

従来型ポケット式落石防護網の耐衝撃性能に関する実規模実験

Full scale test of impact resistance performance of full scale pocket-type rockfall protection nets

土木研究所 ○正員 西 弘明 (Hiroaki Nishi)
土木研究所 正員 今野久志 (Hisashi Honno)

土木研究所 正員 山口 悟 (Satoru Yamaguchi)
土木研究所 正員 加藤俊二 (Shunji Kato)
室蘭工業大学大学院 正員 栗橋祐介 (Yusuke Kurihashi)

1. はじめに

落石対策工の一つに、吊りロープや支柱、金網、ワイヤー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。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、構成部材の吸収可能エネルギー及びエネルギー差を用いて行われているが、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。

本稿では、従来型のポケット式落石防護網について、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と、ワイヤーロープ端の処理部材である巻付グリップの静的載荷実験の概要について報告する。

2. ポケット式落石防護網の実規模実験

2.1 落石防護網供試体

図-1 に実験供試体の正面図及び側面図を、表-1 に供試体の設計条件を示す。落石防護網を構成する部材の諸元は表に示すように、便覧における設計法を参考に決定した。供試体の形状寸法は、従来型のポケット式落石防護網で標準的な支柱間隔 3 m を基本として、金網全幅を 5 スパン分の 15 m とし、実験施設規模から金網高さを 10 m に、支柱高さを 3.5 m に設定している。

本実験では、金網にはひし形金網 $\phi 5.0 \times 50 \times 50$ mm を、吊りロープ及び縦・横ロープには $\phi 18$ mm を、アンカーボルトには D 32 (M30) $\times$ 1000 を用いている。な

お、縦ロープの間隔は 1.5 m、横ロープは図に示すように変則的な配置としている。ワイヤーロープの各交点にはクロスクリップを、ワイヤーロープと金網の結合には結合コイルを使用している。横ロープ端の処理には、一般に採用されている巻付グリップを用いている。

2.2 実験方法

実験は図-1 のように、傾斜角度約 45° の法面に固定された重錘滑落装置に、所定の高さで設置した重錘を滑落させて、供試体に衝突させることにより実施した。写真-1 に実験状況を示す。重錘衝突位置は 2 段目と 3 段目横ロープの中央である。重錘の質量は 1.0 ton、形状は幅 80 cm $\times$ 高さ 75 cm $\times$ 長さ 95 cm であり、衝突部が球面形状となっている(写真-2)。

本実験における測定項目は、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、支柱 H 形鋼の基部に貼付した歪ゲージによる軸力である。

表-2 に実験ケースの一覧を示す。落下条件は落石持ち込みエネルギー E_W が、エネルギー差 E_L を除く可能吸収エネルギーを下回る落下高さ $H = 6$ m を基準として、整数倍で設定したものである。

2.3 損傷状況の概要

表-2 に損傷状況の概要を、写真-2 に実験後の横ワイヤー端部及びアンカー破断部の状況の一例を示す。

各実験ケースとも、重錘は想定どおり 2 段目と 3 段目横ロープのほぼ中間位置に衝突した後、落下しながら最大変位に達し、金網に誘導されて地盤面まで到達して

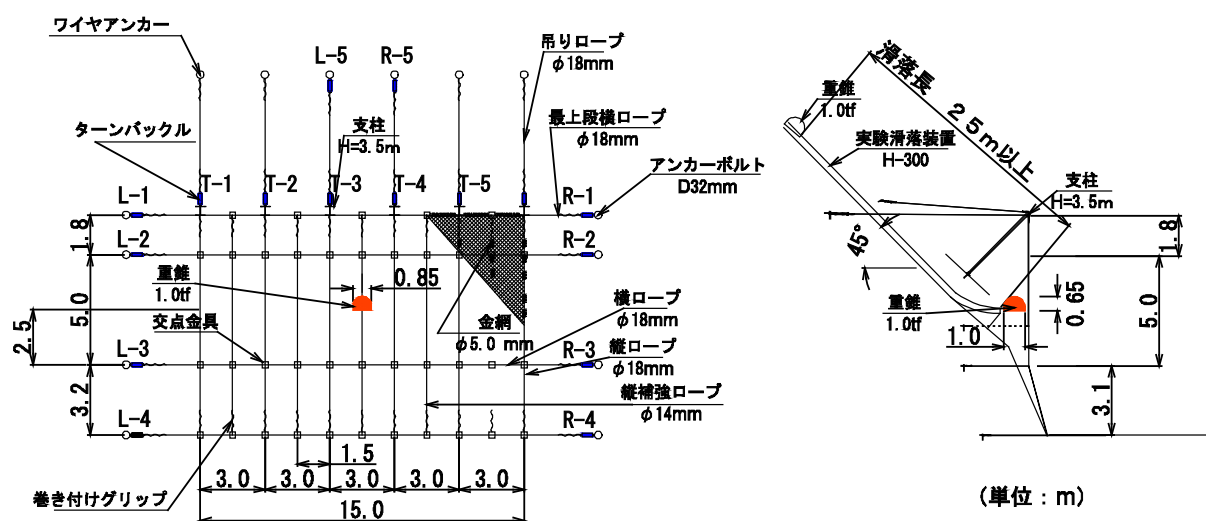


図-1 ポケット式落石防護網供試体の正面図及び側面図

表-1 供試体の設計条件

	(kJ)	諸元	部材耐力 [ミルシートより]	安全率
落石持込エネルギー: E_W	150.10	$W = 1 \text{ t}, H = 17 \text{ m}, \theta = 45^\circ, \mu = 0.1$		-
吸収可能エネルギー: E_T	151.26	$E_N + E_R + E_P + E_{ER} + E_L$		$E_T > E_W$
・菱形金網: E_N	61.49	$5.0 \phi \times 50 \times 50 \text{ mm}$	有効張力: 41.1 kN/m	$2.24 > 1.0$
・横ロープ: E_R	14.78	$18 \phi 3 \times 7 \text{ G/O}, L = 27 \text{ m}$	設計破断荷重: 157.0 [190] kN	$1.88 < 2.0$
・支柱(ピン構造): E_P	0.00	$H100 \times 100 \times 6 \times 8, L = 3.5 \text{ m}$		-
・吊りロープ: E_{ER}	0.71	$18 \phi 3 \times 7 \text{ G/O}, L = 8 \text{ m}$	設計破断荷重: 157.0 [190] kN	$4.68 > 3.0$
・縦ロープ	-	$18 \phi 3 \times 7 \text{ G/O}, L = 10 \text{ m}$	設計破断荷重: 157.0 [190] kN	$5.25 > 2.0$
・エネルギー差: E_L	74.28	-		-
横ロープ端部アンカー		D32 (M30) $\times$ 1000	設計せん断耐力: 111.0 kN	$1.33 > 1.0$

表-2 実験ケースと損傷状況の概要

ケース名	H (m)	E_{wd} (kJ) (設計※)	E_{we} (kJ) (計測※※)	損傷状況の概要	備考
No.1-1	6.0	53	50	重錘衝突部の金網の塑性変形	新材金網
No.1-2	12.0	106	95	3 段目横ロープ左側の取付け金具の破断・右側アンカーボルト周辺の岩盤の局部破壊・巻付グリップの緩み	金網再利用
No.1-3	6.0	53	49	3 段目横ロープ左側のアンカーボルトの破断	金網再利用, 実験開始前に取付け金具撤去(以降未使用)
No.2-1	6.0	53	45	最下段(4 段目)横ロープ右側のアンカーボルトの破断・横ロープの緩み	新材金網(実験開始前に交換)
No.2-2	18.0	159	142	3 段目横ロープ右側のアンカーボルトの引抜	金網再利用

落石持込エネルギー算出時の重錘速度 ※: 理論速度, ※※: 二次元高速度カメラ計測結果より

いる。損傷状況としては、最初の実験ケース No.1-1 (H=6 m) では、重錘衝突部近傍の金網に若干の塑性変形が生じている程度であったが、このケースを除き、横ロープ端部の取付け金具やアンカーボルト部で破断等が生じている。実験ケース No.1-3 では、落下高さ H=6 m の条件にもかかわらず、アンカーボルトの破断が生じているが、これは直前の実験ケース No.1-2 において当該アンカーボルトのネジ部に何らかの損傷が生じていたことが原因と考えられる。本実験で使用したワイヤーロープ $\phi 18 \text{ mm}$ のミルシートによる破断荷重は 190kN であるのに対し、アンカーボルト D 32 (M30) の設計せん断耐力は 111 kN であることから、ロープの破断には至らずにアンカーボルト部での損傷が生じたものである。これは、重錘は最初に横ロープ間の金網に衝突しているが、その後跳ね返されることなく、落下しながら衝突点直下の横ロープに接触したことにより、横ロープに想定以上の張力が作用したことによるものと推察される。

2.4 ワイヤー張力

図-2 に、各ケース(No.1-1: 青実線、No.1-2: 赤実線、No.2-1: 青破線、No.2-2: 黒実線)におけるワイヤーロープ張力の時刻歴波形を示す。L-1~4 は横ロープ左端、R-1~4 は右端、T-2~5 は吊りロープの張力である。

図より、横ロープ張力に着目すると、左右で概ね等しい応答波形となっていること、重錘衝突点より下方の張力が上方に比較して大きな値を示していることがわかる。また、縦ロープ張力に着目すると、衝突位置を中心として左右で概ね対象な応答波形となっており、重錘衝突点

近傍の T-3、T-4 が大きな値を示していることがわかる。縦ロープ張力の応答波形は重錘衝突直後に急な立ち上がりを示している。一方、横ロープ張力は L-1、R-1 で入力エネルギーが大きい場合には縦ロープと同じように急な立ち上がりであるが、下方のロープほど緩やかな立ち上がりとなっている。各実験ケースの波形性状は、No.1-1、No.2-1 においては二つの大きなピーク(300 ms と 2000 ms 前後)がみられるが、二つ目のピークは回転する重錘が地盤面に着地し、リバウンドすることに伴って、最下段のロープに大きな張力が作用しているものと考えられる。なお、No.2-1 ではこの二つ目のピーク時点で R-4 箇所においてアンカーボルトが破断している。

3. 部材(巻付グリップ) 静的実験

3.1 部材実験供試体

図-3 には供試体の形状と寸法を示す。供試体は加工長を約 2.00 m とし、ワイヤーロープ(3 $\times$ 7 G/O $\phi 18 \text{ mm}$)の一方の端部をシンプル入りロック(圧縮)加工とし、他端に $\phi 18 \text{ mm}$ 用の長さ 1.35 m の巻付グリップを取り付けたものである。一部供試体には、抜け出しを防止するため、ワイヤクリップを併用した。ワイヤクリップのナットの締付けトルクは、100 N $\cdot$ m として管理した。

3.2 部材実験方法

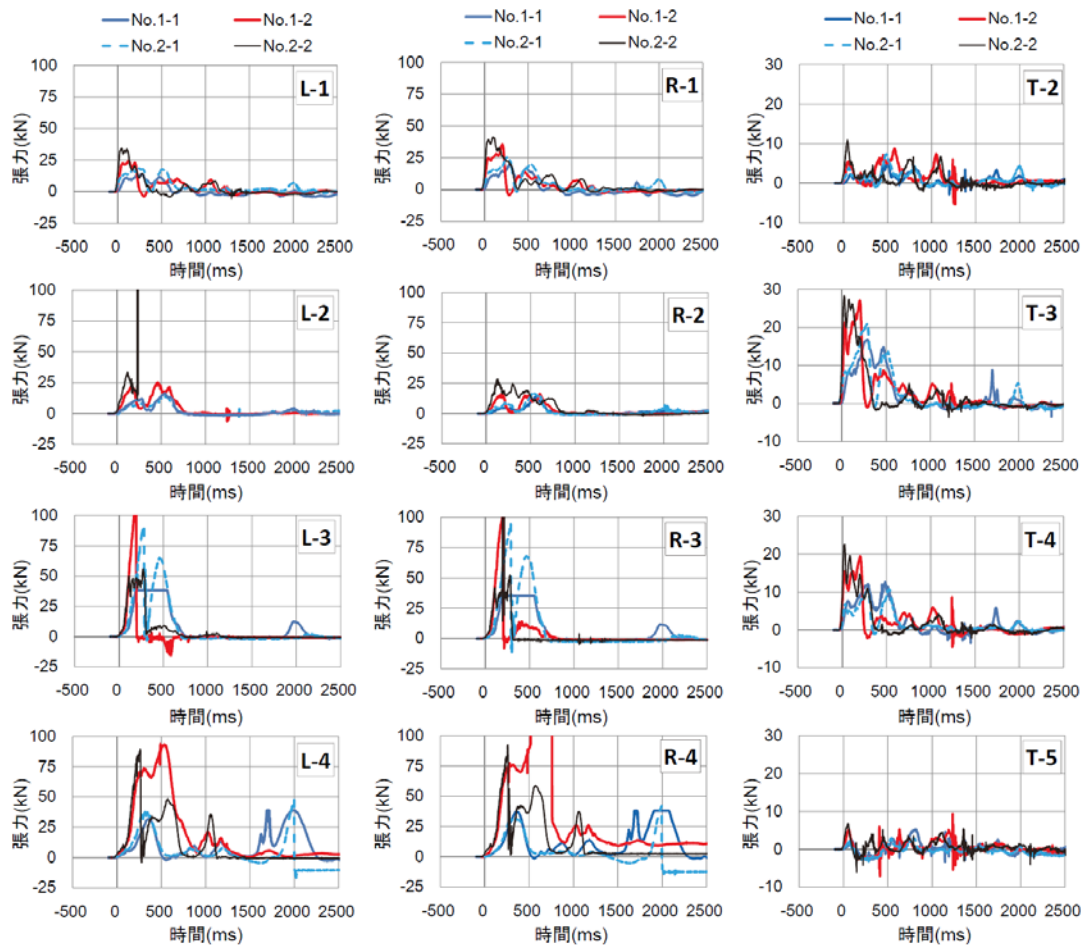
表-3 に静載荷実験ケースの一覧を、写真-3 に実験状況を示す。実験は 500 kN 引張試験機にて供試体を引張り、ワイヤーロープ・巻付グリップの破断あるいは巻付グリップが滑り出す際の最大荷重を確認した。計測項



写真-1 実規模実験状況



写真-2 重錘・巻付グリップ・アンカー破断状況



(a) 横ロープ左端

(b) 横ロープ右端

(c) 吊りロープ

図-2 ワイヤロープ張力の時刻歴波形

付グリップが滑り出す際の最大荷重を確認した。計測項目は引張荷重と変位、実験前後の供試体寸法である。なお、計測変位にはワイヤロープ自体伸び、端部(シンブル)の変形、巻付グリップの抜けだし量が含まれる。

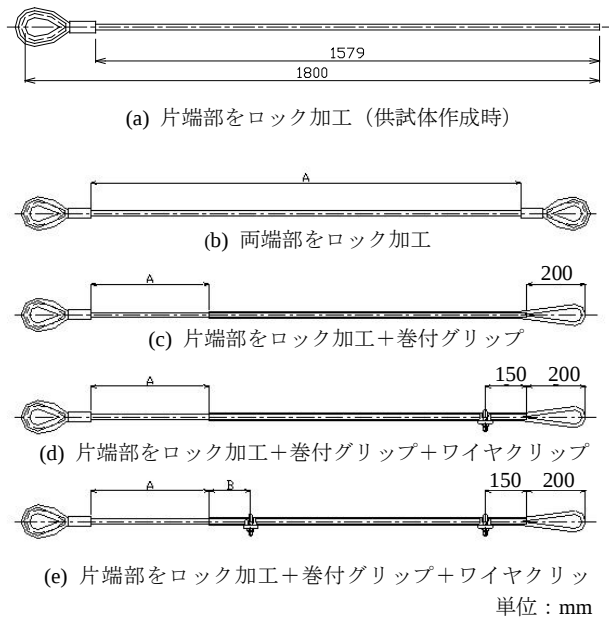
3.3 部材実験結果

表-3 に、各実験ケースの最大荷重と実験終了時の状況を、図-3 に荷重-変位関係を示す。

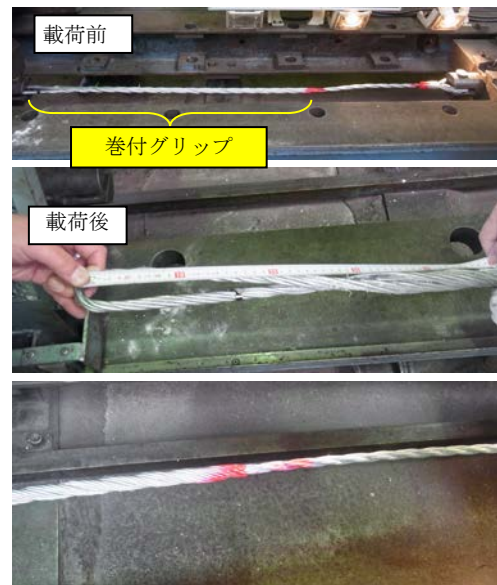
両端をロック加工した場合、実験ケース a-1 が最大荷重 191 kN、変位約 115 mm で、b-1 が同じく 199 kN、約 100 mm でワイヤロープの破断に至っており、両者

はほぼ同様な荷重-変位関係を示している。

一方、巻付グリップを用いた場合、a、b 供試体で挙動が大きく異なっている。a 供試体では、ワイヤクリップ無しおよび 1 個の場合、それぞれ最大荷重 181 kN、185 kN (変位約 120 mm) に達した後、巻付グリップの引抜きが生じている。ワイヤクリップ 2 個の場合は、最大荷重 193 kN、最大変位約 140 mm でワイヤロープの破断に至っている。これに対し、b 供試体では、ワイヤクリップの有無に係わらず、最大荷重約 185 kN、最大変位 110~120 mm で巻付グリップの破断に至っている。



図－3 部材実験供試体

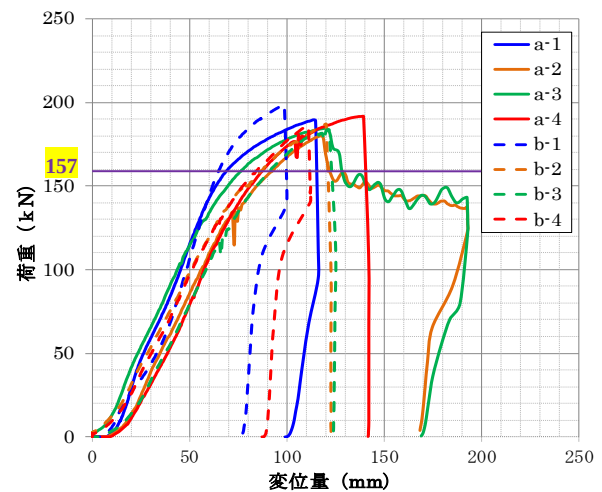


写真－3 部材実験状況

表－3 部材実験ケースおよび結果の概要

ケース名	形状(端部処理)			最大荷重(kN)	破壊状況
	片端	他端	クリップ		
a-1	L	L	－	191	WR 破断
a-2	L	G	0	181	G 引き抜け
a-3	L	G	1	185	G 引き抜け
a-4	L	G	2	193	WR 破断
b-1	L	L	－	199	WR 破断
b-2	L	G	0	188	G 破断
b-3	L	G	1	185	G 破断
b-4	L	G	2	187	G 破断

L: ロック加工, G: 巻付グリップ, WR: ワイヤロープ



図－3 荷重-変位関係

静載荷実験の結果、巻付グリップを用いた場合の静的耐力は、ワイヤロープの破断荷重を若干下回るもの、前述の従来型ポケット式落石防護網におけるワイヤロープの設計破断荷重である 157 kN を満足していることが確認できた。また、本実験条件では、ワイヤクリップを併用した場合、巻付グリップの種類によっては引抜け挙動を抑えることが可能であるが、必ずしも静的耐力の向上効果はあまり期待できないことがわかった。

なお、a、b 供試体の挙動の相違は、巻付グリップの長さやワイヤロープとの接合面である巻付グリップ内面の粗さの違いによるものと考えられる。

4. まとめ

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) 落下高さ 6 m の条件において横ロープの設計張力と同程度以上の張力が作用するケースがあること、このことよりロープ端部の定着箇所に大きな損傷が生じることを確認した。

- 2) 一方、縦ロープの設計張力と実験結果は、ほぼ等しい張力となっている。
- 3) 横ロープ張力は重錘衝突点より下方で大きく、重錘の着地の状態によっては最下段でも大きくなる。
- 4) 防護網の応答は重錘衝突点近傍の金網の局所的な塑性変形だけでなく、全体的な変形や揺動も伴う。
- 5) 巻付グリップを用いた場合の静的耐力は、ワイヤロープの破断荷重を若干下回る。
- 6) ワイヤクリップによる静的耐力の向上効果は必ずしも確認できなかった。
- 7) また、巻付グリップの材料特性によって、荷重-変位関係が大きく異なる。

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
- 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