

倶知安余市道路におけるi-Constructionの取り組み —建設現場の生産性向上に向けたICTの活用—

小樽開発建設部 小樽道路事務所 第1工務課 ○酒井 智弘
鎌田 将慶
宮川 浩幸

我が国では少子高齢化が進み、建設業界においても担い手不足が課題となっている。国土交通省では建設現場の生産性を向上させ、魅力ある建設現場を目指す取組i-Constructionを推進している。平成31年3月、小樽開発建設部はモデル事務所に、所管事業の倶知安余市道路は3次元情報活用モデル事業に指定された。本論文ではモデル指定から4年目を迎えた当事業における、ICTの活用事例とその効果について報告する。

キーワード：生産性向上、ICT施工、i-Construction

1. はじめに

(1) 倶知安余市道路

小樽開発建設部における道路事業の一つである「倶知安余市道路」においては、倶知安町から余市町に至る延長39.1kmの高規格道路の建設が進められている。本自動車道整備の主な目的として、①世界水準の観光地(ニセコエリア)形成の支援、②多種多様な食の生産空間の維持・発展の支援、③高次医療施設への緊急搬送ルート確保、④災害時のリダンダンシー確保の計4点がある。

小樽開発建設部はi-Constructionの取り組みを推進する全国10か所の「i-Constructionモデル事務所」の一つとして選定されている。倶知安余市道路はモデル事務所が実施する「3次元情報活用モデル事業」として位置付けられており、調査・設計から維持管理までのBIM/CIMの

活用、ICT等の新技術の普及に取り組んでいる。

本稿は、従来のICT技術に加えてAIを活用することで、さらなる生産性の向上を目的に取り組みられた工事について報告するものである。

(2) AIを活用したi-Constructionの可能性

国土交通省ではi-Constructionの流れをさらに加速すべく、インフラ分野におけるAI研究開発の促進に取り組んでいる¹⁾。しかし、本事業にて建設業者の多くは中小企業であり、中小企業におけるAIの実装にはハードルが高いのが現状である。現在、AIを実際に導入しているのは全産業の中小企業のうち、わずか3%に留まり、建設業界においても同様であると考えられる。その原因として、デジタル技術者の不足、資金不足等が挙げられている²⁾。特に建設業界における就業者は、55歳以上が約36%、29歳以下が約12%と高齢化が進行している³⁾。AI導入においては、デジタル技術に慣れ親しんで育ってきた世代である若年層の人手不足は、企業のIT技術への対応力の不足に直結すると考えられる。

そのような現状を改善すべく、本事業の工事においてAIを用いた試行が行われた。国土交通省ではi-Constructionと、統合イノベーション戦略(H30年閣議決定)を受け、「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」を平成30年度から開始している⁴⁾。R3年度、そのプロジェクト項目の1つ「AI・IoTを始めとした新技術等を活用して土木または建築工事における施工の労働生産性の向上を図る技術」に、阿部建設コンソーシアムの「中小建設業でのリーンマネジメントと生産性改善」が採



図-1 倶知安余市道路 位置図

択された。本取り組みの試行現場が銀山大橋P5橋脚工事の現場である。

2. 銀山大橋P5橋脚工事

(1) 工事概要

「一般国道5号 仁木町 銀山大橋P5橋脚工事」は、R3年度に俱知安余市道路の事業区間内で実施された工事である。本工事では、全長566mの銀山大橋のうち、高さ35.4mのP5橋脚の施工を行った。本工事ではBIM/CIMを活用した配筋の干渉具合の可視化や、コンクリート打設時のポンプ車の配置シミュレーションなどの、BIM/CIMを活用した取り組みが実施された。本工事ではこのような従来の取り組みに加えて、AIを用いた試行的な取り組みが実施された。



図-2 銀山大橋 P5 橋脚

(2) 試行の目標

今回はAIを用いた映像記録の活用に向けて、2点の目標を設定して実施された。

1点目は映像記録による施工台帳等の書類の代用である。現在、工事現場での段階確認等の記録や成果品には、主に写真が用いられている。一方、映像には写真よりも多くの情報が含まれており、その映像を従来の書類の代用としての活用を可能とすることで、工事の報告・記録における一元化・効率化を目標とする。

2点目は、現場の作業映像を用いた無駄な作業、リスク等の検知及び作業員への通知である。現場作業における作業ルーチンを可視化することで、ルーチンに当てはまらない異常値、すなわち無駄やリスクを検出し、作業員へ通知する仕組みの構築を目標とする。

今回はこの2点の目標に向けて実施された、3点の取り組みについて記載する。

(3) 映像記録による施工台帳等の書類の代用

長時間の作業を記録した映像の中から、目的とする

場面・内容を見つけ出すには、多大な労力が必要となる。今回の現場では、効率的に動画を活用するための、必要な場面にすぐにアクセスするための手法が試行された。

その手法は、撮影者が報告・記録したいタイミングで、映像にマーキングを行う手法である。そのマーキングを元に、長時間の映像から目的とする場面・内容をAIを用いて検索し、短時間で映像内のポイントを抽出することが可能となる。本工事では、報告・記録がしたい場面で撮影者がカメラを手で覆い、暗転する形でマーキングを行った。

今回は、15分間の撮影で、吐出コンクリートの確認、スランブ試験結果、供試体識別シール等の計6項目でマーキングが行われた。結果、実際にAIによる明度解析によって検出されたのは8か所であり、2箇所の異常が検出された（図-3、表-1）。また、実際に抽出された各場面の様子からは、試験結果の数値やコンクリート状態の確認が可能であった（図-4）。

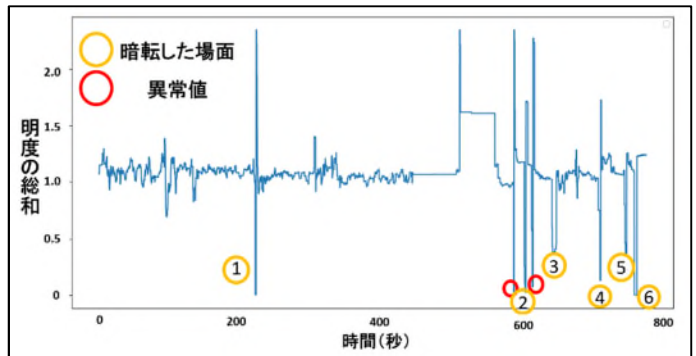


図-3 暗転の検知箇所

表-1 各番号の検査項目

①	吐出コンクリート
②	スランブ試験結果 (数値)
③	空気量試験結果 (数値)
④	情報記録 (水分量計算)
⑤	供試体制作 (識別シール)
⑥	検査者 (検査時間)



図-4 実際に抽出された箇所の画像

このように、暗転させたマーキング箇所を明度解析により抽出することで、簡単な検索機能を実現した。しかし、今回の取り組みでは、必要な項目以外の異常箇所も検出されてしまった。今回の異常検出の原因は、映像上のノイズの発生であり、撮影時の映像のブレや何かとの衝突などによるものであると考えられる。ノイズ発生の改善策として、QRコード等のマーキングを設定することで、異常検知の抑制に向けた改善が可能と考えられる。

また、今回は映像内の必要な箇所への簡単なアクセスに向けた取り組みが実施されたが、写真としての抽出作業は人力で行う必要がある段階である。今回の試行を足掛かりとして、最終的には映像を撮影するだけで、必要な部分の自動抽出、書類の自動作成まで行えるようになることが期待される。

(4) 無駄な作業・安全リスクの検知及び作業員への通知

a) 映像を利用した行動の解析

作業員の無駄な作業、安全リスクの検知に向けて、実際に記録した映像情報を、AIを用いて数値的・視覚的に解析した。

今回の試行では、橋脚躯体のコンクリート打設時の映像を用いて解析が行われた。映像からAIによって作業員を検知（物体検知）し、各作業員の動作を追跡（トラッキング）で推定した。作業員同士の移動相関を計算し、相互に影響を及ぼす状況を数値化・可視化することで、作業の主体性や従属性を評価した。

今回の現場における作業員は主に3名、青：ポンプ作業員、赤：パイプレーター作業員、緑：均し作業員である（図-5）。



図-5 記録映像

上記3名の動作をトラッキングし、それぞれの時間経過に伴う移動量をグラフにプロットした（図-6）。その結果、移動量における、各作業員間の組合せに関して

相関係数を求めると、ポンプとパイプレーターは0.417、パイプレーターと均しは0.301であり、ポンプと均しの0.006に比べ、大きな値が得られた。よって、パイプレーターの作業員の移動量にポンプと均しの作業員は影響を受けていると判断できる（表-2）。

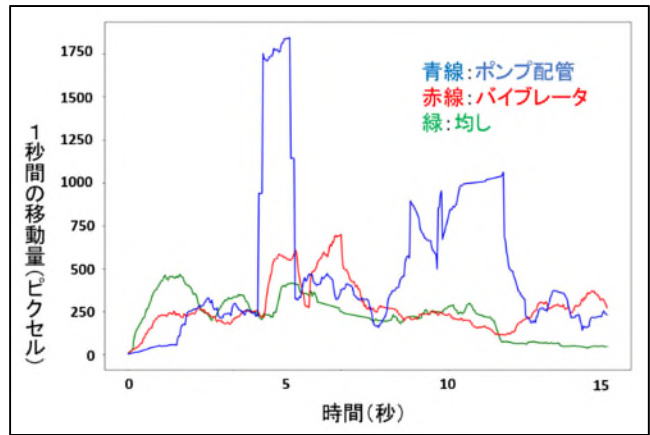


図-6 各作業員の移動量

表-2 各作業員間の相関係数

	ポンプ	パイプレーター	均し
ポンプ		0.417	0.006
パイプレーター			0.301
均し			

また、作業員同士の相関関係から、縦軸を移動相関の各作業員との相関量の足し合わせである、物体同士の影響度合いの強さ（支配的強度）を表示した。物体同士の矢印は物体間の移動相関、作業全体への影響のある物体の動き（B1:パイプレータ）と、その動きに影響を受けているその他の物体（P:ポンプ、B2：均し）への関わり方の強さを表している図として表現した（図-7）。本作業においては、パイプレーター作業員が他の作業員への影響を与えていることや、ポンプ作業員と均し作業員間には、支配関係が少ないことが可視化された。

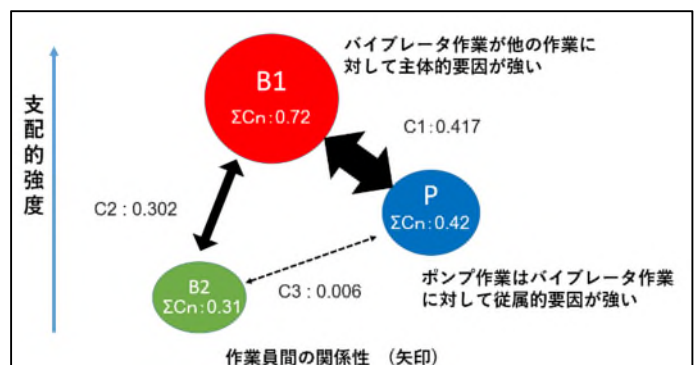


図-7 作業員間の関係性の図

今回の試行では、ポンプ、バイブレーター、均しの計3人の作業員における関連の解析にとどまった。今後、作業員のみならず重機の動きも含めて移動相関を分析することで、作業員と重機の動きの連動度合も数値化・可視化が可能となる。この関係が崩れた場合、通常の作業とは異なる、危険に繋がり兼ねない動作をしている可能性が確認でき、最終目標である作業員へのリスクの通知につながる。

また、作業員の動線や作業パターンについても解析を実施することで、作業手順や配置の決定にも活用が可能となり、より効率的な作業工程を考える上で有用であると考えられる。

b) 映像を効率的に撮影するカメラ配置の検討

前述の作業員の動作の映像解析を可能とするためには、適切なカメラ位置・角度等の検討が必要となる。

本試行では建設現場のCAD図面をもとに、現場をもれなく撮影できるカメラ配置を、AIを用いたシミュレーションで検討した。その手順としてまず、CIMを用いて設計のとおり仮想空間を構成し、複数台のカメラを仮想空間上に配置することで、多角的な撮影環境を構築する。次に、これらのカメラから得られる映像に対して、AIに物体検出のタスクを実行させることで、最も効率よく空間全体が把握可能な最小カメラ数、設置位置等を推定する。

今回は、橋脚躯体の施工現場をモデルにおいて、CIMを用いて仮想空間を構成、16台のカメラを仮想空間上に設置し、カメラの最適配置を検討した。仮想空間に再現した設定条件として、横12m×縦4mの空間内の12人の作業員に対して、16か所のカメラの設置し、あらゆる角度からの撮影を想定した(図-8)。

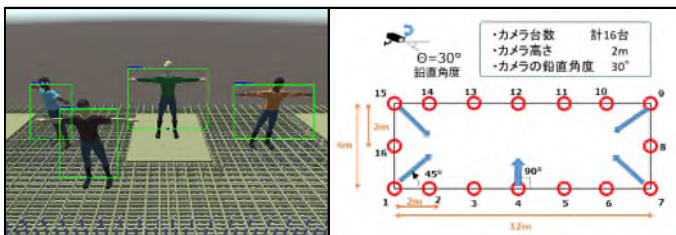


図-8 CIMを用いた仮想空間・カメラ配置設定条件

結果として、カメラが3台以上であれば作業員全員を認識する正解率が100%を満たすパターンが生じることが判明した(表-3)。これを満たす配置パターンは全16パターンあり、これらは1,7,9のいずれかのカメラを含んでいた。1,7,9はいずれも4隅のカメラであり、隅から撮影できない画角を、他のカメラでカバーする組み合わせとなっている(図-9、図-10)。

表-3 各カメラ台数と最大正解率

カメラ台数	2	3	4
最大正解率	94%	100%	100%

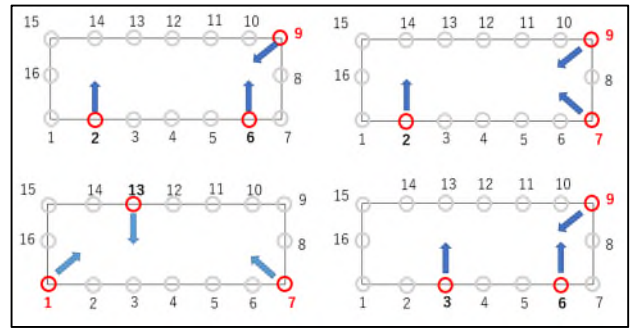


図-9 正解率 1.00の配置パターン例

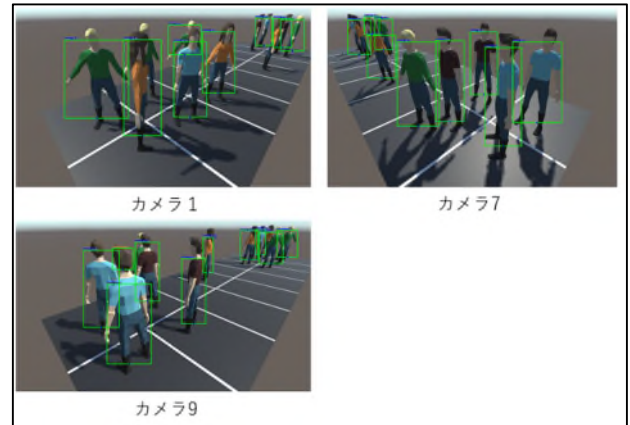


図-10 カメラ1,7,9からの視点

今回のようなシミュレーションの結果を用いれば、数万通りのカメラ配置の組み合わせから、現実的な数への絞り込みが行われ、現場でのカメラ設置位置の検討が効果的かつ効率的に実施することが可能となる。しかし今回の橋脚は、平面図上では長方形の単純な形状であった。よりAIによる有効にカメラ配置の検討を活用するには、複雑な構造をした現場におけるカメラ配置の正解率や教師データを用いた学習が必要となると考えられる。

3. AI活用拡大の課題と展望

今回の現場では、昨今普及してきたICTの活用の先を見据えた、今後の工事現場におけるAIを用いた映像情報の有効的な活用方法について検討がなされた。本章では、今後この活用に関して課題となる点と展望を記す。

(1) 課題

a) 土木構造物の違い

土木構造物はそれぞれの形状が異なっている上、地形や環境、天候などの現場条件は異なる。そのため、今回の現場で検討されたモデルのみで、映像の記録・分析手法を一般化するのは困難である。実際、令和2年度に本試行の前段階となる取り組みが「町道2番地通橋下部工事」にて実施されたが、その際に作成された3Dモデル等は今回の工事では使用できなかった。その主な原因は、構造物の形状の違いであった。形状が異な

ると仮想空間上の設計や解析条件にも違いが生じてしまうため、現場ごとにそれぞれの条件を再度設定する必要がある。そのため、新たな現場で試行しようにも、実施前の準備に大きな手間と労力が必要となってしまう。

今後より多くの現場において膨大なデータを収集、分析することが可能となれば、どのような形状でも対応可能なAIを用いた手法の構築・活用が期待される。さらに、令和5年度からは、すべての詳細設計・工事においてBIM/CIM原則適用となるので、仮想空間を設定する手間も省くことが可能となり、現場での試行に向けた手間の削減にもなる⁹⁾と考えられる。

b) 通信環境の拡充

今回の施工現場の映像解析は、リアルタイムの解析ではなく、後から映像のみを用いて移動関連の解析が行われた。施工後に関係性を分析をする目的であれば今回のような形で十分であるが、前述のように、安全面での活用を見込む場合、リアルタイムの解析・通知が必須となる。施工現場で性能の高いPC、ソフトを稼働させる方法も考えられるが、各現場への配置となると現実的ではない。通信さえ可能であれば、クラウド上での解析が可能となる。しかし今回の現場は、山間部ということもあり、現場内でも電波が届く場所とそうでない場所があった。ましてや動画の送受信となると大容量の転送を高速で行う必要がある。現在拡大が進む5G通信を活用できれば高速転送も可能となるが、今回の現場のような山間部に整備されるのには時間がかかるため、現場の通信条件によって、使用の可否が左右されてしまうのが現状である。電波の中継基地を整備するなどの対策を行う必要がある。

(2) 展望

今回の試行で特筆すべきなのは、中小企業がこのようなAIを活用した取り組みを実施した点である。中小企業でのAI実装は、デジタル技術や資金等の面から、難易度が高い。

今回の取り組みにおいては、「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」に採択されたため、資金を得ることができ、今回のAIを用いた試行が実現した。

前述のように、今回の試行から複数の課題が明らかとなったが、AI活用におけるデジタル技術に関しては前向きな結果が得られた。この取り組みの中で用いられたAIはいずれも目的に応じて使い分けられており、簡単なプログラムで設定が可能な誰でも使えるAIである。そのため、新たな目的や検知対象の変更に応じた独自のプログラムの構築が簡単にでき、さらなる応用が中小企業であっても可能となる。

今後、今回生じた課題が解決されてAIを用いた技術が有用なものとなった上で、私たち発注者が現在のICT活用の枠組みの中に「AIを活用した技術」を組み込むことができれば、現在の3次元測量・ICT建設機械等と同様に、普及が見込まれる技術となると考えられる。

謝辞：この論文を執筆するにあたって、阿部建設（株）、建設IoT研究所の皆様には貴重なお話や資料のご提供をいただき、大変お世話になりました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

1) 国土交通省：AI開発支援プラットフォームの開設準備ワーキング・グループについて：

https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_tk_000028.html

2) 経済産業省：AI導入ガイドブック概要版（背景と課題意識）
https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/jinzai/AIguidebook_digest.pdf

3) 日本建設連合協会：建設業デジタルハンドブック 4.建設労働
<https://www.nikkenren.com/publication/handbook/chart6-4/index.html#ink01>

4) 国土交通省：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
https://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000062.html

5) 国土交通省：令和5年度のBIM/CIM原則適用に向けた進め方
<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001389577.pdf>