

単粒度碎石を充填したジオセル緩衝体の耐衝撃挙動に関する衝撃応答解析

東京インキ株式会社 正会員 ○大山 亮貴 室蘭工業大学大学院 正会員 小室 雅人
 室蘭工業大学大学院 正会員 栗橋 祐介 日本サミコン株式会社 正会員 宮本 大介
 室蘭工業大学大学院 学生会員 瓦井 智貴

1. はじめに

本研究では、ジオセル緩衝体の耐衝撃挙動を適切に再現可能な有限要素モデルの構築を目的として、鋼製重錘を水平に衝突させる実規模実験¹⁾を対象に衝撃応答解析を実施した。また、得られた解析結果と実験結果を比較することにより、解析モデルの妥当性を検討した。

2. 数値解析概要

2.1 試験体概要

ジオセル緩衝体の形状寸法は、幅 5,000 mm、高さ 2,500 mm であり、全 24 個の伝達衝撃応力測定用ロードセルが埋設された剛体壁前面に設置した。ジオセル 1 枚の展開時寸法(後述、図 2 a 参照)は奥行き 800 mm、幅 2,000 mm、高さが 200 mm と 170 mm となっており、高さの異なる部分を積層し、2 分勾配で階段状に全 12 段設置した。また、各段ユニットの連結効果を高めるために、鉄筋を所定の間隔で打ち込んでいる。ジオセルの中詰材には碎石 6 号を、ジオセルと剛体壁間の裏込め材には細目砂を使用した。

実験は門型フレームに吊り下げた重錘(質量 3 t、直径 1 m)をクレーンで所定の高さまで吊り上げ、振り子運動によって試験体に水平衝突させることにより行った。測定項目は、重錘に設置したひずみゲージ式加速度計による重錘衝撃力、剛体壁前面に埋設されたロードセルによる伝達衝撃応力、高速度カメラによる重錘衝突速度および重錘貫入量である。なお、実験は落下高さ H を 5 種類($H = 2.0, 3.75, 5.0, 7.0, 9.0$ m)に変化させて実施したが、本概要では紙面の都合上、 $H = 3.75, 9.0$ m の 2 ケースについて解析結果を報告する。

2.2 有限要素モデルおよび境界条件

図 1 には有限要素モデルを、図 2 にはジオセル、細目砂、碎石 6 号の拡大図を示している。解析モデルは対称性を考慮し 1/2 モデルとし、鉄筋を 2 節点梁要素、ジオセルを 4 節点シェル要素、それ以外は 8 節点固体要素を用いた。要素長は 50 mm 程度である。

境界条件に関しては、対称切断面および緩衝体の端部を x 軸方向に固定し、底面は完全固定とした。解析は重錘に実測衝突速度を初速度として付加することで行った。なお、本解析では各要素間摩擦や減衰は考慮していない。

2.3 材料構成則

図 3 には細目砂、碎石 6 号、鉄筋の材料構成則を示している。細目砂と碎石 6 号は既往の研究^{2), 3)}を参考にそれぞれの値を設定している。細目砂は応力-ひずみ曲線に二次式 $\sigma = 50 \epsilon^2$ を用い、ポアソン比 $\nu = 0.06$ とした。碎石 6 号は圧縮強度 $\sigma = 6.0$ MPa、弾性係数 $E_G = 0.2$ GPa としバイリニア型とした。鉄筋については塑性硬化を考慮したバイリニア型を採用し、塑性硬化係数 H' は弾性係数の 1% とした。なお、降伏応力は公称値(SD295)を用いた。

3. 数値解析結果および考察

図 4 には、 $H = 3.75, 9.0$ m の解析結果を実験結果と比較して示している。(a) 図に示す重錘衝撃力波形に着目する

総節点数：94435
総要素数：60833

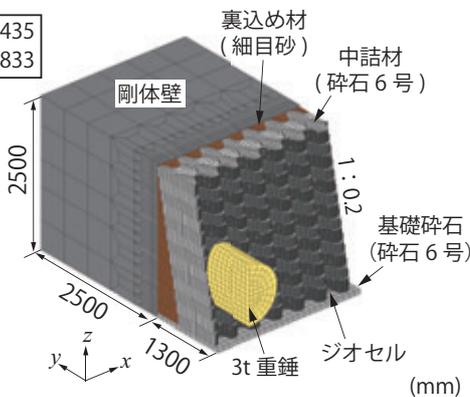
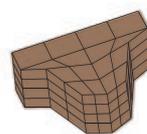


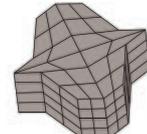
図 1 有限要素モデル



(a) ジオセル



(b) 裏込め材 (細目砂)



(c) 中詰材 (碎石 6号)

図 2 モデル拡大図

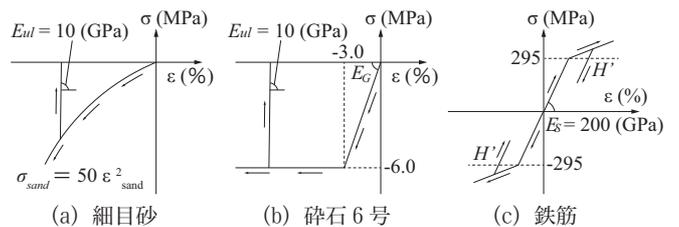


図 3 材料構成則

キーワード：ジオセル，有限要素法，材料構成則，伝達衝撃応力，衝撃載荷実験
 連絡先：〒 980-0801 東京インキ株式会社 TEL:(022)274-3531 FAX:(022)274-3533

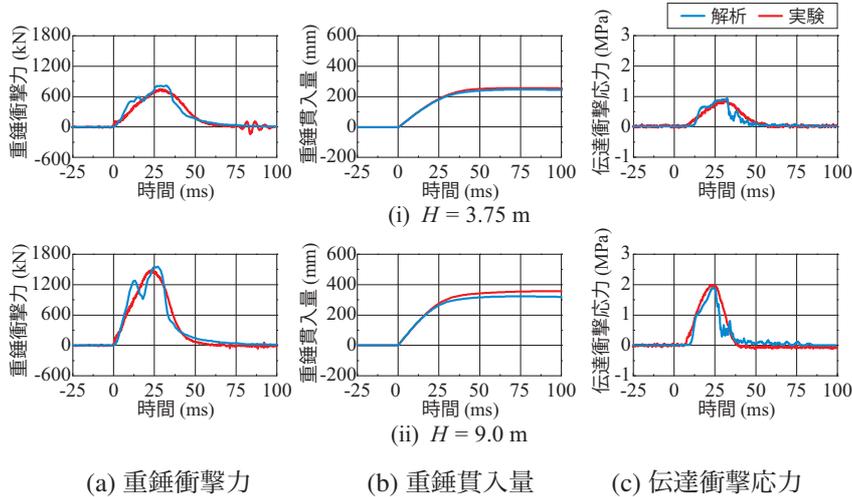


図4 各種時刻歴応答波形

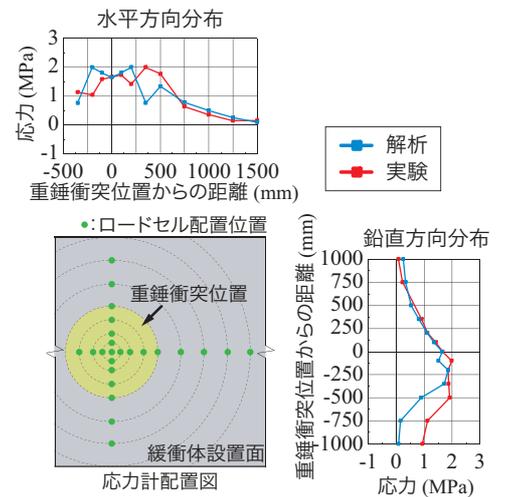


図5 伝達衝撃応力包絡線分布($H = 9.0\text{ m}$)

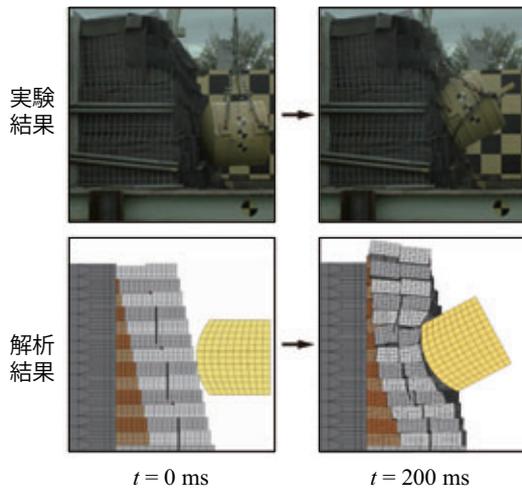


図6 ジオセル緩衝体の変形状況($H = 9.0\text{ m}$)

と、実験から得られた重錘衝撃力波形はいずれも正弦半波状の1波のみで構成されているのに対し、解析結果は2波で構成されており、その傾向は落下高さが大きいほど顕著になっている。しかしながら、最大重錘衝撃力および作用継続時間は実験結果と概ね等しく、またピーク到達時間も5ms程度の誤差でほぼ一致している。

次に(b)図に示す重錘貫入量波形に着目すると、波形の立ち上がりから最大貫入量に至るまでほぼ適切に再現していることが分かる。また、(c)図の伝達衝撃応力波形においても、波形の立ち上がりや最大伝達衝撃応力は概ね実験結果と一致している。

以上より、提案の解析手法を用いることにより、ジオセル緩衝体の耐衝撃挙動を大略再現できることが明らかになった。

図5には $H = 9.0\text{ m}$ における伝達衝撃応力の包絡線分布を解析結果を実験結果と比較して示している。水平方向分布に着目すると、重錘半径と等しい中心から500mm程度の領域において実験結果と解析結果で若干の差異が見られるものの、それ以外の範囲においては両者よく一

致している。また、鉛直方向分布を見ると、重錘衝突位置から上方の領域においては両者よく一致しているものの、下方領域では実験結果が解析結果よりも大きく示されている。これは、後述の図6からも分かるように実験では振り子式で重錘を衝突させていることにより、(1)所定の位置よりも若干ずれて重錘が衝突していること、および(2)その姿勢も理想化された解析条件とは異なること等に起因しているものと考察される。

図6には $H = 9.0\text{ m}$ におけるジオセル緩衝体の変形状況を実験結果と解析結果で比較して示している。実験結果を見ると、重錘が緩衝体に衝突後、後部が上方へ浮き上がっていることが分かる。また、重錘の貫入とともにジオセル緩衝体が大きく変形し、その結果、ジオセル緩衝体が上部に大きく変形していることを確認している。一方、解析結果においても、重錘の挙動は実験結果と類似しており、さらに緩衝体の全体挙動も大略再現できることが分かる。

4. まとめ

- 1) 提案の解析手法を用いることにより、実験結果の重錘衝撃力、重錘貫入量をほぼ適切に再現可能である。
- 2) また、伝達衝撃応力に関しては、最大値および水平・鉛直方向の包絡線分布を概ね再現可能である。
- 3) 実験結果における重錘やジオセル緩衝体の全体挙動をほぼ適切に再現可能である。

参考文献

- 1) 大山亮貴, 小室雅人, 栗橋祐介, 村田佳久, 渡邊忍: 単粒度碎石を充填したジオセルの緩衝効果に関する実験的研究, 構造工学論文集, 61A, 1002-1011, 2015.
- 2) 岸徳光, 岡田慎哉, 今野久志, 池田憲二: 敷砂緩衝材の緩衝特性評価のための数値解析モデルに関する一考察, 構造工学論文集, 49A, 1323-1332, 2003.
- 3) 平田健朗, 小室雅人, 山口悟, 岸徳光: 碎石緩衝材を設置した実規模落石覆道の耐衝撃挙動に関する数値シミュレーション, コンクリート工学年次論文集, 37, 601-606, 2015.