

## 高架下建物内居室の振動騒音低減手法の開発



佐藤 隆\* 古賀 和博\*\*

高架下空間を業務及び事業用として活用する際には、列車走行に伴う建物内の騒音を低減することが不可欠である。また、建物部材の振動により固体伝播音が発生するが、この対策として建物部材の振動を低減することも必要となる。これまで、騒音を低減させるための様々な取り組みがなされてきたが、なかでも内装材からの固体伝播音については、その振動を低減させることが困難であり対策に苦慮している。

本研究では、内装材のなかでも固体伝播音発生源として代表的な「天井材」に着目し、天井材振動を低減させる試みとして、制振理論を用いた「振動低減コマ」を開発し、実験室実験及び実駅実験にて性能評価を行った。その結果、振動低減コマの天井材への振動低減効果が確認できた。

キーワード：駅 騒音、振動、固体伝播音（固体音）、マスダンパー

### 1 はじめに

高架下空間の騒音は、空気伝播音（以下空気音：騒音発生源から空気を介して伝わる騒音）、固体伝播音（以下固体音：振動発生源から振動が伝わった固体から発生する2次騒音）に大別できる。

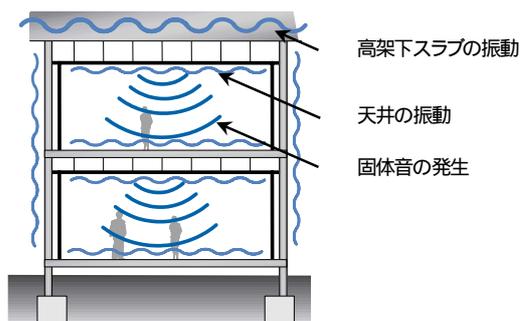


図1：天井材からの固体音

このうち空気音については、通常の騒音対策と同様に遮音性能の高いサッシや外壁を採用する等の対策により低減が可能である。一方、固体音については、鉄道近傍建物に特徴的な現象であり、部材の振動を低減するために鉄道建築特有の対策が必要とされる。

当社でも固体音対策として様々な技術開発を行ってきたが、吊構造や浮床構造に代表されるように建物構造の変更を伴う対策が多く、既存建物への対策として適する手法については、あまり例がない。

そこで今回、既存建物の音環境を安価に改善することを目的とし、既存建物に装置を付加するだけで効果を発

揮する対策法を提案することとした。今回の技術開発では、固体音の発生源として顕著な「天井材」を対象とした固体音削減装置を開発し、その効果を確認する。

### 2 振動低減コマの開発

#### 2.1 制振理論の適用

今回対象とする天井材からの固体音発生のメカニズムは、図1に示すように「列車走行に伴い、高架下スラブが振動する/高架下スラブ振動の振動が土木構造物・建物を伝わり天井材を振動させる/天井材の振動に伴い固体音が発生する」と説明される。

天井材から発生する固体音の対策としては、天井材に伝わるまでの振動経路にて振動を低減させるものが一般的であるが、今回の対策は既存建物への安価な施工を実現するために「天井材に装置を設置して天井材の振動を抑える」方法を採用することとした。

この振動低減装置として「制振システム」を用いる。制振の考え方を図2に示す。振動している物体1に対し、振動しうる物体2を設置することにより、物体1と物体2の振動が打ち消しあうために（共振周波数等の調整を要する）物体1の振動を低減することができる。なお、物体1から伝播する振動により物体2を振動させる場合をパッシブ制振、

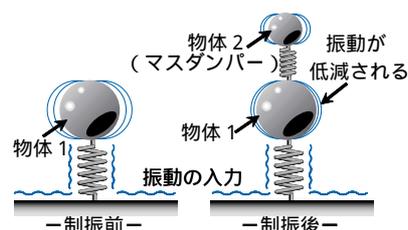


図2：制振の考え方

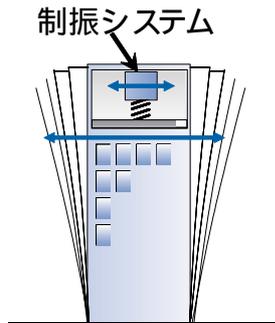


図3：高層ビルの制振

物体2に動力等を用い別途振動を与える場合をアクティブ制振という。このような制振システムは、図3に示すように、高層ビルの地震をはじめとした振動の低減手法として用いられている。

## 2.2 振動低減コマの提案

天井材の振動低減に前述のパッシブ制振理論を用いたシステムを考案した。装置のイメージを図4に示す。本研究では、この装置を「振動低減コマ」と称する。

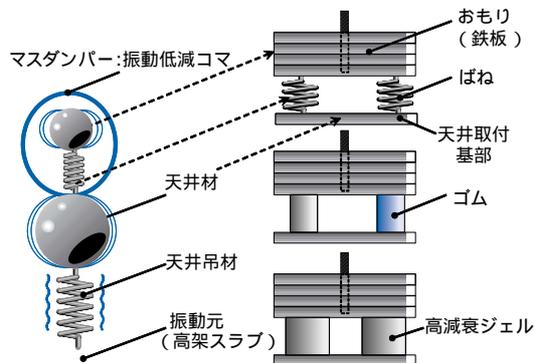


図4：振動低減コマのイメージ

「振動低減コマ」の性能に影響を与えるのは、おもりの重量、共振周波数、減衰率（弾性体の素材による）である。これらのパラメーターについて、天井材からの固体音の低減に最も有効な仕様を、実験室実験及び実際の列車振動環境下での実験により検討した。

## 3 振動低減コマの性能試験（実験室実験）

### 3.1 実験環境

考案した振動低減コマの基礎的性能評価のために、実際の高架下建物を模した模擬居室を実験室内に再現し、評価試験を行った。実験室の概要を図5-1に示す。模擬居室の寸法は2300×3300×H3200である。天井材が高架スラブから天井吊材により直接吊られている、一般的な高架下建物を模している。

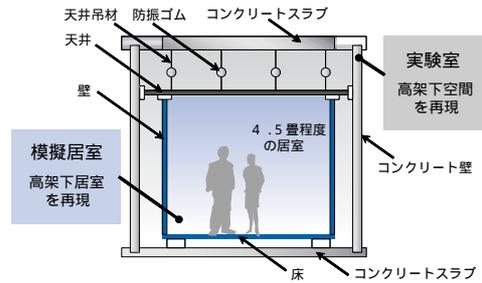


図5-1：実験室概要

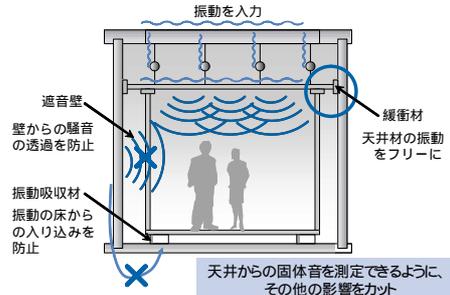


図5-2：防音防振処理概念図

上部のコンクリートスラブ（高架スラブに相当）に振動を与えることで天井吊り材から天井材へと振動が伝わり、固体音が発生する仕組みである。実在の高架下建物の天井からの固体音発生メカニズムが再現されている。

天井材は、代表的な素材である「石膏ボード」「アルミスパンドレル」の2種を選定し試験を行った。

模擬居室内で測定する騒音に関して、天井材からの固体音のみを測定できるように、図5-2に示すような防音・防振処理を施している。空気音については、室外で発生した空気音を模擬居室内に伝播させないように、模擬居室内の壁には遮音性能の高い材料を使用し、隙間部分には防音処理を施した。また、天井材以外からの固体音発生を防ぐために、床部分からの振動を伝えることのないよう、模擬居室は防振支持としている。

### 3.2 実験方法

実験室のコンクリートスラブに

- 列車通過振動
- ピンクノイズ
- バングマシン<sup>1)</sup>
- タッピングマシン<sup>2)</sup>

による振動を与えた。

( ) に関しては、スピー

ーカー加振によって振動を与えた。図6参照)

この振動環境下において、天井部材の振動及び測定室内の騒音を測定した。また、振動低減コマの挙動を確認



図6：スピーカー加振状況



図7：測定状況

するため、おもり部分の振動も測定した。測定状況を図7に、測定箇所を図8に示す。

- 1) 子供が飛びはねるような状況を想定した「重量床衝撃音」を発生する装置。7kg程度のゴムタイヤを80cm程度の高さから落下させて音を発生させる。
- 2) ハイヒールの音や小物の落下音を模した「軽量床衝撃音」を発生する装置。500g、30mmの金属性ハンマー5個が40mmの高さから0.1秒間隔で連続して自由落下することで音を発生させる。

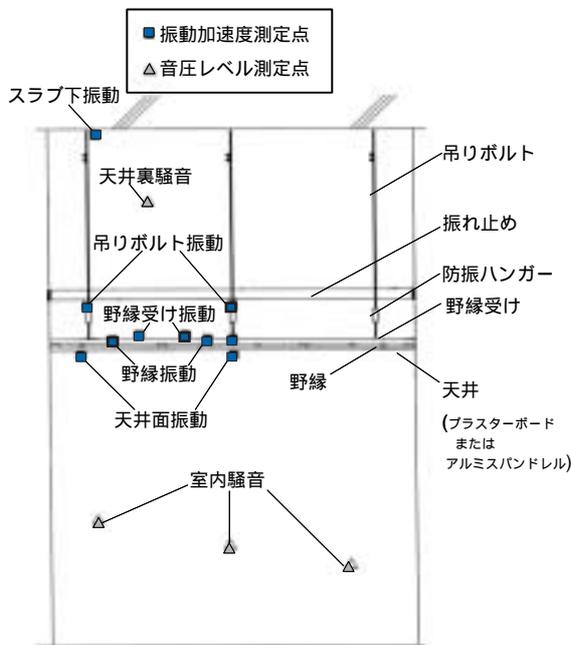


図8：測定箇所

### 3.3 振動低減コマの製作

前章にて発案した振動低減コマを、下記に示すパラメーターを組み合わせて、複数製作した。素材（弾性体）：減衰性能の違いによる効果の差を確認するため、パネ・ゴム・ジェルを用いた。



図9：振動低減コマ（A-1）

重量：約2000g及び約700gとした。

共振周波数：鉄道振動の卓越周期63Hz、及び天井材の固有周期26Hzに設定した。

振動低減コマの一例を図9に示す。各試験に用いた振

表1：試験設定一覧（実験室実験）

振動低減コマ名	素材	錘重さ (g)	共振周波数 (Hz)	試験番号		
				野縁受設置	野縁中央設置	ボード上設置
無し	-	-	-	1/8	-	-
A-1	ゲル	2000	26	2/9	6/11	-
A-2a	ゲル	700	26	3/10	-	-
A-2b	ゲル	2000	13	4/-	-	-
B-1	ばね	700	26	5/-	7/-	-
無し	-	-	-	21/35		
A-1	ゲル	2000	26	22/36	-	30/44
B-1	ばね	700	26	23/37	-	31/45
B-2	ばね	2000	63	24/38	27/41	32/46
C-1	ゴム	2000	26	25/39	28/42	33/47
C-2	ゴム	2000	63	26/40	29/43	34/48

石膏ボード/スパンドレル

動低減コマの仕様、設置場所を表1に示す。振動低減コマの設置位置は図10に示すように野縁<sup>3)</sup>・野縁受<sup>4)</sup>・天井材の3箇所とし、効果の比較を行った。

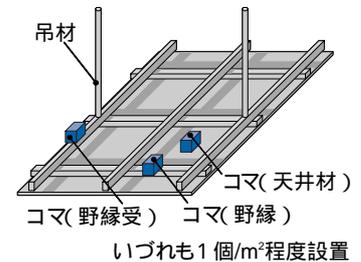


図10：振動低減コマ設置位置

### 3.4 実験結果

#### 3.4.1 振動低減コマの振動加速度

振動低減コマの振動加速度を図11に示す。天井材と振動低減コマのおもりが独立して振動している様子がわかる。このため、振動低減コマが制振装置として機能していることが伺える。

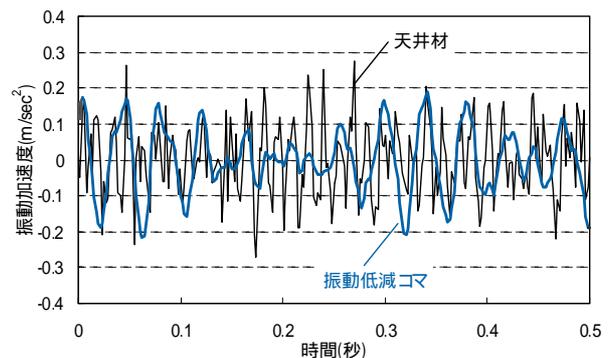


図11：天井材・振動低減コマの振動加速度

#### 3.4.2 振動低減コマによる振動特性の変化

振動低減コマによる振動特性の変化を検討した。図12に、振動低減コマ未設置時、設置時それぞれの振動周波数特性を表す。

3)【のぶち】天井板を取り付けるための材。

4)【のぶちうけ】野縁を支持し、吊材と接合する材。

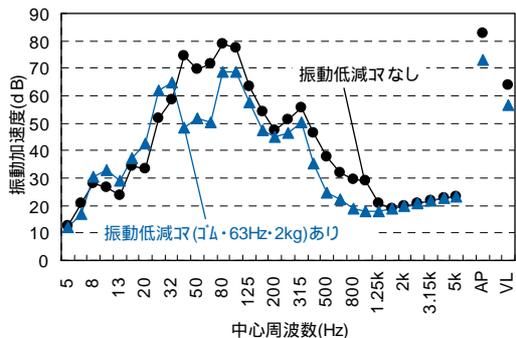


図12：振動低減コマによる振動特性の変化

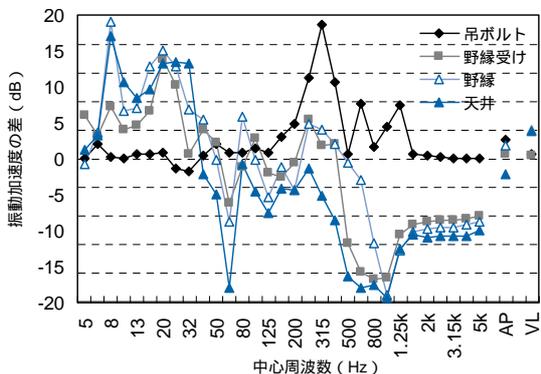


図13：スラブと各部材の振動加速度の差

振動低減コマの共振周波数近辺の振動加速度に最大20dB程度の減少傾向がみられる。また、図13に振動低減コマ設置した場合の、吊ボルト・野縁受け・野縁・天井材の振動加速度をスラブの振動加速度との増減値で表す。野縁・野縁受け・天井は、振動低減コマの共振周波数(63Hz)近辺の振動が低減している様子が読み取れる。

3.4.3 各パラメーターによる効果

振動低減コマの各パラメーター(共振周波数・素材・重量・設置位置)による効果の高さを比較すると、表2に示す通りとなった。

3.4.4 騒音と振動の関係

図14に振動低減コマ未設置時および設置時の振動と騒音の関係を示す。振動低減コマを設置することにより振動が低減し、これと共に騒音も低減する傾向がみられる。騒音は列車通過振動で最大2dB程度の減少となった。

表2：各パラメーターによる効果の違い

	高い	効果の高さ	低い
共振周波数	63Hz	26Hz	
素材	ゴム	ジェル	バネ
重量	2000g	700g	
設置位置	天井板	野縁	野縁受け

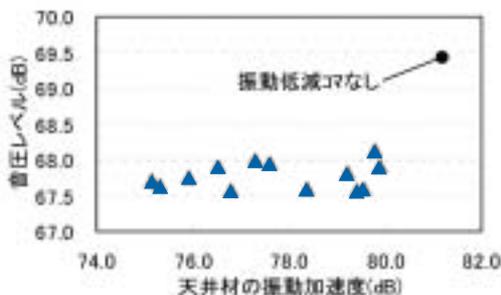


図14：振動低減コマによる振動と騒音の変化

4 現地試験

4.1 試験環境

前章で振動低減コマの振動低減効果については確認できた。そこで、実際の高架下建物に振動低減コマを設置し試験を行った。対象建物として戸田公園駅高架下ショッピングセンターを選定し、2階事務室を測定対象とした。高架橋上を走行する埼京線の振動が高架スラブを伝わり、天井吊り材経由で天井材を振動させる状態となっており、前章の実験室と同様の固体音発生状態となっている。測定対象室の位置を図15に、平面図を図16に、測定室内部の状況を図17に示す。

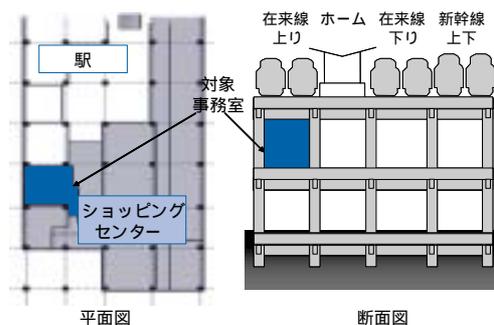


図15：測定対象室の位置図

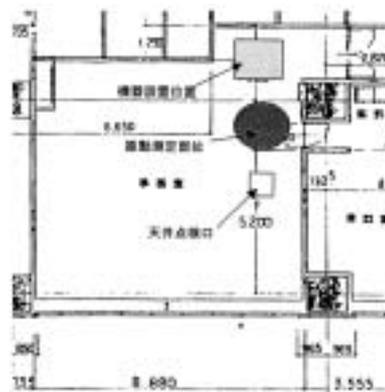


図16：測定対象室平面図



図17：測定対象室（「Beans」事務室内）

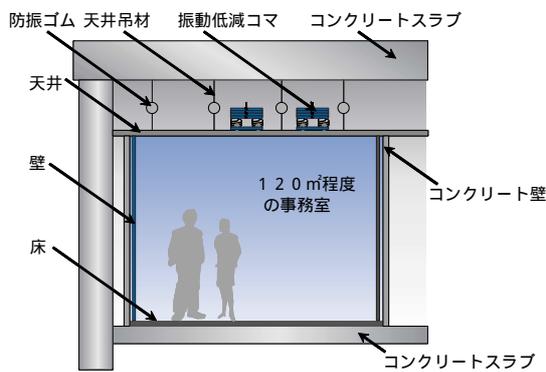


図18：測定対象室断面略図

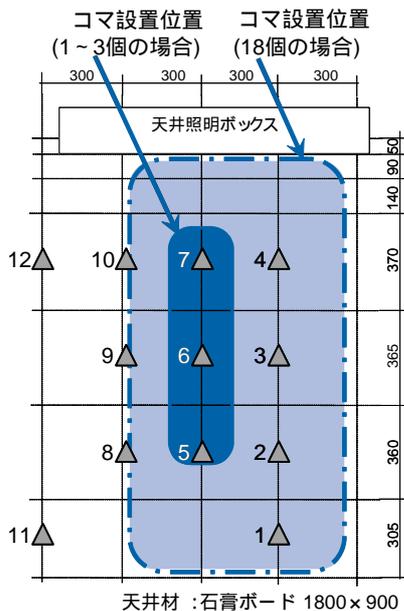


図19：天井面振動測定位置図（図中）

#### 4.2 試験方法

振動低減コマを、図18に示すように天井材上部に設置し（平面上の設置位置は図19参照）設置時及び未設置時の室内各部の振動を列車通過時に測定した。振動測定箇所は図19に示すように天井材の室内側に12箇所、野縁・野縁受・高架スラブ・振動低減コマ上に1箇所ずつとした。また、天井からの固体音を中心に測定するための指

表3：試験設定一覧（現地試験）

振動低減コマ名	素材	錘重さ (g)	共振周波数 (Hz)	試験番号		設置個数
				野縁中央	ボード上	
無し	-	-	-	101/-	-	-
B-2	ばね	2000	63	-	102/-	1
B-3	ばね	700	63	104	103/-	3
無し	-	-	-	111/112	-	-
B-3	ばね	700	63	113/114	-	18
A-3	ゲル	700	63	-	115/-	3
A-4	ゲル	2000	63	-	116/-	1

防音シートあり/防音シート無し

向性マイクを天井付近に1箇所、室内騒音の測定のためのマイクを室内中央部に1箇所、設置した。

#### 4.3 振動低減コマの仕様

表3に振動低減コマの仕様を示す。前章の実験室実験結果から共振周波数は63Hzとし、天井材を中心に設置を行った。弾性体についてはゴムを用いた場合、素材の性質上構造が複雑になるため実用化には向かないと判断し、この試験ではバネ及びジェルを用いた。2000gの振動低減コマを1つおいた場合に加え、同質量を分散させて設置した場合の効果を見るために、700gの振動低減コマを3つ設置した場合も用意した。

なお、スラブから空気を介しての天井への振動の伝播について検討するため、空気を介しての伝播を防ぐ防音シートを設置した条件も試した。

#### 4.4 現地試験結果

振動低減コマ・防音シートの有無による天井材の振動加速度の差を図20に示す。700g x 3個と2000g x 1個の場合を比較すると、全体的な傾向として前者の効果が高い。バネは40Hz付近で顕著な効果が見られるが、全体としてはジェルの方が効果が高いことがわかる。また図21に示すとおり、コマ近傍と比較すると、コマから遠いポイント及び野縁直下では振動低減値が小さい。以上より、振動低減コマの効果は設置箇所近傍に限られるので、多くのコマを設置することが理想的であるといえる。また防音シートを設置した場合には、500Hz～5000Hzでの振動加速度の低減が確認できた。

振動低減による天井材からの固体音の低減効果について図22に示す。天井付近騒音では、共振周波数近辺の振

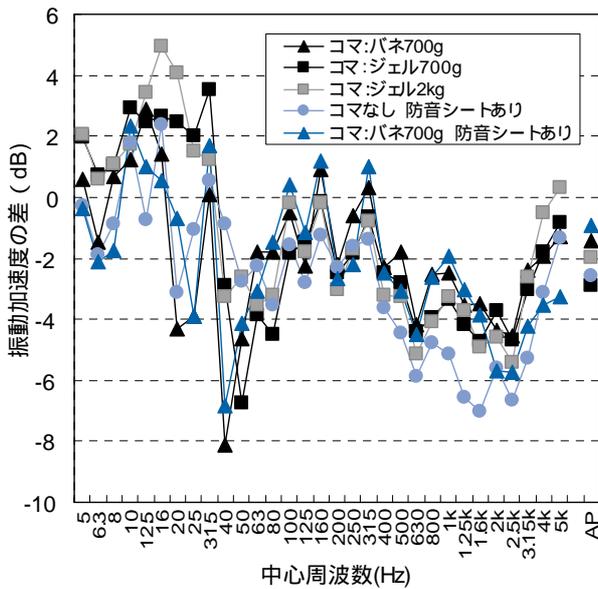


図20：各種振動低減対策による振動低減効果

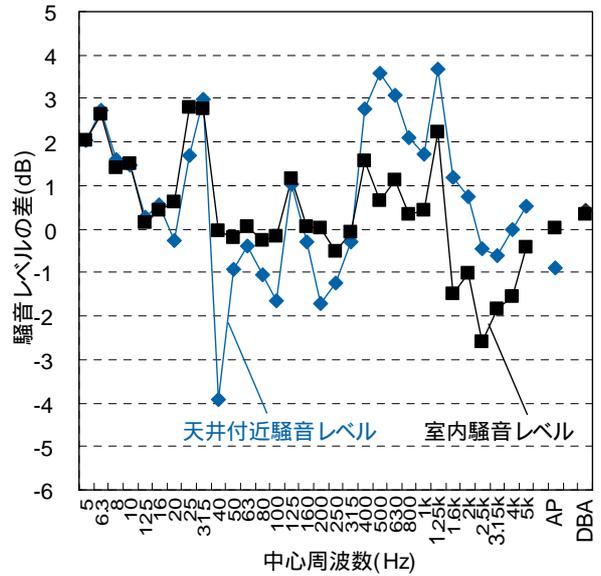


図22：騒音レベル増減効果（ジェル700g）

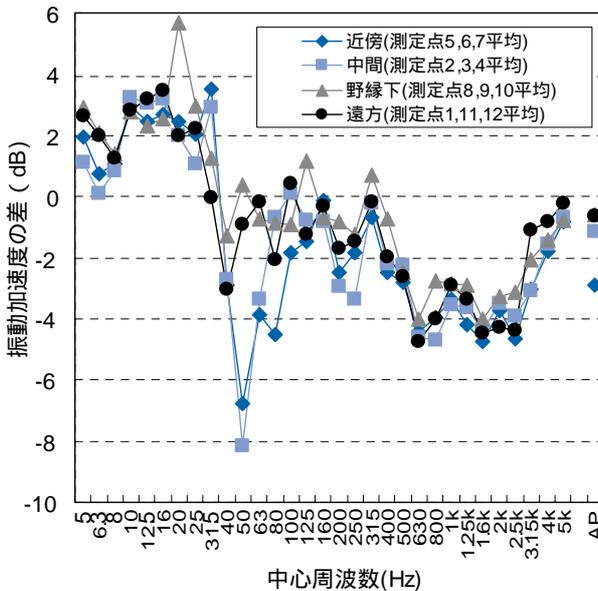


図21：各測定点における振動低減効果

動加速度が低減されているが、AP値では振動低減コマ設置による明確な差はみられなかった。これは、測定対象室の遮音性能が低いために空気音の影響があり、天井からの固体音の影響が比較的小さかったためと考えられる。

## 5 おわりに

考案した振動低減コマについて試作を行い、実験室実験及び現地実験にてその性能評価を行った。結果として以下の事柄が確認できた。

- ・ 振動低減コマの天井材への振動低減効果が確認できた。
- ・ 振動低減コマの共振周波数は、天井材固有振動数の26Hzよりも鉄道騒音の卓越周期である63Hzとしたほうが、効果が高い。
- ・ 設置箇所は天井材 > 野縁 > 野縁受けの順に効果が高い。
- ・ 弾性体は、ゴム > ジェル > バネの順に効果が高い。
- ・ おもり重量は重いほうが効果が高い（2000g > 700g）。
- ・ 同重量であれば分散させたほうが効果が高い。

また、現地試験では空気音や壁からの固体音の影響などがあり、十分な効果が得られなかったが、振動低減コマのマスダンパーとしての機能は確認できた。

今後は、解析結果をもとに、より効果的な仕様について検討を進めていく予定である。