

大規模土砂災害現場におけるUAV等を用いた計測手法について

小林 正直¹・岸本 優輝¹

¹近畿地方整備局 大規模土砂災害対策技術センター（〒647-5302和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6）

大規模土砂災害現場では、土砂災害防止法に基づく緊急調査に資する基礎データを早急に得る必要があり、人工衛星画像解析による土砂災害箇所の見つけやヘリコプターによる手持ちレーザを用いた天然ダム形状の計測など様々な手段が検討されてきた。特に近年UAVにおいては、その利便性・応用性に着目し、自律飛行により安全に河道閉塞部形状を3次元モデルとして得ることができるようになってきている。本研究では、大規模土砂災害現場において災害初動期のみならず継続監視期や災害対策検討段階においても活用が可能な、UAVによる種々の計測手法について検討、とりまとめを行い、UAVによる流域監視技術の確立に向けた検討を行う。

キーワード UAV, 計測手法, 3次元モデル, 緊急調査, 継続監視

1. はじめに

大規模土砂災害現場では、土砂災害防止法に基づく緊急調査に資する基礎データを早急に得る必要がある。一方で大規模土砂災害現場は往々にして山奥に位置し、早期のアクセス及び現地計測等には困難が伴う。そこで、人工衛星による画像等の解析¹⁾やヘリコプターによる手持ちレーザを用いた計測²⁾、UAVを用いた計測手法³⁾など様々な手段が検討されてきた。

一方で、人工衛星による撮影は衛星の通過スケジュールによるなど適時性に欠け、土砂災害の発生箇所は判明しても規模は分からないなど詳細なデータは後続調査に頼る必要があった。ヘリコプター上空からの計測は、ヘリの振動による手ブレや操縦者の違いなどによる誤差を含み、正確な河道閉塞形状を把握するのに時間を要した。

これらの課題を解決するべく期待されているのがUAVを用いた計測である。UAVによって、危険な災害現場から離れた地点で安全に操作し観測を行うことが可能となった。また、比較的迅速に観測態勢が構築できることから、目的に応じて光学カメラ・サーマルカメラ・レーザ等の様々な機材を用いることで従来手作業で得ていた観測項目についてより正確な計測が可能となった。さらに観測から比較的短時間で3次元モデルを作成できることから、視覚的かつ時系列的な越流箇所等の検討を迅速に行うことが可能となるなど、多種多様な観測手法及び活用方法が検討されている最中である。

2. 光学カメラを用いた計測と調査

UAV計測手法のうち、ここでは光学カメラを用いた計測と調査について述べる。調査の初期においてはUAVによる動画撮影飛行を行い(図1)、調査範囲全体の概略把握を行う。その後目的に応じた静止画撮影を行う。そのいずれの際にもUAV自律飛行を用いることで操作者が危険箇所近づかず安全・迅速に、高精度の情報を得ることが可能である。

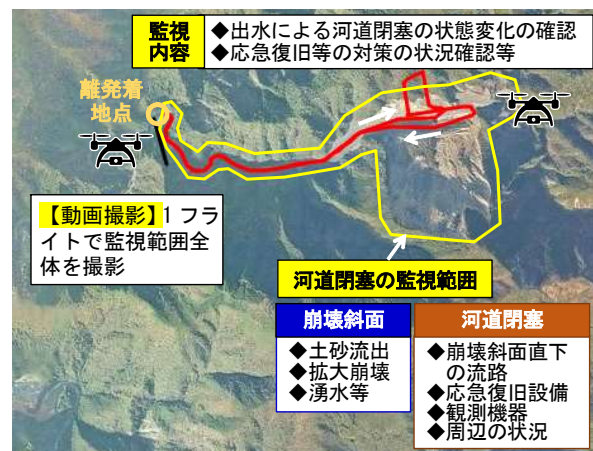


図1 河道閉塞箇所の動画調査

(1) 動画撮影

大規模土砂災害現場における発災直後や出水後等は、崩壊地や河道閉塞部、あるいは砂防堰堤等の調査に当たっては立入に危険が伴うため、調査員の安全を確保した上での動画による対象範囲全体の迅速な状況把握が必要となる。得られる動画データは、リアルタイム画像伝送機能により迅速に確認ができ、再度の動画撮影計画、あるいはより詳細なデータ入手を目指した追加の画像撮影計画の検討が可能である。

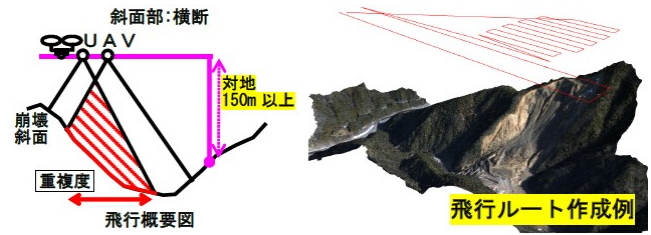


図2 オルソ画像作成と3次元モデルへの投影

(2) オルソ撮影

オルソ画像はいわゆる空中写真であり、すべての地物を地図と同じく真上から見たような正しい大きさと位置に表示させたものである。設定した調査範囲全体を自律飛行等により連続撮影することで画像解析により作成される。3次元モデル等に投影することで流域内の植生や裸地・崩壊地の分布、土砂の堆積状況等を視覚的に把握することが可能となる。(図2)

オルソ画像は、SfM解析により作成する。SfM解析では、撮影写真の解像度や重複度（オーバーラップ率、サイドラップ率）、撮影写真の位置情報の正確性が解析結果の品質や精度に影響を与える。ここで、撮影写真の位置情報の取得方法には、複数の測位方式（GNSS単独測位、PPK、RTK）があり、利用目的や現場環境に応じて適切に使い分ける必要がある。

一般的にUAVによる写真測量は、GNSS単独測位方式で撮影した写真を用いたSfM解析において、計測エリア内に地上標定点を設置し、地上標定点による座標補正を行うことで精度向上が図られている。しかしながら、大規模土砂災害現場は、立ち入りに危険が伴うことから、現場内に立ち入ることなく、作業の安全性を確保し、迅速かつ高精度な解析が求められる。図2のオルソ画像は、大規模土砂災害現場の初動期を想定しており、UAVによるGNSS単独測位方式により遠景写真を撮影し、SfM解析（約1時間程度）を行い、危険を伴う現場内に対空標識の設置が出来ないことから、UAV離発着地点付近の道路構造物を標定点として利用し、高さ補正を行った事例である。

大規模土砂災害現場の継続監視期では、遠景撮影による崩壊地や河道閉塞部の土砂変動量の詳細把握や図3に示すように近景撮影による砂防施設等の点検等において、高精度な測位方式（PPK、RTK）の利用が必要となる。ここで、PPK（Post Processing Kinematic:後処理キネマティック）方式とは、UAVによるGNSS単独測位方式で記録したデータと電子基準点の観測データを用いて、ソフトウェアの後処理により位置データの精度を向上、補正する方法である。また、RTK（Real Time Kinematic:リアルタイムキネマティック）方式とは、位置の分かっている基準局と位置を求めようとする移動局（UAV）で同時にGNSS観測を行い、基準局で観測したデータを無線機等



図3 砂防施設点検時オルソ画像の比較

で移動局へリアルタイムに送信し、移動局（UAV）の測位精度を高める方法である。携帯電波が利用できる場所では、基準局を設置する代わりに周辺の電子基準点の観測データから作成された補正情報を用いるネットワークRTK法もある。

(3) 単画像撮影

単画像はいわゆる通常の写真であり、災害現場に近接した箇所、死角からの高解像度の写真を得ることで従来得ることができなかった災害箇所及び砂防施設変状箇所の情報を得ることが可能となる。(図4)

(4) 3次元モデル作成

上記に述べてきた光学カメラ撮影画像群より3次元モデルを作成することができる。後述するレーザ計測から作成される3次元モデルとの差異は、比較的短時間に3次元モデルが作成できる点にあるが、植生をそのままモデルに入れ込んでしまうため用途に応じた活用が必要である。オルソ画像の作成と同様に測位状況、解析方法の選択により、低精度ながら迅速なモデル作成もしくは長時間ながら高精度なモデル作成の作成を行うことが可能である。砂防設備の点検時への活用(図5)の他、3次元モデルから読み取れる標高及び座標等の基礎データを用いて氾濫シミュレーションへの適用、取得した地形データを3次元CIMモデルとしてLPデータとの差分の解析

(図 6), 二時期の地形データ比較による形状変化の継続監視等にも活用できる。

3. レーザを用いた計測と調査

レーザ測距計等を用いた計測と調査について述べる。土砂災害防止法に基づく緊急調査では、河道閉塞時に湛

水池が越流、決壊する時期、規模及びその際の被害について解析する必要があり、図 7 に示す解析に資する基礎データの迅速な入手が必要である。その際は UAV に搭載したレーザ距離計を用いることで非常に正確な計測が可能になる。また、レーザ計測により河道閉塞部形状や施設等の点群データを容易に作成することができ、その後の種々の検討に活用できる。また、グリーンレーザを用いた測量により水面下の地形を測量することが可能である。

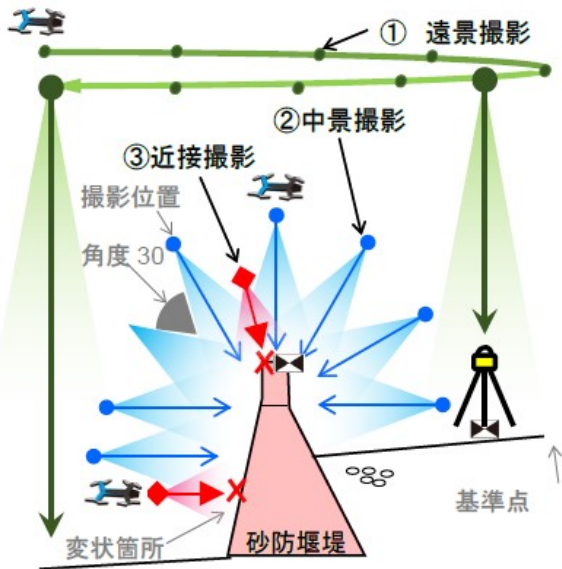


図 4 砂防施設点検時近接撮影イメージ

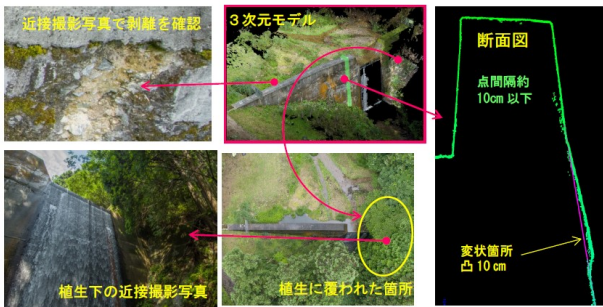


図 5 砂防施設点検活用イメージ

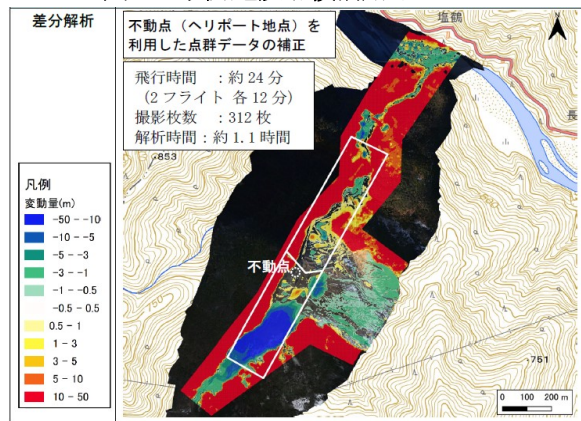


図 6 画像から作成した 3 次元標高モデルと LP データとの差分解析による崩壊地の状況把握

(1) レーザ距離計を用いた調査

UAV を手動操作し撮影映像を確認しながら着目点を画面に捉え、ズームカメラを用いてレーザ距離計による座標計測を行う(図 8)。実証実験では離隔距離 400m 未満で水平較差、垂直較差ともに 5m 以下の精度を示すなど、高い精度の計測が迅速に可能である。

(2) レーザ計測による点群データを用いた調査

レーザ計測機器を用いて 3 次元(点群)データを取得する。現技術段階では手動操作の目視内飛行を想定しており、実験時には約 20 分のフライトで直線距離約 400m、水平距離約 370m、高低差約 100m の山地河道における点群データの取得を行った。解析は現場で可能で、約 6 分を要し、得られた点群データから取得した着目点の誤差は水平誤差 4m 以内、高さ誤差 5m 以内と高精度な情報の取得が短時間で可能であった。

光学カメラ画像による 3 次元データ取得との差異は、図 10 のようなイメージで説明される。すなわち、光学カメラによる映像撮影機器では水色のように樹木等の表面を表現するのにに対し、赤色で示すレーザ計測では樹木

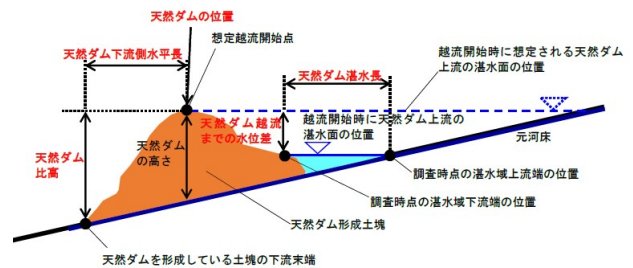


図 7 緊急調査時に取得すべき基礎データ



図 8 レーザ距離計による河道閉塞地点等の計測



図9 レーザ計測による点群データの取得

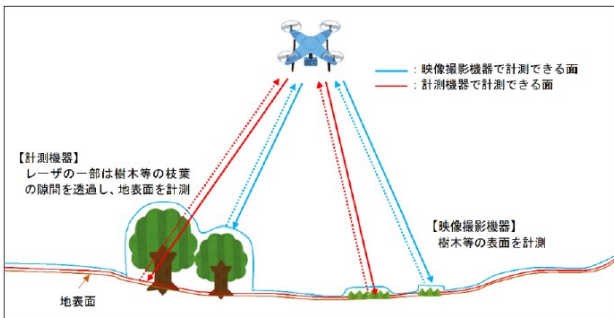


図10 光学カメラとレーザによる3次元データ取得の差異

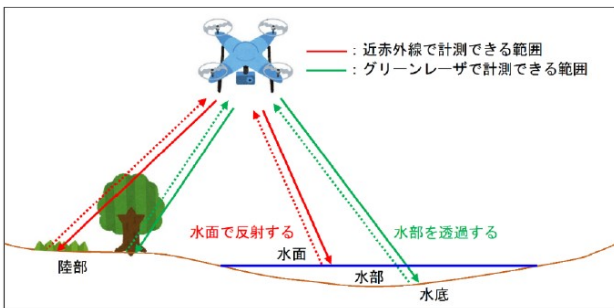


図11 グリーンレーザによる測量

を透過し地表面を計測するといった差異がある。植生地における活用に有利である。

(3) グリーンレーザを用いた測量

一般に用いられるレーザ計測では近赤外線領域の波長のレーザを用いており、水面で反射する(図11)。グリーンレーザ測量機能を持ったUAVを用いることで水面下の地形等を計測可能であり、砂防施設のみならず溪流の様々な場面での計測に活用が期待される(図12)。

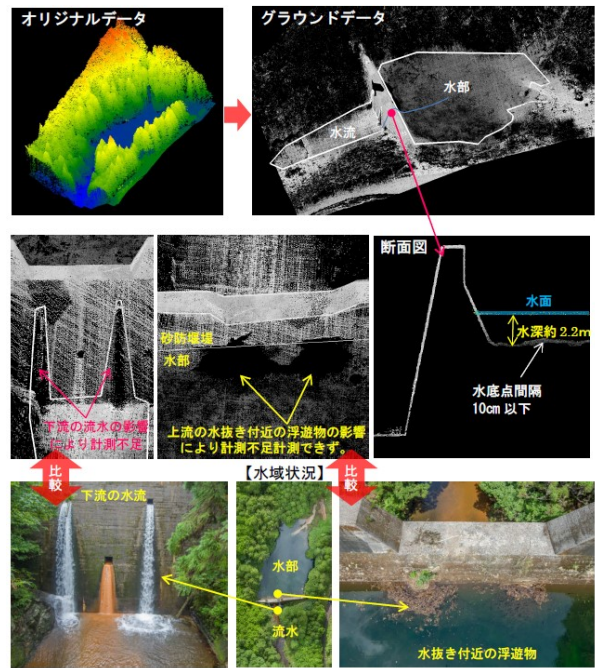


図12 UAVグリーンレーザ測量結果

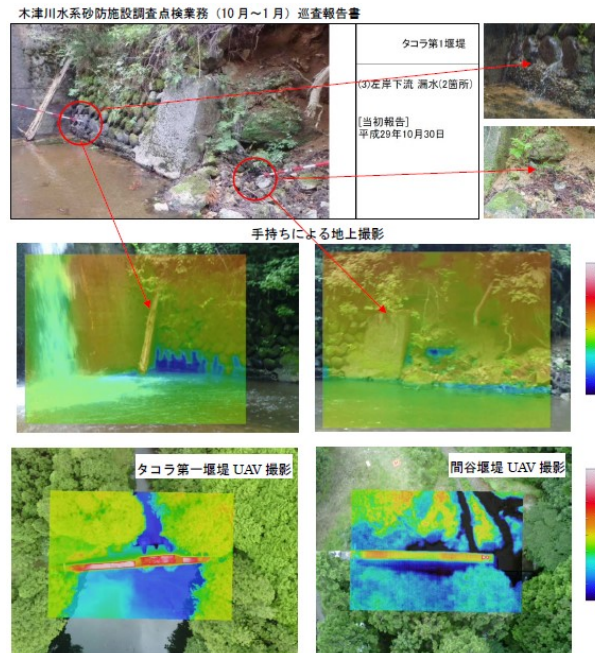


図13 熱赤外線カメラを用いた砂防施設点検の様子

4. サーマルカメラを用いた計測と調査

熱赤外線カメラ(サーマルカメラ)を用いた砂防堰堤周辺の漏水など変状を確認するための計測について述べる。UAVに搭載した熱赤外線カメラの画像において、漏水箇所周辺より温度が高いことが確認された(図13)。実際に定期点検等で変状抽出として利用できる精度か等についてさらなる検討は必要だが、今後様々な用途に活用されることが期待される。小型のUAVを用いた近接での撮影試験等が望まれる。

5. UAV計測の利点と展望

ここで、UAVを用いた各種計測手法の利点を整理する。

第一に、安全なデータ取得が可能な点が挙げられる。UAVはともすれば二次災害の恐れがある危険な現場に近づかずしてデータ収集を行うことが可能である。

第二に、データ取得の迅速性がある。UAVは人工衛星やヘリコプター等の手段に比べ迅速性に優れる場合があり、比較的誰でも操作が可能である。

第三に、データの正確性、精密性がある。迅速性とのトレードオフである面もあるが、従来手法に比べデータ入手難易度に比べはるかに高精度なデータを得ることができる。

第四に、視覚的なわかりやすさがある。3次元データを取得し、オルソ画像を張り付ければ、現場の状況をおおむね把握できる。

第五に、その汎用性が挙げられる。これは、様々な現場や地域で活用可能であるといった点、あるいは搭載する計測機器・手法によって多種多様な現場で活用が期待されるといった点等を踏まえ、UAVという機器自体が幅広い適用分野があり、活用することができるといった強みである。

現時点での、UAV計測を利活用していく上でのポイントは、迅速、安全な計測を実施するだけでなく、得られたデータをその後の危機管理に活用でき、災害初期のみならず継続監視期や災害対策にも活用可能なモデルを取得できる点、あるいはUAV自律飛行を併用することで定期的な流域及び砂防設備等の点検に応用できる点などにある。今後は、ヘリコプターによる大規模土砂災害箇所把握後、UAVを併用することでより効率的な災害調査、対策の検討が可能になるなど、緊急調査手法の見直し等が期待される。また、UAV自律飛行を併用し、流域や砂防設備等の定期監視技術の確立に向けて今後も検討を続ける。

6. おわりに

今回とりまとめたUAVの観測手法には大きく分けて、光学カメラによる計測、レーザによる計測、遠赤外線による計測があった。光学カメラやレーザのそれぞれで3次元データの作成が可能である点やそれぞれの利点についても述べた。

しかしながらUAVの機体性能差や、地形データを解析する際に必要となる測位方法、あるいは現地条件（地形、天候、通信状況、etc...）によって観測状況や精度は変化する可能性もあり、多種多様な目的に応じた観測の実施には事前の準備が必要である。

UAVによる計測手法は多種多様なものがあり、その技術も現在発展途上かつ日進月歩である。また、適用性や応用性は広がりを見せており、目的に応じたデータの収集、利用方法についても利用する我々が整理、準備していなければならない。大規模災害時に慌てる必要の無いよう、理解を深めるとともに最新の動向を注視していくことが重要である。

謝辞：現地検証計画立案・検証等においては中電技術コンサルタント（株）及びアジア航測（株）に受託いただきご尽力いただいた。今後の利活用等の検討は国土技術政策総合研究所土砂災害研究部の竹下航主任研究官に有益なご意見をいただき検討を進めることができた。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 鈴木大和, 松田昌之, 瀧口茂隆, 野村康裕, 山下久美子, 中谷洋明:合成開口レーダ (SAR) 画像による土砂災害判読の手引き, 国土技術政策総合研究所資料, 第1110号, 令和2年4月.
- 2) 内田太郎, 吉野弘祐, 清水武志, 石塚忠範, 小竹利明:長距離レーザ距離計を用いた天然ダム形状の計測, 土木技術資料, 第53巻, 第5号, PP.22~25, 2011.
- 3) 荒木義則, 木下篤彦, 秦雅之, 河井恵美, 小竹利明, 山田拓, 柴田俊, 亀井稔, 松岡和行, 南口由行:大規模土砂災害における無人航空機を活用した緊急調査の試行的研究, 第10回土砂災害に関するシンポジウム論文集, p.73-78, 2020年9月.