

# 13 板ガラスと遮音

都市の過密化、あるいは交通機関の発達に伴ない騒音公害が大きな社会問題となっています。建物の外からは飛行機・自動車・工場の音など、建物の内からはテレビ・ステレオ・楽器の音など、私達の廻りには種々雑多な音が充満しています。開口部はその構成上、最も騒音の透過・侵入しやすいところであり、より優れた環境空間をつくるには、開口部の遮音性をできるだけ高めることが大切です。

## 13-1 音に関する主要用語

### 1 音圧

音波による大気圧に対する圧力変動を音圧といい、普通その実効値(正弦波の場合、音圧振幅の $1/\sqrt{2}$ )で示され、パスカル(Pa= $N/m^2$ )単位で表わします。

### 2 音圧レベル(Lp)

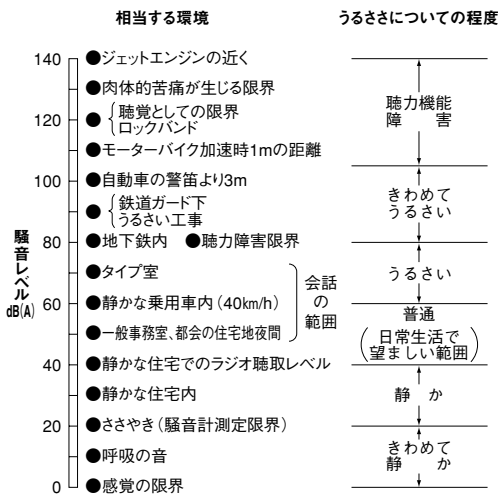
ある音の音圧P(Pa)と基準音圧 $P_0$ ( $2 \times 10^{-5}$ Pa)との比の常用対数の20倍を音圧レベルといい、デシベル(dB)単位で表わします。なお基準音圧とは周波数1000Hzにおける人間の最小可聴値を意味します。

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{P}{P_0}$$

$$= 20 \log_{10} \frac{P}{2 \times 10^{-5}} \text{ (dB)}$$

### 3 騒音レベル

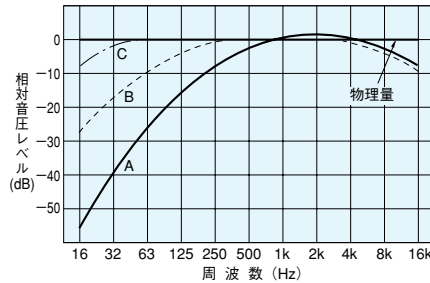
騒音レベルとは、音をJIS C 1502-1990に定める普通騒音計またはJIS C 1505-1988の精密騒音計を用いて、周波数補正回路のA特性で測定された値をいい、dB(A)単位で表わします。



### 4 騒音計

音の大きさについての耳の感覚は周波数成分によって感じ方が異なります。そのため騒音計には聴覚の周波数特性に近似させた周波数補正回路(A、B、C特性)が内蔵されており、騒音レベルでは人間の耳の感覚に最も近いA特性の補正回路を使います。また物理量である音圧レベルでは、通常実用範囲でほぼ近似できるC特性の補正回路を使います。

騒音計のA、B、C特性



### 5 透過損失

音が物体に入射すると、一部は通りぬけ、残りは吸収・反射されます。入射した音と材料を透過した音との音圧レベルの差を透過損失(TL:Transmission Loss)といい、デシベル(dB)単位で表わします。透過損失は次式で示され、この値が大きいほど遮音性能が優れています。例えば透過損失10dBでは、透過後の音のエネルギーが $1/10$ に、透過損失30dBでは透過後の音のエネルギーが $1/1000$ になったことを意味します。

$$TL = 10 \log_{10} I_i - 10 \log_{10} I_t$$

$$= 10 \log_{10} \frac{I_i}{I_t}$$

$$= 10 \log_{10} \frac{1}{\tau}$$

ただし、TL:透過損失

$I_i$ : 入射音のエネルギー  
 $I_t$ : 透過音のエネルギー  
 $\tau (=I_t/I_i)$ : 透過率

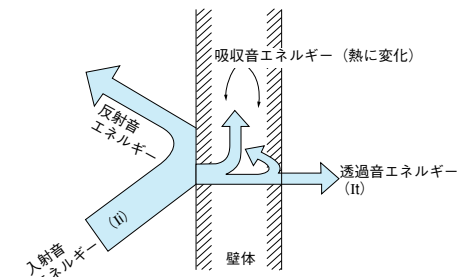
### 6 質量則

緻密で均一な材料からできている壁体の透過損失(TL)は、その壁体の単位面積当りの質量(m)と、音の周波数(f)の積の対数値との間の直線関係があります。この関係を質量則といい、単位面積当りの質量が大きいほど、あるいは周波数の高い音ほど、透過損失が大きく、遮音効果のあることになります。例えばガラスの厚さを2倍にすると、透過損失は5.4dB大きくなり、その分、遮音性が向上したことになります。

### 透過損失実用式(質量則)

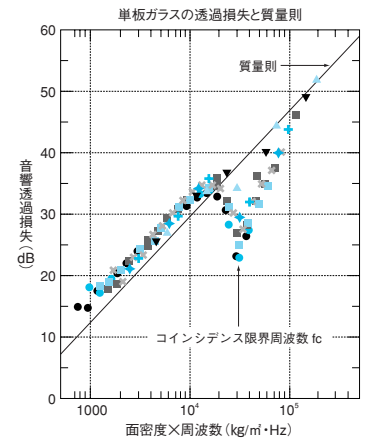
- ランダム入射透過損失TL (dB)  
 $TL \approx TL_0 - 10 \log_{10} (0.23 TL_0)$
- 垂直入射透過損失 $TL_0$  (dB)  
 $TL_0 \approx 20 \log_{10} (f \cdot m) - 42.5$   
 f: 周波数 (Hz) m: 面密度 ( $kg/m^2$ )

音のエネルギー経路



### 7 コインシデンス効果

質量則はある周波数域まで近似的に成り立ちますが、ある周波数域になると透過損失が質量則より下廻る現象が生じます。これは、ガラスなどの剛性材料にある周波数の音波が入射すると、その材料の屈曲振動と入射音波の振動とが一致し、一種の共振状態を起こすことによるものです。この現象をコインシデンス効果といい、これが生じる周波数をコインシデンス限界周波数( $f_c$ )といいます。



### 8 低音域共鳴透過現象

複層ガラスのように2枚の板が中空層を介して二重構造となる場合、2枚の板が二つの質量となり、また中空層の空気がそれらをつなぐバネとなって振動する共振現象が起こります。このとき、透過損失は質量則よりも低くなり、遮音性能が低下します。この現象は、一般に低音域で生じるので、低音域共鳴透過現象と呼ばれます。また、これが起こる周波数を共鳴透過周波数( $f_{rmd}$ )といいます。

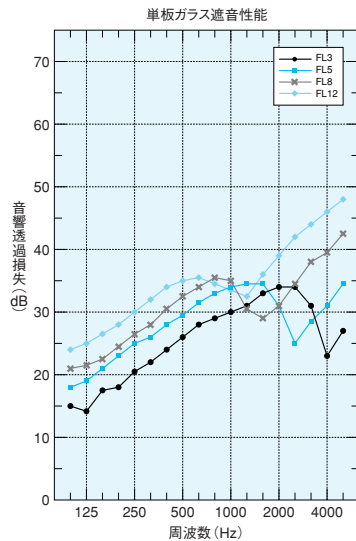
## 13-2 各種板ガラスの遮音性能

板ガラスの遮音性能には品種ごとにそれぞれ異なる遮音性能の特徴があり、騒音の周波数特性に合わせて、板ガラスの品種を選択することが大切です。

### ●透過損失測定値

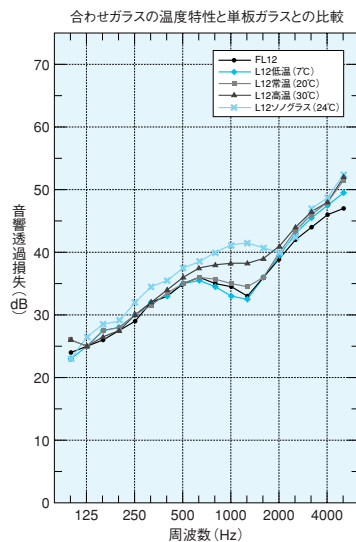
#### 1. 単板ガラス

- ・板厚が大きいものほど遮音性能が良い。また低音域で遮音性能が低く、高音域で高い。(質量則)
- ・高音域において、板厚に応じた周波数での透過損失の落ち込みがある。(コインシデンス効果)



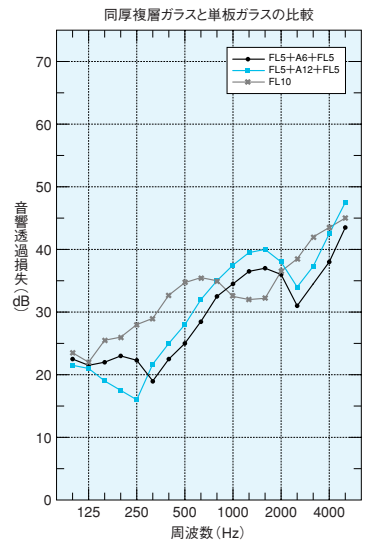
#### 2. 合わせガラス(ラミベーン)

- ・単板ガラスとよく似た遮音性能の特徴を持つが、コインシデンス効果の起こる周波数付近で遮音性能の向上がみられる。これは中間膜での音振動エネルギーの内部損失によるものであるため、中間膜種類・厚さ・温度により遮音性能は変化する。例えば、高温時には中間膜が柔らかくなり音振動エネルギーの吸収が大きい、低温時に中間膜が硬くなると同厚の単板ガラスとほぼ同じ遮音性能となる。
- ・ソノグラス(防音合わせガラス)は温度依存性が少なく、年間を通じて安定した遮音性能が得られる。



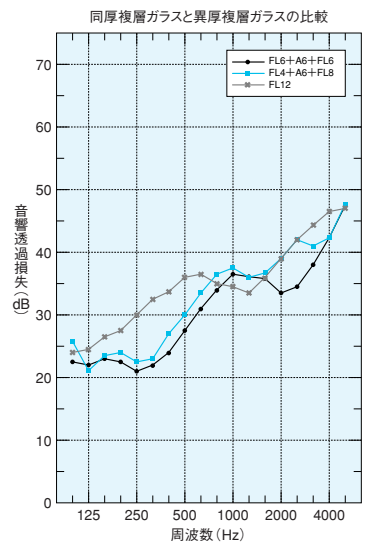
#### 3. 複層ガラス(ペアマルチ) 同厚

- ・中低音域で中空層とガラスによる共鳴透過現象が起こり、この領域では複層ガラスを構成する板ガラスの合計厚さと同じ板厚の単板ガラスに比べて音響透過損失が低くなる。
- ・中空層幅が大きいほど、共鳴透過現象は低い周波数域で起こる。よって、中音域の遮音性能を良くするためには中空層幅12mmが、低音域の遮音性能を良くするためには中空層幅6mmが、それぞれ有利となる。



#### 4. 複層ガラス(ペアマルチ) 異厚

- ・高音域では複層ガラスを構成する板ガラスの厚さに応じたコインシデンス効果が発生する。よって、異厚構成の複層ガラスとすることで、コインシデンス効果が起こる周波数を分離することができ、同厚構成の複層ガラスよりも遮音性能上有利となる。



参考文献：  
板ガラスの遮音性能、板硝子協会、2000年

※音響透過損失グラフはP55～P56記載のデータによる。

●各種板ガラスの遮音性能

fc=コインシデンス限界周波数(Hz) frmd=低音域の共鳴周波数(Hz)

品 種	平均値	遮音等級 Ts		1/3オクターブ各周波数別の透過損失 (dB)																	fc (Hz)	frmd (Hz)	
		1/3オクターブ	100Hz	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000			
単板ガラス	FL3	25	25	14.7	14.5	17.3	17.6	20.2	21.7	23.8	25.6	27.2	28.7	30.0	31.1	32.5	33.4	33.2	30.5	23.0	26.4	4250	-
	FL4	26	25	18.0	17.1	19.4	20.7	21.9	23.8	25.9	27.7	29.2	30.7	32.1	33.0	33.8	33.7	28.1	22.8	27.4	30.9	2880	-
	FL5	27	25	18.2	18.7	20.7	22.2	24.2	25.2	27.4	29.5	31.0	32.4	33.7	34.3	34.3	31.1	24.6	28.4	31.2	34.4	2530	-
	FL6	28	25	17.7	18.5	22.0	23.2	25.7	27.1	29.1	30.9	32.4	33.7	34.3	34.7	32.2	26.8	28.3	32.0	34.8	37.3	2020	-
	PW6.8(網入)	29	30	20.7	18.9	22.8	23.2	26.5	28.0	30.0	32.0	33.4	34.5	35.3	33.9	30.0	27.4	31.9	34.7	36.9	39.9	1760	-
	FL8	29	30	20.7	20.9	22.0	23.9	25.9	28.2	30.7	32.5	34.1	35.5	35.1	30.7	29.3	31.0	34.9	37.8	39.7	42.2	1500	-
	FL10	31	30	23.9	22.5	25.1	25.9	28.3	29.5	32.1	34.3	35.7	35.2	32.4	31.4	31.7	36.2	38.9	41.2	43.6	44.9	1190	-
	FL12	33	35	24.0	24.7	26.4	27.7	30.1	32.0	33.5	35.4	35.9	35.0	33.6	32.9	36.0	39.2	41.9	44.0	45.9	47.0	1010	-
	FL15	34	35	23.5	25.4	27.6	28.8	31.0	32.9	34.6	35.9	36.6	33.9	33.1	36.1	39.9	42.7	45.0	47.5	48.9	50.5	790	-
	FL19	35	35	25.5	26.7	28.2	29.3	31.8	33.6	35.3	36.5	34.0	33.7	36.7	40.6	44.3	46.8	48.6	50.2	51.7	51.4	620	-
合わせガラス (ラミベーン)	L6*	28	30	19.0	19.2	20.7	22.7	24.5	26.8	28.9	30.5	32.4	33.9	34.6	35.3	34.8	32.4	30.6	35.0	38.7	42.1	1830	-
	L8*	30	30	22.9	22.2	22.4	25.3	25.6	27.9	30.4	32.4	34.6	35.9	35.7	33.4	32.4	32.5	37.1	40.6	43.1	46.5	1370	-
	L10*	32	30	26.8	23.4	26.2	26.4	28.5	29.4	31.9	33.4	35.5	35.9	34.6	33.6	33.2	36.2	40.5	43.5	46.2	49.1	1120	-
	L12*	33	35	26.2	25.7	27.4	27.9	29.6	31.7	33.7	35.2	36.3	36.1	34.7	34.2	36.1	39.7	43.1	46.0	48.4	50.8	950	-
	L16*	35	35	26.0	26.7	29.1	30.0	31.1	32.6	34.4	35.4	36.2	34.7	34.7	37.3	41.5	44.3	46.8	49.4	51.3	53.2	730	-
	L6(低温度)*	28	30	19.3	18.5	21.8	22.6	25.7	27.2	28.8	30.9	32.3	33.5	34.2	34.3	31.0	27.0	29.8	33.5	36.8	40.1	1830	-
	L6(高温度)*	30	30	20.2	19.2	22.3	23.5	25.7	27.3	29.5	31.0	32.8	34.6	35.3	36.4	37.0	36.7	35.1	35.4	38.3	41.8	1830	-
	L12(低温度)*	33	30	22.9	24.8	27.5	28.1	30.3	31.9	33.4	35.1	35.3	34.6	33.2	32.8	36.0	39.6	42.5	45.1	47.6	49.5	950	-
	L12(高温度)*	34	35	26.2	25.0	26.9	27.7	29.8	32.0	34.5	36.3	37.8	38.4	38.5	38.5	40.6	44.1	46.8	48.9	52.2	950	-	
	複層 ガラス (ペア マルチ)	FL3+A6+FL3	25	20	20.0	18.5	19.4	20.1	21.3	21.7	18.5	19.2	22.6	25.8	28.9	31.6	34.9	37.2	40.6	40.4	31.9	30.4	4250
FL3+A12+FL3		27	20	19.4	17.2	19.5	17.9	16.8	16.6	19.1	22.4	26.1	30.1	33.7	36.8	40.4	43.4	44.3	41.6	31.2	34.1	4250	280
FL3+A6+FL5		28	25	22.3	21.4	23.1	23.5	23.8	22.0	22.1	24.4	27.7	30.3	32.5	35.0	36.4	37.5	35.5	38.4	39.3	41.0	4250,2530	360
FL3+A12+FL5		29	25	20.9	19.5	20.9	18.7	17.5	20.0	23.3	27.9	31.8	35.2	38.4	41.2	42.5	43.4	40.8	42.8	41.9	43.7	4250,2530	250
FL3+A6+FL6		29	25	21.7	21.6	22.9	23.7	23.6	22.3	24.0	26.3	28.9	32.2	34.2	35.6	36.6	36.3	38.8	42.4	42.4	43.2	4250,2020	350
FL4+A6+FL4		27	20	22.3	19.6	21.4	23.0	22.0	19.7	19.6	23.2	26.5	30.2	32.3	35.3	37.1	38.1	35.7	29.7	33.9	40.8	2880	350
FL4+A6+FL6		29	25	22.3	22.0	23.6	24.5	23.1	22.5	23.7	26.2	30.2	33.8	36.3	38.2	38.0	37.0	35.1	36.0	39.5	45.2	2880,2020	320
FL4+A12+FL6		31	25	21.7	20.1	21.5	20.1	21.2	24.0	25.8	28.0	32.4	37.5	40.8	42.8	42.6	41.3	38.9	39.1	42.9	48.8	2880,2020	220
FL4+A6+FL8		31	30	25.2	20.8	23.7	24.2	22.0	23.4	26.8	30.0	33.3	36.2	37.5	36.1	37.3	39.4	41.8	40.5	42.2	47.9	2880,1500	300
FL5+A6+FL5		28	25	22.5	21.8	22.3	23.4	22.0	19.7	22.3	25.0	29.1	32.3	34.0	36.0	36.8	35.6	30.7	34.0	38.4	43.4	2530	310
FL5+A12+FL5		28	25	21.1	20.4	19.3	17.1	15.9	21.5	25.0	28.4	31.8	35.2	38.0	39.7	40.0	38.4	33.8	37.1	42.2	47.5	2530	220
FL5+A12+PW6.8		31	30	21.7	19.0	19.7	20.8	21.0	26.2	31.2	33.1	36.3	39.6	41.1	42.2	39.7	38.3	35.9	40.0	44.3	49.4	2530,1760	200
FL5+A6+FL8		30	30	25.9	22.6	24.0	24.6	25.2	24.5	26.8	28.1	32.1	35.9	37.5	35.6	35.8	36.9	38.3	40.2	43.0	47.4	2530,1500	280
FL6+A6+FL6		28	25	22.4	22.0	23.5	22.7	20.9	22.4	23.9	27.4	30.6	34.2	36.0	35.8	35.3	33.0	34.0	38.6	42.4	47.4	2020	280
FL6+A12+FL10		33	35	24.9	21.6	23.4	24.5	28.7	29.5	33.3	34.5	37.7	40.4	40.3	39.9	39.9	39.6	39.9	43.7	47.5	51.3	2020,1190	180
FL8+A12+FL8		29	30	23.6	21.1	17.1	19.9	22.1	25.2	28.1	31.9	34.7	37.0	37.4	35.1	34.5	34.5	37.8	42.0	45.4	49.6	1500	170
FL8+A6+FL12	33	35	27.8	25.1	26.2	25.8	28.2	31.3	33.7	36.1	37.5	38.3	38.8	33.8	35.5	39.7	43.1	47.1	50.3	54.4	1500,1010	220	
FL8+A12+FL12	34	35	24.6	23.0	24.4	28.9	31.9	34.4	37.0	38.2	39.4	40.5	40.2	33.7	35.8	39.5	43.1	47.2	49.7	52.9	1500,1010	160	
二重窓 F1X	FL3+A50+FL6	33	30	10.9	14.0	17.3	22.4	28.1	27.7	31.5	35.3	39.0	42.7	46.3	46.9	44.5	45.2	47.4	55.0	52.6	55.3	-	119
	FL3+A100+FL6	40	35	15.5	24.2	23.5	30.1	33.0	32.7	35.4	38.3	41.4	46.6	53.2	56.7	57.0	52.8	54.1	53.7	55.5	57.8	-	85
	FL5+A50+FL8	38	35	17.2	24.5	23.8	32.2	32.9	33.5	34.4	38.6	42.9	46.7	48.9	46.4	45.5	46.9	51.9	58.4	59.6	61.2	-	96
	FL5+A100+FL8	43	40	25.2	29.3	28.8	35.5	36.8	38.0	38.7	42.0	46.1	50.9	55.0	54.4	52.8	55.9	51.1	56.7	65.8	68.8	-	68
	FL5+A200+FL8	45	45	32.6	29.8	31.4	37.0	40.0	42.9	44.5	46.7	49.6	52.8	54.0	52.9	51.2	51.8	51.5	62.7	66.6	71.2	-	48
	FL5+A50+(FL3+A6+FL6)	39	35	15.0	25.8	25.2	31.1	35.5	33.9	37.2	39.7	42.9	47.8	51.4	51.4	49.3	46.0	47.1	56.1	59.7	63.6	-	94
	FL5+A100+(FL3+A6+FL6)	45	40	26.3	27.4	28.7	37.0	39.3	39.0	40.9	43.6	48.0	53.3	58.9	61.1	60.7	57.4	55.2	60.4	63.8	65.6	-	66
	FL5+A200+(FL3+A6+FL6)	47	45	32.3	29.8	32.6	39.3	39.3	42.9	44.3	47.9	51.4	56.0	59.3	61.5	60.5	56.7	55.2	61.7	64.4	67.2	-	47

(注) ・透過損失のデータは「板ガラスの遮音性能(2000年版)」(板硝子協会)による。  
 ・測定は(財)小林理学研究所でJIS A 1416:2000に基づいて行われています。  
 ・残響室:音源室と受音室の二室が試料取付け用の試験開口部で隔られた不整形残響室  
 板ガラスの寸法:幅1230×高さ1480mm一定  
 施工方法:板ガラスの周囲は気密性を保つように木製押縁とパテで固定  
 合わせガラスの中間膜は0.76mmのポリビニルブチラル膜で、低温は約7℃、高温は約30℃、その他は常温で約20℃での測定結果です。  
 ・平均値は100~2500Hzの範囲での1/3オクターブバンドの周波数ごとの測定結果の算術平均値(JIS A 1419-1:2000)です。  
 ・遮音等級Tsは、JIS A 4706:2000「サッシ」により、1/3オクターブバンドの測定値から算定しています。JIS A 4706:2000では遮音等級の表記がT-1~T-4となり旧版の表記と異なりますが、「板ガラスの遮音性能(2000年版)」に基づき、旧版の表記法のTs-25,30,35,40で表しています。また、Ts-40の性能を5dB以上上回る場合はTs-45と表記します。  
 ・この試験は板ガラス品種毎の遮音性能の比較・分類を目的にしたもので、試験の再現性を確保するために、上記の条件で測定されます。そのため、音響透過損失データは、ガラス単体の性能値であり、一般のサッシと組み合わせられた窓としての遮音性能とは異なりますのでご注意ください。  
 ・本表の値は実測値、計算値を示したもので、各製品の性能を保証するものではありません。

●ソノグラス(防音合わせガラス)の遮音性能

品	種	平均値	遮音等級 Ts	1/3オクターブ各周波数別の透過損失 (dB)																	
				1/3オクターブ	100Hz	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
合わせガラス	L6ソノグラス(常温20℃)	30	30	19.0	20.0	22.0	23.0	26.0	27.0	29.0	31.0	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0	38.0	38.0	38.0	40.0	44.0
	L12ソノグラス(常温24℃)	35	35	23.5	26.2	28.6	29.3	32.0	34.3	35.6	37.6	38.5	39.7	40.7	41.0	40.3	39.8	41.9	46.3	49.2	52.5
	L16ソノグラス(常温24℃)	37	40	25.8	28.7	30.7	32.5	34.1	36.2	37.5	39.9	40.4	41.5	41.8	41.5	41.1	43.4	47.2	51.1	53.5	54.9
	L20ソノグラス(常温26℃)	38	40	25.8	28.3	29.5	32.3	34.6	36.9	38.3	40.2	41.1	41.9	42.2	42.7	43.8	47.7	50.8	54.3	56.7	57.6

(注) ・透過損失のデータは(財)小林理学研究所、および弊社測定による。  
 ・測定はJIS A 1416:2000に基づいて行っています。  
 ・残響室:音源室と受音室の2室が試料取り付け用の試験開口部で隔てられた不整形残響室  
 板ガラスの寸法:幅1230×高さ1480mm一定  
 施工方法:板ガラスの周囲は気密性を保つように木製押縁とパテで固定  
 ・合わせガラスの中間膜は遮音性を高めた特殊遮音膜で、測定時の温度は表中に記載の通りです。  
 ・平均値は100~2500Hzの範囲での1/3オクターブバンドの周波数ごとの測定結果の算術平均値(JIS A 1419-1:2000)です。  
 ・遮音等級Tsは、JIS A 4706:2000「サッシ」により、1/3オクターブバンドの測定値から算定しています。JIS A 4706:2000では遮音等級の表記がT-1~T-4となり旧版の表記と異なりますが、「板ガラスの遮音性能(2000年版)」に基づき、旧版の表記法のTs-25,30,35,40で表しています。また、Ts-40の性能を5dB以上上回る場合はTs-45と表記します。  
 ・この試験は板ガラス品種毎の遮音性能の比較・分類を目的としたもので、試験の再現性を確保するために、上記の条件で測定されます。そのため、音響透過損失データは、ガラス単体の性能値であり、一般のサッシと組み合わされた窓としての遮音性能とは異なりますのでご注意ください。  
 ・本表の値は実測値、計算値を示したもので、各製品の性能を保証するものではありません。

13-3 JIS A 1416:2000による音響透過損失測定方法

板ガラスの音響透過損失の測定はJISに規定された方法に基づいて行われています。この試験は板ガラス品種ごとの遮音性能の比較・分類を目的としたもので、試験の再現性を確保するために、板ガラス試料寸法を幅1230mm、高さ1480mmの一定とし、板ガラスの周囲は気密性を保つように木製押縁とパテで固定して測定されます。そのため、一般サッシと組み合わされた窓としての遮音性能とは異なることに注意が必要です。

残響室

音源室と受音室の2室が試料取り付け用の試験開口部で隔てられた不整形残響室が用いられます(図1)。

試験開口部

窓および板ガラスの音響透過損失を測定する場合、試料を取り付ける試験開口部は、開口寸法1250mm×1500mm、開口部調整壁厚さ410±10mmとし、試験開口の左右両側と上端に60~65mmの段差を付けることとされています(図2)。

試料の取付方法

試料の両側の凹み(ニッシェ)の深さが2:1(270mm:140mm)の比となる位置に、2本の木製押縁(25mm×25mm)を用いてガラス試料を固定します。試験開口の縁とガラス試料の間は10mmのエッジクリアランス、木製押縁とガラス試料の間は5mmの面クリアランスを設け、これらの隙間部分にはJISの規定に適合するパテを充填します(図2)。

試験方法

音源室内に設置した音源スピーカーにより音を発生させ、精密騒音計を用いて音源室、および受音室の平均音圧レベルを測定します。この測定から、音響透過損失TLは次式によって算出されます。

$$TL = L_1 - L_2 + 10 \log_{10} \frac{S}{A}$$

$$A = \frac{0.16V}{T}$$

ただし、

- L<sub>1</sub>: 音源室における平均音圧レベル(dB)
- L<sub>2</sub>: 受音室における平均音圧レベル(dB)
- S: 開放した試験開口の面積(m<sup>2</sup>)
- A: 受音室の等価吸音面積(m<sup>2</sup>)
- V: 受音室の容積(m<sup>3</sup>)
- T: 受音室の残響時間(s)

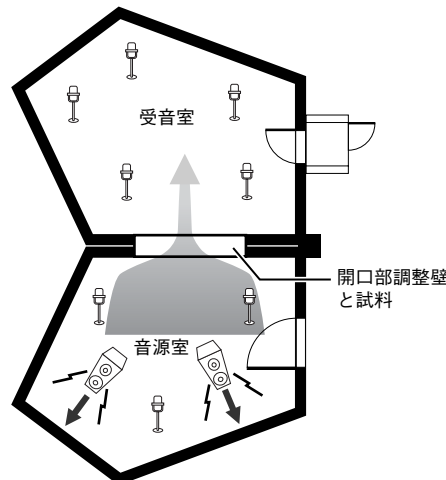


図1 不整形残響室

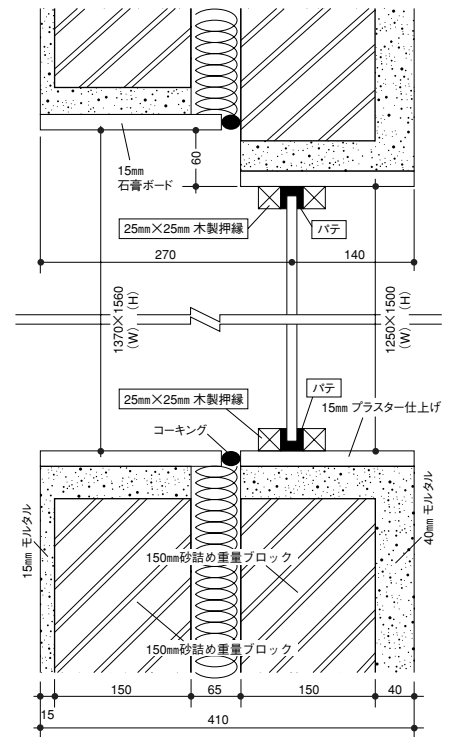


図2 開口部調整壁の垂直断面図(例)

参考:  
 JIS A 1416:2000、実験室における建築部材の空気音遮断性能の測定方法  
 板ガラスの遮音性能、板硝子協会、2000年