

敷砂緩衝材の応力伝播挙動に関する二次元個別要素法解析

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

落石防護工の中で最も巨大なエネルギーに対応できるロックシェッド頂版には、構造物の直接的な損傷を防ぐために敷砂緩衝材¹⁾が設置されている。しかし、その緩衝メカニズムには未解明の点が多く残されている。そこで、本研究では、合理的な落石対策の提案を支援する一方法として個別要素法(Discrete Element Method, 以下 DEM と略す)を用いた数値解析を実施した。特に、落石衝突時に敷砂内部を伝播する応力波に着目した検討を行った。

2. DEM 解析概要

敷砂緩衝材に落体が衝突する現象を図-1に示すような解析モデルを使用して計算した。パラメータの決定法は既報²⁾を参照されたい。主に着目する物理量は、落体が受ける衝撃力と敷砂底面(ロックシェッド上面)に伝達する衝撃力である。

DEM 解析による典型的な衝撃力波形を図-2に示

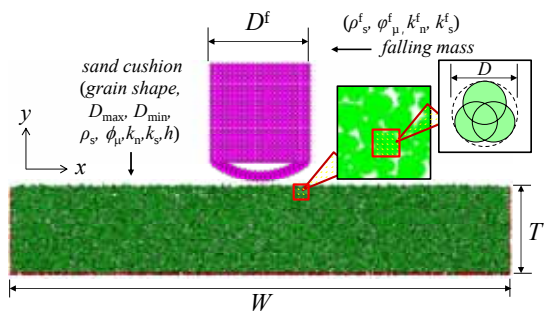


図-1 DEM 解析の概要

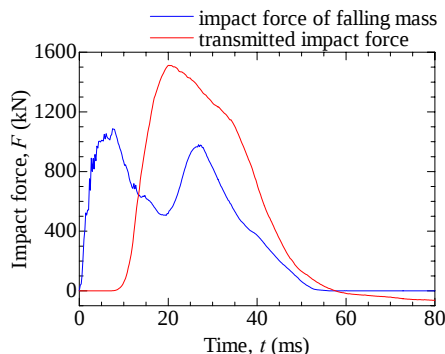
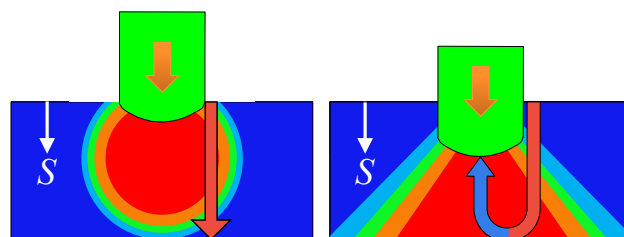


図-2 典型的な衝撃力波形

す。落体衝撃力は、落体が敷砂に衝突すると同時に立ち上がり、 $t=8\text{ms}$ 付近で衝撃力が敷砂底面に伝達する前に最大値に達し、減少し始めるときに衝撃力は敷砂底面に到達する。伝達衝撃力は、 $t=20\text{ms}$ 付近で最大値に達する。その後、敷砂を伝播する応力波は底面で反射し、落体に作用するため落体衝撃力は $t=20 \sim 50\text{ms}$ にかけて再び増加する。

3. 落体質量及び衝突速度と応力波伝播速度の関係

落体直径 $D^f=1.0\text{m}$ 相対層厚 $T/D^f=0.7$ 層幅 $W=5.0\text{m}$ の条件で落体質量と衝突速度(落下高さ)を変化さ



(a)衝突-底面到達 (b)衝突-底面到達-落体反射

図-3 応力伝播の模式図

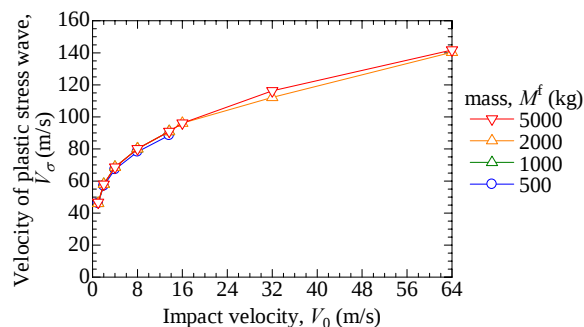


図-4 衝突速度と応力波伝播速度の関係

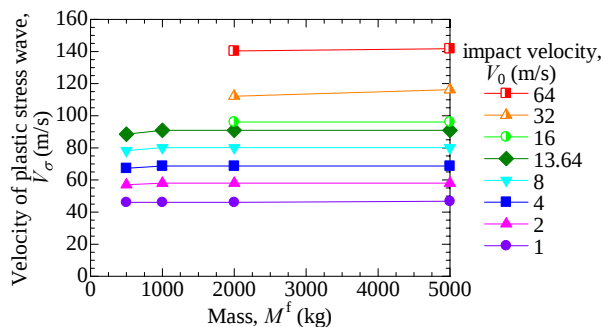


図-5 落体質量と応力波伝播速度の関係

キーワード 落石, 敷砂緩衝材, 衝撃力, 応力伝播
連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町

名古屋工業大学 16 号館 227 号室

TEL052-735-5497

せた解析を実施し、応力波伝播速度を算出した。ここで、応力波伝播時間を、落体が敷砂に接触した時刻から伝達衝撃力が 1kN 以上になるまでの時間と定義し(図 - 3(a))、応力波伝播時間で初期層厚を除いた値を応力波伝播速度と定義する。

落体質量 $M^f=500 \sim 5000\text{kg}$ の条件でそれぞれ衝突速度を変化させた解析結果より、敷砂内部の応力波伝播速度は、衝突速度の増加に伴い対数的に増加する(図 - 4)。

衝突速度 $V_0=1 \sim 64\text{m/s}$ の条件でそれぞれ落体質量を変化させた解析結果より、敷砂内部の応力波伝播速度は、落体質量の変化によらずほぼ一定値となる。

4. 一定速度単調載荷による敷砂緩衝材の応力伝播

$T/D^f=0.5, 0.9, 2.0$ の 3 種類の層厚に対して $D^f=1.0\text{m}$ の四角形落体による $V_0=16.0\text{m/s}$ の一定速度単調載荷解析を実施した。落体が受ける衝撃力 - 貫入量(時間)関係を図 - 6 に示す。実線が落体衝撃力、破線が伝達衝撃力である。図中において、赤

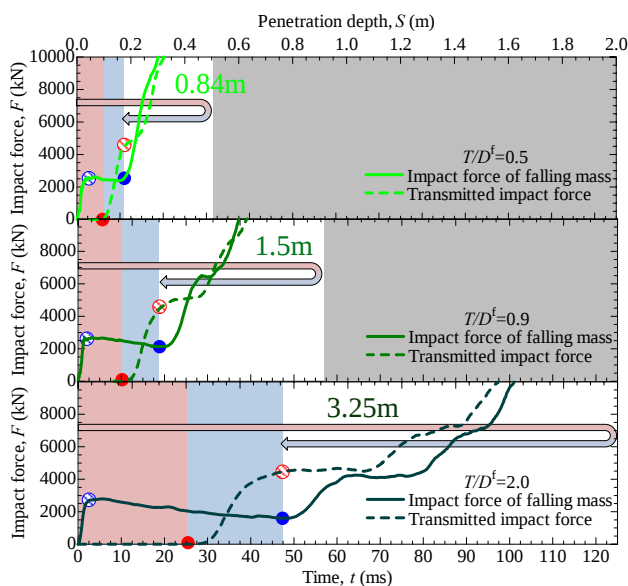


図 - 6 異なる層厚に対する一定速度単調載荷

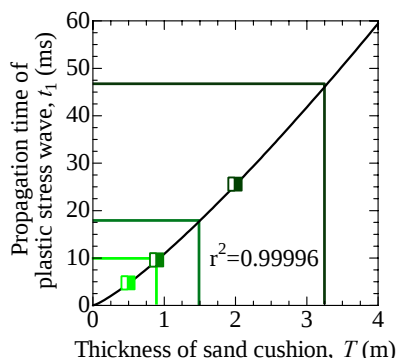


図 - 7 層厚と応力波伝播時間の関係

色で塗りつぶした部分はそれぞれの層厚での応力波伝播時間を示す。層厚が厚くなるに従って応力波伝播時間は指数的に増加しており(図 - 7)、伝播距離が長いほど伝播速度は減少する塑性応力波であると言える。

図 - 6 より、いずれの層厚においても波形性状は概ね一致している。そこで、 $T/D^f=0.9$ を例に考察する。落体衝撃力は衝突直後に急激に立ち上がり、一定値に落ち着く。その後、 $t=18\text{ms}$ から再び落体衝撃力は急増する。この時刻での貫入量は $S=0.3\text{m}$ である。落体衝撃力再急増の原因が反射波の影響であれば、落体衝突後に底面で跳ね返り再び落体に到達(図 - 3(b))するまでの応力の伝播距離は 1.5m となる。ここで、応力が底面から落体に反射するときの伝播速度が、衝突直後から底面に伝達するまでの速度と等しいと仮定すると、図 - 7 より落体に反射波が到達するまでの時間は約 18ms であると概算できる。 $t=18\text{ms}$ とは、落体衝撃力が再び急増する時刻と一致しており、 $T/D^f=0.5, 2.0$ のケースについても同様の傾向があることから、落体衝撃力の再急増の原因は、底面からの反射波である可能性が極めて高いと言える。

また、 $t=18\text{ms}$ 付近において破線で示す伝達衝撃力が落体衝撃力の 2 倍程度になることが確認できる。

5. まとめ

二次元 DEM 解析により敷砂緩衝材内部を伝播する応力波に関する考察を行った。応力波伝播速度は、衝突速度の増加に伴い対数的に増加し、落体質量には依存しないことがわかった。一定速度単調載荷解析により、伝播距離が長くなると伝播速度は小さくなることがわかった。落体が敷砂緩衝材へ衝突した際に生じる落体・伝達衝撃力波形を理解するには、緩衝材底面境界で生じる反射波挙動が重要である可能性を示した。

参考文献

- 1) 岸徳光, 中野修, 松岡健一, 西弘明: 野外実験による敷砂の緩衝性能, 構造工学論文集, Vol.39A, pp.1587-1597, 1993.
- 2) 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.