

雲仙普賢岳における無人化施工について

Robotized Excavation Work in Unzen Restoration Project

松井 宗広*

Munehiro MATSUI

1. はじめに

建設省は技術開発の一環として、現場での技術的検証を通じて完成度を高める必要のある技術を対象に、実際の現場において試験フィールド（新技術の実施工現場）を設定し、実大構造物を建設して各種試験等を実施する試験フィールド制度を平成5年度に創設した。雲仙における無人化施工はこの制度の初めての適用であると同時に、建設省としての警戒区域内での初めての工事となるものである。現地での実施工は平成6年3月1日から31日までの1箇月で実施した。

2. 施工内容

2.1 施工条件

施工条件は公募条件と同じ条件である（表-1）。

表-1 施工条件

	技術の内容	技術水準
1	不均一な土砂の状態で、かつ岩の破碎を伴う掘削と運搬。	直径2~3m程度の礫の破碎が可能であること。
2	現地の温度、湿度条件に対応可能。	外囲条件として一時的には温度100℃、湿度100%程度の状況下でも運転可能であること。
3	施工機械を遠隔操作することが可能。	100m以上の遠隔が可能なこと。

2.2 施工位置

最上流の1~2工区は、平成6年4月現在で警戒区域に設定されている国道57号上流であり、3~4工区は警戒区域外であるが、同区域に隣接する国道57号直下流である。また、5~6工区は除石した土石の仮置場になっている国道251号の下流である。

2.3 施工機械

6社6技術ともに、使用機械は基本的に同じであり、大型のブルドーザ、バックホウ、ダンプトラック、ブレーカを用いるものである（写真-1）。しかしながら、ブルドーザに90t級を用いたもの、土砂運搬にクローラタイプとホイールタイプの2種類用いたもの、キャリオールダンプを2台使用するもの、ブレーカはバックホウのアタッチメントを変えることにより兼用したもの（2社）な

* 建設省九州地方建設局雲仙復興工事事務所

ど細部については相違点がみられる（表-2）。

表-2 使用機械等

工区	施工会社名	施工量	施工面積 (B, L)	バックホウ	ブルドーザ	ダンプトラック (t, (m ³))	ブレーカ
1	機フジタ	6,500	(m ²) 2,400 (m) 40×60	(m ³) 2.5	(t) 15.9	(クローラ)12.5 (6.9) (ホイール)78.0 (43.3)	(kg) 2,900 (バックホウ 1.5m ² 級)
2	西松建設機	5,500	4,300 85×50	3.0	60.0	キャリオール BD 28t牽引 ×2台 (12.5)	3,450 (バックホウ 流用)
3	機大本組	5,100	3,200 65×50	4.0	91.8	32.0 ×2台 (17.8)	2,900 (バックホウ 流用)
4	機熊谷組	4,700	2,800 85×30	3.0	62.0	45.0 (25.0)	2,200 (バックホウ 1.7m ² 級)
5	大成建設機	5,000	7,000 90×80	2.9	62.2	45.5 (25.3)	2,200 (バックホウ 1.7m ² 級)
6	鹿島建設機	5,000	3,000 60×50	3.8	64.5	78.0 (43.3)	3,000 (バックホウ 1.6m ² 級)

2.4 機械の操作とモニタリング

機械の操作に車載カメラ、移動カメラ車、遠方からの監視カメラによってモニタリングされた画像を見ながら、警戒区域外の操作室内でオペレータが操作するものである（写真-2）。

従って、モニタリング方法が操作性を左右する重要な要素となる。モニタリングについて、各技術に共通する点としては、遠方から作業を監視する監視カメラを各技術とも採用していることである。モニタリングについてまとめた表-3から i) 立体 (3D) カメラの使用 (4社), ii) 移動カメラ車のみ使用 (1社), iii) すべての重機に立体又は CCD カメラを使用 (3社), iv) バックホウの操作及び画像情報を有線により実施 (1社), v) 超遠距離操作が可能となる中継車の使用 (2社) 等の点については各技術に相違点がみられる。見方を変えれば、これらの点が各技術の工夫されている点とも考えられる。

モニタリングに使用されている無線は大きく分けて二つあり、重機を操作するための特定小電力 (400 MHz 帯) と、画像情報を得るための簡易無線 (50 GHz 帯) であるが、一部に微弱電波を旋回型機械に無指向性として用いたり、データ通信として用いた技術がある。

2.5 施工能力

各工区の施工能力を平均してしてみると、時間当たり約

表-3 モニタリング・施工管理方法

()内は台数

		1 工 区 (株)フジタ	2 工 区 西松建設(株)	3 工 区 (株)大本組	4 工 区 (株)熊谷組	5 工 区 大成建設(株)	6 工 区 鹿島建設(株)
モニタリング	車載カメラ	3 D	(BH) ○ (4)	—	(BH) ○ (1)	(BH) ○ (1)	(BH, BR) ○ (2)
		CCD	(BH) ○ (4)	—	(BH) ○ (3)	(BD(2), BH(3), DT(3) BR(3), 無線中継車(2) ○(1))	(BD(2), BH, DT(2) BR) ○ (6)
	移動カメラ車	○ (1)	○ (3)	○ (4)	—	—	—
	監視カメラ	○ (3)	○ (2)	○ (2)	○ (4)	○ (2)	○ (2)
施工管理	GPS	(DT, KD) ○ (2)	—	—	(BD, BH, DT, BR, 無線中継車) ○(5)	(BD, BH) ○ (2)	(BD, BH, DT, BR) ○ (4)
	自動追尾光波測距	(BH, BR) ○ (1)	(カメラ車) ○ (1)	(BD) ○ (1)	—	—	—

注) GPS: Ground Positioning System
3 D: 3 Dimension
CCD: Charged Coupled of Device

BD: ブルドーザ BR: ブレーカ
BH: バックホウ KD: クローラダンプ
DT: ダンプトラック



写真-1 無人バックホウによる積込作業状況



写真-2 遠隔操作状況

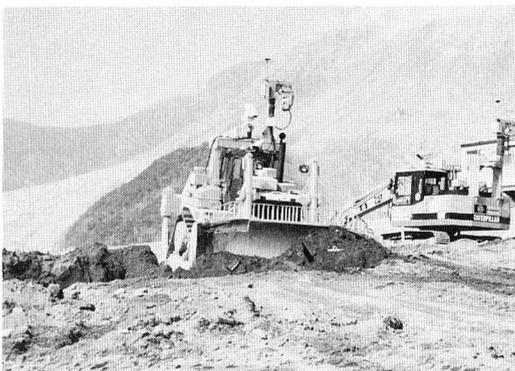


写真-3 押土作業中の無人ブルドーザ(本体上部に自動追尾光波測距器とGPSのセンサーを装着している。)



写真-4 無人ブレーカによる岩破碎状況

100 m³程度とみられ、日当りでは700~800 m³という結果が得られており、同じ機械を用いて有人で施工する場合と比較して、ほぼ1/2程度の施工能力となるが、今回の実施工が公募条件では20万 m³の除石量であったのに対し、工期、施工エリアの制約から5,000~6,000 m³と

なったこと、かつサイクルタイムを規制する運搬機械の台数が公募条件から設定され、実施工とマッチングしていなかった点を改善すれば、さらに1~2割程度は施工能力が向上すると思われる。

2社は超遠隔操作を試行したが、このうちの1社は施

工位置から約2 km離れた地点に操作室を置いて実施した。この結果、距離が離れることが施工能力に与える影響は全くないということがわかった。

2.6 施工管理

契約は、施工量での契約となっているので、出来高(捨土量)の管理を行っていけば良いこととなるが、各社とも出来形の管理ができるようGPSや自動追尾光波測距(写真-3)を使用した(表-3)。

施工管理には、この他、地山及び土捨場の密度管理、ダンプの運搬台数、重量の計測等が、併行して実施された。

3. まとめ

今回の無人化施工による除石工事は初めての試みであるので当然のことであるが、実施してみて初めてわかったこと及び今後の展開に向けて改良すべき又は検討すべき点が考えられる。その詳細は今後の検討が必要であるが、現時点で考えられる主なものとしては次のようになる。まず実施してみて初めてわかったこととしては

- i) 当初の想定より、はるかにスムーズな施工が行なえたこと
- ii) オペレータが操作に慣れるのは1週間程度で十分であること
- iii) 上流工区の作業開始当初の無線の状況は、近接工区との干渉やヘリコプターの影響があったが、使用電波の調整や電波の検出時間を0.3秒から1秒に延ばすこと等により、作業後半においてはほとんど障害なく作業が実施できたこと
- iv) 下流工区は工事期間中平均して一定の電波障害があり、特に午後2~3時に集中する傾向があった。これは一般車輛が通行する国道251号に近く、その通行車輛の用いている市民バンド(CB無線)の影響が考えられること
- v) ブルドーザによる押土作業中に大転石が障害となり、ブレーカによる岩破削が先行して必要となるような状況はほとんどなかったこと
- vi) オペレータが機械を操作する場合、画像は数多くあっても、各局面においては1~2画面を見て操作すること
- vii) バックホウのバケットのサイズから1.0~1.5 m大の岩は積込可能であること
- viii) 夜間照明による作業では、有人なら作業可能な照度でも無人で実施することは困難であったこと

ix) 画像情報が確実に得られ、中継車により特定小電力で操作できれば遠距離であっても施工能力に影響がでないこと

x) 岩の破碎作業が最も難度が高いこと(写真-4)などである。

また、今後の展開に向けて改善又は検討すべき主なこととしては

- i) 画像を見て操作する場合、多ければ多いほど良いということでもなく、走行中の機械の足もとが見えたり、エンジン音がリアルに聞こえることなど、人間工学的な面を考慮した最適なモニタリング方法を検討すること
- ii) サイクルタイムが運搬機械で規制されており、施工条件、施工量にあわせた適切な機械の組合せを検討すること(今回は公募条件と実施工が工期的制約、施工ヤードの制約から必ずしもマッチングしてなかった)
- iii) 3D, CCDカメラを乗せる可動部は、常時振動する重機に搭載されるように製品化されてはいないため、可動部等の耐震性を向上させる必要があることなどである。

4. おわりに

雲仙普賢岳の火山活動は依然として活発に継続しており、平成6年4月現在、北~北東方向の湯江川上流に小規模な火砕流の崩落を繰り返している。本県地方の本格的梅雨入り(6月8日)を控えて、地元においては無人化施工による除石工事のさらなる展開が土石流の氾濫被害の拡大防止のため強く期待されている。特に火砕流に対する作業員の安全確保という点で、無人化施工の持つ意義は極めて大きいものがある。

おわりに、今般の無人化施工を現地において実施するにあたり、指導、助言を頂いた「雲仙における無人化施工に関する委員会」の塚本委員長をはじめとする委員各位、また、多大な尽力を頂いた建設本省および九州地方建設局の関係各位に記して深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 佐藤一幸: 雲仙普賢岳における無人化施工について. 砂防と治水, Vol. 26, No. 4, pp. 55-57, 1993
- 2) 松井宗広: 雲仙における無人化施工について. 砂防と治水, Vol. 27, No. 1, pp. 23-31, 1994

(原稿受理 1994年4月26日)