

令和3年度 i-Construction 大賞 工事・業務部門 国土交通大臣賞受賞

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

中電技術コンサルタント株式会社 先進技術センター長 あらき 荒木 よしのり 義則

1. はじめに

中電技術コンサルタント株式会社は、1965（昭和40）年7月に設立、広島県広島市南区にある従業員433名（うち博士19名、技術士255名他）、年間売上高約100億円程度の土木・建築・電気・機械・環境・情報部門等を擁する総合建設コンサルタントです。

当社は、「技術を磨き、技術を競い、技術で選ばれる技術創造企業」をビジョンとして掲げ、「磨く、競う、選ばれる」の三つのプロセスを循環させていくことで継続的に成長し、中国地域を基盤として広域へ展開する技術創造企業を目指しています。

先進技術センターは、近年の激甚化・多様化する自然災害への対応、国土交通省が推進するi-ConstructionやインフラDX推進への対応、また、電力グループで蓄積したさまざまな技術の他分野への展開等、総合建設コンサルタントとして、異なる複数の技術を組み合わせた新しい技術開発・技術連携に取り組んでいます。

この度、これまでの経験を活かし、令和3年度i-Construction大賞（国土交通大臣賞）を受賞しました。対象となった業務は、大規模な土砂災害現場における、UAVの自律飛行による天然ダム

（以下、「河道閉塞」という）および砂防関係施設の点検・調査です。本稿では、その有効性や課題の一端を紹介します。

2. 取り組みの概要

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・出水等による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」という）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

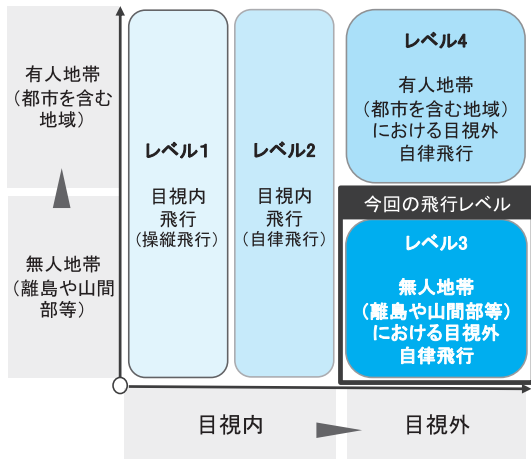


図-1 UAVの飛行レベル区分

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。

(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、奈良県吉野郡十津川村栗平地区（図-2）を対象としてUAVの自律飛行による点検・調査を行い、その有効性について現場実証した。栗平地区は、発災当時、崩壊幅600m、長さ650m、高さ450mの深層崩壊が発生し、約2,385万m³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

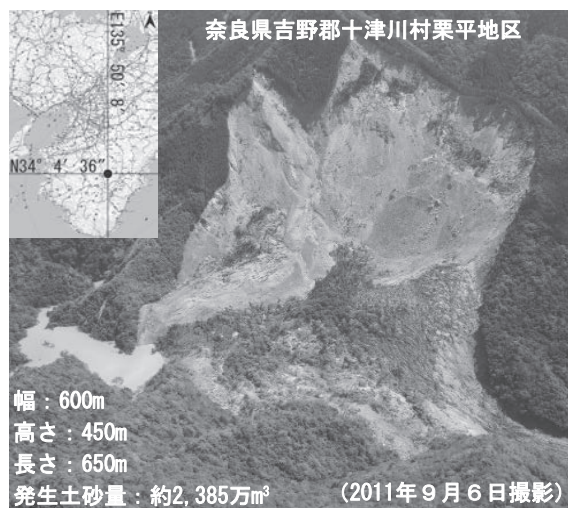


図-2 栗平地区の深層崩壊と河道閉塞

の整備が行われている。

(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ないため、河道沿いに現場に立ち入るしか手段がなかった。出水時には、河道閉塞から下流2km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。

さらに、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。その上、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った。

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・23日に行った。また、実施前の準備として、航空局に対して「目視外補助者なしによる自律飛行（レベル3飛行）」の承認申請を行い、承認を得た。レベル3飛行を行うには、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。具体的には、飛行経路の明確化や使用するUAVの機能・性能の適合性確認が求められた。

また、飛行エリア、立入管理区画、緊急離着陸場所、操縦者の立ち位置を明示し、このうち立入管理区画は、飛行エリアに対してUAVが異常落下する場合を想定した落下分散範囲を計算して設定した。

2機体同時飛行によるUAVの飛行ルートは、図-3に示すとおりである。

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

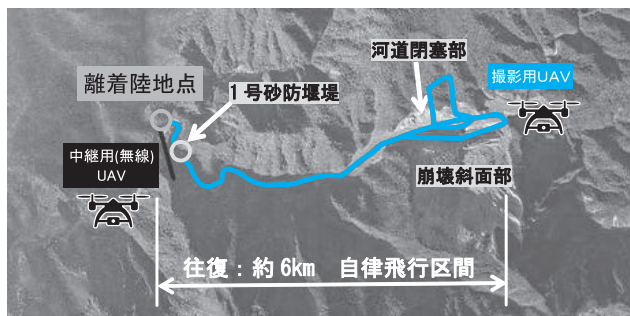


図-3 栗平地区のUAV飛行ルート

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149m(1号砂防堰堤周辺:100m)、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6km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)と変化のな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という二つの課題を解決するために、離着陸地点から目視の範囲内で高高度(離着陸地点からの高度300m)まで上昇させ、河道内を移動する撮影用UAVと

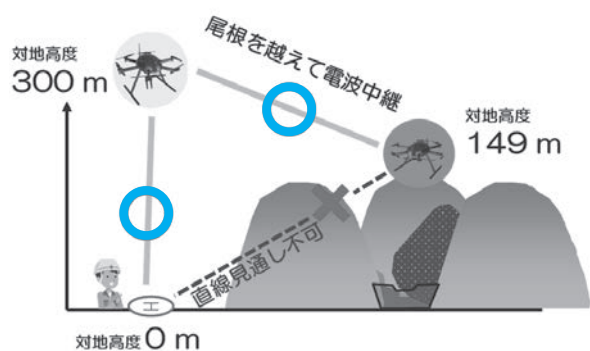


図-4 2機のUAVの空中における位置関係

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-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920MHz、映像情報は5.7GHzの電波通信規格を用いた(図-5)。



図-5 撮影用UAVと中継用UAV

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(河道閉塞部から下流約2km)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。なお、離着陸地点は、左右岸の急峻な地形に挟まれた河道内であることから、地上部においてUAVで受信可能なGNSSが十分捕捉(自律飛行に必要なGNSS数:8基以上)できないことから、UAVの離着陸時は手動操作とし、上空地点に移動させた後、自律飛行に切り替える飛行計画とした。

3. 取り組みの結果と効果

(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

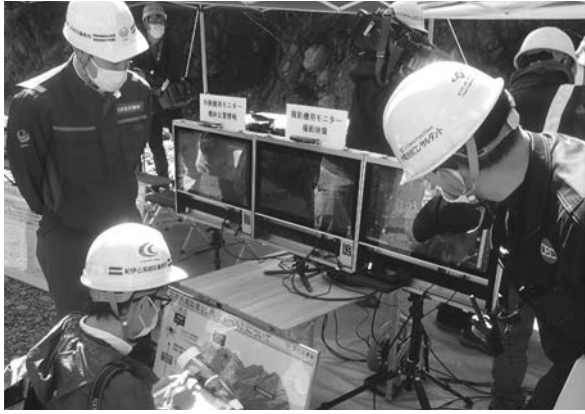


写真-1 地上におけるリアルタイム映像の確認

た(写真-1)。

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-6)。

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
とで、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。

(2) 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-6)と3次元モ

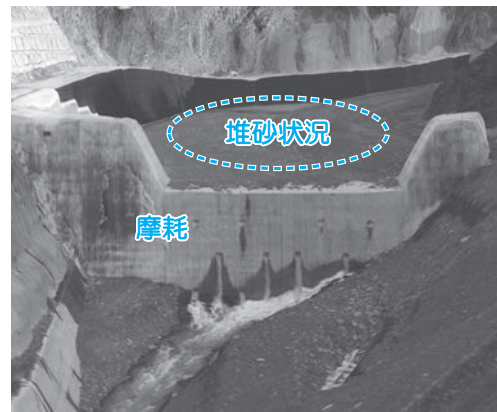


図-7 砂防堰堤の3次元モデル

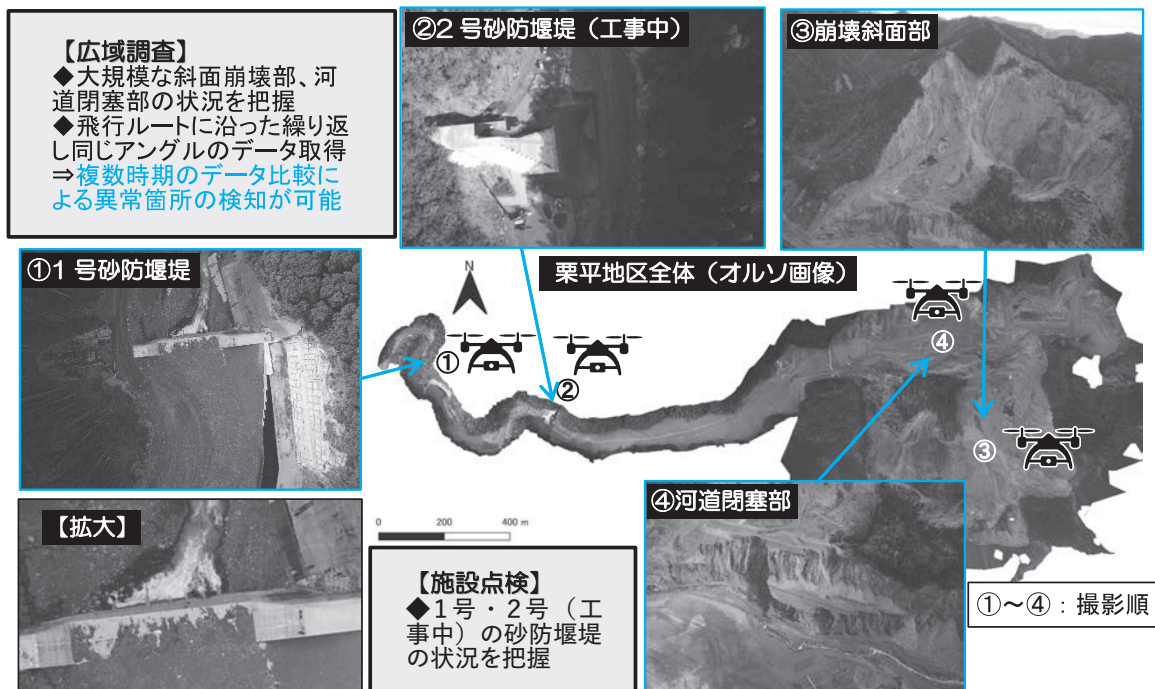


図-6 UAV 自律飛行(レベル3)による現場状況の把握結果

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-7)。

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)の状況が分かりにくいのに対して、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、視覚的に分かりやすく、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。

4. レベル3飛行によるUAVを活用した点検・調査の有効性

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できないような河道閉塞箇所の点検・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。

5. おわりに

今回の現場実証の結果より、防災分野(災害調査等)においてUAVは、今後もさまざまな場面で利用されると考えられる。特に出水直後の現地調査は危険で、現地へのルートが塞がっているケースも多いことから、広範囲を調査できるレベル3による目視外飛行は、こうした問題を解決する有効な手段の一つになります。

また、全国の山間地に存在する砂防堰堤などの構造物点検等の公物管理分野(施設点検)にも利用できます。

UAVの技術開発は、日進月歩で目まぐるしく進化しています。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」飛ぶことのできる機体の開発を期待しています。

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、デジタル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ます。

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ます。

【参考資料】

- 1) 実証実験の紹介動画(2:33) https://www.youtube.com/watch?v=5raojXz_pN4
- 2) i-Construction 推進コンソーシアム <https://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/award/award2021.html>