

ブルドーザのまき出し作業における深層強化学習の適用

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 川島敏弘 林 和彦
 (国研) 理化学研究所 ブートタンカラット 前原貴憲

1. はじめに

筆者らは省人化、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の研究開発(図-1)を進めている。これまでに、振動ローラ、ブルドーザ(以下、BDとする)、ダンプトラック(以下、DTとする)の自動化を実現してきた¹⁾。現在、自動BDにおいて、まき出し作業の自動化の機能・性能向上を目的として、AI技術の1つである強化学習を用いてBDの最適経路を自律的に探索する研究開発を実施している。これまでに、開発したまき出しシミュレータ²⁾(以下Simとする)と深層強化学習(以下、DRLとする)を用いて、整形されたマウンド上に荷下ろされたDT1杯分の材料に対する最適なまき出し経路の自動生成を実現した³⁾。本報告では、実際のダム現場で実施されているDT複数台分を連続的にまき出す作業を対象に、SimとDRLを用いたまき出し経路の自動生成と自動BDによる実証実験を実施したので、それらについて報告する。



図-1 次世代建設システムのコンセプト

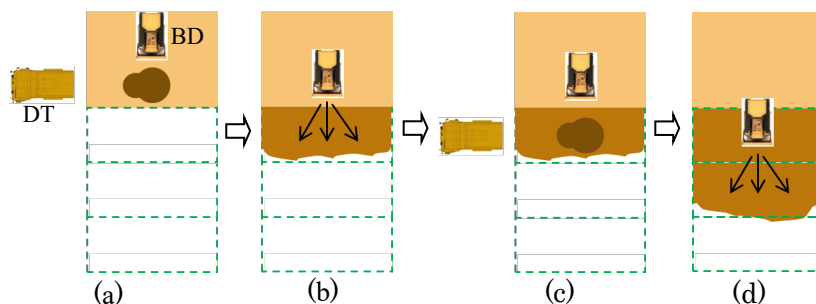


図-2 ブルドーザによる材料のまき出し手順

2. ブルドーザによる材料のまき出し作業

前述したように、これまでの検討では、整形されたマウンド上に荷下ろされたDT1杯分の材料のまき出しを対象としたが、実際のロックフィルダムやコンクリートダム建設現場では、図-2に示す手順でまき出しが行われる。まず、(a) DT が所定の場所に材料を下ろし、(b) その材料をBDが所定の領域にまき出す。次に、(c) BD によってまき出された不定形なマウンド上にDTが新たな材料を荷下ろす。その後(d) BDが新たなまき出し領域に材料をまき出す。ある一定の領域をまき出すまでこれらの作業が連続的に繰り返し行われる。このように、連続まき出しや不定形マウンド等のこれまでに開発した学習モデルに含まれていない環境があるため、開発した学習モデルが使用できないという問題がある。そこで、それに対応する新しいSimとDRLの検討を行った。

3. 連続まき出し作業への強化学習の適用と計算方法

3.1 強化学習の適用方法

本章では、前章で述べた BD による連続的なまき出し作業への強化学習の適用を述べる。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 BD のまき出し動作を「行動」とし、BD が所定の領域内へ材料をどれだけ正確にまき出したかでその行動を評価した。不定形のマウンド上からの材料のまき出し作業を模擬できるよう改良した Sim と強化学習と深層学習を組み合わせた DRL を用いて、連続的なまき出し作業に関するまき出し経路の自動生成を実施した。

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

3.2 強化学習の計算方法

強化学習の計算条件を図-3に示す。計算条件は、実際のダム現場で想定できる条件とし、まき出すための材料は 25m^3 とした。図-3の緑色枠は、幅 12m、長さ 7m、高さ 0.3m の矩形の目標まき出し領域であり、オレンジ色枠は、幅 12m、長さ 10m、高さ 0.3m の矩形のマウンドだが、2 杯目以降では不定形なマウンドとなる（図-2(c)）。材料は、このマウンド上に荷下ろしされる。この計算条件で Sim を用いて DRL の計算を実施したところ、連続まき出し作業におけるまき出し経路を自動生成できることを確認した。また、DRL の計算は、深層強化学習の 1 つである Proximal Policy Optimization(PPO)⁴⁾を採用した。

4. 実証実験

4.1 実験方法

実証実験では、55t 用 DT3 台分の材料を使用し 3 回分の連続まき出しを実施した。実験の手順としては、まず初めに幅 12m、高さ 0.3m の整形されたマウンド上に 25m^3 の材料を荷下ろした。次に荷下ろされた材料とマウンドの形状測量を行った。その測量データを DRL の学習済みモデルに入力し材料の形状や位置に応じたまき出し経路を生成させた。生成した経路を自動 BD に入力し、まき出し実験を実施した。2 回目以降のまき出し作業では、前の回でまき出された土砂上に材料を荷下ろして実験を実施した。また、DRL の学習済みモデルに入力した材料の形状とまき出し形状の測量データは、ドローンによって空撮した静止画から SfM 解析を実施し取得した。

4.2 実験結果

実証実験の状況を写真-1、Sim の結果と自動 BD による実験の比較を図-4に示す。図-4の(a), (b), (c)は、DRL の学習済みモデルによって得られた経路を Sim に入力した際の 1 回目から 3 回目までのまき出し形状である。(d), (e), (f)は、自動 BD で実際にまき出した土砂の形状を示し、各図は材料の高さをコンターで示した図である。各回の Sim と自動 BD によるまき出し形状の結果を比較すると、それぞれのまき出し形状はほぼ同じであることと、緑枠の目標領域内に目標高さである 0.3m（白色）で材料がまき出されていることがわかる。このことから連続まき出し作業用に改良した Sim と DRL によって得られたまき出し経路は、実環境での連続的なまき出し作業においても有効であることがわかった。

5. おわりに

本報告では、実際のダム現場で実施されている DT 複数台分の材料を連続的にまき出す作業を対象に、DRL を適用したまき出し経路の自動生成について検討した。改良した Sim を用いて DRL の計算を実施した結果、シミュレータ環境において、連続まき出し作業におけるまき出し経路を自動生成できたと確認できた。また、連続的なまき出し作業に関する自動 BD を用いた実証実験では、Sim と DRL によって得られたまき出し経路が実環境での連続的なまき出し作業においても有効であると確認できた。今後、まき出し作業の更なる自律性と施工精度の向上を図り、DRL を実装した自動 BD の現場での実運用を目指す。

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，VI-080，2016. 3) 田島大輔ほか：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，土木学会第 74 回年次講演会，VI-345，2019. 4) <https://openai.com/blog/openai-baselines-ppo/>

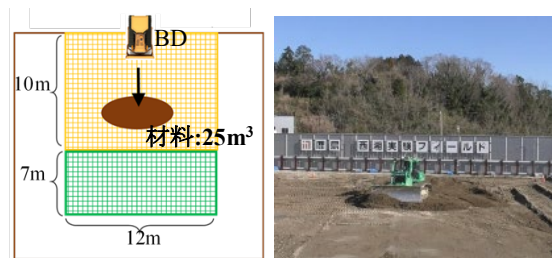


図-3 計算条件 写真-1 実証実験状況

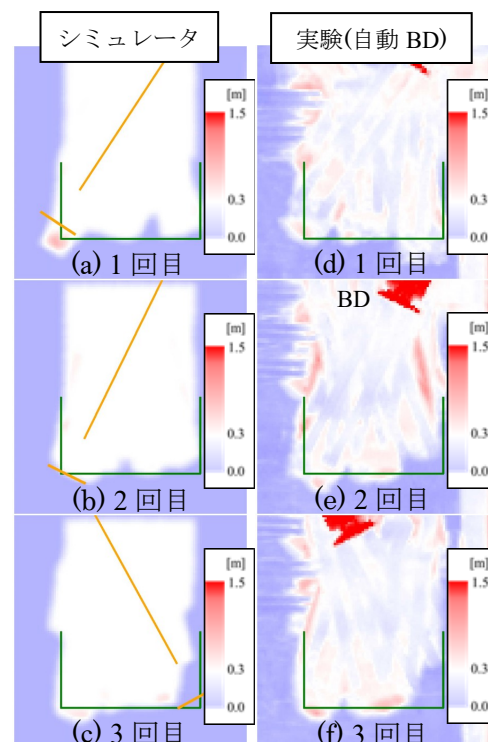


図-4 まき出し形状