

施工のオートメーション化に向けた取り組み

～建設機械施工の自動化・遠隔化技術の普及に向けて～

国土交通省大臣官房参事官（イノベーション）グループ企画室 ○大野 慎也
中根 亨

1. はじめに

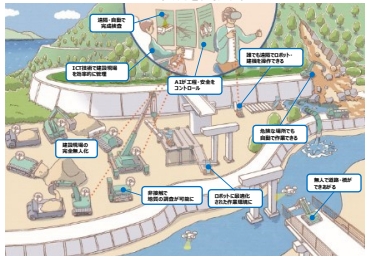
国土交通省では、2016年に建設現場の生産性向上の取り組みとして、ICT施工や、設計・施工におけるデジタル技術の積極的活用など、**i-Construction**を進めてきた。2024年には**i-Construction 2.0**を掲げ、より少ない人数で、生産性の高い建設現場を実現するべく、取組を一層推進していくこととしている。（図-1）**i-Construction 2.0**の取組では、**i-Construction**の取組を深化させ、「施工のオートメーション化」「データ連携のオートメーション化」「施工管理のオートメーション化」の3つを柱としている。中でも「施工のオートメーション化」では、一人当たりの生産能力を向上するため、各種センサ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、一人のオペレータが複数の建設機械の動作を管理することを目指している。「施工のオートメーション化」を推進するための最もコアな技術の一つとして、建設機械施工の自動化・遠隔化技術が期待されている。この技術により、人が搭乗していない建設機械があらかじめ最適化された施工計画に基づき自動的に稼働することで、より安全に、少ない人数で工事を進めることが可能となる。

建設機械施工の自動化技術の現状として、自動化施工の実施者が各々で検討したルールに基づいて実施している。これらの新しい技術に対しては、安全や開発面での統一的な基準がなく、分野横断的に検討すべき項目が多く存在するが、そのような議論は従来ほとんど行われておらず、現場導入に向けた環境も求められている。そこで、国土交通省では令和3年度に「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、関係する業界、行政機関及び有識者の参画のもと、議論を進めてきた。（図-2）本稿では、協議会における自動施工の安全ルールの策定に加え、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。

i-Construction 2.0（建設現場のオートメーション化）

- 建設現場の生産性向上の取組である**Construction 2.0**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 2.0**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やり続ける。

i-Construction 2.0で実現を目指す社会（イメージ）



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。
 - ・2040年度までに少なくとも省人1/2割、すなわち生産性1.5倍を目指す。
- 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。

i-Construction 2.0: 建設現場のオートメーション化に向けた取組
(インフラDXアクションプランの建設現場における取組)

図-1 i-Construction 2.0の全体像

建設機械施工の自動化・自律化協議会 実施体制

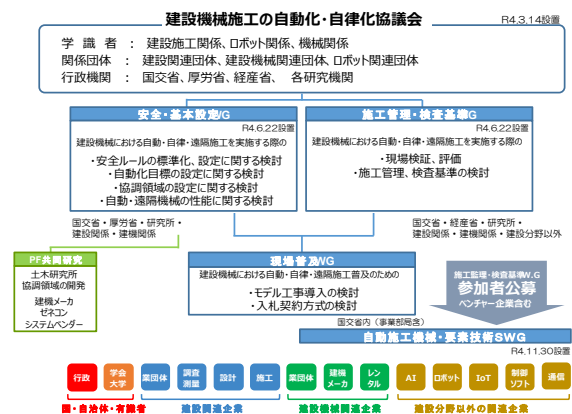


図-3 建設機械施工の自動化・自律化協議会の体制

2. 自動施工における安全ルールの策定

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照する資料」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策定した。策定にあたっては、標準的な安全ルールや現場適用に向けた効果と課題を検証するための現場検証を実施した。

検証技術は、自動・遠隔施工に必要なとなる機能や性能を追加装備する技術を対象としており、既存の各種センサ類の組合せに加え、専用ソフトや制御システム等、多種多様な要素技術を含む(例:安全技術、動作・操作関連技術、周辺環境認知技術、通信技術等)。(図-3)

「自動施工における安全ルール Ver.1.0」について 国土交通省

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)の区域および一時的な中継区域、下図参照)、エリアの区劃方法、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

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

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、また、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。

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」の改良と、「機能要件」の策定

技術の発展に伴い安全ルールが陳腐化することを防ぐため、安全ルール策定後も安全・基本設定WGにてフォローアップを継続していく。そのため、実際に適用している施工現場の調査・ヒアリング等を行い、そこで得られた知見に基づき、安全ルールの改定や対象の拡大を図っていく。

安全ルールでは、「自動建設機械や設備に求める安全方策に必要な機能」として、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。これらの機能を基準値的に詳細に既定するのが望ましいかの調査・検討を含め、自動施工における機能要件のあり方を議論していく。(図-4)

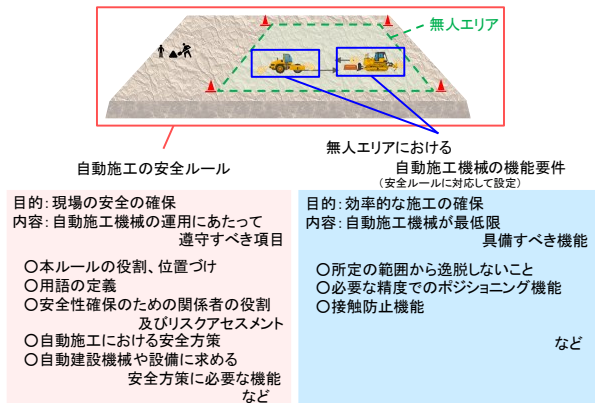


図-4 自動施工の「安全ルール」と「機械の機能要件」

2.4 自動化・遠隔化技術の現場検証の実施方針

令和6年度は、安全ルールの妥当性の確認と先述の自動施工における機能要件策定についての検討材料とするため「建設機械施工の自動化・遠隔化技術の現場検証」を実施する。検証の流れは下記のとおり規定している。

- ①検証の参加者は、事前に具体的な実施内容を記載した検証計画書を作成。
- ②建設DX実験フィールド、参加者保有のヤード、施工中の現場等で検証を実施。
- ③検証結果を報告書として参加者がとりまとめ、WGに共有。
- ④解決が必要な課題についてはWGの知見を活用し、議論を通じて安全ルールの形成。
- ⑤次のステップに進み、検証と解決をスパイラルアップ。

3. 自動施工コーディネーターの育成

自動化技術は、技術開発の途上にあり、中小建設業者には技術そのものや導入のノウハウが無いことから、国内外を含め実現場への適用事例はごく限られている。一方、国内外の建設機械メーカー、大手建設企業だけでなく、スタートアップを含むソフトウェアベンダーなど建設分野以外の企業が参入するなど、新たな市場が形成され始めている。

通常の施工では、施工に際して施工計画や資機材手配などの調整・調達・監督・運用を工程に沿ってそれぞれの専門性を持った関係者と調整しながら工事を進めることが一般的である。一方、自動施工の導入においても基本的な工事の進め方は同様であるが、自動施工においては自動化建機や自動化システムに精通した専門家との調整も自動化施工においては重要となる。これらの自動化技術について熟知し、さらに施工についても知識のある人材は限られているのが現状である。自動化技術の市場が形成されつつある現状において、自動化

技術およびその専門家と工事現場の橋渡し役を担い、自動化技術による施工現場の生産性向上のキーマンとなる人材を「自動施工コーディネーター」とし、育成していく。(図-5)

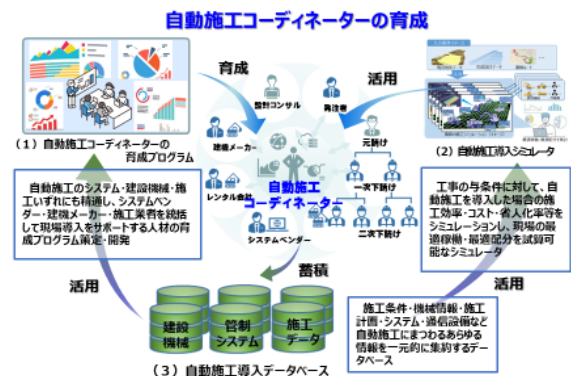


図-5 自動施工コーディネーターの育成

3.1 育成プログラムの検討

施工・自動建設機械・システム・通信設備等の知識・情報を持ち、各関係者との調整を担うことが可能な人材を「自動施工コーディネーター」として育成し、これまで自動施工の導入に踏み切れなかった中小の建設企業への普及促進を図る。

具体的には、自動施工に必要な知識・技能を技術の最新動向を踏まえながら網羅的に調査・整理するとともに、関係企業が社内で人材育成を可能とするための講習等に使用する人材育成プログラムを作成する

3.2 自動施工導入シミュレータの開発の検討

自動施工の導入にあたっては、初期コストやシステム等の運用コスト等の一時的な負担増が避けられない一方、施工の効率化や現場の省人化等の効果があるため、トータルで導入の可否を判断することが必要であるが、自社で技術や機材を所有していない中小建設会社にとってはハードルが高い。

自動施工を導入した場合のコストや効果を試算可能な「自動施工導入シミュレータ」を開発し施工業者に提供することにより、これまで自動施工の導入に踏み切れなかった中小の建設企業への普及促進を図る。

3.3 自動施工導入データベースの構築の検討

自動施工の普及に向けた自動施工コーディネーターの育成や自動施工導入シミュレータの開発にあたっては、自動建設機械やその管理・運用システム、また自動施工を含む施工履歴データ等の情報を集積・蓄積し、利用可能な環境が必要である。

施工・自動建設機械・システム・通信設備等の情報を一元的に集約し、施工者や開発者等、誰もが容易に情報を取得可能なデータベースを構築する

4. 遠隔施工の取組

遠隔施工においては、i-Construction2.0 の中の「施工のオートメーション化」において、短期的には「砂防現場における活用拡大」をビジョンとして示している。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。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。この遠隔施工技術を一般建設現場における実装を推進していく。基準類の策定や砂防現場における試行等を実施していく。

5. 今後の自動施工の進め方

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、短期的には「安全ルール、施工管理要領等の技術基準類の策定」や「ダム施工現場等での導入拡大」をビジョンとして示している。自動施工技術の普及については、自社開発等により先進的な取組を実施し現場での導入の拡大を目指す「リーダー」と技術面や開発資金面に課題があるが、自動施工に関心があり現場に導入したいと考えている「フォロワー」の対応を検討している。「リーダー」向けでは、現状自動施工における統一的な基準等がないことから各施工者は手探り状態で現場での施工を進めている。安全ルールや技術基準を整備し自動化技術を積極的に導入する施工者の後押しをする。また「フォロワー」向けでは、自動施工機器の普及によって、自動化技術を現場に導入しやすくする。これらの機器については市場が形成されつつあるが、これをさらに加速させるために建設機械の制御信号を共通化し、これら機器の開発ハードルを下げ、機器の市場導入が活性化されることを期待している。

6. おわりに

本稿では、自動化施工の安全ルールの策定、自動施工を担う人材育成、遠隔施工における取組について紹介した。自動化・遠隔化技術の普及は、生産年齢人口減少下においても将来にわたって社会資本の整備・維持管理を持続するために必要な施工能力の確保に不可欠である。これらの技術は建設業における諸問題を自動化・遠隔化技術によって解決を目指し、先進的な取組を行う技術者により「試行」段階から「実現場適用」への移行段階にある。これを建設生産プロセスの変革期と捉え、自動施工における社会実装と技術開発を推進していく。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/00173824_0.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。