

DEM を用いた落石の力積に及ぼす粒子特性の解析

名古屋工業大学 学生会員 ○内藤直人
名古屋工業大学大学院 学生会員 羽柴寛文
名古屋工業大学 正会員 前田健一

1. 背景

我が国では、毎年多くの落石事故が発生しており、地震の多発や近年の集中豪雨の発生数の増加も起因して落石発生件数は増加傾向にある。しかし、既存の落石防護工では斜面の経年劣化に伴う落石規模の拡大に対応できず、安全余裕度が低下している。その対応として、落石が防護工に衝突する前に落石エネルギーを分散・低減させる工法として、山間部にあるロックシェッド上面の堆積層などに注目が集まっている。現在の設計は、主にエネルギーに着目しているが¹⁾、今回は力とその力が及ぶ時間を調べる。

そこで、本論文では、堆積層による緩衝効果に着目し、個別要素法 (Discrete Element Method, 以下 DEM と略す) を用いた数値解析を行い、衝撃伝達特性について考察した。

2. 解析手法

本研究では、要素間の接触モデルに垂直・接線方向の接点バネやダッシュポット、接線方向にはスライダーを用いる通常モデルを使った2次元DEM解析を行った^{2) 3)}。一般的な落石現象のDEM解析結果を図1に示す。粒子形状は、円形粒子を三角形配置し連結させた非円形粒子を採用した。解析に用いたパラメータは、今まで行われてきた研究を基にし、各パラメータを変化させることで、粒子特性と衝撃特性との関係について調べた⁴⁾。

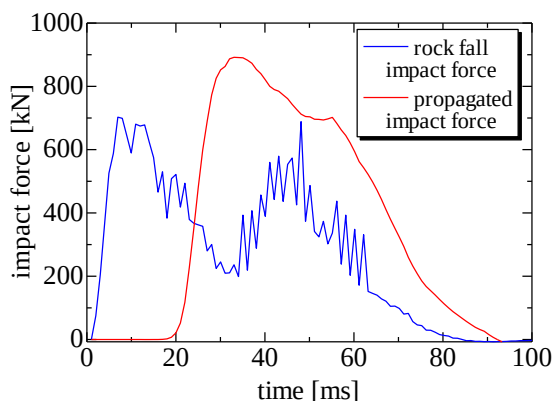


図1 落石衝撃力と伝達衝撃力

3. 衝撃継続時間と伝達衝撃力積

落石による衝撃力伝達特性を調べるときは、衝突時の最大衝撃力に着目することが一般的である。しかし、衝撃問題を考える上では、最大値のみならず、力積も重要な要因と考えられる。そこで、力積の大きさは最大衝撃力のみでは判断できず、衝撃継続時間を調べる必要がある。

ひとつの解析結果を見ると、バネ係数 50MN/m より 500MN/m の最大伝達衝撃力が大きくても、衝撃継続時間に違いがあれば、図2のように、伝達衝撃力積の大きさが最大伝達衝撃力の大小関係とは異なることがある。

そこで、本研究では、解析による実現象の予測を目指す上で、何が衝突時の衝撃継続時間と力積に影響を与えるのかを DEM の粒子特性に関するパラメータを変化させて比較した。なお、衝撃継続時間は、落石により堆積層の底面が衝撃力を感じた時点から衝撃力が落ちて 0 になるまでの時間とする。また、伝達衝撃力積は、その衝撃継続時間における単位時間当たりの力積の累積値とする。

3.1 粒子特性と衝撃継続時間との関係

粒子特性が解析結果に与える影響を調べることは DEM 解析の基礎であり、非常に重要なことである。そこで、粒子特性と衝撃载荷時間・伝達衝撃力積の関係について調べる。

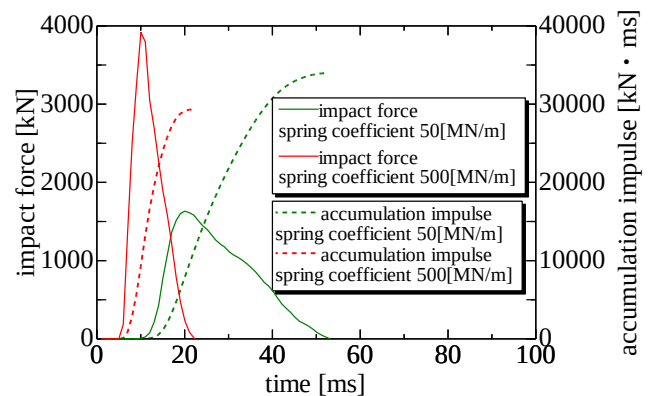


図2 伝達衝撃力と伝達衝撃力積

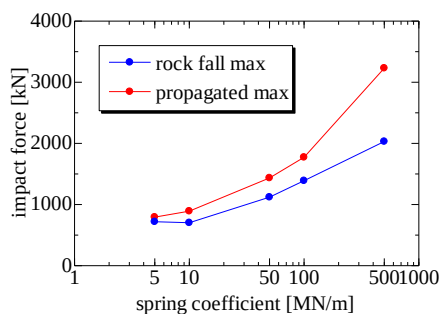


図 3-1 最大衝撃力

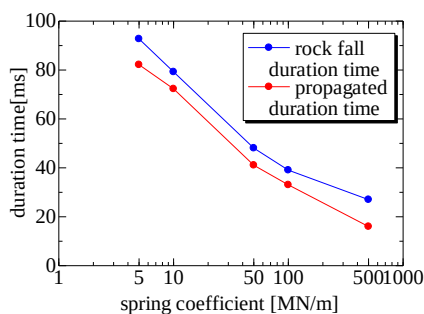


図 3-2 衝撃継続時間

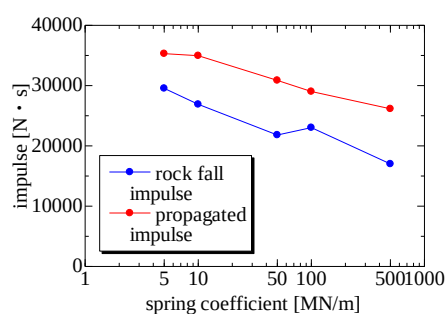


図 3-3 衝撃力積

まず、バネ係数による影響を、横軸に対数目盛でバネ係数を取り、縦軸に衝撃力、衝撃継続時間、力積をとってそれぞれ図 3-1、3-2、3-3 に示した。バネ係数の増大に伴い、最大衝撃力は増大するが、衝撃継続時間が短くなるために衝撃力積は減少した。

また、粘性減衰係数、粒子間摩擦係数についても、それぞれのパラメータの値を変化させて衝撃継続時間の違いについて調べたが、バネ係数ほどの変化は見られず、ほぼ横ばいとなった。

粒子特性について、値で見ると円形粒子を用いた解析と同じ結果を示したが、映像では、非円形粒子の場合は、円形粒子の時に観察できなかったインターロッキングの効果を確認でき、落体の貫入に関しては、より実現象に近い挙動となった。

3.2 堆積特性と衝撃継続時間との関係

実際の落石現象を想定し、堆積層の層厚が衝撃継続時間と伝達衝撃力積に及ぼす影響を調べた。図 4-1 に示すように層厚を変化させて解析を行った。その結果、(a) より、堆積層が深くなるにつれて最大伝達衝撃力は収束していくが、(b) からは、深いほど衝撃継続時間が長くなり、伝達衝撃力積は大きくなる傾向が見られた。

4. まとめ

本研究では、落石による堆積層の衝撃力伝達特性について粒子特性と現場条件が衝撃継続時間・伝達衝撃力積に及ぼす影響を調べた。

- 1) バネ係数が大きくなるほど衝撃継続時間が短くなり、伝達衝撃力積は減少した。これは、硬い地盤が力を伝達しやすい分、内部に力を溜め込まずに発散するのが速くなるためだと考えられる。
- 2) 層厚を変化させると、堆積層が深いほど衝撃継続時間が長くなり、伝達衝撃力は増大する。落石エネルギーを消散させる粒子数が多いため、より広範

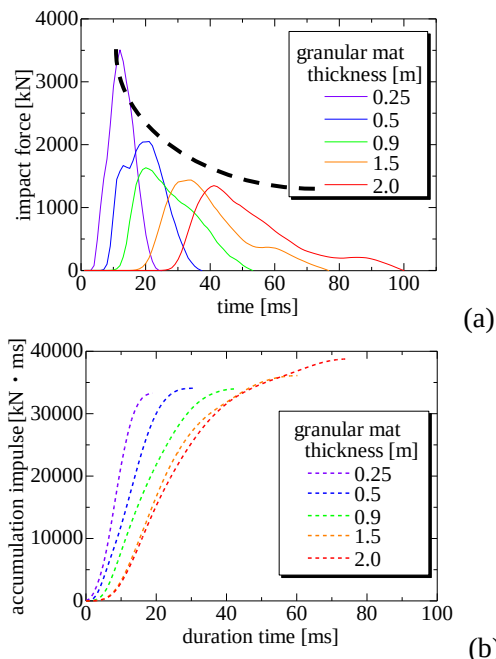


図 4-1 層厚の影響 (a)伝達衝撃力 (b)伝達衝撃力積

囲に力が伝播するためだと考えられる。

3) 粒子特性・堆積特性によっては、伝達衝撃力の最大値が同じでも場合によっては伝達衝撃力積が大きく異なることがわかった。そのため最大衝撃力だけではなく、衝撃継続時間の影響も考慮して安全性を評価することが重要であると考えられる。

5. 謝辞

この研究は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B) 21360222 の助成を受けており、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧，2000
- 2) Cundall, P.A. and O.D.L. Strack.: A Discrete Models for Granular Assemblies, Geotechnique, Vol.29, No.1, pp.47-65, 1979
- 3) 梶谷 浩, 中田 吉彦, 梶川 康男：個別要素法の衝撃問題への適用に関する一考察，構造工学論文集, Vol.38A, pp.1477-1487, 1992.
- 4) 前田健一・羽柴寛文・刈田圭一・牛渡裕二・川瀬良司：二次元個別要素法を用いた落石による水平堆積層の衝撃力伝達挙動，土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol. 67, No. 2, pp.355-364, 2011.