災害状況の迅速な把握・提供技術の開発

－熱海市の土石流源頭部における 3 次元点群データの活用－

実施期間　令和 3 年度
基本図情報部地図情報技術開発室　佐々木 励起　石塚 麻奈
下野 隆洋　岸本 紀子

1. はじめに

2021 年 7 月 3 日，東海地方・関東地方南部を中心とした記録的な大雨により，静岡県熱海市伊豆山において土石流が発生した．この土石流の源頭部では，盛土箇所において大規模な土砂の崩落がみられた．これを受けて，国土地理院では発災 3 日後に土石流が発生した熱海市に無人航空機（以下「UAV」という.）を使用する調査隊である国土地理院ランドバードを派遣し，土石流源頭部において UAV によるレーザ計測を実施して高精度な 3 次元点群データを取得した．

このとき取得した土砂崩落現場の 3 次元点群データを活用し，発災前後の標高変化量算出や，3 次元点群の視覚化の検討を行った．本稿では，これらの UAV レーザ計測によって取得した 3 次元点群データの活用と検討結果について報告する．

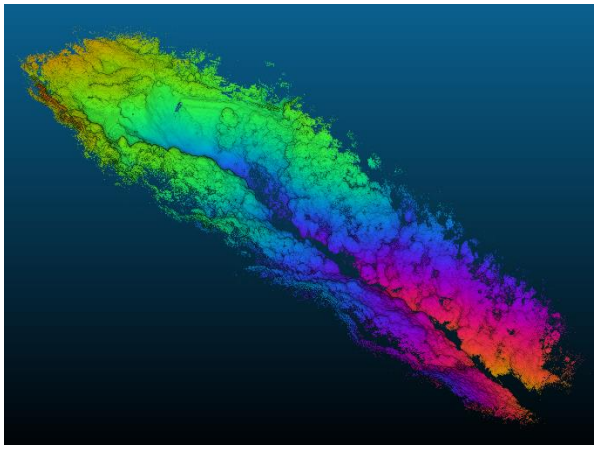
2. 取得した 3 次元点群データ

UAV によるレーザ計測は，静岡県熱海市伊豆山の土石流源頭部において，7 月 6 日午前 11 時 31 分～43 分と午後 0 時 7 分～23 分の 2 回実施した．使用した計測装置は，レーザスキャナ，GNSS アンテナ及び慣性計測装置が組み込まれた YellowScan 社製の YellowScan Surveyor である．

計測は斜面方向と斜面を横断する方向の 2 方向から実施した．なお，発災直後の詳細不明な急斜面において，計測対象である地表面と機体の距離を適切に保ちつつ安全な飛行を実現するため，自動飛行による計測ではなく，目視で機体位置を確認しながら手動で飛行させた．レーザ計測の際の飛行コースを図-1 a，取得した 3 次元点群データを図-1 b に示す．この計測により，レーザ照射角の閾値を 90 度としたところ，合計 9 コース，約 5,997 万点の位置情報を有する 3 次元点群データが取得できた．

UAV によるレーザ計測で取得したデータ及び現地にて VRS 方式 RTK-GNSS 測量で取得した調整用基準点を用いて，地形や樹木等を含む 3 次元点群データであるオリジナルデータを生成した．さらに，自動処理による簡易的な樹木等のフィルタリングを実施し，地形のみを表すグラウンドデータを生成した．

a. UAV 飛行コース



b. UAV 計測により取得した３次元点群データ

図-1　3 次元点群データの計測

3. 活用事例 1　3 次元点群データの時系列比較による標高変化量抽出

本 UAV 計測により取得した 3 次元点群データの他に，同地域では，2009 年，2019 年に公共測量により航空レーザ測量が実施されており，これらのデータを組み合わせて，3 時期の標高変化量を算出した．3 時期は，盛土前，盛土後，土石流発災後の時期に相当し，源頭部における過去の盛土と今回の崩落により流失した土砂量を定量的に明らかにすることができた．以下に標高変化量算出の処理と考察を記す．

3.1 3 次元点群データの処理

UAV 計測により作成したグラウンドデータを基に，数値標高モデル（Digital Elevation Model, 以下「DEM」という．）を作成した．標高比較に用いた 3 時期の DEM について，それぞれの元となるレーザ計測データの諸元を表-1 に示す．これら計測の成果より，メッシュサイズ 1m の DEM を作成した（図-2 a, b, c）．

表-1　使用したデータの計測機関と計測日

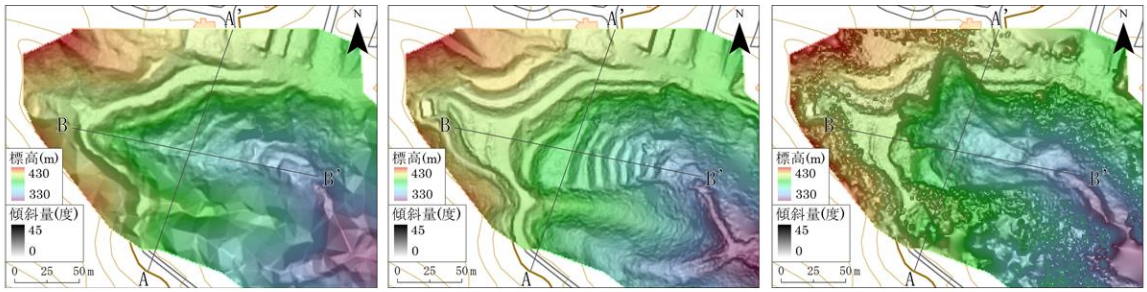
使用データ	計測機関	計測日
2009 年公共測量成果（航空レーザ測量）	中部地方整備局	2009 年 6 月 27 日
2019 年公共測量成果（航空レーザ測量）	静岡県	2019 年 12 月 11 日
2021 年発災後 UAV レーザ計測	国土地理院	2021 年 7 月 6 日

3.2 断面図による 3 時期の DEM 比較

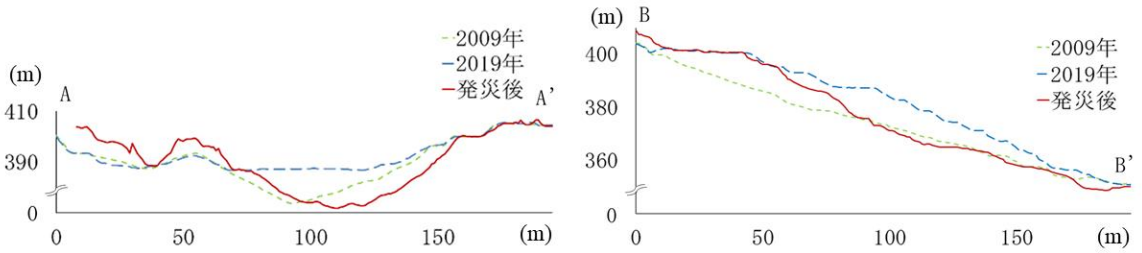
3 時期の DEM に対して，崩落範囲を横断する A－A’と縦断する B－B’で断面図を作成した（図-2 I, II）．

A－A’断面図において，2009 年と 2019 年の断面図を比較すると，2009 年では V 字型に窪んでいた箇所が，2019 年には最大で 13.5 m 標高が増加し，平坦な断面となっている．そして，2019 年と発災後の断面図に着目すると，大きく U 字型に標高の減少がみられ，この断面では最大で 15.6 m の標高の減少がみられる．さらに，2009 年と発災後の標高変化に着目すると，U 字型に変化した地形の地点 A’側の斜面では 2009 年時点より，発災後の標高の減少がみられる．

B－B’断面図において，2009 年と 2019 年の断面図を比較すると，2009 年の断面図ではおよそ 14 度の一様な傾斜となっているが，2019 年の断面図では最大で 13.3 m 標高が増加し，階段状の地形となっている．さらに，2019 年と発災後の断面図を比較すると最大で 14.1 m 標高の減少がみられる．2009 年と発災後の断面図を比べると，下流側で 2009 年の断面図と同様の傾斜となっている．



a. 2009年DEMによる傾斜量図　b. 2019年DEMによる傾斜量図　c. 発災後DEM（2021年）による傾斜量図



Ⅰ. A-A’ 断面図　Ⅱ. B-B’ 断面図

図-2　3 時期の傾斜量図（標高による段彩付き）と断面図の比較

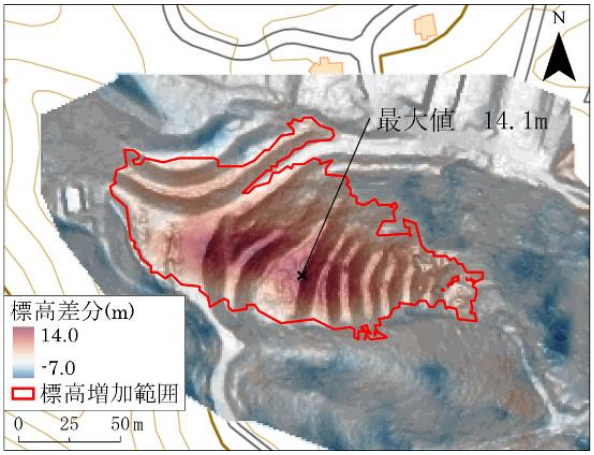
3.3 各年 DEM 比較による標高変化量の算出

2009 年 DEM に対する 2019 年の標高変化量を図-3a に示す．図中の赤枠内は標高値が 1.0 m 以上増加した範囲を示しており，この範囲の標高変化の最大値は 14.1 m の増加，水平投影面積は 1.02 万 m^2，体積増加は 5.6 万 m^3 であった． 標高値の増加傾向が顕著であり，2009 年から 2019 年にかけて盛土の造成が進んだことを示唆する結果となっている．

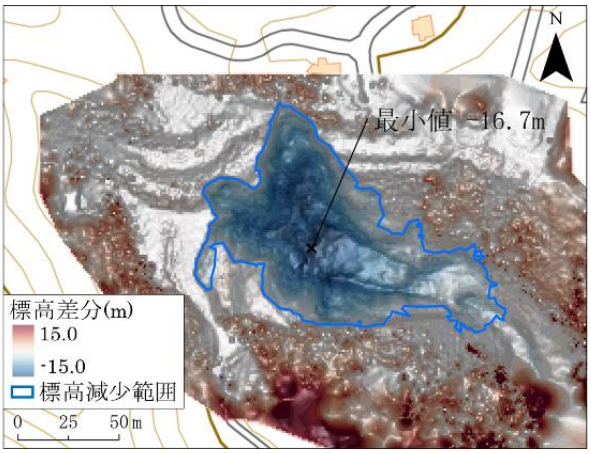
2019 年 DEM に対する発災後 DEM の標高変化量を図-3b に示す．図中の青枠内は標高値が 1.0 m 以上減少した範囲を示している．この範囲の標高変化の最大は 16.7 m の減少，水平投影面積は 0.80 万 m^2，体積減少は 5.8 万 m^3 であり，土砂流失に伴う地形変化を詳細かつ定量的に捉える結果が得られた．

2009 年 DEM に対する発災後 DEM の標高変化量を図-3 c に示す．標高値の増加を示す赤枠内では増加幅の最大値が 13.0 m，体積増加は 2.2 万 m^3 であった．一方，標高値の減少を示す青枠内では減少幅の最大値が 11.6 m，体積減少は 2.2 万 m^3 であった．盛土範囲に着目すると，北東側で標高が減少した領域が広がっており，この範囲では 2009 年から 2019 年にかけて増加した体積を上回る量の土砂が流失したことを示している．一方で，標高が増加した領域が広がる南西側では，盛土が崩れ残っていることを示唆する結果となっている．

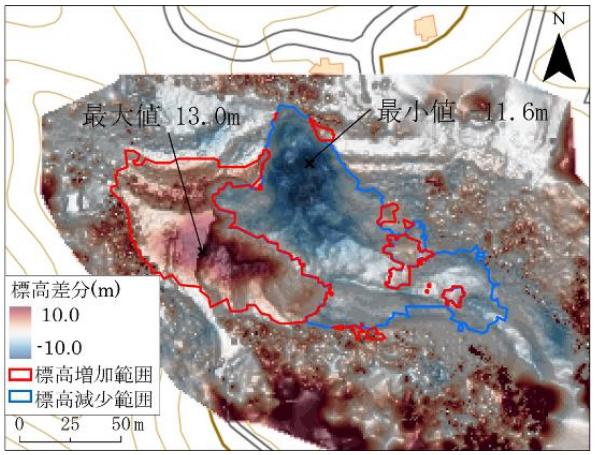
なお，面積及び体積をそれぞれ百平方メートル，千立方メートルの桁で算出したが，仮に一方の DEM が，高さ数十センチメートルの規模で偏りのある誤差を持つ場合，標高変化部の水平投影面積で数百平方メートル，体積で数千立方メートル規模の誤差が生じることに留意する必要がある．



a. 2009 年の標高に対する 2019 年の標高変化量



b. 2019 年の標高に対する発災後の標高変化量



c. 2009 年の標高に対する発災後の標高変化量

図-3　各年 DEM 比較による標高変化量

4. 活用事例２　3 次元点群データの視覚化の検討

3 次元点群データの多様な分野で活用可能な価値に着目し，業務の最終成果として整備・提供を図る動きが出てきている（第 25 回測量行政懇談会，2020）．2020 年，測量行政懇談会において，3 次元点群データの流通促進に関する提言がとりまとめられた．これを受け，現在国土地理院では，将来の 3 次元点群データの整備・提供を見据え，適切な提供形態やその効果等について各種検討を進めている．

しかしながら，点群データを提供するにあたって，未加工のデータは容量が大きく，表示できるソフトウェアが限られているため, 扱いが難しい. そのため, 3 次元点群データの視覚化について検討を行った.

4.1 視覚化の方法

レーザ計測で取得した 3 次元点群データは色の情報を有していないため，TerraScan を用いて斜め空中写真やオルソ画像から色情報を点群に与える．作成した色付き点群から，CloudCompare や Meshlab, unity，blender といったソフトウェアによって，画像や動画，さらには VR コンテンツを作成することができる．また，各ソフトウェアに関連してオープンに整備されているデータ変換ツールや Metashape 等の点群編集ソフトウェアを用いて Potree や CesiumJS 独自のファイル形式に変換することで，3 次元点群データを Web 上で 3 次元表示することができる．これら視覚化の工程について，図-4 に示した．

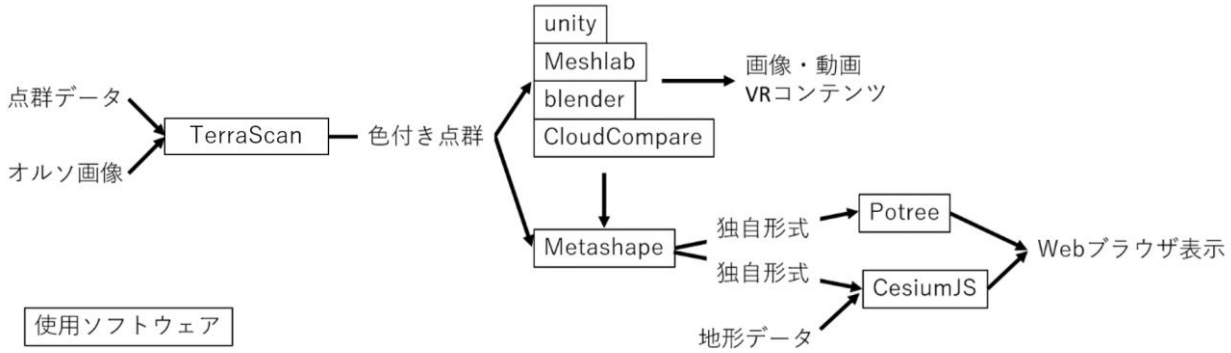


図-4　3 次元点群データの視覚化フロー

4.2 視覚化の方法のメリット･デメリット

各視覚化の方法について，メリットとデメリットを検討した（表-2）．未加工点群データは情報量が多いが，データ容量が大きく，閲覧に専用のソフトウェアを用いる必要がある． Web アプリの形式に加工することでより容易な閲覧が可能だが，データ加工の必要があり，計測等の分析は不可能である．

5. まとめ

国土地理院では，2021 年 7 月 3 日に静岡県熱海市伊豆山で発生した土石流の源頭部において UAV レーザ計測を実施し，被災状況を詳細な 3 次元点群データとして記録した．

このデータにより，2009 年と 2019 年に公共測量で実施された航空レーザ測量データを活用して，盛土形成の前後を含む 3 時期の標高変化量を定量的に明らかにした．この結果は，標高データの多時期比較が災害時における被災状況把握のみならず，盛土造成等による災害危険箇所の把握・抽出に対しても有用であることを示唆し，高精度の標高データの整備・更新が肝要であることを改めて示すものであった．

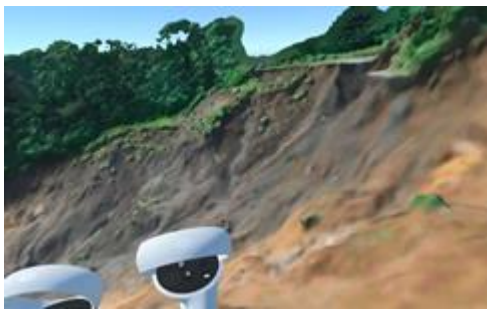
また，このデータを用い，点群データの提供方法について検討を行った．災害時の迅速な提供を想定する場合，データ加工の必要が少ない方法が望ましい．そのため，一般的なユーザには画像・動画コンテンツを，専門的なユーザには未加工点群データを提供することが考えられる．一方で，平時では，データ加工の手間や時間がある程度許容可能であるため，Web アプリや，DEM といった形式での提供が望ましいと思われる．

レーザ計測による全国の標高データ整備やオープンデータ化の推進に伴い，3 次元点群データの活用・提供の機会は今後増加していくと予想される．そのため，3 次元点群データの活用・提供について，さらなる試行を重ね，実践的な検討を重ねていく必要がある．

表-2　視覚化の方法のメリット・デメリット

		メリット	デメリット
ダウンロードコンテンツ	未加工点群データ　※1 (LAS・XYZ)	・情報量が最も多い ・詳細な分析ができる	・データ容量が大きい ・閲覧に専用のソフトウェアや高性能な PC が必要
	DSM・DEM (TIFF) ※3 章を参照	・一般的な GIS ソフトで閲覧ができる ・地形などの分析ができる	・データ加工の必要がある
	3 次元モデル（OBJ など）※2	・3 次元の形状をユーザが動かして閲覧することが出来る ・VR コンテンツを作成できる	・データ加工の必要がある ・閲覧・加工に専用のソフトウェアが必要 ・容量が大きくなってしまう
ブラウザコンテンツ	画像・動画	・誰もが直感的に閲覧できる	・計測等の分析ができない
	Web アプリ CesiumJS ※3	・ブラウザ上で点群データを 3 次元表示できる ・地形の上に直接表示できる ・他データと並べて表示できる	・Web サイトの構築・保守が必要 ・データ加工に手間がかかる ・データの DL 利用はできない ・詳細な分析ができない
	Web アプリ Potree ※4	・ブラウザ上で点群データを 3 次元表示できる ・表示が綺麗で軽快	・地形上に直接表示できない ・データの DL 利用はできない ・詳細な分析ができない

※1　未加工色付き点群データ



※2　3 次元モデル（VR コンテンツ化）

※3　Web アプリ CesiumJS

※4　Web アプリ Potree

参考文献

第 25 回測量行政懇談会（2020）： 3 次元地図検討部会報告書， https://www.gsi.go.jp/common/000239754.pdf（accessed 13 July. 2022）.

気象庁（2021）：7 月 1 日から 3 日の東海地方・関東地方南部を中心とした大雨, https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2021/20210708/jyun_sokuji20210701-0703.pdf（accessed 28 March. 2022）.