

北海道大学工学部 森田和城
杉山 茂
長谷部正基
金安公造

1. はじめに

騒音制御を目的とした遮音壁に関する研究は、これまで数多くなされており、遮音壁を利用することによる減音効果を知ることができる。一方、都市内の遮音壁を設置しにくい場所や道路からの道路交通騒音の侵入を防ぐために、ビルディングを遮音壁とみなして役立てようという発想がある。すなわち都市中心部の道路沿いなどでは遮音壁を設置するには様々な障害があるために困難である。一方、今日では道路沿いに建物の林立している景色も多く見受けられる。ビルディングは一棟だけでかなり大きな壁面積を持っており、その部分を騒音の緩衝に役立てれば有効な騒音制御の手法となろう。

本研究では、ビルディングを遮音壁と同様の減音効果をもつ構造物と見なした場合の、減音効果について研究を行った。この場合、遮音壁と異なりビルディングとビルディングの間に隙間があるので一般の計算手法を適用することはできない。遮音壁の減衰効果に関して今まで成されてきた研究の多くは遮音壁の長さを無限であると仮定した理論に基づいているために、本研究の目的としている有限の幅を持つビルディングによる回折、隙間がある場合の回折については適用できない。しかし、有限幅の障壁による回折の問題を扱ったものとしてはThomassonの理論¹⁾が知られている。本研究ではこの理論を利用して、隙間のある遮音壁の場合に応用することを試みた。

本研究での目標は、この理論に基づいた手法の妥当性を確認することによって、都市内騒音の減音手法について検討することである。

すなわち、これからビルディングを建てる場合、

どのような配置にすれば大きな減音効果が期待できるかを推定するなど、ビルディングを騒音制御に積極的に活用するための基礎研究を行うのが目的である。

本研究ではThomassonの理論をもとに、隙間のある遮音壁についての減音効果を計算する手法を開発した。またその計算方法の妥当性は縮小模型実験により確認した。

2. Thomasson の回折計算手法の基本概念

Thomasson は有限インピーダンス境界面上にある音源S、受音点Rおよび面積 q を持つ障害物が図1にあるときの受音点の音場を求めるための考え方を明らかにしている。

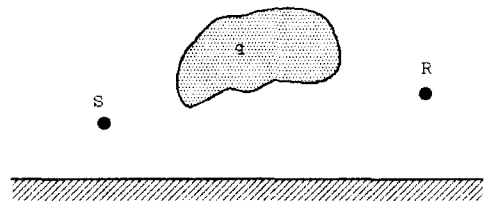


図1 Thomasson の地表面の影響を考慮にいれた遮音壁の計算モデル

Kirchhoff-Fresnel の理論は、障壁の部分以外の光や音が、観測点へ波動エネルギーを伝搬する開口部に注目した考え方であったのに対し、この考え方は、波の伝搬を阻止する障壁部分そのものおよびその面積に注目することで、観測点における回折強度を求めるというものである。

図2はその概念を示している。

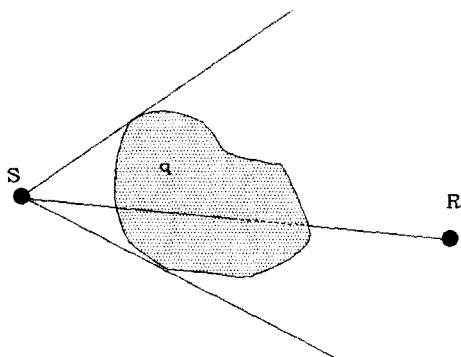


図2 (a) finite screen "q"

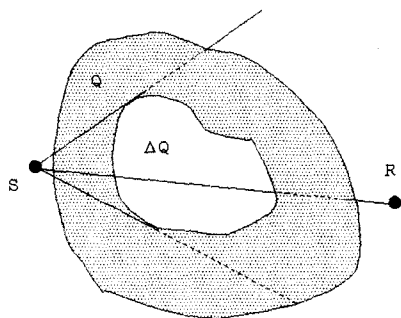


図2 (b) infinite screen "Q" with aperture ΔQ

(a) は任意の形をした有限の面積を持つ障壁 q がある場合を示し、(b) は障壁 q と同じ大きさ、形の開口部 ΔQ を持つ無限障壁 Q が音源 S と観測点 R の間に位置する場合を示している。この障壁 q および Q に起因する観測点 R における回折振幅をそれぞれ Φ_q 、 Φ_Q とすると、Babinet の原理より

$$\Phi_f = \Phi_q + \Phi_Q \quad (1)$$

とおける。

これによって、有限の大きさの開口部 ΔQ を持つ障壁 Q により回折強度 Φ_Q を求め、(1) 式より Φ_q の値を求めている。すなわちこの回折理論は、有限の大きさの障壁に対する回折理論である。

自由空間における観測点の振幅 Φ_f の代わりに、有限インピーダンスを持つ境界を含んだ解 Φ_g を用いれば、境界及び障壁の両者をいれた解が求まるはずで

あるとして、Morse らの与えた自由空間に対する (2) 式の代わりに

(3) 式を提案している。

$$\Phi_{MO} = \Phi_f + A \cdot \int_{\Sigma=0} (\Phi_f \cdot \partial_n \Psi_q - \Psi_q \cdot \partial_n \Phi_f) dq \quad (2)$$

$$\Phi_{THOM} = \Phi_g + A \cdot \int_{\Sigma=0} (\Phi_g \cdot \partial_n \Psi_q - \Psi_q \cdot \partial_n \Phi_g) dq \quad (3)$$

Ψ_q は障壁 q による振幅の状態を表すもので、境界条件等により定まる。

有限インピーダンスを持つ xy 平面上に幅 $(y_1 - y_2)$ 、高さ z_1 の矩形の薄い障壁があるときに対する解として Thomasson は (4) 式を示している。

$$\Phi = \Phi_g + 2A \int \int \Phi_g(r_0 | r_s) \partial \Phi_g(r_R | r_0) / \partial x_R dy dz \quad (4)$$

ここで r は対象となる点を示し r_s は音源、 r_R は受音点、 r_0 は $r_0 = (0, y, z)$ で定義される障壁上の点である。即ち、 $\Phi_g(r_0 | r_s)$ は境界と空間を介して r_s (音源) から障壁上の r_0 点へ伝搬される成分である。(4) 式を数値計算するための方法として Thomasson は、図3に示すように障壁の全面積 q を $\{(z_n - z_q), (z_n + z_q)\}$, $\{(y_m - y_q), (y_m + y_q)\}$ で囲まれる $N \times M$ 個のセグメント Δq に分割し、各々のセグメント Δq_{mn} に関与する成分の和として各々の式の右辺の第2項で示される回折強度を求めている。

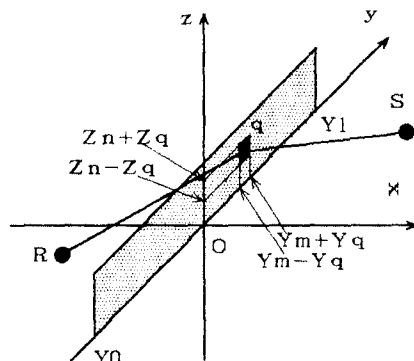


図3 Thomasson の回折計算手法の基本概念

ここでM, Nは

$$M = (y_1 - y_0) / 2y_q \quad N = z_1 / 2z_q$$

で示され、 y_q, z_q はそれぞれy軸、z軸方向の分割単位長さである。

(2), (3) 式中の右辺、第2項を Ψ で表すと

$$\Psi = \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^2 \left\{ \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \psi_{mn}^{kl} \right\} \quad (5)$$

ここで ψ_{mn}^{kl} は各々のセグメント Δq_{mn} が関与する成分であり、 $M \times N$ の分割数が計算精度に関係する。

3. 実験方法

実験は無響室内で行った。基礎的な実験として、無響室内のかたい床の上に木板(厚さ1.0cm; 0.15×1.55m)を立て、木板を挟んでスピーカーとマイクロフォンを設置した。そして点音源とみなした小型スピーカー(source)から放射された音を受音点(receiver)に設置したマイクロフォンで受音し、音圧を測定した。また自由音場内において音圧を測定し、障壁がある場合の測定値と比較して周波数ごとの減衰量を求め、表示した。

次に、板に隙間を開けて、音源から受音点が見える配置、見えない配置の場合に分けて前と同様の手順で測定し、計算値と比較した。音源と受音点の配置は、図4に示すようにx, y, z軸の座標をとって表した。図5は実験系統図である。

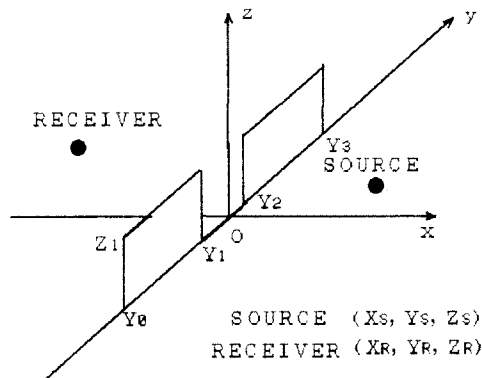


図4

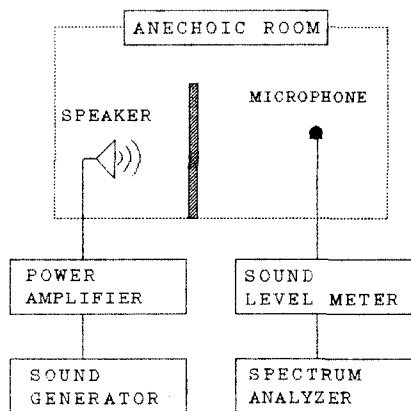


図5 実験系統図

4. 実験結果

以下に示す図6は板の挿入により減衰された量について無響室内で行われた実験結果と計算結果とを比較したものである。

縦軸が相対音圧レベル、横軸が周波数である。相対音圧レベルは自由音場の音圧を Ψ_1 、地面上に遮音壁のある場合の音圧を Ψ_L とした場合、 $L = 20 \log |\Psi_1 / \Psi_L|$ で求められる。この図で縦軸の値が小さくなるほど減衰量が大きくなっている。

ここに掲載されている3つの結果からは全体の傾向として全周波数にわたり実験値と計算値が良く一致しているといえる。また、3 kHzを超えたあたりから減衰が現れ、6 kHz前後の周波数に対して大きな効果があることがわかる。

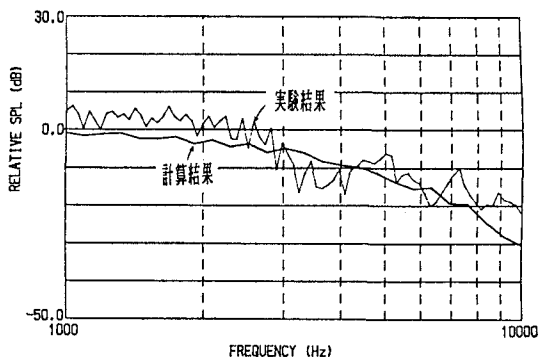


図6 (a)

$$r_s = (0.5, 0, 0.06) \quad r_R = (-0.5, 0, 0.025)$$

$$Y_0 = -0.78 \quad Y_1 = 0.77 \quad Z_1 = 0.147$$

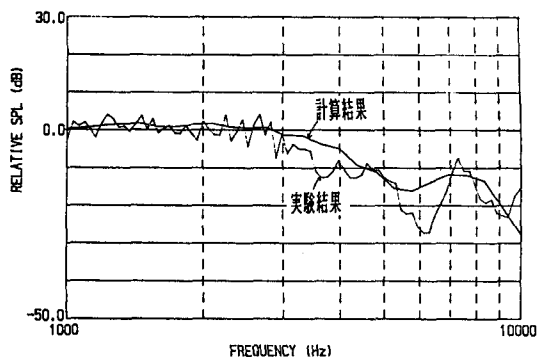


図6 (b)

$r_s=(0.5,0,0.06)$ $r_R=(-0.5,0.4,0.025)$
 $Y_0=-0.78$ $Y_1=-0.05$ $Y_2=0.05$ $Y_3=0.82$
 $Z_1=0.147$

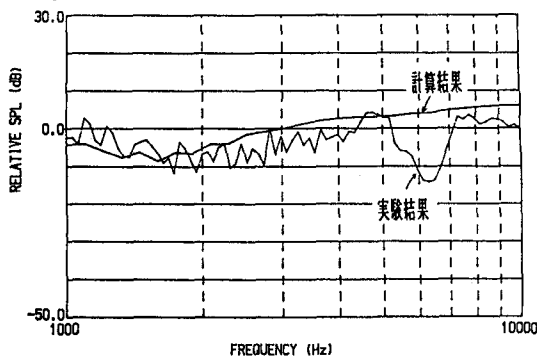


図6 (c)

$r_s=(0.5,0,0.06)$ $r_R=(-0.5,0,0.025)$
 $Y_0=-0.78$ $Y_1=-0.05$ $Y_2=0.05$ $Y_3=0.82$
 $Z_1=0.147$

(a) は地面上に隙間の無い遮音壁を置き、音源、受音点を設置した場合の結果である。

(b) は地面上に隙間のある遮音壁を置き、音源と受音点が隙間を通して見えない配置の場合の結果である。(a)と比較して、この程度の大きさの隙間なら、減音効果が減少しないと思われる。

(c) は地面上に隙間のある遮音壁を置き、音源から受音点が見える位置に置いた結果である。直接音が届くので前の2つの結果よりも全体的に減音効果が少ないが、1 kHz から3 kHz にかけて減音効果が見られるのがわかる。従って遮音壁に隙間がある場合は、音源と受音点の位置について直接波が届くかどうかで大きな違いが

あるといえる。

5. おわりに

本報告ではビルディングを遮音壁と見なしての減音効果を研究するために、遮音壁に隙間がある場合の減音効果の研究をThomassonの理論を改良して行った。そして縮小模型によりその妥当性を確認した。今後は遮音壁の隙間の幅を変えた場合の減音効果の変化を調べ、実際の都市内のビルディングに当てはめた場合の減音効果を推定する研究をする予定である。

参考文献

- 1) S.I.Thomasson: "Diffraction by a Screen above an Impedance Boundary" J.Acoust.Soc., America
- 2) 井清武弘: "地表面の影響を考慮に入れた遮音壁の騒音減衰設計に関する研究" 公害資源研究所報告 第17号