発生直後の土石流災害にUAVで迫る！
― 熱海市伊豆山土石流災害UAVを用いた初期の計測および解析作業についての報告 ―

株式会社　東日　地理空間事業部　笹原哲也

1. はじめに

本発表をするにあたり、令和 3 年 7 月 3 日（土）に発生した熱海市伊豆山地区の土石流災害により、亡くなられた方々に謹んでお悔やみを申し上げますとともに、 被災された皆さまに心よりお見舞い申し上げます。

また、県内外の警察、消防、ならびに自衛隊をはじめとする関係者の皆様の懸命な救助・復旧活動には、静岡県の東部を生活基盤とする私たちも、被災者と同様に深くお礼を申し上げます。

被災から2年近くが経過し、関係者の弛まぬ努力により、本年9月に警戒区域の解除が発表されましたが、今後も関係者が一体となり、被災地域の一日も早い復旧が進むことを心よりお祈りいたします。

当社も、発災当日から現地に乗り込み、凄惨な状況に日々戸惑いながら、微力ではございますが、復旧活動の一端に携わらせていただきました。

今回の報告は、7 月 3 日の発災直後に業務実施要請の連絡を受けたのち、UAVによる崩壊地動画撮影から、7 月 8 日のUAV点群データによる土石流の流出状況及び流出土量の第 1 報までの、活動状況を報告します。

図-1　被災状況（（7 月 5 日当社 UAV 撮影画像）

現地作業にあたり特に注意して実施したこと

2次災害防止のため、ルールの遵守と安全管理には十分注意を払い現地確認を実施して後続作業の計画に反映させました。

作業要請者の熱海土木事務所への連絡と確認は随時行い、発注者及び社内の情報の共有は十分に徹底することを確認しました。また、地域住民及び利害関係者、またマスコミ等には十分に配慮することを作業員に周知し現地作業に従事しました。

今回の災害の初動作業にあたり、作業者として特に意識したこと

今回の土石流災害の原因が源頭部の盛土箇所にあることが、当日のUAV撮影から想定されたことから、行方不明者の捜索活動の他、下流域の関係者への 2 次災害防止のためには、さらなる土石流の発生要因となる、上流部の流出土砂・滞留土砂の早期の現状把握が求められました。 このため河川全体の流出土砂の状況資料を提出するまでの数日間は、進行中の業務及び社内の就業体制の調整を行い、本作業への対応を第 1 優先として現地計測作業・報告資料作成に取り組みました。

2. 現地調査及び源頭部撮影

（被災当日の 7 月 3 日　源頭部崩壊部撮影）

①　待機から出動まで

7 月 1 日からの静岡県東部地区における断続的な大雨は、7 月 2 日の夜半から勢いを増して、箱根観測所では 7 月 3 日の 9:00 時点では 12 時間雨量 300mmを超える豪雨となっていました。

午前中のニュース映像で、黄瀬川の増水状況が報道されており、災害発生が心配されたことから、当社幹部職員も数名出社して情報の収集をしておりました。その中、黄瀬川大橋の変状と上流沼津市小

林地区右岸側の家屋流出の情報に、現場確認の対応準備をしていたところ、ちょうど正午頃に、熱海市内で大規模な土石流が発生したとの、一報が入ってきました。 ニュース番組やネット報道に、在社職員一同驚きながら見入っていたところ、当社が所属する一般社団法人静岡県測量設計業協会と一般社団法人静岡県建設コンサルタンツ協会を通じて静岡県より、UAVによる発災箇所の情報収集を直ちに実施してもらいたいとの依頼が入りました。

日	降水量		
	合計 (mm)	最大 1 時間 (mm)	最大 10 分間 (mm)
7/1	128.0	17.5	4.0
7/2	384.5	29.5	7.0
7/3	290.5	51.0	12.5

図-2 箱根における 3 日間の雨量表

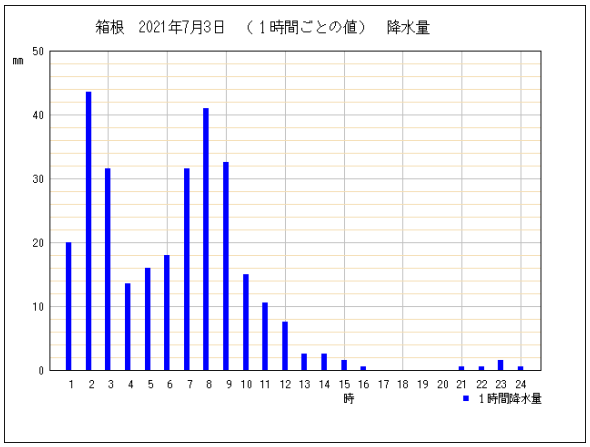

図-3 箱根における 7/3 雨量グラフ

急ぎ関係スタッフに連絡を取り、要請応諾の報告をしたのちに装備を整えて、15:30 に 7 名、作業車両 3 台にて途中、熱海土木事務所に立ち寄り現場への乗り込みルートを確認したのち、現地に入りました。

② 現地での踏査確認状況

図-4 被災状況（(7 月 3 日ニュース画像）

土木事務所からの情報により、土石流が発生した伊豆山の逢初川に熱海市側から現地に近づけるルートは、市道伊豆山神社線のみとのことから現地に向かいましたが、このルートは地域の主要道路であり、すでに警察・消防車両等が集中しており般若院の手前までしか到達できません。路上の支障とならない場所に駐車後、徒歩にて被災河川を目指しましたが、般若院入り口のすぐ先で、流出泥土で進めません。 膝丈まである緩い泥土で歩いて進めるような状況ではなく、逢初川の全体の河川状況、家屋の被災状況など全く想像できる状況ではありませんでした。

後で分かったのですが、河川左岸側の伊豆山神社側からは、本市道より河川下流側周辺の惨状を確認できたのですが、被災直後では、右岸側からは全体を見渡せる場所に、近づくことは全くできませんでした。

UAVの離発着場所を探しながら現地状況の確認をするために、急傾斜の狭い路地を、上流部に向かい歩いておりました。降雨も相変わらずでスタッフ一同無言のまま歩いておりましたが、上流より消防団員と思われる男性が、急な坂を泥で汚れた子供（小学低学年ぐらい）の手を引いて降りてくる光景を目にしました。幸いにも子供は助けてもらえてほっとしたのか、顔には笑みがこぼれておりましたが、その

光景を目にしたとたん、私たちも大変なことが起きていることに気付かされました。 さらに上流に歩いていき、河川部の状況を見渡せる場所が数か所かありましたが、ただ泥があるだけで、家屋・施設などの痕跡も埋もれており元の状況を想像できません。そのような状況なか、住宅街の最上流部の市道堀坂 4 号線では、両側に泥流に壊されて傾いた家屋がある奥には あるはずの 8 軒ほどの住宅が確認できず、土石流によって多くの家屋が破壊され、流出したことを実感させられました。

図-5 発災前（Google Earth より）

図-6 発生後（7 月 5 日当社UAV撮影画像）

③ 崩壊源頭部のUAV撮影

降雨も続いていたので、UAVによる撮影もできず周辺の確認をしておりましたが、土木事務所から、土石流の発生源頭部は、伊豆山神社の奥之院付近であるとの連絡が入り、可能であればUAVによる撮影をしてほしいとの要請を受け、逢初川の上流部に向かいました。 奥之院は左岸側の湯河原側であり、当初の情報によると、土石流により、湯河原側には全く行けないとのことでしたが、夕刻になり、最下流の熱海ビーチラインの土砂撤去がすみ、特別車両のみ通行できるようになりました。

山には厚い雲が掛かっており夕刻も迫っていましたが、急遽、神奈川県湯河原町泉から県営七尾団地を経由して伊豆山神社奥之院に 17:00 ぐらいに到着しました。現地にいた近隣の住民数名から、崩壊地源頭部の場所を教えてもらい、大きく崩落した源頭部を確認しました。

到着時はまだ降雨もあり、400m近い標高から雲に覆われ、崩壊最上部付近はどうにか目視できるものの、崩壊部全容と下流部方向の状況は、全く見えませんでした。それでもUAVの準備を始めたところ、にわかに雨が上がり、雲が切れてきました。雲が晴れたのは源頭部周辺だけであり、時間にすると、20 分程度、UAVのバッテリー1 回分のわずかな時間でしたが、源頭部分の崩壊状況の動画を撮影することができました。崩壊土砂斜面の土質状況、崩壊部直下の伏流水の流出状況、撮影中のさらなる小規模の崩落状況など、高画質の近接撮影による多くの情報収集は、UAVによる撮影ならではの結果であったと思います。1 フライトの撮影終了直後には、また雨が降り出して雲がかかり、加えて日も傾いて、撮影ができる状況ではなくなりました。

図-7　崩壊地源頭部付近の状況

図-8　崩壊地源頭部の画像

直ちに土木事務所に引き返し、この撮影動画を現場対応に来ていた静岡県難波副知事に提出することができ、関係者への貴重な情報となりました。

このときの動画は、静岡県よりマスコミ及びG空間情報センターにて一般公開され、ニュース映像でも何度も使用されました。

図-9　G 空間情報センター公開情報

3. 逢初川上流部 3 次元レーザー計測

（7 月 5 日～7 月 6 日　UAVレーザー計測）

7 月 3 日の崩壊源頭部の撮影により、土石流の流出土砂は河川源頭部付近からと想定されたことから、土木事務所と協議をして、上流側自然渓流から崩壊源頭にかけての崩壊状況及び流域全体の堆砂状況を計測して現状を把握することにより、さらなる土砂流出による下流部捜索活動への 2 次災害防止対策を講ずるために、UAVによる 3 次元データの計測作業を実施しました。

7 月 5 日時点では、土石流により多くの行方不明者が出ているとのニュース報道などから、崩壊源頭部付近では、マスコミ、週刊誌、YouTuberなどが自前のUAVを持ち込み飛行・撮影をしており、UAVの安全な飛行ができる状況ではありません。 加えてヘリコプターやマスコミ・捜索隊の大出力の無線機などUAVの操縦の障害になることが十分に考えられました。特に下流の住宅区域は、大規模な捜索活動で多くの捜索関係者が活動しており、UAV落下による追加災害の発生も懸念されました。

飛行にあたっては、捜索活動による現場立入りの制限に加えて、現地の被災状況から移動ルートの制約もあることから、事前の飛行プランの現場検証が重要でした。

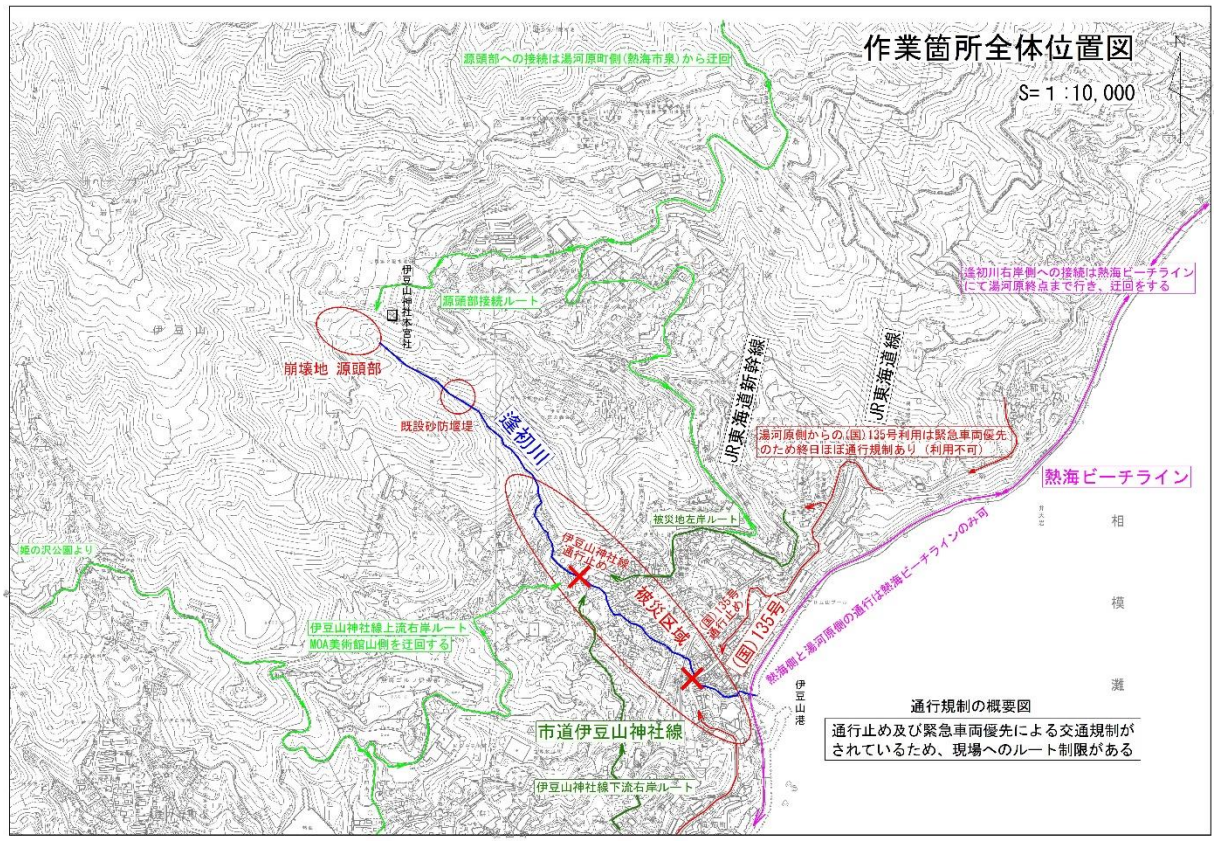

図-10　当時の周辺交通事情

①　7 月 5 日飛行計画準備

a.飛行計測範囲の決定

この時点では、被災の中心である下流住宅地には、多くのUAVが飛行していることから、安全を考慮して対象範囲は、市道伊豆山神社線から源頭部の上流部渓流区間としました。

b.飛行プラン作成と離発着場所他の現地確認

フライト計画の立案に合わせ、以下を現地で確認しました。

・離発着場所（2 か所）の現地確認と移動経路の検証
・デモフライトによる障害物ほか周囲の状況の把握
・バッテリー充電場所の要請と確認
・保安要員の配置場所の現地確認

この時に撮影したUAV撮影画像により、市道伊豆山神社線から源頭部までの 1.2kmの区間の中流域にある既設の砂防堰堤も流出土砂により満杯状態であり、中流域を抜けた市道伊豆山神社線までの開けた平地部分にも多くの土砂の堆積が明瞭に確認できました。

図-11　中流部の堰堤の堆砂状況

図-12　市道伊豆山神社線上流部堆砂状況

② 7 月 6 日　UAV飛行レーザー計測の実施

上流側 1.2km区間　幅約 200m範囲の飛行及びレーザー計測を実施しました。飛行にあたっては、現場で遭遇した TEC-FORCE や国土地理院と時間調整しながらの飛行となりました。

図-13　UAV飛行準備状況

図-14　　UAV飛行状況

③ 7 月 5 日～　源頭部崩壊箇所の監視業務開始

UAVによるデータ計測作業と並行して、下流部の捜索活動関係者の 2 次災害防止のための、源頭部の再崩落を監視する作業に、静岡コンサルタント（株）のスタッフ及び熱海市職員と合同で従事しました。　下流部捜索活動の開始時間から終了時間までの間、さらなる土砂流出を予想される事象が発生した場合には、直ちに熱海市消防本部に連絡を入れるというものでしたが、作業を受けていた 7 月 7 日までの 3 日間では、緊急報告をするような崩落個所の変状・事象はありませんでした。

この 3 日間はUAV関連スタッフ及び監視作業及び連絡係など、当社では約 10 名が作業に従事していました。

4. 逢初川上流部 3 次元点群処理

（7 月 7 日～7 月 8 日　レーザー点群処理）

①　3 次元点群データの報告

撮影当日には、計測データから処理ソフト（ArcGISPro、CloudCompare）を使用してオルソ画像及び 3 次元データを生成・編集して、翌7月7日に熱海土木事務所及び静岡県交通基盤部に提出、G空間情報センターにて一般公開されました。

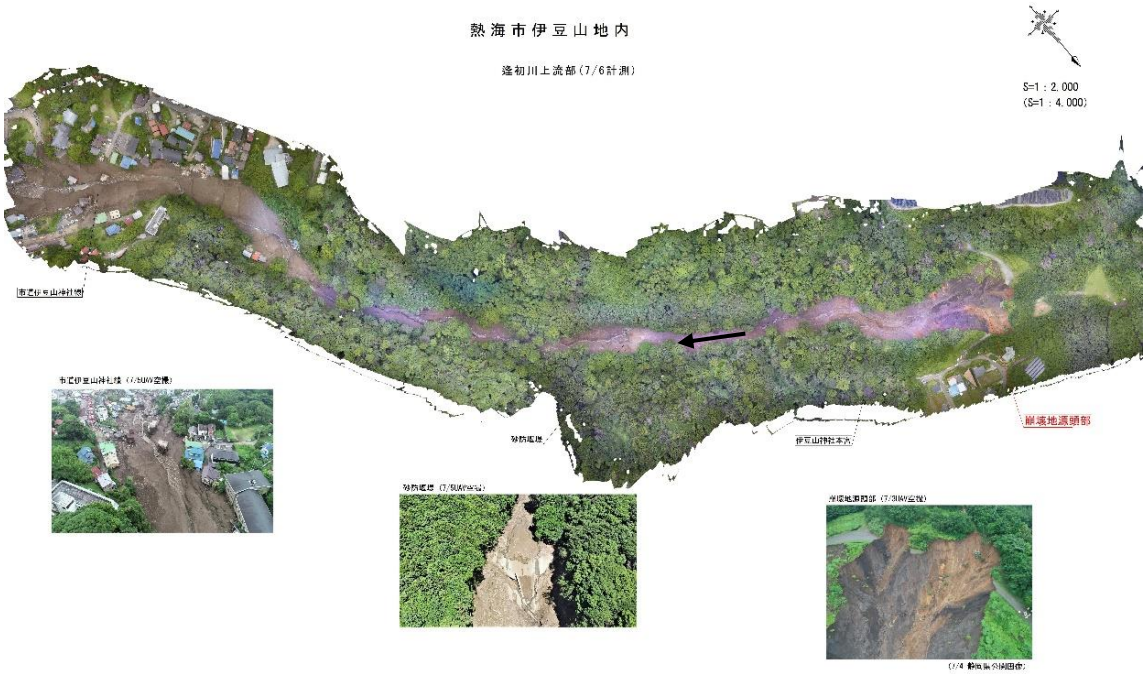

図-15　UAVによる河川全体オルソ画像（逢初川上流部オルソ画像）

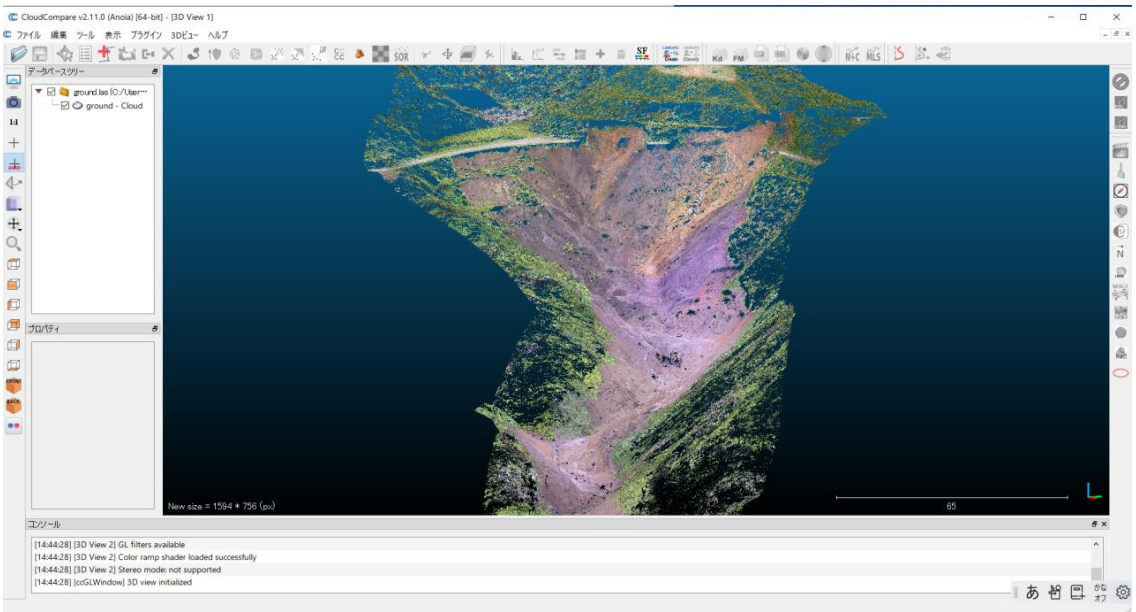

図-16　UAVレーザー点群生成状況（3次元点群データ（源頭部崩壊状況））

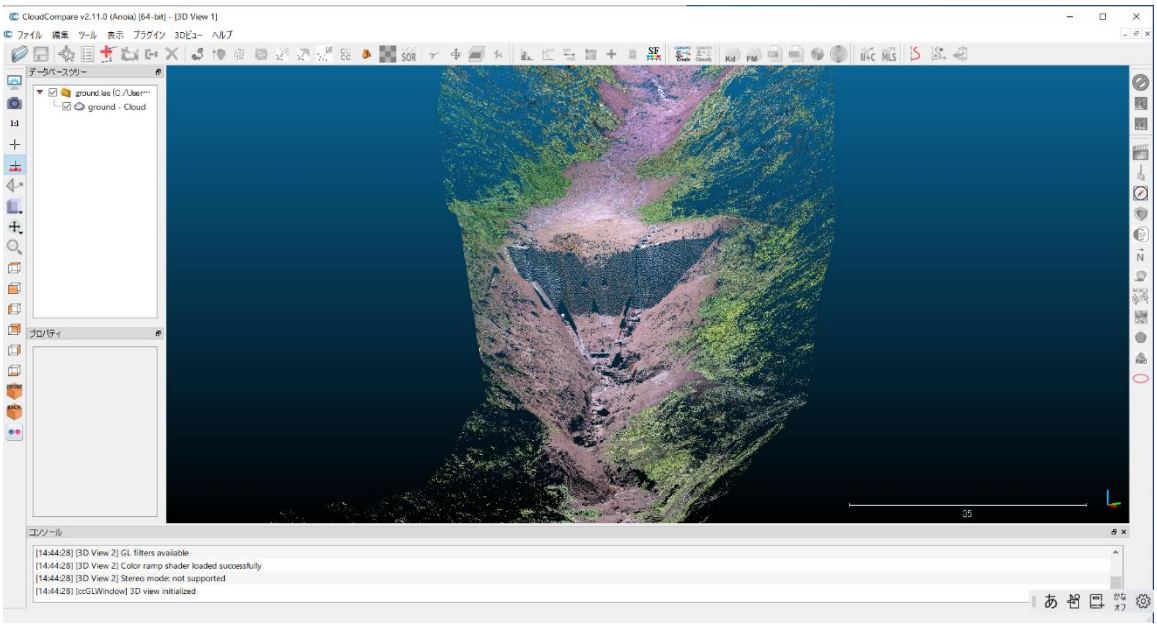

図-17　UAVレーザー点群生成状況（3次元点群データ（中流部砂防堰堤付近の堆砂状況））

図-18　G 空間情報センター公開情報

この計測点群データと令和元年の静岡県 LP 点群データを対比して、流出及び堆砂土砂の資料作成を進めました。

源頭部崩壊箇所の令和元年静岡県 LP 点群データ

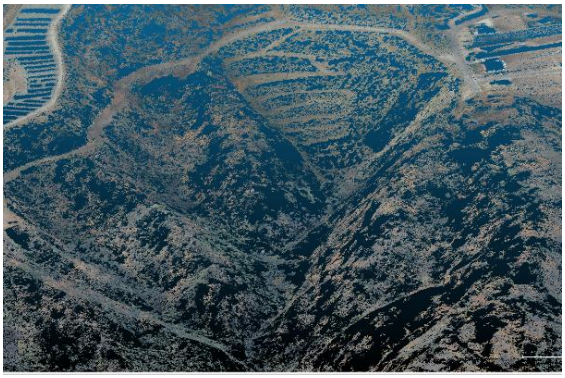

図-19　崩壊前の源頭部盛り土状況 1

図-20　崩壊前の源頭部盛り土状況 2

②　上流河川部の土量計算・図化データの整理

7 月 8 日(木)17:00　逢初川上流部の自然河川部と市道伊豆山神社線間の土砂流出及び堆砂状況資料の第 1 報を熱海土木事務所に提供しました。

提出資料　・崩壊・堆砂状況図(ヒートマップ)及び堆砂土量

・CS 立体図

・現況オルソ平面図と縦横断面図

従前の地形形状は令和元年の静岡県が取得した「富士山南東部・伊豆東部点群データ」を使用して、今回計測したデータとの差異から処理ソフトにて流出及び堆砂土量を計測し、断面比較図を作成しました。

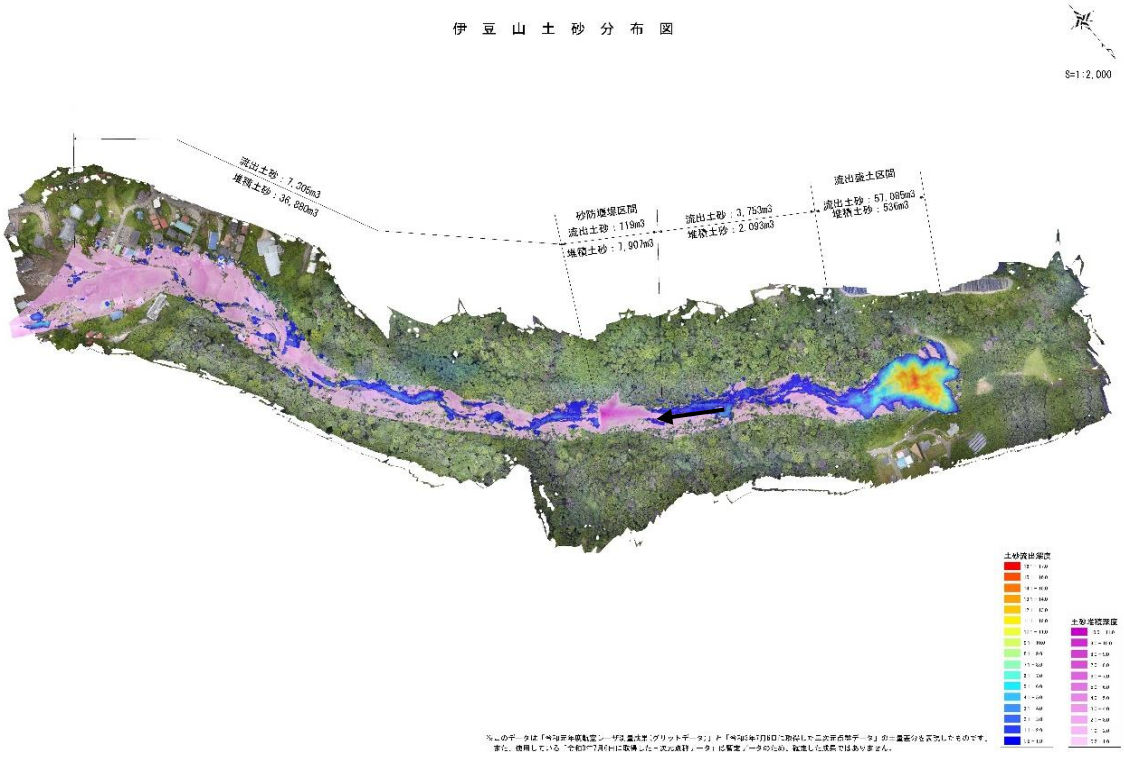

図-21　崩壊・堆砂状況図(ヒートマップ)

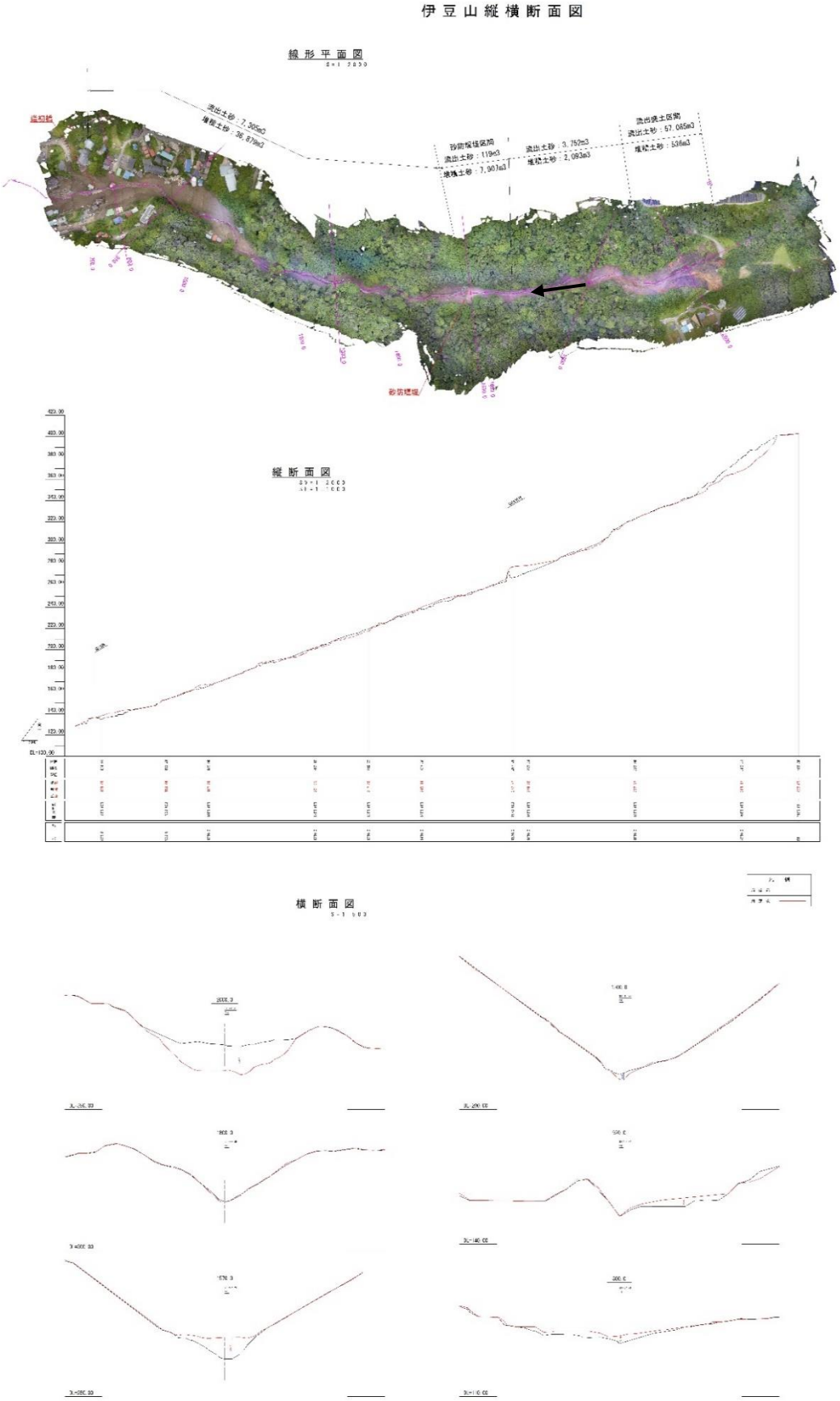

図-22　縦横断面図と流出堆砂土量

計算・解析の結果、流出土砂のほとんどが源頭部の盛土造成の崩落部分であり、住宅街への流出土量は約 50,000 ㎥と判明しました。また、解析結果から以下の報告をしました。

・上流部中間の砂防堰堤は満杯の状態である。

・自然渓流の区間からの土砂の崩落等は見られず、流出土砂のほとんどは、源頭部の盛土部分であること。

この計測結果により今回の土石流の発生原因が概ね特定ができたことは、捜索活動が続いていた現場で、2次災害の発生防止対策に非常に有効であったと思います。 早速、源頭部監視のための見張りや、関連監視施設及び監視機器が設置され、不測の事態に対応ができる体制の構築に繋がりました。

5. おわりに

① 今回の災害対応業務に従事しての感想

静岡県においては、令和元年度の「富士山南東部・伊豆東部点群データ」から令和 4 年度の「静岡県 中・西部 点群データ」により、静岡県全域の LP データ(オリジナル,グラウンド,グリッド,微地形表現図,等高線図)が整備され、3 次元データの利用範囲も「VIRTUAL SHIZUOKA 構想」への利用だけでなく、一般測量委託業務にも活用が始まりました。

静岡県東部地区は、LPデータの整備が先行されていたこともあり、当社においてもここ数年、UAVを活用した 3 次元データからのモデル作成等の委託業務を多数経験しており、有効に活用できております。

今回の伊豆山土石流災害では、安全性を確保しつつも速やかなUAVによる3Dデータ計測実施が重要であったことはもちろんですが、盛土部分の崩落前の 3 次元データが有効に活用できたことが、迅速な土砂量の把握と移動実態の報告に繋がりました。

また当社といたしましては、災害時の緊急要請の当日(7/3)から連日多数のスタッフを動員し、土石流発生源頭部の画像撮影、4 日後(7/7)にはUAVレーザーによる3D点群解析から発生場所と発生原因に繋がる資料を滞りなく提出できました。これは地域コンサルタントとして、地元静岡東部で発生した甚大な災害に対して幾ばくかの貢献ができたと考えており、それは連日時間を惜しまず作業に取り組んだ各担当者の気概と努力によるものと自負しております。

② 緊急時における、UAVによる作業についての課題(提案)

UAVの飛行に関しては、前述したように被災後 3-6 日間ぐらいは、関係省庁部署・マスコミ・週刊誌・YouTuber らしき者まで、非常に多くのUAVが被災地上空を飛行しており、決して安全な航行が出来る状態ではありませんでした。加えてヘリコプターや捜索隊の大出力の無線などは、UAV操縦の障害になることも十分に考えられます。

このような状況でしたので、今回のUAV飛行範囲も山間部を中心とした安全が確保できる範囲のみとしましたが、それでも飛行中度々、他のUAVの突然の接近に驚かされました。

現在、国土交通省によるUAV機体や操縦者等の登録などによる、事前の安全対策が進んできております。しかしながら実際の運用の際、特に災害・事故などの非常時には、飛行手順・ルールは現場技術者の状況判断とモラルに頼っているのが実情です。UAVは目視外からのかなり離れたところからも飛行が可能ですので、現場での飛行管理・制限は非常に困難でありますが、非常時の飛行手順や相互調整など関係機関での協議をして有効的な統一ルールを作成することが必要であると思います。

以 上