

レール表面の細かな凹凸の 効率的な維持管理方法



梶原 和博
Kazuhiro Kajihara
前 軌道技術研究部
軌道管理研究室
研究員



田中 博文
Hirofumi Tanaka
軌道技術研究部
軌道管理研究室
主任研究員

はじめに

鉄道車両がレールの上をなめらかに走行するためには、車輪と接触するレールの表面には凹凸がないことが理想的です。しかし、鉄道車両が繰り返し走行するとレールの表面が規則的な間隔で摩耗し、波打つような細かな凹凸が形成される場合があります(図1)。この現象は「レール波状摩耗」とよばれ、

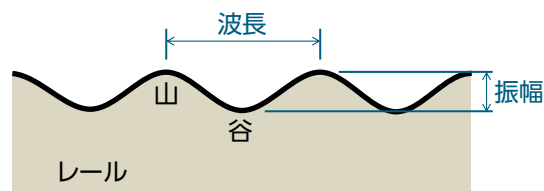
曲線区間に多く見られます。レール波状摩耗の凹凸の波長や振幅は場所によってさまざまですが、日本国内では波長数cm～数十cm程度、振幅1mm程度以下のものが多く見られます。レール波状摩耗そのものは、鉄道車両の走行安全性に影響することはありませんが、車両走行時の騒音や振動を助長する要因となります。鉄道車両が曲線区間を走行するときに車内に響く「ゴー」という大きな音は、レール波状摩耗による騒音の一例です。また、レール波状摩耗による振動は、レールを支える軌道材料(まくらぎやレール締結装置、バラストなど)の劣化を促進し、線路の保守コストを増大させます。このように、レール波状摩耗によるレール表面の細かな凹凸は、線路や車内、沿線環境を良好に保つための重要な管理項目のひとつです。

図1 レール波状摩耗の例



レール凹凸の波長と振幅

レール波状摩耗のような周期的な凹凸の山(高いところ)と山の間隔を「波長」、山と谷(凹凸の低いところ)の高さの差を「全振幅」といいます。ここでは全振幅を省略して「振幅」と表現します。



(a) レール凹凸の評価



(b) レール凹凸の除去



図2 レール波状摩耗の管理方法

レール波状摩耗の維持管理方法

レール波状摩耗の管理では、凹凸の状態を把握し、騒音や振動が大きくなる前にメンテナンスすることが重要です。ここで、図2に一般的なレール波状摩耗の管理方法を示します。

レール凹凸の測定には、多くの鉄道会社で「レール踏面測定器」とよばれる専用の器具(図2(a))が用いられます。この器具をレールに固定することで、1m間の凹凸形状を紙に簡単に記録することができます。しかし、さまざまな箇所に発生するレール波状摩耗を1か所ずつ測定するには大変な手間がかかります。波状摩耗が発生したレールに対しては、図2(b)に示すレール削正車やレール削正装置を用いて、レール表面の凹凸を削り取る作業(レール削正)

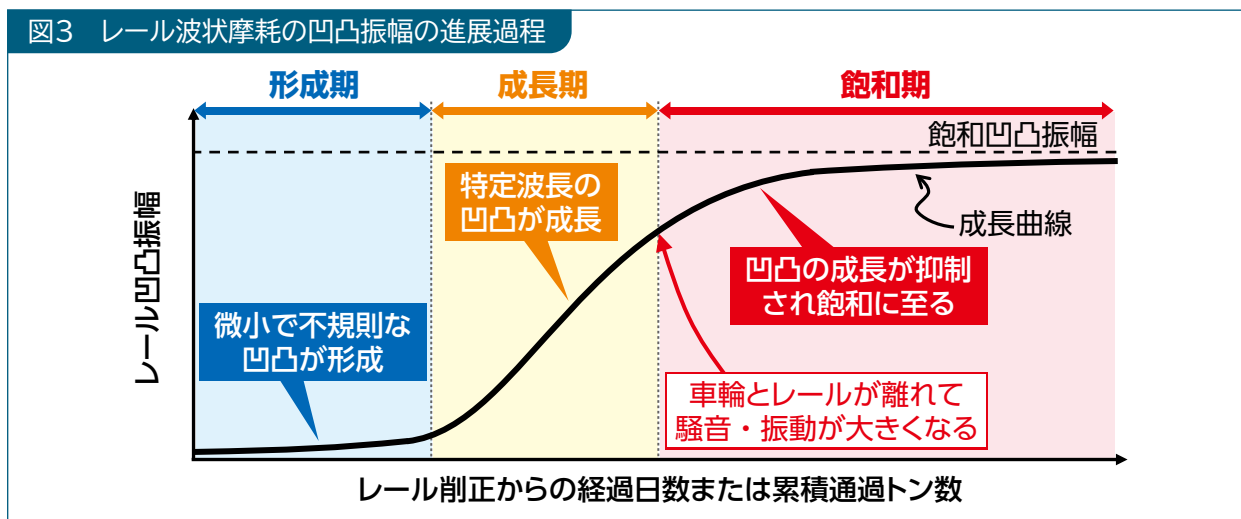
を行います。しかし、これらの車両や装置は高価で鉄道会社が保有できる台数は限られるため、レール削正が必要な箇所を網羅するためには、車両や装置の効率的な運用が欠かせません。

レール波状摩耗の進展過程

レール波状摩耗を効率的に管理するためには、レール波状摩耗がどのように成長していくかを知ることが必要です。

レール波状摩耗の成長の様子を現地測定や数値シミュレーションで詳しく調べたところ、レール凹凸の振幅や成長速度は線路や列車の運行条件によって異なりますが、どのような波状摩耗も図3に示すような成長曲線でモデル化できることがわかりました¹⁾。波状摩耗の進展過

図3 レール波状摩耗の凹凸振幅の進展過程





程は「形成期」「成長期」「飽和期」に分けられ、このうち飽和期で凹凸振幅の成長が落ち着いてくるように見えるのは、レール表面の凹凸が大きくなって車輪が凹凸に沿ってなめらかに走行することが難しくなった結果、レールと車輪が激しくぶつかり合うようになって、これ以上凹凸が成長できない限界状態になっているからであり、大きな騒音や振動が発生するようになります。そのため、飽和期へ達する前にレール削

正を行うことで、騒音・振動を抑えるとともに、軌道材料を長持ちさせることができます。

レール凹凸測定の省力化ツール

鉄道総研ではレール凹凸測定の省力化を目指して、レール凹凸を地上で連続的かつ精密に測定する装置(図4)を開発しました。この装置には、人力で装置を移動させながら片側レールずつ計測する従来型²⁾(図4(a))と、軌道バイクな

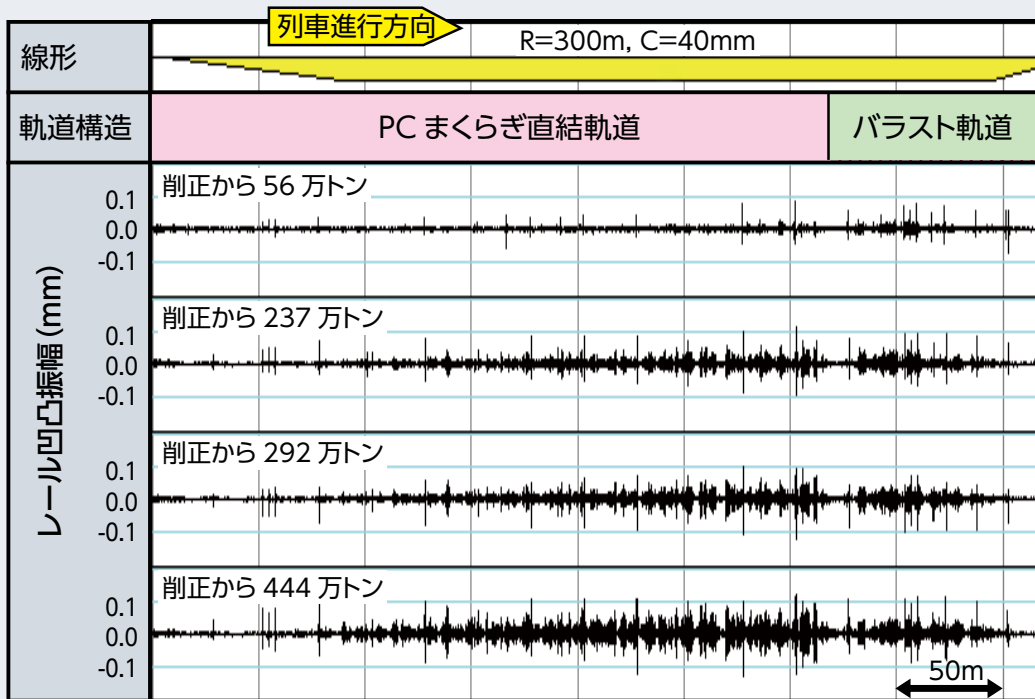


図5 レール凹凸測定結果の例

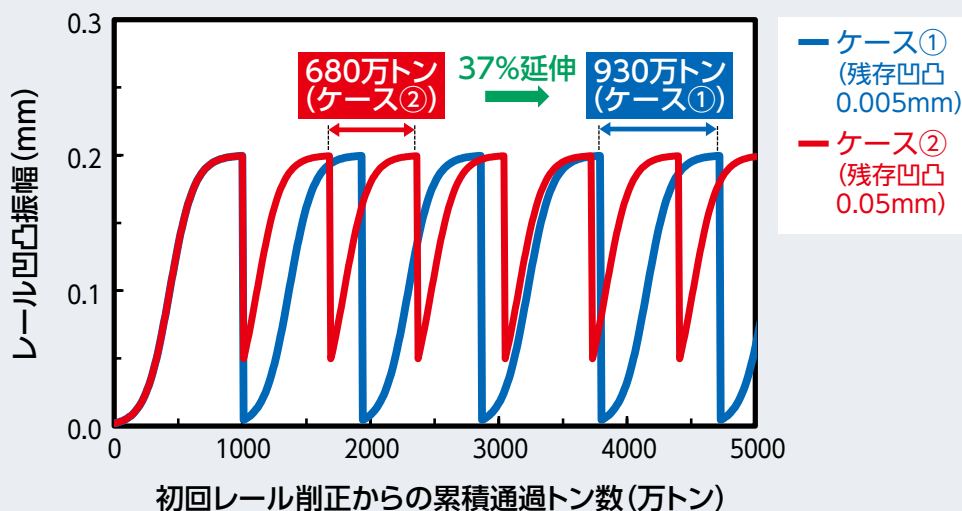
どで牽引しながら左右レールを同時に計測可能な省力型(図4(b))があります。

これらの装置を使って、営業線のレール凹凸を定期的に測定した結果の例を図5に示します。この図から、レール削正からの累積通過トン数[※]の増加にともなって、レール凹凸の振幅が成長する様子わかります。このように現地で測定したレール凹凸振幅の推移から、図3に示したようなレール波状摩耗の進展過程モデルを特定することで、凹凸の進展予測も可能となります。

レール削正の効率化

レール波状摩耗の進展過程をモデル化できるようになったことで、レール削正の効率性を試算できるようになりました。ここで、図3に示すように、「形成期」と「成長期」では凹凸振幅の成長速度(成長曲線の傾き)が異なるため、レール削正後に残存した凹凸が大きいとレール波状摩耗の再発生が早くなります。つまり、レール凹凸を「形成期」まで削正することで、レール削正の周期を延伸できることがわかります。

図6 レール削正効率の試算例



※ 累積通過トン数

レールの上を通過した車両の総重量のことで、列車の軸重×通過軸数から算出される軌道への列車荷重による負担の大きさを表す指標です。

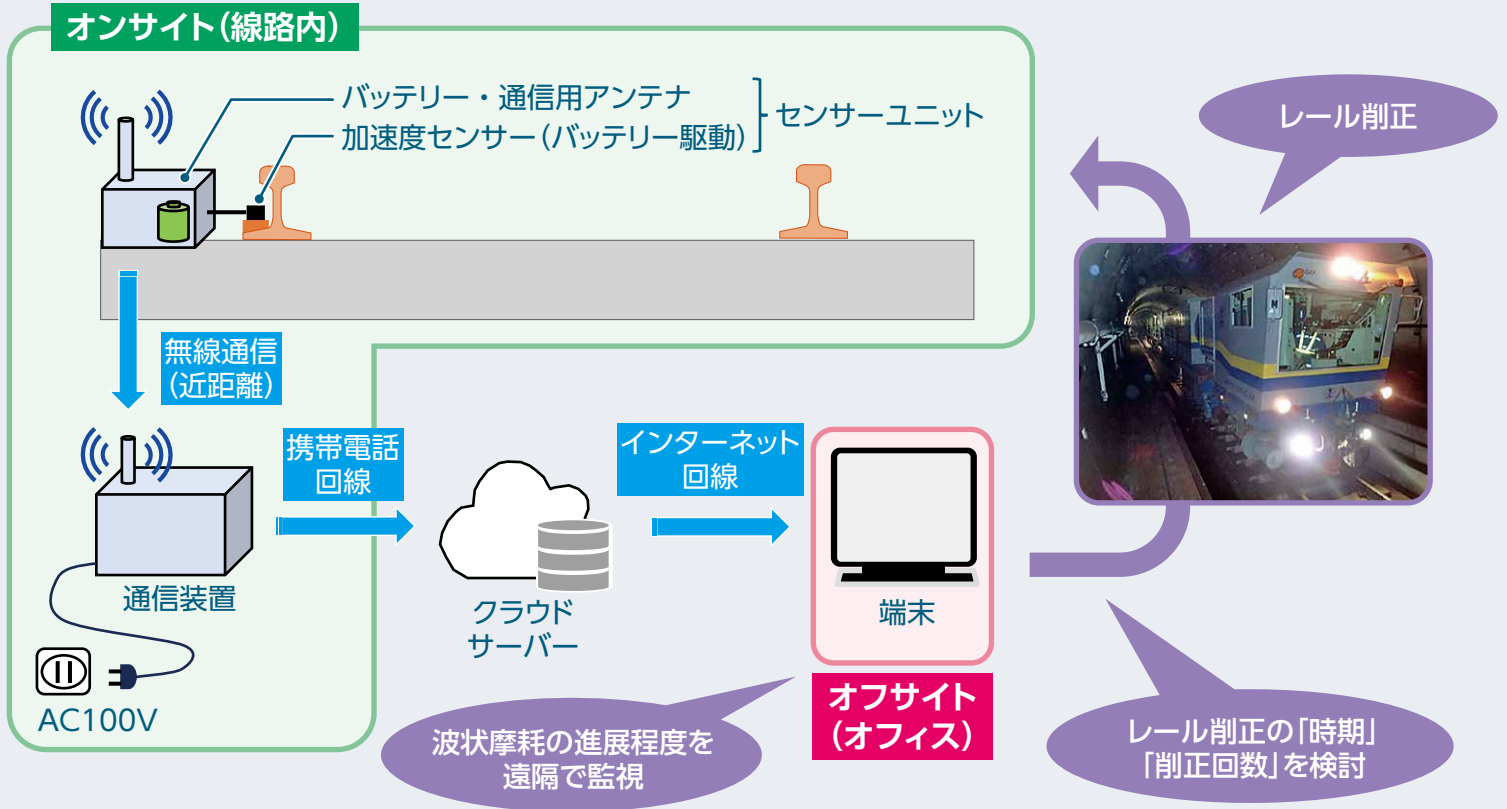


図7 無線式振動計測システム

そこで、レール削正後の残存凹凸の違いがレールの削正周期に与える影響を試算しました。ここでは、レール凹凸の振幅が0.2mm (飽和凹凸振幅) に達するごとに、レール削正を繰り返し行う場合を想定しました。その結果、図6に示すように、良好なレール削正を想定したケース① (残存凹凸0.005mm, 形成期) では、レール削正からの累積通過トン数が約930万トンごとにレール削正を行うのに対して、レール削正後の残存凹凸が大きいケース② (残存凹凸0.05mm, 成長期) では、レール削正から約680万トンごとにレール削正を行うこととなります。このように、「形成期」と「成長期」のレール凹凸振幅の差はごくわずかですが、レール削正時にレール凹凸振幅を「形成期」まで確実に低減することで、この事例の場合レールの削正周期を約37%延伸でき、レール削正のコストを低減できます。

現場管理の省力化ツール

レール波状摩耗の進展過程を考慮することで、

レール削正周期を延伸できることがわかりました。しかし、レール波状摩耗の進展過程を人力による測定で特定する場合、多くの労力と時間を要します。そこで、レール波状摩耗の進展過程や進展度合いを無人で特定する手法の開発に取り組んでいます。その一例として、無線式加速度センサーを用いたレール波状摩耗の進展把握手法 (図7) を紹介します。

図7に示すように、本手法では線路内にセンサーユニット (バッテリー・通信用アンテナ内蔵) を設置し、列車が通過する際のレールの振動を測定します。センサーユニットはバッテリーで長期間稼働するため、場所を問わずに設置できます。レール振動の測定データは、線路外に設置した通信装置を介してクラウドサーバーに伝送され、離れた場所からデータの閲覧・ダウン

周波数分析

一般に振動には多くの周波数成分が含まれますが、周波数別に振動の大きさを調べることを周波数分析といいます。

ロードが可能です。これにより、レール振動の測定データをもとにレール削正の時期やレール凹凸除去に必要な削正回数を机上で検討できます。

図8に、レール波状摩耗が発生する曲線区間で測定した、レールの上下振動の振幅の推移を示します。レールの振動の振幅は、レール削正の直後は小さいものの、その後は急激に増加し、やがて飽和することがわかります。この傾向は、図3のレール波状摩耗の進展過程の傾向とよく似ています。さらに、各時期のレール振動を周波数分析³⁾すると、図9に示すように、レール波状摩耗の飽和期では特徴的な周波数成分³⁾が見られることもわかりました。

これらの結果から、無線振動計測システムを用いることで、レール波状摩耗の進展状況や進展度合いを、無人かつ自動で把握できるようになることが期待できます。

おわりに

鉄道総研では、ここで紹介したレール波状摩耗の測定装置や管理手法の開発に加え、レール波状摩耗の発生機構の解明に取り組んできました。今後も現地測定を通じて実用的な管理手法を構築するとともに、レール波状摩耗の発生そのものを抑制する根本対策の開発にも取り組んでいきたいと考えています。RRR

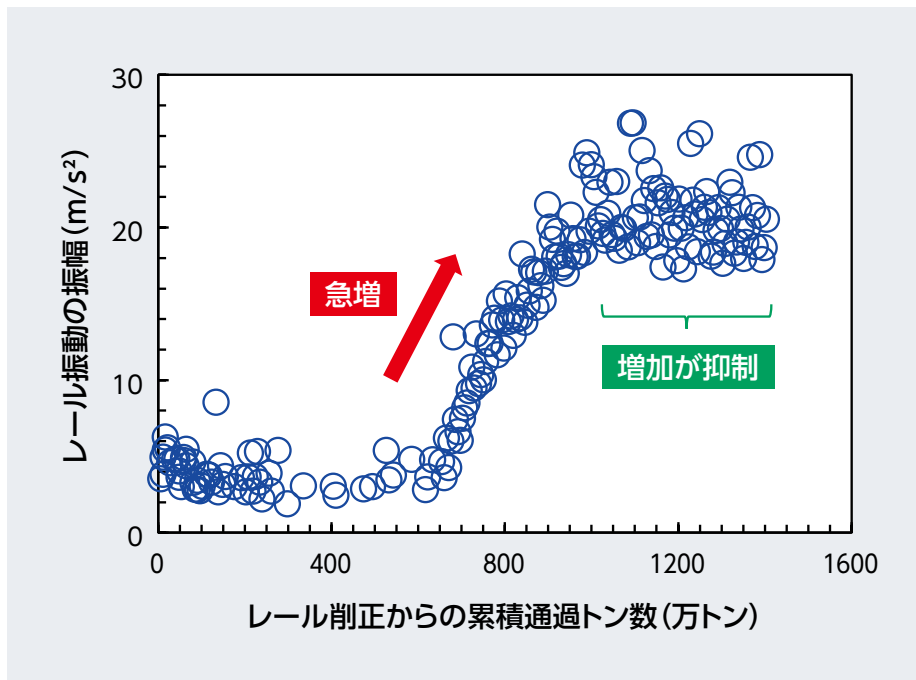


図8 レール振動の大きさの推移の例

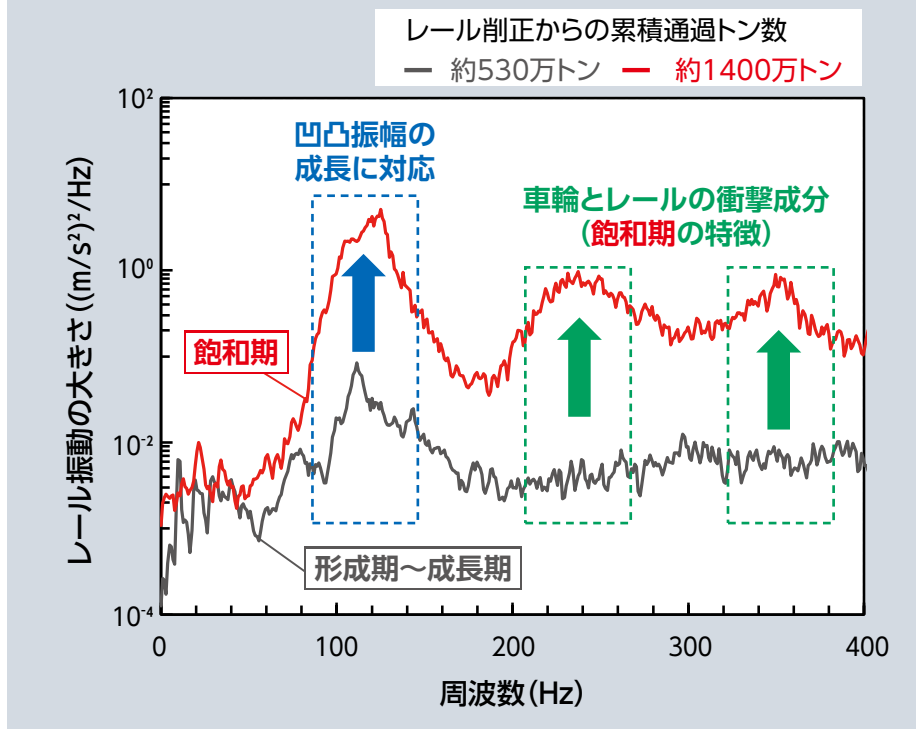


図9 レール振動の周波数分析結果の例

文献

- 1) 網干光雄, 田中博文, 梶原和博:レール波状摩耗の発生メカニズムを解明する, RRR, Vol.78, No.2, pp.8-11, 2021
- 2) 田中博文, 清水惇: 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
- 3) 田中博文, 梶原和博, 網干光雄: 営業線におけるレール波状摩耗の成長機構と進展過程の検証, 鉄道総研報告, Vol.34, No.4, pp.17-22, 2020