

飯豊管内の砂防現場における作業効率向上への取り組みについて

乙川 昌也¹・梶本 陽介¹・佐久間 颯世¹

¹飯豊山系砂防事務所 工務課 (〒999-1363 山形県西置賜郡小国町大字小国小坂町3丁目48) .

狭隘な山間地で衛星通信環境が悪い砂防工事現場において、新技術（「杭ナビショベル」や「Starlink」）を活用し、従前より課題となっている作業効率向上への工夫を行ったことから、本稿にてその取り組み事例を報告する。

キーワード 飯豊山系砂防事務所、インフラDX、生産性向上、新技術

1. はじめに

飯豊山系砂防事務所管内の砂防現場である藤沢川第3号砂防堰堤その3工事（以下、(当現場)という.)は、新潟県岩船郡関川村田麦地先に位置する一級河川荒川水系女川の右支溪藤沢川に計画された藤沢川第3号砂防堰堤(図-1)を施工する工事であり、既設の1号、2号とあわせて集中豪雨等による土砂災害から下流の保全対象や国道290号を守ることを目的としている。

当現場は、急傾斜地であり複雑な掘削形状であることに加え、狭隘な山間部で衛星通信環境が悪く従来のGNSSによる測位システムを用いたICT施工が極めて困難という課題がある。また、作業効率や安全度の向上だけでなく、携帯電話等の使用も困難であり、緊急時の連絡が遅延すること等も課題となっている。



図-1 藤沢川第3号砂防堰堤 位置図

2. 現場状況について

(1) 施工条件と懸念事項

藤沢川第3号砂防堰堤は堰堤高18m、堤底幅約22.8mのハイダム構造となっており、本堰堤・副堰堤・前庭保護工を合わせ、掘削量が約15,360m³（内、軟岩I 10,560m³）と非常に大規模な施工となる。現場は切り立った岩壁で複雑な形状であり(図-2)、従来通りの丁張り掛け作業を行うと丁張り材の運搬やぶら下がりながらの人力作業(写真-1)を伴い、平地作業以上に手間がかかることや転落等の恐れがあるため、非常に危険である。また、当現場は前述のとおり、狭隘な山間部で衛星通信環境が悪いことからGNSSを使用したICT建機を用いた施工ができないため、限られた作業範囲での出来形管理は近づいて行う必要があり、ブレーカー掘削時の飛び石や接触する危険性が懸念される(写真-1)。

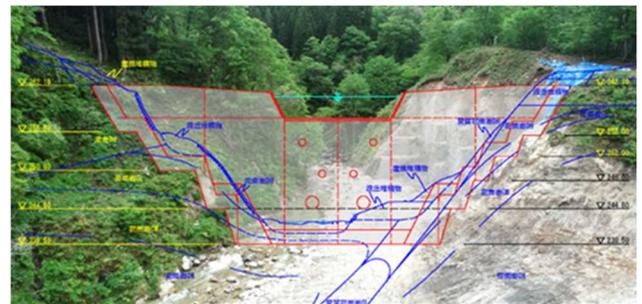


図-2 砂防堰堤完成イメージ



写真-1 従来の法面掘削状況写真

(2) 現場内の通信環境

当現場周辺の通信環境は非常に悪く、施工場所近くの一部（以下、受信エリアという。）では微弱な電波を受信することができたが、それ以外については、約1km離れた箇所まで圏外エリアであり、事故や出水時等の緊急連絡が遅延する恐れがあった（図-3）。

受信エリアにて微弱な電波をWi-Fiに変換したところ、コミュニケーションアプリで通話が可能となったことが判明した。Wi-Fi電波は変換器によって安定させることができたため、トランシーバーのVOX機能（ハンズフリー）と組み合わせることで施工場所との連絡が可能となった。しかし、一旦受信エリアを出てしまうと連絡する手段が無くなってしまいうため、連絡員を配置することとなり、作業員を一人拘束されてしまうことや、事務所と現場の会話にタイムラグが生じること、トランシーバーを常に携帯しなければいけないため、作業時に支障となる恐れがあることが懸念点としてあげられる。



図-3 従来の通信環境

3. 作業効率向上に向けた取り組み概要

3-1) 杭ナビショベルの導入

当現場での出来形管理に対する課題を克服するべく、GNSSを受信しなくてもICT施工が可能となる「杭ナビシ

ョベル」(NETIS番号:TK-170034-VE) (以下、杭ナビという。)を導入することとした。当現場では砂防土工として岩掘削が大半を占めるため、従来のバケットではなくブレイカーを使用することとなる。掘削時の衝撃がセンサーへ加わり故障する恐れがあり、また、これまでの実績がないため、メーカー及び受注者と協議を重ね、耐久実験を兼ねて実施することとした。

3-2) 杭ナビショベルの概要

衛星通信環境が無くてもマシンガイダンスとして使用できる「杭ナビ」を用いた施工までの流れは、以下のとおりである。

- ①発注図面等の平面図及び縦横図を用いて3D設計データを作成する。
- ②3D設計データをタブレットに取り込む。
- ③現場の基準点をレイアウトナビゲーターで観測する。
- ④プリズムを界して常に自動追尾させ機械の位置関係を把握する(写真-2)。

重機とタブレットが連携されることで設計ラインが明確にされ、掘削高等を管理しながら施工できる(写真-3)。



写真-2 杭ナビショベルを用いた施工状況



写真-3 タブレット取付状況

3-3) Starlinkの導入

当現場は令和4年12月22日より技術提供された「Starlink」を用いて通信環境改善を試みた。それまで現場として通信環境を整えるために衛星電話や光ケーブル、無線LAN中継機の設置を試みたが、約200mで通信が途絶えたり樹木等の障害物が多く電波が弱くなるなど、電力の供給が難しい等の課題が生じていた。実際に実用したところ、光回線に近い通信速度を有していたため、通信環境改善が図られた。

3-4) Starlinkの概要

「Starlink」は、数千機の低軌道周回衛星によって提供されており、従来の衛星通信サービスに比べて大幅に高速かつ低遅延のデータ通信を実現することができる。

「Starlink」及び中継器の安定した電波帯の範囲は半径40m～50m程度であるため、当現場の通信環境改善に向けて中継器3器を設置してWi-Fi電波帯範囲を広げた。なお、受信アンテナの衛星環境が良い場所及びソーラーパネル（写真-4）の電力供給が確保され、かつ増水時に被害を受けない場所を検討し、設置した（図-4）。



写真-4 Starlink・中継器 設置状況

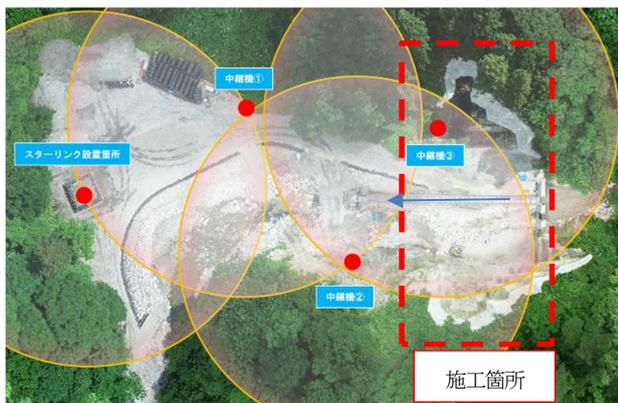


図-4 Starlink及び中継器配置図

5. 取り組み成果と課題

5-1) 杭ナビショベル導入のよる成果と課題

「杭ナビ」を用いたことにより得られた成果は、以下の3点である。

a) 工期短縮

掘削範囲の位置や高さを算出するにあたり、従来の方法である丁張り掛け作業で行う場、作業員3名を要し約20日間かかる。しかし、「杭ナビ」を用いることで丁張り掛け作業を省人化できたことにより、約20日間の工期短縮に繋がった。

b) 安全性向上

掘削作業には重機オペレータの他に指示を行う作業員1名と急傾斜斜面でぶら下がりながら管理を行う作業1名が必要とされ、ブレイカー掘削時による飛び石や接触事故等の危険性があった。しかし、「杭ナビ」を用いることで急傾斜斜面での作業が不要となることや重機だけで作業が行えるため、上記で述べた危険性が解消され、安全性向上に繋がった。

c) 生産性向上

丁張り掛けの位置を算出する計算が不要となることと、GNSSのように基準局の設置や衛星座標を現場座標に変換する作業（ローカライズ作業）が不要となることから、専門知識を持ち合わせていない若手技術者でも作業が行えるため、活躍の場を広げることができた。

一方で課題点としては、岩掘削時の衝撃に対して、センサーがどれ程の耐久性をもっているのかが未知数であるため、破損した際の代替策を講じる必要があることや衛星を受信できないことによる、マシンコントロールへのアップグレードができないことがあげられる。この先の改良が更なる現場作業効率化及び生産性向上の鍵になると言える。

5-2) 「Starlink」導入による成果と課題

「Starlink」導入により得られた成果は、以下の2点である。

a) 生産性向上

従来方式において当現場内で通信機器を使用できる箇所は受信エリアのみであり、現場の施工状況を機器を通して確認することができていなかったが、「Starlink」導入により現場内でビデオアプリ（写真-5）を使用することが可能となったため、令和5年度施工では、現場と出張所との現場映像の共有及び遠隔臨場にて材料確認や出来形管理を予定している。通常、監督職員の移動時間に約30分要しており、遠隔臨場では移動時間の



写真-5 ビデオアプリ

短縮を見込むことができるため生産性向上に繋がる。

b) 緊急時の連絡体制強化

異常気象などによる増水時の現地確認や水位観測は、通信可能エリアにWEBカメラを設置し無人による監視体制を図ってはいたが、当現場内で発生した事故等については受信エリアまで移動しないと関係機関へ連絡することができない状態であった。「Starlink」導入により現場内の通信環境が改善され当現場内においてどこにいても連絡が可能となった。また、WEBカメラ（図-5、写真-6）においても現場内に設置することができるため、より現場に近い水位を観測できるようになり、更なる監視体制及び連絡体制の強化を図ることができた。



図-5 カメラ配置図



写真-6 WEBカメラ

一方で課題点としては、以下の3点である。

a) 日照時間

「Starlink」及び中継装置はソーラーパネルを用いた太陽光発電で電力を賅っているが、当現場は山間地に位置するため日照時間が平地と比べて短いことや気象変動が著しく大きく、曇天による日照の供給が難しいことがあげられる。

b) 高額な費用負担

電気設備・中継装置を含む「Starlink」設備のシステム一式で月額約100万円程度掛かっており、a)で述べた課題点を踏まえてソーラーパネル及びバッテリーを増設すると費用の負担が大きくなること。

c) 通信回線

「Starlink」を利用した既設通信設備は、携帯回線網に接続していないため、現場から発注者等に直接電話で連絡できないこと。

6. 今後の計画

「杭ナビ」においては、今後の施工においても継続してセンサーの耐久実験を兼ねながら施工を行い、実績をつくりたいと考えており、一連の砂防土工への「杭ナビ」適用可能化を目標に取り組んでいきたい。また、マシンガイダンスからマシンコントロールへの発展に向けて更なる改良を検討し、作業効率の向上を図っていきたい。

「Starlink」においては、従来実施できなかった遠隔現場により、作業効率の向上やコンクリート養生温度管理システムを用いた品質向上及び作業負担の削減を目的としたコンクリートの品質管理を行いたいと考えている。

また、作業効率化の取り組み実施にあたり見つかった多くの課題について、受発注者間で入念に検討した上でより良い施工に繋がるように努めたい。

7. おわりに

飯豊山系砂防事務所のみならず、砂防現場は山間地がほとんどであり、通信環境が悪く作業効率が上がらないことが課題である。降雪期までの限られた工期をどのように短縮して施工するかや、若手技術者の育成が必要とされる中での工夫が必要とされる。また、激甚化する気象変動による災害の中、各現場が工夫をこらし対応していかないといけないと考える。本稿はあくまでも一現場の取り組みについて述べたものである。今度は砂防現場における更なる作業効率の向上への取り組みについて実施していく予定である。

謝辞：本論文の作成にあたり株式会社加藤組様には多大なるご協力をいただきました。心より感謝申し上げます。

注釈

「Starlink」は、当現場で契約しているKDDI（株）の通信サービス。