

緊急災害における無人化施工について Automating construction of Urgent disaster

宇野 政武**
Masatake Uno
池ノ内 烈*
Tsuyoshi Ikenouchi

羽山 里志**
Satoshi Hayama

要 約

本稿は鹿児島県南大隅町における災害緊急砂防工事の施工報告および砂防工事における無人化施工の通信技術について述べるものである。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 無人化施工の無線通信技術
- § 4. おわりに

表一 施工数量表

工種	単位	数量
掘削・積込	m ³	10,200
転石破碎	m ³	3,080
運搬	m ³	10,200
無人化施工設備	式	1

§ 1. はじめに

平成 22 年 7 月の大雨に伴い、鹿児島県南大隅町根占山本地区船石川で 10 万 m³ を超える大規模な土石流が発生した。(写真一 参照) あふれた土砂は、下流の大浜集落の一部と国道 269 号線を埋め、海まで達した。また、土石流の流れた北側 200 m には小学校があり、通学路がふさがれた状態となっていた。そこで、災害緊急砂防工事として、除石を行うこととなった。工事区域は二次災害の危険性があるため、無人化での施工が行われた。

本報告は、災害対策工事概要と無人化施工の無線通信技術について報告する。



写真一 土石流発生状況

§ 2. 工事概要

2-1 工事概要

災害関連緊急砂防工事として、根占山本地区 14 工区および 19 工区を受注し、1 号堰堤および 2 号堰堤に堆積した土砂および岩を無人化施工にて除去した。施工は、安全区域に操作室を設置し、そこより遠隔操作にて無人化施工機械群を操作し、掘削・積込および安全区域まで運搬するものであった。施工数量を表一に示す。

工事期間：平成 22 年 8 月～平成 22 年 12 月



図一 崩壊地の施設位置図

* 九州（支）土木部土木課

** 九州（支）伊江地下ダム北西（出）

2-2 施工方法

本工事は、無人化にて既存の砂防ダム堰堤内土砂を除去するものであり、遠隔操作には、特定小電力無線局を使用したラジコン装置を用い、安全区域に設置した操作室より映像視認にて行った。

(1) 使用機械

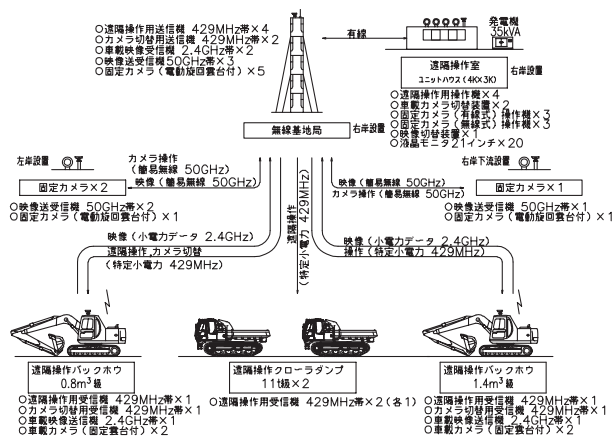
無線設備および映像設備を搭載した、遠隔操作式バックホウ・クローラダンプ・大型ブレイカーを使用した。

(2) 無線設備

無線設備には①重機遠隔操作無線、②映像伝送用無線、③データ伝送用無線の3種類を使用した。①、③は連続して使用するため、タイムラグを少なくする特定小電力無線局(429MHz帯)を使用した。映像伝送は、リアルタイムであることを重視し、簡易無線局(50GHz帯)および小電力データ通信無線局(SS無線局2.4GHz帯)を使用した。

(3) 映像設備

映像設備は、各重機に対して正面方向と側面方向の2映像を軸に、個別に必要な映像を付加した。



図一 無線機械構成図

(1) 遠隔操作無線の変革

重機遠隔操作無線としては、一般的には特定小電力無線局(429MHz帯)を使用するが、特殊条件及び技術進歩により様々な通信方法が実用化された。

① 無人化施工の超遠隔化

特定小電力無線局の遠隔操作可能距離は約150m程度であり、遠隔施工と呼ばれている。施工距離の長距離化に伴い、超遠隔施工として建設無線、中継方式の2種類が実用化された。

建設無線とは1997年雲仙普賢岳において実験的に使用され、2000年の北海道有珠山にて初めて実用化された無線局であり、424MHz帯で2Wと高出力であり、遠隔操作距離が約1km程度まで実証された。しかし、データ伝送がアナログのため従来の特定小電力無線からの音声での変換過程でのタイムラグが2秒程度発生し、掘削・積込作業には問題はなかったが、コンクリート打設等の作業には不向きであるとされた。しかし、有珠山無人化施工ではオペレータの過去の経験の熟練度から、護床ブロック積の作業まで可能であった。



写真一 建設無線による無人化施工 (有珠山)

2-3 施工結果

1日の平均土砂搬出量が、100m³程度で施工することができ、工期内に施工を完了することができた。

§3. 無人化施工の無線通信技術

3-1 無線通信技術

無人化施工において一番重要なファクターは遠隔操作を行うための無線通信技術であり、無線通信の伝達性及びデータ伝送の信頼性なくしては、無人化施工は不可能である。

1994年の雲仙普賢岳における世界初の重機群による無人化施工試験から時代とともに無線通信技術が進歩した。

その中でも当社で施工実績がある無線通信技術を紹介する。

中継方式とは前述の南大隅でも採用された方式であり、雲仙普賢岳において超遠隔施工方式として実用化された技術である。無線中継方式とは、中継用無線(SS無線局(2.4GHz帯)または簡易無線局(50GHz帯))により、特定小電力無線局を中継して遠隔操作するものである。1999年に雲仙普賢岳で実用化された技術であり、遠隔操作可能距離が約500m程度である。この方式では掘削、積込、RCCコンクリート打設、護床ブロック積、ボックスカルバート設置、法面緑化等の様々な工種に採用され、多くの施工実績が残されており、現在の無人化施工における超遠隔施工の主流となっている技術である。しかし、中継方式であるため、無線システムが複雑となり、中継用無線局、無線中継車等の設備が必要となるため、施工コストが高くなるものである。



写真一三 中継方式による無人化施工（南大隅）

② データ伝送のデジタル化

前述で紹介した特定小電力無線局、建設無線、簡易無線局のデータ伝送はアナログ伝送（音声信号）であるが、2004年雲仙普賢岳において無線LANシステムが実用化されて、遠隔操作のデータ伝送がデジタル化された。

無線LANシステムとは、5GHz帯包括無線局であり、データ伝送をデジタル化することにより、複数の重機を1つの周波数で遠隔操作が可能となるものである。

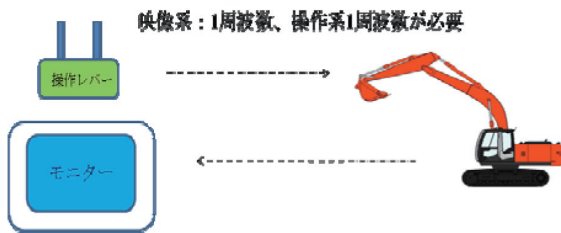
従来のアナログ伝送では1周波数で1台の重機を操作するシステムであったが、パソコンのLANと同様の原理で、1台の重機に1つのIPアドレスを割り当てることにより、1つの周波数で複数の重機の遠隔操作が可能となった。

また、無線LANシステムはアクセスポイント方式が採用可能であるため、超遠隔にも対応可能である。

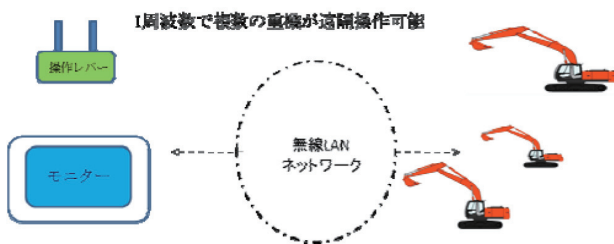
無線LANシステムは1つの周波数で複数の重機を遠隔操作しているため、無線のトラブル時にはすべての重機が不稼働となってしまうことから、緊急砂防工事には不向きなものと考えられるが、現在の雲仙普賢岳のように多数の重機を使用した恒久的な砂防えん堤工事（RCCコンクリート工）においては、無線周波数の干渉回避およびコストの面からも有効なシステムであると考えられる。



写真一四 無線LANによる無人化施工（雲仙普賢岳）



図一三 アナログ方式概要図



図一四 デジタル方式概要図

(2) 超長距離無線技術

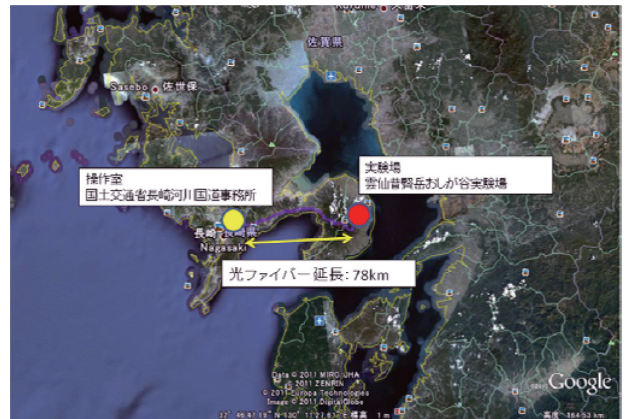
次に、2011年国土交通省九州地方整備局発注の赤松谷川3号床固工工事において、試験施工を実施した段階で、実用化までは至っていないが、無人化施工の最新の通信システムとしての超長距離からの無人化施工を紹介する。

① 概要

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ことを想定し、30km以上の距離での超長距離遠隔操作での無人化施工が可能であるかの実証実験である。

② 実証実験内容

遠隔操作室を長崎市内、試験フィールドを雲仙普賢岳



図一五 超長距離実証実験図

おしが谷とし、直線距離で 30 km 超、光ファイバーケーブル延長で 78 km の条件で無人化施工が実施可能であるかの評価を行うものである。

国土交通省の光ファイバーケーブル網を中継として利用し、実際に普賢岳で使用されている無線 LAN システム (5 GHz 帯)、TV の地デジ化で空き周波数帯となり今後有効な利用が期待されている公共ブロードバンドシステム (190 MHz)、衛星通信システム (民間静止衛星インマルサット) 等の既存の通信ネットワークシステムが無人化施工に適用可能であるかの実証実験を行った。

実証実験内容としては掘削、積込、鋼製スリットの設置の作業を行うことにより、ネットワークの伝送速度、操作性の確認、無線到達距離の確認、無線指向性の確認、画像伝送能力・状況の確認を行い、無人化施工として使用可能であるかの可否を判断するものである。



写真一六 超長距離遠隔施工
(試験フィールド側：雲仙普賢岳)



図一六 試験フィールド概要



写真一五 超長距離遠隔施工
(操作室側：長崎市内)

③ 実証実験評価

衛星通信を除き、ネットワークの伝送速度は 100 msec 以下、画像伝送・状況も問題なく、無線 LAN システム、公共ブロードバンドシステムともに超長距離遠隔操作が可能であることが実証された。しかし、超長距離からの無人化施工の場合には重機の給油、メンテナンス等、様々なハード的な問題を今後解決していく必要がある。

§ 4. おわりに

今回の南大隅災害関連緊急砂防工事のような、緊急砂防工事では、無人化施工における無線設備の信頼性の他に、発注から施工開始までが短時間であり、早急に無線設備と遠隔操作重機を稼働させる必要がある。紹介した最新の無線 LAN システム、超長距離からの無線通信技術等は従来の特定小電力、SS 無線中継方式に比べ、無線設備の立ち上げ、システム調整に時間を要し、緊急災害にはまだ対応が難しいシステムである。

今後はこのようにシステムを雲仙普賢岳でも行ってきたように、簡略化し、信頼性を向上させて緊急災害にも摘要できる無線通信技術としていく必要があると思われる。