

(49) ワイヤリング防護柵の重錘衝突実験

IMPACT TEST OF WIRE RING ROCK-FALL PROTECTION NET SYSTEM

福永一基*, 園田佳巨**, 畑芳宏*

Kazuki FUKUNAGA, Yoshimi SONODA and Yoshihiro HATA

*九州大学 大学院工学府 建設システム工学専攻 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744)

**工博 九州大学 工学研究院 建設デザイン部門 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744)

Key words : wire ring rock-fall protection net system, Impact-proof performance, falling-weight impact test

キーワード: ワイヤリング防護柵, 耐衝撃性能, 重錘衝突実験

1. はじめに

我が国では、国土の大半を山地や丘陵地が占めることから、毎年多くの落石等の斜面災害による被害が発生している。従来、我が国では大規模な落石に対しては、落石覆工が多く施行されている。

一方欧米においては、我が国のような落石覆工の施行はまれであり、多くは斜面上に落石防護柵を設置するケースがほとんどである。

近年、我が国においても従来の落石防護工に代わるものとして、高強度のワイヤをリング状にし、それらを絡めてパネルとしたものに特殊な緩衝装置を組み合わせたワイヤリング防護柵というものが、欧米より導入され多く設置されている。写真-1にその一例を示す。

しかしワイヤリング防護柵は、エネルギー吸収の多くをワイヤリングパネルの大きな変形能により落石を柔らかく受け止め吸収を行なうが、そのエネルギー吸収性能は実物の衝突実験によってのみ照査されているのが現状である。

そこで、ワイヤリング防護柵のエネルギー吸収性能を、数値解析により照査するための基礎資料を得ることを目的として、ワイヤリング防護柵のネット部のパネル状



写真-1 ワイヤリング防護柵

供試体に対して、入力エネルギーを変化させた重錘の衝突実験を実施した。本論文ではその実験結果について報告する。

2. 重錘落下衝突実験

2.1 実験供試体

本実験では、写真-1で示したワイヤリング防護柵のネットパネル面から縦×横=9リング×9リングを切り出し、供試体とした。ネットパネルを構成するリング単体の形状寸法は、1本の高強度線材の素線(φ4.0mm)を、エンドレスに撚り合せながら7周回りし、直径φ350.0mmのリングにしたもので、リング断面は素線が最密配置である正六角形の配置となっている(写真-2, 図-1)。



写真-2 ワイヤリング単体形状

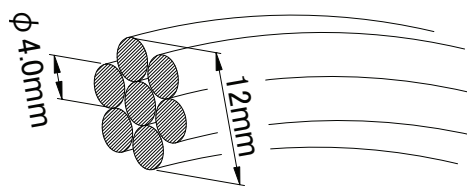


図-1 ワイヤ断面概略図

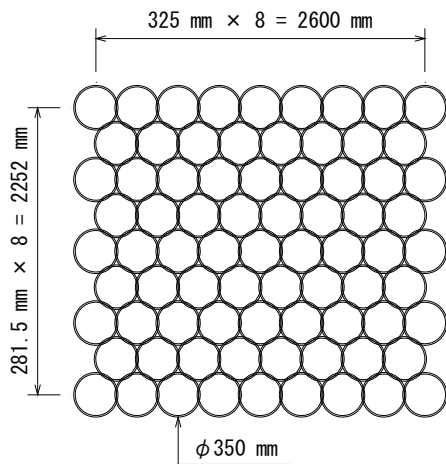


図-2 実験供試体の形状寸法

またリング同士の連結形状は、1リングに対し6リングが絡み合う配置形状であり、実験供試体の詳細寸法を図-2に示す。

2.2 実験概要

本実験では図-3に示すようにH形鋼（200×200）で組んだ約縦3.5m×横3.5mの鋼製枠に供試体を取り付け、重錘を供試体中央部に自由落下により衝突させた。鋼製枠にはネットの変形を考慮して、地上2500mmの高さになるようにコンクリート壁に取り付け固定した。また計測など供試体下部への進入、カメラ撮影等を可能とするため、壁面は3面とし、残る1面はコンクリート二次製品であるボックスカルバートによる支持とした。

実験ケースは2ケースを行い、実験ケース①では供試体であるネットを、鋼製枠に張力測定治具を介して、鋼製枠側にはシャックルを、リング側はピンを用いて、全てのリングを固定した。使用した張力測定治具は図-4に示すようにPC鋼棒を加工したもので、PC鋼棒に貼り付けたストレインゲージにより、張力の測定を行なった。張力測定箇所は、供試体の2辺について行い、図-3に示すように①から⑯まで全リングについて行なった。実験状況を写真-3に示す。

一方、実験ケース②では、同じく図-2に示した同様の鋼製枠を使用し、供試体であるネットの上下にワイヤロープを取り付け、そのワイヤロープを鋼製枠に張力測定治具を介してシャックルにて取付固定した。なお供試体とワイヤロープの連結は、リング内にワイヤロープを挿通させることにより、リングはワイヤロープ方向には動くことができる構造とした。左右辺に関しては4隅リングのみ固定し、その他については固定せず自由とした。実験状況を写真-4に示す。

重錘はトラッククレーンで所定の高さまで吊り上げた後、離脱装置のエアシリンダーの開閉により離脱、自由落下させ、ワイヤリング防護柵の供試体中央部に衝突させた。

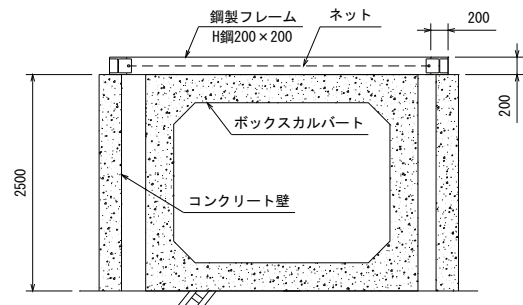
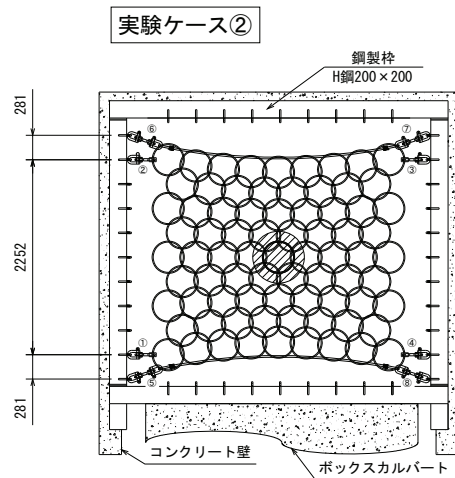
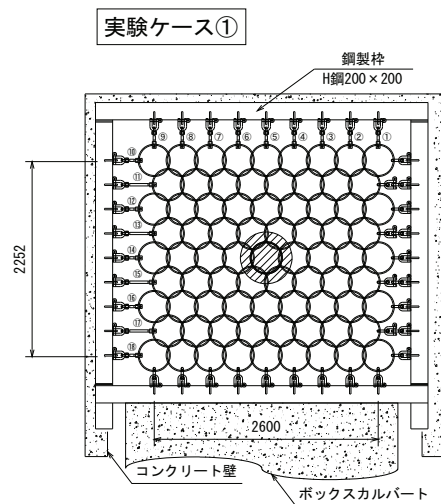


図-3 実験設備の概略図

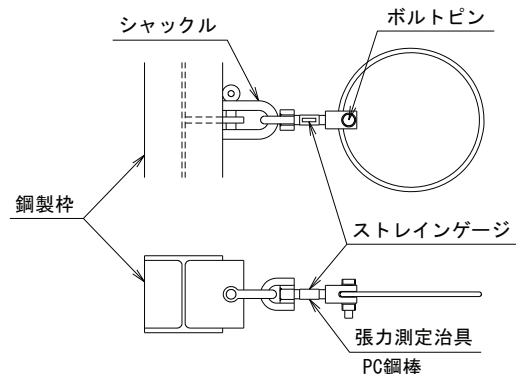


図-4 張力測定治具

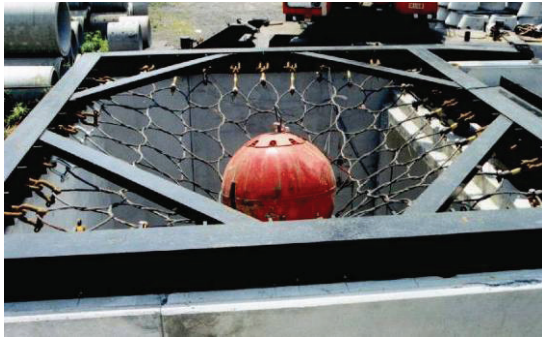


写真-3 実験ケース①実験状況



写真-4 実験ケース②実験状況

両ケース共に張力測定他には、落下させた重錘の加速度の測定および、高速度カメラによる撮影を行なった。

2.3 実験結果および考察

表-1 には、実験ケース①の条件および結果の一覧を示している。実験 No. 7 および No. 9 では重錘を捕捉停止させることが出来なかったが、その他の実験においては、重錘を捕捉停止させることができた。なお表中の衝突エネルギーは重錘のネット衝突時における入力エネルギーを計算によって算出した理論値である。また表-2 には重錘捕捉後に計測したネット変位量ではあるが、落下高に変位量を考慮し、ネットの吸収エネルギーを示している。ただし、実験 No.6 および 8 については、重錘を捕捉できなかったため、表示していない。

図-5 にワイヤリング①から⑨各測点における張力と、時間の関係をグラフで示す。なお測点番号①から⑨は、図-3 で示した番号に対応しており、示すデータは実験 No. 5 のものである。またグラフでは測点⑤を中心に対称となる測点を平均したものを表示し、それぞれ張力を縦軸に、時間を横軸に示した。各測点における張力は重錘衝突位置に近い測点⑤で一番大きな値を示し、重錘衝突位置からの距離に比例して分布する。これはリング間における荷重伝達がスムーズに行なわれていることを示している。

また図-6 に実験 No. 5 と破断した実験 No. 8 の時間に対する張力および重錘変位を示している。なお張力は各測点の合計張力を、重錘変位は重錘加速度の時間積分を2 回行なうことにより求めた数値である。変位の小さい

表-1 実験条件および結果 (実験ケース①)

No.	重錘重量	衝突高	衝突時エネルギー	捕捉成否
1	550kg	1.0m	5.39KJ	○
2	550kg	3.0m	16.17KJ	○
3	550kg	5.0m	26.95KJ	○
4	550kg	7.0m	37.73KJ	○
5	550kg	10.0m	53.90KJ	○
6	550kg	15.0m	80.85KJ	×
7	880kg	5.0m	43.12KJ	○
8	880kg	10.0m	86.24KJ	×

表-2 吸収エネルギー結果 (実験ケース①)

実験 No.	供試体 No.	捕捉後の変位量	落下高 (変位考慮)	吸収エネルギー
1	1	0.530m	1.530m	8.25KJ
2		0.475m	3.475m	18.74KJ
3		0.395m	5.395m	29.10KJ
4		0.405m	7.405m	39.94KJ
5	2	0.760m	10.760m	58.04KJ
7	3	0.715m	5.715m	49.32KJ

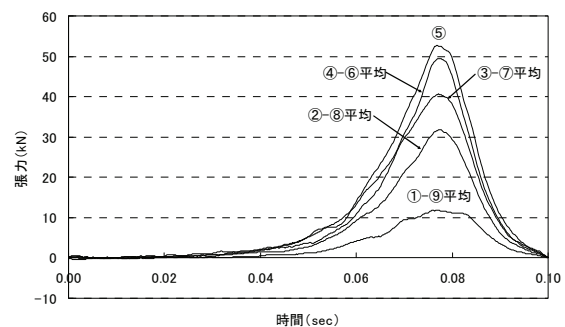


図-5 各点張力の経時変化

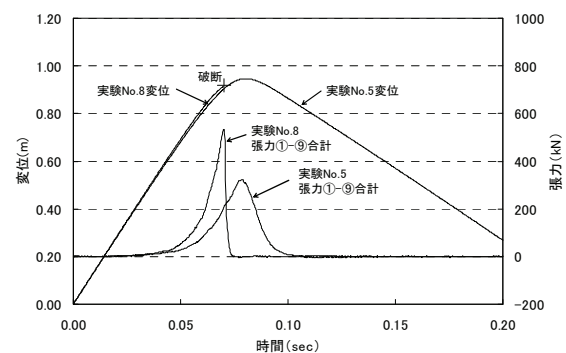


図-6 張力および変位の経時変化

段階では張力増加はほとんど無く、変位限界に近づく直前に急激に張力が増加する性質がある。

次に表-3 に実験ケース②の条件および結果の一覧を示す。実験ケース②においては全ての実験において重錘

表-3 実験条件および結果 (実験ケース②)

実験 No.	供試体 No.	重錘重量 (kg)	衝突高 (m)	衝突時エネルギー (KJ)	捕捉後の変位量 (m)	落下高 (変位考慮) (m)	吸収エネルギー (KJ)	ワイヤロープ最大張力 (kN)	
								⑤-⑧平均	⑥-⑦平均
1	1	520	1.0	5.10	0.71	1.710	8.72	33.92	36.46
2		520	3.0	15.30	0.53	3.533	18.02	69.88	83.56
3		520	5.0	25.50	0.44	5.440	27.74	103.28	118.05
4		520	7.0	35.70	0.38	7.378	37.62	122.64	152.61
5		520	10.0	50.99	0.56	10.563	53.87	131.76	175.02
6	2	810	1.0	7.94	0.81	1.805	14.34	52.25	61.57
7		810	3.0	23.83	0.51	3.510	27.88	105.86	112.93
8		810	5.0	39.72	0.37	5.370	42.66	144.01	146.76
9		810	7.0	55.60	0.43	7.425	58.98	184.56	184.49
10	3	810	10.0	79.43	1.18	11.180	88.81	183.05	187.81

を捕捉できた。表-3 にはネット衝突時における入力エネルギーの理論値および、実験後に計測した変位量を考慮した吸収エネルギーと、上下のワイヤロープの最大張力の平均値を示している。図-7 に吸収エネルギーとワイヤロープに作用する張力の関係を示す。グラフには、縦軸にワイヤロープの張力平均値を、横軸には吸収エネルギーを示す。またグラフ内には吸収エネルギーと張力との1次関数による回帰直線と、使用したワイヤロープφ22.0mm (構成：7×19) の破断荷重を示した。また図-8 には実験ケース①と実験ケース②の比較を示した。

比較した実験は、ケース①の実験 No. 5 とケース②の実験 No. 10 であり、それぞれの変位と、対象がリングと

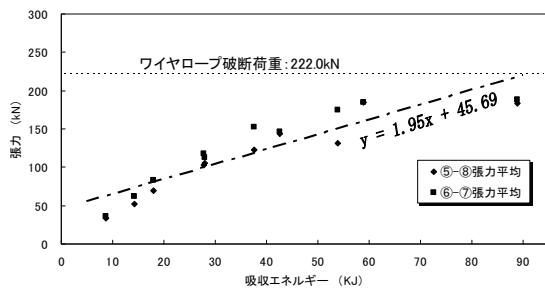


図-7 吸収エネルギーとワイヤロープ張力の関係

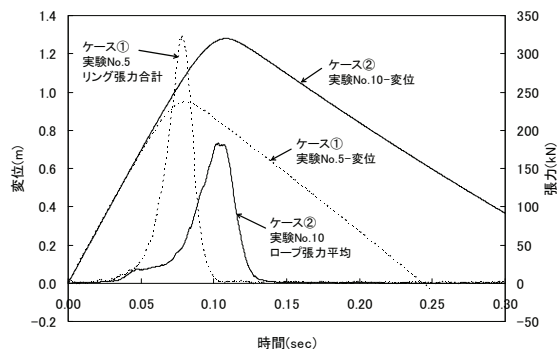


図-8 実験ケース①と②の比較

ワイヤロープのため比較対象が同一ではないが、それぞれの張力を示した。グラフより実験ケース②では実験ケース①と比較して荷重作用時間が長いことがわかる。これよりネット上下にワイヤロープを挿通させる形状にすることによってネット全体の柔軟性が向上したと推察される。また変位に関しても実験ケース②の方が大きく、変形性能も向上したと考えられ、その結果吸収エネルギーも向上したと推察される。

3. まとめ

本論文ではワイヤリング防護柵のエネルギー吸収性能を、数値解析により照査するための基礎資料を得ることを目的として、ワイヤリング防護柵の供試体に対して入力エネルギーを変化させた重錘の衝突実験を実施した。本実験によって得られた結果を以下のようにまとめる。

- 1) ワイヤリング防護柵のネットは、変位の小さい段階では張力増加は少なく、変位限界に近づく直前に急激に張力が増加する性質がある。
- 2) リングを4辺固定の場合に比べ、上下辺ロープにより固定した場合、変形性能が向上し、吸収エネルギーも増加する。

今後実験により得られたデータを数値解析の資料としていきたい。また防護柵全体としては、この他にも緩衝装置などがあり、数値解析に応用するため、実験を現在も進行中であることを付記する。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：落石対策便覧，H. 12. 6
- 2) 大森清武，塩見昌紀，吉田博：落石防護用ネットの衝撃実験とその解析，第6回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集，pp. 141-146，2002