

1. 簡易遠隔操縦装置による施工の効率化検討

国土交通省 九州技術事務所：*久保田 孝行、湯浅 祥次

1 はじめに

遠隔操縦機械による無人化施工は、平成2年11月に噴火した雲仙普賢岳の堆積土砂を緊急に除去する災害復旧工事として、試験フィールドで平成6年度に採用されて以来、改良・発展を遂げ、災害復旧現場等での導入実績も多くなってきている。しかし、有人施工と比較して施工効率や施工精度等が劣るといった遠隔操縦施工特有の課題が残されており、その向上が望まれている。

そこで、主に災害対策用に用いられている遠隔操縦機械の、一般工事への導入を目的として施工効率、施工精度の向上のための検討を行うもので、九州技術事務所が災害対策用として開発した簡易遠隔操縦装置（通称ロボQ）を用いて、平成13年度と平成14年度の2カ年にわたり調査・検討を行ったものである。

この簡易遠隔操縦装置の特徴は、市販の建設機械を改造せずに装置を搭載させることにより、遠隔操縦を可能にしたもので、装置本体をコンパクトに分割できるため、災害現場へ迅速に運搬でき、建設機械へ容易に設置することができる装置である。

2 検討概要

(1) 遠隔操縦機械の実態

現在の遠隔操縦建設機械の使用実態及び作業内容について次の各項目毎に整理した。

- ①文献調査
- ②カタログ調査
- ③URL調査（情報化施工、無人化施工）
- ④建設機械の自動化・ロボット化調査

無人化施工に使用されている遠隔操縦建設機械はバックホウをはじめブルドーザー、ダンプトラック等があり、作業内容は土木構造物等に対する複雑な作業は少ない。また、遠隔操縦機械による施工が作業効率、施工精度の向上よりも、作業員の安全性の確保や苦渋作業からの解放を目的としたものが多いことがわかった。

(2) 導入のための基礎検討

遠隔操縦機械の一般土木工事へ導入するための問題点、改良点を抽出するために、バックホウに簡易遠隔操縦装置を搭載して、様々な視覚情報条件による掘削、旋回、ダンプトラックへの積み込みの一連の作業による基礎的な試験を次のパターンにより行った。

①目視近傍による掘削

オペレータが掘削作業ヤードと遠隔操縦機械に対して一番見やすく作業感覚をつかみやすい近傍からの遠隔操縦掘削作業

②作業ヤードから20m離れた掘削

オペレータが作業ヤードから20m離れて、目視による遠隔操縦掘削作業。

③搭載カメラによる遠隔掘削

オペレータが操作室の中から、簡易遠隔操縦装置に搭載したカメラ映像による遠隔操縦掘削作業。

④搭載カメラ+固定カメラ（1台）による遠隔掘削

上記③と同様、オペレータが操作室の中から簡易遠隔操縦装置に搭載したカメラ映像及びダンプへの積み込み状況が把握しやすい場所に設置した固定カメラからの映像による遠隔操縦掘削作業。

⑤搭載カメラ+固定カメラ（2台）による遠隔掘削

上記④と同様、オペレータが操作室の中から簡易遠隔操縦装置に搭載したカメラ映像、作業状況を正面、側面から映像を取得できるように、上記④にもう1台固定カメラを配置し、3つの映像による遠隔操縦掘削作業。

作業後のオペレータへのヒヤリングの結果、①作業ヤードの全体的な空間の把握、②バックホウと掘削面またはバケットとダンプトラックとの相対的な位置把握（奥行き情報）についての情報を必要としている事が分かった。これは、視覚に関しての情報が施工効率及び精度に多大な影響を及ぼすということである。

(3) 視覚情報機器の機能評価試験

オペレータへが必要とする視覚情報とは、作業ヤードの全体的な空間把握と対象物への奥行き情報であり、試験はカメラを運転室内足元、室内運転席、張出し、ブームにそれぞれのパターンで設置（図-1、写真-1、2参照）し、バケット刃先の位置決め（図-2参照）作業について機能評価を行った。

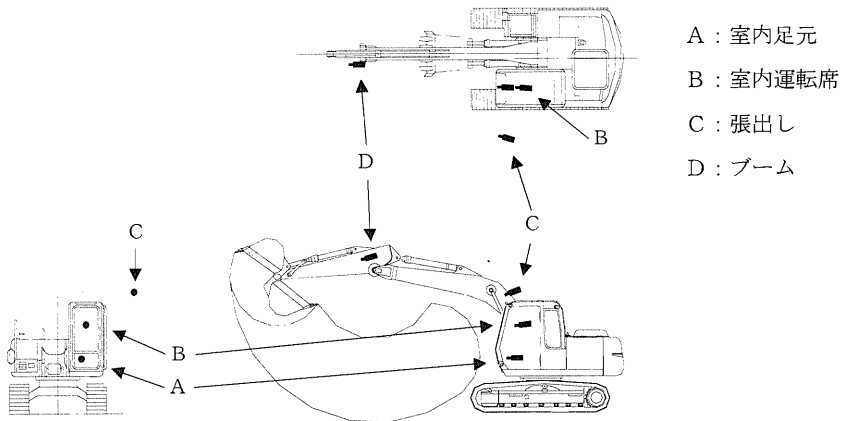
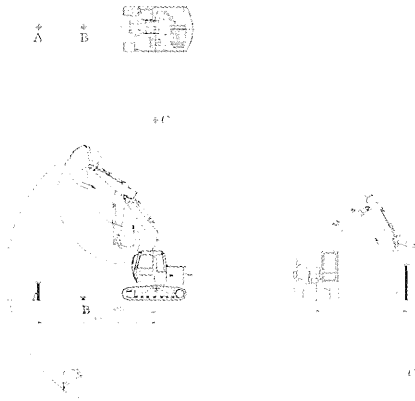


図-1 カメラ取付け位置



目標A : H= 1 m GLより高い作業視線を想定
 目標B : H=0.2m GLの作業視線を想定
 目標C : H= 2 m ダンプ 積み作業視線を想定

図-2 バケット刃先の移動による位置決め試験要領図



写真-1 張出しカメラ取付け状況

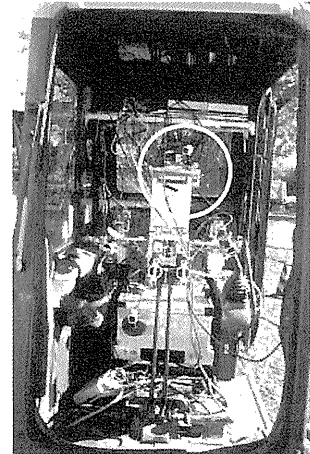


写真-2 運転席カメラ取付け状況

① 位置決め作業試験結果

試験の結果、良好な成果が得られたのはパターン4（表-1参照）であった。これは、室内運転席カメラが搭乗した場合と同じ感覚であったことと、張出しカメラが遠近感を認識しやすいカメラの配置であり、作業全体のイメージがつかみやすかったためである。よって、このカメラ配置により実証試験を行う。なお、機能評価試験では張出しカメラのレンズを通常で行ったが、実証試験では広角レンズでも行い有効性を確認する。また、3Dレンズを含めた試験についても行うこととした。

表-1 カメラの各配置による試験結果

		カメラ配置				評価試験におけるオペレーターの評価	本実験時における判定
		室内足元	室内運転席	張出し	ブーム		
通常レンズ+広角レンズ	パターン1	○	○			搭乗した場合と同じ視線高で高さ感覚がつかみやすいが、足元カメラでは遠近情報は得にくい。	△
	パターン2	○		○		張出しカメラで高さ、遠近感はつかみやすく作業はしやすいが、室内足元カメラでは遠近情報は得にくい。	○
	パターン3	○			○	足元カメラで高さはつかみやすい。ブームカメラが作業時にぶれるが、位置決めは把握しやすい。	△
	パターン4		○	○		搭乗した場合と同じ視線高であり、張出しカメラにより遠近感がかかるため作業はしやすい。	◎
	パターン5		○		○	視線高が搭乗した場合と同じであり違和感はない。ブームカメラがぶれるため作業しにくい。位置決めは把握しやすい。	△
	パターン6			○	○	張出しカメラで遠近感がかみやすい。ブームカメラがぶれるため作業しにくい。位置決めは把握しやすい。	△
	パターン7		広角	○		張出しカメラで遠近感がかみやすい。広角レンズは広い範囲でとらえるため運転席の一部も映るので作業しにくい。	○
	パターン8	○		広角		足元カメラで高さはつかみやすい。広角の画像は、バケット稼働範囲を広くとらえるため、遠近感がかみやすい。	○
通常レンズ+広角レンズ(3画面)	パターン9	○	○	広角		3画面は視覚情報が多すぎる。	
	パターン10	○	○	広角		3画面は視覚情報が多すぎる。	

(4) 視覚情報機器での実証試験

実証試験は、視覚情報機器の機能評価試験結果に基づき実現場で掘削、法切、整形作業、原石投入作業の試験を行った。使用した機械及び試験要領については次のとおり。

1) 使用機械

作業別に使用した機械は次に示すとおり。なお、掘削、法切、整形作業についての使用機械は平成13年度と同規格の機械を使用している。

①掘削、法切、整形作業

バックホウ 0.5m3級(簡易遠隔操縦装置搭載運転)

ダンプトラック 4 T車(有人運転)

②原石投入作業

バックホウ 0.5m3級(簡易遠隔操縦装置搭載運転)

移動式クラッシャー(有人運転)

バックホウ 2~3m3級(有人運転)

ダンプトラック 10 T車(有人運転)

2) 掘削、法切、整形作業試験

0.5m3級のバックホウを用いて、実証試験ヤードを図-3のとおり設定し、掘削、法切、整形、積込みの一連の作業における試験を行った。表-3に作業時間、掘削土量等の項目についてまとめた。また、平成13年度の試験結果についても有効性について比較を行った。実証試験状況を写真-3に示す。

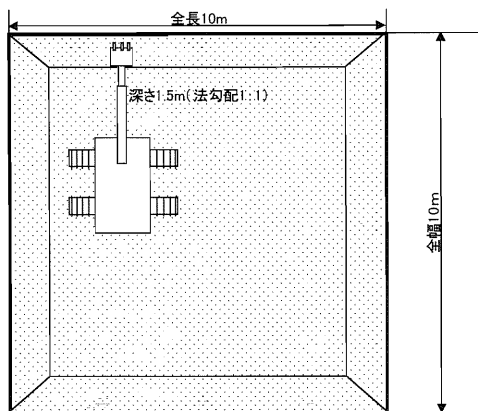


図-3 実証試験ヤード

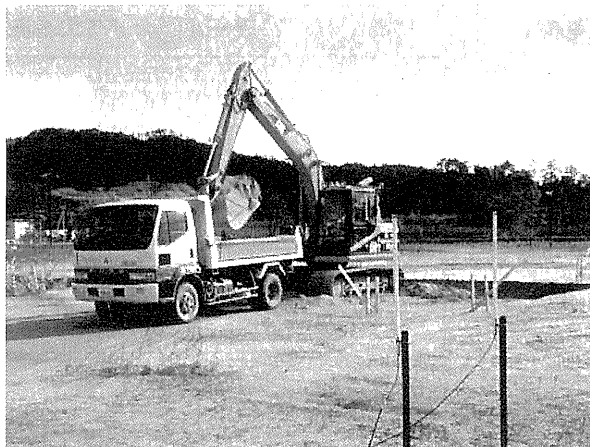


写真-3 ダンプトラックへの積み込み作業

表-3 掘削、法切、整形作業試験結果

	実験条件	掘削時間	設計掘削土量(m ³)	実掘削土量(m ³)	設計に対する割合	掘削基準面との差		標準偏差	掘削面の状況
						掘削不足の最大値	掘削過多の最大値		
平成14年度	① 遠隔運転(室内カメラ+張出しカメラ(通常レンズ))	6:11	110	100.8	92.0%	+180mm	-90mm	95.3	掘削土量はやや不足気味であり、掘削基準面とのバラツキも大きい。また、角部の掘削不足がある。
	② 遠隔運転(室内カメラ+張出しカメラ(3D))	7:23	110	118.9	108.0%	+60mm	-70mm	51.6	掘削土量はやや過掘削気味であるが、掘削基準面とのバラツキは少ない。また、法面勾配はほぼ設計どおり確保されている。
平成13年度	③ 遠隔運転(搭載カメラ+外部固定カメラ)	9:25	180	170	94.0%	+592mm	-289mm	280.1	掘削土量はほぼ設計土量に近いが、全体的に掘削基準面とのバラツキが大きい。また、法面勾配も全体的に確保されていない。
	④ 遠隔運転(搭載カメラ+外部固定カメラ2台)	9:59	180	159.5	89.0%	+536mm	-65mm	254.3	掘削土量は不足している。また、掘削基準面とのバラツキも大きい。法面勾配も全体的に確保されていない。

3) 試験結果

試験結果では、作業ヤードの全体イメージと遠近感が認識できたため、実際のダンプトラックへの積み込み作業時においては、外部カメラ(カメラ車等)無しでの施工が可能となった。3Dレンズは法面整形、角部などの細かな施工には有効であることがわかった。また、掘削誤差については平成13年度と比較して大幅に向上した。

よって、2台のカメラの適切な配置とレンズにより、施工精度の向上及び画像システムの有効性が確認された。

4) 原石投入作業による試験及び結果

掘削作業による試験と同様のカメラ配置により、移動式クラッシャーへの投入作業の試験を行った。試験状況を図-4に示す。試験結果は、有人作業と比較して約80%の作業効率を得られ、掘削以外の作業でも有効性を確認できた。

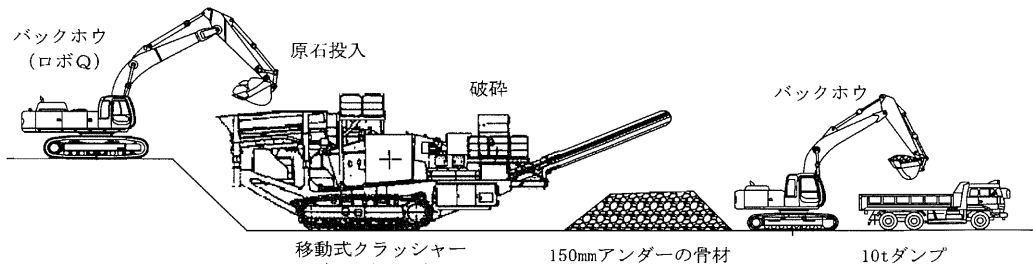


図-4 原石投入試験機械配置図

3 委員会の導入

簡易遠隔操縦装置を用いた遠隔操縦の施工性向上および効率化について審議・助言を戴くため、「遠隔操縦による施工の効率化検討委員会」を設置した。委員には、九州大学大学院の松永教授を委員長とし、土木研究所、原子力研究所、建設無人化施工協会などに所属する学識経験者10名を選出した。委員会は年2回実施し、①視覚情報機器の機能評価試験結果、②実証試験計画及び結果について検討して戴いた。

4 おわりに

主に緊急災害対策用に用いられている遠隔操縦機械の、一般工事への導入を目的として簡易遠隔操縦装置による実証試験の結果、有効な視覚情報機器を機能付加して施工精度の向上を確認した。

また、掘削作業以外でも原石投入実験においても有効性が確認された。今後、これらの結果やデータをもとに一般土木工事に幅広く普及していくことが肝要であると考えます。