

Study on the energetic prediction model of sound propagation

福島, 昭則

<https://doi.org/10.15017/458552>

出版情報 : Kyushu Institute of Design, 2002, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

付録 E

非干渉性線音源に対する 地表面効果の エネルギー計算モデル

5 章において点音源に対する地表面効果のエネルギーモデルについて述べたが、道路や鉄軌道等の線音源を対象とする場合には微小点音源の集合として個々の点音源について計算しなければならない。

ここでは、第 5 章での点音源についての簡易モデル式を用い周波数を考慮した形の有限長および無限長の非干渉性線音源に対する地表面効果の計算式を検討する。

E. 1 検討に用いた点音源に対する地表面のエネルギーモデル

図 E-1 に示すように、地表面上に音源 Q とその虚像 Q' 、観測点 P を考える。このとき、5.3 節に示した点音源に対する地表面効果の簡易モデルは以下のとおりである。

$$\Delta L_G = 10 \cdot \log_{10} \frac{1}{0.5 + \left(\frac{R_2}{R_{0,\text{far}}} \right)^2} \quad (\text{E-1})$$

$$R_{0,\text{far}} = 2 \sqrt{\left(Hx - \frac{Y}{k} \right)^2 + \left(Hy + \frac{X}{k} - kh_Q h_P \right)^2} \quad (\text{E-2})$$

ここで、 R_2 は幾何的反射波の伝搬経路、 h_Q と h_P は音源と観測点の地表面からの高さ (m) である。

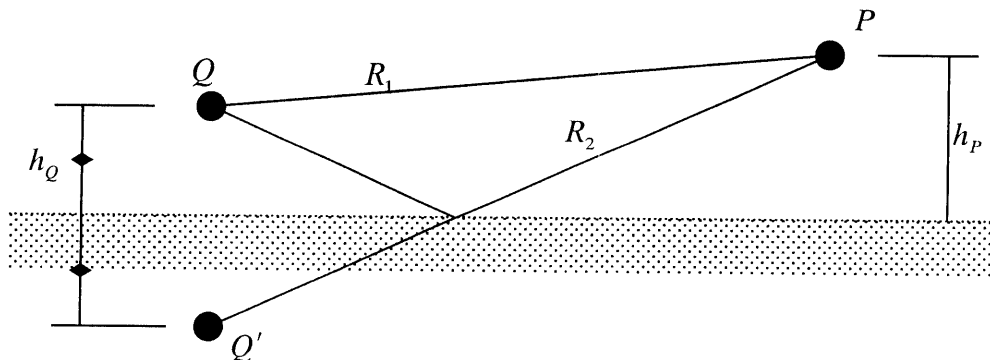


図 E-1. 地表面上の音源と観測点の配置

また、 x, y, X, Y は地表面のノーマルインピーダンス Z_s と以下の関係にある。

$$x = \text{Re}(Z_s) \tag{E-3}$$

$$y = \text{Im}(Z_s) \tag{E-4}$$

$$X = x^2 - y^2 \tag{E-5}$$

$$Y = 2xy \tag{E-6}$$

E. 2 線音源に対する地表面のエネルギーモデル

図 E-2 のような線音源 Q_{line} と観測点 P を考える。また Q_{line} の方向を x 軸とする。有限長線音源 ($x = x_1 \sim x_2$) を微小なランダム位相点音源列とすれば有限長線音源に対する地表面の影響 $\Delta L_{g,\text{line}}$ は次のように表せる。

$$\Delta L_{g,\text{line}} = 10 \cdot \log_{10} \frac{\int_{x_1}^{x_2} I(x) \cdot dx}{\int_{x_1}^{x_2} I_0(x) \cdot dx} \tag{E-7}$$

ここで、 $I_0(x)$ は自由空間中の x の位置の点音源からの音響強度 (w/m^2)、 $I(x)$ は地表面上での音響強度 (w/m^2) であり以下のように表す。

$$I_0(x) = \frac{W}{4\pi R_1^2(x)} \tag{E-8}$$

$$I(x) = \frac{W}{4\pi R_1^2(x)} \cdot 10^{\Delta L_G(x)/10} \tag{E-9}$$

ここで、 $R_1(x)$ は x の位置の点音源から観測点までの距離 (m) で、

$$R_1(x) = \sqrt{x^2 + R_1^2(0)} \tag{E-10}$$

であり、 W は点音源の音響出力 (w) である。また、 $\Delta L_G(x)$ は x の位置の点音源に対する地表面効果である。

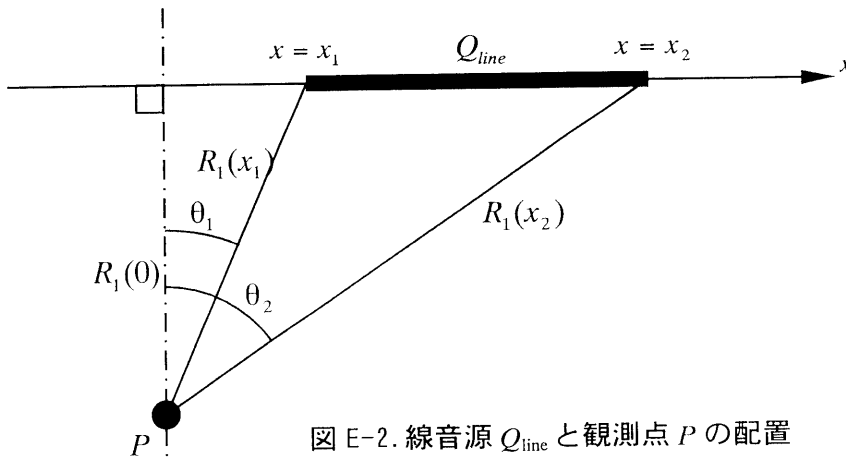


図 E-2. 線音源 Q_{line} と観測点 P の配置

ところで、式(E-1)は、観測点が音源から十分離れ $R_2 \approx R_1$ の場合に波動解に漸近し、音源近くで+3dB となるようにモデル化した計算式である。ここで、 R_2 を R_1 で置き換える。このとき、式(E-7)の分母は、

$$\begin{aligned} \int_{x_1}^{x_2} I_0(x) dx &= \frac{W}{4\pi} \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{R_1^2(x)} \\ &= \frac{W}{4\pi R_1(0)} (\theta_2 - \theta_1) \end{aligned} \quad (\text{E-11})$$

であり、分子は式(E-1)を用いて、

$$\begin{aligned} \int_{x_1}^{x_2} I(x) dx &= \frac{W}{4\pi} \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{R_1^2(x)} \cdot \frac{1}{0.5 + \left(\frac{R_1(x)}{R_{0,\text{far}}} \right)^2} dx \\ &= \frac{W}{2\pi} \left[\frac{\theta_2 - \theta_1}{R_1(0)} - \frac{\Theta_2 - \Theta_1}{\sqrt{R_1^2(0) + 0.5R_{0,\text{far}}^2}} \right] \end{aligned} \quad (\text{E-12})$$

$$\Theta_i = \tan^{-1} \frac{x_i}{\sqrt{R_1^2(0) + 0.5R_{0,\text{far}}^2}} \quad (\text{E-13})$$

と表せる。したがって、有限長線音源に対する地表面効果 $\Delta L_{\text{g,line}}$ は次のように表せる。

$$\Delta L_{\text{g,line}} = 3 + 10 \cdot \log_{10} \left(1 - \frac{\Theta_2 - \Theta_1}{\theta_2 - \theta_1} \cdot \frac{R_1(0)}{\sqrt{R_1^2(0) + 0.5R_{0,\text{far}}^2}} \right) \quad (\text{E-14})$$

また、無限長線音源の場合には、 $\theta_1 = \ominus_1 = -\pi$ 、 $\theta_2 = \ominus_2 = \pi$ より以下のとおりとなる。

$$\Delta L_{\text{g,line}} = 3 + 10 \cdot \log_{10} \left(1 - \frac{R_1(0)}{\sqrt{R_1^2(0) + 0.5R_{0,\text{far}}^2}} \right) \quad (\text{E-15})$$

この式と、点音源に対する計算モデル式(E-1)を比較すると、十分遠方においては、

$$\Delta L_{\text{g,line}} = \Delta L_{\text{g}} - 3 \quad (\text{E-16})$$

の関係にある。

なお、点音源と非干渉性線音源に対する地表面効果の計算例は、3.3 節に示している。

