

I-402

地盤—構造物系の動的応答特性

鹿児島大学工学部 正 員 ○河野 健二

鹿児島大学工学部 正 員 吉原 進

鹿児島県庁 堀之内 毅

1. まえがき

構造物の動的応答特性が地盤の振動特性と密接に関連していると考えられる場合、地盤を含む全体系の動的応答解析が必要になる。このような構造物が地震動を受ける場合、全体系の動的相互作用解析法としてインピーダンス法があげられる。この方法は地盤—基礎系の簡単なモデル化に基づくものであるが、上部構造物系へ入力される地震動の適切な評価が重要となる。本解析では、動的サブストラクチャ法を適用してこのような全体系構造の動的相互作用特性について検討を加えたものである。すなわち、動的応答解析においては基礎—地盤系はリング要素を用いて離散化し、有限境界としては伝達境界を適用している。そして動的サブストラクチャ法により基礎—地盤系の振動を求め、上部構造物への入力の評価を行ない、全体系の動的応答解析に及ぼす動的相互作用の影響について検討を加えた。

2. 地盤—構造物系の運動方程式

基礎—地盤系の動的相互作用特性を考慮した上部構造物の動的応答解析を行なう場合の有用な方法として動的サブストラクチャ法がある。これは上部構造物系と基礎—地盤系をそれぞれ分離して解析し、その接合部分における変形の連続性や力の平衡条件を用いて全体系を表わすものである。このため各部分の動的特性がより正確に解析できるため、特に長大な上部構造物の動的解析には有用である。本解析ではFig.1に示すような基礎—地盤系を三角形リング要素により離散化を行なっている。さらに側方地盤に伝達境界を設定すると、基礎—地盤系の運動方程式が求められる。この運動方程式は動的サブストラクチャ法を用いると基礎と地盤が接する部分の境界力を用いて、基礎部分と地盤部分の運動方程式に分けて表わされる。ここで地盤と基礎の境界に作用する反力はインピーダンスマトリックスを用いて表わされる。このインピーダンスマトリックスが求められると、それは基礎の並進や回転に対するインピーダンス関数に変換される。したがって基礎—地盤系の動的相互作用特性は、このインピーダンス関数を用いると簡単なバネ・ダッシュ系で表わされる。これより基礎の運動方程式は

$$[Z_{pp}]\{\dot{x}_p\} = \{F_b\} + \{F_s\} \quad (1)$$

ここに

$$[Z_{pp}] = -\omega^2[M_{pp}] + i\omega[C_{pp}] + [K_{pp}] \quad \{F_b\} = [L]^T \left\{ \begin{array}{l} -[M_{bb}]\{\ddot{u}_{bo}\} \\ -[M_{fr}]\{\ddot{u}_{fo}\} + [K_{fg}][Z_{gg}]^{-1}[M_{gg}]\{\ddot{u}_{go}\} \end{array} \right\}$$

と表わされる。ここで $\{\dot{x}_p\}$ は基礎の並進、回転変位を表わしており、 $[C_{pp}]$ 、 $[K_{pp}]$ はそれに対応したインピーダンスマトリックスから求められる。 $\{F_b\}$ は地盤から基礎に作用する入力を表わしており、その第1項は基礎・慣性力によるものであり、第2項は地盤振動の影響を表わしている。また $\{\ddot{u}_{bo}\}$ 、 $\{\ddot{u}_{fo}\}$ 、 $\{\ddot{u}_{go}\}$ はそれぞれの部分に対応した自由地盤における加速度応答を表わしている。一方 $\{F_s\}$ は上部構造物から基礎構造物に作用する力である。また $\ddot{x}_g$ 、 $\ddot{\theta}_g$ は基礎の振動によるものであり、式(1)から求められる。これより全体系の運動方程式は

$$\begin{bmatrix} [Z_{ss}] & [M_s] \{ \{1\} \{h\} \} \\ \text{SYM.} & [Z_{pp}] + [m] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{x_s\} \\ \{x_p\} \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} [M_s] \{1\} \\ \{f_g\} \end{Bmatrix} \ddot{x}_g - \begin{Bmatrix} [M_s] \{h\} \\ \{f_\theta\} \end{Bmatrix} \ddot{\theta}_g \quad (2)$$

と表わされる。ただし、 $[M_s]$ は上部構造物系の質量マトリックスであり、 $\{h\}$ は基礎より各質点までの高さを表わしている。

3. 解析結果

Fig.1は解析モデルを示したものであり、地盤の深さは60m、地盤のせん断波速度150m/s、

上部構造物の高さ30mの場合である。Fig.2は基盤に正弦波を入力した場合の上部構造物の応答を示したものであり、基礎の半径が10m、深さ20m、最上部の質量を他の10倍とした場合である。破線は自由地盤表面上における応答を上部構造物系への入力とした場合の応答である。実線は式(1)に示すように基礎構造物が地盤振動の影響を受けた場合の応答を求め、それを式(2)に示すように上部構造物系への入力とした場合の応答である。また点線は式(1)の地盤からの入力の中で第2項を無視した場合の応答を求め、これを上部構造物系への入力とした場合の応答を示している。これらの応答は全て自由地盤入力に対する応答で基準化を行なっている。自由地盤入力に対する応答と基礎の影響を考慮した場合の応答は全体に相違を示している。一方、基礎構造物の影響を考慮する場合、式(1)の地盤からの入力の中で表わされる第2項の影響は小さいことが分かる。構造物の応答を支配すると思われる振動数も含めて全体に自由地盤入力に対する応答は基礎の影響を考慮した場合と異なった応答を示していることが分かる。

同様にFig.3は基礎の半径が10mで根入れ深さが30mの場合の応答を示している。全体的な応答特性は類似していることが分かる。また、Fig.4は式(2)に示すように基礎の回転に対する入力の影響を示したものである。実線は回転の影響を含む場合であり、破線は回転の影響を含まない場合の応答を示している。上部構造物と下部構造物の連成振動が卓越するような場合、基礎の回転振動の影響が大きいことが分かる。

Fig.5は基礎の半径が10m、根入れ深さが30mで、その側方地盤のせん断波速度が150m/s、下方地盤が300m/sの場合のとき、基盤に正弦波を入力した場合の最上部質点の応答を示したものである。自由地盤表面での応答を入力した場合は基礎の振動を考慮した場合の応答に比べ、その卓越振動数付近で過大な応答を与えていることが分かる。したがって、このような場合は基礎の振動の影響を考慮した入力を用いて応答解析を行なう必要があるものと考えられる。

4. あとがき

このように地盤-構造物系の動的応答解析を行なう場合、基礎の振動により上部構造物系への入力に影響を受けるため、その応答に及ぼす影響を明確にしておくことは必要であると考えられる。

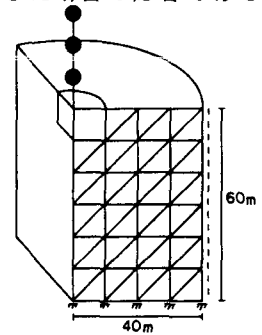


Fig.1 解析モデル

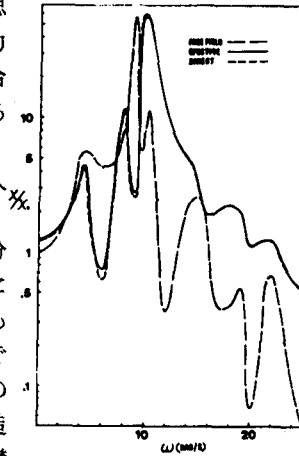


Fig.2

地盤振動の影響 (h=20m)

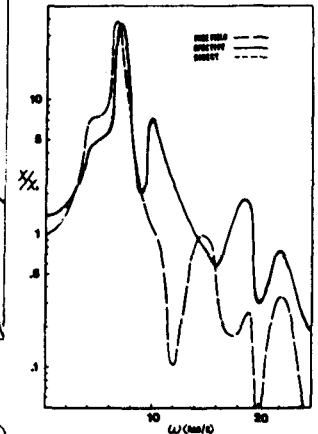


Fig.3

地盤振動の影響 (h=30m)

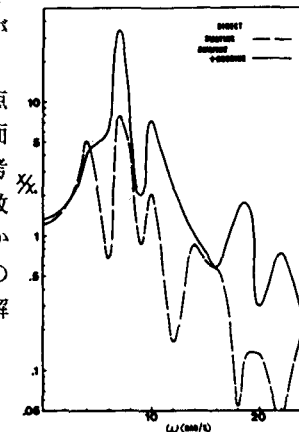


Fig.4

基礎の回転振動の影響

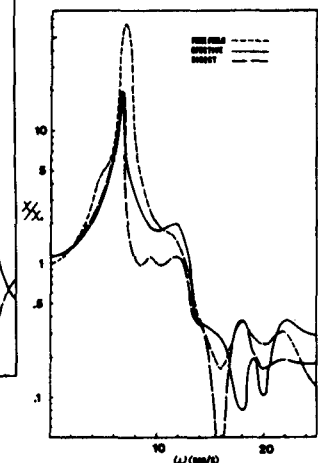


Fig.5

地盤振動の影響 (二層地盤)