

画像認識 AI を用いた作業人工の計測

露木 健一郎・片村 立太・北原 靖之

建設業では、就業者数がピーク時の約7割に減少し、就業者の36%が55歳以上と、慢性的な人手不足に加え高齢化も進行している。さらに2024年度からは時間外労働の上限規制が適用され、生産性の抜本的な向上は切迫した課題となっている。そこで、建設現場の実働状況を自動的かつ定量的に把握するために、現場への導入が近年進んでいるネットワークカメラの映像を用い、AI画像認識技術により現場の技能者数と滞在時間を自動で算出するシステムを開発した。同システムの概要と現場に試適用した結果について報告する。

キーワード：計測システム、画像計測、画像認識、生産管理、建設マネジメント、土木情報学

1. はじめに

建設業の就業者数はピーク時の1997年から約3割減少し、慢性的な人手不足の状態にある。また、建設業就業者のうち29歳以下が占める割合は約12%である一方、55歳以上が約36%と高齢化も進行している¹⁾。そうした中、2024年4月から「働き方改革」の一環として時間外労働の上限規制が建設業にも適用され、施工現場の生産性向上はまさに喫緊の課題となっている。

ものづくりの現場の生産性を抜本的に向上する上で、日々行われる作業の中でどこにどれだけの人的資源が投入されているかを定量的に把握することは重要である。製造業の分野では、製品の組立・検査・物流などの各段階で作業時間を測定して稼働状況を分析するタイムスタディの手法が、米国の大量生産方式が始まった時代から行われ、現代のインダストリアル・エンジニアリングへと発展しながら、製造現場では自主的な改善活動として実践されている。一方、建設分野においても、新しい工法の導入効果を評価する際や現場作業の実態調査などで、作業にかかる人数や時間(作業人工)の測定が行われている。建設の現場で、作業にかかる人工を詳細に把握する場合には、作業が行われている時間と場所を網羅できるように複数の調査担当者を配置して、作業ごと・一定時間ごとに技能者の人数と作業内容を記録するといった方法が採られてきた。この方法では調査担当者は人や機械に張り付いて連続的な観察を行うため、高精度で詳細な作業データが得られる一方で、主にコスト面の制約から実施でき

る頻度や現場は限られ、様々な環境条件で行われる現場作業の人工や歩掛を評価する上で十分な量のデータを収集することは難しい。

近年、施工現場に低成本で設置が簡便なネットワークカメラが多数導入され、作業状況や入退場者のモニタリングなどに活用されている。ネットワークカメラの映像は、当該現場の事務所だけでなくインターネット回線を通じて、離れた場所から確認でき、クラウド等での保存やダウンロードも可能となっている。そこで筆者らは、現場に設置されたネットワークカメラの映像に対して、最近進展の著しいAI画像認識技術を活用することで、現場作業に従事する技能者の人数と滞在時間を自動で算出するシステムを開発することとした。本システムの開発と運用により、現場に調査人員を張り付けることなく作業人工の実績調査が可能になると期待される。本稿では、開発したシステムの概要について述べた後、システムを実際の橋梁現場に適用して施工の進捗に伴う作業人工の測定データに基づき、歩掛実績を分析した事例について報告する²⁾。

2. 作業人工の自動算出システム

本章では開発したシステムの概要を説明する。作業人工の自動算出システムは、現場に設置された固定カメラと、画像認識AIを用いて人物を検出するWebアプリサーバで構成される(図-1)。構築物や仮設機材などによりカメラに死角が生じる場合、カメラは複数台を設置することもある。映像データは、LTE

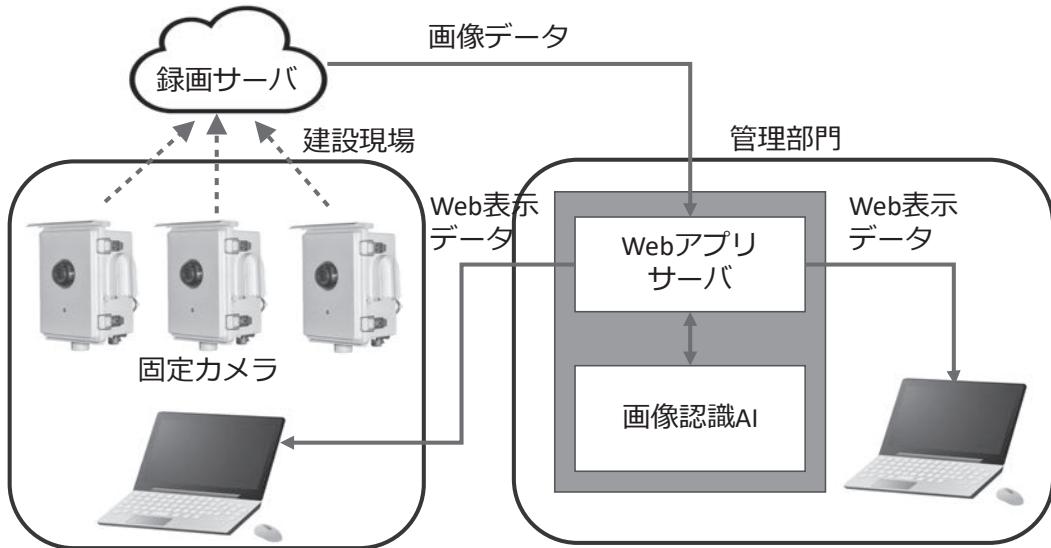


図-1 作業人工の自動算出システムの構成

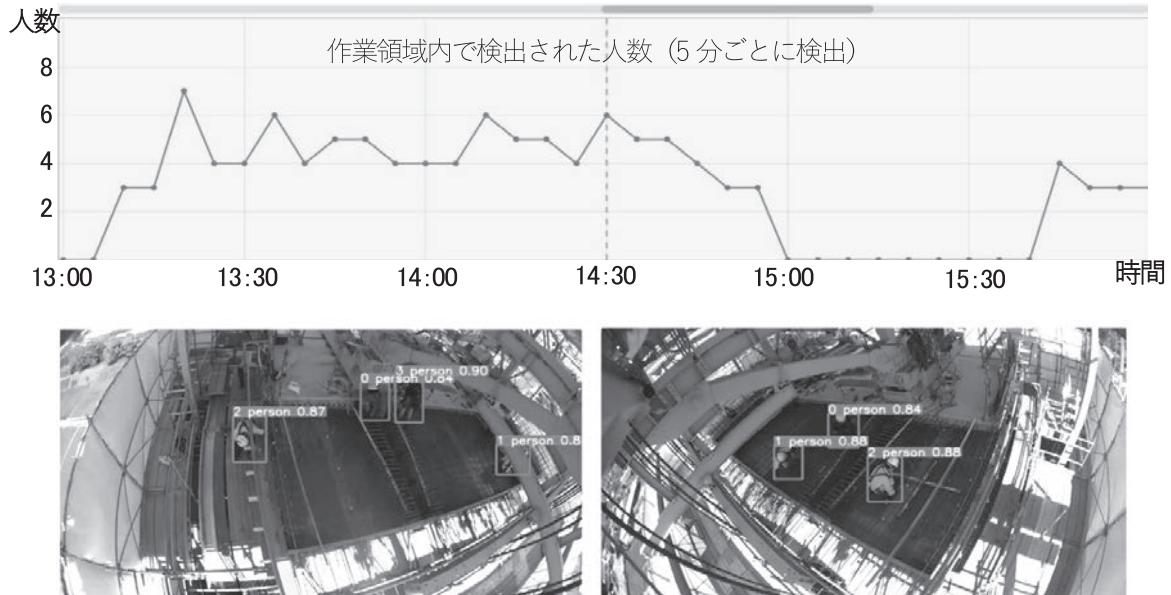


図-2 システム画面のイメージ（写真内の枠はAIが検出した技能者を示す）

回線を経由してクラウド上にある録画サーバに保存される。システムの利用者は、計測したい時間や作業領域などを Web アプリで設定しておけば録画サーバ内にある映像データが自動的に読み込まれ、AI 分析に必要な画像が取得される。Web アプリサーバでは、取得した画像に対して AI による人物検出が行われ、指定した時間間隔ごとに映像内に映っている技能者の人数が計算される。求められた人数は、人物検知を行う時間間隔ごとに積算され、その日の標準的な労働時間（8 時間など）で除することで、単位を「人日」とする作業人工が求まる。Web アプリサーバに保存された AI 分析の結果は、現場事務所だけでなく社内のどこからでも Web ブラウザを経由して確認できる（図-2）。

なお、本システムを用いれば、クラウドサーバ上の映像データだけでなく、過去に記録されたどこの現場の映像データも入力可能で、人工を自動で算出できる。

技能者の検出に用いる AI モデルには、これまで広く使われて実績のある人体検出モデル（YOLO v5 m6³⁾）を用いた。また、建設現場という環境や技能者の作業という特殊な状況の映像に対して、検出精度を向上させる必要から、建設現場の画像を 2 万枚ほど用いて学習を実施した。

また、前述したように現場に設置したカメラに死角が生じる場合、複数台のカメラを用いて計測対象の領域をカバーする必要があるが、複数台のカメラに映った同一人物を重複して数えないための対策が必要とな

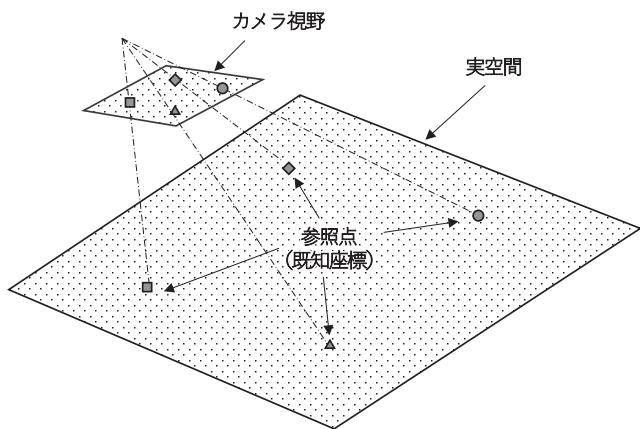


図-3 位置が既知の参照点を用いた実空間と画像上の座標の対応

る。そこで本システムでは、それぞれのカメラの視野内に、実座標が既知の参照点を4点設けることで、各カメラに映った技能者の位置（実座標）を特定できるようにした（図-3）。その上で、各カメラに映った技能者のうち、実空間における位置座標が一定の距離以下にある人物は、同一の人物であると判定することで、重複して技能者を数えない機能を設けた。この手法はシンプルではあるが、広い現場内で遠方からの顔認証は困難であり、保護具や作業服など似通った特徴から身体特徴による人物特定技術の適用も難しい建設現場の映像に対して、実用上十分な性能で人数を把握でき、複数台のカメラを連携させることで死角の多い作業領域に対しても重複なく作業人工を算出することができる。

3. 実現場における試適用

橋梁の実現場に固定カメラを設置して、約8カ月の間、画像データを取得して、本システムによる作業人工の計測を行った。当該現場では、移動作業車（ワーゲン）を用いた施工が行われており、移動作業車の天井部分にカメラを設置することで、施工進捗に伴うカメラの移設作業を省略した。移動作業車の部材により1台のカメラでは死角が生じるため、計測対象とする作業領域（約12m×4mの長方形範囲）の全体を4台の固定カメラでカバーした（図-4）。なお、当該現場では、1ブロックあたり橋軸方向に2.5～4.0mずつの施工が繰り返し行われたが、施工期間中にカメラの再設置は必要なかった。

図-5に、ある施工ブロックで計測された技能者の人数履歴を示す。型枠組立から配筋、コンクリート打設といった施工サイクルにおける技能者数の推移が可視化されており、例えばコンクリート打設時には他

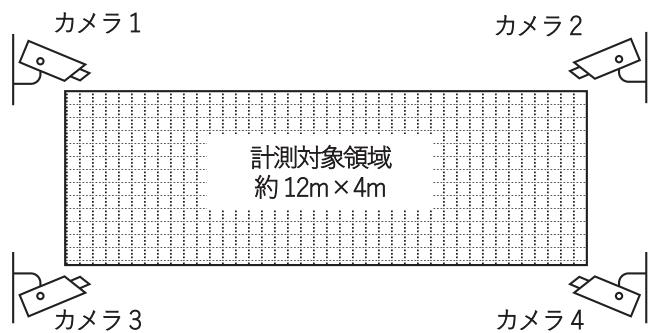


図-4 計測の対象領域とカメラの設置位置

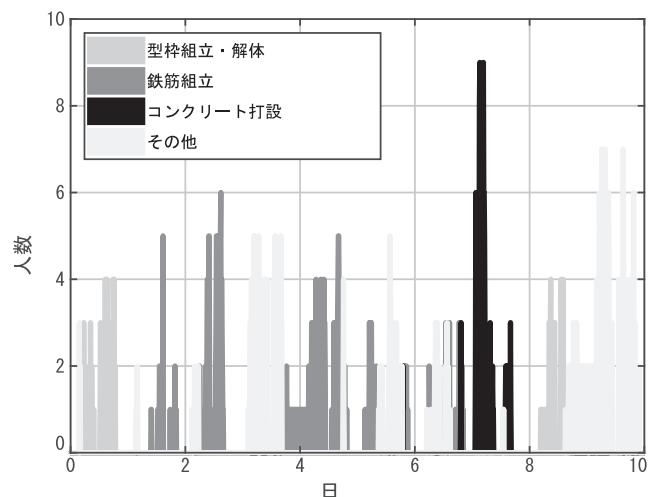


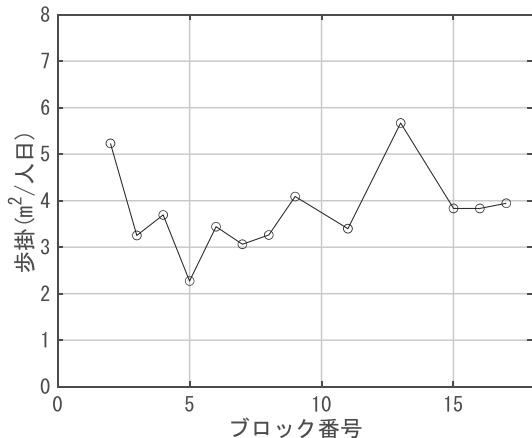
図-5 技能者の人数を一定時間間隔で計測した例

の作業と比較して多くの技能者が対象領域内で作業していることが分かる。なお、今回の試適用時には、映像を人が見て作業分類を行っており、作業内容の分類はAIが自動で分類したものではない。

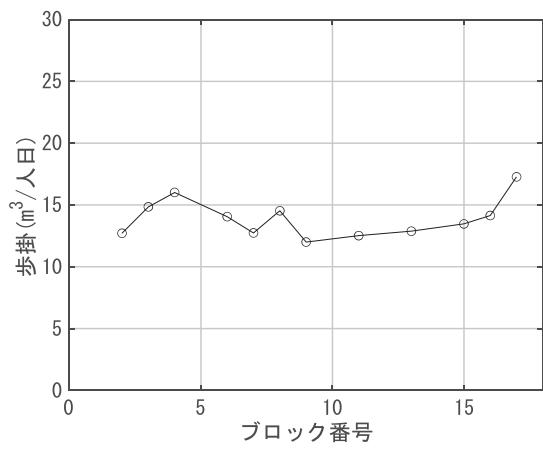
4. 人工データを用いた歩掛分析

本システムを用いて日々の作業を連続的に計測することで、作業に要した人工の日変化、また施工ブロックが進む中での人工の変化も自動で求めることができる。こうしたデータに基づく作業分析の一例として、計測した人工と出来高の実績値を用いて歩掛を推定した結果を示す。ここで用いた人工は指定した作業領域内で計測されたものであり、指定作業領域外で行われた作業は考慮していない。また今回の試適用では、指定領域内に入った人物は全て人工計算の対象としており、その人物が実際に作業を行っていたかどうかは考慮していない。

施工ブロックごとの型枠組立、コンクリート打設、鉄筋組立作業に関して、歩掛の変化を調べた結果を図-6に示す。なお、ここでは1人で7時間の作業を1人日



(a) 型枠組立



(b) コンクリート打設

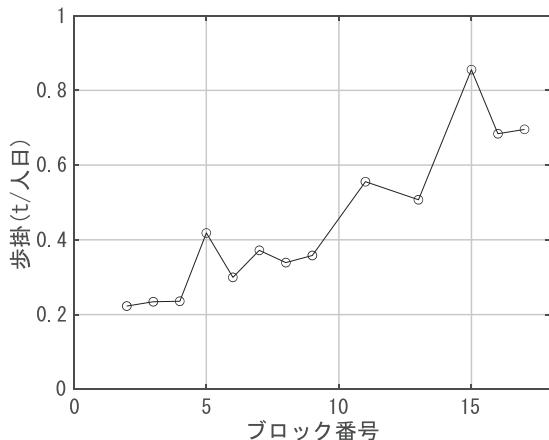


図-6 施工ブロックごとの歩掛け変化

として計算した。図-6 (a), (b) より、型枠組立とコンクリート打設の歩掛けについては、変動が見られるものの、施工ブロックの進捗に伴う変化の傾向は見られない。一方、鉄筋組立(図-6 (c))については、ブロックが進むに伴って歩掛けが上昇する傾向が見られ

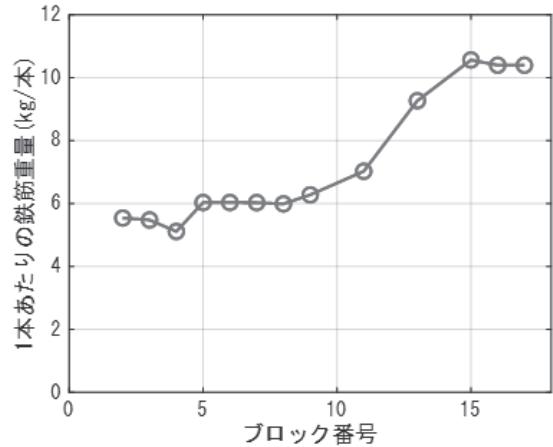


図-7 鉄筋 1 本あたりの重量の変化

る。このことの主な要因として、施工ブロックが進むにしたがって、設置される鉄筋径が大きくなり、鉄筋 1 本あたりの重量が重くなったことが考えられる(図-7)。今回計測を行った範囲では、鉄筋 1 本あたりの重量が増えても配筋に要する時間は重量増加分ほど多くならなかったため、結果として歩掛けが上昇しているものと推定される。ただし、鉄筋 1 本の重量がさらに増えて、技能者の運搬・配筋時間が増加するような状況になった場合には、作業歩掛けの低下が生じることも起こりうる。こうした作業人工の計測を様々な条件の現場で繰り返して、計測データを蓄積していくことで、例えば鉄筋径や鉄筋長さといった作業条件ごとに異なる歩掛けデータやその分布が明らかになるとを考えている。

5. おわりに

近年、建設現場に多数導入されている固定カメラからは、毎日膨大な映像データがクラウドに集められている。その映像データを活用して、画像認識 AI を適用することで、指定した領域内の技能者数と滞在時間を自動的にデータ化するシステムを開発した。同システムを橋梁の施工現場に試適用することで、日々の作業人工を自動収集し、歩掛け分析を行った事例を紹介した。従来、膨大な労力と人数を投入して収集していた詳細な歩掛けデータを簡易に計測できることを実証した。製造業の現場と比較して、実施のハードルが高かった建設現場の作業分析を実践していくために、一定の進捗を得ることができたと考えている。今後は、技能者の工種の識別機能を開発することなどにより、人工の計測精度向上や分析作業のさらなる自動化を進め、本システムを多くの現場に展開することで詳細な歩掛けデータを効率的に収集し、分析結果を施工計画に反映

させることにより建設ものづくりの生産性向上を推進していきたい。

J C M A

《参考文献》

- 1) 社会資本整備審議会、建設業を巡る現状と課題（第25回基本問題小委員会配付資料）、国土交通省、2023年5月
- 2) 片村ら、画像AIを用いた技能者人工計測による歩掛調査、土木学会第79回年次学術講演集、VI-795、2024
- 3) Ultralytics Inc., Ultralytics YOLO Docs, GitHub. 2024,
<https://github.com/ultralytics/yolov5> (accessed 2024-10-17)

[筆者紹介]

露木 健一郎 (つゆき けんいちろう)
鹿島建設㈱
技術研究所
主席研究員



片村 立太 (かたむら りゅうた)
鹿島建設㈱
技術研究所 先端・メカトロニクスグループ
上席研究員



北原 靖之 (きたはら やすゆき)
鹿島建設㈱
技術研究所 先端・メカトロニクスグループ
主任研究員

