

二重壁の低周波域遮音性能向上技術の開発

吉田勇太* 高野昌宏*

制御機器やPCサーバ等から発生する低周波音に対する遮音性能を高める技術の開発を目的に、二重壁の共鳴を抑制することで低周波域の遮音性能を向上させる方法について検討した。その結果、市販の間仕切りによく使用される建築部材を用いた一重壁でも壁重量の4割の錘を付加すれば、200Hz以下の低周波域における遮音性能が質量則以上に向上することがわかった。この結果をもとに二重壁の音響シミュレーションを行ったところ、共鳴モードの腹となる位置に全体重量の2割の錘を配置すれば、両壁面間の共鳴が効果的に抑制されることがわかった。実際の間仕切りを用いた実測では、100Hz付近での遮音性能が10dB以上改善される結果が得られた。

キーワード: 遮音性能, 二重壁, 低周波音, 共鳴

Development of a Technique for Improving Low Frequency Sound Insulation Performance of Double Walls

Yuta YOSHIDA and Masahiro TAKANO

For the purpose of developing technology to improve the sound insulation performance of housing walls against low-frequency sound emitted from equipment such as control devices and PC servers, we investigated a method of controlling the resonance vibration of double-wall structures by adding a weight to the wall. As a result, with a weight increase of 40%, the sound insulation of a single-layer wall composed of partition panels was improved for the frequency band of 200Hz and lower, beyond what can be expected according to the mass law. The resonance mode simulation based on this result indicated that the resonance vibration between walls can be controlled effectively by placing a weight at the peak resonance position. Using a prototype partition panel, the sound insulation of a double-wall structure with a weight increase of 20% was improved by more than 10dB for frequencies near 100Hz.

Keywords: sound insulation, double panel, low frequency sound

1. 緒言

空間を仕切る壁の遮音性能は壁の面密度に比例した質量則に従う。また、高周波音ほど減衰しやすいことから、1枚の壁(一重壁)では図1に示すように、遮音性能(音響透過損失)は低周波域から高周波域にかけて右肩上がりの直線となる。一方、住宅の壁やビル内の間仕切り、新幹線の車両などでは、軽くて高い遮音性能が求められることから、壁2枚の間に空気層を設けた二重壁構造となっている。単純に壁を重ねた場合は厚さ(重量)が2倍の一重壁と同じであり、このときに遮音性能は6dB向上する。これに対して、壁の間に空気層を設けた二重壁の遮音性能は、個々の一重壁の遮音性能を足し合せた値に近くなり、質量則以上の遮音性能が得られる。しかし二重壁では、近接する壁が共鳴し

て低周波域(200Hz以下)での遮音性能が極端に低くなる欠点がある¹⁾。本研究では、二重壁における低周波域での遮音性能低下を改善するため、一重壁について低周波域の遮音性能を向上させる方法を音響シミュレーションにより検討し、その結果を基に二重壁の共鳴を抑制する方法について検討した。さらに、実際の間仕切りを使用して残響・無響室での音響透過損失測定

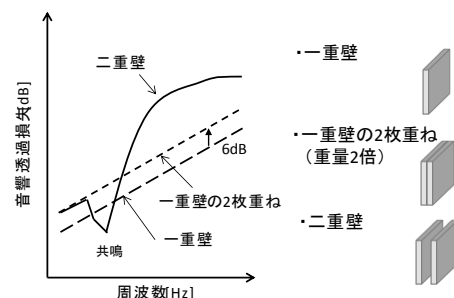


図1 一重壁と二重壁の遮音性能

*機械金属部

を行い、低周波域の遮音性能改善効果を検証した。

2. 錘による一重壁の遮音性能向上

これまで、塩化ビニルシートやドーム用膜材、薄鋼板(0.4mm)などの軽量遮音材に数十gの錘を多数配置すると低周波域の遮音性能が質量則以上に向上したことが報告されている²⁻³⁾。これらの研究は工事現場の防音塀などについての事象であるが、強度のある壁材についても起こりうると考えられることから、間仕切りパネルへの応用を試みた。試料は建築部材によく使用されている厚み12.5mmの石膏ボードと厚み0.5mmの鉄板を貼り合せた一重壁とした。

2.1 音響シミュレーションによる検討

錘の配置が壁の遮音性能に与える影響を検討するため、音響シミュレーションによる比較を行った。解析モデルは、壁重量の4割に相当する3.5kgの錘を取り付けた面積0.7m²の一重壁とした。これに、錘なし[1W0]、壁の中央に1個3.5kgの錘を取付けた[1W1M]、壁に1個0.88kgの錘を4個配置した[1W4M]、壁の全面に3.5kg分の錘と同重量を貼り付けた[1WAM]の4通りの場合について、遮音性能を音響シミュレーションソフト（Free Field Technologies・ACTRAN Ver.13.1）を用いて計算した結果を図2に示す。

錘なしとの比較から、錘1個を取付けることで63～250Hzの周波数範囲における遮音性能が改善され、100Hzでは15dB向上することがわかる。しかし、1kHz

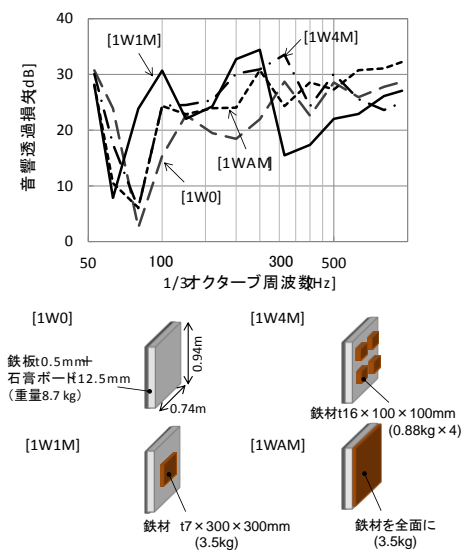


図2 錘を取付けた一重壁の遮音性能 (音響シミュレーション結果)

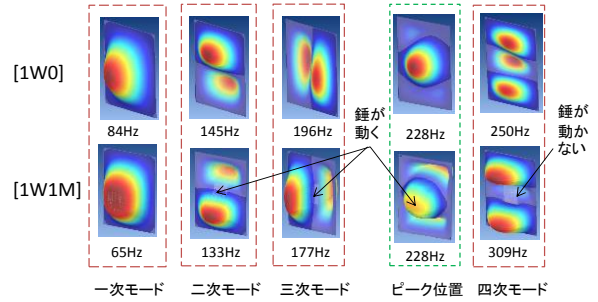


図3 錘あり、なしの振動モードの比較

以上の遮音性能は錘なしとほぼ同じであった。錘を4個[1W4M]配置した場合は周波数範囲100～350Hzで遮音性能が改善され、100Hzでは8dB向上した。錘1個[1W1M]の場合と比較して、遮音性能向上の度合いは低下したが、改善される周波数範囲は高周波側に移動した。また、錘を全面に貼り付けた[1WAM]場合は、全周波数域で遮音性能が高くなるものの、錘を1個、錘を4個取付けた場合と比較して低周波域の遮音性能改善効果は小さい。単純に重量増加(質量則)に従った効果であると考えられる。

図3に錘なしと錘1個の65～84Hz(一次モード)、130～140Hz(二次モード)、180～200Hz(三次モード)、250～300Hz(四次モード)の落ち込み部分の壁の振動モード、また228Hzでの向上ピークでの振動モードを示す。錘1個では、一次モードと四次モードの間の周波数範囲で錘が動いていたが、四次モード以上では錘の動きが見られなかった。錘が動く周波数範囲で遮音性能が向上する効果が生じていることから、錘の慣性重量によって壁の振動が抑制され、壁からの振動放射音が低減し、遮音性能が高くなったのではないかと考えられる。

2.2 実測による検証

音響シミュレーションの妥当性を確認するため、錘なし[1W0]と錘1個[1W1M]の一重壁について、実測による評価を行った。図2と同じ仕様で一重壁を試作し、残響室と無響室の間に設置して、音響インテンシティ法⁴⁾により遮音性能を測定した。錘なしと錘1個の一重壁についての測定結果を図4に示す。

錘を取付けた壁では、周波数50～150Hzの範囲での透過損失が10dB以上高く、シミュレーション通りに質量則以上に遮音性能が改善されていることが確認された。しかし、改善される周波数範囲は音響シミュレーションよりも低い周波数域であった。これは実測に用

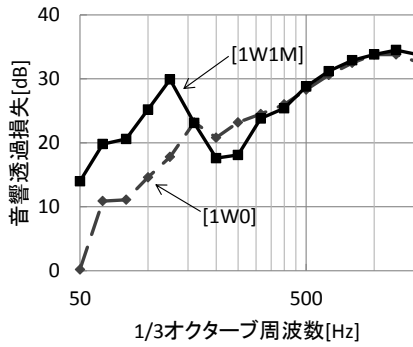


図4 錘を取付けた一重壁の遮音性能
(実測の結果)

いた一重壁では、鉄板と石膏ボードの接着部分や石膏ボードの剛性が、計算に用いた剛性パラメータよりも低かったのではないかと考えられる。

3. 錘による二重壁の遮音性能向上

一重壁の場合、錘を取付けることで低周波域における壁の振動が抑制され、遮音性能が向上することがわかった。二重壁での遮音性能低下は共鳴が原因であることから、壁の振動抑制だけでなく、共鳴を抑えるよう錘の取付け方法に工夫が必要である。

3. 1 音響シミュレーションによる検討

解析モデルの二重壁では、片方の壁の中央に全重量の2割(3.5kg)の錘を1個取付けた。音響シミュレーションを行った二重壁の遮音性能を図5に示す。錘なし[2W0]では100Hz前後に遮音性能の落ち込みが見られるが、錘を取付けた[2W1M]では、この共鳴域の遮音性能が改善されていることがわかる。図中に示すように、共鳴域では2枚の壁間にある空気層をバネとした逆位相の振動モードが放射音を生じ、そのため遮音性能が低下している。これに対して、壁の中央に錘を取付けた場合では、一重壁と同様に錘が壁の振動の抵抗となって共鳴モードの振動放射音が低減するため、遮音性能が高くなったと考えられる。

3. 2 実測による評価

音響シミュレーションを行った錘なし[2W0]と一方の壁に錘を1個付けた二重壁[2W1M]に加えて、半分の重量の錘を両方の壁に取付けた場合[2W1M']も実測した結果を図6に示す。測定方法は2. 1節の一重壁の場合と同様とした。錘を取付けた二重壁[2W1M]と[2W1M']では、100Hz、125Hzにおける遮音性能がシミュレーション通り10dB向上した。しかし、100Hzよりも低い低周波域では、[2W1M]の方が[2W1M']よりも3dB高い結果となった。このことから、2重壁においては、壁の振動しやすさに差を付けた方が低周波域での遮音性に優れていると考えられる。

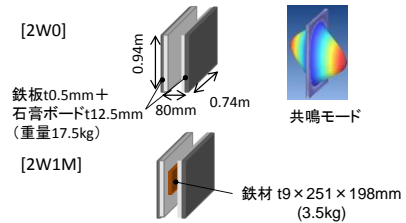
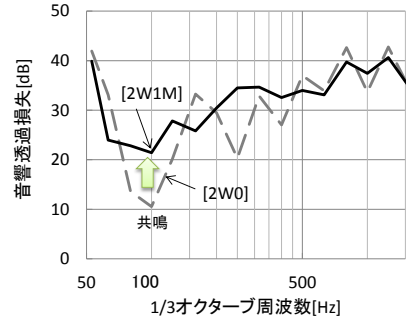


図5 錘を取付けた二重壁の遮音性能
(音響シミュレーション結果)

シミュレーション通り10dB向上した。しかし、100Hzよりも低い低周波域では、[2W1M]の方が[2W1M']よりも3dB高い結果となった。このことから、2重壁においては、壁の振動しやすさに差を付けた方が低周波域での遮音性に優れていると考えられる。

4. アスペクト比が異なる二重壁

4. 1 音響シミュレーションによる検討

前章で検討した壁は縦横比(アスペクト比)が1:1のモデルであり、共鳴モードは中心に腹が1つの振動モードとなった。実際の間仕切りパネルでは縦横比が異なる場合が多く、腹が複数現れた共鳴モードとなる。そこで、アスペクト比が異なる場合に対する錘取付けの

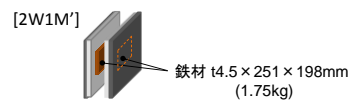
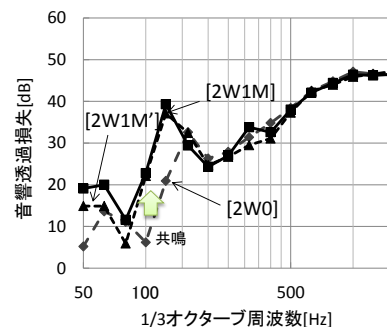


図6 錘を取付けた二重壁の遮音性能
(実測の結果)

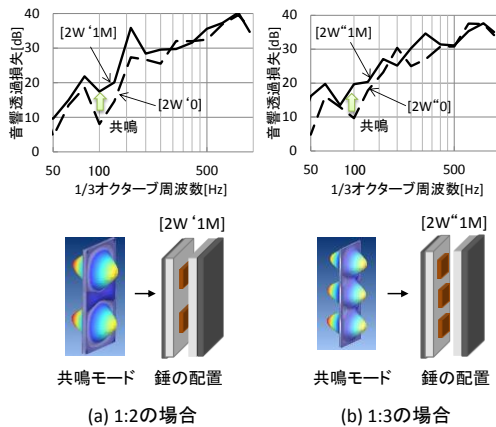


図7 アスペクト比が異なる二重壁の遮音性能
(音響シミュレーション結果)

効果について音響シミュレーションを行い、その結果を図7に示した。アスペクト比が1:2の場合[2W'0]は共鳴モードの腹が2つ、1:3の場合[2W''0]は腹が3つ縦に現れた。そこで、前項と同様に共鳴モードの腹にアスペクト比が1:2の場合は2個[2W'1M]、1:3の場合は3個[2W''1M]の錘を縦に配置した。なお、錘の合計重量は二重壁の全体重量の2割とした。

図7上段からわかるように、錘を取付けることで100Hzの音響透過損失が10dB向上し、共鳴による遮音性能低下が改善される。アスペクト比が異なる二重壁でも共鳴モードの腹に錘を配置することで、共鳴による遮音性能低下が改善可能であると予測された。

4.2 実測による評価

高遮音性能の間仕切りでは、石膏ボードと鉄板を張り合わせた壁の二重壁の間に吸音材料のグラスウールが入った構造となっている。しかし、二重壁では低周波域の遮音性能が低く、JIS A 1409-1⁵⁾で示される遮音等級を下げている。この場合、錘による遮音性能向上技術を用いて、遮音等級を改善できると考えられる。

測定に用いた間仕切りは1.1m×3.0mの二重壁で、錘の合計重量は間仕切り全体の2割とした。錘の配置方法は、2枚の壁に1割ずつ共鳴モードの1つの腹に1個取付けた場合[2W'1M]、4個に分割して取付けた場合[2W''4M]について検討した。実測の結果を図8に示す。いずれの場合も100Hz付近での音響透過損失が向上した。[2W''1M]では周波数範囲50～125Hzで遮音性能が改善されたが、[2W''4M]では改善範囲が80～200Hzと高周波側にシフトした。遮音等級は100～5kHzの周波数範囲で評価されるため、改善効果の高い[2W''4M]で

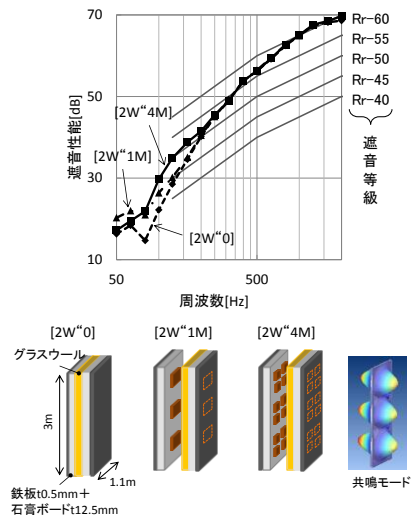


図8 アスペクト比が異なる二重壁の遮音性能
(実測の結果)

は、2等級ランクアップしていることがわかる。

4. 結 言

本研究では、二重壁における低周波域の遮音性能改善に対して、錘を取付けて壁の共鳴振動を抑制することが遮音性能向上に効果的であることを検証し、以下の結論が得られた。

- (1) 一重壁では、壁に錘を取付けて共鳴振動を抑制することで、低周波域の遮音性能が質量則以上に向上する。
- (2) 二重壁構造では、100Hz付近の低周波域において共鳴による遮音性能低下を生じるが、共鳴モードの腹に錘を取付けて壁の振動を抑制することで遮音性能を改善できる。

参考文献

- 1) 前川純一，森本政之，阪上公博．建築・環境音響学，共立出版，2011，p. 113 - 114.
- 2) 橋本典久他，薄金属板を用いた錘つき遮音板の開発，日本建築学会技術報告集.1997，第5号，p. 142 - 146.
- 3) 西川嘉雄他，実験モード解析による振動性状の検討と効果周波数の推定，日本建築学会計画系論文集，2002，第558号，p. 1 - 7.
- 4) JIS A 1441-1:2007. 音響－音響インテンシティ法による建築物及び建築部材の空気音遮断性能の測定方法－第1部：実験室における測定.
- 5) JIS A 1419-1:2000. 建築物及び建築部材の遮音性能の評価方法－第1部：空気音遮断性能