

1608 実用型レール継目用防音材の材料構成と評価

正 [機] ○間々田 祥吾 (鉄道総研) 正 [機] 半坂 征則 (鉄道総研) 佐藤 大悟 (鉄道総研)

正 [機] 佐藤 潔 (鉄道総研) 太田 顕 (ニチアス株式会社)

Composition of Materials and Evaluation of Practical Type of Rail Noise Insulating Material for Rail Joint

Shogo Mamada, Railway Technical Research Institute, Hikari-Cho 2-8-38, Kokubunji-shi, Tokyo

Masanori Hansaka, Railway Technical Research Institute

Daigo Sato, Railway Technical Research Institute

Kiyoshi Sato, Railway Technical Research Institute

Akira Oota, NICHIAS Co.

The impact noise at rail joints generated due to a wheel passing is one of the main elements of the rail rolling noise. Therefore, a countermeasure effective against noise mitigation and easy to install is requested. A new countermeasure material against the impact noise at rail joints that is named "Noise Insulating Material for Rail Joint" has been prototyped. This prototype consists of two layers. One layer on the inside is a sound absorbing material that is composed of bounded inorganic particles, and the other layer on the outside is a sound insulating material that is sound insulating plate such as plastic. As the results of impact tests and track motorcar tests executed at the rail joints in Hino civil engineering testing station, it has been revealed that the prototype is effective for reducing the noise radiated from the rail joints.

Key Words: Rail joint, Noise insulating material for rail joint, Impact test, Track motorcar test

1. はじめに

レール継目では、レールとレールの不連続点の上を車輪が通過するため、一般区間と比較して大きな騒音が発生し、その対策が課題となっている^{1), 2)}。

筆者らは、これまでに一般区間にレール防音材(以下、一般用防音材と称する)を開発し、レール周辺に吸音材料と遮音材料を設置することにより、レール近傍に伝搬する転動音を低減できることを確認した^{3), 4)}。この一般用防音材の知見を参考に、レール継目に適用できる防音材の開発に資する基礎検討として、吸音材料と遮音材料をレール継目周辺に配置した新たな構造の防音材(以下、レール継目用防音材と称する)を試作した。この試作品について、室内での衝撃加振試験を実施した結果、レールからの放射音に対して低減効果を有することを前報で報告した⁵⁾。

そこで、前報の試作品(以下、前試作品と称する)での結果を踏まえ、特に騒音対策が求められているロングレール区間の絶縁継目を対象として、実際の軌道に適用できるレール継目用防音材の開発を目指し、実用上の制約に適すると想定される吸音材料と遮音材料を用いて、新たな試作品を作製した。本報告では、新たな試作品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験線のレール継目で実施したインパルスハンマーによる衝撃加振試験結果および試験車両通過時の騒音測定結果について報告する。

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に求められる要求性能

実用環境においてレール継目用防音材に求められる要求性能としては以下のことが挙げられる。

- ① 建築限界を満たす構造であること。
- ② レール継目のメンテナンスに支障しないこと
レール継目では頻繁に(大都市線では、標準的に2週間に1度程度)外観を目視検査し、必要に応じて継目板固定ボルトを増し締めするなどのメンテナンス作業が実施されており、防音材の設置後もこれらの作業に対応できる構造が求められる。
- ③ 絶縁継目の機能に支障しないこと。
絶縁継目の電気特性に影響しないことが求められる。
- ④ 使用中に想定される外力で破壊されないこと
レール周辺では頻繁に保守作業者が通行するため、作業者が防音材の上に乗ることも想定される。したがって、少なくとも作業者が乗った場合でも壊れない程度の強度を有する必要がある。
- ⑤ 長期耐久性を有すること
材料コストの低減や保守省力化の観点から、軌道敷設物に対しては長期間(最低でも10年間)の敷設が求められており、防音材にはそれに耐える耐久性が求められる。
- ⑥ 防音性能を有すること
要求性能①~⑤を満たした上で、一般用防音材の騒音低減効果^{3), 4)}と同様に、レール近傍で3 dB以上の騒音低減が求められる。

2.2 レール継目用防音材の構造

要求性能①および②については、前試作品の構造で満足されるため、新たな試作品(以下、本試作品と称する)の構造については前試作品と同様のものとした。本試作品の構造を図1に示す。

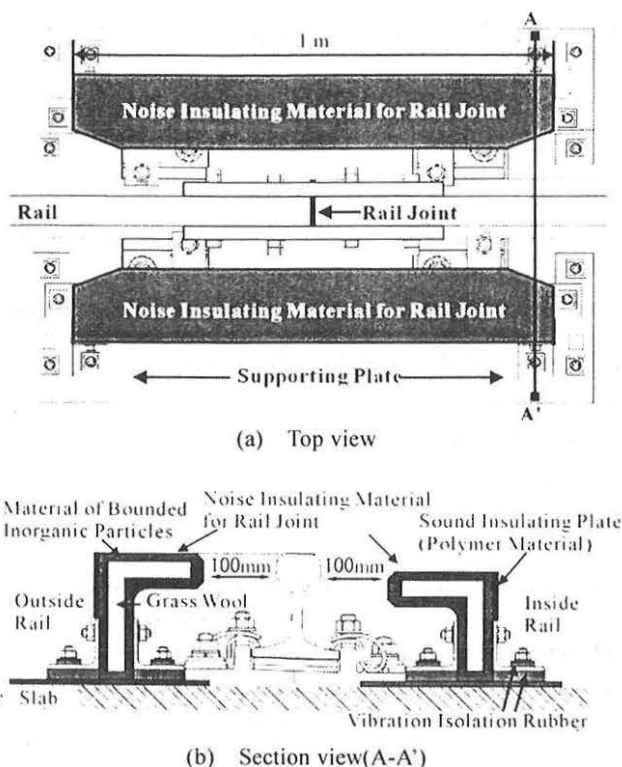


Fig. 1 Structure of noise insulating material for rail joint

2.3 レール継目用防音材の材料構成

前試作品の材料構成（内層：グラスウール、外層：制振鋼板）では要求性能③～⑤を満足できないため、新たにそれらを満足する材料を検討した。その結果、内層の吸音材料に無機質粒子結合材、外層の遮音材料に高分子材料（本試作品ではその中でも比較的耐候性に優れたアクリルを選定）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る。本材料は厚さを50 mmとした場合、吸音率の極大値が転動音の主な周波数成分である1 kHz付近となることを確認しているため、本試作品での厚さについても50 mmとした⁶⁾。さらに、本試作品では、吸音性能の向上および材料の軽量化を目的として、無機質粒子結合材の内部にグラスウールを封入した（図1(b)）。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）を組合せた場合の垂直入射吸音率を示す。

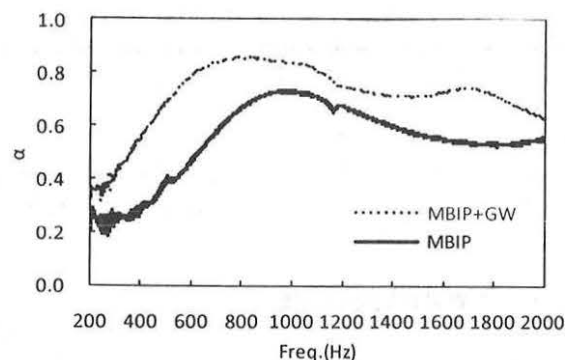


Fig. 2 Sound absorption coefficient at normal incidence (α) of MBIP (Material of Bounded Inorganic Particles) and MBIP+GW(Grass Wool)

図2より、無機質粒子結合材のみの場合1 kHz付近に吸音率極大値を有することが認められた。また、グラスウールと組合せることにより、全周波数帯で吸音率が向上し、特に低周波側（1 kHz以下）で顕著に向上することを認めた。

3. 衝撃加振試験

鉄道総研の日野土木実験所における試験スラブ軌道のレール継目でインパルスハンマーを用いた衝撃加振試験を実施した。

3.1 試験方法および試験条件

レール継目用防音材を設置していない場合および設置した場合について、インパルスハンマーPH61（リオン製）を用いてレールを加振した。インパルスハンマーの加振点は、レール継目近傍の頭頂面中央付近とし、加振方向は鉛直方向とした。測定対象は、加振力、加振レールおよび防音材外層の振動加速度および放射音とした。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NL21（いずれもリオン製）により測定した。

振動加速度の測定点は、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の外層中央V2とした（図3）。また、放射音測定点は、継目中央における軌道中心から2 m離れた位置で、高さの異なるS1およびS2の2点とした（図3）。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に設定されてきたものである。

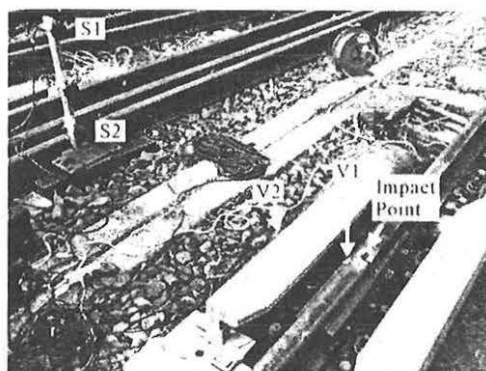


Fig. 3 A photo of impact test

加振力、振動加速度、放射音は、いずれも分析器SA01（リオン製）を用いて周波数重み特性FLAT、時定数FASTで収集した。振動加速度および放射音ともに時間波形を解析したが、放射音については周波数解析も行い、周波数応答関数FRF（Frequency Response Function）を求めた。FRFの解析周波数領域は、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、FRFの結果はdB値で求めたが、その基準（0 dB）を 2×10^{-5} Pa/Nとした。また、FRFの結果については、現状レール、防音材設置ともに10回加振した際の算術平均値を求めた。

3.2 試験結果

振動加速度の時間波形を図4に示す。ただし、図は、振動加速度を加振力の最大値で正規化した値を示す。

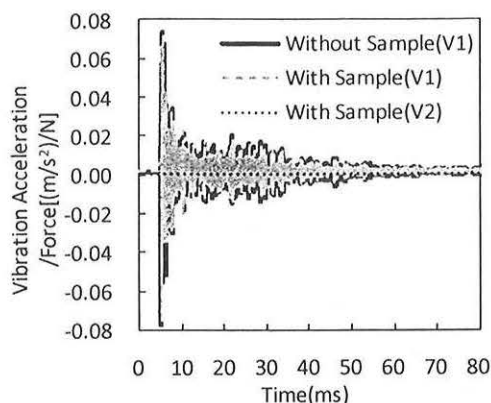


Fig. 4 Time waveforms of vibration acceleration at points V1 and V2

防音材設置前後のレール底部の同部位 (V1) における振動加速度を比較すると、その差は小さく、防音材の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) の振動と比較して顕著に小さいことが認められた。この結果は、もとも軌道パッド等の介在によりレールから軌道スラブに伝達される振動量が減じられるうえに、防音材を防振支持したために防音材における振動が一層減じられたためと考える。この結果より、レールが振動した場合でも、防音材自体が振動して発生する放射音の影響は無視できる程度に小さいものと考えられる。

放射音 (S1) の時間波形結果を図 5 に示し、FRF の結果を図 6 に示す。ただし、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。

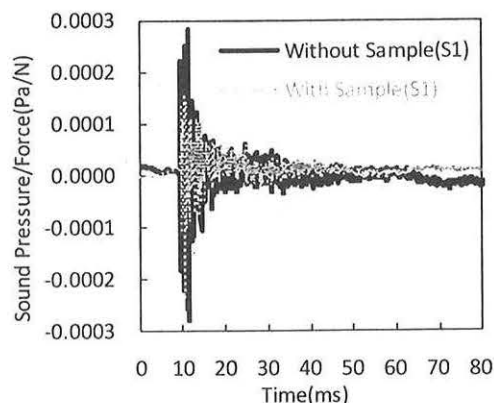


Fig. 5 Time waveforms of sound pressure at S1

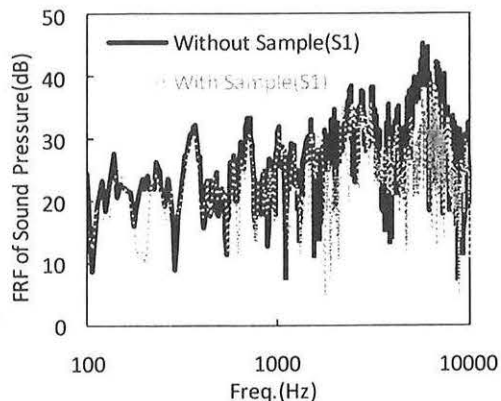


Fig. 6 FRFs of sound pressure at S1

図 5 の時間波形に示すように、放射音 (S1) 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 6 より、防音材を設置したことによる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、レール継目用防音材が主として高周波数域で低減効果を有することを示すものである。

表 1 に測定点 S1, S2 における放射音を FRF の A.P 値で比較した結果を示す。

Table 1 Test result of S1 and S2

Test Condition	S1(dB)		S2(dB)	
	A.P.	Δ	A.P.	Δ
Without Sample	65.4		66.0	
With Sample	61.1	4.3	58.1	7.9

表 1 より、S1 および S2 とともに防音材の設置前後で比較した場合、設置により放射音低減効果が認められた。一方、S1 と S2 における放射音の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大きいことが認められた。このような傾向を示した理由として、レールからの放射音において一部がレールと防音材の隙間から漏れるが、上方の受音点では音響伝搬経路における漏れ量が多く、放射音の低減量が減少するためと考えられる。

4. モーターカー走行試験

車両通過時の騒音低減効果を確認するため、鉄道総研の日野土木実験所における試験バラスト軌道のレール継目でモーターカー走行試験を実施した。同所でのモーターカー走行試験は、軌道関係材料の実用化研究において、営業線での本試験前に実施される標準的な試験法の一つである。

4.1 試験方法および試験条件

レール継目用防音材の設置前後でモーターカー走行時の騒音を測定した。モーターカー走行試験の状況を図 7 に示す。

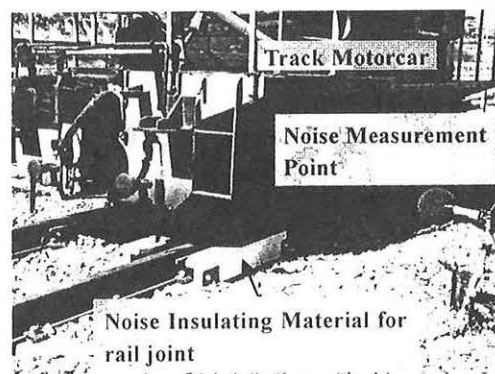


Fig. 7 A photo of track motorcar test

騒音測定点は衝撃加振試験での放射音の測定点 S1 と同じ位置とし、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、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~10 kHz の範囲の 1/3 オクターブバンド分析を行った。

モーターカーは 20~40 km/h の範囲でレール継目周辺を一定速度で惰行走行させた。

4.2 試験結果

モーターカーの走行速度と騒音レベルピーク値の関係を図8に示す。

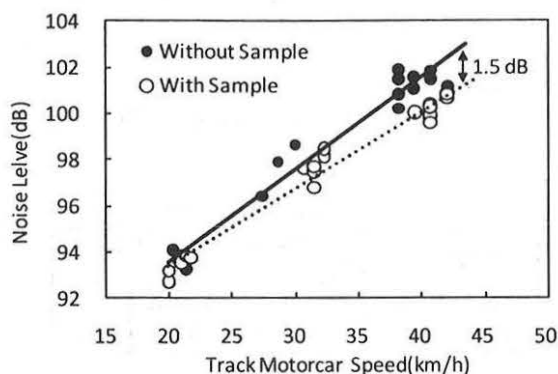


Fig. 8 Peak noise level values vs. track motorcar speed

図8より、防音材の設置による騒音低減量はモーターカーの走行速度に依存することが認められた。つまり、速度約20 km/hでは騒音低減量が小さいものの、速度の増加に伴って増加し、速度約40 km/hにおいては約1.5 dBの騒音低減が認められた。

騒音低減量が走行速度に依存した理由について、各速度における騒音の周波数分析結果などを参考にすると次のように考えられる。

一般的に走行速度の増加に伴って加振力が増加するが、まくらぎなどレール以外の部位は、小さな加振力でも振動し易い部位が多く、低速域ではこれらの部位の振動に起因する騒音の寄与が大きい。一方、速度が増加した場合、加振力が増加するため、レールの振動も大きくなり、レールからの放射音の寄与が増加する。レール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、レール継目用防音材による騒音低減量は、低速域で小さいのに対し、速度の増加に伴って増加したものと考えられる。

図9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示す。

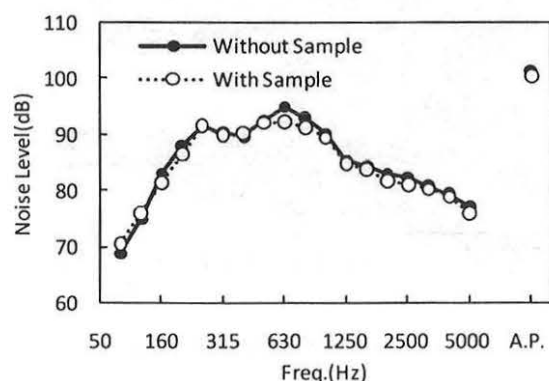


Fig. 9 Result of one-third-octave band analysis at track motorcar speed of 40 km/h

図9より、防音材の設置前後ともに騒音は250 Hz付近と500 Hz~1 kHzの2つのピークを有しており、500 Hz~1 kHzのピーク周辺ではレール継目用防音材による低減量(約2.5 dB)が明確であるのに対し、250 Hz付近のピークを含め、500 Hz以下の範囲では低減量が小さいことが認められた。

上述した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。前述したようにレール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一方で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、防音材設置による騒音低減量はレール以外の部位からの放射音の寄与の大きい250 Hz付近のピークで小さく、レールからの放射音の寄与の大きい500 Hz~1 kHzのピークで大きかったものと考えられる。

5. まとめ

レール継目から発生する騒音に対して低減性能を有する防音材の実用化を目的として、レール継目用防音材を試作した。試作品は、前報で効果が確認された構造を基本に、屋外実軌道での使用を考慮した材料を用いた。

実験線のレール継目において試作品の騒音低減効果の確認試験を実施した結果、以下の知見を得た。

- (1) 衝撃加振試験の結果、レール近傍点(近接側軌道中央から2 m 離れ・レールレベル上45 cm)においてレール継目用防音材の設置により放射音が約5 dB低減することを確認した。
- (2) モーターカー走行試験の結果、レール継目用防音材の設置による騒音低減量は走行速度に依存し、速度が高いほど低減量が大きくなることを確認した。低減量は走行速度40 km/hで約1.5 dB程度であった。
- (3) モーターカー走行試験の結果、レール放射音の寄与が大きいと推察される500 Hz~1 kHz付近においてはレール継目用防音材の効果が明確に認められる一方で、まくらぎ等その他の部位の寄与が大きいと推察される250 Hz付近においては防音材の効果は小さいことを確認した。

以上、今回試作したレール継目用防音材について、レールからの放射音の寄与の大きい条件においては騒音低減量が大きくなることを確認した。ただし、実験線では車両走行速度40 km/hしか測定できないため、今後、営業線における車両走行速度(80~120 km/h)領域での騒音低減効果の確認が必要である。また、同材料の長期耐久性の確認等、実用化に向けた研究の深度化を予定している。

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, 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
- 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, 2007.2
- 5) 間々田祥吾、半坂征則、佐藤潔、太田顕：継目用レール防音材の開発、J-Ril2008 講演論文集
- 6) 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 Vol.11, No.6, '97.6