

トンネル漏水箇所におけるレール損傷の原因とレール曲げ応力の調査

鉄道総合技術研究所 正会員 ○細田 充
 鉄道総合技術研究所 正会員 相澤 宏行
 鉄道総合技術研究所 正会員 山本 隆一

1. はじめに

トンネル等の湿潤環境下では、レールは腐食によって疲労強度が低下し、繰り返しの列車通過で損傷を引き起こす可能性があるため、レール底部の腐食量に着目したレール管理が行われてきた¹⁾。一方で、軽微なレール底部腐食であってもレール損傷が発生することが報告されている。そこで、当該箇所の調査と、損傷に直結する列車通過時に発生するレール曲げ応力（以下、レール応力という）を評価したので報告する。

2. レール損傷調査

実際に損傷したレールの外観調査および軌道検測データ分析等によって損傷原因を分析した。

- (1) 損傷現場では、漏水が確認されていた。しかし図1(a)の写真に示すように腐食による断面減少やレール底部の顕著な減肉は認められていない。き裂はレール底部から発生していた。
- (2) レール頭頂面が局所的に摩耗し、数 mm 程度の大きな凹凸(波長 1m 以下)が生じていた(図1(b))。
- (3) 軌道検測データを分析し、破断箇所近傍では浮き量 10 mm 以上の浮きまくらぎが発生していた(図1(c))。

以上、破壊起点となったレール底部の腐食状態は軽微であったが、頭頂面凹凸および浮きまくらぎの影響で列車通過時に著大なレール応力が発生し、損傷したものと推定される。

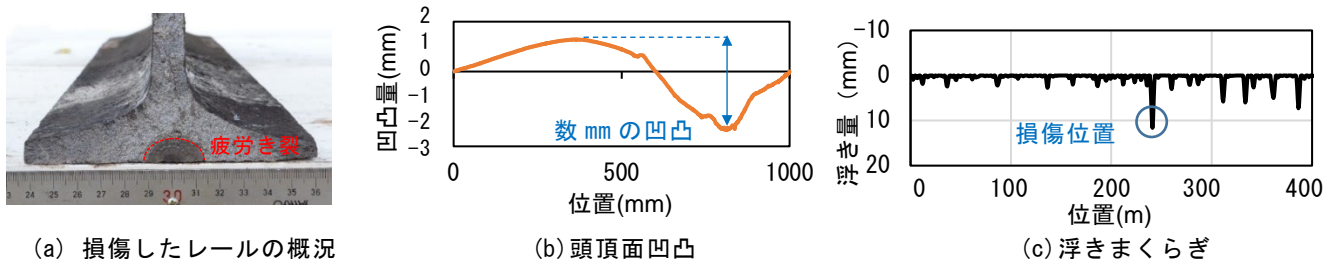


図1 トンネルの漏水箇所 で損傷したレールの分析例

3. レール頭頂面凹凸、浮きまくらぎ発生箇所における列車通過時のレール曲げ応力測定

軌道検測データから、大きな頭頂面凹凸および浮きまくらぎが発生している箇所を抽出し、列車通過時のレール応力を測定した。頭頂面凹凸や浮きまくらぎの浮き量の変化による応力の違いを評価するため、条件として、①頭頂面凹凸および浮きまくらぎが存在している状態（補修前）、②レール交換（頭頂面凹凸が存在しない状態）および浮きまくらぎを補修した状態（補修後）の2通りとした。

図2に測点と設置したセンサーの概略図、表1に各測点で実測した浮き量および頭頂面凹凸の各値を示す。測点は浮きまくらぎが連続的かつ著大に発生している区間を選定し、終点方から起点方へ測点1~5とし、それらから起点方へ約8m離れた箇所を健全部として測点6と付した。測点4を中心に計7本連続的に浮きまくらぎが存在し、測点4を挟んだ2本のまくらぎに、その区間の最大浮き量 12mm 発生していた。表2に試験時の軌道条件を、表3に車両条件を示す。輪重およびレール応力を測定し、レール応力を測定するためのひずみゲージは外軌の両隣のまくらぎ間の中心位置の軌間外・内側のレール底部に設置した。上下方向の変形による影響に着目して、軌間外・内側で発生するレール応力を平均して整理した。

キーワード レール、腐食、レール曲げ応力、頭頂面凹凸、浮きまくらぎ

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 TEL 042-573-7272

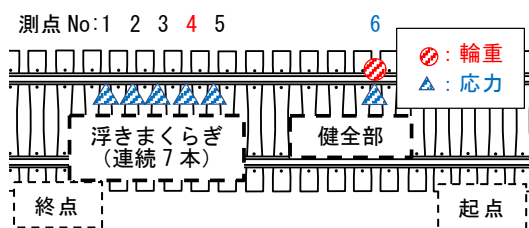


図2 測点の概要

表1 測点と浮き量, 頭頂面凹凸量(単位:mm)

浮き or 凹凸量	測点 No					
	1	2	3	4	5	6(健全部)
浮き量	4.0	7.5	11.0	12.0	11.0	0.0
凹凸量	0.8	0.2	0.5	1.3	0.9	0.0

表2 試験の軌道条件

項目	条件
レール	50 kgN
まくらぎ	PC6号
まくらぎ間隔	670mm
軌道パッドばね	110 MN/m
曲線半径	300 m
カント	80 mm

表3 試験の車両条件

項目	条件
速度	57-72km/h
測定輪重	42-60kN
静止輪重	39.3kN

(a) レール応力の時刻歴波形

図3に, ある車両の1台車(2輪軸)が当該区間を走行した際の測点4,6におけるレール応力の波形を示す. 時間0.3~0.5秒において, 測点4に2つのピークが表れており, 測点6と比較して明らかに大きな応力が発生していることがわかる.

(b) 各測点の輪軸通過時のレール応力のピーク値, 輪重との関係

図4に各測点の輪軸通過時のレール応力のピーク値の平均値を示す. ここでは, 計8列車の各輪軸が通過した際のピーク値を各測点で集計し平均化した. 測点4の値が最も大きく, 測点4から離れるに伴い応力が小さくなっていることから, 凹凸量, 浮き量に伴い, レール応力が大きく変動することが示唆されている. 図5に輪重とレール応力の関係を示す. 測点4と6の差は100MPa以上になっており, 同じ輪軸が走行しても, 軌道状態の違いで発生するレール応力が大きく異なることがわかる. また, 軌道の補修後は, 補修前と比較して応力は明らかに小さくなり最大で60MPa程度の応力となっている.

(c) レール損傷原因および管理方法の考察

図6に当該レール損傷の発生メカニズムをまとめた. 漏水箇所では, 局所的な頭頂面凹凸と浮きまくらぎが発生し, その影響でレール応力が増大する. また, 腐食により疲労強度も低下するため, レール応力が限度値を超過し損傷を発生させる. そこで, レール応力と疲労限度に対応した健全度を以下のように提案する.

$$f_h = 1 - \sigma_m / \sigma_c \quad (1)$$

ここで, f_h は健全度, σ_m はレール応力, σ_c は疲労限度である. 頭頂面凹凸と浮き量は, レール応力との相関が高いことから, この関係を上記の測定結果等から予め求めておけば, 営業線で検出された頭頂面凹凸と浮き量からレール応力を推定することができる. これにより, 提案した健全度が算出され, 処置すべきレールの優先度が明確になり, 当該損傷を防止することが可能であると考えられる.

4. まとめ

漏水箇所におけるレール損傷の原因調査およびレール応力を測定した. 頭頂面凹凸と浮きまくらぎの影響でレール応力が増大し, 損傷を引き起こすことから, レール応力に基づいた健全度を提案した.

参考文献

1) 細田ら: 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.5-11, 2013

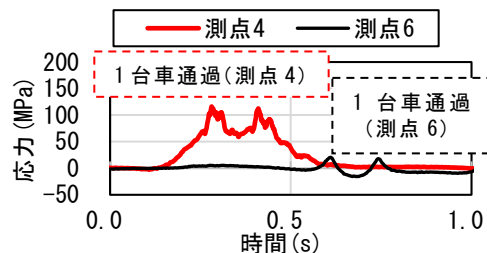


図3 列車通過時のレール応力の波形

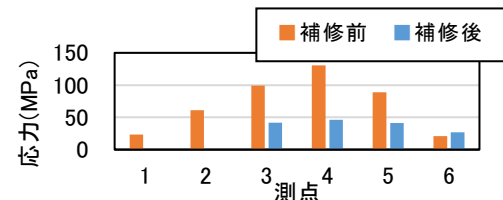


図4 各測点のレール応力

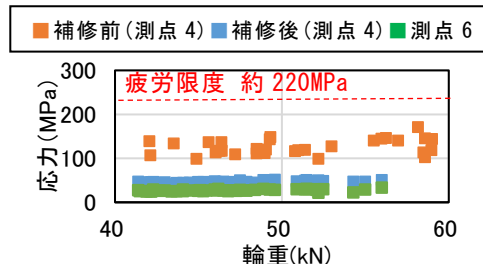


図5 輪重とレール応力の関係

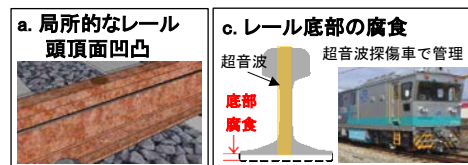


図6 当該レール損傷の発生メカニズム

・凹凸, 浮きによる著大な発生応力
・腐食による疲労強度低下
発生応力が限度を超過
損傷レールの例
疲労き裂