

## AI 技術等を活用したコンクリートブロック認識技術の検討

(株) 土木管理総合試験所 ○善財聖也、八木澤一哉  
国土交通省九州地方整備局九州技術事務所 酒匂俊輔、井上淳  
(株) オリエンタルコンサルタンツ 井川忠、中西一仁、堀太成

### 1. はじめに

無人化施工では建設機械や周辺にカメラ等を搭載または設置し、撮影した映像を伝送することで、離れた屋内などから建設機械を操作する。このため、建機オペレータの安全性向上や警戒区域などの人の立ち入りが規制される場所での活動が可能などの利点があり、多くの取り組みが行われている。一方、有人施工とは異なり、視野がカメラなどの撮影範囲に限定される点や操作時の感覚が無いなどの作業効率が悪くなる課題も存在する。

これらのデメリットによる作業への影響を緩和するために、近年、カメラや GPS などの電子機器から得た情報を機械学習などで分析し、施工の補助を行う機能が開発されている。著者らは遠隔操縦式バックホウを用いたコンクリートブロックを使用する構造物構築を支援するシステムの設計や AI などによる解析、撮影実験などを行った。本発表では、これらの取り組みの中の AI 等による画像解析検討について紹介する。

### 2. 撮影システム概要

撮影システムの概要を図1に示す。図に示すように、撮影は把持装置に設置されたカメラで行い、撮影した画像をバックホウ操作室内のノート PC に記録した。カメラを把持装置に取り付ける治具の長さは、カメラの焦点距離、治具やカメラの接触リスクなどを鑑みて、多くのケースでブロックのセンターホールが撮影範囲に入る 34cm とした (図2 参照)。

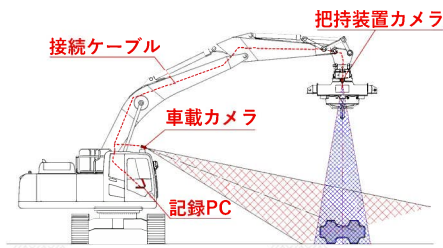


図1 計測システム概要図

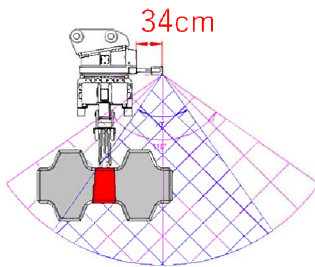


図2 取付治具の長さ検討

### 3. 撮影データ

図3に撮影した画像の1例を示す。本検討では、動画形式で撮影を行い、動画から画像を切り出すことで物体検出 AI の学習画像を作成した。撮影ケースは大きく分けて、地表面にコンクリートブロックが配置された場合とクローラードンプ上に配置された場合の2パターンを想定し、それぞれで複数のブロックが並んだ状態や2層に積まれた状態での撮影を行った (図4 参照)。切り出した画像の 2060 枚を AI の学習に用い、560 枚を検証データとして AI の性能確認に用いた。

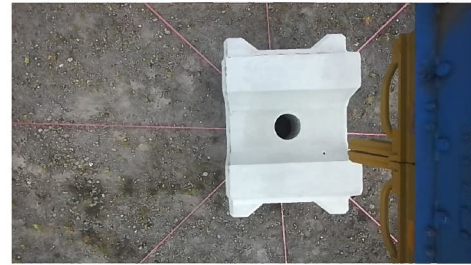


図3 撮影された画像



(A) 地表面

(B) クローラードンプ

図4 撮影ケース

### 4. 画像解析

本検討では前述した撮影画像中のコンクリートブロックを物体検出 AI によって検出し、検出した範囲に対して画像処理を行ってセンターホールの位置を推定した。以降で、それぞれの概要を述べる。

#### (1) コンクリートブロック検出

コンクリートブロックの検出には YOLOv4 (You Only Look Once) を用いた。YOLO を採用した理由として、R-CNN などの多段法と比べて処理速度が早く、本検討が最終目的としているリアルタイムでの画像処理による施工ガイドに即しているためである。物体検出 AI の学習は表1に示すネットワーク構造のサイズが異なる2種類の学習済みモデルを転移学習し、入力サイズやパラメータ数による性能への影響について検討した。

学習した2つのモデルによる検証結果を図5に示す。

表1 物体検出AI

モデル名	入力サイズ	パラメータ数
Tiny	416×416	6059710
CSPDarknet	608×608	64396253

図の横軸は正解とみなすアノテーション結果との基準IoU(Intersection over Union)を示し、縦軸は適合率と再現率である。検証結果より基準IoUに関わらず、CSPDarknetモデルの方が適合率に優れているが、再現率はTinyモデルの方が良い結果となった。しかしながら、それぞれの差は小さいため、軽量モデルであり、メモリ負荷や動作速度の観点から優位であるTinyモデルを採用した。

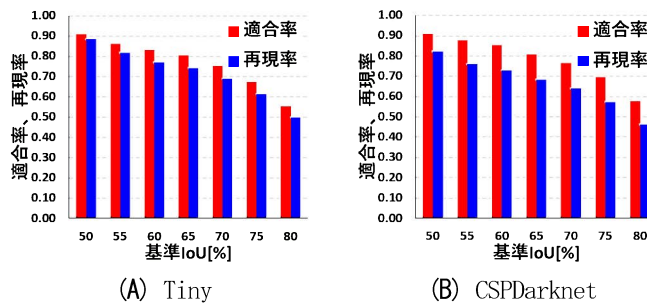


図5 検証結果

## (2) センターホール検出

コンクリートブロック中のセンターホールは、物体検出AIにより検出されたコンクリートブロックの範囲に対して、①RGB画像からグレースケール画像への変換、②グレースケール画像からエッジ部分の2値画像化、③2値画像から円形ハフ変換による円形検出の3段階の処理を行うことにより位置を求めた(図6参照)。

図7に検証画像でのセンターホール検出の結果を示す。図の横軸は人がアノテーションしたセンターホールの半径の大きさであり、縦軸は適合率と再現率である。結果より、適合率はどの半径サイズでも優れた結果となっており、誤検出は少ないといえる。一方、検出感度を示す再現率は、10ピクセル以上では概ね80%程度となっているが、最も小さい0~10ピクセルの範囲では20%以下とほとんど検出ができていない事を示している。これはカメラとコンクリートブロック間に距離があり、センターホール境界を構成するピクセル数が少なく、円形として検出できないためと考えられる。

このような画像中の小さいセンターホールを検出するために、ハフ変換の検出閾値を緩和するなどの対策が考えられるが、これらの処理によって誤検知が増える恐れがある。一方、実際の運用では連続してカメラの撮影映像を解析するため、コンクリートブロックに接近した段階から検出できれば良い。そのため、実作業において、どの程度の距離からセンターホールの検出が必要であるのかについて検討が求められる。

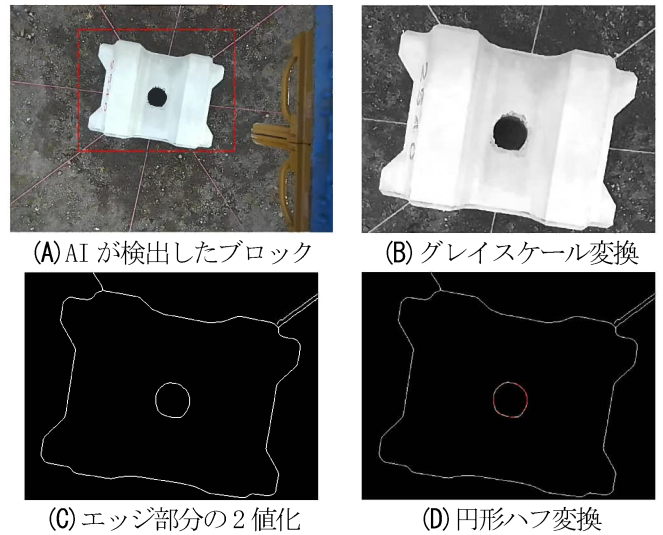


図6 センターホール検出の流れ

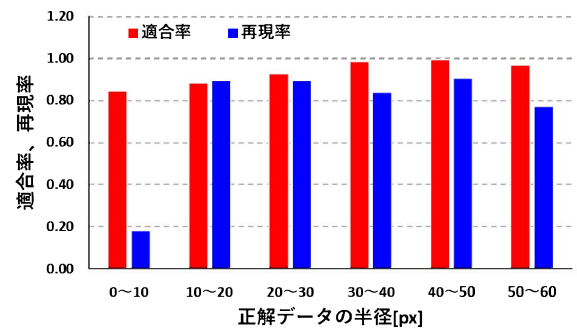


図7 位置範囲からセンターホール半径の推定

## 5. まとめと今後の展開

本検討では、バックホウの把持装置に設置されたカメラによって撮影された画像からコンクリートブロックの検出およびセンターホールの検出を試みた。結果から物体検出AIはコンクリートブロックを高い精度で検出でき、AIによる物体検出は十分に可能であった。

ハフ変換によるセンターホール検出では、誤検出の少ない検出が行えていたが、カメラから距離のあるブロックのセンターホールについては、検出できない例が多く見られた。これに対しては、ハフ変換での検出閾値の緩和や画像処理による対策の他、実際の運用で遠景のコンクリートブロックのセンターホールが必要なかなどの検討が必要である。

加えて、本検討では撮影されたデータを元にコンクリートブロックおよびセンターホールの検出を行ったが、実際の建機に接続した状態での処理を行い、動作速度に関する検討やGUI部分の構成などについても、作業者からのヒアリングなどを元に決定していく予定である。

### 【参考文献】

- 1) 茂木正晴、藤野健一、油田信一：無人化施工におけるヒューマンインターフェースの作業効率評価、日本ロボット学会誌、Vol. 33, No. 6, 426-429, 2015