

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

架線金具の腐食を抑える

電車や電気機関車に電気を送る架線は鉄道を支えるインフラのひとつであり、その部品点数は非常に多く、また、使用されている材料も多岐にわたっています。中でも、機能・加工性・信頼性・原材料費などの観点から金属材料が多く使用されています。そこで、本文では架線に用いられる金具類（以下、架線金具）で見られる腐食事例を紹介しながら、架線金具の腐食を抑える最近の研究成果についても紹介します。



臼木 理倫
Tadanori Usuki
電力技術研究部
集電管理研究室
副主任研究員
[専門分野] 集電系材料

はじめに

鉄道は車両、インフラ、運行管理からなるシステムであり、これらを健全に維持することによって安全・安定輸送を実現しています。その中で架線金具はインフラの構成要素のひとつですが、健全性を失うことで直ちに輸送障害へつながり、お客様へご迷惑をおかけしてしまいます。それを防ぐために、定められた周期で設備検査を行っていますが、長い距離にわたる設備のため検査に多くの労力を要しています。

架線の一般的な構造を図1に示します。50m程度の間隔に設けた電化柱

でちょう架線を支持し、ちょう架線からハンガーと呼ばれるつり金具によってパンタグラフがしゅう動するトロリー線をつり下げる方式が一般的です。架線で用いられる材料にはがいの磁器や樹脂もありますが、金属材料が最も多く使用され、線条だけでなく金具も多いので、その腐食（☞参照）を抑えることは重要です。

☞ 腐食

金属が化学的あるいは電気化学的に、周囲の環境（腐食環境）によって損耗することを言います。

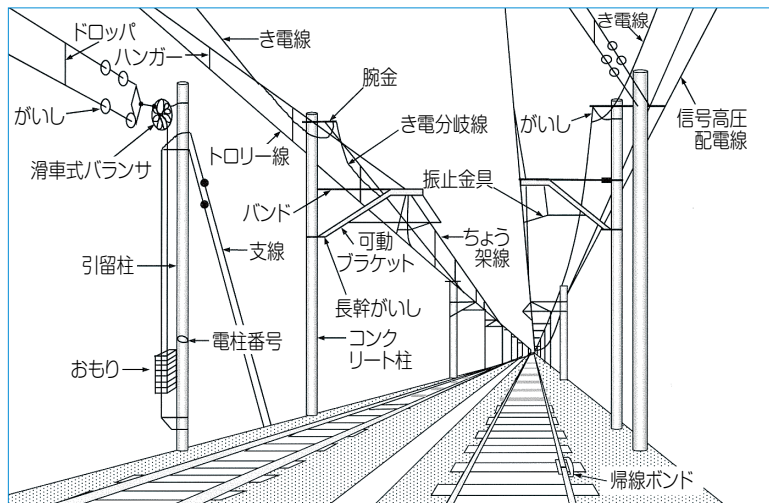


図1 一般的な架線の構造



図2 全面腐食の例

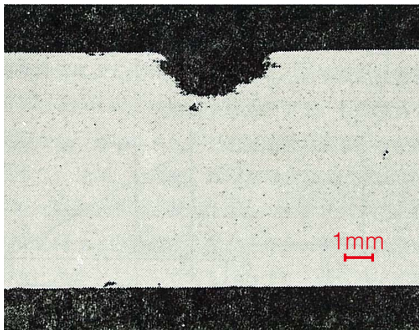


図3 孔食の例

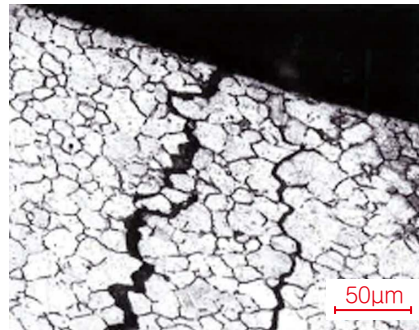


図5 粒界腐食の例



図4 選択腐食の例

架線金具における代表的な腐食種別とその事例

全面腐食

経年により部材が全面にわたり腐食することで、山間部や田園地域に比べて海岸部や工業地帯では進行が早くなる傾向があります。

全面腐食の一例を図2に示します。これはちょう架線として9.8kNの張力が加わった亜鉛めっき鋼より線（公称断面積90mm²）で、断線した箇所には水抜き穴のない防護管が取り付けられていました。さらに、保護管は支持箇所の間に取り付けられていたため保護管内に水が溜まり、保護管のない箇所と比べて腐食が進行、有効断面積が減少し、張力に耐えられずに破断したものです¹⁾。

ところで、ステンレス鋼やチタン、アルミニウムなどは空気中で耐食性が高い金属として知られていますが、これは全面腐食によって表面に安定した酸化被膜ができ素地が強固に守られているためです。このような酸化被膜を不動態膜といいます。不動態膜は非常

に緻密で素地との密着性の良い柔軟な構造になっているため耐食性が高くなっているのです。

孔食

ステンレス鋼やアルミニウムなどに見られる、ピンホール状の腐食孔(図3)のことで、前述の不動態膜の生成が阻害された時に発生します。孔食を起点として疲労破断に至ることもあるので注意が必要です。また、孔食は表面形状の不均一な場所（かき傷など）あるいは析出物・介在物周辺で発生するのが一般的で、端的に言えば金属表面の不均一部で起こりやすいので、実際の架線では架設時や検査時に材料表面に不用意に傷をつけないことが大切です。

選択腐食

合金に含まれる元素のうち、イオン

化傾向(☞参照)の大きい元素が選択的に腐食する現象で、残った元素で原形を留めていることが多いのですが、機械的強度は著しく低下しています。選択腐食の代表例として黄銅（銅と亜鉛の合金）から亜鉛が選択的に腐食する脱亜鉛腐食があります。架線金具ではトロリー線をつり下げるハンガーの、トロリー線をつかむ部分（イヤーといいます）などにアルミニウム青銅（銅・アルミニウム・鉄・ニッケル・マンガン）の合金が多く使用されています。この合金にはまれに脱アルミニウム腐食が発生することがあります(図4)²⁾。

粒界腐食

金属材料の中で、結晶粒界(☞参照)が腐食していく現象(図5)です。引張応力が働く場所で粒界腐食が発生した

☞ イオン化傾向

水溶液中で金属が電子を失って陽イオンになろうとする性質の強さのことです。イオン化傾向が大きいほど溶け出しやすい、すなわち腐食しやすい金属となります。

☞ 結晶粒界

金属材料は、結晶粒と呼ばれる結晶の集合体で構成されています。その結晶粒同士の境界面を結晶粒界と呼びます。

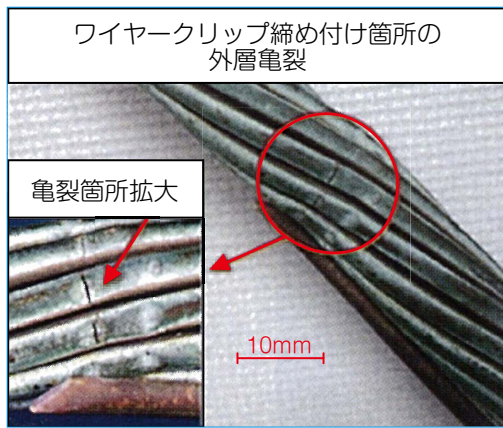


図6 応力腐食割れの例



図7 異種金属接触腐食の例

場合、応力と直角方向にき裂が入って破断に至るため注意が必要です。粒界腐食に注意を要する材料としてステンレス鋼が挙げられます。架線金具でも耐食性の観点からステンレス鋼が多用されており、特にSUS304（オーステナイト系ステンレス鋼）は多く使われています。オーステナイト系ステンレス鋼は鉄鋼・クロム・ニッケルの合金で、製造段階で熱処理をされて製品となります。ステンレス鋼はクロム酸化膜（前述の不動態膜の一種）が非常に強固なため耐食性に優れるのですが、製造段階での熱処理が適切でない場合、500～850℃の間で炭素とクロムの化学反応により生成したクロム炭化物が結晶粒界に析出します。これにより周辺のクロムが不足し、材料表面の不動態膜が減少するため、軽度な腐食環境下でも粒界に沿って内部深くまで腐食が進行することとなり、強度低下が著しくなります。製造時に起因するステンレス鋼の粒界腐食を現場の工夫で防ぐことはできませんが、ステンレス鋼は腐食しないという固定観念は捨てる必要があります。また、製造時に適切に熱処理を行っていても500～850℃の熱を加えると粒界にクロム炭化物が析出するため、施工時などにパーナーなどでステンレス鋼を切断・加工することは決して行ってはいけません¹⁾。

応力腐食割れ

力学的負荷と化学的環境の同時作用により、材料中に割れが発生して成長する現象を言います（図6）¹⁾。実際の架線では、引張応力を受ける電線においてクリップ痕、ドラム巻きぐせなどの残留応力が残っている箇所に塩化物イオンや硫酸イオンなどの汚染成分が供給されると、腐食が促進され、応力腐食割れが発生すると考えられています。

異種金属接触腐食

イオン化傾向が大きく異なる2種類の金属が接触していると、イオン化傾向の大きな金属（卑な金属）が、単独の場合より激しく腐食することがあります。異種金属の接触が避けられない場合、例えばアルミニウムと銅の電線の接続では、2種類の金属の電位差を小さくするための中間合金を挿入するなどの対策が取られています。図7はトンネルの漏水箇所にあった金具で、亜鉛めっき鋼材に銅板が巻き付けられている構造でした（撮影のため銅板は取り外しています）。異種金属接触腐食により、亜鉛めっき鋼材が腐食し完全に破断した例です。

耐食性架線金具の開発例

架線金具は設備数が多い、小さな部品の損傷であっても重大事故につながるやすい、保守をする上で状態が分か

りにくいなどの特徴があることから、架線金具耐食性向上のために開発した例を2つご紹介します。

耐食性イヤーの開発

選択腐食の項でも記しましたが、架線金具でトロリー線をつかむ部分をイヤーといい、イヤーにはアルミニウム青銅が多く使われています。このイヤーが損傷すると、ハンガーの場合はトロリー線の高さに異常が生じ高速走行に支障をきたす、曲線引き金具の場合は、トロリー線より下に垂れ下がってパンタグラフを損傷するなど、非常に大きな影響があります。そこで、著しい腐食環境におけるアルミニウム青銅の耐食性向上を検討し²⁾、耐食性の高いハンガーイヤーの開発を行いました³⁾。

アルミニウム青銅の成分は日本工業規格（JIS H 5120）で規定されていますが、各成分の量には幅が許容されています。撤去品調査や試作材の暴露試験の結果、成分量の幅の中でニッケル（Ni）が多いものは脱アルミニウム腐食を生じにくいことが分かってきました。そこで、試作品はJISのアルミニウム青銅のうちNi量が多いCAC703をベースにNi量を高めたものとししました（以下、開発品と称します）。

海上橋りょうでの9ヶ月の暴露試験後の外観と断面調査結果を図8に示し

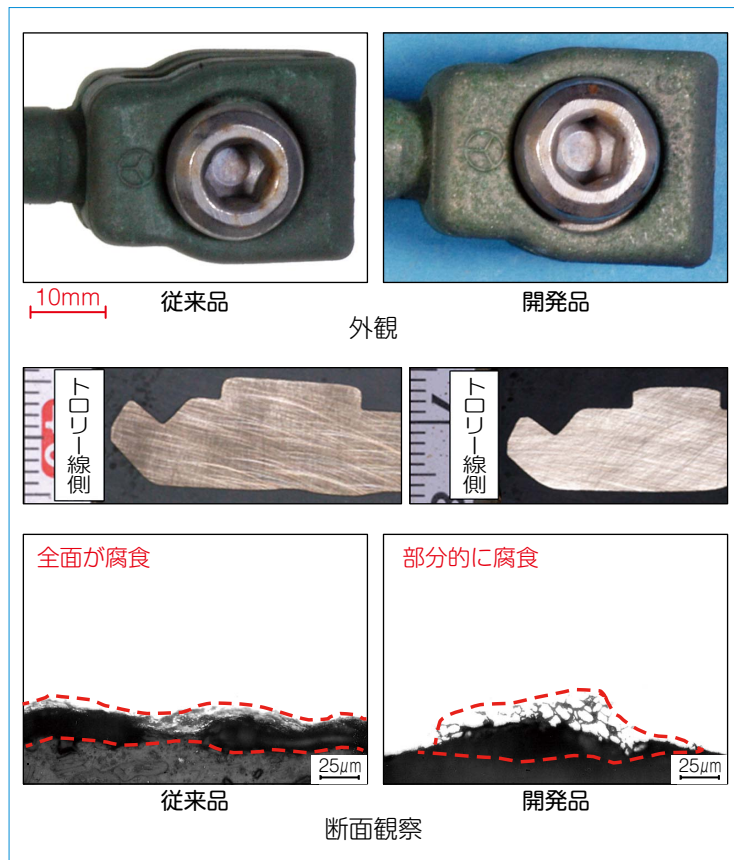


図8 海上橋りょう暴露調査結果

ます。外観上、従来品は全面腐食であるのに対し、開発品は腐食はまだら状で、金属光沢を示す部分もありました。断面調査結果も、従来品では表面全体が深く腐食していたのに対し、開発品は腐食が部分的でした。

このように、開発したハンガイヤーは耐食性に優れ長寿命化を期待できる結果が得られました。

磁器がいし金具部分の防食

磁器がいしの金具部分には亜鉛めっきを施した鋼または鋳鉄が用いられています。しかし、金具部分が腐食し、流出した腐食生成物（いわゆる錆）が磁器部分に付着すると、そこが漏れ電流の経路となり、がいしの絶縁性を低下させる恐れがあります。そこで、亜鉛めっき鋼材に次に示す表面被覆による防食対策を行い、塩害試験場におけるDC3kVの課電、つまり電圧を加えた状態での暴露試験を実施して防食効

果を確認しました。

○防食方法

エポキシ系樹脂+ステンレスフレック含有固体潤滑塗膜の重ね塗り：亜鉛めっき層の上に施すことができる塗装で、塗膜が損傷しても亜鉛めっきによる防食作用が期待できます。自動車などに用いられる例があります。

上記の塗装を懸垂がいしの金具に施した対策品を試作し、塩害試験場でのDC3kV課電暴露試験に供しました。暴露期間11ヶ月の状況を図9に示します。対策品は未対策品に比べ錆の流出が明らかに低減しています。対策品でも若干錆が流出しているのは、金具部と磁器部の組立済のがいしに塗装を施したためです。これを防ぐために、金具全体を塗装した後に磁器部と組み立てることで錆の流出を遅らせる、すなわち磁器がいし金具部の防食効果を高めることが期待されます。これにつ

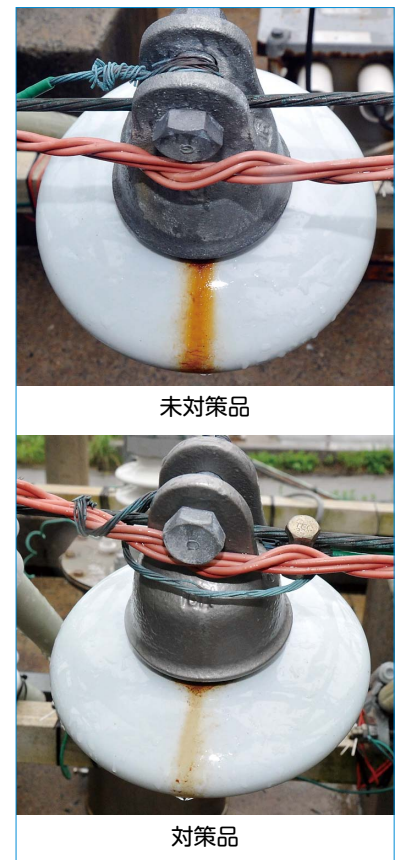


図9 暴露試験11ヶ月後のがいし外観

いては、現在前述の塩害試験場で課電暴露試験を実施中であり、機会を捉えて紹介したいと思います。

おわりに

今回、電車線金具の代表的な腐食とその一例、防食の一例を紹介しました。これからも、腐食事例の収集とともに、効果的な防食方法の追求や他分野技術の鉄道への適用を目指していきます。[RRR]

文献

- 1) 電車線教材検討会：事故に学ぶ鉄道技術（電車線編），鉄道総合技術研究所 鉄道技術推進センター，2011
- 2) 片山ほか：イヤー用新材質の塩害耐食性評価，鉄道総研報告，Vol.21，No.10，pp.23-28，2007
- 3) 片山ほか：重腐食環境用ハンガイヤーの開発，鉄道総研報告，Vol.25，No.4，pp.41-46，2011