

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

パンタグラフの異常を検知する

パンタグラフに重大な異常が発生すると、電車線が広範囲にわたって損傷することがあります。電車線は一重系の設備であるため、長時間の輸送障害が生じる可能性があります。このような電車線の損傷を防ぐために、パンタグラフの異常を早期に検知する手法の開発が求められています。ここでは、パンタグラフの異常の代表的なものの一つであるすり板段付摩耗の新しい検知手法について紹介します。

はじめに

電気鉄道では、車両に電気エネルギーを供給する架空電車線と、車両に電気を取り入れるパンタグラフとの組み合わせが広く使用されています(図1)。パンタグラフは電車線としゅう動することによって集電しているため、パンタグラフに何らかの異常が発生すると、長時間の輸送障害を引き起こすような広範囲にわたる電車線の損傷が生じる可能性があります。そのため、パンタグラフの異常を早期に検知できる方法が求められています。このようなパンタグラフの異常の一つに、すり

板に生じる段付摩耗(図2)があります。段付摩耗は運行中に急速に成長し、すり板や舟体の割損、ひいては電車線の損傷を誘発する可能性があります。車両基地などにおいて定期的にパンタグラフの目視検査が行われていますが、列車運行中に発生したすり板の段付摩耗を速やかに検知する方法は整えられていません。

そこで、電車線にセンサーを設置し、その区間を通過する全てのパンタグラフを監視することによって、すり板段付摩耗を検知する手法を開発しました。



小山 達弥
Tatsuya Koyama
鉄道力学研究部
集電力学研究室
主任研究員
[専門分野] 架線/パンタグラフ系の動的相互作用



臼田 隆之
Takayuki Usuda
鉄道力学研究部
集電力学研究室
室長
[専門分野] 架線/パンタグラフ系の動的相互作用



池田 充
Mitsuru Ikeda
鉄道力学研究部
部長
[専門分野] 架線/パンタグラフ系の動的相互作用、高速パンタグラフの低騒音化

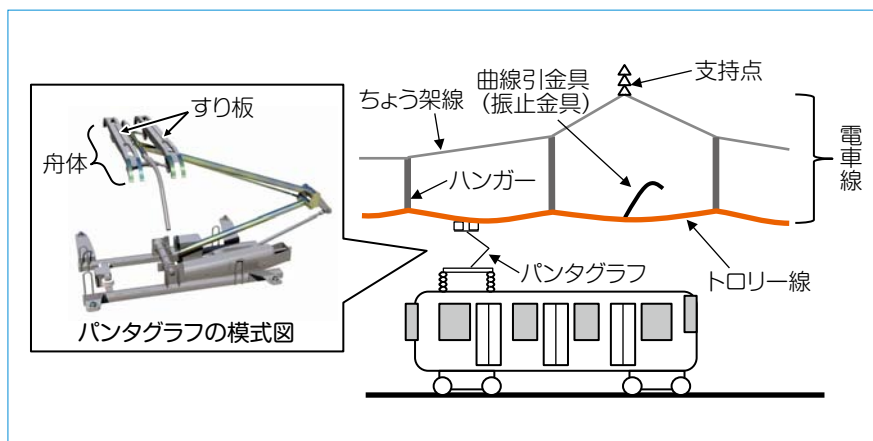


図1 電車線とパンタグラフの概略図

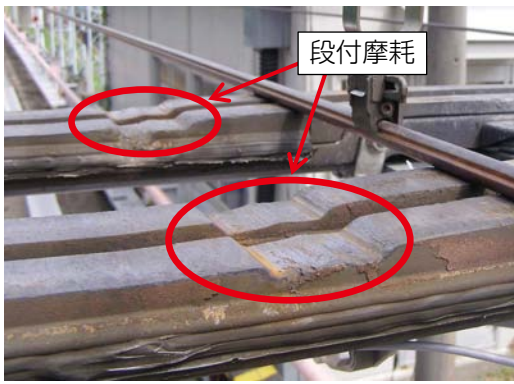


図2 すり板段付摩耗の例

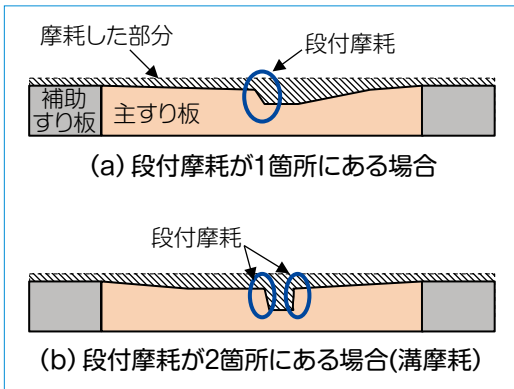


図3 すり板段付摩耗の模式図

すり板の段付摩耗

トロリー線としゅう動するすり板は、列車走行にともない徐々にかつなめらかに摩耗します。しかし、**図3**のようにまれにすり板に局所的かつ段差状の摩耗が生じることがあります。このような段差状の摩耗形態を一般に「段付摩耗」と呼んでいます。とくに**図3 (b)**のように段付摩耗が近接した2箇所が生じたものを「溝摩耗」と呼んでいます。

ところで、すり板の局所摩耗を防ぐために、トロリー線には曲線引金具や振止金具（以下では総称して曲線引金具と記します）によりジグザグ偏位が設けられています。そのため、走行中の列車から見るとトロリー線がまくらぎ方向に常に移動しているように見えます。すり板に段付摩耗が生じると、このまくらぎ方向の動きが段付摩耗部において**図4**の青い線で示すように拘束されます。**図4 (a)**は段付摩耗が1箇所にある場合（**図3 (a)**の場合）、**図4 (b)**は溝摩耗の場合（**図3 (b)**

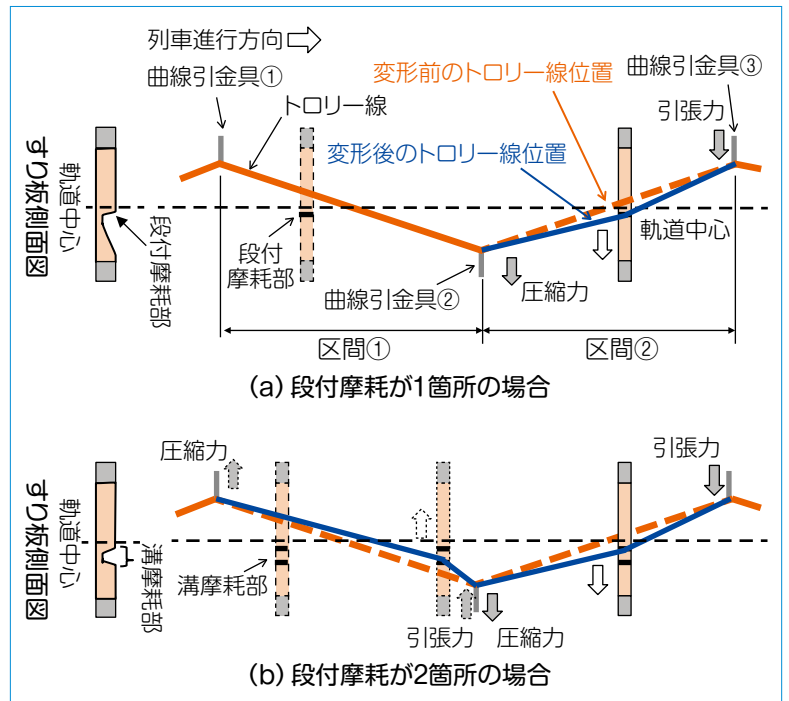


図4 トロリー線の拘束状態



図5 センサー付曲線引金具

の場合)のトロリー線の拘束状態を表しています。このようにトロリー線がすり板段付摩耗によって拘束を受けると、段付摩耗部においてトロリー線とのしゅう動頻度が高くなるため、段付摩耗はさらに進展し、すり板の割損や電車線の損傷に至る可能性があります。

すり板段付摩耗の検知手法

すり板段付摩耗を発見する方法として、定期的な目視検査が行われていますが、すり板段付摩耗の危険度を判定する定量的な基準はなく、検査者の判断に基づいて段付摩耗の危険性の有無が判定され、危険と判定されたものは新品すり板に交換されます。この「判定」には経験が必要であるため、場合によっては段付摩耗の見逃しが起きる可能性があります。また、段付摩耗は

その発生からすり板の割損に至るまでの時間がすり板の検査周期よりも短いことがあります。

そこで、経験によらない「定量的な評価」に基づいて段付摩耗を「早期に」検知できる手法を開発しました。この手法の原理を以下に示します。

前述のとおり、すり板に段付摩耗が発生すると、その箇所でトロリー線が拘束されるため、トロリー線はすり板からまくらぎ方向の力を受けます。この力は曲線引金具に伝播します。以下ではこの力を横張力変動と記します。この現象に着目し、トロリー線の横張力変動を曲線引金具に設置したセンサーによりモニターすることによってすり板段付摩耗を検知します。

トロリー線の横張力変動は、曲線引金具の微小な変形をひずみゲージよりとらえることで検出します（**図5**、以

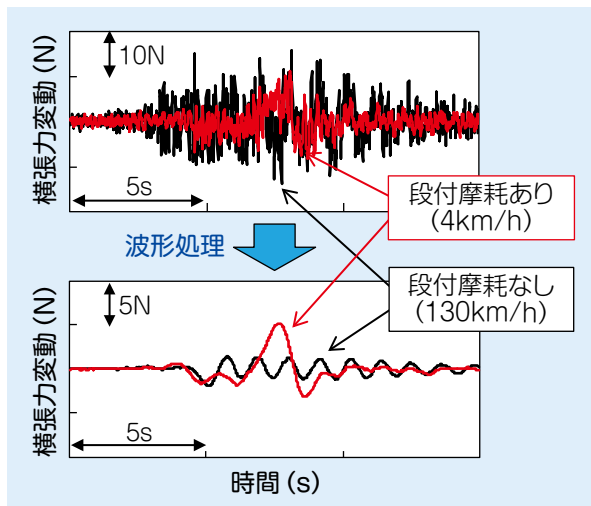


図6 波形処理前後の横張力波形
(上：波形処理前，下：波形処理後)

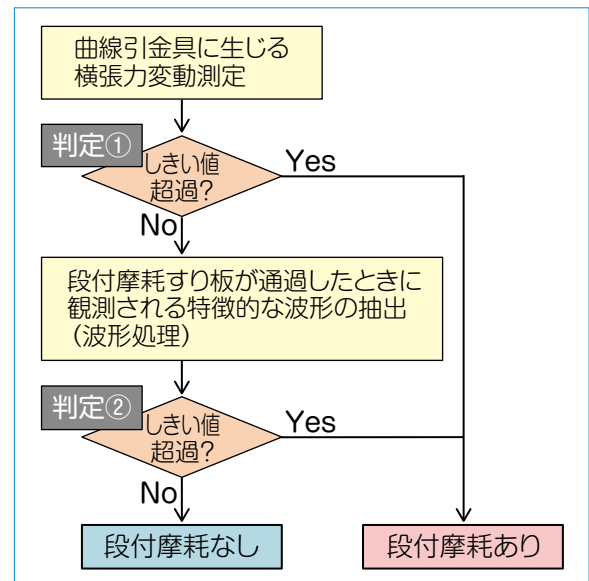


図7 段付摩耗検知のアルゴリズム



図8 集電試験装置

外部アンテナ
接続端子

52mm

30mm

DT-121T(-01SI)
DIGITAL TELEMETRY TRANSMITTER
PARING STATUS
TX 500MHz SENSOR G.C.B.A.

主な仕様

消費電力 (送信機)	230mWh (測定時) 8.5mWh (待機時)
最大伝送距離	200m
質量	約17g

図9 計測装置

下ではひずみゲージを貼り付けた曲線引金具をセンサー付曲線引金具と記します)。この方法は安価なセンサーが使用可能で、なおかつ曲線引金具に対する特別な改造も不要です。また、トロリー線に対して特別な措置が不要であるため、センサーの施工やメンテナンスが容易です。

すり板段付摩耗をその形状や、まくらぎ方向位置によらず検知できるようにするため、直線区間に2径間1サイクルの左右偏位が設けられた架線の2径間を検知区間として、その全ての支持点、つまり連続する3つの支持点にセンサー付曲線引金具を設置します。このような構成の電車線は一般的なも

のであるため、多くの箇所に適用が可能です。

すり板に段付摩耗がある場合、このようにして得られた横張力変動には特徴的な波形が現れます¹⁾。とくに、パンタグラフが高速で通過するときは、すり板段付摩耗があると著大な横張力変動が生じるため、段付摩耗の発生を容易にとらえることができます。しかし、段付摩耗がないパンタグラフが高速で通過したときに生じる横張力変動の大きさと、段付摩耗のあるパンタグラフが低速で通過したときに生じる横張力変動の大きさはほぼ同程度になるため、取得した波形からはこの両者をただちに区別することはできません。

そこで、得られた波形から段付摩耗がある場合に生じる特徴を抽出することで段付摩耗の有無の判別を行います²⁾ (図6)。具体的には、取得した横張力変動波形を処理して横張力が定常的に大きくなる現象が認められた場合に、段付摩耗が発生していると判断します。

図7に今回提案した段付摩耗の検知アルゴリズムを示します。このように、2段階の判定処理を行うことで、パンタグラフの通過速度にかかわらずすり板の段付摩耗を確実に検出することができます。

本手法では、曲線引金具に生じる横張力変動により段付摩耗を自動的に判別するため、経験によらない定量的な

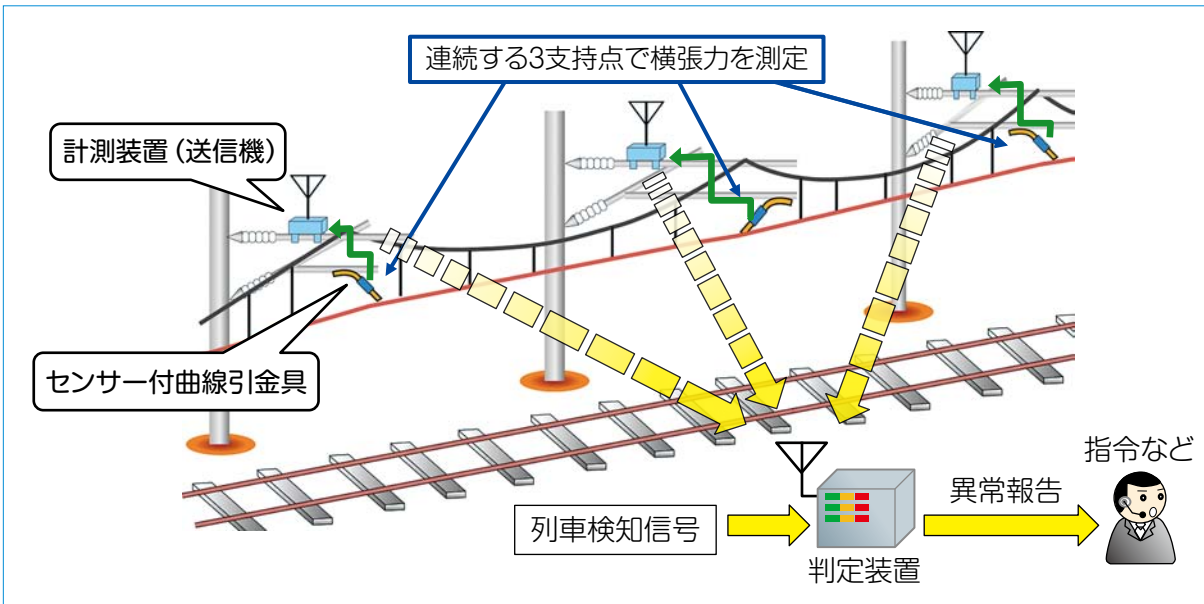


図10 本手法の適用イメージ

評価が可能です。また、通過速度によらず段付摩耗を検知できることから、速度情報も不要です。

本手法の検知精度を検証するために、鉄道総研の所内試験設備（集電試験装置³⁾、図8）において検証試験を行いました。なお、本装置は、実機パンタグラフを搭載した台車を実際の電車線の下を走行させることにより、電車線とパンタグラフの相互作用などを把握することができる試験装置です。

検証試験では、段付摩耗の有無や段付摩耗の位置、パンタグラフ通過速度などの条件を変えて合計86通りの試験を実施しました。本試験における段付摩耗判定の正答率は100%であり、本手法が高い精度で段付摩耗を検知できることを確認しました²⁾。

本手法に適した計測装置

本手法を営業線に適用するためには、横張力変動を高電圧が印加された電車線において計測し、その結果を非加圧側の地上設備に伝送する必要があります。そこで、本手法に適した計測装置の開発も行いました¹⁾（図9）。この計測装置は、ひずみ計測と無線通信による信号伝送を1台で行うことが可能で

す。また、小型・軽量であるうえ省電力であるため、電源の大幅な軽量化が可能です。これにより、計測装置を設置する支持物に要求される耐荷重を低く設定できることから、さまざまな支持物に設置可能です。そのため、本線上のさまざまな区間においてモニタリングが可能となり、高頻度の検査を実現することができます。

なお、この計測装置は汎用性があるため、トロリー線の曲げひずみや上下振動加速度、押上量などの計測にも活用できます。

検知システムの適用イメージ

本手法の営業線への適用イメージを図10に示します。前述したように、連続する3支持点にセンサー付曲線引金具を設置し、上記の計測装置を用いて横張力変動を計測します。計測波形は地上に設置した判定装置に伝送され、前述したアルゴリズムに基づいてすり板の段付摩耗の有無を判定します。もし、通過したパンタグラフに段付摩耗があると判断された場合は、指令などの必要箇所に異常報告を行い、列車抑止など所要の処置を講じることで架線・パンタグラフの事故を未然に防ぐ

ことが可能です。

まとめ

パンタグラフの異常の一つであるすり板段付摩耗の検知手法を紹介しました。本手法は、段付摩耗の有無を定量的に判断することが可能で、本線上に検知システムを容易に構成できるため、高頻度の検査を実現できます。また、センサーの設置位置が支持点に限られるため、施工・メンテナンスも容易です。本手法の適用により、鉄道のさらなる安定輸送が期待できます。RRR

文献

- 1) 小山達弥, 臼田隆之, 川崎邦弘, 中村一城, 川村智輝: 電車線に設置したセンサ群によるパンタグラフ異常検知手法, 鉄道総研報告, Vol.29, No.12, pp.35-40, 2015
- 2) 小山達弥, 臼田隆之, 池田充, 久家広嗣: パンタグラフすり板の段付摩耗検知アルゴリズム, 鉄道総研報告, Vol.31, No.2, pp.41-46, 2017
- 3) 中道好信: 電力に関する大型実験設備, RRR, Vol61, No.7, pp.10-11, 2004