

簡易柵の落石防護効果に関する一考察

西日本旅客鉄道(株) 正会員 ○大塩 清太郎 中村 英毅 富森 正一 正会員 高馬 太一

1. はじめに

鉄道沿線には数多くの斜面が存在している。西日本旅客鉄道では斜面踏査を実施し、落石対策を実施しているところである。小規模な落石に対しては簡易柵で捕捉できることを確認しているが、防護効果については経験的な把握に留まっている。また、落石止柵の標準的な設計落石エネルギー50kJを大幅に下回る落石に対しては対策工法や防護効果が明確になっていない¹⁾。そのため、小規模な落石に対してはより安価で効果的な対策を定量的な観点から検討していく必要がある。

本稿では模型斜面において落石実験を実施するとともに解析的検討を行い、簡易柵の落石に対する防護効果について検討した。

2. 実験概要

2.1 簡易柵

図1に簡易柵の構造を示す。単純、軽量の構造であり施工性に優れている。実験では5スパン施工した。支柱間隔は2.00mであり、杭打設後に支柱を設置する。ネット幅は2.15mであり、左右のネットと重なるように設置している。ネットは結束線により支柱に固定しており、下端にアンカーを取り付けている。なお、ネットは上部より下部の網目が細かい構造となっている。

2.2 実験ケース

表1に実験ケースを示す。落石形状は丸と角の2種類、重量は39.2~2352Nであり、実際の石を用いた。落石種別は合計30個、落下回数は各種別1回である。

図2に模型斜面の一例を示す。形状1は斜面上部が足場板、下部が土砂で形成されている斜面である。足場板は落下速度を上げるために設置した。形状2、3は斜面下部の一部にも足場板を設置している。形状1~3の落石落下高さは5.2m、簡易柵から落石発生源までの水平距離は9.8mであり、斜面勾配は斜面上部が平均27°、斜面下部が平均30°である。

図3に実験手順を示す。模型斜面上端に石をセットし自由落下させた。落石速度vはデジタルカメラのコマ撮影から落石位置を特定し、撮影間隔より算出した。

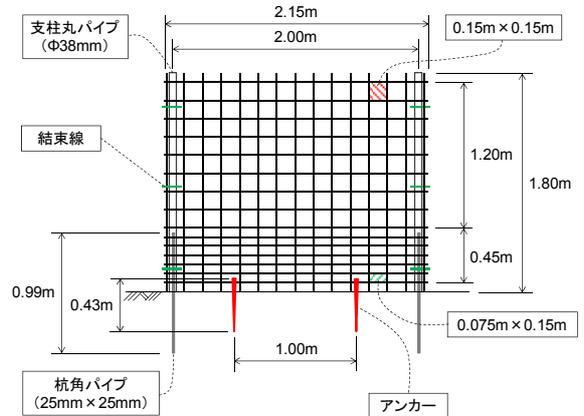


図1 簡易柵の構造 (1スパン当り)

表1 実験ケース

形状	模型斜面			足場板設置箇所	落石種別		落石重量W[N]	落石寸法[m]		
	落下高さ[m]	水平距離[m]	斜面勾配[°]		形状	個数				
形状1	5.2	9.8	斜面上部27° 斜面下部30°	上部のみ	丸	10	39.2~318.5	φ0.1~0.4		
					角	8	51.0~147.0	0.1×0.1×0.2~0.2×0.2×0.3		
上部+下部(一部)				丸	6	196.0~1274.0	φ0.2~0.5			
				角	4	196.0~323.4	0.3×0.3×0.3~0.3×0.3×0.4			
形状3				上部+下部(一部)	丸	1	2352.0	φ0.6		
					角	1	2352.0	0.5×0.6×0.8		
計					30					

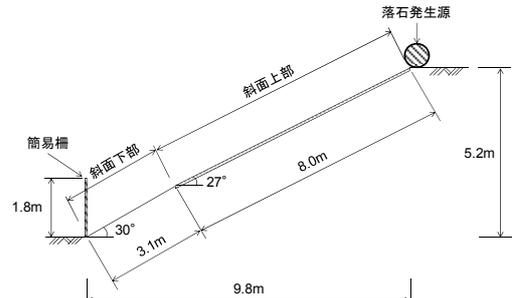


図2 模型斜面の一例 (Case1)

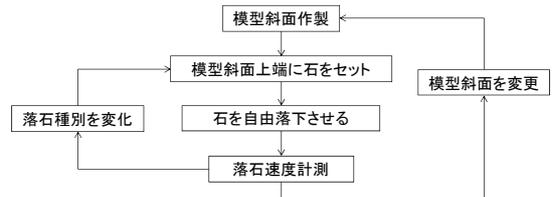


図3 実験手順

3. 実験結果

落石30個中、29個は捕捉可能、1個は捕捉不可能となった。ここでは、簡易柵の変形に関わらず簡易柵で落石が止まったものを捕捉可能、通過したものを捕捉不可能と定義した。捕捉できた際の簡易柵はネットが落石を覆うように変形する結果となった。これは、ネットと支柱が完全に固定されておらず、変形しやすい構造であるためである。図4に捕捉できなかった時

キーワード 鉄道, 落石, 落石止柵, 防護効果

連絡先 〒620-8504 福知山市天田118番地1 西日本旅客鉄道(株) 福知山土木技術センター TEL.0773-23-8670

の簡易柵の状態を示す。落石は簡易柵衝突後、ネットを乗り越えるように通過した。ネットの変形は捕捉できた際と同様であるが、杭の耐力不足により支柱が大きく傾斜している。なお、ネットの破断は見られない。

図5に落石重量と簡易柵衝突時の落石エネルギーの関係を示す。落石エネルギーは $E=1/2mv^2$ (m:落石質量, v:落石速度) より算出した。図5より、捕捉不可能となった落石エネルギーは3.50kJである。一方、1.27kJ以下では捕捉できており、簡易柵の防護効果が期待できると考えられる。ここで、落石エネルギーは0.01~3.50kJの間に分布しており、落石エネルギーの算定式¹⁾の0.1~1.1倍である。実験結果が算定式を下回る理由は落石が足場板以外の斜面衝突時に落石速度が減少したためである。そのため、落石重量と落石エネルギーの関係にばらつきが生じていると考えられる。

4. 解析

実験結果を補完するために質点系の落石シミュレーションを行った。実験で捕捉不可能となったケースに対する落石エネルギーの解析結果は4.0kJ(実験結果の1.1倍)であり、実験をほぼ再現できている。

図6に斜面長と簡易柵衝突時の落石エネルギーの関係を示す。ここでは、斜面勾配および落石重量をパラメータとして用いた。図6より、同じ落石重量でも斜面長が長くなるほど、また、同じ斜面長でも落石重量が大きくなるほど落石エネルギーが高くなる。この傾向は斜面勾配が大きくなるほど顕著である。

次に、実験および図6の結果をもとに簡易柵の防護効果が期待できる閾値を算定した。図7に算定結果を示す。横軸は落石重量、縦軸は斜面長である。図7は簡易柵の防護効果を1.27kJとした場合に簡易柵が落石を捕捉できる閾値を示したものである。例えば、勾配25°の斜面で重量1000Nの落石が発生した場合、斜面長5m以下からの落石に対しては簡易柵衝突時の落石エネルギーが1.27kJ以下となるため捕捉可能となる。実線は勾配ごとのプロットを近似したものであり、実線以下の範囲にプロットされる落石に対しては簡易柵の防護効果を期待することができる。

5. まとめ

- ①実験より、簡易柵衝突時の落石エネルギーが1kJ程度の落石に対しては簡易柵で捕捉可能である。
- ②解析より、落石重量・勾配・斜面長から簡易柵の防護効果が期待できる閾値を算出することができる。



図4 落石を捕捉できなかった時の簡易柵の状態

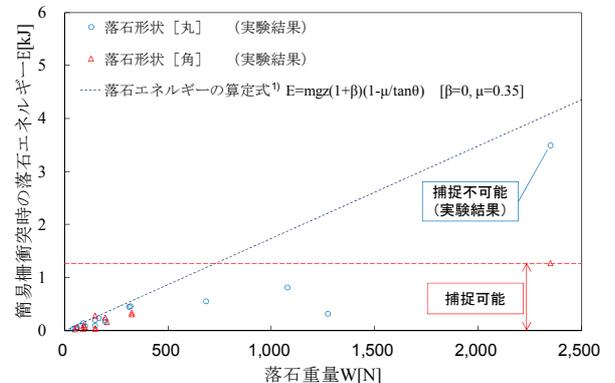


図5 落石重量と簡易柵衝突時の落石エネルギー

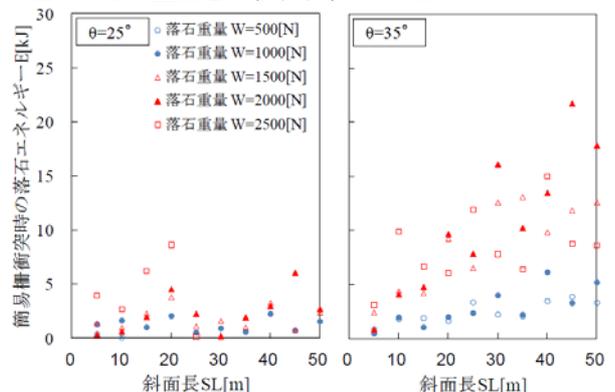


図6 斜面長と簡易柵衝突時の落石エネルギー

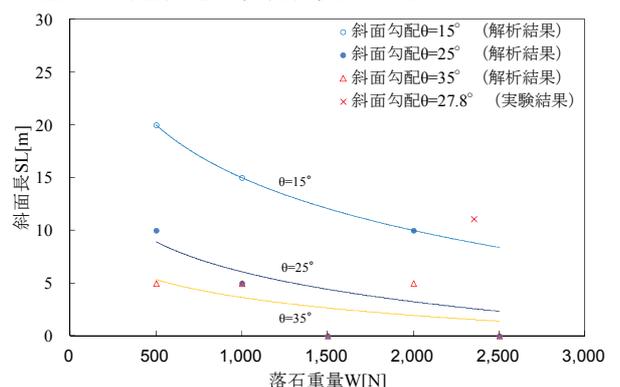


図7 簡易柵の防護効果が期待できる閾値

6. おわりに

本稿では、簡易柵の防護効果について検討した。簡易柵は標準的な対策に対して安価であるが、1/50程度の耐力しか有していない。今後、実験・解析精度を向上させるとともに、簡易柵の防護効果の向上についても検討を行う必要がある。

参考文献

1)財団法人鉄道総合技術研究所：落石対策技術マニュアル，1999.3