

無人ラフテレーンクレーンの開発

樋口昌幸・笠原邦昭・加藤 学

砂防工事現場や災害復旧現場における作業の安全を確保するため、バックホウなど各種建設機械の無人化施工技術が開発されてきた。

しかし、現在の無人化施工技術では、資機材を吊上げ遠方に移動する技術がなく、安全な施工をするには多大な仮設費用が掛かるなどの課題があった。

そこで資機材を遠方に移動するのに最適で、機動性に優れた無人ラフテレーンクレーンの開発を行ったので報告する。
キーワード：無人化施工、遠隔操縦、クレーン、砂防工事、災害復旧

1. はじめに

北陸地方は急峻な地形であり、冬期の降雪など厳しい気象条件や急流河川が多い河川特性から、洪水や土砂崩落、土石流などの災害が発生する危険性が高い地域である。

これまで国土交通省北陸技術事務所では、特に災害発生の高危険性砂防工事現場や災害復旧現場における作業の安全を確保するため、バックホウ等各種建設機械の無人化施工技術の開発を行ってきた。

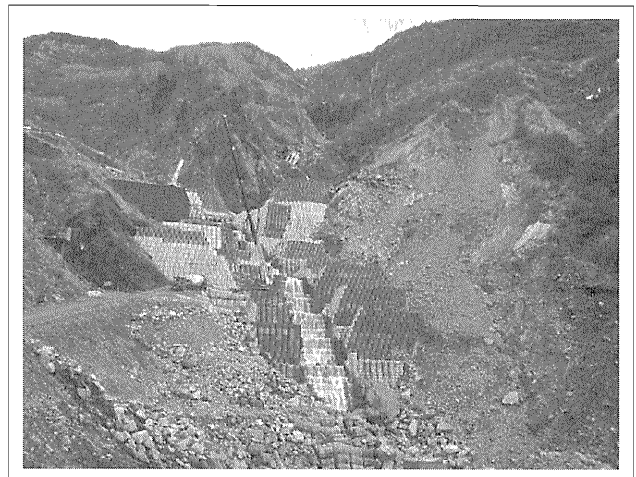
しかし、現在の無人化施工技術では資機材を吊上げ遠方に移動する技術がなく、施工性の低下を招いていた。そこで資機材を遠方に移動するのに最適で機動性に優れた無人ラフテレーンクレーンの開発を行ったものである。

本報文は、無人ラフテレーンクレーン開発の概要と性能試験結果について報告する。

2. 開発の背景

金沢河川国道事務所白峰砂防出張所管内の柳谷上流は、古くから地すべり対策事業により多数の砂防堰堤が作られているが、度重なる地すべりと溪岸浸食により不安定な状態にあり、落石や土砂崩落が絶えることのない状況である（写真—1）。

また、河床勾配が1/2~1/3と大変急であることから、降雨による土石流が発生する危険性が高い。これらのことから、土砂流出による土砂災害防止のため、



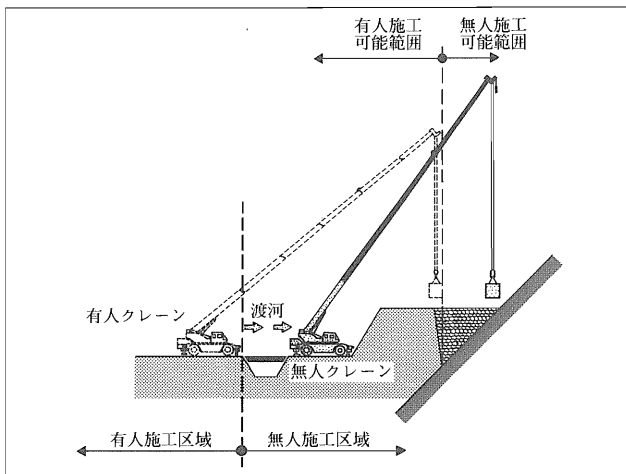
写真—1 柳谷工事現場

砂防堰堤などの砂防施設を整備する必要がある。

しかし、作業員が立入り施工することは大変危険であり、加えて安全対策を講じることが困難である施工現場である。

作業員の安全を確保するため、施工現場を「有人施工区域」と「無人施工区域」に分け、工事を行っている（図—1）。

従来の無人施工区域での施工は、有人施工区域に設置した移動式クレーンにより、コンクリート打設からレイタンス処理まで一連の工程を、各種アタッチメントを使用し無人化施工を行っていた。しかし、有人施工区域からの施工では作業可能範囲に限界があり、さらに大型のクレーンを導入することは、現場が狭隘なためできないことから、クレーンを無人施工区域に設置する必要がある。



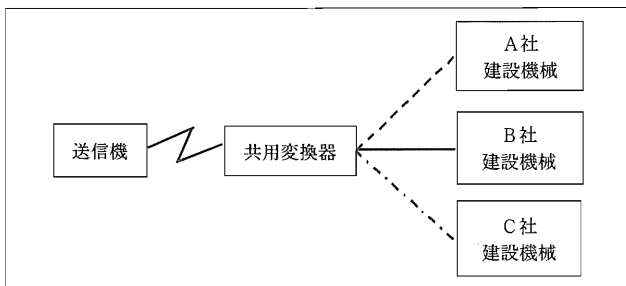
図一 無人ラフテレーンクレーンの効果

しかし、無人施工区域には作業員の立入りを禁止しているため、クレーンのみを無人施工区域に設置し、遠隔操作を可能とする「無人クレーン」が必要になった。

3. システムの概要

(1) 無線操縦システム

北陸技術事務所では、各種建設機械（バックホウ等）の無人化施工技術の開発を「共用変換器方式」で行ってきた。これは、複数社の各種建設機械を同一の送信機で操作が可能なシステムである（図一2）。



図一2 共用変換器の概要図

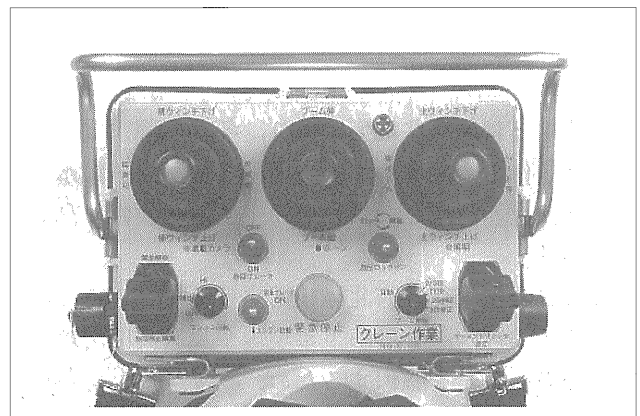
一般に普及している遠隔操縦用建設機械の送信機は通常、各建設機械の製作メーカー毎に、操作レバーの位置・操作方向などが異なり、安全に効率良く作業を行うには送信機の「慣れ」が重要なことから、「専用のオペレータ」が必要という問題点があった。

北陸技術事務所が開発し、現在運用している共用変換器方式の無線操縦システムは、複数社の規格の異なるバックホウ、ブルドーザ、クローラダンプを同一の送信機で操作できることから、災害時に複数社の機械を調達しても、製作メーカー別のオペレータ調達が不要である。今回開発した無人ラフテレーンクレーンも、この共用変換器方式の無線操縦システムを採用する事とした。

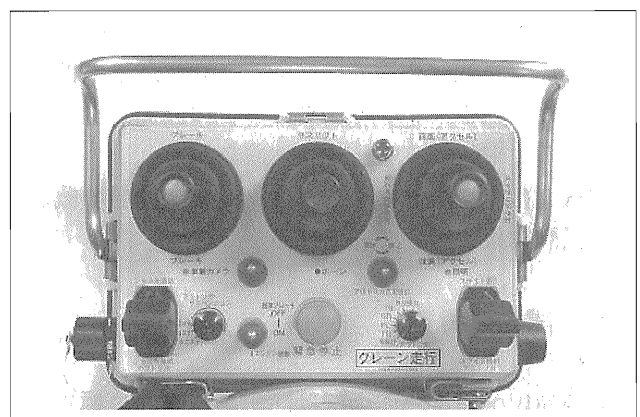
(2) 車体の改造

本機は既存の50t吊りラフテレーンクレーンを使用し、これに遠隔操作機能を改造により追加した。車体の受信機（共用変換器とセット）で受けた操作信号は、車体に追加されたコントローラにて車体制御信号に変換され、同じく追加された電磁比例制御弁等の制御機器を通じて、車体の各油圧システム、走行システム等が作動する。このシステムでは、遠隔操作と有人操作をスイッチの切替えにより簡単に選択できる。

クレーンの操作項目はバックホウ等に比べ多く、現在の無線操縦システムに使用している送信機1台で、全項目の操作をすることは困難であったので「走行」、「作業」の機能に分けて、2台の送信機にて、ラフテレーンクレーンの必要項目の操作を可能とした。なお、安全のため、2台の送信機にはそれぞれにIDコードを設定することにより、混信しない構造とした（写真一1、写真一2）。



写真一2 作業用送信機

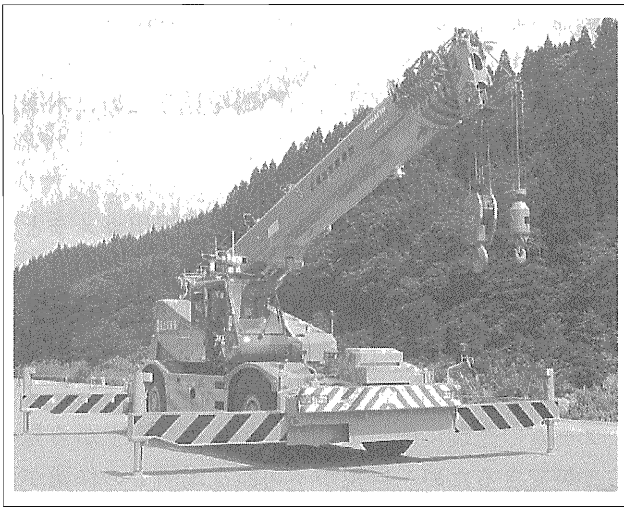


写真一3 走行用送信機

(3) 無人ラフテレーンクレーンの特徴

無人ラフテレーンクレーン（写真一4）の特徴として下記が挙げられる。

- ① 遠隔操作が可能な50t吊りラフテレーンクレーン。
- ② 遠隔操作時の操作有効距離は約150m。



写真一4 無人ラフテレーンクレーン

- ③ 有人操作時における一般公道の走行が可能。
- ④ 災害復旧工事に不可欠な吊り荷走行が可能。
- ⑤ 送信機は走行、作業用の2台。なお、送信機は実績がある特定小電力無線を採用、免許は不要。
- ⑥ 有人機と同様に過負荷防止装置を遠隔で監視できる過負荷防止監視システムを装備。
- ⑦ 安全性の確保と操作性の向上を目的に、映像支援システムを装備。
- ⑧ アウトリガの自動張出し装置を装備。

(4) 主な仕様

- ① 全長：11,940 mm
- ② 車両総重量：37,990 kg
- ③ 最高車速：49 km/h（遠隔操作時：10 km/h）
- ④ クレーンの能力（アウトリガ最大張出し）
 - （9.8 m ブーム） 50,000 kg × 3.0 m
 - （16.4 m ブーム） 30,000 kg × 4.5 m
 - （36.3 m ブーム） 11,000 kg × 7.0 m
 - （43.0 m ブーム） 7,000 kg × 10.0 m
 2tのブロックを約23m、1tのブロックを約29m先まで設置が可能。
- ⑤ クレーンの能力（1.6 km/h 走行、遠隔操作時）
 - 前方 6.0 t（作業半径6.5 m）
 - 全周 2.4 t（作業半径6.5 m）
- ⑥ 無線操作装置
 - ・電波区分 特定小電力無線
 - ・周波数 429 MHz 帯
 - ・通信速度 4,800 bps
- ⑦ 過負荷防止装置監視システム
 - ・電波区分 SS無線
 - ・周波数 2.4 GHz 帯
- ⑧ 映像支援システム

- ・電波区分 SS無線（画像）
特定小電力無線（カメラ操作）
- ・周波数 2.4 GHz（SS無線）
429 MHz（特定小電力無線）
- ・車載カメラ

キャビン上部カメラ	1台
主・補ウインチカメラ	2台
水準器カメラ	1台
ブーム先端カメラ	1台
- ・表示モニタ 液晶モニタ 2台
- ・操作盤 1台

4. 無人ラフテレーンクレーンの法規制

無人ラフテレーンクレーンの開発に当たっては、工場出荷時の「移動式クレーン検査証」と公道を走行するための「自動車検査証」を取得する必要があり、各関係部局と調整を行った。

(1) 移動式クレーン検査証

全作業を遠隔操作できる無人ラフテレーンクレーンは日本初の試みで前例がないため、労働局と調整を行い条件付きで製造が許可された。

主な条件は下記の通りである。

- ① ラジコン操作位置はクレーンから最大150mとし、確実に電波の届く範囲で作業すること。
- ② クレーン本体や外部警告灯・表示灯を目視確認できる位置から操作し、クレーンが障害物の陰に入らないようにすること。クレーン本体についてはモニタではなく、オペレータが確実に目視でクレーンの動きを把握できること。
- ③ ラジコンで運転する場合、クレーン本体にカメラを設置し、また必要に応じ現場にカメラを増設することにより、常に安全を確かめて運転すること。無人施工においても玉掛け作業は人に頼るケースがほとんどで、安全を確保するため車載カメラ等の設置すること。
- ④ 遠隔操作時の「吊り荷走行」では、定格荷重を安全のため搭乗操作時の70%に制限すること。

(2) 自動車検査証

ラフテレーンクレーンは公道を自走でき、不整地での走行や狭隘な場所での運用が可能など機動性が高く、一般市販クレーンでも主流となっている。

開発機のベースマシンには、この特性を生かして砂防現場の狭隘な現場や災害現場での使用を想定している。従来の無人化施工機械では、公道を走行するこ

とはなく、今回の開発が無人化施工機械として自動車検査証を取得する初めてのケースとなった。

国土交通省自動車交通局技術安全部での見解は「無人で公道を走行できる車両は保安基準に適合せず認められない。特定区域以外は走行しないという取扱い上の制限では実行性がない」というものであった。

このため、車両の構造で公道を遠隔操作できないことが求められ、種々検討、調整が行われた結果、下記の条件付きで、自動車検査証を取得することができた。

(a) 遠隔操作での走行条件

「クレーン作業中（作業姿勢）以外では遠隔操作での走行ができない構造とすること」という条件を受け、ブーム角度を15度以上を作業姿勢（車両の全高は5.83m以上）とし、それ以外の状態では遠隔操作ができない構造とした。

これにより、作業姿勢では保安基準に適合せず「違法または、違法改造で運行している」と取扱うことになるので、公道上を遠隔操作で走行することは、当然できないことになる（図-3）。

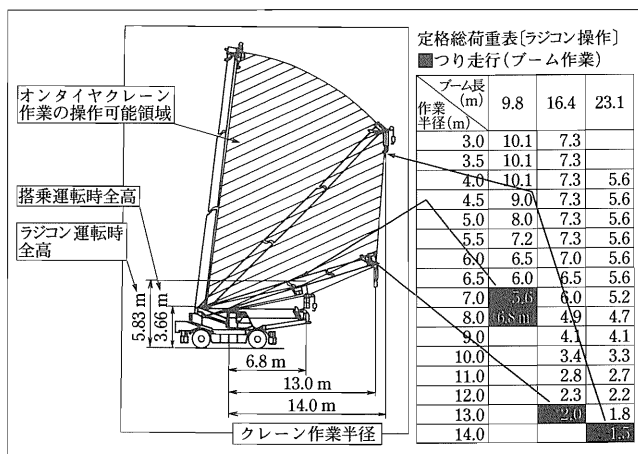


図-3 クレーンの作業姿勢（遠隔操作での走行が可能な作業姿勢の範囲）

5. 映像支援システム

遠隔地で作業を安全に施工するために、従来の無人化建設機械で使用されてきた車載カメラに加えて、各種のモニタシステムを装備した。概要は下記の通りである。

① キャビン上部カメラ

キャブの上部に設置され、有人操作時と同様な視界が確保



写真-5 キャビン上部カメラ

できる（写真-5）。

② 水準器カメラ

遠隔操作で確認が必要な水準器を見るために水準器カメラを装備している。

③ 主・補ウインチカメラ

主ウインチと補ウインチの乱巻き監視用カメラとして装備している。

上記①, ②, ③の映像を切替えにより遠隔モニタシステムに2.4GHzのSS無線で伝送している。

④ ブーム先端カメラ

ブームの先端に取付けられ、吊り荷を真上から見るができるため、目視が不可能な場所での作業が可能となった。

⑤ 過負荷防止装置監視システム

負荷状況の情報は安全な施工に対し、非常に重要であるため、遠隔操作を行う操作室に2.4GHzのSS無線で伝送し、サブモニタ装置を追加して運転席と同じ画面を見ることを可能とした（写真-6）。

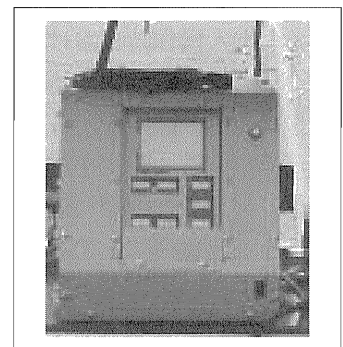


写真-6 過負荷防止装置監視システム

⑥ 固定カメラ

必要に応じて現場に固定カメラを設置することで、作業現場全体を確認し、作業を行うことができる。

6. 無人ラフテレーンクレーン性能確認試験

(1) 施工性調査概要

白峰砂防出張所管内の柳谷地区で施工中の「導流落差工」で試験施工を行い、サイクルタイムの測定とオペレータヒアリングを実施し、有人操作と無人操作の比較を行った。なお試験施工は「有人区域」、「無人区域」の2箇所で行い、「有人区域」については施工箇所を2つに分け、同じ条件で有人操作、無人操作を比較した。無人区域ではクレーンカメラの効果についても確認した。

作業項目については下記とし、ストップウォッチでサイクルタイムを計測した。

① 型枠設置工（円形型枠ブロック）

② U字溝設置工

③ コンクリート工（打設）

またオペレータに対してヒアリングを行い有人操作との比較、特に劣る項目についての原因を調査した。

(2) 試験施工結果

- ① 有人区域での試験施工では有人操作と比較し、無人操作は30%～38%の作業効率であった。

初めての現地施工であり、オペレータがまだクレーンの無人操作に熟練していないため、有人操作に比較して作業効率は低い(図-4)。

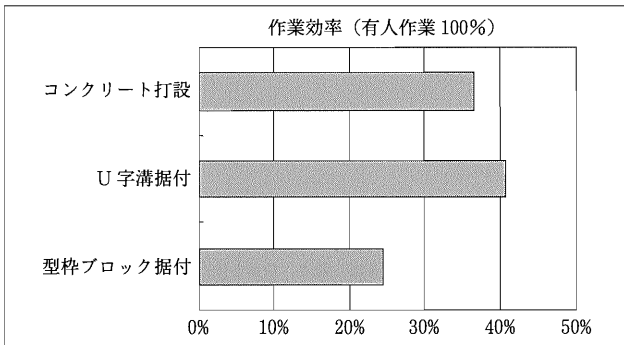


図-4 無人ラフテレーンクレーン作業効率

- ② クレーンカメラ(写真-7)を使用した無人区域での試験施工では、従来できなかった場所での作業が可能となり、特に真上から見るため設置したブロックの施工精度の確認が可能となった。

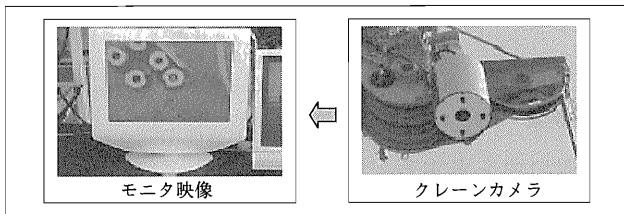


写真-7 クレーンカメラ

- ③ また渡河しての無人施工区域内の施工では、作業区域の近くにクレーンを設置するため、作業半径が小さくなることで、吊り荷重が大きくなり、コンクリートバケットが従来の1m³から1.5m³と大きい容量での施工が可能となった。
- ④ アクセル設定方法の変更について検討した。当初、遠隔操作におけるクレーン作業の安全性を考慮し、エンジン回転数(アクセル)を2段階に固定していたが、今回の改善案で3段階に改良した。その結果、施工効率的には変わらないがオペレータの評価も良く、今後操作の慣れが出てくれば改良効果が出ると考えられる。

また、アクセル固定が作業効率低下の原因との推測もあったが、有人操作ではアクセル固定でも作業効率が高く、主要因ではないと確認できた。

(3) オペレータヒアリング

主なヒアリング結果は次のとおりである。

- ① 無人操作での微操作性は有人操作と比較し、特に問題ない。

- ② 無人操作での作業用エンジン回転の設定が低いので、ブーム起伏速度が遅い。アクセルが固定で複合操作時の速度が上げられない。
- ③ 型枠設置には吊り荷の回転制御機能があると良い。

(4) 施工試験結果の考察

施工試験結果及びオペレータのヒアリング結果から、有人操作と比較して無人操作の効率が低い理由として、次のことが考察される。

- ① レバー操作量と無人ラフテレーンクレーンの動作速度の感覚がつかみにくい。特に動き始めと止めがむずかしく、操作になれていない状況と考えられる。

また、旋回については負荷により、動き始めのレバー位置が変化するため、慣れるのに時間を要すると考えられる。

- ② クロスレバーでの複合操作がむずかしい。
- ③ 遠隔操作ではクレーンの動きが体感できない。映像や目視だけでは、作業機の微妙な動きや負荷状況が分かりにくい。このため、判断が遅れ結果として操作が遅れる。

搭乗していれば作業機の動き、負荷の状況が体感でき把握できることから、適切なアクセル操作やレバー操作にて作業が行えるが、無人操作ではレバーの微操作により対応することが有人操作より難しい。

8. 結 論

白峰砂防工事現場における無人施工区域へ、無人ラフテレーンクレーンを導入したことにより、これまで作業員の安全が確保できず施工が不可能であるとされてきた施工箇所の施工が可能となった。

これにより新たな無人化施工工種が確立され、今まで難しいとされてきた他の無人化施工箇所においても活躍が期待され、作業の安全性が向上すると考えている。

また無人施工区域にクレーンが渡河できたことにより、クレーンの作業回転半径を小さくできることから、吊り荷重を大きく(約60%向上)することができた。

しかし、無人操作の作業効率は、有人操作に対し低い結果となった。これは、有人操作ではオペレータが車体の音、加速度等を体感しながら、吊り荷を揺らさないように微妙な操作をしているが、無人操作ではこれらが体感できないことから、適切な操作ができない

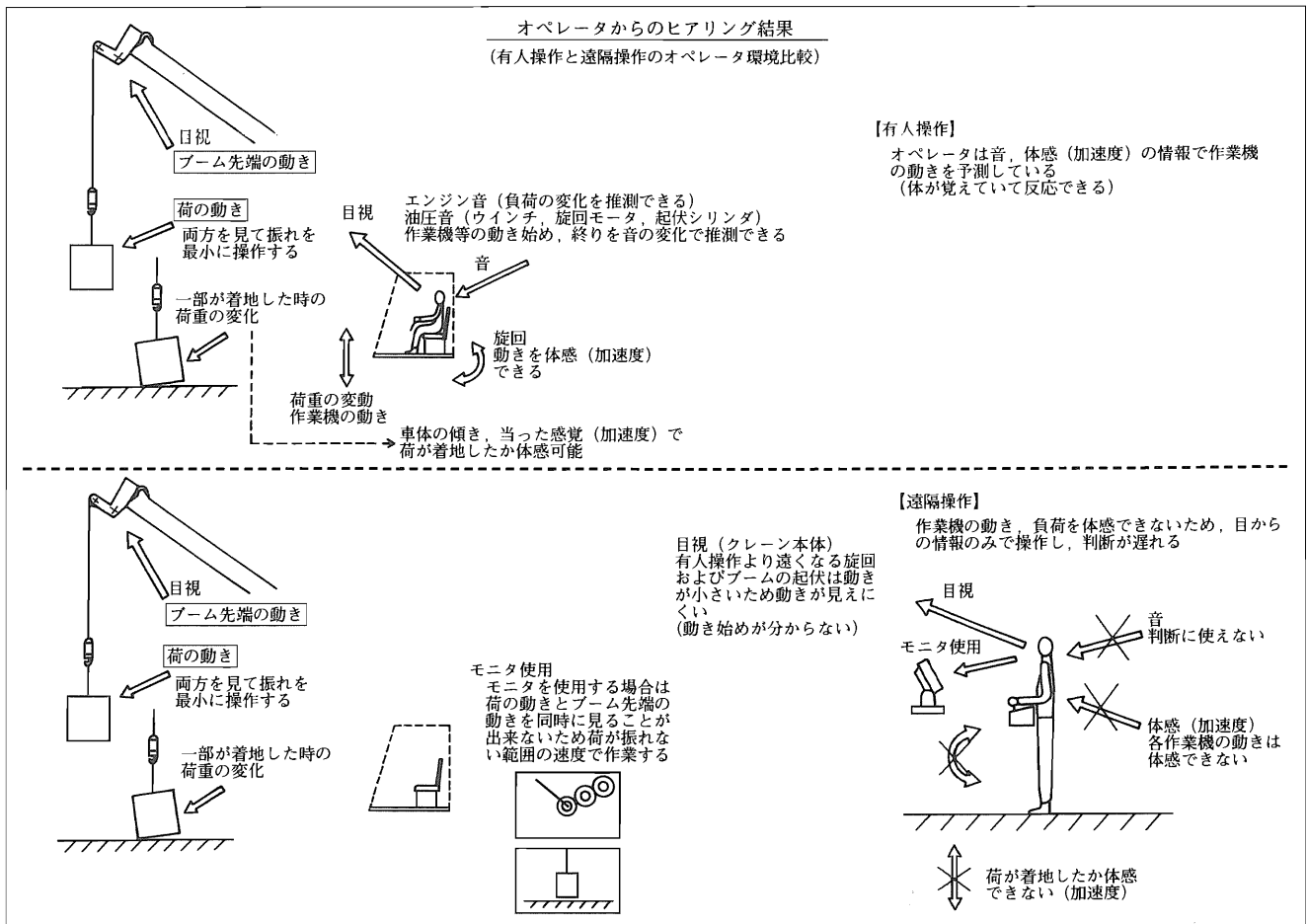


図-5 施工試験結果からの考察

ため、作業効率が低下したと考えられる。

また、今回の施工期間が短いことから、今後のオペレータの習熟により、クレーンの無人操作の効率は向上できると思われる。

9. 今後の課題

クレーンの無人操作では、機械の動きが体感できないため作業効率が低下したと考えられ、これらを補うためには映像支援装置にクレーンの動く速度を棒グラフ等で表示するなどの方法が考えられる。

また、作業の中では特に型枠等の設置での効率が大きく低下した。現状の工法で施工する場合は、吊り荷の回転を制御できる機器が既にあるので（「無線操作式・吊り荷回転誘導装置」等）、これらの活用による効率向上が可能と考えられる。また、無人化施工に適した工法に変更し、効率を上げる検討も必要と考えられる。

10. おわりに

今回の開発にあたり、ご協力いただいた関係者各位

に感謝の意を表する。

JCM A

【参考文献】

- 1) 国土交通省：「建設機械に関する技術指針」

【筆者紹介】

樋口 昌幸（ひぐち まさゆき）
国土交通省
北陸地方整備局
北陸技術事務所
機械課
課長

笠原 邦昭（かさはら くにあき）
国土交通省
北陸地方整備局
北陸技術事務所
機械課
整備係長

加藤 学（かとう まなぶ）
国土交通省
北陸地方整備局
北陸技術事務所
機械課
国土交通技官