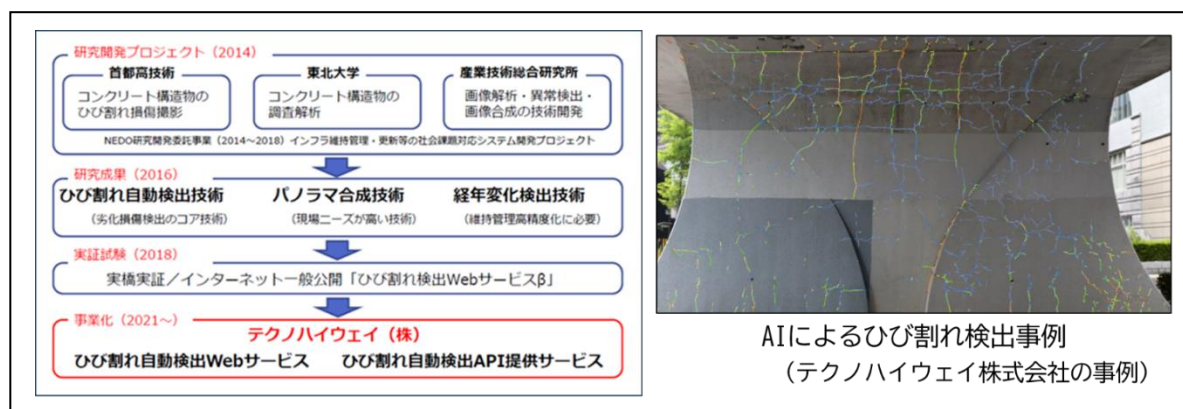
前述したように、静止画1枚の撮影範囲は4m²と非常に小さいため、図－3に示すイメージで構造物全体を表示するために二次元のオルソモザイクを作成する必要がある。本実証実験においてはMetashpe Pro (Agisoft 社)を使用してオルソモザイクを作成することとした。



図－3 オルソモザイク作成イメージ

6. AI 解析

コンクリート構造物のひび割れを目視で漏れなく検出することは事実上不可能である。そのため、画像処理で作成したオルソモザイクからAIによる解析でひび割れを抽出することとした。本実証実験では、図－4に示すように「ひび割れ自動検出 Web サービス」(株式会社テクノハイウェイ)を使用した。



図－4 ひび割れ自動検出 Web サービスの概要と事例

7. 目視検査

上記の画像処理で作成した解像度0.3mmのデジタルオルソは、それを拡大表示させることにより、目視でも幅約0.1mmのひび割れ判読を行うことが可能になる。AI解析によるひび割れ抽出と、目視によるひび割れ判読は、それぞれ表－6に示す利点と課題がある。

表－6 AIによるひび割れ検出と目視判読の利点と課題

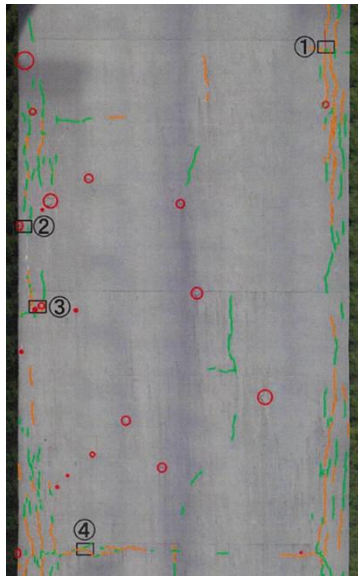
手法	利点	課題
AI	ほぼ全てのひび割れを検出することが可能	ひび割れ以外をひび割れと認識する場合有り
目視	ひび割れかひび割れでないかの判別ができる	ひび割れを漏れなく検出することが困難

以上から精度よく効率的にひび割れを検出するために、以下の手順で作業を実施することとした。

- ① AIを用いて、ひび割れ(候補)を検出する。
- ② AIが検出したひび割れ(候補)を目視で検査し、ひび割れ箇所を特定する。

8. 実証実験結果

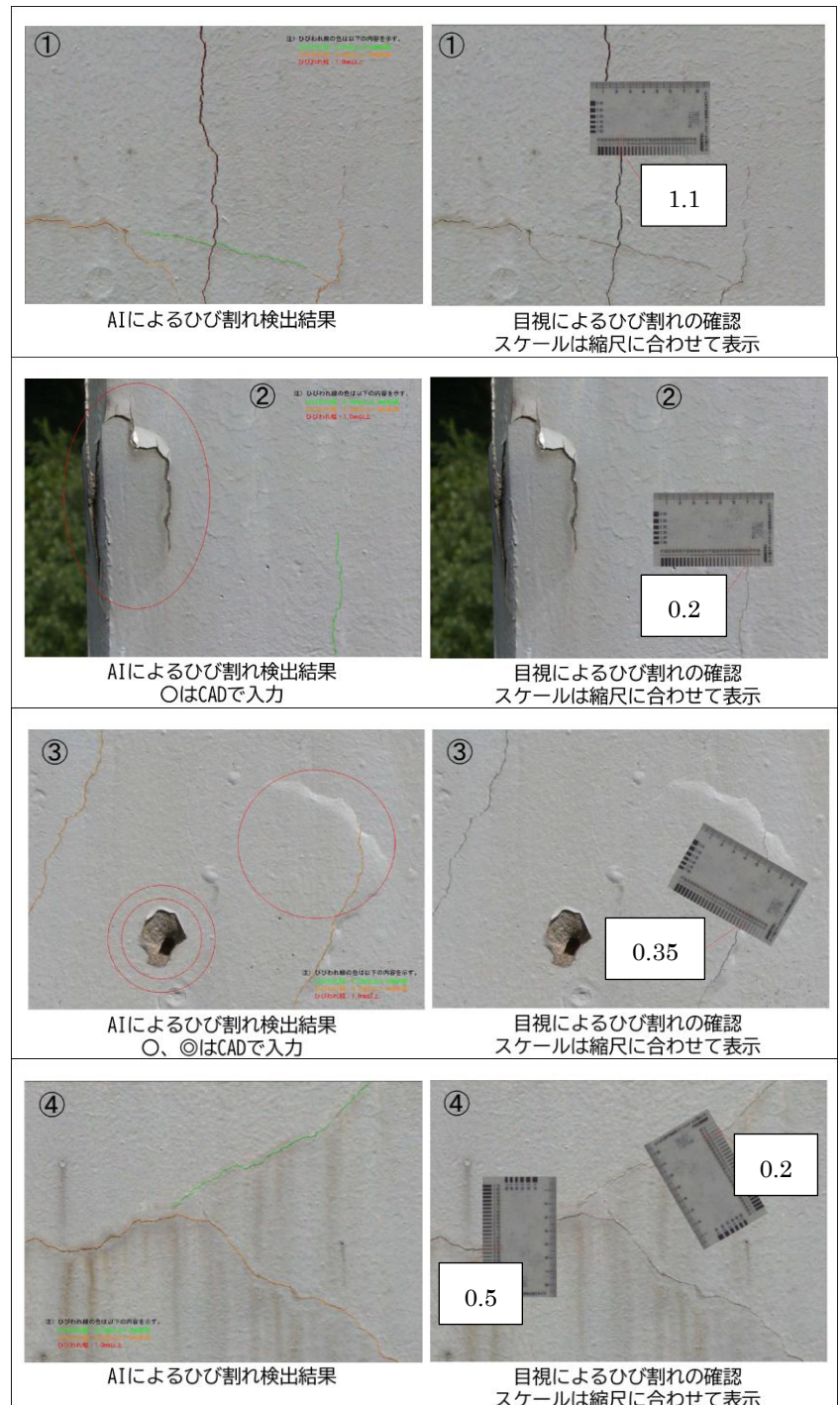
実証実験はコンクリート橋の橋脚について実施した。その結果は以下の通りである。



図－5 実証実験の橋脚

図－5は、実証実験を行った橋脚であり、図－6は、図－5に示した①～④を拡大した図である。目視によるひび割れ確認においては、電子スケールを使ってひび割れの幅を測定した。四角の中の数値は電子スケールで判読したひび割れ幅（mm）である。

電子スケールは写真の表示縮尺に合わせて表示している。図－6は縮小して表示しているのだから分かりにくいPCのモニター上では0.05mmまではっきりと表示できており、このことは目視でも幅0.1mmのひび割れを確認することができることを示している。



図－6 ひび割れ箇所の拡大図

9. まとめ

本実証実験により、コンクリート構造物で近接目視が難しい場所でも、ドローン、FLIGHTS CONTROL、AI等を活用することで、幅0.1mm程度のひび割れを検出できることを確認することができた。弊社はRのかかったコンクリート構造物でも同様の手法で幅0.1mm程度のひび割れ検出が可能であることを確認している。今後は、この手法を用いて高精度で効率的なひび割れ点検を行っていく予定である。

参考文献

1. 木本啓介，松田浩：デジタル画像の画素分解能とコンクリートの視認可能なひびわれ幅に関する検証，土木構造・材料論文集，第35号，pp.109-117，2019.12.