



# 無人化施工技術の開発

北原 成郎  
天下井哲生  
飛鳥馬 翼

株式会社熊谷組

表1 主な施工実績

工事名	都道府県	工期	発注者
雲仙普賢岳水無川除石工無人化施工試験(その4) 工事	長崎県	1994.01-1994.04	建設省九州地方建設局
水無1号ダム上流第1工区除石工事	長崎県	1995.08-1995.12	建設省九州地方建設局
水無川1号砂防ダム上流除石(その1) 工事	長崎県	1997.09-1998.03	建設省九州地方建設局
水無川2号砂防ダム上流除石(その3) 工事	長崎県	1997.10-1999.03	建設省九州地方建設局
赤松谷川除石工事	長崎県	2000.03-2000.12	建設省九州地方建設局
有珠山噴火災害復旧工事	北海道	2000.05-2001.03	室蘭土木現業所
赤松谷川1号砂防堰堤1箇所本体部二期工事	長崎県	2001.03-2001.08	建設省九州地方建設局
水無川(赤松谷1工区) 地区 火山地域総合治山工事	長崎県	2001.07-2002.03	長崎県島原復興局
17山地第1号水無川(赤松谷1工区) 地区 火山地域総合治山工事	長崎県	2005.07-2006.02	長崎県島原復興局
赤松谷川1号床固工工事	長崎県	2006.02-2007.01	長崎県島原復興局
荒砥沢Ⅱ(H21) 治山工事	宮城県	2009.06-2010.06	林野庁東北森林管理局宮城北部 森林管理署
赤松谷川9号床固工工事	長崎県	2009.09-2010.03	国土交通省九州地方建設局
災害関連緊急砂防工事(根占山本地区11工区)	鹿児島県	2010.07-2010.10	鹿児島県大隅地域復興局建設部
赤松谷川6号床固工工事	長崎県	2010.09-2011.03	国土交通省九州地方整備局 雲仙復興事務所
おしが谷床固工工事	長崎県	2010.11-2011.03	国土交通省九州地方整備局 雲仙復興事務所
北設川北設地区河道閉塞緊急対策工事	奈良県	2011.09-2012.08	国土交通省近畿地方整備局
赤松谷川11号床固工工事	長崎県	2012.12-2015.03	国土交通省九州地方整備局 雲仙復興事務所
平成25年度宇佐川外24年災補償河第10号外 災害復旧工事第1工区	山口県	2013.11-2014.05	山口県岩国土木建築事務所
砂防緊急除石工事(深港川(2)1工区)	鹿児島県	2015.10-2016.03	鹿児島県大隅地域復興局建設部
阿蘇大橋地区斜面防災対策工事	熊本県	2016.05-2017.11	国土交通省九州地方整備局

## ① はじめに

「無人化施工技術」とは遠隔地から無線通信技術を利用して遠隔操作式建設機械により施工する技術の総称である。主に自然災害被災地の危険性の高い施工現場から分離された安全な操作室で、カメラ映像とICTを使用して、建設機械をオペレータが遠隔操作し施工を行う。

熊谷組は、一九九四年の雲仙普賢岳で試験フィールド制度による試験工事以来、緊急対策工事など二〇件以上の実績を重ねてきた(表1)。近年、日本各地で頻発する自然災害に迅速な災害対応を行うため、現在についても継続した研究開発を行い無人化施工技術の高度化を進めている。

## ② 最新技術

本稿では、実現が可能である将来の土木施工に近い高度技術と考えられる最新の無人化施工技術の開発について紹介する。

### 1 ネットワーク対応型無人化施工システム

人の立ち入りが危険な災害現場に導入される無人化施工技術は、難易度の高い現場であるほど設備が複雑化し、施工開始までの準備期間が長くなる。災害現場では時間の経過とともに状況が大きく変化するため、無人化設備構築の時間をいかに短縮して、迅速に工事に着手するかが課題となっていた。当社では、この問題を解決するために、IP化した遠隔操作機器類を活用するネットワー

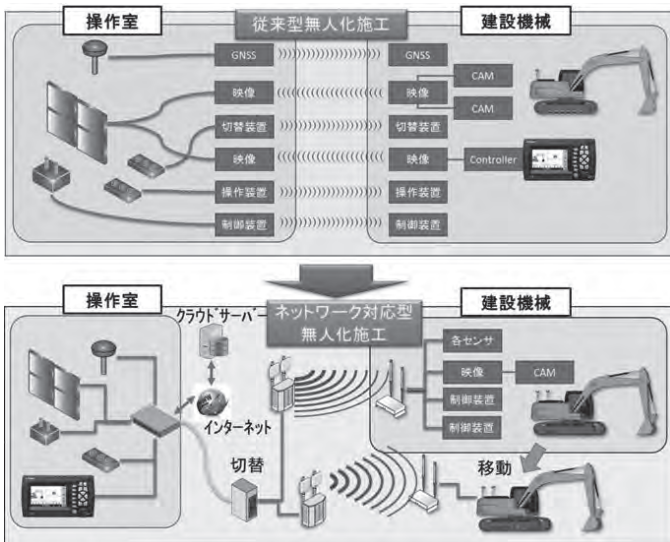


図1 ネットワーク対応型無人化施工システム

ク対応型無人化施工システムを開発した(図1)。  
 無人化施工技術の基幹となるネットワーク対応型無人化施工システムは、建設機械の操作、画像、ICT施工データを一括してIP(インターネットプロトコル)化し、光ファイバケーブルや無線LANを使用して伝送することで、現場の様々な条件に対応することを可能とした。

## 2 拡張型高機能遠隔操作室

近年の災害は、規模の拡大や複雑化する傾向にあり、遠隔操作で同時に稼働させる建設機械の台数の拡大に柔軟に対応できることが求められている。そこでこの課題を解決するため災害時の迅速な対応と通常工事への将来への展開を目指して、ネットワーク対応型無人化施工システムを基盤とした拡張型高機能遠隔操作室を開発した(写真1)。  
 予め遠隔操作室のシステム機器設置と設定が完了しているため阿蘇大橋地区斜面防災対策工事は、工事着手後三日目に無人化施工開始という効果を発揮し無人化施工の早期立上げを実現した。さらに無人化施工システムを支える操作室を高度化するため、複数の操作室を組み合わせ、ネットワーク機能を充実させることで、システム全体を拡張

開始という効果を  
 発揮し無人化施工  
 の早期立上げを  
 実現した。さらに  
 無人化施工シ  
 ステムを支える  
 操作室を高度  
 化するため、  
 複数の操作室  
 を組み合わせ  
 、ネットワーク  
 機能を充実  
 させることで  
 、システム全  
 体を拡張



写真1 拡張型高機能遠隔操作室



図2 操作室の拡張性

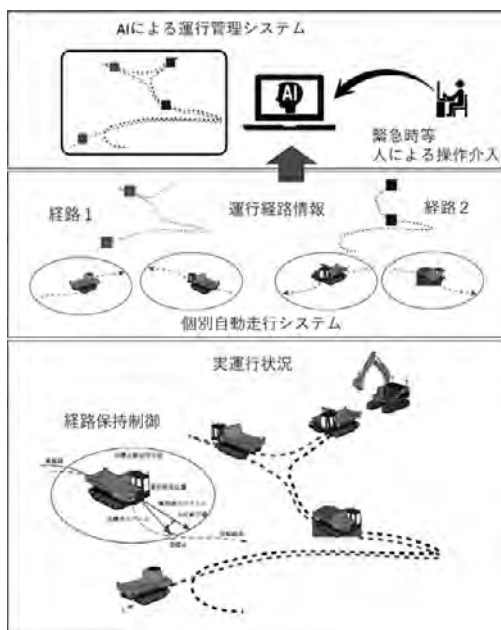


図3 AI制御システム概要図

性、柔軟性、信頼性を高度に発揮できる機能を実現した。ハウスの三棟連結と制御対象建設機械の増減を可能にする拡張性(図2)、カメラオペレータの操作卓を自在に配置可能とするなどの柔軟性、更にはネットワークの安定化・ネットワーク管理機能の充実化による信頼性を組み込んだ。  
 当開発は現場への実投入だけでなく、技術研究所に新設した屋外実験ヤードにおいて、遠隔操作式建設機械の操作訓練や、建設機械の自動走行などのICT建設技術の開発に活用する。  
**3 AI制御による自動走行技術**  
 一般的な土木工事において土砂運搬作業は運搬経路の往復という単調な繰返し作業となる。そのため、運転者の疲労蓄積や集中力の低下による、走路逸脱や人・物への接触等の事故発生危険性があった。運転者の労務負担の軽減を図るために、不整地運搬車の自動走行技術を開発した。当該技

術は無人化施工をベースとしており、始めに遠隔操作室から遠隔操作を行い、GNSSや傾斜計といったセンサにより遠隔操作した時の走行した経路を車載コンピュータに記憶させる「教示運転」を実施する。そして走行時に教示運転で記憶した走行経路(教示経路)を追従しながら不整地運搬車が自動走行を実施する技術である。当該技術は自動走行車両の管理者一名を配置し、複数台の車両を自動走行させることにより、生産性向上に寄与するものである。

さらなる効率化と安全性の向上を目指し、AIによる自動走行技術を開発した。AI制御システム概要図を図3に示す。本開発は教示運転の実施までは先述の自動走行技術と同様であるが、その教示経路と複数車両の走行位置関係をAIが分析することによって運行計画パターンが生成され、操作盤のスタートスイッチを押すだけで、複数台



写真2 AI自動走行状況



写真3 AI自動走行状況



写真4 無人化施工VR技術



写真5 360度カメラと加速度センサ

の不整地運搬車は常時AIによって進行・待機の制御が行われる。これにより自動走行管理者が存在しなくとも、車両同士が衝突することなく安全かつ効率的に自動走行が実施されるようになった。この技術により、一名のオペレータで一台のバックホウと複数台の運搬車を操作することができ作業の省力化、生産性向上が図られる。また、運搬作業を自動化することで、繰り返し作業によるオペレータのヒューマンエラーから発生する事故を防止することができ安全性についても向上が図られる。この技術については、阿蘇大橋斜面对策工事の現場で実施工に導入しシステムの有効性について確認をした(写真2、写真3)。

#### 4 無人化施工VR技術の開発

無人化施工では、オペレータは運転席に搭載し

たオペレータ目線のカメラ映像と、現場全体を把握するために設置した定点カメラの俯瞰映像を頼りに遠隔操作室で操作するが、操作に利用するこれらの映像はモニター上の二次元情報であり、オペレータは実際の建設機械の傾きや振動などを把握することは困難である。そこで遠隔操作室内にいるオペレータに、建設機械内のオペレータ目線の映像と建設機械の傾きや振動、音をリアルタイムに提供することで、搭乗操作に近い感覚で遠隔操作可能な安全かつ効率の高い無人化施工VR技術を開発した(写真4)。

し、音を再生すると共に操縦席が取り付けられたモーションベースで動きを再現する。この技術により遠隔操作でありながら、実際に搭乗した状態に近い環境をオペレータに提供することが可能とした。今後は技術の改良に加え、遠隔操作における作業効率の更なる向上を目指し、実運用に向けた開発を進めていく。

#### 3 おわりに

無人化施工は、その可能性において、土木分野に大きな貢献が期待できる技術となってきた。

群制御技術が次のレベルで期待される理由は、機械単体の技術だけでは、高度化に限界があり、生産性向上を図るためには、効率的な運行管理が重要となる。これらを更に発展させるには、それぞれの建設機械の役割を最適化するための技術が必要となる。そのためには高速通信技術とともにAIなど遠隔操作を補完する技術が重要である。

しばらくは完全なロボット化や自動化が難しい状況が混在する中で、オペレータに高度な作業感覚を提供する技術を並行して利用していくことになる。

いずれにしても、災害対応は、無人化施工技術全体を発展させるためには不可欠な技術となる。災害を想定することは難しいが、基本となる技術を普段から育成していくことが大切であり、この技術に携わるものの責務であると考え