

## 動的解析を用いた高エネルギー吸収型落石防護網の性能評価

愛媛大学工学部	学生会員	○栗元 睦
愛媛大学大学院理工学研究科	正会員	木下 尚樹
	正会員	安原 英明
愛媛大学防災情報研究センター	フェロー会員	矢田部龍一
株式会社 ニップロ	非会員	加賀山 肇

### 1. はじめに

日本の国土の約 2/3 が山間部であり、地震や台風等の自然災害が多い日本では、落石対策を行うことは重要な課題となっている。その落石対策として施工性、経済性に優れているポケット式落石防護網が多用されている。ポケット式落石防護網には、従来型と高エネルギー吸収型の 2 種類ある。高エネルギー吸収型のメリットとして、従来型より大きな落石エネルギーを持つ落石を捕捉できるが、デメリットとして実物大実験による性能評価を行わなければならない、多大な時間、費用がかかる。そこで解析による性能評価を行う研究が進められている。既往研究<sup>1)</sup>として高エネルギー吸収型落石防護網の実物大実験を行い、再現解析モデルを作製し、その再現性が確認された。そこで、本研究では、多様な設置条件下における落石防護網の性能評価を行う。

実物大実験は、高知県南国市岡豊町小蓮の落石防護網重錘衝突実験場で行われた。実験は斜面滑走式で、重錘の衝突位置は支間の中央、阻止面天端から 2.05m 下側で、入射角は 90° である。重錘は質量 2100 kg、密度 2390 kg/m<sup>3</sup> のコンクリート多面体である。支柱は 18 m 間隔で 2 本設置してあり、金網は幅 18 m、高さ 10 m となっている。緩衝装置は、左右に 4 基ずつ設置し、50 kN 以上の張力がかかるとロープをスリップさせる。赤外線センサーで衝突速度を、ひずみゲージでワイヤロープ張力を計測した。実験結果では、重錘の衝突速度は 20.2 m/s、衝突エネルギーは 428 kJ と計測された。また、性能評価では、全体として重錘衝突付近は塑性変形したが、使用性、修復性に問題はなく捕捉性能を満足したといえる。

### 2. 解析条件

本研究では、非線形動的 FEM 構造解析ソフト LS-DYNA<sup>2)</sup>を用いて解析を行った。図 2.1 に解析モデルの全体図を示す。ロープ端部は完全固定とし、支柱端部はヒンジ方向にのみ回転可能とした。解析時間は初速度を与える時点から 1 秒間とする。金網はシェル要素、ワイヤロープ、支柱、緩衝装置はビーム要素、重錘はソリッド要素をそれぞれ用いた。なお、金網およびワイヤロープは圧縮応力を伝達しない仕組みとなっている。

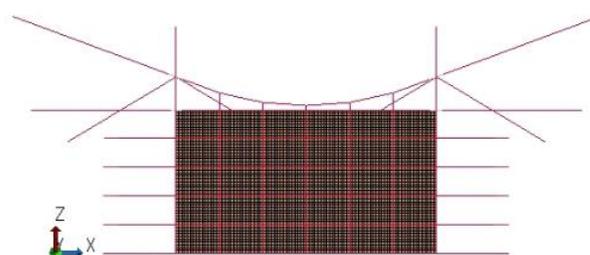


図 2.1 解析モデル図

### 3. 条件の違いによる性能評価

既往研究によって、この解析モデルの再現性は高いと確認されているので、条件の違いによる性能評価を行う。解析条件の重錘の衝突位置、衝突速度、重錘形状を検討した。本論文では、衝突位置について述べる。各条件において、密度や質量等を変更し、

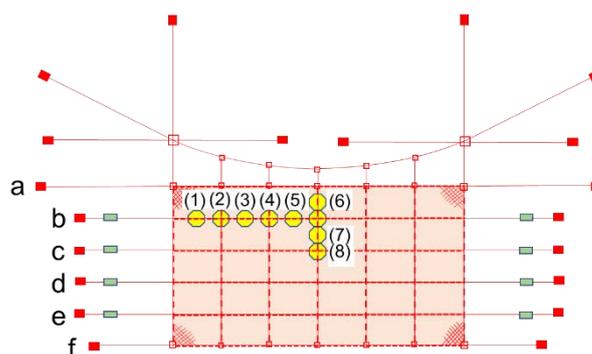


図 2.2 落石衝突位置

衝突エネルギーは実験値と同値の 428 kJ とした。また、本研究ではワイヤロープ張力の経時変化によって性能評価を行う。ワイヤロープの評価基準<sup>3)</sup>は損傷の修復を容易に行いうる限界の状態を超えないことである。ワイヤロープの降伏張力が 157 kN、許容荷重が 104.5 kN であることから、許容荷重である 104.5 kN を超えない場合、性能を満たすとした。

重錘の衝突位置の違いによる性能評価を行う。落石の衝突位置を図 2.2 に示す。金網は左右対称とし左側にのみ、また、金網の下側には落石は当たらないとし金網の上側のみ解析を行う。

衝突位置が実物大実験の衝突位置から遠い(1), (2), (6), (8)のワイヤロープの張力の経時変化を図 2.3 に示す。104.5 kN を超えるワイヤロープに色を付けた。図 2.3 よりこれらの衝突位置では許容荷重である 104.5 kN を超えるワイヤロープが見られる。また、衝突位置が実物大実験の衝突位置に近い(3), (4), (5), (7)では、104.5 kN を超えるワイヤロープはみられなかった。よって衝突位置が金網の中央部付近では性能を満足するが、金網の端部では性能を満足しないといえ、落石が金網の上側中央部に衝突するように、設計、設置する必要がある。

#### 4. おわりに

本研究では、高エネルギー吸収型落石防護網の再現解析モデルを用いて、条件の違いによる性能評価を行った。重錘の衝突位置が異なる場合では、金網の上側中央部から離れた場合、ワイヤロープの許容荷重を超える張力が見られる。よって、落石が金網の上側中央部にあたるように設計、設置を行う。

今後の課題として、この条件を他の実験結果とも比較検証し、解析結果の信頼性を高める必要がある。

#### 参考文献

- 1) 木下尚樹, 安原英明, 矢田部龍一, 加賀山肇: 動的シミュレーションによる高エネルギー吸収型落石防護網の性能評価, Journal of MMIJ, 133(3), 45-52, 2017.
- 2) LS-DYNA: Livermore Software Technology Corporation, 2020年3月3日,  
<http://www.lstc.com/products/ls-dyna>
- 3) 日本道路協会: 落石対策便覧, pp.159, 2017.

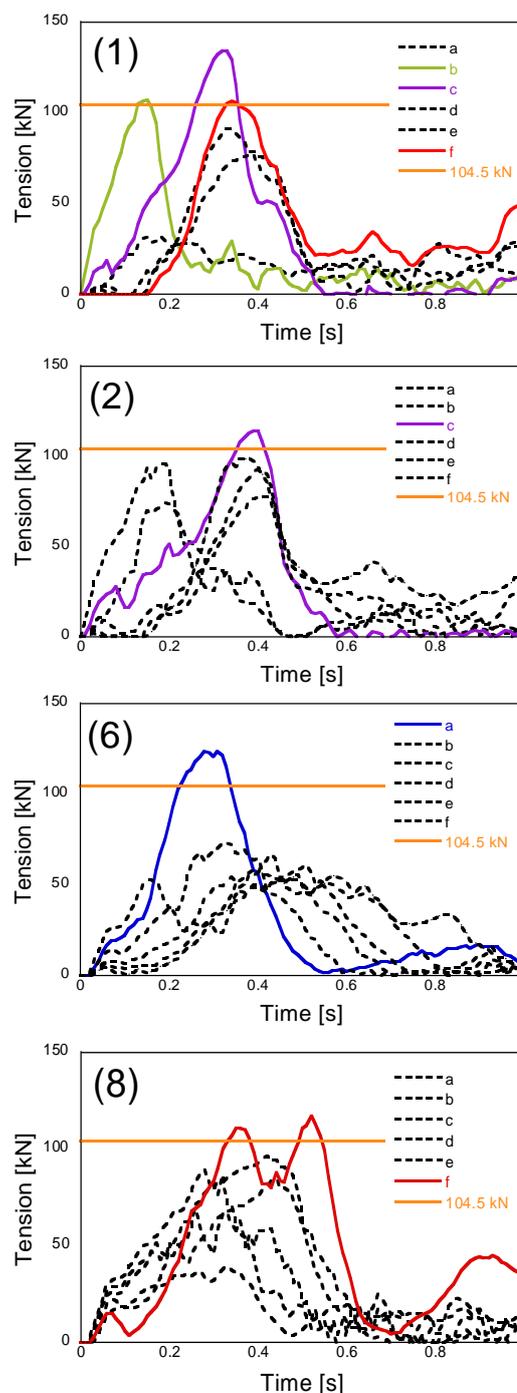


図 2.3 ワイヤロープ張力の経時変化  
(1), (2), (6), (8)