

# 無人化施工の作業遂行に必要な 判断情報に関する調査

次世代無人化施工研究組合  
研究開発委員会 施工判断情報WG  
令和5年2月13日

## 【2021年度】実施項目

①無人化施工を行うための初期判断の抽出整理

②無人化施工を活用するために必要な事前情報の抽出整理

③無人化施工適用における判断情報とオペレータへの支援技術の提案、課題等整理

## 【2022年度】実施項目

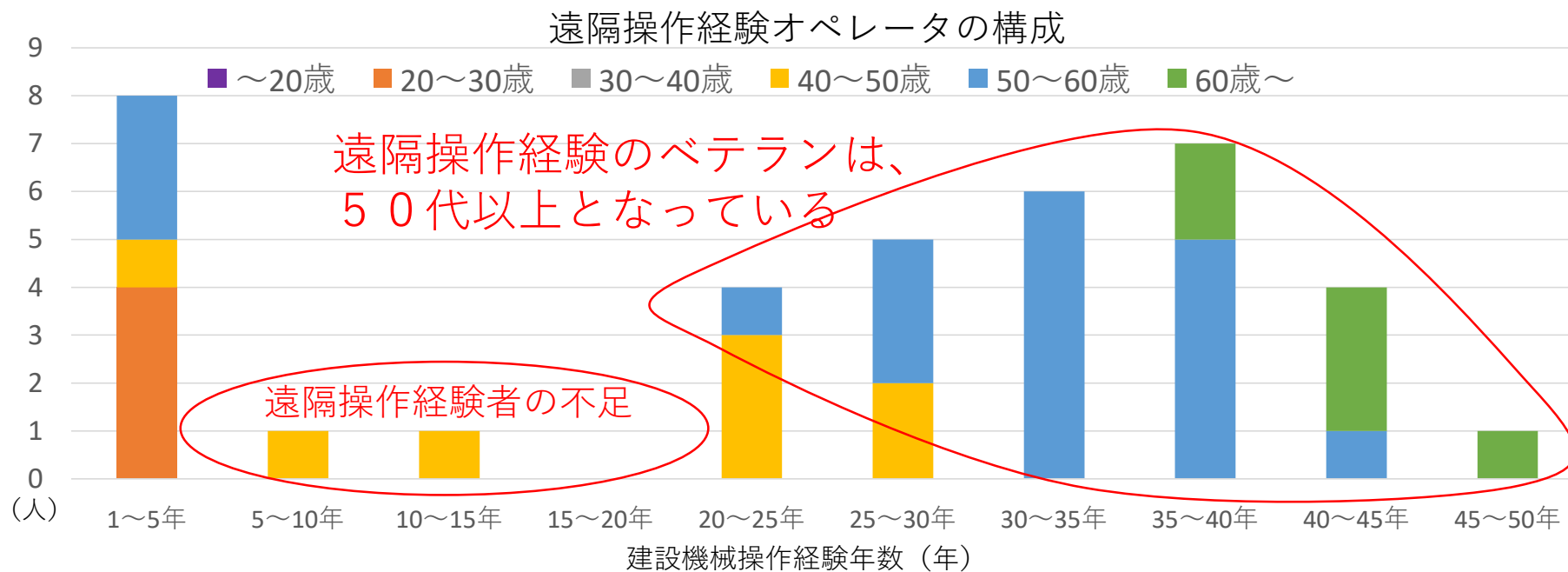
①無人化施工に対応する操作オペレータの確保及び選定に関する検討

②災害時の無人化施工の可否判断のための必要情報と判断者の役割に関する整理

# ①無人化施工に対応する操作オペレータの確保 及び選定に関する検討

## ■アンケート調査及び個別ヒアリングの実施

⇒建設無人化施工協会所属企業の8社（対面：2社／Web：6社）から聞き取り



- ◆緊急対策時の遠隔操作による作業判断は現場オペレータに委ねている
- ◆現場状況を把握したうえで慎重に対応、2次災害・事故等の発生を回避

# 無人化施工の操作オペレータに求められる技量の整理

- アンケート調査および個別ヒアリングの集約結果を踏まえ、操作オペレータに求められる技量を整理した。
- 無人化施工をオペレータが1人で対応することはほとんどない。逆に言えば、**災害対応の実務経験**があり、**施工マネジメント能力のある技量の高いオペレータ**が、1人は必ず求められると解釈できる。

表 2.12 操作オペレータに求められる技量の整理

技量の側面		「技量」に関するキーワード（チーム体制を含め、1人は必ず求められる）	
ア.	実務経験	・ 災害対応の経験，経験 20 年以上・年齢 40 代以上	有人施工の技量から判断できる
イ.	個の資質 (性格を含む)	・ 施工マネジメント能力，俯瞰的に現場の全体像を見る目 ⇔ <b>空間認知能力の高さが必要</b> ・ 前向き，我慢強い，慎重さ，安定してコンスタントに作業する	
ウ.	操作可能な建機	・ 油圧ショベル（バックホウ）＋不整地運搬車（クローラダンプ）＋ブルドーザ ※ブルドーザは使用する場合のみ（必要条件ではない）	
エ.	遠隔操作スキル ※直接目視では不要	災害現場の先頭で外部俯瞰カメラを活用しながら臨機応変に対応する，悪条件でもモニター越しに建機を安定に保つ，遠隔操作で出来形の微調整をする，遠近感がある，操作しやすいカメラ配置の設定を確立している	
技量の側面＋要素		「技量」に関するキーワード（遠隔操作室でチームで対応する場合に必要）	
イ.	個の資質 <b>(組織運営)</b>	・ 他のオペレータを指揮する，フォローに入る，面倒見がよい ・ 遠隔操作室のチームワークを醸成する，職長との信頼関係	個人技だけでない

※現場感のない遠隔操作オペレータが初動対応するのは困難である  
⇒訓練と実現場は求められる技量が異なる

# 無人化施工の操作オペレータに求められる技量の整理

■ すべてのオペレータに高い技量を求めるのは困難（人が集まらない）。リーダを支えるチーム・オペレータについて、災害発生直後の初動対応で無人化施工を適用する場合に、**特に求められる技量を整理した。**

⇒遠隔操作室の特殊環境では、遠隔操作時の挙動や周囲に対する言動等に表れる**性格面**も重要。

表 2.13 操作オペレータに求められる技量の整理（チーム・オペレータ）

技量の側面		「技量」に関するキーワード（リーダを支えるオペレータに求められる）	
ア.	実務経験	・ 災害対応の経験、現場感（工事の組み立てを理解している） ※遠隔操作のシミュレーションのみの経験では対応は困難である	有人施工の技量から判断できる
イ.	個の資質 （性格を含む）	遠隔操作室内の特殊環境でチームにより協働できる、協調性、災害対応への理解がある、前向き、我慢強さ、プレッシャーに強い、安定、慎重さ、落ち着き、丁寧さ、リーダから信頼される	
ウ.	個の資質 （耐遠隔操作）	搭乗時と同じ型のレバー間隔にこだわらない、イライラしない（搭乗したほうが速くても、周囲の目線・声があっても）、俯瞰カメラの映像でも左右の違い等に混乱しない、映像酔いしない ※直接目視のみの計画であれば、映像への耐性は不要	遠隔操作特有の技量
エ.	操作可能な建機	油圧ショベル（バックホウ）を遠隔操作できることが、第一条件 ※次に不整地運搬車（クローラダンプ）⇒2機が災害時に高頻度で使われる	
オ.	工法・作業内容	繰り返しの作業を、コンスタントに安定してこなす技量が求められる	

※経験年数よりも、遠隔操作の適性のほうが重要

※遠隔操作時には「搭乗操作と異なる技量」が求められる

## 遠隔操作オペレータに求められる技量

- ▶与えられた作業に対して搭乗での建設機械の操作を戸惑うことなくできること
- ▶求められる作業において現場状況を俯瞰でき、作業手順（施工プロセス）を把握し、自らの判断で作業可能であること
- ▶常に建設機械の安全（損傷防止）を認識・判断した操作・取組ができること

## 遠隔操作オペレータの適正（メンタル面）

- ▶常に慎重で丁寧に作業できること
- ▶災害対応に対して献身的な姿勢があること
- ▶遠隔操作に対してチャレンジング（挑戦的）な姿勢であること
- ▶与えられた作業に対して根気強く対応可能であること
- ▶周囲からの視線に緊張せずに対応可能であること

※メタ認知能力の高い方、緊張しない人

# オペレータ選定基準の整理

- 無人化施工オペレータは、①建設機械とセットで、②チーム単位で選定するのが基本という形式知を得た。
- 必要な建設機械の台数・組合せは、③災害状況によって異なる（3～4名のメンバーの固定は可能）。
- あらゆる状況に迅速に対応するには、重機土工専門業・オペレータとの平時からの関係性構築が大切。

表 2.14 オペレータ選定基準の整理

確保するオペレータの条件		確保できなかった場合に、復旧活動に与える影響
1.	技量の高いオペレータ (表 2.12)	オペレータの安全性、要求される作業を適切に遂行できない (無人化施工を適用する目的を達成できない)
2.	建機とオペレータをセット	建機とオペレータを別々に手配するため、迅速に着手できない ※ロボ QS や分解組立型バックホウなどは訓練等で使用されているとおり、標準機に対しオペレータ側が変わることが想定されるため、必ずしも建機とオペレータがセットでなければならないという条件ではない
3.	必要な建設機械の組合せ	建機の調達不足、要求される作業を適切に遂行できない ※上記 2 の条件と関連して、例えば 2 台の建機が必要な施工現場で官側では 1 台しか確保できない場合、2 人のオペレータと 1 台の建設機械を手配しなければならないという問題が生じる
4.	チームとしての技術水準 (表 2.13)	参加するすべてのオペレータに高い技量を要求していると、実施体制を構築するのに時間が掛かる (オペレータが集まらない) ※技術継承の観点でも、チーム内の技量差は許容される

※求められる技量を持った  
オペレータを確保する  
安全・適切 > 効率・迅速

※現場ごとに施工計画  
上必要な建設機械を操作  
できるオペレータ・チーム  
を組み合わせる  
※災害時、バックホウ操作  
は、スタンダード・スキル

## 遠隔操作オペレータの体制確保

- 求められる作業を確実に実行するうえで建設機械とオペレータをセットとした確保が必要
- 企業としてオペレータのみの確保は、人材派遣的な体制確保が難しい

## 遠隔操作オペレータの適切な運用

- 遠隔操作での複合的な作業は、チームワークが重要
- チーム内で全体を俯瞰し、作業を的確に指示するリーダーが必要
- チームとなる場合、リーダーは、指示専属、代表オペレータによる兼任

## 今後の技術継承

- 平時の有人施工において一部活用
- テストフィールドでの定常的な活用
- 実作業時に経験者と未経験者のペア体制といった工夫が必要

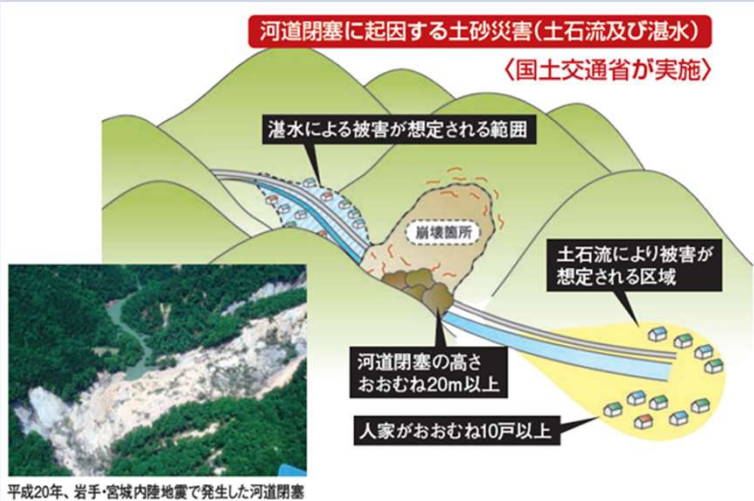


## ②災害時の無人化施工の可否判断のための必要情報と判断者の役割に関する整理

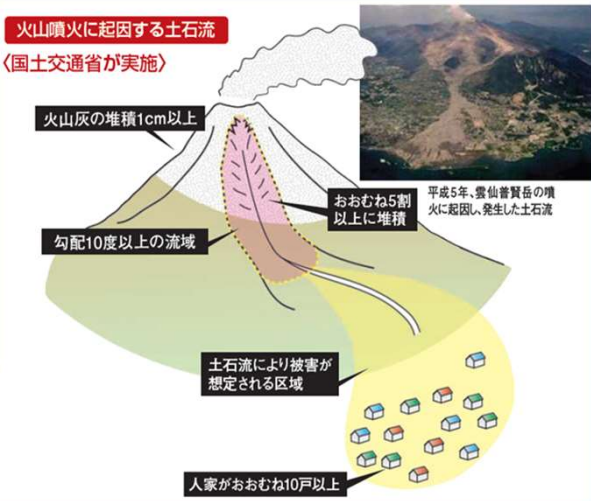

■災害時の無人化施工の可否判断のための必要情報と判断者の役割に関する整理は、過年度調査のフォローアップを基本とし、まず、災害時に国や都道府県の官側が最初に実施する緊急調査について整理した。

■操作オペレータの確保及び選定に関する選定時に実施したアンケート及び個別ヒアリング時に調査

⇒無人化施工の標準判断フロー，必要情報，役割から，**火山災害と土砂災害・地震災害の違い**を整理。

	緊急調査が実施される大規模災害	調査で得られる情報
土砂災害 (降雨誘因)	<p>＜自然斜面・渓流＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●土石流</li> <li>●がけ崩れ</li> <li>●地すべり</li> <li>●落石</li> <li>●岩盤崩壊</li> <li>●深層崩壊・表層崩壊</li> </ul> <p>＜土工構造物＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●切土のり面の崩壊</li> <li>●盛土のり面の崩壊</li> <li>●盛土崩壊（流失）</li> </ul>	 <p>●崩壊箇所の位置</p> <p>●崩壊箇所の大きさ</p> <p>●崩壊箇所の数・分布</p> <p>●被災範囲</p> <p>●被災箇所周囲の地形</p> <p>●溪流の流域</p> <p>●土石流により被害が想定される区域</p> <p>●既設の砂防施設の位置</p> <p>●施設の貯砂量・流木量</p> <p>●被災箇所へのアクセス路など</p>

## ②災害時の無人化施工の可否判断のための必要情報と判断者の役割に関する整理

	緊急調査が実施される大規模災害	調査で得られる情報
火山災害 因（噴火・降雨誘	<p><b>&lt;自然斜面&gt;</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●降灰</li> <li>●小さな噴石・大きな噴石</li> <li>●溶岩流</li> <li>●火砕流（火砕サージ）</li> <li>●融雪型火山泥流</li> <li>●土石流（降灰後の降雨誘因）</li> <li>●溶岩ドームの崩壊（山体崩壊）</li> <li>●岩屑なだれ</li> </ul> 	<p><b>&lt;土石流&gt;</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●勾配10度以上の流域</li> <li>●火山灰の堆積1cm以上の斜面・渓流域</li> </ul> <p>※ある渓流の面積の5割以上に1cm以上の降灰が認められる場合、土石流の発生が想定される</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●積雪（冬期）</li> </ul> <p>※融雪型火山泥流を懸念</p> <p><b>&lt;土石流以外&gt;</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●火口の位置</li> <li>●火山碎屑物の分布（噴石の大きさ）</li> <li>●溶岩流・溶岩ドーム等</li> <li>●噴火様式</li> </ul>
地震災害 因（地震誘因）	<p><b>&lt;自然斜面&gt;</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●地すべり</li> <li>●がけ崩れ</li> <li>●落石</li> <li>●斜面崩壊</li> </ul> <p><b>&lt;宅地造成地&gt;</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●盛土造成地の滑動崩落</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>●崩壊等の発生箇所</li> <li>●地すべりブロックの形</li> <li>●地すべり特有の微地形（滑落崖、段差、溝等）</li> <li>●湧水、地下水位</li> <li>●建物・擁壁等の変状（亀裂、傾倒、倒壊等）</li> <li>●滑動していない周辺の地形・環境の変化</li> <li>●周囲の地すべり分布</li> <li>●保全対象の位置</li> <li>●既設地すべり・急傾斜地崩壊防止施設の位置</li> <li>●被災箇所へのアクセス路など</li> </ul>



## ②災害時の無人化施工の可否判断のための必要情報と判断者の役割に関する整理

### 無人化施工への判断

- ▶ 施工者・コンサルの取得した情報（視点・レベル）を発注者が理解できるようになるかどうか。地方整備局のなかでの温度差を無くす必要がある。
- ▶ 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。情報共有と役割を明確化する
- ▶ 発注者・管理者とコンサル，施工者における情報の流れを一方通行にしない
- ▶ 無人化施工の適用を判断する段階では，実際に3者会議等が設定されるが，同じ目線で協議する場が必要（発注者・管理者，コンサル，施工者，研究機関等）



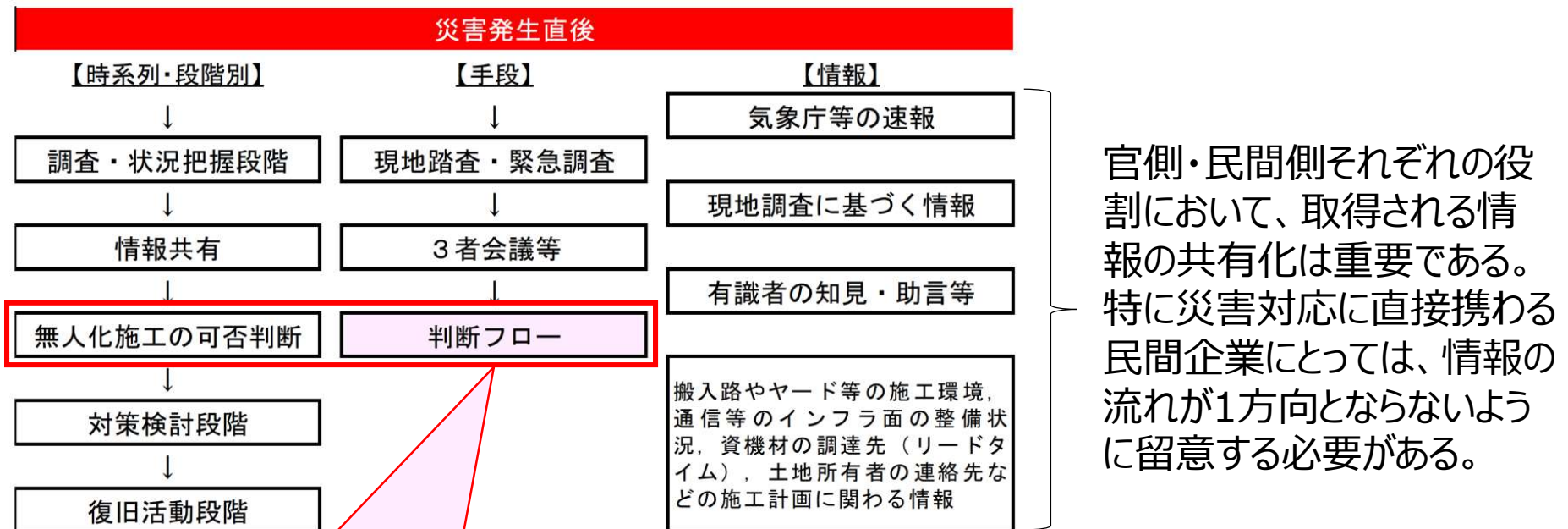
### 情報の共有化

- ▶ 発注者・官側，コンサル、施工者、研究機関における役割の明確化
- ▶ 調査段階での情報の共有化
- ▶ 大きな柱として、二次災害のリスクアセスメントの実施による危機感の共有（人が立ち入ることが出来ない）

## ②災害時の無人化施工の可否判断のための必要情報と判断者の役割に関する整理

### 災害時の初動対応における基本的な流れの整理

- 無人化施工の可否判断フローを検討する前に、災害時の初動対応における基本的な流れを整理した。
- 時系列的な流れのなかに無人化施工の適用の可否判断に必要なとなる情報や各段階における官側・民間側の役割を整理することにした。



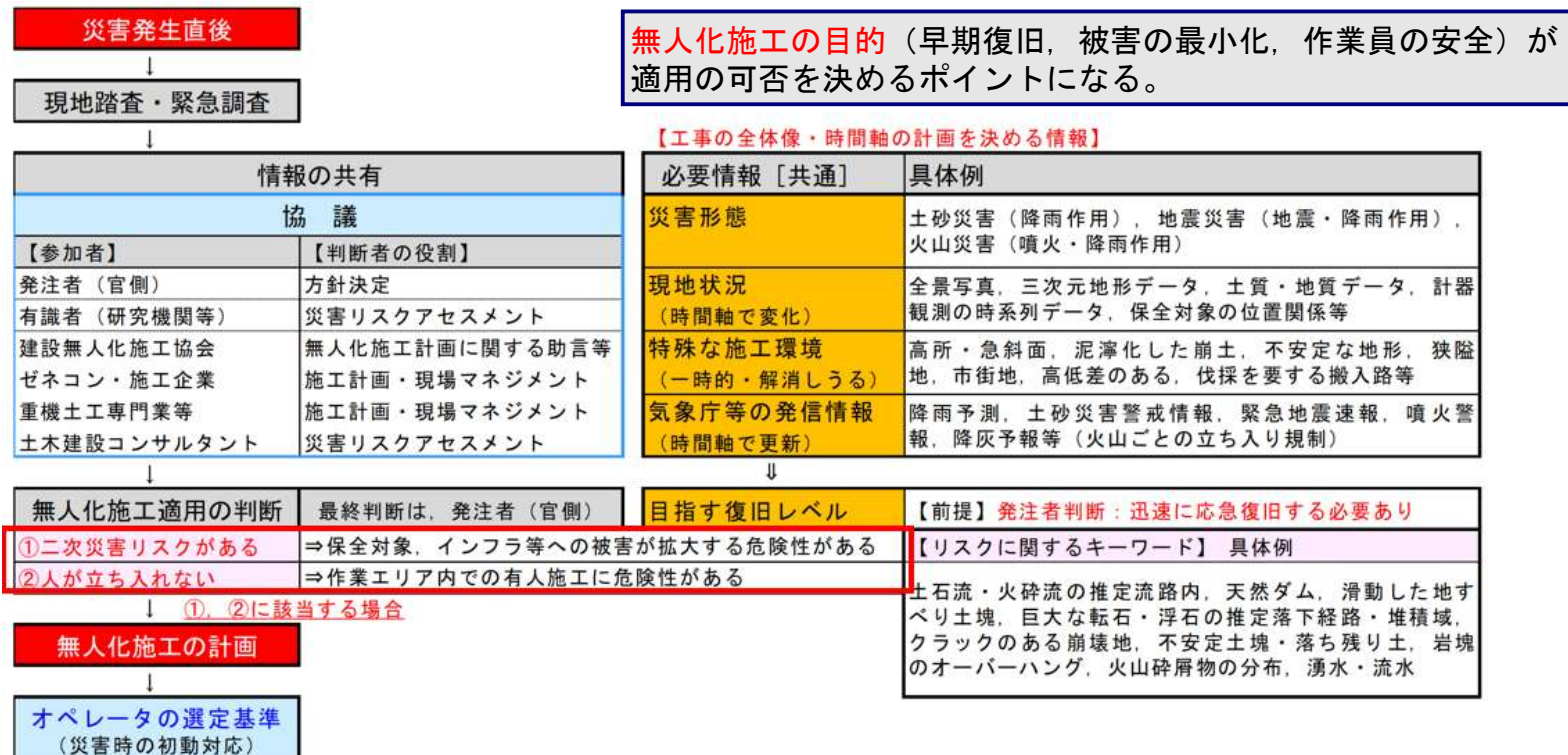
災害発生後、迅速に無人化施工の適用の可否判断を進める必要がある。

## ②災害時の無人化施工の可否判断のための必要情報と判断者の役割に関する整理

### 無人化施工の可否判断フローの提案（災害時の初動対応）

■「災害時の無人化施工の可否判断のための必要情報と判断者の役割に関する整理」のとりまとめとして、**判断フロー図**を作成した。個別ヒアリング結果を踏まえ、①協議する場の参加者と判断役割、②工事の全体像・時間軸の計画を決める必要情報、③リスクに関するキーワードを具体的に整理した。

※判断フローに明示することが、適切な無人化施工の遂行につながる



# 災害時に無人化施工を迅速に遂行するための留意点

- 災害発生直後の初動対応にも**準備期間**は必要で、オペレータが慣れるのを待つ時間的余裕はない。
- 無人化施工の適切な遂行には、重機土工専門業等との平時の関係性構築が大切だが、さらに**迅速に遂行する**ためには、**別の視点での工夫**も効果を発揮すると考えられる。



地すべり発生後8日目の頭部排土の無人化施工 (松江国道事務所)

## ●直接目視の優先導入:

初めからモニター方式での大規模な遠隔操作システムを計画すると、準備期間も長期化する。特に災害発生直後の初動対応では、リードタイムは短い場合が多いと考えられるため、まずは、直接目視での無人化施工が適用できるかどうかを検討するのがよい。

## ●環境状況に基づく無人化施工の適用:

災害リスクアセスメントによる有人/無人エリアの境界設定は難しい判断となるが、夜間のみ、降雨中のみ、無人化施工を適用する方針とすれば、判断は容易。

アンケート調査で集約した事例でも、**地すべり**の現場では、**直接目視**が適用されている。萬徳ほか(2022)によると、直接目視でも**準備期間は1週間程度**とされている(慣れるのを待っていると、さらに1週間要す)。

# 災害時に無人化施工を迅速に遂行するための留意点

- 2021年7月に発生した熱海市土石流（谷埋め盛土の崩壊）でも、**直接目視**による除石が遂行された。
- 当現場では、クラウドカメラ等の**デジタル技術**も活用した**監視体制**が構築されている。
- このほか、**資機材の搬入路・補給路**も実現場では重要な要素。火山減災の計画的取組が参考になる。

工事現場となる通初川では、不安定な土砂がいつ流出するかわからない中での作業となります。そこで、安全対策として無人化施工を採用するとともに、デジタル技術を積極的に活用しました。

## 無人化施工

既設堰堤に準備した土砂の搬去作業にあたり、作業員の安全を確保するため、バックホウを遠隔操作して土砂搬去を行いました。また、当初は既設堰堤への進路が通れなかったため、ヘリコプターでバックホウを搬入し、準備した土砂もヘリコプターで搬出しました。



無人化バックホウによる既設堰堤への搬入作業

## デジタル技術の活用

まず現場全体の電気通信基盤を整備の上、クラウドカメラを架設台設置し、昼夜作業時の安全確認や、工事進捗等がパソコン・スマホなどでいつでもわかるようにしました。これにより、作業員の安全意識の向上が期待できるとともに、豪雨で危険な際でも遠隔で現場確認ができます。

次に、GNSS<sup>※1</sup>を内蔵した専用デバイスを使用し建設機材や工事関係者の位置や稼働状況を、タブレットやPCの専用アプリをもとにデジタルツイン<sup>※2</sup>で可視化することにより、受発注者および他の工事関係者が現場内の稼働状況を、リアルタイムで共有する事が可能になるとともに、緊急時の迅速な避難誘導も可能となりました。



クラウドカメラ

※1 Global Navigation Satellite System: 全球測位衛星システム

※2 デジタルツイン: 複製データなど膨大な情報をもとに、現実の世界をコンピュータ上で再現する技術のこと  
本現場におけるデジタル技術活用システムは受注者の大成建設(株)が開発

熱海市土石流後の除石の無人化施工（富士砂防事務所「ふじあざみ」）

## ● デジタル技術の活用：

クラウドカメラ等による監視体制の構築や画像SfM解析による三次元点群データの作成は、必要情報を迅速に共有するのに役立つデジタル技術である。

## ● インフラ面の整備：

火山災害の場合、あらかじめ火山ごとに緊急減災対策が計画されているため、噴火シナリオに応じて、ブロック積み堰堤工に使用するコンクリート部材を備蓄できる（準備期間の短縮化）。電気通信基盤の整備状況も、あらかじめ整理しておくのがよい。

遠隔操作システムを支える**映像**や**音声通信**等の**インフラ**は、カメラの物理的な配置や電波障害の問題等により、**作業エリア内の安全性**や**施工効率の安定性**に影響を与えるおそれがある。遠隔操作を迅速に、広く展開するには、**機械の選定ノウハウ**や**材料・プレキャスト製品の開発**など様々なアプローチを検討するのが有効。