

明 細 書

発明の名称： 吸音体及びそれを用いた遮音壁

技術分野

[0001] 本発明は、屋内又は屋外で使用して吸音効果を効率よく発揮できる吸音体及びそれを用いた遮音壁に関する。

背景技術

[0002] かかる吸音体としては、繊維状物よりなる吸音材と、吸音材の両面のそれぞれに重ね合わせて配置される通気性保護材と、それら重ね合わせた通気性保護材及び吸音材の周縁部に装着してそれら3つの部材を一体化するための枠体とからなるものが既に提案されている（例えば、特許文献1参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：日本国実開昭60-75509号公報（図1参照）

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 上記特許文献1の構成によれば、吸音体が、吸音材、2つの通気性保護材、枠体など、多くの部品から構成されているため、組立作業面及びコスト面の両方において不利になっていた。

[0005] また、前記吸音体は、所定の速度エネルギーを有する空気の粒子が吸音材を通過する際に、空気の粒子を減速して速度エネルギーを熱エネルギーに変換することで吸音するよう構成されている。このような吸音体の吸音効果のある程度向上させるためには、吸音材の厚みを厚くしなければならない。このため、吸音体全体が大型化する不都合もあった。

[0006] 本発明が前述の状況に鑑み、解決しようとするところは、吸音効果を高めることができながらも、部品点数の削減化及び小型化が実現できる吸音体及びそれを用いた遮音壁を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の吸音体は、前述の課題解決のために、端縁付近の表側と裏側とで音圧差を発生させて圧力勾配を付けるための剛性を有する板部材と、該圧力勾配によって加速された空気の粒子速度のエネルギーを消費すべく前記板部材の端縁付近に配置された吸音材とを備えたことを特徴とする。

[0008] 本発明の構成によれば、剛性を有する板部材により、端縁付近の表側と裏側とで音圧差を発生させることができ、その音圧差で端縁付近の表側と裏側とで圧力勾配を付けることができる。この圧力勾配によって、空気の粒子が加速される。そして、加速された粒子は、吸音材を通過する。粒子が吸音材を通過する際には、粒子速度のエネルギーが熱エネルギーとして消費されるため、吸音される。このように、空気の粒子が加速することで、吸音材を通過して消費される熱エネルギーが大きくなるため、吸音効果が非常に大きくなる。しかも、圧力勾配は、板部材の厚みを薄くすればするほど大きくなり、吸音効果を飛躍的に向上させることができる。さらに、板部材と板部材の端縁付近に配置された吸音材とで吸音することができることから、少ない部品点数で、小型化を実現することができる吸音体を構成することができる。尚、ここでいう剛性を有する板部材としては、端縁付近の表側と裏側とで音圧差を発生させることができるものであれば、どのような材料であってもよく、例えば各種の金属で構成できる他、木や複数枚の紙を重ね合わせて一体化した複合紙などであってもよい。

[0009] また、本発明は、前記吸音体を用いて構成された遮音壁であってもよい。

[0010] また、本発明の遮音壁は、前記吸音材が、前記板部材の端縁から該板部材の面方向に沿って外向きに延設されており、その吸音材の面密度及び流れ抵抗の値のうちの少なくとも一方の値が、該吸音材の面方向内側部分に比べて面方向外側部分が小さな値になるように設定されていることが好ましい。

[0011] 上記構成によれば、吸音材の面密度及び流れ抵抗の値のうちの少なくとも一方の値を、吸音材の面方向内側部分に比べて面方向外側部分が小さな値になるように設定しておけば、面方向内側部分から面方向外側部分まで面密度及び流れ抵抗の値を同一にした一様な吸音材に比べて、遮音効果（吸音効果

）を高めることができる。

発明の効果

[0012] 以上の如く、本発明によれば、板部材と板部材の端縁付近に配置された吸音材とで吸音体を構成することによって、吸音効果を高めることができながらも、部品点数の削減化及び小型化が実現できる吸音体及びそれを用いた遮音壁を提供することができる。よって、組立作業面及びコスト面の両方において有利になるだけでなく、運搬面やハンドリング面においても有利になる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1] (a) は本発明の吸音体の正面図、(b) は (a) における A-A 線断面図である。

[図2] 本発明の吸音体の背面図である。

[図3] (a) ~ (g) は他の吸音体を示す断面図である。

[図4] 板部材まわりの音場計算に用いる説明図である。

[図5] 板部材に平面波が垂直に入射した状態を示す説明図である。

[図6] (a) は図5の網掛けした領域の粒子速度振幅を示す斜視図、(b) は図5の網掛けした領域の粒子速度振幅を等高線表示した平面図である。

[図7] 板部材の端縁付近の音圧分布を示す斜視図である。

[図8] 板部材の端縁付近の音圧振幅の分布を示し、(a) は斜視図、(b) は等高線表示した平面図である。

[図9] 布もしくは薄い多孔質吸音層のインピーダンスを示す説明図である。

[図10] 布まわりの音場計算に用いる説明図である。

[図11] 吸音体の正面図である。

[図12] 周波数に対する吸音力を示すグラフである。

[図13] 道路と住宅地との間に遮音壁が設置された説明図である。

[図14] 吸音体を用いてなる遮音壁の減衰量計算に用いる説明図である。

[図15] 遮音壁の先端付近の粒子速度分布を示すグラフである。

[図16] 遮音壁の挿入損失を示すグラフである。

[図17]吸音体 1 個当たりの吸音力の測定結果と理論計算値とを示すグラフである。

[図18]板部材に布を設置した場合と布を設置していない場合の計算値と実験値の挿入損失を示すグラフである。

[図19]板部材に一様な吸音材を設置した場合とグラデーション吸音材を設置した場合の計算値の挿入損失を示すグラフである。

[図20] (a) ~ (e) はグラデーション吸音材の各種の具体例を示す遮音壁の上部側の断面図である。

発明を実施するための形態

[0014] 図 1 (a), (b) 及び図 2 には、本発明の吸音体 S が示されている。この吸音体 S は、正方形の板部材 1 と、この板部材 1 の 4 つの端縁のそれぞれに端面から離間する側に延びる帯状の吸音材 2 とを備えている。ここでは、4 枚の吸音材 2 から構成しているが、1 枚又は 2 枚あるいは 3 枚の吸音材から構成することもできる。また、板部材 1 は、正方形の他、長方形あるいは円形や楕円形、更には三角形や多角形に構成することができる。板部材 1 は、縦 0.6 m × 横 0.6 m で厚みが 9 ミリメートルに構成され、また、吸音材 2 は、図 1 (a) において、上辺が 0.7 m で下辺が 0.56 m で高さ（幅）が 0.07 m の帯状部材からなり、板部材 1 とラップしている部分の長さ R が 0.01 m になっている。

[0015] 板部材 1 は、端縁付近の表側と裏側とで音圧差を発生させて圧力勾配を付けるための剛性を有する材料で構成されている。ここでは、剛性を有する材料として、木を用いているが、各種の金属又は複数枚の紙を重ね合わせて一体化した複合紙など、剛性を有する材料であれば、どのような材料であってもよい。金属としては、鉄、ニッケル、アルミニウム、銅、マグネシウム、鉛などの他、これら 2 種以上の金属からなる合金であってもよい。音を吸音する観点からすれば、面密度が 3 kg/m^2 以上の材料であれば十分であるが、遮音壁として用いた場合に、ある程度の効果を期待するのであれば、面密度が 12 kg/m^2 以上の材料が好ましい。

[0016] 板部材 1 の 4 つの角部には、角部から離間する側に延びる板部材 1 と同一の厚みを有する板状で木製の補助突起 3 が配置され、その状態で板部材 1 の表面と補助突起 3 の表面とに渡って連結部材 4 が配置されて、押しピンやビスなどの止め具 5 により板部材 1 と補助突起 3 とが連結部材 4 を介して連結固定されている。

[0017] 補助突起 3 は、長手方向一端（板部材側端）に板部材 1 の角部に嵌まり込む三角形の切欠部 3 A を備えるとともに、長手方向他端（板部材から離間する側端）に三角形の突起部 3 B を備え、補助突起 3 のうち特定の補助突起 3 に吊下用の紐状体（ワイヤや糸などでもよい）6 を通すための孔 3 K を形成している。尚、孔 3 K は、1 つの補助突起 3 だけでなく、複数又は全ての補助突起 3 に形成してもよい。図 1, 2 では、1 つの補助突起 3 に形成された孔 3 K に通された紐状体 6 にて吸音体 S を吊り下げることによって、正方形の板部材 1 の 1 つの角部が上方を向いた菱形状に吸音体 S が吊り下げられているが、例えば 2 つの補助突起 3, 3 に孔を開け、それらに通された紐状体の 2 本を利用して吸音体 S を図 1 から 45° 傾けて正方形形状となる姿勢で吊り下げてもよく、吸音体 S を吊り下げる姿勢は、自由に変更可能である。

[0018] 4 つの吸音材 2 のそれぞれは、板部材 1 に備えた補助突起 3 のうちの周方向で隣り合う 2 つの補助突起 3, 3 間に張った状態で取り付けられている。詳述すれば、各吸音材 2 は、左右方向に長い帯状で正面視においてほぼ逆台形状に構成され、その左右方向両端部が 2 つの補助突起 3, 3 の一部を覆うように配置され、かつ、短手方向板部材側端の一部が板部材 1 の端縁を覆うように配置している。このように配置された吸音材 2 は、押しピンやビスなどの止め具 7 により補助突起 3, 3 間に固定されている。この止め具 7 は、前記止め具 5 と同一であってもよいし、異なるものであってもよい。

[0019] 吸音材 2 としては、例えば面密度 0.66 kg/m^2 、流れ抵抗が 924 N s/m^3 の織布や編布を用いているが、不織布でもよいし、グラスウールやロックウールなどの無機繊維からなる多孔質体や、各種の金属繊維からなる多

孔質体などであってもよい。

[0020] 前記のように構成された吸音体 S を例えば音が発生している空間中に配置すると、剛性を有する板部材 1 により、板部材 1 の端縁付近の表側と裏側とで音圧差を発生させることができる。つまり、音源側の圧力が板部材 1 の表側に発生しているとすると、表側の圧力振幅に対して音源とは反対側の音の発生していない裏側の圧力振幅が小さくなるため、板部材 1 の端縁付近の表側と裏側とで音圧差が発生し、端縁付近の表側と裏側とで圧力勾配を付けることができる。この圧力勾配によって、音を伝える空気の粒子が板部材 1 の端縁付近において加速され、加速された粒子が板部材 1 の端縁に備えた吸音材 2 を通過することによって、減速され、速度エネルギーが熱エネルギーに消費されて、吸音される。このように、空気の粒子が加速されることで、吸音材 2 を通過して消費される熱エネルギーが大きくなるため、吸音効果が非常に大きくなる。このことから、吸音材 2 の厚みを厚くする必要もない。しかも、圧力勾配は、板部材 1 の厚みを薄くすればするほど大きくなり、吸音効果を飛躍的に向上させることができる。さらに、板部材 1 と板部材 1 の端縁付近に配置された吸音材 2 とで吸音することができることから、少ない部品点数で、小型化を実現することができる吸音体 S を構成することができる。

[0021]

次に、板部材 1 のまわりの音場および吸音材 2 のまわりの音場のそれぞれについて説明する。まず、薄い剛板である板部材 1 のまわりの音場について説明すれば、図 4 のように波長に比べて十分薄い板部材のまわりの音場の計算法について説明する。速度ポテンシャルを Φ で表示し、板部材 1 の両面のうちの表側（法線の向いている側）の値を Φ_1 裏側の値を Φ_2 とすると、板部材 1 の表面上では法線方向の空気の粒子速度は 0 であるから、単位法線ベクトルを $\vec{n}$ で表すと、

$$\frac{\partial \Phi_1}{\partial n} = \frac{\partial \Phi_2}{\partial n} = 0 \quad \text{式 (1)}$$

となる。周期的定常音場の場合、式(1)を考慮すればヘルムホルツ・キルヒホッフの積分公式より受音点 P における速度ポテンシャルは次式となる。

$$\Phi(P) = \Phi_D(P) + \frac{1}{4\pi} \iint_F \tilde{\Phi} \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{\exp(ikr)}{r} \right) dS \quad \text{式 (2)}$$

ただし、 $\tilde{\Phi} = \Phi_1 - \Phi_2$ は、板部材 1 の両面におけるポテンシャル差、また、 $\Phi_D(P)$ は P 点における直接音、 $r = \overline{PQ}$ 、 $k = \omega/c$ は波数、 ω は角周波数、 c は音速を表す。ここで、時間項 $\exp(-i\omega t)$ は省略されている。

[0022]

一方、式（２）を空間の点Pで、 $\vec{n}_p$ 方向に微分して得られる式は

$$\frac{\partial \Phi(P)}{\partial n_p} = \frac{\partial \Phi_D(P)}{\partial n_p} + \frac{1}{4\pi} \iint_F \tilde{\Phi} \frac{\partial^2}{\partial n_p \partial n} \left(\frac{\exp(ikr)}{r} \right) dS \quad \text{式（３）である。なお、速度ポテンシ}$$

ンシャル Φ と音圧 p 及び粒子速度 $\vec{v}$ の間には ρ を空気の密度とすれば、以下の関係

$$p = \rho \frac{\partial \Phi}{\partial t} = -i\omega\rho\Phi, \quad \vec{v} = -\text{grad}\Phi \quad \text{式（４）があり、}\vec{n}\text{方向の粒子速度は、}$$

$v_n = -\vec{n} \cdot \text{grad}\Phi = -\frac{\partial \Phi}{\partial n}$ である。空間の点Pにおける速度ポテンシャル $\Phi(P)$ あるいは $\vec{n}_p$ 方向の粒子速度成分 $-\frac{\partial \Phi(P)}{\partial n_p}$ を式（２），（３）から求めるためには、未知関数である板部材

１の両面におけるポテンシャル差 $\tilde{\Phi} = \Phi_1 - \Phi_2$ を知る必要がある。このため、式（３）にお

いて、点Pを板部材１の面に収束（限りなく近づけた極限）させると、

$$\frac{1}{2} \left\{ \frac{\partial \Phi_1}{\partial n_p} + \frac{\partial \Phi_2}{\partial n_p} \right\} = \frac{\partial \Phi_D(P)}{\partial n_p} + \frac{1}{4\pi} \iint_F \tilde{\Phi} \frac{\partial^2}{\partial n_p \partial n} \left(\frac{\exp(ikr)}{r} \right) dS \quad \text{式（５）を得る。ここで、}$$

$\vec{n}_p$ は点Pにおける面の法線を表す。板部材１は剛板であるので左辺は０となり、板部材１

の両面上の速度ポテンシャル差 $\tilde{\Phi}$ を未知関数とする第１種積分方程式（６）となる。

$$0 = \frac{\partial \Phi_D(P)}{\partial n_p} + \frac{1}{4\pi} \iint_F \tilde{\Phi} \frac{\partial^2}{\partial n_p \partial n} \left(\frac{\exp(ikr)}{r} \right) dS \quad \text{式（６）}$$

この積分方程式（６）は、以下のような非常に特異性が強い核（超特異核）を持つ。

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2}{\partial n_p \partial n} \left(\frac{\exp(ikr)}{r} \right) &= \frac{\exp(ikr)}{r^3} \{ [3(ikr-1) - (ikr)^2] \cos(r, n_p) \cos(r, n) \\ &+ (1-ikr) \cos(n_p, n) \} \end{aligned} \quad \text{式（７）}$$

積分方程式（６）を境界要素法（BEM）により数値的に解いて、式（２），（３）に代入すれば板部材１のまわりの音場（音圧と粒子速度）が求められる。

[0023] 図５のように、１ｍ×１ｍの剛な平板に速度ポテンシャルで振幅１の平面波が垂直に入射する場合において、網掛けした領域の粒子速度振幅 $|\vec{v}|$ の分布を計算した例が、図６（ａ），（ｂ）である。図６（ａ），（ｂ）を見れば、剛板（板部材１）の端縁（エッジ）のごく近傍で非常に粒子速度振幅が大きくなる領域が存在することがわかる。端縁（エッジ）近傍に大きな粒

子速度振幅が生成される現象をここではエッジ効果と呼んでいる。端縁（エッジ）近傍で粒子速度振幅が非常に大きくなる理由は、図7に示すドット部分の音圧分布 $|p|$ を計算し表示すると、図8（a）、（b）のようになり、端縁（エッジ）近傍では音圧勾配が非常に大きくなるのが原因である。このような非常に大きな粒子速度振幅となる領域（空気の粒子が非常に激しく振動している領域）に布や薄い多孔質材などの吸音材を置けば、空気の粒子と布や多孔質材の繊維の摩擦によって音のエネルギーが熱エネルギーに変換され、大きな吸音性能が得られるものと考えられる。尚、粒子速度は、音圧勾配に比例する。

[0024] また、道路騒音や鉄道騒音等の遮音に多く用いられている遮音壁においても同様のアイデアで遮音性能を向上させることができると考えられる。布や多孔質材などの吸音材を端縁（エッジ）近傍に設置することにより粒子速度が弱められることから、一層の減音効果があると考えられる。なお、半無限の平面剛壁の場合には遮音壁背後の回折領域の速度ポテンシャルが端縁（エッジ）から上方の領域における粒子速度分布の積分値として表すことが可能である。

[0025]

続いて、布あるいは薄い多孔質吸音層などの吸音材のまわりの音場について考察すれば、図9のような通気性の布もしくは薄い多孔質吸音層(以下では後者も布と表示)を考える。流れ抵抗を r_s 、布両面の音圧をそれぞれ p_1 、 p_2 とし、布を通過する粒子の速度を v_s とすると、

$$v_s = -\frac{p_1 - p_2}{r_s} \quad \text{式(8)}$$

なる関係がある。また、布自体も両面の音圧差 $p_2 - p_1$ によって励振させられる。 M_s を布の面密度、 v_m を布の振動速度とし、時間項を $\exp(-i\omega t)$ と仮定すると次式を得る。

$$-(p_1 - p_2) = M_s \frac{dv_m}{dt} = -i\omega M_s v_m \quad \text{式(9)}$$

従って、布における空気の粒子速度 v は v_s 及び v_m の両者の粒子速度の和で表され、

$$v = v_s + v_m = -\left(\frac{1}{r_s} - \frac{1}{i\omega M_s}\right)(p_1 - p_2) \quad \text{式(10)}$$

となる。 $-(p_1 - p_2)/v = Z_r$ と置くと、

$$Z_r = -\frac{p_1 - p_2}{v} = \left(\frac{1}{r_s} - \frac{1}{i\omega M_s}\right)^{-1} \quad \text{式(11)}$$

となり、

$$v = -\frac{p_1 - p_2}{Z_r} = \frac{i\omega\rho(\Phi_1 - \Phi_2)}{Z_r} \quad \text{式(12)}$$

なる関係を得る。

[0026] 図10のように、空間中に布が存在する場合の音場を考えると、板部材1の場合と同様に直接音と布両面上に分布する速度ポテンシャル差により、式(2)及び式(3)を用いて表すことができる。ただし、布の場合には式(12)より

$$v = -\frac{1}{2} \left\{ \frac{\partial \Phi_1(P)}{\partial n_p} + \frac{\partial \Phi_2(P)}{\partial n_p} \right\} = -\frac{i\omega\rho}{Z_r} \tilde{\Phi}(P) \quad (P \in F) \quad \text{式(13)}$$

の関係があるから、境界積分方程式は次式となる。

$$-\frac{i\omega\rho}{Z_r} \tilde{\Phi}(P) = \frac{\partial \Phi_D(P)}{\partial n_p} + \frac{1}{4\pi} \iint_F \tilde{\Phi} \frac{\partial^2}{\partial n_p \partial n} \left(\frac{\exp(ikr)}{r} \right) dS \quad (P \in F) \quad \text{式(14)}$$

式(14)を解いて $\tilde{\Phi}$ を求め、式(2)、(3)に代入すれば音圧や粒子速度を求めることができる。

[0027] 布（吸音材）により吸音される単位面積当たりのエネルギーは、布（吸音材）の表の面を通過するエネルギー I_1 及び裏面を通過するエネルギー I_2 の差より算出される。 I_1 、 I_2 は以下の式

$$I_1 = \frac{1}{4} (p_1^* v + p_1 v^*) \quad \text{式 (15)}$$

$$I_2 = \frac{1}{4} (p_2^* v + p_2 v^*) \quad \text{式 (16)}$$

で求められ、 p_1 、 p_2 はそれぞれ布（吸音材）の表の面と裏の面の音圧、 v は粒子速度、 $*$ は複素共役を意味している。布（吸音材）の面全体では、それらを積分して

$$\begin{aligned} & \iint_F |I_a| dS \\ &= \frac{1}{4} \iint_F |p_1^* v + p_1 v^* - p_2^* v - p_2 v^*| dS \\ &= \frac{\omega \rho}{4} \iint_F |\tilde{\Phi}^* v + \tilde{\Phi} v^*| dS \end{aligned} \quad \text{式 (17)}$$

により求められる。ただし、 $I_a = I_1 - I_2$ 、 $p_1 - p_2 = -i\omega\rho\tilde{\Phi}$ である。

[0028] 前記のように板部材 1 のまわりの音場および吸音材 2 のまわりの音場についての考察を踏まえて、本発明の吸音体 S について説明すれば、薄い剛板である板部材 1 の端縁（エッジ）近傍の領域では、粒子が非常に激しく振動することを先に示した。このような領域に粒子速度分布をあまり乱さないような布や薄い多孔性吸音材などの吸音材を置けば、空気の粒子と吸音材の繊維との摩擦によって音のエネルギーが熱エネルギーに変換され、大きな吸音効果が期待される。尚、摩擦抵抗は、粒子速度に比例すると考えられる。図 11 は、そのような原理を応用した吸音体 S の一例である。

[0029] 図 12 は、図 11 に示した吸音体 S を空間中に設置した場合の乱入射吸音力を式 (6) 及び式 (14) を連立させて求めた結果である。端縁（エッジ）付近のみを吸音しただけにもかかわらず、比較的大きな吸音力が得られていることがわかる。なお、流れ抵抗 r_s は $4.15 \text{ N s} / \text{m}^3$ 及び $830 \text{ N s} / \text{m}^3$ の 2 種類について計算している。尚、吸音率×面積で、等価吸音面積とも

言う。吸音体Sは、前記のように板部材1と布でなる吸音材2とから構成されている。板部材1の寸法が0.9m×0.9mの正方形であり、この板部材の外周縁に0.1m幅を有する環状の布2が配置されている。

[0030] 図1(a), (b)および図2で示した吸音体Sは、図3(a)から(g)に示すように構成されてもよい。つまり、図1(a), (b)および図2で示した吸音体Sの吸音材2は、板部材1に比べて薄く構成されていたが、図3(a)では、板部材1の厚みに対して吸音材2の厚みが同一の場合を示し、図3(b)では、板部材1の厚みに対して吸音材2が厚い大きさに構成され、吸音材2が板部材1の表裏から厚み方向両側に食み出している状態を示している。また、図3(c)では、板部材1の厚みに対して吸音材2の厚みが薄い場合を示し、図3(d)では、板部材1が端面側ほど先細りとなる先細り部1Tを備えた形状になっている。また、図3(e)では、板部材1が図において左側に緩やかに凸となる湾曲面に構成され、図3(f)では、板部材1の端面1Aが上方に凸となる湾曲面に構成されている。また、図3(g)では、板部材1の端面側に厚みが細くなっている細幅部分1Wを備えている。

[0031] また、本発明の吸音体Sを用いて構成された遮音壁Wが、図13に示されている。この遮音壁Wは、道路側からの音を吸音することによって、道路から住宅側へ車両Cの走行音やエンジン音などが侵入するのを可及的に抑制することができる。この遮音壁Wは、端縁付近での音圧差を付けて勾配を付けるための剛性を有する板部材10を備え、この板部材10の道路面（表面とする）10Bの上部の表側とこれの反対側となる裏側とで音圧差を発生させるようにしている。板部材10の道路面10Bの下部の表面には、吸音処理層10Aが施されている。また、遮音壁Wの住宅側の面（裏面とする）は、剛面にするか、あるいは吸音処理を施して実施してもよい。そして、板部材10の上端面に、上方に延びる吸音材としての多孔質の吸音層（無機繊維からなる多孔質体や、各種の金属繊維からなる多孔質体の他、布で構成してもよい）11を配置し、吸音層11の表側及び裏側を金網またはパンチングメ

タルなどの保護材 1 2 で保護し、保護材 1 2 の上端に雨除用のキャップ 1 3 を設けて、遮音壁 W を構成している。

[0032] 従って、前記のように遮音壁 W を構成することによって、道路交通騒音（鉄道騒音等でも利用できる）の低減に効果的である。つまり、端縁（エッジ）近傍の領域に現れる加速された大きな粒子速度を吸音層 1 1 で音のエネルギーを熱エネルギーに変換し、粒子速度を低減させることによって、回折側の領域の音圧を減少させることが可能である。このことは、図 1 4 に示すように、遮音壁（薄い半無限剛平板）の先端部分に布を設置して回折音場の計算を試みた例で理解できる。半無限遮音壁などでは、遮音壁の上部に延長した面における粒子速度分布の積分によって回折側領域の音圧を求めることができる。従って、それらの領域、特に端縁（エッジ）近傍の大きな粒子速度を低減させることにより、回折音を減少させることができる。

[0033] 図 1 5 は、図 1 4 に示す音源位置から球面波を発生させた時、布が無いときの遮音壁上方における粒子速度振幅の分布を計算により求めたものである。図中、横軸は遮音壁先端から上方への距離を表している。遮音壁の上方、端縁（エッジ）近傍において非常に粒子速度振幅が大きくなっていることがわかる。なお、音源は 1 m 離れた位置で速度ポテンシャルの振幅が 1 となる強さで計算した。

[0034] 図 1 6 は、図 1 4 に示す回折側の受信位置において、遮音壁を設置することによるレベルの減衰量（挿入損失とも言われる）を計算した結果である。図中（a）は遮音壁のみの場合、（b）は先端上部に 50 cm 幅の布を設置した場合、（c）は布を設置せず遮音壁の高さを布上端と一致させた場合の結果である。なお、これらは 125 Hz における計算結果で、布の流れ抵抗は $830 \text{ N s} / \text{m}^3$ である。これらの結果をみれば、設置した布の効果は想像以上に大きなものと言える。

[0035] 図 1 7 は、吸音体 1 個当たりの吸音力の測定値と理論計算値を示したグラフである。測定値は、図 1（a）、（b）及び図 2 の吸音体 S を室内の空間中に吊り下げて測定したものであり、理論計算値と測定値とが同じような値

になっている。また、周波数が高くなるほど、吸音力が大きくなっており、特に高い周波数に有効である。

[0036] 近年、先端改良型の遮音壁が種々提案されているが、高コストの割には効果的でないものが多いように思われる。また、ここで示したようなエッジ効果を利用したものも見られない。この発明は、非常にシンプルでコンパクトであるが、性能が良く製造コストや施工の容易さなどの面から広く応用できるものと考えられる。また、吸音体Sを構成する板部材1の面積を増大させるほど低い周波数の音を吸音することができ、吸音したい周波数に応じて板部材1の面積（大きさ）を変更することができる。

[0037] また、図18に、遮音壁の遮音（吸音）の実験結果及び計算値のグラフを示している。具体的には、図14に記載の遮音壁を小さくした模型を作製し、それを用いて遮音壁から所定距離離れた地点での挿入損失の実験結果及び計算値（前述した式（14）を用いて計算した値）を、図18のグラフに示している。前記模型としては、厚みが9mmで縦90cm×横180cmの木製の板部材から構成された壁と、前記板部材の上端に吸音材である布（縦5cm×横180cmの大きさのもの）を設置した遮音壁の2つの壁を用意した。そして、図18のグラフでは、前記遮音壁を用いて挿入損失を測定しその測定値をプロットして直線で結んだ折れ線K1と、前記遮音壁の板部材を半無限障壁と見なして式（14）で挿入損失を計算した計算値をプロットして直線で結んだ折れ線K2と、前記壁の上端が遮音壁の板部材に設置した布の上端と同じ高さになるように壁を高くしその壁を半無限障壁と見なして式（14）で挿入損失を計算した計算値をプロットして直線で結んだ直線K10と、壁の板部材を半無限障壁と見なして式（14）で挿入損失を計算した計算値をプロットして直線で結んだ折れ線K11と、壁を用いて挿入損失を測定しその測定値をプロットして直線で結んだ折れ線K12とが描かれている。尚、布は、面密度が 0.6 kg/m^2 で、流れ抵抗が 789 N s/m^3 である。また、測定値の周波数は、模型で測定した周波数を $1/10$ にした値をプロットしている。

[0038] 図18のグラフを見れば、直線K10の値より、折れ線K2の値の方が高い値である。これより、遮音壁の布の上端と同じ高さにした壁の挿入損失（遮音効果）よりも、遮音壁の板部材を半無限障壁と見なして式（14）で計算した挿入損失（遮音効果）が高いことがわかる。これとは逆に、直線K10の値より、折れ線K11の値が低い。これより、遮音壁の布の上端と同じ高さにした壁の挿入損失（遮音効果）よりも、壁を半無限障壁と見なして式（14）で計算した挿入損失（遮音効果）が壁の高さが低くなっている分だけ低いことがわかる。また、折れ線K1の値と折れ線K2の値とは非常に近い値である。これより、遮音壁の板部材を半無限障壁と見なして式（14）で挿入損失を計算した計算値（折れ線K2の値）が信頼性の高い値であることが明らかである。また、折れ線K11の値と折れ線K12の値とは非常に近い値である。これより、布を設置しない壁を半無限障壁と見なして式（14）で計算した計算値（折れ線K11の値）が信頼性の高い値であることが明らかである。前記遮音効果の一部には、吸音効果も含まれている。

[0039] 要するに、遮音壁において板部材の上端に吸音材（図18では布）を設置すれば、挿入損失（遮音効果）が高くなることが、図18のグラフから明らかである。しかも、計算で求めた挿入損失の値は、測定した値と略等しい信頼性の高いものである。

[0040] 図18では、遮音壁を構成する板部材の上端に、面密度が 0.6 kg/m^2 で、流れ抵抗が 789 N s/m^3 の布を設置した場合に、布を設置していない壁に比べて、遮音効果がある場合を示した。一方、図19は、面密度及び流れ抵抗が下側部分から上側部分まで一定となる一様な吸音材を用いた遮音壁に対し、面密度及び流れ抵抗の値のいずれもが吸音材の上側部分ほど小さな値になるように構成された吸音材（一様な吸音材と区別するために、グラデーション吸音材という）を用いた遮音壁が更に遮音効果が高いという結果を示すグラフである。尚、図19のグラフは、自動車における騒音レベル（A特性音圧レベル）に対する挿入損失を表しており、前述のように信頼性が高い挿入損失の計算値を基に作成している。尚、一様な吸音材とは、下から上

まで面密度及び流れ抵抗の値が同じになるように構成されているものをいう。

[0041] 図19のグラフでは、板部材の上端に布を設置した遮音壁と同じ高さの板部材を半無限障壁と見なして挿入損失を計算した計算値をプロットして直線で結んだ折れ線Hと、板部材の上端に一様な吸音材を設置した遮音壁の板部材を半無限障壁と見なして挿入損失を計算した計算値をプロットして直線で結んだ5本の折れ線U1～U5と、板部材の上端にグラデーション吸音材を設置した遮音壁の板部材を半無限障壁と見なして挿入損失を計算した計算値をプロットして直線で結んだ5本の折れ線G1～G5とが描かれている。尚、下記表1に壁からの距離（m）に対する挿入損失の計算値（dB）を記載している。また、前記計算値は、前述した式（14）を用いて計算した値である。

[0042]

[表1]

距離 (m)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
吸音材										
H:剛の障壁(0.5m延長)	23.6	22.3	21.9	21.7	21.5	21.5	21.4	21.3	21.3	21.3
G3:面密度12kg/m ² 流れ抵抗400Ns/m ³	27.1	25.8	25.2	24.9	24.8	24.6	24.5	24.5	24.3	24.2
G5:面密度24kg/m ² 流れ抵抗800Ns/m ³	30.2	28.7	27.9	27.6	27.4	27.2	27.1	27.1	26.9	26.8
G4:面密度48kg/m ² 流れ抵抗1600Ns/m ³	34.0	32.1	31.0	30.6	30.3	30.0	29.9	29.7	29.5	29.4
G2:面密度96kg/m ² 流れ抵抗3200Ns/m ³	36.4	33.5	32.2	31.6	31.2	30.9	30.7	30.4	30.3	30.3
G1:面密度192kg/m ² 流れ抵抗6400Ns/m ³	34.3	31.5	30.4	29.8	29.4	29.2	29.0	28.7	28.7	28.7
U3:面密度12kg/m ² 流れ抵抗400Ns/m ³	27.1	26.0	25.5	25.3	25.1	25.0	24.9	24.9	24.8	24.7
U5:面密度24kg/m ² 流れ抵抗800Ns/m ³	29.3	28.0	27.5	27.3	27.0	26.9	26.8	26.7	26.7	26.6
U4:面密度48kg/m ² 流れ抵抗1600Ns/m ³	29.5	27.9	27.4	27.1	26.9	26.8	26.6	26.5	26.5	26.5
U2:面密度96kg/m ² 流れ抵抗3200Ns/m ³	27.5	26.0	25.5	25.3	25.0	24.9	24.8	24.7	24.7	24.7
U1:面密度192kg/m ² 流れ抵抗6400Ns/m ³	25.8	24.4	23.9	23.7	23.5	23.4	23.3	23.2	23.2	23.2

[0043] 折れ線U1の一樣な吸音材は、面密度が192kg/m²で流れ抵抗が6400Ns/m³である。折れ線U2の一樣な吸音材は、面密度が96kg/m²で流れ抵抗が3200Ns/m³である。折れ線U3の一樣な吸音材は、面密度が12kg/m²で流れ抵抗が400Ns/m³である。折れ線U4の一樣な吸音材は、面密度が48kg/m²で流れ抵抗が1600Ns/m³である。折れ線U5の一樣な吸音材は、面密度が24kg/m²で流れ抵抗が80

$0 \text{ N s} / \text{m}^3$ である。

[0044] 折れ線G 1のグラデーション吸音材は、その吸音材の下端部分の面密度が $192 \text{ kg} / \text{m}^2$ で流れ抵抗が $6400 \text{ N s} / \text{m}^3$ であり、上端に行くに従ってそれらの値が小さくなり、上端では零又は零に近い値になるように構成されている。折れ線G 2のグラデーション吸音材は、その吸音材の下端部分の面密度が $96 \text{ kg} / \text{m}^2$ で流れ抵抗が $3200 \text{ N s} / \text{m}^3$ であり、上端に行くに従ってそれらの値が小さくなり、上端では零又は零に近い値になるように構成されている。折れ線G 3のグラデーション吸音材は、その吸音材の下端部分の面密度が $12 \text{ kg} / \text{m}^2$ で流れ抵抗が $400 \text{ N s} / \text{m}^3$ であり、上端に行くに従ってそれらの値が小さくなり、上端では零又は零に近い値になるように構成されている。折れ線G 4のグラデーション吸音材は、その吸音材の下端部分の面密度が $48 \text{ kg} / \text{m}^2$ で流れ抵抗が $1600 \text{ N s} / \text{m}^3$ であり、上端に行くに従ってそれらの値が小さくなり、上端では零又は零に近い値になるように構成されている。折れ線G 5グラデーション吸音材は、その吸音材の下端部分の面密度が $24 \text{ kg} / \text{m}^2$ で流れ抵抗が $800 \text{ N s} / \text{m}^3$ であり、上端に行くに従ってそれらの値が小さくなり、上端では零又は零に近い値になるように構成されている。

[0045] 図19のグラフを見れば、折れ線Hの値よりも、折れ線U 1～U 5の値も折れ線G 1～G 5の値も高い値であることがわかる。これより、板部材の上端に吸音材としての布を設けた遮音壁は、吸音材を用いていない壁に比べて遮音効果が優れていることがわかる。また、グラフの中で、折れ線G 2が最も挿入損失（遮音効果）が高い。さらに、折れ線G 3を除いた残りの折れ線G 1, G 2, G 4, G 5の挿入損失（遮音効果）が、折れ線U 1～U 5の中でも最も高い挿入損失（遮音効果）を有する折れ線U 5よりも高い値になっている。さらにまた、前記折れ線G 3の挿入損失（遮音効果）が、グラフの中で最も挿入損失（吸音効果）が低い折れ線U 1の挿入損失（遮音効果）よりも高い値になっている。

[0046] 要するに、遮音壁において板部材の上端に一様の吸音材を設置すれば、挿

入損失（遮音効果）が高くなることが、図19のグラフから明らかである。また、板部材の上端にグラデーション吸音材を設置すれば、一様の吸音材を設置するものに比べて挿入損失（遮音効果）が高くなることが、図19のグラフから明らかである。尚、図19では、5種類のグラデーション吸音材の場合を示しているが、面密度が $12\text{ kg/m}^2 \sim 192\text{ kg/m}^2$ の範囲内の任意の面密度と、流れ抵抗が $400\text{ N s/m}^3 \sim 6400\text{ N s/m}^3$ の範囲内の任意の面密度とを組み合わせたグラデーション吸音材を作製すれば、挿入損失（遮音効果）が高くなることが推察できる。

[0047] 前記遮音壁の各種の具体例を、図20(a)～(e)に基づいて説明する。遮音壁Wは、端縁付近での音圧差を付けて圧力勾配を付けるための剛性を有する板部材10と、その上端に設置され前記圧力勾配によって加速された空気の粒子速度のエネルギーを消費するためのグラデーション吸音材14とから構成されている。図20(a)では、グラデーション吸音材14が、下側ほど厚みが厚くなっている3種類の吸音材14A、14B、14Cから構成されている。つまり、グラデーション吸音材14の厚みが上の方が薄くなるように厚みの異なる3つの吸音材14A、14B、14Cを上下方向に配置して、グラデーション吸音材14が上下方向で複数の段部を有する複数段形状に構成されている。下側の吸音材14Aの面密度及び流れ抵抗の値は、その上の中間の吸音材14Bの面密度及び流れ抵抗の値よりも大きな値になっている。一番上の吸音材14Cの面密度及び流れ抵抗の値は、その下の吸音材14Bの面密度及び流れ抵抗の値よりも小さな値になっている。図20(b)では、グラデーション吸音材14が上側に向かうほど厚みが薄くなるように直線状（湾曲でもよい）の傾斜面を有する略三角形形状に構成されている。このグラデーション吸音材14の面密度及び流れ抵抗の値は、上側ほど徐々に小さな値になっており、上端で零又は零に近い値になっている。このように構成することによって、グラデーション吸音材14の面密度及び流れ抵抗の値が上下方向に沿って線形（連続）に変化するので、非線形（不連続）に変化する場合の該非線形部分での遮音効果の低下をなくして、効果的に遮

音できる。図20(c)では、グラデーション吸音材14が同一の厚みで同一の大きさからなり、しかも面密度及び流れ抵抗の値が同じ値となる6つの吸音材14Aから構成されている。つまり、板部材10の上端に3つの吸音材14Aを厚み方向に重ねて配置し、それら3つの吸音材14A、14A、14Aの上端に2つの吸音材14A、14Aを重ねて配置し、それら2つの吸音材14A、14Aの上端に1つの吸音材14Aを配置している。この場合も、グラデーション吸音材14が上下方向で複数の段部を有する複数段形状に構成されている。このように吸音材を配置することによって、最下段に位置する3つの吸音材14Aの面密度及び流れ抵抗の値が最も大きな値になり、最上段に位置する1つの吸音材14Aの面密度及び流れ抵抗が最も小さな値になる。図20(d)では、グラデーション吸音材14が同一厚みで高さ(上下方向寸法)の異なる5つの吸音材14A、14B、14Cから構成されている。つまり、最も背の高い第1吸音材14Cの厚み方向の両側にこれよりも背の低い第2吸音材14Bを配置し、これら第2吸音材14B、14Bの外面にこれよりも背の低い第3吸音材14Aを配置している。この場合も、グラデーション吸音材14が上下方向で複数の段部を有する複数段形状に構成されている。このように吸音材を配置することによって、グラデーション吸音材14の厚みは、下側から2枚の第3吸音材14Aと2枚の第2吸音材14Bと1枚の第1吸音材14Cの5枚分、2枚の第2吸音材14Bと1枚の第1吸音材14Cの3枚分、1枚の第1吸音材14Cの1枚分と、順に薄くなる。よって、グラデーション吸音材14の面密度及び流れ抵抗の値は、下側から順に小さい値となる。図20(e)では、グラデーション吸音材14は、上下方向で同一厚みに構成されているが、上下方向において下側部位14aの面密度及び流れ抵抗の値が最も大きく、中間部位14bの面密度及び流れ抵抗の値が下側部位14aの面密度及び流れ抵抗の値よりも小さく、上側部位14cの面密度及び流れ抵抗の値が最も小さくなるように構成されている。例えば、図20(e)のグラデーション吸音材14は、スポンジや発泡体などから構成され、下側部位14aに形成される孔が最も密に

なるように形成されるとともに、下側部位 14 a の孔の流れ抵抗が最も大きくなるように孔の形状や大きさを決定する。これとは反対に、上側部位 14 c に形成される孔が最も疎に形成されるとともに、孔の流れ抵抗の値が最も小さくなるように孔の形状や大きさを決定する。

[0048] また、図 20 (a) では、3つの吸音材 14 A, 14 B, 14 C からグラデーション吸音材 14 を構成したが、1つの吸音材からグラデーション吸音材 14 を構成してもよい。また、図 20 (a), (c), (d), (e) では、吸音材の面密度及び流れ抵抗の値を上下方向三段階に変化させる場合を示したが、四段階以上に変化する構成にすることによって、上下方向における面密度及び流れ抵抗の値を線形に近い状態で変化させることができる。また、上下方向二段階にグラデーション吸音材の面密度及び流れ抵抗の値が変化する、つまりグラデーション吸音材の面密度及び流れ抵抗の値を、グラデーション吸音材の下側部分に比べて上側部分が小さな値になるように設定する構成であってもよい。また、グラデーション吸音材の面密度の値と流れ抵抗の値の両方の値を、グラデーション吸音材の下側部分に比べて上側部分が小さな値になるように設定した方が、遮音効果が一層高くなるが、面密度の値及び流れ抵抗の値のいずれか一方のみを、グラデーション吸音材の下側部分に比べて上側部分が小さな値になるように設定してもよい。

[0049] 尚、本発明は、前記実施形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の変更が可能である。

[0050] 前記実施形態では、板部材 1 の端縁のほぼ全域に渡って吸音材 2 を備えさせたが、一部のみに設けて実施してもよい。また、板部材 1 の端縁を一部覆うように吸音材 2 を配置したが、板部材 1 の端縁を全く覆うことがないように吸音材 2 を配置して実施してもよい。

[0051] また、前記実施形態では、吸音体 S を吊り下げて使用する他、床などに固定してパーテーション（仕切り材）などに使用してもよい。

[0052] また、前記実施形態では、板部材の上端に吸音材を配置したが、板部材の横側端に吸音材を配置してもよい。要するに、吸音材が板部材の端縁から該

板部材の面方向に沿って外向きに延設されるように配置されるのであれば、吸音材の取付位置は特に制限されない。

符号の説明

[0053] 1…板部材、1 A…端面、1 W…細幅部分、2…吸音材、3…補助突起、3 A…切欠部、3 B…突起部、3 K…孔、4…連結部材、5…ビス、6…紐状体、7…ビス、1 0…板部材、1 0 A…吸音処理層、1 1…吸音層、1 2…保護材、1 3…キャップ、1 4…グラデーション吸音材、S…吸音体、W…遮音壁

請求の範囲

- [請求項1] 端縁付近の表側と裏側とで音圧差を発生させて圧力勾配を付けるための剛性を有する板部材と、該圧力勾配によって加速された空気の粒子速度のエネルギーを消費すべく前記板部材の端縁付近に配置された吸音材とを備えたことを特徴とする吸音体。
- [請求項2] 請求項1に記載の吸音体を用いて構成された遮音壁。
- [請求項3] 前記吸音材は、前記板部材の端縁から該板部材の面方向に沿って外向きに延設されており、その吸音材の面密度及び流れ抵抗の値のうちの少なくとも一方の値が、該吸音材の面方向内側部分に比べて面方向外側部分が小さな値になるように設定されていることを特徴とする請求項2に記載の遮音壁。