

(1) まいごよ 地盤の地震時応答を算定する場合、地盤は線形な弾性体として処理するの従来の一般的傾向である。しかしながら、地盤は本来、非線形な応力-ひずみ特性を有するので、特に密集時にあつた応答と異なる場合、この影響を考慮する必要があることが予想される。本文は地盤の非線形な応力-ひずみ特性を有するとして、いわゆる等価線形化の手法を適用して波動論的に地盤の地震時応答を算定する方法を述べるとともに、非線形層の層厚の影響について若干の考察を述べたものである。

(2) 地盤の非線形性と密度 (応答計算法について)

ここでは比較的適地に震源を有する地震の地震時応答を想定する。このとき表面波は優勢を占め、近似的には SH 波と主として実体波が鉛直に入射するとして応答計算を行うことが可能である。(図-1) この地盤は非線形性を有する基礎は線形弾性とする。図1のように表層と適当な薄層を分割し、 m 層からなる多層地盤として処理する。表層は非線形であるから履歴減衰を有し等価線形係数を用いて m 層目の薄層の運動方程式は次のように記すことができる。

$$\frac{\partial^2 u^{(m)}}{\partial t^2} = \frac{G_0^{(m)}(1+i\alpha k_0^{(m)})}{\rho^{(m)}} \frac{\partial^2 u^{(m)}}{\partial z^2} \quad \text{--- ①}$$

ここに、 $u^{(m)}$; m 層の水平変位, t ; 時間

z ; 座標(鉛直下向きと正とする)

$G_0^{(m)}$; m 層の等価せん断弾性係数, $k_0^{(m)}$; m 層の等価減衰係数

$\rho^{(m)}$; m 層の密度, $i = \sqrt{-1}$

0式を表面に流わせば、各層界では変位、応力が連続の境界条件を解くと、地表面での加速度記録の Fourier 変換は層マテリアルを度って次のように表わすことができる。

$$U(\omega) = \frac{z}{[L_{11} + L_{21}/i k_n G_n]} F(i\omega) \quad \text{--- ②}$$

ここに $U(\omega)$; 地表面での加速度記録の Fourier 変換

$F(i\omega)$; 基礎への入射加速度波の Fourier 変換, $F(i\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$, $f(t)$; 基礎入射加速度記録

G_n ; 基礎のせん断弾性係数

$k_n = \omega / V_{sn}$, V_{sn} ; 基礎の S 波速度, ω ; 円振動数

$$\begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{n-1} \\ a_{n-2} \\ \dots \\ a_2 \\ a_1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} a_m \\ \vdots \\ a_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(k d^{(m)}) & \sin(k d^{(m)}) / k G_0^{(m)} (1+i\alpha k_0^{(m)}) \\ -k G_0^{(m)} (1+i\alpha k_0^{(m)}) \sin(k d^{(m)}) & \cos(k d^{(m)}) \end{bmatrix}$$

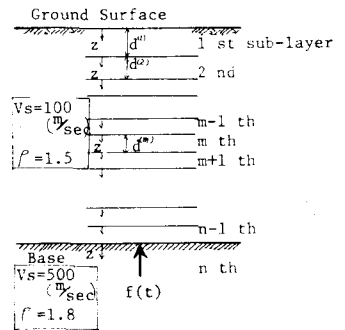
但し

$$k = \omega / V_{sm}, \quad V_{sm} = \sqrt{\frac{G_0^{(m)}(1+i\alpha k_0^{(m)})}{\rho^{(m)}}}, \quad d^{(m)}; m \text{層の層厚}$$

以上のより、地表面での加速度記録 $u(t)$ は $U(\omega)$ と逆変換して次のように与えられる。

$$u(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} U(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad \text{--- ③}$$

Fig-1



また、等価的の意味での周波数伝達関数 $A(\omega)$ は次式で与えられる。 $A(\omega) = \left| \frac{z}{L_{11} + L_{12}/i\omega G_0} \right|$ — ④

ここで、④式における $G_0^{(1)}$, $G_0^{(2)}$ の大きさは必ずハルバルにおいて大きく変化しないことが前提である。このような必ずしも依存性を見出すため、ここではいわゆるiterationの方法を適用する。即ち、計算の過程で算定されるはずの大きさに応じて $G_0^{(1)}$, $G_0^{(2)}$ を新しく設定して、これを収束するまで計算を繰り返す。この際

の必ずみの実効値としては最大必ずみの65%を採用した(2)層厚を変えた場合の応答計算例

SH波の重複反射の卓越するところから、模擬地震として震央距離(H)50km, マグニチュード(M)7.5の地震を想定する。この条件の下に、トに層厚5m程度の経験式を使い、土質算定係数と発生させてシミュレートした基礎への入射加速度記録を図2に示す。

地盤構造は図1に示すようなものとして、表層地盤を非線形と仮定したときの $G_0^{(1)}$, $G_0^{(2)}$ はSeed⁽²⁾の非線形地盤に対して提案する図3のような必ずしも依存性を見出すところ。以上の条件から層厚5mから20mまで適宜、変化させて応答計算を行う。一例として、層厚10mの場合、表層の線形非線形に依るとしてその非線形としたときの地表での応答の速度波形を図4, 図5に示す。さらに、代表的層厚について周波数伝達関数を比較して非線形の場合と比較して図6に示す。図6から非線形としたときの卓越周期の伸び率は層厚に無関係にほぼ180%であり、減衰率も層厚に無関係に一定であることが注目される。次に表層の線形、非線形としたときの地表での最大加速度の層厚による変化を図7に示す。線形と非線形ではその地表最大加速度の層厚に対して全く逆に変化するところから20mである。このことは、一般に軟弱層厚が大きくなるに従って震害が増大するところ過去の震害経験において確認したところから震害に及ぼす地震動の元(加速度, 速度, 変位)に対する知見⁽³⁾が特に非線形性を導入することにより大きく変り得ることからである。

図2 Simulated Incident Acceleration with (Magnitude=7.5, Epicentral Distance=50Km)

図3 Strain-Dependent Characteristics

図4 Linear Response (Layer Depth:10m)

図5 Non-Linear Response (Layer Depth:10m)

図6-1 Transfer Function (Layer Depth:5m)

図6-2 Transfer Function (Layer Depth:10m)

図6-3 Transfer Function (Layer Depth:20m)

図7 Maximum Acceleration Versus Layer Depth

参考文献

- 1) 例として, Seed et al (1969): "Characteristics of motion during earthquakes" J. Soil and Found Div ASCE Vol 95
- 2) Seed et al (1968): "Seismic Response of Horizontal Soil Layer" J. Soil and Found Div ASCE Vol 94
- 3) 例として, 鏡味小林 (1971): "内米地震の川崎における地表層の加速度分布" 日本建築学会論文報告集 Vol 176