

崩壊地におけるUAVレーザ測定の活用について ～横湯川流域の大規模土砂移動現象の把握～

丸山 彩香

元 長野県 北信建設事務所 整備課 (〒383-8515 長野県中野市大字壁田955)

現 長野県 建設部 砂防課 (〒380-8570 長野県長野市大字南長野字幅下692-2)

砂防事業は脆弱で急峻な山間部での計画・工事が多く、斜面崩壊、落石または土石流の危険性と常に隣り合わせである。砂防河川の横湯川における砂防工事では、現場までの工事用道路沿いの斜面が大規模崩壊地形を成しており、地すべり性の変動によるものと推測された。昨年5月、著しい変状の拡大により一部斜面が崩壊し、横湯川への土砂流出が確認されたが、現地には立ち入る事ができず、全体の確認が不十分であった。そのため、UAVレーザ測量を用いて、状況の把握を行うとともに崩壊土砂量の推定を行い、迅速な対応措置につなげた。

キーワード UAVレーザ測量, 差分解析, 斜面崩壊, 3次元点群データ

1. はじめに

近年、無人航空機 (UAV : Unmanned Aerial Vehicle 通称ドローン。以下「UAV」という) を使用した測量・調査等が増加している。その理由の一つは、2015年、国土交通省が「ICT (Information and Communication Technology. 情報通信技術。以下「ICT」という) の全面的な活用」等の施策を建設現場に導入することによって、建設生産システム全体の生産性向上を図り、もって魅力ある建設現場を目指す取り組みである「i-Construction」という施策を発表したからだ。

これを受けて、長野県では建設産業における生産性向上や魅力の創出による担い手の確保のためICTの活用を促進している。なかでも測量技術においてはUAVの活用が期待されており、工期短縮またはコスト削減などが可能になった。

特に、立ち入ることが困難な急峻な地形、荒廃が著しい流域または崩壊地等において、UAVレーザ測量は非常に有効な調査方法の一つである。

当事務所では、山ノ内町の上流に位置する横湯川流域において昨年の5月に斜面崩壊が発生したことに伴い、UAVレーザ測量を実施し、崩壊土砂量を算定するため差分解析を行った。本論文では、その活用事例について論述する。

2. 現地概要

(1) 横湯川流域の概要

斜面崩壊が発生した横湯川は、長野県の北部に位置する山ノ内町を流れる夜間瀬川上流の流域面積A=37.8km²の砂防河川である。志賀山をはじめとした標高2,000m前後の活火山が立ち並び、急峻な地形を成している。また、横湯川上流には面積約300haの落合地すべりが存在し、流域全体には崩壊地や地すべり地形が多い。保全対象として、人家1245戸、小学校等の公共施設、渋・湯田中温泉郷や地獄谷野猿公苑等の観光地が存在する。

長野県では1906年から夜間瀬川流域の砂防事業に着手し、一時、直轄砂防事業として整備を進めてきたが、1950年8月には大規模な土石流が発生し、山ノ内町にある穂波温泉が流出、死者が出るなど激甚な被害を受けてきた(表-1)。2018年には、「夜間瀬川直轄砂防施工100周年記念シンポジウム」に地域住民や小学生等約360名が来場し、盛大に開催された。この地域は、砂防と観光が共存してきた地域である。

表-1 夜間瀬川流域の過去の主な土砂災害等¹⁾²⁾

西暦	内容
1406	延徳田んぼに流れていた夜間瀬川が大洪水により、現在の流路となった。
1614	豪雨により高社山で土石流、夜間瀬川で洪水が発生。延徳沖で被害大。
1742	「戌の満水」により千曲川・夜間瀬川大洪水。
1757	大雨により横湯川が出水し、河原湯流出。
1910	豪雨により夜間瀬川が大洪水。それまでに建設

	された砂防施設が流出。
1950	豪雨により夜間瀬川が大洪水。穂波温泉が全滅

(2) 斜面崩壊の発生

当箇所は、1989年に一部、斜面崩壊が発生するなど以前から存在する大規模崩壊地である。さらに、地すべり性の変動が発生している可能性が高いと考えられたため、斜面上に傾斜計等の観測機器を設置し変状の把握に努め、その下流にて砂防堰堤の工事を実施していた。設置していた傾斜計(G-2)に2021年4月30日、5月3日と著しい変状が見られ、それ以降観測不能となった。直ちに、職員による現地確認を行ったところ、延長120m、高さ3～5mに及ぶ土砂が横湯川の河床に堆積しており、斜面上には不安定土塊が存在することを目視で確認した。

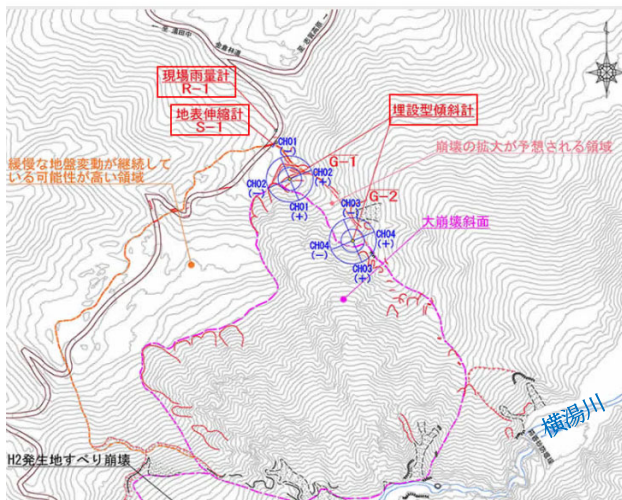


図-1 観測機器の設置位置



写真-1 崩壊地の状況 (2021年5月14日)

3. 課題と解決策の選定

(1) 課題

斜面崩壊が発生した場合、崩壊土砂量はどのぐらいか、

どこまでの範囲に影響が及ぶのか、また今後も発生する可能性があるか等把握する必要があるが、次の3つの課題があった。

- 現場の危険性 (二次災害のおそれ)
 - アクセスの悪さ (谷深く急峻な地形を形成)
 - 迅速な状況把握 (崩壊規模や不安定土砂量など)
- 下流域には保全対象が多数存在していることから、早急に対策を講ずる必要があった。

(2) 解決策の選定

地形の把握方法として、主に3つの方法が考えられる。

- 従来からの方法であるトータルステーション等を用いた地形測量
- 航空機にレーザスキャナを搭載して調査を行う航空レーザ測量
- 無人航空機にレーザスキャナを搭載して調査を行うUAVレーザ測量

このほか、写真測量という方法があるが、取得できる情報は写真に写っている対象の計測値のみで、樹木下の地面など写らないものの計測が困難であることから、森林地域の地形測量には不向きである。

当地域は、過去、国土交通省 北陸地方整備局 湯沢砂防事務所と長野県林務部で航空レーザ測量を実施しており、3次元点群データ³⁾⁴⁾が存在していた。そのため、レーザ測量を選定することにより、既存データとの比較検討が容易になると考えられた。

前述の課題を踏まえたうえで、航空機の飛行が適さないような狭い範囲に活用されており、安価で手軽に実施できるUAVレーザ測量を用いた調査を行い、既存データとの差分解析を実施し崩壊土砂量を算出する方針を決定した。本調査により、作業員の安全性の確保および短期間での調査、全体像の把握などが効果として期待される。

4. UAVレーザ測量による調査

(1) UAVレーザ測量とは

UAVレーザ測量とは、機体に搭載したレーザスキャナから照射されたレーザ光の反射時間より求められる地上までの距離、GNSS測量機より計測される機体の位置及びIMU (慣性計測装置) より計測される機体の姿勢情報等により地上の地形起伏状況や地形の位置を求める測量である。また、一部のレーザ光が草木の隙間を通り抜けて地面にあたることにより、樹木があっても地形を計測することができるため、山間部においても利用可能な調査方法である。

(2) 調査方法

作業規定として「UAV搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル (案)⁵⁾」が国土地理院より公表されており、それに基づき調査を実施した。一般的な作業の流れは、下記のとおりである。

- ・計画機関による成果品の要求仕様の策定
- ・作業機関による作業仕様の策定
- ・3次元位置の確認等を行うための調整用基準点（以下、調整点）の設置
- ・UAVレーザ計測
- ・要求仕様を満たしているかを確認する点検測量
- ・オリジナルデータを編集して必要なデータを作成するデータ処理

同マニュアル（案）によると、より標高の精度を確保するためには、複数の調整点を設置することが望ましいとされている。当地の測量範囲はA=0.115km²であり1km²未満のため、調整点の数は1箇所でもよいが、急峻な地形であること、点検測量時に2箇所以上の検証点（調整点含む）が必要となることから、全3箇所調整点を設けて精度管理を行った。

また、当地は比高差が約350mの谷地形であるため、機体の高度を下げた場合にコントローラーが信号をロスする可能性がある。そのため、RTK受信機（Real Time Kinematic受信機：基準点と観測点を同時にGPS観測を行い、無線等を用いてデータを送信することで、観測点の位置情報をリアルタイムに求めることができる機器）とコントローラーを2セット用意し、ロス時にコントローラーの切り替えを行うものとした。

(3) 差分解析

3D点群処理ソフト（Wing Earth）を用いて差分解析を行った。それぞれの点群データより作成されたメッシュデータを重ね合わせ、一定の格子間隔で区切った後、各格子内のそれぞれの平均標高の差分により求められた体積を総和する方法である（図-2）。

この調査は、土工における単純な切土・盛土体積の計測や土砂移動状況の把握を目的に用いられることが多い。しかし、地すべり地内の崩壊土砂量を求める場合には、水平方向の移動を標高差として体積に変換してしまうため、適さない場合がある。今回は地すべり性による斜面崩壊の可能性が考えられたため、差分解析による推定を行った後、調査により得られたデータから平均断面法による崩壊土砂量の算出を行った（図-3）。



図-2 平均標高の差分

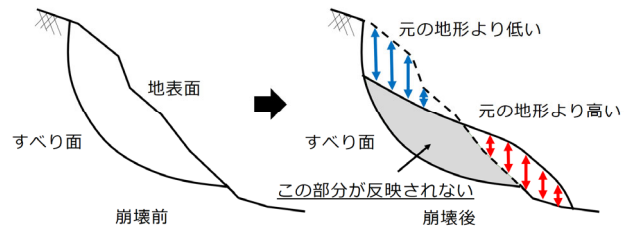


図-3 水平移動の標高差（イメージ）

5. 調査結果

本調査により、横湯川へ流出した崩壊土砂は延長L=120m、高さH=3~12m、体積V=約18,000m³にも及び、今後、下流に流出する危険性があることが判明した。また、短期的に崩壊する可能性が高い斜面上の土砂を対象に、平均断面法を用いて土砂量の算出を行ったところ、約100,000~150,000m³もの規模が大きい不安定土砂が存在することが明らかとなった。

従来方式と比較し、調査における安全性の確保、現場作業時間が約3時間、移動時間含めて1日という短期間での調査、航空測量と比較しコストが安価、3次元点群データの取得により既存または今後取得するデータとの比較検討が容易となる等、大きなメリットとなった。

(1) UAV写真測量による3次元点群データ

広範囲における地形状況を確認するため、あわせてUAV写真測量を実施した。砂防施設、工事用道路や保全対象との位置関係の把握が容易となる。

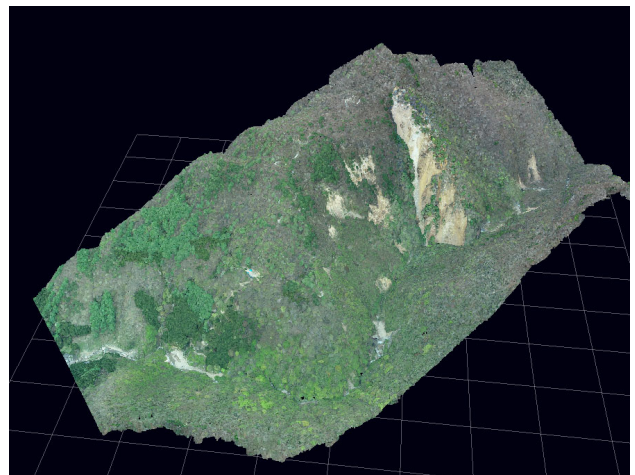


写真-2 崩壊地周辺の写真測量データ

(2) UAVレーザ測量による差分解析

既存データとの差分解析の結果、斜面上の崩壊土砂量や土砂移動現象、河床に堆積した土砂量、既設砂防堰堤の施設効果量等の算定ができた。前回のデータから地形が低いまたは高くなっている箇所を、色の違いにより表

している。既存データは、令和2年度に実施しているLPデータを用いて検討を実施した。そのため、点密度（4点/m²）や誤差等の精度管理については、同等の条件を設定している。

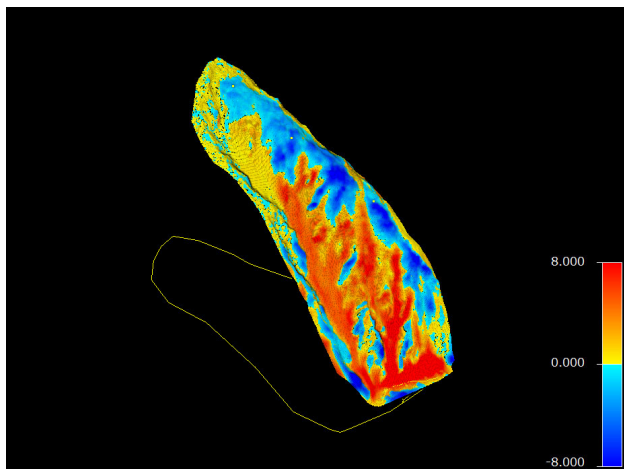


写真-3 崩壊地の差分解析結果

6. まとめ

当箇所において、UAVレーザ測量を用いた調査を実施したことにより、迅速な状況把握および崩壊土砂量の算定などを行うことができた。また、二次災害の危険性が高い現場であったが、事故なく調査を完了することができた。

以上のことから、崩壊地や山間部において、UAVレーザ測量は非常に有効な調査方法である。当所では本結果をふまえて、次の3つの対応措置を進めている。

(1) 砂防工事における安全対策の強化

崩壊地下流で実施している砂防工事関係者とも調査結果について情報共有した。監視カメラや観測機器の増設など安全対策により一層力を入れて取り組んだ。また、受注者の迅速な施工および努力により、当初2ヵ年工事で発注していた現場がわずか1年での完成となった。

(2) 関係者への状況説明など

得られた資料を用いて関係者へ状況説明を行ったところ、行政機関に限らず有識者からの助言を得ながら、この流域における土砂災害対策を検討していくこととなった。3次元化した資料を用いたことにより現場状況のイメージを掴むことが容易となり、関係者との共通認識を形成することができた。

(3) 被害想定シミュレーションの実施

崩壊地から下流までは狭隘な地形が連続するため、河床堆積土砂が土石流化した場合、すぐに下流までは到達

しないものと想定される。崩壊発生から半年後の河床堆積土砂の状況は、河川の掃流力により徐々に流下していると確認できた。しかし、斜面上には多くの不安定土塊が存在するため、これらを対象とした下流域への被害想定シミュレーションの検討を進めている。

7. 今後の課題及び活用について

今後の課題として、当地のような崩壊の激しい地域では今回に限らず定期的な調査が必要である。5年に1回など定期的にUAVレーザ測量を実施することにより、流域全体の土砂移動現象の把握、施設効果量等の算定に役立つものと考えられる。また、この結果を活用し、砂防全体計画や除石計画の策定、さらに事業の必要性の裏付けにもなり得るだろう。

また、3次元点群データはデータ容量が大きいので、UAVを用いた測量・調査が拡大傾向にあるなか、高性能スペックのPC機器が必要となる。

そのほか、静岡県では県内の道路や地形など3次元点群データのオープンデータ化を進めている。全国初の取組であり、データの蓄積により災害時の対応など様々な活用方法を見出している。今後も動向に注目しながら、3次元点群データの活用を行いたい。

謝辞：論文を執筆するにあたり、調査を実施していただきました総合地質コンサルタント株式会社のみなさま、データを提供いただきました国土交通省 北陸地方整備局 湯沢砂防事務所、県林務部のみなさまに心より感謝申し上げます。ありがとうございました。

参考文献

- 1) 蒲原潤一・丸山泰正・北原誠・荻野厚・片桐剛・小林康夫・井上公夫・大矢幸司・中根和彦：夜間瀬川の地形形成史と土砂災害・砂防事業，平成 29 年度砂防学会研究発表会概要集 p798-799 (2017)
- 2) 中根和彦・井上公夫・藤井隆男・木下昌明・北原誠・田下昌志・蒲原潤一：夜間瀬川の土砂災害史と砂防事業，砂防学会誌 p32-39 (2020)
- 3) 国土交通省 北陸地方整備局 湯沢砂防事務所：令和 2 年度信濃川下流水系航空 LP 測量業務（その 3）
- 4) 長野県林務部：平成 24 年度予防治山事業第 36 号工事（北信 1 地区），平成 24 年度予防治山事業第 30 号工事（北信 2 地区）
- 5) 国土交通省 国土地理院：UAV 搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル（案）
- 6) 国土交通省 国土地理院：UAV を用いた公共測量マニュアル（案）
- 7) 国土交通省 国土地理院：公共測量における UAV の使用に関する安全基準（案）