熊本地震による大規模崩壊斜面の安定化対策

寺本泰之・江口秀典

1. はじめに

平成28 年4 月16 日に発生した熊本地震(本震)により、熊本県南阿蘇村立野地区において大規模な斜面崩壊が発生した。これにより、斜面下の国道57号やJR豊肥本線等が寸断されるなど周辺一帯では壊滅的な被害を受けた。この災害に対し、国土交通省九州地方整備局は、地震直後から建設ICTや無人化施工等を駆使し緊急対策工事(平成28年12月完了)を行い、平成29年7月より斜面の恒久的な安定化対策に取り組み、令和2年8月に対策工事を完了した。

本稿では、斜面の恒久的な安定化対策の完成にいたるまでの計画及び施工について報告する。

2. 災害の概要と対策の概要

2.1 災害の概要と地域の特徴

阿蘇大橋地区で発生した大規模崩壊の規模は、長さ約700m、幅約200m、崩壊土砂量約50万㎡におよび(写真-1)斜面上部には、崩落部を取り囲むように亀裂が分布する(写真-2、3)不安定ブロックが存在した。不安定ブロックは、降雨や余震により崩落する可能性があり、崩壊地内に残存する土砂は、降雨により流出する可能性があった。



写真-1 斜面崩壊地(全景)

写真-2 崩壊頭部亀裂



写真-3 開口亀裂状況

また、斜面の地質は、崩落しやすい凝灰角礫岩 や安山岩質溶岩のほか、火山灰質粘性土が多く含ま れる「黒ボク」が主体となっており、含水状態に よっては泥濘化してトラフィカビリティに悪影響を およぼすことから施工上の配慮が必要であった。

2.2 斜面監視体制

このような状況の中、二次災害を防ぐことを最重要課題として、不安定ブロックや崩壊地内土砂の挙動を監視しながら工事を進める必要があったことから、施工時の安全確保および恒久対策計画に資するデータ収集を目的として、地震直後より各種観測計器を設置し崩壊斜面周辺(主に不安定ブロック)の監視・計測を実施し施工を進めた(図-1)。

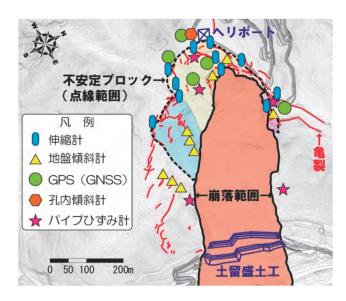


図-1 崩落斜面周辺における監視・観測機器配置状況 (ラウンディング施工前時点)

2.3 緊急的安定化対策工事

斜面安定化と交通インフラの復旧を検討するにあたり、専門家、砂防・道路・鉄道関係者で構成される「阿蘇大橋地区復旧技術検討会」(以下、復旧技術検討会)を設置し、技術的課題を解決しつつ、施工ステップ(図-2)により緊急的安定化対策(Step1~5)を進めた。



図-2 安定化対策施工ステップ

(1) Step1~2 進入路及び土留盛土工の整備

斜面上部に残る不安定土砂の崩壊による二次災害 防止のため、崩壊地内での復旧作業は無人化施工で 実施した。

施工現場周辺では、多数の斜面崩壊が発生し、 降雨や余震により更なる崩壊の拡大が懸念されたこ とから、より安全な操作環境を確保するため、崩壊 地より約 1km 離れた場所へ『超遠隔操作室』を設 置した。

また、伝送量が大きく、画像データや操作データ、GNSS(衛星測位システム)などの情報データを一括送受信が可能で、各現場に即した体制を構築することができる『ネットワーク対応型無人化施工システム』を採用し、崩壊地内で最大 14 台の無人化施工機械の同時稼働を可能とした。

これにより、崩壊地内中腹への進入路及び崩壊 土砂を受け止める上下2段、長さ約200mの土留盛 土工を効率的に整備した(写真-4)。



写真-4 稼働する無人化施工機械と遠隔操作状況

(2) Step3~4 頭部不安定土砂、岩塊除去

土留盛土(上段)の整備が完了したことを受け、 斜面頭部に残る多量の不安定土砂の除去(以下「ラウンディング」という。)に着手した。

ラウンディング範囲は、滑落崖周辺の地形的に 凸部となる表層や土砂化した岩屑堆積物、浮石等を 対象とし、周辺の地質調査やUAV計測を基に緊急 的に除去する範囲を決定した。施工は、3 台の高所 法面掘削機を遠隔操作により施工し、約 17,000 ㎡ の不安定土砂量を除去した(写真-5)。





写真-5 高所法面掘削機によるラウンディング作業 と遠隔操作状況

(3) Step5 崩壊斜面下部での調査・対策

ラウンディング及びガリー浸食部の岩塊除去の現場状況を、復旧技術検討会で確認後、2017 年 1 月より下部斜面は、有人による地質・地盤調査を経て、崩壊土砂の移動を抑制し安定化を図るため、鋼製土留工を 4 段配置している。

これは、崩壊斜面中腹部において土砂移動や雨水による浸食等が少なく、安定している斜面勾配約20°(1:2.7)を参考に斜面勾配を確保し、斜面上部からの雨水排水路の流速を低減させる効果を持たせたものである(写真-6)。



写真-6 斜面下部での土砂流出・浸食防止のための対策状況

2.4 斜面の恒久的安定化対策

特に緊急対策が必要であった頭部の不安定土砂や 岩塊の除去が完了したことを受け、恒久的な安定化 に向けた対策(図・2安定化対策施工ステップ Step6~7)に平成29年7月より着手している。恒久 対策の手順は、斜面内に残存している崩壊土砂等を 除去し、斜面頭部より順次下方向に恒久対策を進め ている(図・3)。

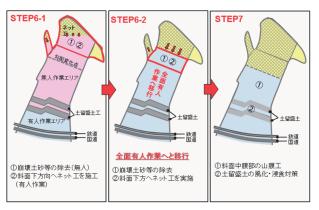


図-3 恒久的安定化対策施工ステップ

(1) Step6-1 斜面上部の崩壊土砂等の除去

斜面中腹上部には地震時に堆積した崩壊土砂や ラウンディング時の除去土砂が厚く堆積しており、 恒久対策の確実な施工を行うためには、この土砂を 除去する必要があった。この崩壊土砂の除去作業は、 鉛直方向の除去作業に優れたロッククライミングマ シーン(以下「RCM」という。)2 台により実施し た。

長大法面での RCM 操作は目視操作が不可能なことから、土留盛土工で用いた『ネットワーク対応型無人化施工システム』を再び活用し、山頂部に設けた操作室よりオペレーションを行った(写真-7)。

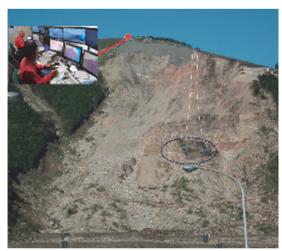


写真-7 長大斜面で土砂撤去を行う RCM と遠隔操作状況

(2) Step6-1~2 斜面中腹部の恒久対策

恒久対策は、斜面の地質構造や斜面勾配等により、2種類の鋼製ネット工等の工法を選定している。また、崩壊斜面は、亀裂が多い岩屑堆積物や浮き石、転石が多数あるため、植生マットを先行敷設し、落石防止用ネットの代用(兼用)とすることにより、法面作業従事者の安全確保を図った。なお、当該地区を含む周辺が『阿蘇くじゅう国立公園』に指定されていることなどに配慮し、自然植生の種子飛来・発芽、定着を待つ緑化計画として無種子植生マットを使用している(写真-8)。





写真-8 植生マット敷設状況

ネット工は、地質調査結果に基づき安定勾配と される 1:1.2 を基準とした斜面勾配と、地質状況に 応じて選定している。

安定勾配より急な箇所には、鉄筋挿入工によって崩壊を抑止し、補強材間の中抜け防止のためのネット工を敷設する「高強度ネット工+鉄筋挿入工+植生マット」により施工している(写真-9)。





写真-9 高強度ネットエ+鉄筋挿入工+植生マット施工状況

また、安定勾配が確保できる箇所では、浸食、 落石等を防止するため「密着型安定ネット工+植生 マット」を敷設している(写真-10)。





写真-10 密着型安定ネット工+植生マット施工状況

特に急な傾斜を形成している区域(EL620m ま で) の対策が完了したことを受け、復旧技術検討会 の現地確認を実施し、これまでの無人作業エリアに ついて、全面有人作業による環境が整ったとの判断 をいただいた。

また、崩壊斜面右上部の隣接した尾根(凸)部 で、地震時の落ち残りと想定される緩み土塊が不安 定な状態で残存していた。地質調査では、すべり面 となりうる脆弱面は確認されなかったが、重力変形 した地形に相当する想定地すべりの安定解析を実施 し、所定の安全率を確保するための切土工(抑制 工)、アンカー工(抑止工)を実施した(写真-11)。

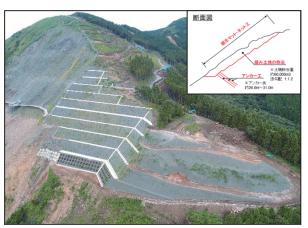


写真-11 凸型地形部 (施工後) の状況

(3) Step7 斜面中腹緩傾斜部の土砂流出対策

斜面中腹の比較的緩やかな傾斜部の浸食・土砂 流出防止対策として、鋼製土留工を4段と、安定勾 配約 20° を確保できない箇所には鋼製柵工を設置 した。

最上段の鋼製土留工の上部には、斜面横断方向 へ水路を設置し、斜面上部からの雨水を集水し、縦 方向の排水工(3カ所)により、安全に流下させ、 斜面下部の黒川へ確実に排水できる構造とした。こ れら施工の完了を受けて、令和2年3月末をもって 斜面対策の工事が概成した。

3. 復旧技術検討会

復旧技術検討会は、緊急復旧着手直後の、平成28 年5月10日に第1回を開催。第1回開催から4年4ヶ月 後の令和2年8月6日に開催された第10回阿蘇大橋地 区復旧技術検討会(写真-12)において、施工現場及 び梅雨時期のモニタリング結果を確認いただき、対 策工の妥当性及び効果が確認され全ての対策が完了 (写真-13) し、管理段階へ移行することの了承を得 た。その後、JR豊肥本線が8月8日に全線開通(写 真-14) し、続いて10月に国道57号も開通している。 今後も、「より安全に、 より早く」を基本理念に、 地域の復旧・復興に向け努力して参りたい。



写真-13 斜面安定化対策完了状況





写真-14 JR豊肥本線全線開通

写真-12 復旧技術検討会

4. おわりに

復旧技術検討会委員(委員長:北園芳人熊本大学 名誉教授、委員:地頭薗隆鹿児島大学教授、水野正 樹国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部深層崩 壊対策研究官、宮武裕昭土木研究所 地質・地盤研 究グループ上席研究員)には、事業着手当初より 様々な機会で大変有益なご指導、ご助言をいただい た。

参考文献

- 1) 国土交通省九州地方整備局:阿蘇大橋地区復旧技術 検討会資料 (第1回~第10回)
- 山上直人、古中直哉:阿蘇大橋地区大規模崩壊壊斜 面の対応 (続報)、土木施工2020、Jun、Vol.61、 No.6

寺本泰之



国土交通省九州地方整備 局熊本復興事務所工務第

江口秀典



国土交通省九州地方整備 局熊本復興事務所副所長 EGUCHI Hidenori

TERAMOTO Yasuyuki