

曲線区間の内外軌に発生したレール波状摩耗の位相関係の把握

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 田中 博文

1. はじめに

レール波状摩耗（以下、波状摩耗）は、車両の走行に伴いレール頭頂面に生じる周期的な凹凸であり、車両走行時の振動・騒音を助長するため、適切な管理が求められる。そこで、著者らは、波状摩耗を連続的に測定可能な「レール凹凸連続測定装置¹⁾」を開発し、これを用いた定期測定により波状摩耗の振幅の成長傾向を把握することが可能となった²⁾。今回、波状摩耗の発生機構解明に向けた検討の一環として、本装置に追加した位置同定機能³⁾を用いることで、曲線区間の内外軌に発生した波状摩耗の位相関係を連続的に把握することを試みた。以下に、手法の概要と営業線における測定結果を報告する。

2. レール凹凸連続測定装置と位置同定機能の概要

図1に、位置同定機能を追加したレール凹凸連続測定装置の概略を示す。本装置は可搬型のトロリーであり、25mm-230mmの間隔で配置したレーザー変位センサで偏心矢を構成し、波長26~700mm程度のレール凹凸をレール長手方向にサンプリング間隔1mmで連続測定する。この際、小径車輪に内蔵されたロータリーエンコーダーの等距離パルスを用いて測定距離を算出しているため、小径車輪の走行軌跡の変化や滑走等により僅かな測定誤差を生じることがある。そこで、近年の改良³⁾において、地上で不動点とみなせる締結装置やまくらぎ等の軌道部材の形状を測定するレーザー変位センサ（以下、基準センサ）を本装置に追加し、レール凹凸波形と軌道部材の形状を同期しながら収録している。この基準センサの出力波形を用いることで、まくらぎとレール長手方向の位置を締結・まくらぎ間隔で同定することができる。

3. 曲線区間における内外軌の凹凸波形の同期手法

曲線区間における内外軌の長さは、曲線半径に起因した経路差の影響により一致しない。ここで、まくらぎ直角変位がないと仮定すれば、図2に示すように内外軌のキロ程は、基準センサで測定したまくらぎ形状が一致するよう長さを補正することで同期できる。ただし、本手法は、一方のレールの凹凸波形の波長を変化させるため、波長の短い波状摩耗に対しては適さない。

本研究では、基準センサで測定した左右のまくらぎ形状を一致させ、内外軌の凹凸波形のキロ程を同期した。そして、同期した内外軌の凹凸波形を比較し、両者の位相関係を把握した。

4. 営業線における測定結果

図3に、本装置を用いて測定した営業線の複線区間における内外軌のレール凹凸波形を示す。同線区は、年間通トンが約710万トンの標準軌の地下鉄路線であり、線区を走行する車両は1種類のみである。測定区間は、半径206m、カント107mmの曲線であり、軌道構造はまくらぎ直角変位が小さいと考えられるPCまくらぎ直結軌道である。測定はレール削正から約750万トン通過後に実施した。なお、波状摩耗は内軌では頭頂面の断面中心位置（以下、CL00）、外軌では断面中心からゲージコーナー側に20mmの位置（以下、GC20）で顕著

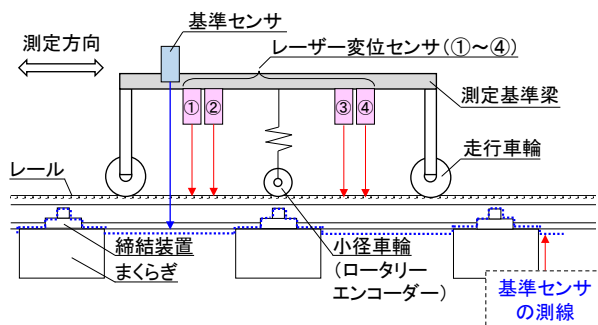
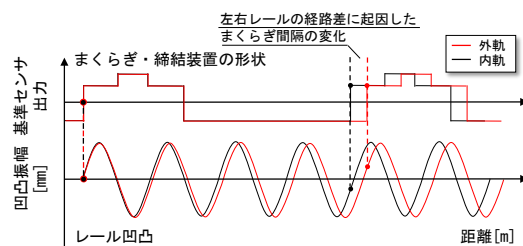
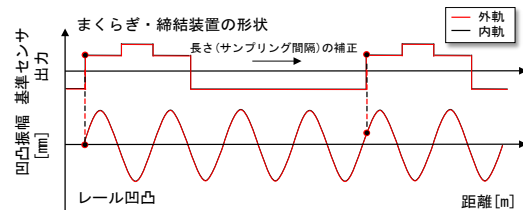


図1 位置同定機能を追加したレール凹凸連続測定装置の概略



(a) キロ程補正前



(b) キロ程補正後

図2 基準センサを用いた位置補正の概念図

キーワード：波状摩耗，レール凹凸，急曲線，内外軌，位相

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

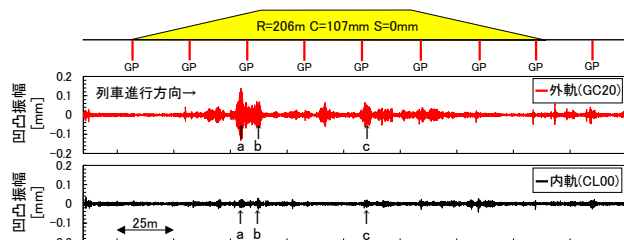


図3 レール凹凸波形

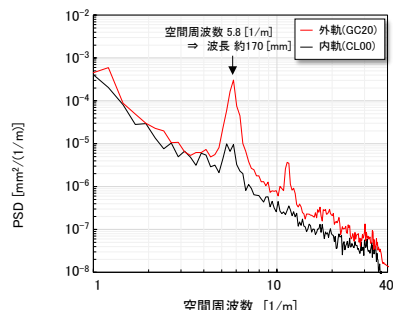


図4 レール凹凸のパワースペクトル（円曲線部）

であったため、同図にこれらの位置で測定した波形を示す。

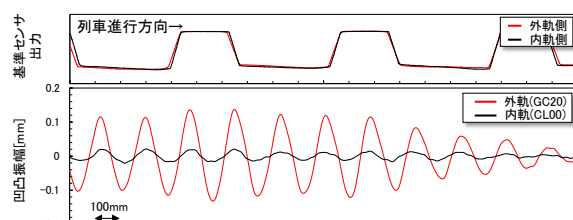
また、図4のレール凹凸のパワースペクトルに示すように、同区間の内外軌には波長170mm程度の波状摩耗が確認されたため、これを抽出するために内外軌ともに波長30mm～250mmのバンドパスフィルタ処理を行った。これらの結果、図3に示すように、外軌では最大振幅0.2mm程度、内軌では最大振幅0.05mm程度の波状摩耗が間欠的に発生していることが分かる。

図5に、図3中のa～c地点における位置補正後の測定波形の拡大図を示す。同図の基準センサ波形から、いずれの地点においても、位置補正後の内外軌のまくらぎ位置のずれ量は10mm程度以下である。また、同区間の曲線半径から算出される内外軌の経路差は、1締結間隔あたり最大でも10mm程度であり、本手法は今回測定対象とした波長170mm程度の波状摩耗であれば、位相を比較する上で十分な精度を有していることが分かった。

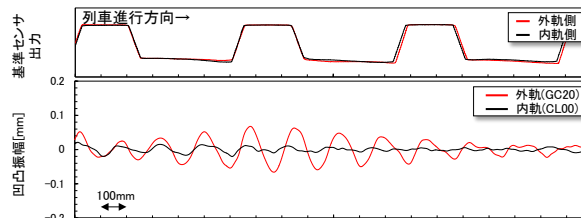
レール凹凸波形に着目すると、内外軌の凹凸の位相は緩和曲線部（a地点）では同位相である場合が多いのに対し、円曲線部（c地点）では逆位相である場合が多く見られた。なお、BCC近傍に位置するb地点では同位相と逆位相が混在しており、これには内外軌で波状摩耗の進展度合いが異なることや、線形の変化による台車の姿勢変化等が影響している可能性が考えられる。

以上の分析結果から、まくらぎ直角変位が小さい区間では、本手法により曲線区間の内外軌に発生した波状摩耗の位相関係を把握できることが分かった。

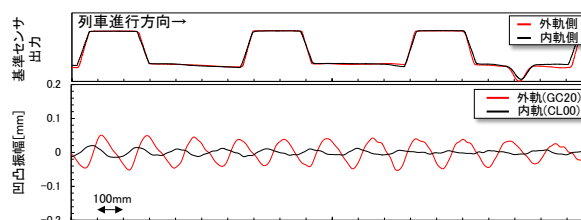
なお、今後、直線区間を含む多様な線形・軌道構造における左右レールに発生した波状摩耗の位相関係を把握するためには、まくらぎ直角変位の影響が無視で



(a) a地点（緩和曲線部）



(b) b地点（BCC近傍）



(c) c地点（円曲線部）

図5 位置補正後の測定波形の拡大図

きないバラスト軌道区間においても有効な凹凸波形の比較手法を検討する必要がある。

5. まとめ

本研究では、位置同定機能を追加したレール凹凸連続測定装置を用いて、曲線区間の内外軌に発生した波状摩耗の位相関係を連続的に把握することを試みた。

その結果、まくらぎ直角変位の小さい直結系軌道区間において、まくらぎ形状を基準として曲線区間の内外軌のキロ程を同期することで、内外軌に発生した波長の長い波状摩耗の位相関係を連続的に把握できた。今後は、まくらぎ直角変位の影響が無視できないバラスト軌道区間においても有効な手法を検討するとともに、直線区間を含む多様な線形・軌道構造において左右レールに発生した波状摩耗の位相関係を調査し、波状摩耗の発生・成長機構を検討する予定である。

参考文献

- 1) 田中博文，清水淳：波状摩耗管理のための可搬型レール凹凸連続測定装置の実用化，鉄道総研報告，Vol. 29，No. 8，pp. 35-40，2015。
- 2) 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。
- 3) 梶原和博，田中博文：レール凹凸連続測定装置への位置同定機能の追加，第25回鉄道技術連合シンポジウム（J-RAIL2018），No. 3205，2018。