

京都大学防災研究所 正会員 土岐寛三
京都大学 大学院 学生員 ○新田篤志

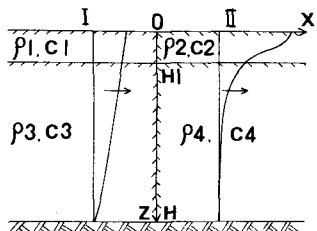
1. まえがき

地震時に地表で記録される加速度波形には短周期の波動が卓越する。これは表層地盤の固有振動周期が短かく、表層において短周期の波動が増幅されるためであるが、このような現象は鉛直下方より入射する波動に対してのみならず、表層を水平方向に伝播する波動についても起ると考えられる。また、山地から沖積層に移り変る地域では、そこを水平方向に伝播する波動は境界において反射と屈折を行ない、その波形の特性も変化するであろう。このような波動は進行方向に対して位相差をもっているため、長大構造物や埋設構造物は複雑な応答をすることが予想される。本研究では表層における地盤の急変部に不規則波動が水平方向に入射した場合の伝播特性を、FFTを用いて解析した。

2. 地盤急変部における波動伝播特性の理論解析

図1に示すように基盤の上に弾性体の層があり、これらの層がそれぞれ鉛直な境界面と水平な境界面とで接している場合を考える。ここで ρ , C は密度, 横波の伝播速度である。このようなモデルに対して左方より、ある周波数の1次モードで表わされる波動が入射する時の領域I, IIの運動は固有モードの重ね合わせでそれぞれ次式で表わされる。

$$\begin{aligned} u_I &= \bar{u}_I e^{i(\omega t - k_I x)} + \sum_{j=1}^{\infty} A_j \bar{u}_j e^{i(\omega t + k_j x)} \\ u_{II} &= \sum_{j=1}^{\infty} B_j \bar{u}_j e^{i(\omega t - k_j x)} \end{aligned} \quad (1)$$



ここで u , $\bar{u}$, k , A_j , B_j は変位, 固有モード, x 方向の波数, 反射係数, 屈折係数を、また、添字I, IIは領域, j はモードの次数を表わしている。 $x=0$ での変位, 応力の連続条件により、式(1)の A_j , B_j を決定すれば、領域I, IIでの運動が定まる。

3. FFTによる不規則波動伝播解析

2で求められたのは入射波が調和波に対するものであり、得られた A_j , B_j は周波数伝達関数であるから、これを不規則波に適用するには、周波数伝達関数に入射波をフーリエ変換したものと乗じ、それを逆変換すればよい。

$$g(x, z, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} H(\omega) F(\omega) \bar{u}(z) e^{-ikx} e^{i\omega t} d\omega \quad (2)$$

ここで $g(x, z, t)$, $H(\omega)$, $F(\omega)$ は時間応答, 周波数伝達関数, 入力のフーリエ変換を表わしている。今回の解析においては電子計算機の容量制限から、モードは5次までを考慮し $x=0$ での境界条件は分散が最小になるような規範¹⁾で A_j , B_j を決定した。FFTを用いた解析では定常応答しか求められないが、その影響を少なくするために、10秒間の不規則波

形のうしろに10.48秒間の0振幅の部分を加えて20.48秒としたものを入力として用いた。

4. 数値計算例とその考察

ρ , C および H は図2の大阪地盤モデル²⁾を参考にして $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = \rho_4 = 2.0 \text{ g/cm}^3$, $C_1 = 800 \text{ m/sec}$, $C_2 = 150 \text{ m/sec}$, $C_3 = 2000 \text{ m/sec}$, $C_4 = 300 \text{ m/sec}$, $H_1 = 20 \text{ m}$, $H_2 = 220 \text{ m}$ とした。用いた地震記録は1968年3月30日和歌山で採取されたものであり、最大加速度は176ガルである。

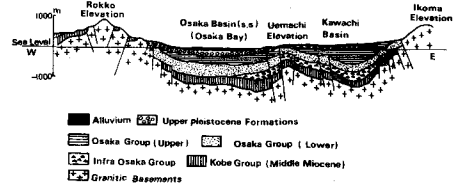


図3は領域Ⅱへの屈折波の周波数伝達関数である。図2 大阪地盤モデル

1次モードへの屈折波などの周波数についても大まかに、これは入射波を領域Ⅰの1次モードで表わしたためである。また1.4 Hz, 5 Hz, 9 Hz, 14 Hz付近にピークが見られるがこれは領域Ⅱの第1層の固有振動数に対応している。

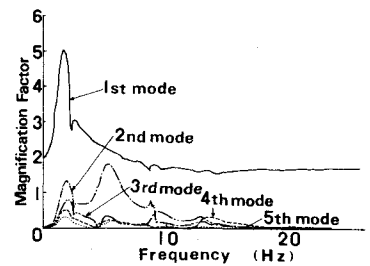


図4は図1の鉛直な境界面上の、地表および水平境界面との交点での時間応答である。これを見ると地表での最大加速度が200ガル程度になっているが、これは波動インピーダンスの違いにより増幅されたものである。

図3 周波数伝達関数

図5は $X=1400 \text{ m}$ での地表および水平境界面上での時間応答である。この時間応答は大まかに2つの部分に分けられる。すなわち約5秒から10秒までと、それ以降である。前半の波動は伝播速度が約 300 m/sec であり、主として下層を伝播してきた波動であり、地表、境界ともに大きな振幅の変化はない。それに反して後半の波動は伝播速度が約 150 m/sec であり、主として、表層を伝播してきた波動であり、表層において大きく増幅をうけていることがわかる。このように基礎と表層よりなる地盤に不規則波形を持つ表面波が入射する場合、表層地盤内に新たな表面波が発生し、その伝播速度はその層の横波速度に近いものであることがわかる。

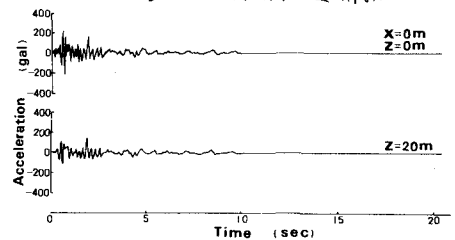


図4 $X=0 \text{ m}$ における時間応答

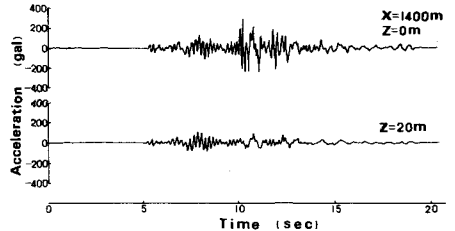


図5 $X=1400 \text{ m}$ における時間応答

参考文献

- 1) Alsop, L.E; Transmission and Reflection of Love Waves at a Vertical Discontinuity, Journal of Geophysical Research, Vol 71, 1966
- 2) Ikebe, N et al; Quaternary Geology of Osaka with Special Reference to Land Subsidence, Journal of Geosciences, Osaka City University, Vol 13, Art 4, March 1970