

超長距離からの遠隔操作実証実験

平野 純弘*

Sumihiro Hirano

1. はじめに

本工事は、赤松谷川3号床固工をRCC（Roller Compacted Concrete）工法により砂防堰堤を施工するもので、警戒区域内に構造物を築造するため、遠隔操作式の重機群を使用し無人化施工を行った。

本稿は、広域地震や火山噴火などの大規模災害において、災害地に近づけない場合を想定し、遠隔操作式建設機械の30 km以上での超長距離遠隔操作の実証実験を実施し、操作者の安全を確保しながら無人化施工が可能であるかの検証について報告するものである。

2. 実験概要

(1) 実験目的

本実験は、遠隔地（30 km以上）から重機の遠隔操作が迅速かつ確実に実施できるか検証することを目的として行った。

また、通信設備等の要素技術について、災害時を想定した実工事への適用性を把握するため、各種条件を設定して検証した。主な検証内容としては、①通信能力（伝送速度、伝送遅延、映像品質、通信範囲等）の確認、②通信状況（伝送品質の低下や遅延等）がオペレータの操作、施工性に及ぼす影響を把握することを目的とした。

(2) 実験場所

実験場所として、操作地点を国土交通省 長崎河川国道事務所に設置し、実験場所を普賢岳おしが谷とした。

操作地点から実験場所迄の直線距離は約36 kmである。また、光ファイバ区間延長は81.5 km、無線通信区間が1 km、通信総延長は82.5 kmである。



図一 実験場所位置図

(3) 通信方式

本実験で使用した通信方式を表一に示す。

表一 通信ネットワークケース一覧表

No.	超距離遠隔操作方式	仕様及び規格
①	光ファイバ+ 映像：無線 LAN 操作：無線 LAN	光ファイバ：延長 81.5 km 無線 LAN：11j 規格, 5GHz 帯 (中継局：25 GHz NT リンク)
②	光ファイバ+ 映像：無線 LAN 操作：特定小電力	光ファイバ：延長 81.5 km 無線 LAN：11j 規格, 5GHz 帯 特定小電力：429 MHz 帯 出力 10 mW (中継局：25 GHz NT リンク)
③	光ファイバ+ 映像：公共 BB 操作：公共 BB	光ファイバ：延長 81.5 km 公共 BB：190.5MHz 帯 出力 5W (中継局：25 GHz NT リンク)
④	長距離無線 LAN+ 映像：無線 LAN 操作：無線 LAN	長距離無線 LAN：IEEE802.11g/b 規格 無線 LAN：11j 規格, 5 GHz 帯
⑤	衛星通信（インマルサット）	国際海事衛星機構の提供する衛星通信サービス

3. 実験内容

実証実験では、以下の5項目の内容について実験を実施した。

(1) 遠隔操作通信ネットワークの伝送状況確認実験

通信距離が長くなるに伴いデータ伝送の遅延が大きくなり、遠隔操作に支障が生じると想定されることから、各通信ネットワークの画像データ及び操作データの伝送状況（伝送時間）の検証を行った。

(2) 基本作業の確認実験

無人化施工において最も基本的な作業であるバックホウとダンプによる掘削・積込・運搬・排土作業における各通信ネットワークを使用した場合における操作性の検証を行った。

(3) 擬似プレキャスト擁壁設置実証実験

精度の高い操作が要求されるプレキャスト擁壁設置作業における各通信ネットワークを使用した場合における操作性、及びどの程度の施工精度が可能かの検証を行った。

(4) 大型土嚢積の実証実験

プレキャスト擁壁と同様に精度の高い操作が要求される大型土嚢積作業における各通信ネットワークを使用した場合における操作性の検証を行った。

(5) 動作確認実験

無人化施工において使用されるブルドーザ、クローラダンプについても超長距離遠隔操作が可能か動作確認を行った。

*九州（支）南島原（出）

4. 実験結果

各通信方式における遅延時間等、実験結果について表一2に示す。

表一2 実験結果

No.	超距離遠隔操作方式	実験結果	操作可能重機想定	評価
①	光ファイバ+ 映像：無線 LAN 操作：無線 LAN	操作遅延時間： 0.8 sec 以下 画像：良 (1.5 Mbps, 30 fps)	20 台	◎
②	光ファイバ+ 映像：無線 LAN 操作：特定小電力	操作遅延時間： 0.8 sec 以下 画像：良 (1.5 Mbps, 30 fps)	15 台	○
③	光ファイバ+ 映像：公共 BB 操作：公共 BB	操作遅延時間： 0.5 sec～1.5 sec 画像：可 (512 kbps, 15 fps)	1 台	△ (開発中)
④	長距離無線 LAN+ 映像：無線 LAN 操作：無線 LAN	操作遅延時間： 0.8 sec 以下 画像：可 (384 kbps, 10 fps)	5 台	△
⑤	衛星通信（インマルサット）	操作遅延時間： 1.5 sec～8 sec 画像：不良（35 kbps）	1 台	△ (緊急用)



写真一 実験状況（操作地点：長崎河川国道事務所）

5. まとめ

本実験の実施により 30 km を超える長距離の遠隔操作であっても、一定の通信品質（画像伝送能力、伝送遅延や通信品質）を確保すれば、従前の無人化施工の操作室と同等の操作環境を構築することが可能であることが検証できた。

しかし、必要な技能を有するオペレータの確保や、LAN 等の通信ネットワークの構築維持、重機への給油や修理等のメンテナンス手続の確保、作業工種等の適用性拡大（アタッチメントの開発）など、円滑で確実な無人化施工を緊急復旧工事で実現するために引き続き検討すべき課

題が残されている。

以下に、実験を通じて実験実務に携わった関係者の意見を踏まえて、実用化に向けた課題をまとめる。

(1) 燃料給油の完全無人化、重機のメンテナンス

超長距離の無人化施工における最大の課題は、重機のメンテナンスである。立入禁止区域が広範囲におよぶ場合、メンテナンスや給油を無人化しない限り、重機を立入禁止区域外に退避させる等の対応が必要になる。燃料給油の無人化については、基本的な操作性の確認を実施したが、建設機械メーカー等との協力により開発を行う必要がある。メンテナンスについては、多様な実施項目が考えられるため、予備機との常時ローテーションすることにより予防保全的手法の検討が必要である。

(2) 重機搭載に向けた通信機器の耐久性確保

試作機を用いて実施した公共ブロードバンドの試験では、機材の耐久性が不十分だったことから、機材損傷により実験が中断した。複雑なシステムのため原因特定に膨大な時間と労力を費やしたことから、事前の耐久性確保が重要である。

(3) 通信システム調整の無人化

小規模な実験であったにもかかわらず、機器設定・設定変更・調整に多くの時間を費やした。実施工向けのシステム構築に際しては、膨大な調整作業が発生する。

IP アドレスの設定等にミスがあると遠隔調整による修復は困難であり、システムの信頼性を確保するため無人化施工の経験者による計画・運営が必要不可欠であった。

(4) 人材の育成

今回の実験結果は、熟練オペレータにより導かれたところが大きい。また、熟練者と非熟練者には 2 倍近い効率の差も確認できた。実用化に向けてオペレータ育成が必要である。

今回の実験では通信技術（technology）と、それを現場の環境（振動、粉塵等）で使用する技量（skill）の両者が不可欠であると改めて実感した。実用化には両者の成長が必要である。

(5) 現場に適した無線システムの構築

今回の実験では超長距離通信に国土交通省の光回線を専用的に使用したが、通常の共有回線や商用光回線（NTT 等）を使用する場合の通信の安定性には十分な検討が必要である。

公共ブロードバンドは試作品での実験であったが、回り込みに対しては高い性能が確認できた。実用化に向けて国土交通省、メーカー、施工会社の協力が必要と考える。

(6) 無人化施工対応機械・機器の調達

遠隔操作式建設機械や通信機器への設備投資や開発を積極的に進めるには、費用対効果の観点、技術開発の実験フィールドの観点等、複数の観点からも継続的な無人化施工工事が必要である。