

粒子法の概念を用いたワイヤリング防護柵の衝撃応答特性に関する基礎的考察

九州大学大学院

九州大学大学院

九州大学大学院

学生会員 ○畑 芳宏

正会員 園田 佳巨

正会員 福永 一基

1. 緒言

我が国は国土の約7割が山岳地帯であり、毎年多くの落石等の自然災害が発生している。そのため、落石災害に対し様々な防護構造物が設置されてきた。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、建設に多額の費用を要することが指摘されている。そのため、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の落石防護柵が普及しているが、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、本研究では粒子法の概念を用い、図-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、ブレーキシシステム等で構成されており、衝撃挙動を再現するためには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、ワイヤロープの2つの主要部材をモデル化し、実験との比較検討を試みた。

(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粒子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を表現するために、図-2に示す粒子間距離が大きくなるほど重みが増大するkernel関数を採用した。

(2)ワイヤロープのモデル化：ワイヤロープにおいても粒子で離散化しており、粒子間には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-3に示すような影響範囲を設定し、その影響範囲内のワイヤロープ粒子と力の伝達を行う。ここで、伝達力は、図-4に示すような単リングの引張試験の得られた結果をもとに、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-3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)で表すパラメータ 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化することでリングの滑りを表現した。

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



図-1 ワイヤリング防護柵

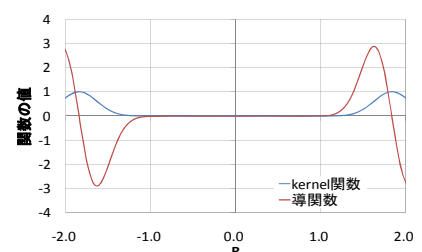


図-2 提案する kernel 関数

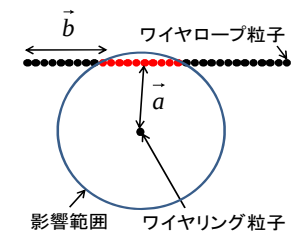


図-3 影響範囲の設定

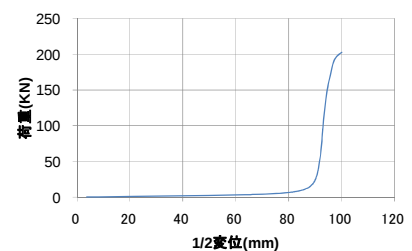


図-4 単リング引張試験の結果

キーワード ワイヤリング防護柵, 衝撃応答解析, 粒子法

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

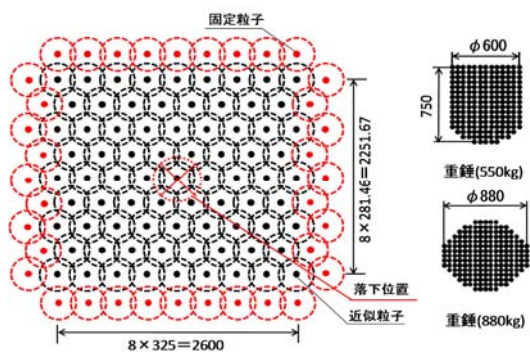


図-5 解析モデル 1

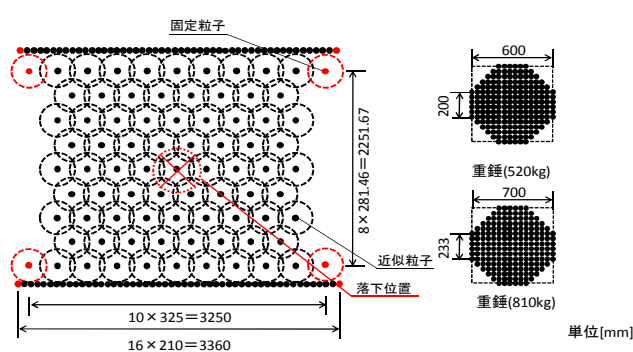


図-6 解析モデル 2

表-1 材料特性

		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	3.0×10^4	16.00
解析モデル1	重錘(550kg)	2.25	2.1×10^4	50.0
	重錘(880kg)	2.28	2.1×10^4	40.0
解析モデル2	重錘(520kg)	2.53	2.1×10^4	40.0
	重錘(810kg)	2.48	2.1×10^4	46.6

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)	解析 モデル	捕捉 成否 (実験)
CASE1	550	10	53.90	1	○
CASE2	880	7	60.37	1	×
CASE2-2				2	—
CASE3	520	1	5.10	2	○
CASE4	810	10	79.38	2	○

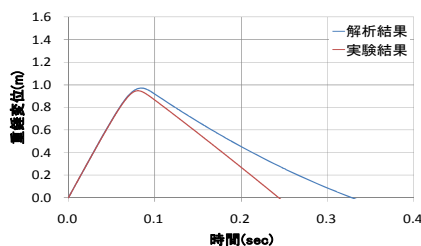


図-5 重錘変位応答 (CASE1)

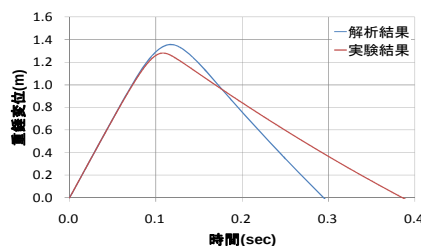


図-6 重錘変位応答 (CASE4)

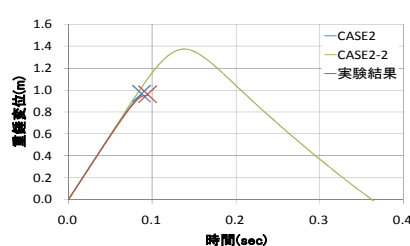


図-7 重錘変位応答 (CASE2)

3. 解析結果及び考察

図-5, 6 に 4 辺を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ワイヤロープを通した解析モデル 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, 2 に示す. 図-5, 6 に CASE1 と CASE4 の重錘の変位応答を示しているが, どちらの解析モデルにおいても実験値を概ね再現できていることが分かる. また, 図-7 に CASE2 における破断までの重錘変位応答を示している. この図より, 解析結果は実験結果と同程度の変形量でワイヤリングネットの破断が生じていることから, 数値計算によってワイヤリングの破断を予測することが可能であると考えられる. 以上のことより, 本解析手法の適用が妥当であることが確認できた.

次に, 支持条件の違いによる耐衝撃性能を評価するために, 解析モデル 1 で捕捉できなかった CASE2 と同条件で解析モデル 2 を用いて衝撃応答解析を行った. 図-7 は CASE2 と CASE2-2 の解析結果を比較したもので, この図より, CASE2 で捕捉できなかった衝撃エネルギーを CASE2-2 では捕捉できていることが確認できた. この要因として, 上下ワイヤロープを通すことでワイヤリングネットの変形能力, 重錘の捕捉能力が向上することが推測される.

4. 結論

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, 衝撃応答を概ね再現できることが確認された. また, 本解析では, 上下ワイヤロープを通したワイヤリングネットの方が変形能力, 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, 解析モデル 2 における精度を向上させていく必要がある. また, ワイヤリング防護柵全体の衝撃応答解析を行うには, ブレーキシステムなどを導入した衝撃実験を行い, 定量的な検討を行っていく必要があると考えられる.