

3次元個別要素法を用いた岩塊崩落挙動の予測

国土防災技術(株) 技術本部 正会員 ○山田 正雄
 (株)地層科学研究所 大阪事務所 正会員 中川 光雄
 国土防災技術(株) 長崎支店 中谷 紀行

1. はじめに

実務における岩盤崩落や落石シミュレーションの多くは2次元断面で実施されている。しかし、自然斜面の横断形状は平衡斜面のみならず、集水斜面や散水斜面など横断方向に尾根型や谷型の勾配を有する斜面が多い。そのため横断面が勾配を有する一般の自然斜面を対象とした岩塊の崩落挙動を精度よく予測してこれを防護工設計へ適用できる数値解析手法の確立が望まれる。本研究では、斜面や崩落岩塊の形状・規模を忠実にモデル化できる3次元個別要素法解析を実際現場へ適用し、解析結果よりその有用性および課題を考察する。



写真-1 対象斜面全景

2. 対象斜面の概要

対象斜面は島原半島南端に位置する国道251号線沿いの加津佐道路公園の直上の南向き斜面（写真-1）であり、調査地直上の平坦地は公園となっている。図-1に示すように斜面の上部は傾斜が70～80°の安山岩質凝灰角礫岩（南串山層）の岩盤で急崖を形成しており、赤枠表示の箇所に層理節理面に多数の亀裂が存在し、剥離した岩塊が多数斜面上に存在している。また、斜面の中部から下部にかけて南串山層の下位層にあたる砂岩、シルト岩、凝灰角礫岩からなる加津佐層が位置する。加津佐層は全般に固結度の低い砂礫と泥岩を互層状に挟む均質な砂岩層で、地内の斜面にも軟質の泥岩露頭が一部認められるが、当地層は崖錐堆積物に覆われている。加津佐道路公園の直下の海浜部には、斜面上部の凝灰角礫岩が亀裂線に沿って剥離した後、繰り返し斜面に衝突しながら到達した径φ0.3～0.5mの岩塊が多数みられるが、その一部は斜面上に停留するものも見受けられる。

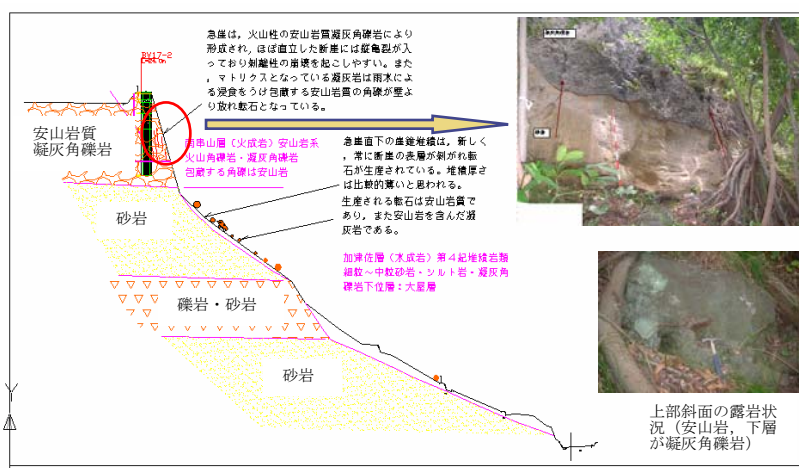


図-1 崩落岩盤斜面断面図 (No.13-14 測線)

3. 岩塊崩落等の想定される運動形態

本斜面における不安定岩塊の予測される運動形態は、急崖直下の斜面上部に存在する転石の再落下と、傾斜角70～80°の急崖からの剥離による岩塊崩落に大別される。前者の転石再落下は0.3～0.7mと落石の規模が若干小さく、凝灰角礫岩に取り込まれた角のとれた安山岩質転石であることから、落下経路はある程度予測することが可能である。このような場合の予測手段としては質点系2次元解析を適用しても問題ないと思われ、著者らは既にこれを実施している。これに対して、急崖からの剥離による岩塊崩落は0.5～1.2mの方形状岩塊として崩落すると考えられるため、大きなエネルギーを有しながら崩落経路が平面的に広がることが容易に推察される。このような場合の予測手段としては、非質点系3次元解析が妥当であると考えられる。

キーワード 岩盤崩落, 3次元解析, 個別要素法, 反発係数, 接触形態

連絡先 〒330-0074 さいたま市浦和区北浦和 2-12-11 技術本部 Tel. 048-833-0422

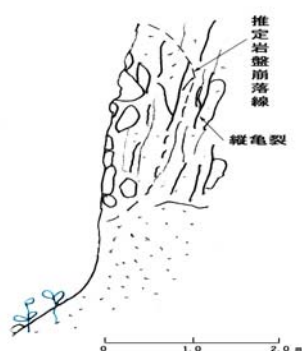


図-2 崩落岩盤断面図

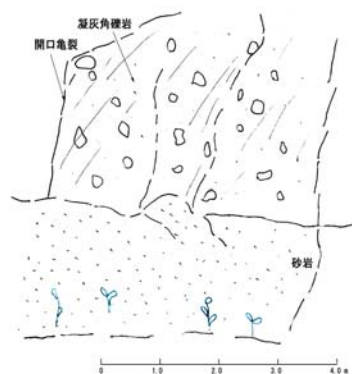


図-3 崩落岩盤正面スケッチ

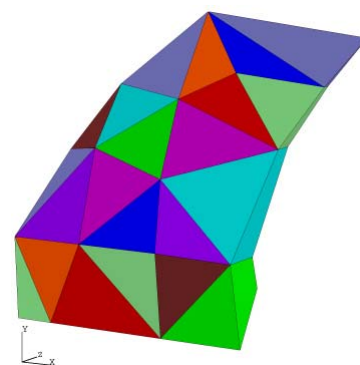


図-4 解析モデル（崩落岩塊）

4. 3次元個別要素法を用いた岩塊崩落シミュレーション

急崖からの剥離による岩塊崩落に対しては崩落方向の平面的な広がり的事前に予測することは困難である．そこで，3次元個別要素法による岩塊崩落シミュレーションを実施した．用いた解析プログラムは，P.A.Cundall らによって3DECの名称で公表されている．図-1に示した測線断面付近における崩落岩盤を対象として斜面および崩落岩塊をモデル化した．斜面の地形はレーザースキャナ計測から得られた標高数値データ(1.6mのTin)を利用した．また，崩落岩塊は図-2，図-3に示す現地踏査時の観察スケッチに基づいて図-4のようにモデル化した．個別要素法の計算に用いた物性値を表-1に示す．崩落岩塊同士の衝突や崩落岩塊が斜面あるいは防護壁に衝突する際のエネルギー損失は，接触機構における剛性比例型減衰で表現され，所定の反発係数となるように決定される．

図-5～図-6は岩塊の崩落軌跡の一例である．これより，地形の凹凸特性の影響を受けて個々の岩塊が平面的な広がりを呈して崩落していることが分かる．落石エネルギーが1000kJ以上と大きなものになることや予測される跳躍高さが10m以上になる可能性があるため，本例の場合は通常の落石防護工の適用範囲を越えている．また，発生源対策としては土質の脆弱な部分をアンカー付きとする法枠工が適していると考えられる．

5. おわりに

岩塊崩落の運動軌跡を予測し評価する上で崩落対象岩盤の形状・規模を忠実にモデル化した3次元個別要素法解析が有用であることを示した．岩塊ブロックが法面と接触する場合，その接触形態（ブロック面-法面，ブロック辺-法面，ブロック角-法面など）により，岩塊の跳躍高さが大きく異なるという問題がある．今後は，より実際の崩落挙動を再現するため，これら接触形態に対して個別に反発特性を設定することなどを検討していく．

参考文献

- ・（社）日本道路協会：「落石対策便覧に関する参考資料ー落石シミュレーション手法の調査研究資料」
- ・ P.A.Cundall:Formulation of a Three-Dimensional Distinct Element Model, *Int. J. Rock Mech., Min. Sci.&Geo.*,1988.

表-1 3次元個別要素法解析の物性値

岩種	区分	反発係数 e	接触摩擦角 (°)
崩落岩塊(砂岩)		0.40	30.0
砂岩		0.40	30.0
れき岩		0.55	30.0
道路		0.55	30.0

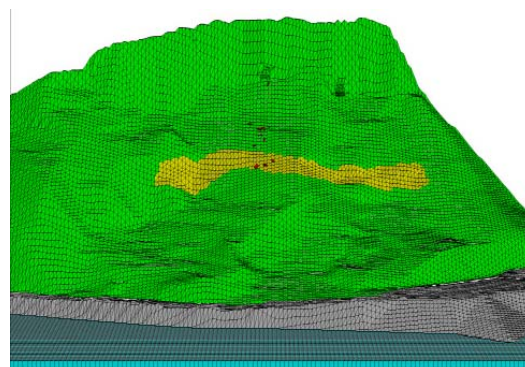


図-5 解析結果（崩落開始7秒後）

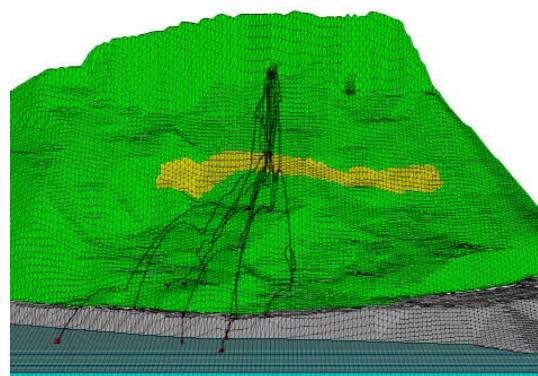


図-6 解析結果（崩落開始14秒後）