

Corrosion Degradation at the time of tunnel application
of the Aluminum-base Rigid Conductor Lines

正[電] ○西 健太郎 正[電] 佐藤 勇輔 (鉄道総合技術研究所)

Kentaro NISHI, Yuusuke SATO Railway Technical Research Institute,
Hikaricho2-8-38, Kokubunji-shi, Tokyo

Aluminum-base rigid conductor lines are installed in subways and narrow tunnels with low cross section height. However, corrosion degradation of aluminum tends to occur by the leakage of water in a tunnel or in a different species metal contact part. Therefore, we studied various measures against the corrosion degradation for the rigid conductor lines. As the result of accelerated corrosion degradation, we confirmed that there is no problem in mechanical property even if it installed in the tunnel for 60 years. Moreover, in order to reduce the contact corrosion of different-species metal, it is confirmed that it is effective to perform electric insulation to a contact part, or to plate middle metal.

キーワード：剛体電車線、腐食劣化、異種金属接触

Keywords: rigid conductor line, corrosion degradation, different metal contact

1. はじめに

剛体電車線はトロリ線の断線事故の恐れがなく、メンテナンス性が良く、またトンネル断面が縮小可能な設備として開発され、地下鉄や狭小トンネルなどに設置されている^[1]。この剛体電車線に、近年高速での集電性能の向上を目的に、軽量で支持点間のたわみが小さいアルミニウムが一部で使用されている。

一方、これまでトンネル内では、漏水の影響や明かり区間に比べ環境条件が厳しいため、腐食に弱いアルミニウムの使用は避けられてきた^[2]。現在、トンネル内でのアルミニウムの明確な適用基準が定まっていない。またアルミニウムは銅との異種金属接触腐食による劣化が生じやすいため、銅との接触箇所には保守上注意を要してきた^[3]。

上記の点から、トンネル内にアルミニウム剛体電車線を適用するにあたり、アルカリ性漏水による腐食劣化および異種金属接触による腐食劣化の評価と腐食劣化対策について検討を行った。

2. アルミニウム剛体電車線

日本では剛体電車線は昭和30年代より導入され、これまで改良を重ねられてきた。この剛体電車線の材料として、当初は鋼材であったが、異種金属の接触腐食を解消することを目的に材料を銅とした剛体が開発された。

またパンタグラフの離線を少なくする観点から、たわみが小さいアルミニウムを材料とした剛体が開発され、その集電性能において良好な結果が得られている。

このアルミニウム剛体電車線は離線率が低下することから、高速区間の電車として、導入拡大が期待されている。本研究において各種試験・検討を行ったアルミニウム剛体電車線の断面構造を図1に示す。トロリ線を挟み込む形で把持する箇所がイヤー部と呼ばれ、アルミニウム・銅の異種金属接触箇所となる。

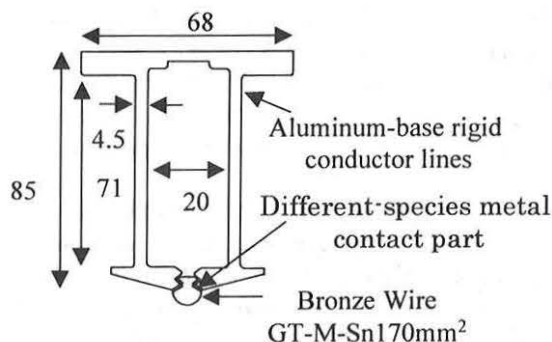


図1 アルミニウム剛体電車線

Fig1. Aluminum-base rigid conductor line

3. トンネル漏水成分分析

腐食の原因となるトンネル漏水の成分を調査するために、漏水が発生している海岸付近の地下トンネルと山岳トンネルで漏水を採取し、その成分を分析した。

表1 トンネル漏水成分分析結果

Table 1. Analysis of leakage water ingredient in tunnel

項目	単位	No.1	No.2	No.3	No.4
水素イオン濃度	pH	7.5	7.8	8.8	7.6
電気伝導度	mS/m	299	722	24.2	28.8
蒸発残留物	mg/l	1700	4500	210	220
Cl ⁻	mg/l	780	2100	15	14
SO ₄ ²⁻	mg/l	18	14	23	34
NO ₃ ⁻	mg/l	5 未満	5 未満	32	39
Na	mg/l	570	1400	7.1	6.7
Ca	mg/l	52	88	34	32
Mg	mg/l	30	150	6.4	6.6
Si	mg/l	22	21	25	18

漏水試料 No.1, No.2: 海岸付近の地下トンネルの漏水
No.3, No.4: 山岳トンネルの漏水

その結果を表1に示す。海岸付近のトンネル漏水は塩分を多量に含んでおり、山岳トンネルの漏水には pH がやや高いアルカリ性のものも観測された。アルミニウムは pH4 以下あるいは pH8.5 以上の領域で腐食されやすい化学的性質がある。トンネル内ではコンクリート成分により漏水がアルカリ性となり、pH が高くなる傾向にあるものと考えられる。

4. アルカリによる腐食劣化

4. 1 加速劣化試験

アルミニウムはトンネル内でアルカリ性の漏水による腐食劣化進行が考えられる。図1に断面を示す長さ600mmのアルミニウム剛体を試料として用い、アルカリによるアルミニウムの加速劣化試験を行った。しかし、このような劣化試験の実験例はこれまでに少なく、試験方法も確立されていない。そこで、pH13のNaOH水溶液にアルミニウム剛体を HA1200mm² とともに浸漬し、加速劣化させ、HA1200mm²の劣化度をうず電流による劣化判定装置^[4]を用いて測定した。実設備としてトンネル内に架設されたHA1200mm²の測定した劣化度と経年との対応関係より、加速劣化させた HA1200mm²の腐食推定経年を算出し、それを剛体試料の推定経年に対応させる。その結果を表2に示す。また表2の pH13のNaOH水溶液へのアルミニウム剛体の浸漬時間と推定経年の関係を図2に示す。

アルミニウム剛体の板厚は図1に示すように、新品時には4.5mmであるが、腐食劣化進行に伴い、板厚はほぼ一様に減少していき、アルミニウムの加速腐食が模擬できたと思われる。また腐食した各試料の写真を図3に示す。図3からも腐食劣化進行に伴い、表面の劣化が確認された。

表2 アルミ架台の加速劣化試験結果
Table 2. Test result of accelerated corrosion

試料	浸漬時間 [h]	劣化度 (HA1 200)	推定経年 [year]	板厚 [mm]
新品	0.0	90	0.0	4.50
A	36.5	76	12.0	4.23
B	53.0	67	19.7	3.88
C	58.7	52	32.6	3.77
D	123.3	23	57.4	1.95

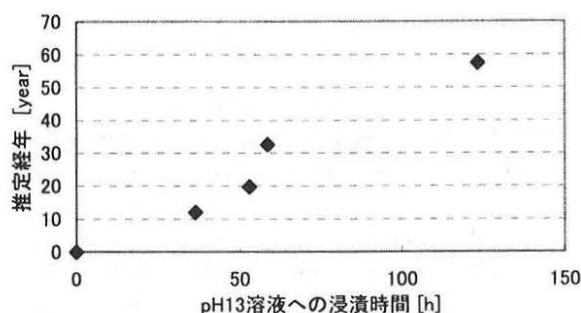


図2 アルミ架台の浸漬時間と推定経年の関係
Fig 2. Dependence of presumed years past on immersing time

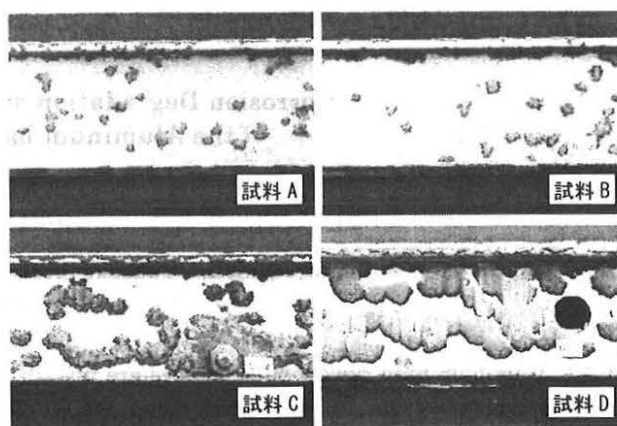


図3 各試料の外観写真

Fig3. The outside view photograph of each sample

4. 2 腐食アルミニウム剛体の性能試験

表2のように腐食したアルミニウム剛体の試料について、各種性能試験を行った。

1 電気抵抗試験

アルミニウム剛体の電気抵抗を電圧降下法により測定し、その結果を図4に示す。推定経年60年に相当する試料Dの電気抵抗値は新品に比べて21.6%増加した。

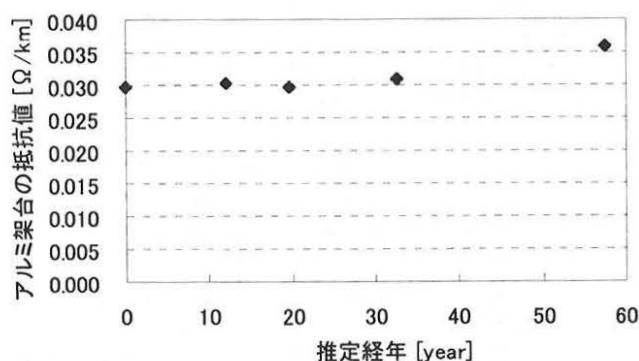


図4 腐食アルミ架台の電気抵抗試験結果

Fig 4. The resistance test result of corrosion aluminum case

II たわみ試験

各試料にトロリ線 GT-M-Sn170mm² を取付け、500mmの間隔の両端支持梁で設置し、中央に3000Nの荷重を負荷したときの最大たわみ量と試料上面中央部のひずみ値を測定した。その結果を表3に示す。たわみ量から曲げ剛性EIを算出したところ、推定経年60年に相当する試料Dは新品と比較してEIが11.3%減少した。

表3 たわみ試験結果

Table 3. Bending test result

試料	たわみ量 [mm]	ひずみ値 [μ]	EI [N mm ²]	EI 減少率 (新品比)[%]
新品	0.141	-132	5.54×10^{10}	-
A	0.149	-145	5.24×10^{10}	5.4
B	0.152	-166	5.14×10^{10}	7.2
C	0.154	-199	5.07×10^{10}	8.4
D	0.159	-254	4.91×10^{10}	11.3

III 材料試験

A～Dの各試料からテストピースを作成し、導電率・縦弾性係数の材料試験を行った。結果を表4に示す。

アルミニウム剛体の質量は腐食により減少し、推定経年60年に相当する試料Dは新品と比べて14.1%の質量減となった。

導電率および縦弾性係数については、新品と各腐食試料を比較するとほぼ同じ値であり、アルカリによる腐食ではアルミニウム材料の特性はほとんど変化しないことがわかった。

また、アルミニウム剛体の側面部分を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、推定経年60年の試料では新品と比べ、引張強さ[N]が50%以上減少した。しかし、質量が減少しているため、単位断面積あたりの引張強さ[N/mm²]の変化は小さく、アルミニウム剛体として要求される機械的強度特性の変化はほとんどないと言える。

表4 アルミ架台の材料試験結果

Table 4. The material-testing result of aluminum

試料	単位質量 [kg/m]	質量減少率 [%]	導電率 [%]	縦弾性係数 [G Pa]
新品	3.10	-	56.4	66.9
A	2.93	5.5	57.0	65.8
B	2.87	7.5	56.9	66.7
C	2.79	10.1	56.7	66.4
D	2.66	14.1	55.9	66.9

試料	試験片断面積 [mm ²]	引張強さ	
		[N]	[N/mm ²]
新品	110.1	25795	234
A	100.9	23108	229
B	98.3	22375	228
C	93.4	21105	226
D	48.6	11968	246

IV アルカリ腐食による考察

剛体電車線は支持点間のたわみによるトリ線線の凹凸がパンタグラフの離線に影響し、集電上の問題となる。アルミニウム剛体のアルカリ腐食では、推定経年60年においても、たわみ・引張強度は問題なく、電気抵抗の上昇による電流容量が問題となると考えられる。

5. 異種金属接触腐食劣化

図1に示すようにアルミニウム剛体は銅のトリ線線と異種金属の接触箇所を有している。金属はそれぞれ単体で電位をもっており、水溶液中でイオンになりやすい傾向は、その電位により異なる。その傾向は、電位が高い（貴電位）物質ほどイオンになりやすく、電位が低い（卑電位）ほどイオンになりやすい。銅の電位が高く、アルミニウムの電位が低いので、後者が腐食しやすい。この銅・アルミニウムの接触腐食がアルミニウム剛体の弱点箇所であり、この接触を低減するために、各対策を施した試料を用いて、腐食進行を試験・検討した。

5. 1 試験試料

異種金属接触腐食を低減するために、各対策を施した試料を作成した。本試験で作成した試料の一覧を表5に示す。表5中において、試料の対策記述のないものは、試料に対

策を施さなかったことを示す。

表5 試験試料

Table.5 Examined Samples

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

(注) 陽極酸化皮膜処理（アルマイト処理）

6. 塩水による加速腐食劣化試験

異種金属接触腐食は、電解溶液中で進行し、反応温度が高いほど腐食が進行しやすい。また、トンネル漏水の成分分析結果からも海岸近くのトンネルではNaClが高い濃度で検出された。想定され得る実設備環境より、さらに悪い条件において劣化進行させるため、5.0%NaCl水溶液を50℃に霧状に噴霧し、試料を腐食劣化させた。

6. 1 質量変化

5.0%NaCl水溶液を50℃で霧状に100日まで噴霧した試料の質量変化割合を図5に示す。

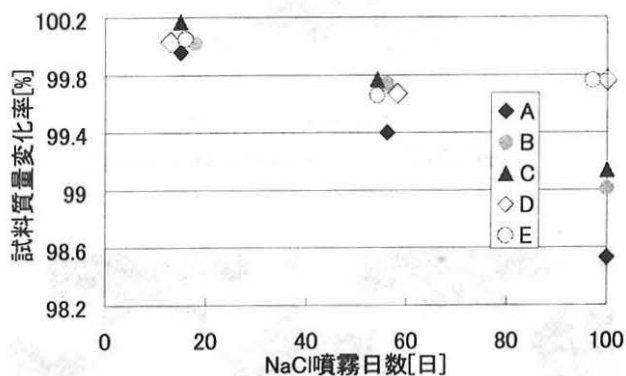


図5 各試料の質量変化

Fig5. Mass change of each sample

図5の結果より、塩水噴霧により質量減少が大きかったのは試料Aであり、最も質量減少が少なかったのは試料Dおよび試料Eであった。試料Aの質量減少が最も大きかったのは、アルミニウムおよび銅双方に防食対策を施していなかったためと考えられる。また、試料Dおよび試料Eの質量減少が小さいのは、アルミニウムと銅の接触箇所が電氣的に絶縁されているため、異種金属接触腐食が他に比べて抑制されているためと考えられる。

また、中間金属によるメッキを施した試料Bおよび試料Cであるが、NaCl噴霧日数56日までは防食効果が見られたが、NaCl噴霧日数100日ではメッキが落ち、腐食抑制効果が落ちていていると考えられる。このため、このまま腐食が進行すると試料Aのように防食対策がない状態とほぼ同じになり、腐食が激しく進行するものと考えられる。

6. 2 腐食試料の表面状況

各試料のNaCl噴霧日数100日における表面の腐食状況写真を図6に示す。また、図1の剛体の断面におけるNaCl噴霧日数100日での各試料の5倍の表面写真を図7に示す。

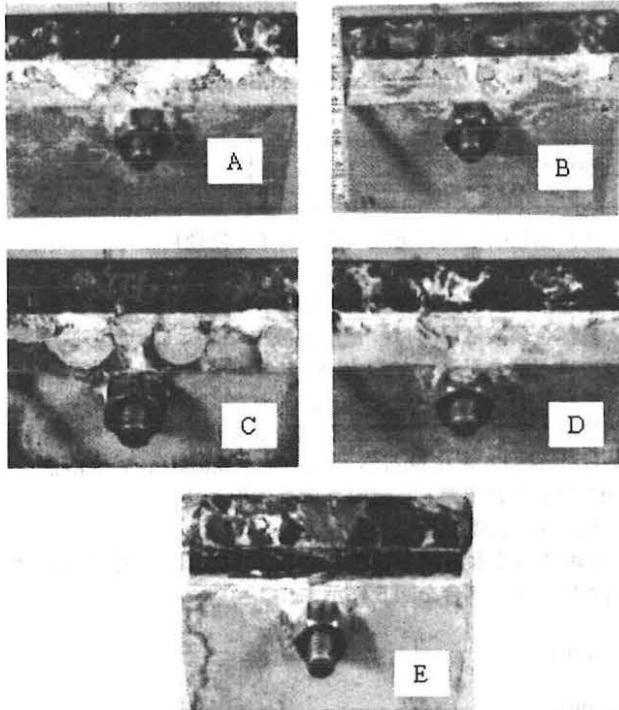


図6 各剛体試料の表面状況
Fig6. Surface situation of each sample

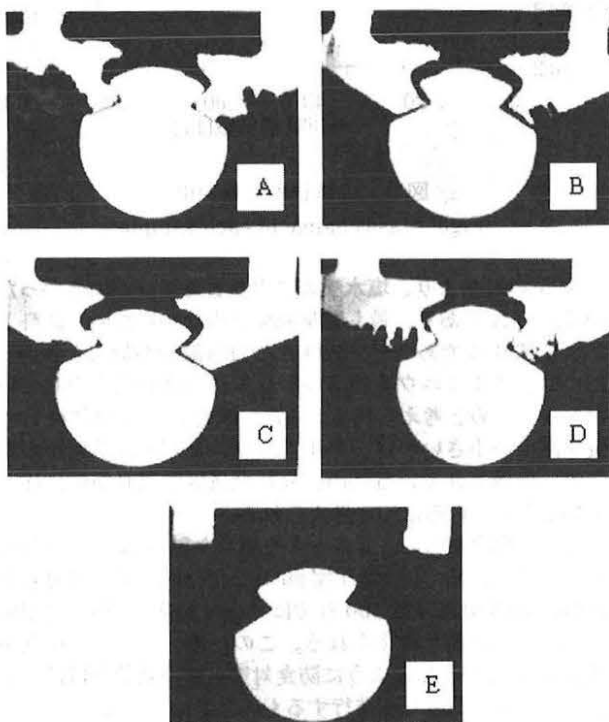


図7 異種金属接触箇所表面状況
Fig7. Surface situation of the different metal contact

図6の結果より、試料Aはアルミニウム剛体とトロリ線との接触箇所が一樣に腐食していることが確認された。また、試料Cおよび試料Dは腐食している部分は一部であるが、アルミニウムに局所的に大きな腐食進行が確認

された。試料Bは腐食している箇所の全面積に対する割合は大きいものの、腐食の進行度は小さいことがわかる。試料Eは絶縁板の劣化は認められない。

図7の剛体試料断面拡大写真より、異種金属接触箇所の劣化進行が大きいのは試料Aおよび、試料Dであることがわかる。試料Dは質量減少では小さい結果が得られているが、図6の表面状況より、選択的に腐食が進行している。このことから、試料Dは試料全体では腐食が抑制されるものの、選択的に腐食進行が進む傾向があるものと考えられる。接触箇所を中間金属でメッキした試料Bおよび試料Cは断面での大きな腐食進行は認められなかった。また、試料Eは接触箇所での腐食進行はほとんど認められなかった。

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錫などの中間金属によるメッキの実施である。

6. 3 腐食試料のトロリ線把持力

塩水噴霧による加速劣化をしたトロリ線の引張試験を行い、その把持力結果を図8に示す。その結果、JIS規格の2940Nを大幅に上回り、機械的強度に問題のないことが確かめられた。

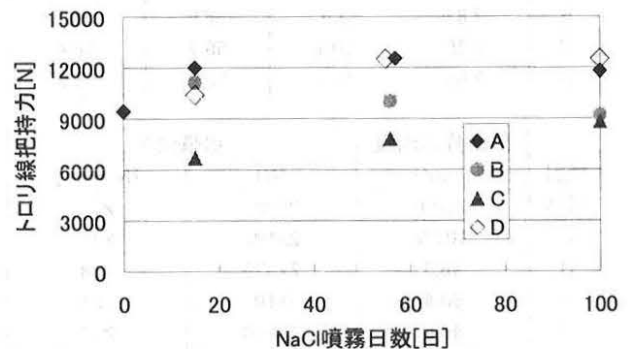


図8 引張試験結果
Fig8. Tension test results

7. まとめ

アルミニウム剛体電車線の腐食劣化について、各試験を行った結果、以下の事項が明らかになった。

- (1) アルカリ性水溶液による加速劣化の結果、60年程度トンネル内に設置しても機械的強度に問題はない。
- (2) 塩水噴霧による加速劣化の結果、異種金属接触腐食に、接触箇所への絶縁の実施が最も抑制効果が高く、その次に中間金属によるメッキの抑制効果が高い。
- (3) 100日までの塩水噴霧による加速劣化を行った試料の機械的強度には問題はない。

参考文献

- [1] 大浦 泰：剛体電車線、鉄道と電気技術、日本鉄道電気技術協会、1996.5
- [2] 濱田 貴弘、他、剛体電車線用アルミ架台のトンネル内適用時の腐食劣化予測、平成15年電気学会全国大会、2003.3
- [3] 鉄道総合技術研究所編、電車線とパンタグラフの特性、研友社、pp.158~163、1993.10
- [4] 島田健夫三、他：硬アルミより線の劣化状況と判定法、鉄道総研報告、Vol.3, No.9, 1989.9