

# 災害復旧におけるロボット技術

藤 岡 晃・小 幡 克 実・三 村 洋 一

災害復旧用ロボットの代表的なもののひとつとして遠隔操縦ロボット（ロボQ）がある。ロボットそのものを建設機械に装着することにより、建設機械を遠隔操縦化する技術である。

国土交通省四国地方整備局で平成18年度に公募された四国テーマ設定技術募集（災害対応技術）に応募、採用され、ロボQによる試験施工を実施したので、試験施工の概要、施工能力確認試験、精度確認試験等について紹介する。

キーワード：ロボット，災害復旧，無人化施工，無線，災害対応技術

## 1. はじめに

近年日本各地では、集中豪雨による土砂崩れや洪水、地震に伴う山崩れ等、様々な災害が発生し、住民に大きな被害を及ぼしている。このような災害が発生した場合、人々の日常生活をとり戻すため、一刻も早い復旧作業を行う必要がある。復旧作業を行う際には、二次災害を防止しながら実施しなければならない。

こうした課題を解決するために、ロボットを用いて災害復旧を実施することが考えられる。ロボットは、医療・福祉、製造、建設、エンターテイメント等、様々な分野で開発が進められているが、建設の土木分野では、災害復旧用のロボット以外に、セグメント自動組み立てロボット、コンクリートの敷き均しロボット、インフラ施設の保守点検ロボット等がある。

災害復旧用ロボットの代表的なもののひとつとして遠隔操縦ロボット（ロボQ）がある。ロボットそのものを建設機械に装着することにより、建設機械を遠隔操縦化する技術である。また、ロボット以外の災害復旧の技術としては、雲仙普賢岳等において災害復興の一環として行われた無人化施工がある。無人化施工も広義な意味で全体のシステムがロボットといえる。

本稿は、災害復旧に用いられている無人化施工の実績ある工種と、災害復旧用のロボットである遠隔操縦ロボット（ロボQ）の概要、及びその試験施工を紹介する。

## 2. 無人化施工

### (1) 技術の概要

無人化施工は、無線制御システムやカメラを有するバックホウやブルドーザ等の建設機械を、遠く離れた安全な場所（例えば遠隔操作室、写真—1）からカメラ映像を見ながら遠隔操作することにより、災害復旧における土工、コンクリート打設、無人測量等を行う技術である。無人化施工における災害復旧工事は、2種に大別される。災害発生直後の被害を二次災害を防止しつつ、最小限に抑えるために行う緊急災害復旧工事と、災害がある程度沈静化した後に比較的長期間にわたり本格的に行う復旧工事に分けられる。前者は、何よりも早く工事にとりかかることが重要であり、後者は、多くの建設機械を長期間にわたり稼働させる必



写真—1 遠隔操作室における操作

要がある。

## (2) 実績

無人化施工は、雲仙普賢岳や有珠山等における多くの施工の中でシステム化・洗練化され、現在では幅広い工種に対応が可能となっている<sup>1)</sup>。

### (a) 除石

除石工事とは、火砕流や土石流の発生により、下流に堆積した巨石や流木を含む土石等堆積物の除去作業である。人が立ち入ることができない危険区域での除石は、安全な場所に設置された遠隔操作室から、無人バックホウ、無人ブルドーザ、無人ホイールダンプ等の遠隔操縦専用の建設機械を集中的に管理しながら遠隔操作することにより、掘削・積込み・運搬の一連の作業を実施する総合的な無人土工システムで行う。雲仙普賢岳の除石工事における施工状況を写真—2に示す。このシステムの特徴を以下に示す。



写真—2 除石状況

- ① 施工箇所から2～3 km離れた安全な場所にある遠隔操作室から遠隔操縦ができる。
- ② VR（ヴァーチャルリアリティー）技術を駆使し、臨場感をもたせて作業効率の向上を図る。
- ③ 無人測量システムによるリアルタイムな施工管理および出来形・出来高管理が可能である。
- ④ 重機双方向制御システムにより、重機のトラブルを防止し、安定した遠隔操作が可能である。

### (b) コンクリート砂防堰堤

コンクリート砂防堰堤の構築は、写真—3に示すように1リフト0.5 mで両側に土砂を盛り立て（土砂型枠）、その間にRCC（Roller Compacted Concrete）を打設、これを計画高さまで順次繰り返す施工法が一般的である。RCCは無人ダンプトラックで運搬、無人ブルドーザにより敷き均し、無人振動ローラにより

締め固める。RCCの敷き均し厚さや転圧回数は、GPSを利用して管理する。



写真—3 RCC(Roller Compacted Concrete)の敷き均し及び転圧状況

一方、写真—4に示すようにプレキャストコンクリートブロックを本体兼用の型枠として積み上げ、背面に順次コンクリートを打設することにより砂防堰堤を築造する施工法がある。背面のコンクリートはRCCと有スランプコンクリートを打設する。ブロック背面は付着強度を確保するために、有スランプコンクリートを使用している。プレキャストコンクリートブロックを使用することにより、土砂型枠としての盛土量を大幅に低減することが可能であり、工程・コスト縮減が可能となる。



写真—4 プレキャストコンクリートブロック据付け

### (c) 鋼製スリット砂防堰堤

鋼製スリット砂防堰堤の構築は、RCCを使用した砂防堰堤構築技術に加え、1基当たり約15トンの重量物である鋼製スリットを精度良く据付けるとともに、基礎コンクリートとして高流動コンクリートを打

設することが必要になる。

1) 鋼製スリットの無人運搬および無人据付け

転倒・落下防止装置を装備した専用架台を搭載した無人ダンプトラックが鋼製スリットを運搬する。次に写真—5に示すように鋼製スリットの把持・開放および水平方向の回転および微調整が可能な把持装置をアタッチメントとした3.5 m<sup>3</sup>級無人バックホウが鋼製スリットを据付ける。



写真—5 微調整機能のある把持装置を装備した無人バックホウによる鋼製スリットの据付け

2) 鋼製スリット基礎コンクリートにおける高流動コンクリートの無人運搬および無人打設

鋼製スリットの据付け後に打設する基礎コンクリートに、自己充填性・平坦性に優れた高流動コンクリートを採用する。コンクリートの材料分離に考慮した、アジテーター機能を有するタンクを搭載した無人コンクリート運搬車による運搬後、写真—6に示すように無人ポンプ車による高流動コンクリートの打設を行う。



写真—6 アジテーター機能を具備した無人コンクリート運搬車と無人ポンプ車による高流動コンクリート打設

3. 遠隔操縦ロボット

(1) 遠隔操縦ロボットの必要性

建設機械を安全な場所から遠隔操作する場合、工場で建設機械に無線を取り付け、建設機械そのものを改良して遠隔操縦化する場合と、建設機械は改良せずにロボットを運転席に搭載してロボットを遠隔操作することにより建設機械を遠隔操縦化する場合が考えられる。表—1に両者の比較表を示す。

表—1 遠隔操縦ロボットと遠隔操縦専用建設機械における緊急性への対応等の比較

項目	遠隔操縦ロボット (ロボQ)	遠隔操縦専用の建設機械
概要	建設機械は改良せずに、ロボットを運転席に搭載して遠隔操縦化	建設機械に無線システムを取り付け、建設機械そのものを改良して遠隔操縦化
遠隔操縦化の容易性	現場で容易に可能	工場での改良が必要
市場性	市販の建設機械 (バックホウ) に搭載するため、台数は多い	大型のものが多く、台数が少ない
運搬	ロボットを分割して宅配便で運搬可能	機械そのものを運搬する必要がある
施工実績	少ない	多い
緊急性への対応	最も適している	適している

緊急災害復旧に対して迅速に対応するために、全国に点在する市販のバックホウや不整地運搬車の運転席に装着して、遠隔操縦を可能とするロボットの開発を実施した。バックホウ用の遠隔操縦ロボットをロボQ、不整地運搬車用のロボットをクロQと呼ぶ。ともに国土交通省九州地方整備局九州技術事務所と当社が共同開発したものである<sup>2)</sup>。

(2) ロボQ (バックホウ用遠隔操縦ロボット)

ロボQは、写真—7に示すように必要な時に、必要な場所で、市販のバックホウの運転席に取り付けることによりバックホウを遠隔操縦化して、安全な場所から作業できる技術である。ロボQの操作は、目視あるいはヘッドマウントディスプレイ (HMD) をかけ、これにロボQ搭載カメラの映像を映し出し遠隔操縦する。ロボQの主な特長を以下に示す。

- ①ロボQを市販のバックホウの運転席に取り付けるだけで、短時間で遠隔操縦化できる。
- ②多数のバックホウのメーカーや機種に装着できる。
- ③持ち運びが容易なサイズに分割できるため、被災地



写真一七 バックホウに装着されたロボQ

まで簡単に運搬可能である。

④搭載カメラ映像により、オペレータ（運転者）は離れた場所から映像を見ながら遠隔操縦できる。

ロボQの諸元を表一2に示す。ロボQは10のユニットに分割され、収納ケースに収め、車等で簡便に被災地まで運搬可能であり、短時間で組立てができる。各ユニットを運転席上に順次組立て、空気圧制御による4本のアクチュエーションユニットの腕が、バックホウの2本の操作レバーと2本の走行レバーを前後左右に遠隔操縦で動かす。空気圧の動力源は、ボンネット部に搭載したエンジンコンプレッサーである。

表一2 遠隔操縦ロボット（ロボQ）の諸元

項目	仕様
対象機種	バックホウ
通信	無線通信方式：制御 特定小電力方式 映像 SS 無線方式 通信チャンネル：429 MHz 帯域の空きチャンネル 自動サーチ 無線通信到達距離：見通のある平坦な場所で150 m 程度 通信状態の管理：通信状況悪化の場合、自動的にエンジン停止
電源	電源：DC24 V 以上（建機エンジン稼動状態バッテリー電圧） 消費電力：最大 200W
空圧	最大使用圧力：0.7 MPa（7 kgf/cm <sup>2</sup> ） 最大空気使用量：120L/min（大気圧換算）
重量	約 180 kg

### (3) クロQ（不整地運搬車用遠隔操縦ロボット）

クロQの特長は、ロボQとほぼ同様である。ロボQのように空気圧制御によるアクチュエーションユニットの腕が、操作レバーを前後左右に動かすことに加え、ペダルの踏み込み等、機構が複雑になっている。

クロQの搭載可能な機種は、不整地運搬車のCD60-Rに限定される。不整地運搬車の操作方法（レバーの種類、位置等）が、メーカーや機種によって異なるため、最も市場性がある機種のひとつのCD60-Rを選定した。写真一8に不整地運搬車に装着したクロQを示す。

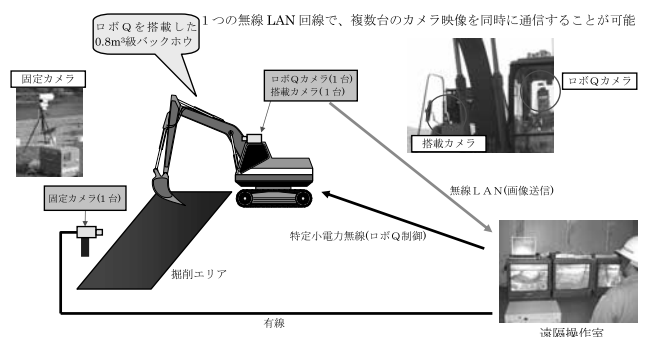


写真一八 不整地運搬車に装着されたクロQ

## 4. 四万十川での無線LANを利用したロボQの試験施工

### (1) 試験施工の概要

国土交通省四国地方整備局で平成18年度に公募された四国テーマ設定技術募集（災害対応技術）に応募、採用され、ロボQの試験施工を実施した。ロボQと無線LAN通信システムを融合させることにより、バックホウを遠隔操縦する。図一1に示すように、無線LANによる搭載カメラ・ロボQカメラ映像、及び有線固定カメラによる映像を、ロボQを遠隔操作する遠隔操作室のオペレータまで送信する。ロボQの制御については、従来どおりの特定小電力無線を用い、映像伝送については、バックホウブーム右の機体に取り



図一1 無線LANを活用した遠隔操縦ロボット（ロボQ）の無線系統図

り付けた搭載カメラと、ロボ Q カメラを無線 LAN により送信した。遠隔操作室のカメラ映像のモニター配置を写真—9 に示す。3 台のモニターは、左が固定カメラ、真ん中が搭載カメラ、右がロボ Q カメラの映像を映している。



写真—9 遠隔操作室のモニター配置

これらのカメラ映像を基にロボ Q を遠隔操作することにより、四万十川の護岸復旧工事における根固めブロックの基礎掘削作業を行い、ロボ Q を搭載したバックホウによる無人化施工の施工能力、精度等を検証する。

試験施工の概要を以下に示す。

工種：護岸復旧工事における根固めブロックの基礎掘削

工事場所：高知県四万十市

工期：平成 18 年 12 月 18 日～平成 18 年 12 月 22 日

(2) 施工能力確認試験

写真—10 に示すように、ロボ Q を遠隔操作して、掘削・旋回・横置きという一連の作業を行い、施工能力を算出する。掘削作業等は 2 日間、2 人のオペレーターが交代しながら行った。オペレーターの経歴を表—3 に示す。オペレーターは 2 名とも無人化施工の経験は初めてだった。

本試験の施工能力確認試験結果は、掘削土量 1 日当たり平均 154 m<sup>3</sup> であり、国土交通省土木工事標準積算基準書の土工の掘削土量 220 m<sup>3</sup> と比較して、約 70 % となった。標準的な遠隔操作による施工能力が、有人施工の約 60 %<sup>3)</sup> であり、比較的良好な結果となった。

(3) 施工精度確認試験

地面にスプレーしたラインを、ロボ Q カメラと搭



写真—10 施工能力確認試験状況

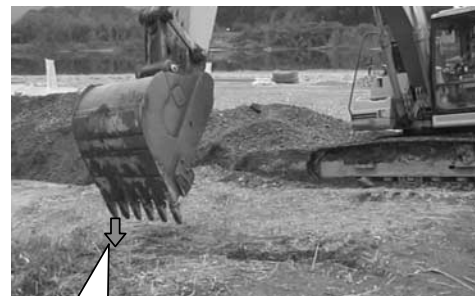
表—3 オペレーターの経歴

オペレーター	Aさん	Bさん
年齢	38 歳	41 歳
経験年数	12 年	10 年
職種	バックホウ	バックホウ
無人化施工経験	なし	なし

載カメラを使用しながら遠隔操作によりロボ Q を操作し、バケット刃先がマーキングした計画位置と、どれくらいずれるかを確認した。オペレーターは施工能力確認試験と同一人物であり、バックホウの旋回は左回り、角度は 90 度に統一した。写真—11 に精度確認試験状況を、写真—12 にスケールによる精度測量状況を示す。

表—4 に施工精度確認試験の結果を示す。左右方向のずれは、平均 9.0 cm ・標準偏差で 13.2 cm、前後方向のずれは、平均 17.0 cm ・標準偏差で 22.1 cm、作業時間は、平均 36.4 秒 ・標準偏差 13.2 秒であった。

ロボ Q カメラと搭載カメラの映像では、前後方向



バケットのカドをマーキング  
計画位置にあわせる

写真—11 精度確認試験状況

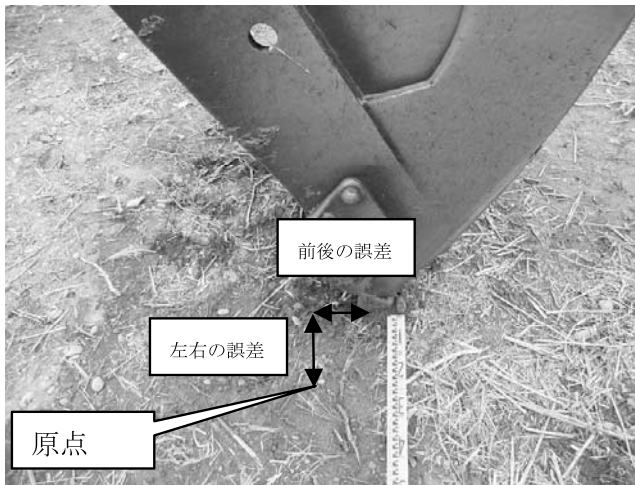


写真-12 スケールによる精度測量状況

表-4 精度確認試験結果

	左右のずれ (cm) 重機から見て左が+	前後のずれ (cm) 重機から見て手前が+	作動時間 (秒)	備考
1回目	0	15	50	旋回は全て左回りで90度
2回目	25	0	50	
3回目	-10	15	34	
4回目	10	-35	27	
5回目	0	-20	21	
平均	9.0	17.0	36.4	ずれの平均は絶対値で計算
標準偏差	13.2	22.1	13.2	

の方が、左右方向よりずれやすいと考えられる。また、ロボQカメラによる操作では、施工可能な精度は、左右方向が±25cm程度（標準偏差の2倍として）、前後方向が±50cm程度（標準偏差の2倍として）と推定される。考察としては以下の事項があげられる。

- ①地表面マーキング赤線の太さは、15cm程度以上でないと画像を通して認識できない。
- ②目標をオーバーランしてから目標地点に戻すことが多く、位置あわせに時間がかかった。ただ、回数を重ねるごとに作業時間は短縮されており、習熟度によりさらに時間短縮できる可能性がある。
- ③精度については、本試験で精度が向上したと判断することは難しい。ロボQカメラや搭載カメラのみでは精度の高い作業は難しく、周辺に別角度からの補助カメラ、もしくは3D立体視システム等の施工支援システムが必要になる。

(4) オペレータヒアリング

ロボQの操作性や使い勝手等について、オペレー

タ2名に適宜ヒアリングを行い、以下の知見が得られた。

- ①ラジコン操作機のレバーは、当初もちづらく扱にくかったようだ。終わりのころには慣れてきて、旋回の行き過ぎも極力減った。
- ②ロボQの遠隔操作には、遅れ（タイムラグ）はほとんど感じていないようだが、カメラ映像（ロボQ及び搭載カメラ）については品質や遅れに多少違和感があるようだ。
- ③ロボQカメラに首振り機能をもたせるかは、費用対効果等を含め今後の技術的な課題である。

5. おわりに

災害復旧用ロボットの代表的な技術のひとつである遠隔操縦ロボット（ロボQ）は、災害復旧工事から一般建設工事へ適用範囲の拡大を検討している。一般建設工事における劣悪な環境下での苦渋作業、危険で過酷な作業等に活用するため、視覚情報技術、無線通信技術、自己位置認識技術等をより改良、発展、融合させることが重要である。 [JCMA]

《参考文献》

- 1) 斜面防災・環境対策技術総覧 第6章火山対策工 3節雲仙普賢岳の土石流対策工
- 2) 藤岡晃・小幡克実・三村洋一：災害復旧時の無人化施工，土木施工（2006.4）
- 3) 財団法人先端建設技術センター編：緊急時の無人化施工ガイドブック（2001.7）

【筆者紹介】



藤岡 晃 (ふじおか あきら)  
 ㈱フジタ土木本部  
 土木技術統括部技術企画部  
 次長



小幡 克実 (おばた かつみ)  
 ㈱FBS  
 MN事業部  
 販売次長



三村 洋一 (みむら よういち)  
 ㈱フジタ土木本部  
 土木統括部機械部  
 担当課長