# 1.はじめに

日本は国土の大半を山地が占めており,梅雨や台風などで1年通 して雨も多いことから,全国各地で落石や地すべり等の斜面災害が 頻発している.その対策として開発が進められているのが,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 護柵であり,本研究対象であるワイヤリング落石防護柵もその一つ である.その外観を図-1 に示す.しかしこうしたネット構造物を 性能評価するための解析手法はまだ確立されておらず,大規模な実 物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正確に再現可能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スパン構造を基本とし ており,これまでの研究成果として,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.よって本論では 次のステップとして3スパン全体系の解析を試み,解析手法の妥当 性を検証した.

# 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種である SPH 法を採用し ている. SPH 法はまず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との間で互いに及ぼし合う影響を考慮する ため重み関数と呼ばれる関数を用い, 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.

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

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づく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重み関数は粒子間距離が小さいほど 大きな重みを与えるような分布をとるため, そのままワイヤリング に適用することは難しい. 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重み関数を適用している.

# 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 て粒子間の力の伝達を表現している.図-4 に実際のワイヤロープ の応力ひずみ関係を示すが, 解析では赤線で示すようにバイリニア

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



図-1 ワイヤリング落石防護柵









図-4 ロープの応力ひずみ関係



図-5 ブレーキのバネ特性

型関数に近似して与えた.また、ワイヤロープはワイヤリングネットと絡み合う構造になっているので両者間の接触を考慮する必要がある.そこで、ワイヤリングに影響範囲を設けて接触するワイヤロープ粒子を判定し、伝達される荷重を各粒子へ分担するため以下に示すパラメータを用いた.

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

ここで $\vec{a}$ はワイヤリング・ワイヤロープ間のベクトル, $\vec{b}$ はワイヤ ロープの初期配列を表す.

## 2.3 ブレーキシステムのモデル化

ブレーキシステムは落石エネルギー吸収機構の一つであり、ネッ ト背面のワイヤロープ端部に設置されている.ワイヤロープを鋼板 で挟み込んでおり、ロープ張力が一定値(スリップ張力)以上になる とその張力を保持したままスリップし始め、その際の摩擦抵抗によ り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-5 に示すような完全弾塑性型のバネ特性を導入しており、スリップ張 力は 50kN に設定した.

#### 2.4 支柱のモデル化

支柱の上下には、ワイヤリングネットを吊り下げるワイヤロープ を通す挿通孔が設けられている.この孔を通るロープと支柱孔の縁 の接触を考慮するため、本解析では図-6 に示すように挿通孔を 1 つの粒子とみなし、影響範囲を設けて範囲内にあるロープ粒子に対 して、孔粒子方向への拘束力をかけることで挿通孔内を通過するロ ープの挙動を再現できるようにモデル化した.ただし、ロープの通 過方向に対する変位の拘束は行っていない.また、支柱についても ー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いる.

## 3. 解析結果

解析モデルとして図-7 に示すような3スパンモデルを構築し, 表-1 に実験ケースを,表-2 に各部材の材料定数を示す.図-8 で CASE2 の重錘変位応答,表-3 で各ブレーキシステムのスリップ量 の実験・解析結果を比較しているが,重錘が衝突した後の変位応答 を概ね再現可能であることを確認できた.これらの結果から,本解 析手法を用いて,ワイヤリングネット構造の各部材の衝撃応答特性 を正確に把握できることがわかった.

#### 4. 結論

SPH 法の概念を用いた解析手法により,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.今後の課題 として,本解析手法を用いて各種の落石条件下での落石防護柵の性

能評価を行うことで,落石の衝突位置や落石エネルギーが異なるケースを解析することで,ワイヤリングネット構造の弱点箇所を把握することが挙げられる.また,設置箇所の地形によっては,ネットのスパン間隔等が変わることも予想されるので,最適なブレーキ特性等も解析的に検討する必要があると考えられる.



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	010	2.5	7	20	0
CASE2	2	810	25. 2	22.2	200	0

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-8 重錘変位応答(CASE2) 表-3 ブレーキシステムのスリップ量

	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	179	67	794	803	74	183