

3次元落石シミュレーションを用いた落石防護柵の設計

DEM 3次元落石シミュレーション 落石防護柵

太田ジオリサーチ 正会員 ○美馬 健二
太田ジオリサーチ 川浪 聖志
太田ジオリサーチ 稲田 哲士

1. はじめに

近年、測量技術が急速に進み、山地内でも数 cm といった高密度で凹凸を表現できる 3 次元地形点群データ（以下、DEM）を取得することができるようになった。これまでの落石防護柵の設計は、2 次元落石シミュレーション結果に基づいて行われることが多かったが、DEM を用いた 3 次元落石シミュレーションにより、今後、より合理的かつ精細な落石防護柵の設計を実施することができる。

本発表では、DEM を用いて 3 次元落石シミュレーションを行い、落石の跳躍高、落石経路の拡がり、落石の衝撃力分布に応じて、落石防護柵の規格を検討したので報告する。

2. 3次元地形点群データ

3 次元地形点群データは、レーザープロファイラで計測した DEM データを用いた。樹木等を除去した点群の間隔は、0.1～4.0m である。この点群データから最小長 0.1m の三角網データ（図 1）を作成し、3 次元落石シミュレーションに用いた。

3. 3次元落石シミュレーションの概要

3 次元落石シミュレーションの解析は、Roceanscience 社のソフトウェア「RocFall 3」を用いた。このソフトウェアは、同社の 2 次元落石シミュレーションの「RocFall 2」を拡張したものである。

反発係数等の地盤特性は、岩盤、崖錐、アスファルトの 3 層に分け、図 1 のように設定した。地盤特性の設定値の一覧を表 1 に示す。落石発生源は、図 1 に示す落石 A 及び B の計 2 個であり、重量はそれぞれ 2.6 t/個である。乱数の発生回数は、落石 1 個当たり 200 回とした。

斜面下部には、保全対象となる道路があり、道路に沿って落石防護柵の設置が計画されている。本報告では、3 次元落石シミュレーションを実施し、落石防護柵の規格（落石防護柵の柵高、延長、耐衝撃力）を検討した。

4. 3次元落石シミュレーション結果

（1）跳躍高の検討結果

落石防護柵を 45° 傾斜させ、柵高 2.5m として、3 次元落石シミュレーションを実施した結果を図 2 に示す。図 2 では、落石が跳躍によっては、落石防護柵を飛び越えることがあるのが読み取れる。対象地では、すべての落石が落石防護柵を越えないようにするには、図 3 のように落石防護柵高を 3.5m に設定する必要があることが分かった。

（2）落石防護柵設置範囲の検討結果

落石防護柵を柵高 3.5m とし、落石防護柵の設置範囲を落石発生源から文献³⁾を参考に 22.5° ずつ開いた範囲とし、3 次元落石シミュレーションを実施した結果を図 4 に示す。図 4 では、落石 A が、急激に経路を変えるケースがあるのが読み取れ、落石が落石防護柵の左端部からすり抜けている。このように平面的な落石経路が変わる場合は、2 次元落石シミュレーションでは検討できないので、3 次元落石シミュレーションのメリットが確認できた。落石防護柵の延長が不足しているため、落石防護柵の設置範囲は、図 3 のように 3 次元落石シミュレーションの結果に応じて計画することが望ましい。

（3）落石が落石防護柵に衝突する衝撃力の分布

図 3 の 3 次元落石シミュレーションにより、落石防護柵の設置範囲において、落石の衝撃力がどの位置にどの程度作用するのかを統計処理した結果を図 5 のグラフに示す。その結果、衝撃力は、落石防護柵起点側が約 230kJ、中央部が約 300kJ、終点側が約 150kJ と、概ね 3 分割できる。このような落石衝撃力分布図を作成すれば、落石防護柵の耐衝撃力の規格を一律に決めることなく、規格を 3 分割にすることで、場合によっては対策工事費をより安価に抑えられる可能性がある。

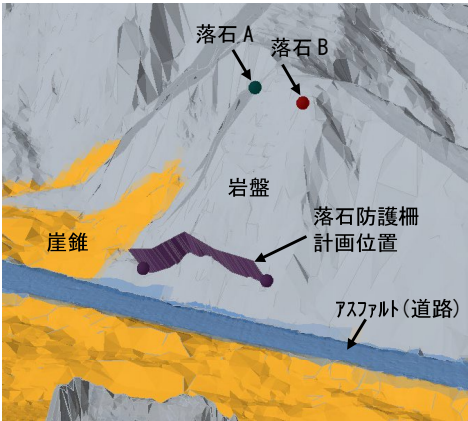


図 1 落石位置と地盤特性の設定

表 1 設定した地盤特性一覧

地盤種類	岩盤 ²⁾	崖錐 ²⁾	アスファルト
設定値			
反発係数	0.35	0.32	0.4
接線方向の速度比	0.85	0.8	0.9
摩擦角(°)	30	30	30

5. まとめ

落石防護柵の設計では、①落石の跳躍高、②落石経路の拡がり、③落石の衝撃力分布に応じて、柵高や柵の設置範囲、耐衝撃力の規格を選定する必要がある。3次元落石シミュレーションでは、これら①～③を可視化することができ、2次元落石シミュレーションに比べて、より精細でかつ合理的な落石防護柵の設計ができることが分かった。

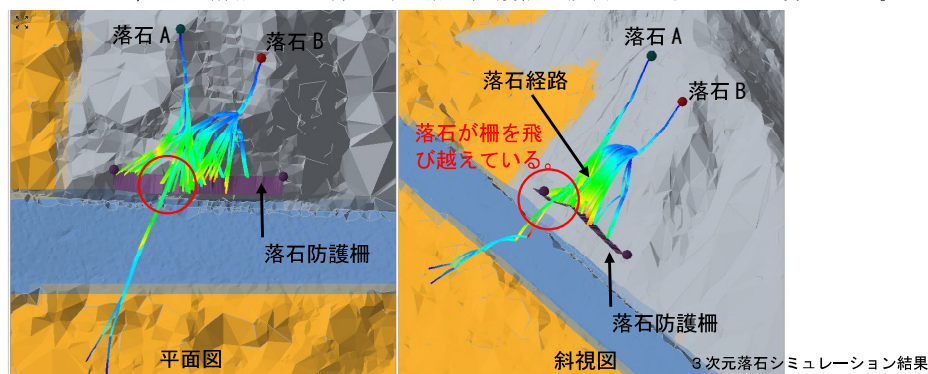


図2 跳躍した落石が落石防護柵（柵高2.5m）を越えるケース

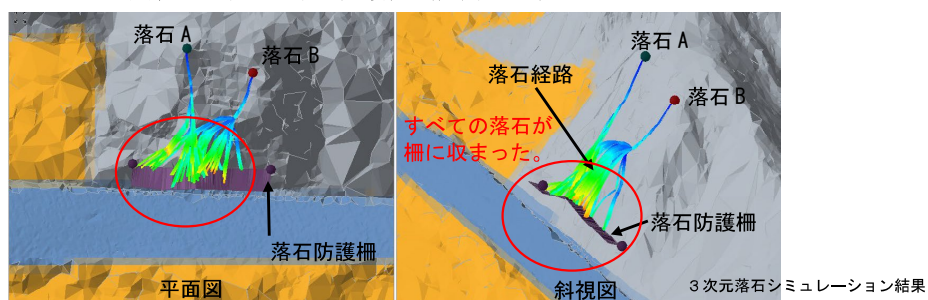


図3 すべての落石を落石防護柵（柵高3.5m）で防護できるよう柵高を調整した結果

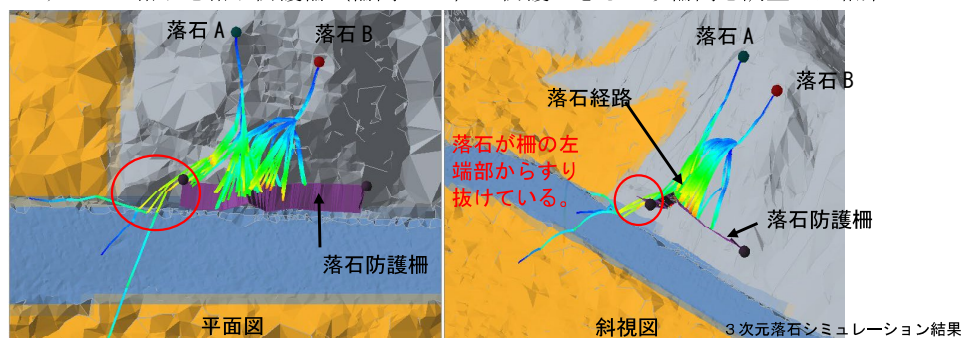


図4 落石防護柵の左端部から落石がすり抜けるケース

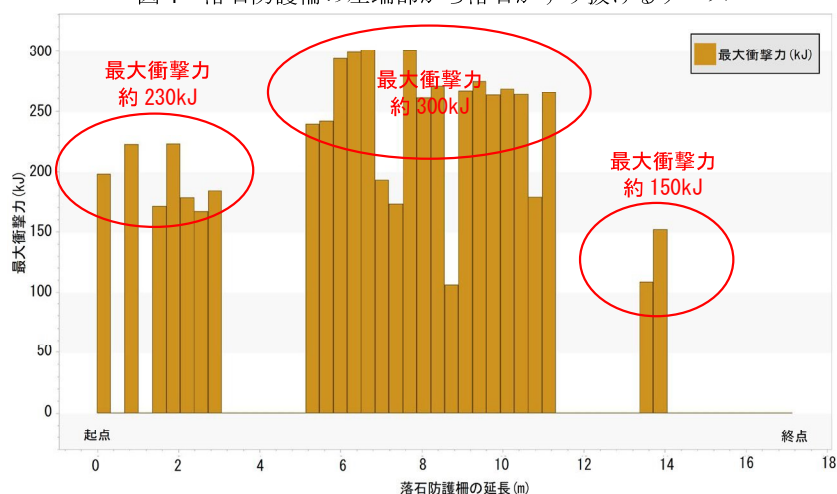


図5 落石防護柵に衝突する落石の衝撃力分布図

参考文献

- 1) 美馬健二・川浪聖志・太田英将：点群データを用いた3次元落石シミュレーションによる落石の衝撃力及び跳躍高の可視化，第62回日本地すべり学会研究発表会講演集，2023。
- 2) (公社) 日本道路協会：落石対策便覧に関する参考資料-落石シミュレーション手法の調査研究資料，p.243，2002。
- 3) (公社) 日本道路協会：落石対策便覧，pp.80-81，2017。