

熱海市の土石流源頭部における レーザ計測による発災前後の標高変化量抽出

佐々木 励起¹・下野 隆洋¹・岸本 紀子¹

¹国土地理院 基本図情報部 地図情報技術開発室 (〒305-0811 茨城県つくば市北郷1)

国土地理院では、令和3年7月3日に静岡県熱海市伊豆山において発生した土石流の状況把握を目的として、発災から3日後にUAVに搭載したレーザスキャナによる標高値の計測を行った。さらに、発災前に計測された既存の2時期の航空レーザ測量成果も活用し、発災前後を含む3時期のレーザ計測結果を比較することにより、標高変化量を算出した。本論文では、その算出プロセスと成果について報告する。

キーワード 災害対応、地形把握、UAV、レーザスキャナ、土砂量解析

1. はじめに

令和3年7月3日に静岡県熱海市伊豆山において、土石流が発生した。土石流は逢初川源頭部から河口まで約2kmを流下し、最大幅約120mにわたる(図-1)。この土石流によって128棟が被害を受け、死者・行方不明者27名に上る甚大な被害が生じた(9月3日現在)り。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。

防災基本計画(令和3年5月、中央防災会議)において、国土地理院は、被災前後比較による的確かつ効率的な被災状況把握等のため、平時から国土の経年変化等に応じ空中写真・標高データ等の地理空間情報を整備するとともに、災害発生後は、必要に応じ、速やかに必要な箇所の地理空間情報を整備するものとしてされている。

これを受けて、国土地理院では発災後速やか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(以下「GSI-LB」という。)を派遣した。源頭部(図-2)においてUAV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、この成果により数値標高モデル(Digital Elevation Model, 以下「DEM」という。)を生成した。また、同地区では、公共測量成果として過去2時期(2009年・2019年)の航空レーザ測量データが整備済みであったため、発災前後及び盛土造成以前の3時期のDEMを比較することで、盛土が形成される過程を含む崩落までの標高変化量を詳細かつ定量的に捉えることができた。本論文ではその内容を報告する。

なお、今回の標高変化量の算出結果は、発災から3

日後には国土地理院ホームページを通じて一般に公開することができた。土石流災害の発生からのタイムラインを表-1に示す。

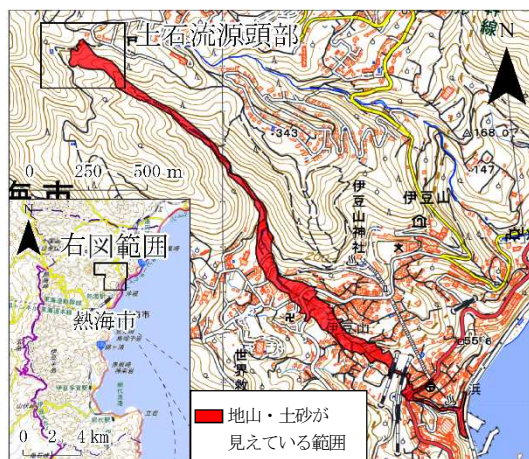


図-1 対象地域図



図-2 土石流源頭部

表-1 標高変化量抽出に係る作業のタイムライン

| 日時 | 作業 |
|---------|--|
| 7月3日(土) | 10時30分、静岡県熱海市伊豆山にて土石流が発生 |
| 7月4日(日) | GSI-LB 出発に向けた機材準備 |
| 7月5日(月) | <u>2009年と2019年の2時期のDEMの解析を実施</u> GSI-LBが国土地理院本院(つくば市)を出発、同日熱海に到着し現場確認 |
| 7月6日(火) | 飛行コースの設計、 <u>UAVレーザ計測(計2回)を実施</u> UAVレーザ計測成果が国土地理院本院に到着、 <u>3次元点群データの処理、DEMの作成及び3時期の標高変化量抽出を実施</u> 結果(速報)を国土地理院ホームページに掲載 |
| 7月8日(木) | 点群の標高補正を行い、補正值による標高差分値変化量の再解析を実施 |
| 7月9日(金) | ホームページの3時期の標高変化量抽出結果を更新 |

※一重下線は2章、二重下線は3章に作業の詳細を記載

2. 被災地の3次元点群データ取得

(1) UAVレーザ計測

UAVによるレーザ計測は、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(図-3)。

計測は斜面方向と斜面を横断する方向の二方向から実施した。なお、発災後の地形の形状やスキャナの測定距離のスペック等から、UAVの自動飛行による計測は困難であると判断し、手動飛行による計測とした。レーザ計測の際の飛行コースを図4、取得した3次元点群データを図5に示す。

(2) 3次元点群データの処理

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。

(3) DEMの作成

グラウンドデータを基に、1mメッシュDEMを作成した。1mメッシュDEMを作成するにあたって、各メッシュ標高については、当該メッシュ内に存在する点群から逆距離加重内挿法により決定している。なお、メッシュ内に点群が存在しない場合は、Natural Neighbor法により、標高値の内挿を行った。



図-3 UAV及び計測装置



図-4 UAV飛行コース

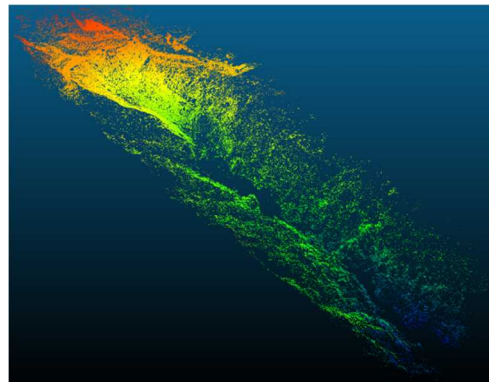


図-5 UAV計測により取得した3次元点群データ

3.3 時期の標高変化量抽出

(1) データセット

3 時期の標高変化量抽出の際に使用した DEM の元となるレーザ計測データの諸元を表-2に示す。2009年 DEM, 2019年 DEMは、公共測量で実施された航空レーザ測量によるものであり、メッシュサイズ1mで作成されたものである。発災後の DEMは、前述の UAV レーザ計測により取得したものである(図-6a,b,c)。

表-2 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 |

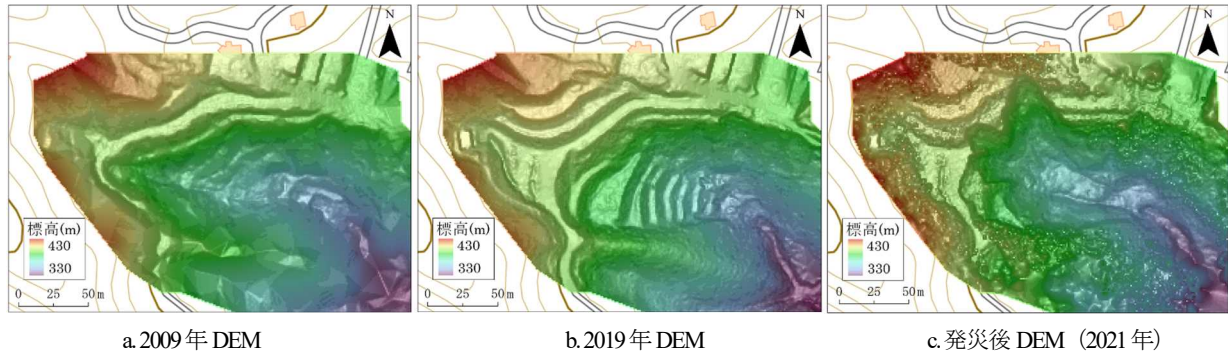


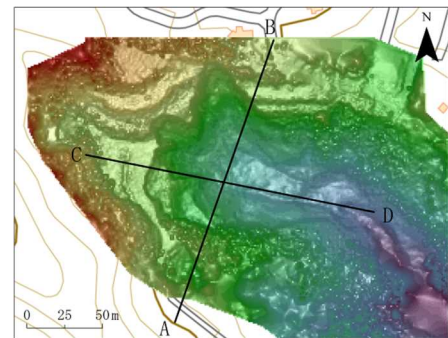
図-6 レーザ計測データから作成した3時期のDEM

(2) 断面図による各時期標高の変化量抽出

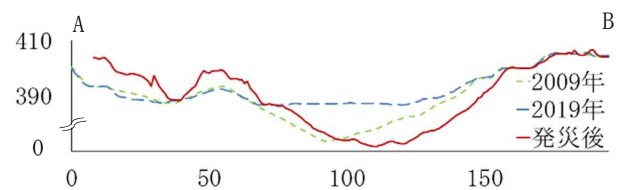
3 時期の DEM に対して、崩落範囲の横断面となる地点 A~B 間、崩落範囲の縦断面となる地点 C~D 間において断面図を作成した(図-7)。

地点 A~B 間の断面図において、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13m程度標高が増加し、平坦な断面となっていることがわかる。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認められ、この断面では最大で15m程度の標高の減少がみられる。さらには、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A地点寄りの斜面では2009年より発災後の標高が高いものの、B地点よりの斜面では2009年時点より発災後の標高の減少が認められる。

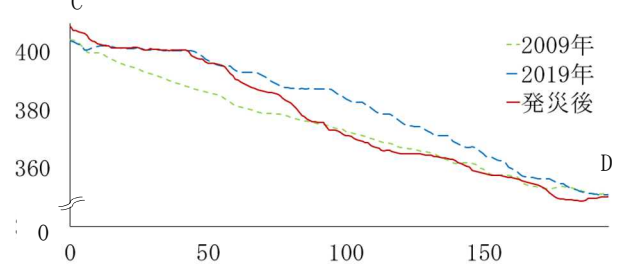
地点 C~D 間の断面図において、2009年と2019年の断面図を比較すると、2009年の断面図ではおよそ14度の一様な傾斜となっているが、2019年の断面図では最大で12m程度標高が増加し、階段状の地形となっている。さらに、2019年と発災後の断面図を比較すると最大で14m程度標高の減少がみられる。2009年と発災後の断面図を比べると、上流側では標高が増加し、平坦な断面となっているものの、下流側では2009年の断面図と同様の傾斜となっている。



a. 断面線の位置



b. 地点 A~B 間の断面図



c. 地点 C~D 間の断面図

図-7 3 時期における断面図の比較

(3) 2009年の標高と2019年の標高の変化量抽出

2009年の標高に対する2019年の標高変化量を図-8に示す。なお、図中の赤枠内は標高値が1m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14.1mの増加、水平投影面積は約10,200m²、体積増加は約56,000m³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。

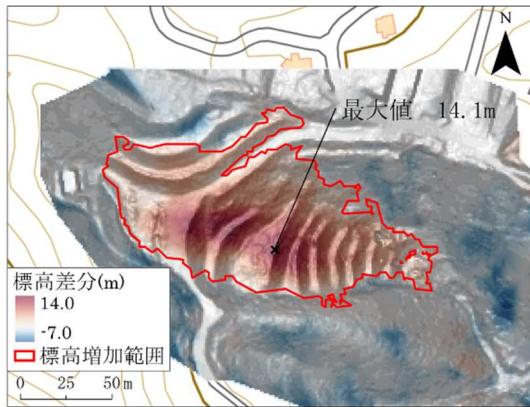


図-8 2009年の標高に対する2019年の標高変化量
(傾斜量図は2019年DEMから作成)

(4) 発災後の標高と2019年の標高の変化量抽出

2019年の標高に対する発災後の標高変化量を図-9に示す。図中の青枠内は標高値が1m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16.7mの減少、水平投影面積は約8,000m²、体積減少は約58,000m³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。

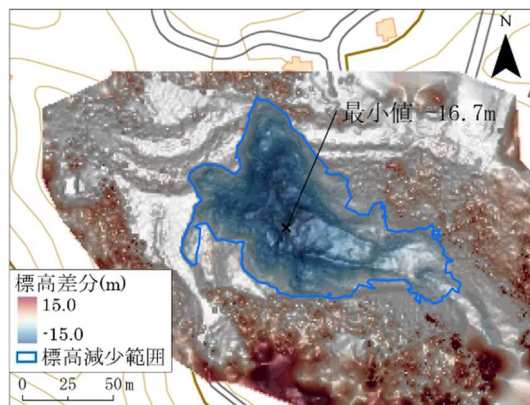


図-9 2019年の標高に対する発災後の標高変化量
(傾斜量図は発災後簡易DEMから作成)

(5) 発災後の標高と2009年の標高の変化量抽出

2009年の標高に対する発災後の標高変化量を図-10に示す。標高値が1m以上の増加を示す赤枠内では増加幅の最大値が13.0m、体積増加は21,500m³であった。一方、標高値が1m以上の減少を示す青枠内では減少幅の最大値が11.6m、体積減少は22,300m³であった。(2)で示唆された盛土範囲に着目すると、北東側でマイナスの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示している。一方で、プラスの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。

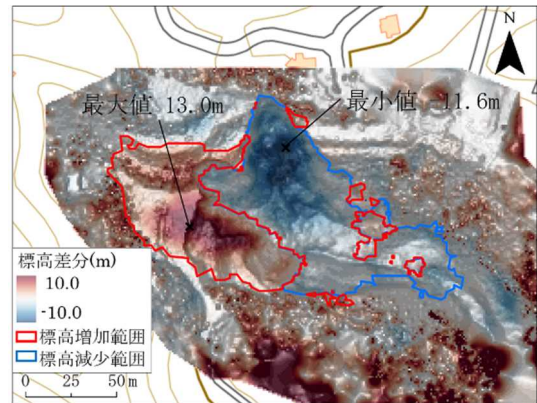


図-10 2009年の標高に対する発災後の標高変化量
(傾斜量図は発災後簡易DEMから作成)

(6) 3時期DEMの比較による体積変化量のまとめ

図-11では、2009年、2019年及び発災後のDEM比較により算出した体積増減範囲と体積変化量を記した。なお、発災後の標高データは堆積土砂を含む標高値であり、標高変化量や体積変化量に対しても堆積土砂の影響が含まれることに留意が必要である。

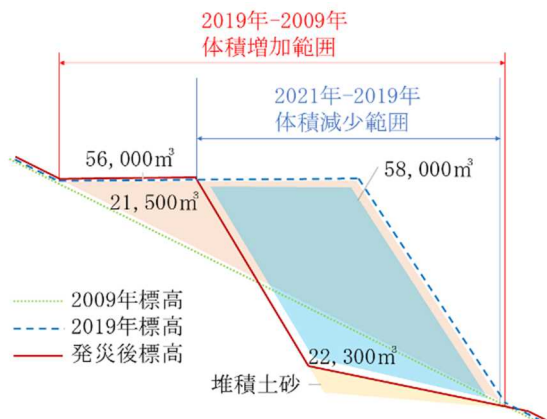


図-11 3時期の体積変化の概略図

4. まとめ

国土地理院では、令和3年7月3日に静岡県熱海市で発生した土石流の源頭部において UAV によるレーザ計測を行い、点群データを取得した。発災3日後となる7月6日には、この点群データによって生成したDEMと、公共測量成果として整備されていた2009年、2019年各年のDEMを比較することによって標高変化量や変化体積を算出し、迅速に国土地理院ホームページへの情報掲載や、自治体や報道機関等に情報の提供を行うことができた。

結果として、2009年～2019年では56,000m³の体積増加を伴う地形の変化がみられ、2019年～発災後では58,000m³の体積減少を伴う地形の変化がみられた。また、2009年と発災後の標高を比較すると、標高の増加と減少の双方を伴う地形変化となっていることが明らかとなった。

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・抽出に有用であることを示唆している。そのため、平時より高精度の標高データの整備・更新を着実にを行うことが肝要である。

最後に、この度の熱海市伊豆山における土石流災害により被災された皆様にはお見舞い申し上げますとともに、いち早い復興を心よりお祈り申し上げます。

参考文献

- 1) 静岡県災害対策本部（2021） 熱海伊豆山地区の土石流の発生について（第50報）.
<http://www.pref.shizuoka.jp/kinkyu/documents/atamidosya0903.pdf>
f（最終閲覧日：令和3年9月6日）