

3. 遠隔操縦式バックホウの視認性向上について

国土交通省 関東地方整備局 関東技術事務所 ○ 宮野 博匡
 国土交通省 関東地方整備局 施工企画課 長山 真一

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、遠隔操縦式バックホウを活用し災害復旧を行うことが想定されており、復旧作業の初期段階では、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必要がある。

本報告は災害復旧作業の効率化を目的に、平成29年度に実施した映像技術による視認性向上に関する、調査及び検証の結果について紹介する。

2. 映像技術の選定

近年実用化されている映像技術を中心に技術調査を行い、施工時に必要となる「前方映像」と、走行時や周辺確認に必要となるやや上部からの「俯瞰映像」について、安全性の向上（画角、画質）を重点に、使用実績が高い技術を抽出した。

そのなかから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「従来型車載カメラ（前方映像）」3技術を検証対象選定した。

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③「従来型車載カメラ」は比較対象技術として選定した。

表-1-1 選定技術①②

①車両搭載型制御カメラ(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

表-1-2 選定技術③

③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、遠隔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3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）2台を使った「鳥瞰映像」を組み合わせた2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

遠隔操縦式バックホウが活用される作業は、災害発生後、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工事用道路の築造、②排水ポンプ設置のための造成、③道路啓開（掘削、排土）、④堆積土砂の撤去準備であり、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。

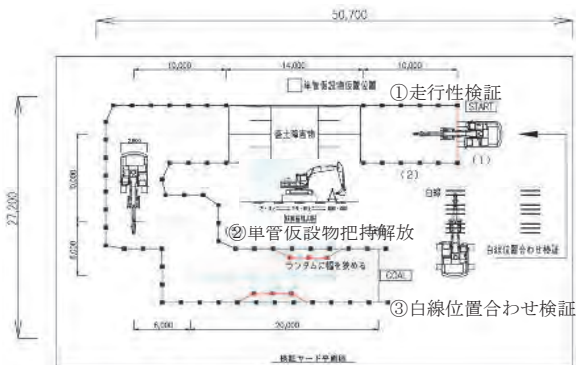


図-1 試験ヤード

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、単管で製作した仮設物を把持し、回転後、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、遠隔操縦式バックホウを使用する初動作業では、外部カメラがない状態での作業のため、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、奥行き感が補完できるか否かを白線と刃先の離隔で評価した。

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の検証を中止した。



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

高さは、キャビン後方上部から2.3m、2m、1.5mの3ケースについて、それぞれ検証し、高い位置から徐々に下げながら確認を行った。

高さについては、カメラ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

高さ同様に最前方、中間、最後方の3ケースについて、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。幅狭方向は、やはり視認性が落ちる結果であった。

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、右側についても左同様張り出しし、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、適切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

左側鳥瞰カメラ設置位置	右側鳥瞰カメラ設置位置
	
高さ: 後方上部 2.3m 前後: 中間位置 左位置: 車幅+1m	高さ: 架台下部 前後: 最前方 右位置: 車体端部
表示状況	
	

表-3 俯瞰カメラ設置状況

左右俯瞰カメラ設置位置	前後カメラ設置位置
	
表示状況(俯瞰映像システム+HD車載カメラ)	
	

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。
なお、③HD 車載カメラ+鳥瞰映像システムの検証は、最終カメラ位置決定後の検証とし 3 回実施した、その他各技術の検証回数は以下のとおり。

- ① 従来型カメラ 3 回
- ② HD 車載カメラのみ 検証未実施
- ③ HD 車載カメラ+鳥瞰映像 3 回
- ④ HD 車載カメラ+俯瞰映像システム 5 回
- ⑤ 俯瞰映像システム 5 回

表-4 検証状況

試験ヤード全景	操作状況
	
把持解放状況	把持解放操作状況
	
白線合わせ状況	白線合わせ操作状況
	

表-5-1 実用性検証結果 1 / 2

検証システム	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	5分31秒	3分33秒	1分59秒
② HD車載カメラ	-	-	-
③ HD車載カメラ+鳥瞰映像システム	4分14秒	2分44秒	1分30秒
④ HD車載カメラ+俯瞰映像システム	4分40秒	2分55秒	1分45秒
⑤ 俯瞰映像システム	5分32秒	3分38秒	1分54秒

表-5-2 実用性検証結果 2 / 2

検証システム	仮説物把持解放結果		白線位置検証結果	
	最長離隔距離	標準偏差	最長離隔距離	標準偏差
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 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
④ 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
⑤ 俯瞰映像システム	0.44m	17.46~103.97	0.40m	24.82~5.62

3.4 検証の分析

(1) 走行性検証結果

走行時間については、③HD 車載+鳥瞰、④HD

車載+俯瞰、①従来型カメラ、⑤俯瞰映像の順番となった。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、車載カメラ的画像是映し出せるものの、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+鳥瞰が、すべてにおいて良い結果であつた。

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つたのではないかと考えられる。

次にばらつきが少なかつたのは、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つたが、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つが良い結果であつた。

この2つのシステムについては、HD 車載カメラを使用しており、その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

	鳥瞰左
従来型カメラ①の映像	
従来型カメラ②の映像	HD車載カメラ
	鳥瞰右

4.2 今後の計画

本検討により、検討が必要となる以下の課題について、H30年度に引き続き検討を行い、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

今年度は、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、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い、非熟練者に対しても各映像システムの効果があるのか検証を行う。

(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 車載カメラの調達が可能となつたため再度検証を行う。

(3) カメラ取付架台の設計

本検証では、取付位置の検証が必要であつたため、仮設の取付架台としているが、検証結果を反映した、取付架台の設計を実施する。