

DEM 解析を用いた落体形状の異なる緩衝砂の衝撃力伝達挙動

名古屋工業大学 学生会員 内藤 直人
名古屋工業大学 正会員 前田 健一

1 背景

道路災害の一つである落石災害への対策として、覆道などの落石防護工の設置がある。その防護工の安全余裕度を向上する目的で、緩衝砂などの砂の堆積層が注目を集めている。

そこで本報告では、個別要素法¹⁾²⁾³⁾(Discrete Element Method,以下DEMと略す)を用いた数値解析を行い、落体形状の違いを考慮した堆積層の衝撃力伝達挙動について考察した。

2 解析手法

本研究では、フォークトモデルを用いた2次元DEM解析を行った。図1に解析上の落体と堆積層をモデル化した様子を示す。なお、堆積層の粒子形状は、実地盤の挙動に近付けるため、円形粒子を三角形配置し連結させた非円形粒子を使用した(図2)。

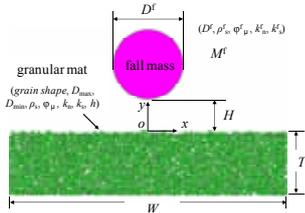


図1 DEMによるモデル化

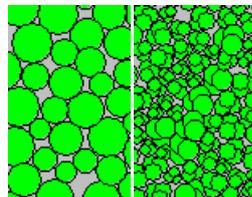


図2 粒子形状 (左)円形(右)非円形

3 落体形状が衝撃力伝達挙動に及ぼす影響

3.1 衝撃力波形の比較

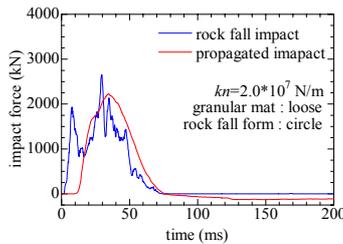
本報告で取り扱う落体形状は、落石を最も簡単にモデル化した円形、実験で用いた重錘形、衝突面が平らな四角形の計3種類である(表1)。

表1 3種類の落体形状

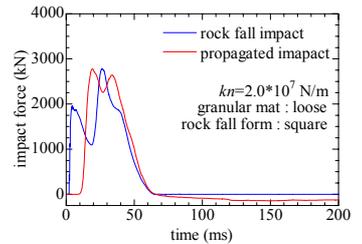
落体形状 (rock fall form)			
	円形(circle)	重錘形(weight)	四角形(square)

まず始めに、衝突面の曲率が最も高い円形の落体と衝突面が平面の四角形の落体を落下させた場合の衝撃力波形を比較する(図3)。青が落体を受ける衝撃力(落

石衝撃力)で、赤が堆積層の底面に伝達する衝撃力(伝達衝撃力)を表す。図3より、円形に比べて四角形の落体の方が、落石衝撃力、伝達衝撃力ともに大きな値を取ることがわかった。



(a)



(b)

図3 衝撃力波形の比較 (a) 円形 (b) 四角形

3.2 堆積層の変形モードの比較

伝達衝撃力が最大値を迎える時刻の堆積層の応力分布図を比較した(図4)。衝突面が曲面である円形と重錘形の落体は、ほぼ同程度の応力の広がりを観察することができ、四角形の落体の場合は、衝突面が曲面の落体に比べて応力が狭い範囲に分布することが確認できた。衝突面が平らだと落体周辺の堆積層のせん断変形が小さく、力の分散度合いが低いいため落石衝撃力並びに伝達衝撃力が大きくなると考えられる。

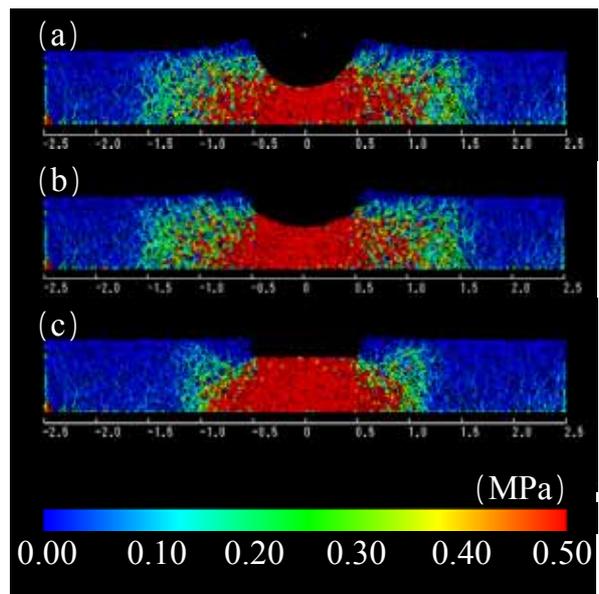


図4 最大伝達衝撃力を受ける時刻の堆積層応力分布 (a) 円形 (b) 重錘形 (c) 四角形

キーワード 落石, 個別要素法, 衝撃力, 堆積層, 落体形状

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市御器所町 名古屋工業大学 16号館227号室 TEL052-735-5497

3.3 ばね係数の変化が衝撃力に与える影響

DEM 解析上のモデル化において最も重要な粒子特性のパラメータの一つがばね係数である．ここでは，そのばね係数の値を各落体形状において変化させた場合に最大伝達衝撃力へ及ぼす影響を調べた(図5)．接触面が平らに近づくほど衝撃力の最大値の増加傾向は強く，また曲率が高い円形落体の場合に増加傾向が弱くなることが確認された．四角形の落体の場合，落体周辺の堆積層にせん断変形が生じにくい．また，落体直下の粒子が鉛直方向の動きのみに拘束されるため，ばね係数の増加が伝達衝撃力の増加に反映され易いと考えられる．一方，円形だと落体周辺にせん断変形を生じ易く，落体周辺の堆積層が粒状体としてふるまう．そのため，ばね係数の効果が期待通りに得られずに，伝達衝撃力の増加傾向が弱くなると考えられる．

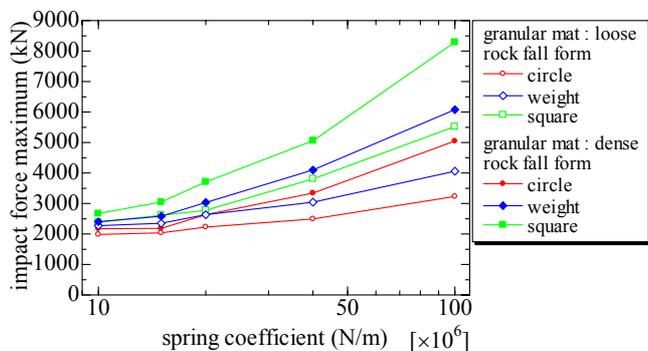


図5 ばね係数を変化させた場合の最大伝達衝撃力 (a) 円形 (b) 重錘形 (c) 四角形

3.4 堆積層底面の応力分布

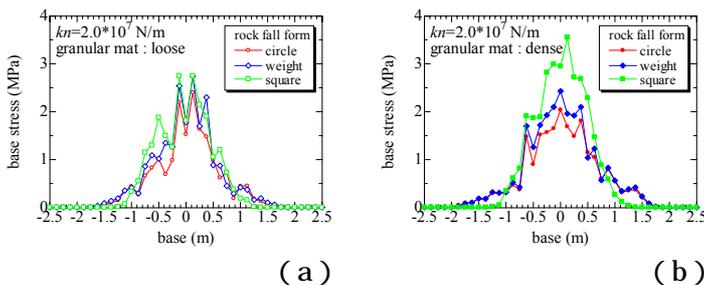


図6 最大伝達衝撃力を受ける時刻の底面応力分布 (a) 堆積層緩詰め (b) 堆積層密詰め

伝達衝撃力がピークを迎えるときの堆積層底面の応力分布を調べた(図6)．接触面が曲面の円形と重錘形に比べて，四角形は若干狭い範囲に応力が分布するが，応力分布の両端には非常に小さな応力しか分布していない．つまり，伝達衝撃力の最大値へ与える影響として，応力分布の範囲の広さの影響はあまり大きくないと考えられる．また，図3や図5に示したように落体形状によって伝達衝撃力の大きさに違いが生じるのは，

落体直下の応力が高い範囲に，更に上乘せするような形で応力が集中しているためだと考えられる．

3.5 伝達衝撃力の立ち上がり時間

以上のことから，急速载荷のように力が加わる落石現象では，その衝撃力がほとんど真下に伝わりやすくなることが確認されている．円形では，落体周辺の堆積層がせん断変形する．そのため，放射状に応力が伝播し，底面に達するまでの時間が長くなる．また，落体周辺の堆積層のせん断変形により，落体直下の堆積層の密度が高くなりやすい．以上の2点より，円形，重錘形の落体の場合，伝達衝撃力の立ち上がり時間(衝撃力が堆積層底面に伝達してから最大になるまでの時間)が長くなると考えられる(図7)．また，これが，円形，重錘形の最大伝達衝撃力が小さくなる要因の一つであると考えられる．

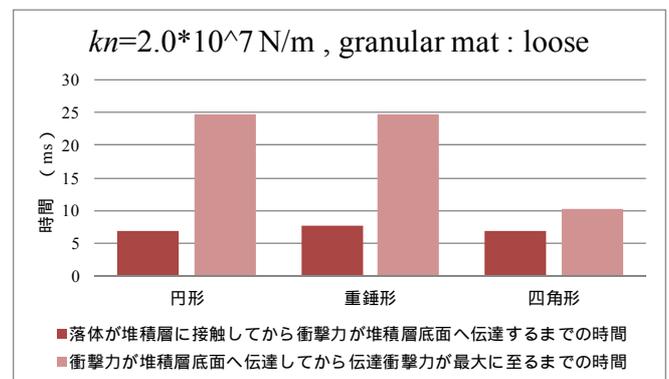


図7 衝撃伝達時間への影響

4 まとめ

落体形状が異なると，衝撃力伝達挙動にもさまざまな影響が出ることがわかった．しかし，伝達衝撃力のピーク時の底面応力分布は，形状によらず，落体直下に集中することから，衝撃力伝達挙動は落体直下の応力の波としての伝わり方が重要だと考えられる．

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) Cundall, P.A. and O.D.L. Strack. : A Discrete Models for Granular Assemblies, Geotechnique, Vol.29, No.1, pp.47-65, 1979
- 2) 榭谷 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.
- 3) 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.