

# 統合施工管理システムの開発および生産性向上の評価

松崎 晃 稲川 雄宣 古屋 弘

西 彰一 堀尾 訓之 岡本 邦宏  
(土木本部生産技術本部) (ロボティクス生産本部) (ロボティクス生産本部)

## Development of an Integrated Construction Management System and Performance Evaluation for Improved Productivity

Ko Matsuzaki Yusen Inagawa Hiroshi Furuya

Shoichi Nishi Toshiyuki Horio Kunihiro Okamoto

### Abstract

To improve productivity, an integrated construction management system was developed to handle everything from construction planning and automatic and autonomous construction management to quality control. A demonstration was conducted to verify the applicability of this method. Consequently, the construction management system allowed a single person to consider the construction planning process. Furthermore, the construction machinery fleet management system enabled one system administrator to control 10 construction machines, consisting of four automatic and autonomous construction machines and six manned construction machines, and perform automatic construction. For quality control, the acquired data were automatically processed in real time and output as a report. This reduced human work by approximately 0.13 people/day.

### 概要

生産性向上を目的として、施工計画、自動・自律施工管理から品質管理までを行う統合施工管理システムを開発している。今般、新丸山ダム本体建設工事において、実証施工を実施し、適用性検証を行うとともに、生産性向上の効果を確認した。その結果、施工計画においては、Construction Management Systemにより1名で工程の検討が可能であることを確認した。また、建機Fleet Management Systemにより、4台の自動・自律建機と6台の有人建機を合わせた合計10台の建機を、システム管理者1名で管制して自動施工を行うことができた。品質管理においては、Construction Management Systemの帳票作成機能を使うことで、取得したデータがリアルタイムかつ自動でデータ処理され、帳票として出力される。これにより人的作業を0.13人/日程度削減できた。統合施工管理システムは、新丸山ダム本体建設工事で予定している自律型コンクリート打設への適用と検証を繰り返し、さらなる生産性向上に向けた機能強化を図る予定である。

## 1. はじめに

新丸山ダム本体建設工事は、岐阜県加茂郡八百津町と可児郡御嵩町で昭和31年に完成した丸山ダムの洪水調節機能の強化、正常な流量の確保、および発電量の増量を目的としたダム再開工事業である。データとデジタル技術を活用した働き方改革を推進するとともに、安全・安心で豊かな生活を建設Digital Transformation (以下、DXと称す)により実現するための各種取り組みを受発注者協働で行っている。

昨今、デジタル技術により社会を変革するDXに関する開発が盛んに行われている。建設分野では特に自動・自律の建設機械による自動施工は、省力化の観点から生産性向上に大きく寄与する技術として注目され、i-construction2.0でも推奨されている。今般、建設現場の生産性向上を実現するために、施工計画から、建機の自

動・自律運転、品質管理までの一連の管理を行う「統合施工管理システム」を開発した。また、新丸山ダム本体工事での統合施工管理システムの活用を目指し、盛土の実証施工を実施した。本稿では、当該現場において実施した適用性検証の結果および、その生産性向上の効果に関して報告する。

## 2. 統合施工管理システムの概要

### 2.1 概要

統合施工管理システムは、施工の全体計画、建設機械およびダンプトラック (以下、建機と称す) の作業管理、品質管理を一気通貫で自動化し、統合管理するシステムである。統合施工管理システム概念図をFig.1に示す。統合施工管理システムは、盛土の全体計画を行うConstruction Management System (以下、CMSと称す)、

品質管理を行うAtlasX<sup>®</sup>、建機の統合管理を行う建機Fleet Management System（以下、建機FMSと称す）および自動・自律建機で構成される。また有人建機や既存の自動運転システムとも連携が可能である。

## 2.2 CMS (Construction Management System)

CMSは、工程の制約条件を考慮しながら盛土工事 of 全工程をシミュレーションし、自動で施工計画を作成できるシステムである。また、CMSで自動作成された施工計画は、建機FMSに送信され、自動・自律建機の作業指示に活用される。施工後は、建機FMSより施工結果を取得し、再度、残工程の施工計画のシミュレーションを行うことで、施工結果を施工計画にフィードバックすることが可能である。また、帳票作成機能を備えており、後述のAtlasXで取得した品質管理データを帳票として自動出力する。

## 2.3 AtlasX

既存の自動施工技術の多くは、個々の建機の自動・自律運転をするものや、それを管理するシステムである。一方、本開発の統合施工管理システムの特長は、建機の自動・自律施工の管理に加え、品質管理までの作業を含めて、自動化していることである。

品質管理には、AtlasXを活用している<sup>1)</sup>。AtlasXの概要図をFig. 2に示す。AtlasXは盛土の品質管理を行うシステムで、aシステム<sup>®</sup>、自走式散乱型RIロボット、3Dレーザースキャナの3種類のIoT計測機器とそのデータをクラウド上で処理・可視化を行うデータ統合解析システムで構成される。

aシステムは振動ローラの加速度を計測し、その周波数特性から地盤剛性を推定する。また算出される特性値である乱れ率<sup>2)</sup>と乾燥密度の相関を事前に取得しておくことで、乾燥密度の推定も可能である。自走式散乱型RIロボットは、散乱型RIを自走ロボットに搭載することで、自動で含水比および湿潤密度を計測する。3Dレーザースキャナは、各転圧完了面の点群を取得し、仕上がり厚さを算出することができる。各IoT計測機器の計測データは位置情報を保持しており、データ統合解析システムへ送信することで、ヒートマップとして確認できる。さらに取得したデータはCMSへ送信され、CMSの帳票作成機能により、自動で帳票を作成する。

## 2.4 建機FMS(建機Fleet Management System)

建機FMSは、複数の建機・車両を高度に連携させ、安全対策も含めて自動施工を管理するシステムである。また、建機FMSは、他社開発の自動・自律建機や有人建機も連携できるため、計画に合わせて建機の種類や数を柔軟に変更できることが大きな特長である。建機FMSの管理画面をFig. 3に示す。建機FMS操作者は、CMSが自動作成した施工計画を基に、各建機の作業内容や車両の積込み・荷下し位置等を事前に設定する。その後、施工時

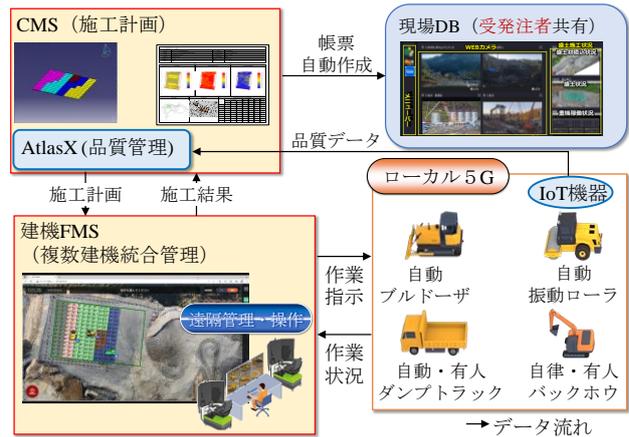


Fig. 1 統合施工管理システムの概要図

Overview of Integrated Construction Management System



Fig. 2 AtlasXの概要図

Overview of AtlasX

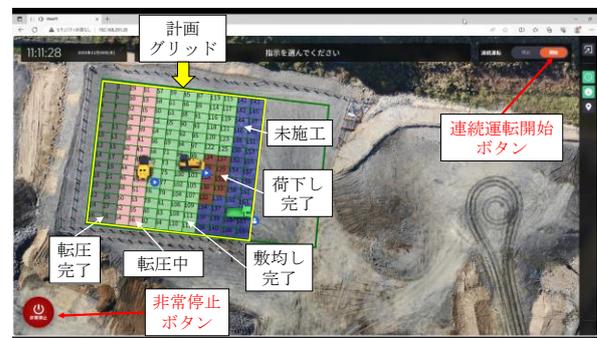


Fig. 3 建機FMSの管理画面

Management Screen of Construction Equipment FMS

には、管理画面上の連続運転開始ボタンの操作のみで、全ての自動・自律建機の制御が可能であり、容易に操作することができる。また、荷下ろしや敷均しの場所の管理には、格子状の計画グリッド（寸法3m×4m）に分割する方式を採用している。自動施工中は、管理画面上の建機アイコン位置と、各建機の作業状況に応じて色が変わる計画グリッドを視覚的に確認しながら、システム情報、監視カメラの映像等も参考に管理を行うことができる。

自動施工において建機の誤動作防止やフェールセーフなど安全対策が最重要課題となる。統合施工管理システムでは、自動・自律建機自体の安全機能はもちろんのこと、Fig. 3に示すように建機FMSからも非常停止ボタン

ひとつで、全稼働建機を停止することができる仕様とした。さらに、自動ブルドーザおよび自動バックホウはシステムトラブルが発生した場合も想定して、自動運転を遠隔運転に切り替え操作することが可能である。また、建機の作業データは、随時建機FMSに集積され、任意のタイミングで施工結果データとして出力が可能であり、本実証では作業終了時にCMSに送信した。

## 2.5 自動ブルドーザ

自動ブルドーザによる敷均しは、自動運転プログラムによる目的座標への走行制御、ICT建機機能のマシンコントロールによるブレード制御を組み合わせることで実現した。ブレードの高さは、マシンコントロールを活用し、計画高通りになるように制御した。また、対象の盛土材料の種類により、重機が材料を押しきれない場合がある。これに対処するために、押土時の排土板に大きな負荷がかかった場合、ブレードの高さを上げ、土砂の上部を押すことで負荷を低減した。その後、再度計画高にブレードの高さを合わせて、押土をする動作を実装した。さらに、安全性向上の機能として、材料や障害物を検知するためのミリ波レーダーセンサとクアトロアイズ<sup>®3)</sup>を併用することで、自動運転時に作業性を損なうことなく安全を担保した。

## 2.6 自律バックホウ

自律バックホウは、土砂のダンプトラックへの積込み作業を自律的に行う。機体の姿勢制御には、Fig. 4に示すブーム、アーム、バケット、旋回部に設置した慣性計測装置（以下、IMUと称す）を、掘削および積込みポイントの判別にはステレオカメラを、自己位置の取得にはGNSSを、油圧シリンダーの油圧の取得には圧力センサを使用した。これらのセンサの情報から制御装置により動作を判断し、遠隔操作技術であるサロゲート<sup>®4)</sup>を介して、建機に動作指令を伝えた。機械の制御は、シミュレーションモデル上で、事前に熟練オペレーターの掘削動作から得た操作ノウハウを、制御アルゴリズムに落とし込み、動作検証を行った。また、実証中もシミュレーションモデルを活用して、制御アルゴリズムの修正を行うことで、積込み作業を止めることなく、効率的に動作の改善を行った。さらに、掘削後、圧力センサおよびIMUの情報からバケット内の土砂重量を取得することにより、積載した土砂が規定重量に達しているかを判断し、ダンプトラックへ積込み作業を行った。積込完了後、ダンプトラックに載せた積載重量と積込み作業が完了したことを建機FMSに通知した。

## 3. ローカル5Gの構築

### 3.1 ローカル5Gの有効性の検証

本実証施工では、建機は、建機FMSから作業指示を受け取るとともに、自己位置やその他の施工情報を

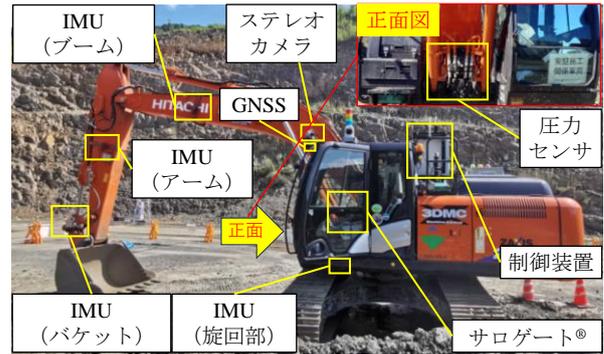


Fig. 4 バックホウ自律運転システム機器構成

### Equipment Configuration of The Backhoe Autonomous Operation System

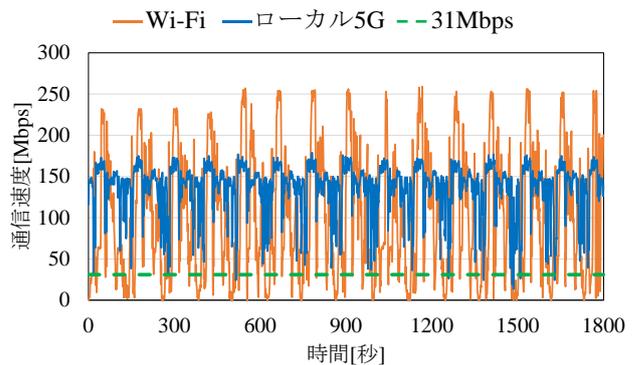


Fig. 5 通信品質試験結果

### Communication Quality Test Results

建機FMSにフィードバックする。したがって、複数台で同時に通信する必要があり、同時多接続の通信が求められた。加えて、建機の操縦は原則自動・自律であるが、緊急時は遠隔操縦に切り替え、作業を継続する。遠隔操縦をする場合は、重機に取り付けられたカメラの映像及び制御情報を伝送する必要があり、高速大容量、低遅延の通信が求められた。

本実証施工の施工条件では、自動・自律運転時は位置情報等の伝送に最大7Mbps程度が必要であった。また、遠隔操縦時は建機周囲の状況を確認するカメラ（フルHD）×3台、建機座席のカメラ×1台の映像および建機の操作情報を伝送する必要があり最大31Mbps程度の通信速度が必要であった。したがって、5Gの特長（高速大容量、同時多接続、低遅延）のうち、高速大容量を活用することとした。

構築したローカル5Gの有効性の検証を目的として、ローカル5GとWi-Fiの通信品質比較試験を実施した。試験は、実際の施工を模擬し、Wi-Fiおよびローカル5G端末を車両に載せ、盛土施工現場を時速5km程度で走行し、その際の通信速度を計測することで、品質を確認した。

### 3.2 検証結果

Fig. 5に通信品質比較試験結果を示す。図よりWi-Fiは、通信速度が0~250Mbpsの間で大きくばらついている。一方で、ローカル5Gは、30~180Mbpsの間でばらついており、ローカル5Gの方が、ばらつきの幅が小さいことがわかる。

また、ローカル5Gは、要求性能である31Mbpsを概ね上回っているのに対し、Wi-Fiは31Mbpsを複数回にわたって下回っていることに加え、0Mbpsを複数回にわたって記録している。建機FMSの運用にあたっては、通信が切れると、全建機の自動運転を停止する仕様としている。したがって、通信の切れないローカル5Gでの運用がより適切であることが分かった。以上より、ローカル5Gによる安定した通信環境を構築し、通信品質が確保できることを確認した。

#### 4. 実証施工

##### 4.1 実証施工概要

統合施工管理システムの適用性を検証するために、2023年9月～12月に新丸山ダム本体建設工事現場内において実証施工を実施した。本実証施工では、幅48m×長さ42m×高さ0.3mの盛土を4層構築した。CMSは、Fig. 7に示すように条件設定をすることで、1日の施工量及び工程を自動算出し、可視化を行った。シミュレーション結果は、座標情報を持っており、ダンプの荷下ろし位置や順序を指示データとして建機FMSに送信した。施工後には、建機FMSから施工結果を取得し、再度残工程の施工計画を立案し、工程を管理した。また、AtlasXにより転圧回数、地盤変形係数、締固め度、仕上がり厚さ、乾燥密度、含水比を算出し、CMSの帳票出力機能により、帳票の自動作成を行った。

使用した建機をTable 1に示す。本実証施工では、自社で自動運転装置を開発した自律バックホウ、自動ブルドーザに加え、酒井重工業社製自動振動ローラ、日野自動車の開発品である自動ダンプトラックの計4台の自動・自律建機に加え、有人バックホウ1台および有人ダンプトラック5台の計10台の建機に対し、建機FMSから各作業指示を送り統合管理を行った。

積込み現場では、自律バックホウのみで積込みを行い、自動ダンプトラックまたは有人ダンプトラックに積載した。有人バックホウは自律バックホウの補助として利用した。実証施工現場はFig. 7に示すように、盛土施工現場と積込み現場の2カ所に分かれており、自動ダンプの公道区間の走行はドライバーによる運転とした。一方、場内運搬、盛土施工現場での荷下ろしは自動運転とした。盛土施工現場では、運搬されてきた盛土材料を自動ブルドーザで敷き均した後、自動振動ローラにより締固めを行った。品質管理にはAtlasXを使用し、転圧中には、aシステムによる計測、転圧後には、自走式散乱型RIロボットおよび3Dレーザースキャナによる計測を行った。なお、自走式散乱型RIロボットおよび3Dレーザースキャナによる計測では、施工箇所と計測箇所を区分することで、重機作業を休止することなく実施できた。

##### 4.2 自動・自律機械の安全に関する取組み

建設機械を使用する工事では、建設機械と作業員が接

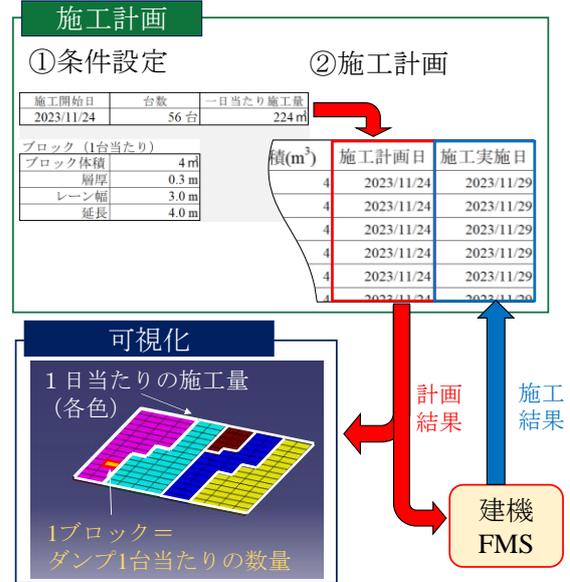


Fig. 7 施工シミュレーション結果の一例  
An Example of Construction Simulation Results

Table 1 使用した建機一覧

List of Construction Machines Used		
建機・車両名	仕様	台数
自律バックホウ	ZX-200 (0.8m³)	1
自動ブルドーザ	D5K (10t級)	1
自動振動ローラ	SV514DAuto (10t級)	1
自動ダンプトラック	日野プロフィア (積載8t)	1
有人バックホウ	ZX-200 (0.8m³)	1
有人ダンプトラック	10,000kg	5

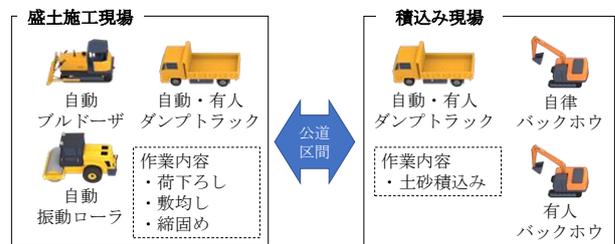


Fig. 7 実証施工現場の位置関係図  
Location Map of Demonstration Construction Site

触する労働災害が多く発生しており、災害防止のための様々な安全ルールによる取組みや、新しい安全機能を備えた建設機械を使用し、対策を講じている。自動施工をする際にも、接触に対する安全性確保は最も留意し計画しなければならず、原則作業員が立ち入らない措置を行うなど、万が一の場合にも安全が担保される重層的な環境を構築しなければならない。

自動・自律建機が作業する場所では、国土交通省主導で産官学から成る建設機械施工の自動化・自律化協議会(安全・基本設定ワーキンググループ)が第3回協議会(令和5年6月27日)で協議された「自動・遠隔施工の安全ガイドライン(案)」<sup>6)</sup>に則り安全対策を行った。自動・自律建機には、前述のようにクアトロアイズやミリ波レーダー

Table 2 統合施工管理システムによる生産性向上効果  
Productivity Improvement Effect with Integrated Construction Management System

システム名称	機能	生産性向上効果	
		対象	内容
CMS	施工計画シミュレーション	施工管理者（元請）	・元請1名が20分程度で実施
	帳票自動作成	施工管理者（元請）	・労働時間ベースで日当たり約0.13人/日の省力化
AtlasX	盛土品質管理	施工管理者（元請）	・品質管理業務1回当たり1名削減
建機FMS	複数建機・車両の統合管理	施工管理者（元請）	・元請1名で建機・車両10台管理
現場ダッシュボード	遠隔臨場・リアルタイム情報共有	施工管理者（受発注者）	・現場移動2往復/日削減の場合、一人当たり22時間/月の業務時間削減

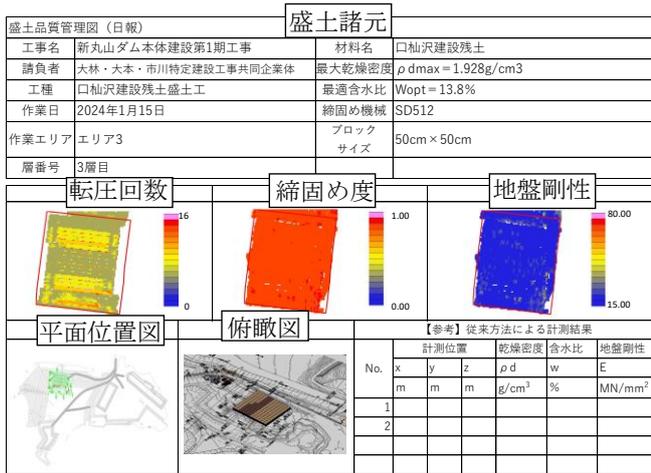


Fig. 8 品質・出来形管理帳票の一例  
An Example of a Reports for Quality/Finished Shape Management

などの安全装置を付与した。物理措置においては地形とバリエードから無人施工エリアを定め、周辺の作業と一線を画した。また人的監視においては、建機FMS操作者が俯瞰カメラ映像により施工エリア全体の監視を行うことに加え、無人施工エリア区画外に監視者を配置し、自動・自律建機の動作状況監視と、作業員の立入り監視を行った。非常時には、監視員または作業員が非常停止ボタンにより自動・自律建機を停止できるようにした。本実証では自動・自律建機の安全装置、物理措置による対策、人的監視による対策、前述の建機FMSの安全機能により、従来の有人建機による施工現場と比べ、接触災害リスクが極めて低い施工を実施した。

### 4.3 実証施工結果

4.3.1 自動化の効果 Table 2に本実証における統合施工管理システムによる生産性向上の効果を示す。一般的に、土工における施工工程の検討に当たっては、元請職員、協力会社職員、職長と数名で調整をする必要がある。一方、CMSでは、20分程度でシミュレーションを行えるため、1名で工程を検討することが可能であり、計画に係る人員を削減できた。

建機の統合管理に関しては、2か所の現場における4台の自動建機・車両と6台の有人建機・車両を合わせた合計10台の建機・車両を、システム管理者1名で管理して自動



Fig. 9 発注者の現場DB確認状況  
(国土交通省 新丸山ダム工事事務所 DXルーム)  
Client's On-Site DB Confirmation

施工を行った。3台の自動建機を使用した2022年度の自動施工<sup>5)</sup>と比較して1名で管制できる台数は3倍以上となった。また他社開発の自動・自律建機や有人建機を、建機FMSで連携させ、より実用的な自動施工を実施できた。さらに本実証の自動化施工では、ダンプへの土砂の積込みにおいて最大285m<sup>3</sup>/日の生産性を達成した。

従来の盛土品質管理業務では、砂置換法やRI法などの現場密度試験を元請2名程度で実施していたが、AtlasXのうちaシステムや自走式散乱型RIロボットを活用することにより、品質管理業務1回当たり施工管理者（元請）を1名削減することができた。また、従来、品質管理・出来高管理帳票を作成する際は、元請がデータ整理をする必要があったが、CMSの帳票自動作成機能を活用すれば、Fig. 8のような帳票を自動作成できる。したがって、元請1名が帳票整理に日当たり1時間要していた作業が不要となるため、労働時間ベースで日当たり0.13人/日の省力化（1時間/日）が達成できた。以上より、盛土の全体計画、品質管理の一連の作業の省力化が可能であることを確認した。

4.3.2 発注者の遠隔臨場 発注者の現場ダッシュボード<sup>7)</sup> (以下、現場DBと称す) 確認状況をFig. 9に示す。同図に示すとおり、新丸山ダムでは複数のWEBカメラ映像を一つの画面で一元的に管理している。本工事では、発注者事務所のDXルームにも同システムを導入し、リアルタイムで盛土施工状況や品質管理・出来高管理帳票の確認を行った。

新丸山ダム本体建設工事では、工事事務所と施工現場の間の移動に車で片道15分程度かかるが、現場DBの活用により、施工状況の確認や品質確認を遠隔で行うことができるため、生産性向上につながると考えられる。仮に施工現場への移動が1日当たり2往復削減できれば、60分/日人、22時間/月人の業務時間を削減でき、発注者および元請双方の働き方改革に貢献できることが期待される。

#### 4.3.3 超遠隔地からの建機FMSによる管理および操縦

自動・自律型の建機・車両を管理する建機FMSの活用においては、緊急で建機オペレーターを必要とした場合に、現地ではすぐに確保できないという懸念がある。そのため、建機の操作場所を現場だけでなく、自由に選択できる通信設備と管理システムを有していれば、今後の建設業界のさらなる生産性向上に寄与することができる。

そこで、本実証施工では、Fig. 10に示すように実証現場から約150km離れた大阪府枚方市の大林組西日本ロボティクスセンター（以下、WRCと称す）から、建機FMSによる管理および緊急時を想定したバックホウおよびブルドーザの超遠隔操縦も併せて実施した。

実証の結果、WRC遠隔操縦席と建機の遅延は、過去に大林組が実施した超遠隔施工<sup>8)</sup>における端末間の遅延の目標値200ms（一般的に遠隔操縦に支障を与える遅延の閾値）以下となり、遠隔操縦には支障がないことを確認した。以上より、建機FMSによる作業指示の送受信やバックホウ、ブルドーザの超遠隔操縦を実証することができた。

## 5. まとめ

本稿では、施工計画、自動・自律施工管理から品質管理までを自動で行う統合施工管理システムの開発と生産性向上の評価に関して述べた。

得られた知見を以下に示す。

- 1) CMSにより、工程を1名で検討することが可能であり、計画に係る人員を削減することができた。
- 2) 建機FMSにより、システム管理者1名で計10台の建機を統合管理することができた。また他社開発の自動建機・車両や有人建機を建機FMSで連携させて自動施工を実施できたことで、より実用的な自動化施工技術による施工を行うことができた。
- 3) AtlasXを用いることにより取得したデータはリアルタイムかつ自動でデータ処理され、CMSが受け取り、帳票として出力することにより、人的作業を0.13人/日程度削減できた。
- 4) 150km以上離れた西日本ロボティクスセンターと新丸山ダム本体建設工事現場で、建機FMSによる作業指示の送受信やバックホウ、ブルドーザの超遠隔操縦が可能なことを確認した。

なお、統合施工管理システムは、新丸山ダム本体建設工事で予定している自律型コンクリート打設への適用と

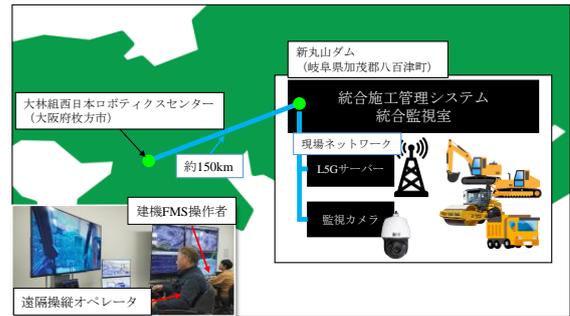


Fig. 10 WRCからの建機FMS操作・超遠隔操縦  
Construction Machine FMS

#### Operation/Ultra Remote Control from WRC

検証を繰り返し、さらなる生産性向上に向けた機能強化を図る予定である。

## 謝辞

本実証施工は、国土交通省新丸山ダム工事事務所の関係者の皆様に、多大なるご協力をいただきました。記してお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 松崎晃, 稲川雄宣, 古屋弘: 新しい締めめ品質管理システムの開発, 大林組技術研究所報, No.86, 2022.12
- 2) 藤山哲雄, 建山和由: 振動ローラの加速度応答を利用した転圧地盤の剛性評価手法, 土木学会, 土木学会論文集, No.652/III-51, pp.115-123, 2000.6
- 3) 上条宏明, 小林只和, 西脇也寸男: 作業員と建設重機との接触を防止する安全装置の開発, 日本建設機械施工協会, 建設機械施工, Vol.70, No.11, pp.42-45, 2018.9
- 4) 森 直樹, 古屋 弘, 宮内賢治: 建設機械の改造が不要で着脱可能な装置による無人化施工技術の開発, 熊本城崩落石撤去へ汎用遠隔操縦装置「サロゲート」の適用事例, 建設機械施工 Vol.69, No.12, pp.58-63, 2017.12
- 5) 西本卓生ほか: 建機フリートマネジメントシステムによる遠隔・自動・自律運転の取り組み, 土木学会第78回年次学術講演会, VI-11自動化システム(3), VI-790, 2023.9
- 6) 国土交通省, "自動・遠隔施工の安全ガイドライン(案)", 国土交通省, 2023-6-27  
[https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/sosei\\_constplan\\_tk\\_000049.html](https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/sosei_constplan_tk_000049.html) (参照 2024-06-03)
- 7) 日暮一正ほか: 建設現場のDX化へ向けたダッシュボードシステムの開発, 土木建設技術発表会2021, pp.37-42, 2022.3
- 8) 古屋弘ほか: 堤体盛土でのローカル5Gを用いた複数重機連携の遠隔操縦実証実験, 大林組技術研究所報, No.85, 2021.12