

JCMA 報告

平成 28 年度 日本建設機械施工大賞 受賞業績（その 2）



最優秀賞



ICT 技術を活用した CIM による次世代無人化施工システム

(株)熊谷組, 共栄機械工事(株), (有) E-MEC

業務内容

当社は無人化施工の性能に関する技術開発に加え、ネットワーク対応型無人化施工、情報化施工、CIM を組合わせた「ICT 技術を活用した CIM による次世代無人化施工システム」を開発した。そして、これを九州地方整備局管内の実工事に適用した。

【工事概要】

本工事は水無川砂防基本構造に基づき、雲仙普賢岳からの土石流災害から地域の安全安心な生活を確保することを目的とした砂防施設（床固工）を建設するものである。本工事施工箇所は土石流や溶岩ドーム崩落が発生する恐れのある警戒区域内であり、作業員の安全を確保するため、施工は遠隔操作による大型建設機械を駆使した無人化施工で実施した（表—1、図—1）。

表—1 工事概要

工事名	赤松谷川 11 号床固工工事
発注者	国土交通省 九州地方整備局
工事場所	長崎県南島原市深江町上大野木場地先
工期	平成 24 年 12 月 11 日～平成 27 年 3 月 30 日
主要工事	砂防土工 = 249,199 m ³
	作業土工（床掘）= 一式
	RCC コンクリート = 48,592 m ³
	無人仮設備工 = 一式
	仮設工 = 一式



図—1 工事位置

【高度化する無人化施工】

(1) 型枠等仮設材の設置

これまで難しかった無人化施工による鋼製型枠や養生マットの設置作業を、本工事において初めて導入し、打設コンクリートの品質向上と無人化施工の多彩な施工の可能性を示した。

(1-1) 鋼製型枠設置

コンクリート切りしろ部に専用の鋼製型枠を無人化施工することによりコンクリートの施工数量の低減を図った。また測量機マーキングシステムを使用して精度よく設置した（写真—1）。

(1-2) 養生マット設置

専用の養生型枠を無人化施工によって設置することにより、適宜コンクリート養生を行うことによる品質向上と、警戒区域内へ人が立入ることを回避する安全向上を図った（写真—2）。



写真—1 鋼製型枠設置状況



写真—2 養生マット設置状況

(2) CAN 制御車両の遠隔操作システム（㈱IHI, IHI 建機㈱との共同開発）

建設機械に標準装備された CAN を使用して、通常使用される遠隔操縦用制御装置を使うことなく、操作レバーや車両の情報をそのまま無線 LAN で遠隔地に伝送して操作することに成功した（写真—3, 4）。

(3) 低容量型デジタル高精細画像伝送システム（青木あすなろ建設㈱, ㈱大本組, 西松建設㈱, ㈱フジタ, （一財）先端建設技術センター共同開発）

本システムを使用することにより、従来は遅延や伝送容量の問題で無人化施工等の遠隔操作等で使用することが難

しかった高精細動画（1920 × 1080）30 fps を 3.0 Mbps の低容量、70 msec 以下の低遅延でデジタル伝送が可能になった（図—2）。

(4) エジェクタ式ダンプトラック

コンクリートの運搬・荷卸作業は、エジェクタ式ダンプを使用した。通常のダンプアップ方式ではなく、プレート押出しにより、コンクリートを撒出すように荷卸しができる。これにより、大きな山を作ることなく、概ね 50 cm 以下の高さで一様にコンクリートを撒出すことが可能となり、材料分離を防止することができ、品質が大幅に向上した（写真—5, 6）。



写真—3 本システムを搭載したトラックローダー



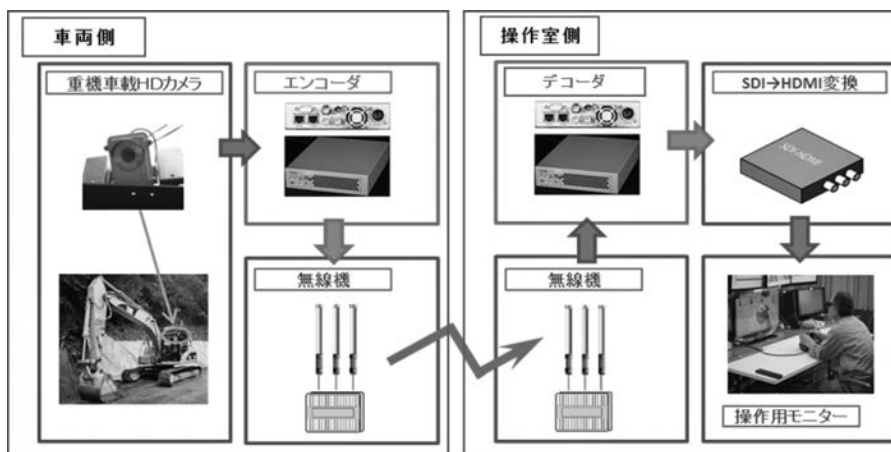
写真—5 エジェクタ式ダンプトラック



写真—4 施工状況



写真—6 ベッセル部



図—2 画像伝送システム



写真—7 振動ローラ



写真—8 クローラダンプ



写真—9 自律走行状況

(5) 建設機械の自律走行導入の取組み

遠隔操作におけるオペレータへの負荷を軽減させるため、建設機械の自律走行導入の取組みを成功させた。技術者不足の改善や、品質・出来形の均一化等の効果も期待されるため、通常工事へもフィードバックできる技術である。本工事ではクローラダンプと振動ローラの実証実験に成功している（写真—7～9）。

【本工事におけるネットワーク対応型無人化施工システム】

建設機械の操作データ、車載カメラデータ、情報化施工データを全てIP化して伝送した。これにより1つのM2M (Machine to Machine) ネットワークを構築することが可能であり、ネットワーク上での機器の一元管理を可能にした。システム管理者がネットワーク上の機器を管理することで、本工事では合計20台の建設機械を稼働することができた（図—3、表—2）。

【情報化施工概要】

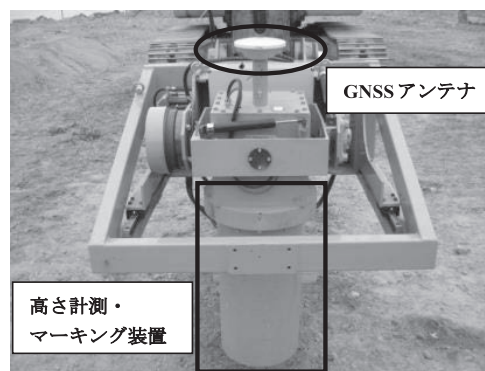
バックホウとブルドーザには測量作業不要で掘削・敷均し施工が可能となる、GNSSを活用したMG (Machine Guidance) とMC (Machine Control) を導入した。特にMCは自動的にブルドーザの排土板が動作するため、オペレータは前後進操作のみで設計の高さに敷均すことが可能となり、RCCコンクリートの出来形向上へと繋がった。

(1) 無人測量システム

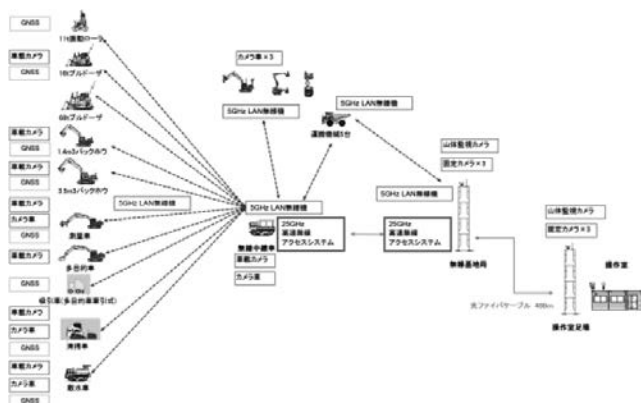
測量装置本体はバックホウのアタッチメントとして使用した。計測装置にはGNSS受信機を搭載し、その真下部

表—2 使用機械一覧

使用機械	用途
16t級ブルドーザ	コンクリート敷均し
68t級ブルドーザ	土砂掘削・敷均し
0.45m ³ バックホウ	測量車
0.8m ³ 級バックホウ	多目的車
1.4m ³ 級バックホウ	施工盛土・土砂整形
1.4m ³ 級バックホウ	コンクリートはつり
3.5m ³ 級バックホウ	土砂掘削
45t積ダンブトラック×3	土砂運搬
36t積ダンブトラック×2	コンクリート運搬
11t級振動ローラ	コンクリート締固め
0.45m ³ 級トラックローダ	コンクリート打継面清掃
10t積クローラダンプ	散水車
10t積クローラダンプ	移動無線中継車
路面清掃車	コンクリート打継面 レイトランス吸引
0.45m ³ 級バックホウ	カメラ車
9.9m級高所作業車	カメラ車
6m級高所作業車	カメラ車



図—4 測量装置



図—3 ネットワーク系統図

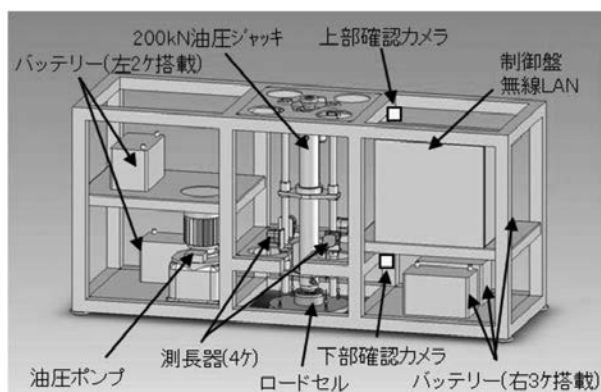


図—5 スプレーマーキング操作画面

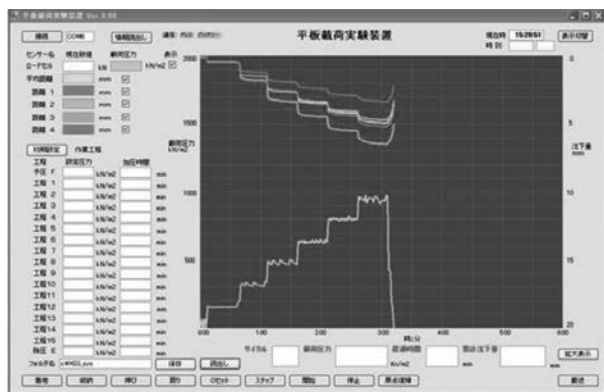
に測量位置を確認するカメラ、測量高さを計測するマーキング装置を搭載している。これらを使用することで、無人化施工にて出来形管理を精度よく実施できた（図—4, 5）。

（2）無人平板载荷試験機

地耐力の測定には無人化施工用に開発した平板载荷試験装置を使用した。床掘完了後、遠隔操作バックホウにて測定箇所まで運搬し、そのバックホウのカウンターウェイトを反力とし試験を行った。試験装置は操作側パソコンから試験装置メモリに試験データを受信することにより自動的に試験を開始するので、途中通信が遮断されても試験は継続され完了する事ができる（図—6, 7）。



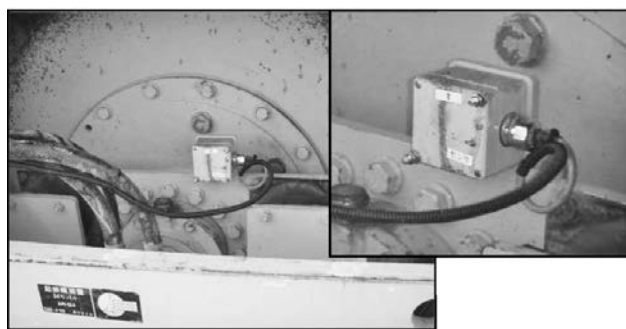
図—6 試験機概説



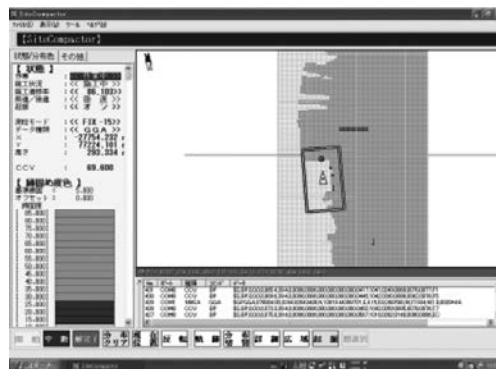
図—7 操作室パソコン画面

（3）締固め管理システム

振動ローラにはGNSSを活用した締固め管理システム（SiteCompactor）を導入した。GNSSにより車両位置を高精度に測位することで、転圧工事をリアルタイムに管理することが可能である。RCC工法では工法規定として振動ローラで10回締固めることが定められており、このシステムにより転圧不足や過転圧を防止することができ、RCCコンクリートの品質向上へと繋がった。さらに、本工事よりローラ部に加速度計を搭載し、CCV（Compaction Control Value）を締固め指標として相対的な締固め状況を管理した（図—8, 9）。



図—8 加速度計取付状況



図—9 CCV管理

【CIM概要】

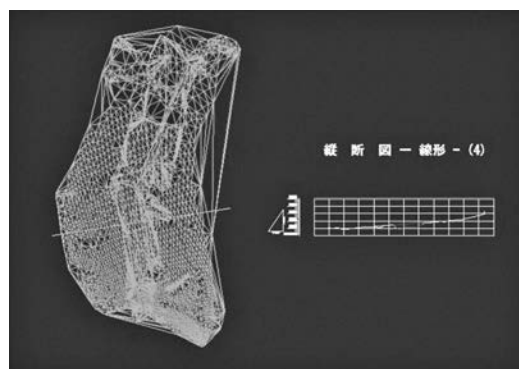
（1）着工前

航空測量から現況地表面の3次元モデル、設計図面から掘削面や構造物の3次元モデルを作成した。

3次元モデルにより任意の側線での断面表示が可能となり、現況と設計図面とを照合し、工事数量の算出をした。設計図面の3次元モデルは情報化施工での施工図面として展開した（図—10）。

（2）施工中

各建設機械に計測機器として加速度計、GNSS受信機、ICタグを搭載し、ICTを活用して情報の取得を行うことで、施工過程の情報を可視化し、リアルタイムで一元管理し、情報の共有・活用を可能にするシステムを構築した。インターネット、サーバを使用して情報の収集・分析を行



図—10 現況、設計との照合及び断面表示

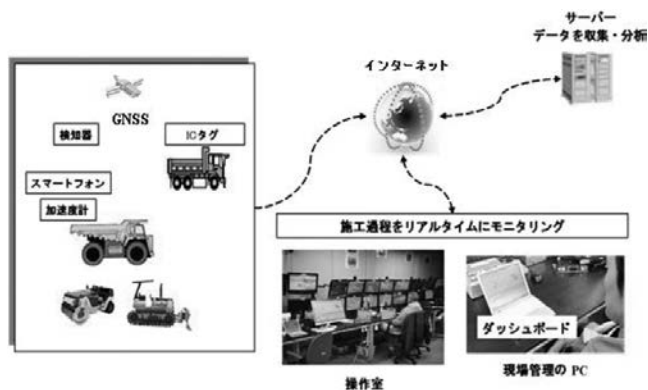


図-11 モニタリングシステムのイメージ

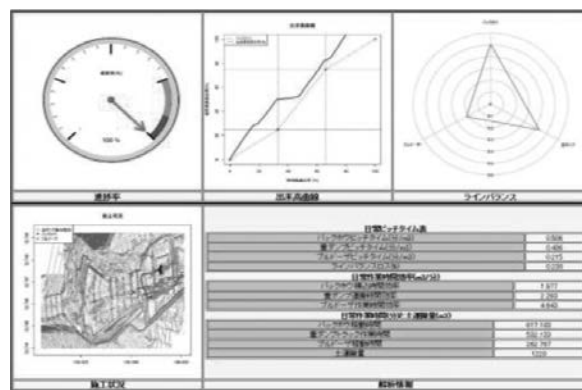


図-12 土工事の運行管理システム

うことから、インターネット環境が整備されている場所であれば、施工情報をリアルタイムで把握することを可能にした。

このシステムを使用することにより、現場と本社・支店や発注者とのリアルタイムによる施工情報の共有が可能であり、様々な立場・視点から施工状況を検討でき、情報を活用していく点においても有効である（図-11）。

(2-1) 土工事の運行管理システム

ダンプトラックにGNSS受信機を搭載していることから、積み込み場所から荷卸し場所までを個別毎に管理することが可能になった。またダンプトラック個別の詳細な土量の動きが正確に把握できるようになり、測量作業をすることなくトレーサビリティを定量的かつ明確に把握することが可能になった。これにより材料が数種類、荷卸場所が数箇所になった場合においても対応することが可能になる。トレーサビリティの情報をリアルタイムで得られることから、進捗状況に合わせた指示や施工条件の相違による土運搬量の評価をすることができた（図-12）。

(2-2) RCC コンクリート打設管理システム

現場とコンクリート工場間をコンクリート運搬するダンプトラックに搭載したICタグと現場及びコンクリート工場に設置された受信機により、リアルタイムで進捗状況を把握すると共に、コンクリートの練混ぜ開始から締固め完

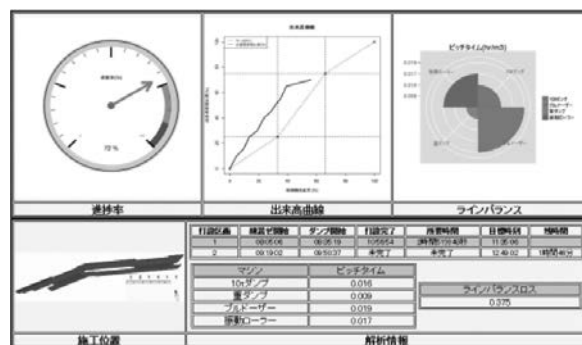


図-13 RCC コンクリート打設管理システム

了までの時間管理（トレーサビリティ）を行うことで品質管理を行った（図-13）。

(2-3) 安全管理システム

加速度計を使用する工事用道路の評価をしたハザードマップの導入を行い、安全管理の向上を図った。xyzの3軸の加速度を解析することで、縦滑り、横滑り、不陸のハザードを検出する。この数値は道路の損傷の状態を表しており、同じ場所に連続して発生することにより道路補修の時期を示す1つの指標となった。

特に無人化施工においては、カメラ画像では工事用道路の状態を把握することが困難なため、危険である箇所をリアルタイムに把握しながら建設機械を操作できることは、オペレータ支援として非常に有効であった（図-14）。

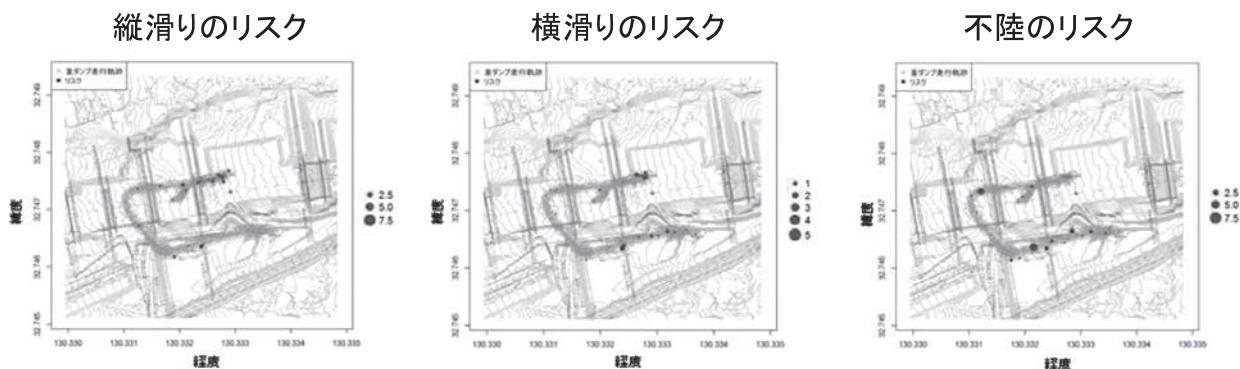
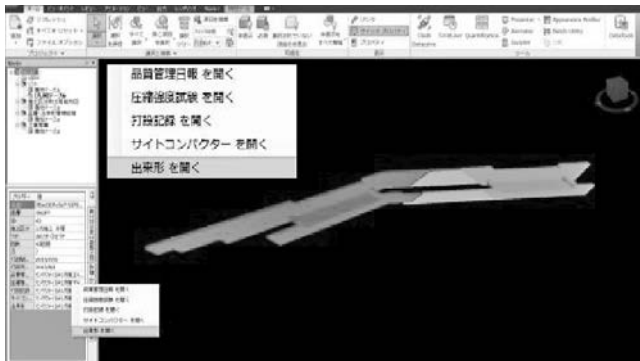
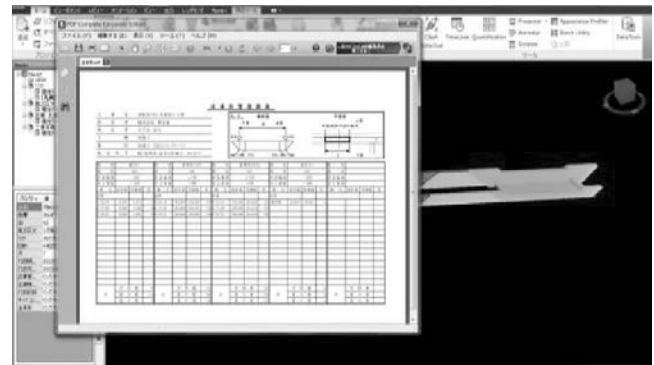


図-14 ハザードマップ



図ー 15 構造物 3 次元モデル



図ー 16 出来形管理データの呼出し

(3) 完了時

既存ソフトを使用し、構造物の 3 次元モデルに品質・出来形・写真等の施工データを集約することでデータの一元管理を行った。3 次元モデルの打設ブロックをクリックす

ることで、施工管理記録を瞬時に表示することができ、工事完了後のデータ維持管理を容易にできる。また、竣工図書として発注者に提出することにより書類の削減にもなる(図ー 15, 16)。

お断り

この JCMA 報告は、受賞した原文とは一部異なる表現をしています。