

無人化施工における作業効率の実態

茂木正晴・藤野健一

現在、災害発生時（地震・噴火などによる災害）における初動対応として無人化施工が適用されており、雲仙普賢岳等で利用されている。大規模土砂災害等において、この無人化施工技術の適用に関しては、災害の規模や現場状況（人への危険度合い）によって迅速かつ安全な施工技術として期待できるものと考えられる。

本報告では、無人化施工における作業効率向上を目的とし、土木研究所構内の試験フィールド内において建設機械に搭乗操作した場合と遠隔による操作を行い、サイクルタイムの計測を行い作業効率としての実態を明らかにした。実験は、1年未満の初心者オペレータ、5年以上の経験を持つ熟練オペレータ、熟練したオペレータかつ遠隔操作経験が5年以上のオペレータを対象に実施し、得られた計測データから熟達による作業効率向上のポイントを考察として述べるものである。

キーワード：遠隔操作技術、油圧ショベル、空間把握、奥行き感覚、作業効率

1. はじめに

現在、日本では災害発生時（地震・噴火などによる災害）における初動対応として無人化施工が適用されている。無人化施工は、人が立ち入ることのできない危険な箇所（雲仙普賢岳、福島第1原子力発電所の瓦礫撤去等）で利用されている。近年、この無人化施工技術の適用に関しては、災害の規模や現場状況（人への危険度合い）によって迅速かつ安全な施工技術として注目されており、日本国内における土砂災害等発生後の災害緊急対策として、土堰堤工事、除石工事における掘削・積込み・運搬等の機械施工に導入・活用されている。

しかし、導入・活用が進められている中で、主に視覚情報による遠隔操作であることから現場での作業効率が搭乗操作に比べて劣る点が現場からの課題として挙げられており、作業効率の向上は迅速な現場での復旧活動に求められるニーズとなっている。

土木研究所では、現場での課題となっている作業効率の実態を明らかにするとともに現場で活用されている遠隔操作向上に向けた研究を進めている。具体的な研究内容としては、無人化施工に関わる要素技術向上に向けた研究の一環として、土木研究所構内の試験フィールド内での同一作業条件下で建設機械に搭乗操作した場合と遠隔操作によるサイクルタイムを計測し、作業効率の比較検討のための基礎データ収集を進めている。

本研究報告では、1年未満の初心者オペレータ（以

下、カテゴリ1）、5年以上の経験を持つ熟練オペレータ（以下、カテゴリ2）、熟練したオペレータかつ遠隔操作経験が5年以上のオペレータ（以下、カテゴリ3）といった3つのカテゴリからの基礎データを実験により収集し、作業効率の実態を述べるとともに作業効率向上のポイントを考察した。

2. 実験内容

実験は、遠隔操作における作業効率の実態を明らかにすることを目的に作業効率としてサイクルタイムの比較検証を実施した。

実験における検証対象とする遠隔操作システムは、雲仙普賢岳で利用されている遠隔システムをベースに土木研究所によって構築したシステムとし、建設機械による搭乗操作と遠隔操作システムによる比較実験



写真-1 遠隔操作機能付き油圧ショベル（土研保有）

は、実際の施工現場での掘削積み込み作業を想定した施工モデルを設定した。

また、対象とする建設機械は、土木研究所保有の油圧ショベル0.5t(写真-1)であり、土木研究所内建設機械屋外実験場にて使用した。

(1) 施工モデルの設定とタスク

施工モデルの設定に関しては、図-1に示すエリアで、図-2の障害物を乗り越えて作業エリア近傍まで移動することとした。作業エリアでは、掘削作業に見立てた写真-2, 3に示す形状の違う3つの対象物をバケットで掘り移動することとした。移動に際して、オペレータは、対象物を所定の位置に移動し、マーキングされた箇所内に対象物を移動することとした(図-3, 写真-3)。なお、実験回数については、各オペレータ5回とした。



写真-2 対象物



写真-3 対象物の移動

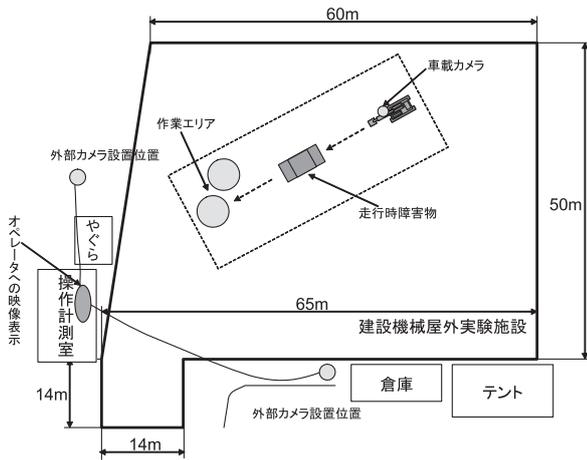


図-1 実験フィールド

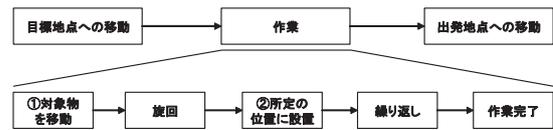


図-4 1サイクルの動作



写真-4 実験状況

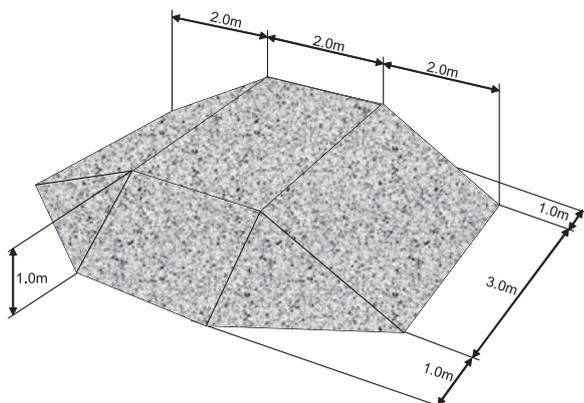


図-2 走行障害物

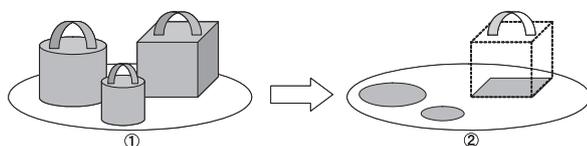


図-3 対象物の移動

作業サイクルに関しては、図-4に示すように出発地点から目標とする作業エリアまでの移動、作業エリア内での対象物の移動設置、作業エリアから出発地点までの移動とした(実験状況は写真-4参照)。

(2) 対象オペレータ及び計測

本実験では、熟達度合いを把握するうえで、カテゴリ分けをした以下に示すオペレータを対象に実施した。

- ・カテゴリ1: 建設機械の操作経験1年未満 3名

- ・カテゴリ 2：建設機械の操作経験 5 年以上
(搭乗操作のみの経験) 3 名
- ・カテゴリ 3：建設機械の操作経験 5 年以上
(遠隔操作の経験も 5 年以上) 3 名

実験において、搭乗による操作は、遠隔操作でのオペレータのサイクルタイムを比較・評価するうえでの基礎データとなる実験ケースとし、遠隔操作システムによる実験については、写真—5 に示すようにプレハブ内での操作とし、外部の情報がプレハブ内では分からないように窓ガラスを遮蔽したうえで実験を実施した。



写真—5 操作状況 (遠隔操作)

3. 実験結果

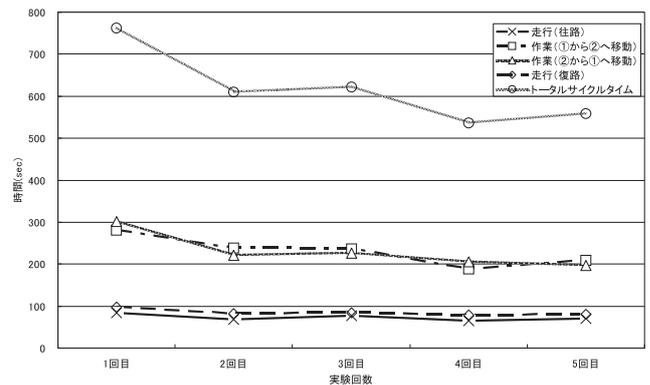
カテゴリ 1～3 のオペレータの走行・掘削までの作業時間記録データについて、搭乗操作データと遠隔操作データの解析を行い、それぞれ 3 人の平均結果を図—5～10 に示す。

いずれの結果からも分かるように搭乗操作と遠隔操作にはサイクルタイムに大きな差を確認することができた。

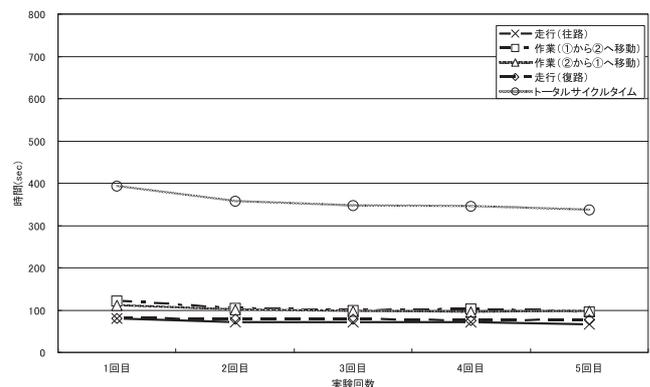
その中で、搭乗操作については、初心者オペレータであるカテゴリ 1 のサイクルタイムが高く熟練することによってカテゴリ 2, 3 のような結果となり、熟達したオペレータのスキルに共通性があることが確認できた。

遠隔操作に関しては、初心者であるカテゴリ 1 と遠隔操作経験のあるカテゴリ 3 に共通したスキルの傾向があることが確認できた。

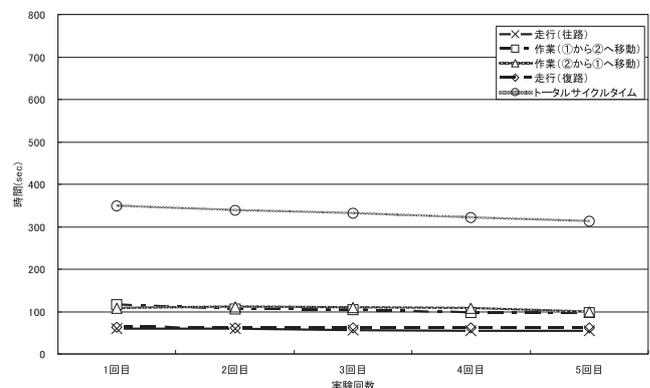
また、サイクルタイムに関して搭乗操作及び遠隔操作のいずれも 1 回目の操作以降において操作の慣れが傾向として見られた。この傾向は、2010 年に実施した遠隔操作経験者による熟達度を確認する実験結果^{1), 2)}では、3 回目以降からサイクルタイムの収束が見られており、本実験でのカテゴリ 1 のオペレータとカテゴリ 2 のオペレータ (いずれも遠隔操作未経験者) に関しても類似した熟達を示す結果が見られた。



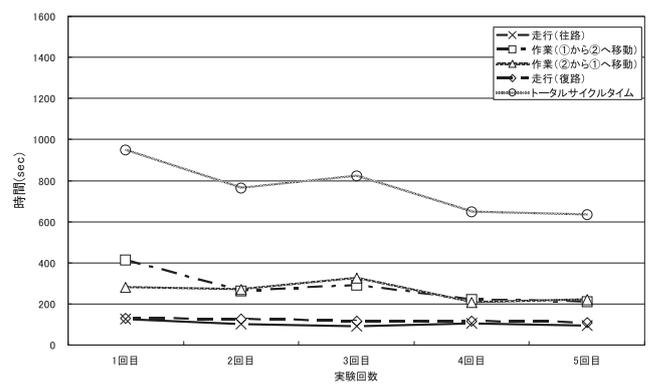
図—5 カテゴリ 1 サイクルタイム (搭乗操作)



図—6 カテゴリ 2 サイクルタイム (搭乗操作)



図—7 カテゴリ 3 サイクルタイム (搭乗操作)



図—8 カテゴリ 1 サイクルタイム (遠隔操作)

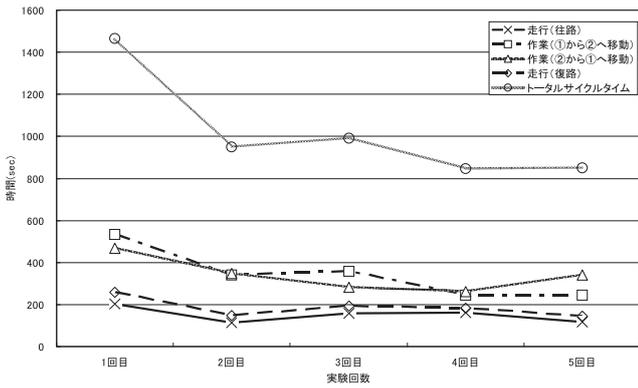


図-9 カテゴリ2 サイクルタイム (遠隔操作)

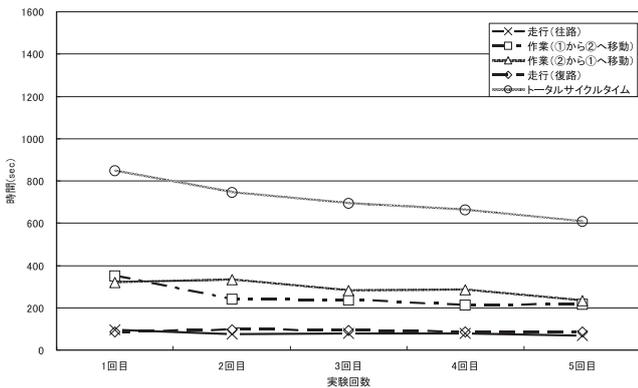


図-10 カテゴリ3 サイクルタイム (遠隔操作)

4. まとめ及び作業効率向上のポイント

JICMA

無人化施工の操作性や機能評価は、実現場での計測としていたため搭乗と遠隔を比較した基礎データがこれまでなく、経験に基づく判断によって評価されていた。そこで、土木研究所構内の実験フィールドを利用し、建設機械の操作における搭乗操作と遠隔操作の実態について、同一タスク条件により計測を行い評価の基礎となるデータ収集を図った。

実態としてまとめてみると図-11に示すように実験操作回数2回目以降の搭乗操作と遠隔操作とサイクルタイム差は、遠隔操作は搭乗操作の約2倍であった。

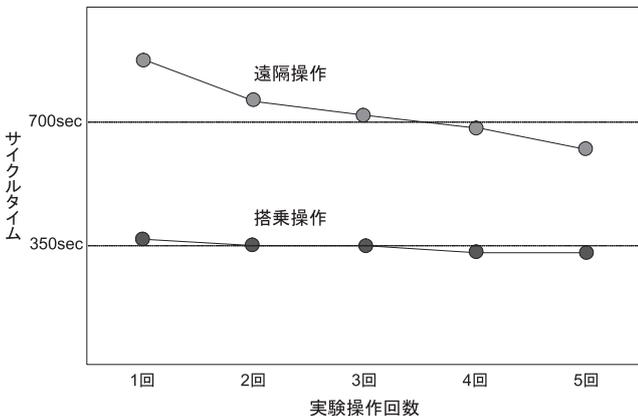


図-11 搭乗操作と遠隔操作のサイクルタイム差

この実態を踏まえ、搭乗操作におけるサイクルタイムを指標に現場で活用されている遠隔操作システムを定量的に評価し改善を進めることが肝要であると考えられる。

なお、作業効率改善のポイントとしては、搭乗操作に比べて遠隔操作で大きく不足している人の知覚認知特性及び知覚情報と人の行動を加味し、より臨場感の高いシステム開発が必要だと考えられる。

5. 今後の取組

作業効率をサイクルタイムにより評価すると、実態として搭乗操作よりも遠隔操作は、作業効率が劣るという結果を定量的に得ることができた。

今後は、より精緻な評価を進めるうえでの標準タスクの設定とより多くの基礎データの収集を行いデータの信頼性を高め、今後開発される無人化施工技術の定量的評価を進める計画である。

また、遠隔操作技術向上を目的としたオペレータの知覚情報に関する取得技術や作業に関する慣れといった、作業効率向上に向けた機械・操作技術に関して研究開発を進める予定である。

《参考文献》

- 1) 茂木正晴・藤野健一・大槻崇：建設現場への無人化施工技術の普及と今後の技術ニーズ—遠隔操作システムの検証実験報告— 第12回建設ロボットシンポジウム論文集 pp89-96,2010.9
- 2) Masaharu Moteki, Kenich Fujino, Takashi Ootuki, Takeshi Hashimoto :ORESEARCH ON VISUALPOINT OF OPERATOR IN REMOTE CONTROL OF CONSTRUCTION MACHINERY, The28th InternationalSymposium on Automation and Robotics in Construction pp532-537 2011.6
- 3) 藤野健一・茂木正晴・西山章彦・橋本毅：無人化施工におけるオペレータの熟達に関する研究 第13回建設ロボットシンポジウム論文集 pp.,2012.9
- 4) 茂木正晴・藤野健一・西山章彦：建設機械遠隔操作の習熟に関する研究—建設機械の搭乗及び遠隔操作時における作業効率・精度に関する考察— 平成24年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集 pp.19-24,2012.11

【筆者紹介】



茂木 正晴 (もてき まさはる)
 (独)土木研究所
 技術推進本部 先端技術チーム
 主任研究員



藤野 健一 (ふじの けんいち)
 (独)土木研究所
 技術推進本部 先端技術チーム
 主席研究員