

I - B296

境界要素法による不整形地盤の応答解析

大日本コンサルタント(株)(元宮崎大学大学院) 正員 松尾 聡一郎
 (株)環境調査技術研究所(元宮崎大学大学院) 正員 寺本 諭司
 宮崎大学工学部 正員 原田 隆典

1. まえがき S 波速度 $3 \sim 4 \text{ km/s}$ 程度の地震基盤から S 波速度 $0.5 \sim 1 \text{ km/s}$ 程度の工学基盤までの深層地盤における地震波の増幅特性、および工学基盤から地表面までの浅層地盤の増幅特性は、地表面における地震動に影響する。そこで、これらの2つの増幅特性を評価する方法として、厳密な方法および水平成層地盤と不整形多層地盤に適用できる近似的な方法を提案し、その適用限界を明らかにしたのでその概要を説明する。

2. 近似的な部分分割法の概要とその適用限界の検証 図1(a)のように半無限地盤上にある2層の水平成層地盤が入射波を受ける場合の応答変位 $u(z_m)$ は、次式の剛性方程式から厳密に計算される。ここに、 $u_{free}(z_2)$ は入射波を受ける半無限地盤の地表面での変位、 K_{Half} は半無限地盤にの剛性マトリックスを表す。また、 K_{ij}^m は第 m 層の要素剛性マトリックスを表す。

$$\begin{bmatrix} K_{11}^1 & K_{12}^1 & 0 \\ K_{21}^1 & K_{22}^1 + K_{11}^2 & K_{12}^2 \\ 0 & K_{21}^2 & K_{22}^2 + K_{Half} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} u(z_0) \\ u(z_1) \\ u(z_2) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ K_{Half} u_{free}(z_2) \end{pmatrix} \quad (1)$$

部分分割法を使うと、式(1)を境界 z_1 で2つの地盤に分割して解析することができる。しかし厳密な部分分割法では、境界 z_1 を自由地盤としたときの z_1 以深の地盤の剛性マトリックスを新たに計算する必要が生じる。これを避けるため、 z_1 以深の地盤を半無限地盤と近似するものとした。したがって、近似的な部分分割法は次のようになる。図1(a)の地盤を $z = z_1$ の境界で (b), (c) の2つの地盤に分けて、次式の剛性方程式から応答を計算する。ここに、 K_r は図1の(b)地盤の第2層を半無限地盤と仮定したときの剛性マトリックスを、 $u_{free}(z_1)$ は(c)地盤の地表面応答変位を表す。

$$\begin{bmatrix} K_{11}^1 & K_{12}^1 \\ K_{21}^1 & K_{22}^1 + K_r \end{bmatrix} \begin{pmatrix} u(z_0) \\ u(z_1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ K_r u_{free}(z_1) \end{pmatrix} \quad (2)$$

式(1)の厳密解と式(2)の近似解から得られる単位入射振幅に対する振動数伝達関数の違いを図2に例示する。厳密解と近似解による伝達関数の違いを式(3)で評価し、この誤差と第1層と第2層のインピータンス比 P および第2層の層厚 d の関係を整理した。ただし、 ρ は密度、 C_s は S 波速度であり、添字 1, 2 は層番号を示す。

$$Error = 100 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (|v_R| - |v_A|)^2}{\sum_{i=1}^n |v_R|^2}} \quad (\%) \quad (3) \quad P = \frac{\rho_2 C_{s2}}{\rho_1 C_{s1}} \quad (4)$$

ここに、 v_R と v_A は厳密解と近似解による振動数伝達関数である。図3にインピータンス比 P と誤差パラメータ $Error$ の関係をプロットした。誤差パラメータ $Error$ には、層厚 d よりもインピータンス比 P による影響が大きく、 $P \geq 2$ では、層厚によらず $Error$ は10%以下となることがわかった。この図から、近似方法の適用性を判断することができよう。

3. 不整形地盤における近似的な部分分割法の適用 SH 波入射において図4に示す不整形境界面を有する矩形谷の3層地盤を一括して応答解析する全体解析と、地盤を第2層で分割する近似部分分割法を直接境界要素法に適用し、両者を比較した。分割層間のインピータンス比は $P = 3.14$ である。図5に $x = 1980(m)$ 地点における振動数伝達関数を示すが近似法の精度のよいことがわかる。最後に、近似法の適用例として、図6(a), (b)

に示す宮崎市の浅い地盤モデル(a)と深い地盤モデル(b)を一体化した大規模地盤モデルの応答を計算した。その結果を図7に示す。図7の点線は浅い地盤モデルにおける振動数伝達関数であり、深い地盤モデルの影響がこの図よりわかる。なお、(a)のモデルは、(b)のモデルの $-37 \sim -27(km)$ 区間における真上の地盤である。

4. まとめ SH波入射問題という条件ではあるが、直接境界要素法を用いることにより、現実的な複雑な不整形多層地盤の応答が厳密に解析できるようになった。また、近似的な部分分割法を適用することにより、数値計算時間の短縮ができ、効率よく現実の地盤震動問題が解析できるようになった。

参考文献 1) 寺本諭司:直接境界要素法を用いたSH波入射による不整形地盤の応答解析, 宮崎大学修士論文,1996. 2) 松尾聡一郎:境界要素法による不整形地盤の地震応答解析, 宮崎大学修士論文,1997.

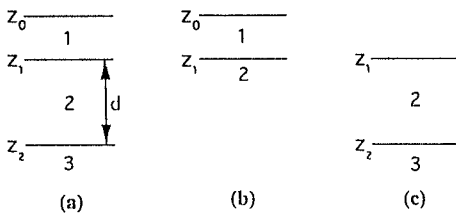


図1 半無限地盤を有する2層の水平成層地盤モデル

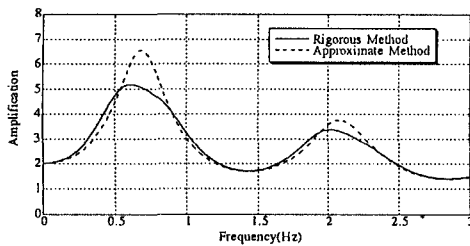


図2 単位入射振幅に対する地表面の振動数伝達関数 $C_s = 250(m/s), d = 90(m)$

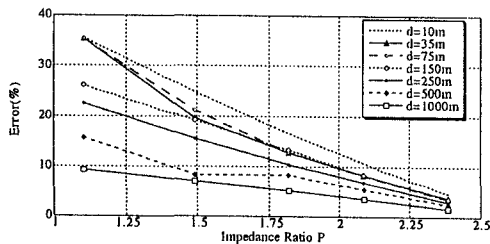


図3 誤差パラメータの特性

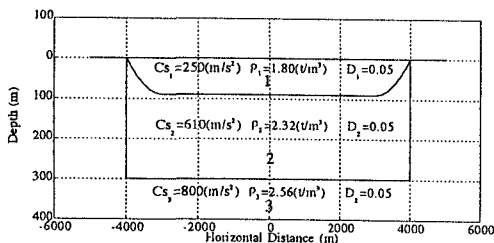


図4 不整形境界を有する3層地盤モデル

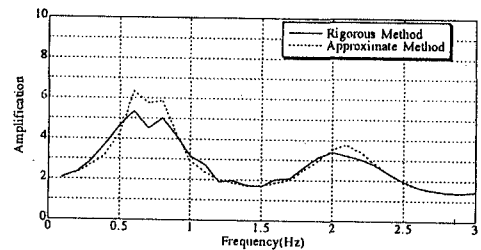


図5 $x = 1980(m)$ 地点における振動数伝達関数

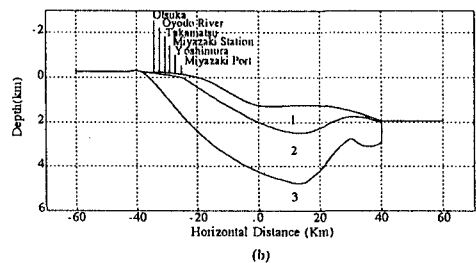
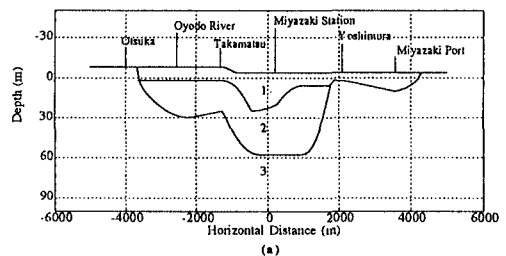


図6 宮崎地域における地盤モデル

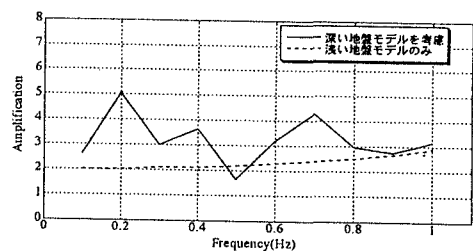


図7 宮崎市の浅い地盤モデルにおける宮崎駅の振動数伝達関数