

遠隔操縦ロボット (ロボQ)の開発

No. 130

建設省九州地方建設局九州技術事務所長
機械課長

たなか としひこ
田中 俊彦
さとう しゅうじ
佐藤 修治

1. はじめに

わが国は、土質・地形が複雑であり、また前線の停滞や台風のため集中豪雨を受けやすく、災害が多発している。さらに断層帯や火山帯があり、近年において大地震や火山噴火が起こり、大災害が生じている。

災害現場における復旧工事は危険で過酷な作業であり、その対応策として無人化施工がある。雲仙普賢岳の噴火に伴う流出土砂石の除去工事においては、無線操縦による専用の大型建設機械が導入され、大規模な無人化施工が行われてきた。

ところで、災害としては斜面崩壊や土石流等による小規模な土砂災害が火山災害よりもはるかに多い傾向にある。このため、九州技術事務所としては従来の遠隔操縦専用機械とは別の取り組みとして、汎用の建設機械に無線遠隔操縦装置を装着することにより、迅速かつ容易に災害復旧に対応できる遠隔操縦技術の開発を進めてきた。

平成11年度には、バックホウ用の遠隔操縦ロボット「ロボQ」(以下「ロボQ」とする)を導入した。なお、この「ロボQ」は本年6月に大分県別府市の朝見川の土砂災害現場に出動し、活躍した。ここでは、その開発の第二報および出動につ

いて併せて紹介する。

2. 火山噴火における大規模災害事例

(1) 雲仙普賢岳の災害概要

雲仙普賢岳は、長崎県島原半島のほぼ中央の位置にあり、198年ぶりの平成2年11月17日に火山活動を再開し、翌年の5月20日には最初の溶岩ドームが出現した。

平成3年6月3日には水無川流域において大規模な火砕流が起こり、死者・行方不明者合わせて43名の方々が犠牲となった。

その後も土石流や火砕流の発生が相次ぎ、家屋、田畑、山林への被害が拡大した。特に、平成5年には活発化する火山活動と異常な長雨などに伴い、水無川や中尾川流域において火砕流や土石流が頻発し、島原市の交通機関は一時的なマヒ状態に陥った。

(2) 北海道有珠山の災害概要

北海道有珠山は、22年7カ月ぶりの平成12年3月27日から噴火を予兆する地震が発生しており3月31日に噴火した。

有珠山の噴火活動により噴火口に近い北海道虻田町では路面上には火山灰や土砂が堆積しており、国道230号などを伝い同町の市街地まで流れ

込む恐れがあった。また、立入禁止区域となった洞爺湖温泉地区に設けられた砂防流路工にも土砂が滞留し、大量の土石流による越流の可能性があり、緊急に土砂を排除する必要性が高まった。

3. 災害復旧活動での無人化施工について

無人化施工は、人間が立ち入れない危険な作業現場で遠隔操作による建設機械で作業を行うものである。雲仙普賢岳の砂防事業において「試験フィールド制度」を広く民間に技術開発を求め、平成5年度にその技術が導入された。

(1) 雲仙普賢岳における無人化施工

雲仙普賢岳は、平成7年5月以降、噴火活動がほぼ停止状態にあるものの、山頂には約1億 m^3 の溶岩ドームがあり地震等による崩壊に伴い依然として、火砕流の発生する危険性がある。

そこで、除石工事、砂防ダムの建設等の施工中の作業員の安全を確保するために、遠隔操作による「無人化施工技術」が必要となった。

無人化施工技術は、平成5年度から試験施工に適用され、遊砂地内の緊急除石工事や水無川1号砂防ダムの基礎掘削、堤体打設に実用化された。その無人化施工に用いられた建設機械（ダンプトラック、バックホウ、ブルドーザ）には、作業状況が確認できるようカメラが搭載されている。また、建設機械の互いの位置関係を把握するために移動カメラ車も配備された。

建設機械のオペレータはカメラによる画像情報を頼りに安全な場所から建設機械を操作し、火砕流の危険性に伴う作業現場において堆積した土砂を運び出したり、砂防ダムの堤体打設を行った。

写真－1に無人化機械による作業状況を示す。

(2) 有珠山における無人化施工

有珠山における無人化施工では、雲仙普賢岳の復旧工事で施工実績のある遠隔操縦技術が取り入れられた。

有珠山噴火に伴う災害復旧工事では、国道230号周辺に堆積された火山灰などが道路を伝って市街地へ流れ込む危険性があるため、土石流をくい

写真－1 無人化機械による作業状況



止めるための遊砂地（約13,000 m^3 ）を建設することとなった。工事に使用する遠隔操縦専用の建設機械は、ダンプトラック、バックホウ、ブルドーザ11台と移動式操作室およびカメラ車などが4月中旬より現地へ搬入された。また、当初雲仙普賢岳で適用されていた遠隔操作の条件は100mと設定されていたが、有珠山復旧工事においては約2kmの超遠隔操作が実現している。

4. 遠隔操縦方法について

災害復旧工事における遠隔操縦技術は、二次災害の危険性がある箇所において、施工を行うには有効な技術である。その技術の代表的な遠隔操縦方法として油圧比例弁方式がある。例えば、バックホウはオペレータのレバー操作によりレバーに与えた制御量がメインバルブへ伝達され、油圧制御量に基づいてブーム・アーム等の油圧アクチュエーション（油圧シリンダ、油圧モータ）が駆動する構造となっている。このため、油圧シリンダの油量切り換えを行っているメインバルブまでの間に、シャトル弁（油圧方向切換弁）を設け、これを遠隔操作することにより遠隔地からバックホウを操縦することができる。雲仙普賢岳の工事で用いられた専用機がこの方法である。

一方、九州技術事務所で開発した遠隔操縦方法は、操作レバー駆動方式といい、バックホウに備え付けられている運転席操作レバーに直接空圧式シリンダーを装着し、遠隔制御により空圧式シリンダーを操作することで遠隔操縦機械として利用可能となる。次項に今回開発・導入したロボQ

について述べる。

5. 遠隔操縦ロボット「ロボ Q」について

多発する小規模な土砂災害に対して、汎用の建設機械に現地で簡単に装着できるコンパクトタイプの遠隔操縦ロボットとして開発を行ったものが「ロボ Q」である。その背景には、土砂災害等に対して迅速な復旧活動が必要となるにもかかわらず、二次災害の恐れもあり、非常に効率の悪い作業となっていることがある。また遠隔操縦専用の建設機械は、数が少ないうえ大型であるため被災地への輸送に機械の解体・組立が必要となり、緊急時に早急な対応ができない等の問題があったためである。

開発するにあたっては、①バックホウの改造を伴う従来の遠隔操縦方式と、②バックホウの運転席に搭載して人間の腕の代わりとなり、操作レバーを動かす操作レバー駆動方式について比較検討を行い、開発目的などから総合的に判断した結果より、操作レバー駆動方式によるロボ Q の開発を進めた。また、操作レバー駆動方式の機構には、取り扱いの簡便さ等から空圧式の機構を取り入れた。図-1 に作動構造図を示す。

なお、遠隔から操縦するに当たって、近距離の場合は目視により操作が行えるが、遠距離の場合は目視では操作が困難となるため、人間の目の代わりとなるビデオカメラ映像を見ることにより操縦することができる。表にロボ Q の主要諸元を、写真-2 に装置の全体写真を示す。

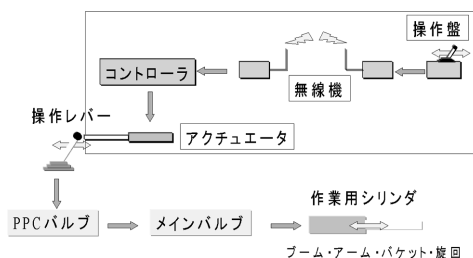
6. 災害出動

平成11年度完成した遠隔操縦ロボット「ロボ Q」は、大分県の応援要請により別府市朝見川土砂災害復旧のため平成12年5月31日に出動し、安全に復旧作業が行われた。

(1) 現場状況

別府市朝見川において右岸の斜面が高さ20m 幅20m、深さ5m、立積約2,000m³が崩壊し、延

図-1 作動機構図



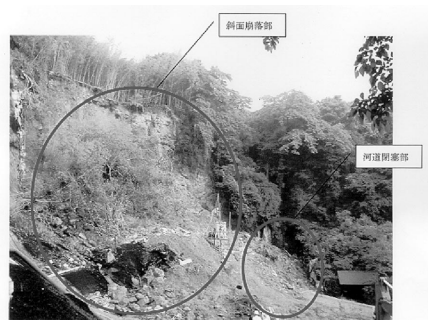
主要諸元

項目	内容
取付要員	2～3名程度
取付時間	3時間程度
部品数	11個
総重量	約130kg
外形寸法	W=620, D=1,100, H=1,040 mm
無線方式	特定小電力無線
操作距離	150m 程度

写真-2 装置全体



写真-3 現地被災状況



長約25m の河川内を埋塞した。河道内堆積土石は約500m³であるが、崩壊面が直立でクラックも確認されることから二次災害の恐れがあり、有人施工はきわめて危険な状況であることが分かった。

写真－４ 装着状態



写真－５ 作業状況



写真－６ 作業完了状況



そのため、離れた場所から安全にバックホウの遠隔操作が可能な「ロボ Q」が出動することとなった。写真－３に現地被災状況を示す。

(2) 遠隔操縦ロボット「ロボ Q」装着試運転

5月31日に九州技術事務所を出発した。大分県別府土木事務所へ到着後、現場状況の説明を受け、「ロボ Q」概要説明等の打ち合わせを行い、現地へ向かった。

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て装着作業を開始し、2時間15分で装着完了した。その後試運転を行い、5月31日の作業は終了した。

(3) 稼働状況

6月1日より「ロボ Q」による復旧作業が開始され、6月12日に作業が終了した。

作業は、まず0.4m³級のバックホウに「ロボ Q」を搭載し、崩落してきた土砂を排除する作業が行われた。作業場所が確保された後は、作業能率の向上のために0.7m³級のバックホウへ載せ換えられ、作業を再開した。

作業中盤より、危険場所での作業は「ロボ Q」で行い、掘削した土砂を排出する作業を有人オペレータが搭乗したバックホウにより土砂の搬出を行う一連の作業に切り換えた。

実働作業時間は48時間程度であり、約1,000m³の土砂を搬出した。

(4) 考 察

今回は開発導入後、初めての出勤であり、復旧作業における今後の課題を次に述べる。

① 被災現場はさらなる崩壊の危険性があり、傾斜面での作業となるため、無人とはいえ危険なことには変わりはない。

機械に故障、損害があった場合を想定してそのバックアップ体制を設ける必要がある。

② 危険区域内の除去作業は、バックホウのみによる掘削および移動作業となり、施工効率が悪い。施工効率の向上のため無線遠隔操作の運搬機械の組み合わせが考えられる。

7. おわりに

建設機械の無線遠隔操縦技術としてバックホウ用を開発したので、本年度はブルドーザ用の開発に取り組んでいる。今後は、①無線遠隔操作における無線遠隔操作およびモニターを見て操縦操作するための遅れによる作業能率低下を五感情報を取り入れることにより改善すること、②施工現場で複数の「ロボ Q」を組み合わせで施工する方法および、③災害分野以外の危険で過酷な作業へ「ロボ Q」を適用することについて、遠隔操縦ロボットの性能向上、適用範囲拡大のための技術開発をさらに進めていく予定である。