

## 水無川における遠隔操作施工技術と ICT 導入への取り組み

雲仙復興事務所 砂防課 ◎内田 智彦  
砂防課 ○平澤 太地  
地域防災調整官 ●江口 秀典

### 1. はじめに

雲仙・普賢岳は、平成2年に198年ぶりに噴火活動を再開し、火砕流・土石流の発生等により、人命財産に多くの被害をもたらし、地域社会や経済にも深刻な打撃を与えた。噴火活動の再開から25年が経過した現在も山頂には約1億m<sup>3</sup>の溶岩ドームや山麓には約1億7千万m<sup>3</sup>の火砕流堆積物が不安定に存在し、地震・降雨による溶岩ドーム崩壊や土石流の危険を有している。

平成5年に始まった雲仙・普賢岳砂防事業では当時頻発する土石流による人命・家屋・耕地・交通等への被害を防ぐため防災工事が急務であった。特に水無川では火砕流・土石流により甚大な被害が複数回発生したことから警戒区域が設定されたため、作業員が立ち入らずに施工できる技術が求められた。

遠隔操作による無人化施工は、平成5年に試験フィールド制度による民間公募を行い除石工事から始まった。現在に至るまでに様々な技術開発が行われ、RCC工法・CSG工法を用いた砂防堰堤・床固工建設、鋼製スリット構造物・プレキャストコンクリート製品の設置の他、遠隔操作測量・平板載荷試験が出来るまでになった。また、無線技術の発達に伴い遠隔操作を行える距離も拡大してきたところである。

しかし、遠隔操作による無人化施工を今後も維持・発展させていくためには、課題も残されている。本稿はこれまでの無人化施工発展の経緯と今後の課題について報告する。

### 2. 遠隔操作による無人化施工技術の開発経緯と現状

平成5年の試験フィールド制度による民間公募への応募総数は45件あり表.1に示す公募条件を満たし早期に対応可能な6技術により図.1に示す試験フィールドにおいて除石工事を実施した。固定カメラ・移動カメラ・車載カメラを利用したモニター画像による操作及びGPSやトータルステーションによる施工管理が可能であり、施工効率は50%程度であることが確認されている。

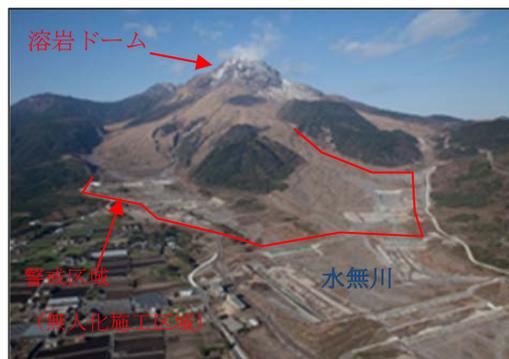


写真. 1 水無流域 (下流より全景)



写真. 2 平成新山山頂の状況

平成7年に着工した水無川1号砂防堰堤の施工からは警戒区域内の砂防施設構築において表. 2の構造物構築に示す遠隔操作による無人化施工が実施されている。以降、通信・ネットワーク技術、マシンガイダンス (MG)・マシンコントロール (MC) 技術の発達に伴い表. 3に示すように遠隔操作システムは第4世代まで発展してきている。

水無川における遠隔操作距離は、当初、数百mであったが、現在は超遠隔操作システムを利用し操作室から施工箇所まで1,000m以上の距離を無線による遠隔操作により施工を実施している。さらに平成23年に実施した超長距離遠隔操作技術の操作実験では光ファイバーケーブル等を利用し80km離れた遠隔地からの操作が可能なが確認されている。

また、砂防堰堤等の構造物を構築するにあたり品質・出来形管理の必要性が高まり、平成7年の砂防堰堤施工時にGPSを利用した現況測量及び敷均し・転圧管理システムを導入し、平成18年にはバックホウガイダンスシステム、平成19年にはラジコンヘリによるレーザー測量、平成21年にはブルドーザの排土板自立制御、CIMによる3次元の施工管理を行うなど現在の情報化施工技術 (ICT) をいち早く導入し、品質・出来形の精度を向上させてきている。

その他、遠隔操作による地盤支持力の測定、鋼製スリット・アーチカルバート・Pcaブロックの設置など多数の遠隔操作による施工技術が開発されている。

無線技術では、当初、重機の遠隔操作に用いていた特定小電力無線で使用可能な周波数が40chであることから、同時施工箇所及び使用する重機・カメラ機器等の増加により、チャンネル数が

表. 1 公募条件

	技術の内容	技術水準
1	不均一な土砂の状態であつ、岩の破碎を伴う掘削と運搬。	直径2~3m程度の礫の破碎が可能であること。
2	現地の温度、湿度条件に対応可能。	一時的に温度100℃、湿度100%程度の状況下でも運転可能。
3	施工機械を遠隔操作することが可能。	100m以上の遠隔操作が可能なこと。

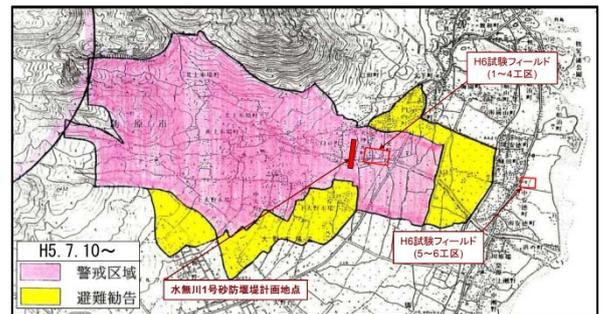


図. 1 平成5年の試験フィールド

表. 2 無人化施工の発展

除石作業			留意点
主な使用機械		*特別な精度は必要としない	
掘削	バックホウ		
押土	ブルドーザ		
運搬	ダンプトラック		
転石破碎	バックホウ (+ブレーカ)		
砂防堰堤等の構造物構築			*使用機械が1種増加 *施工内容の多様化 *施工精度の要求
主な使用機械			留意点
掘削	バックホウ	*掘削位置の精度が必要 *法面整形が発生	
土砂運搬	ダンプトラック		
RCC運搬	ダンプトラック	*材料分離を抑制する荷卸が要求	
敷均し	ブルドーザ	*敷均し面の平坦化が要求 *敷均し層厚の精度が必要	
締固め	振動ローラ	*転圧漏れ非発生が要求 *締固め回数の管理が必要	
土砂型枠	バックホウ	*層厚の精度が必要 *法面整形が発生	

表. 3 遠隔操作による無人化施工技術の世代区分

大別区分	映像伝送システムを用いた無人化施工			
	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	オペレーターが遠隔操作式建設機械を直接目視しながら遠隔操作する	オペレーターがカメラの捉えた遠隔操作式建設機械の映像をモニターで見ながら遠隔操作する無人化施工		
システム概要	特定小電力無線 オペレーター	特定小電力無線 情報化施工	GPS 情報化施工	無線LAN
無人化施工システムの概要	●直接操作方式 オペレーターが遠隔操作式建設機械を直接目視しながら遠隔操作する方式である。	●モニター操作方式(直接方式) 操作場所と遠隔操作用建設機械が直接、電波で通信する方式 ●モニター操作方式(中継方式) 操作場所と遠隔操作用建設機械が中継局を介して、電波で通信する方式	●情報化施工方式 GPS等による測位技術と設計図を合わせて出来型管理をしながら遠隔操作する。現場条件等に応じてモニター操作方式やネットワーク型操作方式と組み合わせる場合がある。	●ネットワーク型遠隔操作方式 モニター操作方式と同様にオペレーターがカメラの捉えた遠隔操作式建設機械の映像をモニターで見ながら遠隔操作する施工方式 建設機械の操作や映像の伝送に無線LANを使用し、広範囲での無人化施工に対応できる操作方式である。
操作距離と作業内容映像設備	簡易な作業(一般掘削等)のみ。希少な作業は不可。 0~50m程度	高い施工精度を求めない工種全般。 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。 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。 直接方式: 0~600m程度 中継方式: 0~2,000m程度 <sup>(1)</sup>
選定の目安	無し ・局所的、応急的な作業 ・別途方式に入る前の準備工として活用	有り ・広範囲で施工量が多い作業 ・緊急対応で迅速性が要求される作業 ・施工精度をあまり求められない作業	有り ・広範囲で施工量が多い作業 ・施工精度をあまり求められない作業 ・品質、施工性の向上が求められる場合	有り ・より広範囲で施工量が多い作業 ・重機台数が多い、複数工区が在る場合 ・複数の中継が必要な場合 ・見直し条件が悪い、より遠方からの操作が必要な場合

逼迫し近接工事の電波との干渉・混線により重機が誤作動するなどの問題が生じ、チャンネルの割り振りを施工現場毎に調整しながら施工していた。しかし、無線LAN技術を用いて重機・カメラ毎にIPアドレスを設定しネットワーク化して運用することで近接工事との電波の干渉・混線による重機の誤作動などの問題を解決すると同時に使用できる重機・カメラ等の台数の上限を大幅に増やすことが出来ている。写真. 3は現在の遠隔操作による施工の状況である。



写真. 3 現在の遠隔操作による無人化施工状況

安全対策技術においては、土石流・溶岩ドーム崩壊の発生をいち早く把握し迅速な避難をするため監視カメラの画像を常時解析し溶岩ドームや普賢岳山麓の変化を検知するシステム



写真. 4 山体画像監視状況

及び緊急時には施工現場付近に待機している避難車両のエンジンを無線操作室から遠隔操作にて起動できるシステムを導入し、より作業員の安全が確保されるよう工夫している。

これまで述べてきた遠隔操作による無人化施工技術は水無川における砂防事業のみならず、平成23年に発生した福島第一原発の事故現場におけるがれき除去作業や今年度発生した熊本地震による土砂崩落箇所の対策工事などに広く用いられているところである。

### 3. 遠隔操作による無人化施工技術の課題

水無川において20年以上の年月をかけて発展し、施工性・品質・出来形の精度を向上してきた遠隔操作による無人化施工技術には多くの課題が残されている。その中から4つの課題について以下に述べる。

#### ①小規模な構造物の施工が不可能

除石工事から始まった遠隔操作による施工用の重機は、大量の堆積物を火砕流・土石流の発生危険があるなかで早急に土砂撤去を実施するため大型で有り、小型構造物の施工が出来ない。現在の遠隔操作による施工では、最小の堰堤天端幅は4mであり、これは既設堰堤の改築工事において施工が大規模になりコスト増の要因となっている。

#### ②重機の老朽化

水無川で使用されている重機は、既に十数年に渡って使用されているものも多く、施工中のトラブルも増加する傾向にある。また、水無川における事業量は減少傾向で、他の事業箇所では遠隔操作による無人化施工は希薄であるため、遠隔操作対応重機の新規開発が積極的に行われていない状況である。

#### ③トラブル発生時の遠隔操作による対応の問題

重機・無線機器のトラブルにより重機が停止した場合やぬかるみ等で重機の走行が出来

なくなった場合などに遠隔操作のみでは復旧できないことがあり、やむを得ず警戒区域内で作業員による復旧作業を行っている。これは、安全施工を目的に導入された遠隔操作技術であるので、解決が望まれる問題である。

#### ④無人化施工技術継承の問題

水無川で実施してきた遠隔操作による重機の操作が可能なオペレータは全国でも100名程度であり高齢化も進んでいることから、技術を維持していくためには新しい技術者の育成が必要となっている。これまでMG・MC等の技術を導入し施工性の向上を図ってきたところであるが、現在でも遠隔操作による無人化施工では操作の入力から重機の動作及びカメラでの動作確認までに時間差があること、写真.5の操作室の状況に示すとおり複数のカメラ映像を使用して周辺状況や重機同士及び施工対象物との距離を把握する必要があるため作業効率・安全性の向上はオペレータの経験によるところが大きく、経験を積んだオペレータの確保は重要な問題である。



写真. 5 操作室の状況

#### 4. ICTの導入と遠隔操作による無人化施工技術の今後

現在も雲仙・普賢岳には不安定な火砕流堆積物と溶岩ドームが存在し、土石流等の危険を有しているため、今後も遠隔操作による施工技術は必要とされているところである。

開発経緯と現状で述べたとおり水無川における遠隔操作による無人化施工ではGPSを用いたガイダンスシステム、締固め管理システム、出来形測量技術を採用しておりICT施工技術を先行して導入発展させてきたところであるが、今年度は、遠隔操作による土工箇所においてUAVによる着工前測量・出来形管理を実施する予定である。

また、雲仙復興事務所管内の工事受注者によるICT技術検証会（仮称）を設置しUAVによる土工の着工前測量と出来形管理の従来方法との比較、施工性や経済性も含めた比較検討を行い、計測の精度及び作業効率の検証・有効性の確認を行う。

今後、既存施設の長寿命化を目的とした補修・補強等の改修工事を遠隔操作による無人化施工で実施していくことも検討しており、ICT技術の発達による遠隔操作重機の作業能力の向上と施工・出来形・品質管理全般の効率化が望まれる。

ICT施工の導入が進み遠隔操作システムでも使用しているMG・MC機能を有した重機やUAVによる測量等が一般土木工事に普及していくことで、新たな遠隔操作対応の小型重機などの開発へつながることを期待している。現在、遠隔操作による施工技術を有しているのは大手建設会社に限られているが、低コスト化、操作性向上となるような技術開発が進めば、地域建設会社による施工の現実性も見え、技術の発展・継承につながり、さらには大規模災害発生時の危険箇所での遠隔操作による対応も迅速かつ広範囲で可能となれば幸いである。

以上