

東北大学 正員 ○平井弘義
同上 佐武正雄

1. 緒言

砂の力学挙動を定式化するために著者らは先に弾塑性理論に基づいた砂の構成モデルを提案し、その適用性を明らかにした。さらにこれを繰り返し載荷を受ける場合に拡張し、地震応答問題における解析手法も示してきている。ここでは砂の透水係数の相異が液状化特性に及ぼす影響を数値計算によって検討する。

2. 構成モデルと液状化解析

図1に降伏関数と塑性ポテンシャルが示されており、それらは次のように書ける。

$$f_1 = J_2 + \beta I_1^2 + \gamma_1 I_1 = 0 \quad (1)$$

$$g_1 = \sqrt{J_2} / I_1 - M \ln |I_1 / I_0| = 0 \quad (2)$$

$$f_2 = g_2 = I_1 + \gamma_2 = 0 \quad (3)$$

ここに f_1, f_2 は降伏関数, g_1, g_2 は塑性ポテンシャル, 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 は材料定数, γ_1, γ_2, I_0 は硬化パラメータである。変相線を越えるような応力経路では次式を降荷時に適用する。²⁾

$$f_3 = J_2 + \beta I_1^2 + \gamma_3 I_1 = 0 \quad (4)$$

$$g_3 = I_1 + \gamma_4 = 0 \quad (5)$$

ここに γ_3, γ_4 は硬化パラメータである。また硬化パラメータ速度は次のように書ける。

$$\dot{\gamma}_1 = \phi_1 T_{ij} \dot{E}_{ij}^{(p)} / 3 + \phi_2 T_{ij} \dot{E}_{ij}^{(p)} \quad (6)$$

$$\dot{\gamma}_2 = \phi_1 T_{ij} \dot{E}_{ij}^{(p)} / 3 \quad (7)$$

$$\dot{\gamma}_3 = \phi_2 T_{ij} \dot{E}_{ij}^{(p)} / 3 \quad (8)$$

ここに ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 は材料定数, T_{ij} は応力, T_{ij} は偏差応力, $\dot{E}_{ij}^{(p)}$ は塑性ひずみ速度を示す。一方、土粒子相と流体相に対して離散化された次式が成り立つ。

$$[M]\{\Delta \dot{u}\} + [K]\{\Delta u\} = \{\Delta P_1\} + \{\Delta P_2\} \quad (9)$$

$$[T]\{\dot{U}\} + [S]\{U\} + \{F\} = 0 \quad (10)$$

ここに u は水平方向変位, $[M], [K]$ はそれぞれ質量, 剛性マトリックス, U は間隙水圧を示す。

3. 数値結果と考察

図2に1978年宮城県沖地震において樽水ダムで観測された強震記録を示す。これを以下では基盤入力波として用いることにする。地盤モデルとしては新潟地盤を選び、土質諸

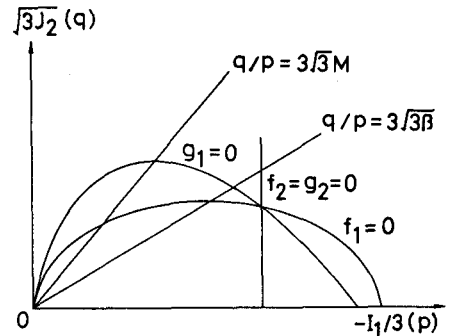


図1. 降伏関数と塑性ポテンシャル

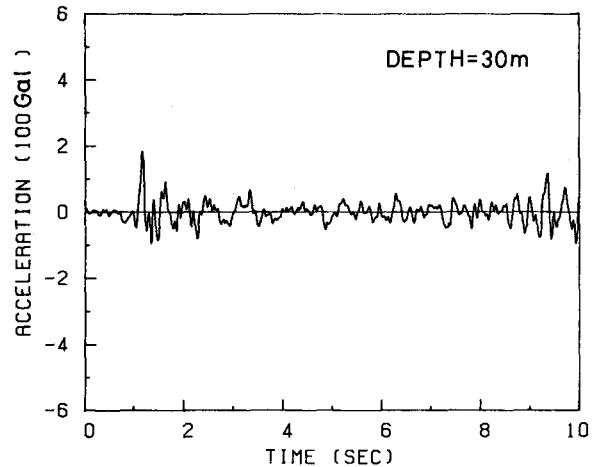


図2. 基盤入力波 (1978年宮城県沖地震, 樽水ダム)

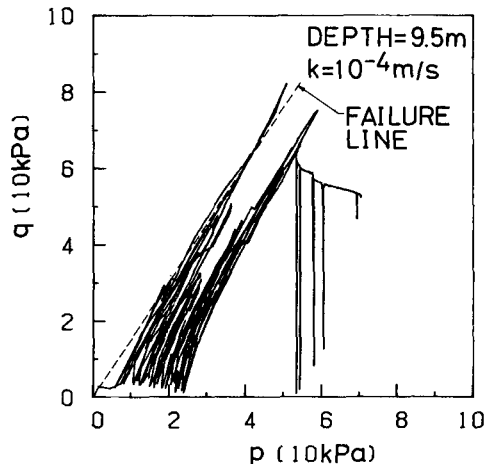


図3. 有効応力経路

定数はSeedらによるものを参考にした。砂地盤は深さ30 m、水位は地表面下2 m、 K_0 値は0.5 と仮定した。図3は透水係数 $k = 10^{-4}$ m/s の場合について深さ9.5 mにおける有効応力経路を示している。時間経過に伴い破壊領域からさらに液状化へと進展している様子がわかる。一方、図4は $k = 10^{-3}$ m/s について深さ9.5 mにおける有効応力経路を示す。 $k = 10^{-3}$ m/s の場合、破壊および液状化は発生せず透水係数 $k = 10^{-4}$ m/s の場合と比較し、間げき水圧の消散がすみやかに行なわれたと考えらる。図5は間げき水圧と時間の関係を示している。基盤入力波は時間 $t = 1.17$ 秒において最大値を示しており、図5から $t = 1.2$ 秒付近で間げき水圧が急激に上昇していることがわかる。さらに $k = 10^{-3}$ m/s と 10^{-4} m/s とを比べて $k = 10^{-4}$ m/s では間げき水圧は1.2秒以後振動しながら上昇し液状化に至るが、 $k = 10^{-3}$ m/s の場合一旦上昇するが、以後減少する傾向が見られる。図6は $k = 10^{-4}$ m/s について有効応力 p と深さ z の関係を示しており、深さ7~9.5 mにおいて液状化が $t = 5.68$ 秒に発生している。図7は $k = 10^{-3}$ m/s について有効応力 p と深さ z の関係を示しており、間げき水圧発生量は比較的小さいことがわかる。このように透水係数の大きさが間げき水圧発生量に及ぼす影響について、岡³⁾、Zienkiewicz⁴⁾ 等の研究とここでの結果は類似の傾向を示している。

参考文献

- 1) Hirai, H. et al. : Proc. JSCE, No. 343, 1984, 2) 中井他 : 第19回土質工学研究発表会講演集, 1984, 3) Oka, F. et al. : Soils and Foundations, Vol. 21, No. 3, 1981, 4) Zienkiewicz, O. C. et al. : Soil Mechanics - Transient and Cyclic Loads, (ed. G. N. Pande et al.), John Wiley & Sons, 1982.

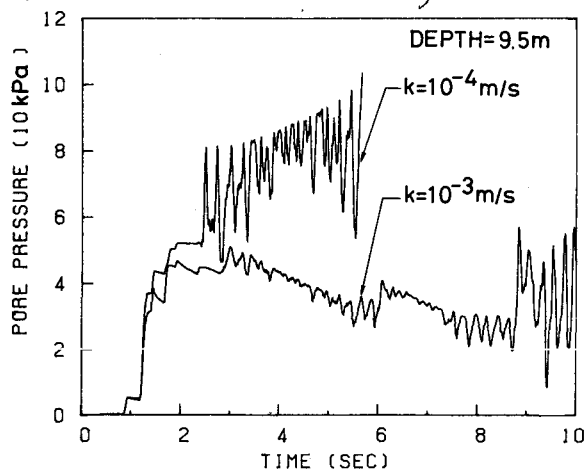


図5. 間げき水圧と時間の関係

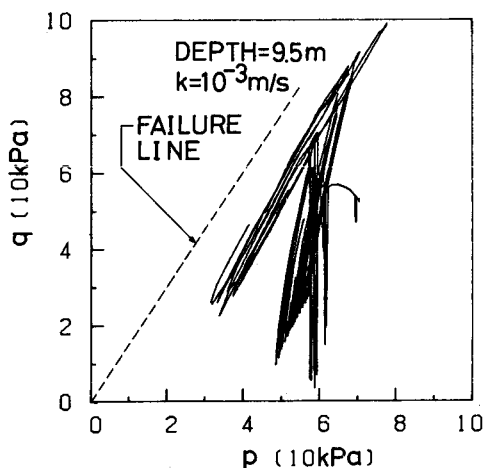


図4. 有効応力経路

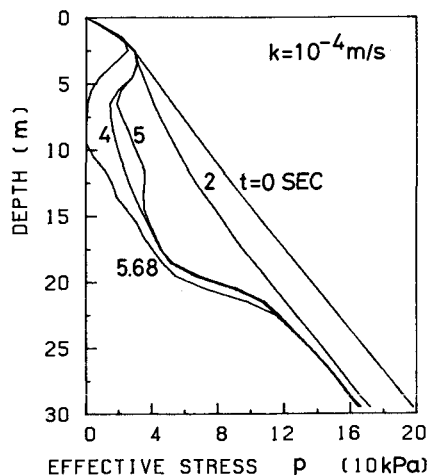


図6. 有効応力 p と深さ z の関係

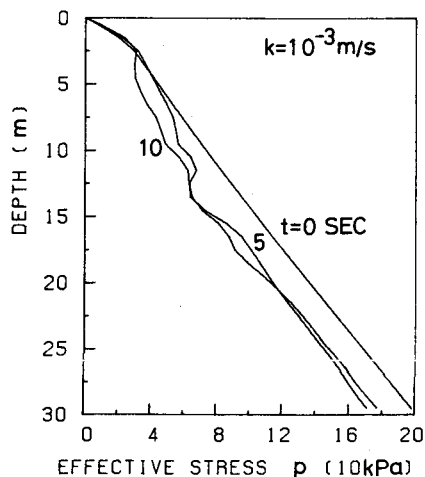


図7. 有効応力 p と深さ z の関係