

粒子法の概念を用いたワイヤリング防護柵の衝撃応答解析

九州大学大学院 学生会員 ○畑 芳宏
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. 緒言

我が国では、国土の大半を急峻な地形が占めることから、毎年のように落石等の斜面災害が各地で生じている。このような災害に対して様々な構造物が設置されている。しかし、従来の落石防護構造物は、ロックシェッドのような鉄筋コンクリート製の構造物が主体であり、多額の建設費を必要とするとともに、構造規模が大きく地形的制約を受けることなどが指摘されている。このような背景から、近年では大きな落石エネルギーを効率的に吸収できる高エネルギー吸収型落石防護柵が開発されてきた。しかし、その性能を解析的に評価できる手法は確立されておらず、実物大の衝撃実験で照査しているのが現状である。そこで、本研究では、代表的な粒子法であるSPH法の概念を用いて、写真-1に示すようなワイヤリング防護柵の衝撃応答解析プログラムを開発し、その適用性について検討した。

2. 解析手法

解析対象であるワイヤリング防護柵はワイヤリング、ワイヤロープ、支柱、ワイヤロープ端部のブレーキシステム等で構成されており、衝撃挙動を表現するために各々の力学特性をモデル化する必要がある。本研究では、ワイヤリング、ワイヤロープ、ブレーキシシステムの3つの主要部材をモデル化し、基礎的な検討を試みた。

(1)ワイヤリングのモデル化：本解析では、解析モデルのデータ作成が容易であり、大変形問題に対しても適応が柔軟であるメッシュレス法(SPH法)の概念を用いて衝撃解析を行った。個々のリングを1粒子で離散化し、ワイヤリング間距離が大きくなるほどお互いが引き合う力も大きくなる力学特性表現するために、図-1に示すように、粒子間距離が大きいほど重みが増大するkernel関数を採用している。

(2)ワイヤロープのモデル化：ワイヤロープについても粒子で離散化し、粒子間に弾性バネを設けて力の伝達を表現した。また、ワイヤリング粒子との間には、図-2に示すように影響範囲を設定し、その影響範囲内のワイヤロープ粒子と力の伝達を行う。伝達力は、図-3に示すような単リングの引張試験で得られた結果を元に、簡易な変位の非線形関数として表した引張抵抗をワイヤリング粒子と影響範囲内の総ワイヤロープ粒子に与えることにした。なお、影響範囲内のワイヤロープ粒子の荷重分配は、図-2に示すワイヤリング粒子とワイヤロープ粒子間のベクトル $\vec{a}$ とワイヤロープ粒子の初期配列を表すベクトル $\vec{b}$ の内積を用いた式(1)のパラメータ α の比率を用いて計算している。また、ワイヤリング粒子の変位・移動に伴い、力の伝達を行うワイヤロープ粒子が変わることでリングの滑りを表現した。

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



写真-1 ワイヤリング防護柵

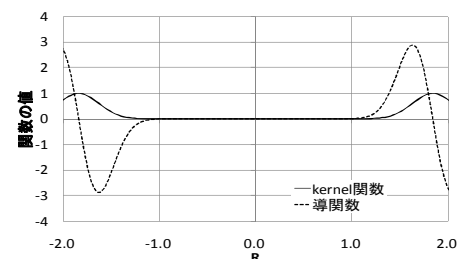


図-1 提案した kernel 関数

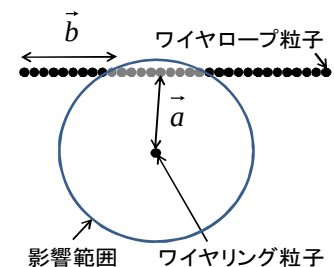


図-2 影響範囲の設定

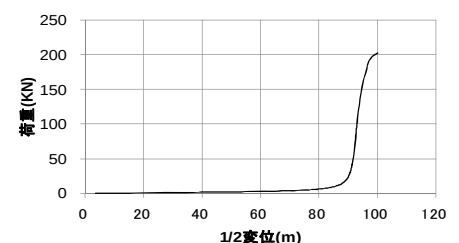


図-3 単リング引張試験結果

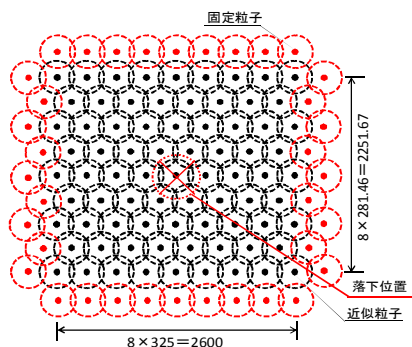


図-4 解析モデル 1

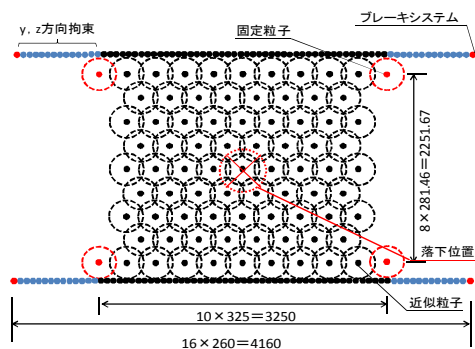


図-5 解析モデル 2

表-1 材料定数

	密度 (g/cm ³)	ヤング率 (N/mm ²)	粒子直径 (mm)
ワイヤリング	4.65	2.1×10^5	350.0
ワイヤロープ	4.65	2.1×10^3	16.00
重錘(550kg)	2.25	2.1×10^4	50.0
重錘(880kg)	2.28	2.1×10^4	40.0

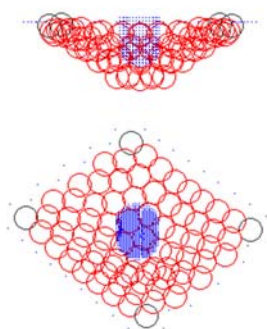
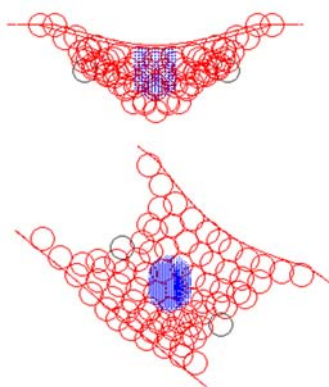
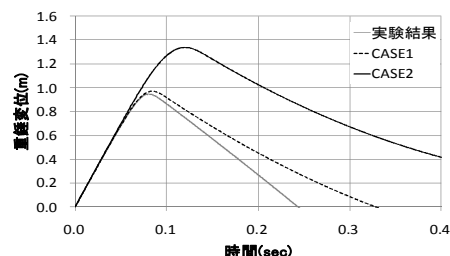
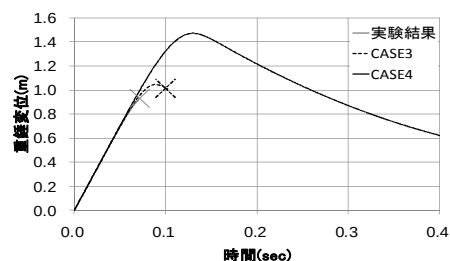
図-6 衝撃挙動
(CASE1)図-7 衝撃挙動
(CASE2)

表-2 解析ケース

解析 ケース	重錘 質量 (kg)	落下 高さ (m)	衝突 エネルギー (kJ)	モデル	実験 有無
CASE1	550	10	53.90	1	有
CASE2				2	無
CASE3	880	10	86.24	1	有
CASE4				2	無

図-8 重錘変位応答
(重錘 550kg)図-9 重錘変位応答
(重錘 880kg)

(3)ブレーキシステムのモデル化：ブレーキシステムとは、所定の張力が作用した時点で一定の力を保持したままワイヤロープが滑動を開始し、摩擦によりエネルギーを吸収する構造である。解析では、スリップ張力を 50kN とし、スリップ張力に至るまでは完全固定。スリップ張力に達すると反力 50kN をかけてブレーキシシステムを表現した。

3. 解析結果及び考察

図-4, 5 に 4 辺支持したワイヤリングネット単体の解析モデル 1 とワイヤリングネットに上下ロープを通し、ロープ両端にブレーキシシステムを導入した解析モデル 2 を示す。本研究では支持条件の違いによる耐衝撃性能について考察した。なお、材料定数と解析ケースは表-1 と表-2 に示す。図-6, 7 には CASE1, CASE2 における重錘衝突後 0.1sec 経過時のワイヤリング防護柵の衝撃挙動、また図-8 には重錘の変位応答を示している。これらの図より、解析モデル 1 では重錘をネット全体で均等に受けとめているのに対し、解析モデル 2 ではワイヤリングが中央によってネットの変形能が大きくなっていることが確認された。また、CASE1 は実験値を概ね再現できていることより、本解析手法の適用が妥当であることが確認できた。以上のことより、上下ロープを通しロープ両端にブレーキシシステムを導入することによりネットの変形能、重錘の捕捉能力が向上すると推測される。実際に、図-9 から分かるように CASE3 で捕捉できなかった衝撃エネルギーを CASE4 では捕捉できている。

4. 結言

本研究で開発したワイヤリング防護柵の衝撃応答解析プログラムを用いることで、衝撃挙動を概ね再現することが確認できた。また、本解析では上下ロープを通したネットの方が重錘を捕捉できる衝撃エネルギーが大きいことが分かった。今後は、解析モデル 2 のような衝撃実験を行い、定量的な検討を行う必要がある。