

ICT技術を活用したCIMによる 次世代無人化施工システム

飛鳥馬 翼

(株)熊谷組 九州支店 土木部.

ICTが日々発展している中で土木業界においても近年、ICTを活用した施工が行われている。土木施工においてICTを活用する背景として、土木業界の人材不足の問題から施工管理の省力化が求められている。

本報告では、ICTを活用した無人化施工、情報化施工、CIM(Construction Information Modeling)を組合わせた次世代無人化施工システムの実工事における成果を報告する。

キーワード：ICT，ネットワーク対応型無人化施工，情報化施工，CIM

1. はじめに

自然災害の多い日本では、台風や集中豪雨、地震によって生じた土砂災害の復旧、火山の噴火に伴って生じる火砕流や土石流の緊急復旧作業に当たり、2次災害の危険性があることから無人化施工が重要な役割を持つ。平成23年に発生した東日本大震災や今年の熊本地震、近年の局地的な豪雨や火山の噴火の増加によって無人化施工は注目されるようになった。平成23年には超長距離遠隔操作実証実験¹⁾が行われ、光ケーブルや無線LANを使用することにより、施工箇所から遠隔操作室までの距離の制限が無くなり、オペレータは施工箇所より離れた安全な場所から施工可能となった。

一方で、少子化や若者の建設業界離れを背景として、土木業界において従事者の高齢化、減少による人員不足の問題から、ICTを活用した施工管理の効率化、生産性の向上が図られている。平成27年11月に国土交通省は建設現場における生産性向上を目指す新しい取り組みであるi-Constructionを発表し、今年を「生産性革命元年」と位置付け、i-Construction対応型工事を普及推進している。

当社では、次世代無人化施工としてネットワーク対応型無人化施工に情報化施工、CIMを取入れた最新の施工技術の現場への適応を進めている。赤松谷川11号床固工工事(以下、本工事)では高度化する無人化施工に対応するため、この次世代無人化施工技術を総合的に取入れ実施し、平成27年3月に施工を完了した。

多様化する施工工法や利用する装置に柔軟に対応するため、光ケーブルや無線LANを使用したネットワーク対応型の無人化施工システムを構築し、ネットワークの機器を高度に管理することで20台の建設機械の運用、施工

を実現した。この技術をベースとして現場では、IoT(Internet of Things = モノのインターネット)を活用した施工支援システムを構築し、施工過程を可視化したリアルタイムモニタリングシステムを実現した。これはi-Constructionの概念と共通するものである。

本報告では、これまでに例の無い大規模次世代無人化施工技術の実工事での成果を報告する。

2. 本工事概要

雲仙普賢岳での応急復旧工事として、砂防施設が築造されている。その1つの浸食防止や土石流対策のための床固工を施工するものである。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るため、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。工事概要を表-1に、工事位置を写真-1に示す。

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 = 249,199m ³
	作業土工(床掘) = 一式
	RCC コンクリート = 48,592m ³
	無人化設備工 = 一式
	仮設工 = 一式



写真-1 工事位置

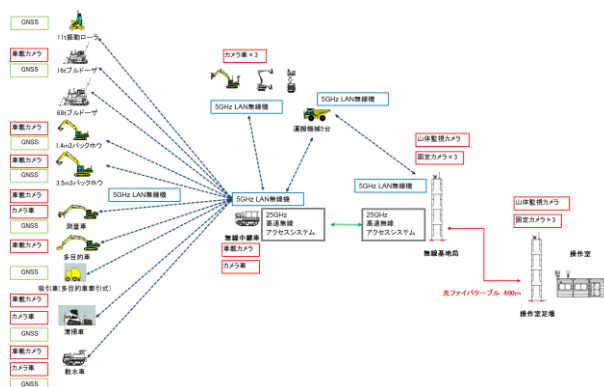


図-1 ネットワーク系統図

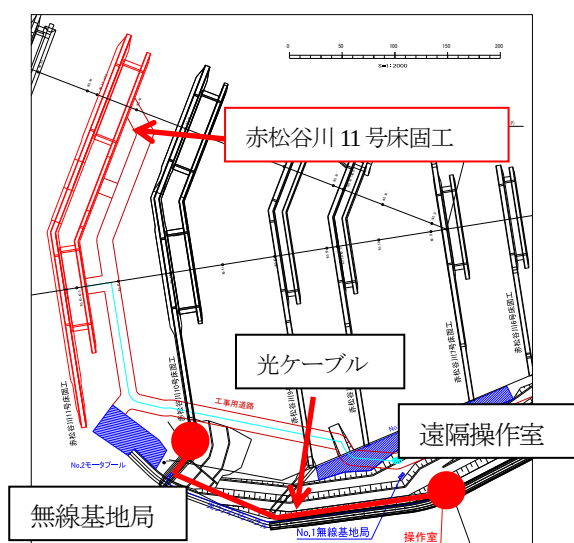


図-2 無人化施工設備平面図

床固工は、RCC工法で行う工事で、遠隔操作での施工手順は、バックホウやブルドーザにより土砂で型枠を造成し、ブラシのアタッチメントを付けた遠隔操作建設機械でコンクリート打継面を清掃、その後RCCコンクリートをダンプトラックで運搬し、ブルドーザで敷均した後、振動ローラによる転圧を行う。

3. 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(Internet Protocol=インターネット・プロトコル)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。遠隔操作室から無線基地局までの400m間は光ケーブルを使用して伝送した。無線基地局から施工箇所までは最大400m程度距離があるため、無線の確実な配信のためクローラダンプをベースとした移動式無線中継局(以下、無線中継局)を設置した。無線基地局と無線中継局の間は、指向性は強いが、伝送量も大きく、長距離伝送が可能である、25GHz帯の高速無線アクセスシステムを使用した。無線基地局、無線中継局と移動している建設機械間は5GHz帯の無線LANを使用した。(図-1、図-2、表2)

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
0.45m³バックホウ	測量車
0.8m³級バックホウ	多目的車
1.4m³級バックホウ	施工盛土・土砂整形
1.4m³級バックホウ	コンクリートはつり
3.5m³級バックホウ	土砂掘削
45t積ダンプトラック×3	土砂運搬
36t積ダンプトラック×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
0.45m³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 レイタンス吸引
0.45m³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

4. 情報化施工の概要

警戒区域内においては人の立入りが禁じられているため、施工管理も無人化施工で行う必要があり、本工事では無人化施工の支援を行うツールとして情報化施工を取入れた。

(1) MG・MC

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 = マシンガイダンス)とMC(Machine Control = マシンコントロール)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。

MG・MCは、通常は建設機械の運転席で使用するシステムであるが、当社ではネットワーク対応型無人化施工システムに適用するために、MG・MCの制御モニタ装置だけを遠隔操作室へ設置することに成功した(写真-2)。MG・MCにはCAN(Controller Area Network)が使用されており、CANをLANへ変換することによって制御モニタ装置だけを建設機械から切り離して遠隔操作室へ設置し、本工事のネットワークへ適用させることができた。これにより、建設機械の運転席で行わなければならなかったMG・MCの操作が、遠隔操作室からいつでも操作可能となった。

(2) 無人測量システム

測量には無人測量システムを導入した。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、その真下部に測量位置を確認するカメラ、測量高さを計測する距離センサ、測量した箇所の位置出しを行うマーキング装置を搭載している(写真-3、写真-4)。これらを使用することで、無人化施工にて出来形管理を実施した。

(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、このシステムを使用することにより、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(写真-5)、CCV(Compaction Control Value = 加速度応答値)を締固め指標として相対的な締固め状況を管理した(図-3)。



写真-2 MG施工状況

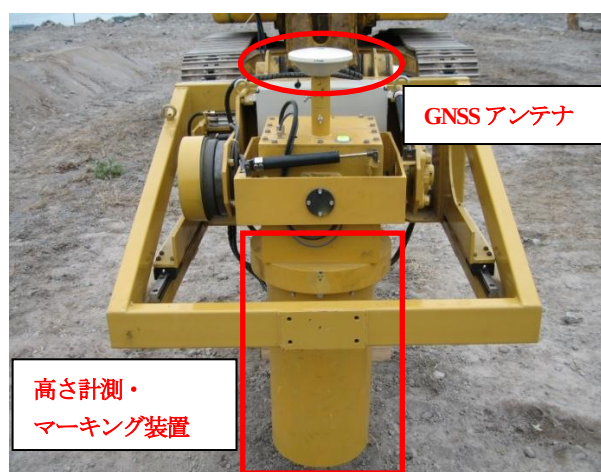


写真-3 測量装置



写真-4 スプレーマーキング操作画面

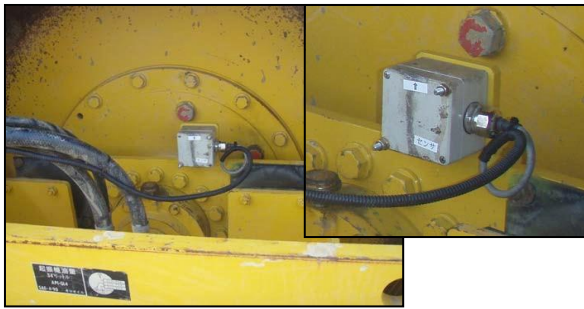


写真-5 加速度計取付状況

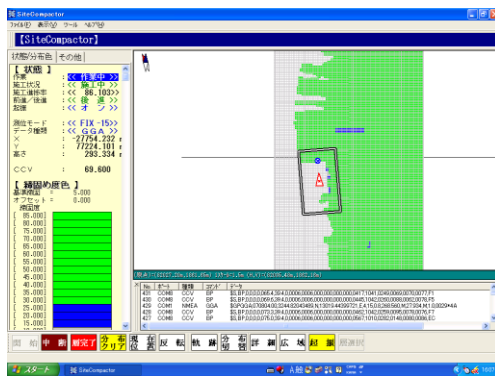


図-3 CCV管理

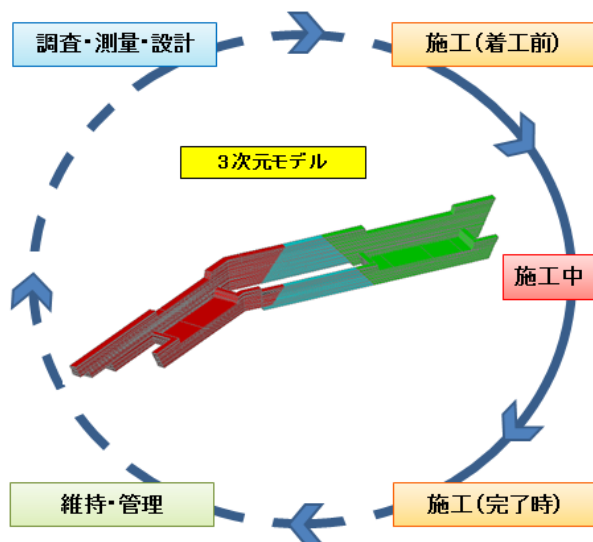


図-4 CIM概念図

5. CIMの概要

CIM とは、調査から維持管理までを 3次元モデルを軸に管理するシステムである。現場においては施工部分が

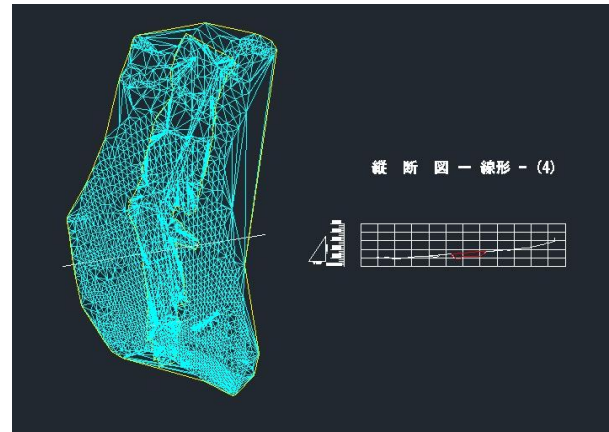


図-5 現況、設計との照合及び断面表示

当てはまり、着工前・施工中・完了時に分けることができる(図-4)。

(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することにより工事数量の算出をした(図-5)。設計図面の 3次元モデルは先に記述した情報化施工での施工図面として展開した。また、本工事は施工箇所が警戒区域であることから、現地での確認、施工方法の検討ができず、カメラ画像もしくは数百メートル離れた場所から現地の確認、施工方法の検討を強いられた。このことから、より詳細な施工検討を行うため、各施工段階での様々な 3次元モデルを作成しオペレータと検討を重ね、施工前に不安要素を解決し施工に望んだ。

(2) 施工中

CIIM(Civil Infrastructure Information Management)という計画から設計、施工、維持・管理までの情報共有・活用することを目的に提唱された概念²⁾を使用し、IoT を取り入れることによって施工管理におけるシステムを構築した。

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(図-6)。インターネット、サーバを使用して情報の収集・分析を行うことから、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。土工事の運行管理、RCC コンクリート打設管理システムの表示は、車のダッシュボードのように、一目で施工状況が把握できるような形式での構築を行った。

a) 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

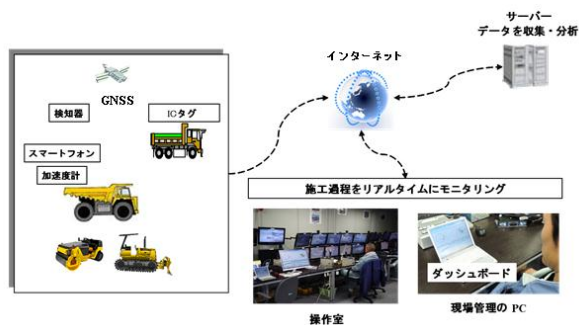


図-6 CIIMシステムの構成イメージ

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-7)。このシステムにより、情報を一括管理することでコンクリートの品質確保のための時間管理を容易にした。出来高曲線は、横軸に時間経過比率、縦軸に設計打設数量に対する打設箇所へ荷卸された量を比率で示した。また、横軸は 30%・60%縦軸は 25%・75%としたマイルストーンを示すことで、マイルストーンより数値が高い場合には施工がスムーズである事を示し、数値が低い場合には問題が発生している可能性があることを示している。ラインバランスは、打設完了後の各重機を評価したものであり、 1m^3 当たりにかかる時間を示し、施工の悪さを示す指標である。理想的なバランスは、各重機の数値が同様になり一つの円になる事が理想である。これらの情報を使用し、毎打設データを収集・分析することで施工性の効率化を検討した。

b) 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、積込場所から荷卸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(図-8、図-9)。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。

c) 安全管理システム

加速度計を使用しての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。ハザードマップを図-10に示す。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。実際に、不陸のハザードが検出されたポイントでダンプトラックの車体が上下しており、システムの有効性を確認した。

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

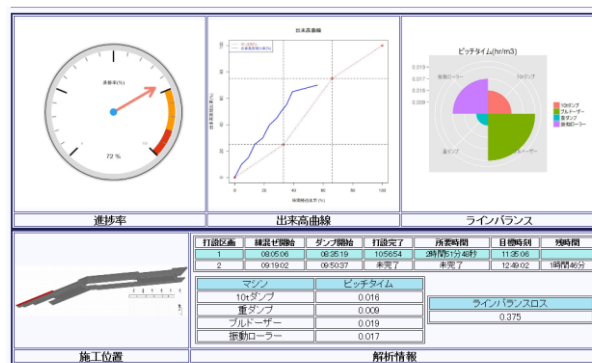


図-7 RCCコンクリート打設管理システム

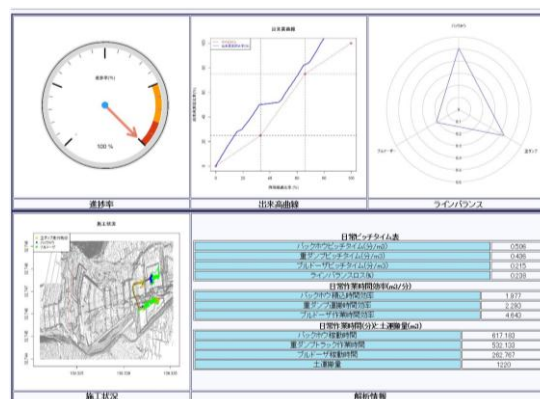


図-8 土工事の運行管理システム

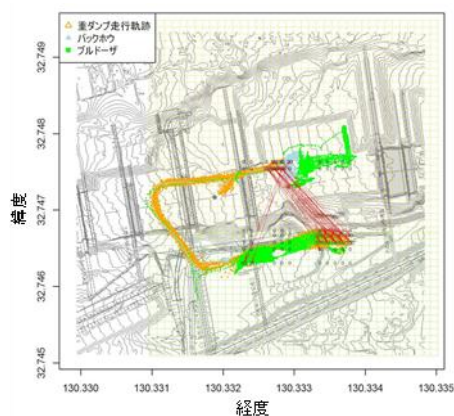


図-9 各建設機械の走行軌跡，土量

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。

(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(図-11、図-12)。また、竣工図書として発注者に提出する

