

# 地盤材料の特性を活かした落石防護擁壁に対する落石衝突実験の数値シミュレーション

岐阜大学 非会員 杉森健作  
 岐阜大学 正会員 八嶋 厚  
 岐阜大学 正会員 沢田和秀  
 (株)地層科学研究所 非会員 成 彦洙

## 1. はじめに

一般的に用いられている落石対策の一つに落石防護擁壁がある。落石防護擁壁とは、突発的に発生する落石を受け止め停止させることを目的とし、斜面の中腹または下部に設置される構造物である。従来の落石防護擁壁は、重力式コンクリート擁壁を用いられることが多かったが、近年、地盤材料の特性を活かした環境共生型の落石防護擁壁が提案されている。環境共生型の落石防護擁壁は、主構成材料に現地発生土を用いるため、経済性に優れ、植生などの表面緑化が容易であり、環境を考慮した設計・施工が可能である。これまでに環境共生型落石防護擁壁の性能を確認するために、特定の衝突エネルギーを想定した実大規模衝突実験および実験の再現解析が行われてきた<sup>1)2)3)4)</sup>。

本報告では、鋳鉄製パネルと現地発生土を使用した落石防護擁壁に対して、設計・施工法の確立および耐衝撃力の評価を目的に、実験に基づく数値解析を試みた。

## 2. 防護擁壁の実大規模衝突実験

2007年2月に岐阜東部改良土センターにおいて、鋳鉄製パネル防護擁壁(以下、鋳鉄パネル擁壁)を実大規模で構築し衝突実験を実施した。

鋳鉄製パネル擁壁は、擁壁の外枠に鋳鉄製パネル枠を使用し、内部に砕石を充填した構造である。写真1、写真2に示すように、擁壁寸法は幅5.00m、壁高2.00m(直壁)、天端の奥行1.50m、底面の奥行き2.25mである。

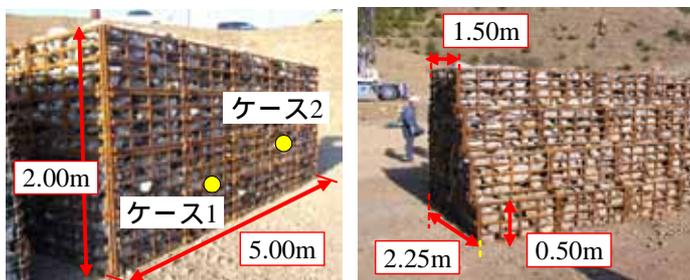


写真1 擁壁受撃面

写真2 擁壁背面

図1に示すように、擬似落石として用いた鉄製の重錘(直径0.90m、重量9.50kN)をクレーンで落下高さ10.50mの位置まで

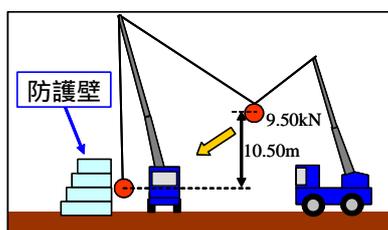


図1 実験の概略図

吊り上げた後落下させ、振り子方式で防護壁に衝突させた。重錘が擁壁に衝突する際の衝突エネルギーを100kJに設定した。擁壁の変形特性・衝撃吸収性を評価するために、重錘内部に3軸加速度計を設置し、防護壁衝突時の重錘の加速度を計測した。実験は2回行い、写真1に示す受撃面の高さ0.50m(実験ケース1)と高さ0.80m(実験ケース2)の位置に重錘を衝突させた。

計測した重錘加速度を2階積分することにより、擁壁衝突時の重錘貫入量(変位)を算出した。

実験で計測した重錘加速度を図2に、算出した重錘貫入量を図3に示す。実験ケース1は、重錘が振り子運動をしている間に地面と接触してしまったため、重錘が擁壁に衝突したときの純粋な加速度が計測できなかった。そのため、重錘加速度のピーク値を測定できなかったと考えられる。一方、重錘が防護壁に直接衝突した実験ケース2の場合は、加速度のピーク値が明瞭である。そこで今回は、実験ケース2のみを対象に検討する。図3において、実験ケース2は0.06s時に、貫入量の最大値である0.35mになっていることがわかる。

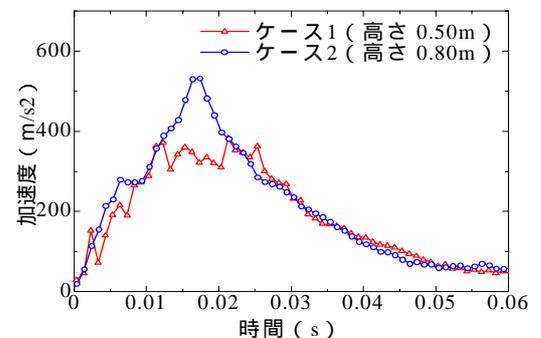


図2 重錘加速度の時間変化

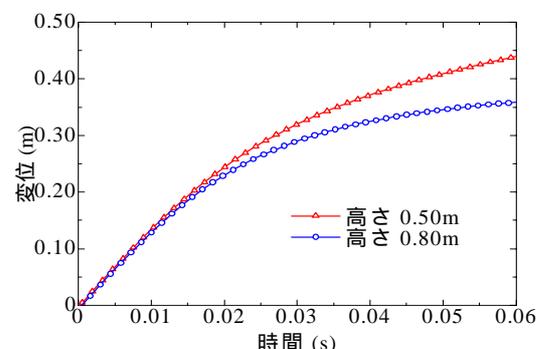


図3 重錘貫入量(変位)の時間変化

## 3. 実験の再現解析

実大規模衝突実験(以下、実験)の再現と、実験とは異なる衝突エネルギー・衝突位置における防護

壁の変形特性や応力伝播状況を把握することを目的に数値解析を行った。数値解析ツールには、LS-DYNA を用いた。

図 4 に示すように、鑄鉄製パネル擁壁、重錘および擁壁周辺の地盤について、実験と同様の寸法・形状でモデル化することにより、数値解析で用いる 3 次元メッシュを作成した。重錘は変形を生じない剛体モデル、擁壁の周辺地盤を弾性モデル、擁壁を弾完全塑性モデル<sup>5)</sup> と設定した。変位境界条件は、地盤底面の節点を 3 方向固定および地盤側面の節点を面に対して法線方向に固定とした。実験の条件に近づける(擁壁の滑動を考慮する)ために、擁壁底面と地盤上面の節点を 2 重節点とした。

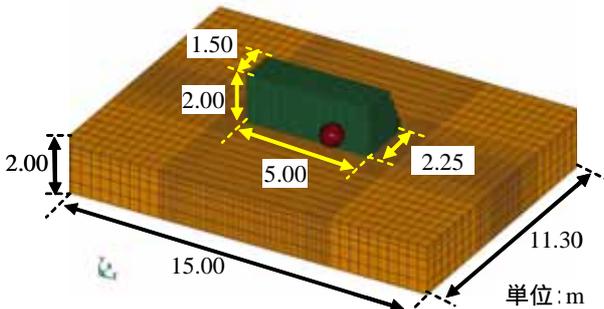


図 4 3次元解析メッシュ(重錘、防護壁、地盤)

表 1 に、数値解析で用いた材料パラメータを示す。ここで、 $\rho$  は密度、 $E$  はヤング係数、 $c$  は粘着力、 $\phi$  は内部摩擦角、 $\nu$  はポアソン比である。

表 1 材料パラメータ

材料パラメータ	重錘	地盤	防護壁
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	2,312	2,500	2,150
$E$ (kPa)		1.56E+6	3.00E+3
$\nu$		0.25	0.30
$c$ (kPa)			35
$\phi$ (°)			23

擁壁と地盤の接触条件として摩擦係数(静止摩擦係数  $F_s$ 、動摩擦係数  $F_d$ )を設定した。摩擦係数は、実験で撮影したビデオカメラの映像から擁壁の滑動距離を割り出し、数値解析における防護壁の滑動距離と一致させることで  $F_s = F_d = \tan 40^\circ$  に決定した。

解析結果を実験結果に近づけるために、加速度グラフに関して、以下の 3 項目に着目した。

- (1) 加速度が増加し始めてからピーク値に至るまでのグラフの傾きが一致すること。
- (2) ピーク値が一致すること。
- (3) ピーク値以降のグラフの傾きが一致すること。

項目(1)は防護壁の剛性(硬さ)、項目(2)は防護壁に加わる最大衝撃力、項目(3)は重錘の最終的な貫入量(変位)に対応していると考えられる。

解析結果と実験結果の比較については、図 5 に重

錘加速度を示し、図 6 に重錘貫入量(変位)を示す。図 5 において、ピーク値に至るまでのグラフの傾きは実験結果と解析結果でほぼ一致している。加速度のピーク値も実験結果と解析結果でほぼ等しくなっている。図 6 において、0s~0.035s 間の実験結果と解析結果のグラフの軌道は一致している。また、0.06s での最終的な重錘貫入量に対しても、実験結果と解析結果はほぼ一致している。

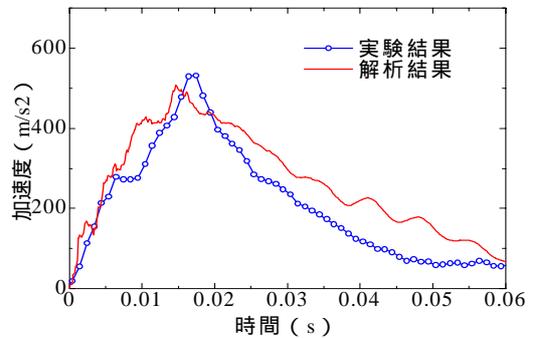


図 5 重錘加速度の比較

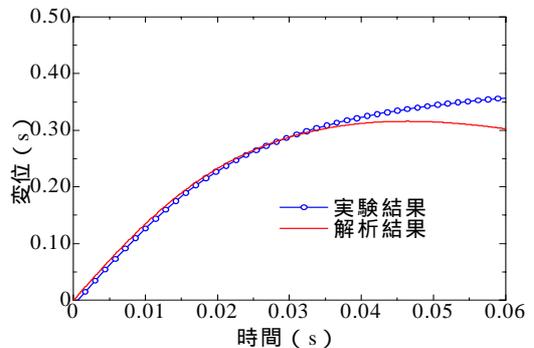


図 6 重錘貫入量の比較

#### 4. まとめ

数値解析により、実験における重錘加速度および重錘貫入量を表現することができた。防護壁の耐衝撃力の設定には、防護壁の変形量を基準とした評価を行いたいと考えている。そのため、今後は重錘の衝突エネルギーや衝突位置を変化させ、防護壁の変形特性や応力伝播状況を把握し設計・施工法の確立や耐衝撃力の評価に役立てる。

#### 参考文献

- 1) 沢田和秀ら：地盤材料の特性を活かした落石・土砂防護壁の実大規模衝撃実験,第 15 回調査・設計・施工技術報告会発表論文集,(社)地盤工学会中部支部,pp.56-63,2006 .
- 2) 沢田和秀ら：間伐材と現地発生土を利用した落石防護壁の対衝撃実験,第 41 回地盤工学研究発表会,pp.2239-2240, 2006.
- 3) 杉森健作ら：地盤材料の特性を活かした落石防護壁の実大規模衝突実験,第 42 回地盤工学研究発表会,pp.1999-2000, 2007.
- 4) 成彦洙ら：地盤材料の特性を活かした落石防護壁の実大規模衝突実験に関する数値解析,第 42 回地盤工学研究発表会,pp.2001-2002,2007.
- 5) Federal Highway Administration, Manual for LS-DYNA Soil Material Model 147, 2004.