

『土石流発生箇所における砂防堰堤調査・計画・設計事例』

株式会社フジヤマ 静岡支店 事業部

松 田 有 由 大 塚 啓 一 佐 野 守
中戸川 達 矢 大 塚 良 子

1. はじめに

令和4年9月23日～24日にかけて襲来した台風15号により、静岡県内では、167件の土砂災害が発生（土石流等54件、地すべり2件、がけ崩れ111件）し、死者1名、負傷者3名、住宅の全壊6戸、半壊22戸、一部損壊67戸の甚大な被害をもたらした。

藤枝市内の旭ヶ丘西沢では、断続的に降り続いた大雨の影響で、9月23日22時45分頃に土石流が発生し、住宅の一部損壊、床上浸水3戸の被害が確認された。被災後の溪流内には、斜面崩壊によって供給された大量の土砂や流木が堆積していた。これらの土砂等が降雨に伴い再流出し、下流域に被害を及ぼす危険性があったことから、災害関連緊急砂防事業として（以下「災関事業」）緊急的に土石流対策を実施することとなった。

本稿では、土石流対策として計画した砂防堰堤の調査・計画・設計における課題と対応策を紹介する。

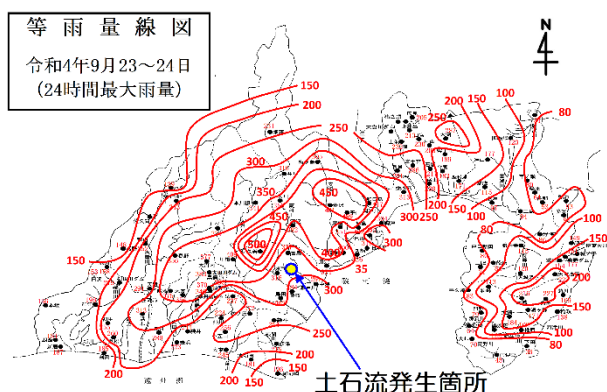


図-1 等雨量線 静岡県砂防課提供



図-2 土石流発生状況（全景）

2. 課題・問題点

本溪流の周辺は、古第三系瀬戸川層群の砂岩層で、起伏量100～200mの山麓斜面となっており、沢地形をなしている。流域面積は0.02km²を有し、平成28年に土砂災害特別警戒区域等（土石流）に指定されている。下流域には、人家10戸及び市道が立地している。

災関事業として、砂防堰堤の設計を進めるにあたり、以下の3つの課題があった。

1) 短期間での調査・計画・設計

通常の砂防事業では、調査・計画・設計（予備・詳細設計）に、2年～3年の期間をかけて実施することが一般的であるが、本事業は災関事業であり、

下流人家の早期保全が必要であったため、約1年という短期間で、精度の高い調査・計画・設計を実施することが課題となった。

2) 迅速かつ効果的な応急対策の実施

渓流内に残存する不安定な土砂や流木が再流出した際には、下流域に甚大な被害をもたらす。このため、堰堤の施工が完了するまでの間、人家の保全や地質・測量調査時の作業員の安全確保、さらには堰堤施工時の作業員の安全確保を目的に、迅速かつ効果的な応急対策の実施が緊急の課題であった（令和5年12月末までに施工完了目標）。

3) 計画地上流の斜面変状箇所への影響の最小化

堰堤の位置は、①谷出口や狭小部で上流側に流出した土砂を捕捉できる十分なスペースがあるか、②経済的な構造か、③十分な施工性が確保できるかを総合的に判断して決定することが基本となる。このことを踏まえ、堰堤の最適地を決定したが、計画地上流の左岸側には馬蹄形地形を呈する斜面変状箇所が存在することが判明した。堰堤の施工に伴い、斜面変状箇所ですらなる崩壊が発生しないよう、斜面変状箇所への影響を最小限にする構造形式を検討することが課題となった。

3. 対応策・工夫・改善点と適用結果

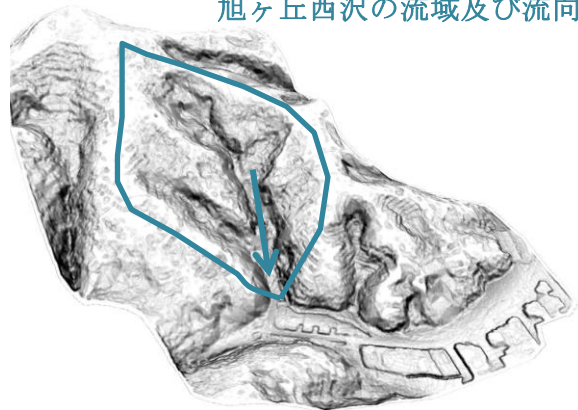
1) 短期間での調査・計画・設計への対応

(3 次元点群データや UAV 撮影画像の活用による効率化)

① 災害発生要因調査に土砂発生予測図を活用

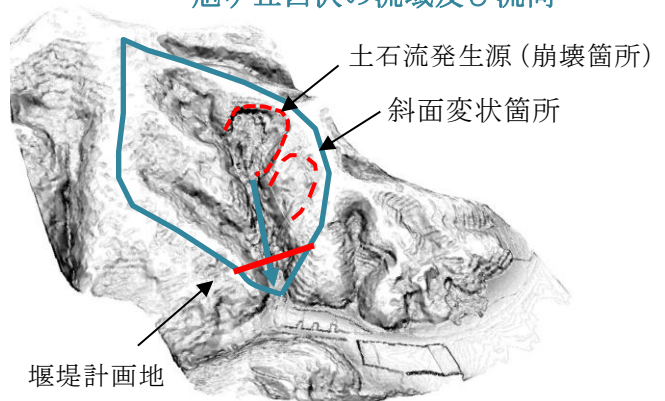
従来の災害発生要因の推定は、経験のある熟練技術者が流域全体の状況を調査し、判断する手法が一般的であるが、現地状況をすべて調査するためには多大な労力と時間を要する。そのため、本業務では、流域の状況調査等のために、静岡県オープンデータやUAVによる3次元点群データから土砂災害予測基本図を作成し、被災前後の地形を比較する手法を用いた（図-3）。

旭ヶ丘西沢の流域及び流向



被災前の微地形表現図 「VIRTUAL SHIZUOKA」

旭ヶ丘西沢の流域及び流向



被災後の微地形表現図 RIEGL VUX-1LR

図-3 土砂発生予測基本図 特許第 7153330 号

(上：被災前、下：被災後)

発災から5日後にはUAVによる3次元レーザ計測を行い、7日後にはUAV成果による土砂災害予測基本図を作成することができた。

図-3 上図に示した被災前と比較して、下図の被災後は、源頭部付近の馬蹄形地形付近で崩壊が新たに発生している様子が確認できる。崩壊に伴う土砂が、降雨によって流出し土石流化したものと推定できる。

土砂災害予測基本図の分析を進めた結果、堰堤計画位置の左岸側には被災前の源頭部と同様の馬蹄形地形が存在していることが判明した。その後、現地を確認した結果、多数の段差地形や表層崩壊跡があり、斜面変状箇所であったことが確認できた。

土砂災害予測基本図を用いたことで、予め現地調査の必要な範囲・箇所を絞ることができ、調査

に必要な作業手間を削減することができた。さらに、堰堤の設計にあたり留意すべき流域の状況も迅速に把握することができた。

土砂災害予測基本図は、被災前後の地形状況が短時間で比較可能となる上、崩壊箇所等の地形の変化も比較的容易に判断しやすく、土石流の発生機構の要因推定に大いに役立った。また、関係者間で精度の高い情報を迅速に共有できることにも役立った。

② 土砂量及び流木量の算定にUAVを活用

災関事業は、今回の台風で発生した崩壊及び土石流により生産され、溪流内に堆積している土砂のみが対象となる。砂防堰堤の規模を決定する際には、この土砂量を把握する必要がある。

従来の土砂量の調査方法は、流域全体の現地調査を行い、支川ごとに横断方向の堆積深さ及び堆積幅を計測し、堆積断面積を求め、平均断面法により算定を行っている。また、流木量においても、現地で樹木の本数の確認を行い、算定を行っている。これらの作業は多大な時間を要する。

そのため本業務では、3次元点群データから差分解析図を作成し、被災前後の地盤高の変化量から土砂量の算定を行った。これにより、従来の調査方法に比べて短期間での算定が可能となった。3次元点群データの精度は10cm程度以下であり、土砂量の算出においては、従来の方法とほぼ同程度の精度が期待できる。

流木量の算定においては、当該箇所の上空が開けていて空撮に有利な現場条件であったことから、UAVで撮影した画像を用いて、上空からの画像により樹木の本数の確認を行った。倒木の数が多かったため、撮影画像による方法を用いたことで、短時間での算定が可能となった。

2) 迅速かつ効果的な応急対策の検討

(応急土石流ガードの採用)

従来は、発災後の応急対策工として経験的に大型土のうが採用されてきた。しかし、流体力の大きな土石流が大型土のうに衝突した際には、土の

うの転倒や破断等が生じる可能性がある。本溪流は、直下流に人家が近接しており、溪流内の土砂や流木が流出した際に確実に捕捉できる応急対策工を検討する必要があった。また令和5年12月末までに設置を完了させるという時間的な制約もあった。

そこで本溪流では、上記の制約を踏まえて、「応急土石流ガード」を採用する事とした。応急土石流ガードは、鋼製かご枠の中に大型土のうを設置することで大型土のうを一体的な構造とした施設である(図-4)。他工法と比較して、経済性には劣るもの、以下に示す理由により、本工法を採用した。

- ① 静岡県内に資材のストックがあり、速やかに資材の手配が可能(納期10日)で、施工も早い(工期7日間)。
- ② 土石流の流体力に対応可能な構造となっており、土石流の流下を確実に捕捉できる。
- ③ 複数の鋼製かご枠の規格を組み合わせることで、現地の溪床幅に合わせた設置が可能であるため、資材の加工手間が不要である。
- ④ 鋼製かご枠の中詰め材に使用する大型土のうには、崩壊土砂の利用が可能である。

応急対策工は、予定した期日までに完了することができた。



図-4 完成した応急土石流ガード

3) 堰堤計画地上流の斜面変状箇所への対応

(袖部処理工による斜面脚部掘削の最小化)

砂防堰堤の袖部は、堰堤の支持、固定、滑動、洗堀に対する抵抗力の改善、安全度の向上を目的に堰堤横断方向に岩盤部では1～2m、土砂部では2～3mの嵌入（かんにゅう）を行う必要がある。しかしながら、急斜面においては、袖部嵌入のために大規模な掘削をせざるを得ないことがある。今回のケースにおいても、袖部を嵌入させた場合には、地山掘削による影響範囲が左岸側の斜面変状箇所に影響することが想定され、斜面の不安定化が懸念される。

そこで、「袖部の地山への嵌入を確保」することの代替案として、「砂防堰堤の袖部処理の特例」として採用事例のある「袖部処理工」を提案した。

袖部処理工は、図-5に示すように、袖部を地山へ嵌入させる代わりに、下流方向に嵌入深の1倍以上、上流方向に3倍以上のコンクリートを設置する工法である。この工法は、地山の掘削量を削減できるとともに、掘削に伴う周辺への影響を最小化できる効果がある。一方で、本工法の静岡県内での採用事例はなかった。

通常採用する袖部嵌入方式と比較して、①施工性に優れること、②経済性に優れること、③地山の不安定化を防ぐことができることの3点を理由に、発注者と密に協議を行い、袖部処理工を採用した。採用により、斜面変状箇所へ掘削影響が及ぶことを回避し、施工中の安全確保が実現できた。

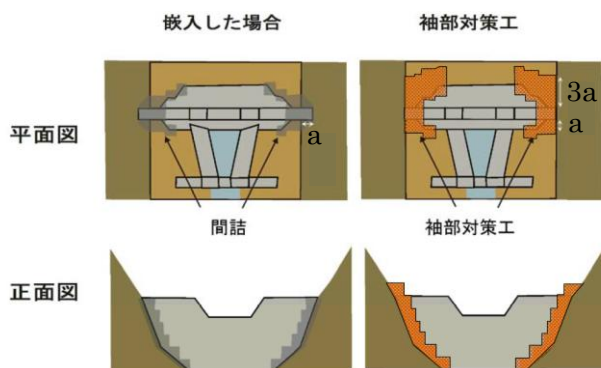


図-5 袖部処理工イメージ

中部地方整備局砂防施設設計要領より

4. おわりに

本設計の中で採用した3次元点群データや応急土石流ガード、袖部処理工といった新たな技術・工法についての効果、評価を以下に列記する。

①3次元点群データを用いた土砂災害予測基本図は、土石流発生要因の推定、留意すべき斜面変状箇所の迅速な把握につながった。写真や等高線の情報から斜面変状箇所を判断する従来の方法に比べ、この技術は、比較的経験の浅い技術者の判断を助けるとともに、関係者間での意思疎通に大いに役立つと考えられる。②差分解析図は、短期間での土砂量の算定につながった。溪流内に堆積した土砂のみを対象とする災関事業においては、発災前後の地形を短時間で把握できる差分解析図の作成が、非常に効果的な手法であった。③応急土石流ガードの活用は、スピーディーな施工と確実な土砂・流木の捕捉につながり、袖部処理工の活用は、斜面変状箇所への掘削影響の最小限化及び施工中の安全確保につながった。

一方で、新技術や新工法は、先行事例が少なく、導入自体が課題となることが多く、導入の効果を明確にした上、発注者への丁寧な説明、密な協議が求められる。

しかしながら、これらの技術は課題解決とともに生産性向上にもつながることから採用する効果は非常に大きい。今回の事例では、袖部処理工や応急土石流ガードは、地山の掘削量の削減・建設発生土の発生抑制につながった。加えて、3次元点群データから作成した土砂災害予測基本図を用いたことで、現地調査前に事前に留意すべき斜面変状箇所が把握でき、現地調査の効率化につながった。このことは、環境負荷低減や循環型社会の構築、担い手不足が進む中での生産性向上といった社会課題の解決の一助になったと考えている。今後も積極的に新技術や新工法の活用検討並びに生産性向上に取り組んでいきたい。

令和6年9月時点で、本堤及び前庭保護工の一部が完成しており、本年中には竣工予定である。