

# 落石防護ネット現地公開実験報告

## 1. まえがき

ポケット式落石防護ネットに対する実験は、過去に東京製綱株式会社が幅 3m、高さ 3m の防護ネットを用いた重錘衝突実験を行っているが、実物大規模の防護ネットを用いた実験は 5 月 27 日の第 1 回公開実験が最初であり、今回の実験が 2 回目である。模型実験や数値解析等では得ることができない貴重なデータを得ることができたので第 1 報として発表する。なお、加速度や高速度ビデオカメラ等の計測データの分析については現在作業中である。

## 2. 実験の概要

### (1) 実験日時

平成 20 年 10 月 10 日 13 時 30 分より

### (2) 実験場所

高知県南国市岡豊町小蓮（高知大学医学部の東隣にある田中工業株式会社の資材置き場）

### (3) 実験目的

第 1 回公開実験(5 月 27 日)では、通常の落石防護ネットで使用されている菱形金網(50×50 φ 4.0mm , JIS G 3532)を用い、それに重さ 0.7 トンと 1.0 トンの重錘を 17.3m/s の速度で衝突させた。この結果、通常の落石防護ネットを使用したロングスパンで受け止められる落石エネルギーは、 $150 (=1/2 \times 1.0 \times 17.3^2)$  キロジュールが限界と思われた。

今回の実験は、通常の菱形金網より素線強度が約 2.2 倍強い金網と約 3.3 倍強い金網を使用することで、それぞれ 300 キロジュールと 500 キロジュールのエネルギーに耐えられるかどうか確認することを目的に行った。

### (4) 実験の方法

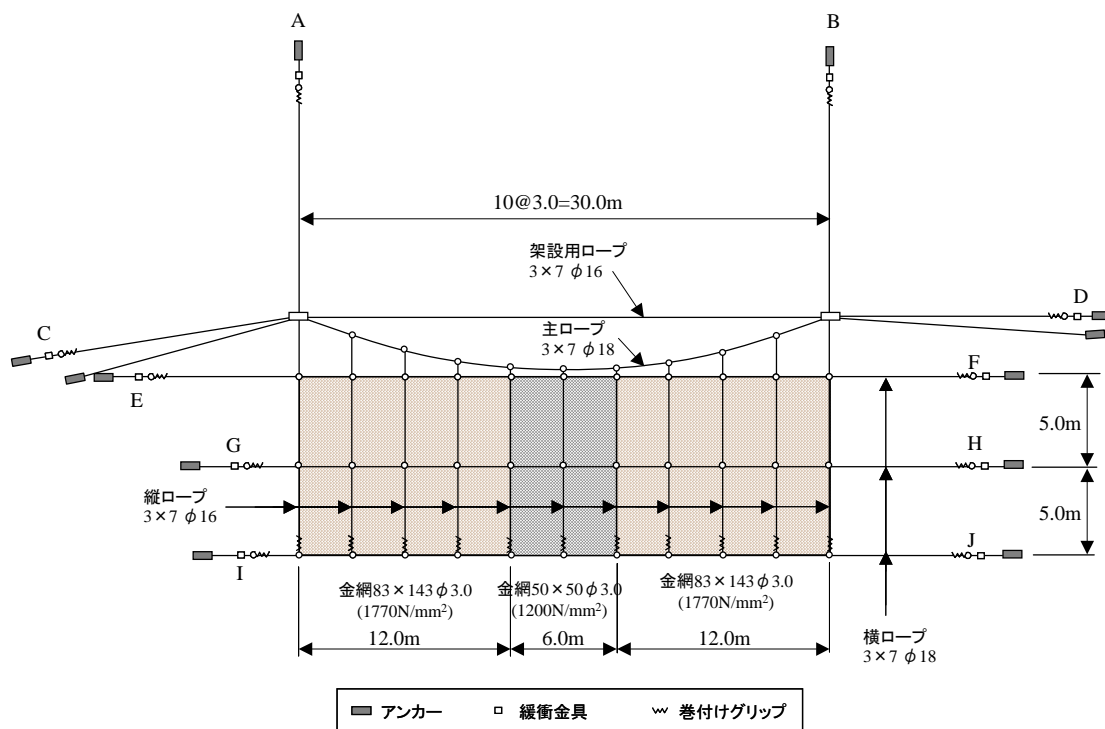


図 1 実験に用いたロングスパンの寸法

実験は、落差 20m、斜角 45° のモノレールの上を、重さ 2 トンと 3.5 トンの 2 種類の重錘を滑落させてネットに衝突させる予定であったが、実験ができたのは 2 トンの重錘を落下させる実験のみであった。

実験を行ったロングスパンの形状寸法を図 1 に示す。スパンは 30m、高さは 10m である。

中央の 6m 区間には素線強度  $1200\text{N}/\text{mm}^2$  の菱形金網を、その両サイドには素線強度  $1770\text{N}/\text{mm}^2$  の菱形金網を張っている。

重錘はコンクリート製で、下面には車輪が付いている。重錘の衝突速度は  $18.5\text{m}/\text{s}$ 、エネルギーは  $340 (=1/2 \times 2.0 \times 18.5^2)$  キロジュールであった。



写真1 第2回公開実験に用いたロングスパン



写真2 車輪が付いた重さ 2 トンのコンクリート製の重錘



写真3 ロングスパンの変形

### (5) 実験結果

ロングスパンによって重錘の飛び出しを阻止することはできたものの、写真3に示すようにネットは予想をはるかに超えて大きく変形した。

重錘が衝突した位置で、菱形金網の鉄線が一部破断して、写真4に見られるように直径10cm～15cm程度の穴があいた。

右側の支柱の下端からは、土煙が立ち上がって、支柱が斜面にめり込んだ。



写真4 金網の破損



写真5 支柱の支持岩盤の破壊

### 3. ワイヤロープに作用した張力とすべり量

ワイヤロープに作用した張力の時刻歴を図 2(a), 図 2(b)に示す。

重錘衝撃力がネットに作用したのは、時刻 0.9 秒から 1.5 秒までの約 0.6 秒間である。G と H のワイヤロープは、時刻 1.25 秒の時点で張力が 0 になっている。横ロープが外れたためである。

ワイヤロープに作用した最大張力とエネルギー吸収金具の滑り量を図 3 に示す。エネルギー吸収金具は、最大張力が 50kN になると滑り出すように取り付けしたが、張力は-10kN~92kN の間でばらついたものとなっている。しかし、ワイヤロープの降伏荷重である 117kN は超えていない。

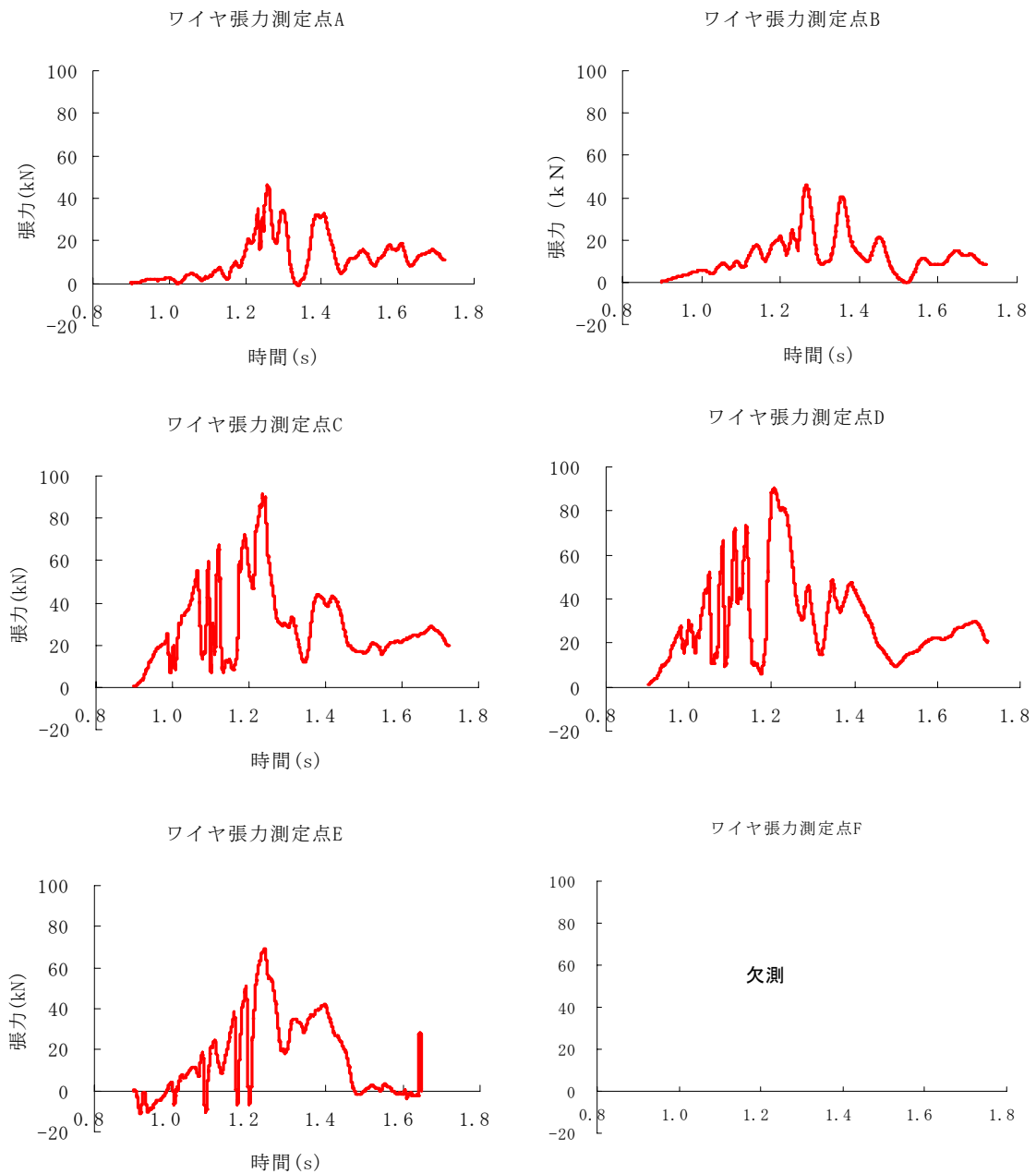


図 2(a) ワイヤロープ張力の時刻歴

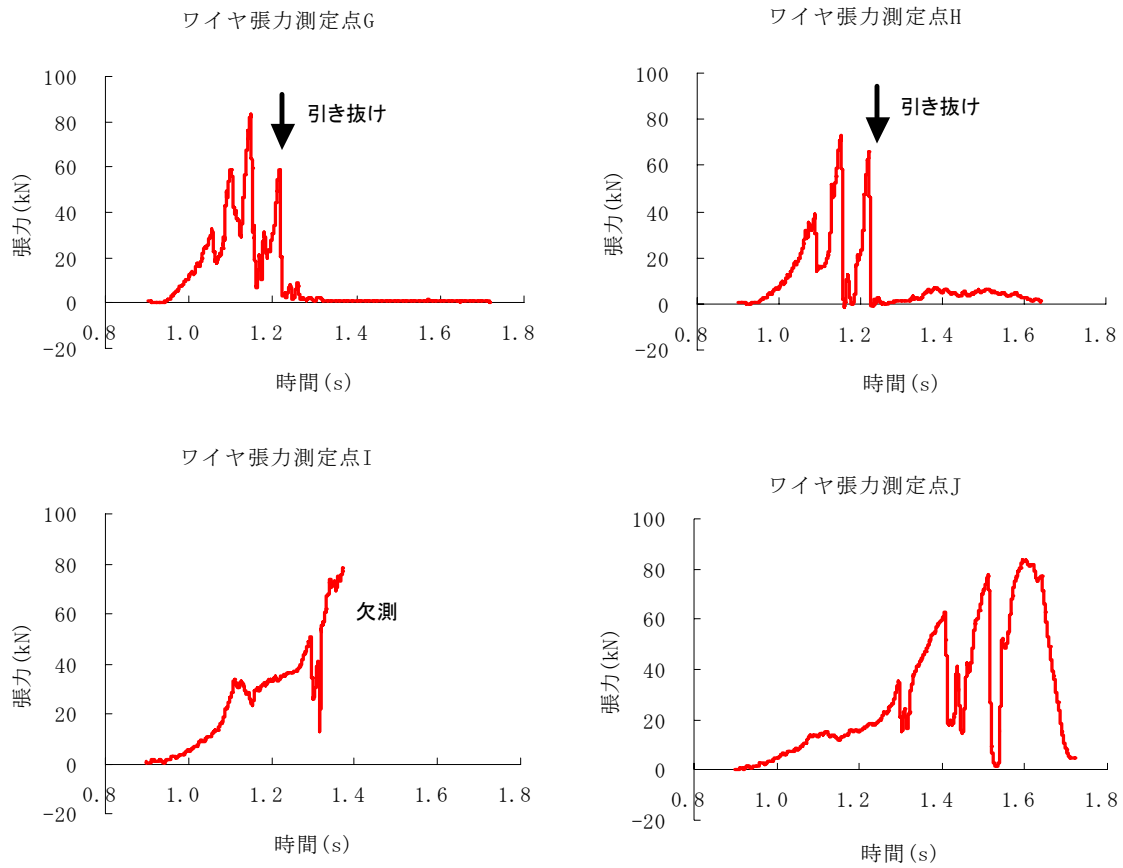


図 2(b) ワイヤロープ張力の時刻歴

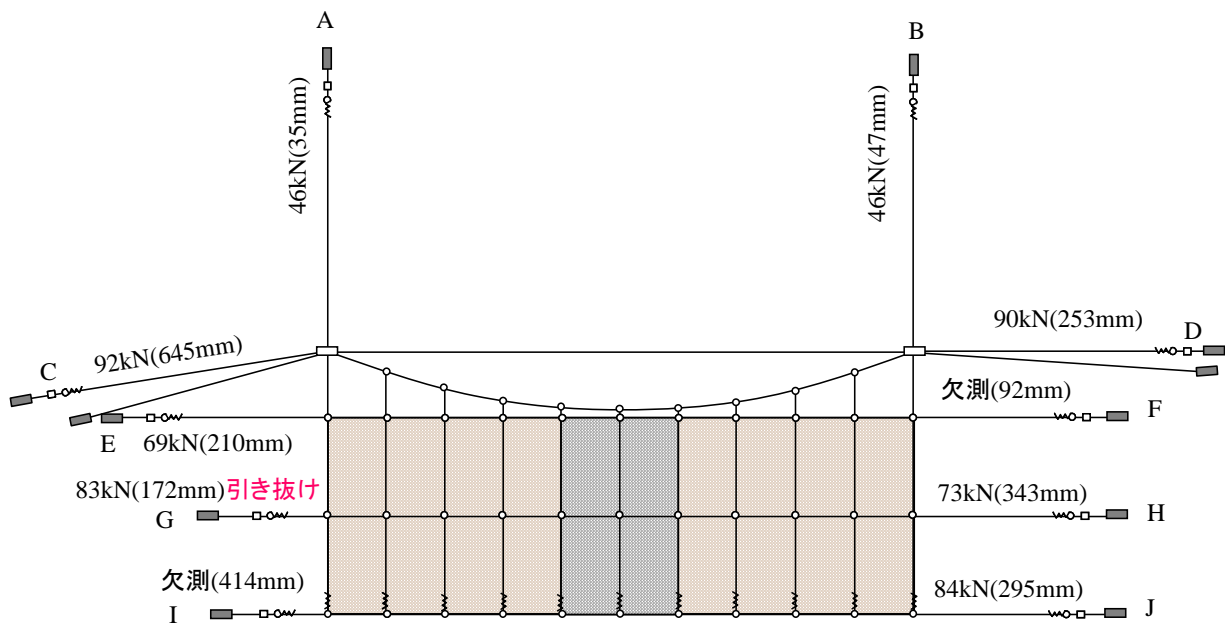


図 3 ワイヤロープに作用した最大張力とエネルギー吸収金具の滑り量

#### 4. ロングスパンが予想以上に変形した原因

ロングスパンが予想以上に大きく変形した原因は、「巻き付けグリップの引き抜け」であった。

エネルギー吸収金具に適合するワイヤーロープは、真円に近い  $7 \times 19$  である。今回の実験では経費を節約するために、在庫があった  $3 \times 7 \phi 18$  のワイヤーロープを主ロープあるいは横ロープとして使用するために、 $7 \times 19 \phi 18$  と  $3 \times 7 \phi 18$  の2種類のワイヤーロープを写真6および図4のように「巻き付けグリップ」を使用して連結していた。

引き抜けたのは、2段目の横ロープの左側(G)の位置である。引き抜けた様子を写真7に示す。

5月27日に行った第1回目の公開実験では、主ロープや横ロープとして  $7 \times 19 \phi 18$  のワイヤーロープを使用していたため、巻き付けグリップを使用する必要がなかった(写真8参照)。



写真6  $7 \times 19 \phi 18$  と  $3 \times 7 \phi 18$  の2種類のワイヤーロープの連結

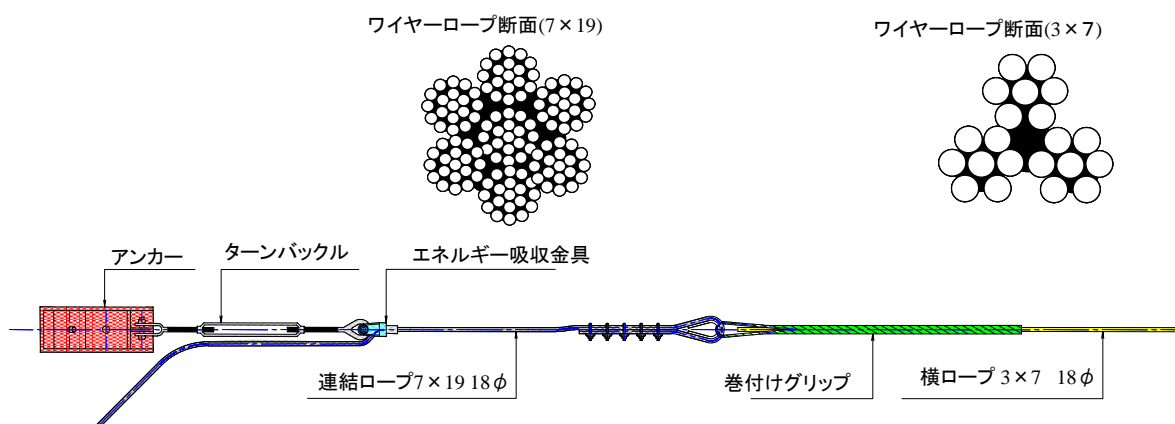


図7  $7 \times 19 \phi 18$  と  $3 \times 7 \phi 18$  の2種類のワイヤーロープの連結

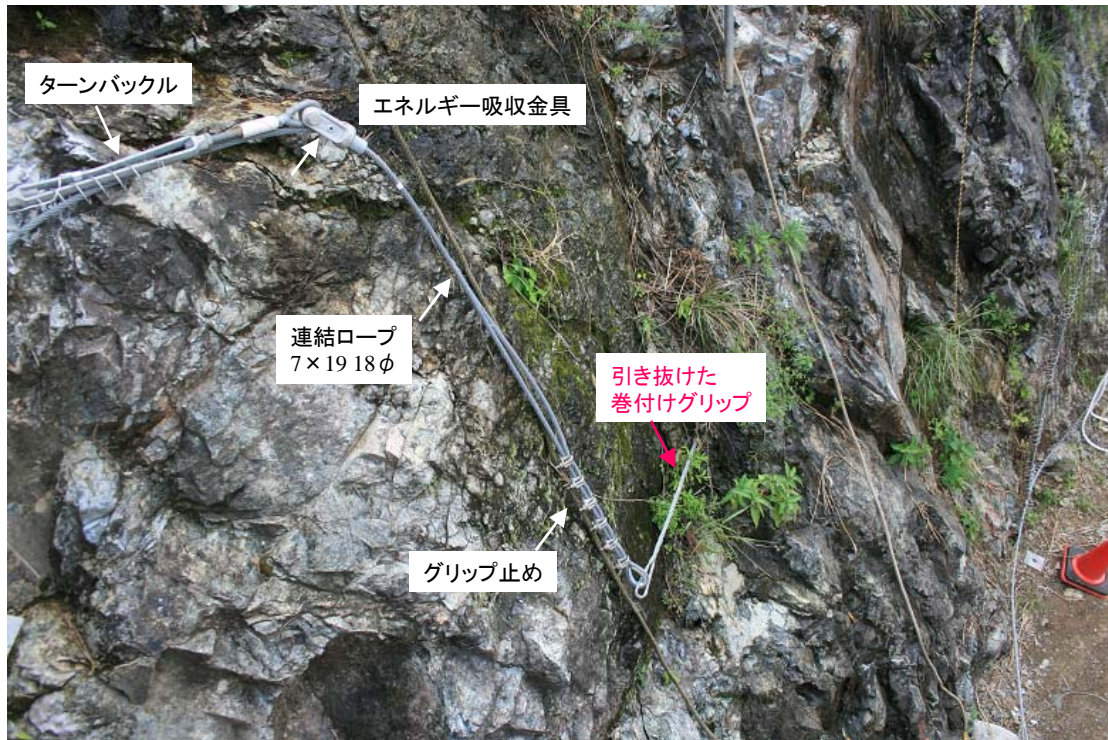


写真7 引き抜けた巻付けグリッ

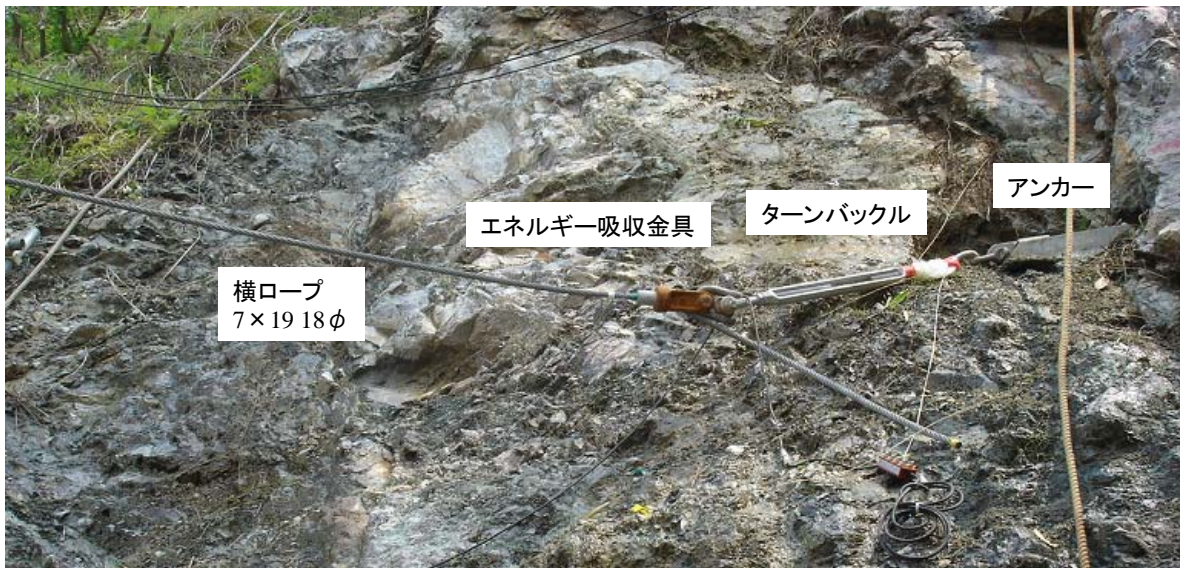


写真8 第1回目の公開実験の際に用いた横ロープの構造(巻付けグリッなし)

## 5. 巻き付けグリッが抜けた原因

ワイヤーロープの端末の止め方として、最も一般的で確実なのは「グリッ止め」であるが、落石防護ネットの施工では一般的に「巻付けグリッ」が採用されている。施工性に優れているためである。

巻き付けグリッとは、写真9に示すような工場加工された製品である。写真10に示すように人力で簡単にワイヤーロープに巻き付けることができる。メーカーのカタログには、「ワイヤーロープの破断荷重と同等の保持力があります。また、グリッの取付けが簡単で、作業条件に

よる影響が少ないため安定した強度が得られます」と書かれているが、実験データは公表されていない。衝撃力に対しては弱いという説もある。

3×7φ18のワイヤーロープの破断荷重は157kNである。ところが、引き抜けた横ロープに作用した最大張力は83kNであり、破断荷重の約1/2であった。

バックステーには94kN、最下段の横ロープには84kNと2段目の横ロープよりも大きな張力が作用しているが、巻付けグリップは引き抜けを生じていない。

今後、落石防護ネットに巻付けグリップを使用するのであれば、衝撃荷重に対する耐荷力を明らかにする必要がある。

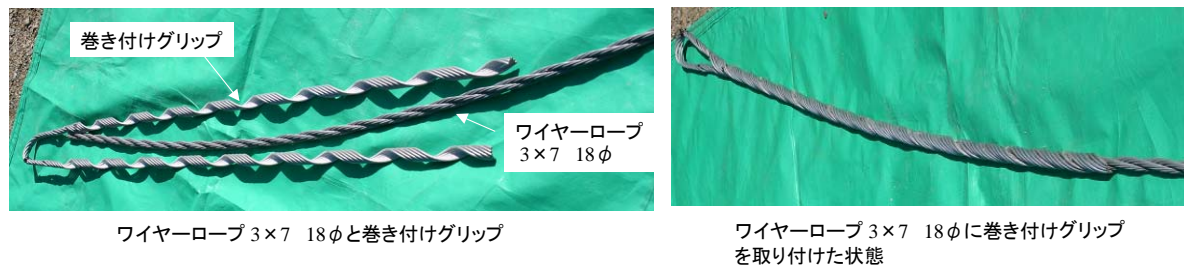


写真9 ワイヤーロープと巻付けグリップ



写真10 ワイヤーロープに巻付けグリップを取り付ける様子

## 6. 金網が破損した原因

ネットに重錘が衝突したときの様子を写真11に示す。重錘は時計回りに回転をしながらネットに沿って落下している。重錘の下面には、車輪が取り付けられているので、落下時に車輪が金網に引っ掛かり、破損させたものと思われる。



写真11 ネットに衝突した重錘が回転運動をする様子



## 7. 支柱が沈下した原因

右側の支柱が約 0.5m 沈下した。原因は支持力不足であった。重錘によって金網は 45 度斜め下方へ引っ張られる。これによって、写真 12 に示すように支柱下端にも斜め方向の大きな力  $P$  が作用する。

右側支柱が建てられていた斜面の地質は、風化した蛇紋岩であったので、荷重の作用によってすべり破壊を生じた。



写真 12 右側支柱の沈下



写真 12 支柱の支持岩盤の破壊

## 8. サグが大きくなった原因

主ロープのサグが、図8に示すように実験後に1.48m下がった。この原因は、バックステーの末端に取り付けたエネルギー吸収金具のすべりである。

支間  $l$  とサグ  $f$  と主ロープの長さ  $L$  の関係は次式で表される。

$$L = l \left\{ 1 + \frac{8}{3} \left( \frac{f}{l} \right)^2 \right\}$$

実験前の主ロープの長さは

$$L = 30.0 \times \left\{ 1 + \frac{8}{3} \times \left( \frac{3.0}{30.0} \right)^2 \right\} = 30.8 \text{ m}$$

実験後の主ロープの長さは

$$L = 29.7 \times \left\{ 1 + \frac{8}{3} \times \left( \frac{4.48}{29.7} \right)^2 \right\} = 31.5 \text{ m}$$

実験後には実験前に比べて主ロープが  $31.5 - 30.8 = 0.7\text{m}$  伸びている。

エネルギー吸収金具のすべり量は、左側が0.645m、右側が0.253m、合計0.898mである。主ロープが0.7m伸び、左右のバックステーが0.1m程度づつ伸びたものと考えられる。

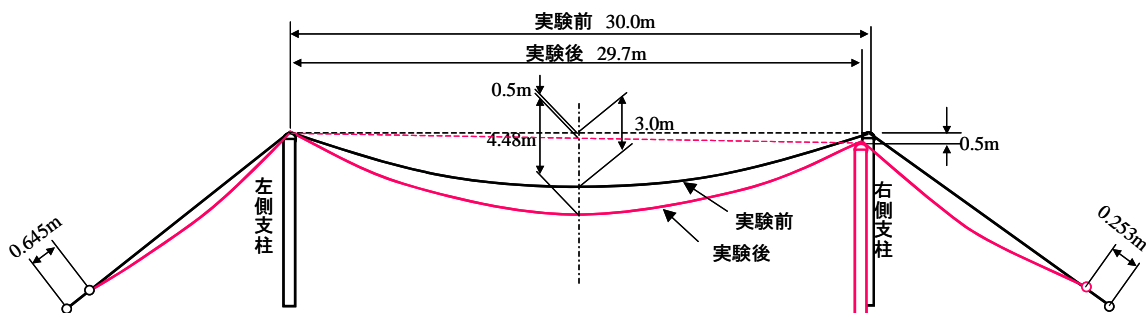


図8 ロープの変形によるサグの増加

## 9. ネット裾部からの転げ出し

重錘が防護ネットに衝突すると、ネットが変形して大きく前方へ孕み出す。その際に、ネットの下端が持ち上がり、地山との隙間から重錘が転げ出した。この現象は、前回の実験でも確認されたことであった。

## 10. 今後の課題

### (1) ワイヤロープの末端の止め方

ワイヤロープの末端の止め方として、巻付けグリップは使用しない。原則として「グリップ止め」によるものとする。

## **(2) 支柱の支持力に対する検討**

落石が防護ネットに衝突すると、落石の運動方向に大きな力が発生する。支柱の支持地盤が弱いと、斜面上の基礎と同じせん断破壊を発生する。基礎に対する検討が必要である。

## **(3) 水平変位に対する検討**

防護ネットを変形させて落石のエネルギーを吸収させる手法は、経済的にみても合理的であるが、現場によっては安全性確保の観点から変形を抑制させることが必要な場合もある。その場合には、横ロープを密に配置するなどによって全体の剛性を高めることを考えなければならない。

## **(4) ネット裾部からの落石の転げ出し対策**

裾のまくれ上がりによる落石の転げ出しの対策として、ネットを山側に折り曲げて落石を受け取る袋をつくる、ストンガードと併用するなどの対策を講じる必要がある。

以上の課題を踏まえ、できるだけ早い時期に第3回目の公開実験を実施する予定である。