

膜加圧を利用した単層壁の遮音性能向上について

THE IMPROVEMENT ON THE SOUND INSULATION PERFORMANCE OF A SINGLE WALL BY USING MEMBRANE AND AIR PRESSURE

小林正明*¹, 松岡明彦*², 小泉穂高*³, 西村正治*⁴

Masaaki KOBAYASHI, Akihiko MATSUOKA, Hodaka KOIZUMI and Masaharu NISHIMURA

Generally it is so difficult to block the transmission of low frequency sound. In order to improve the attenuation at low frequencies, it needs to reduce the coupling through the structure and air while the burden of construction cost and manpower are increased. Nishimura demonstrated that the sound transmission at low frequencies are increased by using membrane and air pressure and proposed the light sound insulation structure with variable performance whose outer skins consist of lightweight nets. According to the technique mentioned above, it is possible that noise attenuation increases only by slight improvement on a single wall.

In this study, the improvement on the sound insulation performance of a single wall by using membrane and air pressure was demonstrated.

Keywords : Single wall, Sound insulation, Low frequency, Mass law, Stiffness law

単層壁, 遮音性能, 低周波, 質量則, 剛性則

1. はじめに

一般に、屋内の設備機器等から発生する低周波を主成分とする騒音の低減対策には大掛かりな遮音構造が必要とされ、施工やコスト上の負担が大きいのが実情である。

有限の大きさの単層壁の透過損失は、図-1 に示すように、板の 1 次共振周波数において最小となり、それより高い周波数領域では周波数が高くなるほど増大する（質量則）一方、1 次共振周波数より低い領域では周波数が低くなるほど増す（剛性則）ことが知られている¹⁾。一般的な単層壁は 1 次共振周波数が低くなるため、低周波数帯域において大きな透過損失を得ることが困難となるが、これらの法則に基づけば、単層壁の 1 次共振周波数を高くする、すなわち、剛性を増すことで低周波数領域において大きな透過損失を得ることが出来る。

西村²⁾は薄膜に空気による圧力をかけると低周波帯域の遮音性能が向上すること、および、その遮音性能が薄膜にかける圧力に応じて変化することに着目し、袋状の薄膜を網で挟んだ遮音量可変型軽量遮音構造を提案した。これは空気圧によって膜や網の張力を増加させ、遮音構造全体の剛性が高まることを利用したもので、既に遮音のメカニズムがほぼ解明されており、その遮音効果は 3 自由度振動系と伝達マトリックス法を用いて定性的に表現することが

可能とされている。また、袋状の薄膜、網、および高剛性の棧で構成される本構造を軽量パネルで挟み込むことで高周波の遮音性能を確保しながら、通常の吸音材を挟んだ二重壁構造よりも低周波領域において大きな遮音効果を得ることが可能であることも示されている。

この原理を面密度の大きな遮音壁や防音扉に適用することが出来れば、特に低周波に主成分を有する騒音源に対し、従来よりも簡便で効果の大きい対策を実現することが可能となる。そこで本研究では、膜加圧による低周波数領域の遮音性能向上を遮音壁や防音扉に適用することを目指し、まず、薄膜と網を単層壁に密着させて加圧した場合の遮音性能の変化について確認すると共に、その有効性を明らかにした。

2. 実験概要

実験は戸田建設(株)音響実験棟内の隣接する残響室と無響室で実施した³⁾。両室は 600 mm 角の開口を有する厚さ 200 mm のコンクリート壁（幅 3.6 m×高さ 3.0 m）で隔てられており、残響室内に設置した音源スピーカから一定のピンクノイズを放射し、開口部の仕様を変化させて無響室内音圧レベルを測定した。実験室の状況を写真-1 に示す。

2.1 音源と測定点

音源と測定点の配置を図-2 に示す。開口部に直接音が入射することがないよう、音源スピーカは開口

*1 戸田建設(株)技術開発センター 博士 (工学)

*2 戸田建設(株)技術開発センター

*3 戸田建設(株)技術開発センター 修士 (工学)

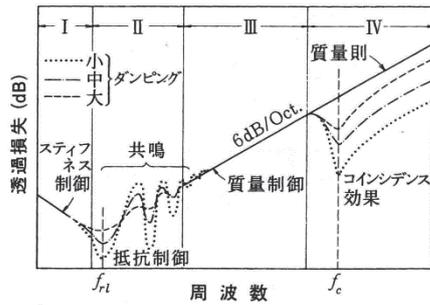
*4 鳥取大学大学院工学研究科 工学博士

Research and Development Center, TODA CORPORATION, Ph. D.

Research and Development Center, TODA CORPORATION

Research and Development Center, TODA CORPORATION, M. Eng.

Dept. of Mechanical and Aerospace Engineering, Tottori Univ., Dr. Eng.



領域 I は壁体の剛性と周辺状況で、II の共振領域は内部損失で、 f_{rl} の 2~3 倍から限界周波数 f_c までの領域 III が質量で、それ以上のコインシデンス領域 IV は剛性と内部損失でそれぞれ制御される。

図-1 単層壁の音響透過損失の周波数特性¹⁾

(A) 残響室



(B) 無響室



写真-1 実験室の状況

部に背を向けて残響室の隅角部に設置した。測定点は無響室内に設置し、開口部の正面で界壁表面から距離 1.0 m とした。

2.2 開口部の仕様

本実験では、単層壁として厚さ 0.6 mm および 1.2 mm の鉄板を使用し、溶接金網や袋状薄膜を付加することで開口部の仕様を表-1 に示す 8 条件とした。各条件における鉄板、溶接金網、および袋状薄膜の設置状況を図-3 に示す。なお、条件 5~7 で用いた袋状

表-1 開口部の仕様

条件	仕様
0	塞ぎ無し
1	鉄板 (0.6 mm)
2	鉄板 (1.2 mm)
3	鉄板 (0.6 mm) + 空気層 (50 mm) + 鉄板 (0.6 mm)
4	鉄板 (0.6 mm) + 空気層 (50 mm) + 溶接金網
5	鉄板 (0.6 mm) + 袋状薄膜 (8k Pa)
6	鉄板 (0.6 mm) + 袋状薄膜 (8k Pa) + 溶接金網
7	鉄板 (0.6 mm) + 袋状薄膜 (4k Pa) + 溶接金網

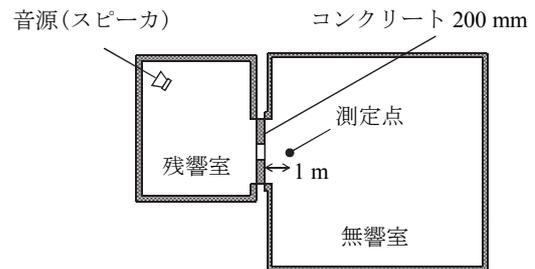


図-2 音源と測定点 (平面)

薄膜の面密度は厚さ 0.6 mm の鉄板とほぼ等しく (4.7 kg/m^2)、いずれの条件においても、鉄板に密着させた状態で空気を注入し、4k または 8k Pa となるまで加圧した。また、条件 4, 6, 7 で用いた溶接金網は線径と網目がそれぞれ 5 mm, 50×50 mm を使用した。

3. 実験結果

各仕様で得られた無響室内音圧レベルより、SN 比が 10 dB 以上となる周波数帯域について、開口部を塞がない場合 (条件 0) と塞いだ場合 (条件 1~7) の音圧レベル差、すなわち、挿入損失を算出した。図-4~6 に各条件の挿入損失を示す。

図-4 より、開口部に鉄板 0.6mm のみを設置した場合 (条件 1) の挿入損失は、100~4k Hz において、周波数が高くなるほど増大する質量則と同様の特性がみられた。同様の傾向は鉄板 1.2 mm のみを設置した場合 (条件 2) にもみられ、いずれの周波数帯域においても条件 2 が条件 1 を 6 dB 程度上回った (100~3.15k Hz の両者の差の平均は 6.3 dB)。鉄板 0.6 mm に空気層を設けて鉄板 0.6 mm を設置した場合 (条件 3) の挿入損失は 250 Hz 以上の周波数帯域において条件 1 を大きく上回るが、200 Hz 以下では条件 1 と同等以下となり、特に 200 Hz 帯域では条件 1 を明らかに下回った (200 Hz 帯域における条件 1 と条件 3 の差は 6.8 dB)。

図-5 は厚さ 0.6 mm の鉄板に溶接金網や袋状薄膜を付加した結果である。これより、鉄板 0.6 mm に空気層を設けて溶接金網を設置した場合 (条件 4) の挿入

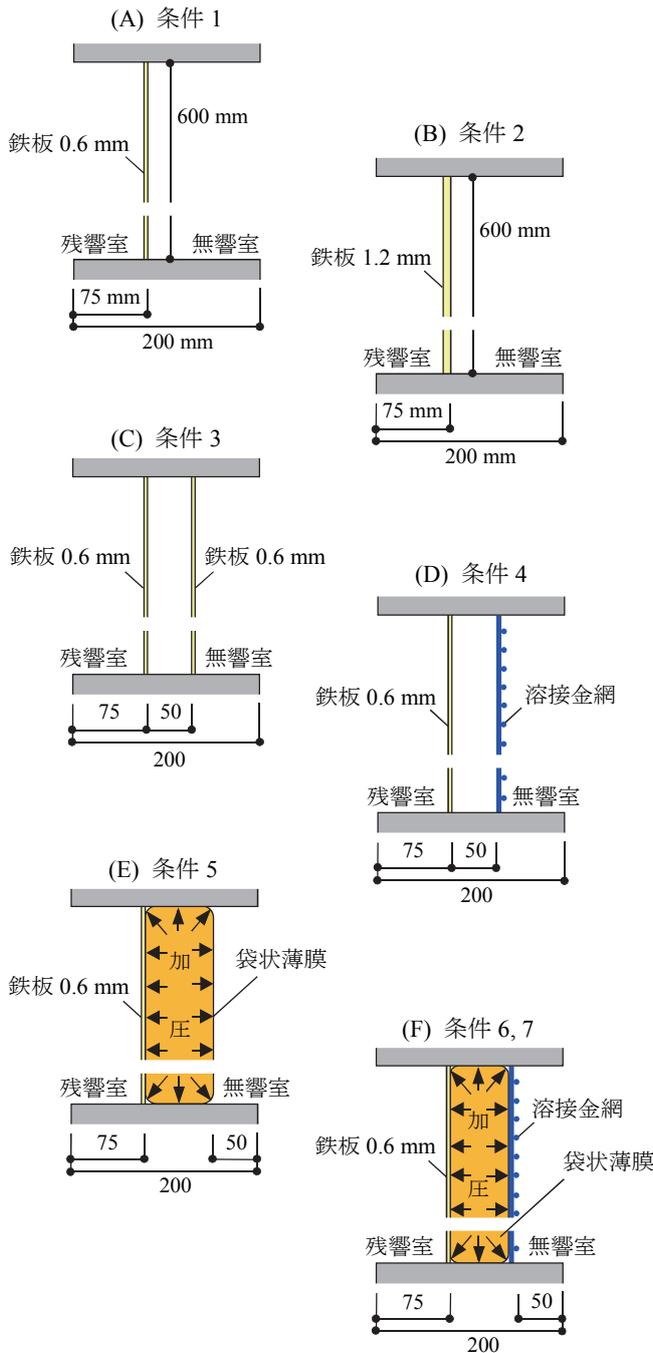


図-3 条件 1～7 の設置状況（開口断面）

損失は条件 1 と殆ど違いがみられなかった。鉄板 0.6 mm に袋状薄膜を付加して 8k Pa まで加圧した場合（条件 5）の挿入損失も 630 Hz 以下においては条件 1 と違いがみられないが、800 Hz 以上では明らかな増大がみられ、条件 3 と同程度であった。鉄板 0.6 mm に袋状薄膜と溶接金網を付加して 8k Pa まで加圧した場合（条件 6）の挿入損失は 315 Hz で最小となり、それより周波数が高くなるほど、または低くなるほど増大する傾向がみられた。特に、200 Hz 以下の挿入損失は条件 1～5 との違いが明らかであり、100 Hz において、その差が最大となった（条件 1 と条件 6

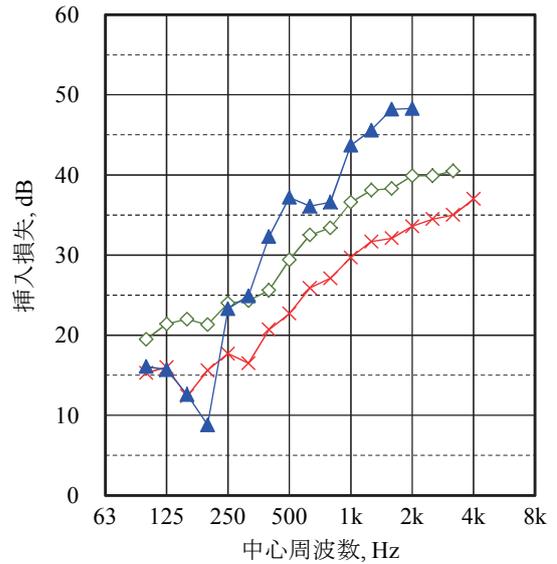


図-4 単層壁および二重構造の挿入損失

- × 条件1：鉄板(0.6 mm)
- ◇ 条件2：鉄板(1.2 mm)
- ▲ 条件3：鉄板(0.6 mm) + 空気層(50 mm) + 鉄板(0.6 mm)

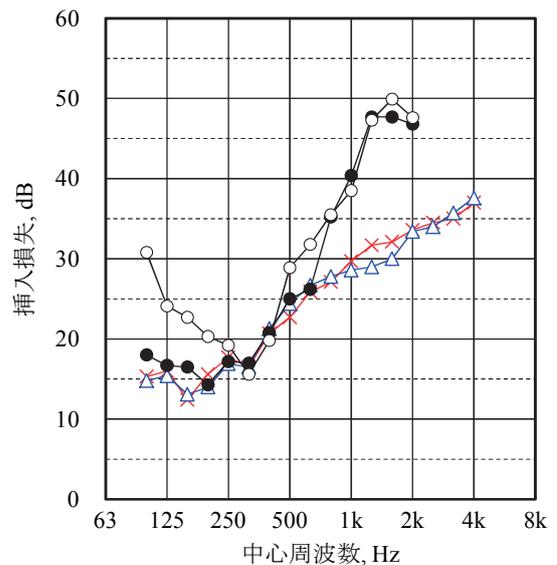


図-5 袋状薄膜と溶接金網を付加した場合の挿入損失

- × 条件1：鉄板(0.6 mm)
- △ 条件4：鉄板(0.6 mm) + 空気層(50 mm) + 溶接金網
- 条件5：鉄板(0.6 mm) + 袋状薄膜(8k Pa)
- 条件6：鉄板(0.6 mm) + 袋状薄膜(8k Pa) + 溶接金網

の挿入損失の差は 100 Hz が 15.5 dB, 125Hz が 8.1 dB, 160 Hz が 10.3 dB, 200 Hz が 4.7 dB).

図-6 は鉄板 0.6 mm に袋状薄膜と溶接金網を付加して加圧した場合の挿入損失について、内圧の違いを比較したものである。内圧 4k Pa の場合（条件 7）の挿入損失は 250 Hz で最小となり、それより周波数が高く、または低くなるほど増大するという条件 6 と

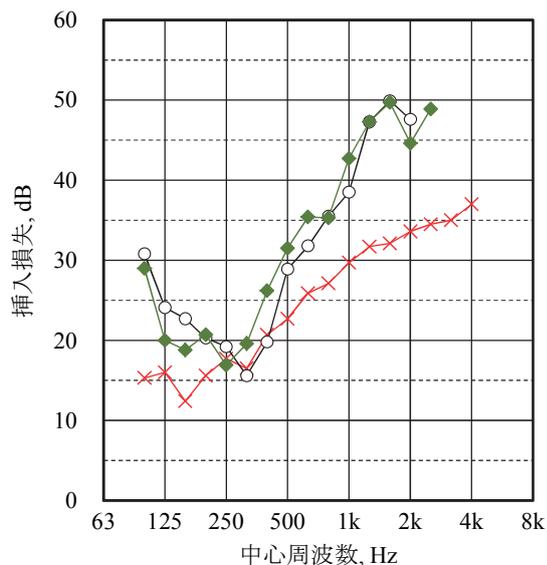


図-6 袋状薄膜の内圧と挿入損失の関係

- ✕ 条件1：鉄板(0.6 mm)
- 条件6：鉄板(0.6 mm) + 袋状薄膜(8k Pa) + 溶接金網
- ◆ 条件7：鉄板(0.6 mm) + 袋状薄膜(4k Pa) + 溶接金網

同様の傾向がみられたが、条件 6 の挿入損失と比較して全体的に低域側にシフトしていることが確認された。

4. まとめ

本研究では、膜加圧による低周波数領域の遮音性能向上を遮音壁や防音扉に適用することを目指し、薄膜と網を単層壁に密着させて加圧した場合の遮音性能の変化を確認した。二重壁等の空気層を有する複層構造では、通常、共鳴透過によって低・中周波数において単層壁よりも透過損失の小さい領域が生じる。本実験の条件3で確認された200 Hz付近の挿入損失の低下はこの共鳴透過に起因すると考えられる。これに対し、単層壁に袋状薄膜と溶接金網を付加して加圧した場合は、共鳴透過現象を生じることなく全ての周波数帯域で単層壁と同等以上の遮音性能を有し、かつ、低周波数領域で明らかな遮音性能の向上が確認された。また、加圧の程度によって、遮音性能の増減が調整可能であることも確認された。

本実験の結果は膜加圧による低周波数領域の遮音性能向上を遮音壁や防音扉に適用可能であることを示唆するものであり、引き続き、実用化に向けた検証を進める所存である。

参考文献

- 1) 前川純一, 森本政之, 阪上公博, 建築・環境音響学 (第2版), 共立出版, 2000
- 2) 西村正治, 薄膜と空気圧を利用した遮音量可変型軽量遮音構造, 音響学会誌, 546-553, 2015.10
- 3) 土屋裕造ほか, 戸田建設新音響実験施設の音響特性, 日本音響学会講演論文集, 1263-1264, 2012. 9