継目用レール防音材の開発

○［機］間々田 祥吾（鉄道総研）　［機］半坂 征則（鉄道総研）
［機］佐藤 潔（鉄道総研）　太田 顕（ニチアス株式会社）

Development of Rail Noise Insulating Material for Rail Joint

○Shogo Mamada, Masanori Hansaka, (Railway Technical Research Institute)
Kiyosi Sato, (Railway Technical Research Institute) Akira Oota, (NICHIAS Co.)

In general, a large amount of noise is generated due to rail vibration derived from train passage on a rail joint. So an effective countermeasure easy to install against the noise generated around rail joint is eagerly requested to be developed. 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 is effective for reducing the noise radiated from rail and is easy to install. Based on Rail Noise Insulating Material, we have further developed a new material for rail joint named "Noise Insulating Material for Rail Joint". As the results of impact test for evaluating the properties of this material, it has been revealed that the material is effective for reducing the noise radiated from the rail joint. In addition, it has been clarified that it is better to cover fully the area between the level of the rail bottom and the ground level.

キーワード：転動騒音，レール継目，レール防音材，衝撃加振試験
Key Words: Rolling Noise, Rail joint, Rail noise insulating material, Impact test

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，大きな騒音が発生し，その対策が課題となっている[1]．これに対し，これまで，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．しかしながら，このような対策には，施工に多くの労力を要するため，簡素で有効な対策が求められている．転動騒音対策に関して，筆者らは，これまで一般区間を対象にレール防音材の開発を行い，同材料がレール放射音に対して低減効果を有することなどを確認してきた[2]．そこで，このレール防音材の構想に基づいて，新たに継目部に適用できる継目用のレール防音材の開発を行った．以下に，開発した継目用のレール防音材の構造および基礎的な防音性能を評価するために行った室内実験の結果について報告する．

2．継目用防音材の構造

継目用に開発したレール防音材(以下，継目用防音材)の構造を，先に開発した一般区間用のレール防音材と比較して述べる．図1に一般区間用のレール防音材，図2に継目用防音材の構造を示す．図2の継目用防音材の構造において，(a)は上面図，(b)は断面図，(c)は側面図を示す．図2(a)に示すように，継目用防音材は，レール継目を挟んで設置した2つの固定金具を介してレールに固定する構造となっており，図2(b)はその固定箇所の断面(A-A'断面)を示している．また，継目用防音材の適用箇所は，絶縁継目部であるため，継目間で電気絶縁する必要があり，その構造も絶縁性を保持できる構造としている．

一般区間用と継目用を比較した場合，どちらも軟質材料の内層(レール側)と硬質材料の外層の2層構造であることは共通しているが，両者間の構造上の最大の違いは，一般区間用がレールに内層を密着させるのに対し，継目用は防音材をレールから離して設置することにある．継目用防音材をレールから離した理由は，レール継目部において，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，必要に応じて継目板固定ボルトを増し締めするなどの作業が実施されていることを考慮したためである．一方，防音材に本来求められる機能は，レールからの放射音の沿線への伝播を防止することであるため，防音材がレールから離れるほど，その隙間から放射音が漏れて伝播すると推定され，防音材の性能上不利となる．また，対象とする沿線受音点の一般状況を考慮すると，レール頭頂面の水準(レールレベル)よりも上方の伝播経路での騒音伝播量の低減が必要であると考えられ，そのためには，防音材の高さを高めることが有効であると考えられるが，軌道直近では，列車走行上の安全の確保のため，建築限界が規定されており，この範囲内で材料を設計する必要がある．

以上，メンテナンス作業への対応および建築限界の2つの制約条件の中で，できるだけレール放射音の伝播量低減性能を高める構造とすることが本材料設計における重要な課題となる．本材料の目的を考慮すると，

防音材の構成としては，外層に遮音性能，内層に吸音性能を有する材料の組み合わせが有効と考えられる．そこで，継目用防音材の内層には，グラスウール，外層には，制振鋼板を適用した．

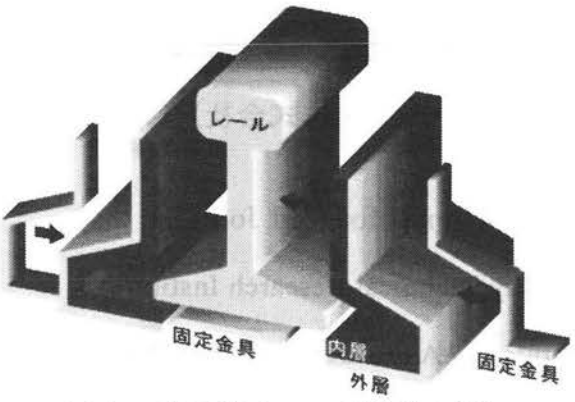
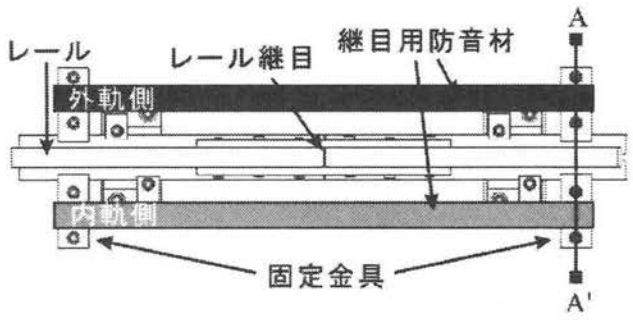
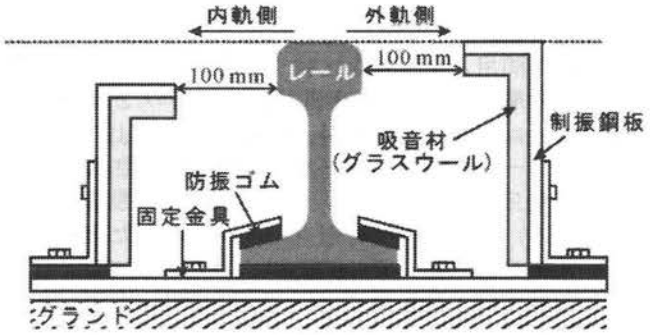


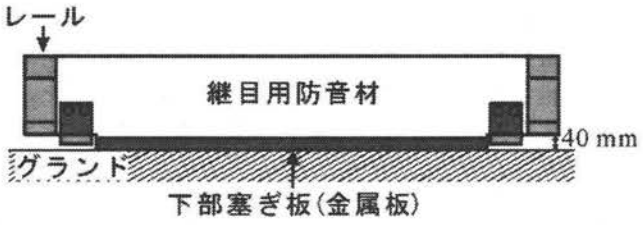
図 1　一般区間用レール防音材の構造



(a)　上面図



(b)　断面図(A-A')



(c)　側面図

図 2　継目用防音材の構造

以下に，継目用防音材の詳細な構造を述べる．

図 1(b)に示すように，外軌側は，高さをレールレベルとし，レール直角方向において，先端部をレール頭部の外軌側表面から 100 mm の位置まで延長させた．また，内軌側もレール直角方向においては，外軌側と同様にレール頭部外軌側表面から 100 mm の位置までとしたが，高さをレールレベルから建築限界分低下させた．なお，実験においては，音響特性の把握を目的として，外軌側の防音材上面に 20 mm 程度の吸音材を取付けた試験品などの評価も行っており，これらの結果については，発表において紹介する．

本材料がレールからの放射音の伝播量の低減を目的としていることを考慮すると，防音材低部とグランド面の間に隙間が無いことが望ましい．しかしながら実軌道では，必ずしも防音材/グランド間の隙間が一定ではないものと考えられる．したがって，本試験品については，防音材本体の底辺を固定金具底面までとし，残りの隙間に対して，防音材/グランド間にグラスウールを詰め，その外側を金属板で塞ぐ処置をした(図 2(C))．実軌道においては，軟質材料により調整パッキン等を導入することを考えている．

3．衝撃加振試験方法

継目用防音材の振動・防音特性の評価には，インパルスハンマーによる衝撃加振試験を用いた．この試験は一般区間用レール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)]．詳細な試験方法を以下に示す．

普通絶縁継目(50N-F-H 型)を介して，約 700 mm に切断した 2 本の 50 kgN レールを組み上げ，鋼製支持板上に軌道パッドを介して単純支持した．スラブ軌道において締結装置上のレール/軌道スラブ間距離として標準的に 40 mm 程度が想定されることから，鋼製支持板の厚さは，30 mm とし，軌道パッドの厚さは，10 mm とした．また，支持板の中心間隔は，実軌道の継目箇所におけるレール締結装置間隔を参考にして約 800 mm とした．この状態で，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．加振点は，外軌(測定)側から向かって右手側のレール頭頂面(幅方向：中央位置，長手方向：継目側端面から約 10 mm)とし，加振方向は鉛直方向とした．また，1 試験品につき 2 試番行い，1 試番ごとに原則 10 回加振し，測定結果について算術平均値を求めた．

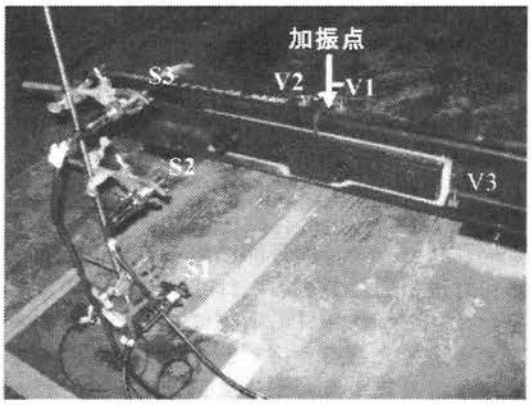
測定項目は，加振力，振動加速度，放射音(音圧)とし，加振力をインパルスハンマー，振動加速度を圧電型ピックアップ PV94，放射音を普通騒音計 NL04(いずれもリオン(株)製)により測定した．

振動加速度測定点は，加振点近傍の右手側レール頭頂面 V1，左手側のレール頭頂面 V2，絶縁板近傍(絶縁板から約 20mm 位置)のレール底部 V3 および防音材設置時の防音材外層の中央位置 V4 とした．本報告では，V3 および V4 の結果について報告する．

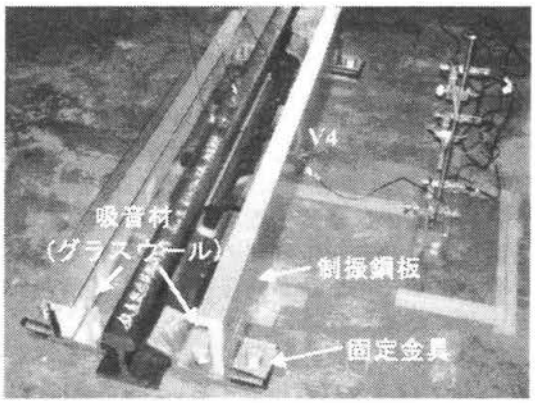
放射音測定点は，レール長手方向がレール継目部の中心位置，レール垂直方向が頭頂面中央から約 500 mm 離れた位置で，高さの異なる 3 点とした．3 点の高さは，S1 がレール腹部中央付近，S2 がレールレベルから約 100 mm 上方，S3 がレールレベルから約 230mm 上方とした．測定点の高さ位置をこのように設定した理由を以下に述べる．

S1 は，一般区間用防音材の評価での測定点位置であ

り，比較のために対象とした．S2，S3 は，継目用防音材の当面の騒音低減目標点である標準的な沿線受音点に相当する位置とした．標準的な沿線受音点としては，これまで営業線での測定実績がある 12.5 m 点(レール離れ：近接側軌道中央から 12.5 m，高さ方向：グランドレベルから 1.2 m 上)およびレール近傍点(レール離れ：近接側軌道中央から 2 m，高さ方向：レール頭頂面から 0.45 m 上)を想定していることから，幾何学上の相似則で 12.5 m 点を S2，レール近傍点を S3 とした．本報告では S3 における測定結果を中心に報告する．現状レールでの試験状況を図 3(a)，レール防音材設置での試験状況を図 3(b)に示す．また，放射音測定点と沿線受音点の関係を図 4 に示す．



(a)　現状レール



(b)　防音材設置

図 3　衝撃加振試験状況

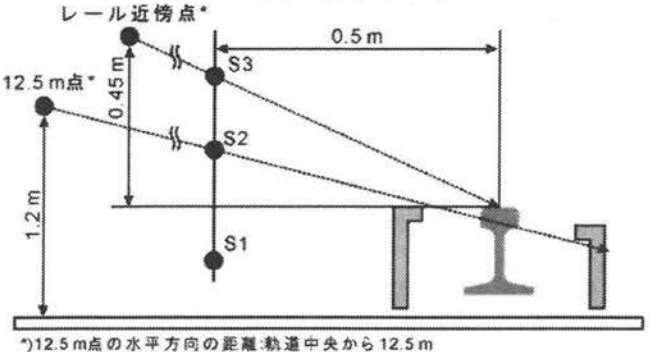


図 4　放射音測定点と沿線受音点の関係

測定には，加振力，振動加速度，放射音いずれも，多チャンネル分析器 SA01(リオン(株)製)を用い，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，時間波形を記録して時間微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，放射音についても時間波形を記録して周波数解析し，さらに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，この範囲の帯域値(A.P.)値を求めた．なお，振動速度，放射音ともに FRF 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．

4．衝撃加振試験結果

衝撃加振試験で測定された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．ただし，振動加速度の時間波形については，振動加速度を加振力の最大値で正規化した値を示している．

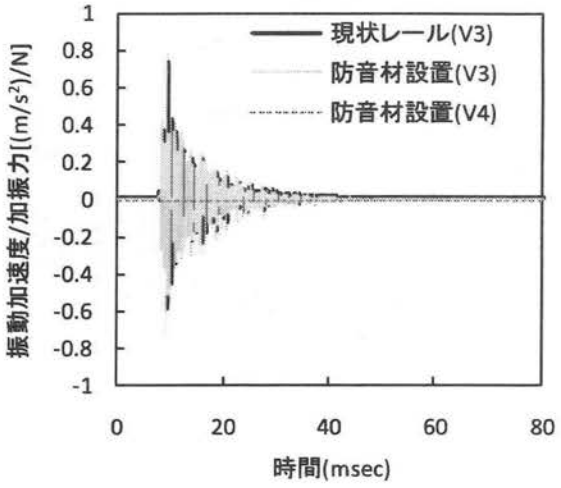


図 5　振動加速度の時間波形 (V3，V4)

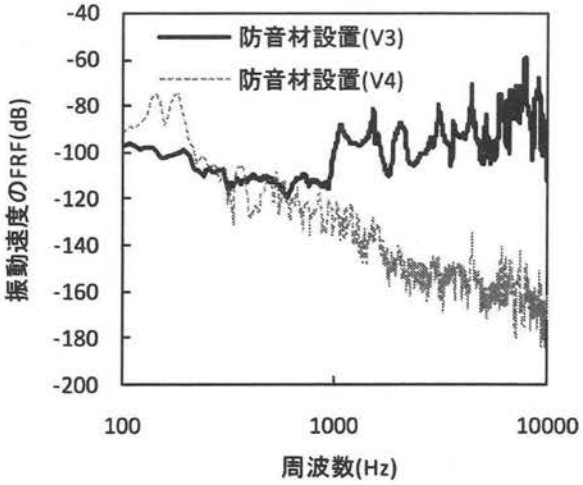


図 6　振動速度の FRF 結果 (V3，V4)

試験結果より，現状レールと防音材設置時の同部位(V3)での振動加速度を比較すると，防音材の設置前後での差が小さく，レール振動に対する継目用防音材の効果はほとんどないことが認められた．一方，防音材設置時の防音材外層(V4)の振動加速度は，レール底部(V3)の振動加速度と比較して非常に小さく，特に 500 Hz 以上の周波数帯において，レール振動の防音材への伝達量が大幅に低減されていることが認められた．

次に，放射音(S3)についての試験結果を示す．図 7 に時間波形を示し，図 8 に FRF 結果を示す．

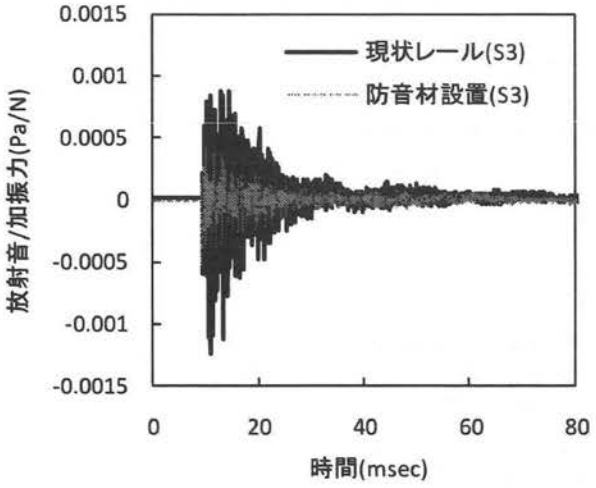


図 7　放射音の時間波形 (S3)

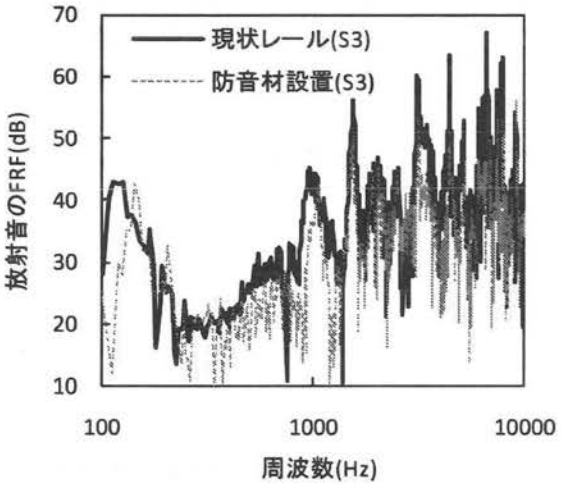


図 8　放射音の FRF 結果 (S3)

試験結果から，放射音(S3)は，防音材装着により加振直後より低減し，その低減する周波数域は約 500 Hz 以上の範囲であることが認められた．この結果については，振動加速度の結果とも一致するものである．また，S1~S3 の各放射音測定点における FRF について 10Hz～10kHz の範囲で帯域総和値(A.P.値)を求めた結果を表 1 に示す．比較のために防音材底部/グランド間を遮蔽せずに実施した実験の結果についても表 1 に併せて示す．

表 1　各放射音測定点における FRF 測定結果

試験条件	S1		S2		S3	
	A.P.(dB)	Δ(dB)	A.P.(dB)	Δ(dB)	A.P.(dB)	Δ(dB)
現状レール	80.1	-	84.3	-	81.5	-
防音材設置	70.4	9.7	72.6	11.7	73.4	8.1
防音材設置 下部遮蔽無	76.0	4.1	75.5	8.8	73.9	7.6

表 1 の結果より，以下のことが認められた．

① S1~S3 の全ての測定点において，現状レールの値と比較して，約 10 dB の明確な放射音低減効果が認められた．

② 低部を遮蔽したことによる放射音低減量への効果は，S1(5.6 dB)>S2(2.9 dB)>S3(0.5 dB)の順で大きい．

①より，レール近傍に隙間が開いた継目用防音材の構造から，上方受音点において防音材の効果が低いことが懸念されたが，S3 のような標準的な沿線受音点で想定される範囲に対しても高い防音効果が認められた．また，②で示したように，下方の測定点ほど，防音材低部を遮蔽した場合の放射音低減効果が大きいことが認められた．この理由として，防音材底部/グランド間に隙間があった場合，そこから漏れる音の影響で防音材の効果が低減するが，その漏れ音の影響は下方の測定点ほど大きいためと考えられる．

以上，衝撃加振試験の結果，継目用防音材の装着によるレール振動への効果は小さいものの，防音材自体への振動の伝達は大幅に低減することが認められた．また，放射音についても，各測定点において防音材装着による低減効果が認められた．また，防音材底部/グランド面間に隙間がある場合でも，放射音の低減効果は認められるが，隙間を遮蔽することによりさらにその低減効果が増加することが認められた．

5．まとめ

絶縁継目などレール継目部において施工が簡易で有効な防音対策の開発が求められている．このため，先に開発したレール防音材の構想に基づいて，レール継目部でも適用できる継目用レール防音材の開発を行った．レール継目部では頻繁にメンテナンスが行われることを考慮して，防音材を装着したままメンテナンスができるよう，レールから離して固定する構造を基本形とした．継目用防音材の振動・防音特性の評価を衝撃加振試験結果に基づき検討した結果，以下の知見を得た．

(1) レール頭頂面や底部などレール自体の振動については，防音材装着前後で変化は小さく，継目用防音材は，レール振動に対する効果がほとんどない．

(2) 防音材外層の振動は，現状レールおよび防音材装着時におけるレール底部の振動と比較して非常に小さく，レール振動が防音材外層に伝達される量が大幅に低減される．

(3) 実軌道においてレール近傍点に相当する S3 測定点および 12.5 m 点に相当する S2 測定点において，防音材装着により放射音が約 10 dB 低減し，継目用防音材の放射音低減効果が認められる．

(4) 防音材低部に隙間がある場合でも，放射音低減効果は認められるが，隙間を遮蔽することにより，特に下方の測定点において放射音低減効果が増加することが認められた．

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) 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，機械学会環境工学部会 06 (2006)