

Study on perforated plate-porous material sound absorption system with wide band absorption characteristics

小口, 恵司

<https://doi.org/10.15017/458551>

出版情報 : Kyushu Institute of Design, 2002, 博士 (芸術工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

第4章 目隠し板が吸音特性に与える影響の検討

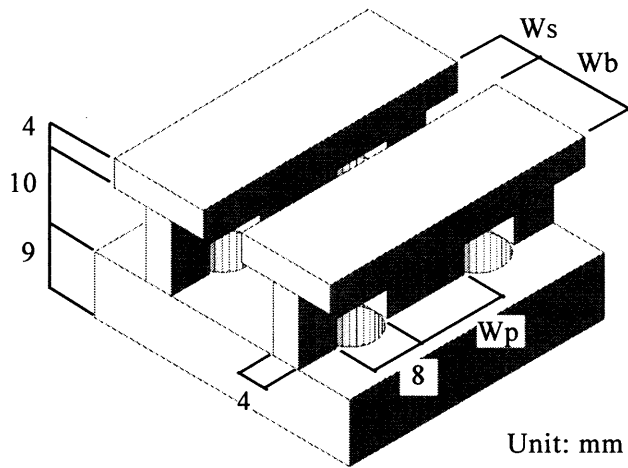
孔あき板前面の目隠し板のスリット開口率と吸音特性との関係、特に基本となる孔あき板吸音構造の吸音特性をできるだけ損なわない目隠し板の条件について、数値計算により検討を行った。

4.1 検討対象表面仕上げ構造

計算を行った目隠し板を有する孔あき板の寸法を Fig. 4-1 に示す。基本となる孔あき板の厚さは 9mm、孔径とピッチは、 $8\phi - 20$ (開孔率 12,6%)と $8\phi - 15$ (開口率 22%)の2種類とした。また、目隠し板のスリット開口率は3章の 20%、30%、40%に加えて、10%も設定した。Fig. 4-1 において、それぞれの表面仕上げ構造を、目隠し板のスリット開口率が小さい順に X,A,B,C (孔あき板 $8\phi - 20$ の場合)、Y,P,Q,R (同 $8\phi - 15$ の場合)と名付ける。

孔あき板の前面に置く目隠し板の仕様は、厚さ 4mm、孔あき板との距離 10mm とした。孔の上に立てる目隠し板を支えるための仕切り板も厚さは 4mm で、切り込み深さは孔の半径と同じ 4mm とした。他の条件は前章 3.2 の垂直入射吸音率による計算値と実測値の比較で設定した仕様と同様である。

解析周波数は 100Hz~4,000Hz とした。要素分割は前出の 3.1 と同じ分割モデルを用いている。ここでも垂直入射吸音率を対象としている。



8 ϕ – 20 $W_p = 12$ mm (12.6% openings)	Screen name	X	A	B	C
	Screen width W_b (mm)	18	16	14	12
	Slit width W_s (mm)	2	4	6	8
	Slit openings Sl (%)	10%	20%	30%	40%
8 ϕ – 15 $W_p = 7$ mm (22% openings)	Screen name	Y	P	Q	R
	Screen width W_b (mm)	13.5	12	10.5	9
	Slit width W_s (mm)	1.5	3	4.5	6
	Slit openings Sl (%)	10%	20%	30%	40%

Fig. 4-1 Dimension of perforated plate with blind screen for numerical study of absorption characteristics

4.2 吸音特性に現れる吸音域の解釈

孔あき板 8φ-20 をベースとする構造 X,A,C の計算結果を Fig. 4-2 に、孔あき板 8φ-15 をベースとする構造 Y,P,R の計算結果を Fig. 4-3 に示す。同図の上段(a)はグラスウール背後の空気層なし(以下 AS=0mm)場合、下段(b)は AS=50mm の場合である。また、太い実線は目隠し板の無い単純な孔あき板の吸音特性である。なお、孔あき板 8φ-20 をベースとする構造 B と孔あき板 8φ-15 をベースとする構造 Q も計算は行っているが、グラフの煩雑さを避けるために表示を省略した。

これらの計算結果には、周波数軸上で分離できるいくつかの吸音域（吸音特性の山）が見られる。それぞれの共鳴域をグラフ上で①～④と表示して、その共鳴域を生じさせるメカニズムについて考察する。

① すべてのグラフに共通の 1kHz 以下の吸音域

実線で示す目隠し板の無い単純な孔あき板の吸音特性において吸音率が最大となる吸音域であることから、これは孔あき板吸音構造の Helmholtz 共鳴による吸音域と解釈できる。単純な孔あき板の共鳴周波数は次式により計算できるが[4]、Table4-1 に示すように、グラフ上の吸音率のピークは式(4-1)を用いて求めた共鳴周波数はより低い周波数にある。孔あき板の前面に目隠し板を置いた構造においても、この共鳴周波数に近い周波数をピークとする吸音域が存在している。

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{p}{(t+0.8d)L}} \quad (\text{Hz}) \quad (4-1)$$

c : 音速(m/s), p : 孔あき板の開孔率
 t : 板厚(m), L : 背後空気層厚さ(m) d : 孔直径(m)

Table 4-1 First resonance frequency of simple perforated plate

		Fig.4-2	Eq. (4-1)
8φ-20	AS=0 mm	598	691
	AS=50 mm	397	489
		Fig. 4-3	Eq. (4-1)
8φ-15	AS=0 mm	806	921
	AS=50 mm	515	651

AS : Air layer depth, [Hz]

② Fig.4-2 の 2kHz 以上の吸音域

孔あき板 8φ-20 の計算結果をまとめた Fig.4-2 において、目隠し板を置いた場合、2kHz 以上にも吸音域が現れる。目隠し板のスリット開口率が小さいほど吸音率の極大値は大きい。吸音率が極大となる周波数は、スリット吸音構造の共鳴周波数を求める次式において、

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{p}{(t+t')L}} \quad (\text{Hz}) \quad (4-2)$$

$$t' = \frac{2}{\pi} b \log_e \left(\operatorname{cosec} \frac{\pi b}{2B} \right)$$

c : 音速(cm/s), p : スリット開口率

t : 板厚(cm), L : 背後空気層厚さ(cm)

b : スリット幅(cm), B : スリット間隔(cm)

$b = W_s$ (目隠し板の間隔), $B = W_s + W_b$ (目隠し板の繰り返し間隔), $L = 1\text{cm}$ (目隠し板と孔あき板の距離)と置いて得られる周波数にほぼ一致することから、この吸音は目隠し板のスリットによる吸音現象と考えられる。

③ グラスウール背後に空気層がある場合の 1kHz~2kHz の間の吸音域

グラスウールの背後に空気層がある Fig. 4-2(b)と Fig. 4-3(b)には、目隠し板の有無にかかわらず、1kHz~2kHz の帯域にも共鳴域が現れる。これは、グラスウールを含む背後空気層の厚さが、吸音率が極大となる周波数の半波長にほぼ一致することから、背後空気層に相当する気柱の共鳴による吸音現象と解釈できる[10]。また、目隠し板が無いか、あってもスリット開口率が大きい場合でグラスウール背後の空気層がない場合に高域に見られる吸音率の小さなピークも、この気柱共鳴と考えられる。

④ Fig.4-3 の 2kHz 以上の吸音域

孔あき板 8φ-15 で目隠し板を置いた場合にも 2kHz 以上に吸音域が現れるが、上記②の 8φ-20 ほど目隠し板のスリットの共鳴による吸音のみが明確に現れるわけではなく複雑な特性を示している。これは、上記のスリット共鳴と背後空気層の気柱共鳴が複合した結果と考えられる。

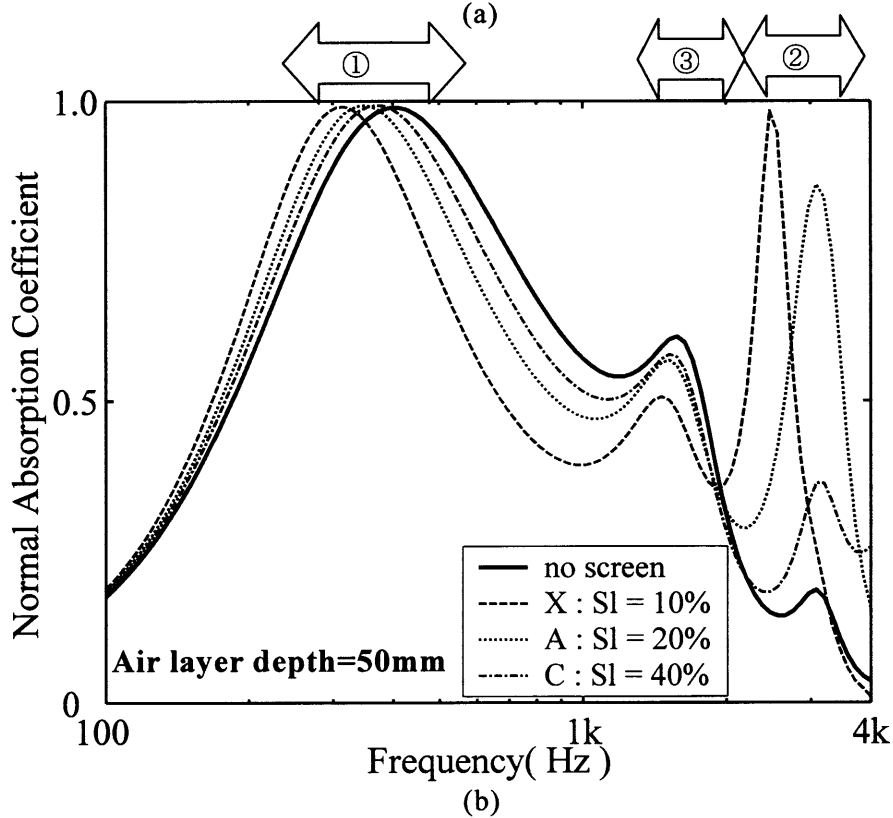
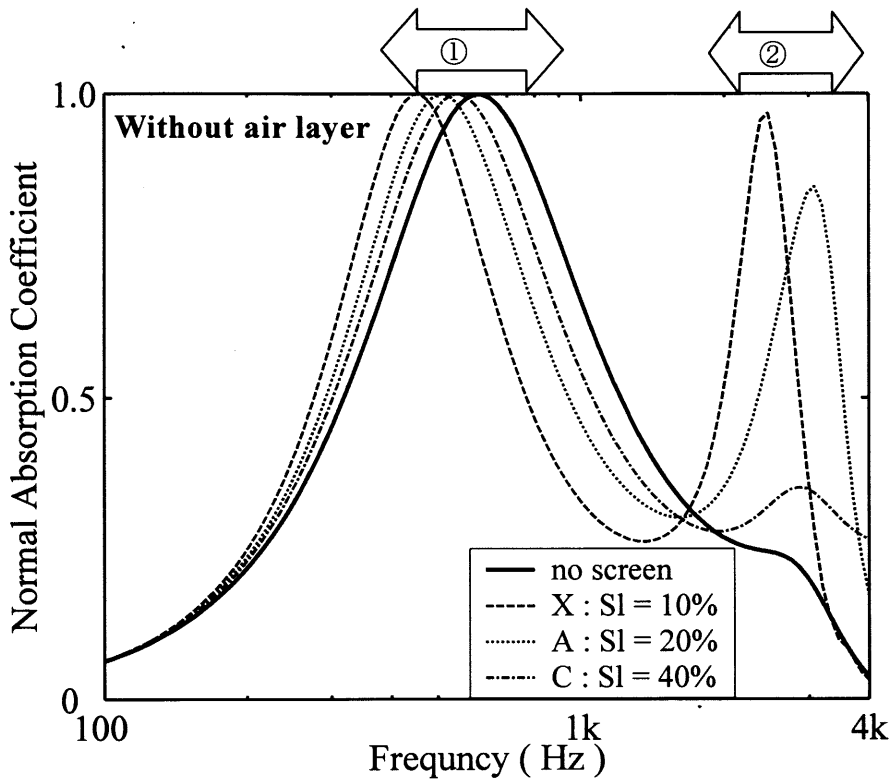


Fig. 4-2 Calculated absorption coefficient of perforated plate absorption system, $8 \phi -20$ + glass-wool 50mm with different screen slit width, (a) Air layer depth = 0mm, and (b) Air layer depth = 50mm

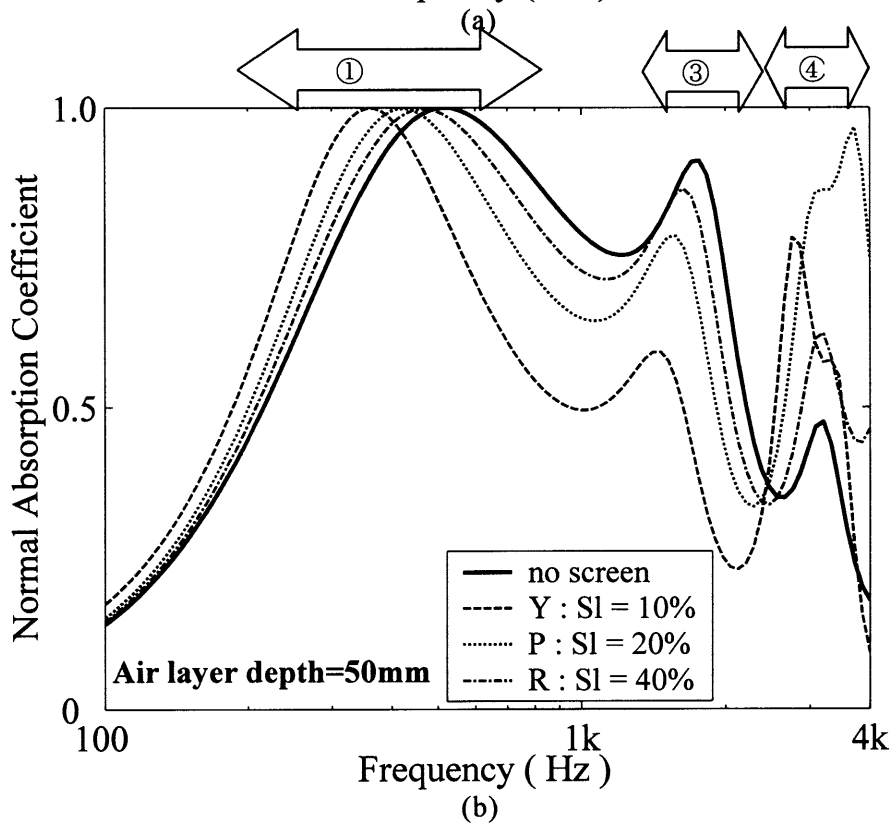
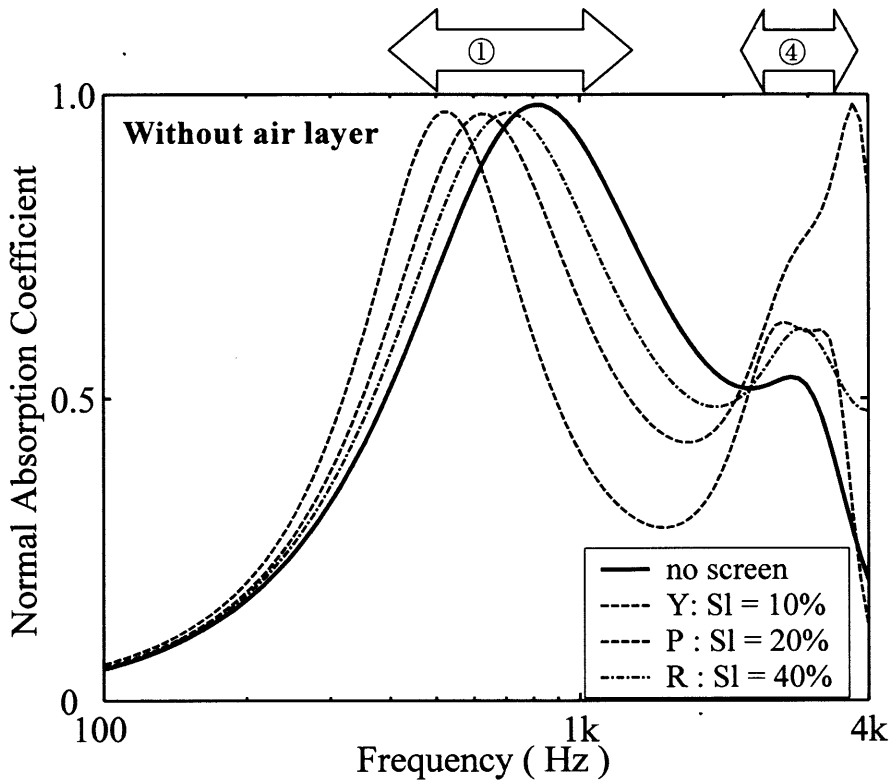


Fig. 4-3 Calculated absorption coefficient of perforated plate absorption system, $8 \phi -15$ + glass-wool 50mm with different screen slit width, (a) Air layer depth = 0mm, and (b) Air layer depth = 50mm

4.3 目隠し板が孔あき板吸音構造の共鳴域に与える影響

4.2 において、前面に目隠し板を置いても孔あき板吸音構造の共鳴域が現れることを述べたが、目隠し板を置くことで共鳴域は低域にシフトしている。3章の測定結果をまとめて示した Fig. 4-4 にも同様な傾向が見られる。これは、見かけ上孔あき板の孔が深くなったことに相当し、Table 4-2 にまとめた Fig.4-2, 4-3 の Helmholtz 共鳴周波数が示すように、目隠し板のスリット開口率が小さいほど、すなわち孔あき板 8φ-20 の C→B→A→X や孔あき板 8φ-15 の R→Q→P→Y の順番に、共鳴周波数の低域へのシフト量が大きくなっている。

ISO あるいは JIS に定められている吸音率試験は 1/3 オクターブ幅で行われるが、音響設計ではそれらを 1/1 オクターブの吸音率に変換して残響計算を行うのが一般的である[1]。したがって、目隠し板を置くことによる共鳴周波数のシフト量が 1/3 オクターブ程度であれば、この共鳴現象が現れる中音域において、1/1 オクターブ幅で計算される残響時間への影響は小さく、実務上は目隠し板の無い単純な孔あき板吸音構造とほぼ同じの吸音特性を有していると思っても良いと考えられる。このような観点で計算結果を見ると、孔あき板 8φ-20(開孔率 12,6%)の場合、目隠し板のスリット開口率が 30%以上すなわち B,C で、目隠し板が無い場合の共鳴周波数に対するシフト量が 1/3 オクターブ以内となっている。同様に、孔あき板 8φ-15(開口率 22%)で共鳴周波数のシフト量が 1/3 オクターブ以内となるのはスリット開口率が 40%の R の場合である。ここで取り上げた 2 種類の孔あき板の場合には、目隠し板のスリット開口率を孔あき板の開孔率のほぼ 2 倍以上とすると、共鳴周波数の低域へのシフト量が 1/3 オクターブ以下となっている。

Table 4-2 First resonance frequency of perforated plate absorption system

		no screen	X	A	B	C
8φ-20	AS=0 mm	598	461	515	535	555
	AS=50 mm	397	317	342	355	369
		no screen	Y	P	Q	R
8φ-15	AS=0 mm	806	515	621	669	694
	AS=50 mm	515	355	428	444	461

AS : Air layer depth, [Hz]

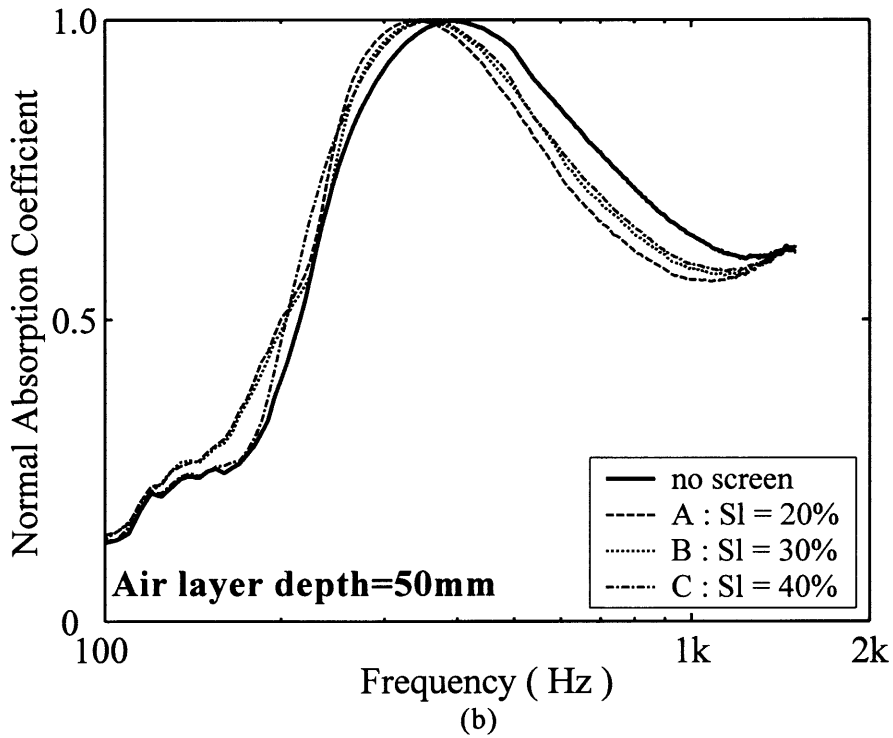
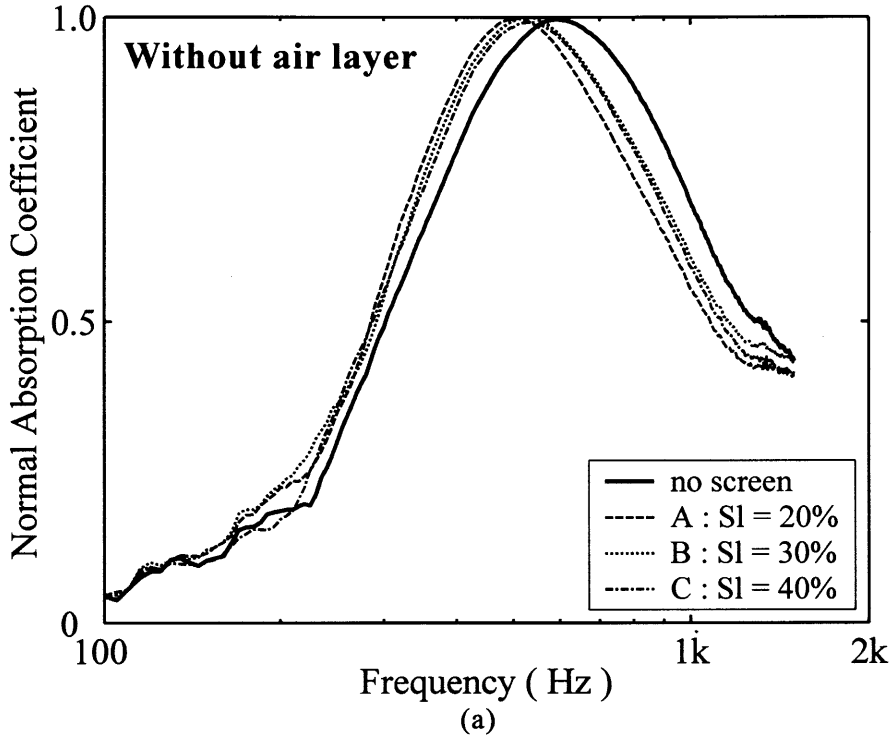


Fig. 4-4 Measured absorption coefficient of perforated plate absorption system, $8 \phi -20$ + glass-wool 50mm with different screen slit width, (a) Air layer depth = 0mm, and (b) Air layer depth = 50mm

4.4 目隠し板背後の孔の見え方

ここで考えてきた孔あき板の前面に目隠し板を置いた立体的な表面仕上げ構造について Fig.4-5 のように図面上で視線を描くと、正面からは目隠し板裏の孔は見えにくいですが、斜め方向からは見える角度がある。意匠的にはどの方向からも孔が見えないことが望ましいが、一方目隠し板を置くことにより基本となる孔あき板吸音構造の吸音特性が大きく変化するのは音響的に好ましくない。

3.3 で残響室法吸音率測定用に製作した大型試料の写真(Photo 2)には、一般室内照明の下で撮影した写真とフラッシュを焚いて撮影した写真を並べて提示した。フラッシュを焚いて撮影した右の写真では、目隠し板の奥にある孔あき板の色（白）や目隠し板を支持する材料もわかる。一方、一般室内照明の下で撮影した左の写真は、目隠し板から奥の様子はほとんどわからない。ここで考えてきた目隠し板を有する孔あき板は、実際に孔の見えにくい孔あき板とすることができよう。

開孔率が数%台の孔あき板であれば、隣接する目隠し板の位置や厚みを変えることで、吸音性能は多少犠牲にしながらも、どの方向からも孔の見えない構造を創ることは可能である。このような吸音構造は、オフィスや通路の天井など残響過多の防止を目的としてそれほど大きな吸音率は要求されない場所での用途が考えられる。

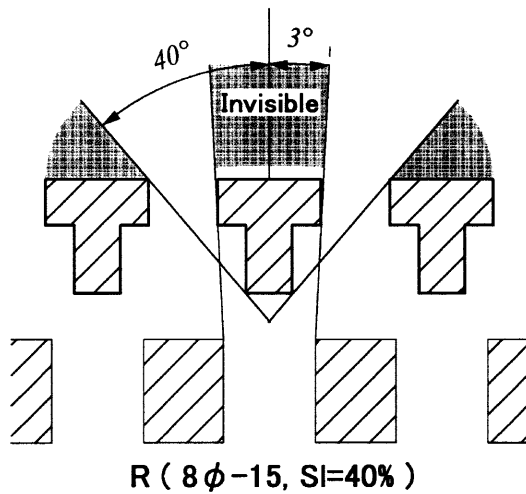
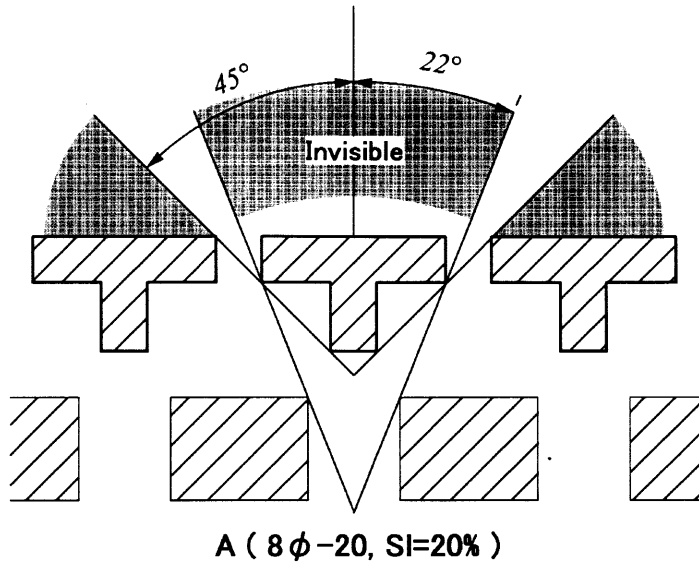


Fig.4-5 Invisible area of holes on perforated plate behind screen strip,
 (a) Screen A : SI = 20%, 8 ϕ -20, (b) Screen R : SI = 40%, 8 ϕ -15

4.5 まとめ

一般によく用いられている開孔率 10~20%の孔あき板の前面に目隠し板を置いた場合の吸音特性への影響について、数値計算により検討を行った。

計算結果にはいくつかの吸音域（共鳴域）が見られた。

中音域では、孔あき板の前面に目隠し板を置いても孔あき板吸音構造の共鳴周波数を中心とする山型の吸音特性を示す。ただし、目隠し板を置くことで共鳴周波数が低域にシフトする。

目隠し板のスリット開口率を孔あき板の開孔率の2倍以上にとることで、この共鳴周波数の低域へのシフト量は1/3オクターブ以内となる。音響設計では通常1/1オクターブ毎に残響計算が行われることから、目隠し板を置くことによる共鳴周波数のシフト量が1/3オクターブ程度であれば、実務上、中音域においては目隠し板の無い単純な孔あき板吸音構造とほぼ同等の吸音特性を有していると思っても良いと考えられる。

また、目隠し板を置いた場合、目隠し板のスリット共鳴と考えられる吸音領域が2kHz以上の周波数域に現れる。

その他、グラスウールを含む背後空気層に相当する気柱の共鳴による吸音域が目隠し板の有無にかかわらず現れる。

孔あき板の前面に目隠し板を置いた立体的な表面仕上げ構造は、視線作図上では斜め方向からは孔の見える角度がある。ところが、残響室法吸音率測定用に製作した大判試料を一般室内照明の下で見ると、目隠し板から奥の様子はほとんどわからない。ここで考えてきた目隠し板を有する孔あき板は、実際に孔の見えにくい孔あき板と言うことができよう。