

メンテナンス性を考慮したレール継目用防音材の開発

間々田 祥吾* 半坂 征則* 佐藤 大悟*
鈴木 実* 佐藤 潔**

Development of Rail Noise Insulating Material for Rail Joint Considered for Maintenance

Shogo MAMADA Masanori HANSAKA Daigo SATO
Minoru SUZUKI Kiyoshi SATO

In general, an intense degree of noise is generated due to rail vibration derived from train passage on a rail joint. Therefore, development of the material that is easy to install and an effective countermeasure for the generated noise around rail joint is requested. For the rails in the general sections of railway lines, we have developed a new material named "Rail Noise Insulating Material", and have found out that the material was effective for reducing the noise radiated from rail and was easy to install. Therefore, based on Rail Noise Insulating Material, we have further developed a new material for rail joint named "Noise Insulating Material for Rail Joint". This material is installed at a location approximately 100mm distant from the rail in order that the rail can be inspected after installation of the material. As the results of impact test and motorcar test executed at the rail joint on track in Hino civil engineering testing station, it revealed that the material was effective to reduce the noise radiated from the rail joint.

キーワード：転動騒音，レール継目，レール継目用防音材，騒音測定

1. はじめに

車輪/レール間で発生する転動騒音は、鉄道騒音において新幹線、在来線ともに高い比重を占める。特に在来線の絶縁継目等のレール継目部では、一般区間と比較して、大きな騒音が発生するため、その対策が課題となっている^{1), 2)}。その対策として、主として防音壁の設置などが実施されてきた。一方、防音壁の設置は、物理的に設置場所の確保が困難な場合があるなどの課題を有しており、そのような箇所において簡素で有効な対策が求められている。

筆者らは、これまでに転動騒音対策材として、一般区間を対象にレール防音材（以下、一般用防音材）を開発し、レールまわりに吸遮音材料を設置することがレール放射音の低減に対して効果的であることを確認してきた^{3), 4)}。そこで、この一般用防音材を参考として、新たに、絶縁継目などの継目部に適用できるレール継目用防音材（以下、継目用防音材と称する）の設計・試作を行った。本報告では、設計・試作した継目用防音材の構造および材料構成について述べるとともに、防音性能を評価するために実施したインパルスハンマーによる衝撃加振試験および実軌道継目部における車両通過時の騒音測定の結果について報告する。

* 材料技術研究部（防振材料）

** 車両制御技術研究部（動力システム）

2. レール継目用防音材の構造および材料構成

2.1 レール継目用防音材の構造

継目用防音材の適用箇所における状況を考慮すると、本防音材に要求される事項として以下のことが考えられる。

- ① 建築限界を満たす構造とすること
- ② メンテナンスに対応した構造とすること
レール継目部では、頻繁に（大都市線区では、標準的に2週間に1度程度）外観を目視点検し、必要に応じてメンテナンス作業が実施されている。これに対応して、レール継目部が目視点検できる構造とする必要がある。
- ③ 絶縁継目の絶縁性能に支障しないこと
適用箇所として絶縁継目も想定されるため、本防音材の設置時にも、その絶縁性能に支障しない必要がある。
- ④ 2 kN以上の耐荷重性を有すること
レール周辺では頻繁に保守作業者が通行するため、本防音材上に保守作業者が乗ることも想定される。そこで、本防音材はその上に作業者〔体重+工具等=約100 kg (1 kN)を想定〕が乗っても破損しない強度を必要とし、安全率を考慮して少なくとも2 kNの荷重に耐える必要がある。
- ⑤ レール近傍で3 dB以上の騒音低減量を有すること
要求事項①～④を満たした上で、一般用防音材の騒音低減効果^{3), 4)}を参考とすると、レール継目部からの発生音をレール近傍で3 dB以上低減させる必要がある。

特集：材料技術

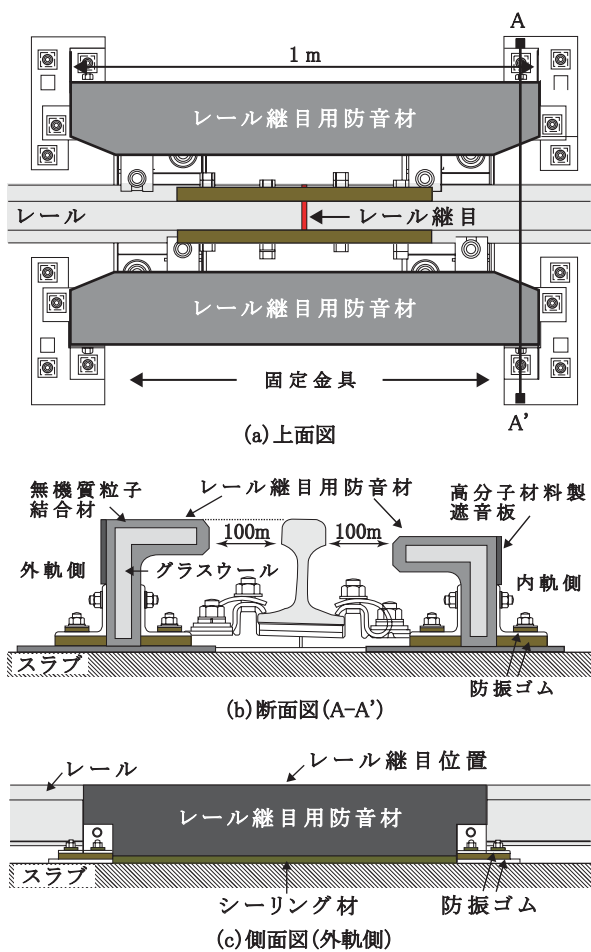


図1 レール継目用防音材の構造（スラブ軌道用）

以上の要求事項に沿って設計・試作した継目用防音材の構造を図1に示す。図1には、スラブ軌道を対象として設計したものを示したが、バラスト軌道を対象としたものについても、固定方法が異なるもののほぼ同様の構造のものを設計している。

設計・試作した継目用防音材の構造とその根拠を以下に述べる。

- ① 外軌側の高さ：レールレベル
沿線の高所空間での防音効果を極力高めるには、建築限界の範囲内であるべく高さを高くする必要がある。
- ② 長さ：1 m
少なくとも継目板全体を覆える長さとする。
- ③ 厚さ：50 mm
吸音材として選択した無機質粒子結合材の吸音率極大値が、転動音成分の大きい1 kHz付近となる厚さとする⁵⁾。
- ④ 形状：逆L字型
締結装置等軌道敷設物との接触を避け、レールからの放射音を閉じ込めることを期待した。
- ⑤ レールとの隙間：100 mm
事前検討により、防音材とレールの間に100 mm程度の隙間があれば、防音材を設置した状態でも目視点検お

よびメンテナンス作業が可能であることが確認された。

- ⑥ 固定方法：防振ゴムを介してスラブに固定
レールの振動が防音材に伝達され、その振動が励起されると防音材自体が騒音発生源になる可能性があるため。
- ⑦ 設置条件：軌道の両側に設置
設計段階では、レールからの発生音が周囲に放射されることを考慮して軌道両側に防音材を設置する構造とした。一方、一般の沿線受音点が外軌側であることを考慮すると、内軌側は不要となる可能性もある。そこで、後述の試験では内軌側防音材の有無の影響も検討している。
- ⑧ 材料配置：レール側に吸音材料、吸音材料の外側に遮音材料を配置
一般用防音材において、このような組合せが騒音低減に有効であることが認められている。

2.2 レール継目用防音材の材料構成

レールからの放射音低減のためには、レール側に吸音材料、その外側に遮音材料を配置することが有効であると考えられる。そこで、試作した継目用防音材には、レール側に無機質粒子結合材、その外側に高分子材料製遮音板を適用した。無機質粒子結合材は、ケイ砂を少量（全体の4 wt%程度）のエポキシ樹脂で結合した多孔質材であり、試作品では、吸音性能の向上を目的として、図1 (b) に示すように、無機質粒子結合材の内部に一般的な吸音材であるグラスウールを配置した。図2に無機質粒子結合材（厚さ50 mm）のみの場合および無機質粒子結合材（厚さ25 mm）とグラスウール（厚さ25 mm）を組合せた場合を比較した吸音率測定結果を示す。

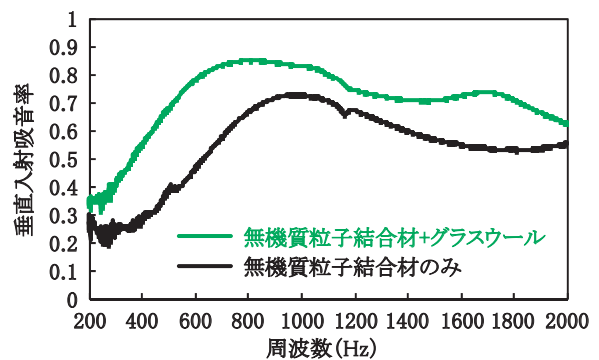


図2 無機質粒子結合材の吸音率およびグラスウールとの組合せによる吸音率の変化

図より、無機質粒子結合材は1 kHz付近に吸音率の極大値を有し、グラスウールと組合せることにより、吸音性能が向上することが認められた。

以上の材料構成により作製した試作品は、2 kN以上の耐荷重性を有していることを確認した。また、試作品を日野土木実験所において試験的に敷設した結果、絶縁継目間の絶縁性に支障しないことを確認した。

3. 衝撃加振試験

日野土木実験所内の試験スラブ軌道のレール継目部において、インパルスハンマーを用いた衝撃加振試験を実施した。同様の試験は、一般用防音材に対しても実施しており、防音材の特性評価に有効であることを先に報告している²⁾。以下に試験方法および結果を述べる。

3.1 試験方法および試験条件

試験スラブ軌道の継目部において、防音材を設置しない場合（以下、現状レールと称する）および継目用防音材を設置した場合（以下、防音材設置と称する）について、インパルスハンマーPH61 [リオン(株)製] によりレールを加振した。測定対象は、レールの継目部近傍で中央付近の頭頂面を鉛直方向に加振した際の加振レールの振動加速度および放射音とし、加振力をインパルスハンマー、振動加速度を圧電型ピックアップPV94、放射音を普通騒音計NL04 [いずれもリオン(株)製] により測定した。

振動加速度測定点は、加振点直下のレール底部V1および防音材設置時の防音材外層の中央V2とした。放射音測定点は、継目部中心における軌道中心から2 m離れた位置で、高さの異なる2点とした。2点の高さは、S1がレールレベルから450 mm上方、S2がレールレベルとした。これらの測定点位置はこれまでの鉄道沿線騒音の測定において標準的な測定点位置に相当するものである。図3に振動加速度測定点、図4に放射音測定点の状況を示す。

加振力、振動加速度、放射音は、いずれも、周波数分

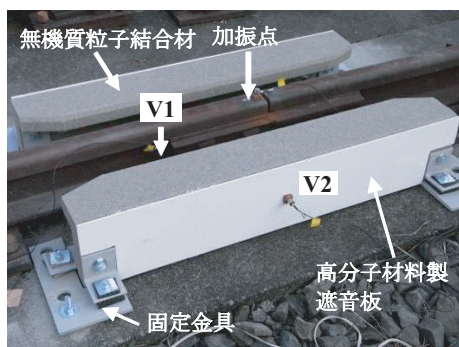


図3 振動加速度測定点の状況

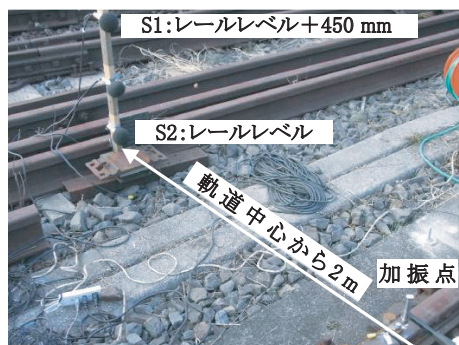


図4 放射音測定点の状況

析器SA01 [リオン(株)製] を用いて周波数重み特性FLAT、時定数FASTで収集・解析した。振動加速度は、時間波形を収集して時間積分および周波数解析し、加振力で正規化して振動速度の周波数応答関数(Frequency Response Function, FRF)を求めた。また、放射音についても放射音圧の時間波形を収集して周波数解析し、加振力で正規化してFRFを求めた。FRFの解析周波数領域は、振動速度、放射音ともに100 Hz～10 kHzとし、この範囲の帯域総和値(A.P.)値を求めた。なお、振動速度、放射音ともにFRFの結果はdB値で求めたが、その基準(0 dB)を振動速度:1 (m/s) /N、放射音:2 × 10⁻⁵ Pa/Nとした。

試験はメンテナンス性と音響性能のバランスの中で適正な構造を求める目的のもと、表1に示す条件を設定してレールと防音材との隙間の大きさの影響および内軌側の防音材の有無による影響を検討した。

表1 衝撃加振試験における試験条件

試験 No.	試験条件	
	レールとの隙間 (mm)	設置条件
現状レール	継目用防音材の設置無	
1	内軌側:100 外軌側:100	外軌側, 内軌側とも設置
2	内軌側:100 外軌側:150	外軌側, 内軌側とも設置
3	外軌側:100	外軌側のみ設置
4	外軌側:150	外軌側のみ設置

3.2 試験結果

振動加速度の時間波形を図5に、振動速度のFRFの結果を図6に示す。図の防音材設置の結果は、表1における試験No.1の結果であり、時間波形は、振動加速度を加振力の最大値で正規化した値である。

同部位(V1)における現状レールと防音材設置時の結果を比較すると、時間波形、FRFともに防音材設置前後の差は小さく、防音材設置によるレール振動への影響は小さいことが認められた。一方、防音材外層(V2)の振動は、レール底部(V1)の振動と比較して、時間波形、FRFともに顕著に小さいことが認められた。この結果より、レール振動時でも防音材の振動は小さく、防音材自体からの放射音の影響は無視できる程度小さいものと考えられる。

放射音(S1)の時間波形結果を図7に示し、FRF結果を図8に示す。図の防音材設置の結果は、表1における試験No.1の結果であり、時間波形は、放射音圧を加振力の最大値で正規化した値である。

図7の時間波形に示すように、放射音(S2)は、防音材設置に伴い加振直後より低減することが認められた。また、図8より、防音材設置に伴う放射音の低減周波数域は、約1 kHz以上の範囲であることが認められた。この結果は、レールが衝撃加振された際に発生する放射音に対して、継目用防音材が主として高周波数範囲で低減効果を有することを示すものである。

特集：材料技術

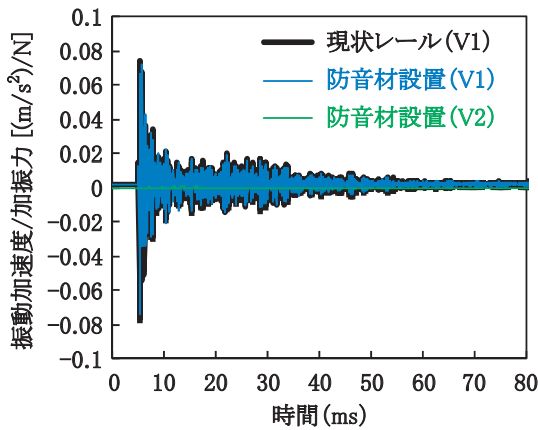


図5 振動加速度の時間波形

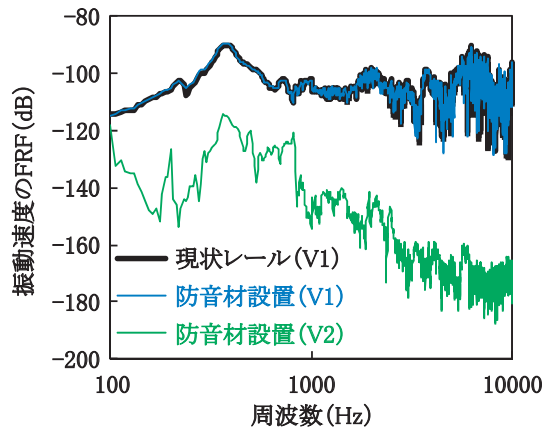


図6 振動速度のFRFの結果

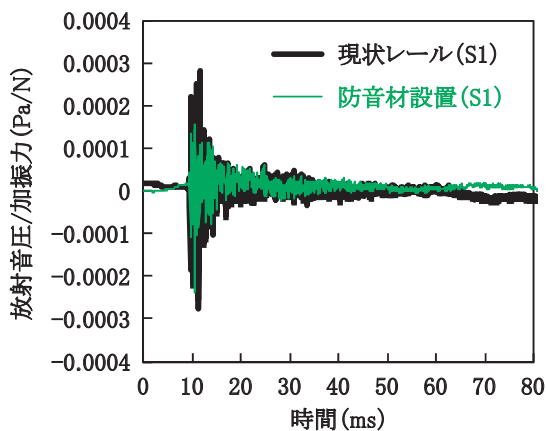


図7 放射音の時間波形

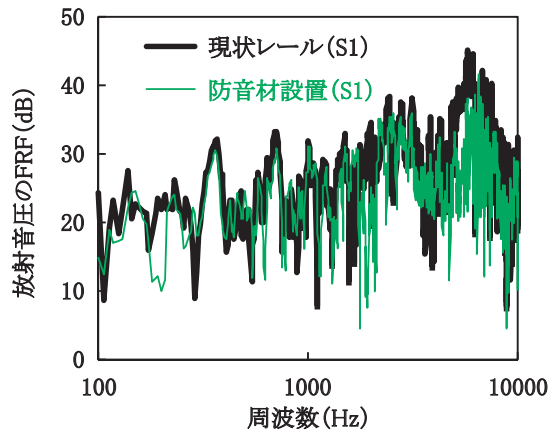


図8 放射音のFRFの結果

図9に各試験条件での放射音レベル値 (A.P. 値) を示す。図中の試験 No. は表1における試験 No. に対応する。

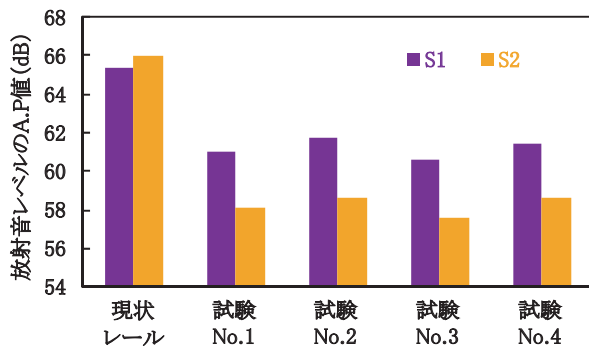


図9 各試験条件での放射音レベル値 (A.P. 値)

図9より、以下のことが認められた。

S1およびS2ともに現状レールと比較した場合、継目用防音材設置による放射音低減効果が認められた。同時にS1とS2の放射音低減量を比較すると、S2の方が大きく、防音材の効果はより下方の受音点で高いことが認められた。これは、レール放射音がレールと防音材の隙間から漏れる際、上方の受音点では音響伝搬経路において漏れ量が増加し、騒音低減量を減少させるためと考えられる。また、隙間距離が100mmと150mmの場合を比

較すると、100mmの場合の放射音低減量が大きく、隙間が狭い方がより放射音低減効果が向上することが認められた。次に、外軌側、内軌側ともに防音材を設置した場合と外軌側のみに設置した場合の放射音低減量を比較すると、約1dB程度ではあるが、外軌側のみに設置した場合の方が大きいことが認められた。

4. モーターカー走行試験

車両通過時のレール継目部における継目用防音材の騒音低減効果を確認するため、日野土木実験所内の試験バラスト軌道のレール継目部においてモーターカー走行試験を実施した。以下に試験条件および結果を述べる。

4.1 試験条件

日野土木実験所のバラスト軌道上に継目用防音材を設置（以下、継目用防音材設置と称する）し、設置していない場合（以下、現状レールと称する）と発生騒音を比較した。防音材はバラスト軌道上に設置するため、前述したスラブ軌道用と固定方法が異なるものの、材質および構造はスラブ軌道用とほぼ同様である。モーターカー走行試験時の騒音測定状況を図10に示す。

騒音測定点は衝撃加振試験における放射音の測定点S1



図10 騒音測定状況

と同位置とし、普通騒音計を用いて周波数重み特性 A、時定数 FAST で測定した。測定結果については、周波数分析器 SA01 を用いて走行時の騒音レベルピーク値を求めるとともに、そのピーク値における 20 Hz から 10 kHz の範囲の 1/3 オクターブバンド分析を行った。

試験条件は、表 2 に示す 3 条件とし、レールと防音材との隙間距離は、外軌側、内軌側ともに 100 mm とした。また、モーターカーは、レール継目部に 20～40km/h の範囲の一定速度で惰行走行させた。

表 2 モーターカー走行試験における試験条件

試験 No.	試験条件
現状レール	継目用防音材の設置無し
1	内・外軌側ともに設置
2	外軌側のみに設置

4.2 測定結果

モーターカー走行時の騒音レベルピーク値の走行速度依存性を図 11 に示す。図は、表 2 における試験 No.1 の結果を示す。

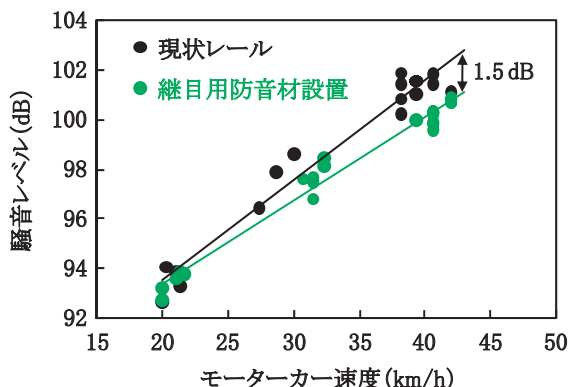


図 11 騒音レベルピーク値の走行速度依存性

測定結果より、継目用防音材の騒音低減量は速度依存性を有し、速度約 40 km/h で防音材の騒音低減効果が有意であることが認められた。一方、その低減量は 1～2dB 程度であり、騒音低減量の目標値とした 3dB には及ばなかった。低減量が速度依存性を有していたことおよび低

減量が小さかった理由について、騒音レベルピークにおける 1/3 オクターブ分析結果と併せて考察する。

図 12 に速度約 40 km/h における騒音レベルピークの 1/3 オクターブバンド分析結果を、図 13 に現状レールにおける騒音レベルピークの 1/3 オクターブバンド分析結果を示す。

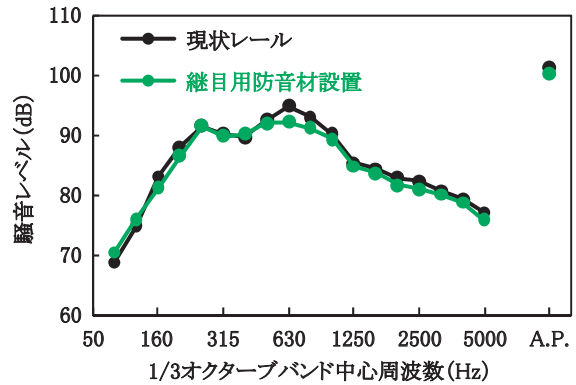


図 12 速度 40km/h における 1/3 オクターブバンド分析

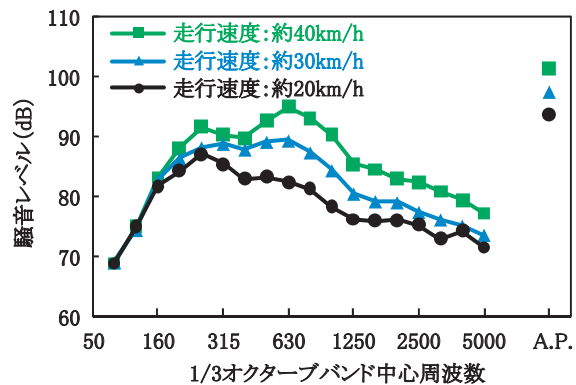


図 13 現状レールの 1/3 オクターブバンド分析

図 12 より以下のことが認められた。

- ① 現状および防音材設置時ともに騒音は 250 Hz 付近と 500 Hz～1 kHz の付近の 2 つのピークを有する。
 - ② 500 Hz～1 kHz 付近のピーク周辺では防音材による騒音低減効果が明確で、1 kHz 付近において約 2.5 dB の騒音レベルの低減が認められた。
 - ③ 250 Hz 付近のピークを含め、500 Hz 以下の範囲では防音材による騒音低減量は小さい。
- ① で述べた 2 つのピークについて、過去の測定事例¹⁾、³⁾ を参考にすると、500 Hz～1 kHz 付近のピークはレールからの放射音の寄与が大きく、250 Hz 付近のピークはまくらぎ等のレール以外の部位からの放射音の寄与が大きいものと考えられる。継目用防音材はレールからの放射音に対して低減効果を有するが、その他の部位からの放射音に対する効果は小さい。したがって、500 Hz～1 kHz 付近で防音材による騒音低減効果が大きかった一方で、250 Hz 付近の成分値も大きいため、レベル値（全帯域値）としての騒音低減量が小さくなったものと推察される。

騒音低減量の速度依存性について、図 13 に示す現状

特集：材料技術

レールの1/3オクターブバンド分析結果から、走行速度が低速の場合は、250 Hz付近のピークが大きく、速度の増加に伴って500 Hz~1 kHz付近のピークが増加する傾向が認められたことから、速度の増加に伴ってレールからの放射音の寄与が大きくなるものと推定され、騒音低減量に速度依存性が生じたものと考えられる。

図14に、現状レールおよび継目用防音材を外軌側のみに設置した場合、内・外軌両側に設置した場合の騒音レベル値の比較を示す。図は走行速度約40 km/hでの騒音レベルピーク値をパワー平均したものであり、図中の試験No. は表2における試験No. に対応する。

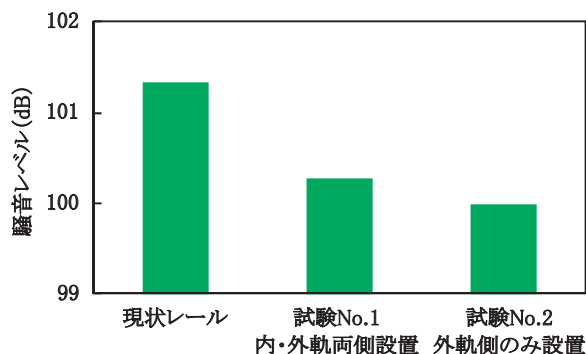


図14 各試験条件の騒音レベル値の比較

この結果、継目用防音材を外軌側のみに設置した場合の騒音低減量が内・外軌両側に設置した場合よりもわずかなではあるが大きな値を示した。これは、衝撃加振試験結果と一致するものといえる。

以上、モーターカー走行試験の結果から、今後の実用化に向けた検討課題として以下のことが抽出された。

- ① 本試験は、バラスト軌道で実施したが、スラブ軌道における騒音低減効果についても検討する。
- ② 本試験では、防音材をまくらぎに固定したが、車両通過時にレールとともにまくらぎも振動し、その振動が防音材に伝達された可能性がある。したがって、バラスト軌道における防音材の設置については、その固定方法についても検討する。
- ③ 防音材による騒音低減効果の少なかった250 Hz付近の騒音発生源を推定し、その対策について検討する。
- ④ 防音材の設置条件（内・外軌両側に設置または外気側のみに設置）による騒音低減効果の違いについて詳細に検討し、設置条件を適正化する。

5. まとめ

絶縁継目等のレール継目部からの発生騒音に対し、簡易な施工で有効な騒音低減性能を有することを目的として継目用防音材を設計・試作した。試作した継目用防音

材の振動・防音特性を評価するために日野土木実験所の試験軌道において衝撃加振試験およびモーターカー走行試験を行った結果、以下の知見を得た。

- (1) スラブ軌道における衝撃加振試験の結果、レールを加振した場合でも継目用防音材外層の振動は、レール振動と比較して非常に小さく、防音材自体が振動して音源となる可能性は小さいことが認められた。
- (2) バラスト軌道におけるモーターカー走行試験の結果、継目用防音材の設置により、レール近傍点での騒音レベルの低減が認められた。
- (3) 騒音レベルの低減量は車両速度に依存し、速度が高いほど低減量が大きくなった。
- (4) モーターカー走行試験における騒音レベルの低減量は、走行速度40 km/hで約1.3 dB程度であった。速度40 km/h未満では、目標とした3 dBの騒音低減効果は認められなかった。
- (5) 低速のモーターカー走行試験の結果から、今後の実用化に際しての検討課題が抽出された。

6. おわりに

今回試作したレール継目用防音材に対し、衝撃加振試験およびモーターカー走行試験を実施した結果、レールからの放射音に対する騒音低減効果を有するものの、目標とした値には及ばなかった。しかしながら、今回の試験結果から、今後の実用化に向けた具体的な課題を抽出することができ、2章で示した最終目標を達成できる見通しが得られた。今後は、今回抽出された課題を中心として、最終目標を達成するために材料構成や設置条件等を適正化する予定である。また、実用化する上で重要となる材料の長期耐久性等についても、上述した適正化と併せて今後検討していく予定である。

文献

- 1) 善田康雄他：現場実務者のためと設計者のための実用騒音・振動制御ハンドブック，エヌ・ティー・エス，2000
- 2) 北川敏樹，長倉清，緒方正剛；在来鉄道における騒音予測方法，鉄道総研報告，Vol.12, No.12, pp.41-46, 1998. 12
- 3) 間々田祥吾，半坂征則，佐藤潔，澤田淳也，釣田英利：レール防音材の開発，第16回環境工学総合シンポジウム2006講演論文集，pp.81-84, 2006
- 4) 間々田祥吾，半坂征則，佐藤潔，鈴木実：遮音機能を有するレール防音材の開発，鉄道総研報告，Vol.21, No.2, pp.27-30, 2007.2
- 5) 半坂征則，御船直人：無機質粒子結合型吸音材「オトメイト」の吸音特性，鉄道総研報告，pp.37-42, 1997.6