

風・雪・霜から架線を守る

電気鉄道における架空式の電車線路は屋外に敷設されているため、自然災害に備える必要があります。ここでは、風、雪および霜から電車線路設備を守るための考え方や対策について概説するとともに、霜の発生を予測する研究について紹介します。

- 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



常本 瑞樹
Mizuki Tsunemoto
電力技術研究部
電車線構造研究室
副主任研究員
【専門分野】 電車線・パンタグラフの相互作用



原田 智
Satoshi Harada
電力技術研究部
電車線構造研究室
主任研究員
【専門分野】 電車線・パンタグラフの相互作用



宍戸 真也
Masaya Shishido
防災技術研究部
気象防災研究室
副主任研究員
【専門分野】 鉄道の気象、雪氷災害対策



鎌田 慈
Yasushi Kamata
防災技術研究部
気象防災研究室
主任研究員
【専門分野】 鉄道の気象、雪氷災害対策

はじめに

電気鉄道において、電車線路は車両に電力を供給するための重要な設備です。一般に電車線路は、線路上空に張られますが、こうした方式を「架空式」と呼び、新幹線など多くの電気鉄道で用いられています。架空式の電車線路は屋外に敷設されているため、自然災害に備える必要があります。ここでは、風、雪および霜から電車線路設備を守るための考え方や対策について概説するとともに、霜の発生を予測する研究について紹介します。

風から守る

電車線路設備が風を受けることにより問題となるのは、

- ・風圧荷重により損傷しないか
- ・トロリー線がパンタグラフからはみ出さないか
- ・ギャロッピングが発生しないか

ということです。これらに対する影響を検討する場合は一定風速の風を受けるものとして考えます。

「風圧荷重により損傷しないか」を考える場合に想定する風速とは、在来線では電気設備の技術基準において送電線で用いられているものと同じ風速40m/sです。新幹線については、1959年の伊勢湾台風における観測結果から、線区の重要性を考えて風速50m/sとしています。なお、電車線路設備の外力に対する強度計算をする際には、風だけではなく積雪や地震

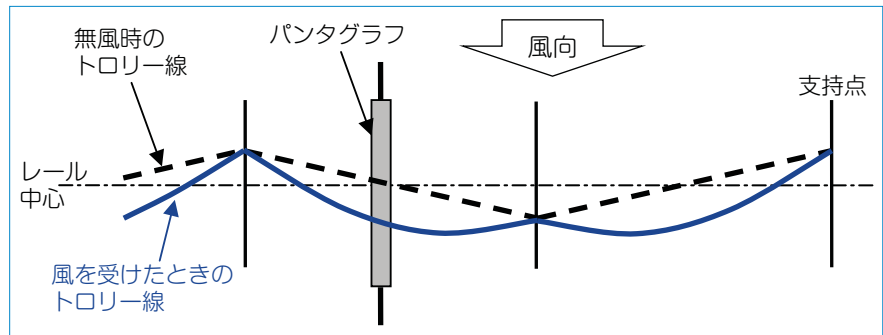


図1 風を受けたときのトロリー線（上空から見た図）

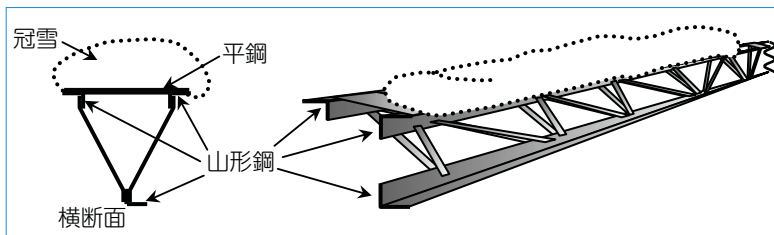


図2 V形トラスビーム

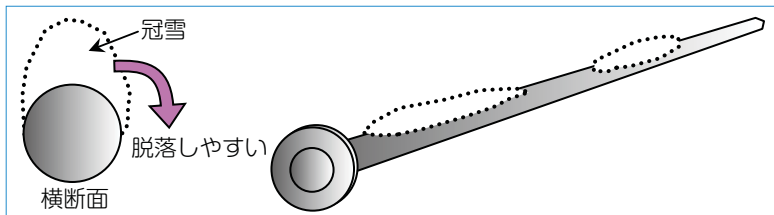


図3 鋼管単ビーム

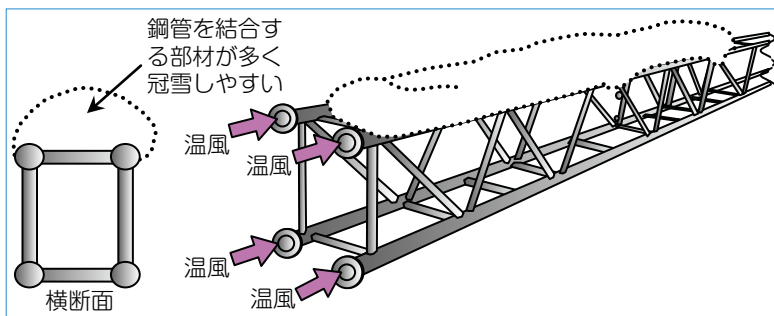


図4 鋼管かごビーム

などについても考慮されています。

「トロリー線がパンタグラフ舟体からはみ出さないか」については、風に対する列車の安全性を考慮して定められている速度規制の基準である風速(通常30m/s)で考えます。図1は、トロリー線とパンタグラフを上空から見た図です。図1に示すように、金具で固定されている支持点以外では、風を受けるとトロリー線は移動します。トロリー線の移動が非常に大きいとパンタグラフからトロリー線がはみ出してしまい、大きな事故につながります。強風時に列車の運転を見合わせるのは、列車を転覆から守るだけでなく、電車線とパンタグラフを風から守るためにも必要なのです。

「ギャロッピングが発生しないか」については、ギャロッピングは風が吹いたときに線条の断面や配置が原因で発生する振動現象のため、風洞試験により線条の空力特性を確認する必要が

あります。ギャロッピングによる振動が大きい場合には、トロリー線-パンタグラフ間の離線、線条同士による線間短絡などの原因となります。トロリー線は摩耗することにより新品時とは異なる断面となります。そのため、トロリー線の断面を考える際には、新品のときだけではなく、摩耗したときについてもギャロッピングが発生しにくくしています¹⁾。また、線条の着氷雪によるギャロッピングに対して、相間スペースや離隔拡大などで対策した例があります²⁾。

雪から守る

電車線路設備が雪により問題となるのは、

- ・積雪荷重により損傷しないか
 - ・固定ビームから落下した雪によりパンタグラフが破損しないか
- ということです。どちらについても、できるだけ雪が積もらないようにする

ことが重要です。

雪の付着力は小さいため、送電線では風速8m/s以下で大部分の雪が脱落するといわれており³⁾、強風時の降雪では雪の付着は起こりにくくなります。しかし、雪が風圧などで脱落せず、さらに締め固められるなどした場合、氷塊になることがあります。氷塊がトロリー線を支持する固定ビームに付着している状態で列車が通過すると、その衝撃や振動により氷塊が固定ビームから脱落してパンタグラフを破損させたり、トロリー線を断線させたりすることがあり、輸送障害の原因となります。

冠雪の対策として、固定ビームに鋼管かごビームが豪雪地区で多く採用されています。一般的に固定ビームはV形トラスビームのように、山形鋼などの鋼材を組み合わせて製作されています。これらは平面部分が比較的多いため、雪が付着しやすく、かつ脱落しにくい形状です(図2)。一方、鋼管単ビームは断面が円形のため、風などにより雪が脱落しやすい形状です(図3)。しかしながら、駅構内等で長さ16m以上の固定ビームについては強度等の制約により、鋼管かごビームを採用せざるを得ない場合があります。この鋼管かごビームは他の鋼管ビーム(鋼管単ビームや鋼管平面トラスビーム)よりも冠雪しやすい形状のため、豪雪地区では、冠雪を融解・脱落させるため鋼管内部に温風を循環させる装置(温風式ビーム消雪設備)が取り付けられる場合があります(図4)。

霜から守る

トロリー線に発生する霜は、冬の晴れた夜間に成長することが多く、霜が生じた区間を列車が走行すると、パンタグラフとトロリー線との間に霜が介在することにより、しばしば離線が発生します。離線に伴うアーク放電は、

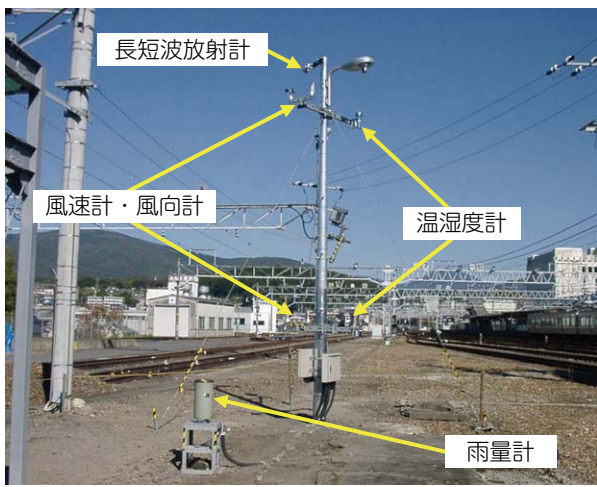


図5 気象測器の設置状況

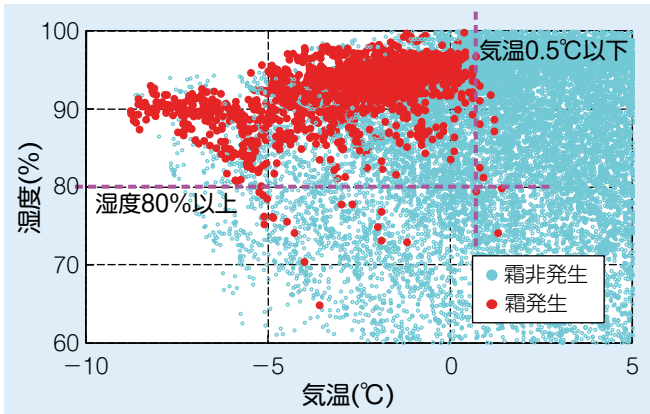


図7 気温と湿度の関係

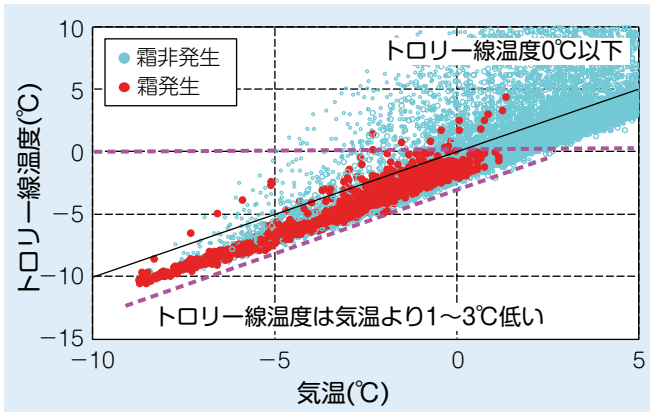


図8 気温とトロリー線温度の関係

パンタグラフの損傷やトロリー線の溶断等の原因となります。この対策として、トロリー線に付着した霜を除去する『霜取り列車』と呼ばれる臨時列車の早朝運行などが行われています⁴⁾。これらの対策を効率的に行なうためには、トロリー線に霜が生じやすい場所の抽出や、霜の発生する気象条件を把握したうえで、その発生予測を行うことが重要です。

影響することが考えられました。放射冷却とは、晴れた夜間に地表面および地表面付近にある物体が、赤外放射により熱を放出して冷却される現象です⁵⁾。そこで、霜が発生する気象条件を調べるため、比較的発生頻度の高い線区で現地観測を行いました。観測では、霜の発生状況を観察するとともに、気温、風向風速、湿度、降水量および放射冷却の度合いを示す指標である放射収支

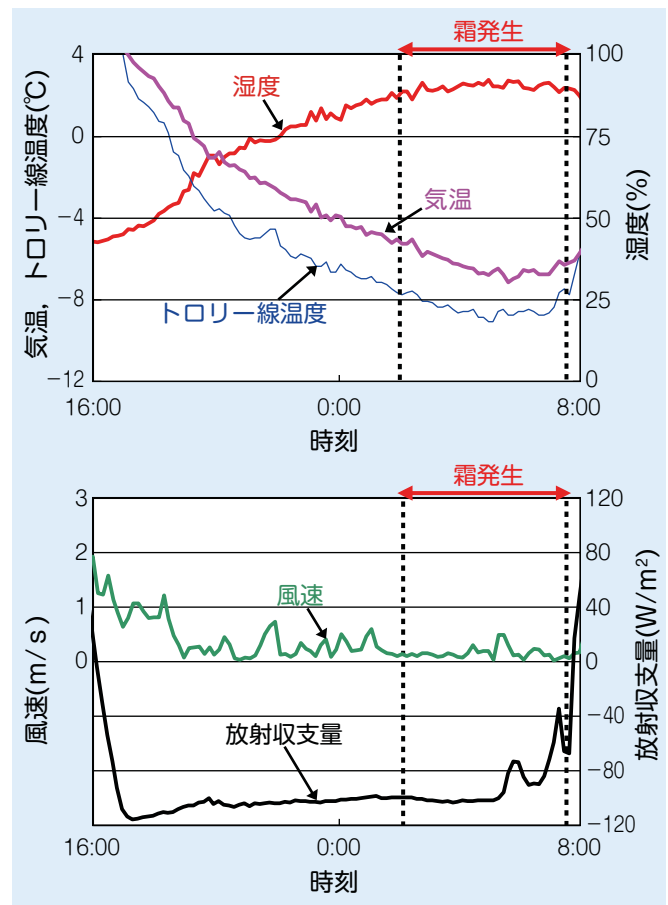


図6 霜発生時の気象状況

現地観測

トロリー線に生じた霜が原因と考えられる障害事例を調べた結果、それらの多くは、気温が低く、かつ晴れた早朝に発生していることがわかりました。このことから、霜の発生には放射冷却が影

響を測定しました(図5)。なお、放射収支量が負になるほど、放射冷却が強いことを意味します。また、霜の発生にはトロリー線の温度も影響すると考えられるため、通電しないトロリー線を線路近傍に設置して、その温度を測定しました。

霜の発生条件

トロリー線に霜が生じたときの気象状況の一例を図6に示します。この事例では、夕方から夜間にかけて湿度が上昇し、夜間から早朝の放射収支量が負の値を示していたことに加えて、気温とトロリー線温度の急激な低下が生じており、また、トロリー線温度は気温よりも2~3°C低い状態でした。これらのことから、強い放射冷却が起きていたことがわかりました。観測期間中の他の着霜発生日についても同様の気象状況であることを確認しました。

それら霜発生時の気象状況を整理した結果、①気温は0.5°C以下、②湿

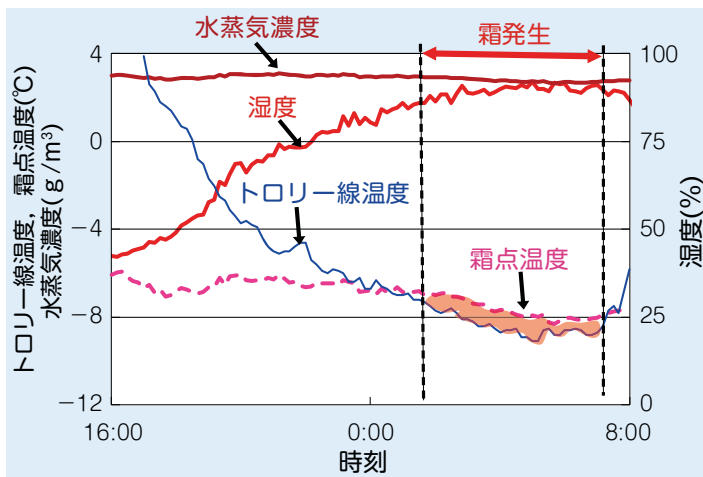


図9 水蒸気濃度と霜点温度の時間変化

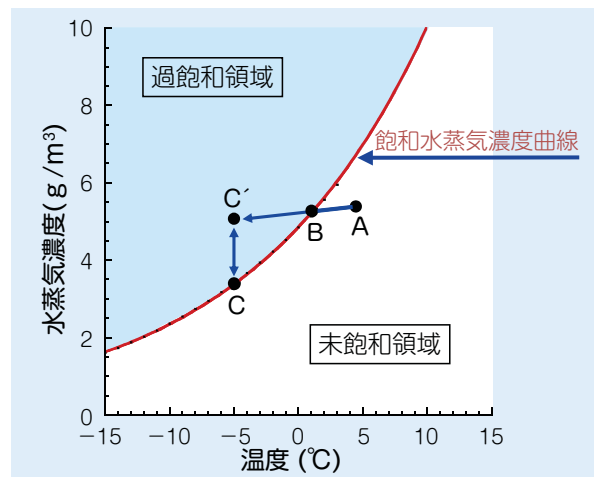


図10 温度と水蒸気濃度との関係

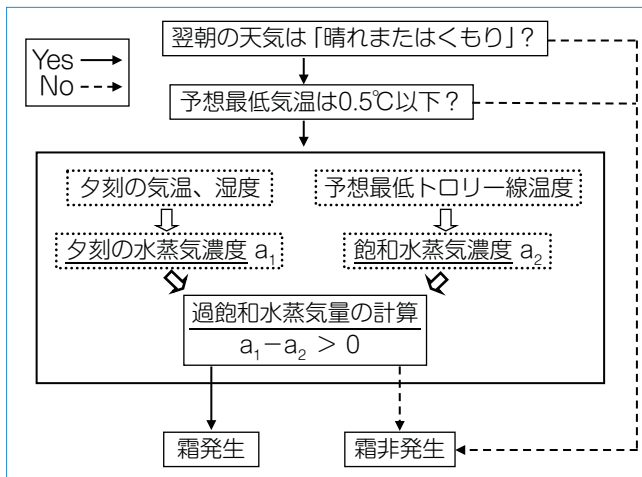


図11 架線着霜予測フロー

度は80%以上, ③風速は1m/s以下, ④放射収支量は $-110 \sim -70 \text{ W/m}^2$, ⑤トロリー線温度は 0°C 以下で, 気温より $1 \sim 3^\circ\text{C}$ 低いという条件が重なる時に発生する可能性が高いことがわかりました(図7, 8)。

霜の発生メカニズム

ここで, 冷たい水の入ったコップの表面に生じる露を例に, 霜が発生するメカニズムについて解説します。コップ表面の露は, その表面温度が気温より低くなることで, 表面近傍の水蒸気濃度が飽和に達し, 水蒸気が凝結することで生じます。これと同様に, トロリー線でも, 放射冷却によりトロリー線温度が気温より低下することで, その周囲の水蒸気濃度が飽和に達します。ここで, トロリー線温度が氷点下である場合には, 露ではなく霜が発生すると考えられます。

果, 着霜が観察された時間帯(図中の点線で挟まれた範囲)とトロリー線温度が霜点温度を下回った時間帯が(図中の赤で塗りつぶした部分)が一致していることがわかりました。

このように, 霜の発生には, トロリー線周囲の水蒸気濃度とトロリー線温度が深く関わっていることから, 両者に影響する気温と湿度に着目した霜発生予測手法を開発しました⁷⁾。

霜の発生予測

開発した霜の発生予測手法について, 飽和水蒸気濃度曲線を用いて説明します(図10)。この手法は, 夕方の時点で点Aの水蒸気濃度を持つ湿潤空気が, 翌朝の気温の低下およびトロリー線温度の低下に伴い, 飽和水蒸気濃度の点Bを挟んで, 点C'の様な過飽和領域に入るか否かで霜の発生を判断するものです。

このような霜の発生メカニズムを検証するために, 水蒸気濃度を調べました(図9)。その結

これをもとに, 作成したトロリー線の霜発生予測フローを図11に示します。予測を行う上で必要な気象要素は, 夕刻の気温と湿度の実測値, 翌朝の予想天気と予想最低気温です。なお, 水蒸気濃度は夕刻から翌朝まで変化しないもの, トロリー線温度は気温よりも 3°C 低くなるものと仮定しています。

おわりに

電車線路設備を自然災害から守るための対策などについてご紹介しました。電車線路設備の自然災害による運行障害を少しでも減らすことができるよう研究を進めていきます。[RRR]

文献

- 1) 菅原淳他: 断面形状変更によるトロリー線疲労強度の向上, 鉄道総研報告, Vol.26, No.6, 2012.6
- 2) 牧野茂樹: ギャロッピング現象による線間短絡事故, 鉄道と電気技術, 47巻, 9号, 1994
- 3) 日本雪氷学会: 雪氷の研究 No.5 架空送電線の冰雪害対策, 1973.6
- 4) 白石秀男他: トロリー線の着霜氷対策, 鉄道と電気技術, 8, Vol.2, pp.40~44, 1991
- 5) 白木正規: 百万人の天気教室, 成山堂書店, 2003
- 6) 近藤純正: 地表面に近い大気の科学, 東京大学出版会, 2000
- 7) 鎌田慈他: 架線着霜現象の解明と発生予測手法の検討, 鉄道総研報告, Vol.22, No.1, 2008.1