

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

# トンネル内の レールの腐食を防止する

トンネルの漏水箇所や塩害環境などに敷設されているレールは時間の経過とともに腐食が進行することがあります。この対策として、これまでにさまざまな防食工法が試行されてきましたが、列車荷重の作用などによって、塗膜が損傷して防食効果が長続きしないことが課題となっています。ここでは、近年開発された耐久性を向上させた防食工法を紹介するとともに、室内試験および営業線での試験敷設の結果について紹介します。さらに、新たに開発した防食レール用の締結装置についても紹介します。



**細田 充**  
Mitsuru Hosoda  
軌道技術研究部  
軌道構造研究室  
副主任研究員  
【専門分野】レール、軌道構造、軌道部材



**坂本 達朗**  
Tatsuro Sakamoto  
材料技術研究部  
防振材料研究室  
主任研究員  
【専門分野】防食材料、電気化学

## 腐食環境下のレール

レールは軌道を構成する部材の中でもとくに重要で、列車の走行安全性を確保するために、適切に保守管理されなければなりません。一方で、**図1**のように、トンネル漏水箇所や塩害環境などの腐食性の高い環境下に設置されたレールは、腐食によって部材の実質体積が減少したり腐食箇所を起点として損傷したりすることがあるため、防食材料による対策が講じられることがあります。以下、対策が講じられたレールを「防食レール」(**図2**)と称します。鉄道総研で過去に提案したレールの防食対策としては、

- ・レール底部にテープを巻いて腐食の進行を妨げるテープ工法<sup>1)</sup>
- ・レールに施された防食材料を部材接触から保護するレール防食ガード<sup>2)</sup>

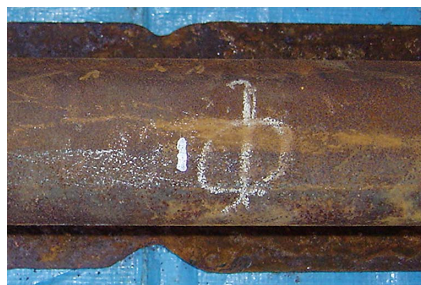


図1 腐食したレールの例

などがあり、鉄道事業者にも採用されています。しかしながら、レール締結装置付近など、部材どうしが接触している部位の列車荷重による擦れや保守作業時の器具の接触などによって、防食材料が損傷して防食性能が低下することがしばしば発生しているため、防食性能に加えて外力に対する耐久性を向上させた防食材料の開発が求められています<sup>3)</sup>。

そこで、腐食環境下において、外力に対する耐久性が高く、防食性能を長期間にわたって期待できる新たな防食工法を提案しました。ここでは、新たな防食工法の開発コンセプトや室内試験

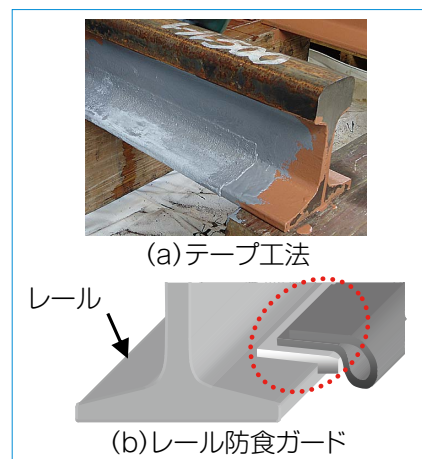


図2 防食レールの一例

表1 レール防食工法の開発・選定で考慮した項目

項目	概要
耐久性	対列車荷重 列車荷重に対して耐久性を有する
	対衝撃 衝撃に対する耐久性を有する(施工時の損傷を想定)
	対摩耗 摩耗に対する耐久性を有する(締結部の摩耗を想定)
防食性	トンネル漏水環境において、防食性を有する
使用性	・保守基地内での施工が可能である ・レール締結装置の組み立てに支障しないような膜厚
コスト	既往の工法と同等程度とする

表2 各防食工法の使用材料

防食工法	使用材料
ガラスフレーク工法	専用プライマー、ガラスフレーク、含有ビニルエステル樹脂
ポリウレタン工法	専用プライマー、ポリウレタン樹脂
FRP工法	エポキシ樹脂、ガラス繊維シート

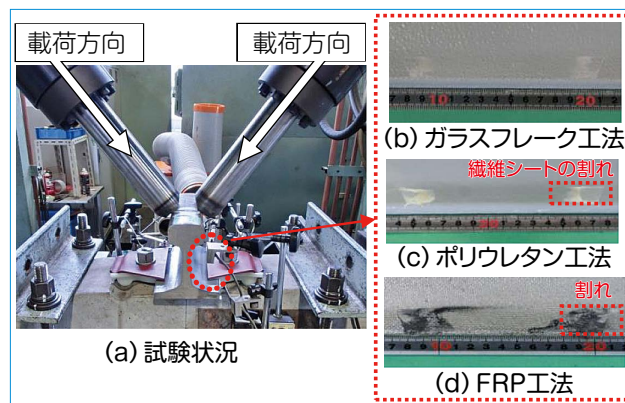


図3 列車荷重に対する耐久性試験および試験後のレール底部上面の状態

結果、さらに、新たに開発した防食レール用の締結装置について紹介します。

### 外力による耐久性を考慮したレール防食工法

防食工法を開発・選定するために考慮した項目を表1に示します。レールの防食工法では塗料を中心とした防食材料に着目し、腐食性の高い環境下における防食性、列車荷重に対する耐久性を重要な開発・選定項目としました。さらには使用性およびコストも考慮しました。使用性については、防食材料の施工前にレール表面の錆などを取り除く必要がありますが、基地での施工を想定しグラインダーなどを用いることとし、大規模かつ高額な機器は必要としないこととしました。

これらの項目を満足する防食工法を検討した結果、ガラスフレーク塗料を用いた防食工法(以下、ガラスフレーク工法といいます)、ポリウレタン樹脂塗料を用いた防食工法(以下、ポリウレタン工法といいます)、ガラス繊維とエポキシ樹脂塗料を用いた防食工法(以下、FRP工法といいます)の3種類を選択しました。表2に各防食工法の使用材料を示します。

### レール防食工法の室内評価試験

各防食工法に対し、その中でも有効な工法を選定するために数種類の室内評価試験を実施しました。なお、日

本工業規格(JIS)を参考とした衝撃や、摩耗などに対する耐久性試験も実施していますが、ここでは主要な2つの試験の結果を紹介します。

#### (1) 列車荷重に対する耐久性試験

図3に試験状況と試験レール底部上面の状態を示します。列車荷重に対する耐久性を調べるために、レール締結装置の性能を確認する際に実施される試験を参考にしています。レールとレール締結装置を組み立てた状態で、レールに対し内外から2軸で繰り返し荷重を載荷する試験を実施し、試験後の塗膜への影響の有無を確認しました。ガラスフレーク工法のレール底部上面は塗膜が若干摩耗する程度であり、ポリウレタン工法およびFRP工法については、塗膜表面に損傷が認められました。

#### (2) 試験片による防食性試験

各防食工法の防食性を評価するためレールから試験片を切り出して試験を実施しました。

防食性試験は、腐食の要因となる湿潤と乾燥の繰り返しを主とした試験条件により、腐食環境下にあるトンネルの漏水成分を模擬した液体を用いて1サイクル1週間の室内試験を実施し、塗膜の状態の変化を観察して防食性を評価しました。試験片には、小型試験片を用い、列車荷重や施工時の外力による損傷を想定してカット部や打撃痕をあらかじめ導入しました。図4

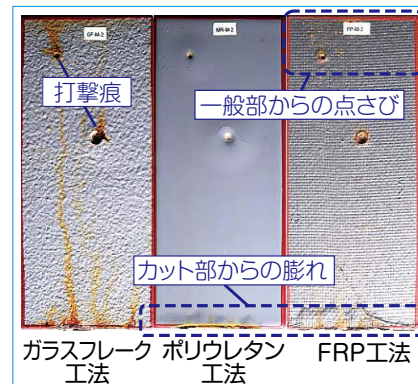


図4 27サイクル時点の試験片外観

に、27サイクル後の各試験片の状況を示します。いずれの防食工法も打撃痕からの変状は認められませんでした。ポリウレタン工法およびFRP工法にはカット部から塗膜の膨れが認められ、ガラスフレーク工法の塗膜には変化がみられませんでした。

#### (3) 防食工法の選定

レール敷設後に常時作用する列車荷重に対する耐久性試験および腐食の要因となる湿潤と乾燥の繰り返しを主体とした防食性試験の結果、ガラスフレーク工法が各試験項目で良好な性能を示し、本工法を有効なレール防食工法であると判断しました。

### 防食レール用レール締結装置の開発

防食工法を施したレールの防食塗膜の損傷を低減するため、レールの押さえ部に樹脂を使用し、かつ、レールの押さえ力を低減した「防食レール用レール

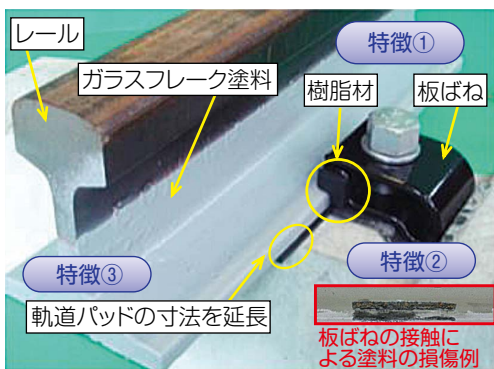


図5 防食レール用レール締結装置

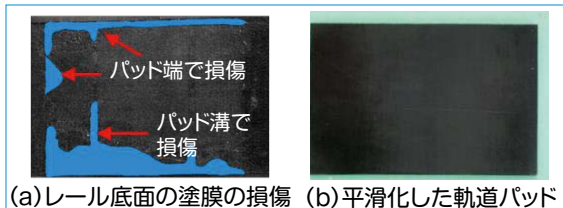


図7 レール底面の状況

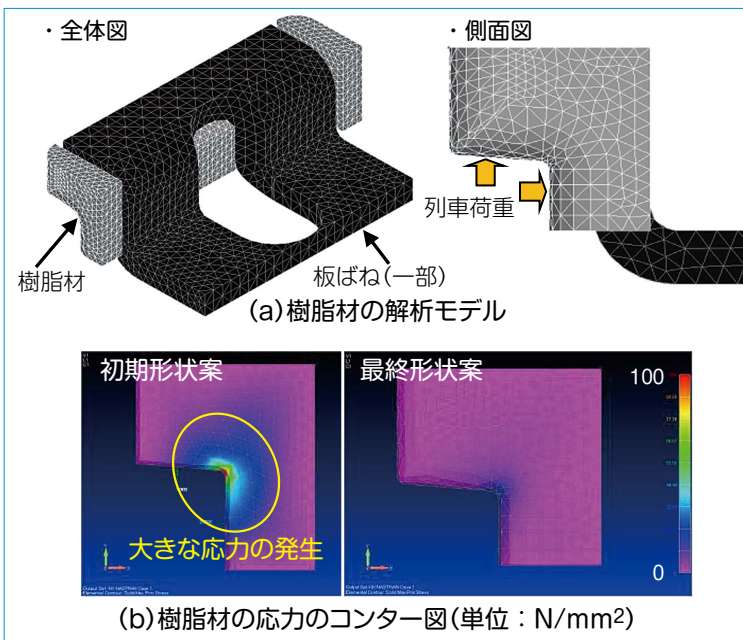


図6 樹脂材に発生する応力のシミュレーション

ル締結装置」(図5)を開発しました。防食レール用レール締結装置の特徴は以下のとおりです。

- ・防食レールを保護するため、レール押さえ部に樹脂材を使用し、かつ、レールの押さえ力を調整できる板ばね方式のレール締結装置としました。また、従来の板ばね式レール締結装置と互換性を持たせました(特徴①)。
- ・防食塗膜へのレール押さえ部材の食い込みおよびレール底面の軌道パッドの変形による防食材料の損傷などを軽減するために、レールの押さえ力を極力低減しました(特徴②)。
- ・樹脂材の形状は、列車荷重がレールに作用した際(図6(a))、樹脂材に発生する応力をシミュレーションで算出し、応力が大きく発生しないものとししました(図6(b))。レールと接触する先端部には丸みを設け局所的な圧力を軽減しました。
- ・レールの底面を支える軌道パッドは、表面を平滑化するとともに、レール長手方向の寸法をできるだけ長くすることで軌道パッド端部に発生する圧力を低減しました(特徴③および図7)。

防食レール用レール締結装置をガ

ラスフレーク塗料による防食レール<sup>2)</sup>と組み合わせて、前述の「列車荷重に対する耐久性試験」を実施しました。図8に試験後のレール底部上面を示します。防食塗膜に若干の摩耗がみられましたが、塗膜の損傷や浮きあがりなどはみられませんでした。また、レール底面においても塗膜の変化はみられませんでした。

「鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造<sup>4)</sup>」にしたがってレール締結装置に対する性能確認試験も実施し、締結装置として十分な機能および性能を満たしていることも確認しました。

### 防食レールの試験敷設

今回提案したレール防食工法の試験敷設を実施しました。表3にガラスフレーク工法の作業時間例を示します。また、以下に防食レールの敷設に至るまでの手順および留意点を示します。

#### (1) ガラスフレーク工法の施工手順

##### ①ケレン作業・下塗り剤塗装(図9)

グラインダーによりレール表面さびおよび鋼材の黒皮を除去し、カップブラシにより仕上げ作業を行います。作業後、レール表面を脱脂し、ビニルエステル系樹脂塗料プライマーによる下



図8 試験後のレール底部上面

表3 作業時間例(敷設延長7m)

作業内容		時間(分)
1日目	作業場所の養生	60
	レール設置	30
	ケレン作業・下塗り作業	120
	レール養生	30
2日目	作業場所の養生	60
	上塗り作業	40
	レール養生	240
	上塗り作業	40
3日目	レール養生	40
	塗装品質確認	60
	防食レール養生	70

塗り剤塗装を行います。

##### ②上塗り剤塗装(図10)

下塗り剤の乾燥を確認後、エアースプレーを用いてガラスフレーク塗料を2回に分けて塗装します。

##### ③レールの養生(図11)

レールの養生には10日間程度の期間を要します。雨などを避けるためレール運搬作業まで養生用ポリシートでレールを覆います。

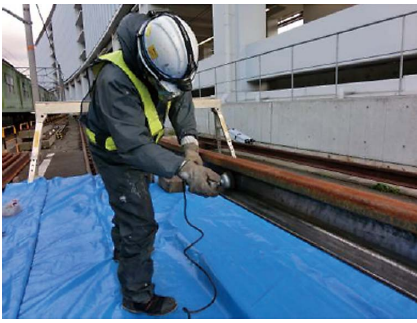


図9 ケレン作業の状況



図11 レールの養生



図10 上塗り剤塗装の状況



図12 営業線への敷設

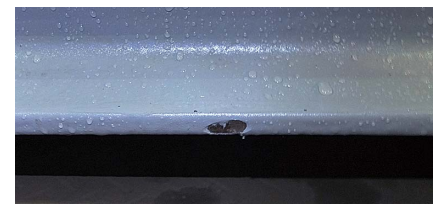
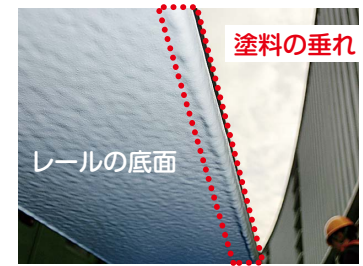
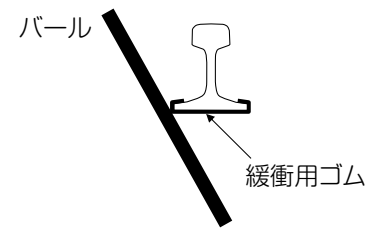


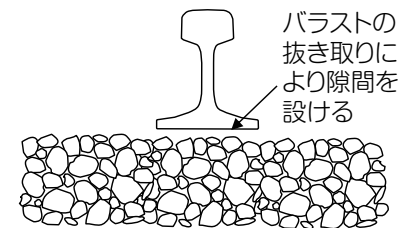
図13 施工時の防食塗膜の損傷例



(a)塗料の垂れの管理



(b)緩衝用ゴムの使用状況



(c)バラストの抜き取り

図14 施工および敷設時の留意点

#### ④レール交換作業 (図12)

防食加工を施したレールを運搬して線路脇に取り降ろし、敷設します。

#### (2) 施工および敷設時の留意点

一般に塗膜のみで保守作業時の損傷(損傷例: 図13)を防ぐことは困難であり、レール敷設から日常の保守に至るまで施工・管理において注意を払う必要があります。そこで、防食性能を十分に発揮できるように施工と敷設時の留意点を以下にまとめました。

- ・塗装の際に適切な膜の厚さを確保します。その際、レール底面の角部に塗料の垂れが発生しないよう留意し養生期間を設けます(図14(a))。
- ・防食レールを作業車へ積載する際には、直接防食レールを支持しないようレール底部にゴムパッドなどの緩衝材を挿入します。ボールなどを使用して軌道整正する際、防食塗膜と工具間にゴムパッドなどの緩衝材を介在させます(図14(b))。
- ・防食加工部をバラスト上に直接仮置きせず、レール底面とバラスト間に隙間を設けるよう十分な高さを有するまくらぎなどの上に仮置きします。レール交換後にまくらぎ間のバラス

トとレール底面が接触しないよう、事前にまくらぎ間のバラストを取り除きます(図14(c))。

前述の手順で防食レールを試験敷設してから2年が経過し、防食塗膜の変状に対する追跡調査を実施しました。外観調査および膜の厚さの測定を実施しましたが大きな変化はみられず健全な状態で推移しています。

#### おわりに

レールに対して、耐久性および防食性に優れている防食工法を提案しました。また、営業線への試験敷設を行い、敷設時における留意事項を明示するとともに、防食塗膜が健全な状態で推移していることを確認しました。なお、試験敷設に際しては、西日本旅客鉄道株式会社および四国旅客鉄道株式

の協力を得て実施しました。

レールやその他軌道部材の腐食は、海岸部沿線などの塩害環境や、直流電気鉄道で多く発生する電食などについても課題があり、今回得られた知見を基にさらに研究を進めていきます。

**RRR**

#### 文献

- 1) 御船直人, 阿部則次, 江成孝文: レール用防錆・防食テープ (BBテープ) の開発, JREA, Vol.39, No.7, 1996
- 2) 御船直人: 鉄道総研の Patent 27 レール防食ガード - 湿潤環境下における防錆・防食・電気絶縁性能向上を目指した材料システム-, RRR, Vol.59, No.2, pp.36-37, 2002
- 3) 堀克則, 長尾正治: 腐食環境下におけるレール防食工法の検討, 土木学会第64回年次学術講演会, IV-334, pp.665-666, 2009
- 4) 国土交通省鉄道局監修, 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造, pp.52-60, 丸善出版, 2012