

# 大規模崩壊斜面における対策工と CIM の実施

## 阿蘇大橋地区斜面对策工事における「のり面 CIM」の開発と適用

石濱 茂 崇・江口 秀 典・山上 直 人

平成 28 年 4 月の熊本地震により、阿蘇大橋地区では大規模な斜面崩壊が発生し、周辺一帯は壊滅的な被害を受けた。この災害に対して緊急的な対策が国土交通省九州地方整局により講じられ、建設 ICT や無人化施工、遠隔操作などを駆使しながら、土留盛土工やラウンディング、斜面安定工等の様々な斜面对策工事が施工されてきた。本稿では、これまで実施してきた斜面对策工の概要と斜面の恒久的な安定化対策にて採用した CIM について紹介する。

キーワード：熊本地震、大規模斜面崩壊、砂防、斜面对策工、CIM

### 1. はじめに

阿蘇大橋地区では、平成 28 年 4 月 16 日の熊本地震（本震）により大規模な斜面崩壊が発生した。崩壊の規模は、長さ約 700 m、幅約 200 m、崩壊土砂量は約 50 万 m<sup>3</sup>（推定）にも及び、斜面の下部に位置する国道 57 号や JR 豊肥本線が押し流され、国道 325 号の阿蘇大橋が落橋する大災害となった（図—1）。これらの寸断された交通網は、熊本都市圏と大分・宮崎を結ぶ、生活、経済、観光を支える重要交通であることから、早期復旧を目指し、国が高度な技術力をもって砂防工事等の崩壊斜面对策に取り組むこととなった。

崩壊斜面の周辺には、開口亀裂や段差がみられ、余震や降雨の影響により崩落が拡大する恐れがあったことから、国土交通省では「直轄砂防災害関連緊急事業」として斜面に残っている不安定土砂の崩落による災害を防止するための緊急的な対策工事（阿蘇大橋地区斜面对策工事）を平成 28 年 5 月に着手した。この工事では、崩壊斜面上部の不安定土塊が崩落することによる二次災害の恐れがあることから、対策前の崩壊

地内は立入禁止とし、作業は無人化施工にて実施した。無人化施工では、土留盛土工の整備や頭部不安定土砂の除去（ラウンディング）、ガリー浸食部岩塊除去を行った。これらの施工では、これまでの技術を進展させ、「ネットワーク対応型無人化施工システム」や「高所のり面掘削機の無人化施工」を実現した。

このような無人化施工による対策工の完成を受けて、平成 29 年 7 月より斜面の恒久的な対策工事（阿蘇大橋地区斜面对策工事）として有人作業による植生マット・ネット工等の作業に移行した。この工事では、密着型安定ネット工や高強度ネット工、鉄筋挿入工等の対策工を実施した。なお、崩壊地内が立入禁止であり、ボーリング等の地質調査が困難であったため、地山状況が把握されていない状況で施工を進めなければならなかった。一方、密着型安定ネットにおけるアンカー工の確実な施工のためには、土岩境界等の地山状況の把握が重要であり、地山に応じた適切なアンカータイプの選定を行う必要がある。このため、本工事では、施工中に地山状況を把握するための調査を行い、その結果に基づいてアンカータイプを決定することとしたことから、迅速かつ効率的に施工管理を行うことが求められた。このような状況から、本工事において CIM を導入し、効率的に斜面对策工を実施する体制を整えることとした。なお、斜面对策工において CIM が実施されている事例は少ないことから、適応するソフトウェアが存在しないため、本工事において専用の CIM（のり面 CIM）を開発した。



図—1 阿蘇大橋地区の被災状況

## 2. 阿蘇大橋地区斜面崩壊対策の概要

この工事では、余震や降雨による斜面の不安定化が懸念されたため、地震計や雨量計の設置に加え、動態観測として崩壊斜面を取り囲むように地表面伸縮計や地盤傾斜計等を設置し、定点カメラおよび見張り員を配置して視覚的な監視を合わせて行った。このような長大な崩壊地における調査・計画・施工にあたっては、UAV (Unmanned aerial vehicle) 測量等による三次元地形データを用い、調査・設計・施工・施工のすべての段階において i-Construction を取り入れ、安全かつ迅速な災害対応を成し遂げた<sup>1)</sup>。

阿蘇大橋地区では図-2に示すステップごとに施工を進めた。以下にその詳細を示す。



図-2 阿蘇大橋地区斜面对策の施工ステップ

### (1) ステップ1：崩落地内の進入路の整備（無人化施工）

このステップは、無人化施工により実施した。災害時の緊急的な対応として、従来に比べて短い準備日数で工事に着手することができる高機能遠隔操作室を用いた方式により実施した<sup>2)</sup>。また、進入路の準備と平行して、航空レーザー測量や UAV 測量を実施し、調査・測量を進めるとともに、後述する「ネットワーク対応型無人化施工システム」の準備を進めた。

### (2) ステップ2：土留盛土工の整備（無人化施工）

ここでの施工においては、ネットワーク対応型無人化施工システムを採用している<sup>1)</sup>。このシステムは、従来と比較すると、無線環境の設定が容易で、かつ長距離伝送が可能で、接続機器の多重化、データの大容量高速伝送が可能となっている。この特長を活かし、施工箇所より約1km離れた場所に「超遠隔操作室」

を設置し、安全な作業環境を整えるとともに、崩落地内で作業する無人化施工機械が最大14台稼働することを可能とした。

### (3) ステップ3：頭部不安定土砂の除去（ラウンディング）

ここでの施工においては、崩壊地周辺の作業であることから、安全を確保するために高所作業掘削機を用いて遠隔操作にて実施した。斜面上端部の広い範囲に対してラウンディングを行うことから、可動範囲の大きいセイフティークライマーを採用した。掘削機に搭載した可動カメラと施工付近の固定カメラの画像を、操作者がカメラモニターで確認することにより視認性を向上させた。

### (4) ステップ4：ガリー浸食部岩塊除去

地震によって不安定化した斜面のうち、後の大雨の影響によりガリー浸食が拡大した箇所について、不安定化した岩塊を取り除く工事を行った。ここでは、ステップ3と同様に高所作業掘削機を用いて遠隔操作にて実施した。なお、不安定岩塊の規模が大きかったことから、より大きな重機を用いるロッククライミングマシンを採用した。

### (5) ステップ5：恒久対策工事に向けた準備工事

ステップ3やステップ4の完了にともない、土留盛土工の下部では有人施工が可能となったことから、恒久対策に向けて有人での地質調査を実施した。また、斜面の恒久的な安定化対策に備えて、崩壊斜面中の土砂の撤去を行った。ここでは、長大な崩壊斜面内での作業となることから、従来は目視確認による遠隔操作が行われていたロッククライミングマシンにおいて、ステップ2と同様のネットワーク対応型無人化施工システムを導入し、高所のり面掘削機における無人化施工を実現した<sup>3)</sup>。

### (6) ステップ6：斜面の恒久的な安定化対策

斜面上方から順次、植生マット・ネット工を実施した。地盤条件が不明確な中で施工となったことから、土砂厚の確認を施工中に実施した。確認はネット工のアンカー全数で実施するため、効率的な施工管理を行う必要があったことから CIM を適用した。

## 3. 開発したのり面 CIM の概要

阿蘇大橋地区斜面对策工事では、既存のシステムで



は目的とする施工管理は困難であったことから、斜面の恒久的な安定化対策において適用する「のり面 CIM」を新たに開発した。このシステムは、斜面对策工事で実施するグラウンドアンカー工や鉄筋挿入工などに対し、設置位置やアンカー諸元、当該箇所の地質情報、施工日、試験結果などの属性情報をアンカーに付与し、3次元空間に配置するものである(図-3)。配置したアンカーには、施工状況写真や試験結果の

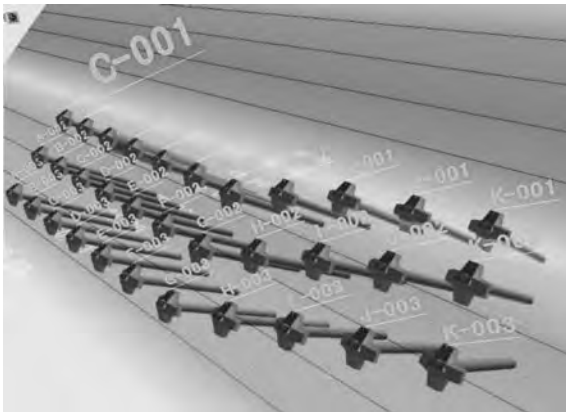


図-3 のり面 CIM 表示例

データシート等もリンクさせて直接ファイルを閲覧できるようにしている(図-4)。このように、本システムでは、施工中に得られたデータを集約・3次元モデル化(可視化)し、一元管理した情報を次ブロックの施工へフィードバックすることにより、施工の効率化を図ることができる。

本システムでは、Excel<sup>®</sup>等の表計算ソフトにて整理した施工実績のデータベースを読み取る仕様となっていることから(図-5)、現場での入力作業の負担が少なくなっている。

なお、本システムは、3次元地質解析ソフトウェアを基本としていることから、調査ボーリングの3次元空間への配置や地質構造の3次元的な解析も可能となっており、すべり面の形状や定着層の位置も3次元で表現できる(図-6)。特にグラウンドアンカーにおいてこの機能は有効と考えられ、すべり面と定着層の広がりや関係性を3次元的に把握することが可能であることから、施工中に確認する定着層の異常値の発見が容易となる。さらに、斜面安定計算のソフトウェアとの関係も可能となっており、地質状況が想定と異なった場合には、早急に再計算ができる仕組みとなっている。



図-4 属性情報および施工写真表示例

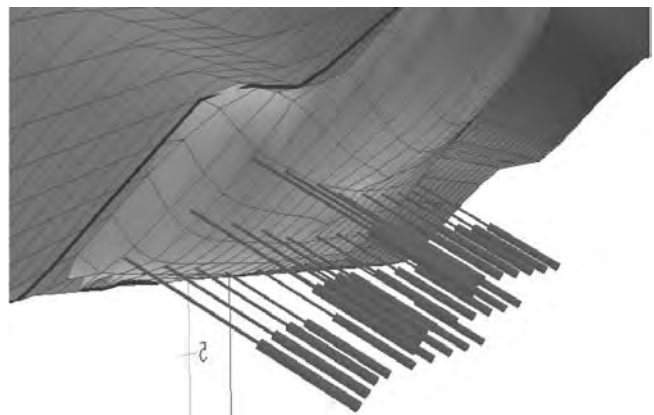


図-6 すべり面の3次元表示例



図-5 Excel<sup>®</sup>による入力画面の例

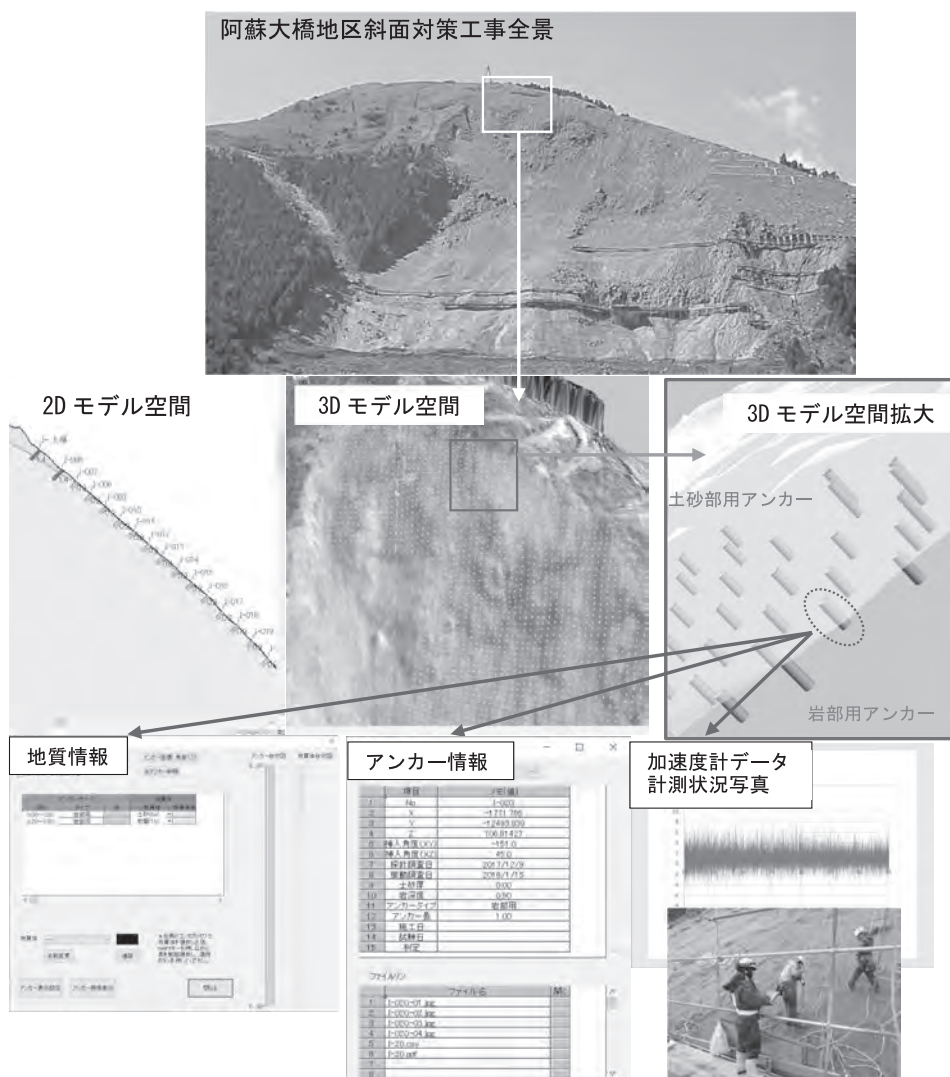
#### 4. 阿蘇大橋地区斜面对策工事での CIM の適用

阿蘇大橋地区斜面对策工事においては、密着型安定ネット工に対して CIM を適用した。密着型安定ネット工は、土砂厚に応じて適切な鉄筋挿入型のアンカーのタイプを選定する必要があるものの、前述したように、崩壊地内では地質調査が実施されていなかったことから、対象の地山状況（土岩境界）が把握されていなかった。よって、本工事では、土砂中に鉄筋を挿入する探査および振動センサーを使用して土砂層の厚さをアンカー施工箇所の全点で確認する調査を施工中に実施した。確認した土砂層の厚さをを用い、のり面 CIM 上において土砂と岩の境界を 3D モデル化し、アンカー諸元（種別、アンカー長）、アンカー配置、アンカー強度を CIM により一元管理した（図一七）。

また、のり面 CIM は、アンカーの属性（諸元）を一本ごとに表示する機能を有しており、状況写真や帳票等もリンクさせることが可能である。このように、

施工中の調査データや施工実績を集約・3次元モデル化（可視化）し、一元管理した情報を次ブロックの施工へフィードバックすることで、施工の効率化を図った（図一八）。仮に、のり面 CIM を導入しなかった場合、地盤条件が定かでない状況であったことから、抽象的な感覚でアンカー諸元を決定していたと考えられ、ある程度の規模の手戻りが発生していた可能性がある。

また、本工事の密着型安定ネット工ではアンカーの 10% において引抜き試験を行っている。通常であれば、対象のアンカーだけが施工時のデータとして維持・管理に引継がれるが、本工事で実施したのり面 CIM は、アンカー施工箇所全てのデータを維持・管理に引継ぐことができることから、斜面对策工事における建設生産システムの高度化につながったと考えられる。これらのデータは、維持更新や同種工事に活用することが期待される。



図一七 阿蘇大橋地区斜面对策工事におけるのり面 CIM の事例



図一 阿蘇大橋地区斜面对策工事におけるのり面 CIM 実施概念図

### 5. 今後の課題

今回実施したのり面 CIM は、専用のシステムを用いていることから、維持・管理に引き渡す場合、現況では費用の掛かる専用のシステムを導入してもらう必要がある。このままでは、特定のメンバーだけが使用できる状態になってしまうため、現在簡略化したシステムを考案中であり、広く展開したいと考えている。

また、今回開発したシステムの特長として、Excel<sup>®</sup>等の表計算ソフトにて入力できることから、維持・管理データの追加も容易となることが考えられ、維持・管理手法が高度化することが期待される。

### 6. おわりに

今回適用した CIM は、地震による大規模斜面災害という特殊条件であることから開発できたと考えられる。しかしながら、同様の斜面对策工において今回開発した CIM を用いることは、生産システムの業務効率化や高度化につながることを期待される。現在、阿蘇大橋地区斜面对策工事のその他の斜面对策工（グラウンドアンカー等）への適用を行っており、その有用性を確認している。

JICMA

#### 《参考文献》

- 1) 中出 剛, 北原 成郎, 光武 孝弘, 野村 真一, 「無人化施工技術を核とした i-Construction による緊急災害対応—阿蘇大橋地区斜面防災対策工事—」, 地盤工学会誌, Vol.66, 1, pp.20-23, 2018 年 1 月
- 2) 飛鳥馬 翼, 北原 成郎, 「大規模災害へ柔軟に対応する拡張型高機能遠隔操作室の開発」, 建設機械, Vol.55, 7, pp.8-13, 2019 年 7 月
- 3) 北沢 俊隆, 佐藤 裕治, 飛鳥馬 翼, 「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）」, 平成 30 年度建設施工と建設機械シンポジウム, 2018 年 11 月

#### 【筆者紹介】



石濱 茂崇 (いしはま しげたか)  
 (株)熊谷組  
 土木事業部 土木設計部 地質グループ  
 グループ課長



江口 秀典 (えぐち ひでのり)  
 国土交通省 九州地方整備局  
 副所長



山上 直人 (やまがみ なおと)  
 国土交通省 九州地方整備局  
 課長