

# SPH 法の概念を適用した落石防護ネット構造の衝撃応答解析

九州大学大学院 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70%以上が山岳地帯で、全国各地で落石や地すべり等の斜面災害が多発している。その対策として経済性に優れ、大規模な落石にも対応可能な高エネルギー吸収型の落石防護柵が開発された。その外観を図-1に示す。しかしこうしたネット構造物の解析手法はまだ確立されておらず、性能照査を行うには大規模な実物実験を実施しなければならない。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正確に再現できるような解析手法の開発を目的としている。ワイヤリング落石防護柵は3スパンを基本として設置され、これまでの研究で本解析手法により1スパンのワイヤリングネットの衝撃応答解析が可能であることが確認された。本論では次のステップとして3スパン全体系のワイヤリングネットの解析を試み、解析手法の妥当性を検証した。



図-1 ワイヤリング落石防護柵

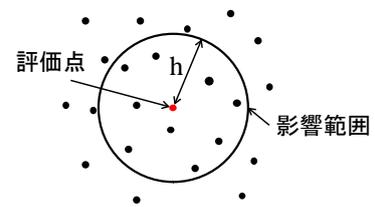


図-2 連続体の離散化モデル

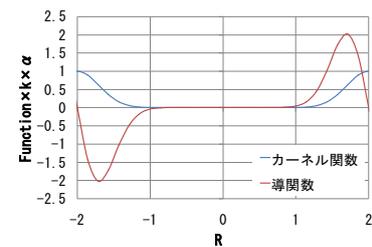


図-3 ワイヤリングのカーネル関数

## 2. 解析手法

### 2.1 ワイヤリングネットのモデル化

本研究では解析手法として粒子法の一つであるSPH法を採用している。SPH法は連続体を有限個の粒子で離散化させ、図-2の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合う影響をカーネル関数と呼ばれる関数で考慮し、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。

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

ここでWはカーネル関数、hは影響範囲の大きさを示す。ワイヤリング構造物では絡み合うリング間に遊間が存在するため、ワイヤリング同士が極めて近いと両者間に力は働かなくなる。それに対して、SPH法に通常用いられるカーネル関数は粒子間距離が小さいほど大きな値を与える特性を有することから、そのままワイヤリングに適用するのは難しい。そこで、本解析では図-3に示すような粒子間距離が大きくなるほど重みの増すカーネル関数を適用している。

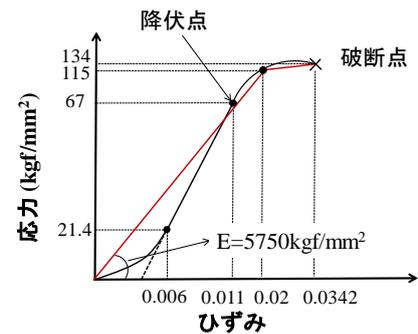


図-4 ロープの応力ひずみ関係

### 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際、粒子間に弾塑性バネを設けて粒子間の伝達力を計算している。実際のロープの応力ひずみ関係を図-4に示すが、解析では赤線で示すバイリニア型の弾塑性特性を与えた。

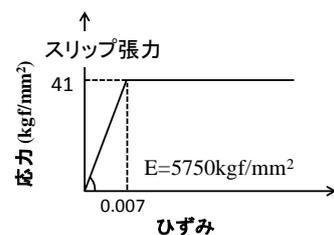


図-5 ブレーキのバネ特性

表-1 実験ケース

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	○

表-2 材料定数

	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	ヤング率 (N/mm <sup>2</sup> )
ワイヤリング	$7.80 \times 10^3$	$2.10 \times 10^5$
ワイヤロープ	$8.28 \times 10^3$	$5.75 \times 10^4$
重錘	$2.10 \times 10^3$	$2.10 \times 10^4$
支柱	$7.80 \times 10^3$	$2.05 \times 10^5$

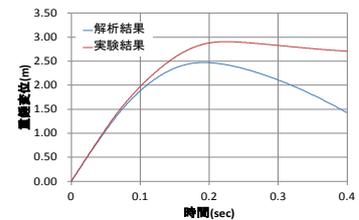


図-6 重錘変位応答 (CASE2)

### 2.3 ブレーキシステムのモデル化

ワイヤリング落石防護柵では、ネットに衝突した落石による荷重が、ネットを支えるロープを介して端部のブレーキシステムへ伝達される。その際、落石による衝撃力が一定値(スリップ張力)に達すると、張力を保った状態でブレーキシステム内のワイヤロープがスリップし、その際の摩擦によって落石エネルギーを吸収することが期待される。本解析では、図-5 に示すような完全弾塑性型のバネ特性でブレーキシステムの力学特性をモデル化し、スリップ張力は 50kN に設定した。

### 2.4 支柱のモデル化

支柱には上下に前後に張られたロープを通す孔が設けられており、孔を通るワイヤロープと支柱孔の縁が接触することで力が支柱に伝達される構造になっている。そこで、本解析ではワイヤロープと支柱の接触力を表現できるようにバネで結合した。なお、支柱についても一列に並ぶ粒子で表現しているが、支柱粒子間には軸力と曲げモーメントを伝達する部材剛性を与えて計算している。

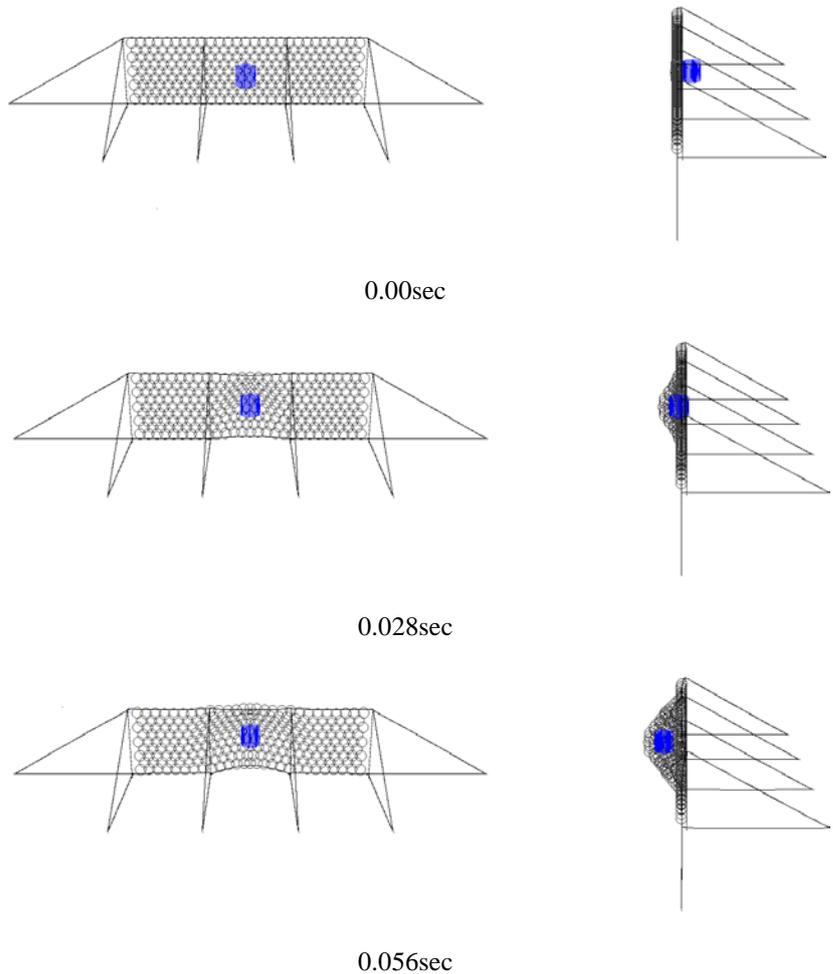


図-7 時刻歴応答 (CASE2)

### 3. 解析結果

表-1 に実験ケースを、表-2 に各部材の材料定数を示す。図-6 に CASE2 の重錘変位応答の実験・解析結果を載せているが、これより本解析手法を用いて重錘が衝突した後の挙動を概ね再現することが可能であることが確認できた。図-7 に落石防護ネット全体系の応答状況を示す。構造全体の変形挙動は実物と同様の傾向を示しているが、解析結果はブレーキがほとんどスリップしておらず、ネットが重錘の衝突エネルギーの大半を吸収する結果が得られた。このことから、ワイヤリングネットおよびワイヤロープから支柱を介してロープ端部へのブレーキシステムへと伝わる衝撃力がうまく再現されていないと考えられ、支柱とロープ間の力の伝達特性について再検討する必要があると思われる。

### 4. 結論

SPH 法の概念を用いた本解析手法により、3 スパン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。今後はワイヤロープと支柱間の伝達力のモデル化の改良などを行い、実物に近い現象の再現を試みたい。