

大阪大学 正 員 西村 宣男
大阪大学 学生員 ○権 映録

1. まえがき 重要な産業施設の合理的設計のために動的解析を必要とする場合が増えてきているが、既往の地震応答解析は構造物と地盤の相互作用を考えずに、地盤からの入力地震動を与えて構造物だけの解析が行われてきた。平成 7 年 1 月 17 日阪神淡路大震災は各地域で甚大な被害をもたらし、特に今回の地震被害の重要な特徴の一つは地盤変形による構造物の被害である。近年、一般的に構造物について周囲の地盤との相互作用の観点に着目して地盤の影響を考慮した地盤—構造物相互作用に関する重要性が認識されて多くの研究が行われつつある。本研究は半無限体地盤に置かれた直接基礎に平面調地震波を与えて基礎の動的応答を求める。

2. 解析モデル 本解析モデルは均質、等方、線形の半無限体地盤に直接基礎を置き、半無限体地盤の動的解析に適する境界要素法と構造物の解析に広く使用されている有限要素法を適用して両方法の結合解法を提案する。また、次のようなパラメータを変化させて基礎の動的応答を明らかにする。

①平面調地震波の入射角度の変化 (P、S 波)

②直接基礎の柔軟性の考慮

2.1 境界要素法による半無限体地盤の離散化 均質、等方、線形動弾性体における運動方程式は以下のように表される。

$$\mu u_{i,kk} + (\lambda + \mu) u_{j,ji} + \rho f_i = \rho \ddot{u}_i \quad (1)$$

ここに P 波の伝播速度 C_1 と S 波の伝播速度 C_2 を代入して次の運動方程式が誘導される。

$$(C_1^2 - C_2^2) u_{j,ji} + C_2^2 u_{i,jj} + f_i = \ddot{u}_i \quad (2)$$

ここに Graffi の相反定理と Stokes の基本解を用いて物体力が無視された境界だけの積分方程式を導く。そしてこの境界積分方程式の数値解析過程は空間領域だけでなく時間領域での離散化が要求されるので段階別に Gauss 積分を行う。さて、全時間段階に対する変位と表面力関係式をマトリックスで示すと次のようである。

$$\frac{1}{2} \{ u^N \} = \sum_{n=1}^N \left([G^n] \{ t^{N-n+1} \} - [T^n] \{ u^{N-n+1} \} \right) \quad (3)$$

2.2 有限要素法による直接基礎の離散化 本研究の 3 次元矩形基礎の有限要素理論は 3 方向の変形を考慮した 3 次元立体要素理論を適用する。

$$\begin{bmatrix} S_{ss} & S_{sf} \\ S_{fs} & S_{ff} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_s^N \\ u_f^N \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_s^N \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (4)$$

ここに、添字 s は接触面を、f は非接触面を意味する。

半無限体地盤の境界要素法と基礎の有限要素法を地盤と基礎の接触面での結合するために変位の適合方程式と表面力の釣り合い条件を用いて両方法を結合する。

3. 解析結果考察 地震時の地盤—構造物相互作用解析は構造物が置かれる前の自由場応答と構造物が置かれた以後の構造物の剛体運動による消散場応答で求めることになる。本研

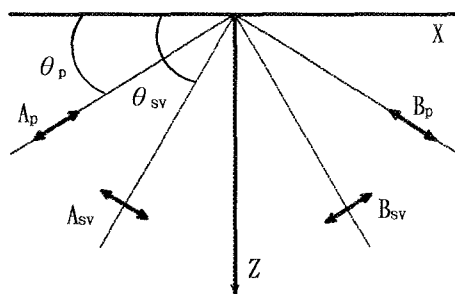


図-1 平面調地震波の入射

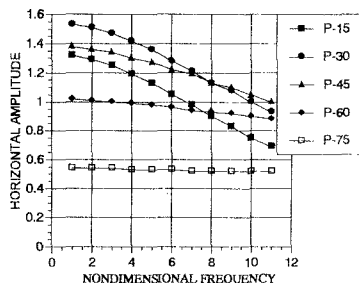


図-2 P 波の水平応答

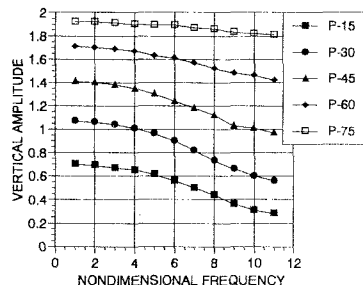
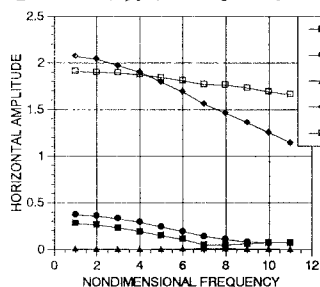
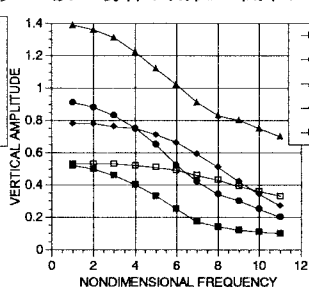


図-3 P 波の鉛直応答

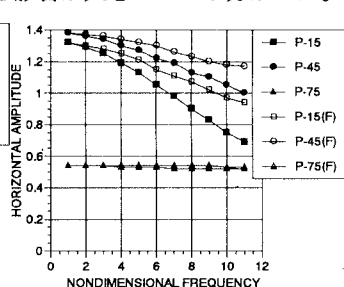
究の自由場応答は平面調地震波がY軸に平行に入射される時、半無限体地盤のポアソン比を1/3と仮定してP, SV波の相対的変位の振幅を求めた。そして求められた自由場の相対変位振幅を再び入力して自由表面で自由場変位の時間的、空間的変位を求めて、この値を接触面への入力運動として作用させた。本解析はの直接基礎に半無限体地盤から平面調地震波を与えてその基礎の時間領域応答を振動数領域で表した。そして半無限体地盤のP波、S波の速度は各々 $C_1=232.048\text{m/sec}$ と $C_2=124.035\text{m/sec}$ 、時間刻みは $\Delta t=0.001\text{sec}$ で設定し、P波とSV波を各々15°, 30°, 45°, 60°で変化させて水平応答と鉛直応答を求めた。①平面調地震波の入射角度における動的応答：図—2, 3はP波に対する基礎の水平応答と鉛直応答である。水平応答は入射角度が15°, 30°, 45°の場合は高振動数に行くほど波の消散が大きくなるが、60°, 75°ではあまり波の消散が見られないのが分かった。そして鉛直応答は入射角が大きくなるほど応答が大きく、波の消散は小さくなる傾向が分かった。図—4, 5はSV波による直接基礎の水平応答と鉛直応答である。入射角の変化に対する水平応答は高振動数になるほど入射角60°で最も大きくなり、波の消散が大きくなることが分かった。また、鉛直応答は入射角が大きくなるほど波の消散が見られないし、45°で消散が大きいことが分かった。②基礎の柔軟性を考慮した場合の動的応答：剛性の低下によって基礎の応答は剛体の場合より柔軟な場合の応答が高振動数に行くほど応答の減少が小さくなる。この現象は剛体基礎の場合に波の消散が大きいと言える。さて、波の入射角を各々15°, 45°, 75°変化させて基礎の動的応答を明らかにした。図—6, 7はP波における柔軟性における水平応答と鉛直応答の比較である。両応答は高振動数に行くほど剛体の場合に波の消散が大きくなることが分かった。さらに入射角が大きくなるほど波の消散は顕著に小さくなることが分かった。図—8, 9はSV波に対する応答でP波の同様に入射角が大きくなるほど波の消散は小さく、剛体基礎における波の消散が大きいことが分かった。そしてP波よりSV波の場合が剛性の低下に対する影響が大きいことが分かった。



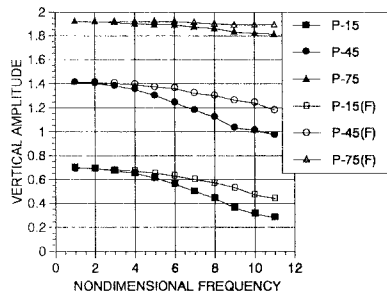
図—4 SV波の水平応答



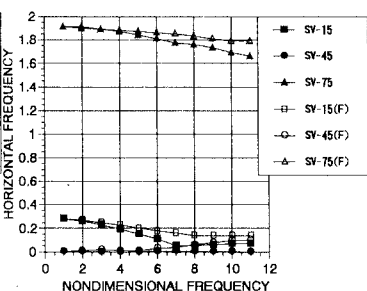
図—5 SV波の鉛直応答



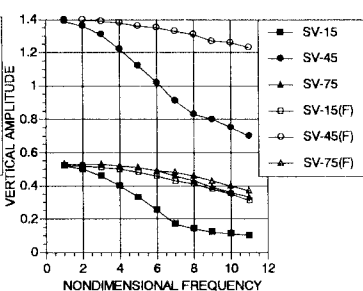
図—6 P波の水平応答(剛性変化)



図—7 P波の鉛直応答(剛性変化)



図—8 SV波の水平応答(剛性変化)



図—9 SV波の鉛直応答(剛性変化)

4. まとめ 本解析は半無限体地盤に対して境界要素モデルを用いるので有限要素モデルの使用における巨大モデル、境界問題、波の波動反射問題が解決された。本解析により次のような結論が得られた。①P波とSV波の入射角度を変化させて波の入射角に対する直接基礎の地震応答を明らかにした。②基礎の剛性を低下させた場合と比較すると剛体基礎における波の消散の方が大きくなることが分かった。

<参考文献>Karabalis, D.L. and Beskos, D.E., :Dynamic Response of 3-D Rigid Surface Foundation by Time Domain Boundary Element Method, Earthquake Eng. and Struc. Dyn. VOL.12, 73-93, 1984