

# 無人化施工の現状および 建設無人化施工協会の活動について

建設無人化施工協会 技術委員長 いはら こうじ 猪原 幸司

## 1. はじめに

「無人化施工」は、土砂崩落箇所直下の危険箇所等復旧工事において、安全な場所から建設機械を無線遠隔操作することで作業を実施する技術である。その歴史は古く、1969（昭和44）年に富山県常願寺川の「富山大橋の応急復旧工事」が最初とされている（写真-1）。

この技術が広く認識されるようになったのは、噴火が活発化した雲仙普賢岳の対応として、1993（平成5）年7月に建設省（現：国土交通省）の「試験フィールド制度」を活用した民間技術公募により「無線遠隔操作施工（無人化施工）」が採択されたことに始まり、その後、継続的な災害対策工事の実施により技術確立し、全国展開されたこと



写真-1 水陸両用ブルドーザ

による。

建設無人化施工協会（以下、「協会」という）は、危険箇所の災害復旧工事の無人化施工の迅速な対応に資するために、有珠山噴火復旧工事を契機として2000（平成12）年11月に設立された任意団体である。

無人化施工は、雲仙試験フィールド制度による試験施工から約四半世紀を迎え、その取り巻く環境も変化している。そのため、本稿では、無人化施工技術の現状、協会の活動、そして今後の課題について報告する。

## 2. 無人化施工の進化 （雲仙式無人化施工）

雲仙試験フィールド以前の無人化施工は、1、2台の遠隔操作式建設機械を目視操作により動かすことで、危険作業の一部を担うものであった。

試験フィールドの公募事項を表-1に示す（公募：1993年7月、試験施工：1994年1月）。この遠隔距離条件（100m以上）によって、目視による操作は不可能となり、ITVによる施工（映像設備）が選択された。また、フィールドの大きさ（200×300m）や作業量（20万m<sup>3</sup>）が、いままでの遠隔操作式建設機械の単体作業から複数、多機種の建設機械が一つの作業空間で稼働するシステム施工へと進化させた。

表-1 試験フィールドの公募事項

<p><b>【テーマ】</b> 土石流発生後に堆積した巨礫・土砂の緊急除石を実施するため、無人化施工により、土砂掘削・搬出を継続的に行う一連の技術</p> <p><b>【想定試験フィールド】</b>（対象土量約20万m<sup>3</sup>） 場所：雲仙・普賢岳東麓 水無川3号遊砂池 規模：幅約200m、長さ約300m、掘削深さ約4m</p> <p><b>【施工条件】</b> ・不均一な土砂の状態であつ、直径2～3mの巨礫の破砕を伴う掘削と運搬 ・現地の外囲条件として、一時的には温度100℃、湿度100%程度の条件下でも運転可能なこと ・100m程度の遠隔操作が可能なこと</p>
--

試験工事以降も当該地区では、有人施工では平易な工種とされる除石工（掘削・積込み・運搬作業）において実績を重ね、施工の確実性を高めていった（図-1）。その後、RCCコンクリート堰

堤の構築、鋼製スリットやBoxカルバートの設置、遠隔操作の長距離化等の種々の現場課題に応えることで、技術の先鋭化が図られた。近年では、情報通信分野の普及によるICT施工の積極採用や「総合評価方式入札制度」の普及によって技術競争・研究開発が進められていった。現在、無人化施工は、土木・機械・通信・情報処理技術が融合した総合施工システム（雲仙式無人化施工）として確立している。

これらの無人化施工の技術進展は、無人化施工システムの世代区分として、国土交通省九州地方整備局 雲仙復興事務所等によって時系列的に整理されている（表-2、砂防学会研究発表会概要集2012巻、pp.718-719抜粋）。

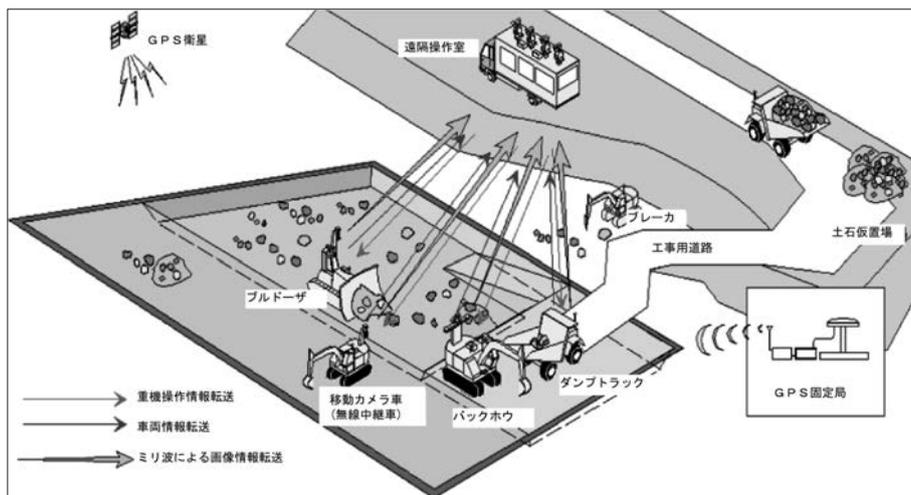


図-1 雲仙普賢岳の無人化施工除石イメージ図

表-2 無人化施工システムの世代区分

大別	目視による無人化施工	映像伝送システムを用いた無人化施工		
施工方式	第1世代：直接操作方式	第2世代：モニター操作方式	第3世代：情報化施工方式	第4世代：ネットワーク型操作方式
概要	オペレータ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	オペレータがカメラが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		情報化施工に対応した通信方式を導入することで、通信範囲や伝送情報が拡張した次世代の主流となる無人化施工
無人化施工システムの概要	●直接操作方式 オペレータ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	●モニター操作方式(直接方式) 操作場所と遠隔操作式建設機械が直接、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式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値を合わせて出来形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て使用する場合があります	●ネットワーク型操作方式 モニター操作方式と同様にオペレータがカメラが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 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遠隔操作方式

### 3. 全国の無人化施工実施状況

2017（平成 29）年現在の無人化施工の実施状況について、（一財）先端建設技術センターにより集計されているので、内容を補足する。協会が関与した無人施工の実績数（協会ホームページ掲載）は、全国で197件となっている（以下、「会員実績」という）。その外の無人化施工実績は74件となっている（以下、「会員外実績」という）。

#### (1) 実施地区の整理

地区別の実績数では、圧倒的に九州地区が多く、このほとんどが、建設無人化施工協会が実施した雲仙普賢岳での実績である。次に多いのは北陸地区で、この地区では会員外の実績が多くを占める（表-3）。

#### (2) 年度別実績数

年度別実績数では、2000（平成 12）年が21件（北海道10件、東北2件、関東2件、四国1件、

雲仙地区6件）と最も多く、全てが建設無人化施工協会員によって行われた。北海道の10件は有珠山噴火対策、関東の2件は伊豆諸島北部群発地震による土砂災害対応によるものである。次に多いのが、2011（平成 22）年の18件（北海道3件、東北5件、北陸3件、近畿2件、九州5件）となっている。この東北5件のうち4件は東日本大震災によるものである。

また、新潟県中越地震の発生した2004（平成 16）年、岩手宮城内陸地震の2008（平成 20）年は、発生した年および翌年にかけて件数が多くなっていることに注目されたい（図-2）。なお、実績数は発注された年だけをカウントしている（年をまたぐ工事は、翌年のカウントなし）。したがって、長期にわたる雲仙の無人化施工は、実績数のない年も工事が続けられている。

#### (3) 無人化施工実績のまとめ

1994年から2017年までの24年間で271件の無人化施工実績があり、平均すると年11件となっている。実績地域では、九州地区（雲仙）が最も多く実績数は83件で、平均すると年3.5件の

表-3 地区別無人化施工実績数 (単位: 件)

	北海道	東北	関東	北陸	中部	近畿	中国	四国	九州	(雲仙)	計
会員	21	29	9	14	4	13	6	3	98	83	197
会員外	5	10	4	48	5	0	0	1	1	0	74
計	26	39	13	62	9	13	6	4	99	83	271

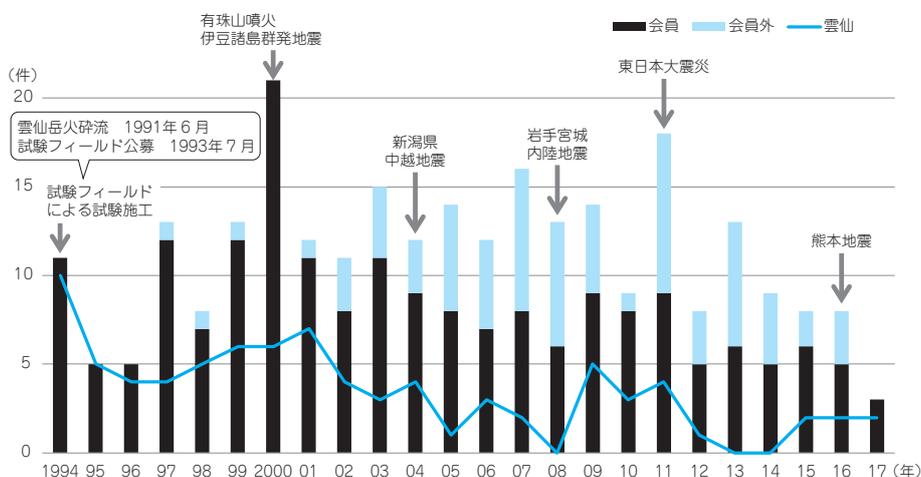


図-2 年度別無人化施工実績数

実績だが、砂防堰堤群の完成に伴い 2015 年から 2017 年の 3 年間の実績数は、年間 2 件となっている。

2000 年の有珠山噴火以降、雲仙地区外での実績、会員外による無人化施工の対応件数が増えている。これらの多くは、北陸地区の稗田山崩れ（姫川の左支川・浦川流域）や白山の甚之助谷地すべり地（別当崩れ、別当谷、甚之助谷、柳谷）、立山砂防、神通川水系砂防の崩落危険箇所それぞれ地区特性に応じ行われている（写真－2：甚之助谷地すべり地、写真－3：立山砂防）。

#### 4. 協会の活動

##### (1) 会員の多様化

協会は、雲仙方式の無人化施工の実績を有する建設業者、建設機械販売会社、通信機器レンタル会社の 15 社で設立された。現在は、情報化施工の連携から測器関連会社や遠隔操作式建設機械のレンタル会社、さらに、分解型遠隔操作機械の運搬、航空調査測量を行う航空会社が加わり 23 社と増えている（表－4）。

新たに加わった建設機械レンタル会社によって、建機メーカー純正の遠隔操作式建設機械だけでなく、ロボット型の遠隔操作装置（後搭載式遠隔操作式建設機械）のレンタルが可能となっている（写真－4）。



写真－2 遠隔操作クレーンによる無人化施工  
（国土交通省ホームページ抜粋）



写真－3 ロッククライミングマシンの無人化施工  
（国土交通省ホームページ抜粋）

表－4 協会構成会社内訳

業種	設立時	現在
建設会社	9	11
建機メーカー・販売会社	3	5
通信機器レンタル	3	2
測器関連	—	2
建設機械レンタル	—	2
航空会社	—	1
計	15	23



写真－4 ロボット型の遠隔操作装置

(2) 活動内容

協会ホームページには設立目的は、「無人化施工法の技術開発を図り、もって建設作業の安全性の確保と生産性の向上に資すること」とあるが、第一義は、「危険箇所の災害復旧工事の無人化施工の迅速な対応に資すること」である。

無人化施工は、がけ崩れや地すべり等の土砂崩落危険箇所等のオペレータの安全が確保できない箇所での施工に有効であるのにもかかわらず、希少機械、機器の調達や経済性、施工性（施工効率等）等の観点から適用の判断が難しいという課題がある。以下に、これらの対応を含め協会の活動を紹介する。

① 遠隔操作式建設機械の調達

災害発生直後の工事対応に希少であると思われる遠隔操作式建設機械の調達では、同じ事案においても、官公署、災害協定を結んでいる業者、レンタル業者の複数の対応窓口から協会員各社へ問い合わせがある。また、その情報は複数の関係者間の伝言ゲームのような状態になり、情報が輻輳して混乱を招くことも多く見受けられた。

そのため、協会のホームページ (<http://www.kenmukyuu.gr.jp/>) には、現存する 100 台余りの遠隔操作式建設機械について機種、台数、所在地等を調査し、掲示している。これを利用し、効率的な機器調達に活用していただければ幸いである。

また、近年は、国土交通省で所有している遠隔操作式バックホウ（2014 年 3 月現在、25 台）もあり、前記のとおりレンタル機器もあるので、遠隔操作式建設機械の調達は容易になっている。

② 技術協力について

前記の「表-2：無人化施工システムの世代区分」とは、携帯電話の通信世代のように更新されていくものではなく、無人化施工では、第1世代～第4世代の全てが現存している。つまり、無人化施工の技術レベルは、精度を要しない操作距離数十 m の掘削等の単純作業から、カメラ映像、GPS を用いた情報化施工、超遠隔施工等の高度な通信技術等を駆使するものまで、いくつかの段

階がある。これらの選択は、対応する現場条件、調達可能設備などさまざまな要件から決定されるもので、効率的・確実な無人化施工の実施には、無人化施工の包括的な知識が必要である。

そのため、協会のホームページでは、「無人化施工のしくみ」、「施工技術・対応工種」他複数のコンテンツで無人化施工の技術を紹介している。また、新潟県中越地震（2004 年 10 月）、岩手宮城内陸地震（2008 年 6 月）他、大規模災害時は、技術委員を現地に派遣して、無人化施工の実施計画の技術協力を行った。その他にも、年間数件、地方自治体、建設コンサルタントの技術協力依頼により無人化施工の検討業務を行っている。これらの技術協力は、会員各社の災害協定に基づくケースもあるが、協会は営利を目的としない任意団体のため、原則無償での協力となっている。

③ その他の活動

協会では、無人化施工の技術関連書（表-5）に作成協力、関連技術の懇談会（表-6）に参加し、無人化施工の技術啓蒙、関連技術の蓄積を図っている。

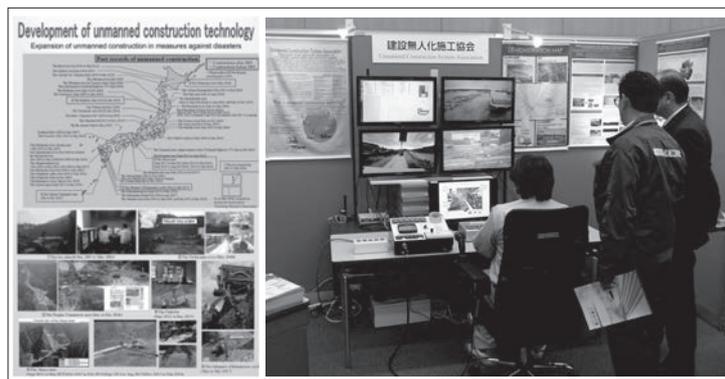
表-5 無人化施工の技術関連書

書籍名	発行・編集
緊急時の無人化施工ガイドブック	先端建設技術センター
無人化施工の積算基準（案）	建設無人化施工協会
建設の最新無線技術	建設無線施工協会

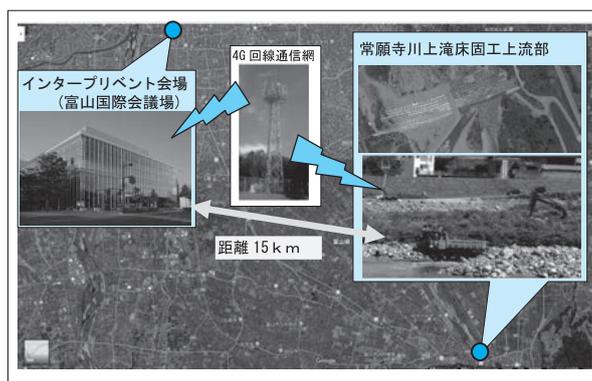
表-6 参加懇談会・委員会等

懇談会委員会名等	活動年度
建設機械等による災害対処・復旧支援に関する懇談会	2006～2007
国土交通大学 施工企画研修校講師	2008～2014
情報化施工推進会議	2008～2014
浅間山噴火対応調査機器等に関する研究会	2011～2012
北海道開発局無人化施工検討会	2011～2012
建設ロボット技術に関する懇談会	2012～2013

今年度は、第14期建設技術展（関東技術事務所）の常設展示の他、「国際シンポジウム INTERPRAEVENT 2018 富山」での展示を行った（図-3）。INTERPRAEVENT の展示では携帯電話の 4G 回線を使い、約 15 km 離れた富山国



図－3 INTERPRAEVENT 2018 富山（国際会議場）



図－4 4G回線を使った無人化施工

国際会議場の展示ブースと常願寺川上滝床固工上流部との間で、遠隔操作式建設を操作するデモンストラクションを行った（図－4）。

## 5. おわりに

無人化施工は、雲仙地区の継続的に実施される工事によって、先進的にさまざまな取り組みがなされ、技術の向上が図られてきた。その他、北陸を始めとする崩落危険箇所を抱える地域では、それぞれの地区特性に応じ、無人化施工の技術的な工夫が施され独自に進化を遂げている。

実績の整理で紹介したとおり、年間数件であるが無人化施工を必要とする現場が存在する。このように、土砂災害が多い我が国では、欠かせない技術として定着化しつつあるが、一方で、特殊技

能者であるオペレータ不足や雲仙地区の実施箇所減少など、技術維持に対する課題も少なくない。

雲仙地区の施設整備は完成間近となっており、それに伴う無人化施工実施ヤードの消滅は、技術維持に対し深刻な問題である。それは、雲仙式無人化施工が、試験施工から始め工事の繰り返しによる技術の定着を進める他、新技術を積極的に導入し長期間の技術検証を行うことで、技術蓄積してきたからである。また、有珠山噴火対応や大規模震災などでも、雲仙地区で無人化施工が稼働していたからこそ、迅速な対応が可能となった。

協会は、その設立目的にあるように、建設作業の安全性の確保と生産性の向上に資するため、無人化施工の技術開発を図るとともに、これらの懸念事項を直視し関係機関との協働を図り、この特殊技術の伝承・技術維持に努めていきたい。