

砂防事業における遠隔施工の活用と将来性について

藤井 星渚¹・廣澤 元彦¹

¹近畿地方整備局 紀伊山系砂防事務所 工務課 (〒637-0002奈良県五條市三在町1681)

奈良県五條市大塔町赤谷地区では2011年9月の紀伊半島大水害により、斜面延長850m、幅460mに渡る深層崩壊が発生した。崩壊斜面は再崩落の危険性があるため、出水期間中には無人化施工が行われている。そこで、崩壊斜面直下の溪流保全工において、実機の振動や音、傾きなどを再現することで実機搭乗時と同等の操作性を再現する遠隔操作システムである「K-DIVE」を用いて施工を行った。その結果、70 km以上離れた都市部から山間部の現場であっても実用レベルでの遠隔施工が可能であることが確認された。本発表では「K-DIVE」の現場での活用を受け、砂防事業における遠隔施工の活用と土木事業における働き方改革について評価する。

キーワード 遠隔施工, インフラDX, 働き方改革

1. はじめに

建設機械の遠隔操縦は1940年初頭より始まり、雲仙普賢岳や東日本大震災など、人の立ち入りが制限される危険な現場において活発に用いられてきた¹⁾。特に1990年以降は情報技術の発達が目覚ましく、それに伴い遠隔施工技術についても飛躍的に発展した。

2011年9月の台風第12号では、紀伊半島の広い範囲で総雨量1,000mmを超え、3,000カ所で崩壊が発生した。奈良県五條市大塔町赤谷地区においても、延長850m、幅約460mの深層崩壊が発生し、1,138万m³の崩壊土砂が河道を閉塞し、大規模な湛水池（天然ダム）が形成された。本地区の復旧事業に際して、現在まで砂防堰堤及び溪流保全工の施工を行ってきた（図-1）。



図-1 赤谷地区事業全体図

崩壊斜面は不安定土砂が堆積している状況であったため、発災以降も複数回崩落している。2014年8月の台風第11号では、430mmの連続雨量を記録し、76万m³の土砂崩壊が発生した。

上記の理由により、出水期間中である6月15日から10月31日までの期間は3号堰堤より上流は立入規制区域を設定した。本地区では早期の事業完了のため、出水期間中の施工は自動化施工及び遠隔施工を併用した無人化施工を採用した。

2022年度までの施工では、ラジコン式の従来型遠隔操縦システムを活用してきたが、実機の音や振動などは伝わらずモニタからの情報のみで施工を行う必要があり、実機搭乗時よりも生産性が下がってしまうなどの課題があった。

そこで、さらなる生産性向上や工期・コスト低減、現場DX化を目的として2023年6月から2023年10月までの期間、「K-DIVE」を用いた遠隔施工を行った。本技術は実機の振動や傾き・音などをコックピットにフィードバックし、現場にいる感覚で操作することが可能であり、1台のコックピットで複数の重機を切替えて遠隔操作を行うことができる(図-2、図-3)。



図-3 K-DIVEの操作状況

本稿では砂防事業における本技術の内容と結果を総括し、今後の活用に向けた考察について報告する。

2. 方法

(1) 概要

工事名：赤谷地区上流溪流保全工他工事

施工場所：奈良県五條市大塔町赤谷

工期：2022年9月21日から2024年7月31日

工事内容：3号堰堤上流における溪流保全工及び場内整備工

操作箇所：工事現場内事務所及び(株)富島建設本社内(大阪府大阪市福島区海老江)

各箇所の位置関係を図-4に示す。遠隔施工箇所から現場事務所及び富島建設本社までの距離はそれぞれ約1km、約70kmである。

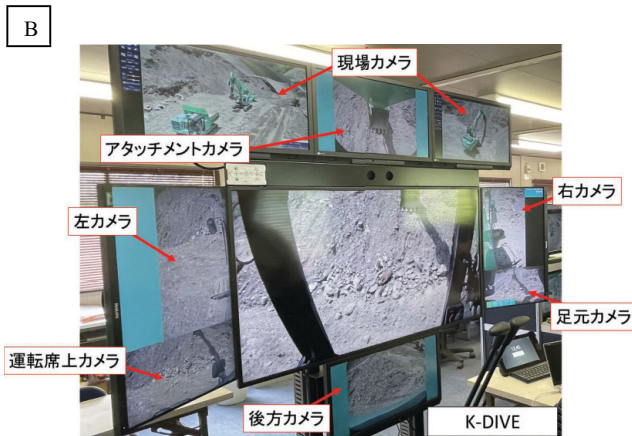


図-2 従来型遠隔施工システムとK-DIVEのモニタ構成比較
(A. 従来型遠隔施工, B. K-DIVE)



図-4 施工箇所及び遠隔施工箇所位置関係



図-5 施工箇所位置関係

(2) 施工範囲

K-DIVEによる遠隔施工を行った箇所を図-5に示す。施工箇所は崩壊斜面の対岸に位置しており、当該箇所にて土砂の掘削積込み、改良土の敷均し、法面整形作業を実施した2023年6月から同年10月にかけて、K-DIVEを用いた施工を行った。図-5に施工箇所の位置関係を示す。

(3) K-DIVEの機能

a) モーションシート

「モーションシート」は、実機に搭載したジャイロセンサから振動や傾きをコックピットへフィードバックが可能である。

b) 音のフィードバック

エンジン動作音や機械動作音、ホーン等がコックピットへフィードバックされ、コックピットにいながら、現場にいる感覚で操作することができる。

c) 可動式メインカメラ

メインカメラはコックピットのレバーで上下左右に動かすことができ、周囲を確認しながら作業することができる。

d) 非常停止機能

コックピットの非常停止スイッチもしくはメイン通信と別系統通信の携帯できる無線非常停止装置を押すことにより油圧ロック状態で停止する。通信が途絶した場合も油圧ロック状態で停止する。

e) オペレータ顔認識機能

顔認識機能によりオペレータを判別する。登録されていない人物は操作することができない。

f) よそ見検知機能

作業中はよそ見と姿勢を検知する機能があり、オペレータの安全な操作をサポートする。よそ見を検知すると油圧ロック状態で停止する。

g) コックピットモニター

合計7枚のモニターを使用して、機械周囲の映像や、現場に設置された俯瞰カメラ映像をみながら作業できる。

h) 多接続機能

1台のコックピットで複数の重機を切替えて、遠隔操作を行うことができる。コックピット搭載の手元モニターにて、あらかじめ登録した作業エリアと遠隔重機を任意に選択することで、簡単に接続することが可能である(図-6)。これにより、オペレータは現場間移動の手間がなくなり、効率的に現場作業を進めることができる。

i) ダッシュボード機能

遠隔操作したデータはクラウドにアップロードされ、日々の業務内容や進捗状況をひと目で確認できる。また、K-DIVEに搭載されているモニター類の説明を図-7に示す。

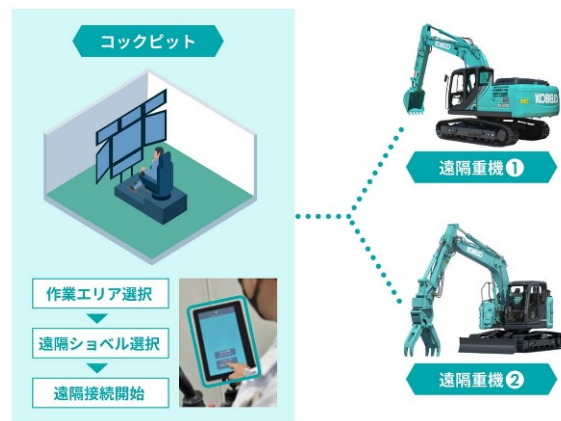


図-6 多接続機能の概要

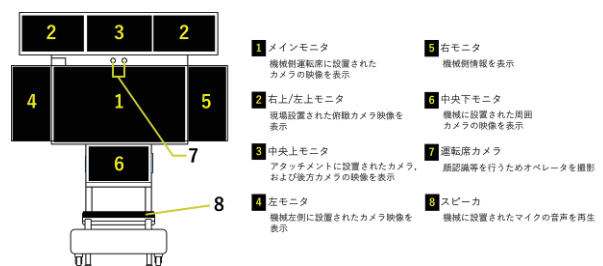


図-7 K-DIVEコックピットのモニター構成

(4) 通信条件

低遅延な遠隔操縦を行うため、(株) 富島建設本社内からの長距離通信手段として既存の施設から工事現場内まで光ファイバにより接続した(図-8)。

従来技術の無人化施工の重機操作や固定カメラの映像は、デジタル無線を用いて通信する設定とした。重機操作のデータ通信には、移動体通信に特化した5GHz帯アクセス無線を採用し、100m間隔に無線LAN 基地局を現場内に9機設置した。また、固定カメラの映像データ通信には、大容量かつ高速データ通信が可能な25GHz帯小電力無線を採用し、100m間隔に拠点間通信用無線を設置した。現場内の固定カメラ、無線機の設置箇所を図-9に示す。

(5) 検証項目

以上の条件のもとで、生産性、品質及び出来形、経済性の3項目について実機搭乗による施工、従来型遠隔施工、K-DIVEによる遠隔施工の比較を行った。

特に生産性の比較では、遠隔操作実施箇所と施工箇所間の地理的距離により生産性に変化がないことを確認するため、富島建設本社及び現場事務所から現場内における土砂移動作業、法面整形作業を遠隔で試験施工し行った。また、実機搭乗時及び従来型遠隔施工との生産性の比較は、実際に施工を行った際の土砂積込移動作業、法面整形作業を基に行った。

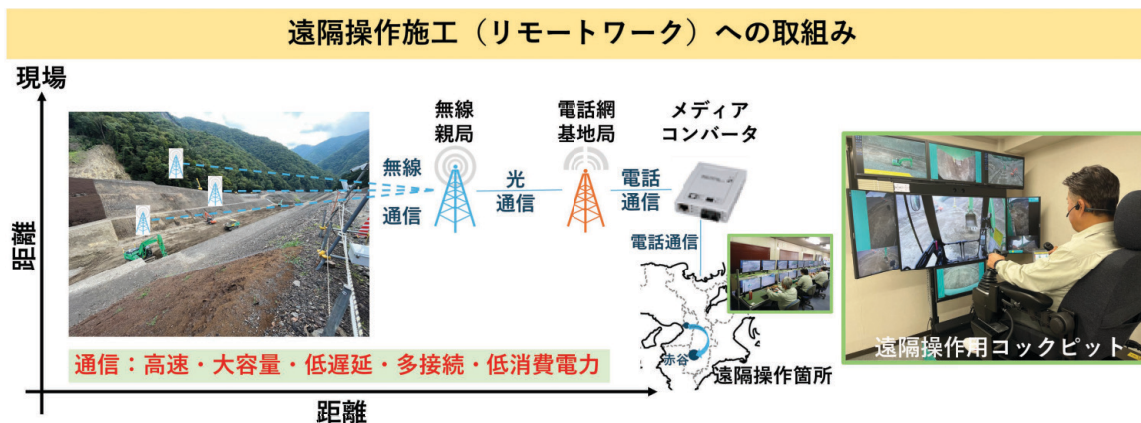


図-8 遠隔施工箇所及び施工現場間の通信環境



図-9 場内機材配置図

3. 結果

(1) 生産性

実機搭乗時を100%とした場合の生産性を比較した結果を表1に示す。

試験施工時の生産性を実機搭乗時及びK-DIVEで比較したところ、K-DIVEによる土砂移動作業は74-78%、法面整形作業は68-70%となった。また、富島建設本社と現場事務所の生産性は、土砂移動作業ではそれぞれ78%及び74%、法面整形作業ではそれぞれ68%及び70%と同程度であった。富島建設本社は施工現場から約70km離れており、現場内事務所より遠距離からの施工であるが生産性に差は認められなかった。

また、実施工時の生産性を実機搭乗時、従来型遠隔施工、K-DIVEで比較すると、土砂積込移動作業は従来型遠隔施工は44%であったのに対しK-DIVEでは83%となり、法面整形面積では従来型遠隔施工は58%であったのに対しK-DIVEでは78%であった。K-DIVEは従来型遠隔施工に対し、20-39%生産性が高い結果となった。

(2) 品質及び出来形

試験施工及び実施工における法面整形工の品質及び出来形比較を行った結果を図-10、11に示す。遠隔施工による出来形と実機搭乗時の出来形に差は確認されなかった。

(3) 経済性

従来型遠隔施工とK-DIVEを用いた遠隔施工について、設備面、安全性、移動費用の3点から経済性の比較を行った。設備費の比較結果を表-2に示す。設備としては無人化設備224,000円、設備の設置及び撤去費用は143,700円、従来型遠隔施工からコストダウンすることができる。遠隔施工の場合は現場で施工を行うことがないため重機オペレータの労災死亡事故の発生リスクを0%にすることができ、約2,800~3,200万円とされる保証費用を削減できる。また、現場への移動費削減による計算例を表-3に示す。現場へ社用車で1カ月通勤(20日稼働、往復)した場合の移動費で算出した。K-DIVEで施工を行う場合、山間部の施工箇所へ移動する必要がなく、操縦者の移動費の削減効果が見込まれる。

表-1 生産性比較

	作業内容	実機搭乗時	従来型遠隔操縦	K-DIVE	
				現場	大阪
試験施工	土砂移動作業	100%	-	74%	78%
	法面整形面積	100%	-	70%	68%
実施工	土砂積込移動	100%	44%	83%	
	法面整形面積	100%	58%	78%	



図-10 試行ヤードにおける法面整形作業出来形比較 (A. K-DIVE (大阪), B. K-DIVE (現場), C. 実機搭乗)



図-11 無人化施工による溪流保全工出来形

表-2 設備費用比較表 (機械費用はレンタルのため補償料を含む。その他は0.8m3バックホウ1台分の積み上げ)

	従来型遠隔施工	K-DIVE	費用差	備考
機械費	¥2,953,000	¥2,953,000	¥0	1台/月
無人化設備費用	¥1,805,000	¥1,581,000	¥224,000	1台/月
設備設置撤去	¥1,125,940	¥982,240	¥143,700	1台

表-3 移動時間削減による効果(1kmあたり15円で換算)

距離 (km)	月あたりの費用	備考
10	¥6,000	五條市大塔支所
50	¥30,000	五條市
100	¥60,000	
150	¥90,000	富島建設大阪本社

4. 考察

赤谷地区上流溪流保全工他工事ではK-DIVEの設備を現場事務所及び株式会社富島建設本社（大阪市福島区海老江）に設置し、流路護岸のソイルセメント敷均し・法面整形について遠隔施工を行った。そこで本稿ではK-DIVEにおける生産性、出来形、経済性の3項目について実機搭乗時及び従来型遠隔施工時との比較を行った。

今までに光通信を用いた遠隔地からの施工例はあるが従来の遠隔施工技術を基に実施しており²⁾、モニタの情報のみで施工を行う必要があるため実機搭乗時と比較すると生産性が下がってしまう課題があった。実際に本稿の結果においても従来型遠隔施工の生産性は実機搭乗時の44%~58%であった。一方で、K-DIVEによる遠隔施工は従来型遠隔施工よりも生産性が20~39%高く、出来形においても実機搭乗時と差は確認されなかった（表-1、図-10）。この要因として、実機の振動や傾き・音などをコックピットにフィードバックし、実機搭乗時と同等の操作が可能であったこと、データ通信に光回線を使用しスムーズな施工が可能であったことで、従来の遠隔施工よりも大幅に作業効率が高くなったと推測される。本稿で報告したK-DIVEは、従来型遠隔施工よりも生産性が大幅に向上するのみならず経済的でもあるため、より活発に活用されていくと考えられる。

砂防事業の現場は山奥にあることが多く、現場従事者不足や現場への移動時間、交通費などが課題となっていた。本稿の結果より、K-DIVEを活用することで山間部であっても都市部からの施工が可能であることが確認され、居住地と施工箇所の距離に捉われずに施工を行えるようになると思われる。そのためK-DIVEの活用は現場従事者不足や移動時間、経費といった問題を解決できる可能性があり、砂防事業を含めた山間部の工事では特に効果が期待される。

これらの取り組みを通して、場所や時間を問わず労働できる環境を整備することができ、就業者の裾野を広げることによって多様な人材の活用が可能となる。また、土木・建設業の労働人口減少、熟練技能者から若手への技術継承、危険・肉體労働をはじめとした従来の労働環境改善といった様々な課題を解消し、業界全体のイメージアップにつなげることができると考えられる。

最後に、2024年6月23日に実施した赤谷地区の工事完成式典では、記念碑の除幕式を富島建設本社より遠隔で行うことができた（図-12）。本工事での施工者である鹿島建設及び富島建設には、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

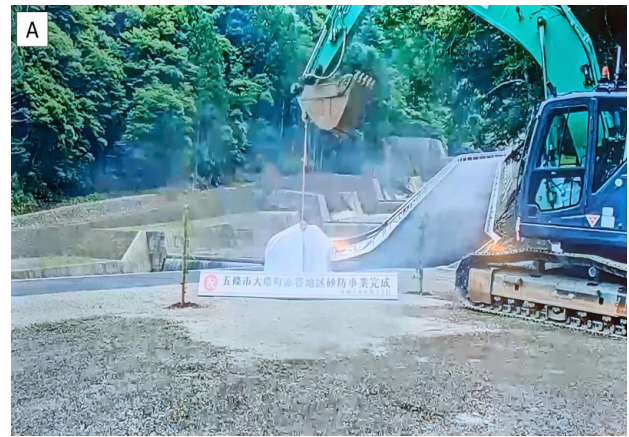


図-12 完成式典の除幕式の様子（A. 現場の様子、B. 遠隔操縦の様子）

参考文献

- 1) 久武経夫, & 中里邦子. (2012). 建設機械等の遠隔施工と電波利用. 建設の施工企画, (747), 33-39.
- 2) 新田恭士, 松尾修, 北原成郎, 黒田昇, 田村圭司, & 下田孝徳. (2012). 超長距離無人化施工技術の適用性に関する考察. 第13回建設ロボットシンポジウム