# ②-5 規模の大きな落石に対応する斜面対策工の性能照査技術に関する研究

研究予算:運営費交付金(一般勘定)

研究機関:平23~平27

担当チーム:寒地基礎技術研究グループ(寒地構造)

研究担当者:西弘明、今野久志、山口 悟、角間 恒

【要旨】

本研究は、大規模土砂災害等に対する対策技術の構築に係る研究として、近年、採用事例が増加している高エ ネルギー吸収型の落石防護工に求められる機能を明確化するとともに、性能照査技術を確立することを目的に実 施している。

部材・要素レベルの性能照査技術の開発に関しては、従来型の落石防護工等のワイヤーロープ端部処理として 一般的に採用されている巻付グリップに対し、静載荷実験及び衝撃載荷実験を実施し、その耐荷性状について検 討を行った。また、構造全体系の性能照査技術・安全余裕度照査技術の開発に関しては、従来型のポケット式落 石防護網に対し、エネルギー吸収機構等を詳細に検討するための実規模重錘衝突実験を実施し、耐衝撃挙動につ いて検討を行った。

キーワード: 落石防護工、高エネルギー吸収型、性能照査技術、衝撃載荷実験、エネルギー吸収機構

## 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防護工が数多く建設され ている。近年、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工(落石防護網や落石防 護柵等)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。しかしながら、それら の性能評価については統一的な指標がなく、従来型 との性能比較も曖昧で安全余裕度等も不明確である。 このような背景のもと、本プロジェクト研究では従 来型落石防護工も含めて、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。

落石防護工の一つであるポケット式落石防護網は、 吊りロープや支柱、金網、ワイヤーロープ等の部材 を組み合わせた構造であり、規模の比較的小さい落 石に対して適用されている。ポケット式落石防護網 は落石荷重の作用時において、金網やワイヤーロー 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造部材の 挙動を正確に把握することが重要である。

本研究では、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 規模の重錘衝突実験とその三次元挙動計測を実施した。また、従来型の落石防護工等のワイヤーロープ 端部処理として一般的に採用されている巻付グリッ プについて、その耐荷性状を検討するための静的載 荷実験及び衝撃載荷実験を実施した。

#### 2. 部材レベルの性能照査技術の開発に関する検討

### 2.1 実験概要

# 2.1.1 供試体

図-2.1 には本実験で用いた供試体の形状と寸法 を示す。



(a) 片端部をロック加工(供試体作成時)



図-2.1 供試体形状と寸法図

名称	供試体形状	最大荷重(kN)	実験終了状況
a−1	両端部をロック加工	191	ワイヤーロープ破断
a−2	片端部をロック加工+巻付グリップ	181	巻付グリップ引抜け
a−3	片端部をロック加工+巻付グリップ+ワイヤクリップ 1個	185	巻付グリップ引抜け
a−4	片端部をロック加工+巻付グリップ+ワイヤクリップ 2個	193	ワイヤーロープ破断
b−1	両端部をロック加工	199	ワイヤーロープ破断
b−2	片端部をロック加工+巻付グリップ	188	巻付グリップ破断
b−3	片端部をロック加工+巻付グリップ+ワイヤクリップ 1個	185	巻付グリップ破断
b-4	片端部をロック加エ+巻付グリップ+ワイヤクリップ 2個	187	巻付グリップ破断

表-2.1 静載荷実験ケース一覧



写真-2.1 静載荷実験状況(ワイヤクリップなし)

供試体は加工長約2.00 mとし、ワイヤーロープ(3×7 G/O φ18mm)の一方の端部をシンブル入りロック(圧縮)加工とし、他端にφ18 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、巻付グリップの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・mとして管理した。また、ワイヤーロープの破断荷重や衝撃実験時の想定荷重算出のため、両端をロック加工した供試体についても併せて実験を実施した。

## 2.1.2 静載荷実験

表-2.1 に静載荷実験ケースの一覧を、写真-2.1 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。

計測項目は引張荷重と変位、実験前後の供試体寸



### 写真-2.2 衝擊載荷実験状況

法である。なお、計測変位にはワイヤーロープ自体 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。

# 2. 1. 3 衝撃載荷実験

表-2.2 に実験ケースの一覧を、写真-2.2 に衝撃 載荷実験状況を示す。実験は門型フレームの横梁中 央部に衝撃荷重計を介し、供試体の巻付グリップ側 端部を吊下げ設置し、ロック加工側端部に \$ 26 mm の連結ロープ(3.50 m)を連結し、重錘をクレーン により所定の高さより自由落下させることにより実 施した。衝撃実験には質量 15.2 kN の重錘を用いた。 衝撃実験における計測項目は衝撃荷重計によるワイ ヤー張力、高速度カメラによる挙動計測である。

ここで、巻付グリップ供試体における重錘落下高 さは、両端部をロック加工した供試体の実験を先行 し、入力エネルギーと衝撃荷重の概略の関係を求め 設定している。

					2		
名称	重錘 質量 (kN)	落下高さ (m)	入力 エネルギー (kJ)	供試体形状	最大荷重(kN) (両端ロック加工)	最大荷重 (kN)	実験終了状況
a−0.5−1		0.50	7.5	片端部をロック加工+巻付グリップ+ワイヤクリップ 1個	162.1	131	巻付グリップ引抜け有
a-0.5-2		0.50	7.5	片端部をロック加工+巻付グリップ+ワイヤクリップ 2個	162.1	144	巻付グリップ引抜け有
a-0.75-2		0.75	11.4	片端部をロック加工+巻付グリップ+ワイヤクリップ 2個	171.9	166	巻付グリップ引抜け有
a-0.75-2		0.75	11.4	片端部をロック加工+巻付グリップ+ワイヤクリップ 2個	171.9	168	巻付グリップ引抜け有
a−1.0−1	15.2	1.00	15.2	片端部をロック加工+巻付グリップ+ワイヤクリップ 1個	181.5	123	巻付グリップ引抜け重錘地上に落下
a−1.0−2		1.00	15.2	片端部をロック加工+巻付グリップ+ワイヤクリップ 2個	181.5	168	巻付グリップ引抜け重錘地上に落下
b-0.5-0		0.50	7.5	片端部をロック加工+巻付グリップ	162.1	150	引抜け、破断なし
b-0.75-0		0.75	11.4	片端部をロック加エ+巻付グリップ	171.9	169	巻付グリップ少し引抜け有
b−1.0−2		1.00	15.2	片端部をロック加工+巻付グリップ+ワイヤクリップ 2個	181.5	180	巻付グリップ引抜け重錘地上に落下

表-2.2 衝撃載荷実験ケース一覧



# 2.2 実験結果及び考察

# 2. 2. 1 静載荷実験

表-2.1 に、各実験ケースの最大荷重と実験終了時の状況を、図-2.2 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 でワイヤー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 でワイヤー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。

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、ワイヤーロープの破断荷重を若干下回 るもの、後述する従来型ポケット式落石防護網にお



図-2.3 衝撃載荷実験の入力エネルギーと最大荷 重の関係

けるワイヤー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、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、写真-2.3 に 示すよう巻付グリップの長さとワイヤーロープとの 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。

### 2. 2. 2 衝撃載荷実験

表-2.2 に、各実験ケースの最大荷重と実験終了時の状況を、図-2.3 に最大荷重-入力エネルギー関係を、写真-2.4 に、実験ケース a-0.5-1 における衝撃

載荷実験後の巻付グリップの引抜け状況を示す。な お、表-2.2には、両端をロック加工した場合の実験 結果から得られた最大荷重を併記している。表に示 すように実験時ワイヤーロープの破断が確認されな かったことより、動的(衝撃的)耐力は、182 kN 以 上であるものと推察される。

表より、巻付グリップを用いた場合には、実験ケース b-0.5-0 を除き、巻付グリップの引き抜けが生じており、最大荷重は両端ロック加工した場合と比較して小さな値となっていることがわかる。また、実験ケース a-1.0-1, a-1.0-2 では、両者とも巻付グリップが完全に抜出しているが、ワイヤクリップを2個にすることによって、最大荷重は 123 kN から 168 kN に大きく増加していることがわかる。

衝撃載荷実験の結果、巻付グリップを用いた場合 には静的耐力より低い荷重においても引抜けが生じ やすいこと、また、引き抜けが生じると緩衝装置を 設置した場合のように、作用荷重が小さくなる傾向 にあることがわかった。

# 3.構造全体系の性能照査技術の開発に関する検討 3.1 実験概要

# 3. 1. 1 供試体

図-3.1 に実験供試体の正面図及び側面図を、表-3.1 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、落石対策便覧(以後、便覧)<sup>1)</sup>における設計法を 参考に、落石の衝突前後のエネルギー差 *E*<sub>L</sub> を考慮 し決定した。

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。従来型における金網としては、一般にひし 形金網  $\phi$  3.2~5.0 × 50 × 50 mm が用いられている ようであるが、本実験では  $\phi$  5.0 mm のものを選定 している。なお、金網は幅 3.3 m のものを重ね代 0.3 m でラップさせて設置している。

吊りロープ及び縦・横ロープには φ18 mm を、 アンカーボルトには D 32 (M30) × 1000 を用いてい る。なお、縦ロープの間隔は 1.5 m、横ロープの間 隔は 5.0 m を基本に考えたが、重錘衝突の設定位置 と重錘滑落装置の高さの関係から、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 φ 4.0 mm の結合コイルを縦(横) ロープには 5 (3) m に 8 (4) 個を使用している。横 ロープの端部処理には、一般に採用されている巻付 グリップを用いているが、巻付グリップの引き抜け を防止するためワイヤクリップを併用した。また、 巻付グリップとアンカーボルトの連結には、ターン バックル及び取付け金具を使用している。

# 3.1.2 実験方法

実験は図-3.1 に示すように、実験施設内の傾斜角 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-3.1 に実験状況を 示す。

便覧における設計上の落石の作用位置は、上端横 ロープと2段目の横ロープの中央、縦ロープ方向に ついては支柱間隔中央とされている。しかしながら、 本実験においては、重錘滑落装置との位置関係から 前述のように2段目と3段目横ロープの中央位置に 重錘を衝突させている。

重錘の質量は 1.0 ton、形状は幅 80 cm×高さ 75 cm×長さ 95 cm であり、衝突部が球面形状となって いる(写真-3.2)。

本実験における測定項目は、ローブ端部のターン 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、 高速度カメラによる金網の二次元及び三次元変位等 である。実験時のロープ張力等の応答波形は、サン プリングタイム 0.1 ms でデータレコーダにて一括 収録を行っている。

表-3.2 に実験ケースの一覧を示す。落下条件は落 石持込みエネルギー  $E_W$ 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 を基準として設定したものである。なお、重錘衝突 により金網およびワイヤーロープの一部には塑性変 形が生じることになるが、金網の交換を行ったのは 実験ケース No.1-3 の終了後のみであり、No.1- と No.2- では、それぞれ同一の金網を使用している。

### 3.1.3 挙動計測方法

本実験では、金網の挙動を詳細に把握するため、2 台の高速度カメラ(A、B)を用いた三次元挙動計 と、重錘による入力エネルギーや最大変位量を確認 するため1台の高速度カメラ(C)で側面からの二 次元挙動計測を行った。三次元計測に用いたカメラ A、Bは、実験条件を踏まえて冬期の屋外で使用で きること、撮影距離が20m以上で1ms程度の分



図-3.1 ポケット式落石防護網供試体の正面図及び側面図

	(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: Ew	150.10	W = 1 t, H = 17 m, $\theta = 45^{\circ}$ , $\mu = 0.1$		-
吸収可能エネルギー: E <sub>T</sub>	151.26	$E_N + E_R + E_P + E_{ER} + E_L$		$E_T > E_W$
・菱形金網: <i>E<sub>N</sub></i>	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	$18\phi3\times7G/O$ , $L{=}27m$	設計破断荷重:157.0 [190] kN	<u>1.88 &lt; 2.0</u>
・支柱(ピン構造): <i>E</i> <sub>P</sub>	0.00	$H100 \times 100 \times 6 \times 8$ , L=3.5m		-
<ul> <li>・吊りロープ: E<sub>ER</sub></li> </ul>	0.71	$18 \phi 3 \times 7 \text{ G} / \text{O}, \text{ L} = 8 \text{ m}$	設計破断荷重:157.0 [190] kN	4.68>3.0
・縦ロープ	-	$18 \phi 3 \times 7 \text{ G} / \text{O}, \text{ L} = 10 \text{ m}$	設計破断荷重:157.0 [190] kN	5.25>2.0
・エネルギー差: E <sub>L</sub>	74.28	-		-
横ロープ端部アンカー		D32 (M30) × 1000	設計せん断耐力:111.0 kN	1.33>1.0

表-3.1 供試体の設計条件

表-3.2 実験ケースと損傷状況の概要

ケース 名	H(m)	<i>E<sub>wd</sub></i> (kJ) (設計 <sup>※</sup> )	E <sub>We</sub> (kJ) (計測 <sup>※※</sup> )	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	金網新材
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	金網再利用
				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	
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,取付金具撤去
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	金網新材(交換)
				の破断・横ロープの緩み	
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



写真-3.1 実験状況

解能を有することなどを条件に選定した。カメラ A、 B は時刻歴変位を一致させるため同一有効画素数 1,024×1,024 とし、フレームレート 250 コマ/ 秒 (1/250 sec) にて収録している。一方、二次元計測に おいては、有効画素数 640×480、フレームレート 400 コマ/ 秒 (1/400 sec) にて収録している。全て の撮影は、解析精度向上のためにモノクロとした。 なお、三次元計測用高速度カメラとデータレコーダ との同期に関しては、カメラから出力される 5V の マーカーをデジタルデータレコーダにて収録するこ とによって対応した。

図-1に示すように、高速度カメラ撮影用のター ゲットマーカーとして、白色の EPS (発泡スチロール) 製球体 (φ200 mm) を金網上の縦横ロープの交点を 中心に 72 点 (図中●印) 設置している。



写真-3.2 アンカー破断状況

### 3.2 実験結果及び考察

# 3. 2. 1 損傷状況等の概要

表-3.2 に損傷状況の概要を、写真-3.2 に実験後の横ワイヤー端部及びアンカー破断部の状況を、また、表-3.3 に全実験ケースにおけるワイヤーロープの最大張力の一覧を示す。

本実験で使用したワイヤーロープ ¢18 mm のミ ルシートによる破断荷重は 190 kN、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、横ロープに想定以上の張力が作用したこと によって、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と考えられる。

なお、各ケースにおいて、特に下段横ロープ端部 の巻付グリップには緩み(抜け出し)が確認されて いるが、巻付グリップの動的耐荷性状については別 途検討を行っている。

### 3. 2. 2 ワイヤーロープ張力

図-3.2 に、実験ケース(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 は横ロープ右端、T-2~5 は 吊りロープの張力である。ここで、表-3に下線で 示している、実験ケース No.1-1のL/R-3、4、No.2-1 のR-4は40kN程度でレンジオーバーのため頭打 ちとなっている。吊りロープの応答波形には一部に 高周波成分が確認できるが、全データについてフィ ルター処理等は行っていない。なお、No.2-1 は No.1-1 と同一の落石持込エネルギーの実験ケース であるが、両者はほぼ類似の波形性状となっており、 比較的再現性の高い実験を実施できたと考える。

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 L/R-3/4 の張力が上方 L/R-1/2 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

### ②-5 規模の大きな落石に対応する斜面対策工の性能照査技術に関する研究



表-3.3	ワイヤーロープの最大張力一覧
-------	----------------

ケース	横ロープ張力(kN)				吊りロープ張力(kN)					
(落下高さ)	L-1/R-1	L-2/R-2	L-3/R-3	L-4/R-4	T-1	T-2	T-3/L-5	T-4/R-5	T-5	T-6
No.1-1	14.2	14.2	<u>38.3</u>	<u>39.1</u>	6.1	5.3	16.9	12.7	5.3	18.8
(H= 6m)	20.0	14.1	<u>35.3</u>	<u>38.1</u>			16.8	12.3		
No.1-2	24.5	25.2	111.2	94.0	13.7	8.8	27.1	19.6	9.4	16.4
(H=12m)	35.6	16.6	101.3	—			27.7	20.3		
No.1-3	17.7	14.5	—	51.5	7.3	6.8	23.0	19.9	4.8	11.8
(H= 6m)	26.3	7.6	83.8	46.7			23.3	20.9		
No.2-1	18.4	16.3	92.6	48.0	6.7	7.4	20.9	10.7	3.0	11.6
(H= 6m)	25.5	17.1	96.6	42.2			20.8	10.6		
No.2-2	34.4	_	56.1	89.8	14.2	10.9	28.3	22.6	6.8	29.3
(H=18m)	41.3	28.3	_	92.7			28.3	22.9		

※赤字は部材破断箇所,下線はレンジオーバー,一は異常値により評価から除外



図-3.3 二次元举動計測例

図-3.4 三次元挙動計測例



図-3.5 三次元変位分布解析例

心として左右で概ね対象な応答波形となっており、 重錘衝突点の近傍の T-3/4 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が、特に落石持込エネルギー が大きくなるとより急激な立ち上がりとなっている。 一方、横ロープ張力は L/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.1-1/2-1 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。No.2-1 ではこの二つ目のピーク時点で R-4 箇所において部材が破断している。また、L/R-3 や T-3/4 で顕著であるが、一つ目のピークでは急激な 張力の増加後、急激な低下と急激な増加が生じてい るが、これはワイヤーロープ端部の振れに伴う張力 変化が計測されたことによるものと考えられる。



表-3.4 最大変位量

ケース名	Н	二次元計測に	三次元計測に
	(m)	よる最大変位	よる最大変位
		量(m)	量(m)
No.1-1	6.0	2.05	1.86
No.1-2	12.0	2.94	2.77
No.1-3	6.0	2.44	2.30
No.2-1	6.0	2.00	現在解析中
No.2-2	18.0	3.26	現在解析中

実験ケース No.1-2 においては、金網の最大変位 発生前後で、重錘が3段目の横ロープ位置に達する 前に L-3 位置で部材の破断が発生している。これに 対応して L/R-3 の応答波形は 200 ms 経過時点で ピークに達した後、ほぼ零レベルまで急激に低下し ている。その後、500 ms 経過時点で L/R-4の張力 がピークに達している。

実験ケース No.2-2 では、R-3 箇所でアンカーの引き抜けが生じているが、これに対応して L/R-3 において約 300 ms 経過時点で張力の低下が生じている。

L/R-4 の張力は、L/R-3 よりも若干早くピークを迎え、 一度零レベルまで低下した後、約 600 ms 経過時点 で 50 kN、1、100 ms 経過時点で 40 kN 程度に達し ている。

本実験で用いた横ロープの設計張力は約 83 kN であり、落下高さ6mの条件においても、重錘の衝 突状況によっては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できた。一方、縦 ロープの設計増加張力は約 30 kN であるのに対し、 設計上とほぼ落石持ち込みエネルギーの等しい実験 ケース No.2-2 の T-3 で約 30 kN となっており、ほぼ 等しい張力となっていることがわかった。

# 3. 2. 3 部材の三次元挙動

写真-3.3 に実験ケース No.1-1 における高速度カ メラC による左側面からの二次元挙動計測例、図-3.4 に三次元挙動計測例、図-3.5 に三次元挙動によ る金網の変位分布、図-3.6 に時刻歴変位波形(図-3.4 中のF4 点のY方向)の解析例を示す。

各実験ケースとも、挙動計測によって重錘の金網 への衝突から地盤面に落下していくまでの様子を把 握できており、最大変位は衝突より概ね0.5 sec 程度 で、3 段目の横ロープ位置において発生しているこ となどが画像からも確認できている。

表-3.4 には、金網の重錘衝突位置(横方向の中心 線)の二次元計測と三次元計測による最大変位量を 示している。なお、二次元計測では側面から見た最 大変位量を示しているのに対して、三次元計測では、 ターゲットマーカー位置での最大変位量を示してい ることから、両者は一致していない。

今回、従来から用いられている二次元的な最大変位 量計測に加えて、斜め2方向からの高速度カメラを 用いた三次元挙動計測により、ポケット式落石防護 網のように荷重作用時において部材に大変形を伴う ような構造物の金網全体系の変位分布や着目点の時 刻歴波形を得ることをできることが確認できた。こ れらのデータを活用することにより、落石防護網の 耐衝撃挙動やエネルギー吸収機構等の詳細な検討を 行うことが可能になるものと考えられる。

### 4. まとめ

本研究では、従来型の落石防護工等のワイヤー ロープ端部処理として一般的に採用されている巻付 グリップに対し、静載荷実験及び衝撃載荷実験を実 施し、その耐荷性状について検討を行った。また、 従来型のポケット式落石防護網に対し、エネルギー 吸収機構等を詳細に検討するための実規模重錘衝突 実験を実施し、耐衝撃挙動について検討を行った。 本研究の範囲内で得られた成果をまとめると以下の とおりである。

ワイヤーロープ端部処理(巻付グリップ)の耐荷 性状に関して、

- 巻付グリップを用いた場合の静的耐力は、ワイ ヤーロープの破断荷重を若干下回るもの、従来 型ポケット式落石防護網におけるワイヤー ロープの設計破断荷重 (157 kN) を満足してい る。
- 2) 巻付グリップを用いた場合には、動的(衝撃的) 作用に対して、静的耐力より低い荷重において も引抜けが生じやすい。

また、引抜けが生じると緩衝装置を設置した場合のように、作用荷重が小さくなる傾向にある。
 従来型のポケット式落石防護網の耐衝撃挙動に関して、

- 落下高さ6m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。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。
- 横ロープ張力は重錘衝突点より下方で大きく、 重錘の地盤面への着地の状態によっては最下 段でも大きくなる。
- 金網の変形は設計で想定しているような局所 的なものではなく、全体的な応答となっている。
- 4) 落石防護網のように大変形を伴う三次元動的 挙動の把握には、斜め2方向からの高速度カメ ラ計測手法が有効である。

# 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

# A STUDY ON PERFORMANCE VERIFICATION TECHNOLOGY FOR SLOPE STABILIZATION TO REDUCE THE RISK OF LARGE ROCKS FALLING

Budget: Grants for operating expense General account Research Period: FY2011 – 2015 Research Team: Cold-Region Construction Engineering Group (Structures) Author: NISHI Hiroaki KONNO Hisashi YAMAGUCHI Satoru KAKUKA ko

**Abstract**: As a part of studies for establishing measures against large-scale landslide disasters, this study aims at elucidating the functions required of rock-fall protection structures with high-energy-absorption capacities, which have been increasingly adopted in recent year, and at establishing a technique to verify the performance of such structures.

In relation to developing techniques for verifying the performance of members and components, static loading and impact loading tests were done to examine the load-carrying capacity of the spiral wire grips that are generally used at the end of wire ropes for conventional rock-fall protection works. In relation to developing techniques for verifying the performance of the structure as a whole and for verifying the margin of safety, full-scale falling weight impact tests on the conventional pocket-type rock-fall protection nets were done to closely examine the energy absorption mechanism and the behaviors of the nets against impact.

**Keywords**: Rock-fall protection structures, high-energy-absorption structures, technique for verifying performance, impact loading test, energy absorbing mechanism