

## 3次元個別要素法による岩塊崩落シミュレーションの急崖斜面への適用

(株)地層科学研究所 正会員 ○中川 光雄  
(株)エイトコンサルタント 正会員 神原 規也

## 1. はじめに

斜面对策工の工法や設置範囲を決定するために、3次元個別要素法解析が用いられるようになっている。本報では、崩落岩塊を多面体ブロックでモデル化し、より緻密な接触判定法が要求される斜面勾配が70°以上の急崖斜面に適用した事例を報告する。

## 2. 3次元個別要素法による崩落シミュレーション

3次元個別要素法を用いた崩落シミュレーションにより崩落岩塊の運動軌跡やエネルギーを適切に評価するには、以下の項目が重要であると考えられる<sup>1)</sup>。

- ①斜面の地形、崩落岩塊の大きさや形状に対して3次元的により実際に近いモデルを作成すること。
- ②崩落岩塊と斜面や崩落岩塊相互の衝突において、3次元接触判定が有効かつ効率的に機能すること。

上記①に関しては、斜面は多角形で、崩落岩塊は多面体と考えて多面体ブロックでモデル化する。また、急峻な斜面ほど崩落岩塊は回転を伴い高速で斜面と衝突することが考えられるため上記②が有用となる。上記①,②を満足し、多面体ブロックを取り扱う3次元個別要素法プログラムとして、本報では3DEC Ver4.1 (Itasca Consulting Group, Inc.)<sup>2)</sup>を用いた。

## 3. モデル化の概要

## 3-1 対象斜面の地形・地質状況

解析対象斜面は噴出直後の急冷作用により柱状節理の発達した新第三紀の溶結凝灰岩によって構成されている。河川の攻撃斜面に位置し、激しい下刻、側方浸食作用を被り、柱状節理岩塊の林立する、座屈崩壊の進行した比高100～150mに達する70°を越える急崖斜面が形成されている。本報では、道路からの比高約115mに位置し、下端がオーバーハング状に不安定化した写真-1に示す岩塊群(全6岩塊/背面傾斜75°)を崩落シミュレーションの対象とした。

## 3-2 斜面および崩落岩塊のモデル化

図-1に示す斜面の個別要素法モデルは、航空レーザ計測で得られた点群データを柱状節理によるブ

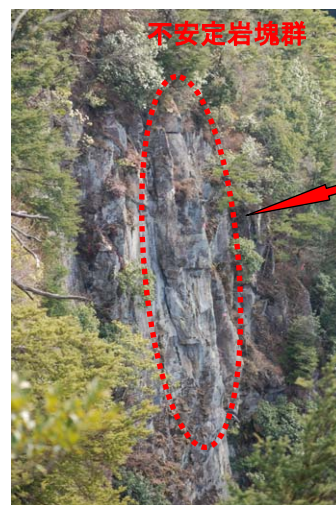


写真-1 崩落対象岩塊群

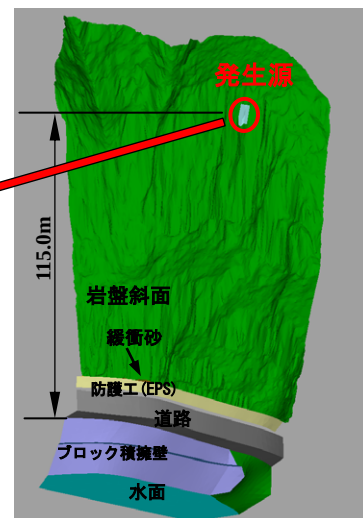
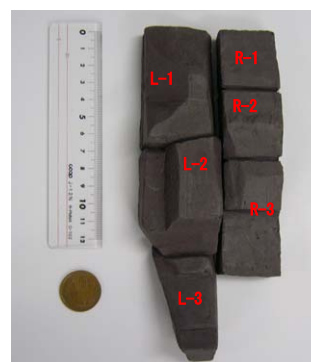
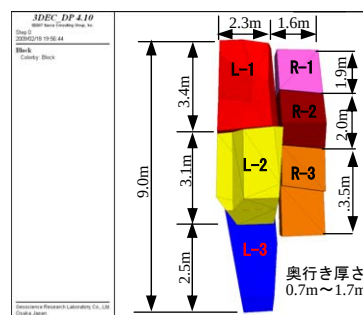


図-1 個別要素法による斜面モデル



(a) 粘土模型(スケール 1/50)



(b) 個別要素法モデル

図-2 崩落岩塊のモデル化

ロック化が良好に再現されるよう密なメッシュデータ(0.5m間隔)に変換したDEMデータを用いてTinを生成し、Tinで区切られた三角形プレート集合体として作成した。また、防護工(緩衝材としてEPS設置)、道路、ブロック積擁壁などの構造物は、設計図書に基づき作成した。急崖斜面上に存在する崩落岩塊は、クライミング調査時に作成した写真を参考に工作用粘土を用いて図-2(a)に示す1/50スケールの模型を作成した。そして、これらに可能な限り忠実に図-2(b)に示す個別要素モデルを作成した。図中では6岩塊に記号(L-1～R-3)を付した。岩塊の密度を2600(kg/m<sup>3</sup>)として体積と質量を表-1に示す。

キーワード 落石, 岩盤崩落, 3次元個別要素法, 多面体ブロック, 接触判定, 運動軌跡, 運動エネルギー

連絡先 〒532-0011 大阪市淀川区西中島5丁目7-19 (株)地層科学研究所 防災・環境事業グループ nakagawa@geolab.jp

表-1 崩落岩塊ブロックの体積と質量

| 岩塊番号 | 岩塊体積(m <sup>3</sup> ) | 質量(t)  |
|------|-----------------------|--------|
| L-1  | 6.980                 | 18.1   |
| L-2  | 6.990                 | 18.2   |
| L-3  | 3.588                 | 9.3    |
| R-1  | 2.703                 | 7.0    |
| R-2  | 4.301                 | 11.2   |
| R-3  | 4.534                 | 11.8   |
| 平均   | 4.849                 | 12.609 |

(密度2600kg/m<sup>3</sup>)

表-2 物性値

| 崩落岩塊の接触相手  | 反発係数e | すべり摩擦角φ(°) |
|------------|-------|------------|
| 崩落岩塊       | 0.45  | 30.0       |
| 崩落岩塊の背面    | 0.45  | 30.0       |
| 岩盤斜面       | 0.45  | 30.0       |
| 緩衝砂        | 0.10  | 35.0       |
| EPS        | 0.30  | 30.0       |
| 道路(アスファルト) | 0.40  | 30.0       |
| ブロック積み擁壁   | 0.40  | 30.0       |
| 小段         | 0.40  | 30.0       |
| 水面         | 0.10  | 89.0       |

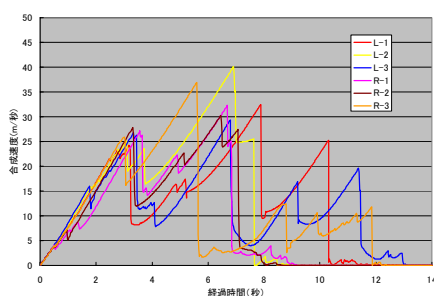
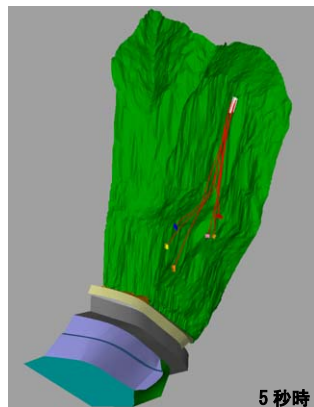
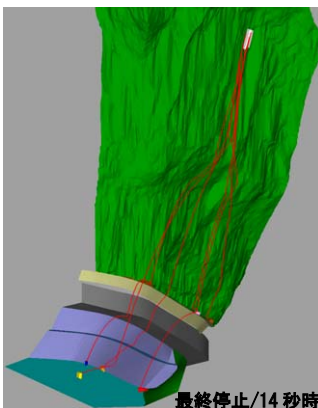


図-4 岩塊速度の時刻歴(並進成分の合成)

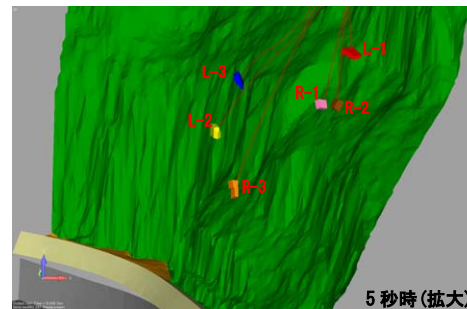


5 秒時



最終停止/14 秒時

図-3 崩落岩塊の運動状況(赤実線は運動軌跡)



5 秒時(拡大)

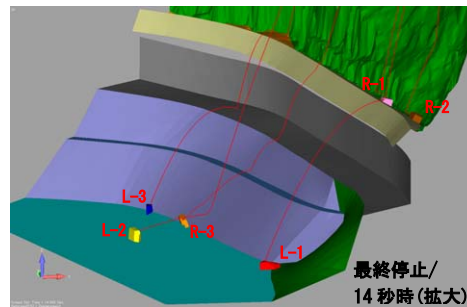
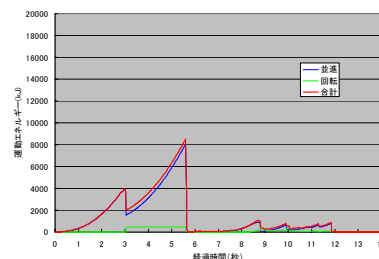
最終停止/  
14 秒時(拡大)

図-5 運動エネルギーの時刻歴(R-3)

### 3-3 崩落シミュレーションの設定条件

崩落岩塊の跳躍特性は、類似の斜面を参照<sup>3)</sup>して表-2に示す反発係数とすべり摩擦角を設定した。ここでは、EPS材に対する跳躍量は概ね落下高さの1/10と考えて反発係数を0.3とした。崩落シミュレーションは、崩落岩塊の背面が劣化して全6岩塊が同時に崩落を開始すると想定し、全ての崩落ブロックが完全に停止するまで実施した。

### 4. 崩落シミュレーションの結果

崩落開始より5秒時の岩塊の運動状況、および、最終停止状態(14秒時)の岩塊の配置状況を図-3に示す。岩塊はEPSや道路に衝突するまでは斜面に数回程度衝突しながら落下している。このことは、図-4に示す岩塊速度の時刻歴からも伺える。そして5秒時には進路を斜面横断方向に分岐している。この結果は3次元解析の有効性を示すものである。また、崩落開始直後は滑りによる並進運動を呈するが、斜面に衝突する毎にこれに回転運動が加わる状況は、図-5に示す運動エネルギー時刻歴の1例(崩落岩塊R-3)からも伺える。多面体でモデル化された崩落岩塊の角、辺、面が並進・回転運動により斜面と接触した結果と

して、運動軌跡や最終停止位置が得られている。

### 5. おわりに

本報では、斜面や崩落岩塊の形状を可能な限り忠実にモデル化し、3次元個別要素法解析を用いて比高の高い急峻な斜面に適用した事例を示した。信頼性のある対策工検討は、信頼性のあるシミュレーションから得られる落下経路や運動エネルギーに基づくことは言うまでもない。今後は、設定パラメータの詳細な検討や現場調査の結果との対比など、適用事例の内容をより定量的に充実させる予定である。

### 参考文献

- 1) 中川 光雄・山田 正雄・中谷紀行・近重朋晃：合理的な接触判定法に基づく3次元個別要素法による落石・岩盤崩壊シミュレーション，日本地すべり学会誌，2009(掲載予定)。
- 2) Cundall, P. A. (1988): Formulation of a Three-dimensional Distinct Element Model-Part I: A Scheme to Detect and Represent Contacts in a System Composed of Many Polyhedral Blocks, *Int. J. Rock Mech., Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 25, pp. 107-116.
- 3) 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，2002。