

I-794

緩衝装置を有する防護柵の落石による挙動解析

(株) エイ・シー・デイ 正員 吉 田 博
金沢大学工学部 正員 前 川 幸 次

1. まえがき

これまでの落石防護柵は、H形鋼の支柱、支柱間に一定の間隔で張られたワイヤロープ、ワイヤロープの前面に張られた金網からなっており、落石の衝撃エネルギーを、金網の形状変形、ワイヤロープの弾性伸びおよび支柱の塑性変形によって吸収するように設計されている。しかし、ワイヤロープが吸収するエネルギーは、支柱や金網の吸収エネルギーに比し小さく、また、支柱は塑性変形する以前に局部座屈を生じ、設計で要求されるだけのエネルギー吸収能力が期待できない場合もあり、落石が走行車両に衝突し大事故となったケースも見られる。

一方、本格的な落石防護施設は極めて高価であることから敷設箇所も限定されており、安価でかつ信頼性のある落石防護システムの開発が望まれていた。

2. 緩衝装置を有する落石防護柵の構造

緩衝装置を有する落石防護柵は、既存の落石防護柵の支柱およびワイヤロープの弱点を補うために考案されたものである。支柱にはアンボンドPC鋼材を埋め込んだコンクリート充填鋼管柱を用いて靱性を高め、支柱の曲げによるエネルギー吸収量を増大させる。ワイヤロープは、一定の張力に達すると滑りだす緩衝定着装置を用いることにより、ロープの張力を制御してワイヤロープの切断や定着金具の破壊を防護するとともに、ワイヤロープのエネルギー吸収量を飛躍的に増大させている。

図-1にこの防護柵の構造概要を示す。支柱間に張られた水平ワイヤロープの両端は、緩衝定着装置を通してさらに一定長さを確保して端ストッパーを取付ける。この端ストッパーは、水平ワイヤロープの緩衝定着装置内の滑り量を制限する働きをする。

過大な衝撃エネルギーが作用し、水平ワイヤロープに緩衝定着装置の設定定着荷重以上の張力が作用した場合、水平ワイヤロープは設定定着荷重を保ったまま定着装置内で滑りだし、エネルギーを吸収する。水平ワイヤロープの滑りのみにより衝突エネルギーを吸収しきれない場合には、端ストッパーが支柱に取付けられた緩衝定着具にぶつかり、これ以上の水平ワイヤロープの滑りが抑制されることにより、水平ワイヤロープの張力が増大し、支柱を变形させようとする。支柱は下端で降伏を開始し変形が増大する。このように、新しい防護柵では水平ワイヤロープの滑りによるエネルギー吸収と支柱の塑性変形によるエネルギー吸収とが合わせて期待できる。

3. 解析方法

本解析では支柱の変形を無視し、支柱の変形の影響をワイヤロープの応力-ひずみ関係に反映させることにする。用いる解析モデルを図-2に示す。すなわち、図-1の防護柵の1スパン(間隔5.0m)のみを取りだし、ワイヤロープはx-y平面に張られているものとし、支柱位置でのワイヤロープのx, y, z方向の変位を拘束する。No.3ワイヤロープの中央に質量3000kgの落石が落下するものとし、その質量の1/2がNo.3のワイヤロープの、1/4がNo.2とNo.4のワイヤロープの中央に集中しているものとする。

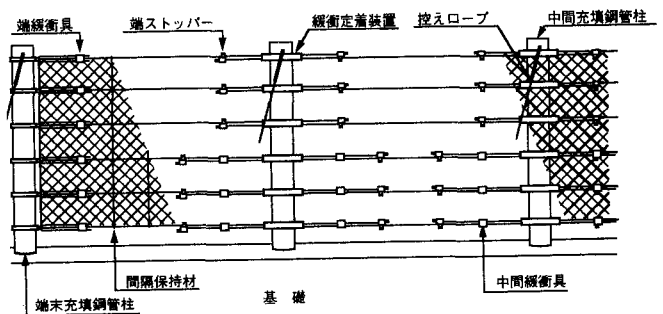


図-1 高エネルギー吸収柵の構造概要

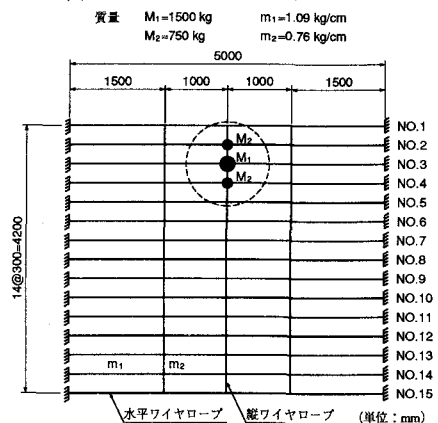


図-2 解析モデル

水平方向に張られたワイヤロープは、その張力が78.4kN (8.0tf) になるまでは弾性的に変形し、それを超えると緩衝定着装置内で滑りが発生し、端ストッパーが支柱に衝突するまで滑りが持続する。この最大滑り量を25cmとする。これまでで落石エネルギーを吸収しきれない場合には、ワイヤロープの張力が増大し、支柱を塑性変形させよう

とする。支柱が塑性変形するワイヤロープの張力は $T_0 = 118 \text{ kN}$ (12.0tf) に設定してあるものとする。このような挙動をモデル化したワイヤロープの応力-ひずみ関係を図-3に示す。

解析の初期条件としては、落石エネルギー $4.9 \times 10^5 \text{ N}\cdot\text{m}$ (50.0 tf-m) に相当する速度 $V_0 = 1807 \text{ cm/sec}$ 、加速度 $a = -980 \text{ cm/sec}^2$ を用いた。

4. 解析結果および考察

(1) 変位の経時変化 水平に張られた15本のワイヤロープの中心のz方向の変位の経時変化を図-4に示す。また、図-5には時間0.04sec, 0.08sec, 0.14secでの柵全体の変形状態を示す。

(2) 衝撃力 No.2 ~ No.4のワイヤロープの中心に配置した質点の加速度より得られる衝撃力と変位の関係を図-6に示す。これらに質点の衝撃力の最大値は、それぞれ、176kN (18tf), 441kN (40tf), 186kN (19tf) であるが、最大値が発生する時間的なずれが見られる。また、衝撃力-変位曲線の最大変位までの下側の面積は、それぞれ、 $1.225 \times 10^5 \text{ N}\cdot\text{m}$ (12.5 tf-m), $2.45 \times 10^5 \text{ N}\cdot\text{m}$ (25tf-m), $1.225 \times 10^5 \text{ N}\cdot\text{m}$ (12.5tf-m) となっており、それらの合計は落石の位置エネルギーに一致している。

(3) ワイヤロープの吸収エネルギー No.1 ~ No.8までのワイヤロープの張力-伸び曲線より得られた吸収エネルギーの合計は $3.9 \times 10^5 \text{ N}\cdot\text{m}$ (40.0tf-m) であり、落石エネルギーの90%を8本の水平ワイヤロープで吸収していることがわかる。

5. 結論

ワイヤロープが一定の張力に達したときに滑りが生じる緩衝装置を用い、さらに、ワイヤロープの滑り量を抑制するためのストッパーを用いて支柱に塑性変形を生じさせるような防護柵に落石が衝突した場合の挙動を、簡単な解析モデルを用いて検討した。解析結果より、緩衝装置を用いることにより、大きい運動エネルギーを有する落石でも、衝撃力を小さく抑えることが可能であることが明らかとなった。この衝撃力の大きさおよび変位量は、ワイヤロープに滑りが発生する張力および支柱の強度を変化させることにより制御が可能である。解析では支柱の挙動をワイヤロープの応力-ひずみ関係に反映させたが、今後、支柱を含めた解析が必要である。

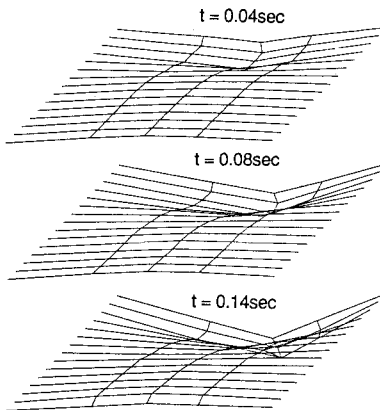


図-5 柵全体の変形状態

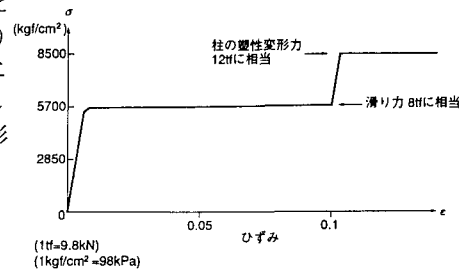


図-3 ワイヤロープの応力-ひずみ関係

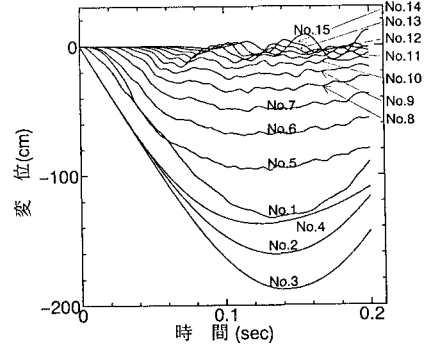


図-4 変位の時間的変化

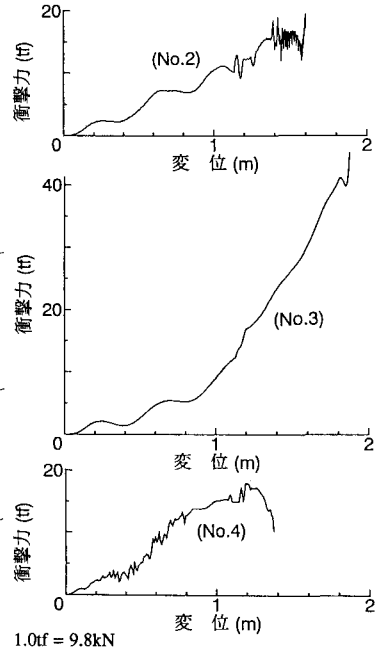


図-6 衝撃力-変位関係

参考文献

- 1) 吉田 博, 他: 高エネルギー吸収柵の開発と緩衝装置のエネルギー吸収実験, 土木学会中部支部, 研究発表会講演概要集, 平成6年3月, pp.123-124.