

日本電信電話公社 正員 ○山口 茂
 鹿児島大学工学部 正員 河野 健二
 鹿児島大学大学院 学生員 末広 励尚

1. まえがき

地震時における構造物の動的挙動は、一般に構造物のみならず、地盤と構造物の動的な相互作用特性と密接に関連している。従って、この特性を考慮した耐震応答解析手法も確立することは重要である。本研究では、地盤-基礎構造物系のインピーダンス間数及び、基礎からの入力による動的相互作用の評価を行なった。尚、地盤-基礎構造物系は3次元リング要素によりモデル化し、基礎深さの異なるモデルを考え、基礎深さ及び基礎形状が動的相互作用特性に与える影響について検討した。

2. 地盤-基礎構造物系の振動解析

地盤-基礎構造物系の動的解析は、有限要素法を適用する場合の有限境界として伝達境界を用いた。解析モデルはFig 1に示す様に、深さHの地盤に根入れされた高さh、半径rの完全に根入れされた基礎を持つモデルと考え、伝達境界を地盤側面に設定し地盤に半無限性をもたせた。Vs1, Vs2はそれぞれ上層、下層地盤の剪断波速度を表わし、 $\rho(1.803 \text{ t/m}^3)$ は土の単位体積重量である。ところで、円筒座標系における3次元の歪・変位関係式を用い、地盤-基礎構造物系をリング要素によって離散化する。今、基礎の変位状態を規定するとその運動方程式は、

$$\begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{X}_1 \\ \ddot{X}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

となり、 $[M_{ij}]$, $[C_{ij}]$, $[K_{ij}]$ はそれぞれ質量、減衰、剛性マトリクスであり、サブマックス1, 2は地盤、構造物に対応している。 $[C_{ij}]$, $[K_{ij}]$ の中には有限境界の条件を含んでおり、 $\{X_k\}$, $\{F_k\}$ は変位、外力を表わす。そこで $\{X_2\} = \{X_2\} e^{i\omega t}$ なる正弦波であるとすれば、モード解析による応答解析より基礎に作用する地盤反力を複素数表示で評価できる。この場合、実数部がバネ定数K、虚数部が減衰定数Cを表わすことになる。Fig 2, 3はそれぞれ基礎深さH=50m, 100mの系において、Vs1=Vs2=150 m/sの軟弱な地盤中に根入れされた高さh=10mの基礎に対してその幅を変化させた場合のロッキング振動に対するインピーダンス間数を示したものである。r/h=1の場合、K値の低下は2割程度であるのに対して、H=100mの場合、高振動数域において、K値の増加が見られる。C値の変化を見ると、K値と同様に基礎深さの影響は顕著であり、H=100mの場合、基礎幅が広い程減衰が顕著となることが示されている。

地盤-基礎構造物系に基礎から正弦波を入力し、応答を求める場合の運動方程式は、

$$[M_1]\{\ddot{Y}_1\} + [C]\{\dot{Y}_1\} + [K]\{Y_1\} = -[M_1]\{\ddot{Z}_g\} \quad (2)$$

$$[M]\{\ddot{Y}_2\} + [C]\{\dot{Y}_2\} + [K]\{Y_2\} = -[M_2]\{\ddot{Y}_1 + \ddot{Z}_g\} \quad (3)$$

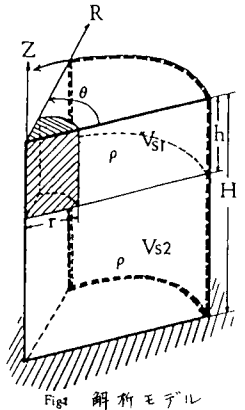


Fig 1 解析モデル

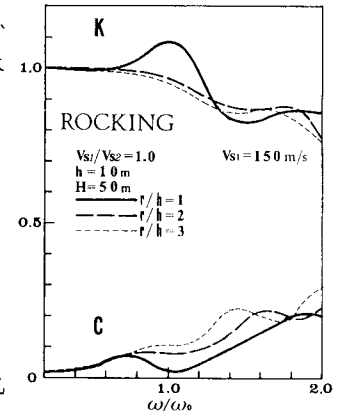


Fig 2 インピーダンス間数に及ぼす基礎の大きさの影響

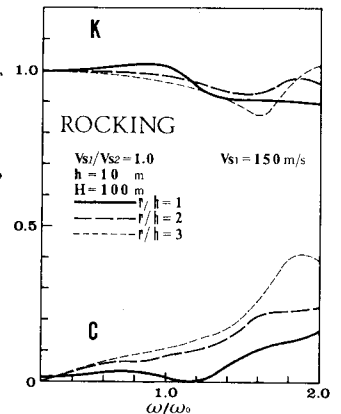


Fig 3 インピーダンス間数に及ぼす基礎の大きさの影響

ここで $[M_1]$, $[M_2]$ はそれぞれ地盤と基礎のみの質量マトリクスを表わしており、 $[M]=[M_1]+[M_2]$ である。また $[C]$, $[K]$ は境界を含めた減衰及び、剛性マトリクスである。一方、 $\{Z_B\}$ は基礎からの入力であり、それに対する応答とそれぞれの系について $\{Y_1\}$, $\{Y_2\}$ とした。Fig 4は、基礎の深さが動的相互作用に及ぼす影響を示したものである。実線が式(3)の応答とプロットしたものである。基礎までの深さが深い程共振点の振動数は、低くなっており、動的な相互作用の影響は小さくなっていることが示されている。これは基礎までの地盤質量と基礎質量との相対的な量の違いにより、基礎が深くなる程基礎質量の影響は小さくなり、動的な相互作用の影響が小さくなることによるものと思われる。従って、基礎深さを適切に把握しておくことは、動的相互作用解析において重要であると思われる。

Fig 5,6は、それぞれ $H=50\text{m}$, 100m の基礎深さを持つ系における地盤(地表面A点,B点)の水平変位に対する基礎下部(D点)の動きの水平成分の応答比を各振動数に対して求めたものである。実線は基礎を質量のない剛な基礎として応答解析を行なった結果を表わしており、破線は基礎の質量を考慮した系により求めた結果を示している。基礎に近いA点では基礎のために応答が抑えられB点よりも相互作用の影響が大きくなっていることが示されている。また基礎深さが浅い場合、Fig 5の様に高振動数域で応答比の上昇が示されているが、基礎深さが深い場合にはそれが見られない。この場合A点とB点の応答比にかなりの相違が見られるのに対して、基礎深さを深くした場合、その相違は小さくなり、さらに基礎の質量を考慮した場合と無視した場合においても、応答比にほとんどその影響は見られず、振動数に独立な値をとっている。

Fig 7は $H=100\text{m}$ の系において、基礎の根入れ深さが動的相互作用に及ぼす影響を示したものである。この場合基礎から離れたA点での応答は根入れ深さの影響が小さい。また、根入れが深い程動的相互作用の影響が大きくなることが示されている。これは基礎側方からの逸散減衰の増加によるものと考えられる。一方、基礎の質量を考慮した系の応答比を見るとほぼ同様の傾向を示すが、 5rad/s を越える振動数域において相違が見られる。また基礎が深くなると動的相互作用の影響が減少し、基礎の質量の有無による応答の相違は小さくなることがわかる。さらに自由表面に近いA点の応答と比べて基礎における応答は減少しており、動的相互作用解析では入力の評価に注意する必要がある。基礎での応答はその根入れ深さにより異なるため、その評価において動的相互作用を把握しておくことが必要であることがわかる。

3. あとがき

基礎深さの設定及び基礎幅、根入れ深さが地盤-基礎構造物系の動的相互作用特性に及ぼす影響を把握しておくことは重要であると思われる。

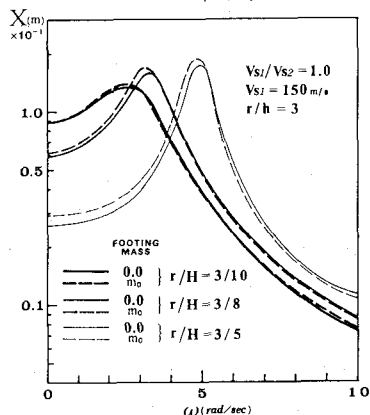


Fig 4 表層地盤の深さが応答に及ぼす影響

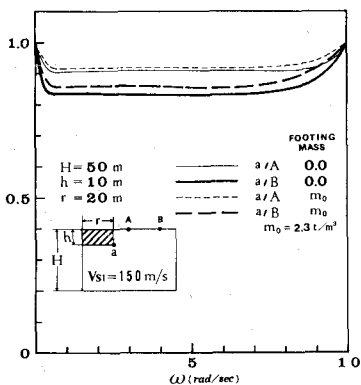


Fig 5 基礎の応答に及ぼす動的相互作用の影響

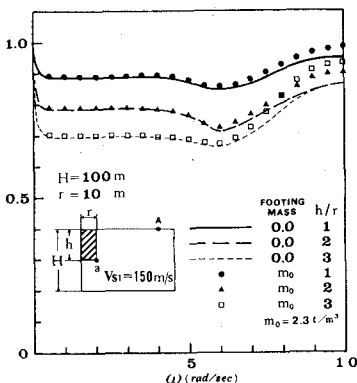


Fig 7 基礎の根入れ深さの影響

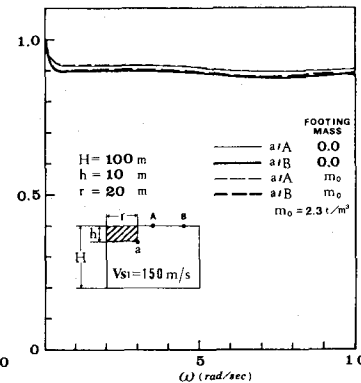


Fig 6 基礎の応答に及ぼす動的相互作用の影響