

一重構造体の透過損失について

遮音構造の研究

子安 勝・中村 俊一

(小林理学研究所)

(昭和 35 年 9 月 5 日 受理)

Transmission Loss of Single Partitions

Masaru KOYASU and Shun-ichi NAKAMURA

(Kobayashi Institute of Physical Research)

(Received September 5, 1960)

Transmission loss of single Partitions were measured in reverberant sound field for common building materials, for example plywood, glass, concrete block, etc.

In arranging the transmission loss curves, mf , that means (mass per unit area) \times (frequency), was taken as abscissa instead of f .

Such an arrangement has clarified the relation between the measured transmission loss and the mass law. That is common to those homogeneous materials and consists of three regions as to mf . When $mf < 10^4 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{c/s}$, measured transmission loss is larger than the mass law by several decibels. $10^4 < mf < 10^5$, transmission loss decreases on account of "coincidence effect". $10^5 < mf$, transmission loss curves recover from their minima, and agree with the mass law.

As regards the coincidence effect, for the homogeneous materials, the agreement was found between the frequency at which the minimum of transmission loss occurs and Cremer's critical frequency f_c . In our study f_c was calculated by the static Young's modulus of material.

Several kinds of sandwich structure panels have been treated in the same way as abovementioned.

The result of our study shows that the transmission loss of single partitions, either homogeneous or inhomogeneous plates, is roughly predicted by the mass law. In detail, however, the transmission loss characteristics are different depending on the kind of structures. The difference in dynamical property between structures can be pointed as one of the causes of them.

現在われわれは、さきに報告した透過損失測定設備¹⁾を用い、各種の建築材料や、壁構造、窓などについて透過損失の実験的なデータをだすとともに、遮音構造の基礎的研究も行っている。

ここでは、遮音構造の研究の第一歩として、まず、一重構造の透過損失についてまとめた結果を報告する。

§ 1. 均質一重構造の透過損失

1.1 試料

われわれの測定した試料は、第1表に示したよ

うに、大部分が市販されている建築材料で 910 mm \times 1820 mm のものであった。

測定の結果、同様なパネル材であっても、内部の均一な石膏板や合板と、均一でないサンドイッチ構造のものでは透過損失の傾向に差異が認められた。そこで内部の均一な単板と、積層板とに分け、ここではまず単板の透過損失についてのべ、サンドイッチ構造については、単板との比較を次にのべる。

1.2 取付条件

910mm \times 1820mm の試料は 3.3m² (2枚)を

一重構造体の透過損失について

第1表

材 料 名	厚 さ mm	面密度 kg / m ²	材 料 名	厚 さ mm	面密度 kg / m ²
合 板	3	15	板 ガ ラ ス	3	7.5
同 上	6	30	同 上	5	13
同 上	12	8.0	同 上	6	15
同 上	40	24	同 上	8	20
軟質繊維板	12	3.6	同 上	12	30
合成樺皮材	8	5.6	磨 き 鉄 板	1	8.2
パーティクルボード	8	5.2	銅 板	3	27
同 上	38	21	ジェラルミン板	10	30
石膏ボード	6	5.8	ラスモルタル	50	100
同 上	9	8.7	コンクリート・		
石綿スレート板	4	7.1	ブロック壁		
同 上	6	11	プaster仕上げ	100	160
同 上	8	5.4	モルタル仕上げ	500	180

床面の試料取付口に設けた木枠に釘付けした (Fig. 1)。ガラスはサッシュに取付けて測定し、ブロック壁やモルタル壁 (Fig. 2) と同様に垂直面取付口へ施工した。

いずれも、すきまなどからの音のものを防ぐために、周辺をパテなどでコーキングした。



Fig. 1 Examples of the mounting condition for thin and thick plates.

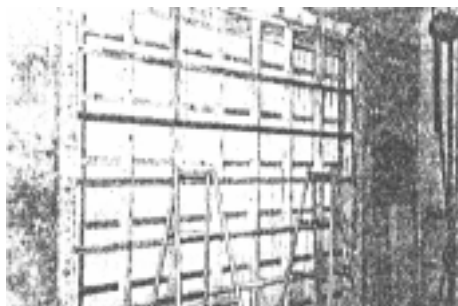


Fig. 2 Construction of test wall at the 3.0m x 3.0m opening.

の代表的な測定例を Fig. 3 ~ 5 に示した。これについては、従来質量則やコイシデンス効果などによって、その傾向に理論的な解釈がされている。

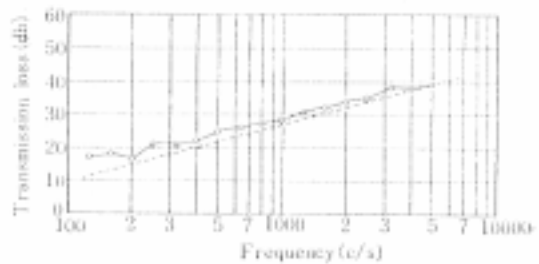


Fig. 3 Typical characteristics of transmission loss for single partitions.
A; steel plate 1mm thick.
Dotted line shows random incidence mass law.

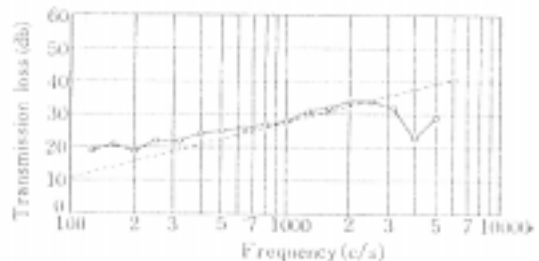


Fig. 4 Typical characteristics of transmission loss for single partitions.
B; Plaster board 9mm thick.
Dotted line shows random incidence mass law.

1.3 測定結果

均質な一重構造 (いまこれを単板と総称する)

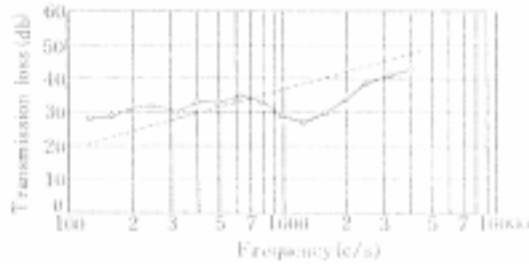


Fig. 5 Typical characteristics of transmission loss for single partitions.
C; Glass plate 12mm thick.
Dotted line shows random incidence mass law.

まず質量則は、構造体に音が当たったとき、構造体の質量の影響だけを考慮して音の透過を論じたものである。

すなわち、構造体の各部分は垂直方向に全く独立に振動しようと考え、その素片について機械インピーダンスとして(1)式の仮定をする。

$$Z_M = i\omega m \quad (1)$$

ここで ω は角周波数、 m は面密度とする。

これから、ランダム入射の質量則は London によって(2)式で与えられている²⁾。

$$T.L. = 10\log_{10} a^2 - 10\log[\ln(1+a^2)] \quad (2)$$

$$a = \omega m / 2\rho c$$

ただし ρ は空気の密度、 c は空気中の音速である。

Figs. 3 ~ 5 に点線で示したのは、各試料につい

ての質量則の値である。

ところで図でも明らかなように、中音域以上で、透過損失の実測結果が質量則からはずれて低下する場合がみられる。Cremer はこの原因が、構造体の横波の入射音との結合によっておこることを指摘し、コインシデンス効果と名づけた³⁾。そしてコインシデンス効果のおこりうる最低周波数 f_c として

$$f_c \approx \frac{c^2}{2\pi d} \sqrt{\frac{12\rho_w}{E}} \quad (3)$$

となることを示した。ここで E は材料のヤング率、 d は厚み、 ρ_w は密度である。

われわれは、この質量則とコインシデンス効果の2つに着目して、測定結果の整理を行った。

質量則による整理

横軸を周波数 f の代りに(面密度) × (周波数) mf として図表をかく。この図表では、質量則から求めた透過損失の値が一本の曲線で示される。そこでこの整理の方法は、Figs. 3 ~ 5 についていえば、各図中の点線(質量則を表わす)が一本の線上に重なるように各図の左右の位置をずらして並べ、各試料の特性を比較することにあたる。

Fig. 6 が整理した結果であるが、全体の傾向からつぎの3つの領域に分けることができる。

A. $mf < 10^4 \text{ kg/m}^2 \times \text{c/s}$

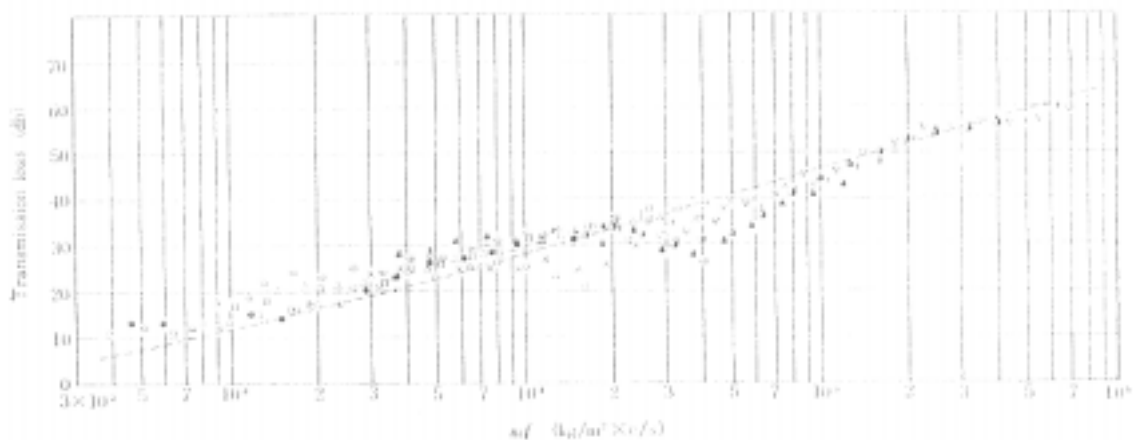


Fig. 6 Transmission loss versus mf for common building materials.
Dotted line shows random incidence mass law Eq. (2).

一重構造体の透過損失について

この領域では、透過損失は 30db 前後からそれ以下であるが、全体の傾向として質量則よりも大きい値となっている。試料の共振の影響が出るとすればこの領域であるが、結果をみると、このような試料、寸法、取付方法では、これは目立たぬといえる。

B . $10^4 < mf < 10^5$

ここでは、試料によるばらつきがもっとも大きい。さきにのべたコインシデンス効果についてはこの図では(4)式となる。

$$mf_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{12\rho_w^3}{E}} \quad (4)$$

これによると、同じ材料では厚さがちがっても、図上では同じところにコインシデンス効果が現れることが予想される。

一般の建築材料では、重量とかたさの間にほぼ相関があるために、この図に示すようにコインシデンス効果による透過損失の低下がこの範囲に集中しておきるのである。金属やゴムの板のように、さきに示した建築材料の場合と重量、弾性の関係が違えば、 mf のもっと大きい値で透過損失の極小が現れることも予想される。

C . $10^5 < mf$

この領域に入るものは、コンクリートブロック(モルタルまたはプaster仕上げ)やモルタル壁などで、透過損失も 50db 以上となる。それぞれの材料について、この領域は f_c より高い周波

数に相当しているが、透過損失は質量則による値とよく一致する。

いま、ガラスに例をとり、厚みの異なるものを整理すると、Fig. 7 のようにほぼ一本の線になる。このように、材質が同じであると透過損失極小近傍の形がよく似ていることは興味あることである。

f_c の検討

コインシデンス効果は f_c 以上の周波数でおこると考えられる。ここでは、各材料について f_c を計算し、透過損失の測定結果と比較した。

E として試料の静的ヤング率を用いたが、資料のないものについてはこれを測定した。すなわち試料を両端で支えて中央に荷重をかけ、そのたわみからヤング率を求めた。このとき、われわれは試料をなるべく原寸で測定することにしたが、940mm×1820mm では自重によるたわみの大きいものは 910mm×910mm 程度に切ったものを用いた。

Fig. 8, 9 に示すように、内部の均一な単板では、 f_c と透過損失の極小の周波数がかなりよく対応することがわかった。

Fig. 10 は(3)式をもとに、種々の材料について f_c を求めるためにつくった計算図である。これによって、質量則よりもいちじるしく透過損失の低下する周波数を予測することができる。

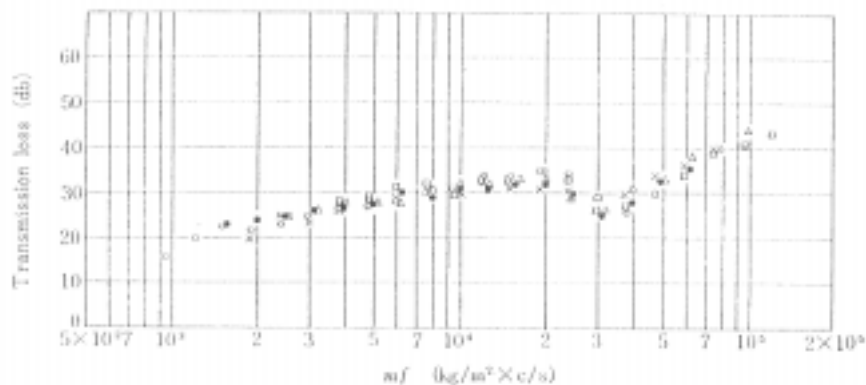


Fig. 7 Transmission loss versus mf for glass plates of various hickness.

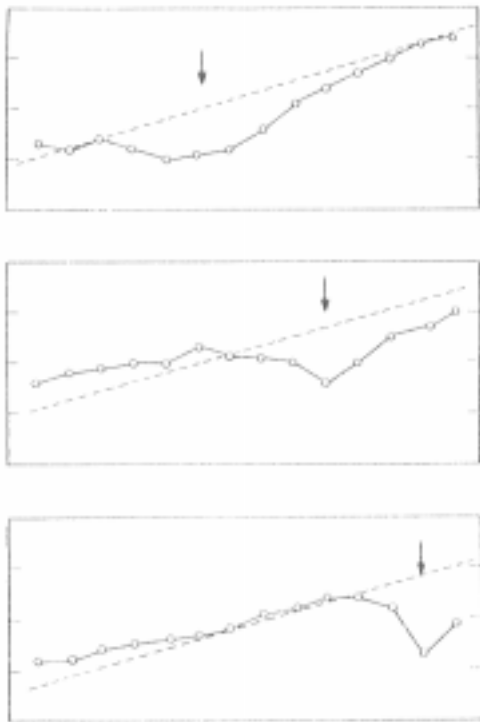


Fig. 8 Frequency characteristics of transmission loss for homogeneous partitions. Arrow shows Cremer's f_c calculated by Eq. (3). We used static Young's modulus as E in the equation.

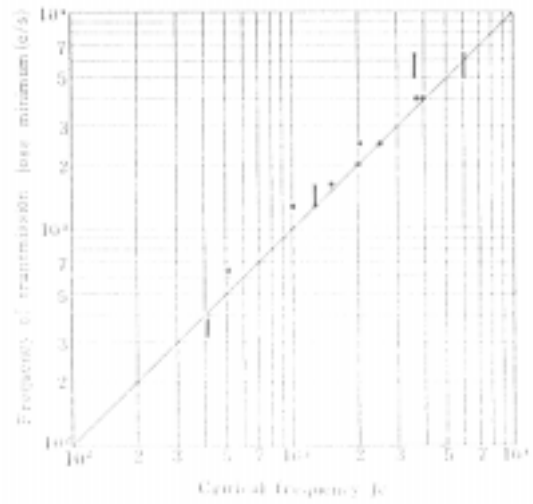


Fig. 9 Relation between the calculated f_c and the frequency where the measured transmission loss becomes minimum.

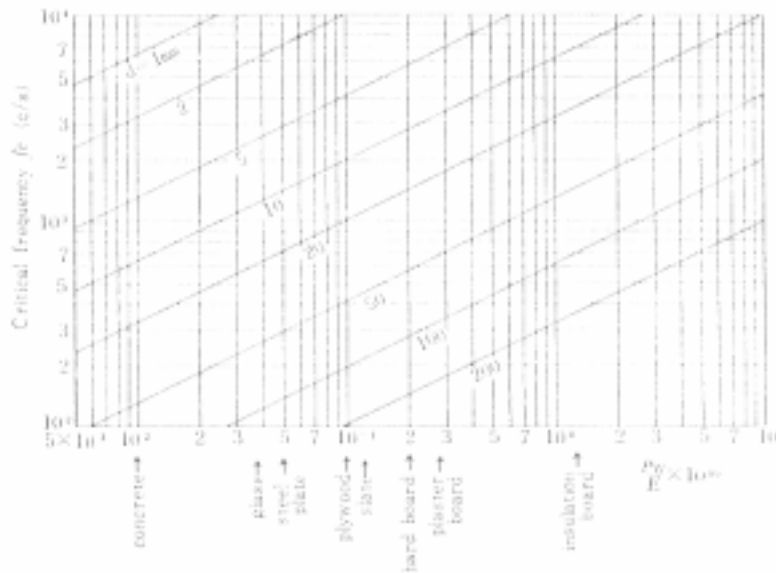


Fig. 10 Nomogram for calculation of f_c . ρw and E in C.G.S. units.

§ 2 . 単板と積層板との相違

内部の均一な単板に対し，異った材質を重ね合わせて一枚のパネルとしたものがつくられている。これたの積層板は，断熱の効果や，パネルの軽量化などの意図で計画されたものであるが，その音響的性質についても興味を持たれている。われわれの測定では，これらの透過損失に単板とは細部で異った点があることがわかった。しかし，一口に積層板といっても，材質の構成の仕方など，その特性に関係する因子も多くまた複雑で，これを明らかにするためには，それぞれについてのくわしい研究が必要である。

ここでは，数種の積層板について，透過損失からみた特徴を，単板の場合と比較しながらのべたい。

2 . 1 試 料

第2表に測定した試料を示した。構造上のちがいをもとに4種に分類してある。

2 . 2 測定結果の整理

質量則による整理

単板の場合と同様に横軸に mf をとり，各構造別に整理した透過損失を Figs . 11 ~ 14 に示した。ここで斜線の部分は Fig . 6 の単板の場合である。

これでみると，Figs . 11, 12 の場合は単板の値と大差ないが，Figs . 13, 14 では，一般に同重量の単板よりも透過損失が小さくなっている。

第 2 表

	外 皮	中 芯	厚さ mm	面密度 kg / m ²
A	石綿スレート板	石綿スレート板	15	16
	同 上	発砲コンクリート	38	36
B	合 板	軟 質 繊 維 板	20	7.6
	同 上	同 上	40	14
	硬 質 繊 維 板	同 上	20	12
	同 上	同 上	40	14
C	硬 質 繊 維 板	紙ハニカム・コア	25	8.6
	同 上	同 上	25	8.2
	プラスチック板	同 上	15	6.3
	同 上	同 上	25	6.6
	同 上	同 上	40	6.7
	アルミニウム板	同 上	25	5.8
	鋼 板	同 上	50	8.3
石綿スレート板	同 上	25	11	
D	板 ガ ラ ス	空 気 層	16	25
	同 上	同 上	26	35

f_c の検討

単板と積層板との相違は， f_c の検討と透過損失の周波数特性の比較とによって特徴をつかむことができる。

Fig . 15 に各構造の例について代表的なものを示した。単に構造の相違だけでなく，同じ構造でも材質の選び方によって傾向が変わる。

f_c の計算は試料全部については行っていないが

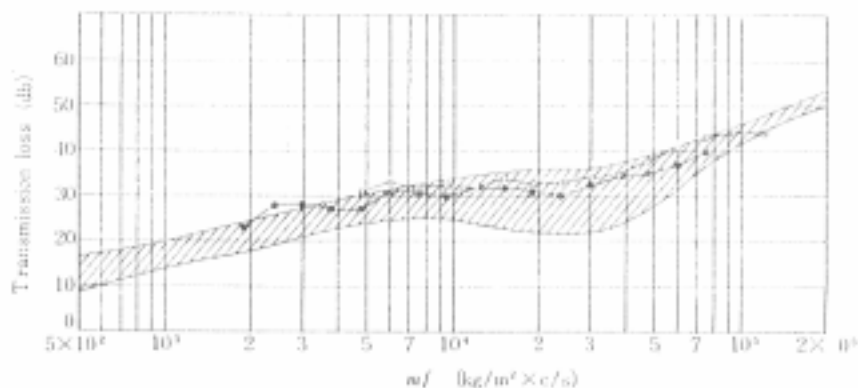


Fig. 11 Transmission loss for type A of sandwich panel are compared with that of homogeneous plates. (hatched area)

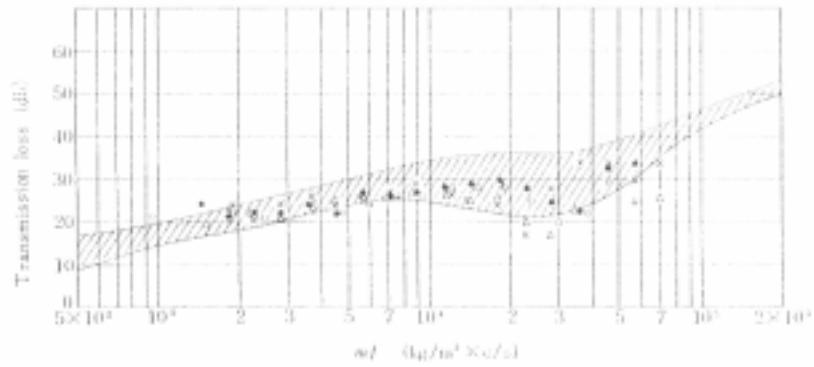


Fig. 12 Transmission loss for type B of sandwich panel are compared with that of homogeneous plates (hatched area).

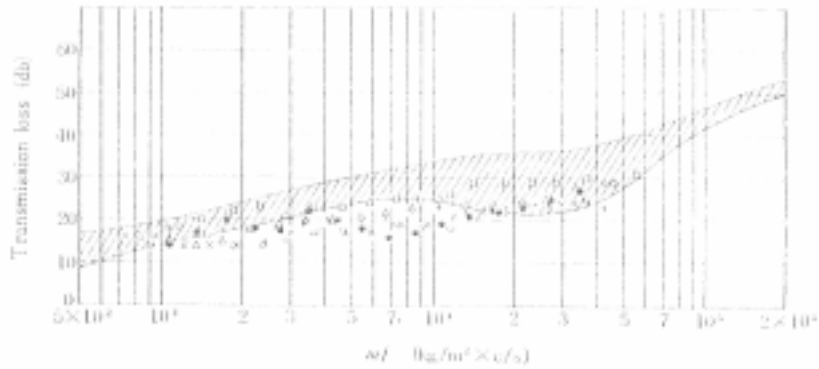


Fig. 13 Transmission loss for type C of sandwich panel are compared with that of homogeneous plates (hatched area).

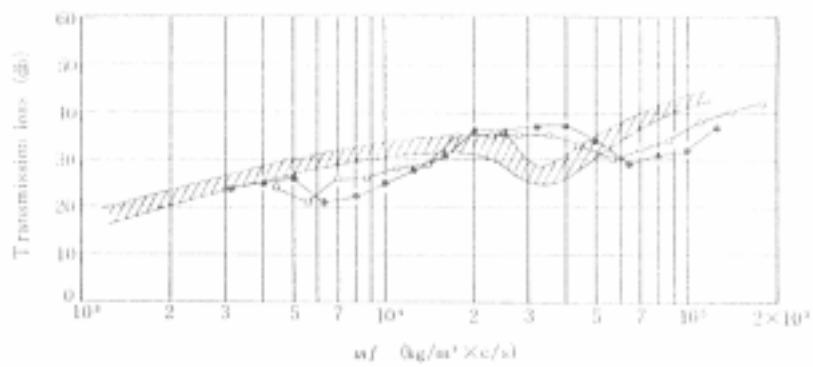


Fig. 14 Transmission loss for type D (thin double structure) are compared with single glass plates (hatched area).

一重構造体の透過損失について

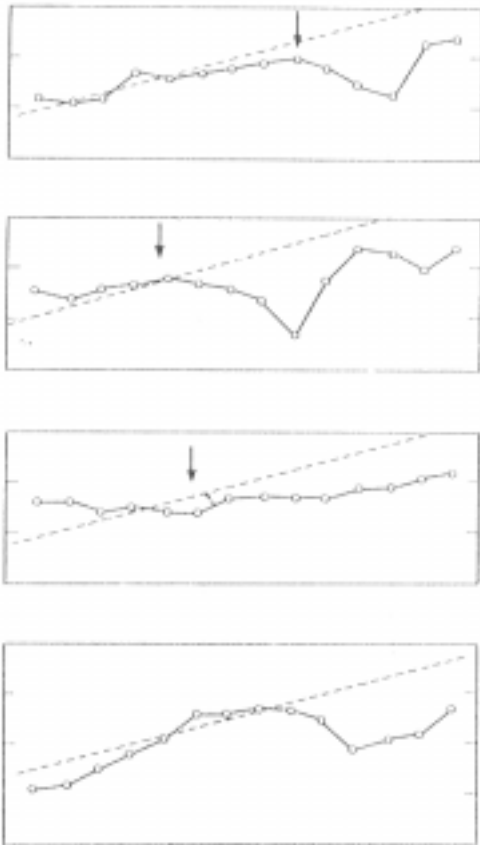


Fig. 15 Frequency characteristics of transmission loss for inhomogeneous partitions. f_c were calculated using their nominal static Young's moduli.

この計算には、さきの単板の場合と同様に、試料のたわみから求めた“みかけの静的ヤング率”を用いた。

各構造について

A. この例では以上の整理検討の結果、一般の単板との相違はみとめられなかった。このような組合せでは、ラワン合板と同様に透過損失の面からみて積層板としての特性はあらわれないことがわかる。

B. 外皮にくらべずと軟質な材料を中芯としたために、A の場合と異り、明らかに単板との性質の相違がみられる。質量則による整理では明ら

かでなかったが、 f_c の計算値と透過損失の極小値とは一致せず、後者が高周波数にずれて現われた。また、それより高い周波数でも、透過損失は複雑な周波数特性を示し、細部では外皮の違いによる影響もみられる。

このような、 f_c と透過損失極小の周波数とのずれは、この種の積層板の弾性的性質が単板とは異った周波数特性を持つものであることを示している。いま、この積層板と同じ曲げ強度を持つ単板と比較すれば、前者のほうが透過損失の低下する周波数が高いことになる。一般の遮音設計から考えると、周波数の高い騒音ほど、吸音など、他の方法でも除去しやすく騒音の周波数成分についても、中音域が問題となることが多い。これらの点を考え合せると、この種の構造は遮音の点では好ましい傾向にあるといえる。

C. この種のハニカム・コアを中芯とした構造では、軽量であることがその特徴である。このこと自体、単体では質量則から考えても遮音の点では大きい値は期待できない。測定結果をみると、大部分の試料では、単板よりも小さい値となっている。また、中音以上での周波数特性も単板と異り、深い谷もないが質量則に再び近づくこともない。外皮にストレート板を用いたものは、他のものにくらべその重量の増加による分以上に透過損失が増し、この場合も、遮音の性質については、材質の組合せ方に考慮すべき要素があることがわかる。

D. 二枚のガラスを間に空気層を設けて固定した構造が断熱の目的で最近普及してきた。これは構造的には二重構造であるが、透過損失の傾向は Fig. 14 に示すように、むしろ一重構造に近いといえる。しかし、同重量のガラス単板とは細部で違いがあることがわかる。

この種の二重ガラスでは、2枚のガラスは周辺で金属によって結びついている。したがって両面のガラスは中間の空気層だけでなく、周辺の構造によっても振動的な結合をしている。これらの要素が使用するガラスの性質とともに、透過損失の

特性にどのように作用しているかは今度の問題である。

§ 3 . 結 語

以上各種の単板，積層板について透過損失を整理した結果をみると，大きくみて一重構造体では質量則が支配的であるといえる。そして質量則からはずれた値の特性について，各構造の違いが関係している。これの主な原因は，音が当たった場合励振される試料の横波の速度の周波数特性が，構造によって変わり，これが試料のコインシデンス効果に影響を与えるためである。遮音のよい板状材料を考案するというこも，コインシデンス効果による透過損失の低下をいかに制御し，質量則に近づけるかに問題を求めている⁵⁾。

このような，一重構造体の透過損失と質量則と

の関係を見れば，軽量で遮音のよい構造の要求に答えるには，一重構造ではなく，2重，3重といった複合構造の開発によらねばならぬと考えられる。

おわりに，ヤング率の測定に協力された高石昌明君に感謝する。

文 献

- 1) 佐藤孝二，子安 勝，坂上丈寿，楯 林次，中村 俊一：日本音響学会誌 16, 258 (1960)
- 2) A. London: J. Research Natl. Bur. Standards 42, 605 (1949)
- 3) L. Cremer: Die Wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik (1950)
- 4) see (2)
- 5) G. Kurtze, B. G. Watters: J. Acoust. Soc. Am. 31, 739 (1959)