〔研究ノート〕

ワイヤロープ破断時に最初に破断する素線の斜め破断

中　山　周　一*

*日本文理大学工学部航空宇宙工学科

Inclined Fracture of Wire in Wire Rope

Shuichi NAKAYAMA*

*Department of Aerospace Engineering, School of Engineering, Nippon Bunri University

１．はじめに

2024年度に採択にされた科研費「ワイヤロープ破断の起点となる斜め波面を伴う延性破壊のメカニズム解明」（以下，本科研）は2023年（年度は2022年度）日本機械学会九州支部第76期総会講演会での学会発表[1]（以下，学会発表）をベースとしている。学会発表の予稿集では「ワイヤロープ供試体を引張強度に近い荷重を負荷するがロープ破断前に除荷するという試験を行った。試験後供試体ロープを分解したところ素線１本の破断が確認された」（以下，引用部）とした上で，その破断面が素線を引張破断させた場合の一般的なカップ＆コーン破断とは異なる斜め破断であることを示している。

この学会発表の成果はワイヤロープの引張強度はロープを構成する素線の引張強度の総和に比べて小さくなる「より効率[2]」のメカニズムを明らかにする起点になりえる。ロープ破断の起点となる素線破断は，素線の引張強度を決めている素線破断，すなわちカップ＆コーン破断と異なるのだから，より効率が100％にならないのは当然といえ，本科研はより効率のメカニズム解明を目指している。より効率のメカニズムを明らかにした研究事例はなく，学会発表の連名となっている神鋼鋼線も同じ見解であった。

学会発表の時点で，斜め破面の生成理由について次のような仮説の蓋然性を確認している。ワイヤロープが引っ張られる際にロープの内部では素線同士の接触により圧縮荷重が作用する。ロープ全体が引っ張られていることによる素線に対する引張荷重に前述の圧縮荷重が重畳されると斜め破面が形成される。

本科研の準備状況として引用部の成果が重要となるところ，引用部の実験ではロープ端部処理にワイヤクリップを使っていた。ワイヤクリップはロープに圧縮を作用させるので，前述の斜め破面生成の想定メカニズムと同様な作用を持つことが懸念される。実際に，ワイヤクリップを使ったロープの引張試験を対象とした2022～2023の卒業研究では，ワイヤクリップ部からのロープ破断が多発している。2023年はクリップの締め付けトルクを調整することでロープの端部破断を回避できる条件を探求したが良い結果を得ることができなかった。

以上の経緯から，当然の疑問として，引用部の実験で見つかった素線破断は端部処理の影響を受けていた可能性が浮かび上がる。学会発表では引用部実験の詳細について説明しておらず引用部の説明に留まっている。本研究ノートでは，学会発表では明らかにされていなかった引用部の実験結果の詳細，特に端部の影響を受けていたか否かを明らかにする。

２．実験結果

図１にロープ構成の断面図を示すMIL−W－83140に基づく直径3/6インチ（4.8mm）のワイヤロープを使用

した。

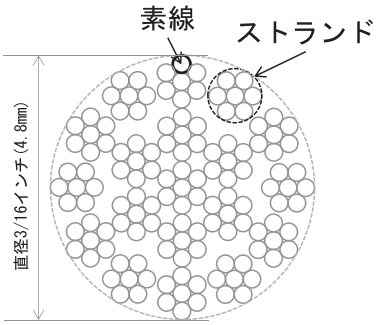


図１　供試ワイヤロープ

ワイヤクリップ（スリーエッチ製）２個による端止めしたワイヤロープに金属の丸棒を通し，万能試験機のチャックで固定する方法で引張試験を行った。

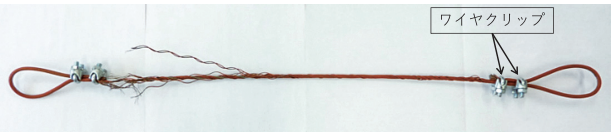


図２　ロープ供試体（破断後）

図２に示されるように予備試験としてロープを破断させ，その時の荷重目安（万能試験機には荷重計測値のアナログ出力等は無いため，計器表示の目視による）を得た。同時に，ロープ破断に至る過程で素線破断によるものと思われるピン音が数回聞こえることを確認した。

次に本番試験として，同じ方法で作成したロープ供試体を引っ張る際に荷重計の表示値を見つつ，ピン音が発生したところで試験を中断させた。この供試体について，図３に示すようにクリップ部のマーカを施し，マーカ部でワイヤカッタにより切断した。切り出したワイヤロープをストランド単位に分解し，素線切れを探したところ素線破断を見つけた状況を図４に示す。図４から分るようにストランドのらせんピッチは約30mm であり，図４よりも広範囲が映っている図５から，素線破断か所は少なくともクリップ部から50mm 以上の離れていることがわかる。

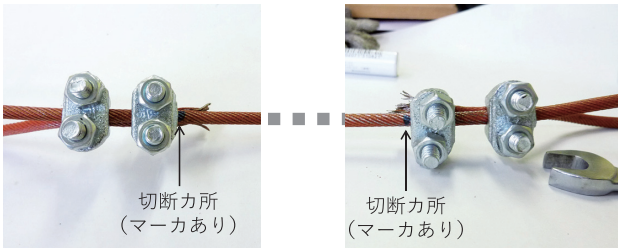


図３　切断個所

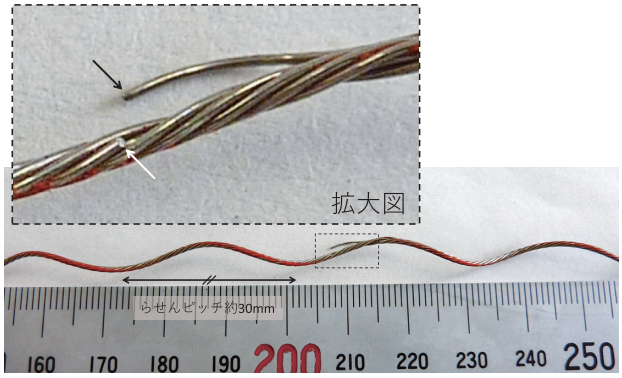
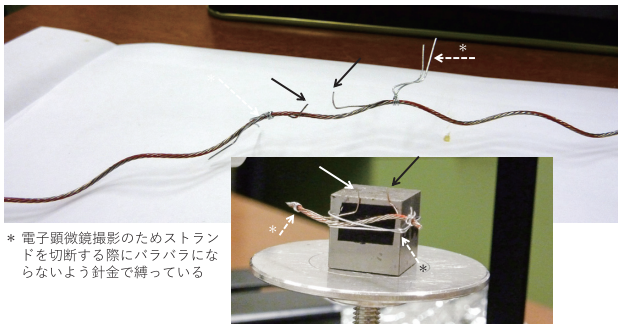


図４　素線破断部位

以上から，引用部の実験で得られた素線破断か所はクリップ部の影響を受けていないと考えられる。



＊ 電子顕微鏡撮影のためストランドを切断する際にバラバラにならないよう針金で縛っている

図５　素線破断部位（その２）

図５は電子顕微鏡撮影のため，破断素線を引っ張り出し，ストランドを切断した状況である。図６～８に示すように電子顕微鏡観察の結果，引用部の実験で得られた破断面は，カップ＆コーン破面とは異なるが，ディンプルが認められる延性破壊であった。

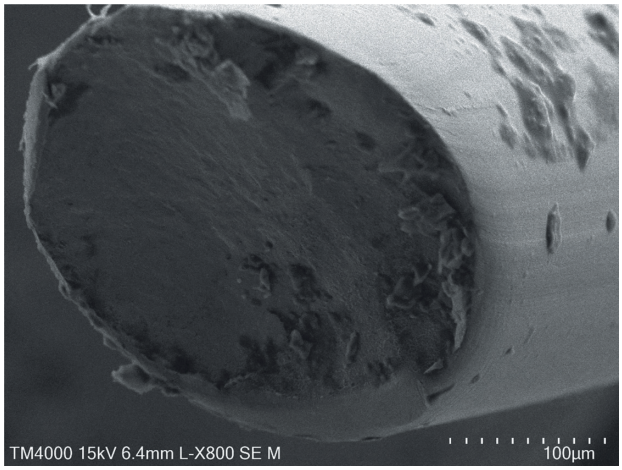


図６　電子顕微鏡観察（その１）

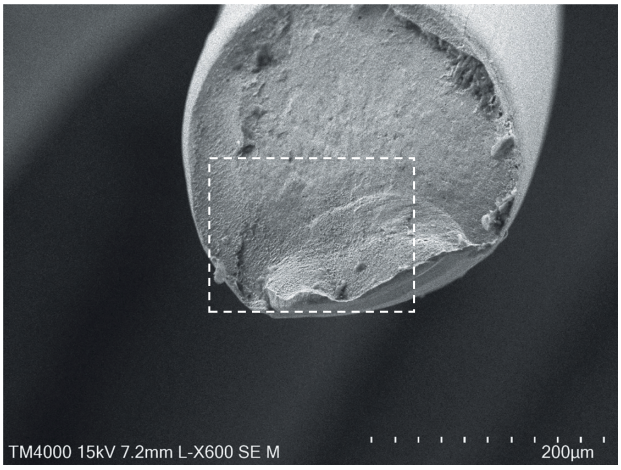


図７　電子顕微鏡観察（その２）

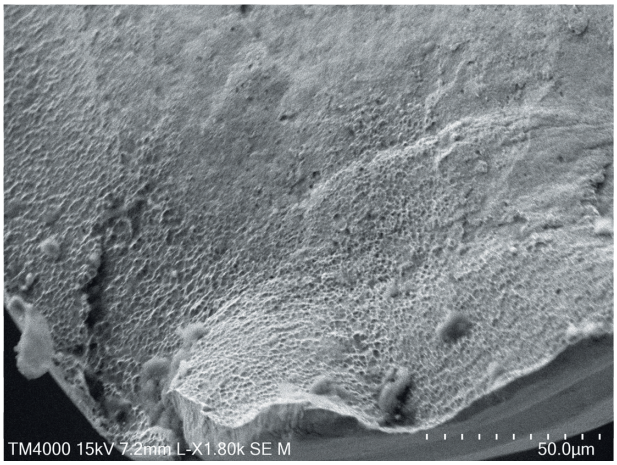


図８　電子顕微鏡観察（その３）

３．終わりに

2022～2023卒業研究では，本実験と同じ実験を何回も取り組んだが成功例はゼロであった。素線破断が見つかるがクリップ部であったり，逆にクリップの締め付けを緩くするとクリップが滑って素線破断を得られなかった等である。これらの失敗実績を踏まえれば，本実験は運に恵まれていただけなのだろうか。

JIS 等では，固定端一カ所当たり４個以上のクリップを使うよう指示されているが，図２や図３にあるように引用部の実験ではクリップ２個しか使っていない。実際にクリップ数を増やして試みた学生も居た。ただし，力学的に考えるとクリップの数に比例して締結力が増えることはありえず，不静定問題として捉えると実質的に効いているクリップは１個かもしれない。エジソンの言葉に代表されるように，うまく行かない（と思われる）状況においても諦めないことが研究やエンジニアリングにおいて不可欠であることに間違いない。ただし諦めないといっても単に同じことを繰り返すのではなく，考え抜くことが前提だろう。果たして学生はどうであったろうか。

一方，確率論に頼るような実験方法が良いとはいえない。本科研では，ロープ固定端の影響を排すことができる固定治具を開発し，ロープ引張実験を進めている[3]ことを補足しておく。

参考文献

（１）中山周一，伊賀本響，羽木克昌，ワイヤロープの延性破壊，日本機械学会九州支部第76期総会講演会　2023年，D16
（２）ワイヤロープハンドブック編集委員会編，ワイヤロープハンドブック，日刊工業新聞社，1995/３/１
（３）石渡萌乃佳，中山周一，ワイヤロープ引張試験治具の開発，日本文理大学紀要第53巻第１号(2025)

（2024年11月11日受理）