

# 無人化施工における油圧ショベルの作業時間計測 ～モデルタスクによる搭乗・遠隔操作での作業時間比較～

茂木正晴・西山章彦・藤野健一・油田信一

## 1. はじめに

近年、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活用されている。この無人化施工は、人が立ち入ることのできない危険な箇所では建設機械の遠隔操作により施工を行う技術である。

福島第一原子力発電所事故においては、国内で最も早く、効果的に現場対応を行い、迅速な復旧活動に貢献した実用性の高いロボット技術として一躍注目を集めた。

現在、無人化施工技術は、国内の災害復旧活動において、主に土堰堤工事や除石工事における掘削・積込み・運搬等の作業に活用されている。



写真-1 無人化施工エリア（2013.9雲仙復興現場より）

現在の無人化施工では、作業員やオペレータの安全を確保しながらある程度の品質や効率で施工を行うことは可能である。しかし、未だ有人による施工機械の操作に比べて作業の品質やスピードが劣るなどの課題がある。

そこで、土木研究所では、無人化施工での作業効率の改善を目的とした研究に取り組んでいる。

実現場では、作業の進行に伴い環境が変化することが多く、同一の環境条件での実験・計測が行われることは事実上難しい状況にある。

そこで、研究を進めるうえで、標準的な作業手順や作業環境を整えることによって横並び評価できる標準的なモデルタスク<sup>1)</sup>を提案した。

本報告では、このモデルタスクを紹介するとともに、これに基づき、搭乗操作と遠隔操作時における作業時間（サイクルタイム）計測を行った結果について述べる。

## 2. 本研究の目的

無人化施工技術では、ゼネコンを主体として、建設機械の遠隔操作技術、オペレータの操作に利用する作業情報提供技術、通信技術などの開発や改良が進められている。

しかし、現状における遠隔操作での作業効率はオペレータが搭乗して行う搭乗操作に比して低いことが知られており、現場では一般に約1.4～2.0倍と言われている。

また、作業時間（サイクルタイム）の短縮は作業コストに直結するため、システムコストの低減と合わせて、無人化施工の抱える大きな課題となっている。

本研究では、無人化施工での作業効率の改善を目的として、油圧ショベルの遠隔操作での作業時間（サイクルタイム）について、搭乗操作と遠隔操作との比較実験を進めているところである。

## 3. 標準モデルタスクの提案

油圧ショベルの搭乗での操作は、オペレータは直接目視による視覚と聴覚、体性感覚情報といった知覚システムをフルに活用しているものと考えられる。

一方、遠隔での操作では、対象となる作業現場から提供される映像（限られた空間からの視覚情報）により操作が行われている。

この差異が作業時間（サイクルタイム）に与える影響を定量的に把握することは、遠隔での操作効率向上に関する研究を進める上で有効かつ不可欠である。そこで、土木研究所では標準的モデルタスク<sup>1)</sup>による試験方法を提案し、より定量的に作業時間（サイクルタイム）に向けた検討を進めることとした。

提案したモデルタスクのエリアを図-1に示す。

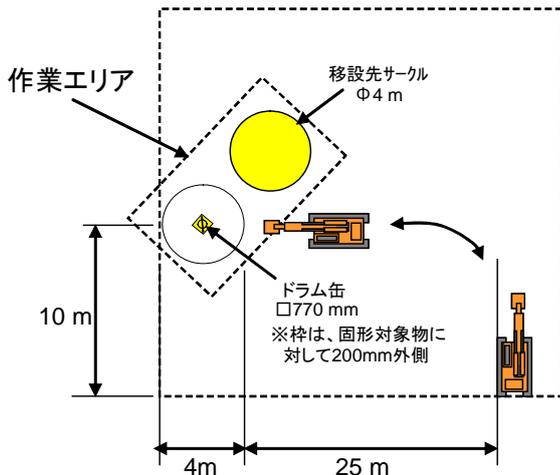


図-1 モデルタスクエリア平面図

モデルタスクは、これまでに実施してきた無人化施工の作業要素を取り入れたもので、屈曲部を含む約30mの経路を作業エリア手前まで走行し、作業に適した位置まで移動してから、固形対象物を移設先サークルに移設し、その後、再び、初期位置の枠内に固形対象物を戻すといった作業手順となっている。

油圧ショベルによる掘削は一般的にバケットの山積み量の違いが作業に影響する。このことから、再現性の観点で、バケットの山積み量を毎回同じにすることが困難なため、図-2に示す固形対象物を掬い上げる作業を類似モデルとして設定した。

ここで使用する油圧ショベルは0.5m<sup>3</sup>クラス、固形対象物としてドラム缶形状(底部枠□770mm×高さ760mm、重量約100kg、持ち手高さ2,000mm)とした。

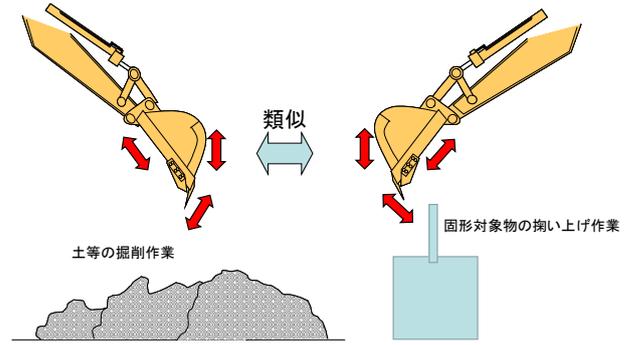


図-2 バケット山積みのモデル化

## 4. 搭乗操作と遠隔操作との比較

### 4.1 比較実験

実験は、土木研究所保有の油圧ショベルを利用し、土木研究所内建設機械屋外実験場において搭乗操作と遠隔操作による作業時間（サイクルタイム）の計測・評価を行った。

実験協力者は、油圧ショベル操作歴5年以上あるオペレータ15名とし、モデルタスクによる試験方法により搭乗操作と遠隔操作による作業時間（サイクルタイム）を計測した。また、操作の慣れが作業時間（サイクルタイム）に与える実態を調べた。特にオペレータの操作内容に関する学習過程状況を観察し、作業時間（サイクルタイム）が操作回数によって変化する様子を確認した。

実験は、同一オペレータにより搭乗操作及び遠隔操作を各々10回実施し、その作業時間を計測し、作業時間（サイクルタイム）を比較した。実験フィールドと実験中の様子を写真-3、4に示す。



写真-2 モデルタスクエリア全景



写真-3 実験状況



写真-4 遠隔操作状況

#### 4.2 実験結果

実験結果として、オペレータ15名の搭乗操作と遠隔操作における作業時間（サイクルタイム）の関係を整理した。図-3に見られるように、搭乗操作と遠隔操作と作業時間（サイクルタイム）は、遠隔操作での平均294secと搭乗操作での平均127secとの比較として、約2.3倍の時間がかかることが確認できた。

また、標準偏差を見る限りでは搭乗操作での標準偏差±18secとなり個人差が小さいのに対して、遠隔操作での標準偏差±81secとなり、個人差によるバラツキが大きいことが傾向として確認できた。

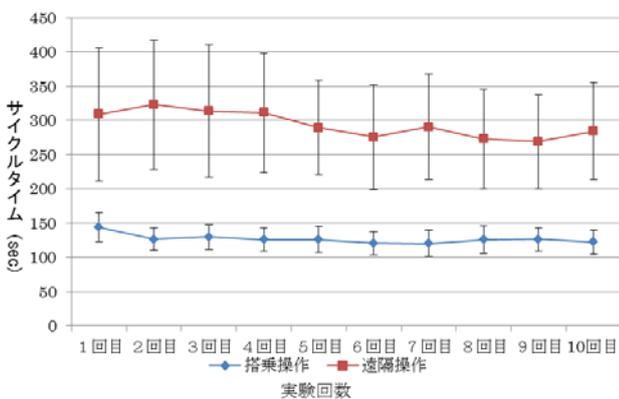


図-3 搭乗操作と遠隔操作での作業時間（サイクルタイム）差

#### 4.3 オペレータの操作傾向

作業タスクをオペレータ15名に対して10回実施した作業時間（サイクルタイム）の傾向として、搭乗操作に関しては安定した作業傾向が見られた。

一方、遠隔操作による作業時間（サイクルタイム）に関しては、図-3で見られるような個人差による大きなバラツキがあることが確認できた。

この遠隔操作での作業時間（サイクルタイム）の傾向は、図-4～6に示す作業時間（サイクルタイム）の個人データ例に示すように、①搭乗操作と同様に安定しているケース、②実験回数毎に作業時間（サイクルタイム）の変動が見られるケース、③実験回数毎に作業時間（サイクルタイム）が短縮するケースに大別することができた。

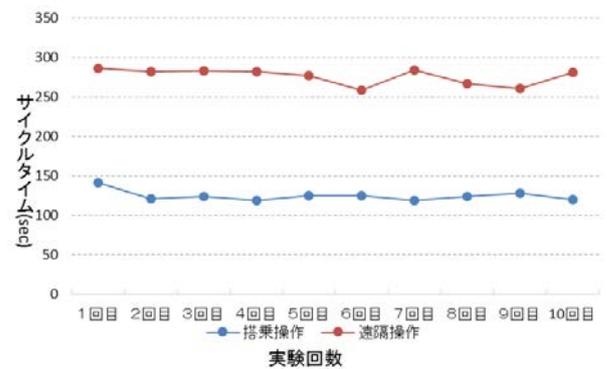


図-4 安定した傾向の作業時間（サイクルタイム）例

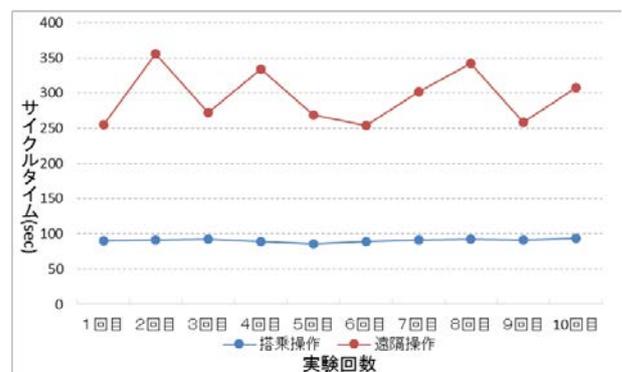


図-5 変動した傾向の作業時間（サイクルタイム）例

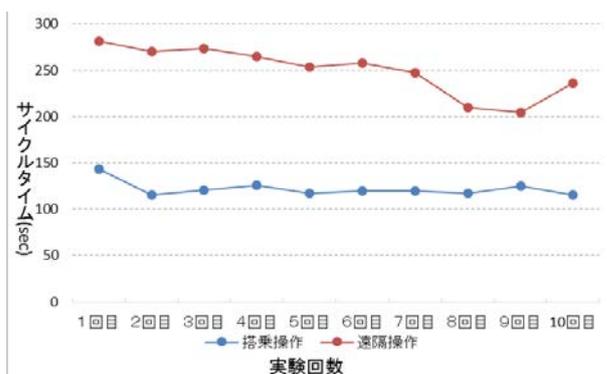


図-6 回数毎に向上する傾向の作業時間（サイクルタイム）例

## 5. まとめ

これまで油圧ショベルによる無人化施工では一般に搭乗での施工に対して約60%の施工効率と言われてきた。モデルタスクによる実験で、オペレータの搭乗操作と遠隔操作を比較した場合、遠隔操作は搭乗操作の概ね約2.3倍の時間を要する結果が得られた。これを単純に効率に換算すると43%となるが、モデルタスクには単なる掘削以外の「時間を要する準備作業」例えば走行等が含まれていることから、標準的な作業時間計測方法としてモデルタスクは妥当と考えられる。

なお、搭乗操作と遠隔操作の差異については、搭乗での操作とは異なる操作装置であること(写真-4)の不慣れさやテレビモニタによる視認性等によるものと考えられる。これは、操作装置のレバー配置や遠隔で操作するうえでの臨場感(視覚・聴覚・触覚)といった情報量が影響しているものと考えられる。

また、実験を10回実施した際の搭乗操作における作業時間(サイクルタイム)は、オペレータの個人差が少ないのに対し、遠隔操作による作業時間(サイクルタイム)には、個人差による傾向として、大別すると図-4~6のような3つの傾向を確認することができた。

これは無人化施工技術となる映像装置・操作装置・通信装置をモデルタスクによって比較検証を進めるうえで活用できるものと考えられる。さらに、作業時間の短縮という観点から、3つに大別されるオペレータの操作傾向は、適応能力の評価や操作訓練を進めるうえでも考慮されるべき要素と考えられる。

## 6. 今後の課題

今後は、ここで提案している計測・評価方法を基に、映像提示技術や新たなマンマシンインターフェースによる比較検証実験等により無人化施工技術の能力向上に努めたい。

作業時間の短縮という観点から、操作装置のレバー配置を考慮した遠隔操作装置(写真-5)や搭乗での視覚情報に近づけた映像装置について、モデルタスクによる比較検証を実施する予定である。



写真-5 搭乗操作タイプ遠隔操作装置

また、大別されるオペレータの3つの操作傾向についても行動・生態心理学等の学際的なアプローチを進め、より効率的な遠隔操作に向けた研究を進めていきたいと考えている。

### 参考文献

- 1) 茂木正晴、油田信一、藤野健一：油圧ショベルの遠隔操作による作業の効率評価のためのモデルタスクの提案、建設機械施工論文、Vol.66、No.8、pp.71~79、2014
- 2) Masaharu Moteki, Kenich Fujino, Akihiko Nishiyama : RESEARCH ON OPERATORS' MASTERY O-F UNMANNED CONSTRUCION, The30th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, USB No.186, 2013
- 3) 建設無人化施工協会：  
HP ([http://www.kenmukyou.gr.jp/f\\_jirei.htm](http://www.kenmukyou.gr.jp/f_jirei.htm))  
2014.12.1閲覧

茂木正晴



国立研究開発法人土木研究所技術推進本部先端技術チーム 主任研究員  
Masaharu MOTEKI

西山章彦



国立研究開発法人土木研究所技術推進本部先端技術チーム 研究員  
Akihiko NISHIYAMA

藤野健一



国立研究開発法人土木研究所技術推進本部先端技術チーム 主席研究員  
Kenichi FUJINO

油田信一



国立研究開発法人土木研究所技術推進本部先端技術チーム 招聘研究員、工博(芝浦工業大学教授)  
Dr Shinichi YUTA