

3次元個別要素法を用いた鋼製落石防護柵の衝撃応答特性に関する基礎的考察

九州大学 学生会員 石井慎二
 鉄道総合技術研究所 正会員 村石尚

九州大学 正会員 園田佳巨
 九州大学 正会員 彦坂熙

1. 緒言

国土の多くを急峻な地形が占める日本では、斜面防災における落石対策は重要な課題の一つであるが、公共事業費の削減が叫ばれる昨今の状況では、落石対策への投資もできるだけ小さくする必要があるため、経済性に優れる鋼製落石防護柵(写真-1参照)が施工される機会が増えつつある。しかし、落石の衝突を受けた際のネット全体系の挙動を予測する解析手法は未整備であり、その性能の評価基準についても明確な規定はない。そこで、本研究では、3次元個別要素法を改良した衝撃応答解析プログラムを作成し、落石防護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。



写真-1 落石防護ネット構造の野外実験状況

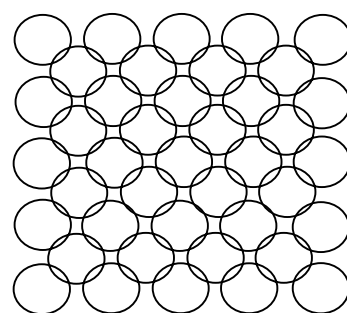


図-1 鋼製リングネット

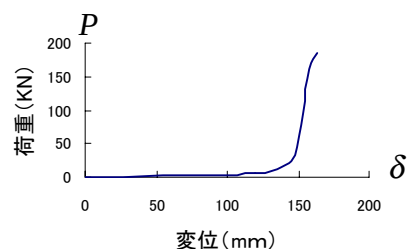


図-2 鋼製リングの二方向引張試験結果

2. 解析手法

2.1 鋼製落石防護柵

解析の対象とした防護柵は、リングネット落石防護柵¹⁾と呼ばれるもので、図-1に示すような鋼製のリングを組み合わせたネットを、基部がヒンジ構造の支柱と鋼製ロープで支えた形式である。現実のリングネット防護柵は、ネットの変形に対して粘性的な拘束力を発揮するブレーキリング等の細部構造も有しているが、ここではネット、支柱、ロープの3主要部材のみをモデル化して解析を試みた。

2.2 個別要素法による衝撃応答解析

リングネット落石防護柵を構成する主要部材(ネット、支柱、ロープ)は、それぞれ全く異なる変形抵抗メカニズムを有するため、個別にモデル化する必要がある。そこで、各部材毎に異なるバネ要素でモデル化した個別要素法を用いて衝撃応答解析を試みた。

①リングネット部：鋼製リングを組み合わせたネットの変形に対する抵抗特性を理論的に求めることは困難である。そこで、図-2に示すような鋼製リングの二方向引張試験結果¹⁾を元に、変位の非線形関数として引張抵抗荷重を与える簡易な方法を試みた。すなわち、リング要素間に引張荷重にのみ抵抗する法線方向バネ k_n として、図-2の接線勾配を求め、以下に示す減衰項 C_n とともに与えた。

$$k_n = f(\delta) = \frac{dP}{d\delta}, \quad C_n = 2h\sqrt{mk_n} \quad (1)$$

ここに、 P ：引張荷重、 δ ：要素間変位、 h ：減衰定数、 m ：要素質量

また、リングネットは支柱間に張った鋼製ロープに吊られる形で設置され、水平方向にスライドすることが可能で
 キーワード：落石防護ネット構造、衝撃応答解析、3次元個別要素法

連絡先：〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 九州大学 工学府建設システム工学専攻 TEL092-642-3262

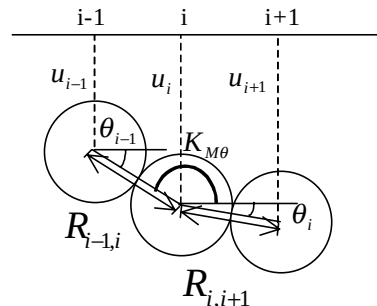


図-3 支柱の曲げバネのモデル化

あるため、リングネット部の上下辺は水平方向の移動は自由とした。

②支柱：支柱にはH形鋼が用いられているため、図-3に示すような曲げバネ K_M を導入し、要素間に作用する曲げモーメントは、次式で求めることとした。

$$M_i = K_M \Delta \tau_i \quad (2)$$

ここに、 $K_M = \frac{EI}{R}$ ， I ：支柱（H形鋼）の断面二次モーメント，

$R = \frac{1}{2}(R_{i-1} + R_i)$ ：隣接要素中心間距離， $\Delta \tau_i = \theta_i - \theta_{i-1}$ ：相対回転角

③ワイヤーロープ：ワイヤーロープにもリングネット同様に引張荷重のみを伝達する要素を用いた。したがって、要素間には法線方向バネ k_n 、減衰項 C_n を以下の式で与えた。

$$k_n = \frac{EA}{R_{ij}}, \quad C_n = 2h\sqrt{mk_n} \quad (3)$$

ここに、 EA ：ロープの軸剛性， R_{ij} ：ロープ要素間距離

なお、落石との接触判定を容易にするため、全部材を球形要素でモデル化している。

3. 数値計算例および考察

図-4に示す鋼製落石防護柵（1パネルのみ）を対象として衝撃応答解析を行った。また、落石条件として、ネット中央に重量2tf、衝突速度20m/sで衝突するものとした。なお、図-4の解析対象の解析を行う前に四辺を拘束したリングネット単体（解析例1）とリングネットを支柱に直接取り付け、支柱を鋼製ロープで支えた場合（解析例2）の解析を行い、境界条件がネットの動的変形挙動に与える影響について考察した。図-5～図-7は、それぞれ3つの異なる境界条件下における落石衝突後100ms経過時のリングネットの変形状況を、また表-1は、解析例における奥行き方向の最大変位量を示している。この結果より四辺を拘束した場合は全体の一様な撓みによって落石を受け止めているのに対し、図-6の両端が支柱の場合、図-7の支柱間に張られた上下の鋼製ロープにリングネットを吊った場合とより変形を許容した境界条件を与えるほど、ネット中央部の変形が局所的に大きくなり、最大変位量に2割程度の増加が確認された。

以上の解析より、本研究で用いた簡易な個別要素法を用いて、落石防護ネットの境界条件が動的変形挙動に与える影響を把握でき、その衝撃応答特性を再現可能であることが確認された。

参考文献 1) 鉄道総研・東亜グラウト共同研究報告書：高エネルギー吸収柵の鉄道への適用に関する研究，平成10年7月

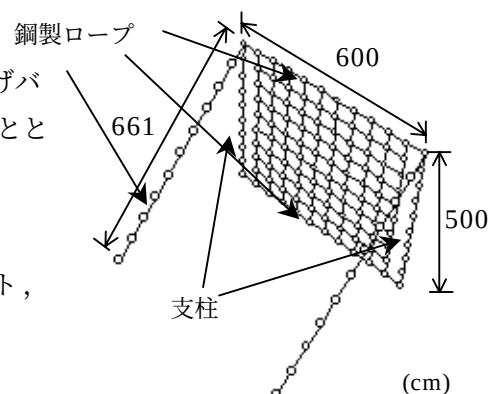


図-4 解析モデル図(解析例3)

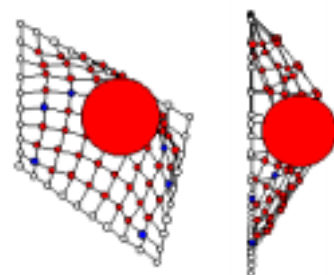


図-5 リングネット単体の変形状況(解析例1)

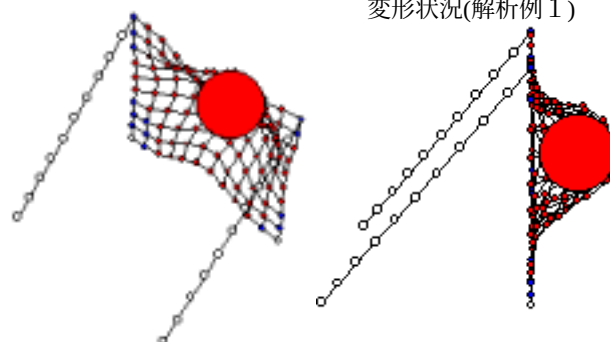


図-6 落石防護ネットの変形状況(解析例2)

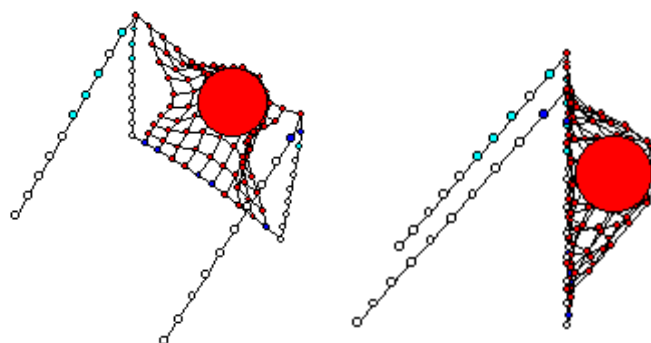


図-7 落石防護ネット(上下辺ロープ)の変形状況(解析例3)

表-1 最大変位量比較

	解析例1	解析例2	解析例3
最大変位量(cm)	140	170	183