

I-438

地盤-基礎構造物系の動的応答特性

鹿児島大学工学部

正員

河野 健二

日立製作所

正員

末広 励尚

鹿児島大学工学部

愛甲 頼和

1. まえがき

構造物の動的応答解析を行なう場合、特に長大な土木構造物に対しては地盤-基礎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。このような場合、基礎の動的応答は周辺地盤の影響を大きく受けることが考えられるため、その応答特性の把握が構造物の耐震解析では必要になる。本解析では地盤-基礎系の動的応答特性を明確にするため、有限要素法による全体系の解析と、インピーダンス法による簡易化された振動モデルによる応答の比較を行なった。また動的サブストラクチャ法による地盤-基礎系のモデル化を行ない、有効入力の評価法について検討を加えた。

2. 定式化

解析モデルとしては、図-1に示すような3次元の地盤-基礎系を考え、有限要素法の適用に関してはリング要素を用いて離散化を行なっている。また地盤-基礎系の有限化に伴う側方境界としては伝達境界を用いている。この解析モデルの地盤の深さは60m、地盤のせん断波速度は150m/s、地盤の単位体積重量は1.803t/m³、ポアソン比は0.4であり、地盤の内部減衰は5%を用いている。そして、基盤からの入力に対して基礎の根入れ深さ h や半径 r の変化が応答特性に及ぼす影響について解析を行なっている。そこで、図-1に示されるような円筒座標系に対してリング要素を用いて離散化を行ない、動的サブストラクチャ法を適用すると地盤-基礎系の運動方程式が得られる。すなわち、

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

$$\text{ただし、} \{F_b\} = [Z_{bg} Z_{gg}^{-1} M_{gg} - M_{bg}] \{\ddot{U}_{b0}\}$$

と表わされる。ここで各々の添字 s, b, g は構造物、境界(地盤との)にある節点、地盤部にそれぞれ対応しており、0 は自由地盤における基盤からの入力に対する応答を表わしている。 Z_{ij} はそれぞれ質量、減衰、および剛性マトリックスからなり、 X_{bb} は基礎に対するインピーダンスマトリックスを表わしている。また F_b は基礎の地盤との境界に沿って作用する入力であり、地盤振動の影響によって生じることが分かる。

3. 解析結果

地盤-基礎系に基盤からの入力作用する場合、地盤による振動と基礎による振動が生じる。図-2は基礎の半径10m、根入れ深さが10mの場合の基盤入力に対する基礎頂部の応答を示したものである。これらの図において実線、破線、一点鎖線はそれぞれ自然地盤、キネマチックな相互作用、基礎の剛性及び質量を含む全体系に対する応答を示している。それぞれの場合の応答は2次までの卓越振動数を含む10rad/s以下の入力に対して大きな相違が見られない。一方10rad/sを越える入力に対しては、これらの応答の間に相違が生じている。特に自然地盤と全体系の応答は

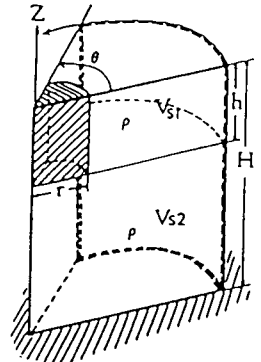


図-1 解析モデル

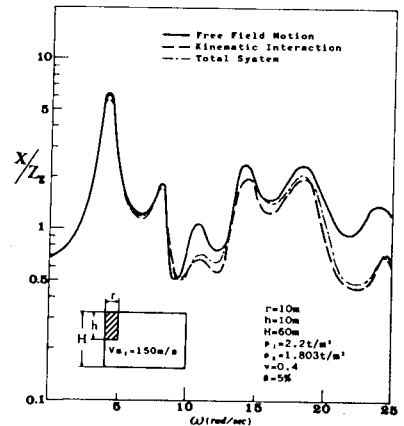


図-2 全体系解析による応答

大きい相違を示しており、動的相互作用の影響が増大することが分かる。

図-3は基礎の根入れ深さ20m、半径10mのとき、全体系解析と地盤インピーダンス法で求めた応答の比較を行なったものである。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とキネマチックな相互作用による応答を用いており、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10rad/s以下の低振動数域ではこれらの応答はよい一致を示しているが、2次の固有振動数を越える入力に対しては、全体系解析との相違が明確に表われており、自然地盤における応答を入力とした場合の相違が大きい。これはキネマチックな相互作用を考慮することによって若干改善されるが、必ずしも十分ではない。このため地盤インピーダンス法を用いた簡単化された振動モデルによる応答解析では、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思われる。

図-4は基礎の根入れ深さ10m、半径10mの場合について全体系の応答と式(1)で示したように動的サブストラクチャ法で求めた応答の比較を行なったものである。動的サブストラクチャ法によって表わされた振動モデルによる応答は全体系の応答とよい一致を示しており、入力の振動数によって若干の相違が見られるものの、全般に地盤-基礎系の応答特性をよく表わした結果を与えていることが分かる。

図-5は半径10mの基礎に対してその根入れ深さを20mとなる場合の動的サブストラクチャ法と全体系解析で得られた加速度応答を示したものである。動的サブストラクチャ法による応答は式(1)で示したように地盤振動の影響を取り入れた有効入力を考慮した場合と、それを考慮しなかった場合では大きい相違が見られる。全体に有効入力を考慮すると振動数の増加に対して応答の減少することが分かる。これは自然地盤の場合と異なり、基礎の剛性によって基礎周辺地盤の振動が拘束を受け、変化することによるものと考えられる。動的サブストラクチャ法によって有効入力を考慮すると、基礎の根入れ深さが大きい場合においても、全体系の応答とよい一致を示しており、入力の評価が応答に大きい影響を及ぼすことが分かる。

4. あとがき

このように構造物の形状や地盤等の条件にもよるが、動的サブストラクチャ法を用いる事によって地盤-基礎系の動的特性を表わすことができる。その結果、このような動的相互作用特性を取り入れた振動系の簡単なモデル化によって構造物系の動的応答解析が容易になるものと思われる。

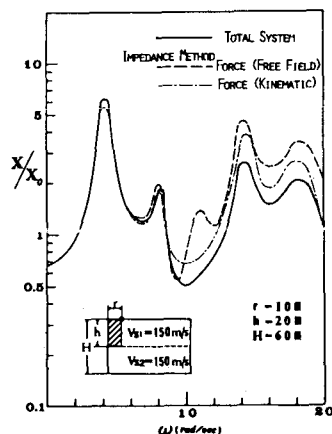


図-3 インピーダンス法による応答

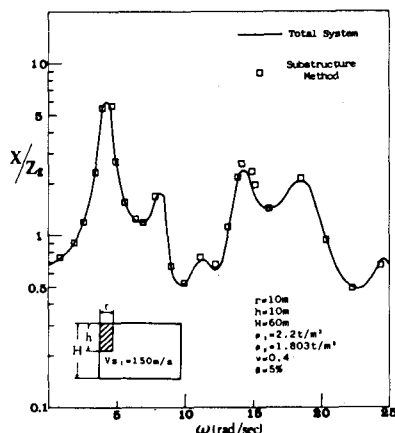


図-4 全体系の応答

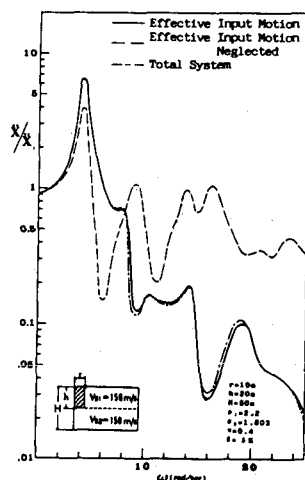


図-5 サブストラクチャ法による応答