

腐食環境における線ばね形レール締結装置の 表面処理方法の選定

本野 貴志* 片岡 宏夫*
弟子丸 将* 坂本 達朗**

Selection of An Effective Surface Treatment Method of Wire Spring Clips in the Severe Corrosion Environment

Takashi MOTONO Hiroo KATAOKA
Tadashi DESHIMARU Tatsuro SAKAMOTO

Wire spring clips are now widely used and a paint which raises corrosion-proof performance of them under some corrosion environment is used. However under the damage-from-salt-water environment, even use of a paint may result in breakage of the system by corrosion, without demonstrating the ability to prolong to effect. In this research, from the result of the exposure test and laboratory test, the selection criteria of an effective surface treatment method ensuring a long-time durability has been shown.

キーワード：線ばね形レール締結装置，応力腐食割れ，塩害，表面処理，塗装

1. はじめに

線ばね形レール締結装置（以下、「線ばねクリップ」という）は、現在日本国内で広く使用されており、一部の腐食が著しい環境下においては防食性能を向上させた塗装が用いられている。しかし、特に海岸付近等で飛来塩を受ける環境下では、その効果が長期間持続せず、線ばねクリップが折損に至ることがある。そこで塩害環境に適した表面処理方法を選定することを目的とし、各種の表面処理方法を対象に防食性能を比較した。

2. 塩害環境下における線ばねクリップの折損形態

図1に海岸付近の腐食環境下において折損した線ばねクリップの状況を示す。この箇所の周辺環境は、海岸線までの距離が非常に短く、海からの飛来塩による汚染影響が大きいと推定される。このような腐食環境下における線ばねクリップの折損形態は、線ばねクリップのリアアーチ下部からの折損が多く報告されており、図1に示す線ばねクリップ種別の折損の原因は応力腐食割れに起因した急進破壊によって生じたものと推定される。

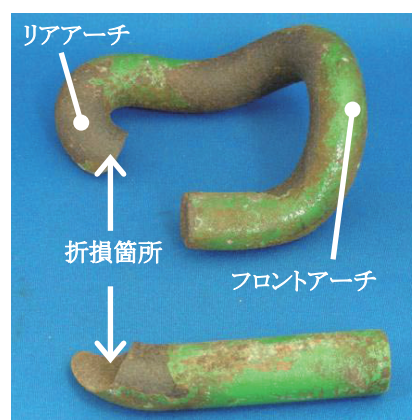


図1 線ばねクリップの折損状況

3. 塗装方法と試験片の概要

本研究では、防食方法が異なる複数の線ばねクリップに対し促進腐食試験と現地暴露試験を実施した。それぞれの試験で使用した試験片の概要とその試験内訳は表1に示すとおりである。試験片は、これまでにレール締結装置で使用実績がある②～④と、長期耐久性が期待できる⑤、⑥および比較用の一般塗装①とした。

なお、促進腐食試験と現地暴露試験の概要は次のとおりである。

(1) 促進腐食試験

海岸付近で飛来塩の影響を受ける腐食環境下を想定した、室内における促進腐食試験

* 軌道技術研究部 軌道構造研究室

** 材料技術研究部 防振材料研究室

特集：軌道技術

(2) 現地暴露試験

海岸付近で飛来塩の影響を受ける塩害環境下における約2年間の暴露試験

表1 試験片の概要と試験内容

番号	試験片処理方法	試験内容	
		促進腐食試験	現地暴露試験
①	一般塗装 (エポキシ樹脂コーティング)	○	○
②	無機ジンクリッチペイント ¹⁾	○	○
③	フォルテコート処理 (リン酸塩被覆処理+樹脂コーティング) ²⁾	○	○
④	シェラダイズド処理 (亜鉛被覆+樹脂コーティング) ³⁾	○	○
⑤	亜鉛アルミ合金溶射 ⁴⁾	○	未実施
⑥	常温乾燥型亜鉛・珪素複合皮膜 +無機系コーティング ⁵⁾	○	未実施

※試験片⑤、⑥は追加で促進腐食試験を行ったため、現地暴露試験を実施していない。

4. 促進腐食試験

4.1 試験方法

促進腐食試験に用いる試験片は実環境を模擬するため、各々の試験片をパンプラー（レール締結用治具）を用いてレールに締結後、取り外して塗膜が損耗した状態とした。この塗膜が損耗した箇所を、以下「損耗部」と呼ぶ。また、試験片①～④には損耗部に補修材として試験片⑥と同じ常温乾燥型亜鉛・珪素複合皮膜を塗布したものについても行った。試験は、補修無し、有りそれぞれ1個について行った。

促進腐食試験条件は腐食環境下を想定する場合、海岸付近の飛来塩の影響を考慮する必要があるため、JISに規定されている複合サイクル試験方法とは腐食条件が大きく異なる可能性がある。そこで、塩の影響の強い複合サイクル試験方法を参考として、表2に示す塩水噴霧、熱風乾燥、蒸留水噴霧の繰返しによる試験条件とした。

表2 促進腐食条件（1サイクル）

工程	試験内容	時間 (h)
1	5% 塩水噴霧	4
2	熱風乾燥 (70℃, 50%RH)	2
3	蒸留水噴霧	2

4.2 評価方法

促進腐食試験は400サイクル行い、20サイクル毎に外觀観察により腐食が発生した箇所を変状箇所とした。その変状箇所を線ばねクリップ表面積に対する割合として以下の式を用いて変状面積率として算出した。評価は、変状発生箇所および腐食進行速度により行った。なお、損耗部と一般部（損耗部以外の箇所）に分けて腐食の進行度合いを調査した。

$$\text{変状面積率} = \frac{\text{変状箇所の合計面積}}{\text{線ばねクリップの表面積}} \times 100(\%)$$

4.3 促進腐食試験結果

表3に促進腐食試験の結果を、図2に400サイクル終了後の代表的な試験片の外観写真を示す。その結果、次のことが分かった。

- a) いずれの試験片も損耗部で早期に腐食が発生した。ただし、その後の腐食進行速度は表面処理方法により異なっていた。
- b) 試験片①は損耗部で早期に腐食が発生し、400サイクル終了時点ではほぼ全面で腐食が生じていた。
- c) 試験片②～④についても一般部で腐食が発生した。ただし、腐食の発生部位は、試験片②は締結時に塗膜割れが生じた箇所、試験片③が線ばねクリップ端部、試験片④が線ばねクリップリアアーチ内側であり、表面処理方法により異なっていた。
- d) 試験片⑤は一般部からの腐食発生は200サイクルと遅かったものの、400サイクル終了時にはほとんど全面で腐食していた。
- e) 試験片⑥は他の試験片と同様に20サイクルで損耗部から腐食が発生したが、その後一般部からの腐食の発生はなかった。ただし、無機系コーティング層の損耗が大きかったため、それを変状とみなすと試験片④と同程度の変状面積率となった。
- f) 補修材を塗布することにより一般部からの腐食発生が抑制され、腐食の進行を低減できる可能性が得られた。

表3 促進腐食試験結果

番号	補修無し		補修有り	
	腐食発生サイクル数 (回) 損耗部	400サイクル後の 一般部 変状面積率 (%)	400サイクル後の 変状面積率 (%)	400サイクル後の 変状面積率 (%)
①	20	20 (全面)	70%以上	70%以上
②	20	20 (塗膜割れ部)	30	8
③	20	80 (端部)	26	14
④	20	100 (リアアーチ内側)	13	7
⑤	20	200 (全面)	70%以上	実施なし
⑥	20	発生なし	14	実施なし

※ () 内は主な腐食発生箇所を示す

以上の結果から、試験片①と⑤は他の試験片と比較して明らかに腐食が進行しており、長期の耐久性は期待できないと判断した。その一方、試験片⑥は一般部からの腐食が見られず、変状面積率も小さいため最も長期の耐久性が期待できると判断した。次に、残りの試験片②～④における耐久性を腐食部位と図3に示すサイクル数と変状面積率の関係から考察した。

試験片②および④において生じた一般部での腐食部位は、線ばねクリップが折損しやすい箇所であるリアアーチ部であるが、試験片③は線ばねクリップ端部のエッジ部からの腐食であった。また、400サイクル終了後の変状面積率に違いはあるものの、この時点での腐食進行速度はいずれの試験片で大きな違いは見られなかった。したがって、レール締結装置としての安全性を加味して長



図2 促進腐食試験後の試験片の状態

期耐久性を比較すると、耐久性が高い順に試験片③、④、②であることが分かった。

次に、補修材を塗布したことによる効果を同様に考察した結果、補修材を塗布することにより、初期の変状が発生するのを抑制することが可能であることが分かった。ただし、変状発生後の進行速度は同程度である。

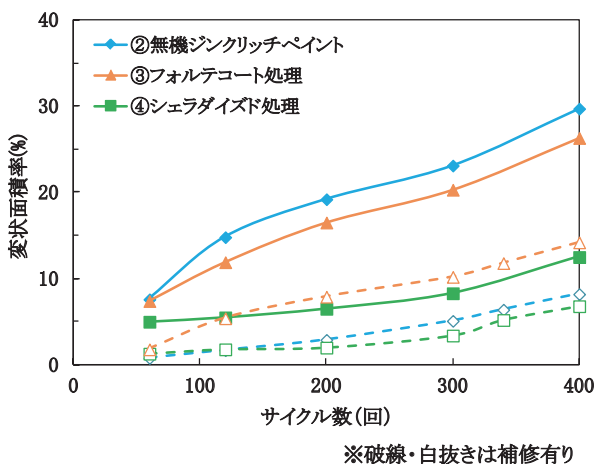


図3 サイクル数と変状面積率の関係

5. 現地暴露試験

5.1 敷設箇所の選定

試験片の敷設箇所は海岸から近く、飛来塩の影響を受けるトンネル内を選定した。当該箇所は、屋外と比較し

て高湿度であることと、雨洗効果による飛来塩の流出が期待できない環境である。当該箇所の2009年12月～2010年9月における最小相対湿度は54～96%RHの範囲であった。海水由来の飛来塩には主として塩化ナトリウム (NaCl) と塩化マグネシウム (MgCl) が含まれており、各塩が潮解する相対湿度は、NaClで75%RH、MgClで33%RHとされている。したがって、飛来塩が付着した場合、当該トンネルにおける月の平均相対湿度は最低でも50%RH程度であり、腐食進行が懸念される期間がほぼ1年中続いていると考えられる。また、敷設箇所付近のプラスト表面に付着している塩分量は1～8g/m² (現地暴露試験を行った箇所は概ね6g/m²) であり、腐食の激しい海岸環境に架設された鋼橋で0.2～2g/m²の付着塩分量が報告されていることから、屋外環境とは直接比較できないが、当該トンネルは腐食性の高い環境と考えられる⁶⁾。

5.2 評価方法

敷設から約2年後に全ての試験片を回収し、4.2節と同様の方法で変状面積率を算出し、変状発生箇所および変状面積率により評価した。

5.3 現地暴露試験結果

表4に4組の現地暴露試験の結果を、図4に代表的な各試験片の外観写真を示す。その結果、次のことが分かった。

特集：軌道技術

表4 現地暴露試験による変状面積率(%)

番号	供試体番号			
	No.1	No.2	No.3	No.4
①	30以上	30以上	30以上	30以上
②	13	30以上	16	14
③	10	8	10	13
④	4	5	3	30以上

- a) 試験片①の一般塗装は試験片のほぼ全面で腐食が観察された。
- b) 試験片②および③は損耗部から腐食が発生し、拡大する傾向にあった。
- c) 試験片④の変状面積率は小さいものの、塗膜表面の大部分で白さびの発生や塗膜の微細膨れが観察された。これは、表面処理で用いられる亜鉛被覆部が腐食したためと考えられる。また、No.4のみ変状面積率が大きいのは、表面処理精度にばらつきがあったためと推定される。

6. まとめ

線ばねクリップの促進腐食試験および現地暴露試験の結果から、両試験における腐食部位と変状面積率の相对比较結果が、同様の傾向であることを確認した。それらの結果を踏まえると、腐食性の高い塩害環境下では常温乾燥型亜鉛・珪素複合皮膜に無機系コーティングしたものが最も長期の耐久性が期待できたため、今後は営業線に試験敷設して定期的な経過観察を行い、防食性能の効果をさらに確認する予定である。また、他の塗装の有効性についても確認することができた。

なお、本報告で実施した促進腐食試験条件は、表面処理方法の効果の確認には有効であると考えるが、実環境に比べ非常に厳しい条件であること、また、一部の表面処理方法については変状発生箇所が限定的であることから、それぞれの表面処理方法について塗膜強度、膜厚の確保および表面処理精度の向上を行うことにより、さらに高い防食効果が発揮できる可能性がある。



(a) フォルテコート処理(試験片③)



(b) シェラダイズド処理(試験片④)

図4 現地暴露試験後の試験片の状態

謝辞

現地暴露試験を行うに際し、多大なるご協力をいただいた西日本旅客鉄道株式会社の関係者に謝意を表する。

文献

- 1) 高原清介：新軌道材料，鉄道現業社，pp338
- 2) 児玉正雄他：塗料と塗装，パワー社，pp268
- 3) BS4921・Specification for sherardized coating on iron or steel, 1988.
- 4) 田神哲也：関門トンネルにおける防食レールの効果，新線路，No. 54, 2000
- 5) 篠原和行他：常温乾燥型防錆剤を用いたレール締結装置の防錆性能について，土木学会第66回年次学術講演会，2011年9月
- 6) 藤野戸宏樹：海岸沿いの橋りょうにおける塩分付着状況，北海道開発土木研究所月報，No.578，2001