

DEM 解析によるサンドクッションを有する構造物の衝撃伝達挙動に関する研究

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株)

正会員

○重原大二朗

金沢大学

正会員

榊谷 浩

日本サミコン(株)

正会員

佐藤 彰, 中村佐智夫

1. まえがき

ロックシェッドなどの落石防護構造物には、衝撃緩衝用に砂などクッション材が設置される場合が多い。この緩衝材の研究は長年行われているが、性能設計を考える上で緩衝材を通して構造物に伝達される衝撃力の評価は十分には明らかにされていない。そこで本研究では、構造物を安全かつ合理的に設計するため、H 形鋼はり上のサンドクッションへの重錘衝突実験を行い、3 次元個別要素法によるモデル構築あるいは発生衝撃力や緩衝効果の再現性の検討を行った。また、H 鋼の変位が衝撃力や伝達エネルギーに及ぼす影響も考察した。

2. 重錘落下実験

写真 - 1 は重錘落下実験装置を示したものである。直径 80 mm、高さ 190 mm、質量 7.233 kg の重錘を、高さ 0.5 m より 0.25 m 間隔で高さ 2.0 m まで吊り上げ、単純支持した 2 本の H 鋼 (100x100x6x8) のスパン中央の土槽に自由落下させて衝突実験を行った。緩衝材は川砂を使用し、土槽内に 0.35m×0.35m×0.5m の厚さで敷き詰めた。実験では、図 - 1 に示す重錘の加速度、単純支持された H 鋼中央のたわみと中央断面の上下フランジのひずみを測定した。

3. 個別要素法による解析モデル

解析には大変形を伴う破壊の進展や局部破壊に見られる粒子飛散の再現性が高い 3 次元個別要素法を使用した^{1,2)}。重錘要素は複数粒子からなる格子配列で構成し、緩衝材要素は自由落下によりランダム配列とした。緩衝材要素の直径別粒子数を表 - 1 に示す。また、ばね定数は圧縮試験を行い算定した。

また、実験で土槽下部に配置した H 鋼の振動を考慮したモデルを構築した。図 - 2 に示すような、土槽底面にばねを設置し、上下方向に移動可能な底面に質量を持たせることで再現を試みた。表 - 2 に、各 H 鋼スパンに相当する底面ばね定数、底面質量と一次固有周期を示す。ばね定数は単純ばり二点載荷のスパン中央のたわみ式から算出した、質量は土槽、土槽固定材、重錘、緩衝材を含めた質量と各スパン H 鋼の有効質量の和である。

次にモデル評価を行った。条件は落下高さ 2 m、重錘質量 7.233 kg とし、底面の固有周期をパラメトリックに変化させ、各固有周期における重錘の衝撃力、土槽底面に伝達する衝撃力、底面の変位を比較した。

解析結果の一例を図 - 3 に示す。縦軸左を力(kN)、縦軸右を変位(m) とした衝撃力と変位の波形である。図の左

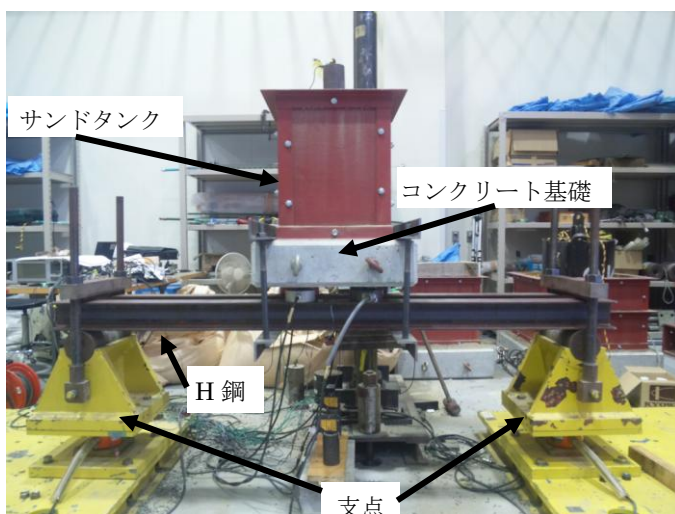


写真 - 1 重錘落下実験装置

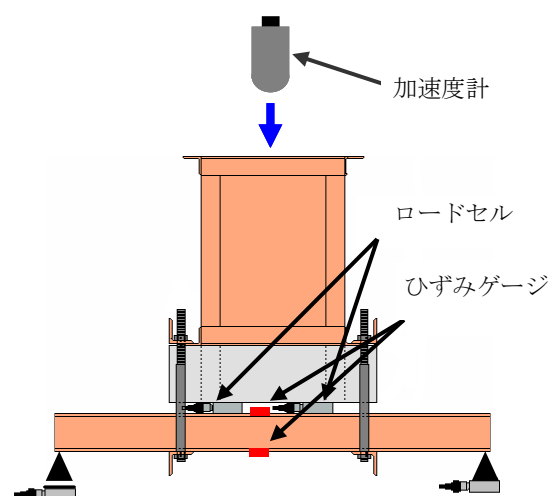


図 - 1 測定項目と測定位置

キーワード 落石, 重錘衝突, 衝撃力, 個別要素法, サンドクッション, 伝達エネルギー

連絡先 〒507-0038 岐阜県多治見市白山町 3-66-1 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋 岐阜多治見道路事務所 TEL 0572-23-7606

表 - 1 緩衝材モデル粒子直径別粒子数

層厚 [cm]	粒子径別粒子数				総粒子数
	14mm	21mm	28mm	35mm	
h=50	3846	2403	851	394	7494

表 - 2 解析モデルの底面パラメータ

スパン長[m]	1.5	2.0	3.0	4.0
底面ばね定数 [kN/mm]	22.315	9.264	2.7134	1.1400
底面質量[kg]	302.540	310.719	327.078	343.437
固有周期[s]	2.314E-2	3.639E-2	6.898E-2	1.091E-1

側は衝撃力の継続時間 T_d に対する固有周期 T で除した値 $T_d/T=1$, 右側は $T_d/T=0.5$ となった場合の解析結果である. 伝達衝撃力の波形は伝達底面の変位に沿って第二ピーク値を持った. また, T_d/T を変化させた場合の最大衝撃力あるいは力積の違いを図 - 4 に示す. 最大重錘衝撃力に変化はないが, 最大伝達衝撃力は $T_d/T=1$ 付近となるときに最小値をとることが分かった. また, 力積においても似た傾向があり, 重錘衝撃力の力積に変化はなく, 伝達衝撃力の力積は $T_d/T=0.5$ 付近で最小値をとることが分かった. このことより, T_d/T が 1 前後において底面の振動により最も緩衝効果が働いているといえる. また, 本モデルで下部構造物の固有周期の違いによる緩衝効果の違いを表現できた.

4. 実験値と解析結果の比較

実験と同様のパラメータを用いた解析結果の一例を図 - 5 に示す. 条件は落下高さ 2m, H 鋼スパン 2m で, 解析に用いた底面パラメータは表 - 2 に示す.

重錘衝撃力や変位の波形, 伝達衝撃力の立ち上がりは概ね再現できているが, 伝達衝撃力の継続時間や, 変位に沿って第二ピーク値を持つこと, 実験で認められたスパン長による緩衝効果の違いなどは精度よく再現はできなかった. 今後スケールの大きい追加実験などを行い, 具体的な解決方法を模索する必要があると考えている.

5. まとめ

本研究ではサンドクッションを有する構造物への重錘落下実験を行い, 3次元個別要素法による解析モデルの構築と実験の再現を試みた. モデルは土槽底面にばねを設置し, H 鋼の振動を再現した. モデル評価を行い, 底面の固有周期の違いによって緩衝効果の違いを表し, モデルの有用性を確認した. 実験値との比較については重錘衝撃力と変位は一致することを示した.

参考文献

- 1) 渡辺高志: 3次元個別要素法を用いた落石作用を受ける敷砂の衝撃伝達挙動の解析, 構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集, 2010
- 2) 中田吉彦: DEM と FEM の結合解析手法の開発と落石覆工解析への適用について, 土木学会論文集 No.710, 2002

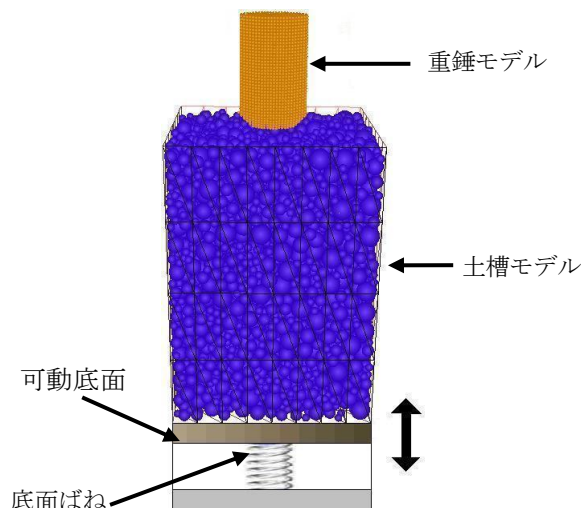


図 - 2 H 鋼の振動を考慮した解析モデル

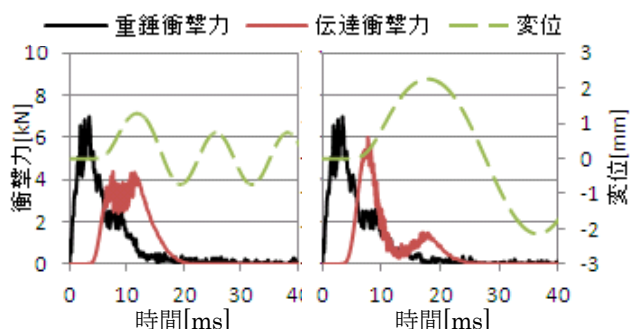


図 - 3 モデル評価 (衝撃力波形と変位)

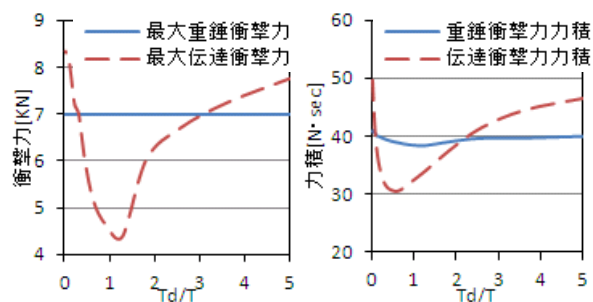


図 - 4 モデル評価 (最大衝撃力と力積)

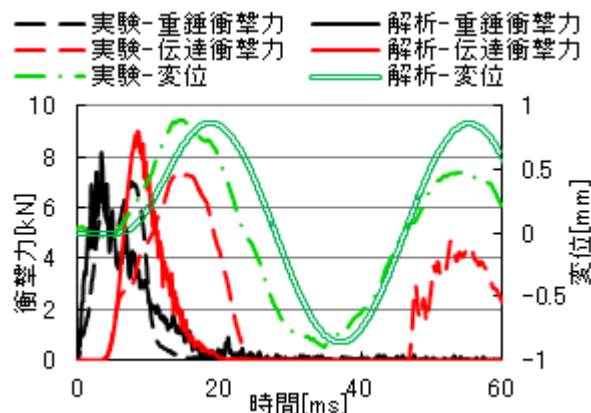


図 - 5 実験値との比較(スパン 2m, 落下高さ 2m)