

新技術開発探訪

遠隔操縦式バックホウ用
大型土のう設置装置の開発

国土交通省 東北地方整備局 東北技術事務所 施工調査・技術活用課長

施工調査・技術活用課

ぬのみや
布宮
いとう
伊藤あけみち
明道
ひでき
秀樹

1. 要 旨

大型土のう工は、災害の応急復旧対策などに多く採用されているが、玉掛け・玉外しの作業が必要となるため、二次災害の恐れがある危険な現場においても作業員が立入らなければならない状況である。

一方で、実用化されている遠隔操作技術では、大型土のう工の必須工程である玉掛けの遠隔化が確立されていない。この玉掛けを遠隔で実施可能とすることで、大型土のう設置作業の安全性向上を図れると考えた。

今回、当事務所で保有する、空輸対応型遠隔操縦式バックホウ用アタッチメントとして大型土のう設置装置の開発を行った所、大型土のう工に必要な作業工程の遠隔化が可能となったものである。

2. はじめに

大型土のうは、押さえ盛土や仮護岸、仮締切りなど工種、規模を問わずあらゆる現場で使用されている。

その設置作業は、移動式クレーンによる施工が一般的であり、玉掛け・玉外し及び誘導という人力作業が必要なため、特に応急復旧の足場不安定箇所などでの作業は転落、挟まれ、巻き込まれな

どの二次災害の危険性が高いものとなっている。

当事務所では、二次災害の恐れのある災害などの対策現場への支援機能として、空輸対応型遠隔操縦式バックホウを保有しているが、遠隔操作可能な作業は、掘削（積込）、破碎、掴みのみであり、遠隔による玉掛け技術が確立されていないことから、大型土のう設置作業には対応できない状況であった（写真—1）。



写真—1 土砂災害現場での玉掛け・玉外しの様子

この玉掛けの課題を解決することで、当事務所が保有する空輸対応型遠隔操縦式バックホウの災害対策支援機能の高度化が図られ、二次災害の恐れのある施工現場における、大型土のう設置作業の安全性が向上すると考えた。

3. 大型土のう工の現状

(1) クレーン仕様バックホウによる施工

大型土のうの設置作業に用いられる移動式クレーンは、作業半径などによりクレーン仕様バック



写真一2 一般的な大型土のう設置の様子

ホウとラフテレーンクレーンなどが使い分けられる（写真一2）。

特にクレーン仕様バックホウは、多彩なアタッチメントで掘削、破碎、掴む、吊るなど兼務できることから、応急復旧などの狭隘な現場で多く採用されている。

(2) 遠隔操作による大型土のう工の現状

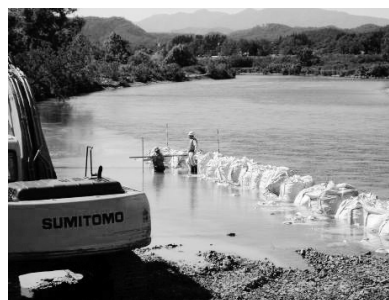
現在実績のある、遠隔操作（無人化施工）による大型土のう設置の方法は、次のとおりである。

- ① 仕立て完了後、玉掛け用に吊ベルトを加工する。フックを引っ掛けやすくした土のうを無人の不整地運搬車で運搬し、フックを装着した無人バックホウで設置（フレキシブル管と番線を使用）
 - ② 自動玉外し機構を使用し、安全な場所で人力玉掛け後、吊荷走行にて運搬し設置（自動玉外し）
- 遠隔操作での設置方法での問題は、①では外れ止め装置のないフックで、バックホウのアーム操作のみで引っ掛け上げるため、玉掛けの確実性は低下し、②では設置場所までの距離が遠くなると、吊荷走行距離が増え、効率性、迅速性の点で問題がある。

4. 東北管内の現状と解決策

(1) 東北管内での現状

東北管内において実施されている、応急復旧時の作業状況は、洪水時の河岸洗掘や破堤箇所においての水際作業、道路や法面崩落場所での立入り作業など、二次災害の危険を伴う施工を行っているのが現状である（写真一3）。



写真一3 大型土のう投入現場の状況

立入り作業を要する理由としては、応急復旧の現場であっても施工の確実性、迅速性などの理由から、立入り作業で施工を計画するのが大半のためである。

(2) 現状の解決策

二次災害の恐れがある施工現場への立入り作業を解消するためには、現在使われている遠隔操作技術（無人化施工）の課題を解決し、大型土のうの施工性向上を図る必要がある。

当事務所では、空輪対応型の遠隔操縦式バックホウを所有しており、大型土のう工に対応したアタッチメントを開発検討することで、二次災害の危険を伴う施工を行っている現状を解消できると考えた。

5. 使用現場、操作条件の想定

装置の開発検討にあたり、想定する使用現場の条件は『災害時などの緊急、応急復旧工事の現場』である（写真一4）。



写真一4 H20年度 岩手宮城内陸地震 湯ノ倉地区の状況

同じ復旧工事であっても、見通しの可否、施工基面など想定される状況は多種多様である。

また、同じ遠隔操作であっても、目視操作での施工とモニタ操作での施工では操作性が大きく異なり、距離感、機械（装置）の動作状況の把握など圧倒的にモニタ操作での施工が困難である。

本開発検討にあたっては、多くの現場での使用を目指し、モニタのみで施工を強いられる現場を想定した。

6. 装置の開発検討

(1) 求められる機構と機能

大型土のうを設置する場合の施工手順は、大きく分けて次のとおりである。

- ① 大型土のうを確実に保持（玉掛け）
- ② 設置位置へ移動（誘導）
- ③ 目標位置に設置する（玉外し）

大型土のう工の無人化施工には、保持装置と誘導操作支援機能の開発検討が必要である。

(2) 大型土のう保持動作の検討

本検討では、復旧現場での使用を想定していることから、通常使用されている一般的な土のう袋、中詰め材をそのまま使用方法でなくてはならない。

大型土のうの一般的な設置方法は持上げて設置する方法であることから、遠隔操作においても持上げる動作で開発検討を行った。

大型土のう袋を持上げる方法は次のとおりと考える。

- ① 袋付属の吊ひもで吊上げる（フック形状）
- ② 本体を掴み上げる（グラップル形状）
- ③ 本体をすくい上げる（ホーク形状）

検討した結果は次のとおりであった。

- 1) バックホウの動作は、自分側に引き寄せる（抱え込む）方向に操作する機械であるため、③の『すくい上げ』は構造上無理がある（ローディングショベルの動きである）。
- 2) ②の『掴み』は、現存するアタッチメントをそのまま使用できるが、大型土のうを並べようとした際、アームを開く構造上の理由から設置



写真—5 当事務所が所有するグラップルでの大型土のう掴み上げの様子



写真—6 大型土のう使用状況

場所周辺にクリアランスを要し、土のう同士を密着させたり構造体等に沿って設置することには不向きである（写真—5，6）。

よって装置の保持動作は①の『吊上げ』を適用することにした。

(3) アタッチメント機構の検討

大型土のう付属の吊ひもを捉え（フック掛け）ようとする時、装置に付けられたフックを任意で動かす機構が、既存のグラップル機構に酷似しており、グラップルの掴み部分の改造で実現可能と考えた（写真—7）。



写真—7 試作装置の全景

既存装置（機構）を流用することにより、バックホウへの装着方法、装置の旋回・開閉機構など、既存の性能、部品を利用する設計が可能となり、開発費用、期間の低減を図ることができる。

更には、操縦者の意思によりフック操作ができ

ることで、バックホウ誤操作による、意図しない玉外しを防ぐことができる。

7. 試作アタッチメントの構造

(1) 吊ひもの確実な保持の方法

仕立てが完了した大型土のうを玉掛けする場合、寝ている状態の吊ひもを作業員が持上げてフックに掛けることが必要である。

遠隔操作（無人）で吊ひもを捉え（フック掛け）ようとすると、フックを掛ける部分（大型土のう本体と吊ひもの間）に十分な空間を設けなければならない。

空間の確保方法として、吊ひもが自立するように加工する手段があるが、現在実施されているフレキシブル管と番線による加工では、吊り上げ時や段積み施工時に加工が破損してしまい現場内仮置きや撤去に対応できない。

本検討では、吊ひもが常に自立している必要は無く必要ときに吊ひもをアタッチメント側に引き付けることができれば良いと考え、磁力を利用し吊ひもを引き付ける構造とした。

加工に関しては吊ひもに鉄片を着けるだけの簡単な構造とし、仕立て作業の時間内で対応できると考える（写真—8）。



写真—8 仕立て後の吊ひも

(2) フックの形状

吊上げフックは、クレーン吊り具のような片フックが一般的であるが、より確実に玉掛けするため、片フックではなく吊ひもを掴むような両フック構造として検討した。

今回の試作では、既製グラップルの爪をフック形状に変更し、さらにフック先端が噛合う形状と



写真—9 フックと吊ひも引付け用磁石
（永久ネオジウム磁石）



写真—10 試作アタッチメントによる玉掛け状況
（当事務所構内にて）

することで、確実な玉掛けと吊り作業中の大型土のうの落下防止が達成できた（写真—9，10）。

(3) 装置性能

試作アタッチメントの性能は以下のとおりとなった。

- ・装置重量：1,350kg
- ・吊上最大重量：2,000kg
- ・作業半径：6.0m以下で運用

本試作アタッチメントは、グラップルを装着できる日立製バックホウであれば使用可能である。なお、上記の作業性能は当事務所保有のバックホウ（1m³級）へ装着時の性能であり、装着するバックホウの性能により作業能力は異なる（写真—11）。

クレーン仕様バックホウに通常搭載されているフックは1ピン式のため、大型土のう吊上げ時は



写真—11 吊荷姿勢の確認状況
バックホウ最大作業半径7.2mで吊上げ

移動式クレーン扱いとなるが、本アタッチメントは2ピン式であることから車両系建設機械の扱いとなることが確認されている（宮城労働局確認）。

8. 性能確認

(1) 性能試験の内容

本アタッチメントの適用現場として想定されるのは①作業員の転落や落下物が問題となる現場、②大規模土砂災害などの現場であることから、実際の大型土のうを用いて以下の確認をした。

- ① 搭乗操作にて玉掛け・外し人員のみを無人化
- ② 遠方目視による遠隔操作にて現場内を無人化
- ③ 遠方操作室からのモニタ操作にて現場内を無人化

(2) 搭乗操作

試験内容は大型土のう三段積みとし、バックホウ標準搭載のクレーンフックによる通常施工（玉掛け・外し、誘導の作業員有り）と比較した（写真—12）。

結果は玉掛け、移動、玉外しまで一連作業のサイクルタイムに違いはなく、土のう間隔も同程度の仕上がりだった。また、一度設置した大型土のうを再度吊上げることも可能であったことから、撤去作業時の作業員も無人化で行えることが判った。



写真—12 搭乗操作による試験状況

(3) 遠方操作

遠方操作は、作業員、オペレータともに二次災害が想定される現場での運用を想定している。

本検討での試験条件は以下のとおりである。

- ・使用エリア：30m×30m平面、全面舗装

- ・土のう状況：エリア内に仮置き
- ・操作方法：遠方目視はエリア外の高台よりモニタ操作は事務所構内（エリア外）の車庫内より
- ・各種機器：定点カメラ2台（パン・チルト・ズーム付1台、固定点1台）、マシンガイダンスシステム
- ・作業人員：2名（バックホウ操作1名、補助1名）

試験内容は大型土のう2列1段の据付とし、通常施工と比較し以下のような結果となった（写真—13、14）。



写真—13 遠方目視による試験の様子



写真—14 モニタによる試験の様子

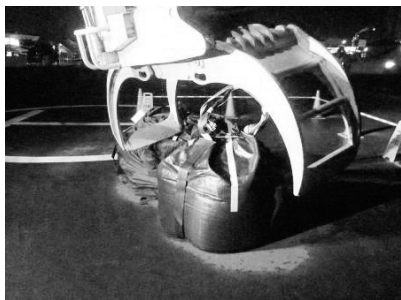
- ・施工時間：遠方目視では1.5倍程度、モニタ操作では1.5～2.5倍程度
- ・土のう間隔：遠方目視では通常施工と同程度、モニタ操作では1列目と2列目の前後間隔が30cm程離れて設置される場合あり。

ただし、モニタ操作時のサイクルタイム、仕上がりは定点カメラの有無や台数、マシンガイダンス機能の有無など補助機器による違いが大きく出た結果である。

9. 誘導、操作支援方法の検討

(1) モニタ操作時の課題

大型土のう工をモニタ操作で行う場合のソフト



写真—15 事前に実施した試験の様子

的な課題は、当事務所保有のバックホウとグラップルを用いて事前に実施した試験で、以下の点が判った（写真—15）。

- ① 目標物や設置場所までの距離感（遠近感）が把握しにくい。
- ② 吊ひもの状態や土のう設置状況が判断しにくい。
- ③ 設置を進めた際に、大型土のうの設置方向が正しい方向なのか判断しにくい。

即ち、視覚情報の補完が重要であることが明確である。

アタッチメント製作に併せて、視覚情報を中心にした補助機器、機能の検討と試験を実施した。

(2) モニタ操作で必要となる情報

遠隔操作を実施する際に重要となるのは、作業フィールドの状況、機械の状態（バックホウの姿勢）、対象物（土のう）の状態である。遠方操作の試験結果からも、以下のことが判った。

① フィールド全景映像の必要性

バックホウと対象物、施工箇所の位置関係が全景で把握できることが施工性向上には必要である。

施工において最も多くなる旋回、走行といったバックホウ自体の諸動作を視覚情報として得ることが重要である（遠方目視と同じ状況を作り出す）。

② 目標物（目標点）までの奥行き認識性

玉掛けポイント（土のう真上）に設置装置を持っていくためにも、奥行き把握が重要である。

別カメラによる側面映像が有効である。

③ 傾斜センサーの必要性

バックホウの姿勢自体は施工性に影響しない。ただし、転倒、危険姿勢防止など安全性の観点からは必須機器である。

(3) マシンガイダンス機能

当事務所保有バックホウにはマシンガイダンスシステムが搭載されていることから、無人化施工技術としてマシンガイダンス適用の違いも確認した。

マシンガイダンス未適用では、土のう間隔が広がる結果であった。マシンガイダンスを適用した場合は、土のう間隔などの仕上がりが通常施工と変わらないものとなった。ただし、仕上がりが向上する代わりに、サイクルタイムが長く、施工能力が低下する結果となっている。

10. 現状と今後の方針

当事務所構内での試験では、当初の目標であった遠隔操作による玉掛けから移動、玉外しまでの能力を十分に満足したものとなった。

今後は、本アタッチメント実用化のために、操作訓練や通常工事などを通して施工データを集積、課題の抽出が必要と考えている。さらには、無線の混信や定点カメラの配置など、遠隔操作時のマシンインターフェイスに関わる課題の解消も検討していく必要がある。

また、本検討の成果は、他の吊り荷作業（ブロック積みなど）への応用など技術活用度も大いに期待できるのではないかと考えている。

11. おわりに

復旧工事における、安全施工の技術として無人化施工技術の適用工種拡大の意味でも、今回検討した大型土のう設置装置は有効な手段の一つになると考える。

近年多発する集中豪雨など、各地で発生している緊急対応や応急復旧現場などの無人化を求められる現場は多い。

今後、応急復旧工事を始めとする各種現場に投入されるよう、装置の有効性検証を進めていきたい。