

## 12. 落石防止柵について

小樽開発建設部 堀 米 昇

### 1. ま え が き

道路の法面保護にはいままでも各種の工法が行われてきた。すなわち玉石粗築法覆工、石張工、セメント注入、セメントガン、芝の種子吹き付けなどがあるが、岩盤地帯で破碎帯の多い法面や法面に転石が多数露出している場合、法面安定工法は非常に困難で特に寒冷地においては融雪凍上があるのでますます至難である。そこで消極的ではあるが、道路面に落ちてくるのを防ぐ工法としてガードレールやガートロープの形式のものや図12-1に示すようなラーメン形式のもの、可縮V-形鋼使用のものなどが考えられるが、これらの工法を力学的に解析することは未知数が多すぎて困難であるため、今回はガードロープ式のものを一様に配置した場合について設計に必要な実験式でも求め得たらと考へ、昨年5月岩内町雷電道路で、実験を行なった。その結果を中間報告にまとめたものについて述べる。

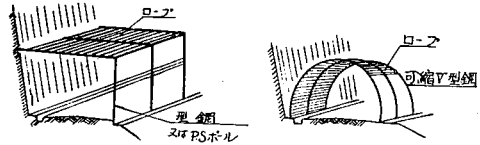


図12-1

### 2. 実験について

#### (1) ガードロープの型式および設置位置

図12-2に示すとおり5種類で、I、II型についてワイヤーロープは、 $\phi 18$ mmのストランドロープ(3 $\times$ 7 $\phi$ )

区 間 型 名

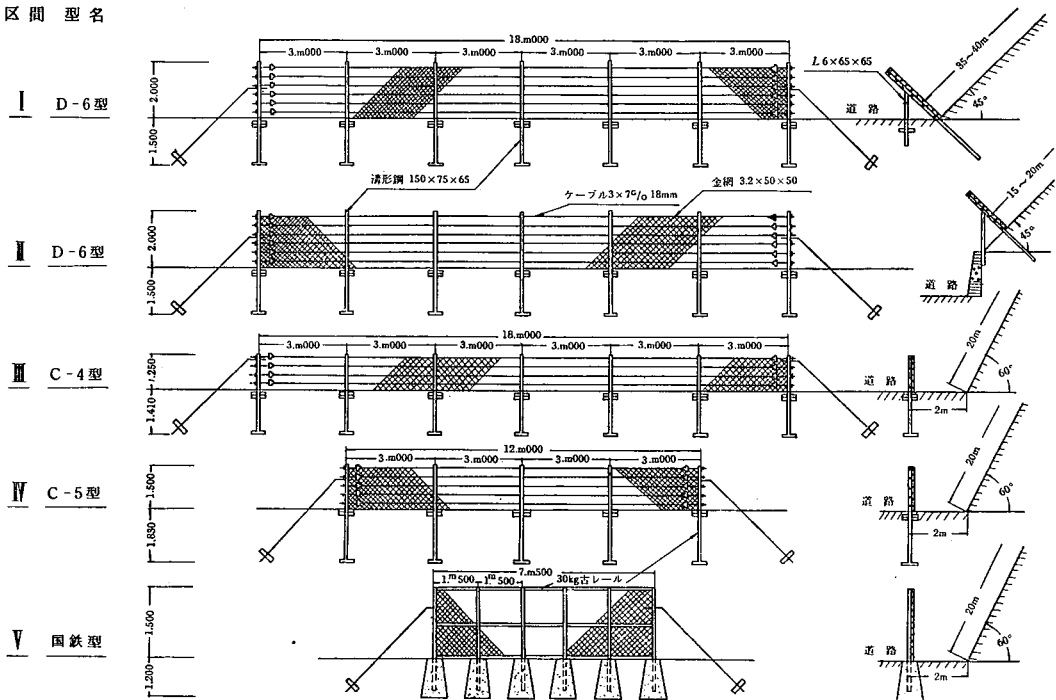


図12-2 落石防止柵略図



で、長さ18mで、500kgの張力をかけ、両端末支柱で固定し、中間支柱は、半固定式で多少スライドするようになっている。支柱は3m間隔でI-150×75×4.5を使用し、ステイには、L<sub>s</sub>65×65×6を鉛直に取り付けてある。高さ2m、地中埋設長さは1.5mで、コンクリート基礎とし、柵には、金網(3.2×50×50)をはる。なお詳細は図12-3に示す。III形はロープ4本とし、地上高さ1.25mとした。IV、V形は国鉄型のを参考までにとり入れた。設置については図12-2のようにI形は、斜面に垂直に路肩に、II形は石積上に斜面に垂直に、III、IV、V形は路肩に鉛直に設けた。

## (2) 測定装置

### (a) ワイヤロープの増加張力

端末支柱近くにあるタンバクル付近に、テンションバーを6本のロープに結合して、衝突時に発生する張力を、オッシログラフにより測定し、かつ減衰状況をも、とれるようにした。

### (b) 支柱応力

溝形鋼の両側面にゲージをつけて、ワイヤストレンゲージで曲げ捩れに対する応力を測定する。また、支柱の変位を計る装置をもした。

### (c) 落石

付近の転石を集めて落下させる場合と、岩石発破による落石を計画した。

### (d) 斜面

斜面長、落差、傾斜角、斜面粗度について、あらかじめ調査した。II区間を図12-4に示す。

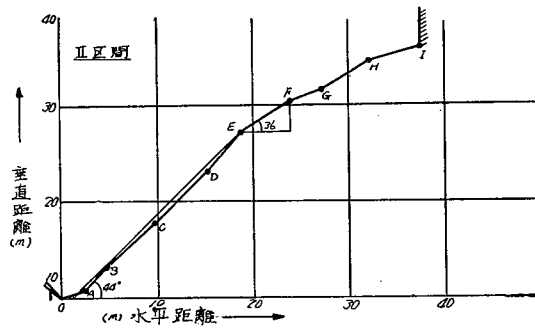


図12-4

## (3) 実施

### (a) 落石速度

秒時計により、落石の到達時間を測定して落石速度を、次式により算出した。

$$h = \frac{1}{2} g' t^2 \text{ より } g' = \frac{2h}{t^2}$$

$$V = \sqrt{2g'h}$$

### (b) 速度効率

$$k = \sqrt{\frac{g'}{g}} \quad \text{ただし } g=980 \text{ cm/sec}^2$$

### (c) 落石衝突時のロープの増加張力および支柱応力、変位

本実験の中核をなす測定であるが、実測されたデータがまちまちで、支柱応力とロープ張力とが不合理なもの、落石によりゲージが切断されたり、電源に発動発電機を使用したため、電圧が一定しなかったため、測定器が作動しなかったり、発破による危険などで、合理的なデータは僅少であった。今後なお実験を行ない、合理的

なデータを発表する考えである。

### 3. ロープおよび支柱に作用する張力の算出式について

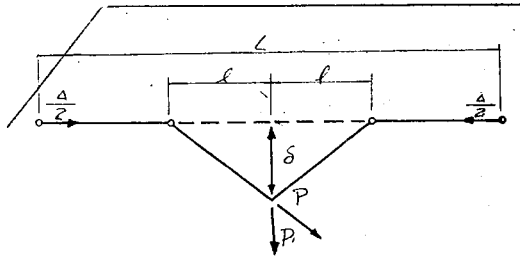


図 12-5

#### (1) ロープの張力 $P$

ロープの伸びを  $e$  とすれば

$$e = \frac{P \cdot L}{E \cdot A}$$

また、図 12-5 より

$$e = 2 \left( \sqrt{l^2 + \delta^2} - l \right) \div \frac{2\delta^2}{2l} = \frac{\delta^2}{l}$$

$$4 + \frac{P \cdot L}{E \cdot A} = \frac{\delta^2}{l} \quad (1)$$

ロープの反力を  $P'$  とすれば

$$P' \cdot \delta = \frac{m}{2} \left( k \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \right)^2 \quad (2)$$

しかるに  $P' = P \frac{\delta}{l}$  であるから

$$\therefore \frac{\delta^2}{l} P = m \cdot g \cdot h \cdot k^2 \quad (3)$$

(1), (3) 式より  $\delta$  を消去すれば

$$4 \cdot P + \frac{P^2 \cdot L}{E \cdot A} = m \cdot g \cdot h \cdot k^2$$

$$P^2 + \frac{E \cdot A \cdot \delta}{L} P - \frac{m \cdot g \cdot h \cdot E \cdot A \cdot k^2}{L} = 0$$

$$\therefore P = \frac{1}{2} \left[ -\frac{E \cdot A \cdot \delta}{L} \pm \sqrt{\left( \frac{E \cdot A \cdot \delta}{L} \right)^2 + \frac{4 \cdot m \cdot g \cdot h \cdot E \cdot A \cdot k^2}{L}} \right]$$

よって  $P$  は

$$P = \frac{1}{2} \left[ \sqrt{\left( \frac{E \cdot A \cdot \delta}{L} \right)^2 + \frac{4 \cdot m \cdot g \cdot h \cdot E \cdot A \cdot k^2}{L}} - \frac{E \cdot A \cdot \delta}{L} \right] \quad (4)$$

#### (2) ロープ張力により作用する支柱外力

(1) 式に  $\frac{l}{l^2}$  をかければ

$$\frac{\delta^2}{l^2} = \frac{4 \cdot l}{l^2} + \frac{P \cdot L \cdot l}{E \cdot A \cdot l^2}$$

$$\therefore \frac{\delta}{l} = \sqrt{\frac{A}{l} + \frac{P \cdot L}{E \cdot A \cdot l}}$$

$$\therefore T = P \frac{\delta}{l} = P \sqrt{\frac{A}{l} + \frac{P \cdot L}{E \cdot A \cdot l}} \quad (5)$$

ただし  $L$  = ロープの長さ  $E$  = ロープのヤング率  
 $mg = W$  = 落石重量  $h$  = 落差  
 $k = \text{速度効果} = \sqrt{\frac{g}{g}}$   $A$  = ロープ断面積  
 $\Delta$  = 端末支柱の許容変位量  $2l$  = 支柱間隔

上述の(4)(5)式に第II区間で実験した、実測値を入れて計算すると、ロープ張力  $P$ 、および支柱外力  $T$  は以下のようなになる。

(4)式より

(i) 落石重量 400 kg の場合

$P = 22.9 \text{ t}$  一本当たり  $3.68 \text{ t} < 11.4 \text{ t}$  (保証破断力) で安全

(ii) 落石重量 1,500 kg の場合

$P = 49.08 \text{ t}$  一本当たり  $8.18 \text{ t} < 11.4 \text{ t}$  で安全

(iii) (5)式より落石重量 600 kg の場合  $T = 9.063 \text{ t}$  となり  $I - 150 \times 75 \times 6.5$  では引張り応力  $1,123 \text{ kg/cm}^2 < 1,300 \text{ kg/cm}^2$  で安全。

落石重量 1,500 kg では引張応力  $2,600 \text{ kg/cm}^2 > 1,300 \text{ kg/cm}^2$  となり降伏することになる。以上の計算値と実験とは、ほぼ一致した結果となる。

#### 4. 結 論

今回の実験では、前に述べたように、合理的なデータは得られなかったが、落差 14 m の第二区間で、岩石発破による、落石が衝突したさい、最大岩石重量 1.5 t、柵延長 18 m にわたり、総重量 10 t の落石を喰い止めて防止柵としての使命を果たしたものと考えられるが、今後改良すべき点をあげれば以下のようなものである。

(1) 支柱に薄形鋼を使用しているが、曲げの他に捩れを生ずる状況から判断して、矩形断面か円形断面とすること。

(2) 支柱のステイ

ステイは、支柱に直角に取付けることと、 $L_s - 65 \times 65 \times 6$  の断面は、大きくする必要がある。

(3) 端末支柱のステイ

端末支柱のステイとして  $\phi 32 \text{ mm}$  の、鋼棒を使用しているが、ガートケーブルの端末支柱の構造とする。

以上から判断しても、今回の実験に使用した防止柵はロープの破断力に比して、支柱関係が弱かったことが立証された。ただし第1回の実験のみでは、到底満足する結果も得られないので、今後実験を繰返えして算出式を検討し、現場とよく合致する実験式を誘導して設計の資料といたす所存である。

最後に、今回の実験に御指導いただいた、東大久保助教授、土木試験所、東京製鋼 K.K. に深く感謝する次第である。