

氏 名	湯 澤 睦 茂
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 53 年 4 月 12 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭和 21 年 12 月 仙台工業専門学校建築専修科修了

学 位 論 文 題 目 各種障壁による騒音の回折減衰に関する研究

論 文 審 査 委 員	東北大学教授 二村 忠元	東北大学教授 柴山 乾夫
	東北大学教授 長谷川房雄	東北大学教授 城戸 健一
	東北大学助教授 曾根 敏夫	

論 文 内 容 要 旨

1つの剛な半無限障壁による音波の回折減衰に関しては、1915年に、主として電磁波の伝播について導き出されたH. M. MacDonaldの解、及び1974年に、幾何音響理論を取り入れて導き出されたA. D. Pierceの解がある。しかしながら実際には、このように理想化された剛な半無限障壁は存在しない。例えば建物その他の構築物は一般に様々な形をした有限の障壁であり、また多くの場合、任意に配置された多重障壁である。このように実際の障壁では、その形や配置が多種多様であるため解析的研究には多くの困難があり、いままで理論的又は実験的に必ずしも十分な成果は得られていない。

本論文は、実在するいくつかの基本的タイプの障壁（群）による騒音の回折減衰に関し、その予測法を導き出すため理論及び実験の両面から検討したもので全編6章からなる。

第 1 章 序 論

障壁による騒音の回折減衰に関し、従来からの研究経過を概説し、本研究の騒音予測に対する基本姿勢について述べ、研究目的を明確にしている。

第2章 剛な半無限障壁による音波の回折減衰

障壁背後の音圧は、入射波成分のうちその直接波成分がつくる回折波と障壁エッジ近傍からの反射波成分がつくる回折波を合成したものと与えられるが、回折波の挙動に関してはいままですりよく知られていなかった。ここでは回折波の挙動に関し、A. D. Pierceの理論式を利用して数値的に検討している。その結果、図1を参照して、 θ が等しい場合には、xy平面に正射投影した入射音線(r_0)と障壁面とがつくる角 θ_S と、回折後の音線(r)と障壁面とがつくる角 θ_L が等しいときに、反射波成分からの音圧の寄与は最も小さく、反対に θ_S と θ_L の差が大きくなるほど反射波成分からの寄与は大きくなる。そしてこの反射波成分からの音圧の寄与によって、観測点の音圧レベルは直接波成分のみの寄与に対し0dBから6dBの間で上昇することが明らかとなった。更に本章では、この知見をもとに実用の便を考慮し、点音源及び線状音源に対する障壁の減衰効果を予測するための図式解法を導き出した。

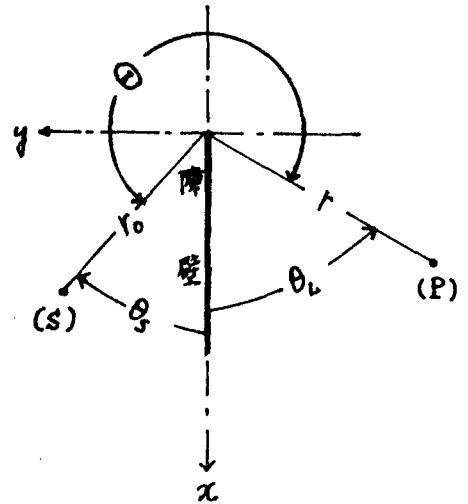


図1. 記号の説明、(S)及び(P)はそれぞれxy平面に正射投影された音源及び受音点を示す

第3章 種々の有限障壁による騒音の回折減衰

板の背後の音圧レベルは、その板を囲む開放空間に関するある関数の積分で与えられるが、板が有限で複雑な形をしているときには、その開放空間についての積分は一般に面倒になる。そこでここでは、板を囲む開放空間を適当なひろがりをもつ空間と数に分割し、あとで重ね合せをする方法

について検討した。この方法では、はじめに、凸角形板の相隣る2辺に接する開放空間を共に半無限空間と見なすことによってできる重複領域、 $1/n$ 無限空間(ここに $n=2\pi/\theta$ 、 θ は相隣る2辺の延長線がつくる内角で、 $\theta < \pi$)の音圧回折係数の絶対値 $|[D.F.]_{1/n}|$ がFresnel-Kirchhoffの近似理論から導き得ることを示し、ついでこの $|[D.F.]_{1/n}|$ と板のそれぞれの辺を無限長と見なしたときの音圧回折係数の絶対値 $|[D.F.]_{1/2}|$ との適当な組合せにより、凸多角形板及び凹凸のある板の音圧回折係数の絶対値の2乗 $|[D.F.]_{total}^2$ を求めている。この結果、凸多角形板に対する一般式を示せば図2を参照して(1)式のようなものである。

$$\begin{aligned}
 |[D.F.]_{total}^2| &= |[D.F.]_{A=1/2}|^2 + |[D.F.]_{B=1/2}|^2 + |[D.F.]_{C=1/2}|^2 + \dots \\
 &- \left[(|[D.F.]_{A=1/2}| \cdot |[D.F.]_{B=1/2}|)^{n_{1/2}} + (|[D.F.]_{B=1/2}| \cdot |[D.F.]_{C=1/2}|)^{n_{2/2}} \right. \\
 &\left. + \dots \right]
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

ここに $[D.F.]_A=1/2$, $[D.F.]_B=1/2$, \dots
 は辺A, 辺B, 辺 \dots に接する空間を半無限空間と見なしたときの回折係数であり, n_1, n_2, \dots
 はそれぞれ $n_1=2\pi/\theta_1$, $n_2=2\pi/\theta_2$, \dots で
 ある。

次に, 剛な有限障壁による騒音減衰量

$h(\Delta L_p)_{total}$ は(2)式で定義される。

$$h(\Delta L_p)_{total} = -10 \log |[D.F.]_{total}|^2 \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

凸多角形板及び凹凸のある板に対する計算結果は, 数種の縮尺模型を用いた実験結果とはほぼ等しい値が得られ, 本解法の有用性が確かめられた。また, 円板に対して検討した結果, 円板を十分多くの辺をもつ正多角形板に置き換えて近似でき, 更に実用的には円板を30辺程度の正多角形板と見なして計算しても, 問題となるような予測誤差は生じないことが明らかとなった。

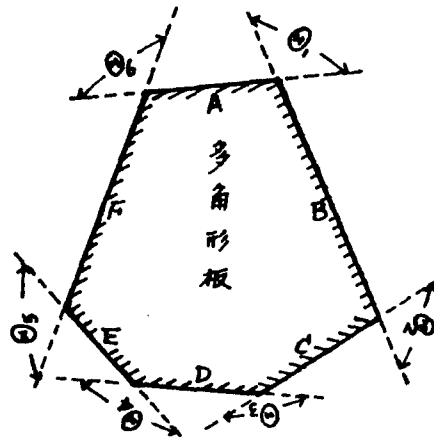


図2. 多角形板 (1)式の説明

第4章 多重障壁による騒音減衰

多重障壁による騒音減衰に関しては, 解析が一般に困難であるため, いままで理論的又は実験的にも適当な研究は見あたらない。そこでここでは, 最初に実音源Sによって生じる1つの障壁の背後の音線上での音圧レベルの分布が, 障壁がないときにその音線の延長線上の適当な位置に仮想した音源S'によって生じる音圧レベルの分布に等しくなるように, 仮想音源を設定することが可能であることを明らかにし, ついでこの知見をもとに, 図3に示すように仮想音源S'を順次障壁エッジ前面の適当な位置に設定し, 最後に仮想した音源S'nと最後の障壁エッジEn及び観測点Pの3者の位置関係からP点の音圧レベルを求める方法について検討した。この場合, 厳密には実音源S及び仮想音源S'から放射される両者の音波の伝播性状の違いにより, 2列目以降の障壁ではS及びS'からの音

波に対しそれぞれ異なった減衰効果が生じる。ここではこの減衰効果の違い, D_n 値を実験的に検討し, その結果から実験式を導き出し, 観測点の音圧レベル $SPL_{(P)}$ を(3)式で与えている。この方法を等価音源法と呼ぶこ

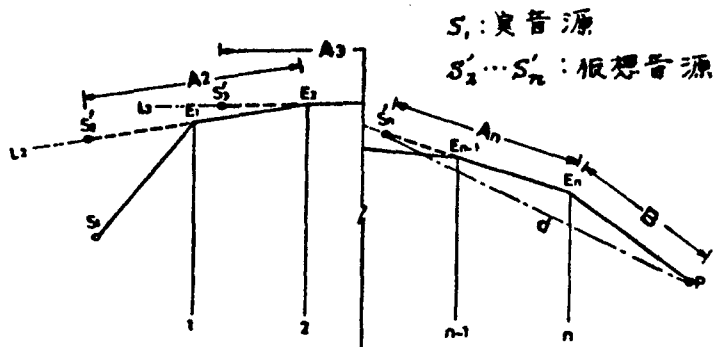


図3. 解法の原理 (多重障壁)

とにする。

$$\text{SPL}(P) = \text{SPL}'(P) + D_n \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

ここに $\text{SPL}'(P)$ は S'_n と E_n 及び P 点の 3 者の位置関係から求まる P 点の音圧レベルである。

(3)式による計算結果は、数種の縮尺模型を用いた実験結果及び既存の実測データに対しよい対応を示し、等価音源法の有用性が立証された。この等価音源法は、次のような多重障壁に対して適用できる。

(イ)ナイフエッジ障壁群, (ロ)厚みのある障壁群, (ハ)ナイフエッジ障壁と厚みのある障壁が共存する多重障壁, (ニ)ナイフエッジと直角エッジが複合している障壁 (例えば逆L型障壁), (ホ)段状障壁, (ヘ)千鳥配置の障壁。

第 5 章 吸音性半無限平面障壁による音波の回折減衰

吸音性半無限平面障壁による音波の回折減衰に関しては、H. S. Tan ら及び藤原らの研究報告がある。ただし、これら 2 つの解式は、両面が同じ吸音特性をもつ障壁に限定されている。ここでは、片面のみを吸音処理した障壁に対しても適用できる一般近似式を導き出すため、はじめに A. D. Pierce の理論解の物理的意味を幾何理論的に解釈し、更に障壁エッジを原点として派生する回折波の振舞に関し J. B. Keller の報告を引用して考察を加え、ついでこの考察をもとに、A. D. Pierce の剛な半無限平面障壁に対する解式を利用して検討を進めた。ただし、 θ_S 及び θ_L がそれほど小さくない範囲では、表面波の吸音による効果を見捨てるほど小さいと仮定している。以上の検討結果、吸音性半無限平面障壁に対する一般近似式として、(4)式を提案している。

$$a(P) = A_D(X_-) \cdot K + [\bar{Q}_d]_{\text{mean}} \cdot A_D(X_+) \cdot K \quad (4)$$

ここに $a(P)$ は吸音性障壁の背後の音圧、また右辺第 1 項は入射波成分のうち直接波成分からの寄与で、右辺第 2 項は障壁エッジ近傍からの反射波成分による寄与を表わす。なお $[\bar{Q}_d]_{\text{mean}}$ は、障壁両面の複素音圧反射係数の平均値である。

(4)式による計算結果は、縮尺模型を用いた実験結果及び既存の実験データに対してよい対応を示し、提案式の有用性が確められた。更にここでは、実用の便を考慮し、代表的な吸音性障壁の条件に対し、吸音による効果 $[A]_{\text{eff}}$ (ここに $[A]_{\text{eff}} = a[\Delta L_p]_{\text{atd}} - h[\Delta L_p]_{\text{atd}}$ であり、右辺第 1 項は吸音性障壁の減衰効果で、同じく第 2 項は剛な障壁を仮定したときの減衰効果である) を図に示した (図 4 参照)。この図の $\bar{Q}_0 (= X + jY)$ は、障壁表面の垂直入射に対する複素音圧反射係数である (ここに $Y = 0$)。

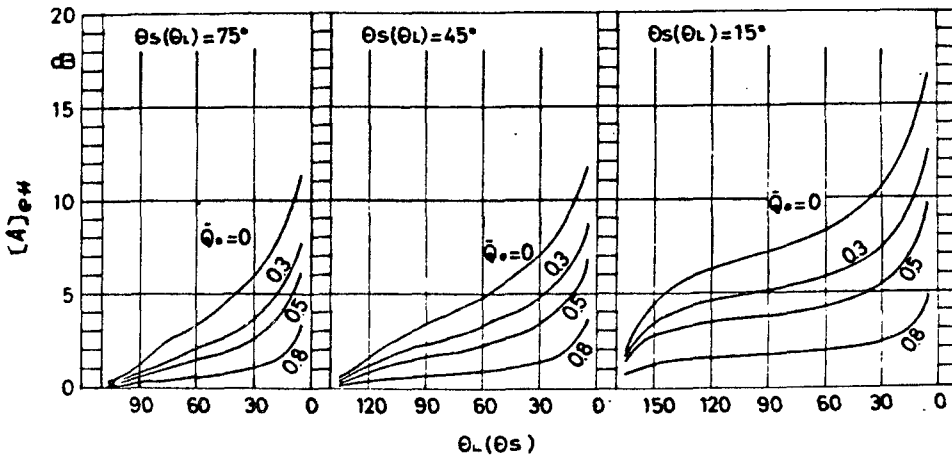


図 4(a) 吸音性障壁の吸音による効果 $[A]_{\text{eff}}$ 。ただし障壁両面の吸音特性が同じ場合。

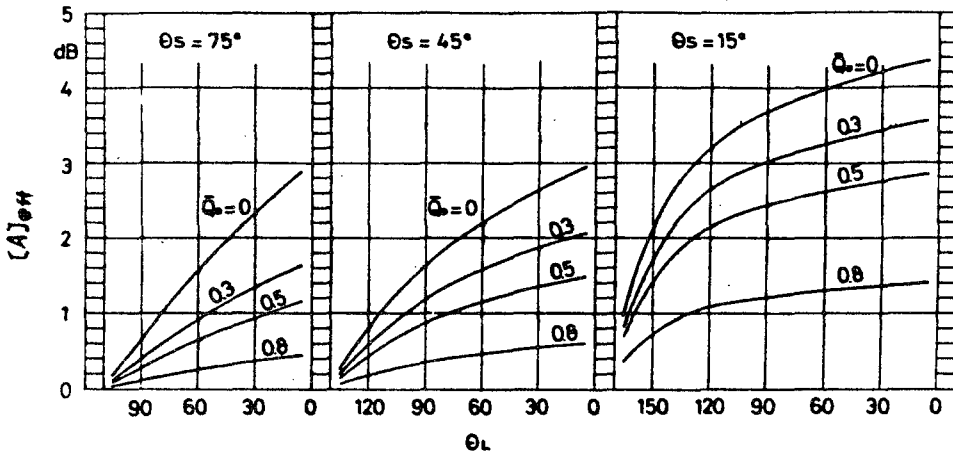


図 4(b) 片面吸音性障壁の吸音による効果 $[A]_{\text{eff}}$ 。ただし音源が吸音面側にある場合。

第 6 章 結 論

各章ごとに得られた結果及び成果等を取りまとめたものである。

謝 辞

本研究を行なうにあたり、終始懇切な御指導と御鞭撻を賜りました東北大学工学部二村忠元教授に心から感謝の意を表します。また、有益な御批判、御助言を賜りました東北大学工学部長谷川房雄教授、曾根敏夫助教授及び東北大学電気通信研究所柴山乾夫教授、城戸健一教授、神戸大学前川純一教授、菊池喜充元東北工業大学長、同じく木村瑞雄現学長に深く感謝の意を表します。

審査結果の要旨

建物や塀等の構築物による騒音減衰の予測は、騒音の制御に必要であるが、従来、剛な半無限障壁による減衰を除いては実験例が少なく、理論的取扱いも十分でなかった。

本研究は、有効な遮音障壁の設計及び騒音伝搬の適切な予測手法の開発を目的としたもので、先ず、既存の理論を利用して1つの剛な半無限障壁による音波の回折減衰の予測手法を導き出し、次いで任意の形の剛な有限障壁、剛な多重障壁及び吸音性半無限障壁による騒音減衰の予測手法を示している。本論文は、これらの研究成果をとりまとめたもので、全編6章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の動機と意図を明らかにしている。

第2章では、既存の理論解を利用し、ナイフエッジ及び直角エッジをもつ剛な半無限障壁に入射する音波の回折減衰を求める手法を明らかにするとともに、実用的な図式解法を示している。

第3章は、任意の形の有限障壁による音波の回折減衰の予測手法を検討したものである。すなわち、障壁周囲の開放空間に対する音圧回折係数が、Fresnel-Kirchhoffの近似理論から導かれることを示し、凸多角形板及び凹凸のある障壁による騒音減衰を、各辺の延長線によってつくられる半無限空間に対する音圧回折係数の組合せから求めるための予測式を導き出している。また、この予測式を数種の縮尺模型に適用し、予測値が実験結果とよく一致することを明らかにしている。

第4章は、多重障壁による騒音減衰の予測方法を検討したものである。ここでは、実音源によって生じる障壁背後の音圧分布が、障壁前面の適当な位置に仮想した音源によって生じる音圧分布に等しいという仮定を設け、多重障壁に対して各障壁の前面に逐次仮想音源を設定していくことにより、総合減衰量を求め得ることを述べ、予測式を示している。この方法は、著者により等価音源法と名づけられ、予測値は実験値とよく対応することが数種の縮尺模型実験により確かめられている。

第5章は、吸音性半無限障壁による音波の回折減衰の予測法を検討したものである。ここでは、吸音性障壁の減衰効果が、剛な障壁に関する解法の中に障壁両面の複素音圧反射係数を取り入れることにより求め得ることを示し、予測式を導いている。予測式は、実験結果とよく対応することが示されている。

第6章は結論である。

以上要するに、本論文は、種々の障壁による騒音の回折減衰について理論及び実験の両面から詳細な研究を行い、それら障壁による騒音減衰の有効な予測手法を導き出したもので、音響工学及び騒音制御工学の進展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。