

東北大学大学院 学○利波 宗典
 東北大学工学部 正 柳沢 栄司
 東北大学大学院 学 青木 照幸

1.はじめに

Biotの多孔質理論に基づく二相系地盤モデルは、土粒子骨格と間隙水の連成作用を考慮できる点で、従来の一相系地盤モデルに比べ、地盤の地震時変形挙動をより本質的に取り扱う事ができると考えられる。本研究は、この二相系地盤モデルと異方硬化理論に基づく構成モデル¹⁾を用いて一次元有効応力解析を行い、アレー観測記録との比較によりその有効性を検討したものである。

2.解析方法

二相系地盤の支配方程式として次式²⁾を用い、有限要素法にて解析を行った。

$$\begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_r \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_s \\ \ddot{u}_r \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_1 + \tilde{K}_1 & -C_2 + \tilde{K}_2 \\ -C_2 + \tilde{K}_2 & C_2 + \tilde{K}_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u}_s \\ \dot{u}_r \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_s \\ u_r \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_s \\ f_r \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここに M ; 質量マトリクス C, \tilde{K} ; 粘性マトリクス K ; 剛性マトリクス f ; 外力ベクトル u ; 絶対変位 (鉛直, 水平2方向)

添字 s, r は各々固相、液相の成分であることを示す。間隙水圧は、ひずみの適合条件式から次の様に求める。

$$P = \rho_f g \lambda [(1-n) \dot{u}^v_{i,i} + n \dot{u}^f_{i,i}] \quad (2)$$

ここに n ; 土の間隙率 ρ_f ; 水の密度 g ; 重力加速度

λ は間隙水の非圧縮性を仮定するため導入されたパラメータで²⁾、物理的な意味は無く、本解析においては $\lambda=10^{11}$ とした。異方硬化理論に基づく非線形解析なので、式(1)は増分形で用いられ、系の応答はこれを時間領域で逐次積分していくことによって得られる。数値積分は Newmarkの β, γ 法 ($\beta=0.3025, \gamma=0.6$) によって行った。

3.解析対象地盤と入力地震

表1に、解析対象とした地盤の柱状図、及び有限要素分割を示す。図中 H1 (GL-0.0m), H2 (GL-42.0m) に地震計が、その間 P1, P2, P3 に間隙水圧計が設置されている。地盤の土質データは、ほぼボーリングによる実測値を用いたが、分からないものについては土質名称あるいはN値より推定した。入力地震は1987年2月6日福島県沖を震源とする M4.7 の地震で、H2での速度実記録 (震源直角成分) のうち主要動の部分 20秒間を、最下節点より粘性境界を介して固相に入力した。図1に入力に用いた地震記録を示す。境界条件は、地表面において鉛直・水平両方向とも自由境界 (固相, 液相)、最下節点においては鉛直方向固定 (固相, 液相)、水平方向 固相-粘性境界、液相-自由境界とした。

表 1 解析対象地盤と要素分割

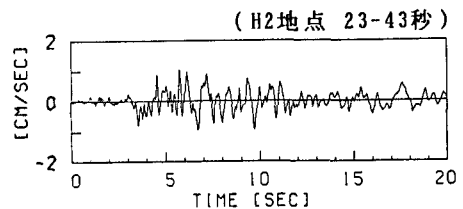
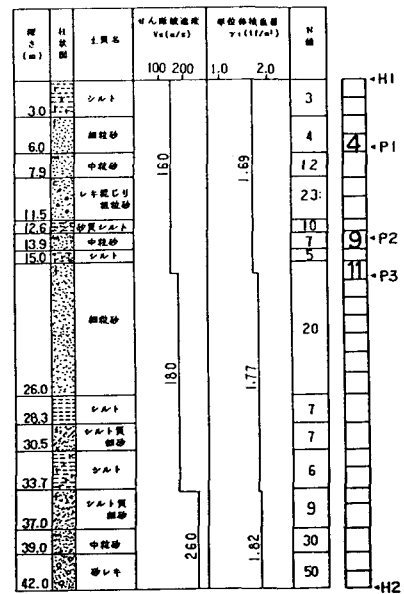


図 1 入力速度記録

4. 解析結果

図2に、地表面(H1地点)における変位応答時刻歴の実測値、及び計算値を重ねて示す。ただし、計算値は固相の応答であり、実測値は速度記録を数値積分して求めたものである。最大値は、実測値 -0.63cm 、計算値 -0.54cm と多少計算値の方が小さいが、その波形、位相、包絡形状、及び増幅率ともにかなり良い近似が得られていると思われる。図3には、要素4(P1)、9(P2)、11(P3)における過剰間隙水圧時刻歴を、同じく実測値、計算値重ねて示した。実測値によると、地震の規模が小さいためか過剰間隙水圧がほとんど発生しておらず、液状化にはほど遠い状態であるが、地震動が継続しているにもかかわらず既に過剰間隙水圧の消散が顕著に生じており、土の透水性が地盤の応答に与える影響の大きさを示唆している。一方、本解析による応答計算値は、このような間隙水圧の挙動を定量的にも定性的にも非常によく再現できていると思われる事から、二相系地盤モデルによって地盤の透水性の影響を本質的に考慮できる事が分かる。図4に、各要素における最大応答計算値の深さ方向分布を、また、図5、図6にそれぞれ要素9におけるヒステリシスループと有効応力経路を示す。地震規模が小さい為、応力-ひずみ関係にはほとんど非線形性が認められないが、繰り返し载荷に伴う有効応力の減少は旨く表現されており、本解析で用いた構成モデルの有効性が認められる。

5. 結論 二相系地盤モデルによる有効応力解析は、飽和地盤の地震時変形挙動を非常に良く近似でき、その予測の面から将来的にかなり有望な方法である。

参考文献 1)加藤高之、東北大学大学院修士学位論文、1985

2)O.C.Zienkiewicz et al., INT. J. OF NUM. AND ANA. METH. IN GEOMEC., Vol.8, pp.71-96, 1984

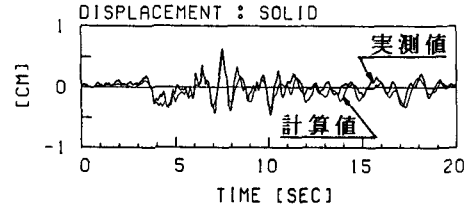


図2 変位応答の比較(地表面)

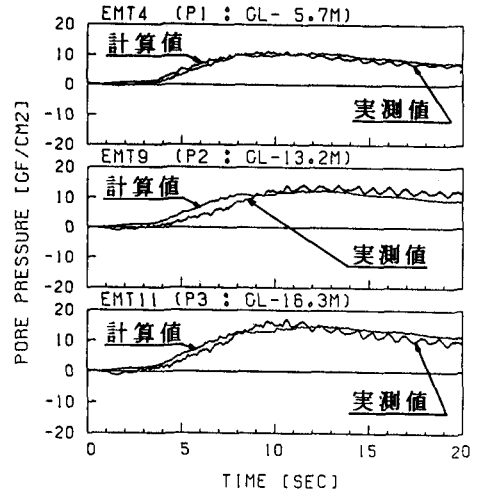


図3 間隙水圧応答の比較

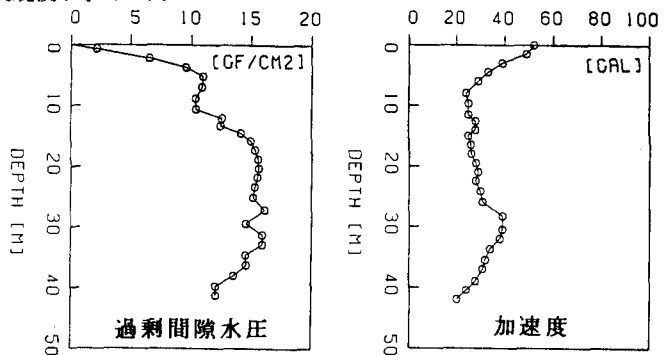


図4 最大応答計算値の分布

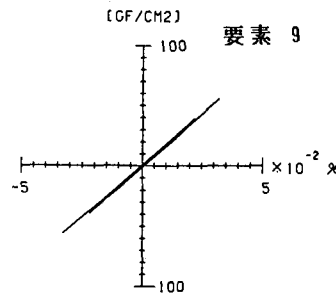


図5 ヒステリシスループ

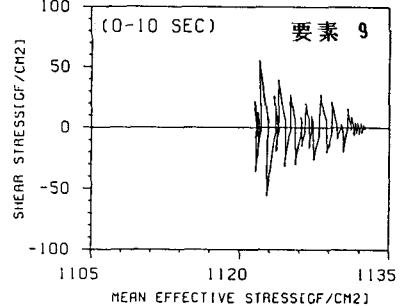


図6 有効応力経路