

## 砕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衝撃応答解析

北海道開発局 正会員 ○平田 健朗 室蘭工業大学 正会員 小室 雅人  
 土木研究所 正会員 山口 悟 土木研究所 正会員 今野 久志  
 釧路工業高等専門学校 フェロー 岸 徳光

### 1. はじめに

本論文では、砕石緩衝材を設置した実規模 RC 製落石覆道の重錘落下衝撃実験<sup>1)</sup>を対象に、三次元衝撃応答解析を実施した。ここでは、砕石緩衝材の新しい構成則モデルを提案するとともに、その妥当性を実験結果との比較によって検討している。なお、本解析には LS-DYNA を用いた。

### 2. 数値解析概要

#### 2.1 試験体概要

図1には、実験に使用した RC 製落石覆道の形状寸法を示している。試験体は、道路軸方向長さが 12 m、外幅 9.4 m、壁高さ 6.4 m の箱型構造である。内空断面は幅 8 m、高さ 5 m であり、内空の四隅にはハンチを設けている。柱の道路軸方向長さは 1.5 m、部材厚さは、頂版、底盤、柱および側壁共に 0.7 m である。なお、コンクリートの設計基準強度は 24 MPa であり、実験時の底盤、柱/壁、および頂版のコンクリートの圧縮強度はそれぞれ 30.7 MPa、30.2 MPa、および 37.9 MPa であった。

実験は、同一の RC 製落石覆道に対して、重錘をトラッククレーンにより所定の高さから自由落下衝突させることにより行った。緩衝材の種類、载荷位置、入力エネルギーを変化させた全 23 ケースを実施した。

計測項目は、重錘衝撃力、試験体各部の変位、鉄筋ひずみおよび重錘貫入量である。なお、各実験終了後に発生した覆道本体のひび割れ等の損傷に対しては、一切の補修等の修復は施していない。

#### 2.2 有限要素モデルおよび材料構成則

図2には、覆道の要素分割状況を示している。鉄筋には 2 節点梁要素を用い、その他の要素には 8 節点固体要素を

用いた。境界条件に関しては、基礎コンクリート底面を完全固定とした。また、砕石側面の面外変形に関しては、実験条件と同様となるように拘束している。重錘-砕石間および覆道底面-基礎コンクリート間には接触面は定義した。また、砕石下面-頂版上面間およびコンクリート-鉄筋要素間については完全付着を仮定した。

減衰定数は、質量比例分のみを考慮するものとし、鉛直方向最低次固有振動数に対して 1% と設定した。また、全部材に対して重力を考慮している。なお、解析は無損傷の落石覆道に一度だけ重錘を衝突させているため、実験における载荷履歴の影響は考慮していない。

図3には、砕石に関する相当応力-体積ひずみ関係を示している。事前解析に基づき、バイリニア型の弾塑性体モデルを適用した。なお、ポアソン比  $\nu_s = 0.25$  とした。重錘に関しては弾性体と仮定し、質量を体積で除すことにより、所定の単位体積質量を与えている。なお、コンクリートおよび鉄筋については既往の研究<sup>2)</sup>と同一のものを使用している

ここでは、紙面の都合上、载荷位置 AC および BC (図1参照)における入力エネルギー 40 kJ および 1500 kJ の 2 ケースについて述べる。

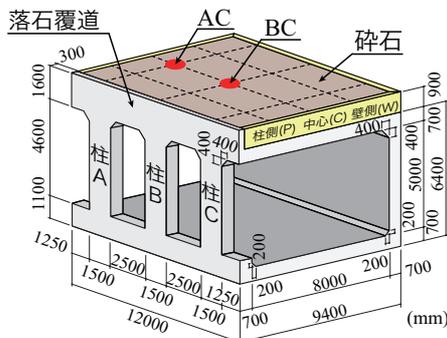


図1 落石覆道の形状寸法

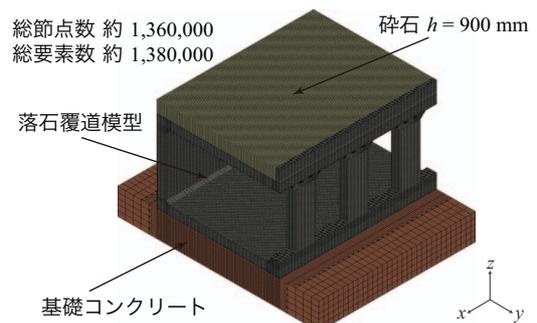


図2 有限要素モデル

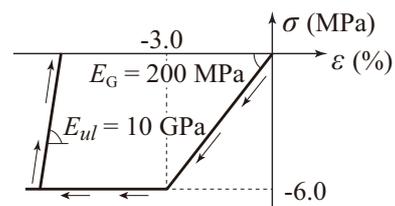
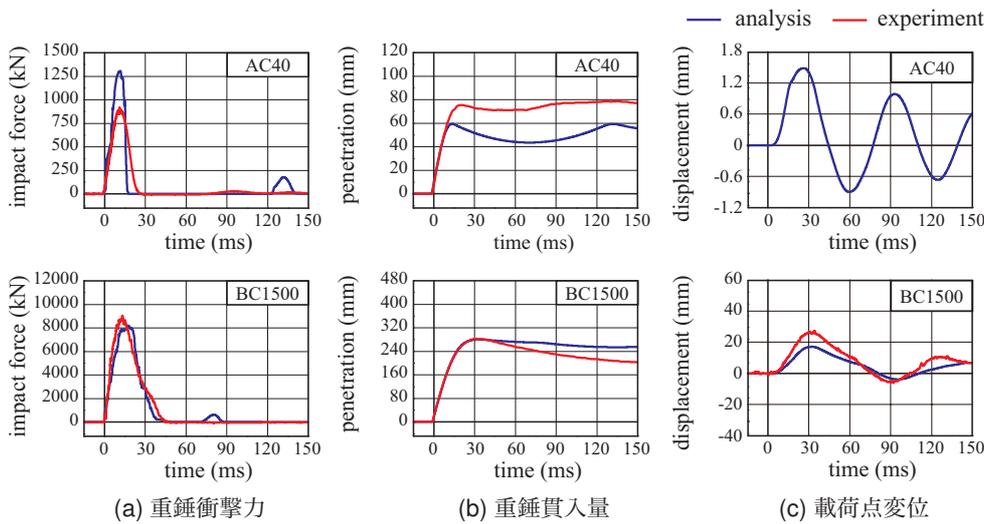


図3 砕石の相当応力-体積ひずみ関係

キーワード：落石覆道，砕石緩衝材，有限要素法，材料構成則

連絡先：〒 050-8585 室蘭工業大学大学院 暮らし環境系領域 社会基盤ユニット TEL/FAX:0143-46-5228

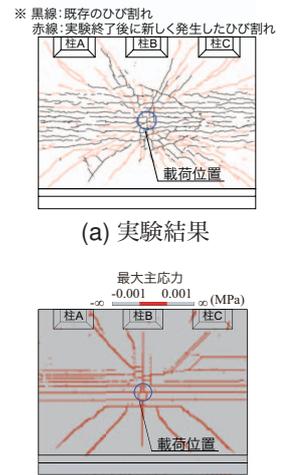


(a) 重錘衝撃力

(b) 重錘貫入量

(c) 荷点変位

図4 各種応答波形



(a) 実験結果

(b) 数値解析結果

図5 ひび割れ分布 (BC1500)

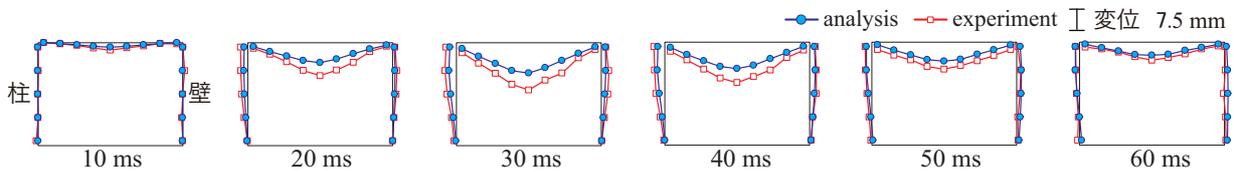


図6 荷点断面における道路横断方向の変位分布 (BC1500)

3. 数値解析結果および考察

図4には、数値解析結果から得られた重錘衝撃力、重錘貫入量および荷点直下の頂版下面応答変位(以後、荷点変位)を実験結果と比較して示している。なお、AC40の場合には、変位応答が小さく計測結果の評価が困難であったため、数値解析結果のみを示している。

(a) 図に示す重錘衝撃力波形に着目すると、入力エネルギーの小さいAC40の場合には、数値解析結果は実験結果の波形の立ち上がりをほぼ適切に再現しているものの、最大値に関しては実験結果よりも過大に評価している。一方、入力エネルギーの大きいBC1500の場合には、最大値も含めて実験結果の波形性状をほぼ適切に再現していることが分かる。

(b) 図に示す数値解析結果の重錘貫入量に着目すると、入力エネルギーにかかわらず波形の立ち上がりは実験結果とよく対応しているものの、最大貫入量に関しては実験結果と比較して小さく評価する傾向にあることが分かる。

(c) 図に示す荷点変位に着目すると、数値解析結果は、最大値を若干小さく評価しているものの、波形性状等は実験結果をほぼ適切に再現しているものと考えられる。

図5には、実験終了後および解析結果から評価されるひび割れ分布を比較して示している。数値解析結果において、赤色で示された要素は、応力が解放され、ひび割れと等価な状態であると判断される要素である。図より、数値解析結果は実験結果におけるひび割れ状況を大略評価

可能であることが分かる。

以上より、提案の構成則を用いることにより、AC40の場合には重錘衝撃力を過大に評価しているものの、実験結果の弾性および弾塑性応答をほぼ適切に再現可能であることが明らかになった。

図6には、落石覆道内壁縁の変位分布について、BC1500を例に実験結果と数値解析結果を時系列で比較して示している。図より、数値解析結果と実験結果の変位分布を比較すると、数値解析結果は荷点変位の場合と同様に最大値を若干小さく評価しているものの、全体的な変位分布は実験結果と概ね対応していることが分かる。この両者の差異は、前述のように本解析では荷履歴の影響を考慮していないことによるものと推察される。

4. まとめ

- 1) 提案の緩衝モデルおよび解析手法を用いることにより、覆道の動的応答性状をほぼ適切に再現可能である。
- 2) また、覆道頂版のひび割れ分布に関してもほぼ適切に評価可能である。

参考文献

- 1) 佐伯伯亮, 今野久志, 栗橋祐介, 岸 徳光: 緩衝材として碎石を設置した実規模 RC 製ロックシェットの耐衝撃挙動, コンクリート工学年次論文集, 36(2), 547-552, 2014.
- 2) 小室雅人, 山口 悟, 今野久志, 平田健朗, 岸 徳光: 敷砂緩衝材を設置した実規模ロックシェットの耐衝撃挙動に関する数値解析的検討, 構造工学論文集, Vol.61A, 935-944, 2015.