

緩衝材を介して重錘衝撃を受ける H 鋼の衝撃挙動の FEM 解析に関する考察

金沢大学 学 ○江野 翔紀  
 金沢大学 正 梶谷 浩  
 北川ヒューテック 学 高下 直人

1. まえがき

落石防護構造物のような衝撃作用を受ける構造物の変形挙動について、今日まで多くの実験的あるいは解析的アプローチがされているが、十分な根拠を得ていない事象も多くみられる。特に緩衝材を有する場合については、緩衝材中の衝撃波の伝播挙動が複雑であることや緩衝材の塑性域での解析パラメータの設定が曖昧であるため、構造物の衝撃解析について十分な実績が得られていない現状にある。

そこで本研究では、2012年に金沢大学で行った緩衝材を有する H 鋼の重錘落下実験について有限要素解析を行い、その解析限界や緩衝材の解析パラメータの検討を報告することとする。

2. H 鋼重錘落下実験

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。図 1 に実験装置を示し、表 1 に実験項目と H 鋼の諸元を示す。重錘は 450kg、土槽は内径 30cm×40cm、高さ 30cm の鋼製である。なお、重錘はガイドレールにより垂直落下に制限し、H 鋼

表 1 実験項目と H 鋼諸元

砂種	川砂
重錘形状	円柱平底(鋼製)
衝突速度	1.0~6.0(m/s)(1m/s刻み)
砂層層厚	24(cm)
鋼種	SS400
スパン長	1.5, 2, 3, 4(m)
断面係数	$7.56 \times 10^{-5}(m^3)$
降伏応力	$3.15 \times 10^8(N/m^2)$

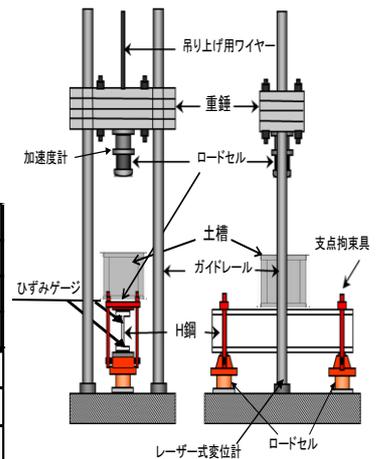


図 1 実験装置

や土槽は衝撃载荷による跳ね上がり防止する程度に固定している。緩衝材には川砂を使用し、一面せん断試験など各種特性値試験を行っている。

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ており、重錘、砂層、土槽(側面部と底面部)、H 鋼に分けて対称性から 1/4 のみモデル化した。要素

LS-DYNA keyword deck by LS-PrePost

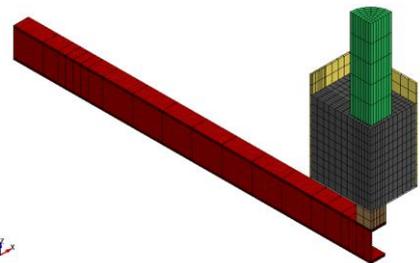


図 2 解析モデル

特性は 8 節点ソリッド要素を用い、積分点は解析時間短縮のため 1 点とした。砂層の要素数は 1690、重錘は 195、土槽は 366、H 鋼は 2160、総要素数は 4411 である。重錘、土槽は剛性を上げた弾性体、H 鋼は完全弾塑性体とした。図 3 は直径 100mm、高さ 200mm の鋼製円筒に砂を充填し、側面拘束された状態で円柱を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多直線近似曲線を示しており、砂層の構成則として圧力-体積ひずみ曲線はこの基準曲線を使用し、除荷勾配は体積弾性係数としている。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。

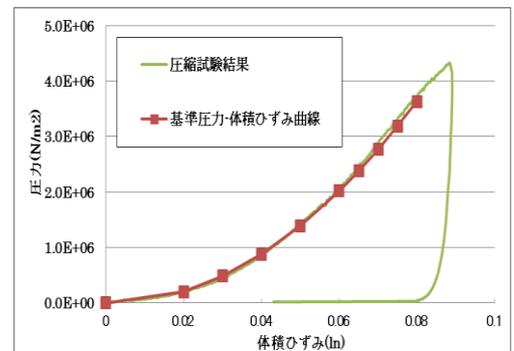


図 3 圧力-体積ひずみ曲線

境界条件は H 鋼支点部分を鉛直方向に拘束し、初期条件として重錘に衝突速度を与えることで解析を行った。

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

砂層におけるその他の解析入力パラメータは、砂の特性値実験より決定した。砂層のポアソン比を 0.35 に固定し、表中の  $\phi$  と  $c$  は一面せん断試験での内部摩擦係数と粘着力を示している。せん断弾性係数や体積弾性係数は、2008 年に当研究室で行った砂層に対する重錘落下実験<sup>1)</sup>より算出したラメ定数  $\lambda=4.8 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$  から算出している。解析に使用した各入力パラメータを表 2 に示す。

4. 解析結果

図 4 はスパン長 2m についての衝突速度  $v=1.0\text{m/s}$  と  $v=5.0\text{m/s}$  における重錘衝撃力と H 鋼への伝達衝撃力および中心たわみの実験値と解析値の時間変化を示したものである。 $v=1.0\text{m/s}$  において、H 鋼は弾性域の挙動を見せ、 $v=5.0\text{m/s}$  では、塑性域へ到達しているが、解析結果は弾性域に比べ塑性域の方が、伝達衝撃力の最大値やたわみ量はよく整合している。また、図 5 は衝突速度と重錘衝撃力積の関係を示し、実験では初期運動量を上回るが、解析においては衝突速度が上昇するにつれ、初期運動量を上回ることが分かる。これにより入力した砂層構成則に対し、低速度では砂層の変形吸収により H 鋼の跳ね上がりが抑えられ、実験値に比べ衝撃力やたわみ量が不足したことが分かる。そのため、土槽から受ける側圧の影響も考慮したうえで、砂層構成則についての校正を行い、改善が可能であると予想できる。

図 6 は衝突速度 5.0m/s のときの衝突後  $t=0.110\text{s}$  時の変形図を示したものである。衝突後の跳ね上がりの挙動は砂層と重錘が一体となって動いている。H 鋼のたわみ量や伝達衝撃力に着目すれば、FEM により砂のような緩衝材を有する構造物の衝撃解析も比較的精度よく再現可能であることがわかる。

5. まとめ

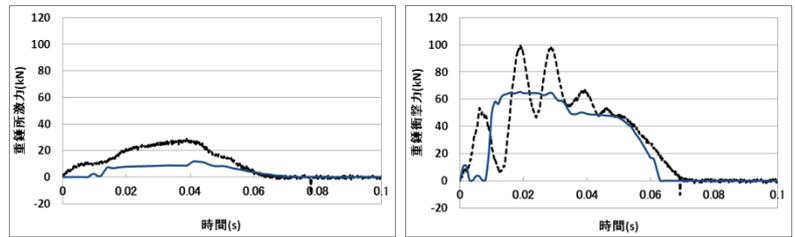
本研究では LS-DYNA を利用し、サンドクッション材の材料特性を含めた H 鋼に関する衝撃解析を行い再現性について検討した。サンドクッション材の構成則について各種簡易的な特性値実験値を参照し、パラメトリックに検証することで構造体への伝達衝撃力の解析的推定が可能であると考えている。

参考文献

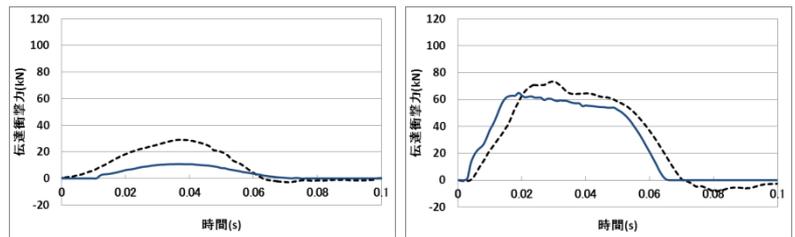
1) サンドクッション上への重錘衝突室内実験について：油屋他，第 9 回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集，2008

表 2 解析入力値

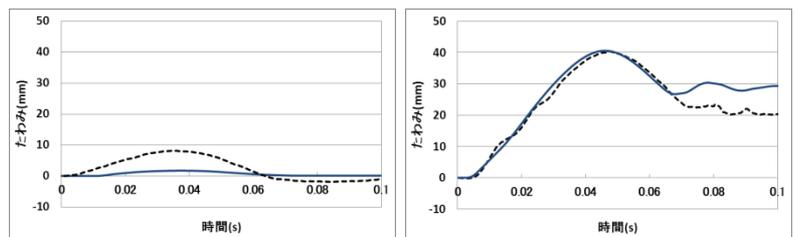
項目	重錘・土槽	サンドクッション	H鋼
弾性係数(N/m <sup>2</sup> )	2.00E+13	ラメ定数より決定	2.00E+11
ポアソン比(-)	0.3	0.35	0.3
降伏基準(N/m <sup>2</sup> )	-	$\phi=35^\circ$ 、 $c=100$	3.15E+08



(a) 重錘衝撃力



(b) 伝達衝撃力



(c) 中心たわみ

図 4 衝突速度 1.0m/s(左図)と 5.0m/s(右図)の各種波形

実線：解析波形，破線：実験波形

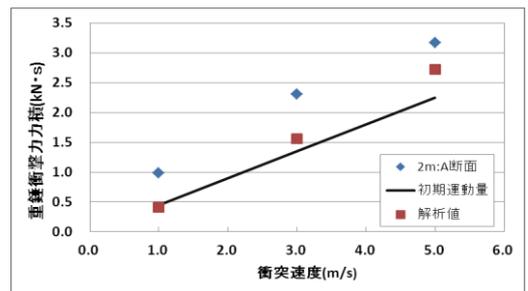


図 5 衝突速度-重錘衝撃力による力積

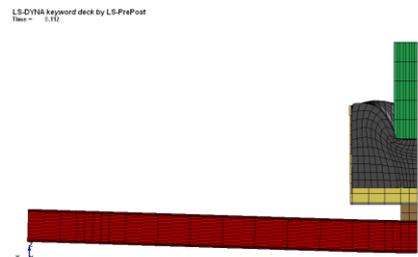


図 6 衝突速度 5.0m/s のときの変形図