

# UAVを用いたダム維持管理における 堤体クラック調査の高度化・効率化に関する研究

A Study on the upgrading and efficiency of crack survey of dam body in Dam maintenance using UAV

研究第一部 首席主任研究員 山本 慎太郎  
名古屋事務所長 石原 篤  
調査部長 新庄 高久  
研究第一部長 坂本 和雄

近年、様々な分野でUAV（Unmanned aerial vehicle：無人航空機≒ドローン）の活用が進められている。ダムの維持管理や環境保全等においても、UAVを用いることによる調査精度の高度化や調査効率を上げる取り組みがなされている。

本稿は、平成28年度に温井ダム（広島県）で受注した定期検査関連業務において自主研究として実施した、UAVを用いたダム堤体の変状確認調査の成果や課題について整理・分析することで、今後の調査等の高度化、効率化等とともに品質向上に資することを目的としたものである。

キーワード：ダム定期検査、ダム管理、クラック、UAV

In recent years, UAV (Unmanned aerial vehicle: unmanned aerial vehicle ≈ drone) is being used in various fields. Efforts have also been made to improve the accuracy of surveying by using UAV and to improve the survey efficiency in the maintenance and management of dams and environmental conservation and the like.

This paper presents and analyzes the outcomes and problems of deformation check confirmation survey of dam body using UAV, which was carried out as a voluntary study in periodic inspection related work ordered in Nukui dam (Hiroshima prefecture) in 2016, aiming to contribute to quality improvement and sophistication and efficiency improvement of future investigation etc.

Key words : dam periodic inspection, dam management, crack, UAV (Unmanned aerial vehicle)

## 1. はじめに

ダムの堤体におけるクラック等の変状調査は、これまで、日々の巡視による目視確認、定期検査資料とりまとめ時（概ね3年に1回）の現地調査等により行ってきたが、いずれもフォーミング等、徒歩で歩ける範囲が主な対象となっている。更に既往成果は平面図に損傷箇所を記した損傷図と損傷箇所の写真のみであることが多く、既往成果に記されていない変状を新たに確認した場合や既往成果と変状の形状等が異なっていた場合、その特性（新しい変化なのか過去から存在していたが記録されていなかったのかなど）の判別が困難である。

以上のことから、堤体全面について変状等の経年変化を把握する方法として、広島県の温井ダムにおいて、UAVによる堤体下流面の全面撮影と変状の分布状況の把握を試行するとともに、UAVを用いた手法の課

題を把握した。

## 2. 現地撮影

### (1) 現地調査機材

撮影に使用した機材の概要を図-1に示す。機体にはGPS・IMU（慣性計測装置）・気圧高度計・電子コンパス等のセンサー及びデジタルカメラを搭載している。なお、本機体は予めパソコンで設定したルートを飛行させる自律航行による撮影と、任意に飛行可能な手動飛行撮影の両方が可能であるが、今回は、ダム堤体下流の谷間でありGPSの受信状態が良好ではないと考えられたこと、撮影には現場状況に応じて柔軟な飛行コースを選定することが必要であったことから、手動飛行撮影とした。



- ・機体重量 5.4kg
- ・サイズ 120cm×120cm×55cm
- ・ペイロード 6.0kg
- ・飛行時間 15分
- ・耐風 15m/s
- ・飛行可能範囲 1,000m



- ・画像受信アンテナ
- ・画像モニタ
- ・管理用パソコン
- ・コントローラ (機体用とカメラ用)
- ・撮影カメラ (Sony α 7R )
- (3,640万画素 レンズ35mm)

図-1 撮影に使用した機材

## (2) 撮影方法

現地での撮影は平成28年12月8日に実施した。撮影は、機体情報(バッテリー残量等)を機体操作用コントローラにてリアルタイムで確認しながら、機体と堤体との距離を十分に安全が確保できるよう10m程度を確保して、堤体下流面側を、上下左右に飛行移動させて行った。また撮影時には、基地局に設置した画像モニタで撮影位置を確認しながら適宜、コントローラで撮影方向を調整し、2秒間隔で連続撮影を行った。

撮影は次の手順で行った。(図-2参照)

- ・撮影基地①から：上下方向に移動して撮影しながら、堤体中央から左岸へ移動
- ・撮影基地②から：上下方向に移動して撮影しながら、堤体中央から右岸へ移動

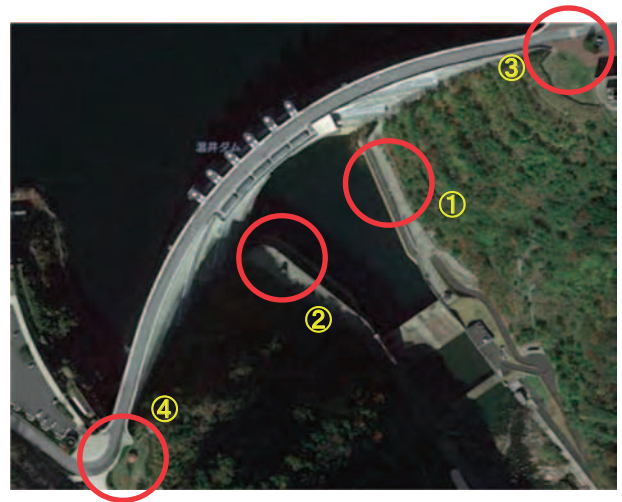


図-2 撮影基地

- ・撮影基地③から：堤体下流面のアバット部左岸
- ・撮影基地④から：堤体下流面のアバット部右岸

## (3) 安全対策

樹木等への近接は5m程度までとし、高度については対地高度150m以下として安全な飛行を心掛けた。また撮影時には、機体操縦者、カメラ操作者及び現場補助員等が万全の注意を払い、事故が起こらないように注意した。さらに、温井ダムは見学者が多いことを考慮して、見学者がUAV離着陸場所に立ち入らないようにバリケード及び作業周知の看板を設置した。

その他、UAV利用時に注意する点として、以下のような安全対策を実施した。

## 3. 写真の合成

UAVで撮影した写真約4,300枚をPix4Dmapperを用いて合成し、堤体下流面の合成写真を作成した。展開

表-1 UAV飛行時の危険項目の原因と安全対策

項目	原因・危険の内容	安全対策
墜落	飛行ルートの確認ミス	地形等の位置及び高度を把握し飛行ルートの設定
	通信電波の到達範囲	パソコン上で電波到達範囲・撮影時間を確認し離着陸場所を決定
	通信状態の不良	離陸前に通信状態の確認
	バッテリー切れ	飛行開始時にはバッテリーの満充電を確認
	気象状況条件	飛行前、周辺の気象状況の確認 地上風速 10m/s 以上での飛行中止 降雨時の飛行中止
衝突	斜面及び樹木への衝突	事前に現地確認を行って飛行ルートを計画 斜面及び樹木には5m以下は近接しないようにコース設定
安全機能	通信不能	機体と操縦機との通信が途切れた場合、自動で離陸場所へ帰還する自動帰還機能の設定



図-3 撮影状況と安全対策



図-4 堤体下流面合成写真

図の下図には、温井ダム管理所から提供いただいた下流面展開図を使用した。

作成した合成写真の仕様は以下のとおりである。なお、合成の過程において解像度は9dpiから7dpiに低下している。

- ・合成写真の分割版（損傷図抽出のためにCADに取り込む写真）約10～100MB12枚
- ・合成写真（10%圧縮版、50%圧縮版）2種類20MB、350MB

#### 4. 劣化・損傷等箇所図の作成

合成した写真（12分割）をCADに取り込み、パソコン画面上で確認できる範囲で堤体の変状を読み取り、劣化・損傷等箇所図を作成した。なお今回はUAVに

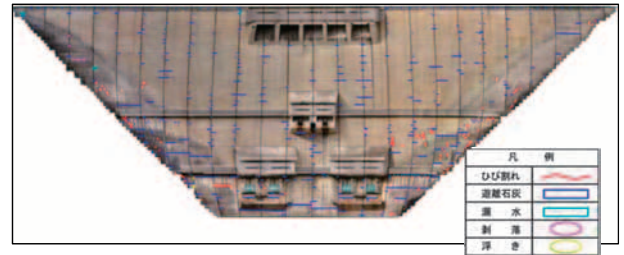


図-5 堤体下流面劣化・損傷等箇所図

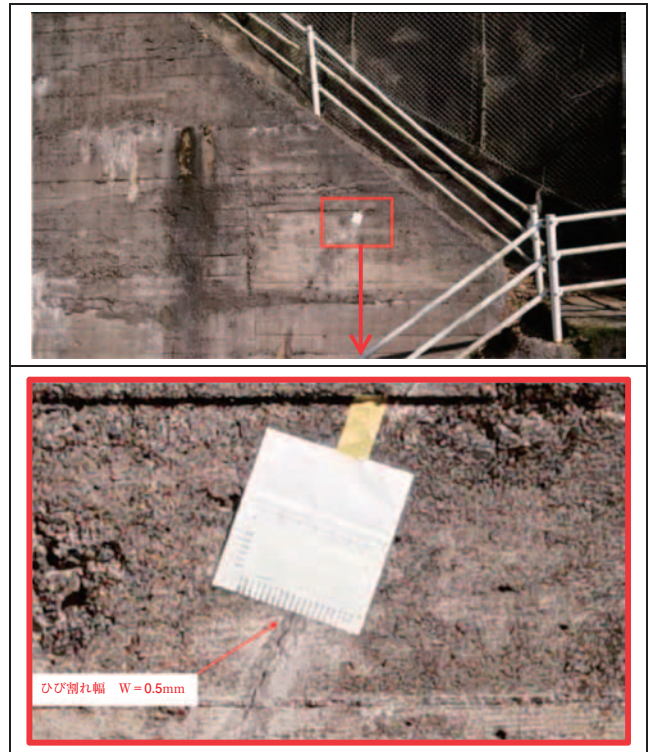


図-6 UAVで撮影画像からのクラック判別例（既往実績）

よる変状箇所調査の試験的取り組みであることから、劣化・損傷等箇所図の作成にあたっては、別途平成28年11月に現地目視調査によって作成されたクラック分布図は参照せず、あくまでのパソコン画面上のみで作業を行っている。

堤体の変状は、ひび割れ、遊離石灰、漏水、剥落、浮きに区分した。

なお、撮影した画像データでは、幅が1mm～2mm程度のクラックの判別が可能であったが、既往実績を踏まえると、撮影画像によっては0.5mm程度のクラックの判別も可能である。（図-6参照）

#### 5. 調査結果

##### (1) 合成写真の画質

合成写真の画質を評価するため、近接撮影した写真および合成画像について、中位標高放流設備ゲート付近を拡大して比較したところ、以下の知見を得た。（図



図-7 画像の比較 (上:UAV近接写真、下:合成写真)

-7参照)

- ・合成写真はUAVでの近接写真には画質がやや及ばないが、他に比べると高精度である。
- ・打継目やコンクリートの変色等も鮮明に見える。
- ・奥側 (右側の手摺の奥等) には合成ムラが生じている (立体的な構造については課題がある)。

また、合成写真とデジタルカメラ写真 (近接写真) についてクラックの撮影状況を比較したところ、クラックの形状に大きな違いは見られなかったが、デジタルカメラの近接写真のほうが、やや画質が鮮明であった。但し、いずれの画質もクラックの詳細な形状 (延長、幅、奥行き等) を写真から判読できるほどの精度ではなかった。(図-8参照)

(2) 劣化・損傷等箇所図の抽出精度

今回作成した劣化・損傷等箇所図の、変状箇所の抽出精度を確認するため、平成28年11月に目視調査により作成されたクラック分布図に記録されている変状をどれほど抽出できたのかを確認した。確認結果を表-2に示す。

目視調査成果に対する今回調査での抽出率 (抽出した形状が目視観察と異なる箇所も含む) は61%であっ



図-8 クラック画像の比較 (上:合成写真、下:デジタルカメラ)

た。

抽出出来なかった要因、抽出は出来たが目視調査結果とは損傷部分の形状が異なっていた要因は以下のとおりであった。(図-9参照)

1) 抽出出来なかった要因

- ・温井ダムは変状箇所がフーチング付近に集中しており、階段等があり立体的な構造となっているため、写真合成の範囲から変状箇所が外れていたり、合成による画質の低下 (ぼやけ) が見られたりした。

- ・階段の上面の変状は撮影出来ていなかった

2) 抽出は出来たが目視調査結果とは損傷部分の形

表-2 目視確認した変状箇所と今回の手法による確認状況

目視確認成果に対する 今回調査での確認状況	箇所数	確認率	
目視確認と同じ程度で確認	32 箇所	52%	61%
目視確認と同じ箇所であるが形状が異なる	6 箇所	10%	
目視確認された変状が確認できない	24 箇所	—	—

状が異なっていた要因

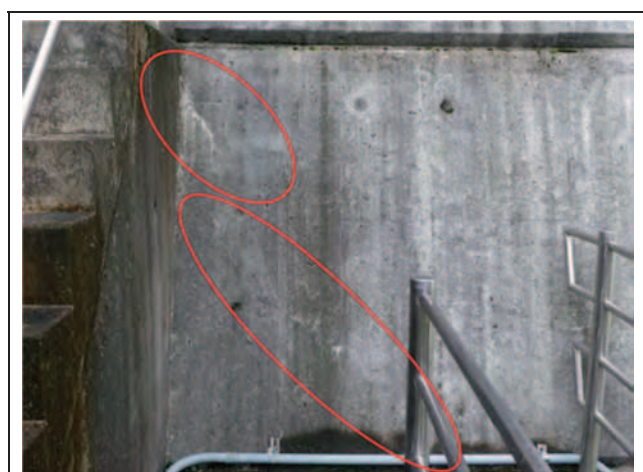
- ・写真が歪んでいた
- ・変状の規模(幅等)が小さく、写真では判別できなかった

### (3) UAV撮影により新たに確認された変状等

今回の手法では、目視調査で記録した変状箇所数の10倍程度の変状箇所を記録することができた。これは主に、現地の目視確認では時間と観察視野が限られ

表-3 変状箇所数の比較

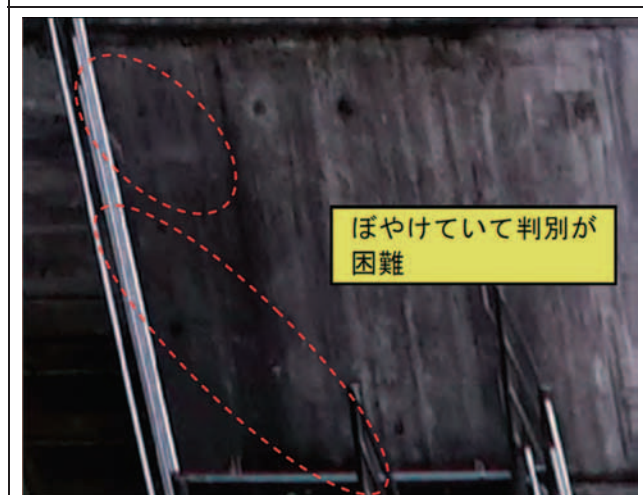
区分	目視による確認結果	今回の手法による確認結果
ひび割れ	62箇所 (区分していない)	166箇所
遊離石灰		488箇所
漏水		3箇所
剥落		10箇所
浮き		5箇所
合計	62箇所	672箇所



現地撮影画像

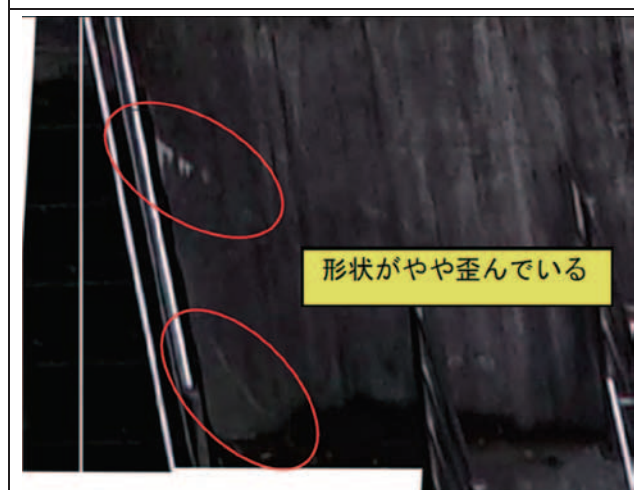


現地撮影画像



合成写真

図-9(1) 写真の識別精度の比較 (ぼやけ)



合成写真

図-9(2) 写真の識別精度の比較 (歪み)

るため十分に時間をかけて変状を抽出するのが難しいのに対し、今回の手法では、机上で時間をかけて抽出作業ができたためであると考えられる。

### (4) 他の調査手法との比較

今回の試行で得られた、UAVを用いた堤体下流面の調査に関する知見について、目視確認及び、参考として、UAVと同様に堤体やコンクリート構造物の損傷箇所調査で利用される高解像度定点カメラ撮影を加えて比較を行った。比較の結果は次頁の表-4に示すとおりである。

今回の手法は、3手法のうち、ダム下流面の総体的な変状の分布状況を記録するのに適していると考えられる。特にある程度の変状が判別できる写真が入手できるため、机上で時間をかけて変状の分布状況を正確に抽出、記録できることが利点である。

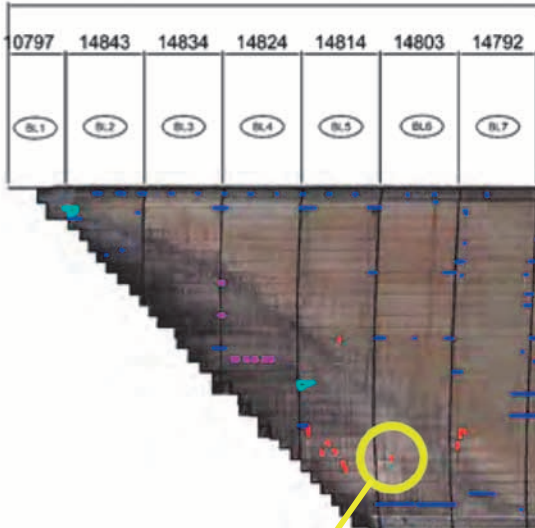


図-10 目視調査では記録できていなかった変状例

## 6. おわりに

今回の手法により、以下の成果が得られた。

- ・ダム堤体下流面における変状箇所の分布特性を把握できた。
- ・堤体下流面のH28.12時点の状況を1枚の画像データとして残すことが出来た。
- ・踏査で記録できていなかった変状を確認できた（合成写真上で後から時間をかけて確認できるため、記録の漏れや誤記といった、現地調査の課題をカバーできた ※目視確認の10倍程度の損傷箇所数を記録）。

また、今回の撮影及び解析手法では以下のような課題が確認された。

- ・目視と比べると、変状箇所のより詳細な形状の識別や計測までは困難である。
- ・フーチング付近等（立体的な構造の場所等）、変状が記録できない部分がある（目視確認した変状箇所のうち、今回の手法で確認できたのは約6割）。

今回の研究成果を踏まえると、現時点のUAV技術を用いた今後の堤体のクラック等の変状の把握と監視は以下の対応が良いと考える。

- ・堤体下流面の損傷箇所の総体的な分布状況を把握するために、定期的に今回と同じ手法でUAV撮影と全面合成写真の作成
- ・変状が多いもののUAVでは撮影が難しいフーチング周辺は、現地での確認が容易に出来るため、これまで通り、現地踏査による目視確認と計測を実施
- ・今後、現地での確認が困難な堤体中央部等で大きな変状が確認された場合には、その部分のみを対象に、UAV（ただし今回よりもカメラの性能、撮影距離等を工夫して撮影精度を上げる）または高解像度定点カメラによる望遠撮影を行い、変状部分の定期計測を行う。

## 謝辞

本研究では、国土交通省中国地方整備局温井ダム管理所にフィールドを提供していただいた。また、現地撮影ではルーチェサーチ株式会社、現地調査および調査結果とりまとめでは中電技術コンサルタント株式会社の佐々並敏明氏、谷本茂氏、若尾拓志氏、細井啓示氏をはじめとする方々にご協力をいただいた。関係者の皆様にはこの場を借りて御礼申し上げます。

表-4 3手法の比較 (今回のフィールドでの変状箇所の把握する場合を想定)

手法 比較項目	現地踏査による目視確認	UAV撮影・机上解析	高解像度定点カメラ撮影 ・机上解析
調査可能範囲	× ・両岸のフーチング付近に限られる ・アーチダムは下流側に傾斜しているためロープワークによる全面調査も困難	△ ・全面調査が可能 ・フーチング部分等、構造が複雑で堤体と地山の間が狭い場所は撮影に限界あり	△ ・全面調査が可能 ・固定点からの撮影であるためUAV同様にフーチング部分等は撮影に限界あり ・堤高が高い温井ダムでは上側は見上げた状態での撮影となるため精度（合成写真での歪み）にも課題あり
変状の多いフーチング部分の変状確認の精度	○ ・踏査が可能であり詳細な調査が実施可能	△ ・堤体と地山の間が狭く、またフーチング部分の構造が立体的であるため精度の高い撮影が完全にはできない	△ ・撮影に適した定点（カメラ設置位置）が無い場合撮影に限界あり
エビデンスの保存	△ ・変状箇所位置図と変状箇所の写真しか残らない（全面的記録が残らない）	○ ・変状が概ね識別できる写真が保存できる	◎ ・変状が概ね識別できる写真が保存できる ・一般的にUAV撮影よりも画質が良いため、より精密な写真を保存できる
変状の詳細な計測の精度	△ ・メジャーやクラックスケールを用いて正確に記録できる ・踏査出来ない箇所は計測できない	△ ・クラックの幅や深さなどまでは判別できない	○ ・一般的にUAV撮影よりも画質が良いため、クラックの幅や深さも判別できる可能性あり
変状の分布の正確な記録	△ ・現地で限られた時間に手書きで記録をするためミスが生じる可能性あり ・後日、机上での検証が出来ない	○ ・机上で時間をかけて変状を記録できるため、正確な作業が可能 ・後日、机上での検証が可能	○ ・机上で時間をかけて変状を記録できるため、正確な作業が可能 ・後日、机上での検証が可能
コスト	○ ・H28の実績：現地調査が8人日、机上整理が10人日程度（100万円未満）	△ ・H28の実績が250万円 ・複数社に見積をとったところ、500万円という事例もあり	× ・UAVと同じ成果を作成する条件で見積を取ったところ、1,500万円
成果作成までの所要時間	○ ・人の手での作業であり、人員をかければ短時間での対応が可能	△ ・特に写真合成に時間がかかる（今後はソフトの向上や受託者が経験を積むことで、更なる時間短縮が見込める）	△ ・特に写真合成に時間がかかる（今後はソフトの向上や受託者が経験を積むことで、更なる時間短縮が見込める）