

## 重錘落下を受ける従来型落石防護柵模型の耐衝撃挙動

室蘭工業大学大学院 学生会員 ○服部 桃加  
(国研)寒地土木研究所 正会員 今野 久志

室蘭工業大学大学院 正会員 小室 雅人  
国土交通省北海道開発局 正会員 荒木 恒也

### 1. はじめに

我が国では、落石対策として道路沿いに落石防護柵が数多く設置されている。一方、落石時の損傷状況を見ると、金網の貫通など設計では想定していない事例も報告されている。このような背景より、本研究では、ワイヤロープ間に落石が衝突する場合の従来型落石防護柵の耐衝撃挙動に着目し、弾塑性衝撃応答解析を実施した。また、得られた解析結果を実験結果と比較することにより、解析モデルの妥当性を検討した。

### 2. 実験概要

試験体は、従来型落石防護柵を模擬し、300 mm 間隔で設置された7本のワイヤロープとひし形金網(素線径 3.2 mm)を間隔保持材およびU字ボルトで結合したものを水平に設置している。実験は、質量が同程度の2種類の重錘(コンクリート製および鋼製)をトラッククレーンにより所定の高さまで吊り上げ、間隔保持材間のスパン中央部に自由落下させることにより行っている。表1には実験ケースを示しており、落下位置や高さを変えて全10ケース実施した。写真1には、実験状況を示している。測定項目は、1) 重錘上面に設置したひずみ型加速度計による加速度、2) 高速度カメラから得られる荷点変位、および3) ワイヤロープ両端のロードセルによるロープ張力である。

### 3. 数値解析概要

図1には、本研究で用いた有限要素モデルを示している。鋼製型枠および間隔保持材は4節点シェル要素、ターンバックルおよび金網は2節点梁要素、それ以外は全て8節点固体要素を用いた。ターンバックル端部は、実験と同様にピン支持としている。なお、ワイヤロープの初期張力、減衰および重力については考慮していない。境界条件は、鋼製型枠支柱底部を完全固定とした。金網の素線間には線と線の接触を、金網とワイヤロープあるいは重錘間には線と面の接触を、それ以外には面と面の接触

面を定義した。また、解析は重錘に落下高さに相当する衝突速度を付加させることで実施した。

鋼材の応力-ひずみ関係にはバイリニア型の構成則を採用し、ワイヤロープに関しては、落石対策便覧を参考に弾性係数  $E = 100 \text{ GPa}$ 、塑性硬化係数  $E' = 7.4 \text{ GPa}$ 、降伏応力  $f_y = 914.7 \text{ MPa}$  と設定した。また、金網と間隔保持材は  $E = 200 \text{ GPa}$ 、 $E' = 2 \text{ GPa}$  とし、降伏応力  $f_y$  はそれぞれ 245, 385 MPa とした。なお、重錘は弾性体と仮定し、所定の質量となるように単位体積質量を換算している。

### 4. 数値解析結果および考察

#### 4.1 各種時刻歴応答波形

図2には、代表的な4ケースにおける解析結果と実験結果を比較している。ここでは、重錘衝撃力、荷点変位およびロープ張力について示している。なお、重錘衝撃力は、実験結果の場合には重錘の加速度に重錘質量を乗じることで、解析結果の場合には重錘と金網の接触反力の総和として算出した。なお、荷点変位は、重錘衝突位置直下における重錘底面の鉛直方向変位である。また、ロープ張力は衝突位置近傍の2本のロープ張力のみ示している。

(a)図に示す重錘衝撃力波形に着目すると、C-H25の場合には解析結果の最大値が実験結果よりも若干過大に評



写真1 実験状況

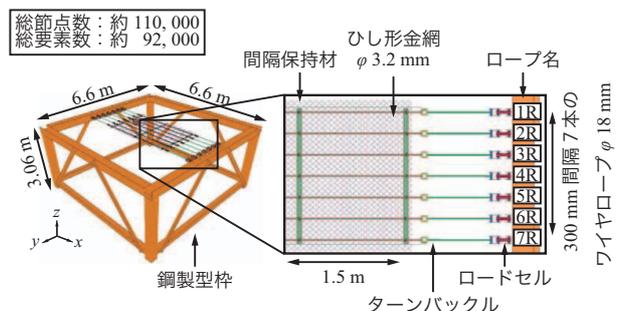


図1 有限要素モデル

表1 実験ケース一覧

実験ケース	重錘の種類	落下高さ $H$ (m)	衝突位置
C-H25/30	コンクリート製	25, 30	中央
C-H5/7.5/10	(質量: 100 kg)	5, 7.5, 10	端
S-H10/15/20	鋼製	10, 15, 20	中央
S-H2.5/5	(質量: 110 kg)	2.5, 5.0	端

キーワード: 落石防護柵, 耐衝撃挙動, 衝撃応答解析

連絡先: 〒050-8585 室蘭工業大学大学院 暮らし環境系領域 社会基盤ユニット TEL/FAX 0143-46-5228

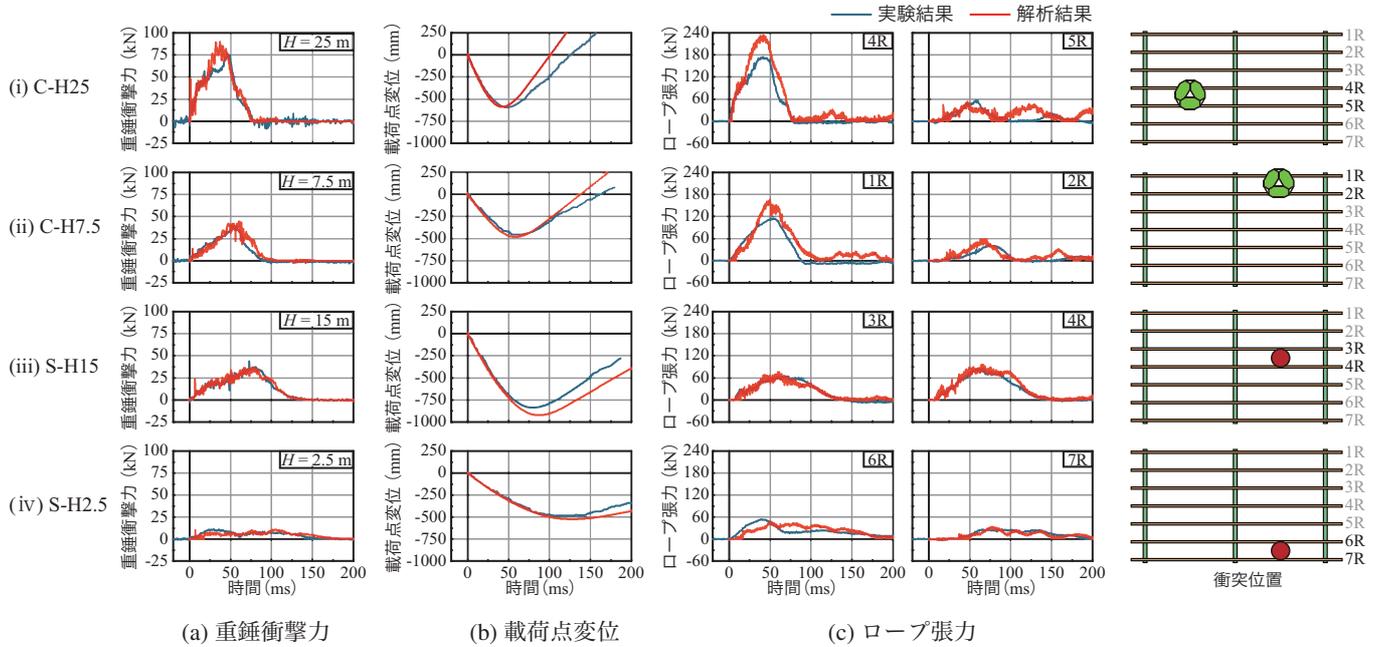


図2 各種時刻歴応答波形

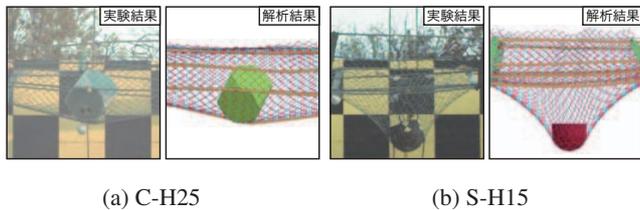


図3 最大変位発生時刻における変形状況

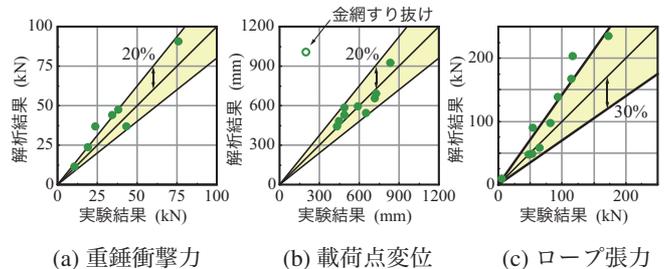


図4 各種最大応答値の比較

価しているものの、全体的には実験結果の波形の立ち上がり勾配や荷重継続時間も含めて実験結果の波形性状をほぼ適切に再現していることが分かる。

(b)図に示す荷重点変位波形に着目すると、S-H15の場合には解析結果の最大値が実験結果よりも若干大きいものの、全体的には変位の立ち上がりから最大値に至るまでの実験結果をほぼ適切に再現している。なお、リバウンド以降に両者に差異が見られるが、これは、本解析では重力を考慮していないことが1つの要因と考えられる。

(c)図に示すロープ張力波形に着目すると、コンクリート重錘の場合(C-H25/7.5)には、解析結果が実験結果を若干大きく評価しているものの、ピーク到達時間や荷重継続時間についてはほぼ一致している。一方、鋼製重錘の場合(S-H15/2.5)には、落下高さの低い $H = 2.5$  mにおいて解析結果は実験結果を若干小さく評価しているものの、 $H = 15$  mの場合には精度よく再現していることが分かる。

4.2 試験体の変形状況

図3には、最大変位発生時における試験体の変形状況の一例として、C-H25 および S-H15 の場合について、実験結果と解析結果を比較して示している。図より、C-H25 の場合には重錘は金網によって捕捉されているものの、S-H15 の場合には重錘がロープ間をすり抜けていること

が分かる。これは、重錘寸法の影響によるものと考えられる。すなわち、ワイヤロープは300 mm 間隔で設置されているのに対し、コンクリート製重錘は外寸が350 mm、鋼製重錘は305 mm であるため、後者の方がすり抜けやすい状況にあるものと推察される。なお、いずれの場合においても解析結果は実験結果の金網やロープの変形状況をほぼ適切に再現していることが分かる。

4.3 各種最大応答値

図4には、全ケースにおける最大応答値について解析結果と実験結果を比較して示している。図より、解析結果は実験結果の最大重錘衝撃力および荷重点変位を、20%程度の誤差内で再現可能であることが分かる。一方、ロープ張力については、30%程度の誤差が確認されるものの、解析結果は実験結果よりも大きく示されていることより、安全側の評価となっている。

5. まとめ

- (1) 本解析モデルを用いることにより、実験結果の重錘衝撃力、荷重点変位およびロープ張力をほぼ適切に再現可能である。
- (2) また、重錘の捕捉やロープ間のすり抜け現象も概ね再現可能である。