

リングネット防護柵の衝撃応答特性に関する研究

九州大学大学院 学生員 柴田 健司 九州大学大学院 正会員 園田 佳巨
九州大学大学院 フェロー 彦坂 照

1. はじめに

リングネット防護柵は、ロックシェッドのような従来のコンクリート製落石防護構造物に比べて、経済性に優れていることから、施工実績も着実に増加している。しかし、その有効性は、限られた条件下の衝撃実験データをもとに検証されているのが現状であり、落石以外の対策工として適用するには、衝撃応答特性を把握する解析手法の整備が必要である。本研究では、3次元個別要素法を用いた衝撃応答解析プログラムを作成し、リングネット防護柵に落石及び崩土が衝突したときのネット構造全体系の衝撃挙動のシミュレーションを試みた。

2. リングネット防護柵の概要

1) リングネット工法の概要

リングネット防護柵は、リング状に編まれた金網（リングネット）およびこの金網を吊るサポートロープならびに支柱の頭部を地山につなぎとめるリテイニングロープ等によって構成されており、ネットの柔軟性によって

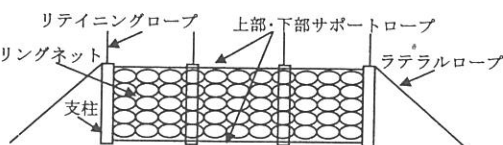


図-1 リングネット防護柵

落石の大きな運動エネルギーの吸収を可能にした工法である。また、各ロープには、落石を確実に受け止めるために塑性的な挙動を示し、衝撃を緩和するための緩衝装置（以下「ブレーキリング」）を装着している。したがって、落石を受けたネットは、最初にリングの弾・塑性変形でエネルギーを吸収し、その後、一定張力が働いた時点からブレーキリングによるエネルギーの吸収が行われる。これら各部材のエネルギー吸収量の割合については現時点で定かではなく、解析的に把握することが期待されている。

2) ブレーキリングの機能

ブレーキリングは、図-2に示すように、ワイヤロープを鋼管に挿入させ、リング状に加工した構造をしている。鋼管はスリーブによりプレスされており、一定以上の張力が作用すると鋼管リングが絞り込まれる。このとき、鋼管の曲げ変形や、スリーブとの摩擦により運動エネルギーを吸収し、落石の衝撃を緩和する。

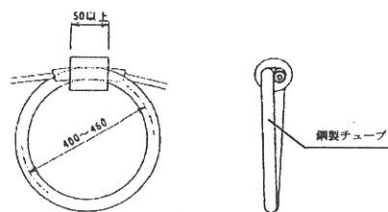


図-2 ブレーキリング構造図

3. リングネット防護柵のモデル化

本研究では、リングネット防護柵の衝撃挙動再現のための基礎的な解析モデルとして、リングネット、支柱、ワイヤロープ、ブレーキリングの4主要部材をモデル化した。

1) リングネットのモデル化

鋼製リングの引張試験で得られた実験結果から、球状の個別要素間に簡易な変位の非線型関数として表されるバネを用いて引張抵抗を与えることとした。また、リングネット部材はワイヤロープにシャックルで吊るされるような形で設置されているので、リングネット部の上下辺につながれた要素は水平方向への自由な移動を可能なモデルとした。

2) 支柱

支柱にはH型钢が用いられており、リングネットの面外方向への変形が主に曲げモーメントとして支柱に作用することから、二方向曲げ部材としてモデル化した。すなわち、二方向別々に図-3に示すような曲げバネを導入し、作用する曲げモーメントを求めた。ここに、 $K = \frac{EI}{l}$ (I :支柱の断面二次モーメント、 l :隣接要素間中心間距離)とする。

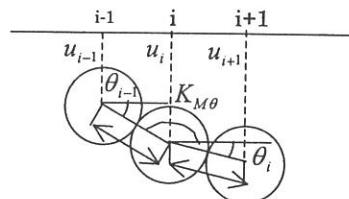


図-3 支柱の要素モデル

3) ワイヤロープ

ワイヤロープは、リングネット同様に引張荷重のみを伝達する部材とみなし、引張軸力のみを伝達する要素としてモデル化した。

4) ブレーキリングのモデル化

ブレーキリングは、図-4の荷重—変位量特性をもつばねと仮定し、ある時刻の変位量が、過去の最大値変位量より小さい範囲では、引張力は働かないものとした。また、ブレーキリング特性は以下の式に表した。

$$P = 476.19 \times \delta \quad (0 \leq \delta < 15)$$

$$P = 45.69 \times \delta + 6457.5 \quad (15 \leq \delta < 82)$$

$$P = 17475 \times e^{0.0496\delta} \quad (82 \leq \delta < 100) \quad [P: \text{荷重(kgf)}, \delta: \text{変位量(cm)}]$$

4. リングネット防護柵の衝撃応答解析

本研究では、ブレーキリングの有効性を確認するために落石用3パネルモデル、崩土用6パネルモデルの2タイプのリングネット防護柵に、それぞれブレーキリングを装着した場合と、装着しない場合の解析を行った。落石用3パネルモデル(全長15m,高さ5m)には重量4tfの落石を速度27m/sでリングネット中央部に衝突させ、また、崩土用6パネルモデル(全長30m,高さ3m)には崩土(体積8.85 m³、重量120tf)を速度5m/sで衝突させた。

1) リングネット防護柵3パネルモデルの解析

ブレーキリングの装着の有無による、落石衝突位置におけるリングネットの変位—時間関係を比較した。図-7より、ブレーキリングが無いモデルではネットが弾性的な挙動を示すのに対して、ブレーキリングを装着した場合、ブレーキリング自体の塑性的な挙動によって最大応答変位が約30%増大することが認められた。

2) リングネット防護柵6パネルモデルの解析

ブレーキリングの装着の有無による、リングネット中央部のリングの変位—時間関係を比較した。図-8より、ブレーキリングを装着した場合、最大応答変位に約30%の相違があるが、その時間には大きな相違はみられなかった。

3) ブレーキリングのエネルギー吸収量

落石用3パネルモデルに衝突する落石の運動エネルギーの中で、ブレーキリングが吸収したエネルギーは34.5%となり、ブレーキリングが落石の運動エネルギーを吸収する重要な装置であることが認められた。

5. 結論

- 1) 3次元個別要素法を用いた簡易モデルにより、リングネットの衝撃応答特性を表現できることが確認された。
- 2) ブレーキリングの効果により、リングネットの応答が弾塑性的なものとなり、最大変位が約30%ほど増加するなど、より柔軟に衝突物を受け止めることができることが確認された。
- 3) ブレーキリング装置が、落石が衝突した際のエネルギーを約30%ほど吸収しており、その有効性が解析的にも認められた。

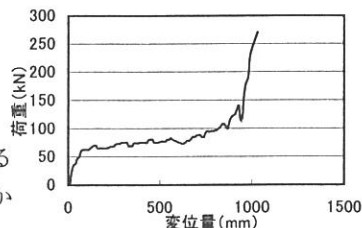


図-4 荷重—変位量関係

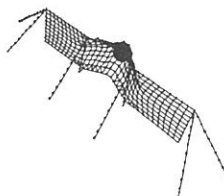


図-5 3パネルモデル

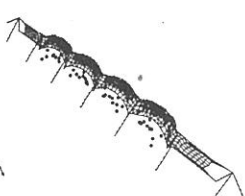


図-6 6パネルモデル

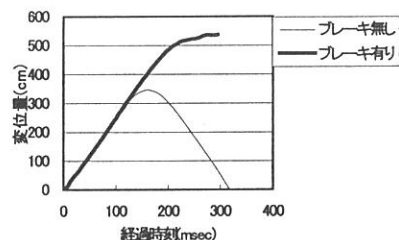


図-7 落石衝突位置における変位—時間関係

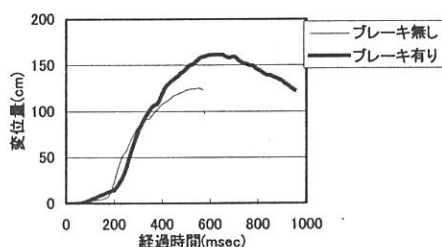


図-8 パネル中央部における変位—時間関係