

メンテナンスの革新

レール探傷車による探傷検査技術の向上

小林 貴 瑠・村 上 邦 宏

レールに発生した傷は成長するとレール折損に至り、列車の運行に影響を及ぼす可能性がある。そこで、JR 西日本ではレール折損を防止するため、超音波を用いたレール探傷検査を保守用車両であるレール探傷車で実施している。レール探傷車の導入以来、その探傷精度の向上およびレール探傷検査の関わる労力の軽減等を目的として様々な技術開発と改良を重ねてきた。

キーワード：レール探傷，レール探傷車，分岐器，探触子，超音波，レール折損，マーキング，撮像

1. はじめに^{1)~4)}

鉄道設備の中でも特に、レールは車両の安全を確保する上で重要な材料である。レールに発生した傷は成長すると、レール折損に至り、列車の運行に影響を及ぼす可能性がある。したがって、定期的な検査により、その状態を正確に把握しておくと共に、耐用限度に達する前に計画的に修繕する必要がある。JR 西日本(以下、「当社」という)では、定期的にレールの状態を把握するために図-1のような、レール探傷車による超音波を用いたレール探傷検査を実施している。レール探傷車による傷管理は一定の成果を得られているものの、当社ではさらなるレール管理レベルの向上を目指し、技術開発に取り組んでいる。本稿では、これまでのレール探傷車改良の変遷と現在取り組んでいる技術開発について紹介する。

2. 超音波を用いたレール探傷検査の概要

超音波を用いたレール探傷検査では、超音波の性質を用いてレール内部の異常の有無を把握している。超音波の性質として金属などの物体内部を伝達しやすい

ことや、物体内部で傷がある場合に反射しやすい特徴がある。超音波検査には大きく分けて反射法と透過法の2つがある。

(1) 反射法について

反射法では、図-2 (a) に示すとおり、超音波が傷のある箇所では反射して受信側に伝達されることで傷を検知するものである。また、傷の無い場合は超音波が受信側に伝達されない。レール探傷車では図-2(a)、(b) に示すように、レール頭頂面に探触子を滑らしながらレール探傷を行うため、反射法にて検査を実施している。

(2) 透過法について

透過法では、図-2 (c) に示すとおり、超音波が傷の無い場所ではそのまま通過し、傷がある箇所では超音波が遮断されるものである。2つの探触子(送信と受信)を用いて常に超音波の伝達を行い超音波の減衰量で傷の管理を行う。より精密にレール傷の深さを確認したい場合にこの方法を用いて地上で人力により検査を実施している。



図-1 レール探傷車とレール探傷装置



図-2 反射法・探傷領域・透過法

3. レール探傷車について

従来のレール探傷検査では、手押し式のレール探傷器を人力でレール上を移動させながら検査を行っていた。人力での検査はレール延長からも非常に労力が必要であり、線路内での作業のため作業員の労働災害の危険性もあった。そのため、1993年にレール探傷車(1号車)を動力車と検測車からなる2両編成(全長23m)として導入した。

レール探傷車を導入したことにより、測定精度、作業効率を大幅に上げるだけでなく、検査を車上化したことにより地上作業員の労働災害防止を図ることが可能となった。しかし、レール探傷車1台での運用だったため、主要線区こそ1回/年の検査を行っていたものの、その他の線区については1回/2年~5年の頻度となっていた。

そこで、2009年より、測定機器や処理装置の小型化により自走式の1両編成(17m)としたレール探傷車を1台増備し、2台体制とすることでレール探傷車による検査周期を短縮し、レール傷の管理強化を図った。

レール探傷車(2号車)の基本性能を表-1に、レール探傷車(2号車)の全体図を図-3に示す。レール探傷車導入以降、各種機能向上に向けた技術開発を実

表-1 レール探傷車(2号車)の基本性能

項目		性能
全長		17050 mm
探傷速度	ロングレール区間	最大 40 km/h 以上 (level)
	定尺区間	最大 20 km/h 以上 (level)
連続探傷時間		無給油・無給水で 3.5 時間以上
水タンク容量		8 t
探傷方向		前後進両方向
探傷方式		超音波パルス反射法 または透過法
探触子方式		水ギャップ法による 摺動型探触子方式
使用外軌気温		-5 ~ 40℃ なお、探傷水は 凍結防止を講じる
探傷ピッチ		40 km/h において 2 mm 以下
エンジン	機関	ディーゼル機関水冷式
	定格出力	220 kW 以上
	最大トルク	1500 N・m 以上

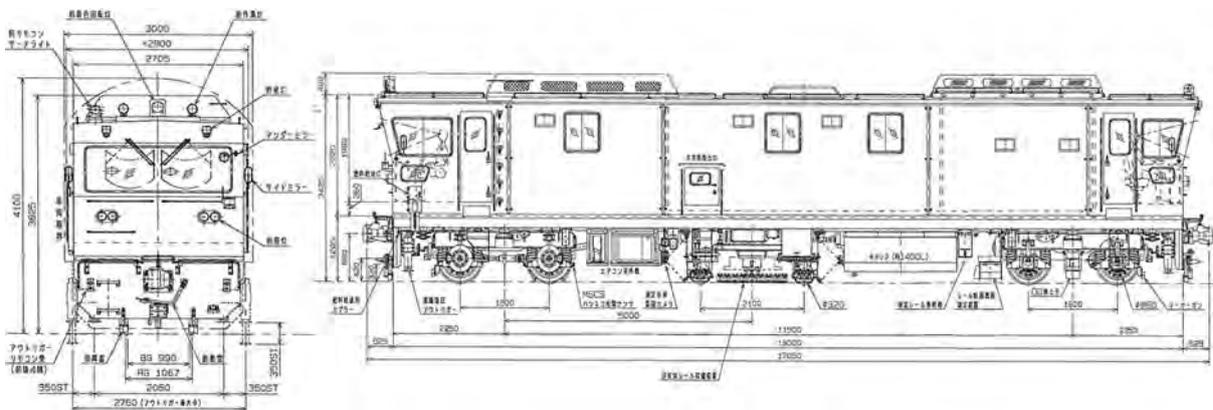


図-3 探傷車(2号車)全体図

表-2 探傷車の変遷まとめ

時期	項目	内容
1993	レール探傷車の導入(1号車)	レール探傷車(1号車)を導入しレール傷管理の効率化を図った
2000	分岐内通過測定枠の導入	分岐器通過に要していた時間を短縮した
2006	データデポシステムの導入	総合検測車で使っている位置合わせシステムをレール探傷車にも適応した
2009	レール探傷車の増備(2号車)	レール探傷車による検査周期を短縮しレール傷管理の強化を図った
	断面摩耗測定装置の取り換え	高精度な装置へ取替えを行った
	探触子の個別ブロック化*(1)	継目箇所における探触子の追従性能の向上を図った
	タンデム探触子の導入	溶接部平面欠陥傷の検知を図った
	傷出力位置マーキング機能の導入*(2)	レール傷ランクを自動判定し傷の位置にレールにペイントすることで、傷検知箇所把握の効率化を図った
2013	底部腐食検知機能の追加*(3)	レール探傷車に底部腐食検知装置を追加した
2015	分岐器の測定機能の追加*(4)	分岐器のレールもレール探傷車で計測可能にした
	腐食密度管理の導入*(3)	腐食の管理指標として導入

施してきた。表-2にその概要をまとめる。なお、本稿では*印で示したレール探傷に関わる技術開発の内容についてその詳細を述べる。

4. レール探傷車の機能向上について^{1)~4)}

(1) 継目部の検知性能の向上について

従来の探傷車では継目落ちに探触子が追従できないためにボルト穴を正常に検知できず、傷のないボルト穴を「傷あり」と判定してしまうことがあり、レールの継目部の検知精度向上に問題があった。継目部の検知精度が低い原因は、レール探傷車に装備していた探触子ブロックが3つの探触子を一体とした複合探触子ブロックであり、継目落ちに対する追従性が低かった。そこで探触子ブロックを分割・小型化し、図-4に示すように継目部の追従性向上を図った個別探触子ブロックを採用し検知精度を向上させた。

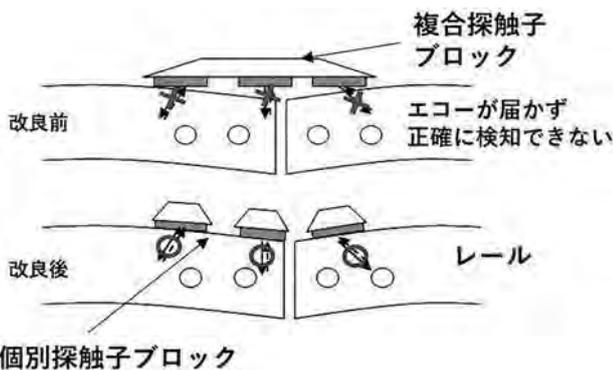


図-4 探触子ブロック改良の概要

(2) マーキング装置について

レール探傷車走行後、傷を検知した箇所においては精密な検査が必要であるが、レール探傷車が検出した傷を現場で位置を特定するのに多大な労力と時間を要することが課題であった。そこで、レール探傷車で傷を検知した際にマーキングできる装置を開発した。マーキング装置の概要を表-3に、マーキング位置を図-5に示す。マーキング装置はあらかじめ傷の種類とランクを設定しておき、その傷の箇所に対してマーキングを行い、傷の位置を容易に特定することで現場での傷の位置を特定する労力を削減することが可能となった。

(3) レールの腐食管理について

トンネル内部は定常的に高い湿潤状態にあり、厳しい腐食環境にある。腐食によるレール折損は、ほとんどの場合においてレール底部底面に生じた僅かな腐食

表-3 マーキング装置の概要

対象	レール探傷車が検出した傷のうち、精密な検査等を要するもの
色	白色
吹き付け位置	軌間外側のレール底部から腹部下部
長さ	50 ~ 100 cm (探傷車走行速度により変化する)
傷の位置	探傷車走行方向に対してマーキングの最も起点方(吹き付け開始位置)
精密な検査の対象範囲	マーキング開始位置を中心に 約± 25 cm

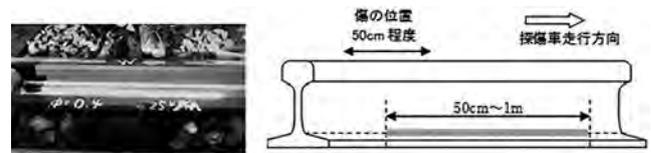


図-5 マーキング状況と吹き付け位置

孔を起点として生じていることが過去の知見から得られている。そのため、レールの敷設経年等によらず、レール底部底面に生じた腐食孔の大きさおよび形状に依存した応力集中によって、短期的に折損に至る場合がある。このため、レール探傷による経年的な傷の進行を管理することだけではレール折損防止に寄与し難いことから、レールの腐食による折損を防止するためには、「レール底部腐食状況の把握」、「レールへの負荷(腐食孔への応力集中)の低減」および「レール防食による腐食の抑制」が重要となる。そこで、腐食管理をレール探傷車にて実施すべく、底部腐食検知機能を追加搭載し、レールの底部腐食状況の把握を行った。さらに、腐食によるレール折損対策を強化するにあたり、新たに「腐食密度」の指標を用いることより、相対的に腐食が進展している区間を定量的に抽出することにした。ここで、「腐食密度」とは、レール探傷車に搭載された底部腐食検知機能によって、レール底部腐食量が2mm以上存在すると検知した1mロットあたりの箇所数のことをいう。また、総合検測車により測定された「軸箱振動加速度(600HzLPF)」を用いることにより、著大な輪重が作用している区間を定量的に抽出することにした。これらの、2つの手段によりレールの腐食状況及び負荷状況を評価することで、腐食によるレール折損リスクが相対的に高い区間と抽出・管理を行えるようになった。

(4) 分岐器内のレール探傷検査について

これまで、欠線部分のある分岐器の区間については、レール探傷車での測定はできていなかった。その

理由は以下の通りである。

- ・従来の測定においてはレール底部まで反射エコーを検知するため、摺動式の探触子の位置をレール中央に保持する必要があり、その方策として、軌間内側からエア圧力により測定台車をレールに押し付けて追従させている。そのため、本構造により分岐器を対向で通過測定した場合、図-6に示すようにクロッシング欠線部において異線進入してしまう可能性があった。
 - ・分岐器を背向で測定走行した場合、図-7に示すように探触子の構造上の理由から、クロッシング欠線部のノズレールとウイングレール間を探触子が乗り移ることが困難であった。
- そこで、以下の改良を行うことで分岐器を走行しながらレール探傷検査を行えるようにした(図-8)。
- ・探触子シューの側面に傾斜をつけ、クロッシングのレール間の段差を乗り移ることが可能な構造(図-8(A))とした。
 - ・欠線部の乗り移り時に、探触子シュー側面の傾斜が

ウイングレール部より設定以上に降下しないよう、ラダーフレームにより探触子を保持できる構造(図-8(B))とした。

- ・ラダーフレーム前後にローラーを設定し、車輪と同様にノズレールとウイングレール間の段差をスムーズに乗り移ることが可能な構造(図-8(C))とした。

各種改良の結果、分岐器でもレール探傷車でレール探傷検査が可能となった。近年では複雑な分岐器の構造でも検測が可能であり、活躍の幅を広げている。

5. 今後の改良について⁵⁾

(1) マーキング自動切替え機能

曲線区間においては、レールに連続した表層部水平裂が連続して発生することがあり、その場合、表層部水平裂が連続して発生している区間一帯にマーキングされたり、連続して塗料を噴射することで噴射圧力がなくなり、再度圧力を充填する間はマーキングが行えない場合があった。また、最も優先的に精密な検査をすべき頭部横裂を検知した場合でも、マーキングがその場所に噴射されないことがある課題があった。

そこで、表層部水平裂が連続している区間においても頭部横裂を検知した正確な位置をマーキングすることを目的とし、表層部水平裂が連続する区間ではマーキングを停止し、頭部横裂を検知した場合は探傷車のランクにかかわらずすべてにおいてマーキングを行う制御プログラムを改良した。これにより、あらかじめ把握している表層部水平裂が連続している区間において制御プログラムを一時的に変更することで、特に注意すべき傷の特定を行うことができるようになった。なお、今後の課題として、装置の切替えを自動で行えるようにし、オペレーターの負担軽減や切替えミスを図っていくことで探傷精度の向上に努めていく予定である。

(2) 頭頂面撮像装置

現在、探傷車に出力された結果(傷ランク・位置・レールに吹き付けられたマーキング機能)をもとに、現地で目視により傷を特定している。しかしながら、連続傷区間ではランクが発生している傷の特定が困難であり、レール探傷検査の位置ずれが発生するリスクがある。また、連続傷区間におけるランク発生箇所の特特定は現地で位置を合わせてレール探傷検査を行うために、時間と労力を要している。そこで、当社では2019年度における探傷車の改修にともない頭頂面撮

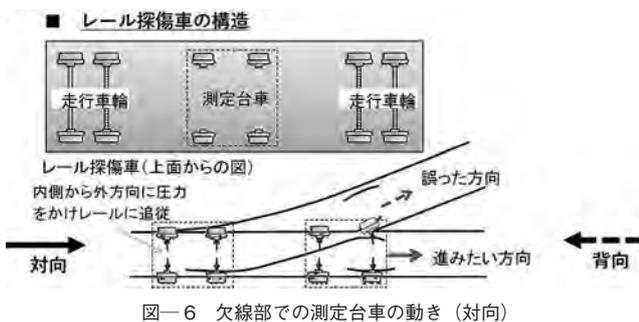


図-6 欠線部での測定台車の動き(対向)

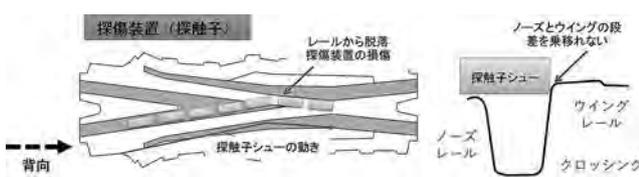


図-7 欠線部での探傷装置の動き(背向)

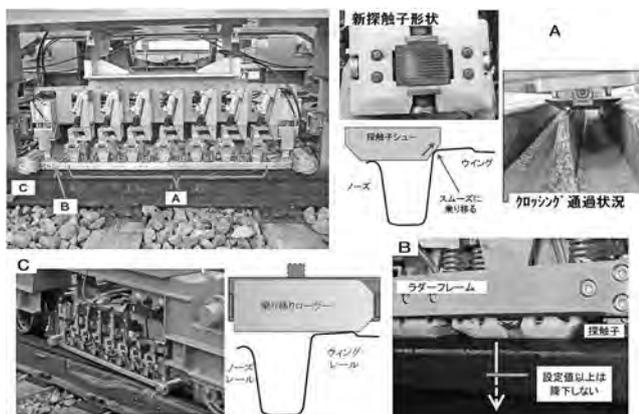


図-8 分岐器走行に伴う各種改良

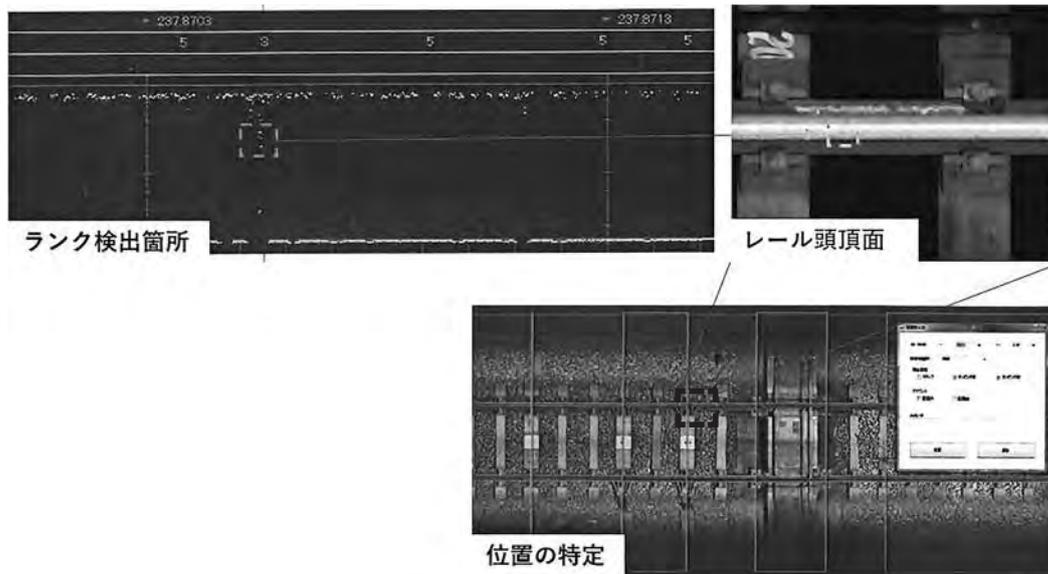


図-9 撮像装置

像装置を導入する予定である。この装置は、レール探傷車のランク検出箇所とレール頭頂面画像等をリンクさせることにより、画像を見ながら精度よく傷の位置を特定することが可能となる装置である（図-9）。これにより、レール探傷検査の精度向上と作業時間の短縮を同時に行え、より効率的にレール探傷検査を行うことが可能になると考えられる。

6. おわりに

当社のレール管理に使用するレール探傷車の変遷と現在取組んでいる機能向上に関して紹介した。

今後もレール探傷車の更なる改良により探傷精度を向上させていくことでレールの管理レベル向上に取り組んでいく。

J|C|M|A

《参考文献》

- 1) 堀克則：新形レール探傷車（在来線）の導入，鉄道現業社，新線路 1993.6
- 2) 堀克則：JR 西日本におけるレール折損抜本対策，鉄道現業社，新線路 2009.7
- 3) 辰巳新太郎：在来線用レール探傷車改良の変遷，日本鉄道施設協会誌 2013.5
- 4) 今西進也：超音波レール探傷検査の車上化の取り組み，日本施設鉄道協会誌 2014.1
- 5) 村上邦広：JR 西日本におけるレール傷管理の取組み，鉄道現業社，新線路 2019.5

【筆者紹介】

小林 貴瑠（こばやし たける）
西日本旅客鉄道株
施設部 保線課（企画）
課員



村上 邦宏（むらかみ くにひろ）
（株）レールテック
軌道事業部 機械部
技術リーダー

