

I-511

有効応力法による軟弱地盤一構造物系の動的解析手法について

清水建設 大崎研究室 正員 ○ 近藤 司
同 正員 楠本 太

1. はじめに

近年、軟弱地盤を対象として大型構造物や長大線状構造物などの立地が検討されている。これらの構造物の地震時挙動を把握するためには地盤の挙動を適切に評価した検討が必要である。軟弱地盤の地震時挙動は強い非線形性に支配され、最終的には地盤の破壊である液状化現象を示すが、液状化に至らないまでも地震時に蓄積された過剰間隙水圧の消散による地盤の沈下が問題となる。著者らは地盤を二相系モデルで表現し、非関連流れ則による構成則を用いた有効応力法による解析コードを開発しており、ここでは、地震時の解析についての概要と適用例を示す。

2. 運動方程式および地盤の構成則

運動方程式を式(1)に示す。地盤はBiotらによる二相系モデル^{(1),(2)}で定式化した。このとき地盤の間隙水は非圧縮性とした。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M}^{ss} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{M}^{ff} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\mathbf{u}}^s \\ \ddot{\mathbf{u}}^f \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{C}^{ss} & \mathbf{C}^{sf} \\ \mathbf{C}^{fs} & \mathbf{C}^{ff} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\mathbf{u}}^s \\ \dot{\mathbf{u}}^f \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K}^{ss} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{u}^s \\ \mathbf{u}^f \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{F}^s \\ \mathbf{F}^f \end{Bmatrix} \quad (1)$$

添字sは土粒子骨格部分、fは間隙水部分を示す。Mは質量、Kは剛性マトリックスである。Cは地盤の透水性および体積変化を評価したマトリックスである。なお、数値解析はNewmarkのβ法を用いた。

地盤の構成則^{(3),(4)}は、式(2)に示す降伏関数f、塑性ポテンシャルg、硬化則をもつものである。

$$f = Q - \eta R(\theta)P; \quad g = Q - \frac{C^*}{1-a^*} \left\{ 1 - \left(\frac{P}{P_0} \right)^{a^*} \right\}^P; \quad \eta - \eta_0 = \frac{(\eta_f - \eta_0)S}{(\eta_f - \eta_0) + S} \quad (2)$$

P, Qは応力の1次と2次の不変量、ηは応力比、R(θ)はLodeパラメータの関数である。P₀は初期応力によるものである。C*, a*, η_fは地盤によって決まる定数であり、Sは地盤の線形状態に対応したせん断応力である。

3. 適用例

図-1に解析モデルを示す。解析モデルは軟弱地盤の一部を地盤改良し、そこに立地する中層構造物である。構造物および地盤定数を表-1に示す。入力地震動はEL-CENTRO, N-S成分、最大加速度は150galである。地下水位は地表面にあるとし、地盤改良および地盤2の部分は弾性挙動をするものと仮定した。解析結果として構造物上端および周辺地盤の加速度波形を図-2に、時刻6.0秒の間隙水の流速分布および過剰間隙水圧分布を図-3、(4)に示す。また、周辺地盤の有効応力経路とせん断応力・せん断ひずみの関係およびせん断応力波形と間隙水圧波形を図-5、(6)に示す。

表-1(1) 解析に用いた定数

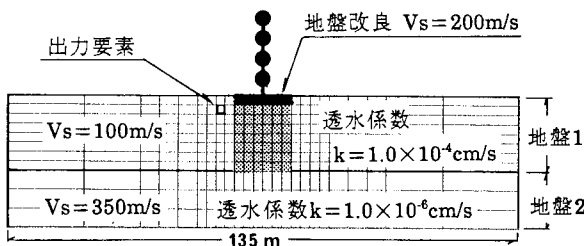
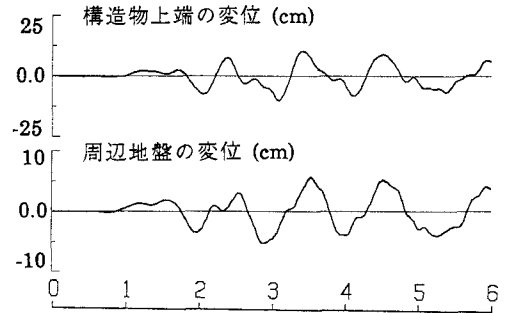
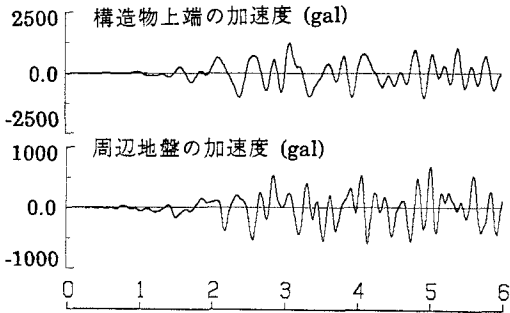
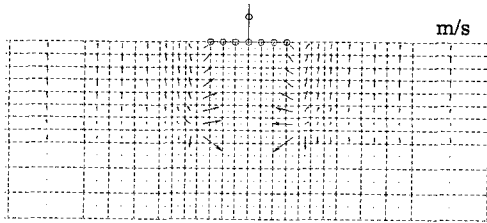


図-1(1) 解析モデル

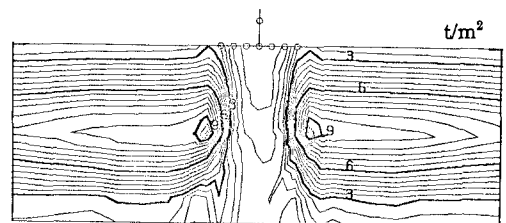
構造物の重量・バネ定数		地盤1の地盤定数
①	350 t	・γ _s ; 2.6 t/m ³ ・γ _f ; 1.0 t/m ³ ・ν ; 0.40 ・η _f ; 1.2 ・C* ; 1.0 ・a* ; 1.0 ・n ; 0.44
②	400 t	
③	500 t	
④	600 t	
B	1200 t	
		45 000 t/m



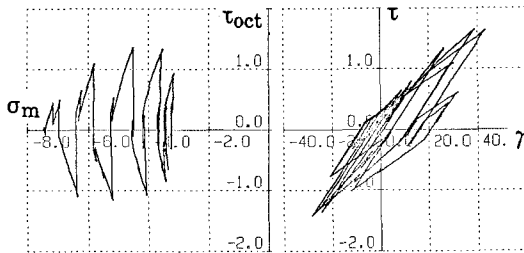
図一(2) 応答波形



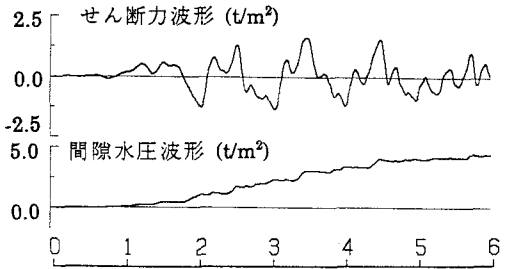
図一(3) 流速分布 (t=6.0秒)



図一(4) 間隙水圧分布 (t=6.0秒)



図一(5) 有効応力経路および応力~ひずみ関係



図一(6) 地盤のせん断力および間隙水圧波形

以上の解析結果より、周辺地盤に間隙水圧が蓄積していく過程ならびに間隙水圧の蓄積が地盤改良の側面下部で顕著であることがわかる。また、構造物より離れた地盤では間隙水は鉛直上方向に移動するが、地盤改良周辺では地盤改良部分に浸透する方向に移動する傾向がみられる。

4. おわりに

本解析コードにより軟弱地盤一構造系の解析が可能であることがわかった。現在、軟弱地盤一構造物系の模型実験を実施しており、実験結果のシミュレーションを通して解析に用いる地盤定数などの検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) Biot, M., A., ; "Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid", J. Acoustic Soc Am, 28(2), 168-170, 1956
- 2) 近藤・楠本; "二相系地盤非線形地盤一構造物の動的相互作用解析", 第7回日本地震工学シンポジウム, pp1087~1092, 1986
- 3) Poorooshasb, H., B., et al; "Modeling of liquefaction and cyclic mobility effects in sand", Numerical Methods in Geomechanics Nagoya Addition, 1985
- 4) Akai, k., et al; "Constitutive Equations for Geomechanical Materials based on Elasto-Viscoplasticity", Constitutive Equations of Soil; Preprints of Specialty Session 9, 9th ICSMFE(1977), PP1~10