

側路伝搬音の予測手法に関する研究

—その2 外壁固体音の入射・放射面積の影響と対策法に関する研究—

稲留 康一* 飛松 幸彦*

1. はじめに

集合住宅などの隣接した住戸間の遮音設計では、界壁の遮音性能に着目した検討が一般的になされているが、遮音性能の高い界壁を使用した場合、期待していた性能が得られないといった問題が発生することが多い¹⁾。これは、2室間の音の伝搬経路として、窓からの廻り込みや外壁からの振動伝搬（以下、外壁固体音と記す）などの側路伝搬の影響が無視できないためである。界壁の遮音性能に影響を与えないようにするためには、遮音設計時において、これらの側路伝搬音に対する十分な検討が必要である。しかしながら、側路伝搬に関する研究状況としては、窓からの廻り込みについては検討事例²⁾³⁾があるものの、外壁固体音に関する事例は少なく、その影響を定量的に把握するに至っていないのが現状である。ヨーロッパでは、壁体内の振動について拡散振動場を仮定した側路伝搬音の予測計算方法が規格化⁴⁾されているが、必ずしもすべての場合に適合するものではない。

外壁固体音の影響を把握するために、超高層集合住宅などで採用されている外壁 ALC 版を対象に実験的検討を行った。本報では、室内内装壁の音の入射・放射面積が室間遮音性能に与える影響を検討するために実施した室間音圧レベル差の測定結果、外壁および内装壁の振動伝搬特性の実験結果と外壁固体音の対策方法について示す。

2. 実験概要

2.1 室間音圧レベル差測定

図-1に示す実験室において外壁固体音による遮音性能低下量を測定した。試験体は、外壁に相当する部分を ALC 版 (100 mm) とし、室内側には、発泡ウレタン (20 mm) を吹き付け、直貼り工法により石こうボード (9.5 mm) を施工した。界壁には自立型の高性能乾式二重壁 (カタログ値: Rr-55 相当) を設置した。

外壁側の石こうボード直貼り壁 (以下、内装壁: 高さ 2700 mm) の入射・放射する面積を変化させるために、図-2に示す遮音カバーを設置した。なお、遮音カバーには、設置による音場の変化を極力避けるため、端部にテーパを設け、内装壁表面とはシールで取り合うようにした。また、各条件下で測定した室間音圧レベル差に

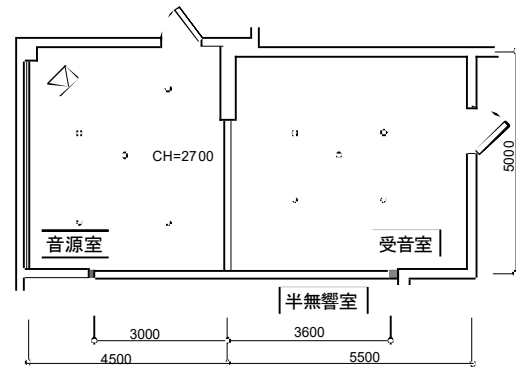


図-1 実験室の概要

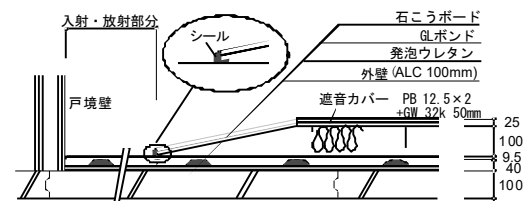


図-2 遮音カバーの概要

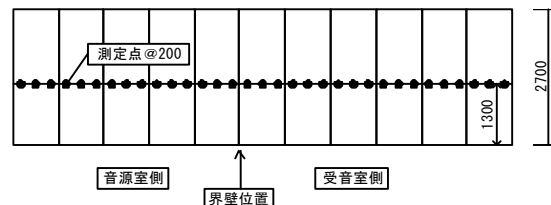


図-3 外壁振動測定点の概要

については、遮音カバー設置前の室内等価吸音面積を基準として、条件による吸音力の変化を補正している。

2.2 振動測定

外壁の ALC 版の、高さ 1300 mm の位置に測定ラインを設け、200 mm ピッチ (各 ALC 版で 3 点) で振動加速度レベルを測定した。測定点の概要を図-3に示す。なお、測定ラインについては、高さ方向の振動モードの影響を考慮し、平均的な値が得られる高さに設定している。内装壁では、ボンド上 (▲) とボンド間の中央 (△) に測定ラインを設け、各ラインに対して高さ方向 6 点の振動測定を行った。内装壁の振動測定点の概要を図-4に示す。

振動加速度レベルの測定は、1/3 オクターブバンドを基本とし、音源室でピンクノイズを発生させたときの各

*環境研究室

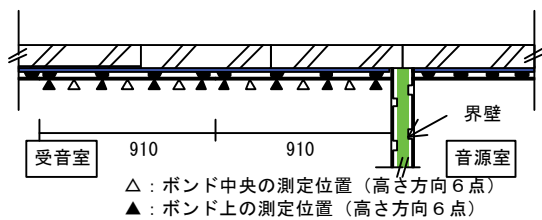


図-4 内装壁における振動測定点の概要

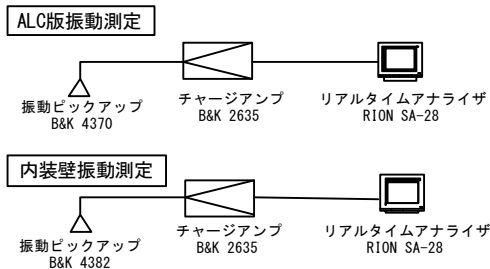


図-5 測定・解析ブロックダイアグラム

測定点における 30 秒間のエネルギー平均値を求めた。測定ブロックダイアグラムを図-5に示す。

3. 入射・放射面積の影響に関する実験結果

3.1 遮音カバーの効果の確認

遮音カバーの有無による音源室側 ALC 版での振動加速度レベルの差を図-6に示す。125 Hz 帯域付近では、遮音カバーの効果は得られていないものの、石こうボード直貼り工法で遮音欠損の起こる 250, 500 Hz 帯域付近では、5~10 dB 程度の効果が得られている。

入射・放射幅を 0 mm とした場合（内装壁全面に遮音カバーを設置）における室間音圧レベル差の測定結果を図-7に示す。なお、図中には、界壁の音響透過損失から計算した遮音性能推定値（直接透過音のみ）を併せて示した。これをみると、計算値と測定値はほぼ対応しており、遮音カバーを設置することにより外壁固体音の影響が現れないことを確認できる。

3.2 室間音圧レベル差

入射・放射幅の違いによる室間音圧レベル差の測定結果の例（入射幅 910 mm）を図-8に示す。遮音性能低下の起こる周波数は 250 Hz 帯域~1 kHz 帯域で顕著であり、石こうボード直貼り工法の遮音欠損の起こりやすい周波数と一致している。また、250, 500 Hz 帯域においては、放射面積が大きくなるに従い遮音性能が低下する傾向を確認することができる。ただし、変化の度合いは、放射面積が増大するにつれて減少している。一方、1 kHz 帯域の結果では、放射幅が 455 mm 以上の範囲では放射面積が増えても低下量は一定値を示している。低下の傾向に周波数依存性がみられることから、遮音低下量には、外壁部における振動の伝搬減衰の周波数特性と関係があると考えられる。

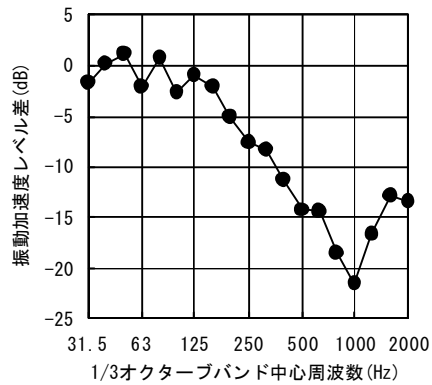


図-6 遮音カバーの効果

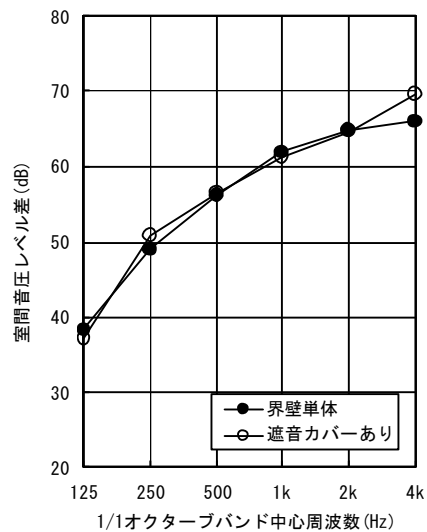


図-7 遮音カバー設置時の室間音圧レベル差の実測値と界壁からの直接透過音の計算値との比較

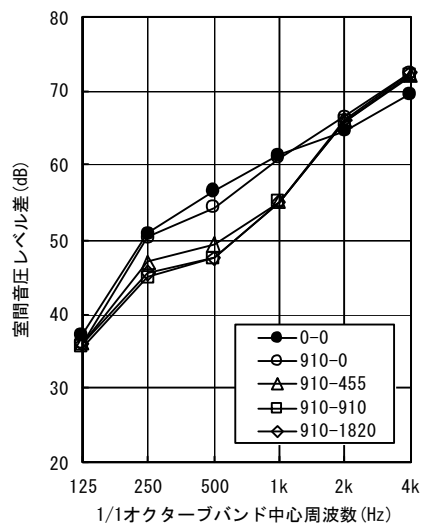


図-8 入射・放射面積の違いによる遮音低下量の測定結果例

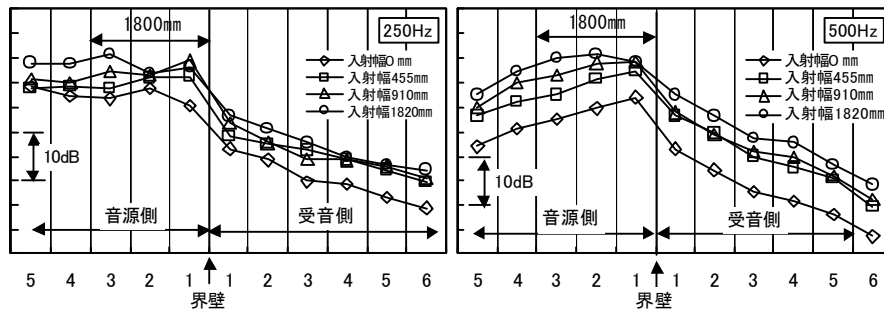


図-9 入射面積に対する ALC 版振動測定結果

3.3 外壁 ALC 版振動

入射面積を変化させた場合の外壁 ALC 版の振動加速度レベル測定結果を図-9に示す。なお、図は、1/3 オクターブバンド帯域ごとの各 ALC 版ごとのエネルギー平均値（3点）を示している。まず、音源側に着目してみると、入射幅が増加したことにより全体的にレベルが上昇する傾向がある。特に 500 Hz 帯域では、入射幅が増えるに従い、レベルの高い部分が広がっていく傾向にあり、音源室内装壁から外壁 ALC 版への振動伝搬が明確に現れている。しかし、250 Hz 帯域では明確とはなっていない。この原因は、遮音カバーの効果（図-6）が 5 dB 程度であったことや ALC 版の伝搬減衰が低周波数域ほど小さいことなどが考えられる。

次に受信側の伝搬性状では、入射幅によらず、界壁からの距離が離れるに従い直線的にレベルが低下している。さらに、その減衰勾配には周波数依存性が見られ、周波数が高くなると急勾配となっている。また、音源側と受信側の境界（界壁部分）では、極度なレベル差を生じている。これは、界壁へのエネルギー伝達（交差減衰）や、界壁が支点として作用していることなどが要因であると考えられる。

3.4 内装壁振動

図-10に内装壁の振動測定結果(1/3 オクターブバンド)の一例を示す。これを見ると、内装壁では、概ね界壁からの距離が離れることにより直線的な減衰を示すことが確認できる。また、ポンド上とポンド間中央での減衰の傾きは、250 Hz 帯域ではほぼ一致しているが、500 Hz 帯域では違いが生じている。これは、内装壁と空気層による共鳴周波数や、ポンドで支持されている石こうボードの卓越周波数（4点支持されている領域）が 500 Hz 帯域付近にあるため、ポンド間では共振の影響を受けているものと考えられる。

3.5 入射・放射面積と遮音性能低下量の関係

250, 500 Hz 帯域における室内音圧レベル差の変化量（遮音低下量）に着目して測定結果を整理した。入射・放射幅=0 mm（全面に遮音カバー設置）の音圧レベル差を基準として、放射面積変化に着目したものを図-11に示す。

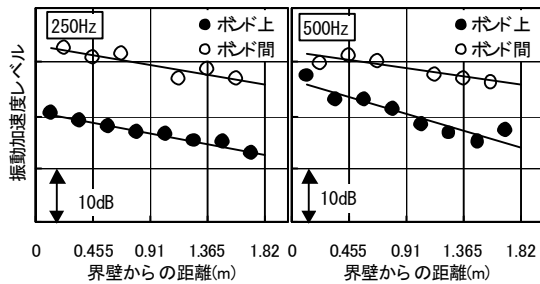


図-10 内装壁の振動伝搬性状

これらの結果から、例えば、入射幅を 910 mm、放射幅を 455 mm とした場合と、入射幅を 455 mm、放射幅を 910 mm とした場合の遮音低下量とを比較すると、250, 500 Hz 帯域とも放射幅よりも入射幅の方が遮音低下量への変化の影響度が大きいことが確認できる。

また、入射面積を一定として放射面積を増加させた場合よりも、放射面積を一定として入射面積を増加させた場合の方が、遮音低下量の変化が大きい。

3.6 振動性状と遮音低下量の関係

面積変化と遮音低下量の関連をみるため、内装壁の振動加速度レベルと入射・放射面積の影響について検討を行った。図-12に入射面積の変化させたときの内装壁における振動測定結果を示す。なお、この図は、放射幅 455, 910, 1365, 1820 mm ごとにエネルギー平均値を求め、

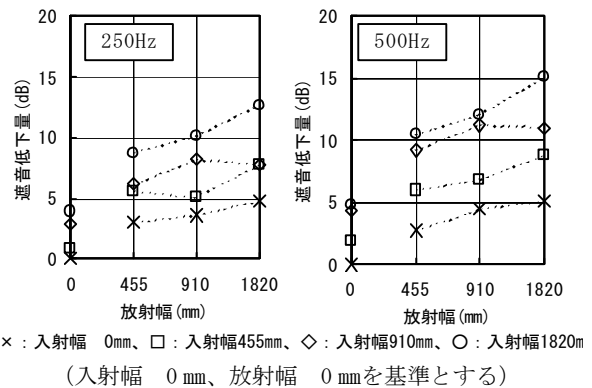


図-11 放射幅と遮音低下量の関係

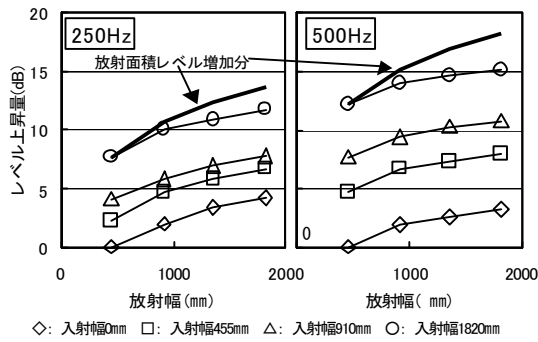


図-12 内装壁振動の面積変化の影響

それぞれの放射面積レベル (=10log(S)) を加えたもので、入射幅= 0 mm、放射幅=455 mm を基準とした相対レベルで示している。また、参考として、放射幅に対する放射面積レベルの増加分を併せて示す。これを見ると、放射面積が増えるに従い、内装壁振動は上昇していくが、その上昇量は放射面積レベルの増加分とは比例しておらず、その増分よりも少ない値を示している。これは、図-10 に示した内装壁の減衰特性からも明らかのように、界壁に近い位置の影響が大きいためであり、室内放射音に寄与する内装壁振動は、伝搬減衰を見込んだ積分値で評価する必要があるといえる。また、3.3 に示した ALC 版振動と同様、入射面積が増加すると内装壁振動も相対的に上昇する傾向がある。その上昇量は、放射面積によらずほぼ一定値となっており、入射面積と放射面積は独立に考慮することができる可能性を示している。なお、入射面積の増加に伴う受音側界壁付近における内装壁と ALC 版の振動増加量の傾向はほぼ一致していた。

また、図-11 と図-12 の結果を比較すると、入射面積・放射面積のそれぞれの増加に伴う振動加速度レベルの増加量の傾向は、遮音低下量の傾向と若干異なっているものの、入射面積の変化に伴う変化量の方が放射面積の影響より大きいことや、放射面積の変化に伴う増加量は放射面積レベルの増加分より小さいなどの傾向について一致している。

4. 外壁固体音の対策法について

4.1 内装壁での対策

ここでは、外壁側の内装下地を変えた試験体を製作し、各仕様が遮音性能に与える影響量に関する実験を行った。なお、試験体内装下地は、図-13 に示すような直貼り工法(Type1)、木下地(Type2)、軽量鉄骨下地(Type3)とした。音源室および受音室に対する内装下地の組み合わせを表-1 に示す。

測定は、室間遮音性能と、外壁 ALC 版振動について行った。

a. 音圧レベル差の測定結果

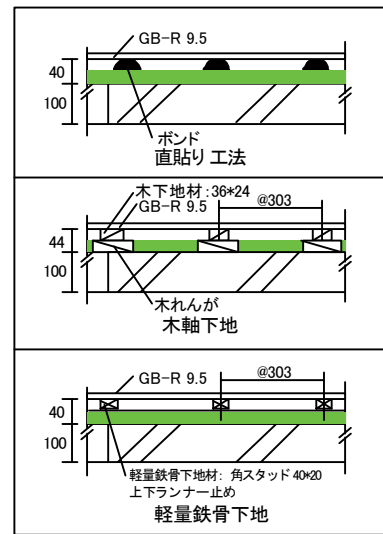


図-13 試験体の概要

表-1 試験体の組み合わせ

	音源室	受音室
Case1	Type1 直貼り工法	Type1 直貼り工法
Case2	Type2 木下地	Type1 直貼り工法
Case3	Type3 軽量鉄骨下地1	Type1 直貼り工法
Case4	type2 木下地	type2 木下地
Case5	Type3 軽量鉄骨下地1	Type3 軽量鉄骨下地1

表-1 に示した各 Case における室間音圧レベル差の測定結果を図-14(a) (Case1~Case3)、図-14(b) (Case4, 5) に示す。なお、図中には、内装壁未施工時および Case1 に石こうボード 9.5 mm を増し貼りした場合の遮音性能測定結果を併せて示した。

まず、図-14(a) の音源室の内装壁下地を変化させた場合の結果であるが、内装壁未施工時と比べ、Case1 では外壁固体音の影響により遮音等級で 1 ランク性能が低下している。音源室側に石こうボードを増し貼りした場合には、若干の効果は現れているものの、遮音等級を改善するには至ってはならず片側だけの増し貼りでは有効な対策とは言えない。しかし、音源室側を直貼り工法から他の内装下地に変更すると、直貼り工法で遮音欠損が生じていた 250Hz、500Hz 帯域および 1kHz 帯域での遮音性能が改善されるようになる。遮音等級では 1 ランクの改善となっており、内装壁未施工時と同程度まで改善されている。

つぎに、両室内を直貼り工法から他の下地に変更した場合(図-14(b))では、図-14(a)に示した結果よりも、500Hz 帯域ではさらに遮音性能の改善が図られている。直貼り工法 (Case1) の両室に増し貼りをした場合でも、他の Case に比べれば改善効果は劣るものの遮音等級で 1 ランク程度の改善は期待できそうである。

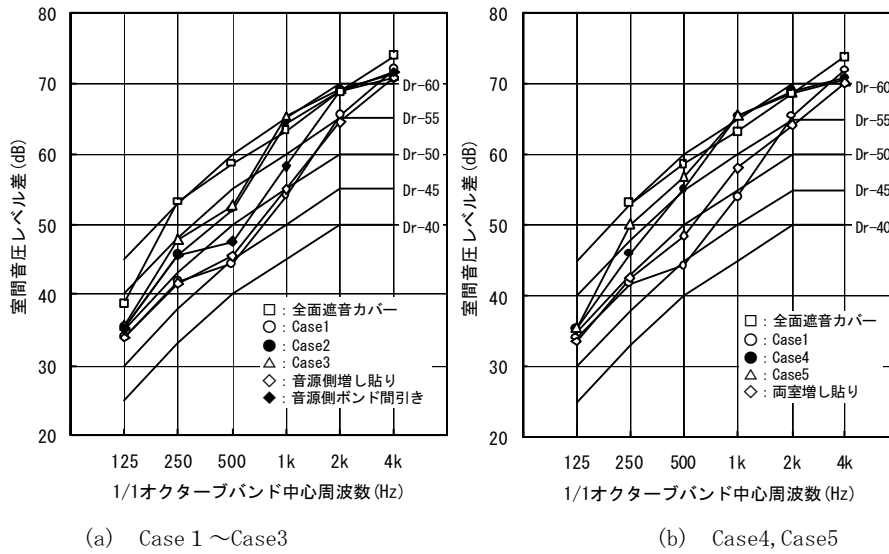


図-14 室間音圧レベル差測定結果

b. 外壁 ALC 版振動

外壁 ALC 版における振動測定結果を図-15 に示す。Case1 (直貼り工法) が最も振動加速度レベルが高く、音源室側内装壁を介して ALC 版に伝達してくる振動が大きいことがわかる。他の下地 (Case2~Case4) との間には比較的大きなレベル差を生じており、内装壁下地の仕様による内装壁から外壁への振動伝達に対する効果が明確に現れている。500Hz 帯域では、直貼り工法以外の下地仕様でも、軽量鉄骨下地 (Type3) に比べ木下地 (Type2) のほうが若干ではあるが、外壁に伝搬する振動が大きいところもある。これは、木下地の場合、発泡ウレタンを吹き付ける前に、あらかじめ木れんが等を設置しそこへ下地材を取り付けるため、1本の木下地材に対し最低2カ所で外壁と木下地が連続することとなる。しかし、軽量鉄骨系の下地材の場合では、基本的には上下に設置したランナーに取り付けられるため、外壁に対しては振れ止めの意味合いで数カ所接触する程度で施工が可能であり、外壁と下地の接触点が少ない。このため、工法面の差がわずかではあるが振動伝達に対する効果に現れているものと考えられる。また、直貼り工法について接点数 (ボンド数) を極端に少なくした場合 (910 mm×1820 mmの石こうボードを8点でボンド支持

した) の実測例を図-15 中に示すが、直貼り工法でも外壁 (発泡ウレタンを含む) との接触点数が少なくなれば、他の下地と同様、外壁への振動伝達に対する効果がみられるようになる。

4.2 外壁 ALC 版の界壁部にスリットを入れた場合の効果

ここでは、外壁 ALC 版の界壁部分 (T字交差部分) にスリットを入れ振動を絶縁したことによる効果を示す。スリットは、ALC 版が設置された状態において、丸鋸 (カッター幅 2 mm) により切断した。なお、ALC 設置用に設けられる上下の L アンクルについてはカットしていない。スリット幅は 2 mm と 40 mm とし、40 mm の場合にはスリット部分にロックウールを充填し、表面をシール処理した。図-16 に ALC 版スリット部の詳細を示す。

Case1 (両室直貼り工法) における外壁 ALC 版の界壁付近の振動測定結果を図-17 に示す。スリットが内場合でも界壁と外壁の交差部分では、前述したように界壁へのエネルギー伝達 (交差減衰) や、外壁 ALC 版の剛性が低いことによる界壁が支点として作用していることなどが要因と考えられるレベル差を生じている (250Hz で 10dB 程度、500Hz で 5dB 程度)。ALC 版にスリットを入れた効果は、幅 2 mm、幅 40 mm の両方で得られており、幅 2 mm でも 250Hz 帯域で 7 dB、500Hz、1kHz 帯域で 5 dB

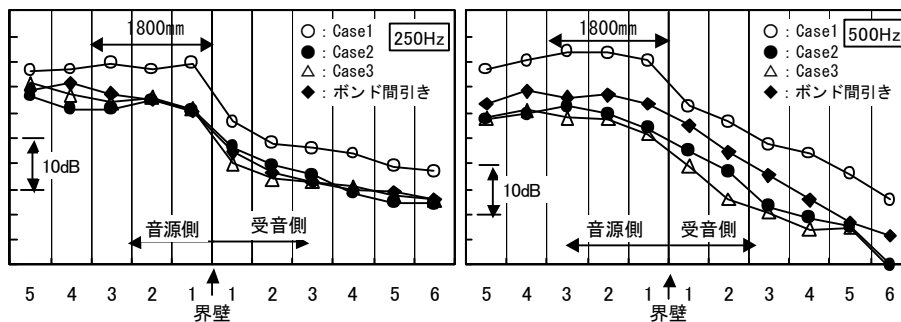


図-15 外壁振動の測定結果

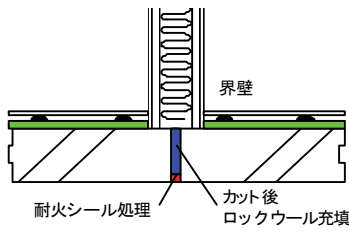


図-16 スリットの概要

程度ある。

スリット挿入後における室間音圧レベル差の測定結果を図-18に示す。受音室に伝搬する振動が少なくなるため、室間音圧レベル差は向上している。無対策時とスリット挿入後のレベル差（対策効果）は、図-17に示した外壁ALC版での振動低下量と同程度であり、2mm程度のスリットでも遮音等級で1ランク程度の改善が図られている。

5. おわりに

本報では、入射・放射面積が外壁固体音に対して与える影響および外壁固体音の対策方法について実験的な検討を行い、以下のような知見を得た。

- ① 入射面積と放射面積では、遮音低下に対する寄与度が異なる
- ② 外壁ALC版の受音側および内装壁における振動は、直線的な減衰を示し、その減衰勾配には周波数依存性がみられる
- ③ 室内音圧レベルに寄与する内装壁の振動については、伝搬減衰を考慮した積分的な扱いをする必要がある
- ④ 音源室側の内装壁下地を直貼り工法から木軸下地や軽鉄下地に変えることにより1ランクの性能改善が期待できる
- ⑤ 交差部にスリットを設けることによって、内装壁を直貼り工法としても、無対策時よりも1ランク性能改善することができる

本実験の結果、外壁固体音の予測を行うために必要な

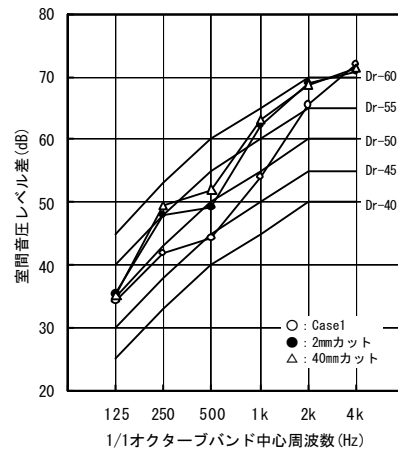


図-18 室間音圧レベル差測定結果

傾向を把握できた。今後、これらの影響を考慮した予測手法について研究を行う予定である。なお、本研究は鹿島建設と共同で実施したものである。

【参考文献】

- 1) 村石：室間遮音性能の予測と実態、音響技術 105号
- 2) 木村・小塚：室間遮音性能に与える窓からの迂回路伝搬音の影響、音響技術 61号
- 3) 稲留・飛松：側路伝搬音の予測手法に関する研究（その1-窓からの廻り込み音の予測手法）、奥村組技術研究年報 No. 26、2000. 7
- 4) EN 12354-1 Building Acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements - Part 1: Airborne sound insulation between rooms
- 5) 古賀ほか：入射・放射面積の変化に対する発生振動と遮音低下量の関係、日本騒音制御工学会研究発表会、2000. 9
- 6) 稲留ほか：外壁側内装壁下地仕様の違いによる遮音性能測定例、日本騒音制御工学会研究発表会、2000. 9

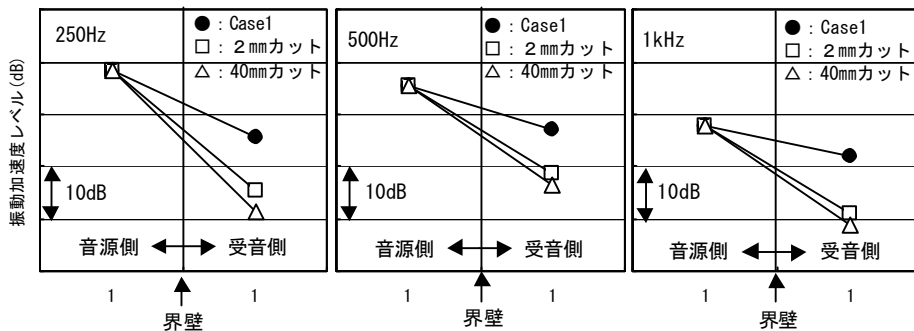


図-17 外壁ALC版にスリットを入れたことによる界壁付近の振動測定結果