

## 31. 無人ラフテレーンクレーンの実施工への適用

(無人化施工技術の課題)

国土交通省北陸技術事務所 機械課長 本間政幸  
○整備係長 笠原邦昭

### 1. はじめに



写真1 無人クレーンの作業状況

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。（写真1）

これまで北陸技術事務所では、災害現場や危険性が高い砂防工事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り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他、施工不可能区域があった。

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平成16年度に行っている。

ここでは、無人ラフテレーンクレーンの概要と平成16年度に実践導入した結果について、施工状況と課題を報告する。

### 2. 開発の概要



写真2 無人ラフテレーンクレーン

本機は平成14年度から平成15年度の2ヶ年にわたり、無人化施工技術検討委員会を北陸地方整備局内に設立し、検討を行い完成をみている。

無人ラフテレーンクレーンは、大型の移動式クレーンでは日本初となる遠隔操縦可能な50t吊りラフテレーンクレーンである。（写真2）

ラフテレーンクレーンは、走行と作業が同一の運転席で操作可能なため、一人の運転手が作業場所まで走行して、そのままクレーン作業を行ったり、荷物を吊ったまま走行もできる。

また、総輪ステアリングや総輪駆動を採用しており、狭隘で荒れた場所でも作業性や機動性に優れるという特徴を持った車両である。無人化にあたっては、車両の特徴をなるべく無線操縦でも生かすようにしている。

現場へ導入した無人ラフテレーンクレーンの概要は以下にとおりである。

### 3. 無人ラフテレーンクレーンの特徴

- 1) 大型の移動式クレーンでは、国内初となる遠隔操縦可能な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最大150mを確保。



写真3 遠隔操作状況

- 3) ラフテレーンクレーンは操作機能が多く、非常に複雑であることから、遠隔操作時の送信機を作業用と走行用の2台に分けることで操作の安全性を確保。（写真4）



写真4 送信機（上が作業用，下が走行用）

- 4) 走行用送信機は、前後進、ブレーキ、ステアリング操作、アウトリガ自動水平張出・格納操作などが可能。

- 5) 作業用送信機は、旋回、ウインチ、ブーム伸縮、ブーム起伏などのクレーン操作が可能。

- 6) 遠隔操縦システムの無線装置は、無線免許が不要な特定小電力無線（482Hz帯）を採用している。また、混信・通信途絶・受信異常時に自動停止させる安全技術を採用している。

- 7) 無人化施工エリアが広い場合など状況に応じて、資材を吊りながら走行を行う吊り荷走行が可能。但し、吊り荷の定格荷重は有人作業時の70%を上限とし、遠隔操縦で一般公道の走行はできない。

- 8) 遠隔操縦時にもオペレータが吊り荷の負荷状態を常時監視可能なサブモニターシステムで運転席と同じ画面を見ることが可能。（写真5）



写真5 過負荷防止装置監視システム

また、運転席上部にも外部表示灯(3色灯)を装備しており、機械外観からも負荷状況が確認できる。

- 9) 遠隔操作時の作業効率の向上と安全性の向上を目的に画像支援システムを導入している。

#### ①キャビン上部カメラ

キャブの上部に設置され、有人搭乗時と同様な視界が確保できる。（写真6）

#### 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。





写真6 キャビン上部カメラ

### ③主・補助ウインチカメラ

主ウインチと補助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の映像を切り替えにより遠隔モニタシステムSS無線（2.4GHz）で伝送している。

### ④ブーム先端カメラ（クレーンカメラ）

ブームの先端に取り付けられ、吊り荷の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。（写真7）

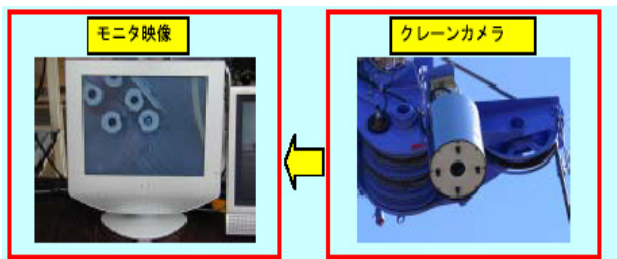


写真7 ブーム先端カメラ

10) 遠隔操作時における車両の動きは、送信機のレバー操作量に対応した制御となっており、より有人作業時の操作間隔に近づけている。

## 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、関係部局と調整を行い「移動式クレーン検査証」と「自動車検査証」を取得した。

### 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、労働局から下記の条件が付加され許可された。

#### 【厚生労働省栃木労働局より付加された条件】

- 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。
- \*上記の条件は、仕様・運用に反映されている。

## 2) 自動車検査証

ラフテレーンクレーンの機動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おり、従来の無人化施工機械では、公道を走行することではなく、今回の開発機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ることから、自動車交通局より走行条件が付加され調整の結果、自動車検査証を取得した。

#### 【国土交通省自動車交通局技術安全部より付加された条件】

「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り扱い上の制限では実行性がない」ことから、車両の構造で公道を遠隔操作できないこと。

#### 【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。

無人ラフテレーンクレーンは、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

定格総荷重表(ラジコン操作)  
■吊り走行(ブーム作業)

| ブーム長<br>作業半径(m) | 9.8    | 16.4 | 23.1 |
|-----------------|--------|------|------|
| 3.0             | 10.1   | 7.3  |      |
| 3.5             | 10.1   | 7.3  |      |
| 4.0             | 10.1   | 7.3  | 5.8  |
| 4.5             | 9.0    | 7.3  | 5.8  |
| 5.0             | 8.0    | 7.3  | 5.8  |
| 5.5             | 7.2    | 7.3  | 5.8  |
| 6.0             | 6.5    | 7.0  | 5.8  |
| 6.5             | 6.0    | 6.5  | 5.8  |
| 7.0             | 5.4    | 6.0  | 5.2  |
| 8.0             | (6.8m) | 5.0  | 4.7  |
| 9.0             | 4.0    | 4.1  |      |
| 10.0            |        | 3.4  | 3.3  |
| 11.0            |        | 2.8  | 2.7  |
| 12.0            |        | 2.3  | 2.2  |
| 13.0            |        | 2.0  | 1.8  |
| 14.0            |        |      | 1.5  |

クレーン作業半径

作業姿勢では保安基準に適合せず、公道上では遠隔操作で走行することはできない。

### 1) 施工性調査概要

調査は無人ラフテレーンクレーンを用いた無人化施工の施工効率（サイクルタイムを測定）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との比較や機械操作に対する慣れに対して次の工種を施工した。

- ①型枠設置工（円形型枠ブロック）
- ②U字溝設置工
- ③コンクリート工（打設）

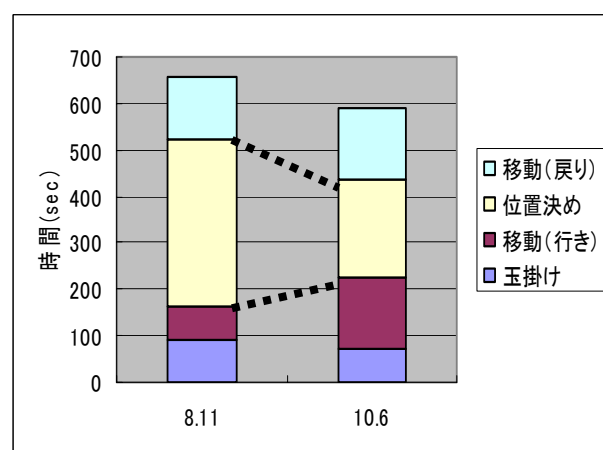
## 2) 施工性調査結果

平成15年度と比べ、本格的な現地施工となった平成16年度では施工量も多くオペレータがク

A horizontal bar chart comparing the percentage of respondents for two groups, H16 (dark red bars) and H15 (blue bars), across three categories. The x-axis represents the percentage from 0% to 100% in increments of 20%. The y-axis lists the categories: U字溝据付, 型枠ブロック据付, and コンクリート投入. The legend on the right identifies the groups: H16 (dark red) and H15 (blue).

| Category | H16 (%) | H15 (%) |
|----------|---------|---------|
| U字溝据付    | 85      | 40      |
| 型枠ブロック据付 | 50      | 28      |
| コンクリート投入 | 43      | 32      |

(b)平成 15 年度と比べ一番作業効率が上がった U 字溝据付について、平成 16 年度の施工時期によるサイクルタイムの変化は、移動(行き・戻り)の時間は施工箇所の違いによる回転半径が起因するもので、U 字溝据付時の位置決めがクレーン操作の慣れによる施工性の向上が見られる結果となっている。(図 5)



(c) また作業効率の向上が少なかったコンクリート投入工についても、9月6日と10月5日の1ヶ月後の施工性調査の結果から、この間の作業により、約35%の作業効率が向上しており、反復作業に伴う慣れ(習熟)が作業

効率の向上として現れている。(図6)

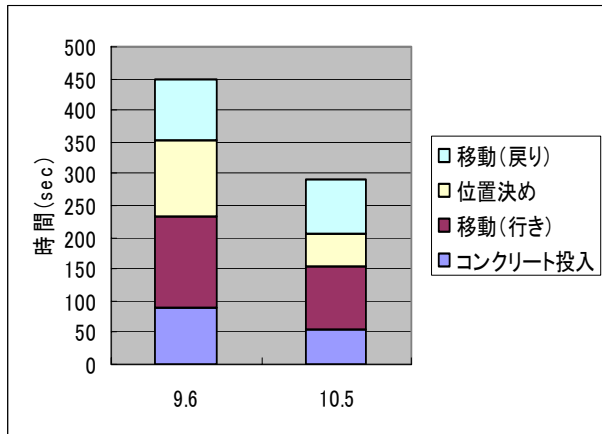


図6 コンクリート投入の施工時期によるサイクルタイム

(c) 操作の反復作業の慣れ(習熟)を判断するものとして、操作が難しい「位置決め」作業の作業効率だけを見ると、施工時期毎の比較から、U字溝据付では当初施工の2ヵ月後には施工効率が1.7倍に、コンクリート投入工に至っては僅か1ヶ月で2.3倍に向上している。(図7)

全ての条件が一緒ではないが、微操作が多い作業(U字溝据付工や型枠ブロック据付)は、やはり慣れるのに時間が掛かり、習熟しにくいことがわかる。

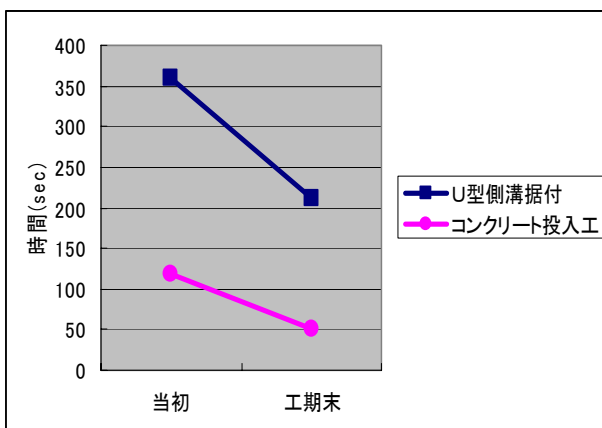


図7 位置決め作業の施工時期による比較

### 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

- ① 据付作業時の微操作とモニター(3台)視認での操作は難しく慣れが必要。

- ② 無人操作での作業用エンジン回転の設定が一定回転のため、操作レバーの操作量に対し機体の反応が少ないため、作業半径が大きい場合に時間がかかる。また微操作時には過大な動きとなるため、車体乗車時と同様なアクセルを設けてほしい。

- ③ 搭乗時(有人作業)は車体の負荷状況がクレーンの振動や傾きで体感できるが、遠隔操作では負荷状況が体感できず、過負荷に至ると安全装置が作動して停止する。負荷を確認できるサブモニターはあるが、吊荷の据付位置を調整しながら見るのは困難である。

- ④ 映像支援装置がうまく画像を受信できないことが頻発した。クレーン本体側の送受信アンテナ取付位置の変更、カメラの改良が必要。

### 4) 施工試験結果の考察

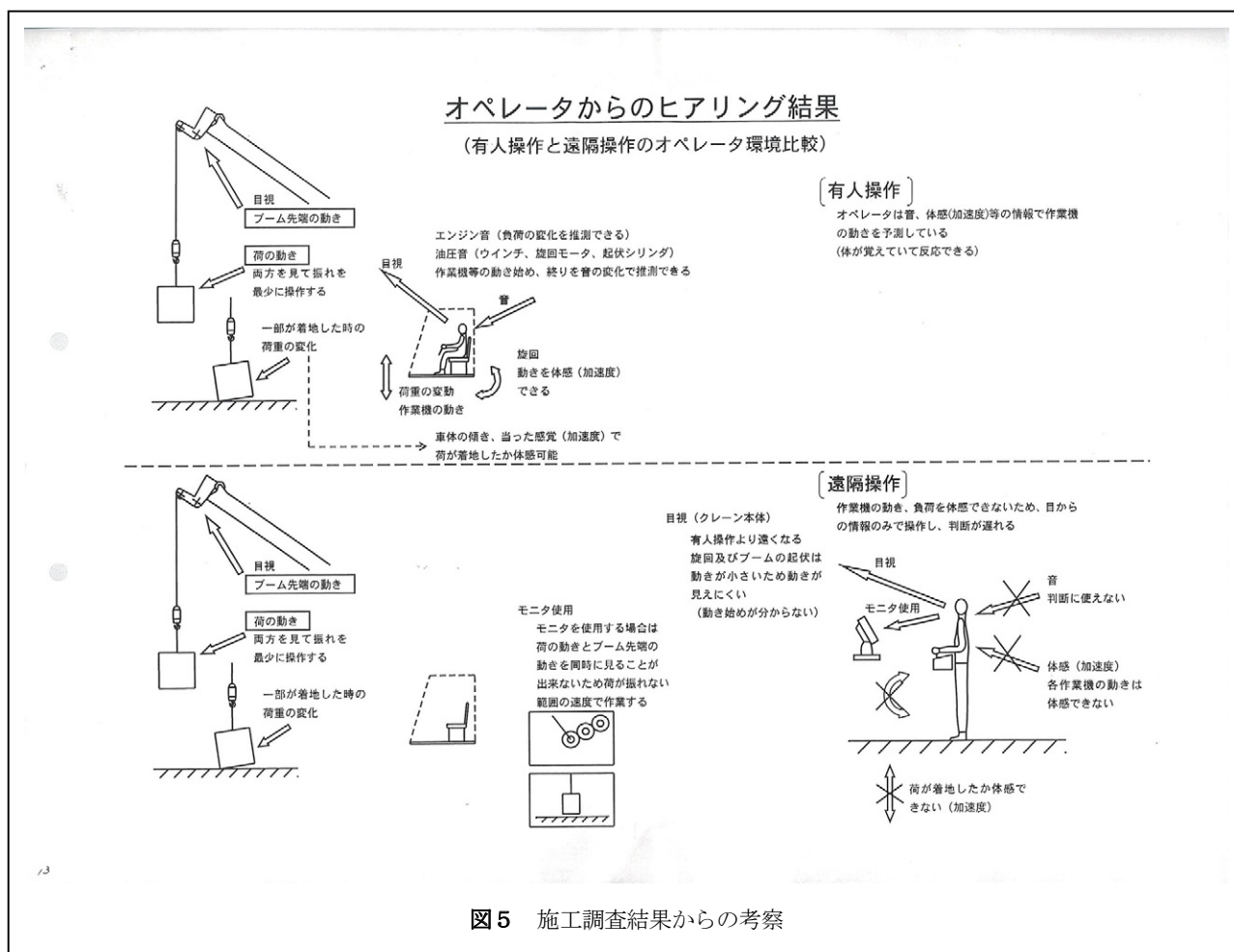
施工試験結果及びオペレータヒアリング結果から、有人操作と比較して無人操作の効率が低い理由として、次のことが考察される。

- 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(1ヶ月以上)と考えられる。

- ② クロスレバーでの複合操作が難しい。
- ③ 乗車時と同様なアクセル操作の要望があるが、車両の限界を判断しにくいことから操作の安全性が課題となる。
- 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。(図5)



## 8. 結論

平成 16 年度より本格的に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なく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り、新たな無人化施工工種が確立され、他の無人化施工箇所においても活躍が期待される。

今回の調査結果では、無人操作の施工効率は有人操作に対し低い結果となっているが、平成 15 年度の試験施工調査結果と平成 16 年度の実施工調査結果では、オペレータの操作の習熟による施工効率の向上が確認できた。

しかし、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操作感覚を習得するまでに時間が掛かり、操作の習熟に要する期間が長いと思われるが、オペレータ自身の個人差があるため、一概に言えない感覚の部分が多い。

## 9. 今後の課題

オペレータの習熟による施工効率の向上は限界なのか、また習熟期間の短縮が可能か、この 2 点が今回の結果から課題であると考えられるが、これはオペレータによるところが大きく、今後の稼働状況を確認する必要がある。

操作感覚を習得しやすいように、クレーン本体の状況を表示するなどの方法も考えられるが、作業の最中にサブモニターすら見る余裕はないというオペレータヒヤリング結果もあることから、他の方法を検討するべきである。

搭乗時と同様の感覚でオペレータが、意のままに車両を、遠隔操作で動かせる状況を作ることが最大の課題であり、最大の難関でもある。

## 10. おわりに

今回の実施工への適用にあたり、ご協力いただいた関係者各位に感謝の意を表する。