

平成25年度

樽前山火山砂防事業における無人化施工 実施事例の紹介

室蘭開発建設部 施設整備課

○高松 茂
石場 聡

樽前山では融雪型火山泥流が発生する可能性が高いと判断された場合、無人化施工により緊急対策を行うこととしている。しかし無人化施工は積雪寒冷状態での施工事例が無いため、災害発生の可能性が高まった場合” 確実な実施及び迅速な施工” を目指し、現地試験を行い課題抽出と課題に対する解決策の検討を行っている。その中で平成24年度は無線LANを使用した現地試験を行ったので、その概要について報告する。

キーワード：安心安全、防災、防災

1. 樽前山における無人化施工

(1) 樽前山で無人化施工

樽前山は噴火が起こると大規模な「融雪型火山泥流」や「土石流」の発生する可能性が高く、発生時には緊急ハード対策を行うこととしている。実施にあたり作業員の安全確保を行う観点から、立入禁止区域（泥流到達箇所等）での作業は、「無人化施工」が必要とされている。



図-1 無人化施工イメージ

(2) 過年度の取り組み

樽前山では平成14年度から現地試験を行っており土砂掘削、盛土敷均、護岸ブロック工、伐開工を夏期と冬期に施工している。平成22年度からは、冬期施工に関する「課題と解決策」をテーマに現地試験を行っている。



図-2 過年度の現地試験実績

2. 平成24年度の現地試験目的

平成24年度の試験目的は次に掲げる4点としている。

- ①噴火時の緊急ハード対策の一つである「ブロック積み工」を冬期に無人化施工する場合の課題を把握
- ②” 積雪寒冷地” における無人化施工マニュアル（案）の作成に向け、基礎データの収集
- ③無人化施工機械の地元オペレータの育成
- ④冬期の積雪寒冷地における超遠隔操作の適用性の確認

3. 試験概要

(1) 現地試験概要

試験期間 平成25年1月24日～2月4日

試験場所：樽前山麓の苫小牧市 錦小牧川2号遊砂地

試験工種 ブロック積み工とブロックの運搬
ブロック重量4t 据付数量90個

試験項目 サイクルタイムの計測

超遠隔操作での施工についての課題抽出

無線システムの適合性確認の関するデータの収集

(2) 樽前山における冬期気象条件

試験時の気象条件は積雪深は20～35cmで、気温は苫小牧のアメダスと現地の温度計によるのもので、試験期間中は現地最低気温が早朝に-10℃以下を連日記録し最低値は-16.5℃を記録している。

なお、グラフ上の現場気温が日中プラスとなっているが、直日光の影響によるもので、温度計設置場所に問題があった。また、最低気温は苫小牧のものと同じ傾向を示している。

天候は試験期間中に吹雪が1度発生したが、それ以

外は晴天や曇りで穏やかであった。

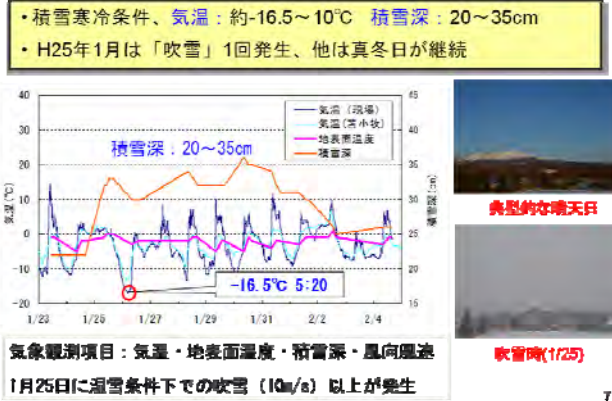


図-3 試験時の気象

(3)無線システム

現地試験に使用した無線は、遠隔操縦室から直接無人化機械へは、遠距離でかつ途中にセルダムがあるため直接通信を行うことが出来ない。そのため途中にあるセルダム上に無線中継局と施工ヤード内に移動中継車を置くことにした。遠隔操作室と無線中継局間と、無線中継局から移動中継車までは、長距離通信で高速通信が可能な25GHz帯無線を使用し、移動中継車と各機械間はローミングが可能な5GHz帯無線アクセスシステム(無線LAN)を使用した。



図-4 遠隔操作室—無線中継局間の無線

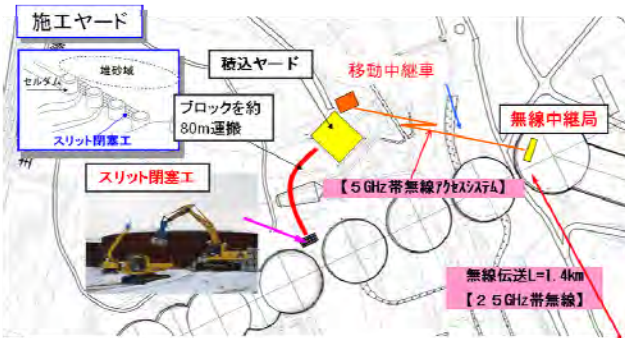


図-5 施工ヤード内無線と機械配置

(4)使用機械

Shigeru Takamatsu, Satoshi Ishiba

使用した機械は図-6～9に示す遠隔操縦機械である。



主要機器	
バックホウ	0.5 m ³ 級
無線装置	5GHz アクセス無線 1台
遠隔操縦装置	1台
発動発電機	2kVA 1台
※カメラを外しバックホウとして使用可能	

図-6 移動カメラ車



諸元	
全長	3.3m
全幅	1.75m
重量	3.8t
アーム高さ	4.38m
主要機器	
アタッチメントにカメラ	2台
無線装置	5GHz アクセス無線 1台
	25GHz帯無線 1台
カメラ	1台
遠隔操縦装置	1台
発動発電機	2kVA 1台

図-7 移動中継車



主要機器	
バックホウ	1.4 m ³ 級+把持装置
カメラ	3台
無線装置	5GHz アクセス無線 1台
遠隔操縦装置	1台

図-8 遠隔操縦式バックホウ



主要機器	
クローラダンプ	11t 級
無線装置	5GHz アクセス無線 1台
遠隔操縦装置	1台

図-9 遠隔操縦式不整地運搬車

4. 試験結果

(1) 機械調達

機械の調達運搬は、バックホウとクローラダンプは長野県から新潟港まで陸路を運搬し、新潟港から苫小牧港へはフェリーを利用しへ運搬した。



図-10 機械調達先及び運搬ルート

移動カメラ車、移動中継車は大阪府から舞鶴港まで陸路運搬し、舞鶴港から苫小牧までフェリーを利用した。

また、平成23年度の試験では苫小牧港到着時に移動カメラ車が燃料凍結によるエンジントラブルが発生したが、今年は昨年の反省を踏まえ、本州発送時に寒冷地用燃料に切り換えたためトラブルは無かった。

(2) 実施工程

現地試験に当たり準備作業として、主に機械の調達と運搬、無線アンテナ用足場設置、無線機器・映像機器の運搬と組立がある。

詳細は表-1に示すように、遠隔操縦機械と無線映像機器の運搬に5日間、機器の設置組み立ての6日間を要し、準備全体では2週間程度を要した。

表-1 実施工程表

工種	区分	日数	平成25年1月																															平成25年2月									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
準備	準備工(仮設工)	有人	5													足場組立																											
	無人化施工設備調達	有人	7	■																																							
	遠隔操作室(含無線基地局)	有人	5	■																																							
	無線中継局	有人	5	■																																							
	無人化設備工(機械関係)	有人	6	■																																							
施工	無人化施工事前演習	無人	1																																								
	無人化施工	無人	10	■																																							
	跡片付工	有人	3																																								

(3)オペレータと現場技術者



図-11 経験者による地元オペレータへの指導状況

現地試験では経験者が地元オペレータに基本操作を指導し、育成は事前演習1日・予備試験5日・本試験5日の11日間実施した。

終盤になると、経験者と遜色無い程度に作業をこなしたオペレータもいた。

機器の維持管理には下記の技術者を配置し、メンテナンス実施や故障等に備えた。

- ・ 電気通信技術者：設備の管理とカメラ操作を担当
- ・ 機械整備工：遠隔操作式建設機械の点検整備を担当

(4)各機械及び機器における暖機運転の必要性

始業時には各機械のエンジンや機器の始動を行うが、気温が氷点下を下回ると、遠隔ではエンジンが始動できなかった。その後、有人でエンジン始動を試みたところ正常に始動した。しかし、無線機器が1時間程度正常に作動しない状況となった。

施工期間中の状況をまとめた表-2のように、気温が氷点下であると有人での再起動が必要なことがわかる。

原因としては無線機器の使用温度が0～+40℃であり使用範囲外の低温であったため、うまく作動しないことが考えられる。なお1時間程度暖機運転を行うと問題無く作動した。

このことから寒冷地では十分な暖機運転又は無線機器の保温対策が必要と考えられる。

表-2 気温とエンジン再起動の関係

	1月									2月		
	23日	24日	25日	26日	28日	29日	30日	31日	1日	2日	4日	
再起動有無	有	有	無	有	有	有	有	無	—	無	無	
始業時気温(℃)	-1.1	-6.0	1.6	-12.6	-4.8	-2.3	-3.9	3.1	-2.9	2.5	-1.9	

(5)吹雪による無線の途絶

試験期間中に吹雪により25GHz帯無線のアンテナに雪が付着し、映像が乱れ最終的に通信が途絶し施工を中断することがあった。

途絶時の無線受信電力は正常通信可能目安の-70dBを

下回る値であった。なおアンテナの雪を取り除くと通信は正常に回復した。無線アンテナは雪が付着しにくい材質や形状とすることが必要と考えられる。



図-12 通常時の映像と無線アンテナ

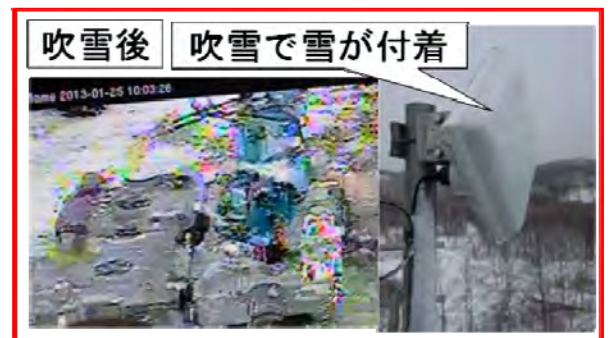


図-13 無線途絶時の映像と無線アンテナ

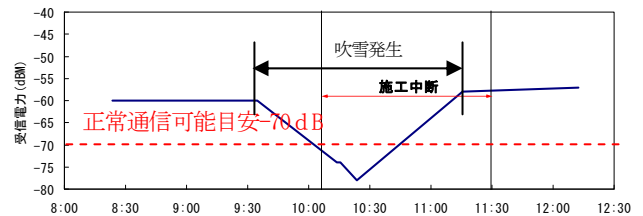


図-14 吹雪と受信電力の関係

(6)現地試験の標準的な1日

表-3は試験期間中の標準的な1日の流れを示したものである。

準備・暖機運転に1.5時間、終業時の機械の点検等に0.5時間となり実施工時間は5.5時間となり、寒さによる暖機運転実施などがあり準備に時間を要していることが分かる。

また現場から操作室までの距離が遠くなるほど点検等に要する時間が長くなる。

表-3 現地試験の標準的な1日

工種	時間	作業内容
準備工	AM 8:00	朝礼（遠隔操作室で作業内容確認）
	AM 8:10～AM 8:20	施工ヤードへ 車で移動(L=1.4km)
	AM 8:20～AM 9:30	発電機起動・車両点検・暖機運転
施工	AM 9:30～PM12:00	午前の作業(60分に1～2回休憩)
	PM13:00～PM16:00	午後の作業(60分に1～2回休憩)
準備工	PM16:00～PM16:30	機械点検・発電機停止（車で移動）
	AM16:30	終業（1月下旬の日没時刻）
備考	PM17:15頃	※モニターはこの時間まで比較的鮮明に写る

5. まとめ

今回の試験施工により、積雪寒冷地でも無人化施工が可能なが分かったが、今後対策が必要な課題点も見つかった。

- ①無人化施工は緊急時に行うことを前提としているが、機械が道内に在場していないため、本州から機械の調達となる。準備に時間が要するので今後も検討が必要。
- ②遠隔操縦機械は積雪寒冷地での使用を考慮されていないため、本州から発送前に必要な防寒対策や整備を行う必要がある。
- ③吹雪による無線障害について考慮する必要がある。
- ④運転操作の経験があるオペレータは道内にほとんどいないため今後も育成が必要。
- ⑤施工に使用するカメラは積雪による乱反射や逆光などにより視認性低下があるので、日射の方向を考慮してカメラの設置が必要。また、日没後30分程度はカメラ映像のほうが明るく見えるため施工は可能。

⑥日々の施工には、本州の施工例と比べ暖機運転などの準備に時間が要するので、工期設定には考慮が必要。

⑦デジタル無線LANで1.4km離れた場所から遠隔操作を行ったが、吹雪によるアンテナ着雪の無線障害と低温による作動不良以外は問題が発生しなかった。

6. おわりに

無線LANを使用した無人化施工は、火山災害や土砂崩落発生地で行われているが、積雪寒冷状態での施工は他に例が無く手探り状態で3年目の試験施工となった。低温や雪による不具合が発生したが、それ以外は大きなトラブルも無く施工を終えることが出来た。今後は今回問題となった点の解決に向けた検討と新たな工種の追加、また、光ケーブルを活用した超遠隔操作について検討していきたい。

表-4 試験結果を踏まえた今後の検討項目の抽出

項目		昨年度までに抽出した課題	H24年度試験結果	今後の検討項目
A. 調達・育成	機械	緊急時の調達性	・調達日数：道外から稚駒山まで約9日かかった。 （船発と陸送） ・送料運送：稚駒山地盤料への切替を本州で実施し、本州で取寄せに約5日間のトラブルは発生しなかった。 ・調達まで合計9日間かかることがわかった。	○ 今後も 継続確認
	オペレータ	オペレータの育成	・オペレータ育成：有資格者を対象に2名実施（うち1名はH18年度及びH20年度に経験）	○ 今後も 継続確認 ・無人化施工の講習会
B. カメラの視認性・機械設備	視認性低下	光乱反射や吹雪による視認性低下	・光乱反射：カメラの設置方向に工夫することで乱反射は解消される。（日射の方向を考慮して対応） ・夜間施工：日没後30分程度は施工可能（日視よりも明るい環境）	◎ 遠隔施工の実施検討
	機械凍結	始業時の暖機運転	・暖機運転：始業時に気温が氷点下の場合1時間程度必要（H23年度からの継続確認） ※無凍結油が搭載された、キレビンの暖機が必要	○ 今後も 継続確認
C. 無線システム	気象条件	吹雪状態における対策	・吹雪時にアンテナに着雪し通信が途絶	◎ アンテナの覆り着防止対応
	デジタル化	無線のデジタル化（H23年度7月現在）	・道内初の全デジタルによる無人化施工を実施し、アナログで発生した誤爆は発生しなかった。	◎ 光ケーブル網の活用（10km以上からの施工）
	超遠隔操作	1.4km離れた場所から超遠隔操作を実施し、問題点は発生しなかった。	◎ 光ケーブル網の活用（10km以上からの施工）	

凡例 ◎：新たな課題(未確認事項)、○：継続確認項目