

8. 建設機械施工の自動化・遠隔化技術の普及による施工のオートメーション化に向けた取組

国土交通省大臣官房参事官（イノベーション）グループ施工企画室

○ 松沢 啓太
中根 亨

1. はじめに

国土交通省では、将来的な建設業の担い手不足に備え、2016年度から建設現場の生産性向上を目指し、調査・測量から設計、施工、検査、維持管理・更新までのあらゆる建設生産プロセスでICTを活用する等、i-Construction¹⁾を推進してきた。2024年度からは、i-Constructionの取組を深化し、更なる抜本的な建設現場の省人化対策を「i-Construction 2.0」²⁾として、「施工のオートメーション化」、「データ連携のオートメーション化」、「施工管理のオートメーション化」に取り組むことで、建設現場のオートメーション化の実現を目指している。（図-1）今回は、特に「施工のオートメーション化」における取組について記載する。

現在、建設現場では経験豊富な技術者の指揮の下、施工計画を作成し、工事工程を定めた上で、指示を受けたオペレータが建設機械に搭乗し操作を行っている。「施工のオートメーション化」では、1人当たりの生産能力を向上するため、各種センサーにより現場の情報を取得し、AIなどを活用して自動的に作成された施工計画に基づき、1人のオペレータが複数の建設機械の動作を管理できるようになることを目指している。

i-Construction 2.0（建設現場のオートメーション化）

国土交通省

- 建設現場の生産性向上の取組であるConstructionは、2040年度までの建設現場のオートメーション化実現に向け、i-Construction 2として取組を深化。
- デジタル技術を最大限活用し、少ない人数で、安全に、快適な環境で働く生産性の高い建設現場を実現。
- 建設現場で働く一人ひとりの生産量や付加価値を向上し、国民生活や経済活動の基盤となるインフラを守り続ける。



i-Construction 2.0 で2040年度までに 実現する目標

- 省人化
・人口減少下においても持続可能なインフラ整備・維持管理ができる体制を目指す。
- 安全確保
・建設現場の死亡事故を削減。
- 働き方改革・新3K
・屋外作業のリモート化・オフサイト化。

図-1 i-Construction2.0 の全体像

「施工のオートメーション化」の推進には、建設機械施工の自動化・遠隔化技術が重要な役割を担うが、現状として、現場毎の安全対応、各機器・システム毎の開発となっており、より効率的な開発及び普及環境の整備が求められている。国土交通省では令和3年度より、関係する業界、行政機関及び有識者からなる分野横断的な「建設機械施工の自動化・自律化協議会」（以下、「協議会」という）を設置し、建設機械施工の自動化・遠隔化技術について、現場状況を踏まえた適切な安全対策や関連基準の整備等について議論を進めてきた。（図-2）

本稿では、本稿では、協議会において策定・改訂した、自動施工の安全ルールに加え、国土交通省における建設機械施工の自動化・遠隔化技術の普及についてこれまでの経過と今後の展望を述べる。

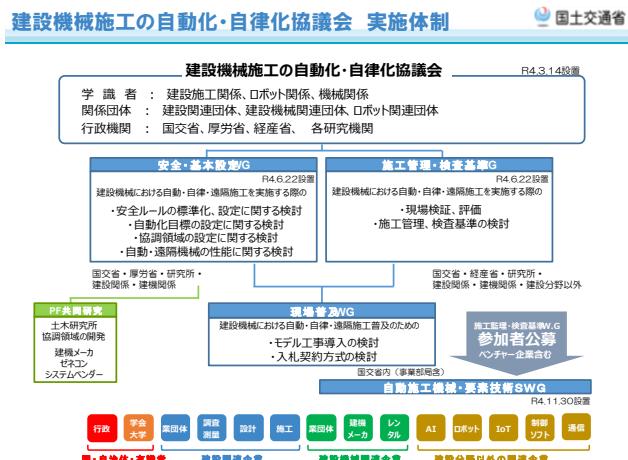


図-2 建設機械施工の自動化・自律化協議会の体制

2. 「自動施工における安全ルール」について

自動施工の現場適用においては、現場毎にゼロから安全対策を検討する必要が生じており、どの程度の水準の対策が必要であるか判断する基準がないため、関係者との調整に時間を要する他、現場毎に安全対策の水準にばらつきが生じたりする等の課題がある。また、有人の施工現場を前提とした

既存のルールを自動・遠隔施工の現場にそのまま準用すると、過剰な安全対策を講じなければならなくなる懸念がある。

上記を踏まえ、自動・遠隔施工の普及促進を図るためにには、この特徴に即した標準的な安全ルールを策定することが必要である。

安全ルールは、「自動・遠隔施工を実施する施工会社が、安全対策を検討する上で参考する資料」として位置づけられるものとしている。

また、あらゆる条件の現場で講じるべき全ての安全対策を列挙することは事実上不可能であることから、条件の異なる現場においても共通的に講じるべき安全対策を示す性質のものとして、現場検証を踏まえ、「自動施工における安全ルール Ver.1.0」を2023年度に策定した。(図-3)

2.1 エリア分けについて

安全ルールでは、自動施工を行う区域を「エリア」とし、人や立ち入り制限を目的に「エリア」を次の3つの区域で構成されることとした。

「無人エリア」：自動施工を行うため、原則として作業員、建設機械オペレータ、有人建設機械などが立ち入らないエリア

「立入制限エリア」：自動建設機械が予期しない動作を行った場合においても、自動建設機械がその範囲を逸脱せず、原則として人が立ち入らないエリア

「有人エリア」：人が搭乗した建設機械が施工を

行い、原則として自動建設機械及び遠隔建設機械が立ち入らないエリア

有人ダンプトラックによる土砂の積み下ろしなど、有人建設機械が一時的に立ち入ることを考慮し、有人エリア、立入制限エリア、無人エリアの境界に「中継区域」を設定する。本区域は建設機械に登場しない作業員は立ち入らないものとし、オペレータは有人建設機械から降車しないものとする。

2.2 その他の安全ルール

必要な保護方策の内容や担い手が従来の有人施工と異なることから、自動・遠隔施工の担当者を「製造者等」・「販売者等」・「施工者等」・「使用者等」と定義し、それぞれがどのような保護方策を担うかを整理している。

そして、自動・遠隔施工における安全方策を、自動施工中の安全を確保するための安全方策（「自動施工における安全方策」）と使用する自動建設機械や設備に求める安全方策（「自動建設機械や設備に求める安全方策に必要な機能」）に分け示した。

「自動施工における安全方策」：施工者等は、「無人エリア」「有人エリア」「立入制限エリア」を必要に応じて設定しなければならないとし、各エリア内の安全管理と運用について示している。

「自動建設機械や設備に求める安全方策に必要な機能」：主に自動施工実施者が、自動施工の実施にあたり、使用する自動建設機械や設備に求める安全方策に必要な機能を示している。

「自動施工における安全ルール Ver.1.0」について



概要

- ・「建設機械施工の自動化・自律化協議会」で検討され2024年3月に公表
- ・本ルールで示すの標準的な安全方策あり、現場条件より別の安全方策に代えるなど柔軟に対応
- ・自動化技術の使用状況、安全技術の進展状況などを踏まえ、今後も必要に応じて修正

「自動施工における安全ルール Ver.1.0」において規定される主な内容

項目	主な規定内容
安全確保の原則	リスクアセスメントと保護方策の立案により、リスクを許容可能な程度まで低減すること
関係者の役割	製造者等、販売者等、施工者等、使用者の各役割、および関係者の連携によるリスクアセスメントを実施すること
エリアの設定	エリアの構成（無人エリア、立入制限エリア、有人エリアの3つの区域および一時的な中継区域、下図参照）、エリアの区割方法、逸脱・進入防止対策、エリア変更時の関係者への周知など
エリアの運用と安全方策	エリアへの進入退出時の手順の制定、各機械の操作者の選任、監視者の選任、運用体制の確立、不具合の対処方法の確立と安全確保、教育訓練など
自動建設機械や設備の安全方策に必要な機能	自動建設機械の非常停止システム、自動建設機械の自動停止、表示灯の具備など



図-3 「自動施工における安全ルール」 Ver.1.0

主に、非常停止システム・自動停止などのイレギュラーな事態が発生した場合に停止する機能を自動施工実施者は具備することとし、その他、表示灯等で示す情報の具備や人・障害物検知機能の仕様、無線通信網についても整理した。

2.3 安全ルールの試行

2024年度では、実工事における策定した安全ルールの試行を実施した。国土交通省の直轄工事において、自動施工技術を実装している工事を選定し、安全ルールに沿った方策を実施した。その後、安全ルールを現場に適用した際の、現場への適用性や実態との齟齬や課題などについてヒアリングを通して検証した。

試行対象の4現場についてのアンケートおよびヒアリング結果を以下に示す。

2.3.1 エリア設定について

【問】当該工事で設定したエリアの種類や大きさは、安全ルールに対応しているか。

【回答】

- 無人エリア、有人エリア等のエリア分けを現場内で実施。
- 安全を確保できる十分な面積も確保している。
- 無人、立入禁止エリアは、バリケードで区画。
- エリアを明示することにより認識可能にしている。
- 逸脱、侵入防止対策を現場内のルールと機械機能とシステム等の組合せにより実施。
- 接触防止対策はセンサとシステムにより実施。

2.3.2 機械的な機能について

【問】実装している人・障害物検知機能について。

【回答】

- レーザースキャナやICタグと磁界を利用した検知機能。
- LiDARセンサにて障害物・人を検知して停止する機能搭載。

【問】自動施工における無線通信網について。

【回答】

- 『建設現場ネットワークの構築と運用ガイドライン』³⁾に即して通信網を構築。
- 無線会社にて現地調査を実施し使用可能なチャネルを選定。

【問】自動と搭乗の切替スイッチ他について。

【回答】

- 搭乗操作が可能であるためキャビン内に切替スイッチを具備。

【問】表示灯の具備について。

【回答】

- 表示灯を具備している、表示灯の情報は現場内で掲示板にて周知。

【問】自動建設機械の自動停止について。

【回答】

- 通信が途絶した時には自動停止（エンジンは停止しない）。
- 遠隔操作が可能な管制システムにはエンジン始動・停止と非常停止システムが具備されている。

2.3.3 リスクアセスメントについて

【問】リスクアセスメントは実施したか。

【回答】

- 自動化施工導入時にリスクアセスメントを実施し、作業手順に反映している。また施工状況が変化した際には再検討を実施している。
- 自動施工計画時にリスクアセスメントを実施、ルールに対応

2.4 安全ルールの改定について

自動施工を導入している直轄工事における、自動施工に関する施工者・開発者等の意見を踏まえ、「自動施工における安全ルール」中のリスクアセスメントに関する箇所について追記し改定を行った。すでに安全ルールに記載していた、施工者によるリスクアセスメントに加え、自動施工を実装する建設機械の製造者によるリスクアセスメントについて追記した。追記内容の概要を以下に示す。

○自動施工を行う建設機械の製造者等は、販売者等、施工者等及び使用が緊密に連携して以下の項目を実施する。

- ・機械の設計段階でリスクアセスメントを行い、機械の危険源を特定し、それぞれの危険源ごとのリスクを見積り（適切なリスクの低減が達成されているかの検討を含む）を実施する。
- ・リスクアセスメントの結果に基づき、機械のリスクの低減のための措置の検討及び実施を行うものとする。
- ・上記の措置を講じた後に存在する残留リスクについては、残留するリスクの内容とその対処法についての必要な情報等を、「使用上の情報」として販売者等を通じ、施工者等又は使用者に提供する。「使用上の情報」とは、安全かつ正しい機械の使用を確実にするために、製造等を行う者が、標識、警告表示の貼付、信号装置又は警報装置の設置、取扱説明書等の交付等による指示事項等の情報をいう。

以上のように、2023年度に策定した「自動施工における安全ルール」について、試行検証を元に自動施工を行う建設機械の製造者等によるリスクアセスメントについて追記する改定を2024年度に行い、「自動施工における安全ルール Ver.2.0」を策定した。

3. 遠隔施工の取組

これまで遠隔施工技術は災害現場等の二次災害のリスクが懸念される現場にて導入が進められてきており、災害現場での使用や、一部の工事現場において個別かつ試験的な導入にとどまっている。また、遠隔化技術は安全で快適な場所からの建設機械の操作を可能にすることから、女性や高齢者でも働きやすい環境の整備が期待されている。2024年度では、国土交通省の直轄工事において災害現場以外の21件の工事において遠隔施工を実施した。今後は、さらなる遠隔施工の普及に向け、基準類を整備する方針である。

4. 今後の自動施工の取組

自動施工においては、i-Construction2.0の中の「施工のオートメーション化」において大規模現場での自動施工の実現を目指している。自動施工を先進的かつ自発的に開発・導入している施工者は参考となりうる重要な役割を果たす。また、自動施工の開発・導入を現在行っていないが、関心がある施工者に対して、開発・導入への障壁・労力を小さくすることも自動施工の普及促進には必要不可欠である。地域を基盤とする建設会社による自動施工の実装に向け、汎用的な自動システムの実装による部分自動化を含めた自動化の実装を視野に検討する。また、自動施工に必要な専門知識を持つコーディネータの役割を果たす人材育成のための教材作成、自動施工導入した場合の効果を評価するシミュレータの機能要件整理、建設機械の制御信号の共通化といったような、自動施工の開発・導入のハードルを下げ、自動施工の普及を促す取組を実施していく。

5. おわりに

本稿では、自動施工の安全ルールの策定・改定および遠隔施工における取組について紹介した。建設業は他産業と比較して高齢化率が高く、将来的な担い手不足が懸念される。そのような状況においても、社会資本の整備・維持管理を持続し、国民生活に不可欠なサービスを提供するためには、建設機械の自動・遠隔施工技術の普及は重要な役割を果たす。現在、自動・遠隔施工技術の開発も進展し、実現場への導入事例が増加しつつある。国土交通省としては、さらなる自動・遠隔施工技術の普及を目的に、試行工事の実施、自動・遠隔施工に関するルール・基準類の整備に取り組んでいく。今後も、i-Construction2.0が目指す目標である2040年までに、建設現場の省人化の省人化3割、すなわち生産性1.5倍向上を目指して、自動化・遠隔化技術の普及を進めていく。

参考文献

- 1)国土交通省：i-Construction～建設現場の生産性革命～2016.
<https://www.mlit.go.jp/common/001127288.pdf>
- 2)国土交通省：i-Construction 2.0～建設現場のオートメーション化～2024.
<https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001738240.pdf>
- 3)一般社団法人 日本建設業連合会：建設現場ネットワークの構築と運用ガイドライン 2001初版 2020改訂
nikkenren.com/sougou/10thaniy/pdf/07-03-24.pdf

業務委託先の開示

本報文にて報告した検討を実施するにあたり、基礎的な情報収集及び資料整理の一部を日本建設機械施工協会及び先端建設技術センターに業務委託して行った。