九州大学工学部地球環境工学科 学生会員 髙木信哉 九州大学大学院教授,工学研究院社会基盤部門 フェロー会員 園田佳巨

1. はじめに

日本は国土の70%以上が山岳地帯であり,梅雨や台風 などによる集中豪雨も多いことから、土砂災害や落石 事故が多発しており、数多くの落石に対する防護工の 開発が行われている. 落石に対する防護工には, ロック シェッドに代表される大型の高剛性構造物と、防護網 や防護柵などの変形性能が高い構造物がある.前者は、 建設にかかる費用が多大であるのに対し、後者は建設 にかかる費用が安価で施工が容易であることから、施 工機会が非常に多くなってきている. 一般に, 落石防護 網や防護柵の耐荷性の評価は, 落石対策便覧を参照し て行われるが、大規模な落石に対応した高エネルギー 吸収柵は,独自のエネルギー吸収装置を有することか ら,その耐衝撃性能は実物大の衝撃実験で照査するこ とが求められている.図-1 に示すワイヤリング落石防 護柵も高エネルギー吸収型の構造として開発されたも ので、ワイヤリングネット、ロープ、支柱などの部材で 構成され、ワイヤリングの変形とブレーキシステムの スリップ量で落石のエネルギーを吸収する仕組み いに なっている.本研究では、同構造の衝撃挙動を再現可能 な解析手法を開発し、同構造を改良することで 3000kJ のエネルギーを有する落石まで捕捉できることを数値 解析により検証するものである.

2. 解析手法

2.1 ワイヤリング力学モデル

図・2に示すようなワイヤリングは、隣接するリング間 に遊間が存在する場合には張力が働かない.本研究で は、この種の力学条件を有限要素法でモデル化するこ とは容易ではないため, SPH 法のスキームを利用し, 粒子間距離が離れるほど重みが大きくなる通常と異な るカーネル関数を適用することにした. 解析に用いた カーネル関数を式(1)に、その形状を図-3に示す.

$$W(R,h) = k \times \alpha_d \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(R-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) (1)$$
$$\alpha_d = \frac{1}{2\sigma^3 h^3 \pi^{\frac{3}{2}}\sqrt{2}} \qquad R = \frac{r}{h}, for(0 \le R \le 2)$$



 $\sigma = 0.2$ と $\mu = 1.95$ とし、リングの配置状況において決定 するパラメータ, $k = \sqrt{2\pi\sigma^2}$ は次元補正定数を表して いる.

2.2 ワイヤロープのモデル化

本防護柵には、支柱が転倒しないように支柱頭部を 支えるロープと、ワイヤリングネットを支持するロー プの2種類があり、これらを個別にモデル化した.本 解析では、ロープを粒子で離散化し、粒子間を図-4 に 示すような弾塑性バネで連結することで、 ロープの塑 性化や破断を簡易に表現した.なお,現実のロープの応 力・ひずみ関係は、図・4の青線で示されるような非線形 な曲線で表されるが、本解析では簡易に赤線で示すバ イリニア型の弾塑性特性を与えることにした.本構造 では、落石の衝撃がブレーキのスリップ張力に達する と一定張力を保ちながらロープがブレーキ装置内で滑 動し、その摩擦力で落石のエネルギーを吸収する仕組 みとなっている.本解析では、ロープ端部に設けた粒 子に、完全弾塑性型の特性を与えることで滑動を表現 し、隣の境界粒子との相対変位が上限(ブレーキ滑動量 の限界)に達した時点で粒子の変位を拘束することで ブレーキ装置の挙動を再現することにした.

2.3 ロープに吊るされたワイヤリングのモデル化

落石の衝撃力は、ワイヤリングネットからロープへと 伝達されるが,両者の接触状態を簡易に表現するため, 図-5 に示すようにリング粒子に影響範囲を設け、ロー プ粒子の接触判定を時刻歴に行った.この方法により, ワイヤリングの変形・移動に応じてリングを支えるロ ープ粒子が代わる挙動を再現可能としている.

2.4 解析モデル

解析対象は,直径 300mm のリングを鉛直 15 個×水平 15 個に連結したネット3支間で構成される防護柵で、 支柱を支えるロープは直径 16mm(破断荷重 159kN), ネットを支えるロープのブレーキ滑動は 5000mm (ス リップ張力 10kN) を上限とした.載荷条件は、中間支 間に 3000kJ のエネルギーを有する重錘を衝突させた.

3. 解析結果

まず, ネットを直径 25mm (破断荷重 414kN) のロ ープ1本で支えた場合の衝撃応答解析を行った結果を 図-6 および表1に示す.図-6より,No.4,No.5のロー プのブレーキがスリップ限界 5000mm に達した後にロ ープが破断する結果が得られた.次に、ネットを平行に 張られた直径 25mm(破断荷重 414kN)のロープ2本 で支えた場合の衝撃応答解析を行った結果を図-7 およ び表2に示す.この図より、ネットをロープ2本で支



	人リツノ重			スリツノ重		ヘリツノ 重
	(mm)			(mm)		(mm)
No.1	2496		No.1-1	1208	No.1-2	1210
No.2	2654		No.2-1	912	No.2-2	906
No.3	3016		No.3-1	1275	No.3-2	1276
No.4	5000		No.4-1	3046	No.4-2	3046
No.5	5001		No.5-1	2556	No.5-2	2556
No.6	3015]	No.6-1	905	No.6-2	895
表1			表 2			
3000kJの重錘衝突時の			3000kJの重錘衝突時の			
衝撃応答(ロープ1本)			衝撃応答(ロープ2本)			

持することで全ブレーキの滑動量が限界内に収まり, 3000 kJ のエネルギーを吸収できることが推定された. 4. 結論

現在の防護柵のブレーキ装置で 3000kJ のエネルギー を吸収することはできないが、ネットを支持するロー プを2 重に配置することで 3000kJ の落石エネルギー を吸収可能となることが予測された.

参考文献

1))園田佳巨,畑芳宏,福永一基:SPH法を改良したワイ ヤリング防護柵の衝撃応答解析,構造工学論文集, Vol.57A,2011.3.