

5G を活用した複数建設機械の遠隔操縦 ～安芸バイパス寺分地区第3改良工事～

 i-Construction

株式会社加藤組 取締役土木部長 はらだ えいじ
原田 英司

1. はじめに

我が国では、生産年齢人口の減少が確実に進行している中、建設業界においても生産性向上と魅力ある建設現場を目指して i-Construction が始まり、今年で丸5年が経過した。

国土交通省では、i-Construction の取り組みにおいて3次元モデルを活用した社会資本の整備を行い、一連の建設生産システムの効率化・高度化を図ることを目的として CIM (Construction Information Modeling, Management) の導入を進めてきた。その一方、国際的な BIM (Building Information Modeling) の動向等は近年顕著な進展をみせており、土木分野での国際標準化の流れを踏まえ、Society 5.0 における新たな社会資本整備を見据えた3次元データを基軸とする建設生産・管理システムを実現するため、BIM/CIM (Building/Construction Information Modeling, Management) という概念において産官学一体となって再構築し、BIM/CIM を推進している。

また、昨今のコロナ禍により求められる多様な働き方に対応するため、移動の最小限化やテレワークの導入など、より一層建設現場における生産性向上を図る取り組みが求められる状況となっている。

2. 建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト

本プロジェクトは、『官民研究開発投資拡大プログラム (Public/Private R&D Investment Strategic Expansion Program) : 通称 PRISM』に基づく内閣府の予算制度を活用して国土交通省が推進する取り組みであり、建設現場の飛躍的な生産性向上を目指し、第5世代移動通信システム（以下、「5G 通信」という）等を活用して施工の労働生産性の向上を図ることを目的としている。

3. プロジェクトの概要

今回の対象技術は、5G 通信等を活用した施工の労働生産性の向上が目的として示されており、建設機械等の遠隔操縦の効率向上を図る技術の提案が求められている。

履行場所は、一般国道2号安芸バイパスと太田川放水路河川敷の2カ所となる。

対象工事の概要は、以下のとおりとなる。

工 事 名：安芸バイパス寺分地区第3改良工事

発注機関：国土交通省 中国地方整備局

広島国道事務所

工期：令和2年4月1日～令和3年3月31日

4. プロジェクトの内容

(1) 複数の建設機械を操縦できる遠隔操縦装置の開発・導入

汎用的な建設機械（バックホウ・ブルドーザ・振動ローラ）に「後付」の遠隔操縦装置を装着し、複数の異なる建設機械を異なる遠隔操縦システムで統合制御することを可能としたマルチコックピットを開発・導入した（写真－1）。

遠隔施工については、施工現場と約3km離れた場所に設置したマルチコックピットから、無人の遠隔 ICT 建機を稼働させた。このマルチコックピットは、1台で3機の遠隔 ICT 建機（バックホウ・ブルドーザ・振動ローラ）を切り替えて稼働させることが可能である（写真－2, 3）。

また、遠隔 ICT 建機にアクションカメラや俯瞰カメラを取り付け、そのリアルタイム映像をオペレータ目線としてマルチコックピットへ伝送した。

通信システムには、5G通信の公衆通信回線網（以下、「公衆網」という）を活用した。5G通信の受信可能エリア外では、第4世代移动通信システム（LTE-Advanced）（以下、「4G通信」という）の公衆網および高速無線通信（以下、「ローカル Wi-Fi」という）を活用した（写真－4, 5）。

(2) 遠隔操縦オペレータに対する高品質な映像提供と拡張現実感（AR 技術）等を利用した操作支援
無視界における遠隔操縦の操作性向上を目的とした空間認識機能の補充として、2種類の AR 映像と聴覚情報を現場の再現情報としてマルチコックピットへ伝送し、オペレータに提供した。

① 現況の周辺地盤情報

3D センサを遠隔 ICT 建機の運転席上部に設置し、周辺地盤情報を取得することで、オペレータ視点のリアルタイム映像に3D データ（XY 平面グリッド・傾斜・凹凸部・機械の姿勢）をオーバーレイ表示し、視認性と空間認識機能を補充した（写真－6）。



写真－1 マルチコックピット



写真－2 遠隔 ICT 建機



写真－3 建設機械の切替画面



写真－4 5G ルータ



写真－5 ローカル Wi-Fi 基地局



写真-6 AR映像（現況地盤，機械の姿勢）



写真-7 AR映像（3次元設計データ）

② 設計データの融合表示

『高精度屋外 AR システム (Trimble Site Vision)』を 3D センサと同じく運転席上部に設置し活用することで、マルチコックピットのリアルタイム映像に 3 次元設計データを透過表示し、設計データを「見える化」することで完成形のイメージを具現化した（写真-7）。

このイメージの具現化は、搭乗操縦では実現していない技術となるため、遠隔操縦の場合のみ実現可能な操作支援となる。

③ 聴覚情報による操作支援

視覚情報のみでなく聴覚情報もオペレータに情報提供することで、施工現場をよりリアルに再現し、オペレータの疲労軽減を目的とした操作支援をした。

(3) 働き方改革を実現するための重機の長距離遠隔操縦

5G 通信の公衆網と認証回線を活用した通信により、一般回線でありながら通信の安定性と接続の安全性を担保した長距離遠隔操縦を実現した。

5G 通信は、高速大容量通信・低遅延・多数同時接続の三つの特徴を持つ通信技術であり、遠隔

操縦を行うために理想的な通信システムとなる。ただし、5G 通信の受信エリアは現在拡大途上であり、今後とも施工現場や災害復旧現場などでは受信エリア外の可能性がある。

そのため、本プロジェクトでは、4G 通信の公衆網およびローカル Wi-Fi においても、映像情報等の最適化と必要な情報データの選定を行うことで、あらゆる通信規格での長距離遠隔操縦を実現した。

5. 技術の活用効果

(1) 作業時間および作業人員の縮減

本プロジェクトでは、盛土作業における一連の機械土工（土砂の敷き均し～転圧～法面整形）の作業において、従来どおりのオペレータ 3 名による搭乗施工とマルチコックピットを使用したオペレータ 1 名による遠隔施工の比較を行った。

比較対象作業は、所定土量の「掘削」⇒「敷き均し」⇒「転圧」の繰り返し作業とした。

比較は、従来の「搭乗施工（3 名）」の組み合わせを基準として行った。その結果、遠隔施工では、施工そのものについては 1 割程度の施工効率の低下がみられるものの、待機時間と乗り換えに要する時間的ロスを考慮すると、6 割程度の作業時間および作業人員の縮減効果が得られるという結果となった（表-1）。

(2) 安全性の確保

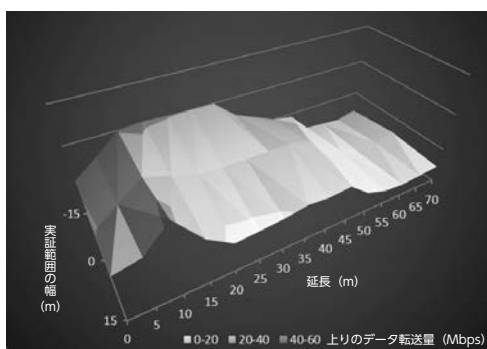
遠隔施工における施工の安全確保は、技術の普及を考える場合に大変重要となる。そのため、本プロジェクトでは遠隔施工のエリアを設定し、検証を行った。

実証エリアにおける通信網羅性を、面積占有率と建設機械の所定動作で検証した。本プロジェクトにおける遠隔操縦で必要な伝送量は 10 Mbps 以上であり、エリア内の 10 Mbps 以上の面積占有率は 100% であるため、安全性の確保ができたといえる（図-1）。

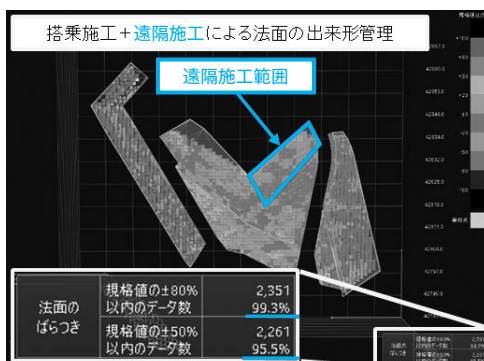
表－1 作業時間（作業人員）の比較表

(1.8 m³ 当たり)

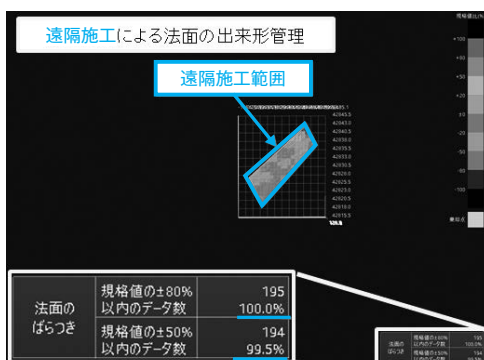
施工形態	作業区分	バックホウ (sec)	ブルドーザ (sec)	振動ローラ (sec)	待機乗換 (sec)	総合計		縮減人員 100 m ³ 当たり (人日)	縮減率 (%)
						1.8 m ³ 当たり (sec)	100 m ³ 当たり (人日)		
搭乗施工 (3名)	施工	145	77	235	—	1,369	26.41	0.00	100.00%
	待機	310	380	222	912				
	乗換	0	0	0	0				
搭乗施工 (1名)	施工	145	77	235	—	817	15.76	-10.65	-40.32%
	待機	0	0	0	0				
	乗換	120	120	120	360				
遠隔施工 (1名)	施工	181	86	247	—	535	10.32	-16.09	-60.92%
	待機	0	0	0	0				
	乗換	7	7	7	21				



図－1 実験エリア内の上りスループット（単位時間当たり伝送量）分布図



図－2 搭乗施工＋遠隔施工における法面工の出来形管理



図－3 遠隔施工における法面工の出来形管理

なお、万が一の通信トラブルが発生した場合に備え、非常停止システムを設定し、建設機械の暴走を防いだ。

(3) 施工品質の確保・向上および施工管理の効率化・高度化

遠隔操縦装置を取り付ける建設機械に ICT 建機を使用することで、搭乗施工と同等の施工品質を確保することができた。施工品質の比較は『空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）（案）令和2年3月』に基づき、法面整形部分をヒートマップで確認する手法を採用した。

ヒートマップにおける法面のばらつきが施工品質の指標となるため、この数値を比較したところ、遠隔操縦において搭乗操縦と同等の施工品質が確保できていることが確認できた（図－2、3）。

施工管理についても ICT 建機を遠隔施工に使用することで、搭乗施工と同等の施工品質が確保できることから、通常の建設機械を使用していた従来の遠隔操縦と比較すると、著しい施工管理の効率化と高度化をもたらすことが確認できた。

6. 技術の課題

(1) マルチコックピットシステムの構築

既存の異なる仕様の遠隔操縦装置を活用し、マルチコックピットシステムとして統合したが、今後は設計仕様（パトランプの点灯・非常停止・システム遮断・初期状態などのルール）の統一化を

行うための制度構築が求められる。

(2) 通信規格の選定

建設機械の遠隔操縦のシステム構築は、仕様が決定すれば工場での製作・設定が可能であるが、通信規格の選定には、通信状況の把握を現地で行う必要があり、現場調査の体制が大変重要となる。この体制には導入・カスタマイズ・メンテナンスの各分野の技術が必要となるため、これが遠隔操縦施工実現のカギとなる。

(3) 技術の導入

実際に現場で遠隔操縦を運用するためには、導入コストをできるだけ削減することも重要なテーマとなる。そのため、遠隔操縦システムには、既存の建設機械本体および遠隔操縦装置を選定した。通信システムには、法令上の手続きが不要な器材を選定してシステム構築を行った。

マルチコックピットは、今回唯一の開発対象となる。使用する器材は、全て入手が容易でリース可能な構成としてシステム開発を行った。

将来的に遠隔操縦技術をさらに普及させるためには、システム構築の制度を整えることがコスト削減の第一歩になると感じた。

また、遠隔操縦の運用における ICT 技術の活用は、施工精度と効率化の面で恩恵が絶大であるため、必須事項とするべきではないかと考える。

7. おわりに

遠隔操縦は、既に多くの現場で実績があり、特に二次災害が懸念される災害復旧現場などで活用されている。本プロジェクトでは、そのような現場だけでなく、通常の土木工事などで活用可能な遠隔操縦装置の実用化検討を行った。

従来の遠隔操縦は、1 台の操縦装置で 1 機の建設機械を操縦するのが一般的であり、建設機械は遠隔操縦専用機となり、遠隔操縦中は搭乗操作できない場合が多い。また、直接目視できない長距

離遠隔操縦の場合には、操縦画面内の奥行きが把握しづらく、操作性の低下につながっている。

本プロジェクトでは、盛土作業における「一連の機械土工」という条件ではあるが、マルチコックピットと ICT 建機および各種操作支援を組み合わせることで、遠隔操縦が搭乗操縦より作業効率が向上する結果となった。

遠隔操縦の環境要件として、特に重要なのが通信環境となる。5G 通信は、遠隔操縦に適した移动通信システムとなるが、通信事業者の整備はまだ十分整っていないのが現状である。公衆網の受信エリアの有無を問わず、「どのような通信環境下」においても現場に即した通信規格を最大限活用し、組み合わせを最適化することで、あらゆる場所における遠隔施工の実現を可能とした。このことは、新たな働き方を創出することにつながる。

そこで、本プロジェクトでは、現場（コンテナハウス）・オフィス（店舗ショールーム）・自宅（マンション）にマルチコックピットを設置し、通信環境に応じたシステム構築を行い、遠隔操縦で建設機械を稼働させることを実現した。

今回のシステム構築では、いずれの通信規格環境であっても特別な法令上の手続きは必要ないため、誰でもシステム構築できるメリットがある。また、通信事業者以外に認められているローカル 5G のように、免許制度や設備を必要としないことも特徴となる。

将来的には、遠隔操縦が多く活用されている災害復旧の現場などでも迅速に対応できるほか、本プロジェクトで行った通常工事での活用も視野に入れることで、魅力ある建設業界を構築する一助になればと考える。

【謝辞】 本プロジェクトは、国土交通省が実施する『建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト』において採択され、実証を行ったものとなる。

業務の遂行に当たり、国土交通省 中国地方整備局をはじめ、協力いただいた多くの方々に深く感謝申し上げます。