

高エネルギー吸収型落石防護柵の動的挙動に関する衝撃応答解析

八千代エンジニアリング株式会社 正会員 ○堅田 恭輔 室蘭工業大学大学院 正会員 小室 雅人
東亜グラウト工業株式会社 非会員 奥田 峻 東亜グラウト工業株式会社 非会員 酒井 啓介
室蘭工業大学大学院 フェロー 岸 徳光

1. はじめに

近年、異常気象により落石規模が増大し、落石衝突時に防護柵が大きく変形し、道路機能に支障をきたすことが増えてきている。このような状況を回避するために、大きな落石エネルギーに対して変形量を抑制できる落石防護柵を開発し、実物大実験を実施した。

本論文では、同実験を対象に三次元弾塑性衝撃応答解析を実施し、解析結果と実験結果を比較することによって解析手法の妥当性を検討した。

2. 数値解析概要

2.1 試験体概要

図1には、実験に用いた試験体の形状寸法(柵高4.0 m, 延長15.0 m(5.0 m×3 スパン))を示している。防護柵は、鋼管(外径 $\phi = 273$ mm, 板厚 $t = 9.25$ mm)の内部にH形鋼を配置した鋼製支柱の他、上弦材(外径 $\phi 141.3$ mm, 板

厚 $t = 9.53$ mm), ワイヤロープ($\phi 18$), ひし形金網(素線径4.0 mm), および間隔保持材から構成される。なお、鋼製支柱内部のH形鋼の向きは、中間支柱と末端支柱で異なる構造となっている。水平ロープは図1に示すように上から300 mm 間隔で13本, 最下端のみ200 mm 間隔で1本の計14本を配置した。ワイヤロープ端部は、シャックルまたはUブレーキを介して末端支柱に接続されている。なお、Uブレーキは、鋼板の曲げ変形を利用した衝撃緩衝装置である。なお、本試験体の設計吸収可能エネルギーは500 kJである。

実験は、EOTA 重錘(外寸960 mm, 質量1,499 kg)を速度26.16 m/s でスパン中央の高さ2.25 m に衝突させた。実験における衝突エネルギーは513 kJであった。

測定項目は、1) 重錘に内蔵されたセンサーによる加速度、2) 重錘の水平変位(重錘貫入量), および3) ロードセルによるワイヤロープ張力である。

2.2 解析モデル

図2には、本数値解析で用いた試験体モデルの要素分割状況を示している。上弦材と支柱間の接続プレートにはシェル要素を、Uブレーキにはバネ要素を、ワイヤロープには8節点固体要素を用いた。なお、ワイヤロープには圧縮力を伝えないように幅100 mm のケーブル要素を500 mm 間隔で配置している。また、ケーブル要素には、ワイヤロープと同じ断面を定義している。その他の要素

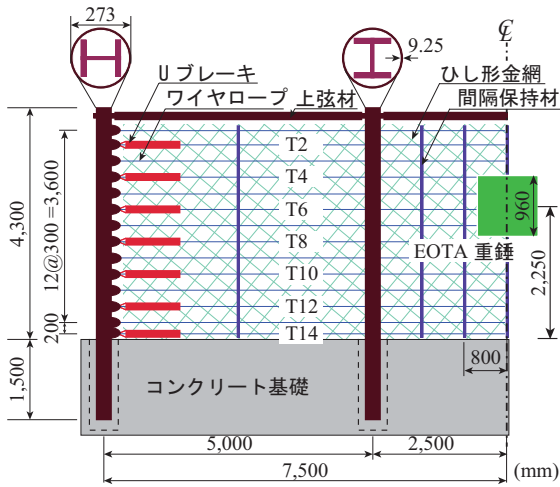


図1 試験体の形状寸法

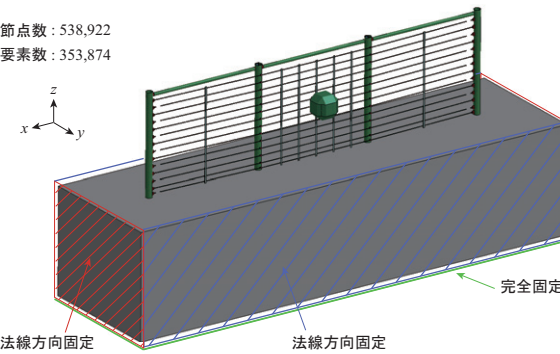
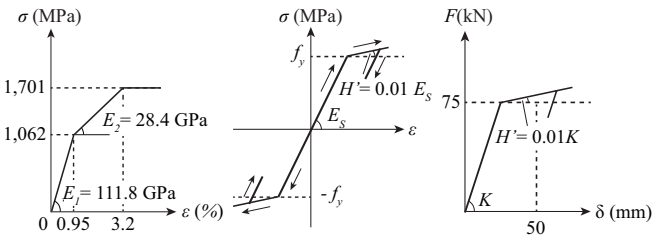


図2 数値解析モデル



(a) ワイヤロープ (b) 鋼材 (c) Uブレーキ

図3 材料物性モデル

表1 鋼材の材料物性値

	降伏応力 f_y (MPa)	弾性係数 E_s (GPa)	ポアソン比 ν_s
鋼製支柱, 上弦材	355	200	0.3
間隔保持材	235		

キーワード：落石防護柵, 三次元衝撃応答解析, Uブレーキ, ロープ張力, 重錘貫入量
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

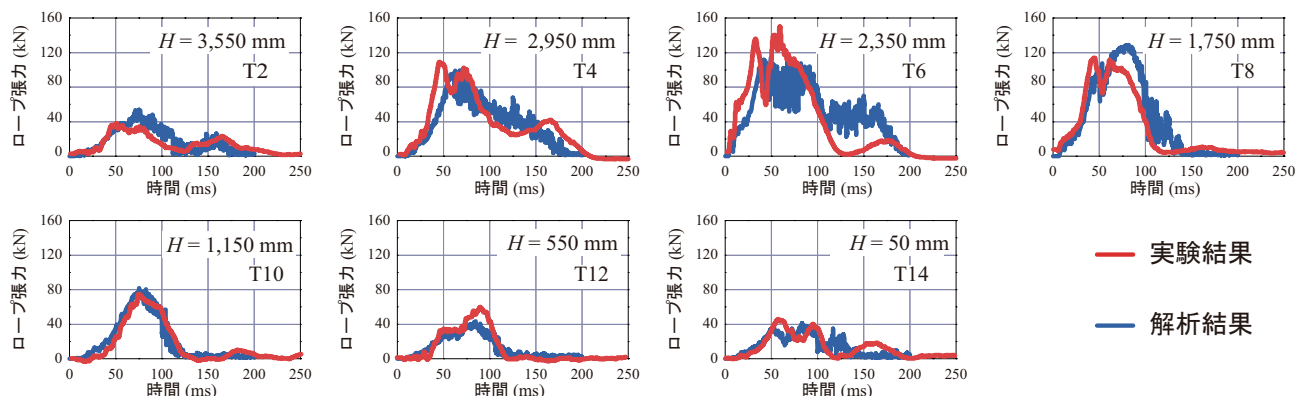


図4 ロープ張力

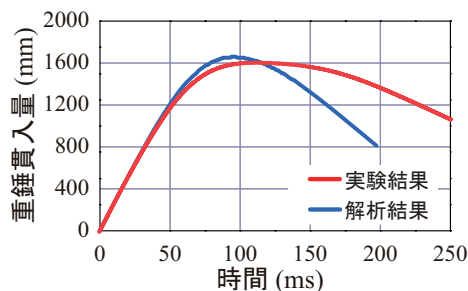


図5 重錘貫入量の時刻歴波形

にはすべて8節点固体要素を用いた。なお、本解析では、1) 重錘を間隔保持材に衝突させていること、2) 実験で重錘のすり抜けが起きていないこと等から、煩雑さを避けるため、ひし形金網のモデル化は省略した。

境界条件は、図2に示すように、コンクリート基礎底面を完全固定とし、基礎側面および正面の法線方向を固定した。

解析は実験条件と等しくなるように、重錘に初速度 26.16 m/s を付加し、スパン中央の高さ 2.25 m に衝突させることで実施した。

2.3 材料構成則

図3 (a) には、ワイヤロープに用いた応力-ひずみ関係を示している。ここでは、トリリニア型の構成則モデルを適用した。ロープの強度特性は、材料試験結果と落石対策便覧を参考に設定した。

図3 (b) には、鋼材に用いた応力-ひずみ関係を示している。ここでは、降伏後の塑性硬化を考慮したバイリニア型の等方性構成則モデルを適用することとし、塑性硬化係数 H' は弾性係数の 1% と仮定した。なお、各構成部材の降伏応力 f_y 、弾性係数 E_s 、ポアソン比 ν_s は、表1に示す公称値を用いた。なお、いずれの場合も、降伏判定は von Mises の降伏条件に従うものとした。

図3 (c) には、U ブレーキ(ばね要素)に用いた荷重-変位関係を示している。静載荷実験結果を参考にすべり荷重を 75 kN とし、その後の摩擦抵抗の影響を簡易にモデル化するため、初期勾配の 1% で荷重が増加すると仮定した。また、実験に用いた U ブレーキと同様、変位 δ が 1

m で止まるように設定している。なお、実際の U ブレーキは一度変位が生じると、除荷時に残留変位が生じ、元に戻ることはないが、本解析では、弾性変形分(50 mm)だけ復元される。

コンクリート基盤、重錘に関しては弾性体(弾性係数 $E_c = 200$ GPa, ポアソン比 $\nu_s = 0.16$)とした。

3. 数値解析結果および考察

図4 には、各ワイヤロープに作用する張力の時刻歴応答波形を実験結果と解析結果を比較して示している。なお、各図に示す番号 T2, T4, T6, T8, T10, T12, T14 は図1に示すロープ番号と対応している。

図より、実験結果と解析結果を比較すると、張力の立ち上がりや最大値、作用継続時間、最大値後の波形形状をほぼ適切に再現できていることが分かる。なお、詳細に両者を比較すると、重錘衝突位置付近の T6 において解析結果が実験結果のロープ張力よりも 40 kN 程度低い値を示している。これは、本数値解析では、U ブレーキの降伏すべり荷重を 75 kN と設定しているのに対し、実験では動的作用によって、すべり荷重が解析仮定と必ずしも一致していないことによるものと推察される。

図5 には、重錘貫入量(水平方向)の時刻歴応答波形を実験結果と解析結果を比較して示している。図より、解析結果を見ると、実験結果の立ち上がりをほぼ適切に再現しているものの、120 msec 後から両者に差異が見られるとともに、最大変形量も実験結果と比較して若干大きいことが分かる。これは、本解析では、1) 鋼材などの物性値に公称値を与えていること、2) 上弦材と支柱の接続を簡易にモデル化していること等に起因しているものと考えられる。

4. まとめ

- 1) 提案の材料構成則および解析手法を用いることにより、ロープ張力の立ち上がりや最大値、作用継続時間、および最大値後の波形形状をほぼ適切に再現可能である。
- 2) 数値解析結果は、実験結果の最大重錘貫入量を若干過大に評価するもののほぼ再現可能である。