



落石防護網の実規模模型実験

メタデータ	言語: jpn 出版者: 日本鋼構造協会 公開日: 2019-03-04 キーワード (Ja): ポケット式落石防護網, 実規模実験, 静的載荷実験, 重錘衝突実験 キーワード (En): Pocket-type rockfall protection nets, full-scale test, static loading test, falling-weight impact test 作成者: 山口, 悟, 今野, 久志, 西, 弘明, 加藤, 俊二, 小室, 雅人 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/00009704

落石防護網の実規模模型実験 Full scale test of rockfall protection nets

○山口 悟* 今野 久志** 西 弘明*** 加藤 俊二**** 小室 雅人*****
Satoru YAMAGUCHI Hisashi KONNO Hiroaki NISHI Syunji KATO Masato KOMURO

ABSTRACT This study aims at elucidating the functions required of pocket-type rockfall protection structures, and at establishing a technique to verify the performance of such structures. In relation to developing techniques for verifying the performance of the structure as a whole and for verifying the margin of safety, full-scale test of static loading test and falling-weight impact test on the conventional pocket-type rock-fall protection nets were conducted to closely examine the energy absorption mechanism and the behaviors of the nets.

Key words: ポケット式落石防護網, 実規模実験, 静的載荷実験, 重錘衝突実験

Pocket-type rockfall protection nets, full-scale test, static loading test, falling-weight impact test

1. はじめに

我が国の山岳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、規模の比較的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(以後、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)~8)}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⁹⁾を実施し、重錘衝突時の全体応答性状等について検討を行った。ここで、ポケット式落石防護網は落石荷重の作用時において、金網やワイヤロープ等の構成部材に大きな変形を伴う柔構造であることから、これらの検討を進めていくため、特に数値解析的検討のためには落石荷重作用時の構成部材の挙動を正確に把握することが重要である。

本稿では、数値解析による落石防護網の構成部材のエネルギー吸収量の算定や材料構成則等の設定を最終目的として、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、落石防護網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、実規模の静的載荷実験および重錘落下衝撃実験を実施したので、その概要について報告する。

* (独) 土木研究所寒地土木研究所寒地構造チーム (〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1-3-1-34)

**博(工) (独) 土木研究所寒地土木研究所寒地構造チーム (〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1-3-1-34)

***博(工) (独) 土木研究所寒地土木研究所寒地構造チーム (〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1-3-1-34)

**** (独) 土木研究所つくば中央研究所土質・振動チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

*****博(工) 室蘭工業大学大学院工学研究科准教授 (〒050-0071 室蘭市水元町 27-1) 第2種正会員

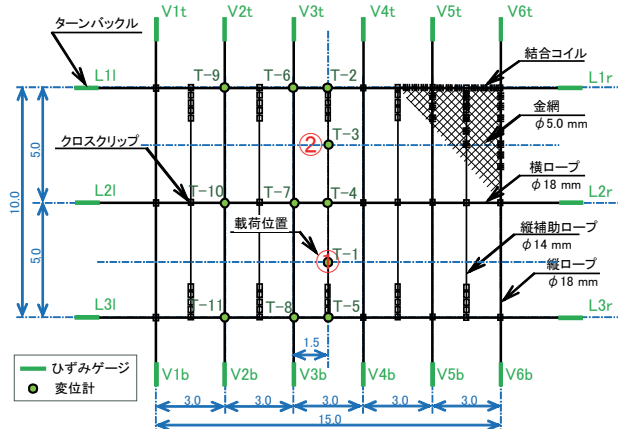


図1 供試体の形状寸法 (静的載荷実験)

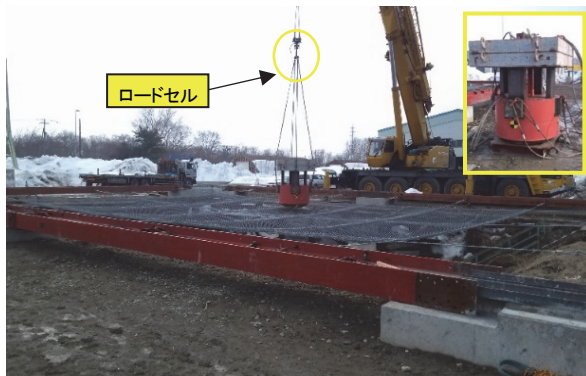


写真1 実験状況 (静的載荷実験)

表1 供試体材料諸元	
	諸元 部材耐力 [ミルシートより]
菱形金網	5.0φ×50×50 mm 引張強さ:290~540 [405] N/mm ²
縦ワイヤロープ	18φ3×7 G/O, L=20.4 m 設計破断荷重:160 [208.8] kN
横ワイヤロープ	18φ3×7 G/O, L=13.5 m 設計破断荷重:160 [208.8] kN
縦補助ワイヤロープ	14φ3×7 G/O, L=13.0 m 設計破断荷重:110 [119.4] kN
ターンバックル	両アイ型 1×12 ネジ径 W=1 公称破断荷重:222 [なし] kN

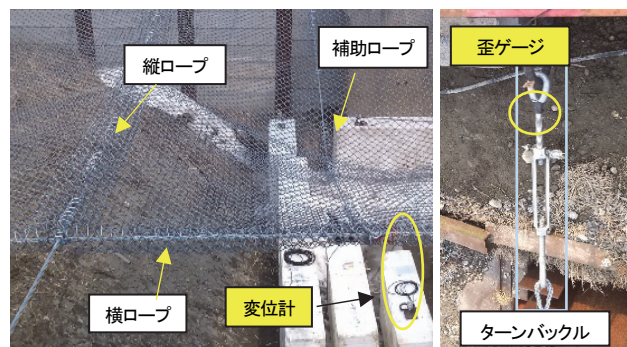


写真2 センサー設置状況

2. 実規模静的載荷実験

2.1 供試体概要

本実験に用いた供試体の形状寸法を図1に示す。供試体は過年度に実施した実規模衝撃実験⁹⁾と同一としており、金網高10m、金網幅15mである。

表1に、供試体材料の諸元を示す。金網には菱形金網5.0φ×50×50mmを、縦ロープおよび横ロープには18φを、縦補助ロープには14φを用いている。ワイヤロープの配置は、縦ロープ間隔3.0m、縦補助ロープ間隔1.5m、横ロープの間隔5.0mとしている。ワイヤロープの各交点にはクロスクリップを、ワイヤロープと金網の結合には結合コイルを使用している。縦・横ロープの末端処理には、現地施工では一般に巻付グリッパが用いられているが¹⁰⁾、本実験では両端をアルミロック(圧縮)加工とした。縦補助ロープについては両端部を1.5m程度折り返し、ワイヤクリップ4個を用いて固定した。また、縦・横ロープ端部と鋼製枠台との連結には、張力調整のためにターンバックルを使用している。なお、ワイヤロープの初期張力は、縦ロープを6~11kN、横ロープを15~23kNと

した。

ここで、縦ロープの両端は固定条件としているが、これは現地と同様な鉛直に設置した時と同じ片端固定では、自重によるたわみが想定より大きくなりすぎたこと、および今後の数値解析上の境界条件を明確にすることなどを考慮し決定したものである。

2.2 実験方法

図1に供試体形状を、写真1、2に実験状況と載荷用重錘、センサーの設置状況等を示す。実験は掘込式の試験ヤード外周に配置したH形鋼の鋼製枠桟台上に水平に設置した供試体に、トラックレーンで吊り下げた重錘を静的に載荷することにより実施した。載荷には、落錘衝撃実験用の質量10t(直径1.25m、高さ95cm、底部より高さ30cmの範囲が半径1mの球状)の重錘に鉛部材を設置し、質量を約22tに調整して使用している。本実験における測定項目は、重錘吊り下げ用のワイヤロープに取り付けたロードセルによる載荷荷重、縦・横ロープ端部のターンバックルに貼付した歪ゲージによるロープ張力、ワイヤ式変位計による

重錘直下およびロープ交点の鉛直変位である。載荷位置は、図1に示す2箇所であり、便覧に示されている荷重の作用位置(縦位置:横ロープ間中央、横位置:補助ロープ上(載荷位置①))を基本とし、もう1箇所は横位置を縦ロープと縦補助ロープの中間位置(載荷位置②)とした。

2.3 挙動計測方法

2.3.1 金網鉛直変位

図2に縦補助ロープ上への載荷ケース(載荷位置①)における荷重と補助ロープの鉛直変位の関係を、図3に載荷した縦補助ロープの鉛直変位分布を示す。図2より、載荷点直下の測定点であるT-1に着目すると、変位が0.3 m程度に達するまでは荷重は数 kN 程度であり、変位の増加に対して非常に緩やかな変化となっている。その後、荷重30 kN(変位0.9 m)程度からは、ワイヤクリップのすべり等によるものと考えられる数 kN の増減を伴いながら、荷重は変位に対してほぼ線形的に増加している。本ケースでは、載荷点近傍の金網の変形状況やロープ張力等から判断して、約120 kN(変位約1.7 m)までの載荷とした。この荷重-変位関係から、本実験条件における金網とワイヤロープから構成される構造全体系の最大荷重作用時点までのエネルギー吸収量は約70 kJと算定される。

一方、図3より載荷点以外の測定点に着目すると、近傍のT-4とT-5がほぼ同様な挙動を示しており、その最大変位は約0.5 mと載荷点の3割程度にとどまっている。最遠端のT-2ではほぼ変位は生じておらず、また、その手前のT-3においては載荷方向とは反対に0.2 m程度盛り上がった状態になっている。図示していないその他の測定点においても、最大変位は0.4 m程度であり、載荷点近傍で局所的に大きな変位が生じている状態であることがわかる。なお、除荷時の残留変位は、載荷位置では0.9 m程度であり、載荷荷重25 kN時の変位と同程度であったが、横ロープ位置ではほぼゼロレベルとなっている。

2.3.2 ワイヤロープ張力

図4、5に、縦補助ロープ上への載荷ケース(載荷位置①)における荷重とロープ張力の関係を示す。図4より、縦ロープの両端(t, b)でほぼ等しい張力となっていること、また、荷重-変位の関係と同様に、載荷初期の荷重の増加は緩やかであることがわかる。縦ロープの最大張力に着目する

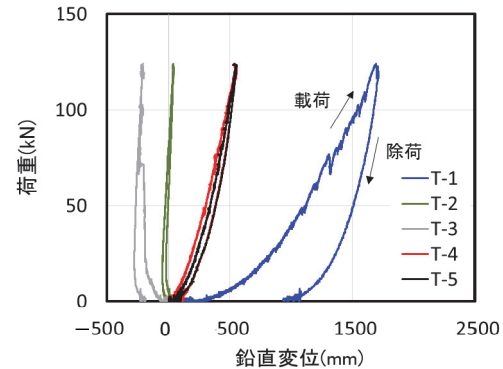


図2 縦補助ロープ 荷重-変位関係

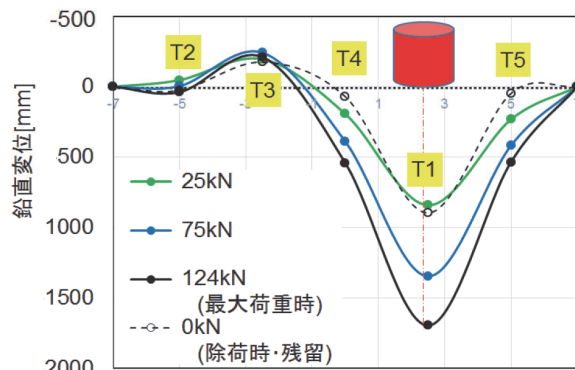


図3 載荷した縦補助ロープの鉛直変位分布

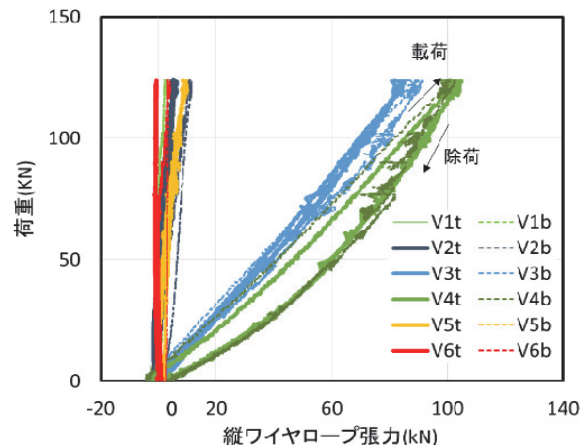


図4 荷重-縦ロープ張力関係

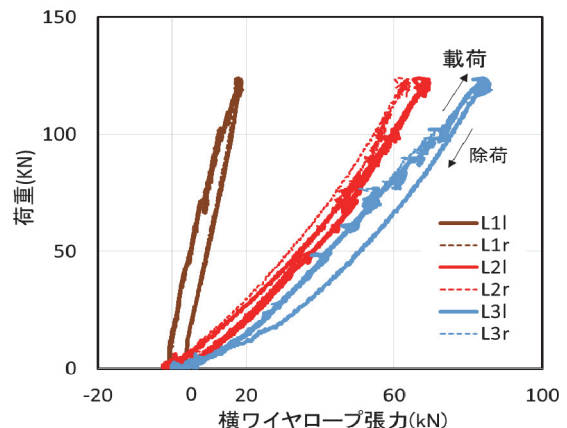


図5 荷重-横ロープ張力関係

と、荷重点近傍の V3 および V4 がそれぞれ両端の平均値で約 85、100 kN であり、他の 0~10 kN 程度に比較して大きな状態となっている。これは図 5 に示す横ロープに関しても同様で、荷重点近傍の L2、L3 の張力がそれぞれ両端の平均値で約 66、85 kN であり、L1 と比較して大きく、本供試体のような構造 (部材構成)、支持条件に対する静的荷重では、荷重点近傍のロープで大部分の荷重を分担していることがわかる。

3. 実規模衝撃荷重実験

3.1 供試体概要

本実験で用いた供試体の形状寸法は図 6 に示すとおり、静的荷重実験と同一である。

3.2 実験方法

写真 3、4 に実験状況と変位計測状況を示す。衝撃荷重実験は静的荷重実験と同様に掘込式の試験ヤード外周に配置した H 形鋼の鋼製枠架台上に水平に設置した供試体に、トラッククレーンで所定の高さに吊り上げた重錘を自由落下衝突させることにより実施した。

衝撃荷重には、質量 1 t (直径 50 cm、高さ 61 cm、底部より高さ 6 cm の範囲が半球状) の重錘を使用している。本実験における測定項目は、重錘に取り付けた加速度計による重錘衝撃力、縦・横ロープ端部のターンバックルに貼付した歪ゲージによるロープ張力、高速度カメラ撮影による金網の重錘荷重点直下の鉛直変位量である。各センサーの応答波形は、データレコーダにてサンプリングタイム 1 ms で一括収録を行っている。

実験は表 2 に示す計 6 ケースを実施した。荷重位置は、ここでも便覧に示されている作用位置 (縦位置: 横ロープ間中央、横位置: 縦補助ロープ上、①、②、⑥) を基本ケースとして設定している。ロープの初期張力については、供試体設置後の張力を基準とし、各実験ケース終了後にはロープの位置および張力の調整を行っている。

3.3 実験結果および考察

3.3.1 各種応答波形

図 7 (a) ~ (c) には、一例として実験ケース D1-w7.5 における重錘衝撃力波形、荷重点変位波形およびロープ張力波形を示している。その他の実験ケースにおいてもほぼ同様の時刻歴応答波形性状を示していることを確認している。(a) 図より、重錘衝撃力波形は継続時間が 0.4 sec 程度の三角形

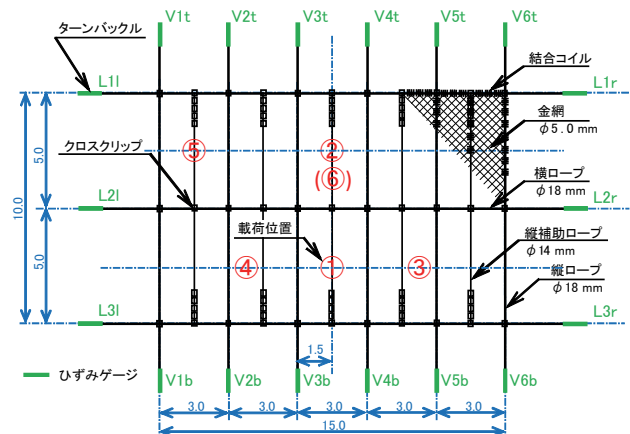


図 6 供試体の形状寸法 (衝撃荷重実験)

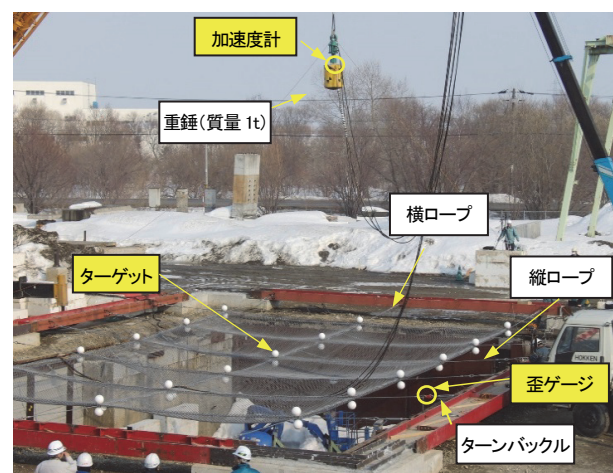


写真 3 実験状況 (衝撃荷重実験)

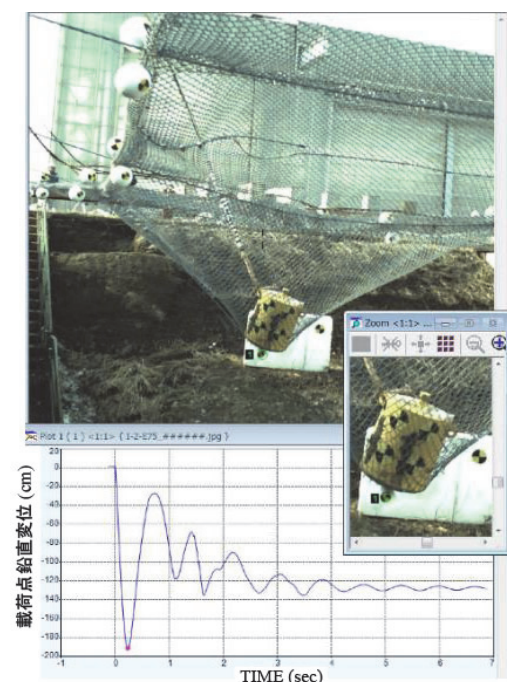


写真 4 変位計測状況

状の波形性状を示しており最大重錘衝撃力は 100 kN 程度である。

(b) 図より、荷点変位は重錘衝突後急激に増加し 0.23 sec 後に最大変位 1.89 m に達した後、リバウンドしながら上下動を繰り返し最終的に 1.3 m 程度の残留変位が発生している。高速度カメラによる画像観察により重錘はリバウンドにより 0.46sec で金網と分離し、1.29 秒後に再度金網と接触している。また、実験ケース D1-w5.0 および D1-w10.0 の荷点最大変位は、それぞれ 1.57 m および 2.11 m であり入力エネルギーの増加に対応した変位量が計測されている。

(c) 図には、縦・横ロープにおいて最大張力を示したセンサーの時刻歴応答波形を示している。両ロープ張力波形は、荷点変位に対応した波形性状を示しており、鉛直下方への荷点変位ピーク発生時点において各ロープ張力においてもピーク値が示されている。最大張力に関しては縦ロープの方が大きいものの残留値については横ロープの方が大きくなっている。

縦補助ロープ上荷点の実験ケースにおける荷点変位に着目すると、衝撃荷では上述のように最大衝撃力約 100 kN に対して最大変位 1.89 m である。一方、静的荷では前章のとおり、最大荷重 124 kN に対して 1.7 m である。重錘 (荷点面) 形状が異なることによる局所的な変形状の差異もあるものと考えられるが、両者を比較すると、衝撃荷の場合の方が若干大きな変位応答となっている。

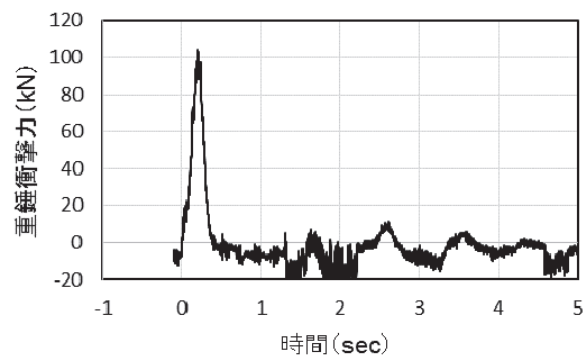
3. 3. 2 ロープ張力

図 8、9 には、1 本の縦または横ロープの両端において計測された最大張力の平均値とロープ位置の関係を示している。図中の凡例は、例えば V1t と V1b の平均値を示すロープ位置を V1a と表示している。なお、1 本のロープの両端部においてはほぼ同様の波形性状およびピーク値を示すことを確認している。

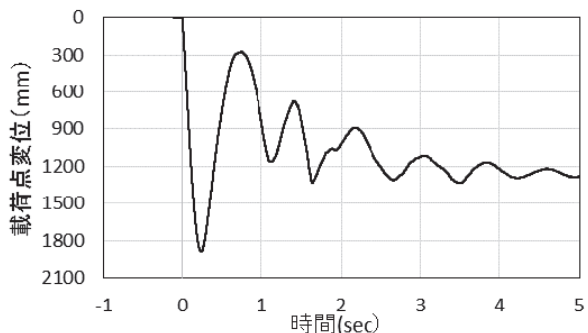
図 8 より、縦補助ロープ上に荷した実験ケース D1-w5.0/7.5/10.0 および D3-w5.0 では、荷位置両側の縦ロープにおいてほぼ同程度の大きな張力が発生しており、荷位置から離れるに従って張力が大きく減少する状況が示されている。金網上に荷した実験ケース D2-n5.0/7.5 においては荷直近の縦ロープにおいて大きな張力が発生し、荷位置から離れるに従って張力は減少している。

表 2 実験ケース一覧 (衝撃荷実験)

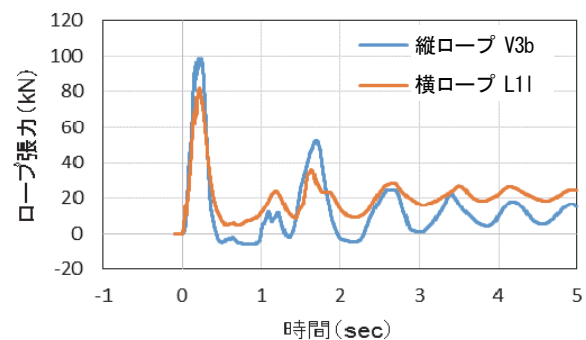
実験ケース	重錘重量 (t)	落下高さ (m)	荷位置	備考
D1-w5.0	1	5.0	① 補助ロ	連続荷
D1-w7.5		7.5	② ープ上	
D2-n5.0		5.0	③ 金網上	中央縦スパン金網交換後連続荷
D2-n7.5		7.5	④ 金網上	
D3-w5.0		5.0	⑤ 補助ロ	
D1-w10.0		10.0	⑥ ープ上	



(a) 重錘衝撃力



(b) 荷点変位



(c) ロープ張力

図 7 各種時刻歴応答波形 (D1-w7.5)

同一条件の载荷位置では、入力エネルギーの増加に対応してロープ張力も増加する傾向が示されている。

図9より、横ロープ張力は载荷位置近傍の自由端側の横ロープ張力が最も大きく示され、逆側に向かってほぼ線形にロープ張力が減少する傾向が示されている。

4. まとめ

本研究では、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、現在、便覧による簡便式により設計が行われている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最終目的として、実規模の静的载荷実験および重錘落下衝撃実験を実施した。衝撃実験時には高速度カメラによる载荷点直下の鉛直変位挙動計測を併せて行った。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。

静的载荷実験に関して、

- 1) 本供試体のような構造(部材構成)、支持条件に対する静载荷では、载荷点近傍に局所的変形が生じる。また、载荷点近傍のワイヤロープで大部分の荷重を分担する。
 - 2) 荷重-変位関係から、金網とワイヤロープから構成される構造全体系の最大荷重作用時点までのエネルギー吸収量は約 70 kJ と算定される。
- 衝撃载荷実験に関して、
- 3) 重錘が金網に衝突(接触)してからリバウンドして分離するまでの間の重錘衝撃力、载荷点変位およびロープ張力は、三角形の波形性状を示す。
 - 4) 静的载荷の場合と同様に、载荷点近傍のワイヤロープが大きな荷重を分担する。
 - 5) 同程度の载荷荷重に対する载荷点変位量は、静的载荷の場合に比較して大きい。

今後は、異なる条件下での追加実験を実施し、シミュレーション解析の妥当性を検証するとともに、実験結果を踏まえ落石防護網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年6月

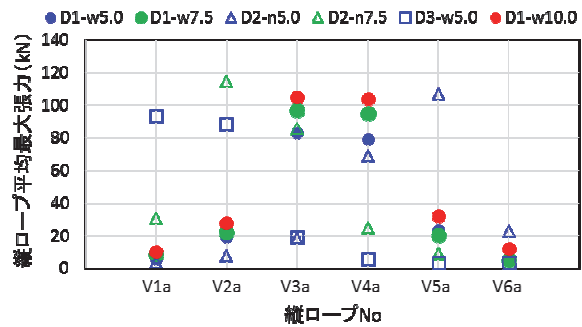


図8 縦ロープ平均最大張力

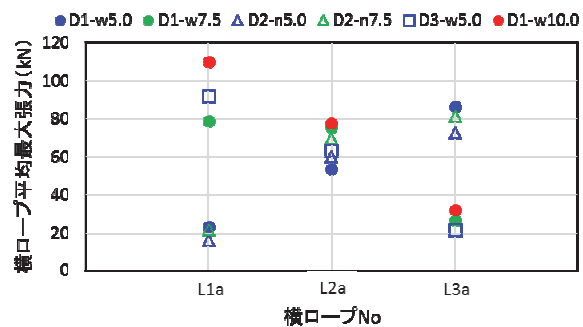


図9 横ロープ平均最大張力

- 2) 原木大輔，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
- 3) 窪田潤平，中村浩喜，吉田 博：特殊ひし形金網および緩衝金具を配置した落石防護網の実斜面実験について，構造工学論文集，Vol.54A，pp.11～22，2008.3
- 4) 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
- 5) 下条和史，渡辺達男：高エネルギー対応落石防護網の開発とその安全対策工としての適用性，第61回平成24年度砂防学会研究発表会概要集，pp.68～69，2012.5
- 6) 加賀山肇，奥村昌史，右城猛：新しい落石防護ネットの開発，平成22年度地盤工学会四国支部技術研究発表講演概要集，2010.10
- 7) 田島与典，前川幸次，岩崎征夫，河上康太：実物大重錘衝突実験による緩衝装置を用いたポケット式落石防護網の評価，構造工学論文集，Vol.56A，pp.1088～1100，2010.3
- 8) 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
- 9) 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.
- 10) 社団法人地盤工学会四国支部: 落石対策 Q&A, P79, 2009 年 12 月.