

# 天然ダム直下における遠隔操縦装置付分解組立型バックホウによる緊急対策工事実施上の課題

上田 智宗

近畿地方整備局 紀伊山系砂防事務所 (〒637-0002奈良県五條市三在町1681)

奈良県十津川村の栗平地区では、2011年9月の台風12号(以下、「紀伊半島大水害」と言う。)により、大規模な斜面崩壊が発生し、現在も災害対策を継続している。2017年の台風5号・21号により天然ダムに設置した仮排水路末端部に大きな侵食被害が発生した。復旧作業にあたっては作業員の安全確保のため、遠隔操縦装置付分解組立型バックホウ(以下、「遠隔化・分解型BH」と言う。)を活用した時の課題及びその対応について報告する。

キーワード 天然ダム, 斜面崩壊, 安全施工, 遠隔化施工, 分解型重機

## 1. 紀伊半島大水害の概要

紀伊半島大水害により、紀伊半島では、3,000箇所を超える斜面崩壊が発生しその土砂量は約1億m<sup>3</sup>に及んだ。現地調査から、大規模斜面崩壊や天然ダムの決壊による二次被害の危険性のある箇所に対し、近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所では、災害対策を実施している。



図-1 紀伊山系砂防事務所事業実施箇所

長さ 650m の崩壊が発生し約 2,385 万 m<sup>3</sup>に及ぶ崩壊土砂が河道を閉塞し、現在も天然ダムを形成している状況にある。発災以降、対策工事を進めており、これまで、天然ダムの急激な侵食を防止するため仮排水路を設置、天然ダム下流に堆積した土砂の流出を防止するため砂防堰堤 1 基が完成していた。

### (2)栗平地区の 2017 年の被害

#### a)2017 年 8 月上旬の台風 5 号による被害

総雨量 323.0mm を観測。湛水池からの越流水により、仮排水路の下流部が延長 10m にわたり流出、直下に落差 15m の侵食が見られた。また、2016 年 11 月に完成した砂防堰堤は流出土砂により、水通し高さ(堤高 14.5m)まで 2m となる堆積となった。

台風 21 号が上陸する直前までの間、水路直下の侵食対策として、根固めブロック設置による段差工を実施していたところであった。

#### b)2017 年 10 月下旬の台風 21 号による被害

総雨量 468.5mm を観測。崩壊地に続く工事用道路が全線にわたり寸断され、通行が不能となった。とりわけ、砂防堰堤直下の堰堤乗越坂路が流出し、復旧には 2 箇月程度かかることが判明した。更に仮排水路の下流部は延長 80m にわたり流出、直下の

## 2. 栗平川砂防堰堤群事業の概要

### (1)これまでの事業

栗平地区では発災当時、幅 600m、高さ 450m、

落差が最大 28m となる侵食が見られ、その流出土砂は、1km 下流の砂防堰堤に堆積、満砂となった。



図-2 台風 21 号の被害状況

流量が低下した以降は、常時・出水時の排水ポンプ及び CCTV カメラの電源用の発動発電機への給油路確保のため工事用道路の復旧が急務となった。堰堤乗越坂路の被害により、崩壊地のヘリポートに待避させていた重機のみでの施工を余儀なくされた。人の往来は、堰堤をロープにて登坂することで対応した。



図-5 復旧対応状況

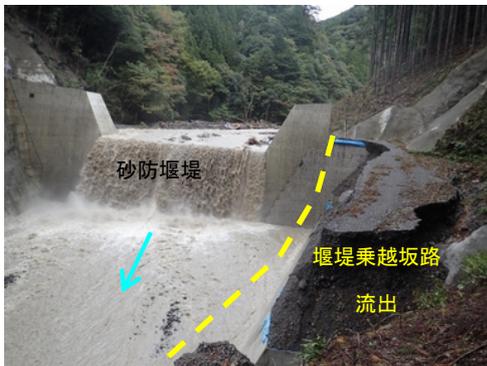


図-3 台風通過後の砂防堰堤

### 3. 遠隔化・分解型 BH の活用

#### (1)被害に対する対応

##### a)緊急対応

台風 21 号通過後の 1 週間後に台風 22 号の近畿上陸が予想されたため、早期に湛水池の水位を下げる事が急務となった。流水が原因となる陸路の寸断により排水ポンプへの給油は、空輸で対応した。



図-4 燃料の空輸状況

#### b)2018 年出水期までの対応

水路直下の侵食対策が必要となったが、侵食上部のオーバーハング部の崩壊が更なる被害を拡大する可能性があり、排土することが先決となった。侵食落差は最大 28m であり、侵食上部には多数の亀裂が生じていた。よって、高所での排土作業において、崩壊・転落する危険性があることから、以下の理由から遠隔化重機が必要と判断した。

- ・ワイヤーセンサー、振動センサーまたは崩壊検知センサー等の監視システム設置は、排土延長が約 80m と広範囲に及び把握が困難であることや、重機自体が滑落する可能性があり、把握できたととしても防御できないため、適さない。
- ・ロッククライミング BH は、近隣に支持となる樹木が崩壊箇所が存在するものしかなく、適さない。

また、以下の理由から分解型重機が必須となった。

- ・堰堤の落差は、重機の陸送が不可能であった。

これらのことから、近畿技術事務所が所有する遠隔化・分解型 BH (以下、機能により、言い分ける。) の活用が最適と判断したため、移管を行った。

遠隔化・分解型 BH を分解したユニットを陸上にて、堰堤直下まで陸送し、クレーンで吊り上げて、

搬入した。



図-6 侵食状況と重機搬入状況

(2)操作環境

遠隔化 BH の操作は、①重機近傍において直接操作する「目視による遠隔操作型」と、②重機遠方において目視できなくても操作できる「カメラ画像による遠隔操作型」の2種類が選択できる。

施工場所は、侵食延長・深さが大きく、背後は崩壊斜面であることから、作業員を安全に配置する場所が作業全般で確保できなかった。そのため、ヘリポートにて操作を行うことにしたが、作業場所まで距離があることに加え、死角が発生することから、

「カメラ画像による遠隔操作型」を採用した。機器は防水仕様ではないため、操作室内に設置した。

操作室には、モニター3台を設置した。遠隔化 BH に直接設置し近視的に前後方3アングルが確認できるカメラ用のモニターは正面に1台、遠隔位置2箇所を設置し俯瞰的に確認できるモニターは各々両サイドに2台設置し、モニタリングできるようにした。



図-7 室内状況と操作室位置

4. 遠隔化・分解型 BH の概要

近畿技術事務所では、遠隔化・分解型 BH1 台を所有している。ヘリコプターで運搬可能となる1ユニット当たり 2.8t 以下とし、13 ユニットに分割運搬し現地で組み立てる仕様となっている。更に災害現場での二次災害防止のため、遠隔操縦機能も有している。

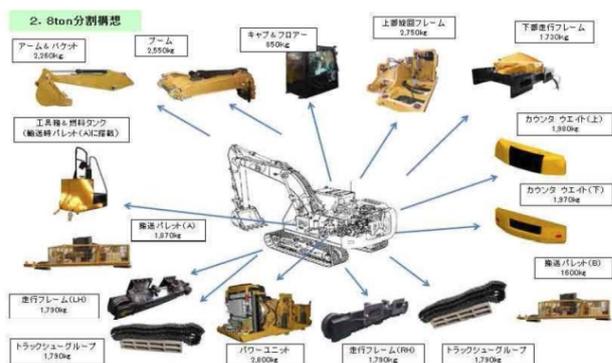


図-8 遠隔化・分割型 BH の仕様



図-9 1ユニットと組み立て後の状況

5. 遠隔化 BH により得られた安全

侵食部の拡大を防ぐために、落差の発生箇所に根固めブロックを設置する対応を行った。しかし、水路直下の侵食上部のオーバーハング部を取り除いた後も、侵食部での作業には危険性があることから、引き続き遠隔化 BH を活用した。

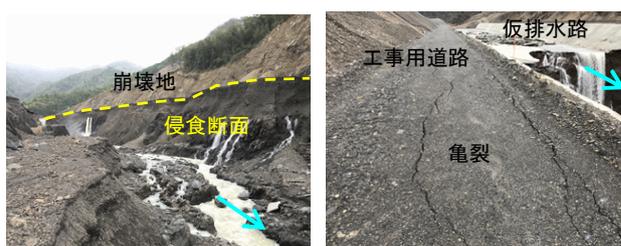


図-10 被害状況

結果として作業時に、大きな崩壊が発生することはなかったが、遠隔化 BH 採用による効果は次のようなことが考えられる。

- ・復旧時における二次災害の防止
- ・危険状況が把握できない間での復旧または計画的な事業の確実な遂行
- ・作業員等の作業環境改善

なお、応急復旧の全工程は、下記の通りとなった。

復旧内容		2017年						2018年		
		10月 下旬	10月 中旬	11月 下旬	11月 中旬	12月 下旬	12月 中旬	1月 下旬	1月 中旬	1月 下旬
台風	21号 22号	■								
燃料の空輸										
流量増加期間										
工事中 道路	堰堤下流									
	堰堤乗越									
	堰堤上流									
遠隔化・ 分解型 BH	申請手続									
	移送・組立									
	操作練習									
仮排水路 末端部	オーバーハング									
	樹土 根固め ブロック設置									

図-11 応急復旧の工程表

今回採用した遠隔化 BH のアタッチメントには、掘削バケットのみならず、油圧式グラブが付属しており、根固めブロックの運搬作業に対応できた。



図-12 根固めブロックの設置状況

近隣に民家の無い条件で離発着ポイントを選定したところ、同じく崩壊地区となっている赤谷地区が最適となったが、空輸距離が片道約 12.0km と輸送距離が長いことから、空輸を断念し陸路の選択とした輸送ルートは一部に幅 3m 以上の車両が通行できない区間があり、制約のある状況であった。

〔対応〕 利用するクローラクレーンは 70t 吊りの規格となるが、3.25m 幅の車両が一般的である。今回は、車幅を 3m 未満のものを調達し対応した。

b)組み立て作業時

〔課題〕 分解型 BH は、油圧配管の接続部をワンタッチ式とする等、部分的に効率化が図られてはいるが、市販の重機を基本に改造しており、本体の接続に関しては分解・組み立てに即した仕様ではない。

そのため、部品数が 100 点以上と多く、組み立て・分解には、作業員が各 3~4 人で 3 日強程度掛かる。また、作業には、小型クローラクレーン (重量・吊り能力共に 2.9t) 2 台が必須となり、作業用スペースや部材スペースの選定・確保が必要となる。

〔対応〕 作業箇所の選定は、組み立て時期が非出水期であったが、天候に左右されない箇所を選定した。スペースは、25m×25m 程度の広さが必要となるが、待避させていた重機で整地することで短縮できた。



図-13 分解型 BH の組み立て状況

6. 遠隔化・分解型 BH の活用時の課題と対応

(1) 分解型 BH の活用時

a)輸送時

〔課題〕 空輸運搬距離の社内規定が片道 10km 程度に限られる航空会社が大部分を占める。分解型 BH は 1 ユニット当たり、3.0t 程度で 2 ロータヘリ (1 ロータヘリは 0.8t 吊りが限界) での運搬が必須となる。2 ロータヘリは騒音・振動が大きいことから、

(2)遠隔化 BH の活用時

a)操作方法

〔課題〕 元々 BH の操作方法は、メーカー毎に特色があり、今回利用した遠隔化 BH の操作設定が作業員の習熟に合ったものではなく、遠隔操作に慣れる以前に操作そのものの習熟に更に時間を要するという課題が生じた。

〔対応〕 操作盤はレバー操作と同じ配置となっており、本体は油圧で作動する。作業員の習熟に合った

レバー操作となるよう、機体本体の油圧配管をつなぎ替えることで、対応した。

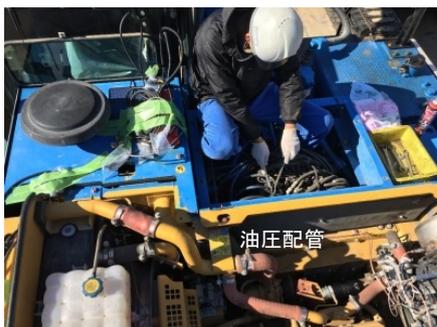


図-14 油圧配管つなぎ替え状況

#### b)作業員の確保と操作の習得

〔課題〕モニター視認による操作に経験のある作業員が見つからず、また操作にモニターで視認することと操作と機動にタイムラグが発生することから、そのままでは操作が困難であるという課題が生じた。

〔対応〕慣れが必要であり、習熟のための時間を設けた。作業員は当初3名専任し、遠隔化施工に熟練した作業員を指導員として配置し操作訓練を行った。その後、試運転教育(7日)実施する中、アタッチメント変更(グラブプル)にも対応できるよう訓練を行った。

更に実際のバックホウに搭乗し、操作室内で無線操縦を体感した後、遠隔操作の練習を継続することで短期で慣れることができた。

3名に対する習熟は上記までで、実施工は3名の中から最も習得できた1名を選定した。

3名に聞き取りしたところ、モニターを通しての作業範囲の距離感・立体感の喪失に困惑したものの、慣れれば遠隔化施工に対応できると感じており、一般的操作は2~3日程度で慣れるとの回答を受けた。



図-15 遠隔操作の練習状況

#### c)映像配信用無線機の伝送距離

〔課題〕無線機の伝送距離に限界があり、侵食部の施工時は、電波が届かないエリアがあることが判明し、復旧工事が遂行できない状況となった。

〔対応〕法律で許されている特定小電力無線局(総務省令電波法施行規則第6条第4項第2号)を用いると、本現場での伝送距離は直線で100m程度であった。侵食部への根固めブロックの設置作業においては、侵食部の一部が電波を遮断する箇所があることが判明したため、無線の中継局を設置し解消した。伝送距離による中継局の位置については、受信感度分析機で受信感度出力を高速にサンプリングし中継局の位置を設定、無線電波を高い位置でキャッチし伝送高力を落とさないように設置した。



図-16 中継局の設置状況

#### d)モニターのアングル

〔課題〕当初機体に装備されている標準モニターは前方2アングル(バケット先、キャタピラの足元)、後方1アングルのカメラしかなく、アングルの移動は機体を旋回させることでしか確認できない状況であった。更に3アングルのカメラは同一無線機を使用しているため、3アングルの同時配信はできないため、いずれかの1アングルしかモニター上で確認できない。標準のままでは有人操作時よりも作業員の視界の情報量が少ないことから、施工効率・精度の低下が生じる更に、標準でのアングル切り替えは手元操作しか無く、操作盤で手がふさがり操作が困難であるという課題が生じた。

〔対応〕近視的な視野は、機体本体に標準装備されているカメラのみを利用したが、操作を容易にするため、足元で操作できるスイッチを増設した。

俯瞰的な視野を確保するため、機体から遠隔位置

に2台のカメラ（ズーム・上下左右移動機能付き）を設置し、多方向で確認できるように対応した。

以上により次の点において操作性が向上した。

- ・走行時に障害物が把握できる
- ・油圧ショベルの停止位置が把握できる
- ・掘削時バケット刃先の位置決めが容易となる



図-17 視野確保による操作状況

ルの確保も重要。また、輻輳する工事であれば、安全確認を確実にする必要がある。VR・ドローンの活用等による視認性向上が望まれる。

#### d) 有人操作との違和感

操作に若干のタイムラグがある（映像に限れば大きなタイムラグはない）。通信技術の高度化が望まれる。

#### e) 二次災害の被害低減

遠隔化 BH は、二次災害の可能性が高い箇所での施工となり、操作場所も被害を受ける可能性がある。通信技術の高度化により、遠隔地、例えばオフィスビルでの操作が可能となれば、安全面、人材確保、動労環境等の向上が期待でき、建設業界のイメージアップにつながる。更に AI 技術の発展・普及により無人で施工できることも可能となるかもしれない。

## 7. 今後の改善を期待する事項

### (1) 分解型 BHに関する事項

#### a) 着手までの期間

二次被害が予想される箇所において、組み立てに3日強程度掛かることは、作業事態に危険を伴う。

1ユニット単位の運搬量を大きくし、大型ヘリで輸送することで短縮が可能。自組織で所有する又は大型ヘリを所有する他組織との連携が望ましい。

### (2) 遠隔化 BHに関する事項

#### a) 作業員の人選

作業員の人選において、無線での操作では、労働安全衛生法に基づく免許を持たなくとも法的に問題がない。資格・免許の設定制度の創出が望ましい。

#### b) 操作経験の活用

遠隔化 BH の数が少なく、活用する機会も殆どないため、経験する場、経験したとしても生かす場が限定される。遠隔化施工の活用が i-con 施策に盛り込まれ、機会の増大となることを期待する。

#### c) 視認性の確保

有人での施工と同等以上の視認性を確保する必要がある。立体視ができなければ、それを補うアング

## 8. おわりに

紀伊半島大水害から6年が経過した。当栗平地区は、崩壊規模が紀伊半島の中でも最大規模であり復旧に時間を要している。鋭意復旧を進めているところではあるが、その間も台風上陸が相次ぎ被害が発生する等、一進一退を繰り返している状況である。

今回は遠隔化・分解型 BH を利用するに当たり、自然災害に対する危険性を再認識してもらおうと、地元住民や行政機関を対象に現場見学会を開催し、防災意識低下の軽減にも努めた。

今回のテーマである分解型・遠隔化 BH であるが、全国的に見ても事例は少ない状況にある。作業効率や操作性等の面では、まだ課題が残る。当事務所では、遠隔化技術は欠かせない現場を多く抱えており、発災直後から活用してきた。2017年度は、長殿地区でも崩壊地の排土作業において、遠隔化対応のロックライミング BH を活用した。

今年度も、同箇所では根固めブロックを積み上げる作業を遠隔化施工で行っており、今回得られた知見・技術を活用している。今後も継続して、課題解決に向けた検討を行うよう努めて参りたい。