

S2-4-7

剛体電車線用アルミニウム架台の腐食劣化特性評価

[電] ○毛利 哲 [電] 佐藤 勇輔 (鉄道総合技術研究所)

[電] 西 健太郎 (東日本旅客鉄道株式会社)

Characteristic evaluation of corrosion on aluminum-based rigid conductor line

Satoru Mohri, Yusuke Sato (Railway Technical Research Institute)

Kentaro Nishi (East Japan Railway Company)

Abstract

Aluminum-based rigid conductor lines are widely used because of its low cost and light weight. Corrosion degradation of aluminum, however, tends to be caused by the leakage of water in a tunnel or different species metal contact part. Therefore test of corrosion with various environments are made in order to get characteristics of corrosion on aluminum-based rigid conductor line. The results are described in this paper.

キーワード：アルミニウム剛体電車線、トンネル、腐食

Keywords: Aluminum-based rigid conductor lines, Tunnel, Corrosion

1. はじめに

剛体電車線はトロッコ線を無張力で架設でき、空頭高を大幅に縮小できるため、地下鉄や狭小トンネル等で広く用いられている。特にアルミニウムを架台とした剛体電車線は、重量を軽くすることでたわみが抑えられ、集電性能の向上が可能である。しかしアルミニウムは腐食電位が低く（卑であり）、腐食しやすい特性を有している。

筆者らはこれまでに、トンネル内のアルカリ性の漏水発生箇所や異種金属接触腐食箇所、塩害が予想されるトンネル箇所などで、さらにトロッコ線とアルミニウム架台に様々な防食対策を施した条件下において、アルミニウム剛体電車線の腐食特性を予測するための試験を行い、腐食劣化進展特性の把握と寿命予測を行ってきた^{[1][2]}。本稿はこれまで行った試験と得られた知見のまとめとして、各種環境下におけるアルミニウム剛体電車線の腐食特性と寿命予測の結果の報告を行う。

2. アルミニウム架台の腐食特性

2.1 アルミニウムの腐食特性

アルミニウムとその合金は、大気環境下において、酸化皮膜で覆われており、耐食性を有する。この酸化皮膜が塩分や酸性・アルカリ性溶液等で損傷すると、腐食が発生する。金属の腐食の形態を分類すると、全面腐食、異種金属接触腐食および局部腐食に分類される。

全面腐食は表面の酸化皮膜が溶解された場合に生じる腐食である。特にアルミニウムの場合、酸化皮膜は $\text{PH}<4$ の酸もしくは $\text{PH}>8.5$ の塩基において破壊され、全面腐食が生じる。

異種金属接触腐食は、電解質水溶液中にて異なる金属と接触することにより、互いの腐食電位の差により局部的に電池が形成され、腐食が進行する。一般的に腐食電位が低い（卑である）金属が、イオンとなり溶解するため腐食する。アルミニウムは腐食電位が比較的低い金属であり、銅などとの接触箇所、イオン濃度が高い水溶液中にある場合に、腐食しやすい性質を有する。

局部腐食は、表面の酸化皮膜に付着した塩化物イオンや硫酸イオンなどにより酸化皮膜が損傷し、部分的に孔状あるいは溝状の腐食による窪みが生じる。

2.2 アルミニウム架台の架設環境と腐食特性

今回の試験で試料として用いた、アルミニウム剛体電車線架台を図1に示す。実際の架設環境では、主に以下の要因による腐食が問題であると考えられる。

- (1) トンネルのアルカリ漏水により、架台が全面腐食する。
- (2) アルミニウム架台のイヤー把持部分で、トロッコ線（すず入り銅合金）との異種金属接触による腐食が進行する。

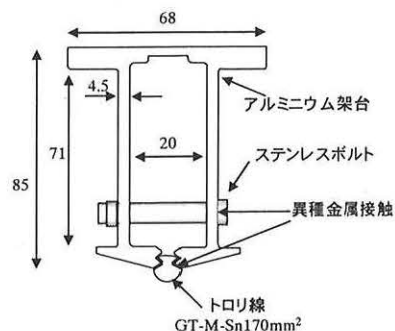


図1 アルミニウム剛体架台試料

2.3 腐食特性把握のための試験

前節の(a) (b)を要因としたアルミニウム架台の腐食特性を把握するため、図2に示す試験を行った。

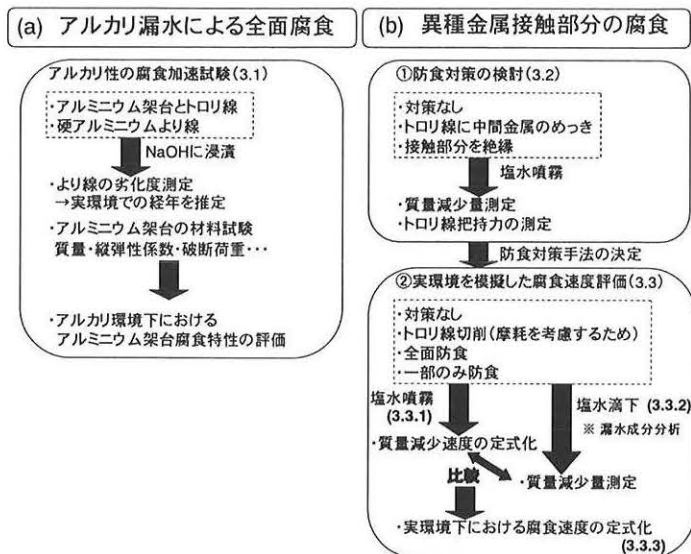


図2 腐食特性把握のための試験概要
(カッコ内数字は本論文の節番号)

3. 実験概要と結果

3.1 アルカリ性水溶液による腐食試験

3.1.1 試験概要

図1に示すように、トリ線アルミニウム架台のイヤーで把持した長さ100mmの試料、および比較のため硬アルミニウムより線HA1200mm²をPH13のNaOH水溶液に浸漬させた。この加速劣化試験と経年との関係は、アルミニウム架台と同時に浸漬したHA1200mm²の劣化度(アルミニウム残存量)の測定値、および実際に現場へ架設されているHA1200mm²の劣化度と経年との関係を比較することで推定した。また、加速試験後のアルミニウム剛体架台の質量、引張強度などを測定し、腐食により材料特性がどのように変化するかを確認した。

3.1.2 試験結果

鉄道総研が開発を行った、うず電流を用いた劣化判定装置により、PH13のNaOH水溶液に浸漬させたHA1200mm²の劣化度測定を行った。この装置は、腐食後のアルミニウム残存量を測定できるものである。

一方、実際に架設されているHA1200mm²の経年と劣化度との比較データに基づき、今回腐食させたアルミニウム架台の経年を推定した。この結果を表1に示す。

またA～Dの各試料について、材料試験を行った結果を表2に示す。アルミニウム架台の質量は、最も腐食させた試料Dにおいて、新品のものに比べ14.1%減少した。導電率および縦弾性係数については、新品と腐食させた各試料を比較するとほぼ同じ値であり、腐食してもアルミニウム材料の特性は変化しないことがわかった。

表1 アルミニウム架台の加速劣化試験結果

試料	浸漬時間 [h]	新品100% とした劣化度 (HA1200)	推定経年 [year]	断面板厚 [mm]
新品	0.0	100	0.0	4.50
A	36.5	84	12.0	4.23
B	53.0	74	19.7	3.88
C	58.7	58	32.6	3.77
D	123.3	26	57.4	1.95

また、アルミニウム架台の側面部分をJIS Z 2201-5号試験片の形状に加工し、引張試験を行った。腐食により試料の板厚が減少するため、破断荷重[N]は50%以上減少した。ただし、引張強さ[MPa]はほとんど変化していないため、アルミニウム材料としての特性は変化していないことがわかった。なお、アルミニウム架台には架線張力が働くわけではなく、自重およびトリ線重量のみが加わることを考えると、引張強度は試料Dにおいても、実用上十分な大きさであるといえる。

表2 アルミニウム架台の材料試験結果

試料	単位長さ の質量 [kg/m]	質量 減少率 [%]	導電 率 [%]	縦弾性 係数 [G Pa]	試験片 断面積 [mm ²]	破断 荷重 [N]	引張 強さ [MPa]
新品	3.10	—	56.4	66.9	110.1	25795	234
A	2.93	5.5	57.0	65.8	100.9	23108	229
B	2.87	7.5	56.9	66.7	98.3	22375	228
C	2.79	10.1	56.7	66.4	93.4	21105	226
D	2.66	14.1	55.9	66.9	48.6	11968	246

3.2 異種金属接触腐食抑制の防食対策評価

3.2.1 試験概要

異種金属接触腐食による影響を把握するため、濃度5.0%温度50℃のNaCl水溶液を長さ100mmの図1のアルミニウム架台試料に噴霧し、アルミニウム剛体架台試料の質量減少量を測定した。なお、アルミニウム架台とトリ線の防食特性把握を行うため、図1に示すアルミニウム架台またはトリ線へ、表3に示す各種防食対策を行い、それを試料とした。

表3 試験試料

試料	A	B	C	D	E
Cu(トリ線)	—	Snメッキ	Znメッキ	—	—
Al(剛体)	—	—	—	陽極酸化(注)	絶縁板

(注) 陽極酸化皮膜処理

3.2.2 試験結果

5.0%NaCl水溶液を50℃で100日まで噴霧した試料の質量残存割合を図3に示す。

図3より、塩水噴霧100日後の質量減少量が最も大きいのは試料Aであり、質量減少量が最も小さいのは試料Dおよび試料Eであった。

これらの結果より、アルミニウム剛体電車線において異種金属接触腐食を抑制するために、最も有効であるのは接触箇所への絶縁の実施、次に有効であるのはすずなどの中間金属によるメッキの実施である。

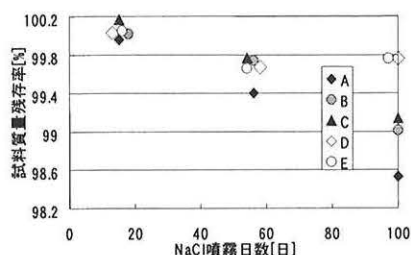


図3 各試料の質量残存率

さらに、塩水噴霧による加速劣化をしたアルミニウム架台のトリ線把持力を確認するため、図4のようなトリ線把持力試験を行った結果を図5に示す。その結果、各試料ともJIS規格の5500N（JISE2201 ハンガイヤーの最大引張荷重を準用）を大幅に上回った。

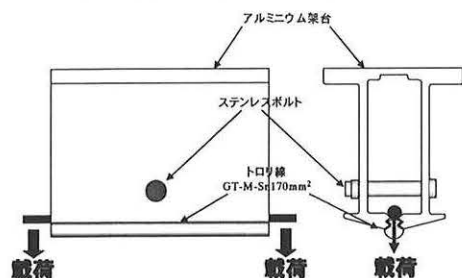


図4 アルミニウム架台のトリ線把持力試験

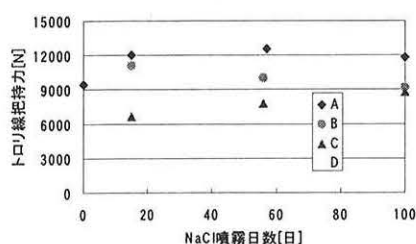


図5 把持力試験結果

次に腐食試料の振動による耐久性を評価するために、接触箇所へ防食を施していない長さ1200mmのアルミ架台とトリ線に、塩水噴霧を100日間行った試料について、図6に示す振動試験を実施した。

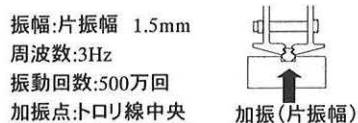


図6 アルミニウム架台の振動試験

振動試験の結果、トリ線の把持に問題は発生せず、アルミ架台に亀裂等も確認されなかった。

以上より塩水噴霧100日までの期間について、把持力はJIS規定値を上回り、また振動に対する機械的耐久性を有していることが確かめられた。したがって、以下では塩水噴霧100日に該当する期間、すなわち質量減少量5.2gを使用限度と仮定して、耐用年数の推定を行う。

図3より、異種金属接触対策の防食対策として、接触箇所へ絶縁を施すことが最も有用であることがわかった。しかし循環電流防止の観点から、アルミ剛体とトリ線は同電位に保つのが好ましい。そのため以下では、前項で防食効果が認められた、トリ線にすずめっきを施した試料について、腐食劣化の検討を行う。

3.3 腐食速度の評価

3.3.1 塩水噴霧試験概要

トリ線の摩耗による断面積減少、ならびに経年によるすずめっき消失の影響を調査するため、長さ100mmの図1のアルミニウム剛体架台試料に、図7に示すように断面積と防食対策を変化させたトリ線を接続した試料を用いる。

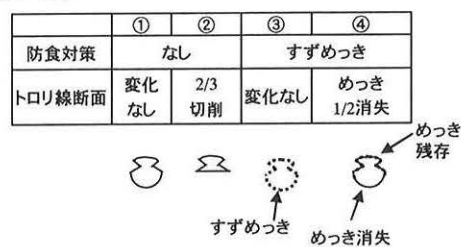


図7 トリ線試料条件

滴下試験に先立ち、図7の防食対策による腐食速度の差異を比較するため、濃度5%、温度50℃のNaCl水溶液による塩水噴霧試験を100日間行い、10日間毎にアルミニウム剛体架台の質量を測定した結果を図8に示す。

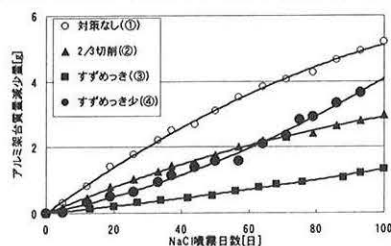


図8 各試料の質量減少量

3.3.2 塩水滴下試験概要

トンネル内の使用環境を模擬するため、塩水滴下試験を実施した。トンネル内の漏水成分分析結果^[2]より、塩水滴下条件は表4のとおりとした。

表4 塩水滴下条件

漏水条件	海岸トンネル		山岳トンネル	
	漏水大	漏水小	漏水大	漏水小
濃度	0.30%NaCl		0.0025%NaCl	
滴下条件	60秒/0.1ml	10秒/0.1ml	60秒/0.1ml	10秒/0.1ml

この塩水滴下試験の結果と、前節の噴霧試験における腐食速度との対応付けを検討し、各条件について質量減少を指数関数で近似した結果を表5に示す。

表5 質量減少の指数関数近似
(①・②は $y = ae^{-bt}$ 、③・④は $y = ae^{bt}$ で近似)
y: 質量減少速度[g/日], t: 経過日数[日]

試料	海岸トンネル		山岳トンネル	
	漏水大	漏水小	漏水大	漏水小
①	a=3.7×10 ⁻³ b=2.0×10 ⁻⁴	a=3.2×10 ⁻³ b=2.0×10 ⁻⁴	a=1.1×10 ⁻³ b=6.0×10 ⁻⁴	a=5.0×10 ⁻⁴ b=3.0×10 ⁻⁴
②	a=2.1×10 ⁻³ b=2.0×10 ⁻⁴	a=1.8×10 ⁻³ b=2.0×10 ⁻⁴	a=6.2×10 ⁻⁴ b=6.0×10 ⁻⁴	a=2.8×10 ⁻⁴ b=3.0×10 ⁻⁴
③	a=5.0×10 ⁻⁴ b=2.0×10 ⁻⁴	a=4.0×10 ⁻⁴ b=2.0×10 ⁻⁴	a=2.0×10 ⁻⁴ b=6.0×10 ⁻⁵	a=7.0×10 ⁻⁵ b=3.0×10 ⁻⁵
④	a=1.1×10 ⁻³ b=2.0×10 ⁻⁴	a=9.0×10 ⁻⁴ b=2.0×10 ⁻⁴	a=3.0×10 ⁻⁴ b=7.0×10 ⁻⁵	a=2.0×10 ⁻⁴ b=3.0×10 ⁻⁵

3.3.3 推定寿命の算出

これまでに述べた実験結果よりアルミニウム架台の質量減少の定式化を試みる。表5の試料①(新品)と②(切削)の結果から、図9のように $y = ae^{-bt}$ の係数 a をトリ線残存直径 d の1次関数で近似する。

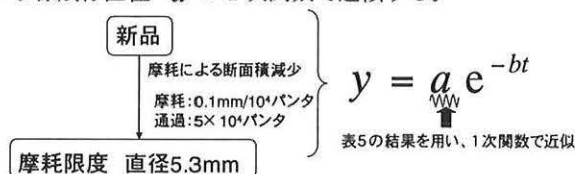


図9 摩耗を考慮した定式化

このように表4の各条件下の質量減少速度を定式化し、経年と質量減少の関係をまとめたものを図10に示す。

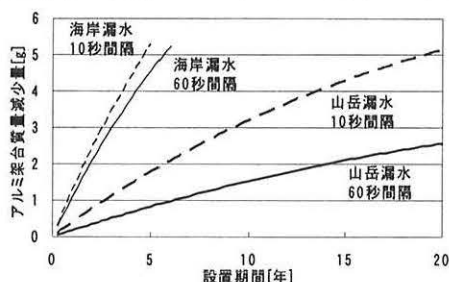


図10 トリ線防食対策無時の架台質量減少量

次に、すずめっきトリ線の防食効果について検討する。ここで表5の試料①と試料③の腐食速度が一致する期間でめっきの防食効果が消失すると考える。表4の各条件で、防食効果消失期間を算出した結果を表6に示す。

表6 すずめっき防食効果消失年数

漏水条件	塩水噴霧 5%, 50℃	海岸付近地下トンネル		山岳トンネル	
		10秒間隔	60秒間隔	10秒間隔	60秒間隔
年数(年)	0.4	8.3	8.7	27.4	41.9

以上の検討をもとに、すずめっきトリ線を取り付けたアルミ架台の質量減少量を、図11の手順で算出する。なお、摩耗や通過バタ数、摩耗限度等の条件は、図9中に示したものとした。

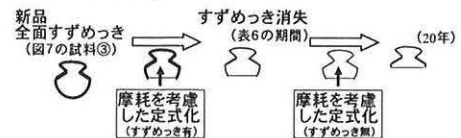


図11 アルミニウム架台の質量減少量算出手順

図9に示す手順で、長さ100mmのアルミ架台の質量減少量を計算した結果を図12に示す。また、前節で機械的強度を確認した質量減少量(5.2g)に達するまでの期間を推定寿命と仮定すると、アルミニウム架台の寿命は図12の結果から、表7のように推定できる。

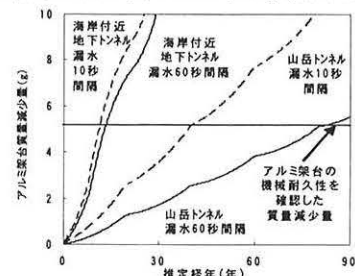


図12 すずめっきトリ線使用時の架台質量減少量

表7 すずめっきトリ線使用時の架台推定寿命

漏水条件	海岸付近地下トンネル		山岳トンネル	
	10秒間隔	60秒間隔	10秒間隔	60秒間隔
年数(年)	11	13	40	80

4. まとめ

アルミニウム架台剛体電車線について、アルカリ性漏水と、異種金属接触の2つが腐食の主要因と考え、試験を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) アルカリ性の腐食加速試験を行い、材料試験を行ったところ、アルミニウム架台の破断荷重は減少するが、アルミニウムの材料特性に変化はおこらない。
- (2) 塩水噴霧試験により防食対策を検討した結果、電気的に絶縁したものが最も有効であり、中間金属によるトリ線のめっきも、防食効果が見込まれる。
- (3) アルミニウム架台の質量減少量が5.2gまでは、機械的強度に問題が無いことを確認した。
- (4) すずめっきトリ線を架設した場合の、アルミニウム架台の寿命は、海岸トンネルでは11~13年程度、山岳トンネルでは40~80年程度であると推定される。

参考文献

- [1] 濱田 貴弘他: 剛体電車線用アルミ架台のトンネル適用時の腐食劣化予測, 平成15年電気学会全国大会, No. 5-244, 2003
- [2] 西 健太郎他: アルミ剛体電車線の異種金属接触腐食, 平成15年電気学会産業応用部門大会, No. 3-75, 2003