

ワイヤ摩擦型緩衝装置の各種条件における性能確認実験

Performance confirmation experiment of wire friction type absorption device under various conditions

福永一基*, 手嶋良祐**, 佐藤暁拓***, 松澤遼***, 別府万寿博****

Kazuki Fukunaga, Ryosuke Teshima, Akihiro Satoh, Ryo Matsuzawa, Masuhiro Beppu

*博 (工), ベルテクス株式会社 防災技術部 (〒102-0083 東京都千代田区麴町 5-7-2)

**ベルテクス株式会社 開発部 (〒102-0083 東京都千代田区麴町 5-7-2)

***伊藤忠テクノソリューションズ株式会社 科学システム本部 (〒105-6950 東京都港区虎ノ門 4-1-1)

****博 (工), 防衛大学校教授, 建設環境工学科 (〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)

キーワード: ワイヤ摩擦, 緩衝装置, 高エネルギー吸収落石防護柵

Keywords: wire friction, absorption device, high energy absorption rockfall protection fence

1. はじめに

従来の落石防護柵¹⁾は、H鋼を支柱とし、横方向に一定間隔でワイヤを設置した形状をしており、落石捕捉性能は、一般的には落石対象径が $\phi 0.3\text{m}$ 程度で、対応可能な衝突エネルギーは50KJ程度である。近年、前述した従来型の落石防護柵では対応できないような落石への対策工として、高エネルギー吸収落石防護柵と呼ばれる防護柵の設置が多くみられる。これら高エネルギー吸収落石防護柵では落石対象径が $\phi 1.0\text{m}$ 以上で、衝突エネルギーが1000kJを超えるような落石まで対象とするものも存在する。高エネルギー吸収落石防護柵の多くは、支柱の強化を行い、さらにワイヤロープの破断を防ぐとともに落石エネルギーを吸収する目的で、緩衝装置と呼ばれるデバイスが使用されている。緩衝装置は、鋼管や鉄板など材料の塑性変形によるエネルギー吸収を利用したものや、鋼板と挟み込んだワイヤロープの摩擦を利用しエネルギー吸収するものなど様々なものが開発されている。本論文ではワイヤロープを加工鋼板で挟み込んで固定し、張力作用時に加工鋼板とワイヤロープの摩擦によりエネルギー吸収する緩衝装置に対して各種条件下におけるスリップ荷重の性能確認を実施した結果について報告する。

2. ワイヤロープ摩擦型緩衝装置

本実験で用いた緩衝装置は図-1に示す形状で、2本のワイヤロープの重複部を加工した鋼板で把持したもので、バネ鋼板をプレス加工したハウジング内にワイヤロープを挿通し、中心にはワイヤロープ同士が接触しないようにワイヤロープ間に曲げ加工を施したプレート挟み込み形状となっており、さらにワイヤロープに対して

一定の把持力を与えるために高張力ボルトで締め付けを行っている。

3. 静的荷重に対する性能

ワイヤロープ摩擦型緩衝装置の多くは、落石防護柵の横方向に張設したメインケーブルや、支柱頭部から背面方向に張設した控えワイヤロープの一部に取付けられる。落石衝突時の衝撃力を緩和させる効果がある一方で、積雪時の雪圧や堆積土砂による土圧など静的な荷重が作用するケースの設計などでは設置時には動作の有無について確認が必要である。そこで、本緩衝装置のスリップ荷重の確認を行うために静的載荷による引張試験を行った。



図-1 ワイヤロープ摩擦型緩衝装置

3.1 静的引張試験方法

片側にシンプル加工を施した構造用ワイヤロープ (構成 $7 \times 19 : \phi 16.0\text{mm}$)²⁾を2本用いて、それぞれが対方向

になる様に組み合わせ、さらにそれぞれのワイヤロープの重複部に緩衝装置を用いて固定したものを供試体（図-2）とし、図-3 に示す実験装置にセットした後、油圧ジャッキにて引張試験を実施した。

3.2 静的試験供試体

緩衝装置の静的スリップ荷重の確認を行うと共に、緩衝装置の長さの影響について確認するために4種類の供試体とした。表-1 および図-4 に1-S~4-Sの実験供試体組合せ寸法を示す。

3.3 静的試験結果

静的試験結果一覧を表-2 に示す。表内に示した平均スリップ荷重は、静的引張実験時に計測した引張荷重グラフ（図-5）より荷重作用範囲を想定して読み取り、その平均値をスリップ荷重として示した。なおグラフは縦

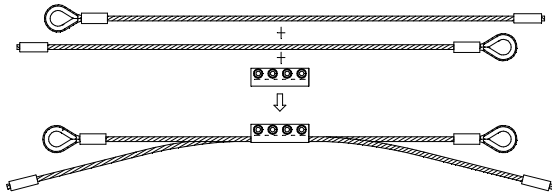


図-2 実験供試体

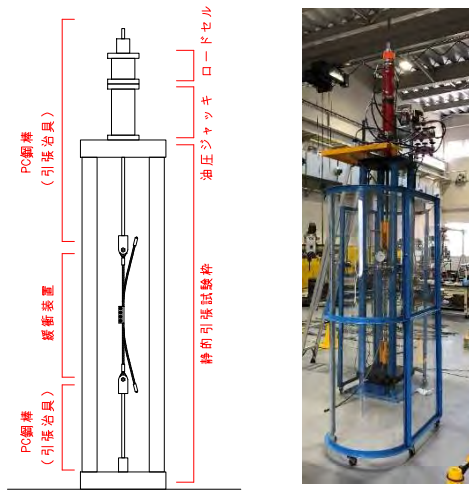


図-3 静的試験方法（試験設備）

表-1 静的実験供試体概要

供試体 No.	緩衝装置長	緩衝装置数	ワイヤロープ
1-S	200mm	1	JIS G 3549 構成 7×19 Φ16.0mm
2-S	200mm	1×1※1)	
3-S	150mm	1	
4-S	100mm	1	
5-S	150mm+100mm	各1	

※：同様の供試体を2列並列配置

軸にスリップ荷重を、横軸には時間(sec)を示しており、計測時間は420sec、緩衝装置のスリップ長は油圧ジャッキのストロークの関係で最大450mm程度となっている。なおデータ計測は10msとした。荷重とともに荷重は増加していき、スリップの開始により荷重が減少する。スリップを開始した初期ではスリップ荷重が安定しない傾向があるが、スリップが継続するにつれスリップ荷重は比較的安定する。初期の不安定は緩衝装置表面に処理した熔融亜鉛めっきの影響によるものであると考える。また供試体No.1-Sの長さおよびスリップ荷重を基準(1.00)とし、その他の供試体と比較した結果を表-3 に示した。緩衝装置の性能であるスリップ荷重は、概ね緩衝装置の長さに比例すると言える。

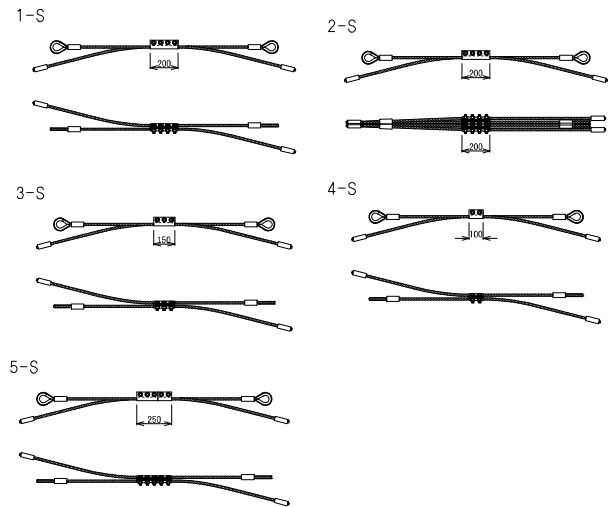


図-4 試験供試体組合せ寸法

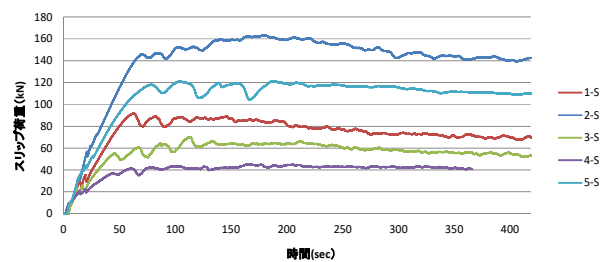


図-5 静的スリップ荷重

表-2 静的試験結果一覧

実験 No.	緩衝装置長	スリップ荷重(kN)	
		範囲	平均
1-S	200mm	70~90	80
2-S	200mm×2	140~160	150
3-S	150mm	55~70	62.5
4-S	100mm	40~45	42.5
5-S	150mm+100mm	105~120	112.5

表-3 緩衝装置長さ比較結果

実験 No.	長さ比	荷重比
	①	②
1-S	(1.00)	(1.00)
2-S	2.00	1.88
3-S	0.75	0.78
4-S	0.5	0.53
5-S	1.25	1.41

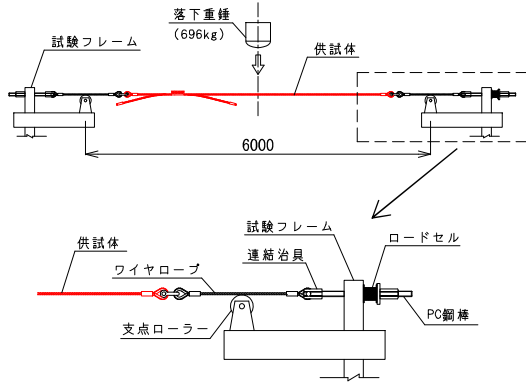


図-6 動的試験方法 (試験設備)

4. 動的荷重に対する性能

4.1 動的載荷試験方法

ワイヤロープ摩擦型緩衝装置の多くは、落石防護柵の横方向に張設したメインケーブルの一部に設置されることが多く、落石の衝突時にワイヤロープが緩衝装置内をスリップすることで、落石衝突時の衝撃力を緩和させるとともにワイヤロープの破断を防止し落石の衝突エネルギーを吸収する効果がある。図-6 に緩衝装置の動的スリップ荷重を確認するための試験方法および試験設備を示す。供試体は両端部をワイヤロープと PC 鋼棒を介して試験フレーム間に張設した。供試体の左右に連結したワイヤロープ部には落石防護柵の支柱に見立てた支点ローラーを設置している。試験は試験設備上部から供試体に対して重錘を落下させることで緩衝装置をスリップさせ、緩衝装置の動的スリップ荷重を確認した。スリップ荷重の測定は、試験フレームに供試体を固定する PC 鋼

表-4 動的实验供試体概要

実験 No.	緩衝装置長	緩衝装置数	ワイヤロープ
1-D-H-1	200mm	1	JIS G 3549 構成 7×19 Φ16.0mm
1-D-H-2			
1-D-H-3			
4-D-H-1	100mm	1	
4-D-H-2			
4-D-H-3			
5-D-H-1	150mm+100mm	各 1	
5-D-H-2			
5-D-H-3			

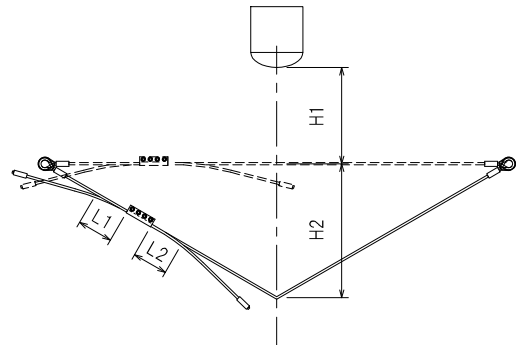


図-7 重錘落下高とスリップ量

棒部にロードセルを設置し、測定した。なおデータは 2kHz で計測した。

4.2 動的試験供試体

水平方向に張設した供試体に対して直角方向へ重錘衝突させる動的試験の供試体として、表-4 に示す緩衝装置の長さが異なる 3 種類の緩衝装置を組み合わせた供試体をそれぞれ 3 組とした。

4.3 動的試験結果

図-7 に示すように重錘の供試体までの落下高を H_1 、重錘衝突後に緩衝装置のスリップによる重錘落込量を H_2 とし、 H_1 と H_2 の合計を重錘の全落下高として重錘の落下エネルギー E を算出する。また重錘落下停止後に緩衝装置のスリップ量 L_1 および L_2 を測定し、その合計を緩衝装置の全スリップ量 L とする。スリップ荷重は、重錘の落下エネルギー E をスリップ長 L で除することで平均スリップ荷重とした。動的試験結果一覧を表-5 に示す。

緩衝装置の動的な平均スリップ荷重は、静的なスリップ荷重と比較して約 40~48%であった。動的試験時の供試体に作用する荷重-時間関係のグラフの一例を図-8 に示す。緩衝装置の平均スリップ荷重が小さい方が、荷重の上下を繰り返す波形が小さい傾向にある。なお供試体には初期張力として実験 No.4-D-H では約 5.0kN、実験 No.1-D-H および 5-D-H では 10.0kN を設置時に作用させている。

表-5 動的試験結果一覧

実験 No.	1-D-H-1	1-D-H-2	1-D-H-3	4-D-H-1	4-D-H-2	4-D-H-3	5-D-H-1	5-D-H-2	5-D-H-3
重錘質量 m(t)	0.696	0.696	0.696	0.696	0.696	0.696	0.696	0.696	0.696
重錘落下高 H1(m)	1.000	1.000	1.000	0.500	0.500	0.500	1.000	1.000	1.000
重錘落下量 H2(m)	1.243	1.295	1.224	1.470	1.475	1.458	0.932	0.915	0.932
重錘全落下高 H1+H2(m)	2.243	2.295	2.224	1.970	1.975	1.958	1.932	1.915	1.932
スリップ量 L1(m)	0.303	0.279	0.336	0.213	0.374	0.381	0.074	0.076	0.088
スリップ量 L2(m)	0.174	0.229	0.119	0.461	0.283	0.250	0.180	0.163	0.158
全スリップ量 L(m)	0.477	0.508	0.455	0.674	0.657	0.631	0.254	0.239	0.246
重錘落下エネルギー E(kJ)	15.31	15.66	15.18	13.45	13.48	13.36	13.19	13.07	13.19
平均スリップ荷重 T(kN)	32.10	30.84	33.36	19.96	20.52	21.17	51.93	54.69	53.62
平均値 T'(kN)	32.10			20.55			53.41		

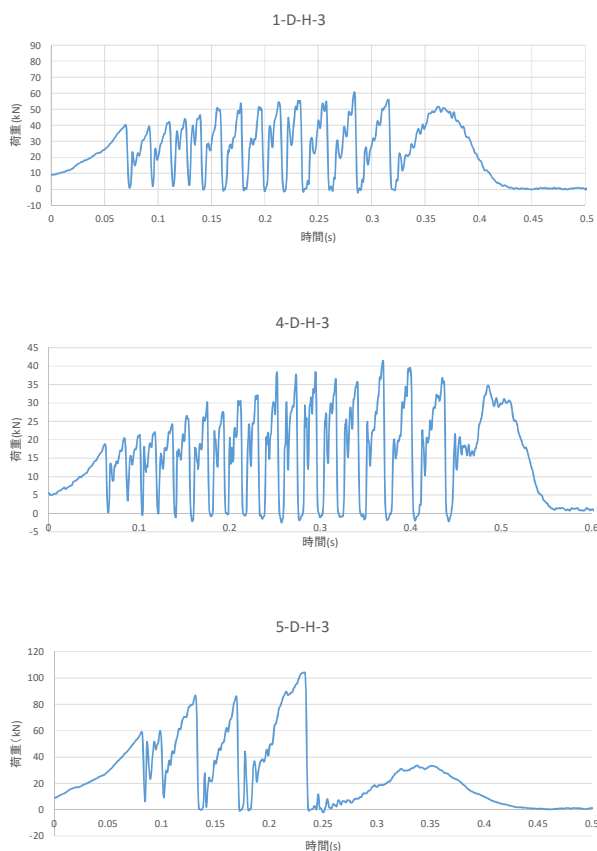


図-8 スリップ荷重-時間関係

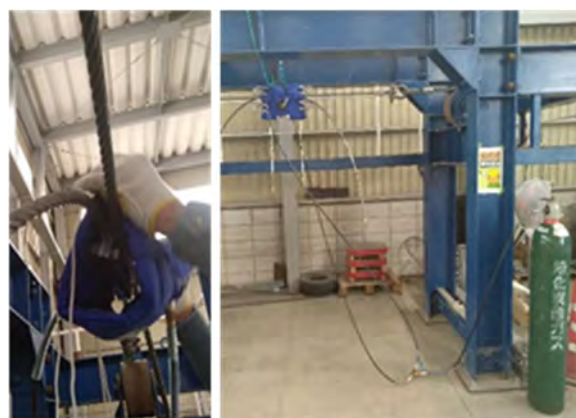


図-9 緩衝装置の凍結

認するために、動的実験実施前に緩衝装置を強制的に氷点下まで温度を低下させたのち、動的試験を行い常温時の性能との比較を行った。

5.1 凍結試験载荷方法

図-6 に示した実験設備に供試体をセットしたのち、緩衝装置に配管を凍結させるために用いられる特殊な凍結用バッグを利用して覆い、液化炭酸ガスにより -10.0°C 以下になる様に凍結させたのち動的試験を実施した(図-9)。なお試験時の外気温は 18.0°C 、試験直前の緩衝装置の表面温度はそれぞれ -10.7°C 、 -19.0°C 、 -14.1°C であった。

5.2 凍結試験供試体

凍結した緩衝装置の動的性能を確認する試験の供試体として、緩衝装置長さが $L=150\text{mm}$ と $L=100\text{mm}$ を組み合わせた供試体を用いた(表-6)。

表-6 凍結試験供試体一覧

実験 No.	緩衝装置長	緩衝装置数	ワイヤロープ
5-D-H-F-1	150mm+100mm	各1	JIS G 3549
5-D-H-F-2			構成7×19
5-D-H-F-3			Φ16.0mm

5. 凍結時の動的性能

落石防護柵は道路や民家などの防護対象構造物を護るために設置される。そのため基本的に設置は屋外となり、環境変化の影響を受ける。そのため多くの材料には溶融亜鉛メッキなどの表面処理が施されている。また設置位置の多くは山間部に設置されるため、積雪地域の冬期間は雪が堆積する影響などで、緩衝装置は低温状況となる。

そのような緩衝装置の温度変化に対する作動影響を確

5.3 凍結試験結果

表-7 に試験結果一覧を示す。凍結試験時の供試体に作用する荷重-時間関係を 5-D-H-F-3 の結果を一例として図-10 に示す。図-8 に示した常温時の結果である実験 No.5-D-H-3 の荷重-時間関係のグラフと比較しても大きな違いは認められず、また重錘落下エネルギーとスリップ量の関係から算出した平均スリップ荷重にも大きな差異は見られないことから、緩衝装置に対する温度変化の影響は小さいと考える。

6. 載荷方向の違いによる性能の確認

ワイヤロープ摩擦型緩衝装置の多くは落石防護柵の横方向に張られた主ワイヤロープの一部に組み込まれるが、一部では支柱頭部から支柱の転倒力を補助する形で取り付けられた控えワイヤロープの一部に取付けられることがある。横方向のワイヤロープに組み込まれた緩衝装置の場合は、ワイヤロープの軸方向に対し荷重作用方向は直角方向であるが、控えワイヤロープの場合にはワイヤロープ軸方向、すなわちワイヤロープの張設方向と同方向に荷重が作用することになる。荷重の作用方向により緩衝装置の性能に差異が生じるのかを確認するために載荷方向の異なる試験を実施した。

6.1 ワイヤ軸方向載荷試験方法

実験設備上方から供試体を吊下げ、さらに供試体と重錘をワイヤロープで連結する。その後、供試体方向へ重錘を引き寄せたのち、重錘離脱用のスリングで供試体と

重錘を連結する。このとき供試体と重錘を連結しているワイヤロープは弛んだ状態となる。その後、重錘離脱スリングを切断することで、重錘は自由落下し、連結用ワイヤロープが張ったのち、供試体を軸方向に引っ張る(図-11)。

6.2 ワイヤ軸方向載荷試験供試体

ワイヤ軸方向に荷重が作用した場合の動的性能を確認する試験供試体として、緩衝装置長さが L=100mm の物を用いた(表-8)。

6.3 ワイヤ軸方向載荷試験結果

図-11 に示すように落下前の重錘と供試体の間隔を H1、落下後を H2 として測定し、重錘の落下距離を求めた。これまで同様に重錘の落下エネルギーを緩衝装置のスリップ量で除したものを平均スリップ荷重とし、その試験結果一覧を表-9 に示す。

表-8 軸方向載荷試験供試体一覧

実験 No.	緩衝装置長	緩衝装置数	ワイヤロープ
4-D-V-1	100mm	1	JIS G 3549
4-D-V-2			構成 7×19
4-D-V-3			Φ16.0mm

表-7 凍結試験結果一覧

実験 No.	5-D-H-F-1	5-D-H-F-2	5-D-H-F-3
重錘質量 m(t)	0.696	0.696	0.696
重錘落下高 H1(m)	1.000	1.000	1.000
重錘落下量 H2(m)	0.952	0.939	0.947
重錘変位 H1+H2(m)	1.952	1.939	1.947
スリップ量 L1(m)	0.137	0.080	0.086
スリップ量 L2(m)	0.120	0.162	0.158
スリップ量合計 L(m)	0.257	0.242	0.244
重錘落下エネルギー E(kJ)	13.32	13.23	13.29
平均スリップ荷重 T(kN)	51.83	54.67	54.47
平均値 T'(kN)	53.66		

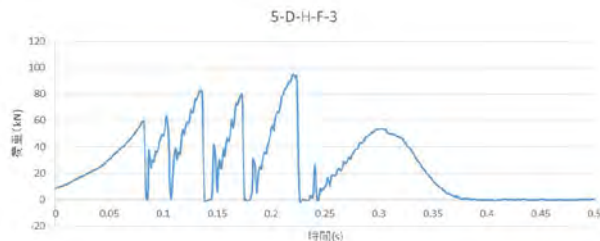


図-10 スリップ荷重-時間関係

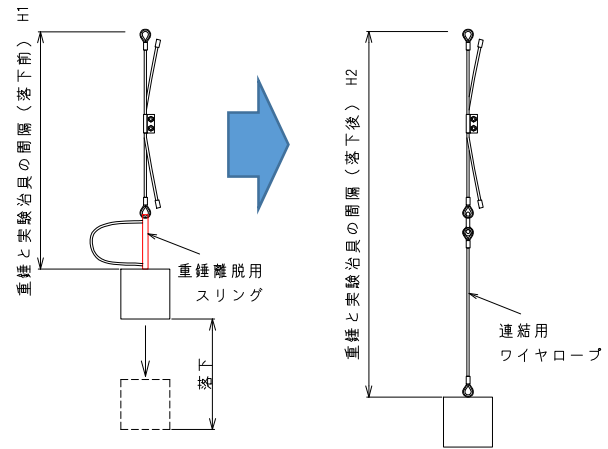


図-11 ワイヤ軸方向載荷試験方法

表-9 軸方向載荷試験結果一覧

実験 No.	4-D-V-1	4-D-V-2	4-D-V-3
重錘質量 m(t)	0.928	0.928	0.928
初期間隔 H1(m)	4.558	4.567	4.558
実験後の間隔 H2(m)	5.143	5.118	5.069
重錘変位 H2-H1(m)	0.585	0.551	0.511
スリップ量 L1(m)	0.145	0.130	0.100
スリップ量 L2(m)	0.115	0.100	0.095
スリップ量合計 L(m)	0.260	0.230	0.195
重錘落下エネルギー E(kJ)	5.32	5.01	4.65
平均スリップ荷重 T(kN)	20.46	21.78	23.85
平均値 T'(kN)	22.03		

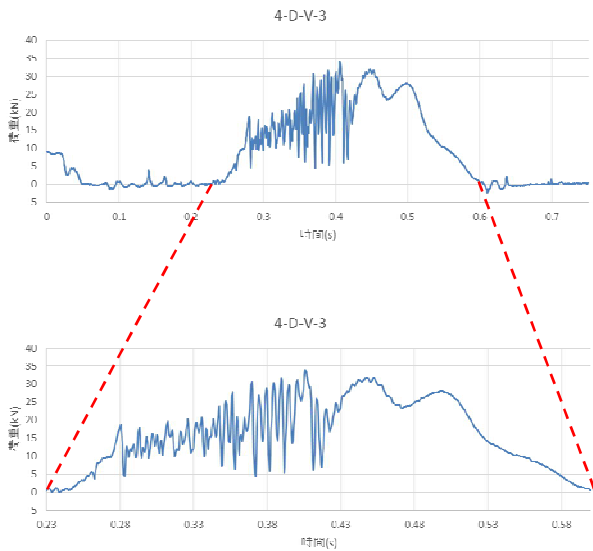


図-12 スリップ荷重-時間関係

試験結果からワイヤロープ軸方向に荷重が作用した時の緩衝装置の平均スリップ荷重として $T=22.03\text{kN}$ を得た。ワイヤロープ方向に対して直角方向に荷重が作用する場合の試験結果 4-D-H-1～3 では平均値 $T=20.55\text{kN}$ が得られており、概ね結果に差異は無く、緩衝装置の使用方向には性能の影響は小さいと考える。また軸方向載荷試験時のスリップ荷重-時間関係の一例として 4-D-V-3 の結果を図-12 に示す。落下前の供試体および離脱用スリングをセットした状態では重錘質量 9.1kN を示しているが、重錘離脱後は約 0.25sec 間自由落下状態となり計測値は 0kN となる。その後供試体へ重錘の落下衝撃力が伝達され荷重が上昇する。スリップ荷重が作用する 0.25sec

以降に着目してみると、ワイヤロープの横方向に作用させた試験の 4-D-H-3 のグラフ波形 (図-8) と比較してみると作用時間に違いがあるものの比較的波形は類似した形状と考えられ、これからも緩衝装置の使用方向には性能の影響は小さいと考える。

7. まとめ

ワイヤロープ摩擦型の緩衝装置に対して各種条件下における性能確認を実施した結果、以下の事が得られた。

- ① ワイヤロープ摩擦型緩衝装置のスリップ荷重性能は緩衝装置の長さに概ね比例する。
- ② 静的スリップ荷重と動的スリップ荷重を比較した場合、静的なスリップ張荷重力に対して、動的な平均スリップ荷重は $1/2$ 程度である。
- ③ 緩衝装置の温度変化による影響は、凍結したような低温化においても性能の変化は生じない。
- ④ 荷重の作用方向によって、緩衝装置の動的な平均スリップ荷重には大きな差異は生じない。

今後は、経年劣化により緩衝装置やワイヤロープに損傷が生じたケースなどについても、性能の確認を行っていきたい。

参考文献

- 1) (公社) 日本道路協会/落石対策便覧, 2017
- 2) 日本工業規格/JIS G 3549 2000 構造用ワイヤロープ Wire ropes for structure