

3次元個別要素による敷砂材への落石衝突の挙動解析

(株)構造計画研究所 正 ○渡辺 高志
 金沢大学 学 重原大二朗
 金沢大学 正 榎谷 浩

1. はじめに

落石防護構造物には一般に緩衝効果を目的に敷砂を代表とするクッション材が設けられている。緩衝材としてのサンドクッションの研究は長年行われているが、緩衝材を通して構造物に伝達される衝撃力の評価や緩衝効果の解明については不十分である。そこで本研究では、落石に見立てた重錘を用いたサンドクッション上への重錘衝突実験を行い、これにより測定された衝撃力、クッション材の緩衝効果について3次元個別要素法を用いた数値解析との比較・検討を行った。



写真-1 重錘衝突実験装置

2. 重錘衝突実験

写真-1 は自由落下式衝撃実験装置の概観である。幅 2.35m, 奥行き 3.5m, 高さ 4.5m の重錘落下用フレームを用いて重錘を中心に設置した土槽に自由落下させる装置である。土槽は 1.1m 四方であり、重錘から周辺への衝撃伝播の減衰は一樣であると考え、土槽の底面 1/4 分に木版を設置および 36 個の土圧計を配置し、土槽下の 4 点支持としてロードセルを設置した。

この土槽に緩衝材として厚さ 30cm, 50cm, 70cm の敷砂材を敷設し、2.0kN の重錘を 0.5m 刻みで落下高さを変えながら 3 回ずつスパン中央位置へ落下させた。重錘の形状は 2 種類あり、底が平らな円形のを平底、円錐のを錐底と呼んでいる。重錘には加速度計を設置して重錘衝撃力の測定を行った。

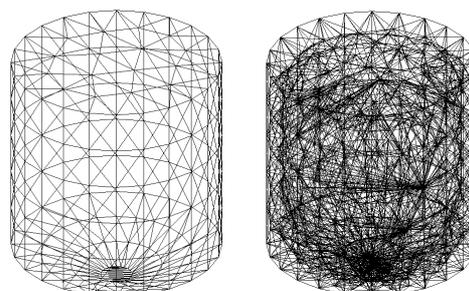


図-1 錐底モデルの形状データと四面体分割

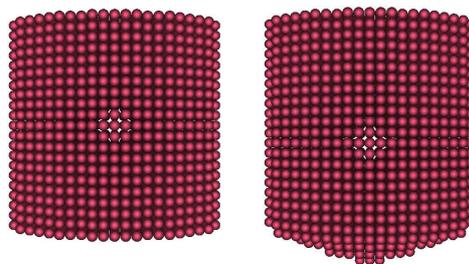


図-2 2種類の重錘形状の粒子モデル化

3. 個別要素法による数値解析

サンドクッションの衝撃挙動解析には離散粒子の飛散やバルク内部の流動や滑りを再現できる解析手法として個別要素法を使用した。個別要素法では個々の要素間の接触点で作用力の伝達を考え、モデルの構成方程式に対する空間積分を行うことなく時間領域で前進的に現象を解き進めるため、要素配置による解析解への影響が大きい。既往の研究では単一粒径の規則配列によるサンドクッションモデルによる解析を実施していたが、規則配列では作用力の伝達経路が単調であり、解析結果に与える影響が大きいことが問題となっていた。本解析では図-1 に示す形状データから図-2 に示す粒子集合による重錘モデルを作成し、また土槽内の緩衝材モデルに粒度分布を考慮してパッキング計算により詳細に作成することで解析精度の改善を試みた。

キーワード 落石, 衝撃力, 緩衝材, 個別要素法, パッキング, 剛体計算

連絡先 〒164-0011 東京都中野区中央4丁目5番3号 防災・環境部 E-mail:takashi-watanabe@kke.co.jp

4. 解析モデル

重錘は CAD により作成した形状データに内包される格子配列の粒子集合によってモデル化し，粒子集合生成時には内外判定を確実に実行するために形状データの四面体分割を行った．重錘は十分に剛であることから剛体であると考えて計算した．粒子集合によるモデル化は接触判定や剛体計算を容易する反面，表面形状の再現性において多面体によるモデルに劣ることから CAD データによる三角形パッチをそのまま流用した多面体モデルによる検討も行った．土槽は伝達衝撃力分布の把握を容易にするために三角形パッチによるモデル化を行い，槽内に粒径加積曲線を参考にある粒度分布を仮定した粒子群を作成し重力落下式パッキングによって充填した．**図-3**に錐底の粒子集合による重錘モデルと層厚 70cm の土槽の解析モデルを例として示す．

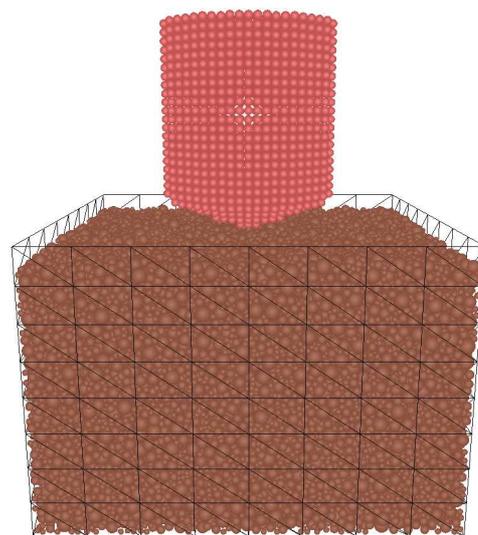


図-3 2種類の重錘形状の粒子モデル化

5. 解析結果と実験結果の比較

解析結果は実験により得られている重錘衝撃力波形や土槽底部の伝達衝撃力波形との比較を行った．**図-4**に層厚 70cm のサンドクッションに平底重錘を落下高さ 1.5m から落下させたケースの衝撃力波形比較を示す．衝撃力波形の立ち上がりに重錘形状のモデル化精度の効果が確認でき，以降の波形の再現性にランダムパッキングによる精度改善効果が認められた．**図-5**に解析結果より 20ms 経過時の中央断面図の様子を描画したものを示す．解析により貫入や衝撃力の減衰の過程を視覚的に評価可能である．

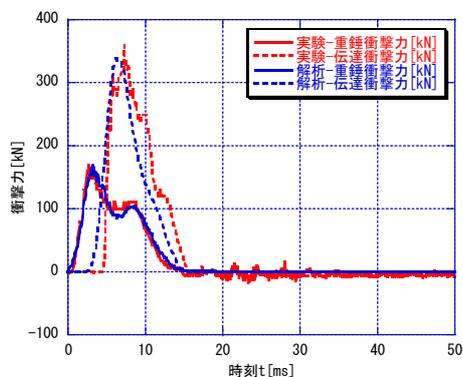


図-4 衝撃力波形の比較 (平底)

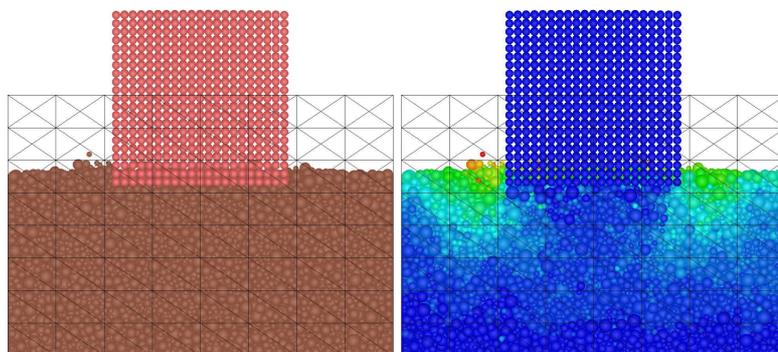


図-5 重錘の貫入過程と速度分布の中央断面図 (t=20ms)

6. まとめ

本研究ではサンドクッション上への重錘落下実験を行い，3次元個別要素法による数値解析との比較検討を行った．解析では，実物に模した詳細な形状モデルを作成することで解析精度の改善を試みてその効果が確認できた．今後より詳細な検討を実施し，実設計への応用を進めたいと考えている．

謝辞

本研究の実験遂行において，佐藤彰氏と中村佐智夫氏（日本サミコン(株)），金沢大学構造工学研究室所属の学生の皆様にご協力をいただいた．ここに記し深く感謝の意を表す．

参考文献

渡辺高志，梶谷浩，佐藤彰：落石による敷砂の衝撃挙動の個別要素法を用いた解析について，構造工学論文集，Vol. 57A，pp. 1163-1172，2011. 3.