

災害発生時に貢献可能な無人化施工技術

無人化施工技術の発展に向けて

(一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 ○篠原 雅人

1. はじめに

昨今、集中豪雨、巨大地震、火山噴火といった災害発生時の危険性は高まっており、これら災害発生時の応急復旧工事等で活躍する無人化施工技術の適用範囲・場面の拡大が社会的に求められると考える。

無人化施工では、人間の判断支援に必要な映像やセンサ情報、遠隔操作技術、通信設備等が組合せられ、適用範囲の拡大に向けては、さらに核技術の組合せ・融合が必要と考える。

2. 目的

本稿の目的は、無人化施工技術の技術革新に向け、災害発生時の問題点・課題をまとめるとともに、現時点でこれら問題点・課題の解決に貢献出来ると想定される具体的な既存技術の組合せについて提案を行ったものである。

3. 方法

3.1 現状の災害発生時における問題点・課題

まず、現状での災害発生時の問題点・課題は、

次に示す文献・雑誌等（平成 22 年度～平成 26 年度）から収集した内容に、過去の無人化施工関連の業務経験を加えた。

- ・ 建設施工と建設機械シホジウム
- ・ 建設機械
- ・ 建設の施工企画

3.2 問題点・課題解決に貢献する技術の提案

想定した問題点・課題の解決に貢献可能な具体的な既存技術の組合せ等を提案する。

3.3 提案技術の実用化に向けた問題点

提案した既存技術の組合せ等を災害発生時に利用するため、実用化上で生じる問題点を想定する。

4. 結果

4.1 現状の災害発生時における問題点・課題

文献・雑誌等及び過去の業務経験を加え災害発生時に無人化施工を使用する場合に想定される現状の問題点・課題（11 件）を表一 1 にまとめた。

表一 1 想定した問題点・課題想定一覧

利用場面の分類	問題点・課題番号	対象作業項目	無人化施工導入時の技術的課題
設計・積算	事前調査	1 被災後における地形形状の把握 ^{*1}	災害箇所近郊に基準・水準杭が存在するとは限らないため、普段使用する測量技術が利用出来ず、被災後の地形形状を安全かつ早期に実施困難である。
		2 要救護者の探索 ^{*1}	災害復旧箇所において、広い範囲の生体反応(要救護者)を効率的に調査可能な技術がなく、要救護者の有無判断に時間を要する。(中・小規模災害を除く)
	無人化施工の適用性検討	3 応急復旧時における現場形状の把握 ^{*2} (被災後における地形形状の把握)	応急復旧箇所近郊に基準・水準杭が存在するとは限らないため、普段使用する測量技術が利用出来ず、被災後の地形形状を安全かつ早期に実施困難である。
		4 災害現場の地盤強度取得 ^{*2}	計画搬入出路・応急復旧工事箇所におけるトラフィカビリティの判定値を効率的に調査・収集可能な技術がなく、この調査に時間を要する。
		5 無人化適用工事・工種の選定 ^{*2}	地元請負業者が、無人化建機・設備を扱った経験が少なく、無人化建機・設備に適用可能な工事・工種に制限があることを知らず、選定に時間を要する。
	概略検討	6 計画工程の立案 ^{*2}	地元請負業者が、その経験不足から無人化施工の作業効率が操作者個人の空間認知能力に依存することを知らず、計画工程立案に時間を要する。
		7 無人化建機・設備の選定 ^{*2}	応急復旧工事周辺が狭隘・狭小の場合があるため、既存無人化建機・設備等の機材搬入が困難である。
施工	8 道路啓開	道路啓開用建機・設備の選定 ^{*2} (無人化建機・設備の選定)	道路啓開箇所周辺が狭隘・狭小の場合があるため、既存無人化建機・設備等の機材搬入が困難である。
	応急復旧工事復興工事	9 無人化建機の遠隔操作 ^{*2} (無人化シミュレータによる訓練)	操作者が、普段の工事において無人化建機を遠隔操作しておらず操作に不慣れなため、遠隔操作が必要な時に対応困難である。
		10 無人化付属設備・関連設備の操作訓練 ^{*2} (無人化シミュレータによる訓練)	施工者が、普段の工事で無人化付属設備・関連設備(照明車、カメラ車等)を扱っておらず、これらの操作に不慣れなため、操作が必要な時に対応困難である。
平時	無人化施工の日常教育	11 無人化シミュレータによる訓練 ^{*2}	施工者・操作者が、普段の工事で無人化建機・付属/関連設備を扱っておらず、これらの操作に不慣れで、これら操作方法を日常的に訓練出来ない。
適用		^{*1} 主に発注者が行う作業 ^{*2} 主に施工者が行う作業	

4.2 問題点・課題を解決可能な技術の提案

前述した問題点・課題（11件）の解決に貢献出来ると期待する既存技術の組合せ等を表—2に提案する。また、これら提案技術の検討に際し、想定した理想像と提案技術を以下に示す。

(1) 被災後における現場形状の把握

基準・水準杭がない被災地において地形測量を行うためには、電子基準点を利用し空中から地形測量を行うことが理想的と想定した。この対応には、ネットワーク型 RTK-GPS を用いた UAV (Unmanned-Aerial-Vehicle; 無人航空機) 測量を提案する。

(2) 要救護者の探索

短時間で広範囲の要救護者を発見するためには、短時間で広範囲に渡って調査可能な生体反応センサと、収集したデータで要救護者の分析・判断を防災拠点等で一括して行えるシステムの適用が理想的と想定した。この対応には、災害地での人命救助で利用可能なセンサには、電磁波探査装置や二酸化炭素探査装置、バイタルセンサ等があるが、比較的広範囲の空間検索が可能で、災害地における適用実績がある電磁波探査装置¹⁾を提案すると共に、収集したデータから要救護者の位置・人材等の投入判断を行うために必要な情報を防災拠点へ一括提供可能な PDA と携帯電話の組合せを提案する。

(3) 応急復旧時における現場形状の把握

基準・水準杭がない応急復旧工事や復興工事において地形測量を行うためには、電子基準点を利用し空中から地形測量を行うことが理想的と想定した。この対応には、上記(1)と同じ技術を提案する。

(4) 災害現場の地盤強度取得

短時間で必要範囲のトリアクビリティ判定値を判断するためには、計測環境に制限の少なく連続的にトリアクビリティ判定値を収集可能なセンサと、トリアクビリティを一括判断する防災拠点等に収集データを集積するシステム適用が理想的と想定した。

この対応には、道路啓開箇所や応急復旧箇所のトリアクビリティを判定可能なセンサには電気探査装置²⁾を提案すると共に、収集データからトリアクビリティの判断や必要な対策検討を行うために必要な情報を防災拠点等へ一括提供可能な技術は上記(2)と同じである。

(5) 無人化適用工事・工種の選定

施工者が無人化施工の対応工事・工種を理解するためには、現状の応急復旧・復興工事において不足する工事・工種の新たな無人化施工建機等の技術開発が必要と想定した。本稿では開発例として土砂崩れ時等で設置する大型土のうの遠隔操縦式設置装置³⁾を紹介する。

(6) 計画工程の設定

操作者個人の空間認知能力に依存せず安定した作業効率を得るためには、遠隔操縦であっても建機搭乗した感覚で操作が行える新たな技術の適用が理想的と想定した。この対応には、空間認知能力に依存せず、遠隔操縦が可能となるよう3次元映像と体感型操作環境を活用した遠隔操作支援システムを提案する。

(7) 無人化建機・設備の選定

狭隘・狭小箇所の応急復旧工事に小型無人化施工建機・設備の適用を想定した。この対応には、無人化施工と情報化施工に対応可能な小型ブルドーザ(0.008t, 0.01t級)を提案する。

(8) 道路啓開用建機・設備の選定

狭隘・狭小箇所の道路啓開用に、小型無人化施工建機・設備の適用が理想的と想定した。この対応には上記(7)と同じ技術を提案する。

(9) 無人化建機の遠隔操作

無人化建機の遠隔操作支援として無人化施工建機(車載カメラ映像、俯瞰カメラ映像等含む)の操作シミュレータの適用が理想的と想定した。この対応には、カメラ映像と組み合わせ可能な VR(Virtual Reality; 仮想現実)を提案する。

(10) 無人化付属設備・関連設備の操作

無人化施工建機設備操作支援として操作シミュレータの適用が理想的と想定した。この対応には実空間と組み合わせ可能な AR(Augmented Reality; 拡張現実)を提案する。

(11) 無人化施工の日常教育

日常教育支援技術として無人化施工設備等の操作シミュレータ適用が必要と想定した。この対応には上記(10)と同じ技術を提案する。

4.3 提案技術における実用化上の課題

提案技術における実用化に向けた課題を表—3にまとめる。この詳細を以下に示す。

(1) ネットワーク型 RTK-GPS を用いた UAV 測量

災害復旧・復興工事におけるネットワーク型 RTK-GPS 測量を用いた UAV 測量の実績は現時点では少ない。⁴⁾

(2) 生体反応センサ+データ集約・提供装置

防災拠点等へ一括提供可能な技術やセンサとしての実績や装置の配備計画、運用体制等の整備が課題である。²⁾

(3) トリアクビリティ判定センサ+データ集約・提供装置

上記(3)と同様な課題がある。

(4) 無人化建機・設備の対応工事・工種拡大

紹介した大型土のう設置装置は、現時点で様々な適用性検証が課題である。

(5) 空間認知能力に依存しない遠隔操作支援

既に開発された「次世代無人化施工システム」⁵⁾では、構成機器が誰もが利用可能、個人差のないような運用面での支援が課題である。

表 2 問題点・課題解決に貢献する技術（提案）の一覧

問題点・課題番号	(仮)システム名	概要	提案技術イメージ	解決貢献技術番号
1	ネットワーク型 RTK-GNSS を用いた UAV 測量システム	<ol style="list-style-type: none"> ネットワーク型 RTK-GNSS を 3 次元基準点とする UAV UAV に搭載した 3 次元測量装置 	<p>GNSS 衛星 (GPS, GLONASS)</p> <p>既知点の GNSS 観測データ</p> <p>レーザスキャナ、デジタルカメラ、通信端末</p> <p>ネットワーク型 RTK-GNSS 受信機</p> <p>ネットワーク型 RTK-GNSS 新点の GNSS 観測データ</p> <p>情報配信サービス会社</p> <p>電子基準点 (既知点)</p> <p>被災地</p> <p>UAV (無人飛行体)</p> <p>3 次元測量装置 (ネットワーク型 RTK-GNSS 対応) を搭載した UAV 測量 (案)</p>	No.1
3				
2	防災拠点一括管理・提供型人命救助支援システム	<ol style="list-style-type: none"> 短時間で広範囲の生体反応を調査可能な電磁探査装置 個別に収集したデータを集約し、防災拠点に一括提供可能な装置 	<p>被災地</p> <p>被災地</p> <p>被災地</p> <p>電磁探査装置</p> <p>データ集約管理装置</p> <p>防災拠点</p> <p>防災拠点一括管理・提供型人命救助支援システム (案)</p>	No.2
4	防災拠点一括管理・提供型トリアクビリティ判断支援システム	<ol style="list-style-type: none"> 連続的にトリアクビリティ判定値を収集する電気探査装置 個別に収集したデータを集約し、防災拠点に一括提供可能な装置 	<p>被災地</p> <p>被災地</p> <p>被災地</p> <p>電気探査装置</p> <p>データ集約管理装置</p> <p>防災拠点</p> <p>防災拠点一括管理・提供型トリアクビリティ判断支援システム (案)</p>	No.3
5	(例) 無人化施工対応式大型土のう設置装置 土のう設置装置 玉掛け・玉外し支援装置	<ol style="list-style-type: none"> 土のう設置装置 先端カメラ (遠隔操作支援) 磁気吸着装置・土のう袋体用磁石 (玉掛け支援) 傾斜センサ (作業上の安全対策) 3次元マシンガイダンス 	<p>設置装置傾斜センサ</p> <p>先端カメラ</p> <p>土のう設置装置</p> <p>3次元マシンガイダンス</p> <p>磁気吸着装置</p> <p>土のう袋体用磁石</p> <p>(例) 大型土のう設置装置</p>	No.4
6	建機搭乗環境感型遠隔操作支援システム	<ol style="list-style-type: none"> 3次元カメラ (運転室視認再現用) 先端カメラ (運転室視認再現用) 振動計 (運転席振動再現用) 全方位カメラ (建機周辺安全対策用) 3次元マシンガイダンス 	<p>3次元カメラ</p> <p>先端カメラ</p> <p>ワイヤレスマイク</p> <p>振動計 (運転席)</p> <p>通信機器 (遠隔操縦室へ)</p> <p>3次元マシンガイダンス</p> <p>全方位カメラ (複数台のカメラ映像を結合)</p> <p>遠隔操縦室</p> <p>3次元映像</p> <p>全方位映像</p> <p>先端映像</p> <p>運転席音</p> <p>運転席振動</p> <p>3D映像と体感型操作環境を活用した無人化施工システム (案)</p>	No.5
7	小型無人化建機 (仮設道路整備用・応急復旧工事用) / 小型無人化設備	<ol style="list-style-type: none"> ミニ油圧ショベル (狭隘・狭所箇所での道路啓開等作業支援 / 人手による作業軽減) 3次元マシンコントロール 	<p>0.01t 級ブルドーザ</p> <p>3次元マシンコントロール</p> <p>仮設道路整備用・応急復旧工事用ブルドーザ (案)</p>	No.6
8				
9	遠隔操作支援システム / 遠隔操作シミュレータシステム		<p>災害復旧現場</p> <p>マーカ (既知点)</p> <p>ウェアラブル端末を介した操縦者の目視映像</p> <p>位置・向き特定装置</p> <p>映像記録装置</p> <p>音声記録装置</p> <p>ウェアラブルカメラ</p> <p>ウェアラブル装置</p> <p>情報記録端末に接続</p> <p>ウェアラブル端末に接続</p> <p>情報記録装置</p> <p>VR 技術</p> <p>カメラ映像</p> <p>操縦者が見るカメラ映像</p> <p>1cm 不足</p> <p>最初の操作</p> <p>遠隔操作室</p> <p>30cm 不足</p> <p>実空間</p> <p>情報記録端末</p> <p>ノートパソコン (情報記録用)</p>	No.7
10	複数俯瞰カメラ操作支援システム / 複数俯瞰カメラシミュレータシステム	<ol style="list-style-type: none"> 車載カメラ / 俯瞰カメラ等を用いた遠隔操作支援システム 		
11	照明装置等操作支援システム / 照明装置等シミュレータシステム	<ol style="list-style-type: none"> 無人化設備のシミュレータ技術 		

(6) 小型建機

提案した小型油圧ショベルは、現時点では災害現場への適用実績が乏しく、この導入に要する費用負担に問題がある。

(7) 無人化シミュレータ技術の開発

VRとカメラ映像の組合せ⁶⁾は実装可能と考えるが、遠隔操作支援システムとして技術開発は進んでおらず、同様にARと実空間と組合せは実装可能^{7),8)}と考えるが、無人化設備用シミュレータとして技術開発は進んでない。

表一 3 問題点・課題の解決に貢献可能な無人化施工技術の実用化に向けた課題

解決貢献技術番号	提案技術を実用化する上で想定される課題
No.1	・現時点で提案される UAV+ネットワーク型 RTK-GNSS は後処理方式 ⁴⁾ であり、測量結果入手までにタイムラグ(1 日程度)がある上、実験段階である。 ・ UAV 飛行に関する免許制度等の安全対策は、現時点まで開発メーカー等の各社に委ねられている。
No.2	・探索範囲の土中水分が高いと適用出来ない場合があり、適用範囲の検討や適用範囲拡大に向けた開発が必要である。 ・複数の場所で収集されたデータを集約・提供する方法について詳細な検討が必要である。
No.3	・電気探査装置利用に要する人手を軽減・削減できるよう、車載式とするといった研究・開発が必要である。 ・複数の装置で収集されたデータを集約・提供する方法について詳細な検討が必要である。
No.4	・大型土のう設置装置は、実工事での実績、操作者の育成が必要である。 ・大型土のう設置工以外で、早急に対応すべき無人化施工技術が不足する工事・工種を明確にする必要がある。
No.5	・本技術及び構成機器類が日常的に使えよう、汎用性を高めるための利用場面拡大が必要である。
No.6	・現時点では、提案したブルドーザが応急復旧・災害復興工事への適用実績が少ない段階である。 ・提案したブルドーザを無人化施工専用にするには、その経済負担を考慮する必要がある。
No.7	・現時点では、無人化施工建機に関するモニタ映像と VR を組合せた技術開発が進んでいない。 ・現時点では、実空間と AR を組合せたシミュレータの開発が進んでいない。 ・利用場面ごと、実空間と AR を組合せ時に必要となるウェアラブル技術の検討・選定を行う必要がある。

5. おわりに

本稿では、これまでの知見等を踏まえ、現状での無人化施工活用時の課題と対応策の提案をまとめた。しかし、提案の実用化にあたっては、前掲表一 3 に示すように課題も多い。

このため、今後発生が懸念される大規模災害への対応を考えると、早期に対応策の検討を行い、技術を確認することが望まれる。

最後に、無人化施工では必要とされる情報が多数に渡り、多分野の技術融合が必要であり、現場条件も多様である。さらに、技術革新も著しいことから、本稿提案以外の解決策等も検討する必要があると考える。

このため、今後も無人化施工の知見を整理するとともに、災害現場の課題や技術発展への期待を取りまとめ、情報発信を行っていきたい。

参考文献

- 1) 消防庁国民保護・防災部：土砂災害時の救助活動のあり方について、平成26年度 救助技術の高度化等検討会報告書、pp.2～33、平成27年3月
- 2) 松野 浩嗣：災害情報と被災情報を共有する自律的な無線ネットワークシステム、信学技報、SIS2011-43・2011-12、pp19～24、平成23年
- 3) 布宮 明道・伊藤 秀樹：遠隔操縦式バックホウ用大型土のう設置装置の開発、建設マネジメント技術、2015年6月号、pp.55～60、平成27年6月
- 4) 名草 一成・島田 徹・桜井 亘・酒井 良・奥山 悠木・富井 隆治：2周波GPSシフト撮影システムを搭載したUAV撮影の精度検証、日本写真測量学会年次講演会東京

- 大学生産技術研究所、A-4、pp11～14、平成27年5月
- 5) 上條 宏明・古屋 弘・清水 千春：三次元映像技術等を活用した「次世代無人化施工システム」の開発、建設機械、2013.5.9号、pp.8～13、平成25年
- 6) 栃尾 篤志・山下 竜太・吉村 宏紀・松村 寿枝・清水 忠昭：Kinect とHMD によるVR ユーザ・インタフェースの試み、第12回情報科学技術フォーラム、FIT2013・K-002、pp. 523～526、平成26年
- 7) 和田 和美：360 度全方位動画コンテンツ作成と再生配信及びアプリケーションの模索、静岡文化芸術大学研究紀要、VOL.14・2013、pp. 151～157、平成26年
- 8) 望月宏史・岩田満・三木健司：協調的3D 位置検出アーキテクチャUbic3D の基本アルゴリズムの実現と適用、映像情報メディア学会技術報告、3DIT2014-28・HI2014-55、pp41～44、平成24年