

地盤—構造物系の動的応答解析

鹿児島大学工学部	学生員	堀之内 毅
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

1. まえがき

長大化する傾向にある土木構造物の耐震解析を合理的なものにするためには、地盤—構造物系の動的相互作用特性を明確にしておくことが重要である。本解析は、このような全体系構造物の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ものである。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 $[Z_{pp}] = -\omega^2 [M_{pp}] + i\omega [C_{pp}] + [K_{pp}]$

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

と表わされる。ここで $\{x_p\}$ 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 $\{x_p\}$ は上部構造物から基礎構造物に作用する力であり、

$$\{F_s\} = \left\{ \begin{array}{l} -\{f\}^T [M_s] \{\ddot{y}_e\} \\ -\{r\}^T [M_s] \{\ddot{y}_e\} \end{array} \right\} \quad (2)$$

ただし

$$\{y_e\} = \{x_o\} + \{r\} \theta_o + \{l\} x_o + \{l\} x_g + \{r\} \theta_g$$

と表わされる。ここで $[M_s]$ は上部構造物の質量マトリックスであり、 x_o 、 θ_o は基礎の並進および回転変位を表わしている。また $\{r\}$ 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

$$\left[\begin{array}{cc} [Z_{ss}] & [M_s] \{f\} \{r\} \\ \text{SYM.} & [Z_{pp}] + [m] \end{array} \right] \left\{ \begin{array}{l} \{x_s\} \\ \{x_p\} \end{array} \right\} = - \left\{ \begin{array}{l} [M_s] \{f\} \{l\} \\ \{f_g\} \end{array} \right\} \ddot{x}_g - \left\{ \begin{array}{l} [M_s] \{r\} \{l\} \\ \{f_b\} \end{array} \right\} \ddot{\theta}_g \quad (3)$$

と表わされる。

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50m、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 は基礎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10m、上部構造物が一様な質量分布を有している。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 f_0 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では全体に自由地盤入力に対する応答が基礎の影響を考慮した場合よりも大きくなる傾向を示している。

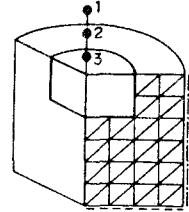


Fig.1 地盤-構造物系の解析モデル

Fig.3、Fig.4 は同様の条件で上部構造物の最上部の質量を5倍、10倍とした場合の応答である。この場合、地盤系と上部構造物系の振動が接近した場合の応答となるが、応答を支配する振動数では、自由地盤上の応答は過大評価となるものと思われる。構造物の応答に及ぼす動的相互作用の影響は、基礎-地盤系と上部構造物の振動特性によって異なるため、入力の評価が応答に及ぼす影響もこれに従って変化することが分かる。

またFig.5 は同じ条件で基礎の深さが30m となった場合の応答を示している。基礎が大きくなると、基礎は地盤振動の影響を大きく受けるため、その応答は自由地盤入力の場合と異なる傾向を示している。また基礎が大きくなると、基礎は地盤振動の影響を受けるが、全体系応答に及ぼす影響は小さいように思われる。

4. あとがき

このように地盤-構造物系の応答解析を行なう場合、入力の評価によって応答の相違が顕著となる場合もあり、その影響を明確にしておくことは必要であると考えられる。

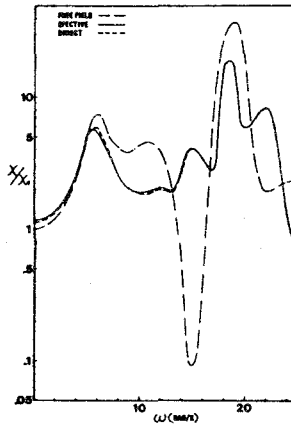


Fig.2 構造物の応答 (節点1)



Fig.3 構造物の応答 (節点1)

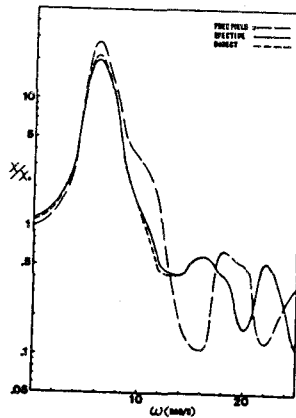


Fig.4 構造物の応答 (節点1)

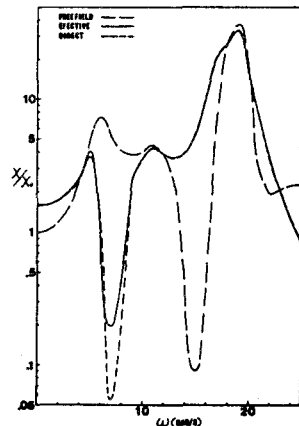


Fig.5 構造物の応答 (節点1)