

バルコニー軒天井の反射処理による騒音低減方法

富澤 秀夫^{*1}・中澤 真司^{*1}

概 要

鉄道や道路に近接して建設される建物の室内音環境の維持確保を目的に、バルコニー軒天井に反射板を取り付け、サッシの遮音性能を高めることなく、外周壁部分へ入射する騒音そのものを低減して、室内発生騒音を低減する手法の開発を、実験を通して進めている。

実験は、まず、技術センターにて音響反射板と実大部分模型を試作し、音響反射板の性能に関する各種検討を行った。次に、実際に鉄道に近接する建物を利用して、鉄道騒音を対象とした反射板の性能確認実験を行い、バルコニー軒天井へ反射板を取り付けた場合の騒音低減効果について検討した。

検討の結果、反射板の効果は、高周波数域になるほど、また、階が増すほど大きくなることが確かめられた。さらに、実騒音（鉄道）の場合は、反射板の取り付け角度による性能への影響が、実大部分模型実験の場合より顕著に表れる可能性が示された。

キーワード：バルコニー、反射板、室内発生騒音

NOISE REDUCTION BY ACOUSTIC REFLECTION PANEL MOUNTED
ON A BALCONY CEILINGHideo TOMIZAWA^{*1} Shinji NAKAZAWA^{*1}

Abstract

For the purpose of ensuring good indoor acoustics in buildings in the vicinity of railways or roads, we are developing a technique using an acoustic reflection panel mounted on the balcony ceiling. This technique is capable of attenuating the noise coming into the envelope of a building even without increasing the acoustic insulation of window frames.

In the development, prototype acoustic reflection panels were made. With a full-scale partial model using these panels, performance verification tests were conducted in Tekken's technology center. In addition, reflection panels were installed on a balcony ceiling of an actual building near the railway to verify the acoustic performance of the technique for reducing railway noise.

The results of these tests demonstrated that the effect of the reflection panel is higher in the higher frequency range, and on higher floors. The results also showed that, for the actual noise (from the railway), the effect of the installation angle of the reflection panel is more significant than in the tests with the full-scale partial model.

Keywords: balcony, acoustic reflection panel, indoor noise

^{*1} Environment Engineering Group, Engineering Technology Center, Engineering Division

バルコニー軒天井の反射処理による騒音低減方法

富澤 秀夫*1・中澤 真司*1

1. はじめに

筆者らは、鉄道や道路に近接して建設される建物の室内音環境の維持確保を目的に、バルコニー空間を利用して室内発生騒音を低減する手法について検討を進めている。これまで、バルコニー空間を吸音或いは反射処理する方法、また、バルコニー手摺形状を変更する方法等により得られる騒音低減効果について、1/8 縮尺模型を用いて各種実験を行ってきた。その結果、バルコニー軒天井に反射板を取り付ける方法は、天井を吸音処理する方法と同様に、軒天井で反射して室内に入射する音圧を抑え、効果が期待できることを確認した^{1), 2)}。

そこで、バルコニー軒天井へ反射板を取り付

けた場合の室内発生騒音の低減効果について、技術センター内での実大部分模型実験及び、実際に鉄道に近接した建物による鉄道騒音を対象とした反射板の性能検証実験を実施し、検討を行った。

2. 実大部分模型による実験の概要

2. 1 実大部分模型及び反射板の概要

実大部分模型の概要を図-1に示す。実大部分模型は、3階建て事務所ビルの屋上にユニットハウス(2.3×4.76×2.875m)をパラペットから2m離して設置し、パラペットをバルコニー手摺と見立て、バルコニー及び居室としたものである。

なお、バルコニーの戸境部は、合板厚12mmで裏打ちしたフレキシブルボード厚8mmをもって隔て板としている。

反射板の概要を図-2に示す。反射板は、鋼製の角パイプからなるメインフレームに丁番を用いて止め付け、両端をフラットバーを介してボルトで固定することにより、任意の角度(0°~90°)に調節できる仕組みとした。

なお、反射板は、窓の幅に対して20cm長い、全長2mの反射板Aと、1.0m長い全長2.8mの反射板Bの2種類とし、アルミ樹脂積層複

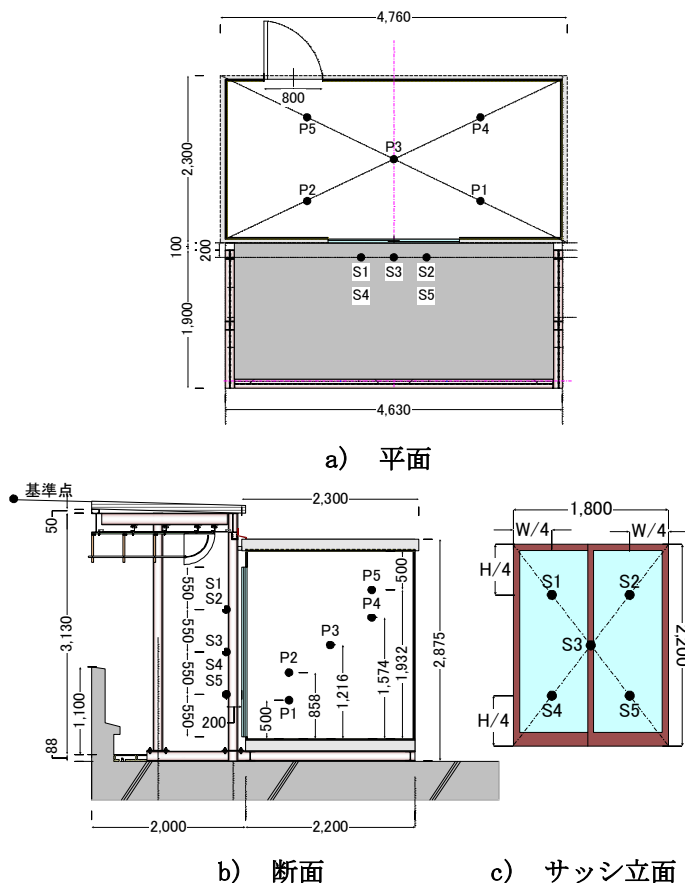


図-1 実大模型の概要

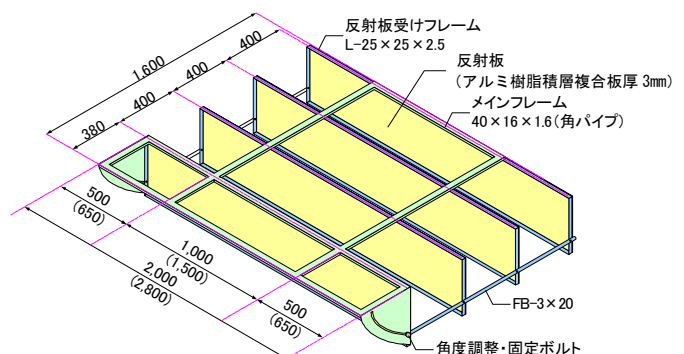


図-2 反射板の概要

*1 エンジニアリング本部 技術センター 環境グループ

合板厚 3mm を用いて製作した。

2. 2 実験及び解析方法

測定ブロックダイアグラムを図-3に示す。

実験は、図-1中●印で示した室内5点、バルコニー5点と、発音音の出力確認用にバルコニー屋根上に手摺壁より外側に設けた基準点の計11点に、騒音計（RION NA-27）のマイクロホンヘッドをそれぞれ取り付け、地盤上のスピーカ（JBL MP415）より雑音信号発生器（RION SF-05）を用いてピンクノイズを発信し、1/3オクターブバンド中心周波数で50Hz～5kHzを対象に10秒間の等価音圧レベルを計測した。

ただし、80Hz以下の帯域では、スピーカの出力が不足していたため、1/1オクターブバンド中心周波数で63Hzの帯域の雑音を発信し、同様の計測を行った。

なお、各測定は、100Hz帯域以上を対象に4回、50～80Hz帯域を対象に1回実施した。また、軒天井への音の入射角度が実建物の3階～8階に相当するよう、音源位置及び反射板角度を調整して実験を行った。

分析は、100Hz帯域以上の周波数域を対象に行った各4回の結果をバルコニー及び居室内の測定点毎に算術平均し、各点の算術平均値をエネルギー平均してバルコニー及び居室内の平均音圧レベルを求めた。50～80Hz帯域のデータについては、各点のレベルをそのままエネルギー平均して、バルコニー及び居室内の平均音圧レベルとした。

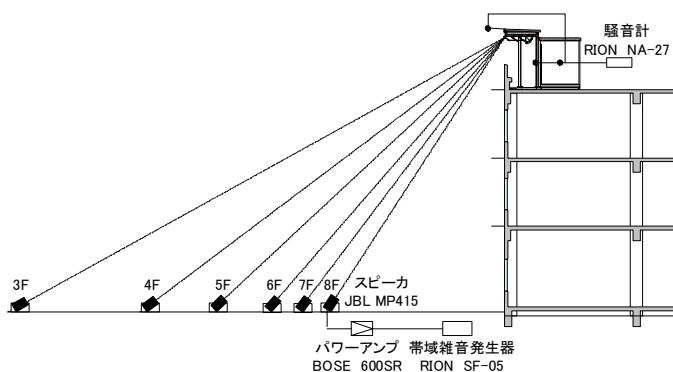


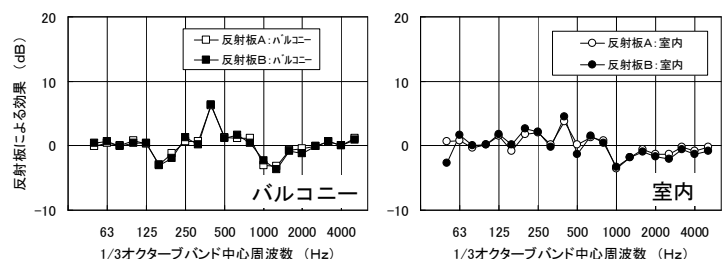
図-3 測定ブロックダイアグラム

2. 3 実験結果の検討

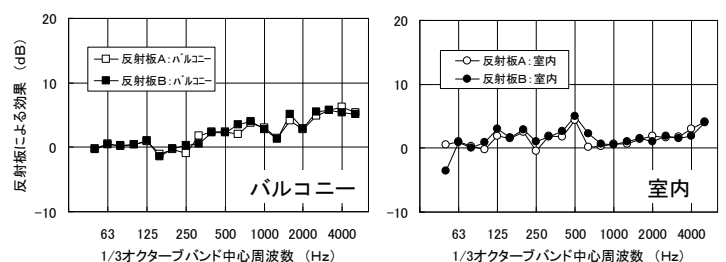
反射板なしの状態で作られたバルコニー及び室内の等価音圧レベルから、反射板A及び反射板Bを取り付けたときに得られたバルコニー及び室内の音圧レベルを差し引いて求めた値を反射板の効果として図-4に示す。

これらの結果をみると、バルコニー及び室内ともに、3階では400Hz帯域付近で反射板の効果がみられるものの、他の帯域ではほとんど効果は得られていない。反射板の効果は、およそ5階付近より表れ、高周波数域になるほど大きくなっている。また、階の上昇とともに効果量は大きくなる傾向が認められた。

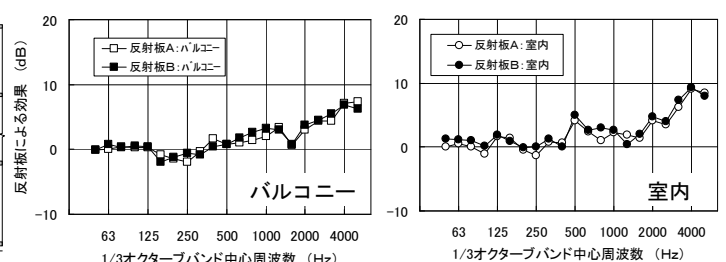
反射板が窓幅よりも20cm長い反射板A（ $l=2.0\text{m}$ ）と、1.0m長い反射板B（ $l=2.8\text{m}$ ）を比べてみると、室内ではわずかながら反射板Bの方が効果は大きく表れているが、バルコニーではほとんど変化はみられない。



a) 3階



b) 5階



c) 8階

図-4 反射板による効果の例：隔て板あり、窓あり

一方、バルコニー戸境の隔て板を取り外した場合の5階の反射板による効果を示した図-5をみると、隔て板が無い場合は、反射板 B よりも反射板の全長が短い反射板 A の方が室内の反射板による騒音低減効果は大きくなっていく。ただし、バルコニーでは隔て板ありの場合と同様、両者の差はほとんど表れていない。

隔て板ありの状態、窓中央より15cm間隔で格子状に合計154点の測定点を設け、窓面に入射する音圧レベルを計測した。図-6に2kHz帯域の測定結果例を示す。反射板なしの場合は、窓上部30cmで音圧レベルが大きく表れているが、反射板を取り付けると、そのような傾向はなくなり、反射板の効果がこの部分で大きく表れることがわかる。

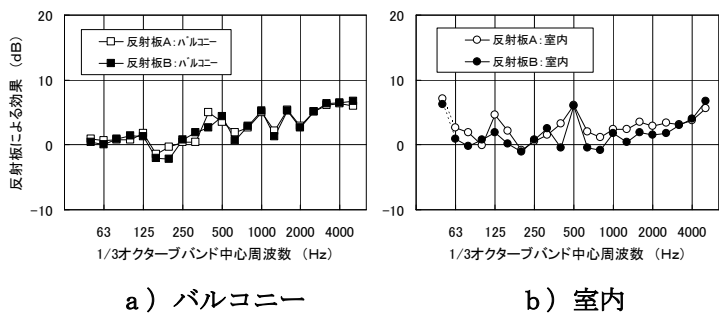


図-5 反射板による効果：5階，隔て板なし，窓あり

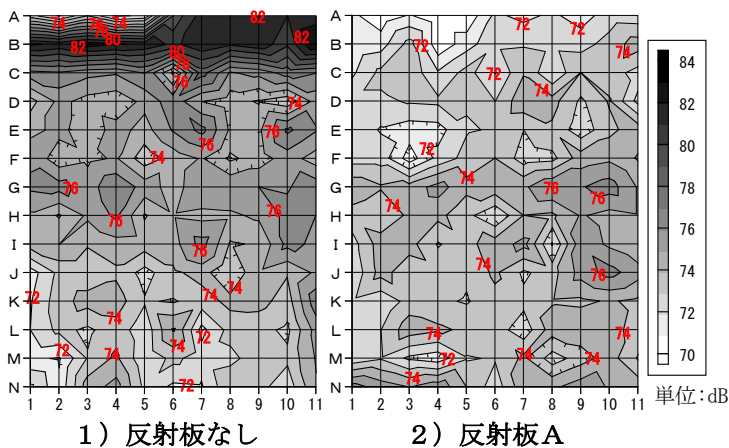


図-6 窓面に入射音分布特性例

: 2kHz 帯域, 5階, 隔て板あり

表-1 検討項目一覧

No.	検討項目	基本形状	内容
1	反射板高さ	37cm	30cm~10cmまで、5cm毎6パターン
2	反射板枚数	4枚	バルコニー外側より1枚減、2枚減 室内側より1枚減、2枚減
3	反射板材質	アルミ樹脂積層複合板3mm	アルミ3mm
4	反射板角度	47° (5階)	基本の角度に対し±3°, ±6°, ±9°
5	バルコニー幅	2.0m (反射板4枚)	1.5m (反射板3枚)

2. 4 実建物への施工に向けた検討

(1) 検討項目

反射板の実建物への施工に向け、実大模型を用いて、反射板の幅や枚数の変化、材質の違いによる影響等を検討した。検討項目は、表-1に示す5項目で、検討項目1は、反射板の幅を、基本幅(37cm)に対して30cmから10cmまで、5cm刻みで6パターン変化させたもの。検討項目2は、反射板の枚数(4枚)をバルコニー外側より1枚、2枚減じたもの、また、室内側より1枚、2枚減じたもの。検討項目3は、反射板の材質をアルミ樹脂積層複合板厚3mmからアルミ板厚3mmに変更したもの。検討項目4は、基本の反射板角度から±3°, ±6°, ±9°と反射板の角度を変更したもの。検討項目5は、バルコニーの幅を2.0mから1.5mに狭めたものである。

なお、項目1~項目3の検討は、バルコニー部戸境の隔て板がありの状態、窓幅よりも20cm長い全長2.0mの反射板Aを用い、2.3節で反射板の効果が確認された5階~8階を対象に行った。また、項目4の検討は、隔て板ありの状態、全長2.8mの反射板Bを用い5階を対象に、項目5の検討は、隔て板なしの状態、反射板Aを対象に実施した。

なお、実験及び解析方法は、2.2節に示した方法と同様である。

(2) 実験結果の検討

反射板の効果を検討項目毎に図-7~図-11に整理して示す。

反射板の幅の違いによる反射板の効果の変化を示した図-7をみると、およそ反射板の幅は、25cmまで小さくしても、基本とした反射板(37cm)とほぼ同等の効果が得られることがわかる。

反射板の枚数減による反射板の効果の変化を、図-8でみると、バルコニー外側から反射板を減らした場合は、1枚でも効果が大きく低下するが、室内側から反射板を減らした場合は、1枚であれば、性能はあまり変化しないことが

わかる。

反射板の材質は、表-2に示す物性を有するアルミ樹脂積層複合板から建築資材として広く利用されるアルミ板に変更した。図-9をみると、反射板をアルミ板としても性能はほとんど変化しないことがわかる。

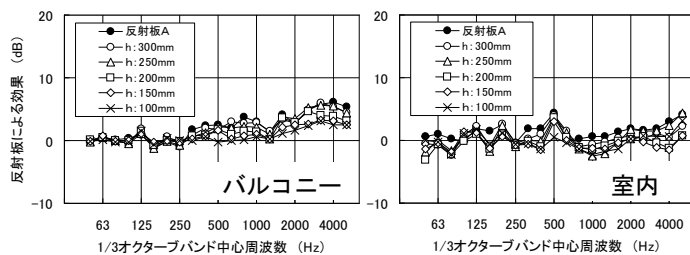
反射板の角度は、反射板の面が軒天井へ直接入射する音に対して直角となる角度を基本とした。基本の角度に対し、 $\pm 3^\circ$ 、 $\pm 6^\circ$ 、 $\pm 9^\circ$ と角度を変化させた場合の反射板の効果を図-10に示す。反射板角度は、 $\pm 9^\circ$ までであれ

ば、若干の変化はみられるが効果はほぼ等しくなることがわかる。なお、基本の角度に対して $\pm 6^\circ$ の反射板の角度の変化は、本実験の場合、およそ1階分の角度変化に相当する。

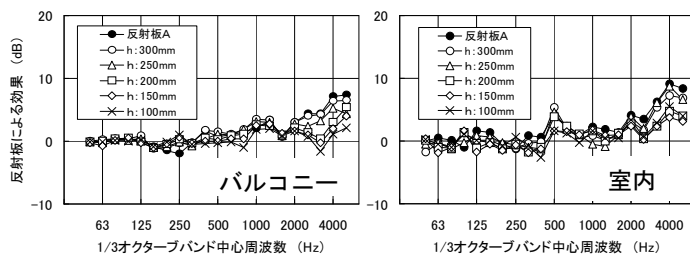
バルコニー幅を2.0mから1.5mに変更した場合の反射板の効果を示した図-11をみると、バルコニー幅が狭まり、軒天井の面積が小

表-2 反射板に利用した板材の物性

項目	単位	アルミ樹脂積層複合板	アルミ板
比重		1.0	2.7
引張強さ	MPa	26.0	90~100
伸び	%	10.5	4以上
曲げ強さ	MPa	71.8	—



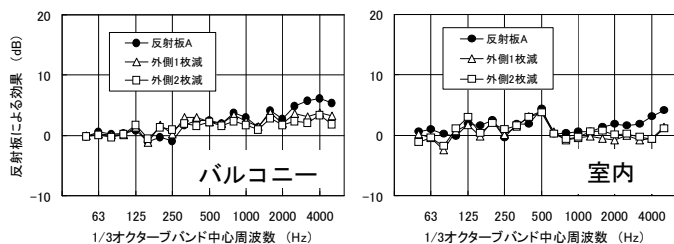
a) 5階



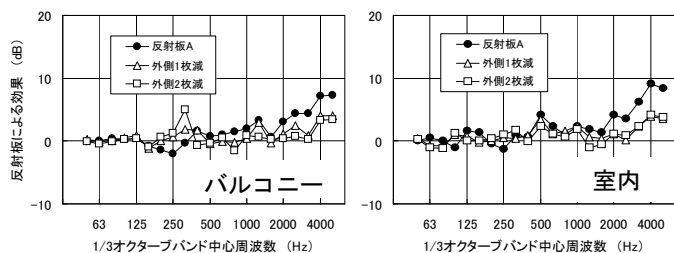
b) 8階

図-7 反射板の幅の違いによる効果の変化

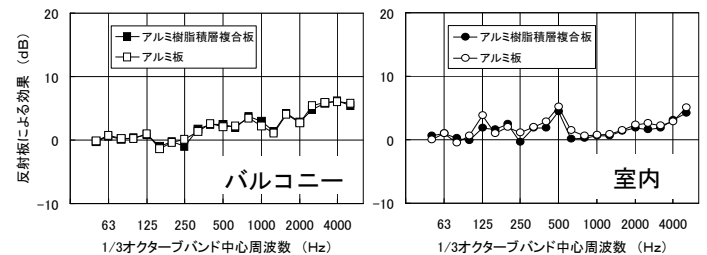
: 反射板A、隔て板あり



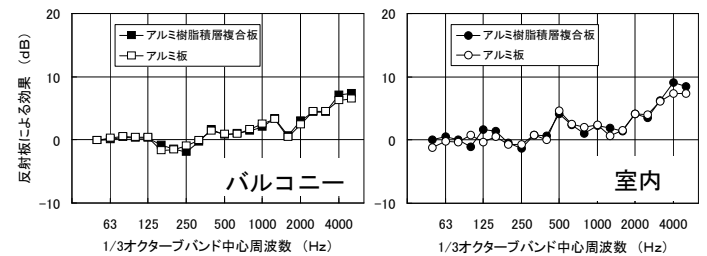
a) 5階 外側より反射板枚数減



c) 8階 外側より反射板枚数減



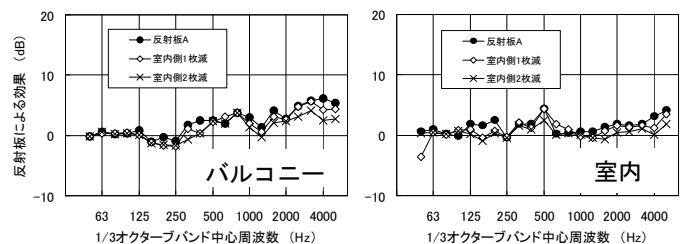
a) 5階



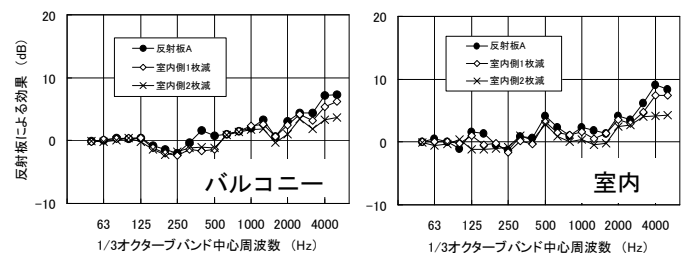
b) 8階

図-9 反射板の材質の違いによる効果の変化

: 反射板A、隔て板あり



b) 5階 室内側より反射板枚数減



d) 8階 室内側より反射板枚数減

図-8 反射板の枚数減による効果の変化: 反射板A、隔て板あり

さくなると、反射板による効果も低下している。

ただし、バルコニー幅の変更により、反射板の枚数も4枚、から3枚に減少している。

3. 実建物での反射板の性能確認

鉄道に面して建設される建物を対象にバルコニー軒天井へ反射板を取り付け、鉄道騒音に対する反射板の騒音低減効果について検証した。

3. 1 測定対象建物の概要

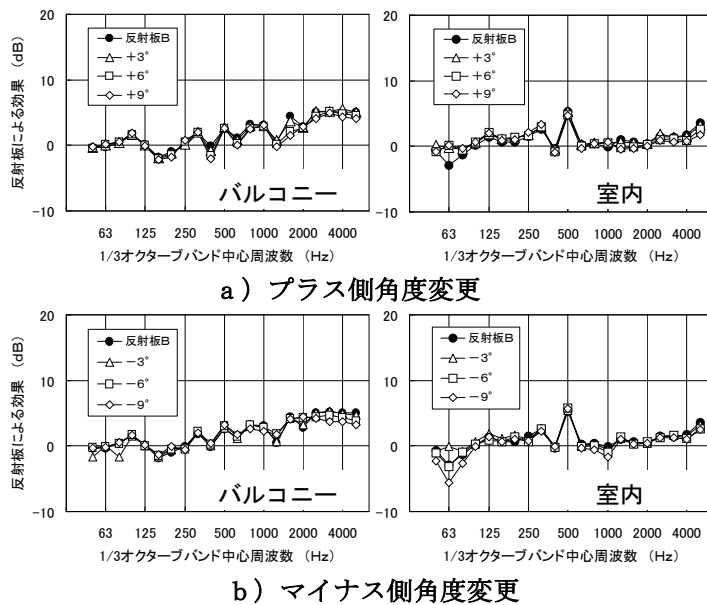


図-10 反射板の角度の違いによる効果の変化
：反射板B, 5階, 隔て板あり

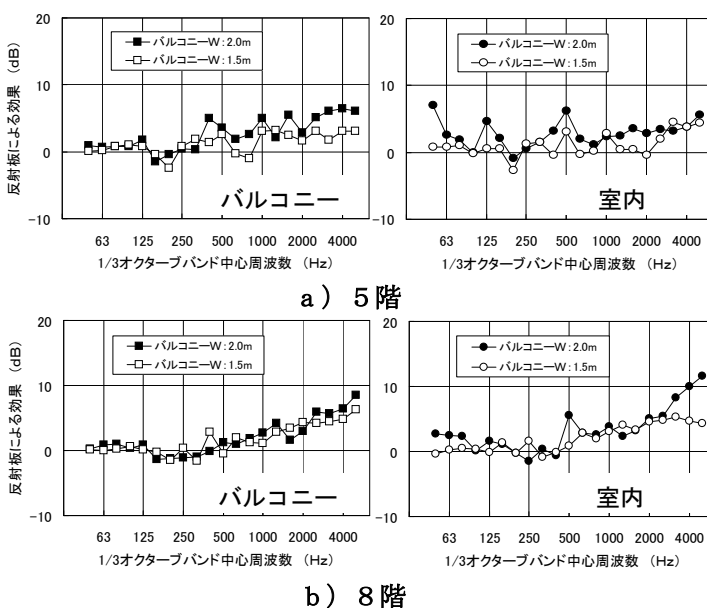


図-11 バルコニー幅の違いによる効果の変化
：反射板A, 隔て板なし

測定対象とした建物と鉄道の関係を図-12に示す。建物は、線路用地に直接面し、軌道中心から約6mの距離にあるRC造地上7階建ての集合住宅である。測定対象室は、図-13中ハッチングで示したLD室とそのバルコニーとし、対象階は3階及び5階の2フロアとした。

なお、建物は施工途中であり、測定時には玄関扉が付いていなかったことから、玄関側からの音の回り込みを抑えるため、図-13中のA部を石膏ボード(厚12.5mm×2枚貼り)にて塞ぐ処置をとった。また、建物が雁行しており、B部が左右対称でないことから、B部で反射して室内へ入射する音の影響を抑えるため、B部にガラスウールを貼り付ける処置をとった。さらに、対象室外周壁面の換気用スリーブ等は、鉛シートで覆う処置をとった。

3. 2 測定及び解析方法

測定は、LD室及びバルコニーに各3点、また、基準用としてバルコニー外部に1点、マイクロホンを設置し、電車走行時の発生騒音を7点同時にデータレコーダに収録した。

LD室及びバルコニーのマイクロホン設置位置を図-14に示す。LD室のマイクロホン設置位置は、部屋の対角線上の3点とし、高さを

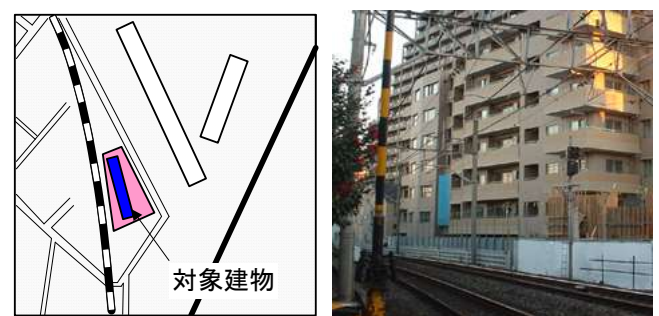


図-12 建物と鉄道の関係

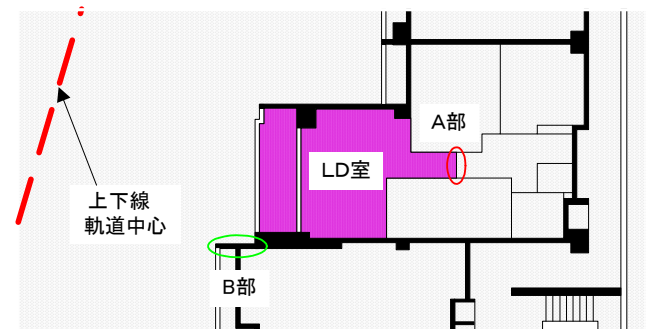


図-13 測定対象室

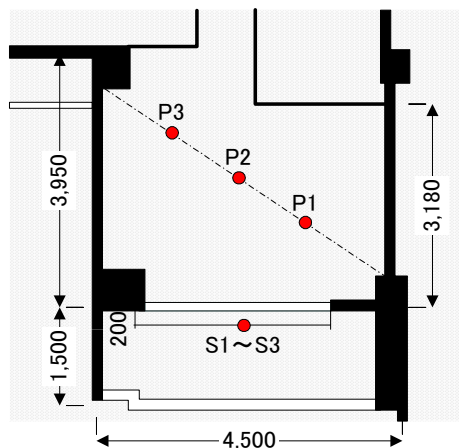
変えて分布させた。また、バルコニーのマイクロホン設置位置は、窓面より 20 cm 離れた窓中央の鉛直線上の 3 点とした。

解析は、収録した全ての鉄道騒音データを対象とし、実時間分析器を用いて中心周波数 50Hz～5kHz の 1/3 オクターブバンド毎に、音圧レベル最大値 ($L_{\max}$) を求め、上下線各 10 本のうち、周波数特性が明らかに異なるデータを除いた 8～9 データについて算術平均を行い各点のレベルを求め、求めた各点のレベルをエネルギー平均して、バルコニー及び室内の平均音圧レベルとした。

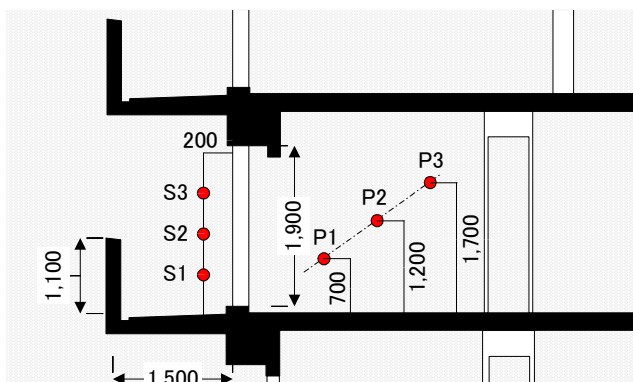
3. 3 反射板の概要

実建物での実験に用いた反射板の概要を図-15に示す。

反射板はアルミ板厚 3 mm を用い、長さ 2,810 mm (窓幅+200 mm) の反射板 A と、長さ 4,070 mm (バルコニー幅-100 mm) の反射板 B の 2 種類とした。



a) 平面



b) 断面

図-14 マイクロホン設置位置

反射板の角度は、2. 4 節の検討において、おおよそ $\pm 9^\circ$ の範囲であれば、角度が変化しても効果にほとんど影響を及ぼさないことが検証されたことから、上り線軌道中心と下り線軌道中心の中央の点から測定対象階のバルコニー軒天井への入射角を算出し、入射角に対して直角となるよう調整した。

3. 4 測定結果

鉄道騒音を対象とした実建物での反射板の効果を図-16及び表-3に示す。

図をみると、実大模型実験の場合と同様に、反射板の効果は、周波数の上昇とともに大きくなる傾向がみられる。

ただし、効果が比較的明瞭に表れるのは、5 階であり、鉄道とバルコニーの位置関係が、実大模型実験の場合に効果の認められた 5 階とほぼ等しくなる 3 階では、効果はほとんど表れていない。これは、本実験の場合、3 階バルコニーと鉄道までの距離が近すぎ、音源がある程度の高さを持った面音源として作用したためかと考えられる。

次に、上り線と下り線で効果を比較してみると、3 階ではあまり差が認められないが、5 階では、5kHz 帯域を除き、およそ、800Hz 帯域以上の高周波数域では、上り線の方が、また、200～315Hz 帯域付近では、下り線の方が効果が大きくなっている。実大模型実験では、反射板の角度が所要の角度の $\pm 9^\circ$ 程度までであれば効果にほとんど差がみられなかったが、本実

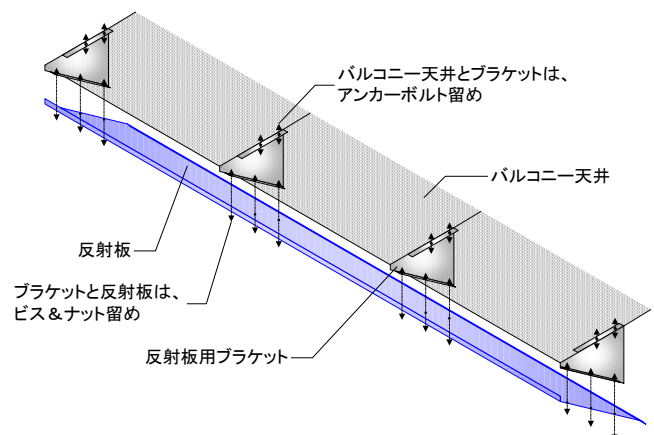


図-15 反射板の概要

験の場合は、5階では上り線と下り線の効果に違いが認められた。

反射板の長さの違いによる効果の変化を、反射板A及び反射板Bで比べてみると、長さの長い反射板Bの方が反射板Aよりも若干効果が大きくなっている。実大部分模型の場合は、反射板の長さの違いによる効果の変化は、塞ぎ壁ありの場合はほとんどみられなかったが、本実験では、音源が線音源となったためか僅かではあるが効果に変化が認められた。

反射板の効果は、表－3の騒音レベルをみると、3階バルコニーでは、上り線、下り線ともに1 dB程度、室内では対象とした開口部以外の部位から音の回り込みがあったためか、バルコニーでの効果は反映されず、逆にマイナスとなっている。5階では、上り線の場合、バルコニー及び室内ともに反射板Aでは1 dB程度、反射板Bでは2 dB程度の効果となるが、下り線の場合は、反射板A、反射板Bのどちらも、バルコニー及び室内ともにおよそ3 dBの効果となっている。

4. まとめ

反射板による室内騒音低減手法を取り上げ、バルコニー軒天井へ反射板を取り付けたときの騒音低減効果について実験を行い検討した。

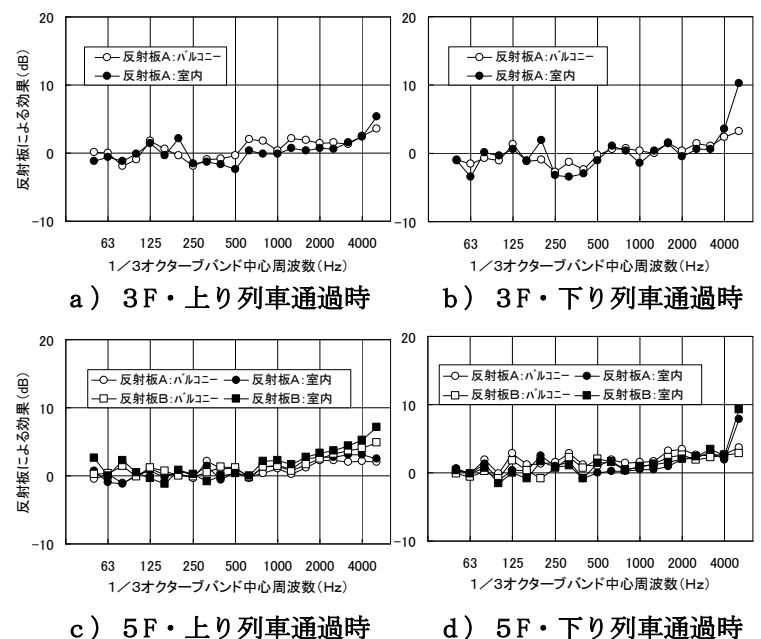
検討の結果、以下のことが示された。

- ①反射板の効果は、周波数の上昇とともに大きくなる。
- ②効果が顕著に表れるのは、実大部分模型実験、実建物での実験ともに5階以上であった。ただし、実大部分模型実験の場合に効果の認められた5階は、実建物では、3階レベルに相当するが、実建物の3階では、反射板の効果は、ほとんど得られなかった。これは、実建物での実験の場合、3階バルコニーと鉄道までの距離が近すぎ、音源がある程度の高さを持った面音源として作用したためかと考えられる。
- ③実大模型実験では $\pm 9^\circ$ 程度までの反射板の

角度の変化であれば効果に違いはみられなかったが、本実験の場合は、5階の上り線と下り線で効果に違いが認められた。そのため、実音源（鉄道）の場合は、反射板の取り付け角度による性能への影響が、実大部分模型実験の場合より顕著に表れる可能性が示された。今後、反射板による騒音低減手法の実用化を目指し、反射板の適用範囲等を明らかにしていきたい。

参考文献

- 1) 富澤秀夫他：1/8 縮尺模型実験によるバルコニー空間を利用した室内発生騒音低減手法に関する検討 その1 日本建築学会学術講演梗概集，No.40005, pp.9-10, 2003.9
- 2) 森山太郎他：1/8 縮尺模型実験によるバルコニー空間を利用した室内発生騒音低減手法に関する検討 その2 日本建築学会学術講演梗概集，No.40006, pp.11-12, 2003.9



図－16 実建物における反射板の効果

表－3 実建物における反射板の効果
騒音レベル一覧：単位 (dBA)

	上り		下り	
	ベランダ	室内	ベランダ	室内
3F 反射板A	0.9	-0.3	0.6	-0.6
5F 反射板A	1.2	1.3	2.6	2.9
5F 反射板B	1.8	1.6	2.5	3.3