

⑥車輪／レール接触関係にもとづく軌間拡大箇所の検出方法

交通システム研究部 ※一柳 洋輔 篠田 憲幸（客員研究員）

1. はじめに

鉄道の曲線部においては列車の走行に伴い比較的大きな横圧（左右方向の力）がレールに作用する一方で、木まくらぎの劣化等によって犬くぎによるレール締結力が低下すると、軌間拡大（左右のレール間隔が広がる状態）が発生し、脱線事故のリスクが高まる。軌間拡大による脱線事故の防止のため、まくらぎの劣化等の目視確認や軌間の測定により異常を判断し軌道整備を適切に行うことが必要である。列車通過に伴う荷重がレールに作用する条件での動的な軌間変位（軌間の基本寸法に対する変位量）は軌道検測車により測定されるが、軌道検測車を導入できず静的値で管理する地方鉄道事業者もある。

当研究所はこれまでに、横圧をレールに載荷でき、荷重と軌間の変化を測定できる治具を製作した¹⁾。同治具で求めた荷重と軌間変化の関係にもとづき車両通過時の軌間拡大量を推定し、締結状態を含むまくらぎの不良を判断できることを示した。さらに、小型情報端末を用いた営業車両の動揺測定をもとに、同治具で評価すべき箇所を絞り込む方法を検討してきた²⁾。

軌間拡大の可能性を営業列車で高頻度に安価に確認する方法が望まれるため、本研究では小型カメラで撮影した走行中の車両床下の映像から、車輪／レール接触関係をより直接的に捉え、動的な軌間拡大に対する要視箇所に効率的に検出する方法を検討したので報告する。

2. 車輪掛かりと軌間拡大の関係

2. 1. 軌間変位と車輪掛かり量の関係

図1に示すように、急曲線走行時には外軌側（曲線外側）の車輪フランジ部がレールと強く接触する。軌間が拡大すると内軌側（曲線内側）の車輪がレール上に掛かる幅（以後、車輪掛かり量）が減少し、車輪掛かり量がゼロとなれば内軌側車輪は軌間内に脱落し脱線に至る。なお、軌間変位の限度値は、レールと輪軸の寸法関係から一般に40 mm程度とされる³⁾。

2. 2. 車輪掛かり状況の検出

車両が曲線部を走行する間、図1に示す内軌側車輪の外側面とレール頭部外側面との間隔を常時把握すれば、車輪掛かり量の余裕が小さい箇所を検出できる。そこで、小型カメラで車輪とレールの接触位置の近傍を撮影し、その映像を処理し上記間隔の変化を把握する方法を検討した。本検出方法では軌間の値を精密に求めずとも、注視箇所の効率的な把握を目的とし、小型カメラを主とした簡素で安価な測定装置構成とした。また、本検出方法ではレールに動的荷重が作用した状態での軌間拡大現象を把握できる。

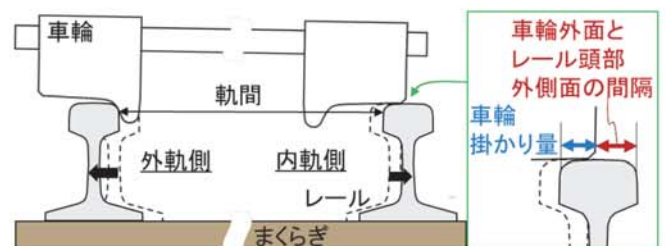


図1 軌間拡大による車輪掛かり量の減少

3. 実車による実験

3. 1. 実験方法

地方鉄道事業者の協力の下、気動車の床下に小型カメラを設置し本線を走行した。列車が走行する曲線方向により内軌側となる車輪は変わるため、小型カメラは左右の車輪が写るように2台設置する。なお、床下スペースの関係から、進行方向第3軸目の車輪が写るように小型カメラを設置する（図2）。画質はフルハイビジョン、フレームレートは120 fps、手振れ補正は有効とした。

3. 2. 画像処理方法

小型カメラの映像及びその画像処理過程の一例を図3に示す。まずは図3中に破線で示すように、車輪側は反フランジ側リム部のエッジを、レール側は軌間外側の頭部端のエッジをそれぞれ抽出する。次に、車輪／レール接触位置付近の高さにおける車輪側エッ

ジとレール側エッジの水平距離をピクセル数で表した値（以下、指標値）を求める。

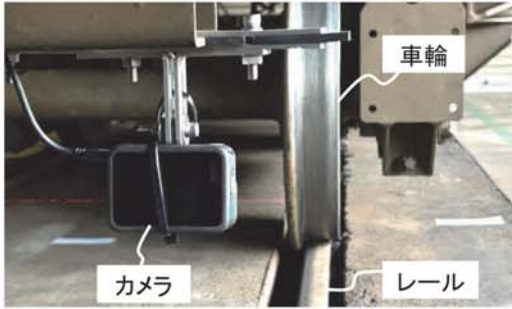


図2 車体床下への小型カメラ取付状況（片側）

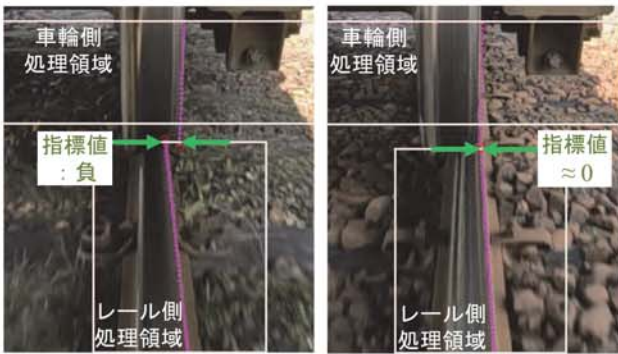


図3 映像の車輪付近拡大図と画像処理過程の例（左：中立位置の例、右：曲線内軌側の例）

3. 3. 実験結果

曲線半径 400m の曲線を含む区間において、内軌側の映像をもとに計算した指標値を図4に示す。ここでは、映像の各フレームについて上記指標値を計算して求めた時系列波形に対し、フィルタ処理を施し誤検出による異常値の影響を除去した結果を示す。指標値の正方向への増大は車輪掛かり量の減少を意味する。また、小型カメラによる撮影の他に、GNSS（Global Navigation Satellite System）速度情報を記録し、走行速度の積算によって車両の走行位置を推定した結果をグラフ横軸に示す。さらに、実験実施日の約2か月後に同区間において牽引式軌道検測装置により測定した軌間変位の値を図5に示す。

図4に示す結果から、指標値は直線区間において負の値を示すが、当該曲線部においては正となる箇所が存在する。このとき内軌側車輪の外側はレール頭部外側面よりも軌間内方にある。なお今回の試験条件によれば、レールが設計形状であれば、軌間変位が 14 mm のときに指標値がゼロとなる。図5より当該曲線における軌間変位の最大値が 14 mm よりも大きいため、

正の指標値が確認されることは妥当といえる。指標値と軌間変位それぞれのピークが進行方向に対し一致しないことから、車両走行位置と映像との同期方法については更なる検討が必要である。しかし、多数存在する曲線部で指標値の最大値を比較すれば、軌間拡大のリスクについて注視すべき曲線部の絞り込みは可能と考えられる。指標値の大きい箇所については、図3のように実際の映像をもとに現象を確認すれば、対策の必要性を理解しやすいと考えられる。

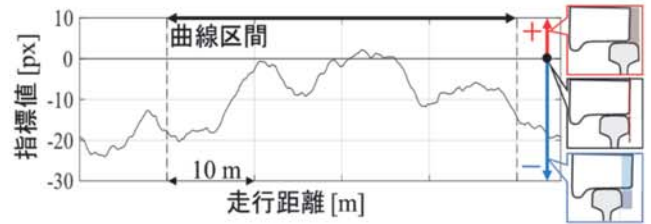


図4 指標値の計算結果

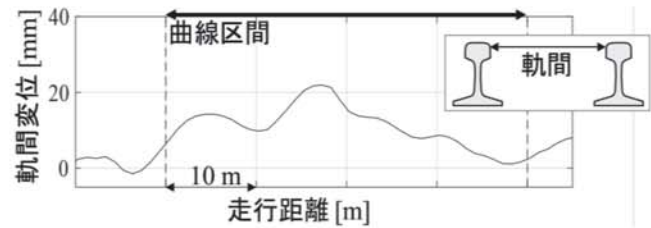


図5 実験実施日直近の軌間変位測定値

4. まとめ

本検出方法によって、レールに対する車輪掛かり量が減少する箇所を抽出可能であることを示した。これにより、動的な軌間拡大に対し注意が必要な箇所を効率的に把握し、軌道補修計画の策定に活用すれば、軌道維持管理の省力化につながることを期待される。

今後は複数の路線における事例収集を進めながら、小型カメラの取付方法及び画像処理方法について更なる検討を重ね、精度の向上に取り組む予定である。

参考文献

- 1) 緒方 正剛, 佐藤 安弘, “レール横圧荷治具を用いた軌間拡大リスクに対する検討”, 交通安全環境研究所フォーラム 2019, pp.3-6 (2019)
- 2) 一柳 洋輔他, “地方鉄道における軌間拡大リスクの評価の効率化に関する検討”, 交通安全環境研究所フォーラム 2022, pp.25-28 (2022)
- 3) 国土交通省鉄道局監修, “解説 鉄道に関する技術基準（土木編）改訂版（第三版）” (2014)