

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

勝木塩害実験所の概要と 実験所を活用した研究開発

勝木塩害実験所は、海塩汚損による設備の劣化を調査するため、冬になると海から強い季節風吹き付ける日本海沿岸に設置されており、絶縁物や金属材料、コンクリート材料などの暴露試験を行う設備です。おもな実験設備として、直流や交流の電圧を加圧して暴露する架台と、加圧せずに暴露する架台があり、これらを用いて、金属材料の腐食に対する性能や絶縁材料の汚損に対する絶縁性能の評価を行っています。ここでは、勝木塩害実験所の歴史、各種実験設備の概要およびそれらを用いた最近の研究成果について紹介します。



柴田 直樹
Naoki Shibata
電力技術研究部
き電研究室
研究員
【専門分野】電力設備の
絶縁



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】電気材料の
腐食・防食

はじめに

鉄道電気設備は、屋外に多く設置されているため、とくに沿岸部では海塩を含んだ水分が、電気設備に付着します。

海塩を含んだ水分が電気を通さない絶縁材料の表面に付着した場合、表面を介して電気がもれて発熱や微小な放電による絶縁材料の劣化が発生し、徐々に絶縁性能が低下することがあります。

他方で、海塩を含んだ水分が金属材料に付着した場合、イオン化傾向(☞参照)の大きい金属ほど酸化反応により腐食劣化して、肉厚の減少や強度低下が発生します。このように、塩分に起因する設備の被害の総称を塩害といいます。

鉄道総研では、新潟県村上市の羽越線勝木駅に近い海岸に、勝木塩害実験

所を設置しています。ここでは、当実験所の歴史、設備および実験所を活用して得られた近年の成果について紹介します。

勝木塩害実験所の歴史と実績 建設の経緯

昭和41年(1966年)2月、羽越線の越後寒川～勝木駅間において、6.6kV信号高圧用ケーブル端末が、設備されてから3か月程度で塩害による絶縁破壊を起こしました。

これを契機として、同年に国鉄塩害試験場が現在の場所に開設され、電気部品をはじめさまざまな部材の耐塩害性能や耐食性に関する評価試験が開始されました¹⁾。

しかし、当初は仮設の架台と課電設備があるのみであったため、暴露条件の把握や、測定器の保護が問題となりました。

そこで、昭和53年(1978年)に、総合気象観測設備や測定機材用の建屋が設置され、現在の「勝木塩害実験所」に改称されました。国鉄分割民営化以降は鉄道総研が継承して各種試験を行っています。

☞ イオン化傾向と局部電池

イオン化傾向とは、二つの元素のどちらがより酸化されやすいかを示す序列です。また、局部電池とは、金属の局部で構成された微小電池のことで、金属のイオン化傾向の違いによって発生します。イオン化傾向の小さい方が陰極、イオン化傾向の大きい方が陽極となり、電流が流れます。

表1 実験所の試験設備概要

課電暴露設備	無課電暴露設備
AC4kV 架台 (高圧配電線の対地電圧相当)	無課電暴露架台 (耐食性の検証用)
AC6kV 架台 (高圧配電線の線間電圧相当)	模擬トンネル (雨洗効果の検証用)
AC20kV 架台 (交流在来線のき電電圧相当)	ACM センサー (金属の環境腐食評価用)
DC1.5kV 架台 (直流き電電圧相当)	パイロットがいし (等価塩分付着密度の評価用)
DC3.0kV 架台 (主に加速劣化用)	

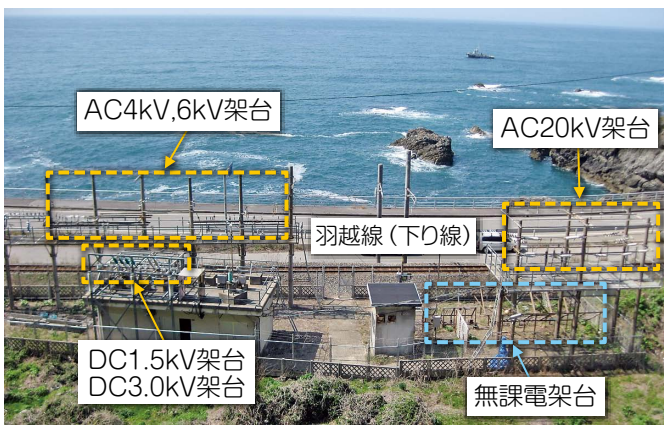


図1 勝木塩害実験所の全景



図2 勝木塩害実験所前で観測された波の花の例

稼働実績

実験所は年8回程度の定期点検日を除き、課電暴露試験を常時実施しています。現在、研究テーマ3件、企業からの受託試験6件を実施しています。当実験所は、電気を絶縁するがいしをはじめとして、トンネル灯具や、電線、電線接続材、ケーブル端末、金属材料などの耐塩性能の検討に活用されています。

塩害実験設備

実験所の全景を図1に示します。当実験所周辺の冬季に発生する塩害は、日本海側の諸地域の中でとくに厳しい地域です。環境の特徴としては、冬季になると海水と植物プランクトンなどの有機物を含んだ泡が発生し、陸地に打ち上げられる、波の花とよばれる現象が発生する地域であることがあげられます。この波の花が季節風に巻き上げられて、設備に付着することで、

重度の塩害が発生します。冬季に実験所前で観測された波の花の例を図2に示します。

このような環境下にある当実験所内には、表1に示す種々の条件にて塩害にともなう各種材料の劣化進展の様相を把握することができますよう、各種設備を有しています²⁾。

研究開発

がいし金属部の防食

磁器がいしは、亜鉛めっきを施した鋼製または鋳鉄製の金具部と、磁器製(セラミック)の絶縁部で構成されており、両者はセメントで接着されています。しかし、海塩などの影響や経年により金属部が腐食すると、腐食生成物が絶縁物表面に流出・付着して、電流がもれる経路ができってしまうため、絶縁性能が低下する場合があります。

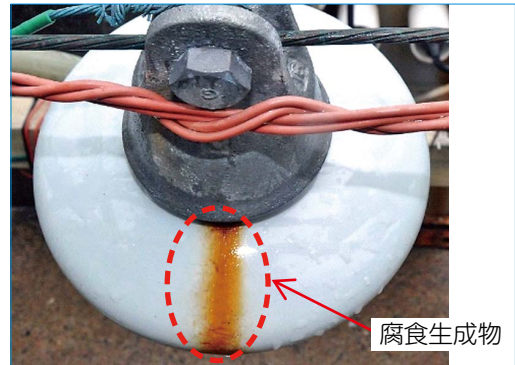


図3 鉄の腐食生成物流出が発生したがいし例

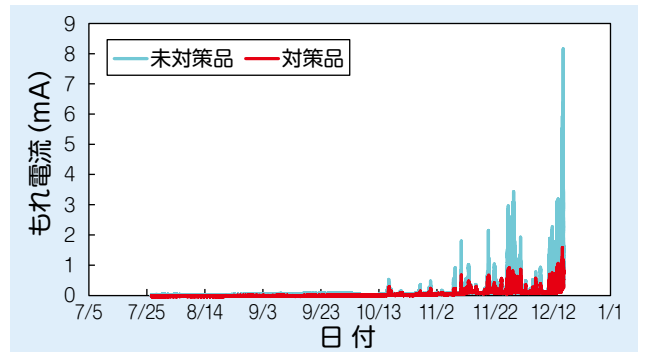


図4 磁器がいしの腐食抑制対策品と未対策品のもれ電流

図3に、実際に鉄の腐食生成物の流出が発生したがいしの例を示します。

そこで、腐食を抑制するため、金具表面にエポキシ系樹脂+ステンレスフレーク含有固体潤滑塗膜の重ね塗りを施す方法を提案しました。勝木塩害実験所にて対策を施した磁器がいしと未対策の磁器がいしを、JRの直流電化区間と同じDC1.5kVの電圧をかけて5か月間暴露したときのもれ電流を図4に示します。腐食抑制対策品は未対策品に比べ、もれ電流のピーク値で1/4以下、平均でも約1/2に低減することを確認しました³⁾。

このように、磁器がいしの金属部の腐食が原因でもれ電流が促進されるよ

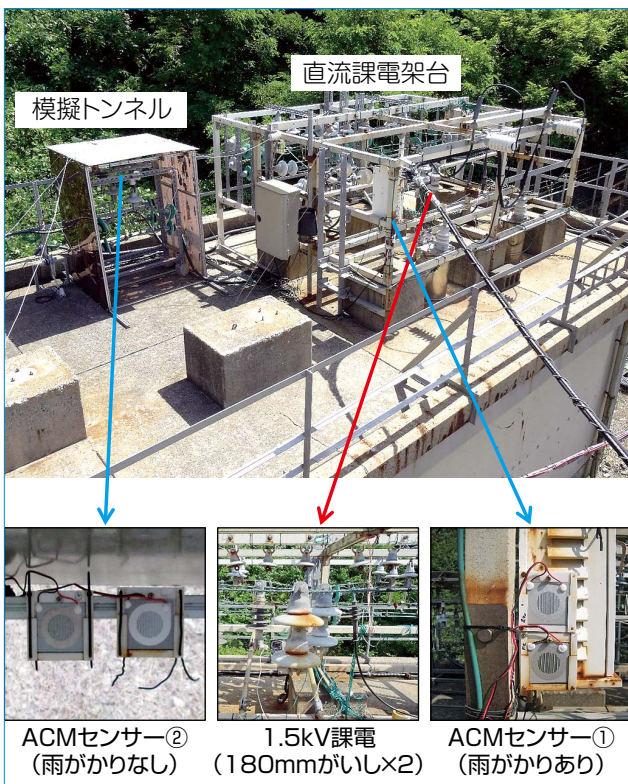


図5 課電暴露試験風景

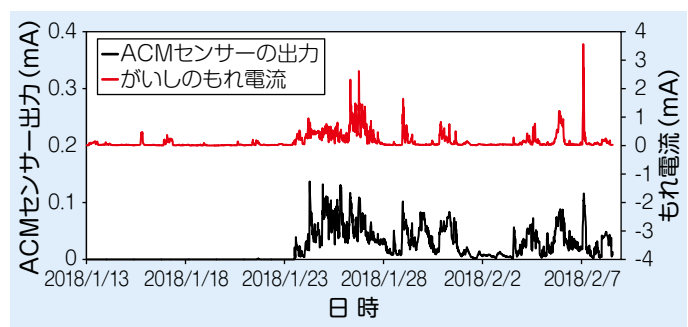


図6 ACMセンサーから推定したもれ電流値とがいしのもれ電流

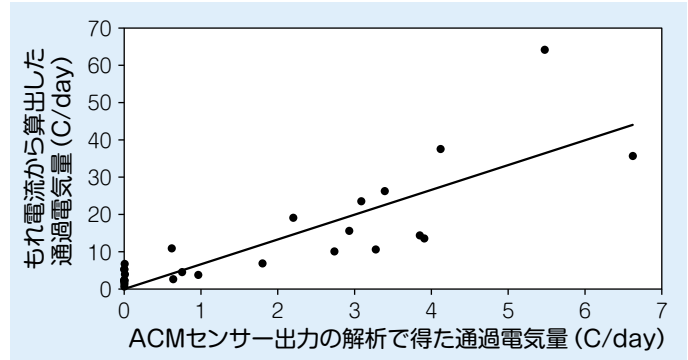


図7 1日当たりの通過電気量の比較

うな場合には、本防食方法を適用する効果は高いと考えられます。

がいしのもれ電流推定法検討

絶縁物の劣化状況を把握する方法として、もれ電流を測定する方法があります。しかし、実設備の絶縁物のもれ電流を継続的に測定することは容易ではありません。そこで、金属腐食環境を計測するACM (Atmospheric Corrosion Monitor) センサー(☞参照)を用いて、絶縁物のもれ電流を推定する方法について検討をしています⁴⁾。

勝木塩害実験所での試験風景を図5に示します。直流電化区間で使用されているものと同等のがいしをDC1.5kVで課電暴露してがいしのもれ電流を測定すると同時に、その近傍にACMセンサーを設置して計測を行いました。ACMセンサーにはいくつかの種類がありますが、ここでは鉄と銀を貼り合わせたタイプを使用し、雨がかりのある場所と、雨がかりのない模擬トンネル内の2箇所に設置して測定をしました。これは、懸垂がいしの絶縁部には、汚損物質が付着しやすい

一方で雨によって汚損物質が流れ落ちやすい天空面と、汚損物質の付着機会は少ないものの汚損物質を流れ落とす雨が直接降りかかりにくい大地面の2面があり、どちらか片方の面の絶縁が回復した場合にはもれ電流が抑制されることが想定されることから、それぞれの面における汚損環境を別々に評価するためです。

測定結果を図6に示します。ACMセンサー出力電流は、雨がかりのある場所とない場所それぞれに設置したACMセンサーのうち、出力がより小さい方の値を「もれ電流値推定のためのACMセンサー出力電流」として採用しています。ACMセンサー出力電流が高いときに、がいしのもれ電流も高くなっていることが認められました⁵⁾。

また、もれ電流を時間で積分した値(通過電気量)に応じて、がいしの金属部の局部腐食が発生することから、金属部の腐食量の推定には通過電気量の把握が重要です。そこで、がいしの1日あたりのもれ電流から算出した通過電気量と、図6で示したACMセン

サーの出力値から算出した通過電気量の比較を行いました。その結果を図7に示します。図中に示すように、両者には相関があるため、ACMセンサーの出力電流を使用して、通過電気量の推定が可能と考えられます。

この通過電気量推定方法を用いて、将来的にはもれ電流を主原因とする場合の懸垂がいしピン部局部腐食度推定を行う予定です。

がいし汚損度と腐食量の関係

鉄道電気設備では、がいし汚損度の指標として等価塩分付着密度 (Equivalent Salt Deposit Density, 以下ESDD, 単位: mg/cm^2) (☞参照)を用いています。鉄道事業者では過去

☞ ACM センサー

ACM センサーは、イオン化傾向の異なる金属の間にスリットのある絶縁ペーストを張り合わせたものです。

スリット部に海塩を含む水分が付着すると、局部電池が構成されて、電流が流れるとともに、イオン化傾向が大きい方の金属が徐々に腐食します。この電流を出力として計測します。

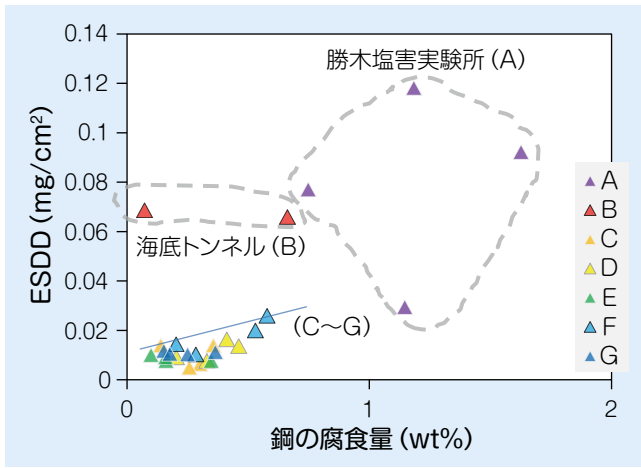


図8 鋼板の腐食量とESDDの関係

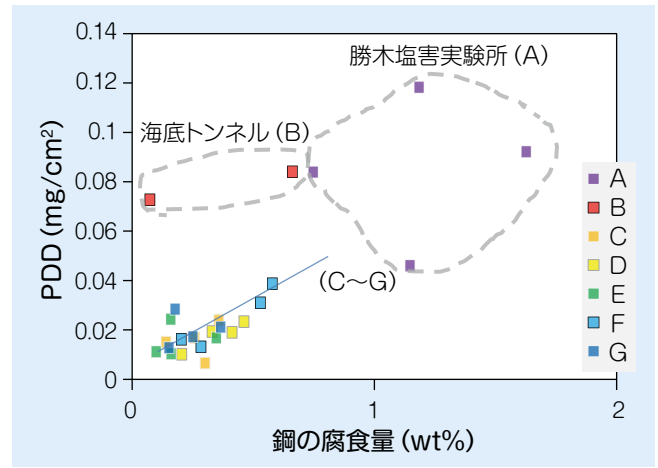


図9 鋼の腐食量とPDDの関係

のESDD測定結果と、海岸からの距離を基準として、絶縁に必要ながいしの種類や1ヶ所あたりの接続個数を決めています。

一方で、塩分は金属腐食を促進する要因でもあります。したがって、ESDDと腐食には一定の相関があることが期待されるため、がいし汚損度から金属腐食環境を間接的に評価する手法の検討を行っています⁶⁾。

ここで、ESDDに類似の指標として不溶性物質付着密度 (Non-water-Soluble Deposit Density, 以下NSDD, 単位: mg/cm^2) があります。これは、単位面積あたりの水に溶解しない金属粉やじんあいなどの物質の付着量です。ESDDは測定直前の天候に大きく左右されるのに対して、NSDDは雨により流されにくく蓄積していく特徴があるため、ESDDとNSDDは別々に測定する必要があります。

NSDDは、腐食に対して直接的な影響は少ないと考えられていますが、

NSDDが増加すると付着した塩分も雨により流されにくくなることから、腐食はNSDDの影響を間接的に受けて考えています。そこで、従来のESDDにNSDDも評価項目として加えた汚損密度 (Pollusion Deposit Density, 以下PDD) を下の式で新たに定義し、汚損密度から腐食を間接的に評価可能か検討しました。

$$[PDD]=a \times [ESDD]+b \times [NSDD] \cdots (1)$$

勝木塩害実験所 (A)、海底トンネル (B)、一般的な塩害箇所 (C~G) の合計7か所にて、腐食評価試験用の鋼板と懸垂がいしを6か月間暴露した後の鋼板の腐食量と、がいしのESDDの関係を図8に、鋼板の腐食量とPDDの関係を図9に示します。図9において、式(1)の係数は $a=1$ 、 $b=0.025$ としました。

① C~Gのデータについて

図8および図9に示すように、腐食度を推定する際、ESDDに加えてNSDDも考慮することで、推定精度が高くなると考えます。

② (A)、(B)のデータについて

図9に示すように、波しぶきの飛来する勝木塩害実験所でも、腐食をPDDから推定することにより、一般的な塩害箇所と同じように推定することができると考えます。一方で、(B)は海底トンネル内という特殊環境であるため、他の箇所とは同一の評価は難

しいことが推察されます。今後はさらにデータ数を積み重ね、提案した式の改良や妥当性の検証を行うとともに、最終的には、あるデータからがいしの汚損度を推定し、PDDから腐食マップを提案する予定です。

おわりに

今後も勝木塩害実験所を活用して、電気設備への汚損環境評価や塩害対策の研究を進めてまいります。RRR

文献

- 1) 髭分政夫：整備拡充された勝木塩害試験場、電力と鉄道、Vol.28, No.6, pp.10-12, 1978
- 2) 赤木雅陽：現場だより 勝木塩害実験所の試験設備概況と近年の取組み事例について、鉄道と電気技術、Vol.27, No.10, pp.1-2, 2016
- 3) 臼木理倫：磁器がいし金具部の腐食対策(その2)、電力ニュース、No.92, p.2, 2014
- 4) 田中弘毅、重枝秀紀、赤木雅陽、臼木理倫、松村周：汚損による高圧がいし性能低下の評価手法、鉄道総研報告、Vol.27, No.8, pp.17-22, 2013
- 5) 柴田直樹、今村英樹、臼木理倫：ACMセンサを用いた直流用がいし漏れ電流の推定方法の検討、平成28年電気学会全国大会、2016
- 6) 臼木理倫、柴田直樹、平川慎太郎、近藤優一、園田洋平、白水義人：電車線路設備における腐食・塩害環境の定量化に向けた基礎検討、鉄道総研報告、Vol.32, No.4, pp.23-28, 2018

☞ 等価塩分付着密度 (ESDD)

がいしなどの表面に付着した汚損物質のうち、電解質として作用する物質が全て塩分であると仮定して、その付着量を塩分の付着量に換算したものを等価塩分付着量といい、これを単位面積あたりに換算した値を等価塩分付着密度 (ESDD) といいます。