

トンネル内レール健全度評価手法の実務適用に向けた検討

鉄道総合研技術研究所 正会員 ○森 健矢  
鉄道総合研技術研究所 正会員 田中 博文  
鉄道総合研技術研究所 正会員 細田 充  
鉄道総合研技術研究所 正会員 相澤 宏行

1. はじめに

バラスト軌道のトンネル内漏水箇所では、局所的なレール頭頂面凹凸と浮きまくらぎが発生し、列車通過時に著大なレール曲げ応力（以下、レール応力と記す）が発生することで、レール底部からき裂が進展して折損に至ることがある。著者らは、このようなレール折損を防止するための管理手法として、レール頭頂面凹凸量（以下、レール凹凸量と記す）と浮きまくらぎの浮き量（以下、浮き量と記す）から列車通過時に生じるレール応力を推定し、レールの健全度を評価する手法（以下、提案手法と記す）を提案している<sup>1)</sup>。

本研究では、提案手法の実務適用のために、軌道保守管理データベースシステム「LABOCS」(以下、LABOCS と記す)を用いて、軌道検測車で取得されたデータからレール健全度を自動算出し、台帳データ（レール継目、トンネル等）との位置関係に応じて健全度低下箇所を抽出する手法を構築した。また、構築したレール健全度算出手法を営業線のデータに適用し、健全度低下箇所の現地調査を実施することで、提案手法の有効性を検証した。

2. レール健全度算出処理手法の構築

レール健全度は、レール応力と疲労限度（レールにき裂が生じ、折損が発生するレール応力の限度値）から式(1)によって算出する<sup>1)</sup>。

$$f_h = 1 - \sigma_m / \sigma_c \tag{1}$$

ここで、 $f_h$ は健全度、 $\sigma_m$ はレール応力(MPa)、 $\sigma_c$ は疲労限度(MPa)である。また、レール応力 $\sigma_m$ は、車両走行シミュレーションから得られるレール凹凸量、浮き量とレール応力の関係式である式(2)によって算出する<sup>1)</sup>。

$$\sigma_m = az + bd + c \tag{2}$$

ここで、 $z$ はレール凹凸量(mm)、 $d$ は浮き量(mm)、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ は係数である。レール凹凸量と浮き量は、軌道検測車で取得された軸箱加速度と高低変位データから推定する<sup>2)3)4)</sup>。ただし、軸箱加速度は全振幅で評価する必要があることに加え、軸箱加速度と浮きまくらぎの波形にはピーク位置のずれがあるため、任意のキロ程での両者の値を用いると、レール応力を過小評価し、健全度を過大評価してしまう可能性がある。そこで、図1に示すフローでレール健全度算出処理を行う。具体的な処理内容は以下のとおりである。

- ① 高低変位や浮き量に対してあらかじめ閾値を定めておき、閾値以上（あるいは以下）のピーク位置を中心として指定のオフセットをかけた区間（以下、算出対象区間と記す）を特定する。

- ② 各算出対象区間内の、浮き量の最大値と、軸箱加速度の最大値・最小値から推定されるレール凹凸量を求め、それぞれを波形データ化する。
- ③ ②で作成した各波形を用いた演算処理によりレール応力を推定し、レール健全度を算出する。
- ④ トンネルおよび道床種別の台帳データを波形データ化し、トンネル内バラスト軌道のためのレール健全度を抽出する。

なお、レール継目は一般部と構造が異なるため、提案手法では正確に評価できないと考えられるが、継目付近でも漏水によるレール頭頂面凹凸や浮きまくらぎが生じる可能性はあり、それらに起因するレール折損事例も報告されている<sup>5)</sup>。そのため、継目付近の健全度算出結果を除外するのではなく、レール継目の台帳データを波形データ化し、算出対象区間内の継目の有無を容易に把握できるようにした。

3. レール健全度算出手法の営業線への適用

前章で示したレール健全度算出手法を在来線の営業線のデータに適用した。表1に対象線区の概要を示す。レール健全度の算出においては、レール応力 $\sigma_m$ は当該線区を走行する一般的な特急車両を想定した係数を用いて算出し、疲労限度 $\sigma_c$ はレール底部に3mmの腐食があるものと仮定して180MPaと

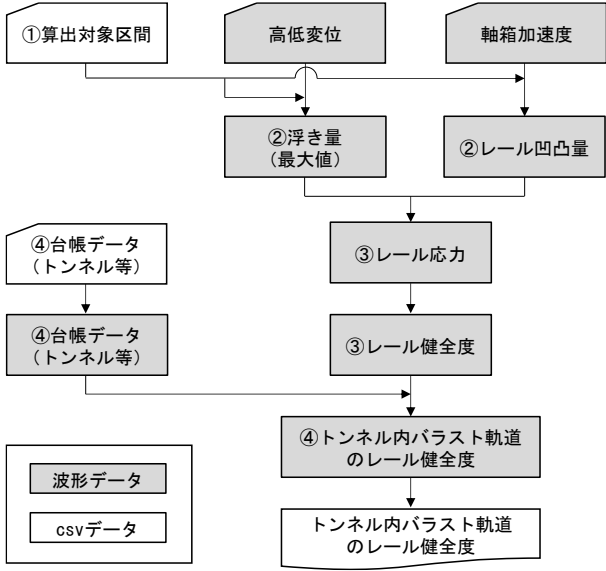


図1 レール健全度の算出フロー

表1 対象線区の概要

|        |                                        |
|--------|----------------------------------------|
| 軌道延長   | 59.500km<br>(単線、トンネル内バラスト軌道延長16.334km) |
| 年間通トン  | 180～330 万トン                            |
| 主な軌道構造 | 50kgN レール (定尺)、バラスト軌道、PC まくらぎ          |

キーワード レール折損、レール頭頂面凹凸、浮きまくらぎ、漏水、LABOCS

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 TEL042-573-7277

した<sup>5)</sup>。また、算出対象区間は5m 弦高低変位-7mm 以下のマイナス側のピーク位置から前後 3m の範囲とし、レール凹凸量の推定には波長0.33~1.25 (m) のバンドパスフィルタを施した軸箱加速度を、浮き量の推定には復元帯域3~50 (m) の高低復元波形を用いた。図2にレール健全度のチャート表示例を示す。図2に示すとおり、LABOCSのチャート表示機能により健全度低下箇所を視覚的に把握できることに加え、レール凹凸量と浮き量が健全度に与える影響度も把握可能である。これにより、健全度低下要因に応じた処置を検討することが可能になる。

次に、健全度が低下していた5箇所を現地調査対象として選定し、外観調査、1m ストレッチによるレール凹凸量の測定、レール締結装置緩解による浮き量の測定を実施した。表2にLABOCSによるレール凹凸量および推定値と現地測定値の比較結果を、図3に外観写真を示す。表2より、浮き量は既往の研究で確認されているとおり<sup>3)</sup>、LABOCSによる推定値と測定値が概ね近い値となった。レール凹凸量については若干の誤差があるものの、現地での測定値と推定値は概ね近い結果となった。また、図3に示すとおり、健全度低下箇所にはレール照面の異状や漏水滴下が確認された。以上より、提案手法は想定した不良状態を適切に評価できるものと考えら

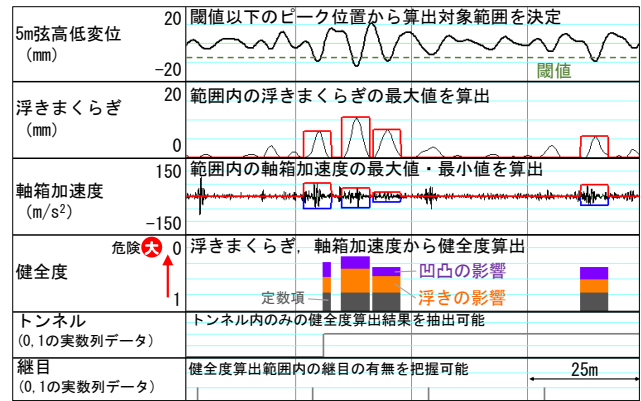


図2 レール健全度のチャート表示例

表2 LABOCSによる推定値と現地測定値の比較結果

| 箇所 | レール凹凸量(mm) |     | 浮き量(mm) |     | 健全度   |
|----|------------|-----|---------|-----|-------|
|    | 推定値        | 測定値 | 推定値     | 測定値 |       |
| A  | 2.7        | 3.5 | 9.7     | 11  | 0.11  |
| B  | 5.7        | 6.0 | 7.9     | 8   | -0.09 |
| C  | 2.3        | 0.6 | 13.3    | 14  | 0.02  |
| D  | 3.5        | 4.1 | 10.6    | 11  | 0.01  |
| E  | 2.6        | 1.3 | 9.3     | 9   | 0.14  |



図3 健全度低下箇所の外観

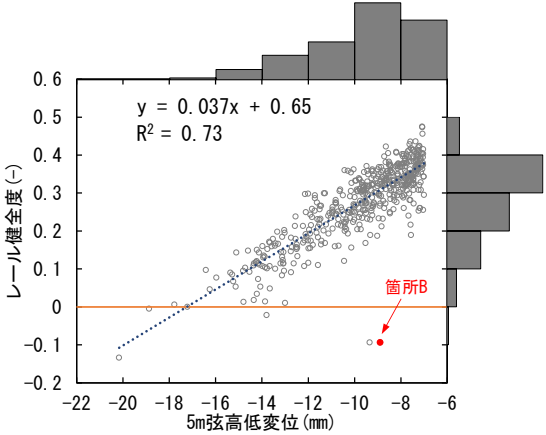


図4 5m 弦高低変位とレール健全度の関係

れる。

続いて、一部の鉄道事業者で実施されている5m 弦高低変位を用いたトンネル内レール管理手法<sup>6)</sup> (以下、従来手法と記す) と提案手法を比較した。図4に算出対象区間の5m 弦高低変位の最小値とレール健全度の関係を示す。図4より、両者の相関は高く、従来手法でもレール折損の危険性のある程度適切に把握できると考えられる。ただし、現地調査で大きなレール凹凸量が確認された箇所Bについては、5m 弦高低変位が-8.9mmと変位量が比較的小さく、従来手法では処置の優先度が相対的に低く評価されてしまうことがわかる。以上より、高低変位データだけでは評価できない非常に短い波長成分 (波長3m 以下) の車両走行面不整を、軸箱加速度から推定するレール凹凸量によって評価する提案手法の方が、レール折損の危険性をより正確に把握できるものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、LABOCSによるレール健全度の算出処理手法を構築して営業線のデータに適用し、健全度低下箇所の現地調査により提案手法の有効性を確認した。今後は、列車速度を考慮したレール応力推定式の検討や、曲線部のレール応力推定精度の向上に取り組む予定である。

参考文献

1) 細田充, 他: トンネル漏水箇所におけるレール折損の原因調査と管理手法の提案, 新線路, Vol. 76, No. 12, pp.21-23, 2022.  
2) 楠田将之, 他: 軌道変位データに基づく浮きまくらぎ検出手法, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol. 74, No. 2 (応用力学論文集 Vol.21), pp.1\_543-1\_551, 2018.  
3) 楠田将之, 他: 浮きまくらぎ検出に対する各種軌道諸元の影響確認と実務適用に向けた計算手法の構築, 構造工学論文集, Vol. 65A, pp. 52-62, 2019.  
4) 田中博文, 他: 軌道検測車で測定される軸箱加速度を活用したレール波状摩耗の状態評価と管理手法に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 63A, No. 8, pp. 541-549, 2017.  
5) 太山敦, 他: トンネル内レール折損事象と腐食レールの管理強化, 日本鉄道施設協会誌, Vol. 59, No. 5, pp. 5-9, 2021.  
6) 細田充, 他: 腐食・電食環境下におけるレールの余寿命評価, 鉄道総研報告, Vol. 27, No. 4, pp. 5-10, 2013.