

②-7 大規模土砂災害等に対する迅速かつ安全な機械施工に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 22～平 25

担当チーム：技術推進本部先端技術チーム

研究担当者：藤野健一、茂木正晴、大槻崇、
西山章彦、橋本毅

【要旨】

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。

無人化施工技術は、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・積み込み・運搬等の機械施工に遠隔操作による無人化施工が導入・活用されている。

本研究では、災害発生時の対応に関わるプロセスを整理するとともに現場で利用されている技術である遠隔システムの操作性に関する検証を行い、操作性の向上による習熟度の短縮、作業効率の向上、疲労感の低減を目的とし、モニタの配置、操作、今後のシステム改良に向けた検討を併せて行うものである。

本研究報告では、無人化施工に関わる要素技術向上に向けた研究として、土木研究所構内において建設機械に搭乗操作した場合と遠隔操作による作業効率としてサイクルタイムの比較実験の結果を述べるものである。実験は、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）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、IT施工システム、災害、建設機械、油圧ショベル、空間認知、奥行き感覚

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期待されている。

無人化施工技術は、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・積み込み・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、現場での作業効率の向上は、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、現場で利用されている遠隔システムの操作性に関する研究を進めている。研究は、操作性の向上による作業効率の向上、疲労感の低減を目的とし、モニタの配置、操作、今後のシステム改良に向けた研究を進めている。

本研究報告では、無人化施工に関わる要素技術向上に向けた研究として、建設機械に搭乗操作した場合と遠隔操作による作業効率としてサイクルタイムの比較を実験により行った。実験は、カテゴリ1、カテゴリ2、カテゴリ3といった3つのカテゴリを対象に実施した。そして、実験により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したものである。

2. 実験

実験は、遠隔操作における作業の熟達を考察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。

実験により検証対象とする遠隔操作システムは、遠隔地において現場情報をモニタにより操作者に提供するものである。実験に利用した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。

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は、実際の施工現場での掘削積込み作業を想定した施工モデルとした。



写真1 遠隔操作機能付き油圧ショベル（土研保有）

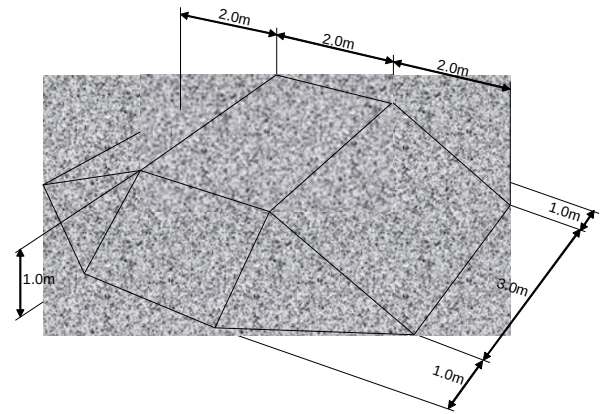


図2 走行障害物

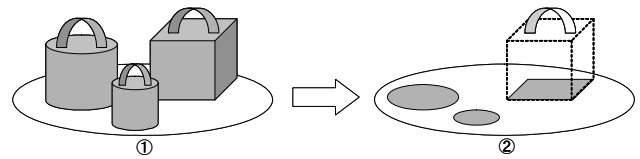


図3 対象物の移動

施工モデルは、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、掘削作業に見立てて写真2,3に示す3つの対象物をバケットで掴み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（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

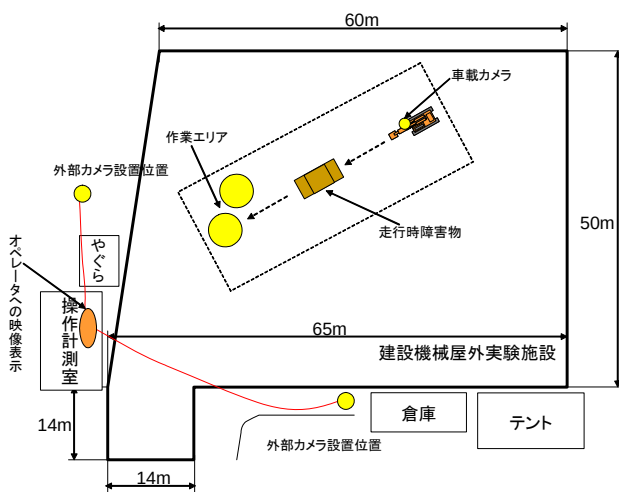


図1 実験フィールド



写真3 対象物の移動

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

実験に関しては、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、作業 1 サイクルは、図 4 に示すものとなる。(実験状況は写真 4 参照)



写真 4 実験状況

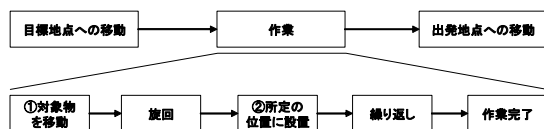


図-4 1 サイクル動作

本実験において、搭乗操作に関しては、オペレータの作業効率としてサイクルタイムを計測・評価し、熟達度を検討するうえ指標とする実験ケースとした。

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。

サイクルタイムにおいて、搭乗操作に関しては、カテゴリ 1 のトータルサイクルタイムで 150sec 程度の低減が見られた。

また、カテゴリ 2 オペレータに関しては、遠隔操作においてカテゴリ 1 のオペレータと同様な 500sec 程度の低減が見られた。

作業効率としてサイクルタイムを指標とした熟達に関しては、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見られる傾向が見られた。

2010 年に実施した遠隔操作経験者による熟達度の確認する実験結果⁽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となった。

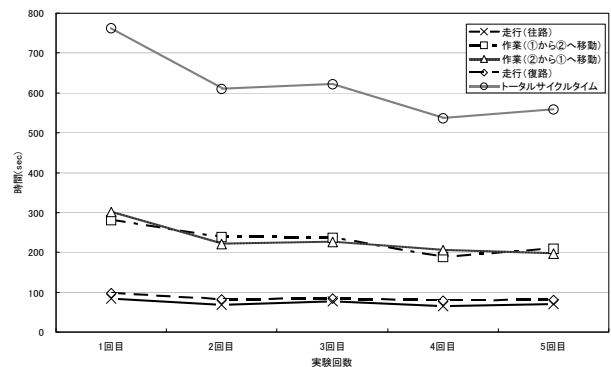


図 5 カテゴリ 1 サイクルタイム (搭乗操作)

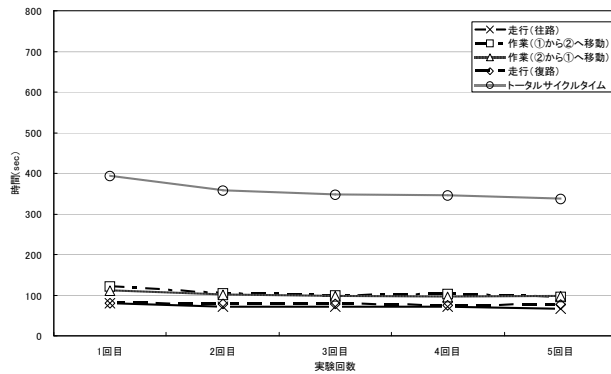


図6 カテゴリ2 サイクルタイム (搭乗操作)

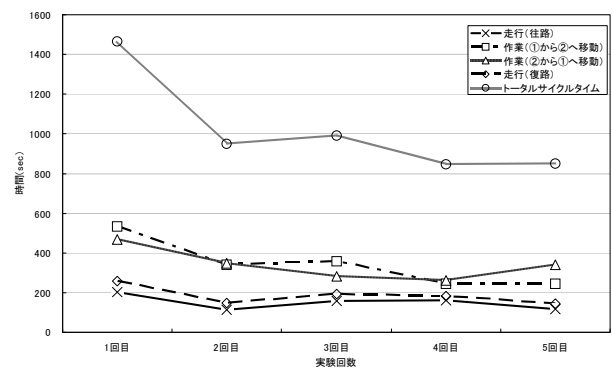


図9 カテゴリ2 サイクルタイム (遠隔操作)

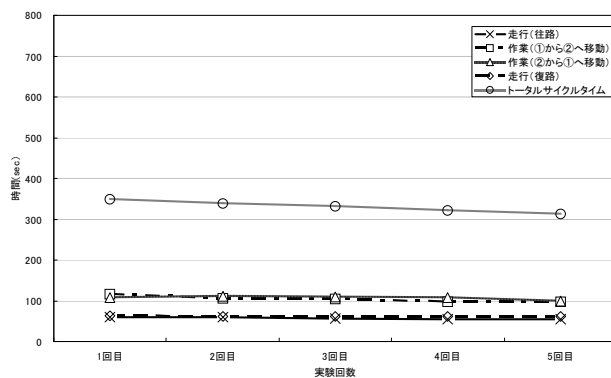


図7 カテゴリ3 サイクルタイム (搭乗操作)

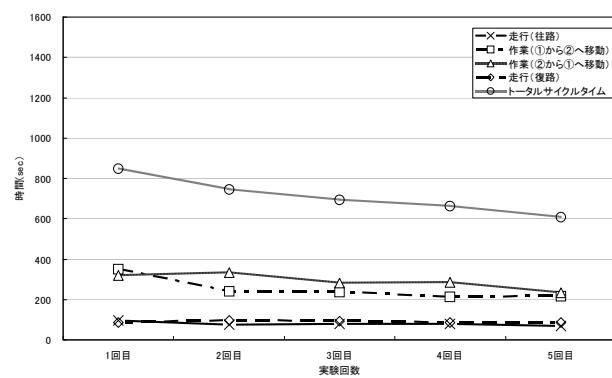


図10 カテゴリ3 サイクルタイム (遠隔操作)

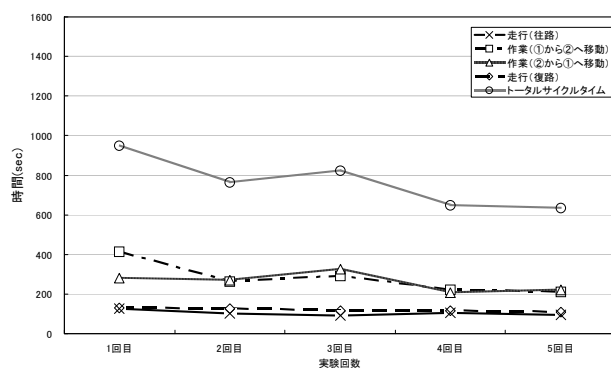


図8 カテゴリ1 サイクルタイム (遠隔操作)

4. まとめ・考察

4.1 操作の視点

共通する事象として搭乗操作及び遠隔操作に関しては、概ね2回以降の操作より作業時間の収束が見られた。その作業内訳として、走行と対象物の移動に大別する。走行に関しては、操作回数に関係なく作業時間が安定しており、操作者の熟達を確認できる結果は顕著に見られなかった。このことから、今回の実験における建設機械の走行は、操作者の作業時間に大きく影響を及ぼす因子でないことが伺えた。

対象物の移動に関しては、建設機械の作業装置（バケット）によって対象物を掴む動作と指定された位置に対象物を戻すという課題が付加されていることが作業時間に差異に与える結果となった。対象物を操作者が建設機械を介して間接的に掴むといった行動の中で写真7、8に示すアイマークカメラによる視線移動の軌跡によって幅感覚や奥行き感覚を知覚しながら作業を行っていることが作業時間の増加につながるものが共通事項として考えられる。



写真7 オペレータ作業視点（経験1年未満）

写真8 オペレータ作業視点（経験5年以上）
遠隔経験なし写真9 オペレータ作業視点（経験5年以上）
遠隔経験あり

4.2 オペレータの熟達

実験結果（図5～10）に基づき操作回数の増加に伴いカテゴリに関係なくオペレータは熟達していることが分かった。しかし、共通事項でも述べたように奥行き感覚の知覚によって対象物の移動の遅れに寄与していることがオペレータの作業視点（写真7, 8, 9）によって分かってきたが、これと同時に作業の熟達度合いの違いを確認することができた。

写真7は、カテゴリ1のオペレータの視点をアイマークカメラによって捉えたものであり、対象物を捉えようとするポイントが掴めずに視点が泳いでいるような状況が視点移動（バケット部周辺の色帯線）より分かる。一方、写真8は、カテゴリ2、写真9は、3のオペレータの視点をアイマークレコーダによって捉えたもので、対象物を掴もうとする場合、左右の位置関係を的確に捉えていることが分かる。

このことは、作業内容の把握、作業の手順、作業するうえでの自身の位置や対象物の配置及び建設機械の状態把握といった空間把握の構築が熟練者と未熟練者の間に違いとして定性的に現れているものと考えられ、写真7に示すカテゴリ1の無駄な視点の動きが目的とする円滑な動作を阻害する要因だと考えられる。

また、経験1年未満のオペレータの操作に関する阻害要因を解消する方策として考えられることとして、オペレータの作業内容の把握、操作方法・手順の把握とカテゴリ2、3に模倣した作業視点の習得と視覚情報のとらえ方を得ることによってカテゴリ2、3に近づくことができるものと考えられる。このことは、遠隔操作技術のサイクルタイムの向上にも起因するものといえる。

4.3 遠隔操作におけるサイクルタイムの向上

本来、カテゴリ2とカテゴリ3が類似した傾向になるものと考えていた。しかし、図8～図10のサイクルタイムと習熟の傾向を見た限りでは、カテゴリ1とカテゴリ3が類似した傾向を示している。結果として、カテゴリ2とカテゴリ3は、同一でないことがわかった。このことは、遠隔操作経験のないカテゴリ2は、カテゴリ1とカテゴリ3が遠隔操作時に入手している情報を手に入っていないことが考えられる。

また、サイクルタイムは、搭乗操作よりも遠隔操作のほうが長いものとなっている。それは、カテゴリ1～3に共通している。搭乗操作では、環境情報として知覚情

報や体性感覚などの多く情報が得られることだと考えられる。

したがって、遠隔操作におけるサイクルタイムの向上のためには、搭乗操作と同様な環境情報を与えることによって、サイクルタイムが短縮されるものと考えられる。

5. 今後の課題

今後は、被験者数を増やすことによってデータの信頼性を向上させ、本研究成果によって得られた、基礎データに基づき整理した仮説を証明するための実験を進め、オペレータの作業内容の把握、操作方法の把握と作業視点を提供している環境のとらえ方について検証を進める予定である。

また、オペレータの作業に関する慣れや遠隔操作を円滑に進めるうえでの奥行き感覚の把握について生態心理学的な観点から研究を進めたい。

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 :RESEARCH 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

STUDY ON QUICK AND SAFE CONSTRUCTION USING CONSTRUCTION MACHINES FOR THE LARGE-SCALE DISASTER

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2010-2013

Research Team : Construction Technology Research
Department (Advanced Technology
Research Team)

Authors : FUJINO Kenichi
MOTEGI Masaharu
OOTSUKI Takashi
NISHIYAMA Akih
HASHIMOTO Takeshi
IWATANI Takafumi

Abstract : At present, the Unmanned Construction System (UCS) is adapted on initial operation against the disaster. For instance, it has been used in Unzen. When the scale of the disaster is big, or the danger to a person is big, the UCS is expected as a quick and safe construction technology. The Remote Controlled UCS is introduced into construction site to repair earth-fill embankment or to remove rock, as urgent measures after the disaster outbreak. For improvement of the operability, shortening of the skill time, reduction of the fatigue, examination of the most suitable system (placement of a monitor and the joy stick) of the remote system is a main theme in the Public Works Research Institute (PWRI). In the report of this year, when the operator controls construction machine directly or he controls it using remote system (he can check the situation of site only via monitor), the degree of achievement, construction efficiency and construction precision were inspected. The remote system which is based on the system used at Unzen was developed at PWRI.

Key words : Unmanned construction technology (system), Unmanned construction technology (system), Remote control technology (system), Remote controlled construction machinery, Construction machinery, Disaster, Disaster recovery work