

# 緩み止め性能を向上させた電車線金具の開発

技術開発部 電力技術チーム 電力技術グループ 主任研究員 神矢 昌樹  
 技術開発部 電力技術チーム 電力技術グループ グループリーダー 寺田 泰隆  
 技術開発部 電力技術チーム チームマネージャー 浦中 勉

## 1 はじめに

電気鉄道では、トロリ線からパンタグラフを介して列車に電力を供給しています。列車に安定した電気を供給するためには、トロリ線を一定の高さに保持する必要があります。電車線金具はその重要な役割を担っています。東海道新幹線では、電車線金具の健全性を維持するため、工具を使用した打点検により、締結ボルトが緩んでいないかを確認しています。また、目視により金具本体が損傷していないか等の検査を定期的を実施しています。この検査は全ての金具に対して、作業員が保守用車などを使用して至近距離から行う必要があるため、列車が走行しない夜間の限られた時間帯に実施しています。また、電車線金具は東海道新幹線全線で 40 万個以上使用しており、検査に多大な人員と時間を要しています(写真 1)。

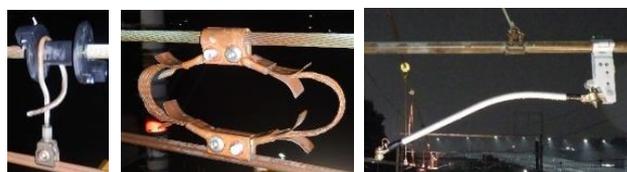


写真 1 保守用車を使用した金具検査の様子

そこで技術開発部では、将来の労働力不足を見据えた検査の省力化を目的として、株式会社 NejiLaw が開発した機械構造的に緩まない機能を有する L/R ネジと呼ばれるボルトを電車線金具に応用することで、緩み止め性能を向上させた新しい電車線金具の開発に取り組んできました。本稿では、今回開発した電車線金具がどのような原理で緩み止め性能を向上させているのかについて、現行の電車線金具との構造の違いを比較しながら紹介します。

## 2 現行の電車線金具の構造と保守検査

電車線金具は、写真 2 に示すように、前述の列車のパンタグラフと接触するトロリ線の高さを一定に保つ機能の他、電氣的に接続する役割を持っています。



左からハンガイヤー、O型コネクタ、曲線引金具

写真 2 東海道新幹線の電車線金具の例

本稿ではハンガイヤーを例に紹介します。ハンガイヤーはトロリ線を把持する部分（これをイヤー部と呼びます）の締結方法の違いにより、くさび式、レバー式、ボルト式に分類され、現在の東海道新幹線ではボルト式を採用しています。ボルト式のハンガイヤーはその構造上、列車通過時の電車線振動により緩みが生じることで金具外れが発生するリスクが少なからず存在します。そのため、東海道新幹線においては締結ボルトを決められたトルクで締め付けた上、イダリングと呼ばれる緩み止めナットを使用することで金具が外れないようにしています(図 1)。

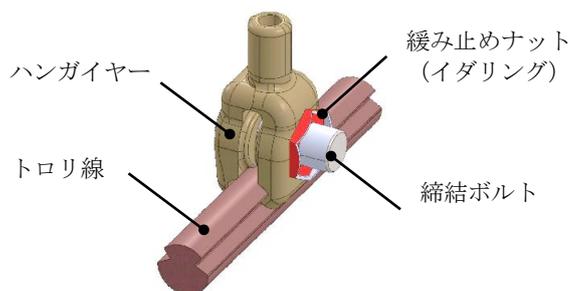


図 1 ハンガイヤーの構造

また、冒頭でも紹介したように夜間の至近距離検査を定期的実施しており、作業員が金具の締結状態を一つひとつ確認しています。さらに、電車線金具本体を取り替えた時やトロリ線を張り替える作業において金具を一時的に取り外した際には、一定期間経過後に締結ボルトを追加で締め直す「増し締め作業」も実施することで、金具外れを未然に防止し、安全・安定輸送の面で万全を期しています。

次に、現行の電車線金具がトロリ線を把持する構造について詳しく紹介します。ハンガイヤーは図2に示すように、トロリ線に設けられた溝を2つの金属片で挟み込み、それらをボルトで締結する構造となっています。ボルトでイヤ一部を締め付けると、ボルト本体が軸方向に引っ張られ、極僅かにボルトの長さが伸びるようになります。すると、ボルトは元に戻ろうとする力が働き、その力によってトロリ線を固定する仕組みとなっています。この伸びたボルトが元に戻ろうとする力を軸力と呼び、軸力が大きすぎるとボルトが破断してしまい、逆に小さすぎるとボルトの緩みが進行します(図3)。そのため、適切な軸力を得るために締め付け時のトルクを決めて、金具を取り付けています。

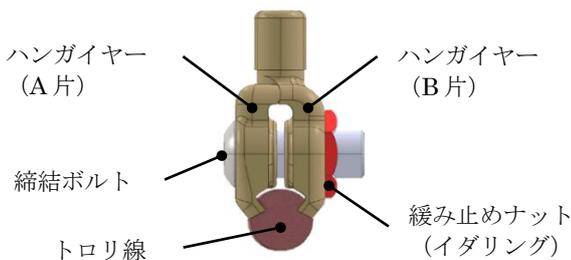


図2 ハンガイヤーがトロリ線を把持する原理

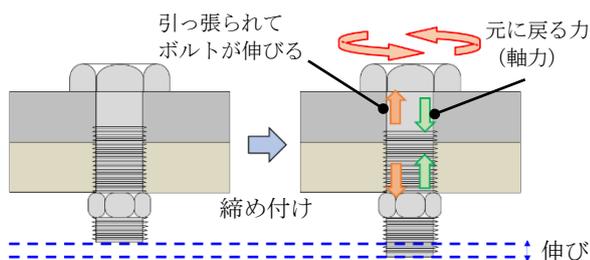


図3 ボルト締結の原理

このように決められたトルクでボルトを締め付けた上で緩み止めナットを使用しているにもかかわらず、長期間の振動が加わると金具が緩んでしまう可能性があります。これは、緩み止めナットと金具との間の摩擦力を増すことで緩みにくくしている構造のため、その摩擦力が失われることで緩みが進行するためです。ボルトの緩みは、初期緩みや陥没緩みなど戻り回転なしで生じるものと、戻り回転により生じるものの2種類に分類されます。一般的に戻り回転によらない緩みは、通常、ボルトの軸力が消失する程にはならないと言われており、戻り回転による緩みは大きな軸力損失が起こると考えられています<sup>1)</sup>。そのため、本件では、摩擦力に頼らず機械構造的に緩むことのないL/Rネジと呼ばれる特殊なボルトを応用することで、現行の電車線金具よりも緩み止め性能を向上させた新しい電車線金具を開発しました。

### 3 L/Rネジの緩まない原理

はじめに、L/Rネジの基本原理について説明します。写真3に示すように、L/Rネジは1つのボルトで左ねじのナットと右ねじのナットの両方を同時に使用することが可能な特殊なネジ山を有しています。

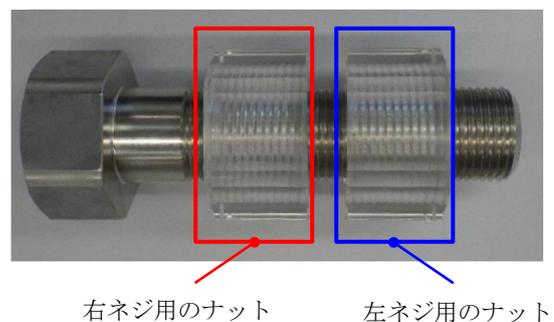


写真3 L/Rネジの構造

この L/R ネジ上で、左ねじナットと右ねじナットを同じ円周方向に回転させると、図 4 に示すように左ねじナットと右ねじナットは互いに異なる向きにボルトの軸上を移動します。この L/R ネジの特性を利用することで、従来のねじの締結原理である摩擦力に依存しない、緩まない構造を作り出すことが可能になります。

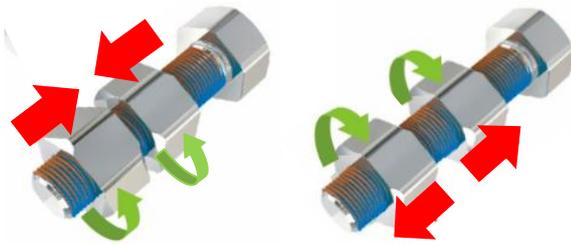


図 4 L/R ネジにおける左右ナットの動き

L/R ネジに振動が加わった際の緩まない仕組みを図 5 に示します。ボルトを使用した被締結体に振動が加わると、ナットには左回りあるいは右回りどちらかの方向に回転する力が加わります。仮に、図 5 の左側に示す方向にナットが回転しようとした場合、右ナットは下側に、左ナットは上側に移動しようとする。つまり、左右のナットがお互いに押し合う方向に動こうとするので、回転することができず、緩むことはありません。一方、図 5 の右側に示す方向にナットが回転しようとした場合、右ナットは上側に、左ナットは下側に移動しようとする。このままでは、左ナットだけが緩んでしまいますが、何らかの方法でこの 2つのナットを一体化することができれば、緩まない仕組みを実現することができます。

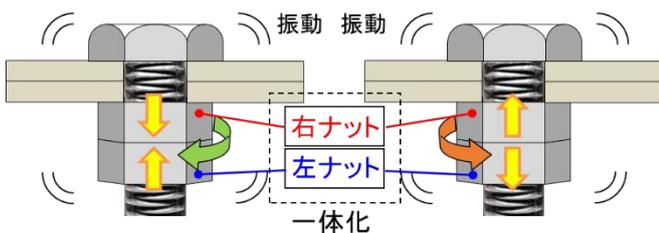


図 5 L/R ネジに振動が加わった場合の緩まない仕組み

#### 4 L/R ネジの電車線金具への応用

L/R ネジを応用して開発した新しい電車線金具の概要を図 6 に示します。締結ボルトに L/R ネジを使用し、イヤー部は現行品と同様に右ねじの螺旋構造としました。一方、緩み止めナットは現行品とは異なる左ねじの螺旋構造を有する特殊なプレート形状のステンレス材(名称: ロッキングプレート) としました。そして、イヤー部に溝を設け、このロッキングプレートを格納する構造とすることで、左ナットと右ナットを一体として使用する構造を実現しました。この構造により、締結後は金具が緩もうとしてもイヤー部(金具本体)とロッキングプレートが互いに押し合う方向に力が働くことになり、緩むことがない構造を実現しました。

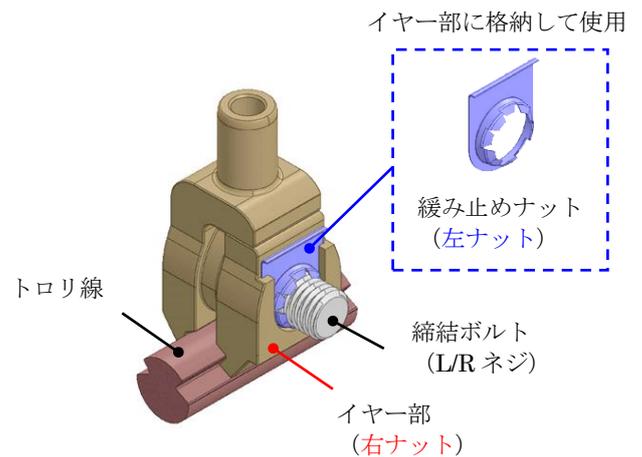


図 6 L/R ネジを応用した電車線金具の概要

開発した電車線金具の緩み止めの原理は前述の通りですが、電車線金具として使用するためにはロッキングプレートを格納した状態で取り付け、取り外しが出来なければいけません。以下に取り付けと取り外しを可能とした方法について説明します。図 7 及び図 8 に金具の取り付け、取り外しそれぞれの場合のボルトとイヤー部、ロッキングプレートの動きを示します。

図 7 のように、金具取り付け時に L/R ネジを右回りに回転させると、右ねじのイヤー片は締め付けられますが、左ねじのロッキングプレートはそのままでは嵌め合わせることができません。しかし、ロッキングプレートはイ

ヤー収納部に装着されており軸方向に動くことができないため、その状態でボルトが進行し続けるとロッキングプレートの爪部が一時的に広がり、L/R ネジのネジ山を乗り越える動きになります。つまり、ロッキングプレートの爪部を弾性変形の範囲内で可動するように設計し、その条件を満たす材質を選定することでL/R ネジの順方向の進行を可能としています。

一方、図 8 のように金具取り外し時に L/R ネジを左回りに回転させた際は、右ねじのイヤ片と左ねじのロッキングプレートが互いに押し合う方向の力が作用するため、L/R ネジを緩める方向へ回転させることができません。しかし、実用上はトリ線張替等の作業で電車線金具を繰り返し取り外し、取り付けをする必要があります。そのため、L/R ネジを一定以上の力で左回りに回すと、ロッキングプレートの爪部のみが破壊される設計としました。これにより、振動では緩むことはありませんが、必要に応じて金具を取り外すことができる構造を実現しました。

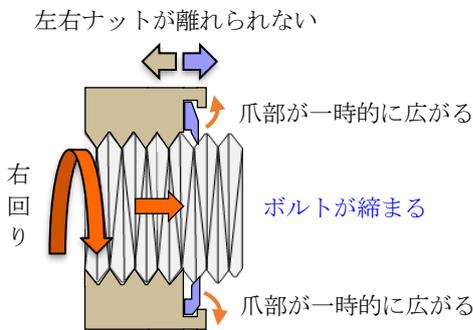


図 7 金具取り付け時のロッキングプレートの動き

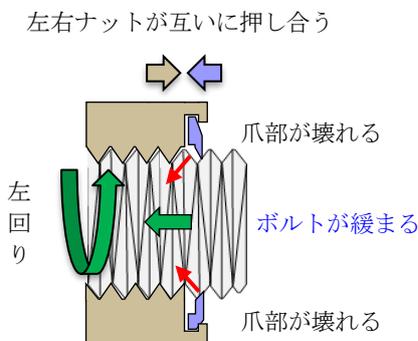
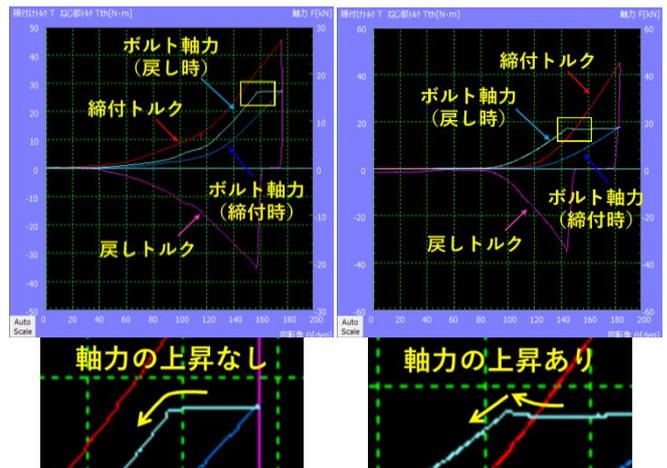


図 8 金具取り外し時のロッキングプレートの動き

次に、開発した電車線金具において、緩み止めの効果を確認するため、ロッキングプレートを使用した場合としなかった場合それぞれにおける、締め付け・締め戻しトルク測定試験を実施しました。これは株式会社 NejiLaw が所有する、ボルトの回転角、締め付トルク、ボルトにかかる軸力を同時に測定可能な装置を用いて実施しました。試験結果のグラフを図 9 に示します。



(a)ロッキングプレートなし (b)ロッキングプレートあり

図 9 締め付け・締め戻しトルク試験の結果

図 9 のグラフは、横軸がボルトの回転角、第一縦軸が締め付トルク、第二縦軸がボルトにかかる軸力を示しています。なお、下段のグラフは上段のグラフにおける戻し時のボルト軸力(黄色枠部分)を拡大したものです。図 9 (a) ロッキングプレートなしの場合、ボルトを締める方向に回転させるとその回転角に応じて締め付けトルク(赤色)及びボルトの軸力(青色)が増加します。そこからボルトを緩める方向に逆回転させると、逆トルクのピーク値を観測した後に、その回転角に応じて締め付けトルク(紫色)が単調に低下するとともに、ボルト軸力(水色)も単調に低下する様子を確認できます。

一方、図 9 (b) ロッキングプレートありの場合、ボルトを締める方向に回転させるとその回転角に応じて締め付けトルク(赤色)及びボルト軸力(青色)が同じように増加します。そして、そこからボルトを緩める方向に逆回転させると、逆トルクのピーク値を観測した後に、その回転角に応じて締め付けトルク(紫色)は単調

に低下しますが、ボルトの軸力（水色）は黄色の矢印で示すように一時的に増加し、その後は単調に低下する様子が確認できました。

この結果から、ボルトを緩める方向に回転させているにも関わらずボルト軸力は増加しているため、図 3 で示したように金具を締め付けようとする力が働くこととなります。このボルト軸力の上昇はわずかですが、ボルトが緩む方向に回転できず、振動によって金具が緩むことは無いと考えられます。

## 5 開発した電車線金具の性能確認試験

今回開発した新しい電車線金具の締結構造を東海道新幹線に使用されている高速ヘビーシンプル架線用のハンガイヤー、コネクタ、曲線引金具の 3 種類に適用し、試作品を製作しました。製作した電車線金具を写真 4 に示します。



左からハンガイヤー、コネクタ、曲線引金具

写真 4 L/R ネジを応用した新しい電車線金具

製作した電車線金具に対して、振動試験を実施しました。試験は当社が保有する架線振動試験装置を使用し、新幹線が 285km/h の速度で通過した際の架線の挙動を再現した振動を模擬して実施しました。試験の様子を写真 5 に示します。東海道新幹線で使用した場合の 10 年以上に相当する振動を加えても、緩みが一切発生しないことを確認しました。



写真 5 列車通過時の振動を再現した試験の様子

## 6 おわりに

本稿では、将来の労働力不足を見据えた検査の省力化を目的とした、緩み止め性能を向上させた電車線金具について紹介しました。今後は、今回開発した新しい電車線金具の本導入に向け、更なる長期間の加振試験による耐久性評価や営業線での性能確認試験を実施していきます。

## 謝辞

本件の電車線金具の開発に携わっていただいた、株式会社 NejiLaw ならびに三和テッキ株式会社の皆様に心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 吉本勇, 「ねじ締結体設計のポイント 改訂版」, 2002 年 pp.217-232



神矢 昌樹  
電力技術チーム  
電力技術グループ  
電気学会員

今後も他の分野の優れた技術を鉄道に応用し、前例に囚われない技術開発に取り組んでいきます。



寺田 泰隆  
電力技術チーム  
電力技術グループ

今後も新たな発想と当社の知見を融合することで課題を解決し、業務改革を推進していきます。



浦中 勉  
電力技術チーム  
電気学会員

今回の開発では、電車線金具に革新的な構造を採用し、緩み止め機能を向上させることを可能としました。今後も新たな技術を応用して、安全安定輸送に寄与する開発を推進していきます。