

III-21

傾斜基盤を有する地盤の液状化特性

東北大学工学部 学生員 瀧浦 猛朗

同上 正員 佐武 正雄

同上 正員 岸野 佑次

1. はじめに

日本海中部地震などにおける地盤の液状化による被害の多くが、不整形地盤の境界付近に見られることから、著者らは、特に側方基盤の傾斜が液状化に及ぼす影響を調べる目的で、FEMによる2次元液状化解析を行った。本文は、この解析の概要と考察について述べたものである。

表-1 解析に用いた定数

土粒子の密度	2.65
最大間隙比	0.99
最小間隙比	0.61
ボアソン比	0.45
初期状態の K_0 の値	0.5
β (降伏関数の材料定数)	0.0133
M (塑性ポテンシャルの材料定数)	0.288
K_t (水の圧縮係数)	2.04×10^6
ψ_1 (硬化パラメータの材料定数)	86.9
ψ_2 (硬化パラメータの材料定数)	21.7
ψ_3 (硬化パラメータの材料定数)	-555.6

2. 解析方法

解析においては、水と土粒子の2相系の運動方程式をもとに、
(1)水と土粒子骨格との相対的な運動を無視する（経時時間の短い地盤の応答を対象としているため）。(2)土粒子は非圧縮性とする、
という2つの仮定を導入し、次の2式を基本方程式として用いた。

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

$$\varepsilon_{ii} + n p / k_f = 0 \quad (2)$$

ここに σ'_{ij} : 有効応力 ρ : 固液混合相の密度 ρ_f : 液体の密度

$\ddot{u}_i$: 土粒子骨格の加速度 g_i : 重力加速度 ε_{ij} : ひずみ

n : 空隙率 p : 空隙水圧 k_f : 水の圧縮係数

また、土の構成式は、次のように表わせる弾塑性モデルを仮定した。²⁾ 降伏関数、塑性ポテンシャルを f , g で表わす。

(1) 破壊線に至るまでの載荷時

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

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

$$\dot{\varepsilon}_i = \psi_1 \sigma_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij}^{(p)} / 3 + \psi_2 S_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij}^{(p)} \quad (5)$$

(2) 変相線と越えた後の除荷時、再載荷時

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

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

$$\dot{\varepsilon}_2 = \psi_3 \sigma_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij}^{(p)} / 3 \quad (8)$$

ここに $J_2 = 1/2 S_{ij} S_{ij}$ $I_1 = \sigma_{ii}$ $\beta, M, \alpha, \psi_1, \psi_2, \psi_3$: 材料定数

$\alpha, \psi_1, \psi_2, \psi_3$: 硬化パラメータ S_{ij} : 偏差応力

σ_{ij} : 全応力 $\dot{\varepsilon}_{ij}^{(p)}$: 塑性ひずみ速度

また、破壊線と越えた後の載荷時には、せん断弾性係数 E_0 にして、弾性的な計算を行うことにした。解析には、三角形定ひずみ要素による有限要素法を用い、ニューマークの β 法により逐次計算を行った。対象とした3種のモデルを図-1に示す。境界条件は、基盤との相対変位を0と仮定した。基盤における地震加速度として、最大片振幅 30 gal に整形したエルセント波の水平動を用いた。また、地盤モデルは平均地盤を用い、土質諸定数は Seedらによるものを参考にして、表-1に解析に用いた定数を示した。

3. 結果及び考察

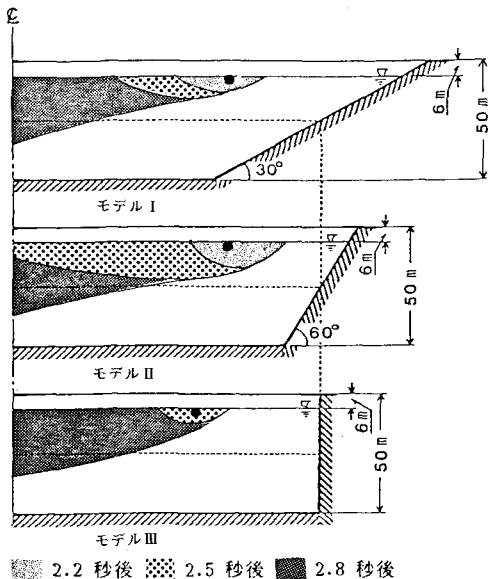


図-1 解析モデル及び液状化領域の進展状況

により逐次計算を行った。対象とした3種のモデルを図-1に示す。境界条件は、基盤との相対変位を0と仮定した。基盤における地震加速度として、最大片振幅 30 gal に整形したエルセント波の水平動を用いた。また、地盤モデルは平均地盤を用い、土質諸定数は Seedらによるものを参考にして、表-1に解析に用いた定数を示した。

各モデルの地下水面において、側方基盤からの水平距離がほぼ等しい地處(図-1の●印)における間隙水圧の時間変化を図-2に示す。各モデルとも、液状化が始まる2秒前後から過剰間隙水圧の上昇が認められる。特にモデルⅡにおいては、モデルⅠ、Ⅲに比べて、振動しながらではあるが、過剰間隙水圧の蓄積が顕著である。また、図-3に同地處における2.2秒までの有効応力経路を示す。モデルⅠ、Ⅱで破壊線に達しているのに対し、モデルⅢでは変相線を超えろにとどまっている。

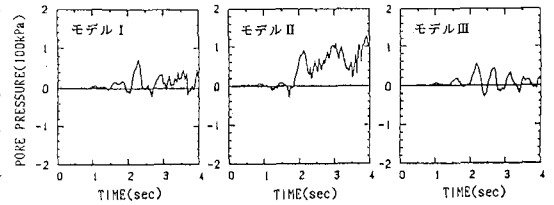


図-2 過剰間隙水圧-時間 関係

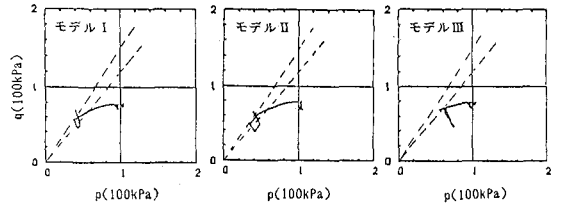


図-3 有効応力経路

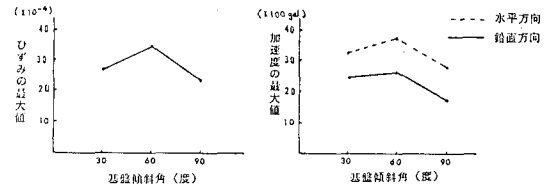


図-4 セン断ひずみの最大値、加速度の最大値-基盤傾斜角 関係

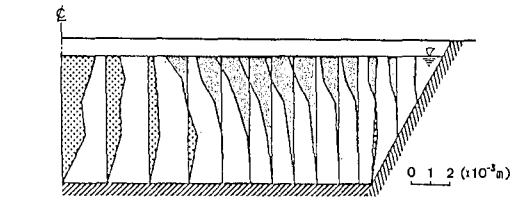


図-5 水平変位のモード(モデルⅡ, 2.48秒)

一方、地盤内のせん断ひずみ(ϵ_2)及び加速度の最大値を、側方基盤傾斜角に対してプロットしたものが図-4である。両者とも、傾斜角 60° (モデルⅡ)において最も大きな応答値を示しており、次に 30° (モデルⅠ)、 90° (モデルⅢ)の順となっている。

各モデルにおける水平変位のモードを見ると、モデルⅢの場合、地盤全体がほぼ同位相で変位しているのに対し、側方傾斜基盤を有するモデルⅠ、Ⅱでは、地盤中央部付近と側方基盤近傍で、変位が逆位相になっている場合が多く確認された。その傾向が特に顕著だったモデルⅡについて、代表的な例を図-5に示す。また、モデルⅢでは、傾斜基盤を有するもの(モデルⅠ、Ⅱ)に比べて、側方基盤近傍で、より変位がおこえられていた。以上のことは、先に述べた、ひずみの最大値と基盤傾斜角との関係、破壊領域の進展の状況、などに対応していると考えられる。

4. おわりに

以上、地盤の液状化に及ぼす基盤傾斜の影響を調べる目的で行った解析について概略を示した。今後さらに、数多くの例について検討を行う必要があるが、液状化発生の難易度が傾斜の単調な関数にはならないといふことは、興味のあるところである。

参考文献

- 1) O.C. Zienkiewicz and P. Bettors: Soil Mechanism - Transient and Cyclic Load, (ed. G.N.P. and et.al.) John Wiley & Sons (1982), 1-9
- 2) H. Hirai and M. Satake: Liquefaction Analysis of Sand Deposits by an Elastic-Plastic Constitutive Model, Proc. J.S.C.E. 352, IV-2 (1984) 187-196
- 3) Seed, H. B and Idriss, I. M.: Analysis of Soil Liquefaction: Niigata earthquake, Proc. A.S.E.C. 93, S.M. (1987)