

## レール削正による波状摩耗の凹凸除去モデルの構築とレール削正効率の試算

鉄道総合技術研究所 正会員 ○田中 博文  
 鉄道総合技術研究所 正会員 梶原 和博  
 鉄道総合技術研究所 正会員 三和 雅史

### 1. はじめに

レール波状摩耗は、騒音や振動、さらには軌道部材の劣化や軌道変位進み等を助長することから、鉄道事業者は適切に管理・保守する必要がある。一般的に、レール波状摩耗の保守としては、レール削正による凹凸除去が行われているが、発生を抑制する対策ではないため、レール波状摩耗は再発生を繰り返し、鉄道事業者はその保守に苦慮している。また、レール削正は、レール損傷予防を目的とした疲労層除去のためにも行われており、レール削正能力が慢性的に不足している鉄道事業者が多い。そこで、著者らは、レール波状摩耗の凹凸進みをモデル化し<sup>1)</sup>、このモデルを用いたレール削正後の残存凹凸がレール削正周期に与える影響等を試算し、レール削正効率の検討を行っている<sup>2)</sup>。

本稿では、その一環として、レール削正車によるレール凹凸除去効率について調査し、それをモデル化した結果、およびそれを用いたレール削正車の運用効率の試算例を報告する。

### 2. レール波状摩耗の凹凸進みモデルとレール削正効率の試算法の概要

#### (1) 凹凸進みモデル

図1に、提案しているレール波状摩耗の凹凸進展モデル<sup>1)</sup>を示す。このモデルは、営業線でレール波状摩耗の凹凸を継続的に測定した結果に基づいたものであり、形成期、成長期、飽和期の3段階で進展すると仮定している。また、この凹凸の増加傾向は、ロジスティック曲線に代表される成長曲線で数学的にモデル化できることも示している。

#### (2) レール削正効率の試算法

さらに、このモデルを用いて、レール削正後の残存凹凸がレール削正周期等に与える影響を試算する方法<sup>2)</sup>も提案している。試算の結果は、残存凹凸が小さくなるようにレール削正を施工した方が、レール削正周期を延伸でき、かつ一定期間内の総削正パス数も低減できて、レール削正車の運用効率が向上することを示している。

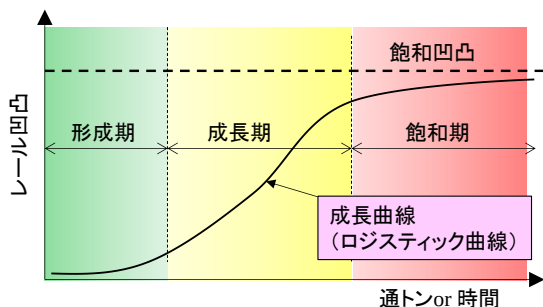


図1 レール波状摩耗の凹凸進展モデル

### 3. レール削正による波状摩耗の凹凸除去効率の調査

過去の試算では、レール削正による凹凸除去効率は、1パス当たり一定(0.02mm/パス)と仮定していた。これに対し、ここでは、実際のレール削正の施工時のレール凹凸を測定し、凹凸除去効率の検証を行った。

#### (1) 調査概要

内軌に波状摩耗が発生している曲線において、レール削正車によるレール削正前、途中、削正後に、レール凹凸およびレール断面形状を測定した。レール凹凸は、鉄道総研で開発したレール凹凸連続測定装置を用いて測定した。レール削正は、SPENO社製の16頭式のレール削正車によって施工した。

調査した線区は、年間通トンが約1800万トンの路線であり、通勤形車両のみが走行している。調査した曲線は、半径185m、カント105mmの急曲線であり、内軌頭頂面に波長50mm程度の波状摩耗が発生している。この曲線では、レール削正から2ヶ月程度でレール波状摩耗が再発生を繰り返しており、保守困難な曲線になっている。なお、軌道構造は直結系軌道、レールは60kgレールである。

調査した際は、全振幅で最大0.2mm程度の波状摩耗を除去するために、22パスのレール削正を実施した。また、レール凹凸は、削正前後、および削正途中の4パスごとに測定した。

#### (2) 分析結果

図2に、レール凹凸測定結果の一例として、削正前、削正途中(12パス後)、削正後(22パス後)の凹凸波形を示す。なお、曲線の一部では事前(約1週間前)にレール交換が行われていた。同図より、波状摩耗区間では、削正前に全振幅で最大0.2mm程度であった凹凸が、削正によって低減され、削正終了時にはほぼ除去されていることがわかる。

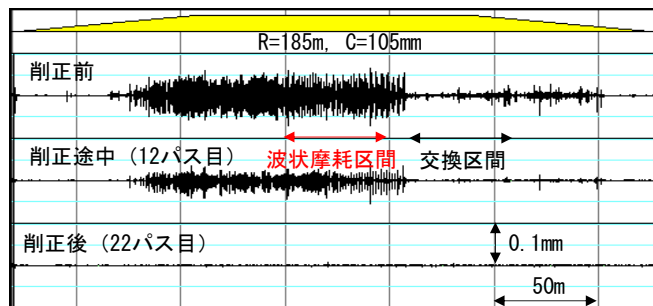


図2 レール削正時のレール凹凸波形の推移

図3に、削正時の砥石角度と平均レール凹凸の推移の関係を示す。ここで、平均レール凹凸は、レール凹凸が正弦波であると仮定し、分析区間のレール凹凸の標準偏差を $2\sqrt{2}$ 倍することで算定した。なお、分析区

キーワード：波状摩耗，レール削正，レール凹凸，凹凸除去効率，成長曲線

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 軌道管理 TEL042-573-7277

間では、図 2 中に示すように、レール波状摩耗が発生していた区間と、その近傍で直近にレール交換し、レール波状摩耗がほとんどない区間の 2 区間を、それぞれ 50m ロットとして抽出した。

図 3 より、1～8 パス目まではレール凹凸はあまり低減されていない。これは、砥石角度が $\pm 5^\circ$ 以上のパスが施工されているためである。これらのパスは、車両走行によって扁平となった内軌頭頂面のレール断面形状を原形に近づくように復元する断面修復パスである。

9 パス目以降は、ほとんどの砥石角度が $\pm 5^\circ$ 以下のパスとなっており、これらが凹凸除去パスとなっている。ここで、8 パス目の平均レール凹凸は 0.11mm で、20 パス目の 0.005mm まではほぼ線形的に低減している。この間の 1 パスの凹凸除去量は約 0.01mm となる。また、断面修復パスも含めた 1 パスの凹凸除去量は約 0.005mm となる。

なお、20～22 パス目にかけては、凹凸は低減されていないこともわかる。これは、20 パス目までで凹凸がほぼ完全に除去され、それ以上の凹凸除去効果が得られなかったためと考えられ、比較対象としたレール交換区間において、16 パス目に 0.005mm となった以降、22 パス目においても 0.005mm のままであることから確認することができる。

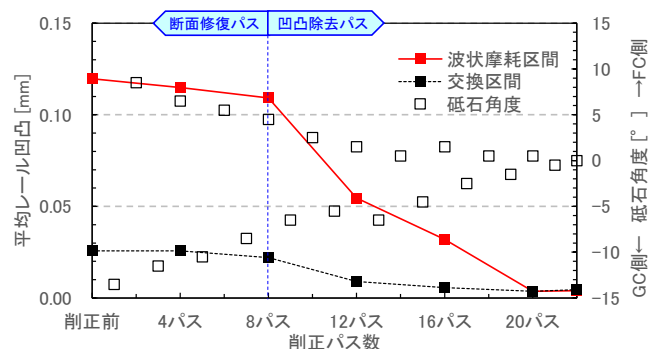


図 3 削正時の砥石角度と平均レール凹凸の推移の関係

#### 4. レール削正効率の試算例

##### (1) 試算条件

レール凹凸の成長はロジスティック曲線に従うと仮定し、波状摩耗の飽和凹凸を 0.12mm、飽和に達するまでの通トン数を 10MGT として、レール削正後の残存凹凸がレール削正効率に与える影響を試算した。なお、レール削正時の必要パス数は 3 章の分析結果から、式(1)のように仮定した。

$$\text{必要パス数} = \text{断面修復パス} + \frac{\text{飽和凹凸} - \text{残存凹凸}}{\text{1 パスの凹凸除去量}} \quad (1)$$

ここで、1 パスの凹凸除去量は 0.01mm で一律、断面修復元パスは 8 パスとして一律に加算するモデルとした。また、残存凹凸は、飽和凹凸に対する割合で 5～25%の範囲内で設定した。なお、残存凹凸 5%は 0.006mm の残存となり、図 3 の測定結果からも概ねレール削正車の凹凸除去限界、かつレール凹凸連続測定装置の測定限界と考えられる。

図 4 および図 5 に、レール削正効率の試算例を示す。

図 4 は残存凹凸とレール削正周期の関係を、図 5 は残存凹凸と一定期間内の総削正パス数の関係を示す。な

お、何れの図も、縦軸は残存凹凸 5%に対する比率で示している。

図 4 より、残存凹凸が小さくなるようにレール削正を施工することで、1 回のレール削正周期を延伸できる。その効果は、残存凹凸 25%の場合と比較して、残存凹凸 5%の場合には、削正周期の約 17%延伸が期待できる。

図 5 より、一定期間内の総削正パス数は、残存凹凸が 5%の場合に最小、15%の場合に最大となる。したがって、図 4 のように単調な傾向ではないものの、残存凹凸が小さくなるようにレール削正を施工することで一定期間内のレール削正コストの低減が期待できる。

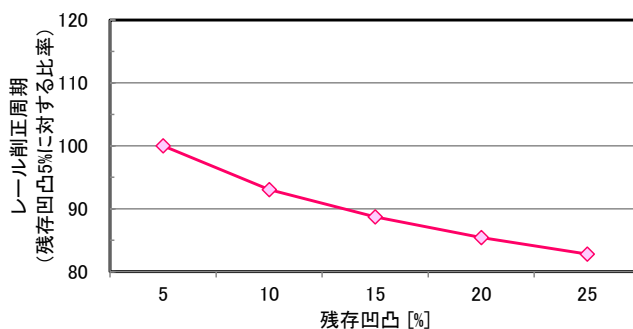


図 4 残存凹凸とレール削正周期の関係

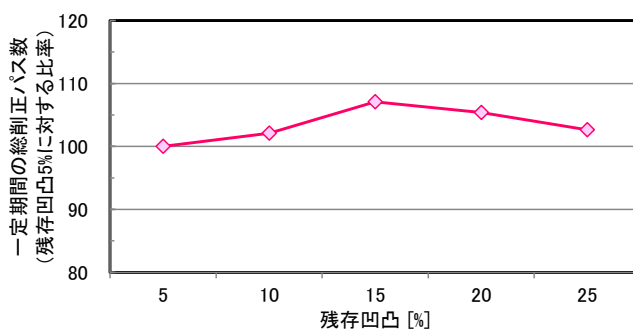


図 5 残存凹凸と一定期間内の総削正パス数の関係

#### 5. まとめ

本研究では、レール削正車による波状摩耗の凹凸除去の効率化を検討するために、レール削正による凹凸除去効率を調査した。そして、その結果を用いて凹凸除去モデルを構築し、レール削正効率を試算した。以下に、得られた知見を列挙する。

- (1) レール削正による凹凸除去は、パス数に概ね比例し、今回の分析結果では、0.01mm/パスであった。ただし、凹凸が一定以下では凹凸はそれ以上除去されないこともわかった。
- (2) モデルを用いて残存凹凸をパラメータとしてレール削正効率を試算した結果、残存凹凸が小さくなるように施工することにより、レール削正周期を延伸でき、かつ一定期間内の削正コストも低減でき、レール削正車を効率的に運用できることを示した。

#### 参考文献

- 1) 田中博文, 三和雅史: レール波状摩耗の定期測定による凹凸進みモデルの検証, 日本機械学会2017年度年次大会, No.G1800204, 2017.
- 2) 田中博文, 梶原和博, 三和雅史: レール波状摩耗の進展過程を考慮した効率的なレール削正方法, 第25回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2018), No.3204, 2018.