

(解説)

交通環境騒音静粛化への新技術開発

New Technologies for Noise Reduction of Environment along High Speed Surface Transportation



田中俊光*(工博)
Dr. Toshimitsu Tanaka



山田隆博*
Takahiro Yamada



山極伊知郎*
Ichiro Yamagiwa



堀尾正治**
Masaji Horio



松田 博**
Hiroshi Matsuda

New sound absorbing panel constituted by aluminum foil or cloth has been developed. Also, a low sound "see-through" barrier has been developed. These are depend on new technologies which we have improved. One panel is constituted by sheets of micro perforated aluminum foil and air spaces, and it is found that this panel has high sound absorption performance over a wide frequency range. The other panel is constituted by sheets of cloth and air spaces, and it is also found that the panel has excellent sound absorbing ability. The see-through low noise barrier has been placed on the boundary between sidewalk and road, and it is found that the amount of sound attenuation by this barrier is the same as conventional barriers through which outside view can not be seen.

まがき = 社会の豊かさとともに、静粛性や快適性の価値も向上している。鉄道や高速道路などの交通量の増大に伴い、騒音規制の強化が図られ、列車や自動車など音源での対策、交通流対策、道路構造対策、沿道対策などが取られてきた。道路構造対策としては、低騒音（排水性）舗装や裏面吸音板の設置が、また沿道対策としては、遮音壁の設置が一般的に広く採用されている。本稿では、新規な遮音壁として、新しく微細多孔アルミ箔を用いたアルミ多孔吸音パネル、同じく布を用いた新規な布吸音パネル、および外景可視可能な低層山形遮音壁（シースルー防音壁）を紹介する。

1. アルミ微細多孔箔吸音パネルの開発

1.1 微細多孔アルミ薄板・箔の吸音性能と予測技術

これまでに、強度、耐候性、耐熱性の点で従来材が適用困難な部位への装着、あるいは廃棄性問題や飛散による健康問題の回避などを目的として、アルミニウム材料へ吸音性を付加する開発を進めてきた¹⁾。図1²⁾は、独立気泡集合体である発泡アルミニウムのセル壁に、圧延加工による通気性を有する微細クラック(写真1²⁾)を設けた場合の吸音性能の向上例である。微細クラックにより、繊維系吸音材と同程度に良好な吸音性能が実現されることに注目し、アルミ薄板や箔に微細多孔を穿孔して吸音性を付加する場合の合理的な設計に有用な吸音性能予測シミュレーション技術を開発してきた。図2に計算と実験との比較例を示す¹⁾。微細多孔が穿孔されたアルミニウム薄板と箔の背後にそれぞれ空気層を設けた場合(図2(a))の、垂直入射吸音率の計測値とシミュレーション値との比較例が図2(b),(c)である。

薄板と箔のそれぞれの場合において、計算値と実験値

はかなりの精度で一致している。本計算技術を用いることにより、吸音性能を決定する孔径、開口率、板厚および背後空気層厚さなどの諸量と吸音率との関係を、定量的に結び付けることが可能である。多孔材が空気層を介して複数段設けられる場合も、同様の一致度を得ている¹⁾。

1.2 微細多孔アルミ材複数層で構成される吸音パネル

1.2.1 微細多孔アルミ薄板構成のパネル

気流が繊維系吸音材の上表面を流れる場合の吸音構造として、気流速度が速くなる場合には、音波は通すが飛散は防止する対策を表面に施す必要がある。しかし、本構成の吸音パネルであれば、特にその対策は不要であ

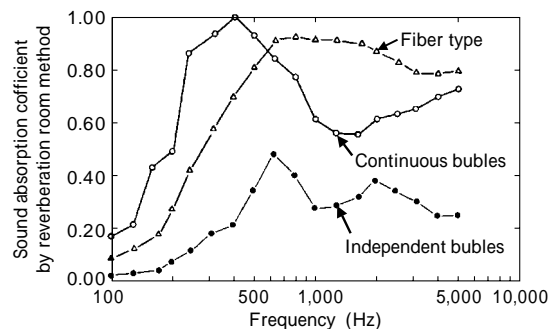


図1 発泡アルミニウムの吸音性能²⁾

Fig. 1 Normal sound absorption coefficient of porous aluminum²⁾



写真1 加工セルの断面²⁾

Photo 1 Section of rolled cell²⁾

*技術開発本部 機械研究所 **神鋼建材工業(株) 製造部

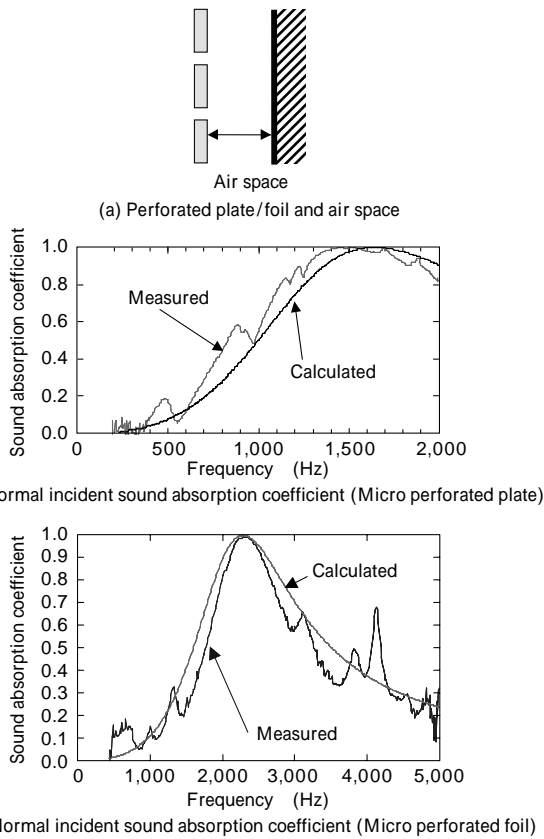


図2 微細多孔薄板および箔の吸音率の計算と実験比較
 Fig. 2 Comparison of normal sound absorption coefficient of micro perforated aluminum foil between calculation and experimentation

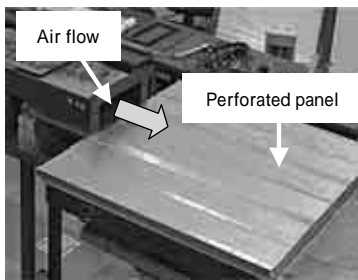


写真2 供試体と気流供給ダクト
 Photo 2 Perforated panel and duct for air flow

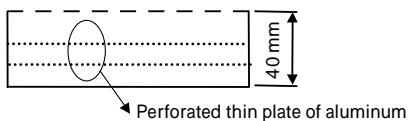


図3 供試体断面構成
 Fig. 3 Cross section of perforated panel

る。写真2は、図3に示す厚さ40mmの表面および内部がそれぞれ微細多孔アルミ薄板（表面0.8t、内部0.4t）で構成される供試体の表面に、高速空気流を与え、垂直入射吸音率を計測した際の気流ダクトと供試パネルとを示す。図4に吸音率計測の概念図を示す。図5に垂直入射吸音率の計測結果を示す。気流速度が70km/h以下では、吸音性能は影響をほとんど受けないことが、また320km/hの高速時でも約20%の低下に留まる結果であった。

1.2.2 微細多孔アルミ箔構成のパネル

写真3に、アルミ箔に穿孔された微細孔の拡大写真を示す。このような微細多孔アルミ箔を、表面のアルミ多孔板（厚さ0.8mm）の背面に2層配置したとき（図6(a)）

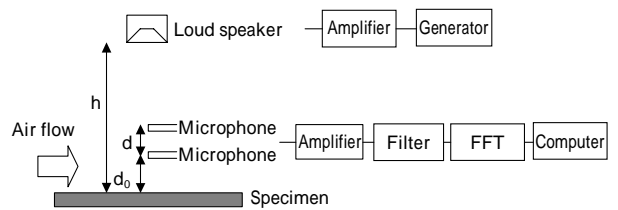


図4 気流下での吸音率の計測法概念図
 Fig. 4 Measurement system of sound absorption under air flow

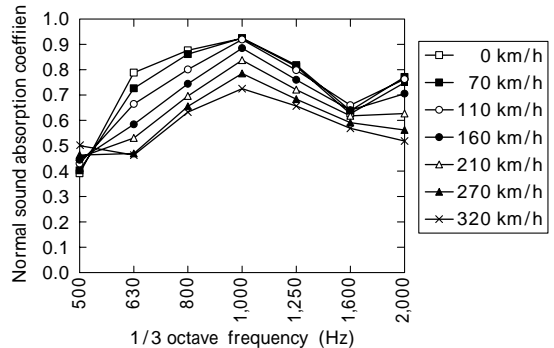


図5 気流下での垂直入射吸音率の計測結果
 Fig. 5 Measured sound absorption coefficient with air flow



写真3 アルミ箔微細孔の拡大写真
 Photo 3 Micro holes in aluminum foil

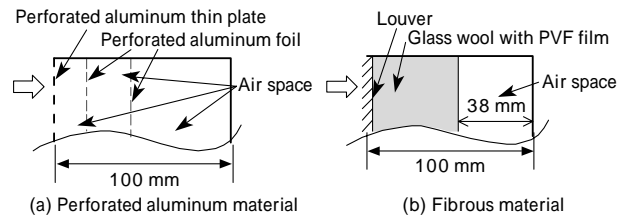


図6 アルミ多孔箔構成と繊維状吸音材
 Fig. 6 Sound absorption panel with aluminum and fibrous material

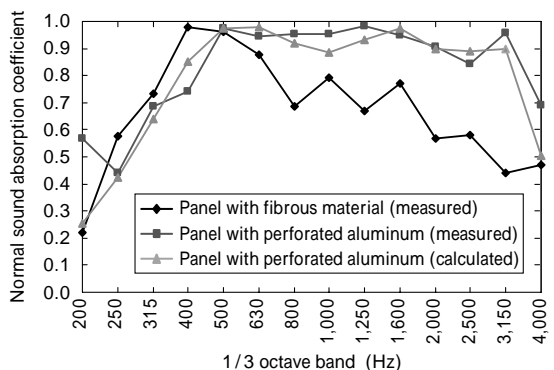


図7 アルミ多孔構造と表面ルーバPVF被覆繊維状吸音構造との吸音率比較
 Fig. 7 Comparison of absorption coefficient between perforated aluminum foil and fibrous material

の垂直入射吸音率の測定値を、表面のルーバの後方にPVFで被覆された繊維状吸音材（グラスウール、かさ比重32kg/m³）と空気層を設けた場合（図6(b)）との比較で示したのが、図7である。500Hz以上の周波数域で

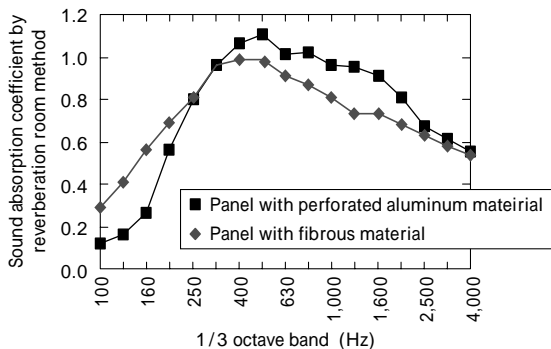


図8 従来構造と多孔箔構造(図9)の吸音率比較
Fig. 8 Comparison of absorption coefficient by reverberation room method between perforated aluminum and fibrous material

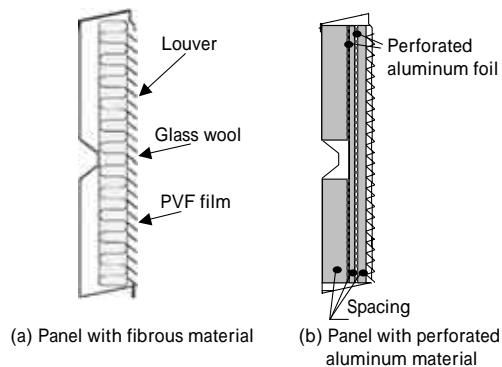


図9 統一型パネル用函体への多孔箔の装着
Fig. 9 Regular panel box and installed sound absorbing material



写真4 ルーバ表面
Photo 4 Surface of louver



写真5 鉄道でのアルミ微細多孔吸音パネルの試験施工状況
Photo 5 Panel with aluminum material installed along the railway

アルミ多孔構造の方が吸音率が良好で、高周波数になるほどその差が大きくなる。その理由は、ルーバやPVF被覆による高周波数での吸音率低下現象が生じていないことによると考えられる。また同図中に、多孔構造の場合の吸音率の計算値も示して測定値と比較したが、ほぼ良好な一致を得ており、設計計算の適用を可能ならしめている。図8は、同じ表面がルーバ型パネルの吸音材種としての多孔型と繊維型(図9、写真4)との残響室法吸音率の比較である。400Hz以上の周波数域で、多孔型の方が吸音率の値が最大20%程度高い。写真5に、鉄道での試験的的施工状況を示す。装着前後の低減効果は5dB

であった。

2. 布材と空気層で構成される吸音パネル

繊維系吸音材の吸水と飛散を防ぎ、耐久性を高める一法として、薄いPVFフィルムで被覆する方法がとられる。その場合、フィルムで音波が反射され、高周波数域の吸音性能が低下する傾向がある。そこで、テント生地のような耐候性を有する薄い布地を直接吸音材として適用し、上記の問題解決を図った例を以下に紹介する。

2.1 布材吸音パネルの音響設計計算

2.1.1 布材の固有音響抵抗の同定

布材吸音パネルは、表面のルーバの背後に複数の布をしかるべき間隔を空けて配置した構成となっている(図10)。所要の吸音周波数特性を得るための布枚数や布間隔を決定するために、伝達マトリックス法⁴⁾を用いた性能予測計算に基づく音響設計を行った⁵⁾。計算に必要な布材の固有音響抵抗の値は、2点マイクロホン法⁶⁾により求めた。計測した固有音響抵抗値の妥当性は、背後に空気層を設けたときの布側から見た垂直入射吸音率の伝達マトリックス法による計算値と実験値との比較により確認した。布材1層背後空気層1層の場合、およびそれぞれ3層の場合とについて、両者の比較を図11に示す。良く一致しており、布材固有音響抵抗の計測値が妥当で

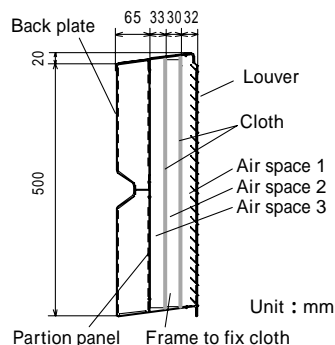
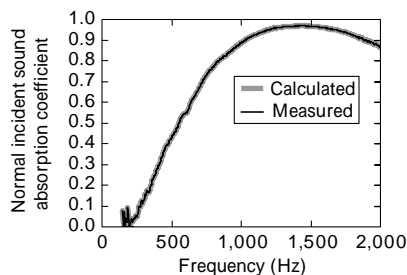
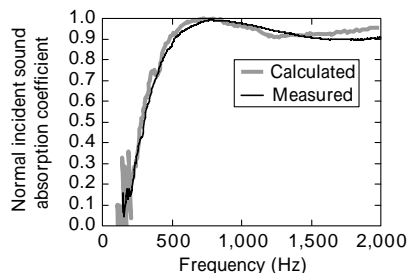


図10 道路用布吸音板(図14)のAA断面図
Fig.10 Cross section AA of panel with cloth



(a) A sheet of cloth in front of one air space



(b) Three sheets of cloths and three air space

図11 計算値と実測値との比較(背後空気層全50mm)

Fig.11 Comparison of absorption coefficient between calculation and measurement

あることが分かる。また当然ながら、層数の増加により良好な吸音周波数域の幅が拡大することが確認できる。

2.1.2 前面にガラリを有する場合の垂直入射吸音率計算

ガラリ部の影響は、等価な開口率を有するガラリ厚さの開口板と仮定した等価伝達マトリックスを新たに創出し、先述の布と空気層とで構成される伝達マトリックスに乗じて対処した⁵⁾。図12に吸音基本構成(a)と垂直入射吸音率計算値(b)とを示す。また図13には、本伝達マトリックスを用いて乱入射吸音率を計算し、この布吸音パネルの残響室法吸音率の計測値と比較した結果を示す。500Hzと630Hzの周波数域で、吸音率測定値の方が計算値より約10%高めの値となったが、ほぼ良い一致が得られた。

2.2 道路用布吸音パネルの構造

同パネルの正面図を図14に、またAA断面図を図10

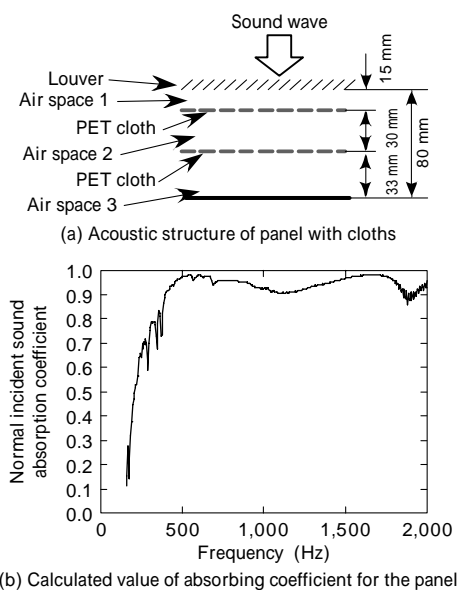


図12 ガラリ前置布吸音構成の吸音率計算値

Fig.12 Calculated value of absorbing coefficient for panel with louver, cloths and air space

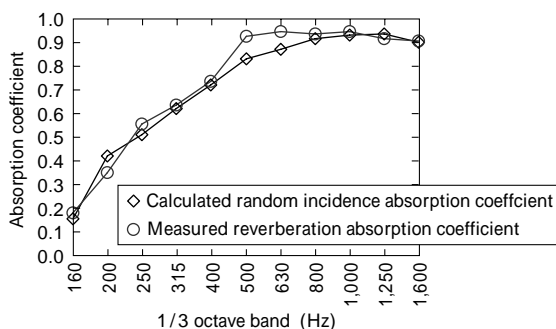


図13 ガラリ付き布吸音パネルの残響室法吸音率計算値と測定値比較
Fig.13 Comparison of sound absorption coefficient of panel with louver, cloths and air spaces

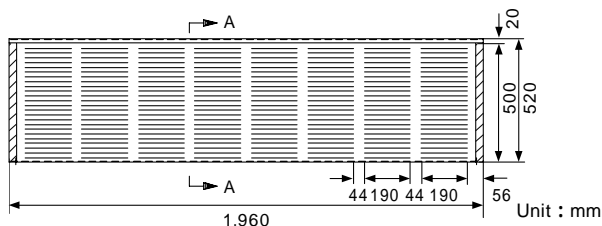


図14 道路用布吸音パネル正面図

Fig.14 Front view of panel with sound absorbing material of cloth



写真6 設置状況(2段)

Photo 6 Installed panel of sound absorbing cloth

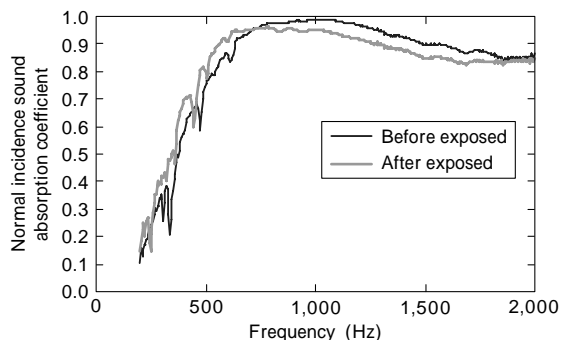


図15 排気ガス暴露前後の垂直入射吸音率測定結果

Fig.15 Measured sound absorption coefficient before and after exposed by exhaust gas

に示す。布材種はPET 繊維材で、袋状に織られている。袋の内部が空気層2(図10)となるよう固定フレームが袋内に納められている。空気層1は、ルーバと前面布で仕切られた空間であり、空気層3は、仕切板と後方布とで仕切られた空間である。道路へ設置された状況を写真6に示す。

2.3 排気ガスの吸音性能への影響度

ディーゼルエンジン車排気口至近位置に本布材を設置し、長時間の排気ガス暴露により黒色へと変色した供試体と、暴露前の供試体(2層構造)との垂直入射吸音率を比較した結果を図15に示す。微粒子の付着により、吸音率の周波数特性が低周波側へ移行する傾向が認められ、750Hz以下の低周波数領域では吸音率が約0.05増加し、一方750Hz以上の高周波数領域では吸音率が0.05低下する結果であり、大幅な吸音率低下は観察されなかった。

3. 低層山形遮音壁(シースルー型防音壁)の開発

一般道路周辺での騒音対策の一つとして、歩道と車道の境界付近に低層遮音壁を設置する対策がとられてきた。低層遮音壁の高さは1mから1.5m程度である。遮音壁の材料が不透明部材の場合、交差点で運転手が幼児を視認できない、あるいは車室から沿線の店舗への視界性が損なわれる、といった課題があり、連続して低層遮音壁を設置する場合に、問題が生じることがあった。そのため透明板が採用されることが多いが、すでに鉄道用に採用されている周期的な開口部を有する山形の形状構造とすることにより、残像効果によって視界性を得ることも可能となる³⁾。そこで、防音性能と視界性の両立を狙った低層山形遮音壁を開発した。

3.1 遮音壁形状の最適化

山形遮音壁の防音性能に大きく影響を与える緒元とし

ては、音波の波長を基準として、開口部の開口率、ピッチ、高さ、上辺長さ、斜辺の傾角が挙げられる。これらの関係についての実験式³⁾から、所要の吸音周波数特性に適合する緒元を絞り込み(表1)、1/5縮尺模型(図16)による音響実験結果(図17)および透視性から最適形状を決定した。なお防音効果量は、自動車の周波数特性で重み付けをしたオーバール値の遮音壁有無による挿入損失値である。図17に見られるように、形状と開口率により当然ながら遮音量に差異が生じる。

3.2 道路における仮設試験施工

前述の方法で形状を決定した低層山形遮音壁(図18)を、4車線を有する幹線国道の歩車道境界に20m長さ仮設し(写真7)、道路と民地との境界線上における騒音レベル値を測定した。騒音評価点は、遮音壁から民地側へ2.3m離れた1.2m高さの点である。測定結果を表2に示す。高さを高くするほど防音効果量は増大し、低層山形遮音壁の高さを1.25mとした場合には、昼間と夜間ともに、従来低層直型遮音壁より低い騒音レベル値となる測

表1 模型低層遮音壁の形状緒元

Table 1 Dimension of model (Real measure)

Shape	A(m)	B(m)	C(m)	D(m)	E(m)
Shape 1	1.1	0.75	0.65	0.0	0.65
Shape 2	1.1	0.75	0.50	0.1	0.50
Shape 3	1.1	0.75	0.65	0.25	0.65
Shape 4	1.1	0.75	0.50	0.5	0.25
Shape 5	1.1	0.60	0.35	0.15	0.35

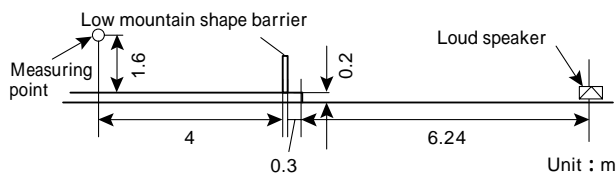


図16 1/5縮尺模型(寸法は実機換算値)

Fig.16 1/5 scale model (Real measure)

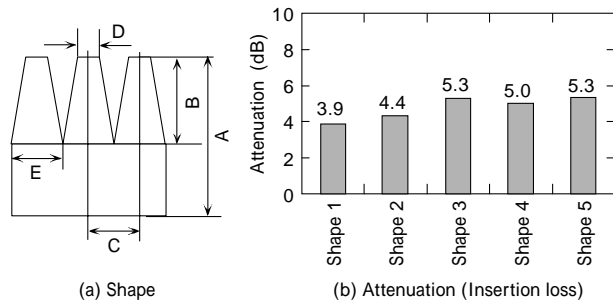


図17 低層山形遮音壁形状と防音効果(模型実験値)

Fig.17 Measured attenuation value for different shape scale model

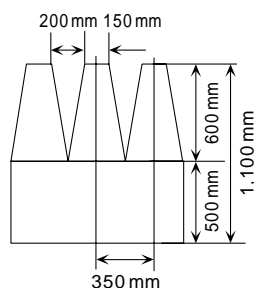


図18 低層遮音壁の山形形状

Fig.18 Dimension of mountain shape low barrier

定結果を得た。

3.3 透視性と防音性能の向上(シースルー型の開発)

走行中の運転手から見た斜め前方の可視性と防音性能の向上を図った低層山形遮音壁(以下、シースルー型低層遮音壁と称す)を更に開発した。前節で述べた低層山形遮音壁の写真8の(a)に示す運転席から見た斜め方向の可視性を改善したのがシースルー型(b)である。可視性を改善した数種の形状案の中から、音場数値解析および1/5縮尺模型実験により防音性能の向上も可能な最適形状を見出した。外観を写真9に、また横断面形状を図19に示す。また、断面形状寸法と、吸音面の差異による官民境界線上の音圧分布の相対的差異の2次元音場解析計算例を図20(a),(b)に示す。

3次元空間での低減効果については、縮尺模型実験に



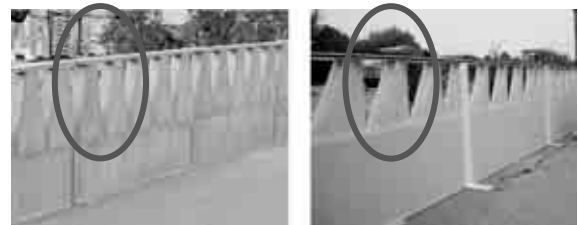
写真7 低層山形遮音壁の設置状況

Photo 7 Installed mountain shape low barrier along road

表2 低層遮音壁設置後の等価騒音レベル測定結果

Table 2 Measured equivalent continuous A-weighted sound pressure level (dBAL_{eq}) after placement of the barrier

	Height of barrier (m)	Equivalent continuous A-weighted sound pressure level (dBAL _{eq})	
		Daytime	Nighttime
Mountain shape low barrier	1.0	70.2	71.2
	1.25	67.5	69.3
Conventional low barrier	0.9	67.9	71.3



(a) Low mountain type

(b) "See-through" type

写真8 シースルー型遮音壁の可視性比較

Photo 8 Comparison of visibility between low mountain type and "see through" type



写真9 シースルー型遮音壁

Photo 9 "See through" type

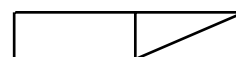
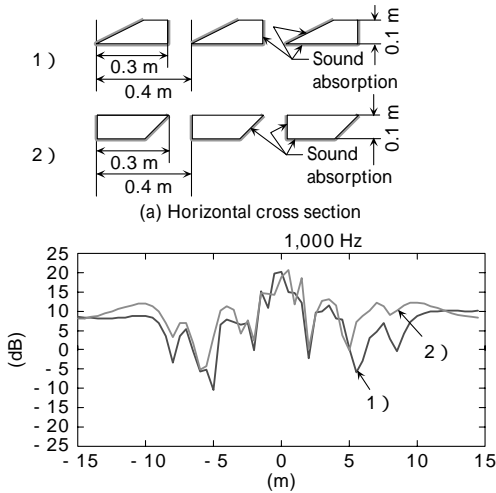


図19 横断面形状

Fig.19 Horizontal cross section

より求めた。図21に模型配置、図22にシースルー型低層遮音壁の寸法概略を、また図23に実験結果の例を示す。車体からの反射音の影響を評価できるように、音源は車体側面下部に配置している。図23より、シースルー型は前述の低層山型より評価点の音圧レベル値が低く、また、吸音性の無い直型遮音壁より良好な防音性能が得られ、改善が確認された。



(b) Computed special distribution of sound pressure level on boundary site

図20 2次元音場解析による官民境界音圧分布計算例
Fig.20 Computed special distribution of sound pressure level on boundary site by two dimensional sound field analysis

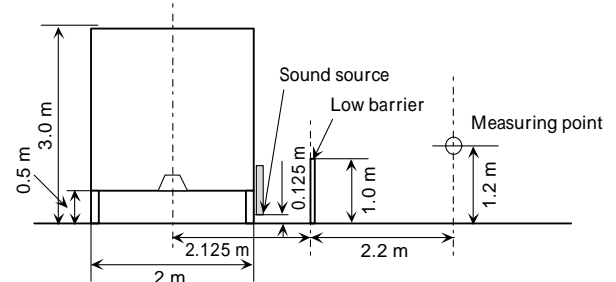


図21 1/5 縮尺模型 (寸法は実機換算値)
Fig.21 Model of 1/5 scale (Real size figure)

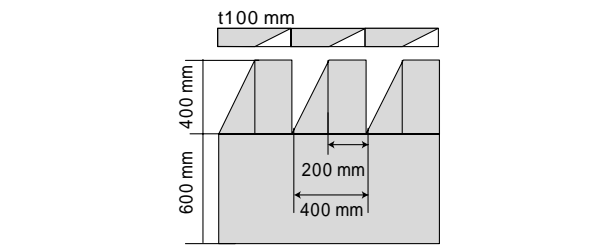


図22 改良型防音壁形状
Fig.22 Improved mountain shape ("See-through" type) barrier

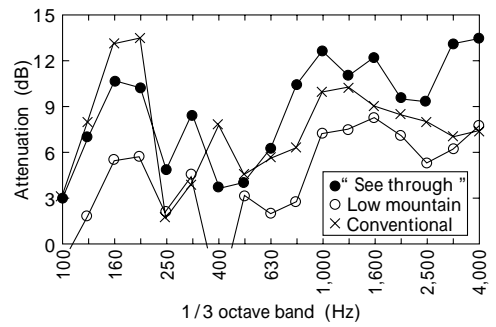


図23 模型実験結果例
Fig.23 Sample of model experiment result

次に、シースルー型低層遮音壁を歩車道境界に設置した場合の自動車走行時減音効果量を、神戸製鋼所西神研究所構内道路に20m長さ仮設して計測した。配置を図24に示す。なお、車両はマイクロバスを用い、通過速度は低層山型遮音壁仮設時49km/h、シースルー型仮設時48km/hであった。減音効果量の実測値を図25に示す。図25より、シースルー型は前述の低層山型より2.8dBA ~ 2.9dBA 減音効果量が大きくなる結果を得、直型で吸音性の無い遮音壁と同等の低減量であった。また、運転者から斜め前方の透視性は、写真8に示すように改善されたことを確認した。

3.4 実施工例

静岡県沼津市の国道246号線に、短区間8mシースルー型低層遮音壁が設置された際に、設置前後の騒音を測定し、実際の道路における本低層遮音壁の減音効果量を求めた。なお、評価は昼間10分間のL_{Aeq}である。図26に評価点位置を、また図27にそれぞれの測定点における減音効果量を示す。また、写真10に設置状況を示す。図26に示すとおり、2.2 ~ 2.9dBAの減音量であった。構内での走行実験のとき程の効果量が出ていない原因は、

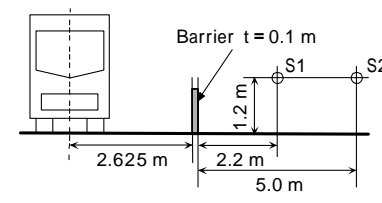


図24 配置関係図
Fig.24 Position of car, barrier and measuring points

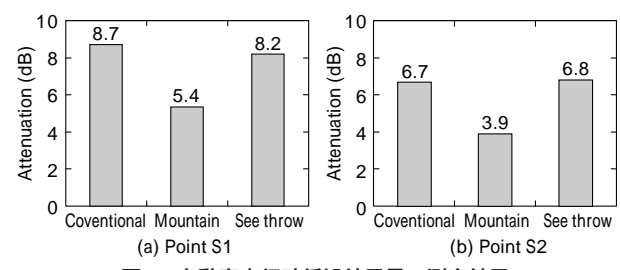


図25 自動車走行時仮設効果量の測定結果
Fig.25 Measured attenuation value by running test

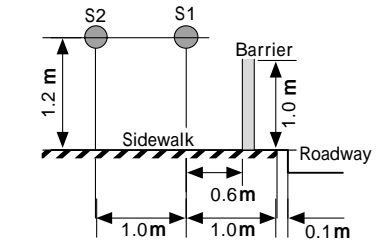


図26 観測点
Fig.26 Measuring points

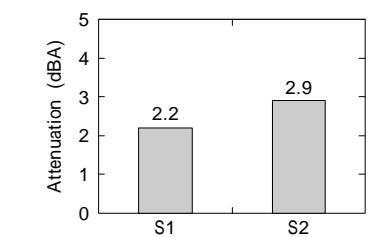


図27 減音量
Fig.27 Measured attenuation (dBA)



写真10 シースルー型遮音壁設置状況
Photo 10 Placed "see-through" type barrier

設置長が短いことによる。

むすび = 道路や鉄道沿線の音環境の改善を目指し、新規な吸音材料としての微細多孔アルミニウム箔を用いた吸音パネル、同じく耐候性の良好な布を用いた布吸音パネ

ル、および残像効果により外景可視可能な低層山形防音壁を開発した。本稿では、それらの音響設計と防音性能を中心に述べた。今後の沿道・沿線の環境騒音改善の一助となれば幸いである。今後もさらなる高質な製品の開発と普及に向け、取組んで行く所存である。

参考文献

- 1) 田中俊光：自動車技術会春季大会材料フォーラム講演集(2006) p.22.
- 2) 石井栄一ほか：R&D 神戸製鋼技報, Vol.41, No.2(1991) p.59.
- 3) 田中俊光ほか：R&D 神戸製鋼技報, Vol.49, No.2(1999) p.59.
- 4) 田中俊光：騒音制御工学ハンドブック, 6.1.5 節(2001) p.279.
- 5) 山田隆博ほか：日本機械学会環境工学シンポジウム講演論文集, Vol.05-13(2005) p.79.
- 6) H. Utsuno et al. : J. Acoust. soc. Am, Vol.86, No.2(1989) p.637.