

論文

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

茂木 正晴¹・油田 信一²・藤野 健一³

¹ 土木研究所 技術推進本部先端技術チーム主任研究員 (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

E-mail : moteki@pwri.go.jp

² 土木研究所 技術推進本部先端技術チーム招聘研究員 (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

芝浦工業大学 工学部電気工学科教授 (〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5)

E-mail : yuta@shibaura-it.ac.jp

³ 土木研究所 技術推進本部先端技術チーム主席研究員 (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

E-mail : fujino@pwri.go.jp

災害現場復旧に利用されている無人化施工は、作業者の安全確保のために有効な施工方法である。しかし、この施工手法は、建設機械に搭乗して作業した場合と比較すると作業効率が低下することが知られている。これまでに映像技術や通信技術などの施工効率改善のための技術開発が進められてきているが、施工効率を定量的に評価することが難しいため、その評価は経験的なものに留まっていた。

本報告では、無人化施工技術における作業効率を評価するための、現場での掘削作業に類似し、かつ、繰り返しを可能とするモデルタスクを定式化して提案する。また、これを用いた実験の内容を示して、その有効性を明らかにする。

キーワード : Remote control, Disaster, Hydraulic excavator, Model task, Operational efficiency

1. まえがき

人の立ち入ることのできない危険箇所での災害復旧等に利用されている無人化施工は、作業者の安全確保のために有効な施工方法である。しかし、人が直接搭乗して作業を行う場合と比較した場合、施工内容や使用される建設機械に差異はあるものの、作業効率が低下してしまうことが知られている。これは、無人化施工の普及を妨げる1つの理由と考えられ、より一層安全な施工を普及させるために、無人化施工の作業効率をもう一回り向上させることが期待されている。

筆者らは、2010年より建設機械の遠隔操作における作業効率の向上に関する研究を進めている。ここでは、無人化施工における作業効率を作業時間の観点から評価し、ディスプレイや通信系などの機器の差異とオペレータの慣れや経験の各々について、それが作業時間に及ぼす影響を検討し、これに基づいて適切な操作方式や新しい機器の開発を目指している。この検討を進めるためには、現場で実際の建設機械を用いて具体的な作業を行い、その作業に要する時間を計測・評価することが重要であり、無人化施工以外にも建設機械を遠隔から働かせる幾つかの作業が報告¹⁾²⁾されている。特に、建設機械

に搭乗操作した場合と遠隔での操作などの操作条件の違いによるサイクルタイムの比較を行うことは必須である。しかし、現場での作業は、建設の進行に伴って環境が変化するため、同一の環境条件での実験・計測を繰り返すことができず、これが作業効率に関する十分な検討を妨げていた。

本報告では、無人化施工技術において実作業現場で作業効率を評価することの難しさを述べ、次いで、作業効率評価のために定式化した現場での掘削作業を想定した繰り返しが可能なモデルタスクを提案する。また、これを用いた検証実験の内容を示して、その有効性を明らかにする。

2. 背景と課題

2.1 無人化施工とそのシステム構成

建設無人化施工協会³⁾によると「無人化施工は、建設工事を遠隔地より安全かつ円滑に行うものです。ラジコン装置等を取り付けた建設機械群をオペレータが遠隔地より操作することで安全性を確保します。(本文を引用)」としている。

無人化施工技術の歴史は古いが、1994年に始まった

雲仙普賢岳での復興作業以前は、作業現場に作業員は入らないものの、現場の近くからの直接目視により、遠隔操作が行われていた。これに対し、雲仙での復興事業では、人間の立ち入り禁止区域が広く、作業現場から数百メートル離れたところで建設機械の操作を行う必要があり、カメラの映像を利用した間接的な視認による施工が行われた。この技術は、その後雲仙普賢岳のみならず、有珠山、三宅島、南大隅、福島などの人が近くに立ち入ることのできない被災現場を対象に活用されている^{4)~7)}。

無人化施工の標準的な現場での具体的な遠隔操作システムは、安全な場所で操作するための遠隔操作室(操作盤と映像モニタ類)と、カメラと伝送用無線器を搭載した遠隔操作機能のついている建設機械、及び、その間を結ぶ通信システムから構成されている。無人化施工は、図-1に示すように、無人エリア内に油圧ショベルなどの無人建設機械があり、必要に応じて準備される無線中継車と、有人エリアにある遠隔操作室や機器整備ヤードなどにより構成されている。



図-1 無人エリアと有人エリア
(2013.9 雲仙復興現場より)

2.2 無人化施工における作業効率とその向上

無人化施工の現場では、従来から様々な工夫がなされ、オペレータへの情報呈示や遠隔操作室の環境整備、作業分担などについて、一定の方式が確立しつつある。しかし、現状における無人化施工の作業効率はオペレータが搭乗して行う施工に比して低いことが知られており、その作業効率は、一般に50%~70%であると言われている。このことは、現状の施工効率をもう一段階改善できる可能性を示しており、そのための技術開発が求められている。

例えば、油圧ショベルによる作業の操作は、搭乗操作では、直接目視による視覚と体性感覚などの知覚情報がフル活用されていると考えられるが、無人化施工においては、作業対象から伝送された映像という限られた視覚情報だけにより操作が行われている。その差違が作業の効率にどのように影響しているのかを知ることは、その

向上を検討する上で有効かつ不可欠である。また、無人化施工におけるオペレータへの映像の表示方法や品質、あるいは映像以外の情報呈示、さらに通信の遅れ時間等の技術や装置が作業効率に与える影響要因の検討も必要である。さらに、オペレータの訓練や経験の効果、あるいは、作業の継続時間による疲労等、作業者のファクターについて評価することも、無人化施工におけるオペレータのインターフェイスを設計するうえで基礎的な情報を与えることとなる。

2.3 作業効率評価実験の必要性

現在、無人化施工における作業効率の向上は、操作のためのシステムやその方法を、現場でのトライアンドエラーによって改良し、それを、個々の現場で活用することにより進められている。ここでは、作業効率は、通常、実際の現場での作業における出来高と作業時間により評価される。

しかし、この評価は、一般に、比較対象となる指標がないまま行われるため、その現場での統計的な作業時間が把握されるにとどまっていた。したがって、作業効率の評価結果は、他の現場や異なる条件下でのデータと詳細に比較することが難しく、感覚的な評価にとどまり、客観性をもつものにはなっていないという問題があった。このため、現状では、実現現場での作業効率を計測したものはあっても、現場における種々の条件に対してオペレータ搭乗時と非搭乗時の作業効率を比較することはできていない。そして、遠隔操作時には、搭乗時に比して作業効率が低下することは分かっているが、それは定性的な評価に過ぎないものであった。このため、いろいろな手法や条件が無人化施工における作業効率に与える影響を定量的に評価することが求められている。

特に災害現場で行われる無人化施工は、変動の大きい厳しい環境条件と、緊急のあるいは限られた工期の中で進められるものであり、その条件下では作業効率の客観的な評価データを得ることは難しい状況にある。

この問題を解決し、施工における作業効率を定量的に評価するためには、現場の作業ではなく、評価を目的とした実験が不可欠である。そして、条件の違いによる作業効率の差異を精緻に評価するためには、特定な条件だけを変えて、他はできる限り同じ条件を維持した実験により、その作業時間や出来形の形状を評価する必要がある。しかし、一般に施工の実現場では作業の進行に伴って作業対象の条件が変化する。したがって、実現現場ではなく、定量的な検討を可能とする実験環境を準備して、あらかじめ定められた作業実験を行い、それに対する評価を行う必要がある。

3. モデルタスクに必要な条件

3.1 モデルタスクの設定

無人化施工における作業効率改善のためには、作業時の種々のファクターによる作業時間の違いを比較することが必要であり、そのためには、現場を模した作業において、条件をコントロールして実験を行う必要がある。ここで重要となるのは、実施する模擬作業の設定である。標準的な模擬作業を「モデルタスク」と呼ぶこととする。

設定するモデルタスクは、遠隔操作および搭乗操作の双方で建設機械を操作して行うことのできる作業である必要がある。モデルタスクに対する作業の時間を標準とすれば、異なる実験で得られたデータを比較することにより、作業の違いによる影響の検討もできるため、経験・知見の一層の蓄積が可能となる。本稿では、このためのモデルタスクの設定を検討する。

3.2 油圧ショベルによる標準的作業

建設機械を用いた作業は、多岐にわたっているが、災害復旧現場や通常の土木工事で最も使用頻度が高い機械と標準的な作業を対象としたモデルタスクの構築から始めるのが良い。そこで、まず、全国の土木建設作業で最も頻繁に使用されている油圧ショベルを対象に標準的な作業条件を整理し、モデルタスクを検討することとした。

油圧ショベルは、建設機械として最も多く使われており掘削作業及びダンプトラックへの積み込み作業や運搬、のり面等の所定の形状への成形作業、油圧ブレーカやニブラなどによる解体・破碎作業等に利用されている。

油圧ショベル操作の多くは、図-2のように、まず走行して対象物に近づき適切な位置に停止した後、作業対象を確認、バケット先端部を対象部にアプローチするために旋回・ブーム・アーム・バケットの動作を行う。したがって、動作のパターンは、どのような操作内容であっても機体の走行と旋回・ブーム・アーム・バケットを単独若しくは複合によって操作するものとなっている(図-3)。そこで、モデルタスクもこの一連の動作について構成するのが良いと考えられる。

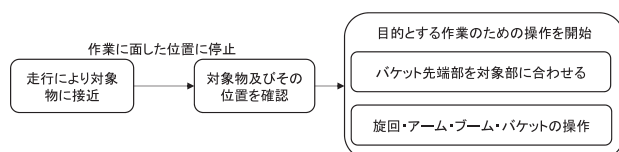


図-2 油圧ショベルによる対象物操作の流れ
(土砂掘削例)

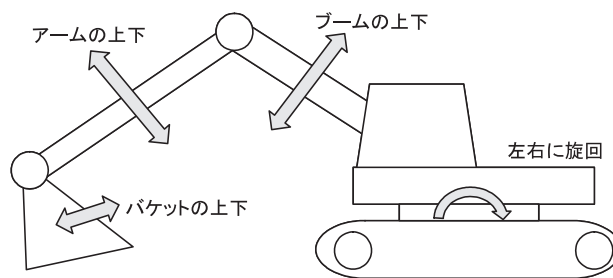


図-3 油圧ショベルの作業時の動作

3.3 モデルタスクに必要な要件

建設機械による作業についてモデルタスクを設定する場合、それによる実験の効果と効率を考えると、以下の4つの条件が要求される。

a. 作業の標準性

実際の現場において多くなされる作業にできる限り一致していること。

b. 現実性

作業内容が現場で行われるものから乖離しないこと。また、作業の環境が現場の状況に近いこと。作業内容及び環境条件について、できる限り多くの現場の要素を含み、現場にない作業要素が入り込まないこと。

c. 再現性

同条件での作業が繰り返し実施できること。

d. 容易性

実験に際して準備が簡単であり、1回の作業を要する時間が短く、複数回の作業比較が容易にできること。

これらの条件の中での現実性と再現性はいずれも重要であるが、相反する要求である。リアルな現場での作業は、実際の土を掘削し運搬若しくは対象物を破碎、変形させてゆく作業である。そして、実際の作業では、2回目以降の作業が同一条件で行われることはない。

筆者らは、2010年に山砂を用いた油圧ショベルによる掘削作業の評価実験⁸⁾を行ったが、ここでは、掘削によって移動した山砂を元の位置に戻して、次の実験を行った。しかし、作業対象の砂を元に戻しても、この作業を数回繰り返すことで現地盤の砂が混合されてしまい、地面の固さが変化し、作業における同条件を維持することはできなかった。このように土を対象とする作業では、たとえ、動かした土を元に戻して繰り返し実験を行おうとしても完全に同条件に戻すことはできず、数回の作業で作業対象の条件は大きく変化してしまい、再現性を維持することは極めて難しい。したがって、再現性を考慮すると作業の対象としては実際の土の掘削や破碎、変形ではない方法をとる必要がある。

一方、再現性を重視して、各作業要素について、全く同じ作業条件での繰り返しを行うことは、実作業に必然

的に含まれる各種の外乱を取り除いてしまうことになる。したがって、同条件の繰り返しを厳しくすると例えば、作業効率の検討において極めて重要な、作業の繰り返しによるオペレータの熟達などについて現実的な評価ができなくなる。すなわち、モデルタスクにおいても環境や作業の外乱や多様性は、それなりに維持される必要がある。これらの再現性と現実性を両立させる適切な組み合わせが重要である。

もう1つの条件として、作業現場のセッティングと作業そのものの容易さも重要である。開発された手法の評価を効率よく行うためには、実験が簡単にできることに留意しなければならない。例えば、オペレータによる学習の効果を評価するためには、多数の繰り返し実験が必要であり、現実的な実験に許された時間内で数十回以上の繰り返しが可能であることが期待される。これらの理由により、モデルタスクとしては、実際の土を対象とするより、形状が変形せず取り扱いの容易な構造となる固形対象物を用いることが、現実的である。

標準性を考えると油圧ショベルを対象とするモデルタスクは、土砂等の掘削(掘り)と積込みを想定して、移動、掘削、引き上げ、旋回、下ろしの一連の動作を想定し、適切な操作の例としてモデルタスクを設定することが望ましい。

4. 油圧ショベルの遠隔操作による作業のモデルタスクの提案

以上の検討に基づいて、油圧ショベルによる標準的な作業として、主に実現現場での掘削積込み作業を想定した図4に示すモデルタスクのフローを設定した。ここでは、油圧ショベルは、待機場所から作業対象の前まで走行し、上部旋回体を旋回して対象物に正対する。次にアーム・ブーム・バケットを操作して対象物を掴み、旋回し、所定の位置に設置し、これを繰り返す。その後は再び走行して待機場所に戻る。このモデルは、機体質量3t以上の車両系建設機械(整地等)の運転作業に従事するために必要となる労働安全衛生法及び労働安全衛生法施行令(昭和47年6月8日法律第57号)⁹⁾に基づく運転技能講

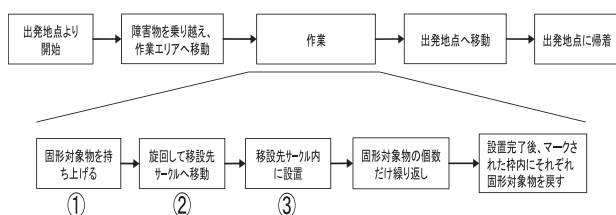


図4 標準タスクフロー

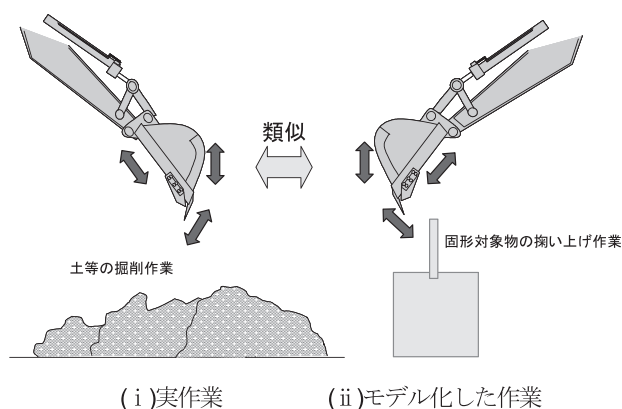


図5 土等の掘削に類似した作業モデル (右図)

習時に操作訓練するタスクに類似した動作である。また、走行姿勢等の操作に関しても運転技能講習における操作方法を基礎としている。

ここで、作業の再現性と現実性を両立させるために、掘削作業等の油圧ショベルを操作する際に標準的に生じる軌道でバケットを動かす動作として、図5に示すとおり固形対象物の掘り・引き上げを行わせることとした。

この方針の下に、油圧ショベルの大きな移動を含む一連の作業(モデルタスクⅠ)と、移動には注目せず実験の効率性を重視した作業(モデルタスクⅡ)を設定した。

a. モデルタスクⅠ:油圧ショベルの不整地走行とバケットによる複数の固形対象物の移設

油圧ショベルは、待機位置より図7に示す走行障害物のある経路を固形対象物が設置されている作業エリアまで走行し、固形対象物を油圧ショベルのバケットによって移設する。

固形対象物の形状は、ドラム缶(φ570 mm×高さ760 mm, 質量約100 kg, 持ち手高さ2,000 mm), 土嚢(800 mm×800 mm×高さ800 mm, 質量約300 kg, 持ち手高さ2,000 mm), 鋼製立方体(1,200 mm×1,200 mm×高さ1,200 mm, 質量約500 kg, 持ち手高さ2,000 mm)計3個とする。また、固形対象物にはいずれも、掘り上げ用の鋼製バーをほぼ水平に付けておき掘削に類似したバケットの軌跡により、固形対象物を持ち上げることができるようにする。固形対象物の形状を写真-1, 2, 3に示す。

このモデルタスクでは、油圧ショベルは図6に示す環境を待機場所より地面が凸形状になっている部分(図7)を通り越して作業エリアまで移動し、バケットによる作業に適した位置に停止する。図8に示すとおり3箇所にマークされた枠内に設置されている固形対象物の持ち手に1つずつバケットの先端を掛けて持ち上げ、移設先としてマークされたサークル内へ移設する。全ての固形対象物の移設が完了後、一旦バケットを固形対象物の持ち手から離れた後、再び各々の固形対象物を初期位置とし

て示された枠内(図-8)に固形対象物を移設する。

この動作の繰り返しにおいては、走行後の油圧ショベルの位置は毎回適当にバラツキ、それによって、バケット操作に対する環境に適当な変動外乱が与えられることとなる。そのため、固形対象物の移設作業におけるバケットの操作内容は全く同じではなくなっている。

b. モデルタスクⅡ：油圧ショベルの走行とバケットによる固形対象物のハンドリングを単純化した固形対象物の移設

モデルタスクⅡは実験の容易性を優先し、短時間での繰り返し実験を可能とすることを主眼として設定した。



写真-1 固形対象物：ドラム缶
($\phi 570$ mm $\times$ 高さ 760 mm, 質量約 100 kg, 持ち手高さ 2,000 mm)



写真-2 固形対象物：土嚢
(800 mm $\times$ 800 mm $\times$ 高さ 800 mm, 質量約 300 kg)



写真-3 固形対象物：鋼製立方体
(1,200 mm $\times$ 1,200 mm $\times$ 高さ 1,200 mm, 質量約 500 kg, 持ち手高さ 2,000 mm)



写真-4 モデルタスクⅠでの固形対象物の移設状況

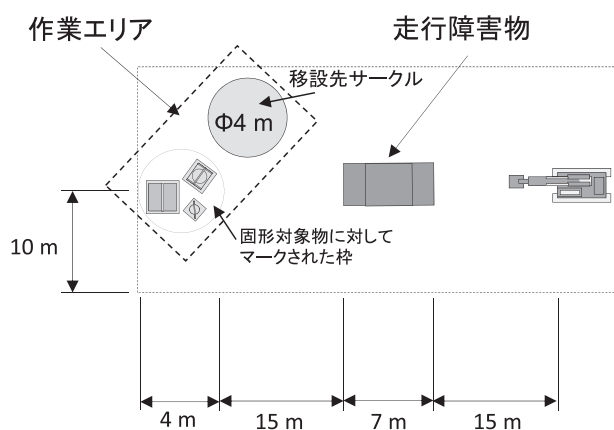


図-6 モデルタスクⅠにおけるフィールド

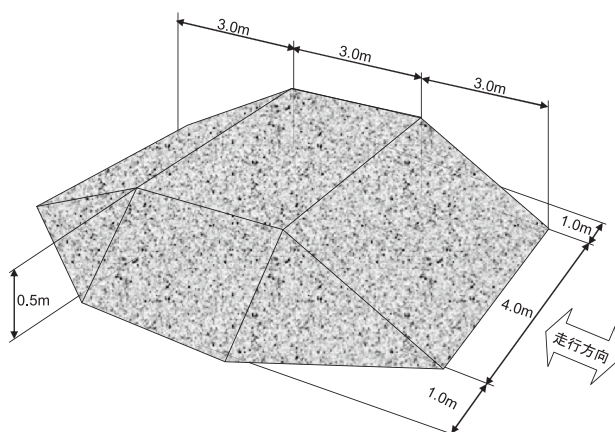


図-7 走行障害物

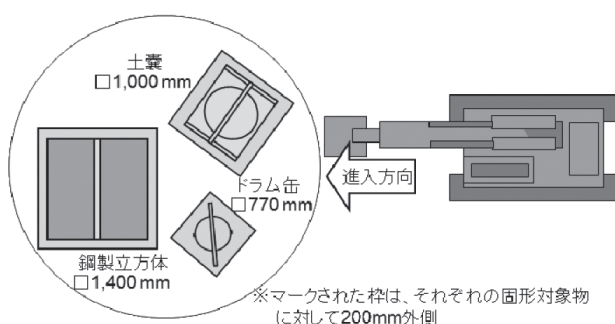


図-8 固形対象物の初期設置位置関係

このモデルタスクでは、図-9に示すフィールドにおいて待機場所から作業エリアまで走行し、次に固形対象物を油圧ショベルのバケットによって移設する。

このモデルタスクⅡでは、初期位置から、屈曲を含む約 30 m の経路を走行し、バケットによる作業に適した位置まで移動してから、モデルタスクⅠで用いた1つの固形対象物を移設先サークルに移設し、次に再び、初期位置の枠内に固形対象物を戻す。ここで移設する固形対象物は、ドラム缶(φ570 mm×高さ 760 mm, 質量約 100 kg, 持ち手高さ 2,000 mm)とする。

モデルタスクⅡは、モデルタスクⅠに比べて1回の作業時間を短くすることによって、より多くの実験回数の確保、作業の容易性を重視していることが特徴である。したがって、このタスクでは、オペレータの操作内容に関する学習過程が操作回数によって変化することを、より顕著に計測することができ、搭乗操作と遠隔操作での違いを明確に解析することができるものと考えられる。

5. 提案したモデルタスクの有効性の検証実験

5.1 実験内容と準備

ここでは前章で提案したモデルタスクが遠隔操作による作業の効率を評価するのに有効であることを確かめる



写真-5 モデルタスクⅡでの固形対象物の移設状況

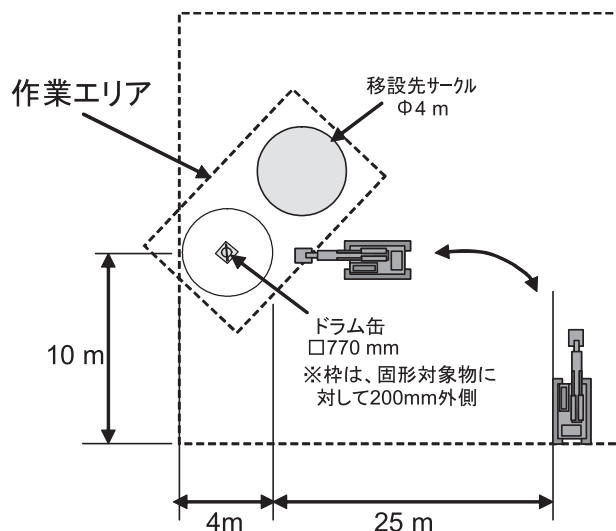


図-9 モデルタスクⅡにおけるフィールド

ために行った実験内容と結果を示す。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システムによるサイクルタイムの比較検証実験を実施し、それにより、モデルタスクの有効性を検討した。

遠隔操作システムは、遠隔操作用の固定カメラを2台設置して操作計測室内において現場情報をモニターにより操作者に提供するものであり、現場に近いオペレータは窓から対象物などを見ることができないものとした。

5.2 検証実験の結果

5.2.1 モデルタスクⅠによる実験及び結果

図-10に示すフィールドで写真-6, 7に示す実験を実施した。

実験は、モデルタスクⅠの動作を、オペレータが遠隔操作により連続して各5回作業を行い、各回の作業に要した時間を記録した。

この実験は、機器の設置等の準備に2時間を要し、実験計測は1人のオペレータによる実験を4時間で行うこ

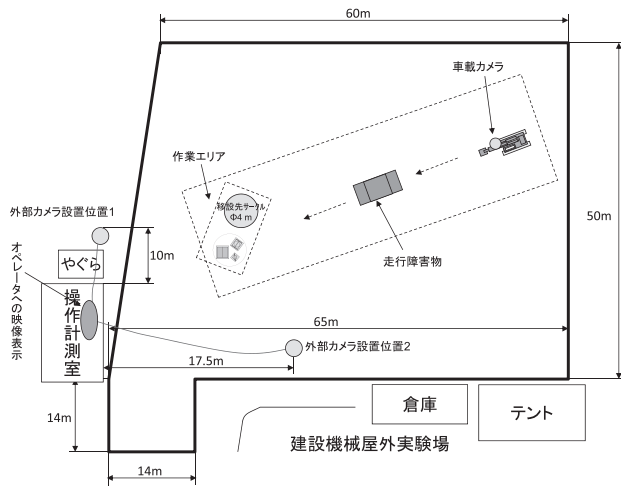


図-10 モデルタスク I による実験配置図



写真-6 モデルタスク I による実験の状況（走行）



写真-7 モデルタスク I による実験の状況（作業）

とができた。

実験結果の一例が図-11、12¹²⁾である。この実験では搭乗での建設機械の操作に比して無人化施工（遠隔操作）におけるサイクルタイムは約 2.0 倍であった。

なお、実験では、搭乗操作では概ね 4～6 分、遠隔操作では、概ね 11～14 分程度で実行されている。

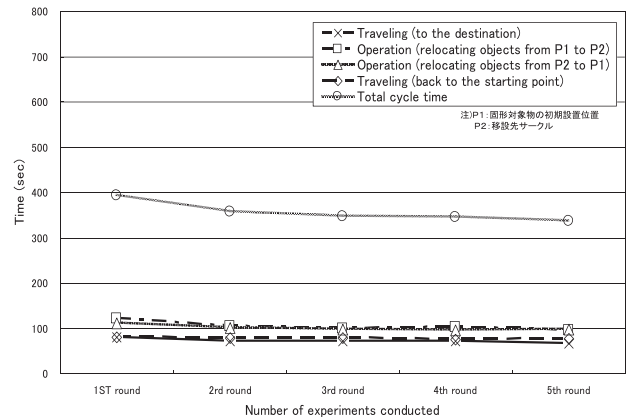


図-11 搭乗操作によるサイクルタイム

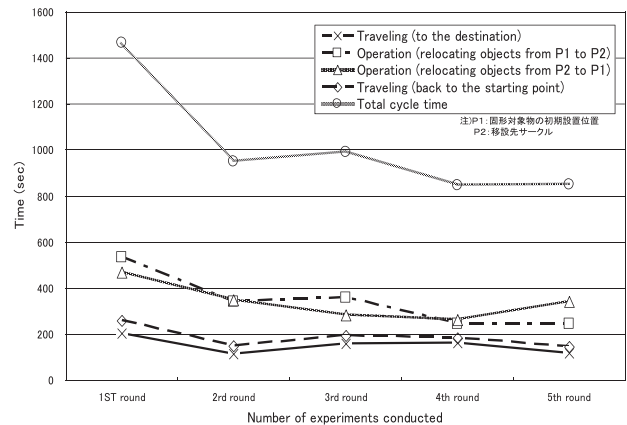


図-12 遠隔操作によるサイクルタイム

5.2.2 モデルタスク II による実験及び結果

この実験は操作の慣れが効率に与える影響、特にオペレータの操作内容に関する学習過程を、操作の内容が操作回数によって変化する様子を調べることを目的として行ったものである。そのため、建設機械操作歴 5 年以上のオペレータ 1 名によりモデルタスク II に対して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た。実験フィールドと実験中の様子を図-13 及び写

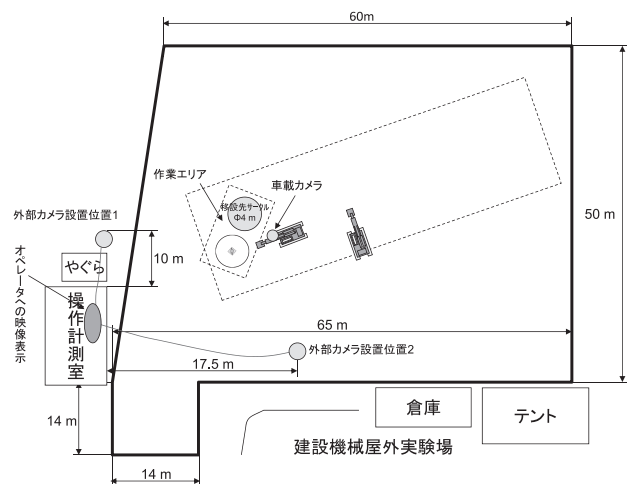


図-13 モデルタスク II でのフィールド概念図



写真-8 モデルタスクⅡによる実験の状況（走行）



写真-9 モデルタスクⅡによる実験の状況（作業）

真-8, 9に示す。

実験結果は、図-14, 15に示すとおり、搭乗・遠隔操作ともに2回目以降よりサイクルタイムの落ち着きが見られた。ただし、作業時のサイクルタイムについては、遠隔操作時における回数毎のバラツキ差が顕著に現れる結果となった。また、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1.65倍の作業時間であった。

実験では、機器の設置等の準備に2時間、実験計測には1人のオペレータにつき2時間で行うことができた。

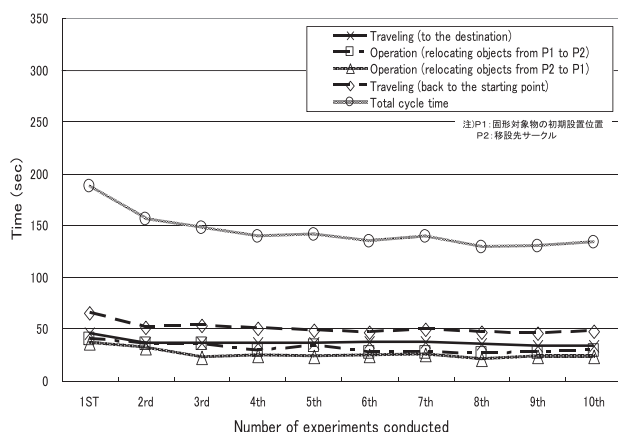


図-14 搭乗操作によるサイクルタイム

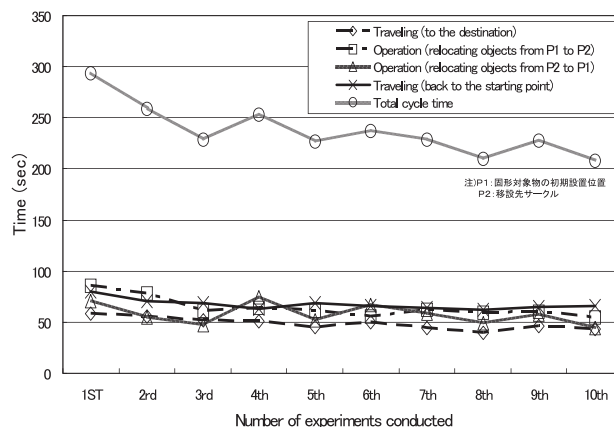


図-15 遠隔操作によるサイクルタイム

この実験では、搭乗操作では2～3分弱、遠隔操作では、3～4分弱のサイクルタイムであり、タスクを数十回にわたって続けて実行できることが確認できた。

5.2.3 検証実験に基づくタスクモデルの有効性の検討

検証実験では、搭乗操作と遠隔操作による作業のサイクルタイム比は従来経験的に言われていた1.6～1.7倍といった値に近く、この点では、実行したモデルタスクに基づく実験は妥当なものであったと考えられた。モデルタスクⅠでは、走行・作業に関する詳細なデータ取得が期待できるものとなった。それに対し、モデルタスクⅡでは、サイクルタイムが短く、繰り返しのタスク実行が容易でオペレータが作業に習熟してゆく傾向を観察することが期待できるものとなった。

このことは本稿で提示するモデルタスクの有効性を示しているものと言えよう。また、この検証実験では、提案したモデルタスクは、準備に要する時間が比較的短く、効率良い実験が可能であることを示している。

なお、これらの検証実験結果はいずれも、遠隔操作による作業の効率について具体的な作業と具体的な作業条件に対して計測したものとしても興味深いものであり、この結果については、現在検討中であり、別報にて報告する予定である。

6. まとめと今後の研究の方向

本稿では、無人化施工における遠隔操作の方式等を比較検証するうえで必要となる標準の指標となるモデルタスクを提案した。このモデルタスクは、特に実現場でのリアルな作業を再現したモデルであり、以下の性質を有している。

a. 作業の標準性及び現実性

実作業現場では、掘削・積み込みや掘りなどの多岐にわたる作業が行われているが、提案したモデルタスクは基

本操作のモデルを労働安全衛生法に基づく運転技能講習時に操作訓練するタスクがベースとなっており、作業内容が現実から乖離せず標準的な作業要素となりモデルタスクとして妥当なものだと考えられる。

b. 再現性

各タスクに使用する固形対象物を利用することによって同条件での作業が繰り返し実施でき、作業効率を公平に比較検証できるものと考えられる。

c. 容易性

作業効率などを評価するための実験を行うにあたって、その準備も比較的容易にできる。また、タスクの実行時間も数分～十数分であって、それなりの繰り返しが可能である。従って、条件を変えて作業時間を比較したり、オペレータの習熟の様子を観察することが現実的な実験時間内で可能であり、多くの実験データを容易に取得するうえで効率的・効果的な手段になると考えている。

また、このモデルタスクによる実験の結果を示すことにより、このモデルタスクが建設機械の遠隔操作による施工の効率等の評価に利用できることを確認した。

このモデルタスクは、遠隔操作による作業の統一的な比較検証に役立つものであり、今後、建設機械の遠隔操作に関わる実験にある程度標準的に利用できるものと考えられる。

今後、提示したモデルタスクを用いて、①人の知覚認知特性及び知覚情報と人の行動、②習熟のメカニズム(タスクの把握とフィールドのマッチング)、③疲労による作業効率の低減メカニズム、④安全を考慮したことによる作業効率の低減などの作業効率に関連する仮説の各々について、実験により検討を進めていきたい。また、それにより建設機械の遠隔操作をより搭乗操作の作業効率

に近づけ、更に、その作業効率を向上させることを目的とした取り組みを進めてゆきたい。

参考文献

- 1) 久保田孝行, 湯浅祥次: 遠隔操縦ロボットのブルドーザへの適用について, 第10回建設ロボットシンポジウム論文集, pp.133-142, 2004.
- 2) M. J. Lopatka, T. Muszynski: DETERMINING A DRIVETRAIN SY-STEM SKID STEER 6X6 WHEELED ROBOT LOAD, The30th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, USB No228, 2013.
- 3) 建設無人化施工協会: HP (http://www.kenmukyou.gr.jp/f_jirei.htm) (参照日 2013.9.27)
- 4) 北原成郎, 時岡誠剛, 後藤誠: 高精度遠隔監視重機操縦システムの開発, 第8回建設ロボットシンポジウム論文集, pp. 1-8, 2000.
- 5) 吉江宗生, 白井一洋, 田中敏成, 平林丈嗣: 港湾工事等へのロボット技術の導入, 第8回建設ロボットシンポジウム論文集, pp.29-36, 2000.
- 6) 西尾正巳, 平松雄二, 青野隆: 有珠山噴火災害緊急対策工事での無人化施工実績, 第9回建設ロボットシンポジウム論文集, pp.71-78, 2002.
- 7) 新田恭士, 松尾修, 北原成郎, 黒田昇, 田村圭司, 下田孝徳: 長距離無人化施工技術の適用性に関する考察—雲仙普賢岳における超長距離遠隔操作実証実験の概要—, 第13回建設ロボットシンポジウム論文集, pp.41-50, 2012.
- 8) 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, pp.89-96, 2010.
- 9) キャタピラー教習所(株), 車両系建設機械運転者教本—整地・運搬・積み込み用及び掘削用—技能講習テキスト, 2013.
- 10) Masaharu Moteki, Kenich Fujino, Takashi Ootuki, Takeshi Hashimoto.: RESEARCH ON VISUALPOINT OF OPERATOR IN REMOTE CONTROL OF CONSTRUCTION MACHINERY, The28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, pp.532-537, 2011.
- 11) 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.
- 12) Masaharu Moteki, Kenich Fujino, Akihiko Nishiyama.: RESEARCH ON OPERATORS' MASTERY OF UNMANNED CONSTRUCTION, The30th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, USB No186, 2013.

(2014.2.27 受付, 2014.6.24 採用決定)

THE PROPOSAL OF THE MODEL TASK FOR EFFICIENCY EVALUATION OF THE CONSTRUCTION WORK BY REMOTE CONTROL OF A HYDRAULIC EXCAVATOR

Masaharu MOTOKI¹, Shinichi YUTA² and Kenichi FUJINO³

¹ Senior Researcher, Construction Technology Research Department, Public Works Research Institute

² Professor, College of Engineering, Shibaura Institute of Technology

³ Team Leader, Construction Technology Research Department, Public Works Research Institute

Unmanned construction is used in Japan as an initial response in a disaster such as an earthquake or volcano eruption. However, it is known that working efficiency of unmanned operation is lower than that of manned operation. Until now, to improve efficiency, some new technology, such as imaging technology or the communication technology, have been developing. However, the new technology was evaluated with experience method, not a quantitative method. Because, it is difficult to evaluate the efficiency quantitatively. In this report, model tasks to evaluate efficiency in the unmanned operation are suggested. The model tasks are similar to the real works at the construction site and can be done repeatedly. Through the experiment using the model task, the effectiveness of it was clarified.