

1. 阿蘇大橋地区大規模法面崩壊における ロッククライミングマシンの適用事例

ネットワーク対応型無人化施工システムの適用

株式会社熊谷組九州支店
株式会社熊谷組九州支店
株式会社熊谷組

北沢 俊隆
佐藤 裕治
○飛鳥馬 翼

1.はじめに

平成28年熊本地震により熊本県阿蘇郡南阿蘇村立野地区において大規模な斜面崩壊が発生し、下部のインフラを押し流す大災害となった。阿蘇大橋地区斜面防災対策工事(以下、本工事)ではインフラの復旧工事の施工環境を確保するために、斜面頭部に残存する不安定土砂の除去(以下、頭部ラウンディング工)と崩壊斜面から流出する土砂や落石等を捕捉する土堰堤(以下、土留盛土工)の築堤を平成28年内に早期完了させた。緊急対策工事が終わり、恒久対策工事へとフェーズが進む中、斜面中腹に堆積した土砂が法面保護工の実施に支障を来すため、高所法面掘削機で除去することになった。

本論文ではモニターを装備した遠隔操作室から大規模法面崩壊地での本格的な無人化施工を実施したので、その成果を報告する。

2. 本工事概要

2.1 阿蘇大橋地区被災状況

平成28年4月16日の熊本地震(本震)により発生した大規模崩壊は、崩壊長約700m、崩壊幅約200m、崩壊土砂量約50万m³におよび、国道57号、JR豊肥本線、阿蘇大橋を押し流した。(図-1)

被災した交通インフラの早期復旧が望まれるが、崩壊斜面の頭部には崩壊斜面を囲むように多数の開口亀裂や段差が発生し、滑落斜面では切り立った急傾斜の斜面となっており、降雨や余震などにより、さらなる崩壊の危険性があった。

2.2 緊急的な二次災害対策工事

本工事は直轄砂防災害関連緊急事業として土留盛土工の築堤と頭部ラウンディング工が主要な工事内容であった。二次災害の危険性があるため崩壊地内は立入禁止区域となり、復旧作業はすべて無人化施工により実施した。(図-2)¹⁾

当該斜面は黒ボク・赤ボクと呼ばれる阿蘇地域



図-1 阿蘇大橋地区被災状況



図-2 緊急対策工事全体概要図

特有の火山灰起源の特殊土壤が分布する長大な急斜面であるため、過去に類例の無い難工事となつた。それでも平成28年10月22日に土留盛土工が完成、同年12月26日に頭部ラウンディング工が完了し、頭部ラウンディング工が完了した同日に発注者である国土交通省九州地方整備局が開催する阿蘇大橋地区復旧技術検討会において、崩壊地内下方の交通インフラ工事を主作業とする有人施工を行う作業環境が整備されたことをご確認いただいた。²⁾

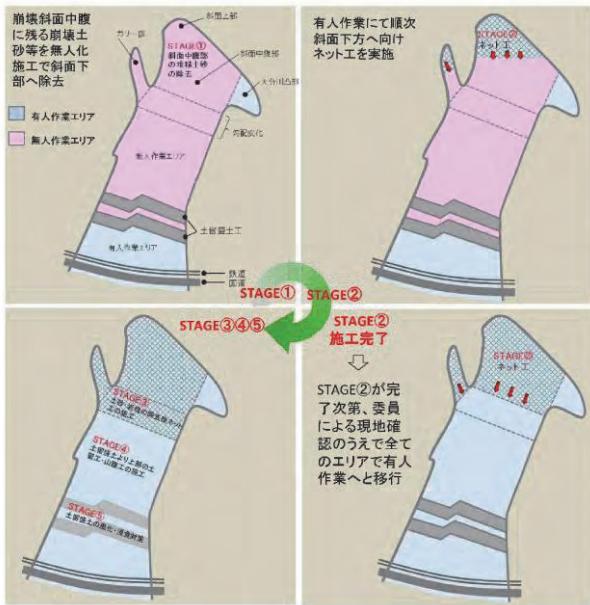


図-3 作業エリア平面図

(http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/n-kisyahappyou/h29/171211/05_siryou03.pdf)



図-4 作業エリア横断図

(http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/n-kisyahappyou/h29/171211/05_siryou03.pdf)

2.3 恒久的な安定化対策

緊急的な対策が完了したことを受け、国土交通省九州地方整備局は恒久対策工に着手し、以下のステップで進めることを発表した。(図-3、図-4)³⁾

- ・恒久対策工の施工手順

- STAGE① 斜面中腹部の堆積土砂の除去を実施
- STAGE② ネット工を実施
- STAGE③ 土砂・岩塊の除去後ネット工の施工
- STAGE④ 土留盛土より上部の土留工・山腹工の施工
- STAGE⑤ 土留盛土の風化・浸食対策

本工事では崩壊斜面中腹に残る崩壊土砂等を無人化施工で斜面下部へ除去する(以下、斜面中腹崩壊土砂除去工)STAGE①の施工まで受け持つこととなった。

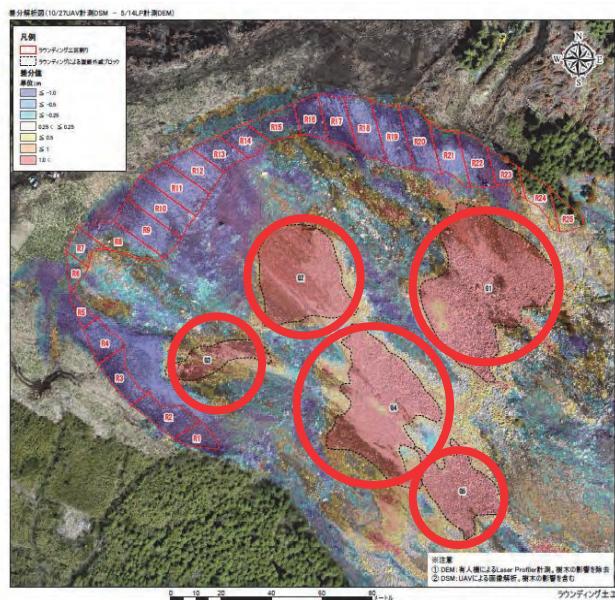


図-5 頭部ラウンディング差分解析

3. 斜面中腹崩壊土砂除去工の着手

斜面中腹には頭部ラウンディング工で撤去した土砂や岩塊が崩積土として残存していた。図-5は崩壊直後に実施した航空レーザ測量と頭部ラウンディング工完了後に実施したUAV写真測量との差分解析である。ヒートマップにより表されており、色で土量の増減が分かる。図-5の丸い部分が崩積土として残存している場所であり、今後施工される法面保護工において支障となるため、早期に撤去することが斜面中腹崩壊土砂除去工の目的であった。

3.1 土砂撤去の考え方(設計)

頭部ラウンディング工が完了した平成 28 年 12 月 26 日から当該施工の準備工が開始した平成 20 年 6 月まで月日が経過し、降雨等により崩壊地内の現況が変わってしまった恐れがあるため、着工前には再度 UAV 写真測量を実施した。崩積土の確認は前述したように崩壊直後の測量ラインとの差分解析によって計測した。したがって、崩積土の撤去は斜面崩壊直後の現況ラインに戻すことによって完了したと見なした。また当該施工エリアに堆積している土量は 11,600m³ と判明した。

3.2 施工機械の選定

施工箇所は無人化施工エリアであるため、既存の技術で遠隔操作に対応している高所法面掘削機を採用した。高所法面掘削機には頭部ラウンディング工に使用したセーフティクライマー工法(図-6)と、ロッククライミング工法(図-7)がある。両者の違いを表-1、図-8、図-9に示す。セーフティクライマー(以下、SCM)は施工能力は低いが、独立したワイヤー取付円盤を装備しているため、履帶ごと機械全体が旋回できるので横移動に優位である。



図-6 SCM



図-7 RCM

ロッククライミングマシン(以下、RCM)は機械左右後にワインチを装備しているため。横移動は困難であるが、機械が所有するワイヤーにシャックルで延長ワイヤーを継ぎ足すことによって限りなく下方へ降りることが可能である。

当該施工では大規模法面崩壊地の大量の崩積土や大きな岩塊を移動させる必要があるため、垂直方向の作業に優れ、施工能力が高いRCMを採用した。

3.3 施工方法

3.3.1 長尺ワイヤー付きワインチ搭載バックホウの導入

従来のロッククライミング工法はRCMに装備されているワイヤーの巻き出し長が50m程度なので、前述したように機械の施工範囲が広がるごとにワイヤーを継ぎ足す必要があり、その作業は人力によって実施している。当該施工エリアは大規模法面崩壊地であるため、ワイヤーを何本も継ぎ足す必要があり、崩壊地内での人力による継ぎし作業は二次災害の危険性があった。

そこでアタッチメントとして500mワイヤー付

表-1 高所法面掘削機比較

	SCM	RCM
最大バケット容量	0.25m ³	0.45m ³
特徴	ワイヤー取付円盤を装備	ワインチを装備
施工可能法面勾配	70°	90°

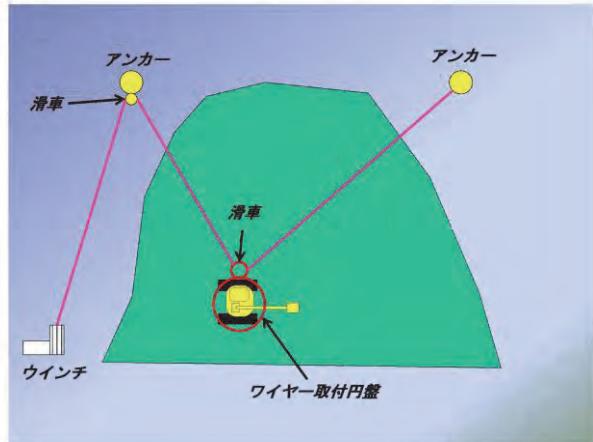


図-8 SCM 施工方法

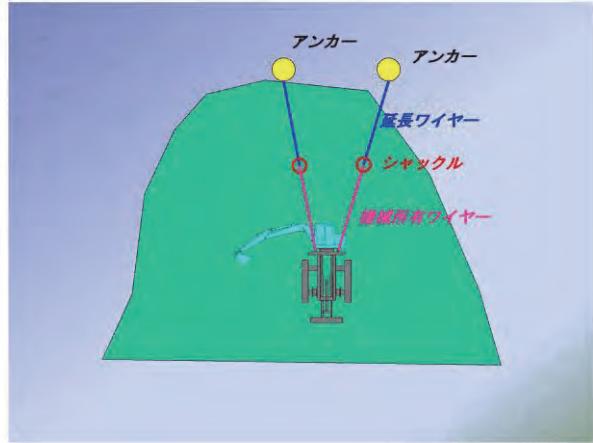


図-9 RCM 施工方法

きワインチを搭載した0.8m³級バックホウ(以下、ワインチ搭載 BH)(図-10)を使用することにより、ワイヤー継ぎ足しの施工性の向上を図り、崩壊地内での人力作業を無くすことにより安全性を確保した。

降坂の方法として、RCM本体から出る主ワイヤーの残りが少なくなってきたら安定しやすい位置で機体を固定する。そして、片側の主ワイヤーを徐々に緩めワインチ搭載 BHからワイヤーを引き出し延長し、伸びている主ワイヤーを巻き取り緊張する。同じことを左右両方のワイヤーで行い、ワイヤーの延長作業を完了させる(図-11)。ワイヤー延長作業は斜長200m程度の法面で実施すると、人力の場合半日掛かるのに対し、ワインチ搭載 BHを使用すると1時間で完了するため、施工性が非常に向上した。

ワインチ搭載 BHを使用したRCMの施工状況を図-12、図-13に示す。



図-10 ウインチ搭載 BH



図-12 施工状況全景

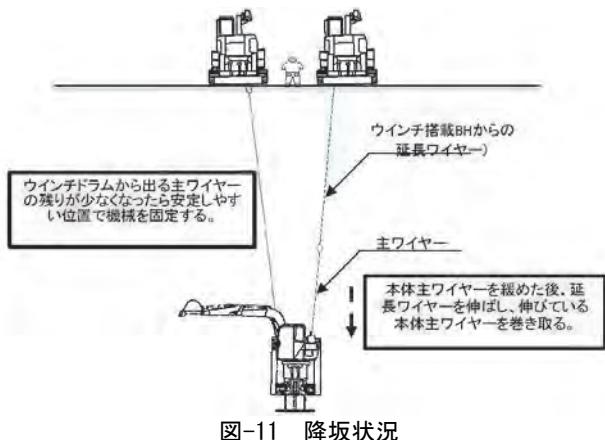


図-13 施工状況近景

3.3.2 ネットワーク対応型無人化施工¹⁾の導入

目視による無人化施工が主流であるロッククライミング工法はオペレータの安全を確保するために有人施工エリアから遠隔操作を行う。

しかし、長大法面では、機械の状況や法面の状況をすべて視認することは困難である。別の角度から視認するために、オペレータが長大法面の有人施工エリアを移動することは施工効率の低下となり、また崩壊地の法肩付近を歩くことは墜落災害の恐れがあり極めて危険である。

そこで土留盛土工で採用したネットワーク対応型無人化施工システムを導入することにより、カメラの映像を使用して遠隔操作室から長距離無人化施工を行った。

無人化施工設備の配置図を図-14に示す。崩壊地を囲むように崩壊地上部と下部に固定カメラを設置した。上部と下部との通信は長距離通信が可能である25GHz高速無線アクセスシステムを使用した。RCMとの通信のための無線LANは崩壊地上部にのみ設置し、指向性の強い平面アンテナを使用し、山から見下ろすようにアンテナを設置した。遠隔操作室(図-15)は崩壊地より300m離れた山頂部に設置し、安全に遠隔操作を行った。

実施工においては崩壊地の凸部にRCMが隠れてしまい、無線通信が安定しない状況や固定カメ



図-14 無人化施工設備配置図



図-15 遠隔操作室

ラの死角になり RCM を視認できない状況が発生したり、無線信号が崩壊地の凹凸部に反射して通信に影響を及ぼすようなマルチパスと推測される通信状況が発生したりした。トラブルがあった際には固定カメラや無線 LAN の再配置やアンテナの角度を調整して改善を図った。

3.3.3 情報化施工の導入

遠隔操作室からの無人化施工では、カメラによる映像だけでは RCM の位置情報を把握することは難しい。また設計通りに掘削できているか状況確認の手段が無い。

そこで RCM に MG(Machine Guidance = マシンガイダンス)を導入し、車両の位置を把握しながら、設計を満たすように掘削作業を進めた(図-16、図-17)。設計データには 3.1 の項で述べたように、崩壊直後に実施した航空レーザ測量のデータを使用した。

一般的なバックホウの登坂角度は 30~40 度が限界で実際にはエンジン、ミッション、作動油タンクのオイルレベル等によって最大登坂角度が決まる。RCM はリフティング装置(図-16)により上部作業機体を水平に保ち、急斜面での安定した作業を可能にしている。しかし、遠隔操作室からの無人化施工では、カメラ配置によっては映像だけでは機体の姿勢を確認することができない。そのため、機体の傾きはオペレータの経験のみに頼らざるを得なくなる。そこで MG の水平器機能を使用することにより定量的な傾きを把握でき、RCM の姿勢を確認しながら安定した作業を進めることができた。

4. 施工完了確認

施工完了後に実施した UAV 写真測量と着工前の UAV 写真測量との差分解析により、掘削・整形土量を確認した(図-18)。枠で囲った箇所が当該施工箇所である。当該施工により土砂が移動したのは丸で囲った箇所であり、処理量が 11,700m³となり、堆積していた土量 11,600m³を処理できることを確認した。

5. 成果のまとめ

RCM を導入したことによる当該施工の成果を以下に示す。

- ・着工前に UAV 写真測量を行ったことによって、堆積土砂の位置と土量を確認し、土砂撤去の設計の検討を容易にした。さらに完了後にも UAV 写真測量を行ったことによって土砂の移動を明確にし、堆積土量の処理の確認を容易にした。
- ・RCM を導入したことによって、遠隔操作により大規模法面崩壊地を安全に施工した。さらにネットワーク対応型無人化施工を適用することによって崩壊地から 300m 離れた安全な場所より超遠隔



図-16 当該施工導入 RCM

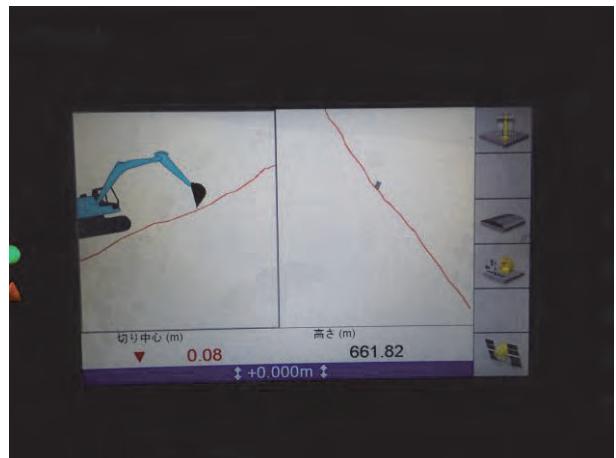


図-17 MG コントロールボックス画面



図-18 施工前後の土砂差分解析結果

操作を実施した。

・崩壊地内での作業は地盤の凹凸によりカメラ映像の死角が発生したり、無線が安定しないことが発生した。そのため無線中継車やカメラ車の検討が今後必要になってくる。

・ワインチ搭載 BH を導入したことによって、人力によるワイヤー延長作業を機械化し、施工効率を 6 倍に向上させた。さらにワイヤーを継ぎ足す作業員の安全を確保することも可能となった。

・ MG を導入したことにより、重機の位置・姿勢情報の把握を容易にした。さらに設計ラインも明確に把握できるので、不足なく確実に掘削作業を実施した。

・ 所感であるが、過酷な作業を強いるため、RCM に装備された各機器(油圧系統ホース、車載カメラ、GNSS 等)については、あらかじめ十分な養生が必要であった。機械のメンテナンスで一時的に当該作業が実施できない日が発生した。

ICT 化・機械化を導入した結果、ロッククライミング工法の超遠隔操作を実現し、平成 29 年 7 月 24 より着工開始し、同年 10 月 31 日に完了という 3 ヶ月での早期完了を達成した。施工効率や安全の向上を達成したことで、大規模法面崩壊地においてロッククライミング工法による i-Construction を実現した。

5. おわりに

本工事においてロッククライミング工法にネットワーク対応型無人化施工とワインチ搭載 BH を導入した施工は初の試みであった。ワインチ搭載 BH は阿蘇大橋地区の長大法面工事だけでなく、一般的な法面工事にも適用可能である。i-Construction が推進されている中、本工事での実績が普及されることを望む。

本工事は平成 29 年 11 月 20 日に完了したが、現在阿蘇大橋地区では恒久対策工事と交通インフラの整備が進められている。こういった工事が早期着手できたことは、弊社が培ってきた無人化施工技術をベースに本工事において発注者を含めた工事関係者全員が少しでも早く復興を成し遂げたいという地道な努力の成果であったと感じている。熊本地震の復旧・復興作業はまだまだ継続中であるが、建設業界の応災力を發揮し少しでも早い復旧・復興を望む。

本工事は緊急対策工事を実施するものであったが、斜面中腹崩壊土砂除去工は無人化施工で実施するということで恒久対策工事の一部を受け持つことができた。ロッククライミング工法による初の試みを実施工で実績を残すことができ、施工現場を提供していただいた国土交通省九州地方整備局および熊本復興事務所の方々のご支援に深くお礼申し上げる。また協力業者である共栄機械工事株式会社には無人化施工の技術支援と超遠隔操作のオペレータ支援、大昌建設株式会社には RCM の提供とワインチ搭載 BH の開発にご協力いただいた。深くお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 野村真一・北原成郎・坂西孝仁：最新の無人化施工技術と i-Construction で挑んだ阿蘇大橋地区斜面防災対策工事、平成29年度「建設施工と建設機械シンポジウム」、2017
- 2) 国土交通省九州地方整備局ウェブページ：阿蘇大橋地区復旧における有人施工着手のための現地確認、http://www.qsr.mlit.go.jp/bousai_joho/tecnforce/sabo/index.html
- 3) 国土交通省九州地方整備局ウェブページ：阿蘇大橋地区復旧技術検討会(第6回)、http://www.qsr.mlit.go.jp/bousai_joho/tecnforce/sabo/index.html