

地盤の液状化に関する2次元FEM解析

東北大学 学生員 ○猪股 洋一
 同上 正員 佐武 正雄
 同上 平井 弘義

1. はじめに

砂地盤の液状化解析は種々おこなわれているが、着者らは現在、地震時の2次元な応答特性を調べるために、有限要素法を用いての解析を試みている。ここでは、その解析の結果を説明する。

2. 解析方法と構成モデル

解析は、地震応答ということから、現象が極めて速いものと考え、流体の土粒子に対する相対的運動を無視できるものと仮定し、次の2式を基本方程式としておこなう。

$$T_{ij,j} = \rho(\ddot{u}_i - g_i) \quad (1)$$

$$E_{ij} + n\rho/K_f = 0 \quad (2)$$

ここで、 T_{ij} は応力、 ρ は混合相の密度、 \ddot{u}_i は土粒子骨格の加速度、 g_i は重力加速度、 E_{ij} はひずみ、 n は間げき率や間げき水圧、 K_f は水の圧縮係数である。

要素分割を図1に示すが、地下水面は第1層と第2層の境界としている。

図2に示す降伏関数 f_i と塑性ポテンシャル g_i 、および硬化パラメータ速度 $\dot{\gamma}_i$ は次式²⁾で表わせる。

$$f_1 = J_2 + \beta I_1^2 + \gamma_1 I_1 = 0 \quad (3)$$

$$g_1 = \sqrt{J_2}/I_1 - M \ln|I_1/I_0| = 0 \quad (4)$$

$$\dot{\gamma}_1 = \gamma_1 T'_{ij} \dot{E}_{ij}^{(p)}/3 + \gamma_2 T'_{ij} \dot{E}_{ij}^{(p)} \quad (5)$$

変相線を越えての除荷時には次式を適用する。

$$f_2 = J_2 + \beta I_1^2 + \gamma_2 I_1 = 0 \quad (6)$$

$$g_2 = I_1 + \gamma_3 = 0 \quad (7)$$

$$\dot{\gamma}_2 = \gamma_3 T'_{ij} \dot{E}_{ij}^{(p)}/3 \quad (8)$$

ここに、 J_2 、 I_1 はそれぞれ偏差応力の2次、応力の1次不変量、 β 、 M 、 γ_1 、 γ_2 、 γ_3 は材料定数、 γ_1 、 γ_2 、 I_0 は硬化パラメータ、 T'_{ij} は偏差応力、 $\dot{E}_{ij}^{(p)}$ は塑性ひずみ速度を示す。第1層は弾性とし、また破壊線を越えた後の取り扱いも、除荷時には弾性、載荷時にはせん断弾性係数を1/10にしての弾性を仮定して計算を進めさせている。解析は、基盤に対して図3に示すような水平加速度を入力しておこなうものとし、入力加速度の最大片振幅を50 Galとしている。地盤のモデルは、新潟地盤を用い、土質諸定数は、Seedらによるもの³⁾を参考にしている。初期状態 K_0 値は0.5とした。境界条件としては、基盤との境界で水平・鉛直方向の変位を固定している。

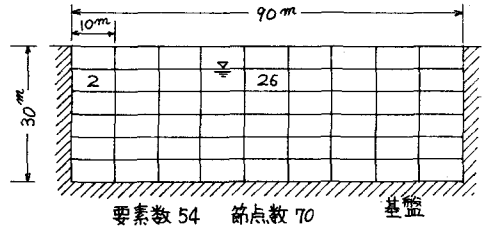


図1. 要素分割図

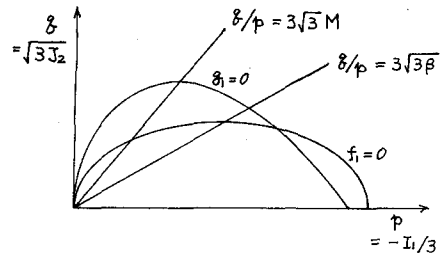


図2. 降伏関数と塑性ポテンシャル

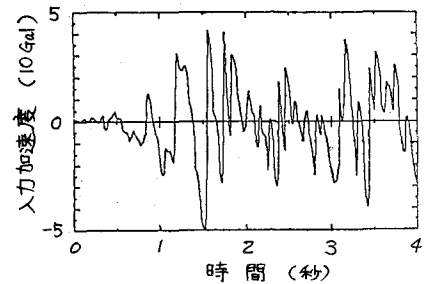


図3. 基盤入力加速度(水平方向入力)

3. 結果および考察

要素の破壊は、表面に近いところから起りはじめ。第2層の、境界に接する要素(ELEM.2)と、中央部の要素(ELEM.26)に着目して結果を示す。図4は有効応力経路であるが、中央部の方で破壊が進行しやすくなっており、また除荷時の有効応力経路に違いが見られる。図5に、せん断応力-ひずみ関係を示すが、中央部の方が大きな値となっている。ここには示していないが、変位も中央部で大きくなっており、これらは基盤との境界で変位を固定していることから境界付近でひずみが発生しにくくなっていることによるものと思われる。図6は、間げき水圧と時間の関係を示している。間げき水圧は、入力加速度が大きくなる3.1秒前後から発生し、上昇していく。境界付近では間げき水圧が振動しながら上昇しているのに対し、中央部ではほぼ定常的に上昇していく。また、境界付近では負の間げき水圧の発生がみられ、このような現象は、杭の打込み時に、杭近辺のせん断領域に負の過剰間げき水圧が発生することと対応していると思われる。図7は間げき水圧と深さの関係を中央部でみたものであるが、時間が経つに従って表面に近い領域での間げき水圧が上昇している。これは、深いところでは、土被り等による拘束からひずみがおさえられることによるものと思われる。この解析の結果としては、液状化・破壊は、表面に近い領域で起りやすく、境界付近よりも中央部で進行しやすくなっている。なお、中央部の有効応力経路には、佐武-平井がおこなった1次元液状化解析の結果²⁾との類似性が見られる。

参考文献

- 1). O.C.Zienkiewicz and P.Belliss : Soil Mechanics - Transient and Cyclic Loads (ed. GN.Pande et al), John Wiley & Sons, 1982
- 2). H.Hirai and M.Satake : LIQUEFACTION ANALYSIS OF SAND DEPOSITS BY AN ELASTIC-PLASTIC CONSTITUTIVE MODEL, PROC.OF JSCE No.352/III-2, Dec 1984
- 3). Seed, H.B. and Idriss, I.M. : Analysis of Soil liquefaction: Niigata earthquake, Proc. ASCE, vol. 93, No. SM3
- 4). 八木, 矢田部 : 砂地盤への静的・動的貫入抵抗に与える間隙水圧および応力状態の影響, 土質工学会論文報告集 Vol.23 No.3 Sept. 1983

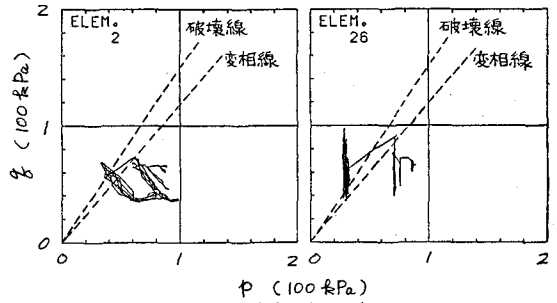


図4. 有効応力経路

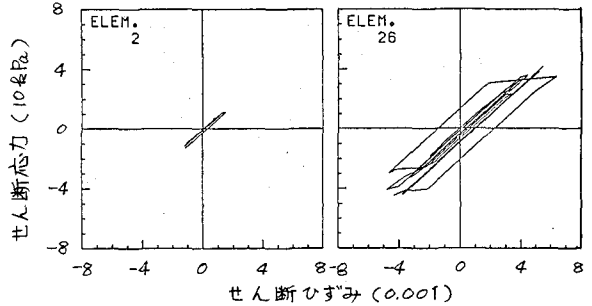


図5. せん断応力-せん断ひずみ

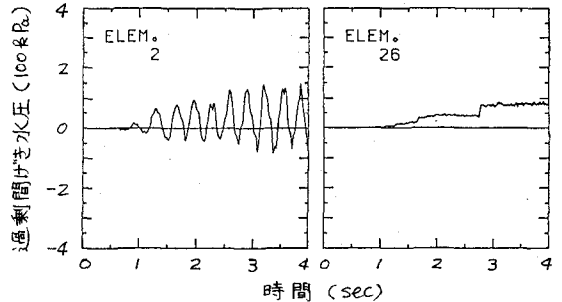


図6. 過剰間げき水圧 - 時間

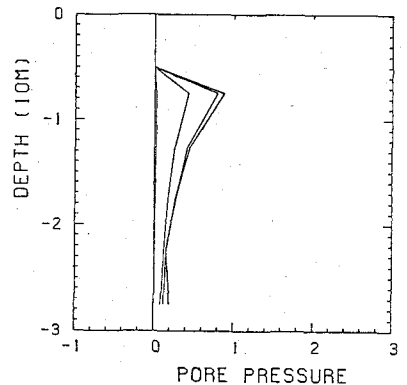


図7. 過剰間げき水圧 - 深さ