

○正員 東京大学 内山久雄

正員 地振公団 池永英二

1. はじめに

遮へい物がある場合の騒音レベルの分布の推定方法としては、前川純一の研究に基づくものが実用化されている程度である。前川はキルヒホッフの理論を応用して、単一の半無限長障壁による回折減音量を理論的に導き、これを実験により検討している。すなわち単一の半無限長障壁による音波の回折減量はキルヒホッフ理論によって十分説明され得ることを示している。しかしながら現実の問題として、自動車交通騒音の場合等、遮蔽物となり得る建造物は単一の半無限長障壁と仮定できない場合が多く、前川の方法が適用できる範囲は狭いと考えられる。したがってより複雑な伝播経路の条件での機構の解明が必要とされるが、従来の研究では単一障壁の重ね合わせで考える方法が^{2, 3}提案されているのみであり、音響理論的な裏づけが十分はなされておらず、模型実験、実測定に基づいた推定式が考えられている程度であると言っても過言ではない。

本研究は二重平面障壁による回折減音効果をキルヒホッフの理論を適用しての定式化を試み、有効な回折減音量の推定方法を見い出そうと試みるものである。

2. 強度減衰の近似理論式

P_2 点での音圧が障壁(2)により影響されない(障壁(2)の孔上での音圧分布が障壁(2)がない場合の音圧分布に等しい)と仮定すれば、キルヒホッフの回折理論より P_2 点の音圧 $U(P_2)$ は

$$U(P_2) = \frac{iR}{4\pi} \iint_{S_1} \frac{Ae^{ik(r_1+r_2)}}{r_1 r_2} (\cos\theta_1 - \cos\theta'_1) dS_1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

で表わされる。同様に P 点での音圧を $U(P)$ とすると、

$$U(P) = \frac{iR}{4\pi} \iint_{S_2} U(P_2) \frac{e^{ikr_3}}{r_3} (\cos\theta_2 - \cos\theta'_2) dS_2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

で表わされる。したがって(1)、(2)式より $U(P)$ は

$$U(P) = \left(\frac{iR}{4\pi}\right)^2 \iint_{S_1} \iint_{S_2} \frac{Ae^{ik(r_1+r_2+r_3)}}{r_1 \cdot r_2 \cdot r_3} (\cos\theta_1 - \cos\theta'_1) \times (\cos\theta_2 - \cos\theta'_2) dS_1 \cdot dS_2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

と表現できる。

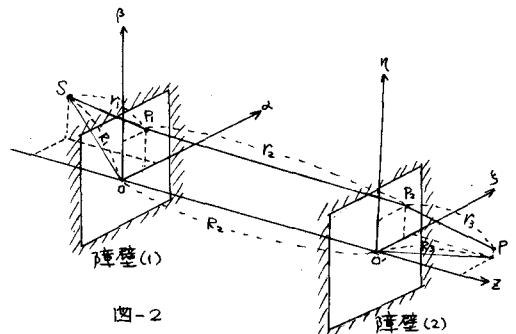
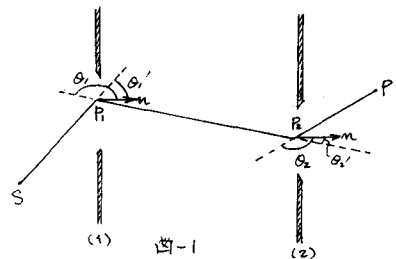
ここで S 点の座標を (x, y, z) 、 P_1 点を (α, β) 、

P_2 点を (ξ, η, R_2) 、 P 点を (x_2, y_2, z_2) とおくと、

$$\left. \begin{aligned} r_1^2 &= R_1^2 - 2(x_1\alpha + y_1\beta) + \alpha^2 + \beta^2 \\ r_2^2 &= (\xi - \alpha)^2 + (\eta - \beta)^2 + R_2^2 \\ r_3^2 &= R_3^2 - 2(x_2\xi + y_2\eta) + \xi^2 + \eta^2 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。(3)式を積分するために、(4)式をべき級数に展開するが、フレネル回折の場合2次項まで無視できるないので、

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= R_1 - \frac{(x_1\alpha + y_1\beta)}{R_1} + \frac{\alpha^2 + \beta^2}{2R_1} - \frac{(2x_1 + \beta y_1)^2}{2R_1^3} \\ r_2 &= R_2 + \frac{(\xi - \alpha)^2}{2R_2} + \frac{(\eta - \beta)^2}{2R_2} \\ r_3 &= R_3 - \frac{(x_2\xi + y_2\eta)}{R_3} + \frac{\xi^2 + \eta^2}{2R_3} - \frac{(\xi x_2 + \eta y_2)^2}{2R_3^3} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (5)$$



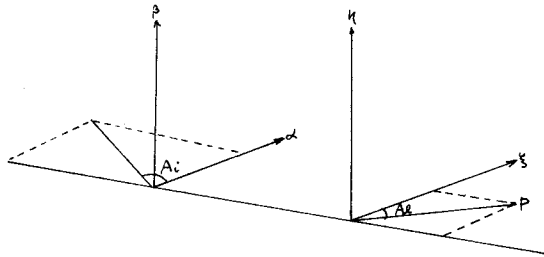


図-3

ここで、音源S、受音点Pを図-3のようにx-y平面上にとると($y_1 = y_2 = 0$)

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= R_1 - d \cos \alpha_i + \frac{x^2 + y^2}{2R_1} - \frac{\cos^2 \alpha_i}{2R_1} d^2 \\ r_2 &= R_2 + \frac{(y-d)^2}{2R_2} + \frac{(x-\beta)^2}{2R_2} \\ r_3 &= R_3 - \gamma \cos \alpha_e + \frac{y^2 + x^2}{2R_3} - \frac{\cos^2 \alpha_e}{2R_3} \gamma^2 \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

となる。(6)式を(3)式に代入して $U(P)$ を求めると、

$$U(P) = -\frac{1}{4\lambda^2} \frac{A(\cos \theta_1 - \cos \theta_1')(\cos \theta_2 - \cos \theta_2')}{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3} \times e^{iR(R_1+R_2+R_3)} \iiint e^{if(d,\beta,\gamma,\eta)} dx dy d\gamma \dots (6)$$

$$\begin{aligned} \text{ただし、} f(d,\beta,\gamma,\eta) &= \left(\frac{1-\cos^2 \alpha_i}{2R_1} + \frac{1}{2R_2} \right) d^2 - (\cos \alpha_i + \frac{\gamma}{R_2}) d + \left(\frac{1-\cos^2 \alpha_e}{2R_3} + \frac{1}{2R_2} \right) \gamma^2 - (\cos \alpha_e) \gamma \\ &+ \left(\frac{1}{2R_1} + \frac{1}{2R_3} \right) \beta^2 - \frac{\eta\beta}{R_3} + \left(\frac{1}{2R_2} + \frac{1}{2R_3} \right) \eta^2 \dots \dots \dots (7) \end{aligned}$$

となる。

(6)式には d, β, γ という項が入っていてこのままではフレネル積分を行なうことができない。ところが、障壁の影の部分の音の大きさに最も大きな影響を持つのは障壁頂点近傍の音の強さであること、また障壁(2)の上空で音波が十分減衰していると仮定できると考えられるので、 β の積分に関しての η の寄与は障壁上端の値 η' で近似できる。同様に d の積分に関しての γ は障壁最上端のみが寄与すると考えられる。このことにより(6)式はフレネル積分により積分可能となる。したがってP点での回折係数は障壁がない場合の音圧 U_0 との比、すなわち

$$\frac{U(P)}{U_0} = -\frac{1}{4} \int_{x_{11}}^{x_{12}} e^{i\frac{\pi}{2}x_1^2} dx_1 \int_{x_{21}}^{x_{22}} e^{i\frac{\pi}{2}x_2^2} dx_2 \int_{x_{31}}^{x_{32}} e^{i\frac{\pi}{2}x_3^2} dx_3 \int_{x_{41}}^{x_{42}} e^{i\frac{\pi}{2}x_4^2} dx_4 \dots \dots \dots (8)$$

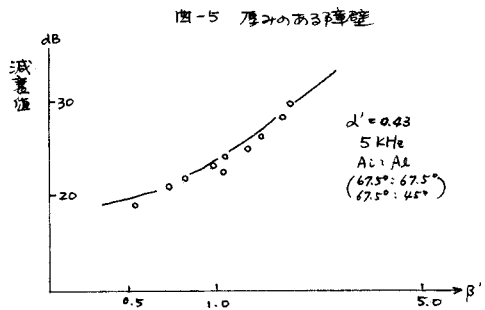
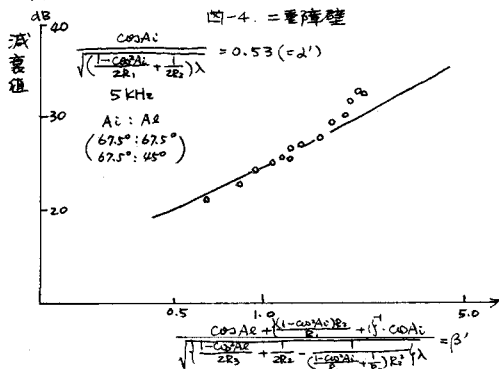
と表わせ、減音量 ΔL は

$$\Delta L = -10 \log_{10} \left| \frac{U(P)}{U_0} \right|^2 \dots \dots \dots (9)$$

として得られる。

3 実験結果との比較

図-4は前川の2重半無限障壁における実験値と(9)式の比較、図-5は前川の厚みのある障壁と(9)式との比較を示したものである。ただし無限長障壁の場合には便宜的に表長を2倍、厚みのある障壁の場合には表長を3倍として計算している。このことはナイフエッジ障壁、山型エッジ障壁(単障壁)のときのキルヒホッフ理論値と実験値との差から容易に推定できる。



4. おまじ

本研究は点音源に対して二重障壁による近似理論により、かなりの精度でもって回折減音量を推定できることが判明し、道路交通騒音等の現実の遮蔽効果を推定する上での有効な方法になり得ると考えられる。