

## 13. 無人化施工映像技術に関する検討（バックホウ作業を主体として）

北陸技術事務所機械課長 本間 政幸  
北陸技術事務所機械課 整備係長 ○以倉 直隆  
北陸技術事務所機械課 主任 高井 謙一

### 1. まえがき

砂防工事は一般に作業ヤードが狭く傾斜地が多いなど施工条件が厳しい中で施工されている。また、土石流や斜面崩壊の発生しやすい場所で施工されていることから、工事中の安全確保が重視されており、安全かつ効率的な砂防工事を実施するため、遠隔操縦機械を使用した無人化施工が必要不可欠となっている。

本報告は、無人化施工で使用される遠隔操縦機械の操作性を向上させるため、オペレータからみた車載カメラの映像取得範囲等について検討し、車載カメラの画角、モニターの大きさ、分割数等の提案を行ったものである。

### 2. 無人化施工事例

北陸地方整備局における無人化施工は金沢河川国道事務所、神通川砂防事務所、立山砂防事務所、松本砂防事務所の管内で行われている。金沢河川国道事務所の施工事例を紹介する。

#### 2. 1 施工事例

工事名：別当谷災害復旧工事  
発注者：金沢河川国道事務所  
主な工種：土工

写真－1は無人バックホウによる施工状況を遠隔操縦室から撮影したものである。別当谷災害復旧



写真－1 無人化施工状況

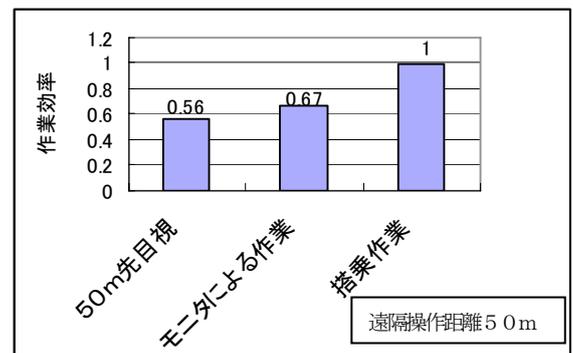
工事では土石流により破損したえん堤の腹付け作業を、遠隔操縦バックホウで行っている。遠隔操作は①有線の固定カメラ、②無線の車載カメラ、③目視を併用している。

他にも北陸地方整備局管内では、堆積土砂の除去、工事用道路の仮設、構造物の基面掘削整正を行った事例がある。作業は目視作業が標準であるが、操作距離50mを越える場合を境に、目視作業困難となるため、無線で伝送された車載カメラの映像を、モニターで見ながらの、遠隔操作を行っている。

### 2. 2 施工効率

掘削積み込み作業効率を、遠隔操作距離50mにおいて目視作業、モニタ作業、搭乗作業で比較した結果を図－1のグラフに示す。

映像機器を使用することによる効果が小さく、モニタ作業に残された課題改善の余地がある。



図－1 作業効率の比較

### 3. 映像に関する課題

#### 3. 1 無人化施工の課題

平成17年度に、金沢河川国道事務所管内及び松本砂防事務所管内で無人化施工を実施した9工事のオペレータに対するヒヤリングを実施し、無人化施工機械の操作性向上についての実態調査、現状把握、問題点や課題の整理を行った。また、独立行政法人土木研究所が平成15年度取りまとめた「遠隔

操作施工におけるマンマシンインターフェイスの実態調査」の結果を統合し、無人化施工機械の実態としてとりまとめた。

この結果、映像に関する意見としては表-1のようなものがあった。効率化を進めるために「カメラの画角が狭い」という項目に着目し、検討を行うものとした。

表-1 無人化施工の課題

	北陸管内 9工事	マンマシン インターフェイス 実態調査
カメラの画角が狭い	○	○
遠近感がない	○	○
目が疲れる	○	○
モニターが不足		○
機械の異常がわからない。		○
作業エリアの凹凸が見づらい		○
画質が悪い	○	

意見あり○

### 3. 2 検討項目

カメラ・映像関係装置は民間企業による開発が急速かつ高度に進んでおり、汎用性の高い機器であることから、課題を解決するための機器開発及び改善構想は北陸技術事務所では行わず、現地実態調査により必要なカメラ画角、モニターの大きさ、台数の検討を行うものとした。

## 4. 視界実態調査

### 4. 1 有人作業時の視界

#### (1) 調査方法

有人操作の際のオペレータの視線を、眼球の動きを捉えて表示するアイマークレコーダに記録しその結果から無人化施工用カメラに必要な視界の検討を行った。アイマークレコーダに関する用語を表-2に示す。

調査に使用した機種、作業内容を下記に示す。

機種：バックホウ1. 4m<sup>3</sup>級

作業内容：掘削、旋回、積み込み（10tダンプトラックへ）を3回（図-2参照）

走行内容：30m四方の場所一杯を使って前進、後進、右左折90°各1回 旋回2回

表-2 アイマークレコーダに関する用語

アイマークレコーダ	眼球の動きを捉えることで、注視している中心点（以後注視点という）を記録する装置
中心視野 ※1	人間の目は前述の注視点から左右約10°づつの範囲では物体の形を詳細に認識出来ると考えられる。この範囲を中心視野という。
周辺視野 ※1	物体の動き程度を認識できる範囲を周辺視野という。

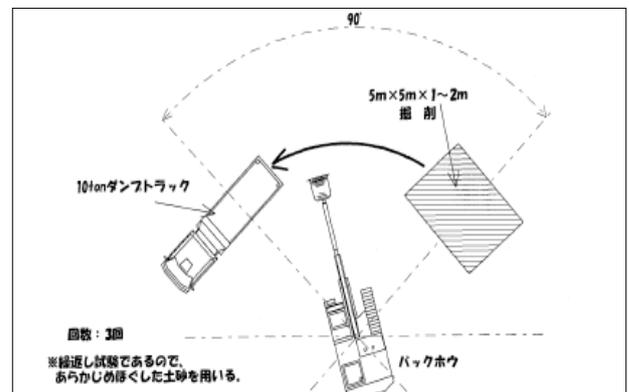


図-2 視界実態調査(バックホウ)

#### (2) 調査結果 (カメラに必要な画角)

アイマークレコーダを使った、バックホウ有人運転時の視野の記録を写真-3に示す。

視野の範囲は注視点の範囲を示しているので、バックホウに搭載のカメラは、この色塗りされた範囲プラス中心視野分10度の画角を持つカメラであれば、最低限の作業が可能と考えられる。

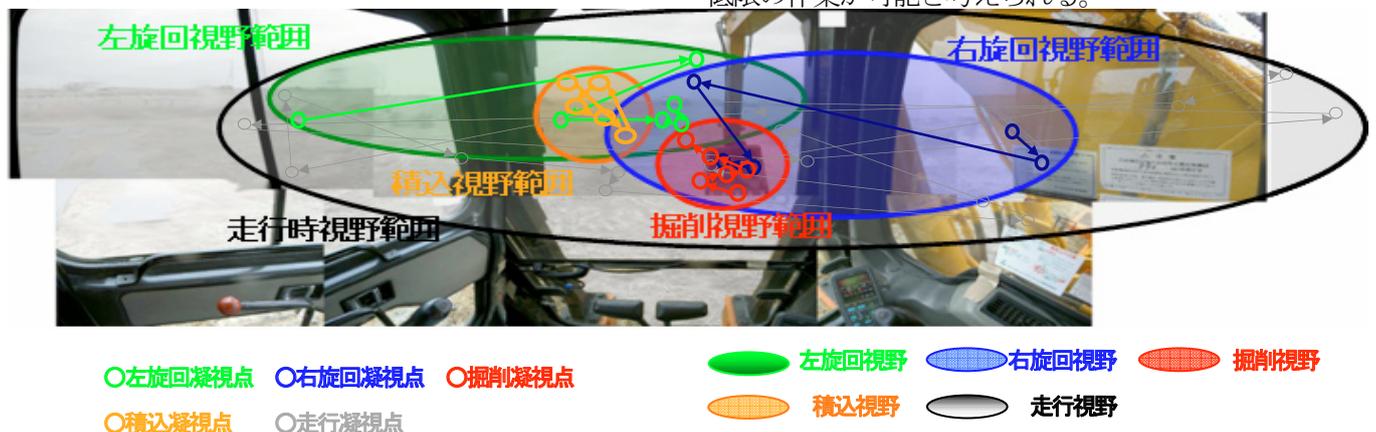


写真-3 有人作業時の視野

周辺視野については、有人作業においても無意識に目に入る程度であるので、サブのカメラで捉えればよいと考えられる。

写真-3の視界の範囲を平面図に記載したものを図-3、4に示す。

図中に必要視野範囲として示した箇所は記録された注視点に中心視野の範囲として外側に左右それぞれ10°を加えている。

この図からカメラの画角は掘削時左右110度、上下60度。走行時は、左右135度、上下70度必要なことがわかる。

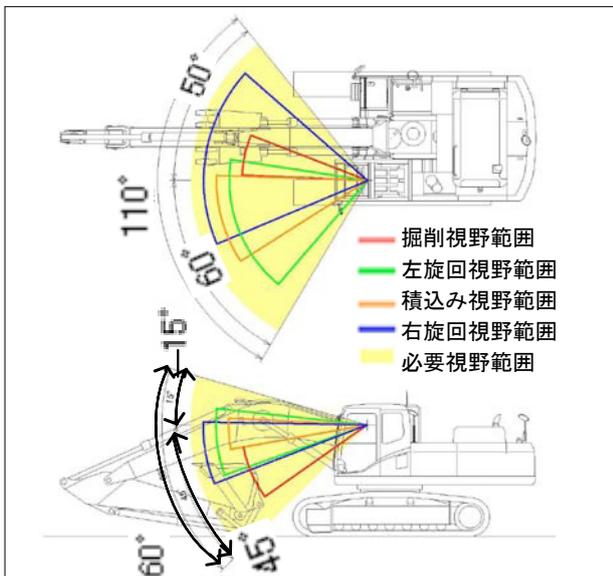


図-3 有人作業時の視界(掘削)

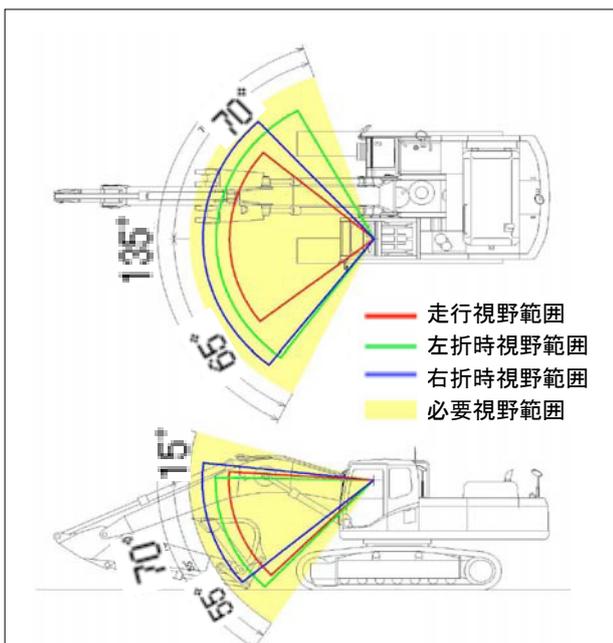


図-4 有人作業時の視界(走行)

## 5. モニタによる遠隔操縦

### 5. 1 調査方法 (モニタ用画像の取得方法)

遠隔操縦バックホウのキャブ上に汎用無線車載カメラを3台、試験フィールド内に汎用無線固定カメラを3台設置し、モニタを見ながら遠隔操縦を行った際の、車載カメラ画角、モニタの大きさ、1画面の分割数の違いと作業効率について調べた。カメラの水平画角は標準60度と、広角92度の2種類である。図-5にカメラの配置状況をを示す。

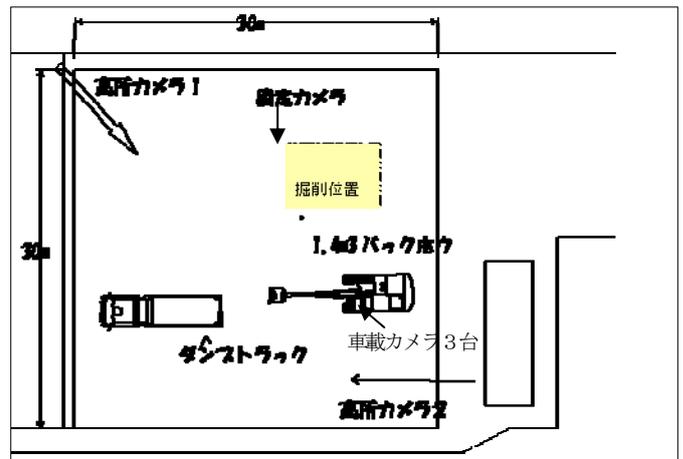


図-5 カメラ配置箇所

### 5. 2 モニタの配置

取得した画像を図-6左の配列で6台のモニタに出力した。

路面の凹凸等、微細な箇所も注視する車載カメラのモニタについては標準20型と大画面32型の2種類を用意した。また、1モニタを4画面に分割した場合との比較を行うため、図-6右の4分割モニタ1台にも出力した。

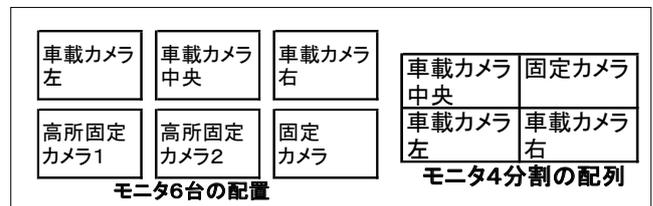


図-6 モニターの配列

### 5. 3 調査結果 (モニタの違いによる作業効率)

測定項目は表-3の4つのパターンで掘削→ダンプトラックへの積み込み作業(「3. 視界実態調査図-2」と同じ。)を行った際のサイクルタイム計測とオペレータの視線記録とした。

図-7に作業のサイクルタイム結果を示す。

従来からの映像取得方法である車載カメラ1台にモニタ1画面の無線標準に対して、カメラの画角が広い場合、サイクルタイムは短くなった。カメラ画角は作業効率に影響を与えている。モニタの大きさは作業効率に影響を与えず、画面分割は効率を悪くしている。

表-3 モニタに関する試験パターン

	車載カメラ		固定カメラ		モニタ	
	台数	規格	台数	規格	台数	規格
①無線標準	1	水平画角62°	3	水平画角62°	4	20インチ
②無線広角	3	水平画角92°	3	水平画角92°	6	20インチ
③無線広角大画面	3	水平画角92°	3	水平画角92°	6	32インチ
④広角画面分割	3	水平画角92°	1	水平画角92°	1	32インチ

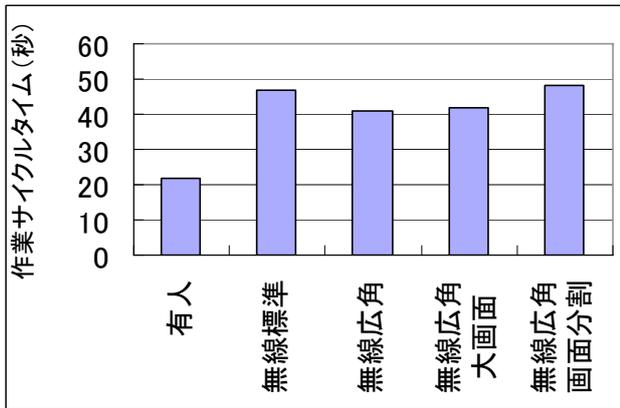


図-7 映像機器の違いと作業効率

## 5. 4調査結果 (モニタの注視状況)

### (1)モニタを6台配置した場合

写真-4にオペレータがモニタのどの部分を注視しているか、アイマークレコーダにより記録した結果を示す。

○で示す箇所がオペレータの注視していた部分である。ほとんど、掘削箇所の映っている中央-上のひとつのモニタを見ている。モニタの大きさを換えても傾向は同じである。

あまり多くのモニタを使っても効率はよくなるだけでなく、気分が悪くなり、目も疲れる。

頻繁に使用する掘削箇所のモニタに対し、広い視界や、端部の映像がゆがまない機能が必要である。

その左右は、まれにしか使わないため、できるだけ視野に入らないよう措置し、疲労の原因とならないようにすべきである。

例えば、常時見ているモニタを一台用意し、他はフットペダル等のスイッチを使って、必要な時、必要な映像のみ、別の小さなモニタに出力する等の方法がある。



写真-4 オペレータの注視点(モニタ6台)

### (2)モニタ1画面を4つに分割した場合

画面分割した際のオペレータの注視点を写真-5に示す。ほとんど画面左上の掘削箇所の映像を見ており6台のモニタを使った場合と同じ傾向である。



写真-5 オペレータの凝視点 (画面分割)

## 4. まとめ

無人化施工機械について、操作性の向上を目的に、車載カメラ等の映像装置に必要な機能のとりまとめを行った。この結果下記のことが考察された。

- ①車載カメラは、走行時に最も広い水平画角が必要で、135°程度である。
- ②モニタ作業を行う際は、掘削画面を注視して行い、旋回時のみ他のモニタを見ている。
- ③複数台のモニタを交互に見ながら作業することは、気分が悪くなるため困難である。

今回の結果を、無人化施工による砂防工事の施工技術や、機器の新たな開発に役立てていただければ幸いです。

※1 福田忠彦著：ヒューマンスケープ-視界の世界を探る 1996.6 日科技連出版社