

# レール継目用防音材の性能向上

半坂 征則\* 間々田 祥吾\* 太田 達哉\* 佐藤 大悟\*

## Improvement of Noise Insulation Material for a Rail Joint

Masanori HANSAKA Shogo MAMADA Tatsuya OHTA Daigo SATO

We developed a noise insulation material to reduce the noise around a rail joint. However, as a result of the measurement conducted at a commercial line, it is revealed that its performance of noise reduction is insufficient especially because that of the reduction of the noise generated by sources other than the rail is a little poor. Consequently we have improved the material and decided to use two sorts of materials together with the original material; one is a sound absorptive material for the railway track, the other is a rail insulation material for the usual rail. As a result of the measurement at the same point as the previous measurement, it is found out that the materials have sufficient performances to reduce the noise level by about 3dB around the rail joint.

キーワード：騒音，レール継目，防音材，無機質材

### 1. はじめに

鉄道軌道では“継目”と称されるレールの不連続箇所が存在するが，その上を車両が通過すると概して継目部以外の一般区間より大きな騒音が発生する。特にロングレール区間における絶縁継目（鉄道の信号システムを構成するために軌道を一定区間で電氣的に区切る継目）ではそこの騒音が車両高速化の制約となるケースが増えつつある。

こうした継目部に対する従来の騒音対策はいずれも防音壁を設置するなどの大規模施工を伴うか，レール削正などを継続的に実施することが必要な対策であって，簡単に施工できる恒久的対策は見出されていない<sup>1)</sup>。一方，一般区間に対してはレール周辺に吸音・遮音材料を設置することによりレール／車輪間騒音を低減することができる知見を得ている<sup>2)</sup>。このことを応用して，本研究の第1段階として，継目用防音材を試作した（以下，前試作品とする）<sup>3)</sup>。この防音材はアルミ製の支持材の上面に厚さ50mmの防音パネルを貼付したものであるが，在来線の電化複線区間で効果検証試験を行った結果，その騒音低減効果が目標値に達しないことがわかった。

効果検証試験データ等を解析した結果，前試作品の性能不足の原因として，上面の防音パネルの吸音性能が不十分であったことや長さが不十分であったことなどが考えられた。これらを踏まえ，継目用防音材の改良を行うとともに，さらなる騒音低減性能の向上を目指して，軌道面吸音材<sup>4)</sup>および一般用レール防音材<sup>2)</sup>を併用することとした。

以上の3種類の材料について上述と同じ箇所でも効果検証試験を行った結果，電動(M)車通過時，付随(T)

\* 材料技術研究部 防振材料研究室

車通過時ともに，レール近傍点で3dBあるいはそれ以上の騒音低減が得られた。以下に，これらの材料の開発経緯と効果検証試験の概要について報告する。

なお，上述のニーズを考慮して継目用防音材は当面，絶縁継目部を主な対象としている。したがって，以下，「継目」は原則として「絶縁継目」を示すこととする。

### 2. 継目用防音材の構造と材料構成

#### 2.1 継目用防音材の性能条件

継目部の状況を考慮すると，継目用防音材で要求される条件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) 軌道のメンテナンスに対応した構造とすること。

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）レールや継目部材を目視点検するなどのメンテナンス作業が実施されている。このため，継目用防音材ではこうした基本的なメンテナンス作業の支障にならない構造とすることが必要である。

- (3) 高い防音性能を有すること。

当面の目標として，レール近傍点（近接側軌道中心から約2m離れ，レールレベル上約45cm）で騒音が3dB低減することとする。

- (4) 電気絶縁性を有すること。

継目部の電気特性に支障を与えない程度の電気絶縁性を有する必要がある。

- (5) 一定の強度を有すること。

レール周辺では，頻繁に保守作業者が通行するため，本材料上に保守作業者が乗る場合も想定される。した

特集：材料技術

がって、本材料は、少なくともその上に人が乗っても壊れない程度の強度を有する必要がある。当面の目標として2kNの集中荷重に耐えることとする。

(6) 長期耐久性を有すること

一般に、軌道敷設物は長期間（標準的に10年間以上）敷設することが求められる。従って、屋外での長期使用に耐え得る耐久性を有する必要がある。

2.2 前試作品の構造

以上の要求事項を考慮して作製した前試作品の構造を図1に示す。前試作品の構造は次の特徴を持っている。

- ① アルミ（厚さ約10mm）をT字型に接合した支持材の上面に厚さ約50mmの吸音パネルを設置した。
- ② 支持材の上面板を雨水の排水のために少し傾けた。
- ③ 支持材は3つの部品からなり、それらをベークライト板を介して接合した。
- ④ 防音材中央部の内側の空間に可能な限りグラスウールを詰め込んだ。
- ⑤ 防音材はレール（頭部軌間外側の面）から約150mmの位置に設置する構造とした。
- ⑥ 防音材の長さは約1.4mとした。
- ⑦ 防音材は支持プレートを介してレールに取り付ける構造とした。

①について、支持材にアルミを用いたのは防音材に高い遮音性能と強度が要求されるためである。その上に設置した防音パネルは主として吸音を目的としたものであるが、その厚さ50mmは軌道面吸音材の値に準じた。一般に鉄道沿線では1kHz付近の騒音値が高いが、軌道面吸音材ではこれを考慮して厚さを標準的に50mmとしている。一般に、厚さ50mmの多孔質吸音材は1kHz付近に吸音性能のピークを有する<sup>5)</sup>。

支持材はアルミ製であるが、③の方法で継目部間の電気絶縁を確保した。

⑤は、性能条件(2)を考慮したものである。これにより、防音材を設置したままでレール点検等の基本的なメンテナンス作業が実施可能となる。継目部でのメンテナンスに対応する方法として防音材上面板部の一部を開閉可能な構造とする案も検討したが、列車走行時等非メンテナンス時には強固に固定されている一方でメンテナンス時には簡単に開閉できる構造が見出せなかった。なお、レールと防音材との距離150mmは、メンテナンスに対応する制約の中で、レール近傍点の騒音に対する防音材の低減性能が最大級になる位置を鉄道総研日野土木実験所（以下、日野実験所とする）での予備試験（衝撃加振試験）により選定した結果に基づく。

⑥は、継目部で発生する騒音が継目近傍で局在するとした場合、十分と考えられた長さである。

防音材の設置方法として、まくらぎや軌道スラブ等の

地上敷設物にアンカーボルトなどを介して固定する方法も考案したが、試験の協力を得た鉄道事業者の意向も考慮し、地上敷設物を穿孔しない方法として⑦の方法を考案し、適用することとした。この場合、レールと支持プレートとの間を十分に振動絶縁しないとレールの振動が防音材に伝わり、それに伴って放射音が発生して騒音低減性能を減じることになる。したがって、レールと支持プレートとの間に振動低減に実績のある15MN/mタイプの軌道パッドを挿入した。効果検証試験において改良品支持材の振動がレールより20dB以上小さく、防音材に振動が伝わって騒音低減性能に支障を与えることはないことを確認している。また、この軌道パッドは防音材の電気絶縁性を補強する機能も果たす。

なお、本研究の初期段階で前試作品とも異なる構造の前試作品（初期品とする）を作製し、その性能を検証している<sup>6)</sup>。初期品は金属材料を用いず無機質材を逆L字型に成型したものであるが、効果検証試験の結果、騒音低減性能が同品でも十分とはいえなかった。このため、材料の騒音低減性能を向上させるために材料の遮音性能を向上させることが必要と考え、部分的に金属材料を適用した前試作品を作製した。

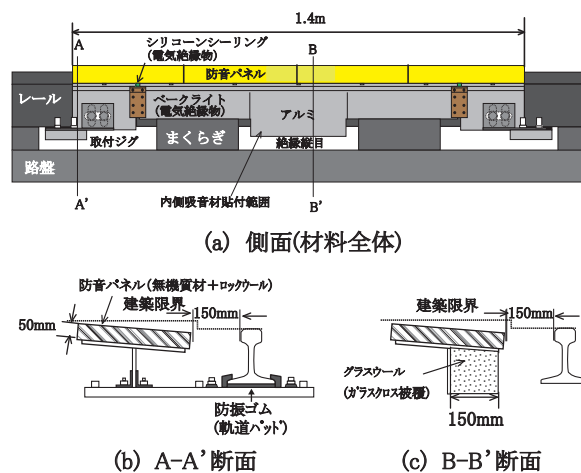


図1 前試作品の構造

2.3 前試作品の性能評価

前試作品について、在来線の弾性直結スラブ軌道の電化複線区間（直線、ほぼ平坦）の接着絶縁継目箇所では効果検証試験を行った。同試験において、前試作品は軌間外側のみ設置した。これは予備試験において継目用防音材を軌間内側にも設置する効果が明確には認められなかったためである。その一方で、軌道内側には吸音による騒音低減性能効果の向上を期待して、軌道面吸音材<sup>4)</sup>を5個設置した。軌道面吸音材は7号砕石（粒径1～5mm程度）を適度な目荒さで織り込んだポリエステル製袋に詰め込んだものである。また、騒音測定点はレール近傍点とした。同試験の結果の一例を図2に示す。図

中、継目用防音材（前試作品）は「継目用」、軌道面吸音材は「吸音材」と略称する。

この結果、電動（M）車通過時において、前試作品と軌道面吸音材を併用しても、車両速度 105km/h 付近の代表車種についてパワー平均した値で約 1.0dB の騒音低減にとどまり、目標（3dB の騒音低減）を満足しないことが確認された。

効果検証試験やその他の性能試験のデータを解析した結果、前試作品の性能不足の原因として、主として以下のことが考えられる。

- (1) 複数の継目部の騒音測定を行った結果、継目部では 500Hz ~ 1kHz の、当初想定したより低周波の範囲で値が大きいことがわかった。この周波数範囲に対して、前試作品の吸音性能が不十分であった。
- (2) 継目部でも、想定した以上に車両機器音等レール以外の音源による寄与が大きく、それに対する低減性能が不十分であった。
- (3) 継目部でも、想定した以上にレールの長手方向の放射音の寄与が大きく、それに対する低減性能が不十分であった。

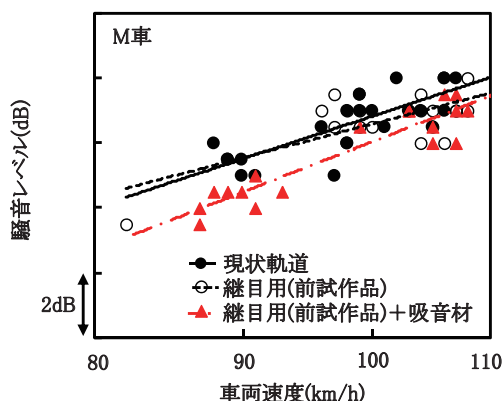


図2 前試作品の効果検証試験結果例

## 2.4 改良品の構造

以上のことを踏まえ、材料の改良を行った（以下、改良品とする）。その構造を図3に示す。改良の要点は次のとおりである。

- ① 上面に貼付する防音パネルの厚さを約 100mm とした。
- ② 防音パネルの線路方向幅を約 500mm に拡大した。
- ③ 支持材の形状をより構造的に安定したπ型とした。
- ④ 内側の吸音材は使用しないこととした。
- ⑤ 防音材を全部で5つの部品を連結した構造とし、全長を約 5.2m とした。

なお、防音材をレールから約 150mm の位置に設置すること、部品連結部（一部）にベークライト板を導入することにより防音材としての電気絶縁を確保すること、支持プレートを介してレールに固定することなどについては前試作品の構造を踏襲している。

- ①に関して、改良品で適用した防音パネルは、粒径が

1 ~ 5mm 程度のケイ砂を少量（4wt%程度）のエポキシ樹脂で結合した吸音材（以下、無機質材<sup>5)</sup>と称する）を枠型に成型した中にグラスウールを封入したものである。無機質材を使用した理由は、同材が吸音材としては良好な電気絶縁性と耐久性および高い強度を持つためである。内部のグラスウールは軽量化および吸音性能の向上を図るために適用した。また、遮音性能を付与するためにアルミ板（厚さ約 3mm）を無機質材の4側面に貼付した。ただし、レール側の面ではレール放射音を吸音するために、約 60mm × 約 80mm の角状孔を開口率約 55% で設けてある。

改良品では防音パネルの厚さを約 100mm としたが、これは、500Hz ~ 1kHz 付近の吸音性能を向上させるための改良である。一般に、繊維系吸音材では厚さの増加に伴って吸音性能の高い範囲が低周波側に拡大する。その中で、厚さ約 100mm のグラスウールは 500Hz ~ 1kHz の範囲に対しても吸音率 0.9 以上の良好な吸音性能を持つことが確認されている<sup>7)</sup>。

②はレール以外の音源による騒音に対する性能向上のため、吸音材の面積を拡大したものである。

③について、支持材の形状をπ型とするのに伴い上面板は水平となったが、屋外使用の吸音材の実績等を再調査した結果、上面板を傾斜させなくても適度な水抜け穴を設けることで排水は可能であると判断した。

④は予備試験の結果、内側の吸音材の効果が不明確であったことも考慮している。

⑤の長さ 5.2m は、継目部でも騒音が一様に分布すると仮定した上で防音材長さとして十分な値を求めたものである。

改良品も建築限界を満たしている。メンテナンスに対しては改良品もレールから離して設置することで対応している。

材料の電気絶縁性能について、効果検証試験において改良品設置後も継目部の電気絶縁状態に明確な変化がないことを確認した。

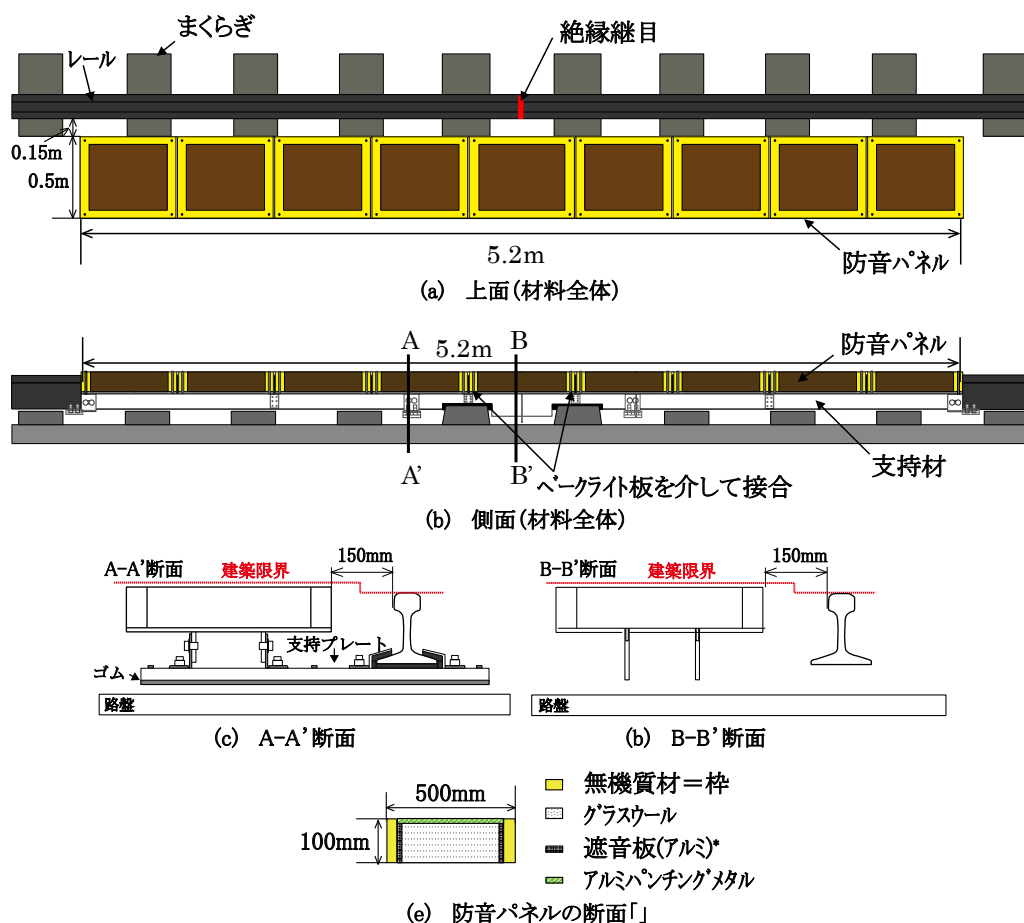
強度については、有限要素法による静荷重解析を行って支持材中央点等に 2kN の集中荷重を作用させても支持材が破断しないことを推定するとともに、実際に改良品上に成人男子が 3 名乗って壊れないことを確認した。

また、耐久性について検証すべきは無機質材であるが、60W/m<sup>2</sup>・2000 時間の紫外線暴露による促進耐候性試験等の 10 年程度の屋外使用条件に相当する試験を行い、良好な耐久性を持つことを確認している<sup>5)</sup>。

## 2.5 騒音低減性能向上のための併用試験品の検討

さらに、一層の騒音低減性能の向上を目指して、改良品に加えて次の2種類の試験品も併用することを検討した。

- (a) レール以外の音源の騒音に対する性能を高めるために、軌間内側および防音材の外側に軌道面吸音材を設置する。



\*) 本図は防音パネル内部の断面を示すもので、無機質材とグラスウールの境界面では遮音板を貼付してある。

図3 改良品の構造

(b) レール長手方向の騒音に対する性能を高めるために、改良品の前後に一般用レール防音材<sup>2)</sup>を設置する。

(a) は前試験と同様に、7号砕石を袋詰めしたものをを用いる。ただし、軽量化のために一部ゴム粉を混入することとした。ゴム粉を混入しても袋全体の吸音率は高い水準を保持することを確認している。ゴム粉は廃軌道パッドを粉碎したのもも使用可能である。全部7号砕石を用いると1袋(約400mm×約300mm×約100mm厚)当り22～25kgとなるのに対して、ゴム粉を重量比で40%程度混入することにより約15kgとなった。また、試験では、すべての袋について400mm長を線路直角方向とし、軌間内側に2列、改良品の外側に1列に、各列17個(約5.1m)設置した。

(b) は一般区間用に先行開発したもので、内側に発泡エチレンプロピレンゴム(厚さ約30mm)、外側に亜鉛めっき鋼板(厚さ約1mm)を積層した構造からなり、2体1組でレールの腹部と底部を被覆する。継目部では様々な干渉物があるなど

の理由から一般用レール防音材は設置できない一方で、継目部から離れた箇所では設置可能で、継目用防音材をさらに長くするより低コストである。また、過去の測定実績等<sup>1) 2)</sup>を考慮すると、継目部から離れた(目安として2m以上)箇所からの騒音に対しては一般用レール防音材でも対応可能と考えられる。一般用レール防音材の敷設距離は改良品の前後ともに10m程度とした。

以上の3種類(継目用防音材改良品、軌道面吸音材、一般用防音材)の試験品の軌道への設置状況を図4に示す。図4では前試作品の状況も併せて示した。

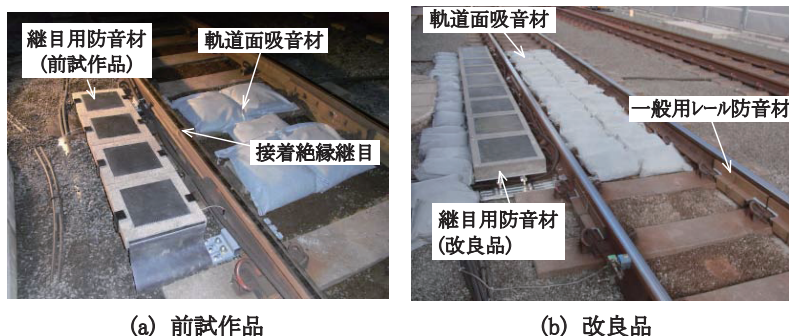


図4 試験品の設置状況

### 3. 衝撃加振試験による性能評価

前試作品と改良品の騒音低減性能を比較するために、日野実験所で衝撃加振試験を行った。ただし、同所では試験に適したスラブ軌道上の継目箇所が現存しないため、有道床軌道上の一般レールで実施した。この方法でも、レール放射音に対する防音材の性能を相対比較するには有効であると考えられる<sup>2) 3)</sup>。

試験方法は以下のとおりである。大型のインパルスハンマー 086D50 型 (PCB ㈱製) を用いてレール頭頂面を鉛直に加振したときのレール近傍点の音圧を測定した。衝撃加振試験では測定値を加振力で正規化した周波数応答関数を求めるが、100Hz～5kHz の範囲の値を総和し対数演算した上で、現状軌道の値から試験品設置後の値を引いた値を騒音低減量とみなした。

加振点は、継目位置を仮想した防音材の中央付近およびそこから 1m 離れた点とした。これ以上離れた箇所を加振した場合には現状軌道でも騒音値が顕著に低くなるため、加振点位置は上記の範囲とした。

試験結果を図 5 に示す。図中の加振点位置は、加振点位置と防音材中央との距離を示す。この結果、改良品の騒音低減は前試作品と比べて、加振点位置 0m のときには約 1dB、加振点位置 1m のときには約 4dB 大きく、改良品において騒音低減性能が向上していることが確認できた。

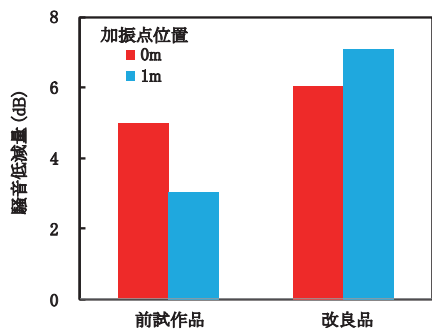


図 5 衝撃加振試験結果—騒音低減量—

### 4. 改良品の効果検証試験

以下に、改良品の効果検証試験の概要について述べる。

#### 4.1 測定の概要

測定箇所は前試作品の試験と同じ箇所とした。本試験でもレールや防音材等の振動加速度も測定しているが、本稿ではレール近傍点における騒音の結果について述べる。騒音は普通騒音計 NL21 (リオン㈱製) 等を用い、時定数 Fast, 周波数重み付け特性 A で測定した。多チャンネル分析処理器 SA-01 (リオン㈱製) を用いて全車両について M 車, T 車の通過時ごとに騒音レベルのパワー平均値 (以下、この値をレベル値とする) を求めると

もに、代表車種の選定車両 (5 本) に対して 1/3 オクターブバンド分析 (以下、周波数分析とする) を行い、各バンドごとにパワー平均値を求めた。解析範囲は、レベル値解析, 周波数解析ともに、原則として、M 車について 2 両目の後位台車～3 両目の前位台車, T 車について 4 両目の後位台車～5 両目の前位台車の通過時とした。

#### 4.2 測定結果

図 6 にレール近傍点の騒音レベル値の測定結果を示す。図中、一般用レール防音材は「一般用」と略称する。この結果、M 車, T 車ともに、いずれの試験品についても設置後の騒音低下は有意であることが確認された。試験品設置に伴う騒音低下量は試験品の種類の増加に伴い増加する。また、いずれの試験品の騒音低減量も 80～110km/h の範囲でほぼ一定の値を示している。

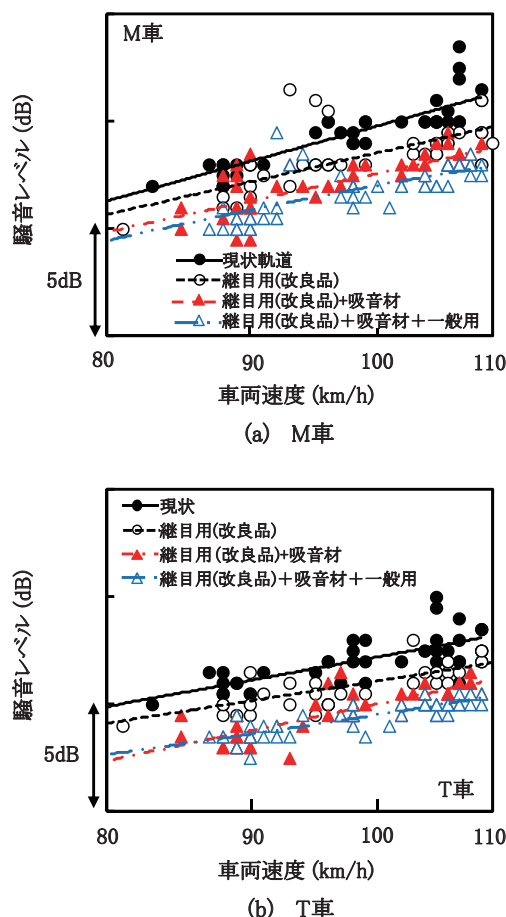


図 6 効果検証試験結果—騒音レベル値—

図 7 に、M 車についてレール近傍点の騒音の周波数分析結果を示す。この結果、いずれの試験品においても設置後の騒音の低下は有意であること、および騒音の低下量は試験品の種類の増加に伴い概ね増加することが周波数特性でも確認できた。また、いずれの試験品でも騒音の低減量は現状での騒音の値が大きい 250Hz～3.15kHz の範囲で大きい。T 車でも同様の傾向を示すこ

特集：材料技術

とを確認している。

図8に、105km/h付近の代表車種の試番について騒音レベル値をパワー平均した結果を示す。この図により、騒音の低下量は試験品の種類の増加に伴い増加することが定量的に示された。そして、3種類の試験品の設置により、M車で約3dB、T車で約3.5dBの騒音低下が確認できた。80km/h以上の全車種の値をパワー平均した場合でも、M車、T車ともに騒音の低減量は3dB程度であることを確認している。

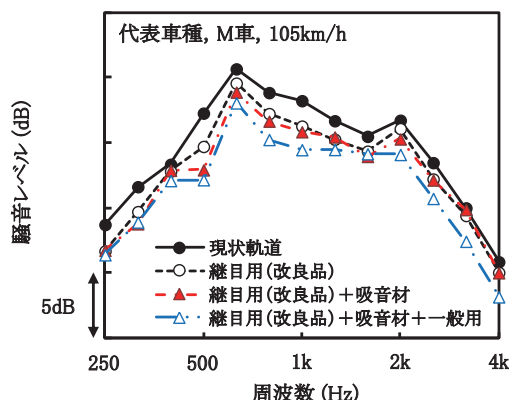


図7 効果検証試験結果  
—騒音の周波数特性（M車）—

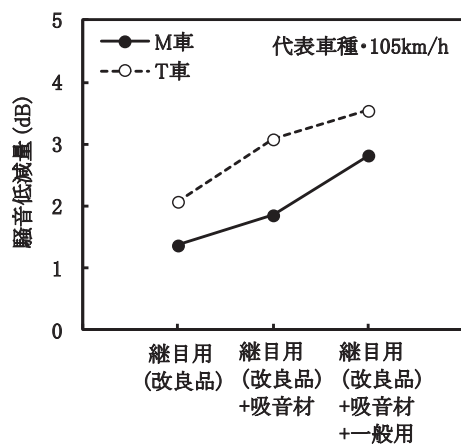


図8 効果検証試験結果—各試験品の騒音低減量—

## 5. 結論

主としてロングレール区間の絶縁継目を対象に、大規模施工を伴わず簡単に施工できるレール継目用防音材（継目用防音材）の開発を行っているが、先の試作品（前試作品）では営業線で十分な騒音低減効果が得られなかった。その性能解析に基づき材料の改良を行った上で、同じ箇所で効果検証試験を行った結果、以下の知見を得た。

(1) 前試作品の性能解析結果を踏まえ、継目用防音材

の改良を行った。日野土木実験所で衝撃加振試験を行った結果、改良品の騒音低減性能は前試作品より1～4dB高いことが確認できた。

- (2) 継目部での騒音低減性能向上のために、車両機器音等のレール以外の音源による騒音とレール長手方向の騒音を低減することが必要であることが推定された。このことを考慮して、改良品に加えて、前者に対する対策として軌道面吸音材、後者に対する対策として一般用防音材を併用することとした。
- (3) 効果検証試験の結果、M車、T車通過時ともに3種類（継目用防音材改良品、軌道面吸音材、一般用防音材）の試験品のいずれも有意な騒音低減性能を持つことが確認できた。また、騒音低減量は試験品の種類の増加に伴い増加することが確認できた。
- (4) 効果検証試験の結果、3種類の試験品の設置により、レール近傍点における騒音についてM車で約3dB、T車で約3.5dB低減することが確認された。

## 謝辞

3種類の騒音対策材料の開発および評価において、ニチアス(株)および東京急行電鉄(株)の協力を得た。末筆ながら謝意を表す。

## 文献

- 1) 善田康雄他：音の環境と制御技術，フジ・テクノシステム，p.888，2000
- 2) 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
- 3) 間々田祥吾，半坂征則，佐藤潔，太田頭：レール継目用防音材の性能評価，2012環境工学シンポジウム講演論文集(CD-ROM)，2012
- 4) 半坂征則，久保村公一，安藤勝敏，明園桂一，小西俊之：低廉型軌道吸音材の開発試験，鉄道総研報告，Vol.10，No.2，pp.17-22，1996
- 5) 明園桂一，半坂征則，安藤勝敏，御船直人，森藤良夫：軌道面吸音材の開発，鉄道総研報告，Vol.8，No.6，pp.49-53，1994
- 6) 間々田祥吾，半坂征則，佐藤潔，鈴木実：メンテナンス性を考慮したレール継目用防音材の開発，鉄道総研報告，Vol.23，No.6，pp.23-28，2009
- 7) 日本音響材料技術協会：騒音対策ハンドブック，技報堂，p.536，1961