

## 「無人化施工の歴史と技術の変遷について」

建設無人化施工協会

会 長 佐藤 康博 (鹿島建設株式会社)

技術委員長 川上 勝彦 (株式会社フジタ)

技術委員 青野 隆 (鹿島建設株式会社)

### 1. はじめに

自然災害の多い日本では、台風や集中豪雨、地震による土砂災害や火山の噴火に伴って生じる火砕流や土石流等の火山災害などがたびたび発生しております。無人化施工は、二次災害の危険が懸念される災害復旧作業において有効な技術と認知され、その活用が検討されることが多くなってきました。

無人化施工とは、人が立入ることができない危険な作業現場に対して、安全な場所に設けた操作室でカメラ映像を見ながら建設機械を遠隔操作して作業を行う技術です。無人化施工技術は情報化施工技術や映像技術、通信技術の導入と長年にわたる技術開発・技術継承により進化を続けています。建設無人化施工協会は、有珠山の災害復旧工事(2000年3月～)を契機に建設省河川局砂防部(当時)のご指導のもと、無人化施工技術に知見のある建設会社、建機メーカ、レンタル会社等(2016年9月1日時点で21社)が中心となって設立した任意団体で、無人化施工技術を改良・開発・普及更には災害時の復旧作業時の支援等の活動を行っております。本編では、無人化施工の歴史と変遷を簡単に紹介させていただきます。

### 2. 無人化施工技術の変遷

遠隔操作式建設機械を用いた初めての施工は、1969年(昭和44年)の常願寺川の富山大橋応急復旧工事で、河口部に堆積した土砂の掘削、押土を「水陸両用ブルドーザ」により行うものでした(写真-1参照)。この水陸両用ブルドーザは、建設省立山砂防工事事務所(当時)と建機メーカ(小松製作所)によって共同開発されたものです。以下に現在に至るまでの技術の変遷を示します。

#### (1) 遠隔操作式建設機械1台を用いた無人化施工(第一段階)

水陸両用ブルドーザをオペレータが陸上や船舶から遠隔操作するものです。オペレータは目視で水面から突き出た水陸両用ブルドーザの吸排気煙突の高さなどを目印に水深、位置、傾き等を把握し遠隔操作を行い水陸両用ブルドーザ単独による施工でした。



写真-1 水陸両用ブルドーザ (D155W型)

#### (2) 遠隔操作式建設機械の連係による無人化施工(第二段階)

水陸両用ブルドーザの開発以降、複数の建設機械メーカによりブルドーザ、バックホウ、重ダンプトラック、不整地運搬車等の多様な建設機械が遠隔操作化されました。これら遠隔操作式建設機械の使用方法は、建設機械から数十m離れた場所からオペレータが目視で運転(図-1参照)するものでしたが、多様な機械の出現により複数台の組合せによる連携施工が可能となりました。しかしお互いの機械で死角が発生し目視運転できないといった課題がありました。

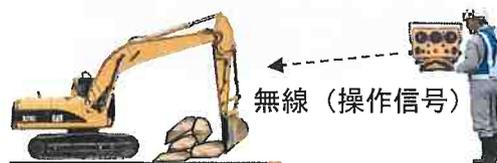


図-1 目視による遠隔操作イメージ

#### (3) 遠隔操作室を操作基地とした無人化施工(第三段階)

複数の遠隔操作式建設機械を稼働させるため、無線装置などを装備した遠隔操作室を操作基地として無人化施工を行うきっかけとなったのが、1994年1月から開始された「雲仙普賢岳水無除石無人化施工試験工事」です(図-2参照)。この試験工事は、建設省(当時)が試験フィールド制度を活用した民間からの技術公募により行われました(公募:1993年7月、試験施工:1994年1月)。遠隔操作室を操作基地とした無人化施工技術は、遠隔操作者と建設機械の離隔距離が100m以上の

場合、目視では機械の姿勢や対象物等の確認が困難で遠隔操作は不可能なため、映像を見ながら行う方式として新たに開発されたものです。特徴は、建設機械に搭載したカメラからの映像を遠隔操作室内でリアルタイムにモニタリングすることができ、複数のオペレータによる多機種の建設機械の操作が可能となり、複数台の建設機械の連携作業を実現することができました。なお、この試験施工により火砕流の到達区域外(100m以上離れた安全な場所から操作)での建設機械群で、10万 $m^3$ を超える除石の施工が実証されました。

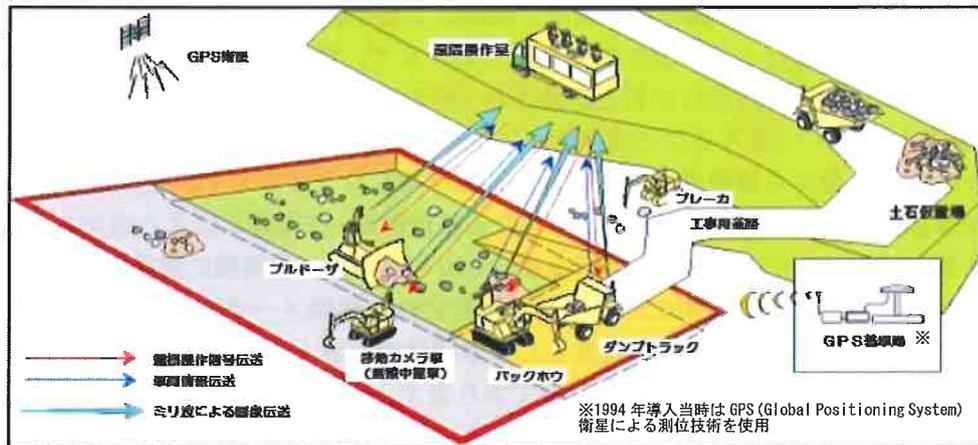


図-2 遠隔操作室を操作基地とした無人化除石工事イメージ

無人化施工は写真-2に示すように除石工、コンクリート構造物破砕工、コンクリートブロック積工、大型土のう据付工、RCC工法 (Roller Compacted Concrete) による砂防えん堤等の施工など様々な工事を行っております。また、遠隔操作式の建設機械は作業機だけに留まらず、カメラ映像を操作室へ提供する専用の移動カメラ車と呼ばれる機械なども開発されました。



写真-2 無人化施工状況

(4) ICT (Information and Communication Technology) を無人化施工へ適用 (第四段階)

計画通りに施工を行うためには現地測量が必要不可欠で、無人化施工の当初は避難用車両を配備し、一時的に無人化施工エリアに立ち入り、短時間の測量作業を実施していました。そこで、土石流の発生や溶岩ドームの崩落による火砕流の発生が懸念される雲仙普賢岳で継続して行われた無人化施工工事では、GNSS (Global Navigation Satellite System) 測位技術やネットワーク型の操作方式を積極的に取り入れた土木、機械、通信、情報技術を融合した情報化施工技術の導入が求められました。その結果、測量作業不要で掘削・敷き均し施工が可能となるシステムを活用した、ブルドーザ排土板自動制御システムやバックホウのガイダンスシステムなどICTを無人化施工

へ適用しております。

### 3. ICT建設機械を用いた無人化施工の紹介

#### (1) 遠隔操作式ICTブルドーザ

ブルドーザのオペレータは遠隔操作室において、カメラ映像等を見ながら遠隔操作しますが、映像のみでは現地に施工の手助けとなる指標（丁張やトンボ）が無い場合、コンクリートの敷き均し高さを均一にする作業は非常に困難です。本システムは、三次元の設計データとRTK-GNSSで測定した三次元位置データを照合することで、現状と設計との差をリアルタイムに算出し、排土板を設計地盤の高さと勾配に合わせて自動制御するシステムです。専用の油圧電磁バルブを搭載し排土板の自動制御を行うため、オペレータは遠隔操作室内からICTブルドーザの前後進操作をするだけで、設計値の高さに高精度で敷き均すことが出来ます（写真-3、図-4参照）。



写真-3 遠隔操作式ICTブルドーザによる敷き均し作業状況

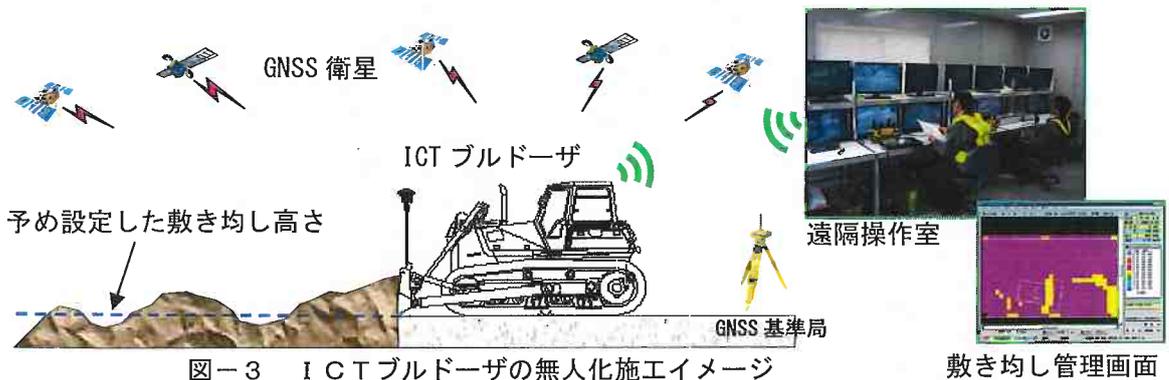


図-3 ICTブルドーザの無人化施工イメージ

#### (2) 遠隔操作式ICTバックホウ

本システムは、RTK-GNSSで測定した三次元位置データとバックホウのブーム、アーム、バケットそれぞれに取り付けた角度センサにより、バケットの刃先位置をリアルタイムに算



図-4 ICTバックホウの無人化施工イメージ

出し、設計データに対するバケットの位置を遠隔操作室内のモニタに表示します。オペレータはモニタのガイダンス（誘導）画面を確認しながら、法面などの施工を丁張レスで行うことができます。リアルタイムで設計値と現状との差を確認しながら施工出来るので、丁張りがなくても法面の施工等を容易に行うことができます。

#### 4. 無人化施工工事実績

雲仙の実証フィールドで培われた無人化施工技術は、有珠山噴火、新潟県中越地震、岩手宮城内陸地震等の大規模な災害や台風等による水害対応でも活用しており、全国で150件以上の実績があります（図-5参照）。



図-5 無人化施工実績（建設無人化施工協会調査）

#### 5. 終わりに

今後必要となる無人化施工技術として①視覚情報を補う空間認知のための技術、②作業のための地盤等の情報を収集する作業環境計測技術、③人間では作業に負担となる部分でのマシンコントロールやマシンガイダンスなどの制御技術や無線LAN等の技術が挙げられます。無人化施工技術は、フィールドロボティクスの分野において、豊富な活用事例と適用効果の大きな点で、これまでにない新分野を切り開いてきました。建設無人化施工協会では、今後も無人化施工法の普及・発展に貢献していきたいと考えております。