

# 音響振動連成解析を用いた遮音性能測定法の現象解明

## Study on Mechanism of Measurement of Sound Insulation Performance

### by Vibro-Acoustical Analysis

学籍番号 096737

氏 名 安達 光平 (Adachi, Kouhei)

指導教員 佐久間 哲哉 准教授

#### 1. はじめに

**研究の背景** 建築部材の残響室法透過損失測定における影響要因として、ニッシェ効果が知られている。これは開口に試料を設置した際に、試料両側に音源室・受音室の壁厚分だけ生じるへこみが測定値に及ぼす影響を指す。関連研究として古くは実験的検討 [1]、近年では理論的・数値的検討 [2, 3] がなされているが、実測ベースでは把握が困難な入射条件との関係や周辺音場への影響等、詳細な現象解明には至っていない。

**研究の目的** ニッシェ寸法と透過損失値に及ぼす影響との関係について、音響振動連成解析を用い、入射角依存性も含めた検討により傾向を把握する。また遮音性能測定手法の一つであるインテンシティ法を数値解析上で再現し、ニッシェ設置が測定面を含む透過側音場に及ぼす影響について検討する。

#### 2. 解析手法

解析モデルを図 1 に示す。無限大剛バフル中の板試料四周を薄板で囲った解析モデルを想定する。入射側・透過側音場の各々に境界要素法 (BEM) を適用し、ニッシェに相当する薄板は厚さ 0 で剛な縮退境界とし、基本型と法線微分型の積分方程式を連立させる。板振動場には有限要素法 (FEM) を適用し、端部損失は周辺支持材の簡易モデル [4] により与える。音源は単位振幅平面波が天頂角  $\theta$ 、方位角  $\varphi$  で入射するものとし、各入射角で透過損失を算出する。解析対象とした板ガラス、シール材の物性値と寸法、ニッシェ深さを表 1~3 に示す。

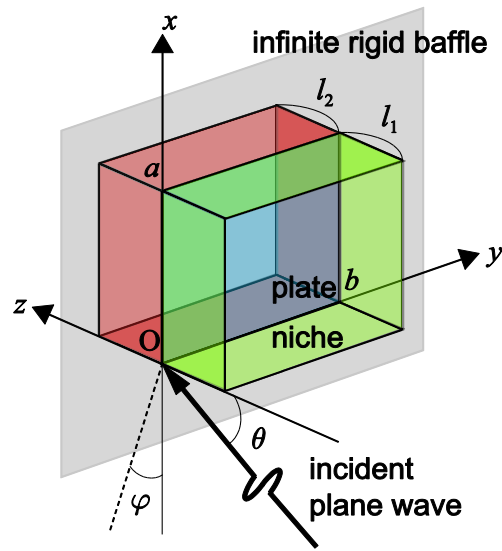


Fig. 1 Analysis model.

**Table 1** Properties of plate.

size:  $(a \text{ [m]}, b \text{ [m]}) = (0.9, 0.9), (1.5, 1.25)$ ;

thickness:  $h_p = 5, 10, 15 \text{ [mm]}$ ;

$\rho_p = 2500 \text{ [kg/m}^3\text{]}; \nu = 0.22$ ;

$E_p = 7.5 \times 10^{10} \text{ [N/m}^2\text{]}; \eta_p = 0.002$

**Table 2** Properties of a seal.

$d_s = 15 \text{ [mm]}; h_s = 5 \text{ [mm]}; E_s = 10^8 \text{ [N/m}^2\text{]};$

$\rho_s = 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}; \eta_s = 0.1, 0.5$

**Table 3** Depths of niches.

one side:  $l_1 = 0.05, 0.15, 0.3, 0.45 \text{ [m]}$ ;

$l_2 = 0 \text{ [m]}$

two sides:  $(l_1 \text{ [m]}, l_2 \text{ [m]}) = (0.15, 0.3),$

$(0.225, 0.225), (0.3, 0.15)$

### 3. 結果と考察

#### 3.1 ニッシェ効果の傾向

**片側ニッシェ** 図 2 に片側ニッシェ設置時のランダム入射透過損失の計算値を、ニッシェ無しの計算値、ランダム入射時の質量則、Sewell の有限板理論式 [5]、文献実測値 [6] と併せて示す（板寸法：小）。板厚に依らずニッシェ設置により透過損失は  $f_c$  以下で低下、 $f_c$  以上で上昇する傾向にある。

**両側ニッシェ** 効果としては片側設置時と同様の傾向を示すが、両側設置の方が影響は顕著である（図 3）。

図 4 にニッシェ無し、片側・両側ニッシェ設置時における斜入射透過損失分布の一例を示す（ $f_c$  以上と以下）。ニッシェの有無により分布に明確な相違が見られ、ニッシェ無しでは  $\varphi$  方向に比較的一様であるのに対し、両側ニッシェではその傾向が大きく崩れている。 $f_c$  以上の 1334 Hz では、 $\theta \simeq 70^\circ$  がコインシデンス入射角となるが、両側ニッシェでは擦過入射時の透過損失落ち込みの緩和が確認できる。

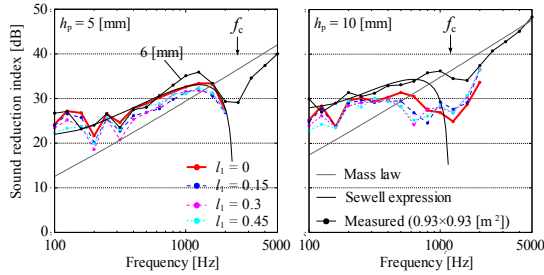


Fig. 2 Random-incidence transmission loss with one-sided niche ( $a = 0.9$ ,  $b = 0.9$ ).

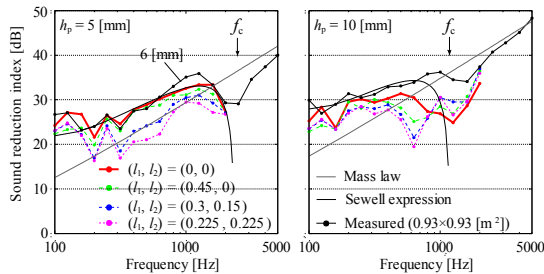


Fig. 3 Random-incidence transmission loss with two-sided niche ( $a = 0.9$ ,  $b = 0.9$ ).

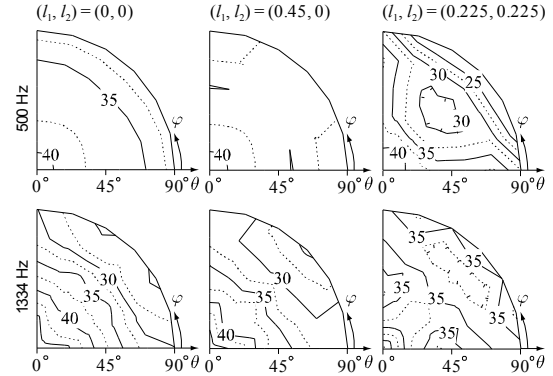


Fig. 4 Incidence angle dependence of transmission loss with/without niche at 500 Hz ( $< f_c$ ) and 1334 Hz ( $> f_c$ )

$((a, b) = (0.9, 0.9), h_p = 10 \text{ [mm]})$ .

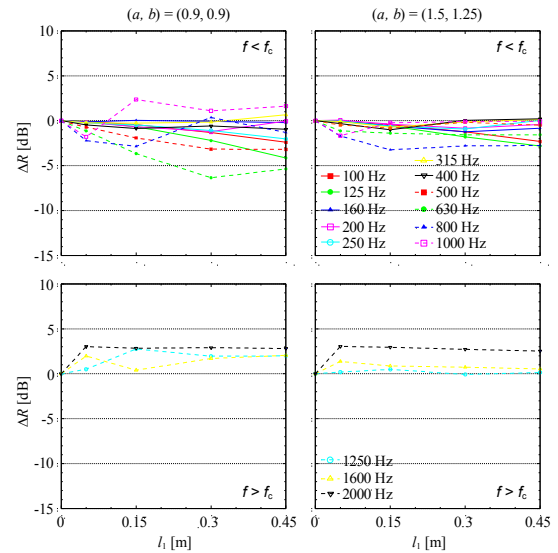


Fig. 5 Influence of the depth of one-sided niche on random-incidence transmission loss

$(h_p = 10 \text{ [mm]}, \eta_s = 0.5)$ .

#### 3.2 ニッシェ寸法と効果量の関係

**片側ニッシェ** ニッシェ無しに対する設置時のランダム入射透過損失の差を効果量として、図 5 に片側ニッシェの寸法と効果量の関係を示す（板寸法：大、小）。片側の場合、 $f_c$  以下では効果量はニッシェが深くなるにつれて増加する傾向にある。 $f_c$  以上では全てのニッシェ寸法で効果量は正となり、ある程度の深さ以上で一定となる。

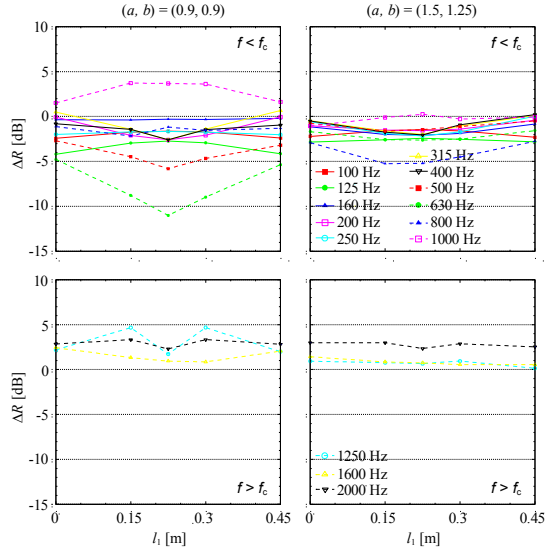


Fig. 6 Influence of the depth of two-sided niche on random-incidence transmission loss ( $h_p = 10$  [mm],  $\eta_s = 0.5$ ).

**両側ニッシェ** 両側の場合の効果量を同様に図 6 に示す。 $f_c$  以下では両側深さが等しい場合に効果量が最大となり、 $f_c$  以上では片側と同様の傾向にある。また両側深さが等しい場合に、 $f_c$  以上での効果量の抑制がやや見られる。なお、入射側と透過側の深さについては、概ね可逆性が認められる。また、板寸法が大きくなると、 $f_c$  以下では概ね効果量は小さくなる傾向が見られるが、 $f_c$  以上はほとんど変わらない。周辺支持材の損失係数 0.1 でも概ね同様の傾向である (図 7)。

#### 4. 測定法上の誤差要因に関する検討

前章では、ニッシェ寸法と透過損失に及ぼす影響との関係について検討した。本章では、インテンシティ法を用いた遮音性能測定法上の誤差要因に関して検討を行う。この手法では、測定対象とする試料がニッシェ内に設置される場合に通常、測定面をニッシェ開口部に設ける。ニッシェ設置条件下での透過パワーの変動とニッシェ深さとの関係について傾向を把握し、透過側音場における測定精度について検討を加える。

##### 4.1 検討方法

図 8 に示すように、板面、測定面 (ニッシェ開口部) における透過パワーをそれぞれ  $W_t$ ,  $W_m$  とし

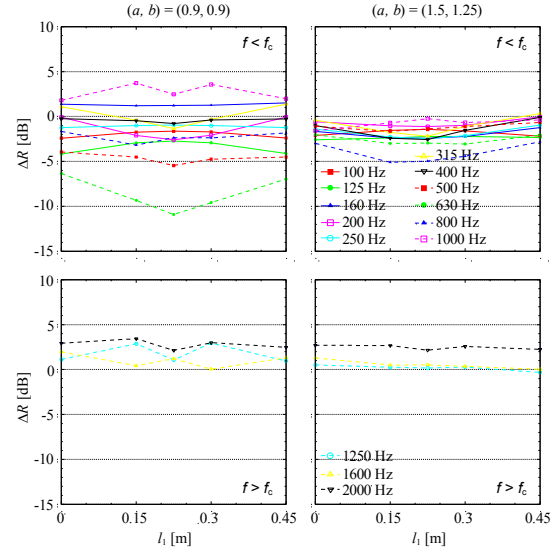


Fig. 7 Influence of the depth of two-sided niche on random-incidence transmission loss ( $h_p = 10$  [mm],  $\eta_s = 0.1$ ).

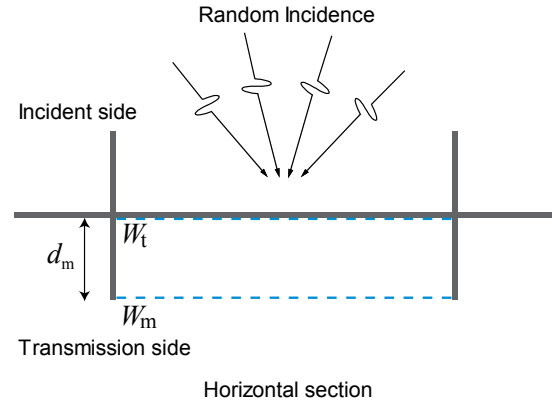


Fig. 8 Measurement surface setting.

て両者の比をとり、周波数上での変動を調べる。板寸法  $(a, b) = (0.9, 0.9)$ , ニッシェ設置条件は両側ニッシェの 2 水準 ( $(l_1, l_2) = (0.3, 0.15), (0.225, 0.225)$ ) とした。

##### 4.2 結果と考察

図 9 に、ランダム入射時の  $W_t$ ,  $W_m$  の比を dB 表示した結果を示す。参考としてニッシェ設置無しの結果を併記する。ニッシェ有無による結果の差異を比較すると、 $f_c$  以下においてはニッシェ設置が無い場合で値が落ち込み、ニッシェ設置時には緩和される。これは両側ニッシェ設置時に  $W_t$  が大

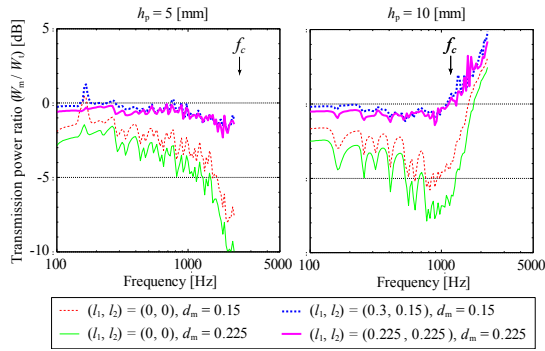


Fig. 9 Transmission power ratio

$$((a, b) = (0.9, 0.9), \eta_s = 0.5).$$

きいため、またニッシェ設置が無い場合の測定面が試料を取り囲む閉曲面でないため、透過インテンシティを取り逃していると考えられる。ニッシェ設置時の透過パワー比の変動に関しては、 $f_c$ 以下で小さく、ニッシェ深さによる差異はあまり見られない。 $f_c$ 以上ではニッシェ設置の有無に依らず正の値をとる。透過損失は板面の透過パワーから算出しているため、実測条件においては、先述した $f_c$ 以上でのニッシェ効果の効果量が抑制される可能性があると考えられる。

**透過側音場性状** 図 10 に、透過側 YZ 平面 ( $x = 0.45$  [m]) における音圧・インテンシティの分布を示す。インテンシティの複雑な循環が見られ、ニッシェ開口部より内側で負のインテンシティが見られる。

## 5. 総括

本研究では、建築部材の透過損失測定における影響要因としてニッシェ効果に着目し、ニッシェ寸法と透過損失に及ぼす影響との関係について入射角依存性も含めて傾向を把握すること、ニッシェ設置が周辺音場へと及ぼす影響に関する知見を得ること、インテンシティ法による測定上の誤差要因とニッシェ寸法との関係に関する知見を得ることを目的として、音響振動連成解析を用いて検討した。ニッシェ効果の効果量としては、 $f_c$ 以下で負、 $f_c$ 以上で正の値となり、片側より両側ニッシェで大

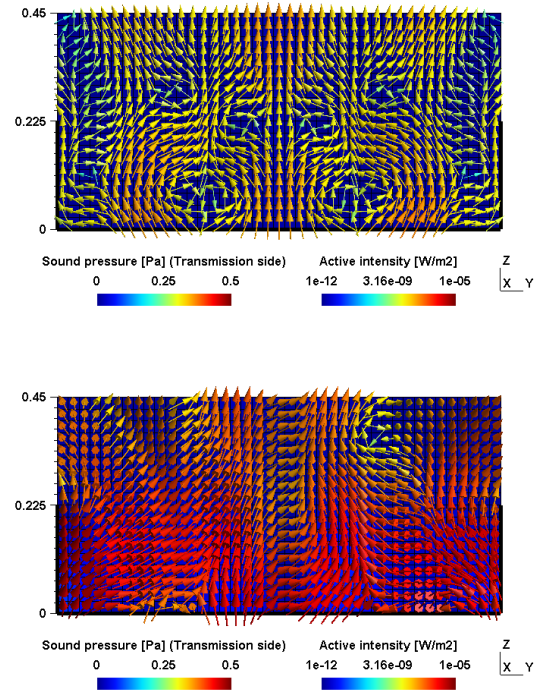


Fig. 10 Distributions of sound pressure

and active intensity at 1334 Hz,

$$(l_1, l_2) = (0.225, 0.225), h_p = 10 \text{ mm}$$

(upper:  $(\theta, \varphi) = (0^\circ, 0^\circ)$ , lower:  $(\theta, \varphi) = (45^\circ, 45^\circ)$ ).

きく、特に両側で同じ深さの場合に最大となり、入射側と透過側の深さについて概ね可逆性が確認された。ニッシェ設置時の測定面での透過パワーの変動については、ニッシェ深さに依らず $f_c$ 以上において現れる傾向であり、実測では $f_c$ 以上でのニッシェ効果の効果量が抑制される可能性があることを示した。傾斜や段差のある複雑な形状のニッシェの影響に関する検討が今後の課題として挙げられる。

## 参考文献

- [1] Guy and Sauer, *Applied Acoust.* **17**, 453-476, 1984.
- [2] R. Vinokur, *J. Acoust. Soc. Am.* **119**, 2211-2219, 2006.
- [3] Kim *et al.*, *J. Acoust. Soc. Am.* **115**, 2100-2109, 2004.
- [4] Sakuma *et al.*, *Inter-Noise 2008*, No. 486.
- [5] Sewell, *J. Sound. Vib.* **12**, 21-32, 1970.
- [6] Yoshimura *et al.*, *Inter-Noise 2006*, No. 641.