

小面積開口の庶音性能測定・表示方法 に関する検討

村石喜一・大川平一郎・橋 秀樹・子安 勝
(大成建設技術研究所, 東京大学生産技術研究所, 音響工学研究所)

小面積開口の庶音性能測定・表示方法 に関する検討

村石喜一 ・ 大川平一郎 ・ 橋 秀樹 ・ 子安 勝
(大成建設技術研究所, 東京大学生産技術研究所, 音響工学研究所)

1. まえがき

建物の外周壁に取り付けられる各種の換気用の開口などは, その寸法が音の波長と同等あるいはそれ以下となるので, 極めて複雑な庶音特性を示す。また, その面積は小さくとも外周壁全体の庶音性能を大きく低下させる原因ともなる。したがって, 外周壁の庶音性能を予測あるいは評価を行うためには, これらの小開口を持つ建築部品の庶音性能を明らかにしておく必要がある。しかし現在のところ, 測定方法に限っても統一的方法はない。

そこで筆者等は, 比較的開口面積の小さい建築部品の庶音性能の測定および表示方法に関して, 基礎的な考察ならびに実験的検討を行った^{1), 2)}。

2. 測定法に関する考察

壁面の一部に含まれた小開口(試料)の庶音性能を測定する方法としては, 1) 残響室 - 残響室法, 2) 音響インテンシティ計測法の応用の二つが考えられる。

2.1 残響室 - 残響室法

図 - 1 に示すように, 2室の残響室間の隔壁(面積 S_0) に小開口(面積 S) がある場合, 隔壁全体の総合音響透過率 $\bar{\tau}$ は次式の関係で表される。

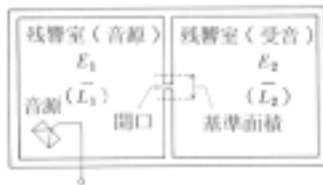


図 - 1 残響室 - 残響室法による小開口の透過損失測定

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

ただし, τ_0 : 試料以外の隔壁部分の音響透過率

τ : 試料の音響透過率

したがって, 試料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。

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

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

ただし, \bar{TL} : 隔壁全体の総合音響透過損失

TL_0 : 試料以外の隔壁部分の音響透過損失

TL : 試料の音響透過損失

すなわち, 試料を含まない状態と含んだ状態の隔壁の音響透過損失をそれぞれ測定することにより, (3)式から試料の音響透過損失が求められる。

ただし, 以上の方法による場合の問題としては, 一般に試料の音響透過率が小さくなる低音域において, 相対的に隔壁を通しての透過音の割合が大きくなるため, TL_0 と \bar{TL} の差が小さくなり, (3)式による計算の精度が悪くなることである。

2.2 音響インテンシティ計測法の応用

試料を透過する音響パワーを直接測定する方法として, 音響インテンシティ計測法が応用できる。(この場合には1室の残響室だけで測定が可能である。) すなわち, 図 - 2 に示すように, 残響室の一つの壁面に試料を取付け, その残響室の内部でパワー一定の音を放射する。そのときの試料を透過する全音響パワー P は, 試料の外部を取囲む閉曲面上における音の強さを測定することにより(4)式で与えられる。

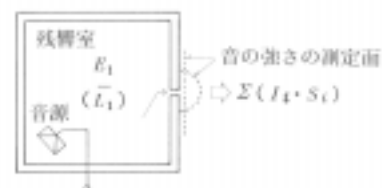


図 - 2 音響インテンシティ計測法による小開口の透過損失測定

* Sound Transmission Characteristics of Small Apertures Situated in the Wall of Buildings
** Yoshikazu Muraishi, Heiichiro Ohkawa (Technical Research Institute, Taisei Corporation)
*** Hideki Tachibana (Institute of Industrial Science, University Tokyo)
**** Masaru Koyasu (Acoustical Engineering Laboratory)

$$P = \iint_S I_n dS \sum (I_i \cdot S_i) \quad (4)$$

また、音源室内を拡散音場と仮定して、その音響エネルギー密度を E_1 とすると、試料(面積 S)を透過する音響パワーは、(5)式で表される。

$$P = \frac{cE_1}{4} \tau S \quad (5)$$

したがって、試料の音響透過率及び音響透過損失は、それぞれ(6)、(7)式で与えられる。

$$\tau = \frac{4 \sum (I_i \cdot S_i)}{cE_1 S} \quad (6)$$

$$TL = \bar{L}_1 - 6 + 10 \log_{10} S - 10 \log_{10} \left\{ \sum (10^{L_{i1}/10} \cdot S_i) \right\} \quad (7)$$

ただし、 \bar{L}_1 : 残響室内の平均尾夏レベル (音響エネルギー密度レベル)

L_{i1} : 測定閉曲面上の 番目の分割面上の測定点における音の強さのレベル

3. 小開口の庶音性能表示方法の提案

建築部品として換気用開口などの小開口を考えた場合、それらの形状・寸法がまちまちであるため、(3)式あるいは(7)式で表わされる透過損失をそのまま性能値として表示したのでは相互の性能比較に問題が生じる⁴⁾。また、外周壁にそれらが組込まれたときの総合的な庶音性能を予測する場合にも不便である。

そこで、このような開口面積が個々に異なる、あるいは開口面積の定義そのものが難しい試料の庶音性能を統一的に表わす方法として、ある一定の基準面積 (S_{ref}) の等価的な音響透過面を想定し、その透過面の透過率 (τ_n) あるいは透過損失 (TL_n) によって庶音性能を表示する方法が考えられる。その場合、基準面積としては、換気開口を含む複数の部材からなる外周壁全体の総合透過損失を計算する場合等の便宜を考えて、 $S_{ref} = 1 \text{ m}^2$ とするのが適当であろう。

以上のように考えれば、(3)式及び(7)式は(9)、(11)式のように表わされる。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と呼ぶことにする。

$$\tau_n = (\bar{\tau} - \tau_0) S_0 + \tau_0 \quad (8)$$

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

$$\tau_n = \frac{4 \sum (I_i \cdot S_i)}{cE_1} \quad (10)$$

$$TL_n = \bar{L} - 6 - 10 \log_{10} \left\{ \sum (10^{L_{i1}/10} \cdot S_i) \right\} \quad (11)$$

なお、上記の定義による規準化音響透過損失を持つ試料が取付けられた壁全体の総合透過損失は、壁全体の面積に比べて一般に試料の開口面積が十分小

さいので次式で表わされる。

$$\overline{TL} = 10 \log_{10} \frac{S}{S \cdot 10^{-TL_0/10} + 10^{-TL_n/10}} \quad (12)$$

4. 実験的検討(円孔を通しての音の透過)

4.1 模型実験による検討

小開口の庶音性能の測定・表示方法に関する検討として、1/10縮尺の残響室(容積 0.2 m^3 , 15mm厚アクリル製, 6面のうち1面が開口)を1ないし2室用い、隔壁(15mm厚塩化ビニル板)にあげた直径10mmの円孔を世押し手の音の透過について、以下にのべるような実験を行った。

(1) 残響室 - 残響室法による測定

図-3に示すように、模型残響室2室を用いて残響室 - 残響室法により円孔の透過損失を測定した。すなわち、隔壁に円孔の無い状態と円孔をあけた状態の透過損失を JIS A 1416 「実験室における音響透過損失測定方法」に準じて測定した。この場合、測定点は音源室内、受音室内ともに10点ずつとした。

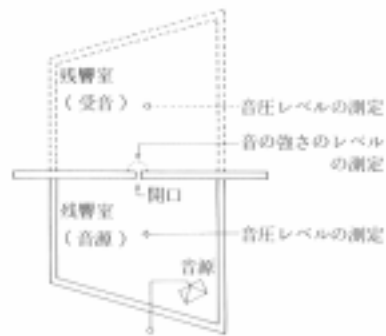


図-3 模型実験による検討

その結果を図-4に示す。同図でAは円孔の無い状態、すなわち壁壁の透過損失、Bは円孔を含む壁壁の総合透過損失を示す。

なお、B'はBの結果について円孔のみから音が透過するものとみなしてその面積に対する見掛上の透過損失を計算した結果である。また、CはAとBの結果から(3)式を用いて、円孔以外の部分からの透過を補正した形での透過損失の計算結果である。

(2) 音響インテンシティ計測法の応用による測定

模型残響室を1室用い、図-5に示すように隔壁の中央に開けた直径10mmの円孔を中心として隔壁(透過側)に垂直な半径50mmの半円上に15°おきに測定点を設定し、半径方向の音の強さのレベルを求めた。各測定点での音の強さに分割面積の重み付けをして、全透過パワーを求め、(7)式によって円孔の透過損失を計算した。その結果を図-4にDとして示す。図-4に示す鎖線は、Wilson and Sorokaによる円孔の透過損失の近似式⁵⁾による計算値である。

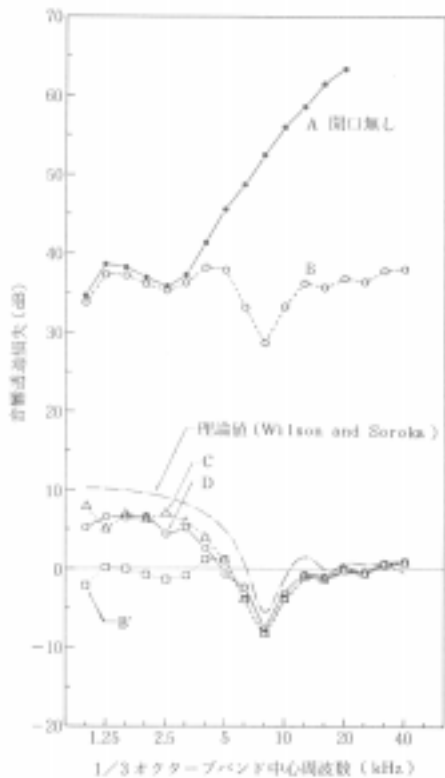


図 - 4 模型実験による円孔 (10mmφ) の吸音性能

二つの測定方法による検討結果をまとめると、残響室 - 残響室法による結果(C)と音響インテンシティ計測法による結果(D)は、全周波数帯域にわたってほぼ一致している。なお、残響室 - 残響室法によった場合、AとBの差が塩化ビニル板のコインシデンス効果の生じる 3.15kHz 以下の周波数帯域で極めて小さくなっており、(3)式の計算の精度は低い。(実物の測定でも低音域での測定限界が生じることに注意する必要がある。)

測定値と Wilson and Soroka の理論値とを比較すると、C及びDの結果は、周波数特性としてはほぼ一致しているが、透過損失値としては両者ともに理論値より数 dB 小さめとなっている。これは、この理論式が垂直入射の条件で導かれたものであり、文献5)でも理論値がランダム入射による実測結果よりも大きめとなることが示されている。

なお、B'の結果は、4kHz以下の周波数帯域で、Dあるいは理論値よりもかなり小さめとなっている。これは円孔以外の隔壁を通しての透過も円孔からの透過とみなしているためである。

(3) 円孔の位置の影響

(1),(2)では一つの円孔を隔壁の中央に設けた場合を検討したが、集合住宅等の外周壁に設けられる冷暖房機の給排気用、または熱源との接続配管用の開

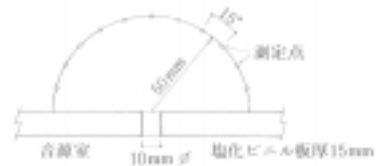


図 - 5 音の強さの測定点



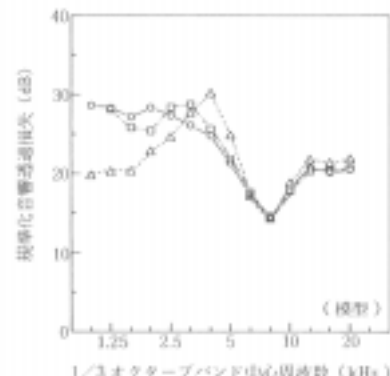
図 - 6 縁と隅



図 - 7 模型実験における円孔 (10mmφ) の各位置説明図

口などは、一般に床または天井ないし外周壁と直交する壁などの近くに設けられることが多い。そこで、このような場合における吸音性能の変化を検討した。なお、ここでは図 - 6 に示すように壁と壁、あるいは壁と床 (天井) が接する線を『縁』、壁と壁さらに床 (天井) が接する流転を『隅』と呼ぶ。

縮尺模型実験では隔壁の加工が比較的容易であるため、図 - 7 に示す位置に開口を設け、それぞれの開口の吸音性能 (TL_n) を残響室 - 残響室法によって求めた。開口の位置によって中央部、縁の近く及び隅の近くに分類しそれぞれの位置毎に吸音性能を平均した結果を比較して図 - 8 に示す。縁及び隅の近くに設けた開口の吸音性能は、中央部に設けた



1/3 オクターブバンド中心周波数 (kHz)
 - 中央部の円孔 (M1, M2, M3, M4) の平均
 --- 縁に近い円孔 (E1, E2, E3) の平均
 -.- 隅に近い円孔 (C1, C2, C3, C4, C5) の平均

図 - 8 隅 縁に設けた円孔 (10mmφ) 吸音性能

場合と比べて中、低音域で異なっている。特に隅の近くに設けた開口の遮音性能は、中央部付近に設けた場合に比べて、2.5 kHz 以下の帯域で 5 dB 以上小さめ、4 k, 5 kHz では逆に 5 dB 程度大きめとなっている。

すなわち、この結果は、小開口の遮音性能はそれが取付けられる位置によって値が異なることを示している。したがって、試料が実際に取付けられる条件に合わせて測定すべきであるといえる。

しかし、実物の測定では、残響室の縁や隅の近くに試料を設置することは容易ではない。その条件を近似させるために文献6)で提案している図-9の下段に示す形状の反射性のパネル(以下「付加パネルb」と呼ぶ)を隔壁に密着して取付ける方法について検討した。

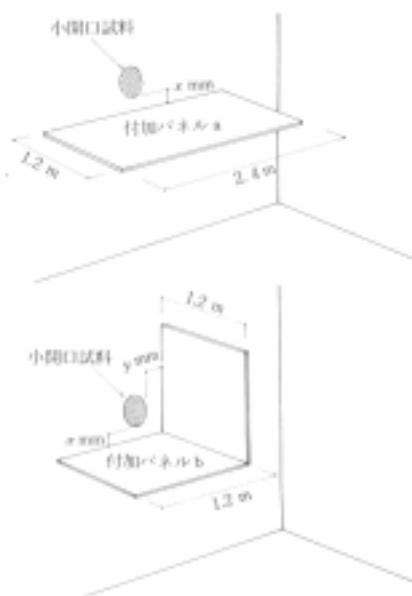
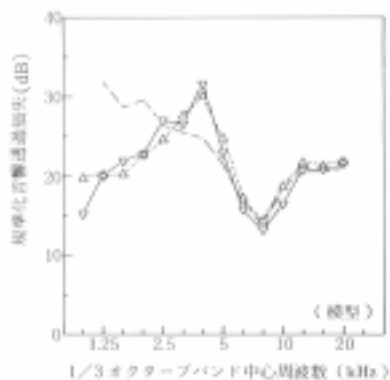


図-9 付加パネルの形状



- M4
- △ - △ M4 (付加パネルを取付けた状態)
- 隅に近い円孔 (C1, C2, C3, C4, C5) の平均

図-10 隅に設けた円孔(10mmφ)の遮音性能と付加パネルの効果

付加パネルはアクリル板で約 1/10 の大きさに作成し、図-7に示す開口位置 M4 の中心から 30 mm 離れた位置に設置した。この場合の測定結果を図-10に示すが、隅の近くに設けた開口の遮音性能とほぼ一致した。

4.2 実物実験による検討

(1) 残響室 - 残響室法による測定

実物実験による円孔の遮音性能の検討は、2室の残響室(透過損失測定用、容積 220m³)を用いて行った。2室の残響室の間は中央部に 1m×1m の開口を残して 200 mm 厚のコンクリート壁で塞いだ。その開口には、中央に一つ円孔(直径 75 mm, 100 mm, または 150 mm)を設けた3種の 150 mm 厚コンクリートの板、及び円孔の無い 150 mm 厚コンクリートの板の計4種をそれぞれはめこんで塞ぎ、隔壁とした。

それぞれの隔壁の透過損失を JIS A 1416 によって求め、円孔の無い状態とそれぞれの円孔を設けた状態についての結果から(3)式によって円孔部分の透過損失を計算した。その結果を図-11のCに示す。

直径 100 mm の円孔についての結果は、模型実験の 10 mm の場合とよく対応している。また直径 75 mm, 150 mm の場合の理論値(Wilson and Soroka)との対応も 100 mm の場合とほぼ同様となっている。

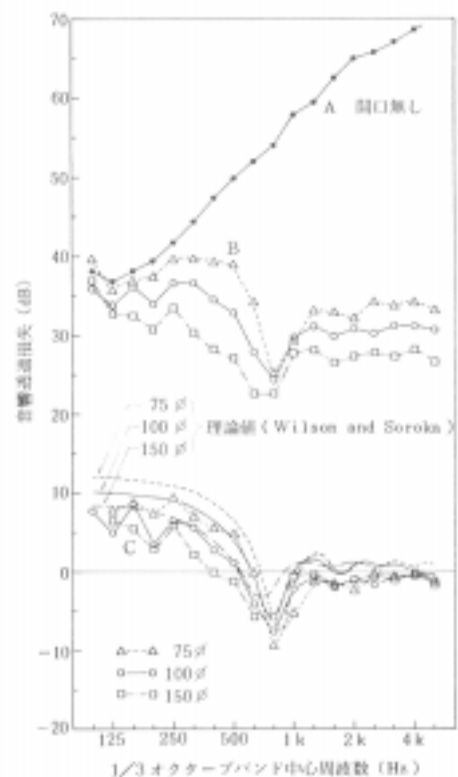


図-11 実物実験による円孔の遮音性能

(2) 試料の取付け位置の影響

模型実験の結果、隔壁の中央部に設けた試料の近くに付加パネルを設置することにより、試料が隅に近い位置に設けられた条件を近似できることが分かった。この点について実物実験によっても検討した。実物実験で用いた付加パネルは、図 - 9 に示す2種の形状のもので、12 mm厚合板(面密度約7.2 kg/m²)を用いて製作した。

a. 縁の近くに取付けられた開口の庶音性能

直径 100 mm の円孔を持つ隔壁について、付加パネル a を表 - 1 に示す各一に設置し、庶音性能

表 - 1 付加パネル取付条件

試料開口	付加パネル	円孔とパネルの距離		取付条件
		x mm	y mm	
円孔 (100mm φ)	a	50 235 660	- - -	受音側 受音側 受音側
	b	50×50 235×235 235×235 400×400 660×660		受音側 受音側 音源側 音源・受音側 受音側 受音側

(TL_n) を測定した。それらの結果を付加パネルの無い場合の結果と比較して図 - 12 に示す。これによれば、付加パネル a と円孔との距離の違いにより低音域の庶音性能がやや異なる。また、付加パネルがある場合と無い場合の庶音性能の違いは、低音域で認められており、模型実験による中央部の開口と縁の開口の庶音性能の違いと似た傾向である。

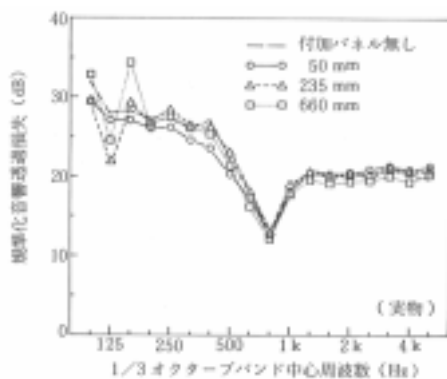


図 - 12 円孔(100mmφ)に付加パネル a を取付けた状態の庶音性能

b. 隅の近くに取付けられた開口の庶音性能

直径 100 mm の円孔を持つ隔壁について、付加パネル b を表 - 1 に示す位置に設置し 庶音性能(TL_n)

を測定した。

円孔の外周と付加パネル b の表面との距離 (x mm × y mm) を 50×50, 235×235, 400×400, 660×660 とした状態の庶音性能を、付加パネルの無い場合の結果と比較して図 - 13 に示す。円孔の近くに付加パネル b を設置した場合の庶音性能は、中、低音域でかなり異なる傾向を示している。

次に、付加パネル b を円孔との距離を 235×235

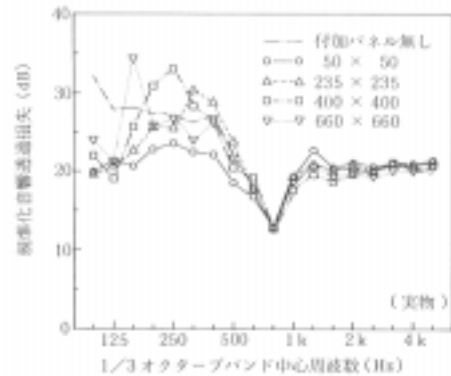


図 - 13 円孔(100mmφ)に付加パネル b を取付けた状態の庶音性能 - 1

とし、受音側のみに取付けた場合と音源側のみに取付けた場合、及び音源側と受音側の両方に向きと位置を一致させて取付けた3条件について庶音性能を測定した。その結果を比較して図 - 14 に示す。

付加パネル b を音源側のみに取付けた場合の 160 Hz を除くといずれも大きな違いはないが、音源側と受音側の両方に取付けた場合は、付加パネルの影響が片側のみに取付けた場合に比べ、やや大きい。

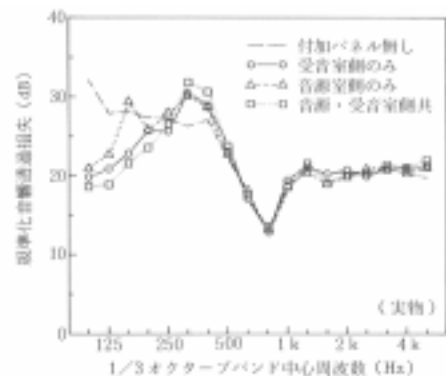


図 - 14 円孔(100mmφ)に付加パネル b を取付けた状態の庶音性能 - 2

5. 換気用開口の庶音性能の実測例

上記の実物残響室を用い、残響室 - 残響室法によって、各種の換気用開口の庶音性能の測定を行った。図 - 15 には一般に用いられているルーバ、レジスタ

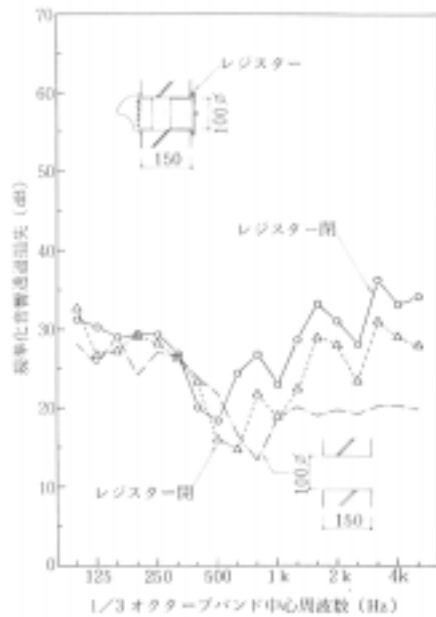


図 - 15 換気口の庶音性能測定結果 - 1

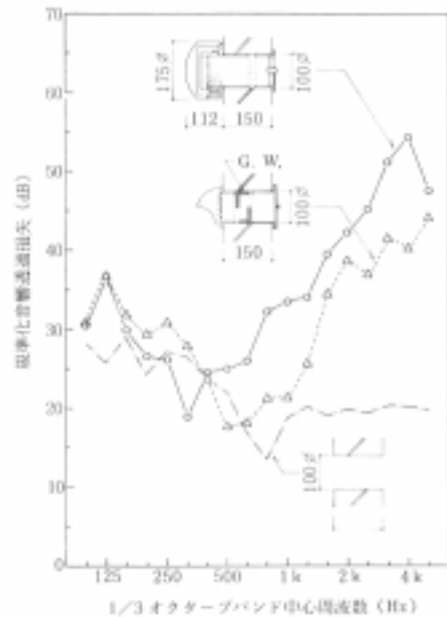


図 - 16 換気口の庶音性能測定結果 - 2

- を直径 100 mm の円孔に取付けた場合の庶音性能、図 - 16 には防音型と称される換気装置の庶音性能の測定結果を示す。これらの結果は、3 で述べた規準化音響透過損失 (TL_n) の形で整理した。

なお、160 Hz 以下の帯域では TL_0 と TL の差が 3 dB 以下となり、前述のとおり (9) 式による計算結果は、信頼性の低いことに注意しなければならない。

6. むすび

換気用開口や小窓などの建築部品の庶音性能を測定・表示する方法の統一が望まれており、今回そのために模型及び実物実験によって測定方法を検討した。その結果をまとめると以下のとおりである。

1) 残響室 - 残響室法と音響インテンシティ計測法による方法について模型実験で比較、検討した結果、両者による測定結果はよく一致した。

2) 円孔とそれに付加パネルを設置した残響室 - 残響室法による実物実験の結果は、模型実験の結果とよく一致した。

3) 円孔の庶音性能は、隔壁の中央に設けられた場合と、縁や隅に近い位置に設けられた場合を比較すると中、低音域で異なる。したがって、小開口を持つ試料は実際に設置される条件に合せて測定すべきである。

4) 隔壁の中央に設けた円孔の近くに I 型、L 型の反射製のパネルを取付けることにより、縁ま

たは隅に近い位置の場合の庶音性能に近似できることが分かった。

5) 残響室 - 残響室法による場合、低音域では開口を含まない状態と、含んだ状態の隔壁の透過損失の差が小さくなり、測定限界がある。

参考文献

- 1) 橋 秀樹, 子安 勝, 大川 平一郎: "小開口部の庶音性能の測定・表示方法", 日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集, (1983) pp. 237 - 240.
- 2) H. Ohkawa, H. Tachibana, M. Koyasu: "Sound Transmission Characteristics of Building Elements with Small Openings for Ventilation Purposes", INTER-NOISE '84(1984) pp. 603-606.
- 3) 矢野 博夫, 橋 秀樹, 小川 伯文: "庶音測定における Acoustic Intensity 計測法の応用", 建築環境工学論文集, Vol.5 (1983) pp. 73-78.
- 4) 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", General Building Research Corporation, Vol.5 (1980) pp. 20-24.
- 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. Vol.37 (1965) pp. 286-297.
- 6) NORDTEST NT ACOUS 037(1982-03)