

36. 画像処理を用いたダム堤体の外観調査

UAV マルチコプタ撮影画像によるひび割れ抽出例

安藤ハザマ
同
同

○ 野間 康隆
武石 学
澤田 純之

1. はじめに

社会インフラが老朽化していくなか、厳しい財政状況や技術者不足の状況下であっても維持更新が可能となる技術の開発が求められている。維持更新のためのインフラ点検業務では河川橋脚やダム堤体など大規模な足場設置が必要で墜落の危険がともなう場合もあり、これらの点検に費用、人手や時間がかかることが課題となっている。

これらの解決策として、対象物を遠方から撮影し、劣化具合やひび割れ箇所を調査する方法もあるが、カメラ解像度の関係からひび割れ幅や長さなどの詳細な情報を得るには限界がある。UAV マルチコプタ（以下 UAV）を適用することで対象物を近接撮影する方法も試みられているが、既存の UAV には安全に対象物に接近する機能は装備されていないため、操作者の操作ミスや GPS 測位精度の限界から接触、墜落する懸念があった。

そこで、筆者らは、撮影対象物まで安全に接近してひび割れを自動で検出できる「構造物のひび割れ検出システム」を開発し、実用化した。

2. システムの概要

2.1 システムの機器構成

今回開発した「構造物のひび割れ検出システム」は、衝突回避機能付き UAV と当社独自の画像処理アルゴリズムを用いたシステムで、以下の 2 つの機器で構成されている。

(1)衝突回避機能付き UAV（写真-1）

- ・マルチロータ式 UAV：6 ロータ、離隔距離制御用のワンボードマイコン装備
- ・ペイロード：4kg
- ・耐風性能：10m/秒
- ・小型レーザ距離計：写真-1,表-1 参照

表-1 レーザ距離計の仕様

重量	22g
大きさ	20mm×48mm×40mm(B・W・H)
測定範囲	0~40m
精度	±25mm
測定周波数	500fps
レーザークラス	1

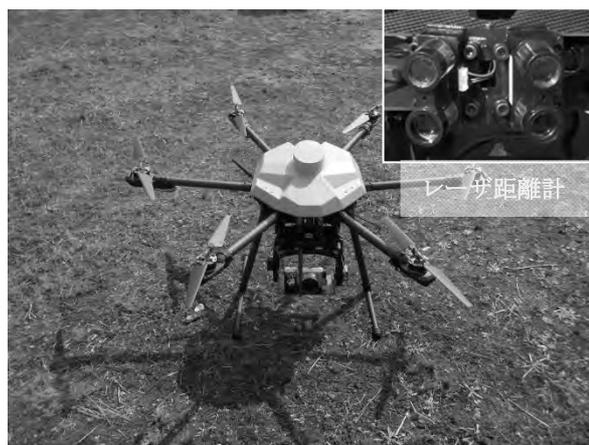


写真-1 衝突回避機能付き UAV

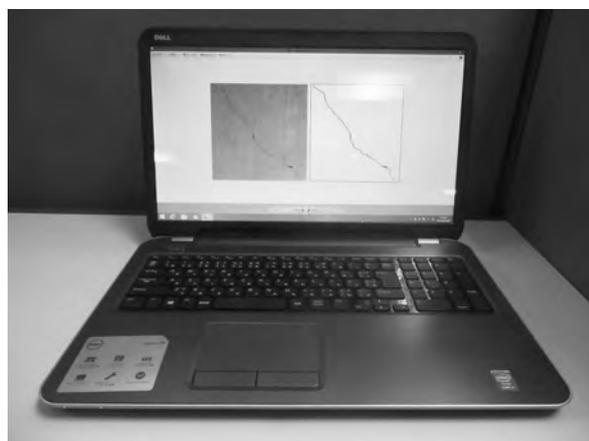


写真-2 ひび割れ抽出システム

(2)ひび割れ抽出システム（写真-2）

- ・画像処理用パソコン
- ・ひび割れ抽出画像処理プログラム

2.2 システムの仕組み

(1)衝突回避機能付き UAV

- ・2つのレーザ距離計で前方の対象物までの距離を計測し、測定した距離を基にワンボードマイコンで離隔距離を保つようフライトコントローラを制御している。

(2)ひび割れ抽出

UAV に搭載したカメラで取得した画像を画像処理用パソコンに転送し、ひび割れ抽出画像処理プログラムで処理を行うことで、ひび割れ抽出を行う。ひび割れ画像とこの画像からひび割れを抽出した結果の一例を図-1 に示す。この事例のように本システムを使用すれば、図-1(a)に示すようなひび割れ画像から、図-1(b)に示したひび割れ抽出結果が得られる。

使用したひび割れ抽出は下記の手順で行った。

- ①コンクリート背景色調の演算：メディアンフィルタを使用して、画像の全領域でコンクリートの背景色調を計算する（コンクリート表面の背景色調の処理は、藤田らの研究¹⁾を参考にした）。
- ②背景色調より暗い箇所抽出：①で求めた背景色調より一定の閾値で暗い箇所を抽出する。
- ③幾何学的特徴を使用したひび割れ領域の選別：抽出した箇所の面積と細長比を用いた幾何学的な特徴からひび割れ部のみを抽出する。

また、本研究ではエフロッセンスが充填したひび割れの検出も行ったが、この際は、画像の黒白を反転させ上記の処理を実施することで、このようなひび割れの検出を行った。

2.3 システムの特長

本システムの特長は 3 つあり、これらの特長がシステムの安全、効率化に寄与している。

(1)UAV の特長

- ・前方の対象物から指定した離隔距離を保って飛行できる
- ・2 つのレーザ距離計により対象物に対して UAV を正対させることができる
- ・離隔保持機能の作動中でも上下左右、対象から離れる方向への操作ができる

(2)撮影の特徴

- ・対象物に近接することで高精細な撮影ができる
- ・カメラから撮影対象までの距離が一定となることで写真画素サイズも一定となり、それを基にしたひび割れ長さの算定ができる
- ・UAV が正対して撮影することで正面からのゆがみのない撮影ができる

(3)ひび割れ検出プログラムの特徴

- ・パラメータを数個設定することで、ひび割れを撮影した画像からひび割れの抽出ができる。
- ・コンクリートに汚れや影が入った場合でも安定してひび割れ抽出を行うことができる¹⁾。
- ・黒色の線状部を判定する方法を使用しているため、型枠跡等も抽出することがあるが、ひび割れを概ね自動的に抽出することができる。

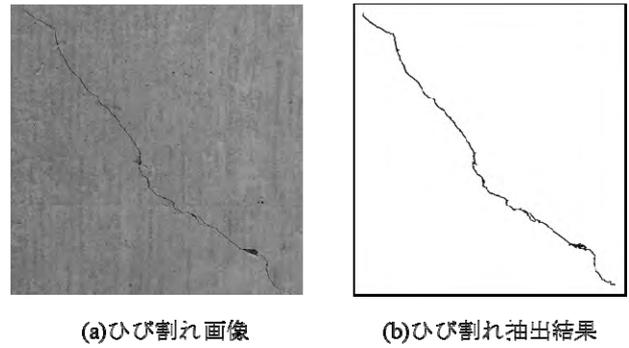


図-1 ひび割れ抽出例



写真-3 横川ダム

3. 実用化に向けた実証実験

3.1 実証実験の概要

福島県および経済産業省・内閣府が共同で進める「福島浜通りロボット実証区域での実証試験」に採択されている福島県南相馬市の横川ダム(写真-3)において、UAV 撮影画像からのひび割れ抽出の可能性の確認を目的としてひび割れ調査に関する実証試験を実施した。

3.2 実験項目

本試験の検討方法としては、まず、ダムの近接構造物(写真-3 のダム堤体下部中央)に発生しているひび割れを対象に、目視、クラックスケールでの計測、三脚による固定状態での撮影画像を用いたひび割れ解析、UAV を飛行させ空撮した撮影画像を用いたひび割れ解析を比較することで本システムの有効性の検討を行う。

次に、幅の既知な黒色の線を使用した模擬ひび割れを対象に(場所は、写真-3 のダム堤体下部中央)、三脚による固定状態での撮影画像を用いたひび割れ解析、UAV を飛行させ空撮した撮影画像を用いたひび割れ解析を比較することでシステムの検出精度の検討を行う。

最後に、ダム堤体のひび割れの UAV を飛行させ空撮した撮影画像を用いたひび割れ解析を行う。

3.3 実験の手順

実験では、表-2 に示すひび割れを対象として計測あるいは撮影を行った。

ひび割れの計測では、目視によるスケッチ図の取得とクラックスケールによるひび割れ幅の計測を行った。撮影に関して、三脚と UAV を使用してひび割れや模擬ひび割れ周辺を撮影し、UAV で撮影した画像がブレによる影響を受けていないか検証した。この際の調査範囲は、UAV が落下しても回収可能な場所で実施し、オペレータと画像撮影の指示者を設けるなど安全に配慮した。使用したカメラは sony 製 α 6000 で画素数は、 6000×4000 画素である。レンズには、焦点距離 35mm の単焦点レンズを使用し、ISO 感度は 800、プログラムオート(シャッター速度と絞りの自動設定)の機能で撮影した。

得られた画像を基にひび割れ検出解析を実施した。この際、画像の収差補正は実施していない。

3.4 実験の結果

ダム近接構造物のひび割れの計測・抽出結果を図-2 に示す。図-2(a)に対象とするひび割れを示す。このひび割れを、三脚と UAV を使用して撮影した画像を図-2(b)(c)に示す。この際、ダム近接構造物

とカメラの距離は、4.1m であり、分解能は 0.5mm である。この図から撮影方法によらず同様な画像が取得できたことが確認できる。目視、クラックスケールによる計測結果を図-2(d)に示したように今回対象としたひび割れ幅は、0.3~1.4mm 程度であった。三脚と UAV を使用して撮影した画像の図-2(b)(c)の破線で囲まれた領域を使用してひび割れ抽出を行った結果を図-2(e)(f)に示す。三脚と UAV を使用して撮影した画像を解析することにより検出されたひび割れは、目視による結果と相違ないことがわかる。また、撮影方法による影響も見られなかった。これにより本システムのひび割れ検出の有効性が確認された。クラックスケールによる計測結果から、検出したひび割れの最低値は 0.3mm であり、三脚と UAV を使用した画像解析結果から、分解能 0.5mm に対し、0.3mm のひび割れが抽出できることが分かった。しかしながら、エプロセッセンがひび割れ周辺に存在し、クラックスケールによる計測よりも幅の大きい白色領域を抽出している可能性もある。そのため、システムの検出精度の確認は、あらかじめ用意した幅の既知な黒色の線を使用した模擬ひび割れを使用し行うことにした。

上記構造物にあらかじめ用意した模擬ひび割れの抽出結果を図-3に示す。三脚と UAV を使用して撮影した画像を図-3(a)(d)に示す。この際、ダム近接構造物とカメラの距離は、4.5m であり、分解能は 0.5mm である。三脚と UAV を使用して撮影した画像である図-3(a)(d)の中で破線で囲まれた領域の拡大したものを図-3(b)(e)に示す。また、図-2(b)(e)を使用してひび割れ抽出を行った結果を図-2(c)(f)

表-2 計測あるいは撮影対象のひび割れ

No.	計測あるいは撮影対象のひび割れ
1	ダムの近接構造物のひび割れ
2	幅 0.2,0.4,0.6,0.8,1.0,1.2,1.4mm の黒色の線を印刷紙に印刷し、これをダムの近接構造物に設置することで模擬ひび割れとしたもの
3	ダム堤体のひび割れ

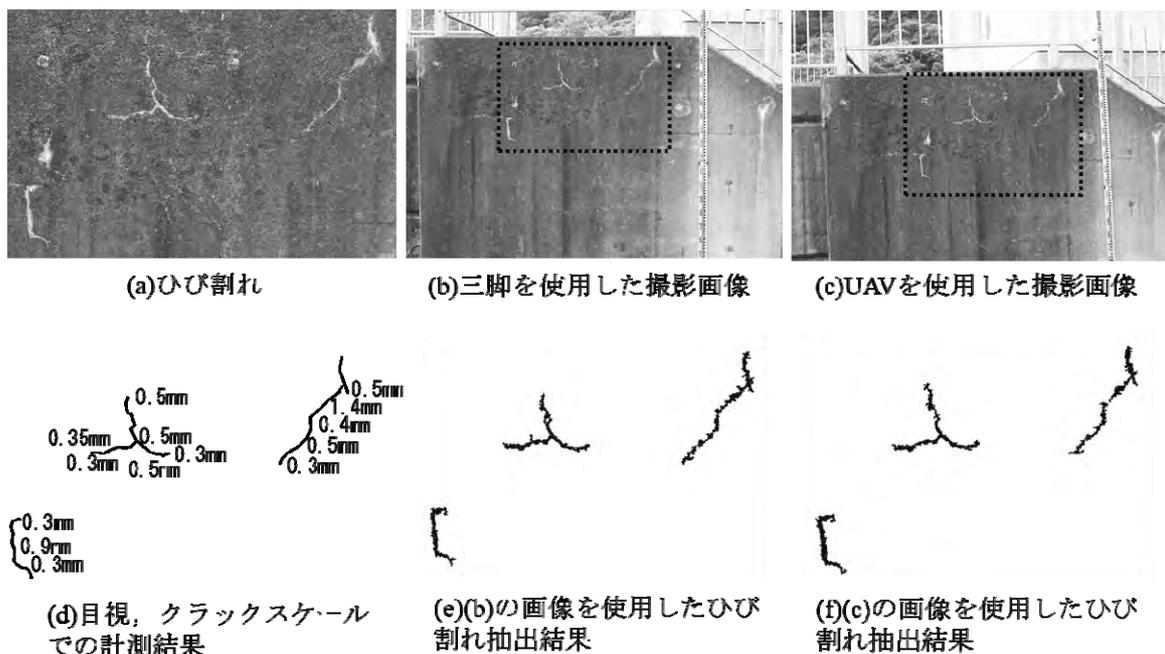


図-2 ダム近接構造物のひび割れの計測・抽出結果

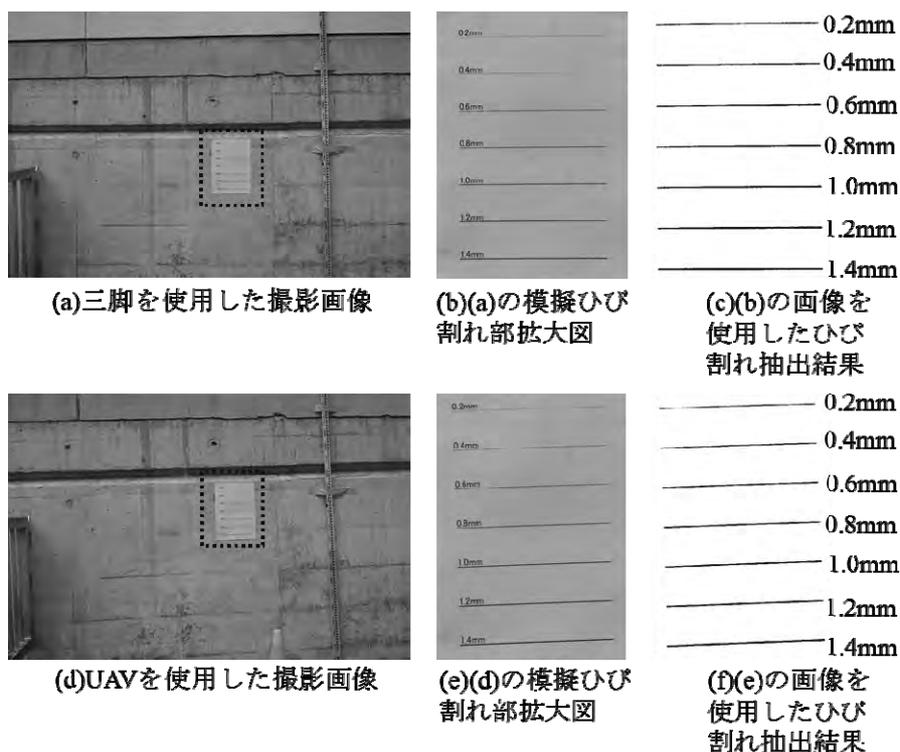


図-3 模擬ひび割れの抽出結果

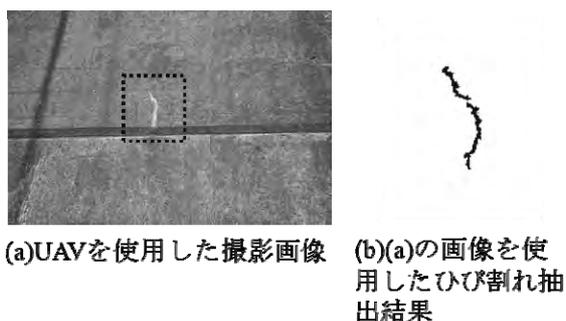


図-4 ダム堤体のひび割れの抽出結果

に示す。

これらの図から撮影方法によらず、0.2mm 以上の模擬ひび割れが確実に抽出できているのが確認できる。コンクリート構造物では、防水性から補修の必要なひび割れ幅は、0.2mm 以上とされている²⁾。実際には、コンクリートの汚れなど背景色調の影響等に関して検討を行う必要があるが、本システムでこのようなひび割れを検出できる可能性を示すことができた。

最後にダム堤体のひび割れの抽出結果を図-4 に示す。UAV を使用して撮影した画像を図-4(a)に、図-4(a)の破線で囲まれた領域のひび割れ抽出を行った結果を図-4(b)に示す。この画像は、ダムの傾斜によるあおり補正等を実施したものではないため、幾何学的に正確なものではないが、ダム堤体のひび割れを正しく検出することができた。

以上のように本実験から UAV を用いたひび割れ検出システムによりダムのひび割れ幅(0.2mm 以

上)を検出できる可能性を示すことができた。

4. おわりに

本試験では、衝突回避機能付き UAV が壁面から一定の距離を保ちながら安定して飛行し、近接して高精細な撮影が可能であることを確認した。また、撮影した画像解析は、ひび割れ幅を定量的に考慮したひび割れの検出が可能であることを確認した。

現状の結果では、経年劣化部の色調変化に対応した測定精度の向上、状態変化による異物の抽出、など課題が残っているものの、これらは技術改良により解決できるものと考えられる。今後は、ダム、橋梁、橋脚等の一般的なコンクリート構造物のひび割れ点検調査に活用するため本システムの改良を進めていく所存である。

参考文献

- 1) 藤田 悠介・中村 秀明・浜本 義彦：画像処理によるコンクリート構造物の高精度なひび割れ自動抽出，土木学会論文集F，Vol.66・No.3，pp.459～470，2010
- 2) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針，2003，pp.61，2003