

落石防護柵用ひし形金網の耐衝撃挙動に関する数値解析的検討

室蘭工業大学大学院
土木研究所寒地土木研究所

正会員
正会員

○小室 雅人
中村 拓郎

(株)大林組
土木研究所寒地土木研究所
室蘭工業大学大学院

正会員
正会員
フェロー

服部 桃加
今野 久志
岸 徳光

1. はじめに

山岳部や海岸線の道路沿いには、落石から交通や人命を守るために落石防護柵が設置されている。一方、実際に落石を受けた防護柵を見ると、落石が金網を貫通するなど設計では想定していない損傷事例が報告されている。

このような背景の下、本研究では落石が直接ひし形金網に作用する場合を想定した重錘落下衝撃実験を対象に衝撃応答解析を実施した。また、解析結果を代表的な実験結果と比較することにより、解析手法の妥当性を検討した。なお、本解析には LS-DYNA (Ver. R9)を使用した。

2. 実験概要

試験体は、支柱間隔が3 m の従来型落石防護柵を模擬し、ワイヤロープを 300 mm 間隔で水平に7本配置し、その上にひし形金網を設置した。なお、金網は、素線径 $\phi 3.2, 4.0, 5.0$ mm の3種類を用いた。また、重錘衝突時のワイヤロープの開口を抑制するために実構造物と同様に間隔保持材を配置している。なお、金網とワイヤロープは、間隔保持材と支柱にUボルトを用いて固定しており、両端部のワイヤロープは、ターンバックル、接続金具を介して鋼製型枠に接続されている。

実験は、鋼製重錘(直径:267 mm, 質量:113 kg)をトラッククレーンにより所定の高さまで吊り上げ、ガイドロープを介して間隔保持材とH形鋼支柱間の中央かつ2本のロープ間の金網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重錘衝撃力、2) 高速カメラ映像から得られる重錘貫入量、および3) ワイヤロープ端部の接続金具に貼付けたひずみゲージ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。ひし形金網は2節点梁要素、それ以外は全て8節点固体要素を用いた。境界条件は、試験体端部および実構造物でボルトを用いて固定されている箇所(間隔保持材および支柱とUボルト)の接続部を完全固定とした。また、金網の素線間には線と線の接触を、金網と接触する部材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。なお、重錘はz軸方向のみを可動とし、ワイヤロープの初期張力、減衰については考慮していない。解析は重錘を捕捉した全5ケース(No. 1, 4, 7~9)を対象に、高速カメラの画像により得られた重錘の実測衝突速度を重錘要素に付加させることで実施した。また、落下位置に関しても可能な限り解析モデルに反映させた。

鋼材の応力-ひずみ関係にはトリリニア型の構成則を採用し、降伏判定は von Mises の降伏条件を採用した。なお、Uボルト、接続金具および重錘は弾性体と仮定して

表 1 実験ケース一覧

No.	金網素線径 ϕ (mm)	重錘落下位置 ^{#1}	設定落下高 H (m)	計算衝突エネルギー E (kJ)	実測衝突エネルギー E_i (kJ)	実験結果
1 ^{#2}	3.2	T3, 4	2	2.2	1.8	捕捉
2		T4, 5	3	3.2	3.1	すり抜け
3		T4, 5	5	5.4	5.5	すり抜け
4 ^{#2}	4.0	T4, 5	15	16.2	15.3	捕捉
5		T5, 6	20	21.6	21.9	すり抜け
6		T1, 2	25	27.0	23.4	すり抜け
7 ^{#2}	5.0	T5, 6	15	16.2	14.4	捕捉
8 ^{#2}		T3, 4	20	21.6	15.7	捕捉 ^{#3}
9 ^{#2}		T4, 5	25	27.0	16.3	捕捉 ^{#3}
10		T5, 6	20	21.6	17.7	すり抜け

^{#1} 図2参照, ^{#2} 数値解析を実施した実験ケース, ^{#3} 一部金網破網

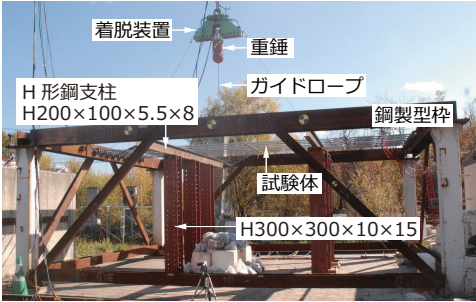


写真1 実験状況

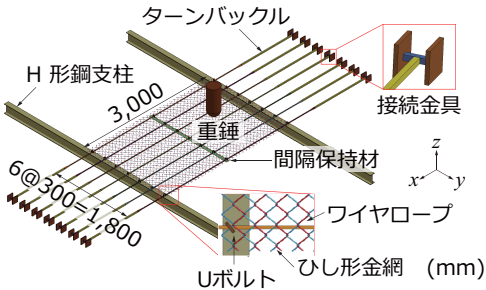


図1 FEモデル

キーワード: 従来型落石防護柵, ひし形金網, 衝撃応答解析, 耐衝撃挙動

連絡先: 〒050-8585 室蘭工業大学大学院 もの創造系領域 社会基盤ユニット TEL/FAX 0143-46-5228

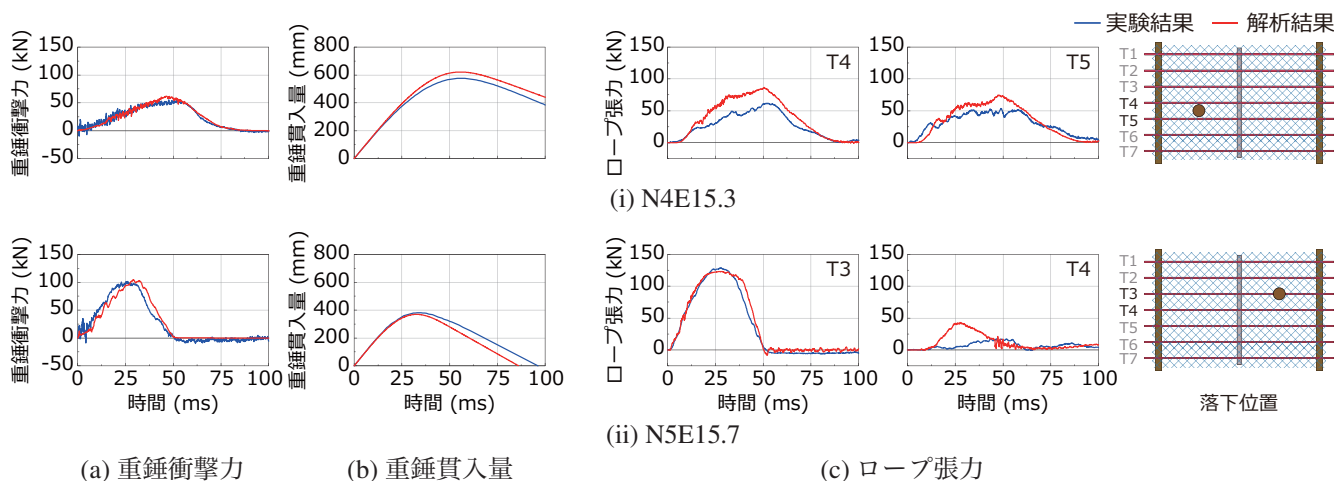


図2 各種時刻歴応答波形

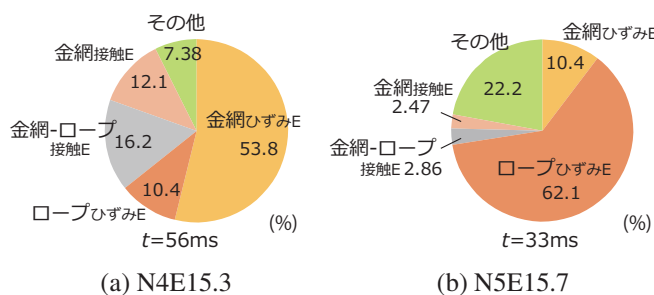


図3 最大貫入量発生時刻におけるエネルギー分担率

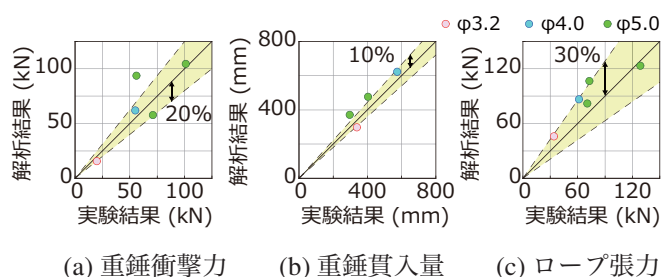


図4 各種最大応答値の比較

いる。また、重錘は質量 113 kg 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

図2には、表1に示す実測衝突エネルギー E_i が同程度 ($E_i \approx 15.5$ kJ) の No. 4 (N4E15.3) および No. 8 (N5E15.7) における重錘衝撃力、重錘貫入量、ロープ張力の実験結果と数値解析結果を比較している。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。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を示している。

図2(a)に示す重錘衝撃力波形に着目すると、いずれのケースにおいても解析結果は実験結果の最大値や波形の立ち上がりをほぼ適切に再現していることが分かる。

図2(b)に示す重錘貫入量波形に着目すると、N4E15.3の解析結果は、実験結果の最大値を過大に評価しているものの、変位の立ち上がりはほぼ適切に再現していることが分かる。また、N5E15.7では波形の立ち上がりから最大値に至るまで実験結果をほぼ適切に再現している。

図2(c)に示すロープ張力波形に着目すると、N4E15.3の解析結果は実験結果を過大に評価する傾向にあるものの、全体的に見ると実験結果を概ね再現していると判断できる。一方、N5E15.7の場合には、実験において重錘がT3ロープ上に落下したことにより2本のロープで大きな差

異が確認される。なお、解析結果はT4ロープにおいて差がみられるものの、T3ロープに関しては、実験結果とよく一致している。このことは、重錘の落下位置を適切に解析モデルに反映させることで解析精度が向上することを示唆している。

図3には、両ケースにおける最大貫入量発生時刻の各構成部材のエネルギー収支を示している。図3(a)に示すN4E15.3では金網のひずみエネルギーが全体の約5割を占めている。一方、図3(b)に示すN5E15.7ではロープのひずみエネルギーが全体の約6割を占めており、N4E15.3と大きく異なる。これは、前述のようにN5E15.7の場合には、重錘がワイヤロープ上に落下したことによるものと推察される。

図4には、全解析ケースにおける最大応答値について実験結果を比較して示している。なお、No. 9に関しては、実験における最大重錘貫入量を分析できず示していない。図より、解析結果は実験結果の重錘衝撃力を20%程度、重錘貫入量は10%程度の誤差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おり、安全側の評価となっている。

5. まとめ

本解析モデルを用いることにより、金網にすり抜けが生じない場合に関しては、実験結果の重錘衝撃力、重錘貫入量およびロープ張力を概ね再現可能である。