室蘭工業大学大学院	学生会員	○田畑 翔大	室蘭工業大学大学院	正会員	小室 雅人
(国研)寒地土木研究所	正会員	西 弘明	(国研)寒地土木研究所	正会員	今野 久志
国土交通省北海道開発局	正会員	荒木 恒也			

1. はじめに

本研究では,落石防護柵の合理的な設計手法や性能照 査技術の確立に向けた基礎的な資料の収集を目的として, 我が国に広く設置されている従来型落石防護柵を対象に 弾塑性衝撃応答解析を実施した.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確認するとと もに,解析的側面から防護柵の動的挙動の把握を行った.

2. 数值解析概要

2.1 試験体概要

図1には、試験体の形状寸法および重錘衝突位置を示している.試験体は落石対策便覧(以後,便覧)に基づき設計された柵高2m,延長9m(支柱間隔3m×3スパン),設計可能吸収エネルギー52.5kJの従来型落石防護柵である.中間支柱(あるいは間隔保持材)とワイヤロープおよびひし形金網はU字ボルトを介して接続されている.また、ワイヤロープは索端金具を介して端末支柱に固定されている.

実験は門型フレームに吊り下げた鋼製重錘(質量 890 kg)



図1 試験体概要



図2 有限要素モデル

をクレーンで所定の高さまで吊り上げ,振り子運動によっ て防護柵に水平衝突させることで実施した.測定項目は, 1)索端金具に取り付けたひずみゲージによるワイヤロープ 張力,2)支柱基部に取り付けたひずみゲージによる軸方向 ひずみ,3)高速度カメラによる重錘貫入量である.本論文 では,防護柵の中央スパン中央下部に想定衝突エネルギー 21.4 kJ で衝突させた実験を対象に数値解析を実施した.

2.2 解析モデル

図2には、有限要素モデルを示している.全ての部材は 基本的に8節点固体要素を用いてモデル化しているが、ワ イヤロープに関しては、その一部にケーブル要素を挿入 し、圧縮力が伝達しないように配慮した.ワイヤロープ は索端金具要素を介して端末支柱に完全固定されるもの とし、間隔保持材および中間支柱とワイヤロープは実構 造と同様U字ボルト要素を介して固定した.ワイヤロー プーU字ボルト,中間支柱および重錘間には、接触およ び剥離・すべりを伴う接触面(摩擦係数0.4)を定義した. 境界条件はコンクリート基盤底面を完全固定とし、側面 はそれぞれ面に垂直な方向を固定とした.

2.3 材料構成則

図3には、ワイヤロープおよび各鋼材の応力 – ひずみ 関係を表している.いずれもバイリニア型の等方構成則 を適用した.(a)図に示すワイヤロープは便覧を参考に弾 性係数 E_1 , E_2 を決定した.(b)図に示す鋼材については塑 性硬化係数H'を弾性係数の1%とした.また端末支柱, 中間支柱および間隔保持材の降伏応力 f_y は、ミルシート を参考に、それぞれ314、381、385 MPa とした.いずれ の場合も降伏判定は von Mises の降伏条件に従うものとし た.なお、その他構成要素に関しては、実験時に塑性化 が生じてないことより弾性体とした.また、鋼製重錘は 所定の質量となるように単位体積質量を換算している.



キーワード:従来型落石防護柵,有限要素法,弾塑性衝撃応答解析,動的挙動 連絡先:〒050-8585 室蘭工業大学大学院 くらし環境系領域 社会基盤ユニット TEL/FAX:0143-46-5228





図7 最大貫入時変形状況と Mises 応力分布

3. 数値解析結果および考察

3.1 各種時刻歴応答波形

図4には、重錘衝突位置における重錘貫入量の時刻歴波 形について、実験結果と解析結果を比較して示しており、 重錘が防護柵に衝突した時間を零としている。実験結果 に着目すると、重錘衝突後、約50msまでほぼ線形的に貫 入し、約90msで最大値到達後、リバウンド状態に至っ ていることが分かる。一方、解析結果は実験結果の最大 重錘貫入量を若干大きく評価しているものの、波形の立 ち上がりは実験結果とよく対応していることが分かる。

図5には、重錘衝突位置近傍のワイヤロープ張力(R1, R2,R3,図1参照)の時刻歴波形を示している。実験結果 における各最大ロープ張力を比較すると、重錘中心が衝突 したR2ロープの張力が最も大きいことが分かる。また、 その発生時刻は図4に示す最大重錘貫入量の発生時刻と ほぼ一致している。一方、解析結果に着目すると、(c)図に 示すR3を除き、波形の立ち上がりから除荷に至るまで、 実験結果をほぼ適切に再現していることが分かる。なお、 R2における最大張力は、実験結果と比較して若干小さい. これは、本解析ではロープの材料物性値に公称値を与え ていることから、約120kNでロープが降伏域に到達し、 張力が頭打ちになるのに対し、実ロープの降伏荷重がそ れよりも大きいことに起因しているものと考えられる.

図6には、中間支柱基部(高さ20mm)の軸方向ひずみ について実験結果と解析結果を比較して示している.(a) 図に示す衝突側フランジでは引張ひずみが,(b),(c)図に 示す非衝突側フランジでは圧縮ひずみが発生しているこ とから、重錘衝突後、中間支柱は重錘貫入方向へ傾いて いることが分かる.また、解析結果は実験結果よりも大 きく示されているものの、定性的には実験結果を再現し ていることが分かる.

図7には重錘最大貫入時における中央スパンの変形状況 と Mises 応力分布を示しており、中間支柱基部では設計 可能吸収エネルギーの約半分程度のエネルギーにおいて、 降伏応力(381 MPa)を超える応力が発生していることが分 かる.これは、前述の図6(a)の軸方向ひずみが降伏ひず み(1,905 µ)を大きく上回っていることからも確認される.

- 4. まとめ
- 提案の材料構成則および解析手法を用いることにより、重錘貫入量や中間支柱の動的挙動を大略再現可能である。
- 2) また、ロープ張力においても解析結果は実験結果を ほぼ再現可能である。
- 3) 設計可能吸収エネルギーの約半分程度のエネルギー が下方に作用した場合には、中間支柱基部に降伏応 力を超える応力が発生することが確認された。