

19. IoT を取入れた次世代無人化施工システムの実現

ー ICT を活用した赤松谷川 11 号床固工工事の無人化施工 ー

株式会社熊谷組 北原 成郎
坂西 孝仁
○ 飛鳥馬 翼

1. はじめに

IoT(Internet of Things = モノのインターネット)とは、日常生活における身の回りのあらゆるモノがインターネットを介して情報をやり取りする能力を備えていくという概念である。1990 年代には「ユビキタスコンピューティング」、2010 年代前半には「M2M(Machine to Machine)」などと呼ばれ、機械同士の自律的な制御や連携を表す世界観として認知されてきた概念であり¹⁾、今日では、ICT(Information and Communications Technology = 情報通信技術)の発展に伴い、注目を集めている。

近年、土木業界においても IoT 導入への取り組みが行われ始めた。

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採用されることが多い。平成 23 年に発生した東日本大震災や、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²⁾が行われ、光ファイバケーブルや無線 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なくなり、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。国土交通省が普及推進する CIM(Construction Information Modeling)は、計画から維持管理までを 3 次元モデルを中心に管理するシステムであるが、施工時の CIM の活用が課題とされている。維持管理をしていく中での施工時の情報は重要視されており、施工過程の情報を可視化し、共有・活用していく必要がある。

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、光ファイバケーブルや無線 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、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、ICT 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。

本報告では、これまでに例のな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

本工事は水無川砂防基本構想に基づき、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、工事位置を図-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
	無人仮設備工 = 一式
	仮設工 = 一式



図-1 工事位置

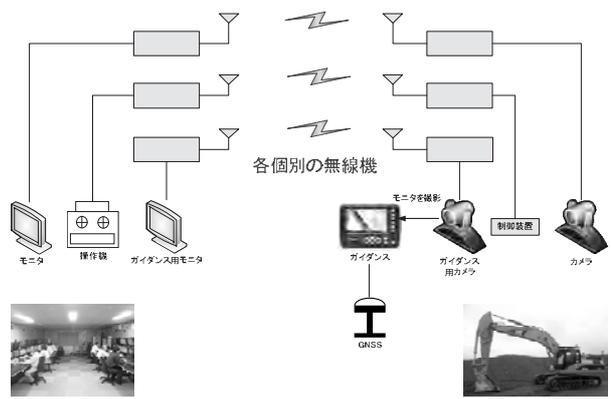


図-2 従来の無人化施工システム

3. 無人化施工の概要

3.1 ネットワーク対応型無人化施工システムの概要

従来の無人化施工のデータ伝送は、特定小電力無線、建設無線といった専用の無線機で伝送を行っていた。そのため、建設機械の操作情報、車載カメラ情報は個別の無線機が必要であった(図-2)。今日では、超長距離遠隔操作実証実験の成果により、IoTを取入れたネットワーク対応型無人化施工システムが主流となり(図-3)、これにより通信手段として光ファイバケーブルや無線LAN等の選択肢が増えた。

無線LANは、現場に適した無線機やアンテナを自由に選定でき、ローミング機能^{※付録1)}があるため、無線基地局を複数用意し長距離無人化施工にも対応できることが挙げられる。また、1つの無線親機で複数の建設機械を遠隔操作可能であるため、本工事のように多くの建設機械を使用する工事においては、無線周波数の干渉回避やコスト削減といった面でも有効なシステムである。

3.2 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。遠隔操作室から無線基地局までの400m間は光ファイバ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、無線親機を無線基地局に4台、無線中継局には3台設置した。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。無線親機と無線子機には5GHz帯の無線機を使用し、合計20台の建設機械を稼動させた(図-4、図-5、表2)。

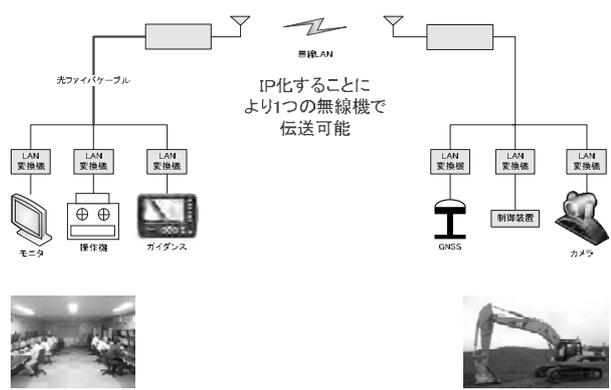


図-3 今日の無人化施工システム

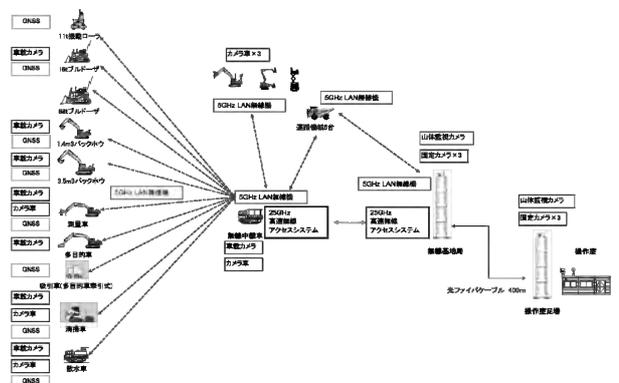


図-4 ネットワーク系統図

複数建設機械を制御するという事は、データの増加分だけ伝送経路に負荷がかかるということであり、無線機のデータ伝送の限界が懸念された。本工事においては初期においては単純な通信接続だけではカメラ画像が乱れるトラブルが頻繁に生じた。そこで、日々の施工時には、稼動している建設機械のデータ伝送量を均すように、無線親機への通信接続を変更した。トラブルが生じた際にはその都度データ伝送量を確認し対処した。その結果、トラブルを少なくして画像データ等を安定して伝送することができた。

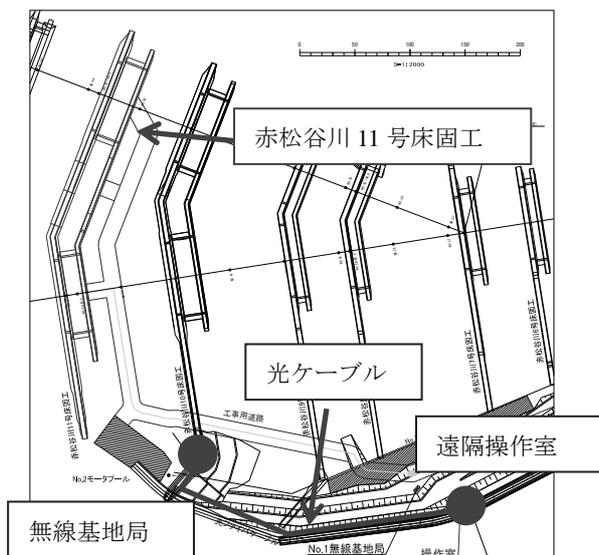


図-5 無人化施工設備平面図

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
0.45m 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 レイタンス吸引
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

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。

4.1 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※付録 2)の出来形向上へと繋がった。



図-6 MG 施工状況

MG・MC は、通常は建設機械の運転席で使用され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操作室へ設置することに成功した(図-6)。MG・MC には CAN(Controller Area Network)※付録 3)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、操作室からいつでも操作可能となった。

4.2 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(図-7、図-8)。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。



図-7 測量装置



図-8 スプレーマーキング操作画面

4.3 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^{※付録 2)}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(図-9)、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-10)。

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-11)。

5.1 着工前

航空測量から現況の 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-12)。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。

5.2 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³⁾を使用して、当社では IoT を取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

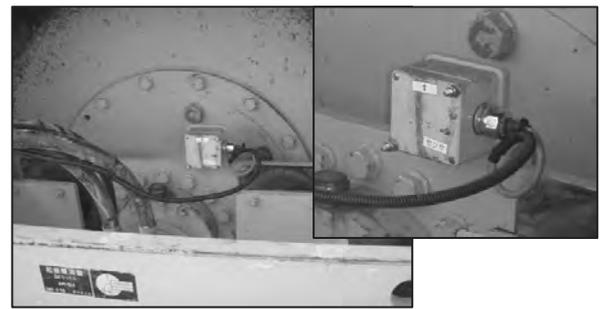


図-9 加速度計取付状況

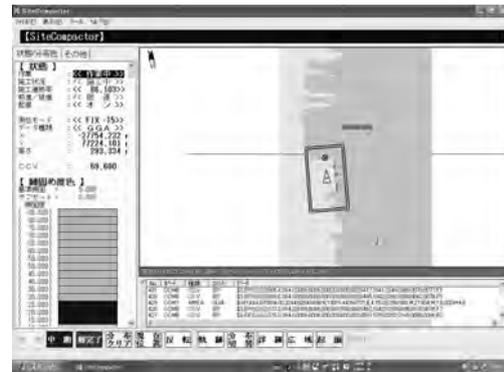


図-10 CCV 管理

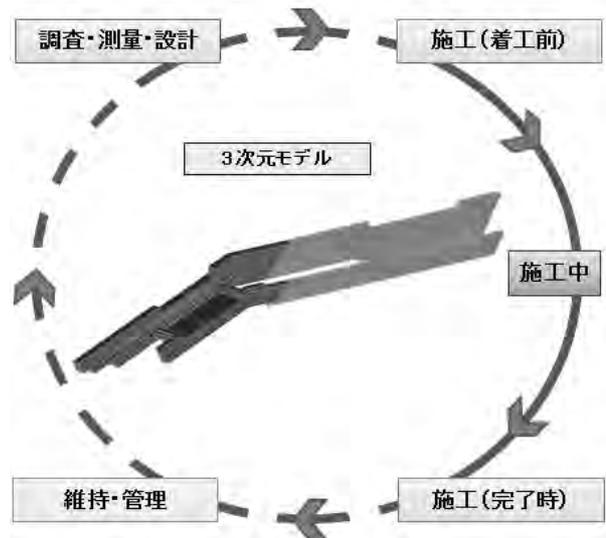


図-11 CIM 概念図

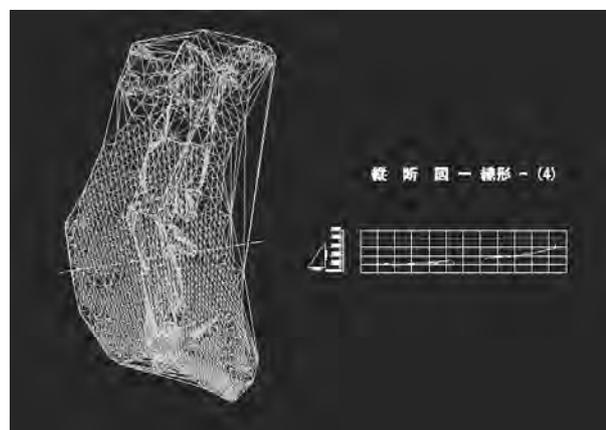


図-12 現況、設計との照合及び断面表示

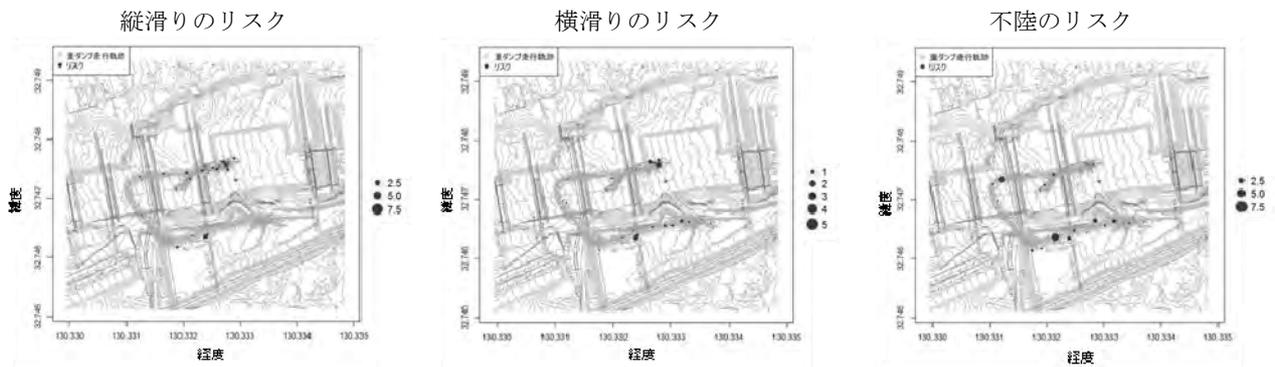


図-18 ハザードマップ

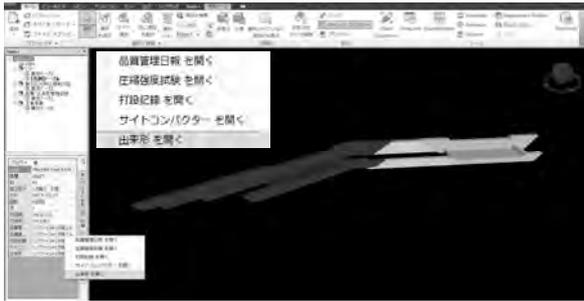


図-19 構造物3次元モデル

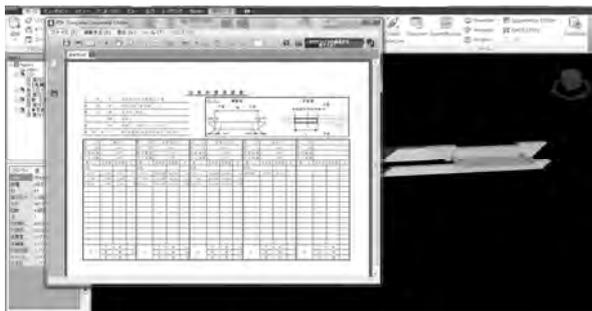


図-20 出来形管理データの呼出し

6. 本工事の成果のまとめ

IoT を取入れたことによる本工事の成果を以下に示す。

- ・無線 LAN を計画的に使用することにより、20 台の建設機械を運用した。
- ・情報化施工を取入れることにより、オペレータの施工支援となり、品質向上にも繋がった。
- ・MG・MC において、CAN を本工事のネットワークに適用させることにより、制御モニタ装置を操作室へ設置させることができ、施工性の向上へ繋がった。
- ・3次元モデルを作成することにより、計画・施工管理・工事記録を容易にした。
- ・3次元モデルへ工事記録を集約することで、竣工検査時の説明を容易にし、書類の削減にも繋がった。
- ・各種計測機器を建設機械に搭載することにより、インターネット上からリアルタイムに施工管理を行うことを可能にした。
- ・土工事では運行管理と土運搬量を、測量作業

をすることなくトレーサビリティを明確にした。

- ・コンクリート打設管理では、設計図書では 4 時間以内に打設完了すればいいところ、3.5 時間以内での打設精度による品質管理を行った。

- ・ハザードマップを導入することにより、建設機械の故障を未然に防ぎ、無人化施工におけるオペレータの施工支援に貢献した。

多様化する工法や装置、無人化施工の精度向上、施工管理の効率化に対応するために IoT を取入れることは非常に有効であり、当社における次世代無人化施工システムを確立した。

6. おわりに

本工事では、IoT を取入れることにより、2 年以上にも渡る大規模無人化施工工事を安全かつ精度よく工事を完了することができた。

益々 ICT が発展していく中で、本報告での成果が多種多様な工事へ適用されるように、現場支援や技術開発をしていく所存である。

最後に、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の方々を始め、関係者各位に深く謝意を表す。

付録

- 1) 無線子機が移動した時に接続する無線親機を自動的に切替える機能
- 2) RCC(Roller Compacted Concrete)工法で使用される固練りのコンクリート。RCC工法とはRCC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。
- 3) 車両などの装置の通信として利用される双方向のネットワーク

参考文献

- 1) 國塚篤郎：モノのインターネットによる建設現場の施工支援，建設機械施工，Vol.67・No.5，pp.46～49，2015
- 2) 新田恭士・松尾修・北原成郎・黒田昇・田村圭司・下田孝徳：超長距離無人化施工技術の適用性に関する考察，第13回ロボットシンポジウム，2012
- 3) 佐藤直良・矢吹信喜：対談「CIMの歴史と可能性」，土木学会誌，Vol100・No.6，pp.10～13，2015