

変形抑制型落石防護柵の落石捕捉性能に関する実験的研究

株式会社プロテックエンジニアリング 正会員 ○石井 太一

株式会社プロテックエンジニアリング 正会員 西田 陽一

金沢大学 正会員 梶谷 浩

1. はじめに

我が国は、国土の相当部分が急峻な地形であり、豪雨や地震が頻繁に発生することから、落石による被災事例は少なくない。本研究は、緩衝装置などのエネルギー吸収装置を設置しない変形抑制型落石防護柵の落石捕捉性能について、実物実験による性能検証を行ったものである。

2. 実験概要

(1)実験供試体

本実験で使用した供試体の概要を図-1に示す。実験供試体は柵高 3m、延長 18m（支柱間隔 6m）とし、現場で設置する最小柵高・延長とした。

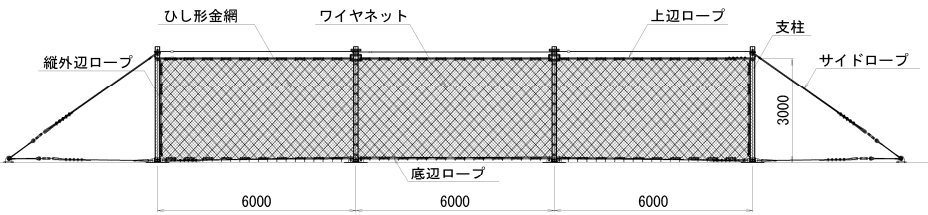


図-1 供試体概要

主要部材は、支柱（STK400 φ139.8 t=6.6mm）、ワイヤロープ（FC6×24 φ12mm～φ22mm）、ワイヤネット（FC6×24 φ12mm）、ひし形金網（φ4.0mm-50×50）である。

ワイヤネットは、φ12mmのワイヤロープを格子状に編み込んだもので、外辺のワイヤロープとシャックルで接続した。ネットの目あい幅は、500mm×500mmと300mm×300mmの2種類を使用した。

(2)実験ケース・計測項目

表-1 実験ケース

実験ケースを表-1に示す。実験は、山留材で組み立てた実験架台に供試体を防護面が水平になるように設置し、50t吊りクレーンで重錘を所定の高さまで吊り上げ、離脱装置を用い自由落下で衝突させた。

ケース名	ワイヤネット	重錘質量	落下高	重錘速度	エネルギー	载荷位置
CASE1	500×500	340kg	32.1m	25.1m/s	106kJ	中央スパン
CASE2	500×500	340kg	32.0m	25.0m/s	106kJ	端部スパン
CASE3	300×300	1008kg	32.2m	25.1m/s	318kJ	中央スパン
CASE4	300×300	1008kg	32.5m	25.2m/s	320kJ	端部スパン

実験に使用した重錘は、質量 340kg（密度 3.0t/m³）および質量 1008kg（密度 2.4t/m³）であり、鋼製殻にコンクリートを充填した多面体形状である。重錘の载荷位置は、図-2に示すように水平方向に载荷スパンの中央、鉛直方向に柵高の 2/3（h=2.0m）とした。なお、端部スパンに载荷した CASE2 および CASE4 は、中央スパン载荷後に連続して载荷した。

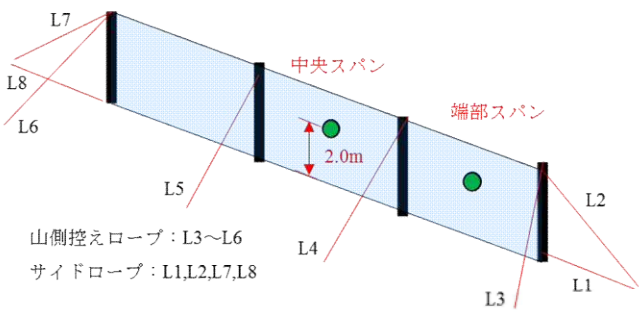


図-2 载荷位置・ロープ張力計測位置

計測項目は、落下高さ、衝突速度、重錘加速度、ロープ張力、残存柵高、変形量である。重錘加速度は、重錘に設置した 3 軸加速度計（最大容量 100g）で、ロープ張力は、ターンバックルにひずみゲージを貼付したロードセルで、それぞれデータロガーにサンプリング間隔 2kHz で測定した。図-2 はロープ張力の計測位置を示し、山側控えロープ（L3～L6）とサイドロープ（L1,L2,L7,L8）の張力を計測した。阻止面の最大変形量は、高速ビデオカメラの画像から計測した。

キーワード 落石防護柵, 落石, 衝撃実験, 落石エネルギー

連絡先 〒957-0106 新潟県北蒲原郡聖籠町蓮潟 5322-26 (株) プロテックエンジニアリング TEL025-278-1560

3. 実験結果

実験結果を表-2 に示す。

柵高は、初期柵高に対し、70～90%程度の柵高保持率を有している。

最大変形量は、載荷位置による影響はほとんどなく、載荷エネルギー106kJ で最大 3.0m、318kJ で 3.4m となった。

ワイヤロープ張力は、サイドロープが山側控えロープよりも大きくなり、載荷エネルギー106kJ で山側控えロープは最大 65kN、サイドロープは最大 112kN、318kJ で山側控えロープは最大 146kN、サイドロープは最大 229kN となった。

CASE1～3 の阻止面の損傷は、小礫のすり抜けを防ぐ金網のへこみ変形とワイヤネットの一部損傷であり、捕捉性能回復のための補修や部材交換は必要ないものと判定できる。CASE4 は、端末支柱が塑性変形したことから、部材交換を要するものと判定できる。

CASE1,CASE3 の吸収エネルギーと重錘変位の関係をそれぞれ図-4、図-5 に示す。重錘変位は、計測した重錘加速度を時間で2階積分して求め、吸収エネルギーは、重錘衝撃力（重錘加速度×重錘質量）を重錘変位で積分して求めた。図より、入力エネルギーに応じた変位を求める実験式を式(1)、(2)に示す。最大変位は、重錘が阻止面に衝突してからの変位であり、阻止面のネットの初期たわみを考慮することで、最大変形量を求めることができる。

CASE1 $\delta = -0.0001E^2 + 0.03E + 0.15 + \alpha$ (m) (1)

E: 入力エネルギー(kJ), α : ネットの初期たわみ 0.7 (m)

CASE3 $\delta = 0.004E + 1.24 + \alpha$ (m) (2)

E: 入力エネルギー(kJ), α : ネットの初期たわみ 0.9 (m)

4. まとめ

本実験より、以下のことがいえる。

- 1)柵高 3m、延長 18m（支柱間隔 6m）の本防護柵は、500mm×500mm のワイヤネット で最大 106kJ、300mm×300mm のワイヤネット で最大 320kJ のエネルギー捕捉性能を有している。
- 2)捕捉後の柵高は、70～90%程度の柵高保持率を有している。
- 3)重錘衝突時の最大変形量は 2.9m～3.4m であり、中央スパンに載荷したとき、実験式を用いることで、入力エネルギーに応じた変形量を求めることができる。
- 4)CASE1～3 の阻止面の損傷は、小礫のすり抜けを防ぐ金網のへこみ変形とワイヤネットの一部損傷であり、捕捉性能回復のための補修や部材交換は必要ない。CASE4 の端部スパンに 320kJ のエネルギーを載荷した場合では、端末支柱が塑性変形し、部材の交換を要することが明らかになった。

表-2 実験結果

CASE	残存柵高	最大変形量	ワイヤロープ最大張力		損傷判定		
			山側	サイド	阻止面	支柱	控えロープ
CASE1	2.8m	3.0m	49kN	112kN	金網:へこみ変形 ロープ:健全 ネット:健全	健全	健全
CASE2	2.7m	2.9m	65kN	88kN	金網:へこみ変形 ロープ:健全 ネット:健全	健全	健全
CASE3	2.7m	3.4m	129kN	229kN	金網:へこみ変形 ロープ:健全 ネット:部分損傷	健全	健全
CASE4	2.1m	3.3m	146kN	227kN	金網:へこみ変形 ロープ:健全 ネット:部分損傷	変形	健全

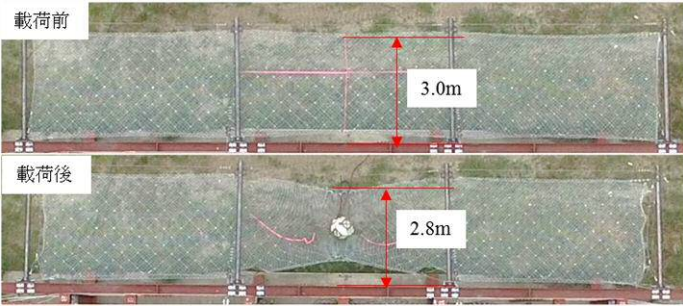


図-2 柵高の変化 (CASE1)

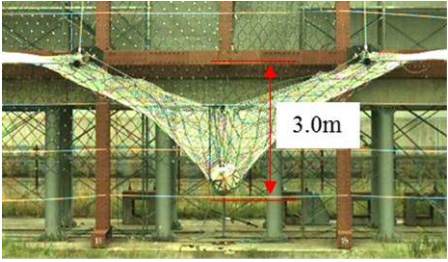


図-3 最大変形量 (CASE1)

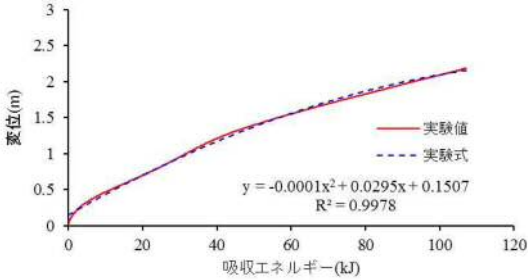


図-4 吸収エネルギーと重錘変位の関係 (CASE1)

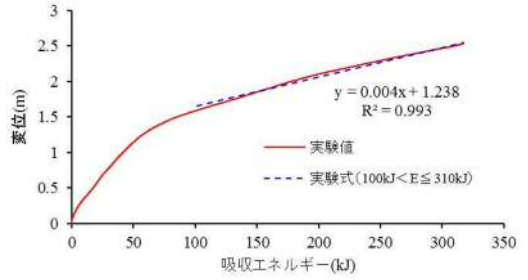


図-5 吸収エネルギーと重錘変位の関係 (CASE3)