

ポケット式落石防護網の落錘衝突シミュレーションに関する研究

金沢大学大学院 学生員 ○河上 康太
金沢大学大学院 正会員 田島 与典
金沢大学 正会員 前川 幸次

1. 序論

本研究では、ポケット式落石防護網の落錘衝突実験を LS-DYNA によりシミュレーション解析を行い、衝突現象を解析上で把握できる解析モデル作りを目的とする。実験には実際の落石を想定するために、大規模な実験装置が必要である上に、種々の落石条件で実験を実施するには多大な時間とコストが伴う。そのため、実物に近い解析モデルを作成し、妥当性を確認することにより、これらの課題の解消に繋がると考える。そして、モデルを元に様々な衝突状況に応じたポケット式落石防護網の耐荷性、挙動を解析計算からアプローチする。

2. 解析モデル

解析モデルを図 1、解析モデル諸元を表 1 に示す。

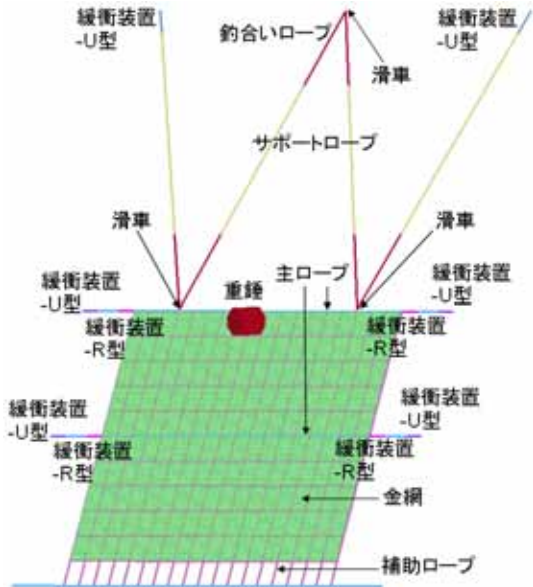


表 1 解析モデル諸元

部材	要素	弾性係数 (N/mm ²)	質量密度 (g/cm ³)	降伏応力 (N/mm ²)
重錘	ELASTIC	2.8×10 ⁴	2.30	-
主 ロープ	CABLE_DISCRETE _BEAM	1.0×10 ⁵	8.13	1.17×10 ³
補助 ロープ	CABLE_DISCRETE _BEAM	1.0×10 ⁵	8.09	1.32×10 ³
サポート ロープ	CABLE_DISCRETE _BEAM	1.0×10 ⁵	8.13	1.17×10 ³
釣合いロープ 滑車	SEATBELT (SLIPRING)	-	-	-
金網	CABLE_DISCRETE _BEAM	2.0×10 ⁵	7.88	4.00×10 ²
緩衝装置 -U 型	PIECEWISE_LINEAR _PLASTICITY	1.0×10 ⁵	8.13	2.09×10 ²
緩衝装置 -R 型	PIECEWISE_LINEAR _PLASTICITY	1.0×10 ⁵	8.13	2.24×10 ²

図 1 解析モデル

- 1) 重錘：実形状の弾性体でモデル化し、実質量となる密度を用いた。また、落石防護網に衝突する直前の位置で、落下高さから求めた初速度を与えた。
- 2) 主ロープ、補助ロープ、サポートロープ：引張力だけを考慮する CABLE 要素でモデル化した。断面は円形で、断面積は実断面積で定義した。
- 3) 釣合いロープ・滑車：ワイヤーの曲がり角が急であっても滑りを考慮できる SEATBELT 要素でモデル化した。SEATBELT 要素の一部であるスリップリングを滑車とみなし、スリップリング内を釣合いロープが滑る。
- 4) 金網：実験では網目寸法 50mm の金網を用いたが、解析では要素数を減らし解析時間を短縮するために、網目寸法を 141mm とし、断面積を実断面積の 2.82 倍とした。断面は円形で定義し、弾性係数、質量密度、降伏応力は一般的な鋼の値を用いた。
- 5) 緩衝装置-U 型、緩衝装置-R 型：主ロープ両端部に 1m について、降伏点が緩衝装置の平均張力に等しい完全弾塑性体要素とすることで、緩衝装置のモデルとした。このモデルにより緩衝装置-U 型は 30kN、緩衝装置-R 型は 28kN の平均張力でワイヤーが滑る状態を表現した。

キーワード ポケット式落石防護網、落石シミュレーション、緩衝装置

連絡先 〒920-1164 石川県金沢市角間町 金沢大学大学院自然科学研究科 Tel.076-234-4602 Fax.076-234-4602

3. 解析結果

解析結果について、今回は実験 No.1 と実験 No.6 についての結果および考察を以下に示す。

まず、ポケット式落石防護網全体のエネルギー吸収の LS-DYNA 解析値と高速度カメラ解析値の比較を表 2 に示す。これらの値は重錘の位置エネルギーの変化量から重錘の運動エネルギーを引くことで求めており、両者の値はほぼ一致していると言える。誤差は、高速度カメラ映像の速度の読み取り誤差や、解析モデルと実際の落石防護網の相違であると考えられる。

次に緩衝装置によるエネルギー吸収の実験値と解析値の比較を表 3 に示す。緩衝装置を用いた防護網の解析では、特に解析における緩衝装置-U 型のエネルギー吸収量が実験値より小さい値となる。これは、実験で緩衝装置が平均張力以下で滑ったことの影響や、解析において緩衝装置-U 型と緩衝装置-R 型の滑り平均張力の差が大きく影響したためであると考えられる。

表 2 防護網全体のエネルギー吸収

実験 No.	LS-DYNA 解析値(kJ)	高速度カメラ解析値(kJ)
No.1	94.4	77.2
No.6	269.8	295.5

表 3 緩衝装置によるエネルギー吸収

実験 No.		緩衝装置-U 型		緩衝装置-R 型		全吸収量(kJ)	アンカー部最大反力(kN)
		滑り量(m)	吸収量(kJ)	滑り量(m)	吸収量(kJ)		
No1	実験	0.000	0.0	-	-	0.0	112.0
	解析	0.018	0.3	-	-	0.3	155.0
No6	実験	2.770	77.6	2.845	85.4	162.9	60.3
	解析	0.098	2.94	2.206	61.77	64.7	57.7

重錘の運動エネルギー、落石防護網の運動エネルギー、落石防護網のひずみエネルギー、接触エネルギーとこれらをすべて加えた全エネルギー、および重錘の落差によるエネルギーの収支を図 2 および図 3 に示す。緩衝装置を用いない実験 No.1 では、ひずみエネルギーが防護網の運動エネルギーの 50%程度であるが、緩衝装置-U 型と緩衝装置-R 型を併用した実験 No.6 では、ひずみエネルギーと防護網の運動エネルギーがほぼ同等である。これは、緩衝装置の滑りによるエネルギー吸収が解析のモデル上ひずみエネルギーに含まれているからであると考えられる。また、本来ならば全エネルギーと重錘の落差によるエネルギーは一致するはずであるが、全エネルギーは重錘の落差によるエネルギーより 2%~5%小さい結果となった。

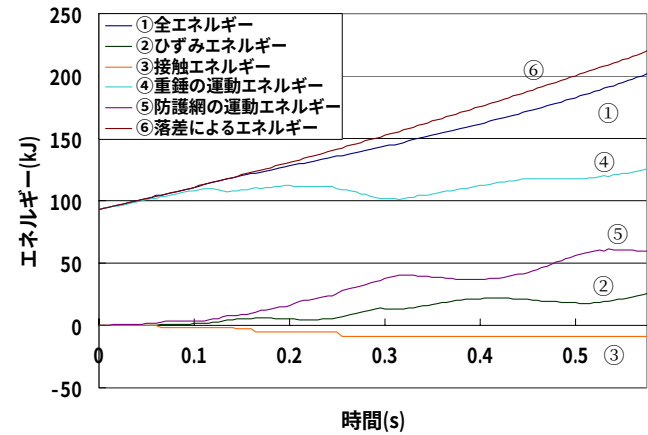


図 2 実験 No.1 のエネルギー収支

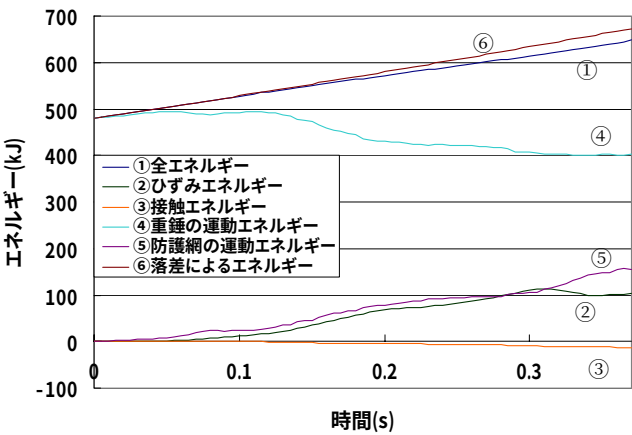


図 3 実験 No.6 のエネルギー収支

4. 結論

今回の落石防護網のモデル化において重要であると考えていた緩衝装置のモデル化を、ある程度実物に近い形でモデル化することができ、落石防護網全体の変形やエネルギー吸収も実験に近い結果を得ることができた。よって、ポケット式落石防護網の落石衝突シミュレーションは可能であると考えられる。また、落石防護網モデルをさらに実物に近い形のモデル化とすることを目指すことで、さらに精度の高いシミュレーション結果を得ることが可能になると考えられる。