

腐食したワイヤロープの静的引張試験

Static tensile test of corroded wire rope

土木研究所	寒地土木研究所	○正 員	今野久志 (Hisashi Konno)
土木研究所	寒地土木研究所	正 員	中村拓郎 (Takuro Nakamura)
土木研究所	寒地土木研究所	正 員	西 弘明 (Hiroaki Nishi)
東京製綱株式会社		正 員	橋口寛史 (Hiroshi Hashiguchi)

1. はじめに

我が国の海岸線や山岳部の道路沿いには様々な落石防護施設が建設されている。この中でロックシェッドに関しては5年に1度の頻度を目安とする定期点検¹⁾が義務化され、近接目視による点検と診断が行われている。

一方、落石防護施設の一つである従来型落石防護柵はワイヤロープ、金網、H形鋼支柱等の比較的入手しやすい材料から構成される構造物であることから、これまでに数多く設置されてきており、高エネルギー吸収型の落石防護柵等を含め、さらに設置件数は増加するものと考えられる。このことから、これらの落石防護施設に関しても今後維持管理が重要な課題となるものと想定されることから、筆者らは維持管理に係る技術資料の策定に向けた検討を開始している。定期点検では、近接目視が基本であり、目視による劣化度判定が行われるが、劣化度と部材強度の関係については調査データが少ないのが現状である。

そこで筆者らは、落石防護柵等の合理的な維持管理手法の検討に資するためのデータ取得を目的に、廃道区間より採取したワイヤロープの静的引張試験を実施したのでその結果について報告する。

2. 試験概要

2.1 試験体

引張試験に使用した材料は、写真-1および写真-2に示す北海道内の2箇所の廃道区間にある従来型落石防護柵およびケーブル型防護柵（ガードケーブル）のワイヤロープ（3×7G/O 18φ）である。いずれの箇所も海岸近傍に位置しており厳しい腐食環境下にあるが、構造物が設置されてからの経過年数は不明である。

試験体は、現場より採取したワイヤロープを所定の長さ切断し、両端に円錐台の亜鉛合金端末を取付けたものであり、端末間のワイヤロープ長は900mmである。写真-3に試験体の外観を示す。試験体はいずれも5体ずつ製作した。引張試験に先立ち、試験体の外観観察およびワイヤロープ径の測定を実施した。なお、ワイヤロープ径の測定方法は、JIS G3525に規定されており、図-1に示すように外接円の直径Dを測定しなければならないが、本試験体のような3×7のワイヤロープでは直接外接円の測定ができない。このため、ノギスによりD'の長さを測定し、試験体ストランドの幾何学的な配置形状からワイヤロープ径を算出した。計算は省略するが、ワイヤロープ径は $D=1.15D'$ となる。

写真-4に試験体の外観を示す。落石防護柵のワイヤ



写真-1 試験材料採取箇所（落石防護柵）



写真-2 試験材料採取箇所（ガードケーブル）



写真-3 試験体外観（ガードケーブル）

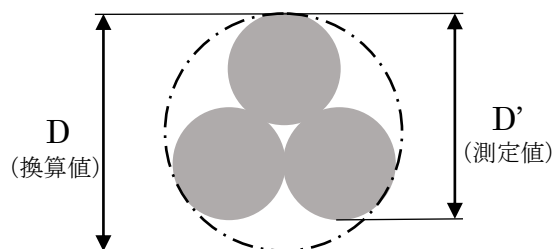


図-1 ワイヤロープ径の算出方法

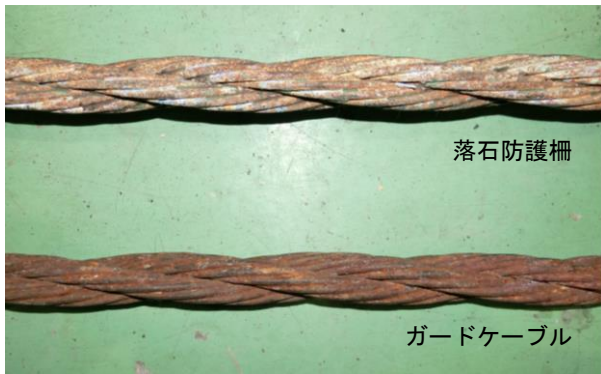


写真-4 試験体表面の状況



写真-5 試験体設置状況

ロープは全体的に茶褐色ではあるが白色の付着物がまだら模様に残存している。また、表面の錆は比較的均一に発生している。一方、ガードケーブルのワイヤロープは、全体的に濃い茶褐色を呈しており、ストランドの溝は異物で埋没した状態である。また、表面の錆は素線上に不均一に発生しており表面は錆びによりざらざらした状態であった。

2.2 試験方法

引張試験は、東京製綱株式会社研究所の引張試験機を用いて実施した。試験は、試験体を引張試験機に設置した後、低速でワイヤロープの軸方向に引っ張ることで実施し、素線もしくはストランドが破断し荷重が増加しなくなった時点で終了とした。写真-5に試験体の引張試験機への設置状況を示す。試験体は落石防護柵およびガードケーブルのワイヤロープに対して各5体ずつ製作したが、落石防護柵の試験体については、後述するように試験結果のばらつきが小さかったことから3体、ガードケーブルの試験体については試験結果にばらつきが見られたことから5体すべてに対して引張試験を実施した。

計測項目は、載荷荷重とワイヤロープの伸びであるが、伸びは定点カメラで計測し、試験体中央の500mm標点間距離に対する%表示とした。

3. 試験結果

3.1 荷重－伸び関係

図-2および図-3には、落石防護柵およびガードケーブルの試験体に関する荷重－伸び関係を示している。また、図-4には比較のため同一規格で現在使用されて

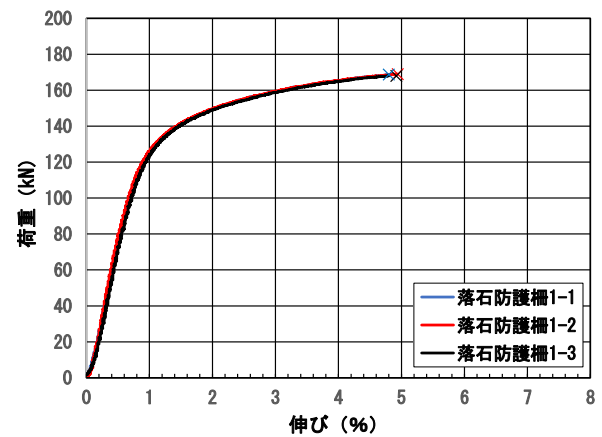


図-2 荷重－伸び関係（落石防護柵）

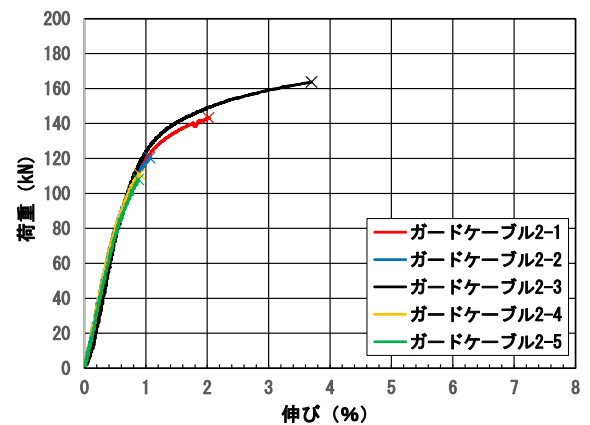


図-3 荷重－伸び関係（ガードケーブル）

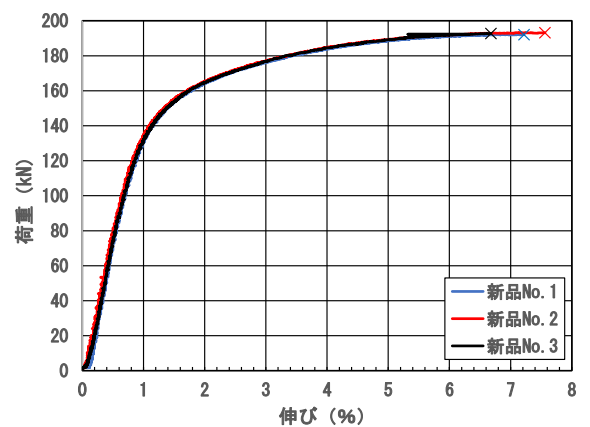
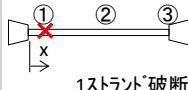
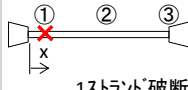
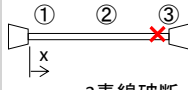
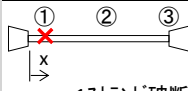
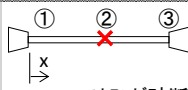
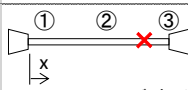
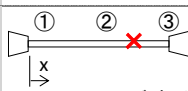
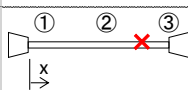


図-4 荷重－伸び関係（新品ワイヤロープ）

いる新品ワイヤロープの荷重－伸び関係を示している。

図-2より、落石防護柵試験体の荷重－伸び関係についてみると、3体の試験結果にばらつきはなくほぼ同一の曲線が得られており、破断荷重はいずれの試験体も約170kNであり、落石対策便覧²⁾に示されている破断荷重の規格値157kNを上回っている。破断伸びに関してはいずれの試験体も5%程度であった。以上より、本試験体は外観からは錆や汚れが見られるものの、錆による素線の不均一な腐食がなく、見た目に反して劣化があまり進行していないものと推察される。

表－1 試験結果一覧

ワイヤロープ (3×7G/O 18p 規格破断荷重 157kN ²⁾)									
種別	Case	外観状態	ロープ径 実測D' (mm)	ロープ径 D'×1.15 (mm)	ロープ径 D平均 (mm)	試験値		破断箇所 (×で示す) X=破断箇所までの 距離(mm)	左:FIX 右:MOVE
						破断荷重 (kN)	破断伸び (%)		
落石 防護柵	1-1	全体的に茶褐色だが白色がまだら模様分散。表面はざらざら。	①16.99 ②17.08 ③17.18	①19.54 ②19.65 ③19.76	19.65	168.75	4.80	x=90mm	 1ストランド破断
	1-2	全体的に茶褐色だが白色がまだら模様分散。表面はざらざら。	①17.11 ②17.19 ③17.39	①19.68 ②19.77 ③20.00	19.82	169.00	4.94	x=80mm	 1ストランド破断
	1-3	全体的に茶褐色だが白色がまだら模様分散。表面はざらざら。	①17.16 ②17.25 ③17.34	①19.74 ②19.84 ③19.95	19.84	168.00	4.92	x=840mm	 3素線破断
ガード ケーブル	2-1	全体的に濃い茶褐色。ストランドの溝が異物で埋没。表面はざらざら。	①18.47 ②18.29 ③18.24	①21.24 ②21.04 ③20.98	21.09	143.25	2.02	x=90mm	 1ストランド破断
	2-2	全体的に濃い茶褐色。ストランドの溝が異物で埋没。表面はざらざら。	①17.72 ②18.12 ③17.79	①20.38 ②20.84 ③20.46	20.56	120.50	1.06	x=450mm	 2ストランド破断
	2-3	全体的に濃い茶褐色。ストランドの溝が異物で埋没。表面はざらざら。	①18.04 ②17.70 ③18.02	①20.75 ②20.36 ③20.73	20.61	163.75	3.70	x=760mm	 1ストランド破断
	2-4	全体的に濃い茶褐色。ストランドの溝が異物で埋没。表面はざらざら。	①17.75 ②18.79 ③18.59	①20.42 ②21.61 ③21.38	21.14	111.00	0.90	x=680mm	 1ストランド破断
	2-5	全体的に濃い茶褐色。ストランドの溝が異物で埋没。表面はざらざら。	①18.19 ②18.20 ③18.31	①20.92 ②20.93 ③21.06	20.97	108.00	0.88	x=750mm	 2ストランド破断

図－3より、ガードケーブル試験体の荷重－伸び関係についてみると、5体の試験結果は大きくばらついていることが分かる。これは外観状態からも分かるように、錆が全体的に発生していることに加えて素線上に不均一に発生しており、劣化の程度にばらつきがあることによるものと推察される。破断荷重に関してはCase2-3のみが規格値を若干上回っているものの、残りの4体に関してはいずれも規格値の破断荷重 157kN を下回っており、Case2-4 および Case2-5 では規格値破断荷重の 70%程度まで大きく低下している。また、破断伸びに関しても破断荷重の低下に対応して小さく示されており Case2-4 および Case2-5 では 1%以下となっている。

図－2および図－3の荷重－伸び関係より、両試験体は健全な状態では、ほぼ同様な力学的特性のワイヤロープであったことが推察されるが、劣化状況の違いによって試験結果に差が生じたものと考えられる。

図－4には、比較のため同一規格で現在使用されている新品ワイヤロープの荷重－伸び関係を示しているが、3体の試験結果にばらつきはほとんどなく、破断荷重は平均で 192.6kN、破断伸びは 7.15%である。

3.2 ロープ径および破断箇所

表－1には試験体の外観状態、ロープ径の測定結果、破断荷重および破断伸びの試験値、破断箇所等の試験結果一覧を示している。また、試験後の試験体状況の一例を写真－6～9に示す。

表－1より、ロープ径 D に着目すると、試験結果にばらつきが無くいずれも規格値破断荷重を上回った落石防護柵試験体の Case1-1～1-3 では、いずれも 20mm 弱の値となっている。一方、試験結果のばらつきが大きく大半が破断荷重の規格値を下回ったガードケーブル試験体の Case2-1～2-5 では、ロープ径 D は 21mm 前後の値を示していることが分かる。これは後者の試験体の方が素線に対する腐食生成物の付着量が多く、ロープ径の増加に反映されたものと推察される。このことは現地でワイヤロープ径を測定することが劣化度を判定するための一指標になりうる可能性を示唆するものである。

次に、表－1右欄の破断箇所に着目すると、落石防護柵試験体の Case1-1～1-3 では、新品試験体の破断箇所と同様に、試験体両端の亜鉛合金端末近傍で破断している。一方、ガードケーブル試験体の Case2-1～2-5 では、



写真-6 試験後の状況（落石防護柵 1-1）



写真-7 試験後の状況（落石防護柵 1-3）



写真-8 試験後の状況（ガードケーブル 2-4）



写真-9 試験後の状況（ガードケーブル 2-5）

Case2-1 を除き試験体中央部や端末よりやや離れた位置で破断していることが分かる。新品部材の引張試験では、載荷途中において素線の破断音は無く、試験終了時に大きな音とともにストランドが破断するが、ガードケーブル試験体では、載荷途中で素線の破断音が時々発生していた。これは錆が素線上に不均一に発生していたためと推察され、このような外観を有するワイヤロープでは破断荷重が低下する場合があります、劣化度を判定するための一指標になりうる可能性を示唆するものである。

4. まとめ

本研究では、落石防護柵等の合理的な維持管理手法の検討に資するためのデータ取得を目的に、廃道区間より採取したワイヤロープの静的引張試験を実施した。本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) ワイヤロープ素線上への不均一な錆の発生により破断荷重の規格値を大きく下回る場合があることが分かった。
- 2) 腐食による破断荷重の低下に対応して、破断伸びも著しく低下する場合がある。
- 3) 劣化度の判定指標として外観目視により錆の発生状況のほかにロープ径の測定も有効である可能性を示した。

今後はさらに劣化度の異なるワイヤロープの引張試験データの蓄積を行うとともに、金網等のその他構成部材に関しても同様の試験を実施し、落石防護柵等の合理的な維持管理手法確立のための検討を進めていきたいと考えている。

謝辞

本試験は、寒地土木研究所の公募共同研究「落石防護網・柵の性能評価および補修・補強技術に関する研究（H28.12～H32.3）」の検討課題の一部として実施したものである。試験に際しては東京製綱株式会社研究所（土浦工場内）の方々にご協力を賜りました。ここに付記し感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局：シェッド、大型カルバート等定期点検要領、2014.
- 2) 日本道路協会：落石対策便覧、2017.12