

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

車輪・レールからの音を予測する

在来線の電車から発生する騒音の主な音源は、車輪、レールからの音（車輪・レール間音）^{〔※参照〕}、主電動機ファン音および構造物音です。最新の車両では、ファン構造の改良などによって主電動機ファン音は大幅に低減され、騒音全体に占める車輪・レール間音の寄与度が相対的に大きくなってきています。今後、在来線の電車からの騒音を低減するためには、車輪・レール間音に重点をおいた対策を進めることが必要になっていきます。ここでは、車輪・レール間音のうち、車輪がレール上を転がることで発生する「転動音」とレール継目部などで生じる「衝撃音」に関する取り組みをご紹介します。



北川 敏樹
Toshiki 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



村田 香
Kaoru Murata
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

車輪・レールからの音について

在来線の電車に乗っていると、どんな音が聞こえるでしょうか。車輪がレール上を転がっていくゴロゴロという音が聞こえ、駅周辺など所々でガタンゴトンという音が聞こえてきます。このゴロゴロという音が「転動音」です。転動音は、車輪・レール面上にあるミクロンオーダーの振幅の凹凸に起因した加振力によって車輪とレールが振動して発生します。この転動音の大きさを決める主な要因は、車輪・レール表面上の凹凸や軌道、車輪の振動特性です。では、なぜ電車は駅周辺以外ではゴロゴロ音だけで走るのでしょうか。これは、レールが溶接によって数百メートル程度つなぎ合わさ

れたロングレール上を、電車が走行しているためです。しかし、駅周辺の分岐器まわりや踏切などでは、軌道の保守管理上の必要性などからロングレール化することができません。駅周辺などでのガタンゴトンという音は、電車が定尺レールやポイントなどでの継目遊間を通過する際に生じる「衝撃音」です。図1は、一例として定尺レールでのレール継目部を示したものです。2本のレールはあて板（継目板）^{〔※参照〕}を使ってつなぎ合わされ、また気温の変化によるレールの伸縮などを考慮するために、2本のレール間にはミリオーダーの継目遊間が設けられています。このため、レール継目部を列車が通過する時、継目遊間の形状（遊間

〔※〕 車輪・レール間音

転動音、衝撃音など車輪、レールなどの振動から生じる音の総称を「車輪・レール間音」といい、急曲線区間で生じる「きしり音」もこれに含まれます。きしり音は、列車が急曲線区間を通過するときに車輪に働く横方向の力により、車輪がその固有振動数で大きく振動するために発生する音です。また、きしり音は高音の耳障りな音色であり、騒音レベルの上昇以上に沿線での騒音問題となる場合があります。

〔※〕 継目板

「継目板」の英訳は fishplate です。なぜ鉄道で fish（魚）でしょうか。これは、fish には船のマストの延長などに用いる補強用の継ぎ目板という意味があり、これに由来するためです。



図1 定尺レールでのレール継目部の一例

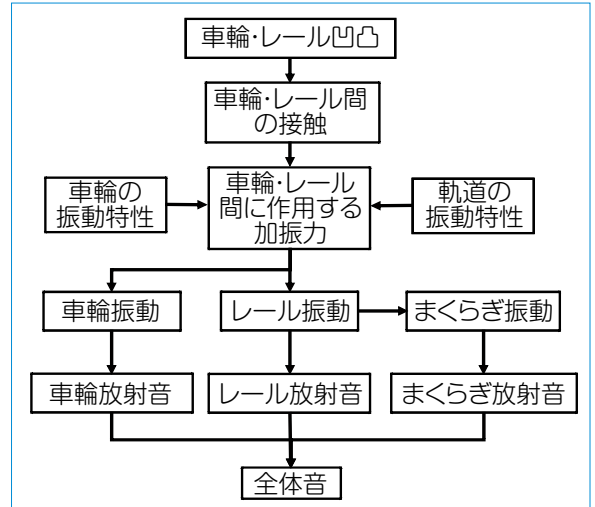


図2 転動音を計算する流れ

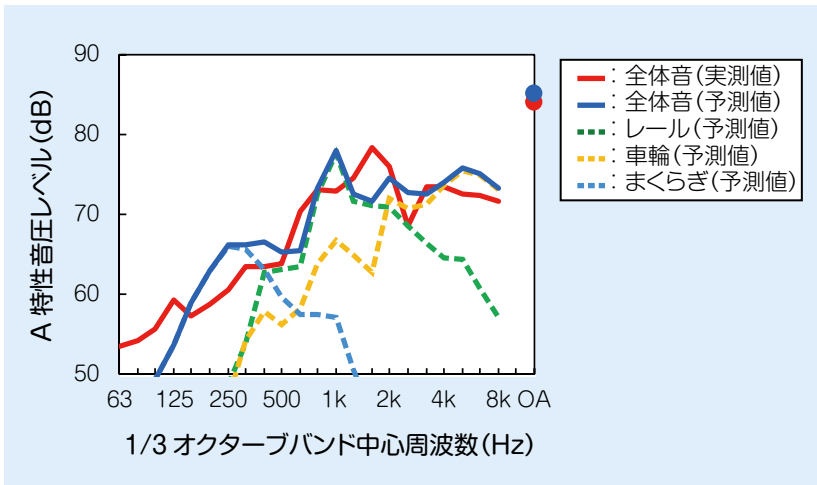


図3 転動音における音源別寄与度
(在来線電車, レール近傍点, バラスト軌道, 80km/h)

幅や段差)などに起因した衝撃的な力が生じ、これが車輪、レールを振動させ、継続時間の短い音(衝撃音)が発生します。また、車輪の滑走で生じる車輪踏面のフラットが、車輪が回転する度にレールを打撃することによって発生するタイヤフラット音もこの衝撃音に含まれます。衝撃音は、転動音に比べて大きく、乗客や沿線住民にとって不快な音になる場合があります。

転動音の予測

転動音に関する予測・評価を行うために、欧州ではTWINS(Track-Wheel

Interaction Noise Software)などの理論モデルが構築されています。鉄道総研では、このTWINSと同じ考え方に基いた転動音の予測手法の構築を行いました。図2は、予測手法の構成を示したものです。車輪、軌道の振動特性の組合せで構成された力学モデルに対して車輪、レール面上の凹凸を入力することによって加振力を評価し、この加振力から車輪、レールとまくらぎの振動および放射音を予測します。次に、予測手法における計算モデルを説明します。軌道は、無限長の梁と支持体でモデル化します。梁はレールに対

応し、支持体は軌道パッド、まくらぎとバラスト・路盤に対応するばね-質点-ばね系から成っています。このモデルに必要なパラメーター(軌道パッドやバラストなどのばね剛性など)については、軌道に対する加振試験の結果から同定します。車輪に関しても、車輪の加振試験から車輪に生じる固有モードなどの整理を行い、この試験結果と有限要素法を用いた計算結果からその振動特性を評価します。また、軌道、車輪からの放射音は、各要素の振動と音響放射効率などから評価します。

図3は、在来線の電車がバラスト軌道区間(平地, PCまくらぎ)を走行する場合での実測値と予測値による各音源の寄与度を示したものです¹⁾。全体音に関して、実測値と予測値は概ね一致しています。また、500~1600Hzでは、レールが主要な音源であり、2000Hz以上では、車輪が全体音に対して大きな影響を持つことがわかります。

この予測手法の有効性は在来線および新幹線で検証されており、転動音の音源別寄与度に応じて低減策の効果を定量的に評価することができるようになっています。

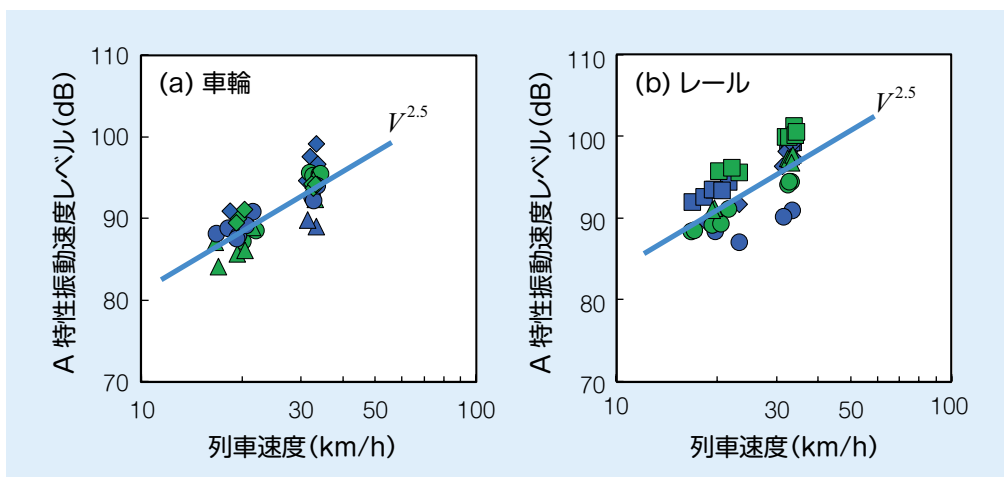


図4 車両通過時に生じる車輪，レールの振動
(V : 列車速度，緑：段上がり継目部，青：段下がり継目部，同じ記号は同一のレール継目部を表す)

衝撃音の予測

レール継目部における衝撃音を予測・評価するためには、レール継目部まわりの軌道や車輪の振動特性、継目遊間の形状などを調査することが必要です。このために、鉄道総研内の試験線で、インパルスハンマーを用いた車輪、レールに対する加振試験、車両走行時における車輪、レールの振動および騒音の測定を実施しました。図4は、車両がレール継目部を通過した際に車輪、レールに生じる振動速度と車両の速度の関係を示したものです。車輪、レールの振動速度のパワーは、速度に対して2.5乗程度に比例することがわかります。また、レールに生じる振動はレール継目部の形状が段下がりの場合に比べて段上りの場合で大きいこと、車輪に生じる振動はレール継目部の形状に大きくは依存しないことなどがわかりました。図5は、車両通過時に生じたレール、まくらぎおよび車輪の振動の実測値からレール近傍における騒音を試算した評価結果です。この評価結果と車両通過時の騒音の実測結果を比較すると、両者の傾向は概ね一致しています。また、このレール継目部で生じる衝撃音は、まくらぎ放射音が630Hz以下の周波数域における主

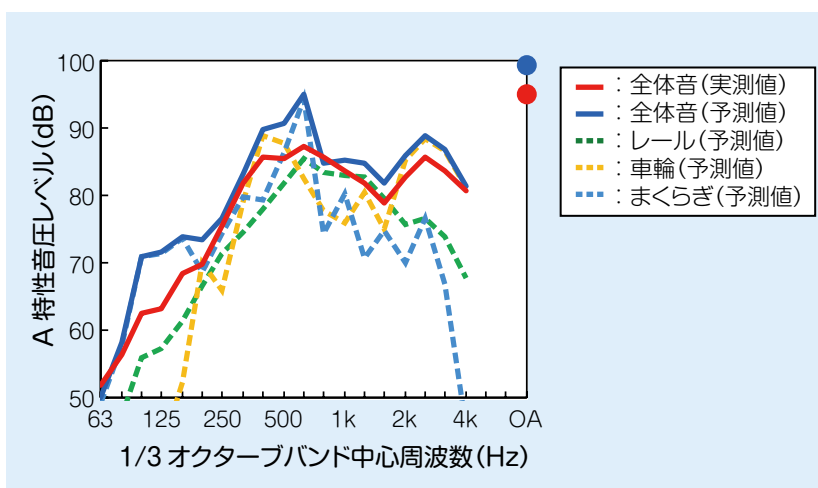


図5 衝撃音の音源別寄与度
(振動実測値を用いた評価結果，段上がり(遊間幅5.6mm, 段差1.3mm)，レール近傍点，バラスト軌道，35km/h)

要な音源であること、車輪放射音が全体音に対して占める寄与が2000Hz以上で大きいことがわかりました。

これらの試験結果から、レール継目部における衝撃音を予測する解析モデルを構築しました²⁾。図6(a)は、解析モデルの概要を示したものです。車輪は、「質点」と「ばね要素」などでモデル化しました。軌道では、2本のレールに対応する「2つの半無限梁^{はり}」を継目板を表す「ばね要素」でつないで構成しました。また、レール継目部の形状を考慮するために、レール継目部通過時に車輪中心が描く軌跡を評価しまし

た(図6(b))。この軌跡を凹凸入力として、車輪・レール間の接触ばねの非線形性を考慮し、時間領域で解析モデルを用いて加振力などを求めます。これらの要素を転動音予測手法に組み込むことにより、衝撃音に係わる振動、放射音の評価を行います。

図7は、レール近傍での騒音について実測結果と解析モデルによる予測結果を比較したものです。両者は概ね一致し、解析モデルの妥当性が確認されました。また、図8は、衝撃音に対する車輪、レールおよびまくらぎの寄与度を評価したものです。予測結果と

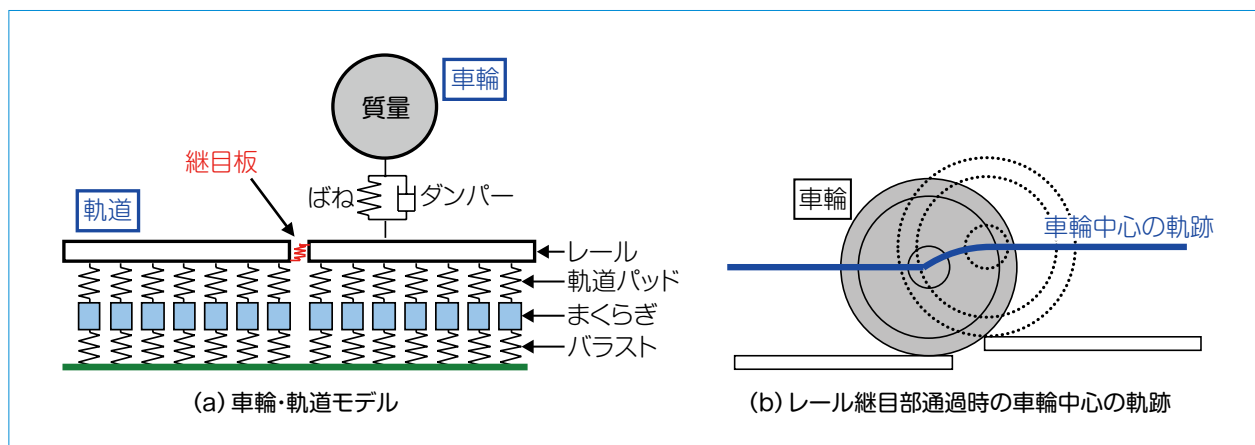


図6 衝撃音の解析モデル

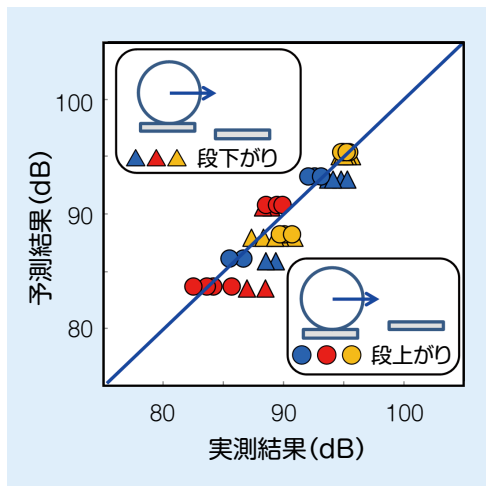


図7 実測結果と予測結果の比較
(レール近傍点の騒音, 20~35km/h)

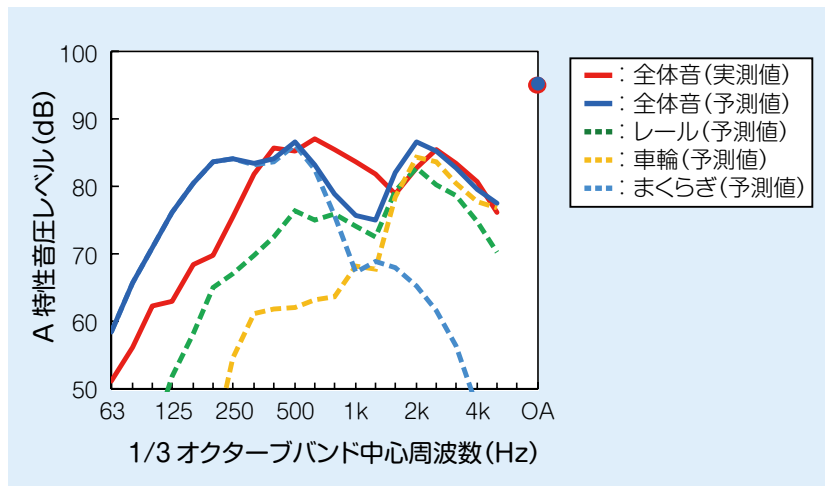


図8 衝撃音の音源別寄与度
(解析モデルによる予測結果, 段上がり(遊間幅5.6mm, 段差1.3mm), レール近傍点, バラスト軌道, 35km/h)

実測結果は概ね一致しています。また、各音源の寄与に関しても、予測結果は図7に示した評価結果と概ね同じ傾向を示しています。

現時点では、この予測モデルは、鉄道総研内の試験線(列車速度が35km/h以下)での検証に留まっています。今後は、営業線での実測データを用いた検証により予測精度の向上を図り、衝撃音低減対策の提案、評価に活用していく予定です。

おわりに

ここでご紹介した転動音、衝撃音の

予測手法などに関する取り組みは、鉄道総研で鉄道騒音の研究を行っているメンバーが車輪・レール間音に係わるさまざまな知見を総合的に取りまとめたことによって得られたものです。今後、鉄道沿線における騒音低減をさらに進めるためには、より精度の高い転動音予測手法の構築や車輪フラットなどを含めた衝撃音に対する研究開発を行う必要があります。このために、今後、解析モデルなどにおける中間の計算結果である車輪やレールの振動などに関する検証を進めていく予定です。

RRR

文献

- 1) 北川敏樹：転動音の特性と軌道・車両に係わるパラメータの影響，鉄道総研報告，Vol.22，No.5，pp.23-28，2008
- 2) 北川敏樹，村田香，長倉清，川口二俊，末木健之：レール継目部で生じる衝撃音の音源別寄与度評価，日本機械学会環境工学総合シンポジウム2013，pp.66-69，2013