

ポケット式落石防護網に使用するひし形金網の重錘落下衝撃解析

室蘭工業大学大学院 学生会員 ○田中 優貴
(国研)寒地土木研究所 正会員 西 弘明
(国研)寒地土木研究所 正会員 荒木 恒也

室蘭工業大学大学院 正会員 小室 雅人
(国研)寒地土木研究所 正会員 今野 久志

1. はじめに

本論文では、従来型ポケット式落石防護網の構成部材の一つであるひし形金網の耐衝撃挙動を適切に再現可能な解析モデルの構築を目的として、三次元弾塑性衝撃応答解析を実施した。また、解析結果を別途実施した重錘落下衝撃実験¹⁾と比較することにより、その妥当性を検証した。

2. 数値解析概要

2.1 試験体概要

図1(a)には、本解析対象であるひし形金網の形状寸法および重錘落下位置を示している。ひし形金網の形状寸法は、縦横3mの正方形とし、素線径を3種類(φ3.2, 4.0, 5.0)に変化させている。ワイヤロープと金網の結合には、素線の一山ごとにU字ボルトを使用し、各ロープの交点はクロスクリップで固定した。各ロープの端部はターンバックルを介して専用のロードセルとピン接合し、かつロードセルは鋼製型枠とピン接合されている。なお、ひし形金網は素線を山形に加工した列線を編み合わせて網目を

を形成したものであり、(b)図に示す方向で配置した。また、ひし形金網の展開方向に応じてロープ名称を縦ロープ、横ロープと定義した。

実験は、多面体重錘(質量100, 300 kg)を所定の高さから自由落下させて実施した¹⁾。なお、測定項目は、ロードセルによるロープ張力および高速度カメラによる試験体中央における金網のたわみ量である。

2.2 解析モデル

図2には、数値解析モデルの要素分割状況を示している。金網およびターンバックルは2節点梁要素、鋼製型枠(H形鋼および溝形鋼)は4節点シェル要素、ワイヤロープは圧縮力を伝達しない2節点ケーブル要素、重錘およびロードセルは8節点固体要素を用いた。金網の素線間および重錘・金網素線間に、面と面の接触および剥離・すべりを伴う接触面(摩擦係数: 0.4)を定義した。また、境界条件は実験条件と同様に柱基部を完全固定としている。

2.3 材料構成則

図3(a)には、ワイヤロープの応力-ひずみ関係を示している。引張側をトリリニア型とする非線形弾性体モデルを適用した。なお、各ロープの弾性係数 E_1, E_2 および強度特性(降伏応力および破断強度)は、落石対策便覧を参考に決定し、破断ひずみを5%と設定した。(b)図には、金網の応力-ひずみ関係を示している。降伏後の塑性硬化係数 H' を弾性係数の1%とするバイリニア型の等方硬化則を適用した。なお、その他の構成要素に関しては、実験時に塑性化が生じていないことより弾性体とした。また、重錘に関しては所定の質量(100, 300 kg)となるように単位体積質量を換算している。

3. 数値解析結果および考察

3.1 各種時刻歴応答波形

図4には、縦および横ロープ張力(T1, T3, 図1a参照)

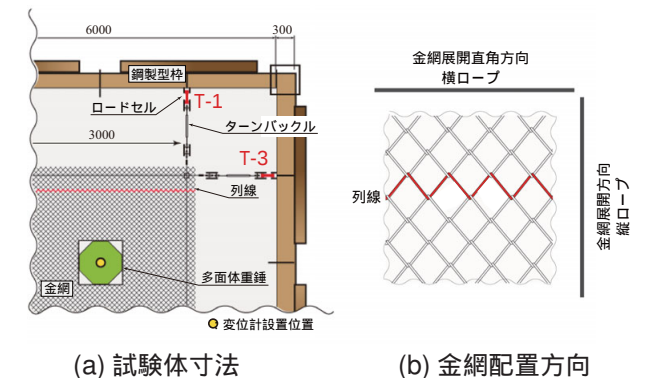


図1 試験体概要図

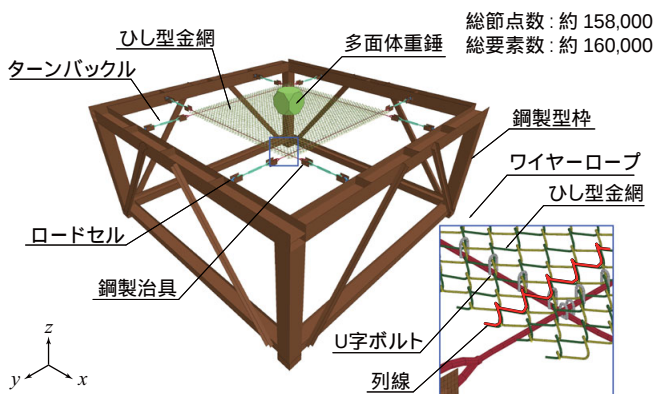


図2 数値解析モデル

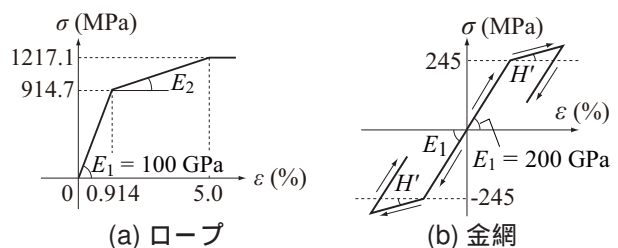


図3 応力-ひずみ関係

キーワード：ひし形金網、ポケット式落石防護網、有限要素法、衝撃応答解析

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

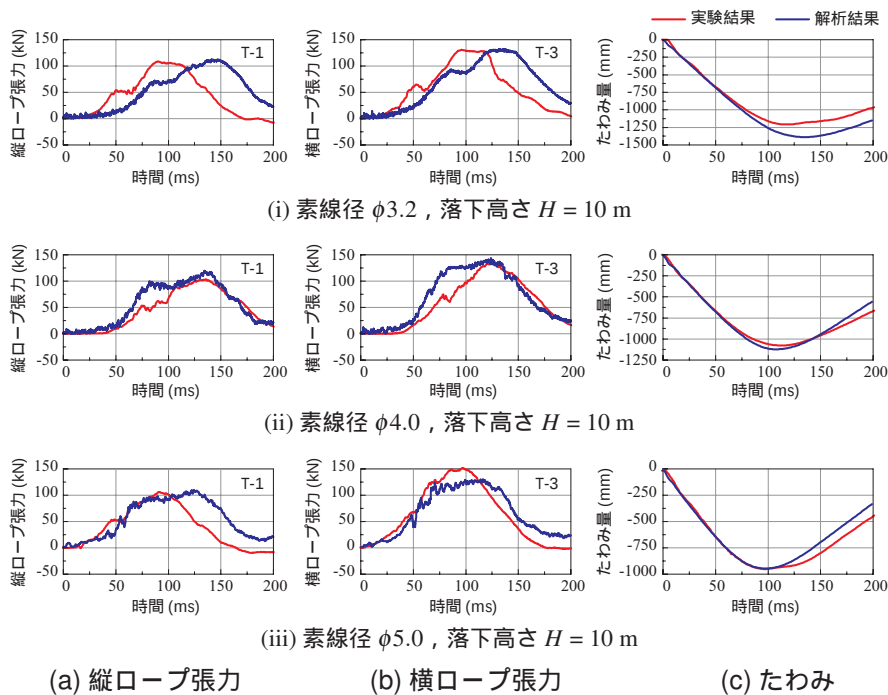


図4 各種応答波形

および試験体中央のたわみについて実験結果と解析結果を比較して示している。なお、重錘が金網に衝突した時刻を零としている。

(a) および (b) 図に示す縦および横ロープ張力に着目すると、素線径の細い $\phi 3.2$ において数値解析結果は実験結果と比較して張力の立ち上がりが若干遅いものの、最大張力に関しては、素線径にかかわらずほぼ適切に再現していることが分かる。また、実験結果における各ロープの最大張力を比較すると、横ロープの方が縦ロープよりも大きい。これは、ひし形金網が有する剛性の異方性によるものであり、その傾向は数値解析結果からも確認できる。

(c) 図に示す金網のたわみに着目すると、金網の素線径にかかわらず、数値解析結果は波形の立ち上がりから最大値に至るまで実験結果とよく一致していることが分かる。また、最大たわみ量に着目すると、金網の素線径が細いほど大きい。

図5には、解析結果から得られた素線径 $\phi 3.2, 5.0$ の最大たわみ発生時刻における金網の軸方向応力分布を比較して示している。図より、いずれの場合も重錘衝突位置に大きな応力が生じるとともに、金網の端部に向かって大きな応力が発生していることが分かる。また、その分布形状は素線径によって若干異なり、素線径が太い方がより広範囲に分布している。

また、金網全体の変形に着目すると、縦ロープ側よりも横ロープ側の変形量大きいことが分かる。これは、ひし形金網の形状を忠実に解析モデルに反映させることによって、ひし形金網が有する剛性の異方性を適切に再現できることを示唆している。

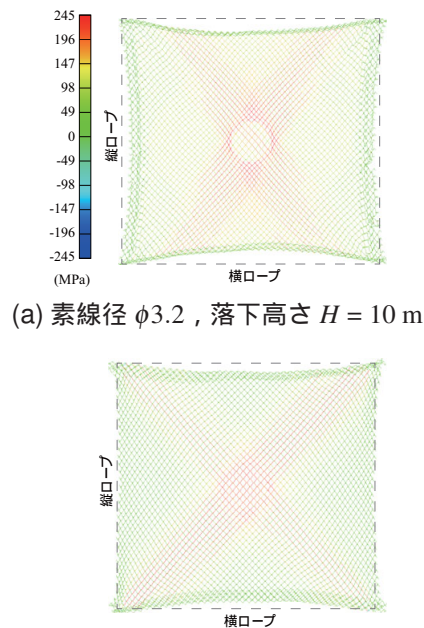


図5 金網応力分布

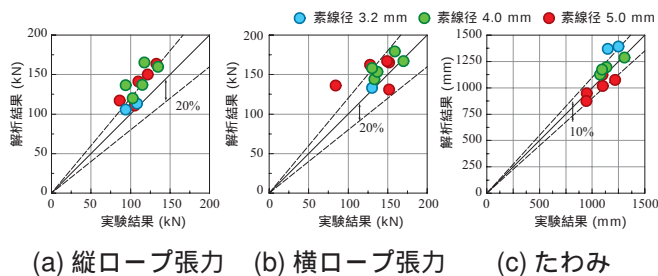


図6 最大応答値比較

図6には、落下高さ、重錘質量および素線径の異なる全12ケースにおける各ロープ張力およびたわみの最大値について実験結果と解析結果を比較して示している。(a) 図の縦ロープ張力に着目すると、数値解析結果は実験結果を20%程度大きく評価しており、その傾向は素線径が太いほど大きい傾向にある。一方、(b) 図の横ロープ張力の場合には、誤差が20%程度であることが分かる。(c) 図のたわみに関しては、誤差が10%程度以内に分布しており、数値解析結果は実験結果をほぼ適切に再現できることが分かる。

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、縦・横ロープ張力および重錘落下位置のたわみ量をほぼ適切に再現可能である。
- 2) また、金網の有する剛性の異方性に関してもほぼ適切に再現可能である。

参考文献

- 1) 荒木恒也, 今野久志, 西弘明, 佐々木哲也, 小室雅人, 田中優貴: 落石防護網に使用するひし形金網の重錘落下衝撃実験, 土木学会北海道支部論文報告集, 第72号, A-45(CD-ROM), 2016.