

従来型ポケット式落石防護網の実施例に対する衝撃応答解析

金沢大学 ○学生員 上杉拓矢 金沢大学 正 前川幸次 清水建設 小野健弘 (株)ライテック 正 難波正和

1. はじめに

落石対策便覧の簡易式¹⁾による従来型ポケット式落石防護網の設計では、原則として金網の破壊を先行させ、その金網への作用力を基準として可能吸収エネルギー E_T が算出される。この E_T が落石エネルギー E より大きく、主要部材力が許容値に入るよう設計されている。本研究は簡易式で設計されたポケット式落石防護網(設計事例7件)についてLS-DYNAを用いた衝撃応答解析を行い、挙動と安全性の確認を行った。

2. 設計事例と解析モデル

図-1は7事例の概略形状、表-1は諸元を表し、 E_N :金網の最大強度時の作用力と金網の想定変形量により算出される吸収エネルギー、 E_R :1段目および2段目の横ロープの吸収エネルギー、 E_P と E_{HR} :支柱と吊ロープの吸収エネルギー、 E_L :衝突後の落石と防護網の影響範囲(幅 $a \times$ 高さ b)が一体となって運動するものとして運動量保存則の下で得られる衝突前後のエネルギー差(ロス)、 E_T :可能吸収エネルギー(= $E_N+E_R+E_P+E_{HR}+E_L$)である。この E と E_T による設計は簡易であるが不明確な点もあり、特に E_L の適合性の問題提起を受け、実験や解析が行われ²⁾、設計法の修正等が行われた³⁾。その結果、簡易設計式の適用範囲は、 E_T は150kJ以下とし、防護網の影響範囲は幅12m以下×高さ12m以下に定められている。

筆者らはロープの緩衝装置を有するポケット式落石防護網の衝撃応答解析⁴⁾においてLS-Dynaによる解析モデルの詳細を示しており、簡潔に紹介する。各事例の網目

表-1 従来型ポケット式落石防護網の設計事例

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7
落石重量 W (kN)	1.64	2.41	2.41	0.11	0.11	2.08	1.41
落石径 D (m)	0.5	0.56	0.56	0.2	0.2	0.54	0.47
落石エネルギー E (kJ)	58.7	95.5	33.3	3.08	1.88	26.2	39.4
$E_N+E_R+E_P+E_{HR}$ (kJ)	43.3	31.9	19.0	6.5	6.5	18.1	26.5
金網の影響範囲 $a \times b$ (m ²)	12x20	12x10	12x12	12x20	12x20	12x10	12x7
金網素線径 (mm)	$\phi 5$	$\phi 4$	$\phi 3.2$	$\phi 3.2$	$\phi 3.2$	$\phi 3.2$	$\phi 4$
エネルギーロス E_L (kJ)	54.8	72.1	23.5	3.0	1.9	17.9	30.2
可能エネルギー E_T (kJ)	98.1	104	42.5	9.5	8.4	36.0	56.7
主ロープ 3x7G/O	$\phi 18$	$\phi 16$	$\phi 14$	$\phi 14$	$\phi 14$	$\phi 14$	$\phi 16$
横ロープ長 L_h (m)	42	81	36	25~110	55	37	91
縦ロープ長 L_v (m)	65	10	25	25~45	40	10	7
横ロープ基本間隔5m, 縦ロープ・柱間隔3m, 吊ロープ長10mは同じ							

は全て50x50mm²であるが、解析時間短縮のために落石の接触予想領域の網目寸法および素線断面積を2.83倍、他の領域は5.66倍として金網の引張強度(kN/m)と質量を一致させた。素線材料特性は降伏点240MPaと引張強度400MPaのバイリニアとし、cable要素とtruss要素を組み合わせ破断ひずみ(30%)を考慮した。落石はEOTA⁵⁾の形状で、設計どおり1段目と2段目の横ロープの中間に衝突させた。減衰定数は0.05とし、防護網の衝突前の自重による安定形状解析は行っていない。

3. 解析結果

表-1の落石エネルギー E および可能吸収エネルギー E_T

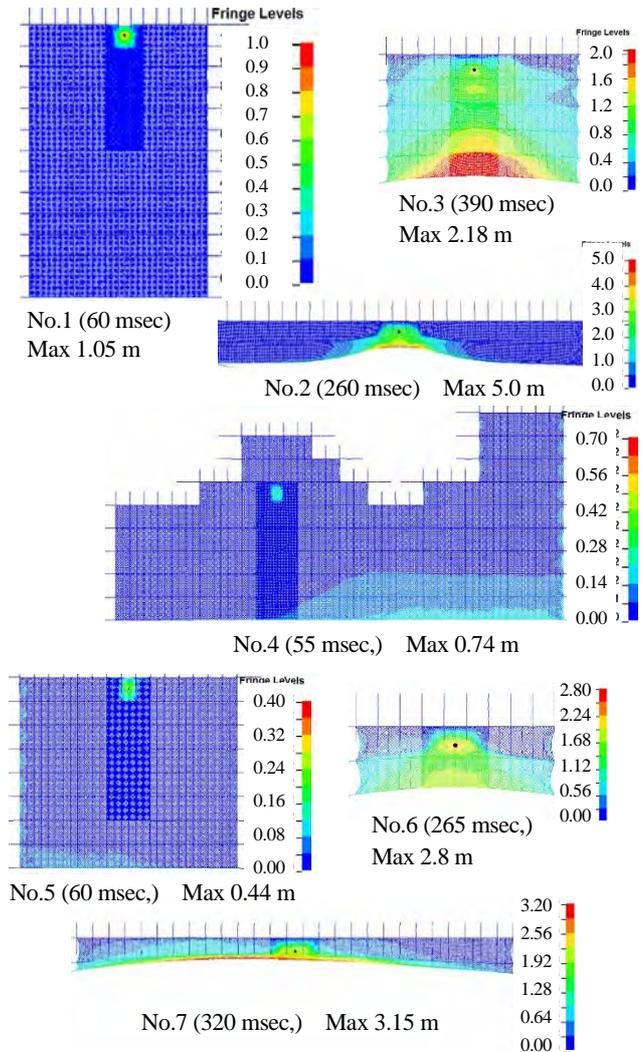


図-1 防護網の合成変位(落石の最大突出時)

キーワード: ポケット式落石防護網, 衝撃応答解析, 簡易設計法

連絡先: 〒920-1192 金沢大学理工研究域 環境デザイン学系 Tel & Fax 076-234-4602

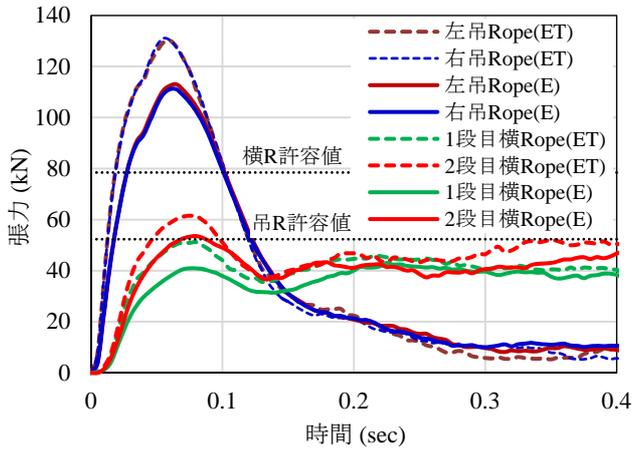


図-2 No.1の横・吊ロープ張力の時刻歴

を与えた解析では、全事例で金網の破断はなく落石は捕捉されたが、防護網の応答は落石エネルギーや防護網の寸法によって異なった。図-1は落石エネルギーEの下での最大突出時の合成変位レベルを正面図で表す。ポケット式落石防護網の縦ロープ下端は最下段の横ロープと三方クリップで結合されているだけで地盤アンカーがないため、特に防護網の延長が長く高さが低いNo.2や7では落石の突出時に、最下段横ロープが大きく迫り上がる。

図-2はNo.1の横ロープと吊ロープ張力の時刻歴を示す。これらの張力は落石衝突点を囲む1段目と2段目の横ロープおよび左右の吊ロープの値である。設計では金網の破壊を先行させ、そこから算出されるロープ張力を許容張力(表-2の最下欄参照)で照査する。安全率は、縦・横ロープでは2.0とし、吊ロープでは落石の直撃の可能性や重要度から3.0としている。図-2から、可能吸収エネルギー E_T の下で、No.1の横ロープ張力は許容値以下であるが、吊ロープ張力は許容張力を大きく超過している。ただし、落石は捕捉された。

表-2は各事例の設計落石エネルギーEと可能吸収エネルギー E_T の下での解析による横ロープと吊ロープの最大張力(赤字は許容張力を超過)を表す。Eの場合に比べて E_T の下では許容張力を超過するケースは増え、No.3の吊ロープは許容張力の1.1倍、No.6とNo.7の2段目横ロープはそれぞれ1.2倍と1.07倍であるが、No.1の吊ロープは2.5倍にもなっている。No.1の吊ロープの自重による設計初期張力は19.4kNであり、これは許容張力に比べれば小さいが、他の事例に比べると4~14倍であり、防護網の自重は吊ロープ張力の応答に影響すると考えられる。実験²⁾においては、最下段横ロープの張力が衝突位置の上・下横ロープの張力に比べて無視できない値が計測されている。最下段横ロープの張力は設計では検討

表-2 横ロープ・吊ロープの最大張力

	E (kJ)	設計エネルギーEによる				E_T (kJ)	可能エネルギー E_T による			
		1段横	2段横	左吊	右吊		1段横	2段横	左吊	右吊
No1	58.7	36	54	113	111	98.1	51	62	130	131
No2	95.5	36	46	36	36	104	39	51	39	39
No3	33.3	26	37	32	31	42.5	27	33	36	36
No4	3.1	33	41	10	11	9.5	33	40	12	12
No5	1.9	26	22	12	12	8.4	28	20	21	21
No6	26.2	23	53	11	12	36.0	26	59	14	15
No7	39.4	54	54	8	8	56.7	47	63	20	20

ロープ径(破断強度(kN), 横・吊ロープの許容張力(kN)の公称値)
No.1(157, 79・52), No.2,7(120, 60・40), No.3-6(100, 50・33)

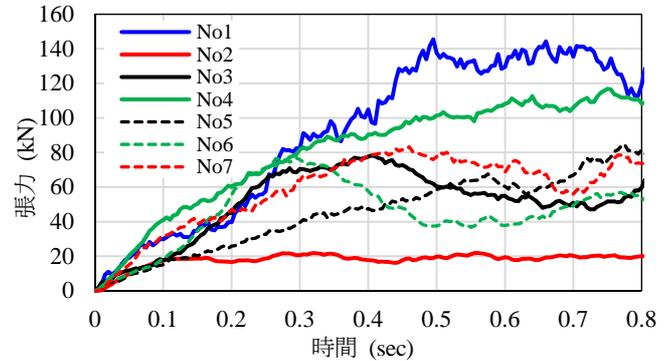


図-3 最下段横ロープ張力の時刻歴

されないが、落石エネルギーEの下での解析結果は図-3のようになる。解析ではロープの材料特性をバイリニアとし、実験データによる強度(降伏・破断)はφ18(153・194), φ16(121・153), φ14(94・119)を用いており、破断はしていない。しかし、No.2以外は許容張力を超過しており、No.4は破断強度(公称値)も超過している。

表-3は衝突エネルギー(主に衝突速度)を変えての解析により推定した各防護網の終局限界エネルギー E_U とその状態である。 E_U は E_T の4~26倍もあり、ロープが破断したものではなく、主に金網の破壊により落石が貫通した。

表-3 終局限界エネルギー E_U とその状態

	E_T (kJ)	限界 E_U (kJ)	E_U/E_T	Δまたは×の状態
No.1	98.2	400○-450×	4.1	網貫通×
No.2	104.0	800○-850×	7.7	下部迫り上がり・網大破×
No.3	42.5	400Δ-450×	9.4	捕捉・網大破Δ
No.4	9.5	250Δ-300×	26.4	捕捉・網大破Δ
No.5	8.4	100○-150×	12.0	網貫通×
No.6	36.0	300○-350×	8.3	網貫通×
No.7	56.7	350Δ-400×	6.2	下部迫り上がりΔ

4. おわりに

防護網の影響範囲と E_L の適合性については検討中である。本研究は科研費(26420456)の助成を受け、メーカー各社から設計事例の提供を受けた。謝意を表します。

参考文献

1)日本道路協会：落石対策便覧，2000，2)山口・他4：従来型ポケット式落石防護網の実規模重錘衝突実験，鋼構造年次論文報告集，第21巻，pp.104-110，2013，3)日本道路協会：ポケット式落石防護網の設計について，2013，4)前川・他3：ポケット式落石防護網のシミュレーション解析に関する研究，構造工学論文集，Vol.57A，pp.1134-1144，2011，5)EOTA：ETAG27 of Falling Rock Protectionkits，2008。