

III-32 弾塑性構成モデルによる二次元液状化解析

猪股測量設計(有) 正員 猪股 洋一
 東北大学 正員 佐武 正雄
 東北大学 正員 平井 弘義

1. はじめに

日本海中部地震においては硬い地盤と軟かい地盤の境界付近において埋設管等の液状化被害が多発した¹⁾。このような境界近傍での二次元液状化特性を調べるため、弾塑性構成モデルを用いた有限要素法による解析を試みた。ここでは、液状化特性に及ぼす側方基盤の影響について検討する。

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²⁾としておこなう。

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

$$E_{ij} + nP/k_f = 0 \quad (2)$$

ここで、 T_{ij} は有効応力、 ρ は固液混合相の密度、 ρ_f は液体の密度、 $\ddot{u}_i$ 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 は間隙率、 P は間隙水圧、 k_f は水の圧縮係数である。要素分割を図1に示すが、周囲は基盤となっている。

図2に示す降伏関数 f_1 と塑性ポテンシャル g_1 、および硬化パラメータ $\dot{\gamma}$ は次式で表わせる。

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

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

$$\dot{\gamma}_1 = \gamma_1 T_{ij} \dot{E}_{ij}^{(p)}/3 + \gamma_2 T_{ij} \dot{E}_{ij}^{(p)} \quad (5)$$

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扱いは、除荷時には弾性、載荷時にはせん断弾性係数を1/10にした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⁴⁾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。

3. 結果 および考察

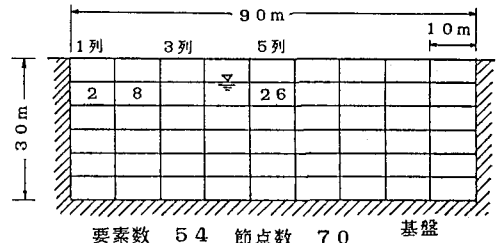


図1 要素分割図

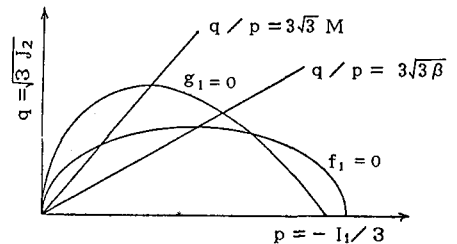


図2 降伏関数と塑性ポテンシャル

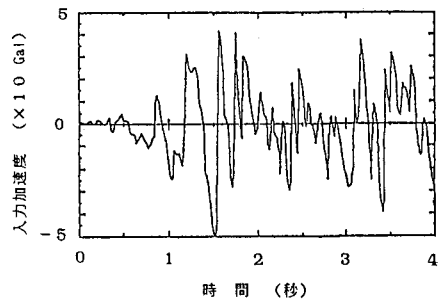


図3 基盤入力加速度(水平方向)

要素の破壊は、表面に近いところから起りはじめ
る。第2層の、境界近傍(要素8)と中央部(要素
26)に着目して結果を示す。図4は、 η - δ 平面に
おける有効応力経路であるが、境界近傍で液状化を
生じ易くなっており、また除荷時の有効応力経路に
違いが見られる。図5は、過剰間隙水圧の発生状況
を示している。間隙水圧は入力加速度が大きくなる
1秒前後から発生し、上昇していく。境界近傍では
過剰間隙水圧が振動しながら上昇しているのに対し、
中央部ではほぼ定率的に上昇していく。中央部での
発生状況は、佐武-平井³⁾がおこなった1次元解析の
結果と類似している。また、境界に接する要素(要
素2)では、負の過剰間隙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
域に負の過剰間隙水圧が発生すること⁵⁾との類似も考
えられる。図6に発生最大過剰間隙水圧と深さの関
係を示すが、過剰間隙水圧は、表面に近い領域で最
大を示し、深くなるに従って小さくなっている。水
平方向にみると、境界に近いほど大きな発生量を示
し、中央部での過剰間隙水圧は小さい。図7で、最小有効平均主応力
 η と深さの関係をみると、やはり表面近くで η の減少が顕著であるが、
水平方向では、境界よりやや離れた第3列で最小の η を示している。
これらの解析結果をまとめると次のようなことがわかる。
液状化は、表面に近い領域で生じやすい。これは土被り等による拘束
から、深いところではひずみの発生がおさえられることによるものと
考えられる。また、側方基盤の影響によって、中央部よりも側方基盤
の近傍、特に基盤からやや離れた領域で液状化を生じやすくなってい
る。これらの傾向は、実被害においてもうかがえるが、今後更に解析
をおこなって検討する必要があると考える。

参 考 文 献

- 1). 日本海中部地震による管路の被害調査, (財)建設工学研究振興会, 1984
- 2). A.C. Zienkiewicz and P. Bettles: Soil Mechanics-Transient and Cyclic Loads (ed. G.N. Pande et al), John Wiley & Sons, 1982
- 3). 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
- 4). Seed, H.B. and Idriss, I.M.: Analysis of soil liquefaction: Niigata earthquake, Proc. ASCE, vol. 93, No. SM3
- 5). 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

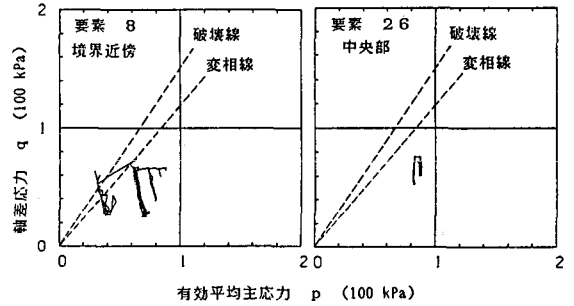


図4 有効応力経路

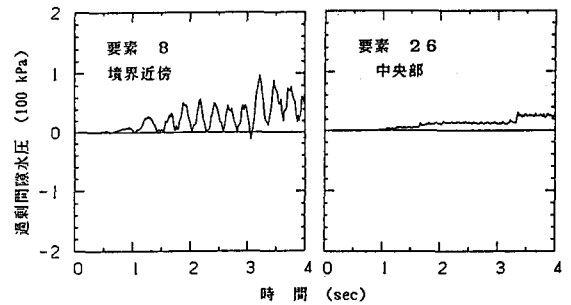


図5 過剰間隙水圧-時間

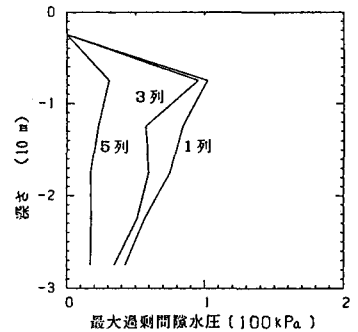


図6 最大過剰間隙水圧-深さ

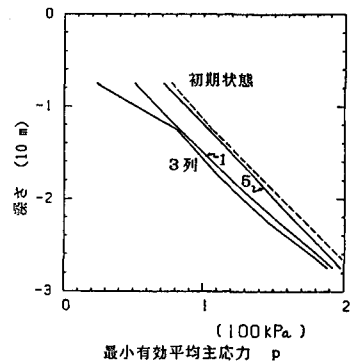


図7 最小有効平均主応力 p -深さ