

■特集 建設のフロンティア

火山災害と無人化施工

三村 洋一・間野 実・森 利夫

建設業の中での本格的な無人化施工は、雲仙・普賢岳における火山災害復旧工事に初めて適用された。その後有珠山、三宅島といった民家に隣接する噴火災害にも無人化技術が適用されている。本報文では、火山災害と現状施工可能な無人化施工技術について説明する。また、国土交通省九州地方整備局九州技術事務所とフジタの共同開発技術である遠隔操縦ロボットとフジタの開発した無人化測量システムについて説明し、無人化施工の課題点と今後の展望について述べる。

キーワード：無人化施工，災害復旧，遠隔操縦，無人化測量，ロボット

1. はじめに

日本には、世界の活火山の約1割があり、世界有数の火山国で、活火山は86座ある。気象庁では、活動の盛んな浅間山、桜島などの19座の活火山について常時観測を行っている。

この現状において、無人化施工と呼ばれる遠隔操作付き建設機械による施工は、雲仙・普賢岳で行われた災害復旧工事で本格的に導入され、発展してきた。本報文では、現状施工可能な無人化施工技術、フジタが最近開発した無人化技術と今後の無人化施工の展望について述べる。

2. 火山災害と無人化施工の歴史

火山災害には、火山の噴火のタイプや周辺の地形にもよるが、噴火による噴石、溶岩流、火砕流、土石流などの災害発生がある。まず、過去に無人化施工が行われた火山災害とその施工の歴史について述べる。

(1) 雲仙・普賢岳

1990年に198年ぶりに活動を再開した雲仙・普賢岳は、火砕流、土石流による大きな災害をもたらした。

(a) 火砕流

高温の岩塊、火山灰、軽石などが高温のガスと混合し、それらが一体となって流れる現象である。流下速度が約100 km/hにも達する。平成3年6月に発生した火砕流は、43名もの尊い命を奪った。

(b) 土石流

噴火活動による多くの土砂が堆積し、堆積した土砂が降雨により土石流となる。雲仙・普賢岳の水無川流域では、家屋や田畑への被害も大きく、また、道路を寸断した。

火山災害の更なる拡大を防ぐため1994年に公募による試験フィールド制度にて、本格的な無人化施工が始まった。施工条件として、温度100°C、湿度100%、施工離隔距離100 mが挙げられた。

この水無川流域の試験施工において、特定小電力無線を中継する遠隔操縦方式で、2 km離れた距離からの建設機械を操作し施工を行った。

(2) 有珠山

有珠山は2000年に23年ぶりに噴火した。新火口が次々と出現して、熱泥流、噴石、火山灰により大きな被害をもたらした。また、地殻変動などにより道路が変状した。

ここで用いられた新たな無人化施工技術として、建設無線がある。この建設無線は、水無川の際に用いた無線が遠距離になると直接操作することができなくなるという問題を解決すべく特別な許可のもとで使用できる無線である。この無線により2 km程度の距離でも、建設機械を直接遠隔操作することができた。

(3) 三宅島

三宅島は2000年に17年ぶりに噴火した。大規模な噴火で大量の火山灰を降らせて、それと共に大量の火山ガスを噴出している。このため、全島民の避難が今も続いている。

火山ガスの主な成分は、水蒸気、炭酸ガス、亜硫酸ガス、硫化水素、塩化水素などである。三宅島では、有毒

性の亜硫酸ガスの噴出が続いている。

現在、災害復旧工事が無人化施工で行われている。ここでは、火山ガスの危険性からオペレータの身を守るため、遠隔操縦室自体を亜硫酸ガス対策を施したクリーンルームとしている。

3. 無人化施工可能工種

これまで、火山災害の災害復旧を含む無人化施工に様々な無人化施工技術が用いられているが、現状で無人化施工可能な工種は、除石工、撤去工、コンクリート工、型枠工、導流堤構築工などの実績がある。以下にこの概要を述べる。

(1) 除石工

火山災害では、噴火活動による土砂の堆積による土石流災害が発生しやすく、1994年水無川の試験フィールド制度で、バックホウ、ブレイカ付きバックホウ、ホイールダンプ、クローラダンプ、ブルドーザなどを遠隔操作し、火砕流および土石流の危険性のある地域で、大規模な遊砂地等の除去工事を施工した。

(2) 撤去工

水無川では、破碎機で、作業上支障となる小屋の撤去作業を行った。

有珠山の西山川では、町道橋のこびら橋が流路を塞いだため早急に撤去する必要に迫られた。そこで、ブレイカ付きバックホウと油圧破碎機で切断破碎、バックホウでクローラダンプに積込み運搬した。

(3) 構造物の施工

(a) RCC工法

水無川では、砂防堰堤の越流部をRCC (Roller Compacted Concrete) による土砂型枠を使用した無人化施工を行った。

貧配合のコンクリートを有人地域で製造し、無人のダンプトラックで運搬し、無人ブルドーザで敷均し、無人振動ローラで締固めた。また、工事の伴う施工管理では、GPSを利用した3次元情報を基にした撒出し厚、転圧、掘削高さなどを管理した。

水無2号砂防堰堤では、土砂型枠の代わりに副堤と本堤の一部にコンクリートブロックを積んで型枠代わりとして施工した。

(b) 大型土のうの設置

大型土のうは、崩落箇所の緩衝材や、押え盛土、土留部材や構造物の端部処理、コンクリート型枠、道流堤な

どの仮設的に用いられている。

土のうは、クレーン仕様のバックホウに自動玉外し装置などを取付けて施工する。玉掛け作業は、無人では難しく、有人区域で行うか玉掛け部に工夫が必要になる。

(c) コンクリートブロックの設置

大型コンクリートブロックの2次製品を積上げて擁壁や導流堤などを施工することも行われている。無人で施工されるコンクリートブロックは、機械での把持および吊り下げが容易な形状になっていること、安定性に優れていること、機械で取扱える重量になっていることなどが必要である。機械は、コンクリート運搬用機械と把持装置を取付けたバックホウになる。

(4) その他の無人化施工

(a) 高流動コンクリート

有人区域にコンクリートポンプを設置して、無人化施工区域内の砂防ダムを高流動コンクリートに施工する方法が行われている。

(b) クレーン

有人区域にクレーン車を設置して、土のうやブロックなどを無人化施工区域内にセットする方法も行われている。

4. 遠隔操縦ロボット

無人化施工による災害復旧工事の施工実績が増えているが、遠隔操縦用の建設機械は、大型で被災地への輸送には、機械の解体、組立てが必要であり、緊急時の早急な対応ができない等の問題があった。

そこで、汎用の建設機械に簡単に着脱可能なコンパクトタイプの遠隔操縦ロボットを国土交通省九州地方整備局九州技術事務所とフジタで共同開発・製作した。製作した遠隔操縦ロボットには、バックホウ用とブルドーザ用がある。それぞれの概要を以下に述べる。

(1) バックホウ用

汎用のバックホウの遠隔操縦ロボットは、

- ① 運転席に組立・装着する7つのユニット (図—1参照)、
- ② バックホウの屋根に装着する受信装置や表示灯、
- ③ 装置の動力源となるサプライユニット (エンジンコンプレッサ)、
- ④ 遠隔操縦用の携帯ユニット、
- ⑤ モニタリングユニット、

で構成されている。

バックホウに付いている2本の操作レバーおよび2本

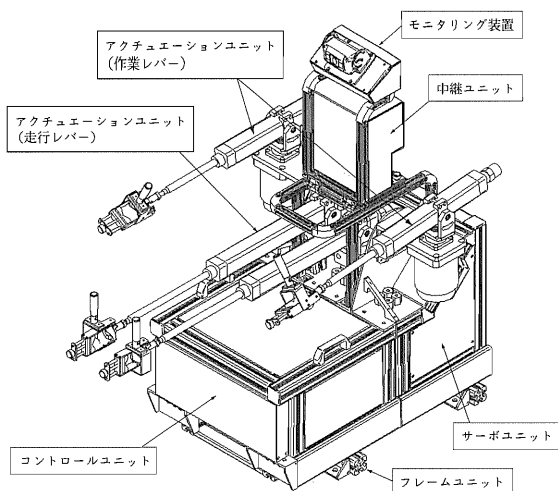


図-1 バックホウ用遠隔操縦ロボット外観図

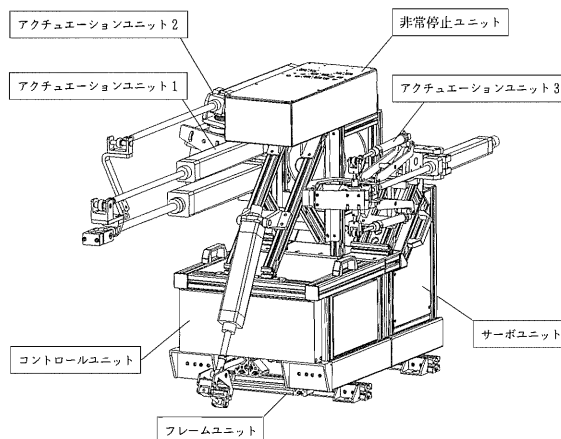


図-2 ブルドーザ用遠隔操縦ロボット外観図

表-1 遠隔操縦ロボット（バックホウ用）諸元

項目	内容
取付け人員	2～3名
取付け時間	3時間程度
寸法	W 620 mm × D 1,100 mm × H 1,040 mm
重量	180 kg
ユニット数	10個
無線方式	特定小電力無線

表-2 遠隔操縦ロボット（ブルドーザ用）諸元

項目	内容
取付人員	2～3名
取付時間	3時間程度
寸法	W 1,000 × D 1,600 × H 1,100 mm
重量	260 kg
ユニット数	11個
無線方式	特定小電力無線

の走行レバーを操作する空圧のアクチュエータを遠隔で操作し、バックホウを間接的に動かせる装置である。複数のメーカーや機種に対応、調整できるように工夫してある。表-1にバックホウ用の遠隔操縦ロボットの諸元を示す。

(2) ブルドーザ用

バックホウ用を改造し、ブルドーザの燃料調整およびブレーキペダルの保持ができる空圧アクチュエータ、ブルドーザのブレード操作レバーを保持できる空圧アクチュエータ、操向レバーを保持できるアクチュエータなどを組込んで、ブルドーザ用も製作した(図-2参照)。ブルドーザは、各メーカーおよび機種ごとに運転・操作方法が違っている。このため、開発した機種以外に装着することはできないが、汎用のブルドーザを簡単に無人化することができる。表-2にブルドーザ用の遠隔操縦ロボットの諸元を示す。

5. 無人化測量システム

無人化施工の作業の中で、測量・検査や散水養生および清掃等の作業については、当初無人化は難しい状況であった。これらの作業の中で測量・検査についてフジタは技術開発を行った。以下にその概要を述べる。

(1) システムの構成

本システムは、

- ① マーキング機構搭載重機、
- ② トータルステーションシステム、
- ③ 制御ユニット、

の3つの部分で構成されている。図-3にシステムの構成図を示す。

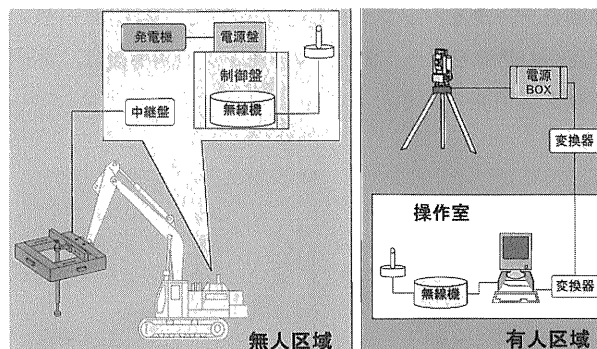


図-3 無人化測量システム構成図

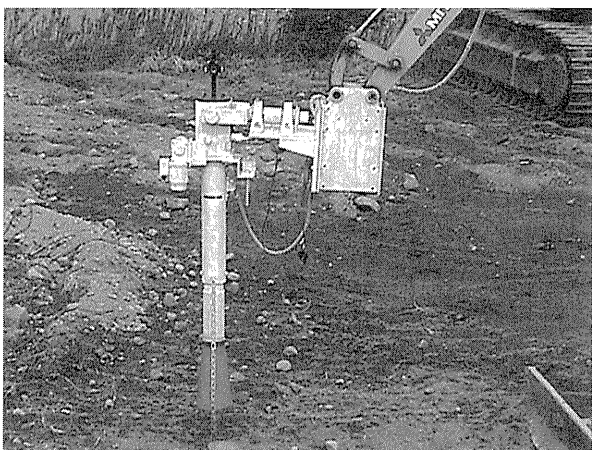
トータルステーションシステムは、マーキング機構に取付けられたプリズムを自動追尾することで、目標マーキング点への誘導を行うシステムである。

本システムは、無線による測定命令とデータ取得機能により遠隔操作が可能であり、また、重機旋回時にアー

ム等でプリズムが隠れた場合でも自動でプリズムのサーチを行うため、危険な環境下での無人測量が可能となっている。

(2) 測量マーキング機構 1号機 (写真—1 参照)

測量マーキング機構 1号機は、無人バックホウのアタッチメント部分にマーキング機構を取付けた重機である。制御盤や発電機は重機後方に搭載されている。マーキング機構の上部に測量用プリズムが付いており、重力による鉛直保持で、その下部の位置を常時測量することができる。

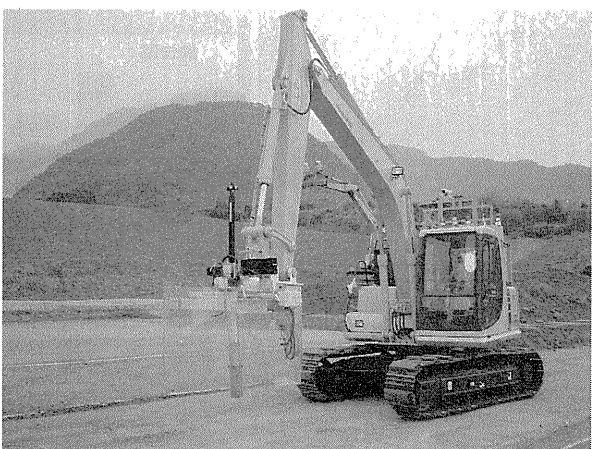


写真—1 測量マーキング機構 1号機

(3) 測量マーキング機構 2号機 (写真—2 参照)

マーキング機構 2号機では、測量精度の向上と測量時間の短縮を図るため、マーキング機構に微小位置決め操作が可能な XY テーブル機構を付加した。

制御ユニットは、トータルステーションシステムからの測量データをパソコン画面上表示させ、目標マーキング点への誘導を行う。また、マーキング点誘導後は、マーキングが可能である。



写真—2 測量マーキング機構 2号機

6. 無人化施工の展望

無人化施工は、近年の火山災害復旧工事対応として発展してきた。これまで述べてきた無人化施工の歴史と開発技術を踏まえて、以下に無人化施工の展望について述べる。

(1) 施工方法

現状施工可能な無人化機械は、バックホウ、ブルドーザ、クローラダンプ、振動ローラ、クローラドリルなどがある。これらを組合わせた無人化工法が今後も発展していくものと思われる。

遠隔操作できる機械の種類を増やすには、研究開発しなければならないことが多く、当面は、バックホウのアタッチメントなどに工夫する方向で進んでいくと思われる。

また、新たな無人化施工の機械として、ラフタークレーンの無人化⁸⁾への試みやコンクリートポンプの無人化への試みが始まっている。

(2) 視覚の情報

雲仙の試験施工を通して、遠距離無人化施工の場合には、画像による視覚情報の支援が必要であり、施工範囲の広範な情報、操作対象近傍情報などの映像情報が必要なることが分かった。

しかし、無人化施工では、効率および施工精度が落ちる。この原因として、

- ① 搭乗時と同じ視点の映像が見えない。
- ② カメラが人間と同じように首を振ったり、視点をずらしたりできない。
- ③ カメラの解像度が低く奥行きが分かりにくい。
- ④ バケット刃先などが見えない。
- ⑤ 映像にタイムラグがある。
- ⑥ 長時間作業すると、疲労する。

などが挙げられる。

今後は、これらを解決すべく視覚情報の高度化およびより臨場感のあるオペレーションシステムの開発が期待される。

(3) 無線

遠隔操作には、設営、操作性などの点から、有線より無線の方が有利である。しかし、現状、見通しの利かない場所での無線技術の使用や複数台での使用を行う場合に台数制限があるなどの無線上の課題を有している。

無線上の課題を解決することは、無人化施工を進める

うえで非常に重要な技術となる。これを解決すべく統合化デジタル無線の研究などが行われている⁹⁾。

(4) これからの技術

今後は、各機械が知能を持って自律的に稼働するような自律制御や複数の機械が共同で作業を行う協調制御などの技術が発展し、より高度な無人化施工の技術が発展することが期待される。

また、画期的な試みとして、人間型のロボットが、建設機械に搭乗運転する研究もされており、今後の発展が期待されている¹⁰⁾。

7. おわりに

水無川流域での導入から、無人化施工技術は火山災害と共に実用的な技術として発展してきた。今後も、展望に述べたような技術開発を推進し、無人化施工および工法の発展を通して、豊かで安全な社会の実現に貢献できればと願う。

J C M A

《参考文献》

- 1) 国土交通省のホームページ (<http://www.mlit.go.jp/>)
- 2) 国土交通省九州地方整備局九州技術事務所のホームページ (<http://www.qsr.mlit.go.jp/kyugi/>)
- 3) 千葉達郎さんのホームページ (<http://www.geo.chs.nihon-u.ac.jp/tchiba/chibaj.html>)

- 4) 国土交通省雲仙復興工事事務所のホームページ (<http://www.qsr.mlit.go.jp/unzen/>)
- 5) 建設グラフ 2000年9月号 (<http://www.jiti.co.jp/graph/toku/usu/usu2-1.htm>)
- 6) 東京都地質調査会のホームページ (<http://www.tokyo-geo.or.jp/>)
- 7) 第18回建設用ロボットに関する技術講習会 (社)土木学会
- 8) 国土交通省北陸地方整備局のホームページ (<http://www.hrr.mlit.go.jp/press/2002/1406/13kanazawa.html>)
- 9) 小笠原 保・持丸修一：統合型デジタル無線を利用した遠隔操縦システム、建設の機械化、2002年3月号, No.625, p.55
- 10) 独立行政法人産業総合研究所知能システム部門のホームページ (<http://www.aist.go.jp/>)

【筆者紹介】

三村 洋一 (みむら よういち)
株式会社フジタ
土木本部
土木統括部
機械部

間野 実 (まの みのる)
株式会社フジタ
土木本部
土木統括部
機械部

森 利夫 (もり としお)
株式会社フジタ
土木本部
土木統括部
機械部

大深度地下空間を拓く建設機械と施工技術

最近の大深度空間施工技術について取りまとめました。主な内容は鉛直掘削工、単円水平掘削工、複心円水平掘削工、曲線掘削工等実施例を解説、分類、整理したものです。工事の調査、計画、施工管理にご利用ください。

頒 価 2,310円(本体価格2,200円) 送料500円
申 込 先 本部：FAX.03-3432-0289

社団法人 日本建設機械化協会

東京都港区芝公園3-5-8(機械振興会館) TEL03-3433-1501 FAX03-3432-0289