

共同住宅における付加壁工法を用いた戸境壁の空気音遮断性能に関する研究 -低周波数帯域での空気音遮断性能を向上させる工法の検討-

中村麻美 * 黒木拓 * 大脇雅直 **

近年、共同住宅では戸境壁に付加壁工法を用いる場合が増えている。しかし、せっこうボードと空気層の共鳴透過により遮音性能が低下する。付加壁の厚さを 60 mm 程度にすると低周波数帯域で遮音性能が大きく低下するため、現在は 100 mm 程度に設計し低域共鳴透過の影響を低減している。一方、施主等からはより薄い付加壁が求められている。本稿では、低周波数帯域での遮音性能を向上させるため、RC 壁に厚さ 60 mm の付加壁を設置した試験体を対象に、空気層の空気を流通させる工法と多孔質吸音材を挿入する工法を検討した。その結果、付加壁に空気抜きを設けることで、低域共鳴透過の影響を小さくできた。また、付加壁の背後空気層に低密度の吸音材を挿入することで、低周波数帯域で遮音性能が向上することを示した。

キーワード：共同住宅、空気音遮断性能、付加壁、低域共鳴透過、多孔質吸音材

1. はじめに

近年、共同住宅では戸境壁に付加壁を設置する工法（以下、付加壁工法と略す）を用いる場合が増えてきた。これまでは戸境壁の仕上げ工法として、直クロス仕上げが多く用いられてきた。直クロス仕上げを用いると、RC 壁の不陸の影響を受けやすいが、付加壁工法を用いると、一定の品質の確保が容易となり、仕上げ精度を向上させることができる。また、せっこうボードと RC 壁は縁が切れるため、隣接する住戸の居室に振動が伝わりにくく、固体伝搬音に伴う指摘が減少することが期待される。

一方、戸境壁に付加壁工法を用いると、低周波数帯域で空気音遮断性能が低下することが知られている¹⁾。RC 壁に付加壁を設置した場合の音響透過損失の模式図を Fig. 1、RC 壁に音が入射した時の現象の概念図を Fig. 2 に示す。Fig. 1 の破線は、RC 壁と付加壁の重量で求めた理論値である。音響透過損失は材料の密度が高いほど、厚さが厚いほど大きくなる。また、周波数が低いほど小さく、高いほど大きくなる。これらの関係を質量則という。しかし、RC 壁に音が入射すると、Fig. 2 に示すように、せっこうボードと RC 壁との間にある空気層がばねとして働いて共振現象が生じる。この共振現象が生じる周波数は、式 (1)、(2) で求めることができる。この現象により、Fig. 1 の矢印のように、質量則に比べ、付加壁の音響透過損失は低下する。RC 壁に付加壁を設置した場合、この現象が低周波数帯域で生じることが多いため、低域共鳴透過という。

一般的に、付加壁はせっこうボードと空気層（この空気層内に鋼製または木製のせっこうボード下地が存在す

る）で構成されている。例えば、厚さ 9.5 mm のせっこうボードと空気層で構成される付加壁の場合、付加壁の厚さが 70 mm 以下では、共振周波数が 125 Hz 帯域以上に含まれ、125 Hz 帯域以上で空気音遮断性能が低下する。付加

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k(m_1 + m_2)}{m_1 m_2}} \quad \dots (1)$$

$$k = \frac{\rho c^2}{h} \quad \dots (2)$$

- f : 共振周波数 (Hz)
- m_1, m_2 : それぞれの部材の面密 (kg/m^2)
- k : 空気層のばね定数 (N/m)
- c : 空気中の音の伝搬速度 (m/s)
- ρ : 空気の密度 (kg/m^3)
- h : 空気層厚さ (m)

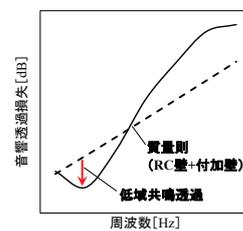


Fig. 1 RC 壁に付加壁を設置した場合の音響透過損失の模式図

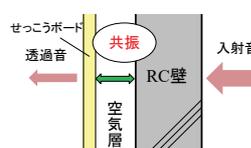


Fig. 2 RC 壁に付加壁を設置した場合の音が入射した時の現象の概念図

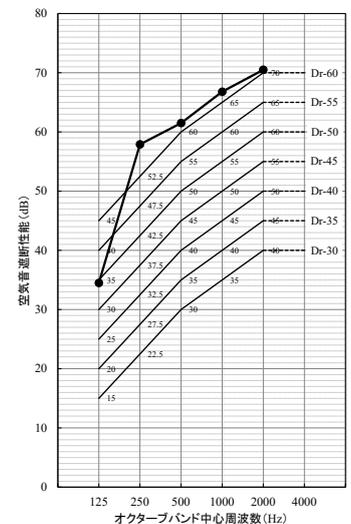


Fig. 3 戸境壁に付加壁を設置した場合の空気音遮断性能の測定結果例

* 技術本部 技術研究所 環境工学研究室
** 技術本部

壁の共振周波数が 125 Hz 帯域に含まれないようにするため、現在は付加壁の厚さを 100 mm 程度に設計している。共同住宅の居室間において戸境壁に厚さ 100 mm の付加壁を両側に設置した場合の、室間音圧レベル差の測定結果例を Fig. 3 に示す。戸境壁の仕様は、せっこうボード 9.5 mm + 空気層 90.5 mm + RC 180 mm + 空気層 90.5 mm + せっこうボード 9.5 mm である。この例では、室間音圧レベル差の低下が 125 Hz 帯域で見られるが、室間音圧レベル差等級は Dr - 50 であった。このように、付加壁の厚さを 100 mm 程度にすることで Dr - 50 を満たしているが、施主等からは付加壁の厚さを薄くしたいという要望を受けている。施工性等を考慮すると、付加壁の厚さを 60 mm 程度まで薄くすることは可能だが、125 Hz 帯域で空気音遮断性能が大きく低下すると考えられる。

本稿では、付加壁における低周波数帯域の遮音性能を向上させる工法について、厚さ 60 mm の付加壁を対象に実験的に検討し、その効果について報告する。はじめに、付加壁における低域共鳴透過の影響を低減させるため、付加壁の背後空気層の空気を流通させる工法について検討した。次に、付加壁の背後空気層に多孔質吸音材を挿入し、その効果について検討した。なお、本稿は参考文献 2) ~ 6) に加筆したものである。

2. 低域共鳴透過の影響を小さくする工法の検討

付加壁における低域共鳴透過の影響を小さくするため、付加壁の背後空気層の空気を流通させ、空気ばねの影響を小さくすることによる効果について検討した。

2. 1 実験概要

残響室間に試験体を施工して、音響透過損失の測定、付加壁表面の振動加速度レベルの測定を行った。

2. 1. 1 試験体概要

試験体は RC 壁 (厚さ 100 mm) の受音室側に厚さ 60 mm の付加壁 (せっこうボード 9.5 mm + 鋼製角型スタッド 40 × 40 mm 板厚 0.45 mm) を設置した。スタッドの間隔は 303 mm とした。振れ止めの位置はスタッドの中央とし、ウレタン系発泡接着剤を用いた。試験体の面積は 10 m²、寸法は 3,500 mm × 2,850 mm である。

Table 1 に試験体の概要を示す。試験体 a は RC 壁、試験体 b ~ d は RC 壁に付加壁を設置した試験体とした。試験体 c, d は付加壁の背後空気層の空気を流通させるために、Fig. 4 に示す 30 mm および 100 mm の空気抜きを付加壁の上下に設けた。空気抜き 30 mm を設けた場合、せっこうボードとランナーの間に 1 mm 程度の隙間ができ、空気抜き 100 mm を設けた場合、70 mm の開口ができる。実建物に付加壁を施工した場合、空気抜きを設けると、Fig. 5 のように空気抜き部分が床下、天井裏に空気を流通

Table 1 試験体一覧

壁仕様	空気抜きの条件
a	RC 壁
b	RC 壁 + 付加壁
c	RC 壁 + 付加壁
d	RC 壁 + 付加壁

試験体	空気抜きの条件
a	—
b	空気抜きなし
c	空気抜き 30 mm (下部 30 mm + 上部 30 mm)
d	空気抜き 100 mm (下部 100 mm + 上部 100 mm)

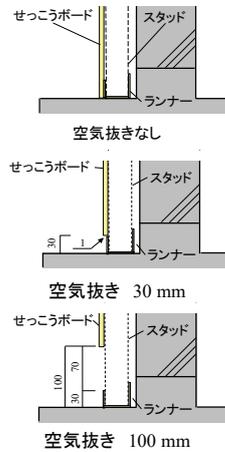


Fig. 4 付加壁下端部の断面図の例

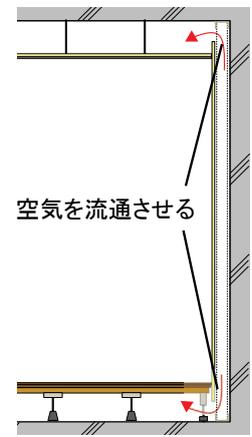


Fig. 5 空気抜きを設けた付加壁の納まり図の一例

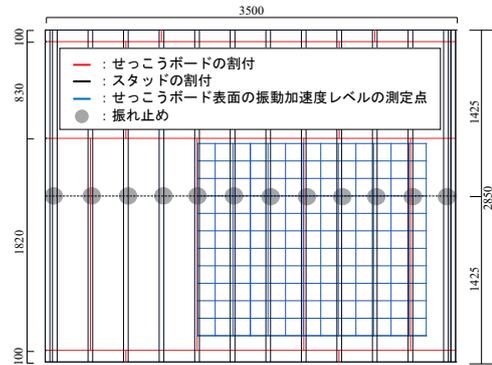


Fig. 6 付加壁表面の振動加速度レベルの測定点

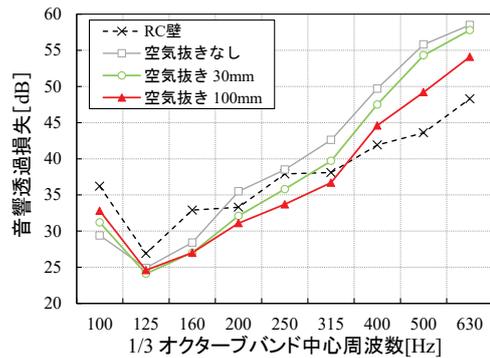


Fig. 7 RC壁と付加壁の試験体の音響透過損失

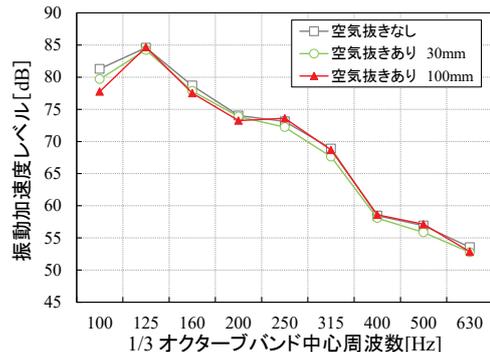


Fig. 8 付加壁の試験体の振動加速度レベル

させるような納まりとなる。空気抜きなしの試験体（せっこうボード 9.5 mm + 空気層 50.5 mm + RC 100 mm）の条件で、せっこうボードと空気層による共振周波数を1章の式(1), (2)で算出すると、95.2 Hz となり、オクターブ 125 Hz 帯域に含まれていることを確認した。

2. 1. 2 実験方法

音響透過損失は JIS A 1416:2000 に準拠して、2室の残響室間で固定マイクロホン法により測定した。音源には広帯域ピンクノイズを使用した。

付加壁表面の振動加速度レベルの測定では、音源室で広帯域ピンクノイズを出力し、Fig.6 に示す 151.5 mm 間隔の測定点で付加壁表面の振動加速度を収録した。測定した振動加速度から 20 秒間の等価振動加速度レベルを算出し、全測定点 (168 点) のエネルギー平均値を測定値とした。

2. 2 実験結果

Fig. 7 に RC 壁と付加壁の試験体の 1/3 オクターブバンドの音響透過損失を示す。空気抜きありの試験体 (30 mm, 100 mm) では、空気抜きなしの試験体に比べ、100 Hz 帯域で音響透過損失が大きくなった。空気が流通する部分が隙間 1 mm 程度である空気抜き 30 mm の場合でも、音響透過損失が大きくなっていることを確認した。さらに、空気抜き 100 mm では空気抜き 30 mm に比べ、音響透過損失が大きくなっていた。空気抜きを設けることで、共振周波数の計算値が含まれている 100 Hz 帯域で低域共鳴透過の影響が小さくなったと考えられる。

Fig. 8 に付加壁の試験体の振動加速度レベルを示す。100 Hz 帯域の振動加速度レベルは、空気抜きなしの試験体に比べ、空気抜きありの試験体 (30 mm, 100 mm) では小さくなった。空気抜き 100 mm では空気抜き 30 mm に比べ、振動加速度レベルが小さくなっていた。

付加壁に空気抜きを設けることで、100 Hz 帯域で音響透過損失が大きくなり、振動加速度レベルは小さくなっていることから、100 Hz 帯域で低域共鳴透過の影響が小さくなったと考えられる。

3. 多孔質吸音材を挿入する工法の検討

付加壁は RC 壁に比べ、低周波数帯域で音響透過損失が低下したため、付加壁の背後空気層に多孔質吸音材を挿入し、その効果について検討した。

3. 1 実験概要

残響室間に試験体を施工して、音響透過損失の測定、付加壁表面の振動加速度レベルの測定を行った。また、受音室の音圧レベルと付加壁表面の振動加速度レベルを同時に測定して、受音室の音圧レベルと壁の振動加速度レベルの関連について検討した。

Table 2 試験体一覧

試験体 No.	壁仕様	吸音材の条件			空気抜きの有無
		種類	密度	厚さ	
①	RC 壁	—	—	—	—
②	RC 壁 + 付加壁	—	—	—	無
③		—	—	—	有
④		不織布	8 kg/m ³	25 mm	無
⑤				50 mm	有
⑥				25 mm	無
⑦				50 mm	有
⑧		グラスウール	16 kg/m ³	25 mm	無
⑨				50 mm	有
⑩		不織布	24 kg/m ³	25 mm	無
⑪				50 mm	有
⑫				25 mm	無
⑬				50 mm	有
⑭		グラスウール	48 kg/m ³	25 mm	無
⑮				50 mm	有
⑯				25 mm	無
⑰				50 mm	有
⑱				25 mm	有

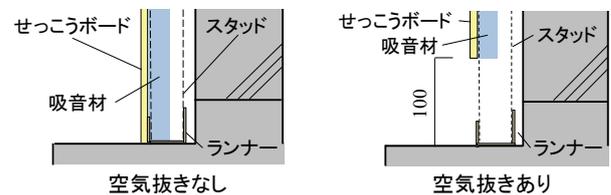


Fig. 9 厚さ 25 mm の吸音材を挿入した試験体の下端部の断面図の例

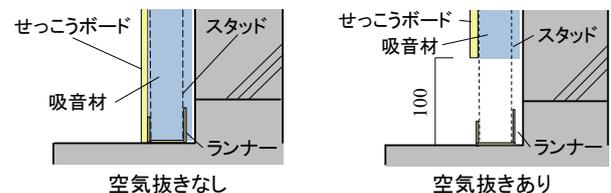


Fig. 10 厚さ 50 mm の吸音材を挿入した試験体の下端部の断面図の例

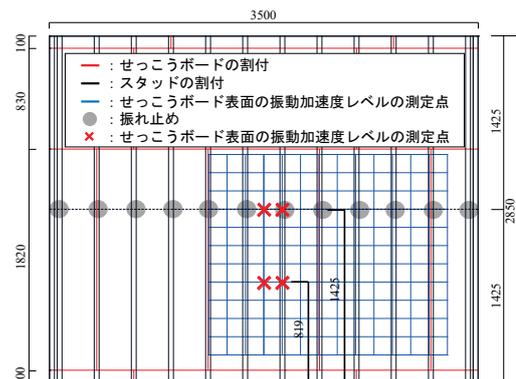


Fig. 11 付加壁表面の振動加速度レベルの測定点

3. 1. 1 試験体概要

Table 2 に試験体の概要を示す。試験体①, ②, ③は2章の Table 1 の試験体 a, b, d と同様である。吸音材は Fig. 9, 10 に示すように、吸音材なしの試験体②, ③の背後空気層に挿入した。吸音材は多孔質吸音材とし、密度は 8 kg/m³, 16 kg/m³, 24 kg/m³, 48 kg/m³ (それぞれ 8k, 16k, 24k, 48k と略す), 厚さは 25 mm, 50 mm とした。なお、

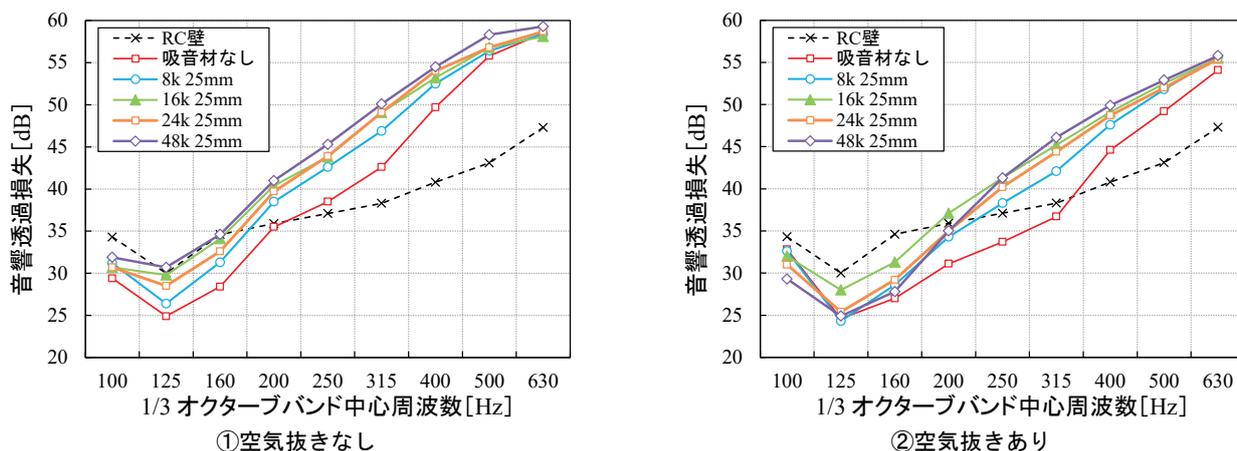


Fig. 12 厚さ 25 mm の吸音材を挿入した試験体の音響透過損失

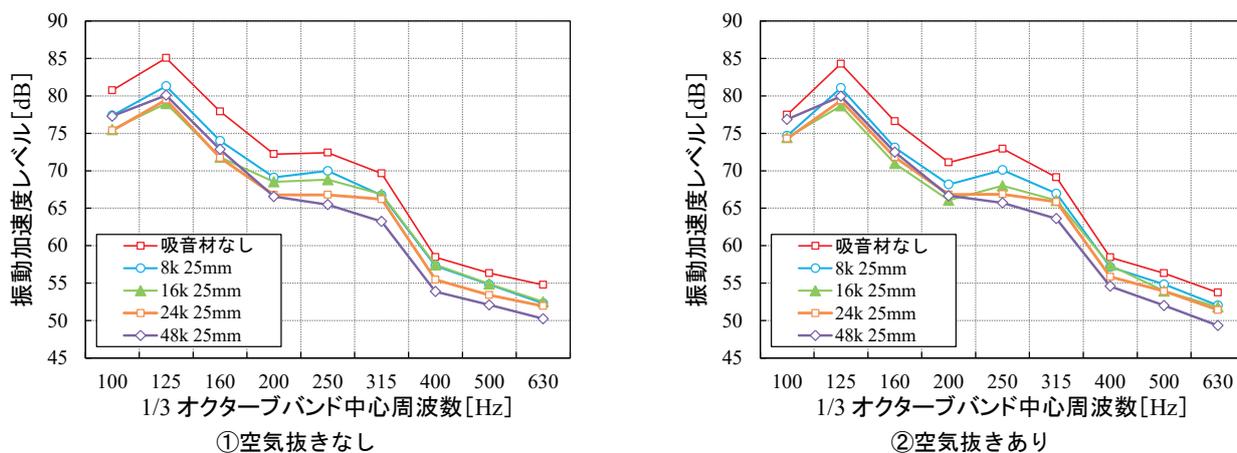


Fig. 13 厚さ 25 mm の吸音材を挿入した試験体の振動加速度レベル

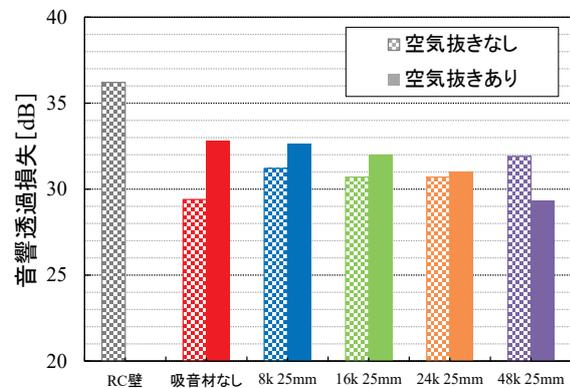


Fig. 14 厚さ 25 mm の吸音材を挿入した試験体の音響透過損失 (1/3 オクターブ 100 Hz 帯域)

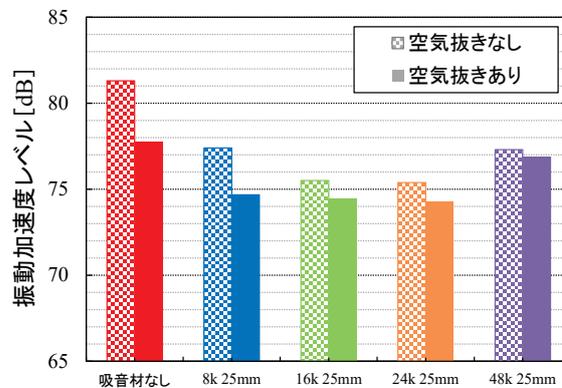


Fig. 15 厚さ 25 mm の吸音材を挿入した試験体の振動加速度レベル (1/3 オクターブ 100 Hz 帯域)

空気抜きを設けた試験体は、共同住宅に二重床と二重天井が施工されている状況を想定し、100 mm の空気抜きを設けた試験体とした。

3. 1. 2 実験方法

音響透過損失の測定、付加壁表面の振動加速度レベルの測定は 2 章の方法で行った。

受音室の音圧レベルと付加壁表面の振動加速度レベルの同時測定では、音源室で広帯域ピンクノイズを発生させ、音源室および受音室内の等価音圧レベルと試験体の音源室側の RC 壁および受音室側の付加壁表面の等価振動加速度レベルを測定した。等価音圧レベルの測定点は、音

源室では試験体中央正面から 1,000 mm の位置、受音室では JIS A 1416:2000 に準拠し測定した音響透過損失と同様の 5 点の位置とした。受音室の等価音圧レベルは測定点 5 点のエネルギー平均値を測定値とした。等価振動加速度レベルの測定点は、音源室側では壁面が振動しやすい試験体の中央とした。受音室側 (付加壁表面) では Fig. 11 に示す赤の×印で、試験体中央の位置でスタッドがない 2 点、スタッド上における 2 点とし、各点はそれぞれ振れ止めの有無による違いで設定した。付加壁表面の等価振動加速度レベルは 4 点のエネルギー平均値を測定値とした。

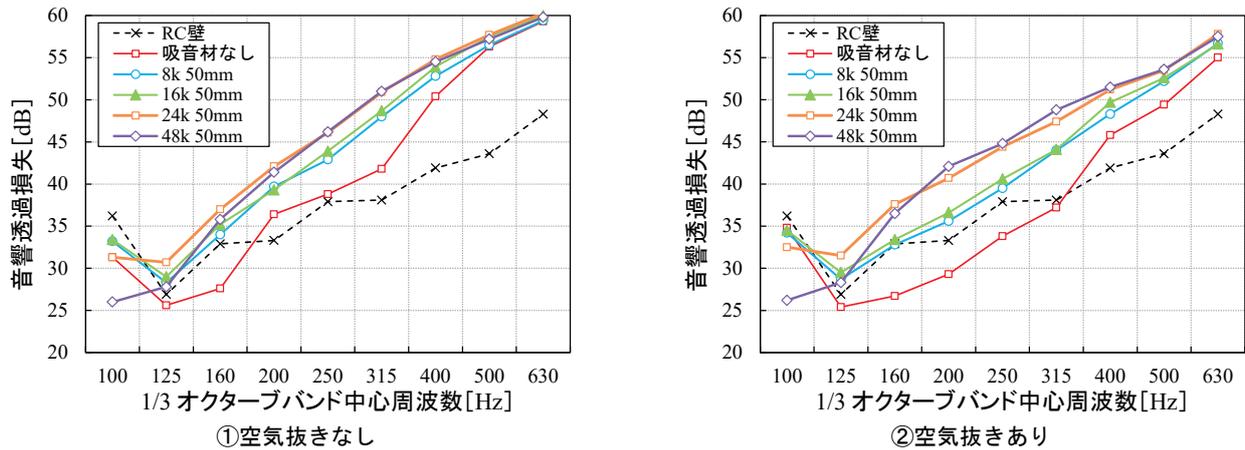


Fig. 16 厚さ 50 mm の吸音材を挿入した試験体の音響透過損失

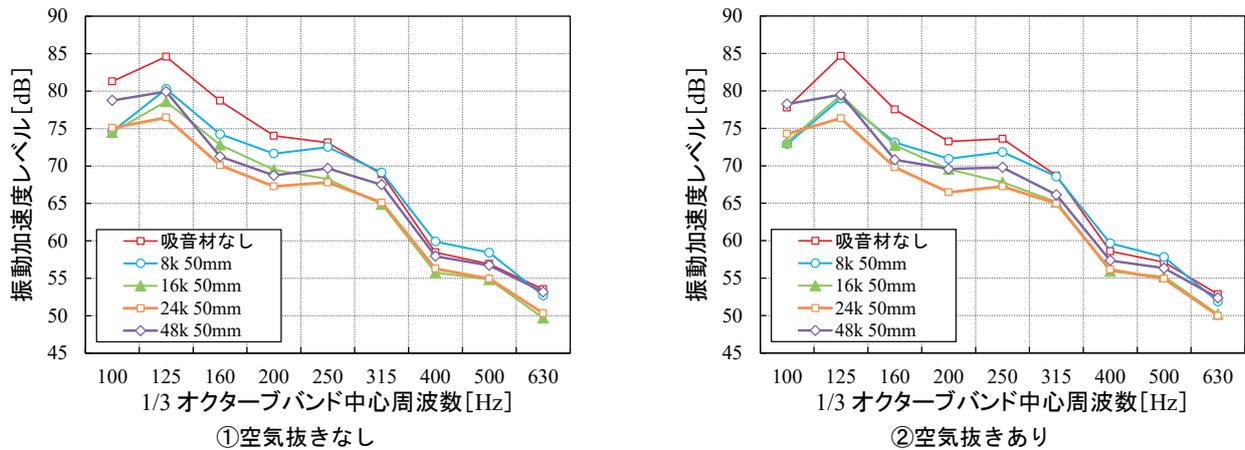


Fig. 17 厚さ 50 mm の吸音材を挿入した試験体の振動加速度レベル

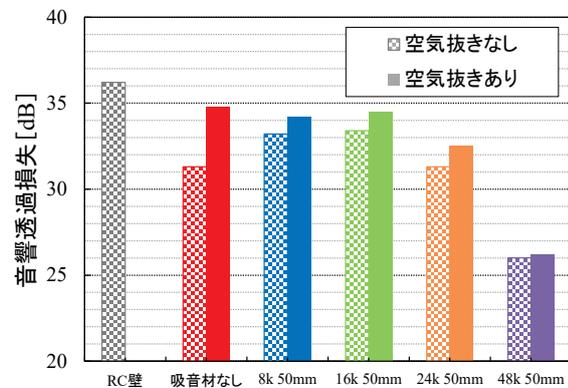


Fig. 18 厚さ 50 mm の吸音材を挿入した試験体の音響透過損失 (1/3 オクターブ 100 Hz 帯域)

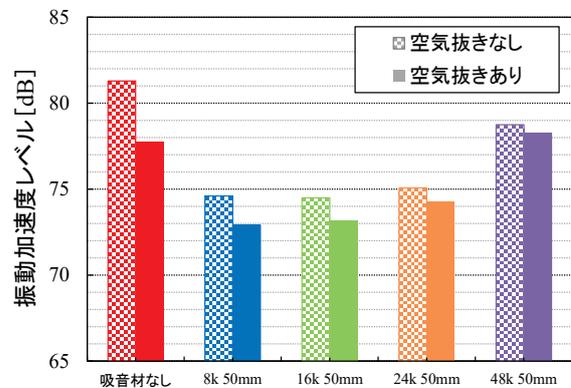


Fig. 19 厚さ 50 mm の吸音材を挿入した試験体の振動加速度レベル (1/3 オクターブ 100 Hz 帯域)

3. 2 実験結果

3. 2. 1 音響透過損失および付加壁表面の振動加速度レベルについて

厚さ 25 mm の吸音材を挿入した試験体の実験結果について、Fig. 12 に音響透過損失、Fig. 13 に振動加速度レベルを示す。100 Hz 帯域の音響透過損失および振動加速度レベルについて、空気抜きの有無で比較した結果を Fig. 14, Fig. 15 に示す。8k, 16k では、空気抜きありの場合、空気抜きなしに比べ、音響透過損失は大きく、振動加速度レベルは小さくなった。24k では、音響透過損失は同程度、振動加速度レベルは小さくなった。48k では、

音響透過損失は小さく、振動加速度レベルは同程度であった。8k, 16k では空気抜きを設けることで、100 Hz 帯域で音響透過損失が大きくなり、振動加速度レベルが小さくなっていることから、低域共鳴透過の影響が小さくなったと考えられる。

空気抜きありの試験体の 125 Hz 帯域以上の音響透過損失および振動加速度レベルにおいて、Fig. 12 の②, Fig. 13 の②に示すように、吸音材なしに比べ、16k では音響透過損失は大きく、振動加速度レベルは小さく、吸音材の効果が見られた。8k, 24k, 48k では音響透過損失は同程度または大きくなり、振動加速度レベルは小さかった。

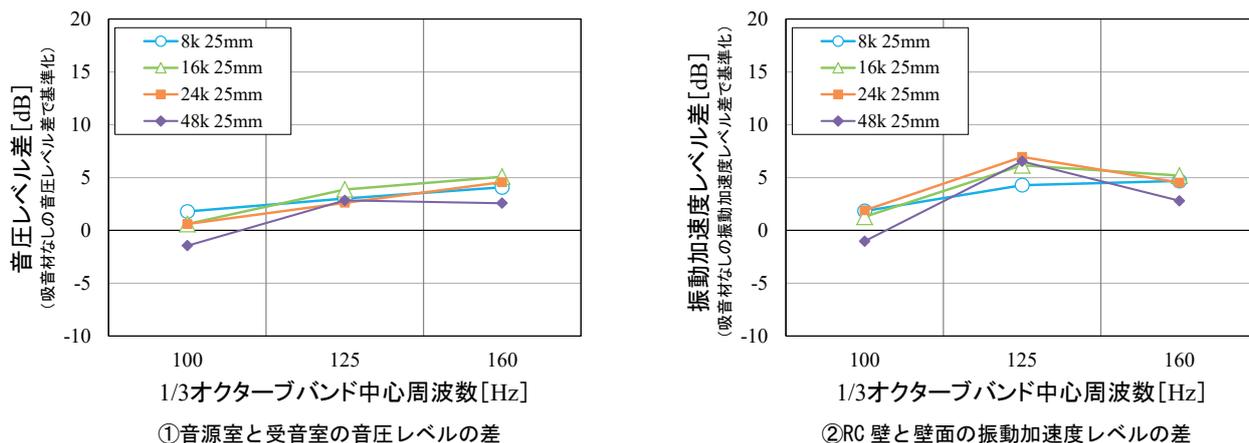


Fig. 20 厚さ 25 mm の吸音材を挿入した試験体の測定結果 (空気抜きありの試験体)

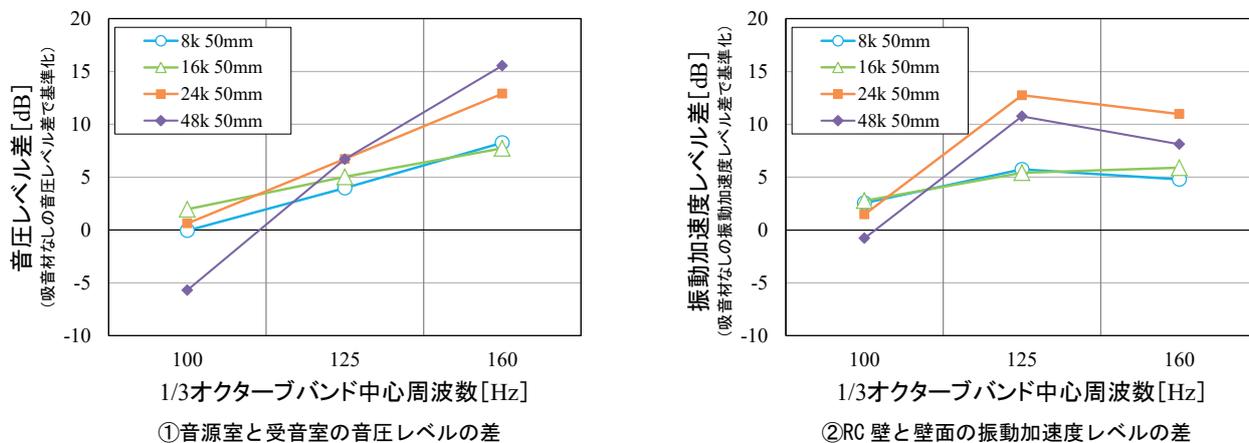


Fig. 21 厚さ 50 mm の吸音材を挿入した試験体の測定結果 (空気抜きありの試験体)

厚さ 50 mm の吸音材を挿入した試験体の実験結果について、Fig. 16 に音響透過損失，Fig. 17 に振動加速度レベルを示す。100 Hz 帯域の音響透過損失および振動加速度レベルについて、空気抜きの有無で比較した結果を Fig. 18, 19 に示す。空気抜きありの場合、空気抜きなしに比べ、8k, 16k, 24k では音響透過損失は大きく、振動加速度レベルは小さかった。48k では、音響透過損失は同程度、振動加速度レベルは同程度であった。8k, 16k, 24k では空気抜きを設けることで、100 Hz 帯域で音響透過損失が大きくなり、振動加速度レベルが小さくなっていることから、低域共鳴透過の影響が小さくなったと考えられる。

空気抜きありの試験体の 125 Hz 帯域以上の音響透過損失および振動加速度レベルにおいて、Fig. 16 の②、Fig. 17 の②に示すように、吸音材なしに比べ、8k, 16k, 24k, 48k では音響透過損失は大きく、振動加速度レベルは小さくなり、吸音材の効果がみられた。

厚さ 25 mm の吸音材を挿入した試験体の場合、8k, 16k では、空気抜きを設けることで、100 Hz 帯域で低域共鳴透過の影響が小さくなった。空気抜きを設けた試験体において、16k では 125 Hz 帯域以上で吸音材の効果がみられた。

厚さ 50 mm の吸音材を挿入した場合、8k, 16k, 24k では、空気抜きを設けることで、100 Hz 帯域で低域共鳴透

過の影響が小さくなり、125 Hz 帯域以上では吸音材の効果がみられた。

3. 2. 2 受音室の音圧と壁の振動加速度の関連について

受音室の音圧レベルと付加壁表面の振動加速度レベルを同時測定した結果について、音源室と受音室の音圧レベルの差（音圧レベル差と略す）、RC 壁表面と付加壁表面の振動加速度レベルの差（振動加速度レベル差と略す）を算出した。100～160 Hz 帯域の範囲で吸音材ありと吸音材なしの差を算出した結果を Fig. 20, 21 に示す。

厚さ 25 mm の吸音材を挿入した試験体の場合、Fig. 20 に示すように、100 Hz 帯域の測定結果は、吸音材なしに比べ、8k, 16k, 24k では音圧レベル差が大きく、振動加速度レベル差も大きく、吸音材の効果がみられた。48k では音圧レベル差が小さく、振動加速度レベル差も小さくなり、吸音材の効果がみられなかった。125, 160 Hz 帯域の測定結果は、吸音材なしに比べ、8k, 16k, 24k, 48k では音圧レベル差が大きく、振動加速度レベル差も大きく、吸音材の効果がみられた。

厚さ 50 mm の吸音材を挿入した試験体の場合、Fig. 21 に示すように、100 Hz 帯域の測定結果では、吸音材なしに比べ、8k, 16k, 24k では音圧レベル差が同程度または大きく、振動加速度レベル差も大きかった。48k では、音圧レベル差が小さく、振動加速度レベル差も小さかった。

125, 160 Hz 帯域の測定結果は、吸音材なしに比べ、8k, 16k, 24k, 48k では音圧レベル差が大きく、振動加速度レベル差も大きく、吸音材の効果がみられた。

厚さ 25 mm の吸音材を挿入した場合、空気抜きを設けた試験体において、8k, 16k, 24k では 100~160 Hz 帯域で吸音材の効果がみられ、48k では、吸音材なしに比べ、100 Hz 帯域で音圧レベル差が小さく、振動加速度レベル差も小さかった。よって、8k, 16k, 24k の低密度の吸音材が有効であると考えられる。

厚さ 50 mm の吸音材を挿入した場合、空気抜きを設けた試験体において、8k では 100 Hz 帯域で音圧レベル差は吸音材なしと同程度であったが、125, 160 Hz 帯域で吸音材の効果がみられた。16k, 24k では 100~160 Hz 帯域で吸音材の効果がみられた。48k では、吸音材なしに比べ、100 Hz 帯域で音圧レベル差が小さく、振動加速度レベル差も小さかった。

4. まとめ

本稿では、厚さ 60 mm の付加壁について低周波数帯域における遮音性能を向上させる工法を実験的に検討し、以下の点を明らかにした。

- ・ 付加壁に空気抜きを設けることで空気抜きなしに比べ、1/3 オクターブ 100 Hz 帯域で低域共鳴透過の影響が小さくなった。
- ・ 密度 8 kg/m³, 16 kg/m³, 24 kg/m³, 厚さ 25 mm および 50 mm の多孔質吸音材を挿入した場合、付加壁に空気抜きを設けることで、100 Hz 帯域で低域共鳴透過の影響が小さくなり、さらに 160 Hz 帯域以上では遮音

性能が向上した。

付加壁に空気抜きを設け、低密度の吸音材（例えば、密度 16 kg/m³, 厚さ 25 mm）を挿入することによって、低周波数帯域で遮音性能が向上することを示した。

謝辞

研究において、貴重なご助言を頂いた九州大学名誉教授藤本一壽先生、信州大学名誉教授山下恭弘先生、吸音材を提供して頂いた（株）フコクに感謝致します。

参考文献

- 1) 日本建築学会編：集合住宅の音に関する紛争予防の基礎知識，一般社団法人 日本建築学会，pp. 152-153，2016 年。
- 2) 中村麻美，黒木拓，大脇雅直：低域共鳴透過の小さい RC 界壁付加壁工法に関する実験的検討，日本音響学会秋季研究発表会講演論文集，pp. 831-832，2016 年 9 月。
- 3) 中村麻美，黒木拓，大脇雅直：共同住宅における戸境壁付加壁の背後空気層に多孔質吸音材を挿入する効果に関する実験的検討，日本音響学会秋季研究発表会講演論文集，pp. 985-986，2017 年 9 月。
- 4) 中村麻美，黒木拓，大脇雅直：共同住宅における戸境壁付加壁の空気音遮断性能に関する検討-密度及び厚さの異なる多孔質吸音材の効果に関する実験的検討-，日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集，pp. 177-178，2017 年 11 月。
- 5) 中村麻美，黒木拓，大脇雅直：共同住宅における戸境壁付加壁の空気音遮断性能に関する検討-付加壁の振動および付加壁空気層内の音圧に関する実験的検討-，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 287-288，2018 年 9 月。
- 6) 中村麻美，黒木拓，大脇雅直：共同住宅における戸境壁付加壁の空気音遮断性能に関する検討-低密度の多孔質吸音材を背後空気層に挿入する効果の実験的検討-，日本音響学会秋季研究発表会講演論文集，pp. 613-614，2018 年 9 月。

Studies on Airborne Sound Insulation Performance of the Party Walls Made Using the Additional Wall Method in Multi-family Housings - Experimental Study on the Methods to Improve Airborne Sound Insulation Performance in a Low Frequency Band -

Asami NAKAMURA, Taku KUROKI and Masanao OWAKI

Abstract

In recent years, the number of cases of using the additional wall method for party walls has been increasing in multi-family housings. When the additional wall method is used for a party wall, however, sound insulation performance decreases due to resonance transmission of a gypsum board and an air layer. If additional wall's thickness is about 60 mm, sound insulation performance greatly decreases in a low frequency band. At present, additional wall's thickness is designed to 100 mm to reduce the influence of resonance transmission, while clients request to further reduce the wall thickness. In this study, in order to improve sound insulation performance of the additional wall of 60 mm thick in a low frequency band, the authors examined the method of arranging air vents on an additional wall and the method of inserting porous sound absorbers in the air layer of an additional wall. As a result, by arranging the air vents on an additional wall, the influence of resonance transmission on sound insulation performance in a low frequency band was reduced. Moreover, by inserting the low density sound absorbers in the air layer of an additional wall, sound insulation performance in a low frequency band was improved.

Keywords: Multi-family housings, Airborne sound insulation performance, Additional wall, Resonance transmission in low frequency, Porous sound absorber
