

無人化施工機械の操作映像向上化について

宮野 博匡

関東技術事務所 施工調査・技術活用課 (〒270-2218 千葉県松戸市五香西6-12-1)

現 大宮国道事務所 管理第二課.

本検討は、迅速な作業が必要とされている無人化施工機械による災害復旧作業の効率化を目的に、現在実用化されている映像技術（カメラ）を活用し、無線操縦式バックホウの視認性の向上について、映像技術の調査・検討し、関東技術事務所が保有する無人化施工機械（無線操縦式バックホウ）へ実際に映像装置を搭載し、試験ヤードでの模擬作業による作業性の比較検証を行ったものである。

キーワード 無人化施工、視認性向上、作業効率向上

1. はじめに

河道閉塞・法面崩壊、火山噴火による火砕流・土石流等の災害現場においては、無人化施工機械を用いることが想定される。

無線操縦式バックホウは搭乗操作に比べ、無線操縦による操作の遅延や、カメラの視認性不足によるバケット位置や奥行きが把握が困難なため作業効率が6～7割程度に低下している。

本検討では、災害復旧作業初期の現場への進入路の確保や、支障物の撤去作業を迅速かつ効率的に行うため、無線操縦式バックホウにおいて、映像技術による視認性を改善することにより、作業の効率と安全性の向上を目的として、調査検証を行ったものである。

2. 映像技術の選定

近年実用化されている映像技術の技術調査を行い、視認性の向上（画角、画質）を重点に使用実績が高い4技術を検証対象として抽出した。

抽出した技術は操作時に必要となる「前方映像」、走行時や周辺確認に必要となるやや上部からの合成映像を表示する「俯瞰映像」について、また、カメラをバックホウ上部に設置したカメラの映像を表示する「鳥瞰映像」システムの検証を行う。

①「車両搭載型制御カメラ（前方映像）」②「俯瞰映像提示システム（俯瞰映像）」③「鳥瞰映像システム（鳥瞰映像）」④「従来型車載カメラ（前方映像）」

なお、無人化施工現場において使用されていることの多い④「従来型車載カメラ」は比較対象技術として選定

した。各技術の詳細を表-1に示す。

表-1 選定技術

①車両搭載制御カメラ(前方映像技術)	表示画面・特徴
	 画質:ハイビジョン(1920*1080) 機能:360°の旋回が可能 実績:無人化施工での実績多数
②俯瞰映像提示システム(俯瞰映像技術)	表示画面・特徴
	 画質:ハイビジョン相当(92万画素) 機能:複数カメラの映像を合成した俯瞰映像 実績:無人化施工での実績あり
③車両搭載制御カメラ+鳥瞰映像	表示画面・特徴
	 キャビン後方上部の車両搭載制御カメラ2台による鳥瞰映像
④従来型車載カメラ(前方映像技術)	表示画面・特徴
	 画質:スタンダード画質(640*480) 機能:カメラ2台2画面の映像 実績:無人化施工での実績多数

3. 実用性の検証

3.1 検証の概要

実用性検証は、無線操縦式バックホウへカメラを設置し、無人化施工現場にて実際に無線操縦式バックホウの操作実績を有する熟練オペレータ1人により試験ヤードにおいて以下の検証を実施した。

(1) 検証技術

検証を行う技術は、前項2. で選定した4技術に加え、「車両搭載型制御カメラ」（以下HD車載カメラという）と「俯瞰映像」を組み合わせた1技術の計5技術で行った。

① 「従来型車載カメラ」

キャビン上部カメラ2台による前方映像

② 「HD車載カメラ」

キャビン上部のカメラ1台による前方映像

③ 「俯瞰映像システム」

複数カメラによる合成俯瞰映像

④ 「HD車載カメラ+鳥瞰映像」

②に加え、キャビン後方上部のHD車載カメラ2台による鳥瞰映像

⑤ 「HD車載カメラ+俯瞰映像システム」

③と④を組合せた映像システム

(2) 模擬作業による検証

無線操縦式バックホウが活用される作業は、災害発生後、本格的な復旧作業を開始するまでの初動作業である。具体的には、①作業現場への移動（走行）②排水ポンプ等設置のための造成（掘削、排土）、③道路啓開（除去、移動）が考えられ、それに相当する動作を、図-1の試験ヤードにて現場を直接目視せずバックホウに搭載したカメラ映像のみで行った。

併せて、鳥瞰画像に使用するHD車載カメラの設置位置については、使用実績が無いため取付位置を変更しながら、最適な設置位置を検証した。

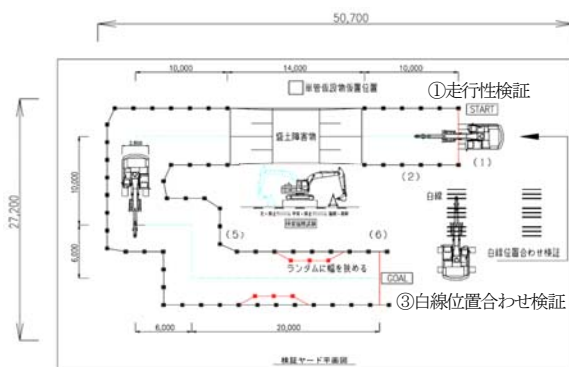


図-1 試験ヤード

① 走行性検証

初動作業時の走行路は直線とは限らず、また、平坦性も確保されているとは限られないことから、走行路

の途中で盛土障害物を設置し、また、クランク部を複数設置し、走行性を走行時間により評価した。

② 単管仮設物把持開放検証

検証ヤードは土砂の掘削ができないため、単管で作った仮設物を把持し、旋回後、開放することにより、掘削の模擬動作として、初動作業時の単純掘削や障害物の除去を想定し、把持解放時間、指定位置と仮設物解放時の離隔により評価した。

③ 白線位置合わせ検証

車載カメラは奥行き感がつかみづらいことが多く、従来の無人化施工では奥行き感を補完するため別途、外部カメラを設置している。

しかし、無線操縦式バックホウを使用する初動作業では、車載カメラでの作業を想定しており、車載カメラのみでバケットの刃先を3本の白線に合わせる動作により検証し、評価は奥行き感が補完できるか否かを白線と刃先の離隔で行った。

なお奥行き感は、使用するカメラにより、焦点等も含め、異なる可能性があるため、遠距離、中距離、近距離の3ケースの検証を行った。

(3) 視認性の検証

視認性の検証は試験ヤードでの検証を行いつつ実施した。

「HD車載カメラ」のみでの検証は、画角が狭く前方と左右の履帯が同時に見えないことが判明し、安全性が確保できないと判断し、前述の①～③の検証を取り止めた。



写真-1 履帯が確認出来ない状況

HD車載カメラでの鳥瞰画像については、バックホウ後方に設けた仮説取付架台の左右にカメラを設置し、高さ、前後、左右幅方向に位置変更を行い、模擬動作での作業性及び視認性を検証した。



写真-2 仮説取付架台

① 高さ方向

高い位置から徐々に下げながら検証を行い、位置が

低いとキャビンの影響で前方の視認性が落ちるため、最も高い 2.3m が作業性、視認性が良い結果となった。

② 前後方向

最後方から前方へそれぞれ検証を行い、中間、最後方ではキャビンの影響で視認性が落ちるため、最前方が作業性、視認性が良い結果となった。

③ 左右幅方向

幅方向については、幅を狭くすると前方の視認性が悪くなることは明らかであるため、幅狭方向は、左右 -0.5m の 1 ケースのみとし、左側のみ+1m 張り出したケースを検証することとした。

左+1m 張り出しについては、作業性、視認性が良いとのオペレータの意見であった。理由は、前方視認性に関し、カメラを張り出すことでキャビンの影響をまったく受けないという点、履帯と上部旋回体が同時に視認できる点、併せて左方向の離隔が確認できる点が挙げられる。

なお、右側については左同様張り出しし、検証を行ったが、障害となるキャビンが右側には無いため、張り出しの効果は見られなかった。

④ 右取付位置調整他

オペレータの意見を参考に右側カメラ位置を仮説架台下部へ変更した。

架台上 2.3m にカメラを設置した場合、地面とバケットの離隔距離は、斜め方向からの映像になるため、視認性に誤差が生じ、低い位置から写すことで誤差を少なくできると考えられる。

オペレータからも、地面から 10cm 程度の範囲は分からなかったが、分かりやすくなったとの感想を得た。

さらに左側カメラ前後方向についても前方視認性に関し、キャビンの影響をまったく受けないという点、履帯と上部旋回体が同時に視認でき、かつ履帯の 2/3 が視認できる点、併せて左方向の離隔が確認できる点を考慮し、最前方から中間位置へ変更し、最終位置を決定した。

俯瞰映像については、合成表示を行うため、メーカー技術者により、最適な位置へカメラを設置している。

表-2 鳥瞰カメラ設置状況



表-3 俯瞰カメラ設置状況



3.3 検証結果

実用性検証状況および検証結果を、以下に示す。

表-4 検証状況



表-5-1 実用性検証結果 1 / 2

検証システム	検証回数	実用性検証項目		
		全体平均タイム	平均走行時間	平均把持開放時間
① 従来型カメラ	3回	5分31秒	3分33秒	1分59秒
② HD車載カメラ	-	-	-	-
③ 俯瞰映像システム	5回	5分32秒	3分38秒	1分54秒
④ HD車載カメラ+鳥瞰映像システム	3回	4分14秒	2分44秒	1分30秒
⑤ HD車載カメラ+俯瞰映像システム	5回	4分40秒	2分55秒	1分45秒

表-5-2 実用性検証結果 2 / 2

検証システム	仮設物把持解放結果		白線位置検証結果	
	最長距離	偏差	最長距離	偏差
① 従来型カメラ	0.79m	19.06~239.07	0.82m	24.83~6.92
② HD車載カメラ	-	-	-	-
③ 俯瞰映像システム	0.44m	17.46~103.97	0.40m	24.82~5.62
④ HD車載カメラ+鳥瞰映像システム	0.41m	6.25~47.25	0.05m	8.16~20.55
⑤ HD車載カメラ+俯瞰映像システム	0.44m	19.75~130.75	0.06m	8.16~20.55

3.4 検証の分析

(1) 走行性検証結果

③HD車載+鳥瞰については、前方視認性、左右の履帯や視認性が最も優れているため、安心して走行ができていないのではないかと考えられる。

④HD車載+俯瞰については、前方視認性が優れていることと、左右の離隔が識別できるため、安心感があつたと考えられる。⑤俯瞰映像のみについては、俯瞰カメラの合成により、車載カメラ的画像は映し出せるものの、従来技術以外の2種類と比べると安心感という点で劣る部分があつたのではないかと考えられる。

(2) 仮設物把持解放結果

③HD車載+鳥瞰については、標準偏差が、6.25~47.25であり、すべての方向で安定していると考えられる。奥行き感と高低差の補完が鳥瞰カメラでできているため、数回にわたる検証でも方向に対してばらつきがでなかったのではないかと考えられる。

次にばらつきが少なかったのは、⑤俯瞰映像である。俯瞰映像は、画面合成で奥行き方向の距離補正が完全ではなかったが、左右方向は、ほぼ補正ができていることと、比較的、距離補正がしっかりしている遠距離で視準し、それに合わせて設置したため、安定したのではないかと考えられる。また、常に安定した画面合成ができていると考えられる。

④HD車載+俯瞰については、オペレータがHD車載と俯瞰映像の距離感等の違いによって、ばらつきがでたものと考えられる。従来技術については、奥行き方向にばらつきがひどく、奥行き方向が判別できていないと考えられる。

(3) 白線位置合わせ結果

③HD車載カメラ+鳥瞰と④HD車載カメラ+俯瞰映像システムの2つは、鮮明な画像とズーム機能により、良い結果となつたと考えられる。

⑤俯瞰映像については、前述したが、仮設物把持開放検証と同様、奥行きは、遠距離方向で画像合成の誤差が少ない結果となつた。

①従来技術については、遠距離で誤差が少ない結果もあれば、全体的に誤差がでている結果もあり、奥行き方向が判別できていないと考えられる。

4. まとめ

4.1 検証結果

遠隔操縦式バックホウの視認性向上に必要な映像技術について、調査及び検討の結果、すべての検証にお

いて③HD車載カメラ+鳥瞰映像システムが最も良い結果となつた。

HD車載カメラは従来型カメラと比較すると鮮明な映像のため、障害物や地面とのバケットの距離が確認しやすく、左鳥瞰カメラは奥行き感の補完、右鳥瞰カメラは左に比べ低い位置にカメラを設置したことで高低差の補完、かつ、左右の鳥瞰カメラを比較することで、奥行きがとらえやすいと考えられる。

表-6 カメラ映像の比較



4.2 今後の計画

検討の結果以下の課題について、検討を行い、遠隔操縦式バックホウの視認性向上を目指す。

(1) 複数人のオペレータによる映像技術の検証

本検討では、映像の効果やカメラ設置位置を決定するため、一人の熟練オペレータで検証を実施したが、実現場においては、熟練オペレータが必ず従事するとは限らないため、非熟練者と熟練者の検証を行う。

(2) HD車載カメラの再検証

検証を行ったHD車載カメラは、画角が狭く、安全性確保の観点で走行性検証を中止したが、画角の広いHD車載カメラによる再検証を行う。

(3) モニターの配置検討

オペレーターへ提供しているモニター映像の配置により、作業効率に変化することが想定されるため、最適なモニターの配置方法についても検討を行う。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人土木研究所
国立研究開発法人情報通信研究機構
建設機械の遠隔操作技術向上に関する共同研究報告書