

(株)第一コンサルタンツ 正員 ○右城 猛, 正員 加賀山 肇

(株)ロイヤルコンサルタント 正員 筒井秀樹

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. 落石防護ネットの破壊形態

既存のポケット式落石防護ネットを調査すると、図1に示すような破壊形態が見られる。

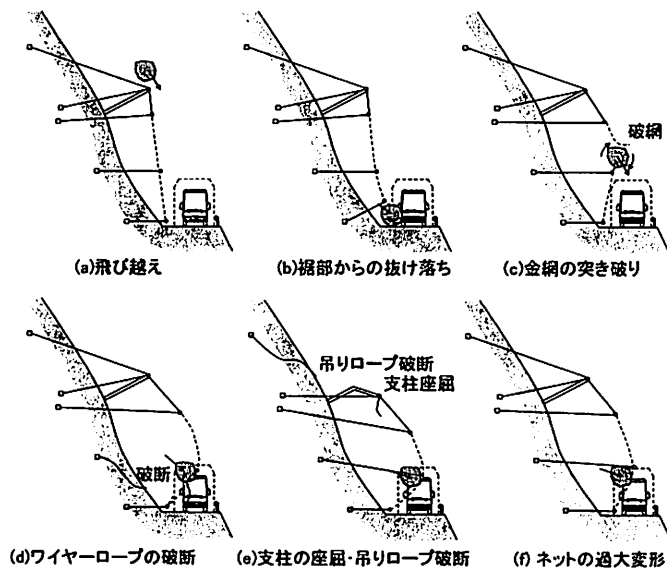


図1 ポケット式落石防護ネットの破壊形態

3. 現行の設計と問題点

(1) 落石エネルギーに対する照査

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。

$$E_w = \frac{1}{2}mv_1^2 \leq E_T \quad (1)$$

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

ーで、式(3)で求めている。

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

M は落石防護ネット全体の質量である。式(3)は、図2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3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的変化を模式的に表すと図4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は式(4)となる。

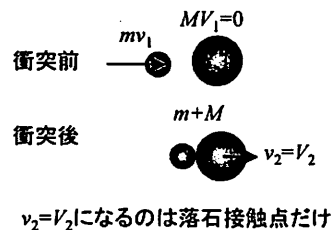


図2 剛体の衝突

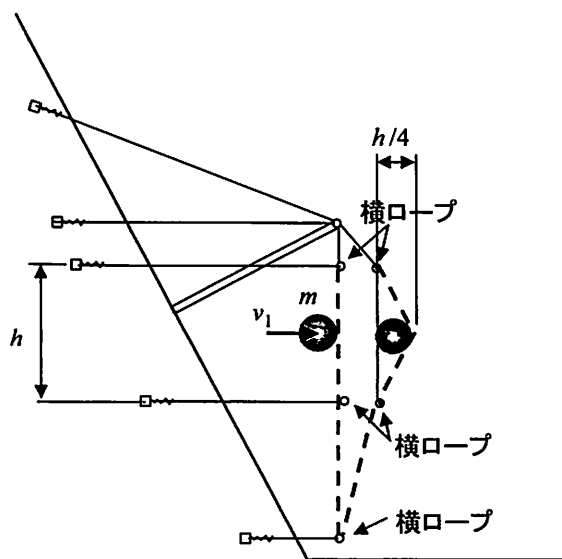


図3 落石の衝突によるネットの変形

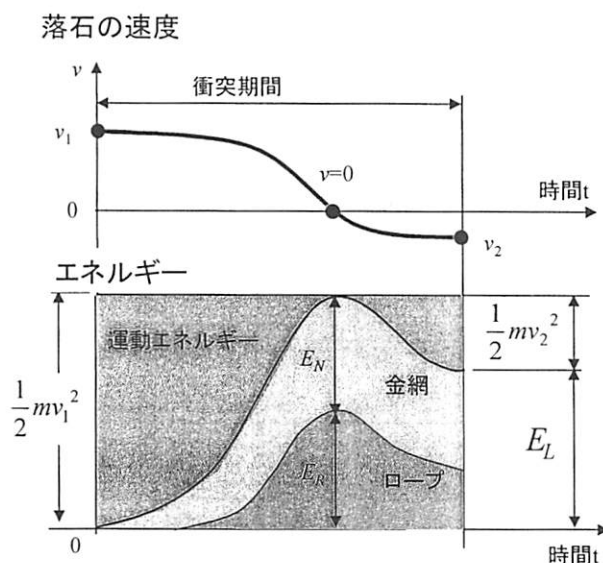


図 4 衝突期間中における落石速度とエネルギー

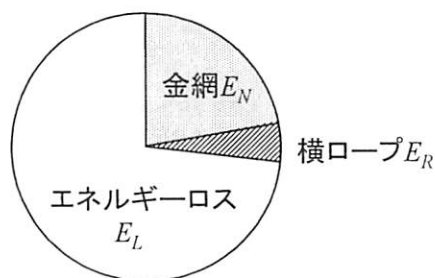


図 5 可能吸収エネルギーの内訳

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

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 4 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。

(2) 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。

(3) 変形量に対する照査

落石が衝突するとネットは変形して前方へ大きく孕む。また、ネットで捕捉された落石はネットに沿って下端に落下する。ネットの裾がのり面に固定されていないと、裾部より落石が路面へ転がり出る。裾部がのり面に固定されていれば落石径だけネットが膨れる。

落石防止性能を判断する上で、ネットの孕や膨れによって、道路の建築限界を侵さないことを照査する必要があるが、ネットの変形量を算定する手法は確立されていない。

(4) 地盤の支持力に対する照査

ポケット式落石防護ネットの設計では、支柱基礎の支持力に対しては照査されていないが、ネットが落石を捕捉すると支柱には軸方向と軸直角方向の衝撃力が発生する。地盤のせん断強度が小さいとすべり破壊を生じることになるので、斜面上の基礎として支持力に対する照査が必要である。

4. 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。