

落石防護柵の重錘衝突実験

(株)第一コンサルタンツ 正会員 ○兵頭 学
 非会員 山岡 幸弘
 非会員 山崎 智達

1. はじめに

わが国は国土の75%が山地で占められており、地形が急峻で地質が脆弱なことから斜面崩壊や落石などの山地災害が毎年多発している。記憶に新しいところでは、2009年7月に富士山スカイラインの富士宮口新五合目駐車場で、落石が防護柵の金網を突き破ってキャンピングカーを直撃し、中にいた男性が死亡するという事故が発生した。1966年に神戸大学が土中建込み式神鋼型落石防護柵を用いて現場実験を行って性能を確認しているが、現在市販されている落石防護柵のエネルギー吸収性能や耐衝撃性能の根拠は明確にされていない。

そうした状況を踏まえ本稿では、わが国で広く使用されてきた、従来型のワイヤロープ金網式落石防護柵が持つ性能、および問題点を検証するために、重錘の衝突実験を行ったので、その結果を報告する。

2. 実験方法

実験は、図1に示すように斜面に設置したレール上を、重さ2tのコンクリート塊(以下、重錘と呼ぶ)を滑走させ、前方に設置した高さ1.5m、延長9mの防護柵の中央に衝突させる。レールの初期傾斜角は45度で、下端は23度になっている。重錘を高さ8mから滑走させた場合、計算上の衝突速度は10m/s(36km/h)、運動エネルギーは100kJとなる。金網は $\phi 3.2 \times 50$ の菱形金網、ワイヤロープは3×7G/O $\phi 18$ とする。中間支柱はH-200×100×5.5×8で、末端支柱はH-150×150×7×10のH形鋼とし、両側のフランジには[-125×65×6]の溝形鋼による斜材をボルトで取り付け補強する。基礎は高さ1000mm、幅600mmのコンクリート基礎とし、十分な剛性を確保した。使用した防護柵を図2に、実験装置を写真1に示す。

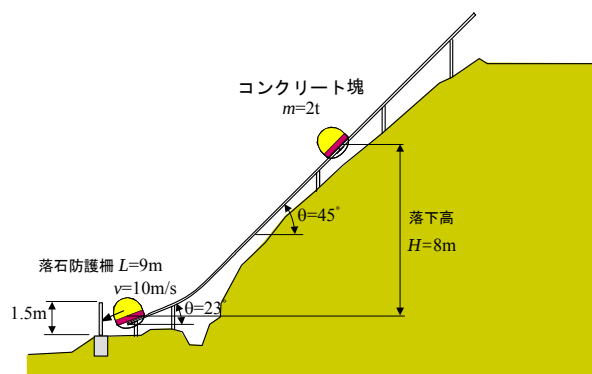


図1 実験モデル図

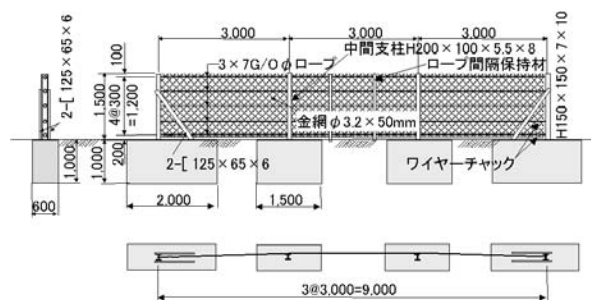


図2 1回目の実験に使用した落石防護柵

3. 実験結果

衝突実験は計2回行った。結果を以下に示す。

(1) 実験1回目

重錘の初期高さは6mで、想定する衝突速度は9.4m/s、衝突時のエネルギーは88kJとなる。実験後の状況を次項写真2に示す。

結果は、重錘が防護柵の手前で停止したものの、防護柵前面の地盤にめり込んでおり、衝突荷重に防護柵が耐えたとは言い難いものとなった。また、重錘衝突の衝撃で両側の末端支柱を補強していた溝形鋼のボルトが破断し、末端支柱の根元付近が座屈して内側に大きく折れ曲がった。この時、各ワイヤロープは破断していなかった。

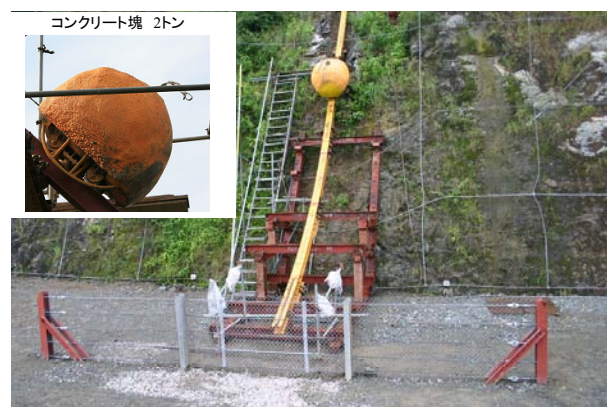


写真1 実験装置

本来であれば、ワイヤロープの破断まで持ちこたえる必要がある端末支柱が、先に座屈破壊してしまったことになる。これは、ロープの引張力が、支柱の弱軸方向に大きく作用したことが原因であると考えられるが、現在のところ端末支柱の設計計算法は確立されていない。

(2) 実験 2 回目

1 回目の実験では、ワイヤロープの検証が不十分な結果となった。そのため、図 3 のように端末支柱を H-200×200×8×12 の H 形鋼でさらなる補強を加えるとともに、重錘が地面にめり込んで停止しないように、落石防護柵前面の地盤を掘り下げて 2 回目の衝突実験を行った。重錘の初期高さは 8m で、想定する衝突速度は 10.0m/s、衝突時のエネルギーは 100kJ となる。実験後の状況を写真 3 に示す。

結果は、ワイヤロープに破断は見られなかったものの、重錘が防護柵を突き抜け 4.6m 先まで転がり停止した。1 回目とは異なり、防護柵の端末支柱自体に異常は見られなかったが、最上段のワイヤロープは、柵端金具の楔がゆるみ引き抜けた。それ以外のワイヤロープについても、降伏して大きく変形し、重錘を捕捉できなかった。ワイヤロープの固定はワイヤチャックと呼ばれる金具によって行われるが、ワイヤロープの引き抜けに対する強度が不足していたことになる。

4. 可能吸収エネルギー

ワイヤロープ金網式落石防護柵の可能吸収エネルギーは一般的に 50kJ 程度と言われているが、過去に比較的大きな落石を捕捉した事例があることから、100kJ 以上の可能吸収エネルギーがあるのではないかとされていた。しかし、大部分のエネルギー吸収はワイヤロープ、および金網の塑性変形によって行われることを期待されているにも関わらず、本実験のように、変形によってロープが破断に至る前に落石が飛び出してしまったり、十分な変形をする前に端末支柱の座屈やロープの引き抜けが発生したりする可能性があることが分かった。

今回の実験では、重錘が地面に衝突したり、突き抜けたりしたために、実際にどれくらいのエネルギーが吸収されたのかを把握することは困難であるが、衝突エネルギーが 100kJ に達するような落石を捕捉することは難しいと思われる。

5. おわりに

本実験によって、従来型のワイヤロープ金網式防護柵は、端末支柱の座屈や柵端金具のゆるみによるワイヤロープの引き抜けといった大きな問題を抱えていることが分かった。今後、落石防護柵の安全性を高めるためには、これらの問題を解決し、より大きなエネルギーを吸収できる防護柵の開発が必要であると考えられる。



写真 2 実験結果 (1 回目)

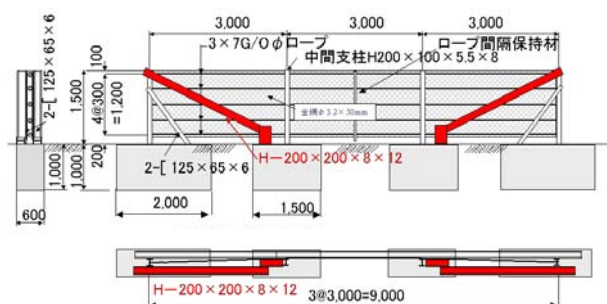


図 3 2 回目の実験に使用した落石防護柵



写真 3 実験結果 (2 回目)