

# 自動航行によるUAVを活用した 天然ダムの緊急調査および被災状況把握

のうじまゆうか くがまさはる かわいめぐみ あらきよしのり  
能島佑佳<sup>1</sup>・久家政治<sup>1</sup>・河井恵美<sup>1</sup>・荒木義則<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中電技術コンサルタント（株）（〒734-8510 広島県広島市南区出汐二丁目3番30号）

近年、我が国では、地震や豪雨に伴う大規模な土砂災害が数多く発生している。中でも、一旦形成された大規模な天然ダムは、その後の出水等により、崩壊地の拡大や河道閉塞部の越流侵食等が繰り返し発生するため、継続的な監視が必要となる。また、UAVの関連技術は、安価で高性能なものが普及し始めており、河川や土砂災害調査での利用が行われている。しかしながら、天然ダム等の大規模土砂災害への適用事例は少ない。本稿では、大規模な天然ダムが形成された箇所を対象とし、緊急調査にUAVを利用することを目的とした試行実験を行い、従来調査の代替手段としての有用性と課題について検討した結果を報告する。

**Key Words** : 大規模土砂災害, 天然ダム, 無人航空機 (UAV), 緊急調査, 自動航行

## 1. はじめに

平成23年の紀伊半島大水害では、台風12号に伴う豪雨により、大規模な天然ダムが5箇所形成<sup>1)</sup>され、土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律の一部を改正する法律（平成23年5月1日施行）に基づき、発災後直ちに緊急調査<sup>2)</sup>が行われた。緊急調査は、重大な土砂災害の危険がないこと、または急迫したものでないことが認められた場合、終了することができる<sup>3)</sup>とされているが、現在でも、3地区（赤谷、長殿、栗平）において緊急調査が継続して行われている。

天然ダムは、一旦形成されると、その後の出水等により、崩壊地の拡大や河道閉塞部の越流侵食等が繰り返し発生するため、継続的な監視が必要となる。また、土石流による被害が生じる急迫性が高まった状況においては、被害のおそれのある区域等の情報を速やかに提供することが求められるため、逐次情報を更新することが重要となる。緊急調査では、「緊急調査実施の手引き（河道閉塞による土砂災害対策編）平成23年4月」<sup>3)</sup>に基づき、「Ⅰ. 緊急調査着手の判断」、「Ⅱ. 初動期における調査」、「Ⅲ. 継続監視期における調査」、「Ⅳ. 緊急調査終了の判断」の4つの段階毎に調査が行われる。現在は、「Ⅲ. 継続監視期における調査」の段階にあり、地上または、防災ヘリによる監視や各種観測機器等を用いた計測が行われている。

「Ⅲ. 継続監視期における調査」では、気象条件（低層雲等）によっては、防災ヘリが出動できない

場合がある。また、出水後の地上調査では、二次災害の危険性が高く現場に立ち入りできない場合がある等、従来調査手法には、課題が残されている。

本稿では、図-1に示す緊急調査が行われた5箇所の中から、4地区（赤谷、長殿、栗平、熊野）を対象に、地上、または防災ヘリによる監視の代替手段として、自動航行によるUAV調査を試行実験し、その有用性と課題を検討した。また、現場状況の迅速な監視は、対策工事の安全性を確保し、今後の防災対策を計画する上で重要だと考えられる。

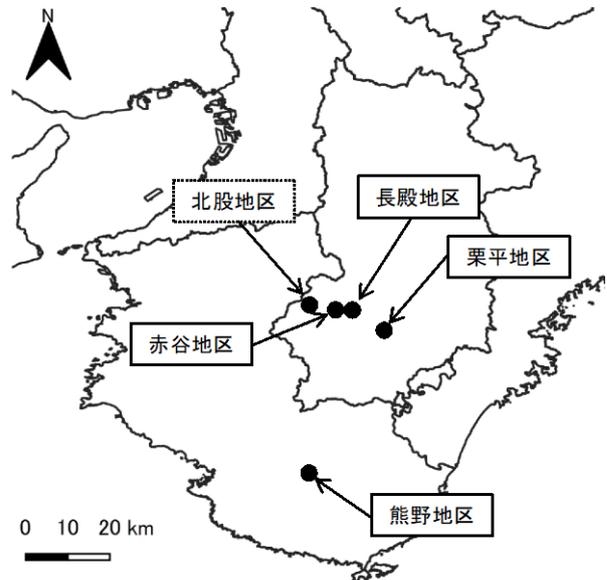


図-1 天然ダムの緊急調査実施箇所

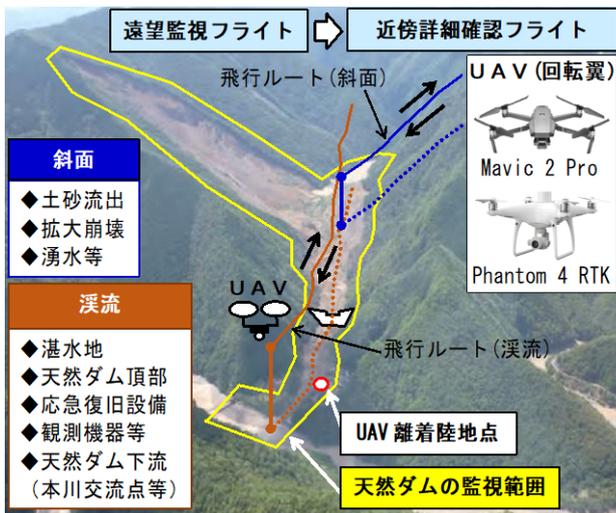


図-2 試行実験の概要図（赤谷地区の事例）

## 2. 試行実験の概要

緊急調査における従来調査手法の課題を踏まえ、迅速かつ安全な調査の実施を目的とし、自動航行によるUAV調査について試行実験を行う。

図-2には、試行実験における調査の着目点、UAV離着陸地点、飛行ルート等の概要図（赤谷地区の事例）を示す。緊急調査では、斜面部（土砂流出、拡大崩壊、湧水等）や溪流部（湛水池、天然ダム頂部・下流部、応急復旧設備、各種観測機器等）の状態監視が重要であり、各地区における調査の着目箇所を選定した。

次に、UAVを活用し、被災状況の把握を迅速かつ安全に行うために、3つの実現すべき目標を定めた。

- ① 安全な場所から自動航行（全自動）で飛行できること。
- ② 1回のフライトで地区全体の概略状況を把握できること。
- ③ 概略状況の把握を踏まえた着目箇所について、詳細にその変化を把握できること。

ここで、自動航行とは、同一の飛行ルートを設定し、プログラム通りに飛行・撮影できることと定義した。また、全自動航行とは、離着陸を含む全ての自動航行が出来ることと定義した。天然ダムの監視は、継続調査による変状の検知が重要であることから、自動航行の可否は天然ダムにおけるUAV調査の重要な機能と位置付けられる。

また、上記、3つの目標に対して、次に示す2つの調査シナリオを設定した。出水後の天然ダム調査は、豪雨等により、観測機器（監視カメラ等）に異常が発生し、調査範囲内の状況確認が困難になることが想定される。そのため、まず、遠望監視フライト（フェーズ1）では、調査範囲全体の概略把握を目的とし、動画撮影を基本とした飛行を行う。次に、近傍詳細確認フライト（フェーズ2）では、動画撮影結果（フェーズ1）を踏まえて、予め設定した複数フライトプランの中から、着目箇所を選定し、静止画撮影を基本とした飛行を行う。



図-3 動画撮影例（フェーズ1）

飛行ルート計画の設定では、迅速に地区全体の状況を把握するために、崩壊地の撮影は、崩壊地に近づくと画角が狭くなり崩壊地全体が撮影できないことから、崩壊地の対岸斜面側から撮影を行うこととした。また、安全で迅速な調査を実施するために、河道の中心や崩壊地对岸の斜面等、出水後であっても飛行ルートの変更が最小限となるように留意し、離着陸地点は、出水後立ち入ることができ、二次災害の危険性が低い地点とした。

## 3. 試行実験の結果

### (1) 遠望監視フライト（フェーズ1）

各地区とも、段階的な試行実験を複数回行うことで、1回のフライトで調査範囲全体を動画撮影できる飛行プラン（使用機体：Mavic 2 Pro、撮影高度：対地149m以下、動画：800万画素、速度：30km/h～45km/h）を設定した。しかしながら、栗平地区は、天然ダムの中で最も規模が大きく、UAVの飛行時間の問題、加えて操縦者と機体との電波通信環境の問題等から、2回のフライトが必要であった。

図-3に各地区における動画撮影例を示す。図-3より、大規模崩壊地や天然ダムの湛水池等を俯瞰的に撮影することができ、天然ダム全体を概略把握することが可能であった。また、各地区の変状等の着目箇所（土砂移動状況、湛水池からの越流状況、斜面の再崩壊等）に対して、最適な撮影角度および撮影視点を設定した。

UAVを操作する離着陸地点においてインターネット環境が整っている場合は、撮影映像をリアルタイムで事務所に転送することができたため、調査結果の迅速な情報提供手段になることを確認した。

### (2) 近傍詳細確認フライト（フェーズ2）

近傍詳細確認フライト（フェーズ2）は、定点撮影、

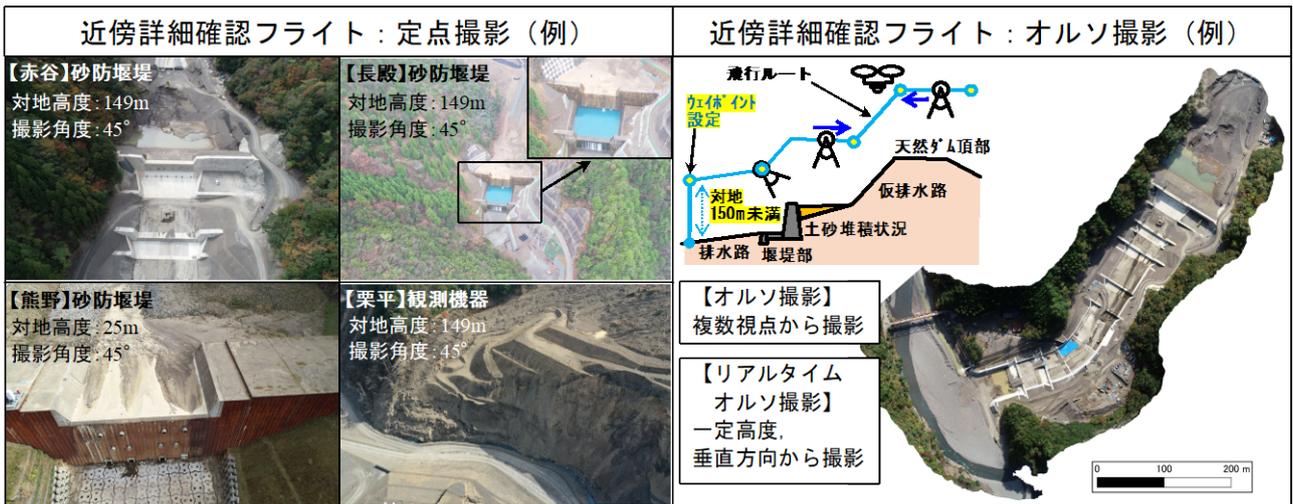


図-4 画像取得例（フェーズ2）

オルソ撮影とし、着目箇所の詳細把握に有効な撮影方法を選択した。

例えば、動画撮影結果から、崩壊斜面の一部が拡大崩壊し、流出した土砂が砂防堰堤を乗り越えて流下していることを確認した場合、まず、定点撮影より砂防堰堤の被災状況、上下流の土砂堆積状況を詳細に把握する。次に、リアルタイムオルソ撮影、オルソ撮影より、土砂の移動状況、崩壊斜面の地形変化を把握する。

#### a) 定点撮影

定点撮影は、対地高度（149m、100m、50m、25m）と撮影角度（垂直、斜め45°）を変化させた試行実験を行い、最適な飛行コースとカメラアングルを設定した（使用機体：Mavic 2 Pro、Phantom 4 RTK）。対地高度は、障害物（樹木等）との距離を考慮し、安全な離隔距離を保つ計画とした。

図-4に各地区における画像取得例を示す。図-4より、着目箇所を最適なアングルで撮影することができ、砂防堰堤においては、土砂堆積状況、流水状況、被災の有無を把握すること、観測機器の設置箇所においては、クラックの有無を把握することが可能であった。着目箇所にUAVを接近させて撮影することが困難な場合は、撮影画像を拡大し、状態把握が可能であることを確認した。

#### b) オルソ撮影

出水直後は、天然ダム内への立ち入りに危険が伴うため、現場内作業を行うことが出来ないことから、対空標識の設置が不要となるRTK搭載のUAVを用いて調査範囲内の静止画撮影を行い、各地区において、オルソ画像を作成した。

また、緊急調査では、オルソ画像作成についてもより迅速な対応が求められることから、Phantom4 RTKに付属する機能（撮影と同時にオルソ画像を作成）を用いて、リアルタイムでのオルソ画像作成を試行した。図-4にリアルタイムオルソ画像の作成結果を示す。リアルタイムオルソ画像の作成は、緊急調査において有効な手法になると考えられる。しか

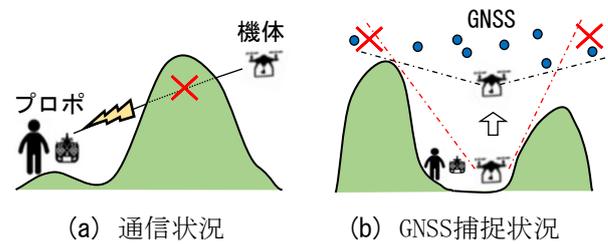


図-5 機体と操縦者の関係

しながら、この機能は、機体とプロポ間の電波通信環境やプロポ位置でのインターネット通信環境等が整っていないと使用できないため、適用範囲が限られることに留意が必要である。

### (3) 全自動飛行の実施

試行実験の目標①（安全な場所から自動航行（全自動）で飛行できること）を実現するために、各地区において、手動操作（予行演習）、自動航行、全自動航行と段階的に飛行レベルを変化させた検討を行った。その結果、各地区の地形・電波・通信環境等により飛行の安全性・安定性が異なることが確認できた。試行実験を踏まえて、全自動航行を実施するための主な条件の整理結果を以下に示す。

機体とプロポの直線見通しが取れ、通信環境が良好である地点を離着陸地点とする必要がある。（図-5(a)）そこで、飛行ルートは、既往LPによる3次元地形モデルを活用し、機体とプロポ間で直線見通しが確保できるように設定した。

また、離着陸を含む全自動航行を行うためには、離着陸地点において最低8基以上のGNSSを捕捉する必要がある。（図-5(b)）地形的な制約により離着陸地点の上空が開けておらず、離着陸地点において、8基以上のGNSSを捕捉できない場所もあった。このような場合は、手動操作で上空に移動し、GNSSを十分に捕捉した後、自律航行への切り替えを行うことで対応した。また、GNSSの捕捉状況が十分でない場合は、着陸時に位置がずれることも考えられるため、離着陸地点の選定は注意する必要がある。

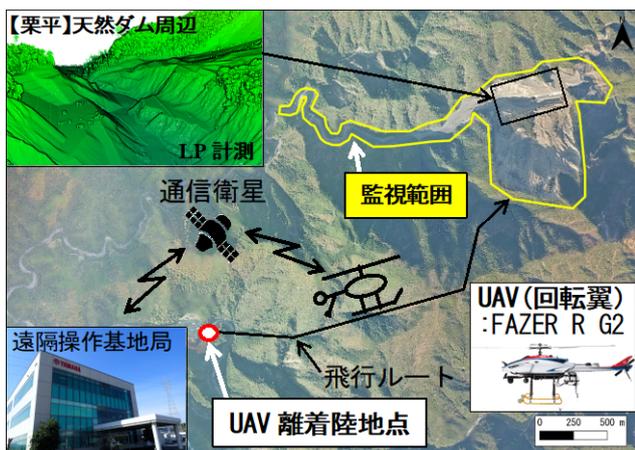


図-6 衛星通信システムを活用した調査の概要図

#### (4) 自律航行型無人ヘリコプターを用いた調査

栗平地区は、天然ダムの中で最も監視範囲（面積：約1.0km<sup>2</sup>程度）が広く、地形の起伏も大きい（高低差：約480m程度）ため、コンパクトかつ汎用的な機体（Mavic 2 Pro）では、飛行時間の問題、機体とプロポの通信環境の問題等から、試行実験の目標をクリアできなかった。そこで、長時間飛行が行えて、自律航行を行う上で通信環境に対する安全性の高い機体を再選定し、衛星通信システムを活用した自律航行型無人ヘリコプター（使用機体：FAZER R G2）を用いて、再調査を行った。

図-6に衛星通信システムを活用した調査の概要図を示す。図-6より、UAVの離着陸地点は、天然ダムの流域外の平坦地とし、UAVの離着陸操作は、現地操縦者による手動操作とした。離着陸地点上空からは、衛星通信システムに切り替えを行い、遠隔操作基地局（浜松市内）から機体に搭載されたカメラ映像等を確認しながら、予め設定した自律航行による飛行ルートを制御し、隣接する尾根を越えて天然ダム内に進入し、天然ダムの調査を行った。調査は、LP計測（1フライト、飛行時間：約81分、総飛行距離：19.6km、対地高度：100m）により行い、計測結果を解析することで、調査範囲全体の3次元地形を把握した。

## 4. おわりに

### (1) 主な成果

本業務では、緊急調査における従来調査の代替手段として、自動航行によるUAVを活用した試行実験を行い、3つの実現すべき目標を定めることで、調査の有用性と課題を確認した。

赤谷地区、熊野地区は、安全な地点かつ全自動航行の実施条件を満たす地点を離着陸地点に設定することができ、3つの目標を実現できた。そのため、今後の調査における活用が十分に考えられる。

長殿地区は、安全な地点を離着陸地点に選定する

と、上空に障害物があり、全自動航行は実施できなかった。そのため、今後の調査で活用する場合は、離着陸地点が手動操作となるため、操縦者の技量に留意する必要がある。

栗平地区は、衛星通信システムを活用した自律航行型無人ヘリコプターを用いることで、安全な地点から飛行させることができ、小型のUAVが適用できない場合の代替手段として、有効であることを確認した。

これまでは、UAVによる天然ダム調査への具体的な実績投入事例<sup>4)</sup>は少なかったものの、今回の天然ダムの規模や地形条件が異なる4地区での試行実験結果は、今後、新たな天然ダムが発生した場合において、UAV調査導入の目安になると考えられる。なお、実証実験の詳細等については、「UAVの自律飛行による天然ダムの緊急調査及び被災状況把握に関する手引き、令和2年3月」<sup>5)</sup>としてとりまとめられているため、参照されたい。

### (2) 今後の展望

本業務の成果より、今後の天然ダムにおける緊急調査では、自動航行によるUAV調査を積極的に活用することが望まれる。UAV技術は、日進月歩であることから、飛行の安全性・信頼性・自動化等の今後の技術開発等により、さらなる機能・性能の向上を期待したい。

将来的には、常設型のUAV離着陸地点（ドローンポート）を設置し、全自動航行によるUAV調査を無人運用できる技術開発を目指したい。また、全自動航行による施設の点検等、天然ダム調査以外への活用にも取り組んでいきたい。

**謝辞：**本稿は、国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所からの受託業務により検討したものであり、検討にあたっては、当事務所調査課および大規模土砂災害対策技術センターからご指導・ご支援を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 国土交通省近畿地方整備局企画部企画課：2011年紀伊半島大水害（国土交通省近畿地方整備局災害対応の記録），pp. 49-52, 2014.
- 2) 国土交通省砂防部：土砂災害防止法の一部改正について（平成23年5月施工）パンフレット，<https://www.mlit.go.jp/river/sabo/sinpoupdf/H23kaisei.pdf>.
- 3) 土木技術資料：「土砂災害防止法の改正」に基づく緊急調査の手引き，53-12, pp. 60-61, 2011.
- 4) 木下篤彦，島田徹，笠原拓造，林栄明，名草一成，小山内良人，村木広和：回転翼型マイクロUAVを用いた深層崩壊箇所での災害調査，砂防学会誌，Vol. 66, No. 3, pp. 51-54, 2013.
- 5) 国土交通省近畿地方整備局，大規模土砂災害対策技術センター：UAVの自律飛行による天然ダムの緊急調査及び被災状況把握に関する手引き，2020. 3.