

## 数値解析を用いた落石防護工の安全性照査の試み

防衛大学校 学生会員 ○小泉香那子 正会員 堀口俊行, 香月 智  
東京製綱 (株) 正会員 高橋利延, 橋口寛史

### 1. 緒言

我が国は、急峻な地形が多いが、交通需要の増加や住宅地開発により、困難な地形や地質条件を克服して交通網が拡大せざるを得ない。このため、道路際における落石災害に見舞われることが多くなってきた。その落石対策の一方法として、たわみ性の網状部材、ワイヤーロープ類および支持部材によって構成される落石防護柵が建設されている。

ところで、落石対策便覧<sup>1)</sup>が平成29年に改訂され、従来型以外の特殊構造の照査は原則として、実規模実験で確認することとなった。ただし、実験と多少異なる条件の検討には時間費用の観点から数値解析での補完も可能と定められた。そのため衝撃応答特性の把握および性能照査の手法として実規模の実験に加えて解析による性能照査が行われている<sup>2),3)</sup>。

著者らは、落石対策便覧の改訂に伴い、特殊構造の中でも比較的簡素なワイヤーロープ支持式落石防護柵についての実規模実験を行った。しかし、実規模実験を補う条件の照査をするには、不明確な部分がある。

そこで本研究は、落石防護柵をFEMモデル化し、重錘を剛体要素として、実規模実験の再現解析を行うものである。さらに、補完解析を行い、性能照査への応用について検討するものである。

### 2. 実験の概要

図-1に示すワイヤーロープ支持式落石防護柵を供試体とし、写真-1に示す0.17 t (50 kJ用)の多面体コンクリート製重錘を使用して実験を行った。重錘は、写真-2に示すようにクレーンで落差33.0 mの地点まで持ち上げたのち、空圧式の離脱装置を用いて自由落下させ衝突させた。写真-3に、重錘衝突後の損傷状況を示す。両側の端末支柱が内側に反るように変形した。衝突箇所の金網およびワイヤーロープには塑性変形が生じ、金網には素線4本分の範囲で破網が確認された。また、図-2に張力の時刻歴応答を示す。張力が、最も大きくなったロープは横6(上から3本目)で、96 kNであった。これは降伏張力118

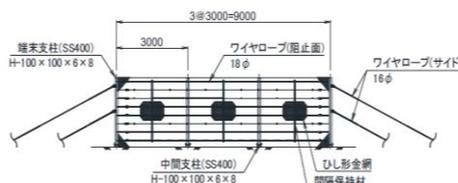


図-1 ワイヤーロープ支持式落石防護柵



写真-1 重錘(170kg)



写真-2 実験状況全景 写真-3 重錘衝突後の損傷状況

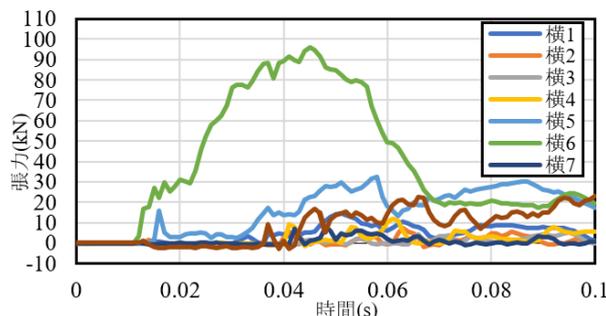


図-2 張力の時刻歴応答

kNの81%であり、横ロープ荷重のピーク付近で支柱が塑性変形したことによりエネルギーが吸収されるとともに、横ロープの固定状況が変化し、ロープ張力が低減されたものと考察している。

### 3. 解析手法

本解析プログラムは、弾塑性解析に落石モデルを剛体要素としたものを用いたものである。その際、接触間にはフォークトモデルを用いている。数値解析は、陽解法を用いることで大変形問題を容易に解くことを可能にした。また、複雑な逆行列を使用せずに時々刻々、姿勢マトリクスを更新することでノードを追跡する。図-3に、解析モデルの正面図を示す。実験供試体は、節点778個、弾性要素1015個、弾塑性要素317個を用いてモデル化した。使

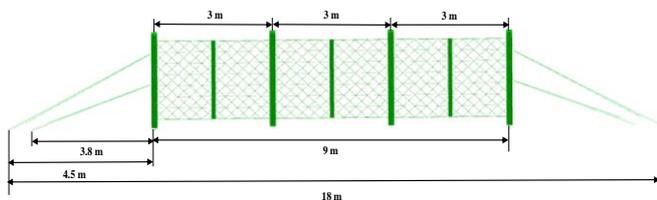


図-3 解析モデル

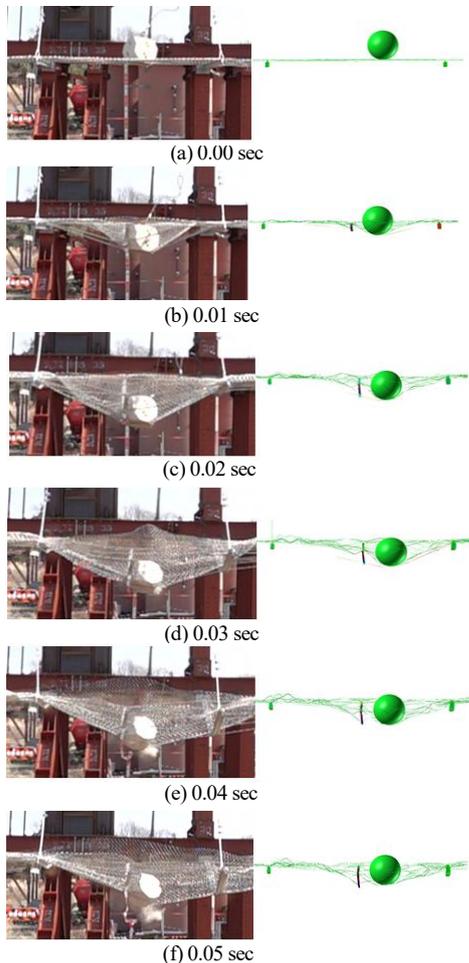


図-4 変形応答図

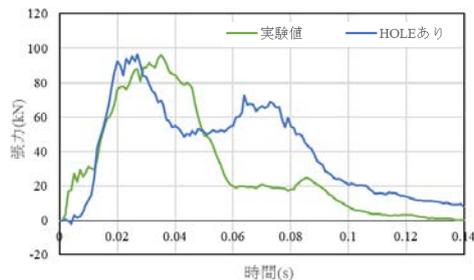


図-5 張力-時間関係

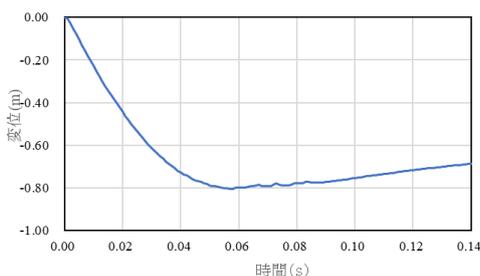


図-6 変位-時間関係

用したパラメータは、支柱の曲げ剛性  $EI=7.8 \times 10^2 \text{kNm}^2$ 、降伏モーメント  $M_y=9.4 \text{kNm}$ 、破断モーメント  $M_p=16 \text{kNm}$  を使用した。さらに、ワイヤロープ (3×7, φ18) は軸剛性  $EA=1.2 \times 10^2 \text{kNm}^2$ 、降伏軸力  $N_y=1.6 \times 10^2 \text{kN}$ 、破断軸力  $N_p=2.1 \times 10^2 \text{kN}$  とした。それぞれ、試験で得られ結果を基に断面分割法による決定した。

#### 4. 解析結果

図-4に、実験と解析結果の変形応答図を示す。図-4(a)は、落石モデルとの接触時である。図-4(b), (c)は、落石が柵と衝突し、その衝突点から荷重がワイヤを通して伝播していることが分かる。図-4(d)に、最大荷重に到達する。図-4(e)に、少し遅れて最大変位に至る。図-4(f)は、一度伝播したものが再度衝突位置に戻ることでワイヤが波打っていることがわかる。図-5に実験の張力と解析で得られたワイヤロープ横6の張力の時刻歴応答を示す。やや応答の時間にずれがあるが最大荷重がおおむね近い値になっている。図-6に、変位の時刻歴応答を示す。解析では、変位0.054 sのときに最大となる。結果を考察すると再現解析における変形応答は、最大張出力が実験値の83%となる0.81 mとなった。しかし、荷重の伝播におモデル化について改善が必要である。

#### 5. 結言

本研究は、実規模実験を基に、弾塑性解析を用いた再現シミュレーションを試みたものである。その際、実験と解析の変形応答と張力の時刻歴応答について比較検討した。1) 張力の時刻歴応答については、ワイヤロープ横6の最大張力の誤差が16%となり、概ね再現することができた。最大張力は安全側の結果となった。

2) 本解析モデルは、ワイヤロープ降伏荷重内において実験の補充解析が可能である。

#### 参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：落石対策便覧，2017.12.
- 2) 西田陽一，石井太一，榎谷浩：ワイヤネット式落石防護柵の性能評価に関する実規模実験と解析について，第11回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集，2014.10.
- 3) 園田佳臣，福永一基：実規模実験と数値解析によるワイヤリング落石防護柵の性能照査，構造工学論文集 Vol.64A，2018.3.