

亜鉛めっき鋼を用いた電車線路支持物の長寿命化の研究



本田 誠彦*1



黒川 剛士*1

Research for prolonged life of galvanized steel railway electrification infrastructure

Masahiko HONDA*1, Takeshi KUROKAWA*1

*1 Technical center, Research and Development Center of JR EAST Group

Abstract

Galvanized steel is usually used for railway electrification infrastructure. It requires rebuilding in the future because of corrosion by rain, sea wind etc. Because of a lot of old galvanized steel railway electrification infrastructures in JR-EAST, it is impossible to rebuild all of them at suitable timing. Therefore, we practiced the corrosion survey using exposed test pieces to get detailed corrosion speed and developed the newly single coat system.

●**Key words:** Galvanized steel, Corrosion survey, Single coat, Painting

1. 緒言

電車線路支持物とは、線路沿線で架線を支える電柱やビームの総称である。図1にその例を示す。電車線路支持物の素材は鉄筋コンクリートや鋼、アルミなど様々なものがあるが、強度や耐腐食性などの観点から国鉄時代より亜鉛めっき鋼が多く使用されている。亜鉛めっき鋼とは、鋼の表面を亜鉛でコーティングした鋼材で、鋼と同じ強度でありながら亜鉛の犠牲防食効果や亜鉛酸化物被膜による表面保護効果によって耐腐食性が高いという特徴がある。しかし、長期的には亜鉛が消失して鋼の腐食による強度低下が生じるため、建替や防錆塗料の塗装が欠かせない¹⁾。

図2に、当社に現存する亜鉛めっき鋼を用いたビームの数量と建設年の関係を示す。高度経済成長を含む1960年代から1980年代までが建設のピークであり、年1000基以上のビームが新設された。当社の亜鉛めっき鋼ビームは過去の暴露試験による腐食速度から期待寿命60年程度としており²⁾、これら大量の設備が間もなく寿命を迎える。一方で、現在は年600基程度の新設が費用面および施工能力面にも可能な数量であり、一度に建て替えることは困難である。そこで、本研究では既設の亜鉛めっき鋼電車線路支持物の長寿命化を目指し、当社電化路線沿いの亜鉛・鋼腐食速度の実態調査と、塗装の手間を削減可能な防錆塗料を開発したので報告する。



図1 電車線路支持物

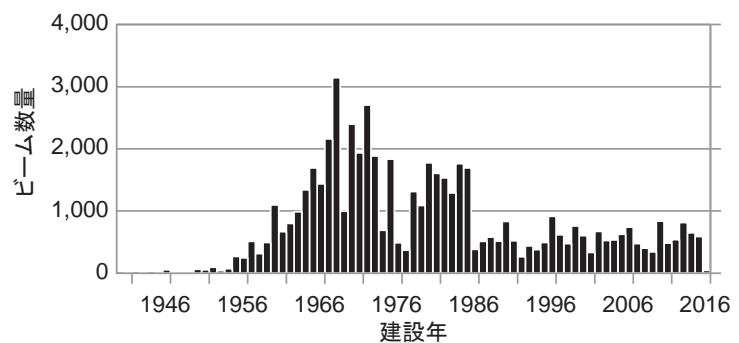


図2 現存する亜鉛めっき鋼ビームの建設年別数量

2. 亜鉛と鋼の腐食速度調査

これまでに設定されている期待寿命の根拠となった腐食速度は、都市部や工業地帯のような立地環境での代表的な箇所の暴露試験で得られたものである。しかし、当社の電車線路支持物は線路沿線に点在していることから、腐食速度は場所ごとにばらつきが生じると推察される。そこで、腐食速度の実態把握を目的に、当社の電化路線沿線486箇所の電柱に1箇所あたり純亜鉛3枚と鋼3枚の試験片を仮設し、曝露前後の質量変化にて腐食速度を調査した³⁾。図3に曝露試験の様子を示す。試験片の仮設間隔はアメダスの気象観測点の間隔を参考に一般区間で約15km、腐食が進行しやすい塩害区間で約5kmとした。暴露期間は1年、2年、3年とし、それぞれ曝露日数365日あたりの厚み減少量として腐食速度を算出した。図4に亜鉛と鋼の腐食速度と当社の電気工作物（電車線路）設計施工標準による「塩害を考慮すべき線区」を示す。腐食速度は腐食生成物の保護効果の少ない曝露期間1年の試験片で得られたものを示し、以後の図でも同様とする。腐食速度は分かり易さを考慮しISO9223 (2012) による腐食カテゴリでまとめた。表1にISO9223 (2012) による環境の腐食カテゴリと腐食速度の関係を示す。

全体的には、沿岸部で腐食速度大、内陸部で腐食速度小という従来の知見と整合する結果が得られたが、局地的にみると腐食カテゴリにばらつきが見受けられた。図5に房総半島の京葉線、内房線、外房線の腐食速度と、亜鉛めっきの消失目安年数を示す。この消失目安年数は、電車線路支持物で採用する亜鉛めっき規格HDZ55での最低厚み76 μ mと亜鉛の腐食速度から算出した。設備の寿命年数は鋼の腐食も関係するが、単純のため亜鉛めっきの消失目安年数で傾向を見ると、京葉線で30~65年、内房線で26~84年、外房線で14~62年とばらつきが大きいことが明らかになった。外房線のキロ程70km付近（図5中のA付近）で腐食速度が増大している箇所は、外洋に面した急峻な地形に線路が敷設されており、気象庁の年平均沿岸波浪図でも海から陸に向けて海風が吹く地域である。そのため腐食が特に促進されたと考えられる。これらの考察を踏まえ、設備の立地環境を個別に考慮すれば、期待寿命60年を超える使用も可能と考えられる。一方で、亜鉛の消失目安年数が期待寿命に比べて少ない箇所は、検査の結果を重視し、建替や塗装の計画を進めるべきと考えられる。

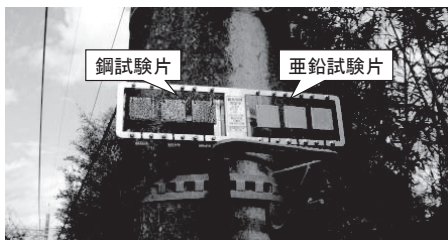
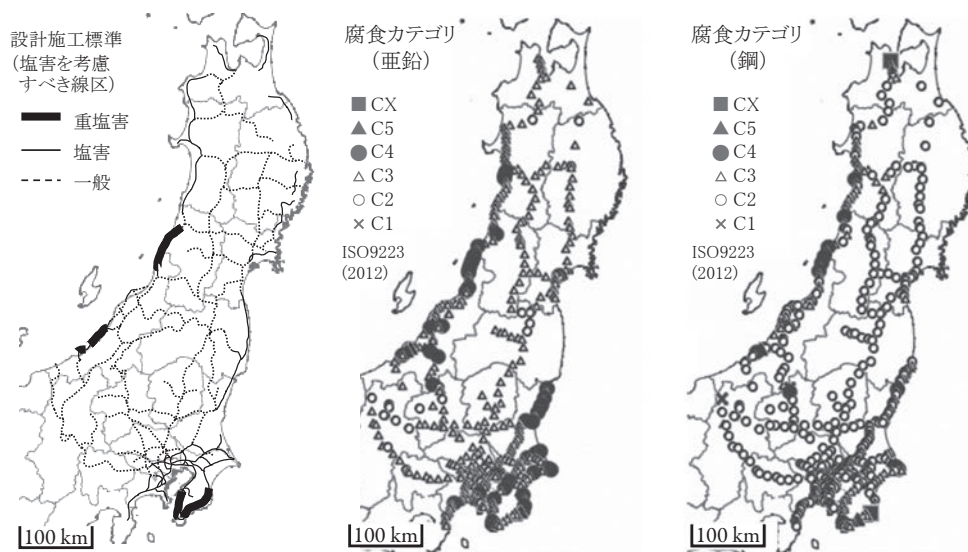


図3 亜鉛と鋼の試験片曝露状況

表1 ISO9223 (2012) による環境の腐食カテゴリと腐食速度

カテゴリ	単位	亜鉛	炭素鋼	腐食性
C1	μm/ 年	$r \leq 0.1$	$r \leq 1.3$	Very low
C2		$0.1 < r \leq 0.7$	$1.3 < r \leq 25$	Low
C3		$0.7 < r \leq 2.1$	$25 < r \leq 50$	Medium
C4		$2.1 < r \leq 4.2$	$50 < r \leq 80$	High
C5		$4.2 < r \leq 8.4$	$80 < r \leq 200$	Very high
CX		$8.4 < r \leq 25$	$200 < r \leq 700$	Extreme

r:腐食速度



(国土地理院の電子国土Web・白地図に路線図や腐食速度カテゴリを追記して掲載)

図4 暴露1年試験片による亜鉛、鋼の腐食速度 (ISO9223:2012の腐食カテゴリによる表示)

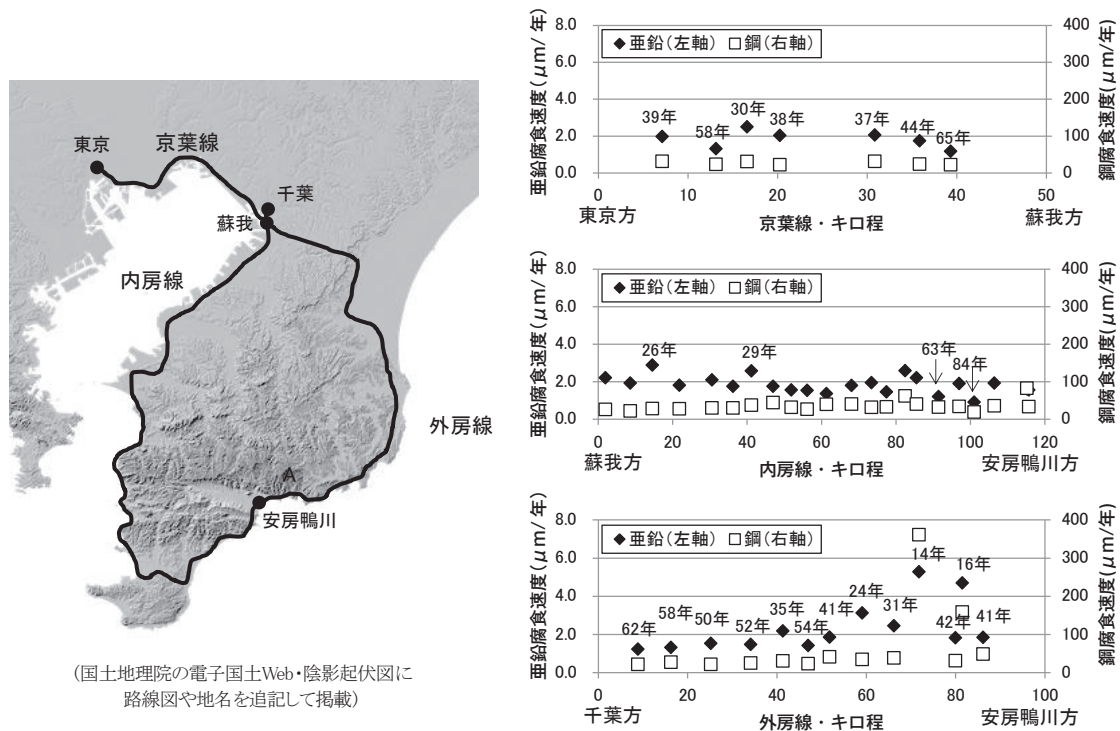


図5 京葉線・内房線・外房線の腐食速度

3. 下上塗兼用の1回塗り防錆塗料の開発と加速劣化試験による評価

亜鉛めっき鋼を用いた電車線路支持物を長寿命化するには、防錆塗料の塗装が効果的である。しかし、電車線路支持物の塗装は停電間合いの短さや下塗り上塗りの2回塗りのため施工日数が多く、天候や列車遅延による作業中止で工程遅延のリスクが高いという課題がある。そこで、施工日数の短縮を目的に、重防食用途の下上塗兼用1回塗り防錆塗料をジャパンカーボライン株式会社と共同で開発した。図6に塗装工程の比較を示す。

新たな塗料は従前から亜鉛めっき鋼電車線路支持物の塗装で採用している重防食塗料カーボマスタック15Ⅱと耐候性塗料カーボタン233HBの重ね塗り（以後現行塗料と表記）と同等以上の防食性、耐候性を有することを目標とした。

本開発では耐候性を重視したシリコン変性エポキシ樹脂系塗料（以後開発塗料1と表記）と、防錆力を重視したエポキシポリオール樹脂系塗料（以後開発塗料2と表記）の2種類を試作した。これらを亜鉛めっき鋼の腐食状態と塗装前の清掃（以後ケレンと表記）を再現した試験片に塗布し、加速劣化試験に供して評価を実施した。加速劣化試験は、約10年相当の紫外線エネルギーを与える超促進耐候性試験560時間を実施したあと、塩害腐食を促進するJISK5600-7-9附属書CサイクルAの複合サイクル試験800時間に供し、耐候性は塗膜の減耗量、防錆力はJISK5600-8による塗膜の膨れ、さび、割れの等級とJISK5600-5-7による付着性にて評価した。

超促進耐候性試験560時間後の塗膜減耗量は現行塗料が15.20μm、開発塗料1が11.29μm、開発塗料2が15.60μmであった。この結果から開発塗料1は現行塗料より耐候性に優れることが分かった。開発塗料2は現行塗料より若干劣る結果となったが、その差は規定膜厚125μmに対して0.3%程度であり、現行塗料と同等水準と見込まれる。塗膜の期待寿命は減耗量に反比例関係にあり、開発塗料1は現行塗装以上、開発塗料2は現行塗料と同等水準と見込まれる。

表2に複合サイクル試験の結果を示す。表2は各条件の試験片3枚のうち最も腐食損傷状況の進行したものの評価を抽出した。開発塗料1は試験片素地によらず現行塗装と同等程度の防錆力である。開発塗料2は鉄さび板（無ケレン）の試験片で現行同等だったものの、当社の塗装対象設備の状況に最も近い、鉄さび板（不織布研磨剤ケレン）、鉄さび板（ワイヤーブラシケレン）の試験片ではどちらも優れた防錆力を示した。

開発塗料1の材料費は現行塗料の1.7倍程度、開発塗料2は1.2倍程度と見込まれるが、どちらも施工日数の削減に伴う労務費減少によりコストダウンが可能な見通しである。今後、開発塗料は2種類とも当社の亜鉛めっき鋼電車線路支持物に試験塗装し、施工性や経済性等を確認したうえで適用エリアの拡大による効率的な長寿命化を図っていく予定である。

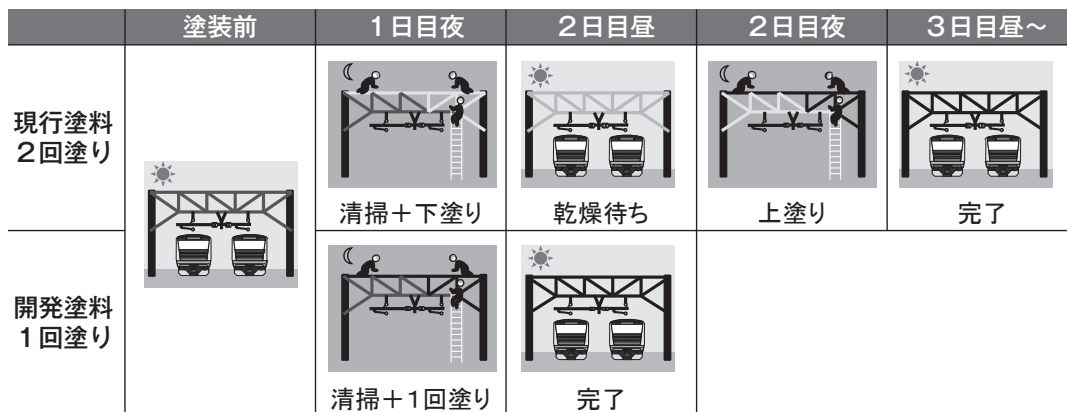


図6 塗装工程の比較

表2 超促進耐候性試験、複合サイクル試験後の試験片評価

試験片素地	塗料種類	試験片評価(JISKの評価見本との比較、数字が小さいものが良)				
		JISK5600-8-2		JISK5600-8-3	JISK5600-8-4	JISK5600-5-7
		膨れ		さび	割れ	付着性(プルオフ法)
		大きさ	密度	等級	大きさ	破壊強度
亜鉛めっき	現行塗料	0	0	Ri 0	0	> 1 Mpa
	開発塗料 1	0	0	Ri 0	0	> 1 Mpa
	開発塗料 2	0	0	Ri 0	0	> 1 Mpa
亜鉛・鋼合金層	現行塗料	0	0	Ri 0	0	> 1 Mpa
	開発塗料 1	0	0	Ri 0	0	> 1 Mpa
	開発塗料 2	0	0	Ri 0	0	> 1 Mpa
鉄さび (ワイヤーブラ シケレン)	現行塗料	2	2	Ri 1	0	> 1 Mpa
	開発塗料 1	2	2	Ri 1	0	> 1 Mpa
	開発塗料 2	0	0	Ri 0	0	> 1 Mpa
鉄さび (不織布研磨剤 ケレン)	現行塗料	3	2	Ri 1	0	> 1 Mpa
	開発塗料 1	2	2	Ri 1	0	> 1 Mpa
	開発塗料 2	0	0	Ri 0	0	> 1 Mpa
鉄さび (無ケレン)	現行塗料	3	2	Ri 2	0	> 1 Mpa
	開発塗料 1	0	0	Ri 0	0	> 1 Mpa
	開発塗料 2	3	2	Ri 1	0	> 1 Mpa

4. 結言

本論文では、亜鉛めっき鋼を用いた電車線路支持物が直面する課題を挙げ、期待寿命に影響を与える線路沿線の亜鉛と鋼の腐食速度の実態把握と、長寿命化の手段である塗装の課題を改善する上下塗兼用1回塗り防錆塗料の開発と評価を実施した。亜鉛めっき鋼電車線路支持物は刻一刻と腐食が進行する。しかし、腐食速度が遅い地域の支持物、鉄道用地の狭隘部など建替が難しい場所の支持物を中心にこれらの手法を用いて長寿命化を図り、建替の平準化とともに費用対効果の高い設備保守を実現していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 田中誠、江成孝文、町田洋人：溶融亜鉛めっき鋼および耐候性鋼の腐食と延命化、鉄道総研報告、Vol.15, No.7, pp.35-40, (2001)
- 2) 吉田匡志：塩害区間用ビームの開発、JR EAST Technical Review No.32, pp.53-56, (2010)
- 3) 本田誠彦、新保雅士：東日本エリアにおける亜鉛・鋼の腐食環境調査、日本機械学会第22回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集、No.15-63, (2015)