

施工計画自動生成 AI 開発促進に向けた 学習用データの整備に関する検討状況

大 槻 崇・杉 谷 康 弘・二 宮 建

平成 28 年から始まった建設現場の生産性向上に向けた政策パッケージである i-Construction での「ICT 活用工事」はその工種・件数ともに拡大が進んでいる。令和 5 年にはそれを ICT 施工 Stage I と位置づけ、施工の自動化を展望する ICT 施工 Stage III という構想が発表されるに至っている。この施工の自動化の実現には、施工計画自動生成 AI の開発促進が必要と指摘されている。この施工計画自動生成 AI の開発促進に向けた学習用データの整備に関する検討について、第 6 回「i-Construction の推進に関するシンポジウム」での発表概要に令和 6 年に行ったデータ構造の検討等を加えて報告する。

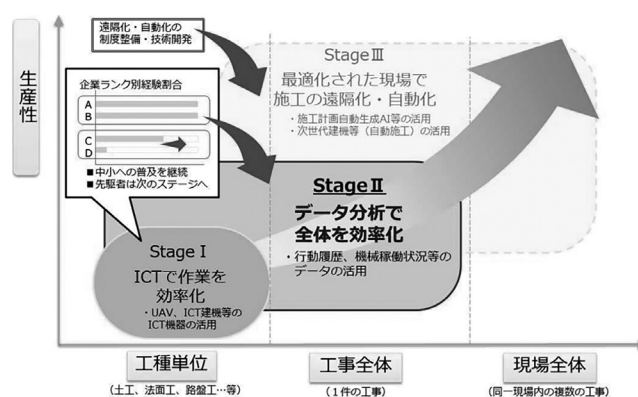
キーワード：自動施工、施工計画、AI、地形データ、API

1. はじめに

平成 28 年度から、国土交通省は、建設現場の生産性向上の取り組みとして、i-Construction を開始した。担い手確保が難しくなりつつある各種生産活動において、他産業よりも、高齢化率が高く、かつ一人当たり付加価値労働生産性が伸び悩む建設分野において、一人当たりの生産額を向上させるべく、ICT 技術の全面的な活用、全体最適の実現、施工時期平準化を柱に、国土交通省発注工事において取り組みをはじめた。

特に、ICT 技術の全面的な活用においては、施工現場における計測作業を効率化させる各種計測技術や、操縦に自動制御を用いる建設機械の導入・活用を促進することで、時間当たり生産額の向上を目指してきた。令和 6 年 12 月に開催された、i-Construction・インフラ DX 推進コンソーシアム：第 10 回企画委員会にて示された資料では、国土交通省の発注する取り組みの対象となる工事全体で、2015 年比約 21% の労働時間縮減が達成したと推計された。

令和 5 年 3 月に開催された第 16 回 ICT 導入協議会において、それまでに展開してきた公共土木工事での新たな計測技術や、GNSS や自動追尾 TS などの測位技術と自動制御技術を用いて一部の操縦を自動化した建設機械の活用促進を「ICT 施工 Stage I」と位置づけるとともに、新たに、更なる少人化（人を省くのではなく、少なくなる人手での施工に対応するの意）に対応した施工の遠隔化と自動化を実現した未来として「ICT 施工 Stage III」を展望する構想を発表した（図一



図一 国土交通省発表の ICT 施工の将来発展イメージ

1)。この中で、施工の自動化に関し、「施工計画自動生成 AI 等の活用」が明示されており、国土技術政策総合研究所では当該 AI の開発に必要な学習用データの収集に向けた、学習用データセット案の検討を進めてきている。

本稿では、令和 6 年 i-Construction の推進に関するシンポジウム（土木学会）での発表概要とそれ以降の検討成果を合わせて報告する。

2. 施工計画自動生成 AI 開発の意義

現在の地形を、望む形に変えるために土の移動を行う「土工」と呼ばれる土木工事でも最も基本となる作業において、ショベルによる法面の整形作業やブルドーザによる整地作業での作業装置の刃先の制御を半自動化する技術が、ICT 施工 Stage I において導入促進さ

れてきた。

これらと同時に、一部の先進的な施工会社や建機メーカーにおいて、ある特定の現場条件の中で、ショベル／ベッセルダンプ／ブルドーザ／振動ローラが、“人間の定めた施工動作順序に従って”動作・連動し、土砂置き場から盛土ポイントまで土を移動させ、盛土と締固めまでを自動に行う自動施工システムの試行が進められるなど、自動動作を行う施工機械の制御技術の活用の試みが進められてきている。

この“人間の定めた施工動作順序”の、自動生成に取り組んでいこうというのが、図—1の図中におけるStageⅢの項目中にある「施工計画自動生成 AI」の意味である。より具体的には、自動化された建設機械をどのように組み合わせて使い、どのような順序で地形形状を変えていくのかについての施工計画の一部分を指している。

ここで、施工計画の一部を指すとしたが、それは、土工の施工計画のうち、土量配分計画については、すでに実用に足るシステムが実現できていることを踏まえている。土工において、どこの土を切り取り、どの場所にその土を運び、盛り立てるかについては、土量配分計画と呼ばれる計画が立てられる。この土量配分計画は、40年以上前から、現況地形図と完成形を表した設計図とを比較し、各地点毎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使用燃料が少ないか、又は短期間で工事が終わるかなどの計画作業に関する線形計画法などを用いた自動算出の研究と共に、その成果の現場実用が進んできている。

しかし、この土量配分計画をもとに、どのような建設機械と施工方法を採用し、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るかといった施工順序や、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仮設道路計画については、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「組合せの最適化問題」と言われるもので、その計算には土量配分計画で用いられる線形計画法の計算時間よりも膨大な計算時間が必要となるほか、計算リソースを縮減するための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、様々な現場で汎用的かつ実用に耐えうるレベルでのプログラムの実現は確認されていない。このことから、人間が設定した仮設道路の計画の下で、重機の必要台数を算定したり、待ち行列理論を適用した生産性シミュレーションを行う、部分的な支援プログラムの開発と活用に残ってきた。

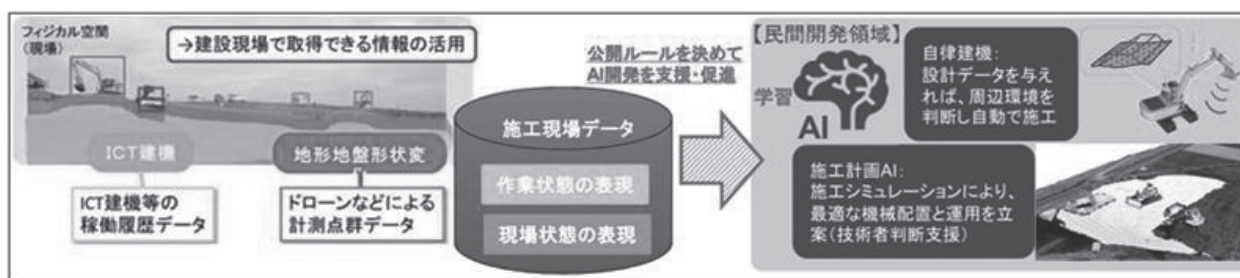
つまり、機械土工における、①土量配分計画、②仮設道路配置・施工順序決定、③重機での実施工というプロセスにおいて、その上流側①と下流側③での自動化が進みつつも、その間をつなぐ②に関し、それを本格的に自動生成していく取り組みが行えるようになるかどうか、施工の自動化・自律化を実現する鍵となってきた。

3. 施工計画自動生成 AI の開発に向けたアプローチと学習用データの整備の意義

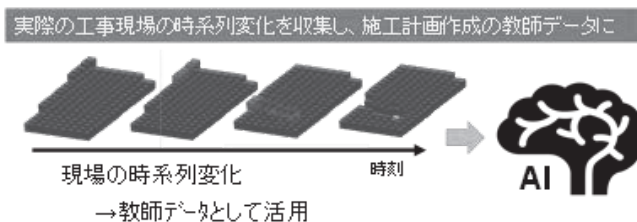
従来のコンピュータでは能力上難しかった組合せ最適化のアプローチによる施工計画自動生成の実現に向け、建設発生土の運搬計画の最適化計算に関し、アニーリング方式の量子コンピュータを用いた解決に取り組む動きもある。

他方、ディープラーニング手法にけん引される新たな世代の「機械学習」等を用いて、施工計画自動生成 AI の実現に向けた動きを活性化すべく、既存の人間が行う施工計画とその実際の施工順序等を学習用データとして、それを再現するためのルールを探していくアプローチや、強化学習を行うための現場の数理モデルを構築する取り組みにも期待が高まっている。

このアプローチの支援に向け、施工現場における施工の履歴を記録し、その作業順序となった理由を説明



図—2 施工計画自動生成 AI 開発のための学習用データとそれらが利用されていくイメージ



図—3 学習用データとそれを用いた AI 開発のイメージ

してくれるデータと想定されるものを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)の策定に関する検討を進めている(図—2, 3)。

4. 学習用データセットの素案

施工現場の時系列での変化情報に関するデータ標準を「工程進捗データ標準」と呼称し、検討を進めてきた。

令和6年のi-Constructionの推進に関するシンポジウム(土木学会)において発表を行ったが、それ以降の検討成果である、データリストへの追加データ項目、各データの連結関係を明確化したデータ構造の整理状況を新たに加えて報告する。

(1) 工程進捗データ標準素案の構成

「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に関する標準(データ項目の内容、データ形式など)の素案として定めたものである。施工現場の地形形状の変化をとらえる「現場状態」データと、その変化を起こした作業機械の「作業状態」データの2種類を基本としている。

「現場状態」データは、建機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として「施工データ編」として整理した。他方、「作業状態」データは、「現場状態」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から判定することを当初は想定していたが、検討の結果、現場の建機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、施工順序と作業内容、施工結果の地形形状と着工前地形形状等の工事基本データの基本3項目と、施工条件等を規定する追加5

表—1 ①建機の動作に関するデータ

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	建機の位置情報、時刻等	位置・高さ情報 時刻情報	緯度経度標高、世界測地系 日付(Date) 時間(Time)	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
建機の作業内容情報	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
建機管理のための情報	建機名、メーカー等	建機名	テキスト	着手時に設定	システムへの手入力等
		メーカー	テキスト	着手時に設定	システムへの手入力等
		建機種別	テキスト	着手時に設定	システムへの手入力等
		建機仕様	テキスト、数値	着手時に設定	システムへの手入力等

表—2 施工の作業順序情報(表—1内「施工の作業順序情報」の詳細)

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	必須	float	50.5
	y	必須	float	50.5
	z	必須	float	50.5
	タイムスタンプ	必須	array	YYYY-MM-DDThh:mm:ss.fff+hh:mm
			at	2022-01-01T00:00:00.000+09:00 (タイムゾーン表記を指定)※ISO8601に準拠
作業内容		machine_coordinate_list	Work type	Enum 【バックホウ・ダンプの場合】 土砂集積 土砂移動 整地 法面整形 土砂掘削 積込 待機 停止 移動 その他 【フルドーザの場合】 押土(敷き均し) 整地 整形仕上げ 押土集積 鋤取り集積 盛土 切土 転圧 待機 停止 移動 その他)
				土砂掘削

項目で構成している。

【工事基本データの基本3項目】

- ①建機の動作に関するデータ(作業順序など)
- ②地形データ(施工結果情報)
- ③工事基本データ(着工前地形データ)

【施工条件等を規定する追加5項目】

- ①地質データ(土質、体積変化率、含水比など)
- ②気象水文データ(施工時期とその気候情報)


```
{
  "project_id": "P00001",
  "machine_id": "M00001",
  "asbuilt_id": "A00001",
  "as_built_coordinate_list": [
    {
      "x": "50.5",
      "y": "50.5",
      "z": "50.5",
      "at": "2022-06-08T18:00:30.000+09:00"
    },
    {
      "x": "50.5",
      "y": "50.5",
      "z": "43.5",
      "at": "2022-06-08T18:10:30.000+09:00"
    }
  ]
}
```

図—4 表—2のデータのJSON形式の規定例

- ③制約データ（日当たり必要施工量，機器制約など）
 ④その他データ（工事用道路経緯など）
 ⑤データ記録に関するデータ（データ生成者など）

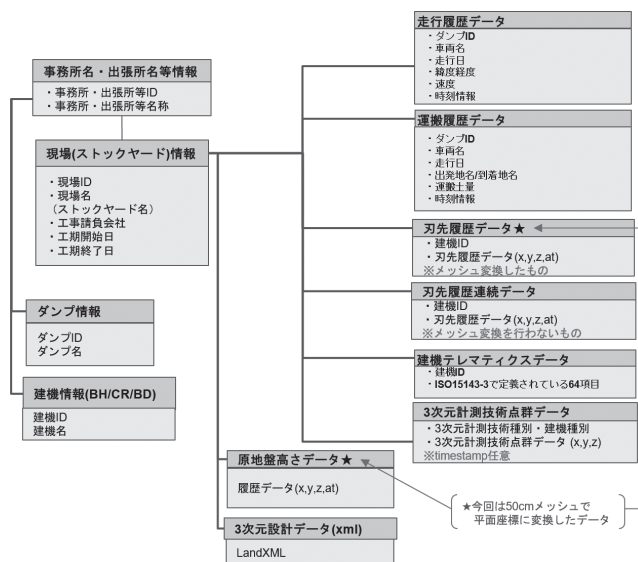
上記データについて，主なものの一部の記載状況を表—1，2，図—4に示す。

建機には，ショベルやブルドーザ，締固め機械，クローラダンプといった場内で動く機械に加えて，令和6年の検討では，公道を走行するダンプについても走行や運搬の履歴を記録することとした。「5.」にて述べるが，このデータのユースケースにおいて，自動施工に加えて高度化施工管理にも活用していくことを想定していることによる。

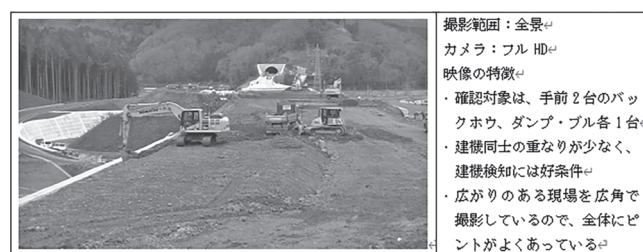
それぞれ，データ項目の名称，データ内容の説明，形式，計測間隔，取得方法について整理したものとなっている。また，それぞれのデータについては，各種システムからの収集をする際に，様々なメーカーのクラウドシステムとの連携とともに，統一したデータフォーマットで蓄積するべく，web-APIの代表的なフォーマットであるJSON形式の作成も試みている。

これらのデータをデータベース等にて効率的に保存管理する際には，検索性を向上させ，データ属性を効率的に管理するために，データの連結関係を明確にするデータ構造の設計が必要となる。令和6年では，このデータ構造の検討を行った（図—5）。

実際の建設工事現場での効率的なデータ収集にあたり，事務所名・出張所名等情報（工事の発注機関に関する情報）をヘッドに置き，現場情報（発注工事の契約名等）ごとに現場の遷移に関するデータを並列に紐づけた。また，ダンプ情報，建機情報は，発注者情報に並列に置くこととした。当該発注者の管内で同一建機・ダンプが利用される機会が多数あることを踏まえ，建機の所有者がリソースマネジメントに取り組む際に，このような連結関係とすることでダンプIDや建機IDをキーとしたデータ処理の効率化の実現を念頭に置いている。また，災害発生時に，その応急復旧に取り組む際，発注者と受注者及び専門工事業業者間で，被災地周辺の利用可能な建機のリストアップと稼



図—5 データの連結関係を明確にしたデータ構造（案）



図—6 工事全景撮影の例



図—7 工種単位撮影の例

働管理に活用できていくのではないかと観点にも基づいている。こういった観点の意義については，「5.」において改めて述べる。

(3)「映像データ編」

建機の動作情報の記録においては，映像データを並行して活用することとし，映像データの取得にあたり，以下の項目からなる撮影標準を整理した（図—6，7）。

- ①撮影範囲（工事全景撮影，工種単位撮影など）
- ②画質水準（広角レンズ，フル HD，30 fps など）
- ③タイムラプス基準（全景1分・工種30秒間隔）

この撮影標準の検討にあたっては，施工現場の映像データを現場の安全性や生産性の向上検討に活用する「映像CIM」と称する取り組みが先行的に存在してお

り、今回の検討では「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つつ、かつ、当該映像データを画像解析 AI（掘削や整地等の 8 項目の作業状態の推定を行う）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った。

5. データ収集に向けた課題と今後の取り組み

上記データ仕様にに基づくデータの収集については、多大な費用が発生する。そのため、本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加え、追加的な使用方法を模索し、それらの使用方法間でのデータ収集費用のアロケーションを検討する必要がある。

最も有力なデータの追加的な使用方法は、図—1で示されている「ICT 施工 Stage II」という取り組みである。ICT 施工 Stage II とは、機械稼働状況等データを活用して現場進捗の見える化を実現し、工程の改善をリソースマネジメントの観点から進めるという取り組みである。令和 6 年 3 月に国土交通省から「データ活用による現場マネジメントに関する実施要領案」として具体的な方向が示されたが、そこで想定されるリソースマネジメントにおいて用いるデータと学習用データセット案のデータ項目は重なる部分が多く、ICT 施工 Stage II を進めるプロセスにてデータ収集を行うことが効果的である。

これについては、ICT 活用工事の現場で取得される出来形等の計測データを、データ処理を行うそれぞれのシステムを横断して活用できる環境の構築に向け、施工データの API 連携協議会が立ち上がっている。さらには、国土交通省においても ICT 導入協議会のもとに、「施工データ集約・活用のためのスタディグループ」が令和 7 年 2 月から立ち上がり、発注者と受注者との間での効果的なデータ共有と活用を模索する活動が進められている。そこにおける議論に際しても、本検討内容を提供して行く予定である。

J C M A

《参考文献》

- 1) 国土交通省：i-Construction・インフラ DX 推進コンソーシアム（第 10 回企画委員会）資料、https://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/pdf/02.10_kikaku_siryoku2.pdf
- 2) 国土交通省：ICT 導入協議会資料、https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/sosei_constplan_tk_000052.html
- 3) 石川六郎：システムズアプローチによる工事管理、鹿島出版会、1977.
- 4) 吉川和広、山本幸司：大規模土工の施工プロセスシステム化に関する研究、土木学会論文報告集 第 286 号 1979 年 6 月、1979.
- 5) 春名 攻、竹林弘晃、迫間幸昌：大規模土地造成工事計画システムの開発に関する研究、建設マネジメント研究論文集 Vol.2、1994.
- 6) 岡本直樹：デジタル アースムービング - 土工計画の情報化 -、建設の施工企画 '09.3、2009.
- 7) 岡本直樹：専門工事業者による機械土工の施工計画、建設機械施工 Vol.65 No.9 September、2013.
- 8) 株式会社建設、(株)グルーヴノーツ：建設発生土の運搬計画を最適化するシミュレーション技術を構築～量子コンピュータの活用で土木工事の生産性を向上～ <https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2022/2021062.html>、2022.
- 9) 大槻 崇、杉谷康弘：施工計画自動生成 AI 開発促進に向けた学習用データの整備に関する検討、第 6 回「i-Construction の推進に関するシンポジウム」講演論文、2024.

【筆者紹介】

大槻 崇（おおつき たかし）
（元）国土交通省
国土技術政策総合研究所



杉谷 康弘（すぎたに やすひろ）
国土交通省
国土技術政策総合研究所



二宮 建（にのみや たつる）
国土交通省
国土技術政策総合研究所

