

熊本地震による大規模崩壊斜面の恒久的な安定化対策

山上直人・古中直哉

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、灌漑用水路等が流失し、阿蘇大橋（国道325号）が落橋す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、地震直後から無人化施工や、建設ICT、遠隔操作等を駆使しながら緊急対策工事（平成28年12月完了）を行い、その後、平成29年7月より斜面の恒久的な安定化対策を進めているところである。

本稿では、斜面の恒久的な安定化対策に向けた対策工の計画及び施工時に発生した課題とその対応策について報告する。

2. 災害の概要と緊急対策の概要

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、土砂量約50万 m^3 （推定）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し（図-1）多量の不安定土砂が存在した。不安定土砂は、降雨や余震により更なる崩壊が懸念され、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。崩壊斜面は阿蘇外輪山の内側斜面に位置し、阿蘇山の度重なる火山活動による火山噴出物が広く分布しており、地質は、崩壊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「黒ボク土」が主体であり、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、阿蘇大橋地区においては、二次災害を防ぐことを最重要課題として、不安定土砂や崩壊地内土砂の挙動を監視しながら工事を



写真-1 阿蘇大橋地区の被災状況



図-1 斜面上部に分布する亀裂の状況

を進める必要があった。そこで、本工事では、工事の安全性確保および恒久対策計画に資するデータとすることを目的として、地震直後より各種観測計器が設置され、崩壊斜面周辺の監視・計測を実施している。また、工事の進捗に伴い配置計画の見直し等を行っている。監視・計測に用いた機器は、伸縮計、地盤傾斜計、孔内傾斜計、パイプひずみ計、GPS（GNSS）、地震計、雨量計で（図-2）、それぞれの計器ごとに管理基準値が定められており、基準値を超過した場合にはメール配信し、WEB上で計測値を確認して周知する体制としている。

2.3 緊急対策工事の概要

前項で示した監視体制のもと、緊急対策工事として、崩壊斜面内において以下の対策を実施した（図-3）。なお、工事は全て無人化施工で行った。

(1) 土留盛土工

斜面上部に残る不安定土砂の崩壊による二次災害を防止するものであり、落石跳躍高や無人化施

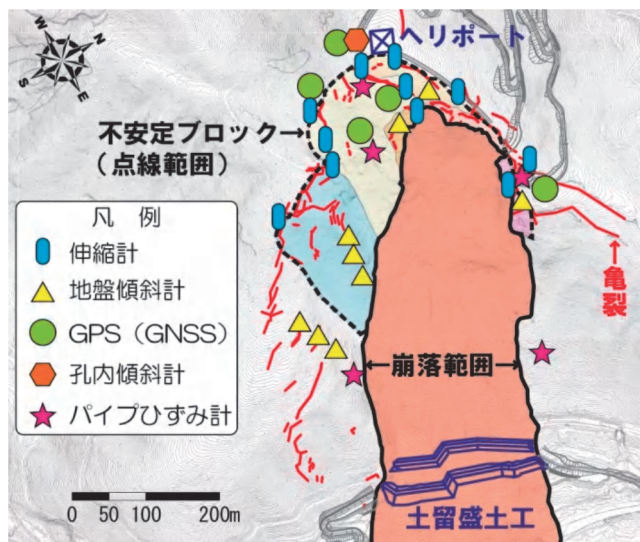


図-2 崩落斜面周辺における監視・観測機器配置状況 (ラウンディング施工前時点)

工機械の施工性を踏まえて、盛土高3m、幅員5mのソイルセメント盛土を上下2段構築した。

(2) 斜面頭部の不安定土砂の除去 (ラウンディング)

滑落崖周辺の地形的に凸部となる表層 (黒ボク) や土砂化した岩屑堆積物、布石、転石を遠隔操作による法面掘削機で除去した。

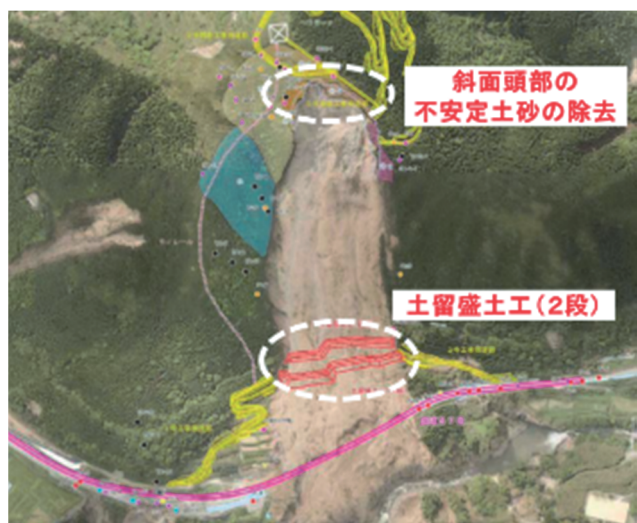


図-3 緊急対策工事の概要

3. 恒久対策の基本的な考え方

緊急対策工事が完了したのち、平成29年7月より恒久対策に着手している。恒久対策では、『より安全に・より早く』をテーマに掲げ、安全性確保と短期施工が可能かつ施工性に優れる対策工を選定するための基本的な考え方を以下のとおり整理した。また、施工段階では、基本的な考え方を踏まえつつも、新たに判明する地質構造などの現地状況に応じて、適切な対策を再検討し

決定している。

3.1 斜面全体

阿蘇大橋地区斜面周辺は『阿蘇くじゅう国立公園』に指定されているうえ、阿蘇地域へのアクセスの玄関口にあたる箇所であることに配慮する必要があった。従って、侵食、風化を受けやすい崩壊後の裸地斜面の植生回復については、周辺に生育する自然植生の種子飛来・発芽、定着を待つ緑化計画とし、植生工 (無種子植生マット等) により施工している。

3.2 崩壊斜面内

崩壊地内は地形地質状況、想定される崩壊の形態から、対策エリアを①ラウンディング部、②崩壊地頭部、③崩壊地下部、④熊本側ガリー浸食部、⑤崩壊地側部に分類した。

斜面の地質構造により、ネット工と鉄筋挿入工を組み合わせる。

また、落石の発生や崩土の崩落のリスクがある箇所は、崩土の除去等リスクを軽減した上でネット工を施工する。

緩斜面で崩壊リスクが低いものの雨水等の表面水による洗掘が予想される箇所は、山腹工 (鋼製土留柵工)、水路工を施工する。

3.3 崩壊地外 (大分側凸地形部)

大崩壊地の大分側に隣接した尾根 (凸) 部で、地震時の落ち残りと思われる緩み土塊が不安定な状態で残存していた。近隣のボーリング調査では、すべり面となりうる脆弱面 (軽石や火山灰の挟み、断層、亀裂に付着した粘土) 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ブロック断面に対しては、イス型すべりを想定した安定解析を実施し、 $F_s=1.2$ の確保に必要な排土工 (抑制工)、アンカー工 (抑止工) を施工した。また、排土後の法面は雨水等による表面侵食防止を兼ねた植生マット工で被覆している。

4. 施工時の課題と実施対策工法

4.1 ラウンディング部の熊本側側部

(1) 施工時に生じた課題

施工段階で降雨等により長さ約8m、深さ約1.5mの崩壊が発生した。空中写真判読及び現地踏査の結果、多亀裂な安山岩が礫混り土砂状となって厚く分布し、標高600m前後まで同様の崩壊発生が懸念された。



図-4 阿蘇大橋地区崩壊斜面の対策エリア

(2) 課題への対応（実施対策工法）

崩壊実績（長さ8m、厚さ1.5m、勾配40°）を元にしたモデル斜面を用いて安定解析を行い、鉄筋挿入工（φ19、L=3.5m）を設計・施工した。また、崩壊により斜面の安定勾配が確保できなくなっており、補強材（鉄筋）間の中抜け防止のため高強度ネット工を施工した（写真-2）。



写真-2 ラウンディング部熊本側側部の対策状況

4.2 崩壊地頭部

(1) 施工時に生じた課題

施工段階で小規模な表層崩壊が複数発生した。空中写真判読及び現地踏査結果から標高670～715m付近に崩壊跡地が抽出され、その斜面上方に新たな崩壊発生が懸念された。

(2) 課題への対応（実施対策工法）

崩壊跡地（長さ13m、厚さ0.8～1.3m、勾配40°）の上方に、同等規模の崩壊を想定して安定解析を行い、鉄筋挿入工（φ19、L=2.0～

3.0m）を設計・施工した。また、崩壊跡地上方は安定勾配1:1.2が確保されているが、落石や表層の部分的な滑落への対策と、斜面上方への崩壊の拡大を防ぐため、受圧板工と密着安定ネット工を併用することとした（写真-3）。



写真-3 崩壊地頭部の対策状況

4.3 熊本側ガリー浸食箇所

地震後の降雨により発生したガリー浸食であり、上部は35°以上の急勾配、下部は崩壊土砂が堆積し、20°程度の緩勾配の集水地形となっている。

(1) 施工時に生じた課題

中腹以下には転石・浮石（最大3m）が緩勾配で堆積し、基礎部の侵食、地震動による落石が懸念された。

(2) 課題への対応（実施対策工法）

複数の転石・浮石（最大3m）の滑動を抑止することが可能な工法としてロープ伏工を施工した（写真-4）。また、ガリー浸食の原因となった流水については、フレキシブル管によりガリー外へ排水することとした。



写真-4 ガリー浸食箇所の実施対策工法（ロープ伏工）

4.4 大分側凸地形部

(1) 施工時に生じた課題

頭部排土工施工時に、対策範囲で自破碎岩が確認された。（右下写真）植生マット工のみの対策では落石や表層の部分的な滑落が懸念された（写真-5）。

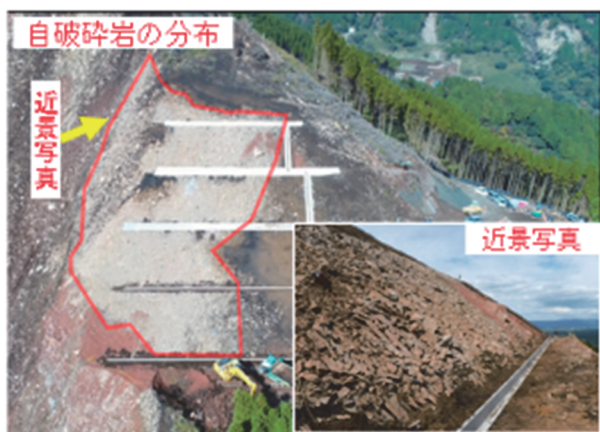


写真-5 大分側凸地形部の自破碎岩分布状況

(2) 課題への対応（実施対策工法）

自破碎岩が確認された範囲について、落石や表層の部分的な滑落への対策として、植生マット工に加え、密着型ネット工を施工した。

4.5 熊本側側部露頭岩への対応

熊本側側部の露頭岩（高さ約4.5m、幅4m、奥行き2.5m以上、オーバーハング状態）について、放電破碎工法により露頭岩の崩落リスクを減じた上で、落石・崩壊対策として鉄筋挿入工（ $\phi=19$ 、 $L=4.0m$ ）及び高強度ネット工を施工した（写真-6）。

5. おわりに

平成30年9月5日に開催された第7回阿蘇大橋地区復旧技術検討会において、斜面上部の傾斜が特に急な区域の対策完了が確認され、斜面中腹部の崩壊土砂等の除去を進めているところである。今後も、地形地質などの現地状況に応じて適切な対策を実施していくこととなるが、引き続き、「より安全に、より早く」を基本理念に、1日も早く恒久的な斜面安定化を図り、地域の復旧・復興に向け努力して参りたい。

謝 辞

阿蘇大橋地区復旧技術検討会（委員長：熊本大学、北園芳人名誉教授）には、事業着手当初より大変有益なご指導、ご助言をいただいている。また、本稿執筆にあたり、(株)熊谷組、日本工営(株)には調査、設計、観測の面でご協力いただいた。この場を借りて厚く御礼を申し上げる。

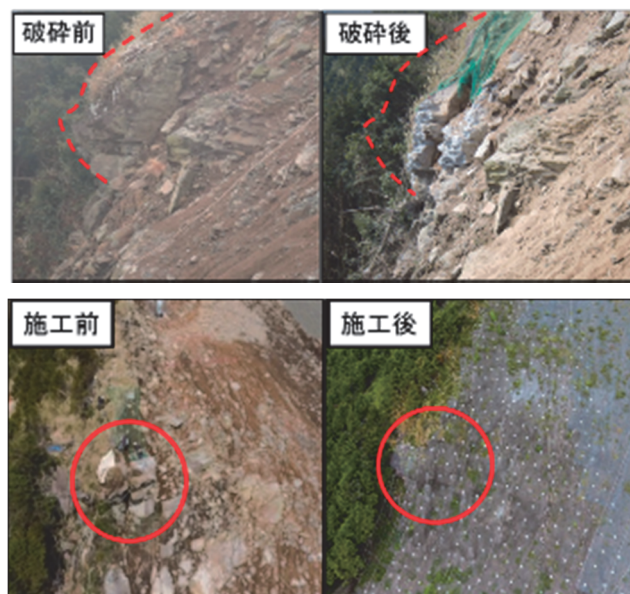


写真-6 露頭岩への対応状況

参考文献

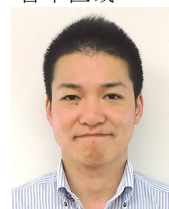
- 1) 国土交通省九州地方整備局：第7回阿蘇大橋地区復旧技術検討会資料（概要版）、2018-09-05 (http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/n-kisyahappyou/h30/180913/shiryous3.pdf)
- 2) 野村真一、石濱茂崇、中出 剛、片山政弘：平成28年熊本地震による阿蘇大橋地区斜面防災対策「砂防災害関連緊急事業（直轄）」の取り組み、砂防学会誌、Vol.70、No.3、pp.58～65、2017

山上直人



国土交通省九州地方整備局熊本復興事務所 工務第一課長
Naoto YAMAGAMI

古中直哉



国土交通省九州地方整備局熊本復興事務所 工務第一課工務係長
Naoya HURUNAKA