

雲仙・普賢岳における無人化施工技術

糸山国彦・西島純一郎・平澤太地

1. はじめに

雲仙・普賢岳は、平成2年11月に198年ぶりに噴火を再開、その後頻発する火砕流や土石流により地域に甚大な影響を及ぼすこととなったため、平成5年4月に島原市に「雲仙復興工事事務所(当時)」が設置され、直轄事業に着手した。

着手当初、災害対策基本法に基づき人の入域が制限される「警戒区域」が雲仙・普賢岳周辺に設定され、災害復旧作業において迅速かつ効率的な施工を行うには多くの制約があった。

このような中、たび重なる土石流の影響を多く受ける区域での大規模な除石作業を迅速に実施することが急務となり、より安全で効率的な施工技術として遠隔操作にて建設機械を操作する無人化施工技術が導入されることとなった。

導入当初、除石作業から始まった無人化施工技術は、事業の進捗にあわせ、より高い技術で複雑かつ高精度の施工を求められることとなり、施工機械の改良及び通信技術の向上に伴いコンクリート構造物の築造、鋼製スリットやプレキャストカルバートの設置などができるまでに技術革新が進展し、今では熊本地震など全国の災害発生箇所での復旧活動に役立てられている。

次節以降、当事務所が進めている無人化施工技

術の変遷、ICT技術を導入した先端技術、そして今後の取組について紹介する。

2. 無人化施工技術の変遷

2.1 無人化施工技術の導入

無人化施工技術は、火砕流が到達する危険がある警戒区域内でも安全に土石流堆積物を掘削・搬出できる技術として平成5年に民間から公募し、一定の技術水準を満たした応募技術について、現地試験施工による有用性を確認した。

これを受け、雲仙・普賢岳における無人化施工技術は平成6年10月の警戒区域内の除石工事からスタートし、集土、掘削積み込み、運搬の一連の作業を約600m(重機→中継車→操作室)の範囲内で行っていた(写真-2)。

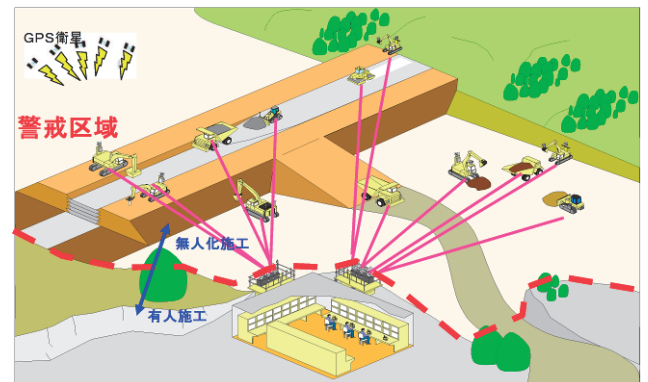


図-1 現在の無人化施工技術イメージ(第4世代)

2.2 無人化施工技術の構造物施工への応用

その後、水無川流域での基幹施設となる水無川1号砂防堰堤の施工に着手し、その本体の施工にあたっては我が国で初めての無人化施工によるコンクリート打設が実施された。この技術は先行して実用化した技術であった除石工事の応用であり、通常のコンクリートに比べて流動性が非常に低い超硬練コンクリートを使用して構造物を構築するRCC工法、現地の火山堆積物にセメントを添加混合した材料を締め固めて構造物を構築するCSG工法が新たに開発され、これらの技術が以降の砂防施設の施工に受け継がれていった。これによ



写真-1 現在の雲仙・普賢岳(平成27年12月)



写真-2 初代無人化施工技術による除石作業 (平成6年3月)



写真-3 RCCコンクリート打設状況 (平成30年3月)

り、第2世代の無人化施工技術に比べて、①砂防施設による効果の早期発現 (工期短縮) ②作業員の安全確保 (省人化) ③現地発生材の有効利用 (経済性) などの効果を得ることとなった。

2.3 無人化施工技術の発展

RCC工法、CSG工法の導入を契機に、無人化施工技術は大きな発展を遂げることとなった。構造物の施工は、通常多種多様な作業の組み合わせによって目的を達成するものであり、無人化技術の適用にあたっては様々な作業に対応できる無人化施工機械、より高い精度の施工管理と品質管理面での技術開発が急務であった。そこで、既存の振動ローラや小型ブルドーザに加え、当時の最先端技術の1つであったGPS技術を応用した無人測量機などが開発され、測量から施工、出来形管理まで一貫したシステムで管理することが出来るようになり、工事における大部分に無人化施工技術を導入するまでに発展した (写真-3)。

また、これらの技術開発に加え、水無川2号砂防堰堤の設計では大型コンクリートブロック型枠の無人化施工を検討した。水無川3号砂防堰堤、赤松谷川1号砂防堰堤の設計では、鋼製スリット設置において無人化施工適用の検討を行った。その結果、バックホウのアーム先端部に装着する専用の把持装置とその駆動システム、スリットの設置精度の向上など無人化施工に新たな技術が導入された。その後も根固めブロックの設置やアーチカルバートの設置など様々な構造物構築に発展していくこととなった (写真-4)。

2.4 新たな遠隔操作技術への挑戦

当初の通信は機械制御用に特定小電力無線、カメラ画像伝送用に50GHZ帯の簡易無線を主に使用していたが、状況によっては混信しやすく、同時に操作できる機械台数も限られたものであり、実用上の到達距離も～300m以下と短いものであった。平成12年より約1km離れた工事箇所付

表-1 無人化施工の変遷

	昭和44年頃～	平成5年～	平成7年～	平成21年～現在
大別	目視による無人化施工 【雲仙・普賢岳災害 以前】	映像伝送システムを用いた無人化施工 【雲仙・普賢岳災害 以降】		
区分	第1世代	第2世代	第3世代	第4世代
操作方式	直接操作方式	モニター操作方式	情報化施工方式	ネットワーク型遠隔操作方式
施工方式	オペレータが機械を直接目視しながら遠隔操作する	オペレータが機械の映像をモニターで見ながら遠隔操作する		
システム概要	通信方式：特定省電力無線 視認方法：直接目視	通信方式：特定省電力無線 視認方法：カメラ・モニター	通信方式：特定省電力無線 視認方法：カメラ・モニター 情報化施工：GPSマシンガイダンス 転圧管理システム	通信方式：無線LAN 視認方法：カメラ・モニター 情報化施工：GPSマシンガイダンス 転圧管理システム
操作距離と作業内容	簡易な作業(一般掘削等)のみ。 ち密な作業は不可。 作業可能範囲 0～50m程度(目視可能な距離)	高い施工精度を求めない工種全般。 土砂掘削・運搬 作業可能範囲 直接方式:0～300m程度 中継方式:0～2,000m程度	無人化施工で可能な工種全般。 土砂掘削運搬 RCCによる構造物構築 作業可能範囲 直接方式:0～300m程度 中継方式:0～2,000m程度	無人化施工で可能な工種全般。 土砂掘削運搬 RCCによる構造物構築 作業可能範囲 直接方式:0～600m程度 中継方式:0～2,000m程度
特徴	・準備作業が容易	・直接目視出来ない距離で作業が可能	RCCによる構造物構築が可能	・無線LANにより電波の混信による誤作動がなくなり、同時に使用できる重機数が大幅に増加



写真-4 鋼製スリット設置状況

近までを簡易無線やSS無線で中継する長距離遠隔施工が実施されるようになり、現在は無線LAN技術による制御が主流となるなど、無線技術においてもより高度な技術が導入されてきた。

さらに、平成23年度には、長距離無線LANや人工衛星（操作系の通信に限定）を使用した実証実験をおこない、約80km離れた長崎河川国道事務所からの光ファイバーを使用した超遠隔操作実験も実施するなど、より遠隔から操作する技術の開発にも取り組んできた。

ここで開発された超長距離遠隔操作技術は、平成23年8月に発生した紀伊半島での災害でも活用されている。

3. ICT技術導入による無人化施工

無人化施工は、現地からの画像をもとに遠隔操作するため、その支援システムとして早い段階から様々なICT技術が導入されてきた。以下に、その技術の一部を紹介する。

3.1 GPSを利用した施工管理システム

当システムは、①ブルドーザ敷均し管理システムと②振動ローラ転圧管理システムを含めた総称で、施工機械にRTK-GPSを搭載、敷均し高さ及び転圧位置を測量し、そのデータをパソコン上で色別分類して敷均し高さや転圧回数を管理するシステムである（写真-5）。

3.2 無人測量機

バックホウにGPSアンテナや全周ミラーによるマーキング装置を装着し、GPSや自動追尾式トータルステーションによりリアルタイムに位置の計測を行い、現地目標点にマーキングする機械

である（写真-6）。

3.3 3次元バックホウ誘導システム（マシンガイドンス）

バックホウにGPSと角度センサーを取り付け、バケットの刃先位置の三次元データを取得し、運転席のモニター上にあらかじめ入力した三次元設計データにバケット位置を合成映像として表示させ、オペレーターがモニターの表示に沿って操作することで丁張りがなくとも正確な出来形を形成できるシステムである（写真-7）。

4. 無人化施工のさらなる技術発展と記念碑

4.1 新技術開発支援としてのフィールド提供

近年はさらなる技術開発の場としてのフィールド提供を行っており、昨年度は半水中型クローラダンプの遠隔操作と自律走行の実証実験（写真-8）、立ち入り制限区域内での火山堆積物の遠隔センシング技術の実証実験の場としてフィールド提供を行っている。

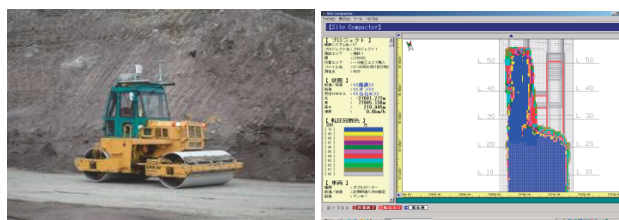


写真-5 GPSを利用した施工管理システム（転圧管理）



写真-6 無人測量機



写真-7 3次元バックホウ誘導システム



写真-8 半水中部を自律走行するクローラダンプ



写真-9 無人化施工発祥の地 記念碑

4.2 無人化施工発祥の地

これまで述べたように、雲仙・普賢岳噴火災害を契機に本格的に導入された無人化施工技術はこの地で飛躍的な発展を遂げ、今では全国の災害現場で使用される技術として定着している。

そこで、多くの犠牲者を出した大火砕流から25年目の節目にあわせ島原半島3市で作る「雲仙・普賢岳火山砂防促進期成同盟会」と、噴火災害で甚大な被害を受けた島原市安中地区の住民により、「無人化施工発祥の地」記念碑が無人化施工現場に近い大野木場砂防みらい館に建立され、平成28年11月に多くの出席者のもと除幕式を行った（写真-9）。

5. おわりに

無人化施工技術は、土木技術、通信技術、情報技術に加え、最先端のICT技術、ロボット技術などが融合した総合建設技術であり、雲仙復興事

務所、民間施工業者、建設機械メーカー、専門工事業者等様々な業種の技術者の相互協力により、実践的な技術として飛躍的な発展を遂げてきた。

今では、東日本大震災における福島原子力発電所や熊本地震における大規模土砂崩落箇所、昨年発生した九州北部豪雨など多くの災害復旧現場の二次災害の恐れがある箇所で活躍している。

今後も、当事務所にて長年にわたり蓄積された知識や技術をもとに、「無人化施工発展の地」として、さらなる技術開発を積極的に支援していく予定である。

糸山国彦



国土交通省九州地方整備局
雲仙復興事務所 砂防課長
Kunihiko ITOYAMA

西島純一郎



国土交通省九州地方整備局
雲仙復興事務所 砂防課
専門官
Junichirou NISHIJIMA

平澤太地



国土交通省九州地方整備局
雲仙復興事務所 砂防課
工務係長
Taichi HIRAZAWA