

従来型落石防護柵用ひし形金網の重錘落下衝撃実験

Drop-weight impact loading tests of diamond-shaped wire-net used for conventional rockfall protection fence

(国研) 土木研究所寒地土木研究所	〇正 員	今野久志 (Hisashi Konno)
(国研) 土木研究所寒地土木研究所	正 員	中村拓郎 (Takuro Nakamura)
(国研) 土木研究所寒地土木研究所	正 員	葛西 聡 (Satoshi Kasai)
室蘭工業大学大学院	正 員	小室雅人 (Masato Komuro)
室蘭工業大学大学院	フェロー	岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

1. はじめに

従来型落石防護柵は、比較的小規模な落石に対する落石防護施設として我が国の海岸線や山岳部の道路沿いに多数設置されている。従来型落石防護柵の設計は、落石対策便覧¹⁾に基づき、構成部材である H 形鋼支柱、ワイヤロープ、ひし形金網の可能吸収エネルギーの総和が落石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。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写真-1に示すような金網の貫通など、設計では想定していない損傷事例も報告されている。

本論文では、ひし形金網の落石補足性能の把握を目的に実施した重錘落下衝撃実験結果について報告する。



写真-1 従来型落石防護柵の損傷事例（金網の貫通）

2. 実験概要

2.1 試験体概要

図-1には、試験体および試験体設置用の鋼製型枠（見下げ図）の形状寸法を示している。試験体は、支柱間隔が 3m、柵高さ 2m の従来型落石防護柵の 1 スパン分の部分模型とし、2 本の H 形鋼支柱と 30cm 間隔の 7 本のワイヤロープ、ひし形金網および間隔保持材で構成されている。また、本研究は、ひし形金網の落石補足性能の把握を目的としていることから H 形鋼支柱の変形によるエネルギー吸収を極力抑制するために、H 形鋼支柱を H 形鋼 (H300×300×10×15) で支持している。ひし形金網とワイヤロープは、H 形鋼支柱および間隔保持材に U 字ボルトを用いて固定しており、ワイヤロープの両端部は、ターンバックル、ひずみゲージを貼付したロードセルおよび連結治具を介して鋼製型枠に接続されている。使用したワイヤロープは、3×7G/O 18φであり実験時に 1 本あたり 5kN 程度の初期張力を導入している。ひし形金網は、目合 50mm で素線径は 3.2、4.0、5.0mm の 3 種類とした。

2.2 実験方法および測定項目

写真-2には、重錘落下衝撃実験の状況を示している。実験は、重錘をトラッククレーンを用いて所定の位置まで吊り上げ、着脱装置を用いて落下衝突させることにより実施した。本実験で用いた重錘は、先端部が球状で上部が円筒状の鋼製型枠に鉛とモルタルを充填したものである。重錘の直径については、本研究では、ひし形金網の重錘捕捉性能に着目していることからワイヤロープ間隔より若干小さい 26.7cm とした。重錘質量については、

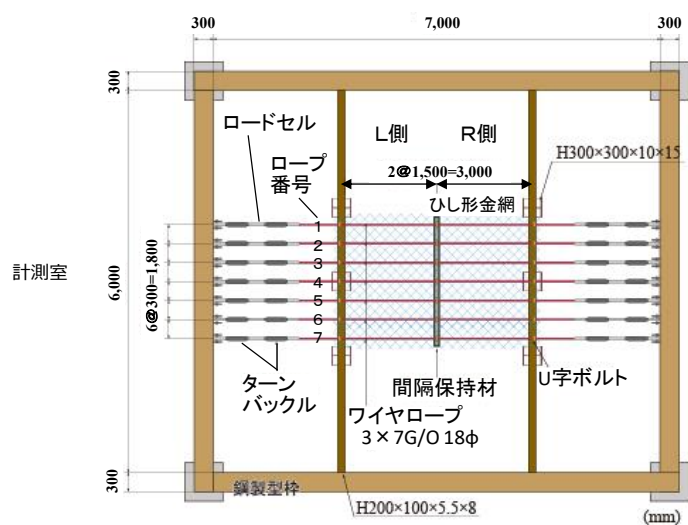


図-1 試験体および鋼製型枠の形状寸法

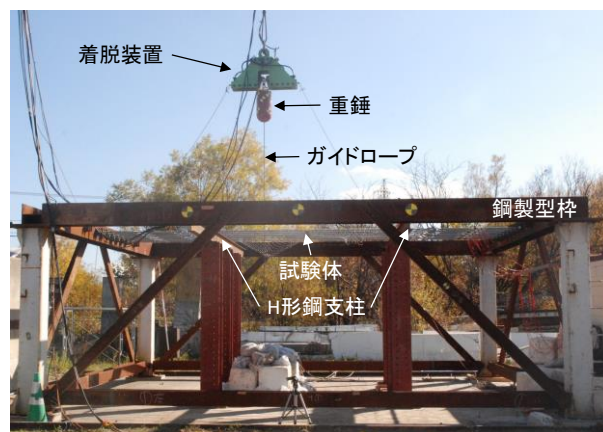


写真-2 重錘落下衝撃実験の状況

表-1 実験ケース一覧

実験ケース名	金網 素線径 (mm)	重錘 質量 (kg)	設定 落下高 (m)	設定 衝突速度 (m/s)	実測 衝突速度 (m/s)	換算 落下高 (m)	重錘衝突 エネルギー (kJ)	実験結果
N3.2E1.8R34	3.2	113	2	6.263	5.682	1.65	1.776	捕捉
N3.2E3.1L45	3.2	113	3	7.671	7.464	2.84	3.064	すり抜け
N3.2E5.5L45	3.2	113	5	9.903	9.968	5.07	5.465	すり抜け
N4.0E15.3L45	4.0	113	15	17.152	16.68	14.19	15.302	捕捉
N4.0E21.9R56	4.0	113	20	19.806	19.976	20.35	21.948	すり抜け
N4.0E23.4R23	4.0	113	25	22.143	20.615	21.67	23.374	すり抜け
N5.0E14.4R56	5.0	113	15	17.152	16.195	13.37	14.425	捕捉
N5.0E15.7R34	5.0	113	20	19.806	16.889	14.54	15.689	捕捉※
N5.0E16.3L45	5.0	113	25	22.143	17.239	15.15	16.346	捕捉※
N5.0E17.7R56	5.0	113	20	19.806	17.96	16.45	17.741	すり抜け

※一部金網破網

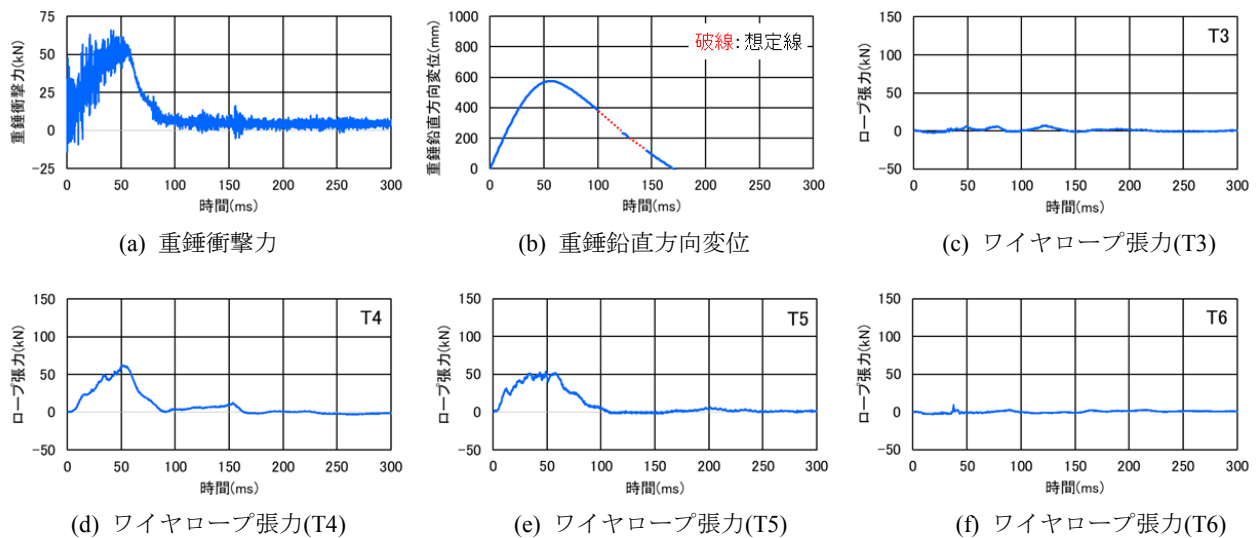


図-2 各種時刻歴応答波形 (N4.0E15.3L45)

素線径 5.0mm のひし形金網の貫通現象まで確認するためには、実験時の重錘落下高さが極度に大きくなることが過去の研究成果²⁾等から想定されたことから、重錘形状を球体、多面体ではなく円筒状とし、113kg と大きく設定している。また、重錘中央部にはφ36mm の貫通孔を設け、ガイドロープを通すことで所定の载荷位置に落下するように配慮している。なお、重錘はワイヤロープ間および H 形鋼支柱と間隔保持材の中間位置に落下衝突させている。

表-1 には、実験ケース一覧を示している。表中には実験ケース名、金網素線径(mm)、重錘質量(kg)、実験時の設定落下高(m)、設定落下高から自由落下として計算した設定衝突速度 (m/s)、高速度カメラ映像より算出した実測衝突速度 (m/s)、実測衝突速度から自由落下として逆算した換算落下高(m)、換算落下高と重錘質量より算出した重錘衝突エネルギー (kJ) および重錘の補足の有無を示す実験結果を示している。ここで、設定衝突速度と実測衝突速度が大きく異なっているものもあるが、これは重錘とガイドロープとの摩擦等によるものと推察される。実験ケース名は、ひし形金網の素線径 (N3.2 : 3.2mm、N4.0 : 4.0mm、N5.0 : 5.0mm)、重錘衝突エネルギーの概略値 (E+○kJ)、重錘の衝突位置

(図-1 に示す载荷スパン+重錘直近のワイヤロープ番号) を示している。

本実験の測定項目は、(1)高速度カメラ (フレームレート 1,000fps) によって計測した重錘鉛直方向変位、(2) ひずみゲージより算出したワイヤロープ張力、(3)重錘に取り付けた加速度計から算出した重錘衝撃力である。

3. 実験結果

3.1 時刻歴応答波形

図-2 には、一例として実験ケース N4.0E15.3L45 の重錘衝撃力、重錘鉛直方向変位、ワイヤロープ張力 (T3~T6) の時刻歴応答波形を示している。なお、時間軸は重錘がひし形金網に接触した時刻を 0 としている。

重錘衝撃力は、重錘衝突後緩やかに立ち上がり、最大変位発生時刻とほぼ対応して衝撃力も最大値を示している。その後、重錘のリバウンドとともに衝撃力は急速に減衰していることが分かる。

ワイヤロープ張力については、重錘衝突位置直近の 2 本 (T4、T5) で重錘衝撃力と類似の応答波形が示されている。それ以外のワイヤロープには張力はほとんど発生していない。他の実験ケースに関しても最大値等に違いはあるものの同様の応答波形性状が示されている。



(a) N3.2E1.8R34 (捕捉)



(b) N3.2E3.1L45 (すり抜け)



(c) N3.2E5.5L45 (すり抜け)



(d) N4.0E15.3L45 (捕捉)



(e) N4.0E21.9R56 (すり抜け)



(f) N4.0E23.4R23 (すり抜け)



(g) N5.0E14.4R56 (捕捉)



(h) N5.0E16.3L45 (捕捉一部破網)



(i) N5.0E17.7R56 (すり抜け)

写真－3 実験後の試験体状況

3. 2 重錘捕捉結果と損傷状況

表－1の右欄には、重錘の補足状況に関する実験結果を、また写真－3には、実験後の試験体状況の代表例を示している。

実験結果より、いずれの素線径においても重錘の衝突エネルギーの増加に対応して重錘捕捉からすり抜けに移行していることが分かる。写真－3 (a)、(d)、(g)には素線径 3.2、4.0、5.0mm の実験において重錘が捕捉された実験後の試験体状況を示している。いずれもひし形金網は支柱と間隔保持材間で緩やかに変形し、重錘を補足していることが分かる。写真－3 (h)には素線径 5.0mm の実験において重錘は補足されたものの一部金網が破網した状況を示している。重錘とワイヤロープが接触したためか、近傍の金網素線が破断し大きく開口しており、かろうじて重錘が捕捉されている。写真－3 (b)、(c)、(e)、(f)、(i)には、素線径 3.2、4.0、5.0mm の実験において重錘がすり抜けた状況を示している。貫通孔はきれいな円形状となっており、写真－1の実構造物における被災状況と同様であることが分かる。

ここで、ワイヤロープ間隔と同一径の球体落石（単位重量 26kN/m^3 ）を想定し、防護柵等の性能検証実験で標準とされる衝突速度 25m/s で衝突した場合の落石衝突エネルギーを計算すると $E=11.5\text{kJ}$ となる。表－1の実験

結果から上記条件の落石を補足するためには、ひし形金網の素線径を 4.0mm 以上とすることが望ましいと考えられる。しかしながら、ひし形金網の落石補足性能については、落石の入射条件等が実験条件と実現象とは異なることから、今後は更なる実験や数値解析を実施しながら詳細に検討したいと考えている。

4. まとめ

本研究では、従来型落石防護柵のひし形金網の落石補足性能の把握を目的に、支柱間隔が 3m 、柵高さ 2m の従来型落石防護柵の1スパン分の部分模型に対する重錘落下衝撃実験を実施した。その結果、実験においても実構造物の被災状況と同様のひし形金網の貫通状況を確認することが出来た。また、素線径を 4.0mm 以上とすることによってワイヤロープ間隔と同程度の直径を有する落石をひし形金網で補足できる可能性を示した。

参考文献

- (公社)日本道路協会：落石対策便覧、2017.12
- 今野久志、荒木恒也、西弘明、小室雅人、岸徳光：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、平成 28 年度土木学会北海道支部論文報告集、第 73 号、2017.2