

工場用二重壁の遮音特性

真藤 利孝 縄岡 好人
三宅 哲生

Characteristics of Sound Insulation of Double Wall in Factory Use

Toshitaka Shindo Yoshito Nawaoka
Tetsuo Miyake

Abstract

As a double wall can produce a larger transmission loss for the same weight per unit area as a single wall, it is coming into widespread use as a light-weight sound insulator in factories. However, little practical sound insulation data on double walls regarding noise control in factories have been available. Therefore, the authors made laboratory measurements of transmission losses for 23 double walls composed of materials commonly used in many factories and having joints similar to those in actual construction. Sound insulation data for representative double-wall structures used in factories in general were consequently obtained. Further, the authors arrived at an experimental expression for transmission loss by means of theoretical analyses of measurement results and the sound insulation of a similar double-wall structure is easily estimated with this expression.

概 要

二重壁は、一重壁に比べて、同じ面密度で大きな透過損失を得ることができるので、工場等の軽量遮音壁として多く用いられるようになってきた。しかしながら、工場の騒音対策を検討する場合に、実用的な遮音特性のデータは、数少ない。

我々は、一般の工場によく用いられる材料を選び、実際に施工する場合に近いように目地等を考慮して作製した23種類の二重壁試料の透過損失を、実験室において測定し、一般の工場で用いられる代表的な二重壁構造の遮音特性のデータを得ることができた。また、測定結果を理論的に解析し、二重壁の透過損失実験式を得たが、類似の二重壁構造の遮音特性については、実験式により簡易に推定できると思われる。

1. まえがき

二重壁は、一重壁に比べて、同じ面密度で大きな透過損失を得ることができるので、工場等の軽量遮音壁として多く用いられるようになってきた。

しかしながら、工場等の騒音対策を検討する場合に、実用的な遮音特性のデータは数少ない。また、一重壁の透過損失の実測値が、壁体の面密度から計算された値とよい一致を示すのに対し、同様にして求められた二重壁の計算値は、実測値と一致しない。

故に、我々は、一般の工場で用いられる代表的な二重壁構造の試料を作製し、実験室において、それらの透過損失を測定した。また、透過損失の測定結果を、理論的に解析し、二重壁の透過損失に対する実験式について検討した。

2. 二重壁試料の透過損失測定

2.1. 二重壁試料の仕様

二重壁の試料は、目地等を、実際の工場等で施工する場合に近いように考慮し、一般の工場によく用いられる材料により構成して、23種類作製した。構成面の面積は、10.5m²、空気層は、100mm、200mm、450mmの3段階であり、胴縁については、空気層100mmと200mmでは共通、450mmの場合は、独立である。

表一1に、試料の構成を、図一1に、立面図を示す。

2.2. 測定方法並びに測定結果

透過損失の測定方法については、JIS A1416（実験室における音響透過損失の測定方法）に基づいた方法を用いた。

本測定で使用した実験室は、当研究所の第1、第2

残響室であり、その室容積は、ともに 218m³である。

図-2 に、測定系統ブロック図、並びに、測定に使用した機器名を示す。

二重壁試料の透過損失測定結果を、図-3 に示す。

試料番号	二重壁の構成 (左: 音源室 / 右: 残響室)	試料番号	二重壁の構成 (左: 音源室 / 右: 残響室)	測定周波数
No.1	70mm厚石膏ボード(1.25kg/m ²) / 100mm厚断熱材(0.04W/mK) / 70mm厚石膏ボード(1.25kg/m ²)	No.9	70mm厚石膏ボード(1.25kg/m ²) / 100mm厚断熱材(0.04W/mK) / 70mm厚石膏ボード(1.25kg/m ²)	200Hz
No.2	モルタル70mm / 20mm厚石膏ボード(0.75kg/m ²) / 100mm厚断熱材(0.04W/mK) / 20mm厚石膏ボード(0.75kg/m ²) / モルタル70mm	No.10	モルタル70mm / 20mm厚石膏ボード(0.75kg/m ²) / 100mm厚断熱材(0.04W/mK) / 20mm厚石膏ボード(0.75kg/m ²) / モルタル70mm	200Hz
No.3	モルタル70mm / 20mm厚石膏ボード(0.75kg/m ²) / 100mm厚断熱材(0.04W/mK) / 20mm厚石膏ボード(0.75kg/m ²) / モルタル70mm	No.11	モルタル70mm / 20mm厚石膏ボード(0.75kg/m ²) / 100mm厚断熱材(0.04W/mK) / 20mm厚石膏ボード(0.75kg/m ²) / モルタル70mm	200Hz
No.4	70mm厚石膏ボード(1.25kg/m ²) / 100mm厚断熱材(0.04W/mK) / 70mm厚石膏ボード(1.25kg/m ²)	No.12	70mm厚石膏ボード(1.25kg/m ²) / 100mm厚断熱材(0.04W/mK) / 70mm厚石膏ボード(1.25kg/m ²)	450Hz
No.5	70mm厚石膏ボード(1.25kg/m ²) / 100mm厚断熱材(0.04W/mK) / 70mm厚石膏ボード(1.25kg/m ²)	No.13	70mm厚石膏ボード(1.25kg/m ²) / 100mm厚断熱材(0.04W/mK) / 70mm厚石膏ボード(1.25kg/m ²)	450Hz
No.6	70mm厚石膏ボード(1.25kg/m ²) / 100mm厚断熱材(0.04W/mK) / 70mm厚石膏ボード(1.25kg/m ²)	No.14	70mm厚石膏ボード(1.25kg/m ²) / 100mm厚断熱材(0.04W/mK) / 70mm厚石膏ボード(1.25kg/m ²)	450Hz
No.7	モルタル70mm / 20mm厚石膏ボード(0.75kg/m ²) / 100mm厚断熱材(0.04W/mK) / 20mm厚石膏ボード(0.75kg/m ²) / モルタル70mm	No.15	モルタル70mm / 20mm厚石膏ボード(0.75kg/m ²) / 100mm厚断熱材(0.04W/mK) / 20mm厚石膏ボード(0.75kg/m ²) / モルタル70mm	450Hz
No.8	モルタル70mm / 20mm厚石膏ボード(0.75kg/m ²) / 100mm厚断熱材(0.04W/mK) / 20mm厚石膏ボード(0.75kg/m ²) / モルタル70mm			

表-1 二重壁試料の構成

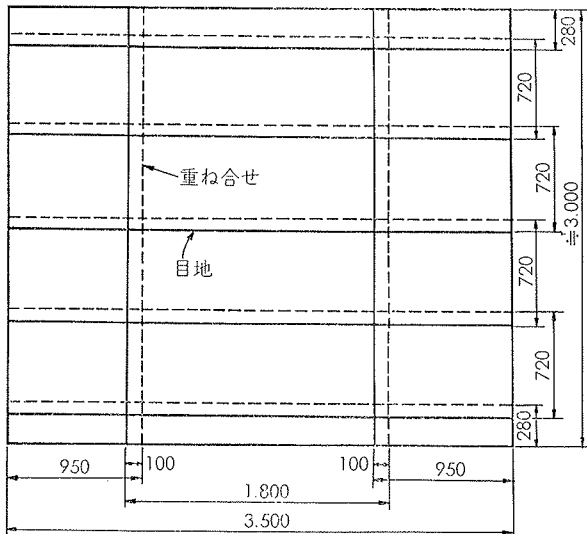


図-1 二重壁試料立面図

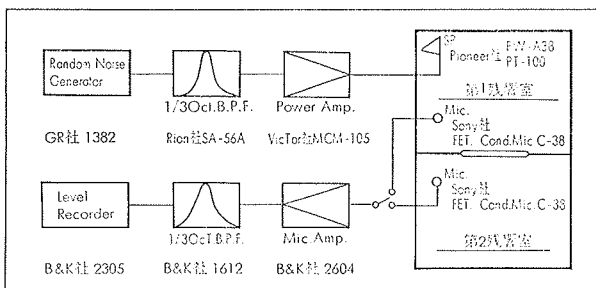


図-2 測定系統ブロック図

3. 二重壁透過損失理論式

3.1. 二重壁構造の結合状態

二重壁を構成する各壁での共鳴はないものと仮定し、二重壁構造の結合状態を、図-4 に示したように、3つの振動系の結合として考えた。

図-4 の系-2 と系-3 とにおけるエネルギーの連続条件により、式①、②が成立する。

$$\begin{cases} \pi_{12} = \pi_2^{dis} + \pi_{23} & \dots\dots ① \\ \pi_{23} = \pi_3^{dis} & \dots\dots ② \end{cases}$$

Lyon 等によれば¹⁾、系-i から系-j へのエネルギー流 π_{ij} は、

$$\pi_{ij} = \omega \eta_{ij} n_i (E_i/n_i - E_j/n_j) \quad \dots\dots ③$$

ω : 角振動数

η_{ij} : 系-i から系-j までの loss factor

n_i : 系-i の固有振動数

E_i : 系-i の総エネルギー

従って、式①、②は、次のように書き換えられる。

$$\begin{cases} \omega \eta_{12} n_1 (E_1/n_1 - E_2/n_2) = \omega \eta_2 E_2 + \omega \eta_{23} (E_2/n_2 - E_3/n_3) & ④ \\ \omega \eta_{23} (E_2/n_2 - E_3/n_3) = \omega \eta_3 E_3 & \dots\dots ⑤ \end{cases}$$

音源室エネルギーと受音室エネルギーとの割合は、式④、⑤において、 E_2 を消去して求められる。

$$E_1/E_3 = \frac{1}{\eta_{12}} \left\{ \frac{1}{\eta_{23}} (\eta_3 + \eta_{32}) (\eta_2 + \eta_{21} + \eta_{23}) - \eta_{32} \right\} \quad \dots\dots ⑥$$

3.2. 各パラメータ

a) 各系の固有振動数: n_i

三辺の長さが l_1, l_2, l_3 の室の周波数 f における固有振動数の密度は、 $V = l_1 l_2 l_3$, $M = 2(l_1 l_2 + l_2 l_3 + l_3 l_1)$, $L = 4(l_1 + l_2 + l_3)$, 音速を C として

$$N(f) \doteq 4\pi f^2 V/C^3 + \pi f M/2C^2 + L/8C \quad \dots\dots ⑦$$

音源室と受音室の固有振動数は、式⑦の右辺第1項とした。また、空気層の固有振動数については、空気層の奥行き d が、半波長より小さい周波数帯域では、壁に平行方向のモードのみが生ずると仮定し、斜め波の数を無視した。

$$n_1 = n_3 = 4\pi f^2 V/C^3 \quad \dots\dots ⑧$$

$$n_2 = \begin{cases} 2\pi f S/C^2 & (f \leq C/2d) \\ 4\pi f^2 V_2/C^3 & (f > C/2d) \end{cases} \quad \dots\dots ⑨$$

S : 二重壁構成面面積 (M²)

V_2 : 空気層容積 (M³)

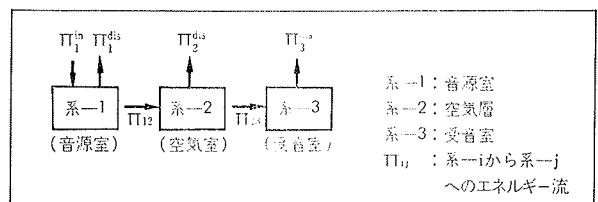


図-4 二重壁構造結合状態ブロック図

b) loss factor: η_{ij}

一般に、容積V, エネルギー密度Wの拡散音場から、透過率 τ , 面積Sの隔壁を通じて、単位時間に透過するエネルギー I_t は、

$$I_t = \tau SCW/4 \quad \dots\dots ⑩$$

容積V, 吸音力Aの室内において、単位時間に壁面に吸収されるエネルギー I_A は、 $I_A = ACW/4$ $\dots\dots ⑪$

また、 η_{ij} と η_{ji} の関係については、 $\pi_{ij} = -\pi_{ji}$ より $n_i \eta_{ij} = n_j \eta_{ji}$ で示される。

以上のことと、前節の各系間のエネルギー表示とを考えると、各 loss factorは次のように表わされる。

$$\eta_{12} = \tau_1 SC/4V\omega \quad \dots\dots ⑫$$

$$\eta_{32} = \tau_2 SC/4V\omega \quad \dots\dots ⑬$$

$$\eta_3 = AC/4V\omega \quad \dots\dots ⑭$$

$$\eta_{21} = \begin{cases} \tau_1/4\pi & (f \leq C/2d) \\ \tau_1 C/8\pi f d & (f > C/2d) \end{cases} \quad \dots\dots ⑮$$

$$\eta_{23} = \begin{cases} \tau_2/4\pi & (f \leq C/2d) \\ \tau_2 C/8\pi f d & (f > C/2d) \end{cases} \quad \dots\dots ⑯$$

3.3. 二重壁透過損失の理論式

音源室と受音室とのエネルギー比は、前節で述べた各パラメータを、式⑥に代入して、

$$E_1/E_3 = \{ (A/S + \tau_2)(K + \tau_1 + \tau_2) - \tau_2^2 \} / \tau_1 \tau_2 \quad \dots\dots ⑰$$

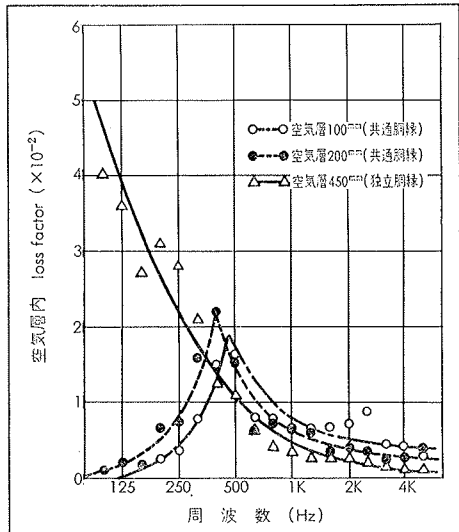
$$K = \begin{cases} 4\pi\eta_2 & (f \leq C/2d) \\ 8\pi f d \eta_2 / C & (f > C/2d) \end{cases}$$

一般に、透過損失 TL と、音源室と受音室間の音圧レベル差 $10 \log (E_1/E_3)$ とは、次の関係にある。

$$TL = 10 \log (E_1/E_3) + 10 \log (S/A) \quad \dots\dots ⑱$$

従って、二重壁の透過損失 TL は、式⑰と式⑱から

$$TL = 10 \log \left\{ K \frac{1}{\tau_1 \tau_2} + \frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} + (S/A) \left(K \frac{1}{\tau_1} + 1 \right) \right\} \quad \dots\dots ⑲$$



図一5 空気層内の loss factor

$$K = \begin{cases} 4\pi\eta_2 & (f \leq C/2d) \\ 8\pi f d \eta_2 / C & (f > C/2d) \end{cases}$$

4. 二重壁の透過損失に対する実験式

4.1. 測定結果の η_2 についてのまとめ

第2章で述べた測定結果を、式⑯により η_2 についてまとめた。各空気層毎の η_2 の平均値を、図一5に示す。

4.2. η_2 の特性に対する考察

図一5より、次のことがわかる。

(1) η_2 の周波数特性は、空気層100mm, 200mmと空気層450mmでは異なった特性を示し、前者では、低音域で下降するが、後者では、上昇する。

(2) 空気層200mmでの η_2 の特性は、100mmでの特性を、 $1/3$ Oct. だけ低音域に平行移動した特性を示す。

(1)の原因として、次のことが考えられる。

η_2 は、他の loss factorと同様に $1/\omega$ の関数と考えれば、空気層 450mmのものと同傾向の特性を示すはずであるが、空気層100mmと200mmでは、測定結果に、共通胴縁等の影響による透過損失の減少分が含まれているために低音域で下降する特性を示すものと思われる。また、(2)の原因としては、空気層の増加による、共鳴周波数の低下および吸音力の増加のためと思われる。

4.3. 二重壁の透過損失実験式

前節で述べたように、空気層100mmと200mmでの η_2 には、共通胴縁等の影響が含まれており、前章で述べた理論式の仮定と矛盾するが、本報告書では、 η_2 を、共通胴縁の影響も含んだパラメータとして考え、 η_2 の値は、各空気層毎に、図一5の値をとるものとして、次の実験式を得た。

$$TL = 10 \log \left(K \frac{1}{\tau_1 \tau_2} + \frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} \right) \quad \dots\dots ⑳$$

ただし、上式は、透過損失を推定する場合の計算を簡易にする目的で、式⑱の(S/A)の項を無視した。

図一3に、透過損失の実測値と、実験式による計算値との対応を示す。

5. 結び

一般の工場によく用いられる材料を選び、実際に施工する場合に近いように目地等を考慮して作製した23種類の二重壁試料の透過損失を、実験室において測定した結果、一般の工場で用いられる代表的な二重壁構造に対する遮音特性のデータを得ることができた。

ついで、測定結果を空気層内の loss factor についてまとめたが、 η_2 の周波数特性が、共通胴縁と独立胴縁では異なることがわかり、共通胴縁の場合には、空気層が大きくなるにつれて、低音域に特性が移動する

と思われるが、一般の場合については、さらに空気層の異なる試料についての検討が必要とされる。

また、図-3にみられるように、透過損失の実測値と実験式による計算値とはよく一致しており、類似の二重壁構造の透過損失については、実験式により、簡小波スレート板とフレキシブルボード

易に推定できると思われる。

参考文献

- 1) R.H. Lyon and T.D. Scharton: Vibrational Energy Transmission in a Three Element Structure, J. Acoust. Soc. Amer., 38 (1965), 253~261

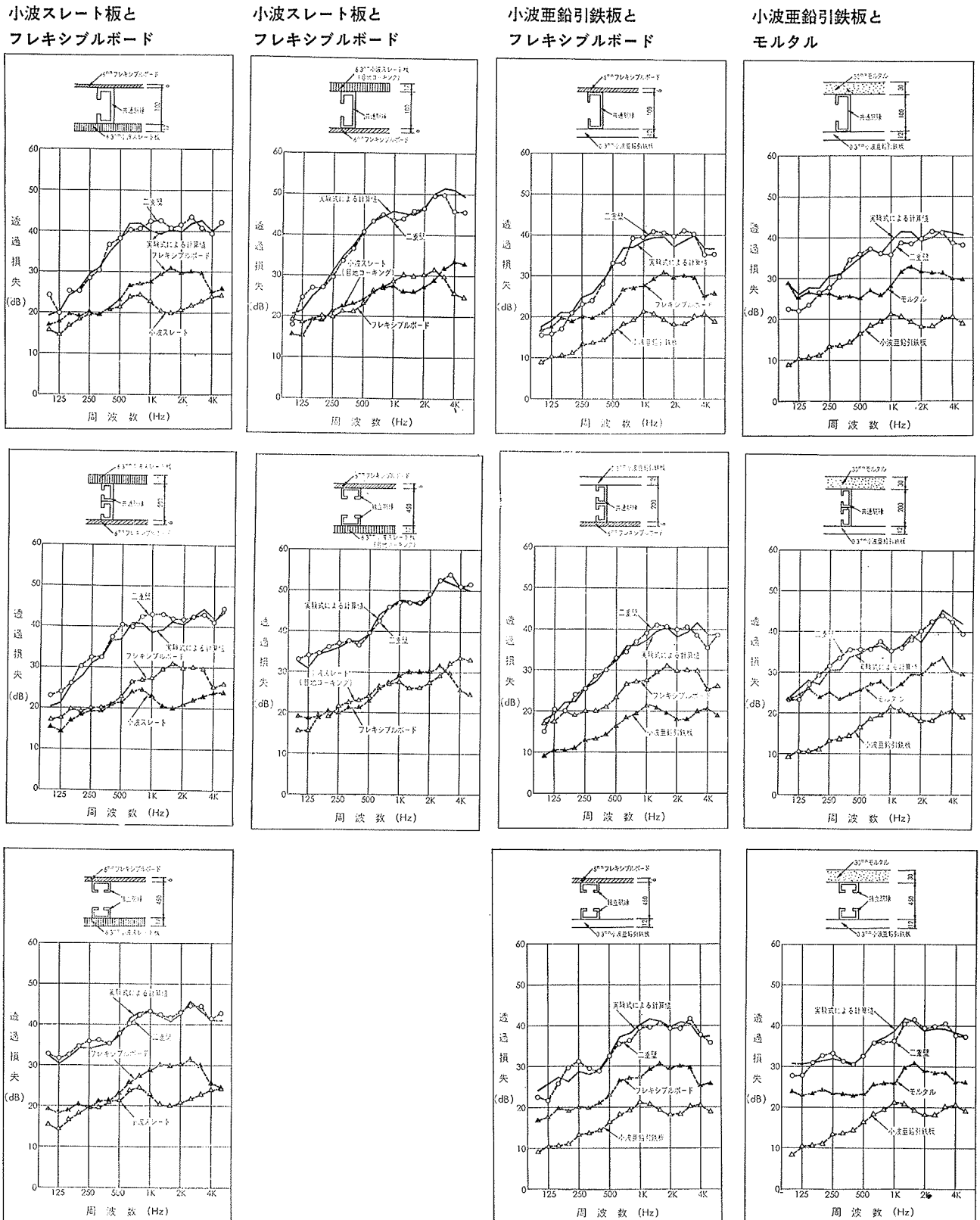
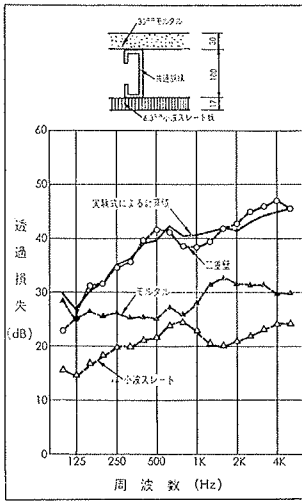
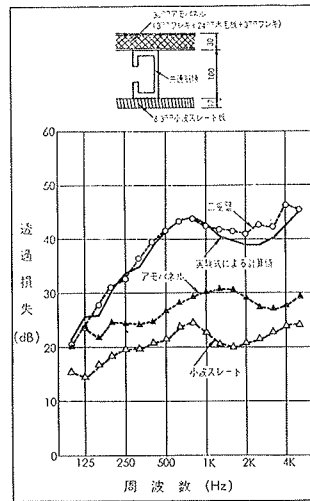


図-3 透過損失測定結果並びに実験式による計算値と測定値との対応

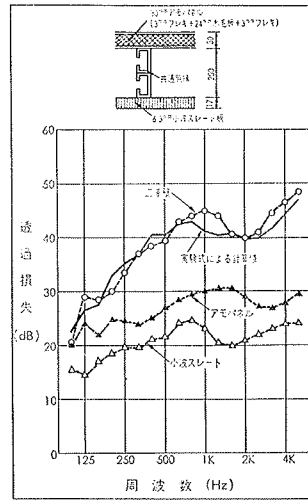
小波スレート板とモルタル



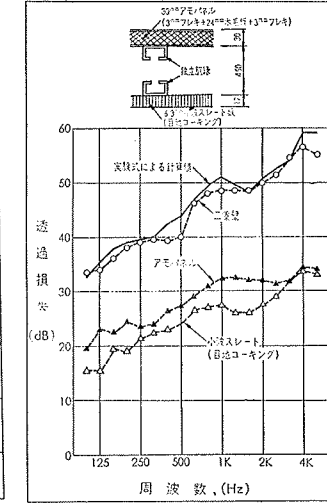
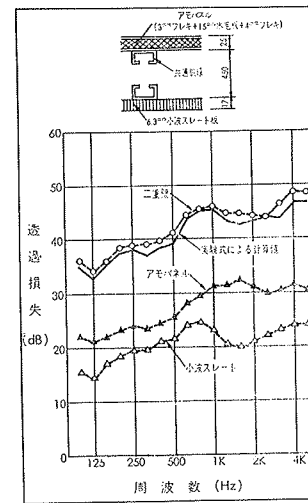
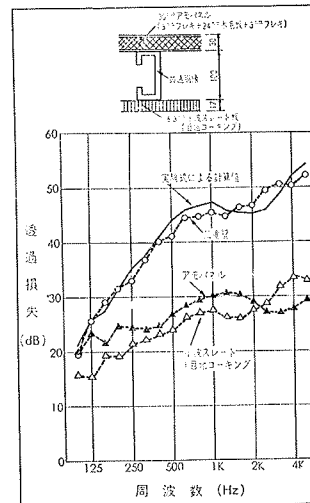
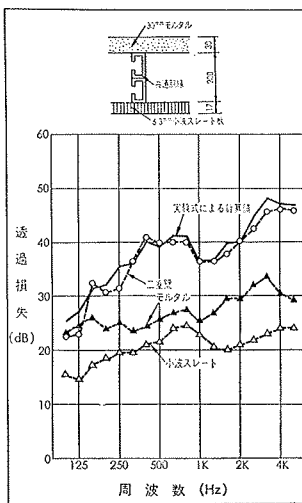
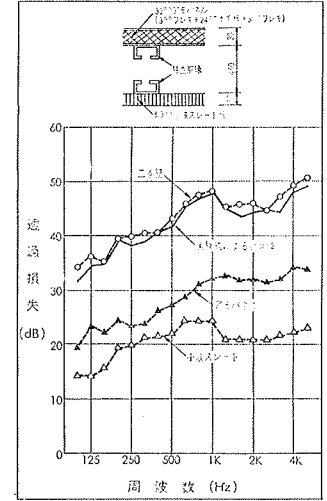
小波スレート板とアモパネル



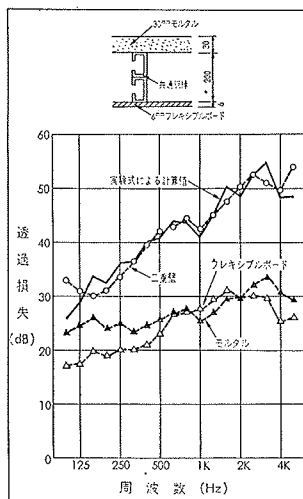
小波スレート板とアモパネル



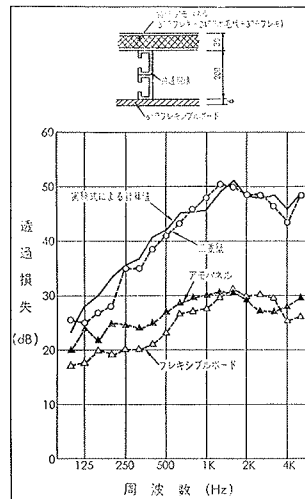
小波スレート板とアモパネル



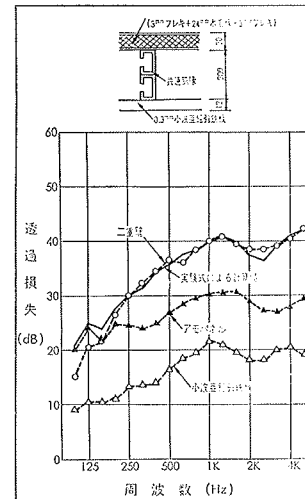
フレキシブルボードとモルタル



フレキシブルボードとアモパネル



小波亜鉛引鉄板とアモパネル



小波スレート板とサーモニーパネル

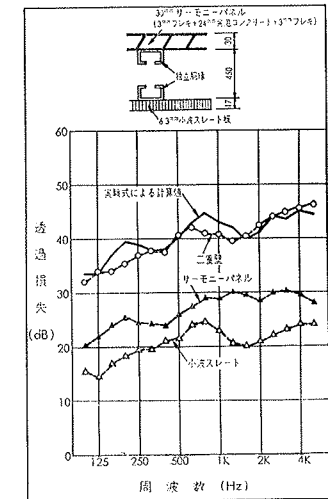


図-3 透過損失測定結果並びに実験式による計算値と測定値との対応