

国総研，土研の建設 DX 実験フィールド（土エフィールド）の整備及び活用について

国土交通省 国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター 社会資本施工高度化研究室 室長

やました ひさし

山下 尚

やまぐち たかし

国立研究開発法人土木研究所 技術推進本部 上席研究員

山口 崇

1. はじめに

インフラ分野においては、毎年発生する災害への対策やインフラの老朽化対策の必要性が高まる中、深刻な人手不足が進むことが懸念されています。この課題への対応のため、国土交通省は平成28年度からICTの全面活用等による建設現場の生産性向上を目指すi-Constructionを推進しています。また、IoT（Internet of Things）にて全ての人とモノがつながり、様々な知識や情報が共有され、今までにない新たな価値を生みだすことを提唱したSociety 5.0を踏まえた技術革新の進展や行政のデジタル化の推進も進んでいます。

こうした背景のもと、国民のニーズをもとに社会資本や公共サービスを変革するため、インフラ分野においてデータとデジタル技術を活用して業務そのものや建設プロセス、建設業等の働き方を変え、また、新型

コロナウイルス感染症への対応を契機として、公共工事の現場においては非接触・リモート型の働き方への転換を図り、感染症へのリスク低減やより抜本的な生産性と安全性の向上を図るなど、図－1に示す組織体制を整え、DX（デジタル・トランスフォーメーション）による強靱な経済構造の構築を加速することとしています。

インフラ分野におけるDXの推進体制として、①インフラのデジタル化を進め、2023（令和5）年度までに小規模なものを除く全ての公共工事についてBIM/CIM活用への転換、②現場、研究所



図－1 インフラを推進する体制の整備

と連携した推進体制を構築し、DX 推進のための環境整備や実験フィールド整備等を行い、3 次元データ等を活用した新技術の開発や導入促進、これらを活用する人材育成の実施等を掲げています。

こうした方針に基づき、国土技術政策総合研究所（以下、「国総研」という）は、令和 2 年度の第 2 次補正予算等により、建設 DX 実験フィールド、DX データセンター等を整備しているところです。この建設 DX 実験フィールドに配備した土工フィールドの整備内容、利活用予定等について概説します。

2. 建設 DX 実験フィールド

建設 DX 実験フィールド整備は、ローカル 5 G を活用した建設機械の遠隔操作、自動・自律施工の技術開発、BIM/CIM 等の ICT を活用した計測及び検査技術の開発の促進を目的としたものです。

令和 3 年 4 月に、研究施設として国総研及び国立研究開発法人土木研究所（以下、「土研」という）にある試験走路北ループ内に建設 DX 実験フィールドとして利用を開始しました。

建設 DX 実験フィールドは、図－2 のとお

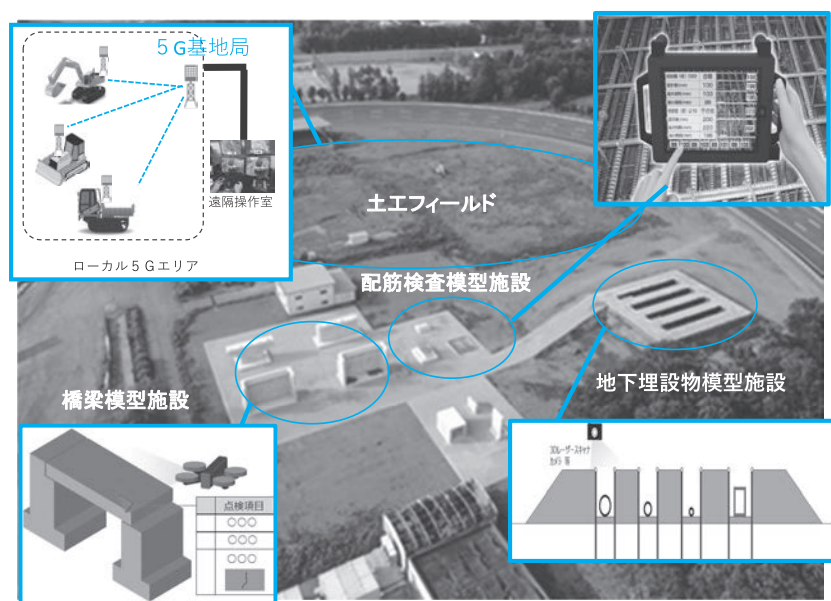
り、その目的に応じて土工フィールド、模型施設、定置式水平ジブクレーン等から構成されており、土工フィールドは、従来から土研の施設として活用していた約 6,000 m² の建設機械屋外実験施設を内包し、約 26,000 m² のエリアを整備しています。

また、模型施設は、3 次元計測や BIM/CIM 等を活用した構造物の施工管理や検査、点検に関する技術開発を行うための実物大の出来形計測模型として整備しており、土工構造物模型、橋梁模型、配筋模型、地下埋設物模型の各施設からなっています。そして、施工現場の荷役作業の省力化、負担軽減のための研究用として定置式水平ジブクレーン等を整備しています。

3. 土工フィールドの主な仕様、機器等

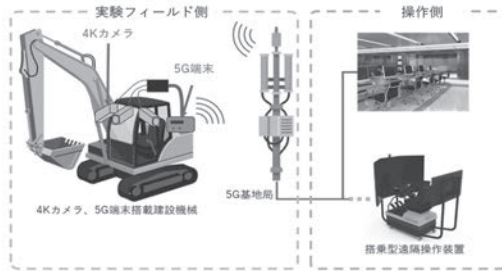
土工フィールドは、図－3 のように建設分野における先端技術である「無人化施工技術」、「自律施工技術」、「遠隔制御のための映像支援技術（ローカル 5 G 等を活用）」に関する開発拠点としており、通信インフラとして降雨減衰なく屋外利用が容易な 4.8 ～ 4.9 GHz 帯のローカル 5 G 基地局を 2 局及び無線 LAN を 2 局設置し、ローカル 5 G 等の通信環境を整備しています。

実験に用いる建設機械設備として、図－4 のとおり、油圧ショベル、クローラダンプ等の土木施工用機械をはじめ、土砂災害対策用の特殊機械（スパイダー）を整備し、操作室や機材保管用倉庫、各種の計測機器等を備え、ローカル 5 G 通信インフラを活用した高解像度、低遅延の映像伝送実験や建設機械の協調制御、無人化施工実験等を行うことが可能です。



図－2 建設 DX 実験フィールド

- ① 自律施工技術の研究開発の促進
- ② 先進的な通信環境（5G）を活用した遠隔操作技術の性能検証
- ③ 民間企業、大学等が開発（共同研究を含む）した最新技術の実大施工実験
- ④ 様々な地形条件下における施工機械の性能検証



遠隔操作性能検証実験



施工実験のイメージ

図-3 土工フィールド整備概要

土工フィールド

土工フィールド全体でローカル5G等が使用可能です。約26,000m²(土研保有敷地約6,000m²含む)の敷地を使って、i-Construction普及のかねめとなる最新の計測機器の実証・検証試験、建設機械の遠隔操縦用映像伝送試験、自動・自律施工の開発のための実証試験など、土工に係る各種の実験、検証に利用することが可能です。



▲ 国総研試験走路北ループ内を南側から見た俯瞰図（土研保有敷地含む）

- ① ローカル5G通信施設(基地局2局、移動局4局)
大容量で遅延の無いローカル5G無線局、及び無線LANアクセスポイント
- ② 実験用建設機械(バックホウ、ホイールローダ等)
土木施工用機械、及び土砂災害対策用の特殊機械等
- ③ 実験用建設機械(バックホウ、クローラダンプ等)
土木施工用機械等（土研保有）
- ④ 遠隔操作室、操作室内機器
高解像度、低遅延の映像伝送実験や建機の協調制御、長距離間の無人化施工実験
- ⑤ ストックヤード
実験用土砂（1,500m²）等
- その他計測機器
・レーザスキャナー
・GNSSローバー、TS等（土研保有）

土工フィールド

- ① ローカル5G通信施設(基地局2局、移動局4局)



基地局（2基）

- ・無線LANアクセスポイント2基を含む

- ② 実験用建設機械



Caterpillar 320 (Next Generation)

- ・バケット容量 0.8m³
- ・エンジン出力 121kW
- ・マシンコントロール (MC)
- ・特小無線による遠隔操縦可能
- ・キャビン上部に3台の4Kカメラ（5G通信可）設置



スパイダー

- ・バケット容量 0.43m³
- ・エンジン出力 115kW
- ・最大掘削深 4810mm
- ・斜面作業最大45°
- ・水中作業（脚の上端まで）
- ・テレスコ・アーム
- ・チルト・ローテータ
- ・油圧グラブラー
- ・キャビン上部に3台の4Kカメラ（5G通信可）設置

- ③ 実験用建設機械（国立研究開発法人土木研究所保有）



日立建機 ZX-120

- ・バケット容量 0.5m³
- ・エンジン出力 63kW
- ・特小無線または無線LANによる遠隔操縦可能
- ・キャビン上部に3台の4Kカメラ（5G通信可）設置



日立建機 ZX-35U

- ・バケット容量 0.1m³
- ・エンジン出力 18kW
- ・特小無線による遠隔操縦可能



IHI IC120 不整地運搬車

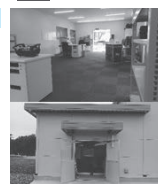
- ・積載量 11t
- ・エンジン出力 216kW
- ・荷台容量 山積6.3m³ 平積3.9m³
- ・特小無線または無線LANによる遠隔操縦可能
- ・半水中仕様
- ・キャビン上部に3台の4Kカメラ（5G通信可）設置



ヤンマーC30R 不整地運搬車

- ・積載量 2.5t
- ・エンジン出力 24.6kW
- ・荷台容量 山積1.24m³ 平積0.88m³

- ④ 遠隔操作室



遠隔操作室内部/外観

- ・広さ約63m²
- ・格納庫と隣接し、重機の改造等の検証にも使用可能
- ・遠隔操縦用の操作車、シミュレータ等を含む

- ⑤ ストックヤード及び実験用土砂



ストックヤード/ホイールローダ

- ・ストックヤード
- ・実験用土砂 約1,500m³
- ・作業用ホイールローダ
- ・CAT 910
- ・バケット容量 1.3m³
- ・エンジン定格出力 73kW

- 計測用機器等（国総研・土研保有機器）

保有機器

- ・GNSS ROVER HiPer HR（ローカルRTK/VRS対応）
- ・GNSS Base Trimble NetR9
- ・TS Topcon GT-1005
- ・データコレクタTopcon FC500
- ・レーザスキャナー Leica RTC360
- ・ARシステム Trimble SiteVision

図-4 土工フィールドの各種機器一覧

4. 各研究機関の主な研究開発分野

土工フィールドを活用した各種の実証や実験は、図－5のとおり、国総研は主に ICT 施工推進のための基準類作成に係る計測技術の検証方法の確立に用い、土研は主に建設機械の自動化・自律化、AI、ロボット、5G ネットワークを用いた施工方法の開発等に資する研究開発に用いることとし、両研究機関においては資機材の共同使用、研究情報・研究者の相互利用・交流を進めていくこととしています。

令和3年の9月はじめに、国土交通本省の DX ルームから土工フィールドの油圧ショベルを遠隔操作するデモンストレーションを実施しました（写真－1）。

国土交通本省（電気通信室、公共事業企画調整課）と国総研（施設課、社会資本施工高度化研究



写真－1 遠隔操作のデモンストレーション

室）、土研（先端技術チーム）が連携・協力し、直線距離で約 60 km 離れた霞が関～つくば間で 100 Gbps の光ファイバーネットワークと土工フィールドの 5G ネットワークでつなぎ、油圧ショベルを LAN 通信による遠隔操作作用に改造し、4K カメラ映像を用いて、デモンストレーション用に模擬の遠隔施工環境を整備しました。

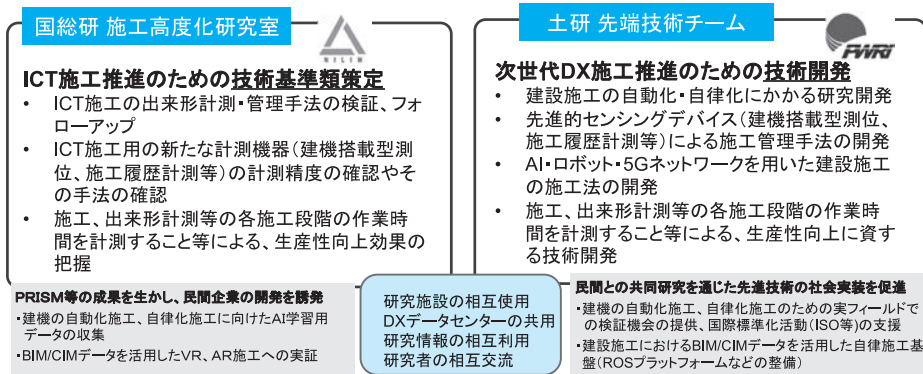
5. 土工フィールドを活用した取り組み

土研では、土工フィールドを活用して自律施工技術の研究・開発を加速する取り組みを行っています。以下に、その取り組みの概要を紹介します。

(1) 背景と目的

国内の少子高齢化の進展に伴い、他産業と比べ高齢化が進んでいる建設分野においては、今後、深刻な人手不足が発生することが懸念されています。そのため、i-Construction をはじめとした建設現場の生産性向上を目指した取り組みが進められています。

その中で、自律施工技術は、大幅な省人化と作業環境の改善による新しい働き方の実現が期待できる技術であり、施工現場のデジタル化、見える化によるリアルタイムできめ細やかな施工管理や施工計画シミュレーションも可能となる、次のステージの生産性向上を進める基盤となる技術です。現状、ダム工事などの限定された一部の現場に適用されている自律施工技術の研究・開発を加



図－5 国総研と土研の研究開発分野



図－6 自律施工の将来イメージ

速し、革新的な自律施工技術を社会実装していくことを目的に、土研では取り組みを進めています。自律施工の将来イメージを図－6に示します。

(2) 土研の取り組み内容

令和2年3月に一般社団法人日本建設業連合会から「建設業のためのロボットに関する調査報告書」が公表されました。この報告書では、「建設業界へのロボット実用化に向けた課題」をまとめています。これらの課題は、ロボット技術を用いて自律化・自動化・遠隔化を行う施工技術全般を研究・開発し、社会実装していく上でも共通の課題となるものであり、要約すると以下となります。

① 多種多様な建設現場環境や作業内容に対応できる柔軟な建設ロボットの開発

多種多様な建設現場環境や作業内容でも利用可能な作業性を有した、全天候型ロボット技術の確立が求められています。

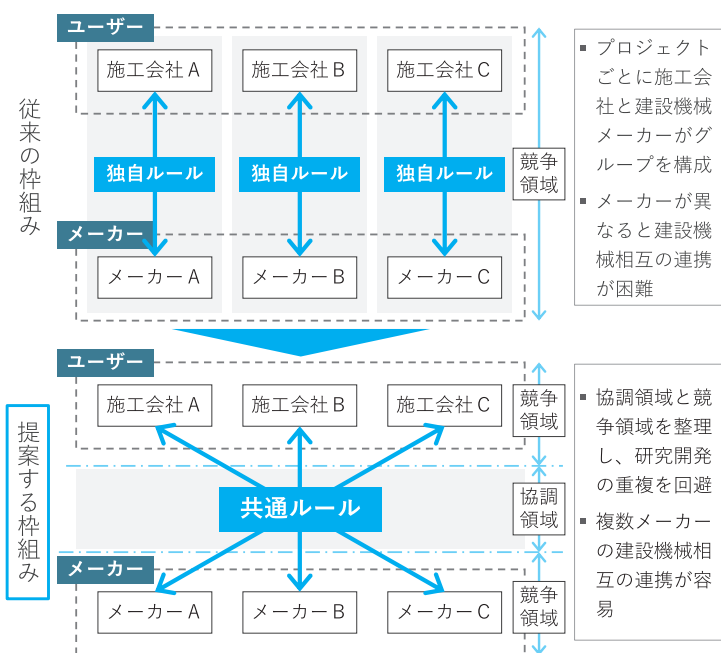
② 自動化を念頭においた法令・規制の整備

産業用ロボットを参考に、建設業界においても人間とロボットの協働に向けた法整備を進めていく必要があります。

③ 協調領域の明確化と技術の標準化による研究開発体制の整備、それによる開発コスト削減

建設業界は、個々の会社による技術開発が目立つため研究の重複が起こっており、費用対効果を得ることが難しくなっています。協調領域を明確にして、同業者による共同研究を含めた産学官連携による技術開発体制を整備し、技術の標準化・共通化による開発・運用コストの削減の必要があります。

土研では、上記の③を図－7のように理解しています。概説すると、従来の枠組みでは、民間企業が自律施工技術の開発を進める場合、多くのケースで施工会社と建設機械メーカーが個別に開発グループを形成することになります。このような開発グループが複数存在し、秘密保持などの制



図－7 協調領域の必要性

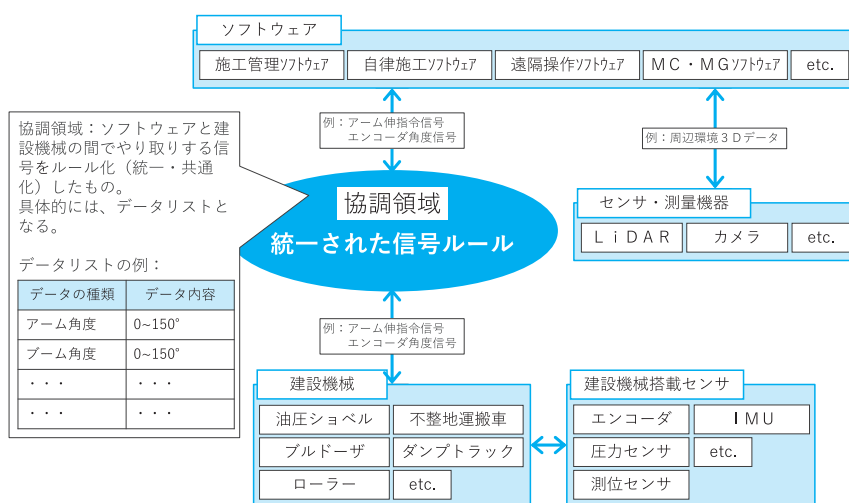
約のために、互いに連携・協働することが困難となっており、研究開発投資の重複が起こっています。また、メーカーが異なると建設機械の相互連携が難しく、特定のメーカーの建設機械しか使えない自律施工技術となりがちです。そこで、協調領域を設定することで、研究開発投資の重複を回避し、複数のメーカーの建設機械を相互に連携して使える自律施工技術の実現が必要です。

土研が行っている自律施工技術の研究・開発を加速する取り組み内容を整理すると以下となります。

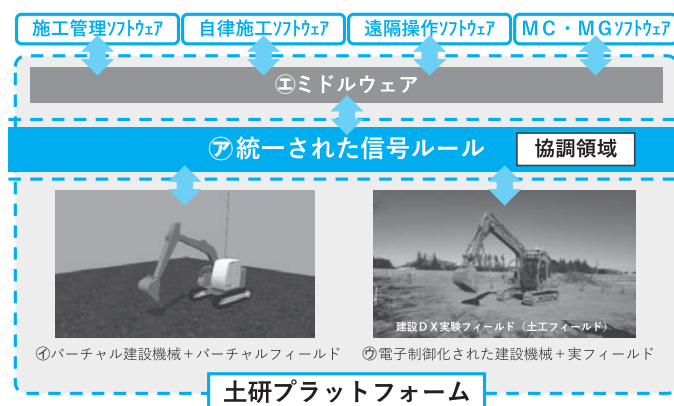
- ① 協調領域の設定
- ② 自律施工技術基盤（プラットフォーム）の整備
- ③ 安全ガイドライン・監督検査方法の提案
- ④ 協調領域の設定は、図－8に示すように、自律施工等のソフトウェアと建設機械との間でやり

取りする信号の統一化されたルールを協調領域として設定することを考えています。まずは、油圧ショベルの協調領域原案（データリスト）を提示し、原案を基に建設機械メーカー等の関係者と意見交換を行い、成案に向けて、すり合わせを実施する予定で、検討を進めています。そして順次、他の機種についても同様に進めていく予定です。また、この協調領域については、ISO等の規格化を見据えて取り組みを進める予定です。

⑤自律施工技術基盤（プラットフォーム）の整備では、図－9に示すように、⑦協調領域（統一された信号ルール）と④バーチャル建機+バーチャルフィールドと⑥電子制御化された建設機械+実フィールドと③ミドルウェア（施工管理ソフトウェア等との接続部分）からなるプラットフォームを整備します。このプラットフォームの実フィールドとして土工フィールドを活用します。



図－8 協調領域の設定



図－9 自律施工技術基盤（プラットフォーム）

自律施工技術の研究・開発を効率的に進める上で、デジタルツインが有効です。コンピュータ上で建設機械の最適な動作をシミュレーションして導き出し、そのとおりに建設機械が動作するかを実フィールドで実験して検証します。試行錯誤を繰り返しながら自律施工技術を最適化する研究・開発用のプラットフォームを整備します。このプラットフォームは、意欲と技術力はあるものの、自ら研究・開発用のプラットフォームを整備することが難しい民間企業や大学などにも、共同研究などの枠組みにより活用してもらうことで、研究・開発を加速させ、革新的な自律施工技術が実現することを期待しています。また、土研では、プラットフォームや土工フィールドを活用して、技術の検証・評価や技術競技会などを行っていくことも考えています。

令和3年7月に、開発中であるプラットフォームの利用事例の一つとして、油圧ショベルと不整地運搬車による連携・協調作業である掘削・積込・移動・放土の自律施工を公開デモンストレーションする予定で準備を進めていました。この公開デモンストレーションでは、土研で開発中のプラットフォームの構成と研究開発の利便性向上を研究開発に携わる方々に広く知っていただき、積極的に活用していただくことを目的としていました。また、今後のプラットフォーム開発の参考とするため、参加された方々と意見交換会を開催する計画でした。

新型コロナウイルス感染症の感染拡大の状況を踏まえ、直前で延期することとなりましたが、開催できる状況になりましたら、公開デモンストレーションを実施する計画で、現在も研究開発を進めています。写真-2は、公開する予定だった自律施工のデモンストレーションの様子です。

◎安全ガイドライン・監督検査方法の提案では、自律施工技術を実際の工事現場で使用する前提となる周辺環境整備として、実効性のある安全ガイドラインや監督検査方法などを、国土交通本省と方針をすり合わせながら、国総研とも連携しながら、提案していく予定です。



写真-2 自律施工のデモンストレーション

6. おわりに

建設 DX 実験フィールドの利用については、建設現場の新たな計測技術や建設機械の自動・自律施工をはじめとして建設技術に関する様々な研究開発を行う民間企業、大学等にも公開し、研究開発を行います（http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/kisya/journal/kisya20210628_2.pdf）。

土工フィールドの施設利用希望については、国総研企画部企画課までお問い合わせください（<http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/rental/rental.html>）。

【参考文献】

- 1) 一般社団法人日本建設業連合会：建設業のためのロボットに関する調査報告書，2020.3
- 2) 山内元貴，橋本毅，山田充，新田恭士，油田信一：建設機械施工における標準プラットフォームの提案—建設機械制御へのロボット用ミドルウェアの導入—，ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020 in Kanazawa, 2P1-A08, 2020.5
- 3) 岩見吉輝：自律施工の技術開発促進に向けた土木研究所の取り組みについて，東京大学「i-Construction システム学」寄付講座 2021 年度第 2 回公開ワークショップ基調講演資料，2021.5 <http://www.i-con.t.u-tokyo.ac.jp/>
- 4) 岩見吉輝：自律施工技術の今後の展望，土木技術資料 63-9（2021）pp. 5-7, 2021.9