

二層緩衝構造を設置した実規模落石防護擁壁の衝撃応答解析

室蘭工業大学
(株) 構研エンジニアリング

学 生 員 ○ 佐藤 由幸
正 員 川瀬 良司

室蘭工業大学
(独) 北海道開発土木研究所

フェロー 岸 徳光
正 員 今野 久志

1. はじめに

本研究では、二層緩衝構造を設置した実規模落石防護擁壁に関する耐衝撃性状を精度良く評価可能な数値解析手法の確立を目的として、RC 版厚および EPS 材厚の組み合わせが異なる場合や衝突速度を変化させた場合に関する弾塑性衝撃応答解析を行い、実験結果と比較することにより本数値解析手法の適用性について検討を行った。本研究における検討項目は、重錘衝撃力波形、緩衝構造から擁壁本体への伝達衝撃応力波形、擁壁本体の浮き上がり変位波形および実験終了後の RC 版のひび割れ状況である。なお、本数値解析には衝撃応答解析汎用コード LS-DYNA (ver.960) を用いている。

2. 数値解析の概要

2.1 数値解析ケース

解析に用いた試験体は表－1 に示す計 6 体である。表中の試験体名の第一項目には裏層 EPS 材の厚さ E (cm)、第二項目には表層 RC 版の厚さ R (cm)、第三項目には衝突速度 V (m/s) を示している。図－1 には、擁壁の形状寸法を示している。

2.2 解析モデル

図－2 には、有限要素モデルの一例として E25-R10 試験体に関するモデルを示している。ここでは、図に示すように構造物全体の対称性を考慮して 1/2 にモデル化した。数値解析モデルは、基本的には 8 節点の 3 次元固体要素でモデル化しているが、RC 版天端部の鋼製チャンネル材および二層緩衝構造固定プレートはシェル要素でモデル化し、RC 版中の鉄筋、二層緩衝構造固定ボルトは梁要素でモデル化した。また、重錘と RC 版間、RC 版と EPS 材間、EPS 材と擁壁本体間およびそれらとコンクリート基礎間には浮き上がりやりバウンドを正しく評価するために、面と面の接触・剥離を伴うすべりを考慮した接触面を定義している。数値解析は、重錘を衝突部の RC 版上に配置し、重錘の全節点に初速度を設定して RC 版に衝突させることにより行っている。

2.3 材料物性モデル

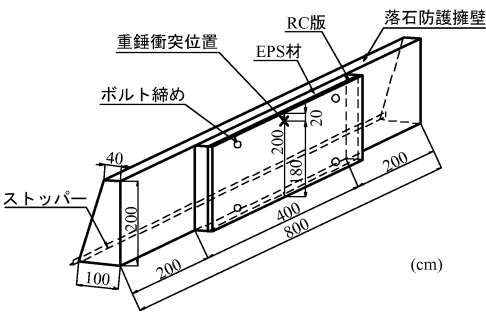
コンクリートには引張による破壊を考慮した土質体クラッシュャブルモデルを採用している。本モデルは圧縮側 1500μ ひずみ時に圧縮強度で降伏するものとし、降伏後は一定応力を仮定している。また、引張領域に関しては、圧縮強度の 1/10 に達した時点で要素が破壊し、零応力にカットオフされるものと定義している。鋼材にはひずみ硬化係数 H' を考慮した等方弾塑性体モデルを用い、 $H' = E_s/100$ と仮定した。なお、 E_s は初期弾性係数である。EPS 材の要素にはフォーム材等のモデル化によく用いられる等方クラッシュャブルフォームモデルを用いることとした。5%ひずみ時の弾性限界応力を 0.11 MPa、55%ひずみ時の応力を 0.22 MPa、70%ひずみ時の応力を 0.39 MPa と仮定するテトラリニア型にモデル化している。また、コンクリート基礎および重錘に関しては、実験終了後のひび割れや著しい変形が確認されないことより、共に弾性体と仮定した。

キーワード：落石防護擁壁、二層緩衝構造、弾塑性衝撃応答解析

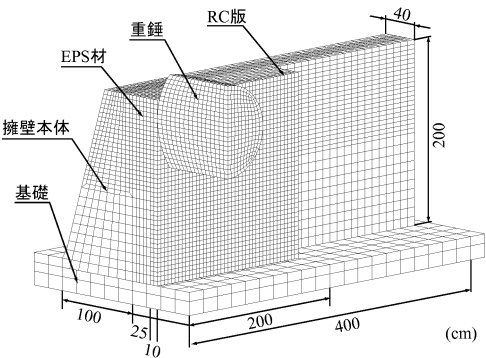
連絡先：〒 050-8585 室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学 建設システム工学科 TEL 0143-46-5226 FAX 0143-46-5227

表－1 試験体の一覧

試験体名	EPS 材厚 E (cm)	RC 版厚 R (cm)	衝突速度 V (m/s)
E25-R10-V5	25	10	5.0
E25-R10-V9	25	10	9.0
E50-R15-V5	50	15	5.0
E50-R15-V9	50	15	9.0
E25-R15-V11	25	15	11.0
E50-R10-V11	50	10	11.0



図－1 擁壁の形状寸法



図－2 有限要素モデルの一例

3. 実験結果と数値解析結果の比較

3.1 重錘衝撃力波形

図-3には、実験結果と解析結果の重錘衝撃力波形を比較して示している。図中の実線は解析結果を、点線は実験結果を示している。図より、E25-R10-V9 試験体では波形の最大値、波形性状ともに精度良く対応していることが分かる。その他の試験体では、解析結果は実験結果に比べて若干小さいものの、零レベルに低減するまでの波動継続時間、波形性状とも大略類似したものとなっている。

3.2 伝達衝撃応力波形

図-4には、伝達衝撃応力分布について、横軸に重錘衝突位置からの距離、縦軸に伝達衝撃応力値、奥行きに時間をとって整理している。なお、図の上側には実験結果を、下側には解析結果を示している。図より、E50-R15-V9 試験体の場合には、実験結果と解析結果の伝達衝撃応力の分布範囲、応答性状およびピーク値は大略一致したものとなっている。E25-R10-V9 試験体に関しては、伝達衝撃応力のピーク値に差異が見られる。これは、実験では後述の図-6に見られるように重錘衝突部のRC版が著しく損傷し、エネルギーが大きく吸収されたことによるものと推察される。

3.3 浮き上がり波形

図-5には、擁壁本体における重心の浮き上がり波形を示している。図中の実線は解析結果を、点線は実験結果を示している。なお、図示の浮き上がり波形は、擁壁本体の運動を剛体回転運動と仮定し、擁壁背面側各点の変位波形から回転角度を算出し換算したものである。図より、E25-R10-V9 試験体を除き浮き上がり量の最大値、波形性状ともに比較的一致したものとなっている。E25-R10-V9 試験体の場合に大きく変位が異なるのは、伝達衝撃応力の場合と同様の理由によるものと考えられる。

3.4 ひび割れ分布

図-6には、実験終了後のRC版の重錘衝突側に発生したひび割れ分布(図中、黒色実線)と数値解析結果の最大主応力分布を重ねて示している。本数値解析でコンクリート要素に適用した材料構成則モデルの考え方に基づくと、コンクリート要素の最大主応力が零応力(図中、白色分布)を示す場合は、応力レベルが微小な状態であるか、その要素にひび割れが発生し荷重が除荷された状態であることを意味している。図より、数値解析における白色分布はRC版の損傷が著しいE25-R10-V9試験体およびE50-R10-V11試験体の場合には実験結果と若干異なるが、その他の試験体に関しては実験におけるひび割れを精度良く再現していることが分かる。

4. まとめ

本研究では、二層緩衝構造を設置した実規模落石防護擁壁に関する弾塑性衝撃応答解析を行い、実験結果と比較することによって本数値解析手法の適用性について検討を行った。その結果、本数値解析手法を用いることにより適切に算定評価可能であることが明らかとなった。

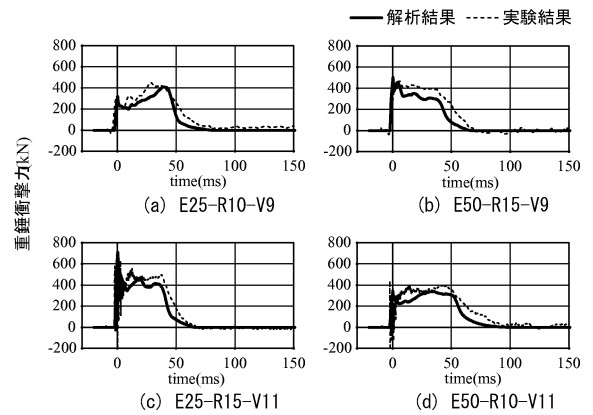


図-3 重錘衝撃力

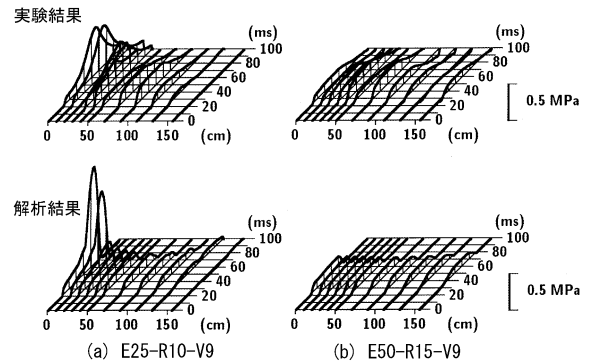


図-4 伝達衝撃応力

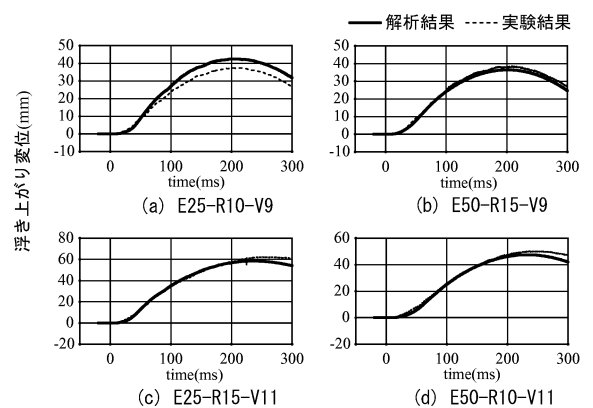


図-5 浮き上がり波形

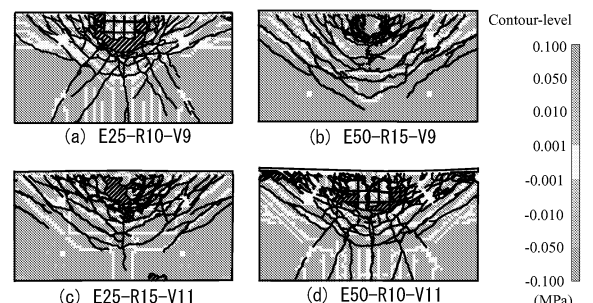


図-6 ひび割れ分布と最大主応力分布の比較