

〔事例報告〕

ワイヤロープ引張試験治具の開発

石渡 萌乃佳*, 中山 周一*

*日本文理大学工学部航空宇宙工学科

Development of Wire Rope Grip for Tension Testing

Honoka ISHIWATARI*, 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「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）で実施するワイヤロープ引張実験のために開発したワイヤロープ固定治具について報告する。

ロープを構成する素線（ワイヤロープを構成する鋼線の最小単位、通常、100本程度の素線からロープは構成される）の引張強度の総和に比べロープの引張強度が小さくなることは「より効率⁽¹⁾」として知られているが、その理由は明らかにされていない。これまでに本学では引張によるロープ破断の過程で最初の素線が破断した状態で試験を止めることに成功し、その素線破断面はロープが破断する際に多く認められるカップ&コーン破断とは異なっていることを学会発表している⁽²⁾。斜め破面はロープが引張荷重を受ける際、ロープ内部での素線同士の接触による圧縮が重畳されることで斜め破面が形成されたと考えられた⁽²⁾。この学会発表成果をベースとした本科研では、引張試験時の高精度荷重計測により素線破断を捉えることを計画しており、本治具が必要となる。

ワイヤロープ・ハンドブックによるとワイヤロープの端部処理は、合金止め（鋳込み）、圧縮止め（スリーブ）、アイスプライス（編み込み）、クリップ止め、くさび止め、樹脂止め、ワイヤグリップがあり⁽¹⁾、東京大学によるストランド引張試験では合金止め⁽³⁾、東京都立

産業技術研究センターの試験事例ではスリーブを用いた圧縮止め⁽³⁾が使われている。同書は、合金止めについて「標準通りの作業を行えば100%の締結効率を示し」とする一方、圧縮止めについては「締結効率が高く」としており⁽¹⁾、圧縮止めではワイヤロープの引張強度を若干下回る強度となる模様である。本学では前述の学会発表も含め、コストの観点を鑑み安価なワイヤクリップを使ってきたが、ワイヤクリップはロープに対して圧縮を与えるため、ロープの破断が固定端部を起点とすることが多いという問題がこれまでに判っている。締結効率100%の合金止めだが専門業者に依頼する必要がある利便性は劣る。対し、ワイヤクリップの締結効率は劣るが、自分たちで端止め加工が可能であり利便性は高い。

以上を踏まえ、科研でのロープ引張試験のための治具を以下の4つを目標に開発を行った。

- 要求①：治具間でロープを破断させること（治具部でロープが破断しないこと）
- 要求②：荷重計測値から素線切れを検知できること（治具にガタやすべりが無いこと）
- 要求③：ワイヤクリップと同等の利便性を有すること（自分たちでロープ交換が可能なこと）
- 要求④：安価であること（目標10万円未満）

2. 設計・製造

固定端のロープに圧縮を与えずにロープを固定する方法として円柱状の物体に巻き付ける方法が考えられる。

関連する事項に「捨て巻き」がある。捨て巻きとは、引張荷重が作用するワイヤロープをドラムに固定する際に必ず3巻き程度の捨て巻きを残して運用することを指す。ロープに加わった引張荷重は、捨て巻き部のワイヤロープとドラム間の摩擦力により減じられ、ドラムへのロープ固定部にはワイヤロープ引張荷重より小さな荷重しか作用しないようになる。2021年度卒業生の清水は、捨て巻きの理論を導出の上、同理論が正しいことを実験により検証した⁽⁴⁾。この成果によると円筒とロープの接触面の摩擦係数が0.1程度の場合、端部の引張荷重は巻き付け2周で約30%、3周では約15%まで低減することが期待される⁽⁴⁾。ある程度引張荷重が小さくなれば、クリップのようなもので圧縮を加えてロープを固定しても破断に影響を与えることはなくなると期待され、かつ、必要な圧縮も小さくなる筈である。以上から、ロープを円柱状の物体に巻き付けて固定する方式を採用した。

図1に示すような円筒をL型アンゲル材で挟んだ上で円筒にロープを巻き付け、L型アンゲル材を上下方向に貫通するボルトを試験機のチャックで挟む構想とした。チャックに挟むボルトとL型アンゲル固定部にモーメントが作用しないよう、ボルトの延長線が円筒に接する位置にボルトを置いた。円筒の位置決めは、L型アンゲル材にボルト固定された円盤を円筒に内接させることで実現する。円筒の廻り止めとしてキー等が考えられるが、要求②実現のため治具内にガタ要素を持ち込み

たくなので両アンゲルをボルトで締め上げ円筒との間の接触力を大きくし摩擦力で廻り止めとする。

円筒の直径は直径が大きいほうがワイヤロープの引張強度が小さくなる⁽⁵⁾という観点から大きい方がよいが、要求④からL型アンゲルは既製品を使いたい。入手可能な最大巾のL型アンゲルは100mmであった。円筒の断面全周をL型アンゲルに接触させようとする、円筒の直径がおおよそ80mm以下に制限されるため、L型アンゲルと円筒の接触は全周ではなく半周より大きい程度とし、円筒に内接させる円盤も、切り落とした形として円筒外径を約90mmとした。

以下、円筒、L型アンゲル材、ボルトの順番に各部件の説明する。円筒は、MISUMIのS45C相当 シームレスパイプ（外径89.1mm、内径69.1mm、長さ50mm）を使用し、外径はそのまま使うが内径は仕上げ加工を行うこととした。円盤と円筒の内接面にガタがあると要求②に対して悪影響を与える恐れがあるため、この接触面のはめ合い精度を高くする。円盤はMISUMIで穴あけ位置、円盤から切り落とす箇所を指定した加工を行った上で、円筒の内径は現物合わせで仕上げ加工を行うこととした。

L型アンゲル材は、既製品で入手可能なものから、横山テクノの幅100mm×高さ100mm×厚さ10mmの長さ140mm（S S400）を使用した。円筒を両端から押さえつけられるように円筒の直径よりL型アンゲル材の長さを140mmとした。高さは、ワイヤロープが巻きつけやすいように円筒以外の部品との隙間を確保する寸法になっている。L型アンゲル材の幅100mmだが、円筒の長さが50mmと短いので必要十分な幅にまで切り落としている。ボルトの穴をボール盤加工で行った。

引張試験機側のチャックと結合する丸棒には、M16×130mmで強度区分8.8、ネジ長さ44mmのボルトとS45Cのナットを使用している。ボルト頭近くまでネジを切った上でボルト頭を使ってL型アンゲル材2枚をナットで固定するか、ねじ切りされてる側をL型アンゲル材側に持っていく、ナット2つでL型アンゲル材の固定する方法の2通りが考えられるが、後者を採用した。このためボルト頭を旋盤加工で落とした。

円盤をL型アンゲル材に固定するボルトは、M12×20、強度区分8.8のボルトを円盤1枚につき2個使用した。強度区分8.8を使用したのは、引張試験機でかけられる荷重に耐えるためである。

円筒とL型アンゲル材の圧縮を高めるためにL型アンゲル材を押さえつけるボルトは当初、M6×70のボルトにして角4か所にとっていたが、試作段階で学内の万

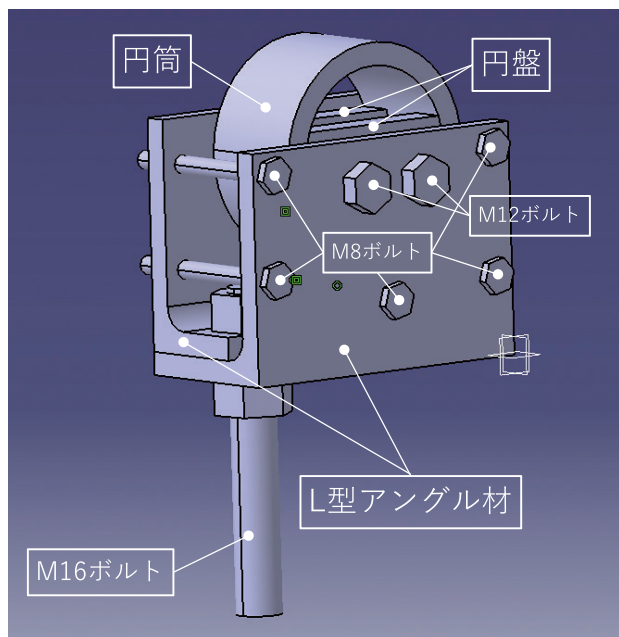


図1 ワイヤロープ固定治具

能試験機で引っ張った予備確認の段階でロープ引張荷重により円筒が回転した。円筒とL型アングルとの間の摩擦力を高める必要があると考え、M6をM8にサイズアップの上、本数も1本追加して5本とした。M6ボルトと異なり、M8ボルトでは締め上げる力によりアングルが面外変形してしまう場合があるので、トルクレンチを使用して締め上げている。

上記、設計及び製造の結果、ワイヤクリップと同様なボルト締めにより固定可能であるので、要求③を満足している。コストを表1にまとめる。製作費は約5万円であり、要求④を満足している。

表1 製作費（単位：円）

	数量	単価	合計	
円筒	2	4,283	8,566	既製品
L型アングル	4	1,340	5,360	既製品
円盤	4	7,610	30,440	特注品
ボルト(M20)	2	509	1018	既製品
ボルト(M8)	二式(6)	409	818	既製品
ボルト(M12)	二式(8)	409	818	既製品
ナット(M20)	一式(10)	609	609	既製品
ナット(M8)	一式(13)	429	429	既製品
合計(税抜)			48,058	

3. 結果

要求③の素線切れを検知するためには引張荷重を高精度で計測する必要があるが、本学所有の万能試験機ではできない。科研での引張試験は大分県産業科学技術センター（以下、センター）が所有する精密万能試験機（島津 AG-250kNXplus）を利用する。ただし、センターでの試験の前に本学が所有する万能試験機（株式会社東京衡機製造所の50TON 万能材料試験機）で事前確認を行った。

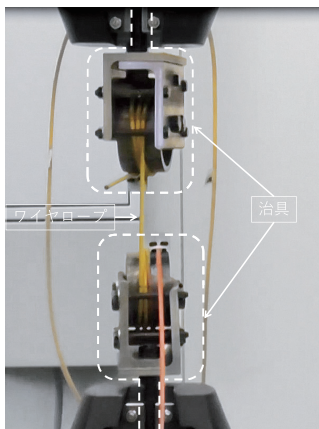


図2 引張試験の様子

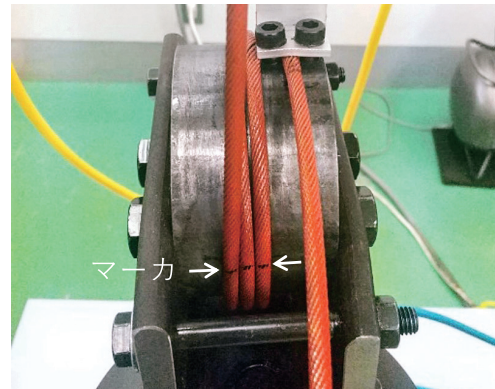


図3 試験治具の拡大図

事前確認でロープを引張破断させた結果、図7に示すように破断か所は治具間となった。巻き付け固定時に円筒を離れる場所にマーカを施しており、同マーカ位置から引張試験時の位置を特定している（実際には、引張によりさらにマーカ位置は広がっている）。

事前確認後、センターでの本番試験を実施した。図4上図は、ワイヤロープを引張試験して荷重が一時的に減少した時に試験を中止した時のグラフであり、図4下図は、図4上図の荷重が下がり素線破断が起こったと思われる場所を見やすいように拡大したグラフである。このグラフを見ると13500N～13600Nの間で荷重が一時的に減少している。素線1本が破断した可能性があると判断し、ここで引張試験を終了した。

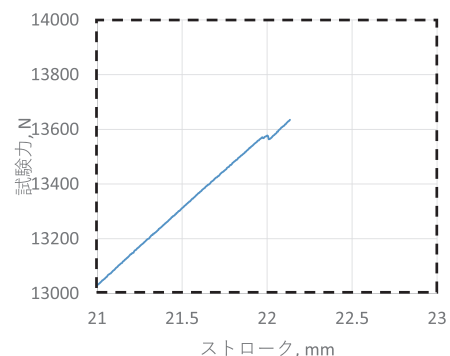
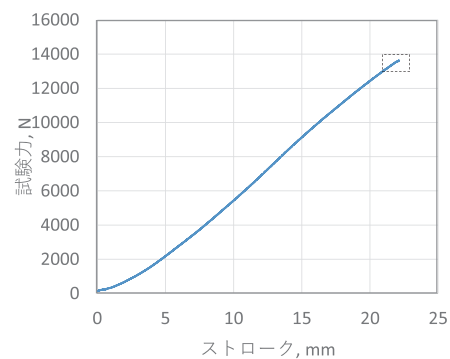


図4 ワイヤロープの引張試験の荷重変位グラフ

この供試ロープを X 線 CT に掛けたところ、治具間の部位で素線破断 1 か所が確認された (図 5)。治具間のロープは約 50cm あり、X 線 CT は一回当たり 4 cm しか取れないので治具間のロープをすべて見るには約 13 回の計測が必要となる。素線破断箇所は 3 / 13 回目で見つかったので素線破断箇所は治具の間にある。図 5 の四角で表されるところを拡大し並べたものを図 6 に示す。

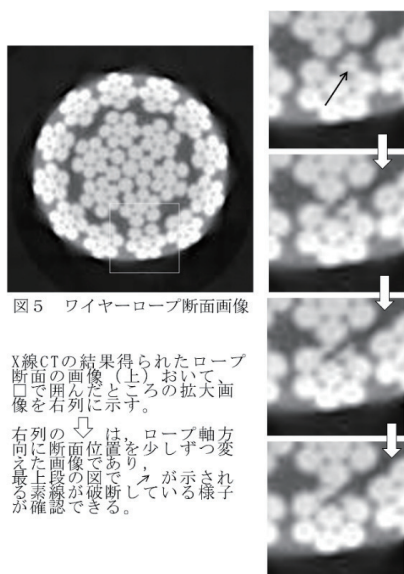


図 5 ワイヤロープ断面画像

X線CTの結果得られたロープ断面の画像(上)において、四角の箇所を拡大画像を右列に示す。
右列の断面画像は、ロープ軸方向を向いて撮影したもので、素線破断箇所が確認できる。

図 6 素線破断箇所一覧

以上、要求②と③を満足していることが確認された。

参考文献

- (1) ワイヤロープハンドブック編集委員会編 1995 「ワイヤロープハンドブック」日刊工業新聞社
- (2) 中山周一, 伊賀本響, 羽木克昌 2023「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, D16
- (3) 東京都立産業技術研究センター <http://WWW.iritokyo.jp/uploaded/attachment/13660.pdf> (参照日 2024年11月11日)
- (4) 清水健太, 中山周一 2023「ウィンチドラムの捨て巻きの検証」日本文理大学紀要 51巻 1号
- (5) R. Budynas and K. Nisbett, Shigley's Mechanical Engineering Design 10th Edition (2014)

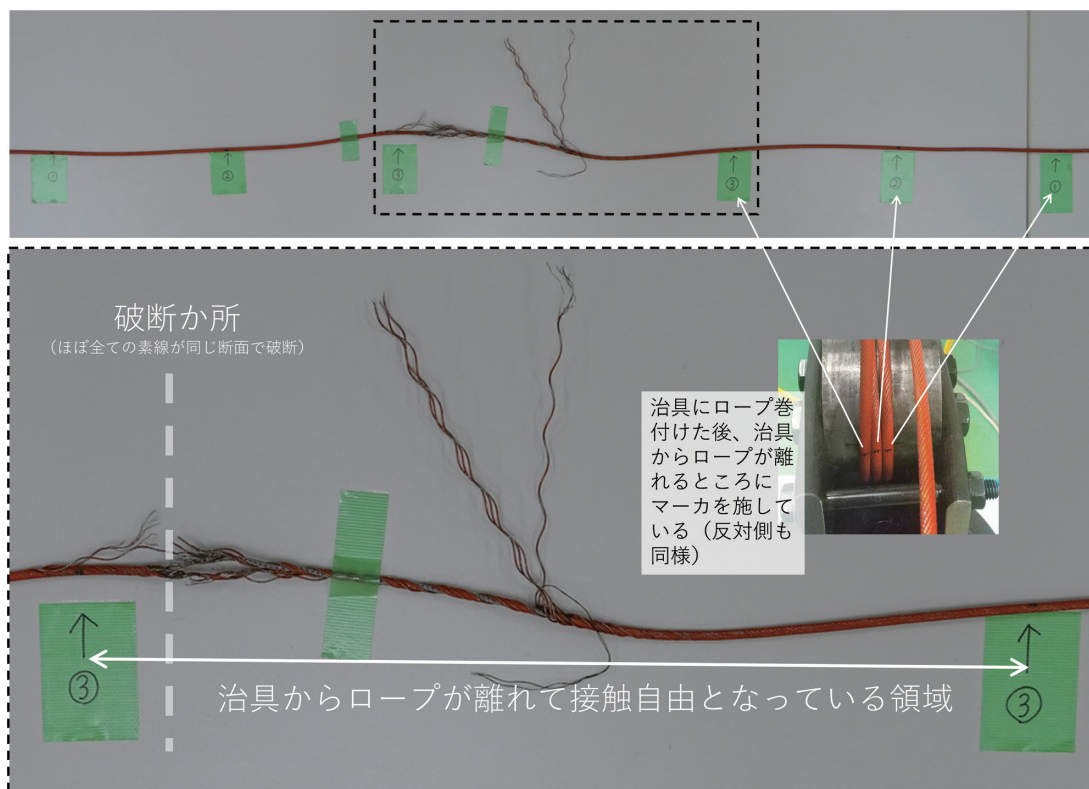


図 7 ワイヤロープ破断箇所拡大写真

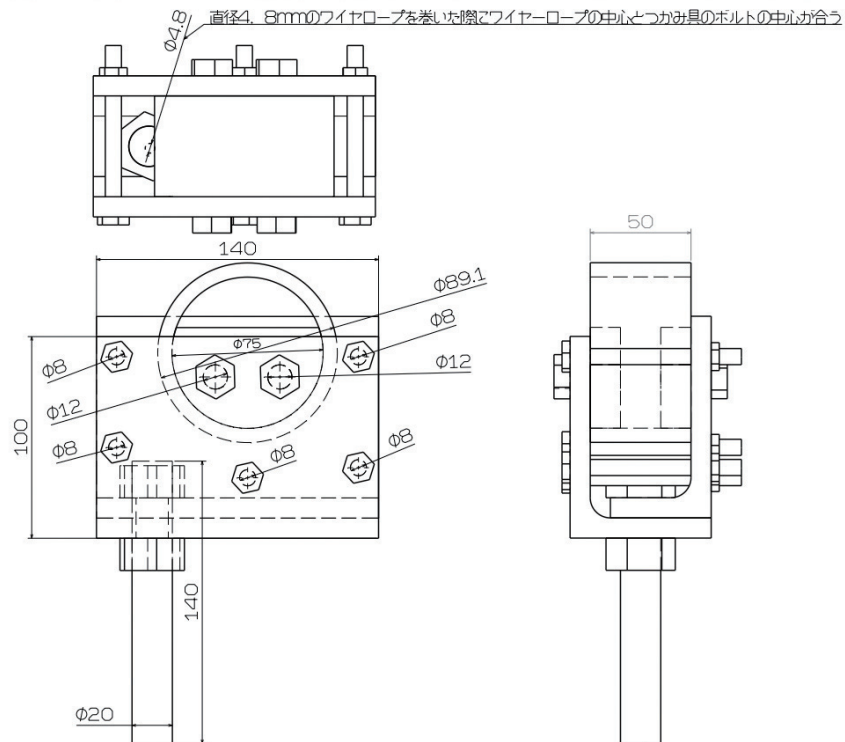


図8 実験治具 三面図
(※ワイヤロープ端止め部品は図3を参照。本図には記載されていない)

(2024年11月11日受理)

