

熟練オペレータによる油圧ショベルの掘削作業解析

The Analysis of Skillful Hydraulic Excavator Operation

学 境田 右軌 (東大) 正 中後 大輔 (東大 IML)
正 川端 邦明 (理研) 正 嘉悦 早人 (理研)
正 浅間 一 (東大)

Yuki SAKAIDA, The Univ. of Tokyo, sakaida@race.u-tokyo.ac.jp
Daisuke CHUGO, IML/The Univ. of Tokyo
Kuniaki KAWABATA, RIKEN
Hayato KAETSU, RIKEN
Hajime ASAMA, The Univ. of Tokyo

In recent years, some unmanned operation systems for hydraulic excavator are required and some systems are already developed. However, it is difficult to realize effective operation utilizing such systems. In this paper, we described to examine to extract operator's skill for controlling unmanned hydraulic excavator. We compare operation of skillful operator with non-skillful operator and discuss about the result for modeling of operator's skill. From these results, we have revealed that skillful operator realized unified trajectories with quick moving and this causes the efficient performance.

Key Words: hydraulic excavator, autonomous control, operation skill, skill extraction

1. はじめに

道路工事やビル建築等の現場では、油圧ショベルが多く用いられているが、これらの作業現場ではしばしば不安定な足場、トンネル内、周囲の崩落の可能性等、劣悪な環境で作業しなければならないことがある。そのため、油圧ショベルの無人化施工技術が必要とされている。近年、遠隔操作による無人化施工技術が研究され [1][2]、一部は実用化されている。しかし、これらのシステムは、現場に設置したカメラ等による映像を基に遠隔操作を行うため、実際の作業場所の確認をすることが困難であることから、作業効率が低下する。一方、自律化による油圧ショベルの無人化手法が考えられる。油圧ショベルの自律システムにおいては、掘削軌道を計画する必要がある。しかし、実際は、摩擦係数、スリップ率、足場の状態など、考慮すべきパラメータが多いため厳密なモデル化が不可能であり、軌道計画が困難である。これに対して熟練オペレータは、経験に基づいて作業環境に適した軌道を計画しており、効率的な作業を実現している。

そこで本研究では、効率的な作業を遂行することができる熟練オペレータの操作方法を解析することで効率的な油圧ショベル操作技術を抽出し、それをとり入れた建設機械の無人制御システムを開発することを目的とする。

著者らはこれまでに、オペレータ操作時の油圧ショベル各部の動作データ計測を行うシステムの構築と、収集したデータについて報告した [3][4]。本稿では、無人制御システム構築のために必要不可欠な、熟練オペレータの操作技術抽出を行うために、非熟練オペレータと熟練オペレータによる油圧ショベルの操作の違いを計測データより比較し、操作技術のモデル化に向けて検討する。

2. 熟練オペレータの操作技術抽出

熟練オペレータの作業効率を向上させている操作要因を探るため、一般的な矩形を掘削する作業内容に関してインタビューを行った。その結果、オペレータの操作技術は、オペレータ自らが長年の作業によって獲得した経験則に基づいているとの回答を得た。ゆえに、操作を意識的に行っているわ

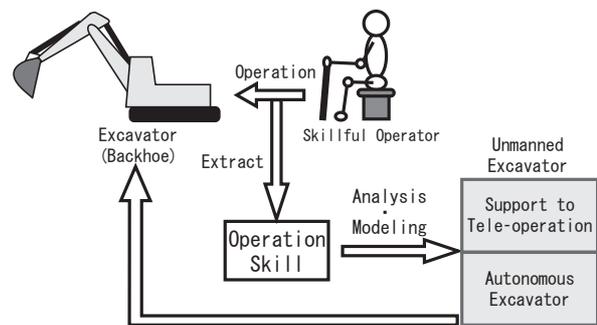


Fig.1 An Approach of our study

けではないため、作業中の操作がどのように効率的な作業につながるか、すなわち効率的な作業の要点に関しては明確な定量的回答を得ることができなかった。したがって、熟練オペレータが高い作業効率を実現している要因を探るためには、その操作技術を解析することが重要である。

ここで、Fig.1 に本研究のアプローチの概要を示す。本稿では、熟練オペレータの操作方法を解析し、高い作業効率を実現している操作要因を抽出するため、熟練オペレータと、作業効率が悪い非熟練オペレータの操作を比較する。特に、油圧ショベルとして一般的なバックホウを対象に、Fig.2 のようにバックホウによる施工作业を大きく3種類に分類して、施工作业で最も多く、比較的単純な作業である (a) の平坦地掘削作業を本稿の対象とする。(b) の掘り取り作業は掘り対象の大きさや土質、(c) の法面整形作業は整形する法面の角度によって作業が大きく異なり、複雑な作業となることから本稿では除外とした。またオペレータに対するインタビューから、10年程度以上の操作経験者を熟練オペレータ、それ未満を非熟練オペレータと設定した。

3. 実験概要

Fig.3 に本実験で用いるバックホウ (SK05 KOBELCO 製) の外観を示す。バックホウのブーム、アームおよびバケットの各先端座標は、冗長自由度系ではないため、バケットの姿

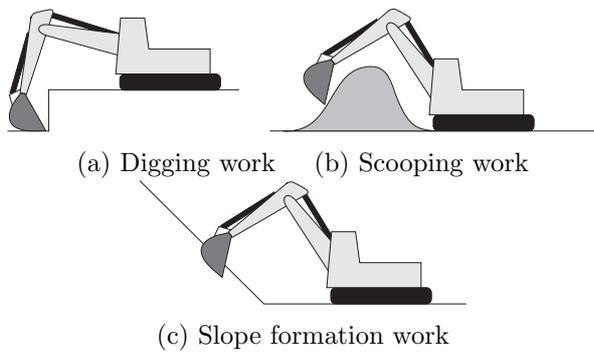


Fig.2 Classification of work by backhoe

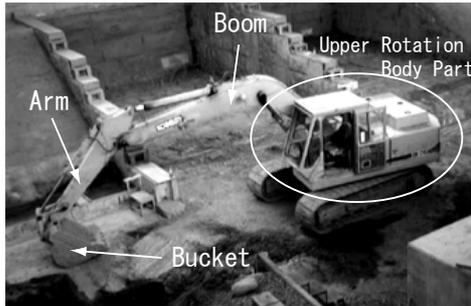


Fig.3 Backhoe used for experiment

勢によって一意に定まる。したがって、熟練オペレータと非熟練オペレータの操作技術の差は、結果的にバケット軌跡に表れるものと仮定して、熟練オペレータと非熟練オペレータによるバックホウ操作時のバケット軌跡についての計測実験を行い、得られた結果について考察する。

3.1 実験条件

本実験では、熟練オペレータと非熟練オペレータ両者に、Fig.4のような作業環境でバックホウの操作を実施させた。Fig.4に示す作業環境のような、一回の掘削で奥行範囲の全てを掘削することが不可能な状況を設定することで、熟練オペレータと非熟練オペレータの操作の差が大きく表れるものと期待できる。計測データ収集については、これまでに著者らが構築した計測システムを用いることとした [3]。

3.2 計測実験

実験は、以下の手順で行った。

1. オペレータが作業環境の任意の位置にバックホウを移動させ、初期位置を決定する
2. 合図を出し、作業を開始させる
3. 作業中、バックホウ位置はオペレータの判断で任意に移動させる
4. バケットを下ろし、オペレータが合図をして作業終了

作業内容は、掘削して放土することを繰り返す。今回使用したバックホウは運転席が本体の左側に位置しているため、場所の確認がしやすい左旋回での放土が多いことがこれまでのオペレータへのインタビューによりわかっている。そのため、放土に関しては操作の整合をとるため、左旋回で行わせ、自由な位置に放土させた。

4. 実験結果

作業開始から終了まで、熟練オペレータ、非熟練オペレータとも、掘削、整形および仕上げを同時に随時行っており、バケットの軌跡が定まらないことがあったが、両者とも作業

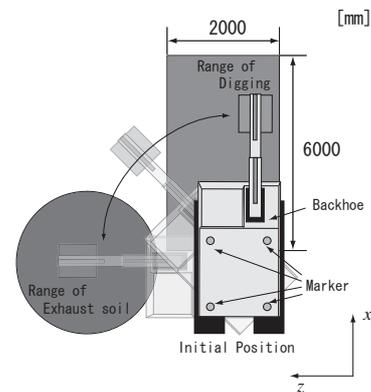


Fig.4 An environment of digging work

開始から数掘削目までは主に掘削作業を行っていた。本稿では、純粋に掘削作業に注目するために5掘削目までのバケット軌跡(アーム先端とバケット先端を結ぶ直線)を対象とし、バックホウのブーム、アームおよびバケットの中心を通る矢状面上に、0.5[sec]毎に投影した図を熟練オペレータに関してFig.5、非熟練オペレータに関してFig.6に示す。

熟練オペレータが、平均で100[cm]程度とアームを大きく操作して掘削しているのに対して、非熟練オペレータは平均で40[cm]程度と、アームの動かし方が小さい。一掘削の長さも、熟練オペレータは平均で290[cm]程度に対して、非熟練オペレータは平均で200[cm]程度と短くなっている。また、それにともなって、熟練オペレータによる一掘削の深さは最大で75[cm]程度と比較的浅めであり、非熟練オペレータは反対に最大で90[cm]以上と、長さより深さ優先で作業を進めることが確認できた。各掘削を開始する地点での、地面に対するバケットの進入角度は、熟練オペレータはほぼ水平に進入させているのに対し、非熟練オペレータはほぼ垂直にバケットを降ろしていることが確認できる。以上の結果は、掘削時にバケットにかかる負荷の大きさに大きく関わっており、熟練オペレータは比較的負荷の小さい掘削作業になるように操作を行っているものと考えられる。

両者の1掘削にかかる時間を比較した結果、熟練オペレータがおおよそ8.5~10.5[sec]かかるのに対して、非熟練オペレータはおおよそ10.0~14.0[sec]かかっている。したがって熟練オペレータは、より速くバケットを動かして掘削していることがわかる。

すなわち、負荷の大きさは作業中のバケットの移動速度に関連しており、負荷の小さい作業とすることで、バケットをより速く動かすことができ、結果的に熟練オペレータは高い作業効率を実現できるものと推察できる。

著者らのこれまでの報告から[4]、熟練オペレータはほぼ一定の軌跡で掘削することがわかっている。掘削範囲、手順および深度に応じて、熟練オペレータの掘削軌跡から目標となる軌跡を生成する。熟練オペレータの掘削軌跡は負荷が少ないことが保証されているとすると、掘削する土質等の厳密なモデル化をせずともよいことが期待できる。したがって、この軌跡を追従する制御を油圧ショベルの無人化システムに適用することで、効率のよい作業が実現できるものと考えられる。

5. まとめ

本稿では、熟練オペレータの作業効率と同等の性能を実現する建設機械の無人制御システム構築の基礎となる、熟練オペレータの操作技術を抽出した。非熟練オペレータと熟練オペレータの操作の違いを比較した。これにより以下の知見を得た。

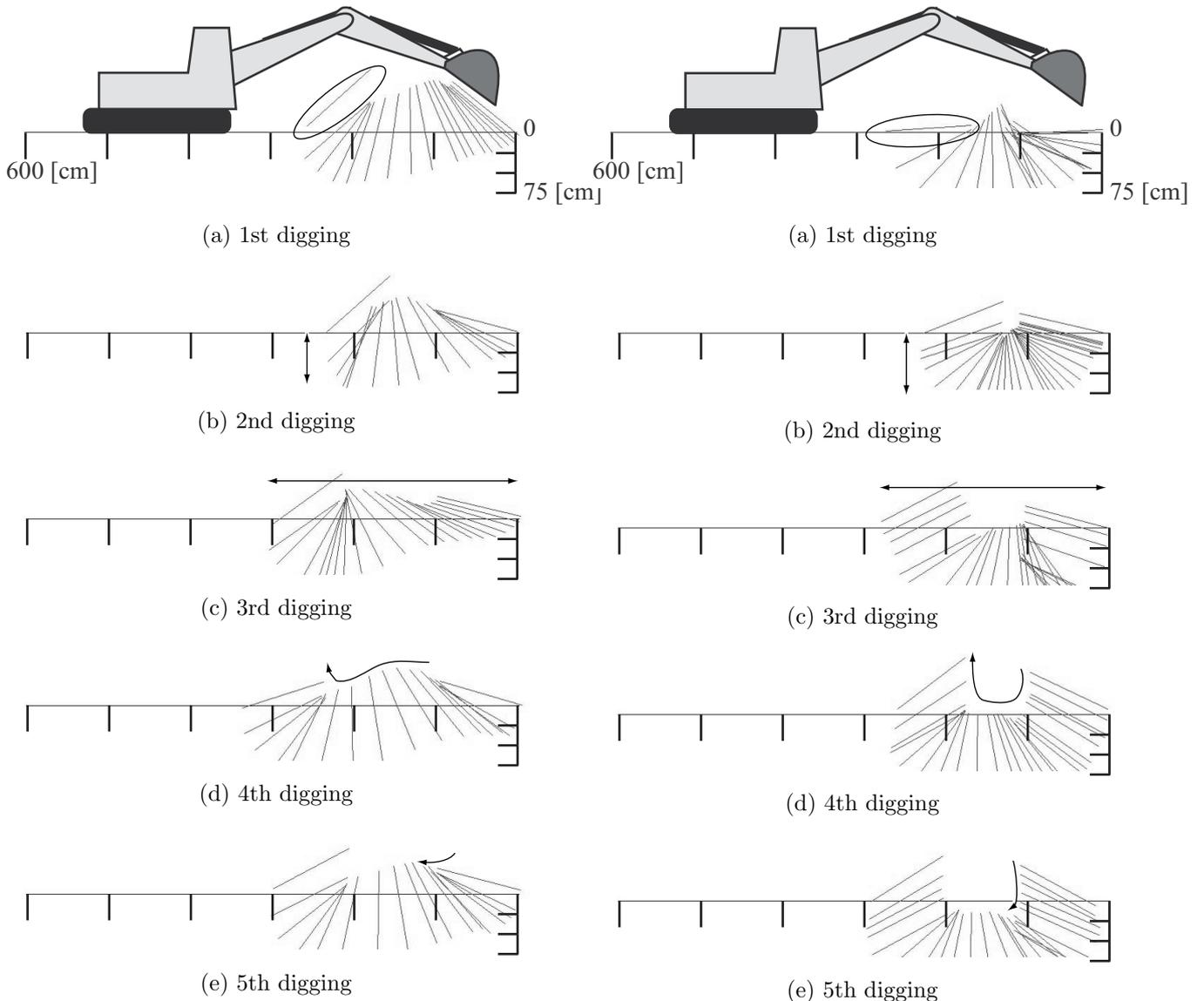


Fig.5 Tracks of the bucket by skillful operator

Fig.6 Tracks of the bucket by non-skillful operator

- 一掘削の長さは、熟練オペレータは約 290[cm] に対し、非熟練オペレータは約 200[cm] と、熟練オペレータはより長く掘削している
- 一掘削の深さは、熟練オペレータは約 75[cm] に対し、非熟練オペレータは約 90[cm] と、熟練オペレータはより浅く掘削している
- 掘削開始時のバケット進入角度は、熟練オペレータはほぼ水平に対し、非熟練オペレータはほぼ垂直である

以上から、熟練オペレータは、浅く長く掘削することでバケットにかかる負荷を小さくし、バケットを早く動かして作業をすることで効率的な作業を実現しているものといえる。

今後の課題として、本稿で示した、掘削時のバケット進入角度や掘削範囲等の特徴は、該当オペレータに固有のものであるのか、また作業対象の土質の違いでどう変化するのか、追実験を行って標本数を増やした上で検討する必要がある。また、進入角度や掘削範囲の特徴に加えて、熟練オペレータがどのように掘り進めていくかの作業計画の解析や意味付けも重要である。さらに、熟練オペレータと非熟練オペレータの経験の差による効率の差がどの程度であるのか定量的評価

を行うことも必要である。

謝辞

本稿の実験は、独立行政法人土木研究所の協力とともに行いました。同研究所の山元弘氏、山口崇氏に厚く御礼を申し上げます。

文献

- [1] 西沢修一, 神崎正, 大浦幹男: “GPS を用いたコンクリートダム無人化施工法”, 応用測量論文集 10 巻, 日本測量協会, pp.11-15, 1999.
- [2] フジタ: “プレスリリース 雲仙普賢岳・水無川で無人化施工方法提案競争の防災ダムを受注”, http://www.fujita.co.jp/release/topicnews/T2002/topicNews2002_1004.pdf, 2002.
- [3] 境田右軌, 羽田靖史, 川端邦明, 嘉悦早人, 浅間一: 熟練オペレータによる油圧ショベル操作の解析”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2005, 2P1-S-054, 2005.
- [4] 境田右軌, 中後大輔, 川端邦明, 嘉悦早人, 浅間一: 熟練オペレータによる油圧ショベル操作の解析”, 日本ロボット学会学術講演会 2005, 2005.