

## ポケット式落石防護網の落石衝突シミュレーションに関する研究

金沢大学大学院 学生員 河上 康太  
 金沢大学大学院 正会員 田島 与典  
 金沢大学 正会員 前川 幸次

### 1. 序論

本研究では、ポケット式落石防護網の落石衝突を LS-DYNA によりシミュレーション解析を行い、衝突現象を解析上で把握することを目的とする。実物実験には実際の落石を想定するために、大規模な実験装置が必要である上に、種々の落石条件で実験を実施するには多大な時間とコストが伴う。そのため、実物に近い解析モデルを作成し、妥当性を確認することにより、これらの課題の解消に繋がると考える。そして、その解析モデルを用いて様々な衝突状況に応じたポケット式落石防護網の耐荷性と挙動について解析計算により検討する。

現在までに、重錘を防護網に自由落下させる実験を行い、その解析モデルを作成した結果、重錘の挙動、防護網に作用する軸力等がほぼ一致する結果を得た<sup>(1)</sup>。その結果を踏まえ、実物のポケット式落石防護網のモデルを作成し、落石対策便覧<sup>(2)</sup>に準じて落石を防護網に対して垂直に衝突させる解析を行う。そして、落石の衝突位置の違いによる落石の挙動、ポケット式落石防護網の状態及びエネルギー収支等を考察する。

### 2. 解析モデル

解析モデルを図 1 に示す。重錘衝突位置として A~F の 6 ケースで評価を行う。また、防護網の性能は、落石エネルギー 450kJ を想定し、2tf の重錘を速度 21.21m/s(450kJ)で衝突させる。

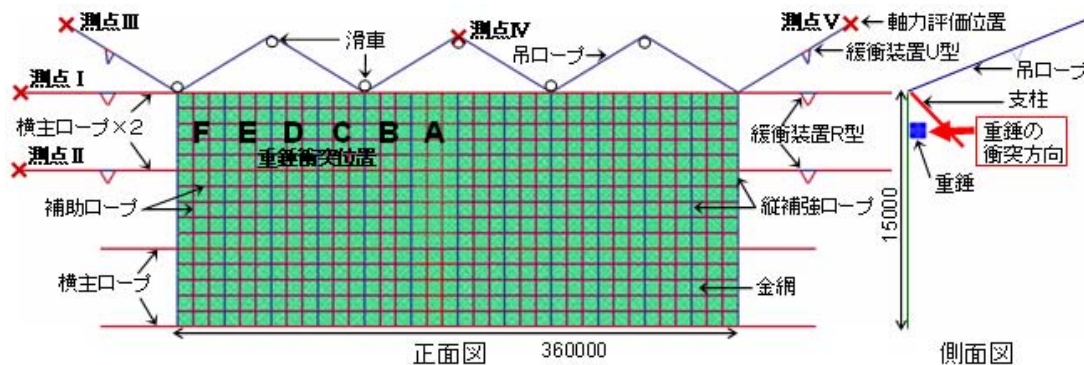


図 1 解析モデル

1) 重錘：SAEFL<sup>(3)</sup>で定義されている形状を RIGID(剛体)でモデル化し、密度 2.30ton/m<sup>3</sup>、質量 2ton である。

2) 横主ロープ、縦補強ロープ、補助ロープ、吊ロープ：ケーブル要素とし、材料特性の各パラメータは落石対策便覧<sup>(1)</sup>に順ずる値を用いている。使用部材は表 1 に示す。また、横主ロープの防護网上段の 2 つの横主ロープは 2 本ずつあるが、解析では断面積を 2 倍にすることで表現している。

3) 金網：結合コイルにより固定している。解析では要素数を減らし解析時間を短縮するために、網目寸法を 141mm とし、等価な軸剛性(断面積 2.82 倍)としている。ケーブル要素でモデル化し、材料特性の各パラメータは鋼(SS400)の値を用いている。

4) 緩衝装置 R 型：上側 2 列の横主ロープの両端部に取付けられている。平均滑り張力を 30kN で、ストッパーにより滑り長を 1m とする。モデル化では降伏点が 30kN の完全弾塑性体とすることでワイヤーの滑りを表現している。

5) 緩衝装置 U 型：吊ロープの両端部に取付けられている。平均滑り張力は 22kN で、ストッパーにより滑り長は 1m とする。モデル化では降伏点が 22kN の完全弾塑性体とすることでワイヤーの滑りを表現している。

6) 滑車：吊ロープは滑車を介して W 字型に張られており、最上段の横主ロープは支柱短部のリング部を左右

表 1 使用部材

名称	規格(備考)
横主ロープ	3×7G/O 16 (間隔 5m)
縦補強ロープ	3×7G/O 16 (間隔 3m)
補助ロープ	3×7G/O 12 (間隔 1m)
吊ロープ	3×7G/O 16
金網	ZA-300 4.0 ×50×50

に滑る形で設計されている。よって、モデル化では支柱に結合された RIGID(剛体)のリングを 2 個作成し、各リングの中を吊ロープ及び最上段の横主ロープが滑るモデルとしている。

7) 支柱：H-150×150×7×10(SS400)を使用し、高さは 4m、間隔は 12m である。BEAM 要素でモデル化し、材料特性の各パラメータは SS400 の値を用いている。

3. 解析結果

横主ロープの時間-軸力図を図 2 に示す。すべての解析において図 1 の測点では緩衝装置が滑り長(1m)を滑りきり、ストッパーが働いて平均滑り張力の 60kN を超えている。一方、測点 F が 60kN を超えている。

次に、吊ロープの時間-軸力図を図 3 に示す。吊ロープもすべての解析において緩衝装置が滑り長(1m)を滑りきり、平均張力の 22kN を超えている。また本来、吊ロープは滑車を通っている静的釣り合いでは同一の軸力になるが、衝撃解析で重錘衝突位置も防護網の中心ではないため差が出ている。

ストッパーが働き、軸力が大きくなったケースについて、ストッパーを外して解析した結果の例を図 4 及び図 5 に示す。ロープ軸力が大きくならない一方で、緩衝装置 R 型で最大滑り長は 1.6m 程度、緩衝装置 U 型で 2.7m 程度となることが確認できた。

最後にエネルギー収支の例として、衝突位置 E のエネルギー収支を図 6 に示す。重錘の運動エネルギーは衝突後から小さくなり、ひずみエネルギー及び防護網の運動エネルギーに移っている。そして、ひずみエネルギーは時間と共に増加し、防護網の運動エネルギーは 100kJ 程度で推移している。なお、t=0.3 秒程度で重錘は下方へ誘導されるため、全エネルギーは増加している。また、接触エネルギーは非常に小さい値となっている。

4. 結論

今回の解析では、重錘の質量、衝突速度を一定として解析を行い、重錘衝突位置の違いによる重錘の挙動、防護網の状態、エネルギー収支を考察できた。今後は、重錘の質量、衝突速度、並進と回転をパラメータとした解析を行い、これらの変化による重錘の挙動、防護網の状態、エネルギー収支等の違いを考察していきたい。

参考文献

- (1) 河上康太, 前川幸次; ポケット式落石防護の落錘衝突実験に関する研究, 2009.
- (2) 日本道路協会: 落石対策便覧, 2000.
- (3) SAEFL: Guideline for the approval of rockfall protection kits, 2001.

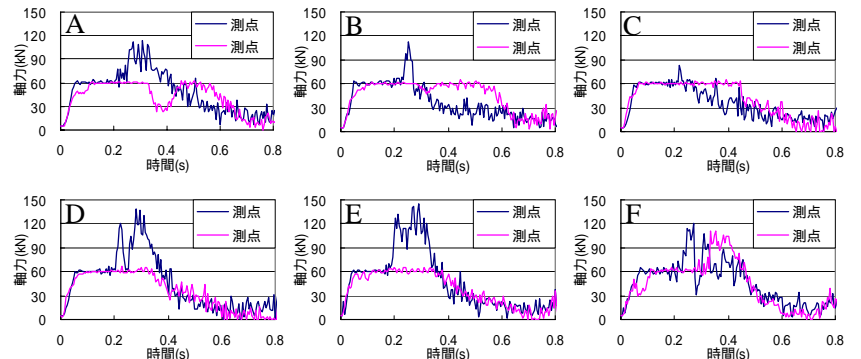


図 2 横主ロープの時間-軸力図(ストッパー有)

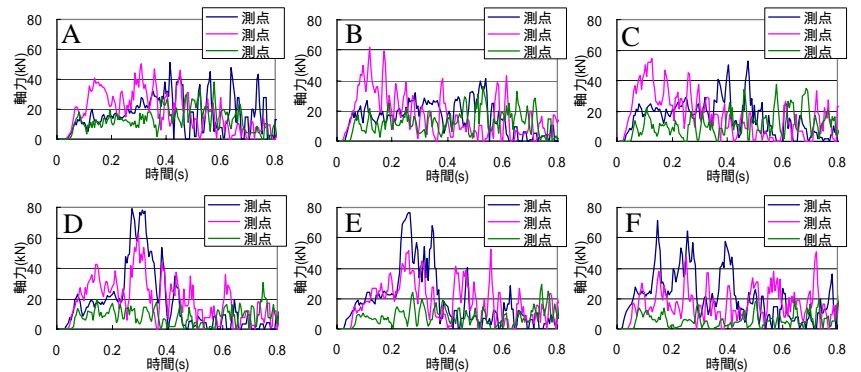


図 3 吊ロープの時間-軸力図(ストッパー有)

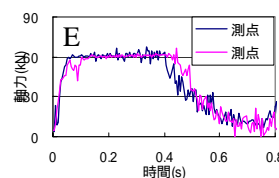


図 4 横主ロープの時間-軸力図 (ストッパー無)

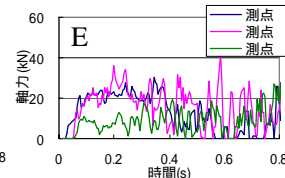


図 5 吊ロープの時間-軸力図 (ストッパー無)

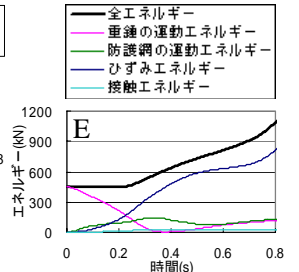


図 6 エネルギー収支