

地盤-構造物系の動的相互作用特性の解析

鹿児島大学大学院○学生員 木広 励尚 鹿児島大学工学部 朝崎 勝之
鹿児島大学工学部 正員 河野 健二 鹿児島大学工学部 上園 敏朗

1. まえがき

地震時における構造物の動的応答性状は、構造物だけでなく地盤-構造物系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の確立が望まれている。本研究では、地盤-構造物系のインピーダンス関数及び、基礎に作用する入力による動的相互作用の評価を行なった。尚、地盤-構造物系は3次元リング要素によりモデル化し基礎形状及びせん断波速度比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-構造物系の振動解析

地盤-構造物系の動的解析に於いて、有限要素法を適用する場合における有限境界として伝達境界を用いた。解析モデルは図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を考え、伝達境界を地盤側面に設定し地盤に半無限性を与えた。Vs1・Vs2はそれぞれ上層、下層地盤のせん断波速度を表わし、 $\rho(1.803 \text{ t/m}^3)$ 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-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、

$$\begin{Bmatrix} [Z_{11}] & [Z_{12}] \\ [Z_{21}] & [Z_{22}] \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \{X_1\} \\ \{X_2\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{F_1\} \\ \{F_2\} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

と表わせる。ここで $[Z\ddot{u}] = -\omega^2[M\ddot{u}] + [K\ddot{u}] + i\omega[C\ddot{u}]$ であり、サフィックス1,2は構造物、地盤を示している。 $\{X_k\}$, $\{F_k\}$ は変位及び、外力を表わす。よって、(1)より

$$([Z_{11}] - [Z_{12}][Z_{22}]^{-1}[Z_{21}])\{X_1\} = \{F_1\} - [Z_{12}][Z_{22}]^{-1}\{F_2\} \quad (2)$$

が得られる。一般に $\{F_2\} = \{0\}$ として考えて良いから、

$$([Z_{11}] - [Z_{12}][Z_{22}]^{-1}[Z_{21}])\{X_1\} = \{F_1\} \quad (3)$$

そこで $\{X_1\} = \{\bar{X}_1\}e^{i\omega t}$ なる正弦波を考えると、モード解析による応答解析により基礎に作用する地盤反力を複素数表示できる。この場合、式(3)の $\{X_1\}$ の係数マトリックスがインピーダンス・マトリックスを表わす。ここで実数部がばね定数K、虚数部が減衰定数Cに相当する。

図2,3は、基盤深さ60m, Vs1=Vs2=150m/sの軟弱な地盤中に根入れされた半径10mの基礎に対してその高さを変化させた場合の並進と回転に対するインピーダンス関数を示したものであり、これらの値はそれぞれ静的剛性値で基準化したものである。振動数が変化するとき、並進振動について動的K値の低下は1割程度であり、基礎形状の変化による変化は見られない。しかし根入れが深くなると静的剛性の方は増加している。また、C値についても基礎形状の変化による拘束の影響が僅かに見られるものの大きな変化は見られない。これより並進振動において根入れの増加は、振動数に対する逸散減衰

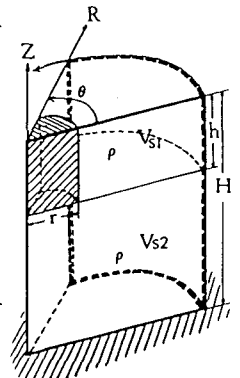


図1 解析モデル

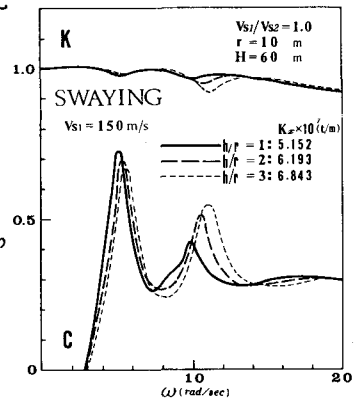


図2 インピーダンス関数に及ぼす基礎の大きさの影響

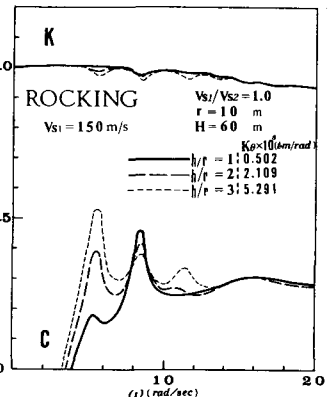


図3 インピーダンス関数に及ぼす基礎の大きさの影響

の変化についてはほとんど影響を与えないことがわかる。一方、回転振動について同様にK値については振動数に対して大きな変化は見られないが、C値について1次モード付近で大きな変化が見られ、根入れが増加すると逸散減衰の影響が大きくなり、動的応答が抑えられると考えられる。高振動数域ではC値についても大きな変化が見られなくなる。図4は半径10m、高さ20mの基礎に対して、せん断波速度比を変化させた場合の回転振動に対するインピーダンス関数を示したものである。 $V_{s2}/V_{s1}=2, 3$ の場合、下層地盤が硬くなると剛性が増すため動的K値の低下が小さくなる。また、 V_{s2}/V_{s1} の値が大きくなる程変化が小さくなっている。このことから地盤が軟かな程振動数の変化に対して、地下逸散減衰の影響が大きくなることを示している。

図5, 6は、半径10m、高さ20mの基礎に対して基礎深さ60mで各々 $V_{s1}=V_{s2}=150\text{m/s}$ の均質地盤、 $V_{s1}=150\text{m/s}$ ・ $V_{s2}=300\text{m/s}$ の二層地盤における基礎上部での変位応答を示したものである。図の中で実線、太い破線、細い破線はそれぞれ自然地盤における系、基礎の剛性のみを考慮した系（キネマチックな相互作用）、基礎の剛性及び質量も考慮する系（トータル・システム）による変位応答曲線を表わしている。ここで、トータル・システムとキネマチックな相互作用との差が動的な相互作用を表わしている。トータル・システムと自然地盤における応答は、均質地盤の場合にはトータル・システムの方が卓越周期付近において若干大きく、卓越周期で約1 rad/s程度大きくなっている。この差は、トータル・システムにおける構造物による地盤の拘束と地盤内における構造物自身の振動によって起こるものと考えられる。一方、二層地盤の場合にはトータル・システムの応答は卓越周期において若干小さく、卓越周期付近が約2rad/s程度大きくなっている。これは、地盤内における構造物自身の振動と下層地盤による底面拘束によって起こるものと考えられる。ところで、トータル・システムとキネマチックな相互作用の応答の差、つまり動的な相互作用は均質地盤、二層地盤と言う地盤条件に関係なく、振動数約10rad/s以下においては、その影響が小さい。しかし、均質地盤、二層地盤ともに、卓越振動数付近において動的相互作用の影響が表われている。この相違は、キネマチックな相互作用の構造物が質量を持たないため、構造物自身による振動が起らずに境界の剛性によって地盤が拘束されるためと考えられる。したがって、構造物の形状や質量、基礎深さ等の諸条件にもよるが、地盤-基礎-上部構造物系のモデル化として動的サブ・ストラクチャー法を用いる場合、自然地盤による系あるいはキネマチックな相互作用による応答を有効地震入力として用いるとき応答の変化に及ぼす影響が大きいと思われる。

3. あとがき

根入れ深さ及びせん断波速度比がインピーダンス関数や構造物に作用する入力の評価に及ぼす影響を把握しておくことは、地盤-構造物系の動的相互作用特性の解析に際して重要であると思われる。

参考文献 Analysis for Soil-Structure Interaction Effects For Nuclear Power Plants::Ad Hoc Group on Soil-Structure Interaction of the Committee on Nuclear Structures and Materials of the Structural Division of ASCE::1979

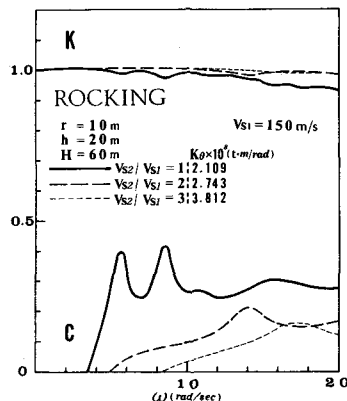


図4 インピーダンス関数に及ぼすせん断波速度比の影響

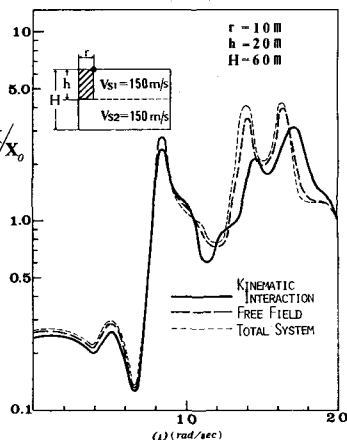


図5 r方向における基礎の応答

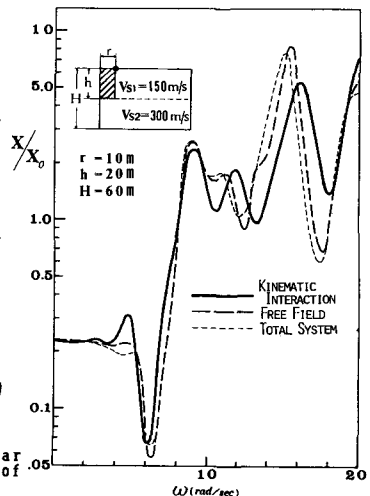


図6 r方向における基礎の応答