

1. はじめに

我が国では、地震や気候および地形などの条件から多くの落石災害が発生している。そのため、数多くの落石対策工が施されている。その一種である落石防護網（以下、防護網）は、落石エネルギーの吸収性能が高いだけでなく、施工性・補修性の高い防護工である。しかし、施工までに斜面環境の事前調査や、防護網の性能評価実験が必要であり、調査に要する期間の長さが課題となっていた。その課題に対して、既往の研究により、動的応答解析で性能評価実験の結果が再現可能であることが示された。しかし、動的応答解析は膨大な解析時間を要する。今後、落石防護網を設計する際の指標となる設計式を導くためにも、更なる解析が必要とされており、解析手法の簡易化が課題となっていた。そこで本研究では、膨大な解析時間を要する動的応答解析の簡易化を図るため、静的応答解析により性能評価実験の再現を行う。その後、様々な重錘の衝突条件を与えたモデルの解析を行うことで、その解析結果から落石防護網を設計する際の指標となる設計式を導き出すことを目的としている。

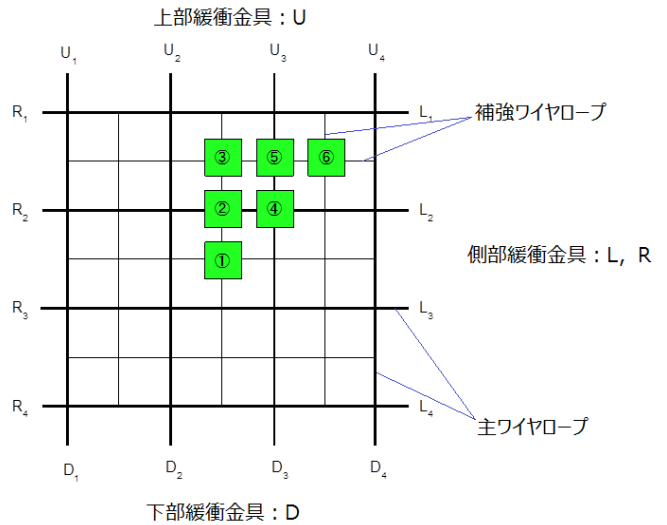


図-1 解析モデルの概要図

2. 静的応答解析

2.1 解析手法

静的応答解析法を用いた重錘衝突解析を実施し、動的と静的の解析結果を比較することで再現性の評価を行う。

図-1に解析モデルを示す。なお、図中の四角は重錘衝突位置を表しており、その中の番号は落下位置のパターンを示している。また、記号のU, L, R, Dは、それぞれ主ワイヤロープに配してある緩衝金具の位置を示している。

図-2に、衝突位置のパターン①（中央衝突）で最大滑り量となった緩衝金具R₃, L₃の静的と動的の解析結果を比較したグラフを示す。

なお、本研究では、作用エネルギーは以下のように算出している。

- ・動的： $E = m \cdot V^2 / 2$
(衝突速度 V m/s, 落石質量 m kg)
- ・静的： $E = \delta_t \cdot C$
(合計滑り量 δ_t m, 緩衝金具の摩擦抵抗力 $C = 55$ kN)

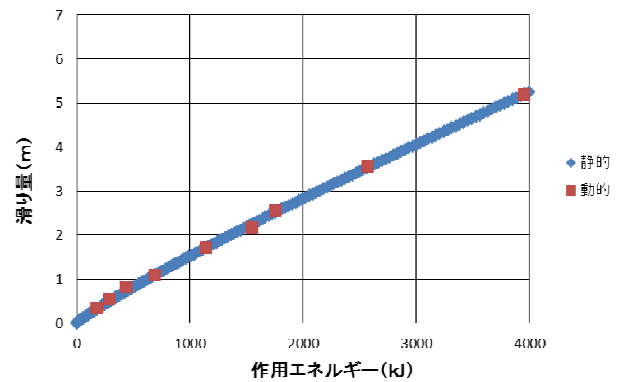


図-2 静的による動的の解析結果の再現度

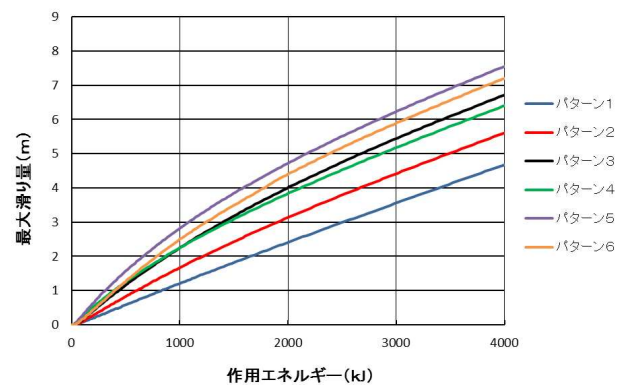


図-3 偏心衝突における解析結果の比較

2.2 重錘衝突位置の影響

衝突位置が防護網の挙動に与える影響を検討する。衝突位置は図-1の通り6パターンとする。図-3に各衝突位置の解析結果のグラフを示す。

3. 簡易計算式

前章までで明らかとなった、防護網の挙動の傾向および解析結果を根拠に、落石防護網を設計する際の指標となる簡易計算式を検討・提案する。

防護網を設計するためには、落石が衝突した際に防護網が過大変形し、道路の建築限界を侵さないようするため、防護網のたわみ量 v と、緩衝金具の最大滑り量 δ を把握する必要である。

3. 1 パラメータと適用範囲の設定

- ・実斜面における落石質量 m の分布傾向より、重錘質量の適用範囲は1000kg~10000kgとする。
- ・実斜面における衝突速度 V の分布傾向より、衝突速度の適用範囲は10~30 m/sとする。
- ・縦ケーブル長 L_y の下限長さは、落石の飛跳運動によるネット上端部の飛び越えを考慮し12mとする。よって、適用範囲は12~16mとする。
- ・横ケーブル長 L_x の長さは落石の横方向への拡がりや、長大化に伴うケーブルの自重の増加を考慮する必要がある、よって適用範囲は10~40mとする。

3. 1 緩衝金具の滑り量の簡易計算式

設計式は算出した値が安全側となるような条件を想定して導く必要がある。図-3より、主ワイヤロープ上の最端部であるパターン5が最も滑り量が大きくなっている事がわかる。よって、衝突位置は図-4の条件②に設定し、最大滑り量の簡易計算式を導くこととする。

以下に、簡易計算式を示す。また、図-5に簡易計算式の再現度を表したグラフを示す。なお、図-5は $L_y=16m$ の時の結果を比較したものである。

$$\delta = \alpha(1 - e^{-0.115mV^2}) + C \quad [m]$$

$$\alpha = 0.05L_y - 0.07L_x + 11.72$$

$$C = 7.5 \times 10^{-3}L_x + 0.58$$

4. 2 防護網のたわみ量の簡易計算式

偏心衝突の解析結果より、防護網のたわみ量 v は衝突位置の影響をほぼ受けないことがわかっている。よって、衝突位置は図-4の条件①に設定し、たわみ量の簡易計算式を導くこととする。

以下に、簡易計算式を示す。また、図-6に簡易計算式の再現度を表したグラフを示す。なお、図-6は $L_x=16m$, $L_y=12m$ のモデルの結果を比較したものである。

$$v = \alpha(1 - e^{\beta mV^2}) + C \quad [m]$$

$$\alpha = 0.05L_y + 9.1$$

$$\beta = -(0.1784 - 0.0004L_x - 0.0025L_y)$$

$$C = 0.1L_y + 0.01L_x + 1.24$$

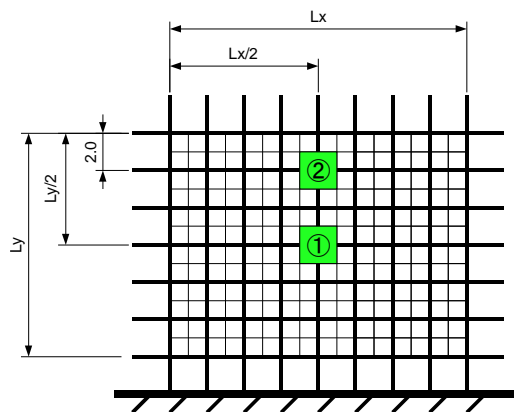


図-4 解析モデルの概要図

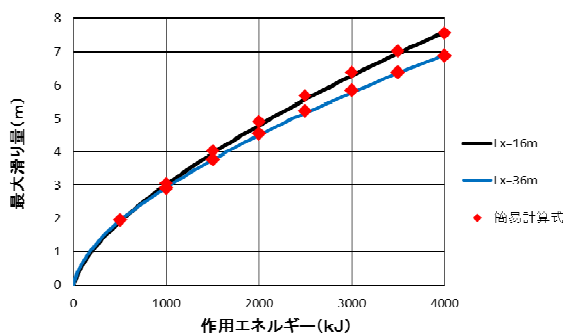


図-5 最大滑り量 δ の簡易計算式の再現度

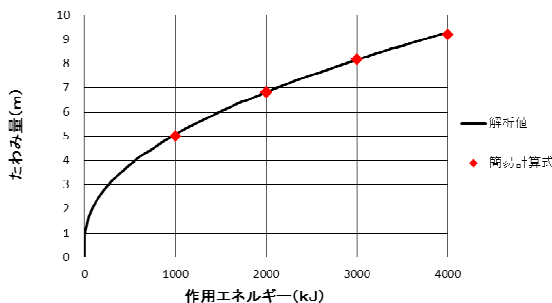


図-6 たわみ量 v の簡易計算式の再現度

5. 結論

本研究によって得られた知見を以下にまとめる。

- ・静的応答解析で動的応答解析の結果を再現できることを確認した。これにより大幅な解析時間の短縮に成功した。
- ・偏心衝突解析により、最も滑り量が大きくなる衝突位置は、主ワイヤケーブル上の最端部であることがわかった。また、たわみ量は衝突位置による影響をほぼ受けないことがわかった。
- ・モデルの寸法を変更した解析により、横ケーブル長および、縦ケーブル長が滑り量とたわみ量に与える影響を把握できた。
- ・簡易計算式を導いたことによって、落石防護網の設計に必要なパラメータが算出可能となった。これにより、防護網の設計が容易になったと言える。