

1. はじめに

わが国では、地震や気候および地形などの条件から多くの落石災害が発生している。そのため、数多くの落石対策工が施されている。その一種である落石防護網は斜面上で施工されることが多く、工法の簡略化が求められている。

そこで、本研究では落石防護網（以下、防護網）に用いる緩衝金具を対象に研究を行った。緩衝金具とは、落石防護網のワイヤロープ上に設置し、ロープに一定以上の張力が発生すると、金具内でロープが滑動し、その際の摩擦力で落石エネルギーを吸収する機能を持った部品である。図-1 に本研究で使用した緩衝金具を示す。金具 A は 2 本のボルトでワイヤに固定するタイプで、金具 B は 4 本のボルトでワイヤに固定するタイプである。

また、実験により各緩衝金具の諸性能を把握した後に、動的応答解析によるシミュレーションを行い、重錘の落下条件が落石防護網の挙動に対して与える影響を検討している。

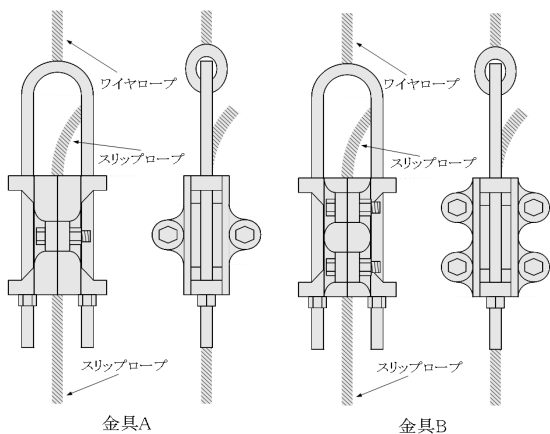


図-1 緩衝金具概要

2. 性能評価試験

2.1 静的引張試験

ワイヤロープに緩衝金具を配置した試験体の静的引張試験によって、各金具の摩擦抵抗力を調べる。

各金具について 5 ケースずつ試験体を作成した。各金具のロープ滑り量とその際に生じる張力についてまとめたものを図-2 に示す。この結果より、金具 B の方が試験体毎の結果のばらつきが少ない

ため、以降では金具 B のみを研究対象とする。

2.2 ワイヤロープへの重錘落下試験

ワイヤロープに緩衝金具を配置した試験体への重錘落下試験によって、緩衝金具のエネルギー吸収性能を調べる。6m のロープ端部に各緩衝金具を同一条件で配置した試験体を作成し、質量 1040kg の重錘を高さ 1m, 1.2m, 1.4m からロープ中央部に落下させる。

試験結果を表-1 に示す。

2.3 防護網への重錘落下試験

実際の規模で組み立てた防護網への重錘落下試験によって、防護網のエネルギー吸収性能と各部材の挙動を調べる。両端に金具 B を配置したワイヤロープを縦横 4 本ずつ 2m 間隔で張り、その間に補強ロープを張る。それを覆うように金網を設置している。その試験体中央部へ 3440kg の重錘を高さ 5m, 10m, 15m から落下させる。試験結果を表-2 に示す。

表-1 ワイヤへの重錘落下試験

落下高さ (m)	測定値 (m)		エネルギー (kJ)		平均張力 (kN)
	たわみ	滑り	作用	吸収	
1.0	0.924	0.275	21.1	21.1	57.1
1.2	0.946	0.289	23.2	22.8	61.0
1.4	1.067	0.377	26.3	24.6	54.7

表-2 防護網への重錘落下試験

落下高さ (m)	すべり合計 (m)	作用Eg (kJ)	吸収Eg (kJ)	平均張力 (kN)
5	2.870	214	214	65.9
10	5.960	417	398	60.5
15	8.965	601	565	58.0

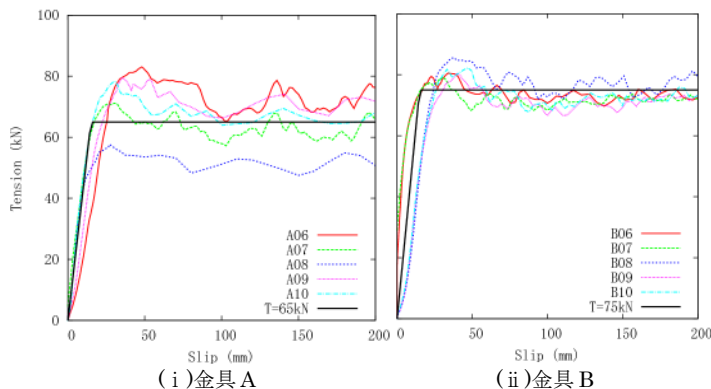


図-2 静的引張試験結果

3. 動的応答解析

3.1 水平に設置した防護網への重錘落下の解析

動的応答解析により水平に設置した防護網への重錘落下解析を行う。緩衝金具部は摩擦を有する滑車を配したケーブル要素によって表現し、ロープの交点は剛結としている。また、金網部は総体積が等価な線材によって表現している。防護網の寸法、その他諸元については実験結果を基に決定した値を用いており、要素長は0.2m、時間ステップは0.1msecとしている。

表-3に解析結果を示す。なお、金具の滑り量はモデルの対称性から、滑り量の等しくなるものについては省略して記している。

3.2 垂直に設置した防護網への重錘衝突の解析

垂直に設置した防護網の中心に重錘を衝突させ挙動を解析する。その際の衝突速度は $v_0=5\text{m/s}$ であり、衝突角については 0° 、 10° 、 20° 、 30° を与えている。なお、重力は下向きに設定している。

図-3に解析モデルを示す。なお、防護網の寸法、その他諸元については前節と同様の値を与えている。

解析結果を表-4に示す。ここでも、滑り量の等しくなるものについては省略して記している。

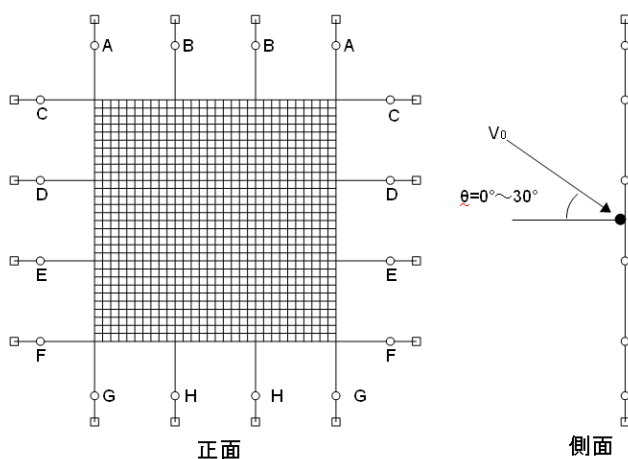


図-3 解析モデル

表-3 防護網への重錘落下解析

落下高 (m)	滑り量 (m)			重錘変位 (m)	エネルギー (kJ)	
	滑りA	滑りB	合計		作用	吸収
5.0	0.105	0.363	3.747	7.174	242.0	206.0
10.0	0.220	0.627	6.777	12.840	434.0	373.0
15.0	0.345	0.874	9.752	18.350	620.0	536.0

表-4 防護網の挙動解析

落下角度 ($^\circ$)		0	10	20	30
上部	滑り量A (m)	0.065	0.070	0.069	0.074
	滑り量B (m)	0.172	0.161	0.180	0.224
側部	滑り量C (m)	0.059	0.064	0.062	0.057
	滑り量D (m)	0.195	0.153	0.135	0.109
	滑り量E (m)	0.321	0.353	0.348	0.366
	滑り量F (m)	0.065	0.070	0.069	0.074
下部	滑り量G (m)	0.059	0.061	0.059	0.055
	滑り量H (m)	0.143	0.299	0.282	0.237
合計滑り量 (m)		2.160	2.464	2.405	2.390

4. 結論

本研究によって得られた知見を以下にまとめる。

- ・静的引張試験によって、各金具の摩擦抵抗力を把握した。また、試験結果のばらつきが少ないため、以降は金具Bのみを研究対象とした。
- ・ワイヤへの重錘落下試験によって、各金具の平均張力を把握した。重錘の落下高さによらず発生する張力はほぼ一定で、その平均張力を以降の動的応答解析の際の設計張力として与える。
- ・防護網への重錘落下試験によって、防護網に作用する重錘エネルギーの大部分が緩衝金具によって吸収されることを確認した。
- ・動的応答解析により、重錘落下試験の結果を概ね再現できることを確認した。

今後は、防護網の設計を行う際に必要となる指標をまとめるため、引き続き動的応答解析を行い、重錘質量、衝突速度、衝突角度と金具滑り量などの関係性を解明する。