

敷砂緩衝材の内部変形挙動に着目した衝撃力波形形成メカニズム

名古屋工業大学 学生会員 ○松尾 和茂 正会員 前田 健一
 学生会員 堀 耕輔 学生会員 田中 敬大
 構研エンジニアリング フェロー 川瀬 良司

1. はじめに

落石対策工の一つであるロックシェッドの頂版上には、落石の直撃による構造物の損傷を防止するため、敷砂を用いた緩衝材が設置されている。敷砂緩衝材は緩衝性能が非常に高く、コストも安価である。しかし、敷砂緩衝材の衝撃力緩衝メカニズムはとても複雑であり、未だ現象の解明には至っていない。

そこで本稿では、敷砂緩衝材の衝撃力緩衝メカニズムの理解を深めるため、地盤材料の粒径と緩衝層幅を変えた模型実験を実施し、落体に作用する衝撃力の時刻歴波形（以下、衝撃力波形と略す）、及び緩衝層の内部挙動に着目し、考察した。

2. 実験概要

本実験で用いた実験装置の概略図を図-1に示す。緩衝層は幅 800mm の透明なアクリル製土層に地盤材料を相対密度 50%で敷き詰め作成した。この緩衝層にコンクリート製の落体を高さ 500mm から鉛直自由落下させ、落体上部に取り付けた加速度計で落体衝撃力を算出し、高速度カメラを用いて落体の貫入量、緩衝層内部の変形挙動を計測した。

本実験では、粒径の違いが衝撃力波形に及ぼす影響を調べるため、地盤材料として図-2に示す粒度分布の砂及び碎石を用いて緩衝層を作成し、実験を実施した。また、緩衝層幅の違いによる検討を行うため、緩衝層を幅 100mm に区切り、図-2の砂を用いて緩衝層を作成し、実験を実施した。

3. 実験結果及び考察

3-1. 粒径、緩衝層幅が衝撃力波形に与える影響

模型実験より得られた落体衝撃力及び貫入量波形を図-3示す。衝撃力波形に着目すると、緩衝層幅 800mm の砂のケースでは最大値を迎えた後再び衝撃力が増加

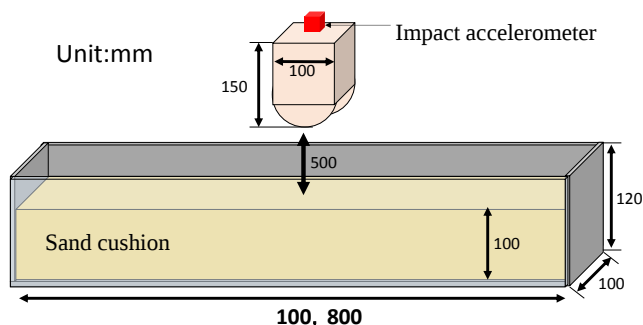


図-1 実験装置の概略図

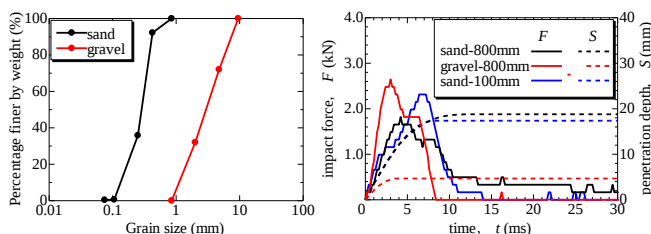


図-2 試料の粒度分布 図-3 衝撃力・貫入量波形

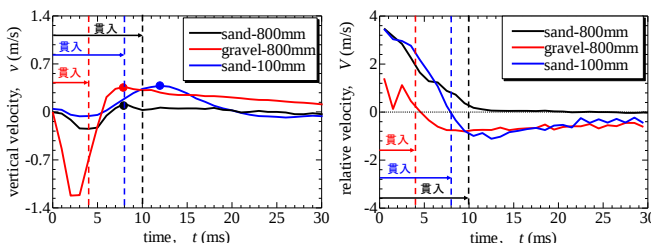


図-4 砂の鉛直方向速度 図-5 砂から見た落体の相対速度

している（本稿では、これを2波目と称す）。しかし、碎石のケース、緩衝層幅 100mm の砂のケースでは最大値を迎えた後再び衝撃力が増加することはなかった。既往の解析結果¹⁾では、粒状体に一定単調载荷すると、底面からの反射波の影響が衝撃力波形に現れることが分かっている。しかし、本実験での碎石のケース、緩衝層幅 100mm の砂のケースでは反射波の影響である2波目は現れなかった。

キーワード：落石、敷砂緩衝材、衝撃力波形

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

そこで、落体に反射波の影響が現れる時刻を調べるため、落体直下の砂の鉛直方向の移動に着目した。落体直下の砂の鉛直方向速度を図-4に示す。なお、この速度は鉛直上向きが正であり、落体の貫入終了時刻をそれぞれの色の破線で示した。また、図中のプロットは鉛直上向きの速度の最大値を示し、本論文ではこの時刻を反射波到達時と定義する。すると、反射波到達時において、緩衝層幅 800mm の砂のケースでは落体の貫入が続いているのに対し、碎石のケース、緩衝層幅 100mm の砂のケースでは貫入が終了している。

反射波到達時の落体の貫入挙動をより詳細に把握するため、高速度カメラより撮影された落体の変位を調べた。すると、2波目が生じなかったケースでは、落体の緩衝層衝突後反発していることが分かった。

そこで、反発の程度を定量的に表すため、落体直下の砂から見た落体の相対速度 V (=落体の貫入速度 - 砂の鉛直方向速度) を求め図-5に示した。なおこの速度は鉛直下向きを正とする。また、図中に落体の貫入が終了する時刻を破線で示す。砂から見た落体の相対速度が正であるとき、落体は緩衝材に貫入するため、落体衝撃力が発生する。一方、相対速度が負であるとき、落体は緩衝材から反発するため、落体衝撃力は発生しない。衝撃力波形に2波目が生じたケースに着目すると、落体衝突後、相対速度は徐々に減衰して行き、貫入終了時刻にはほぼ0となっている。このことから、落体は最大貫入時以降、反発せずに停止しているといえる。また、2波目が生じなかったケースに着目すると、貫入終了時刻で相対速度はほぼ0となるが、その後、負に転じている。このことから、落体は最大貫入時以降、緩衝層から反発しているといえる。

これらのことから、碎石のケース、緩衝層幅 100mm の砂のケースにおいて衝撃力波形の2波目が現れなかった原因として、地盤材料の粒径が大きいことや緩衝層幅が小さいことにより、地盤材料が相対的に硬くなるため、落体が反発してしまい、反射波の影響が衝撃力波形に現れなかったためであると考えられる。

3-2. 力積の観点で見た地盤材料の硬さに関する考察

落体を受ける力積の時刻歴波形を図-6に示す。まず、緩衝層幅 800mm の砂のケースと碎石のケースを比較すると、碎石の力積は砂の力積に比べて消費速度が早いことが分かる。このことから、碎石は砂に比べ

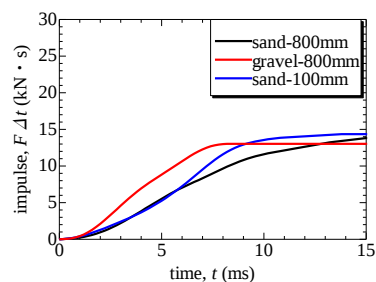


図-6 落体を受ける力積の時刻歴波形

て、相対的に硬いということがいえる。

次に、緩衝層幅が 100mm, 800mm の砂のケースと比較する。力積の立ち上がりに着目すると、6ms あたりまでほとんど同じであるが、それ以降、幅 100mm のケースにおける力積の消費速度が大きくなっている。これは、地盤材料が同じであるため、衝突直後の貫入挙動は同じであるが、幅 100mm のケースは徐々に緩衝材の変形が拘束されている影響が出始め、相対的に硬くなることにより、6ms 以降力積の消費速度が大きくなったと考えられる。

4. まとめ

本稿では、敷砂緩衝材の粒径と緩衝層幅を変えた模型実験を実施し、衝撃力波形の2波目の有無に着目して考察した。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 地盤材料の粒径を大きくしたり、緩衝層幅を小さくすることにより、地盤材料が相対的に硬くなる。そのため、落体は貫入した後反発してしまい、衝撃力波形に2波目が生じない場合がある。
- 2) 緩衝層幅を小さくすることにより、地盤材料は相対的に硬くなるが、落体衝突直後は緩衝層幅の影響を受けない。しかしその後、徐々に緩衝層の変形の拘束による影響を受け、地盤材料が締め固まることにより、相対的に硬くなっていくということが考えられる。

今後は、砂の移動を様々な視点から考察することにより、落体衝突時における緩衝層の内部挙動をより詳細に把握する予定である。

参考文献

- 1) 内藤 直人ら：応力伝播速度に着目した敷砂緩衝材の载荷速度依存性に関する DEM 解析, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol. 71, I_557-I_566, 2015.