

板ガラスと遮音

近年、社会構造の変化に伴って全国各地において騒音公害が大きな社会問題となっていますが、なかでも交通網の急速な発達によって交通騒音が地域住民に与えている影響は大きく、当事者にとっては深刻な問題といえます。音に対する人間の感覚は、臭覚や視覚に訴えて直接判断できるものと異なり、特に個人差に幅があるといわれる聴覚に問うものであるため、その良否の判断は極めて難しいといえます。騒音対策としては、①騒音源をなくす。②室外に出ていく騒音を遮断する。③室外から入ってくる騒音を遮断する。などが考えられます。最も好ましいのは、騒音の発生をなくすことです。しかし、これは現実には非常に難しい問題であり、簡単に解決を望むことはできません。そこで、建物内へ透過・侵入する騒音の遮断方法について考えるということになります。最近のように建築物に多くの板ガラスを採用するようになると、開口部は騒音の侵入を許しやすい箇所であるため、その遮音性能をできる限り高めることが必要となります。

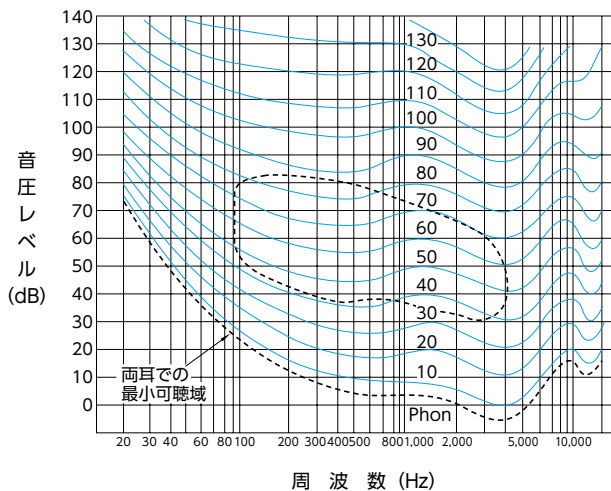
音の用語について

■音圧レベル(dB:デシベル)

音圧レベル(Lp)はある音の音圧P(単位:Pa[パスカル])と人間の最小可聴音である基準音圧P₀(=2×10⁻⁵Pa)との比の常用対数を20倍したものと定義されdBで表わされます。

$$L_p(\text{音圧レベル}) = 20 \log_{10} \frac{P}{P_0} = 20 \log_{10} \frac{P}{2 \times 10^{-5}}$$

図1 等ラウドネス曲線



注) 図の中央部の破線で囲んだ範囲は人間の音声に使われている範囲です。

■騒音レベル(dB(A))

JIS C 1502に規定された普通騒音計では、その周波数特性が人間の耳の周波数特性に合うように図2のような補正を周波数ごとに加えて評価します。このように周波数ごとにA特性で補正をして測定した音圧レベルを騒音レベルといい、単位としてdB(A)を用います。

表1 音圧と音圧レベル

単位: dB

音圧 (Pa)	音圧レベル
200	140
20	120
2	100
0.2	80
0.02	60
0.002	40
0.0002	20
0.00002	0

図2 騒音計の周波数補正特性

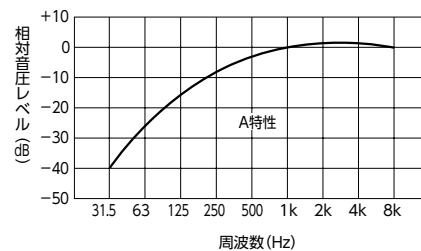
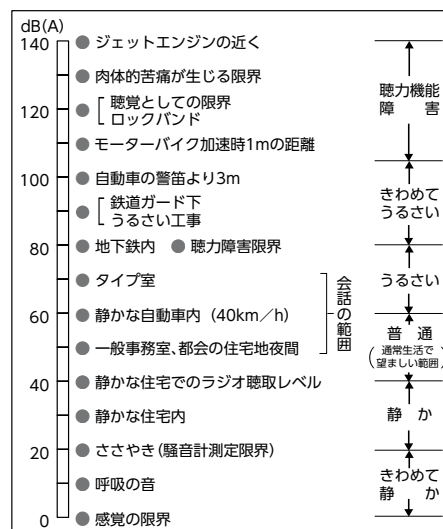


図3 代表的騒音レベル



板ガラスと遮音

■透過率

部材に入射する音のエネルギーを I_i とすれば、音のエネルギーの一部 I_r が反射され、一部 I_a が材料内に吸収され、残り I_t が透過すると考えることができます。透過率は透過音と入射音とのエネルギーの比です。

$$\text{透過率} (\tau) = \frac{\text{透過音のエネルギー}}{\text{入射音のエネルギー}} = \frac{I_t}{I_i}$$

■吸音率

吸収音と透過音のエネルギーの和と入射音とのエネルギーの比を吸音率といいます。

$$\begin{aligned} \text{吸音率} (a) &= \frac{\text{吸収音のエネルギー} + \text{透過音のエネルギー}}{\text{入射音のエネルギー}} \\ &= \frac{I_a + I_t}{I_i} = 1 - \frac{I_r}{I_i} \end{aligned}$$

■反射率

反射音と入射音とのエネルギーの比を反射率といいます。

$$\text{反射率} (r) = \frac{\text{反射音のエネルギー}}{\text{入射音のエネルギー}} = \frac{I_r}{I_i}$$

■透過損失 (dB)

透過損失は材料の遮音の程度を数量的に表わすもので、入射音のエネルギーと透過音のエネルギーとの比の常用対数を10倍した数値で表わされます。

$$\text{透過損失} (TL) = (\text{入射音の音圧レベル}) - (\text{透過音の音圧レベル}) = 10 \log_{10} \frac{\text{入射音のエネルギー}}{\text{透過音のエネルギー}} = 10 \log_{10} \frac{I_i}{I_t} = 10 \log_{10} \frac{1}{\tau}$$

■質量則

気密で均一な材質でできている壁体の透過損失は、その単位面積当りの質量 (M) と音の周波数 (f) の積の常用対数との間にはほぼ直線的な関係があり、この関係を質量則といいます。

任意入射に対する透過損失 TL (dB)

$$TL = TL_0 - 10 \log_{10} (0.23 TL_0)$$

垂直入射に対する透過損失 TL_0 (dB)

$$TL_0 \doteq 20 \log_{10} (f \cdot M) - 42.5 \quad f: \text{周波数 (Hz)}, M: \text{面密度 (kg/m}^2\text{)}$$

■コインシデンス効果

壁面に音が、斜めに入射すると壁面上の位置によって音圧に位相差ができるため、壁面にそって固有の屈曲強制振動を生じ、ある周波数で音の透過が大きくなり遮音性能が低下する現象をいいます。ガラスなどの同一材質の板状材料では、厚みが増すほどコインシデンス効果の起こる周波数域が低くなります。コインシデンス効果の起こる周波数は次の式により求めます。

$$f_c = \frac{C^2}{2\pi h \cdot \sin^2 \theta} \sqrt{\frac{12\rho(1-\nu^2)}{E}}$$

記号説明

- f_c : コインシデンス周波数 (Hz)
- h : 材料の板厚 (m)
- θ : 音波入射角 (度)
- C : 空気中の音速 (m/s)
- ρ : 材料の密度 (kg/m^3)
- ν : 材料のポアソン比
- E : 材料のヤング率 (Pa)

表2 板ガラスのコインシデンス効果の起こる周波数

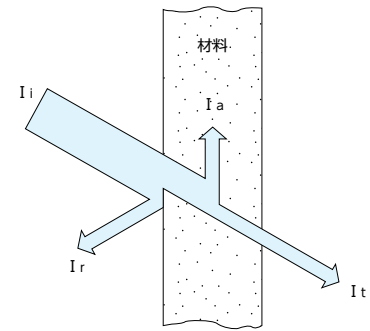
単位: Hz

呼び厚さ	3ミリ	5ミリ	6ミリ	6.8ミリ	8ミリ	10ミリ	12ミリ	15ミリ	19ミリ
f_c	3900	2350	1960	1730	1470	1180	980	780	620

■低音域共鳴透過

複層ガラスのように2枚のガラスの間に中空層がある場合は、2枚の板ガラスが中空層を通じて共鳴し、ある周波数付近では遮音性能が低下します。これを共鳴透過といいます。中空層の厚さを大きくすると、低音域共鳴透過が生じる周波数域は低くなります。

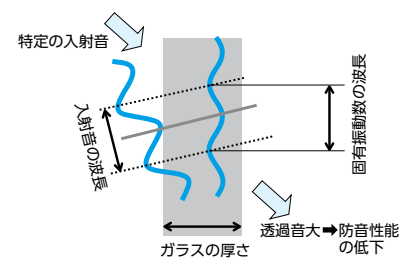
図4 遮音のメカニズム



記号説明

- I_i : 入射音のエネルギー
- I_r : 反射音のエネルギー
- I_a : 吸収音のエネルギー
- I_t : 透過音のエネルギー

図5 コインシデンス効果



⚠ 板ガラスの遮音性能に関する注意事項

板ガラスの遮音性能試験は、板ガラス品種毎の比較・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、下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、サッシにはめこんだときの遮音性能を表示するものではありません。

- ・測定は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 1419：2000)です。
- ・遮音等級Tは、JIS A 4706：2015「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。

図6 不整形残響室

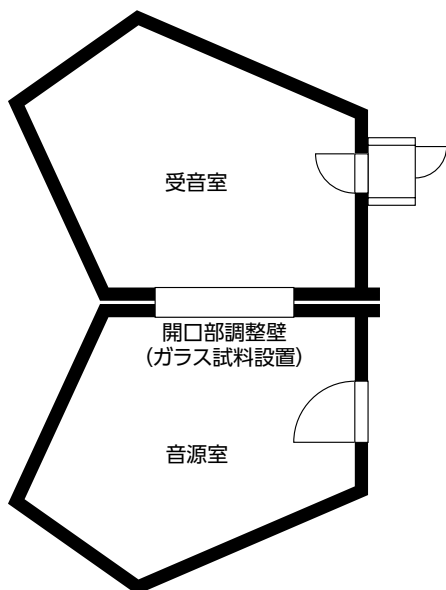
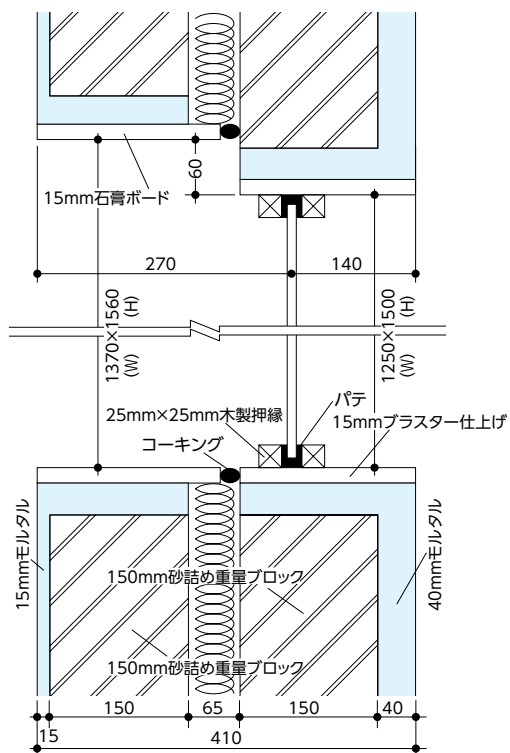


図7 開口部調整壁の垂直断面



板ガラスと遮音

図8 単板ガラスの遮音性能の比較

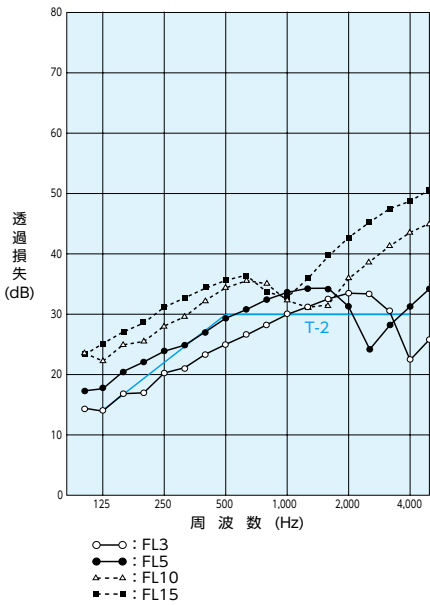


図9 合わせガラスと単板ガラスの遮音性能の比較

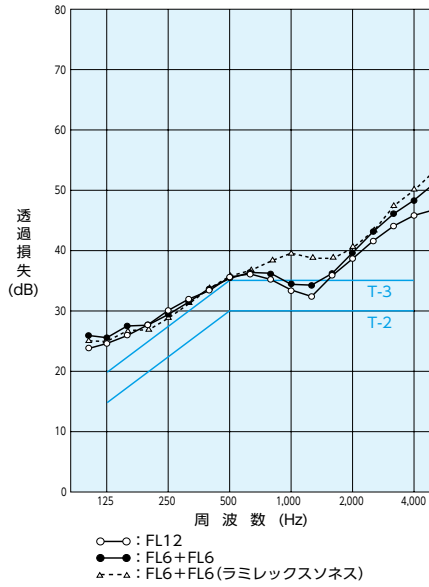


図10 複層ガラスと単板ガラスの遮音性能の比較

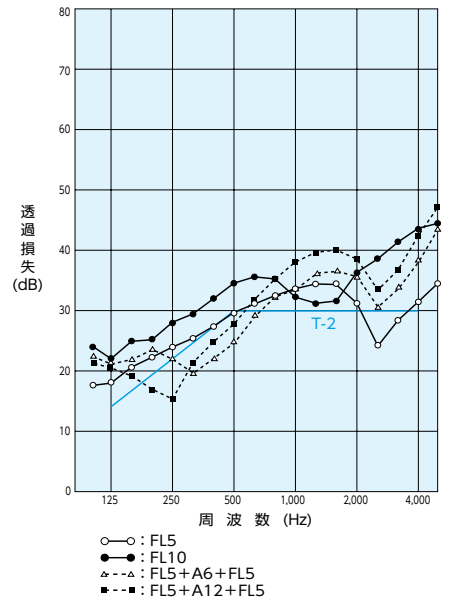


図11 二重ガラスの遮音性能の比較

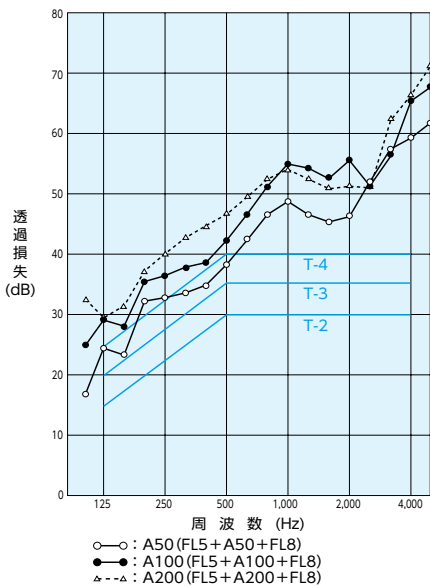


図12 各種ガラスの遮音性能の比較

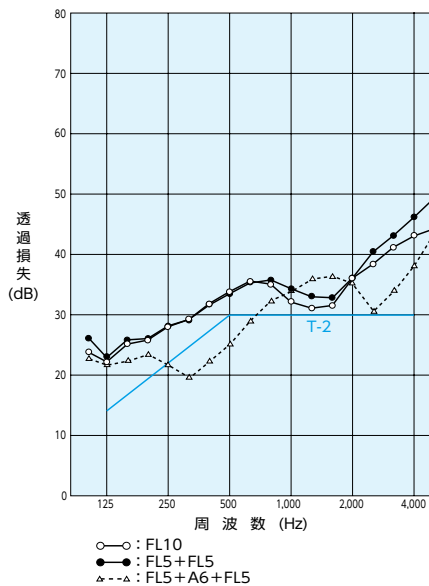


図13 遮音等級曲線 (ペアレックスソネス ネオ)

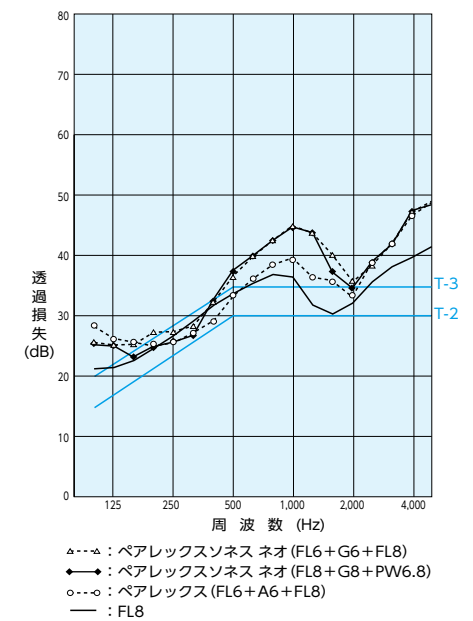


図14-1 遮音等級曲線 (ラミレックスソネス) ①

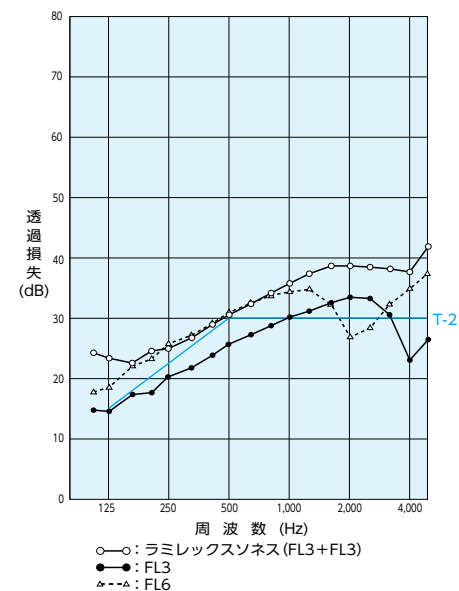
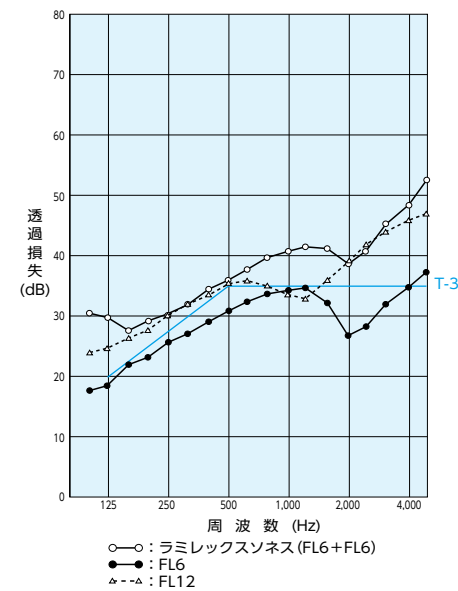


図14-2 遮音等級曲線 (ラミレックスソネス) ②



板ガラスと遮音

開口部の遮音設計について

遮音設計をする場合、まず必要なことは何が発生源となっているか、どのような騒音がどのくらい出ているか(音量、周波数、音色)、どのような立地条件であるかということをはっきりとすることです。すなわち、騒音源から室内へ侵入してきた騒音の音圧レベルを求め、室内の騒音許容値から必要な遮音量を決定し、開口部の必要透過損失を求めることです。そこで、開口部の必要透過損失は(1)、(2)式より求められます。実際の建築物では、単一構造の壁のみでなく窓の扉などいくつかの異なる透過損失をもつ部分で構成されています。したがって、この場合の平均透過損失は(3)式で求められます。

必要透過損失

$$TL = (SPL_o - SPL_i) + 10 \log_{10} \frac{S}{A} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$A = \sum F_i \cdot a_i + \sum A_j \quad \dots\dots\dots (2)$$

平均透過損失

$$\left. \begin{aligned} \bar{TL} &= 10 \log_{10} \left(\frac{1}{\bar{t}} \right) \\ TL &= 10 \log_{10} \left(\frac{\sum S_i}{\sum S_i \cdot t_i} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

記号説明

- TL : 透過損失 (dB)
- SPL_o : 室外の音圧レベル (dB)
- SPL_i : 室内の音圧レベル (dB)
- S : 道路側壁部の面積 (m²)
- A : 室内の吸音力 (m²)
- F_i : 室内の天井、壁、床などの面積 (m²)
- a_i : 室内の天井、壁、床などのそれぞれの吸音率
- A_j : 人体、家具などの吸音力 (m²)
- \bar{TL} : 平均透過損失 (dB)
- \bar{t} : 平均透過率
- S_i : 開口部を構成する各部分の面積 (m²)
- t_i : 開口部を構成する各部分の透過率

外部騒音について

まず、材料の遮音効果は対象とする騒音源の主要周波数成分によって異なることに注意しなければなりません。このことは、ガラスに限らず一般的な材料についてもいえることですが、材料の透過損失の値は質量則に代表されるように低い周波数領域で小さく、高い周波数になるに従い大きくなることによります。つまり、低音域成分を多く含んだ騒音源に対する遮音効果は小さく、逆に高音域成分を多く含んだ騒音源に対する遮音効果は大きくなります。

一般に室内へ侵入する騒音は種々雑多ですが図15～19に道路騒音、鉄道騒音、航空機騒音などの周波数特性の例を示します。

図15 道路騒音

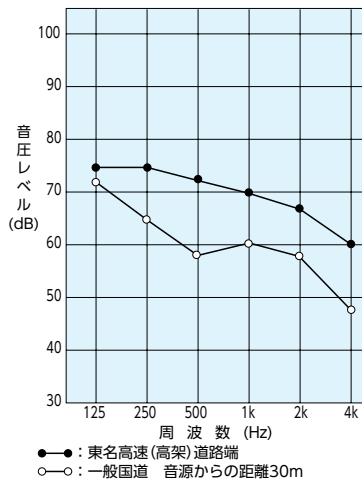


図16 鉄道騒音

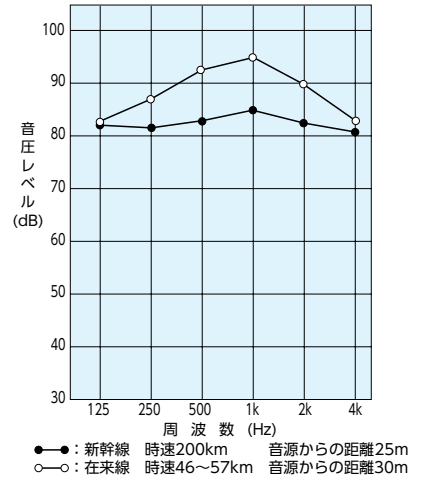


図17 航空機騒音

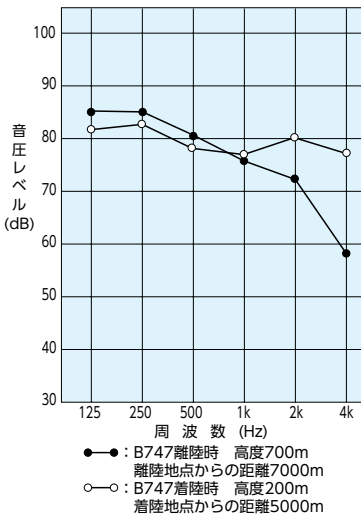


図18 特殊騒音

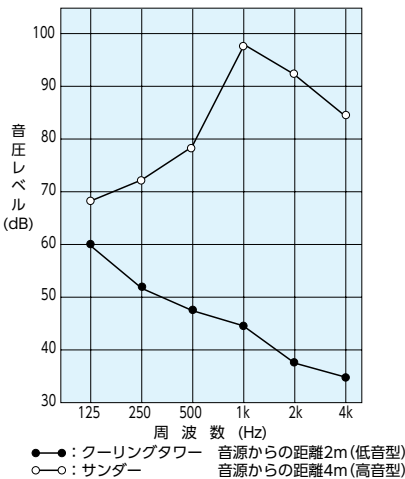
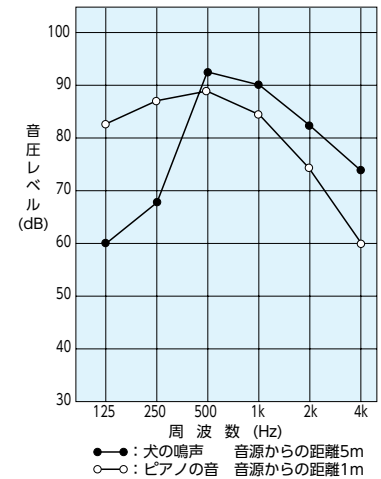


図19 環境騒音



板ガラスと遮音

室内騒音について

室内騒音を評価する一般的な尺度として、日本建築学会騒音等級基準であるN曲線と、BeranekのNC曲線が使われます。これらは人間の聴覚に基づいて騒音の基準許容値を各周波数(オクターブ)帯域で表したもので、この基準曲線と騒音の周波数特性を比較することにより、どの周波数帯域が問題になっているかを知ることができます。一般にN値+5、NC値+10がdB(A)の値にほぼ同じと考えられます。

表6 室内騒音に関する適用等級(日本建築学会)

建築物	室用途	騒音レベル dB(A)			騒音等級		
		1級	2級	3級	1級	2級	3級
集合住宅	居室	35	40	45	N-35	N-40	N-45
ホテル	客室	35	40	45	N-35	N-40	N-45
事務所	オープン事務室	40	45	50	N-40	N-45	N-50
	会議・応接室	35	40	45	N-35	N-40	N-45
学校	普通教室	35	40	45	N-35	N-40	N-45
病院	病室(個室)	35	40	45	N-35	N-40	N-45
コンサートホール・オペラハウス		25	30	—	N-25	N-30	—
劇場・多目的ホール		30	35	—	N-30	N-35	—
録音スタジオ		20	25	—	N-20	N-25	—

表7 適用等級の意味(日本建築学会)

適用等級	遮音性能の水準	性能水準の説明
特級	遮音性能上とくにすぐれている	特別に高い性能が要求された場合の性能水準
1級	遮音性能上すぐれている	建築学会が推奨する好ましい性能水準
2級	遮音性能上標準的である	一般的な性能水準
3級	遮音性能上やや劣る	やむを得ない場合に許容される性能水準

表8 事務室内騒音の評価(Beranek)

NC値	騒音環境の状態	適用例
NC 20~30	非常に静かな事務室、電話支障なし、大会議可能	役員室、50名の会議室
NC 30~35	静かな事務室、電話支障なし、4.5mのテーブルで会議可能、3~9m離れて普通の声で会話可能	個室または小事務室、応接室、20名の小会議室
NC 35~40	2~2.5mのテーブルで会議可能、電話支障なし、2~4m離れて普通の声で会話可能	中事務室、工場、事務室
NC 40~50	1.5mのテーブルで会議可能、電話やや困難な場合あり、普通の声で1~2m、大声で2~4m離れて会話可能	大製図室など
NC 50~55	2、3人以上の会議不可能、電話やや困難、普通の声で0.3~0.6m、大声で1~2m離れて会話可能	タイプ室、計算機室、コピー室
NC 55以上	非常にやかましい、事務室に不適、電話困難	いかなる事務室にも推奨できない

表9 室内騒音に関するNC値と騒音レベル

室の種類	NC値	騒音レベル dB(A)
放送スタジオ	NC 15~20	25~30
コンサートホール	NC 15~20	25~30
劇場(500席、拡声なし)	NC 20~25	30~35
音楽室	NC 25	35
教室(拡声なし)	NC 25	35
集合住宅、ホテル	NC 25~30	35~40
会議場(拡声あり)	NC 25~30	35~40
家庭	NC 30	40
映画館	NC 30	40
病院	NC 30	40
教会	NC 30	40
図書館	NC 30	40
商店	NC 35~40	45~50
レストラン	NC 45	55

図20 N曲線(日本建築学会)

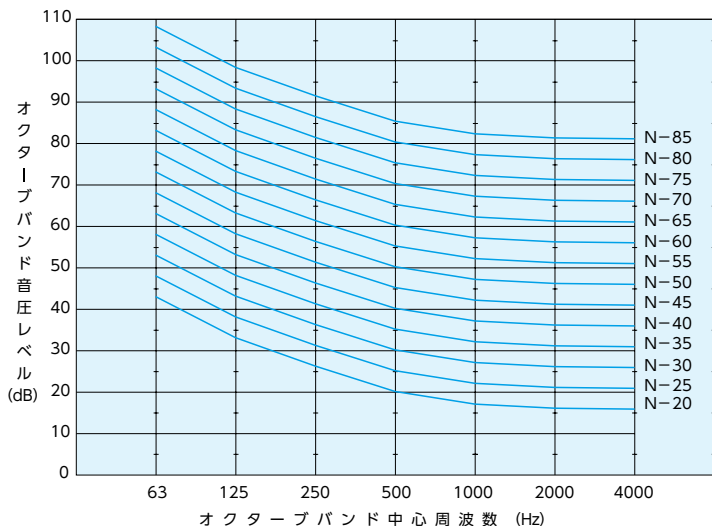
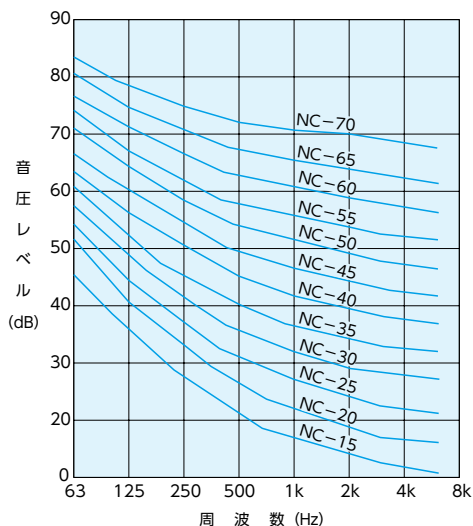


図21 NC曲線(Beranek)



板ガラスと遮音

開口部の遮音設計例について

今、市街地で交通量の激しい道路に面したビルの開口部の遮音設計を行ってみたい。そこで、対象としている事務室は図22に示すような幅10m、高さ3.5m、奥行5mで道路に面した外壁(W10m×H3.5m)は厚さ100mmのコンクリートからなりたっています。この部分に、幅1.8m、高さ1.8mのガラス窓(フィックス窓)が5箇所あります。ただし、室内の音圧レベル(許容値)はNC40を目標とします。なお、外壁の近辺における騒音のオクターブバンドレベル、外壁のコンクリート部分の透過損失および室内の天井、側壁、床などの吸音率は表10のとおりとします。また、騒音は道路に面した外部からのみ室内へ侵入するものとして計算します。

そこで、室内吸音力はP.80(2)式で求め表12に示します(表10参照)。また、外壁の必要透過損失はP.80(1)式で求め表12に示します。一方、ガラス窓の必要透過損失はP.80(3)式を変形してP.82(4)式で求められます。

(4)式で求めた各周波数ごとのガラス窓の必要透過損失を表12に示します。最終的には、この必要透過損失を満足する板ガラスの品種を決定すればよくなります。したがって、表3の単板ガラスの透過損失から6ミリが適当となります。

図22 市街地の事務室例

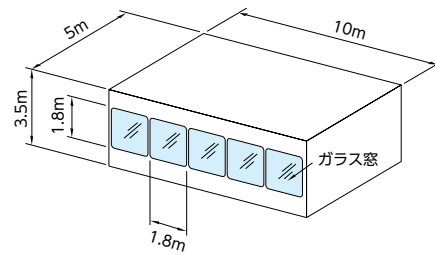


表10 室内の吸音力の計算例(125Hzの時)

項目	Fi	ai	Fi・ai
単位	m ²	-	m ²
天井	50	0.26	13
床	50	0.02	1
側壁	105	0.01	1.1
		合計	15.1

表11 壁の音響特性

項目	周波数(Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
コンクリート壁の透過損失 TL _{cr} (dB)	32.0	38.0	45.0	49.0	55.0	60.0
天井の吸音率 ac	0.26	0.15	0.10	0.08	0.06	0.05
側壁の吸音率 aw	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04
床の吸音率 af	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05

$$TL_g = -10 \log_{10} \left\{ 10^{-\frac{TL_w}{10}} \left(\frac{S_{cr} + S_g}{S_g} \right) - 10^{-\frac{TL_{cr}}{10}} \left(\frac{S_{cr}}{S_g} \right) \right\} \dots\dots\dots (4)$$

記号説明

- TL_g : ガラス窓の必要透過損失 (dB)
- TL_{cr} : コンクリート壁の透過損失 (dB)
- TL_w : 外壁の必要透過損失 (dB)
- S_g : ガラス窓の面積 (m²)
- S_{cr} : コンクリート壁の面積 (m²)

表12 遮音設計計算結果のまとめ

No.	項目	周波数(Hz)						備考
		125	250	500	1000	2000	4000	
1	騒音の音圧レベル SPL _o (dB)	75.0	71.0	67.0	62.0	54.0	51.0	与件
2	室内の音圧レベル(許容値) NC40 SPL _i (dB)	57.0	50.0	45.0	42.0	39.0	38.0	図18NC曲線より
3	室内の吸音力 A (m ²)	15.1	10.6	8.6	9.2	8.2	9.2	(2)式の計算値
4	補正值	3.7	5.2	6.1	5.8	6.3	5.8	10log ₁₀ $\frac{S}{A}$ の計算値
5	道路に面した外壁の必要透過損失 TL _w (dB)	21.7	26.2	28.1	25.8	21.3	18.8	(No.1-No.2)-No.4
6	コンクリート壁の透過損失 TL _{cr} (dB)	32.0	38.0	45.0	49.0	55.0	60.0	表11による与件
7	ガラス窓の必要透過損失 TL _g (dB)	18.6	23.0	24.8	22.5	18.0	15.5	(4)式の計算値
8	単板ガラス6ミリの透過損失 (dB)	19.0	25.0	30.6	34.2	28.6	34.2	表3による与件
9	判定	OK	OK	OK	OK	OK	OK	(No.7) < (No.8)が条件

<参考> $\frac{1}{3}$ オクターブバンドからオクターブバンドへの換算

$$TL_{Oct} = -10 \log \left[\frac{1}{3} \left(10^{-\frac{TL_{i+1}}{10}} + 10^{-\frac{TL_i}{10}} + 10^{-\frac{TL_{i-1}}{10}} \right) \right]$$

記号説明

- TL_{Oct} : オクターブ帯域の音域の音響透過損失換算値
- TL_i : $\frac{1}{3}$ オクターブ帯域の125、250、500、1000、2000、4000Hzの各測定値
- TL_{i-1}, TL_{i+1} : TL_iの前後の $\frac{1}{3}$ オクターブ帯域の各測定値