

無人化施工によるプレキャストカルバート施工と遠隔測量ステーションの開発

浅沼廉樹・三鬼尚臣

平成 21 年 8 月に世界ジオパークの認定を取得した島原半島は、火山との共生をテーマに掲げ、他では見ることのできない地質学上の貴重な遺産を多数有している。これらの特異な景観を残しつつ災害に強い砂防設備を建設する為には、現在でも無人化施工が続けられており、今回の赤松谷川 2 号床固工工事では、この無人化施工で例のないプレキャストカルバート施工に取り組み、また、この複雑化する施工形態を実現するにあたり新しい計測技術の開発を行った。

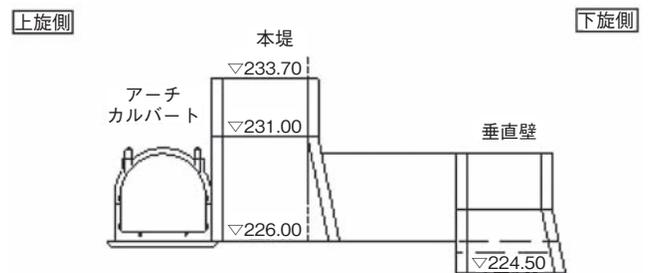
本稿では無人化施工によるプレキャストカルバート設置工とノンプリレーザーによる 3D 計測技術の開発について述べる。

キーワード：無人化施工，遠隔操作，3次元計測

1. はじめに

赤松谷川 2 号床固工工事は 10 基計画されている床固工構造物のうち、すでに完成している 1, 4, 7, 10 号床固工の 1 号と 4 号の間に建設され（写真—1 位置図参照）、RCC により築造する本堤の上流側に隣接して、2tトラック程度の車両が通行可能なトンネルを河床の直下に築造する工事である（図—1 断面図参照）。

平成 21 年 8 月に島原半島が世界ジオパーク認定を



図—1 標準断面図



写真—1 赤松谷川 2 号床固工工事位置図

取得したことから、特異な景観を保護しつつ災害に強い砂防施設を築造していくことが今後の砂防事業を進めていく上で重要な課題となる。コンクリート2次製品を遠隔操作によって設置する技術は2t～4t程度の護床ブロックを設置した事例しかなく、1基あたり15tものプレキャストカルバートを設置した事例は少ない。複雑化していく構造物を精度良く遠隔施工するための計測技術および情報化施工技術にも注目が集まっている。

本稿では、赤松谷川2号床固工工事において実施した、無人化施工によるプレキャストカルバート設置工とノンプリレーザーによる3D計測技術の開発について述べる。

2. プレキャストカルバートの施工

プレキャストカルバートの形状については当初設計では矩形のボックスカルバートであったが、最大土被り5mを満足するためには、製品重量が21tを超えてしまうため、既存の遠隔操作重機(4.0m³級バックホウ)では施工できないことが課題となっていた。そこで、ボックス形状をアーチタイプに変更し、製品重量を15tに抑え、既存の4.0m³バックホウにて施工可能にした。さらに、アーチタイプに変更することで、1基当たりの幅を1.0mから1.2mに変更することができた。

(1) ボルトボックス形状の工夫

プレキャストカルバートは遠隔施工による設置が完了した後に、有人作業によってボルト連結する必要がある。1基につき6箇所(4箇所)のボルトボックスを有するが、底盤部分の2箇所をロート形状に切り欠き、残りの4箇所(側壁部)については、長穴がクロスするように加工した。写真-2に連結用ボルトボックス形状図

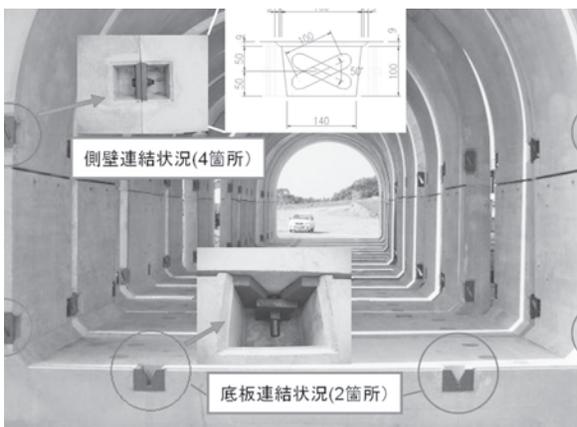


写真-2 連結用ボルトボックス形状図

を示す。

ボルトボックスを工夫することで、有人による連結作業時間の短縮を図り、警戒区域内での作業時間を低減することで、安全性の向上を図った。

(2) ボックス把持装置の工夫

左右両岸の袖部については、9%の勾配を付けてプレキャストカルバートを設置する。そこでカルバートを傾けた状態で設置ができるように、把持装置の構造を工夫した(図-2参照)。

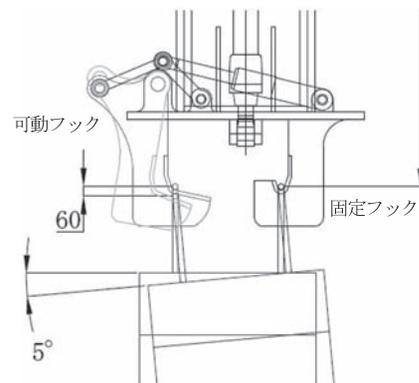


図-2 把持装置フック構造

プレキャストカルバートに設けた4箇所の吊り筋をフックで吊り上げる構造とし、2箇所を固定フック、残りの2箇所を可動フックで把持し、可動フックを調整することで、プレキャストカルバートを傾けることを可能とした。図-3に据付フロー図を示す。

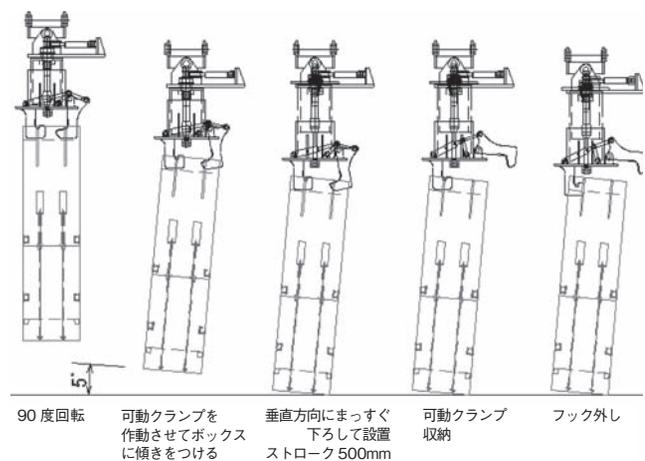


図-3 据付フロー図

(3) プレキャストカルバートの運搬

遠隔操作ダンプの荷台を改造した専用の運搬機によって、カルバートを1基ずつ運搬する。

(写真-3 積み込み状況参照)



写真-3 積み込み状況 (有人部)

専用運搬機には転倒防止のための開閉式アームを取り付け、運搬時にカルバートがずれ落ちないように固定できる構造とした。

有人部にてカルバート運搬車に積み込みを行い、遠隔操作運転に切り替えて、所定の据付位置まで運搬する。写真-4に無人施工部の運搬状況を示す。



写真-4 カルバート運搬状況 (無人部)

(4) カルバート据付状況

プレキャストカルバートは据付の完了したカルバートに密着するように設置していく、このためカルバート同士が接触した際に、割れ欠けが生じないように慎重な操作が必要となる。そこで、事前に設置テストを行い、油圧装置の流量調整を行った。写真-5に据付状況を示す。

遠隔操作室では2つの大型モニターを4分割表示とし、左側のモニターには把持装置に取り付けたカメラの映像を表示した。運搬車からカルバートを把持する際に、吊鉄筋とフックの状態が確認できるように工夫した。右側のモニターにはカメラ車からの映像を表示し、カルバート同士を接触させたときの左右の隙間を監視した。写真-6に遠隔操作室のカメラモニター状況を示す。



写真-5 カルバート据付状況 (無人部)



写真-6 遠隔操作室カメラモニター状況

(5) カルバート基礎部の不陸調整

プレキャストカルバートの基礎部はRCC工法により造成した。敷均し精度 ± 30 mm以内で基礎盤を築造した後に敷き砂によって最終の不陸整正を行った。敷き砂の均しはボルト連結が終わった後に有人施工にてカルバート内部から行った。

(6) 施工結果

プレキャストカルバートに反射ミラーを取り付け、据付後の出来形計測を行う。据付延長方向(左右岸方向)をX方向とし、据付延長に対して垂直方向(上下流方向)をY方向とした。図-4に据付延長方向Xの誤差分布を示す。

延長方向については、プレキャストカルバートの隙

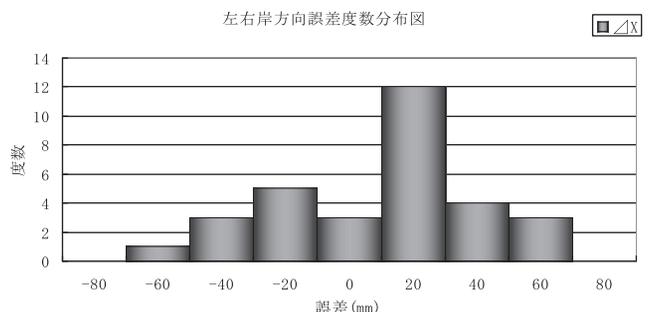


図-4 据付延長方向の誤差分布

間調整による誤差に依存する。設計上の隙間は5 mmと設定しており、隙間は最大で15 mm程度であった。上記の誤差分布は5基毎に総延長を計測したときの累積誤差を示したもので、伸び方向で最大48 mm、縮み方向で最大68 mmであった。なお、規格値は-200 mmである。

次に、図-5に据付延長に対して垂直方向の誤差分布を示す。

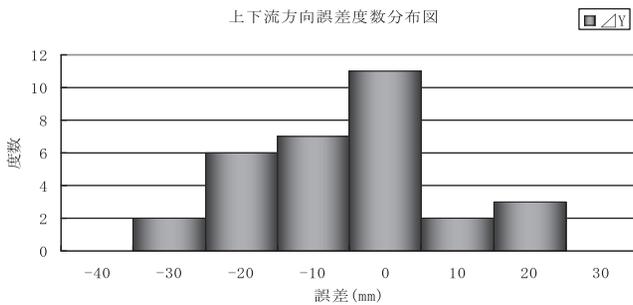


図-5 延長に対して垂直方向の誤差分布

規格値 ± 50 mmに対して、上流側に最大34 mmの誤差、下流側に最大18 mmの誤差であった。

前述のボルトボックス形状の工夫、把持装置の工夫、カメラモニターの工夫、敷き砂による不陸の整正によって上記の据付精度を確保できた。

施工量については、 $150 \text{ 基} \div 16 \text{ 日稼働日} = 9.4 \text{ 基} / \text{稼働日}$ であった。当初5~6基/日を計画していたが、上記の施工能力まで向上することができた。写真-7に据付完了後の全景写真を示す。



写真-7 プレキャストカルバート据付完了写真

3. ノンプリレーザーによる3次元計測技術

無人化施工における測量の技術開発は、1999年に開発された無人測量システムから始まり、様々な測量作業を自動・無人化で行って来た。しかし、これらは全て有人区域からの計測がベースとなっており、近年の無人化施工での施工区域の地形の複雑化や長距離化等、求められる施工条件の難易度が上がっている今日では限界を生じていた。そこで、この問題を解決する為の新たな計測技術として、

- ・ノンプリレーザーを用いた3D測量器を利用して、地形の形状や巨礫などの障害物を3次元計測する技術。
- ・計測器の据付作業を自動化し、振動対策を施した水平保持可搬機構の技術。
- ・これらの制御通信を行う無線LAN技術。

以上の3つの技術を組み合わせて、無人施工区域内の任意の場所で、3次元計測が可能なシステムを開発し、赤松谷川2号床固工工事にて実証を行った。

(1) ノンプリ計測システムの構成

本システムは、

- ① ノンプリズムレーザーを用いて3次元計測可能なカメラ内蔵型の3D測量器。
- ② 測量器を振動や衝撃から保護し、計測時に測量器の据付けを自動で行う水平保持機構。
- ③ 測量器や水平保持機構をコントロールし、有人区域コントロールルームとの通信を行う制御ユニット。
- ④ 遠隔測量ステーションを搭載し、無人施工区域を

移動する遠隔操縦可能な重機。

- ⑤コントロールルーム内で遠隔測量ステーションを操作し、計測結果を解析して3次元解析図を作成する制御PC。

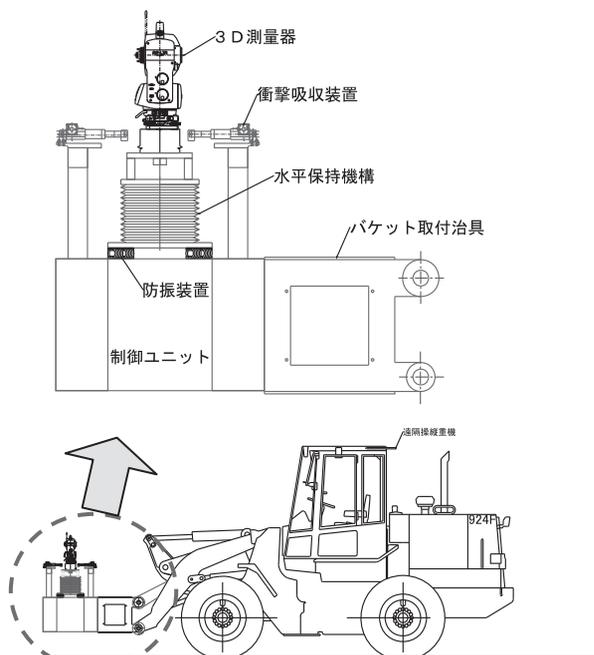
以上の5つのパーツから構成されており、測量時にはこれらを用いて、無人施工区域内での3次元測量を可能とする。

遠隔測量ステーションを搭載した重機にて無人施工区域内の任意の位置まで移動し、重機アームを下げ遠隔測量ステーションを地表面に設置する。次に、無線通信にて制御PCと制御ユニット間を接続し、水平保持機構を起動して測量器の水平動作を行う。最後に、測量器の電源を投入して有人区域内の基準点を用いて自己位置と方位を算出、対象構造物の3次元計測を行い、制御PCに計測データを返送して3次元解析図を作成する。

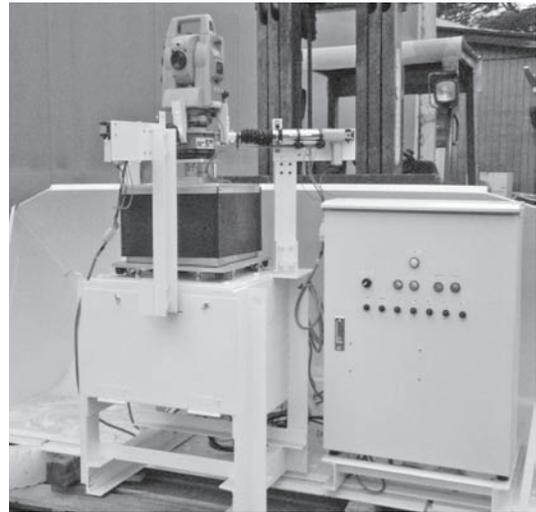
表一に機械諸元を、図一六に遠隔測量ステーションレイアウト図、写真一八に本体全景を示す。

表一 機械諸元

測量器	測角精度	3"
	測距精度	±5 mm +2ppm
水平保持機構	水平範囲	±15° 以内
	水平精度	±5"以内
供給電圧	DC24V	
無線方式	SS 無線 LAN	
本体寸法	縦	840(mm)
	横	1,050(mm)
	高さ	1,500(mm)
本体重量	120(kg)	



図一六 遠隔測量ステーションレイアウト図



写真一八 本体全景

(2) システム運用状況

本システムは、国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所発注の赤松谷川2号床固工工事にて試験運用を行った。

写真一九は、遠隔測量ステーションにて計測を行った箇所のコンクリート構造物の写真であるが、本システムでは、これら構造物に対してノンプリズム計測による躯体頂点や土工事変化点（ブレイクライン）の測量と合わせてグリッドスキャン計測により構造物表面の出来形の測量を行い（写真一〇 遠隔測量ステーション計測画面参照）、計測データと設計データとの比較を行った。

図一七は、これらの計測データを基に3次元解析を行った構造物のワイヤースケルトである。これにより、今までの無人化施工では難しかった構造物や盛土法面施工時の設計値に対する出来形計測が容易となった。また、この計測結果の解析データを3次元解析図化することで、実施工での構造物や盛土法面の実断面図と設計断面図の比較が可能となった（図一八 断面形状の表示参照）。



写真一九 計測ヤード状況



写真10 遠隔測量ステーション計測画面

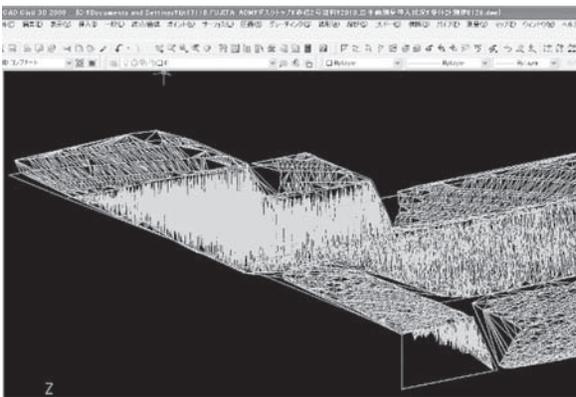


図7 3次元解析図

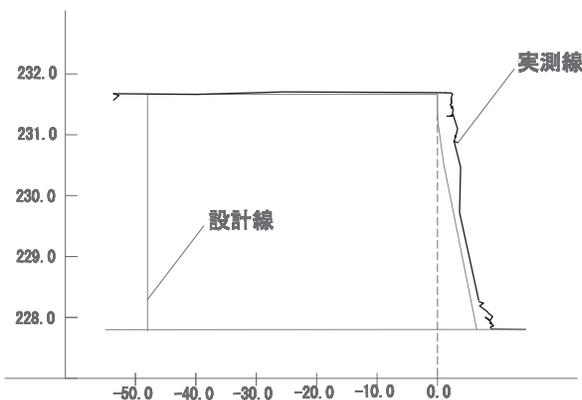


図8 断面形状の表示

(3) 施工結果

本システムを実施工に導入することで、

- ・従来の有人区域内での計測ではできなかった構造物裏側やRCC施工面と土砂型枠の境界や土砂型枠の法肩など境界線の計測が可能となった。
- ・各計測点を解析することで、構造物の3次元解析モデル作成が可能となり、実施工面の任意断面図抽出による出来形確認が可能となった。

以上の2点が確認された。また、問題点として、

- ・計測面が測量器に対し水平の場合、測距用ビーム光の計測誤差が増大する。
- ・計測面の距離が遠くなるとレーザーは、測量器から同心円状（放射状）に行われるため、測定間隔も大きくなり面計測精度が低下する。

以上の事柄が確認されている。

4. おわりに

プレキャストカルバート施工の事例と、ノンプリレーザーを利用した遠隔計測技術について述べた。プレキャストカルバート施工については、様々な工夫によって高精度な据付を行うことができたが、ボルト連結および基礎盤の不陸整正については有人作業に依存している。技術的に実現不可能ではないが、開発時間や施工効率、コストパフォーマンスを総合的に判断して、取り組むべき課題であると考えます。

遠隔測量ステーションは、今回の現場実証によりその有効性が確認できたが、本システムを本格運用する為には、以下の項目について対応が必要と思われる。

- ・有人区域基準点が計測できないときの自己位置検出方法の開発。
- ・計測面が測量器に対し水平の場合、水平面測量誤差の対策。
- ・計測に有効な測定距離と角度の把握。

これらの項目は実用化するに当たり、全て解決しなければならない問題であり、今後はこれらの問題を解決し、より実用性の高いシステムの構築が必要と思われる。

JCMA

[筆者紹介]

浅沼 廉樹 (あさぬま なおき)
 (株)フジタ
 建設本部土木 EC 機械部



三鬼 尚臣 (みき ひさおみ)
 (株)フジタ
 建設本部土木 EC 機械部

