

「アイアン・ウッド遮音パネル」(鉄木合板)の可能性

1 従来の遮音パネル

従来は弊社でも木質系の遮音パネルをベースに遮音設計を行ってきた。

具体的には下地材としてコンパネ、遮音パネルとしての性能（主に重量面）を出すための
 プラスターボード（PB）、仕上げ材を貼るためのベニヤ板および空気層の組合せである。

この場合、基本となる近似式は次のとおり（「音響材料の特性と選定」日本建築学会 p.151）

音響透過損失 $TL=20\log(f \times m)-43$ f : 周波数、 m : 面密度（=質量/㎡）

こうした考え方の遮音パネルがどの位の重量になるかといえば：

基本的な材料の重量が以下のようなだとすると、

コンパネ	12 mm	8.9kg/㎡
プラスターボード	9.5 mm	6.7kg/㎡
同上	12 mm	7.8kg/㎡
同上	15 mm	9.6kg/㎡
パーティクルボード	12 mm	7.8kg/㎡
ベニヤ板	5.5 mm	2.3kg/㎡

例えば3層式（コンパネ+PB15mm+ベニヤ）ではトータル約 21kg/㎡、

4層式（コンパネ+PB9.5mm+パーティクルボード+ベニヤ）では約 26kg/㎡、
 大体このような重量になる。

またこれらのボードの「ボード貼り」については

- (1) ひとつの種類のボード（=ひとつの層）については千鳥（=目違い）に貼る。
- (2) ひとつの層と次の層は目地が重ならないようにずらす。
- (3) 各ボードの振動をお互いに拘束するため、また遮音パネル全体としての気密性を
 持たせるため接着剤も用いる。

これは木工ボンドで、各ボードに丁度地図の警察署のマークのような具合で塗布する。

ただし×マークの囲みは○印ではなく□印となる。

こうした工法は町場の工務店に依頼して施工が可能であり、かつ材料費が比較的安価な
 ことから、それなりに意義のあるやり方だといえる。

しかしこうしたやり方は全く新規に遮音ルームを造る場合はまだしも、既存のマンション
 部屋に追加する場合はどうしてもその厚さがネックになる。

さらにより重要な問題は、こうした従来のやり方では肝心の遮音パネルの性能について、
 「音響材料の特性と選定」（日本建築学会 1997年）などに記載されている各種実測データ

から推測するしか手段が無いということである。

つまり遮音パネルの構成要素としてパーティクルボードなどを加えたらパネル全体の遮音性能がどの位上がるのか計算出来ないのである。

2 新しい遮音パネルの検討

そこで改めて遮音の原理・原則に立ち返り、薄くとも遮音性能が出せて様々な状況にも対応可能な遮音パネルについて検討した。

まず遮音の基本的な原理であるが、

材料1と材料2が接する境界面において、音振動が反射する割合は次式で計算されるということである。

$$\text{音圧の反射率} = (Z_2 - Z_1) / (Z_1 + Z_2)$$

ただしZは材料の音響インピーダンスで、 $Z = \text{材料の密度} \times \text{材料の音速}$ 。

本論に係る身近な材料の音響インピーダンスは： (“**” はべき乗を表す)

材料	密度(kg/m ³)	縦波音速(m/s)	音響インピーダンス(kg/m ² s)
空気	1.29	331	$4.28 \times 10^{**2}$
ベニヤ	$4.20 \times 10^{**2}$	4000	$1.68 \times 10^{**6}$
鉄	$7.86 \times 10^{**3}$	5290	$41.58 \times 10^{**6}$
コンクリート	$2.30 \times 10^{**3}$	3100	$7.13 \times 10^{**6}$

注1 ベニヤの密度は手持ちのベニヤ板での実測値

例えば鉄板と木板が接する場合、鉄と木材の音響インピーダンスはそれぞれ約 $42 \times 10^{**6}$ と約 $2 \times 10^{**6}$ なので、

$$\text{音圧の反射率} = (42 - 2) / (42 + 2) = 40 / 44 = 0.9$$

となり、音振動の音圧の90%は反射してしまう (=音圧の透過率は $100 - 90 = 10\%$)。

注2 正確に計算すると $(41.58 - 1.68) / (41.58 + 1.68) = 39.90 / 43.26 = 0.92$

この音圧の反射率 (R_p) は基本的な数値である。というのは境界面での透過損失 (TL) は $TL = -10 \log TI$ で、TI (音の強さすなわちエネルギーの透過率) $= 1 - R_p^{**2}$ だからである。

もしこの音のエネルギーの透過率が0.1であれば $TL = 10\text{dB}$ となるが、その場合は材料1と材料2の音響インピーダンスの比は1 : 3.9となる ($1 - R_p^{**2} = 0.1$ より)。

ベニヤと鉄板の音響インピーダンスの比は約1 : 2.5なので $TL = 10\text{dB}$ ということにはならない。ありふれた建材で音響インピーダンスの比が1 : 4.0という組合せはなかなか見つからない。

注3 音圧の反射率を R_p とすると、音圧の透過率 $T_p = 1 - R_p$ 、
音の強さの反射率 $RI = R_p^2$ 、音の強さの透過率 $TI = 1 - R_p^2$ 、
透過損失 $TL = -10 \log TI$ である。

また遮音壁などの遮音性能をトータルで上げるためには空気層をうまく使うことが必要となる。その理由はたとえ木材の場合でも空気との音響インピーダンスの違いが「桁違い」だからである。

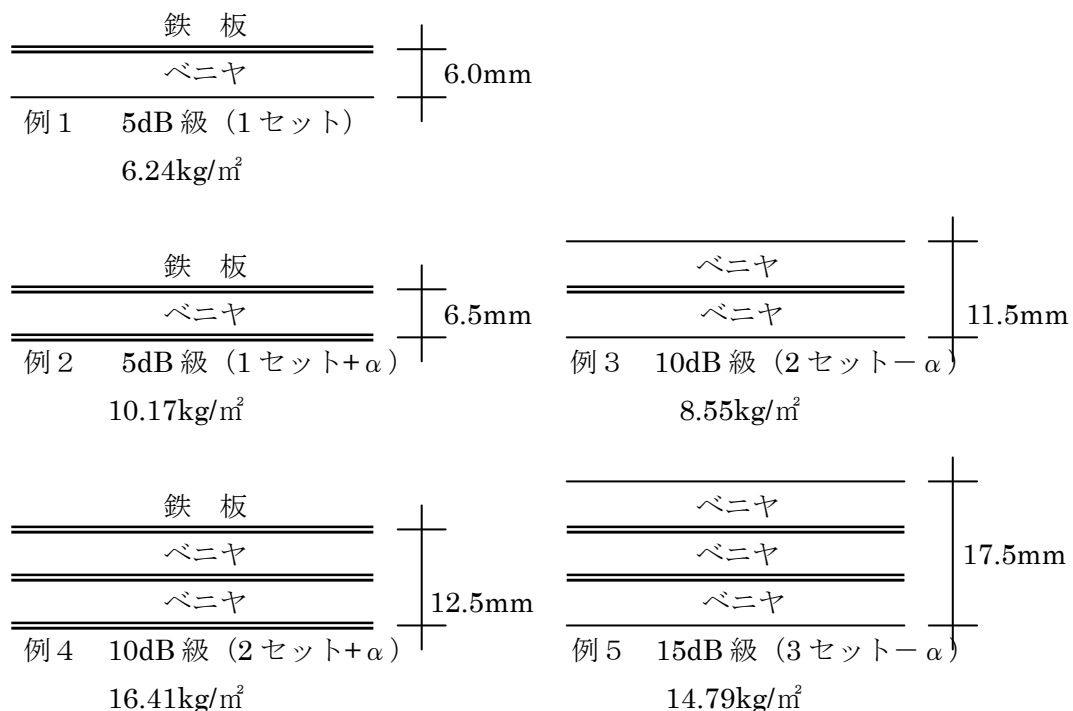
ちなみに上記と同様の計算を行うと、木材と空気の境界面では実に音の強さの 99.9% が反射してしまう (=0.1% が通過する)。デシベル値に換算すると 27dB になる。しかし、この 27dB という値は非現実的で経験とも合わない。

注4 より正確には 30dB (99.9% ではなく 99.95% のため)。

では遮音設計上どの程度の値をあてにすべきか？これについては別紙「アイアン・ウッドパネル（鉄木合板）の透過損失の計算」を参照いただきたい。

さて、使い勝手、コストなどを勘案し、まずは 0.5mm 厚の鉄板と 5.5mm 厚のベニヤの合板（いわば鉄木合板）を想定する。

代表例は次の 5 種類である。



ただし 0.5mm の鉄板の重量は 3.93kg/m²、5.5mm のベニヤの重量は 2.31kg/m²。

素材ボードどうしの接着は、前出の木工ボンドを用いるやり方とは異なり、エポキシ系接着剤を用いて点状に接着する。

具体的な接着方式については実験などにより確認する必要がある。

さて、ここでは遮音レベルについて“〇〇dB 級”という表現をしているが、その理由はこの数値が保証された値ではないからである。

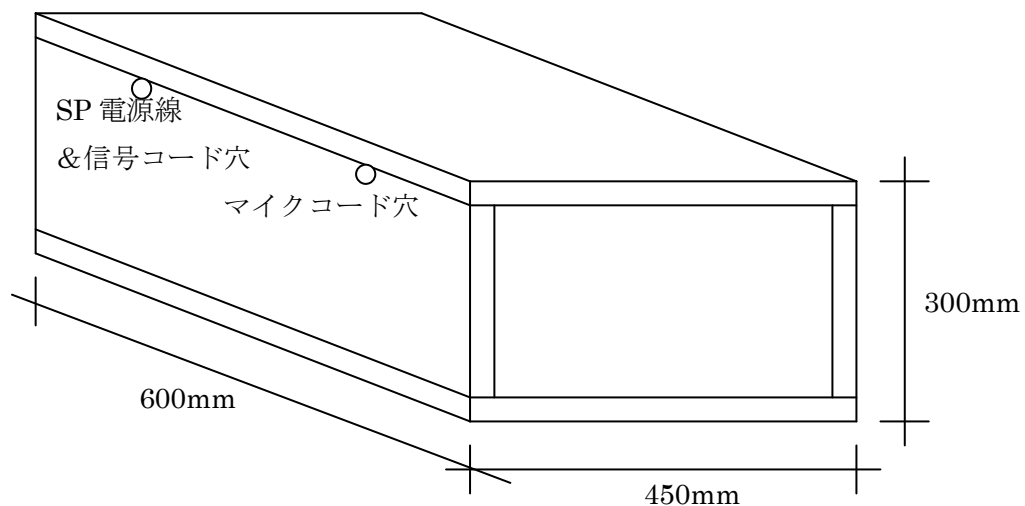
遮音パネルとしての実際の性能にはパネルの重量、周波数帯域が関係する（前出の式のとおり）。さらに遮音パネルが取り付けられる現場の様々な状況も影響する。

別の言い方をすると、現場での測定値は多方面から出ている音振動の総和となっているはずである。

もし壁全面に遮音パネルを貼れない場合、一体どのような遮音性能になるのかあらかじめ予測することは難しい。

いろいろな可能性（鉄板と木板の重ね合わせ方、またそれぞれの厚さ・形状）を秘めている「アイアン・ウッド遮音パネル」だが、やはり実際の性能については少なくとも模型実験で確認しておいた方がよいと思う。

性能を確認するための実験については、次のような測定用試験箱を用いるやり方が一案である。同じサイズの箱体を様々な材料で製作して比較すればなおよいと思う。



この測定用試験箱体には BOSE-M3 などのアンプ内蔵小型スピーカーと測定用マイクを収容し、測定音源としての「AUDIO TEST CD-1」（日本オーディオ協会）を再生するためのノート・パソコン、小型 DAC 及びそれらの電源アダプターは外部に設置する。

この試験箱に前出「例4」のパネルを用いた場合、容量は約 67 リッターとなる。

測定のやり方：

箱体内部で所定の音圧及び周波数が出ていることを確認してから、箱体外部へ出ている音を測定する。ピンクノイズを用いてパネルのサウンド・キャラクターの測定も行う。なお、通常は音源から 1m 離れた地点で測定するが、この模型の場合はそれが妥当かどうかは分からない。どのような位置にマイクロフォンを設置するかは検討を要する。またスピーカーについてはその振動が直接箱体に伝わらないよう配慮すべきである。

3 まとめ：アイアン・ウッド遮音パネルの特徴

このパネルは次のような（今までの木質系遮音パネルには無かった）特徴を持っている。従来からのやり方・工法と併せて適材適所で活用すればよいと考える。

- (1) あらかじめ必要なサイズのパネルを必要な枚数製作することになる。
従って、いわゆる「板割図」を現場に合わせて正確に起こさなければならないなど面倒だが、現場での作業は短縮されることになる。
別の言い方をすれば「現場合わせ」は出来ない。
- (2) 鉄板とベニヤ板の組み合わせが自由なので（厚さ、枚数）、必要とされる遮音性能、重量制限に合わせた設計がし易い。
既存のドアの遮音性能を上げることも比較的容易と考えられる。
- (3) 本実（ほんざね）継ぎ手も可能。
あらかじめパネルを製作するやり方なので、状況に対応した様々な継ぎ手を工夫することが出来る。
- (4) 曲面の遮音壁も原理的には可能
費用・手間の問題はあるが、あらかじめ鉄板、ベニヤ板を曲面加工すれば自由な曲面状の遮音パネルを実現出来る。

以上