

地盤－基礎構造物系の動的応答解析

鹿児島大学大学院 学生員 ○末広 勲尚
 鹿児島大学工学部 正員 河野 健二
 鹿児島大学工学部 北野 浩志

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。このような場合、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。よって、地盤と構造物の動的相互作用を考慮した耐震設計を行う場合、その応答特性を明確にしておくことが重要であると考えられる。そこで本研究では、地盤－構造物系をインピーダンス法と有限要素法による全体系の応答解析を行い比較を行った。また、動的サブストラクチャ法により基礎－地盤のモデル化を行い有効入力の評価について解析を行った。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. 定式化

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、単位体積重量(2.2t/m³)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。V_{s1}・V_{s2}はそれぞれ上層、下層地盤のせん断波速度を表わしρ(1.803t/m³)は土の単位体積重量、ν(0.4)はポアソン比である。また、地盤の内部減衰率は5%としている。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

$$\begin{bmatrix} Z_{ss} & K_{sb} \\ K_{sb} & Z_{bb} + X_{rr} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_s \\ U_b \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -M_{ss} \ddot{U}_{s0} \\ -M_{bb} \ddot{U}_{b0} + F_b \end{Bmatrix} \quad (1)$$

と表わせる。ここで、各々のサフィックス S, b, f, g は構造物、境界(地盤と)にある接点、境界(構造物と)にある接点、地盤部に対応している。Z = M + K X_{rr} = Z_{rr} - K_{rg} Z_{gg}⁻¹ K_{gr}であり、また、M_{rr}は地盤と基礎構造の境界における質量の和を表す。(1)式において、

$$F_b = (K_{rg} Z_{gg}^{-1} M_{gg} - M_{rg}) \ddot{U}_{r0} \quad (2)$$

の項は、地盤条件及び基礎周辺の状態によって規定されるものであり、有効入力と見ることができる。

3. 解析結果

図2は、基礎までの深さ60mでV_{s1} = V_{s2} = 150m/sの均質地盤における半径10m、高さ20mの基礎に対して全体系解析と地盤インピーダンス法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(外力①)とキネマチックな相互作用つまり、質量0の基礎の変形拘束によって起こる応答(外力②)を使用し、全体系解析では基礎面上に正弦波を入力している。図より低振動数域では、外力①、外力②の場合ともに全体系解析との相違は少ない。ところが、2次の固有振動数

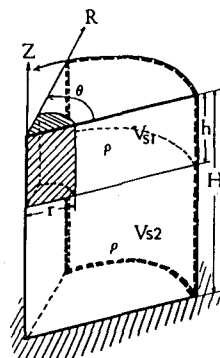


図-1 解析モデル

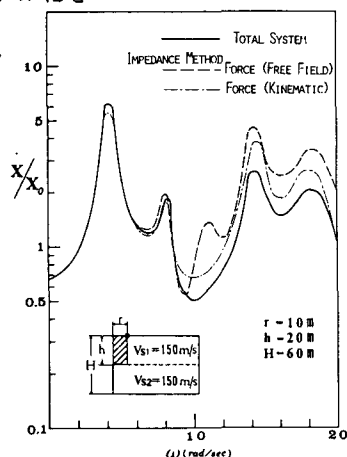


図-2 インピーダンス法による応答

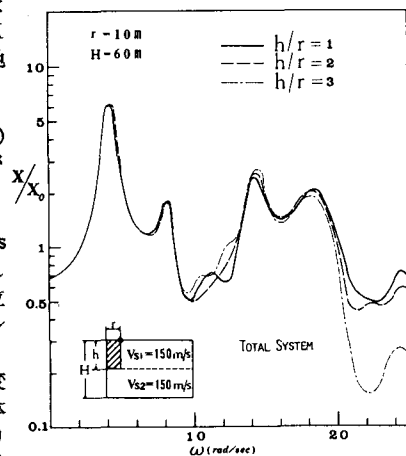


図-3 全体系解析による応答

を越えるあたりから全体系解析との相違が明確に現われており、特に高振動数域において、外力①の方で顕著になる。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。

図3、4は、基礎までの深さ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, 20m, 30mと変えた場合のサブストラクチャ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。低振動数域において基礎形状変化による影響はほとんど見られない。この低次振動数域でのピークは地盤そのものの振動と考えられる。20rad/secを越える高振動数域では基礎が深いほど地盤を拘束することにより応答が減少している。一方、図3、4では異なる方法を用いて同じ系を解いているがこの2つは非常に良い一致をみることができる。

図5、6は、基礎までの深さ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と変えた場合のサブストラクチャ法（有効入力を無視した場合と考慮した場合）と全体系解析（トータル・システム）で得られた加速度応答を示したものである。このように、有効入力を考慮した場合8rad/secを越える振動数域になると急に応答の低下が見られる。一方、有効入力を無視した場合高振動数域でも応答の低下が見られない。これは、自然地盤の場合と異なる剛体基礎によって基礎周辺地盤の動揺が拘束を受け、変化するためによるものと考えられる。また、基礎の大きさが変化した場合有効入力を無視したときはピークも大きくなり高次振動数域へずれているが、有効入力を考慮したときは10から15rad/secの間で拘束による影響が、みられるものの全体として応答曲線に変化はみられない。ところで、図3、4、5、6からわかるようにサブストラクチャ法（有効入力を考慮した場合）と全体系解析（トータル・システム）は非常に良い一致を示していることが分かる。このように、構造物の形状、質量、基礎深さ等の諸条件にもよるが、地盤-基礎構造物系

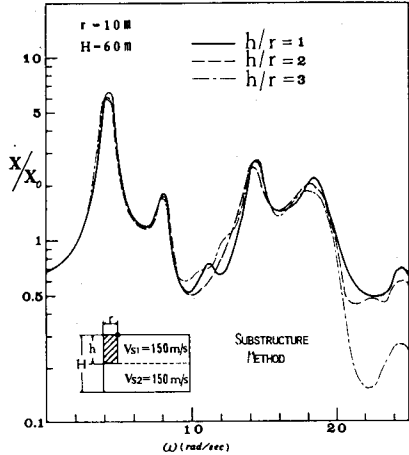


図-4 サブストラクチャ法による応答

はインピーダンス法及び動的サブストラクチャ法を用いてその動的応答特性を表すことができると思われる。したがって、このような基礎-地盤系のモデル化によって、上部構造物へ入力される地震力の大きさが明確になれば、動的相互作用特性を取り入れた構造物系の動的応答解析が出来るものと思われる。

4. 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。

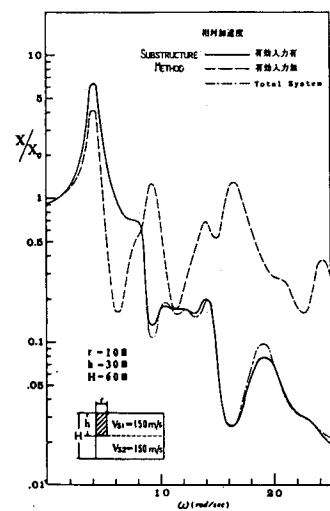
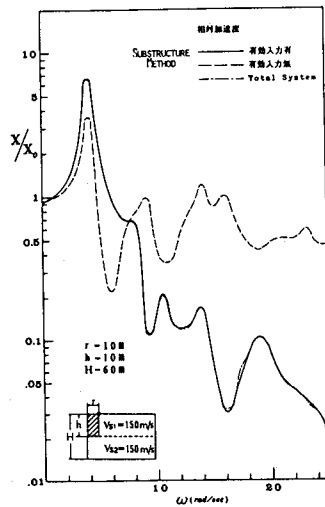


図-5サブストラクチャ法による応答 図-6サブストラクチャ法による応答