

レールからの転動音を低減する

間々田 祥吾
材料技術研究部
(防振材料 研究員)

佐藤 大悟
同
(同 研究員)

半坂 征則
同
(同 主任研究員)

佐藤 潔
車両制御技術研究部
(動力システム 主任研究員)



ままだ しょうご



はんさか まさのり



さとう だいご



さとう きよし

転動音

転動音とは

鉄道で発生する騒音の対策は、現在でも重要な課題のひとつですが、その騒音のなかに転動音があります(図1)。

転動音とは、車輪とレールの表面に存在する微小な凹凸によって、列車走行時に車輪とレールの両方から周期的・衝撃的に発生する放射音のことで、後で説明するレール継目を車輪が通過するときに発生する衝撃音もこの転動音に含まれます。車輪とレールはともに金属部材であるため、転動音は大きなものになります。金属部材に衝撃力を加えると大きな振動・騒音が発生することは、私たちの身の回りにおいて、お寺の鐘の例などで理解されます。

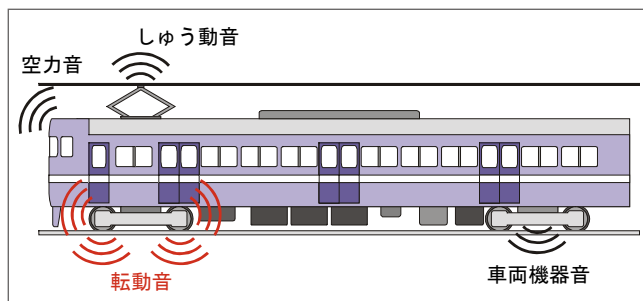


図1 鉄道における騒音のイメージ

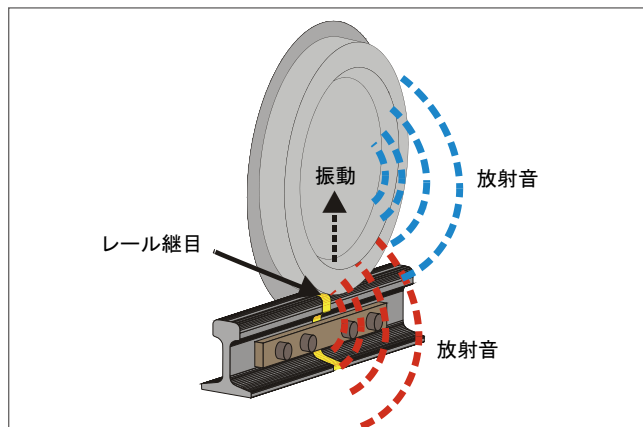


図2 レール継目での騒音

従来の車両ではモーターなどの機器から大きな騒音が発生していたので、これらの騒音が大きな割合を占め転動音が目立ちませんでした。しかし、最近の車両は機器の低騒音化が進められ、転動音の割合が相対的に増加したため、その対策の重要性が高まっています。

レール継目での騒音

レールを敷設する場合、普通は25mのレールを現地に搬入し、それを継ぎ足して軌道を構成します。そのため、25m毎に不連続点が発生することになります。これをレール継目(普通継目)と言います。このレール継目の上を列車が走行すると、いわば隙間の上を車輪が通過することになるので、レール表面や車輪表面の小さな凹凸の場合よりも大きな衝撃力が加えられ、発生する振動・騒音も大きくなります(図2)。

このようなレール継目での振動・騒音の対策として、継目の部分を現地で溶接して隙間を無くすロングレール化によって、振動・騒音の低減を図る対策が進められました。しかしながら、このロングレール化によっても、次に示すいくつかの理由からレール継目を完全に無くすことは困難です。

- ①列車の位置を検知するには、軌道に電流を流して回路を構成します。そのためにはレールに電気の絶縁箇所を設けて、一定区間毎に回路を区切る必要があります。ここではレール継目を残し、絶縁材を挿入します(絶縁継目)。
- ②レールは、季節の温度変化によって伸縮し、その都度、長手(軸)方向に力(軸力)が作用します。ロングレール化によってその軸力も増加するため、軸力を一定間隔ごとに逃がすために伸縮可能なレール継目箇所を設ける必要があります(伸縮継目)。
- ③規模の小さな鋼橋の上などでは軸力を支えきれないなどの理由からロングレール化できない箇所もあります。

以上のような理由から、ロングレール化しても軌道上には継目が存在し、そこから発生する転動音の対策は重要な課題となっています。

これまでの転動音対策の課題

転動音に対するこれまでの主な対策としては、防音壁の設置等が行われてきました。防音壁の設置は、継目箇所、それ以外の一般区間を問わず有効な対策と考えられます。しかしながら、その設置には、多くの労力やコストが必要です。また、鉄道沿線の高層住宅に対する対策では、防音壁の高さを高くする必要がありますが、沿線に設置できる防音壁の高さには、構造上の制限や日照権などの問題から限界があります。

防音壁以外にも、転動音の対策は実施されていますが、これらの対策でも施工コストや効果の面でそれぞれ課題があります。このため、簡単に施工でき、有効な対策の開発が求められています。

そこで、転動音のうち、レールから発生する放射音に着目し、その放射音を低減する材料（防音材）をレール近傍に設置することが転動音の低減に対して有効ではないかと考えました。ここでは、現在研究に取り組んでいる2種類の防音材について紹介します。

レール防音材 ―一般区間用―

一般区間用レール防音材（以下、単に「レール防音材」と称します）は、レールの頭頂部を除く面を被覆するもので、レールからの放射音を封じ込めようとするものです。軽量で、レールにはめ込むだけの構造にすることで、防音壁より簡単に施工でき、容易な脱着でレール点検などのメンテナンスにも対応できるものです。

レール防音材の構造

開発したレール防音材の構造を図3に示します。図のようにレール防音材は内層（レール側）と外層の2層からなる積層構造となっています。そして、締結装置間ごとに2体1組でレールを被覆し、その外側を固定金具によりボルトで固定します。内層にはエチレンプロピレンゴム（EPDM）の発泡体を、外層には制振鋼板を用いています。EPDMの発泡体は柔軟で振動を吸収する性能があるため、これによりレールの振動が外層に伝わることを防いでいます。

外層の制振鋼板は、レールの振動が伝わり、外層自体が振動してしまうとそこから放射音が発生しますので、振動の減衰性能を期待して採用しました。

レール防音材の効果

実際の列車走行時においてレール防音材の効果を検討するため、実軌道にレール防音材を設置し（図4）、騒音測定を実施した結果を紹介します。

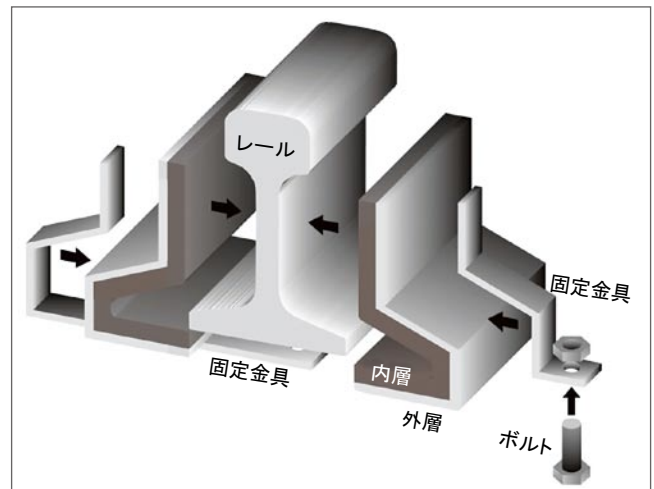


図3 レール防音材の構造

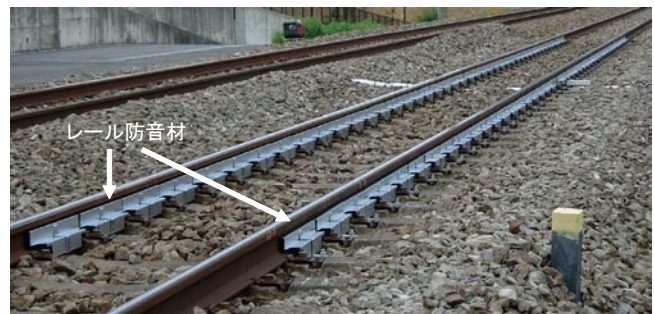


図4 レール防音材の設置状況

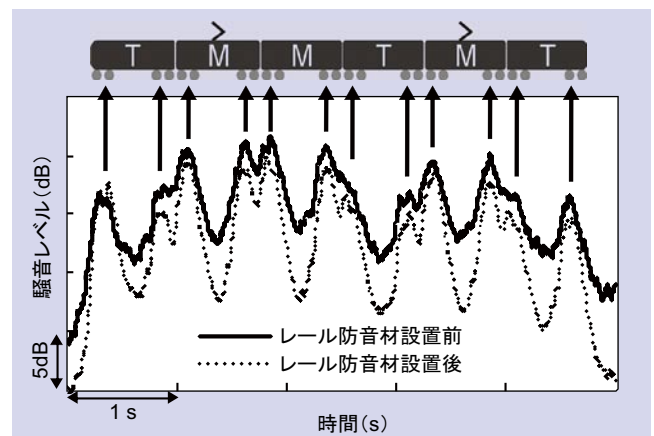


図5 騒音レベルの時間波形

図5にレール近傍（近接側の軌道中心からの距離：6.25m、レールからの高さ0.45m）での列車通過時の騒音レベルの時間波形を示します。

図5の実線で示す各ピークは車輪が通過した時の騒音を示し、ピークの大きいものはモーターを搭載した車両（M車）、小さいものはモーターを搭載していない車両（T車）

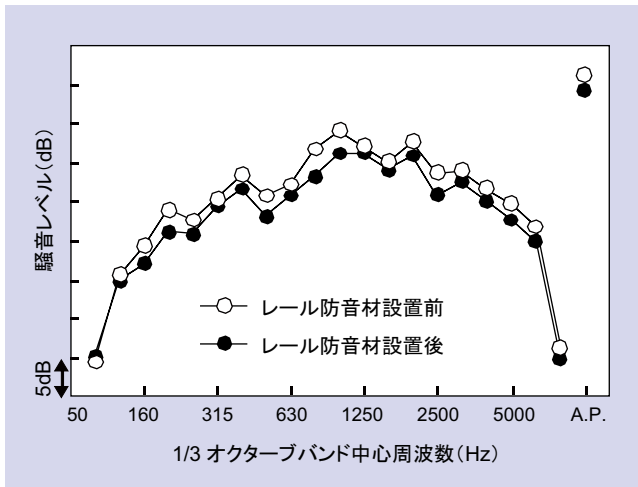


図6 1/3オクターブバンド分析結果

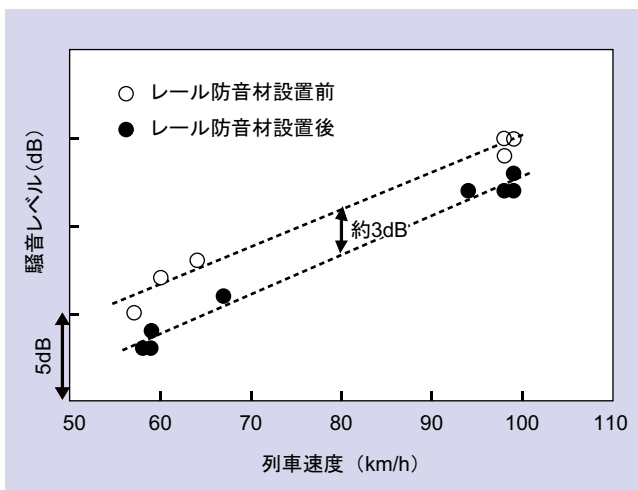


図7 レール防音材の効果の列車速度依存性

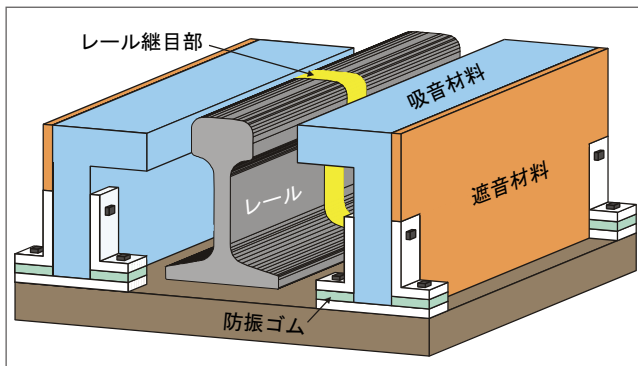


図8 レール継目用防音材の構造

の通過を示します。レール防音材の設置によって列車通過時のほぼ全域で騒音レベルが低減していますが、特に、車輪間での低減量(約5dB)が大きいことがわかります。これは、車輪間での騒音は、モーター音等の車両機器音よりも転動音の方がその寄与が大きいため、レール防音材による効果が大きくなり、騒音の低減につながったものと考えられます。

次に、図5で示した列車の通過時間全体を対象として、1/3オクターブバンド分析を行った結果を図6に示します。1/3オクターブバンド分析とは、測定した騒音がどのような音色(周波数)の音であるかを分析するものです。

1/3オクターブバンド分析の結果より、レール防音材の設置によって500Hz以上の騒音が低減し、最も低減量の大きい1kHz付近では約3dB低減しています。過去の研究事例から、鉄道騒音のなかでも1kHz付近の騒音はレールからの転動音の寄与が大きいことが推定されていますので、この測定で認められた騒音の低減もレール防音材の転動音に対する効果によるものと推測されます。

図7には、騒音レベルの列車速度に対する依存性を示します。図中の騒音レベルは、列車通過時の最大値です。図より、騒音レベルが列車速度約60~110km/hの範囲で一様に約3dB低減することがわかります。

レール継目用防音材

レール継目用防音材は、レール防音材の構造を参考として試作した防音材です。レール継目での使用環境を考慮して、レール継目に適用できるような構造となっています。

レール継目用防音材の構造

レール継目で不具合が生じると、列車走行時の安全・安定性に大きく影響しますので、レール継目部では、頻繁に(大都市線区では、2週間に1度程度)外観の目視点検や、必要に応じてボルトの増し締め等のメンテナンス作業が実施されています。そのため、防音材の設置後もそのまま継目部の点検やメンテナンス作業ができるような構造が求められます。そこで、一般区間用のレール防音材のようにレールに密着させる構造ではなく、レールから離して設置する構造としました。試作したレール継目用防音材の構造を図8に示します。

防音材の材料構成は、防音材がレールから離れた位置に

あることを考慮して、内層側を吸音材料、外層側を遮音材料とする構成としました。レール継目用防音材には屋外での長期耐久性や軌道が構成する電気回路に支障しない電気特性を有することが求められます。このため、吸音材料には無機質粒子結合材、遮音材料には樹脂板を用いました。無機質粒子結合材とは、ケイ砂等の無機質の粒子を少量(全体の重量の4%程度)のエポキシ樹脂で結合した多孔質の吸音材料です。

レール継目用防音材の効果

レール継目用防音材の効果を検討するため、鉄道総研の日野土木実験所の実験線において、レール継目部をモーターカーが走行した際の騒音測定を行いました。その結果を紹介します。ただし、測定の際、モーターカーは、機器からの音の影響を極力減らすため、モーターによる加速をしていない走行状態(惰行)で測定を行いました。

図9に騒音測定時のレール継目用防音材の設置状況を示し、図10にモーターカーの走行速度を変化させた際の騒音レベルの最大値を示します。

図10より、レール継目用防音材の設置による騒音の低減量はモーターカーの走行速度に依存し、最も速い約40km/hで1.5dB低減したことがわかります。

このように、防音材の効果が走行速度に依存する理由の主なものとしては、次のように考えられます。

まくらぎ等、レール以外の部分からの放射音の寄与が大きき場合には、防音材による騒音の低減効果が減ってしまいます。一般的に、走行速度が増加するとともに加振力が増加しますが、まくらぎ等、レール以外の部分はレールに比べて小さな加振力で振動させることができるため、低速域ではレール以外の部分からの放射音の寄与が大きくなり、防音材による騒音低減効果が小さくなったと考えられます。このように、レール継目防音材の騒音低減効果が速度に依存することが認められたので、営業線の速度領域に対して効果確認を行う必要があるものと考えます。

今回試作したレール継目用防音材については、実軌道における騒音低減効果が確認されました。そこで、今後はこの試作品をもとに、3dB程度の騒音低減効果を目標として材料の改良等を行うとともに、営業線の車両走行速度領域(大都市通勤線を考慮すると90~120km/h)での騒音低減効果の確認など、実用化に向けた研究に取り組む予定です。



図9 レール継目用防音材の設置状況

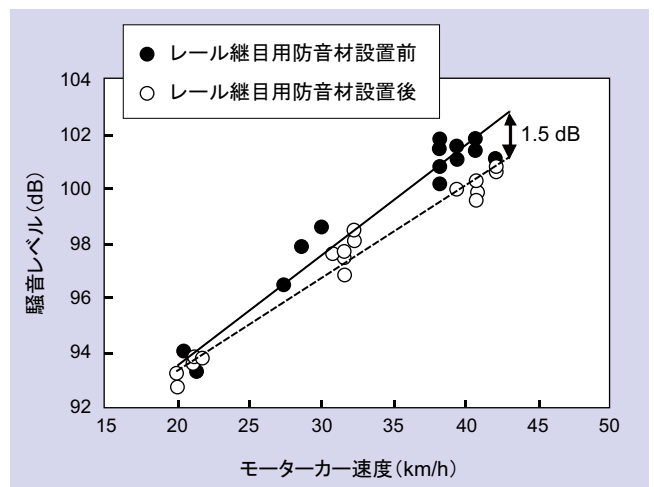


図10 レール継目用防音材の効果の速度依存性

おわりに

列車走行時に発生する転動音のうち、レールからの放射音に注目し、防音壁などよりも簡単に施工でき、有効な騒音の低減効果が期待できる対策として、レール防音材およびレール継目用防音材の2種類の材料の研究開発に取り組んでいます。

ここで紹介した2つの防音材「レール防音材」と「レール継目用防音材」については、今後もさらに騒音低減効果の向上を目的とした研究や、長期間の設置に向けた耐久性の評価などを検討していきたいと考えています。[RRR]