

赤松谷川 9 号床固工工事における無人化施工

供 田 英 一・岩 崎 肇・岡 本 仁

赤松谷川 9 号床固工工事は、雲仙普賢岳の火山活動に伴う火砕流や土石流災害から地域の安全を確保するとともに、災害に強いまちづくりを基本方針とする「水無川砂防基本構想」に基づいた砂防施設を施工する工事である。建設機械をリモートコントロールする無人化施工により、危険警戒区域内における RCC コンクリート 14,058 m³ の砂防堰堤を施工した。施工管理には GPS 等を使用し、多様な管理システムを導入した情報化施工を実施した。

本報では、赤松谷川 9 号床固工工事における無人化施工についての施工結果を報告する。

キーワード：砂防堰堤，RCC 工法，GPS，無人化施工，遠隔操作，情報化施工，3D（3次元）CAD

1. はじめに

雲仙普賢岳復興事業は水無川砂防基本構想に基づき、流域を火砕流や土石流被害から守り、安全な生活を確保することを目的として砂防堰堤等の施設を建設する事業である。

本工事の施工は危険警戒区域を境に有人施工区域と無人施工区域にまたがっており、無人施工区域では土石流や火砕流が発生する恐れがある。そのため、遠隔操縦装置を装備したブルドーザ・バックホウ・重ダンプ・振動ローラ等の建設機械を、危険警戒区域外にある遠隔操作室から、車載カメラおよび監視カメラによる映像をもとに操作し施工した。

写真-1 に現場の位置、写真-2 に施工区分写真を示す。



写真-1 現場位置



写真-2 施工区分

2. 工事概要

(1) 概要

工 事 名：赤松谷川 9号床固工工事
 施工場所：長崎県南島原市深江町上大野木場地先
 工 期：平成 21 年 9 月 1 日～平成 22 年 3 月 30 日
 発 注 者：国土交通省九州地方整備局 雲仙復興事務所
 工事内容：砂防堰堤 床固工（RCC コンクリート）
 堤長 349 m 堤高 8.1 m RCC コンクリート 14,058 m³ 床堀 19,444 m³ 基面
 整正 2,947 m²

(2) RCC 工法概要および無人化施工

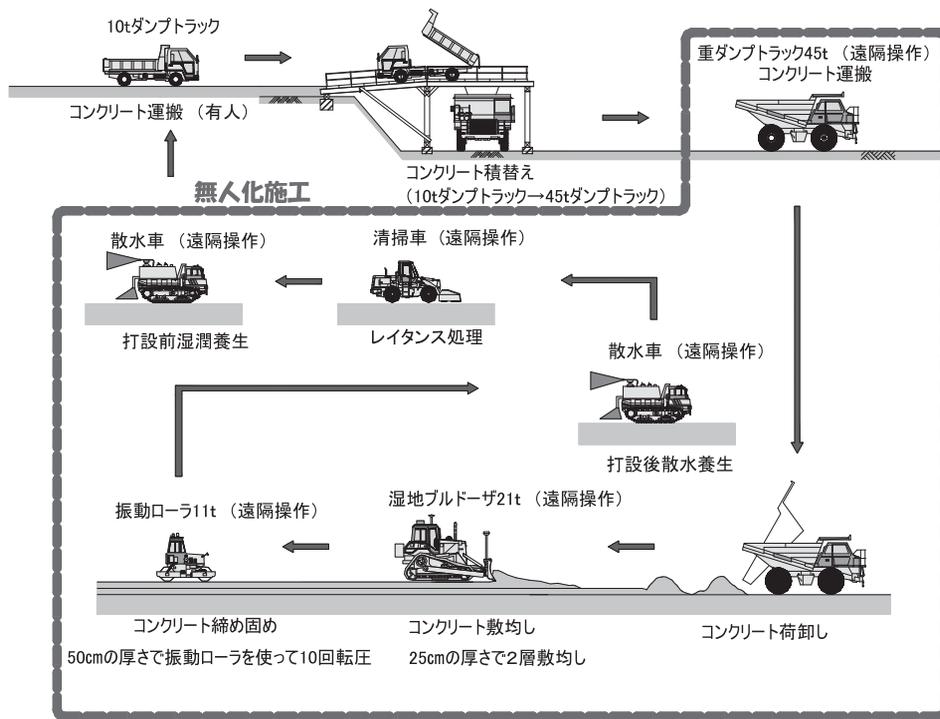
本工事の砂防堰堤の施工は、RCC 工法（Roller Compacted Concrete）にて行った。固く練ったコンクリートをダンプトラックで運搬、ブルドーザで敷均し、振動ローラで転圧して締固める工法である。

図一 1 に施工フローを示す。

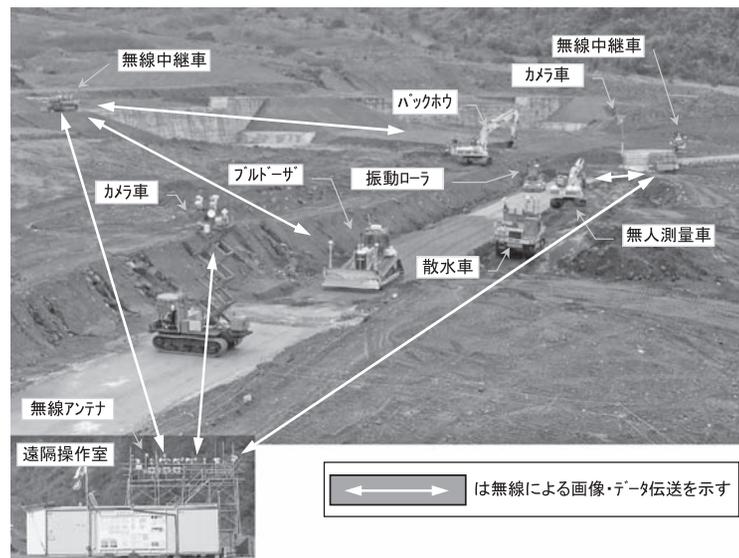
危険警戒区域内では、遠隔操作を用いた無人化施工にて行った。

写真一 3 に、無人化施工の全体概要を示す。

コンクリートは、コンクリート工場より 10t ダンプにて運搬し、コンクリート積替え設備にて 45t 重ダンプに積替えた後、危険警戒区域より先は無線による遠



図一 1 RCC 工法施工フロー



写真一 3 無人化施工の全体概要

隔操作にて運搬した。

また、無人化施工には、GPS 等を使用した多様な情報化施工システムを導入した。以下にそのシステムを紹介する。

3. GPS を利用した敷均し管理システム

(1) 概要

本システムは RCC コンクリートの敷均し作業を行うブルドーザの排土板位置を制御し、オペレーターの運転操作を支援するものである。

オペレーターは遠隔操作室においてブルドーザの施工範囲全体の標高分布をモニタ画面でリアルタイムに確認しながら操作を行う。

(2) システム構成

敷均し管理システムは GPS を利用した、RTK-GPS 測量 (Real Time Kinematic GPS) 等の高精度な 3 次元計測技術によりブルドーザの排土板位置を計測し、敷均し標高を遠隔操作室に送信する。ブルドーザの排土板には GPS アンテナを両端部に各 1 台、中央にはピッチセンサーを搭載し、排土板の 3 次元位置をリアルタイムに測位する。ブルドーザに設置したコントロールボックスに予め設計値を入力することで、排土板を設計標高に自動制御できる。

図-2 に概要図、表-1 にシステムに使用する主要機器を示す。

(3) 施工

本システム導入により、オペレーターの負担軽減とともに、作業性の向上、現地での丁張を必要としない精度の高い敷均し高さを確保し施工することができた。

写真-4 に施工状況、写真-5 に操作状況を示す。

表-1 システム構成

区分	機器名	仕様・規格	台数
GPS 基準局	GPS アンテナ	L1/L2	1 台
	GPS 受信機	RTK 対応・2 周波数	1 台
	通信設備(無線 LAN)	5 GHz 帯無線 LAN 他	1 式
	その他	ケーブル・電源等	1 式
移動局 ブルドーザ	GPS アンテナ	L1/L2	2 台
	GPS 受信機	RTK 対応・2 周波数	2 台
	通信設備(無線 LAN)	5 GHz 帯無線 LAN 他	2 式
操作室	通信設備(無線 LAN)	5 GHz 帯無線 LAN 他	1 式
	コントロールボックス	排土板制御システム	1 台
	レベルセンサー	電光パネル	1 台
	管理用 PC	敷均し管理システム	1 台



写真-4 敷均し状況



写真-5 敷均し操作状況

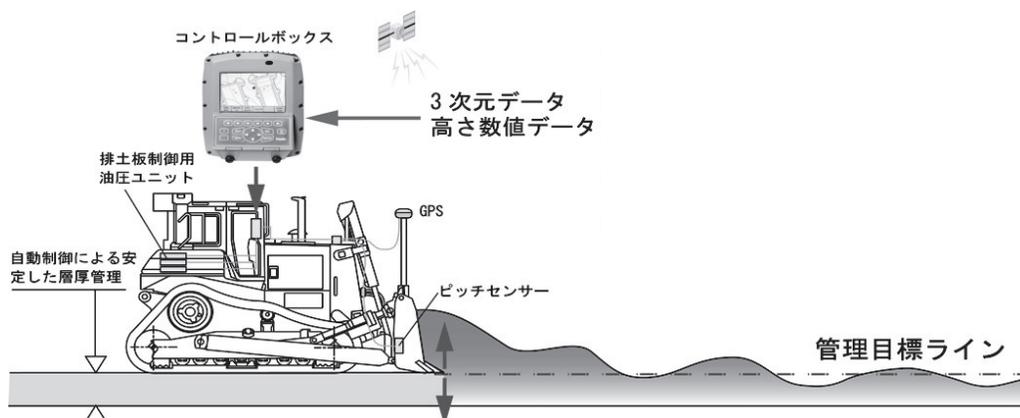


図-2 敷均し管理システム概要

4. GPS を利用した転圧管理システム

(1) 概要

本システムはRCC コンクリートの締固めを行う振動ローラの施工管理および運転時におけるオペレーターの運転を支援するものである。

オペレーターは遠隔操作室において振動ローラの施工範囲全体の転圧状況をモニタ画面でリアルタイムに確認しながら操作を行う。

(2) システム構成

転圧管理システムは、GPS を利用した RTK-GPS 測位等の高精度な 3 次元計測技術を採用することにより振動ローラの位置を計測し、その座標データを遠隔操作室にある転圧管理システムに送信する。

表一 2 にシステムに使用する主要機器を示す。

表一 2 システム構成

区分	機器名	仕様・規格	台数
GPS 基準局	GPS アンテナ	L1/L2	1 台
	GPS 受信機	RTK 対応・2 周波数	1 台
	通信設備(無線 LAN)	5 GHz 帯無線 LAN 他	1 式
	その他	ケーブル・電源等	1 式
移動局 振動ローラ	GPS アンテナ	L1/L2	1 台
	GPS 受信機	RTK 対応・2 周波数	1 台
	通信設備(無線 LAN)	5 GHz 帯無線 LAN 他	2 式
操作室	通信設備(無線 LAN)	5 GHz 帯無線 LAN 他	1 式
	管理用 PC	転圧事務所システム	1 台
	操作用 PC	転圧車輛システム	1 台

(3) 施工

本システム導入により、画面に走行箇所がリアルタイムに表示されるとともに、転圧状況が回数別に色分けされて表示される。オペレーターはこの画面を確認しながら運転するため、ラップ長さおよび規定転圧回数を過不足なく施工することができた。

転圧作業箇所の標高についても設計値からの差が色分けで表示され、リフト高(標高)を管理することでリフト厚を確認することができた。

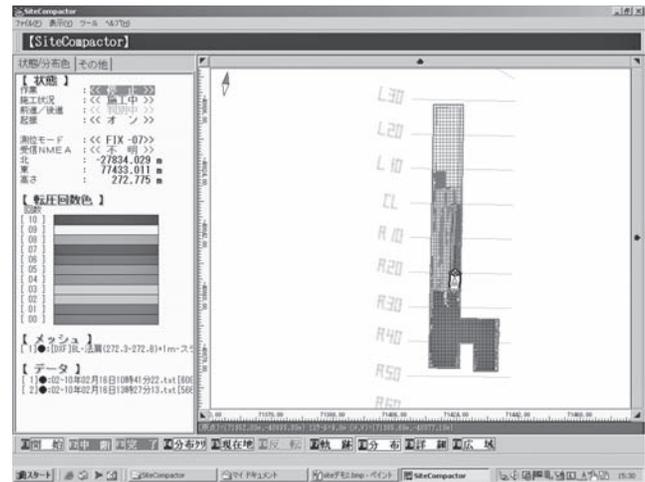
写真一 6 に転圧管理画面(転圧回数)、写真一 7 に操作状況を示す。

5. GPS を利用した無人測量システム

(1) 概要

本システムはRCC コンクリートの施工における出来形計測等の測量作業をGPSと遠隔操作により行うものである。

計測は、GPS を利用した RTK-GPS 測量により行うものとし、任意点の連続した計測や計画点の測量およ



写真一 6 転圧管理画面(転圧回数)



写真一 7 操作状況

び位置出しを行う。

(2) 装置構成

無人測量システムはGPSとCCDカメラを搭載した無人測量装置とGPS基準局、さらにシステム操作とデータ管理を行うための操作・管理用パソコンで構成される。無人測量装置は、ベースマシンに20t級のバックホウを使用し、アーム先端のバケット位置に測量装置を取付ける構造となっている。

測量装置は、振り子の原理を応用し、かつジンバル機構を有しており、常に垂直姿勢を保持する構造となっている。装置の上方にはGPSアンテナが搭載され、測定位置を計測しシステムに記憶させることができる。下方にはマーキング用塗布装置、小型CCDカメラおよび距離センサーを内蔵しており、操作室において計測箇所のモニタリングおよび地盤と装置との距離計測を行いながら計測箇所にスプレーマーキングを行うことができる。

表一 3 にシステムに使用する主要機器、写真一 8 に無人測量装置の全景、写真一 9 に操作状況、写真一 10 にスプレーマーキング操作画面を示す。

表一 3 システム構成

区分	機器名	仕様・規格	台数
GPS 基準局	GPS アンテナ	2 周波受信用	1 台
	GPS 受信機	RTK 対応・2 周波数	1 台
	通信設備(無線 LAN)	5 GHz 帯無線 LAN 他	1 式
移動局 バックホウ	無人バックホウ	20t 級仕様	1 台
	GPS アンテナ	2 周波数受信用	1 台
	GPS 受信機	RTK 対応・2 周波数	1 台
	通信設備(無線 LAN)	5 GHz 帯無線 LAN 他	2 式
	CCD カメラ		1 台
	先端装置	塗布装置, 距離センサー等	1 式
操作室	通信設備(無線 LAN)	5 GHz 帯無線 LAN 他	1 式
	管理用 PC	座標表示・記録	1 台
	換作用 PC	機械操作・画像モニタ	1 台



写真一 8 無人測量装置



写真一 9 無人測量操作状況



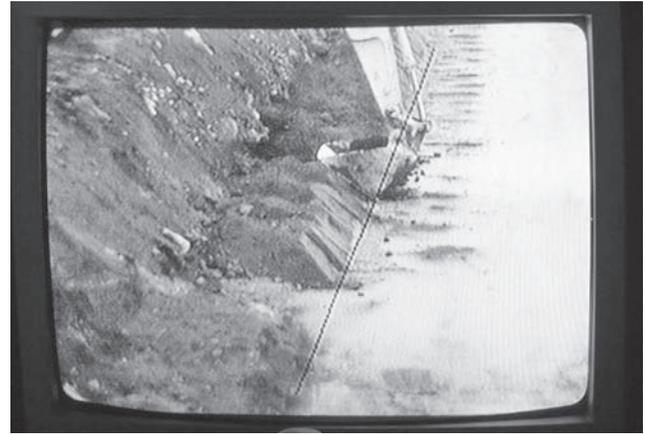
写真一 10 スプレーマーキング操作画面

(3) 施工

本工事では、無人測量システムにより RCC コンクリートの出来形寸法計測および土砂型枠の位置出しを行った。

土砂型枠施工においては、マーキング跡をモニタ画面上でライン描画し、バックホウバケットをラインに誘導し施工を行った。

写真一 11 に土砂型枠施工状況を示す。



写真一 11 土砂型枠施工状況

6. 3次元ガイダンスシステム

(1) 概要

本システムはバックホウに搭載した GPS 受信機と各種センサーとの組み合わせにより、重機の位置やバケット先端位置をリアルタイムに検知しモニタに表示する。遠隔操作システムとの併用により無人化施工においても現地丁張り無しで高精度の作業を行うことが可能である。

オペレーターは遠隔操作室において無人カメラ車の映像を利用するとともに、搭載モニタに映しだされる設計形状とバケット位置の比較表示を基に作業を行う。

(2) システム構成

バックホウには GPS 受信機を 2 台搭載し、ブームに付けられたセンサーによりバケット位置を算出する。

バックホウの運転席に設置したコントロールボックスに予め 3 次元 CAD により作成された設計データを入力しておく、重機の位置およびバケット先端位置と設計形状がモニタに比較表示される。

写真一 12 にシステム概要、表一 4 にシステムに使用する主要機器を示す。

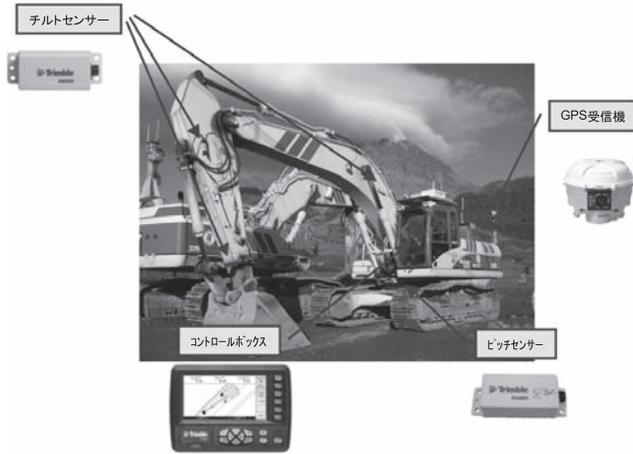


写真-12 システム概要

表-4 システム構成

区分	機器名	仕様・規格	台数
GPS 基準局	GPS アンテナ	L1/L2	1 台
	GPS 受信機	RTK 対応・2 周波数	1 台
	通信設備(無線 LAN)	5G 帯無線アクセスシステム	1 式
	その他	ケーブル・電源等	1 式
移動局 バックホウ	GPS アンテナ	L1/L2	2 台
	GPS 受信機	RTK 対応・2 周波数	2 台
	コントロールボックス	ガイダンスシステム	1 台
	通信設備(無線 LAN)	5G 帯無線アクセスシステム	2 式
操作室	通信設備(無線 LAN)	5G 帯無線アクセスシステム	1 式
	モニター		4 台
	無線操縦器	バックホウ操作用	1 台



写真-14 操作状況

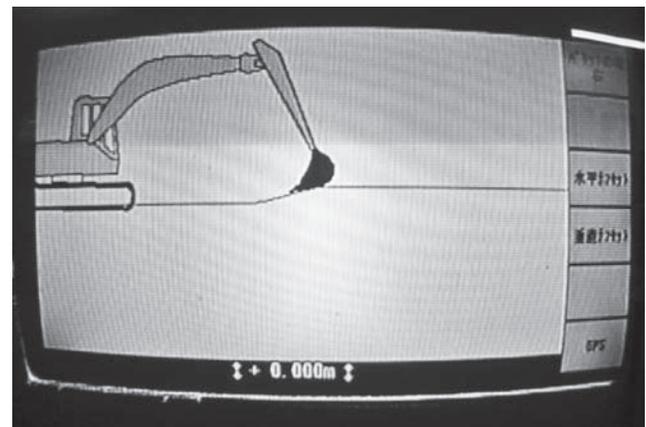


写真-15 ガイダンスシステム画面

(3) 施工

本システム導入により、バックホウによる掘削・床掘等の施工において丁張りを必要とせず施工することができた。

写真-13 に 3 次元 CAD ガイダンスデータ、写真-14 に操作状況、写真-15 にガイダンスシステム画面を示す。

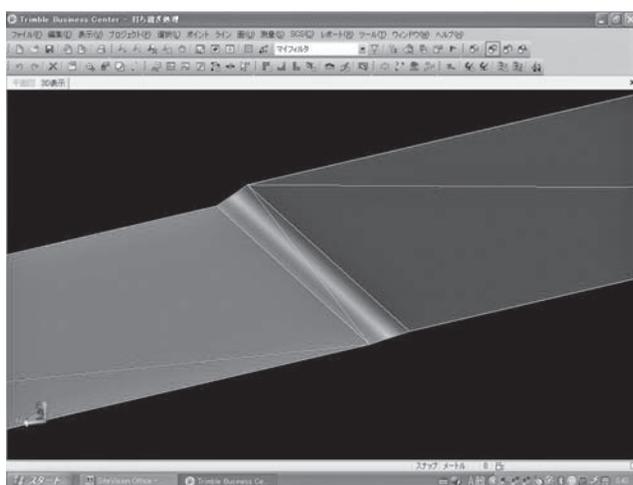


写真-13 3次元CADガイダンスデータ

7. RCC コンクリートの運搬管理システム

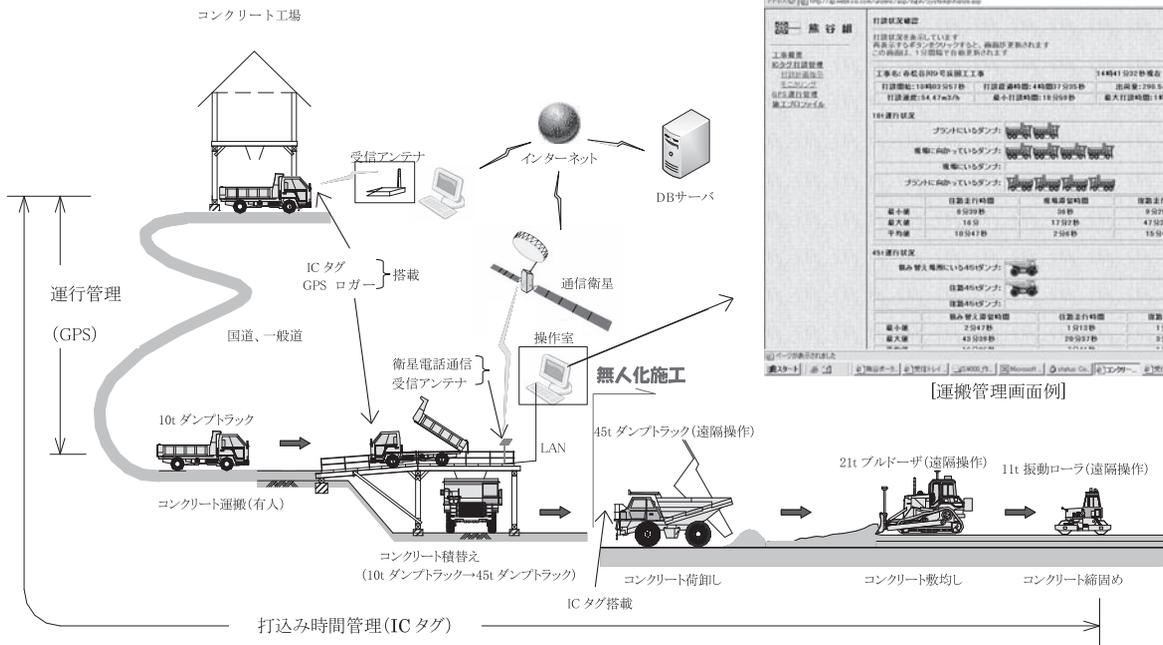
(1) 概要

RCC コンクリートの品質管理および安全運行管理として、IC タグと GPS ロガーを用いた運搬管理システムを導入した。

(2) システム構成

ダンプトラックに搭載した IC タグとコンクリート工場および現場に設置された受信機により練混ぜ開始から打設までの所要時間および残り時間をリアルタイムにモニタリングできる。また、ダンプトラックに搭載した GPS ロガーにより走行軌跡および区間速度を管理できる。

図-3 にシステムの概要、写真-16 に IC タグおよび GPS ロガーを示す。



【運搬管理画面例】

項目	値	単位
10t運行状況
45t運行状況
21tブルドーザ
11t振動ローラ

図-3 RCC コンクリート運搬管理システム



写真-16 IC タグ・GPS ロガー

(3) 効果

RCC コンクリートの運搬管理システムを導入したことにより、コンクリートのトレーサビリティがリアルタイムに確認でき、コンクリートの品質が確保できた。また、運搬軌跡・速度管理データに基づく指導により、運転手の安全意識向上にも寄与することができた。

8. おわりに

本工事では、無人化施工において、多様なシステムの導入により RCC コンクリート施工を安全にかつ、精度よく工事を完了することができた。

本工事の施工においてご指導いただいた国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所様をはじめ関係者各位に感謝の意を表するとともに、本報告が今後、行われる同種工事の参考となれば幸いである。

JCM/A

【筆者紹介】



供田 英一 (ともだ えいいち)
 (株)熊谷組
 赤松9号作業所
 機電課長



岩崎 肇 (いわさき はじめ)
 (株)熊谷組
 赤松9号作業所
 所長



岡本 仁 (おかもと ひとし)
 (株)熊谷組
 赤松9号作業所
 副所長