

UAVレーザを用いた大規模土砂災害における初動調査の試行検討

国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所 ○北本 楽、山本 悟司、小杉 恵
 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 木下 篤彦^{*1}
 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9月の紀伊半島大水害では紀伊山地各地に大規模な深層崩壊が多発し、17箇所で河道閉塞が形成された。河道閉塞による湛水や越流を発生原因とする土石流等の重大な土砂災害が急迫している場合には、土砂災害防止法に基づき、市町村が適切に住民の避難指示の判断が行えるよう、国が緊急調査を実施して土砂災害緊急情報の提供を行う必要がある。

土砂災害緊急情報の提供には、河道閉塞比高等を現地計測し、数値計算を用いた土石流氾濫想定区域の算出が必要となる。これまでの緊急調査では、再崩壊や土砂流出による二次災害リスクがあることや、地上からのアクセスが困難な場合が多いことから、ヘリコプターによって河道閉塞箇所上空に接近し、上空から目視でレーザを照射することで現地計測を実施している事例が多い。しかしながら、悪天候によりヘリコプターが飛行できない等の迅速性が損なわれる場合が想定されることや、ヘリコプター自体の揺れ、計測者が変わることに伴う計測誤差等が影響し、正確な現地計測が実施できないことが指摘されており、ヘリコプターに代わる機器を用いた安全かつ定量的な現地計測手法が求められる。

本発表では、紀伊半島大水害により発生した長殿地区（奈良県十津川村、図1）の河道閉塞箇所において、無人航空機（以下、UAV）にレーザ計測機器を搭載して飛行させ、河道閉塞箇所の点群データを取得するとともに、国土交通省の砂防行政にて緊急調査時に実施する河道閉塞の越流に伴う土石流氾濫数値計算（以下、QUAD-L）による計算を実施し、UAVレーザによる河道閉塞箇所の緊急調査に対する適用性と有用性について報告するものである。

2. 手法

2.1 UAV 機材およびレーザ計測機器

機体はレーザ計測機器との互換性を考慮してMatrice 300 RTKを用いた（図2上）。また、レーザ計測機器はプロポ（操縦リモコン）の画面内に映る中央の1地点の座標を計測する機器Zemuse H20T（以下、単点レーザ機器）とUAV飛行中に地表面に多数のレーザを照射して地表面の点群データを取得する機器Zemuse L1（以下、点群レーザ機器）の2種類を用いた（図2下）。単点レーザ機器による計測箇所はQUAD-Lの計算に必要な河道閉塞の天端、下流端、および湛水池下流端の3箇所（図3）を狙ってレーザ照射し、座標を取得した。他方、点群レーザ機器は48万点/秒で地表面にレーザを照射して点群を取得する仕様であり、着陸後にデータをパソコンで処理することで表示される高密度点群モデルから、QUAD-Lに必要な各箇所の最近傍点の計測値を座標として採用した。

2.2 UAVの飛行条件および計測精度の検証

長殿地区にて河道閉塞が発災した場合、現場に立入できな

いことが想定されるため、河道閉塞箇所から約1km下流の土石流の到達しない安全な地点を離発着地点として設定した（図4）。UAV飛行は、対地高度150m以上の飛行を行うための許可を取得の上、目視内の手動飛行で行った。機体位置の測位方法は、離発着地点周辺にGNSS基地局を設置して、UAVを移動局とするRTK（リアルタイムキネマティック）方式を用いた。また、同時期にUAV空撮画像を行い、SfM解析により作成した3次元モデルを計画値として、単点レーザ機器および点群レーザ機器で取得される座標と比較することで、両機器の計測精度を検証した。空撮はPPK（後処理キネマティック）方式で実施して、機体の正確な位置座標を後補正した。

3. 結果と考察

3.1 UAVレーザによる河道閉塞箇所の計測

2021年12月に実施した長殿地区における現地計測状況を図5に示す。単点レーザ機器は、QUAD-Lの計算に必要な箇所のみに絞った計測を実施し、総距離約2600m、約15分の飛行で座標を取得できた。また、点群レーザ機器は総距離約3800m、約18分の飛行で河道地表面の座標を取得の上、UAV着陸後にパソコンに点群データを読み込んで解析処理（約6分）を行うことで座標を取得できた。両機器とも、UAV飛行から30分以内にQUAD-Lに必要な座標を取得できた。次に両機器で取得された座標について、SfM解析により作成した3次元モデルを計画値、すなわち正として座標を比較した。表1に示すように、計画値に対する両機器で取得した座標は水平方向（XY方向）と鉛直方向（Z方向）で±4m以内の計測誤差となった。単点レーザ機器と点群レーザ機器の計測誤差平均を比較すると、点群レーザ機器の方が計画値との差は小さく、より精度が高いことがわかった。単点レーザ機器を用いた手法については、画面内に映る中央の1地点の座標をリアルタイムに取得できるため、国土地理院の数値標高モデル等を参照することで計測値のもっともらしさを即時確認することが可能である。また、点群レーザ機器については、ノートPC（推奨：メモリ64GB、CPU Core i9以上）を現場に持ち込むことで即時対応ができ、単点レーザ機器に比べて計測精度が高く、また、河道をまんべんなく計測できるため深層崩壊土砂量や河道内の残存土砂量を点群モデルから定量的に算出することが可能となる。

3.2 QUAD-Lによる土石流氾濫計算

計画値との差が小さく精度が高いと考えられる点群レーザ機器で取得した座標を用いたQUAD-Lによる土石流氾濫想定区域の算出結果を図6に示す。使用した数値標高モデルは2016年に取得されたLP航空測量に基づく10mメッシュを使用し、QUAD-Lの計算は20mメッシュで計算を実行した。QUAD-Lによる氾濫区域は、近畿地整内で毎年実施されるQUAD演習時の計算結果と同範囲であり、従来のヘリコプターを用いた計測と同等の精度を確保できると考える。

4. まとめ

UAV レーザによる河道閉塞箇所への調査およびQUAD-Lに必要な現地計測は、2種類のレーザ計測手法を用いて実施した。RTKを用いてUAV位置座標の高精度化を図ると共に、単点レーザ機器および点群レーザ機器のいずれの計測手法においても、QUAD-Lを計算するために十分な精度を保有していた。ヘリコプターの有視界気象状態における飛行は、雲から高さ方向に300m以上離れる必要があり、地表付近が雲でおおわれている場合は、その直下の災害現場状況を確認することが

できない。この点において、UAVは山肌近くの低空飛行が可能である。UAVはヘリコプターに比べ飛行時間も短く、災害現場近くまでUAVを運搬する必要があるものの、無人で容易に飛行でき、定量的に現場状況を計測できることから、本手法は、緊急調査に対する適用性と有用性は高いと考えられる。本発表では、目視内の手動飛行に限定してUAV飛行を実施したが、今後は目視外での自律飛行などの技術と組み合わせて、河道閉塞箇所への継続監視に至るまでUAV活用の検討を広げていく必要がある。

【参考文献】

- 1) 清水ほか：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.63, No. 8, 2012
- 2) 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、大規模土砂災害対策技術センター、2021



図. 1 発災直後と現在の長野地区

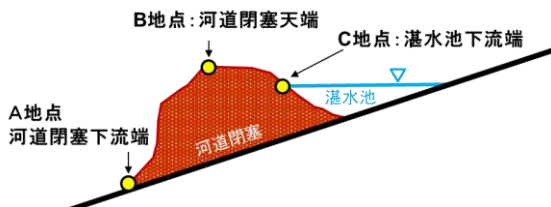


図. 3 QUAD-L 計算に必要な河道閉塞の計測箇所



図. 4 UAV 離発着地点とレーザ計測箇所



図. 6 QUAD-L による土石流氾濫想定区域



▲ **Matrice 300 RTK (DJI社)**
 サイズ(対角寸法): 895mm
 重量: 約6.3kg(バッテリー2個付)
 最大ペイロード: 2700g
 飛行時間: 31分(最大ペイロード)

▲ **Zenmuse H20T (DJI社)**
 寸法: 167 × 135 × 161mm
 重量: 828 ± 5g
 レーザ計測範囲: 3 ~ 1200m
 レーザ測定精度: ±(0.2 m + D × 0.15%)
 (Dは垂直面までの距離)

▲ **Zenmuse L1 (DJI社)**
 寸法: 152 × 110 × 169mm
 重量: 930 ± 10g
 レーザ照射点数: 48万点/秒
 システム精度: 水平: 10cm@50m
 垂直: 5cm@50m

図. 2 UAV 機体とレーザ計測機器



図. 5 単点レーザ計測と点群レーザ計測による河道閉塞の計測

表. 1 各レーザ計測座標値の計測誤差

計測手法	地点	計測誤差(計画値-各座標値)(m)		
		X(m)	Y(m)	Z(m)
計画値	A			
	B			
	C			
単点レーザ計測機器	A	1.63	-1.50	-2.24
	B	2.40	1.38	-4.22
	C	2.21	3.93	-3.87
単点レーザ計測機器の計測誤差平均→		2.08	1.27	-3.44
点群レーザ計測機器	A	0.65	0.63	-0.02
	B	0.34	0.32	-0.11
	C	0.36	1.34	-0.27
点群レーザ計測機器の計測誤差平均→		0.45	0.76	-0.13