

I-818 近接する井筒基礎構造物間の動的相互作用評価手法の簡便化について

東京大学大学院 学生員 三神 厚
 東京大学生産技術研究所 正 員 小長井一男

1. まえがき

橋脚の基礎のように地盤中に構造物が隣接して存在するような場合には地震時に構造物間に地盤を介した動的な相互作用が現われるため、構造物が個々に存在する場合とは異なった挙動が現われる⁽¹⁾。このような根入れを有する構造物相互の動的相互作用を、3次元的地形条件などを取り込んで解析すると数値解析が極めて煩雑になるため、簡便な形でこれらの要因を評価し所要の精度を得ることができる合理的なモデルの確立が求められる。解析を簡便化する上で、上下動が水平動に比べて小さいものとして無視するという仮定はこれまでによく用いられてきたものの一つである。さらに表層の軟弱地盤を対象として限定された周波数領域で深さ方向の振動モードを特定する方法が擬似三次元モデル⁽²⁾として田村らによって提案されている。本研究はこの擬似三次元モデルを構造物どうしの動的相互作用に適用することを試み、田治見の方法に倣った解析解および実験結果との定量的な比較を行い、解析に用いる仮定や地盤物性の適切な評価方法などについて検討したものである。基礎からの逸散波動の形状が動的相互作用に大きな影響を及ぼすので、本研究に先立って簡便化解析に用いる仮定を単一ケーソン・地盤系を対象とした可視化実験により検証し(参考文献(3))、そこで得られた知見を解析に反映させた。

2. モデルの簡便化の手順と擬似三次元モデル

円筒座標系(r, θ, z)において上下動成分を削除した弾性体の支配方程式は以下のように与えられる。

$$(\lambda + 2\mu) \frac{\partial(\Delta e^{i\omega t})}{\partial r} - \frac{2\mu}{r} \frac{\partial(\Omega_z e^{i\omega t})}{\partial \theta} = \rho \frac{\partial^2(u_r e^{i\omega t})}{\partial t^2} - \mu \frac{\partial^2(u_r e^{i\omega t})}{\partial z^2} - \mu' \frac{\partial^3(u_r e^{i\omega t})}{\partial t \partial z^2} \quad (1)$$

$$(\lambda + 2\mu) \frac{1}{r} \frac{\partial(\Delta e^{i\omega t})}{\partial \theta} + 2\mu \frac{\partial(\Omega_z e^{i\omega t})}{\partial r} = \rho \frac{\partial^2(u_\theta e^{i\omega t})}{\partial t^2} - \mu \frac{\partial^2(u_\theta e^{i\omega t})}{\partial z^2} - \mu' \frac{\partial^3(u_\theta e^{i\omega t})}{\partial t \partial z^2} \quad (2)$$

ここに、 λ, μ はLaméの定数、 ρ は弾性体の密度、 μ' は粘性定数、 (u_r, u_θ) は (r, θ) 方向変位

$$\Delta = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (ru_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 u_\theta}{\partial \theta^2} \quad (3)$$

$$\Omega_z = \frac{1}{2r} \left(\frac{\partial}{\partial r} (ru_\theta) - \frac{\partial u_r}{\partial \theta} \right) \quad (4)$$

この方程式の特解を境界条件を満たすよう重ね合わせることで、深さ方向(z)の振動形は三角関数の級数和として与えられる。これに対し表層地盤の深さ方向の振動モードを場所に依じて特定したものが擬似三次元モデルと位置づけられる。擬似三次元モデルでは表層地盤をいくつかの土の柱に分割し、それぞれの土柱の特定のモードを想定しこれを等価な振動子に置き換え、2次元の有限要素網で連結して表層地盤全体のモデルとしている(図1)。

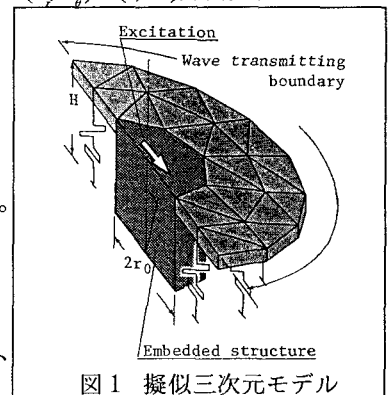


図1 擬似三次元モデル

いずれの解法においても単純に上下動を無視するだけでは λ, μ などの物性値は変化しないが、上下動の影響や地盤表面付近での応力解放の影響をこれらの物性値を変えて擬似的に解析に取り込む便法も考えられる。擬似三次元モデルでは表層地盤はWinkler型の離散ばねに支持された平面にモデル化されるが、単純な上下動の無視はこの平面を厚さ方向に変形しない平面ひずみ状態とおくことに相当する。一方これと対極にあるものが平面応力状態であるが、この時には等価な λ の値が変化する。地盤のPoisson比が0.5に近い場合、平面応力状態の要素を伝播するみかけの縦波速度

(V_p^*)とせん断波速度(V_s)の比 V_p^*/V_s は2である一方、平面ひずみ状態の要素で V_p^*/V_s は無限大となる。この比を2として平面要素に平面応力状態を仮定することの妥当性は文献(3)で確認された。また深さ方向の振動モードについては、剛なケーソンからの拘束の影響を考慮し、これを基盤に頂点を置く逆三角形と仮定した。

3. 実験方法および解析結果との比較

図2に示すようなアクリル製型枠(57cm×57cm×13.5cm)にポリアクリルアミドゲル(Poisson 比 ≈ 0.5)を9cmの深さで打設し、その中央および中心間距離で10cm離れたところに直径5cmのアクリル製の円筒基礎模型をロッキング振動できるように設置した。そして中央のケーソンにのみインパルスを加え(X方向(加振パターン1)あるいはY方向に加え(加振パターン2)、その時インパルスが加えられた基礎(加振基礎)と加えられない井筒基礎(受振基礎)の両者の応答を渦電流式の変位センサーを用いて測定した。図3,4は横軸に時間、縦軸に井筒基礎の回転角をとり、インパルスを加えた後80(msec)までの応答について擬似三次元モデル、田治見の方法に倣った厳密解、実験のそれぞれの結果を比較したものである(なお50msec以降については模型地盤境界からの反射波の影響を受けるため検討対象から除外する)。全体的に擬似三次元モデルによる解と厳密解との間にほとんど明瞭な差異は現れていない。加振パターン2の場合は加振ケーソン、受振ケーソンともにおおむねシミュレーション結果と実験結果はよく符合する。加振パターン1の場合、加振ケーソンの応答の周期はやや過大評価されているもののおおむね良い一致が得られている。一方、受振ケーソンの応答については両者の隔たりが大きい。

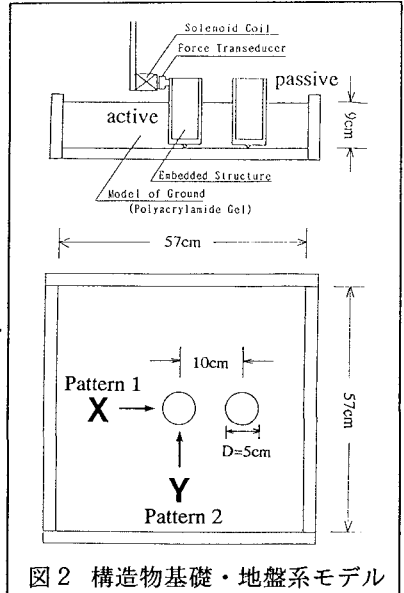


図2 構造物基礎・地盤系モデル

から除外する)。全体的に擬似三次元モデルによる解と厳密解との間にほとんど明瞭な差異は現れていない。加振パターン2の場合は加振ケーソン、受振ケーソンともにおおむねシミュレーション結果と実験結果はよく符合する。加振パターン1の場合、加振ケーソンの応答の周期はやや過大評価されているもののおおむね良い一致が得られている。一方、受振ケーソンの応答については両者の隔たりが大きい。

4. まとめ

擬似三次元モデルによる円筒基礎・地盤系の応答解析で、地表面での応力開放の影響を考慮しWinkler型バネ上のモデル平面に平面応力状態を仮定した。また剛な構造物の拘束の影響を考慮して深さ方向に逆三角形形状の振動モードを仮定し

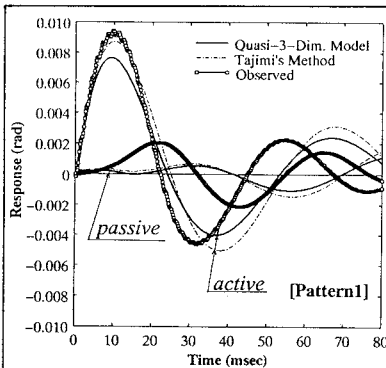


図3 X方向打撃時の基礎の応答

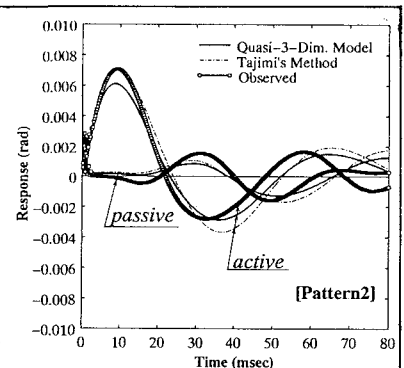


図4 Y方向打撃時の基礎の応答

た。基礎が単独で存在する場合にはこれらの仮定は妥当であったが、隣接構造物が存在する場合には単一基礎・地盤系解析に用いた仮定に加え、隣接構造物の拘束の効果をより詳細に検討して解析に取り込むことが必要であることが示された。

なお、本研究は文部省科学研究費補助金による研究成果の一部を取りまとめたものである。

参考文献(1) 小堀鐸二・日下部馨：近接する根入れ構造物相互の連成振動特性について、京都大学防災研究所年報、第21号B-1、pp.249-276、1978。(2) Tamura, C. and Suzuki, T.: A Quasi-Three-Dimensional Ground Model for Earthquake Response Analysis of Underground Structures -Construction of Ground Model-, "SEISAN KENKYU", (Monthly Jour., Inst., Industrial Science, Univ. of Tokyo), Vol.39, No.1, pp.37-40, 1987。(3) 三神厚、小長井一男：井筒基礎から逸散する弾性波動の可視化と解析、第48回年次学術講演会概要集、第1部、pp.380-381、1993。