

1. 災害復旧時の無人化施工適用可否の判断のための必要情報と 判断者の役割に関する研究

国立研究開発法人土木研究所 ○ 茂木 正晴
前田建設工業株式会社 坂下 誠
清水建設株式会社 鈴木 正憲
大成建設株式会社 金 浩昭
大成建設株式会社 小森 聡
国立研究開発法人土木研究所 山口 崇
芝浦工業大学 油田 信一

1. はじめに

我が国の国土は、地震、津波、暴風、竜巻、豪雨、地滑り、洪水、崖崩れ、土石流、高潮、火山噴火、豪雪など極めて多様な自然災害が発生しやすい環境下に位置する。国土強靱化年次計画 2022 では、国家レジリエンス(防災・減災)を強化することにより、現在、そして次世代の人々が安心して生きていける社会の実現を目指している。

災害発生において、人が立ち入ることのできない危険域での復旧作業に建設機械を遠隔で操作する無人化施工(写真-1)が活用されている。1991年に雲仙岳で発生した火砕流に伴う復旧活動(1994年)より活用がはじまった。無人化施工の活用は、二次災害防止対策及び緊急を伴う現場内での除石や排土作業といった復旧活動を安全・迅速に進めるうえで、極めて重要な手段となる。また、無人化施工は、火山活動のように予測困難な現場での復旧活動等は、これまでにオペレータや作業者を携わらせるリスクの高い現場で活用され、200件を超える実績がある¹⁾(自治体等での活用を含めると更に相当な実績がある)。

本研究では、災害発生後に迅速・安全な復旧活動を進めることを目的として、無人化施工の活用の適否を判断するために必要となる情報について、これまでに無人化施工による復旧活動に携わった施工関係者へのヒアリングによる調査を行い、過去の無人化施工適用事例を体系的に整理した。また、無人化施工を現場に適用する際の管理者、調査者及び施工企業等の役割について、調査結果に基づき検討した。

本稿は、次世代無人化施工技術研究組合(2014-2023年活動)での研究“無人化施工の遂行に必要な情報調査”¹⁾の成果を再整理したものである。なお、次世代無人化施工技術研究組合では、同時に

“無人化施工に対応可能な操作オペレータの確保及び選定に関する検討”も行った、これに関する考察は、別稿²⁾にて報告している。



写真-1 無人化施工活用事例（雲仙復興工事現場）

2. 無人化施工活用の課題と研究の目的

無人化施工技術は、災害復旧活動における迅速な対応と二次災害防止の観点からの安全性確保に有効な技術として、土堰堤工事や除石工事において、掘削・積込み・運搬等の作業を中心に導入・活用されている。

しかし、無人化施工は、災害現場における危険度に応じ適用されているものの、災害発生直後に、だれが・いつ・なにを・どのような、情報に基づいて無人化施工を適用するかという判断の基準が整備されておらず、事実上無人化施工の実施は、過去の災害対応経験者の判断に委ねられている。そのため、災害の発生箇所及びその周辺状況によっては、リスク管理及び冷静な状況判断が不十分となるケースが想定される。また、現場状況に応じた冷静な判断を円滑に進めるため、復旧活動にあたる関係者の役割を明確にする必要もある。

そこで、本研究では、災害発生後の迅速・安全な

復旧活動のための無人化施工の円滑な活用推進を目的とし、復旧活動への無人化施工適用の可否判断基準となる必要情報、無人化施工による復旧活動を進めるうえで判断者となる管理者や調査担当者・施工企業等が果たすべき役割について調査・整理した。

3. 無人化施工適用の可否判断に係る情報の調査

本研究では、無人化施工の実績のある企業への調査及び災害種別毎の緊急調査項目、無人化施工が適用された事例に基づき、無人化施工適用の可否の判断に必要な情報について調査・体系化した。

3.1 無人化施工適用の判断情報に関する調査

本研究では、建設無人化施工協会に所属する企業に無人化施工適用の判断に関する調査を行った。ここでは、二次災害の危険に伴う災害復旧場面において、無人化施工の適用を判断するための判断基準及び課題について調査を行った（調査期間：2022/9/27～2022/10/19）。結果として、7社より回答が得られた。また、詳細な実態の把握および課題の深掘りを目的とした詳細調査を個別ヒアリングにより実施した。個別の調査は、2022/11/15～2022/11/24 に実施した。表-1 に調査結果を示す。

（役割の課題に関する調査結果は、4章にて後述する。）

3.2 災害発生後の緊急調査による取得情報

平成23年に国土交通省が土砂災害防止法を改正した後、大規模な二次災害の発生により人家等の保全対象に被害が及ぶおそれがある場合には、緊急調査を実施することが義務づけられている。図-1 に土砂災害防止法に基づく緊急調査の流れを示す。緊急調査は、河道閉塞に起因する土石流および湛水と火山噴火に起因する土石流が想定される場合には、国土交通省が実施する（最近では、TEC-FORCE が発生直後から活動する）。一方、地滑りによる被害が生じるおそれのある場合には、都道府県が実施する流れが示されている。

緊急調査によって取得される情報の抽出については、災害種別として(1)土砂災害、(2)火山災害、(3)地震災害を対象に、国土交通省管内での無人化施工の適用事例に基づき整理を行った。

なお、本研究対象となる無人化施工の適用判断のため、必要情報の整理については、管理者（国土交通省や都道府県のほか、気象庁やTEC-FORCE等の専門部隊を含む）主体で実施する緊急調査の結果に基づき、これまでの無人化施工の適用事例に基づき、適用判断に必要な情報を抽出してきた。

表-1 無人化施工適用の可否を判断するための情報（調査結果）

| | |
|---|--|
| 1 | 無人化施工適用の可否判断にあたっては、災害種別に問わず災害現場の状況から危険/安全区域の境界の適正な設定が必要となる。 |
| 2 | 危険エリアの設定に関しては、人が立ち入ることが出来るのかといった状況判断が重要となる。二次災害のリスクが想定される場合、無人化施工の適用が必要となる。 |
| 3 | 災害規模や復旧における時間軸によって、無人化施工の適否の異なるケースが想定される（規模・時間の経過によって現場内の二次災害リスクが低減するため）。 |
| 4 | 復旧工事の条件や内容等により判断する必要がある。その場合、情報不足は危険区域を明確にできないことから、地形データや土質・地質、流域の影響等の情報が必要となる。 |
| 5 | 無人/有人の判断には経験者等の感性が重要、例えば、土塊が滑ったらどのようなことになるのかといった現場内の詳細な状況の把握が必要となる。 |
| 6 | 元の状態がどのように変化したのか、地形による地山の性質、滑り面がどこにあるのかといった情報が必要となる。災害現場の崩壊地はクラックだらけで、どこが安定しているのか不安である。 |
| 7 | 調査により地形データは比較的容易に取得できるが、さらに、地山内部の土質・地質データ、建設機械のトラフィックビリティといった詳細情報も必要となる。 |
| 8 | 被災直後は、得られる情報は、全景写真等に限られるケースが多く、復旧対応における無人化施工適用の可否判断は難しい。 同じ被災地であっても状況は箇所によって異なるため詳細な情報が必要となる。 |

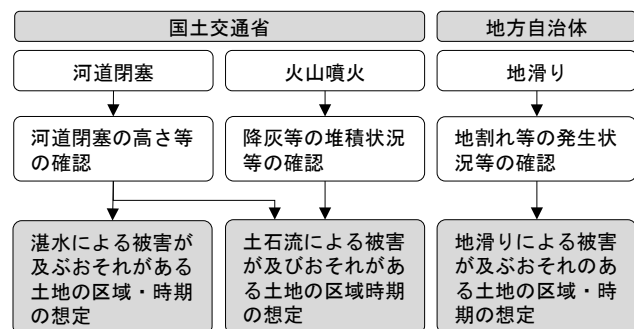


図-1 災害発生後の緊急調査の流れ

(1) 土砂災害時に取得する情報

土砂災害として、自然斜面や溪流において、降雨誘因による土石流・がけ崩れ・地すべり・落石・地盤崩壊・深層崩壊・表層崩壊による災害形態が想定される。また、既設の土工構造物に関しては、切土のり面の崩壊・盛土のり面の崩壊・盛土流出といった災害形態が想定される。

主に降雨の作用による土砂災害では、被害は広範囲に及んでいる可能性がある。そのため、崩壊箇所の位置や大きさ（規模）、その数と分布傾向（疎・

密)、崩土や浸水の影響範囲、まだ崩壊していない周辺の環境、地形、溪流(崩壊箇所の上流・下流)に関する事前情報が必要となる。

また、土砂災害の場合、河道閉塞による湛水(天然ダム形成)は、時系列的にみて、次の降雨の作用で崩壊・決壊することで大規模な土石流が発生するおそれがある。緊急調査では、被災箇所の位置と規模、下流側の保全対象の位置関係を知ることが重要視される。このとき、土石流による被害が想定される区域は、無人化施工の適用の可否を判断する「危険区域」に該当する。

つまり、緊急調査の要件を満たす「土石流の被害が想定される区域」は、保全対象を守る緊急砂防事業として、後に無人化施工の適用を検討する対象の「作業エリア」になる可能性が高い。

無人化施工の適用を判断するにあたっては、実施する工事の目的、目指す復旧レベルを明確にする必要がある。抑制工と抑止工の選定は、緊急調査により把握される既に起こった崩壊地等の空間分布と、これから大規模な土石流が起こりうる天然ダムの有無に加え、下流域における保全対象(道路・鉄道等の交通インフラや避難所等の公共施設を含む)の分布状況や降雨の予報によって判断される。近々、再び大雨が降る予報がある場合、抑制工を施工するだけのリードタイムを確保できない可能性がある。無人化施工の適用にあたっては、建設機械や資機材の調達や現地搬入ルート等の制約条件、モータープールを含む安全な施工ヤード(遠隔操作室を構築するスペース等)の有無など、多面的な情報を収集して総合的なリスクアセスメントがその適用の決定に必要となる。

過去の緊急砂防事業における無人化施工では、抑制工と抑止工の両方に適用実績がある。抑制工と抑止工では、目的や砂防設備に求められる機能が異なるため、当然、無人化施工の計画や現場マネジメントでも復旧レベルや工法・工程・管理体制等の内容に違いが生じる。

無人化施工適用の判断としては、降雨実績により設定する基準値(時間雨量や積算雨量等)と予想降雨量だけに頼らず、実際の現場の監視カメラ映像の異変やセンサーの挙動を速やかに検知する体系を予め構築することが肝要となる。

(2) 火山災害時に取得する情報

火山災害では、自然斜面への噴火・降雨誘因による、降灰・噴石・溶岩流・火砕流・融雪型火山泥流・降雨誘因による土石流・溶岩ドームの崩壊・岩屑なだれといった災害形態が想定される。

火山災害については、あらかじめ予測及び災害対応への準備がある程度可能である。全国111の活火山(令和4年3月時点の数)に対しては、気象庁が噴火災害軽減のための観測・監視・評価を実施し、

噴火警報・予報を発表している。さらに、活火山のうち、火山噴火予知連絡会³⁾が設定した『火山防災のために監視・観測体制の充実等が必要な火山』に該当する50の火山については、噴火の前兆を捉えて噴火警報等を適確に発表する手段として、地震計や傾斜計、空振計、GNSS観測装置をあらかじめ計画的に整備され、大学や火山に関する専門の研究センター、自治体等の関係機関が個別に観測したデータの提供も受けながら、火山活動を24時間体制で常時観測・監視している状況である。これらの『常時観測火山』の中には、過去に無人化施工を適用した実績のある雲仙普賢岳(1990年噴火)や有珠山(2000年)、御嶽山(2014年)などの活火山も含まれている。このように、火山災害は、将来、噴火災害が起こりうる火山・地域がある程度特定されており、個別の火山減災計画が策定されている特徴がある。また、国土交通省砂防部では、火山噴火に伴い発生する土砂災害に対し、緊急対策を迅速かつ効果的に実施して被害をできる限り軽減(減災)するために、「火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドライン⁴⁾」を作成している。火山噴火緊急減災対策砂防計画とは、火山噴火時に発生が想定される溶岩流、火山泥流、土石流等の土砂災害による被害を軽減するため、地方整備局および都道府県の砂防部局が策定する、ハード・ソフト対策からなる緊急対応(無人化施工の適用を含む)を定めた計画となっている。

ただし、火山災害は、火山活動の周期性や有史の噴火履歴等から想定される噴火様式・シナリオが火山ごとに異なる(対象の火山がこれまでに経験した有史の記録や地形・地質等の形跡から推定される)。また、高い噴煙を上げる広域の降灰や融雪型火山泥流のような大規模な被害が、降雨とは無関係に突発的に発生するリスクがある。その反面、詳細な数値地形データの取得やカメラ、ワイヤセンサ、計測機等による広域かつ多角的な監視体制や光ファイバーケーブルを用いた高速情報通信網の整備が進んでいるという側面がある。

そのため、火山災害における無人化施工適用の可否対応については、個々の火山について、地形・地質性状や噴火史、想定される噴火シナリオなどにに基づき、有識者等で構成される検討会を経て策定された「火山噴火緊急減災対策砂防計画」⁴⁾を踏襲することが、管理者と調査・施工企業等との連携の観点からも適切と考えられる。

(3) 地震災害時に取得される情報

地震災害では、地震誘因による自然斜面における災害形態として、地すべり・がけ崩れ・落石・斜面崩壊の発生が想定される。宅地造成地区では、盛土造成地の滑動崩落が想定される。

無人化施工が適用された事例には、2016年に発

生じた熊本地震で被災した阿蘇大橋地区斜面防災対策事業がある。阿蘇大橋地区での無人化施工の計画にあたっては、緊急調査に基づき斜面下方を通過する道路・鉄道の交通インフラの早期復旧に向け、滑落斜面の先端に位置する危険区域の存在、斜面上部からの落石や崩土を捕捉する土留盛土を迅速・安全に築堤することが検討された。

坂西・北原の報告⁵⁾によると、阿蘇大橋地区で発生した大規模な斜面崩壊は、長さ約700m、幅約200mの範囲に及び、崩土量は約50万m³と推測された。崩壊した斜面上部には開口亀裂や段差地形があり、明瞭な滑落崖も形成されていた。当時は、降雨や余震の作用によって崩壊部の不安定な土塊の流出や崩壊縁の拡大などの二次災害リスクが懸念された。そのため、滑落斜面とその周辺地山の挙動を監視・計測しながらの無人化施工が適用された。

事例では、緊急調査に基づく情報から極めて二次災害の発生が高いことが推測され、無人化施工の適用判断に至ったものと考えられる。また、無人化施工の継続的な活用の際に、観測機器で記録・蓄積される時系列データは、危険区域内における二次災害のアセスメント、施工計画、現場マネジメントを行う上で必要となる要素となる。

初期の緊急調査において、複数の地点、異なる計器等による時系列データの挙動を無人化施工の適用判断以前より計測・分析しておく必要がある。

3.3 無人化施工適用の可否判断

3.2(1)~(3)では、災害発生時における復旧に必要な情報と無人化施工適用の可否判断に必要な情報について整理した。表-2に無人化施工適用のための判断に資する情報を示す。判断情報の多くは、災害種別に関係なく共通した情報となっている。

ただし、火山・地震災害時において必要となる情報については、緊急調査や事前に取得できる情報だけでなく、気象庁のような外部機関から発信される最新情報が必要となる。

災害種別毎の災害発生後の緊急調査によって得られる情報から無人化施工適用の可否判断を行うことにより、復旧活動を迅速・安全に進めることが可能となる。

4. 無人化施工運用における関係者の役割

4.1 災害リスクアセスメントの立場

災害発生直後の初動対応において、無人化施工適用の可否判断をするには、二次災害リスクを踏まえたアセスメント(予測・評価)が必要となる。この役割を担う関係者には、現地踏査・緊急調査等により現地状況を把握する土木関係建設コンサルタント企業や施工企業等が想定される。これらの各者の具体的な役割としては、現地調査や収集し

た情報を踏まえて無人化施工を適用する地域・流域や対策工法の選定、そのための仮設道路や監視カメラ、観測機器の配置箇所等を検討した上で、施工管理者(発注者)に二次災害リスクに関する情報を的確に伝達することである。

収集可能な降雨・地震の作用や地下水位の変位等の時系列的に変動する情報から、二次災害リスクの本質を捉え、安全区域と危険区域の境界を設定することが無人化施工適用の可否を判断するうえで重要である。

4.2 現場マネジメントの立場

施工管理者や現場代理人(現場マネジメントの立場)には、作業エリア内で無人化施工を安全に遂行しつつ、計画に対する進捗を把握すると同時に、現場で発生した問題等に臨機応変に対処する役割が求められる。

そこで、無人化施工協会に所属する企業に対し、これまでの経験から現場マネジメントを復旧活動に携わる管理者(発注者を含む)、調査・施工企業、関係機関等の役割に関する課題について調査を行い、課題を抽出した。

結果のまとめとして、表-3に示すように、現場状況の情報等について、関係者間で共有することや、復旧活動を進めるうえで、施工管理者(発注者)・調査者・施工者それぞれの知見等から立場に関係なく協議・対応の方向性を進めることが今後求められよう。

5. まとめ

5.1 無人化施工適用の判断に関する調査結果

ヒアリング等の調査の結果、災害発生直後の初動対応の場面における無人化施工適用の可否は、①二次災害リスクがあるか、②人が立ち入れないかどうかである。この内容は、松岡ら⁶⁾が検討した判断フローの第一項目となる危険現象の想定をより具体化した項目といえる。

なお、火山災害では、気象庁が発表する噴火警戒レベルに紐づく立ち入り規制により、明確な安全・有人エリアと危険・無人エリアの境界線が引かれることとなる。同様に、降雨土砂災害と地震災害でも無人エリアを明確に設定することで、無人化施工の迅速・適切な適用が可能となるものと考えられる。

そのため、現地の災害状況・施工環境等の作業エリアに関する情報を集約・共有して、リスクアセスメントをする「協議」の場が必要ということが、個別ヒアリングでも共通した意見として抽出された。

表-2 無人化施工適用のための判断に資する情報

| 必要な情報 | 災害種別 | 手段 | 必要な時間軸と入手するタイミング |
|---------------------------------|------------|--|--|
| 全景写真（空撮） | 共通 | 航空機、ヘリコプター、UAV、衛星 | 都度、最新 |
| 三次元地形データ（図3.14） | 共通 | 航空LP、UAV、TLS、SLAM | 災害前、災害後（地形変化後） |
| 被災状況 | 共通 | 航空機、ヘリコプター、UAV、人工衛星、地表踏査等 | 緊急調査後（土砂災害防止法） 他の調査後（火山減災砂防計画等） |
| 保全対象の位置 | 共通 | 航空機、ハザードマップ等 | 災害前、災害後（緊急点検後） |
| 砂防関係施設の状況 | 共通 | 施設点検記録台帳、ヘリコプター、UAV、地表踏査 | 災害前、災害後（緊急点検後） |
| 建物・施設等の変状 | 共通 | 点検記録台帳（擁壁などの構造物）、地表踏査 | 災害前、災害後（緊急点検後） ※地震や噴火時の空振による |
| アクセス路の有無 | 共通 | 砂防関係施設点検記録、 ハザードマップ、ヘリコプター等 | 災害後（被災状況とあわせて） ※土地管理者への聞き取りも |
| ハザードマップ（リアルタイム） | 共通 （火山） | 重ねるハザードマップ、火山噴火緊急減災砂防計画等 | 災害後 （リアルタイムは都度、更新） |
| 整備済みの監視情報（CCTVカメラ等） | 共通 | 国、都道府県等の自治体のHP | 都度、最新 |
| 緊急調査の結果 | 共通 | 国、都道府県等の自治体 （TEC-FORCEや研究機関も） | 災害後 |
| 各種計器の観測データ（時系列の累積変化、ピーク値等の地点情報） | 共通 | 複数地点に各種観測計器を設置、カメラ映像等のモニタリング、研究機関等からのデータ提供 | 設置後からの時系列データ （火山や地震の場合は、平常時からの観測データも活用） |
| 地山の地質性状（面的な情報） | 共通 | 地質図、地質ボーリング調査、弾性波探査、電磁気探査、地表踏査等 | 施工計画時 （すべり面の推定、浮石除去の計画、崩土発生土・残土処理など） |
| 目指す復旧レベル | 共通 | 国、都道府県等の自治体 災害後に設置する検討会 | 災害後 （工事進捗により都度、更新） |
| 安全区域の境界 | 共通 | 収集した情報から判断 ※リスクアセスメントの要 | 災害後、施工計画時 （工事進捗により都度、更新） |
| 降雨実績・予報 | 共通 | 気象庁発表 | 災害前からの時系列データ |
| 緊急地震速報による地震（規模・頻度） | 地震 | 気象庁発表 | 災害前からの時系列データ |
| 降灰予報 | 火山 | 気象庁発表 | 災害前からの時系列データ |
| 噴火警報・予報 | 火山 | 気象庁発表 | 都度、最新 |
| 噴火警戒レベル | 火山 | 気象庁発表 | 都度、最新 |
| 土砂災害計画情報 | 共通 | 都道府県・気象庁発表 | 都度、最新 |
| 火山減災砂防計画 | 火山 | 活火山ごとに随時、公開 | 災害前 |
| 噴火シナリオ | 火山 | 火山防災協議会等の発表 | 災害前、災害後 |
| 工法選定フロー | 火山 | 事前に計画されたフローを把握する | 施工計画時（実際の噴火に対するシナリオと整合する） |

表-3 無人化施工適用時の役割に関する課題の取りまとめ

| | |
|---|--|
| 1 | 無人化施工実施において施工者の責任は重い。施工管理者（発注者）は、施工時における懸案や方針について密な連携が重要となる。 |
| 2 | 施工者に任せるところと施工管理者（発注者）で判断するところの境目を明確にする必要がある。 |
| 3 | 初動対応のアセスメントが重要であると考えるが、現状、施工者による管理と現場調査者（コンサル）の情報は、施工管理者（発注者）に対して一方通行になっている。 |
| 4 | 無人化施工の適用を判断する段階では、3者会議等（管理者・調査者・施工者）において、情報や技術について対等に協議する必要がある。 |
| 5 | 災害復旧の大前提（安全・迅速な対応）を明確にし、災害復旧アセスメントが重要となる。情報共有と役割を予め明確化にする必要がある。 |

5.2 無人施工適用の目的に関する再整理

無人化施工適用の可否判断にあたり、無人化施工適用の目的については、以下のように再整理される。

(1) 早期復旧

災害から早く応急的に復旧して、社会経済活動への影響を小さくする

(2) 被害の最小化

保全対象や道路、鉄道等の交通インフラへの被害の拡大を抑える

(3) 作業者の安全確保

作業エリア内の作業者の安全を守る、危険箇所での安心・安定した復旧活動の推進

災害対応時においては、一般に(1)の早期復旧が強く求められる。無人化施工適用の可否判断として、施工管理者（発注者）は、「早期復旧」ということが前提になれば、不安定な土塊が降雨・地震等の自然の作用によって安定化するまで工事着手を待たばよいと判断してしまう。また、二次災害を含め被害の拡大を防ぐことや、施工者が危険区域に建設機械等を進入させるリスクを負う必要性がない。

5.3 災害時の無人化施工適用の可否判断における役割

災害後の初動対応における無人化施工の可否判断を行う体制について全体像を整理した。

災害発生直後は、気象庁等が、土砂災害警戒情報や緊急地震速報、噴火警報・降灰予報等の「情報」の予測を含めて速報的に発信しつつ、大学等の研究機関を含めて今後の降雨、余震、噴火等に関するデータ分析が進められる。これにより、まず起こりうる災害形態が明らかにされる。

その後、対象となる災害現場の管理者と管理者（発注者側）とあらかじめ災害協定を締結している民間企業や TEC-FORCE 等の専門部隊が、現地踏査・緊急調査等を実施することで、発注者側・施工側の現地担当者等と災害状況・施工環境等に関する「情報」が共有される（全景写真、地形データ、保全対象の位置関係など）。

発注者（官側）は、通常、3者協議や有識者を含めた技術検討会等で目指す復旧レベルや段取りの方針を決定する。その際、その最終判断をする前の「協議」の場において、建設無人化施工協会や公的研究機関、ゼネコン・施工企業、オペレータ専門業等、土木建設コンサルタントが参画し、無人化施工適用の可否を標準フローに従って検討するのが望ましいという知見・考え方が、個別ヒアリングでも挙げられた。

この段階で無人化施工の適用が判断された場合、遠隔操作室、ヤード、アクセス路等の確保や無人化

施工中断の判断基準など、より具体的なアクションプランを立てる段階に移行する。

6. 今後の課題

今後、本研究結果を踏まえ、災害復旧活動への安全・迅速な対応に向け、無人化施工を円滑に活用するための具体的な体制等の整備が必要である。そのため、関係者間との情報共有を可能とするネットワーク形成や意思疎通のための定期的な訓練等の実施が重要となる。

また、無人化施工活用のため、その適用の可否判断は、現場状況及び周辺への影響等を把握・予測することが前提となる。そのためには、より迅速・正確な情報の取得及び伝達するための技術が求められる。

7. 謝辞

本研究を進めるにあたり、調査に協力いただいた次世代無人施工技術研究組合会員、建設無人化施工協会、調査整理に協力いただいたアジア航測（株）佐野様、滝川様、北村様にこの場をかりて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 建設無人化施工協会ホームページ：
http://www.kenmukyou.gr.jp/works/works_list.php
- 2) 茂木正晴・他：無人化施工に対応する操作オペレータの確保及び選定に関する一考察，第21回建設ロボットシンポジウム，O6-4，2023.9
- 3) 気象庁：中長期的な噴火の可能性の評価について追加調査取りまとめ，2022.3
- 4) 国土交通省砂防部：火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドライン，2023.5
- 5) 坂西孝仁・北原成郎：総合的なi-Constructionによる緊急災害対応--阿蘇大橋地区斜面防災対策工事における無人化施工--，建設機械施工，Vol.69 No.12，pp.20～26，2017.11
- 6) 松岡雅博・堤宏徳・中濃耕司：災害現場における無人化施工の導入事例，2019年度砂防学会研究発表会，R4-014，pp.213～214，2019.5