

サンドクッション材の衝撃伝播挙動の FEM による解析に関する一考察

金沢大学

学生会員

○江野 翔紀

金沢大学

正会員

梶谷 浩

金沢大学

学生会員

Ho Sy Tam

1. まえがき

落石防護工は衝撃荷重支持面により柔・剛なものに大別できるが、いずれにおいても敷砂を用いた衝撃緩衝材の役割は大きく、既往の研究よりサンドクッション材の衝撃伝播挙動の実験的、解析的な解明が進められている。しかし、任意条件において解析的な整合性をいまだ確立できていないのが現状である。そこで、金沢大学で行った重錘落下実験結果を基に、サンドクッション材の衝撃伝播挙動再現のための有限要素法による解析的検討を行った。本研究は任意条件における解析的アプローチの基礎データを報告するものである。

2. 重錘落下実験

当研究室で行った自由落下式重錘落下実験の概略を記す。表 1 は実験項目と測定項目を示している。土槽は内径 1.1m 四方の鋼製である。重錘は落下の際ガイドレールにより垂直落下に制限している。

サンドクッション材には川砂を使用した。その特性値を表 2 に示す。

表 1 実験項目

砂種	川砂	
重錘形状	平底, 錘底(コンクリート製)	
落下高さ	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0(m)	
砂層層厚	30, 50, 70(cm)	

測定項目	測定器	測定位置
重錘衝撃力	加速度計	重錘上端
伝達衝撃力	土圧計	砂層底部
支点反力	ロードセル	土槽下



図 1 実験装置

3. 解析概要

本研究では、衝撃解析用有限要素法コード LS-DYNA Ver.971 を使用した。図 2 は解析モデルを示したものであり、重錘、砂層、土槽(側面部と底面部)に分けてモデル化した。要素特性は重錘、砂層は 8 節点ソリッド要素、土槽は簡素化のため 4 節点シェル要素を用いた。積分点は解析時間短縮のためソリッド要素は 1 点、シェル要素については 3 点とした。砂層の要素数は 1000、重錘は 525、土槽は 473、総要素数は 1998 である。重錘、土槽は弾性体とした。図 3 は直径 100mm、高さ 200mm の鋼製円筒に砂を充填した円柱を一方向に圧縮する実験により得られた圧力-体積ひずみ関係とそれをモデル化した基準曲線を示している。

砂層の圧力-体積ひずみ曲線は、図 3 に示すように本解析において多直線で近似し、除荷勾配は体積弾性係数とした。ここで、砂層の降伏条件はドラッカー・プラガーの降伏基準を採用した。境界条件は土槽底部節点を鉛直方向に拘束し、重錘に各落下高さに応じた初速度を与えることで解析を行った。実験に対応する解析の測定項目は、重錘衝撃力は重錘要素の加速度に質量を乗じたもの、伝達衝撃力は砂層と土槽底面部の接触反力、支点反力は土槽底面拘束節点の反力の合計より算出した。解析における入力パラメータは、砂の特性値実験より決定した。ここで、弾性係数においては砂層のポア

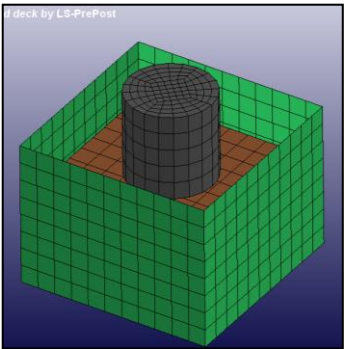


図 2 モデル全体図

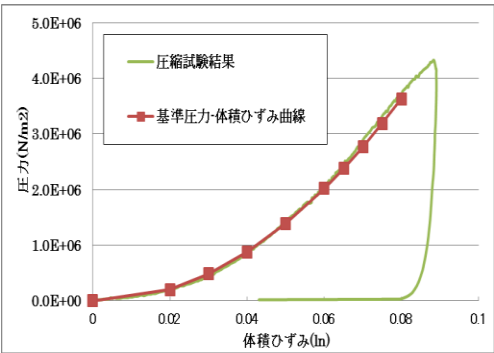


図 3 圧力-体積ひずみ曲線

キーワード 落石, 衝撃解析, 重錘落下実験, サンドクッション材, FEM
連絡先 〒920-1192 石川県金沢市角間町 金沢大学 TEL076-234-4603

ソン比を 0.35 に固定し、ラメ定数は $1.0 \sim 100 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$ の範囲で変動させ決定した。

解析に使用した各入力パラメータを表2に示す。表中の ϕ と c は一面せん断試験より内部摩擦係数と粘着力を示している。 $\lambda = 4.8 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$ は実験より算出した。

4. 解析結果

図4は落下高さ 1.5m, 砂層厚 50cm 件でのラメ定数を変動させた時の重錘衝撃力と伝達衝撃力の時間変化である。これよりラメ定数の増大により各波形の先鋭化がみられる。また、2波形とも $\lambda = 4.8 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$ と $\lambda = 100 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$ に関しては最大値には大きな差異は認められない。ラメ定数のみの増大による衝撃波形の最大値には上限があることが考えられ、これらは圧力-体積ひずみ曲線や降伏条件等の組み合わせにより、解析結果に影響を与え改善が可能であることが予想できる。実験においては重錘衝撃波形と伝達衝撃波形の最大値に差があるが、解析においては最大値に顕著な差が確認されない。そのため、2波形の形状の完全再現はできないが大略近似が可能であることがわかる。

図5は落下高さ-最大重錘衝撃力・力積の散布図である。図中 EXP は実験値、FEM は解析値を示しており、 λ はラメ定数(kN/m^2)を示している。各線は落石対策便覧式¹⁾の各ラメ定数での経験式に対応している。これより、重錘衝撃力は実験・解析ともに便覧式に沿うようにみられるが同じ $\lambda = 1.0 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$ や $\lambda = 100 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$ において解析値と経験式に大きな差異が見られる。力積においては初期運動量($P=mv$)に従うことから、実験・解析ともに運動量保存則は満たされることが確認できる。

5. まとめ

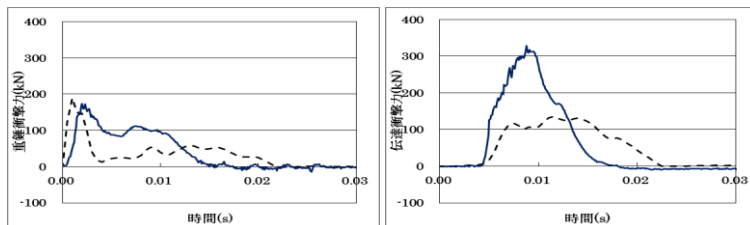
本研究では LS-DYNA を利用し、サンドクッション材の衝撃特性についてパラメトリックスタディによる検討を行った。サンドクッション材について各種簡易的な特性値実験を行い、それらを入力値として用いることが有効な一つの方法であることが分かった。今後いろいろな問題について適用性をさらに検討し、クッション材を有する構造物の解析に応用していきたいと考えている。

参考文献

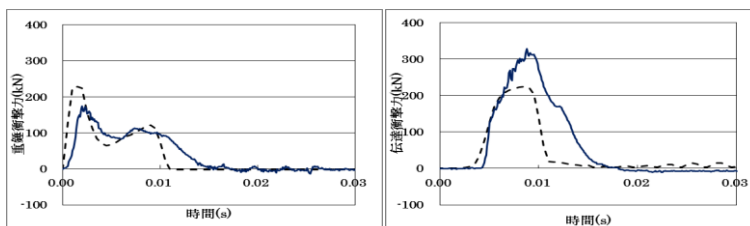
- 1) 日本道路協会：落石対策便覧，pp20-23，pp268-274，2000。

表2 解析入力値

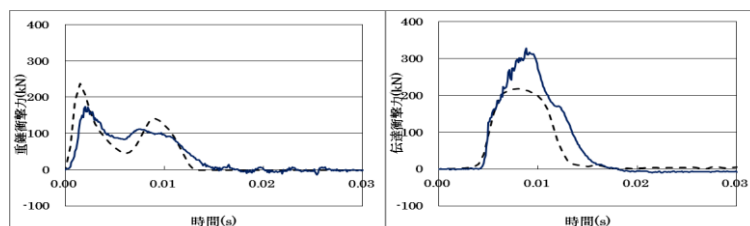
入力値	単位	重錘	サンドクッション材	土槽
弾性係数	N/m^2	$2.10\text{E}+10$	ラメ定数より決定	$2.10\text{E}+11$
ポアソン比	-	0.2	0.35	0.3
降伏基準	-	-	$\phi=35, c=100\text{N/m}^2$	-
密度	kg/m^3	2078	1602	7850



(a) $\lambda = 1.0 \text{ kN/m}^2$

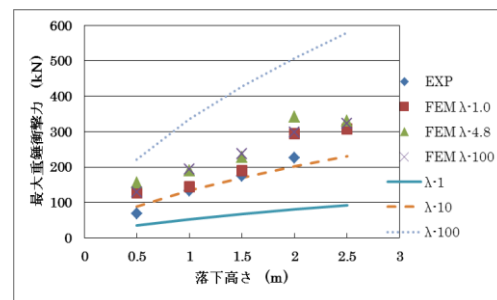


(b) $\lambda = 4.8 \text{ kN/m}^2$

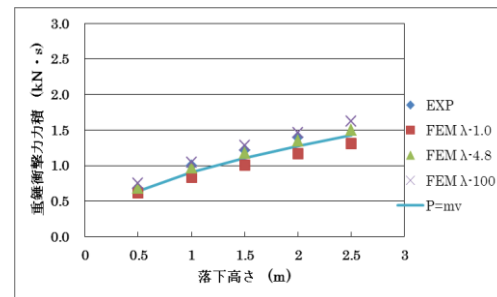


(c) $\lambda = 100 \text{ kN/m}^2$

図4 重錘衝撃力(左図)と伝達衝撃力(右図)の衝撃力波形
実線：実験波形，破線：解析波形



(a) 最大重錘衝撃力



(b) 重錘衝撃力積

図5 落下高さと衝撃力