

京都大学防災研究所 正員 土岐憲三

京都大学防災研究所 正員 ○佐藤忠信

1. まえがき

複雑な地層構成を有する表層地盤の震動解析を行う場合、地盤を有限要素法などによって、有限な振動系へ置き換えることが多し。この場合、表層地盤は有限領域に区切らなければならないが、この結果で生じる境界がどこに位置するかによって、系の振動特性が大きく異なることが予想される。特に、従来の解析では基盤層を剛体と考えることが多いため、入射した波動のエネルギーは振動系の中に閉じ込められ、境界を通じて逸散する波動のエネルギーが考慮できないという問題があった。有限要素解析におけるこのような問題点を克服するため、表層と基盤層との境界で成立する積分方程式を、離散系の方程式に置換することによって、任意の形状を有する境界に波動が入射した場合の問題を解析する手法を開発した。本報告では、2次元的なSH波が入射する場合を対象として、具体的な数値計算例を示す。

2. 応答解析手法

図-1に示すような半無限弾性基盤B上にAのような地盤が載っている場合を考えると、Aの部分を有限要素化した場合の運動方程式は次のようになる。

$$\left\{ -\omega^2 \begin{bmatrix} M_s & M_c \\ M_c^T & M_B \end{bmatrix} + i\omega \begin{bmatrix} C_s + C_s^* & C_c \\ C_c^T & C_A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_s + K_s^* & K_c \\ K_c^T & K_A \end{bmatrix} \right\} \begin{Bmatrix} \delta_s \\ \delta_A \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_s^* \\ F_A \end{Bmatrix} \quad (1)$$

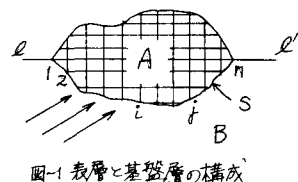


図-1 表層と基盤層の構成

ここに、Sの添字のついた変数は境界上の節点に関するものであり、Aの添字は上層構成要素の節点に関するものである。また*印のついた変数は境界条件から導入されるもので、これは基盤を剛体と考えた場合の運動方程式とは異なる点である。いま $L-L'$ を地表面とする仮定の半無限弾性性基盤を考え、この地盤のポテンシャル、2基本特異解をそれぞれ $U(x, y|z, \eta)$, $P(x, y|z, \eta)$ とし、またこの仮想地盤内のS面上の力 F と変位のベクトルを f, d とすれば、 K_s^*, C_s^*, F_s^* は次のように与えられる。

$$\left\{ \begin{aligned} [K_s^* + i\omega C_s^*] &= [P(x_i, y_i|z_j, \eta_j) \partial L_i \partial L_j] [U(x_i, y_i|z_j, \eta_j) \partial L_i]^{-1} \\ \{F_s^*\}_i &= -f_i + \sum_{j=1}^n (K_s^* + i\omega C_s^*)_{ij} d_j \end{aligned} \right. \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

なお、SH波のみが伝播する場合の基本特異解は次式で与えられる。

$$\left\{ \begin{aligned} U(x, y|z, \eta) &= \frac{1}{4} \{ H_0^{(2)}(k[(x-z)^2 + (y-\eta)^2]^{1/2}) + H_0^{(2)}(k[(x-z)^2 + (y+\eta)^2]^{1/2}) \} \\ P(x, y|z, \eta) &= \mu \partial U(x, y|z, \eta) / \partial \eta \end{aligned} \right. \quad (3)$$

ここに、 μ はヤング弾性係数、 $H_0^{(2)}$ は第2種ハンテル関数、 η は点 (x, y) における方向余弦である。

3. 数値計算例

図-2に示されるような半径 a の半円が基盤上に載っている場合を対象として上記の数値解析を行った。基盤層のヤング弾性速度は 160 M/sec とし、入射角 θ が 60° の単位振幅のSH波が入射する場合を考えている。また入射波の振動数は 0.75 Hz とした。図-3にはこの結果を示している。図中の線Aは有限要素化した部分と基盤層のヤング弾性速度が一致した場合の地表面における変位振幅であり、線Bは基盤と表層の境界面における変位振幅である。また、線Cは有限要素部分のヤング弾性係数がゼロ、すなわち、地表面に円筒形の谷があるような場合、谷面の変位振幅を表わしている。この詳細については講演時に中ずる。

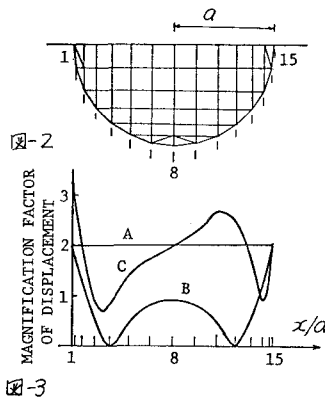


図-3