

# 実斜面を想定した緩衝金具を有する落石防護網の静的解析法に関する研究

建設構造研究室 鍋島 渉  
指導教官 岩崎英治

## 1. はじめに

我が国の国土は急峻な地形が大部分を占めており、集落や交通路の多くが山間部に位置している。また、脆弱な地質が多く、世界有数の地震大国であり、豪雨などの厳しい自然環境下にある地域が多いなどの理由から、落石災害が多発している。そのため、落石災害の防止は経済活動及び安全確保の観点から、非常に重要な問題となっており、全国に多くの落石対策工が施工されている。本研究の対象である、緩衝金具を有する落石防護網は落石防護工の一種であり、エネルギー吸収性能とメンテナンス性に優れている特徴を持つ落石防護網である。緩衝金具を有する落石防護網の設計において重要となるのは、防護網全体のたわみと、各緩衝金具内のワイヤの滑り量であり、簡易にそれらを算出できる解析手法が必要とされている。

そこで本研究では、実斜面を想定した落石防護網の解析モデルを作成し、動的応答解析とエネルギー的に等価な静的解析法による、緩衝金具の滑り量と防護網のたわみの評価について検討を行った。

## 2. 静的解析手法

既往の研究により、水平に設置したワイヤに重錘を垂直落下させた場合の、動的応答解析と静的解析のエネルギー的に等価な式が提案され、その妥当性が確認された。しかし、従来のエネルギー式では、落石防護網の傾きと重錘の衝突角を考慮できず、実斜面に設置されるような傾きを有する落石防護網の解析モデルについては計算できなかった。そこで、本研究では、**図-1**に示すようなモデルの、動的応答解析と静的解析のエネルギー収支について考える。片

側端部に緩衝金具を有するワイヤの中央に、初速を与えた重錘を衝突させた場合の、動的応答解析と静的解析の、それぞれのエネルギー状態を示している。

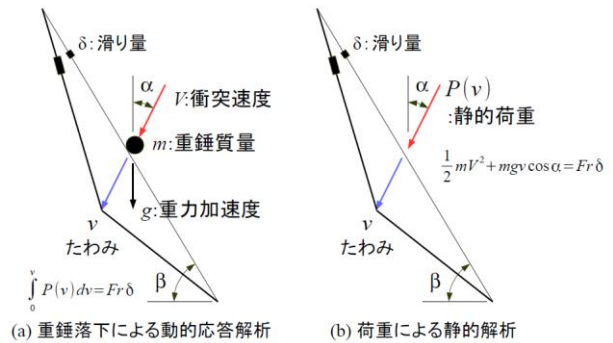


図-1 傾斜を考慮したモデル

ここで、ワイヤの滑り量の増加がゼロとなった瞬間のエネルギーを等価とすれば、以下の式が導かれる。

$$\int_0^v P(v)dv = \kappa \left( \frac{1}{2} mV^2 + mgv \cos \alpha \right) \quad (2)$$

ここで $\kappa$ は約0.9である。式(2)から作用エネルギーに対するたわみと滑り量の関係を求めると、それぞれ**図-2**、**図-3**のようになり、動的応答解析と静的解析の結果が概ね一致していることが確認できる。

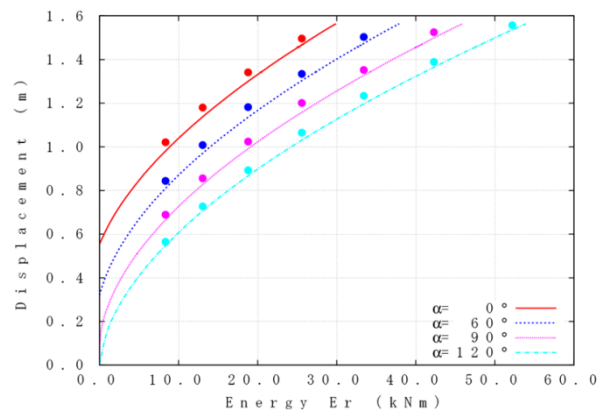


図-2 作用エネルギーとたわみ

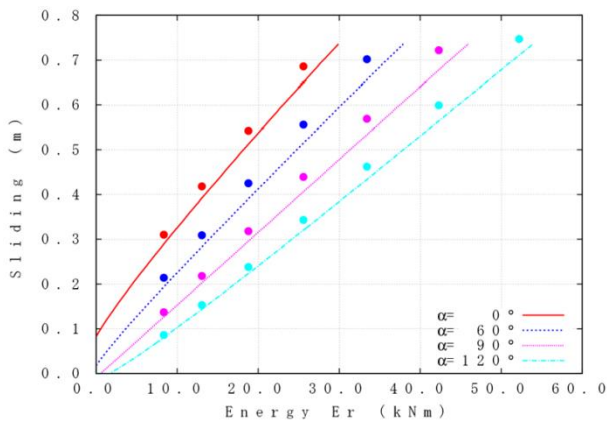


図-3 作用エネルギーと滑り量

### 3. 傾斜を有する防護網

傾斜を考慮した静的解析法を用いて、実斜面を想定した傾斜を有する防護網について解析を行い、動的応答解析による結果と比較する。図-4に示す解析に用いたモデルは縦横4本ずつの主ワイヤで構成されており、それぞれの両端部に緩衝金具を有している。防護網の傾きは、30°、60°、90°、120°のパターンで解析を行った。

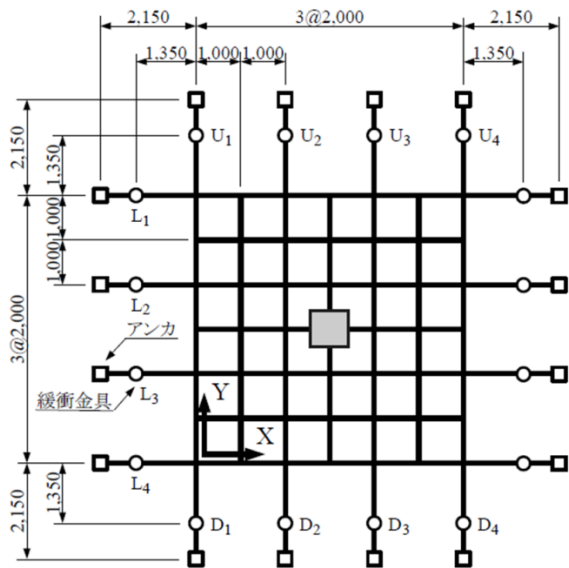


図-4 落石防護網の解析モデル

図-5、図-6に動的応答解析と静的解析の結果を示す。図-5は作用エネルギーと防護網のたわみ量を示しており、図-6は作用エネルギーと各緩衝金具の滑り量の合計値を示している。これらの結果から、静的解析にて動的応答

解析の結果を概ね再現出来ていることが分かる。

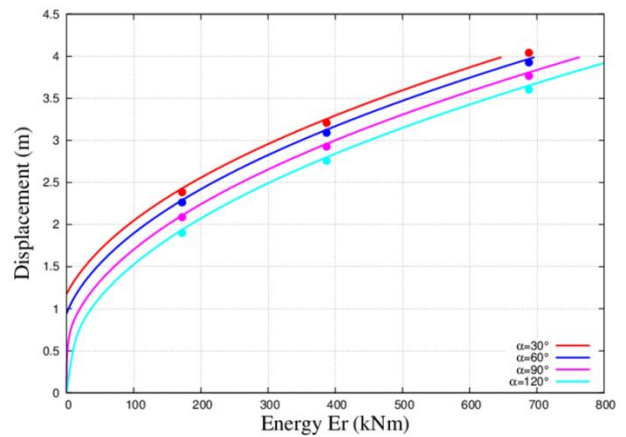


図-5 作用エネルギーとたわみ

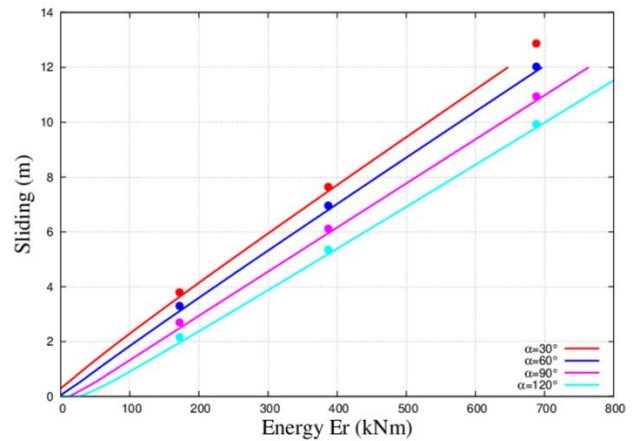


図-6 作用エネルギーと滑り量

各緩衝金具の滑り量の合計値について、静的解析と動的応答解析の結果を比較した場合、概ね一致する結果が得られた。しかし、個々の緩衝金具内の滑り量については、誤差が見られた。図-4に示した、緩衝金具U2内の滑り量を図-7に、L4の滑り量を図-8に、D2の滑り量を図-9にそれぞれ示す。U2は重力方向の上側の緩衝金具であり、D2は下側の緩衝金具である。

図の結果から、上部にある緩衝金具の滑り量は動的応答解析と比較して、小さく評価する誤差が見られ、下側の緩衝金具は、大きく評価される誤差が見られた。また、防護網の左側に位置している緩衝金具L4の滑り量は概ね一致す

る結果が得られた。

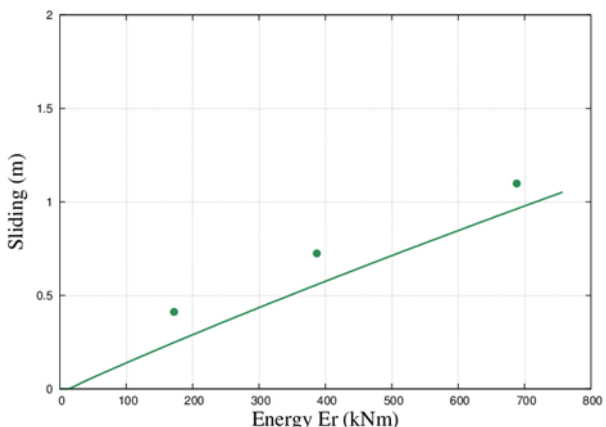


図-7 U2の滑り量(傾き 90°)

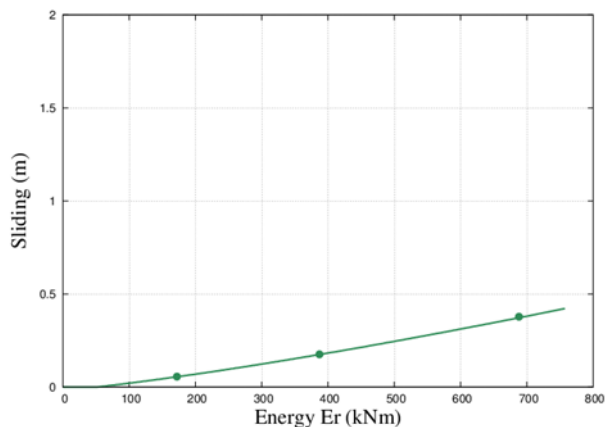


図-8 L4の滑り量(傾き 90°)

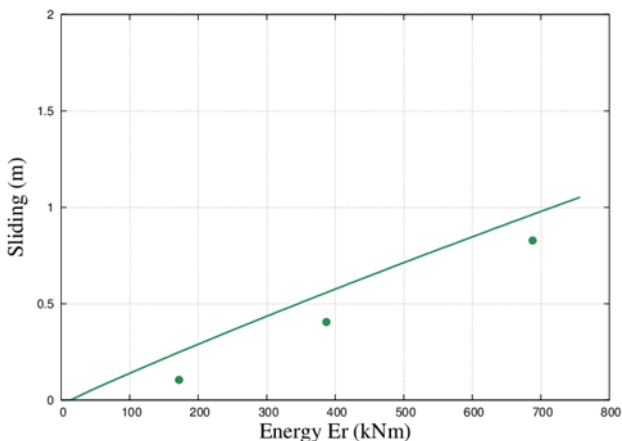


図-9 D2の滑り量(傾き 90°)

#### 4. 実規模の落石防護網

実際に施工される規模を想定した落石防護網の解析モデルを作成し、規模の違いが防護網

のパラメータに及ぼす影響について調べる。

表-2 に示すような規模を有する落石防護網の解析によって得られた、たわみ量のグラフを図-7 に示す。図から、規模の大きさによる差は最大 0.2m 程度となり、規模による影響が全体のたわみ量と比較して小さいことが分かる。

表-1 防護網の規模

Model	縦ワイヤ本数	横ワイヤ本数	防護網のサイズ(横×縦)
N9M7	9	7	16m×12m
N9M8	9	8	16m×14m
N9M9	9	9	16m×16m
N19M7	19	7	36m×12m
N19M8	19	8	36m×14m
N19M9	19	9	36m×16m

防護網のサイズはネット部分の寸法

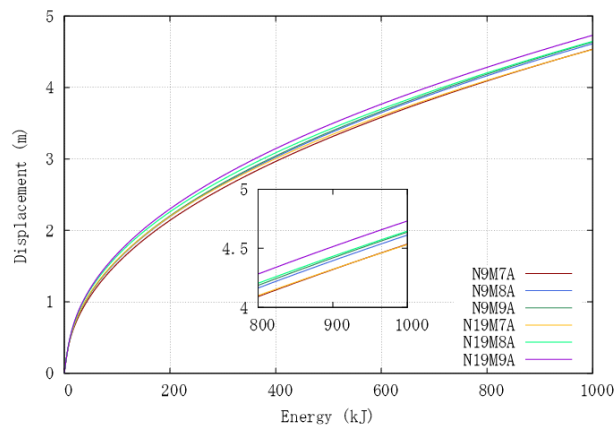


図-10 規模の違いによるたわみの差

#### 5. 落石位置の違いによる滑り量の変化

落石防護網を設計するには、各緩衝金具内のワイヤの最大滑り量を知る必要がある。そこで、緩衝金具内の滑り量が最も大きくなる、図-8 の範囲のそれぞれのワイヤ上に落石を作用させた場合の各緩衝金具の滑り量を図-9 に示す。

グラフから、落石の衝突位置が変化しても、緩衝金具の最大滑り量は同程度となることが分かる。このことから、全ての緩衝金具内の滑り量の最大値を求める際には、ある緩衝金具内の最大滑り量を代表値として求めれば良いことがわかった。

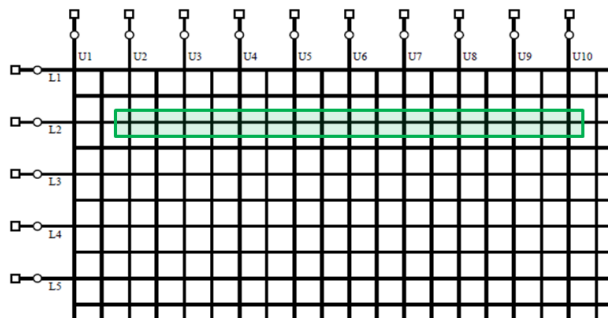


図-11 落石を作用させる範囲

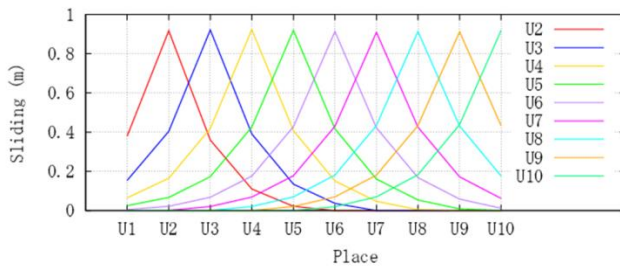


図-12 各落石位置での緩衝金具の滑り量

## 6. 結論

従来の解析モデルでは考慮されていなかった、実斜面を想定した傾斜を有する落石防護網のモデルを作成し、動的応答解析との解析結果を比較し、再現性を確認した。その結果、実際に施工される落石防護網により近い条件の解析を行え、より設計に則したパラメータの算出が可能となった。

## 7. 参考文献

[1]岩崎英治, 山本純也: 緩衝金具を有する落石防護工の解析手法の簡易化, 構造工学論文集 Vol.60A, pp35-45, 2014.3.