

## トンネル内直線区間における効率的な波状摩耗管理手法の究明

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○伊藤 朋大  
西日本旅客鉄道株式会社 正会員 山村 誠司

### 1. 研究の背景

レール頭頂面に発生する波状摩耗は列車通過時にレール等の軌道材料に大きな負荷をもたらすため、その余寿命や保守周期に大きな影響を及ぼす。

一般的に波状摩耗の発生箇所は曲線区間が多くを占めるが、北陸本線ではトンネル内直線区間で波状摩耗が多数確認されている。しかし、その管理の現状は目視による大まかな波状摩耗発生区間の確認にとどまっており、その波高の定量的把握までには至っていない。そこで、本研究では、1m ストレッチに代わる波状摩耗の効率的な管理手法の考案を目的とし、軸箱加速度等の指標をもとに検討した結果を報告する。

### 2. 波状摩耗の現状

波状摩耗が確認されるトンネル内直線区間の諸元は単線トンネル、50N レール、下り勾配 2‰、直結Ⅲ形締結装置であり、顕著な軌道狂いや漏水は発生しておらず、当該区間の波状摩耗は約 1.3km にわたり発生している。1m ストレッチで測定したレール頭頂面凹凸の全振幅（以下、波高と呼ぶ）は最大で約 0.2mm であった。また、波状摩耗の凸部と隣接する凸部の間隔を波長と考え、スチールテープにより測定したところ、0.05~0.2m 程度の分布であった。

### 3. 波状摩耗管理の課題

以下に現状の波状摩耗管理における課題を示す。

(1) トンネル内は視認性が悪いため、目視による波高の把握が困難である。

(2) 1m ストレッチによる人力での頭頂面凹凸測定は延長が長く測定機器の搬入出を実施し難いことから時間と労力を要し、その定量的管理には限界がある。

これらの理由から、現状の波状摩耗管理は、その発生区間の把握にとどまっている。

### 4. 波状摩耗管理手法の検討

波状摩耗が発生している区間では、従前より輪重

変動と車輪転動音が顕著になることが知られている<sup>1)</sup>。そこで、波状摩耗を捕捉する指標として、軸箱加速度と騒音レベルを活用し検討を進めた。

#### (1) 軸箱加速度を用いた手法

検討の流れを以下に示す。

①データは軌道検測車により測定した 2,000Hz の軸箱上下加速度を用いた。

②Micro LABOCS（以下、ラボックスと呼ぶ）によりデータ校正、ドリフト除去、アンチエイリアジング処理、距離軸への変換処理を行った。

③波状摩耗区間のレール削正前後で算出したパワースペクトル密度を比較し変化した波長帯域を調べ、これと測定した波状摩耗の波長と整合をとり、波状摩耗に起因する帯域を特定しバンドパスフィルタ処理を行った。

図 1 にレール削正前後のパワースペクトル密度を示す。これより、空間周波数のレール削正前後における変化は概ね 4~20[1/m](波長 0.05~0.25[m])の範囲であった。そこで、現地の波状摩耗波長と整合の取れる 0.05~0.2[m]の波長帯域でバンドパスフィルタ処理を行うこととした。なお、軸箱加速度は速度に応じて変動する特性を持つが、今回は速度が約 70~80km/h の特定の区間であり、既往の研究<sup>2)</sup>から波高約 0.2mm 以下の領域ではこれらの速度では変動が小さいと判断できたため速度補正は行っていない。

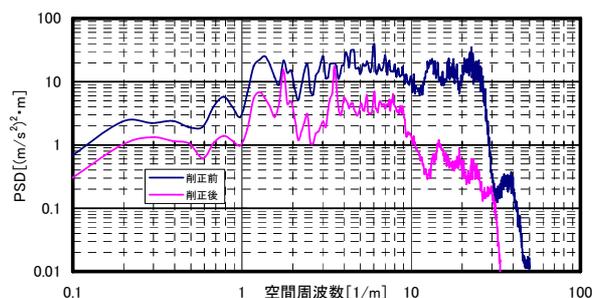


図 1 レール削正前後のパワースペクトル密度

キーワード トンネル, 波状摩耗, 軸箱加速度, 1m ストレッチ, 騒音レベル, 重回帰分析

連絡先 〒930-0001 富山県富山市明輪町 1-227 西日本旅客鉄道株式会社 富山施設管理センター TEL076-432-2842

(2) 騒音レベルを用いた手法

騒音レベルは、前頭車両内助手席部で騒音計により 0.1 秒ごとに騒音レベルの時間軸データを測定し距離軸への変換処理を行った。分析では、位置ずれ補正のために前後 5m を含む 10m 間の最大値を活用した。レール削正前後の騒音レベル測定において基準線ずれが生じ比較が困難であったため、騒音レベルを明かり区間の平均値で除して補正した数値（以下、騒音レベル比と呼ぶ）を使用した。図 2 にレール削正前後での騒音レベル比を示す。

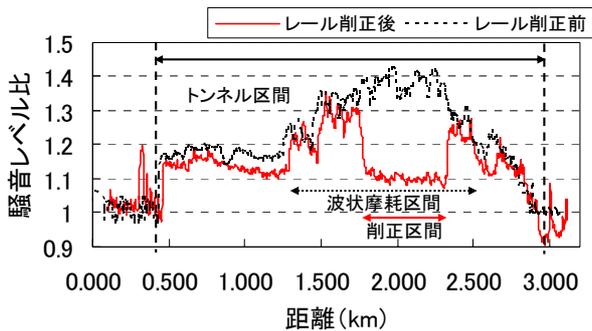


図 2 レール削正前後の騒音レベル比

5. 各種データの測定結果と考察

(1) 軸箱加速度と波高の関係

波状摩耗測定位置の前後 5m を含む 10m 間の軸箱加速度の最大となる両振幅値(以下、軸箱ピーク値と呼ぶ)を図 3 に示す。10m 間と設定した理由は波状摩耗測定位置の位置ずれを補うためである。これより決定係数  $R^2$  は 0.640 であり、波高約 0.2mm 以下の領域で軸箱ピーク値と波状摩耗の波高との間に相関関係が見られることがわかる。

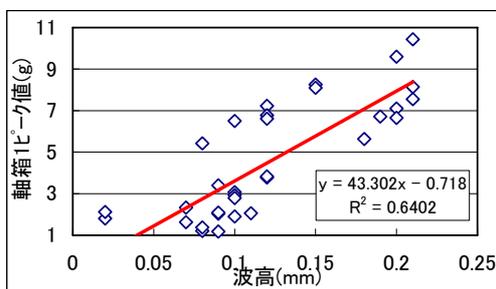


図 3 軸箱ピーク値と波高の関係

(2) 騒音レベル比と波高の関係

騒音レベル比と波高の関係を図 4 に示す。これより決定係数  $R^2$  は 0.571 であり、波高約 0.2mm 以下の領域で騒音レベル比と波高との間に一定の相関関係が見られた。しかし、軸箱ピーク値を適用した場

合よりも決定係数は小さいことがわかった。

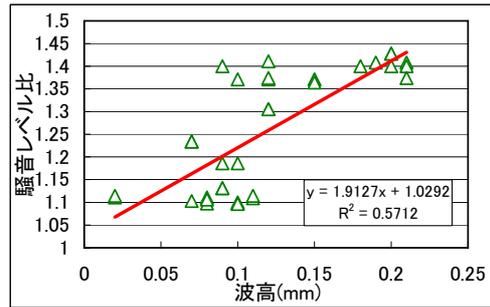


図 4 騒音レベル比と波高の関係

(3) 軸箱ピーク値と騒音レベル比での重回帰分析

軸箱ピーク値と騒音レベル比の 2 つの指標から波高との関係について重回帰分析を行った。その結果、重相関係数が 0.818、重決定係数は 0.669 であった。これより決定係数は軸箱ピーク値のみによる場合よりも大きく、より高い相関関係にあることがわかる。以下に得られた回帰式を示す。

$$Z = 0.0102X + 0.1189Y - 0.075$$

（目的変数 Z: 波状摩耗波高 (mm),  
説明変数 X: 軸箱ピーク値 (g), Y: 騒音レベル比）

この回帰式を確認するため分析に用いた箇所とは別の 3 箇所の波高の実測値と回帰式による推定値を比べたところ、乖離の平均値は 0.06mm であった。

6. まとめ

今回の検討により以下の事項が明らかとなった。

- (1) 1 m ストレッチで測定した波高と軸箱ピーク値との間に一定の相関関係が確認できた。
- (2) 0.2mm 程度までの領域における波高との相関関係は、騒音レベル比より軸箱ピーク値の方が高いことがわかった。
- (3) 波状摩耗の波高が比較的低い状態では、波高と軸箱ピーク値及び騒音レベル比との間により高い重相関関係が確認できた。

以上のことから、今回得られた回帰式により、箇所を限定しレール削正後の経過観察のような低い波高状態であれば、波高の把握に活用していくことが可能であると考えられる。今後は、波高が 0.2mm 以上に成長した状態でも回帰式が適用できることを確認し、実用化に向けた検討を進めていく。

参考文献

- 1) 須田征男他:「新しい線路」, 日本鉄道施設協会, 1997 年 3 月
- 2) 山中雅司他:「材料保守計画の適正化による効率的な軌道保守のあり方に関する検討」, 土木学会年次学術講演会, 2011 年 9 月