

竹中技術研究所 津國 正一 畑中 宗憲 田中 芳行
(株) 竹中工務店原子力本部 塩見 忠彦

1. まえがき

Zienkiewicz¹⁾らによって提案されている多孔質体の2相系の解析と弾塑性変形をカップルさせた方法にもとづいた、有効応力解析法(プログラムDIANA-G)を用いて飽和砂地盤の模型振動実験に対するシミュレーションを行ってきた²⁾。本報では地盤上に模型構造物が載っている場合の解析結果について報告する。

2. 解析方法(構成式)

解析に用いた構成式は反射曲面(Reflecting Surface)モデルである³⁾。これは境界曲面モデルの一種で、塑性歪の方向を載荷時には降伏曲面の外向き法線ベクトルの方向に、除荷時には内向きの法線ベクトルの方向に取ることににより、繰り返し荷重が作用した時の挙動を表現出来るようにしたモデルである。

3. 模型実験のシミュレーション

①実験と数値解析モデル： 解析対象模型を図-1に示す。一様な飽和砂地盤中央部の地表に21.5 gf/cm²の上載圧に相当する模型構造物が載っている。地下水位は地表面下3.3 cm、両端には幅5 cmのフォームラバーが取り付けられている。計測は図に示されている12点の過剰間隙水圧、地表面と構造物天端での応答加速度に対して行なわれている⁴⁾。

解析は図-2に示す要素数124、節点数152のモデルで行ない、地盤中の過剰間隙水圧、地表面と構造物天端での応答加速度について実験結果と比較を行なった。なお、地盤の変形については解析結果について若干コメントした。

②地盤の材料定数： 解析に必要な主な地盤の材料定数を表-1に示す。以下に主な定数である内部摩擦角 ϕ_d 、ヤング率 E 、圧縮指数 λ 、膨張指数 κ の設定法について説明する。

(1) ϕ_d ：模型実験で用いたのと同じ豊浦標準砂についての実験式⁵⁾を用いて、実測値 $D_r=47.6\%$ から $\phi_d=37.2^\circ$ とした。(2) E ：弾性論 $E=2 \cdot G(1+\nu)$ 、 $\nu=k_0/(1+k_0)$ から $k_0=0.5$ と仮定して $E=8/3 \cdot G$ 、 G は有効平均拘束圧 σ_m 、間隙比 e とひずみの関数で、文献6に示す低拘束圧下での実験結果($r=10^{-5}$, $D_r=47.6\%$)を代入して $G=59.3 \cdot \sigma_m^{0.5}$ (kg/cm²)。 (3) λ と κ ： $e-\ln P$ 曲線における圧縮指数と膨張指数は、模型実験と同様な低拘束圧下における桑原の実験結果⁷⁾ $m_v=0.0449$, $m_s=0.0107$ (cm³/kg)と $e=0.789$, $P=0.0186$ kg/cm²から、 $\lambda=0.00344$, $\kappa=0.000817$ となった。

構造物は単位体積重量21.5 g/cm³、ヤング率 $2.0 \cdot 10^5$ kg/cm²。

4. 解析結果及び考察

解析用入力加速度は図-3に示す。模型振動実験において振動砂箱の底面で測定された加速度波形(最大振幅約100 gal)をそのまま用いた。

①応答加速度： 図-4 a. b. は構造物天端と振動箱の中心か

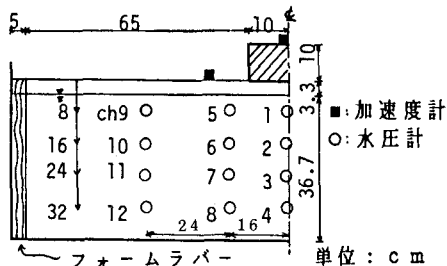


図-1 模型地盤・構造物の断面図

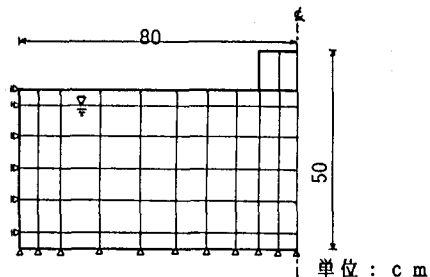


図-2 計算モデル

表-1 解析用模型地盤の材料定数

ポアソン比	0.33
土の単位体積重量	2.65 g/cm ³
RSモデルの定数	0.98
圧縮指数	0.00344
膨張指数	0.000817
水の単位体積重量	1.00 g/cm ³
内部摩擦角	37.2度
水の圧縮係数	2.22E5 kg/cm ²
土の圧縮係数	3.70E8 kg/cm ²
透水係数	0.026 cm/sec
間隙率	0.441

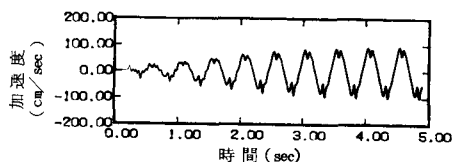


図-3 入力に用いた正弦波振動

ら20 cm離れた地表面での水平方向応答加速度の時刻歴を示したものである。解析で得られた応答加速度は両地点とも入力加速度に対する応答倍率がほぼ1であった。実験結果との比較では、構造物天端は解析の最終ステップまで、振動箱の中心から20 cm離れた地表では地盤中の過剰間隙水圧が最大値に達する直前まで、水平方向応答加速度は実験結果と解析結果が良く一致している。

②過剰間隙水圧： 図-5に4.5秒後の過剰間隙水圧の分布を示す。過剰間隙水圧は、構造物の直下を除いてほぼ一様な分布をしている。構造物の直下においては、他に比べて過剰間隙水圧の上昇量が大きくなっているが、構造物の回転による影響はあまり表われていない。

過剰間隙水圧時刻歴の解析結果と実験結果を、解析で求めた過剰間隙水圧が最大値に到達した付近まで、構造物直下部と構造物の中心から40 cm離れた地点で比較しているのが図-6で、図中の一点鎖線は初期有効応力の値を示している。

過剰間隙水圧の最大値についてみると、中心から40 cmの測点では解析結果と実験結果が良く対応しているのに対して、構造物直下部では解析結果の方が大きくなる傾向が得られた。

一方、過剰間隙水圧の上昇の速さについて実験結果と解析結果を比較すると、構造物がない場合に比べて両者の対応が悪い。これらの原因の詳細については今後検討していきたい。

③変形： 図-7 a. b. はそれぞれ4.5秒後の土要素と水要素の変形を、変形拡大率25倍で描いている。土要素が全体的に沈下しているのに対して水要素は上昇している。これは振動によって地表面が沈下し水位が上昇する実験結果と対応する。

図-7 a. の土要素の変形図において、構造物直下部ではそれ以外の部分に比べて変形が小さくなっているのは、構造物の押え効果の影響と考えられる。また沈下量と比較して土要素の水平変形は比較的少ない。これは液状化前までは砂層が一体となって動くためと考えられ、地表面の水平加速度応答倍率がほぼ1に近いこととも対応している。

5. あとがき

上部構造物と地盤の連成問題における液状化現象について、実験と数値解析結果を比較検討し、応答加速度と最大過剰間隙水圧については比較的良い対応が得られた。今後は改良地盤・グラベルドレーンによる耐液状化防止効果および最終沈下量に対する解析を進めて行きたい。

参考文献 (1) Zienkiewicz: Proc of 4th Conf on Num. Mech. in Geomech. Edomonton, Canada, 1982 (2) 津国・畑中：土質工学会, 1985 (3) Pande: Proc Int Symp. on Num Models in Geomech. Zurich, 1982 (4) 宮木他：土質工学会, 1985 (5) 畑中宗憲：東工大学位論文, 1977 (6) 杉本他：土質工学会 p501～p502, 1983 (7) 桑原文夫：東工大学位論文, 1974 土質工学会 p135～p138

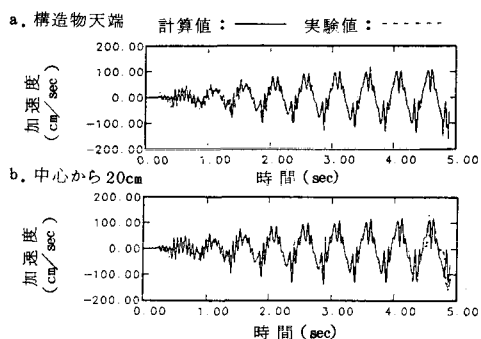


図-4 水平方向応答加速度

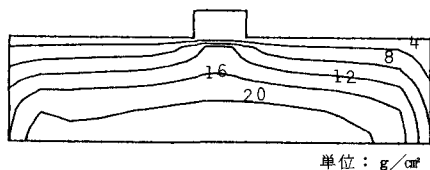


図-5 過剰間隙水圧分布図

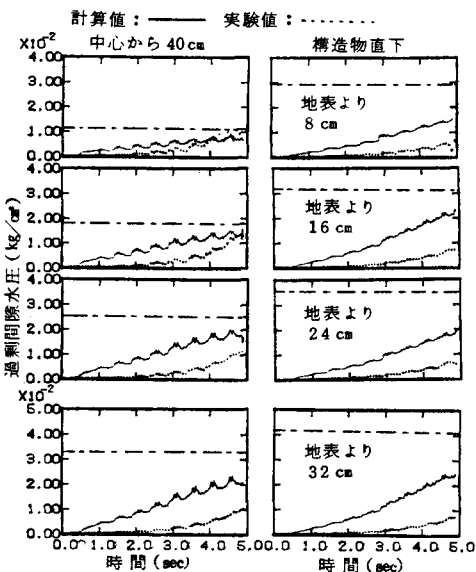


図-6 過剰間隙水圧時刻歴

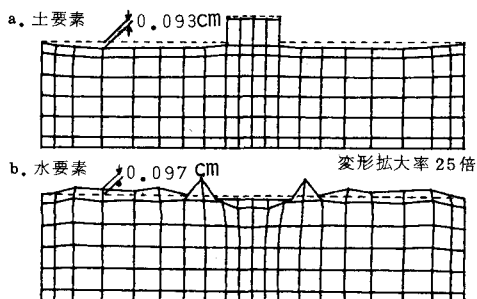


図-7 変形図 変形拡大率 25 倍