

落石防護網に使用するひし形金網の重錘落下衝撃実験

Falling-weight impact loading tests of diamond-shaped wire net to use for a rockfall protection nets

土木研究所寒地土木研究所
土木研究所寒地土木研究所
土木研究所寒地土木研究所
土木研究所つくば中央研究所
室蘭工業大学大学院
室蘭工業大学

○正 員 荒木恒也 (Nobuya Araki)
正 員 今野久志 (Hisashi Konno)
正 員 西 弘明 (Hiroaki Nishi)
正 員 佐々木哲也 (Tetsuya Sasaki)
正 員 小室雅人 (Masato Komuro)
学生員 田中優貴 (Yuuki Tanaka)

1. はじめに

山間部や海岸線の道路には、落石災害を防止するための様々な落石対策工が数多く建設されている。落石対策工の一つに、吊りロープや支柱、金網、ワイヤロープ等の部材を組み合わせたポケット式落石防護網がある。ポケット式落石防護網は、経済性や施工性に優れており、比較的規模の小さい落石に対して適用されている。

従来型のポケット式落石防護網の設計は落石対策便覧¹⁾を参考に、構成部材の可能吸収エネルギー及び衝突の前後におけるエネルギー差を用いた簡便式により行われているが、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⁾はごく限られている。

また、近年では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網が開発され、経済性や適用範囲の広さから、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^{3,4)}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、著者らは従来型のポケット式落石防護網も含めて、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。過年度には、現地設置状況をできるだけ再現した従来型ポケット式落石防護網の実規模衝撃実験^{5),6)}を実施している。

本稿では、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に着目し、素線径の異なる金網に対する重錘落下衝撃実験を実施して、重錘の入力エネルギーを変化させた場合の耐衝撃挙動について検討を行ったので、その概要について報告する。

2. 実験概要

図-1に実験装置および試験体の形状寸法を、写真-1に重錘落下実験の状況を示す。実験は、6m 四方のH形鋼で構成される鋼製枠架台に3m 間隔で縦横それぞれ2本のワイヤロープを設置し、ワイヤロープで囲まれる3m 四方の領域にひし形金網を設置して、金網中央部にコンクリート製の重錘をトラッククレーンにより自由落下衝突させることにより行っている。

表-1は、試験体に使用した部材の諸元を示している。ひし形金網には素線径の異なる3種類を、ワイヤロープには18φを用いている。写真-2にひし形金網の状況

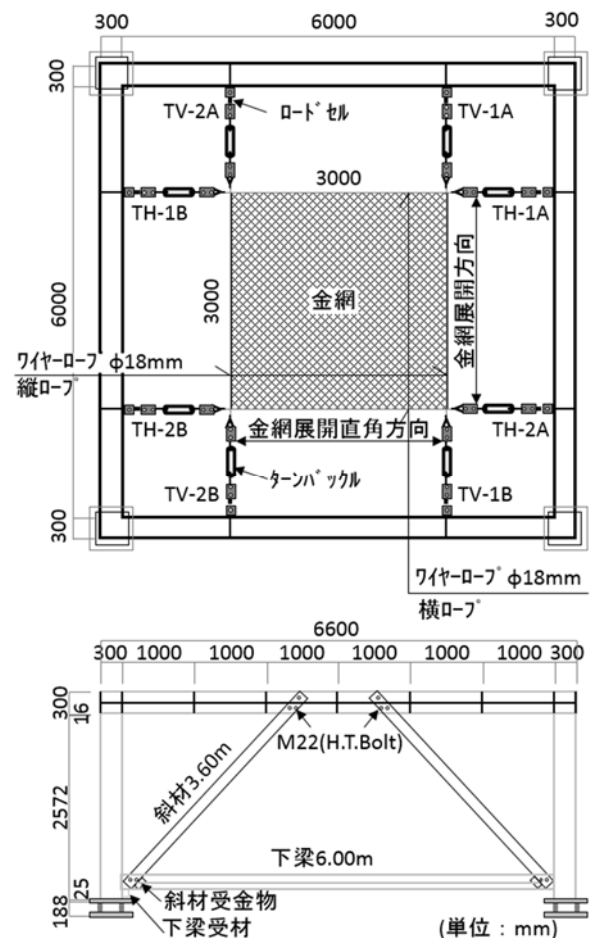


図-1 実験装置の形状寸法



写真-1 実験状況

を示す。ひし形金網は山形に折り曲げられた素線を互いに交差させ、平行四辺形の網目を形成したものであり、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。実際の現地設置状況は、展開方向が鉛直方向、展開直角方向が水平方向となる。

写真－3は、試験体の固定状況を示している。金網とワイヤロープの接続は網目ごとにワイヤクリップを用いて固定している。また、ワイヤロープの交点はクロスクリップで固定している。ワイヤロープは、衝撃による巻付きグリッの引き抜けを防止するため末端処理を両端アルミロック加工としている。ワイヤロープはターンバックルと鋼製治具を介して鋼製枠台にピン接合に近い状態で固定されている。

表－2は、実験ケース一覧を示している。実験では、入力エネルギーが異なる場合および等価エネルギーの場合について検討している。重錘は多面体とし、500 mm 四方で質量 300 kg と、350 mm 四方で質量 100 kg の2種類を使用している。落下高は重錘落下点の金網表面から重錘底面のまでの高さであり、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ある。

実験における計測項目は、ロードセルに貼付したひずみゲージによるワイヤロープ張力、高速度カメラ撮影による金網の載荷点直下の鉛直変位量である。なお、ワイヤロープには約 10 kN の初期張力を導入している。

3. 実験結果

3.1 各種応答波形

図－2 (a), (b)に実験ケース D4.0W3H15における金網の載荷点変位およびワイヤロープ張力の時刻歴応答波形を示す。ここで、ロープ張力に関しては金網の設置方向を考慮し、現地設置状況に合わせて便宜的にワイヤロープを縦ロープおよび横ロープと区別して記述している。

(a) 図より、載荷点変位は重錘衝突後急激に増加し 0.11 sec 後に最大変位 1.15 m に達した後、リバウンドしている。その後上下動を繰り返し最終的に 0.86 m 程度の残留変位が発生している。他の実験ケースにおいても同様の波形となっている。

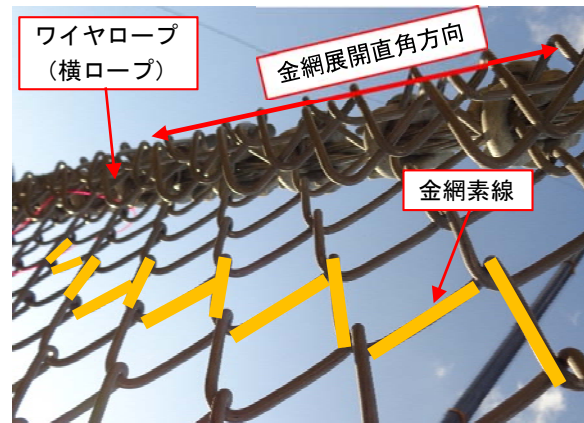
(b) 図より、ロープ張力は金網の載荷点変位波形に対応した波形形状を示しており、載荷点変位の最大変位時において各ロープ張力のピーク値が示されている。ロープの初期張力は、重錘衝突から約 0.01 sec 後に発生している。最大張力に関しては、横ロープが縦ロープに比較して 30%程度大きな値を示している。これは、ひし形金網の異方性材料によるため、横ロープの方がより載荷点側に引き寄せられるためと推測される。

3.2 入力エネルギーと金網最大変位、ワイヤロープ最大張力の関係

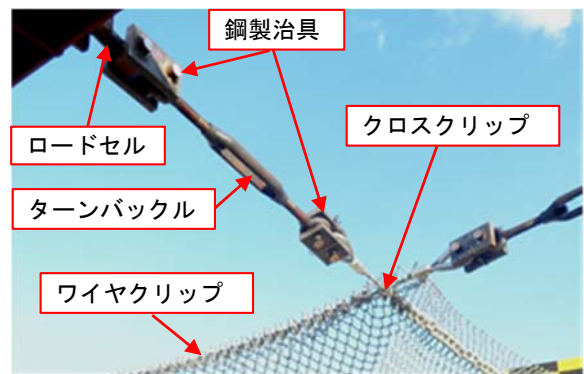
図－3に重錘落下高と金網載荷点変位の関係を示す。落下高の増加に対応して載荷点変位が増加する傾向が示されている。また、金網素線径で比較すると、金網素線径 4.0 mm の方が金網素線径 5.0 mm に比較して変位量が

表－1 使用部材の諸元

材料名	諸元, 部材耐力
ひし形金網	5.0 ϕ $\times$ 50 $\times$ 50mm, 引張強さ: 411 N/mm ²
	4.0 ϕ $\times$ 50 $\times$ 50mm, 引張強さ: 408 N/mm ²
	3.2 ϕ $\times$ 50 $\times$ 50mm, 引張強さ: 400 N/mm ²
ワイヤロープ	18 ϕ 3 $\times$ 7G/O 両端アルミロック 破断荷重: 193 kN



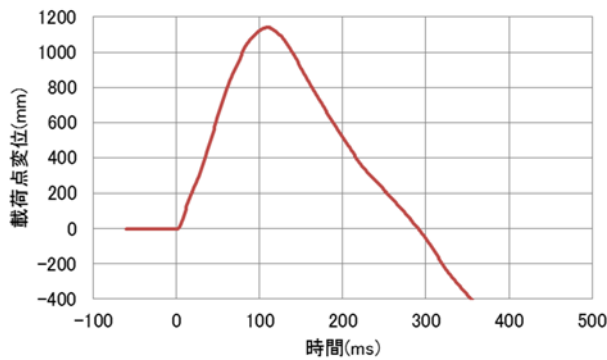
写真－2 ひし形金網の状況



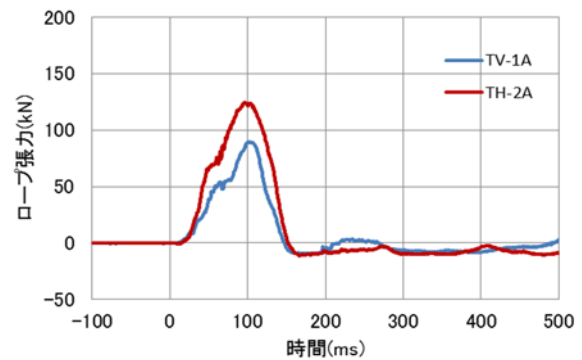
写真－3 試験体の固定状況

表－2 実験ケース一覧

実験ケース	金網 (mm)	重錘 (kN)	落下高 (m)	衝突エネルギー (kJ)
D3.2W3H10	3.2	3	10	29.4
D3.2W1H30	3.2	1	30	29.4
D4.0W3H10	4.0	3	10	29.4
D4.0W3H15	4.0	3	15	44.1
D4.0W3H20	4.0	3	20	58.8
D4.0W3H25	4.0	3	25	73.5
D4.0W1H30	4.0	1	30	29.4
D5.0W3H10	5.0	3	10	29.4
D5.0W3H15	5.0	3	15	44.1
D5.0W3H20	5.0	3	20	58.8
D5.0W3H25	5.0	3	25	73.5
D5.0W1H30	5.0	1	30	29.4



(a) 荷点変位



(b) ロープ張力

図-2 金網の荷点変位およびロープ張力の時刻歴応答波形 (D4.0W3H15)

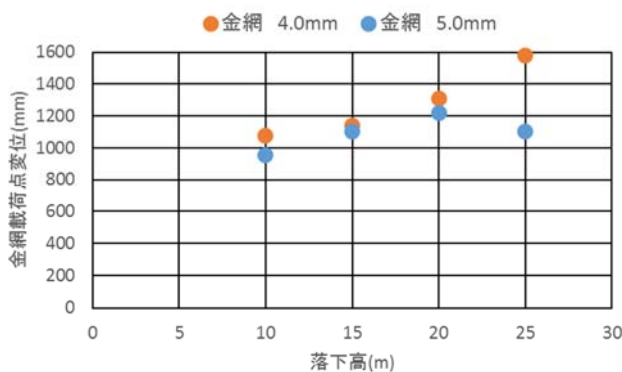


図-3 落下高と荷点変位の関係

大きくなる傾向が示されているが、ほぼ同程度の変位量となっている。金網素線径 5.0 mm の落下高 25 m における変位量が小さく示されているのは、重錘衝突位置が金網中央部より金網展開直角方向に約 30 cm 偏心していたため、変位量が小さくなっていると推測される。

図-4 に重錘落下高とロープ張力の関係を示す。ロープ張力は、重錘衝突位置の誤差等を考慮し、縦・横ロープそれぞれの平均値を採用している。いずれの素線径においても落下高の増加に対応してロープ張力が増加している傾向が示されている。ただし、落下高 25 m の実験ケースにおいては、いずれの素線径においても横ロープの破断を確認しているため、ロープ張力が減少していると推測される。また、横ロープの張力が縦ロープの張力に比較して 15~30 % 程度大きい値を示している。これは前述しているが、ひし形金網の異方性材料によるため、横ロープの方がより荷点側に引き寄せられるためと推測される。

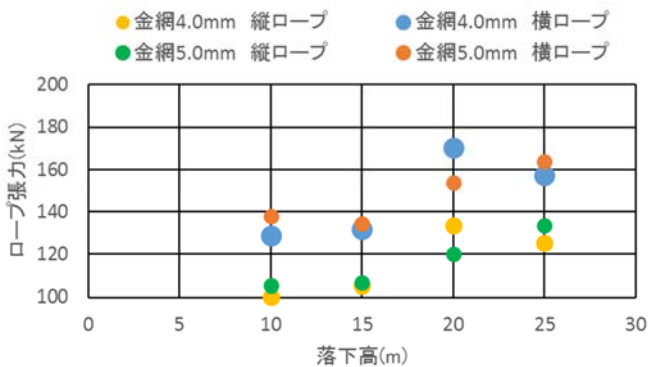


図-4 落下高とロープ張力の関係

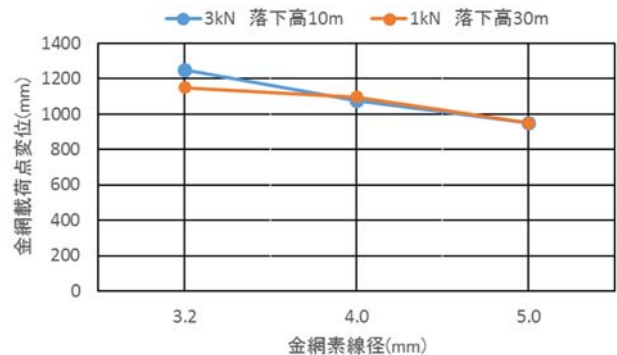


図-5 金網素線径と荷点位置の関係

図-5 に同一エネルギー(29.4 kJ)における金網素線径と金網荷点変位の関係を示す。金網素線径が大きいほど荷点変位は小さくなっている。3 kN の重錘を 10 m 落下させたケースと 1 kN の重錘を 30 m 落下させたケースを比較すると、金網荷点変位量はほぼ同様の値を示している。

図-6 に同一エネルギー(29.4 kJ)における金網素線径とロープ張力の関係を示す。ロープ張力は、縦・横ロープそれぞれの平均値を採用している。金網素線径 3.2 mm における 1 kN の重錘を 30 m 落下させたケースでのロープ張力が若干大きく示されているが、重錘が同一の

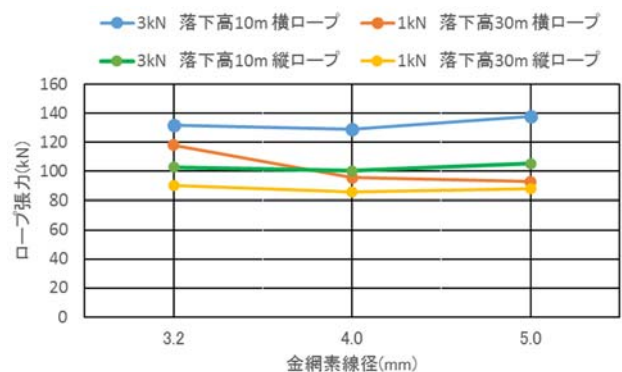


図-6 金網素線径とロープ張力の関係



写真-4 実験終了後の金網状況



写真-5 実験終了後の金網固定状況

場合はほぼ同程度のロープ張力となっている。また、3 kN の重錘を 10 m 落下させたケースは 1 kN の重錘を 30 m 落下させたケースに比較してロープ張力が 30～50 % 程度大きい値を示している。

写真-4 に実験終了後の金網状況、写真-5 に実験終了後の金網固定状況を示す。ひし形金網は残留変位が発生しており、ワイヤロープ交点のクロスクリップが重錘衝突の影響で载荷点側に引き寄せられている。表-3 に実験終了後の変位を示す。ロープ交点の変位は平均値を採用している。金網の残留変位およびロープ交点は、エネルギーの増加に対応して変位が増加している傾向を示している。

4. まとめ

本研究では、従来型のポケット式落石防護網の構成部材のエネルギー吸収量の算定や数値解析における材料構成則等の設定を目的として、素線径の異なる金網に対する重錘落下衝撃実験を実施した。本実験の範囲内で明らかとなったことを整理すると、以下のようになる。

- 1) 金網の载荷点変位およびロープ張力は、落下高の増加に対応して大きくなり、素線径が小さいほど変位量は大きくなる。また、ロープ張力は横ロープの方が縦ロープよりも大きい。
- 2) エネルギーが同一の場合、金網素線径が小さいほど変位量は大きくなる。また、重錘の質量の違いによらず载荷点変位はほぼ同様であった。一方、ロープ張力に関しては、金網素線径の違いによらず張力はほぼ同様であり、重錘の質量が大きいほどロープ張力が大きくなった。

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：落石対策便覧，2000.6
- 2) 原本大輔，香月 智，田代元司：円柱形要素を用いた個別要素法による落石防護網の衝撃応答解析，土木学会論文集 A，Vol.65 No.2，pp.536～553，2009.6

表-3 実験終了後の変位

実験ケース	衝突エネルギー (kJ)	金網 残留変位 (m)	ロープ交点 変位 (mm)
D3.2W3H10	29.4	0.81	59
D3.2W1H30	29.4	0.75	73
D4.0W3H10	29.4	0.66	90
D4.0W3H15	44.1	0.86	88
D4.0W3H20	58.8	0.98	154
D4.0W3H25	73.5	1.19	174
D4.0W1H30	29.4	0.70	89
D5.0W3H10	29.4	0.53	73
D5.0W3H15	44.1	0.73	98
D5.0W3H20	58.8	0.81	129
D5.0W3H25	73.5	0.80	121
D5.0W1H30	29.4	0.59	84

- 3) 高橋利延，山本佳士，香月 智，高森 潔：落石防護網のエネルギー吸収性能の評価に関する実験的検討，第40回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集，2013.3
- 4) 難波正和，前川幸次，田島与典，横田哲也：実斜面を用いた実規模重錘衝突実験によるポケット式落石防護網の評価，構造工学論文集，Vol.60A，pp.1032-1041，2014.3
- 5) 山口 悟，今野久志，西 弘明，佐々木哲也，小室雅人：従来型ポケット式落石防護網の実規模重錘衝突実験，鋼構造年次論文報告集，巻 21 巻，pp.104-110，2013.11
- 6) 山口 悟，今野久志，西 弘明，加藤俊二，小室雅人：落石防護網の実規模模型実験，鋼構造年次論文報告集，巻 22 巻，pp.137-143，2014.11