

遠隔操縦ロボット(ロボQ)を搭載した建設機械による 災害復旧の出動事例

木村直紀・牧野千代春

平成2年に発生した雲仙・普賢岳の噴火による堆積土砂の排出を契機に、日本における建設機械の遠隔操縦技術は飛躍的に発展した。しかし、これらの建設機械は遠隔操縦専用で数が少ないうえ、大型のため緊急時に早急な対応ができない等の問題がある。このため、国土交通省九州地方整備局九州技術事務所では、株式会社フジタとの共同開発により災害復旧作業における初動体制の迅速化を図る事を目的に、汎用の建設機械に現地で簡単に着脱できる遠隔操縦ロボットの開発を行った。

本報文では、これまでに数度にわたり実際の災害復旧に使用したので、その概要を紹介するものである。

キーワード：遠隔操縦機械，建設ロボット，災害復旧，安全・迅速

1. はじめに

平成2年11月の長崎県雲仙・普賢岳の噴火に伴い、水無川一帯には大量の土石が流出・堆積した。このため、国土交通省九州地方整備局では平成5年に堆積した土石を緊急的に除去する工事において、まだ火砕流発生危険性があることから、試験フィールド制度により大規模土工に遠隔操縦型大型建設機械を用いた無人化施工の試験施工が行われた。

こうした中、各地で頻発する土石流災害や土砂崩落事故等にこれらの遠隔操縦建設機械の適用が検討された。しかし、数が少ないうえに大型のため被災地への輸送に機械の解体・組立てが必要であり、緊急時に早急な対応ができない等の問題から断念せざるを得なかった。

これらを背景に、九州地方整備局九州技術事務所では、危険区域内作業の無人化及び災害復旧作業における初動体制の迅速化を図ることを目的に、汎用の建設機械に現地で簡単に着脱できるコンパクトタイプの遠隔操縦ロボット（以下、ロボQと略す）を開発した。

ロボQは、平成10年度にバックホウ用を開発し、続いて平成12年にブルドーザ用、平成16年に不整地運搬車用を開発した。これにより、災害現場での危険作業において掘削、積込み、運搬、整地の一連の土工作業が可能となった。

ロボQはこれまでに、全国にバックホウ用が9台（うち九州技術事務所に3台）、ブルドーザ用と不整地

運搬車用がそれぞれ1台（九州技術事務所）が配備されている。九州技術事務所所有のロボQは、これまでに土砂災害現場を中心に5回出動し、土砂崩落の危険がある中での崩落土砂の除去作業等を行った。

2. ロボQの概要

(1) ロボQの特徴

ロボQは必要なとき、必要な場所で汎用の建設機械の運転席に取付けることにより、遠隔操縦を可能にし、安全な場所から作業できるロボット技術である。ロボQの特徴は、次のとおりである。

- ①汎用建設機械の改造が不要で、現場で着脱が可能
 - ・遠隔操縦方式は、一般的な油圧比例弁方式では工場での改造が必要なことから、建設機械の操作レバーをロボットで直接動かす操作レバー駆動方式を採用している。
 - ・操作室内の運転席を取外し、そのスペースにロボQを装着する方式（写真-1）とし、建設機械本体の改造を必要としない。
- ②短時間で建設機械への着脱が可能
 - ・ロボQを8つのユニットに分割し（写真-2）、持ち運びが容易なサイズとし、簡便に被災地まで運搬可能である。
 - ・ロボQの動力には空気圧方式を採用し、簡素化、軽量化を図っている。
 - ・ロボQの取付けは、ボルト締め及び配管配線の接続のみとし、特殊な工具等は不要なため、短時間で

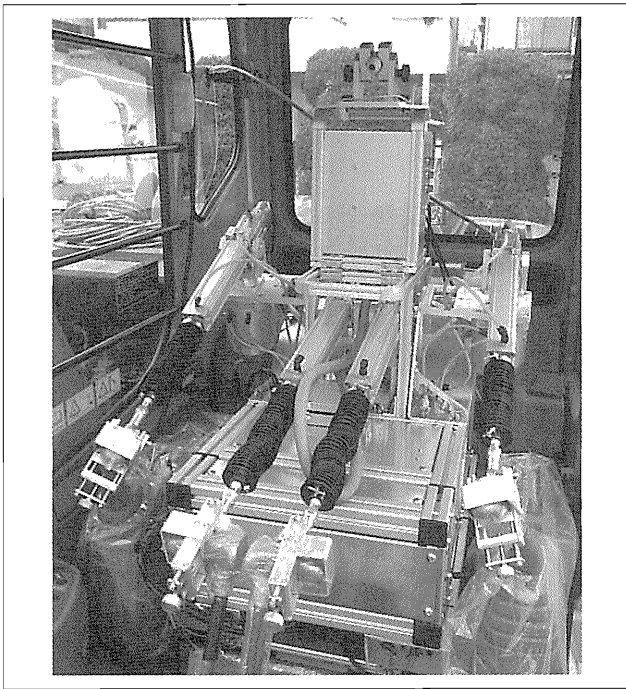


写真-1 バックホウ運転席に取付けたロボ Q



写真-2 ロボ Q 装置分割状況 (写真はブルドーザ用)

建設機械への着脱が可能である。

③操作には特殊な免許が不要

- ・遠隔操縦用無線には特定小電力無線を、また、映像用無線にはSS無線を採用することによって、操作に特殊な免許は不要であり、建設機械の操作資格のみで遠隔操縦が可能である。

④150 m 以上離れたところから操作可能

- ・特定小電力無線及びロボ Q 本体にカメラを搭載したモニタリング装置により、150 m 以上離れたところからでも操作が可能である。

⑤多くの機種に対応可能

- ・バックホウ用については、各メーカーとも操作方式が統一されているため、多くの機種に対応可能である (一部機械を除く)。

- ・ただし、ブルドーザ用と不整地運搬車用については、操作方式が統一されておらず全国シェアの一番多い機種を対象としている。

(2) ロボ Q の構成

ロボ Q は、図-1 に示すようにフレームユニット、コントロールユニット、サーボユニット、アクチュエーションユニット (走行レバー用、作業レバー用)、中継ユニット、モニタリングユニットの 7 ユニット及びサプライユニットから構成される。各ユニットは運転席を取外した後、順次組立てられる。

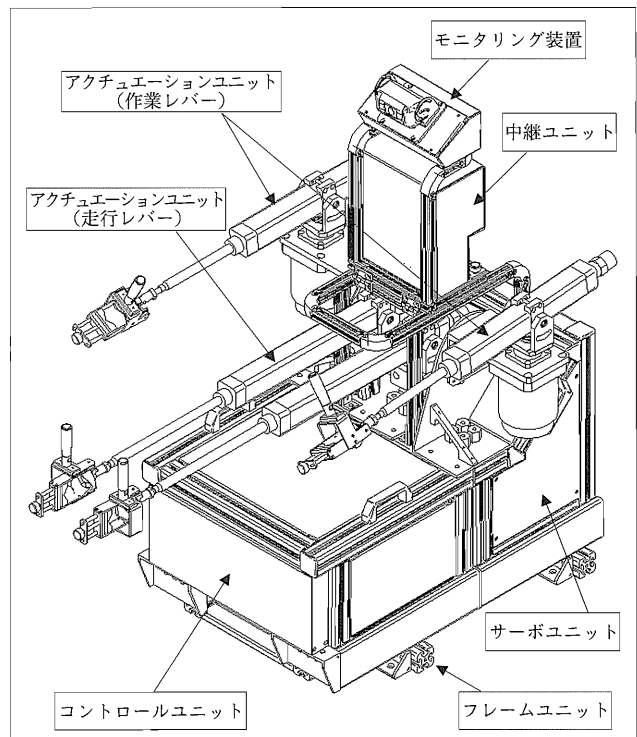


図-1 各ユニットに分解された格納ロボ Q

アクチュエーションユニットは、走行レバー用と作業レバー用があり、それぞれバックホウの走行レバーと作業レバーに固定され、遠隔操縦により空気圧でそれぞれの操作レバーを直接動かす。

サプライユニットは、アクチュエーションユニットの動力源である空気圧を供給するエンジンコンプレッサで、バックホウ本体に取付けられる。

ロボ Q 頭部に取付けられたカメラより撮影された映像は、映像伝送装置 (モニタリングユニット) によりオペレータまで伝送される。

伝送された映像は、オペレータのヘッドマウントディスプレイで、臨場感溢れる視聴覚映像が得られ、携帯型操縦装置のジョイスティックを操作することによりロボ Q を操作する (写真-3)。

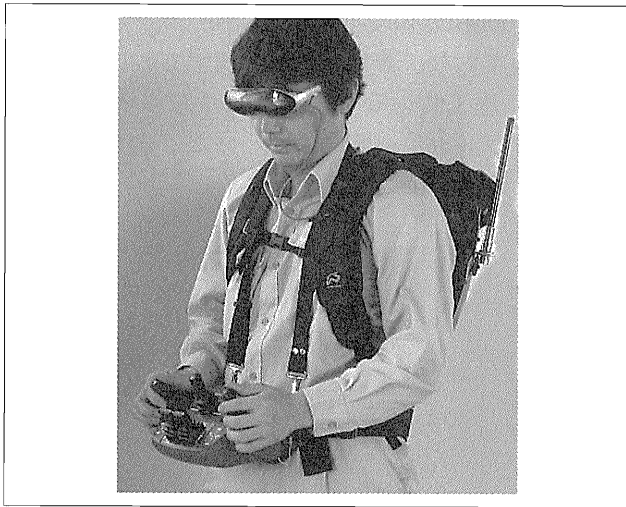


写真-3 ヘッドマウントディスプレイ装着状況

ロボ Q (バックホウ用) の諸元を表-1 に示す。

表-1 ロボ Q (バックホウ用) の諸元

項 目	内 容	
取付け調整員	2~3名	
取付け時間	3時間程度	
収納ケース数	大(6), 小(1) コンプレッサ(1)	
総重量	約180kg	
組立て外形寸法	幅	620mm
	奥行き	1,100mm
	高さ	1,040mm
主なアクチュエータ	空気圧シリンダ	
無線方式	特定小電力無線(制御用) SS無線(映像用)	
遠隔操作距離	150m(無線の使用環境による)	

4. 災害復旧等の出動事例

ロボ Q は、これまでに5件の出動実績となっているが本報文では、そのうちの4件をここに紹介する。

(1) 大分県朝見川土砂災害

(a) 現地被災状況

平成12年5月に大分県朝見川右岸の斜面が高さ20m、幅20m、深さ5m、体積約2,000m³が崩壊し、うち500m³の土砂が延長約25mにわたって河道内を閉塞していた(写真-4)。

崩壊面が垂直で、クラックが確認されることから、2次災害の恐れがあり有人施工が極めて危険な状況であった。そこで、大分県からの要請によりロボ Q (バックホウ用) の出動となった。

(b) ロボ Q (バックホウ用) 稼働状況

平成12年5月31日に九州技術事務所を出発、雨天



写真-4 現地被災状況

の中、約3時間で大分県別府土木事務所へ到着した。到着後、現場状況の説明を受けたのち、ロボ Q 概要説明等の打合せを行い、現地へ急行した。

現地到着後は雨天のため、運搬してきた作業車をバックホウに横付けし、ブルーシートをかけるなど、作業環境を整え装着作業を開始し、2時間15分で装着を完了し、試運転を行った。

6月1日より本格的にロボ Q による復旧作業が開始され、6月12日にロボ Q での災害復旧作業は終了した(写真-5)。



写真-5 稼働状況

(2) 鹿児島県桜島野尻川4号ダム土石流処理

(a) 現地被災状況

国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所が管理している野尻川は、活火山である桜島山麓の河川であり、毎年降雨により土石流が頻発している。

また、その土石流により砂防ダムに堆積した土石は有人作業にて搬出作業を行っており、再度土石流が発

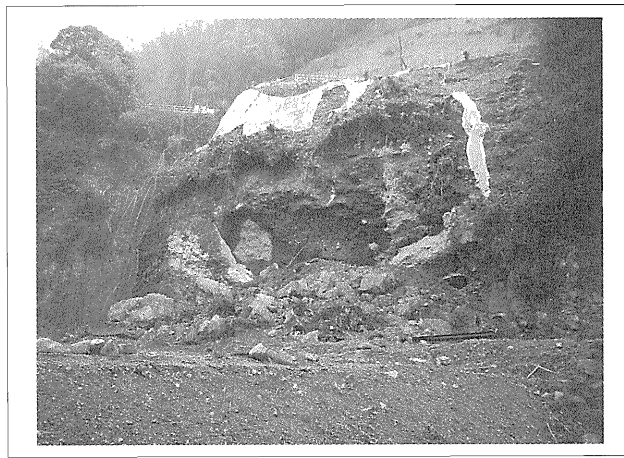
生した場合、非常に危険な現場となっている。

そこで、平成14年10月、大隅河川国道事務所からの要請により、野尻川4号ダム（スクリーンダム）上に堆積した土石の除去にロボQ（バックホウ用）が使用された（写真—6、写真—7）。



写真—6 施工現場全景

現場は、固結度の弱い岩等がオーバーハング気味の形状となっており、非常に危険な状態であり工法の検討の結果、施工時の安全性の確保からロボQ（バックホウ用、ブルドーザ用各1台）による施工を行った（写真—8、写真—9）。



写真—8 現地被災状況



写真—7 施工状況



写真—9 施工状況

(b) ロボQ（バックホウ用）稼働状況

平成14年10月21日に九州技術事務所より装置を現地へ運搬し、開発企業の技術者の指導のもと、現地企業の技術者により取付けを行った。取付け経験のない技術者だったが、2時間程度で完了した。

10月22日より実作業開始。延べ16時間の施工時間で約860 m³の土石を遠隔操縦にて安全に撤去した。

(3) 耶馬溪ダム竹ノ弦地区法面補修

(a) 現地被災状況

国土交通省山国川河川事務所では、平成15年7月の降雨による耶馬溪ダム貯水池管理用道路の法面崩落が発生し、現場上部にある県道の安全確保及び貯水池保全のための法面对策が必要な事態となった。

(b) ロボQ（バックホウ、ブルドーザ用）稼働状況

工事は、平成16年3月から5月の間にバックホウ用ロボQが22日間（延べ124時間）、ブルドーザ用ロボQが19日間（延べ90時間）、掘削約1,700 m³、盛土約9,000 m³、盛土法面整形2,300 m²の施工を安全に施工することができた。

(4) 沖縄県中城村土砂災害

(a) 現地被災状況

平成18年6月、沖縄県中城村では、梅雨前線による長雨の影響により山の斜面が幅約200 m、延長約150 mにわたる土砂崩れが発生した。移動土塊の末端は、斜面下方の集落に迫る状況となり、斜面上・下方の集落の62世帯に避難指示、53世帯に避難勧告が出

され公民館などで避難生活をするという事態となった。このため、一日も早い復旧と2次災害防止のため沖縄総合事務局から九州地方整備局への要請により、ロボQ（バックホウ用3台）の出動となった（写真—10）。

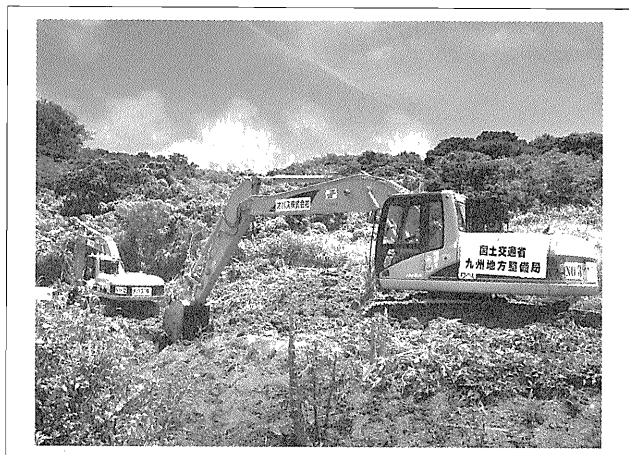


写真—10 現地被災状況（写真提供：沖縄総合事務局）

（b）ロボQ（バックホウ用3台）稼働状況

現場の土砂は、多量の水分を含み、崩れやすい状態となっており、泥流監視のワイヤセンサ及び土塊の動きを監視する伸縮計の設置等による監視体制を強化（沖縄総合事務局施工）する一方、ロボQ3台により土砂から水を抜くための排水路の設置及び工事用道路の施工が行われた。

九州技術事務所では、平成18年6月16日に九州地方整備局災害対策本部からの命令を受け、直ちに、派遣要員（技術員等6名）、機器輸送船舶（フェリー）の手配等の準備を行い、翌17日出動前点検後、鹿児島港まで陸送、17日24時発のフェリーで沖縄へと向かった。



写真—11 施工状況

18日、17:00 沖縄港に到着後、ロボQ概要説明、現場状況説明、施工内容・工程等の打合せを行い翌19日にロボQ3台の組立て、試運転を行った。

翌20日からは、本格的施工が開始され、6月24日までに仮設道路延べ260m、排水路延べ295mの施工を完了し、ロボQでの災害復旧作業は終了した（写真—11）。

4. おわりに

今回紹介したロボQは、建設機械本体の改造を行わずに遠隔操縦が可能となるロボットアーム方式を採用し、取付けや持ち運びやすさ等を考えユニット化を図ったものである。またロボQは、短時間で簡単に装着できるため、災害発生に対し迅速な対応が可能である。さらに、無線により離れた場所から操作することで、作業の安全性が確保できる。バックホウ用ロボQを中心に数度にわたる災害現場への出動から、復旧作業における過酷な作業条件の中、大きな故障もせず、無事故で安全に作業が完了することができ、開発の当初の目的を果たすことが証明された。

今後は、無線方式を特定小電力無線やSS無線から最近一般的になってきた無線LANを採用し、複数の建設機械の遠隔操縦での混信防止や数km離れたところからの操縦を可能としたい。特に、不整地運搬車で掘削土砂を運搬する場合、これまでの200～300mの距離から数kmの距離を運搬可能となり、その適用範囲が大幅に拡大するものと期待する。

さらに、バックホウ以外にブルドーザへの装置の応用や災害復旧作業に限らず危険で過酷な工事を対象とする他分野の利用を検討していきたい。

JICMA

【筆者紹介】

木村 直紀（きむら なおき）
国土交通省
九州地方整備局
九州技術事務所
副所長



牧野 千代春（まきの ちよはる）
国土交通省
九州地方整備局
九州技術事務所
機械課長

