

掘削作業の最適化に向けたバックホウ掘削シミュレータの開発

鹿島建設(株) 正会員 ○浜本研一 小松慎太郎 仲村滋夫 三浦 悟

1. はじめに

近年建設現場では、技能労働者の減少および高齢化による人手不足が深刻化しており、少人数で生産性を向上しつつ、安全性の向上にも寄与する技術が求められている。これまでに ICT を活用した情報化施工や遠隔操作による無人化施工も利用されているが抜本的解決には至っていない。抜本的な解決の一つとして、我々はこれまでに建設機械の自動化を核とする次世代建設生産システムを提案し開発している¹⁾ (図-1)。特に、ブルドーザのまき出し作業やバックホウの掘削作業の自動化では所定の形状に土砂をまき出すことや地面を掘削することを自動化するだけでなく、作業手順を効率化することも重要である。



図-1 建設機械の自動化を核とする次世代建設生産システム

実機を用いたフィールド試験で作業手順を検討するには費やす時間やコストが大きいため、シミュレーションによる事前の作業評価が必要である。これまでにブルドーザのまき出しの作業自動化では、まき出しシミュレータ²⁾を開発し、深層強化学習によるまき出し作業の最適化³⁾を行っている。一方で、バックホウについてはオペレータをトレーニングするための掘削シミュレータが一般に販売されているが、深層強化学習による掘削作業の最適化を想定したものはほとんどない。

そこで本報告ではバックホウの掘削作業を対象に、実作業検討に十分な再現性を有する掘削シミュレータの概要について述べた後、提案する掘削シミュレータの再現性について評価した結果を報告する。

2. 掘削シミュレータの概要

2.1 掘削シミュレータの構成

バックホウの動作は下部クローラを用いた移動(並進・旋回)と作業機の動作(上部旋回・ブーム・アーム・バケット)がある。今回は掘削作業に焦点を置いて、作業機の動作をシミュレートすることを考える。そこで、バックホウによる掘削作業をコンピュータ上でシミュレートするために、掘削シミュレータを図-2の構成で構築する。掘削シミュレータに対するバックホウの動作指令内容として、作業機の姿勢として各動作での上部旋回角度、ブーム角度、アーム角度、バケット角度および動作実施時間を与える。単純な掘削作業に対する一連の動作指令の例としては次のパターンが考えられる(図-3)。

- ステップ 1. バケットを掘削開始位置へ移動する。
- ステップ 2. 掘削動作としてバケットを地盤に差し込む。
- ステップ 3. バケットをバックホウの方向へ引く。
- ステップ 4. バケットの角度を変えて土を抱える。
- ステップ 5. バケットを引き上げる。

動作指令内容に応じて、掘削シミュレータは時々刻々の作業機の姿勢を計算する。このとき上記ステップ 2~5 でのバケットの動きに対する地盤や土砂の変化を計算することが重要となる。

そこでバケットの位置と姿勢角度を求めて、バケットの刃先が地盤や土砂に対して動いた軌跡から上部にある土砂を取り除くこ

バックホウの動きを指令
旋回/ブーム/アーム/バケット
の角度

①バケットの位置・姿勢角計算

②掘削による概略変形を計算

③土砂崩落による詳細変形を計算

図-2 掘削シミュレータの構成と計算手順

キーワード： シミュレータ, 自動化, 掘削作業, バックホウ, 土砂崩落

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 042-489-6256

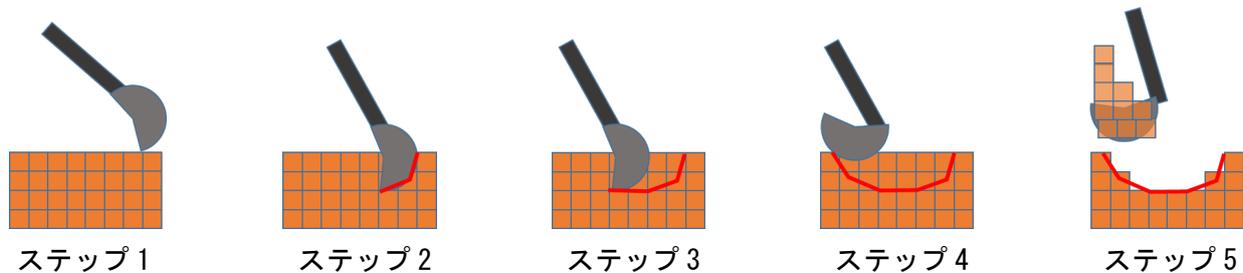


図-3 掘削作業でのバケットの動きと掘削箇所を選択

とによって、掘削を模擬し地盤や土砂の形状を変形される。また取り除かれた土砂はバケット内部に取り込まれると仮定する。掘削作業での一連の動きを実行後、掘削後の地盤や土砂およびバケット内部に取り込まれた土砂の崩落を実行し、より詳細な変形を施す。提案する掘削シミュレータでは、簡単のために、掘削時バケットに生じる切削抵抗力は考えていない。

2.2 掘削シミュレータの実装

汎用機械シミュレーションソフトである ROS⁴⁾ を利用して前小節で述べた掘削シミュレータを以下のように実装した。

リンク系ロボットのシミュレーションでは頻りに用いられる物理エンジンである Gazebo^{4),5)} によりバックホウ作業機の動作と掘削を実現した。バックホウの作業機を4リンクのマニピュレータ系とみなし Gazebo 上に実装した。地盤データも Gazebo 上で保持し、バケットの動作に応じて地盤の凸凹やバケット内の土砂量を計算した。

掘削後の土砂崩落は、まき出しシミュレータ²⁾ に適用した Enhanced Sand Pile Model⁶⁾ により実現した。Gazebo 内の地盤データや崩落プログラムの計算結果は ROS の機能を用いて Gazebo と崩落プログラム間で通信された。

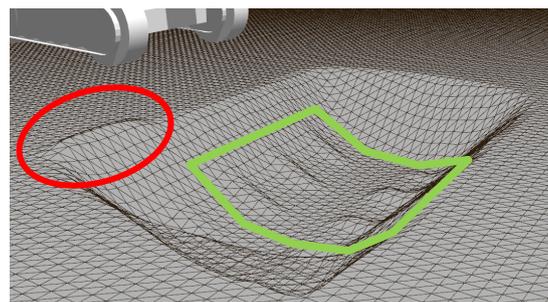


図-4 シミュレーションでの掘削結果



図-5 自動化バックホウでの掘削結果

図-4 は、提案する掘削シミュレータを用いて幅 5m×奥行 3m×深さ 1.5m の穴を掘削した結果である。一方、図-5 は自動化した 0.28m³ バックホウ⁷⁾ (コマツ製 PC78US) を用いて同様の自動で掘削した結果である。各図ともに、右下から左上へ掘削している。土砂の量は異なっているが、提案する掘削シミュレータでも掘削時にバケットから崩れ落ちた土砂(各図の赤囲み部)や掘削後の概略土砂形状(各図の緑囲み部)などの特徴が現れており、実際の掘削作業を一定程度再現できていることがわかる。

4. おわりに

本報告ではバックホウの掘削作業を対象にして、実作業検討に十分な再現性を有する掘削シミュレータの開発を行い、その概要と機能について報告した。また掘削シミュレータ動作の再現性について、実際の作業結果との定性的評価により、掘削時の土砂形状が近似できていることを示し、開発した掘削シミュレータの有効性を明らかにした。今後、実機作業との詳細比較により、更なる精度向上に向け定量的な評価を行う予定である。

参考文献

- 1) 浜本ほか: 次世代建設技術による複数建機(ローラ・ブル・ダンプ)での自動化施工, 基礎工, Vol. 46, No. 7, pp. 161-163, 2018.
- 2) 浜本ほか: 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 回年講, VI-80, 2016.
- 3) 田島ほか: 深層強化学習を用いた自動ブルドーザによる最適まき出し経路の探索, 土木学会第 74 回年講, VI-345, 2019.
- 4) M. Quigley et al (河田監訳, 松田ほか訳): プログラミング ROS, オライリー・ジャパン, 2017.
- 5) N. Koenig et al: Design and use paradigms for Gazebo, an open-source multi-robot simulator, Proc of IEEE/RSJ IROS, 2004.
- 6) M. Pla-Castells et al.: Visual representation of enhanced sand pile models, Proc. of the Indus. Sim. Conf., pp. 141 -146, 2003.
- 7) 浜本ほか: 遠隔操作と自動制御の協調による遠隔施工システムの実証, 土木学会第 74 回年講, VI-351, 2019.