

26. 遠隔操作重機によるプレキャストアーチカルバートの据付

株式会社フジタ

○ 中村 好典
三鬼 尚臣
野末 晃

1. はじめに

本工事では、遠隔操作重機と遠隔モニタリング技術および遠隔計測技術を駆使して、プレキャストアーチカルバートの据付作業を無人化施工で実施した。

雲仙普賢岳における災害復旧工事では、試験フィールド制度を利用した無人化施工が平成6年から導入され、平成7年からはRCC工法による砂防えん堤が、平成14年には鋼製スリットえん堤が無人化施工によって築堤されてきた¹⁾。これまでに重さ2～4t程度のコンクリート製護床ブロックを遠隔操作で施工した事例は多数存在したが、総重量15tものコンクリート二次製品を遠隔操作によって設置した施工例は少ない。

本稿では、平成21年度赤松谷川2号床固工工事において実施したプレキャストアーチカルバートの遠隔施工について、課題とその対策事例を中心に紹介し、無人化施工の新たな成果と可能性について述べる。

2. 赤松谷川2号床固工工事の工事概要

赤松谷川2号床固工工事は、水無川砂防基本構想に基づき、流域を土石流被害から守り、安全な生活を確保することを目的に建設するものである。

当工事箇所は赤松谷川1号床固工上流に位置し、土石流や溶岩ドーム崩落等の被害を受ける可能性があることから、プレキャストアーチカルバート敷設工、床固工（RCC工法）並びに仮設工等の一連の工事を無人化施工により行う。

図-1に赤松谷川2号床固工工事の位置図を示す。



図-1 雲仙普賢岳と赤松谷川2号床固工工事位置

プレキャストアーチカルバートは床固工の上流側に隣接するように配置され、右岸側は9%の縦断勾配で警戒区域外から河床に向かって下降し、半径50mのカーブ区間を経て床固工上流に隣接する。左岸側は半径50mのカーブ区間を設けて床固工から1.5m程度離隔させて端部をとめる。延長180m、1.2m幅のプレキャストアーチカルバートを150基設置する。図-2に全体平面図を図-3に標準断面を示す。

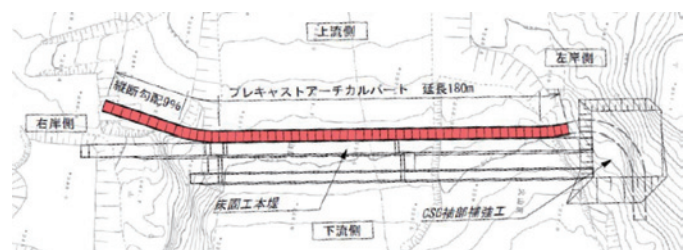


図-2 全体平面図

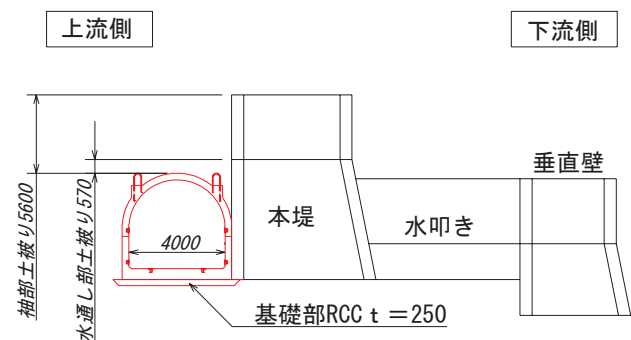


図-3 標準断面図

このプレキャストアーチカルバートは有効内空寸法を3m×3mとし、2tユニック車1台が十分通行可能な線形に設定した。

プレキャストアーチカルバートを河床内部に配置することで、土石流による影響を低減する事が可能であるとともに、景観を大きく変えることなく、緊急用の連絡通路を確保することが可能となる。また、通常のボックスカルバートは延長方向に緊張作業を行い、シーリング材を密着させることで止水性を確保するのが一般的であるが、本工事では止水性を考慮せず、6箇所連結ボルトによってカルバート同士を連滅することとし、シーリング材

表-1 プレキャストアーチカルバート主要緒元

主要寸法	4,000B×3,700H×1,200L
外形寸法	4,560B×4,430H×1,200L
製品重量	15,310kg
コンクリート 設計基準強度	40.0 N/mm ²
活荷重	T-25
想定土石流厚	1.90 m

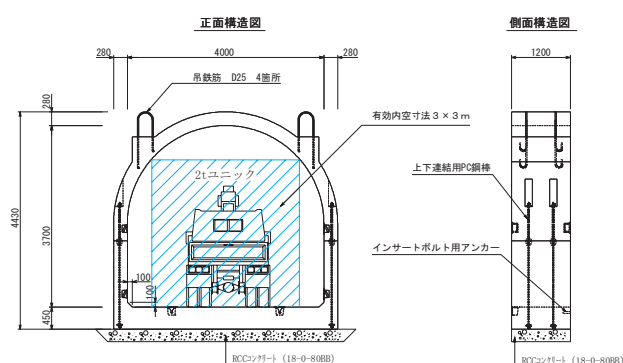


図-4 プレキャストアーチカルバート詳細図

【課題 1】

【解決策】

- ・底面 2 箇所ボルトボックスはロート形状に切り欠いた形状とし、据付と同時にインサートタイプのボルトがはめ合い構造で所定の位置に収まるように工夫した。

- ・側面の4箇所は長孔がクロスする構造とした。これによって、ボルトの挿入作業が容易になるため、ボルト連結作業に要する時間を短縮することができる。図-5にボルトボックスの形状図を示す。

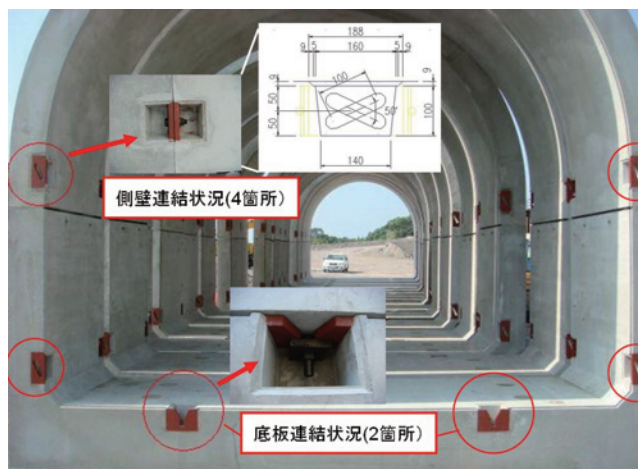


図-5 ボルトボックスの形状

把持装置は4箇所の吊鉄筋を4本のフックで吊り上げる構造とし、プレキャストアーチカルバートの自重バランスによって、垂直を保つ構造としている。さらに、垂直方向上下にスライドさせる機構によって、先に述べた底面部ボルトボックスのはめ合いを容易にできる構造とした。把持装置は、フックの開閉、上下スライド、旋回(0~90°)の自由度を有し、上下スライドはブレイカー油圧ラインを、フックの開閉と旋回はバケットシリンダー油圧ラインに切替えバルブを設けて駆動させる方式とした。図-6に把持装置拡大写真を示す。



图-6 把持装置扩大写真

【課題 2】

据付作業用のベースマシンである 4.0m3 級バックホウの吊り上げ能力を考慮すると、大掛かりな傾斜機構を設けることは困難となる。図-7 に縦断勾配変化部分の割付図を示す。

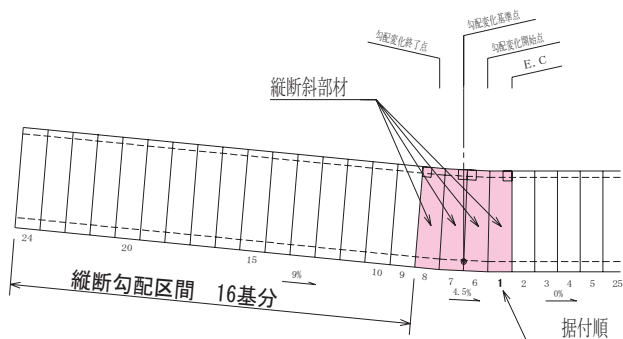


図-7 縦断勾配変化部分の割付図

【解決策】

縦断勾配に対応するため、4箇所へのフックのうち2箇所を可動フックとし、残りの2箇所を固定フックとした。可動フックの開度を調整することで勾配角度を持たせた状態でプレキャストアーチカルバートを吊り上げることが出来る。

また、据付順序は勾配変化が発生するブロックから開始することとした。これによって、延長方向の据付誤差に依存することなく、正確に勾配開始地点を確定することが出来る。図-8 に把持装置拡大図、図-9 に据付フロー詳細図を示す。

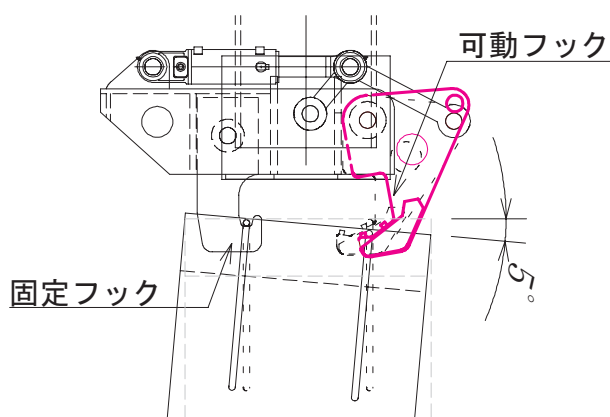


図-8 把持装置拡大

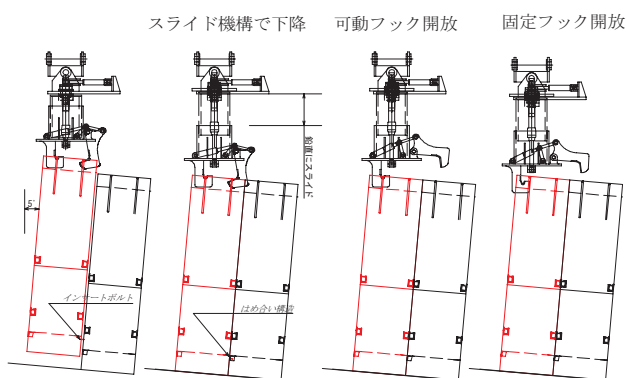


図-9 据付フロー詳細

【課題3】

映像情報の取得方法として、吊りフックの状態および、底盤ボルトボックスのはめ合い状況を如何にして確認するかが課題となった。

先に述べたように4箇所のフックが確実に鉄筋に掛かっていること、はめ合い構造部の切り欠き部にインサートボルトが誘導できているかことを確認する必要がある。

【解決策】

把持装置に2つの小型高角レンズカメラを設置し、4箇所のフックが同時に確認できる工夫を行った。上記のカメラを含め、据付作業用バックハウには、ブーム先端側に1箇所、ブーム根元側に1箇所、計4台のカメラを搭載し、4分割映像分配器を介して、1系統の映像信号を無線通信した。

さらに、プレキャストアーチカルバート内部には、移動式の有線カメラを配置し、底盤部のはめ合い状況を監視出来るよう工夫した。

以上のほかに4台の移動式カメラ車を使って、据付時の隙間を監視することで、既設のボックスに密着するように据付することが可能となる。図-10 に遠隔操作時のモニター状況を、図-11 にアーチカルバート内部の監視状況を示す。



図-10 遠隔操作時のモニター状況



図-11 プレキャストアーチカルバート内部の監視状況

【課題4】

プレキャストアーチカルバートの出来形検測を遠隔操作で実施する必要がある。

【解決策】

- 1) 予め有人エリアで組立中に測量用反射シートを設置する。
- 2) TS（光波測距測角儀）を遠隔仕様に改造する。
 - a. 接眼部にビデオカメラを取り付け、遠隔操作室のモニターに表示する。
 - b. モニターを見ながらTSの制御コマンドをSS無線経由で送受信できるようにする。
- 3) 計測指示送信・測定データ受信用ソフトを作成する。
- 4) 計測結果をPCの記憶媒体に保存し、出来形表示・印刷ソフトを作成する。

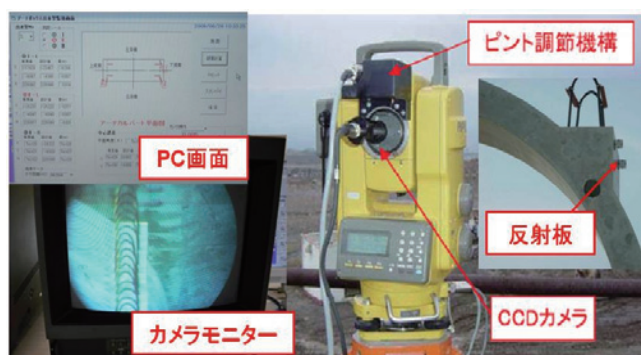


図-12 遠隔出来形測量装置概要図

図-12に遠隔出来形測量装置概要図を示す。写真の左上に計測指示や計測データの表示を行うPCの画面、左下が視準接眼部に取付けたカメラのモニター画面、中心部は改良したTS、右上がアーチカルバートに貼り付けた反射シートである。

5基毎に反射シートを取り付けたアーチカルバートを設置する。反射シートは1基あたり3箇所に取り付け、位置と向きを計測確認できる。

1日の施工量を最低5基程度と計画しており、施工日ごとに出来形を確認しながら、据付作業を行う。図-13に遠隔出来形計測方法を示す。

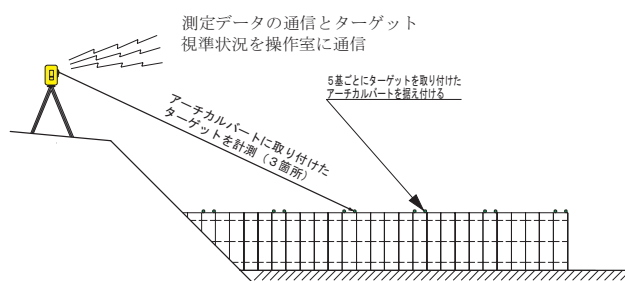


図-13 遠隔出来形計測方法

4. アーチカルバート据付精度と施工能力

1) 施工精度

遠隔無人出来形測量による測定値と計画座標値の施工誤差の度数分布図を図-14～図-16に示す。また、表-2に据付精度一覧表を示す。

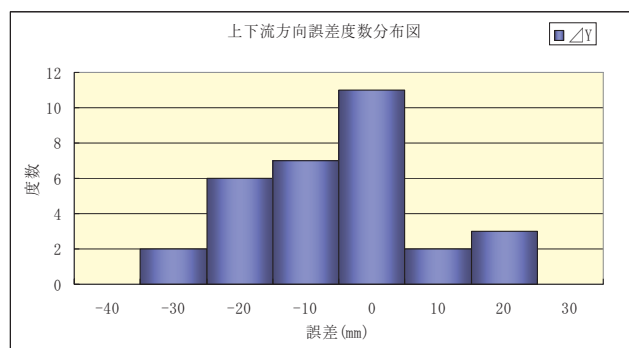


図-14 据付上下流方向誤差度数分布

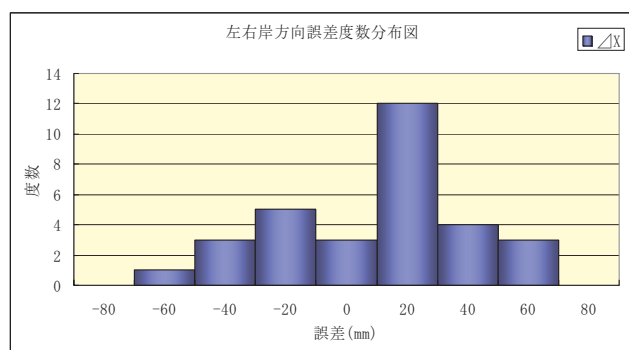


図-15 据付左右岸方向誤差度数分布

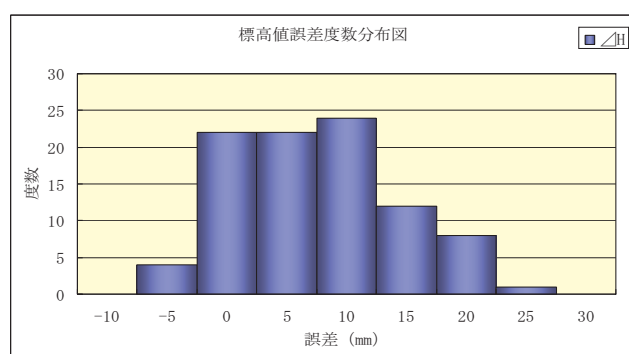


図-16 据付標高誤差度数分布

表-2 アーチカルバート据付精度一覧

測定項目		規格値	最大値	最小値	平均値
位置 (mm)	上下流	±50	-34	18	-11
	延長方向	-200	48	-68	0
基準高 (mm)		±30	21	-6	5

上下流方向は、計画線形に対して、下流側を＋の蛇行量とし、延長方向は、左岸側を＋の伸びとして表記した。

線形に対する蛇行については、全体の約 65%が 20mm 以内の据付誤差に収まっている。これはボルトボックスの工夫によって、上下流方向の拘束をできたことが要因に挙げられる。

延長方向はマイナス側の短くなる傾向が多くでている。これは、当初の割付計画において据え付けたアーチカルバート間の隙間を 5mm ずつ考慮していたが、実際は 5mm 以下の隙間で密着させて据え付けることが出来たため、短くなる傾向が大きく出たと考える。

また、上記の精度が確保できたのは、アーチカルバート基礎部の平坦性に大きく依存する。RCC による基礎部の施工だけでは平坦性は確保できないため、その平坦性を確保するため、RCC 上に敷砂を実施し、ボックス内部から有人にて敷き均しを行い、不陸の除去を行った。図-17 に敷き砂施工による基礎部の不陸除去状況を示す。



図-17 敷き砂施工による基礎部の不陸除去状況

2) 施工能力

当初、アーチカルバートの据付能力は、積み込み、運搬、据付、ボルト連結を 1 サイクルとして、5 基／日として計画した。前述の対策を実施した事もさることながら事前の有人エリアでの据付け演習と実施中のオペレータの習熟もあって、実稼働日に対して以下の施工能力まで向上することができた。

施工能力: $150 \text{ 基} \div 16 \text{ 実稼働日} = 9.4 \text{ 基} / \text{実稼働日}$

図-18 に運搬・把持状況を、図-19 に据付状況を、図-20 に据付完了全景を示す。



図-18 運搬・把持状況



図-19 据付状況



図-20 据付完了全景

6. 有人作業中の安全対策

無人エリアでの有人作業のために安全対策として赤外カメラによる山体監視システムと緊急時避難連絡システムを導入した。

1) 山体監視システムの概要

遠隔操作室の隣室に監視室を設け、定点赤外カメラとして、500 万画素固定カメラとパン・チルト・ズーム・フォーカス・アイリス機構付きの 130 万画素カメラの 2 台で土石流・落石の可能性の高いエリアを監視した。500 万画素のカメラは約 1

回/秒、130 万画素のカメラは約 3 回/秒の自動撮影を行い、直前の画面との差分やフローを算出して警報を出力するシステムとなっている。

図-21 に監視画面を示す。

2) 緊急時避難連絡システム概要

ボルト締結の有人作業中は、常時監視中とし、非常時の連絡手段を 2 系統用意した。

1 系統目は、取回しに便利な電話線を利用した VDSL 装置システムである。VDSL 装置は電話線をネットワークに変換する装置で非常連絡ボタン信号を坑内の警報機に送信することが出来、坑内のネットワークカメラの映像を操作室のモニターに映すことも出来る。

2 系統目は、非常連絡ボタンを押すと 2.4GHz 無線を利用して作業員の手首に装着した腕時計型受信器に警報を伝達するシステムである。

図-22 にシステム概要図を示す。



図-21 山体監視システム監視画面

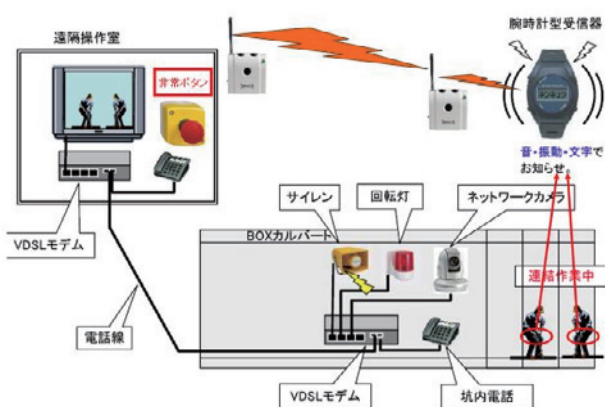


図-22 緊急時避難連絡システム概要

7. 今後の技術的課題

赤松谷川 2 号床固工工事に於いて実施した現有の遠隔操作重機と遠隔モニタリング技術及び遠隔計測技術を駆使したコンクリート二次製品の連続構造物の無人化施工実績と課題への対策事例につ

いて報告をした。

本工事を通して明らかになった課題について以下に考察を述べる。

1) ボルト締結作業

無人化できなかった作業だが、シールド工事のセグメントで実用化されているボルトレス継ぎ手等を応用した継ぎ手の開発が納期的に問題なければ採用できた。今後、受注後の施工検討のスピードアップとコンクリート製品の工場との連携強化が必要と感じた。

2) 基礎部精度

前述の通り、アーチカルバートに限らず構造物の据付では、基礎地盤精度の確保が最重要である。現在の RCC 工法では、RCC 敷き均しに使用されるのは遠隔操作ブルドーザーであるが、本工事における基礎地盤整形やコンクリート天端仕上げ等、施工に精度を求められる場合、敷き均し機械に舗装用のフィニッシャーを適用すれば無人化施工においてもより精度の高い基礎地盤を施工することができると考える。

8. おわりに

平成 2 年の普賢岳噴火災害から 20 年が経過し、平成 21 年には世界ジオパークに島原半島が認定された。その中でも、噴火の傷跡が今なお現存している水無川流域は地質学的に貴重な遺産として注目されている。本工事のアーチカルバート敷設工はこれら世界ジオパーク構想に配慮し、景観を意識した計画に他ならない。火山との共生をテーマにした島原半島の活動の中で無人化工事固有の取り組みは他地域には例のない大きな特色になっており、今後の工事はより一層景観や施工方法に配慮した内容に代わっていくことだろう。現在の自然景観を維持しつつも防災上、必要な施設を築造していくためには、これまでに培ってきた技術を基に、近年発展する ICT 技術の導入によって、更なる無人化施工技術の向上、効率化が望まれるところである。

謝辞

本稿を作成するにあたり、国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所、赤松 2 号作業所等の方々にご協力を頂きました。記してお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 茶山・藤岡・岡野・森：無人化施工による雲仙普賢岳鋼製スリット砂防堰堤工事の実績，第10回建設ロボットシンポジウム論文集，p.p123-132，2004.9