

高エネルギー吸収型防護柵の防護性能に及ぼす衝突位置の影響

室蘭工業大学

東亜グラウト工業株式会社

正会員

○小室 雅人

梅沢 広幸

室蘭工業大学

東亜グラウト工業株式会社

室蘭工業大学

正会員

瓦井 智貴

奥田 峻

名誉会員

岸 徳光

1. はじめに

著者らは、500 kJ 程度の落石エネルギーに対して、保全対象物に近接して設置可能な性能を有するために、落石衝突時の変形量(最大 2 m)を小さくする新しいタイプの落石防護柵を開発し、その防護性能を衝撃荷重載荷実験や弾塑性衝撃応答解析¹⁾によって確認してきた。既往の研究では、落石の衝突位置を中央径間に限定しており、端径間に落石衝突する場合についての検討はなされていない。本研究では、既往の研究によって実験結果の高い再現性が確認された有限要素解析モデル¹⁾を用いて、端径間に落石が衝突する場合を想定した数値解析を実施し、その防護性能の評価を行った。

2. 数値解析概要

図 1 には、既往の研究で対象とした落石防護柵試験体の形状寸法を示している。試験体の形状寸法(柵高 × 延長)は、4.0 × 15.0 m (5 m × 3 スパン)である。防護柵は、鋼管の内部に H 形鋼を配置した鋼製支柱の他、それらをつなぐ上弦材、落石を捕捉するためのワイヤロープと高強度金網、およびロープ間の落石すり抜けを阻止するための間隔保持材から構成される。ワイヤロープには $\phi 18$ を、金網には素線径 4.0 mm を用いた。計 14 本設置されているワイヤロープ端部には、シャックルを介して U ブレーキに接続し、さらに末端支柱に接続されている。なお、U ブレーキは鋼板の曲げ変形を利用した衝撃緩衝装置であり、重錘衝突時に発生するロープ張力の緩和とエネルギー吸収を目的に設置した。

図 2 には、既往の研究で用いた試験体モデルの要素分割状況を示している。上弦材と支柱間の接続プレートには

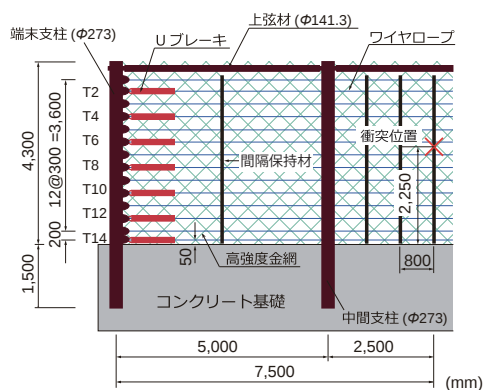


図 1 試験体の形状寸法

シェル要素を、U ブレーキには 2 節点バネ要素を用いた。また、その他の要素にはすべて 8 節点固体要素を用いた。なお、本解析では、1) 防護柵の変形状やロープ張力に着目すること、2) 重錘を間隔保持材に衝突させていること、3) 実験で重錘のすり抜けが起きていないこと等から、煩雑さを避けるため、金網のモデル化は省略した。

境界条件は、コンクリート基礎底面を完全固定とし、基礎側面および正面の法線方向を固定した。また、実構造と同一条件となるように、重錘と間隔保持材および近接する部材間には、接触・剥離を伴う接触面(摩擦係数: 0)を定義した。重錘形状(EOTA 規格に準拠)、質量(1,499 kg)および衝突速度(26.2 m/s)に関しては、検証実験と同じ条件となるように設定した。重錘衝突位置は、端径間の径間中央とし基部から高さ 2.25 m とした。なお、本数値解析において減衰および重力は考慮していない。

図 3 には、本数値解析で用いた鋼部材およびワイヤロー

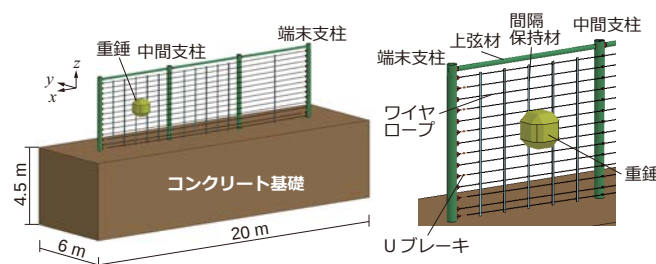


図 2 有限要素モデル

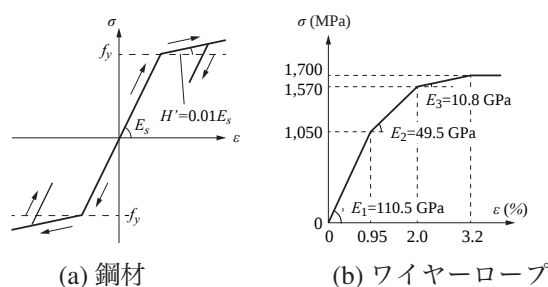


図 3 材料物性モデル

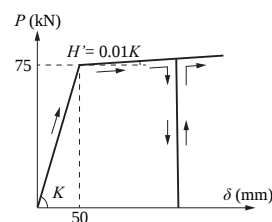


図 4 U ブレーキの荷重-すべり関係

キーワード：高エネルギー吸収型落石防護柵、衝撃応答解析、衝突位置、耐衝撃挙動

連絡先：〒050-8585 室蘭工業大学 大学院工学研究科 もの創造系領域 社会基盤ユニット TEL/FAX 0143-46-5228

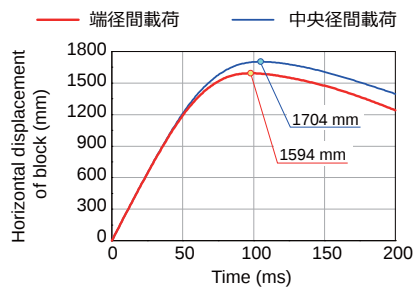


図5 重錘貫入量(水平方向)に関する時刻歴応答波形

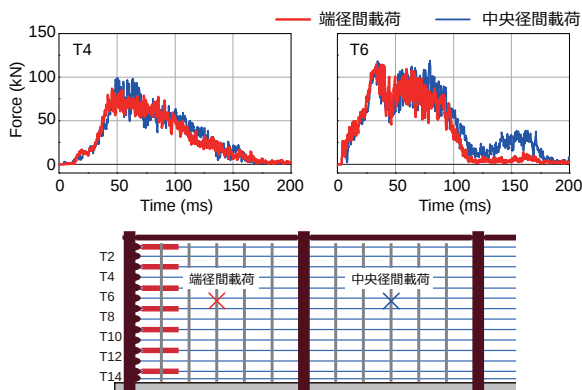


図6 ロープ張力に関する時刻歴応答波形の比較

プの応力-ひずみ関係を示している。(a)図に示す鋼材には、降伏後の塑性硬化を考慮したバイリニア型の等方硬化則モデルを適用することとし、塑性硬化係数 H' は弾性係数の1%と仮定した。降伏判定は von Mises の降伏条件に従うものとした。各構成部材の降伏応力 f_y 、弾性係数 E_s 、ポアソン比 ν_s は公称値を用いた。ワイヤロープに関しては、引張試験結果から得られた荷重-伸び関係を用い、ロープ断面積および定着長を考慮して、(b)図に示す応力-ひずみ関係に変換し与えた。

図4には、Uブレーキに用いた荷重-変位関係を示している。静荷重実験結果を参考にすべり荷重を75kNとし、その後の摩擦抵抗の影響を簡易にモデル化するため、初期勾配の1%で荷重が増加すると仮定した。また、実験に用いたUブレーキと同様、最大すべり量は1mとなるように設定した。その他のコンクリート基盤や重錘に関しては、弾性体と仮定した。

3. 数値解析結果

図5には、重錘貫入量に関する時刻歴応答波形を重錘衝突位置で比較して示している。時間軸は重錘が防護柵に衝突した時刻を基準としている。なお、中央径間に衝突させた場合(中央径間载荷)¹⁾についても示している。

図より、衝突位置にかかわらず、重錘衝突後の貫入量の立ち上がりは両者で一致していることが分かる。最大貫入量に関しては、端径間载荷の場合は約1.6m、中央径間载荷の場合は約1.7mとなり、前者の方が若干小さい。

図6には、衝突位置近傍のワイヤロープ(T4, T6)に作用



(a) 端径間载荷



(b) 中央径間载荷

図7 最大重錘貫入量到達時における変形状況と Mises 応力分布

する張力の時刻歴応答波形について衝突位置による結果を比較して示している。図より、ロープ張力は両者でほぼ類似の応答波形を示していることが分かる。これより、载荷位置にかかわらず、ロープにはほぼ同程度の張力が作用することが確認される。

図7には、最大重錘貫入量到達時における防護柵の変形状況と Mises 応力分布を示している。(a)図に示す端径間载荷の場合には衝突側の端末支柱が、(b)図に示す中央径間载荷の場合には重錘衝突位置の両側の中間支柱が大きく後方に変形している様子が窺える。また、衝突位置近傍の2つの支柱基部では降伏応力($f_y = 355$ MPa)を超える応力が発生している。一方、重錘衝突位置から離れた支柱には大きな変形や応力は見られず、衝突位置近傍の2つの支柱の働きによって重錘を捕捉していることが確認できる。

また、上弦材に着目すると、端径間载荷の場合には、衝突径間および隣接径間においても200 MPaを超える応力が生じているのに対し、中央径間载荷の場合には、衝突径間のみに大きな応力が発生しており、衝突径間によって上弦材に作用する応力は異なることも確認できる。

4. まとめ

- 1) 端径間载荷における最大重錘貫入量は、中央径間载荷の場合よりも若干小さくなる傾向を示す。また、ロープ張力は载荷位置にかかわらずほぼ同様な性状を示す。なお、いずれの場合も衝突径間近傍の支柱基部には降伏応力を超える応力が発生し、塑性化に至る。
- 2) これより、落石が端径間に衝突した場合においても、中央径間に衝突した場合と同程度の防護性能を有し、保全対象物に近接設置可能な防護柵であることを数値解析的に確認した。

参考文献: 1) 小室雅人, 梅沢広幸, 奥田峻, 瓦井智貴, 岸徳光: 支柱が強化された高エネルギー吸収型落石防護柵の防護性能に関する数値解析的検討, 構造工学論文集, 65A, pp. 955-993, 2019.