# 能登半島地震災害復旧現場における遠隔施工の実証試験

前田建設工業株式会社　○　正会員　片桐　智浩
正会員　吉成　健吾
今井　崇満
関根　智之

## １．はじめに

建設分野における重機の遠隔操作技術は，地震，豪雨，噴火災害など大規模災害の復旧や，社会インフラの構築において重要な役割を果たしている．また，災害復旧時の危険作業における安全確保のみならず，災害対応の効果・効率を高めること，社会インフラの老朽化の進行と少子高齢化に伴う労働人口の減少に対応した社会インフラの合理化が期待されている．しかし，重機の遠隔操作は，安定した通信環境の整備が不可欠であり，リアルタイムでの機械制御ができないと安全性や作業効率が失われる．本稿では能登半島地震で崩壊した斜面復旧工事において実施したバックホウ遠隔操作の実証試験について報告する．

## ２．工事概要

「R6 249 号珠洲地区道路復旧その 2 工事」は，令和 6 年 1 月 1 日に発生した能登半島地震および同年 9 月 21 日から 23 日にかけて発生した能登半島豪雨災害により被災した，国道 249 号八世乃洞門新トンネル（珠洲市真浦地区側坑口）に面する法面崩落箇所の復旧工事である．国道 249 号は，石川県七尾市を起点に能登半島を穴水町，能登町，珠洲市，輪島市と結びながら外周を巡り，最終的に金沢市に至る総延長約 250km の一般国道である．能登半島の物資輸送を支える基幹道路であり，沿線住民の重要な生活道路でもある．能登半島は三方を海に囲まれ，日本海側（外浦側）の海岸線は丘陵地（山地）が直接海に面する岩石海岸が多く，幹線道路が限られている．このため，道路が寸断された場合には孤立しやすい地形的特性を有している．当工事箇所においても，災害発生時にはトンネル坑口付近に土砂が堆積し，一時的に地域住民の孤立が発生した（**図－1**）．

当工事は国道 249 号の通行を確保するため，落石から国道を防護するとともに，地震により崩落した法面の掘削，整形，補強および浸食防止を行う工事である．工事内容は，国道防護工 49m，保護盛土 7600m³，法面復旧工 9700m³であり，工事箇所周辺には，崩落した土砂が堆積し，さらに国道 249 号八世乃洞門新トンネル坑口が隣接していたため，施工期間中の迂回路の設置が難しい状況にあった（**写真－1**）．




**図-1　工事位置図**




**写真-1　工事着手前全全景**

キーワード　遠隔操作，衛星通信，Starlink，災害復旧，ラジオコントロールバックホウ
連絡先　〒102-8151　東京都千代田区富士見 2-10-2　前田建設工業㈱　ＴＥＬ03-3265-5551

工事着手時，法面上部には崩落した土砂や転石が堆積しており（写真－2），国道では大型土嚢で山側の１車線を規制し通行を確保している状況であった（写真－3）．また，崩落土砂の中には直径 2m を超える転石も混在しており，撤去作業時に発生する落石に対する安全確保が重要な課題であった．



写真-2　工事着手前法面上部全景




写真-3　工事着手前坑口付近全景

## ３．作業中の安全対策

### (1) ロックシェッドの設置

国道交通の安全を確保するために，仮設鋼材によるロックシェッドおよび保護盛土を組み合わせた二重構造の落石対策を採用した（写真－4）（写真－5）．施工において，日中は片側交互通行により一般車両の通行を確保しながら施工を行い，上部鋼材の架設作業時には夜間全面通行止めとし，日中の通行機能を維持しつつ仮設防護工の早期構築を図った．

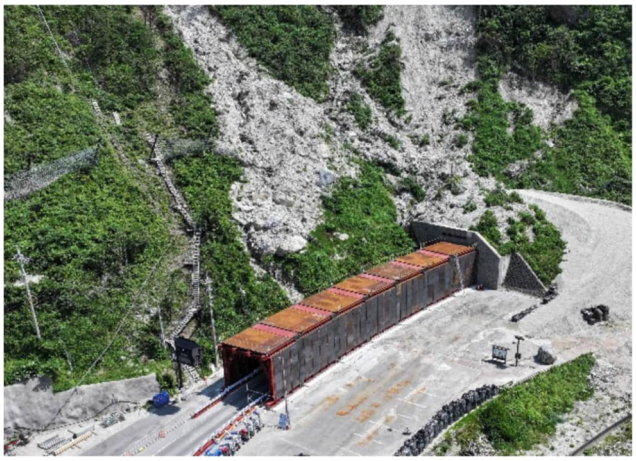


写真-4　ロックシェッド設置完了



写真-5　ロックシェッド保護盛土完了

### (2) ロッククライミングマシーン(RCM)の活用

法面上部に堆積している崩落土砂の撤去作業は，高低差約 180m，最大勾配約 45°の急峻な法面での作業となることから，RCM を用いた施工を実施した．RCM が法面上部まで移動するためには，ワイヤーを張り，その反力を利用して急勾配法面を登坂する必要があった．この登坂作業時には，ワイヤーが法面上部の転石に接触し，落石が発生して RCM に衝突する危険性があった．そこで，登坂作業における重機オペレーターの安全確保を目的として，リモコン操作による遠隔運転とし，無人状態で法面上部まで移動させた．（写真－6）．



写真-6　RCM による上部法面掘削

### (3) 重機遠隔操作の活用

RCM による上部法面掘削と並行して，掘削土砂を下部へ排土する作業を実施した．法面下部では上部から落下する土砂や石を集積し，順次撤去する必要があった．撤去土量は約 3,600m³であり，下部作業における安全確保と施工性の両立が課題であった．しかし，法面上部にて RCM が稼働している状況下で，下部法面において有人の重機による排土作業を行うことは作業員への危険性が高いため，下部での排土作業には遠隔操作バックホウを採用し，無人施工を実施した．

## 4．重機遠隔操作試験

### (1) 重機遠隔の実証試験概要

実証試験では，遠隔操作における遅延速度や作業効率の確認を目的とした．茨城県取手市に設置したコックピットの操作により，約 500km 離れた能登半島のバックホウを遠隔操作した．当現場において通信環境を確保することが困難であったため，通信環境は衛星インターネットサービス「Starlink」を用いて現場中継室と操作室の通信を確保した．中継室には監視員を配置し異常があれば緊急停止できる体制を整えた(図-2)．

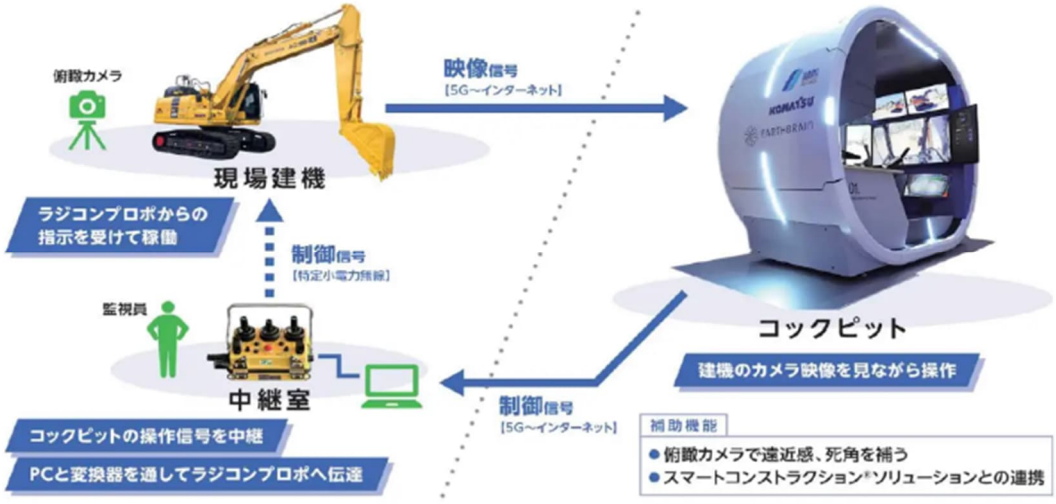



図-2　遠隔操作概要図

### (2) 実証試験方法

クライミングバックホウで排土した土砂を遠隔バックホウで掘削･集積し，10t ダンプトラックに積み込み，ダンプトラックは荷下ろし場所へ移動して土砂をおろす．この作業を 15 回繰り返し，有人のオペレーターが作業する場合と遠隔操作での作業時間の比較を行った．試験では下記の所要時間の計測を行った(図-3)．

① 有人操縦(オペレータ搭乗)及び遠隔操作による掘削集積作業時間の計測
② 有人操縦及び遠隔操作によるダンプへの積込み作業時間の計測
③ 遠隔操作作業時に発生する遅延時間




図-3　遠隔操作実施状況

### (3) 実証試験結果

掘削・集積作業および 10t ダンプ積込作業を行い，有人での作業効率を 1.0 としたときの遠隔操作による作業効率を確認した．掘削集積作業は 0.6 となり，ダンプ積込み作業は 0.4 となった．作業効率低下の大きな原因は，遠近感の把握が難しく重機同士の接触がないように慎重な作業が必要となるためである**(表-1)**．

**表-1　有人作業と遠隔操作の作業効率**

| 作業内容 | | sec | 時間比 | 作業効率 |
|---|---|---|---|---|
| 掘削・集積作業 | 有人作業 | 290 | 1.0 | 1.0 |
| | 遠隔作業 | 450 | 1.6 | 0.6 |
| 10tダンプ積込作業 | 有人作業 | 130 | 1.0 | 1.0 |
| | 遠隔作業 | 310 | 2.4 | 0.4 |

遠隔操作作業時の遅延時間については 120ms となり，遠隔操作が可能な閾値となる 200ms を下回り問題なく施工できることを確認した**(表-2)**．

**表-2　遠隔操作時の遅延速度**

| 通信方法 | ダウンロード速度 | 遅延時間 |
|---|---|---|
| スターリンク | 264Mbps | 120ms |

実際に作業を行ったオペレーターの肯定的な意見として，操作の遅延が少なく慣れてくれば問題なく作業できることや，危険な箇所であっても安全に作業できること，作業環境の改善が挙げられた．改善すべき点としては，奥行方向の距離間が把握しにくく，奥行を把握するための俯瞰カメラに遅延が発生したため作業効率が低下する結果となった**(表-3)（写真-7)**．これらについて，映像の奥行方向を把握するためのデジタル距離標の開発や俯瞰カメラ映像パケットを最適化する改善が必要である．

**表-3　オペレーターの感想**

| オペレーターの感想 | |
|---|---|
| 肯定的な意見 | 改善点 |
| ・操作の遅延が少なく、慣れてくれば違和感なく作業することが可能<br>・現場で搭乗して作業を行うより作業環境がよい<br>・危険作業でも安全に作業可能 | ・奥行き方向の距離感が分かりにくいため重機同士が近づく作業では接触しないように注意する必要がある<br>・直射日光や影など環境によって視認性が低下し作業しにくい<br>・俯瞰カメラと車載カメラでの遅延時間に差がある |




**写真-7　オペレーターの作業状況**

## ５．おわりに

本安全対策により，R8 年 1 月に国道の通行機能を確保しつつ，無人施工を併用した安全管理体制の下で上部排土工程を無事故で完了した．実証試験において，遠隔操作技術は，災害復旧現場のような人の立ち入りが困難な環境においても，安全性を確保しながら施工を実施できる有効な手段であることを示した．今後は，作業効率の向上を目的とした通信環境の改良や操作性の改善に取り組むとともに，バックホウ以外の建設機械への遠隔操作技術の展開についても検討を進めていく．

### 参考文献

1）関根智之，高低差 180m の急峻法面における落石リスク低減と無人施工の適用について，建設業労働災害防止協会第 63 回全国建設業労働災害防止大会
2）片桐智浩，吉成健吾，今井崇満，関根智之，能登半島地震災害復旧現場における遠隔施工の実証試験，土木学会令和 8 年度土木学会全国大会第 81 回年次学術講演会，VI-788