

岡山大学工学部 正員 竹宮 宏和
 建設エンジニアリング 正員 山口 武志
 松村組 土井 敏正

1. まえがき

本研究は、地盤と構造物の地震動的相互作用解析のための解析システムの開発を動的サブストラクチャ法から目指したものである。解析対象領域は、半無限基盤上の表層地盤-基礎-上部構造物を二次元平面問題として捉え、地震波動が任意の入射角で入射する状態を取り扱う。手法として有限要素法を適用する。そのため、まず自然地盤内の実体波および表面波の波動伝播解析を行ない、その結果を地盤-基礎系の解析へ側方境界要素および外力項として導入する。そして、上部構造物の解析のために基礎天端での下部構造インピーダンスおよび有効入力を評価する。

2. 定式化

自然地盤の実体波の解析は、表層地盤内は有限要素法を適用し、基盤内は波動論として行ない、基盤上面での連続性を適用する(図1参照)。その結果、水平方向に波数 k で伝播するSV波に対しては、表層地盤内の運動方程式が

$$(k^2[A] + ik[B] + [C] - \omega^2[M])\{U^*\} = \{P\} \quad (1)$$

と表わされる。ここにマトリックス $[A]$, $[B]$, $[C]$, $[M]$, は地盤の物性値より求められる。式(1)の左辺を動的剛性マトリックス $[D]$ として定義し、変位ベクトルを基盤上面のもの、それ以外の表層地盤内のものに分割し、縮合操作から基盤上面の応力-変位関係

$$[L]\{U_b\} = \{P_b\} \quad (2) \quad \text{を得る。}$$

一方、半無限基盤層内では、波動は上昇波(入射波)と下降波(反射波+表層からの透過波)の和として表現される。これらの合成波から得られる基盤上面での変位と応力を、式(2)に代入すれば、入射波振幅に正規化された形の表層地盤内の応力 $\{U^*\}$ が求められる。

つぎに、地盤-基礎系の有限要素解析では、基盤面での地震波入射の波動の場合、自然地盤に対する基盤面入射と、基礎からの放射波の場合の線形重ね合せと理解する。従って、対象系の運動方程式は、

$$([K] - \omega^2[M])\{U\} = \{P\}_r - \{P\}_L - \{P\}_L \quad (3)$$

ここに $\{P\}_r$, $\{P\}_L$ は、右および左側方境界節点上に働く外力で

$$\{P\}_r = [D]_r \{U_r^*\} + [R] (\{U\}_r - \{U_r^*\}) \quad (4)$$

$$\{P\}_L = [D]_L \{U_L^*\} + [L] (\{U\}_L - \{U_L^*\}) \quad (5)$$

と与えられる。 $[D]_r$, $[D]_L$ は、自然地盤の静的剛性

マトリックス、 $[K]$, $[M]$ は、剛性および質量マトリックス、 $[R]$, $[L]$ は、右および左側方伝達境界マトリックス、 $\{P\}_r$ は、上部構造物からの作用力である。式(3)を基礎の特定節点について縮合した形で表わすと、その節点に関する下部構造インピーダンスおよび有効入力が得られる。

3. 解析結果

本研究では、地盤データ、下部構造物として大府府比宅区北港連絡橋の地盤、基礎を用い、地震入力データと

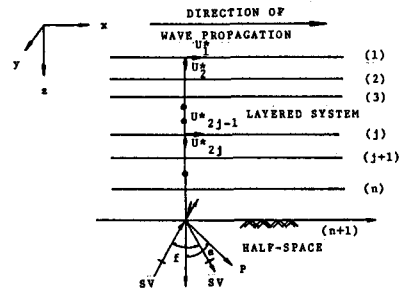
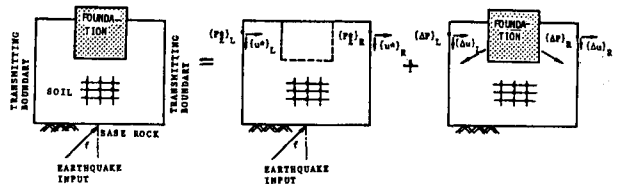


図1 面内波動伝播のモデル



して宮城県沖地震(1978.6)の開北記録成分を用いた。応答倍率を図3,4に示す。水平方向は、入射角が臨界角(35.264)以下の場合はあまり変化しないが超える場合は低振動数で小さくなる。鉛直方向は、入射角が大きくなるに従って大きくなる。応答スペクトルを図5~8に示す。水平方向は、0.3秒と1.4~1.9秒付近にピークがあり1.4~1.9秒のピークは地盤の増幅作用を表わしている。鉛直方向は、0.3秒付近のみにピークがあり地盤の増幅作用を表わしていない。また、入射角が大きくなるに従って大きくなることから、入射角度に応じて地震の鉛直動成分に対する地盤への影響の評価を変える必要がある。つぎに、地盤-基礎系の解析モデルを図9に示す。フーチング重心について下部構造インピーダンスを図10~12に示す。減衰項(C_{xx}, C_{xy}, C_{yy})は、振動数が大きくなるに従って大きくなる。剛性項(K_{xx}, K_{xy}, K_{yy})のうち、 K_{yy} のみが振動数が大きくなるに従って小さくなる。

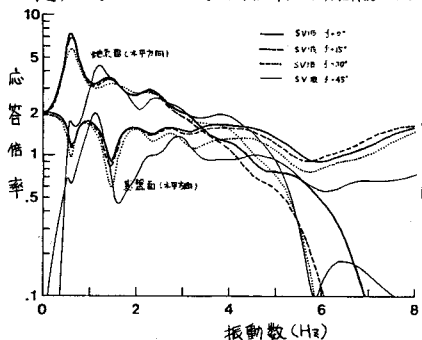


図3 応答倍率(半無限基礎)

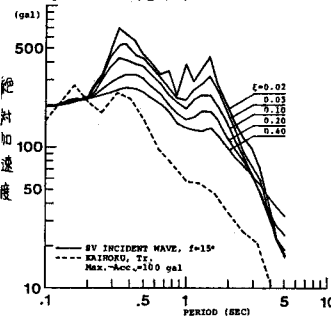


図5 絶対加速度応答スペクトル(半無限基礎, 水平方向)

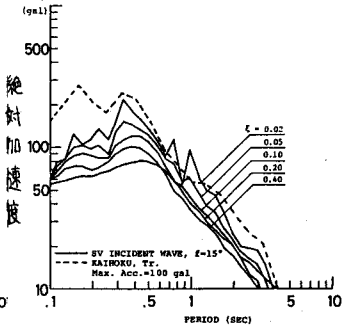


図7 絶対加速度応答スペクトル(半無限基礎, 鉛直方向)

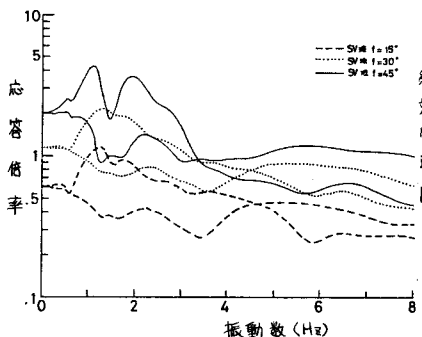


図4 応答倍率(半無限基礎, 鉛直方向)

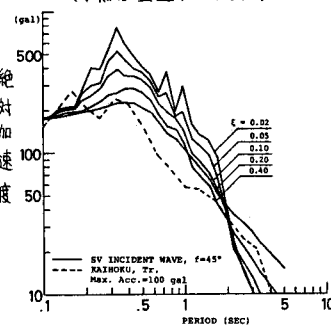


図6 絶対加速度応答スペクトル(半無限基礎, 水平方向)

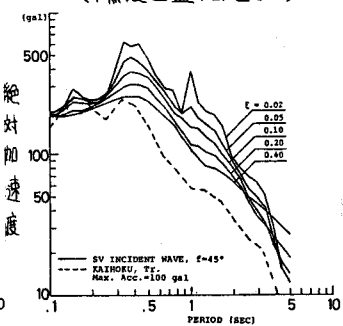


図8 絶対加速度応答スペクトル(半無限基礎, 鉛直方向)

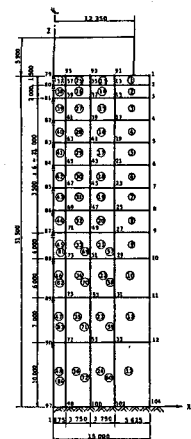


図9 有限要素モデル

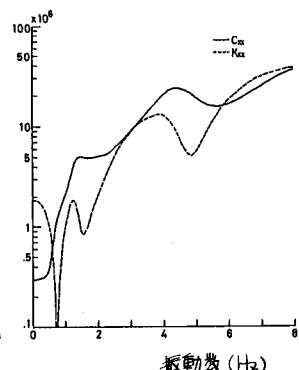


図10 下部構造インピーダンス

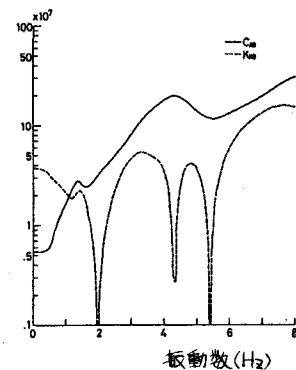


図11 下部構造インピーダンス

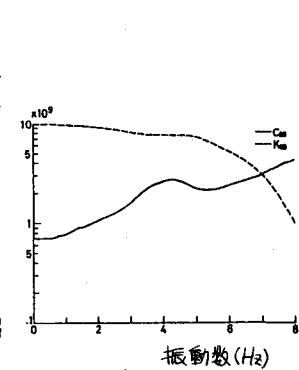


図12 下部構造インピーダンス