

水平に設置された落石防護網の動的応答性状に関する数値シミュレーション

室蘭工業大学 正会員 ○小室 雅人 土木研究所 正会員 西 弘明 土木研究所 正会員 今野 久志
土木研究所 正会員 山口 悟 土木研究所 正会員 佐々木 哲也

1. はじめに

本論文では、著者らによって実施された水平に金網を設置した落石防護網の実規模模型実験¹⁾を対象に、その動的応答性状を適切に評価可能な解析手法を確立することを目的に、三次元弾塑性衝撃解析を実施した。得られた解析結果を実験結果と比較することにより、解析手法の妥当性を検証した。なお、本解析にはLS-DYNAを使用している。

2. 実験概要

図1には、試験体の形状寸法および重錘落下位置を示している。試験体の形状寸法は、縦10 m、横15 mであり、金網には菱形金網φ5.0、縦・横ロープには18φ、補助ロープには14φを用いた。縦(補助)ロープの間隔は3.0 (1.5) m、横ロープの間隔は5.0 mである。また、ロープと金網の結合にはφ4.0 mmの結合コイルを使用している。なお、縦ロープ、横ロープおよび補助ロープの長さは、それぞれ15 m、27 m、10 mである。また、縦・横ロープの端部はターンバックルおよびUボルトを介して周囲に設置したH形鋼にピン接合に近い状態となるように接続した。

実験における測定項目は、重錘に取り付けた加速度計による重錘衝撃力、縦・横ロープ端部のターンバックルに貼付したひずみゲージによるロープ張力、高速度カメラ撮影による重錘落下位置の金網の鉛直変位量である。

実験は、質量1 tの重錘をトラッククレーンで所定の高さに吊り上げ自由落下衝突させることにより実施した。なお、詳細に関しては文献1)を参照されたい。ここでは、紙面の都合上、重錘落下位置 b における落下高さ $H = 7.5$

m および 10 m の 2 ケースについて述べる。

3. 数値解析概要

図2には、本数値解析で用いた試験体および実験装置の要素分割状況を示している。金網、H形鋼および溝形鋼は4節点シェル要素、ターンバックルは2節点梁要素、ワイヤーロープは圧縮力を伝達しない2節点ケーブル要素、コンクリート基礎は8節点固体要素を用いた。ターンバックル端部は、実験条件と同様にピン支持としている。接触面は重錘-金網間に剥離・すべりを伴うように設定した。なお、接触面の摩擦および数値解析の減衰については考慮していない。また、金網とワイヤーロープの接合に関しては、完全結合と仮定している。

数値解析は、重錘に落下高さから算出された衝突速度を初期速度として与えることにより行っている。解析時間は1,000 msとした。

図3(a)には、ワイヤーロープおよび補助ロープの応力-ひずみ関係を示している。ここでは、非線形弾塑性体モデルとして示方書に準拠して引張側をトリリニア型とした。なお、各ロープの強度特性に関しては公称値を用いた。

(b)図には、金網の応力-ひずみ関係を示している。金網に関しては、重錘衝突位置近傍において局所的な塑性

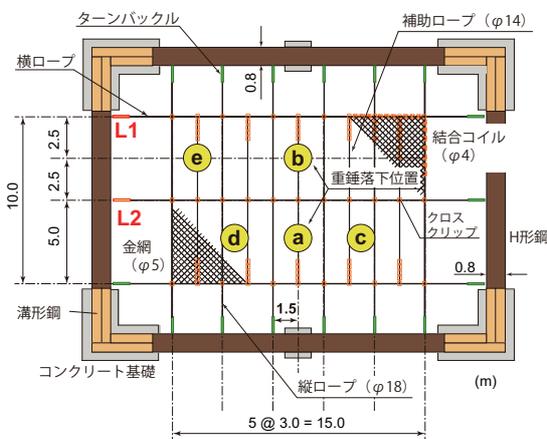


図1 試験体の形状寸法および重錘落下位置

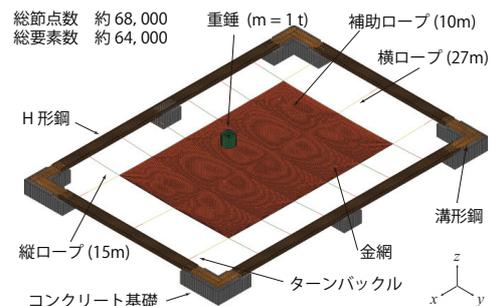
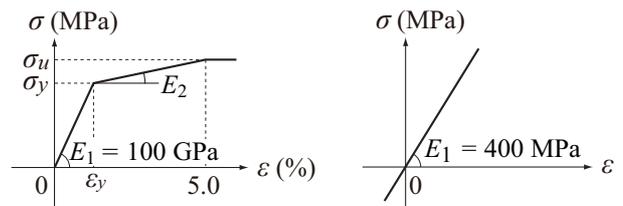


図2 要素分割状況



(a) ワイヤロープ

(b) 金網

図3 応力-ひずみ関係

キーワード：落石防護網、衝撃応答解析、動的応答性状

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

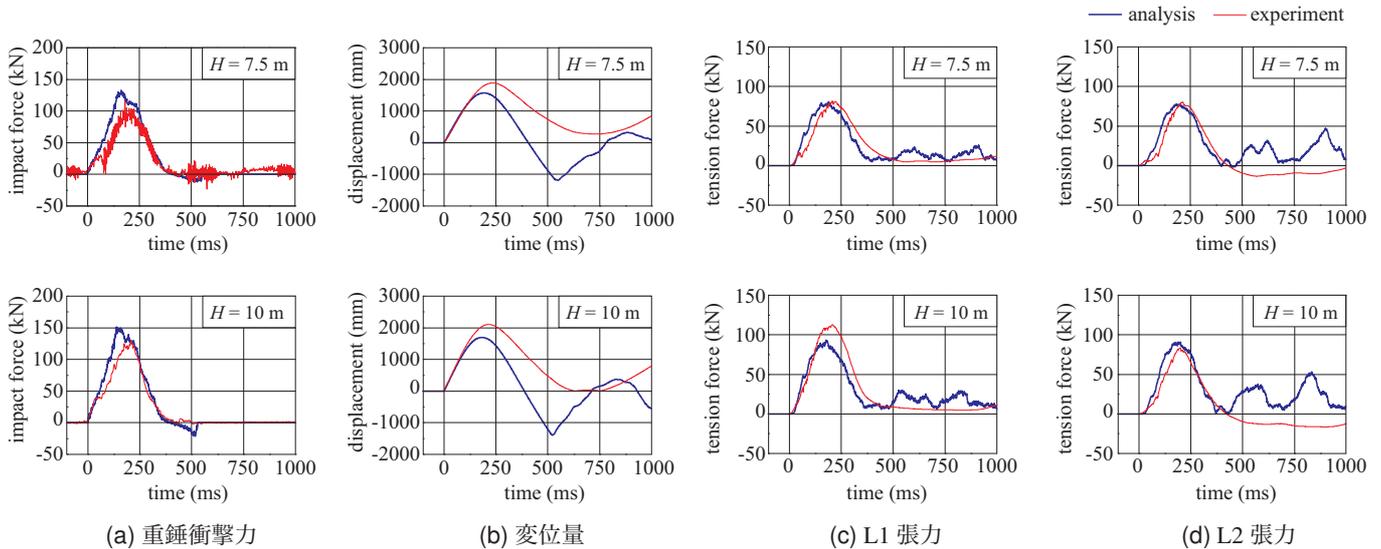


図4 各種応答波形

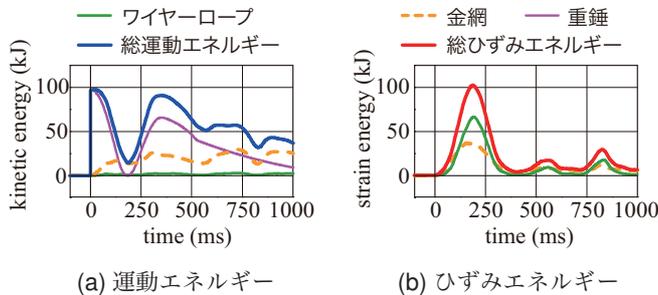


図5 エネルギーの経時変化 (H = 10 m)

化が生じるものと考えられるが、実験では金網が破断すること無く重錘を捕獲していることや、計算の煩雑さを避けるために、ここでは等方弾性体とモデル化した。なお、弾性係数は既往の研究成果を参考に予備解析を実施し、400 MPaと設定した。

金網および横・縦ロープを接続している H 形鋼およびターンバックルに関しては、実験時に塑性化が生じていないことより、弾性体と仮定した。また、重錘に関しても弾性体と仮定し、質量 1 t となるように単位体積質量を換算している。

4. 数値解析結果と考察

図4には、H = 7.5 m および 10 m における各種応答波形について、実験結果と数値解析結果を比較する形で示している。なお、(c) および (d) 図に示すワイヤーロープ張力に関しては、載荷点近傍の横ロープである L1, L2(図1参照)について示している。

まず、(a) 図に示す重錘衝撃力波形を見ると、落下高さにかかわらず数値解析結果は実験結果に比べて最大重錘衝撃力を若干大きく評価している。しかしながら、波形の立ち上がり勾配や衝撃力継続時間に関してはほぼ適切に再現していることが分かる。

次に、(b) 図に示す変位量に着目すると、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。一方、最大変位量に関しては実験結果に比べて若干小さい。また、最大変位以降のリバウンド状態において数値解析結果は実験結果と異なる挙動を示している。これは、実験では、金網とワイヤーロープの接続に結合コイルを部分的に使用しているのに対して、本数値解析では、両者を完全結合と仮定していることによるものと推察される。

(c) および (d) 図に示すワイヤーロープ張力に着目すると、数値解析結果は波形の立ち上がりや、最大張力および作用継続時間をほぼ適切に再現していることが分かる。

図5には、エネルギーの経時変化の一例として H = 10 m の結果を示している。

(a) 図に示す運動エネルギーに着目すると、重錘の運動エネルギーは金網に衝突後徐々に減少し、金網が最大変位を示す 200 ms 前後で最小値を示している。また、金網の振動に伴う運動エネルギーが発生していることが分かる。一方、ワイヤーロープの運動エネルギーはそれらに比較して非常に小さいことが分かる。

(b) 図より、総ひずみエネルギーは、重錘の運動エネルギーが最小値を示す 200 ms 前後で最大値を示しており、その時刻における金網とワイヤーロープの分担率を比較すると 1 : 2 程度であることが分かる。

5. 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、変位量およびロープ張力をほぼ適切に再現可能である。
- 2) 最大変位時における金網とロープのひずみエネルギーの分担率は 1 : 2 程度である。

参考文献

1) 山口 悟, 今野久志, 西 弘明, 加藤俊二, 小室雅人: 落石防護網の実規模模型実験, 鋼構造年次論文報告集, Vol. 22, 137-143, 2014.