

53. ラジコン遠隔操作による土砂の掘削および搬出技術に伴う施工支援システム

西松建設(株)：*石井 正典・桑原 資孝
小西 保

1. はじめに

建設業が抱える若年労働者の不足、労働生産性の向上、労働環境の整備等の問題を背景に、エレクトロニクス、或いはメカトロニクス技術の利用による運搬機械の自動化、省力化への展開が強く求められており、遠隔操作技術を包含した技術の展開が図られている。

遠隔操作技術の分野に限れば、単体としての技術は確立されているが、複数機械の組み合わせによる施工全体のシステムとしての取組みはあまり例を見ないのが現状である。

今回の試験工事は人の立入りが禁止されている警戒区域内での掘削、小割り、及び運搬の施工全般に亙る遠隔操作無人化技術の試行であり、既存技術の組合せ・応用の他に、施工法を加えた新たなシステム構築が求められた。

以下に、当社が提案した「ラジコン遠隔操作による土石流推積土砂の掘削及び搬出技術」について、その概要、施工結果及び今後の課題について述べる。

2. 工事概要

(1) 工事内容

工事名称：雲仙普賢岳水無除石無人化施工試験（その2）工事

工事場所：長崎県島原市札の元町地先

工事数量：掘削・押土 5,400m³、転石小割り100m³、積込・運搬5,500m³

本工区は、国道57号に接した警戒区域の中に位置し、試験施工フィールド内での掘削、押土、小割り、及び土砂仮置場までの150mの一次運搬を遠隔操作とし、土砂仮置場から安徳海岸土捨場までの2,500mの二次運搬を有人操作としている。

(2) 施工技術概要

本工法の最大の特徴は、ブルドーザによって牽引されるキャリオールダンプによる運搬方式であり、技術の概要は、以下の通りであった。

避難勧告区域（国道57号より下流）に位置した操作ヤード内中央部に全体施工管理を行う移動式集中管理室を設置し、その両側に配置した移動式操作室を遠隔操作、車両情報基地とした。推積土砂の掘削、運搬の一連の作業は、ラジコン遠隔操縦装置等を搭載したバックホウ、ブルドーザ、キャリオールダンプ、ブレーカーなどの機械群を固定塔の2D高感度カメラ、およびフィールド内に配置した局部監視用移動式カメラ車からの映像視認によって、遠隔操作で行った。ラジコン遠隔操作および車両情報伝達に、試験フィールドの規模、現行法規、基準等を考慮し、出力10mW以下の特定小電力無線局を使用した。図-1に無人化施工概要図を示す。また、土砂仮置場から土捨場までの2次運搬は有人施工とし、

土砂仮置場は、28t級ブルドーザによる集土、0.7m³級バックホウでの11tダンプトラックへの積み込み、土捨場における集土作業として28t級ブルドーザを使用した。

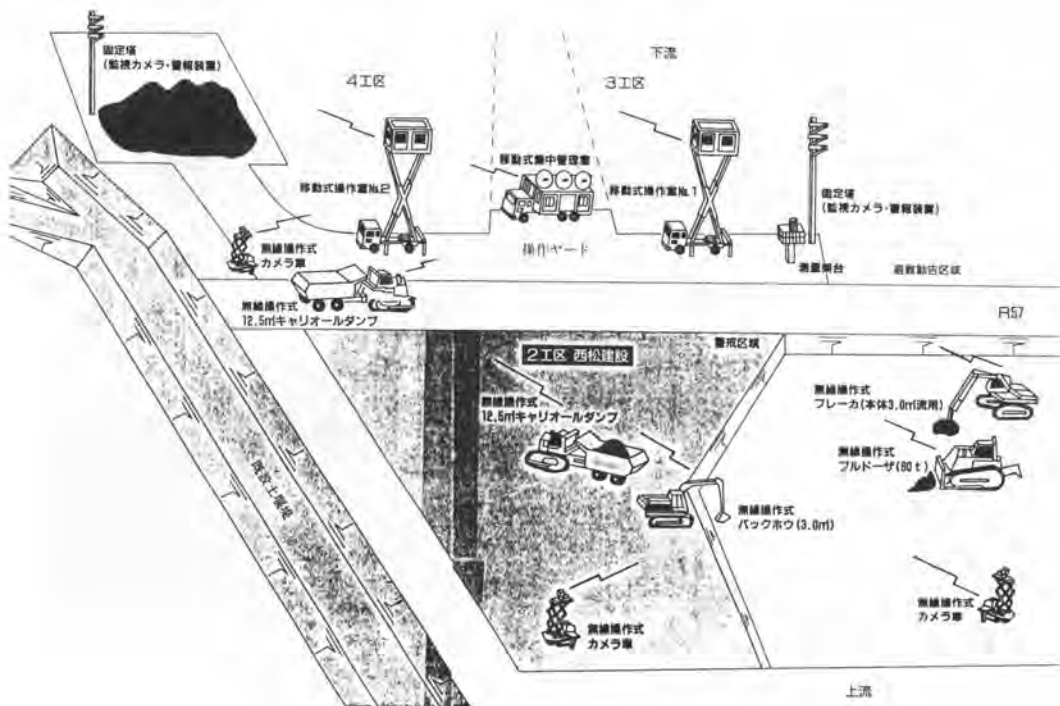


図-1 無人化施工概要図

3. 機械に対する安全対策

本工事において警戒区域内で作業を行う各機械に対し、以下の安全対策をとった。

①耐熱対策

各機械に以下の耐熱対策を施した。

- ・燃料系ホース等への不燃性断熱材の被覆
- ・燃料タンクへの不燃性断熱材被覆
- ・ラジコンコントローラー部等への不燃性断熱材被覆
- ・キャリアールダンプのタイヤにN₂ガスを封入

以上の対策により一次的な外囲温度100℃への対応を図った。

②耐湿処理

影響を受ける機器については、密閉構造及びキャビン内の空調を積極的に利用することで一次的湿度100%への対応を図った。

③フィールド内における遠隔操作機械の故障時対策

各機械の無線機故障や機械故障等の非常時対策として以下の段階に分けて、安全措置をとった。

レベル1．送信器故障

予備送信器に切り替える。

レベル2．車両側ラジ

コン装置の
故障

非常用無線装置を
搭載し、無人で脱
出する。

レベル3．車両本体の 故障

無線操作でパッテ
リーパワーパック
を稼働させ、故障
機械を牽引可能な
初期状態（ブレー
キ解放、作業装置
解放）にし、他の



写真-2 非常時脱出装置

牽引重機の連結装置（写真-2）で連結した後、牽引して脱出する。

4．施工支援システム

本工事において施工管理の効率化を図るため導入した施工支援システムを以下に述べる。

①出来形管理システム

施工場所を走行している移動カメラ車にプリズム（360度対応可能）、傾斜計、光ファイバージャイロ、インターフェイス、磁気方位角センサ、無線モデムを取付け、そのプリズムを自動追尾式トータルステーションで追尾させる。

自動追尾トータルステーションでは、測距・測角を行い、そのデータを管理用パーソナルコンピュータに送信する。また、移動カメラ車からは、傾斜計データおよび方位角データを無線モデムを介して管理用パーソナルコンピュータに送信する。管理用パーソナルコンピュータは、プリズムの三次元座標を角度データから地盤の3次元座標にリアルタイムで計算し、画面に表示すると共にファイルに保存する。そのデータより各種図面、管理帳票を作成する。出来形管理システムフローを図-2に示す。

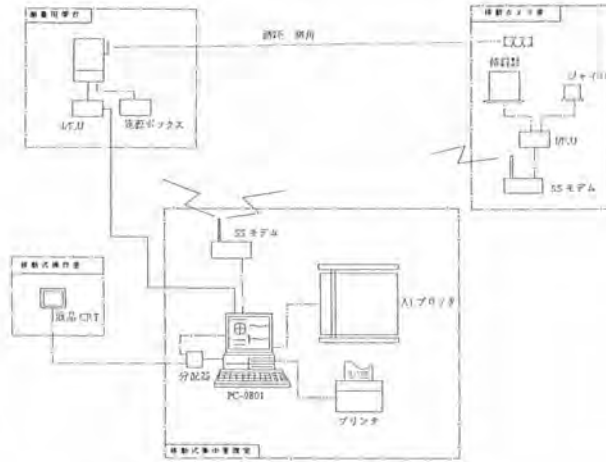


図-2 出来形管理システムフロー

②稼働管理システム

本システムは、遠隔操作のため重機の情報が得られないオペレータへの情報提供を行う。移動操作室に、エンジン回転数及び油温・水温等異常有無の表示を行い、それらをICカードに記録して、移動式集中管理室で重機稼働管理日報等の印字を行うことができるシステムである。

移動式操作室No. 1、No. 2に車輛情報伝達装置を設置し、各重機からの稼働データとそれぞれのタッチパネルで入力した手入力データを併せてICカードリーダー・ライターで記録・読み込みを行う。

作業終了後、収集したICカードを移動式集中管理室の管理用パーソナルコンピュータにて処理・集計・編集し、各種帳票類を印字する。稼働管理システムフローを図-3に示す。

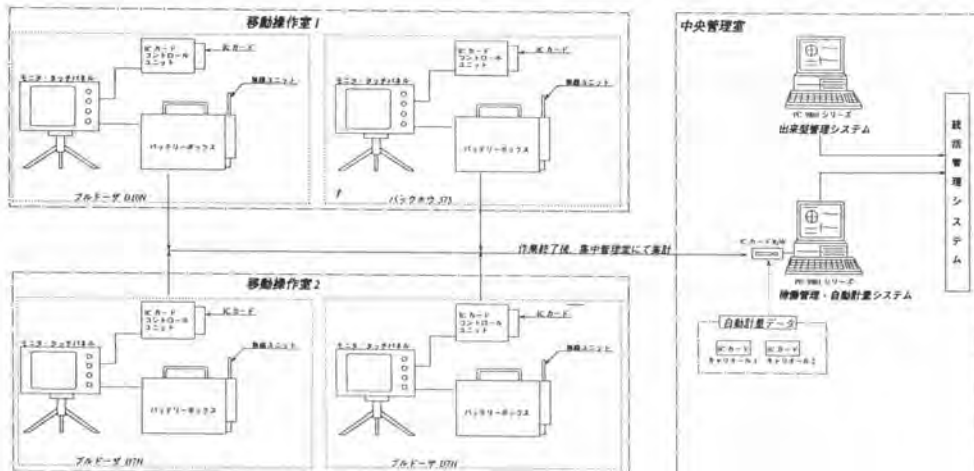


図-3 稼働管理システムフロー

③無人計量システム

無人計量システムは、運搬土量管理システムであり、キャリオールダンプのベッセルに歪計および近接スイッチを取り付けている。キャリオールダンプが無線操作区域（危険区域）を退出した時点でGPSで退出を概略判断し、工事用道路で自重に対する引張りと加速度との関係を計測し、計量条件を決定する。すなわち、計量するための引張りと加速度との影響を走行しながら、平均処理を実行開始し、一次仮置場へ入るまでの時点で処理されたデータをICカードに書き込む。無人計量システムフローを図-4に示す。

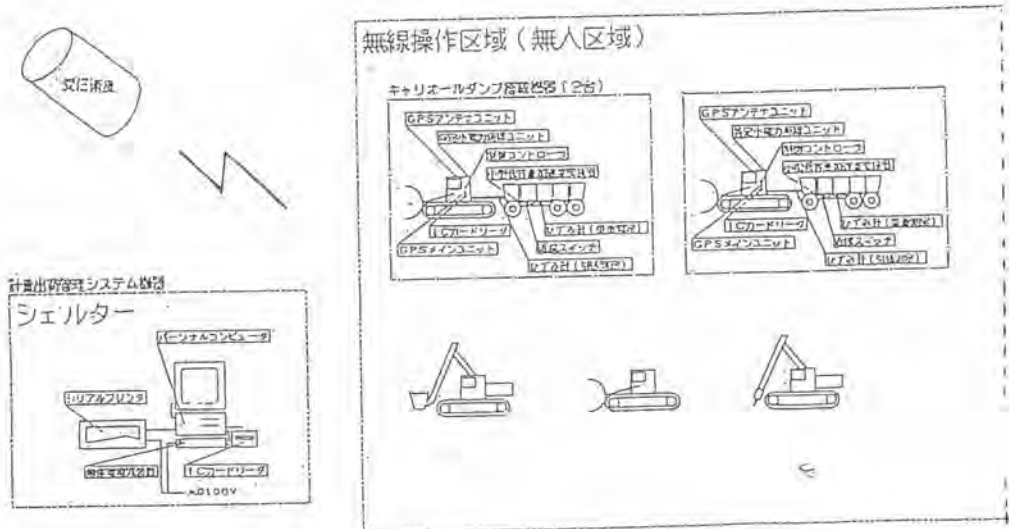


図-4 無人計量システムフロー

5. 施工管理システムの結果と課題

①出来形管理システム

フィールド内での測量実験を事前に行った結果、精度は±20mm以内に収まった。高精度に収まったが、以下の問題点及び課題が抽出された。

- ・ 使用した計測車が移動カメラ車であったため、ブルドーザのクローラの轍の影響を受け走行時かなりの傾斜となり、場合によっては停止するため、測量メッシュの一部に測量不能な位置が発生した。対策として計測車の大型化も考えられるが、計測方法として傾斜計による座標置換を行うため誤差が大きくなる等の問題が発生する。従って今後適正な大きさの重機械を計測車に選定する必要がある。
- ・ 光ファイバージャイロのオフセットとしての磁気方位センサは当初予想した通り地磁気の影響を受け計測できなかつたため、オフセットが規定位置でしかできなかつた。しかし、実際の計測においては光ファイバージャイロは計測中にオフセットの必要がなかつたため大きな問題とはならなかつた。

②無人計量システム

土捨場での有人計測に比較し、誤差範囲が5%に収束し非常に精度よく計測が行えた。精度よく計測が行えたが以下の問題点があった。

- ・ キャリオールダンプ積荷の状態が平均的でないため、ジャッキとヒンジ部およびブルドーザとのジョイント部に力が逃げる傾向がみられた。今後計測の精度を更に上げるため、ジョイント部にロードセルを入れる等の対策が必要である。
- ・ 土量計測は重量による管理としたが、システム内で自動的に容積に変換するためには土の見かけ比重の計測センサの開発が必要である。

③稼働管理システム

車輛情報装置からのデータがエンジン回転数、油温・水温等の警報および無線レベルが、稼働管理用タッチパネルに表示される。これらのデータを、ICカードに記録し最終的に稼働管理パーソナルコンピュータでデータを集計し稼働結果として印字される。当初の目論み通り各重機の稼働状況の把握を行うことができた。

本システムについては以下の問題点及び課題が上げられた。

- ・ 情報としての、油温・水温は警報表示ではなく、ゲージによる表示が望ましい。また、ブルドーザについては押土距離・前後進及びキャリオールダンプの走行距離情報が表示されれば、遠隔操作の場合の補助となり得る。
- ・ 採用したICカードは接触式であったため、1枚が使用不可能となった。今後、無人計量システムと同様に非接触式で行うべきである。

6. おわりに

今回の試験工事は人の立入りが禁止されている警戒区域内での掘削、積込み、小割り及び運搬の施工全般に及ぶ遠隔操作無人化技術の適用であり、既存技術の組合せ・応用の他に、施工法を加えた新たなシステム構築が求められた。

当社は、提案した「ラジコン遠隔操作による土石流堆石土砂の掘削及び搬出技術」の技術呼称のもと、ラジコン遠隔操作キャリオールダンプ方式で試験施工を行い、8月8日土石流に遭遇したが、特に問題もなく工期内に試験工事を完了することができた。

試験工事の実証技術によって、より安全、確実な無人化技術の確立を図ることができると確信すると共に、超遠隔操作無人化施工技術への展開が可能となったと考える。

末筆ながらご指導、ご協力を頂いた関係各位に深甚なる謝意を表します。