

腐食したワイヤロープの全磁束測定

Magnetic flux measurement of corroded wire rope

(国研) 土木研究所寒地土木研究所 ○正 員 山澤文雄 (Fumio Yamasawa)
 (国研) 土木研究所寒地土木研究所 正 員 中村拓郎 (Takuro Nakamura)
 (国研) 土木研究所寒地土木研究所 正 員 畠山乃 (Osamu Hatakeyama)

1. はじめに

落石防護施設の一つである従来型落石防護柵(写真-1)はワイヤロープ、H形鋼の支柱、金網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おり、今後維持管理が重要な課題となるものと想定される。今野らは、既設の落石防護柵から採取したワイヤロープを対象とした各種載荷試験を実施し、腐食したワイヤロープは破断荷重や破断伸びが低下する場合があることを報告している¹⁾。腐食によって健全な状態に比べて耐荷性能が低下することが確認されたことから、維持管理において現地の既設部材の劣化状況から期待される耐荷性能を保持しているかを適切に判断する判定手法が必要となる。

一方、全磁束測定は吊橋の主索や太径ケーブルの非破壊検査として維持管理に使用されている実績²⁾がある。全磁束測定とはワイヤロープの中を通る磁束を測定し、磁束と断面積の比例性からロープの磁性体部の断面積およびその変化を評価する方法³⁾である。図-1に測定機器の構成を図-2に全磁束測定の検出原理を示す。腐食によって発生した赤錆は非磁性体のため、断面欠損とみなすことができ、ワイヤロープの健全性を評価できるものである。また、ワイヤロープを強く磁化すると、ワイヤロープ内に磁束が流れ、磁化器中央部に配置した磁束検出器のサーチコイルに誘導起電力が生じる。この誘導起電力をフラックスメータにより時間積分して磁束を測定し、同時に磁界検出器に内蔵されたホール素子により磁界強さを求め、磁束と磁界強さを記録装置に記録するものである。

本研究では、落石防護施設の合理的な維持管理手法の提案に向けて、従来型落石防護柵の構成部材の一つであるワイヤロープに対して、全磁束測定による腐食程度の調査手法を検討するものである。具体的には、更新に伴い撤去された落石防護柵のワイヤロープおよび廃道区間のケーブル型防護柵のワイヤロープに関して全磁束測定と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。

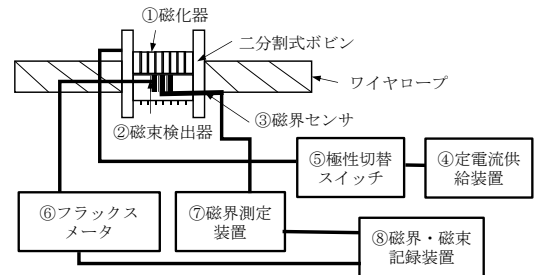
2. 試験概要

2.1 試験体概要

試験に使用した材料は、北海道内にある更新に伴い撤去された落石防護柵(写真-2)および廃道区間にあるケーブル型防護柵(写真-3)のワイヤロープ(3×7G/O φ18)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、施設が設置されてからの経



写真-1 従来型落石防護柵



- ①磁化器：ロープを磁化する装置
- ②磁束検出器：サーチコイルで磁束を測定するセンサ
- ③磁界センサ：ホール素子で磁界を測定するセンサ
- ④定電流供給装置：磁化器に0A～60Aの電流を供給する電源装置
- ⑤極性切替スイッチ：磁化方向を切り替えるスイッチ
- ⑥フラックスメータ：磁束検出器(②)のサーチコイルで発生した電圧から磁束量を測定する装置
- ⑦磁界測定装置：磁界センサ(③)のホール素子で発生した電圧から磁界強さを測定する装置
- ⑧磁界・磁束記録装置：磁界強さ、磁束量を記録する装置

図-1 測定機器の構成図

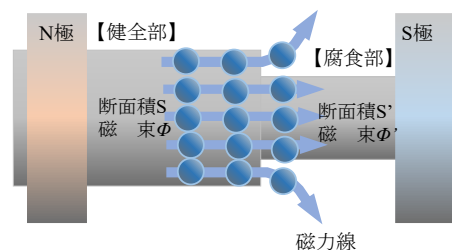


図-2 全磁束の検出原理



写真-2 撤去される前の落石防護柵の状況



写真-3 廃道区間のケーブル型防護柵の状況

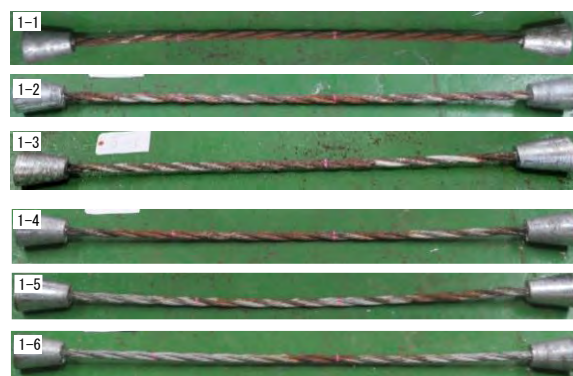
過年数は不明である。

全磁束測定に使用した試験体は、現地より採取したワイヤロープを2 mの長さに切断したものと比較用の新材である。試験体名は、落石防護柵のワイヤロープを試験体1、ケーブル型防護柵のワイヤロープを試験体2、新材を試験体3とした。

写真-4には静的引張試験用に加工した試験体の外観を示している。試験体は、全磁束測定した試験体の中心から所定の長さに切断し、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1 mとしている。試験体1のワイヤロープは、設置箇所により劣化状態が異なっていたため、目視により赤色の腐食生成物（以下、赤錆）の範囲が異なる6本を選定している。なお、赤錆以外の表面はメッキが白錆となっている状態である。試験体2のワイヤロープは、状態としては全面赤錆が発生し、ストランドの溝が腐食生成物で埋没しており、目視においてもかなり劣化が進行している状態であった。

2.2 試験方法

試験は、現地より採取した試験体（試験体1、2）と新材（試験体3）について、全磁束測定および静的引張試験を実施している。試験体数は、試験体1が6本、試



試験体 1-1～1-6



試験体 2-1～2-3



試験体 3

写真-4 静的引張試験用の試験体の外観



写真-5 全磁束測定状況



写真-6 静的引張試験の状況

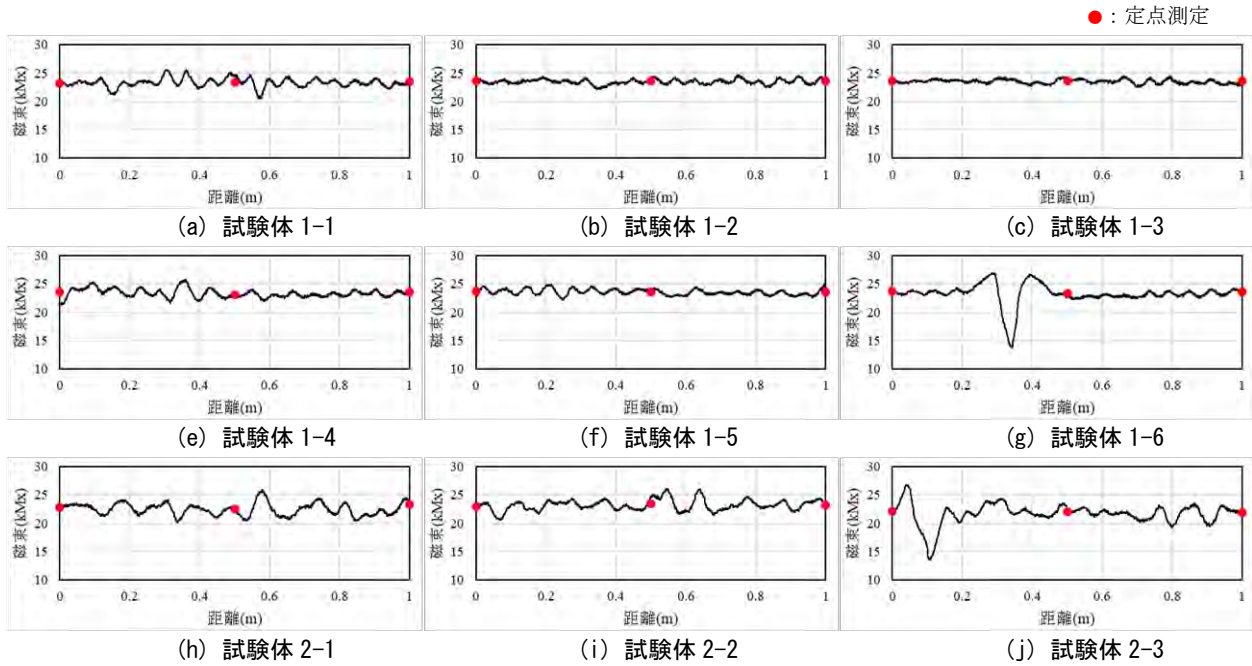


図-3 全磁束の連続測定および定点測定の結果

験体 2 は 3 本、新材は 1 本である。

全磁束の測定は、ソレノイド式全磁束法を用いて定点測定と連続測定を行った。写真-5 には全磁束測定の状態を示す。定点測定は、引張試験の端末間のワイヤロープ 1m の端末口元にあたる 2 箇所と中央部の 1 箇所、合計 3 箇所を測定している。連続測定はワイヤロープを一定速度で動かし全磁束を測定したものである。なお、全磁束においては末端部の測定が正確にできないため、静的引張試験の試験体よりも長い試験体 (2 m) を用いている。

静的引張試験は、製作した試験体を破断するまで徐々に引っ張り、破断に至る最大引張力を測定・記録した。写真-6 に静的引張試験の状態を示す。試験は、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ている。

3. 実験結果

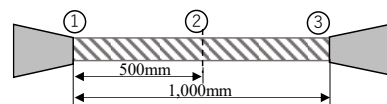
3.1 全磁束測定

図-3 には、全磁束測定の連続測定結果 (引張試験試験体 1 m 部分) および定点測定の結果を併せて赤丸で示している。なお、ここでの磁束は全磁束の測定結果から磁化曲線³⁾を解析し算出した値である。

今回の試験においては、測定位置によって磁束値が多少違いはあるものの、試験体 1 では定点測定の磁束値は約 23.1 ~ 23.7 kMx の範囲に、試験体 2 は約 21.9 ~ 23.4 kMx の範囲となっており、試験体 2 が試験体 1 に比べ小さな値となっている。また、連続測定と定点測定を実施した箇所では磁束値はほぼ類似した値となっている。連続測定の磁束を確認すると、目視においても劣化の著しい試験体 2 が磁束のバラつきが大きくなっていることが分かる。試験体 1 はほぼ類似した磁束の波形になっているが、試験体 1-6 については、1 箇所磁束値が大

表-1 定点測定箇所の磁束値および腐食率

試料名	測定①		測定②		測定③	
	磁束値 (kMx)	腐食率 (%)	磁束値 (kMx)	腐食率 (%)	磁束値 (kMx)	腐食率 (%)
1-1	23.25	-1.5%	23.32	-1.2%	23.46	-0.6%
1-2	23.66	0.2%	23.57	-0.1%	23.66	0.2%
1-3	23.56	-0.2%	23.58	-0.1%	23.55	-0.2%
1-4	23.58	-0.1%	23.07	-2.3%	23.67	0.3%
1-5	23.68	0.3%	23.62	0.1%	23.66	0.2%
1-6	23.69	0.4%	23.35	-1.1%	23.66	0.2%
2-1	22.76	-3.7%	22.59	-4.5%	23.03	-2.5%
2-2	22.94	-2.9%	23.42	-0.8%	23.17	-1.9%
2-3	22.21	-6.3%	22.09	-6.9%	21.86	-8.0%
3(基準)	23.60	新材 (試験体3) の定点測定の平均磁束値				

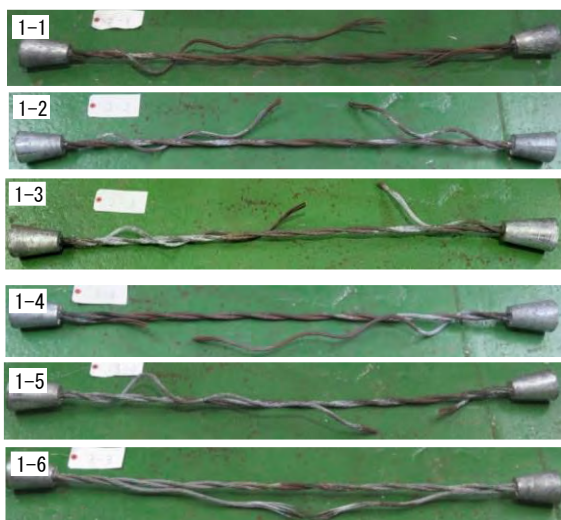


きく低下している箇所が見られる。写真-4 の試験体を確認すると他の箇所より一部腐食した箇所があるが、磁束が小さくなっている位置と一致しない。劣化部には反応しているものの連続測定によるずれが生じていると推察するが、詳細については今後調査したい。

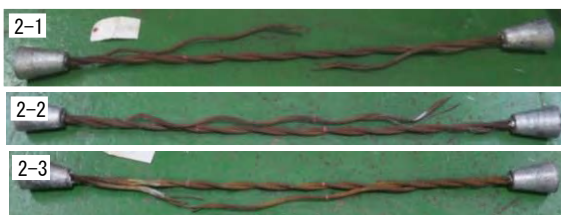
ワイヤロープの腐食程度を判断する場合には、健全ワイヤロープと比較しキャリブレーションを行う必要がある。ここでは、新材 (試験体 3) を健全な状態のワイヤロープの磁束とし、3 箇所の平均を評価値とした。表-1 には、健全部の測定磁束を基準値として各定点測定箇所の腐食率を示している。腐食率は試験体 1 では -2.3 ~ 0.4 % の範囲に、試験体 2 では -8.0 ~ -0.8 % の範囲となっている。また、試験体 1 の中でも赤錆の範囲が広い 1-1、1-4 が他よりも腐食率が高くなっている傾向

表-2 破断荷重および破断状況の一覧

試験体名	破断荷重 (kN)	破断箇所	破断位置近傍の定点測定腐食率 (%)	①から破断箇所までの距離 (cm)	破断状況
1-1	181.9		② -1.2	76	スタンド1本
1-2	192.3		② -0.1	60	スタンド1本
1-3	192.6		② -0.1	65	スタンド1本
1-4	190.4		① -0.1	22	スタンド1本
1-5	194.6		③ 0.2	78	スタンド1本
1-6	-		② -1.1	54	スタンド1本
2-1	151.1		② -4.5	56	スタンド1本
2-2	153.9		③ -1.9	90	スタンド1本
2-3	115.0		② -6.9	28	スタンド1本 +素線5本
3	207.8		-	88	スタンド2本



試験体 1-1~1-6



試験体 2-1~2-3



試験体 3

写真-7 静的引張試験後の破断状況

にある。本試験では、多少バラつきもあるものの、全磁束測定により腐食率という値で腐食の程度を評価できる可能性が示された。今後、現地測定が出来る測定機器等や既設のワイヤロープに対する測定方法が課題になると考えられる。

3.2 静的引張試験

表-2 には破断荷重と破断状況の一覧を、写真-7 には静的引張試験後の破断状況を示している。また、使用したφ18のワイヤロープの降伏張力および破断荷重の設計値は落石対策便覧⁴⁾を参考にすると、降伏張力 $T_y = 118$ kN、破断荷重 $T_b = 157$ kNである。試験体2においては、便覧に示される降伏張力および破断荷重に至る前に破断していることが分かる。また、試験体1の破断荷重は便覧の値を上回ってはいるが、新材よりも破断荷重が小さかった。なお、試験体1-6については、破断したものと試験を停止したが実際は破断には至っていなかったため、破断荷重として表には記載していない。全磁束と破断箇所との明確な相関性は見られないが、腐食率が高くなっているものは、概ね破断強度は小さくなる傾向にあることが分かった。

4. まとめ

本研究では、更新に伴い撤去された落石防護柵のワイヤロープおよび廃道区間のケーブル型防護柵のワイヤロープに対して全磁束測定と静的引張試験を実施した。その結果、落石防護柵のワイヤロープにおいて、全磁束測定による腐食率を用いることで、腐食の程度を評価できる可能性が示された。また、腐食率が高いワイヤロープは、破断強度が小さくなる傾向にあることが分かった。

本研究では、ワイヤロープの全磁束測定を室内にて行ったが、現地の落石防護柵について全磁束測定を行う際には、簡易的な測定が可能となるように、測定機器や測定方法等の検討が必要と考える。また、今回の試験に用いたワイヤロープは、現地2箇所から採取したものであったため、交換の目安を設定するためには、更に劣化程度の異なる試料による検討が必要であると考え。現地にて劣化状況を適切に判断するために、今後、調査手法等について引き続き検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 今野久志、葛西聡、橋口寛史、堀謙吾、松嶋秀士：腐食劣化した従来型落石防護柵構成部材の各種載荷試験結果について、第12回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集、2019.12
- 2) 金澤高宏、貴志友基、長尾幸雄：腐食したハンガーロープの架替えと精密調査による維持管理方法の一考察、土木学会第70回年次講演会、pp.601-602、2015.9
- 3) 東京製綱：ワイヤロープ No21、2018.10
- 4) 日本道路協会：落石対策便覧、2017.12