

## 小開口の測定方法

### Method for Measurements of Sound Insulation of Small Building Elements

村石 喜一 (Yoshikazu Muraishi)

大成建設技術研究所 (Technology Research Center, Taisei Corporation)

子安 勝 (Masaru Koyasu)

音響工学研究所 (Acoustical Engineering Laboratory)

#### まえがき

住宅などの建物の外周壁には、各種の換気扇や自然換気用の小開口が取り付けられている。これらの開口は、たとえ面積は小さくても音響透過率が大きいため、外周壁全体の遮音性能を大きく低下させる原因となることがある。

これら小開口の寸法や取り付けられる壁の厚さは、音の波長と同程度あるいはそれ以下となるので、これを通しての音響透過現象は非常に複雑になる。そのために、外周壁の総合的な遮音性能の予測を行うときに、小開口の音響透過率を簡単に1とする（音響透過損失を 0dB とする）ことは、大きな誤差の要因になる可能性をもっている。

こうした小開口の遮音性能の測定方法や表示方法については、これまで規格などの形での統一が行われていないために、換気口や小窓など小形建築部品の性能表示や実際の遮音設計などにあたって、多くの混乱がみられていた。

ここでは、小開口の遮音性能の測定及び表示方法について、我が国で行われてきた基礎的な考察ならびに実験的検討など<sup>1),2)</sup>を中心にして整理するとともに、海外における標準化の動向などを紹介しておくことにする。

#### 1. 測定方法の考え方

壁面の一部を構成する小面積開口の遮音性能を測定する方法には、次の二つの方法が考えられる。

##### 1.1 残響室 残響室法

図1に示すように、二つの残響室間の隔壁に面積  $S$  の開口がある場合、隔壁全体の総合透過率  $\bar{\tau}$  は次式で与え

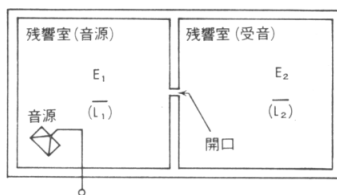


図1 残響室 残響室法による小開口の透過損失測定

られる。

$$\bar{\tau}S_0 = \tau_0(S_0 - S) + \tau \times S \quad \dots\dots (1)$$

ただし、 $S_0$  : 隔壁全体の面積 ( $m^2$ )  
 $\tau_0$  : 隔壁の開口以外の部分の音響透過率  
 $\tau$  : 開口部の音響透過率

したがって、開口部の音響透過率及び音響透過損失は、それぞれ(2) ,(3)式で表される。

$$\tau = (\bar{\tau} - \tau_0) \frac{S_0}{S} + \tau_0 \quad \dots\dots (2)$$

$$TL = -10 \log_{10} \left\{ \left( 10^{-\bar{TL}/10} - 10^{-TL_0/10} \right) \frac{S_0}{S} + 10^{-TL_0/10} \right\} \quad \dots\dots (3)$$

ただし、 $\bar{TL}$  : 隔壁全体の総合音響透過損失 (dB)  
 $TL_0$  : 開口部以外の隔壁部分の音響透過損失 (dB)  
 $TL$  : 開口部の音響透過損失 (dB)

とくに開口部の面積が非常に小さい ( $S \ll S_0$ ) 場合には、(3)式は近似的に次式となる。

$$TL = -10 \log_{10} \left\{ \left( 10^{-\bar{TL}/10} - 10^{-TL_0/10} \right) \frac{S_0}{S} \right\} \quad \dots (4)$$

すなわち、開口部のない状態の隔壁の音響透過損失と、その隔壁に開口部を設けた状態の隔壁の総合透過損失とをそれぞれ測定することにより、(3)又は(4)式から開口部の音響透過損失が求められる。

ただしこの方法では、小開口の音響透過率が小さくなる低周波数域において、相対的に隔壁を通しての透過音の割合が大きくなり、 $TL_0$  と  $TL$  との差が小さくなって、(3)または(4)式による音響透過損失の算出誤差が大きくなる可能性がある。

##### 1.2 音響インテンシティ測定方法の応用

一般の建築材料などの音響透過損失の測定に対して、最近実用化が急速に進んでいる音響インテンシティ測定方法を適用した例が報告されるようになってきている<sup>3)</sup>。ここで対象にしている小面積開口に対して音響インテンシティ測定方法を適用すれば、原理的に開口の取り付けられている隔壁を透過する音の影響を受けないで、開口部

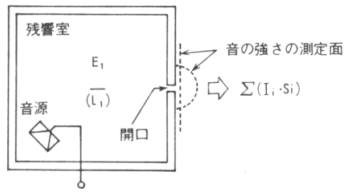


図2 音響インテンシティ計測法による小開口の透過損失測定

を透過する音響パワーを直接に測定することができる。そのため、1.1に示した在来法よりも精度のよい音響透過損失を測定できることが期待される。

この場合には、図2に示すように、残響室の一つの壁面に測定対象とする小開口を取り付け、その残響室内部に置いた音源からパワー一定の音を放射する。このとき、外部で開口を取り囲む閉曲面上の音の強さを測定すれば、開口部を透過する全音響パワー  $P$  は、次式から求められる。

$$P = \iint_S I_n dS \approx \sum (I_i \cdot S_i) \quad \dots\dots (5)$$

また、音源の設置されている残響室内の音響エネルギー密度を  $E_1$  とすると、小開口部を透過する音響パワーは、次式で表される。

$$P = \frac{cE_1}{4} \tau S \quad \dots\dots (6)$$

したがって小開口の透過率及び透過損失は、

$$\tau = \frac{4 \sum (I_i \cdot S_i)}{cE_1 S} \quad \dots\dots (7)$$

$$TL = \bar{L}_1 - 6 + 10 \log_{10} S - 10 \log_{10} \left\{ \sum (10^{L_i/10} \cdot S_i) \right\} \quad \dots\dots (8)$$

となる。ただし、

- $\bar{L}_1$ : 残響室内の平均音圧レベル (dB)
- $L_i$ : 測定閉曲面上の  $i$  番目の分割面上の音の強さのレベル (dB)

## 2. 小面積開口部の遮音性能表示方法の考え方

前章に示した方法で小面積開口部の音響透過損失を算出するときには、開口部の面積  $S$  の値が必要である。建築部品として換気開口などを考えた場合、その形状・寸法がまちまちであるために、ここの開口面積についての音響透過損失で性能を表示したものでは、混乱が生じる恐れがあり、こうした小開口をもった壁の総合透過損失を予測する場合にも不便である。

特に円孔など簡単な形状の開口についての問題は少ないが、実際の換気口や換気扇などの開口部の場合には、開口面積の定義そのものがむずかしいことが多い。

そこで、こうした小開口の遮音性能を統一的に表示する方法として、ある一定の基準面積の等価的な透過面を想定し、その面の透過率又は透過損失を適用する方法が

考えられる。この場合の基準面積 ( $S_{ref}$ ) としては、小開口を含めて複数の部材で構成された外周壁の総合透過損失を計算する場合などの便宜から、 $S_{ref} = 1\text{m}^2$  とすることが考えられる。この考え方は、あとで述べる北欧規格 (NORD TEST) でも採用されている<sup>4)</sup>。

この方法で小開口の遮音性能を表示することにしたときには、(3)式及び(8)式は次のようになる。このように表示された音響透過損失を、ここでは規準化音響透過損失 ( $TL_n$ ) と呼ぶことにする。

$$TL_n = -10 \log_{10} \left\{ (10^{-\bar{TL}/10} - 10^{-TL_0/10}) S_0 + 10^{-TL_0/10} \right\} \quad \dots\dots (9)$$

$$TL_n = \bar{L}_1 - 6 - 10 \log_{10} \left\{ \sum (10^{L_i/10} \cdot S_i) \right\} \quad \dots\dots (10)$$

## 3. 小面積開口の遮音性能測定例

前2章に示した方法で測定・表示した小面積開口の遮音性能の例を示して、データの特徴を解説しておく。

### 3.1 円孔の遮音性能

最も簡単な小面積開口として、円孔の音響透過損失測定結果を図3に示す。この例は、2つの残響室 (大成技研、容積各  $220\text{m}^3$ ) の間の隔壁 (コンクリート  $150\text{mm}$  厚) 中央に設けた円孔 (直径  $75, 100, 150\text{mm}$ ) についての結果で、円孔のない状態の音響透過損失(A)とそれぞれの円孔を設けた状態の音響透過損失(B)とを測定し、その

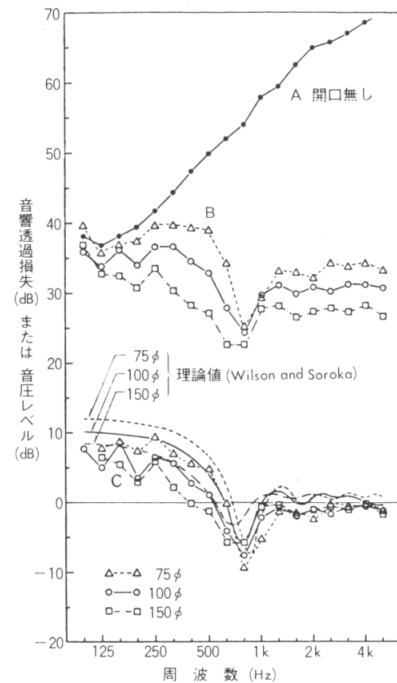


図3 円孔の音響透過損失測定結果

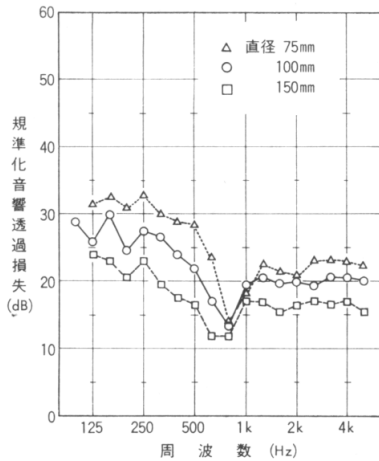


図4 視準化音響透過損失で表現した円孔の遮音性能

結果から(3)式によって円孔の音響透過損失(c)を算出したものである。

図3で周波数1kHz以上では、円孔の音響透過損失は0dB付近(透過率~1)であり、円孔の実際の開口面積部分が透過率1であるとしてよいが、それ以下の周波数では音響透過損失がほぼ±10dBの範囲にあり、単純な取り扱いができないことを示している。なお、図3で理論値として示されているのは、WilsonとSorokaが垂直入射の場合について与えている近似計算式<sup>5)</sup>によって求めたもので、実験の傾向とよく一致している。

次に図3の(A),(B)のデータから、(9)式によって規準化音響透過損失を算出し図4に示した。この場合の実際の開口面積は、基準面積1m<sup>2</sup>よりもはるかに小さいので、規準化音響透過損失としては、かなり大きな値として表示されている。

前記図3,4の結果は、円孔が隔壁の中央に設けられている場合のものである。実際に集合住宅などの外周壁に設けられる給排気口などは、床又は天井の近くにあることが多い。通常の透過損失測定用残響室で、こうした条件を任意に設定して実験を行うのは簡単でない。そのため、前記NORD TESTでは図5に示す形状の反射性のパネル(付加パネル)を、隔壁の中央に設けた開口の近くに取り付けて、実際の状態に近似した条件で実験を行うことを規定している。

図4の実験のうち、直径100mmの円孔の場合について、図5の付加パネルbを取り付け、円孔とパネルとの距離をいくつかに変えたときの遮音性能を、付加パネルのない場合の結果と比較して図6に示した。円孔が室の縁や隅に近い位置にあるときの遮音性能は、中・低音域でかなり大きな変化を示している。これは室の縁や隅における音圧の変化、開口の放射インピーダンスの変化に

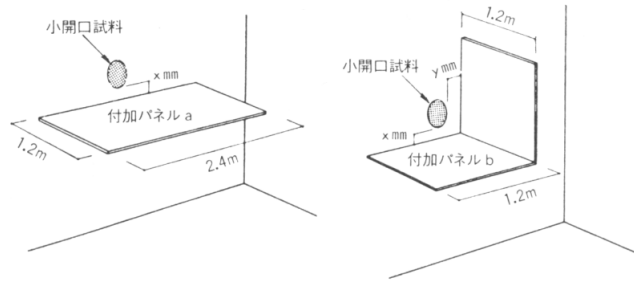


図5 付加パネルの形状

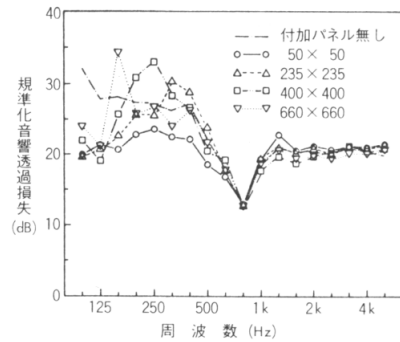


図6 円孔(100mmf)に付加パネルを取付けた状態の遮音性能

よるものであって、測定や遮音設計のときには、これに注意することが必要である。

### 3.2 換気用開口

各種の換気用開口について、残響室-残響室法による遮音性能測定結果の例を図7及び図8に示す。図7には、一般に用いられているルーバ、レジスタを直径100mmの円孔に取り付けた場合の遮音性能、図8には、防音型と称される換気装置の遮音性能の測定結果を示す。これらの結果は、2章で述べた規準化音響透過損失の形で整理した。

## 4. 遮音設計への応用 - 子開口をもった壁の総合音響透過損失の計算方法

遮音性能が規準化音響透過損失で表示された小開口をもった建物の外壁や間仕切壁の総合音響透過損失は、次式によって求められる。

$$\overline{TL} = 10 \log_{10} \frac{S_0}{S_0 \cdot 10^{-\overline{TL}/10} + 10^{-TL_n/10}} \quad \dots\dots(11)$$

ただし、 $\overline{TL}$  : 壁全体の総合音響透過損失 (dB)  
 $TL$  : 壁(開口以外)の音響透過損失 (dB)  
 $TL_n$  : 小開口の規準化音響透過損失 (dB)  
 $S_0$  : 壁全体の面積 (m<sup>2</sup>)

(11)式は、小開口の面積に比べて、壁全体の面積が十分大きいとしたとき(通常はこう考えてよい)に適用できるものである。(11)式の関係を計算図として表したのが図9である。これから、小開口がある場合とない場合との

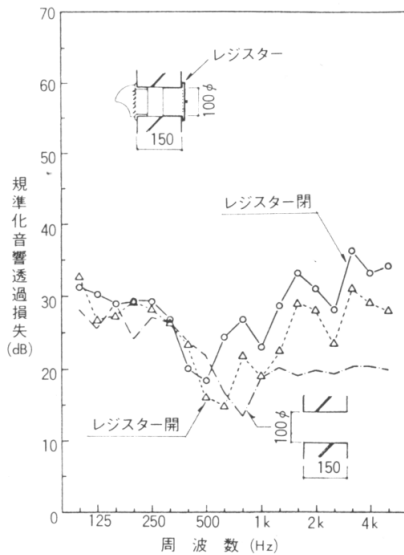


図7 換気口の遮音性能測定結果(1)

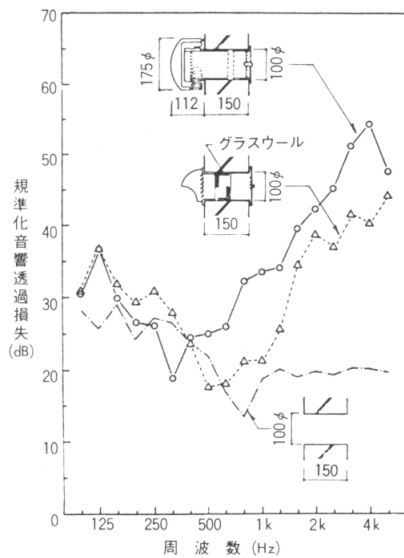


図8 換気口の遮音性能測定結果(2)

壁の総合音響透過損失の差を求め、小開口の影響を検討することができる。

なお、壁に2つ以上の小開口があり、それぞれが互いに1.2m以上離れているときには、(11)式の右辺分母の第2項を次のように置きえて計算する。

$$10^{-TL_{n,1}/10} + 10^{-TL_{n,2}/10} + \dots + 10^{-TL_{n,m}/10}$$

ただし、 $TL_{n,1}, TL_{n,2}, \dots, TL_{n,m}$ :  $m$ 個の小開口のそれぞれの標準化音響透過損失 (dB)

また、小開口以外の壁部分が2種類以上の部材で構成されているときには、まず小開口以外の部分の総合透過損失を求めて、これを(11)式の  $TL$  とすればよい。

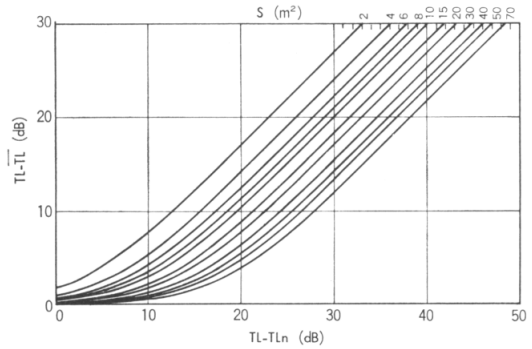


図9 小型建築部品が取り付けられていない状態と、取り付けられた状態との総合音響透過損失の差の計算図

## 5. 測定方法標準化の動向

### 5.1 国内での動向

集合住宅などの遮音性能に対する関心が高まるとともに、壁の遮音上の弱点として指摘される機会が多い給・排気口、小窓、換気装置などの正確な遮音性能を要求されることが多くなっている。特に防音型換気装置という名称の各種製品が市販されるようになって、その性能を的確に評価することが重要になっている。

そこで、日本建築学会環境工学委員会の音環境分科会(主査・安岡正人 東大教授)音響測定法調査研究小委員会(主査・橋 秀樹 東大生研助教授)では、昭和59年度の小委員会活動の一つとして、小開口を含んだ小型建築部品の遮音性能測定方法について、規格案の作成を行うこととした。そのため、前記小委員会の中にワーキンググループ(主査・坂本守正 日大生産工学部教授)が組織され、原案作成が行われた。

この原案は、「小型建築部品の遮音性能測定方法」の名称で、基本的にJISと同様の構成になっている。その主要内容は次の通りである。

#### (1) 適用範囲

対象とする小型建築部品は、小窓、給・排気口、換気装置(換気扇、送風機、減音装置、熱交換器、空気浄化装置などからなる)及び電気ケーブルシステムなど壁を貫通して取り付けられる部品で、断面積が 程度以下のものとしている。

#### (2) 測定装置・測定方法

ここでは、1.1で述べた「残響室 - 残響室法」によって音響透過損失を測定する方法を規定している。そのため、測定装置・測定方法の主要な事項は、JIS A 1416(実験室における音響透過損失の測定方法)に準じて規定されている。

#### (3) 表示方法

遮音性能の表示には、2章で述べた規準化音響透過損失を使うことになっている。

#### (4) 附属書

次の2つの附属書がつけられている。

小型建築部品が取り付けられた壁の総合音響透過損失の計算方法

壁の縁や隅の近くに取り付けられる小型建築部品の測定条件

#### (5) 参考規格 - 音響インテンシティー計算法による小型建築部品の遮音性能の測定方法

(2)で述べたように、この原案では在来の「残響室 - 残響室法」による測定方法が規定されているので、もう一つの測定方法として1.2に示した音響インテンシティー測定方法を適用した方法が、参考規格として添付されている。

この原案が作成された昭和59年以降、一般的な音響インテンシティー測定方法・計測器の実用化は、急速に進んでいる。特にここで対象にする小開口からの音の透過のように、SN比の確保がむずかしい計測の場合には、音響インテンシティー法の特長が活用される場であり、将来はこれが中心的な役割をする方法になると期待される。

この原案については、作成後かなりの時日が経過しているが、標準化のための次のステップへの積極的な動きはみられない。次節でのべる国際的な動向とも関連して、早い時期に何らかの形で規格化が進められることを期待している。

#### 5.2 国際的動向

小開口を含めた小型建築部品の遮音性能測定方法としては、すでに2章で述べたように、下記の名称の北欧規格がつけられている。

NORD TEST METHOD NT ACOU 037

"Small building elements: Sound insulation" (1982-03)

NORD TEST METHOD というのは、北欧5ヶ国（デンマーク、フィンランド、アイスランド、ノルウェ

ー、スウェーデン）の共通規格として作成されているものであるが、積極的に各種測定方法規格の作成が進められており、注目される規格体系を構成している。

上記 NT ACOU 037 では、小型建築部品の遮音性能の測定・表示方法として、本文で紹介した在来法（残響室 - 残響室法）と基本的に同様な方法が規定されている。ただ2章で規定されている規準化音響透過損失に相当する用語は、ISO 規格における室間レベル差の測定結果を受音室の残響時間で標準化した値と混同されやすいので、"Unit insulation" という用語を使うことになっている。

1980年ウィーンで開催された ISO/TC 43/SC 2 の総会において、スウェーデンから上記 NORD TEST METHOD をベースにする国際規格作成の提案が行われ、TC 43/SC 2 のなかにワーキンググループ WG 13（主査・H.Jonasson）が設置されて、原案作成の作業が進められてきた。

この国際規格案は、基本的には NORD TEST METHOD と同様な内容であるが、1987年11月にパリで開催された WG 会議で、ドイツから基準面積を からに変更する提案が行われ、これを含めて ISO/DP 140/10（建築物及び建築部材の遮音測定 - 第10部：小型建築部品の空気音遮音測定）として登録し、各国のコメントを求めることが決定された。この規準面積の変更は、4章で述べた遮音設計のデータとしては不便であり、今後再考を求めてゆくことが必要であると考えられる。

〔参考文献〕

- 1) 村石章一・大川平一郎・橋 秀樹・子安 勝：小面積開口の遮音性能測定表示方法に関する検討，騒音制御 Vol.9, No.4 (1985) pp.46 ~ 51
- 2) 十倉 毅・森本三男：試験体寸法が残響室の既設開口より小さい場合の音響透過損失，日本建築総合試験所報告 Vol.5 (1980) pp.20 ~ 24
- 3) 矢野博夫・橋 秀樹：建築音響におけるインテンシティー計測法の応用，日本音響学会誌 43 (1987) pp.966 ~ 974
- 4) NORD TEST METHOD NT ACOU 037 "Small Building elements: Sound insulation" 1982-03
- 5) G.P.Wilson and W.W.Soroka: Approximation to the Diffraction of Sound by a Circular Aperture in a Rigid Wall of Finite Thickness, J.Acoust.Soc.Am. 37 (1965) pp.286 ~ 297