

# 中津川床固工群における無人化施工に関する 取り組みについて

秋山 那由多<sup>1</sup>・松本 直樹<sup>2</sup>・金子 秀樹<sup>3</sup>・森田 雅樹<sup>4</sup>

<sup>1</sup>湯沢砂防事務所 工務課 (〒949-6102 新潟県南魚沼郡湯沢町大字神立23)

<sup>2,3</sup>湯沢砂防事務所 (〒949-6102 新潟県南魚沼郡湯沢町大字神立23)

<sup>4</sup>湯沢砂防事務所 中津川出張所 (〒949-8201 新潟県南魚沼郡津南町大字下船渡戊434-4)

信濃川水系中津川の下流では、沿川地域を土砂災害から保全するための床固工群を整備している。中津川第10号床固工左岸側には長大斜面が近接しており、落石が懸念されることから施工時の安全性確保のため、遠隔操作式のバックホウ等による無人化施工を行った。本稿では当現場における取り組みについて報告をする。

キーワード 砂防事業，無人化施工，土工，残存型枠

## 1. はじめに

中津川は一級水系信濃川の右支川であり、流域面積345.9km<sup>2</sup>、流路延長45.8km、平均河床勾配約1/27の急流河川である。その水源は群馬県中之条町の野反湖に発し、赤石山を水源とする魚野川を合わせて北流し、切明地先で左支雑魚川と合流後に中津川となる。また、中津川は急流河川であると同時に流路の蛇行、偏流が激しく、下流域は段丘地形で、段丘崖の浸食や、不安定堆積土砂の二次浸食による土砂生産源ともなっている。



図-1 中津川床固工群遠景

中津川の下流では上流からの流出土砂により局所的な堆積と深堀れが繰り返されており、1981年、1982年、1983年には相次いで堤防や護岸等が決壊し、道路や公園、田畑への被害が発生している。近年では、2013年9月の台風第18号や2019年10月の台風第19号の豪雨により大量の不安定土砂が新たに生産され、流域内に堆積している。このため、床固工群を整備することで不安定土砂の下流への流出抑制を図り、流出土砂による河床上昇に起因する流域内や下流域の土砂災害に対する安全度を向上させる目的で工事が行われている。

中津川第10号床固工では左岸側に長大斜面が近接しており、落石災害が懸念されるため、無人化施工を実施している。本稿では、2022年に中津川床固工群で実施した無人化施工の取り組み及び無人化施工実施の際の工夫点や課題を整理したので報告する。

## 2. 工事の概要

中津川第10号床固工は2015年から工事に着手した。2018年には床固工右岸側の施工が概ね完了し、それ以降左岸側の工事を進めていたが、2022年の施工範囲に無人化施工範囲が含まれるため、有人施工と無人施工を併用することとなった。

本工事の概要を表-1に示す。表-1の工事内容のうち、砂防土工（掘削・積込・土砂等運搬・埋戻し）、床固工（コンクリート打設・残存型枠ブロック据付・大型土のう型枠設置撤去）は、無人化による施工を行った。

表-1 工事概要（最終工期）

工事名	中津川床固工群第10号床固工その8工事
工事場所	新潟県中魚沼郡津南町大字中深見地先
工期	2022年6月6日～2023年1月13日
受注者	株式会社 高橋工務所
工事内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>・砂防土工</li> <li>・床固工</li> <li>・ブロック製作工</li> <li>・仮設工</li> </ul>

### 3. 無人化施工

#### (1) 無人化施工範囲について

中津川第10号床固工の左岸側斜面は、斜面勾配3分～1割程度、直高170m程度の長大な急崖斜面であり、かつ沢地形を呈している（図-2）。



図-2 中津川第10号床固工及び左岸斜面

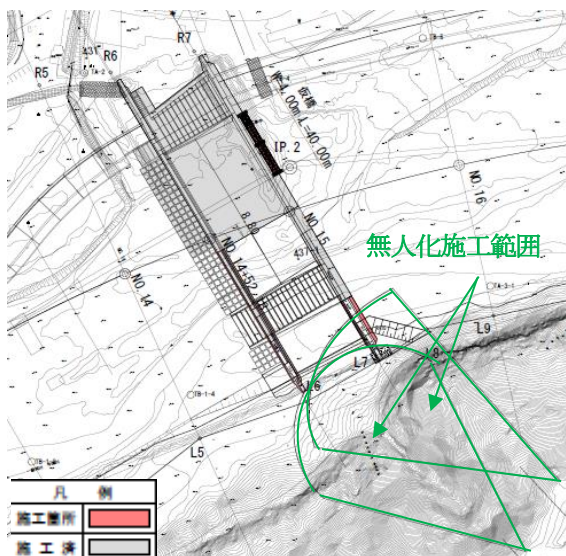


図-3 無人化施工範囲

融雪時には小規模な雪崩や人頭大の落石が発生したことから、無人化施工範囲を設定した。無人化施工範囲の設定には落石の経路を変えた落石シミュレーションを3パターン実施し、その結果をもとに対象範囲を決定した（図-3）。

#### (2) 無人化施工の使用機械等について

各工事内容で使用した遠隔操作機械等を表-2に示す。

表-2 使用機械等

1. 砂防土工	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1.4m<sup>3</sup>級遠隔操作バックホウ</li> <li>・11t積遠隔操作不整地運搬車</li> </ul>
2. 残存型枠ブロック据付	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1.4m<sup>3</sup>級遠隔操作バックホウ</li> <li>・全回転把持装置（型枠ブロックつかみ機）</li> <li>・無人用ブロック吊り具装置</li> <li>・0.8m<sup>3</sup>級遠隔操作バックホウ</li> </ul>
3. 大型土のう型枠設置・撤去	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1.4m<sup>3</sup>級遠隔操作バックホウ</li> <li>・全回転把持装置（型枠ブロックつかみ機）</li> </ul>
4. コンクリート打設	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) ・1.4m<sup>3</sup>級遠隔操作バックホウ</li> <li>・1.5m<sup>3</sup>油圧開閉遠隔操作ホッパー</li> <li>2) ・1.4m<sup>3</sup>級遠隔操作バックホウ</li> <li>・天端均し機</li> <li>3) ・0.8m<sup>3</sup>級遠隔操作バックホウ</li> <li>・φ150油圧パイプレータ</li> </ul>
5. その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) ・1.4m<sup>3</sup>級遠隔操作バックホウ</li> <li>・打継面処理剤散布機</li> <li>2) ・1.4m<sup>3</sup>級遠隔操作バックホウ</li> <li>・打継面処理剤散布機または</li> <li>・高圧洗浄機養生マットユニット</li> </ul>

#### (3) 無人化施工の内容について

##### a) 砂防土工（掘削・積込・土砂等運搬）

初めに無人機械、送信機等の遠隔操作機器を点検した後、有人施工範囲から無人施工範囲へ重機を移動する。掘削作業は1.4m<sup>3</sup>級遠隔操作バックホウを使用した。無人施工範囲では丁張が設置できないため、ノンプリズム測量機で施工箇所を指示しながら作業を行った（図-4）。基面はノンプリズム測量機で高さ、幅、位置確認を行いながら整正し、出来形についてはレーザスキャナにより測定を行う。最後に、掘削した残土は11t積遠隔操作不整地運搬車に積込み、有人施工範囲へと運搬した。



図-4 ノンプリズム測量機による無人化掘削

## b) 大型土のう型枠設置・撤去

ベースコンクリート打設のための大型土のう型枠の設置を、1.4m<sup>3</sup>級遠隔操作バックホウ及び全回転把持装置にて行った。ベースコンクリート外周の設置は掘削作業と同様にノンプリズム測量機により位置を指示してその施工にあたり。設置完了後大型土のう型枠の設置位置にずれが無いを確認し、必要に応じて微調整を行う。

## c) 残存型枠ブロック据付

ブロック製作ヤードから施工ヤードまで残存型枠ブロックを運搬し、荷卸した後に11t積遠隔操作不整地運搬車により小運搬を行う。残存型枠ブロックの1段目の施工に先立ち、1.4m<sup>3</sup>級遠隔操作バックホウ及び全回転把持装置によりコンクリート打設時の型枠ブロックの滑動・変位を防止するためのガイド（H形鋼・大型土のう）を設置した（図-5）。このガイドに合わせて1.4m<sup>3</sup>級遠隔操作バックホウにて無人用ブロック吊り具装置を使用し、残存型枠ブロックを設置箇所へ吊り込んで設置する（図-6）。この際、0.8m<sup>3</sup>級遠隔操作バックホウにより残存型枠ブロックの向きを微調整しながら据付け、無人用ブロック吊り具装置から残存型枠ブロックを切り離して据え付けていく。以降の据付についても、下段の残存型枠ブロックに上記の手順と同様1.4m<sup>3</sup>級遠隔操作バックホウにより残存型枠ブロックを設置していく。



図-5 H形鋼ガイド設置



図-6 残存型枠ブロック据付

遠隔操作バックホウの操作者が確認しづらい箇所については、ドローンより確認して指示を出す。

## d) コンクリート打設

コンクリート打設前に、型枠等が設計図の通り正しく配置されているか再度確認を行う。1.4m<sup>3</sup>級遠隔操作バックホウにて無人散水機（打継目処理剤散布機）を使用し、旧コンクリート及び残存型枠ブロックに給水させ新コンクリートとの一体化を図った。

コンクリートは1.4m<sup>3</sup>級遠隔操作バックホウに1.5m<sup>3</sup>油圧開閉遠隔操作ホッパーを取り付け、リモコンにより開閉が調節できる構造にして投入量を調整しながら所定の高さまで打ち込む（図-7）。この際、コンクリートバケット下面と打込面の高さが1.0m以下となるように注意して打設する。

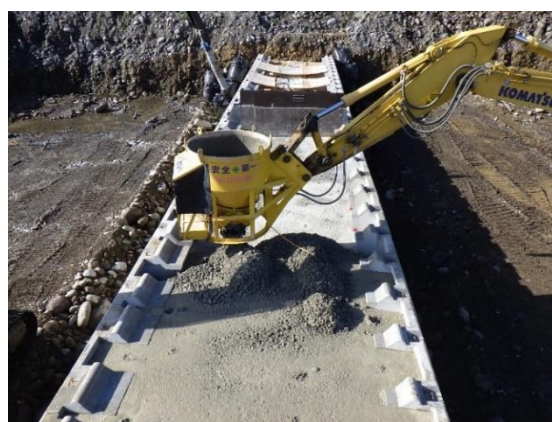


図-7 コンクリート打込

コンクリートの締めめは0.8m<sup>3</sup>級遠隔操作バックホウにφ150油圧バイブレータを取り付けて行う。打設高さは1層50cm以下とし、コールドジョイントを作らないよう連続して打設を行い、上層と下層が一体となるようバイブレータを下層コンクリートに10cm程度挿入し締めめを行った（図-8）。コンクリートを練り混ぜてから打ち終わるまでの時間は、外気温が25°C以下の場合で2時間以内に行い、25°Cを超える場合は1時間30分以内で行う。



図-8 コンクリート締めめ

ベース部の打継面は残存型枠ブロックの据付に大きく影響するため、1.4m<sup>3</sup>級遠隔操作バックホウに天端均し機を取り付け、平坦に仕上げる(図-9)。コンクリートの打ち継ぎは、旧コンクリートが所定の材令を経過した後打設することとし、打設計画図より打設厚0.5m・0.4m=材令3日、打設厚1.0m=材令4日とした。



図-9 ベースコンクリート敷均し

#### e) 打継面処理・養生

コンクリート打設完了後レイタンス処理を行う。レイタンス処理は、所定の時間(コンクリート表面の硬化が始まった頃)が経過した後、打継面処理剤散布機によりコンクリート打継面処理剤(ジョイントエース)を規定量散布する(図-10)。ジョイントエース散布量は300g/m<sup>2</sup>程度(18kg缶で約60m<sup>2</sup>)を標準とし、200g/m<sup>2</sup>~400g/m<sup>2</sup>の範囲で管理した。

打継面処理剤散布後、養生マットユニットを1.4m<sup>3</sup>級遠隔操作バックホウにより設置する。養生は湿潤養生とし、打継面処理剤散布機により散水を行いコンクリート表面を乾燥から保護した。



図-10 無人打継面処理剤散布機

#### f) 埋戻し

型枠ブロックの設置の後、土砂による埋戻しを行う。埋戻し土砂は11t積遠隔操作不整地運搬車により、無人化施工範囲へ運搬する。遠隔操作不整地運搬車により有人施工範囲から無人施工範囲に運搬された土砂を、1.4m<sup>3</sup>級及び0.8m<sup>3</sup>級遠隔操作バックホウにより埋戻した(図-11)。埋戻しは床固本体工-リフト3まで施工して1次埋戻しを行い、リフト4、5-1施工後、2次埋戻しを行った(図-12)。埋戻しにより不可視部分となる箇所は監督員の確認を受けた後、次工程へ進むこととした。



図-11 床固本体埋戻し

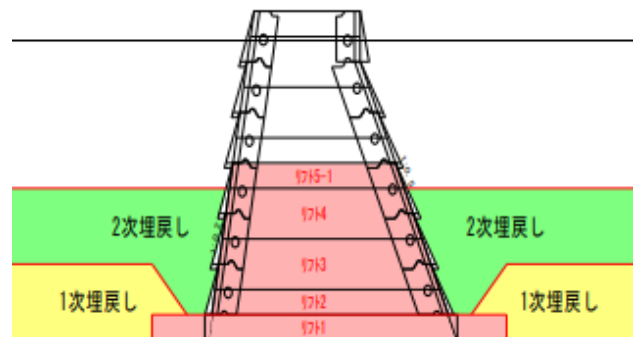


図-12 埋戻し境界と本堤リフト割図

## 4. 無人化施工時の工夫について

### (1) コンクリート打設時の工夫

床固本体工のコンクリート打設は打設厚を1層50cm以下としていたが、本工事は無人化施工で実施したので、型枠内部での打設厚確認ができなかった。このため、あらかじめ残存型枠ブロックに赤スプレーでマーキングを行い、無人化施工範囲外から遠隔操作オペレーターが打設厚を確認できるようにした(図-13)。また、コンクリートの締固めにおいても、遠隔操作オペレーターがバイブレータの挿入深さを確認できないという問題があり、

2層目以降の締固め時は確実に前層に10cm程度パイプレータを挿入する必要があるため、パイプレータの50cm・60cmの箇所にもマーキングを行った(図-14)。この結果、コンクリートの締固めがスムーズかつ確実に実施できた。



図-13 残存型枠ブロックのマーキング



図-14 パイプレータのマーキング

さらに、コンクリート打ち込みによる材料分離を防止するため打ち込み高さを1.0mとし、生コンクリートバケツから1.0m程度のチェーンをたらして明示を行った。この結果、遠隔操作オペレーターが無人工化施工範囲内の生コンクリートバケツの高さを確認することができるようになり、コンクリートの材料分離を抑制し品質を確保することができた。

## (2) 掘削作業時の工夫

無人工化施工での作業は遠隔操作オペレーターの操作箇所が限られ視認性が悪いため、高所作業車を使用し遠隔操作オペレーターの視界を広く確保できるようにした。この結果、遠隔操作重機同士の接触等の事故なく作業することができた。

## (3) 出来形検測の工夫

無人工化施工範囲の出来形検測は人力による定規の設置及び近距離での写真撮影ができないため、出来形の施工管理が難しくなる。そのため、無人工化施工機械で設置できる定規を作成し測定を行った(図-15)。また、写真撮影においてはドローンを使用し、無人工化施工範囲内での出来形写真の撮影を行った。この結果、無人工化施工範囲内での施工管理を行うことができた。



図-15 出来形検測のための定規

## (4) 床固工における内部型枠の工夫

隣接する残存型枠ブロックごとのコンクリート打設では、内部型枠を設置する必要がある。通常の有人施工であれば木製型枠等で仕切を行うが、無人工化施工範囲内では実施できないため、大型土のうにより仕切る計画であった。しかし残存型枠ブロックには上流2分、下流5分の勾配があり大型土のうでは密着させることが困難なため、コンクリートが隙間から漏れ出して次作業の据付作業に影響が出ると思われた。そのため、無人工化機械により設置・撤去が容易にできる仕切型枠を鉄板により作成し、コンクリートの漏れ出しを防止し、次作業の残存型枠ブロック据付に影響なく作業を行うことができた(図-16)。



図-16 鉄板による仕切型枠

### (5) 大型土のうの工夫

大型土のうの吊帯は手を離すと自立せず倒れてしまうが、無人化施工範囲内で大型土のうの撤去・移動を行う際に無人化機械に吊帯を掛ける必要があるため、吊帯に番線を巻き付けることにより自立させることとした(図-17)。これにより、無人化施工範囲内での大型土のうの撤去・移動を行うことができ、大型土のうの転用が可能となった。また耐候性土のうを使用することにより、土のう型枠でのコンクリート打設箇所の脱型作業時も破れることなく作業することができた。



図-17 大型土のう吊帯部分の自立

### (6) ICTの活用

床固工施工箇所の起工測量にはレーザースキャナを使用して3次元起工測量を行い、3次元設計データを作成した。床固本体工の掘削工(基面)の出来管理は面管理としてレーザースキャナによる出来形測量を行った。この結果、無人化施工範囲内に立ち入ることなく起工測量を行うことができ、3次元データにより正確に土量を算出することができた。また、基面の出来形管理を面管理で行うことが可能となった。

### (7) 水平打継目処理の工夫

無人化施工におけるコンクリート打設時の安定した打継を行うため、打継面処理剤(ジョイントエース)を使用した(図-18)。この結果、レイタンス処理工法と同

等以上の打継性能が得られた。また、新コンクリート打設の前処理が不要で、スラッジ水等の副産物が発生しないため、環境への影響も低減することができた。



図-18 打継面処理剤散布後

## 5. おわりに

本工事の施工場所である一級河川信濃川水系の中津川下流域は、一般荒廃地域に属し土砂生産が著しいため以前より砂防事業が進められている地域である。本工事施工箇所である中津川第10号床固工では、左岸側長大斜面からの落石が懸念されるため無人化施工を実施した。有人施工に比べて施工方法が制限される、施工精度が低くなる等の課題があったが、それらを解決するために前章で述べたとおり様々な工夫を実施することで、施工精度及び作業効率の向上を図ることができた。

また、本工事の現場代理人の方に話を伺った際に、無人化施工はオペレーターや作業員の現場環境改善につながる一方で、品質管理の難しさや技術者間でのノウハウの差などを課題として挙げていた。今後さらに現場条件に左右される場所や全国の災害対応など、遠隔操作による施工技術が求められる場面は十分考えられるため、今後の課題として検討していきたい。