

従来型ポケット式落石防護網の三次元衝撃応答解析

室蘭工業大学 ○正会員 小室 雅人 土木研究所
土木研究所 正会員 今野 久志 室蘭工業大学大学院

正会員 西 弘明 土木研究所 正会員 山口 悟
学生員 平田 健朗 土木研究所 正会員 佐々木 哲也

1. はじめに

本論文では、著者らによって実施されたポケット式落石防護網の実規模衝突実験¹⁾を対象に、その耐衝撃性能を適切に評価可能な解析手法を確立することを目的に、三次元弾塑性衝撃解析を実施した。得られた解析結果を実験結果と比較することにより、解析手法の妥当性を検証した後に、各構成部材におけるエネルギーの経時変化についても検討を行っている。なお、本解析にはLS-DYNAを使用している。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

図1には本実験で対象とした試験体の正面図および側面図を示している。試験体の形状寸法は、従来型のポケット式落石防護網とし、標準的な支柱間隔3mを基本として、金網全幅を5スパン分の15mとし、実験施設規模から金網高さを10m、支柱高さを3.5mに設定した。金網は幅3.3mのものを重ね代0.3mでラップさせて設置した。吊りロープ及び縦・横ロープには $\phi 18$ mmを、アンカーボルトにはD32(M30)×1000を使用した。なお、縦ロープの間隔は1.5m、横ロープの間隔は5.0mを基本に考えたが、重錘衝突の設定位置と重錘滑落装置の高さの関係から、横ロープは図に示すように変則的な配置としている。

2.2 実験方法

実験は、図1に示すように実験施設内の傾斜角度約45°の斜面に固定された重錘滑落装置を用いて、所定の高さに設置した重錘を滑落させて試験体に衝突させることにより実施した。本実験では、落下高さ H を $H=6, 12, 18$

mと3種類に変化させている。重錘の質量は1.0 ton、形状は幅80 cm×高さ75 cm×長さ95 cmであり、衝突部が球面形状となっている。

本実験における測定項目は、ロープ端部のターンバックルに貼付したひずみゲージによるロープ張力、支柱H形鋼の基部に貼付したひずみゲージによる軸力、高速度カメラによる金網の二次元及び三次元変位等である。実験時のロープ張力等の応答波形は、サンプリングタイム0.1 msでデータレコーダにて一括収録を行っている。

2.3 金網の挙動計測方法

本実験では、金網の挙動を詳細に把握するため、2台の高速度カメラ(A, B)を用いた三次元挙動計測と、重錘による入力エネルギーや最大変位量を確認するため1台の高速度カメラ(C)で側面からの二次元挙動計測を行った。高速度カメラ用のターゲットマークに関しては図1に示すように72点設置している。高速度カメラのフレームレートは、カメラA/Bで250コマ/秒、カメラCで400コマ/秒である。その他の詳細な条件は文献1)を参照されたい。

3. 数値解析の概要

実際の試験体は三次元的に複雑な形状を示しているが、それらの形状を全て数値解析モデルに反映させることは煩雑かつ困難であることより、本数値解析では二次元平面としてモデル化を行った。図2には、数値解析に用いた要素分割状況を示している。金網の寸法は縦10m、横15mとし、横ロープの長さは27mとした。金網に関しては4節点シェル要素を、ワイヤーロープに関しては圧縮力を伝達しない2節点ケーブル要素を用いた。なお、金網は複数本の素線を組み合わせた三次元的な構造である

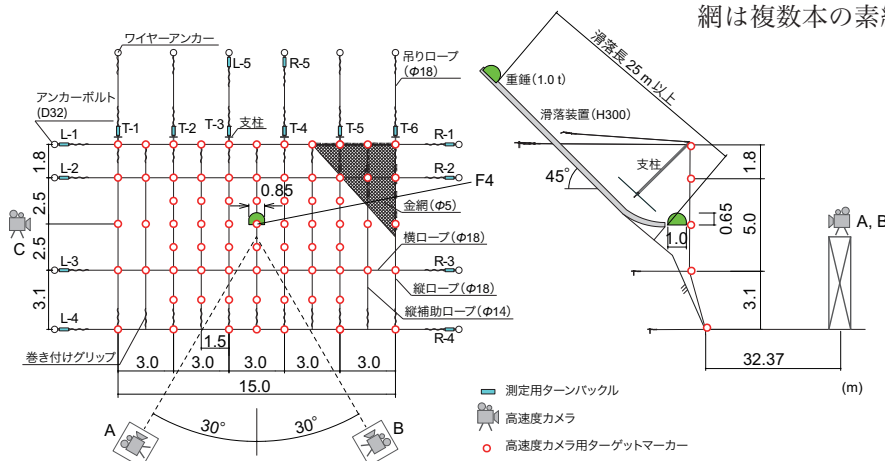


図1 ポケット式落石防護網試験体の正面図及び側面図

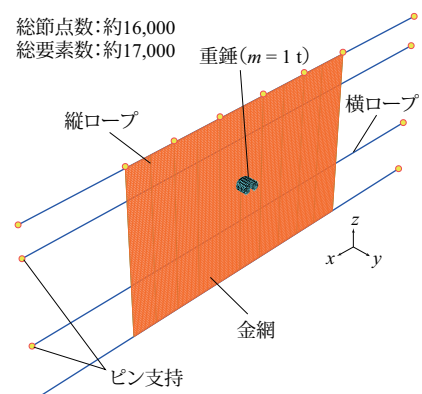


図2 要素分割状況

キーワード：落石防護網、衝撃応答解析、耐衝撃挙動、運動エネルギー

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

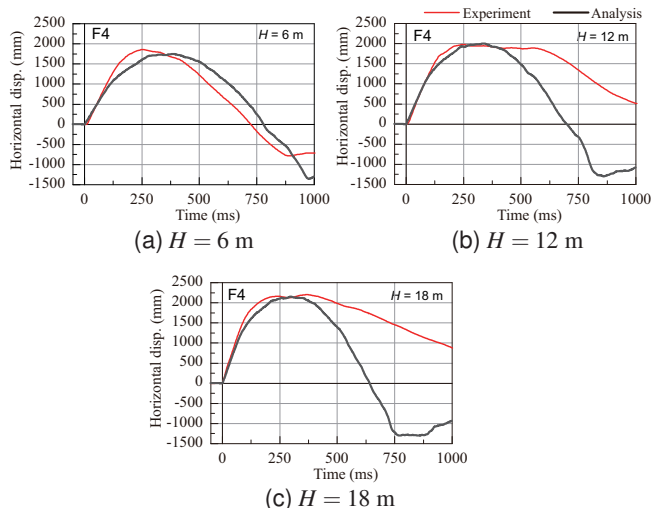
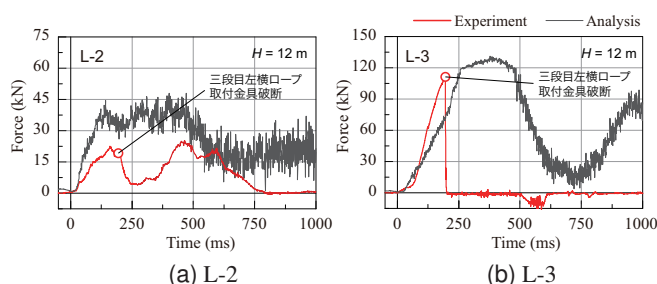


図3 重錘衝突位置における水平変位の時刻歴波形

図4 ワイヤロープ張力の時刻歴波形 ($H = 12$ m)

が、それらを詳細にモデル化することは、計算時間の観点から現実的ではない。したがって、本論文では金網を便宜的に二次元として考え、シェル要素を用いて簡略化したモデルを使用した。

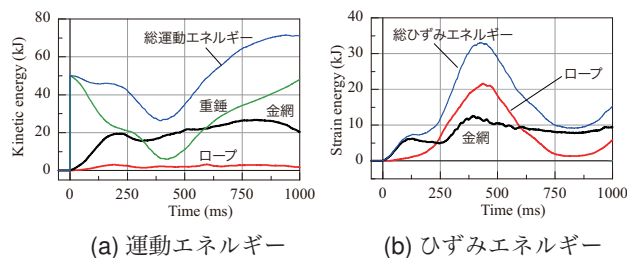
境界条件は、図2に示すようにワイヤロープ端部をピン支持としている。また、金網とワイヤロープは完全付着と仮定している。重錘と金網の間には、面と面との接触・剥離を伴う滑りを考慮した接触面を定義している。なお、接触面における摩擦は考慮していない。

数値解析は、重錘に高速度カメラから算出された衝突速度を初期速度として与えることにより行っている。なお、減衰に関しては考慮していない。

4. 数値解析結果と考察

4.1 変形状況

図3には、解析結果から得られた重錘衝突位置(F4, 図1参照)における水平変位の時刻歴波形を実験結果と比較して示している。図より、落下高さ H にかかわらず、数値解析結果は、重錘衝突初期から最大変位に至るまで非常によく一致していることが分かる。一方、落下高さが大きいほど最大変位以降のリバウンド状態において、数値解析結果は実験結果と異なる挙動を示している。これは、実験では3段目ロープ取付金具の破断($H = 12$ m)やアンカーボルトの引き抜け($H = 18$ m)が生じていることが要因と考えられる。

図5 エネルギーの経時変化 ($H = 6$ m)

4.2 ワイヤロープ張力

図4には、横ワイヤロープ張力の時刻歴波形の一例として、 $H = 12$ m の場合における実験結果と数値解析結果を比較して示している。着目した箇所は、重錘衝突位置を中心にその上下に位置する2段目および3段目の横ロープ左側(L-2, L-3)である。

(a) 図に示す重錘衝突位置よりも上方に位置するL-2の張力に関しては、数値解析結果が実験結果を過大に評価していることが分かる。さらに、重錘衝突後における張力の増加率においても、数値解析結果は実験結果と比較して大きく示されている。一方、重錘衝突位置よりも下側に位置するL-3(b図)を見ると、数値解析結果は重錘衝突後における張力の増加傾向を若干小さく評価しているものの、取付金具が破断するまでの実験結果をほぼ再現しているものと考えられる。

4.3 エネルギーの経時変化

図5には、各構成部材におけるエネルギーの経時変化の一例として $H = 6$ m の場合について示している。

(a) 図より、重錘の運動エネルギーは金網に衝突後徐々に減少し、金網が最大変位を示す400 ms 前後で最小値を示し、その後重錘のリバウンドとともに運動エネルギーが増加している。また、金網の振動に伴う運動エネルギーが増加していることが分かる。一方、ワイヤロープの運動エネルギーはそれらに比較して小さい。

次に、(b) 図に示すひずみエネルギーに着目すると、ワイヤロープのひずみエネルギーは、400 ms 前後で最大値を示し、その後減少傾向にあることが分かる。なお、ひずみエネルギーが最大値を示す時刻における金網とワイヤロープの分担率を比較すると1:2程度である。

5. まとめ

- 1) 提案の解析手法を用いることにより、重錘衝突を受ける金網の変形状をほぼ適切に再現可能である。
- 2) 一方、ワイヤロープの張力に関しては、衝突位置より上側横ロープの張力を過大評価する傾向にあり、実験結果を必ずしも再現できるまでには至らなかった。

参考文献

- 1) 山口 悟, 今野久志, 西 弘明, 佐々木哲也, 小室雅人: 従来型ポケット式落石防護網の実規模重錘衝突実験, 鋼構造年次論文報告集, 21, 104-110, 2013.