

I-471

## 相対増幅率を用いた 成層地盤の増幅特性の検討

東京大学大学院

学生員 鄭 京哲

東京大学生産技術研究所 正 員 田村重四郎

### 1. はじめに

地盤の震動が地盤構成によって異なることは多くの地震で認められており、耐震設計に当たって地震動に対する地盤構成の影響を知ることは極めて重要である。従来より地表面における地震動特性に及ぼす地盤の構成の影響についてはいくつかの研究がなされ、有用な結果が得られている。しかし地盤中の増幅特性に関する研究があまりなされていない。ここでは重複反射法を用い、相対増幅率という考え方を採用し、成層地盤の増幅特性の検討を試みた。

### 2. 相対増幅率の定義

図-1に示すような $n$ 層水平成層地盤において、地表面より第 $i$ 層の層厚、せん断波速度、密度および $Q$ 値をそれぞれ $H_i$ 、 $V_i$ 、 $\rho_i$ 、 $Q_i$ とし、各層の上面に座標原点をとる。入力としては鉛直下方から基盤に入射する有帯域初波 $U_1$ からなるSH波を用いた。重複反射法により地表面の変位振幅 $E_1$ が求められる。

$$E_1 = 2/(\alpha_n - i\beta_n) \quad (1) \quad \text{ここで} \quad \begin{bmatrix} \alpha_n \\ \beta_n \end{bmatrix} = [K_0] \cdots [K_i] \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}; [K_i] = \begin{bmatrix} \cos(\omega H_i/V_{s1}) & \sin(\omega H_i/V_{s1}) \\ -k_{i-1,i} \sin(\omega H_i/V_{s1}) & k_{i-1,i} \cos(\omega H_i/V_{s1}) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$V_{s1} = V_i (1+i/Q)^{1/2} \quad (2)$$

この $E_1$ より各層での任意の点の変位振幅が計算できる。従って深さの異なる任意の二点AとBの変位振幅比率が求められる。この比率の絶対値をAのBに対する相対増幅率と定義すると、第 $i$ 層での $x_i$ 点における基盤に対する相対増幅率は(3)式で表される。また第 $i$ 層の相対増幅率は $u^*(x_i=0)/u^*(x_i=H_i)$ に

$$u^*(x_i) = \begin{cases} [(\alpha_{i-1}/\alpha_n) \cos(\omega x_i/V_{s1}) + (\beta_{i-1}/\alpha_n) \sin(\omega x_i/V_{s1})] & (i>1) \\ [(1/\alpha_n) \cos(\omega x_i/V_{s1})] & (i=1) \end{cases} \quad (3)$$

なるため、地表面での基盤に対する相対増幅率は各層の相対増幅率をかけあわせたものに相当する。従って各層の相対増幅率から各層の増幅作用が推定される。

### 3. 数値計算および考察

数値計算に用いる地盤モデルを表-1に示す。ケース1では深さ方向のせん断波速度の変化を緩やかとしている。ケース2とケース3では $V_s$ が60 m/sの軟弱層をそれぞれ第2層および第2層と第4層にしている。周波数に対する各層の相対増幅率および地表面における基盤に対する増幅率を図-2に示す。この図に示すように各層の相対増幅率は層によって卓越周波数が異なり、周波数に対する分布の形状も異なっている。このことは基盤に入力する地震動の周波数スペクトルの形状によって地盤内のどの層が卓越して振動するかを示すものであり、入力地震動の振動数特性から表層のみならず、内部の地震動の推定を可能にすることを意味する。図-2のケース2はしばしば実地盤で見られる軟弱層を表層近くに挟在する例に相当する。この例では1次卓越振動が第2層の軟弱層の相対増幅率に著しく依存していることがわかる。即ち図-3のケース2のF1(1次卓越振動)にみられる様に、この軟弱層がその上層の振動振幅を支配しているのが明瞭である。表-2によりこの振動数の関与係数は2次卓越振動の場合にくらべて僅かに小さいが、振動数を比較した場合、その振幅は後者に比して大きい値となることが予想される。図-2のケース3は軟弱層が2層挟在する場合に相当する。このケースでは下部の軟弱層が1次卓越振動を支配しており、上部軟弱層が副次的に作用していることが図-3および表-2より理解される。

### 4. まとめ

相対増幅率を用いて地盤の増幅特性の検討を試みた。線形の範囲内ではあるが、相対増幅率を利用することで地盤内部の動特性が容易に把握され、特に地中構造物の地震応答特性の推定に有益の資料を与える結果を得た。

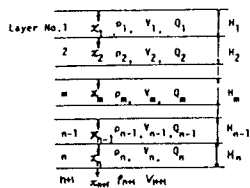


図-1 地盤MODEL

| CASE | 層数 | H (m) | Vs (m/s) | P (t/m <sup>2</sup> ) | Q  |
|------|----|-------|----------|-----------------------|----|
| 1    | 5  | 10    | 200      | 1.8                   | 10 |
|      |    | 10    | 250      | 1.8                   | 10 |
|      |    | 15    | 300      | 1.8                   | 10 |
|      |    | 20    | 400      | 1.8                   | 10 |
|      |    | 30    | 500      | 1.8                   | 10 |
| 2    | 5  | 10    | 200      | 1.8                   | 10 |
|      |    | 10    | 60       | 1.8                   | 10 |
|      |    | 15    | 300      | 1.8                   | 10 |
|      |    | 20    | 400      | 1.8                   | 10 |
|      |    | 30    | 500      | 1.8                   | 10 |
| 3    | 6  | 10    | 200      | 1.8                   | 10 |
|      |    | 5     | 60       | 1.8                   | 10 |
|      |    | 15    | 300      | 1.8                   | 10 |
|      |    | 5     | 60       | 1.8                   | 10 |
|      |    | 20    | 400      | 1.8                   | 10 |
|      |    | 30    | 500      | 1.8                   | 10 |

表-1 計算例の地層の諸元

|        |    | 固有振動数 (Hz) | 関与係数   |
|--------|----|------------|--------|
| CASE 1 | F1 | 1.2440     | 0.7226 |
|        | F2 | 3.0411     | 0.1454 |
|        | F3 | 4.9627     | 0.0489 |
| CASE 2 | F1 | 0.7369     | 0.3371 |
|        | F2 | 1.8046     | 0.4708 |
|        | F3 | 3.0868     | 0.0323 |
| CASE 3 | F1 | 0.6283     | 0.4589 |
|        | F2 | 1.6606     | 0.0581 |
|        | F3 | 2.5276     | 0.3688 |

表-2 固有振動数と関与係数

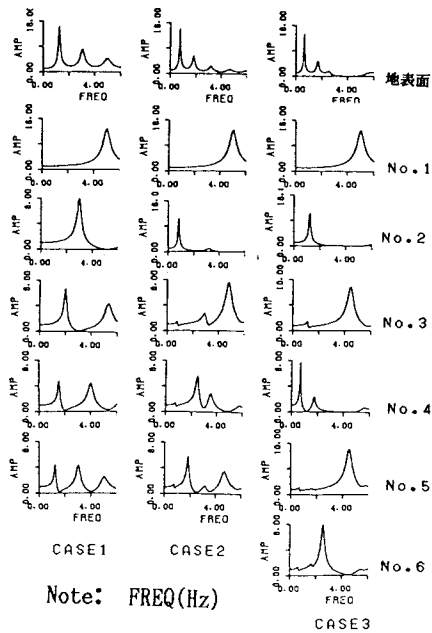


図-2 各層の相対増幅率

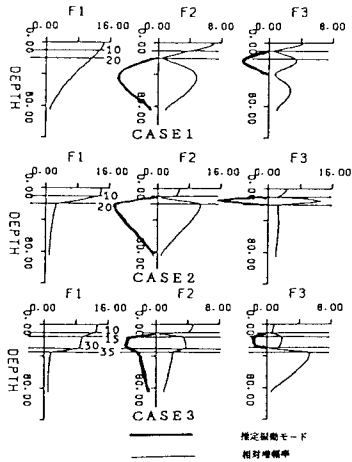


図-3 固有振動数における  
基礎に対する相対増幅率

5. 参考文献

1) 沢田、平尾：せん断速度の構造が地盤伝達関数に与える影響；土木学会論文集 1986、4