

戦 - 5 災害発生等における施工機械の遠隔操作技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 22～平 24

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

【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。この無人化施工の適用に関しては、災害の規模や現場状況（人への危険度合い）によって判断されている。

無人化施工技術は、遠隔によって建設機械を操作するものが多く、昭和 43 年に開発された水中ブルドーザが始まりである。その後、多くの遠隔操作による建設機械が開発されてきた。その中でも、雲仙普賢岳における噴火後の災害緊急対策として、除石工事における掘削・積込み・運搬といった場面に遠隔操作による無人化施工が活用されている。

研究では、現場状況をモニタによって情報提供し操作す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。

本報告では、直接目視による遠隔操作、現場情報を遠隔地のモニタに表示・操作する遠隔操作システム（雲仙普賢岳で利用されている雲仙システム及び土木研究所によって研究開発された三次元表示システムの総称）、両システムの遠隔操作における操作者（オペレータ）の空間認識及び操作時における認知能力の差異等について、操作時における行動パターンを検証したものである。

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

1. はじめに

無人化施工の適用に関しては、災害の規模や現場状況（人への危険度合い）によって個別に判断されている。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。

無人化施工技術は、リモコンによる遠隔操作によって建設機械を操作するものが多く、日本国内では昭和 43 年に開発された水中ブルドーザが始まりである。

その後、多くの遠隔操作による建設機械が開発されてきた。その中でも、雲仙普賢岳における火砕流被害に伴う噴火後の災害緊急対策として、建設機械の遠隔操作によって除石・対策工事（掘削・積込み・運搬・敷き均し・転圧）といった無人化施工が現在も進められている。

本研究では、遠隔による建設機械の操作性を向上、オペレータの操作習熟度の短縮、作業効率の向上、オペレータの疲労感低減を目的に進めているものである。

本報告では、操作性の向上の観点から、現在、実現場において利用されている遠隔操作システムの複数のモニ

タからの情報に対して眼球運動計測装置により、走行・掘削・敷き均しといった一連の作業形態毎に計測を行い、オペレータは、作業形態に対してどのモニタからの情報を主体に作業を進めていたのかをとりまとめ報告するものである。

また、同様な作業を複数回行った際のサイクルタイムについて、直接目視による遠隔操作との比較を行い、比較によって明らかとなった双方に共通する特徴について述べるものである。

2. 研究内容

2.1 実験概要と遠隔操作システムの構成

写真-1 に示す「ロボット等による IT 施工システムの開発」において開発された土木研究所保有の油圧ショベルを利用し、実験を進めた。

実験は、土木研究所内建設機械屋外実験場にて実施し、主に実現場での掘削積込み作業を想定した施工モデルについて、遠隔操作による検証実験を実施した。

検証対象とする各種遠隔操作技術としては、現場で実際に利用されている施工操作システムによるものと直接

目視による遠隔操作について、写真-2 示す眼球運動計測装置により操作時におけるオペレータの行動パターンを定量的に計測し、空間認識及び操作時における自身の知覚情報について検証した。また、オペレータの習熟度として作業効率（時間）を計測、評価した。

また、実験に際しては、表-1 に示す遠隔操作に熟練した2名のオペレータとした。双方、遠隔による建設機械操作経験者である。オペレータは、雲仙普賢岳での実施工に従事していることから無人化施工への対応は既に慣れている。



写真-1 検証実験に必要な機器構成



写真-2 眼球運動計測装置

表-1 オペレータ経験

遠隔操作熟練者	オペレータ A	オペレータ B
年齢	62歳	41歳
建設機械操作歴	42年	15年
遠隔操作歴	16年	7年

2.2 実験の流れ

実験手順については、図-1, 2 に示すように試験フィールドの整備を行い、遠隔操作時に必要となるカメラを設置した。カメラからの映像データは優先によって操作室内のモニタに接続した。建設機械からのカメラ情報に関しては、無線 LAN によって操作室に送信できるようにセッティングした。

モニタ配置に関しては、写真-3 に示す構成となっている。図-1 に示すカメラ配置を参照すると右上モニタは外部カメラ:a からのアングルである。左上モニタに関しては、外部カメラ:b からのアングルである。右下モニタについては、車載カメラ:c からのアングルである。左下モニタについては、櫓:d からのアングルである。

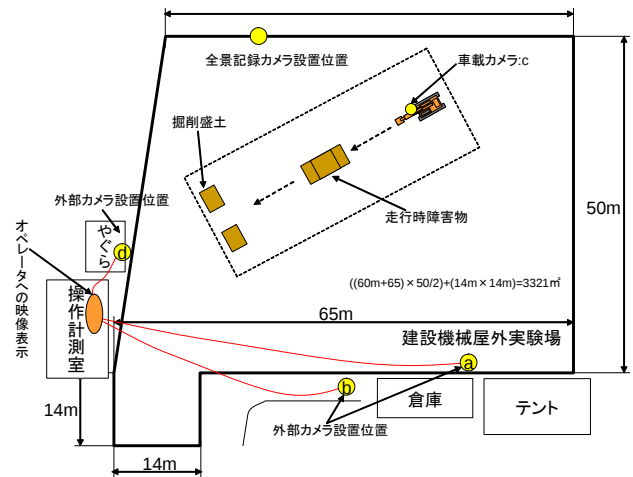


図-1 試験フィールド平面図



写真-3 モニタ構成

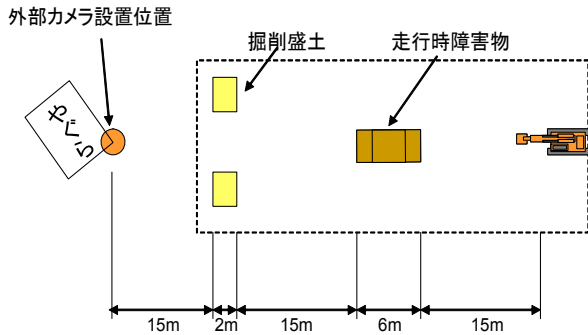


図-2 障害物及び掘削盛土との関係

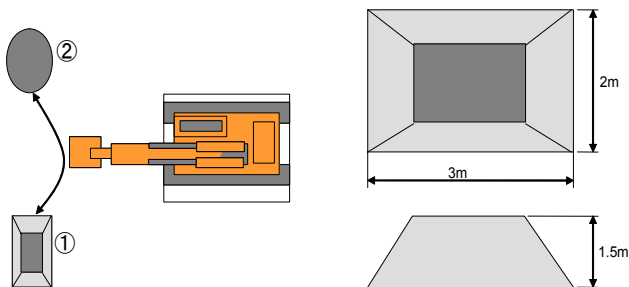


図-3 障害物の大きさと掘削状況図

実験では、図-1 に示す土木研究所構内の試験フィールドにて、走行に際しては、図-3 に示す障害物を設置し、掘削作業としては、予め盛っておいた土を①点から②点に掘削移動する単純な作業形態とした。1 サイクルの試験データは、建設機械を遠隔にて、図-4 に示す走行（往路）→掘削→敷均し→走行（復路）といった流れで操作を行った。

実験ケースとしては、遠隔操作システムによる計測をオペレータ2名によりそれぞれ5回実施し、直接目視による遠隔操作については、オペレータAに関しては3回、オペレータBについては1回実施した。

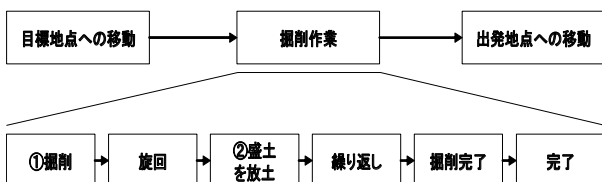


図-4 1 サイクル動作

遠隔操作システムに関しては、操作室において写真-4 に示すモ操作室において実験を実施した。操作室での操作では、外部の情報が直接目視できないようにカーテン

で外部情報を遮断した。

直接目視における実験に関しては、写真-5 に示すように、やぐらから全景を確認しながらの遠隔操作を行った。



写真-4 遠隔操作システムによる操作



写真-5 直接目視による操作

3. 実験結果及び考察

3.1 遠隔操作システムにおけるモニタ情報

本実験では、眼球運動計測装置によって、走行・掘削・敷均しといった一連の作業形態毎に計測を行い、それぞれの作業形態に対してオペレータは、どのモニタを主体に情報を得て作業を進めていたのかをとりまとめた。表-2, 3 は、眼球運動計測装置によって計測されたオペレータA, B のデータを取りまとめたもので、それぞれの作業形態における各モニタを目視した回数を示している。まとめられたデータに関しては、実施した実験の平均値を示している。

表-2, 3 に示すように、オペレータA, B は同様な傾向を示している。走行時（往復）には、右下モニタと左下モニタが主体となっている。掘削及び敷均し時では、右上

モニタと右上モニタが主体となり次いで左下モニタといった結果となっている。

参考として、直接目視における掘削時の眼球運動については、掘削・放土を作業内において、表-4に示すように交互に確認していることが分かった。

表-2 オペレータ A のモニタ直視回数

オペレータA	走行(往路)	掘削	敷均し	走行(復路)
右上モニタ	8	208	65	22
右下モニタ	22	208	65	22
左上モニタ	6	24	13	15
左下モニタ	27	171	69	24

(回)

表-3 オペレータ B のモニタ直視回数

オペレータB	走行(往路)	掘削	敷均し	走行(復路)
右上モニタ	7	152	72	17
右下モニタ	16	152	72	17
左上モニタ	6	44	23	3
左下モニタ	15	76	24	7

(回)

表-4 直接目視による直視回数

	オペレータA			オペレータB	平均
	1回目	2回目	3回目		
盛土箇所	100	86	87	88	90
放土箇所	88	82	72	58	75

(回)

3.2 遠隔操作システムと直接目視による遠隔操作とのサイクルタイム比較結果

それぞれの遠隔操作に関してサイクルタイムを比較した結果を図-6, 7に示す。本実験では、双方においてサイクルタイムによる大きな差異は見られなかった。しかし、3回目以降からの実験では、トータルサイクルタイムは、オペレータ A が約 728sec に対し、オペレータ B は、約 868sec となっており、以降収束した作業サイクルタイムといった結果となった。

直接目視による作業サイクルタイムに関しては、オペレータ A, B ともに類似したサイクルタイムの傾向となった。サイクルタイムは、平均 588sec となっており、遠隔操作システムのサイクルタイム平均値約 849sec とを比較すると約 261sec 作業効率が高い結果となった。

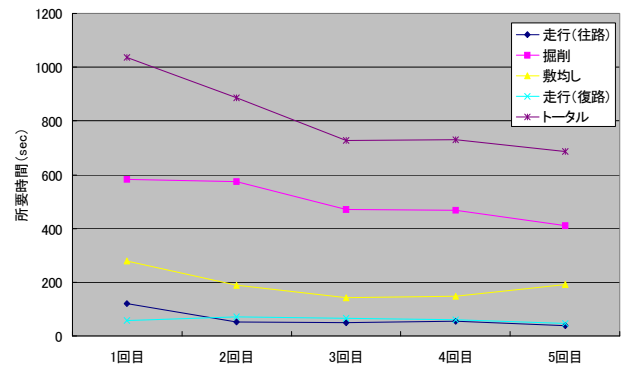


図-5 オペレータ A の作業時間

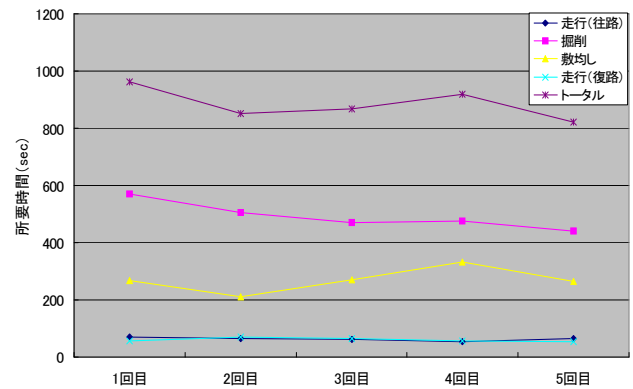


図-6 オペレータ B の作業時間

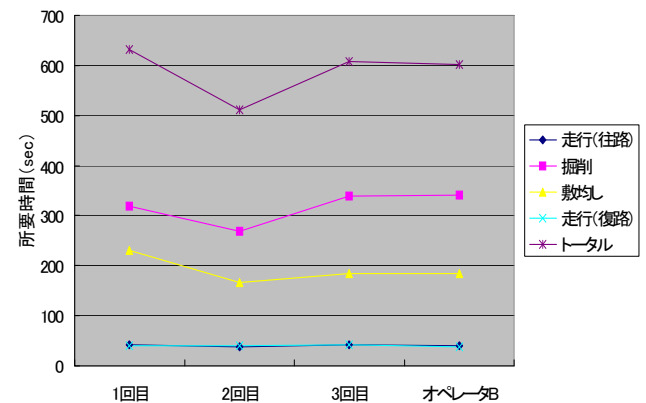


図-7 直接目視による作業時間

4. 考察

4.1 遠隔操作システムにおけるモニタ情報

複数のモニタを確認しながら作業を進める遠隔操作システムでは、走行・掘削・敷均しといった一連の作業形態毎において確認するモニタに対して一定の傾向を確認することができた。特に車載カメラ:cからのアングルについては、すべての作業形態において共通するものであると考えられる。

直接目視による掘削・放土作業時における動きの軌跡を眼球運動装置によって確認した中では、掘削時に油圧ショベルのバケットを中心とした視点から放土するための箇所への視点移動が作業時に繰り返し行われていたことが確認できた。このことを遠隔操作システムに当てはめてみると、掘削・敷均しのように車載カメラからの画角を超えるエリアでの作業となった場合には、2つのモニタを直接目視に代用して作業していることが考えられる。

4.2 遠隔操作システムと直接目視による遠隔操作とのサイクルタイム比較

本実験では、熟練オペレータによる操作であり、実現場でのシステム構成を模した構成となっており、慣れまでの2~3回目以降については、サイクルタイムに大きな差異が見られていない。この傾向は、直接目視による遠隔操作にも同様な傾向が見られ、習熟した遠隔操作が構築されたと考えられる。

オペレータAとBのサイクルタイムの違いに関しては、建設機械の遠隔操作経験による情報量の違いによるものと考えられる。

直接目視による遠隔操作結果を見てみるとオペレータAとBとのサイクルタイムに差異がなかった、このことは、直接目視において試験フィールド内の情報をダイレクトに認識できオペレータの作業イメージが早期に構築できたことが考えられる。また、サイクルタイムの短縮に誘因として要素として、遠隔操作システムでの計測実験後であったことも作業情報の構築に関係していることも考えられる。

5. まとめと今後の課題

モニタによるカメラからの情報表示構成については、本研究によって得られた結果から車載カメラ:cからのアングルを中心とした構成が現場での円滑な遠隔操作に寄与するものといえる。そして、遠隔操作の更なる向上を考えた場合、オペレータ自身が現場における作業ヤード状況に関する情報と具体的な作業内容を正確に得ること

が作業効率に起因するものといえる。

また、一般的には、オペレータの視覚された刺激が直接作業行動(反応)としていと考えられていたが、本研究での実験結果における習熟傾向を見てみると、昨今の生態心理学に基づく視覚からの刺激だけではなく過去の経験などを含めた情報によって作業行動(適切な反応)がとられるものと考えられる。

今後は、作業効率と精度の向上に誘因する遠隔操作において主体となる車載カメラ:cの設置位置について更に検討を進めるとともに、遠隔操作において作業効率と施工精度を向上させるために必要となる情報取得について検討が必要となる。

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

A RESEARCH ON REMOTE CONTROL TECHNIQUE OF CONSTRUCTION MACHINERY IN DISASTER SIGHT.

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2010-2012

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

Author : FUJINO Kenichi
MOTOKI Masaharu
OOTSUKI Takashi

Abstract : Today, the unmanned construction technology is used on some disaster recovery works.

For example, remote controlled construction machinery is used for taking off the volcanic rocks in Unzen where we had big volcanic disaster in 1991.

The remote control system is one of the unmanned construction technologies. Recently, the ratio of the system is increasing.

The underwater bulldozer is the first remote controlled construction machinery developed in 1968. Today, there are various types of machines on the fields. (Ex, remote controlled hydraulic excavator)

There are two kinds of systems in remote control technology. First system, An operator watches the site situation and a construction machinery directly. Second system, An operator watches the site situation and a construction machinery through a TV-monitor. In Unzen, they are using second system.

Our team has been researching for the usability of second system. Our aims of this study are improvement of working efficiency, reduction of training hour and to develop easy operating system.

In this report, we studied the eye points of operator using both systems, and verified the difference of ability for special perception.

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