

粒子法の概念を用いたワイヤリング落石防護柵の衝撃解析に関する基礎的検討

九州大学大学院
九州大学大学院学生会員 ○尾鼻 秀之
正会員 福永 一基
大成建設(株)正会員 園田 佳巨
正会員 畑 芳宏

1. 目的

日本は国土の大半が山岳地帯であり、各地で落石をはじめとする斜面災害が発生している。対策として様々な落石防護工が設置されているが、ロックシェッドなどの鉄筋コンクリート製防護構造物は、大規模な落石に対応できる反面、多額の建設費用がかかるという問題を抱えている。そのような背景から、建設コストを低減できるだけでなく大規模な落石も受け止められるような高エネルギー吸収型の落石防護柵が普及しており、図-1 のワイヤリング落石防護柵もその一つとして挙げられる。しかし、ネット構造の耐荷性能を評価できる解析手法は未だ確立されておらず、性能の把握には大規模な実物大実験に頼っているのが現状である。そこで、本研究ではワイヤリング落石防護柵の衝撃挙動を再現可能な手法の開発を目的とし、その適用性を検討した。

2. 解析手法

2.1 ワイヤリングのモデル化

ワイヤリング構造物のようにリング間に遊間が存在する場合、リング要素間の力の伝達状態の変化を適切に考慮する必要がある。そこで、本解析では粒子法的一种である SPH 法に独自の kernel 関数を用いた解析を行った。SPH 法は解析対象を有限個の粒子に離散化させ、個々の粒子に影響範囲を設け、kernel 関数を用いた以下の式で物理量を近似的に計算する手法である。

$$f(x) = \int_{\Omega} f(x') \bullet W(x-x', h) dx'$$

ここで W は kernel 関数、 h は影響範囲の大きさである。通常は、kernel 関数 W には距離の近い粒子ほど影響が大きくなる特性を与えるが、リングどうしの距離が大きくなるほど引き合う力が強くなるようなネット構造の場合には、通常の kernel 関数を適用するのは難しいと考えられる。そこで、図-2 中の青線に示すように粒子間距離が大きいほど重みが大きくなるような関数を適用することにした。

2.2 ワイヤロープのモデル化

ワイヤロープを粒子で離散化するために、粒子間に引張力を伝達できるバネ要素を設けることにし、図-3 に示すような実際のロープの応力ひずみ関係を参考にして弾塑性特性を考慮した。現実のロープの挙動は、図中の黒線で示す非線形曲線で表されるが、解析モデルには赤線で示すようなトリリニア関数を用いることにした。



図-1 ワイヤリング落石防護柵

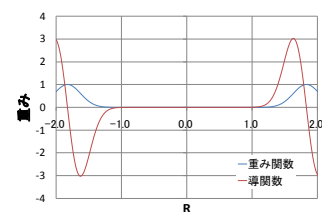


図-2 kernel 関数

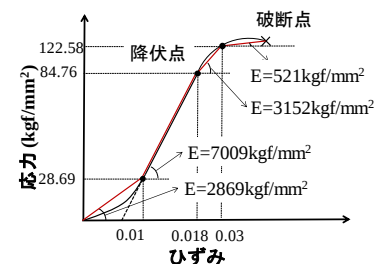


図-3 ロープの応力ひずみ関係

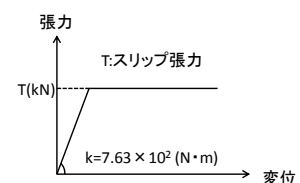


図-4 ブレーキシステムのバネ特性

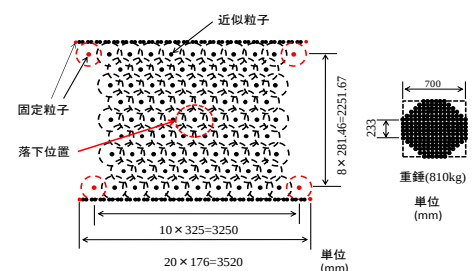
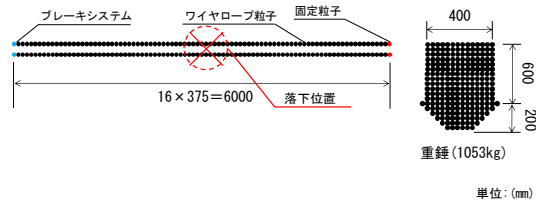


図-5 解析モデル(実験①)

キーワード ワイヤリング落石防護柵, ワイヤリング, ワイヤロープ

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 九州大学 TEL 092-802-3370

表-1 材料定数(実験①)



	密度 (kg/m ³)	ヤング率 (kgf/m ²)
ワイヤリング	7.80×10^3	2.10×10^{10}
重錘	2.10×10^3	2.10×10^9
ロープ	7.90×10^3	7.0×10^9

図-6 解析モデル(実験②)

表-2 材料定数(実験②)

	密度 (g/cm ³)	ヤング率 (N/mm ²)
ワイヤロープ	8.28	1.0×10^6
重錘	5.01	2.1×10^4

表-3 実験ケースおよび実験結果

	トルク値 (N・m)	スリップ張力 (kN)	重錘落ち込み量 (m)	ワイヤスリップ量 (m)
CASE1	65	24.5	1.35	0.60
CASE2	70	26.7	1.28	0.54
CASE3	75	28.5	1.24	0.50
平均	-	26.56	1.29	0.52

2.3 ブレーキシシステムのモデル化

落石エネルギーを吸収する機構の一つにブレーキシシステムがある。これは、落石による引張力がスリップ張力に達すると一定の張力を保ったままワイヤロープがスリップし始め、その摩擦力により落石エネルギーを吸収する仕組みである。本研究では、図-4に示す完全弾塑性型のバネ特性を導入することでその仕組みを再現している。

2.4 実験概要

本研究では以下の2種類の実験を対象とする解析を行った。

- ① 上下2辺にワイヤロープを通した1面のワイヤリングネットの中央に質量810kgの重錘を高さ10mから自由落下させる実験。
- ② 2本のワイヤロープの片方を固定し、もう片方にブレーキシシステムを設置してロープ上に重錘を自由落下させる実験。

2.5 解析条件および解析結果

図-5、図-6に各実験の解析モデルを示す。また、表-1、表-2に各部材の材料定数を、表-3に実験②の実験ケースと実験結果を示す。図-7、図-8に実験①での重錘変位応答とロープ張力-時間関係を示すが、解析値と実験値が概ね一致していることから、本解析手法を用いてワイヤリングネット構造の衝撃応答を概ね推定できることが認められた。次に、図-9、図-10にワイヤロープのスリップ量と落ち込み量の時間推移を示すが、実験ケースの平均値とほぼ一致しており、今回のブレーキシシステムに関するモデル化も妥当であることが確認できた。

3. 結論

本解析手法で、ワイヤリングネットおよびワイヤロープの衝撃挙動を高い精度で再現できることがわかった。また、スリップを有するブレーキシシステムの特性についても概ね再現可能であると考えられる。今後は、このブレーキシシステムを取り付けたワイヤロープをワイヤリングネットに通した全体系モデルの衝撃解析を試みることで、本手法を用いた性能照査の妥当性を検討していきたい。

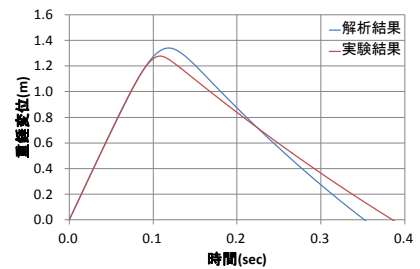


図-7 重錘変位応答

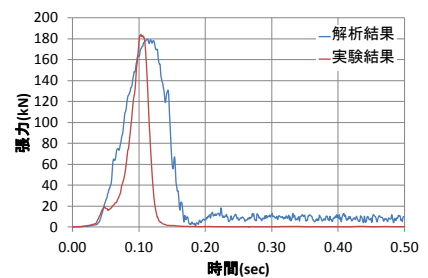


図-8 ロープ張力-時間関係

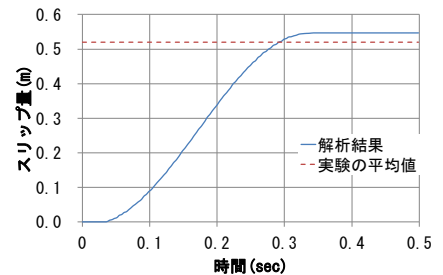


図-9 スリップ量-時間関係

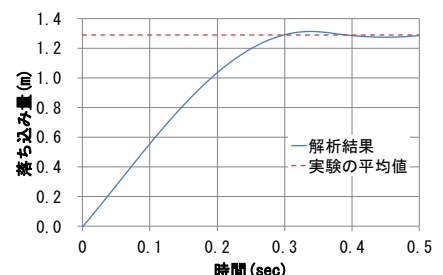


図-10 落ち込み量-時間関係