

ワイヤロープの挙動に着目したワイヤリング防護柵の衝撃解析手法に関する基礎的検討

九州大学 学生会員 ○尾鼻 秀之
九州大学大学院 正会員 園田 佳巨
九州大学大学院 正会員 福永 一基

1. はじめに

日本は国土の7割以上を山地が占めており、また梅雨・台風などにより雨が多い。こうした環境により全国各地で落石災害が多発しており、対策として様々な落石防護工が設置されているが、いくつかの問題を抱えている。大規模な落石にも対応可能なロックシェッドは建設費用が膨大であるのに対し、従来の落石防護柵では小規模な落石しか対応できない。こうした背景から低コストで高エネルギー吸収型の落石防護柵が求められており、これに応える形で図-1に示すようなワイヤリング防護柵が開発された。しかしながらネット構造物の解析方法は未だ確立されておらず、実構造物を使った大規模な実験で性能照査を行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防護柵の衝撃挙動を再現できる解析手法の開発を目的とし、その適応性について検討を行った。

2. 解析手法

2.1 リングネットのモデル化

ワイヤリング構造物の特徴として、ネットの大きな変形性能が挙げられる。リング間には遊間が存在しており、またリングそのものも衝撃が加わることで大きく変形する。このように大変形を伴う構造物に対して有限要素法を適用するのは難しいと考えられる。そうした点を踏まえて採用したのが粒子法的一种であるSPH法である。SPH法は連続体を有限個の粒子に離散化させ、図-2に示すようにある評価点に対して影響範囲を設ける。そしてその範囲内における粒子と評価点の間で互いに及ぼしあう影響を重み関数と呼ばれる関数によって考慮し、評価点の物理量を近似的に求める手法である。その近似式を以下に示す。

$$f(x) = \int_{\Omega} f(x') \cdot W(x - x', h) dx' \dots (1)$$

ここで W は重み関数、 h は影響範囲の大きさである。また、通常の連続体では重み関数 W は正規分布関数で表され、それは評価点に近い粒子ほどその重みが大きいうことを意味する。しかしワイヤリングはモデルの複雑化を避けるため1リングを1粒子で離散化しており、互いに離れるほど引き合う力が強くなるため通常の重み関数を用いることは適切ではないと考えられる。そこで、リングに対して図-3に示すような粒子間距離が大きいほど重みの大きくなる特性を有する関数を用いることを提案した。



図-1 ワイヤリング防護柵

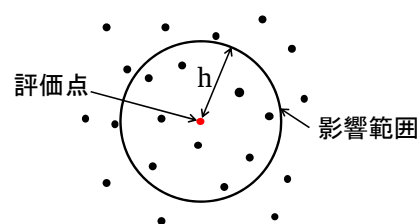


図-2 連続体の離散化モデル

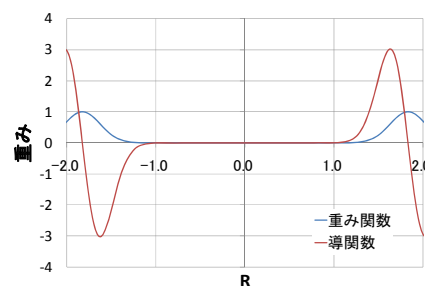


図-3 重み関数

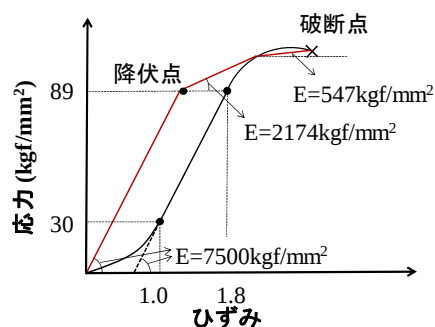


図-4 ロープの応力ひずみ関係

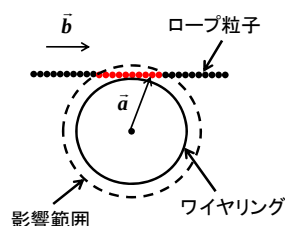


図-5 ロープ・リングの解析モデル

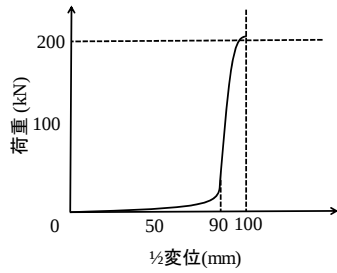


図-6 単リング引張試験結果

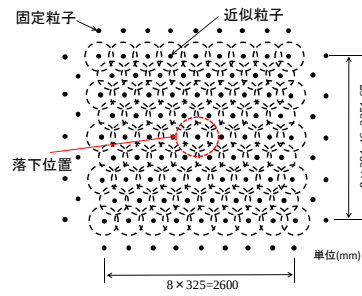


図-7 解析モデル(case1)

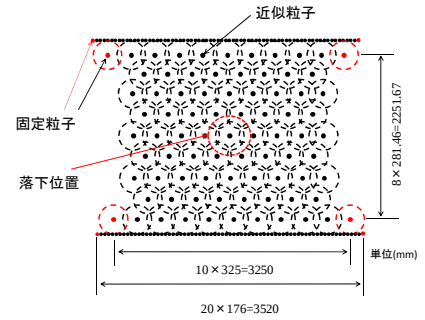


図-8 解析モデル(case2)

2.2 ワイヤロープのモデル化

リングと同様に、ロープも粒子で離散化しており、粒子間にバネを設けて力の伝達を行った。また、ロープの弾塑性を考慮するにあたって図-4に示す弾塑性モデルを適用した。なお、現実のロープは初期変形時に非線形な挙動を示しているが、解析モデルでは初期段階から線形弾性体とみなして近似した赤線で示す関係を適用した。

2.3 リング-ロープ粒子間の伝達力のモデル化

リングは図-5に示す影響範囲内のロープ粒子と力の伝達を行う。伝達力に関しては、図-6に示す単リング引張試験の結果を用いてモデル化した。なお、影響範囲内のロープ粒子の荷重分担は、以下のパラメータ α の比率を用いて計算した。

$$\alpha = 1 - \vec{a} \cdot \vec{b} \quad \cdots (2)$$

ここで $\vec{a}$ はリング-ロープ粒子間のベクトル、 $\vec{b}$ はロープの初期配列を表す。

3. 解析内容

3.1 解析条件

図-7に示すような4辺を支持した1面のワイヤリングネット中央に質量550kgの重錘を自由落下させる解析(case1)と図-8に示すような1面のワイヤリングネットに上下2本のロープを通した支持条件で質量810kgの重錘を自由落下させた場合の解析(case2)を行った。なお、落下高さはどちらも10mとする。また、表-1に各部材の材料定数を示す。

3.2 解析結果

図-9、図-10に重錘変位応答を示す。case1では解析結果と実験結果で最大変位がほぼ等しく、case1に対して本解析手法は適用が妥当であることが確認された。同様にcase2の場合も重錘変位に大きな差は無く、この結果からcase2も本解析手法によって精度良く再現することが可能であると考えられる。また、図-11に示すロープ張力-時間グラフでは最大張力に相違が見られるが、これはリング-ロープ間の伝達力特性を再検討することで改善されることが考えられる。

4. 結論

本解析手法を用いることでワイヤリングネット単体を4辺支持した状態と上下2本のロープで支持した状態の両ケースに対し衝撃挙動を概ね再現できることが確認された。今後、リング-ロープ間の伝達力特性について改良する必要があると考えられる。

表-1 材料定数

	密度 (kg/m ³)	ヤング率 (kgf/m ²)
ワイヤリング	4.65×10^3	2.10×10^{10}
重錘	550kg	2.48×10^3
	810kg	2.10×10^3
ロープ	9.29×10^3	7.50×10^9

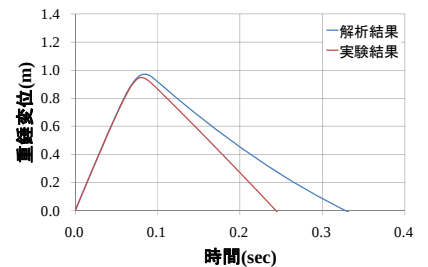


図-9 重錘変位応答(case1)

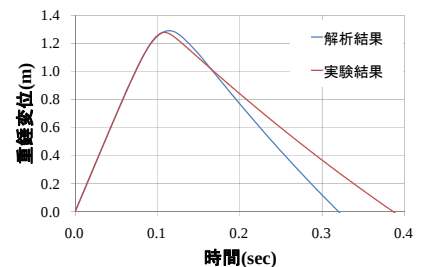


図-10 重錘変位応答(case2)

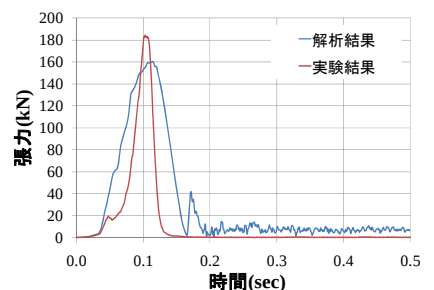


図-11 ロープ張力-時間グラフ
(case2)