

富士砂防事務所管内砂防工事における 無人化施工の実施について

土屋 馨¹・竹内 昭浩¹

¹国土交通省中部地方整備局 富士砂防事務所 富士宮砂防出張所（〒418-0103 富士宮市上井出1321-9）

無人化施工は一般土木工事において実用技術か？
新たに開発されている技術や特殊な作業環境において活用されている技術のうち、汎用性が高いと思われる技術を一般的な現場へ応用していく段階において実績データの収集をしつつ問題点を抽出し、より実践的な技術へと進む。

キーワード：無人化施工

1. はじめに

土木工事において近年、社会的な需要の高まり及び施工技術の著しい進歩により無人化施工の活用が増加しつつある。工事種別により無人化施工に期待する効果は異なるところであるが、富士山の砂防工事においては発生予測の困難な土石流という危険因子から安全確保をし、工事を進めていくために様々な手法を試みており、その一手法として緊急避難の困難な施工箇所でも無人化施工による掘削を行った。また、富士山を含む静岡県周辺は東海地震・富士山噴火等社会経済に深刻な影響を及ぼす自然現象が懸念されている地域である。活火山「富士」の山裾において無人化施工を経験する事により、有事の際の緊急対策に必要な工法をより実践的なものとするためのいわばリハーサルを兼ねており、富士山周辺の土木業界において無人化施工を体験させるという役割を持っている。

2. 無人化施工の背景

施工対象とした富士山大沢川扇状地は富士山の西斜面に位置する大沢崩れに源を発する大沢川が標高900m付近から扇状地形を形成している場所であり、これまでたびたび土石流が発生している現場である。特に平成16年12月5日に発生した土石流では、発生時の時間雨量12mm/hr、連続雨量74mmとそれほ

ど強くない降雨により発生しており、工事稼働日の昼間に同様の状況となれば現場の避難が間に合わなかった可能性もある。写真-1に土石流発生状況を示す。土石流で流下した土砂は大沢川扇状地で堆積させるが、一旦堆積した土砂は人為的に除去しないと次回の土石流で流下する土砂のポケット容量が不足してしまうことになる。したがって土石流の危険にさらされる区域での除石工事を行わざるを得ない。工事の安全を確保するために、上流域での土石流の検知、警報発令システムの構築、避難場所の設定、避難訓練等を実施しているところであるが、土石流を検知してから施工箇所に到達するまでの時間内に施工箇所からの避難が間に合わない区域について、安全対策として無人化施工による土砂掘削と運搬を選択した。



写真-1 土石流発生状況

3. 施工箇所概要

施工箇所は写真-2に示す大沢川扇状地第7床固工下流、標高700m程度の位置にあり、幅約400mの落差工と除石工を実施する現場である。



写真-2 施工箇所全景

現場はほとんどが大沢川からの土砂に覆われており非常に透水性が高い地質で常時表流水はなく、多少の降雨でも表流水はあまり認められない。河床構成材料は大沢崩れより流下してきた土石流堆積物であり、1,500mm程度の巨石を多く含んでいるため有人施工においても掘削機種によっては転石の除去に苦慮する状況である。有人施工では0.6m³~1.4m³級のバックホウを組み合わせることで施工しており、最大で1.8m³級の機種を投入することもある。

計画した除石範囲のうち、ほとんどは有人にて施工するが、図-1に示す範囲では土石流が発生した場合、検知してから施工箇所に土石流が到達するまでの時間内に避難を完了できないため無人化機種にて施工を実施する。



図-1 無人化施工対象箇所

4. 事前検討

(1) 施工区域の検討

土石流を検知してから扇状地に到達するまでの時間は約4.7分である。

監視カメラ～扇状地：4,500 m

土石流の流速（実績）：11.1～15.9 m/s

$4,500/15.94=4.705$ （分）

作業員の避難速度を約4km/hとすると避難可能範囲は一次避難地を中心に半径310mの円を描いた内側となるので円の外側になる範囲を無人化施工対象区域とする。

(2) 除石規模の設定

無人化施工対象範囲だけを対象に除石をすることは現実的では無いので、対象範囲を包含する25m×35mの範囲とし、掘削深さは3.0mの計画であるが、対象範囲にはブロック積みにて施工する落差工の床付面も含み、今回は試験的要性質を持つ施工のため、床付面まで0.5mの余裕を残した2.5mまでを無人化にて施工するという設定をしている。除石数量は約2,200 m³となる。出来形の規格値は設けず、深さ2.5mで概ね平坦に仕上げることとした。なお、出来形の管理としては除石した土砂を搬出先にて有人計測した。

(3) 作業機種の選定

無人化施工を必要とする緊急時において特殊な機械の調達は困難であることより、

汎用性の高い機種であること

現地条件に合った作業能力を有すること

として有人施工の使用機種に準じ、1.4m³級バックホウを用いて掘削積込を行う。また、掘削した土砂は11t積クローラダンプにより有人施工範囲まで運搬・検測したのち残土搬出先まで別途運搬する。台数については通常の土工と同様に機械の作業能力に偏りが生じないように設定している。

(4) 操作系機器の選定

無人化施工には

目視 + 有線操作

目視 + 無線操作

カメラ映像 + 無線操作

自立航法による自動操作

等が考えられるが、大沢川扇状地の作業環境を考慮しカメラ映像 + 無線操作を選定している。

無線については、障害物の無い現場であり、操作室と施工箇所との見通し距離が300m程度であること

より、特定小電力無線を選定している。特定小電力無線の場合、無線局免許や無線従事者資格が不要、指向性がほとんど無いというメリットがあるが、他の無線機などの混信が懸念される。特定小電力無線の実用的な通信距離の限界に近い距離であるが、無線が途絶えた場合の挙動を確認するため中継局は設定していない。映像については画質とチャンネル数を重視し簡易無線を選定したが、無線局免許が必要となる。

使用する機械・設備を表-1にまとめる。

表-1 機械・設備等一覧

施工機械			
機械名	規格	数量	
遠隔操作式バックホウ	1.4m3級	1	
遠隔操作式クローラダンプ	11t積	2	
移動式カメラ車	バックホウ架装	1	
使用無線			
無線局	目的	数量	
特定小電力 429MHz	重機操作	4	
特定小電力 422MHz	アンテナ制御用	1	
簡易無線 50GHz	映像用	2	
使用カメラ			
カメラ名称	設置箇所	目的	数量
固定カメラ1	固定式操作室	全景監視用	1
固定カメラ2	無線基地局	クローラダンプ走路監視用	2
車載カメラ1	移動式カメラ車	バックホウ作業監視用	1
車載カメラ2	バックホウ	バックホウ作業自走用	2
照準カメラ1	無線基地局	バックホウ照準用	1
照準カメラ2	無線基地局	移動式カメラ車照準用	1
その他			
名称	数量		
固定式操作室	ユニットハウス	1	
無線基地局	固定タワー	1	

5. 現場施工

実際に機械を調達し、大沢川扇状地にて施工箇所から約300m離れた操作室より無線及びカメラ映像による遠隔操作を行った。無人化施工により掘削した場合の日作業量を表-2に、施工期間内における日作業量の推移を図-2に示す。

表-2 無人化施工日作業量

作業日	1	2	3	4	5	6	7	8	9
日作業量(m3)	175	240	250	265	265	260	285	300	255
作業累計(m3)	175	415	665	930	1,195	1,455	1,740	2,040	2,295
日平均作業量	175	207	221	232	239	242	248	255	255

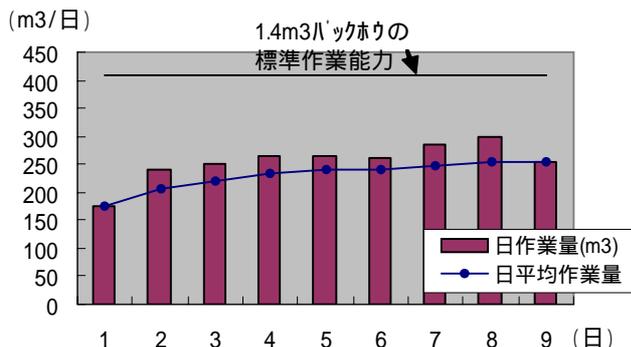


図-2 作業能力の推移

図-2より、着手直後が若干作業量が少ないが、その後はほぼ安定した作業量となっていることより、オペレーターの習熟は4日程度あれば十分と思われる。また、今回は実作業9日と非常に短い期間であったため、長期作業となった場合の作業能力の推移が確認できていないが、

オペレーターが搭乗せず機械が稼働するため「手応え」を感じない運転となり、機械への負担が大きい。

遠隔操作機器、無線機、カメラなど精密な補機類が増えており信頼性が未知数。

により整備の長時間化が予想され、長期的には作業効率は今回の結果よりも下がるのではないかと考える。

今回の掘削では除石の一部を無人化にて施工するということであり、また、緊急対策時の無人化施工においても現場の仕上がりより、速やかな土砂除去が期待されることから、写真-3,4のような状況であり、特に出来形を求めるのではなく、除去する土砂量の確保に主眼をおいた施工になっている。出来形を強く求める工種では施工困難であったと思われる。当該現場では、出来形を強く求める工種に無人化施工を適用した場合、巨石を多く混入する地質により、出来形の確保はさらに困難を極めることが予想される。施工概要を図-3に示す。また、システム図を図-4に示す。



写真-3 施工状況



写真-4 掘削後の状況

大沢川扇状地無人化施工概要

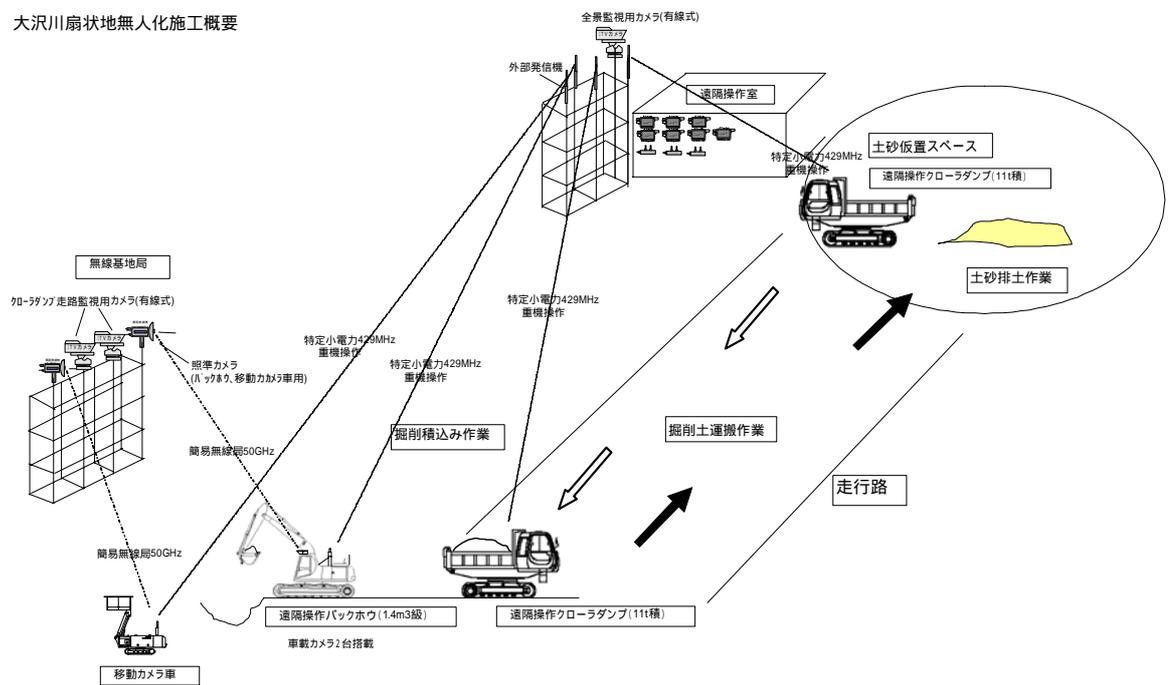


図-3 施工概要

6. 着手に要する日数

通常の工事を構成する工種は単純化すると次のとおりである。

計画 - 準備工 - 仮設工 - 本體工 - 後かたづけ

無人化施工においても同様であり、総工事日数はこれらの合計となる。

このうち、特に重視しなければならないのが仮設工までの所要日数である。それぞれ概ね

計画 (14日)

機械手配、関係機関打合せ、工程計画等

準備工 (4日)

測量、機械搬入・調整、運搬路造成、動作確認

仮設工 (3日)

操作室、アンテナ等設置

以上のような日数を要するので着手前に1ヶ月程度を見込んでおく必要がある。なお、調達しようとしている施工機種が稼働していない場合の状況であり、上記は最短の着手日数と考えるべきである。

また、映像無線の許可申請に3週間～1ヶ月程度かかるため、使用機材を決定し、調達見込みがついた時点で速やかに申請を出す必要がある。

7. 通常施工との施工効率の違い

第5項で日作業量の推移を示したが、日作業量は約250m³であり、同等機種を有人にて施工した場合の約60%の施工効率となった。これは、カメラ映像という2次元の情報から操作をすることによる距離感把握の困難さ及びVDT作業となるため、休憩をこまめに取る必要があることなどに起因すると考えられる。休憩時間の違いによる施工効率の差を消去した場合は時間あたり44.1m³の作業能力となり、有人にて施工した場合の約65%となる。距離感については掘削機種のアームにマーキングをしたり、走路にカラーコーンを置くなどしてある程度の効率化は図れると考えられる。

今回の施工ではバックホウの掘削能力に対しクローラダンプの運搬能力が高めとなるよう機械を配置したが、結果としてはクローラダンプの作業にタイムロスがあったため、当初の想定とは逆に全体の施工能力をクローラダンプに支配されていた。その原因としては、

施工範囲に対して走路監視用カメラの監視位置が低く、遠近感を掴みにくかった
降雨により走路に沿って溝が出来た

以上2点により、慎重な運転となったためタイムロスが発生したと考えられる。

8. まとめ

大沢川扇状地にて実際に施工した結果、以下のような評価となる。

オペレータの習熟には4日程度を要する

施工能力は約250m³/日、標準に対し0.60

順調な場合でも着手までに約1ヶ月要する

今回の施工では事前の検討によりある程度の準備期間を確保出来ていたため、大きなトラブルも無く作業が進行したが、事前の検討で想定する使用機種の規格、施工能力などはあくまで机上論であり、過度に信頼は出来ない。

汎用性が高いであろう機種を選定したが、実際には他の現場で稼働しており機械調達に困難を極めた。全国の無人化施工機械を対象として保有・稼働状況、連絡先などがリアルタイムでわかるデータベースの構築が必要である。

施工速度と出来形の精度とは相反する関係にあり、無人化施工用の出来形管理基準が必要である。また掘削では地質に出来形を左右される。

・通常機種の運転と違い仮想体験での運転であること、VDT作業の要素を含むことより、オペレーターが定期的に経験を積める環境整備と連続作業時間の規制が必要である。

富士砂防事務所では大沢川扇状地で実施した「無線+カメラ映像」による無人化施工のほかに、「無線+目視」による無人化施工を実施している。今後、災害現場ではないが危険を伴う作業において積極的に無人化施工を導入していくことにより、無人化施工の普及・一般化が期待でき、業界全体としても無人化施工の経験を得ることで災害時などにより迅速な対応が可能になるのではないかと考える。