

連続レール締結不良時の軌間拡大量の推定に関する一考察

鉄道総合技術研究所 正会員 ○松尾 淳史
 鉄道総合技術研究所 正会員 弟子丸 将
 鉄道総合技術研究所 正会員 松本 麻美
 鉄道総合技術研究所 正会員 森 健矢

1. はじめに

レールをまくらぎ等に固定するレール締結装置は、2本のレール間の距離（軌間）を保持する機能を有する。しかし、レール締結装置が連続して損傷して締結力が保持できなくなると、列車通過時に軌間が拡大し軌間内脱線を生じる恐れがある。そこで、締結不良となった場合のレール小返りおよび曲げ変形に伴う水平方向変位量の和として、軌間拡大量を推定する手法¹⁾（以下、従来法）が提案されている。ここで、PCまくらぎの場合は、過去に提案された理論²⁾に基づきレール小返り量を算定しているが、この理論はレール長手方向に一樣に同じ締結状態を模擬することから、部分的な締結不良を表現できない。そこで、本研究では、個別の締結装置の状態を設定可能な解析モデルによるレール小返り量の推定手法（以下、提案法）を提案し、既存の手法による推定結果との比較検討を実施した。

2. 推定手法の概要

本章では、特にレールの小返りによるレール頭部の水平変位（以下、小返り量）に着目し、従来法と今回提案する手法の差異について述べる。想定する締結不良は、締結装置がレール小返りおよび水平荷重に対する抵抗力を失った状態とした。従来法による小返り量の算定法を図1に示す。従来法では、まずレール小返りの実用解²⁾（以下、実用解）に基づき小返り角を算定し、その後、文献³⁾に示される算定式により小返り量を算定する。実用解は、レール小返りに対して軌道パッドおよび締結ばねが連続して同様な支持状態のもとで抵抗すると仮定し小返り角を算定するものである。締結不良時の小返り量は、締結ばねがほとんど回転に抵抗しないと仮定し、先端ばね定数を0.001MN/mとして計算する。また、レールの曲げ変形に伴う水平変位（以下、押し出し量）の算定は、有限間隔弾性支持モデル³⁾により算定する。締結不良箇所は、水平荷重に対してレール軌道パッド間の摩擦力のみが抵抗するとして算定する。

一方、提案法では、レール小返り解析モデル⁴⁾を準用し軌間拡大量の算定を実施した。モデルの断面図と、従来法との差異を図2に示す。本モデルは、締結箇所ごとにばね定数を設定可能であるため、任意の箇所の締結不良を模擬することが可能である。締結不良時は、レール軌道パッド間の摩擦力を考慮せず、横方向ばね定数および

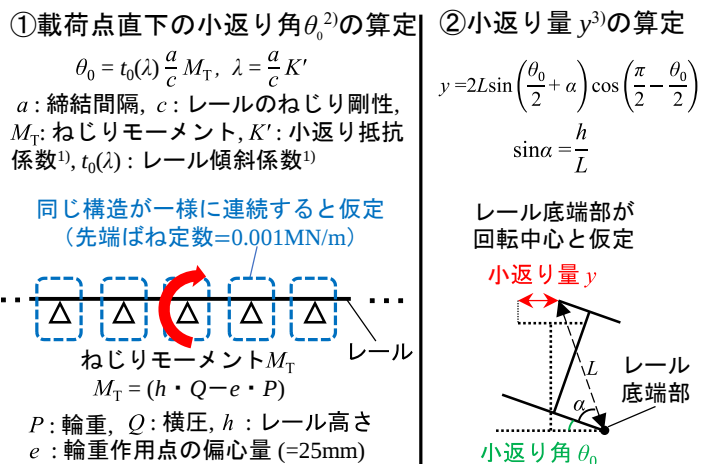


図1 従来法による小返り量の算定法

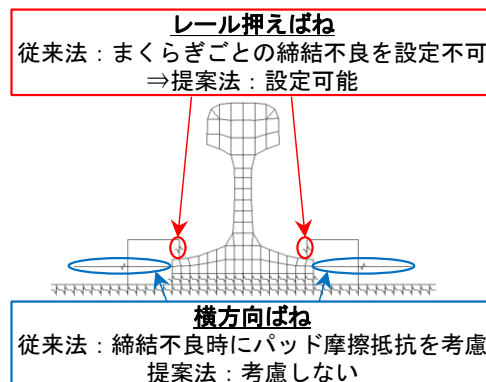


図2 提案法と従来法の差異

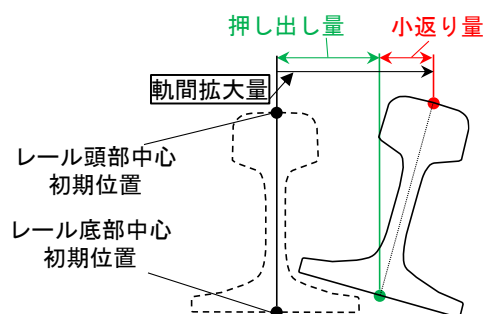


図3 提案法の軌間拡大量の概念図

キーワード 軌間拡大, 連続締結不良, 小返り角, レール小返り解析モデル, 横圧

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 軌道構造 TEL 042-573-7275

表 1 軌道条件および荷重条件

レール種別	40kgN レール
レール締結装置種別	線ばね SST 形締結装置
曲線半径	200m
カント	90mm
まくらぎ本数	24 本/25m
締結間隔	1041mm
輪重 / 横圧 (外軌)	10. 5kN / 81. 9kN
輪重 / 横圧 (内軌)	11. 4kN / 20. 0kN

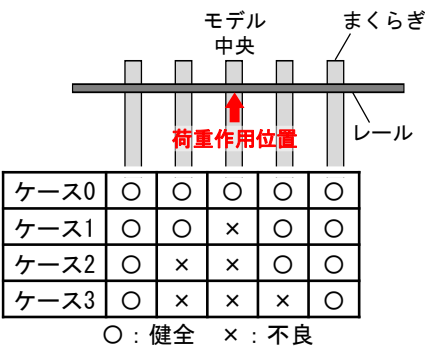


図 4 解析ケース

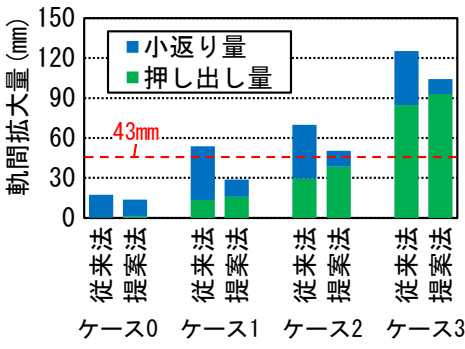


図 5 解析結果

先端ばね定数を 0.001MN/m とした。なお、本手法で得られる変位は、レール小返りと曲げ変形による水平変位を組み合わせた値となる。便宜上、図 3 に示す通り、レール底部中心の水平変位の最大値を従来法の押し出し量と比較し、レール頭部中心の水平変位の最大値から押し出し量を引いた値を従来法の小返り量と比較した。

3. 軌間拡大量の推定および考察

解析にあたって用いた軌道条件および荷重条件を表 1 に示す。本条件は、閑散線区の PC まくらぎ化した急曲線において、まくらぎ本数を 24 本/25m とした条件を想定したものである。荷重条件は軌道条件および車両条件（キハ 40、静的軸重 89kN）より、輪重横圧推定式⁵⁾により算定した。解析ケースを図 4 に示す。まくらぎ直上に荷重を作用させ、レール締結装置が健全な状態と連続締結不良本数を 1〜3 本とした場合について従来法、提案法により軌間拡大量を推定した。このとき、従来法のケース 1〜3 の小返り量については、部分的な不良を模擬できないため、全て同じ小返り量となる。なお、解析に使用した健全時のレール締結装置のばね特性は文献⁶⁾を参照した。

解析結果を図 5 に示す。ここで示す軌間拡大量は、内外軌の合計値を指す。軌間拡大量は、各ケースを通して提案法の方が小さい値を示し、従来法では締結不良本数 1 本で軌間の最大限度値 43mm⁵⁾を超えるが、提案法では 2 本で限度値を超える結果となった。軌間拡大量の内訳をみると、締結不良時の小返り量について、従来法に比べて提案法は小さく算定された。これは、小返り量を推定するときに提案法は連続不良本数に応じた締結不良を設定可能な一方、従来法は一律な締結不良を仮定しているためであると考えられる。

また、押し出し量については提案法の方がやや従来法よりも大きい値となったが、比較的近い値を示した。この差異は従来法で考慮しているレール・軌道パッド間の摩擦力の考慮の有無により生じたものと考えられるが、軌間拡大にとって厳しい、つまり輪重が抜けて横圧が支配的になるような条件ではこの差異が小さくなると考えられる。

以上の結果を踏まえると、従来法では考慮できなかった部分的な締結不良を模擬可能であることから、提案法の方が軌間拡大量を精度よく推定できる可能性があることがわかった。

4. まとめ

PC まくらぎ区間の連続締結不良時の軌間拡大量の推定手法について検討した。従来法では考慮できなかった部分的な締結不良を模擬可能であることから、提案法の方が軌間拡大量を精度よく推定できる可能性がある。今後、室内試験による提案法の妥当性の検証を実施する予定である。

参考文献

- 1) 金丸清威, 三和雅史, 片山雄一朗 : PC まくらぎ化計画作成システムの開発, 鉄道総研報告, Vol.30, No.10, 2016
- 2) 山本武史, 梅田静也, 金森敏行 : レール締結装置のばね定数とレール小返り角, 鉄道技術研究報告, NO.1161, 1981 年 2 月
- 3) 国土交通省監修 : 鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造, (公財) 鉄道総合技術研究所編, 2012
- 4) 玉川新悟, 片岡宏夫, 弟子丸将 : レールの小返り解析モデルの提案とレール締結装置の性能評価試験への応用, 土木学会論文集 A1, Vol.73, No.2, 2017 年
- 5) 保線工学編集委員会編 : 保線工学 (上), 2016
- 6) 弟子丸将, 本野貴志, 片岡宏夫, 若月修 : 急曲線部における線ばね形レール締結装置の適用区分の提案, 鉄道総研報告, Vol.26, No.2, 2012