土木学会第50回年次学術講演会（平成７年９月）

VI－204

遠隔土工システムによる無人化施工の実績

株式会社　フジタ　　正会員　　○後藤　雅俊　　簾　英二
高本　英司　　佐藤　貴美

１．はじめに

長崎県の雲仙普賢岳は、平成 2年11月以来依然火山活動が続いており、現在迄の総噴出量は約２億m³と推定されている。これまでに火砕流や土石流により、43名の犠牲者をはじめ、周辺地域に大きな被害を与えており、現在もなお仮設住宅での避難生活を余儀なくされるなど、早期復旧が緊急課題となっている。

新設された建設省の「試験フィールド制度」の適用を受け、遠隔操作による無人化施工システムを開発し、３期にわたり無人化除石工事を行った。そこで、工事の実績評価を行い、今後の展望を述べる。

２．システムの概要

危険地帯から離れた安全な場所に各無人重機の集中管理操作室（以下コントロールルームと呼ぶ）を設置し、通信中継車を介して立体映像・コンピュータグラフィックス（以下ＣＧと略す）・各種作業用モニタを用い、遠隔操作により土砂の掘削・積込・運搬捨土までの一連の作業を無人で行うシステムである。システムの特徴およびメインシステムの概要は、次の通りである。

【特徴】　①通信中継車を経由した２km程度の遠隔操作が可能である。
②双方向多重通信による複数重機の同時制御ができる。
③立体映像・音声・ＣＧ等を利用した臨場感ある遠隔操作ができる。
④ＧＰＳ等を利用した掘削管理・出来形管理ができる。

コントロールルームの操作状況

【メインシステム　「テレオペレーションシステム」】

《１》通信システム　遠隔操作に必要な映像と制御データの通信を行い、①制御情報（車両制御・カメラ制御）②重機情報（姿勢・傾斜・燃料残量・エンジン）③画像情報（作業監視カメラ映像・立体カメラ映像）の項目について、双方向で通信をするシステムである。

《２》立体映像ｼｽﾃﾑ　立体映像・ＣＧ等のＶＲ（バーチャルリアリティ）技術を使用した、遠隔操作システムである。

３．施工実績

３－１　取り組んだテーマとその評価

警戒区域での無人化施工のため、安全性、技術的に様々な制約や問題点が生じる。各工事ごとに取り組んだ重点項目、テーマ、実績評価の経緯を示す。

	１期工事	２期工事	３期工事
重点項目	無人化施工の可能性	作業量のアップ	本格土工の実現
取り組みテーマ	①超遠隔操作(ｺﾝﾄﾛｰﾙﾙｰﾑ操作)実施 ②地山掘削の施工 ③ﾎｲｰﾙﾀﾞﾝﾌﾟ・ｸﾛｰﾗﾀﾞﾝﾌﾟの走行比較 ④夜間作業の実験 ⑤雨天時の通信制御状態の確認 ⑥施工精度の有人との比較 ⑦歩掛り調査	①超遠隔操作重機数の拡大 ②集土(ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ)＋積込(ﾊﾞｯｸﾎｳ) ③ﾎｲｰﾙﾀﾞﾝﾌﾟのｽﾋﾟｰﾄﾞｱｯﾌﾟ（5→10km) ④カメラセット数の増設 ⑤女性オペレータの採用 ⑥システムの改善 ⑦歩掛り調査	①超遠隔操作重機数の拡大 ②ﾎｲｰﾙﾀﾞﾝﾌﾟ２台での運搬 ③ﾎｲｰﾙﾀﾞﾝﾌﾟのｽﾋﾟｰﾄﾞｱｯﾌﾟ(10→15km) ④ｺﾝﾄﾛｰﾙﾙｰﾑの作業環境の整備 ⑤システムの改善 ⑥歩掛り調査
実績の評価	①超遠隔操作は実施できた。 ②地山掘削は振動により難点あり。 ③ﾎｲｰﾙﾀﾞﾝﾌﾟは、走路の整備が必要 ④夜間作業は、実施できた。 ⑤雨天時も通信制御ができる。 ⑥施工精度は、今後の課題である。 ⑦歩掛り調査結果	①超遠隔操作は実施できた。 ②ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ集土により作業量アップ ③ｽﾋﾟｰﾄﾞｱｯﾌﾟにより作業量アップ ④映像の充実により操作性がアップ ⑤女性ｵﾍﾟﾚｰﾀの操作でｲﾒｰｼﾞｱｯﾌﾟ ⑥システム改善により作業量アップ ⑦歩掛り調査結果	①超遠隔操作は実施できた。 ②ﾊﾞｯｸﾎｳ能力にあった運搬機械ｾｯﾄ ③ｽﾋﾟｰﾄﾞｱｯﾌﾟにより作業量アップ ④ｵﾍﾟﾚｰﾀの疲労感の低減 ⑤システム改善により作業量アップ ⑥歩掛り調査結果

3－2　作業能力

施工機械の稼働実績・作業能力を分析し、有人施工（標準積算歩掛り）との比較を通して検証を行う。

（1）積込作業【バックホウ：ＰＣ６５０（３．０m^3級）】

積込作業能力の算定に影響を与える要素の比較を行い、次のような結果を得た。

能力要素の算定

	1期工事		2期工事		3期工事		備　考
	無人実績	有人標準	無人実績	有人標準	無人実績	有人標準	
q：1サイクル掘削量	2.29	(2.45)	2.66	(2.45)	3.12	(2.94)	※3期工事より平積バケット容量をアップ
f：土量換算係数	1.0	(1.0)	1.0	(1.0)	1.0	(1.0)	
E：作業効率	1.0		1.0		1.0		
Cm：1サイクル所要時間	49.2	(30.0)	25.6	(30.0)	23.2	(30.0)	※2期工事より旋回時の回転拘束を解除

（　）内の数字は、標準施工歩掛りによる

3期工事は、11月1ヶ月の実績である。

（2）運搬作業【重ダンプ：ＨＤ７８５（７８ｔ積）】

運搬距離が短いため、初速・終速が平均速度に大きく影響するが、道路の平坦性・十分な幅員の確保により、次のような結果を得た。

運搬作業の平均速度

		単位	1期工事 L= 150m	2期工事 L= 150m	3期工事 L= 270m	備　考
a	平均速度（実車）	km/h	3.6	5.4	8.1	
b	平均速度（空車）	km/h	2.0	2.8	5.3	※積込場所への移動とｾｯﾄ時間を含む

3期工事は、11月1ヶ月の実績である。

★参考値：トンネル施工での平均坑内運搬速度＝　８ｋｍ／ｈ（L=600m）　平均坑外運搬速度＝１２ｋｍ／ｈ

（3）考察

システム改良による重機自体の性能がアップしたことやカメラによる多方面からの映像情報の充実また、施工経験によりオペレーターの遠隔操作技術が向上したため、工事ごとに作業能力の飛躍的な増加を見ることができた。バックホウについては、機械足場を造成しながらの移動が難しいため、掘削押土するブルドーザとのセットで積込場所を固定するなど、施工方法も検討・改善を行った。

また、同一オペレーター・同一作業条件での有人・無人操作の比較テストを行い、能力算定要素に関し、ほぼ一致した測定値を得ることができた。運搬作業では、参考値に示したように、トンネルでの坑内運搬速度と同レベルの水準まで達したが、積込場所までのセット時間は、前進と後進の切替えに多少時間を要するため、これからのシステム改造が必要である。その他、当初の検討事項であったカーブでのハンドル操作・傾斜地での走行も問題なくクリアーすることができた。

本格的大規模工事では、長期使用となり、振動等によりシステム関連の無線機・電子機器等の整備点検が必要となり、稼働率を上げるための重要な要素になることがわかった。

4．おわりに

雲仙普賢岳の警戒区域で実施された無人化施工は、わが国で初めての大規模な試験フィールド工事であったが、今回の遠隔土工システムでの実績により、作業能力・安全管理・作業環境等で、予想以上の成果を得ることができ、実用段階の第1歩を踏むことができた。

今後の課題として、①警戒区域内でのトラブル脱出方法の検討
②遠隔操作システム使用機器の耐久性の向上
③ＧＰＳ測量を用いた、無人（丁張り）測量の実現
④施工精度の向上と無人化施工での施工管理値の確立　　等があげられる。

今までの建設業の技術開発は、効率アップのための機械の大型化・高性能化の方向に進んできた。一方建設産業は自然相手の現地単品生産のため、多産業に比べ厳しい作業条件での人力作業を多く必要とし、オートメーション化された生産体制は、不可能であると思われてきた。しかし、今回の実績をもとに、

将来の展望として、①無人化対象工種の範囲拡大（トンネル・ダム・構造物撤去工事）
②無人化対象重機の対象拡大（クレーン・杭打抜機）
③現有の無人重機の機能拡大（バックホウ自動法切工・ブルドーザ自動敷均し工）

等の開発が現実のものとなり、より広範囲の無人システム化が可能であることがわかった。

今後もさらに完成度を高め、付加価値の高い無人化施工をめざしていきたいと考える。