

従来型落石防護柵の落石すり抜けに関する重錘落下衝撃実験

Falling weight impact test about the phenomenon of the falling rock passing through the conventional falling rock protection fence

土木研究所寒地土木研究所	〇正会員	今野久志 (Hisashi Konno)
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	西 弘明 (Hiroaki Nishi)
室蘭工業大学大学院	正会員	小室雅人 (Masato Komuro)
釧路工業高等専門学校	フェロー	岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

1. はじめに

我が国の海岸線や山岳部の道路沿いには、落石等の自然災害から人命や道路交通の安全を確保するための様々な落石防護施設が設置されている。この中で比較的小規模な落石等に対する落石防護施設として、写真-1に示すような H 形鋼の支柱、ワイヤロープ、金網から構成される従来型落石防護柵があり、道路沿いの基礎上やコンクリート擁壁上に数多く設置されてきた。近年では、支柱やネットを強化し、緩衝装置を組み込んで規模の大きな落石等にも対応可能な高エネルギー吸収型の落石防護柵も開発され実用化されてきている¹⁾。

従来型落石防護柵は、金網、ワイヤロープおよび支柱の弾塑性変形により落石の運動エネルギーを吸収する構造であることから、本設計法は、これら部材の可能吸収エネルギーの総和で与えられる防護柵全体の可能吸収エネルギーが、落石の持ち込む運動エネルギーを上回ることを確認することで、安全性の照査が行われている²⁾。しかしながら、落石作用時には支柱基部の局部座屈による横倒れや金網の貫通など、設計では想定していない損傷事例も報告されている。

そこで筆者らは、従来型落石防護柵に関して、耐衝撃挙動や保有性能を明らかにし、統一的な性能評価手法や耐衝撃設計法を提案することを最終目的とした研究を開始している。本年度は耐衝撃設計法を確立するための基礎的な検討として、従来型落石防護柵の耐衝撃挙動の把握に関する衝撃载荷実験を実施するとともに、落石がワイヤロープ間よりすり抜けることを抑制するための間隔保持材の設置効果や金網の貫通現象を把握するための基礎的な部材実験を実施している。本論文では、後者の部材実験結果について報告する。

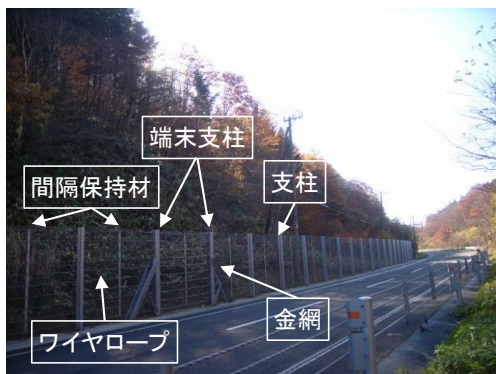


写真-1 従来型落石防護柵の例

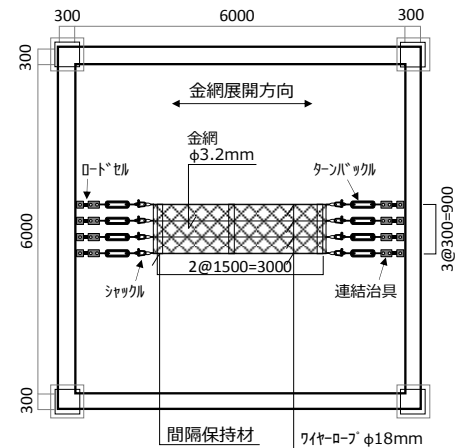


図-1 試験体および鋼製枠架台の形状寸法

2. 実験概要

2.1 試験体

図-1には、試験体および試験体設置用の鋼製枠架台（見下げ図）の形状寸法を示している。試験体は、落石防護柵の基本構造に合わせた部分模型とし、30cm 間隔に設置した 4 本のワイヤロープ（長さ 3.3m、両端アルミロック）と素線径 3.2mm のひし形金網および間隔保持材より構成されている。ワイヤロープの両端部の間隔保持材は、スパン長 3m 間隔で設置される落石防護柵の支柱位置に合わせており、支柱部材と同様に U 字ボルトでワイヤロープの開きを拘束している。また、ワイヤロープの両端は、写真-2に示すようにシャックル、ターンバックル、連結治具、ロードセルを介して H 形鋼で構成される 6m 四方の鋼製枠架台にピン支持に近い状態で固定されている。なお、鋼製枠架台の四隅には長さ約 2.6m の角形鋼管支柱がボルト接合されており、支柱下端はコンクリート基礎とアンカーボルトで接合されている。ひし形金網は、山形に折り曲げられた列線を互いに交差させることで構成されており、編み込みの向きにより主に荷重を受け持つ展開方向と展開直角方向を有する異方性材料である。本試験体では、ワイヤロープの軸方向が金網展開方向である。ひし形金網の寸法は、幅 1.1m、長さ 3.3m であり、ワイヤロープ上面の重錘衝突面側に設置し、3m 間隔で配置した間隔保持材に U 字ボルトを用いてワイヤロープと共に固定されている。なお、展開直角方向の両端部は固定していない。表-1には、試験体に使用した部材の諸元を示している。

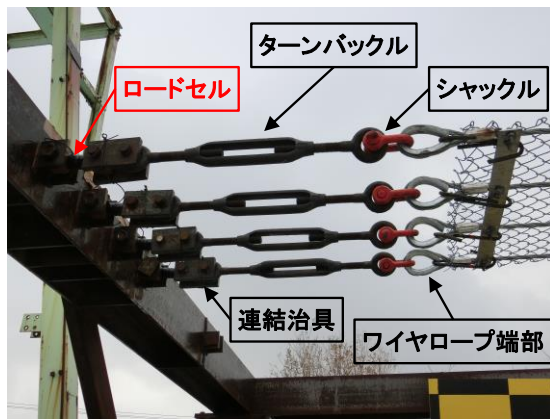


写真-2 ワイヤロープ端部の固定状況

表-1 試験体に使用した部材の諸元

材料名	諸元 部材耐力(規格値)
ひし形金網	3.2φ × 50 × 50 引張強さ: 396 (290~540) N/mm ²
ワイヤロープ	18φ 3 × 7G/O 両端アルミロック 破断荷重: 198 (≥ 160) kN
間隔保持材	幅65mm × 長さ980mm × 厚さ4.5mm 引張強さ: 472 N/mm ²

2.2 実験方法

写真-3 には、重錘落下衝撃実験の状況を示している。実験は、落石のワイヤロープに対するすり抜け現象に着目して実施していることから、中央の2本のワイヤロープ間に重量 1kN のコンクリート製重錘をトラッククレーンにより着脱装置を用いて自由落下衝突させることにより行っている。重錘は、1 辺の長さが L=35cm の立方体の 8 つの角部より斜辺が約 L/3cm の三角錐を切り取った多面体形状となっている。重錘のひし形金網への衝突に際しては、正三角形の面が上下方向で水平となるようにして行なった。また、所定の載荷位置に重錘が精度良く衝突するように、写真-3 に示すガイドロープを介して重錘を落下させている。

表-2 には、実験ケース一覧を示している。実験は、ワイヤロープの間隔保持材が支柱間隔 3m の中央部に配置されていることを想定し、間隔保持材上に載荷するケース、1.5m 間隔の間隔保持材の中間部に載荷するケースおよび間隔保持材が無く支柱間隔 3m のスパン中央部に載荷するケースに対して重錘衝突エネルギーを3段階に変化させて実施した。また、重錘衝突エネルギーに関しては、支柱高さ 2m、支柱間隔 3m の標準的な防護柵の可能吸収エネルギーが落石対策便覧²⁾によれば 80kJ 程度であり、ワイヤロープと金網での可能吸収エネルギー量を考慮して 30kJ 程度までとした。実験ケース名は、ワイヤロープの間隔保持材スパン (L1.5 : 1.5m、L3.0 : 3m)、重錘重量 (W1 : 1kN)、重錘の落下高 (H10 : 10m、H20 : 20m、H30 : 30m)、重錘衝突位置 (P : 間隔保持材上、C : 間隔保持材間) を示している。

図-2 には、表-2 における重錘衝突位置を示すと共に、重錘が試験体に接触した時点でのワイヤロープと重錘の位置関係を見下げ図として示している。重錘の形状

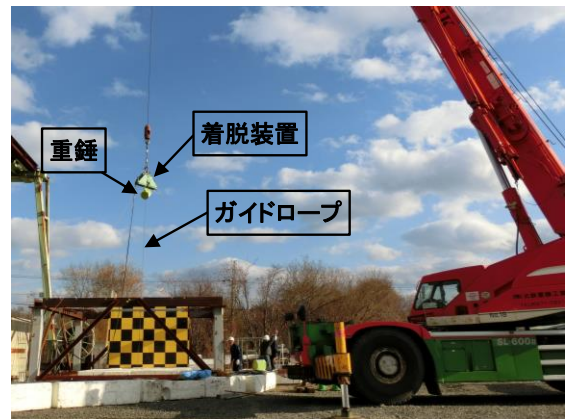


写真-3 重錘落下衝撃実験の状況

表-2 実験ケース一覧と実験結果

実験ケース名	保持材間隔 (m)	衝突 位置	重錘重量 (kN)	落下高 (m)	衝突エネルギー (kJ)	実験結果
L1.5W1H10P	1.5	①	1	10.0	9.8	重錘捕捉
L1.5W1H20P	1.5	①	1	20.0	19.6	重錘捕捉
L1.5W1H30P	1.5	①	1	30.0	29.4	重錘捕捉
L1.5W1H20C	1.5	②	1	20.0	19.6	捕捉+破網
L1.5W1H25C	1.5	②	1	25.0	24.5	すり抜け
L1.5W1H30C	1.5	③	1	30.0	29.4	すり抜け
L3.0W1H10C	3.0	④	1	10.0	9.8	すり抜け
L3.0W1H20C	3.0	④	1	20.0	19.6	すり抜け
L3.0W1H25C	3.0	④	1	25.0	24.5	すり抜け

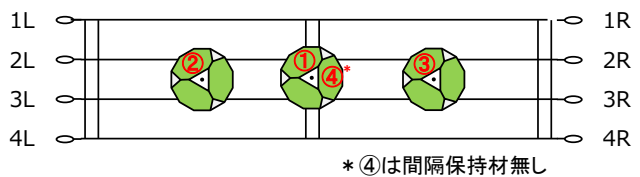


図-2 重錘衝突位置およびロードセル番号

よりワイヤロープが 50cm 程度（ロープ間隔の 1.4 倍）水平方向に広げられた場合に、重錘はワイヤロープをすり抜けることになる。なお、ワイヤロープには実験開始前に実施工と同程度の初期張力（5kN）を導入している。

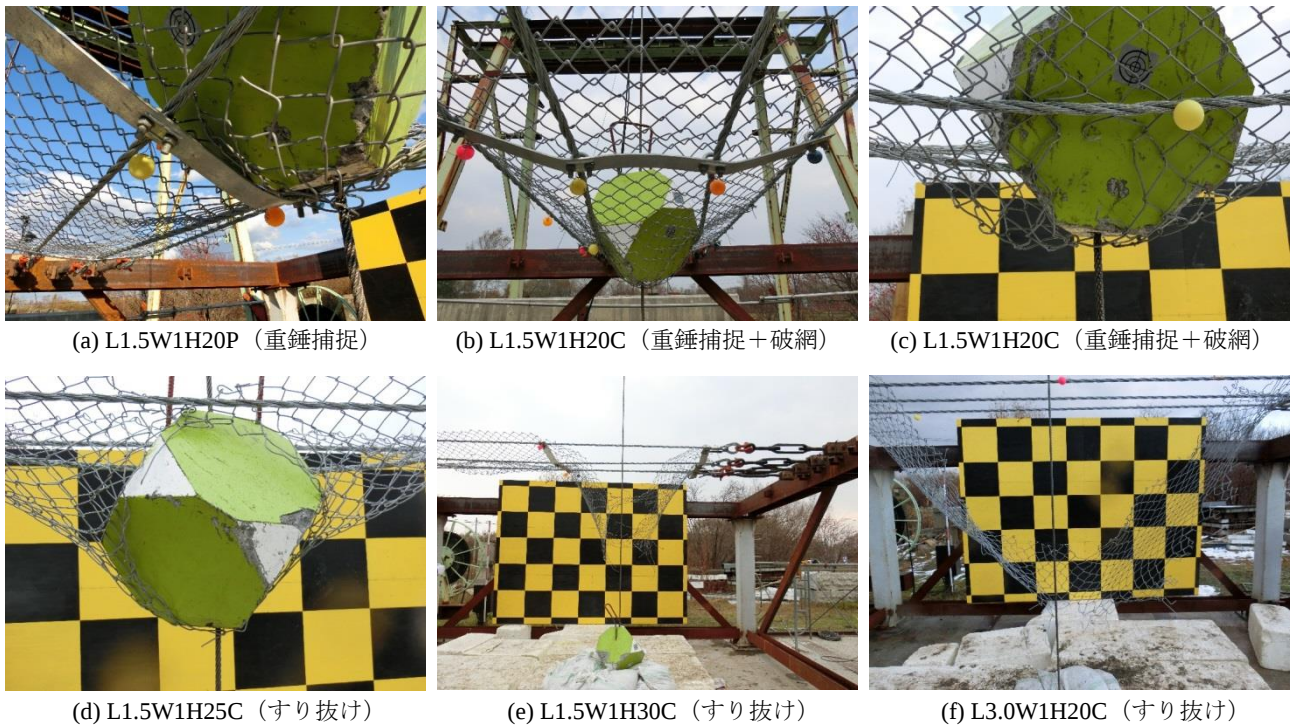
3. 実験結果および考察

3.1 実験後の試験体状況

表-2 の右欄には、実験結果の試験体状況を、写真-4 には、実験後の試験体状況の代表例を示している。

写真(a)は、重錘を間隔保持材上に衝突させた落下高 20m の実験後の状況であり、間隔保持材が重錘の衝突により大きく変形していることが分かる。しかしながらワイヤロープは、間隔保持材の効果により等間隔に保たれている。金網の素線が一部破断しているものの、重錘は確実に捕捉されており、落下高 10m および 30m の実験ケースにおいても間隔保持材の変形量が若干異なるのみで、いずれも重錘がワイヤロープおよび金網によって捕捉された結果となっている。

写真(b)~(e)は、間隔保持材のスパンが 1.5m で間隔保持材間に重錘を衝突させた実験ケースにおける実験後の試験体状況を示している。落下高 20m の実験ケースである写真(b)より、重錘がワイヤロープを若干押し広げ、金網に喰い込んでいる状況が分かる。また重錘形状が多



写真－4 実験後の試験体状況

面体であることから、重錘と重錘両端のワイヤロープとの接触状況が左右対称ではないことが見て取れる。写真(c)は写真(b)の重錘衝突部近傍を別角度より示したものであるが、金網は重錘との接触により局所的に破損していることが分かる。しかしながら、重錘はワイヤロープをすり抜けてはおらず、ワイヤロープおよび金網によって確実に捕捉されている。次に、写真(d)は落下高 25m の実験結果であるが、重錘がワイヤロープをすり抜け、その直後に金網によって落下を免れた状況が示されている。しかしながら金網は大きく破網しており、ガイドロープの無い状況であれば破網部より重錘が落下した可能性もある。写真(e)は落下高 30m の実験結果であるが、重錘はワイヤロープをすり抜け、金網を大きく引きずりながら地表面に落下している。間隔保持材の変形も小さいことからワイヤロープからの大きな抵抗もなく比較的簡単にすり抜けた状況が想定される。

写真(f)は、間隔保持材のスパンが 3m の場合の落下高 20m における実験結果を示している。写真(e)と同様に、重錘はワイヤロープからの大きな抵抗もなく金網を巻き込みながら簡単にすり抜けた状況が示されている。

表－2の実験結果より、支柱間隔 3m のスパン中央部にワイヤロープの間隔保持材を設置することで、設置しない場合に比較して重錘がすり抜ける場合の衝突エネルギーを2倍以上にすることができると、間隔保持材を設置した場合においても、重錘の衝突エネルギーが増加することで重錘のすり抜けが発生する場合があることが明らかとなった。

3.2 ワイヤロープ張力の時刻歴応答波形

図－3には、3種類の実験条件で落下高が 20m の場合におけるワイヤロープ張力の時刻歴応答波形を示している。重錘のすり抜けが発生しなかった(a)図および(b)

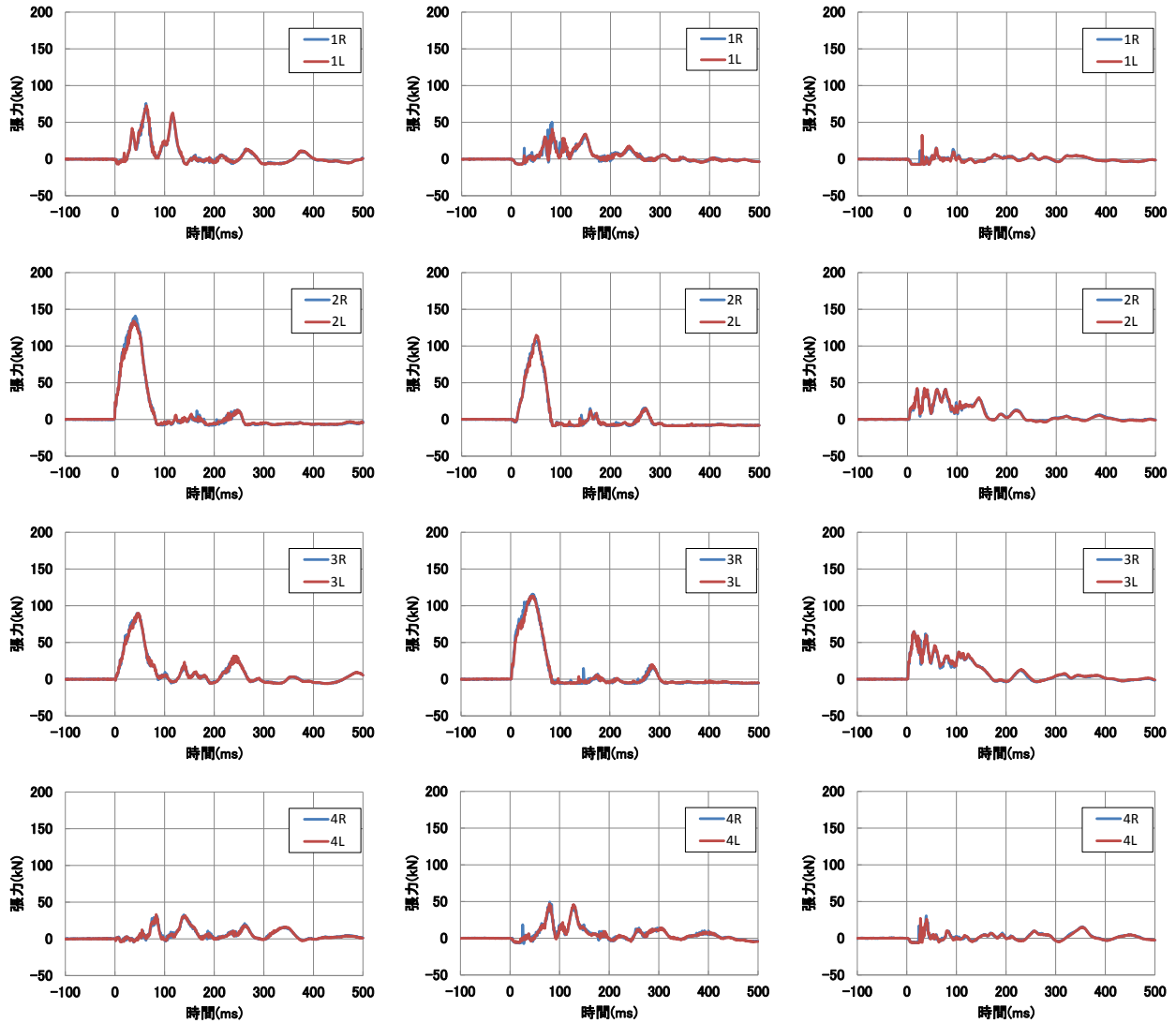
図の実験ケースでは、中央部の2本のワイヤロープ張力は、重錘衝突後急激に立ち上がり最大張力を迎える三角形の波形性状を示し、その後振動状態に移行している。一方、両端部のワイヤロープの張力波形は、重錘衝突後に一旦負の張力を示した後、2つのピークを示し減衰状態へと移行している。これは間隔保持材両端部が上下方向に振動するためと推察される。また、両端部のワイヤロープの最大張力は間隔保持材に直接重錘を衝突させた(a)図の場合が間隔保持材間に载荷した(b)図の場合に比較して大きな値を示している。間隔保持材を設置しない(c)図の場合には、中央部のワイヤロープの張力が急激に立ち上がった直後に重錘がすり抜けたためか張力が減少し激しく振動している状況が示されている。両端部の張力波形に関しては値も小さく試験体全体の振動の影響と思われる張力が発生しているものと推察される。

3.3 ワイヤロープ張力と落下高の関係

図－4には、ワイヤロープ張力と落下高の関係を示している。なお、張力については中央部および端部それぞれ2本のワイヤロープに接続された4か所のロードセルで計測された最大張力の平均値を示している。

間隔保持材のスパンが 1.5m の実験ケースでは、重錘の衝突位置によらず、中央部のワイヤロープ張力は落下高の増加に対応して線形に増加している。落下高 30m の実験では、間隔保持材間に衝突させた実験ケースにおいて、重錘がすり抜けたために張力が落下高 25m の場合よりも低下している。中央部のワイヤロープ張力に対する端部のワイヤロープ張力の比率は、両者とも4割程度であり、間隔保持材の設置により重錘の衝突エネルギーが効率的に分散されているものと推察される。

一方、間隔保持材を設置しない場合には、いずれの実験ケースにおいても重錘がすり抜けたため中央部および



(a) L1.5W1H20P

(b) L1.5W1H20C

(c) L3.0W1H20C

図-3 ワイヤロープ張力の時刻歴応答波形

端部ともにワイヤロープ張力は他の実験ケースに比較して小さな値を示している。

4. まとめ

本実験の範囲内で得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 支柱間隔 3m のスパン中央部にワイヤロープの間隔保持材を設置することで、設置しない場合に比較して重錘がすり抜ける場合の衝突エネルギーを 2 倍以上にすることができる。
- 2) 間隔保持材を設置した場合においても、重錘の衝突エネルギーが増加することで重錘のすり抜けが発生する場合がある。
- 3) 間隔保持材の設置により、重錘の衝突エネルギーが効率的に分散される。

参考文献

- 1) 公益社団法人地盤工学会：落石対策工の設計法と設計例、2014.12
- 2) 日本道路協会：落石対策便覧、2000.6

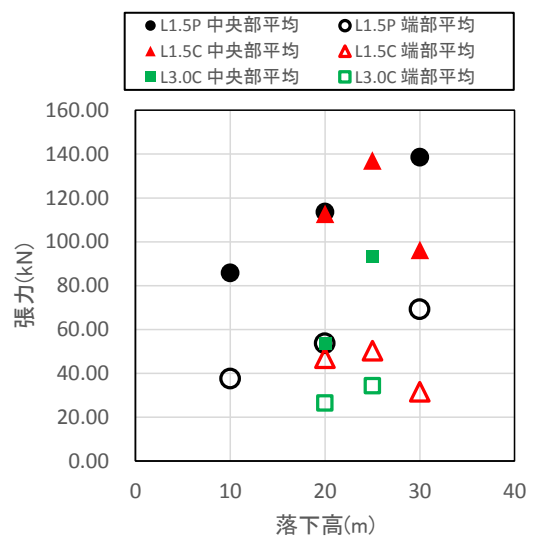


図-4 ワイヤロープ張力と落下高の関係