

面音源からの音の放射について

真藤利孝
吉田克雄

Sound Radiation from a Finite Plane Source

Toshitaka Shindo
Katsuo Yoshida

Abstract

In the field of noise control, it may be necessary to deal with good-sized sound plane sources such as the case of noise radiated upon transmission through walls, roofs and other parts of buildings. In this report, the authors describe their investigations of sound attenuation with distance from the finite plane source and of directivity through experiments, and a comparative study of sound pressure level according to theoretical calculations. The selection of directivity and the method of calculation of sound attenuation with distance for the finite plane source are indicated.

概要

騒音対策において建物の壁、屋根などから騒音が透過して放射される場合のように、音源をかなりの面積を持つ面音源として取扱わねばならないことがある。そこで本報告では、これらの面音源からの距離減衰及び指向性を実験によって調査し、理論的な計算によって求めた値との比較検討を行い、騒音対策分野における面音源の指向性の選定及びそれに基づく距離減衰の算定方法を示した。

1. はじめに

面音源からの距離減衰値の算定方法は、今迄にもいくつかの例が示されているが、本報告では面音源からの中心軸上を含む水平面上の任意の点における距離減衰値の算定式を導き、その計算結果を図表化した。更に、屋外実験によって、拡散音場から得た面音源からの距離減衰及び指向性を調査し、理論値との比較検討を行って拡散音場から得る面音源の距離減衰値の算定方法を示した。

2. 面音源からの距離減衰値の算定式

2.1. 仮定

面音源を構成している各々の点音源の全てが等しい音響出力及び同一の指向性を有するものとし、受音点における音の強さは面音源を構成している各々の点音源からの音の強さの和で与えられるものとし、位相の遅れによる音の干渉は無視できるものとする。

指向性については、既往の報告等をもとに図一に

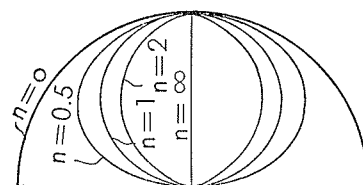
示した如く、各点音源の面の法線と α を成す方向への放射パワー $J(\alpha)$ を(1)式のように定める。

$$J(\alpha) = J_0 \cdot \cos^n(\alpha) \quad \dots\dots(1)$$

J_0 : 法線方向の放射パワー (watt/m²/sterad)

従って音源の単位面積当りの放射パワーを W (watt/m²) とすれば、 W は(2)式で表わせる。

$$W = \int_0^{\pi/2} J(\alpha) \cdot 2\pi \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = \frac{2\pi J_0}{n+1} \quad \dots\dots(2)$$



図一 音源の指向性

2.2. 面音源からの距離減衰値の計算

図二に示した長方形面音源 ($a \times b$) の中心軸より水平面内、 θ 方向に中心より距離 d 離れた m 点の音の強さ及び距離減衰値は次のようにして求める。

m点の音の強さをPとすれば

$$P = \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \frac{J(\alpha) \cdot dx \cdot dy}{D^2} \quad \dots\dots(3)$$

$$D^2 = l^2 + y^2 = x^2 + y^2 + d^2 + 2 \cdot d \cdot x \cdot \sin \theta \quad \dots\dots(4)$$

$$\cos \alpha = \frac{d \cdot \cos \theta}{D} = \frac{d \cdot \cos \theta}{(x^2 + y^2 + d^2 + 2d \cdot x \cdot \sin \theta)^{\frac{1}{2}}} \quad \dots\dots(5)$$

(1)~(5)式より, D, α を消去すれば, m点の音の強さPは(6)式ようになる。

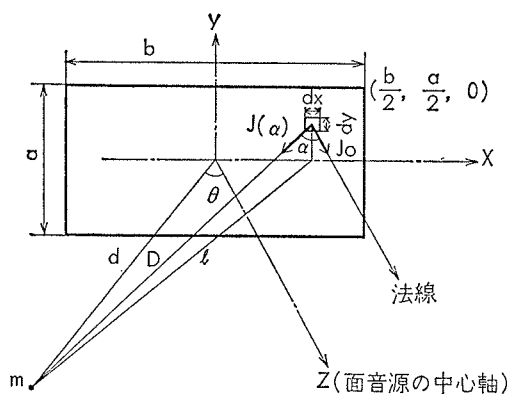
$$P = W \cdot \int_0^{\frac{a}{2}} \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \frac{(n+1) \cdot d^n \cdot \cos^n \theta \cdot dx \cdot dy}{\pi \cdot (x^2 + y^2 + d^2 + 2 \cdot d \cdot x \cdot \sin \theta)^{\frac{n+2}{2}}} \quad \dots\dots(7)$$

従ってm点の音の強さのレベルをLとすれば

$$L = PWL +$$

$$10 \log_{10} \int_0^{\frac{a}{2}} \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \frac{(n+1) \cdot d^n \cdot \cos^n \theta \cdot dx \cdot dy}{\pi \cdot (x^2 + y^2 + d^2 + 2 \cdot d \cdot x \cdot \sin \theta)^{\frac{n+2}{2}}} \quad \dots\dots(8)$$

PWL: 単位面積当りのパワーレベル

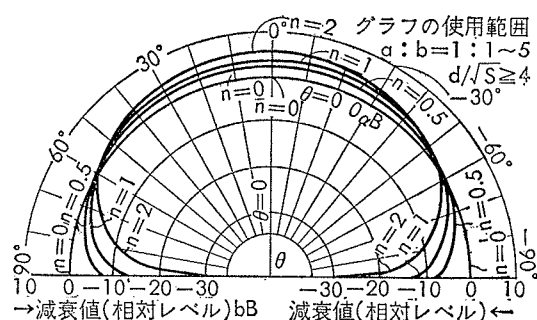


図一2 面音源と受音点の位置

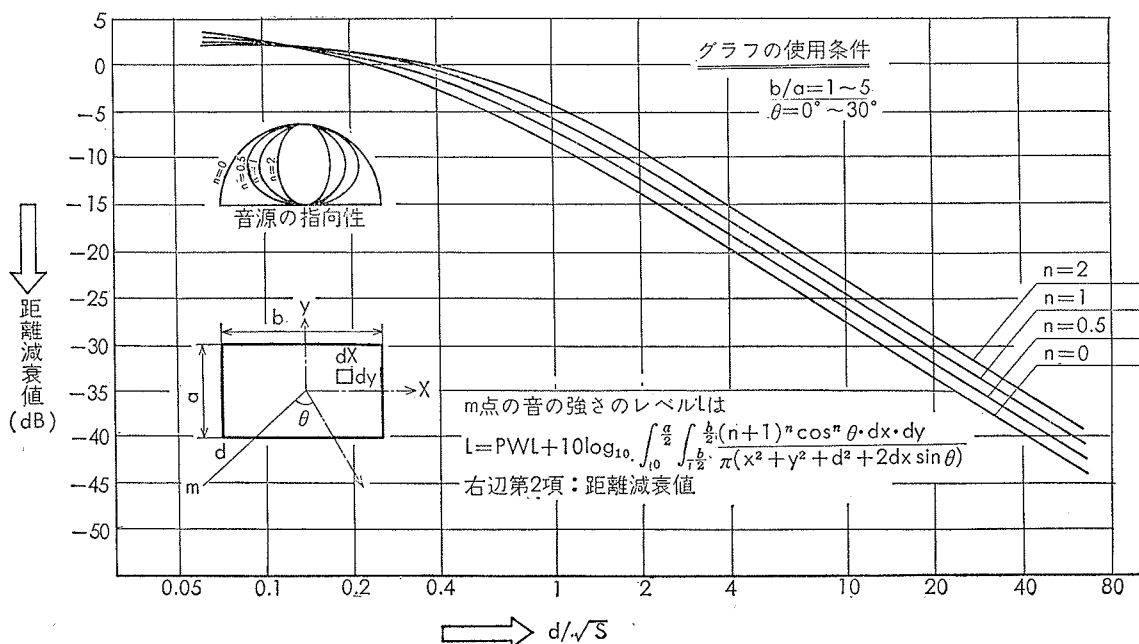
従って右辺第2項が距離減衰値となる。

2.3. 計算結果

距離減衰値の(7)式右辺第2項を解析的に解くのは困難であるので, ここでは電子計算機による数値積分で求めた。計算結果の一部のものを図一3, 4に示した。図一3は $b/a=1\sim 5$, $d/\sqrt{s} \geq 4$ の範囲で θ が $0^\circ \sim \pm 89^\circ$ 移動した時の受音点の距離減衰値の相対レベルを表わしたもので, 音源の指向性を $n=0$ (無指向性) とした時の $\theta=0^\circ$ (中心軸上) の音圧レベルを 0dB とした。これらの値は, $b/a=1\sim 5$, $d/\sqrt{s} \geq 4$ では面音源の中心点に面音源の全ての音響出力が集ったものとして計算した値とほぼ同一となる。一方図一4は長方形の辺の比 $b/a=1$, 中心軸上 $\theta=0^\circ$, 音源の指向性 $n=0, 0.5, 1, 2$ の時の距離減衰値を, 横軸 d/\sqrt{s} に対応させて表わしたものであるが, $\theta=0^\circ \sim 30^\circ$, $b/a=1\sim 5$ の範囲でも図一4の値とほぼ等しく, 差の生じる面音源の近くでも, 1dB以内となって大差がない。



図一3 受音点の相対レベル



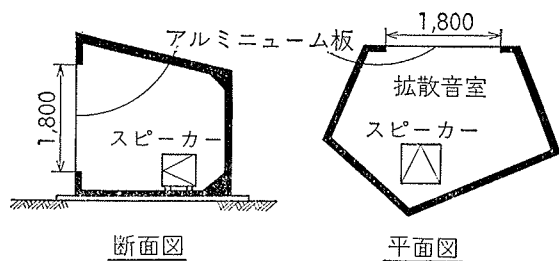
図一4 長方形面音源からの距離減衰

3. 実験

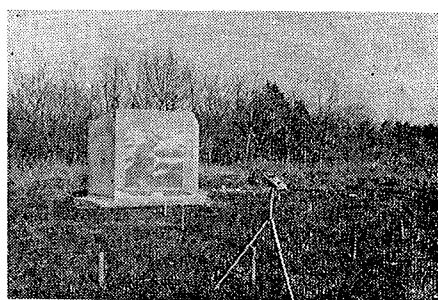
3.1. 面音源の作製

面音源は拡散音場から壁面を透過させて得たもので、図一5に示した拡散音室（小型の残響室）を屋外に鉄筋コンクリートで作製し、その一面に1,800×1,800の開口部を設けこの部分にアルミニウム板（0.3mm）を取付けて面音源を作製した。（写真参照）

拡散音室の大きさは当技研、残響室の長さの縮尺で約 $1/2.7$ となっている。



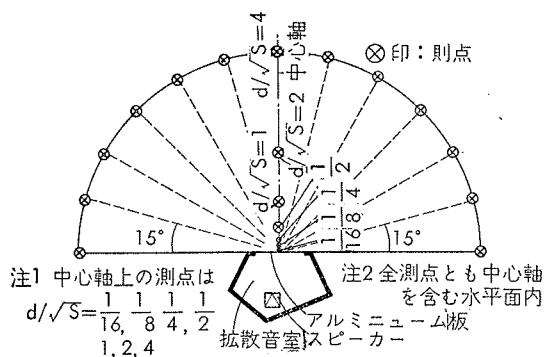
図一5 実験用面音源



図一6 屋外実験場

3.2. 測定方法

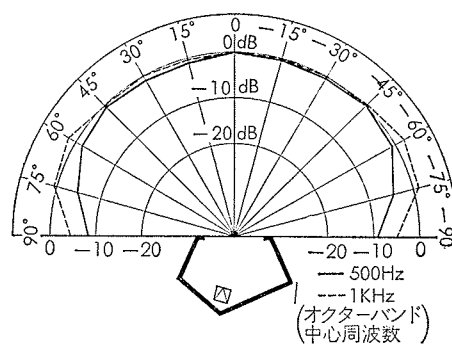
測定は拡散音室に音源としてオクターブバンドノイズ中心周波数 500~4kHz を用い、アルミニウム板を面音源とした時の中心軸上の距離減衰と $d/\sqrt{s}=4$ での指向性 ($\theta=0^\circ\sim90^\circ$) を精密騒音計で現場測定した。測定位置図を図一7に示した。



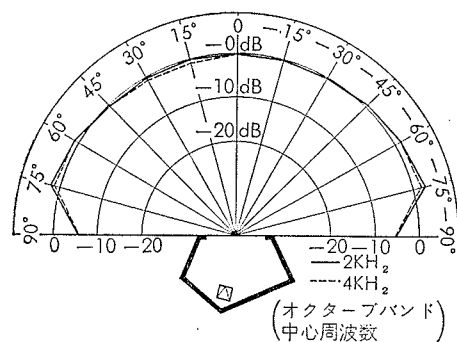
図一7 測定位置図

3.3. 測定結果

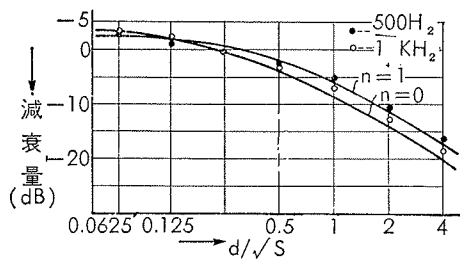
測定結果を図一8~11に示した。図一8, 9は $d/\sqrt{s}=4$ の指向性を表わしたもので、中心軸上 $\theta=0^\circ$ の値を 0dB として相対レベルで表わした。一方図一10, 11は面音源からの中心軸上の距離減衰を示したもので、 $d/\sqrt{s}=0.25$ の値を 0dB=PWL として表わしたもので、図中の $n=0, n=1$ の曲線は前章で求めたもので地面からの反射の影響は含まれていない。



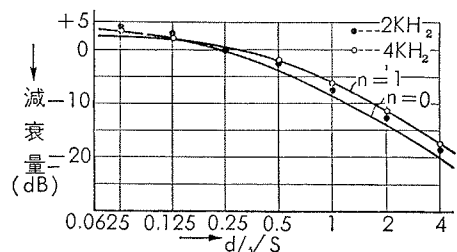
図一8 面音源からの指向性 500Hz, 1kHz



図一9 面音源からの指向性 2kHz, 4kHz



図一10 面音源からの距離減衰 500Hz, 1kHz



図一11 面音源からの距離減衰 2kHz, 4kHz

4. 考察

面音源全体からの指向性を $d/\sqrt{s}=4$ の地点で測定した図—8, 9では, 500Hzは中心軸上の $\theta=0^\circ$ の値を0dBとした時 $|\theta|=60^\circ$ で約1dBの減衰となっており図—3の計算値と比較すると $n=0.5$ によく合っているが, 1kHz~4kHzでは周波数に余り関係なく同一の特性を示しており $|\theta|=60^\circ\sim 75^\circ$ で中心軸上より若干レベルが大きくなっており $|\theta|=90^\circ$ では5dBの減衰となっていることから音源の指向性は厳密には単に $\cos^n \theta$ という形では表わせないということにもなるが, ほぼ $n=0$ 即ち無指向性と考えても良いと思われる。音源の指向性を 500Hz $n=0.5$, 1kHz~4kHz $n=0$ と仮定し距離減衰値の測定結果を理論計算値と比較すると(但し $d/\sqrt{s}=0.25$ の実験値と計算値を一致させる) $d/\sqrt{s} \geq 1$ の範囲でやや実験値が大きめな値となっているがこれらの点では地面からの反射音の影響が考えられる点で2~3dBの上昇があると仮定すれば, 実験値はほぼ理論的な減衰を示していると考えられ, 指向性と距離減衰値との関係が非常によく一致しているといえる。

500Hzの指向性が1kHz以上のものと多少違っているのは, 図—5に示した拡散音室の室容積が約12 M^3 でありオクターブバンド中心周波数500Hzでは1kHz以上の場合に比べ音場の拡散性にやや問題があるとも考えられ, そのような事が一因であるとも思われる。従って拡散音室より得る面音源ではほぼ無指向性として考えるのが正しいと思われるが, 面音源の近傍で有限の値であり $|\theta|=90^\circ$ で $\theta=0^\circ$ の値よりも約5dB減衰している事を考慮すれば無指向性というよりは多少指向性のついた $n=0.5$ に近似しているとも考えられる。一方幾可音響より拡散音場であれば面音源の資料面への入射音は $\cos \alpha$ を乗じた入射角による

音の強さの違いがあり指向性は $n=1$ となる。これらのことは入射音の指向性が $n=1$ であっても面音源の資料面が入射音圧によって振動する場合, 単に壁の質量リアクタンスのみによって振動が定まるとは考えられず, 複雑な振動を起すことにより $n=1$ の入射音の指向性がやや無指向性に近くなって放射され, 更に面音源より離れた点では音の波動性により, 多少指向性がついて放射されたものが無指向性 ($n=0$) に近くなるのではないかと考えられる。従って面音源からの放射音の指向性は $0 \leq n \leq 0.5$ 程度であるといえる。

しかしながら図—3で分かるように $n=0.5$ と $n=0$ を比較した場合中心軸上では2dBの違いであり, 騒音対策分野では多少安全側にとれば $n=0.5$ として考えた方が無難といえる。但し $60^\circ \leq |\theta| < 90^\circ$ では $n=0.5$ とすると多少危険側となるのでこの範囲では $n=0$ として考えるべきであり, $|\theta|=90^\circ$ 即ち面音源の面の延長線上では無指向性の値に対して5dB減じるとするのが妥当といえよう。

5. むすび

本報告は拡散音場から得る面音源を作製しその指向性を調査したもので, 騒音対策分野で応用する場合にも拡散音場ということが仮定となっており, その場合に指向性の選定の結論としては $0^\circ \leq |\theta| < 60^\circ$ では $n=0.5$, $60^\circ \leq |\theta| < 90^\circ$ では $n=0$ として算定し, $|\theta|=90^\circ$ の場合は $n=0$ として算定した距離減衰値に対して-5dBするのが妥当であるとしたものである。面音源の資料のコインシデンス周波数における場合或いは拡散音場でない場合は一概に n の値を決める事はむずかしく音源の位置, 受音点等を考慮して安全側に指向性を決める必要がある。なお本実験で面音源の資料をアルミの他にベニヤ厚3mmに替えた場合も測定したほぼ同様の結果が得られた。