大規模土砂災害発生時の緊急調査に対するUAV等の活用と計測手法の高度化

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○北本楽、小杉恵、竹下航
株式会社エイト日本技術開発　海原荘一
中電技術コンサルタント株式会社　荒木義則

1.はじめに

平成 23 年に発生した紀伊半島大水害では、河道閉塞の決壊による土石流災害が生じるおそれがあることから、土砂災害防止法に基づく河道閉塞の緊急調査を実施し、土石流氾濫想定範囲の算出、土砂災害緊急情報を発表した。土石流氾濫想定範囲の算出[1)]では、河道閉塞の高さ、比高、湛水池水位等を計測する必要があるが、従来では、現場へのアクセスが危険・困難であることから、国交省職員がヘリコプターに搭乗し、上空から手持ちレーザ距離計にて地形計測を実施することが多かった。一方で、手持ちレーザ距離計で数百メートル直下の河道閉塞形状を計測することは、計測者の技量に応じて計測誤差が生じやすいなど課題が生じていた。本稿では、①無人航空機（以下、UAV）を用いた河道閉塞計測手法について実証実験を行うとともに、②計測結果を災害対策本部に伝達する訓練を実施して、UAV を用いた緊急調査の適用性と課題を整理した。また、③現行の緊急調査手引き（国交省職員用）の改定を実施したため、これらの結果について報告する。

2.UAV による河道閉塞計測の適用性検証

2-1 実証実験の概要

本実証実験では、UAV による河道閉塞地形の計測手法として、空撮画像を用いた写真測量に基づく計測手法と、UAV 搭載レーザを用いた計測手法の 2 手法を用いた。対象地は紀伊半島大水害により深層崩壊が生じ、河道閉塞が形成された実績のある長殿地区（奈良県十津川村、**図 1**）と赤谷地区（奈良県五條市、**図 2**）とした。各 UAV の飛行方法は自律飛行とした。以下に、各計測手法の概要を示す。

（1）UAV 写真測量に基づく計測（対象地区；長殿地区）
使用機体：Matrice 300 RTK（DJI 社）
使用カメラ：Zenmuse P1（DJI 社、4,500 万画素）
環境：オーバーラップ率 80%、サイドラップ率 60%、対地高度 720m（離発着地点からの高度）、撮影間隔 1 秒
解析手法：SfM 解析（Metashape、Agisoft社）、地上標定点（以下、GCP）は用いず、単独測位および PPK（Post Processing Kinematic）測位を用いてそれぞれモデル作成を作成した。

（2）UAV 搭載レーザによる計測（対象地区；赤谷地区）
使用機体　：Matrice 600 PRO (DJI 社)
使用レーザ：miniRANGER、miniRANGER2（PHOENIX 社）
環境：対地高度 500m（離発着地点からの高度）

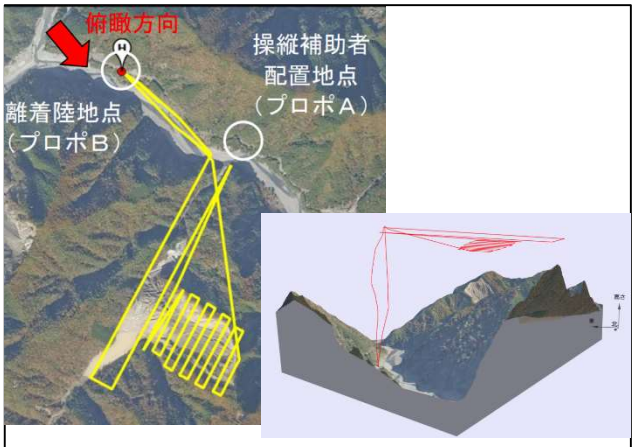

図 1 （左）長殿地区における UAV 空撮による河道閉塞地形計測の飛行ルート、（右）崩壊地と飛行ルートの関係

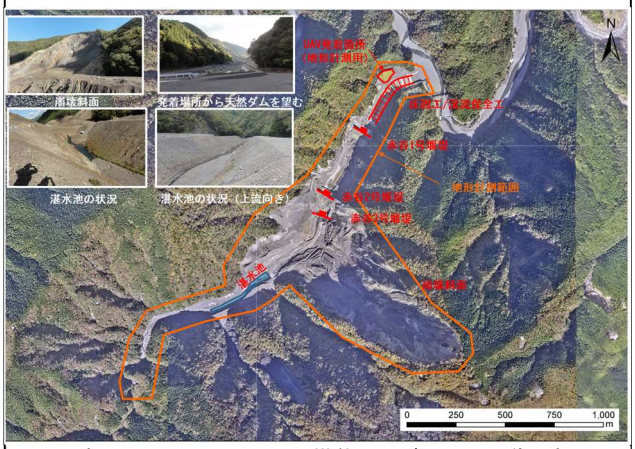

図 2 赤谷地区における UAV 搭載レーザによる河道閉塞地形計測範囲

2-2 河道閉塞計測結果の仮想災害本部への伝達訓練

2-1 で示す UAV 機体や機材を用いた河道閉塞計測においては、災害現場近傍の現場事務所等でUAV操縦や河道閉塞の 3 次元モデル作成作業などの高度な技術かつ迅速性が求められる作業を実施し、適宜、必要な情報のみを災害対策本部に伝達することが想定される。本訓練は、UAV による河道閉塞計測結果から土石流氾濫想定範囲の算出に必要な座標値取得する作業をシミュレーションし、課題の整理を目的とした。

3.結果および考察

3-1 実証実験

（1）長殿地区における UAV 写真測量による河道閉塞計測は、飛行時間約 22 分、撮影枚数 865 枚で崩壊地および河道閉塞全体を 3 次元モデル化するのに必要な写真を撮影できた。撮影した写真から PPK 測位、GCP なしで河道閉塞の 3 次元モデルを作成し、同時期の LP データと比較したところ、水平、垂直較差は 1m 以下であり、土石流氾濫想定範囲の算出において十分な精度を有していた。一方で、単独測位、GCP なしで作成した 3 次元モデルでは、同時期の LP データから全体的に垂直方向に-8m 程度、水平方向に 3m ほどのずれが生じていたが、近傍の道路等の不動点同士をマッチングさせることで垂直方向誤差を軽減すれば、土石流氾濫想定範囲の算出に十分な精度の地形情報となった。モデル作成は、単独測位で約 3 時間、PPK 測位では座標補正情報の受け取りに 1 時間を要し、計 4 時間を要した。既往 LP が存在する箇所においては、不動点を含む範囲を空撮することで、UAV 単独測位による写真測量でも期待する精度の河道閉塞地形の再現が可能なことが明らかになった。

（2）赤谷地区における UAV 搭載レーザによる河道閉塞計測は、飛行時間約 45 分で崩壊地および河道閉塞全体の点群データを取得できた。PPK 測位を用いることで、土石流氾濫想定範囲の算出に十分な精度を確保でき、継続監視期における CIM を利用した災害対策検討においても活用が期待される。一方で、事前準備においてレーザ点群のオーバーラップ率を確保するために飛行ルート設定に技量と時間を要することや、作成後のグラウンドデータから植生等を除去するフィルタリングに時間を要するなど、より高精度なモデル作成には 3～5 日間程度が必要となることから、必要精度に応じた作業を事前にシミュレーションしておくことが重要である。

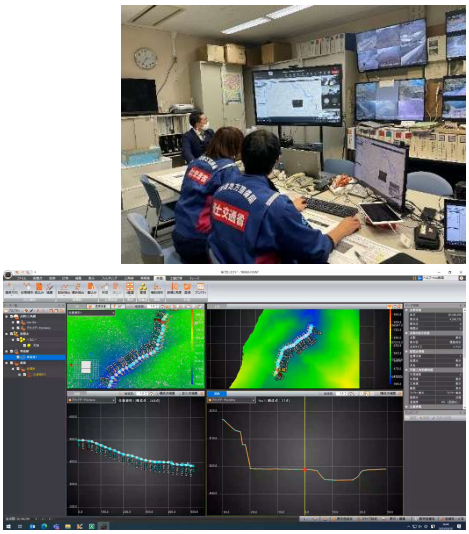

図 3 （上）UAV による河道閉塞計算結果を仮想災害対策本部で受領し、閲覧、処理する様子、（下）点群処理ソフトによる河道閉塞横断面の作成

3-2 河道閉塞計測結果の仮想災害本部への伝達訓練

本訓練では、以下のデータを作成でき次第順次、クラウドサービスにアップロードし、仮想対策本部にてダウンロードおよび閲覧をシミュレーションした（**図 3**）。①UAV による静止画、②低解像度オルソ画像（単独測位）、③河道閉塞点群データ（単独測位）、④河道閉塞点群データ（PPK 測位）の順で送付を行っていくことで、国交省職員が電子国土 WEB 上で災害位置を①で確認、②で状況確認、③で第一報の土石流氾濫想定範囲の算出に必要な座標値取得、④で第二報の座標値取得と対策検討と、発災時に想定される対応フローに従って作業できるかどうか確認した。結果として、①の受領から、④の座標値取得まではデータダウンロードを含めても約 1.5 時間程度で完了できることがわかった。

4.おわりに

本稿では、UAV を用いた河道閉塞の緊急調査について実証実験を行い、調査に対する適用性と課題を整理した。ヘリコプターからの直接計測に比べて、UAV 計測ではデータ解析に多少の時間を要するが、数メートル誤差で河道閉塞形状の再現が可能であること、迅速に災害対策本部に情報伝達できることからも有効な手段であることが明らかになった。河道閉塞から 1～2km まで接近できる場合は UAV 計測、数 km 以内には接近できない場合はヘリコプターによる計測を行うなどの、調査の迅速性や効率性が向上すると考える。また、現行手引き [2)] では、ヘリコプターまたは地上からのレーザ計測を基本としているため、本成果および湛水池への水位計設置や水位予測等の紀伊半島大水害の経験と知見を合わせて、改定した。

参考文献

1）清水武志、内田太郎、山越隆雄、石塚忠範：天然ダムによる土石流想定範囲計算システム（QUAD-L）の開発と 2011 年台風 12 号災害における適用、土木技術資料、vol.54、No.10、pp14-17、2012

2）国土交通省砂防部砂防計画課ほか：土砂災害防止法に基づく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（平成 28 年 3 月一部改訂）