

富澤 秀夫\*1・石渡 康弘\*2

## 概 要

駅コンコースの拡声放送に適した音環境づくりの実現に向けて、東日本旅客鉄道株式会社と共同で、駅コンコースの天井に求められる要件を具備した対策工法の検討を行った。本検討では、実駅のコンコース天井で列車走行時の振動加速度を調査し、実大規模の駅試験装置に施工した天井試験体に、調査で得られた実駅コンコース天井の振動を再現して、対策工法による固体伝搬音低減効果の確認実験を実施した。実験の結果、不燃制振材を用いた防振対策用試験体の効果が最も高く、吸音対策用試験体でも効果は認められたものの、有孔板+グラスウールの試験体は160Hz帯域付近で、アルミ焼結吸音板の試験体は31.5Hz帯域付近で共振を生じ、効果がマイナスになることがあることを確認した。

キーワード：コンコース天井，防振対策，吸音対策，振動加速度，加振器，振動再現

EXPERIMENTAL STUDY OF REDUCTION IN SOLID-BORNE SOUND WITH A  
COUNTERMEASURE FOR STATION CEILINGS IN AN ELEVATED CONCOURSE

Hideo TOMIZAWA\*1, Yasuhiro ISHIWATA\*2

## Abstract

In order to create an environment suitable for loudspeaker broadcasting in station concourses, we studied a countermeasure that meets the requirements for the concourse ceiling of an actual station in cooperation with East Japan Railway Company. In this study, vibration acceleration during train operation was investigated at the concourse ceiling of an actual station. The vibration of the concourse ceiling at the actual station was reproduced on a ceiling test specimen installed in a full-scale station test apparatus, and an experiment was conducted to confirm the effectiveness of the countermeasure in reducing solid-borne sound. The results of the experiment proved that the vibration-insulating specimen using noncombustible vibration-damping materials was the most effective, and kept the same effectiveness on the sound-absorbing specimens, while the specimen of perforated plate + glass wool resonated at around 160 Hz, and the specimen of sintered aluminum sound-absorbing plate at around 31.5 Hz, which sometimes resulted in a negative effect.

Keywords: Concourse ceiling, Vibration isolation measure, Sound absorption measure, Vibration acceleration, shaker, Vibration reproduction

---

\*1 Principal Researcher, Environmental Group, Research & Development Center

\*2 Manager, Environmental Group, Research & Development Center

## 高架下駅コンコース天井の対策工法による固体伝搬音低減効果の実験的検討

富澤 秀夫\*1・石渡 康弘\*2

### 1. はじめに

近年、鉄道駅コンコースの天井は、耐震性や不燃性について一定の基準を満たす必要があるため、仕上げ材料の軽量化や鋼製化が推進されている。これらの材料は、建築音響的にみると、一般に吸音性や遮音性が不足し、駅コンコースでは喧噪感が高くなる傾向がある<sup>1)</sup>。また、高架下駅は、コンコース直上の軌道を列車が走行する際に生じる振動が、構造体から天井材へ伝搬して発生する固体伝搬音の影響を受ける。

そこで、駅コンコースの拡声放送に適した音環境づくりの実現に向けて、東日本旅客鉄道株式会社と共同で、コンコースの天井に求められる耐震性や施工性等の要件を具備した、吸音・防振対策工法（以後、対策工法と記す。）の検討を行った。

本検討では、①高架下駅3駅のコンコース天井での振動加速度実態調査<sup>2)</sup>、②対策工法に用いる天井仕上げ材の物性試験、③実大の駅空間を模した試験装置<sup>3)</sup>を用いた対策工法の固体伝搬音低減効果確認実験などを実施した。本報で

は、①および③の概要と結果の一部について報告する。

### 2. 高架下3駅の振動加速度実態調査

#### 2.1 調査概要と測定点

調査は、首都圏の高架下駅3駅を対象とした。

図-1に各駅コンコース部分の平面図と振動加速度応答測定点および調査対象とした列車が走行するコンコース上階の鉄道軌道の位置を、また、表-1に調査対象とした列車の種別と各測定点位置における天井仕上げ材の種類を、写真-1に測定点付近の天井の外観を示す。

A駅の天井仕上げ材はアルミスパンドレルであり、①線を走行する特急列車と②、③線を走行する在来線を対象とした。B駅の天井仕上げ

表-1 測定点の概要

	各軌道を走行する列車の種別	駅コンコース天井仕上げ材の種類
A駅	①線:特急列車 ②線、③線:在来線	アルミスパンドレル
B駅	④線、⑤線:新幹線	アルミ樹脂複合板
C駅	⑥線、⑦線:在来線	アルミスパンドレル

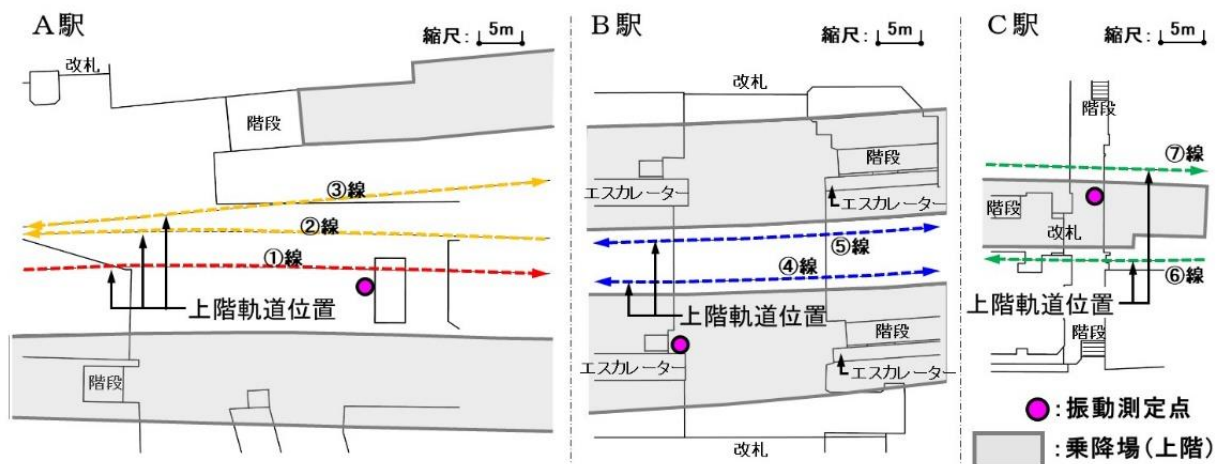


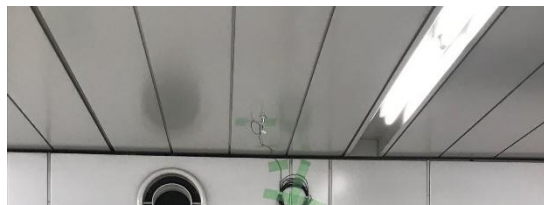
図-1 駅コンコース平面図と振動加速度応答測定点

\*1 研究開発センター 環境グループ 主席研究員

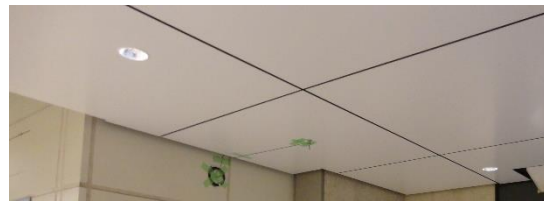
\*2 研究開発センター 環境グループ グループリーダー

材はアルミ樹脂複合板で④、⑤線を走行する新幹線を対象とした。また、C駅の天井仕上げ材は、A駅と同様のアルミスパンドレルであり、⑥、⑦線を走行する在来線を対象とした。なお、天井仕上げ材は、いずれも吊り天井の軽量鉄骨下地にビス止めされている。各駅の軌道構造は、A駅がバラスト軌道、B駅が無道床橋りょう、C駅がバラスト軌道で調査地点付近は全長25m程度の鋼製工事桁であった。

また、測定点は写真-2に示すように、各駅ともに通路の壁際や柱の陰、隅角部付近など、旅客流動の妨げにならない場所を選定し、測定機器類の落下や飛散による影響が第三者に及ばないよう安全に配慮して設けた。



A駅：アルミスパンドレル



B駅：アルミ樹脂複合板



C駅：アルミスパンドレル

写真-1 測定点付近の天井外観



写真-2 測定点の設置状況

## 2.2 測定および解析方法

測定および解析に用いた機器の一覧を表-2に示す。列車通過時の振動加速度応答の測定は、各測定点に圧電式加速度ピックアップを取り付け、チャージアンプを通してデータレコーダに加速度応答を収録した。解析は、マルチチャンネルデータステーションのオクターブ解析ソフトウェアを用いて、1/3 オクターブバンド中心周波数で25~630Hz帯域の等価振動加速度レベルを求めた。なお、等価振動加速度レベルは、変動する振動をエネルギー平均して示す評価量で、本実験では図-2に示すように列車通過時の振動加速度レベル AP 値の時刻暦波形で、最大値に比べて10dB低いレベルを超えている時間を分析時間<sup>4)</sup>とした。

## 2.3 調査結果

### (1) 振動加速度レベル AP 値の時刻暦波形

振動加速度レベル AP 値の時刻暦波形を図-3に示す。なお、時刻暦波形は、各駅ともに振動加速度レベルが最大を示した図中○印で示すデータを含む10分間を抽出して示している。

振動加速度レベル AP 値の最大値は、A駅では①線の特急列車入線時に生じた113dBであり、B駅は④線の新幹線出線時に生じた109dB、C駅は⑥線の在来線入線時に生じた105dBで、いずれの駅でも100dB以上の値を示した。A駅とB駅では、列車が測定点に近接する側の軌道

表-2 測定・解析用機器一覧

	機器名	メーカー・型番
測定系	圧電式加速度ピックアップ	RION PV-86
	チャージアンプ(増幅器)	RION UV-16
	データレコーダ	RION DA-21
解析系	マルチチャンネルデータステーション	小野測器 DS-3000
	オクターブ解析ソフトウェア	小野測器 DS-0323

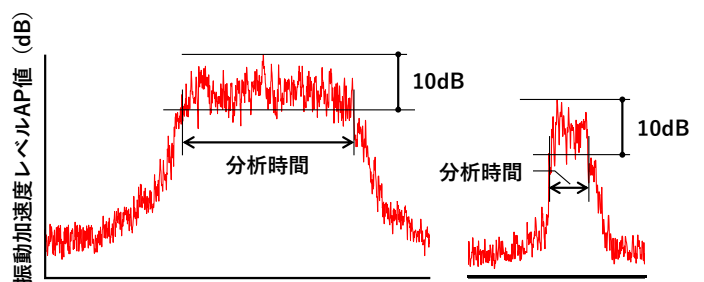


図-2 分析時間の取り方の例<sup>4)</sup>

を走行した際に最大値を記録したが、C 駅では測定点から遠い側の軌道を走行した際に最大値を記録した。この事象は、列車速度に比例して発生振動が大きくなる鉄道振動の特徴に起因したものと考えられる。C 駅の測定点は⑥線の入線側乗降場（上階）端部に近く、列車速度が⑦線出線に比べて⑥線入線の方が大幅に速いため発生振動も⑥線入線の方が大きくなり、測定点は⑦線の方が⑥線よりも近いが⑥線入線の振動加速度レベルの方が⑦線出線よりも大きくなったものと推察される。

(2) 等価振動加速度レベルの周波数特性

図-3 の時刻暦波形で示した列車の等価振動加速度レベル周波数特性を図-4 に示す。

A 駅における、①線の特急列車入線時の等価振動加速度レベルは 125Hz 帯域で鋭いピークを示す。在来線が走行する②線入出線時も 125Hz 帯域付近でピークが認められるが、①線

と違い緩やかなピークとなっている。同様に在来線が走行する③線入出線時はピークを示す周波数帯域が若干高まり 160Hz 帯域付近に緩やかなピークが表れている。B 駅の新幹線走行による等価振動加速度レベルは、A 駅および C 駅とは異なり、④線入出線時および⑤線出線時ともに 40~50Hz 帯域でピークを示し、走行番線の違いによる周波数特性の変化はみられない。C 駅の在来線走行による等価振動加速度レベルは、⑥線入線時および⑦線出線時ともに 200Hz 帯域でピークを示し、B 駅の場合と同様に走行番線の違いによる周波数特性の変化は認められない。

3. 固体伝搬音低減効果確認実験の概要

3.1 天井試験体

駅コンコース天井の対策工法の候補として選定した天井試験体を表-3 に示す。

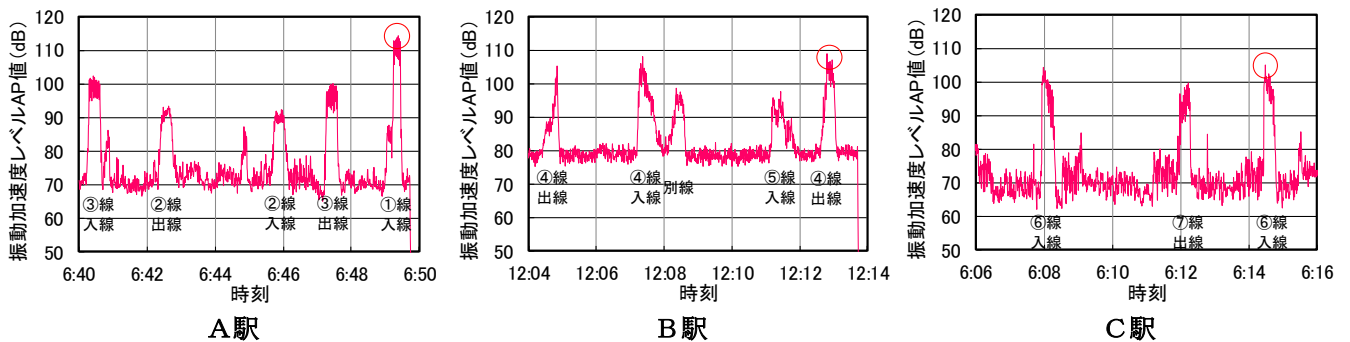


図-3 高架下駅コンコース天井面の振動加速度レベル AP 値の時刻暦波形

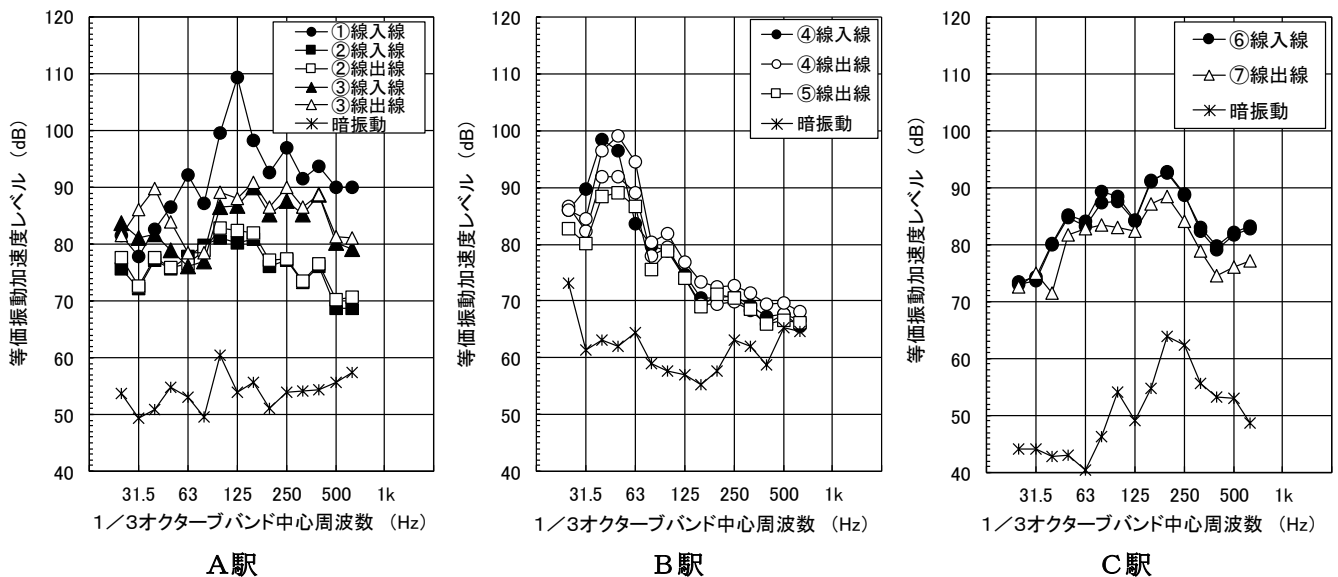


図-4 高架下駅コンコース天井面の等価振動加速度レベル周波数特性

試験体は、現在駅の天井仕上げ材として多く用いられている試験体4を基準として、防振対策用の1体と吸音対策用の2体の計4体とし、**写真-3**に示す橋上駅舎を模擬した駅試験装置の約28㎡(約7m×約4m)部分に、吊り天井の軽量鉄骨下地を施工し、順次試験体を貼り換えて実験を行った。

### 3.2 固体伝搬音再現方法

列車走行に伴う振動により天井で生じる固体伝搬音の再現は、**表-4**に示す加振器(ONKYO Vibitone DU2506)を用い、加振器の重量が天井下地材の野縁受けに局所的に加わることがないように**写真-4**に示す加振器固定治具を介して野縁受けを加振し、野縁受けから天井仕上げ材に振動を伝搬させて行った。なお、加振器は治具上にビス止めして固定した。また、加振器

は試験体全面が一様に加振されるよう**図-5**に示す位置に12個設置した。

加振器で再生する振動源データは、**図-3**に示したA駅6:49頃の①線特急列車入線とB駅12:13頃の④線新幹線出線、C駅6:14頃の⑥線在来線入線時の振動加速度応答(サンプリング周波数5kHz)を用い、アンプ(TEACA-R630MKII)を通して加振器を稼働させた。

### 3.3 測定および解析方法

天井の対策工法による固体伝搬音低減効果を確認するための測定は、**図-5**中の加振器②、⑦、⑪、⑫直下の天井仕上げ面に圧電式加速度ピックアップを取り付け、振動源データを再生した時に仕上げ面で生じる振動加速度応答をチャージアンプを通してマルチチャンネルデータステーションに伝送し、**2.2**で示した解析方法と同じ方法で振動源データ再現中の1/3オクターブバンド中心周波数で25~630Hz帯域の等価振動加速度レベルを求めた。なお、測定および解析に使用した機器は、**表-2**に示した機器と同じものを使用した。また、加振器を稼働


表-3 天井試験体一覧

試験体No.	天井仕上げ仕様
試験体1 (防振対策)	アルミスパンドレル(0.8mm)+ 不燃制振材(1.3mm)貼付
試験体2 (吸音対策)	有孔アルミスパンドレル 8φ16×16P(開口率16%)+ グラスウール(48k 8mm厚)裏打ち
試験体3 (吸音対策)	アルミニウム焼結吸音板(2mm)
試験体4 (基準)	アルミスパンドレル(0.8mm)



写真-3 試験装置の状況

表-4 加振器の概要

	サイズ: 115×94×45(mm)
	重量:680(g)
	許容入力:10(W)
	定格インピーダンス:12(Ω)

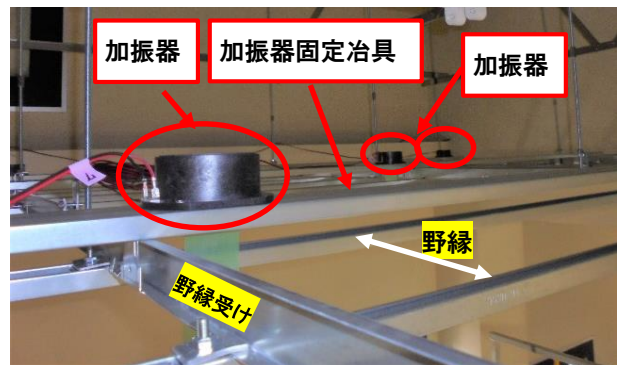
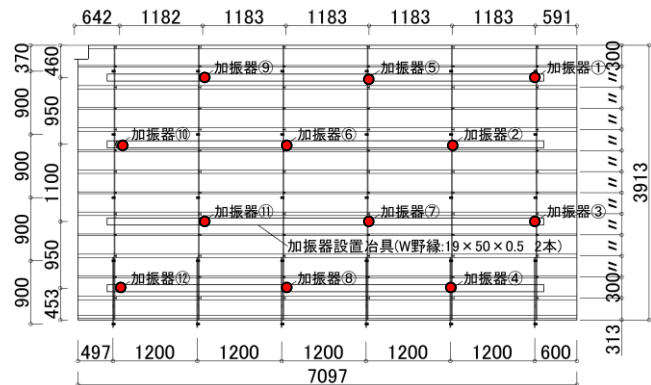


写真-4 加振器設置状況



● : 加振器設置位置

図-5 軽量鉄骨下地軸組と加振器の設置位置図

させるアンプの出力は、試験体1加振時の天井面（加振器②直下点）の振動加速度レベル AP 値が、高架下駅コンコース天井面における実測値と等しくなるように設定し、試験体2～試験体4の加振は試験体1の出力と同一とした。

実験時の測定状況を写真-5に示す。

### 3.4 実験結果

各試験体の天井仕上げ面に設けた測定点4点の等価振動加速度レベルをエネルギー平均し、高架下駅コンコースにおける実測値とともに図-6に示す。また、各対策工法の試験体4に対する固体伝搬音低減効果として、試験体4の等価振動加速度レベルエネルギー平均値から各対策工法のレベルを差し引いて求めた値を図-7に示す。

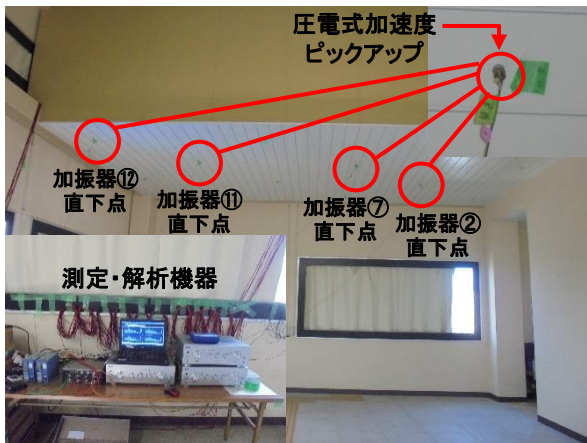


写真-5 振動加速度応答測定状況

図-6をみると、加振器で再現する振動源データを各駅コンコース天井で収録した実測値としたことから、等価振動加速度レベルエネルギー平均値の周波数特性は、基本的には各駅実測値の周波数特性に近い特性を示すことがわかる。

図-7より、試験体4に対する対策工法の固体伝搬音低減効果は、各駅ともにほぼ同様の特性を示し、試験体1では40~50Hz帯域付近より低減効果が表れ、630Hz帯域まで右上がりに増加し、630z帯域でA駅およびC駅では17~18dB、B駅では25dB程度の効果が得られている。またAP値の低減効果は、A駅およびC駅で9dB程度、B駅で4dB程度となっている。試験体2は160Hz帯域で低減効果の落ち込み（以後、ディップと記す。）がみられ、その影響が125~250Hz帯域で表れるが、その他の帯域では試験体1と同様に右上がりの特性を示している。160Hz帯域のディップは、A駅およびC駅では-10dB程度、B駅では0dB程度となっている。ディップが生じた要因は、加振器を用いて試験体に対して再現した振動により、仕上げ材がもつ固有振動数で共振が生じたものと推察され、この影響から、試験体2では天井が「ビリビリ」と過度に振動するような音が発生した。なお、AP値で低減効果が認められるのは160Hz帯域のディップが0dBと小さいB駅の

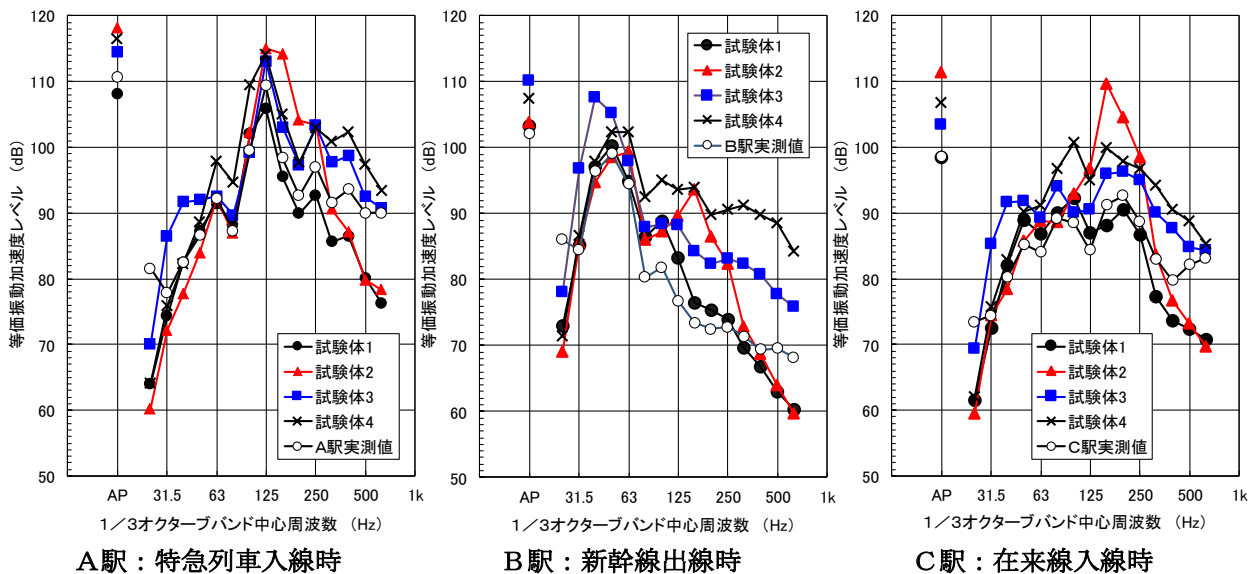


図-6 各試験体で計測された等価振動加速度レベルエネルギー平均値

みで 4dB 程度，A 駅は-2dB 程度，C 駅は-5dB 程度となっている。試験体 3 は 31.5Hz 帯域で -10dB 程度のディップと 100Hz 帯域で 10dB 程度のピークが認められる。ただし，100Hz 帯域でピークが認められるのは A 駅および C 駅の 2 駅で，B 駅では 63Hz 帯域より緩やかな右上がりの特性を示している。また AP 値の低減効果は，A 駅と C 駅が 2～3dB 程度，B 駅が-3dB 程度となっている。

固体伝搬音低減効果を試験体 1～試験体 3 で比較すると，天井面の振動を抑制して下部空間への放射音の低減を期待した防振対策による効果（試験体 1）が最も高い結果となった。また，吸音対策として選定した試験体でも効果が認められたものの，有孔板+グラスウール裏打ちの試験体 2 は 160Hz 帯域付近で，アルミ焼結吸音板の試験体 3 は 31.5Hz 帯域付近で仕上げ材の共振が生じて，対策効果がマイナスになることがあることを確認した。

#### 4. まとめ

首都圏の高架下駅 3 駅を対象として，コンコース天井で生じる列車通過時の振動加速度応答を調査し，当該データを用いて固体伝搬音を再現する方法で，高架下駅コンコース天井における対策工法による固体伝搬音低減効果を確認する実験を行ない，以下の知見を得た。

固体伝搬音の対策効果を各試験体の天井面で生じる振動加速度応答から評価すると，防振対

策による効果（試験体 1）が最も高く，吸音対策による効果も認められるが，有孔板+グラスウール裏打ちの試験体 2 は 160Hz 帯域付近で，アルミ焼結吸音板の試験体 3 は 31.5Hz 帯域付近で共振を生じ，対策効果がマイナスになることがあることを確認した。この結果より，防振対策は，高架下駅コンコースにおいて特に列車通過時の固体伝搬音の影響が大きい場所（例えば，列車の通過本数が多い，列車通過時の騒音レベルが非常に高い場所など）に，吸音対策は，固体伝搬音以外の騒音の大きい場所（例えば，列車の通過本数が少ない，案内放送の頻度が高く，その騒音レベルが大きい場所など）に推奨するなど，コンコースの音環境に応じた対策工法の提案が望ましいことが示された。

#### 参考文献

- 1) 李孝珍ほか：実測による駅コンコースの音環境調査および案内放送の聴感評価実験，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北），40133，pp.247-248，2018.9
- 2) 萩原孝彦ほか：駅コンコースの室内音響特性に関する実測調査，日本音響学会2021年秋季研究発表会，3-5-22，pp.587-588，2021.9
- 3) 伊積康彦ほか：模擬駅舎を用いた駅の音環境に関する実験 滞在人数による明瞭度の比較，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），40135，pp.301-302，2008.9
- 4) 日本建築学会編：建築物の遮音性能基準と設計指針 [第二版]，技報堂出版，pp435，1997

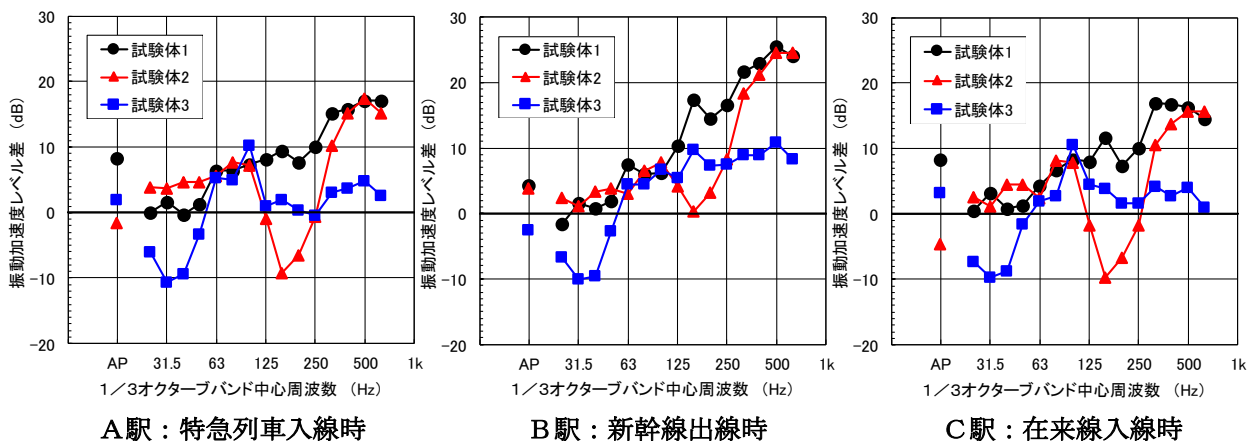


図-7 試験体 4 を基準とした各試験体の固体伝搬音低減効果