

UAVの自律飛行による天然ダムおよび砂防関係施設の点検・調査

2機体同時飛行により、視界・電波の「壁」を超越

(令和3年度 i-Construction 大賞受賞 国土交通大臣賞受賞)

荒木 義 則

2011年8月に発生した紀伊半島大水害は、深層崩壊と呼ばれる大規模な斜面崩壊が発生し、崩壊した土砂が河道をせき止める「天然ダム（河道閉塞）」を引き起こした。このような河道閉塞は、急峻な山奥にあり、現地までのアクセスも悪く、土砂移動による二次災害の危険性も高いため、点検・調査を迅速かつ安全に行うためには、UAVの活用が有効である。本稿では、UAVによる自律飛行により、河道閉塞および砂防関係施設の点検・調査を実施した結果の概要について紹介する。飛行方法は、目視外飛行（レベル3）とし、航空局への許可申請を取得した上で、撮影用UAVと中継用UAVの2機体を同時飛行させることで、視界と電波通信環境の問題を解決し、迅速かつ安全性の高い点検・調査方法を確立した。

キーワード：UAV、自律飛行、天然ダム（河道閉塞）、施設点検、崩壊地調査

1. はじめに

2011年8月に発生した紀伊半島大水害は、紀伊半島全体に記録的な豪雨をもたらし、3,000箇所以上の土砂災害（土石流・地すべり・がけ崩れ等）が発生した。特に、深層崩壊と呼ばれる大規模な斜面崩壊は、崩壊した土砂が河道をせき止める「河道閉塞」を17箇所も引き起こした。河道閉塞箇所は、災害後も降雨・出水等により大規模斜面の再崩壊や河道閉塞部の越流による土砂流出が確認されており、継続的な点検・調査が必要である。このような河道閉塞箇所や対策工事として実施される砂防関係施設は、急峻な山奥にあり、現地までのアクセスも悪く、点検・調査中の土砂移動による危険性も高いため、点検・調査を迅速かつ安全に行うためには、無人航空機（以下、UAVと呼ぶ）の活用が有効である。

特に、レベル3飛行と呼ばれる無人地帯における目視外自律飛行は、監視員等の補助者なしでUAVを長距離飛行させることが可能となる（図-1）。

これまでもUAVを活用した点検・調査の事例は数多く存在するが、防災やインフラ管理を目的としたレベル3飛行によるUAVの活用は、全国初の試みであった。本稿では、UAVの自律飛行による天然ダム（以下、河道閉塞と呼ぶ）および砂防関係施設の点検・調査の現場実証を行った結果について、その有効性を紹介する。

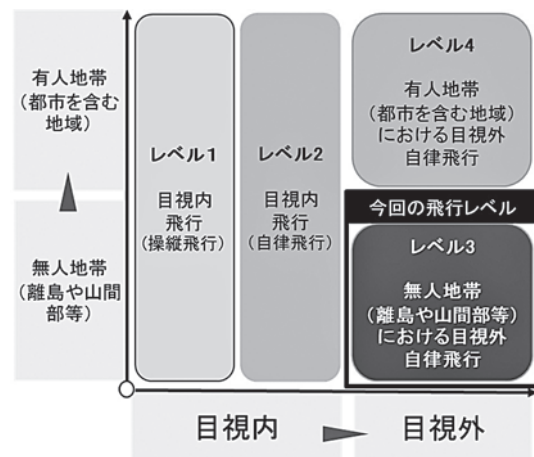


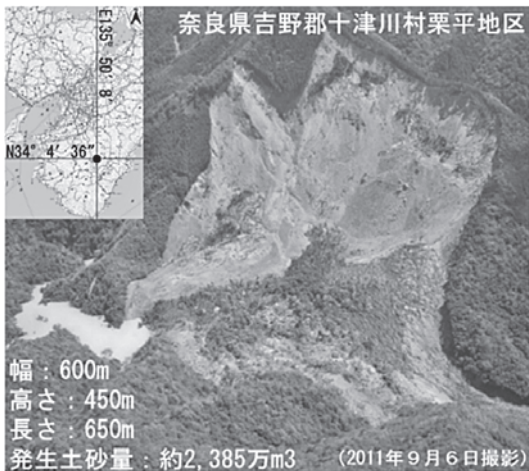
図-1 UAVの飛行レベル区分

2. 現場実証の概要

(1) 対象現場の概要

紀伊半島大水害で発生した河道閉塞のうち奈良県十津川村栗平地区（図-2）を対象としてUAVの自律飛行による点検・調査を行った。

栗平地区は、発災当時、崩壊幅600m、長さ960m、高さ450mの深層崩壊が発生し、約2,385万 m^3 の崩壊土砂が河道を閉塞した。現在でも降雨による出水に伴う土砂流出が確認されており、崩壊斜面および河道に残った不安定土砂が下流に流出するのを防ぐために砂防施設の整備が行われている。



図一 栗平地区の深層崩壊と河道閉塞

(2) 現場実証の計画

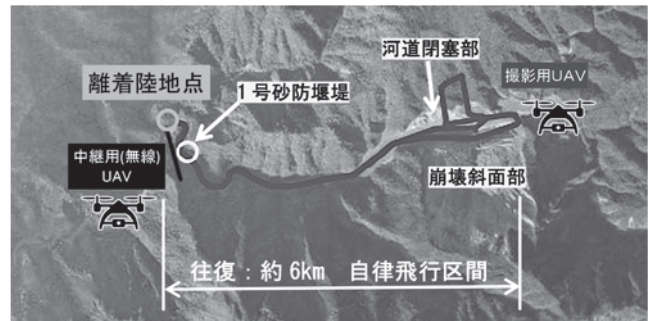
栗平地区は、急峻な地形に囲まれて河道も湾曲しており見通しが悪く、携帯電話の電波も圏外である。また、対象範囲が広く、現場への立ち入りも周辺からのアクセス道路が無い為、河道沿いに現場に立ち入るしか手段が無かった。出水時には、河道閉塞から下流2 km 程度まで土砂が流出しており、二次災害のリスクを考慮すると UAV 操縦者が現場に近づくにも限界がある。また、湾曲した河道内の平坦な地点から UAV を操縦すると周辺の急峻な地形に遮られ UAV がすぐに目視できなくなる。また、機体を制御する電波も遮断されてしまうなど、UAV を安全に飛行させるには、飛行中の視認性を確保し電波が途切れないようにする等の課題を解決する必要がある。

この課題を解決するために、飛行レベル3（目視外）による UAV の自律飛行を目指し、撮影用とは別に電波中継用の UAV を組み合わせ、2機の UAV による同時飛行を行うことで、視界・電波の「壁」を超越することを提案した。

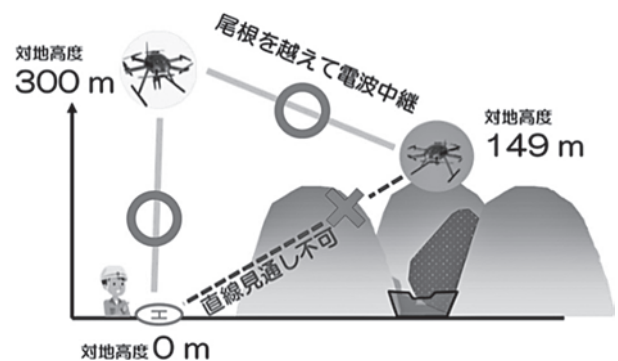
現場実証は、2021年3月22日～23日に行った。また、実施前準備として、航空局に対して「目視外補助者無しによる自律飛行（レベル3飛行）」の承認申請を行い、承認を得た。レベル3飛行は、技術的・法令的な高いハードルをクリアする必要があり、審査期間は36日を要した。

2機体同時飛行による UAV の飛行ルートは、次に示す通りである（図一3）。

撮影用 UAV は、1回のフライトで河道内の状況、1号砂防堰堤の状況、河道閉塞部や崩壊斜面部の状況を効率良く撮影するために、河道部上空を通り、崩壊斜面部の対岸側の斜面を飛行させ、垂直・水平・斜めからの撮影を組み合わせることで、撮影範囲全体を効



図一 栗平地区の UAV 飛行ルート



図一 2機 UAV の空中における位置関係

率的に取得する計画とした。

撮影は、単に撮影映像から状況を把握するだけでなく、撮影データを使った画像解析処理が行えるように、対地高度149 m（1号砂防堰堤周辺：100 m）、カメラ角度（河道部_往路:斜め75°・45°、復路:垂直、崩壊斜面部_対岸斜面:水平・45°）とし、動画撮影と静止画撮影（オーバーラップ率:85%_インターバル撮影:2秒/枚）について、それぞれ往復約6 kmの区間を自律飛行させた。特に、撮影データの画角内に土砂移動の発生した範囲（裸地部）と変化の無い植生部との境界が明瞭に判断できるように、カメラ角度の調整に留意した。

また、中継用 UAV は、撮影用 UAV の目視確保と通信電波が途中で遮断されてしまう2つの課題を解決するために、離発着地点から目視の範囲内で中継用 UAV を高高度（離着陸地点からの高度300 m）まで上昇させ、河道内を移動する撮影用 UAV と常に直線的な見通しが取れる地点にホバリングさせ、電波中継により、撮影機の制御情報（位置、姿勢等）、撮影映像を離着陸地点まで伝送させる計画とした（図一4）。

使用機体は、2機体とも国産 UAV（ACSL-PF2）とし、機体の制御情報は920 MHz、映像情報は5.7 GHzの電波通信規格を用いた（図一5）。

離着陸地点は、過去の実績より河道閉塞部から土砂流出した場合でも車でアクセス可能な地点（河道



図-5 撮影用 UAV と中継用 UAV



図-6 地上におけるリアルタイム映像確認

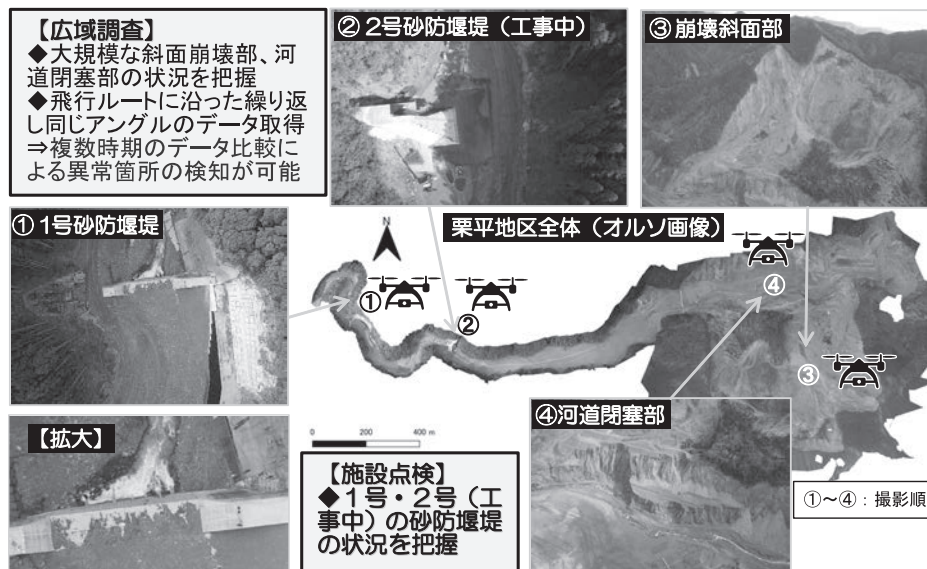


図-7 UAV 自律飛行 (レベル3) による現場状況の把握結果

閉塞部から下流約 2 km) とし、2 機体 (撮影用, 中継用) の操縦者と補助者 (地上局システム: 機体制御情報・画像情報等の監視者) を配置した。

3. 現場実証の結果

(1) 現場状況の把握結果

UAV を用いた 2 機体同時飛行による自律飛行では、1 回のフライトによる飛行時間が約 15 分となり、飛行中の 2 機体の制御情報 (位置, 姿勢, 通信強度等) や撮影用 UAV の映像 (静止画, 動画) 情報が電波中継され、地上局システムのモニター画面でリアルタイムに確認することができた (図-6)。

災害発生時に職員が現場に近づけたのは、数日後だったこと、また、作業員が徒歩で点検・調査する場合は、往復移動だけで 2 時間程度かかるのに対して、大幅な効率化が図れた。

次に、UAV 自律飛行による現場状況の把握結果を

示す (図-7)。

UAV の飛行ルートは、河道沿い (往復同一ルート) と崩壊斜面部の対岸斜面沿いとするこゝで、1 回のフライトで栗平地区全体の状況を迅速かつ詳細に把握できた。具体的には、1 号砂防堰堤に堆積した土砂や流下した土砂の状況や 1 号砂防堰堤の被災状況 (異常なし)、2 号砂防堰堤の工事中の状況、河道閉塞部や崩壊斜面部の異常の有無等、動画データから迅速な状況把握ができた。また、静止画データは、高精細画像 (2,000 万画素) であり、拡大表示することで砂防堰堤の水通し天端の状況等を詳細に確認することができた。

4. 撮影データの画像解析結果

撮影データの画像解析は、連続して撮影した静止画データ (208 枚) を使って、sfm 解析 (使用ソフト: Metashape, 解析時間: 約 2 時間) により、栗平地区

全体のオルソ画像（図—7）と3次元モデルを作成した。

ここでは、1号砂防堰堤の施設点検および周辺状況の把握のために3次元モデルを使って詳細に確認した事例を示す（図—8）。

1号砂防堰堤は、土石流の流下により水通し部が摩耗し、砂防堰堤上流部に土砂が堆積し、満砂状態にあることが確認できる。

UAVで撮影した単一写真（垂直・斜め）では、水通し部の摩耗や砂防堰堤下流面（垂直面）の状況がわかり難いのにに対して、連続した写真を使って作成した3次元モデルは、視点場を自由に設定することができるため、視覚的に分かり易く、砂防施設の定期点検等に利用可能であることが確認できた。



図—8 砂防堰堤の3次元モデル

5. おわりに

栗平地区で行った現場実証では、安全な場所からレベル3飛行によりUAVを2機体同時に自律飛行させ、撮影用UAVのデータを中継用UAVに電波中継することで、地形的な制約による視認性（飛行中のUAVを目視できない）と電波環境（飛行途中で電波が遮断される等）の問題を解決することに成功した。これにより、従来の1機体による点検・調査に比べて、調査範囲が大幅に広くなり、危険で人が立ち入ることが出来ないような河道閉塞箇所(point)の点検・調査を迅速かつ安全に実施することが可能となる等、本手法の有効性が示された。

また、UAVは、一度、飛行ルートや飛行方法・撮

影方法等を設定すると、同一アングルでの繰り返し撮影が可能となるため、複数時期のデータ比較が容易となり、異常箇所の検知などを迅速かつ正確に把握することができるようになる。

UAVの技術開発は、日進月歩でありUAVメーカーには、今回のような現場実証等を踏まえて、より「安全」「長距離」「長時間」飛ばすことのできる機体の開発を期待する。一方、我々建設コンサルタントは、今後、UAVをどのように活用し、いかに現場の課題解決に結びつけるか等、データとデジタル技術による「DX」を進め、従来の点検・調査方法を革新し、生産性向上や働き方改革につなげることが重要だと考えている。

今後は、AI等を活用した変状箇所の自動検知に関する技術開発、UAVメーカーと協働した点検作業の完全自動化に関する技術開発等を行い、UAVを活用したインフラ構造物の自動点検により、これまでの点検手法に代わる飛躍的な効率化と高度化を目指している。

J|C|MA

《参考資料》

- ・現場実証の紹介動画（2：34）：https://www.youtube.com/watch?v=5raojXz_pN4



紹介動画（QRコード）

- ・i-Construction推進コンソーシアム：<https://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/award/award2021.html>



国土省紹介HP（QRコード）

- ・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3年7月改訂。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
https://www.kkr.mlit.go.jp/kiisankei/center/img/uav_guidance01.pdf

【筆者紹介】

荒木 義則（あらかき よしのり）
中電技術コンサルタント(株)
先進技術センター
上席執行役員、
先進技術センター長兼 BIM/CIM プロジェクト室長

