

# 映像処理と KPI を用いた建設マネジメント手法

安藤ハザマ 正会員 ○早川健太郎  
 宮城大学 正会員 蒔苗 耕司  
 安藤ハザマ 正会員 黒台 昌弘

## 1. はじめに

建設現場の管理者が日常的に行うマネジメント業務の中でも、現場を巡回しながら多様な視点で作業状況を目視で確認し、作業の良否を判断することは重要な業務のひとつとなっている。この判断の根拠となる情報はこれまで現場管理者が積み上げてきたノウハウであり、現状の工程管理や安全管理において重要な管理指標（KPI：Key Performance Indicator：施工管理指標）である。著者らは、建設 DX の時代における新しい建設マネジメント手法として KPI の適用に関する研究を進めている。現場管理者が現場巡回時に注目するポイントから現場管理に必要な KPI（例えば、運搬土量や作業のサイクルタイム）を定めれば、KPI の目標値と現状値に乖離がある場合には作業を改善するといった定量的な管理方法が実現できる。

最近では AI 等を用いた物体認識技術が急速に進歩しており、映像中の建機や人、モノを自動的に検出してその動きや状態を数値として出力できるため、建設現場の施工状況の自動計測と定量化が可能になると考えている。本研究では、土工事を対象にして映像処理技術と KPI を用いた建設マネジメントシステムの開発とその効果の検証を行ったので、本稿にて報告する。

## 2. 施工管理業務の現状と KPI の考え方

### (1) 現場管理者が行っている施工管理上の注目ポイント

まず現場管理者が管理指標としてきた現場内の動きや状態を KPI に置き換えるために、異なる現場に所属する複数の現場管理者に対して日常的な施工管理業務での注目ポイントをヒアリング調査し、現場管理者が日常的に注目しているポイントを明らかにした。調査では図-1 (a) (b) (c) のような作業風景の写真を提示し、



図-1 (a) 土砂運搬作業



図-1 (b) コンクリート打設作業



図-1 (c) クレーン作業

表-1 (a) 土砂運搬の注目ポイント

表-1 (b) 打設の注目ポイント

表-1 (c) クレーン作業の注目ポイント

工程	作業	区分	施工管理項目	注目ポイント
土工	土砂運搬	D	運搬の進捗状況	1回の運搬時間はどれくらいか ダンプの渋滞が起きているか 搬出間隔にムラがないか バックホウのムダな待機時間
		S	機械と人の接触防止	作業員と稼働中の重機の距離 車両の走行ルートへの立入 立入禁止エリアの明示
		Q	土砂の性状	土砂の含水比は適切か 粒径は基準値以内か 突入れ先の基準に沿った性状か

工程	作業	区分	施工管理項目	注目ポイント
構造物	コンクリート打設	Q	コンクリートの品質	打ち重ね時間の管理 パイプレータ挿入間隔、深さ、時間 筒先を移動させながら打設
		D	生コン車の配車状況	打設量、残り打設量 配車間隔、待ち時間 1台当たりの打設スピード
		S	生コン車の搬入ルート	搬入ルートの障害物、立入 車両の待機場所の確保 十分な転回場の確保

工程	作業	区分	施工管理項目	注目ポイント
仮設工	クレーン作業	D	クレーン作業の効率	旋回方向と旋回スピード 資材移動等に要する時間 玉掛のしやすさ
		S	吊荷との接触、落下防止	作業半径、吊荷直下の人払い 玉掛位置、荷振れの防止 架空線、構造物等との離隔
		S	クレーンの規格	荷重に対する作業半径 アウトリガーの張り出し 風速、落雷などの天候

キーワード KPI, マネジメント, 映像, AI

連絡先 〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 安藤ハザマ技術研究所 TEL 029-858-8815

その作業を管理すると想定したときにどのようなモノ、動きに注目するかを回答してもらった。なお、回答内容は建設現場の施工管理の基本である QCDSE の 5 項目に分類している。提示した作業風景は、土工、構造物、ダム、トンネル、港湾、仮設構造物などであり、ヒアリングは建設現場での施工管理経験のある人物を対象とし、所長 3 人、工事課長 3 人、主任 7 人、若手 4 人から回答を得た。

図-1(a)の作業風景に対して得られた回答を表-1(a)に示す。これは土工事においてバックホウがダンプに土砂を積込み搬出する作業であり、この作業に対して現場管理者が回答した注目ポイントを品質 Q、工程 D、安全 S の 3 項目に分類して示している。工程 D では、現場管理者は土砂の運搬量に影響を及ぼす待機時間、搬出間隔、渋滞等のムダな時間の発生に関心を寄せている。安全 S では、重機と作業員の離隔が適切であるか、また危険個所への立ち入りがいないか等の作業員の安全が十分に確保できているかが注視されている。

図-1(b)と表-1(b)は構造物工事におけるコンクリート打設作業に対する注目ポイントである。土工と同様に品質 Q、工程 D、安全 S の注目ポイントが示されているが、工種の違いにより、その内容は大きく異なる。品質 Q では打ち重ね時間やバイブレータによる締固めなどコンクリートの強度や仕上がりに影響を及ぼす作業に意識を向けている。工程 D では生コン車の搬入間隔やコンクリートの打設量を注視しており、土工のダンプ運搬間隔や運搬土量と似た視点で作業に注目している。

図-1(c)と表-1(c)はクレーン作業における注目ポイントを表しており、吊荷との接触・落下防止、クレーンの規格内作業といった安全 S に関連する項目が多くなっている。重量物を吊り上げて移動する作業が中心であり、わずかなミスが死亡災害や第三者災害といった重篤な労働災害に発展するため、現場管理者は安全管理に対して特に気にかけていることがヒアリング結果に表れている。

ここまで述べたように、いずれの注目ポイントも現場管理者の眼で目視して、施工管理上の良否を判断していることがわかる。

## (2) KPI の設定とカメラ映像

現場管理者の施工管理上の注目ポイントに関するヒアリング結果を、QCDSE ごとに分類・集計した結果を図-2 に示す。290 種類の注目ポイントのうち、142 個が安全 S に関連したものであった。建設現場では労働災害ゼロが大きな目標であり、安全管理に対する高い意識が現れた結果である。2 番目に多かったのは 79 個の工程 D である。作業の歩掛を取得し出来高から工程の遅滞を判断することは現場管理者の基本的な業務であるため、多くの注目ポイントが挙げられたと考えられる。3 番目の品質 Q に関しても同様であり、コンクリート等の資材の規格や出来形の管理基準値不足は手戻りとなり後工程に大きな影響を及ぼすため、厳しくチェックしていることが反映されている。

これらの注目ポイントを現場管理に必要な KPI と考える時、単一の KPI を取得する場合はセンサによる計測が有効である。例えば、ダンプに IC タグを取り付け現場入口にリーダを設置することにより、計測されたダンプ台数から搬入土量を推測できる。しかし、図-3 に示すように現場内には多数の KPI が存在しており、これら様々な KPI を計測する場合には、必要なセンサ数や電源などハードウェアの面で課題が多い。一方で、人の眼と同様に風景を映すことができるカメラ映像には、これまで現場管理者が管理指標としてきた現場内の動きや状態等の情報が含まれている。多数の KPI を一度に捉えることができるカメラ映像は、KPI を用いた建設マネジメントに適したツールで

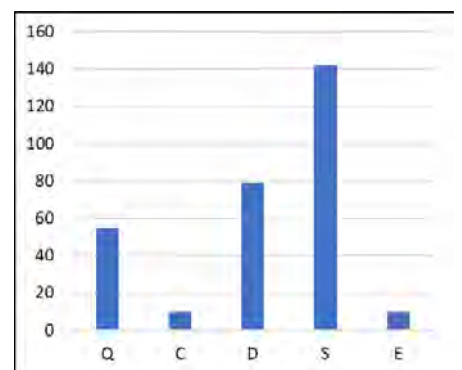


図-2 注目ポイントの分類と集計



図-3 現場内に存在する KPI

あると言える。

### 3. 映像による建設マネジメントシステム

#### (1) 映像から KPI を求める手法

KPI の考え方をういたマネジメントでは、映像から KPI を取得する手段も重要となる。映像処理技術 (AI: 人工知能) を活用することで、現場管理者の眼に代わって現場内の注目ポイントをモニタリングし、KPI の変動を観測することができる。ただし、2 章で挙げたような注目ポイント (例えば、搬出間隔) を映像から直接的に計測することは難しいため、映像処理技術で検出することができる複数の情報を組み合わせて KPI の測定値を取得することとする。例えば図-4 で示すように土砂の運搬量という KPI は、映像中のダンプの存在を認識し画面への出入りを積込みヤードからの入退場と見なし、その回数を積算することで求めることができる。また、安全管理に重要な建機と作業員の近接に関する危険性を表す KPI は、図-5 のように建機の存在の認識や建機の稼働/停止の判定、人間の存在の認識や建機と人間の近接判定を組み合わせることで計測することが可能になる。

このような考え方をうい、アンケート調査結果では二番目に回答の多かった工程 D に関連する KPI に着目し、建設マネジメントシステムを構築したので以降に示す。

#### (2) 建設マネジメントシステムの概要

建設マネジメントシステムの主たる機能は建機検出 AI と検出対象のトラッキング、稼働/停止判定の 3 つである。建機検出 AI は、未知の映像に含まれる建設機械を自動的に検出・分類する AI であり、土工事で一般的に使用される 4 種類の建設機械 (ダンプ、バックホウ、ブルドーザ、振動ローラ) を対象としている。事前に用意した 1,800 枚の画像を学習データとして機械学習しており、検出精度は 80% 程度である。建機検出 AI による検出例を図-6 に示す。建設機械の種類ごとに異なる色の矩形 (BB: Bounding Box) で表現しており、矩形上部には推論の確からしさを数値で表示している。

トラッキング機能は、建機検出 AI によって検出された建機をターゲットとしてフレーム間を跨いで追跡し、同一の物体であると認識するものである。これにより、特定の建機の動きを連続的に計測することができる。ただし、建機がカメラ画角の外に出た場合や障害物の陰に隠れた場合はトラッキングが途切れることになる。

稼働/停止の判定では、建機検出 AI が建設機械を検出した時に得られる BB の中心座標の移動を指標としている。図-7 のように、BB 中心座標の 1 分間の移動距離の累積値が閾値を下回る場合には建設機械は停止していると判定し、閾値以上の場合には稼働中と判定する。このロジックの採用により、バックホウの積込作業のように検出対象がその場から移動せず、旋回とブームの伸縮を繰り返す作業をする場合でも BB の形状変化により中心座標が移動し、稼働していると判定することができる。



図-4 土砂運搬量の計測

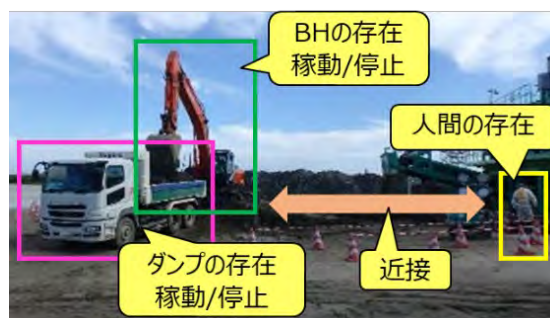


図-5 重機と人間の近接の計測



図-6 AI による検出結果

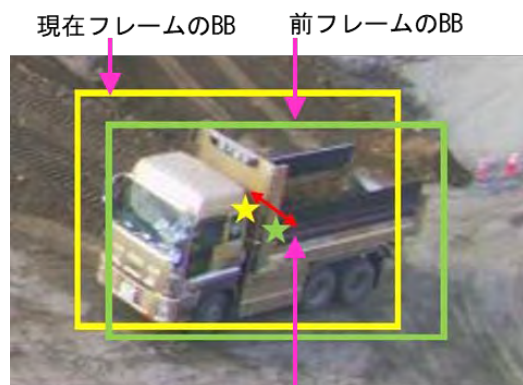


図-7 BB 中心座標を用いた移動判定

### (3) KPI を計測した事例

これらの機能を具備した建設マネジメントシステムを用いて、土工事の現場において以下の2つのKPIを計測した。

#### a) KPI：盛土工における搬入土量

ダンプを用いた土砂の運搬作業では、搬入土量が重要なKPIとなる。そこで、ダンプ入場台数と時刻を計測対象とし、運搬作業の進捗状況を可視化した。ダンプによる土砂搬入作業では、盛土全体量からダンプの延べ搬入台数が計算され、それを工期日数で割ることで、1日当たりに必要な搬入台数を計画している。図-8では、1日当たりのダンプの計画台数とAIが検出したダンプの台数を積み上げグラフで表現し、計画とAIがカウントした入場ダンプの台数との対比から、作業進捗の良否を逐次判断する。

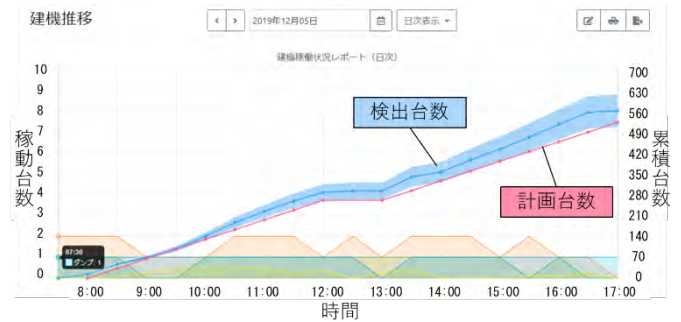


図-8 ダンプの計画台数と実績

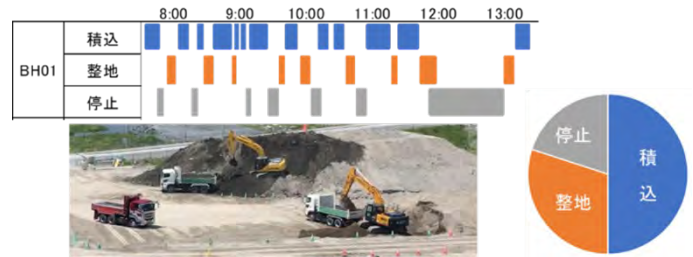


図-9 バックホウの稼働率と作業時間

#### b) KPI：バックホウの稼働率

バックホウは、土砂のダンプへの積み込みや切土掘削、盛土や整地などを担う万能な建機である。そのため、ほとんどの工事現場で配備されるが、一方で稼働しない状態で置かれる実態も確認されている。そこで、バックホウの稼働状況を注目ポイントとし、その運用実態を把握した。図-9に示すように、AIによる建設機械の検出とトラッキングを用いてバックホウとダンプの検出結果を組合せ、積込、整地、停止の3種を判断する。

### (4) 実工事でのシステム運用とその結果

建設マネジメントシステムを実工事に適用し、KPIの考え方をを用いた建設マネジメントの効果を確認した。盛土工における搬入土量を計測した事例では、現場管理者はグラフからダンプが集中もしくは途切れる時間帯を把握し、運搬経路を改善したり通常時とは異なる傾向を早期に発見して遠隔から映像で現場の様子を確認するといった対応が可能になった。また、バックホウの稼働率の計測では、各バックホウの稼働状況を逐次把握することにより、バックホウの手空き時間が明確となり、必要に応じて他のエリアの作業支援に回すなどの対応を取ることができた。

## 4. まとめ

本稿では、現場監督経験者のヒアリング結果をもとに、これまで現場管理者の暗黙知であった注目ポイントをKPIという指標に置き換えて、建設現場の施工状況の変化を定量化する考えを示した。同時に、KPIを計測する建設マネジメントシステムを用いた建設マネジメントについて述べた。KPI計測の事例として示した搬入土量やバックホウの稼働率は目視でも計測可能であるが、映像と映像処理技術を用いることで従来の管理手法を大きく変革しており、建設現場をDXした取り組みのひとつであると言える。今回計測した工程D関連のKPI以外にも映像中には含まれており、映像処理技術で検出できる情報の組み合わせ次第ではQCDSEのKPIをそれぞれ計測することも可能だと考える。今後はより多くのKPIを計測できるシステムに拡張していき、現場管理者の眼に近づけていきたい。

### 参考文献

- 1) 早川健太郎, 黒台昌弘, 増田裕正, 蒔苗耕司: AIによる建設機械検出システムの開発と検出精度を向上する試み, 第1回AI・データサイエンスシンポジウム論文集, pp.313-319, 2020.
- 2) 早川健太郎, 黒台昌弘, 蒔苗耕司: 土工事の現場管理における建機検出AIの活用, 土木学会第77回年次学術講演会, CS14-67, 2022.
- 3) 早川健太郎, 増田裕正, 蒔苗耕司: 映像から建設機械を検出するAIの汎化性能に関する検討, 土木情報学シンポジウム講演集 vol.46, pp89-92, 2021.