

施工段取り作成支援 AI 開発向け 学習用データ整備に関する検討

～施工データセットの研究とデータの API 連携に向けた動き～

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 よしだ まさと 吉田 真人
 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 おおつき たかし 大槻 崇

1. はじめに

2015 年の i-Construction（国土交通省における工事現場での ICT の全面活用等により現場の生産性を向上させる取り組み）の開始以降、土工、舗装工、浚渫工などにおいて、ICT を活用した効率的な工事測量、建設機械操作者へ作業内容のガイダンスを行うシステム、土工の法面や天端の整形にショベル、グレーダやブルドーザ等のバケットやブレードの刃先を自動制御する建設機械などの活用が進んでいる。2021 年度の国土交通省発注工事では単年で 2,264 件の ICT 活用工事が行われており、公告に対して 84% の現場で ICT 施工が取り組まれた。

このように、施工現場の ICT 化が着々と進みつつある中で、次なる生産性向上策として、施工の自動化に向けた期待と取り組みが進みつつある。

その実現に向けて、国土交通省では、施工段取りの作成支援を行う AI が開発されることが必須であるとの考えから、それらの開発に必要なであろう学習用データの収集と公開に向け、学習用データセットの検討を進めている。

本稿では、当該検討の背景と取り組みについて、現時点での状況を報告する。また、そのデータを収集するうえで有効な施工データの API 連

携の動きについて、その状況も概説する。

2. 施工段取り作成支援 AI の開発の必要性

i-Construction における「ICT 土工」の推進により、土工においては、盛土切土の法面や天端の整形作業に関し、ショベル、グレーダやブルドーザ等のバケットやブレードの刃先を自動制御する建設機械が実現され、利用されている。

施工会社や建機メーカーなどを中心に、実験的にショベル、ベッセルダンプ、ブルドーザ、振動ローラが人間の定めたプログラムに従って動作・連動し、土砂置き場でショベルが土砂をすくい上げ、ダンプのベッセルに積み込み、その後、ダンプが盛土ポイントまで移動、放土、ブルドーザが敷き均し、最後に振動ローラが締固めをするまでの一連の作業をある特定の現場条件の中で試行する動きも見られ、施工の自動化に向けた取り組みが着々と進められている。一方で、自動化された機械をどのように組み合わせる使い、どのような段取りで地形形状を変えていくのかについては、現状、人による施工段取りが必要となっている。

土工において、どこの土を切り取り、場内のどの場所にその土を運び、どこに盛り立てるのかについては、「土量配分計画」（現状地形図と完成形を表した設計図とを比較し、地点ごとの切土盛土

の量を算出して、どこの切土で発生する土をどこの盛土に用いると運搬が最も経済的であるかの計画。運土計画ともいう)と呼ばれる計画が立てられる。この土量配分計画は、30年近く前から、線形計画法などを用いて自動算出することは行われていた。

しかし、この土量配分計画をもとに、それを具体的な作業として、どの地点の作業から取り掛かり、どの順序で進めるべきか、どのタイミングでどこに工事用道路を切り回していけば効率的な施工となるかといった段取りの計画については、それをコンピュータプログラムにて行おうとすると、ありうる作業順序の全てのパターンをしらみつぶしに洗い出し、それらの全パターンについて評価し、最適な作業順序を選定することが必要になる。

これはいわゆる「組み合わせの最適化問題」といわれるもので、その計算には土量配分計画で用いられる線形計画法での計算時間よりも膨大な計算時間が必要となったり、計算時間の圧縮をするために必要な制約条件の割り当てに高度な数学的操作が必要なことなどから、実用に耐えうるレベルでのプログラムは実現されなかった。そのため、人間が策定した作業計画の中で、重機の必要台数を算定したり、待ち行列理論を適用したシミュレーションを行うという方向で部分的な支援プログラムが用いられてきたという状況が続いている。

つまり、土工の手順として、土量配分計画、施工段取りの計画、重機での実施工というステップで仕事を進める中で、その上流側と下流側での自動化が進みつつも、その間をつなぐ施工段取りにおいて、それを本格的に自動生成していく取り組みが行えるようになるのかということが、自律施工を実現する鍵となってきている。

3. 施工段取り作成支援 AI の開発に向けたアプローチ変更の必要性と学習用データの整備

従来の組み合わせ最適化のアプローチでは実現が難しかった施工段取りの自動生成の実現に向

け、量子コンピュータを用いた取り組みもされており、大いに期待される。

一方で、同時に、ディープラーニング手法にけん引されて注目と投資が活性化している「機械学習」を用いた「施工段取り作成支援 AI」の実現に向けた動きも数社で模索されており、既存の人間が行った施工段取りを学習データとして、それを再現するためのルールを探していくアプローチなどをはじめとした取り組みが行われ始めている。

この後者のアプローチの支援に向け、国土交通省では、施工現場における施工の履歴を記録し、その段取りとなった理由を説明してくれるデータをくまなく、かつ一定のルールに基づくフォーマットで提供していくことが有益と考え、施工現場の時系列変化情報のデータに関する標準（素案）に関する検討を進めてきたところである（図-1）。

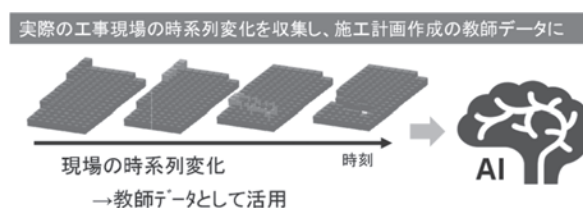


図-1 施工段取り作成支援 AI 開発のための学習用データのイメージ

4. 学習用データのセット素案

施工現場の時系列での変化情報のデータに関する標準について、「工程進捗データ標準」と呼称し、検討を進めてきた。

次に、当該データの標準素案にかかる構成と中身の概要を紹介する。なお、当該標準素案によるデータ収集の試行を進めて、更に当該内容の更新を行っていく予定である。

(1) 工程進捗データ標準（素案）の構成

ここで定める「工程進捗データ標準（素案）」は、ICT 建設機械に AI を組み合わせて自律施工を行う技術の開発促進を目的に、その開発のための学習用データとなる施工現場における工程進捗データのデータ項目の定義（データ項目の内容、データ形式など）を定めたものであり、そのデータとデータの活用イメージを図-2に示す。

施工現場の地形形状の変化をとらえる「現場状態」についてのデータと、その変化を起こした作業機械の「作業状態」を二つの基本情報としている。これらのデータのうち、前者については、建設機械の作業装置の稼働履歴や位置の記録、UAV 写真測量等による地形形状計測データにより得られるものであり、「施工データ編」として整理した。

他方、後者の作業機械の作業状態については、当初は前者のデータのうち、作業装置の稼働履歴や位置の記録によるものを想定したが、検討を重ねた結果、現場の建設機械の作業映像を並行して取得することが有用であるとの結論に達し、作業機械の作業状態データの補完として「映像データ編」を作成するに至った。

(2) 施工データ編

施工データの項目の定義は、施工段取りに関する建設機械の作業手順やその作業内容、施工結果の形状の両面にわたっており、以下の項目で構成されている。

- ・ 建機の動作に関するデータ
- ・ 地形データ
- ・ 工事基本データ

- ・ 地質データ
- ・ 気象水文データ
- ・ 制約データ
- ・ 逆指定データ
- ・ データ記録に関するデータ
- ・ その他データ

上記データについて、主なものの一部の記載状況を図-3に示す。

データ項目の名称、データ内容の説明、形式、計測間隔、取得方法について整理したものとなっている。また、それぞれのデータについては、各種システムから収集する際に、さまざまなメーカーのクラウドシステムからデータの送付を受けられるよう、また、それらを統一したデータフォーマットで蓄積するべく、Web-API の代表的なフォーマットである JSON 形式によるデータ型の試案も同時に作成した。

(3) 映像データ編

4.(1)に記載のとおり、建設機械の動作については、例えばショベルの刃先の連続的な位置データを取得することで、作業状態の推定を行うことを考えていたが、その際の作業状態の区分については、以下の分類（表-1）を試案として整理し、その前提で作業分類が可能かについての検討を行った。その結果、現状のデータセットからの推定では、確度高く実施するのは困難であることが確認されたため、作業状態の推定に、映像データの活用を行うとの結論に達した。

一方で、施工現場については、通称「映像 CIM」と呼ばれる現場の安全性や生産性の向上に

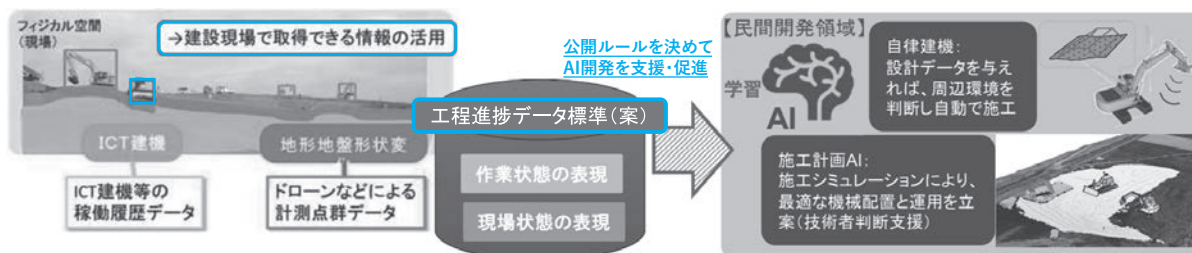


図-2 データとデータの活用イメージ

施工計画AI・自律建機開発促進データセット

	データセット名	説明
1	施工の作業順序情報	建設機械の作業順序を示す機械位置の座標情報。
2	施工の作業内容情報	建設機械の作業内容を示す情報。
3	施工結果情報	作業終わりの出来形の形状を示す情報。
4	プロジェクト情報	プロジェクトの基本情報と設計データと現地盤高さデータを示す情報を参照
5	機械情報	使用機械を示す情報。

施工計画AI・自律建機開発促進データセット データ項目の定義(一部)

データセット	説明	データ項目	形式(単位)	計測間隔	取得方法(例)
施工の作業順序情報	建機の操作記録、位置情報等	位置・高さ情報 時刻情報	緯度経度標高、 世界測地系	作業中 (秒単位)	・ICT建機の作業装置位置や測位技術の設置位置(GNSS,TS等) ・映像データの位置解析
建機の作業内容	土砂掘削や盛土など建機の作業内容	作業内容	テキスト	作業中 (秒単位)	・ICT建機の各種センサの作業内容解析による ・映像データの作業内容解析 ・オペレータ等による手入力
施工結果の形状情報	作業結果形状(X,Y,Z,時刻情報)	位置・高さ情報 時刻情報	緯度経度標高、 世界測地系	作業中 (日単位)	・ICT建機の作業装置位置や測位技術の設置位置(GNSS,TS等) ・映像データの位置解析

施工計画AI・自律建機開発促進データセット実装例(JSON形式)(一部)

パラメータ名	必須/任意	パラメータ (JSON内表示)	データ型	Sample	
プロジェクトID	必須	project_id	text	P00001	
建機ID	必須	machine_id	text	M00001	
作業順序情報	x	machine_coordinate_list	array	float	50.5
	y			float	50.5
	z			float	50.5
	タイムスタンプ	必須	at	YYYY-MM-DDThh:mm:ss.fff+hh:mm	2022-01-01T00:00:00.000+09:00
	作業内容		work type	Enum 土砂集積 法面整形 土砂掘削 積込 待機 停止等	土砂掘削

図-3 施工データの記載状況の一部

向けて、施工現場の映像データを取得し活用する取り組みが先行的に存在している。

今回の検討では、当該映像CIMの取り組みで取得される映像データの実情を踏まえ、かつ、当該映像データを画像解析AIにて効率的に分析していくことが可能であるかの検証を行いつつ、次の項目で整理した。

- ・ 基本的考え方
- ・ 撮影標準

- ・ 撮影範囲
 - ・ 求められる画質水準
- (※以下、参考的な技術情報)
- ・ レンズ
 - ・ 画像エンジン
 - ・ 画像処理技術

図-4に「映像データ編」の一部を示す。

表－1 作業分類

作業項目	BH	D	【作業の目的】と ⇒判定上特徴的な動作
土砂集積	○		<p>【作業の目的】 目的とした場所へ土砂等を移動集積すること ⇒バケットに土砂等を積載しバックホウ自体が移動しながら土砂等を集積する動作 ⇒移動された土砂等をバケットにて集積する動作 ⇒集積した土砂等をバケットにて整形する動作</p>
土砂移動	○		<p>【作業の目的】 他の目的（作業）の為、一時的・便宜的に土砂等を移動すること ⇒バックホウ自体は基本的に位置を変えず、主にアームの旋回等で土砂を移動させる動作</p>
整地	○		<p>【作業の目的】 建機の作業路面を整えること（河床を均す動作も含む） ⇒バックホウのバケットを利用し路面の不陸をなくす動作 ⇒バックホウを走行させキャタピラにて転圧を行う動作 ⇒一定量以下（バケットの爪の深さ程度）の土砂をすくい取り、その場で敷き均し路面の不陸をなくす動作 ⇒整地の為の断続的な移動 ※路面を整える目的でも一定量以上（バケットの爪の深さ程度）の土砂をすくい取る動作は、「土砂掘削」に分類</p>
法面整形	○		<p>【作業の目的】 定められた形（勾配）に法面を整形する ⇒一定量以下（バケットの爪の深さ程度）の土砂をすくい取り、法面外へ当該土砂を移動させている動作 ⇒バケットの背を利用し、法面を整形転圧する動作 ※法面を整形する目的でも、一定量以上（バケットの爪の深さ程度）の土砂をすくい取る動作は、「土砂掘削」に分類</p>
土砂掘削	○		<p>【作業の目的】 不要な土砂等を掘り取ること ⇒基本的に地表面となっている高さからバックホウにて掘り下げ、土砂等をバケットに積載し移動する動作 ※整地及び法面整形作業にて一定量以上（バケットの爪の深さ程度）の土砂をすくい取る動作は「土砂掘削」に分類</p>
除石 本工種 では工種 として指定 有	○		<p>【作業の目的】 一定以上の大きさの石を取り除くこと（15 cm 程度以上（今回）／一般的には、法面整形・整地等に支障をきたす大きさ） ⇒河床及び掘削土砂内にある石を土砂と選別し取り除く動作 ⇒法面内及び集積土砂内から石を土砂と選別し取り除く動作 ⇒積込時にその土砂内から露見した石を土砂と選別し取り除く動作</p>
張石	○		<p>【作業の目的】 法面整形完了後の法面を洗掘等から保護すること ⇒除石で発生した岩石を法面に被せる動作（法尻に捨石する場合も含める） ⇒岩石を法面に被せる為に行う断続的な移動</p>
積込	○	○	<p>【作業の目的】 掘削した土砂等を搬出すること ⇒集積された土砂等をダンプへ積み込む動作 ※「土砂掘削」と同時に行う場合も多い</p>

5. 映像撮影標準

5.1 撮影標準

5.1.1 基本的考え方

AI 学習用画像は、実際に AI 判定にかける画像に映っている建機と画像上の特徴（角度・解像度・鮮明度等）が類似していることが必要である。従って、AI 判定用画像の留意点が、同時に AI 学習用画像の留意点となる。

※ 例えば、焦点のボケた建機を AI で認識させる場合、学習用データとして同じ程度にボケた建機の画像を使用することで、AI の検知率を向上することができる。

5.1.2 AI 学習用データ撮影標準

(1) レンズ

➢ 広角レンズを基本とするが、魚眼レンズは使用不可とする。

《解説》

- ・画像全域で焦点が合っている（パンフォーカス）ことが望ましい。この趣旨に基づき、28mm 程度より広角側を基本とする。
- ・魚眼レンズ、その他画像の歪みの大きいレンズは建機画像が歪み、AI 学習用の画像として適さないため、使用不可としている。従って、遠隔臨場等有人用途向けに全周映像を撮影する目的で魚眼レンズを利用する場合等であれば問題はない。

(2) 画素数

➢ 300 万画素程度以上とする。

《解説》

- ・当面は、PC ディスプレイ等による利用が主流となるため、これらのディスプレイ装置の解像度程度以上とした。

【参考】現場撮影カメラの事例

AI による判定用に使用されたカメラには、次のようなものがある。

《事例 1》ハウジング一体型 4K ネットワークカメラ

主な仕様

- 画像素子：1/2.3 型裏面照射型 CMOS センサー
- 有効画素数：約 1,240 万画素 4,072（水平）×3,046（垂直）
- 撮像面積：水平 6.3mm×垂直 4.7mm
- 最低被写体照度：カラー：1.5lx 白黒 0.8lx
- 焦点距離：4.5mm～10mm
- 最大口径比：F1.6
- フレームレート：最大 30fps（3840×2160）

図－4 「映像データ編」の一部

5. データの収集に向けた取り組み

(1) データ収集の課題

4. のデータ仕様に基づくデータの収集については、少なからず費用の発生することが検証の結果から確認されている。

そのため、本データ仕様に基づくデータの収集に当たっては、学習用データとしての使用にかかるメリットに加えて、異なる使用方法を模索し、当該使用方法におけるメリットとともに、そのデータ収集費用のアロケーションを検討することが必要であるとの結論に至っている。

施工段取り作成支援 AI 開発に向けた学習用データとしての工程進捗データ標準（素案）で収集を進めていくデータ項目と整合性の高いデータを利活用する取り組みについて検討を進めた結果、i-Construction の ICT 土工における As-built データの活用に関する取り組みを連携対象として検討を進めることとしている。

(2) 施工データの API 連携に向けた国土交通省の取り組み

ICT 建設機械による施工履歴データの活用が今後拡大することが期待される一方で、現在、存在する施工履歴データの提供サービスは、ICT 建設機械のセンサ類などのシステムごとにデータ処理を行い、出来形データを吐き出すところまでが一貫して作りこまれてしまっていることが多い。そのため、もし、異なるメーカーによる ICT 建設機械からの出来形管理に用いる施工履歴データを組み合わせて出来形管理を行うとすると、ユーザー側にて、それぞれのシステムで個別にデータをファイルにて取り出し、それらのファイルのデータを別のソフトで読み込んで整理するなどの統合作業における手間が生じる。

将来的に、施工履歴データ以外のデータも組み合わせ、現場管理全体により便利にデータを活用していくためにも、こういったユーザー側のデー

タ取り扱い上の手間を縮減していくことが必要である。

こういった課題の解決を目指して、主にシステムベンダーからなる協議会が立ち上がり、ICT 建設機械の施工履歴データの連携において、プッシュ型の API を活用することを目指した取り組みがスタートしている。

この協議会における取り組みには、国土交通省もオブザーバーとして加わり、その活動動向は国土交通省が運営する ICT 導入協議会でも定期的に報告され、議論が行われている。

API を活用した施工現場のデータ連携を目指すことに当たっては、当面の鍵を握るユースケースとして、国土交通省発注工事における施工履歴データを用いた出来形管理を念頭において議論を進め、そこでやり取りされるデータの連携範囲を順次拡張することで達成できるユースケースへと、データ連携の範囲を広げていく方針で議論を進めている。

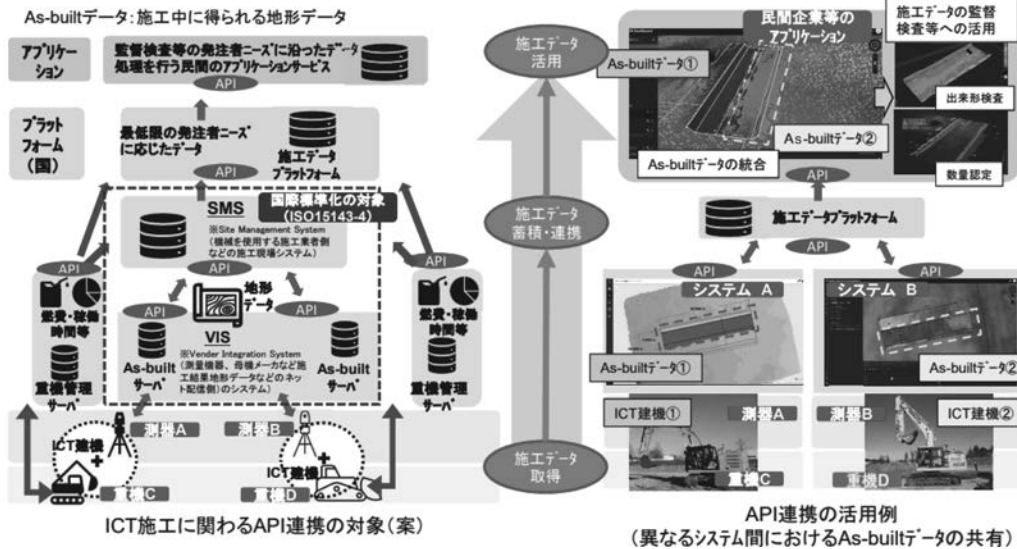
出来形管理を任意のタイミングで行うことができるといった開発が進められることで、出来形管理以外で、例えば、工事自体の進捗状況に関係者において共有し、現場の進捗管理や土工の後の工程段取りの調整などに活用して、現場のスケジューリングを効率的に行っていくなどの元請施工管理会社を中心とした、発注者や協力会社とのコミュニケーションの高度化に活用するユースケースへの拡大を視野に入れた活動が期待されている（図-5）。

4. で概説したデータの収集に関する連携先として、本取り組みとの連携を模索することとしている。

APIを活用した施工現場のデータ連携円滑化



- ICT活用工事では、様々なメーカーの機器やアプリケーションが利用されており、異なるメーカー間での円滑なデータ連携が困難となっている。
- そこで、最低限の発注者ニーズに対応したAPI仕様を策定することにより、ICT活用工事を通じて生成される様々なデータについてメーカーの垣根を超えた連携を実現し、ICT活用工事の仕様に応じたデータ処理に限らず、様々なユースケースでそのデータを活用することを目指す。



図ー5 施工データのAPI連携に関する国土交通省の取り組み
(2022年2月28日 第14回ICT導入協議会資料より抜粋)

6. おわりに

本稿では、ICT施工の次なる生産性向上の未来として期待されている「施工の自動化」に関して、避けて通ることのできない施工段取りの自動化についての課題を説明し、その解決に向けて国土交通省 国土技術政策総合研究所が進めている研究の一端を紹介した。

また、データ収集については、施工データのAPI連携に関する取り組みとの連携に関する検討を進めることを紹介した。当該連携がどのよう

に進むかについては今後の議論次第だが、いずれにせよ、2023年度以降、4.で紹介したデータ仕様によるデータの試行収集を進め、以前より試行的に行っているインフラデータチャレンジ (IDC) 等での当該データの部分公開を進めていく予定である。

施工段取り作成支援AIがどのようなものとして登場するかは未知である。しかし、施工の自動化に向けた課題認識を共有し、そしてその開発に資するデータの提供を国土交通省が進めることで、少しでも早く、施工現場に未来をもたらせるよう、これからも、国土交通省では不断の取り組みを進めていく所存である。