

深層強化学習を用いたブルドーザのまき出し作業における最適経路の探索

鹿島建設(株) 正会員 ○田島大輔 浜本研一 小熊 正 黒沼 出 三浦 悟
(株)小松製作所 登尾大地 中山 裕 林 和彦
理化学研究所 Voot Tangkaratt 前原貴徳

1. はじめに

現在、当社では省人化、生産性、安全性の課題を解決するために、建設機械の自動化技術を核とした次世代の自動化施工システム「A⁴CSEL[®] (クワッドアクセル)」の研究開発を進めている(図-1)。これまでに A⁴CSEL により、振動ローラ、ブルドーザ、ダンプトラックの自動化を行い、それぞれ自動転圧システム、自動まき出しシステム、自動運搬システムを実現してきた¹⁾。自動建設機械の更なる機能・性能を向上させるには、状況に応じて自動建設機械が適応的に動作する自律性を有した機能が必要である。自動ブルドーザによる土砂のまき出し作業の機能・性能の向上を考えたとき、土砂の位置や形状に合わせて自律的にブルドーザの最適経路を探索する機能が必要となる。筆者らは、これらの機能を実現する技術として、ブルドーザ自身が学習し、新しい機能を自ら身につけていく AI 技術の1つである強化学習に着目した。本報告では、強化学習を用いたブルドーザまき出し作業における最適経路探索の研究成果について報告する。

2. ブルドーザによるまき出し作業への強化学習の適用

強化学習とは、試行錯誤しながら行動する中で、行動の結果の良し悪しを見て、その行動の評価を行い、少しずつ自らのやり方を改善していく学習方法である。本研究では、自動ブルドーザの動作を「行動」とし、土砂の状況を「状態」とした。報酬の設定では、自動ブルドーザが土砂を所定の領域にまき出せば正の報酬を与え、所定の領域外にまき出した際は、負の報酬を与えた(図-2)。このように、強化学習では、何度もこの試行を繰り返しながら学習を行い、土砂の状態に応じた最適なまき出し経路を決める方策を獲得する。



図-1 次世代建設生産システムのコンセプト

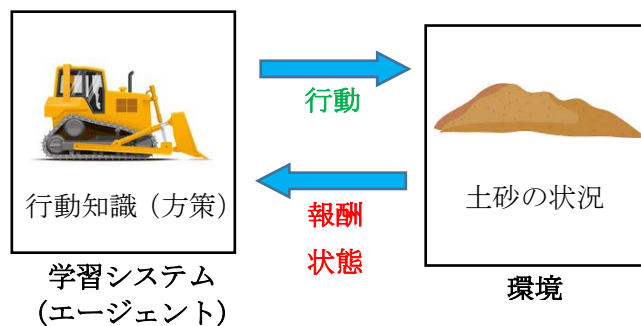


図-2 まき出し作業の強化学習への適用

3. 強化学習の計算方法

3.1 計算条件

図-3は、強化学習の計算条件を模式図と実際のフィールドで表した様子である。計算条件は、実際のダム現場で想定できる条件とし、まき出すための土砂量は 25m^3 とした。これは、ダム建設で一般的に使用される 55t ダンプの積載量である。図-3のオレンジ色枠は、幅 12m、長さ 10m、高さ 0.3m の矩形型のマウンドを表している。そのマウンド上に、土砂がダンプアップされ、ブルドーザが待機している。緑色枠は、目標まき出し領域を示し、目標のまき出し出来形は、幅 12m、長さ 7m、高さ 0.3m の矩形型である。土砂をまき出す前は、緑色枠の領域は、オレンジ色枠のマウンドより 0.3m 低い状態である。

キーワード 自動化建設機械、ブルドーザ、まき出し作業、深層強化学習、シミュレータ

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-6279

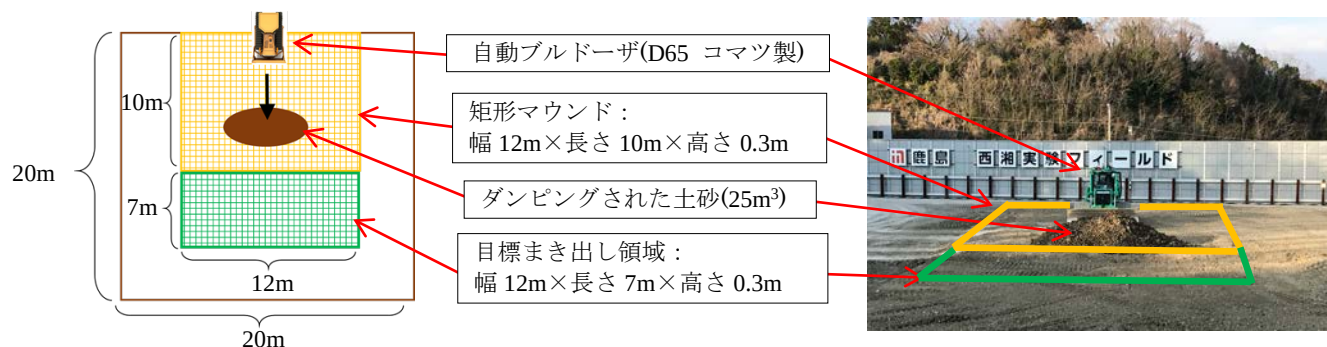


図-3 計算条件（左図：模式図 右図：フィールドでの状況）

3.2 計算手法および計算結果

強化学習の計算は、実際の現場で実機を用いて実施するのではなく、まき出し作業をコンピュータ上で表現できるシミュレータ²⁾を用いて強化学習の計算を実施した。sim-to-real と呼ばれるシミュレータ上で試行錯誤を行い、学習が完了した後、その結果をそのまま実機に移し動作させる手法を用いた。強化学習の計算手法は、深層強化学習の手法の1つである Deep-Q-Network(DQN)を採用した。図-4 に 3.1 計算条件で実施した DQN による計算結果を示す。図-4 より目標領域内ほぼ全域に、目標高さである 0.3mの土砂がまき出されていることがわかる。このことから、強化学習(DQN) から得られたまき出し経路によってまき出された出来形は、十分な精度（充填率：97.89%）でまき出されていることを示している。

4. 実証実験

実証実験は最初にダンプトラックによって荷下ろしされた土砂の形状測量を行い、次に測量データを学習済みのエージェントに入力し土砂の形状や位置に応じた最適経路を導出した。その導出した経路を自動ブルドーザに入力し、まき出し実験を実施した。その際の実証実験状況と結果を写真-1、図-5 にそれぞれ示す。図-5 より、まき出し形状の縦方向を見てみると目標領域を 1m以上オーバーしてまき出されている。これは、まき出しの際、土砂がブレードへ付着したために、土砂がブレードの下に完全に落ちずにまき出されたことが原因である。しかし、横方向には、ほぼ目標領域内にまき出されていることから、まき出しシミュレータと強化学習によって得られたまき出し経路は、実作業においても有効であることが確認できた。

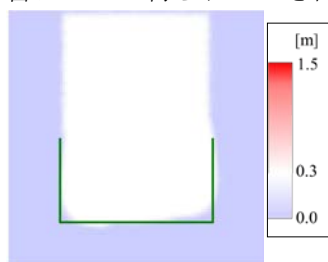


図-4 計算結果



写真-1 実証実験状況

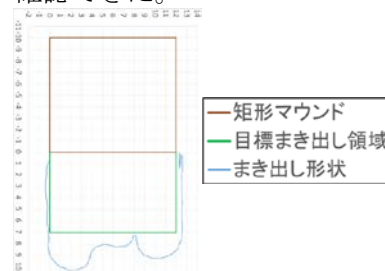


図-5 実証実験結果

5. おわりに

本報告では、自動ブルドーザの自律性向上に向けたまき出しシミュレータと強化学習を用いたまき出し作業における最適経路の探索と実機による実証実験について報告した。まき出しシミュレータと強化学習により、土砂の位置や形状に合わせたブルドーザの最適なまき出し経路の探索が可能であることが分かった。また、実機による実証実験により、シミュレータを使用した強化学習によって得られたまき出し経路が実フィールドでの実機によるまき出し作業においても有効であることが確認できた。

参考文献

- 1) 田島大輔ほか：建設機械の自動化による自動化施工システムの開発、建設技術発表会 2017、pp.128-132.
- 2) 浜本研一ほか：ブルドーザ撤出し自動化における作業シミュレータの開発、土木学会第71回年次講演会、pp.159-169 VI-080、2016.