

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

構造物の振動で 車輪偏摩耗を検出する

新幹線の車輪踏面に、比較的長い幅で局所的な摩耗（車輪偏摩耗）が発生することがあります。この車輪偏摩耗は見た目ではわからないため、発生の有無や状態を検出するには何らかの方法が必要です。そこで、調整桁と呼ばれる高架橋構造物の振動を基に、1台車の車輪偏摩耗の深さ（偏摩耗量）を精度よく検出する方法を開発しました。ここでは、偏摩耗量を振動から検出するための考え方や調整桁を選定した理由と合わせて実際に車輪偏摩耗を有する列車が通過した際の検出結果について紹介します。



末木 健之
Takeshi Sueki
環境工学研究部
騒音解析研究室
主任研究員
【専門分野】鉄道騒音



北川 敏樹
Toshiaki Kitagawa
環境工学研究部
騒音解析研究室
室長
【専門分野】鉄道騒音

はじめに

新幹線の車輪踏面に、比較的長い幅で局所的な摩耗（車輪偏摩耗，**図1**）が発生することがあります。この車輪偏摩耗がある状態で、列車がコンクリート高架橋などを通過すると、ゴロンという通常より大きな構造物音が発生します¹⁾。この車輪偏摩耗が発生した場合の対策としては、車輪踏面を削るか車輪そのものを交換するしかありません。

車輪偏摩耗のほかに車輪踏面に局所的に発生するものとして、**図1**のような車輪フラットがあります。車輪フラットは目で確認することができ、数

km/h程度の低速でも音や振動からその発生を判断することができます。ところが、**図2**に示すように車輪偏摩耗は目ではまったくわかりません。また、低速で走行している場合は、音や振動による判断をすることもできません。このように、車輪偏摩耗はフラットとは特徴が大きく異なっています。

それでは、車輪偏摩耗の発生や偏摩耗の深さ（偏摩耗量，**図1**）を検出するにはどのようにすればよいのでしょうか。その方法の1つとして、地上構造物の振動から、これらを検出する方法を開発しました。

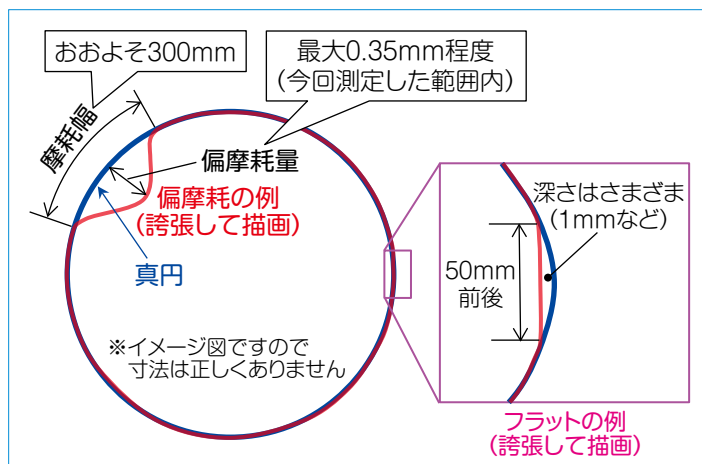


図1 車輪偏摩耗とフラットのイメージ図



この範囲に車輪偏摩耗が発生していますが、実際に見てもまったくわかりません

図2 実際の車輪偏摩耗

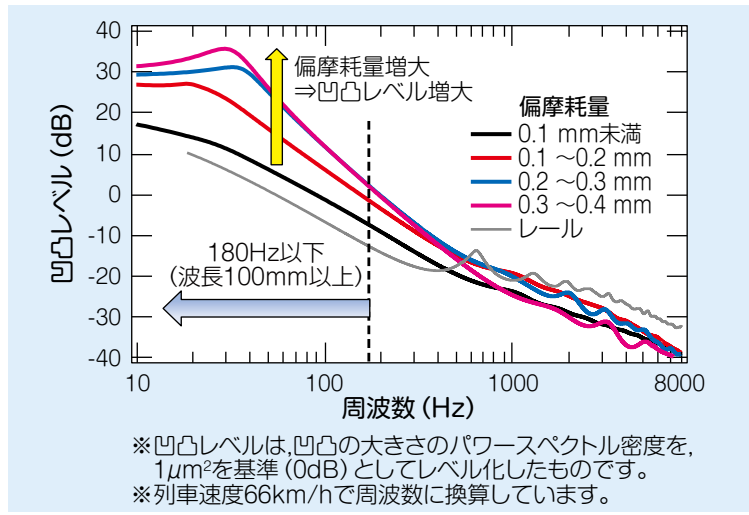


図4 車輪踏面とレール頭頂面の凹凸レベルと周波数の関係

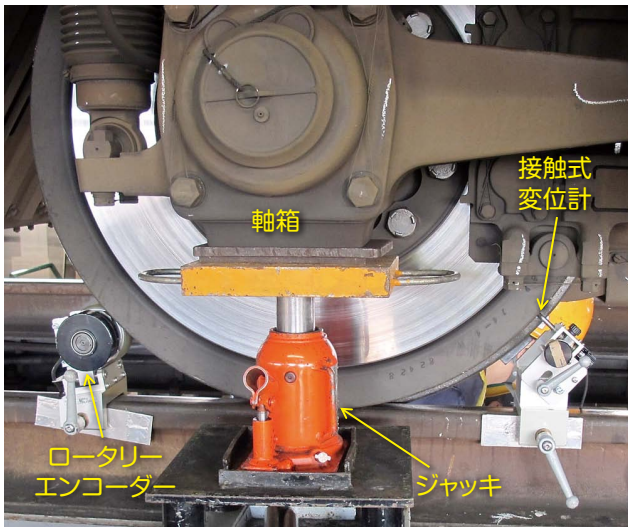


図3 車輪踏面形状の測定

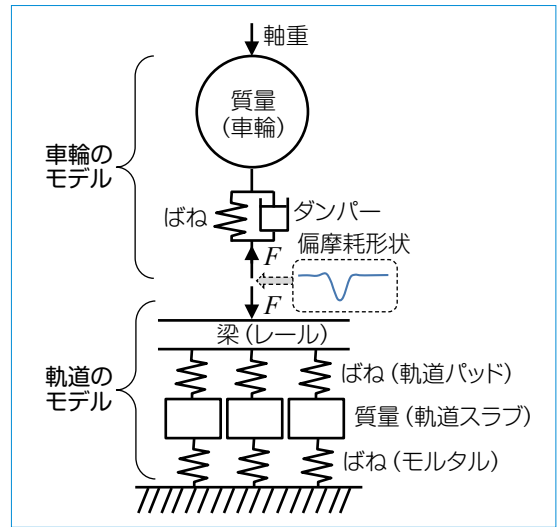


図5 物理モデル

車輪偏摩耗の特徴

車輪偏摩耗の特徴を把握するため、**図3**に示す測定装置を使用し、車輪偏摩耗がない車輪も含めて約300個の車輪踏面について形状を測定しました。測定は、①台車の軸箱部分をジャッキアップ、②踏面形状を測定する接触式変位計と車輪が回転した角度を検知するためのロータリーエンコーダーを設置、③車輪を1回転させてデータ収録、という手順で行います。

車輪偏摩耗が発生した車輪の踏面形状を測定してみると、**図1**に示すようにに摩耗幅はほとんどが300mm程度でした。また、測定した中の最大偏摩耗量は0.35mm程度でした。車輪フラットの幅は**図1**に示すように50mm前後

です。車輪偏摩耗は長い範囲の摩耗であることがわかります。また、通常の車輪踏面の凹凸の大きさはマイクロンオーダーであり、車輪偏摩耗の場合はこれよりもはるかに大きいことがわかります。

車輪とレールの間で発生する加振力は、車輪踏面とレール頭頂面の凹凸で決定され、この車輪偏摩耗も凹凸の一種として考えることができます。この凹凸の評価を行うために、周波数分析が用いられることが多く、車輪偏摩耗についても周波数分析を行いました¹⁾。**図4**に、偏摩耗がない車輪と偏摩耗がある車輪について、列車速度が66km/hに相当する場合の周波数分析結果を示します。また、測定した車輪

が走行する区間のレール凹凸の周波数分析結果についても示します。列車速度66km/hは、後で述べる実際にレール振動や構造物振動を測定した列車の速度です。

図4から、偏摩耗量が0.1mmを超える車輪は、偏摩耗量が0.1mm未満の車輪、レールと比較すると、おおむね180Hz以下（波長で100mm以上）の範囲で凹凸レベルが非常に大きくなっています。列車速度66km/hの場合、車輪偏摩耗の影響は180Hz以下に現れるものと考えられます。

物理モデルによる検討

まずは、車輪・軌道で構成された物理モデルにより、偏摩耗がレール振動

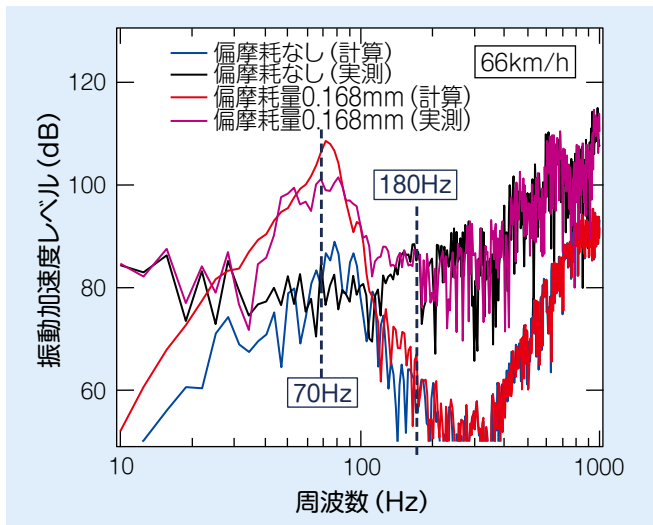


図6 レール振動の計算結果と実測結果の比較

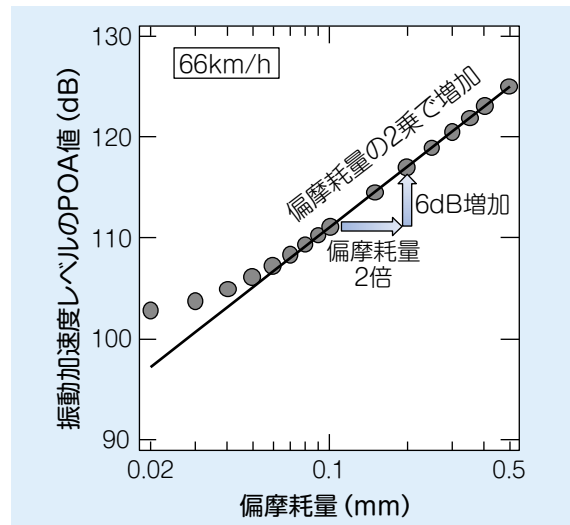


図7 偏摩耗量とPOA値の関係

に与える影響を調べました。図5にそのモデルを示します。車輪のモデルは、車輪質量に対応する質点、ばね、ダンパーからなります。軌道のモデルは、スラブ軌道を模擬し、レールを無限長梁とし、これを軌道パッド、軌道スラブ、モルタルに対応するばね・質点・ばねで構成される機構で連続的に支持する構成とします。図5のように、車輪とレールの間に偏摩耗に対応する凹凸形状を与えて、加振力 F を計算し、レールの振動加速度などを求めます。

図6に、この物理モデルによるレール振動の周波数分析結果を示します。

あわせて、実際に車輪偏摩耗を有する台車が通過した場合のレール振動の実測結果も示します。これらは車輪が66km/hで通過した場合の結果です。図6より、計算結果では180Hz以下のレール振動に差が現れています。実測したレール振動と計算結果を比較すると、70Hz付近のピークが再現されています。これらは、偏摩耗車輪が通過した場合のレール振動の特徴であり、物理モデルはこれらの特徴をとらえています。

ここで、図6に示したレール振動について、20Hz～180Hzのパーシャル

オーバーオール値 (POA 値) (参照) で整理します。物理モデルによって求めた偏摩耗量と POA 値の関係を図7に示します。図7より、レール振動の振動加速度は偏摩耗量の2乗で増加(偏摩耗量が2倍になると6dB増加)することがわかります。物理モデルの結果から、レール振動を測定すれば、偏摩耗量を推定することが可能と考えられます。

測定場所の選定

測定装置(振動計)を設置する場合、レールよりも線路外の構造物の方が容易ですし、メンテナンスも容易になります。そこで、コンクリート高架橋の裏面に測定装置を設置することを考えました。

設置対象として図8に示すラーメン高架橋と調整桁(参照)を選定しました。ここで問題となるのが、レールから構造物に振動が伝わる際の伝わり方です。振動が大きく変化して伝わる場合や、対象とする位置以外からの振動があまり減衰せずに伝わるような場合は、先ほど述べた物理モデルの結果が使えないことになります。

調査の結果、選定した2つの構造物において、レールから構造物へ伝わる振動は以下の特徴をもつことがわかりました。

パーシャルオーバーオール値

FFT 解析によって得られる周波数分析結果では、分析の上限周波数まで一定の周波数幅で分割され、その周波数ごとのパワーを計算することができます。この周波数ごとのパワーを上限周波数まで全て合算した値をオーバーオール値(OA 値)と呼びます。

パーシャルオーバーオール値(POA 値)は、合算する範囲を限定した OA 値です。全周波数で考えるよりも、特定の周波数で考えた方が現象をはっきり捉えられるような場合には POA 値が用いられることがあります。

ラーメン高架橋と調整桁

骨組構造のうち、部材間が剛結されているものをラーメン構造といいます。主構造にこのラーメン構造を用いた高架橋をラーメン高架橋と呼んでいます。鉄道の高架橋で最も一般的な構造で、新幹線や連続立体交差化事業などに多く用いられています。ほかの構造を用いた高架橋には桁式高架橋があります。

ラーメン高架橋は、橋長が長いほど経済的になりますが、ひび割れの発生を抑制するため、1 ラーメン高架橋長は 20m ～ 60m 程度(建設時期により異なります)となっています。ラーメン高架橋どうしの間には桁長 5m ～ 10m 前後の調整桁を設け、ラーメン高架橋同士を接続しています。

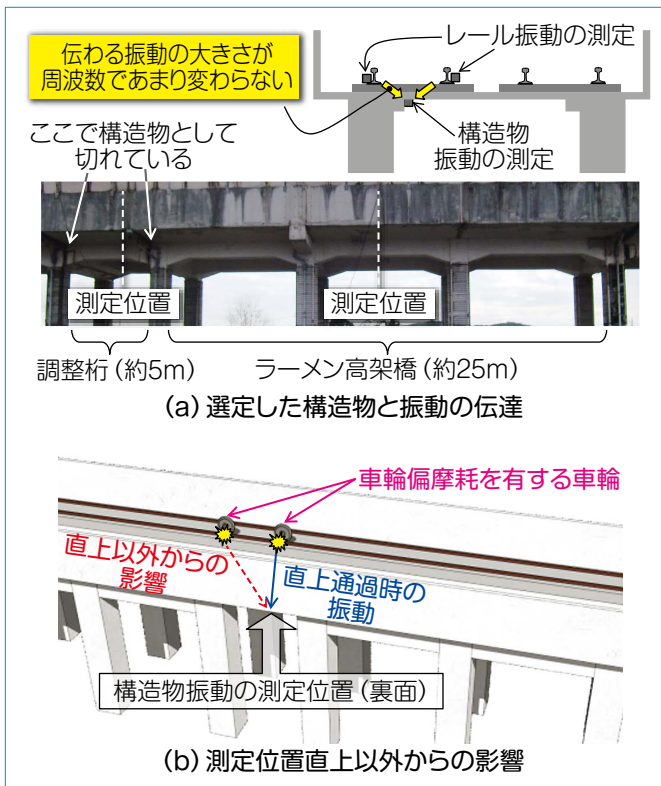


図8 選定した構造物と振動伝達のイメージ

- A) レールから構造物に伝わる振動は、ラーメン高架橋よりも調整桁の方が周波数によって大きく変化しないことがわかりました(図8(a)の黄色矢印)。ただし、50~200Hz程度(列車速度60~75km/h相当)に限定されます。
- B) 測定位置直上以外からの影響は、ラーメン高架橋よりも調整桁の方がかなり小さいことがわかりました(図8(b)の赤矢印)。このことから調整桁では測定位置直上の1つの台車だけが検出できると考えられます。

検出結果

選定したラーメン高架橋と調整桁において、車輪偏摩耗を有する列車が通過した場合の偏摩耗量の検出を試みました。この場所では列車は約66km/hで通過します。

図9に、振動加速度レベルのPOA値と1台車中の最大偏摩耗量の関係について示します。この結果では、ラー

メン高架橋よりも調整桁の方が、データが狭い領域に分布し、ばらつきが小さいことがわかります。これは、先ほど述べたB)に関係し、測定位置直上に位置する台車(隣接台車)の影響が小さいことに起因しています。

偏摩耗量0.08mm以上に対しては、調整桁の構造物振動は偏摩耗量の約1.8乗(偏摩耗量が2倍で5.4dB増加)で増加します。この結果は物理モデルの結果で得られた2乗に近い値になっています。一方、ラーメン高架橋は約1乗(偏摩耗量が2倍で3dB増加)です。これは、先ほど述べたA)に関係し、調整桁の方がよりレール振動に近い結果を示します。

なお、調整桁の結果にも、偏摩耗量0.1mm付近にやや外れたデータがあります。この列車には1つの車輪の中に複数の車輪偏摩耗があり、その影響と考えられます。

以上の結果から、偏摩耗量の検出には調整桁での測定が適切であることがわかりました。図9の調整桁の結果を

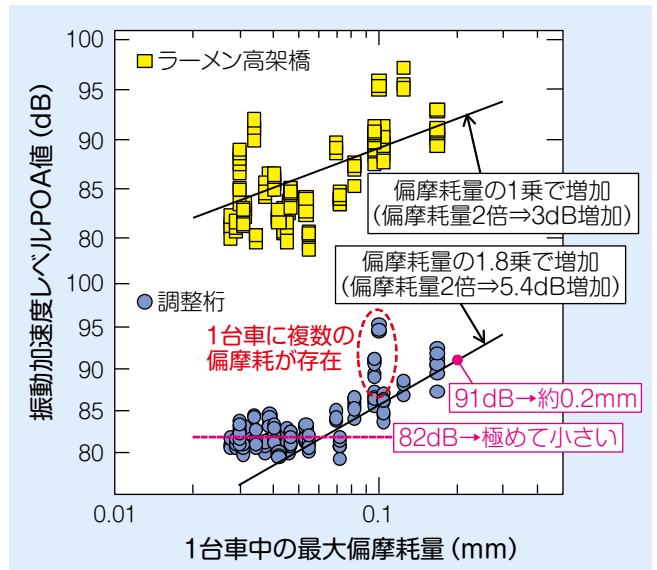


図9 偏摩耗量の検出結果

基に、この場所に限りませんが、一例として、POA値が82dBであれば車輪偏摩耗がきわめて小さい車輪(またはない車輪)と判断できますし、91dBであれば1台車中の最大偏摩耗量が約0.2mmと判断することができます。

おわりに

構造物の振動を利用することで、車輪踏面の偏摩耗を検出する方法を紹介しました。今回紹介した調整桁とは異なる場所で、同程度の長さを持つ調整桁においてもこの方法は有効であることを確認しています²⁾。

偏摩耗量は徐々に大きくなりますので、どのタイミングで車輪を転削すればよいかなどの車輪踏面管理の1つの方法として活用することができます。RRR

文献

- 1) 末木健之, 北川敏樹, 栗田健, 杉田裕伸: 構造物騒音に対する偏摩耗車輪の影響評価と偏摩耗量推定手法, 鉄道総研報告, Vol.31, No.9, pp.41-46, 2017
- 2) 末木健之, 北川敏樹, 森智彦, 杉田裕伸, 横山陽三: 構造物振動を利用した新幹線車輪の偏摩耗量検出手法, 第23回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL 2016)講演論文集(USB), S3-1-2, 2016