

# 落石防護ネットの課題

(株)第一コンサルタント 右城猛

## 1. まえがき

高知県の土木技師であった田中忠夫氏が、ポケット式落石防護ネットを考案したのは1965年である。以来、落石対策における標準的工法として全国的に普及している。しかしながら設計手法の妥当性が検証されないまま使われているのが現状である。

本論文では、ポケット式落石防護ネットの問題点と今後の課題について論述する。

## 2. 破損の原因と対策

現場に施工されているポケット式落石防護ネットを調査したところ、図1に示すような破損が見られた。海岸沿いの道路では、腐食によって金網が跡形もなく姿を消しているものもあった。

破損の原因と対策を表1に示す。現在のポケット式落石防護ネットでは、袖部から落石が道路に抜け出す。

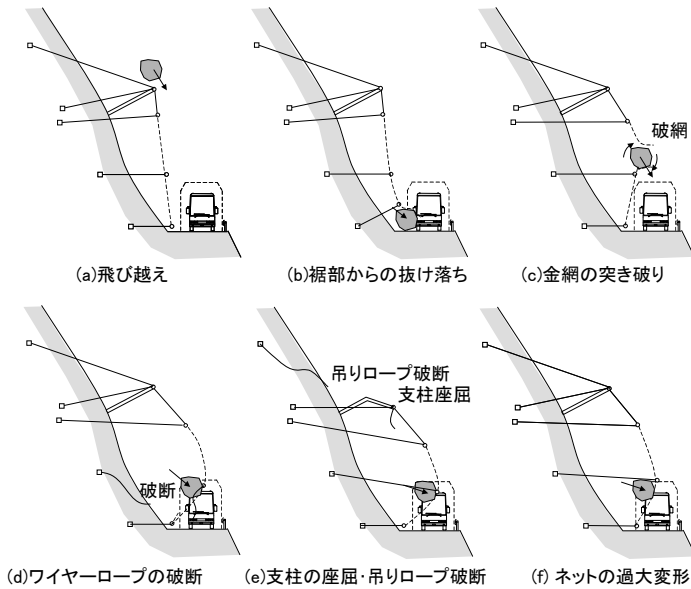


図1 ポケット式落石防護ネットの破損形態

表1 ポケット式落石防護ネットの破損原因と対策

破損形態	原因	対策
飛び越え	支柱高の不足	支柱を長くする
裾部からの抜け落ち	構造上の問題	落石防護柵を併用 セーフティネットを設置
金網の突き破り	落石の衝撃及び回転力による対する強度不足	緩衝金具の取り付け 高強度の金網を使用
ワイヤーロープ破断	衝撃力に対する強度不足	高強度のロープを使用 高強度の金網を使用
支柱の座屈・吊ロープ破断	落石が直撃	支柱設置間隔を広げて支柱を沢部から外す
ロープ・ネットの過大変形	地山への拘束力の不足	横ロープ間隔を狭くするセーフティネットを設置
金網の腐食	防食対策が不足	亜鉛アルミ合金メッキ

それを防止するには、図2左のように前方に落石防護柵を設置するか、図2右のようなセーフティネットで落石を受け止める方法が考えられる。

落石がネットに衝突すると大きな衝撃力が発生し、ワイヤーロープやそれを地山に固定しているアンカーボルトが破断することがある。ワイヤーロープやアンカーボルトの強度を高める手もあるが、横ロープに緩衝金具を取り付けて、衝撃力を一定値以下に抑制することが確実である。

落石の角が金網に引っ掛かったとき衝撃力や回転力が加わると破網する。防止するには金網の強度を高めることやロープに緩衝金具を付けるのが効果的である。

支柱の座屈や吊りロープの破断の原因は、落石の直撃である。防止するには、支柱位置を落石の落下経路となる沢部から外すのがよい。

落石が衝突すると、防護ネットは道路側へ大きく孕み出す。孕を抑制するには、横ロープの間隔を密にする、セーフティネットで拘束するなどが考えられる。

## 3. 吸収エネルギー

現行の設計では、ポケット式落石防護ネットの安全性を式(1)で照査している。

$$E_w = \frac{1}{2} m v_1^2 \leq E_T \quad (1)$$

$E_w$ は落石の運動エネルギー、 $m$ は落石の質量、 $v_1$ は落石の衝突速度である。 $E_T$ は落石防護ネットの可能吸収エネルギーであり、次式で算定している。

$$E_T = E_N + E_R + E_L \quad (2)$$

$E_N$ は金網、 $E_R$ はワイヤーロープの吸収エネルギーである。 $E_L$ は落石がネットに衝突する際の散逸エネルギーで、式(3)で求めている。

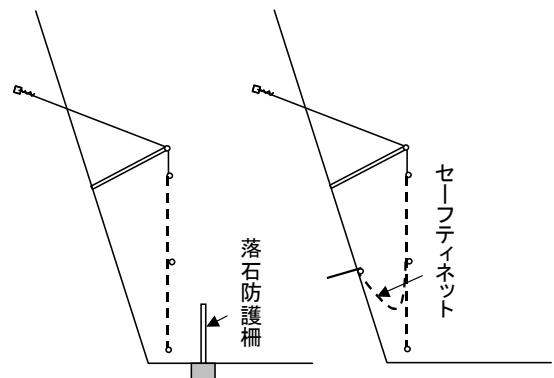


図2 裾部から落石のこぼれだし防止対策

$$E_L = \frac{1}{2}mv_1^2 \frac{M}{m+M} \quad (3)$$

$M$ は落石防護ネット全体の質量である。式(3)は、図3のように質量  $m$  で速度  $v_1$  の剛体と、質量  $M$  で速度  $V_1=0$  の剛体が衝突した後に同じ速度、つまり一体となって運動するとして誘導されている。

落石が衝突するとネットは図4のように変形する。ネットが落石と同じ運動をするのは、落石に接触した1点のみである。式(3)を落石とネットの衝突問題に適用することは力学的に不合理である。

落石がネットに衝突し、ネットと接触している間における落石速度とエネルギーの経時変化を模式的に表すと図5となる。落石がネットに衝突すると、落石の運動エネルギーは、金網とロープの歪みエネルギーに変換される。運動エネルギーの全てが歪みエネルギーに置き換わった時点、すなわちネットの変形が最大に達した時点で落石は一旦停止する。その時点のエネルギー

ルギーは式(4)となる。

$$E_T = E_N + E_R \quad (4)$$

金網とロープが吸収するエネルギーは時々刻々と変化するが、式(2)になることは理論上考えられない。式(2)の中の  $E_L$  は期待できないので、現行の手法では可能吸収エネルギーを過大に評価しているといえる。

全幅 30m、高さ 18m、支柱間隔 3m の標準サイズのポケット式落石防護ネットについて、現行の手法で可能吸収エネルギーを計算した結果を図6に示す。式(3)で算定されるエネルギーロス  $E_L$  が、全吸収エネルギーの約 3/4 を占めている。可能吸収エネルギーを実際より 4 倍も過大に評価していることになる。

#### 4. 衝撃力に対する照査

現行の設計では、落石防護ネット全体の吸収エネルギーの照査を行うものの、衝撃力に対する照査は行われていない。落石の運動エネルギーが同じでも、衝撃力は落石の質量や形状によって異なる。

筆者らは、高エネルギー吸収型落石防護ネット「ロングスパン」の性能確認実験を行っている。横ロープに緩衝金具を取り付けないケースでは、アンカーボルトがせん断破壊した。アンカーの強度を大きくすると、ワイヤーロープが降伏して残留変形が発生した。

アンカーボルトと横ロープの連結に巻付けグリップを使用した実験では、製品カタログで保証されている荷重の約 1/2 の衝撃力で巻付けグリップから横ロープが引き抜けた。落石防護ネットには、静的試験の結果を適用することはできない。

衝撃力を考慮した安全性の照査が必要である。

#### 5. 今後の課題

本稿では、ポケット式落石防護ネットが施工された現場で見られる破損、理論上の問題点、重錘衝突実験で確認された問題点について述べた。

現在、ポケット式落石防護ネットの可能吸収エネルギーは、通常のタイプが 50~100kJ、高エネルギー吸収タイプが 100~500kJ として施工されている。しかしながら、これらは実験等で検証されたものではない。現行の設計手法で計算された机上の値にすぎない。実際の可能吸収エネルギーは、計算値よりもはるかに小さいと思われる。

強度偽装が大きな社会問題になっている時代である。落石防護ネットの採用にあたっては、単に製品価格のみにとらわれることなく、可能吸収エネルギーや耐衝撃性などの性能を適切に評価した上で決定することが大事である。

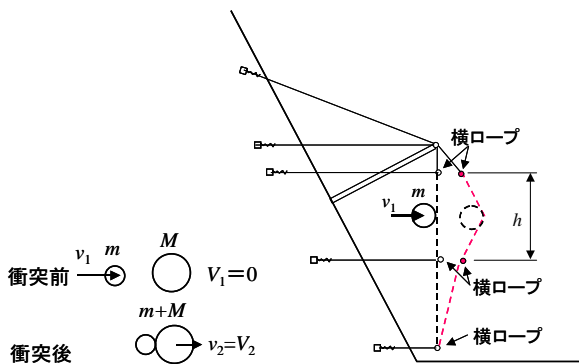


図3 剛体の衝突

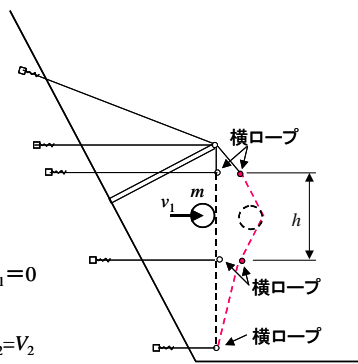


図4 落石の衝突によるネットの変形

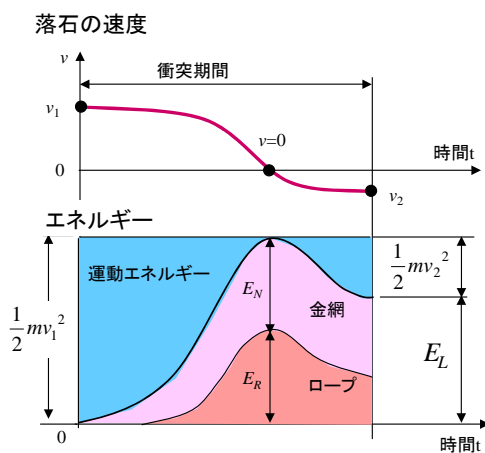


図5 衝突期間中における落石速度とエネルギー

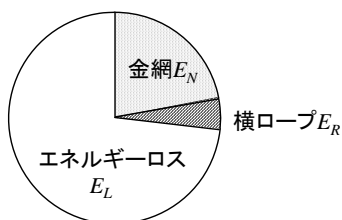


図6 可能吸収エネルギーの内訳