1519 軌道面の吸音特性と騒音低減工法の評価

正 [機] 〇上妻 雄一(鉄道総研) 正 [機] 間々田 祥吾(鉄道総研) 正 [機] 川口 二俊(鉄道総研) 正 [土] 熊倉 孝雄(JR 東日本) 正 [土] 小関 昌信(JR 東日本) 正 [土] 堀 雄一郎(JR 東日本) 正 [機] 長倉 清(鉄道総研) 正 [機] 半坂 征則(鉄道総研)

Evaluation of sound absorbency of railway track surface and noise mitigation measures

Yuichi KOZUMA, Railway Technical Research Institute (R.T.R.I.) 2-8-38, Hikari-cho, Kokubunji-shi

Shogo MAMADA, R.T.R.I., Tsugutoshi KAWAGUCHI, R.T.R.I., Takao KUMAKURA, East Japan Railway Co.(JR East),

Masanobu KOZEKI, JR East, Yuichiro HORI, JR East, Kiyoshi NAGAKURA, R.T.R.I., Masanori HANSAKA, R.T.R.I.

In order to evaluate the sound absorbency of the track surface quantitatively, oblique incident measurement has been carried out. The difference of measured rail-side noise level between low-maintenance track with solidified surface and ballast track is found similar to that estimated by the result of oblique incident measurement. In addition, noise reduction effect of acoustic absorption material is evaluated by both oblique incident measurement and train pass-by measurement.

Keywords : track, sound absorbency, oblique incident sound absorption coefficient, TWINS, acoustic absorption material

1. はじめに

鉄道の沿線騒音に対する低減工法の1つとして,軌道 面における吸音材敷設が挙げられる。特に直結系の省力 化軌道においては、その軌道構造故に、一般的にバラス ト軌道と比べて軌道面における車両下部騒音の反射が大 きく、何らかの吸音材を軌道面に敷設するケースが近年 増加する傾向にある。

ただし、これまで軌道構造の違いが軌道面の吸音特性 に与える影響を定量的に分析した例はほとんどなく、騒 音低減工法として吸音材を選定・敷設する際には、その 都度、試行錯誤により行っているのが実状である.

本報告では、まず軌道面に対する斜め入射吸音率測定 を行い、軌道構造の違いが軌道面の吸音特性に与える影 響を定量的に評価することにより、軌道面吸音特性の違いによって生じる現車での騒音レベル差を推定した.

現車においては、軌道構造の違いに起因して騒音レベ ル差が生じる要因として、吸音特性の違いのほかに発生 する転動音の大きさの違いが挙げられる.そこで、現車 走行時の騒音測定と転動音の分析に必要な各種データの 取得を営業線路において実施し、転動音を予測した上で、 斜め入射吸音率測定から推定した騒音レベル差と、現車 での軌道構造の違いによる騒音レベル差を比較した.

また,吸音材の騒音低減効果を検証するために,斜め 入射吸音率測定により吸音材の性能評価を行い,営業線 路における現車走行試験でその効果を確認した.

2. 斜め入射吸音率測定による軌道面吸音特性の評価 2.1 斜め入射吸音率測定の概要

軌道構造の違いが軌道面の吸音特性に与える影響を評価し、実際の営業線路における騒音レベル差を推定する ことを目的とし、室内に敷設された試験用軌道(10m) において、斜め入射吸音率測定を行い、異なる軌道構造 の軌道面の吸音率を求めた。

斜め入射吸音率測定は, 音源スピーカーとマイクロホ



absorption coefficient¹⁾

ンを,評価対象面中心から半径 r 離れた円弧上の,入射 角と反射角が等しくなる位置に配置し(図1),インバル ス応答を TSP(時間伸長パルス:Time-Stretched Pulse) 法によって計測する.その計測したインパルス応答を, 直接音と反射音に切り分け,その反射音の成分のみを切 り出し,吸音材の有無におけるエネルギー比より吸音率 を算出するものである¹⁾.

本測定では、半径 2m の位置に音源スピーカーとマイ クロホンを設置し、入射角および反射角(の)を0度、15 度、30度、45度の4ケースで実施した.試験音は、TSP



Fig. 2 Outline of measurement of oblique incident sound absorption coefficient

[No. 12-79] 日本機械学会 第19回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集 [2012-12.5~7.東京]

信号(サンプリング周波数:22kHz,サンプリング長: 0.743s,平均回数:32回)を用いた.また,軌道面の各 条件の吸音率を評価する際の基準値(リファレンス)を 得るため,幅 1m,長さ 2mのアルミ板(厚さ 3mm)を レール間に設置した状態における測定も行った.図 2 に 測定状況を示す.吸音率の精度は、リファレンスとなる 反射材(アルミ板)の寸法に大きく依存するため、本測 定から求めた吸音率のうち、低周波数域では精度が悪化 する可能性が高いことに注意を要する.

測定結果を入射角および反射角に着目して評価した結 果,0度においては、音源スピーカーとマイクロホン間 の距離が極めて短いため、他の条件と比較して直達音の 振幅が大きく、直達音が減衰する前に反射音が到達し、 両者が干渉している可能性が高かった.入射角 30度およ び 45度においては、今回の吸音材測定対象として軌道面 のスケールが小さい恐れがあった.以上の結果を鑑み、 本報告においては入射角 15度で各種騒音低減工法の吸 音率の評価を行うこととした.

2.2 軌道面吸音率による騒音レベル差の推定

斜め入射吸音率測定によって求めたバラスト軌道と省 力化軌道の吸音率を図3に示す.バラスト軌道の吸音率 a₁と省力化軌道の吸音率 a₂は、それぞれアルミ板設置時 (リファレンス)の反射エネルギーに対する各軌道構造 の軌道面吸音エネルギーの比率である.したがって、実 際の軌道面における1回反射を考慮した軌道面吸音成分 による省力化軌道とバラスト軌道の騒音レベル差 *ΔL*は、 a₁と a₂を次の式に代入することで得られる.

 $\Delta L = 10\log\{(1-\alpha_2)/(1-\alpha_1)\}$



3. TWINS による転動音予測と現車走行時の騒音測定

2 節においては、斜め入射吸音率測定による軌道面の

吸音特性の評価を行ったが,現車走行時の軌道面の吸音 特性の違いが騒音に対して及ぼす影響を調査するために は,軌道構造の違いによるその他の要因を除外する必要 がある.軌道構造の違いによって現車走行時の騒音レベ ル差が生じる要因として,軌道面の吸音特性のほかに, 車両下部騒音の音源の1つである転動音の大きさの違い が挙げられる.

したがって、営業線路での転動音を含む騒音の評価を 目的として、バラスト軌道と省力化軌道の両方について、 現車走行時の騒音レベルの測定と併せて、軌道側パラメ ータの測定を行い、転動音予測手法(TWINS)²⁾を用い て転動音を予測を行った.

TWINS に適用する軌道側パラメータのうち, 軌道の振 動特性はレールに対する衝撃加振試験³⁾,の結果から同 定し(表1),レール頭頂面凹凸は接触式プローブを用い た凹凸測定(直接法)⁴⁾により取得した.なお、レール 頭頂面凹凸の大きさと傾向について,軌道形式の違いに よる差は確認できなかった.

Table 1	Parameters of vibratory characteristics of track
	(Vertcial direction)

		Ballast track	Low-maintenance track
Rail	Bending stiffness El	6.6×10 ⁶ (Nm ²)	
	Cross-section area A	7.8×10 ⁻³ (m ²)	
Rail pad	Siffness K_p	2.3×10 ⁸ (N/m)	2.1×10 ⁸ (N/m)
	Damping loss factor η_p	0.2	
Sleeper	Weight M _s	3.5×10 ² (kg)	2.3×10 ³ (kg/m)
	Support distance d	0.75(m)	
Ballast	Stiffness K _b	4.1×10 ⁷ (N/m)	8.7×10 ⁷ (N/m)
	Damping loss factor η_b	1.0	2.0

TWINS に適用する車両側パラメータ(車輪)のうち, 振動特性は実測結果の比較対象である付随車に装着され ている A 種耐ブレーキ熱 新波打車輪のデータを,車輪 踏面凹凸は在来鉄道車輪の過去の測定データを適用した.

TWINS による転動音予測計算を行うにあたり,まず軌 道の振動の主要な周波数パンドで実測結果との差が小さ くなることを確認した上で,放射音の解析を行った.

営業線路における軌道構造の違いによる現車走行時の 騒音の変化は、それぞれの軌道構造条件におけるレール 近傍点騒音の測定結果から求めた.測定・評価対象の列 車は、各条件速度約 90km/h の同一形式の 4 列車である.

各軌道構造のレール近傍点騒音測定結果は,時間重み 付け特性 F での付随車台車相当箇所のパワー平均値と



して整理した.

図4にTWINSによる転動音予測結果と営業線路にお ける付随車通過時のレール近傍点騒音測定結果を示す.

4. 軌道構造の違いによる騒音レベル差の考察

現車走行試験における軌道構造の違いによるレール近 傍点騒音のレベル差(図4(a)"全体音(測定値)"と図4(b)" 全体音(測定値)"の差),TWINSによって求めた両軌道 形式の振動特性の違いに伴う転動音のレベル差(図4(a)" 全体音(計算)"と図4(b)"全体音(計算)"の差)および 2.2 節で述べた軌道面における1回反射を考慮した軌道 面吸音成分による騒音レベル差 *AL*の整理結果を図5に 示す.



Fig. 5 Noise level difference between low-maintenance track and ballast track

現車走行試験における軌道形式の違いによる騒音レベ ル差が示す傾向は、400Hz~500Hz バンドで TWINS から 推定した軌道構造の違いによる転動音のレベル差に対応 するが、それ以外の周波数域では、斜め入射吸音率の測 定結果から求めた騒音レベル差の傾向と概ね一致する.

両者の騒音レベル差のピークに着目すると、周波数が 2バンド程度ずれており,特に800Hzで大きさが異なる. この要因として,斜め入射吸音率の測定結果から求めた

(a) Whole area

騒音レベル差が、軌道面における1回反射の成分による に対して、現車走行試験における騒音レベル差では、さ らに軌道面における多重反射の影響が含まれることが挙 げられる.また、斜め入射吸音率測定における試験軌道 と現車走行試験の測定箇所の軌道で、バラストの突き固 めの状態、すなわちバラスト内の空気層密度が異なるこ とも要因として考えられる.

以上を総合すると、本報告のバラスト軌道と省力化軌 道の間の騒音レベル差について、両者の振動特性の差異 の影響は限定的で、主に軌道面吸音率の大小に依存する 可能性が高いと結論付けられる.

5. 軌道面吸音材による騒音低減効果

5.1 斜め入射吸音率測定による軌道面吸音材の評価

営業線路において騒音低減工法として敷設する軌道面 吸音材による騒音低減効果の評価を行うため、2.1節の 要領で斜め入射吸音率測定を実施した.なお、騒音低減 工法の敷設・散布は、軌道全面(図 6(a))またはまくら ぎ間(図 6(b))の2条件に分けて行った.

測定結果から評価した低減工法のうち,営業線におい て直ちに実用可能な無機質粒子材(吸音材)袋詰め敷設, 消音バラスト(4号砕石,6号砕石)袋詰め敷設,一般バ ラスト散布の吸音率を図7に示す.図7からわかること を以下に整理する.

- (1) 袋詰め無機質粒子材(袋詰め吸音材)の吸音率に着 目すると、3節の現車走行試験(速度 90km/h)のレ ール近傍点騒音で最大のピークが発現した 630Hz バ ンドで、比較的高い吸音率を有する.ただし、1000Hz バンドで大きなディップがあり、当該周波数付近での 吸音効果は期待できないと考えられる.1000Hz バン ド以上の周波数域では、全面敷設の吸音率がまくらぎ 間敷設の吸音率を上回る.
- (2) バラスト全面散布時の吸音率に着目すると、1000Hz バンド、1250Hz バンドおよび 3150Hz バンドで比較 的高い吸音率を有する.





Fig. 6 Setup of bagged acoustic absorption material

- (3)6号砕石袋詰めの吸音率は,1600Hz バンドと2000Hz バンドで比較的高い傾向にある.
- (4)4号砕石袋詰めの吸音率は、他の袋詰めの騒音低減工 法とほぼ同様の周波数分布を示すが、ほとんどの周波 数バンドで他の袋詰めの騒音低減工法を下回る.

以上より3節の現車試験結果に対する騒音低減工法と して,袋詰め吸音材を全面敷設することが最も効果的で あると考えられる.ただし,営業線にて砕石系低減工法 を敷設する場合,袋詰めの大きさ(散布厚に相当)と吸 音率が極小となる周波数との関係および実際の騒音低減 対象周波数域に十分注意する必要がある.

5.2 現車走行試験における軌道面吸音材の効果の確認

4 節の室内試験において検討した各種低減工法のうち, 効果が期待され,営業線路において設置可能な工法であ る袋詰め吸音材について,3 節の現車走行試験を実施し た省力化軌道において,騒音低減工法効果確認測定を実 施した.

袋詰め吸音材を全面敷設した際のレール近傍点騒音レ ベルと列車速度の関係を整理した結果を未設置時の測定 結果と比較した結果を図8に示す.



その結果,車両機器音の寄与が大きいM車の騒音に対

して 3dB 程度, 転動音の寄与の大きい T 車の騒音に対し て 2dB 程度の低減効果が確認された.

また4節と同様に,現車走行試験における袋詰め吸音 材の有無による付随車通過時のレール近傍点騒音のレベ ル差,および斜め入射吸音率測定結果から2.2節の方法 により求めた騒音レベル差 ALの整理結果を図9に示す.

現車走行試験における袋詰め吸音材の有無による騒音 レベル差と,斜め入射吸音率の測定結果から求めた騒音 レベル差を比較すると,斜め入射吸音率の測定結果から



求めた騒音レベル差が広い周波数域で過大評価となり, ピークとディップの周波数が 2~3 バンドずれている.

同時に測定したレール振動加速度のレベル差(図9の 灰色実線)を参照すると、概ね負の値であり、吸音材敷 設時の方がレール振動が大きいことを示している.これ は、吸音材敷設時の方がレールもしくは車輪の表面の凹 凸が大きいためとみられる.したがって、今回の現車走 行試験の結果については、吸音材敷設後の方が転動音の 放射パワーが大きかったため、吸音材の効果が相殺され て、吸音材の有無による差が小さくなったと考えられる.

6. まとめ

軌道面に対する斜め入射吸音率測定を行い,軌道構造 の違いが軌道面の吸音特性に与える影響を定量的に評価 し、現車走行時の転動音を予測した上で,斜め入射吸音 率測定から推定した騒音レベル差と,現車での軌道構造 の違いによる騒音レベル差を比較した.

その結果,バラスト軌道と省力化軌道の間の振動特性 の差異の影響は極めて限定的で,主に軌道面吸音率の大 小に依存する可能性が高いことを定量的に明らかにした.

また,吸音材の騒音低減効果を検証するために,斜め 入射吸音率測定により吸音材の評価を行った上で,営業 線路における現車走行試験でその効果を確認した.

その結果,吸音材袋詰め敷設時に電動車で3dB程度, 付随車で2dB程度の騒音低減効果が確認された.

参考文献

- 橘秀樹, 矢野博夫, 音響テクノロジーシリーズ 8 環 境騒音・建築音響の測定 (コロナ社), pp.106, 2004.
- D.J. Thompson, M.H.A. Janssens, F.G. de Beer, TWINS: Track-Wheel Interaction Noise Software. Theoretical manual, Version 3.0, TNO Report. HAG-RPT-990211, November 10, 1999.
- 西村昌也、上妻雄一、長倉清、軌道構造の変更によ る軌道・構造物振動特性への影響評価,第17回鉄道 技術連合シンポジウム J-RAIL2010 講演論文集,pp. 385-388,2010.
- 北川敏樹,村田香,長倉清,在来鉄道における車 輪・レールの凹凸,第14回鉄道技術連合シンポジウム J-RAIL2007 講演論文集, pp. 515-518, 2007.