

# 窓を経由する側路伝搬音の定量化方法

久保田 喜八郎  
田原 靖彦

## § 1. はじめに

2室間の遮音の問題において、一方の室から他方の室へ伝搬する音には、境界壁や境界床を透過する音のほか、室相互の窓を経由して伝搬する音や、天井裏を経由する伝搬音、あるいは音源室側の内装に音が励起した振動が構造部材を介して隣室の内装へ伝搬し、その内装から再び放射される音などがあり、音の伝搬経路は多岐にわたっている。2室を区切る境界壁・床の透過以外の経路をたどって音が伝搬することを、一般に側路伝搬(Flanking Transmission)と呼んでおり、境界壁や境界床の遮音性が高い場合にはこの側路伝搬音の影響を無視することができなくなり、遮音計画において考慮を払っておく必要がある。しかしこの側路伝搬音に関しては研究事例も少なく、実際の設計に定量的に盛り込めるほどには明確に捉えられていないのが実情である。そこで本報では、集合住宅などにおいてその影響の有無がしばしば論議の対象となっている窓を経由する側路伝搬音をとりあげ、これを定量的に把握するための現場実験方法を提示するとともに、この方法を実際の集合住宅の隣戸間遮音測定に適用した結果について報告する。

## § 2. 側路伝搬音の室間遮音性能におよぼす影響

図一において受音室への音の侵入は境界壁での透過と窓を経由する側路伝搬の2つによって行なわれるものとし、それぞれの侵入音響エネルギーを  $W_w$ ,  $W_f$  とすると、受音室内の音圧レベル  $SPL_R$ (dB) は近似的に、

$$SPL_R = 10 \log_{10} \frac{W_w + W_f}{10^{-12}} + 10 \log_{10} \frac{4}{A}$$

$$= 10 \log_{10} \frac{W_w}{10^{-12}} + 10 \log_{10} \left( 1 + \frac{W_f}{W_w} \right) + 10 \log_{10} \frac{4}{A} \quad (1)$$

のように表わされる。ここで、 $A$  は受音室内の吸音力( $m^2$ )

である。

一方、室間の遮音性能の指標として音源室内と受音室内の音圧レベルの差 ( $D$ ) を用いるとすれば、 $D$  は音源室内の音圧レベルを  $SPL_S$  として、

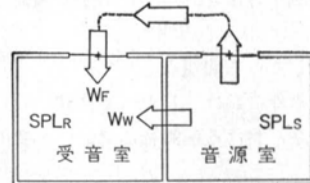
$$D = SPL_S - SPL_R \quad \dots\dots(2)$$

で表わされる。

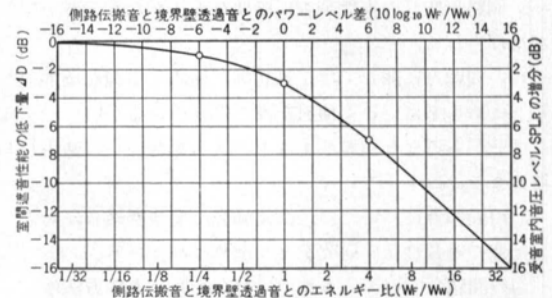
音源室内の音に対して受音室内の音圧レベル  $SPL_R$  が大きいということは、室間遮音性能が低いということを示している。いま、 $SPL_S$  と  $W_w$  が一定であるとして、窓を経由してくる音響エネルギー  $W_f$  の大小による遮音性能  $D$  の低下分について調べてみよう。

$SPL_R$  の変化を表わしているのは式(1)の第2項である。これをグラフで示したものが図二である。図の右縦軸は  $SPL_R$  の増分を表わす。つまり、左縦軸のように遮音性能の低下量とみることができる。

この図をみると解るように、窓を経由する側路伝搬音は影響の大きい小さいはあるにしても、室間遮音性能を低下させるように作用している。



図一 境界壁透過音と窓の側路伝搬音



図二 室間遮音性能に及ぼす側路伝搬音の影響

さて実用上、室間遮音性能に 1 dB 程度の低下をもたらすような側路伝搬音の影響までは許容しようと考えてみると、図-2 からその侵入エネルギー量は境界壁の透過音のそれに対して約1/4、これを dB 単位で表わせれば (-) 6 dB 以下になっていけばよい。別ないい方をすれば、この条件下では室間遮音性能が境界壁の透過音で決定されているということになる。

側路伝搬音がだんだん大きくなってくと遮音性能の低下勾配は急になって、境界壁の透過音響エネルギーと同等 ( $W_p/W_w=1$ ) になると遮音性能は 3 dB の低下をきたし、さらに大きくなって 4 倍 ((+) 6 dB) を越えるようになると遮音性能が側路伝搬音で決まってしまうようになる。

集合住宅などにおいて所期の隣戸間遮音性能を得るためには上記の事柄を念頭に置いて、側路伝搬音とバランスのとれた境界壁の音響設計が必要である。

### § 3. 側路伝搬音定量化の実験方法

#### 3.1 算定方法における問題点

境界壁の透過音と窓を経由してくる側路伝搬音とを別別に測定することができれば、2室間の遮音性能に対する側路伝搬音の影響を知ることは極めて容易であるが、実際の現場測定ではいつも両者を込みにして測定しているので、側路伝搬音の影響の有無を判断することは遮音測定の実験を多く積んだ専門家でないとなかなかできないことであるし、定量的把握に至っては、専門家といえども通常の現場測定方法をとっている限り困難な技である。

算定を困難にしている問題点として、

- 1) 窓～窓間の屋外における音の伝搬性状、
- 2) このような系における伝搬音に対応した窓の遮音データ、

についての知識が不十分なことがあげられるとともに、

- 3) 側路伝搬音の実態調査に簡便な方法がなかったことが挙げられる。

1)の問題点に関しては、筆者等が極めて単純な条件のもとにある系について検討を進めてきているが<sup>1)</sup>、パルコニーがあるなど複雑な条件下にある集合住宅に適用し得るまでには至っていない。

2)の問題点については、街路騒音や航空機騒音に対応した窓の遮音性状の研究が多く進められている。

3)の問題点についていままでに行なわれた実験方法は、境界壁または窓のいずれか一方の遮音性能を、何らかの

方法で増強しながら遮音測定を進め、室間遮音性能に対する両者の影響のバランス状態を調べるという方法である。グラスウール層による遮音性の増強方法をとった事例<sup>2)</sup>が報告されている。この方法は短刀直入ではあるが、実験が大がかりになるところに難点がある。そのためこの方法による調査事例は極めて少なく、設計に対して有効な資料を提供するまでに至っていない。

#### 3.2 提案する実験方法

窓の開・閉条件に着目すると図-3 に示すように4つの組み合わせを考えることができる。ここに提案する実験方法は、これら4条件において室間音圧レベル差を測定し、実態から大きくはずれない仮定のもとに側路伝搬音を定量化する方法である。この方法は前記の方法に比べて労力が少なくてすむので誰もが容易に実行でき、しかも客観的な判断が下せるような結果を得ることができる実験方法である。

#### 3.3 定量化における仮定

この実験方法によった測定結果から、側路伝搬音を定量化するに際して問題を簡略化するため、次の仮定を設ける。

- 1) 音源室・受音室はともにほぼ拡散音場になっているものとする。
- 2) 窓の開放時と閉鎖時において音の放射および入射の特性は同じであるとする。この仮定により図-3 において  $K$  の値はいずれのケースにおいても同一であることができる。

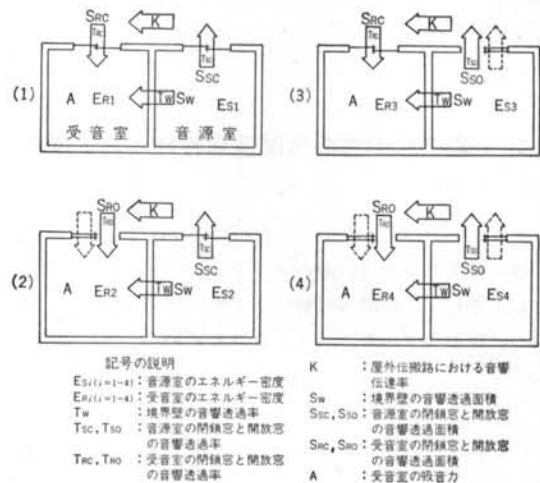


図-3 窓の開・閉条件モデル

3)窓での音の透過エネルギーは、その透過面積に比例する。

4)窓を開放したとき図中の破線矢印で示す部分にできる2重サッシ部での音の透過量は、開放部でのそれに比べて著しく小さいものと考えられるので、無

視できるものとする。

5)受音室内の吸音力は窓の開・閉条件によって変化しないものとする。

### 3.4 定量化の方法

#### 3.4.1 定量化の基本式

図一(1)~(4)それぞれのケースにおいて、音源室内と受音室内のそれぞれのエネルギー密度 $E_{S_i}$ と $E_{R_i}$ との間に、

$$\frac{E_{R1}}{E_{S1}} = \left\{ (T_{SC} \times S_{SC}) \times (T_{RC} \times S_{RC}) \times K + (T_W \times S_W) \right\} \times \frac{1}{A} \quad \dots\dots(3)$$

$$\frac{E_{R2}}{E_{S2}} = \left\{ (T_{SC} \times S_{SC}) \times (T_{RO} \times S_{RO}) \times K + (T_W \times S_W) \right\} \times \frac{1}{A} \quad \dots\dots(4)$$

$$\frac{E_{R3}}{E_{S3}} = \left\{ (T_{SO} \times S_{SO}) \times (T_{RC} \times S_{RC}) \times K + (T_W \times S_W) \right\} \times \frac{1}{A} \quad \dots\dots(5)$$

$$\frac{E_{R4}}{E_{S4}} = \left\{ (T_{SO} \times S_{SO}) \times (T_{RO} \times S_{RO}) \times K + (T_W \times S_W) \right\} \times \frac{1}{A} \quad \dots\dots(6)$$

の関係が近似的に成立つ。上式で $K$ は $L^{-2}$ のディメションをもつ値であることに注意を要する。

$$E_{R1}/E_{S1} = d_1, \quad E_{R2}/E_{S2} = d_2, \quad E_{R3}/E_{S3} = d_3, \quad E_{R4}/E_{S4} = d_4$$

と置いて各式の両辺に常用対数をとると、

$$\left. \begin{aligned} 10 \log_{10} d_1 &= 10 \log_{10} \frac{CE_{R1}}{10^{-12}} - 10 \log_{10} \frac{CE_{S1}}{10^{-12}} \div SPL_{R1} - SPL_{S1} = -D_1 \\ 10 \log_{10} d_2 &= 10 \log_{10} \frac{CE_{R2}}{10^{-12}} - 10 \log_{10} \frac{CE_{S2}}{10^{-12}} \div SPL_{R2} - SPL_{S2} = -D_2 \\ 10 \log_{10} d_3 &= 10 \log_{10} \frac{CE_{R3}}{10^{-12}} - 10 \log_{10} \frac{CE_{S3}}{10^{-12}} \div SPL_{R3} - SPL_{S3} = -D_3 \\ 10 \log_{10} d_4 &= 10 \log_{10} \frac{CE_{R4}}{10^{-12}} - 10 \log_{10} \frac{CE_{S4}}{10^{-12}} \div SPL_{R4} - SPL_{S4} = -D_4 \end{aligned} \right\} \dots\dots(7)$$

が得られ、 $10 \log d_i$ は受音室内音圧レベルから音源室内音圧レベルを差引いた値、つまり室間音圧レベル差 $D_i$ に(-)符号を付したもので表わされる。 $C$ は音速(m/s)である。

#### 3.4.2 開放窓と閉鎖窓との音響透過率比

(4)-(3)および(6)-(5)を作ると、

$$d_2 - d_1 = (T_{SC} \times S_{SC}) \{ (T_{RO} \times S_{RO}) - (T_{RC} \times S_{RC}) \} \times K \times \frac{1}{A} \quad \dots\dots(8)$$

$$d_4 - d_3 = (T_{SO} \times S_{SO}) \{ (T_{RO} \times S_{RO}) - (T_{RC} \times S_{RC}) \} \times K \times \frac{1}{A} \quad \dots\dots(9)$$

が得られ、また(5)-(3)と(6)-(4)を作れば、

$$d_3 - d_1 = (T_{RC} \times S_{RC}) \{ (T_{SO} \times S_{SO}) - (T_{SC} \times S_{SC}) \} \times K \times \frac{1}{A} \quad \dots\dots(10)$$

$$d_4 - d_2 = (T_{RO} \times S_{RO}) \{ (T_{SO} \times S_{SO}) - (T_{SC} \times S_{SC}) \} \times K \times \frac{1}{A} \quad \dots\dots(11)$$

が得られる。

式(9)を式(8)で、式(11)を式(10)で除すことによって、

$$\frac{d_4 - d_3}{d_2 - d_1} = \frac{T_{SO} \times S_{SO}}{T_{SC} \times S_{SC}} \quad \dots\dots(12) \quad \frac{d_4 - d_2}{d_3 - d_1} = \frac{T_{RO} \times S_{RO}}{T_{RC} \times S_{RC}} \quad \dots\dots(13)$$

が求まり、上記2式の右辺は音源室および受音室のそれぞれにおいて、窓を開いたときと閉じたときとの側路伝搬音エネルギーの侵入量の比を表わしている。

音源室および受音室における開放窓と閉鎖窓との音響透過率比は式(12)、(13)から直に、

$$\frac{T_{SO}}{T_{SC}} = \frac{d_4 - d_3}{d_2 - d_1} \times \frac{S_{SC}}{S_{SO}} \quad \dots\dots(14)$$

$$\frac{T_{RO}}{T_{RC}} = \frac{d_4 - d_2}{d_3 - d_1} \times \frac{S_{RC}}{S_{RO}} \quad \dots\dots(15)$$

の形で表わされる。また式(14)、(15)の両辺に常用対数を取り、一般に用いられている透過損失値 (TL) の表現方法 ( $10 \log_{10} 1/T = TL$ ) に従えば、

$$TL_{SC} - TL_{SO} = 10 \log_{10} \frac{d_4 - d_3}{d_2 - d_1} + 10 \log_{10} \frac{S_{SC}}{S_{SO}} \quad \dots\dots(16)$$

$$TL_{RC} - TL_{RO} = 10 \log_{10} \frac{d_4 - d_2}{d_3 - d_1} + 10 \log_{10} \frac{S_{RC}}{S_{RO}} \quad \dots\dots(17)$$

の形で得られる。

### 3.4.3 窓の閉鎖時と開放時における側路伝搬音量

式(10)、(11)と式(12)とを用いて  $T_{SO} \times S_{SO}$  および  $T_{SC} \times S_{SC}$  を消去すれば音源室も受音室も、共に窓を閉じたときとともに開いたときの側路伝搬音量が求められる。

まず式(10)と式(12)とで  $T_{SO} \times S_{SO}$  を消去すると、

$$(T_{SC} \times S_{SC}) \times (T_{RC} \times S_{RC}) \times \frac{K}{A} = \frac{(d_2 - d_1) \times (d_3 - d_1)}{(d_1 + d_4) - (d_2 + d_3)} \quad \dots\dots(18)$$

が得られ、(11)式と(12)式とで  $T_{SC} \times S_{SC}$  を消去すると、

$$(T_{SO} \times S_{SO}) \times (T_{RO} \times S_{RO}) \times \frac{K}{A} = \frac{(d_2 - d_4) \times (d_3 - d_4)}{(d_1 + d_4) - (d_2 + d_3)} \quad \dots\dots(19)$$

が得られる。

上記2式の両辺に常用対数をとって室間音圧レベル差を表わすような形に変形を施せば、

$$TL_{SC} + TL_{RC} - 10 \log_{10} \frac{S_{SC} \cdot S_{RC} \cdot K}{A} = 10 \log_{10} \frac{(d_1 + d_4) - (d_2 + d_3)}{(d_2 - d_1) \times (d_3 - d_1)} \quad \dots\dots(20)$$

$$TL_{SO} + TL_{RO} - 10 \log_{10} \frac{S_{SO} \cdot S_{RO} \cdot K}{A} = 10 \log_{10} \frac{(d_1 + d_4) - (d_2 + d_3)}{(d_2 - d_4) \times (d_3 - d_4)} \quad \dots\dots(21)$$

となる。それぞれの左辺は境界壁の透過音と無関係に側路伝搬音のみによる室間音圧レベル差を表わしている。式(20)が音源室も受音室もともに窓を閉鎖したとき、式(21)が両室共に窓を開放したときを表わす。

### 3.4.4 一方の窓開放・他方の窓閉鎖時の側路伝搬音量

式(11)と式(12)とで  $T_{SO} \times S_{SO}$  を、式(10)と式(12)とで  $T_{SC} \times S_{SC}$  を消去することによって、

$$(T_{SC} \times S_{SC}) \times (T_{RO} \times S_{RO}) \times \frac{K}{A} = \frac{(d_2 - d_1) \times (d_4 - d_2)}{(d_1 + d_4) - (d_2 + d_3)} \quad \dots\dots(22)$$

$$(T_{SO} \times S_{SO}) \times (T_{RC} \times S_{RC}) \times \frac{K}{A} = \frac{(d_3 - d_1) \times (d_4 - d_3)}{(d_1 + d_4) - (d_2 + d_3)} \quad \dots\dots(23)$$

が得られ、各式の両辺に常用対数をとって室間音圧レベル差を表わすように変形を施せば、

$$TL_{SC} + TL_{RO} - 10 \log_{10} \frac{S_{SC} \cdot S_{RO} \cdot K}{A} = 10 \log_{10} \frac{(d_1 + d_4) - (d_2 + d_3)}{(d_2 - d_1) \times (d_4 - d_2)} \quad \dots\dots(24)$$

$$TL_{SO} + TL_{RC} - 10 \log_{10} \frac{S_{SO} \cdot S_{RC} \cdot K}{A} = 10 \log_{10} \frac{(d_1 + d_4) - (d_2 + d_3)}{(d_3 - d_1) \times (d_4 - d_3)} \quad \dots\dots(25)$$

となる。

式(24)が音源室の窓が閉鎖され、受音室の窓が開放されている状態における側路伝搬音のみによる室間音圧レベル差を、式(25)はこの逆の状態における側路伝搬音のみによる室間音圧レベル差を表わす。

### 3.4.5 定量化不能な条件

図-3に示す窓の開・閉条件4ケースに対応する側路伝搬音量は⑬, ⑭, ⑮, ⑯の各式で与えられるが, この量が算出不能または0となって確定できない場合がありそれは表-1のような測定結果が得られたときである。

このような測定結果が得られるということは, 室間遮音性能が境界壁の透過音によって完全に支配されていること, または, 圧倒的に支配されていることを意味している。つまり, このような遮音測定結果は境界壁そのものの遮音性能を表わしているということになる。

音源室	閉	閉	開	開
受音室	開	開	閉	閉
1. $d_1=d_2=d_3=d_4$	×	×	×	×
2. $d_1=d_2$	×	×		
3. $d_1=d_3$	×		×	
4. $d_2=d_4$		×		×
5. $d_3=d_4$			×	×

表-1 定量化不能な条件

### 2.5 本節のまとめ

以上定量化方法について検討してきたことをまとめると次のようになる。

この実験方法で室間音圧レベル差を測定することによって, 境界壁の遮音性能を直接に調べることなく,

- 1) 窓の各開・閉条件における側路伝搬音のみによる室間音圧レベル差は図-3に対応して記せば⑬, ⑭, ⑮, ⑯の各式で与えられる。
- 2) 式⑬, ⑭により窓~窓間の側路伝搬音に対応した窓の開・閉による透過損失値を知ることができ, 現場の実情に即応したデータの取得に有効である。
- 3) 吸音力Aおよび窓面積  $S_{Sc}$ ,  $S_{So}$ ,  $S_{Rc}$ ,  $S_{Ro}$  等の実測あるいは図面上での算出は比較的容易であるから何らかの方法で開放窓または閉鎖窓のこの系における透過損失値を確定することができれば, 現在まだ明確に捉えられていない窓~窓間における屋外伝搬音量Kをいろいろな条件下で調べることができる。
- 4) 側路伝搬音量が定量化されることにより, §2.でかけた図-2を利用すれば境界壁の遮音性能も併せて知ることができる。

## § 4. 側路伝搬音の実態調査事例

### 4.1 調査目的

前節で述べた実験方法を実際の集合住宅に応用し, 窓を経由する側路伝搬音の実態を調べるとともに, この方法の問題点を検討する。

### 4.2 調査方法

#### 4.2.1 供試住宅

調査対象住戸としてプレキャストコンクリート版組立工法による集合住宅の中から左右隣戸間を2事例, 上下隣戸間を1事例選んだ。各住戸の部分平面図と断面図を図-4.1と図-4.2に示す。住戸は4階と5階に選んだので窓前方には幅1.2mのバルコニー, 手摺およびバルコニーの隣戸境界にスレート製の仕切板がある他は音の反射を生ずるような障害物は何もない。窓はその面積の約1/3が固定で, 残りは既製品の引違いサッシュである。

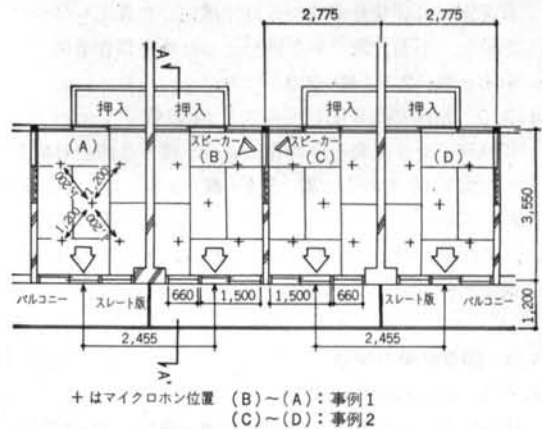


図-4.1 供試住宅の平面図

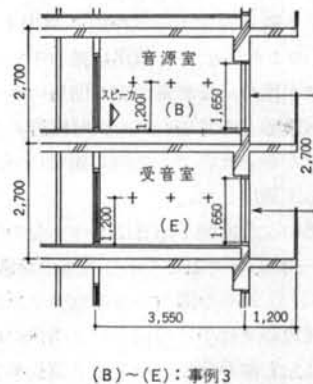


図-4.2 供試住宅の断面図 (A~A')

#### 4.2.2 使用測定機材

測定機材は通常の遮音測定に使用されているもので, 試験音の発振装置と受振装置のブロックダイアグラムを図-5に示す。試験音として1/3オクターブ帯域雑音を発生する。



図-5 使用測定機材のブロックダイヤグラム

#### 4.2.3 測定方法

図-4.1の平面図内に示したスピーカーから発生させた試験雑音の音圧レベルを音源室および受音室内の5点で測定した。開閉を行なった窓は平面図に矢印で示した部分である。

### 4.3 調査結果

#### 4.3.1 平均音圧レベル

音源室および受音室内の5点で測定した音圧レベルの平均値と、不偏分散の平方根をとった値を調査事例ごとに示すと表-2.1~表-2.3となる。

#### 4.3.2 室間平均音圧レベル差と $d_1$ の値

音源室~受音室間の平均音圧レベル差とこの逆対数をとった値  $d_1$  を求めると表-3.1~表-3.3のようになる。なお、平均音圧レベル差は式(7)の形から(-)符号が付され、また偏差の大きさからみて小数点以下を4捨5入して求めた。

### 4.4 調査結果の検討

#### 4.4.1 側路伝搬音の実態

前節で提示した算出式(2), (3), (4), (5)の各式へ室間平均音圧レベル差から求めた  $d_1$  の値を入れて、側路伝搬音のみによる隣戸間音圧レベル差を算出すると表-4.1~表-4.3のようになる。算出結果の中で調査事例3の音源室の窓が閉鎖、受音室の窓が開放のケースでは、受音室での試験雑音の音圧レベルが暗騒音の強い影響のため測定できなかったため、この事例では  $d_2$  は  $d_3$  と同じであるとして算出した。

算出結果および室間平均音圧レベル差の実測結果(表-3.1~表-3.3)を併記して示したものが図-6.1~図-6.3である。これらの図で一方の室の窓が閉鎖、他方の室の窓が開放の条件下については2条件の結果を平均し、さらに左右隣戸間については2調査事例の平均をとって示した。

§2. で述べたことを念頭においてこれらの図をみるとこの調査事例については次のようなことがいえる。

1)両室ともに窓を閉鎖した条件下(図-6.1)では側路伝搬音のみによる隣戸間音圧レベル差と室間平均音圧レベル差(側路伝搬音と境界壁ないしは境界床の透過音

室名	窓の開閉条件		中心周波数 (Hz)					
	音源室	受音室	125	250	500	1000	2000	4000
音源室	閉	—	97.2 1.30	95.2 1.63	95.0 1.72	90.8 0.84	92.0 0.70	84.4 1.13
	開	—	97.4 1.95	95.4 1.51	93.8 1.79	90.8 1.10	91.4 1.13	84.2 1.30
受音室	閉	閉	64.0 0.73	59.8 1.30	58.0 0	48.8 0.84	44.8 0.84	26.4 0.55
	閉	開	64.6 2.07	61.8 1.10	58.8 0.84	50.8 0.84	48.0 0.70	34.0 0.70
	開	閉	65.0 1.22	61.6 0.55	58.2 0.45	50.0 1.00	48.0 0.70	36.6 0.89
	開	開	67.8 3.11	69.0 2.11	65.4 1.51	56.8 1.30	58.2 0.45	50.4 0.89

表-2.1 音圧レベル測定結果の平均値と標準偏差  
調査事例1 (左右隣戸間B⇒A)

室名	窓の開閉条件		中心周波数 (Hz)					
	音源室	受音室	125	250	500	1000	2000	4000
音源室	閉	—	97.0 1.86	93.4 1.13	93.8 1.63	91.6 0.85	91.8 0.84	84.2 1.10
	開	—	95.8 2.38	93.4 1.13	93.2 1.48	91.2 1.30	91.2 1.30	84.0 1.72
受音室	閉	閉	62.6 0.55	56.2 1.10	57.6 0.55	50.2 1.10	43.0 0.70	27.4 0.55
	閉	開	63.4 1.67	59.8 0.84	58.8 0.45	51.4 0.89	47.4 0.55	36.0 0.70
	開	閉	63.2 1.30	60.8 1.92	59.0 0.70	50.8 0.84	46.6 0.89	35.4 0.55
	開	開	69.0 2.34	68.6 2.68	65.4 0.89	58.4 1.13	58.2 1.10	50.2 0.45

表-2.2 音圧レベル測定結果の平均値と標準偏差  
調査事例2 (左右隣戸間C⇒D)

室名	窓の開閉条件		中心周波数 (Hz)					
	音源室	受音室	125	250	500	1000	2000	4000
音源室	閉	—	表-2.1と同じ					
	開	—	表-2.1と同じ					
受音室	閉	閉	59.0 1.22	52.6 1.34	43.8 0.45	38.2 0.84	31.8 0.84	*
	閉	開	暗騒音のため測定不能(*)					
	開	閉	59.6 1.51	53.4 1.34	46.0 0.70	40.4 1.13	35.4 1.13	*
	開	開	64.8 1.48	58.0 1.22	55.4 0.55	49.2 0.45	46.0 1.00	37.4 1.13

表-2.3 音圧レベル測定結果の平均値と標準偏差  
調査事例3 (上下隣戸間B⇒E)

音源室	閉		閉		開		開	
受音室	閉		開		閉		開	
中心周波数 (Hz)	$D_1$	$d_1$	$D_2$	$d_2$	$D_3$	$d_3$	$D_4$	$d_4$
	dB		dB		dB		dB	
125	-33	$5.01 \times 10^{-4}$	-32	$6.31 \times 10^{-4}$	-32	$6.31 \times 10^{-4}$	-29	$1.26 \times 10^{-3}$
250	-35	$3.16 \times 10^{-4}$	-33	$5.01 \times 10^{-4}$	-33	$5.01 \times 10^{-4}$	-26	$2.51 \times 10^{-3}$
500	-37	$1.99 \times 10^{-4}$	-36	$2.51 \times 10^{-4}$	-36	$2.51 \times 10^{-4}$	-29	$1.26 \times 10^{-3}$
1000	-42	$6.31 \times 10^{-5}$	-40	$1.00 \times 10^{-4}$	-41	$7.94 \times 10^{-5}$	-34	$3.98 \times 10^{-4}$
2000	-47	$1.99 \times 10^{-5}$	-44	$3.98 \times 10^{-5}$	-43	$5.01 \times 10^{-5}$	-33	$5.01 \times 10^{-4}$
4000	-58	$1.58 \times 10^{-6}$	-50	$1.00 \times 10^{-5}$	-47	$1.99 \times 10^{-5}$	-34	$3.98 \times 10^{-4}$

表-3.1 2室間平均音圧レベル差と  $d_1$  の値 調査事例1 (左右隣戸間B⇒A)

音源室	閉		閉		開		閉	
受音室	閉		開		閉		閉	
中心周波数 (Hz)	$D_1$	$d_1$	$D_2$	$d_2$	$D_3$	$d_3$	$D_4$	$d_4$
	dB		dB		dB		dB	
125	-34	$3.98 \times 10^{-4}$	-34	$3.98 \times 10^{-4}$	-34	$3.98 \times 10^{-4}$	-27	$1.99 \times 10^{-3}$
250	-37	$1.99 \times 10^{-4}$	-33	$5.01 \times 10^{-4}$	-32	$6.31 \times 10^{-4}$	-24	$3.98 \times 10^{-3}$
500	-36	$2.51 \times 10^{-4}$	-35	$3.16 \times 10^{-4}$	-34	$3.98 \times 10^{-4}$	-28	$1.58 \times 10^{-3}$
1000	-42	$6.31 \times 10^{-5}$	-41	$7.94 \times 10^{-5}$	-40	$1.00 \times 10^{-4}$	-33	$5.01 \times 10^{-4}$
2000	-49	$1.26 \times 10^{-5}$	-45	$3.16 \times 10^{-5}$	-44	$3.98 \times 10^{-5}$	-33	$5.01 \times 10^{-4}$
4000	-57	$1.99 \times 10^{-6}$	-48	$1.58 \times 10^{-5}$	-49	$1.26 \times 10^{-5}$	-34	$3.98 \times 10^{-4}$

表-3.2 2室間平均音圧レベル差と  $d_1$  の値 調査事例2 (左右隣戸間C⇒D)

音源室	閉		閉		開		開	
受音室	閉		開		閉		開	
中間周波数 (Hz)	$D_1$	$d_1$	$D_2$	$d_2$	$D_3$	$d_3$	$D_4$	$d_4$
	dB				dB		dB	
125	-38	$1.58 \times 10^{-4}$	—	—	-36	$2.51 \times 10^{-4}$	-31	$7.94 \times 10^{-4}$
250	-40	$1.00 \times 10^{-4}$	—	—	-40	$1.00 \times 10^{-4}$	-35	$3.16 \times 10^{-4}$
500	-50	$1.00 \times 10^{-5}$	—	—	-47	$1.99 \times 10^{-5}$	-38	$1.58 \times 10^{-4}$
1000	-54	$3.98 \times 10^{-6}$	—	—	-51	$7.94 \times 10^{-6}$	-42	$6.31 \times 10^{-5}$
2000	-60	$1.00 \times 10^{-6}$	—	—	-56	$2.51 \times 10^{-6}$	-45	$3.16 \times 10^{-5}$
4000	—	—	—	—	—	—	-47	$1.99 \times 10^{-5}$

表-3.3 2室間平均音圧レベル差と  $d_1$  の値 調査事例3 (上下隣戸間B⇒E)

とが総合された遮音性能)とに6 dB以上の差があることから、側路伝搬音が隣戸間遮音性能に及ぼす影響は極めて小さいといえよう。つまり、この条件下では隣戸間遮音性能は境界壁、境界床の遮音性能で決定されており、室間平均音圧レベル差の測定結果(図中の●印および◆印)がその性能値を示しているとみることができる。

この調査事例のような窓～窓間の状況および窓の設計仕様においては、側路伝搬音の影響は、500 Hzの周波数での遮音性能値で示せば、境界壁が45 dB以上、境界床

が55 dB以上の値をもつ場合に現われよう。一般に集合住宅の隣戸間遮音性能値として45 dB～55 dBを要求されているので、これを満たすような壁体設計を行なう場合には左右隣戸間の側路伝搬音に注意する必要がある。

2)一方の室の窓が閉鎖、他方の室の窓が開放の条件下(図-6.2)では、左右隣戸間の500 Hz、1000 Hzにおいては、1)と同じ理由から側路伝搬音の影響は少ないが、この他では側路伝搬音のみによる隣戸間音圧レベル差と室間平均音圧レベル差の実測値とが3 dB程度の差である

音源室	閉		閉		開		開	
受音室	閉		開		閉		開	
中心周波数 (Hz)	$\frac{(d_1+d_4)-(d_2+d_3)}{(d_2-d_1)\times(d_3-d_4)}$	$L_{oc}$ (dB)	$\frac{(d_1+d_4)-(d_2+d_3)}{(d_2-d_1)\times(d_4-d_3)}$	$L_{co}$ (dB)	$\frac{(d_1+d_4)-(d_2+d_3)}{(d_3-d_1)\times(d_4-d_3)}$	$L_{oc}$ (dB)	$\frac{(d_1+d_4)-(d_2+d_3)}{(d_2-d_1)\times(d_3-d_4)}$	$L_{oo}$ (dB)
125	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$6.28 \times 10^2$	28.0
250	$2.33 \times 10^4$	43.7	$2.90 \times 10^3$	34.6	$2.10 \times 10^3$	33.2	$2.61 \times 10^2$	24.0
500	$1.20 \times 10^5$	50.8	$1.36 \times 10^4$	41.3	$6.61 \times 10^3$	38.2	$7.47 \times 10^2$	28.7
1000	$6.39 \times 10^5$	58.1	$5.59 \times 10^4$	47.5	$2.60 \times 10^4$	44.2	$2.27 \times 10^3$	33.6
2000	$8.69 \times 10^5$	59.4	$4.96 \times 10^4$	47.0	$3.57 \times 10^4$	45.5	$2.04 \times 10^3$	33.1
4000	$2.53 \times 10^6$	64.0	$7.04 \times 10^4$	48.5	$9.09 \times 10^4$	49.6	$2.52 \times 10^3$	34.0

表-4.1 事例-1：左右隣戸間

音源室	閉		閉		開		開	
受音室	閉		開		閉		開	
中心周波数 (Hz)	$\frac{(d_1+d_4)-(d_2+d_3)}{(d_2-d_1)\times(d_3-d_4)}$	$L_{oc}$ (dB)	$\frac{(d_1+d_4)-(d_2+d_3)}{(d_2-d_1)\times(d_4-d_3)}$	$L_{co}$ (dB)	$\frac{(d_1+d_4)-(d_2+d_3)}{(d_3-d_1)\times(d_4-d_3)}$	$L_{oc}$ (dB)	$\frac{(d_1+d_4)-(d_2+d_3)}{(d_2-d_1)\times(d_3-d_4)}$	$L_{oo}$ (dB)
125	$2.95 \times 10^4$	44.7	$6.10 \times 10^3$	37.9	$6.10 \times 10^3$	37.9	$1.26 \times 10^3$	31.0
250	$5.32 \times 10^4$	47.3	$4.90 \times 10^3$	36.9	$4.90 \times 10^3$	36.9	$4.51 \times 10^2$	26.5
500	$3.53 \times 10^5$	55.5	$1.82 \times 10^4$	42.6	$1.82 \times 10^4$	42.6	$9.40 \times 10^2$	29.7
1000	$4.68 \times 10^5$	56.7	$2.56 \times 10^4$	44.1	$5.42 \times 10^4$	47.3	$2.96 \times 10^3$	34.7
2000	$7.17 \times 10^5$	58.6	$4.69 \times 10^4$	46.7	$3.16 \times 10^4$	45.0	$2.07 \times 10^3$	33.2
4000	$2.39 \times 10^6$	63.8	$1.13 \times 10^5$	50.5	$5.33 \times 10^4$	47.3	$2.52 \times 10^3$	34.0

表-4.2 事例-2：左右隣戸間

音源室	閉		閉		開		開	
受音室	閉		開		閉		開	
中心周波数 (Hz)	$\frac{(d_1+d_4)-(d_2+d_3)}{(d_2-d_1)\times(d_3-d_4)}$	$L_{oc}$ (dB)	$\frac{(d_1+d_4)-(d_2+d_3)}{(d_2-d_1)\times(d_4-d_3)}$	$L_{co}$ (dB)	$\frac{(d_1+d_4)-(d_2+d_3)}{(d_3-d_1)\times(d_4-d_3)}$	$L_{oc}$ (dB)	$\frac{(d_1+d_4)-(d_2+d_3)}{(d_2-d_1)\times(d_3-d_4)}$	$L_{oo}$ (dB)
125	$5.20 \times 10^4$	47.2	$8.91 \times 10^3$	39.5	$8.91 \times 10^3$	39.5	$1.52 \times 10^3$	31.8
250	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$4.62 \times 10^3$	36.6
500	$1.30 \times 10^6$	61.1	$9.37 \times 10^4$	49.7	$9.37 \times 10^4$	49.7	$6.72 \times 10^3$	38.3
1000	$3.26 \times 10^6$	65.1	$2.34 \times 10^5$	53.7	$2.34 \times 10^5$	53.7	$1.68 \times 10^4$	42.3
2000	$1.20 \times 10^7$	70.8	$6.27 \times 10^5$	58.0	$6.27 \times 10^5$	58.0	$3.25 \times 10^4$	45.1
4000	—	—	—	—	—	—	—	—

表-4.3 事例-3：上下隣戸間

ことから、境界壁・境界床の透過音と同程度の伝搬量になっている。

3) 両室ともに窓を開放した条件下(図-6.3)では室内平均レベル差の測定結果とほとんど一致しているため、隣戸間の遮音性能が側路伝搬音で決まっている。

左右隣戸間では約 30 dB (500 Hz) になっており、この程度の遮音性能では不十分である。

4) 上下隣戸間での側路伝搬量は左右隣戸間のそれと比べて少なく、その差は 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz の 3 周

波数での平均値で示すと 9 dB である。バルコニーが伝搬音の遮へいに寄与しているものと考えられる。

#### 4.3.2 窓の開閉による透過損失差

ここで論じているような系における窓の開放時と閉鎖時それぞれの透過損失値の差は式(44)、(47)で与えられる。

式中の閉鎖時の窓面積と開放部の面積との比 ( $S_{so}/S_{so}$ ) ( $S_{nc}/S_{no}$ ) をそれぞれ(3/1)として透過損失差を求めてみると表-5のようになる。音源室の窓、受音室の窓、3調査事例のすべてにわたって算出結果を平均して示す



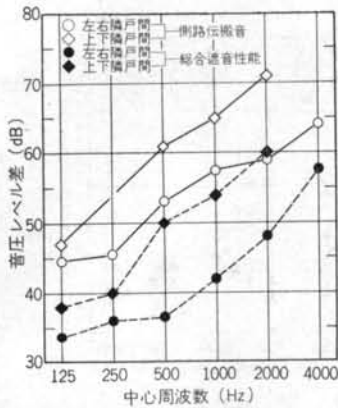


図-6.1 両室とも窓を閉鎖したときの側路伝搬音のみによる隣戸間音圧レベル差と室間総合遮音性能の実測値

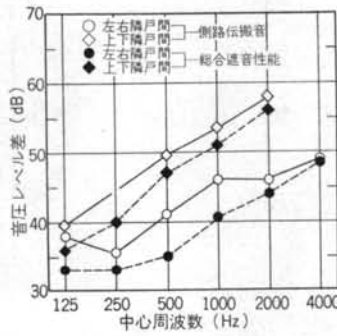


図-6.2 一方の室の窓を閉鎖・他方の室の窓を開放したときの側路伝搬音のみによる隣戸間音圧レベル差と室間総合遮音性能の実測値

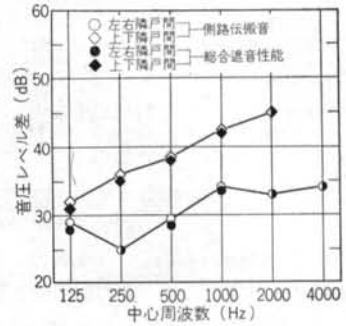


図-6.3 両室とも窓を開放したときの側路伝搬音のみによる隣戸間音圧レベル差と室間総合遮音性能の実測値

窓の種類 中心周波数 (Hz)	音源室の窓			受信室の窓		平均値
	調査事例 1	調査事例 2	調査事例 3	調査事例 1	調査事例 2	
125	11.6	*	12.5	11.6	*	11.9
250	15.2	15.2	*	15.2	13.9	14.9
500	17.7	17.4	16.2	17.7	14.3	16.7
1000	14.2	18.7	16.2	17.4	15.4	16.4
2000	18.3	18.7	17.6	15.6	17.2	17.5
4000	21.3	19.3	—	17.8	20.4	19.7

表-5 窓の開閉透過損失差 ( $TL_c - TL_o$ ) (dB) と図-7となる。

通常行なっている窓の遮音測定方法、たとえば窓の内外での音圧レベル差測定方法による測定はここでは実施していないので、ここに求められた値が窓の遮音性能とどう対応するかは述べ得ないが、この値を窓の遮音性能値と考えても不当ではないような結果になっている。この問題に関しては今後の検討課題としたい。

#### 4.3.3 測定方法上の問題点

測定方法上の問題点として、提案を導びくうえに設けた仮定と、測定実施上のものが挙げられる。

##### 1) 拡散音場の仮定

現場測定では理想的な拡散音場の形成は望むべくもないが、せめてその必要条件である音圧レベル分布だけでもなるべく均等になるようにしたいというのが建築音響工学の立場であろう。図-8.1は音源室、図-8.2は受信室の各室内5点で測定した音圧レベルの不偏分散の平方根をとった値を示した図である。図示した偏差はここにかけた事例のものであり、また筆者らの測定技量にも

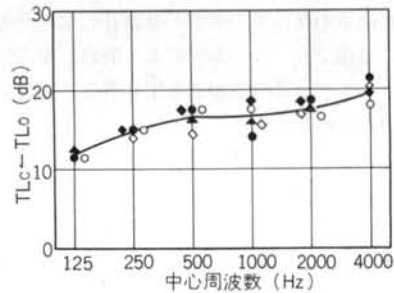


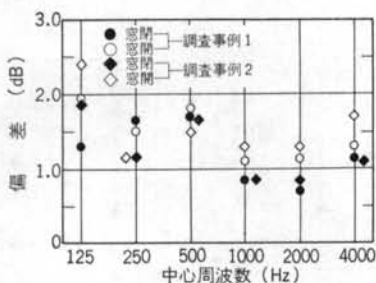
図-7 窓の開閉透過損失差

関係するので必ずしも一般性があるとはいえないが、傾向としてみられるのは、1000Hz以上の周波数領域では音源室の窓が開放されている条件にやや大きい偏差がみられるが、室内5点の測定でも1dB前後の偏差におさめることは可能であるように思われる。しかし、これ以下の周波数領域では、ことに受信室の窓を開いた条件のときに偏差が大きくなっており、2~3dBの偏差は免れない。したがって、ここに提案した方法による側路伝搬音量の算出精度を高めるためには、低音領域での測定点数をもっと増加させる必要がある。ことに、ここに示した調査事例のように境界壁の遮音性能が比較的低く、窓の開閉条件間に室間平均音圧レベル差の差異が十分に大きくとれない場合には必要である。

2) 窓の開放時と閉鎖時における音の入射・放射特性  
実験方法を適用した事例における境界壁の遮音性能が低かったため、この問題に関しては分析できなかった。今後の実験データ集積によって改めて検討を加えたい。

##### 3) 窓の開閉による受信室内吸音力の変化

調査事例1および2ではスピーカーに供給する試験雑



図—8.1 音源室内音圧レベルの偏差

音の電力を一定にして、窓の開閉による音源室内の音圧レベル変化を調べた。表—2.1、表—2.2にみられるように音圧レベルの変化は1 dB程度なので、この仮定は問題ないものと考えられる。

#### 4) 暗騒音

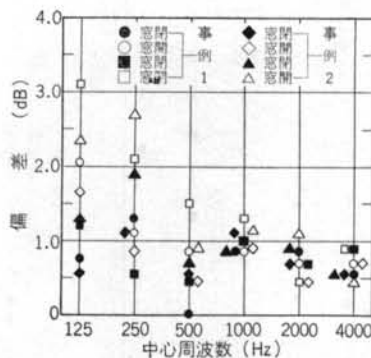
調査事例3の上下隣戸間では音源室の窓が閉鎖、受音室の窓が開放の条件での測定が暗騒音のため不能となった。この事例ではバルコニーによる側路伝搬音の低減が大きいとともに、音源室の窓を閉じることによって試験雑音の屋外放射量が小さくなる一方、受音室内の窓が開放されているので暗騒音の影響を強く受けたことに原因がある。

この実験方法における暗騒音の許容値は調査事例ごとに異なるので一般的に提示はできない。実験は試験音を断続させ、暗騒音の音圧レベルをチェックしながら進めることが望ましい。暗騒音の音圧レベルは到来してくる試験雑音のそれより少なくとも6 dB以上低くなっている必要がある。

## § 5. まとめ

2室間の遮音の問題において、室相互の窓を経由する側路伝搬音を定量的に把握する実験方法を提案するとともに、集合住宅に適用した事例を示した。

この方法を導びくにあたって設けた仮定に関してはいくつかの問題点はあるが、次の点において有用性があると



図—8.2 受音室内音圧レベルの偏差

考える。

1) 従来、側路伝搬音の影響については勘に頼り、漠然とした判断がなされてきたが、これを客観的に評価できるようになったこと。

2) 実験は通常の遮音測定に使用している測定機材で実施できるとともに、実験に要する労力も少なく、側路伝搬音量の算出も簡単であること。

3) 側路伝搬音量のみでなく、付録として窓の開閉差による遮音性能と境界壁・境界床の遮音性能も知ることができる。

また、調査事例により、

1) 側路伝搬音が室内遮音性能に及ぼす影響は、ふだんわれわれが感じている程には大きくないこと、

2) バルコニーのような障壁が側路伝搬音の低減に有効であること、  
が明らかになった。

さらに、この方法は側路伝搬性状の研究の一助となしうるので、今後の実験の集積によってバルコニーのような障壁の実態に則した音の遮へい効果や、窓の遮音性状などを知ることでもできよう。

この方法の適用対象としては扉→廊下→扉や集合住宅の階段室における扉→階段室→扉などの問題があげられ、応用範囲はかなり広いものと思われる。

今後、この実験方法をいろいろな事例に適用し、有益な設計資料を集積したい。

## <参考文献>

- 1) 久保田、田原：「拡散音場開口からの音の放射について」清水建設所報 Vol. 20, 1973. 4
- 2) 中村俊一：「団地建物の音響的性質」小林理研報告 No. 16, 1966