

岩盤斜面の安定性評価と落石シミュレーション

長崎大学工学部 正会員 ○ 蔣宇静 長崎大学工学部 学生会員 谷下由季
 長崎大学工学部 フェロー 棚橋由彦 長崎大学工学部 正会員 杉本知史
 長崎県土木部道路維持課 有吉正敏 長崎県土木部島原振興局 椋尾隆

1. はじめに

高速道路や鉄道の路線が山間部を通るなど地山を深く掘削した長大斜面が形成される事例が多く、崩壊が危惧される岩盤斜面も全国的に多数存在しており、効果的な斜面補強を行う上で、施工の優先順位を決定する必要がある。本研究では、長崎県雲仙市から南島原市の一般国道 251 号線沿いの岩盤斜面を対象として数値解析を実施することで落石などによる斜面崩壊をもたらす要因を明らかにし、将来の安定性を評価し考察することで、補強箇所の選択を可能にすることを目的としている。

2. 解析モデルの概要

本研究では、崩壊の判定と崩壊後の挙動をシミュレーションでできる DEM(個別要素法)を用いて解析を行った。図-1 に本研究で対象とする岩盤斜面の断面図を示す。斜面下部傾斜角 α (°)、斜面上部傾斜角 β (°)、斜面高さ H (m)、火山角礫岩層の基準線からの層厚 h (m)とし、この4つのパラメータを変化させて解析ケースを設定した。斜面は形状により、Type1($\alpha = \beta$ 、単純斜面)、Type2($\alpha > \beta$ 、斜面上部が緩やかになる斜面)、Type3($\alpha < \beta$ 、斜面上部が急傾斜する斜面)に分類される。地質は斜面底部から火山角礫岩層、凝灰角礫岩層となっており、凝灰角礫岩層は風化の度合いにより強風化部、中風化部、弱風化部となっている。この時、岩盤斜面のみの安定性を評価したいので、ロックシェッドは岩盤斜面から崩落する土砂や岩石の荷重に耐えうる強度とする。解析ケースは斜面 Type ごとの現場断面形状の平均値とそれに、 H と h については ± 10 m、 α と β については $\pm 10^\circ$ のケースを加えた計 189 ケース(Type1 は 27 ケース、Type2 と Type3 は 81 ケースずつ)を基本として解析を行った。解析に用いた岩盤ブロックの物性値は対象現場である一般国道 251 号線沿いに存在する岩盤斜面(雲仙市南串山町から南島原市加津佐町にかけての海岸線およそ 4500m の区間)の調査などに基づいて決定した。

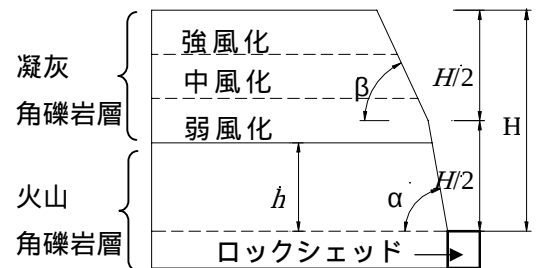
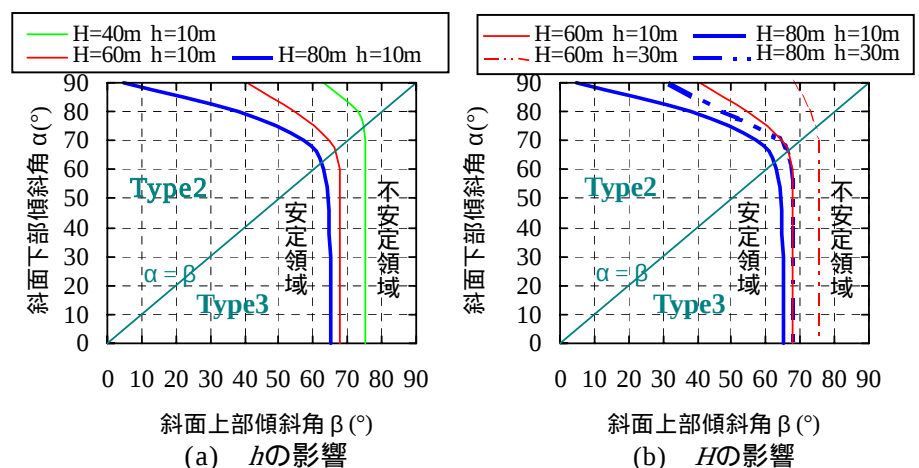


図-1 岩盤斜面断面図

3. 解析結果と考察

3.1 斜面形状の影響

図-2 における安定と不安定の境界線を $\alpha - \beta$ 曲線と呼び、 $\alpha - \beta$ 曲線よりも左側は安定領域、右側は不安定領域である。 h が増加すると安定領域が拡大し、 H が増加すると不安定領域が拡大している。また、 $\alpha - \beta$ 曲線は直線 $\alpha = \beta$ 付近に変曲点があり、これは斜面の形状が Type2 から Type3 に変化するためであると考えられ、Type2 では崩壊に関する α の影響が Type3 よりも大きくなっている。さらに、図-2(a)より、特に Type3 において上部層の厚さが同じであれば H の影響がほとんどないことがわかる。

図-2 斜面の安定と不安定の境界線($\alpha - \beta$ 曲線)

キーワード 安定性評価、落石シミュレーション

連絡先 〒852-8521 長崎市文教町 1-14 TEL: 095-819-2626 FAX: 095-819-2627

3.2 解析結果の評価

昨年度の解析結果より、一般国道 251 号線沿いに存在する岩盤斜面において 8 箇所の斜面が不安定の可能性があることが判明し、現地での詳細測量により、断面形状は図-1 の傾斜角 α と β の間に γ を加え、斜面下部(傾斜角 α)、斜面中部(傾斜角 γ)、斜面上部(傾斜角 β)の三つの構成として、外形を設定し直した。現場試験から得られた物性値を用いて解析することにより、斜面の安定状態を評価した。全 8 断面が安定であり、実現場の安定状態を再現できた。しかし、要素安全率が 1 に近い箇所が表層にあり、風化の進行などによって局所的崩壊を生じる可能性があると考えられる。

3.3 シミュレーションによる落石解析

風化や地震などの要因により落石が起こった場合について、斜面下にあるロックシェッドにかかる荷重を解析した。解析方法は、斜面モデルの上部から落石を転がし、ロックシェッドに衝突した時の応力を算出し、その応力からブロックの集中荷重を求め、落石によるロックシェッドにかかる荷重として求める。落石を発生させる斜面の形状を、図

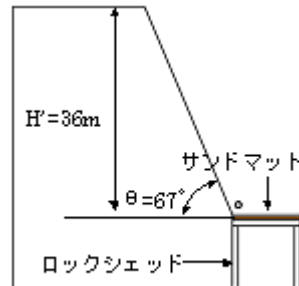


図-3 落石斜面モデル

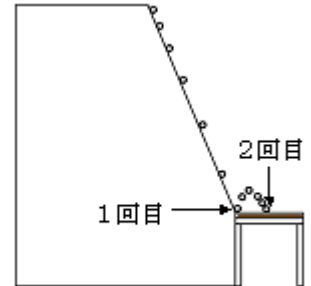


図-4 落石の軌跡

-3 に示すように落石高さ $H = 36\text{m}$ 、傾斜角度 $\theta = 67^\circ$ とする。また、過去崩壊した岩盤斜面の状態と近似した形とするため、コンクリートで造られたロックシェッドの上に、現場斜面に近い物性値を用いたサンドマットを敷き解析を行った。サンドマットの厚さは 90cm、ロックシェッドの厚さは 100cm とする。落石については、過去崩壊した岩盤斜面の落石の大きさを調査した結果を踏まえて落石重量 20kN、落石ブロックを最大エッジ長さ 1m の六角形、八角形ブロックの 2 種類と 1 辺が 1m の四角形と 2m の四角形、計 4 種類を用いた。解析結果の一例として、落石の軌跡を図-4 に示す。

3.4 落石解析結果と考察

落石解析では現場のロックシェッドを模擬するためロックシェッドの上にサンドマットを敷き、解析を行ったが、比較のためサンドマットを敷かない場合についても同様に解析を行った。ロックシェッドに作用する衝撃力の分布について、サンドマットありの結果を図-5、サンドマットなしの結果を図-6 に示す。サンドマットありの場合、形状により多少の変化はあるが、明確な差異は確認できなかった。サンドマットなしの場合では、形状により衝突時の衝撃力が 1.7 倍程度の差が確認できた。サンドマットありの場合はサンドマットなしの場合より 1/3 から 1/5 の衝撃力におさえられ、サンドマットによる効果で衝撃力が緩和される傾向が確認できた。ロックシェッドの耐荷力を決定する上で、要素ブロックの形状やサンドマットの効果を適切に反映する必要があると考えられる。

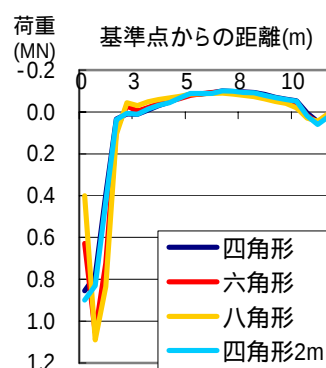


図-5 落石衝突時の衝撃力
(サンドマットあり)

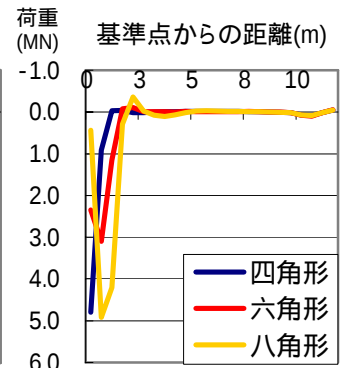


図-6 落石衝突時の衝撃力
(サンドマットなし)

4. 結論

個別要素法を用いることにより、対象現場の斜面形状により近づけて解析を行った結果、解析対象となった岩盤斜面の安定評価ができた。また、落石解析においては、実際に落石が起きた場合の衝撃力の分布やサンドマットの緩和効果を確認することができた。今後は、斜面やロックシェッドの安定性をより精度よく評価するために、岩盤の物性値や斜面外形に加え、落石の形状やロックシェッドの状態などを検討に加える必要がある。

(参考文献)

1) 手島亮介, 田作祐輔, 李博, 蔣宇静, 棚橋由彦: 斜面形状が岩盤斜面の安定性に及ぼす影響の評価, 平成 19 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 2008