

緩衝装置を配置したエネルギー吸収型落石防止柵に関する実験的研究

Experimental research about new rockfall catchment fence system with energy absorbing devices

小畑 康隆*, 藤井 智弘**, 小林 俊夫***, 野村 利充****, 吉田 博*****

Yasutaka Obata, Tomohiro Fujii, Toshio Kobatashi, Toshimitsu Nomura, Hiroshi Yoshida

*工修 (株)エイ・シー・デイ(〒939-1362 富山県砺波市太郎丸3903番地ムネヨシビル2F)

**学博 (株)エイ・シー・デイ(〒939-1362 富山県砺波市太郎丸3903番地ムネヨシビル2F)

***JR 東日本安全研究所(〒100-0006 東京都千代田区有楽町2丁目10番1号東京交通会館7階)

****(株)プロテックエンジニアリング(〒939-1362 富山県砺波市太郎丸3903番地ムネヨシビル2F)

*****工博 (株)エイ・シー・デイ(〒939-1362 富山県砺波市太郎丸3903番地ムネヨシビル2F)

キーワード: 落石防止柵, 緩衝金具, スリッ張力, エネルギー吸収

(rockfall catchment fence, energy absorbing devices, slip tension, energy absorption)

1. はじめに

落石は斜面崩壊のなかのひとつの現象であり、岩盤の割れ目の拡大により、岩塊や礫が剥離したり、固結力の小さな地層中の岩塊が、風雨などにより表面に浮き出して落下する現象と定義されている。¹⁾

このような落石に対する対策工としては、落石の発生源での落石発生を防止する落石予防工と、発生した落石を待ち受けてその運動を止める落石防護工に分けられる。¹⁾ 落石防護工のうち、小規模な落石に対するものとして落石防止柵がある。落石防止柵は落石の発生しやすい斜面の最下段または中段に設置することによって落石を阻止する構造物である。落石防止柵の特徴としては、①基礎が他の構造物に比較して小さい。②大がかりな重機が不要であり、設置が容易である。③維持補修が容易である。などが挙げられる。

しかしながら、従来の落石防止柵は、落石エネルギーが大きくなると防止柵の部材断面が大きくなり不経済となることや設計時に支柱材であるH形鋼の許容変位角 15° 以前に座屈するおそれがある等の欠点が挙げられる。そこで著者らは、落石エネルギー $50\text{kJ}(5\text{tf}\cdot\text{m})\sim 100\text{kJ}(10\text{tf}\cdot\text{m})$ 程度までの小規模

な落石に対応した、エネルギー吸収性能に優れた経済的な落石防止柵の開発を行った。本論文は、最初に、開発を行った長支間落石防止柵(以後、LSロックフェンスと呼称する)の構造について説明を行い、次に緩衝金具の性能照査について述べ、最後に 50kJ タイプおよび 100kJ タイプの実物実験について述べる。

2. 構造説明

図2.1にLSロックフェンスの概念図を示す。LSロックフェンスは、支柱、ワイヤロープ、金網、緩衝金具およびアンカー形式の基礎から構成され、緩衝金具と支柱材等をバランスよく配置し、緩衝金具および部材の塑性変形を考慮することにより、衝撃エネルギーを徐々に吸収し、大きな衝撃力を発生させずに落石を防御する新しいエネルギー吸収機構を有した構造となっている。以下に、LSロックフェンス各部の詳細について述べる。

①柵高

落石の跳躍量は、斜面の凹凸が大きい場合を除いて一般的に 2m 以下であり、¹⁾ LSロックフェンスは斜面直角に設置することを基本とすることから、 $h=2.0\text{m}$ とした。

②基礎形式

支柱基礎構造ができるだけ簡易なものが施工性・経済

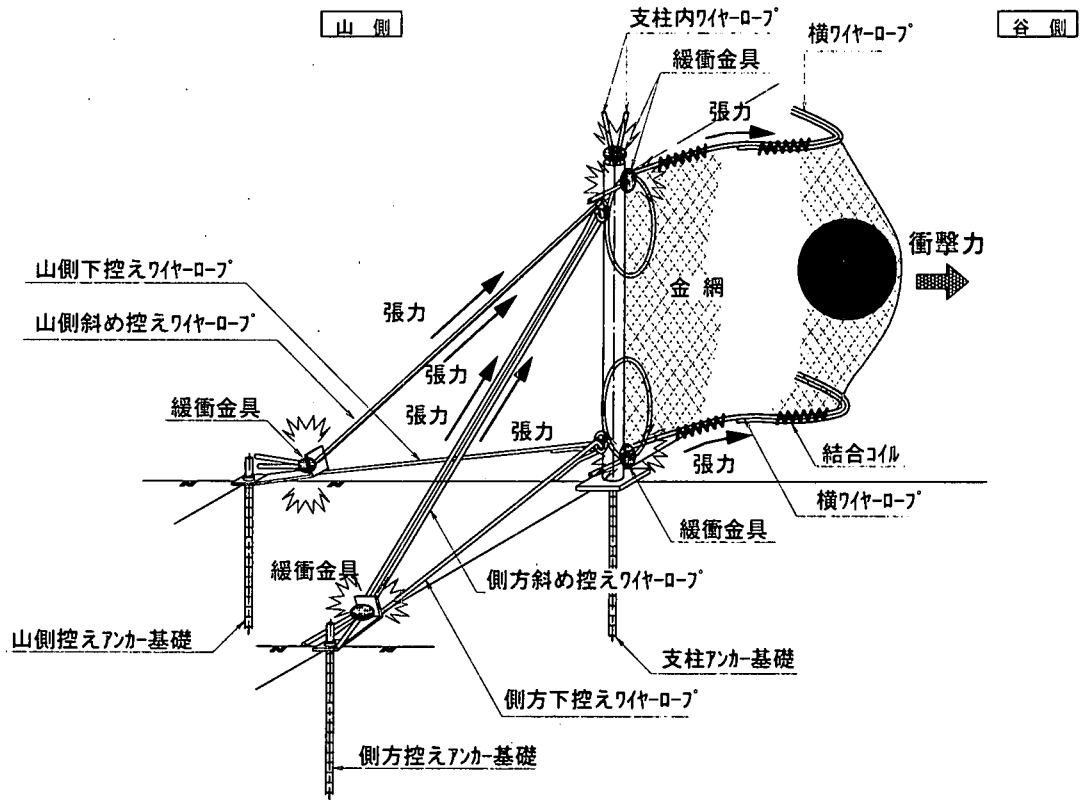


図 2.1 LS ロックフェンス概念図

性に優れることから、アンカー形式とした。

③支柱スパン

支柱スパンは、間隔に比例してエネルギー吸収量が大きくなることから、大きくとることとする。しかしながら、スパンが大きすぎると、金網の張り立てが困難になることから、スパンはL=10mを最大とした。

④支柱構造

支柱は図 2.2 に示すように、鋼管内に、アンカー基礎頭部でUターンさせたワイヤロープを通し、支柱頭部でワイヤロープに緩衝金具を取り付け、締付けることにより、自立させる。載荷時に支柱が転倒しようとした場合に、ワイヤロープが緩衝金具内をすべることで、基礎に大きな引抜力が作用しない構造とした。

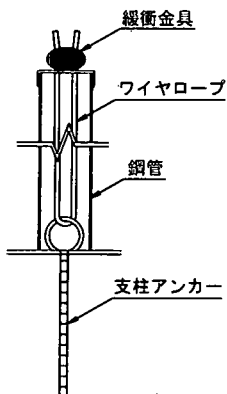


図 2.2 支柱詳細図

⑤ワイヤロープ

支柱の剛性が小さいため、中間支柱には山側控えワイヤロープ、端末支柱には山側控えワイヤロープおよび側方控えワイヤロープを設置することにより支柱を安定させる。また、緩衝金具を取り付けることにより、側方および山側控えワイヤのアンカー基礎にも大きな引抜力が作用しないようにした。接続は両ワイヤロープとも支柱側は固定、控え基礎側は緩衝金具とした。LS ロックフェンスをできるだけシンプルな構造とするため、スパンごとに上下に2本ずつ、φ12mmの横ワイヤロープを、支柱頭部に取り付けた緩衝金具で固定する。また、100kJタイプには金網を補強するため、斜めワイヤロープをクロスに設置し、緩衝金具により上下からのワイヤロープを結合した。

⑥金網

金網は横ワイヤロープにφ4mmの結合コイルを用いて横ワイヤロープに取り付ける。金網の規格は『ひし形金網 目合 50×50mm 心線径φ4mm』とした。ワイヤロープおよび金網の配置は、作用した力が直接支柱に作用しないように、支柱の谷側(衝突裏面)に設置することとする。また、落石エネルギーをできるだけ柔らかく吸収することを考えて、金網はスパンに対して1割増して余裕を持たせて設置することとする。

3. 緩衝金具の性能試験

3.1 概要

LSロックフェンスにとって、緩衝金具の性能が全体の性能に大きく影響するため、緩衝金具の性能を明らかにしておく必要がある。また、緩衝金具の性能を正確に把握することにより、他の部材との荷重バランスを考慮することが可能になり、緩衝金具を用いた落石防止柵として、最大限の効果を発揮させることができる。したがって、LSロックフェンスの衝撃実験に先立って、緩衝金具の衝撃荷重に対する挙動および性能を明確にするため、緩衝金具単体の衝撃実験を実施した。

3.2 試験体

試験体は図3.1に示すType-MおよびType-Fの2種類である。Type-Mは、それぞれのワイヤロープの一端を固定し、水平に張設された2本のワイヤロープの重合部に緩衝金具を直列に1個または2個取り付けられた試験体である。この試験体は50kJタイプの横ワイヤロープおよび100kJタイプの斜めワイヤロープに取り付ける緩衝金具の性能を試験するためのものである。Type-Fは緩衝金具を固定し、Uターンさせたワイヤロープを同一方向にすべることができるように緩衝金具に取り付けた試験体である。この試験体は、LSロックフェンスの各控えワイヤロープおよび100kJタイプの横ワイヤロープに取り付ける緩衝金具の性能を試験するためのものである。

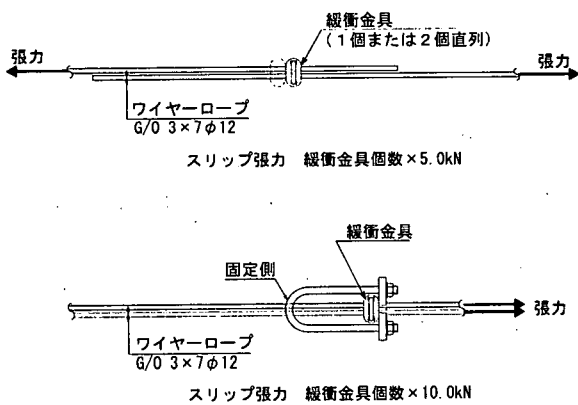


図3.1 緩衝金具とワイヤロープの関係

3.3 実験条件

図3.2に試験装置を示す。衝撃試験は供試体の一端を固定し、他端はロードセルを介してスパン5mで固

定し、張設されたワイヤロープのスパン中央に重錘を落下させることにより行った。この際の重錘加速度、移動量およびワイヤロープの張力の経時変化をそれぞれ計測した。また、重錘が静止した後に重錘の全移動量およびワイヤロープのスリップ長を計測した。

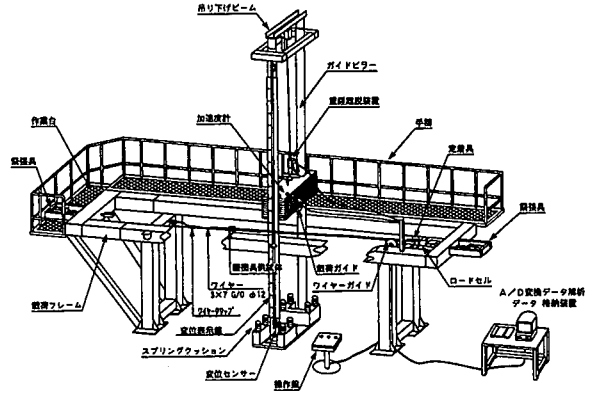


図3.2 試験装置図

3.4 試験結果

図3.3に張力の経時変化の一例を示す。ここでType-Mに配置された緩衝金具は1個である。

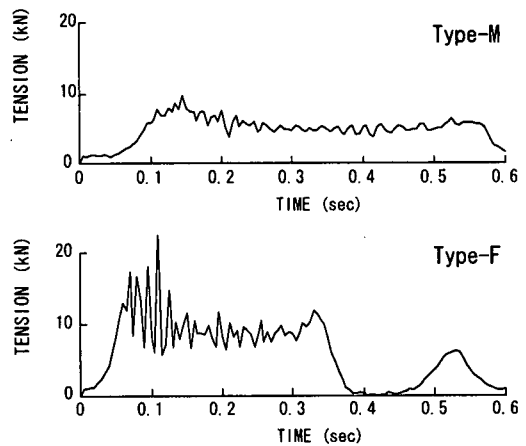


図3.3 ワイヤ張力経時変化

試験結果より、緩衝金具に次の性能が確認された。

- ①緩衝金具内の双方のワイヤロープが逆方向に滑るように配置した場合 (Type-M) のワイヤロープの平均スリップ張力は5kN、緩衝金具内の双方のワイヤロープが同一方向にすべるように配置した場合 (Type-F) のワイヤロープの平均スリップ張力は10kNであった。したがって、それぞれのタイプのスリップ張力は次の計算式で計算できる。

Type-M スリップ張力=緩衝金具個数×5kN

Type-F スリップ張力=緩衝金具個数×10kN

- ②Type-M、Type-Fともに、ワイヤロープがすべり始める際には、平均張力よりも大きい張力が必要である。

4. LS ロックフェンス衝撃実験

4. 1 概要

前項までの実験により、性能が確認された緩衝金具を用い、LS ロックフェンス全体の性能を確認するため、実物試験体を用いて設計落石に相当する重錘を衝突させる実物実験を行った。

4. 2 実験条件

(1) 実験供試体

実験供試体は、載荷する位置(スパン)の違いによる影響を確認するために、3スパン設置した。スパンは10mとし、柵高は2.0mとした。

表4.1にLSロックフェンスに配置された各位置における緩衝金具のスリップ張力を、図4.1に、50kJタイプおよび100kJタイプの実験供試体構造図、載荷位置および各位置における緩衝金具のスリップ張力を示す。

表4.1 各部スリップ張力一覧

NO.	タイプ	緩衝金具設置位置	スリップ張力 (kN)	緩衝金具設置方式
①	50kJ	横ワイヤ	5.0	Type-M×1個
②		山側控えワイヤ	10.0	Type-F×1個
③		側方控えワイヤ	10.0	Type-F×1個
④	100kJ	横ワイヤ	10.0	Type-F×1個
⑤		山側控えワイヤ	10.0	Type-F×1個
⑥		側方控えワイヤ	20.0	Type-F×2個
⑦		斜めワイヤ	2.5	Type-M×1個(緩め)

(2) 載荷方法

図4.2に載荷方法の概略図を示す。実験には2台のクレーンを使用し、一方で重錘(球形φ72cm, 重量4.7kN)をLSロックフェンスに対して所定の衝突高さまで吊上げ、これを他方のクレーン車で側方に落下高

さまで引き上げた後、離脱装置で重錘を離脱させると、重錘は振り子の要領で円弧を描いて落下する。重錘の運動方向が水平となり、所定の衝突高さになった瞬間に、最初に吊下げたクレーン車に取り付けた離脱装置が作動して重錘を切離すことにより、所定の運動エネルギーである50kJまたは100kJを有する重錘が水平方向にLSロックフェンスに衝突する。LSロックフェンスの前方には、2箇所に光電スイッチが設置されており、この光電スイッチの間を重錘が通過することによって、正確な重錘の速度の測定を行い、同時に第2の離脱装置が作動するとともに、測定機器の測定が開始される。このような手順によりLSロックフェンスに載荷し、実験を行った。

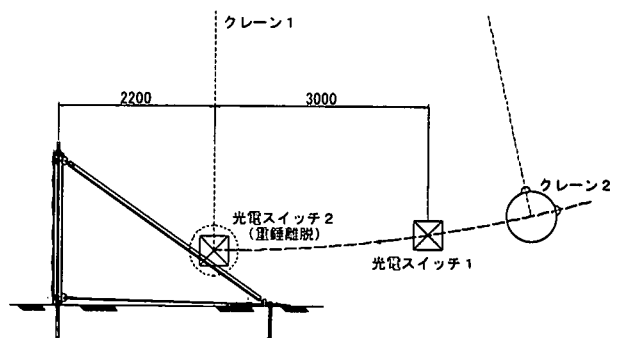


図4.2 載荷方法概略図

載荷位置は、スパンおよび載荷高さから次の5ケースとした。

- Case1: 中央スパン, スパン中央, 柵高の1/2
- Case2: 中央スパン, 中間支柱から2m, 柵高2/3
- Case3: 中央スパン, 中間支柱から2m, 柵高1/3
- Case4: 端部スパン, 端部支柱から2m, 柵高1/2
- Case5: 中間支柱直撃

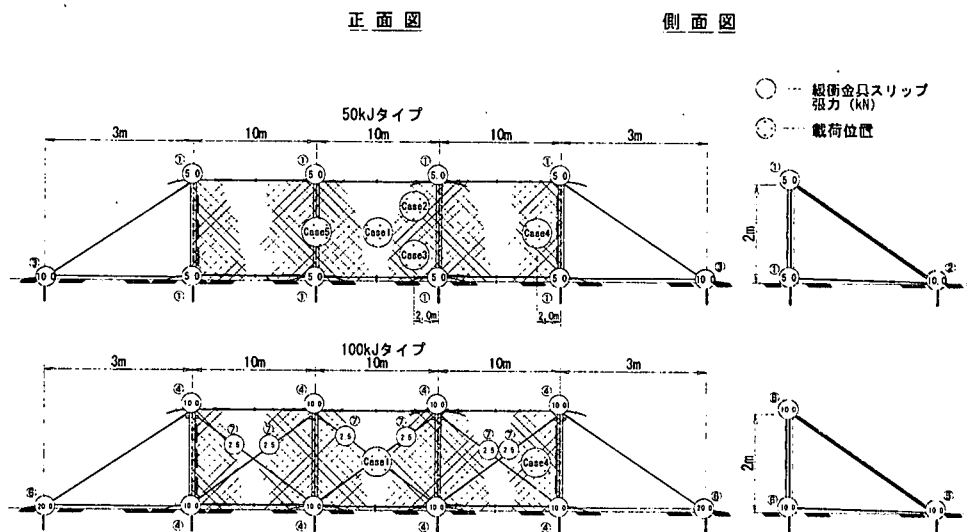


図4.1 実験供試体概略図

4.3 測定項目

実験時には以下に示す項目について測定を行った。

①重錘加速度

重錘加速度は3方向加速度計(最大容量 50g, ひずみゲージ式)を重錘に取付けることにより測定を行う。

②控えワイヤロープ張力

ワイヤストレインゲージを1箇所あたり2枚設置し曲げによるひずみをキャンセルして測定を行う。

③ワイヤロープスリップ長

載荷後に各ワイヤロープの緩衝金具からのスリップ長の測定を行う。

④載荷後のLSロックフェンスの変状

各支柱頭部, 脚部およびアンカー位置をセオドライトにより測定を行い, LSロックフェンス全体の変形状況を確認する。

4.4 実験結果

図4.3, 図4.4は, それぞれ50kJタイプおよび100kJタイプの控えワイヤロープ張力の経時変化の一例である。いずれの場合も, 左右の側方控えワイヤロープ(P1,P6)および中央スパン両側の山側控えワイヤロープ(P3,P4)には, ほぼ対称に張力が発生している。これらの張力は, 最初, 側方アンカーの控えワイヤロープに大きい張力が発生するが, 山側アンカーの張力は小さい。その後, 側方アンカーの張力は一旦小さくなるが再び大きくなり, このときは山側アンカーの張力も大きくなる。図4.3および図4.4はいずれも中央スパン載荷の場合であり, 50kJタイプの場合はP5の位置に張力が作用しているものの, P2の位置ではほとんど張力が作用していない。100kJタイプの場合はP2およびP5の位置には張力がほとんど作用していない。したがって, 載荷スパン以外のスパンには衝突の影響が少ないことがわかる。発生した張力は, ほぼスリップ張力と等しい値であるが, すべり始めではスリップ張力より大きな張力が作用している。このことは, 緩衝金具単体の試験結果と一致する。すなわち, すべり始めるためには, 平均スリップ張力よりも若干大きい張力が必要となる。

また, 50kJタイプ, 100kJタイプのいずれの場合も, 側方控えワイヤロープには載荷位置にかかわらず, 上方横ワイヤロープが引っ張られることにより, スリップ張力が生じた。したがって, 側方控えワイヤロープに設置する緩衝金具のスリップ張力が, 全体のエネルギー吸収性能に与える影響が大きいことがわかる。

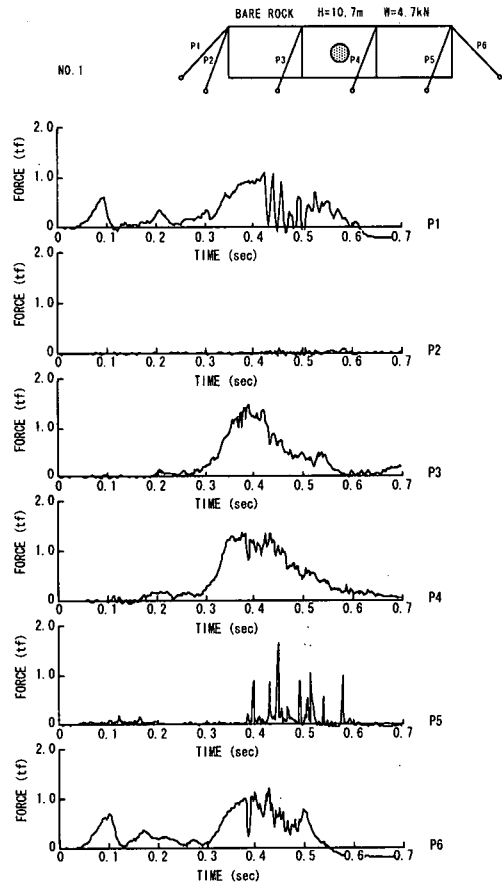


図4.3 ワイヤロープ張力経時変化(50kJタイプ)

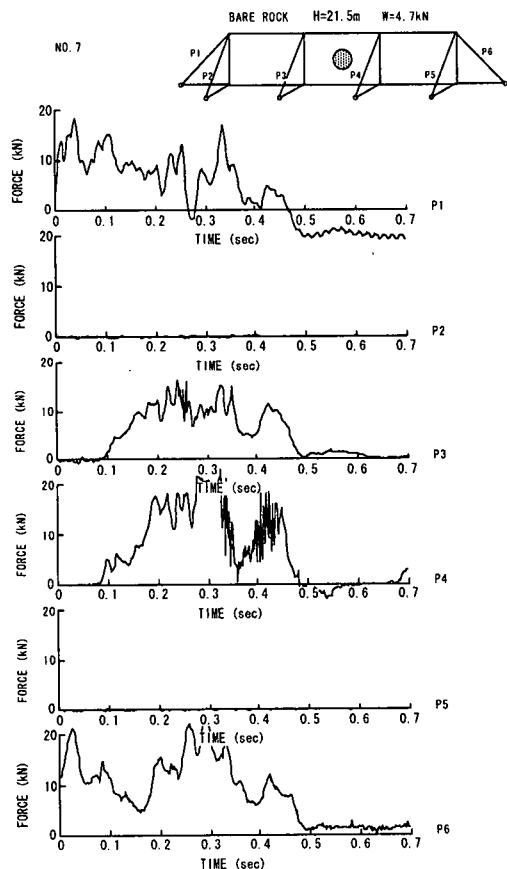


図4.4 ワイヤロープ張力経時変化(100kJタイプ)

表 4.2 に衝突位置ごとの、落石エネルギーと緩衝金具のエネルギー吸収量との比で表されるエネルギー吸収率を示す。緩衝金具のエネルギー吸収量は、各ワイヤロープに設置した緩衝金具のスリップ張力と、各ワイヤロープのすべり量の積を合計したもので、次式による。

$$E_a = \sum (T_i \cdot L_i)$$

ここに、

E_a : 緩衝金具による吸収エネルギー(kJ)

T_i : 各部緩衝金具のスリップ張力(kN)

L_i : 各緩衝金具位置でのワイヤロープのスリップ長(m)

表 4.2 緩衝金具エネルギー吸収率

No.	タイプ	衝突位置	落石重量 (kN)	落下高さ (m)	落石エネルギー (kN・m)	吸収エネルギー (kN・m)	吸収率 (%)	柵の損傷度
1	50kJ	Case1	4.700	10.7	50.29	25.900	51.5	軽微
2		Case3	4.700	10.7	50.29	17.350	34.5	軽微
3		Case2	4.700	10.7	50.29	20.700	41.2	軽微
4		Case4	4.700	10.7	50.29	12.830	25.5	軽微
5		Case5	4.700	10.7	50.29	1.100	2.2	支柱変形
6	100kJ	Case1	4.700	16.0	75.200	36.500	48.5	支柱転倒
7		Case1	4.700	21.5	101.05	76.300	75.5	軽微
8		Case4	4.700	21.5	101.05	66.300	65.6	軽微

衝突位置Case1: センターズパン、スパン中央、柵高1/2
Case2: センターズパン、中間支柱から2m、柵高2/3
Case3: センターズパン、中間支柱から2m、柵高1/3
Case4: 端部スパン、端部支柱から2m、柵高1/2
Case5: 中間支柱直撃

表 4.2 から、次のことが考察される。

衝突位置 Case1 に衝突した場合には、緩衝金具のエネルギー吸収率は 50kJ タイプの場合 50%程度、100kJ タイプの場合で 75%程度であるが、衝突位置 Case2,3,4 に衝突した場合には 50kJ タイプで 25~40%程度、100kJ タイプで 65%程度と Case1 に比較して小さい値になっている。支柱に直撃させた Case5 では、緩衝金具のエネルギー吸収率は極めてわずかとなっており、支柱の変形によりエネルギーが吸収されたものと考えられる。

緩衝金具で吸収しきれなかったエネルギーは、金網の変形によって吸収されたものと考えられ、衝突位置 Case1 の場合で 25kJ 程度、衝突位置 Case2, 3, 4 の場合で 35kJ 程度が期待できるものと思われる。50kJ タイ

プに比較して、100kJ タイプの方が緩衝金具のエネルギー吸収率が高いのは、金網の吸収エネルギーがほぼ一定であり、残りの運動エネルギーが全て緩衝金具により吸収されたためであると考えられる。

実験 NO.6 以外の場合には、載荷後の変状は、載荷スパンのみの変状にとどまり、載荷スパンにおいても、支柱が倒壊することもなく、損傷度は軽微なものであった。実験 NO.6 については、設計規模の 1.5 倍の落石エネルギーに対する実験を行い、供試体の損傷度は大きかったものの、正常に重錘を停止させることができた。

5. まとめ

緩衝金具単体試験および実物実験結果から以下の結論を得た。

- ①緩衝金具のスリップ張力は、2本のワイヤロープの重合部に緩衝金具を取り付け、ワイヤロープが互いに逆方向に滑る場合は 5.0kN/個、2本のワイヤロープを同一方向に滑るように緩衝金具を取り付けた場合には 10kN/個である。
- ②LS ロックフェンスの構造上、側方控えワイヤロープに設置する緩衝金具のスリップ張力が、エネルギー吸収性能に大きな影響を与える。したがって、側方控えワイヤのスリップ張力を大きくとる必要がある。
- ③LS ロックフェンスは大きく破損することなく、落石エネルギー50kJ~100kJ に対して安全である。また、衝突時の損傷は載荷スパンのみにとどまるため、載荷スパンの部材交換のみで再使用が可能であり、維持管理が容易である。

以上のことから、LS ロックフェンスの設計規模の落石エネルギーに対する安全性が確認された。今後は簡易設計法の開発を行っていきたいと考えている。

参考文献

- 1)社団法人日本道路協会:落石対策便覧, pp1-153, 1983.