

落石防護網のエネルギー吸収性能の評価に関する実験的検討

防衛大学校 学生会員 ○高橋利延 正会員 山本佳士, 香月 智
東京製綱株式会社 正会員 高森 潔

1. 緒言

近年、写真-1 に示すようなワイヤロープ構造によって道路への落石侵入を防止する落石防護網が建設されている。落石防護網は、ワイヤロープや金網で構成されているため、非常に柔軟な構造であり、落石衝突に対して大変形を伴って落石を受け止めるものである。このため、静的な応答であっても大変形解析を必要とし、主要部材であるワイヤロープは素線応力を求めることが難しいので、現行の設計ではエネルギー照査手法¹⁾が用いられてきた。これは、衝突直後の落石の運動エネルギーから完全非弾性衝突に基づく逸散エネルギーを差し引いたものが、ネットの変形エネルギーに変換されるという仮定を設け、予め設定されたネットの特定部位の可能吸収エネルギーに対する照査を行うものである。しかし、この仮定や、変形エネルギーを見込む部位の設定の妥当性は不明確なままである。このような背景からその性能や設計手法の適用性の評価手段として実証実験を行う他に代替案がなく、実験的研究が行われ

ている^{2~4)}。

そこで本研究では、高さ 6.0m の実規模の落石防護網に対する重錘衝突実験をもとに、実物大の落石防護網の応答特性を評価するものである。

2. 重錘衝突実験

2.1 実験方法

実験は、写真-2 に示す延長 15.0m×高さ 6.0m の供試体に対して、表-1 に示すような入力エネルギーの異なる 2 ケースを行った。ケース I はコンクリート球（質量 350kg）を 18m/sec で衝突させ、その入力エネルギーは 55kJ である。ケース II は鉄球（質量 1050kg）を 11m/sec で衝突させ、その入力エネルギーは 63kJ である。なお、ケース II の入力エネルギーは設計上の可能吸収エネルギーよりも大きくなっている。

実験供試体は、図-1 で示す 6.0m×15.0m のものであり、P1~P8 で示す吊ロープ（7×7,φ18）の片端および横ロープ（最上段は 7×7,φ18, 2 段目と最下段は 3×7,φ14）の両端の計 8 点においてロードセルを



写真-1 落石防護網



写真-2 実験供試体

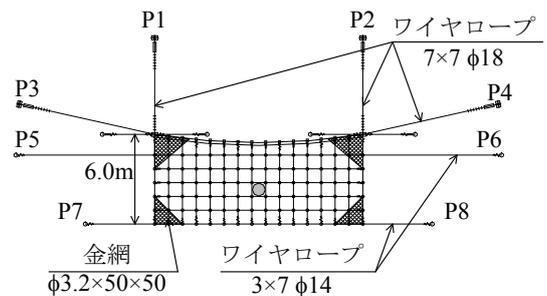


図-1 張力測定位置 (P1~P8)

ケース No.	重錘仕様			落下高さ	運動エネルギー
	材質	形状	質量		
I	コンクリート	球 直径 0.65m	0.35 ton	25 m	55kJ
II	鉄	球 直径 0.63m	1.05 ton	9.5 m	63kJ

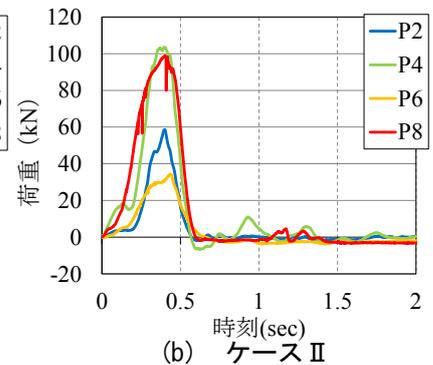
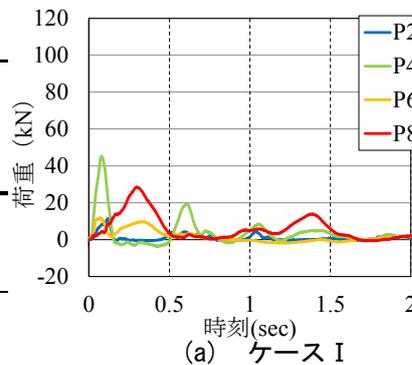


図-2 張力の時刻歴応答

キーワード 落石, 落石防護網, 重錘衝突実験

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校理工学研究科 TEL : 046-841-3810 FAX : 046-844-5913

用いてロープ張力を計測した。

2.2 落石防護網の応答

図-2(a), (b)にそれぞれケース I および II の張力の時刻歴応答を示す。図から、ケース I と II において最上段ロープ (P4) と最下段ロープ (P8) に比較的大きな張力が生ずることがわかる。

2.3 エネルギー照査型設計法¹⁾

2.3.1 重錘の運動エネルギー

重錘のエネルギー E_W は次式により与えられる。

$$E_W = \left(1 - \frac{\mu}{\tan\theta}\right) m \cdot g \cdot H \sin^2\theta_0 \quad (1)$$

ここで、 μ : 等価摩擦係数, θ : 斜面勾配, m : 重錘質量, g : 重力加速度, H : 落石と防護網の落差, θ_0 : ネットの傾斜角である。

2.3.2 防護網の可能吸収エネルギー

エネルギー照査式に用いる防護網の可能吸収エネルギー E_T は次式によって与えられる。

$$E_T = E_N + E_R + E_P + E_{HR} + E_L \quad (2)$$

ここで、 E_N : 金網の吸収エネルギー, E_R : 最上段横ロープおよび、落石衝突位置の上段と下段の横ロープの吸収エネルギー, E_P : 支柱の吸収エネルギー (=0 とした), E_{HR} : 吊ロープの吸収エネルギー (=0 とした), E_L : 衝突の前後におけるエネルギー差である。

2.3.3 実験供試体の可能吸収エネルギー

表-2 には、落石対策便覧¹⁾の式による重錘の運動エネルギーおよび本実験の供試体の可能吸収エネルギーを示す。これより、ケース II では可能吸収エネルギーの 1.4 倍となっており、構造物に不都合が生じることが予想される。

2.4 設計との比較

図-3 には、各ロープにおける最大発生張力の設計予測値と実測値の比較を示す。図-3(a) のケース I は、同一ロープの左右端において、ほぼ同じ張力となっており、いずれも降伏荷重 (破断荷重 $\times 0.75$) より小さい。つまり、弾性域内での変形であり、安全側の照査になっている。図-3(b) のケース II は、前述のように、重錘の運動エネルギーが防護網の可能吸収エネルギーよりも大きいため、最上段ロープ (P3) は設計許容荷重 (104.5kN) を超えており、最下段ロープ (P7, P8) は設計上の破断荷重 (100kN) を超えている。ただし、設計値において安全側にあるため、破断はしていない。

表-2 可能吸収エネルギー

ケース No.	重錘の運動エネルギー	落石防護網の可能吸収エネルギー
I	55kJ	59kJ
II	63kJ	45kJ

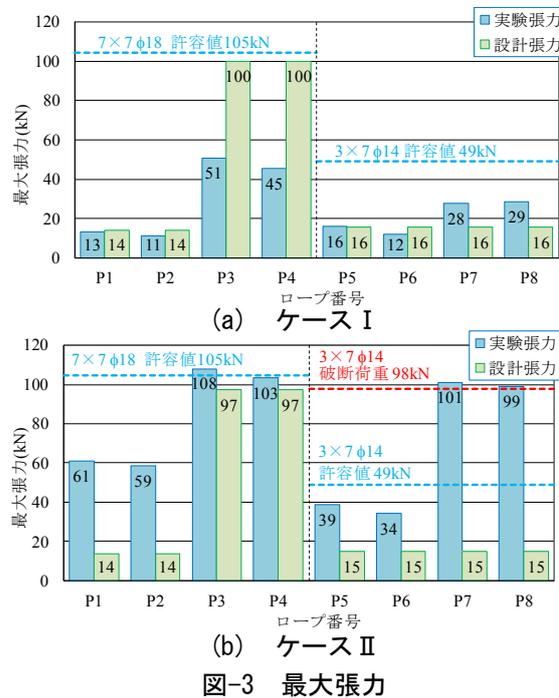


図-3 最大張力

3. 結 言

高さ 6.0m の落石防護網に対して重錘衝突実験を行い、その応答と落石防護網に対するエネルギー照査の結果から以下の知見を得た。

- (1) 展張ロープの中では、最上段と最下段の横ロープの張力が大きくなる。
- (2) 現行のエネルギー照査型の設計法では最下段の横ロープの張力は過小に評価される傾向にあることがわかった。
- (3) 総じて、現行設計で可能吸収エネルギーを超えない落石エネルギーに対しては、金網もワイヤロープも許容引張力を超えることはない。

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：落石対策便覧，2010.1.
- 2) 原木大輔，香月智，田代元司：円柱形要素を用いた個別要素法による落石防護網の衝撃応答解析，土木学会論文集，Vol.65，pp.536-553，2009.6.
- 3) 田島与典，前川幸次，岩崎征夫，河上康太：実物大重錘衝突実験による緩衝装置を用いたポケット式落石防護網の評価，構造工学論文集，Vol.56A，pp.1088-1100，2010.3.
- 4) 右城猛，西岡南海男，筒井秀樹，田中登志夫：エネルギー吸収金具を付けた落石防護ネットの開発，第 3 回南海地震四国地域学術シンポジウム，2008.12.