FEM 解析を用いた実規模落石防護工の性能評価への試み

防衛大学校 正会員 〇堀口俊行 学生会員 永井貫太,小松喜治 東京製綱(株) 正会員 橋口寛史,高橋利延

1 緒 言

我が国は、急峻な地形が多く、台風や豪雨等の影響により、自然災害に多く見舞われる環境にある.一方で、交通 需要の増加や都市開発により、困難な地形や地質条件に対応して交通網を拡大したため、落石災害が多く報告されている.落石対策法としてワイヤロープを用いた特殊構造によって落石の道路への侵入を防止する落石防護柵が建設されている.特に、支柱頭部のワイヤロープで支持した構造は、ワイヤロープ支持式落石防護柵(以下、落石防護柵 と呼ぶ.)であり、従来の片持ち構造の柵と比較して支柱の基礎に生じる荷重が小さくなるため、部材が軽量となり、経済性、施工性に優れた特徴がある.

ところで,設計法の改定により,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やそれを補うよ うに補完解析による照査が行われている.実規模における 解析は以前から行われており¹⁾,境界条件を満たせば実験 できる.ただし,落石対策便覧²⁾に最低限統一すべき性能 照査についての検証のみである.これは,限られた条件下 での実験であり,補完解析を目指した手法を援用した性能 照査が望まれる.

そこで本研究は、弾塑性解析手法を用いて実スケールで の落石防護柵の重錘衝突実験の再現シミュレーションの 適用性を検討したものである.その際、実験と解析の張力 ~時間関係の再現性と補完解析として、弱点部分と考えら れる端部あたりの支柱への衝突における検証解析を行う.

2 実験の概要

2.1 供試体

図-1に示すように供試体(50kJタイプ用)は、横ロープ、 間隔保持材(横ロープ間の開き防止部材)、および金網からなる支持面を4本の支柱(H鋼)で支えた構造である。各 支柱は、下端を架台にヒンジ結合、頭部を吊ロープで支持 しており、左右の端末支柱は、側方からもそれぞれ4本の サイドロープで支持している。また、吊ロープおよびサイ ドロープの端部は架台に固定している。なお、本実験では、 後述の試験方法の都合上、供試体の支持面が水平となるよ うにして架台に設置した。供試体の柵高は、2.5 m、延長は L=9.0 m、支柱間隔は3.0 mである。重錘は、多面体コンク リート製重錘を使用し、重さは0.17 tonであった。

2.2 実験方法

写真-1のように、重錘をクレーンで持ち上げた後、空圧 式の離脱装置を用いて自由落下させ供試体に衝突させた. ここで、重錘の落差 *h*=33.0 m、衝突速度*v*=25.4 m/sとし た. 重錘の衝突目標は、柵の延長方向に全長の中央とし、 柵の高さ方向は、柵頭部より0.5 m下方の位置とした.

2.3 実験結果

図-2に、張力の時刻歴応答を示す.横ロープ6に着目すると、最大張力が96 kNであり、他のロープに比べて明らかに大きい.これは降伏応力(118 kN)に比べると81%で



図-2 張力の時刻歴応答(L=9.0 m, 間隔 3.0 m)

あり、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たと考えられる.

3 解析要領

本解析では,動的弾塑性解析を目的とした数値解析プロ グラムを使用する.まず,図-3に示す SS400の応力~ひ ずみ関係を基に断面分割法を用いてそれぞれの断面の曲 げモーメント〜曲率関係および軸力〜ひずみ関係を求め た.これを3段階の弾塑性モデルとして近似させた.それ ぞれ、図-4は支柱の曲げモーメントと曲率関係および図-5は、ワイヤロープ $N-\varepsilon$ 関係である. そのうえで、弾性限 界を表す関数 Φ_Y および塑性化を表す関数 Φ_P を用いて関 連流れ則による塑性変形を求めた. なお,本解析は落石に よって供試体に生じる外力を図-6の示すようにした.こ れは,実験における落石の反発係数に対応する運動変化と 等価になるように設定した. さらに, 補完解析として, 支 柱下端部(水平方向:柵左端から0.3m右方の位置,鉛直 方向:柵下端から0.3m上方の位置)に衝突させる解析も 行う.この解析は、災害時や落石衝突時に想定される最悪 荷重における補完解析として検証するものである.

キーワード 落石防護柵,弾塑性解析,実規模実験,衝撃 連絡先〒239-8686 神奈川県横須賀市走 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL:046-841-3810 FAX:046-844-5913



4 解析結果

図-7 に、横ロープ 6 の張力~時間関係を示す. 実験で は、0.045 s で最大張力に達し、解析では 0.055 s で最大張 力に達する.最大張力に達する時間の差は 0.01 s であり、 これは、ワイヤロープの伝搬速度の影響によるものと考え られる.しかし、実験での最大張力 96kN であったが、解 析での最大張力は 101 kN あった.実験と解析における最 大張力を比較すると、誤差は 5.2 %であり実験を概ね再現 できている.

図-8に、実験と解析結果の変形応答図を示す.図-8(a) とも実験と同じ傾向である.次に、実験では、図-8(b)の時 刻0.02sにおいて両側の中間支柱において変形が見られた. 解析においても同様に中間支柱が変形している.その後、 横ロープ7側の中間支柱には大きな変形は見られないが、 横ロープ6側の中間支柱は時刻経過とともに変形が大き くなり、0.04sで最大となった.一方、解析では0.03sで 最大となっている.また、図-8(c)の時刻0.04sでは張出 量を維持し、0.05s以降は重錘を押し戻す挙動となった. 図-8(d)においても落石が押し込みまで再現できている.

次に、図-9に補完解析の結果を示している.下端部の衝突では、支柱(H鋼)が大きく塑性変形を示している.中 央部分に衝突させる解析は、損傷が確認できなかったが、 弱点部分に衝突させた場合においては、防護柵が崩壊する ことはないが、支柱(H鋼)に大きく荷重が集中し、支柱 が塑性化していることがわかる.



5 結 言

本研究は,弾塑性解析手法を用いて落石防護柵の重錘衝 突実験における再現解析を行い,衝撃荷重評価を検討した ものである.

(1) 提案手法は、実物大実験における変形応答を定性的に 再現することができた.さらに、実験の最大張力を弾塑 性解析で概ね再現することができた.

(2) 補完解析では、支柱下端部分での塑性化が確認された. 今後は、様々な実験例を用いて、ワイヤロープの性能評 価手法としての適用性を検討し、最悪荷重を考慮した解析 例を基に防護柵の改良方法について検討を進めていきたい.

参考文献

- 1)高橋利延,橋口寛史,堀口俊行:ワイヤロープ支持式落 石防護柵の実規模重錘衝突実験,第12回構造物の衝撃 問題に関するシンポジウム論文集,2019.12.
- 2)社団法人日本道路協会:落石対策便覧, 2017.12.