

無人化施工における搭乗操作と遠隔操作の操作者視点の比較に関する研究

(独) 土木研究所 正会員 ○西山 章彦
 (独) 土木研究所 正会員 茂木 正晴
 (独) 土木研究所 正会員 藤野 健一

1. はじめに

地震・火山噴火等の災害時における対応として、また、人の立ち入ることのできない危険地域に人を配置することなく安全に施工できる技術として、遠隔操作による無人化施工技術は雲仙普賢岳や各地の災害復旧工事で使用されており、迅速かつ安全な施工技術として推進されている。

しかし、遠隔操作は搭乗操作に比べて、作業状態の確認をモニタからの視覚情報のみでの作業を行うことから、バケットの奥行の把握、動作判断の遅延などといった理由から、作業効率が6~7割程度に低下している。

本研究では遠隔操作の作業効率向上のため、作業時間の短縮を目指し、操作性向上の手がかりを探ることとした。そのための実験として、規定のフィールド内で油圧ショベルによる操作実験を実施した。実験では、作業時における操作者の視点と作業時間を記録し、遠隔操作における熟練者と初心者の比較、熟練者による遠隔操作と搭乗操作の比較という二つの観点で分析と考察を行った。

2. 実験概要

2. 1. 実験条件

当土木研究所屋外に図1のような試験フィールドを整備し、外部カメラ、障害物、作業エリア(対象物)を配置した。搭乗操作は油圧ショベルにオペレータが直接搭乗して操作し、遠隔操作では3画面のモニタ(外部カメラ×2,車載カメラ×1)を確認しながら、リモコンによる操作を行った。また、外部カメラの操作は油圧ショベルの操作者とは別の人物が行うものとした。

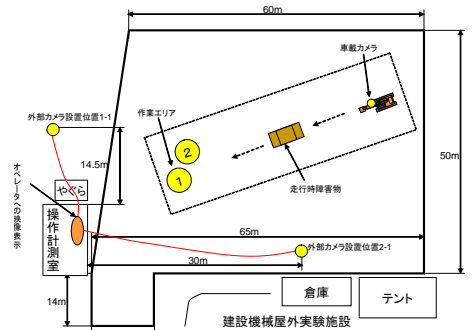


図1 フィールド概要

2. 2. 実験内容

本実験では遠隔操作経験のあるオペレータ(以下、熟練オペ)による搭乗操作及び遠隔操作、建設機械操作経験1年未満で遠隔操作未経験のオペレータ(以下、初心者オペ)による遠隔操作の3つの操作パターンについて検証することとした。

図1のフィールドにおいて、スタート位置から走行障害物を走行した後、作業エリア内の3つの対象物(土嚢、立方体、ドラム缶)を①から②へ移動させ(以下、作業1)、それらを②から①へ戻し(以下、作業2)、再びスタート位置へ戻るといった作業タスクを操作者に与えて実験を行った。

実験については各システムの慣れなども加味することとし、それぞれの操作パターンについて各5回実施し、作業時間、作業時における視線(動作軌跡)をアイカメラにより記録した。また、その5回の作業の中から最も作業時間の短かった回を実験結果における比較対象とした。

3. 実験結果

熟練オペによる遠隔操作と搭乗操作の違い、遠隔操作における熟練オペと初心者オペの違いについて、以降とりまとめを行った。とりまとめにあたり作業タスクの中で対象物(土嚢、立方体、ドラム缶)の移動作業が実験結果として時間差が最も大きく表れた対象物に絞り込み分析を進めた。遠隔操作の熟練オペと初心者オペの比較(以下、オペ比較)ではドラム缶に絞り込み、熟練オペによる遠隔操作と搭乗操作の比較(以下、操作方法比較)においては土嚢に絞り込みを行い、作業時間と作業中の注視箇所について比較を行った。

3. 1 作業時間比較結果

作業時間遠隔操作の熟練オペを基準として作業時間を比較し、解析した結果を表4と表5にまとめた。

表4 作業時間比較(オペ比較)(単位:秒)

表5 作業時間比較(操作方法比較)(単位:秒)

区分名	作業	オペ	作業時間	作業時間比(作業毎)	作業時間差(作業毎)	作業時間比(区分毎)	作業時間差(区分毎)
つかみ	作業1	熟練 遠隔	9.0	61%	46	73	
		初心 遠隔	56.0				
	作業2	熟練 遠隔	4.0	77%	27		
		初心 遠隔	31.0				
持ち上げ・旋回	作業1	熟練 遠隔	22.0	100%	0	31	
		初心 遠隔	22.0				
	作業2	熟練 遠隔	11.0	38%	31		
		初心 遠隔	42.0				
下ろし	作業1	熟練 遠隔	5.0	50%	20	28	
		初心 遠隔	25.0				
	作業2	熟練 遠隔	12.0	16%	8		
		初心 遠隔	20.0				
引き上げ	作業1	熟練 遠隔	3.0	103%	28	33	
		初心 遠隔	31.0				
	作業2	熟練 遠隔	7.0	17%	5		
		初心 遠隔	12.0				

区分名	オペ	作業	作業時間	作業時間比(作業毎)	作業時間差(作業毎)	作業時間比(区分毎)	作業時間差(区分毎)
つかみ	作業1	熟練 遠隔	33.0	18%	27	42	
		熟練 搭乗	6.0				
	作業2	熟練 遠隔	22.0	32%	15		
		熟練 搭乗	7.0				
持ち上げ・旋回	作業1	熟練 遠隔	24.0	42%	14	18	
		熟練 搭乗	10.0				
	作業2	熟練 遠隔	16.0	75%	4		
		熟練 搭乗	12.0				
下ろし	作業1	熟練 遠隔	13.0	15%	11	21	
		熟練 搭乗	2.0				
	作業2	熟練 遠隔	12.0	17%	10		
		熟練 搭乗	2.0				
引き上げ	作業1	熟練 遠隔	2.0	100%	0	4	
		熟練 搭乗	2.0				
	作業2	熟練 遠隔	5.0	20%	4		
		熟練 搭乗	1.0				

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、空間知覚

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6号 (独)土木研究所技術推進本部先端技術チーム TEL029-879-6757

3. 2 注視箇所比較結果

作業中の注視箇所については、操作者視点の映像を分析し、作業中の注視箇所を「バケット確認」「先読み」「対象物確認」「ブームアーム状態確認」に振り分けて、各注視時間の比率を図2~図3のとおりまとめた。

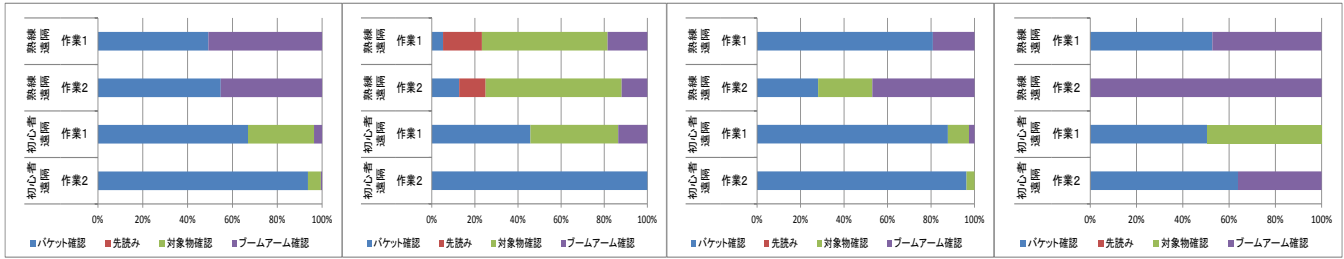


図2 注視箇所 (オペ比較) (左より、「つかみ」「持ち上げ・旋回」「下ろし」「引き上げ」)

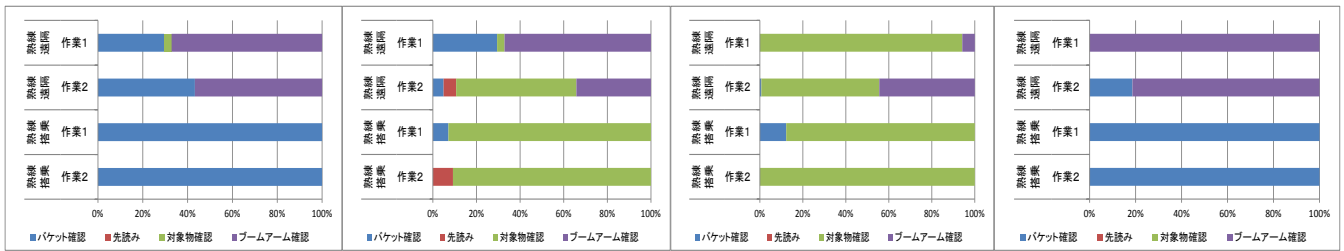


図3 注視箇所 (操作方法比較) (左より、「つかみ」「持ち上げ・旋回」「下ろし」「引き上げ」)

3. 3 遠隔操作における熟練オペと初心者オペの比較結果

表4、図2に示すように作業タスクにおいて初心者オペは熟練オペより作業時間が掛かっており、特に「つかみ」については熟練と初心者で6.6倍もの作業時間差が生じた。逆に「持ち上げ・旋回」は初心者オペと熟練オペの作業時間差が他の作業に比べて少ない結果となった。また注視箇所については、初心者オペと熟練オペで大きく異なり、初心者オペはバケット確認の比率が高い傾向が見られるが、熟練オペはバケット以外の情報を使用する比率が高い傾向が見られた。

3. 4 熟練オペによる遠隔操作と搭乗操作の比較結果

表5、図3に示すように熟練オペの遠隔操作は搭乗操作より作業時間が掛かっており、特に「つかみ」「おろし」について作業時間差が大きい結果が得られた。「つかみ」「下ろし」について、遠隔操作ではバケットや対象物の3次元的な位置把握のため、複数の違うアングルからの画面を組み合わせ確認していた。「持ち上げ・旋回」について、搭乗操作ではほぼ対象物のみを確認して旋回とブームの操作を同時に行っており、遠隔操作に比べて効率的に作業を行うことができた。これに対し、遠隔操作は複数の画面を確認しながら作業を行っていた。「引き上げ」については、搭乗操作と遠隔操作で見るポイントは違うが、時間差は4秒であり動作速度にほぼ差がない結果となった。

4. 考察

4. 1 遠隔操作における熟練オペと初心者オペの比較

「つかみ」の作業時間について熟練と初心者で時間差が生じていたが、これは初心者オペが、バケットと対象物を掴むためのバーの立体的な位置把握に不慣れであることにより、作業のための情報が整理されていないことが効率低下の要因だと推測できる。なお、「持ち上げ・旋回」における初心者オペと熟練オペの作業時間差が他の作業に比べて少ない理由は、「つかみ」の作業のように立体的な位置把握の必要がないためだと推測できる。

4. 2 熟練オペによる遠隔操作と搭乗操作の比較

「つかみ」「下ろし」に関しては、遠隔操作では限られた視覚情報からの位置把握となるため、搭乗操作よりも時間が掛かると考えられる。「持ち上げ・旋回」についても「つかみ」「下ろし」と同様に限られた視覚情報として複数の画面を確認しながら作業を行うため、旋回と他の作業の複合動作を行うことが難しいことが作業時間差の原因であると考えられる。「引き上げ」については、行うべき操作が既に想定できていることから確認の時間を短縮し素早く行動できたために差異が少ないものと考えられる。

5 今後の課題

今後の課題として、遠隔操作インターフェースの改良として遠隔操作画面の一面化、外部カメラ操作の自動化、複合動作のサポート等について改善・検証を進め、作業効率向上を図りたい。

参考文献

- 1) 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