九州大学大学院	学生会員	〇畑	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,落石災害に対して,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,代表的な粒子法である SPH 法をベース に図-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、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、各々の力学特性をモデル化する必要がある.本研究では、図-2に示すようにモデル化した.今回は、支柱自体の変形は考慮せず、支柱に支えられる上下のワイヤロープとワイヤリングネットの衝撃応答について検討を行った.

1) ワイヤリングのモデル化

大変形問題を容易に取り扱うことのできる SPH 法に独自に改良を加えた 解析プログラムを作成した. SPH 法は,対象物体を粒子の集合体に離散化し た上で運動量保存則やエネルギー保存則を表す偏微分方程式を kernel 積分 によって近似的に解く手法である.本研究では,個々のリングを1粒子で近

似し,連結しているリング間に力の伝達が行われるように影響範囲を設定した.本解析の特徴として,ワイヤリ ングの粒子間距離が大きくなるほど大きな力が作用するようなカーネル関数を採用している.ただし,現実のワ イヤリング間の力のやりとりにおいては,せん断方向に力は伝達しないものと考えられるため,せん断力をゼロ として計算する.また,材料の塑性および破断に関してはミーゼスの相当応力*σ_{eq}*を用いて式(1)より判定している. ワイヤリングの破断に関しては、粒子の重みをゼロにすることで表現している.

$$\begin{cases} f = \sigma_{eq} - \sigma_y < 0 \quad (0) \\ f = \sigma_{eq} - \sigma_y = 0 \quad (0) \\ f = \sigma_{eq} - \sigma_{cr} = 0 \quad (w) \end{cases}$$
(1)

ここで, σ_y =235(N/mm²)は材料の降伏点, σ_{cr} =380(N/mm²)は引張強度を示す. (値は JIS 規格の丸鋼 SR235 を参照) 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.ワイヤリング粒子 との間には、図-3に示すように計5つのワイヤロープ粒子との力の伝達が行われるように影響範囲を設定し、ワ

キーワード ワイヤリング防護柵, SPH法, 衝撃応答解析

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 九州大学 TEL092-802-3370





-281

イヤリング粒子の変位・移動にともない,力の伝達を行う相手粒子 (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.な お,粒子間距離が大きくなるほど粒子間の伝達力が大きくなるカー ネル関数を用いている.

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ステムを表現した.

3. 解析結果および考察

図-2 に解析モデルを示す.解析条件として,質量 550kg の重錘を ワイヤリング防護柵に衝突させた.また,ワイヤリングネットの4 つの端点は完全固定とし,支柱の挿通口を通るワイヤロープは鉛直, 面外方向変位を拘束した.衝突位置をネット中心(衝突位置①),ネッ ト端部に近づけた (衝突位置②)解析を行い,重錘の衝突位置による 性能の違いについて考察した.なお,材料定数と解析ケースは表-1 と表-2 に示す.

図-4は、CASE1におけるワイヤリング防護柵全体の挙動を示して いる.ワイヤリングネットの4つの端点を完全固定しているため、 衝突によりワイヤリングが中央によっていることが分かる.実際の ワイヤリング防護柵も同じような挙動を示すことが報告されている ことから、本解析手法でワイヤリング防護柵の衝撃挙動が良好に再 現でき、適用が妥当であることが確認できた.

図-5 には衝突位置が②である CASE4 の変位応答を示したもので, 衝突エネルギーは同じであるが衝突位置が①の CASE2 の解析結果と 比較すると,衝突点のワイヤリングの変形量が小さいことが確認で きる.このことより,重錘の衝突位置がネット端部になると重錘の 捕捉能力が低下し,ワイヤリングネットが破断する可能性が高くな ると推測される.実際に,図-6より分かるように CASE1(衝突位置①) で捕捉した衝突エネルギーを CASE3(衝突位置②)では捕捉できてい ない.

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. 衝撃挙動をシミュレートできることが確認できた. また,今回の解析結果によると,重錘をネット端部に衝突した場合 の方がワイヤリングが破断する可能性が高い結果が得られた. 従っ て,ワイヤリング防護柵の耐衝撃性能を評価するには,端部に重錘 を衝突させた場合も想定する必要があると考えられる. 今後は,簡 易な衝撃実験およびパラメトリックな解析によって定量的な検討を 行う必要がある.

表-1 材料定数

	密度 (g/cm³)	ヤング率 (N/mm²)	粒子直径 (mm)
ワイヤリング	4.65	2.1×10 ⁵	350.0
重錘(550kg)	2.25	2.1×104	50.0
ワイヤロープ	4.65	2.1×10 ⁵	16.25

表-2 解析ケース

解析 ケース	衝突位置	衝突速度 (m/s)	捕捉成否
CASE1	1	14.00	0
CASE2	1	4. 43	0
CASE3	2	14.00	×
CASE4	2	4.43	0



0.1(s)

図−4 ワイヤリング防護柵の挙動



