

IV-106 積分方程式法による掘割音場解析

建設省土木研究所 正員 木嶋 健
建設省土木研究所 正員 中山 隆

1. はじめに

近年、線形場の解析に境界積分方程式法(以下積分方程式法と略)がよく用いられている。これは、有限要素法など他の解析手法に比べて、入力データが少なく済む、領域が無限にまで及ぶ場合に定式化が容易である、等の特長を有するためである。ところで、種々の複雑な道路構造からの音響伝播を解析する際、このような特長を有する積分方程式法は非常に有力な手法となりうる。そこで本研究では、掘割構造からの音響伝播解析にこの手法を適用し、併せて実験結果との比較・検討を行った。

2. 定式化

音響伝播問題に対する支配方程式は、定常状態を考えると、領域Dにおいて一般的に次の様なHelmholtz方程式で表される。

$$\nabla^2 p(x) + k^2 p(x) = 0 \quad (x \in D) \quad (1) \quad (p: \text{音圧}, k: \text{波数})$$

ところで、領域Dにおける関数の値は、入射波による関数値と境界の存在により生じる散乱波による関数値の和で与えられる。ここでは、放射条件を満足するように散乱波について積分方程式を立てる。散乱波に対する音圧を p^s 、法線方向の粒子速度を v_n^s とすると、Green公式により積分方程式は次の様にあらわされる。

$$c p^s(x) = \int_{\partial D} \left\{ i\omega \rho G(x, y) v_n^s(y) - \frac{\partial G(x, y)}{\partial n} p^s(y) \right\} dS(y) \quad (2)$$

($\partial(\)/\partial n$: 外向き法線方向への微分、 ω : 角振動数、 ρ : 媒質の密度)

なお、係数 c は x の位置により下に示すような値をとる。

$$c = \begin{cases} 1 & (x \in D) \\ 1/2 & (x \in \partial D : \text{ただし境界 } \partial D \text{ がなめらかな場合}) \\ 0 & (x \notin D \cup \partial D) \end{cases}$$

ここに、 $G(x, y)$ は基本解と呼ばれるものであり3次元の場合次の様に表される。

$$G(x, y) = \frac{e^{ik|y-x|}}{4\pi|y-x|}$$

境界 ∂D 上の音圧は、式(2)を離散化して得られた式を与えられた境界条件の下で解くことにより求められる。同様に、領域内部の音圧も境界上の音圧、法線方向の粒子速度により容易に求められる。なお、ここでは離散化にあたり1次要素を用いた。

3. 掘割音場解析結果

本研究で対象とした掘割構造の横断面を図1に示す。解析条件および実験条件は以下に示す通りである。

解析条件:

境界条件としては、境界(路面、側壁、地表面)が全て完全反射を行う(法線方向の粒子速度がゼロ)という条件を考えた。また、音源としては呼吸点音源を考え、掘割構造中心・路面上高さ2 cmの位置にあるものとした。なお、空気の密度 ρ としては $\rho = 1.2(\text{kg/m})$ を、音速 c としては $c = 344.0(\text{m/s})$ を(共に実験時の温度21℃を基にして求めた値である)用いた。

実験条件：

境界（路面、側壁、地表面）には全てアクリル板をはりつけている。音源としてはアダプターを取り付けて指向特性が改善されたスピーカーを用い、これを堀割構造中心に配置した。

図2は、周波数2(kHz)の純音に対して数値計算結果と実験値とを比較したものである。これを見ると、両者は完全にはいい難いが概ねよく一致しており、本解析手法によりほぼ満足のいく結果が得られたものと考えられる。

