

神通川水系砂防事務所における無人化施工の 取り組みについて

○神喰 航平¹

¹神通川水系砂防事務所 工務課 (〒506-1121 岐阜県飛騨市神岡町殿1020番地4)

令和7年度、平湯川流域貝塩の法面对策工事において、リモコン式無人化掘削機による「セーフティークライマー工法」を実施した。本論文では、実施した無人化施工の取組内容と現状の課題点を紹介し、砂防事業における無人化施工の立ち位置と、今後期待する展望についてまとめた結果を報告する。

キーワード 安全対策、無人化施工、遠隔操作、ICT

1. はじめに

神通川は岐阜県を源に発し、富山平野を貫流して日本海に注ぐ、流域面積2720 km²、幹線流路延長120 km、河床勾配1/70～1/1,700の日本有数の急流河川である。神通川流域における直轄砂防事業は、大正8年に宮川流域の小豆谷・桑谷にて始まったが、現在では神通川支川の高原川流域にて事業を行っている(図-1)。管内には、北アルプスと温泉を資源とする観光地が点在し、100年を超える砂防事業を通じて土砂災害による被害から地域を守り、その暮らしを支えてきた。本稿では、神通川水系砂防事務所の事業の中でも、平湯川流域貝塩にて実施した、無人化施工に関する取り組みについて報告する。



図-1 神通川水系砂防事務所管内概要図

2. 砂防の無人化施工の背景

無人化施工は、平成2年11月に発生した雲仙普賢岳噴火に起因する土石流対策工事から本格的に導入され、平成12年の有珠山噴火による被害拡大防止対策など、土砂災害への対応を中心に技術開発されてきた。

砂防工事は作業ヤードが狭く、かつ傾斜地が多いなど施工条件が厳しい中で行われ、事業の目的からして土石流や斜面崩壊の発生しやすい場所であるのが一般的である。さらに近年、少子高齢化、建設業就労者数の減少などが進展する中、工事中の緊急避難対策を含めた安全対策が重要な課題となっており、安全かつ効率的に砂防工事を実施するためには無人化施工を活用していくことが重要である。北陸地方整備局では、松本砂防事務所において平成13年度から姫川水系浦川の砂防工事に無人化施工を導入し、神通川水系平湯川支川白谷流域において無人での砂防堰堤工事を行った。



図-2 神通川水系砂防事務所の無人化初導入

表-1 法面掘削工法の比較検討

工 法 名	人力掘削	高所法面掘削機	リモコン式無人掘削工法(SCM)
工法概要	人力にて施工	基本的に有人重機による機械施工	リモコン操作による遠隔無人施工
施工写真			
施 工 性	・人力除去不可能な根株や転石が残る ・増員が可能であれば工期短縮できるが、人手不足が顕著である	・根株や転石の除去が可能である ・掘削機を支えるためのリヤが必要 ・重機位置より上側の施工が基本となる	・根株や転石の除去が可能である ・掘削機を支えるためのリヤが必要 ・機械構造上、縦横方向への移動が容易かつ、360度どの方向も掘削可能である
安 全 性	・高所危険作業を伴い、作業員の労働負担が激しい	・機械施工のため人力と比較して安全 ・横方向の移動に制限がある	・遠隔操作のため極めて安全 ・滑車の数を増やし荷重の分散可能
工 期	-	人力施工の半分程度の期間	人力施工より半分程度の期間
経 済 性	△	○	◎

3. 貝塩地区法面工における無人化施工

(1) 採用工法

当該現場における掘削工は、斜面下部からの比高差が40m以上ある崩壊部であるため、標準型バックホウの登坂ができない急崖斜面であることから、リモコン式無人掘削機による「セーフティークライマー工法(SCM)」を採用した。この工法は、高所急傾斜地での安全な施工を目的として2003年に開発された工法である。ワイヤー式ラジコン掘削機(0.16 m³級)(通称ケンファイター)を使用し、ワイヤーにて法面上に吊り下げ、オペレーターがプロポ(送信機)にて遠隔操作し、斜面上の施工を行う。縦横方向の迅速な移動が可能であり、高所急傾斜地での掘削・段跳・法面整形・除根等に適用できる。危険を伴う搭乗操作の必要性がないため、長大かつ急勾配な高所法面掘削に適した工法である。



図-3 無人化掘削状況

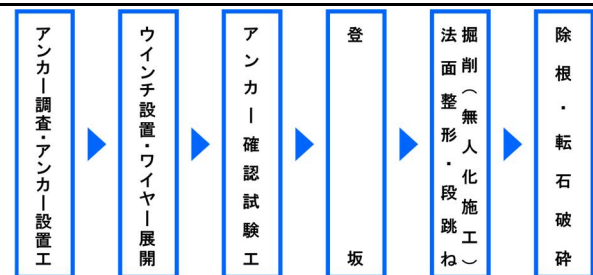


図-4 セーフティークライマーの作業フロー

(2) 施工手順

a)アンカー調査・アンカー設置

本工事では現場法面上部の立木を用いた「立木アンカー」と、伐採した丸太を地中に埋め、土砂で埋め戻して固定する「埋込アンカー」を使用した。施工箇所天端の直線幅が46 m、掘削法長が86 m、法面勾配約41°

(SCMは勾配70°まで掘削が可能)であるため、第1滑車を含めてアンカー本数は7本とし、アンカー同士の間隔を20m以下となるよう設置した。

b)ウインチ設置・ワイヤー展開

ウインチ設置場所の地盤を水平になるよう整地し、敷鉄板上に固定したうえ、同一敷鉄板上にバックホウ(0.45 m³級)を積載し、重量物置換アンカーとした。ワイヤーはφ20 mm、切断荷重237 kNのものを使用し、ウインチ周辺は立入禁止措置を行い点検時は発電機のエンジンを必ず切るようにした。



図-5 埋込アンカー・ウインチ設置状況



図-6 アンカー確認試験

c)アンカー確認試験

アンカーが所定の強度を有しているか引張試験にて確認した。セーフティークライマー工法に使用するウインチには荷重計換算で計測するテンション計が標準装備されており、電力計が26.2 A（換算値4.0 tf）を示すまで載荷する。試験の結果、所定の強度の確認ができ、傾き・しなり・抜根等の異常が見られなければそのアンカーを採用とした。

d)登坂

ウインチでワイヤーをゆっくりと巻き取りながら掘削機を走行させ登坂する。掘削作業位置にケンファイターが到着したらウインチの巻き上げを停止し、ワイヤーが固定され機械が下がらないことを確認し、作業を開始する。

e)掘削（無人化掘削）・法面整形

掘削・法面整形はワイヤー式ラジコン掘削機0.16 m³にて行う。ワイヤーが跳ね上がる可能性があるため、ワイヤー・ウインチ付近はカラーコーン等で立入禁止明示をした。掘削機に土砂・岩塊等が当たらない位置関係での作業に留意し、機械の直上での作業は避け、左右下方向に向けて作業した。掘削土砂が法面上にとどまる場合は法尻付近まで土砂を落とした（段跳ね）。

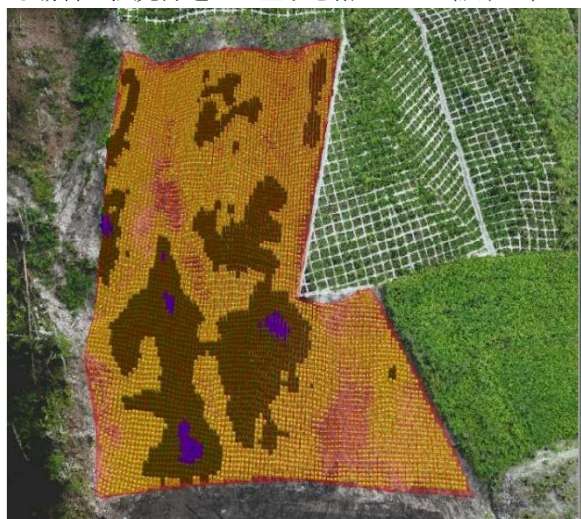


図-7 3次元測量結果

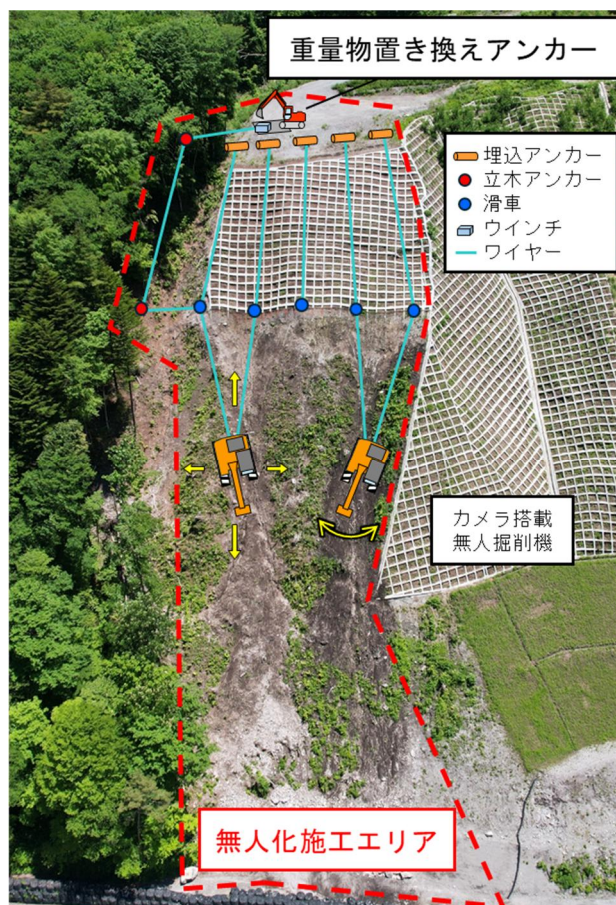


図-8 セーフティークライマーの掘削状況図

f)除根・転石破碎

施工範囲内の木根は、掘削機で木根周辺の土砂を除去したあとに除根した。除根した木根については根に絡まった石がほぐれて落石となる可能性があるため、周囲の状況に十分注意したうえで、法尻方向に落とした。

(3) 出来高管理について

本工事の無人化掘削範囲は、法面形状が不均一かつ長大な法面であったため、従来の平均断面法では正確な数量算出が不可能であり、人力による測定は危険かつ生産性が低い。そのため、セーフティークライマーによる掘削の前後にUAV測量を実施し、点群測量結果（差分）から掘削土量(m³)・法面面積(m²)とした。

(4) 本工事におけるセーフティークライマーの創意工夫

セーフティークライマーの工法マニュアルでは、法肩・法尻・法面上の比較的安全な場所よりリモコン操作を行うとされている。しかし、本工事では表土を除去し地山を露出させるため、掘削しながら土質を確認する必要があり、起伏が激しくかつワイヤーが張られている法面上で移動しながら掘削機を操作することはリスクがあると考えられた。過年度工事ではワイヤー切断による事故のリスクを考慮し、バックホウの稼働中はアンカーとバックホウを結ぶ鋭角内及びワイヤー

から5 m以内は立入禁止とするルールを設定し、作業員のリスクを減らせるような運用をしていた。しかし、実際は頻繁にバックホウ周辺での確認作業が発生し、機械への接近を余儀なくされる状況が生じていた。そこで本工事では、バックホウ本体にカメラを取り付け、操作者が法肩や法尻の安全な場所からバックホウを目視しつつ、モニターの確認をできるよう改善し、結果として、カメラ無しと比較して約170時間の法面作業時間の削減をできた。また、定点で作業できることから熱中症対策等の休憩もとりやすく、快適な環境下での施工がカメラリースの2ヶ月間約50万円で実現できた。北陸地方整備局管内でのカメラとモニターを併用してのセーフティークライマー工法は、初めてであった。

4. 無人化施工の現状・課題・まとめ

北陸地方整備局管内でも無人化施工は多く導入されているが、受注者の希望ではなく発注の段階で無人化施工を指定している工事がほとんどである。無人化施工には、リスクの大きい工事現場で施工者の立ち入りを最小限にしながら安全に施工ができるというメリットがあるが、導入費用・維持費用が高額なことや、施工性が有人と比較して容易ではないため、機械・作業員への負担が大きく、発注者の指定がなければまだ導入されないケースも多い。

一方で人口減少・担い手不足の社会状況も踏まえると、生産性・安全性向上のための無人化施工の取り組みは必要不可欠であり、特に狭隘な遠隔地にある溪流や斜面等の危険箇所での作業が必須である砂防関係事業においては、無人化施工への参入障壁を低くし、施工者から無人化施工の実施希望が増えるような環境を整える必要がある。実態としては無人化施工の技術は進ん

でいる一方、必ずしも無人化が必要とされない現場では導入されていないケースがほとんどだと感じる。無人化施工の過渡期である現在は、比較的风险の低い工事でも発注者指定の工事を増やし、無人化施工の経験のある施工者を増やして、無人化施工導入の地盤を整えることから進めることが重要だと考える。

また、砂防現場における無人化施工活用事例集をみると、現代砂防において“無人化”は適用できている工事は多くあるが、“自動化”を適用できている工事はほんの僅かであり、北陸地方整備局管内では無い。他地整の様に噴火警戒レベルの高いなか、緊急を要する施工が必要ないため導入されないことも分かるが、今後管内で抱えている火山砂防において有事の際に実働が困難にならないようにするために、平時からの自動化施工を取り入れることも必要だと考える。神通川水系砂防事務所では平湯川支流の白谷における無人エリアの土工で、不整地運搬車による土砂運搬を運行経路を記憶させることにより自動化が適用できると考える。各事務所において無人化に加え自動化の活用も推進し、砂防現場におけるDXを次のステップに進める、進化圧をかけていくことも必要なのではないかと考える。

謝辞：本論文作成にあたり、情報提供や助言をくださいました関係者の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1)神通川水系砂防事務所：飛騨の砂守百年史
- 2)北陸地方整備局：無人化施工 設計施工マニュアル
- 3)セーフティークライマー協会：安全第一・早期施工「セーフティークライマー工法」まるわかり辞典
- 4)砂防部 保全課：砂防現場における無人化施工事例集



図-9 アームにカメラを設置したことにより安全な範囲からの無線操作を実現