

SPH 法を用いたワイヤリングネットの耐衝撃性能評価に関する基礎的研究

九州大学工学部 学生会員 ○畑 芳宏
九州大学大学院 正会員 園田 佳巨
日本ゼネスパイプ(株) 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。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難点があった。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つつあるが、その性能を解析的に評価する手法は確立されていない。そこで、本研究では、図-1 のようにリング状に加工したワイヤを連結したネット構造を対象とした基礎的な検討として、衝撃力の作用位置を変化させた場合、リングの連結を 7 連形状から 5 連形状に変えた場合の耐衝撃性能について解析的に考察した。



図-1 ワイヤリングネット

2. 解析手法

本研究では、大変形問題を容易に取り扱うことのできる SPH 法(メッシュフリー法)を用いて解析を行った。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。具体的には、物理量 $f(x)$ を以下のように関数 W によって重み付き平均した計算を行う。

$$f(x) \approx \int f(x') W(x-x', h) dx' \quad (1)$$

ここで、 h は重み付き平均を行う粒子の影響半径である。

また、1 回の空間微分式は式(2)のように重み関数の空間微分のみによって表現できる。

$$\nabla \cdot f(x) \approx - \int f(x') \cdot \nabla W(x-x', h) dx' \quad (2)$$

SPH 法では、式(3)、式(4)を用いて計算する。

$$f(x) \approx \sum_{J=1}^N \frac{m^J}{\rho^J} f(x^J) W(x-x^J, h) \quad (3)$$

$$\nabla \cdot f(x) \approx - \sum_{J=1}^N \frac{m^J}{\rho^J} f(x^J) \cdot \nabla W(x-x^J, h) \quad (4)$$

ワイヤリングネットに用いる kernel 関数は、粒子間距離が大きくなるほど、その影響は大きくなる、図-2 に示す kernel 関数を用いた。

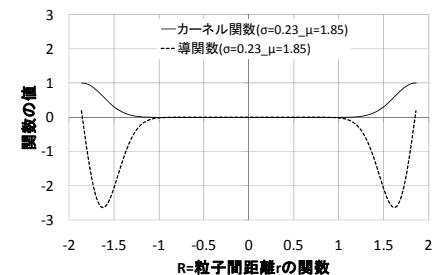


図-2 カーネル関数と導関数

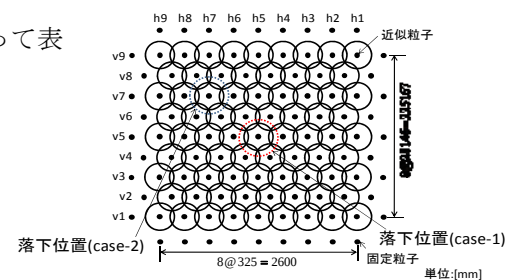


図-3 7 連リング解析モデル

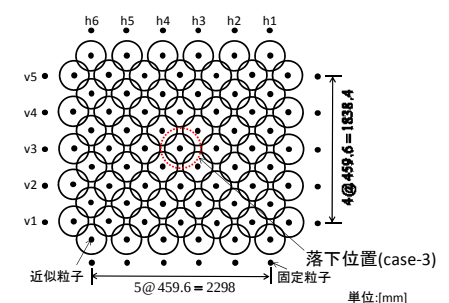


図-4 5 連リング解析モデル

3. 解析結果および考察

3m×3m の 7 連ワイヤリングネット(1 リングに 6 リングが連結している)に、質量 550kg の重錘を 10m、15m の高さからワイヤリングネットの中心に自由落下させる実験が行われている¹⁾。本研究では、図-3 のような 7 連ワイヤリングネットモデルで実験のシミュレーション(case-1)を行い、SPH 法

を用いた解析手法の適用可能性について検討した。

図-5、図-6 には、落下高さ 10m の実験結果とシミュレーション結果を示しているが、衝突点変位の応答やワイヤ張力を良好に再現できており、本手法の適用が妥当であることが確認できた。次に、落下高さ 15m の実験ではワイヤリングネットの中央部が破断した結果を踏まえ、同条件におけるシミュレーション解析を行い、ワイヤリングの破断張力を 8.46tonf と仮定した。その上で、衝突位置別の耐衝撃性能を把握するため、落下高さ 10m の条件で衝突位置を図-3 の case-2 に変化させた場合の結果を case-1 と比較した。

図-7 は case-1 と case-2 の解析結果を示したもので、ワイヤリングネットの端部に衝撃力が作用した場合、最大張力が大きくなり、ワイヤが破断する可能性が高いことがわかる。一般に、ワイヤリングネットの端部に衝撃力が作用した場合の方がネット全体としての限界変形量は小さくなり、吸収可能な衝撃エネルギーも減少するものと考えられる。

次に、7 連リングと 5 連リングの耐衝撃性能を比較するため、ネット中心に落下高さ 10m の条件で衝突させた 5 連リング(case-3)の衝撃応答解析を行った。

図-8 は case-1 と case-3 の解析結果を比較したもので、この図より、7 連リングと 5 連リングの最大張力には大きな相違はないことが分かった。7 連リングの場合、単位面積当たりのリング間の遊間が多いため、主に衝突部近傍の変形だけで重錘を受け止めるのに対し、5 連リングの場合には衝撃力の荷重分担がネット全体に及び、端部までほぼ均等な負荷がかかっていることが認められる。今回の一例の計算だけでは、必ずしも 5 連リングが効率的な連結形式とは結論づけられないことから、今後、種々の载荷条件に対する挙動を考察することを考えている。

4. 結言

今回の解析結果によると、衝撃力がネット端部に近い位置に作用した場合の方が、ワイヤリングが破断する危険性が高い結果が得られた。従って、同構造の耐衝撃性能を評価するには、端部に衝撃力が作用した場合も想定する必要があると考えられる。また、7 連リングと 5 連リングの比較をした結果、両者で荷重分担の状況に大きな相違があることが確認できた。今後、両者の性能差について、より詳細な確認を行うと同時に、ネットを支えるワイヤロープや支柱を含めた構造全体の挙動についても検討を行う予定である。

参考文献

- ・大森清武，塩見昌紀，吉田博：落石防護柵用ネットの衝撃実験とその解析，第 6 回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集（土木学会，2002.7.）

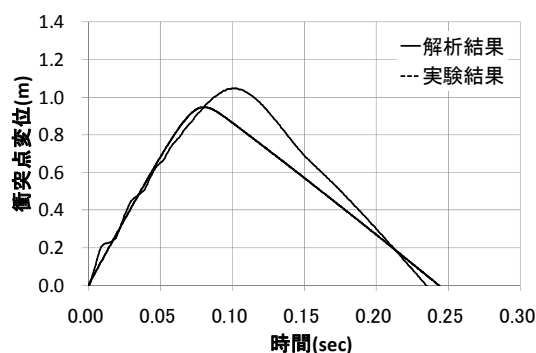


図-5 衝突点変位応答

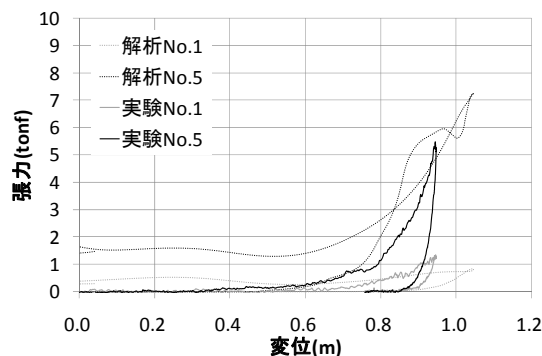


図-6 張力 - 衝突点変位関係

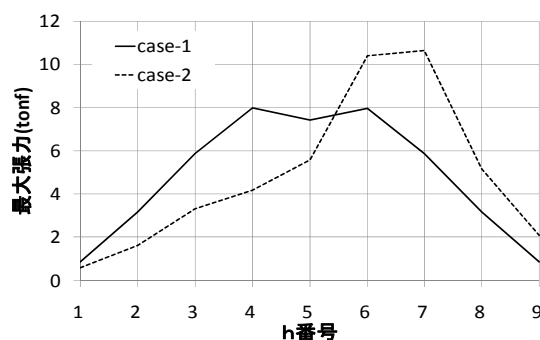


図-7 最大張力の分布

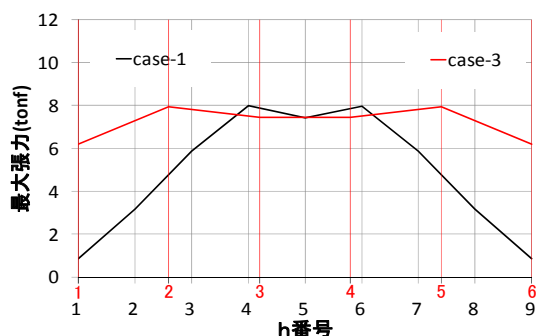


図-8 最大張力の分布