

架空送電線の鋼心腐食メカニズムに関する研究

四国電力(株) 高知支店電力部送電課 富永 能史
四国電力(株) 電力輸送本部送変電部 重井 政人
(株)四国総合研究所 電力技術部 藤川 真人

キーワード : 架空送電線
電力線
鋼心腐食
硫酸イオン
腐食促進試験

Key Words : OverHead Power Transmission Line
Power Line
Steel Wire Corrosion
Sulfate Ion
Accelerated Corrosion Test

Study on steel wire corrosion mechanism of the overhead power transmission line

Shikoku Electric Power Co., Inc., Kochi Branch Office, Electrical Engineering Dept.

Yoshifumi Tominaga

Shikoku Electric Power Co., Inc., System Operation and Transmission Division, Transmission and Substation Dept.

Masahito Shigei

Shikoku Research Institute, Inc., Electric Power Technology Dept.

Masato Fujikawa

Abstract

It is considered that the form of corrosion about the power line of the he overhead power transmission line is the aluminum wire corrosion by the sea salt. But in late years, we have conformed another form of corrosion which is the internal corrosion on the steel wire about the power line of the overhead power transmission line passing through the mountainous area.

As a result of having carried out the accelerated corrosion test of the electric wires, we had been able to reproduce a corrosion form that aluminum wire corrosion was small, and steel wire corrosion had a big by coordinating corrosion solution composition (pH, sulfuric acid, sodium sulfate density). From this, it was estimated that the main factor of the steel wire corrosion was atmospheric SO₂.

Then, we measured the SO₂ density to estimate distribution of the atmospheric SO₂ density of the Shikoku area. And we performed a diffusion calculation of the quantity of SO₂ outbreak and made a mean SO₂ density map every 1km mesh of the Shikoku area.

And one more thing, we performed an accelerated corrosion test using three kinds of electric wires (ACSR200mm², 410mm², 680mm²) which vary in size (wire diameter, the number of the aluminum layer) and acquired underlying data about a tendency to electric wire strength drop, the speed.

In the last place, we made electric wire corrosion speed map [ACSR330mm²] for the steel wire corrosion using a multiple regression analysis and enabled an estimate of the remaining lifetime of the power line.

1. はじめに

架空送電線の電力線の腐食要因は、これまでの経年電線の腐食劣化データの分析・評価から、海塩によるアルミ腐食と考えられていた。⁽¹⁾

しかし、近年、硫黄酸化物（以下：SO_x）等の影響と考えられる電線の鋼心腐食事例（亜鉛メッキ消失・赤錆）が新たに確認されている。

このため、電線の鋼心腐食のメカニズムを解明するとともに、鋼心腐食による電線の余寿命推定手法についての研究を行ったため、紹介する。

2. 鋼心腐食の発生メカニズム

2.1 鋼心腐食に影響する環境要素

図1に海塩による電線腐食例を示す。ACSR系電線の腐食要因は主に海塩粒子によるアルミ腐食と考えられていたが、近年、山間部を通過する送電線の撤去電線で鋼心のみ発錆する事例が時折確認されている。図2に電線の鋼心腐食事例を示す。外層のアルミ素線には腐食が少ないが、内層の鋼心が発錆している状態が確認されている。

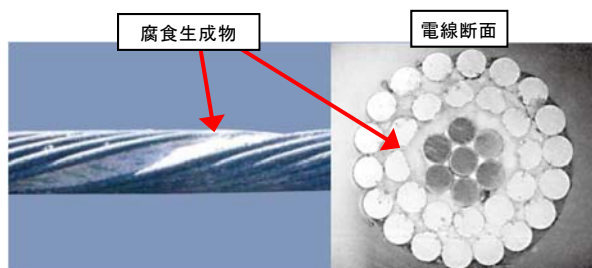


図1 海塩による ACSR の腐食事例⁽¹⁾

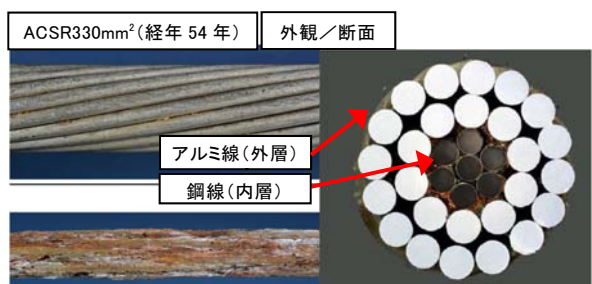


図2 電線の鋼心腐食事例

鋼心腐食電線の付着物を X 線回析分析した結果、塩化物イオンや硝酸イオンに比べて硫酸イオンが多く検出された。

なお、SO_x (SO、SO₂、SO₃) は火山活動等の自然現象によるもののほか、石油・石炭の燃焼、金属の精錬、自動車の走行など、人間の社会的活動に伴って大気中に排出されるが、通常は SO_x のほと

んどすべてを SO₂ とみなしてもよいほど SO、SO₃ の生成は少ない。⁽²⁾ このため本研究では SO₂ を対象とした。

また、鋼材の腐食に関して影響度合いの高いガス種（腐食性物質）を調査した結果、図3の鉄に着目すると、腐食ガスのうち SO₂ の腐食感受性が著しく高いことが分かった。

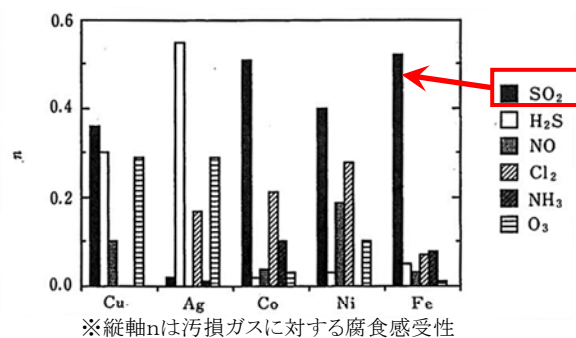


図3 金属材料の腐食に及ぼす汚損ガス種の影響⁽³⁾

以上から、電線の鋼心腐食のメカニズムとして大気中の硫酸イオンが降雨、霧等を媒体として電線内部に取り込まれ、凝縮されたことで鋼心腐食が発生したと推定される。

2.2 腐食促進試験

上記の鋼心腐食メカニズムを再現するために、図4に示す腐食加速試験装置を用いた腐食促進試験を行った。通電加熱した電線試料に腐食性水溶液を間欠的に噴霧する方法（腐食溶液噴霧と通電加熱乾燥を繰り返す方法；乾湿サイクル法）にて実施し、実環境での乾湿、すなわち、降雨や結露による湿潤、水分蒸発による乾燥の繰返しを踏まえた評価手法とした。

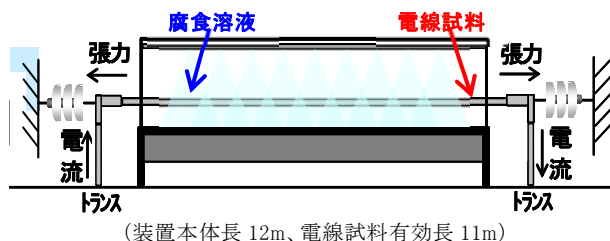


図4 腐食加速試験装置の模式図

腐食溶液組成（pH、硫酸、硫酸ナトリウム濃度）、乾湿サイクル、電線温度をパラメータとして試験を行った結果、図5に示すような実線路での鋼心腐食状態（アルミ腐食が小さく、鋼心腐食が大きい形態）を再現できることが分かった。



図5 腐食促進試験における試料の腐食様相例

3. 腐食因子(SO₂)の調査

3.1 SO₂濃度測定

鋼心腐食の腐食要因となる SO₂ について、四国地域の大气環境中の SO₂ 濃度の分布を推定するために、SO₂ 濃度測定を実施した。測定箇所は観測データが少ない山間部を中心に鉄塔 33 箇所(パッシブ法)、平地部を中心に公的機関 70 箇所(アクティブ法)のデータを取得した。図6に鉄塔での環境データ測定状況を示す。



図6 鉄塔での環境データ観測状況

3.2 SO₂濃度分布推定

上記データをもとに、化学物質の大气中濃度を発生量と気象データ(風向・風速、降水量)から計算する ADMER プログラム⁽⁴⁾(産業技術総合研究所)を用いて拡散計算を実施し、四国内 1km メッシュ毎の平均 SO₂ 濃度の算定と SO₂ 濃度マップを作成した。図7に、四国地域の SO₂ 濃度マップ(2000年ベース)を示す。

なお、近年の SO₂ 排出量は 2000 年頃と大差ないことから、EAGrid_Japan⁽⁵⁾ の 2000 年ベース値を採用した。

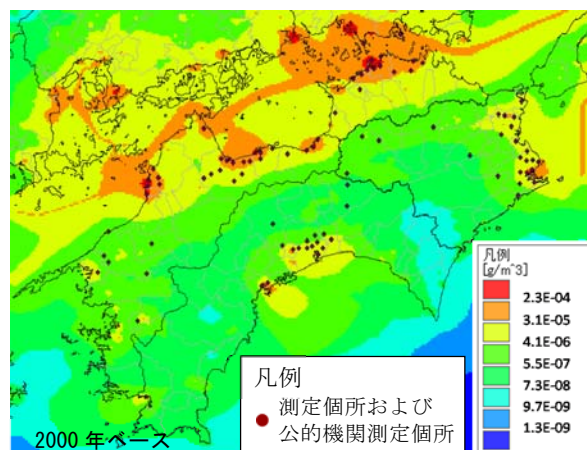


図7 四国地域の SO₂ 濃度マップ(2000年ベース)

4. 鋼心腐食による電線の劣化評価

4.1 腐食促進試験結果

サイズ(素線径、アルミ層数)の異なる3種類の電線(ACSR200mm²、410mm²、680mm²)の腐食促進試験・性能評価試験結果から、電線強度低下傾向・速度に関する基礎的なデータを取得した。

図8に各試料の鋼線の引張強度低下率の変化状況を、図9に各試料の外観状況を示す。

各試料とも腐食試験時間とともに引張強度低下率が次第に大きく低下している。これは、鋼心表面の亜鉛めっきが次第に消失した後、時間経過とともに鋼線(6本層より線)が腐食減肉し、鋼線間に隙間が生じ、腐食溶液に曝される面積が増加したためと推定される。

また、ACSR200、410、680mm² 試料における6本層鋼線の外観様相を比較すると、素線径の細い線種、あるいはアルミ層数の少ない線種では、鋼心腐食劣化が早い傾向が確認され、引張強度につい

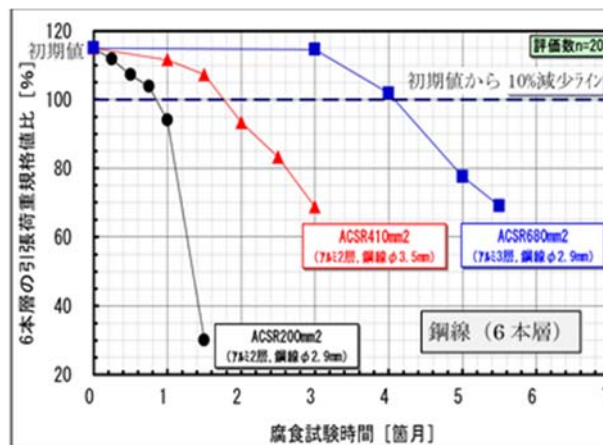


図8 腐食促進試験での鋼線の引張荷重残存率

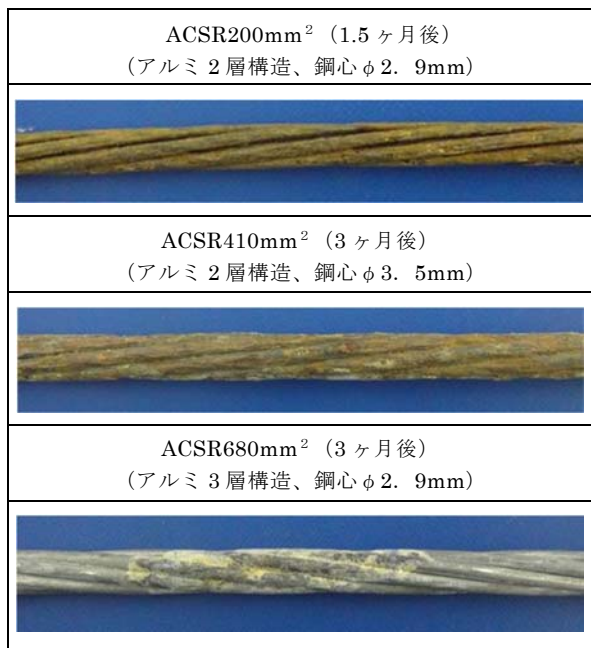


図9 腐食促進試験での各試料の外観様相

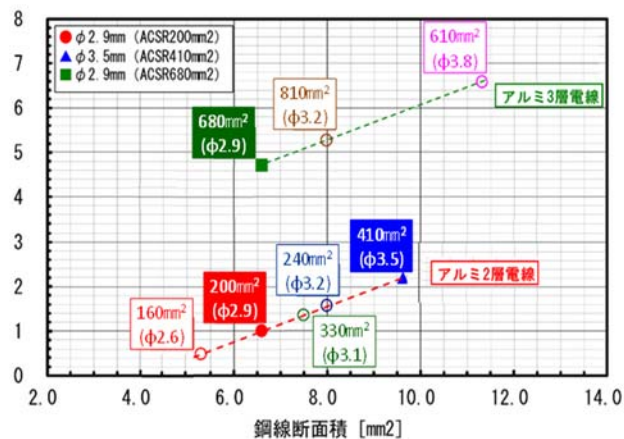
でも、鋼心素線径が小さくなると引張強度の低下は早く、アルミ層数が多いと引張強度の低下は遅いことが確認された。アルミ層数が多いことで、腐食溶液が電線内部まで浸入しにくくなることで腐食の進行が遅くなり、引張強度の低下は遅くなったと考えられる。

4.2 電線の腐食劣化評価

次に、上記で得られた ACSR 200、410、680mm² 試料の寿命時間、鋼線断面積、アルミ層数から、他サイズ電線の腐食劣化速度を推定した。比較のため、200mm² サイズ品を基準とした鋼線の寿命時間比とした。図 10 に、ACSR における 6 本層鋼線の寿命時間比の評価結果を示す。ここで、寿命時間は、引張強度が初期値から 10%減少するまでの腐食試験時間とした。

アルミ 2 層については、ACSR 200、410mm² の試験結果から、鋼素線の断面積比で ACSR 160、240、330mm² を推定した。素線の太サイズ化により腐食欠損の影響が相対的に軽減されるため、相対寿命は長くなっていると考えられる。

また、アルミ 3 層については、アルミ ACSR 200、680mm² の試験結果からアルミ 2 層と 3 層の寿命時間比で求め、素線径の異なる ACSR 610、810mm² はアルミ 2 層での素線径の関係を用いて推定した。アルミ層数の増加によって、鋼心層への溶液浸入



*縦軸は ACSR 200mm² の寿命時間を 1 とした時の相対寿命

図 10 ACSR (6 本層鋼線) の寿命時間比の評価結果

がし難いことで腐食の進行が遅くなるため、相対寿命は長くなっていると考えられる。

5. 電線の余寿命推定手法

電線の余寿命推定を行うために、今回得られた鋼心腐食は大気環境中の SO₂ が影響しているという知見等を考慮し、電線腐食速度マップを作成した。

5.1 重回帰分析

電線腐食速度マップの作成方法は、目的変数を電線強度低下率とし、説明変数に鋼心腐食事例が確認された場所の環境条件を考慮して、SO₂ 濃度、雲中率、年間降水量平均値等を用いて重回帰分析を行った。図 11 に、重回帰分析に使用した主な説明変数を示す。

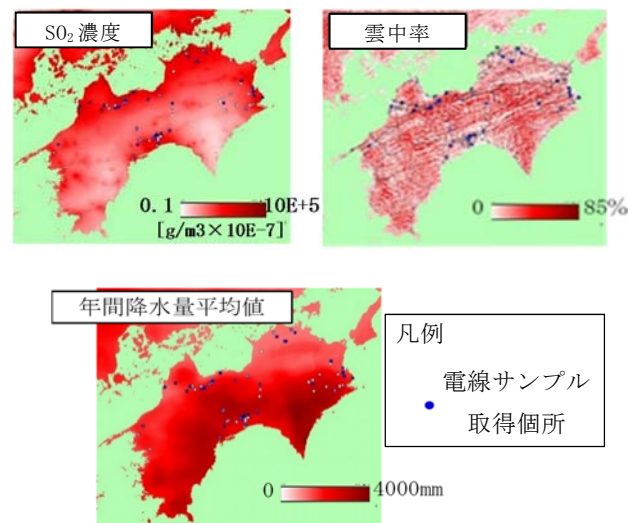


図 11 重回帰分析に使用した主な説明変数

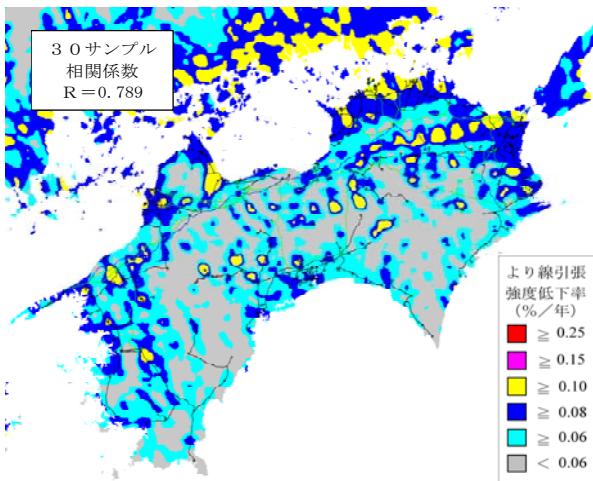
雲中率は、凝結高度が地点の高度より低くなる割合であり、雲中率が高いと電線が水蒸気に曝される割合が多くなり、電線の内部へより SO_2 が浸透しやすくなると考えられる。(気象庁観測データから推定)

年間降水量平均値は、気象庁のデータを使用し、降水量の少ない地点では電線の雨洗効果が少なくなり、腐食しやすくなると考えられる。

5.2 電線腐食速度マップ(SO_2 による鋼心腐食)

重回帰分析の結果、得られた電線腐食速度マップ(SO_2 による鋼心腐食)を図12に示す。山間部でも電線の引張強度低下率が高い地点があり、山間部の鋼心腐食状況が反映されている。

また、作成したマップはACSR330mm²ベースで作成されているため、図10で示した他サイズ電線との寿命時間比較結果を用いて補正が可能である。



※[ACSR330mm²ベース]
図12 電線腐食速度マップ(SO_2 による鋼心腐食)

6. まとめ

架空送電線の鋼心腐食メカニズムとして、大気環境中の硫酸イオンが雨水等を媒体にして電線内部に侵入し、凝縮されることで鋼心腐食が進行することを想定し、電線の腐食促進試験を行った結果、腐食溶液組成(pH、硫酸、硫酸ナトリウム濃度)、乾湿サイクル、電線温度等を調整することで、実線路での鋼心腐食状態(アルミ腐食が小さく、鋼心腐食が大きい形態)を再現できることが分かった。

また、鋼心腐食の主な要因と考えられる SO_2 濃度について、四国地域の SO_2 濃度分布を推定する

ために、 SO_2 濃度測定および SO_2 発生量データと気象データを用いた拡散計算を行い、四国内 1km メッシュ毎の平均 SO_2 濃度の算定と SO_2 濃度マップを作成した。

電線の余寿命推定手法として、鋼心腐食の要因と考えられる SO_2 濃度、雲中率、年間降水量等を用いて重回帰分析を行い、電線腐食速度マップ(SO_2 による鋼心腐食)[ACSR330mm²]を作成した。電線サイズが異なるものについては、鋼線の寿命時間比を用いて補正することで対応できる。

今後は、鋼心腐食事例のデータ蓄積を行うほか、大気中の二酸化硫黄について中国大陸から長距離輸送される影響を考慮した濃度推定や地形効果を考慮した SO_2 発生源からの拡散シミュレーション手法などを取り入れることで、 SO_2 濃度推定の精度向上および電線の予寿命推定手法の精度向上が期待される。

[謝辞]

本研究は、四国電力(株)電力輸送本部送変電部殿より委託を受け実施したもので、ご協力いただいた関係各位に深く感謝いたします。

[参考文献]

- 1) 電気学会：電気学会技術報告 968 号「架空送電線の電線腐食現象」,(2004) 6., P. 7
- 2) 株式会社東京化学同人：化学大辞典,(1989), P. 150
- 3) D. W. Rice, R. J. Cappell, P. B. P. Phipps and P. Peterson : in “Atmospheric Corrosion” ed. W. H. Ailor, Wiley Interscience, (1982) 651.
- 4) 東野 晴行：リスク評価ツールとしての大気拡散モデルの開発(大気環境学会誌 第44巻 第2号, 2009)
- 5) EAGrid2000_Japan：東アジア大気汚染物質排出量グリッドデータベース(国立環境研究所)