

落石防護ネット構造の衝撃挙動に関する解析的考察

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

九州大学大学院

正会員 園田 佳巨

1. 目的

日本は国土の7割以上が山地であることから、全国各地で落石をはじめとする斜面災害が多発している。対策としてロックシェッドなどの鉄筋コンクリート製の落石防護構造物が設置されているが、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。そこで、建設コストを抑えつつ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開発され、図-1のワイヤリング落石防護柵もその一つである。しかし、ネット構造物の性能評価のための解析手法はまだ確立されておらず、多額の費用がかかる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できる解析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

本解析では、計算量の低減を図るために1リングを1粒子でモデル化した。ワイヤリング構造物のようにリング間に遊間を有する場合、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法を用いた解析を行った。SPH法は解析対象の構造物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定し、カーネル関数を用いた以下の式で評価点の物理量を近似的に計算する手法である。

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

ここで W はカーネル関数、 h は影響範囲の大きさを示す。通常、カーネル関数 W には図-2に示すような距離の近い粒子ほど影響が大きくなる特性を与えるが、リングどうしが近づくと両者間に力は働かなくなり、離れようとするほど引き合う力が強くなるようなネット構造には、通常のカーネル関数をそのまま適用するのは難しいと考えられる。そこで、図-3に示すように粒子間距離が大きいほど重みも増大するようなカーネル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場合、粒子間に引張力を伝達できるバネ要素を設け、図-4に示すような実際のロープの応力ひずみ関係を用いた弾塑性特性を考慮した。実際のロープは図中の黒線で示す非線



図-1 ワイヤリング落石防護柵

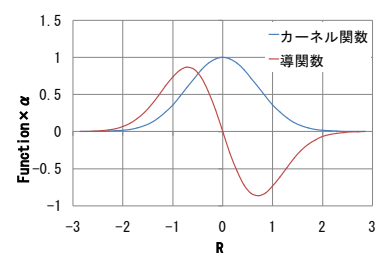


図-2 カーネル関数

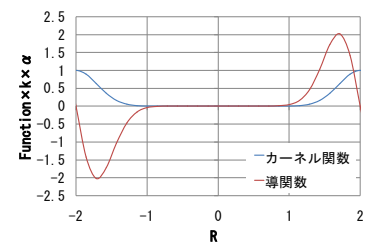


図-3 ワイヤリングのカーネル関数

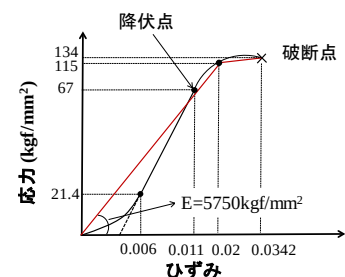


図-4 ロープの応力ひずみ関係

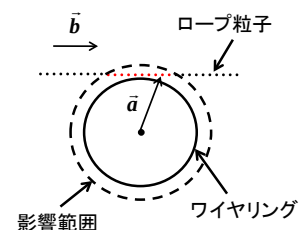


図-5 ロープ・リング間モデル

キーワード ワイヤリング落石防護柵、カーネル関数、プレーキシステム

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

形曲線で表される挙動をとるが、解析モデルには赤線で示すバイリニア関数を仮定した。また、ワイヤリングへの力の伝達を表現するために図-5に示すようにリングごとに影響範囲を設けて接触するロープ粒子を判定した。なお、リングにかかる荷重のロープ粒子への配分方法として、以下に示すパラメータ α を用いた。

$$\alpha = 1 - \vec{a} \cdot \vec{b}$$

ここで $\vec{a}$ はロープ・リング間のベクトル、 $\vec{b}$ はロープの初期配列ベクトルを意味する。リング粒子から最短距離のロープ粒子に最大の接触力が作用すると考え、最近傍のロープ粒子でパラメータが最大になるように設定した。

2.3 ブレーキ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としてワイヤロープ端部に、図-6に示すブレーキシステムを設置している。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ブレーキ内の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になっている。本解析では、図-7に示す完全弾塑性型のバネ特性を導入することでスリップを再現している。なお、スリップ張力は50kNに設定している。

2.4 支柱のモデル化

支柱上下にはワイヤロープを通す孔があり、その際の接触力を考慮するために孔を一つの粒子とみなして、ロープ粒子との間にバネを設けた。また、支柱については一列に並ぶ粒子でモデル化し、粒子間に軸力と曲げモーメントを伝達する剛性を与えた。

2.5 解析条件および解析結果

図-8に解析モデルを示す。図中に緑の線で示すサポートロープは支柱が傾かないように固定するために設置している。また、表-1に各部材ごとの材料定数を、表-2に解析ケースを示す。図-9に case2 における重錘変位応答を示すが、解析結果と実験結果の最大値にある程度の誤差が見られることが分かる。また、表-3に各ブレーキシステムのスリップ量を示している。実験結果と同様に、ネット中央部に近いブレーキほどよりスリップする傾向はつかめているが、各ブレーキでスリップ量に差が生じていることがわかる。これらの原因として、支柱とワイヤロープ間の接触力のモデル化が考えられる。支柱の孔とそこを通るワイヤロープとの接触がうまく表現できず、ロープ端部のブレーキに衝撃が十分に伝達されなかったためスリップしきれなかった可能性がある。

3. 結論

本解析手法で、ワイヤリング落石防護柵の衝撃挙動を概ね再現できることがわかった。しかし、ブレーキが十分にスリップしなかったことからワイヤロープ端部への力の伝達がうまく行えなかったことが考えられる。今後は、ワイヤロープと支柱間の接触力の計算方法を改良することで解析モデルの精度向上に努めたい。

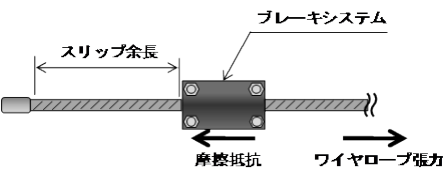


図-6 ブレーキシステム

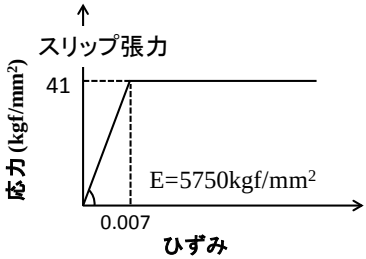


図-7 ブレーキシステムのバネ特性

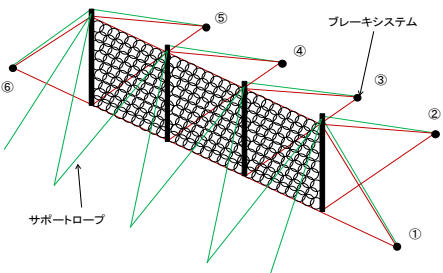


図-8 解析モデル

表-1 材料定数

	密度 (kg/m³)	ヤング率(N/mm²)
ワイヤリング	7.80×10^3	2.10×10^5
ワイヤロープ	8.28×10^3	5.75×10^4
重錘	2.10×10^3	2.10×10^4
支柱	7.80×10^3	2.05×10^5

表-2 解析ケース

実験 ケース	ネット No.	重錘質量 (kg)	落下高さ (m)	衝突速度 (m/s)	衝突エネルギー (kJ)	捕捉成否
CASE1	1	810	2.5	7	20	○
CASE2	2		25.2	22.2	200	○

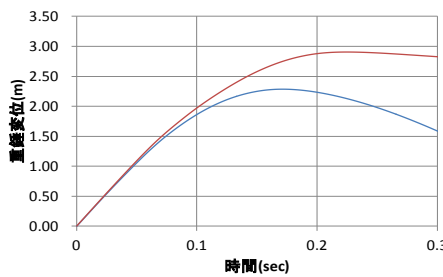


図-9 重錘変位応答 (CASE2)

表-3 ブレーキシステムのスリップ量 (CASE2)

	ブレーキシステムスリップ量(mm)					
	①	②	③	④	⑤	⑥
実験	210	245	1180	917	50	40
解析	166	119	676	725	127	311