

落石対策工の設計計算  
-ポケット式落石防護網-

出力例

# 目次

1章 設計条件	1
1.1 基本条件	1
1.2 形状寸法	1
1.3 部材条件	2
1.4 基準値	2
1.4.1 設計用設定値	2
1.4.2 ワイヤロープ	2
1.4.3 金網	3
1.4.4 支柱	3
2章 照査結果一覧	4
2.1 可能吸収エネルギー	4
2.2 部材	4
3章 安全性の照査	5
3.1 落石の運動エネルギー	5
3.2 部材の検討	5
3.2.1 金網の設計	5
3.2.2 ワイヤロープの設計	6
3.2.3 支柱および吊ロープの設計	7
3.3 可能吸収エネルギーの照査	8
3.3.1 金網の吸収エネルギー	8
3.3.2 横ロープの吸収エネルギー	8
3.3.3 支柱の吸収エネルギー	9
3.3.4 吊ロープの吸収エネルギー	9
3.3.5 衝突の前後におけるエネルギー差	9
3.3.6 可能吸収エネルギーの照査	9

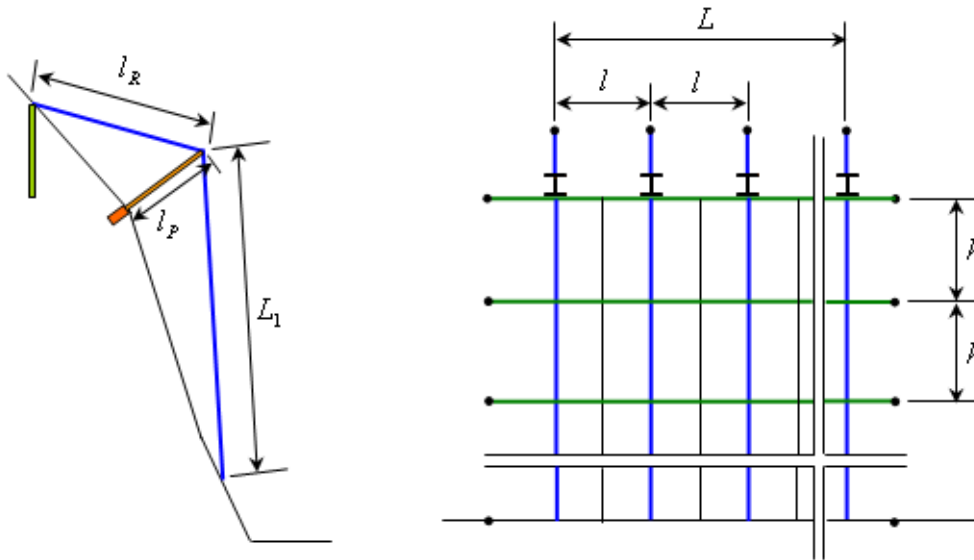
# 1章 設計条件

## 1.1 基本条件

対策工の形式 : 『ポケット式落石防護網』  
 落石の運動エネルギー : 簡易式により算出

落石の重量	W	kN	2.000
落石の直径	D	m	0.528
落石の単位体積重量	$\gamma_s$	kN/m <sup>3</sup>	26.000
重力加速度	g	m/sec <sup>2</sup>	9.806
落石発生源から斜面衝突位置までの落差	H	m	15.320
落石発生源から斜面衝突位置までの平均斜面勾配	$\theta$	度	50.00
等価摩擦係数	$\mu$		0.350
対策工の設置角度	$\theta_0$	度	85.00

## 1.2 形状寸法



横ロープ長	L	m	40.000
横ロープ間隔	h	m	5.000
縦ロープ長	$L_1$	m	10.000
吊ロープ長	$l_R$	m	8.000
支柱高さ	$l_P$	m	2.500
支柱の間隔	l	m	3.000

### 1.3 部材条件

#### (1) ワイヤロープ

部材名称	3×7G/0 14.0φ		
弾性係数	E	N/mm <sup>2</sup>	100000
断面積	A	cm <sup>2</sup>	0.78
降伏張力	Ty	kN	73.6
破断荷重	Tb	kN	98.1

#### (2) 金網

部材名称	φ3.2×50×50		
許容強度	Pa	kN/m	17.0
平均重量	Wn	N/m <sup>2</sup>	37.000

#### (3) 支柱

部材名称	H100×100×6×8		
材質	SS400		
降伏応力度	$\sigma_y$	N/mm <sup>2</sup>	235.0
弾性係数	E'	N/mm <sup>2</sup>	200000
断面積	A'	cm <sup>2</sup>	21.59
断面二次モーメント	Ix	cm <sup>4</sup>	378
断面二次半径	iy	cm	2.49
支柱の単位質量	ms	kg/m	16.9
支柱基礎	ヒンジ		

### 1.4 基準値

#### 1.4.1 設計用設定値

	安全率
横ロープ	2.00
縦ロープ	2.00
吊ロープ	3.00

落石の接触幅係数	C		1.500
金網の変形係数	K		0.250
ワイヤロープの初期緊張力	T <sub>0</sub>	kN	5.000
防護網重量として有効とする支柱スパン数	n		4

#### 1.4.2 ワイヤロープ

No	部 材 名 称	断面積 A (cm <sup>2</sup> )	降伏張力 Ty (kN)	破断荷重 Tb (kN)
1	3×7G/0 18.0φ	1.29	118.0	157.0
2	3×7G/0 16.0φ	1.01	88.5	118.0
3	3×7G/0 14.0φ	0.78	73.6	98.1

No	部 材 名 称	断面積 A (cm <sup>2</sup> )	降伏張力 Ty (kN)	破断荷重 Tb (kN)
4	3×7G/0 12.0φ	0.59	51.5	68.6

## 1.4.3 金網

No	部 材 名 称	素線径 d (mm)	許容張力 Pa (kN/m)
1	φ 4.0×50×50	4.0	26.5
2	φ 3.2×50×50	3.2	17.0
3	φ 2.6×50×50	2.6	11.2

## 1.4.4 支柱

No	鋼 材 名 称	H (mm)	B (mm)	tw (mm)	tf (mm)	A (cm <sup>2</sup> )	ms (kg/m)
1	H100×100×6×8	100	100	6.0	8	21.59	16.9
2	H125×125×6×9	125	125	6.5	9	30.00	23.6
3	H150×150×7×10	150	150	7.0	10	39.65	31.1

No	鋼 材 名 称	I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	Z <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	Z <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	i <sub>x</sub> (cm)	i <sub>y</sub> (cm)	i <sub>k</sub> (cm)
1	H100×100×6×8	378	134	76	27	4.18	2.49	2.75
2	H125×125×6×9	839	293	134	47	5.29	3.13	3.45
3	H150×150×7×10	1620	563	216	75	6.40	3.77	4.15

## 2章 照査結果一覧

### 2.1 可能吸収エネルギー

#### (1) 落石の運動エネルギー(kJ)

落石の運動エネルギー	$E_w$	21.477
------------	-------	--------

#### (2) 防護網の吸収エネルギー(kJ)

金網	$E_N$	15.053
横ロープ	$E_R$	2.913
支柱	$E_P$	0.000
吊ロープ	$E_{HR}$	0.072
衝突の前後におけるエネルギー差	$E_L$	14.807
合計	$E_T$	32.845

#### (3) 判定

落石の運動エネルギー	$E_w$	21.477
防護網の吸収エネルギー	$E_T$	32.845
判定		○

### 2.2 部材

#### (1) 金網

金網は許容強度を基に可能エネルギーを算出しているので問題なし。

#### (2) ワイヤロープ

使用部材	降伏張力 $T_y$ (kN)	破断強度 $T_b$ (kN)		
3×7G/0 14.0φ	73.6	98.1		
	設計張力 $T$ (kN)	安全率 $F$	照査方法	判定
横ロープ	24.352	2.00	$T < (T_b/F)$	○
縦ロープ	7.842	2.00	$T < (T_b/F)$	○
吊ロープ	8.474	—	$T < T_y$	○

#### (3) 支柱

基部に発生する応力度 $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	許容軸方向圧縮応力度 $\sigma_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査方法	判定
1.226	715.1	$\sigma < \sigma_a$	○

### 3章 安全性の照査

#### 3.1 落石の運動エネルギー

落石運動エネルギーは次式による。

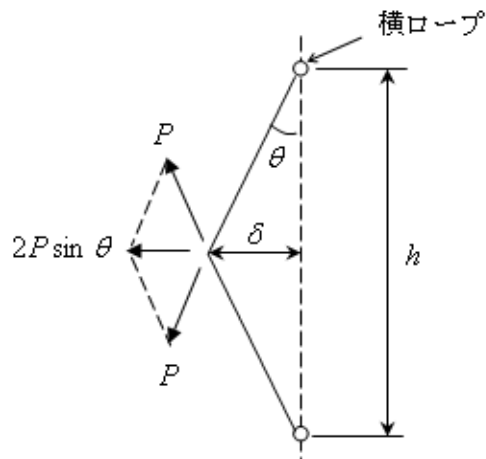
$$\begin{aligned} E_w &= \left(1 - \frac{\mu}{\tan \theta}\right) \cdot W \cdot H \cdot \sin^2 \theta_0 \\ &= \left(1 - \frac{0.350}{\tan 50.00}\right) \times 2.000 \times 15.320 \times \sin^2(85.00) \\ &= 21.477 \text{ (kJ)} \end{aligned}$$

ここに、

- $E_w$  : 落石運動エネルギー (kJ)
- $W$  : 落石の重量 (kN)
- $H$  : 落石発生源から衝突位置までの落差 (m)
- $\mu$  : 等価摩擦係数
- $\theta$  : 落石発生源から衝突位置までの平均斜面勾配 (°)
- $\theta_0$  : 対策工の設置角度 (°)

#### 3.2 部材の検討

##### 3.2.1 金網の設計



金網に生ずる引張力は次式により算出する。

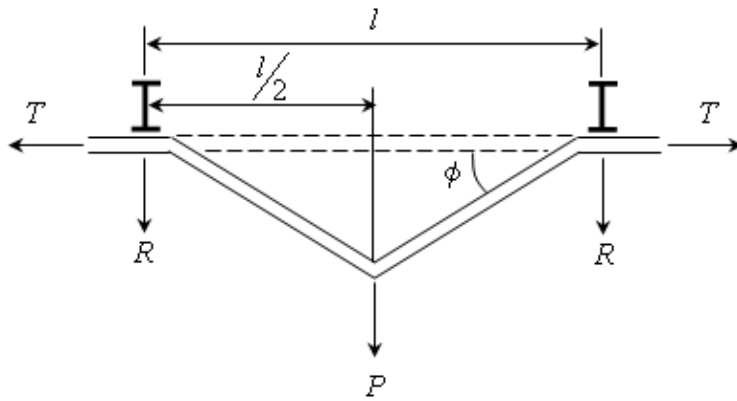
$$P = C \cdot D \cdot P_a = 1.500 \times 0.528 \times 17.0 = 13.464 \text{ (kN)}$$

ここに、

- $P$  : 金網に生ずる張力 (kN)
- $C$  : 落石の接触幅係数
- $D$  : 落石の直径 (m)
- $P_a$  : 幅1m当たりの金網強度 (kN/m)

金網は許容強度を基に設計するので、安全性については問題ない。

## 3.2.2 ワイヤロープの設計



## (1) 横ロープ張力

金網張力Pによって横ロープに発生する張力は以下の2式を解いて求める。

$$T = \frac{R}{\sin \phi} = \frac{6.732}{\sin \phi}$$

$$\cos \phi = \frac{1}{1 + \frac{TL}{(E \cdot 10^3) \cdot (A \cdot 10^{-4})}} = \frac{3.000}{3.000 + \frac{T \times 40.000}{100000 \times 0.78 \times 10^{-1}}}$$

ここに、

T : 金網張力Pにより横ロープに発生する張力 (kN)

R : 縦ロープを伝達し支柱に作用する力 (kN)

$$R = \frac{P}{2} = \frac{13.464}{2} = 6.732 \text{ (kN)}$$

P : 金網に生ずる張力 (kN)

l : 支柱間隔 (m)

L : 横ロープ長 (m)

E : ワイヤロープの弾性係数 (N/mm<sup>2</sup>)

A : ワイヤロープの断面積 (cm<sup>2</sup>)

φ : 変形前と変形後の横ロープのなす角 (°)

上記の2式を満足するTおよびφは、

$$T = 24.352 \text{ (kN)} < \frac{T_b}{F_a} = \frac{98.1}{2.00} = 49.05 \text{ (kN)} \quad \text{OK}$$

$$\phi = 16.05 \text{ (°)}$$

ここに、

T<sub>b</sub> : ワイヤロープの破断荷重 (kN)

F<sub>a</sub> : 横ロープの安全率

## (2) 縦ロープ張力

縦ロープ張力の算出は次式による。

$$T_r = R + (W_n \cdot 10^{-3}) \cdot L_1 \cdot l$$

$$= 6.732 + 37.000 \times 10^{-3} \times 10.000 \times 3.000$$

$$= 7.842 \text{ (kN)} < \left( \frac{T_b}{F_b} \right) = \frac{98.1}{2.00} = 49.05 \text{ (kN)} \quad \text{OK}$$

ここに、

T<sub>r</sub> : 縦ロープ張力 (kN)

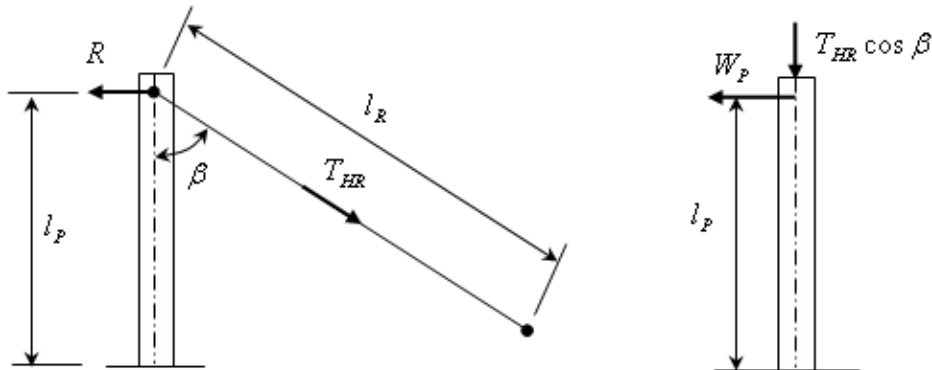
R : 縦ロープを伝達し支柱に作用する力 (kN)

W<sub>n</sub> : 金網部平均重量 (N/m<sup>2</sup>)



$L_1$  : 縦ロープ長 (m)  
 $l$  : 支柱間隔 (m)  
 $T_b$  : ワイヤロープの破断荷重 (kN)  
 $F_b$  : 縦ロープ安全率

### 3.2.3 支柱および吊ロープの設計



#### (1) 支柱の分担水平力

支柱基礎がヒンジであるので、支柱の分担水平力 $W_p=0$ とする。

#### (2) 吊ロープ張力

吊ロープの張力は次式により算出する。

$$\begin{aligned}
 T_{HR} &= T_{HR1} + T_{HR0} \\
 &= 7.087 + 1.387 \\
 &= 8.474 \text{ (kN)} < T_y = 73.6 \text{ (kN)} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

ここに、

$T_{HR}$  : 吊ロープの張力 (kN)

$T_{HR1}$  : 吊ロープの増加張力 (kN)

$$T_{HR1} = \frac{R}{\sin \beta} = \frac{6.732}{\sin 71.79} = 7.087 \text{ (kN)}$$

$T_{HR0}$  : 吊ロープ初期張力 (kN)

$$\begin{aligned}
 T_{HR0} &= \left( (W_n \cdot 10^{-3}) \cdot L_1 \cdot l + \frac{(m_s \cdot g \cdot 10^{-3}) \cdot l_p}{2} \right) \cdot \left( \frac{1}{\sin \beta} \right) \\
 &= \left( (37.000 \times 10^{-3}) \times 10.000 \times 3.000 + \frac{(16.900 \times 9.806 \times 10^{-3}) \times 2.500}{2} \right) \times \left( \frac{1}{\sin 71.79} \right) \\
 &= 1.387 \text{ (kN)}
 \end{aligned}$$

$T_b$  : ワイヤロープの破断強度 (kN)

$T_y$  : ワイヤロープの降伏張力 (kN)

$F_c$  : 吊ロープの安全率 (kN)

$E'$  : 支柱の弾性係数 (N/mm<sup>2</sup>)

$l_p$  : 支柱高さ (m)

$l$  : 支柱間隔 (m)

$m_s$  : 支柱の単位質量 (kg/m)

$g$  : 重力加速度 (m/sec<sup>2</sup>)

$\beta$  : 支柱と吊ロープのなす角度 (°)

$$\beta = \cos^{-1} \left( \frac{l_p}{l_r} \right) = \cos^{-1} \left( \frac{2.500}{8.000} \right) = 71.79 \text{ (°)}$$

$W_n$  : 金網の平均重量 (N/m<sup>2</sup>)

$L_1$  : 縦ロープ長 (m)

## (3) 支柱基部の応力度

支柱基部に発生する応力度は次式により算出する。

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{(T_{HR} \cdot 10^3) \cdot \cos \beta}{A' \cdot 10^2} \\ &= \frac{(8.474 \times 10^3) \times \cos 71.79}{21.590 \times 10^2} \\ &= 1.226 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_a = 715.117 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

ここに、

$\sigma$  : 支柱基部に発生する応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$T_{HR}$  : 吊ロープ張力 (kN)

$A'$  : 支柱の断面積 (cm<sup>2</sup>)

$\beta$  : 支柱と吊ロープのなす角度 (°)

$\sigma_a$  : 許容軸方向圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$92 < l_b/I_y = 100.402$  なので、

$$\sigma_a = \frac{12000000}{6700 + \left(\frac{l_b}{I_y}\right)^2} = \frac{12000000}{6700 + 100.402^2} = 715.117$$

$l_b$  : 部材の有効座屈長 (mm) (=  $l_p \times 10^3 = 2.500 \times 10^3 = 2500.000$ )

$I_y$  : 部材の断面二次半径 (mm) (=  $i_y \times 10 = 2.490 \times 10 = 24.900$ )

$l_p$  : 支柱高さ (m)

$i_y$  : H鋼1本当りのy軸回りの断面二次半径 (cm)

## 3.3 可能吸収エネルギーの照査

## 3.3.1 金網の吸収エネルギー

金網の吸収エネルギーは次式により算出する。

$$E_N = 2P \sin \theta \cdot \delta = 2 \times 13.464 \times \sin 26.57 \times 1.250 = 15.053 \text{ (kJ)}$$

ここに、

$E_N$  : 金網の吸収エネルギー (kJ)

$P$  : 金網に生ずる張力 (kN)

$\delta$  : 金網の変位量 (m)

$$\delta = K \cdot h = 0.250 \times 5.000 = 1.250 \text{ (m)}$$

$K$  : 金網の変形係数

$h$  : 横ロープ間隔 (m)

$\theta$  : 変形前と変形後の金網のなす角 (°)

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\delta}{h/2} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{1.250}{5.000/2} \right) = 26.57 \text{ (}^\circ\text{)}$$

## 3.3.2 横ロープの吸収エネルギー

横ロープの吸収エネルギーは次式により算出する。

$$\begin{aligned}E_R &= 2 \cdot \frac{L}{2(E \cdot 10^3) \cdot (A \cdot 10^{-4})} (T^2 - T_0^2) \\ &= 2 \times \frac{40.000}{2 \times (100000 \times 10^3) \times (0.78 \times 10^{-4})} \times (24.352^2 - 5.000^2) \\ &= 2.913 \text{ (kJ)}\end{aligned}$$

ここに、

$E_R$  : 横ロープの吸収エネルギー (kJ)

$E$  : ワイヤロープの弾性係数 (N/mm<sup>2</sup>)

$A$  : ワイヤロープの断面積 (cm<sup>2</sup>)

L : 横ロープ長(m)

T : ネット張力Pによりワイヤロープに発生する張力(kN)

T<sub>0</sub> : ワイヤロープの初期張力(kN) (= 5.000 kN)

### 3.3.3 支柱の吸収エネルギー

支柱基礎がヒンジであるので、支柱の吸収エネルギーE<sub>p</sub>=0とする。

### 3.3.4 吊ロープの吸収エネルギー

吊ロープの吸収エネルギーは次式により算出する。

$$\begin{aligned} E_{HR} &= \frac{l_R}{(E \cdot 10^3) \cdot (A \cdot 10^{-4})} (T_{HR}^2 - T_{HR0}^2) \\ &= \frac{8.000}{(100000 \times 10^3) \times (0.78 \times 10^{-4})} \times (8.474^2 - 1.387^2) \\ &= 0.072 \text{ (kJ)} \end{aligned}$$

ここに、

E<sub>HR</sub> : 吊ロープの吸収エネルギー(kJ)

T<sub>HR</sub> : 吊ロープ張力(kN)

T<sub>HR0</sub> : 吊ロープ初期張力(kN)

l<sub>R</sub> : 吊ロープ長(m)

E : 吊ロープの弾性係数(N/mm<sup>2</sup>)

A : 吊ロープの断面積(cm<sup>2</sup>)

### 3.3.5 衝突の前後におけるエネルギー差

落石が落石防護網に衝突すると、落石と防護網が一体となって運動する。

この場合のエネルギーロスの算出は次式による。

$$E_L = \frac{W'}{W + W'} \cdot E_w = \frac{4.440}{2.000 + 4.440} \times 21.477 = 14.807 \text{ (kJ)}$$

ここに、

E<sub>L</sub> : 落石の衝突前後におけるエネルギー差(kJ)

E<sub>w</sub> : 落石の持ち込む運動エネルギー(kJ)

W : 落石重量(kN)

W' : 落石防護網重量(kN)

$$W' = n \cdot l \cdot L_1 \cdot (W_n \cdot 10^{-3}) = 4 \times 3.000 \times 10.000 \times 37.000 \times 10^{-3} = 4.440 \text{ (kN)}$$

n : 落石防護網の質量として有効な範囲(支柱スパンのnスパン分)

l : 支柱間隔(m)

L<sub>1</sub> : 縦ロープ長さ(m)

W<sub>n</sub> : 金網の平均重量(N/m<sup>2</sup>)

### 3.3.6 可能吸収エネルギーの照査

対策工の可能吸収エネルギーの合計は次式による。

$$\begin{aligned} E_T &= E_N + E_R + E_p + E_{HR} + E_L \\ &= 15.053 + 2.913 + 0.000 + 0.072 + 14.807 \\ &= 32.845 > E_w = 21.477 \text{ (kJ)} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

ここに、

E<sub>T</sub> : 対策工の可能吸収エネルギー(kJ)

E<sub>N</sub> : 金網の吸収エネルギー(kJ)

E<sub>R</sub> : 横ロープの吸収エネルギー(kJ)

E<sub>p</sub> : 支柱の吸収エネルギー(kJ)

E<sub>HR</sub> : 吊ロープの吸収エネルギー(kJ)

$E_L$  : 落石の衝突前後におけるエネルギー差 (kJ)

$E_W$  : 落石の運動エネルギー (kJ)