

火山災害から生まれた無人化施工技術の進歩とその将来

(株)熊谷組 土木事業本部 ICT 推進室 ○北原 成郎, 天下井 哲生, 飛鳥馬 翼

1. はじめに

長崎県の雲仙普賢岳の大火砕流から昨年の6月で30年が経過した。無人化施工は1994年の雲仙普賢岳試験フィールドでの試験工事以来、年々施工技術がブラッシュアップされ、今日の災害対応に貢献している。

本稿では、無人化施工技術の進歩とその将来について記述する。

2. 無人化施工技術の歴史

無人化施工技術とは、通常土木工事等で使用する建設機械を遠隔操作化することで、作業場所から離れた位置でオペレータが遠隔操作して作業する技術である。無人化施工技術の発展の歴史を扱う上で、しばしば世代別に分類されることがある(図-1)。

2. 1 第1世代：目視による無人化施工

建設機械を遠隔操作化するためには、建設機械の油圧バルブを電磁バルブ等に変更して、電氣的にオンとオフの信号を制御する(PWM制御)。そのために建設機械側は無線機と制御装置および電磁バルブ等のユニットが搭載されている。無線機は主に特定小電力無線機429MHz帯として産業用のリモートコントロール無線機を利用している。この技術は今日でも遠隔操作式建設機械には標準で搭載されている。

施工方法としてはラジコン玩具のような感覚で建設機械本体を直接目視により無人化施工を実施する。土木工事において無人化施工による工事が記録されている例は1983年の常願寺川での水中ブルドーザによる施工がある。陸上の施工としては1990年にバックホウの例がある。

2. 2 第2世代：映像による長距離遠隔操作技術

無人化施工が広く認知された最初の例は、1994年に建設省(当時)が設定した雲仙普賢岳試験フィールド制度による試験工事である。この工事では、初めて移動式遠隔操作室を利用して、遠隔操作式建設機械群を組み合わせて施工を実施する技術が確立された。遠隔操作室内には建設機械を遠隔操作するためのコントローラと無線機があり、作業を確認するための映像用ディスプレイが設置されていた。映像用カメラには車載カメラと外部から建設機械の姿勢を確認する固定カメラがあった。この技術の基本構成は今日でも使用されている。

2. 3 第3世代：情報化施工本格導入

測量技術の側面では、当時航空分野や海洋分野で利用されていたGPSが重要な役割を果たす。無人化施工では、基本的には作業場所に立入ることは禁止されているが、測量作業では少なからず立入らざるを得なかった。建設機械の絶対位置が分からず、図面と建設機械の位置関係の把握が困難であったり、土工における丁張りが必要であったりという状況であった。そういった背景より、測量作業の効率性と安全性を考慮し、情報化施工を導入することとなった。

2000年以降RCC工法における転圧管理や敷均し管理に導入し、2004年以降はMG(マシンガイダンス)やMC(マシンコントロール)が導入された。計測精度は当時も今日と同様にRTK-GPSによりxy座標では誤差±2cmで工事管理を実施することが可能だった。

今日ではGPS以外の人工衛星も複合して計測するGNSSが確立しており、安定した測位が実現している。情報化施工は、i-Constructionにおいて現在当然のように使用されているが、無人化施工においては20年前から効率化のツールとして既に使用されていたのである。

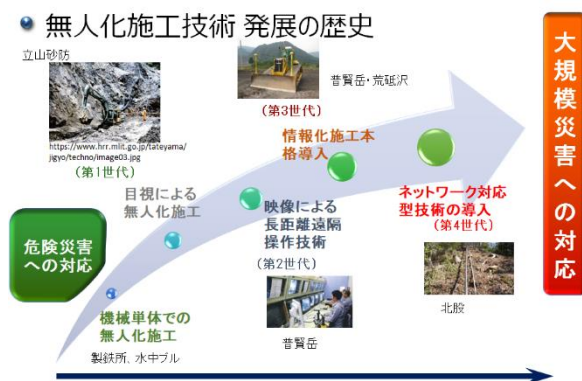


図-1 無人化施工技術発展の歴史

2. 4 第4世代：ネットワーク対応型技術の導入

東日本大震災を契機に、広域での災害対応（火山災害・原子力災害等）を想定し、国土交通省が2011年3月に雲仙復興事務所で実施した「超長距離からの遠隔操作実証実験」の成果により、無人化施工におけるネットワーク対応型技術が確立した。この実験では既設の光ケーブル網を利用して、80kmを超える遠隔操作室から安定して建設機械の遠隔操作を実証し、無人化施工のIoT化を実現した。

ネットワークに対応することで無線に対する制約が削減され、制御用・映像用・データ用の無線機を分ける必要がなくなり、状況に適した無線機を選定することができるようになった。特に中継システムを検討する上で、無線機の制約が少ないことは無人化施工において有用な発展となった。

3. 新世代の無人化施工

ネットワーク対応型技術が導入され、無人化施工技術は発展性や拡張性が向上した。当該技術はインキュベーション機能を保有しており、新技術の導入が容易に図れる。これはIoT技術の発展により、あらゆるセンサの情報をネットワークに伝送できるようになったことが大きな要因である。

例えば、無人化施工におけるカメラ映像は2次元情報であるため、現場の傾斜や不陸の判断が困難であったり、実際に搭乗していないので車両の位置関係や傾き、振動の把握が困難であったりする。その状況に対

し、車両にGNSSや慣性航行装置（ジャイロ等）などのセンサを追加することで車両の動きを確認することが容易になる。これは内閣府が提唱しているSociety5.0を実現する。サイバー空間で作られた建設機械の動きという情報を利用して、フィジカル空間のロボット化した建設機械を動かすことができるため、ネットワーク対応型技術は両空間を高度に融合させるシステムを作り上げることが可能である。

新世代の無人化施工技術として弊社ではAI制御自動走行技術⁽¹⁾やVR技術⁽²⁾の開発を実施している（写真-1、写真-2）。

4. 無人化施工の将来

Society5.0を実現する社会において通信技術は非常に重要である。通信技術の中でも特に5Gが建設業においても注目を集めている。

5Gの特徴として①高速・大容量（20Gbps）②低遅延（1ms）③多接続（100万デバイス/km²）といったことが挙げられている。無人化施工においては有用な特徴であり、4Kの超高精細な大容量のデータも伝送でき、操作性もリアルタイムになり、複数の建設機械や情報端末の通信を可能にする。

無線LANの分野においては無人移動体画像伝送システムが存在する。これは、高画質で長距離な映像伝送を主として、2.4GHz帯および5.7GHz帯等の周波数を新たに確保したものである（150Mbps、見通し5km）。Wi-Fi6も無線LANの一種である。現在主要なWi-Fi5の最大通信速度が6.9Gbpsであるのに対し、Wi-Fi6は9.6Gbpsを誇る。

多様な通信技術が存在する中で状況に応じた技術を採用し、無人化施工がSociety5.0を実現する手段となるよう開発を進めていく所存である。

参考文献

(1) 飛鳥馬翼, 北原成郎, 宮川克己, 古川敦, 藤本和也, “AI制御による不整地運搬車の自動走行技術の開発 - AIによる自動走行車両群の運行管理 -”, 第19回建設ロボットシンポジウム論文集, 2019.

(2) 飛鳥馬翼, 北原成郎, 松林勝志, “無人化施工VR技術の開発 - シンクロアスリート®の無人化施工技術への適用 -”, 建設機械施工, Vol.72, No.7, pp.62-66, 2020.



写真-1 AI制御による不整地運搬車の自動走行



写真-2 無人化施工VR技術