

9. 無人化施工と有人施工における作業性の比較実験報告

無人化施工技術の作業効率向上に向けた一考察

土木研究所
土木研究所
土木研究所

○ 茂木 正晴
藤野 健一
西山 章彦

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おり、人が立ち入ることのできない危険な箇所でも利用されている。近年、この無人化施工技術は、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。

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の課題となっている。

そこで、土木研究所では、現場で利用されている遠隔システムをベースとした作業効率の向上を目的とした研究を進めている。

本研究報告では、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を行った。実験では、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といった3つのカテゴリを比較対象としてサイクルタイムによる比較評価を行うとともに、操作時におけるオペレータの視点から熟達による作業効率向上のポイントを考察することとした。

2. 実験

実験では、作業効率の評価指標としてサイクルタイムの比較検証を実施した。

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。

対象とするベースマシンは、土木研究所保有の油圧ショベル 0.5m³（写真-1）を使用した。

また、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）

実験での施工モデルは、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走行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。

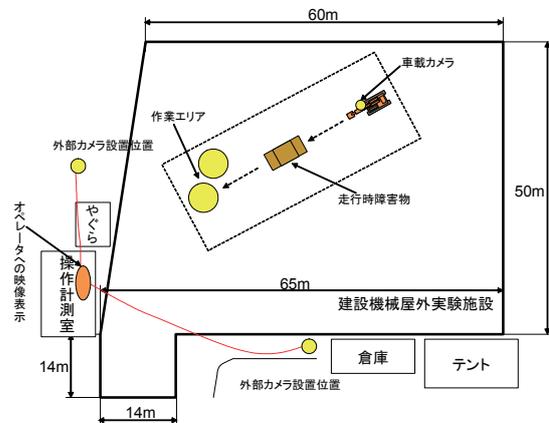


図-1 実験フィールド

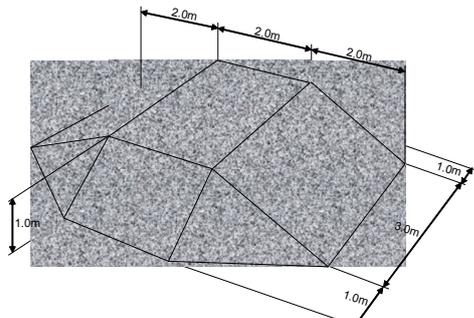


図-2 走行障害物

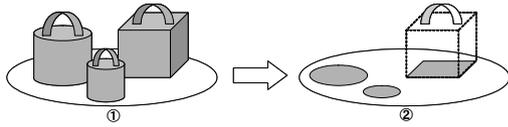


図-3 対象物の移動

実験に関しては、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、作業エリアから出発地点までの移動としたサイクル動作とした。

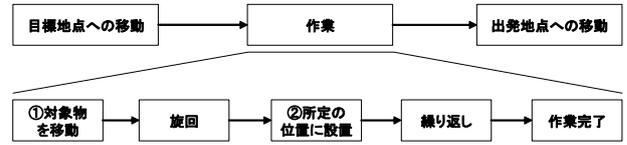


図-4 1サイクル動作

なお、遠隔操作システムによる実験については、写真-4 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-2 対象物



写真-4 操作状況（遠隔操作）



写真-3 対象物の移動

本実験でのオペレータは、熟達度合いを比較するうえで、以下に示すカテゴリ分けしたオペレータ（各々3名）を対象とした。

- ・カテゴリ 1：建設機械の操作経験 1 年未満
- ・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者
- ・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 年以上の者

また、本実験における搭乗操作に関しては、遠隔操作とのサイクルタイムの比較のほか、カテゴリの違いによる操作時におけるオペレータの視点についてアイカメラにより視線軌跡を記録した。

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。

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結果がみられた。

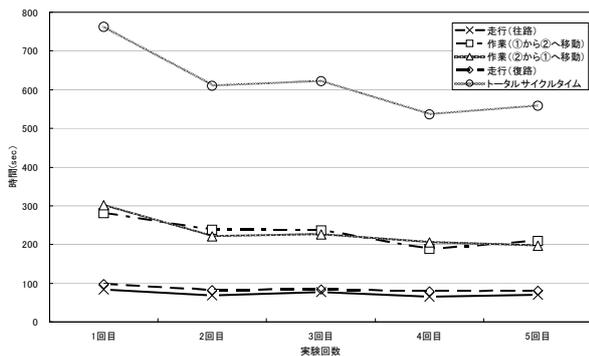


図-5 カテゴリ 1 サイクルタイム (搭乗操作)

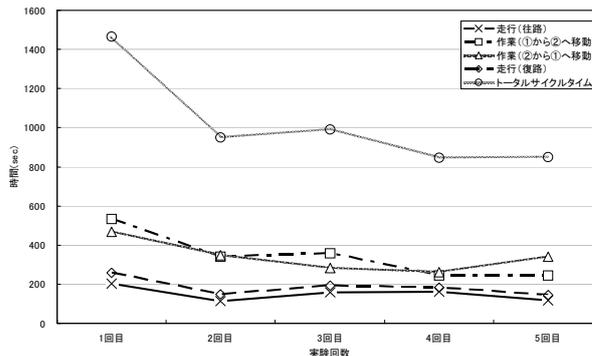


図-9 カテゴリ 2 サイクルタイム (遠隔操作)

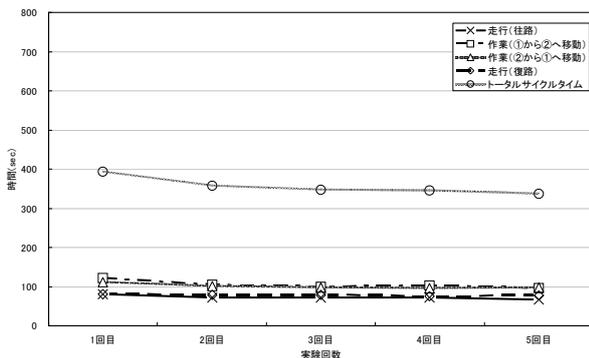


図-6 カテゴリ 2 サイクルタイム (搭乗操作)

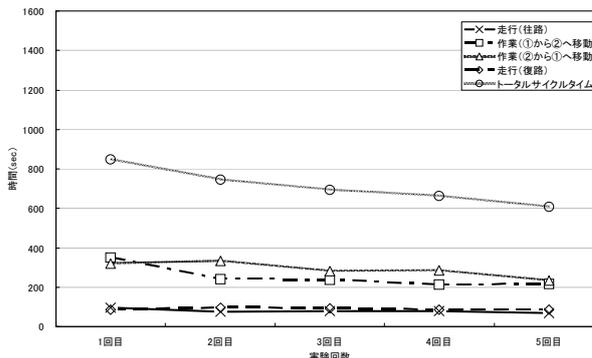


図-10 カテゴリ 3 サイクルタイム (遠隔操作)

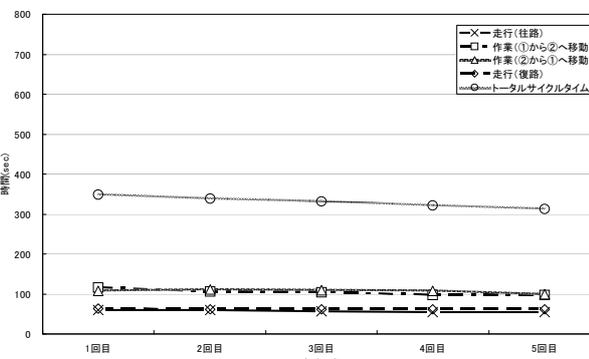


図-7 カテゴリ 3 サイクルタイム (搭乗操作)

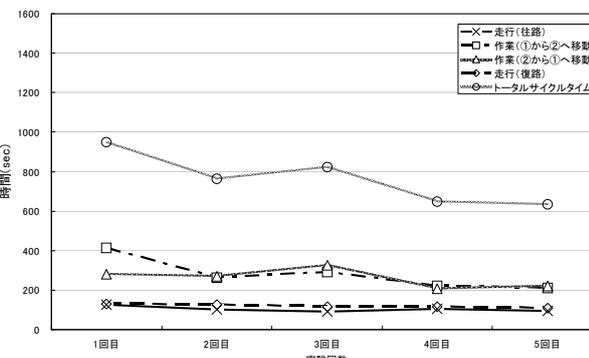


図-8 カテゴリ 1 サイクルタイム (遠隔操作)

4. まとめ・考察

4.1 搭乗操作と遠隔操作の作業効率の違い

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として、遠隔操作は搭乗操作の約 2 倍であった。

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た臨場感の高いシステム導入が必要だと考えられる。

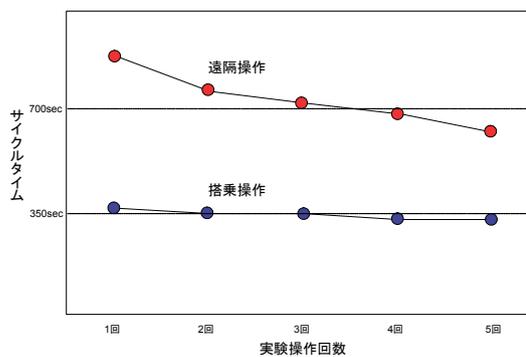


図-11 搭乗操作と遠隔操作のサイクルタイム差

4.2 カテゴリ差による操作の視点

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、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。



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）

5. 今後の課題

本報告では、カテゴリ毎に3名のオペレータによる実験データであり、今後、データ数を増やすことによってデータの信頼性を向上させる必要がある。

また、本研究成果によって得られた、基礎データに基づき、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、遠隔操作時において作業効率に起因する知覚情報の検証を進める必要がある。

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 VISUAL POINT OF OPERATOR IN REMOTE CONTROL OF CONSTRUCTION MACHINERY, The28th International Symposium 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