

技術ノート

腐食の生じたストランドロープの残存強度

Tension Strength of Corroded Strand Rope

野 村 国 勝*
Kunikatsu NOMURA町 田 文 孝**
Fumitaka MACHIDA寺 本 耕 一**
Koichi TERAMOTO

The use of non-destructive testing methods such as the main flux method has enabled the cross section of cables be qualitatively measured in recent years. The relationship between a decrease in the cross section of cables due to corrosion and their rupture load is not yet made clear, makes impossible to estimate the residual strength of cables. This paper presents the measurements of the cross section of cables corroded by electrolytic corrosion, and tensile tests performed simultaneously to examine the relationship between them. The result has revealed that the rate of reduction in the rupture load of strand ropes exceeds more than four times than in the rate of reduction of their cross section.

Keywords : cables, corrosion, tension strength, main flux method

1. まえがき

ストランドロープは、素線を2重により合わせて製造されるため、平行線ストランドなど他のロープに比べ引張強度および弾性係数が低いという欠点がある。しかし、他のロープに比べ柔軟性に富み、施工性が良いため、中小吊橋においてストランドロープを主ケーブルとして用いることが少なくない。

主ケーブルであるストランドロープに腐食が生じた場合、残存強度を推定することは、維持管理を行ううえで重要と考えられるが、通常行われている目視による方法では、残存強度を正確に推定することは困難といえる。

近年、径の小さいケーブルにおいては、全磁束法¹⁾などを用いることにより非破壊で定量的にケーブルの断面積を測定することが可能となってきたが、腐食による断面減少と切斷荷重の関係が明確でないため、ケーブルの残存強度を推定するには至っていない。特に、ストランドロープの場合、より合わせの影響を受けるため、平行線ストランドなどの他のロープに比べ、断面減少と切斷荷重の関係は複雑になり、残存強度の推定は困難といえる。

そこで、腐食の生じたストランドロープの断面減少と切斷荷重の関係を求めるため、強制アノード溶解法を用いて腐食を発生させたケーブルに対して、全磁束法を適

用して断面積の測定と引張試験を行うとともに、実際の強度低下に対応する等価断面減少率の算定を試みたのでここに報告する^{2), 3)}。

2. 試験体

試験体には、昭和30年代に架設された吊橋より採取したケーブルを用いた。試験体は、引張試験を行う際、つかみ間隔が径の40倍以上必要なことから、図-1に示す形状とした。試験体の断面図を図-2に、諸元を表-1に示す。

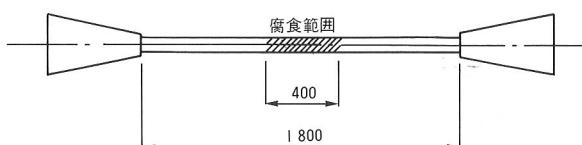


図-1 試験体の形状

表-1 試験体の諸元

| ロープ種類 | 径 | 断面積 | 切斷荷重 | ロープピッチ |
|-------------|-------|---------------------|---------|--------|
| 構造用ストランドロープ | 36 mm | 591 mm ² | 91.3 tf | 286 mm |

*川田工業株式会社技術本部長 **川田工業株式会社技術本部中央研究室

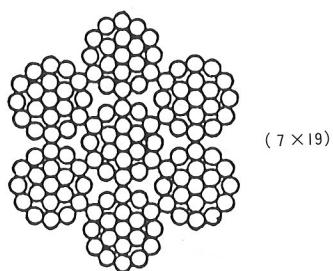


図-2 試験体の断面

3. 試験方法

本試験の流れを図-3に示す。

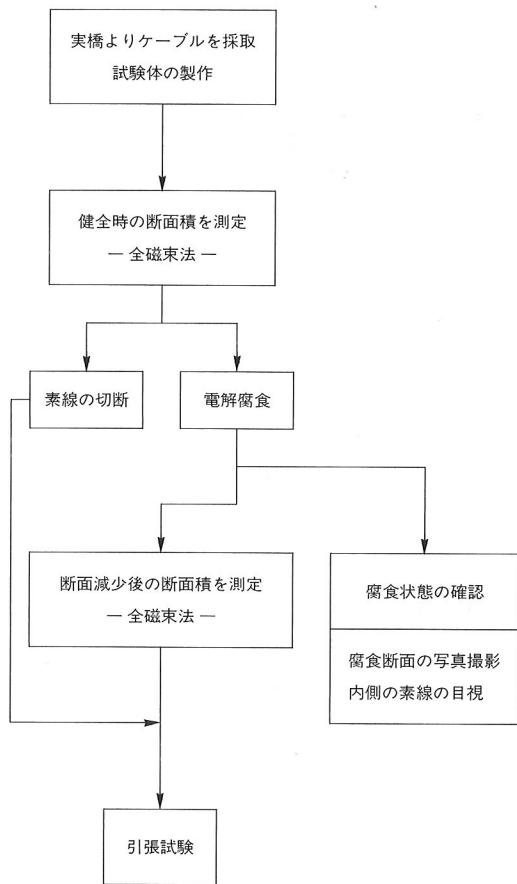


図-3 試験の流れ

(1) 腐食方法

ケーブルに腐食を発生させる方法として、図-4に示すように一定電流を流し、通電時間を変化させることによって断面減少率の異なる試験体を短時間で製作することが可能な強制アノード溶解法を採用した。腐食範囲は、ロープピッチ以上とするため400 mmとした。本方式では、電極間の距離が短い個所において、局部的な腐食が生じる傾向がみられたため、電極間の距離を等しくすることを目的として、写真-1に示すように銅の電極を円筒に加工して用い、長手方向および円周方向において均等に腐食が生じるようにした。また、電解腐食中に試験体より

生じる生成物が銅製の電極に堆積することを防ぐため、銅製の電極には網状のものを使用した。

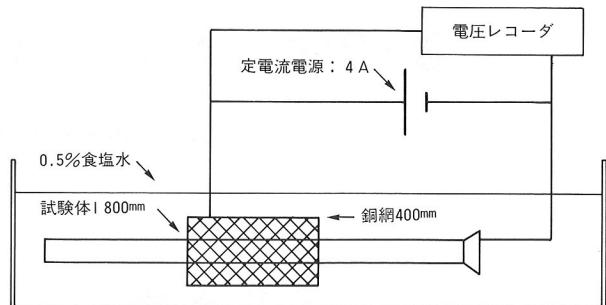


図-4 強制アノード溶解法



写真-1 銅製の電極の設置状況

(2) 素線の切断

腐食による断面減少のほか、比較のため最外層素線を切断することによって、断面の減少を生じさせる方法も行った。素線の切断はカッターを用いて行い、各ストランドに均等に素線の断線を生じさせた。

(3) 断面積の測定

断面積の計測は、全磁束法を用いて行った。全磁束法とは、磁性体を長手方向に磁化した時に、飽和磁束が断面積と比例関係にあるという原理に基づき、磁束量を測定することによって断面積の測定を行うものであり、簡単に非破壊で試験体の断面積の測定を行うことが可能である。図-5に全磁束法の測定ブロック図を示す。

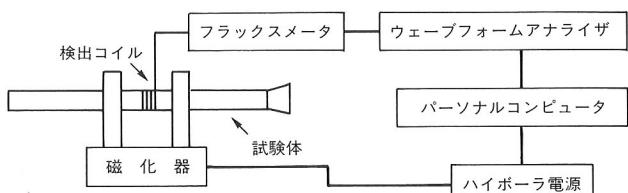


図-5 全磁束法の測定ブロック図

4. 試験結果

(1) 電解腐食

強制アノード溶解法によって試験体に発生させた腐食が、円周方向に対して均等に分布していること、および内部の腐食状況を確認するため試験体を切断し、腐食断面の写真撮影を行った。腐食断面状況を写真-2～4に示す。写真-2～4に示すように腐食程度の大小にかかわらず、円周方向に対して腐食は均等に生じている。また、内部の素線には腐食が生じておらず、最外層の外側に露出した素線のみに腐食が生じていることが確認できる。

電解腐食と自然腐食にどのような相違点があるかを調べるために、自然腐食の生じたケーブルの腐食状況（試験体を採取した実橋のケーブル）の確認を目視で行ったところ、電解腐食と同様に最外層の外側に露出した素線のみに腐食が生じていた。

一方、長手方向においても、図-6に示すように、銅製電極の設置位置では、腐食は均等に発生していることがわかる。

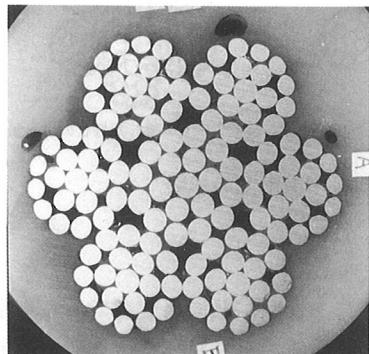


写真-2 腐食状況
(断面減少率4.0%)

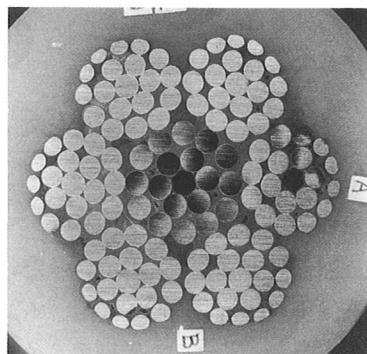


写真-3 腐食状況
(断面減少率9.7%)

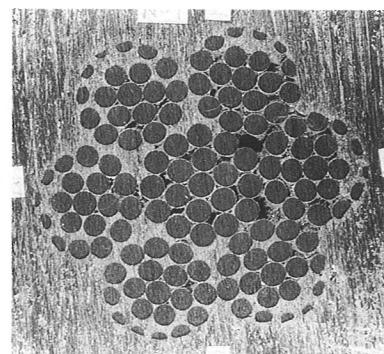


写真-4 腐食状況
(断面減少率13.3%)

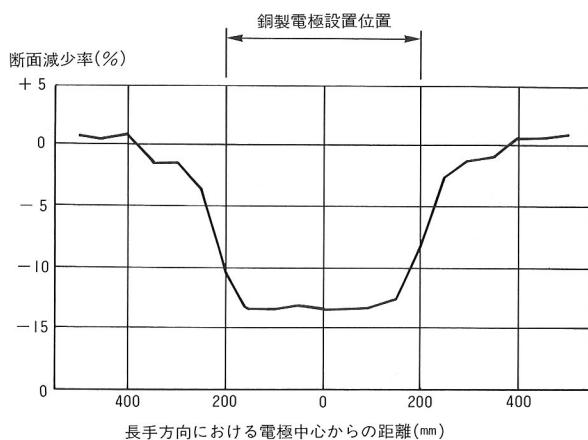


図-6 長手方向の断面減少率

(2) 断面減少と切断荷重の関係

測定結果を表-2に、断面減少率と切断荷重低下率の関係を図-7に示す。

素線の切断の場合、切断荷重低下率と断面減少率は、ほぼ等しくなっているのに対して、腐食による断面減少

表-2 測定結果

| 試験体No. | 断面積(全磁束法)(mm ²) | | 断面減少率 (%) | 切断荷重 (tf) | 切断荷重低下率 (%) | 切断荷重低下率 断面減少率 | 等価断面 減少率 (%) |
|--------|-----------------------------|------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|--------------------|
| | 腐食前 | 腐食後 | | | | | |
| 電解腐食 | Type-1 | 591 | — | 91.3 | 0 | — | — |
| | Type-2 | 590 | 576 | 2.4 | 81.6 | 10.6 | 4.4 |
| | Type-3 | 590 | 576 | 2.4 | 80.6 | 11.7 | 4.9 |
| | Type-4 | 588 | 570 | 3.0 | 76.6 | 16.1 | 5.4 |
| | Type-5 | 589 | 567 | 3.9 | 75.2 | 17.6 | 4.5 |
| | Type-6 | 587 | 562 | 4.3 | 71.1 | 22.2 | 5.2 |
| | Type-7 | 589 | 560 | 4.9 | 71.1 | 22.2 | 4.5 |
| | Type-8 | 587 | 538 | 8.3 | 62.0 | 32.1 | 3.9 |
| | Type-9 | 587 | 538 | 8.3 | 54.8 | 40.0 | 4.8 |
| | Type-10 | 589 | 515 | 12.6 | 48.0 | 47.4 | 3.8 |
| 素線切の断 | Type-11 | 589 | 508 | 13.8 | 46.8 | 48.7 | 3.5 |
| | Type-12 | あらかじめ6本切断 | | 4.5 ^{a)} | 86.8 | 4.9 | 1.1 |
| | Type-13 | あらかじめ18本切断 | | 13.5 ^{a)} | 78.8 | 13.6 | 1.0 |

注) 素線の切断を生じさせた試験体の断面減少率は、素線の総数と素線の切断本数から計算によって求めた値である。

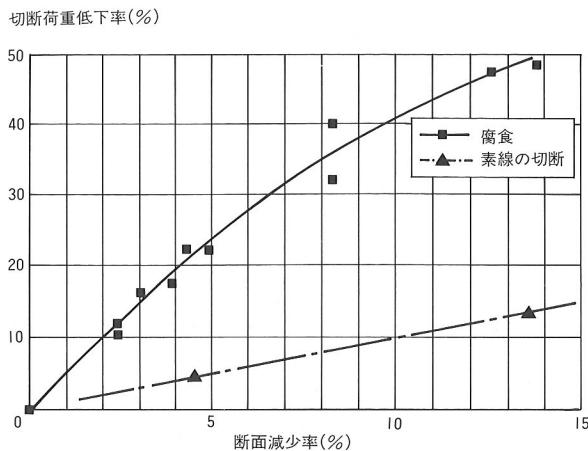


図-7 断面減少率と切断荷重低下率の関係

の場合、切断荷重低下率は断面減少率を上回り、表-2、図-7に示すように10%程度までの腐食では、切断荷重低下率は断面減少率の4~5倍程度となった。この理由としては、より合わせの影響が挙げられる。すなわち、図-8に示すように、a-a断面で外側に位置する素線が、b-b断面では、より合わせの影響で内側に位置するという現象が生じる。よって、ケーブルの1断面のみに着目した場合、腐食は外側ストランドの外側に露出した素線のみに生じているが、長手方向に着目した場合、外側ストランドの最外層素線の全周にわたって腐食が生じていると考えられる。確認のため腐食断面の写真を用いて、外側ストランドのすべての最外層素線が最も腐食の激しい素線と同程度に腐食していると仮定して等価断面減少率を求めたところ、表-2に示すように等価断面減少率は切断荷重低下率とほぼ一致した。

5. 考察

本試験で用いた構造用ストランドロープ(7×19)において、腐食が長手方向および円周方向に対して均等に生じ、断面減少率が10%程度であれば、切断荷重低下率は断面減少率の4~5倍程度という試験結果が得られた。よって、ケーブルに生じた腐食が、外見上では軽微な腐食の場合でも、予想以上の強度低下が生じていることも考えられるため、ケーブルの腐食に対する維持管理には注意が必要である。特に、中小吊橋では、主部材にストランドロープを使用したものが多くみられるため、注意が必要である。

一方、ケーブルの残存断面積より残存強度を推定するためには、腐食による断面減少と切断荷重の関係が、腐食の形態やロープの構成等によって異なることが予測されるため、腐食の形態やロープの構成等の異なる試験体についても同様の試験を行う必要があると考えられる。

今後は、構造の異なるケーブルに対しても同様の試験を行い、ケーブルの維持管理のためのデータの蓄積を行

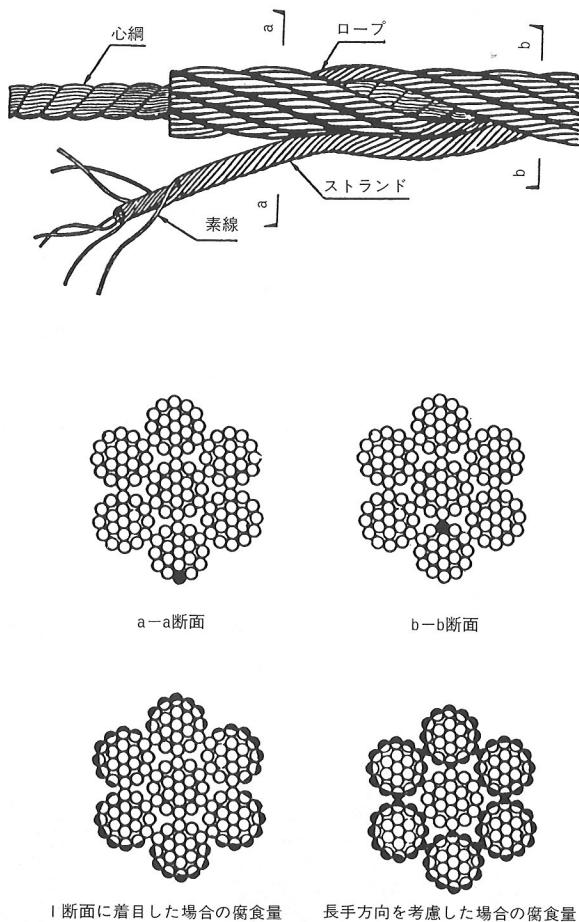


図-8 より合わせの影響

っていきたい。

なお、本試験を行うにあたり、共同研究者である東京製鋼テクノス㈱・藤村幸男氏、東京製鋼㈱研究所・山木和久氏、柳屋博文氏から貴重なご助言を頂いた。ここに記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 守谷、藤村、塚田：ワイヤーロープの断面積測定、非破壊検査(平成2年度春季大会講演概要)，第39巻，第2号，1990.
- 2) 寺本、前田、町田、藤村、山木、柳屋：ケーブルの腐食と切断荷重に関する基礎実験、土木学会第46回年次学術講演会，1991.
- 3) 寺本、前田、町田、藤村、山木、柳屋：全磁束法を用いたケーブルの残存強度の推定に関する基礎実験、土木学会第47回年次学術講演会，1992.