

不安定な急崖斜面の崩壊対策検討の事例

(株)ネクスコ東日本エンジニアリング

正会員 ○小串 諒

(株)ネクスコ東日本エンジニアリング

正会員 大岡 綾美

(株)ネクスコ東日本エンジニアリング

正会員 西村 光司

東日本高速道路(株)

岸 和雄

(株)ネクスコ東日本エンジニアリング

フェロー 永井 宏

1. はじめに

2021年9月上旬、高速道路ののり面高さ70.3m、のり面段数10段の切土のり面に隣接する崖面の崩落を発見した(図-1)。崩落した崖面は硬質な安山岩からなり建設時に切り残した部分であった。緊急対策として、落石監視システム(落下センサーと監視カメラ)の設置、落石による高速道路構造物および側道(市道)の防護工として大型土のうを設置した。対策工の検討のため、近接調査にて危険度や発災メカニズムを把握する必要があるが、崩落した崖面は急崖かつ不安定な岩塊が崖面に残っている状況であり、二次災害防止のため立入りが困難な状況であった。



図-1 崩壊箇所

本稿では、二次災害が懸念される崩落災害現場において、ドローンによる崩壊斜面の近接調査、斜面三次元モデル解析および落石シミュレーションの技術を活用し対策工の検討を行った事例を報告する。

2. 現場状況

当該現場の高速道路に面したのり面には、のり面保護工として植生工が施工されている。しかし、これに隣接する崩壊箇所は、硬質な安山岩が露頭しており、硬く良好な岩盤だったため建設時にこの硬質部を切り残すように施工された。それにより、硬質な安山岩が突出した崖上に分布する形状となっていた(図-2)。本事例は、この突出した崖部の先端が崩壊したことで発生したものである。



図-2 露頭した硬質な安山岩(建設時)

崩壊した斜面は、幅15m、高さ20mの規模であり、崩壊した岩塊の大部分は崖下の傾斜35°程度の斜面上に堆積している(図-3)。しかしその一部がさらに下方へ到達し、高速道路の橋梁下まで到達しており、橋台基礎のコンクリートにも衝突した痕跡がみられた。下方の転石サイズは、0.5m~1mが点在しており、最大の転石サイズは、1.8m×1.5m×1.1mである。崩壊範囲には、建設時に落石防止網が設置されていたが、今回の崩落によって破損し、崩壊範囲の外側に残ったネットの中には、落石が数個引っかかった状態で極めて不安定なものがみられた。



図-3 崩落状況

3. 調査計画

(1) ドローンによる近接調査およびSfM解析

現地調査は、適切な対策工を検討するため、近接目視による岩盤の状況、亀裂や層理の走向傾斜を把握し、今後崩壊する範囲や発災メカニズムを推定する必要があった。しかし、斜面には不安定な浮石が残存する状況であるため、近接調査は困難であった。そのため、斜面の安定度評価を目的に、

キーワード 斜面崩落 ドローン SfM解析 落石シミュレーション

連絡先 〒116-0014 東京都荒川区東日暮里5-7-18 (株)ネクスコ東日本エンジニアリング TEL 03-38055-7925

ドローンを用いて近接画像を撮影し、それをもとに SfM 解析を行い、崩壊面の詳細形状や岩盤の亀裂の状況などを、三次元で表現した地形図に示すことで、対策工の検討を実施することとした。

(2) 落石対策工の検討

対策工を検討するにあたり、落石エネルギーや跳躍量などが重要な要因となる。これらの要因を検討する手法として、主に落石対策便覧に示される算出方法とシミュレーション解析を行う手法がある。前者は、落石実験の経験則によるため、現地条件の設定が単純化されており、複雑な地形条件を持つ当該箇所にはシミュレーション解析による手法が適切と判断し実施した。後者は2つに大別でき、落石を単純な質点として反映する質点系と多角形の形状として反映する非質点系が存在する。質点系で検討される落石サイズは50 cm 以下による落石を対象とするため、1 m 以上の径が想定される当該箇所の解析には適さないと判断した。一方非質点系は、その特徴から、落石と斜面の接触部で発生するモーメントや回転の計算が可能であり、落石の形状も考慮可能なためこの手法を採用した。中でも、サイズや形状、転がり落ちる斜面形状、地表面の摩擦係数や衝突による減衰係数の設定など当該箇所の現地状況を細かく再現可能な、非質点系落石シミュレーションの DDA（不連続変形法）解析手法を採用した。

4. 調査・解析結果

(1) SfM 解析

ドローンによる崖面の近接調査結果からは、浮石状の不安定部が認められたことから、落石対策便覧に基づき図-4 に示す安定度 1（最も不安定）～5（比較的安定）に区分し、斜面の安定度評価を行った。判定結果より、不安定岩塊は崩壊箇所の肩部に確認でき、特に斜面に向かって右上部に落ち残りともみられる不安定な岩塊が分布することが認められた。

また、SfM 解析結果より、崩壊後の斜面勾配は75°程度で形成されており、節理の走向傾斜は、崖面の傾斜に対して高角度の流れ盤構造となっていることを確認した。さらに、不安定な領域（1～4）の下面に存在する節理面を三次元モデル上で延長し、地表面に出現する位置を表現することで、崖面背後に幅 1.3 m 程度の奥行で不安定岩塊が残っている可能性があることが認められた（図-5）。

(2) DDA 解析

DDA 解析結果より、実際の斜面の起伏、落石と斜面の衝突による抵抗などを考慮した落石エネルギーと跳躍量が算出され、効果的な対策工の設置位置や規模について検討することが可能となった。

5. 発災メカニズム

これまでの調査結果から、当該箇所は、亀裂から雨水が岩盤中に浸透しやすく、崖面の傾斜方向に対して高角度の流れ盤構造の特徴をもつ地形であり、これを今回の崩壊の素因として考えている。崩壊の直接的な誘因は、大雨により高角度開口節理に雨水が浸透し、開口節理面の間隙水圧が上昇したことで、岩塊が不安定化し、流れ盤の開口節理がすべり面となって崩壊に至ったと想定される。

6. まとめ

斜面崩壊等の被災後は、対策工の検討を行うために斜面の安定性評価や崩落規模を把握するため、速やかに現地状況を把握する必要がある。しかし、崩壊後の崖面は不安定であり二次災害防止の観点から立ち入りを制限せざるを得ない場合が多い。このような場合、ドローンによる近接調査、空中撮影画像を用いた SfM 解析技術および現地状況を考慮した落石シミュレーション解析技術を選定し実施することは、危険リスクを伴う現地作業の削減と効果的な対策工計画を策定することに有効な手段であり、今後も積極的に活用していく予定である。

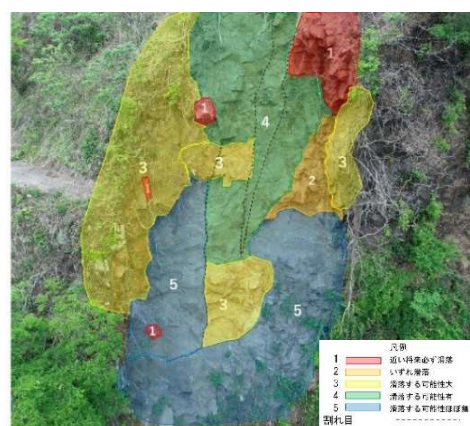


図-4 安定度評価

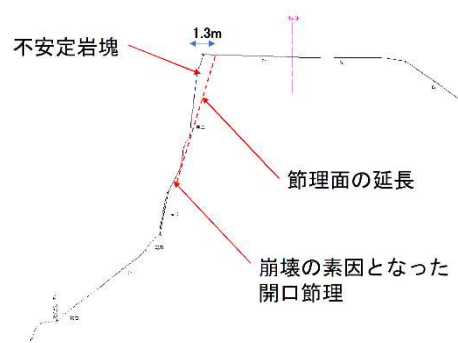


図-5 不安定岩塊の分布状況（断面図）