

スマート施工・インフラ管理のための 画像処理技術の虎の巻

中原 匡 哉・今井 龍 一

目覚ましい技術革新が進行している AI に基づく画像処理技術を用いることで、施工管理やインフラ管理の省力化や効率化の実現が期待される。しかし、用途に応じた技術を導入していかなければ発現効果が得られない。本稿は、各管理で導入されている先例を取りあげて画像処理技術の特徴、導入方法・手順を解説する。画像処理技術は動態や静態を捉える技術に大別できるため、施工管理やインフラ管理において、統計処理や AI を用いてリアルタイムに動態の位置や動きを捉える技術や構造物の出来形管理や点検を SfM 等により 3 次元復元することで静態の現況を捉える技術を事例とともに解説する。

キーワード：施工管理，インフラ管理，画像処理，ドローン，SfM，AI

1. はじめに

ICT・IoT の革新と連動して公共事業における技術的困難な課題を解決する画像処理技術の開発が日進月歩である。特に、施工管理、インフラの維持管理においては、ビデオカメラや空撮用ドローン(UAV:Unmanned Aerial Vehicle)を用いた画像処理技術が多数導入されており、これまで以上に省力化や効率化の効果が発現されている。施工管理では、建設機械や技能工の動きの監視、工事目的物の出来高や出来形の検査、インフラの維持管理では、道路や河川の常時観測、橋梁、ダムや道路の定期点検等での利活用が進められている。これらの場面で活用される技術は画像上から動態と静態を把握する用途に大別できる。

本稿では、建設機械施工と密接な関係にある施工管理やインフラの維持管理に適した画像処理技術を動態と静態の把握に大別して、事例とともに紹介し、それらの技術の導入方法・手順も解説する。

2. 画像処理技術の利用の仕方

施工管理やインフラの維持管理で利活用される画像処理技術は、基本的に動くモノを捉える技術と静的なモノを捉える技術の2つに大別できる。これらの捉える技術は多種多様であり、適用先の場面や用途に応じて適宜選定されている。

動くモノに対しては、動態の数や挙動、動態同士の距離の把握を目的としたものが多いため、動く物体を

検出した上で、今と次の瞬間の検出位置を紐づけることで、追跡する技術の活用が主流である。前者の動くモノの検出には、リアルタイムな統計処理や AI を用いた検出技術の精度が高いため、積極的に導入が進められている。ただし、これらの検出技術には、リアルタイム画像処理に特化した演算装置である GPU (Graphics Processing Unit) を搭載したコンピュータが必要となる。後者の追跡には、検出した物体の重心点が次の瞬間にどこにあるかを基に追跡する技術が利用されることが多い。しかし、1台のカメラでは他の物体の後方に物体が移動することで生じるオクルージョンの影響で追跡に失敗する。例えば、導入先の環境に建設機械や技術工、資材等が混在する場合、カメラから見て建設機械や資材の後ろに技術工が移動すると、カメラから不可視となるので追跡できない。そのため、そういった現場では、複数台のカメラで情報を補完するか、再出現時に物体表面の模様の色や形状的な特徴から同一の物体かどうかを判断する技術も組み合わせ導入される。

静的なモノに対しては、現場の地形や進捗、地物の変状の把握を目的としたものが多いため、撮影対象の形状を 3 次元復元する技術や平時との差異を検出する技術の活用が主流である。前者の静的なモノの形状の 3 次元復元には、SfM (Structure from Motion) の活用が主流である。本技術は、異なる地点から撮影した複数枚の画像から同一地物の位置を推定することで、その視差から撮影したカメラの位置を逆同定しつつ、撮影対象の 3 次元形状を復元できる。本技術を簡単に

導入できるように Agisoft 社の MetaShape や Pix4D 社の Pix4Dmapper といった写真測量ソフトウェアが開発され、特にドローンで現場全体を空撮した動画像や連続写真から現場全体の 3 次元データの生成のために頻繁に活用されている。

3. 施工管理に適した画像処理技術

(1) 動態監視

施工管理における動態監視の事例として、現場内に設置したカメラを用いて建設機械の位置を検出し、現場の作業進捗を管理するシステム¹⁾や作業員の位置を検出し、その作業員が誰なのかを特定する技術²⁾が挙げられる。前者は、内閣府の「官民研究開発投資拡大プログラム (PRISM)」における推進費を活用し、映像進捗管理システム開発コンソーシアムにて開発された「4K 定点カメラ映像による工事進捗管理システム」である (図-1)。本システムでは、画像処理 AI により稼働中のダンプ、バックホウ、ブルドーザおよび振動ローラの 4 つを対象に監視し、進捗レポートを作成されている。本システムの導入には、複数台の 4K ビデオカメラとその撮影映像を伝送する無線中継装置や有線 LAN で現場事務所に引き入れ、建設機械の位置情報や施工データとともにクラウド上にアップロード可能な環境の構築が必要である。当該 AI の構築には、現場で稼働する 4 種類の建設機械を撮影し、手動で建設機械の位置を矩形で囲み、学習する必要がある。これにより、クラウド上で CIM モデル等の 3D データを映像データに重畳でき、建機の稼働状況の進捗レポートを現場事務所、本社や発注者に共有できる。

後者の技術は、現場全体を撮影するカメラ映像中から AI を用いて作業員とそのヘルメットを検出し、ヘルメットの模様を識別することでその作業員が誰であるのかを識別できる。これにより、現場内における作業員ごとの所在地やその動きを監視できる (図-2)。

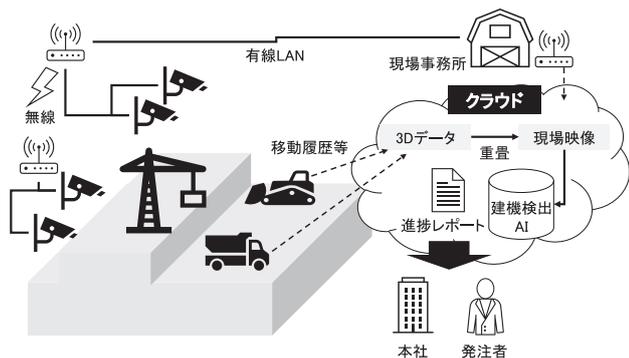


図-1 4K 定点カメラ映像による工事進捗管理システム

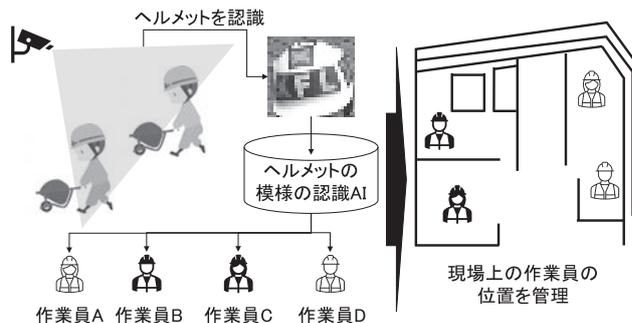


図-2 現場内の作業員の識別技術

本技術の導入には、現場全体を撮影するビデオカメラと作業員ごとにユニークな模様付きのヘルメットが必要である。当該 AI の構築には、用意した模様付きヘルメットを被って現場内で作業する作業員を撮影し、手動でヘルメットの位置を矩形で囲み、学習する必要がある。

(2) 工事目的物の管理

施工管理における動態監視の事例として、空撮ドローンを用いた施工管理技術³⁾や地上で撮影した写真を用いた出来形管理技術⁴⁾が挙げられる。前者は、カメラを真下に向けて搭載したドローンを用いて現場上空を飛行しながら撮影した連続写真から、写真測量ソフトウェアを用いて現場全体の 3 次元データを生成する技術である。本技術の導入には、連続写真を撮影可能なカメラおよびカメラを搭載可能なドローンを用意した上で、現場内に対空標識を等間隔に複数設置する必要がある。SfM で得られる 3 次元データは画像から生成されるため、ピクセル座標で得られる。そのため、対空標識の位置を TS (Total Station) や GNSS (Global Navigation Satellite System) により事前に測量し、3 次元データ上の対空標識間の距離が一致するように拡大処理を行う必要がある。このようにして得られた 3 次元データを時系列で比較することで出来高を算出できるようになり、設計図面の寸法値と比較することで出来形を検査できる。

後者は、地上で様々な位置から施工対象物を撮影し、前者と同様に写真測量ソフトウェアを用いて 3 次元データを生成する技術である。ドローンを用いる場合、広範囲の 3 次元形状の再現には適しているが、高高度からの撮影となるため、施工対象物のエッジやコーナー等の詳細な形状の再現に失敗しやすい。そのため、施工対象物をより近くから隈なく撮影することで、より詳細な 3 次元形状を再現できる。本技術の導入には、ドローンは不要であるが、歩行による撮影となるため、ドローンによる空撮よりも撮影に要する時

間が膨大となりやすい。3次元データの利用用途や必要な精度に応じて空撮と地上からの撮影を切り替えることが重要である。

4. 維持管理に適した画像処理技術

(1) 常時観測

維持管理における常時観測の事例として、道路環境における交通状況や危険事象の監視技術^{5), 6)}、河川環境における水位観測や不法投棄の監視技術⁷⁾が挙げられる。前者は、ビデオカメラ映像から断面交通量を計数する技術⁵⁾、自動車の逆走や誤侵入を検出する技術⁶⁾、土石流の検知システムが挙げられる。断面交通量を計数する技術は、24時間交通量調査や常時観測の実現を目的として、AIを用いて夜間に撮影された映像を昼間に撮影したかのような映像に変換(図-3)することで、夜間でも昼間と同程度の精度で車種別の車両の通過台数を計数できる。当該AIの構築には、昼間と夜間に撮影した車両の画像を収集し、学習する必要がある。ただし、昼間と夜間の車両は同一車両を撮影したものでなくても良い。自動車の逆走や誤侵入を検出する技術は、異常検知において実績が高い確率モデルの一つである時空間MRFモデルを用いて動態を検知する。そして、その動態が何であるかをAIで判別することで、逆走や誤侵入を検出できる。当該AIの構築には、検知した動態ごとに歩行者、自動車や自転車それぞれに対して手動で分類して学習する必要がある。土石流の検知システムは、パターンマッチング技術により土壌の流速を観測し、一定時間以上の流速があるかの統計を取ることで土石流を判断できる。本技術は、カメラ映像によるリアルタイム土石流検知アラートシステムとしてNETISにも登録(登録番号: QS-200028-A)されている。いずれの技術の導入にも、観測対象を撮影するビデオカメラが必要であるが、既設のCCTVがある場合は短期間で導入できる。



図-3 AIによる夜間映像から昼間映像への変換結果の例

後者は、高感度フルハイビジョンセンサーを用いた昼夜間を問わないAI水位計測技術やCCTVを用いた不法投棄監視技術⁷⁾が挙げられる。AI水位計測技術は、局地的大雨等による増水の監視を目的として、橋脚を目標物として高感度フルハイビジョンセンサーとAIを組み合わせて水際線を検出することで、非接触で接触型の水位計と同等の精度で河川の水位を監視できる。本技術の導入には、三菱電機エンジニアリング社のフィールドエッジ等の導入が必要である。当該AIの構築には、水の領域とそれ以外の領域ごとに手動で色付けして学習する必要がある。CCTVを用いた不法投棄監視技術⁷⁾は、河川を監視するCCTVの映像中からAIを用いて人とゴミを検出し、ゴミから人が5m以上離れたかどうか判断することで不法投棄を検出し、現地への警告発報及び河川管理者へ通報できる。本技術の導入には、不法投棄を防止したいエリアを撮影するCCTVやビデオカメラ、警告発報、通報を受信する機器類等の設置が必要である。当該AIの構築には、不法投棄するゴミを持った人、不法投棄した直後の人、不法投棄されたゴミを撮影し、それぞれに対して手動で人とゴミを矩形で囲み、学習する必要がある。

(2) 構造物の定期点検

構造物の定期点検の事例として、ロボットを用いた橋梁点検技術、ドローンを用いたダム(point inspection)技術⁸⁾、ドライブレコーダを用いた舗装点検支援システム⁹⁾が挙げられる。ロボットを用いた橋梁点検技術は、橋梁の近接目視による定期点検を目的として、作業員では侵入や監視が難しい箇所をドローンやロボットカメラで点検する。当該技術は、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)の取り組みで開発されている。当該技術を活用することで、各種部材の損傷、特に水の影響が懸念される損傷を検出し、水の侵入経路や発生源を分析することに加えて、ひび割れや桁遊間、支承の変位も計測できる。当該技術の導入には、新日本非破壊検査社の打音機構付点検ロボット、富士通社の二輪型マルチコプタ、デンソー社の可変ピッチ機構付きドローン、三井住友建設社の橋梁点検ロボットカメラやシビル調査設計社の橋梁点検カメラシステム等が必要である。

ドローンを用いたダムの点検技術では、ダム提体を対象にドローンで空撮した映像と写真測量ソフトウェアを用いて3次元形状を復元し、AIを用いて表面の剥離、骨材中の鉄分のにじみ出し等といった異常を検知できる。本技術の導入には、空撮用ドローンや写真

測量ソフトウェア以外に TS も必要である。ダム の 提 体 を 撮 影 す る 際 ， ド ロ ー ン の GNSS で は ， ダ ム が 山 間 の 谷 間 に 位 置 す る た め ， 電 波 を 補 足 可 能 な 衛 星 数 が 少 な く ， 自 律 航 行 が で き な い 。 そ の た め ， TS を 用 い て 飛 行 中 の ド ロ ー ン の 位 置 を 補 足 し 続 け る 必 要 が あ る 。 当 該 AI の 構 築 に は ， ダ ム 提 体 を 飛 行 し な が ら 撮 影 し ， 手 動 で 剥 離 ， 骨 材 中 の 鉄 分 の に じ み 出 し 等 の 異 常 が あ る 箇 所 を 矩 形 で 囲 み ， 学 習 す る 必 要 が あ る 。

ドライブレコーダを用いた舗装点検支援システム (図-4) は，ドライブレコーダの動画像から AI を 用 い て ひ び 割 れ を 検 出 し ， 実 現 場 で の 評 価 方 法 に 即 した 診断区分でひび割れを評価できる。本技術により，点 検 対 象 の 道 路 を 車 両 で 走 行 す る だ け で 日 々 の 日 常 点 検 が 可 能 と な る た め ， 従 来 の 目 視 点 検 の 効 率 化 を 図 る こ と が で き る 。 本 技 術 の 導 入 に は ， ド ラ イ ブ レ コ ー ダ を 点 検 用 車 両 の 前 方 に 向 け て 搭 載 す る 必 要 が あ る 。 当 該 AI の 構 築 に は ， ド ラ イ ブ レ コ ー ダ で 車 両 前 方 斜 め 下 に ひ び 割 れ が あ る 路 面 を 撮 影 し ， 手 動 で 診 断 区 分 ご と に ひ び 割 れ を 分 類 し ， 学 習 す る 必 要 が あ る 。



図-4 舗装点検支援システム

5. おわりに

施工管理やインフラの維持管理では，本稿で紹介したような画像処理技術の導入が進められている。本稿で紹介した事例は，建設機械施工分野における導入事例の中でも一例であることに加え，AIの発展により，

従来以上に次々と新たな最新技術が開発されている。したがって，常に最新の動向を調査しつつ，業務の種類に応じた最新技術を日常業務の中に導入し，省力化，効率化を図ることが重要である。

J C M A

《参考文献》

- 1) 木村拓磨，早川健太郎：4K 定点カメラ映像による工事進捗管理システムの開発および試行，建設機械施工，日本建設機械施工協会，Vol.73，No.7，pp.38-42，2021.
- 2) 井上晴可，梅原喜政，今井龍一，神谷大介，田中成典，中畑光貴，島野寛己：オブジェクト追跡技術を用いた人物識別の補正に関する研究，土木学会論文集 F3 (土木情報学)，土木学会，Vol.78，No.2，pp.I_122-I_130，2022.
- 3) 櫻井淳，田中成典，中村健二，窪田論，今井龍一，重高浩一：UAV の空中写真測量による施工管理のための計測手法の提案，土木学会論文集 F3 (土木情報学)，土木学会，Vol.72，No.2，II_73-II_81，2016.
- 4) 国土交通省：地上写真測量を用いた出来形管理の監督・検査要領 (土工編) (案)，2022.
- 5) 今井龍一，神谷大介，山本雄平，田中成典，中原匡哉，姜文淵，中畑光貴：夜間の交通量調査のための GAN の適用に関する研究，土木学会論文集 F3 (土木情報学)，土木学会，Vol.78，No.2，pp.I_169-I_178，2022.
- 6) 鈴木季弘：既設 CCTV カメラを活用した逆走・誤侵入検知システムの開発，国土技術研究会，国土交通省，2019.
- 7) 平山岳弥：AI (人工知能) 技術を活用した河川監視の高度化に向けた取り組みについて (中間報告)，国土技術研究会，国土交通省，2021.
- 8) 石井明，菅原宏明，小篠耕平，天方匡純：UAV の自律航行と空撮画像を活用したダム提体点検の効率化・高度化に関する研究，AI・データサイエンス論文集，土木学会，Vol.1，No.J1，pp.613-622，2020.
- 9) 今井龍一，中村健二，塚田義典，伊藤大悟，栗原哲彦：ドライブレコーダ画像を用いた深層学習による道路舗装のひび割れ評価手法に関する研究，土木学会論文集 F3 (土木情報学)，土木学会，Vol.77，No.2，pp.I_67-I_76，2021.

【筆者紹介】

中原 匡哉 (なかはら まさや)
大阪電気通信大学 総合情報学部 情報学科
講師



今井 龍一 (いまい りゅういち)
法政大学 デザイン工学部 都市環境デザイン工学科
教授

