

# 令和3年度逢初川水系応急対策工事

## ICT・DX技術導入による熱海土石流災害の早期復旧

大丸 雄一郎

令和3年7月3日に発生した静岡県熱海市伊豆山逢初川水系における土石流は、下流の住宅街を流下し甚大な被害を及ぼした。本工事は災害発生直後の応急対策として急務とされた軟弱土砂で埋まった既設砂防堰堤の機能回復を図るとともに、急峻な上流谷部からの不安定土砂の流出による二次災害の防止を図りながら昼夜間施工体制により早期に復旧対応したものである。本稿では災害復旧を行うために導入使用した、様々な高度技術を紹介する。

キーワード：砂防堰堤, 無人化施工, ヘリコプター, ICT・DX技術, デジタルツイン

### 1. はじめに

梅雨前線の影響により令和3年7月1日より3日間降り続いた雨は累計雨量496mmに至った。伊豆山源頭部にて発生した土石流は延長約2km, 最大幅約120mと大規模なもので、住宅街を流下し河口の伊豆山港にまで達した。熱海という土地柄、海際まで山が迫り、谷部・平地には住宅が集まっていたことで被害が大きくなった。(令和5年7月現在, 死者28名, 負傷者4名, 家屋被害98棟) また、源頭部に大規模な盛土がなされていたことが災害の発生、被害の拡大につながったとも言われている。

被災地域の道路インフラは寸断され、土石流に伴う「警戒区域」となり工事箇所周辺には容易に到達することが困難な状況であった。発災直後の厳しい施工条件のなかで早期復旧を進めるために高度な技術力による対応が求められたことから、静岡県知事の要請により国直轄による緊急的な砂防事業として実施された(写真-1, 2, 図-1)。



写真-1 被災状況 (既設砂防堰堤)



写真-2 被災状況 (施工起点下流)

### 2. 工事概要 (図-2)

発注者：国土交通省中部地方整備局富士砂防事務所

工事名：令和3年度逢初川水系応急対策工事

工事場所：静岡県熱海市伊豆山地先

工期：自 令和3年7月21日

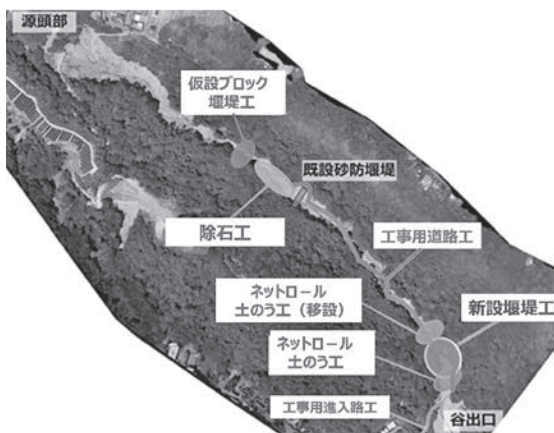
至 令和5年3月31日 (619日間)

工事規模：堤長：59.0m 堤高：13.0m

- ・砂防土工1式 (除石 7,200 m<sup>3</sup>)
- ・作業土工1式
- ・コンクリート堰堤工1式 (6,140 m<sup>3</sup>)
- ・仮設堰堤工1式
- ・法面工1式



図一 被災範囲及び施工位置図



図二 工事内容

- ・砂防堰堤付属物工 1 式
- ・仮設工 1 式

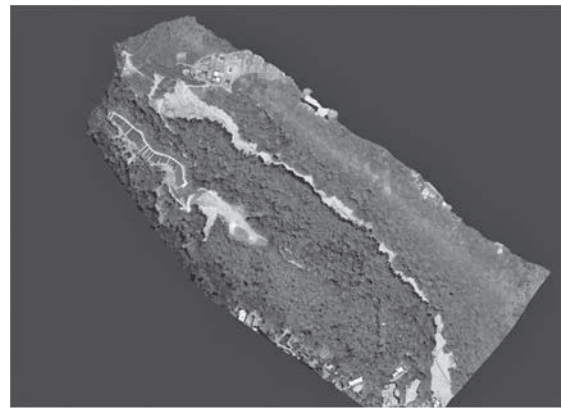
当初予定されていた源頭部の盛土撤去については、発注者方針により本工事での実施は見送られた。

### 3. ICT・DX 技術の施工面での活用

施工計画を行うに当たっては現状を正しく把握することが重要である。しかし、災害復旧工事の性格上、現況図面も工事目的物の図面もない状態であった。そのためまず、UAV レーザ測量を実施して現況地形の三次元データを作成した。UAV レーザ測量は、光波測距儀などを使用して行う従来測量に比べて圧倒的に速いことに加え、二次災害の恐れがある現地に極力人を立ち入らせないためでもある。

得られたデータを基に 3D プリンタを使用して、最初に三次元モデルを作成した。初期段階においては、画面上ではなく実体として視認できることで、より現地のイメージを鮮明に捉えることができ、計画立案がスムーズに行えた (図一 3)。

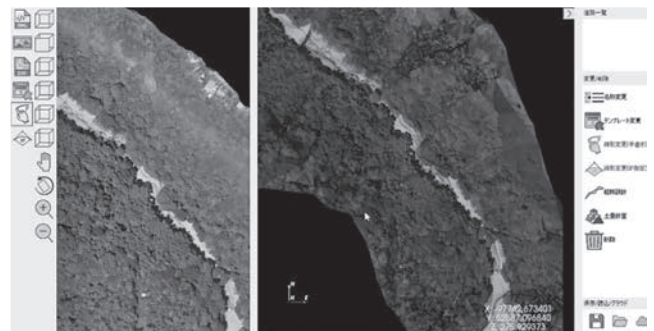
また、取得した 3D データを専用の仮設計画支援ソ



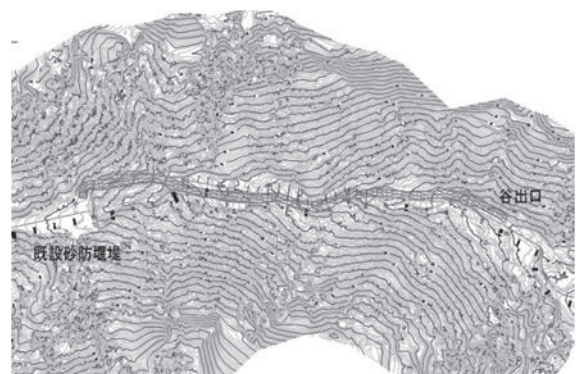
図一 3 UAV レーザ測量 (3次元地形測量) 成果

フトに取り込むことで、計画した仮設道路の勾配や切盛土量を瞬時に把握することができ、最適なルート選定を短時間で行うことができた。仮設堰堤についても、位置と堰堤高を設定するだけで容量が瞬時に分かるため、どこに設置すれば少ない工事量で効果的に容量を確保できるか検討を重ねて位置を決定した (図一 4, 5)。これらの技術を用いて得た情報をもとに、現地踏査から 4 日後の 7 月 25 日には施工方針を立案し、発注者との協議を行った。

さらに仮設道路の造成や既設砂防堰堤の除石工の出来形確認においても、従来一定距離ごとに横断測量を行う必要があったものが、完成時に再度 UAV レーザ測量を行うことで、短時間で結果が得られた。



図一 4 仮設計画支援ソフト



図一 5 仮設道路計画図



#### 4. ヘリコプターによる既設砂防堰堤の除石

既設砂防堰堤は上端まで土砂で覆い尽くされていたが、構造物としての健全性は維持されていたため、堆積した土砂を早期に撤去することが二次災害を防止する上で最も効率的と考えられたことから、除石工が計画された。

しかし、現場は山間部の急峻な谷地形であり、重機を搬入したり、土砂を運搬したりするためのアクセス道路がなかった。既設砂防堰堤までは逢初川沿いに管理用道路があったものの、被災しているため使用できる状態ではなかった。

そこで、ヘリコプターを使用してバックホウを直接堰堤上流に搬入し、掘削した土砂を使用してヘリコプターで仮置場まで搬出し、そこからダンプトラックで処分地へ運搬することとした。ヘリコプターの運用については、富士山源頭部での実績がある富士砂防事務所の見聞も参考にして行った（写真—3）。

使用するヘリコプターは、既設砂防堰堤上で作業する0.1 m<sup>3</sup>級バックホウが運搬可能な機体としてアエロスパシア社製のAS332Lを選定した。同ヘリコプターの最大積載重量は3.2 t（飛行条件と安全性を考慮し積載重量を3.0 tに制限）であるが、バックホウ重量がこれを超過するため、キャタピラ・バケットを分解して空輸し現地にて組立を行った。組立に要するカニクレーン、敷鉄板などの機材も同様に空輸を行った。

ヘリコプターの運行にはヘリポートが必要であることから、熱海市の協力を得て近隣の姫の沢運動公園の人工芝グラウンドに敷鉄板を設置し、ヘリコプターの待機、給油およびバックホウなどの資機材搬入基地とした。

土砂は1.0 m<sup>3</sup>バケットに積込み、ヘリコプターより吊り下げた30 mのワイヤーに玉掛して空輸した。



写真—3 ヘリコプターによる除石

地上ではヘリコプターの風圧下による特殊な玉掛となるため、ヘリコプター側との合図方法や玉掛手順を専門指導員により作業者に教育し運用した。

現場が山間部であり天候が変わりやすく、条件が整わず飛行中止となることが多かったこと、飛行時間に応じた整備が義務付けられていることなどで通常の重機土工事のように8時間/日稼働とはならなかったが、今回実施した空輸と並行して仮設道路を整備し、途中から効率の良いダンプ、キャリアダンプなどによる運搬に切替える計画としたことにより、全体工程を短縮し既設砂防堰堤の機能を早期に回復するという目的は果たせた。

#### 5. 無人化施工の推進

先にも述べたように、源頭部下流河川域には不安定な盛土が残っていると想定されているなかで工事を行うため、二次災害の危険性が非常に高いと考えられた。そのため極力人が危険箇所には立ち入らずに作業できる体制を検討した。

現在、様々な無人化技術の開発が行われているが、機械が掘削場所を選定して自動で積込・搬出を行うまでのレベルには達していない。またヘリコプターによる土砂運搬の必要があることから玉掛作業が発生し、この部分は人に頼らざるを得ない。

検討の結果、遠隔操作タイプのバックホウを導入した。先の土石流が到達しなかった高い場所にステージを設け、オペレーターはそこから目視しながら遠隔でバックホウを操作した。玉掛についても同様で、ヘリコプターから吊り下げたフックに土砂バケットを掛ける時だけ作業員が退避場所から降りてくる体制とした。空の土砂バケットをヘリコプターから降ろす時は、吊荷が着地すると自動的にフックが外れるオートマチックフックを使用した。

仮設道路完成後に用いた10 tキャリアダンプおよび0.8 m<sup>3</sup>バックホウについても遠隔操作タイプを用い、作業員の安全確保に努めた（写真—4, 5）。

#### 6. ICT・DX技術の安全面での活用

##### (1) ICT・DX技術導入に向けた通信環境の強化

本工事の安全対策として、まず当然ながら二次災害の防止が重要と考えられた。国土交通省と静岡県が上流部に雨量計、傾斜計、土石流ワイヤーセンサーを設置し、赤色灯・サイレンで周知する監視・緊急連絡体制を整備していたものの、周辺地域での天候変化を現



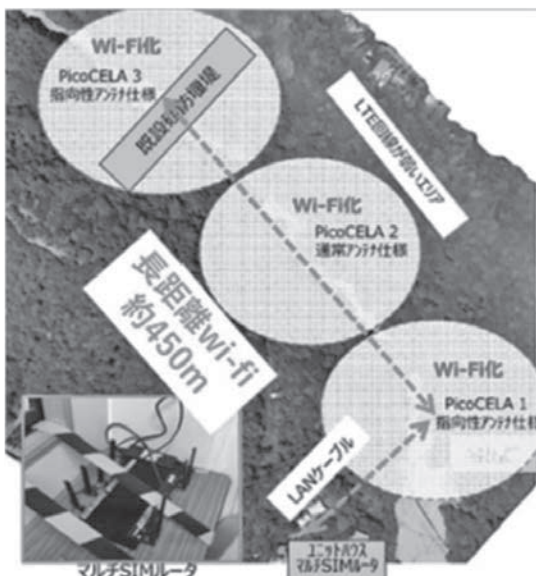
写真一四 遠隔操作バックホウ (0.1m³ 級)



写真一五 遠隔操作バックホウ (0.8m³ 級)

場に伝えたり避難状況を確認するには Wi-Fi 環境を整備し、現場と常に連絡が取れる状態にしておく必要があった。

現場は谷地形の山林であるため、通信環境の調査を実施したが非常に不安定であったため、複数箇所にアンテナを設置して工事場所全体をカバーする Wi-Fi 環境を確保した (図一六)。



図一六 Wi-Fi 環境の構築

(2) 現場管理支援システム「T-iDigital Field」の導入

本工事の工事範囲は約 1 km であり、工事の早期完了を目指し昼夜 3 交代での作業を行った。広範囲に多数の工事関係者が常に入出入りする状況下では、いつ、どこで、だれが、何をしているかを正確に把握することが安全管理の第一歩である。

そのため、いつでも・どこでも・簡単にスマートフォンやタブレット等から工事全体をリアルタイムに把握できる現場管理支援システムを導入した。

「T-iDigital Field」は、CPS (Cyber-Physical System) の概念を用いて、各現場で多様な判断をする「ヒト」、重機・地盤・構造物などの「モノ」、安全・品質・工程などに関する「コト」の情報をセンシングクラウドに集積・統合してデジタルツインを形成し、建設に関する様々な問題を予見し、解決あるいは回避するための支援を行うことで、ミス・ロス・無駄を防ぎ、安全性や生産性を向上させるシステムである。

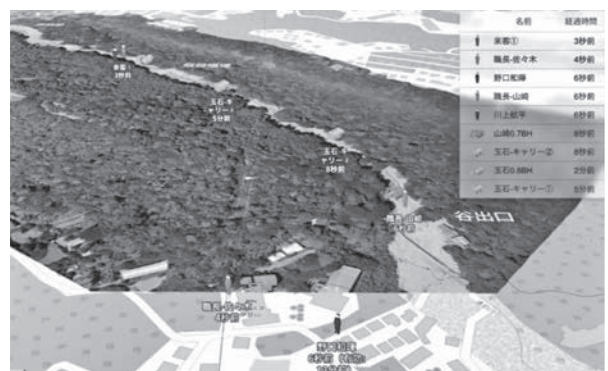
本工事においては、「T-iDigital Field」のアプリケーション群から安全対策を強化するため「重機・人等位置管理」アプリ、「カメラビュー」アプリを使用することとした。

(3) 「重機・人等位置管理」アプリ

建設機械や工事関係者の個々の位置や稼働データは、GNSS (Global Navigation Satellite System) 端末等から LTE 回線や Wi-Fi でプラットフォームにアップし、リアルタイムに作業時の位置や稼働状況のデジタルツインを形成することができる。

通常作業時においては、広範囲の現場内における建設機械や工事関係者の作業位置や稼働状況をリアルタイムに把握することができ、夜間作業時には従来のカメラ等で容易に可視化できなかったものが確実に可視化できるようになり、遠隔での安全確認や安全指示に大きな支援となった。

緊急避難が必要になった場合には、現場のどこに工



図一七 T-iDigital Field 画面イメージ



事関係者や重機が残っているか等もリアルタイムに確認できるなど、退避状況の把握にも大きく貢献した(図一7)。

#### (4) 「カメラビュー」アプリ

重機や人の位置情報は「重機・人等位置管理」アプリで管理できる。しかし、作業の進捗状況、現地の天候・地盤の状況などの情報の把握にはカメラ映像が必要となる。

そこで、パンチルトズーム機能を有する固定型クラウドカメラを複数台設置し、現場全域を可視化するとともに、持ち運び可能なウェアラブル型クラウドカメラを職員等が作業箇所に携帯することで、昼夜作業の安全確認や工事の進捗等を情報共有できる環境を構築した。クラウドカメラの映像は常時録画されており、現場事務所のパソコンのほかスマートフォンやタブレットなどにより、いつでも・どこでも閲覧可能である。

昼夜3交代での作業のため、自分が前日作業終了した時点とは状況が変わっている。当日の作業開始前に作業の進捗だけでなく、作業場所までの通路、上流での異変の有無、地盤や水の流れなど、全体の状況を把握してから作業を開始することで、適切な判断に役立った。

また、トラブルや事故が発生した場合には、録画画像を確認することで、原因究明や事後の対応の手助けにもなる。ただ、本工事でそのような目的で使うことがなかったのは幸いである(図一8)。

#### (5) 総合管理室(通称:DXハウス)の設置

現場の入口付近に前述のシステムを集約化した総合管理室(通称:DXハウス)を設置した。前述の作業開始前の確認はこのDXハウスで行った(写真一6)。

来場者についても、現場入場前にDXハウスにてT-iDigital Fieldの専用端末を貸与することで、現場での位置・移動確認をできるようにし、安全を確保した。



図一8 クラウドカメラ画面イメージ

緊急時には、カメラビューによる目視と、デジタルツインによる重機と人の位置情報の確認のダブルチェックで、職員・作業員の退避状況をより確実に把握でき、適切な指示を出すことができる。

## 7. 仮設堰堤工

前述のICT・DX技術による対策が安全確保に大きく貢献したのは間違いない。しかし、従来の対策も決してないがしろにできるものではない。本工事でも仮設堰堤を設けることで下流域ならびに工事場所の「物理的な」安全確保を図った。

まず、最初にネットロール土のうを設置した。ネットロール土のうは、大型土のうを積み重ね高強度ネットで拘束一体化するもので、大型土のうを積んだだけのものよりも流下力に対する抵抗力が大きい。今回のように生コン車やラフタークレーンがすぐに進入できない場合に、入手が容易な材料を用いて比較的小型のバックホウで施工ができるネットロール土のうは、災害時の応急対応には適している(写真一7)。

上流部まで仮設道路が整備できた時点でブロック積堰堤を設置した。ブロック積堰堤はコンクリートブロック(消波ブロック:1.77m×1.2m重量約3t/個)を層状に積み上げ構築するもので、国交省の災害用備蓄ブロックが利用できたことから、早期設置が可能となった。本工事では177個を使用し、堤体高3.0mを



写真一6 総合管理室(DXハウス)内の管理状況



写真一7 仮設堰堤工(ネットロール土のう工)

確保した。

ブロック積堰堤はコンクリート打設する堰堤に比べ短期間で施工できるとともに、本設堰堤が完成した後は撤去・再利用ができるため、こちらも応急対応に有効である（写真—8）。

## 8. おわりに

2021年7月3日の災害発生から1ヶ月も経たない7月29日に工事着手できたこと、着手より5ヶ月後の12月25日に既設砂防堰堤の除石を完了できたこと、またこの期間において無事故・無災害を達成できたのは、国土交通省・静岡県・熱海市のご協力をいただき、作業員の一人一人までもが丸一となって被災地の安全を取り戻そうと努力した結果である。

その後開始した新設砂防堰堤もブロック割の検討、3次元FEMによる温度応力解析、低発熱・収縮抑制高炉セメントの採用などでコンクリート打設間隔を短縮し、昼夜施工、無事故無災害で実質1年で完成した。

本工事が完成したことにより、地域の方々が安全・安心に暮らせる復旧・復興の第一歩になると信じている（写真—9, 10）。

## 謝 辞

最後に、この災害復旧事業で得た貴重な経験を、今後も頻発する可能性のある自然災害の早期復旧の技術



写真—8 仮設堰堤工（仮設ブロック堰堤工）



写真—9 既設砂防堰堤除石完了



写真—10 新設砂防堰堤（伊豆山砂防堰堤）施工完了

的な貢献につなげるとともに、地域の早期復旧を進めるために、多大なご支援、ご協力をいただいた関係各位に深く感謝の意を申し上げます。

JICMA

## 《参考文献》

- 1) 丸山高志：熱海土石流災害への取組みについて、土木施工，vol.63，No.6，pp.84-87，2022.6
- 2) 大丸雄一郎，丸山高志，川田淳：ICT・DX技術導入による熱海土石流災害の早期復旧－DX技術「T-iDigital Field」導入による熱海土石流災害復旧の安全対策の強化，土木学会第78回年次学術講演概要集，第VI部門，VI-633，2023.9

## 【筆者紹介】

大丸 雄一郎（だいまる ゆういちろう）  
大成建設㈱  
横浜支店土木部  
課長

