

I-47 地盤と構造物の地震時相互作用と床応答スペクトルの解析について

宮崎大学工学部 学生員 池田 喜久雄  
 宮崎大学工学部 正員 原田 隆典

1. まえがき 地下街、大型地下タンクのような大規模地中構造物や超高層ビルディングなどの耐震対策においては、これら構造物本体の地震時強度は勿論、内部の各種施設等の耐震性に関する検討が要求される。これら機器の耐震設計では、機器に対する応答スペクトルにより地震荷重を決めて通常の震度法による設計を行なうか又は、機器が設置されている床応答波による動的解析により、機器の動的性能を検討するのが通例である。そこで本研究では、これら構造物内の各種機器に対する合理的な地震荷重を設定することを目的として、床応答波や床応答スペクトルにおよぼす地盤と構造物の動的相互作用の影響を検討したのでその概要を報告する。

2. モデルの概説 構造物内の動的機器の地震応答は、“地盤上での地震波”-“構造物の伝達特性”-“機器の応答”という流れに従う。そこで本研究では、構造物設計用地震外力の算定に使われる地震波応答スペクトルおよび地盤と構造物の諸定数を与えて得られる構造物の振動数応答関数から、構造物の各フロアの応答加速度波やその応答スペクトルを計算する数理モデルとした。尚、地盤-構造物の振動数応答関数の計算では、有効地震動[1]を考慮する場合と無視する場合の2ケースを考えた。

地盤-構造物系の振動モデルは、図-1に示すように上部が4質点せん断モデル、基礎部が水平と回転の剛体2自由度モデルであり、この振動数領域での運動方程式は図の記号を使うと次のようになる。

$$[-\omega^2[M] + [K^*]]\{U\} = \omega^2[M_1]U_g^* + \omega^2[M_2]\varphi^*$$

右辺の  $U_g^*$ ,  $\varphi^*$  は有効地震動と呼ばれ、質量零の基礎の地震応答値として与えられる。この有効地震動は、基礎や地盤の幾何学寸法や材料定数の関数として与えられる伝達関数に、地盤上の地震波を乗じて得られる[1]。例えば、図-2は、模型地下タンク(質量=0)の応答振幅( $\bar{U}_j^*$ ,  $\bar{\varphi}^*$ )と地表面振幅( $\bar{U}_0$ )および入力振動数 $\omega$ の関係を

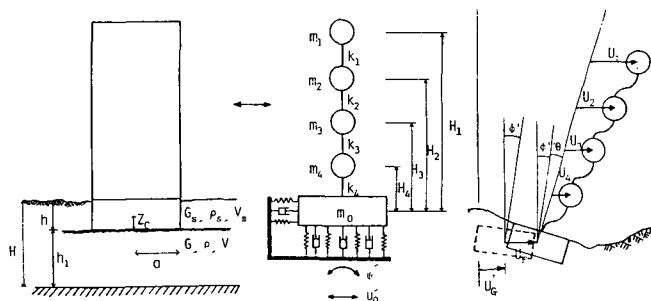


図-1 地盤-構造物モデルと変形後の記号

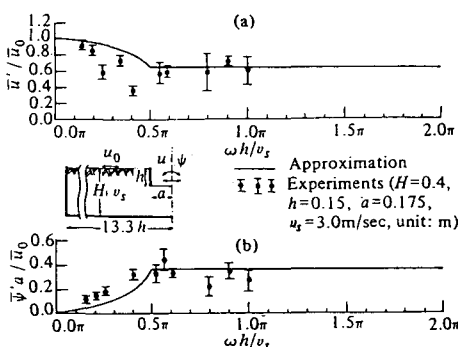
示すもので、振動数の増加にともない水平有効地震動の振幅 $\bar{U}_j^*$ は減少し、回転有効地震動の振幅 $\bar{\varphi}^*$ は逆に増加していることが読みとれる。このように有効地震動は、地表の地震動に比べ振動数の増加とともに水平振幅は低くなり、逆に回転振幅は増加する。したがって、この有効地震動を用い、地表上の地震動を振幅 $\bar{U}_0$ 、振動数 $\omega$ の調和振動とすると、図-1の構造物の振動数応答関数は次式で与えられる。

$$H_j(\omega) = \frac{U_j^*}{U_0^*}, (j=1,2,3,4), H_F(\omega) = \frac{U_F^*}{U_0^*}, H_\theta(\omega) = \frac{\theta^*}{U_0^*}$$

$$\text{ここに } \theta^* = \bar{\varphi}^* + \theta$$

$$U_j^* = U_j + U_F + \theta H_j + \sqrt{(U_j^*)^2 + (\bar{\varphi}^* H_j)^2}$$

$$U_F^* = U_F + \theta(R-Z_c) + \sqrt{(U_j^*)^2 + \{\bar{\varphi}^*(R-Z_c)\}^2}$$



(a) = Variation for Translation with Frequency  
 (b) = Variation for Rocking Motion with Frequency

図-2 有効地震動の振動特性と実験値

地盤の動的復元力を表わす複素ばね係数は、基本的には3次元粘弾性地盤を仮定した理論式から導かれており、実験値との比較から地盤と基礎側壁との剝離などの非線形効果も近似的に組み込まれている[1]。

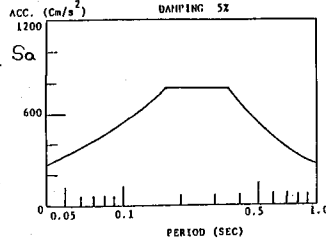


表1 構造物の入力データ

	m	K	H <sub>1</sub>
	tons <sup>2</sup> /cm	ton/cm	37.3
1	6.12	3000.0	H <sub>2</sub> 29.3
2	7.07	25000.0	H <sub>3</sub> 24.2
3	8.04	27189.0	H <sub>4</sub> 17.0
4	9.07	34158.0	h 17.0
0	99.64		a 25.0

$V_s = 400\text{m/s}, \rho = 240.0\text{Kg/m}^3$

図-3 地震波応答スペクトル

は極値分布を使い関係づけられる。したがってこれらの関係を使用すると、地震波の応答スペクトルが与えられれば地震波のパワースペクトルが計算できる。これより構造物の各フロアにおけるパワースペクトルが計算され、このパワースペクトルから各フロアのサンプル波は人工的に作成される[2]。

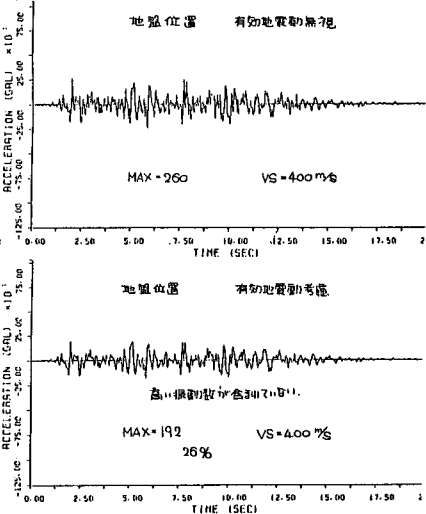


図-4 地盤位置での応答加速度波

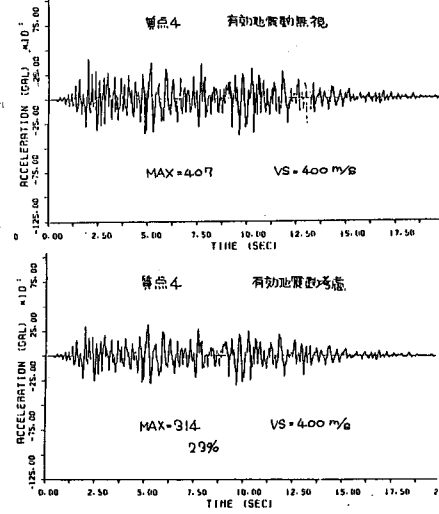


図-5 質点4での応答加速度波

3. 例題 地震波の応答スペクトルとして図-3に示すものを与え、地盤と構造物の諸定数を表-1のようなものとして、各質点の応答波とその応答スペクトルを計算した。この例では、構造物の伝達関数 $H_i(\omega)$ を計算する際、有効地震動を考慮する場合と無視する場合( $U_d = \bar{U}_0, \bar{\rho} = 0$ )の2ケースを考えた。図-4と5はそれぞれのケースにおける地盤位置と質点4のサンプル加速度波を示す。図のように有効地震動を考慮することにより、構造物の応答加速度波には高振動数成分が少なくなり、最大加速度も23%程度低減されているのが認められる。図-6は、質点4の床応答波から計算した減衰定数1%の床応答スペクトルである。構造物共振振動数に対応する周期において、高い応答値が現われている。また、有効地震動を考慮すると床応答スペクトルは低減され、その割合は高振動数側(周期が小さい側)で約30%となっている。

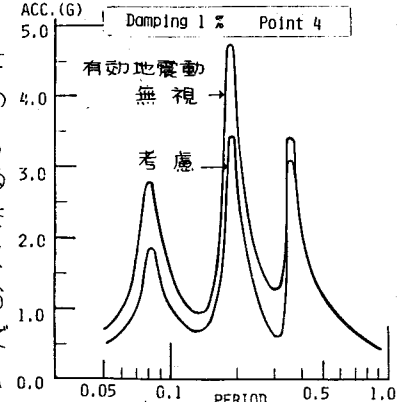


図-6 質点4の応答スペクトル

4. まとめ 従来一般によく用いられているように、有効地震動を無視して地盤上での地震波を複素ばね係数を介して直接基礎に入力する場合に比べると、有効地震動を考慮することにより、構造物内の機器に及ぼす地震荷重が図-6に示すように、高振動数領域で30%程度小さくなるといえよう。したがって地盤と構造物の動的相互作用は、加速度で支配される機器の耐震性に有利に作用すると言えよう。

5. 参考文献 [1]: 原田, 久保, 片山: "Dynamic Soil-Structure Interaction Analysis by Continuum Formulation Method" 東京大学生産技術研究所報告, Vol.29, NO.5, 1981, [2]: 佐藤, 原田: "床応答波とその応答スペクトルの確率的計算手法" 土木学会西部支部講演報告集, III-38, 1983