

従来型落石防護柵の重錘衝突実験

Falling-weight impact loading tests of rockfall protection fence

土木研究所寒地土木研究所	○正会員	荒木恒也 (Nobuya Araki)
土木研究所寒地土木研究所	正会員	今野久志 (Hisashi Konno)
土木研究所寒地土木研究所	正会員	西 弘明 (Hiroaki Nishi)
室蘭工業大学大学院	正会員	小室雅人 (Masato Komuro)

1. はじめに

我が国の山間部や海岸線の道路には、落石災害を防止するための落石対策施設が数多く設置されている。落石対策工の一つに、H型鋼製支柱、ひし形金網、ワイヤロープ等の部材を組み合わせた落石防護柵がある。写真-1に示すような、落石エネルギーが100kJ程度までの比較的小規模な落石に対して適用されている従来型落石防護柵は、落石対策便覧¹⁾を参考に、落石の持ち込む運動エネルギーより構成部材の可能吸収エネルギーの総和が上回るよう設計を行っているが、落石衝突に対する応答メカニズムの解明という観点から行われた検討事例²⁾³⁾はごく限られている。

また、近年では支柱等の構成部材を強化したものや、緩衝装置等を組み込んだ高エネルギー吸収型と呼ばれる落石防護柵や補強方法が開発され、現場適用事例が増えている。それらの性能評価については、主として実験的検証により行われている事例⁴⁾⁵⁾が多いようであるが、開発者独自の手法で実施されており、統一的な指標もないのが現状である。

このような背景のもと、著者らは落石対策工として求められる機能の明確化と性能照査技術の確立に向けた検討を行っている。落石防護柵は落石荷重の作用時において、構成部材に大きな変形を伴う柔構造であることから、これらの検討を効率よくすすめるためには、落石荷重作用時の挙動を正確に把握することが重要である。

本稿では、従来型落石防護柵の耐衝撃挙動やエネルギー吸収機構等を詳細に検討するための基礎資料を得ることを目的として実施した実規模の重錘衝突実験の概要に

ついて報告する。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

図-1に実験に使用した試験体の形状寸法を示す。従来型落石防護柵の柵高は2m、延長は支柱間隔3mで4スパン分の12m、阻止面はひし形金網とワイヤロープを使用し、ワイヤロープの間隔は30cmとしている。支柱間には、落石がワイヤロープ間をすり抜ける現象を阻止するための間隔保持材を設置している。

表-1に試験体に使用した部材の諸元を示している。端末支柱および中間支柱はH形鋼を、ワイヤロープは18φを、ひし形金網は素線径3.2mmを用いている。

写真-2に試験体の固定状況を示す。(a)図に示すよ



写真-1 従来型落石防護柵

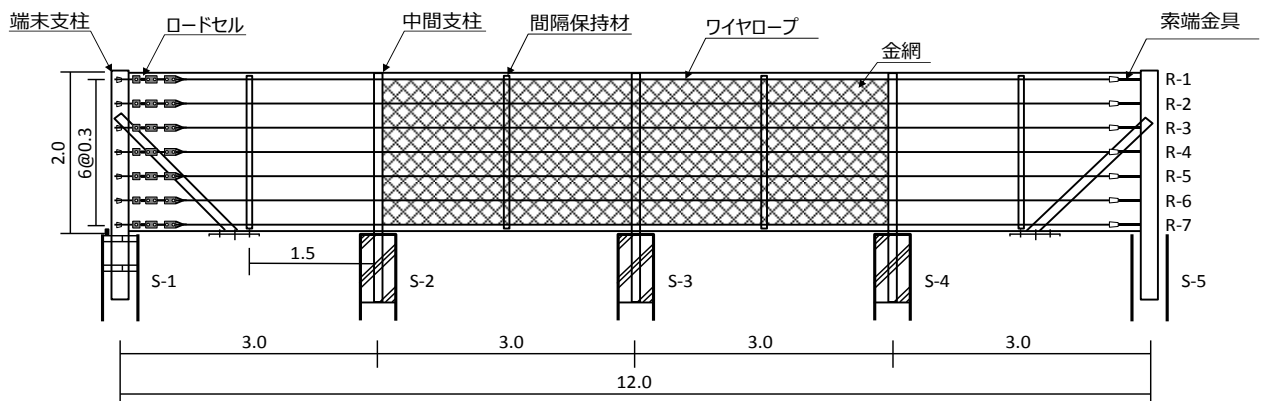


図-1 落石防護柵の形状寸法

表－１ 使用部材の諸元

材料名	諸元, 部材耐力
端末支柱	H175×175×7.5×11, 引張強さ: 439 N/mm ²
中間支柱	H200×100×5.5×8, 引張強さ: 439 N/mm ²
ワイヤ ロープ	18φ 3×7G/O 片端アルミロック 破断荷重: 198 kN
索端金具	25φ×500, 引張強さ: 554 N/mm ²
ひし形 金網	3.2φ×50×50mm, 引張強さ: 396 N/mm ²

うに、支柱および間隔保持材とワイヤロープの接続は、Uボルトを用いて固定しており、あわせてひし形金網を接続している。(b), (c)図に示すように、ワイヤロープは、片側を索端金具で固定し、もう一方はアルミロック加工として鋼製治具を介して端末支柱にピン接合に近い状態で固定している。



(a) 各部材の接続



(b) 索端金具の固定

(c) 鋼製治具の固定

写真－2 固定状況

2.2 実験方法

写真－3, 図－2には、重錘衝突実験の状況および実験概要を示している。実験は、防護柵中央部の柵高2/3hの位置にコンクリート製の重錘をトラッククレーンにより振り子式で衝突させることにより行っている。重錘は、スイスでの落石防護柵に対する性能照査試験方法 SAFEL⁶⁾を参考に、1辺の長さが750 mmの立方体より8つの角部を切り取った重量10kNを使用している。実験は、重錘落下高3.5mと7.5mの場合で行い、繰り返し载荷としている。落下高は衝突位置からの高さとなり、衝突エネルギーはその高さより算定した重錘の位置エネルギーで、重錘落下高3.5mの衝突エネルギーは34.3kJ、重錘落下高7.5mの衝突エネルギーは73.5kJである。実験における計測項目は、ロードセルによるワイヤロープ張力、高速度カメラ撮影による中間支柱の変位量、支柱の残留変位である。なお、ワイヤロープには約5kNの初期張力を導入している。



写真－3 実験状況

3. 実験結果

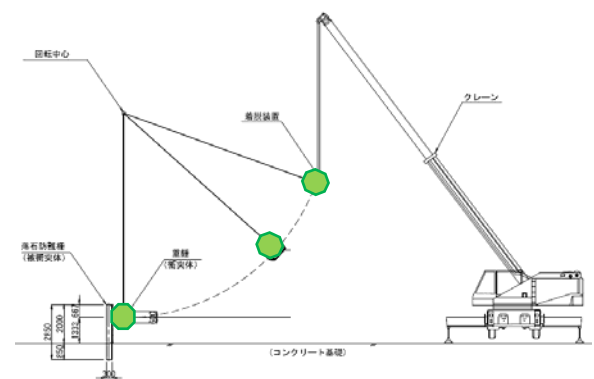
3.1 重錘衝突位置

図－3 (a), (b)に落下高3.5m、7.5mの実験における重錘衝突位置を示す。なお、重錘衝突位置はカメラ映像から算出している。落下高3.5mの実験ケースでは、重錘衝突高さは約120cm、防護柵中央より右側に約10cm偏心して衝突している。落下高7.5mの実験ケースでは、重錘衝突高さは約130cm、防護柵中央より左側に約50cm偏心しているが、落下高さ3.5mの実験で中間支柱が左側に変形していたため、支柱に直撃している。なお、いずれの実験ケースにおいても、重錘を捕捉している。

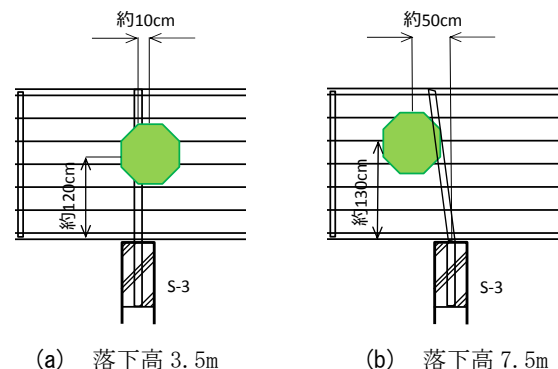
3.2 各種応答波形

図－4, 5に各実験ケースにおける中間支柱S-3, S-4上端部の変位およびワイヤロープ張力の時刻歴応答波形を示す。なお、载荷点変位は高速度カメラの映像から確認できる時間まで算定して示している。

(a)図より、中間支柱S-3の変位は重錘衝突後から急



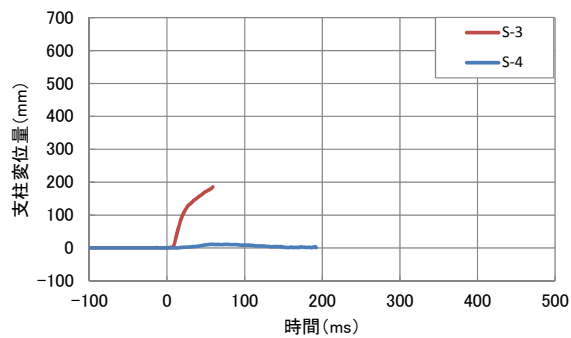
図－2 実験概要図



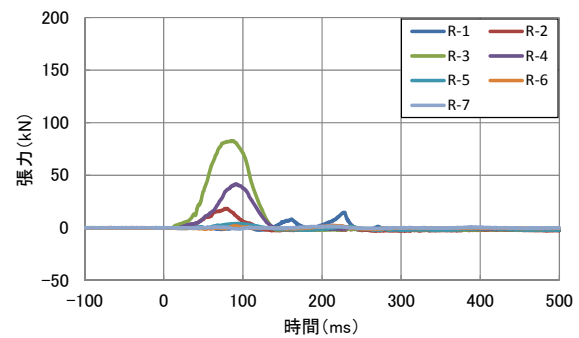
(a) 落下高3.5m

(b) 落下高7.5m

図－3 重錘衝突位置

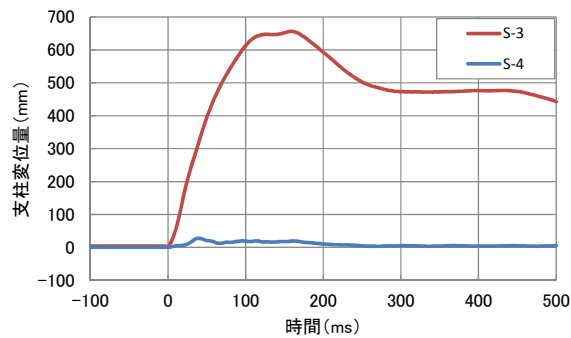


(a) 中間支柱変位

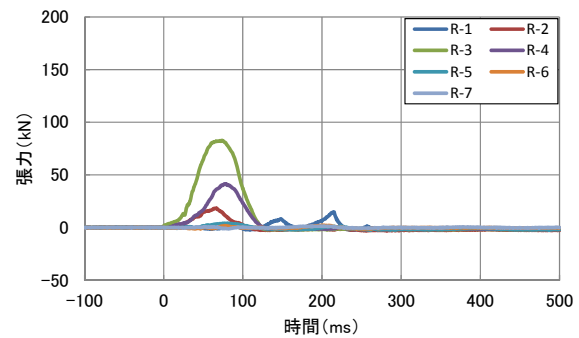


(b) ワイヤロープ張力

図-4 各種応答波形 (落下高 3.5m)



(a) 中間支柱変位



(b) ワイヤロープ張力

図-5 各種応答波形 (落下高 7.5m)

激に増加しており、落下高 7.5m の実験ケースにおいては重錘衝突後 160ms で最大変位 660mm を示している。中間支柱 S-4 については、重錘衝突時に揺れる程度の変位であった。落下高 3.5m の実験ケースについては、試験体に着雪があったため、高速カメラにおける変位測定ができなかったが、実験終了後の残留変位量は 530mm であった。

(b) 図より、ワイヤロープ張力は重錘衝突直後に緩やかに増大し、30ms 程度後から急激に増大し 80ms 程度でピーク値を示している。衝突時に重錘に接触しているワイヤロープ R-2~4 の張力は大きな値を示しているが、接触していないワイヤロープ R-1,5~7 の張力はほとんど発生していない。落下高 7.5m の実験ケースにおける中間支柱変位と比較すると、ワイヤロープ張力のピーク値の方が早く示されている。これは、重錘が支柱に衝突してからワイヤロープに衝突しているためと推察される。また、落下高 3.5m と 7.5m の実験ケースを比較するとほぼ同様の最大張力値を示している。これは、落下高 7.5m の実験ケースにおいて、重錘衝突後に端末支柱 S-1 の控材が座屈変形をしたことから、ワイヤロープ張力が小さく示されているものと推察される。

3.3 残留変位

表-2 には、各実験ケースにおける支柱の残留変位を示している。落下高 3.5m の実験ケースにおいては、写真-4 に示すように重錘の直撃した中間支柱 S-3 のみが左側に 8 度、後側に 9 度変形しているが、支柱の許容最大変位角である 15 度以内である。なお、他の支柱では

表-2 支柱の残留変位

	落下高 3.5m	落下高 7.5m
端末支柱 S-1	変位なし	控材の座屈変位
中間支柱 S-2	変位なし	右側: 9° 後側: 1°
中間支柱 S-3	左側: 8° 後側: 9°	左側: 8° 後側: 26° 基部で亀裂発生
中間支柱 S-4	変位なし	変位なし
端末支柱 S-5	変位なし	変位なし



写真-4 中間支柱 S-3 の変形状況 (落下高 3.5m)



写真-5 端末支柱 S-1 の破損状況 (落下高 7.5m)



写真-6 中間支柱 S-3 の亀裂 (落下高 7.5m)

残留変位は発生していない。落下高 7.5m の実験ケースにおいては、写真-5に示すように端末支柱 S-1 の控材が座屈変形し、中間支柱 S-2 にも変位が確認されている。これは、重錘衝突位置が中間支柱 S-3 から中間支柱 S-2 側に偏心していることが要因と推察される。また、中間支柱 S-3 は左側に 8 度、後側に 26 度変形し、写真-6に示すように基部においてぜい性的な亀裂が発生している。

4. まとめ

本研究では、従来型落石防護柵の耐衝撃挙動やエネルギー吸収機構等を詳細に検討するための基礎資料を得ることを目的として、実規模の重錘衝突実験を実施した。本実験の範囲内で明らかとなったことを整理すると、以下ようになる。

- 1) 中間支柱の変形量は、重錘落下高の高い方が大きくなる。ワイヤロープ張力については、支柱が破損したことから、明瞭な違いが確認できなかった。
- 2) 落下高 7.5m 実験ケースにおいて、衝突エネルギーが 73.5kJ に対して支柱の破損が確認されているが、重錘を捕捉している。

今後は、異なる入力エネルギーや試験体寸法で追加実験を実施し、解析手法の妥当性を検証するとともに、落石防護柵のエネルギー吸収機構等について詳細に分析する予定である。

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：落石対策便覧，2000.6
- 2) 四国技術事務所：落石防護柵基礎の合理的な設計法の検討実験，四国技報，第2巻3号，2002.7
- 3) 右城猛，篠原昌二，松山哲也：落石防護柵の重錘衝突実験，第26回日本道路会議，2005.
- 4) 西田陽一，石井太一，榎谷 浩：ワイヤネット式落石防護柵の性能評価に関する実規模実験と解析について，第11回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集，土木学会，2014.10.
- 5) 松嶋秀士，小島明德，川合慶直，吉田 博：既設 H 鋼式落石防護柵の補強に関する研究，第11回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集，土木学会，2014.10.
- 6) Werner Gerber: Guideline for the approval of rockfall protection kits, Swiss Agency for the Environment, Forest and Landscape (SAEFL) and the Swiss Federal Research Institute (WSL), 2001.