

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

近年、土木構造物は大型化・長大化すると共に地盤条件の良くない場所にも建設されるようになってきた。この様な現状で、地震時における構造物の動的応答性状は、基礎周辺地盤の影響を大きく受けるため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。そこで本研究では、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地震動の評価を行ない、インピーダンス法による解析と有限要素法による全体系解析との比較を行なった。尚、地盤－構造物系は3次元リング要素によりモデル化を行なっている。

### 2. 地盤－構造物系の振動解析

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の基礎を持つモデルを考え、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、下層地盤のせん断波速度を表わし、 $\rho$  (1.803t/m<sup>3</sup>) は土の単位体積重量、 $\nu$  (0.4) はポアソン比である。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

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

と表わせる。ここで、 $[Z_{ij}] = -\omega^2 [M_{ij}] + [K_{ij}] + i\omega [C_{ij}]$  であり、サフィックス1, 2は構造物, 地盤に対応している。ここで $\{X_k\}, \{F_k\}$  は変位, 外力を表わす。これより、

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

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

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

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 $\{X\}$ 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を表わすことになる。図2は、基礎深さ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回転振動に対するインピーダンス関数の変化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。振動数が増加するとき、K値は振動数に対して卓越振動数付近において根入れ深さが変化が大きくなると多少の変化が認め

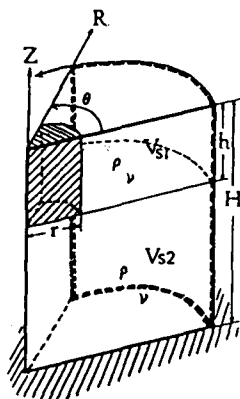


図1 解析モデル

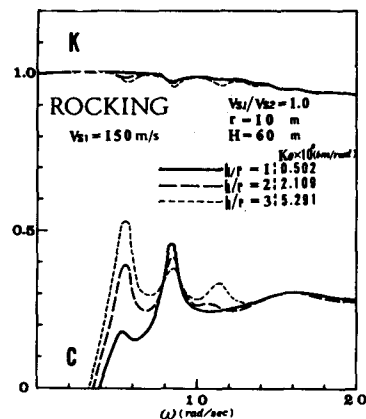


図2 基礎の大きさの影響

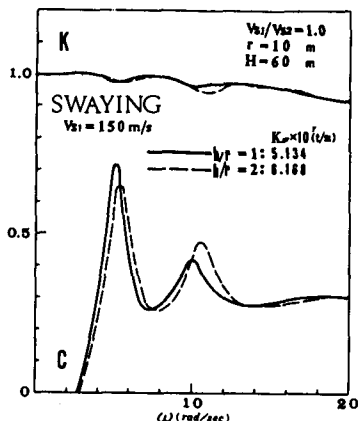


図3 基礎の大きさの影響

られその後、振動数の増加に従って減少する。一方、C値については卓越振動数付近で大きな変化が見られる。まず、5rad/sec辺りでは根入れ深さの増加に伴ってC値は大きくなる。これは基礎側面からの逸散減衰の影響が大きくなるためと思われる。逆に8rad/sec付近では小さくなり、卓越振動数によってその特性は異なることがわかる。図3、4は前述同様の諸条件下で10mの地上部を持つ基礎に対して、変化を見たものである。並進振動に関して、K値は完全に根入れされた場合と類似した傾向を示しており、振動数の変化にたいするK値の変化は小さい。C値は根入れが大きくなると高振動数域で大きな減衰を示すことがわかる。また、回転振動においては、K値、C値共に大きな変化は見られずC値において、8rad/secを超える振動数で基礎側面からの逸散減衰の影響が見られる。ところで、これを完全に根入れされた基礎の場合と比較して見ると静的な値は地上部の影響で大きくなっており、動的C値は逆に卓越振動数付近での変化が小さなものとなっている。このためインピーダンス関数の評価に於いて、基礎の根入れの影響は大きいことがわかる。

図5、6は、基盤までの深さ60mで $V_{s1} = V_{s2} = 150 \text{ m/s}$ の均質地盤における半径10mの基礎に対して基礎の高さを10m、30mと変えた場合の地盤インピーダンス法と有限要素法による全体系解析（トータル・システム）で得られた変位応答曲線を示したものである。尚、地盤インピーダンス法の入力波として自然地盤の地表面応答を使用し、有限要素法による全体系解析では基盤面上に正弦波を入力している。図5からわかる様に基礎の根入れ深さが浅い場合には、全体においてインピーダンス法とトータル・システムの相違はあまり大きくないことがわかる。一方、図6の様に根入れが増加すると2次の固有振動数を越えるあたりからトータルシステムとの相違が明確に現われており、特に高振動数域で、顕著になる。これは、インピーダンス法における入力として自然地盤の地表面応答を使用しているため、キネマチックな相互作用つまり、基礎の変形拘束によって起こる入力波の変化に基づくものと考えられる。このためインピーダンス法を用いた応答解析では、構造物系の卓越振動数にもよるが、入力評価の影響は大きいと考えられる。したがって、構造物の形状、質量、基盤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インピーダンス関数による動的サブ・ストラクチャー法を用いる時入力の評価が応答に及ぼす影響について検討を加える必要があると考えられる。

### 3. あとがき

諸条件によるインピーダンス関数の評価及び、構造物に作用する入力地震動の評価を行ない構造物への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。

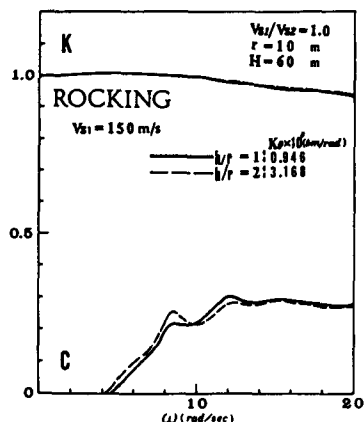


図4 基礎の大きさの影響

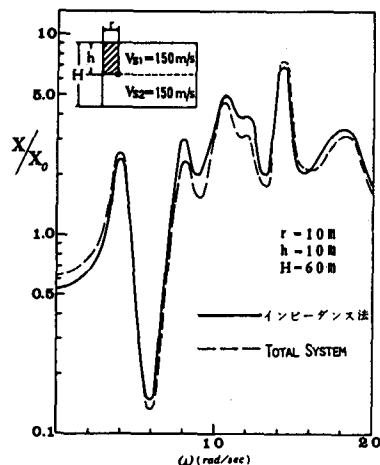


図5 基礎の変位応答

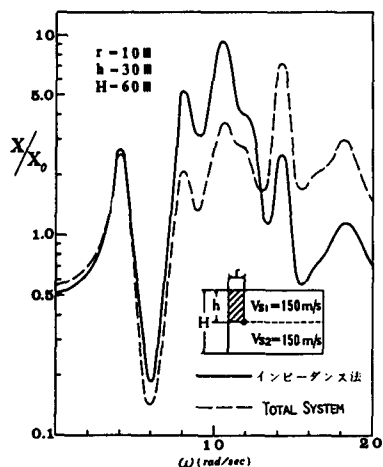


図6 基礎の変位応答